

内容提要

本书初版于 1978 年，曾获 1980 年“新长征优秀科普作品奖”。这次重版，除对原有各篇根据近十多年来我国科技史研究方面的新发展作较大修订补充外，还增加五篇。本书按科学分类列题，比较全面地介绍中国历史上的科学技术成就，让读者了解中国往昔在科学技术上作出过哪些贡献，以增强我们的民族自信心，而且如茅以升氏为本书初版所写序言中所说，“还能古为今用”，读者可从我国古代科技成就中得到启迪，加以发扬光大为今天的我国科技发展和经济建设服务。各篇由对各专题有研究的专家学者撰写，具有相当高的学术性，但写法上力求通俗易懂，真正做到深入浅出。

初版序言

茅以升

正当全国人民努力奋斗、争取在本世纪末实现四个现代化、赶超世界科学技术先进水平的时候，出版这本介绍我国古代科学技术成就的书，是否会有不急之务的感想或疑问呢？水有源，树有根，科学技术也有继承发展的问题。毛泽东说：“中国的长期封建社会，创造了灿烂的古代文化。清理古代文化的发展过程，剔除其封建性的糟粕，吸收其民主性的精华，是发展民族新文化提高民族自信心的必要条件”^毛。列宁也说：“马克思主义……并没有抛弃资产阶级时代最宝贵的成就，相反地却吸收和改造了两千多年来人类思想和文化发展中一切有价值的东西。”^列因此，这本书的出版，正是为了鉴古知今，来加强我们当前为了那宏伟目标而奋斗的信心。从这本书的内容来看，我国古代的科学技术，长时期处于世界上的前列，有过惊人的辉煌历史，只是在近二二百年前，才开始走下坡路。正如英国学者李约瑟在他所著的《中国科学技术史》的序言中所说：“中国的这些发明和发现往往远远超过同时代的欧洲，特别是在十五世纪之前更是如此（关于这一点可以毫不费力地加以证明）。”^李

科学技术的成就，并非纸上谈兵，而应该是确实无疑地表现在活生生的各种事实上。如果一项科学创见或技术发明不能最终反应到人民生活上来推动历史前进，那就不能算是成就。这本书所介绍的成就，都可以在我国历史上得到验证，都可以算是当之无愧的成就。

首先，几千年来，我国除短暂时期外，政治上始终统一，尽管民族众多而未分裂成欧洲那样；更不像罗马帝国或蒙古帝国，只是盛极一时，以后就衰亡下去。我们中国和它们不同。我们中华民族上下四千年，屹立于大地，而且日益繁荣昌盛。主要原因之一，正如本书的内容所体现的，就是由于我们有自己的科学文化的辉煌成就。

在今天的世界上，我国国土并非最大，但是人口最多。这不能说只是由于地理条件如气候、土地、资源等比较优越的缘故，因为有同样优越条件的国家，人口都比我国少得多。这应当主要归功于我国古代的农业和医药科学的成就。当然，其他文化和经济方面也有重大影响。

在国内人口增长的同时，海外华侨人数也很多，到今天已有三四千万人，散布在世界各地，主要在东南亚一带，在当地作出多方面的贡献。他们依靠祖国的文化，形成团结的力量，这文化里就有科学技术，是华侨立足海外的一种凭借。

说到华侨，不由地想到两千年来我国科学技术在国际文化交流中的地位和影响。汉代张骞使西域，开辟了“丝绸之路”，通往中亚、西亚各国；唐代鉴真和尚去日本；明代郑和“下西洋”。不少的探险先驱，都带去了祖国的科学技术。当然，这也同时开辟了我国吸收外国文化的途径。

从十七世纪耶稣会传教士来到北京以后，“西方”的科学技术开始输入我国。到了清代末期，封建统治者崇洋媚外，五四运动后又有人提倡“全

^毛 泽东：《新民主主义论》，《毛泽东选集》，人民出版社1991年第二版，第二卷，第707、708页。

^列 宁：《论无产阶级文化》，《列宁选集》，人民出版社1972年第二版，第四卷，第36页。

^李 约瑟：《中国科学技术史》，科学出版社、上海古籍出版社1990年版，第一卷，第2页。

盘欧化论”，结果西方的科学技术就逐渐占领了我国的文化阵地。直到解放以后，由于毛泽东主席和周恩来总理的关怀，我国古代科学技术才逐步恢复到它应有的地位。因而全国各地都特别重视出土文物的发掘、整理、研究、展览等工作，并对古代遗留下来的建筑、桥梁、古迹等贯彻执行由国家重点保护的方针。从大量的古代文物中，可以验证我国古代的科学技术对我国悠久文化所起的重大作用。

建国不久，1950年，我中央人民政府就颁布法令，规定古迹、珍贵文物图书和稀有生物保护办法，并且颁发古文化遗址的调查发掘暂行办法。二十八年来，出土文物的数量之多，价值之高，都非常惊人，使我们对我国各民族的文化遗产有了广泛和深切的认识，特别是对古代科学技术，能亲眼看到它成就的伟大。比如：河北满城西汉刘胜墓中的“金缕玉衣”；湖北江陵凤凰山西汉文帝年间的古墓里有非常完整的男尸一具，外形和内脏的保存都胜过长沙马王堆汉墓里的女尸；陕西岐山、扶风交界处发掘出西周大型建筑遗迹；陕西咸阳发掘出秦始皇时代宫殿遗址；广州市发掘出秦汉造船工场遗址；等等。数不胜数的两千年前的遗物中，哪一项里没有科学技术的贡献呢！

当然，从这许多文物和遗址中，首先接触到的是当时手工艺的水平，在某些方面，两千年前劳动人民的技巧，竟可以同今天的技巧相比。手工艺表现在物质上的成品，必定牵涉到各种材料的生产和利用，如铜铁、玉石、木材等等。在材料的制成和使用中，结构和装配等等里面，就都有技术，有属于冶金工程的，有属于采矿工程、土木工程、机械工程的，甚至还有化学工程。我国两千年前就有了这样的技术，这是很可以引为自豪的。至于科学水平，这是表现在技术上的，技术之所以成功，必定暗含科学道理，这就证明了，当时劳动人民的生产实践已经掌握了自然界里物质运动的一些规律。

在秦汉以后的文化高潮推动下，我国的科学技术逐步发展，如本书中所介绍。更可贵的是，在自然科学方面，如天文、数学、物理、化学、地学、生物学、医学、药理学等等，有的成就超过西方一千年，如祖冲之的圆周率；以及气象学、地震学方面，也处于世界的最前列。至于技术，对人类的贡献就更多了。如造纸、指南针、火药、印刷术等等都是我们祖先发明的。在各种工程上的成就更是数不胜数。所有古代科学技术的成就，都是我国人民几千年来勤劳勇敢、机智奋斗的结果。我国人民有无穷的智慧和力量，富于创造性，不但表现在政治、经济、军事、文艺方面，也表现在科学技术方面。

由于长期的封建统治，我国人民的聪明才智几千年来并未得到充分发展，特别表现在科学技术上，否则成就一定会更加伟大。也因为这个缘故，古代科学技术上有过特殊贡献的学者、技师和劳动人民，大都是没无闻的。然而名虽不传，他们的功绩是不朽的。他们的辛勤成果，犹能重见于今日。

现在看来，我国古代的科学技术，是否都已经陈旧、不值一顾了呢？如果把今天的新科学、新技术好好分析一下，往往可以看到旧科学旧技术的痕迹，因为新的总是从旧的发展而来的。从整体看来，当然已经面目全非，但是从它组成的部分或零件来深究，穷源探本，往往能看出它的脉络所在。即使是从西方传来的东西，也会发现有的部分原来是从我们传过去

的旧东西里继承来的。从实践来的旧技术，有的形成传统，到今天还有它一定的价值，所以还能古为今用。最突出的例子，河北省的赵州桥可以算一个。它已经有一千三百多年的历史，但是它的“敞肩拱”技术，今天桥梁工程上还在广泛应用，并且在它的基础上，发展出新型的“双曲拱”。由此可见，在科学技术上，优良传统是很可宝贵的。我国古代的科学技术，在当时的世界上是领先的。在科学技术的竞赛场上，我国是得过锦标的。我国有过这样的历史，在今天的同一竞赛场上，对世界的先进水平，我们是能够赶上并且超过的。我们不但有信心，而且有能力。这本书就是有力的鉴证。

1978 年一月

— 天文学

中国古代的天文学名著简介

自然科学史研究所 刘金沂

具有辉煌成就的中国古代天文学孕育了丰富的天文典籍，古代天文学家以他们饱蘸知识的笔墨写下了许多著名的篇章，给我们留下了十分珍贵的天文学遗产。

历法著作

历法是中国古代天文学的重要内容，它不仅包括年、月、日、时、节气的安排，还包括日、月、行星运动，交食，晷影，漏刻，恒星出没，天空分区，等等。因此，中国古代历法有现今天文年历的性质。

现在保留下来最古老的典籍之一《夏小正》相传是夏代(约公元前二十一世纪到公元前十六世纪)的历书。其中记载有人们由观察天象和物候决定农时季节的知识。它原是《大戴礼记》中的一篇，后来单独成册流传。据考证，正文只有四百多字。就天文知识来说，它按十二个月的顺序记述了每月的星象，如早晨和黄昏出现在南方的星星，北斗柄的指向，银河在天空的位置，太阳到了恒星间什么地方等。此外还有每月的气象、物候以及应该做的农事和政治活动。例如：“正月，启蛰，……鞠则见，初昏参中，斗柄悬在下，……”这里“鞠”和“参”都是星名，“斗柄”就是北斗七星组成勺子形的把子。这部书是否夏代的历书，学术界还没有定论，但它至迟在春秋时期(公元前 770 年到公元前 476 年)已经成书，而且根据书中反映的天象等情况，说明有更早时代的资料。

自汉代(公元前 205 年到公元后 220 年)起，就有完整系统的历法著作留传到现在，包括在各历史朝代中颁行过的和没有颁行过的历法共约一百种，绝大部分收集在《二十四史》的《律历志》中，这是研究中国历法的资料宝库。现择要略作介绍。

《三统历》西汉刘歆(? - 23)作，一般认为是根据汉武帝太初元年(公元前 104 年)邓平、落下闳等人创作的《太初历》稍加修改而成。这是现存最早的一部完整历法，后世历法的基本内容这时大体都已具备。《三统历》共有七节：统母，纪母，五步，统术，纪术，岁术，世经。统母和统术讲日月运动的基本常数和推算方法，包括回归年、朔望月长度、一年的月数、交食周期、计算朔日和节气的方法等；纪母、纪术和五步讲行星的基本常数和推算方法，包括五大行星的会合周期、运行动态、出没规律、预告行星位置等；岁术讲星岁纪年的推算方法；世经讲考古年代学。《三统历》还明确规定，以无中气的月份置闰，并选取一个“上元”作为历法的起算点。《三统历》的这些内容，对后代历法影响极大，有的沿用至今。清代学者钱大昕(1728—1804)、李锐(1773 - 1817)、董佑诚(1791 - 1823)等人都曾对《三统历》做过详细研究，日本、法国学者还把它译成日文和西方文字。

《乾象历》，汉献帝建安十一年(公元 206 年)刘洪(约 135 - 210)作。它对月亮运动的研究有了新进展，首次提出月亮近地点的移动(过周分)，

从而算出近点月长度，并在一近点月里逐日编出月离表，又首次提出黄白交角是六度(兼数)，首次提出交食计算中推算食限的方法，这些都对后代历法影响很大。

《皇极历》，隋文帝仁寿四年(公元 604 年)刘焯(544 - 610)作，未颁行。《皇极历》考虑太阳和月亮视运动不均匀来计算日月合朔的时刻，创立了等间距二次差内插法。为了求得任意时刻的定期改正值，又创立了任意间隔二次差内插法的公式。这在中国天文学史和数学史上都有重要地位，后代历法计算日月五星运动使用的内插法多继承《皇极历》的方法并继续发展。

《大衍历》，唐玄宗开元十五年(公元 727 年)僧一行(683 - 727)作，后经张说(667 - 730)和陈玄景整理成文，开元十七年(公元 729 年)颁行，使用到天宝十年(公元 751 年)。开元二十一年(公元 733 年)传入日本，在日本使用近百年。《大衍历》结构严谨，条理分明，共有历术七篇，讲具体计算方法。另有历议十二篇(其中略例三篇)，讲历法的理论问题，是一行为《大衍历》写的论文，通称《大衍历议》。《大衍历》的制定是从制造仪器开始的，经过实际观测确定基本天文数据，这是科学的方法。经过《大衍历》的制定，对太阳月亮运动不均匀现象有了正确全面的了解。通过实际观测，破除了一千年来流传的“寸差千里”的谬说。在计算方法上，《大衍历》创不等间距二次差内插法的公式，比起《皇极历》来又是一个进步。

《授时历》，元世祖至元十七年(公元 1280 年)郭守敬(1231 - 1316)作，次年颁行。明代《大统历》继续用它的方法，前后共使用三百六十多年，是古历法中行用最久的，也是在天文数据、计算方法各方面发展到高峰的一种历法。中国古典系统的历法到此为止，以后就有西方天文知识传入并影响到历法的编算。现存《元史·历志》里的《授时历经》上下篇是郭守敬在王恂(1225 - 1281)初稿基础上重新编定的。当时《授时历》虽已颁行，但各种数据用表、推步算法没有定稿。元至元十八年(公元 1281 年)王恂不幸去世，由郭守敬一人主持完成。他“比类编次，整齐分秒，裁为二卷”。《授时历》共有七部分，内容相似于《大衍历》；但采用等间距三次差内插法计算日月五星位置，又用弧矢割圆术和类似球面三角的方法根据太阳黄经求它的赤经赤纬，这两种方法在天文学史和数学史上都具有重要地位。目前，有许多中外学者在对《授时历》进行研究。

《崇祯历书》，明末徐光启(1562 - 1633)主编，李天经(1579—1659)续成，从崇祯二年到七年(公元 1629 年到 1634 年)前后共用五年时间完成。它从多方面引进了欧洲古典天文学知识，内容包括天文学基本理论，三角学，几何学，天文仪器，日月和五大行星的运动、交食，全天星图，中西单位换算等，共四十六种，一百三十七卷，采用第谷(1546 - 1601)的太阳系结构系统，计算方法中翻译了哥白尼(1473 - 1543)《天体运行论》中的许多章节，还有开普勒(1571 - 1630)《论火星的运动》一书中的材料，历法计算中不用中国传统的代数学方法而改成几何学方法，这是中国天文学史和历法史上一个重要的转折。中国古代天文学体系开始向近代天文学转变。明末未能根据《崇祯历书》来编算民用历书，清代开始使用根据《崇

祯历书》编算的历书——《时宪历》，直到清末。在《四库全书》中有一百卷本的《西洋新法算书》是传教士汤若望(1591 - 1666)根据《崇祯历书》删改而成的。

天文星占著作

在中国古代天文学的发展过程中，星占术曾起过它独有的作用。正是因为星占术的需要，古代许多星占家大量观测记录天空现象，编写星象著作，其中包括许多天文知识。所以中国古代不少天文著作都同星占术结合在一起。

《石氏星经》是现在见到的最早的一本天文星占著作，战国时期(公元前 475 年到公元前 221 年)魏国石申所著。书的原名叫《天文》，内容涉及太阳、月亮、行星、交食、恒星、古代天文名词、宇宙概念等多方面，尤其是恒星部分价值更高。《五星占》是 1973 年在长沙马王堆汉墓中出土的一份帛书，专讲五大行星运动和一些天文知识，共有九部分，八千字。书大约写于汉文帝前元年间(公元前 179 年到公元前 164 年)，书中对五大行星运动有详细的描述，成为后代历法中“步五星”工作的先驱。书中对金星、土星的会合周期定得比较准确，对秦始皇元年(公元前 246 年)到汉文帝前元三年(公元前 177 年)七十年间木、土、金三星的动态有逐年的记载，这是研究古代行星问题的一份重要资料，受到了中外学者的广泛注意。

汉代还有两本重要的天文著作应该提到，这就是《天官书》和《周髀算经》。《天官书》是《史记》中的一篇，公元前一世纪司马迁(前 145 或前 135 - ?)著，可算是当时有关天文知识的总结。尤其是恒星部分记录了当时所认识到的全天恒星，共九十多组名称，五百多颗星，是关于全天恒星的最早一篇完整文献。后来许多恒星的命名都受它影响。《天官书》内容除恒星外，还有行星、分野、日月占候、奇异天象、云气、岁星纪年、天象记录和占验等，是研究秦汉天文学乃至先秦天文学的一篇权威性文献。《史记·天官书》开创了后代史书中撰写天文志的传统。《二十四史》中有十几篇天文志，为研究中国天文学史提供了系统全面的资料。其中李淳风(602 - 670)所撰《晋书·天文志》，内容丰富全面，已被翻译成英文，在巴黎出版。

《周髀算经》，成书于西汉后期公元前一世纪，作者不可考，是《算经十书》中的一部，名曰算书，实际上主要是一部天文学著作。书有上下两卷，重点讲述当时的一种宇宙结构学说——盖天说，详细阐述盖天说计算天地结构、太阳视轨道大小、周天里数、北极璇玑的方法，还有圆形盖天式星图的制作等等，是有关盖天说的一本系统详尽的典籍。

《步天歌》是一本以诗歌形式介绍全天恒星名称、数目、位置的天文学著作，相传是唐代王希明撰，丹元子是他的号，所以有时也称《丹元子步天歌》。诗文七字一句，有韵，把全天恒星按三垣二十八宿的分区法编在诗句中，读着诗句就好像漫步在点点繁星之间。“句中有图，言下见象”，便于辨认和记忆全天恒星，是古人学习天文学的必读书。在宋代重修的《灵

参见本书第 21 页。

有人认为丹元子是隋代隐士，跟王希明没有关系。

台秘苑》一书中又把步天歌配上星图，星空景象更加清晰明了。

《灵台秘苑》原是北周庾季才撰，据《隋书·经籍志》载，共有一百二十卷，现在见到的只有二十卷，北宋王安礼等人重修。书中有三百四十五颗恒星的赤道坐标值，是我国现存第二份星表，它的观测年代是北宋仁宗皇祐年间(公元 1049 年到 1053 年)这对研究宋代的恒星观测很有帮助。

《开元占经》，一百二十卷，唐代瞿昙悉达撰，成书于唐玄宗开元六年到十四年(公元 718 年到 726 年)，所以又称《大唐开元占经》。唐以后失传，明神宗万历四十四年(公元 1616 年)，安徽歙县人程明善在古佛像腹中偶然发现，始得再次流传至今。它是一本唐以前天文星占著作大全，把当时能见到的古代七十多种天文星占书按内容分别摘录编撰，内容涉及天文星象、气候、奇异现象等各方面。天文方面有名词解释，宇宙理论，日月行星运动，二十八宿距度，甘德、石申、巫咸三家对全天恒星名称、星数、位置的描述和占验，包括有石氏的恒星星表。此外还有当时使用的《麟德历》、作者翻译的印度《九执历》和其他十六种古代著名历法的基本数据。这一著作为我们提供了唐代以前天文学史的重要资料。由于《开元占经》的辑录，许多古代失传了的天文星占著作的内容得以保存下来，就凭这一点，《开元占经》也是一本极有价值的书。

唐代另一本天文星占著作《乙巳占》是李淳风所著，也摘编了许多现已失传的古代星占著作的片断，包括天文、气象、星占，内容也很广泛。明代还有一本《观象玩占》，作者不可考，也是天文星占书中一本有价值的著作。

天文星占著作有一些迷信的成分夹杂在中间，作为糟粕固然应当扬弃，但透过大量的天文现象和奇异天象的记载，使我们可以了解历史上许多有价值的天文事件，如新星超新星的爆发，彗星的出现和分裂，流星雨的变迁，变星的光变，日食景象，黑子日珥日冕在历史年代中的变化，行星运动，地月系的变迁等，这对现代天文学的理论研究有很大的价值。在《二十四史》天文志和其他天文星占书中保留了大量古代天象记录，为现代天文学研究提供了不可代替的古代信息，全世界的天文学家都非常珍视它，由于这些古代资料的现代利用而形成了一门新的天文学分支——历史天文学。这也是中国古代天文学现在特别受到全世界科学界重视的原因之一。

天文仪器著作

天文仪器是进行观测的工具，在古代天文学的发展中起了重要作用。中国古代创制了多种精巧的天文仪器，如圭表、漏壶、浑仪、浑象等，不仅有实物保留到今天，还有一些专门著作，描写它们的结构和原理。这不仅在天文学上，而且在机械设计技术上，都有重要价值。

汉代大科学家张衡(78 - 139)是水运浑象的制造者。他的《浑天仪注》既是浑天说的重要著作，也是制作浑象的一本说明书。清代洪颐煊辑录的《经典集林》卷二十七中辑有全文，并附漏壶部分的结构说明。它提供了浑天说的基本观点、浑象的制作、多级漏壶的结构等古代资料。

《新仪象法要》是宋代苏颂(1020 - 1101)为水运仪象台所作的设计说明书，成书于宋哲宗绍圣元年到三年(公元 1094 年到 1096 年)间，是有关

水力运转天文仪器的一本专著。书中共有图六十种，详细介绍北宋水运仪象台的总体和各部结构、尺寸。卷首有《进仪象状》，说明这种仪器的建造缘起、经过和它的特点。卷上介绍浑仪，卷中介绍浑象，卷下介绍仪象台总体、台内各原动和传动机械、报时系统，最后还有一段介绍整个仪象台动作起来的过程，是中国现存最古的机械设计图纸。根据这部书的描述，中国历史博物馆在王振铎(1912 - 1992)的主持下复原了水运仪象台。在复原研究过程中证明，书中一点一线都有根据，尺寸大小准确无误，反映了公元十一世纪中国天文学和机械制造技术的成就。《新仪象法要》还记述了水运仪象台的三项重要发明：活动屋顶，自动转仪装置，钟表擒纵器。这几项都比欧洲同类发明早几百年。此外，书中还有星图两套五幅，是两种全天星图的表示法。一种是北极圆图加赤道带横图，共三幅；一种是以赤道为界、以两极为圆心的半天球圆图，共二幅，南极附近天区在中国看不到，图中是空白，这种星图画法在中国还是首创。

有关中国古代的几种重要天文仪器，在《宋史·天文志》中可以看到沈括(1031—1095)的三篇论文，是他在宋神宗熙宁七年(公元 1074 年)写的《浑仪议》、《浮漏议》和《景表议》。这三篇论文可算是有关仪器的专门著作。《浑仪议》讲到了浑仪和浑象的制造历史，指出浑仪和浑象是两类不同的仪器，接着讲到各代所制浑仪的结构，他对制作浑仪的心得体会。《浮漏议》讲到了在他之前的燕肃对平水壶的最新发明，详细记录漏壶的结构和尺寸、漏壶用水的选择等等。《景表议》讲述了多表测景的方法和景表安装制造问题，讨论了大气能见度的影响。这些使我们对古代天文仪器的认识提高了一步。

郭守敬对天文仪器的重要发明都记载在《元史·天文志》中，他对简仪、仰仪、正方案、景符、窥几等都有详细介绍，包括它们的结构、尺寸和用法。这些仪器都在天文仪器史上有重要地位，元代之后没有专文给以介绍，因而《元史·天文志》的有关部分实在是天文仪器的又一篇名著。

《灵台仪象志》是清代初年为现象台制造六件大型天文仪器的设计使用说明书，由比利时来华的耶稣会士南怀仁(1623 - 1688)主编，完成于清圣祖康熙十三年(公元 1674 年)。这六件天文仪器现仍保存在北京建国门古观象台上，它们是天体仪(浑象)、黄道经纬仪、赤道经纬仪、地平经仪、地平纬仪(象限仪)、纪限仪(距度仪)。

除了上述介绍的天文学名著，中国古代还有许多有价值的天文著作，这里特别应该提到《畴人传》，这是一本天文、数学家的传记集，收集了几百位天文、数学家的生平和科学业绩，是研究中国天文学史的重要资料集。它同其他许多著作一起系统全面地反映了中国古代天文学的成就，它的本身也是这成就的一部分。

中国古代的天象记录

北京天文馆 陈晓中

我国是世界上天文学发达最早的国家之一。早在四千年前就有可考的文字星象记载。我国古代的天象记录，不但年代连续，而且相当丰富；其中有一些，在现代天文学问题的研究中起着重要的作用。这里，我们介绍有关古代太阳黑子、彗星、流星雨和客星的记载。

日中有“黑气”

太阳，是我们地球上光和热的源泉。我们祖先善于实践，勤于观测，对太阳上的细节都进行详细描述，精确记载，见于史书。现今世界公认的最早的黑子记事，是西汉成帝河平元年(公元前 28 年)三月所见的太阳黑子现象，载于《汉书·五行志》：“成帝河平元年……三月己未，日出黄，有黑气大如钱，居日中央。”这一记录把黑子的位置和时间都叙述得很详尽。

事实上，在这以前，我国还有更早的黑子记载。在约成书于汉武帝建元元年(公元前 140 年)的《淮南子》这一著作的卷七《精神训》中，就有“日中有踰乌”的叙述。踰乌，也就是黑子的现象。而比这稍后的，还有：汉“元帝永光元年四月，……日黑居仄，大如弹丸。”(《汉书·五行志》引京房(前 77—前 37)《易传》)。这表明太阳边侧有黑子成倾斜形状，大小和弹丸差不多。永光元年是公元前 43 年，所以这个记载也比前面的记录为早。

太阳黑子

黑子，在太阳表面表现为发黑的区域，由于物质的激烈运动，经常处于变化之中。有的存在不到一天，有的可到一月以上，个别长达半年。这种现象，我们祖先也都精心观察，并且反映在记录上。《后汉书·五行志》有这样的记载：“中平……五年正月，日色赤黄，中有黑气如飞鹊，数月乃销。”灵帝中平五年是公元 188 年。《宋史·天文志》也记有宋高宗“绍兴元年二月己卯，日中有黑子，如李大，三日乃伏。六年十月壬戌，日中有黑子，如李大，至十一月丙寅始消。七年二月庚子，日中有黑子，如李大，旬日始消。四月戊申，日中有黑子，至五月乃消。”绍兴元年是公元 1131 年。

黑子，不但有存在时间，也有消长过程中的不同形态。最初出现在太阳边缘的只是圆形黑点，随后逐渐增大，以致成为分裂开的两大黑子群，中间杂有无数小黑子。这种现象，也为古代观测者所注意到。《宋史·天文志》记有宋徽宗政和二年(公元 1112 年)“四月辛卯，日中有黑子，乍二乍三，如栗大。”这一记载，就是属于极大黑子群的写照。

我们祖先观测天象，全靠目力。对于太阳只有利用日赤无光、烟幕蔽日之际，或太阳近于地平、蒙气朦胧之中，以及利用“盆油观日”方法，始可观望记录。从汉代到明代共一千六百多年间，黑子记载超过一百次。

上述史书所载的黑子“如钱”、“如栗”、“如飞鹊”、……都是表示黑子的形状；至于“数月乃销”、“三日乃伏”等等，是表明黑子的消长过程的。因为黑子大小相间，此生彼灭，存在时间长短不一，在望远镜未发明之前，史书所载的一定是大而易见的，所以至多不过二三枚，存在几天或几月而灭，这是和近代精密观测结果相符合的。至于“日赤无光”、“昼昏日晡”等等，乃是描写观测时候的情景。这些都是合乎科学的。对于前人精察天象的实践，外国学者也多有赞扬。美国天文学家海耳(1868 - 1938)就曾经指出：“中国古人测天的精勤，十分惊人。黑子的观测，远在西人之前大约二千年。历史记载不绝，而且相传颇确实，自然是可信的。”

欧洲发现太阳黑子，时间比较晚。他们最早的黑子记事是公元 807 年八月十九日。这已经是公元九世纪了；但是还被误认为是水星凌日。太阳黑子的发现是伽利略(1564 - 1642)使用望远镜完成的天文学进展之一；他在公元 1610 年才看到黑子，直到 1613 年才把结果公开发表。

黑子的消长，有它的盛衰周期。平均周期十一年这数字是 1843 年德国业余天文学家施瓦贝(1789 - 1875)首先得到的。但是，如果引用我国古代太阳黑子的记录加以分析，也完全能够得到相同的结果。

1975 年，我国云南天文台编集我国从公元前 43 年到公元 1638 年的黑子记录，共一百零六条，进行计算，得出周期是一·六±·四三年；同时还存在六十二年 and 二百五十年的长周期。这一重要结果，是研究我国古代黑子记录、探索它的规律的良好收获。

历代古记录已经表明：黑子出现最多的年月，也是极光出现频繁的时期。黑子和极光互有关系。1977 年七月，云南天文台又利用我国黑子和极光古记录，同时进行分析得出：极光和黑子都存在约十一年的周期；并且得出结论：太阳活动和极光的约十一年周期，并不是近三百年才有的暂时现象。这对于研究地球物理学和天文学的一系列问题，将是很有益的启示。这同时也说明我国古代黑子资料是相当宝贵的

彗星记事

我国很古就有彗星记事，并给彗星以孛星、长星、蓬星等名称。古书《竹书纪年》上就有“周昭王十九年春，有星孛于紫微”的记载。但是因为这本书真实年代有待考证，对这件事暂且存疑。最可靠的记录，开始见于《春秋》：“鲁文公十四年秋七月，有星孛入于北斗。”鲁文公十四年是公元前 613 年，这是世界上最早的一次哈雷彗星记录。《史记·六国表》载：“秦厉共公十年彗星见。”秦厉共公十年就是周贞定王二年，也就是公元前 467 年。这是哈雷彗星的又一次出现，不过《史记》没有记载它出现的时间。

哈雷彗星

哈雷彗星绕太阳运行平均周期是七十六年，出现的时候形态庞然，明

哈雷彗星是英国天文学家哈雷(1656 - 1742)于 1705 年预报出回归年份的第一颗彗星，指出它的回归周期是七十六年。

亮易见。从春秋战国时期到清末的二千多年，共出现并记录的有三十一次。其中以《汉书·五行志》汉成帝元延元年(公元前 12 年)记载的最详细。

“元延元年七月辛未，有星孛于东井，践五诸侯，出河戌北，率行轩辕、太微，后日六度一有余，晨出东方。十三日，夕见西方，……锋炎再贯紫宫中。……南逝度犯大角、摄提。至天市而按节徐行，炎入市中，旬而后西去；五十六日与苍龙俱伏。”

这样生动而又简洁的语言，把气势雄壮的彗星运行路线、视行快慢以及出现时间，描绘得栩栩如生。其他的每次哈雷彗星出现的记录，也相当明析精确，分见于历代天文志等史书。在西洋关于哈雷彗星记载，一般书籍认为最早是在公元 66 年，但是还可上溯到公元前 11 年，欧洲已有哈雷彗星的观测记载。不过，也还比我国《春秋》可靠记载晚了几百年。

我国古代的彗星记事，并不限于哈雷彗星。据初步统计，从古代到公元 1910 年，记录不少于五百次，这充分证明古人观测的辛勤。

哈雷彗星的来临，姿态固然十分雄伟，但是其他彗星的出现，气势也相当壮观。《新唐书·天文志》：“上元……三年七月丁亥，有彗星于东井，指北河，长三尺余，东北行，光芒益盛，长三丈，扫中台，指文昌。”唐高宗上元三年是公元 676 年。这种记录，不但形象描绘逼真，而且位置准确，所经过的亮星都加注记，这正是我国古代天象记录的优点。

在古代，我们祖先不仅观测彗星的形态和位置，对彗星的成因也有见解。《晋书·天文志》载有：“彗体无光，傅日而为光，故夕见则东指，晨见则西指。在日南北皆随日光而指，顿挫其芒，或长或短。”这种解释也是正确的。《晋书》修于唐太宗贞观十八年到二十年，就是公元 644 年到 646 年。而在欧洲直到公元 1532 年才有类似的认识。

在我国古代，还记录到彗星分裂现象。《新唐书·天文志》就有：“乾宁……三年十月，有客星三，一大二小，在虚、危间，乍合乍离，相随东行，状如鬥，经三日而二小星没，其大星后没。”唐昭宗乾宁三年是公元 896 年。像这样的观测记录是很细致的。在这里所说的客星，指的是已经分裂的彗星。

我们祖先重视彗孛，有些虽然不免泥于占卜，但是观测勤劳，记录不断，使后人得以查询。欧洲学者常常借助我国典籍来推算彗星的行径和周期，以探索它们的回归等问题。哈雷彗星就是明显一例。

二十世纪初，英国的克罗梅林(1865 - 1939)和考威耳(1870—1949)曾利用我国古代哈雷彗星记录，跟计算所得的每次过近日点时间和周期相比较，最古记录上推到公元前 240 年。对照结果都比较符合，足证古代记录的可靠。前人辛劳记录的功绩未可泯灭！

近年来美国学者勃勒德，研究从 1682 年到二十世纪的哈雷彗星运动，曾经引用我国有关古代记录，来探索 1986 年哈雷彗星的回归，并且研究太阳系中是否还存在第十颗大行星在对哈雷彗星的运动施加影响。在爱尔兰天文台工作的中国天文学家江涛，也研究哈雷彗星的运动，并且在 1971 年发表《哈雷彗星的从前轨道》一文。1977 年，我国天文学家张钰哲(1902 - 1986)，利用我国古代的哈雷彗星记录，上推到公元前 1057 年，通过电子计算机进行运算，发表《哈雷彗星的轨道演变趋势和它的古代历史》一

这一“鬥”字只能保留繁体字，如简化作“斗”，会发生误解。

文，所得结果，比较理想。他解决了我国历史界关于“武王伐纣”的准确年代的疑问；初步得出这日期是公元前 1057 年，丰富了史学上年代学的论证内容。可见我国古代的彗星记录到现代仍然焕发出它的光辉！

法国人巴耳代在本世纪五十年代研究一千四百二十八颗的《彗星轨道总表》之后断定说：“彗星记载最好的(除极少数例外)，当推中国的记载。”这种评语，无疑是公允的！

星陨如雨

流星雨的发现和记载，也是我国最早，《竹书纪年》中就有“夏帝癸十五年，夜中星陨如雨”的记载。最详细的记录见于《左传》：“鲁庄公七年夏四月辛卯夜，恒星不见，夜中星陨如雨。”鲁庄公七年是公元前 687 年，这是世界上天琴座流星雨的最早记录。

我国古代关于流星雨的记录，大约有一百八十次之多。其中天琴座流星雨记录大约有九次，英仙座流星雨大约十二次，狮子座流星雨记录有七次。这些记录，对于研究流星群轨道的演变，也将是重要的资料。

流星雨的出现，场面相当动人。我国古记录也很精彩。试举天琴座流星雨的一次记录做例：

南北朝时期刘宋孝武帝“大明五年……三月，月掩轩辕。……有流星数千万，或长或短，或大或小，并西行，至晓而止。”(《宋书·天文志》)这是在公元 461 年。当然，这里的所谓“数千万”并非确数，而是“为数极多”的泛称。

而英仙座流星雨出现时的情景，从古记录上看来，也令人难以忘怀。请看：

唐玄宗“开元二年五月乙卯晦，有星西北流，或如瓮，或如斗，贯北极，小者不可胜数，天星尽摇，至曙乃止。”(《新唐书·天文志》)开元二年是公元 714 年。

流星体坠落到地面便成为陨石或陨铁，这一事实，我国也有记载。《史记·天官书》中就有“星陨至地，则石也”的解释。到了北宋，沈括更发现陨石中有以铁为主要成分的。他在《梦溪笔谈》卷二十里就写着：“治平元年，常州日禺时，天有大声如雷，乃一大星，几如月，见于东南。少时而又震一声，移著西南。又一震而坠在宜兴县民许氏园中，远近皆见，火光赫然照天，……视地中只有一窍如杯大，极深。下视之，星在其中，荧荧然，良久渐暗，尚热不可近。又久之，发其窍，深三尺余，乃得一圆石，犹热，其大如拳，一头微锐，色如铁，重亦如之。”宋英宗治平元年是公元 1064 年。沈括已经注意到陨石的成分了。

在欧洲直到 1803 年以后，人们才认识到陨石是流星体坠落到地面的残留部分。

在我国现在保存的最古年代的陨铁是四川隆川陨铁，大约是在明代陨落的，清康熙五十五年(公元 1716 年)掘出，重五八·五千克。现在保存在成都地质学院。

“客星见于房”

有些星原来很暗弱，多数是人目所看不见的。但是在某个时候它的亮度突然增强几千到几百万倍(叫做新星)，有的增强到一亿到几亿倍(叫做超新星)，以后慢慢减弱，在几年或十几年后才恢复原来亮度，好像是在星空作客似的，因此给以“客星”的名字。在我国古代，彗星也偶尔列为客星；但是对“客星”记录进行分析整理之后，凡称“客星”的，绝大多数是指新星和超新星。

我国殷代甲骨文中，就有新星的记载。见于典籍的系统记录是从汉代才开始的。《汉书·天文志》中就有：“元光元年六月，客星见于房。”房就是二十八宿里面的房宿，相当于现在天蝎座头部。汉武帝元光元年是公元前134年，这是中外历史上都有记录的第一颗新星。但是西洋没有记载月日，也没有注明方位，远不如《汉书》详细。在上世纪，法国的比奥编《新星汇编》，就把《汉书》这颗新星列为第一颗。

自殷代到公元1700年为止，我国共记录了大约九十颗新星和超新星。

其中最引人注意的是宋仁宗至和元年(公元1054年)出现在金牛座星(天关星)附近的超新星，两年以后(嘉祐元年，公元1056年)变暗。《宋会要》这部史书中就这样写着：“嘉祐元年三月，司天监言客星没，客去之兆也。初，至和元年五月，晨出东方，守天关，昼见如太白，芒角四出，色赤白，凡见二十三日。”

蟹状星云。

十八世纪末，有人通过望远镜观测，在天关星附近，发现一块外形像螃蟹的星云，取名叫蟹状星云。1921年发现这星云在不断向外膨胀，根据膨胀速度可以反回推算出，这星云物质大约是在九百年前形成的，是超新星爆发的产物。这星云既有光学脉冲，也有射电脉冲，同时又发射X射线和γ射线。这些辐射都有一个周期极短(大约是千分之三十三秒)的稳定脉冲。对这现象进行多方面研究之后，人们普遍认为：它的来源就是过去理论上所预言的一种超新星爆发后的残留核心，也就是中子星。这已经是恒星演化到晚期的阶段了。这颗超新星就是我国《宋会要》所记载的公元1054年的“客星”。

明穆宗隆庆六年(公元1572年)出现在仙后座的超新星，最亮的时候在当时的中午肉眼都可以看见。《明实录》载有：“隆庆六年十月初三日丙辰，客星见东北方，如弹丸，……历十九日壬申夜，其星赤黄色，大如盏，光芒四出，……十月以来，客星当日而见。”我国的记录，比当时丹麦天文学家第谷还早发现三天，而且多观测了约两个月。

至于明神宗万历三十二年(公元1604年)的超新星，出现的时候亮度不比金星逊色。《明史·天文志》记载：“万历……三十二年九月乙丑，尾分有星如弹丸，色赤黄，见西南方，至十月而隐；十二月辛酉，转出东南方，仍尾分。明年二月渐暗，八月丁卯始灭。”

现代由于射电天文学的飞跃发展，世界上有关学者都以极大兴趣研究我国古代的新星和超新星记录，他们的目的在于寻找银河系里射电源和超新星的对应关系。我国天文工作者在五十年代以后，先后把我国古代新星记录整理发表，在国际上获得好评。其中分析我国古代十二个超新星记录中，有八九个对应于射电源。这应该看成是我国古代在恒星观测上的一项重大成就，同时也是对现代天文学问题的探索的一项卓越贡献。

岁月推移，天象更迭。我们祖先辛勤劳动，留下宝贵的天象记录，无一不反映出先人孜孜不倦、勤于观测的严谨态度，无一不闪烁着我们民族智慧的光辉。这些，是我国古代丰富的文化宝库中的一份珍贵遗产。

观测唯勤，探微唯精；前人记实，后人求真。在今后更深刻的认识宇宙、探索规律的过程中，我国古代天象记录将起到应有的作用。

中国古代在天体测量方面的成就

自然科学史研究所 薄树人

天体测量是研究怎样测定天体的位置和天体到达某个位置的时间(包括使用的仪器、工具和方法)来为各种实用的和科学的目的服务的一门科学。它是天文学中最古老、也是最基本的一个分支。恩格斯(1820 - 1895)在《自然辩证法》一书中指出,自然科学中最先发展的天文学起源于游牧民族和农业民族定季节的需要。而决定季节的科学方法,最早就是从观测天体的位置和到达某个位置的时间开始的。在我国,在很古很古的时候设有“火正”这样的专门人员,他的任务是观测“大火”星(就是心宿二)的出没来向人们预告时令。

我国古代在天体测量方面的成就是极其辉煌的。

世界最古老的星表之一——石氏星表

星表是把测量出的若干恒星的坐标(常常还连同其他特性)汇编而成的。它是天文学上一种很重要的工具。我国古代曾经多次测编过星表。其中最早的一次是在战国时期。它的观测者叫石申,是魏国人。他的活动年代大约在公元前四世纪。

石申编过一部书,叫《天文》,共八卷。因为这部书有很高的价值,所以被后人尊称为《石氏星经》。《石氏星经》这部书已经在宋代以后失传,今天我们只能从一部唐代的天文学书籍《开元占经》里见到《石氏星经》的一些片断摘录。从这些片断中我们可以辑录出一份石氏星表来。其中有二十八宿距星(每一宿中取作定位置的标志星叫做这一宿的距星)和其他一些恒星共一百十五颗的赤道坐标位置。

石氏星表的赤道坐标有两种表达方式。一种是二十八宿距星的,叫做距度和去极度。距度就是本宿距星和下宿距星之间的赤经差;去极度就是距星赤纬的余角。还有一种是二十八宿之外的其他星,叫做入宿度和去极度。所谓入宿度就是这颗星离本宿距星的赤经差。不论哪一种方式,它的实质和现代天文学上广泛使用的赤道坐标系是一致的。而在欧洲,赤道坐标系的广泛使用却是在十六世纪开始的。

我国古代天体赤道坐示意图。 是赤道圈, 是地平圈,P是天北极。A、B是相邻的甲、乙两宿的距星,a、b表示甲宿的距度。S是某一天体,a₈表示它的入宿度,SP表示它的去极度。

恒星的赤道坐标会作缓慢的变动,这种变动的绝大部分是岁差造成的。因此,按照岁差规律,比较一颗恒星古今坐标的变化,可以推求出这个古赤道坐标的测定年代。

运用这个方法对石氏星表的数据进行推算,结果表明:其中有一部分

参见《马克思恩格斯选集》,人民出版社1972年版,第三卷,第523页。

按《开元占经》所编星号看,《石氏星经》原文应该有星一百二十一颗,但是其中六颗在今本《开元占经》中缺失了。

的确是公元前四世纪测定的，而另一部分却是在东汉大约公元二世纪重新测定的。

古希腊最早的星表是希腊天文学家依巴谷(约前 190—前 125)在公元前二世纪测编的。依巴谷之前还有两位希腊天文学家也测量过一些恒星的位置，但是那也是在公元前三世纪。他们都比石申的工作要晚。

《开元占经》中辑出的石氏星表里，在二十八宿部分还附有二十五个“古度”的数据。它们都是距度方面的量。

1977 年在安徽阜阳出土了一件汉初的器物，是两块中心相通、叠在一起的圆盘。稍小的上盘，边缘均匀分布三百六十五个小孔。下盘边缘写有二十八宿名称和距度数，彼此间距和距度数相当。这些距度和《开元占经》所列古度大体一致。上述圆盘的出土，证实了中国古代确实曾用过古度数据。

据王建民同志研究，古度数据和石氏星表距度的不同，是由于两者所取的距星不相同。古度的距星以亮星为主，这个体系的确定比石氏二十八宿距星体系原始。潘鼐同志认为古度的测定时代下限在公元前六世纪初。

古度数据只有赤经方面的量。因此，严格说来，这还不是一份完整的星表。但是，它的存在说明了中国古代天文学的发达，有力地证明了石氏星表的出现并不是偶然的。

石氏星表是后世许多天体测量工作的基础。诸如测量日、月、行星的位置和运动，都要用到其中二十八宿距度的数据。这是我国天文历法中一项重要的基本数据。

从这个意义上讲，石氏星表也是战国到秦汉时期天文历法发展的一个重要基础。

星图的绘制

星图是恒星观测的一种形象记录，又是天文学上用来认星和指示位置的一种重要工具。它的意义就好像地理学上的地图。在星图的绘制上，我国古代有悠久的传统。不算那些示意性的星图或仅仅画出个别星组的图形，作为恒星位置记录的科学性星图，大约可以追溯到秦汉以前。

我国的星图起源于古代盖天说的一种示范仪器，这个仪器叫盖图。它有点类似今天天文教学上用的活动星图。盖图的底图就是一张全天星图。西汉后期(公元前一世纪)成书的讲“盖天之学”的《周髀算经》上有所谓“七衡图”，这个图上有七个等间距的同心圆，圆心就是天北极。最小的圆相当于今天所说的夏至圈，最中间的圆就是天赤道，最大的圆相当于冬至圈。盖图的底图也就是七衡图，在夏至圈和冬至圈之间有一个和它们相内切的圆，那就是黄道。黄道附近画上了二十八宿等恒星。如果在这张图上蒙一块薄丝绢，绢上画一个表示人目所见的范围的圆圈，那么把底图绕着天极反时针方向旋转，就可反映出一天内和一年内夜晚所见星空的大概情况。

盖图随着盖天说的过时，到两汉以后也逐渐消失。但是它的底图作为星图却逐渐发展起来，成为一种独立的重要的天文学工具。

一个发展是图上星数的增多。

从《汉书·天文志》的记载可以知道，东汉初年的星图上所载的恒星有一百一十八组，每组一个名称，中间包含一颗或一颗以上的星，一共有

七百八十三颗星。

星数最多的是三国时期吴太史令陈卓所画的星图。陈卓把当时天文学界存在的石申、甘德、巫咸三家学派所命名的恒星，并同存异，合画成一张全天星图。图上一共有星二百八十三组，一千四百六十四颗。陈卓的工作一直被后世的天文学家奉为圭臬。

另一个发展是画法本身的改进。

七衡的形式被取消了，代之以三个同心圆。最小的叫恒显圈，又叫内规。它的半径就是观测地的地理纬度。在这个圈里的恒星是在一年四季的夜晚都可以看得见的。中间的仍然是天赤道。最外面的叫恒隐圈，又叫外规。这个圈之外的天区是永远没在地平线之下看不见的。恒隐圈和恒显圈离赤道的距离相等。这种形式最早见之于东汉蔡邕(132 - 192)在《月令章句》一书中所描述的“官图”。它是我国古代星图中最常见的形式。

这类星图中留存到现在的最早的实物是近年从五代的时候吴越王钱元瓘(? - 941)墓和他的次妃吴汉月墓中出土的两块二十八宿星图刻石。每个图上大约有星一百八十颗。它们的位置刻得相当准确，是古星图中的珍贵品。

举世闻名的苏州石刻天文图也是属于这一类型。它的原图绘于南宋光宗绍熙元年(公元 1190 年)，到理宗淳祐七年(公元 1247 年)刻石。星图约比上述五代石刻小一半，但是仍有直径大约八十多厘米。图上还画有银河；内、外规之间还画有通过二十八宿距星的经线二十八条。图上的星数，由于石刻年久缺损，各家统计不一。最近的一次统计是共一千四百三十四颗星。但是看来还不确切。

据研究，苏州石刻天文图主要是根据北宋神宗元丰年间(公元 1078 年到 1085 年)的观测结果绘制的。它的绘刻比较精确，所包含的星数比较全，为我们提供了了解古代恒星知识的比较可靠的资料。因此，它是我国最重要的科学文物之一。

盖图式的星图，它的坐标系是极坐标式的，可以叫它做圆图。星体离北极的距离就是它的去极度；星体和二十八宿距星对天极所张的圆心角就是星体的入宿度。采用极坐标式的画法能使北极附近的恒星相对位置表达得比较好。但是它有个根本的缺点，就是离开北极越远，恒星相对位置的失真程度也越大。

我国古代还有非极坐标式表示方法，是一种直角坐标式的方法。它以经度方向的量作横轴，纬度方向的量作纵轴。如果所取的单位都一致的话，横轴方面将占纵轴方面二倍的地位，因此，古代叫它做横图。《隋书·经籍志》中记有：“天文横图一卷，高文洪撰”，就属于这个类型。

在横图中，赤道附近恒星的相对位置失真比较小。可是在北极附近和南极附近失真仍然很大。南极附近还不打紧，因为中原地区看不到。可是北极附近却正是最关紧要的观测区域。于是人们又想出了新的办法。把内规以内的天区画成圆图，而把内外规之间的天区画成横图。这种分区画法的原则是和现代星图的画法一致的。

这种圆、横图结合的星图流传到现在的最早作品是敦煌发现的唐代星图。它大概绘制于初唐时期，图上画有一千三百五十来颗星。画法是使把北极周围紫微垣附近的星画成圆图，而把其他的星按照太阳在十二个月中的位置所在，沿着赤道均分成十二块，每块用横图的方式画出来。从图中所

记太阳在十二个月中的位置以及昏、旦中星的星宿来看，和《礼记·月令》中所记载的完全一样，而和初唐时期的实际情况有很大的差别。从这一点看，很可能这份星图是个更古老的星图的抄本。不管怎样，即使是初唐的作品，它也是当今世界上留存的古星图中星数最多而又最古老的。

敦煌星图有个特点，那就是不画坐标框架。圆图上的内规，横图上的赤道和竖直的经线，都没有画。因此，从绘制的准确性来说不免稍差。这一点也说明，它可能是一个抄本。

这份星图已经于 1907 年被英国考古学家斯坦因(1862 - 1943)盗走，现存于英国伦敦博物馆。

画得比较精确的圆、横结合星图是苏颂《新仪象法要》中的插图。圆图叫“浑象紫微垣星之图”。横图分成两段：从秋分到春分一段叫“浑象东北方中外官星图”；从春分到秋分一段叫“浑象西南方中外官星图”。它们也是根据元丰年间的测量绘制的。

还有一种减少失真的办法，那是把天球循赤道一分为二，画两个分别以北极和南极为中心的圆图。这种画法的一个典型也见于《新仪象法要》。苏颂这部书作于北宋哲宗绍圣元年(公元 1094 年)到三年(公元 1096 年)间。这是部介绍他领导创制的水运仪象台的构造的说明书。书中的星图是为了介绍仪象台中的浑象(就是现今的天球仪)而绘制的。正是在把球面上的图象绘在平面上的时候，苏颂注意到了失真问题(书中有明确的说明)，因此他不厌其烦地搞了两套画法。而两个圆图的画法可以说是他和他的同事们发明的。

总之，我国古代有优良的星图绘制传统，留下了丰富的有价值的历史遗产。我国古代在星图绘制方面的成就的确是值得我们引以为自豪的。

子午线长度的测定

子午线，也就是地球的经度线。测量子午线的长度可以确定地球的大小。子午线长度是地理学、测地学和天文学上的一项重要基本数据。

早在公元前三世纪和公元前一世纪，古希腊的天文学家曾先后两次进行确定子午线长度的工作。但是，他们并没有全部经过实际的测量，例如，在距离方面，他们都是根据商队或商船的估计而得的。

真正用科学方法实际测定子午线长度的，最早是我国的天文工作者。

那是在唐玄宗开元十二年(公元 724 年)，由著名的天文学家僧一行发起进行的。他发起这项工作是为了制定历法的需要。

我国古代的历法不但包含了年、月、日的安排，而且还包含了日、月食的预报和各个节气日的昼夜时刻长度等等。而这些项目都跟观测地的纬度有关。唐代初年，为了使编出的历书能在全各地使用，曾经到全国各地进行天文观测。

这次观测共去了十二个地点。观测的项目包括：这一地点的北极出地高度，冬至日和春秋分日太阳在正南方向的时刻八尺高表的影子长度。

在这次测量中，以南宫说等人在今河南省的四个地点进行的一组最重要。他们除了测量北极高度和日影长度外，还测量了这四个地点之间的距离。这四个地点是白马(今河南滑县)、浚仪(今河南开封)、扶沟和上蔡，它们的地理经度几乎完全相同，误差很小。一行根据这些地点实测所得的

数据算得：从白马到上蔡，距离五百二十六里二百七十步(唐代尺度)，夏至日表影的长度差二寸挂零。这次观测再一次证明了古代流传的“南北地隔千里，影长差一寸”的说法是错误的。“千里一寸”的说法早在南北朝刘宋文帝元嘉十九年(公元 442 年)就被天文学家何承天(370 - 447)所否定了。但是何承天还认为，影差一寸的任意两地，其间南北距离总是相等的。这个说法实际是认为地是平的。这其实是不正确的。隋代的刘焯就提出过，影差和南北距离的比率是不固定的。唐初的李淳风也认为这个比率不是个常数。现在一行根据南宫说等人的实测证实了刘焯、李淳风等人的说法。他完全废弃了地隔若干里影差一寸的概念，而代之以北极高度差一度南北距离差多少里的概念。

根据南宫说等人所得的测量数据，很容易就求出，南北距离三百五十一里八十步，北极高度相差一度。这个数据就是地球子午线上一度的长。化成现代的度量单位，子午线一度长一二九·二二公里。按现代的测量，一度长一一一·二公里。一行所得数据的误差是百分之一三·九。

一行数据的误差虽然稍大，但是它是世界上第一次子午线长度的实测。它开创了我国通过实际测量认识地球的道路；它彻底破除了日影千里差一寸的谬见；它把地理纬度测量和距离结合起来，既为制定新的历法创造了条件，又为后来的天文大地测量奠定了基础。

通过这次测量，一行认识到一个重要的科学真理，那就是：在很小的、有限的空间范围里探索出来的正确的科学规律，如果不加分析地、任意地向很大的、甚至无限的空间条件下去推广，那就会是荒谬的。日影千里差一寸的错误就在于把只在小范围平地上总结出来的平面测量理论主观地推广到大面积去应用了。可是，在大面积的条件地球表面就不能认为是平面，而必须用球面的概念来处理。一行对古人这个错误的纠正在科学思想史上是一个进步。

航海天文学的应用

我国古代的劳动人民很早就开始了航海活动。在长期的航海实践中，我国勤劳勇敢的船工们发展了一整套航海技术。其中，天文导航是极重要的一项。

早在西汉前期公元前二世纪的著作《淮南子》卷十一《齐俗训》中就记载着：“夫乘舟而惑者不知东西，见斗、极则悟矣。”(乘船的人分辨不清方向，但是只要观测到北斗和北极星就可以明白了。)这个经验的产生无疑是很早很早的。

西汉时期，我国的海船就到了印度洋上的南亚地区。东晋的著名僧人法显(约 337 - 约 422) 访问印度和斯里兰卡回国的时候就是乘的海船。他记述那段历程的时候说到：“大海弥漫无边，不识东西，唯望日、月、星宿而进。若阴雨时，为风逐去，亦无准。……至天晴已，乃知东西，还复望正而进。”可见，天文学是当时指导航行的最重要的知识。

中国古代一里等于三百步，一步等于五尺。唐代的天文测量用尺，据北京天文馆伊世同同志考证，一尺等于二四·五二五厘米。古代分一周天为三百六十五又四分之一度，而现今通用的是一周天三百六十度。

关于法显的生卒年，说法不一，一说是 334-420，一说是 342-423。

唐、宋以后随着我国生产的发展，兴盛的海外贸易推动了我国航海技术的飞跃发展。指南针开始应用到航海上，把导航仪器罗盘和航海天文学结合起来，引起了航海技术的大发展。

指南针可以很好地指示方向。而位置的确定却须依靠航海天文学。具体记述了航海天文学资料的最早著作是明初郑和(1371 - 1434)“下西洋”留下的《郑和航海图》。图收载在明茅元仪编的《武备志》中。

《郑和航海图》包括横条形海图一幅，长达二十页。还有四幅星图，称为“过洋牵星图”。从海图上可以看出，郑和船队从苏州刘家港起航，出长江口，经我国浙江、福建各省和南海诸岛，到达印度尼西亚的苏门答腊岛北端。在这一段海路上都是用的指南针定向。从苏门答腊往西到锡兰(今斯里兰卡)的途中开始用天文定位。从锡兰往西到南亚、西亚和非洲东海岸等地就都尽量利用星辰定位，并且和指南针针位相参照。海图上共记录六十四处关于各地所见北辰星(就是北极星)和华盖星(就是小熊座星、星等共八星)的高度。过洋牵星图却标出了途经印度洋各地的时候所见的许多星辰的方位和高度，其中方位也是用的图示法。

《郑和航海图》告诉我们，我国古代航海用的是牵星法。在明人李诩的著作《戒庵老人漫笔》中记述了牵星法所用的观测工具——牵星板。这是十二块方形的乌木板，最大的叫十二指，每边长大约二十四厘米。其次是十一指、十指、……最小到一指。每块的边长是等差递减的。另有一块挖去四角的象牙板，每个缺口标明半指、半角、一角和三角等。一角是四分之一指。

根据北京天文台和广东师范学院等四单位组成的“航海天文调查研究小组”的研究，牵星板的使用方法是：观测者手持牵星板伸向前，使板和海平面垂直，板下边和海平线相合，上边缘和所测天体相切。如不能相切，就从略大的那块板边上细分划处观测，可以得到指和角的读数，它是天体地平高度的反映。为使板和人目之间的距离保持固定，可以用另一只手从板下端引出一根长度固定的绳，牵引到人目。观测一般取被测星正在天球子午线上的时候进行。这时，被测星的地平高度、它的赤纬和观测地的地理纬度之间有个简单的关系：

$$\text{地理纬度} = 90^\circ + \text{赤纬} - \text{地平高度}。$$

对每个测定的恒星来说，在相当长的时期里，可以认为，“ $90^\circ + \text{赤纬}$ ”是个常数。因此，恒星在子午线上的时候的地平高度就直接反映了地理纬度。所以，只要观测恒星正在子午线上的时候的指、角数，就可以知道船的位置是在什么地方了。

特别值得注意的是，“航海天文调查研究小组”研究了“指”这个名称特殊的角度单位，证明早在秦汉时期我国的天文观测中已经有过这种记载(例如：唐《开元占经》中摘录的汉代著作《巫咸占》中就记载有关于金星和月亮纬度相去最远是五指，用现代方法计算，这个差数是九·四度)，而且它们所代表的角度量和《郑和航海图》上所反映出来的完全一致，都是一指等于一·九度。这是一个极其重要的发现。因为过去国内外的学者一般都认为牵星板和牵星法是阿拉伯人的发明，尽管这个论断和我国古代远洋航行的发达是不协调的。现在找出了“指”这个单位的起源，这就证

关于郑和的卒年，说法不一，一说卒于 1433 年，一说卒于 1435 年。

明牵星法是我国最早发明的。

以牵星法为代表的我国古代航海天文学在保障远洋航行的安全、准确上起了巨大的作用。正因为这样，它也是我国古代人民为世界文化发展作出的又一卓越贡献。

浑仪和简仪——中国古代 测天仪器的成就

自然科学史研究所 席泽宗

在十七世纪发明望远镜以前，浑仪是所有天文学家测定天体方位的时候都缺少不了的仪器。不过中国的浑仪和古希腊的不同。我国最原始的浑仪可能是由两个圆环组成。如下图，一个是固定的赤道环(ErRE R)，它的平面和赤道面平行，环面上刻有周天度数。一个是四游环(PMRP M R)，也叫赤经环，能够绕着极轴(POP)旋转，赤经环上也刻有周天度数。在赤经环上附有窥管(M OM)，窥管可以绕着赤经环的中心旋转。观测某一天体 M 的时候，先按东西方向旋转四游环使它对准 M，再把窥管上下旋转使人目从窥管中看见 M。这时候大圆弧 \widehat{PM} 便是天体离北极的距离 p ，古时叫“去极度”； \widehat{MR} 便是天体离赤道的距离，天文学上叫赤纬，用希腊字母 δ 表示。显然 $p + \delta = 90^\circ$ 。图上的 r 表示春分点，从春分点起沿赤道量度的大圆弧 \widehat{rR} 叫天体 M 的赤经，用希腊字母 α 表示。两个天体的赤经差 $\alpha_2 - \alpha_1$ 叫距度，如果 $M_1(\alpha_1, \delta_1)$ 是二十八宿的距星，那么 $\alpha_2 - \alpha_1$ 就是 $M_2(\alpha_2, \delta_2)$ 的入宿度。我国古时就利用入宿度和去极度来表示天体的位置，战国时期公元前四世纪中叶成书的《石氏星经》中就有这些数据了，这证明那时就已经有浑仪了。在欧洲，首先系统地观测恒星方位的人是约公元前三世纪上半叶的古希腊天文学家阿里斯提鲁斯和铁木恰里斯，他们比石申约晚六十年，而所用的仪器，现在已经是一无所知了；据托勒玫(约 90 - 168)《天文学大成》中的叙述，他们用的可能是以黄道坐标为主的浑仪。

利用沿赤道量度的大圆弧来表示恒星的位置是很方便的，因为所有恒星的周日运动(就是每天的东升西落)都是平行于赤道进行的；但是对于太阳来说就不合适了，因为太阳在恒星背景上的视运动轨道——黄道——和赤道有个二十三度多的交角。为了方便地测量太阳的位置，东汉中期的傅安和贾逵(30 - 101)就又在浑仪上安装了黄道环。可能是张衡又加上地平环(NFSF)和子午环(NPE SP E)，于是便成了完整的浑仪。《隋书·天文志》中介绍的东晋时候的前赵的孔挺于光初六年(公元 323 年)所作的浑仪是这种仪器结构方面的最早记载。北魏的斛兰于永兴四年(公元 412 年)用铁铸浑仪，在底座上添置了十字水准，用来校正仪器的水准，这又是一个进步。

到唐代初年，由于工艺水平和科学技术的发展，李淳风进一步把浑仪由两重改变成三重，就是在六合仪和四游仪之间再安装一重三辰仪。李淳风把张衡浑仪的外面一层——地平圈、子午圈和赤道圈固定在一起的一层叫做六合仪，因为中国古时把东、西、南、北、上、下这六个方向叫做六合；把里面能够旋转用来观测的四游环连同窥管叫做四游仪。在这两层之间新加的三辰仪是由三个相交的圆环构成的，这三个圆环是黄道环、白道环和赤道环。黄道环用来表示太阳的位置，白道环用来表示月亮的位置，赤道环用来表示恒星的位置。中国古时把日、月、星叫做三辰，所以新增的这一重叫做三辰仪。三辰仪可以绕着极轴在六合仪里旋转；而观测用的

四游仪又可以在三辰仪里旋转。现在保存在南京紫金山天文台的明代正统二年到七年(公元 1437 年到 1442 年)间复制的浑仪,基本上就是按照李淳风的办法做的,所不同的是把三辰仪中的白道环取消了,另外加了二分圈和二至圈(过春分、秋分点和冬至、夏至点的赤经圈)。二分圈和二至圈是宋代的苏颂加上去的,白道环是同时代的沈括取消的。

沈括取消白道环,是浑仪发展史上的一个转折点,具有重要意义。在沈括以前,往往是增加一个新的重要天文概念,就要在浑仪上增加一个环圈来表现这个概念,仪器发展的方向是不断地复杂化,仪器上的环越来越多。这样就产生了一个缺点:环圈相互交错,遮掩了很大天区,缩小了观测范围,使用起来很不方便。为了克服这个缺点,沈括一方面取消白道环,把仪器简化、分工,再借用数学工具把它们之间的关系联系起来(“当省去月环,其候月之出入,专以历法步之”);另一方面又提出改变一些环的位置,使它们不挡住视线,他说:“旧法黄赤道平设,正当天度,掩蔽人目,不可占察;其后乃别加钻孔,尤为拙谬。今当侧置少偏,使天度出北极之外,自不凌蔽。”(《浑仪议》,见《宋史·天文志》)

沈括把浑仪发展的方向由综合和复杂化改变为分工和简化,为仪器的发展开辟了新的途径。元代郭守敬于元世祖至元十三年(公元 1276 年)创制的简仪就是在这基础上产生的。简仪不但取消了白道环,而且又取消了黄道环,并且把地平坐标(由地平圈和地平经圈组成)和赤道坐标(由赤道圈和赤经圈组成)分别安装,使除了北天极附近以外,全部天空一望无余,不再有妨碍视线的圆环。

简仪的赤道装置是:北高南低的两个支架托着正南北方向的极轴,围绕着极轴旋转的是赤经双环,就是浑仪中的四游仪。赤经双环的两面刻着周天度数,中间夹着窥管,窥管可以绕着赤经双环的中心旋转。窥管两端架有十字线,这便是后世望远镜中十字丝的祖先。这样,只要转动赤经双环和窥管,就可以观测空中任何方位的一个天体,并且从环面的刻度上读出天体的去极度数。把去极度数乘以 $360/365.25$,再从 90° 减去这个乘积,就得到现代用的赤纬值。

至于赤经数值,可以由安放在旋转轴南端的赤道环求出。这种把赤道环不放在旋转轴的正中腰而搁在南端的方法,在今天各国的天文台上安装望远镜的时候,还广泛地使用着。当然,今天的赤道环很小,而不是像简仪中那样,赤道环的尺寸和四游环的完全一样。赤道环的环面上刻有二十八宿的度数;另有两根“界衡”,每条界衡的心就是赤道环的中心,可以绕中心沿环面移动。每条界衡的两端都用细线和极轴北端连接起来,构成两个三角形,两个三角形平面的夹角就是赤经差。观测的时候把一个界衡形成的平面

保存在南京紫金山天文台的简仪。

对准某宿的距星,把另一个界衡平面对准所要观测的天体,就得到这个天体的入宿度。把入宿度加上从这个天体西侧宿起到春分点所在宿止相应各宿的距度,并且减去春分点位置的宿度,然后乘以 $360/360.25$,就是现代用的赤经值。

在赤道环的内部,还固定着一个百刻环,用来承托赤道环,使它旋转方便。百刻环等分成一百刻,又分成十二个时辰,每刻又分作三十六分,

这是古代任何仪器上都没有过的。用界衡来观测太阳，从百刻环上得到的读数就是真太阳时时刻刻。(由于太阳的视运动沿黄道，而百刻环和赤道面是一致的，因此，从简仪上读到的时刻和用漏壶测得的时刻实际上会有一些差别。)

至于地平装置，简仪把它安放在赤道装置北面支柱的横梁底下。它由一对圆环组成。一个是平铺的“阴纬环”，代表地平圈，环面上刻着方位。一个是“立运双环”，代表地平经圈，垂直立于阴纬环上，并且可以绕轴旋转。双环中间夹有窥管，窥管可以绕立运环的中心旋转。这样，只要转动立运环和窥管，就可以测出任一天体的地平经度和地平纬度。

简仪的设计和制造水平，在世界上遥遥领先三百多年，直到公元1598年丹麦天文学家第谷所发明的仪器才能和它相比。著名的《星云星团新总星表》(NGC)的作者丹麦德雷耶尔(1852 - 1926)在评价简仪的历史重要性的时候指出，不少伟大的发明，常常在西方国家享有它们以前的许多世纪，中国人民就已经作出了。我们看现代化天文台里大望远镜的赤道装置，尤其是英国式的类型，简直就是从简仪脱胎而来，不过和四游环、赤道环、百刻环相当的刻度盘不太注目而已。近代工程测量、地形测量和实用天文测量所用的经纬仪，从它的型式来看，方位角和仰角的地平装置，也是简仪阴纬环和立运环的结构。而航空导航用的天文罗盘，构造也和简仪属于同一类型。因此可以说，简仪是所有这些近代仪器的原始形态。

郭守敬等创制的简仪，于清康熙五十四年(公元1715年)被传教士纪理安(1655 - 1720)当作废铜给熔化了。现今保存在南京紫金山天文台上的简仪，和浑仪一样，也是明代正统年间的复制品。就是这两件复制品也是饱历风霜。清光绪二十六年(公元1900年)八国联军侵入北京，法军把简仪抢去，运进法国大使馆，过了几年才归还；德军把浑仪运到德国波茨坦，第一次世界大战战败后才归还我国。

公元1921年浑仪才由欧洲运回北京，1931年又发生了“九·一八”事变，国民党政府又把浑仪和简仪南迁南京。1937年12月南京沦陷，日本侵略军到了紫金山，又把仪身损坏，龙爪砍断，把许多附属仪表和零件弄得荡然无存。

“萧瑟秋风今又是，换了人间。”解放以后，党和政府在积极发展现代科学的同时，也高度重视保护古代文物。天文台、系、站、馆不断新建和扩充，保存在南京紫金山天文台的浑仪和简仪以及其他天文文物也受到着意的保护和整修，作为祖国在天文学上伟大成就的象征，激励着我们攀登新的科学高峰。

中国古代的历法成就

自然科学史研究所 陈久金

什么叫历法？简单说来，就是人们为了社会生产实践的需要而创立的长时间的纪时系统。具体说，就是年月日时的安排。时间的计量单位也和长度、重量等计量单位一样，是人为规定的。但是，人们的实践告诉我们，利用和生产实践密切有关的自然现象的变化规律作为天然计量时间的尺度，这对人们计量时间的工作，将带来极大方便。于是，反映季节变化规律的“回归年”、反映月貌变化规律的“朔望月”和反映昼夜变化规律的“太阳日”，便组成三个大小合适的时间计量单位。这三种计量单位并用的历法，人们称作阴阳历(例如农历)；只考虑回归年变化的称作阳历(例如现行的公历)；固定十二个朔望月作为一年的称作阴历。

我国古代历法的起源是很早的。有原始的农牧业就应该有原始的历法。早期的历法现在只留下片言只语的传说，难以深入考究。成文的历法从周末到汉初的《古四分历》开始，经过多次的历法改革，在改革和斗争中不断进步和完善，达到了相当高的科学水平，取得了一个又一个成就。我国古代的历法大都使用传统的阴阳历，但是所包含的内容却不仅仅是年月日时的安排，还包括日月五星位置的推算、日月食的预报、节气的安排等等。历法的改革，包括了新的理论的提出，精密天文数据的测定，计算方法的改进等等。我国古代的历法成就，在世界天文学史上占有相当重要的地位。下面只介绍几个主要方面。

对太阳视运动的研究

由于地球的自转轴并不和它的公转轨道平面垂直，黄道和赤道相交成二十三度半左右的夹角，这就使得同一地区太阳地平高度作规律性的变化，形成这一地区气候寒暖的更替。因此，对于太阳视运动的研究直接关系到历法的制定。研究太阳视运动的方法有两种：一种是测量中午时候日影的长度变化，来决定季节的变化和测定回归年的长度(古代称作“岁实”)。这种观测所使用的仪器是圭表。一种是测定太阳在恒星间的位置，研究太阳一年中运动的快慢变化和测定冬至点逐年变化的数值(称作“岁差”)。使用的仪器是浑仪等测角仪器。下面主要讲三项：

冬至时刻的测定和回归年长度的推求

冬至、夏至在战国时期以前称作“日南至”、“日北至”，表明冬至是一年中日在南天最低位置的一天，日影最长，夏至是日在南天最高位置的一天，日影最短。由于冬至影长，夏至影短，冬至的测定结果比夏至要精确一些。

只有准确测得冬至的时刻，才能准确地预报季节；有了几次准确的冬至时刻，就能得到岁实的数值。因此，测定准确的冬至时刻是我国古代历法工作者的重要课题。保留下来的我国最早的冬至时刻的观测记录是在春秋时期的鲁僖公五年(公元前 655 年)和鲁昭公二十年(公元前 522 年)。

从理论上说，测得相邻两次冬至时刻，就能求得回归年的长度。但是，由于用土圭简单地观测日影的变化所定出的冬至日期并不很准确，可能有

一二日的误差；另一方面，每次到达冬至的时刻并不正好在日中，简单地用土圭观测，并不能得到冬至发生在某一天中的确切时刻。古人为了弥补这一缺点，尽量利用相隔多年的冬至日的观测记录，以便减少观测误差给推求回归年长度带来的误差。

春秋时期末年(公元前五世纪)，我国开始使用《古四分历》，它的岁实是三六五·二五日，这是当时世界上所使用的最精密的数值。希腊的《伽利梭斯历》和我国的《古四分历》相当，但是要比我国晚大约一百多年。

《古四分历》规定十九年中置七个闰月，就是十九个回归年正好有二百三十五个朔望月，那么一个朔望月等于二九·五三 八五日，也比较精密。

《古四分历》的创制是一项具有世界意义的伟大贡献。

随着社会的进步和科学的发展，人们对于历法提出了越来越精密的要求。《古四分历》使用了一个时期以后，人们就发现历法所推的气朔逐渐落后于实际天象。为了避免这一现象，必须改用新的历法，来纠正这一误差。西汉《太初历》和东汉《四分历》就是通过改元的办法来纠正误差的。但是，人们逐渐懂得，不断改元并不能从根本上解决问题。东汉末的刘洪认识到误差的产生是由于《四分历》的岁实太大，他第一次减小了岁实，这样就提高了历法的精度。

要进一步提高历法的精度，必须从冬至时刻的测量方法上改进。西汉以后，人们就已经习惯使用八尺高表来测定冬至的日期。但是，用八尺高表简单地进行测量，并不能得到理想的结果。于是人们曾想过好多改进的方法。南北朝时期的祖冲之(429 - 500)，首先从观测技术的改进上达到了提高观测精度的目的。由于冬至前后的影长变化不太明显，这给冬至时刻的准确测定带来困难，更重要的是简单的测量只能得到冬至发生的日期，而不能得到一天中什么时刻是冬至。祖冲之想出一个新的方法，他不直接观测冬至那天日影的长度，而是观测冬至前后二十三日的日影长度，再取它们的平均值，求出冬至发生的日期和时刻；又由于离开冬至日远些，日影的变化就快些，所以这一方法提高了冬至时刻的测定精度。祖冲之制定的《大明历》的岁实取三六五·二四二八日，这在当时来说是很精密的，只有到了南宋以后的几个历法，才能达到或超过他的水平。宋代《明天历》以后的历法，采用更多的观测点，并加大了两个冬至时刻年代的间隔，这样就减小了所求回归年数值的误差，才更加提高了精度。

元代的郭守敬，是数学、天文、仪器制造等方面都有重要贡献的科学家，他不但继承了前人观测日影的方法，而且创造了一个叫做“景符”的仪器，用来解决日影边界模糊不清的问题。景符的原理是，使照射在圭表上的日光首先通过一个小孔，再射到圭面，形成一个米粒大小的光点，它的边缘就很清楚，可以量取比较准确的影长。按理说，加长表高就能使日影变化更显著，但是表高增加以后，边界模糊不清就更严重，实际上达不到提高精度的目的。解决了日影边界的清晰问题，就可以加大表高来增加测量冬至时刻的精度。现存的河南登封测景台，就是郭守敬所造的巨大的砖石结构的圭表。表高四丈，是传统高度的五倍。南宋的杨忠辅对历史上的观测数据进行了认真的分析研究，在他于宋宁宗庆元五年(公元 1199 年)制定的《统天历》中首先使用了三六五·二四二五日的精密的岁实数值。郭守敬根据自己多次精密测定的冬至时刻的结果，并且利用历史上从祖冲之《大明历》以来的六次冬至时刻的观测资料，证实了三六五·二四二五

日是我国历史上所使用的最精密的数值。这个数值的使用，在世界历法史上是最早的。欧洲的著名历法《格里历》也是采用这个数值，但是要比《统天历》大约晚四百年。明末的邢云路又把表高加大到六丈，测得岁实三六五·二四二一九 日，比用现代理论推算的当时数值只小 二七日，精密程度超出了当时欧洲天文学的水平。

冬至点和岁差的测定

冬至点就是指冬至时太阳在恒星间的位置，这种位置现代都以赤经、赤纬来表示。我国古代是以距离二十八宿距星的赤经差(称作入宿度)和去极度来表示。

战国时期的《古四分历》所测得的冬至点在牵牛初度。秦代使用的《颛顼历》立春在营室五度，按古度推算，那太阳冬至点的位置也在牵牛初度。这应该是我国最早的冬至点的实测数据。

由于太阳的位置不能直接测量，只能间接推得，早期测定冬至点的方法大致是利用当时给定的冬至日，以漏刻得到夜半的时刻，由这个时刻中天的恒星的入宿度，反推得到太阳的位置。这一方法由于漏刻定的时间难以准确，所以测得的数值也比较粗略。

在晋代以前，我国的天文学家是不知道有岁差现象的。天周和岁周不分，以为从冬至到冬至一周岁(岁周)，就是太阳在众星间运行一周天(天周)。所以当《四分历》把回归年长度定作三百六十五又四分之一日，也把周天划分成三百六十五又四分之一度。他们相信冬至点的位置一旦测定，就永远不变，所以战国时期到西汉大都沿用冬至点在牵牛初度这个数据。西汉武帝太初元年(公元前 104 年)制定的《太初历》，认为冬至太阳在建星，实际并未改变。西汉刘歆在成帝绥和二年(公元前 7 年)说，冬至点的位置进退牛前四度五分，含糊其词，不敢肯定。东汉贾逵在章帝元和二年(公元 85 年)才明白地说，冬至太阳在斗二十一度又四分之一。汉代人不知道岁差的现象，但是通过实际观测，已经明显地反映出冬至点的位置是变化的。南北朝时期后秦的姜岌，想出了一个巧妙方法，就是在月食的时候测量月亮的位置，这样推得太阳的位置，再核算到冬至太阳的位置。这种方法是相当准确的。他实测得冬至点的位置在斗十七度。

地球是一个椭球体，又由于自转轴对黄道平面是倾斜的，地球赤道那里的突出部分受到日月等吸引而引起地轴绕黄极作缓慢的移动，大约二万六千年移动一周，由此产生了岁差现象。这种变化是缓慢的，冬至点在赤道上每年西移的度数，依我国古代所用的度数计算，大约七十七年差一度。

晋成帝的时候(公元 330 年前后) 虞喜(约 284 - 约 360)比较了历史上冬至点的观测结果，第一次明确地提出冬至点有缓慢的移动，认识到太阳在天球上运动一周天并不等于冬至到冬至一周岁，应该“天自为天，岁自为岁”。太阳从冬至到下一个冬至，还没有回到原来恒星间的位置，还不到一周天，于是称这个现象叫“岁差”。虞喜根据自己的分析结果，认为五十年冬至点沿赤道西移一度。他的发现虽然比古希腊的依巴谷迟约四百五十年，却比依巴谷冬至点每百年沿黄道西移一度(依我国古代度制计算，相当于冬至点经一百零九年多沿赤道西移一度)的数值精密。在虞喜以后不久，岁差便在历法的计算上得到实际应用。

何承天也讨论过岁差现象，他以为赤道岁差每百年差一度，但是没有应用在他的历法中。祖冲之是第一个用它来改进历法的人。他实测得冬至

点在斗十五度，和姜岌的斗十七度相比较，不到一百年就差二度，因而得到四十五年十一个月差一度。虽然祖冲之所得的数据不很准确，但是他在历法中引用岁差，却是一个很大的革新。隋代的刘焯，在他的历法中使用七十五年差一度的黄道岁差数值，这在当时来说，已经相当精密了，而这时候西方还是沿用依巴谷的数值。唐宋以后，赤道岁差值的推算更加准确，如周琮的《明天历》、皇居卿的《观天历》、陈得一的《统元历》等都曾采用七十七年多差一度的数值，达到了很高的水平。

平气和定气

地球沿着离心率很小的椭圆绕太阳运动，每天实际运行的距离是不等的，但是由于离心率很小，这种差数是不大的。古代受观测仪器的限制，在南北朝以前还不知道太阳的视运动是不均匀的，认为太阳每天所行的角度相等。当时也不知道有岁差，那么一年太阳行一周天，一年三百六十五又四分之一日，一周天就是三百六十五又四分之一度，太阳每天行一度。每一节气所占的日数也相等，是一五·二日。后人把这种规定节气的方法称作平气或恒气。

北齐张子信用浑仪在海岛实测了许多年，才发现太阳的视运动是不均匀的，发现“日行在春分后则迟，秋分后则速”（《隋书·天文志》）。事实上，当时冬至点离开黄道的近地点不远，近地点只在冬至点前十度多，这一结果是大致符合实际情况的。随着时代的推移，冬至点和近地点越来越接近，大约在南宋的时候二者相合。

张子信的这一发现，对历法的改进是有很意义的，不久就应用在历法中。刘焯等开始提出在历法中改用二十四等分周天来定节气，得每气十五度多，这种划分节气的方法称作定气。由于太阳每天在黄道上移动的快慢不同，所以太阳移行一气所需的日数也不一样。冬至前后日行快，一气只有一四·七一八日；夏至前后日行慢，一气达一五·七三二日。他推得春分、秋分离冬至各八十八日多，离夏至各九十三日多。但是他所给定的太阳运行快慢数值是和实际不符的。僧一行的《大衍历》却更符合实际情况，认为冬至附近日行最快，所以二气间的时间最短，夏至附近日行最缓，所以二气间的时间最长。《大衍历》指出了正确的日行快慢规律，纠正了刘焯的错误认识。实际上，《大衍历》日行最快的时刻定在大雪和冬至之间，当时实际近地点在冬至点前九度，所以《大衍历》的数据是准确的。

《大衍历》又测知从冬至到春分六个定气间共八八·八九日，日行一象限；从春分到夏至六个定气间共九一·七三日，也行一象限。秋分前后和春分前后情况相同。

郭守敬的《授时历》把日行最快的时刻定作冬至，《授时历》创作时代的近地点实际在冬至后不到一度，所以它所使用的数值是很精密的。《授时历》根据实测，知道从冬至到平春分前三日（定春分），日行一象限，只需八八·九一日；从平春分前三日到夏至九三·七一日，日也行一象限；秋分前后相同。

由此可知，从《大衍历》以后，就有了能够比较准确地推算太阳位置和推算定气的方法。但是由于长期使用平气的习惯影响，安排节气仍用平气，定气这种概念只是在计算日行度数和交会时刻等的时候才使用。直到

清代才改用定气。

对月亮运动的研究

我国古代的历法以月亮的圆缺作为记月的单位，很早就注意对月亮运动的观测和研究。中国古代对于日月食的预报也特别重视，所以对月行的研究更加认真。春秋末期的《古四分历》，对朔望月的长度(古称“朔策”)已经掌握得相当精密了，和真值相比较，大约三百多年差一日。隋代以前的历法，就一直以朔望月的长度来推算安排各月的历日。每月的第一天称“朔日”，意思是日月合朔将发生在初一这天。由于朔望月的长度比二九·五日稍大，所以，通常以这样的办法来进行调整：大月三十日，小月二十九日，大小月相间，相距大约十七个月安排一个连大月。

由于太阳在天球上的位置也在移动，所以一个朔望月并不等于月亮绕天一周。我国古代很早就能把这两种概念区分开来。《淮南子·天文训》就记有日行一度，月行十三度又十九分之七，那月行一周天是二七·三二·一九日，已经有了“恒星月”的概念(月亮从天球上某一固定位置运行一周又回到原来的位置所需的日数叫恒星月)。

地球在公转轨道上作椭圆运动，月亮在自己的运行轨道上也是这样，所以月亮的运动速度是作周期变化的。月亮过近地点的时候运动最快，过远地点的时候最慢。月亮从最快点运行一周又回到最快点所需的日数称作“近点月”。它和朔望月的长度是不等的，这就使得月亮圆缺一次所需的时间实际是不等的。所以，朔望月只是月相变化一周所需的平均日数。以朔望月长度推得的合朔时刻称作“平朔”。

战国时期的石申可能已经知道月亮运动的速度是有变化的，可惜记载简略。西汉刘向(约前77 - 前6)在《洪范五行传》中有关于月行九道的记载。东汉贾逵也认识到月行有快慢。他认为月行快慢是由于月道有远近造成的，并且知道，经过一近点月，近地点向前推进三度。以此推算，经九·一八年近地点才能回到原处，那一近点月是二七·五五·八一日。张衡也提倡用九道术。在古代文献中也记载了月行九道图，可见月行九道的说法在汉代是很流行的。九道术是我国早期对远地点变化的认识。按九道术安排月历，会有三大月相连和二小月相连。九道术虽然比较粗略，但是比不考虑月行有快慢的平朔法要精密。

刘洪在《乾象历》中第一次考虑到月行的快慢问题，他设每近点月中近地点前进三度四分(十九分是一度)，由此可以求得近点月是二七·五五·三三六日，和现今测得的值二七·五五四五五日相差不远。《乾象历》实测得一近点月中每日月亮实行度数，给出月亮每日实行速度超过或不及平均速度的“损益率”表。“损益率”逐次相加称“盈缩积”。求某日月亮的实行度数，以月亮平行数值加从近地点时起到前一日的盈缩积。《乾象历》求日月合朔时刻，使用了一次内插法。《乾象历》计算月行的快慢问题，主要是为了推算日月食发生的时刻和位置，所以它不但能求出定朔望时候的经度，而且能求出日月食发生的时刻。

古人为了研究交食的需要，对于“交点月”的长度也进行过许多研究

一作“月日行十三度七十六分度之二十六”，即略小于十三度又十九分之七。

工作。月亮从黄、白道的升(降)交点起运行一周又回到升(降)交点所需的日数称作交点月。祖冲之的《大明历》第一个推得交点月的数值是二七·二一二二三日，同现今测得的值比较，只差十万分之一。以后各家历法差不多都推算交点月的长度，都达到很高的精度。

张子信发现太阳运动有快慢以后，为定朔的进一步研究提供了良好的条件。从隋代的刘焯、张胄玄开始，在历法中推算定朔时刻的时候同时考虑月行和日行的不均匀性，这在中国历法史上是一个重大进步。刘焯在推算定朔的时候创立等间距二次差的内插法公式，在历法中引进了中国古代数学的先进成就。

南北朝的何承天，首先在他于刘宋元嘉二十年(公元 443 年)制定的《元嘉历》中，提出安排历日使用定朔法，但是由于受到反对而终于未能实行。以后不断就改用定朔问题进行斗争。唐初的《戊寅历》曾一度使用定朔法，因为受到反对又停止使用，直到唐高宗麟德元年(公元 664 年)颁行的《麟德历》才又改用定朔。改用定朔法从何承天倡议开始，经过二百多年的争论和斗争，终于获得胜利。

唐代的僧一行对刘焯计算定朔的方法又作了发展，使用不等间距二次差的内插法公式。元代的郭守敬更对刘焯等在推算定朔的时候日月在短时期里的运动速度是等加速的假设进行改进，认为日月的运动不是时间的一次函数，而是二次函数，在某一时间里日月多行的度数应该是时间的三次函数。他创立平立定三次差的内插法公式，把我国古代数学的光辉成就应用到历法的实际计算上，使我国古代的天文历法成就达到了新的高峰。

交食研究

我国古代对于日月食成因的科学认识是很早的。

《周易·丰卦》就有“月盈则食”的记载，《诗·小雅·十月之交》有“彼月而食，则维其常”的诗句，就认识到月食是有规律的，只有在月望的时候才能发生。

战国时期的石申，已经知道日食和月亮有关，认识到日食必定发生在朔或晦。西汉末刘向在《五经通义》中说：“日食者，月往蔽之。”可见最迟在西汉的时候，就已经明白了日食产生的原因。东汉张衡在《灵宪》中对月食的成因解释得更清楚，认为月光来自太阳所照，大地遮住了太阳光，便产生月食。

沈括在《梦溪笔谈》卷七中曾清楚地解释了为什么不是每一朔望月都发生日月食的道理，指出了黄道和白道并不在一个平面，而是相交的。只有当角度(经度)相同而又靠近的时候(纬度相近)，就是在黄道、白道相交的地方，才会互相掩盖。在黄白道正好相交的地方，便发生全食；不在正中，便发生偏食。

我国古代对于交食是作了长期认真的分析的，早在西汉以前，就能认识到交食的发生是有一定规律的，是有周期变化的。所谓“交食周期”，就是经过一个周期以后，太阳月亮地球三者又回到了原先的相对位置，一个周期以前出现的日月食又再次相继出现。从数学上来看，这就是探求朔望月和交点年之间的公倍数问题。由于两者之间没有简单的倍数关系，所以根据不同的精度可以求得不同的交食周期。我国古代的历法工作者用自

己创立的方法探求交食周期，所采用的数值在世界天文学史上说，也是很先进的。西汉的《三统历》就使用了一百三十五个朔望月的交食周期。此后交食周期值的推算不断得到进步，达到很高的精度。西方十九世纪才由美国天文学家纽康(1835 - 1909)推得的比较精密的三百五十八个朔望月的纽康周期，我国早在唐代的《五纪历》就已经找出了(周期是纽康的二倍)。

利用交食周期，只能预推日月食发生的大概日期和情况。我国古代天文工作者并不满足于这一结果，而是编制了一套预推交食的计算方法。早在《乾象历》中，就已经求得黄白交角是六度左右，这在当时来说是相当精密的。《乾象历》规定月亮距黄白交点十五度以内才能发生日食，后代都用这个数作为会不会发生交食的判据，这就是食限的概念。

随着对日月运动研究的深入，推算日月食的方法也越来越改进，预报的结果也越来越精密。

三国时期杨伟的《景初历》开始了预报日食发生的食分大小和亏起方位。刘焯在推算交食的时候第一次考虑到视差对交食的影响(在地球表面观测天体和在地心观测天体所产生的天体位置的差称“视差”)。从唐代僧一行起，开始尝试推算各地见食的情况。隋唐宋元历法水平不断向上发展，因而推算日月食的水平也不断提高。元代郭守敬所推交食是相当准确的，所用方法在世界天文学史上也是很先进的。

我国古代对于日月食的研究成果，在世界天文学的发展史上，写下了光辉的一页。

节气和置闰

节气和置闰这两部分内容在我国古代的历法中都占有非常重要的地位。我们现在所了解的古代历法，一开始就是阴阳历。由于回归年、朔望月和日之间都没有整数倍数的关系，十二个朔望月比一个回归年少十一天左右，必须设置闰月来调整季节。《尚书·尧典》就记载着“期三百有六旬有六日，以闰月定四时成岁”。设置闰月的历史可能比帝尧时更早。二十四节气的出现，相对来说要晚一点。节气和闰月是有联系的，如果没有闰月，就没有使用节气的必要。正因为设置了闰月来调整寒暖，才有必要创立二十四节气，以便更精确地反映季节的变化。但是，二十四节气的产生也进一步促进了置闰规律的发展和完善，它们是互相促进的。

在《古四分历》出现之前，为了在历法中能反映出四季的变化，早已知道把昏旦一定星象的出没和月份联系起来，《夏小正》、《月令》等书就有这样的记载。一旦发现不符，就设置闰月来调整。昏旦中星的变化和北斗斗柄所指的方向成为置闰的标准。由于全凭肉眼观察，判断不容易准确，置闰也就没有一定的严格标准。只能随时观测，随时置闰。这种方法，从理论的角度来说，任何一个月都可置闰，但是由于观测不精，大都在岁终置闰，这样比较方便易行。由于置闰经验的逐步积累，人们慢慢掌握了置闰的规律，到春秋中期，就大致掌握了十九年七闰的方法。十九年七闰法是我国首先发现的，西方发现这一规律要比我国大约晚二百年。

二十四节气产生以后，更准确地设置闰月就有了基础。《太初历》规定以没有中气的月作闰月，是很符合科学道理的。依据这一原则，就能使闰月安排得更准确，更合理，使节气在月份里的变化不超过半个月。总结

出十九年七闰的规律，对于《四分历》的产生和发展是起了很大的促进作用的。这十九年七闰的“闰周”，从春秋中期出现以后，在历法中一直使用到南北朝时期。由于东汉和魏晋南北朝的科学进一步发展，对岁实、朔策已经测得更准确，如果再沿用十九年七闰法，就限制了历法的改进。这是由于岁实、朔策和十九年七闰法之间具有互相制约关系的缘故。刘洪减小了岁实(三六五·二四六二日)，同时也就减小了朔策(二九·五三 五四日)，这两项改革都提高了精度。但是要进一步改革，就会发生困难：如果再减小岁实，那朔策就更小；如果加大朔策，那岁实就更大。例如《景初历》朔策取二九·五三 六 日，比《乾象历》精密，但是为了符合十九年七闰，岁实取三六五·二四六九日，比《乾象历》更大。南北朝时期北凉赵接着做 第一次打破这个旧框框的束缚，改用新的闰周，祖冲之又把新的闰周定得更精密。事实上，规定了以没有中气的月作闰月之后，再规定闰周就是多余的了。唐代李淳风以后，就不再考定闰周，专按没有中气的月置闰。

二十四节气是逐步产生起来的，是我国劳动人民为了生产实践的需要而发明的。节气完全是太阳位置的反映，因而也就是气候寒暖的反映。这就是我国古代的劳动人民非常重视节气的原因。首先产生的是对冬至、夏至的认识；对春分、秋分的认识也很早，因为它们处在冬至、夏至之间的平分点上。最迟在春秋时期，这些概念就产生了。《春秋》一书中记有春夏秋冬的四季概念，每季三个月。根据现有的资料看，二十四节气可能产生在战国末期。虽然全部二十四节气的名称在西汉《淮南子·天文训》中才出现，但是战国末期成书的《吕氏春秋》就记载了二十四节气的大部分名称。秦统一中国的时候制订的《颛顼历》，已经把历元定在立春，这些都可以说明，二十四节气产生在秦统一中国以前。

二十四节气是节气和中气的通称。从小寒起，每隔三十日多或黄经三十度有一节气，如小寒、立春、惊蛰等十二节气；从冬至起，每隔三十日多或黄经三十度有一中气，如冬至、大寒、雨水等十二中气。在二十四节气中又以立春、春分、立夏、夏至、立秋、秋分、立冬、冬至八节最重要。它们之间各相隔大约四十六日。一年分为四季，“立”表示四季中每个季节的开始，“分”“至”表示正处在这个季节的中间。

节气的定法有平气和定气二种，这在前面已经讲了。

在我国古代的历书中还插入和人民生活有关的历注，其中“九九”、“三伏”到今天还在流行。它们也是和太阳的位置直接或间接有关的。“九九”是从冬至开始，安排九个九日的周期，“九九”过后不几天，春分也就到了。伏日的安排是根据传统的习惯，头伏安排在夏至后第三个庚日，中伏在第四个庚日，末伏在立秋后第一个庚日。由于夏至日可以是任何一个干支，因此第三个庚日距夏至可以有十天的变化，这就使得二伏有时是十天，有时是二十天。夏至太阳达到最北点，冬至达到最南点，那好像冬至应该最冷，夏至应该最热，但是事实并不是这样。有句谚语说：“冷在三九，热在中伏。”这是经验的总结。这个道理南北朝的祖暅就作出了科学的解释：这是由于寒暑的积累而造成的。

二十四节气是我国劳动人民的独创，从这点也可看出我国古代的生产科学的发展水平是高的。世界上也有很多国家使用过阴阳历，但是他们最多也只知道有二分二至。这是我国古代历法优越的地方。我国古代的历

法所使用的数据都是很精密的，太阳月和阳历年之间关系的调节也达到了比较好的程度，我国古代的历法成就是巨大的，是值得进行总结和发扬的。

中国古代的宇宙理论

自然科学史研究所 陈美东

人类生活在地球上，面对着浩瀚的天空，从那遥远的古代，就对关于宇宙的一些问题产生了兴趣。随着天文观测资料的积累和思维的发展，人们对于宇宙的本原、天体的演化、宇宙的结构、宇宙是有限还是无限等等宇宙理论问题，作了种种推测，在我国古代留下了十分丰富的遗产。本文仅就其中若干精辟的见解和它们的发展情况略作介绍。

关于宇宙本原和天体演化思想

宇宙万物是物质的、运动的、发展的观点，在我国古代产生得很早。战国时期屈原(约前 340 - 前 278)、庄周(约前 369 - 前 286)等人的著作所记述的古代口耳相传的神话、传说，都明白无误地反映了古代人们的如下看法：天和地是从一种朦胧不分、浑浑噩噩、深沉幽暗的“浑沌”状况中诞生出来的。也就是说，现存世界是通过长时间的历史过程发展而来的观点，在遥远古代人们的心目中是不言而喻的。那时，对这一团“浑沌”究竟是些什么东西，还没有具体的说明。到西周末年(公元前八世纪)，史伯就有过“以土与金、木、水、火杂以成百物”(《国语·郑语》)的说法，把金、木、水、火、土五种元素(其中又以土为主)看成是万物的本原。后来，有人认为水才是最基本的元素。《管子·水地篇》指出：“水者何也？万 55 物之本原也，诸生之宗室也。”这是把水作为包括生物界在内的万物的本原。显然，用几种或一种人们所熟知的物质去说明丰富多彩的物质世界的尝试，是人们对宇宙本原的认识的重大进步，但是由于物质世界的复杂性和多样性，这种尝试遇到了种种困难。于是，战国中期的宋钘、尹文进一步提出了新的见解，他们指出：“凡物之精，比则为生。下生五谷，上为列星，流于天地之间，谓之鬼神，藏于胸中，谓之圣人，是故名气。”(《管子·内业篇》)这就是后世得到充分发展的元气学说的早期论述。它以比较抽象的形态出现的、物质性的“气”作为宇宙万物的本原，为物质世界的复杂性和多样性提供了比较合理的、比较科学的解释。也就在春秋战国时期，还产生了天地都在不断地运动发展的观点。《管子·侈靡篇》指出：“天地不可留，故动，化故从新。”就是说天地都处在不停的运动中，正因为这种无休止的运动，促成了宇宙万物的新陈代谢，生生不息。这一观点和朴素唯物主义的元气学说连同古老的天地是从浑沌中产生的思想的有机结合，便是我国古代天体演化思想的精髓。

在战国时期，人们已经在探索通过什么样的机制从浑沌中生成天地的问题。《素问·阴阳应象大论》中，曾经提到“清阳为天，浊阴为地”的思想，这里明确地把下面两个观念应用到天地生成说中：一是把阴、阳两种不同属性的物质的矛盾斗争引进天地分离的过程之中；二是以人所共知的轻清的物体上升、重浊的物体下沉的现象，说明天地分离的原因。这种朴素的、直观的天地生成说，成了我国古代传统的观点。

西汉早期的《淮南子·天文训》继承并发挥了这一思想。它明确地指出：天地生成过程中，元气中的“清阳者”上升形成为天，“重浊者”向

下凝聚为地。它又认为天地日月星辰都是从元气派生出 56 来的，是元气在它发展的各个不同阶段上的产物，把它们都统一于元气的运动和发展之中。而在宇宙本原的问题上，《淮南子·天文训》却认为元气是从虚无中产生出来的。

《淮南子·天文训》关于天地演化的论述，由于得到著名天文学家张衡等人的赞同，在我国古代发生了很大影响。但是，历代有许多人提出不少新的创见。唐代柳宗元(773 - 819)在《天对》中指出：在初始的浑沌状态中，只有元气在运动着、发展变化着(“庞昧革化，惟元气存”)。阴、阳和天都是由元气派生出来的(“合焉者三，一以统同”)，由于阴阳二气运动速度和温度的不同，两者既相互对立，又彼此渗透，从而生成了天地(“吁炎吹冷，交错而功”)。这里，柳宗元不但申明了朴素唯物主义的天地演化思想，而且注意到阴阳二气运动的不同速度和温度对天地生成过程中所起的作用。柳宗元在《非国语·三川震》中还进一步指出：在无限的宇宙中，矛盾变化是无穷的。阴阳二气时而会合，时而分离；有时互相吸引，有时互相排斥；就像旋转着的车轮或机械，时刻不停(“天地之无倪，阴阳之无穷，以溷洞轳轳乎其中，或会或离，或吸或吹，如轮如机”)。这就把会合和分离、吸引和排斥这些两极对立的概念引入天地生成的动因中去了。

宋代的朱熹(1130 - 1200)在描述以地球为中心的天地生成过程的时候指出：“天地初间，只是阴阳二气。这个气运行，磨来磨去，磨得急了，便拶许多渣滓，里面无处出，便结个地在中央。气之清者便为天，为日月，为星辰，只在外常周环运转。地便只在中央不动，不是在下。”(《朱子全书》卷四十九)这里描述了一个处于不停顿的旋转运动中的、由阴阳二气组成的庞大气团，由于摩擦、碰撞和离心力的作用，在它中央结成地球，在地球周围形成天和日月星辰的情景。这实际上也为浑天说作了思辨性的理论说明。

天地日月星辰既然是一种生成的东西，那么它们也必然会有终结，这种思想在我国古代也有过精辟的论述。东晋的张湛在今传本的《列子·天瑞篇》中，记述长庐子的话说，“夫天地，空中之一细物”，于是“天地不得不坏，则会归于坏”的。元代的《琅环记》也论及这一思想，它以问答的形式说道：“天地毁乎？曰：天地亦物也，若物有毁，则天地焉独不毁乎？曰：既有毁也，何当复成？曰：人亡于此，焉知不生于彼也？天地毁于此，焉知不成立于彼也？”他们都从天地是“物”这一基本点出发，得出有朝一日天地终要毁坏的结论，而后者比前者的进步之点在于：它明确指出天地的毁坏并不等于归于虚无，而一定要在别的处所生出新的天地来。宋代的张载(1020 - 1077)早在他的《正蒙·太和篇》中表述过这一思想。他指出“气有聚散，并无生灭”，“太虚不能无气，气不能不聚而为万物，万物不能不散而为太虚，循是出入，是皆不得已而然也。”这就从更大的规模上，更概括地阐述了宇宙万物生生不息的图景，也就论述了由气聚为万物，万物以气的形式散入太虚，并且往复无穷的必然性。

当然，在古代的历史条件下，不可能对天体的演化进行具体的论证，这些思想都还是朴素的、思辨性的认识，但是在当时世界上却是十分先进

的。

关于宇宙的结构和地动说

关于宇宙的结构，在我国古代主要有盖天、浑天和宣夜三种学说。

盖天说认为“天圆如张盖，地方如棋局”，以后又发展为“天似盖笠，地法覆槃”（《晋书·天文志》），认为大地是方形或中央隆起的覆盘似的实体，在它上面罩着半圆形的天穹。这一学说大约起于周代，而到汉代趋于衰落。

春秋战国时期，盖天说的正确性已为人们所怀疑，并开始萌发了浑天说的思想：春秋时期的邓析（前 545 - 前 501）就提出了“天地比”（《荀子·不苟篇》）的命题，认为天和地不存在截然的高低之分。到战国时期，慎到（约前 395 - 约前 315）指出：“天体如弹丸，其势斜倚”（《慎子》），明确地建立了球形的天的概念；惠施（约前 370 - 约前 310）在他的一些论辩中也隐约提出了大地是球形的观念；《素问·五运行大论》还提供了大地是靠“大气”的作用悬浮于空中的思想。这些都为浑天说在汉代的形成准备了条件。

东汉张衡的《浑天仪注》对浑天说作了如下的发展和概括：“浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡中黄，孤居于内，天大而地小。天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄。天地各乘气而立，载水而浮。”这里，最重要的发展是关于天是球形的论述和大地是球形的比喻，但这种地球观是很不完备的，而关于“天表里有水”、天地“载水而浮”等观念，是它的严重缺欠。东汉以后，这一观念渐被地在气中、因气的运动而悬于空间等思想所替代，使浑天说趋于成熟。总的说来，浑天说是一种以大地为中心、有一个浑圆的天壳绕它旋转的宇宙结构模式。它同古希腊托勒玫的地心说有不少相似之处，只是前者不如后者完备。它是以对天象的直观观察作为基础的，能比较好地解释一些天体的视运动现象，在历法中有比较大的实用意义。应该说，在古代的条件下，它仍不失为一种有价值的宇宙结构学说。

关于宣夜说，我们将在下一节予以评介。这里，我们先来介绍我国古代的地动说。

前已叙及，春秋战国时期产生了天地都在不断地运动发展的观点。人们从不同的角度对它进行过论述。如《素问·五运行大论》说：“岐伯曰：‘上者右行，下者左行，左右周天，余而复会也。’”右行是指从东向西，左行是指从西向东。所以，这是试图用天右旋、地左转的观点来说明天体周日视运动的现象。又如，尸佼（约前 370 - 约前 310）说：“天左舒而起牵牛，地右辟而起毕昂”（《尸子》）。当时人们认为牵牛是作为一年之始的冬至点所在的星宿，毕昂是夏至点所在，所以，这是想用天（这里实应指的是太阳）在恒星间左行、地在恒星间右行的观点，说明太阳在恒星间作周年视运动的现象。他们用天和地同时作相反方向运动的观点对周日或周年视运动所作的说明是不尽正确的，但可贵的是，他们都不约而同地引进了地动的观念，成为后世发展的重要起点。

到西汉末年，随着运动相对性原理的阐明，地动说得到了很大的进步。《春秋纬·运斗枢》指出：“地动则见于天象”，就是认为地动可以从有关天象的变化中反映出来，也就是把有关天象的变化看作是地动的结果。

《河图·括地象》指出：“地右动起于毕”，这似乎只是尸佼的话的简单

重复，其实不然，它已经屏弃了所谓天动的说法，把太阳在恒星间周年视运动完全归因于地动的结果。这些论述都隐含着关于运动相对性的重要观念。而对这一观念作了最精彩的论述的，要算《尚书纬·考灵曜》，它以具体形象的譬喻，“人在大舟中，闭牖而坐，舟行不觉也”，来说明为什么“地恒动不止，而人不知”的道理，为地动说提供了简明的思辨性说明。有趣的是，哥白尼在论证地球运动的理论时，也曾引用了和它相类似的比喻。

《尚书纬·考灵曜》还用地动的观点说明太阳在一周年中视高度变化的现象。它指出：“地有四游，冬至地上北而西三万里，夏至地上南而东三万里，春秋二分其中矣。”对这现象的另一种解释是以太阳本身在运动作为基本点的：冬至时，太阳走到极南，而后沿黄道日渐往北向东游动到黄赤道的交点春分；夏至时，太阳走到极北，此后沿黄道日渐往南向西移动到黄赤道的另一交点秋分。《考灵曜》正是从运动相对性的原理出发，认为冬至时地游到极北，而后日渐往南向西游动到“中”点春分；而夏至时地游到极南，此后日渐往北向东游到另一个“中”点秋分。这恰和传统的说法南北易位，东西反向。虽然《考灵曜》并未讲明从春分到夏至、从秋分到冬至地游的情况，但它已明言“地有四游”，所以在这两个区间的地游状况是不言而喻的。总的说来，它和日行黄道的传统看法相反，似乎隐含着地是沿黄道运动的思想，但终未点明，没有形成明确的概念。其中关于“三万里”的说法是不正确的。不过，它把一周年中太阳视高度的变化看作是“地有四游”的结果，这一思想是十分明确的，是十分可贵的。

关于恒星周日视运动和地球自转之间关系的明确无误的论述，见于宋代张载的《正蒙·参两篇》。他指出：“恒星所以为昼夜者，直以地气乘机左旋于中。”他把昼夜交替现象和恒星自东向西的右旋运动看作是地球自身从西向东左旋的直接结果。这是我国古代地动说最精辟的论述和最科学的应用之一。地动说在我国古代为不少人所接受。虽然它的论证是思辨性的、初步的，但它比托勒玫的地心说关于地球在宇宙中心静止不动的观点要高明得多。

关于宇宙无限性的辩证论述

早在战国时期，关于宇宙时空无限性的朴素观点，已经为社会上许多人所承认。尸佼曾说过：“四方上下曰宇，往古来今曰宙。”（《尸子》）就是说“宇”是指东、南、西、北、上、下六个方向，“宙”包括过去、现在、将来的时间。但是尸佼的定义对时空是否存在界限、开端或终点的问题，没有作出明确的回答。而和尸佼同一时期出现的《墨经》的见解却进了一步。它认为“宇”包括所有不同的场所（“宇，弥异所也”），“宙”包括所有不同的时代（“久，弥异时也”，这里的“久”同“宙”），这样，宇宙就包括了所有不同的空间和时间，包含了无限时空的初步认识。《墨经》还指出，物体在空间移动（“宇徙徙”），必定经历一定的空间和时间（“说在长宇久”），并且空间位置的变迁是和时间的流逝紧密地结合在一起的（“宇徙久”）。这些论述把空间和时间统一于物质的运动之中，是时空之间辩证统一关系的精采论述。也就在战国时期出现的《庄子·逍遥游》中，记载着关于空间无限性的明确观念，认为天是“远而无所至极”的。在《庄

子·齐物篇》里对于时间的无限性问题也有朴素的认识。从尸佼、《墨经》、《庄子》的有关论述可知，战国时期人们对于宇宙无限性的认识固然是可贵的，但是还处于发展的初期阶段。

关于空间无限性的思想，到东汉有了重大的发展。经王充(27 - 约97)、黄宪、郗萌(约公元一到二世纪)、张衡等人的探讨，逐步达到了那个时期认识的高峰。王充在《论衡》中认为“天去人高远，其气莽苍无端末”，明确提出了在无限的宇宙空间都有“气”的存在思想，这和我们现今所认识的星际空间物质的存在有相似之处。黄宪在《天文》中认为日月星辰只是活动在有限空间里的天体，天却在这有限的空间之外(“天外也，日月内也”)。他又认为天也有一个边界(“外则以太虚为涯”)，在这边界外面是一个虚无的无边无垠的空间(“同归于虚，虚则无涯”)。这就把整个宇宙同有一定边界的天区别开来。张衡在《灵宪》中也表达了相类似的思想，他认为天有一个椭圆形的边界，但是张衡并不认为这就是宇宙的边沿，相反，他认为“宇之表无极，宙之端无穷”，明确地表述了宇宙在空间和时间上都是无穷无尽的思想。然而，张衡给出的天球半径和日月星辰附丽于天球的想法，却妨碍人们对宇宙真正无限性的认识。

比张衡稍早的郗萌，继承了在他以前的宣夜说思想，兼采各家的长处，把无限宇宙的思想提高到一个新的高度。著名的宣夜说，打破了传统的有形质的天的概念。据《晋书·天文志》引郗萌“记先师相传”关于宣夜说的论述：“天了无质，仰而瞻之，高远无极。”还应用人们日常生活得知的经验，论证人眼所及的浑圆蓝天并非真有一个浑圆的边界和苍苍的颜色，指出：“眼瞽精绝，故苍苍然也。譬之旁望远道之黄山而皆青，俯察千仞之深谷而窈黑，夫青非真色，而黑非有体也。”宣夜说认为日月星辰的运动“迟疾任情，其无所系著可知矣，若缀附天体，不得尔也。”这就从对日月星辰运动特性的观测和研究，进一步论证日月众星并非附着于“固体”的天球，因为它们各自不同的运动特性是不能用附着于一个“固体”天球来统一解释的。宣夜说还进一步指出：“日月众星，自然浮生虚空之中，其行其止皆须气焉。”这就从正面提出了日月众星的运动是由于“气”的作用的结果，描述了一幅日月众星在物质的无限空间运动的图景。这些见解比浑天说和托勒玫的地心说都要高过一筹。

三国时期的杨泉、东晋的张湛、宋代的张载等人，都从各自不同的角度表述了在无限空间里运动着的物质普遍存在的思想。杨泉在《物理论》中，重申了“天无体”的思想，并且指出：“夫天，元气也，皓然而已，无他物焉。”而“星者，元气之英也。”张湛在《列子·天瑞篇》中认为“天积气耳，无处无气，若屈伸呼吸，终日在天中行止，”而“日月星宿亦积气中之有光耀者。”张载在《正蒙·太和篇》中也认为“气块然太虚，升降飞扬，未尝止息”。

唐代的柳宗元，对空间无限性问题作了更加精辟的论述，他在《天对》中指出，天没有青黄赤黑之分，也没有中心和边缘，怎么能划分哪儿是天的边界呢？(“无青无黄，无赤无黑，无中无旁，乌际乎天则？”)其中关于天没有所谓中心的思想，是对空间无限性的十分深刻的见解。

元明时期，人们对宇宙无限性的认识更提高一步，出现了无穷的天体系统的观念，把空间的有限和无限辩证地统一起来。如元代《琅环记》一书中有这样一段有趣的问答：“人有彼此，天地亦有彼此乎？曰：人物无

穷，天地亦无穷也。譬如蚬居人腹，不知是人之外更有人也；人在天地腹，不知天地之外更有天地也。”又如元代的邓牧(1247 - 1306)在《伯牙琴·超然观记》中指出：“天地大也，其在虚空中不过一粟耳。虚空，木也，天地犹果也；虚空，国也，天地犹人也。一木所生，必非一果；一国所生，必非一人。谓天地之外无复天地，岂通论耶？”他们都以通俗的比喻，阐明了天地之外复有天地以至于有无穷的天的思想，天地虽大，它却如同一虫、一粟、一果或一人那样，是有限度的，是渺小的，而整个宇宙空间却是无穷的有限空间的总和。明代《蒙龙子》一书又在这一无穷的天体系统的思想基础上，提出了时间有限和无限的辩证的统一观：“或问天地有始乎？曰：无始也。天地无始乎？曰：有始也。未达。曰：自一元而言，有始也；自元元而言，无始也。”也就是说，对于某一个具体的天体系统来说，在时间上是有始有终的，但是就由无穷的天体系统组成的宇宙来说，那便是无始无终的了。

我国古代关于宇宙的理论，凝聚着我国古代劳动人民的聪明才智。科学地总结这份历史遗产，将有助于我们发展在现代科学基础上的宇宙理论作出贡献。

二 数学

中国古代的数学名著简介

自然科学史研究所 杜石然

中国古代数学，和天文学以及其他许多科学技术一样，也取得了极其辉煌的成就。可以毫不夸张地说，直到明代中叶以前，在数学的许多分支领域里，中国一直处于遥遥领先的地位。中国古代的许多数学家曾经写下了不少著名的数学著作。许多具有世界意义的成就正是因为有了这些古算书而得以流传下来。这些中国古代数学名著是了解古代数学成就的丰富宝库。

例如现在所知道的最早的数学著作《周髀算经》和《九章算术》，它们都是公元纪元前后的作品，到现在已有两千年左右的历史了。能够使两千年前的数学书籍流传到现在，这本身就是一项了不起的成就。

开始，人们是用抄写的方法进行学习并且把数学知识传给下一代的。直到北宋，随着印刷术的发展，开始出现印刷本的数学书籍，这恐怕是世界上印刷本数学著作的最早出现。现在收藏于北京图书馆、上海图书馆、北京大学图书馆的传世南宋本《周髀算经》、《九章算术》等五种数学书籍，更是值得珍重的宝贵文物。

从汉唐时期到宋元时期，历代都有著名算书出现：或是用中国传统的方法给已有的算书作注解，在注解过程中提出自己新的算法；或是另写新书，创新说，立新意。在这些流传下来的古算书中凝聚着历代数学家的劳动成果，它们是历代数学家共同留下来的宝贵遗产。

《算经十书》

《算经十书》是指汉、唐一千多年间的十部著名数学著作，它们曾经是隋唐时候国子监算学科(国家所设学校的数学科)的教科书。十部算书的名称是：《周髀算经》、《九章算术》、《海岛算经》、《五曹算经》、《孙子算经》、《夏侯阳算经》、《张丘建算经》、《五经算术》、《缉古算经》、《缀术》。

这十部算书，以《周髀算经》为最早，不知道它的作者是谁，据考证，它成书的年代当不晚于西汉后期(公元前一世纪)。《周髀算经》不仅是数学著作，更确切地说，它是讲述当时的一派天文学学说——“盖天说”的天文著作。就其中的数学内容来说，书中记载了用勾股定理来进行的天文计算，还有比较复杂的分数计算。当然不能说这两项算法都是到公元前一世纪才为人们所掌握，它仅仅说明在现在已经知道的资料中，《周髀算经》是比较早的记载。

对古代数学的各个方面全面完整地进行叙述的是《九章算术》，它是十部算书中最重要的一部。它对以后中国古代数学发展所产生的影响，正像古希腊欧几里得(约前 330 - 前 275)《几何原本》对西方数学所产生的影响一样，是非常深刻的。在中国，它在一千几百年间被直接用作数学教育的教科书。它还影响到国外，朝鲜和日本也都曾拿它当作教科书。

《九章算术》，也不知道确实的作者是谁，只知道西汉早期的著名数学家张苍(前 201 - 前 152)、耿寿昌等人都曾经对它进行过增订删补。《汉书·艺文志》中没有《九章算术》的书名，但是有许商、杜忠二人所著的《算术》，因此有人推断其中或者也含有许、杜二人的工作。1984 年，湖北江陵张家山西汉早期古墓出土《算数书》书简，推算成书当比《九章算术》早一个半世纪以上，内容和《九章算术》极相类似，有些算题和《九章算术》算题文句也基本相同，可见两书有某些继承关系。可以说《九章算术》是在长时期里经过多次修改逐渐形成的，虽然其中的某些算法可能早在西汉之前就已经有了。正如书名所反映的，全书共分九章，一共搜集了二百四十六个数学问题，连同每个问题的解法，分为九大类，每类算是一章。

从数学成就上看，首先应该提到的是：书中记载了当时世界上最先进的分数四则运算和比例算法。书中还记载有解决各种面积和体积问题的算法以及利用勾股定理进行测量的各种问题。《九章算术》中最重要的成就是在代数方面，书中记载了开平方和开立方的方法，并且在这基础上有了求解一般一元二次方程(首项系数不是负)的数值解法。还有整整一章是讲述联立一次方程解法的，这种解法实质上 and 现在中学里所讲的方法是一致的。这要比欧洲同类算法早出一千五百多年。在同一章中，还在世界数学史上第一次记载了负数概念和正负数的加减法运算法则。

《九章算术》不仅在中国数学史上占有重要地位，它的影响还远及国外。在欧洲中世纪，《九章算术》中的某些算法，例如分数和比例，就有可能先传入印度再经阿拉伯传入欧洲。再如“盈不足”(也可以算是一种一次内插法)，在阿拉伯和欧洲早期的数学著作中，就被称作“中国算法”。现在，作为一部世界科学名著，《九章算术》已经被译成许多种文字出版。

《算经十书》中的第三部是《海岛算经》，它是三国时期刘徽(约 225 - 约 295)所作。这部书中讲述的都是利用标杆进行两次、三次、最复杂的是四次测量来解决各种测量数学的问题。这些测量数学，正是中国古代非常先进的地图学的数学基础。此外，刘徽对《九章算术》所作的注释工作也是很有名的。一般地说，可以把这些注释看成是《九章算术》中若干算法的数学证明。刘徽注中的“割圆术”开创了中国古代圆周率计算方面的重要方法(参见本书第 98 页)，他还首次把极限概念应用于解决数学问题。

《算经十书》的其余几部书也记载有一些具有世界意义的成就。例如《孙子算经》中的“物不知数”问题(一次同余式解法，参见本书第 106 页)，《张丘建算经》中的“百鸡问题”(不定方程问题)等等都比较著名。而《缉古算经》中的三次方程解法，特别是其中所讲述的用几何方法列三次方程的方法，也是很具特色的。

《缀术》是南北朝时期著名数学家祖冲之的著作。很可惜，这部书在唐宋之际公元十世纪前后失传了。宋人刊刻《算经十书》的时候就用当时找到的另一部算书《数术记遗》来充数。祖冲之的著名工作——关于圆周率的计算(精确到第六位小数)，记载在《隋书·律历志》中(参见本书第 101 页)。

《算经十书》中用过的数学名词，如分子、分母、开平方、开立方、正、负、方程等等，都一直沿用到今天，有的已有近两千年的历史了。

宋元算书

中国古代数学，经过从汉到唐一千多年间的发展，已经形成了更加完备的体系。在这基础上，到了宋元时期(公元十世纪到十四世纪)又有了新的发展。宋元数学，从它的发展速度之快、数学著作出现之多和取得成就之高来看，都可以说是中国古代数学史上最光辉的一页。

特别是公元十三世纪下半叶，在短短几十年的时间里，出现了秦九韶(1202 - 1261)、李冶(1192 - 1279)、杨辉、朱世杰四位著名的数学家。所谓宋元算书就指的是一直流传到现在的这四大家的数学著作，包括：

秦九韶著的《数书九章》(公元 1247 年)；

李冶的《测圆海镜》(公元 1248 年)和《益古演段》(公元 1259 年)；

杨辉的《详解九章算法》(公元 1261 年)、《日用算法》(公元 1262 年)、《杨辉算法》(公元 1274 - 1275 年)；

朱世杰的《算学启蒙》(公元 1299 年)和《四元玉鉴》(公元 1303 年)。

《数书九章》主要讲述了两项重要成就：高次方程数值解法和一次同余式解法(分别参见本书第 119 页和第 110 页)。书中有的问题要求解十次方程，有的问题答案竟有一百八十条之多。《测圆海镜》和《益古演段》讲述了宋元数学的另一项成就：天元术(用代数方法列方程，参见本书第 121 页)；也还讲述了直角三角形和内接圆所造成的各线段间的关系，这是中国古代数学中别具一格的几何学。杨辉的著作讲述了宋元数学的另一个重要侧面：实用数学和各种简捷算法。这是应当当时社会经济发展而兴起的一个新的方向，并且为珠算盘的产生创造了条件。朱世杰的《算学启蒙》不愧是当时的一部启蒙教科书，由浅入深，循序渐进，直到当时数学比较高深的内容。《四元玉鉴》记载了宋元数学的另两项成就：四元术(求解高次方程组问题，参见本书第 123 页)和高阶等差级数、高次招差法(参见本书第 131 页)。

宋元算书中的这些成就，和西方同类成果相比：高次方程数值解法比霍纳(1786 - 1837)方法早出五百多年，四元术要比贝佐(1730 - 1783)早出四百多年，高次招差法比牛顿(1642 - 1727)等人早出近四百年。

宋元算书中所记载的辉煌成就再次证明：直到明代中叶之前，中国科学技术的许多方面，是处在遥遥领先地位的。

宋元以后，明清时期也有很多算书。例如明代就有著名的算书《算法统宗》。这是一部风行一时的讲珠算盘的书。入清之后，虽然也有不少算书，但是像《算经十书》、宋元算书所包含的那样重大的成就便不多见了。特别是在明末清初以后的许多算书中，有不少是介绍西方数学的。这反映了在西方资本主义发展进入近代科学时期以后我国科学技术逐渐落后的情况，同时也反映了中国数学逐渐融合到世界数学发展总的潮流中去的一个过程。

中国数学发展的历史表明：中国数学曾经为世界数学的发展作出过卓越的贡献，只是在近代才逐渐落后了。我们深信，经过努力，中国数学一定能迎头赶上世界先进水平。

十进位值制、筹算和珠算

自然科学史研究所 梅荣照

我国古代数学以计算为主，取得了十分辉煌的成就。其中十进位值制记数法、筹算和珠算在数学发展中所起的作用和显示出来的优越性，在世界数学史上也是值得称道的。

十进位值制记数法曾经被马克思(1818 - 1883)称为“最妙的发明之一”。

从有文字记载开始，我国的记数法就遵循十进制。殷代的甲骨文和西周的钟鼎文都是用一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、百、千、万等字的合文来记十万以内的自然数的。例如二千六百五十六写作

(甲骨文)，六百五十九写作 (钟鼎文)。这种记数法含有明显的位值制意义，实际上，只要把“千”、“百”、“十”和“又”的字样取消，便和位值制记数法基本一样了。

春秋战国时期是我国从奴隶制转变到封建制的时期，生产的迅速发展和科学技术的进步提出了大量比较复杂的数字计算问题。为了适应这种需要，劳动人民创造了一种十分重要的计算方法——筹算。我们认为筹算是完成于春秋战国时期，理由是：第一，春秋战国时期，农业、商业和天文历法方面有了飞跃的发展，在这些领域中，出现了大量比以前复杂得多的计算问题。由于井田制的废除，各种形状的私田相继出现，并相应实行按亩收税的制度，这就需要计算复杂形状的土地面积和产量；商业贸易的增加和货币的广泛使用，提出了大量比例换算的问题；适应当时农业需要的历法，要计算多位数的乘法和除法。为了解决这些复杂的计算问题，才创造出计算工具算筹和计算方法筹算。第二，现有的文献和文物也证明筹算出现在春秋战国时期。例如“算”和“筹”二字出现在春秋战国时期的著作(如《仪礼》、《孙子》、《老子》、《法经》、《管子》、《荀子》等)中，甲骨文和钟鼎文中到现在仍没有见到这两个字。一二三以外的筹算数字最早出现在战国时期的货币(刀、布)上。《老子》提到：“善计者不用筹策”，可见这时筹算已经比较普遍了。因此我们说筹算是完成于春秋战国时期。这并不否认在春秋战国时期以前就有简单的算筹记数和简单的四则运算。

关于算筹形状和大小，最早见于《汉书·律历志》。根据记载，算筹是直径一分(合·二三厘米)、长六寸(合一三·八六厘米)的圆形竹棍，以二百七十一根为一“握”。南北朝时期公元六世纪《数术记遗》和《隋书·律历志》记载的算筹，长度缩短，并且把圆的改成方的或扁的。这种改变是容易理解的：长度缩短是为了缩小布算所占的面积，以适应更加复杂的计算；圆的改成方的或扁的是为了避免圆形算筹容易滚动而造成错误。根据文献的记载，算筹除竹筹外，还有木筹、铁筹、玉筹和牙筹，还有盛装算筹的算袋和算子筒。唐代曾经规定，文武官员必须携带算袋。1971年八月中旬，在陕西宝鸡市千阳县第一次发现西汉宣帝时期(公元前73年到前49年)的骨制算筹三十多根，大小长短和《汉书·律历志》的记载基

本相同。1975 年上半年在湖北江陵凤凰山一六八号汉墓又发现西汉文帝时期(公元前 179 年到前 157 年)的竹制算筹一束,长度比千阳县发现的算筹稍大一点。1980 年九月,在石家庄市又发现东汉初期(公元一世纪)的骨制算筹约三十根,长度和形状同《隋书·律历志》的记载相近,这说明算筹长度和形状的改变早在东汉初期已经开始。算筹的出土,为研究我国数学发展史提供了可贵的实物资料。

筹算是以算筹作工具,摆成纵式的()和横式的()两种数字,按照纵横相间(“一纵十横,百立千僵”)的原则表示任何自然数(如六千七百零八表示为 ,遇到零的时候用空位表示),从而进行加、减、乘、除、开方以及其他的代数计算。

筹算一出现,就严格遵循十进位值制记数法。九以上的数就进一位,同一个数字放在百位就是几百,放在万位就是几万。这种记数法,除所用的数字和现今通用的印度-阿拉伯数字形式不同外,和现在的记数法实质是一样的。筹算是把算筹一面摆成数字,一面进行计算,它的运算程序和现今珠算的运算程序基本相似。记述筹算记数法和运算法则的著作有《孙子算经》(公元四世纪)、《夏侯阳算经》(公元五世纪)和《数术记遗》(公元六世纪)。负数出现后,算筹分成红黑两种,红筹表示正数,黑筹表示负数。算筹还可以表示各种代数式,进行各种代数运算,方法和现今的分离系数法相似。我国古代在数字计算和代数学方面取得的辉煌成就,和筹算有密切的关系。例如祖冲之的圆周率准确到小数第六位,需要计算正一万二千二百八十八边形的边长,把一个九位数进行二十二次开平方(加、减、乘、除步骤除外),如果没有十进位值制的计算方法,那就会困难得多了。

古巴比伦的记数法虽然有位值制的意义,但是它是六十进的,计算比较繁琐。古埃及的数字从一到十只有两个数字符号,从一百到一千万有四个数字符号,而且是象形的,例如用一个鸟表示十万。文化比较发达的古希腊,由于看重几何,轻视计算,记数方法十分落后,用全部希腊字母表示一到一万的数字,字母不够的时候就在字母旁边增加符号“’”,如‘表示一千,‘表示二千等。现在世界通用的印度-阿拉伯数字和记数法是印度古代人民创造的,但是印度在公元三世纪以前使用的记数法是希腊式和罗马式两种,都不是位值制,真正使用十进位值制记数法出现在公元六世纪末。由此可见,我国古代的十进位值制记数法和筹算,在世界数学史上应该占有重要的地位。

筹算在我国古代用了大约两千年,在生产和科学技术以至人民生活中,发挥了重大的作用。但是它的缺点也是十分明显的:首先,在室外拿着一大把算筹进行计算很不方便;其次,计算数字的位数越多,所需要的面积越大,受环境和条件的限制;此外,当计算速度加快的时候,很容易由于算筹摆弄不正而造成错误。随着社会的发展,计算技术要求越来越高,筹算需要改革,这是势在必行的。这个改革从中唐以后的商业实用算术开始,经宋元出现大量的计算歌诀,到元末明初珠算的普遍应用,历时七百多年。《新唐书》和《宋史·艺文志》记载了这个时期出现的大量著作。由于封建统治阶级对民间数学十分轻视,以致这些著作的绝大部分已经失传。从遗留下来的著作中可以看出,筹算的改革是从筹算的简化开始而不是从工具改革开始的,这个改革最后导致珠算的出现。

珠算是由筹算演变而来的,这是十分清楚的。筹算数字中,上面一根

筹当五，下面一根筹当一，珠算盘中的上一珠也是当五，下一珠也是当一；由于筹算在乘、除法中出现某位数字等于十或多于十的情形(例如 $26532 \div 8$ ，第一步就是“八二下加四”，就变成)，所以珠算盘采用上二珠下五珠的形式。其次，我们可以证明，从杨辉、朱世杰开始到元末丁巨、何平子、贾亨止的除“起一”法外的全部现今通用的珠算歌诀，是为筹算而设的。杨辉的《乘除通变本末》(公元 1274 年)和朱世杰的《算学启蒙》(公元 1299 年)已经有相当完备的歌诀，但是杨辉在《乘除通变本末》中说：“下算不出‘横’‘直’”，其中“横”“直”显然是指算筹的纵横排列；朱世杰在《算学启蒙》中提到“知算纵横数目真”，也是这个意思。《丁巨算法》(公元 1355 年)、何平子的《详明算法》(公元 1373 年)、贾亨的《算法全能》(约公元 1373 年)也有相当完备的归除歌诀，但是都没有提到珠算，而《详明算法》还有许多筹算算草。歌诀出现后，筹算原来存在的缺点就更突出了，歌诀的快捷和摆弄算筹的迟缓存在矛盾。为了得心应手，劳动人民便创造出更加先进的计算工具——珠算盘。

现存文献中最早提到珠算盘的是明初的《对相四言》。明代中期公元十五世纪中叶《鲁班木经》中有制造珠算盘的规格：“算盘式：一尺二寸长，四寸二分大。框六分厚，九分大，……线上二子，一寸一分；线下五子，三寸一分。长短大小，看子而做。”把上二子和下五子隔开的不是木制的横梁，而是一条线。比较详细地说明珠算用法的现存著作有徐心鲁的《盘珠算法》(公元 1573 年)、柯尚迁的《数学通轨》(公元 1578 年)、朱载堉(1536 - 1611)的《算学新说》(公元 1584 年)、程大位的《直指算法统宗》(公元 1592 年)等，以程大位的著作流传最广。

值得指出的是，在元代中叶和元末的文学、戏剧作品中有提到珠算的。例如元世祖至元十六年(公元 1279 年)刘因在他的《静修先生文集》中有一首关于算盘的五言绝诗；陶宗仪在他的《辍耕录》中把婢仆贬作算盘珠，要拨才动；《元曲选》“庞居士误放来生债”提到“去那算盘里拨了我的岁数”，等等。文学、戏剧中用算盘珠作比喻，说明珠算盘已经比较流行，也说明它是比较时新的东西。因此可以认为，珠算出现在元代中叶，元末明初已经普遍应用了。

有的外国学者认为我国的珠算出现在汉代，他们的根据是汉徐岳著、北周甄鸾注的《数术记遗》已经明确提到珠算。我国数学家、数学史家钱宝琮(1892 - 1974)曾经考证过，《数术记遗》是甄鸾依托伪造而自己注释的书。在北周时，乘、除运算都在上、中、下三层进行，又没有简化乘、除法的歌诀，因此甄鸾注释的珠算，充其量不过是一种记数工具或者只能作加减法的简单算盘，和后来出现的珠算是完全不同的。

珠算还传到朝鲜、日本等国，对这些国家的计算技术的发展曾经起过一定的作用。日本人在十七世纪中叶，在中国算盘的基础上，改成梁上一珠、珠作棱形的日本算盘。

出入相补原理

数学研究所 吴文俊

我国古代几何学不仅有悠久的历史，丰富的内容，重大的成就，而且有一个具有我国自己的独特风格的体系，和西方的欧几里得体系不同。这一几何体系的全貌还有待于发掘清理，本文仅就出入相补原理这一局部方面，就所知提出几点，主要根据是流传至今的以下各经典著作：

《周髀算经》(简称《周髀》)，

《九章算术》(简称《九章》)，

刘徽《九章算术注》(简称《刘注》)，

《海岛算经》(简称《海岛》)，

赵爽《日高图说》和《勾股圆方图说》(简称《日高说》和《勾股说》)。

田亩丈量和天文观测是我国几何学的主要起源，这和外国没有什么不同，二者导出面积问题和勾股测量问题。稍后的计算容器容积、土建工程又导出体积问题。

我国古代几何学的特色之一是，依据这些方面的经验成果，总结提高成一个简单明白、看起来似乎极不足道的一般原理——出入相补原理，并且把它应用到形形色色多种多样的不同问题上去。

以下将列举这些不同的应用。

简单应用和比例理论

所谓出入相补原理，用现代语言来说，就是指这样的明显事实：一个平面图形从一处移置他处，面积不变。又若把图形分割成若干块，那么各部分面积的和等于原来图形的面积，因而图形移置前后诸面积间的和、差有简单的相等关系。立体的情形也是这样。

应用这一原理，容易得出三角形面积等于高底相乘积的一半这一通常的公式，由此以定任意多角形的面积。作为另一简单实例，可以观察左图，如果看作把 $\triangle ACD$ 移置 $\triangle ACB$ 处，又把 \triangle 、 \triangle 各移到 \triangle 、 \triangle ，那么依出入相补原理有：

$$= , \quad PC = RC , \dots\dots (\text{指面积相等})$$

由此得

$$PO \times OS = RO \times OQ , \quad PQ \times QC = RB \times BC , \dots\dots$$

而 $PO = AR , OS = QC , PQ = AB , RB = OQ , \dots\dots$

因而 $AR \cdot OQ = RO \cdot QC , AB \cdot OQ = BC \cdot QC , \dots\dots$

就是相似勾股形 $\triangle ARO$ 和 $\triangle OQC$ 、 $\triangle ABC$ 和 $\triangle OQC$ 的相应勾股成比例。并且可以导出其他相应部分的比例关系。

以上这些极简单的结果虽然没有在《九章》中明白说出，但是曾经多处用这些关系来解决各种具体问题，参看《刘注》。

测望术和重差理论

在《周髀》中，就有用两表测日影以求日高的方法，计算的公式是：

$$\text{日高} = \frac{\text{表高} \times \text{高距}}{\text{影差}} + \text{表高}。$$

见右图，其中 A 是日，BI 是地平面，ED、GF 是先后两表，DH 和 FI 是日影。
《海岛》改测日高为测海岛的高，同图 AB 是海岛，H、I 是人目望岛顶和
两表上端相参合的地方，于是日高公式成为：

$$\text{岛高} = \frac{\text{表高} \times \text{表距}}{\text{表目距的差}} + \text{表高}。$$

刘徽证明和所用的图都已经失传，但是据现存《日高说》和残图以及其他
佐证，原证当大致如下：

由出入相补原理，得

$$JG = GB, \quad (1)$$

$$KE = EB, \quad (2)$$

$$\text{相减得} \quad JG - KE = GD,$$

$$\text{所以} \quad (FI - DH) \times AC = ED \times DF,$$

即 $\text{表目距的差} \times (\text{岛高} - \text{表高}) = \text{表高} \times \text{表距}。$

这就得到上述公式。

按《海岛》共九题都属测望之类，所得公式分母上都有两测的差，“重
差”这一名称可能由此而来。其余八题公式都可依出入相补原理用和上面
类似的方法证明，现在从略。

元朱世杰《四元玉鉴》中有和《海岛》完全类似的几个题，朱世杰对
这些题的解法应该有古代相传下来的一定来历。依据朱对海岛一题的解
法，我们认为原证比上面所示的可能稍复杂一些。如下页的图，现在重作
证明如下：

由出入相补原理，除(1)、(2)外又有

$$PG = GD, \quad (3)$$

由(1)、(2)、(3)得

$$JN = EB = KE,$$

$$\text{所以} \quad MI = DH, \quad (4)$$

$$FM = FI - MI = FI - DH = \text{表目距的差}。$$

由(3)式就得到海岛公式。

如果依照欧几里得几何体系的习惯证法，那就自然应该添一平行线 GM
AH，如下图，再利用相似三角形和比例理论作证。清代李璜以及近代
中外数学史家大都依这一方法补作海岛公式的证明，这当然不是刘徽的原
意，也和我国古代几何的传统相违背。注意作平行线的时候应有 FM = DH，
和前面(4)式相比，M 和 M' 的位置完全不同。

明末耶稣会传教士利玛窦(1552 - 1610)来我国，他的主要学术工作之
一是介绍欧几里得几何体系。他曾口授《测量法义》一书，其中载有和海
岛题完全类似的一题。在他所作的证明中，需要在 FI 上取一点 M 使(4)式
成立，再用比例理论作证，见本页上图。按常理来说，利玛窦应该作平行
线而取 M' 使 FM' = DH，但是他一反欧几里得惯例而和我国古代传统不谋而
合，颇使人迷惑不解。现在提出这一问题，希望大家共同探讨。

勾股定理

在《周髀》和《九章》中，都已经明确给出了勾股定理的一般形式： $\text{勾}^2 + \text{股}^2 = \text{弦}^2$ 。虽然原证不传，但是据《勾股说》以及《刘注》，都依出入相补原理证明，并且有遗留到现在可以用来作证的赵爽残图，这几方面互相参照，原证应该大致如下：

如右图所示，勾股形是 ABC，BCED 是勾方，EFGH 是股方，把二者的和 DBCFGH 中的 IBD 移到 ABC，GIH 移到 GAF，就得到 ABIG = 弦²，由此就得到勾股定理。

欧几里得《几何原本》中勾股定理的证明如下图所示，其中要先证有关三角形全等形以及三角形面积的一些定理，为此要作不少准备工作，因而在《几何原本》中直到卷一之末出现这一定理，而在整个《几何原本》中几乎没有用到。而在我国，勾股定理在《九章》中已经有多种多样的应用，成为两千年来年数学发展的一个重要出发点，参阅以下各节和文末附表。

在东西方的古代几何体系中，勾股定理所占的地位是颇不相同的。

勾、股、弦和它们的和差互求

勾、股、弦和它们之间的和差共九个数，只须知道其中的二个就可以求得其他几个。

除勾、股、弦互求就是开平方之外，《九章》勾股章中有不少这方面的问题：

第一，知股弦差、勾，求股、弦(五题)；

第二，知勾股差、弦，求勾、股(一题)；

第三，知股弦差、勾弦差，求勾、股、弦(一题)；

第四，知股弦和、勾，求股、弦(一题)。

各题都列出了一般公式，《勾股说》的许多命题也属这一类，《刘注》还给出了证明，公式的来历和证明的方法都依据出入相补原理，有的也用比例原理作别证。

试以勾股章第十三折竹题为例。题设竹高已知，竹在某处折断，竹梢着地，着地处和竹根距离也已知。求折断处的高度，见右图。如果以竹梢着地处和竹根的距离作为勾，就是从股弦和、勾求股的问题，《九章》原文给出的公式是：

股弦差 = 勾² / 股弦和，

$$\text{弦，股} = \frac{1}{2}(\text{股弦和} \pm \text{股弦差})。$$

《刘注》又给出了另一公式：

$$\text{股} = \frac{\text{股弦和}^2 - \text{勾}^2}{2 \times \text{股弦和}}。$$

为了证明前一公式，可以考虑左图，其中正方形 ABCD 和 AEFG 的边各是勾股形的弦和股。依勾股定理曲尺形 EBCDGF 的面积应该等于勾²。现在把 FD 如图移到 CH，那么依出入相补原理，BH 的面积是勾²，而它的边长各是股弦和、股弦差，就得到上面的前一公式。

另一公式的刘徽证明也相类似。试考察右图，其中右下角曲尺部分的面积依勾股定理等于勾²，所以粗黑线围成部分的面积等于股弦和² - 勾²。把长方形 移到 ，依出入相补原理，这一面积是斜线部分面积的两倍，

就是 $2 \times \text{股} \times \text{股弦和}$ ，由此就得到另一公式。

秦九韶公式

秦九韶《数书九章》中有一题是已知不等边三角形田地三边的长(称大斜、中斜、小斜，以下简记为大、中、小)，求田地面积。秦九韶的解法相当于下面的一般公式：

$$\text{面积}^2 = \frac{1}{4} \left[\text{小}^2 \times \text{大}^2 - \left(\frac{\text{大}^2 + \text{小}^2 - \text{中}^2}{2} \right)^2 \right]。$$

秦的公式来历不明，证明也失传了。

现在补作一证如下：

作大斜上的高分大斜成两部分，作为勾股形的股和弦，见左图。由于《九章》已经给出三角形面积等于 $\frac{1}{2} \times \text{高} \times \text{大}$ ，所以问题归结为怎样求高，或怎样求股。
由于

股弦和=大，

$$\text{勾}^2 = \text{弦}^2 - \text{股}^2 = \text{中}^2 - \text{婿}^2，$$

所以问题归结为怎样从股弦和、勾求股。

依上节的刘徽公式，得

$$\text{股} = \frac{\text{股弦和}^2 - \text{勾}^2}{2 \times \text{股弦和}} = \frac{\text{大}^2 - (\text{中}^2 - \text{小}^2)}{2 \times \text{大}}$$

$$\text{高}^2 = \text{小}^2 - \text{股}^2 = \text{小}^2 - \left(\frac{\text{大}^2 + \text{小}^2 - \text{中}^2}{2 \times \text{大}} \right)^2$$

由此就得到秦的公式。

按秦公式的形式十分古怪，当是依某种思路自然引导到这一形式的。

上面的证法颇为自然，也符合我国古代几何的传统特色，说它是原证，也是不无可能的。

在西方有所谓海伦公式(a、b、c是三角形三边的长)：

三角形面积=

$$\frac{1}{4} \sqrt{(a+b+c)(b+c-a)(c+a-b)(a+b-c)}，$$

这一公式形式十分漂亮。正因为这样，如果已知海伦公式而再来推出秦的公式，将是不可思议的。相反，从秦的公式化简成海伦的公式，却是比较自然的发展。

据此我们至少可以断言，秦的公式是独立于海伦公式而得来的。

关于海伦的生平，从公元前二世纪到公元后十世纪以后，数学史家聚讼纷纭。至于海伦留传到现在的著作，也已经人指出，历代都经过重新编纂，有所增改，已经不是本来面目。这是熟悉希腊数学史的应予澄清的事，这里就不考虑了。

开平、立方

从勾、股求弦，先把勾、股平方后相加，再开平方就得弦。因而勾股

定理的应用自然导致开平方的问题。

事实上，《周髀》中已经给出了若干具体数目的平方根，而在《九章》中，更详细说明了开平方的具体方法步骤。这一方法的根据是几何的，就是出入相补原理。

试以求 55225 的平方根为例。这相当于已知正方形 ABCD 的面积是 55225，求边 AB 的长，见下图。按我国记数用十进位位值制。因 AB 显然是一个百位数，所以求 AB 的方法就是依次求出百位数字、十位数字和个位数字。先估计(《九章》中用“议”字)百位数字是 2，因而在 AB 上截取 AE=200，并且作正方形 AEFG，它的边 EF 的两倍称为“定法”。把 AEFG 从 ABCD 中除去，所余曲尺形 EBCDGF 的面积是 $55225 - 200^2 = 15225$ 。其次估计十位数字是 3，在 EB 上截取 EH=30，并且补成正方形 AHIJ。从 AEFG 所增加的曲尺形 EHIJGF 可以分解成三部分：FH，FJ，FI，面积依次是 $30 \times EF$ ， $30 \times FG$ ， 30^2 ，其中 $EF = FG = 200$ ，所以从 ABCD 中除去 AHIJ，所余曲尺形 HBCDJI 的面积是

$$15225 - (2 \times 30 \times 200 + 30^2) = 2325。$$

现在再估计个位数字是 5，在 HB 上截取 HK=5，并补作正方形 AKLM，从 ABCD 中除去 AKLM 后所余曲尺形面积和前同法应该是

$$2325 - (2 \times 5 \times 230 + 5^2) = 0。$$

由此知 K 和 B 重合而 55225 的平方根恰好是 235。

求立方根的方法步骤和这相似，但是要把一立方体逐步进行分解，比平方根求法稍复杂，所依据的仍是出入相补原理，这在《九章》中也有详细叙述。

我国开平立方法来源很古，它的几何本质十分清晰，而且方法上可以看出我国独有而世界古代其他民族所无的位值制记数法的高度优越性。不仅这样，至迟到十一世纪中叶，我国就已经把开平立方法推广到开任何高次幂，就是所谓“增乘开方法”，并且出现了有关的二项式定理系数表，就是所谓“开方作法本源图”。从这一方法的几何渊源看来，如果说当时我国数学家已经有高维方体和高维几何的稚影，似乎不是全无根据的。

解二次方程

在开平方的过程中，曾经出现像第 84 页下图中黑线部分那样的图形，其中 $2 \times EF$ 称定法。开平方在求得 AE 以后，其次几步在于从曲尺形 EBCDGF 的已知面积求得 EB。现在把 DF 移到 CH，那么依出入相补原理，BH 面积已知，此外 BH 的两边 EH 和 EB 的差就是定法 $2 \times EF$ ，也有已知数值。因而求 EB 的问题可以转化为下面的问题：

(A) 已知一长方形(BH)的面积、长阔差，求长阔。

反过来，这一问题的解法，可依开平方中第二步以下的方法求得，称为“开带从平方”。这在《九章》以来是用下面的语句来表达的：

(B) “以‘长方形面积’为实，‘长阔差’为从法，开方除之，得‘阔’”。

以上“从法”一名，当来自开平方过程中的“定法”，“开方”一词也说明了它的来历。

下面的例取自《九章》，见右图。图中 ABCD 是一方城，出北门北行若干步到 G 有木，出南门南行若干步到 F 再西行若干步到 H，恰可望见木 G，

问题是求方城每边的长。据《刘注》的方法是依出入相补原理得

$$EJ=2 \quad EG=2 \quad KG=2 \times \text{北步} \times \text{西步}。$$

EJ 的长阔差是“南步+北步”，所以解法是以“ $2 \times \text{北步} \times \text{西步}$ ”为实，以“南步+北步”为从法，开平方除之，得 EI，也就是方城边长。

不仅应用开平方法可得问题(A)的数值解，而且应用出入相补原理，还可以求得解答的精确表达式。如果以长方形的阔作为勾，长作为股，那么问题(A)相当于：

(C)已知勾股积、勾股差，求勾、股。

以上“从法”一名，当来自开平方过程中的“定法”，“开方”一词也说明了它的来历。

下面的例取自《九章》，见右图。图中 ABCD 是一方城，出北门北行若干步到 G 有木，出南门南行若干步到 F 再西行若干步到 H，恰可望见木 G，问题是求方城每边的长。据《刘注》的方法是依出入相补原理得

$$EJ=2 \quad EG=2 \quad KG=2 \times \text{北步} \times \text{西步}。$$

EJ 的长阔差是“南步+北步”，所以解法是以“ $2 \times \text{北步} \times \text{西步}$ ”为实，以“南步+北步”为从法，开平方除之，得 EI，也就是方城边长。

不仅应用开平方法可得问题(A)的数值解，而且应用出入相补原理，还可以求得解答的精确表达式。如果以长方形的阔作为勾，长作为股，那么问题(A)相当于：

(C)已知勾股积、勾股差，求勾、股。

为此考赵爽残图如附图。图中大小两正方形的边长各是勾股和、勾股差，所以得

$$\text{勾股和}^2 = 4 \times \text{勾股积} + \text{勾股差}^2。$$

由此得勾股和，因而得勾和股。同样也可从勾股和、勾股积求得勾和股，这一方法可以参阅《勾股说》的末一命题。

宋元时期明确引入了未知数的概念。如果以 x (当时称为天元一) 表长方形阔，那么问题(A)相当于解一个二次方程

$$x^2 + ax = b，$$

其中 a 相当于从法， b 相当于实。所以在古代实质上已经给出了这一形式二次方程(a, b 都是正数)的近似解和精确解，前者在宋元时期发展为求任意高次方程的数值解法，后者虽文献散佚不可查考，但是据唐初王孝通的著作以及史书关于祖冲之的引述看来，不能排除我国曾经对三次方程用几何方法求得精确表达式的可能性。

在其他各国，公元九世纪的时候，阿拉伯数学家花刺子模(约 780 - 约 850)的代数学名著中列举了各种类型二次方程的精确解法，它的方法是几何的，它的精神实质和出入相补原理颇相类似。公元十六世纪，意大利数学家关于三次方程的解法，也完全是几何的。

体积理论和刘徽原理

如果规定长方形的面积是长阔的积，那么依据出入相补原理，容易得到：

$$(1) \quad \text{三角形面积} = \frac{1}{2} \times \text{高} \times \text{底},$$

由此可以完全奠定平面多角形的面积理论。但是在空间情形，如果规定长方体的体积是长、广、深的积，是否依据出入相补原理，可以推得

$$(2) \quad \text{四面体体积} = \frac{1}{3} \times \text{高} \times \text{底面面积},$$

由此以建立多面体的体积理论，就不是那么明显而是极其困难的问题。欧洲直到十九世纪末，才把它作为一个难题明确地提了出来。公元 1900 年德国数学家希耳伯特(1862 - 1943)在国际数学会上所作著名讲演中，把体积理论列为二十三个问题之一。这一问题立即为德恩(1878 - 1952)所解决，答案是否定的：两个多面体要分割成彼此重合的若干多面体，必须满足某些条件，通称德恩条件。自此以后直到 1965 年，一位瑞士数学家西德勒才证明了德恩条件也是充分的。但是问题决不能认为已经彻底解决。从希耳伯特直到晚近，多面体体积理论仍不断成为一些知名数学家研讨的课题。德恩条件叙述复杂，也难认为是合宜的最后形式。

在这种情势下，看看中国古代对这一问题的处理方式是不无有启发性的。

《九章》以至《刘注》解决体积问题的出发点是把一般的多面体分解为一些基本的立体。先把一长方体斜剖为二，如下图(1)，得两堑堵(堑堵是两底面是直角三角形的正柱体)。再把堑堵斜剖为二，如上图(2)；一个是阳马(阳马是直角四棱锥体)，如上图(3)；一个是鳖臑(鳖臑是四面都是勾股形的四面体)，如上图(4)。其中鳖臑的特征是 AB 和平面 BFG 垂直，FG 和平面 ABF 垂直。由于任一多面体可以分割为四面体，而任一四面体可以分割为六个鳖臑，如左图，所以问题归结为求鳖臑(以及阳马)的体积。依刘徽原话，就是所谓阳马、鳖臑，“功实之主也。”

其次的问题是怎样求得阳马和鳖臑的体积。如果长方体成为立方体，那么分解所得的阳马的体积是鳖臑的两倍。刘徽作了长篇的分析，得出结论是：这个论断普遍成立。用刘的原话是：“阳马居二，鳖臑居一，不易之率也。”我们把它称作：

刘徽原理斜解一长方体，所得阳马和鳖臑的体积的比恒是二比一。

从这一原理容易得到鳖臑和阳马的体积公式。由此又容易得到(2)式，因而整个多面体的体积理论可奠基于刘徽以及出入补这两个原理之上。

刘徽对他的原理有详细的分析说明，实际上就是这一原理的证明。按希耳伯特和他的后继者的研究指出，体积理论和面积理论不同，出入相补原理之外，必须辅以连续一类公理。也有人(例如沙顿诺斯基，1903 年)提出排除连续公理，直接应用(2)式作为建立体积理论的基础。但是这样就要先证明(2)式中高和底面积的乘积凡四都彼此相等，这既不明显也不简单，似不如刘徽原理和出入相补原理的显豁自然。

总之，多面体的体积理论到现在还余蕴未尽，估计中国古代几何中的思想和方法或许对进一步的探讨还不无帮助。

这是一种极限过程的证法，详细解释可参阅郭书春：《刘徽的体积理论》和 D. B. Wagner：

《An Early Chinese Derivation of the Volume of a Pyramid: Liu Hui, Third Century A.D.》，载《Historia Mathematica》，1979 年第六期，第 164-188 页。

羡除公式

《九章》中列举了各种多面体的体积，依据的就是出入相补原理和阳马、鳖臑公式。现在以羡除即隧道(羡除是三个侧面不是长方形而是梯形的楔形体，见右图)为例，图中 ABCD 是地面，成一梯形，CDEF 是隧道的一端，成垂直平面中的梯形。整个隧道依剖面 IJK 对称。EG、FH 都和 CD 垂直是隧道的深，IJ 是隧道地面的长，CD、EF、AB 各称上广、下广、末广。《九章》给出的公式是：

$$\text{羡除体积} = \frac{1}{6}(\text{上广} + \text{下广} + \text{末广}) \times \text{深} \times \text{长}。$$

《刘注》的证法是先把羡除分解，如在上图中 $CD > AB > EF$ 的情形，分解成一个堑堵 EFGHLM，两个小鳖臑 AGEL 和 BHFM，两个不正规大鳖臑 ACEG 和 BDFH，再应用堑堵、鳖臑公式和上一节公式(2)，就得到这一公式。这一方法在《九章》中用来求得例如刍甍(楔形体)、刍童、盘池、冥谷(是各种棱台)等多面体的体积公式。

如果依 IJK 剖面取羡除的一半，所得 IJKACE 如左图是一斜截直柱体，是把它一个以勾股形为底面的直柱体斜截而成，它的体积是三高平均值和底面面积的积。因由任意曲面所围成的立体可以看作近似地由这样的斜截直柱体构成，所以据此可以得出函数 $f(x, y)$ 的积分近似公式，犹之微积分中求曲线下面积的辛普森积分近似公式。因而羡除公式具有重要意义。

在西方 斜截直柱体的体积公式最早见于 1794 年勒让德(1752 - 1833)所著《几何原理》一书，因此也称为勒让德公式。按勒让德的书是从欧几里得《几何原本》以后最早可以代替《原本》的名著，它的有关公式的证明同样依据四面体体积公式，但是它的分解方法和《刘注》不同。

此外某些多面体西方也有不同的分解法和证法，不妨中外参照，加以比较。

球体积和祖暅原理

从《九章》到《刘注》，我国对多面体的体积已经建立了相当完整的理论体系。但是对于曲面围成的立体，特别是球的体积问题，却遇到了困难。

这一球体积问题，直到南北朝时期祖暅才完全解决，为此并且提出了所谓

祖暅原理 幂势既同，则积不容异。

这一原理在公元十七世纪由意大利数学家卡瓦列里(1598 - 1647)提出卡瓦列里原理重见于欧洲，成为微积分得以创立的关键性的一步。

祖暅关于球体积公式的证明见于《九章》的唐李淳风注，论证极其详细清晰。证明分三步：

第一，在一立方体中依两不同方向作两内切圆柱体，它的共同部分称“牟合方盖”。取立方体的 $\frac{1}{8}$ ，其中方盖部分称“内棋”，此外三部分称

“外棋”。依祖暅原理可得：

$$\frac{1}{8} \text{球体积} - \frac{1}{8} \text{方盖体积} = 4。$$

第二，从立方体的 $\frac{1}{8}$ 割出一倒立的阳马，应用勾股定理证得三外棋等高处截面积的和跟阳马同高处的截面积相等。

第三，再应用祖暅原理，知三外棋体积的和跟阳马体积相等。

由阳马的体积公式，就可从上述三步得球体积公式。

按牟合方盖是刘徽所引入的，第一步的结果实质上也已经为刘徽所求得。事实上，在《刘注》中，他已经多次应用了祖暅原理来求曲面围成立体的体积，例如从方堡壙(长方体)求圆堡壙(圆柱)，从方锥求圆锥，从方亭(正方台)求圆亭(圆台)，都已经使用这方法。祖暅的功绩，不仅在于具体求出了牟合方盖因而求出球的体积，更在于把实际上已知并且已经广泛应用的实践经验总结提高到一般原理的形式。是否应该把祖暅原理改称为刘祖原理，是可以商讨的。

从祖暅原理可以立即得出前面讲到的刘徽原理，因而多面体的体积理论也可以建立在出入相补原理和祖暅原理这两个浅显易明的基本原理之上。在欧洲，直到希耳伯特的《几何基础》问世以后，二十世纪初年，才有人(例如绪思)考虑依卡瓦列里原理以建立体积理论的问题。

其 他

《九章》中有丰富的几何学内容，即使局限于出入相补原理，除了已经见于前面各节的以外，也还有一些成果为我国数学以后发展的重要出发点。例如所谓勾股容圆问题，在李冶的《测圆海镜》中已经有了很大的发展。又如前面提到过的所谓方城问题，在秦九韶、李冶等的著作中已经把方城改成了圆城，就是旧有方法所不能解的。为此宋元时期创立了所谓天元术一类新的理论和方法，不仅可以用来解决许多新问题，对老的问题(所谓古问)也提供了新的有力工具，和老的方法(所谓古法)相比可以“省功数倍”。这些新理论新方法的实质在于几何的代数化，乃是解析几何的前奏，也是近代代数学的前驱。

总 结

出入相补、刘徽、祖暅等一般原理的建立，说明我国古代学者具有高度的抽象概括能力，善于在深入广泛的实践基础上往高里提。这些原理之简单易明正可和它们应用之广互相辉映。这是我国古代数学的一种独特风格，着重在问题的解决以及解决的一般方法和一般原理原则，同样的风格也可见之于几何的代数化、位值制记数法等等。这和西方数学之偏重于概念和概念之间的相互逻辑关系，是异其旨趣的。

我国数学经典著作散佚的多而保存的少，就像祖暅原理，也只靠李淳风一注才得以留传下来。像这一类重要成果而失传无从查考的，当不在少数。尽管如此，只从留传至今的典籍看来，我国数学的生产实践方面的渊源和发展演变的线索，仍旧很分明，参见下页两个附表。

表 一

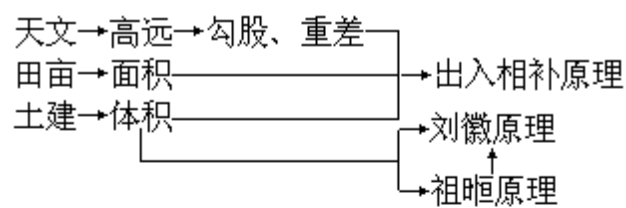
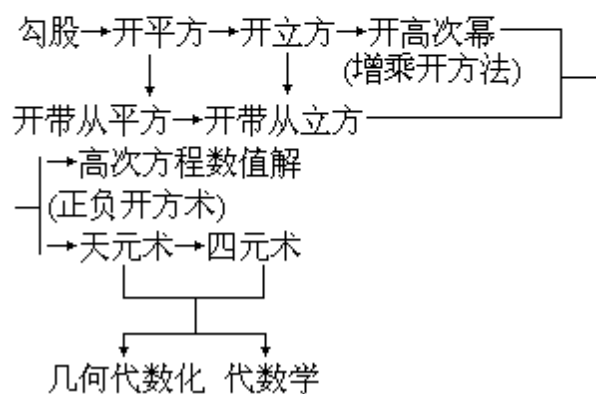


表 二



割圆术和圆周率

自然科学史研究所 何绍庚

刘徽割圆术

在解决求圆周长、圆面积、球体积等类问题的时候，经常要用到圆周率。圆周率可以表示成无限不循环小数

$$3.1415926535\ldots$$

近代数学已经证明，圆周率是一个不能用有限次加减乘除和开各次方等代数运算求出来的数，就是所谓“超越数”。

中国在两汉之前，一般采用的圆周率是“周三径一”，也就是 $\pi=3$ 。很明显，这个数值非常粗糙，用它进行计算会造成很大的误差。随着生产和科学的发展，“周三径一”就越来越不能满足精确计算的要求。因此，人们开始探索比较精确的圆周率。例如，据公元一世纪初制造的律嘉量斛（一种圆柱形标准量器）推算，它所取的圆周率是 3.1547。公元二世纪初，东汉天文学家张衡在《灵宪》中取用 $\frac{730}{232} \approx 3.1466$ ，又在球体积公式中取用 $\sqrt{10} \approx 3.1622$ 。三国时期吴人王蕃(228 - 266)在浑仪论中说取 $\frac{142}{45} \approx 3.1556$ 。

上述这些圆周率近似值，比起古率“周三径一”，精确度有所提高，其中圆周率值 $\sqrt{10}$ 还是世界上最早的记录。但是这些数值大多是经验结果，还缺乏坚实的理论基础。因此，研究计算圆周率的科学方法仍然是十分重要的工作。

魏晋之际的杰出数学家刘徽，在计算圆周率方面，作出了非常突出的贡献。他在为古代数学名著《九章算术》作注的时候，正确地指出，“周三径一”不是圆周率值，实际上是圆内接正六边形周长和直径的比值。用古法计算圆面积的结果，不是圆面积，而是圆内接正十二边形面积。经过深入研究，刘徽发现圆内接正多边形边数无限增加的时候，多边形周长无限逼近圆周长，从而创立割圆术，为计算圆周率和圆面积建立起相当严密的理论和完善的算法。

刘徽割圆术的主要内容和根据是：

第一，圆内接正六边形每边的长等于半径。

第二，根据勾股定理，从圆内接正 n 边形每边的长，可以求出圆内接正 $2n$ 边形每边的长。

第三，从圆内接正 n 边形每边的长，可以直接求出圆内接正 $2n$ 边形面积。如右图，四边形 OADB 的面积等于半径 OD 和正 n 边形边长 AB 乘积的一半。

第四，圆面积 S 满足不等式

$$S_{2n} < S < S_{2n} + (S_{2n} - S_n)。$$

如右图，四边形 OADB 的面积和 $\triangle OAB$ 的面积之差等于以 AD 和 DB 为弦的两个直角三角形面积，而 OADB 的面积再加上这样两个直角三角形的面积，就有一部分超出圆周了。

第五，刘徽指出：“割之弥细，所失弥少。割之又割，以至于不可割，则与圆周合体而无所失矣。”（《九章算术》方田章圆田术刘徽注）这就是说，圆内接正多边形的边数无限增加的时候，它的周长的极限是圆周长，它的面积的极限是圆面积。

刘徽根据割圆术从圆内接正六边形算起，边数逐渐加倍，相继算出正十二边形，正二十四边形，……以至于正九十六边形每边的长，并且求出正一百九十二边形的面积 $S_{192} = 3 \cdot 14 \frac{64}{625}$ 。这相当于求得 $\pi = 3.141024$ 。

他在实际计算中，采用了 $\pi = 3.14 = \frac{157}{50}$ 。不仅这样，刘徽还继续求到圆

内接正三千零七十二边形的面积，验证了前面的结果，并且得出更精确的圆周率值

$$\pi = \frac{3927}{1250} = 3.1416。$$

刘徽的割圆术，为圆周率研究工作奠定了坚实可靠的理论基础，在数学史上占有十分重要的地位。他所得到的结果在当时世界上也是很先进的。刘徽的计算方法只用圆内接多边形面积，而无须外切形面积，这比古希腊数学家阿基米德（前 287 - 前 212）用圆内接和外切正多边形计算，在程序上要简便得多，可以收到事半功倍的效果。同时，为解决圆周率问题，刘徽所运用的初步的极限概念和直曲转化思想，这在一千五百年前的古代，也是非常难能可贵的。

祖冲之圆周率

在刘徽之后，南北朝时期杰出数学家祖冲之，把圆周率推算到更加精确的程度，取得了极其光辉的成就。据《隋书·律历志》记载，祖冲之确定了圆周率的不足近似值是 3.1415926，过剩近似值是 3.1415927，真值在这两个近似值之间，就是

$$3.1415926 < \pi < 3.1415927。$$

同时，祖冲之还确定了圆周率的两个分数形式的近似值：

$$\text{约率} = \frac{22}{7} \approx 3.14, \text{密率} = \frac{355}{113} \approx 3.1415929。$$

祖冲之圆周率的不足近似值 3.1415926 和过剩近似值 3.1415927，准确到小数点后七位，这在当时世界上非常先进，直到一千年以后，十五世纪阿拉伯数学家阿尔·卡西（？ - 1436）和十六世纪法国数学家韦达（1540 - 1603）才打破了祖冲之的记录。

此外，在十进小数概念未充分发展以前，中国古代数学家和天文学家往往用分数表示常量的近似值。祖冲之提出的约率 $\pi \approx \frac{22}{7}$ ，前人已经用

到过，密率 $\pi \approx \frac{355}{113}$ ，是他所发现的。密率是分子分母都在1000以内的分数

形式的圆周率最佳近似值。用这两个近似值计算，可以满足一定精度的要

求，并且非常简便。祖冲之提出的密率也是一千年后才由德国人奥托(约1550 - 1605)和荷兰人安托尼兹(1527 - 1607)重新得到。但是，在西方数学史上， $\pi = \frac{355}{113}$ 经常称为“安托尼兹率”。

我们知道，圆周率在生产实践中应用非常广泛，在科学不很发达的古代，计算圆周率是一件相当复杂和困难的工作。因此，圆周率的理论和计算在一定程度上反映了一个国家的数学水平。祖冲之算得小数点后七位准确的圆周率，正是标志着我国古代高度发展的数学水平，引起了人们的重视。自从我国古代灿烂的科学文化逐渐得到世界公认以后，一些人就建议把 $\pi = \frac{355}{113}$ 称为“祖率”，以纪念祖冲之的杰出贡献。

祖冲之关于圆周率的研究工作和其他重大贡献记载在《缀术》一书中，可惜这部内容丰富的数学专著后来失传了。因此，祖冲之推算圆周率的方法现在已经无法查考。但是，每一项重大科学成果都必定建立在前人成就的基础上。现在，一般都认为，祖冲之是继承刘徽割圆术的方法用来求出他的不足和过剩两个近似值的。通过现代计算验证，如果按照割圆术计算，要得到3.1415926和3.1415927，必须求出圆内接正一万二千二百八十八边形的边长和二万四千五百七十六边形的面积。这样求出的圆周率才能准确到小数点后七位。我国古代是用算筹计算的，因此，对九位数做上百次加、减、乘、除和开方运算，还要适当选择有效数字，保证准确的误差范围，这是一项非常艰巨复杂的计算工作，显然只有掌握纯熟的理论和技巧，具备踏踏实实、一丝不苟的研究精神，才能取得这样杰出的成就。

割圆连比例和 π 的无穷级数表达式

清代初年，蒙古族科学家明安图(? - 1765)著《割圆密率捷法》一书。在这部数学专著中，明安图完整地证明了正弦和反正弦的幂级数展开式和 π 的无穷级数表示式等九个公式，为用解析方法研究三角函数和圆周率开辟了新的途径。

在明安图所处的时代，我国科学技术已逐渐形成了落后的局面。为了提高数学水平，当时一些比较优秀的数学家，在经过分析鉴别和实际运用的基础上，吸收了陆续传入的一些西方数学知识，接受了如三角函数、对数等西方数学的重要成就。在明安图证明的九个公式中有正弦函数展开式和 π 的无穷级数表达式：

$$\sin x = x - \frac{1}{3!}x^3 + \frac{1}{5!}x^5 - \dots, \\ \frac{\pi}{3} = 1 + \frac{1^2}{4 \cdot 3!} + \frac{1^2 \cdot 3^2}{4^2 \cdot 5!} + \dots.$$

后一个公式是牛顿于1676年发现的，前一个公式是格雷果里(1638 - 1675)于1667年发现的。但是这些公式在清初传入中国的时候，都没有介绍公式的证明方法。这种情况给当时的数学工作者掌握和运用这些知识带来了一定的困难。显然，不能只满足于盲目引用片断的公式，必须了解这些公式的确实可靠性以及它们能够成立的道理，这才是正确的态度。

明安图花费半生心血刻苦钻研，不仅完满解决了这个问题，而且还推

导出展开三角函数和反三角函数的新公式，从而有所前进。从《割圆密率捷法》还可以看出，明安图的证明方法是他所创造的“割圆连比例”方法，它的具体过程大致可以归纳为下列几个步骤：

第一，设 $AD=L$ ，并把 \widehat{AD} 分为 m 等分，每等分对应的弦长是 $L_{1/m}$ 。

第二，当 $m=2$ 时，明安图继承和发展了中国古代传统数学的割圆术，根据相似三角形对应边成比例，逐步推算(如图)，把 $AD=L$ 表示为 $L_{1/2}$ 的一个幂级数。

第三，当 $m=5$ 时，明安图吸取和推广了外国有关的数学知识，把 L 表示为 $L_{1/5}$ 的一个多项式。

第四，利用第二、三两步分别把 L 表达为 $L_{1/2}$ 、 $L_{1/5}$ 的公式，然后相互代入，逐步推导，顺次求出把 L 表达为 $L_{1/10}$ 、 $L_{1/100}$ 、 $L_{1/10000}$ 、……关系式的系数。显然，如果把弧分成 10000 等分，这时的弦和弧的长度已经相当接近了。

当 m 趋向于无穷的时候，就可以取极限，从而求出弦 L 和 \widehat{AD} 弧长的关系式。

明安图割圆连比例的中心思想是根据相似三角形对应边成比例的道理，得出一连串比例关系式，求出适当的折线长度，然后用折线逼近圆弧，从折线和弦的关系导出弧和弦的关系。

明安图采用这种中西结合、融会贯通、用割圆连比例把它们统一起来的方法，成功地证明了前面提到的公式，从而把三角函数和圆周率的研究提高到一个新的水平，这是明安图的重大贡献。不仅这样，明安图对于直曲关系转化的认识也有了新的提高。在古代割圆术中，对于直曲关系转化的认识表现在用圆内接正多边形逼近圆周。而明安图指出：弓形中的弧是曲线，弦是直线。曲线和直线总有区别，不能等同。但是弧和弦的关系不是无法解决的。当我们把某段弧长等分得十分细，以至于无穷，就可以把弧和弦统一起来，而得出彼此相求的关系。这样，他的认识就超出了圆内接正多边形的范围，也超出了仅仅是求圆周长的范围，开始讨论任意长度弦和它所对弧之间的相互关系。这种对弦弧、直曲关系的辩证认识，为明安图解决展开三角函数问题提供了正确的思维途径。

项名达“椭圆求周术”

清代嘉庆、道光年间的数学家项名达(1789 - 1850)，在他所著的《象数一原》一书中，概括和推广了三角函数展开式方面的研究成果。同时，他还得到了椭圆周长公式：

$$P = 2\pi a \left(1 - \frac{1}{2^2} e^2 - \frac{1^2 \cdot 3}{2^2 \cdot 4^2} e^4 - \dots \right),$$

式中 $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$ ， a 、 b 是椭圆的半长轴和半短轴， e 是离心率，可以

表示椭圆的扁圆程度。他又得到圆周率倒数公式：

$$\frac{1}{\pi} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2^2} - \frac{1^2 \cdot 3}{2^2 \cdot 4^2} - \dots \right).$$

项名达求椭圆周长的方法，因为他病重，未能完整地写下来。后来，项名达的朋友按照他的思路为“椭圆求周术”补作了《图解》。根据项名达提出的一些原则和《图解》，我们可以看到，他推导椭圆周长公式采用了折线无限增多以逼近椭圆圆周的方法。项名达指出：在等分椭圆的大圆圆周的时候，虽然相应椭圆圆周上的线段大小不等，有所谓“加减差”，但是，对于圆弧析分越多，差数就越小，椭弦和椭弧逐渐相合。当析分到无限多的时候，椭弦和就是椭圆弧长。由此可见，我国古代传统的割圆术，在这里又超越了计算圆弧的范围，发展到应用于椭圆的情形，从而使对直曲关系转化的认识进一步提高到一个新水平。项名达关于椭圆求周的计算程序完全符合于椭圆积分的法则。

从明安图和项名达的成就，我们也可以看到，这一时期的中国数学家已经具备了某些微积分思想的萌芽。

虽然由于各种原因，我国未能按照具有自己特色的道路进展到这一阶段，但是，他们的杰出贡献为顺利接受笛卡儿(1596 - 1650)、牛顿、莱布尼兹(1646 - 1716)等人创立的解析几何、微积分等高等数学知识，促使从常量数学到变量数学的发展，奠定了重要的思想基础。

中国剩余定理

数学研究所 李文林 袁向东

在我国古代劳动人民中，长期流传着“隔墙算”、“剪管术”、“秦王暗点兵”等数学游戏。有一首“孙子歌”，甚至远渡重洋，输入日本：

“三人同行七十稀，五树梅花廿一枝，
七子团圆正半月，除百令五便得知。”

这些饶有趣味的数学游戏，以各种不同形式，介绍世界闻名的“孙子问题”的解法，通俗地反映了中国古代数学一项卓越的成就。

“孙子问题”在现代数论中是一个一次同余问题，它最早出现在我国公元四世纪的数学著作《孙子算经》中。《孙子算经》卷下“物不知数”题说：有物不知其数，三个一数余二，五个一数余三，七个一数又余二，问该物总数几何？显然，这相当于求不定方程组

$$N = 3x+2, N = 5y+3, N = 7x+2$$

的正整数解 N ，或用现代数论符号表示，等价于解下列的一次同余组：

$$N \equiv 2 \pmod{3} \quad N \equiv 3 \pmod{5} \quad N \equiv 2 \pmod{7}。$$

《孙子算经》所给答案是 $N=23$ 。由于孙子问题数据比较简单，这个答案通过试算也可以得到。但是《孙子算经》并不是这样做的。“物不知数”题的术文指出解题的方法：三三数之，取数七十，与余数二相乘；五五数之，取数二十一，与余数三相乘；七七数之，取数十五，与余数二相乘。将诸乘积相加，然后减去一百零五的倍数。列成算式就是：

$$N = 70 \times 2 + 21 \times 3 + 15 \times 2 - 2 \times 105。$$

这里 105 是模数 3、5、7 的最小公倍数，容易看出，《孙子算经》给出的是符合条件的最小正整数。对于一般余数的情形，《孙子算经》术文指出，只要把上述算法中的余数 2、3、2 分别换成新的余数就行了。以 R_1 、 R_2 、 R_3 表示这些余数，那么《孙子算经》相当于给出公式

$$N = 70 \times R_1 + 21 \times R_2 + 15 \times R_3 - P \times 105 (P \text{ 是整数})。$$

孙子算法的关键，在于 70、21 和 15 这三个数的确定。后来流传的《孙子歌》中所说“七十稀”、“廿一枝”和“正半月”，就是暗指这三个关键的数字。《孙子算经》没有说明这三个数的来历。实际上，它们具有如下特性：

$$\begin{aligned} 70 &= 2 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{3} \quad 1 \pmod{3}; \\ 21 &= 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{5} \quad 1 \pmod{5}; \\ 15 &= 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{7} \quad 1 \pmod{7}。 \end{aligned}$$

“孙子歌”又名“韩信点兵”，载于明程大位《算法统宗》（公元 1592 年），但是实际上在这以前早已流传民间。

两整数 A 、 B ，若被数 m 相除所得余数相同，就称 A 、 B 对 m 同余，记作 $A \equiv B \pmod{m}$ ，这就是所谓一次同余式。 m 叫做“模”。

也就是说,这三个数可以从最小公倍数 $M=3 \times 5 \times 7=105$ 中各约去模数 3、5、7 后,再分别乘以整数 2、1、1 而得到。假令 $k_1=2, k_2=1, k_3=1$, 那么整数 $k_i (i=1, 2, 3)$ 的选取使所得到的三数 70、21、15 被相应模数相除的时候余数都是 1。由此出发,立即可以推出,在余数是 $R_1、R_2、R_3$ 的情况下,

$$R_1 \times k_1 \times \frac{M}{3} = R_1 \times 2 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{3} \quad R_1(\text{mod } 3);$$

$$R_2 \times k_2 \times \frac{M}{5} = R_2 \times 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{5} \quad R_2(\text{mod } 5);$$

$$R_3 \times k_3 \times \frac{M}{7} = R_3 \times 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{7} \quad R_3(\text{mod } 7)。$$

综合以上三式又可得到

$$\begin{aligned} R_1 \times 2 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{3} + R_2 \times 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{5} \\ + R_3 \times 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{7} \quad R_1(\text{mod } 3); \\ R_2(\text{mod } 5); \\ R_3(\text{mod } 7)。 \end{aligned}$$

因为 $M=3 \times 5 \times 7$ 可被它的任一因子整除,于是又有:

$$\begin{aligned} R_1 \times 2 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{3} + R_2 \times 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{5} \\ + R_3 \times 1 \times \frac{3 \times 5 \times 7}{7} - pM \quad R_1(\text{mod } 3); \\ R_2(\text{mod } 5); \\ R_3(\text{mod } 7)。 \end{aligned}$$

这里 p 是整数。这就证明了《孙子算经》的公式。应用上述推理,可以完全类似地把孙子算法推广到一般情形:设有一数 N , 分别被两两互素的几个数 $a_1、a_2、\dots a_n$ 相除得余数 $R_1、R_2、\dots R_n$ 即

$$N \equiv R_i (\text{mod } a_i) (i = 1, 2, \dots, n),$$

只需求出一组数 k_i , 使满足

$$k_i \frac{M}{a_i} \equiv 1 (\text{mod } a_i) (i = 1, 2, \dots, n),$$

那么适合已给一次同余组的最小正数解是

$$\begin{aligned} N = (R_1 k_1 \frac{M}{a_1} + R_2 k_2 \frac{M}{a_2} + R_3 k_3 \frac{M}{a_3} + \dots + R_n k_n \frac{M}{a_n}) - pM \\ (P \text{ 是整数}, M = a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n), \end{aligned}$$

这就是现代数论中著名的剩余定理。如上所说,它的基本形式已经包含在《孙子算经》“物不知数”题的解法之中。不过《孙子算经》没有明确地表述这个一般的定理。

孙子问题出现在公元四世纪的中国算书中,这并不是偶然的。我国古代天文历法资料表明,一次同余问题的研究,明显地受到天文、历法需要的推动,特别是和古代历法中所谓“上元积年”的计算密切相关。大家知道,一部历法,需要规定一个起算时间,我国古代历算家把这个起点叫做

“历元”或“上元”，并且把从历元到编历年所累积的时间叫做“上元积年”。上元积年的推算需要求解一组一次同余式。以公元三世纪三国时期魏国施行的《景初历》做例，这部历法规定以冬至、朔旦(朔日子夜)和甲子日零时会合的时刻作为历元。设 a 是一回归年日数， b 是一朔望月日数，当年冬至距甲子日零时是 R_1 日，离平朔时刻是 R_2 日，那么《景初历》上元积元数 N 就是同余组

$$aN \equiv R_1 \pmod{60} \quad R_2 \pmod{b}$$

的解。到了南北朝时期，祖冲之《大明历》，(公元 462 年)更要求历元必须同时是甲子年的开始，而且“日月合璧”、“五星联珠”(就是日、月、五大行星处在同一方位)，月亮又恰好行经它的近地点和升交点。这样的条件下推算上元积年，就相当于要求解十个同余式了。天文历法数据一般又都十分庞杂，所以，在《孙子算经》成书前后的魏晋南北朝时期，我国的天文历算家无疑已经能够求解形式比《孙子算经》“物不知数”题复杂得多的一次同余式，因而必定掌握了按一定程序计算一次同余式的方法。《孙子算经》比例题的形式总结、反映了这一事实。以后天文历算家长期沿用孙子算法推算上元积年，这中间肯定会引起更加深入的探讨。到公元十三世纪，大数学家秦九韶集前法之大成，终于在一次同余式的研究上获得了超越前人的辉煌成果。

秦九韶，字道古，生活于南宋时期，自幼喜好数学，经过长期积累和苦心钻研，于公元 1247 年写成《数书九章》。这部中世纪的数学杰作，在许多方面都有创造，其中求解一次同余组的“大衍求一术”和求高次方程数值解的“正负开方术”，更是具有世界意义的成就。

这里主要介绍秦九韶对一次同余论的伟大贡献。

秦九韶在《数书九章》中明确地系统地叙述了求解一次同余组的一般计算步骤。秦的方法，正是前述的剩余定理。我们知道，剩余定理把一般

的一次同余问题归结为满足条件 $k_i \equiv 1 \pmod{a_i}$ 的一组数 k_i 的选定。秦

九韶给这些数起名叫“乘率”，并且在《数书九章》卷一“大衍总术”中详载了计算乘率的方法——“大衍求一术”。

为了介绍“大衍求一术”，我们以任一乘率 k_i 的计算作例。如果 G_i

$= \frac{M}{a_i} > a_i$ ，秦九韶首先令 a_i 除 G_i ，求得余数 $g_i < a_i$ ，那么

$$G_i \equiv g_i \pmod{a_i},$$

于是 $k_i G_i \equiv k_i g_i \pmod{a_i},$

但是因为 $k_i G_i \equiv 1 \pmod{a_i},$

所以问题归结为求 k_i 使适合 $k_i g_i \equiv 1 \pmod{a_i}$ 。秦九韶把 a_i 叫“定数”，

按历元的定义，从历元到当年冬至，恰好经过 N 个回归年，合 $a \times N$ 日。甲子纪日，以甲子为首 60 日一周，所以 60 除 aN ，余数应该是当年冬至离最近一个甲子日的日数，这就得到同余式 $aN \equiv R_1 \pmod{60}$ 。按同样道理可以得出第二个同余式。

积年的方法，原来开始于汉代。但是由于汉代天文历法家利用了当时天文观测的特殊数据，他们推算上元积年，只要解一二个数据不太复杂的一次同余式。例如可以验证，《三统历》(公元前一世纪)的上元积年满足形如

g_i 叫“奇数”，他的“大衍求一术”，用现代语言解释，实际就是把奇数 g_i 和定数 a_i 辗转相除，相继得商数 q_1 、 q_2 、…… q_n 和余数 r_1 、 r_2 、…… r_n ，在辗转相除的时候，随即算出下面右列的 c 值：

	商数	余数	c 值
a_i/g_i	q_1	r_1	$c_1=q_1$
g_i/r_1	q_2	r_2	$c_2=q_2c_1+1$
r_1/r_2	q_3	r_3	$c_3=q_3c_2+c_1$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
r_{n-2}/r_{n-1}	q_n	r_n	$c_n=q_nc_{n-1}+c_{n-2}$

秦九韶指出，当 $r_n=1$ 而 n 是偶数的时候，最后得到的 c_n 就是所求乘率 k_i 。如果 $r_n=1$ 而 n 是奇数，那么把 r_{n-1} 和 r_n 相除，形式上令 $q_{n+1}=r_{n-1}-1$ ，那么余数 r_{n+1} 仍旧是 1，再作 $c_{n+1}=q_{n+1}c_n+c_{n-1}$ ，这时 $n+1$ 是偶数， c_{n+1} 就是所求的 k_i 。不论哪种情形，最后一步都出现余数 1，整个计算到此终止，秦九韶因此把他的方法叫做“求一术”（至于“大衍”的意思，秦九韶本人在《数书九章》序中把它和《周易》“大衍之数”相附会）。可以证明，秦九韶这一算法是完全正确，十分严密的^{*}。

在秦九韶那个时代，计算仍然使用算筹。秦九韶在一个小方盘上，右上布置奇数 g ，右下布置定数 a ，左上置 1（他叫它做“天元 1”），然后在右行上下交互以少除多，所得商数和左上（或下）相乘并入左下（或上），直到右上方出现 1 为止。下页就是秦九韶的一般筹算图式，右边是一个数字例子（ $g=20$ ， $a=27$ ， $k=c_4=23$ ）。

秦九韶在《数书九章》中采集了大量例题，如“古历会积”、“积尺寻源”、“推计土功”、“程行计地”等等，广泛应用大衍求一术来解决历法、工程、赋役和军旅等实际问题。在这些实际问题中，模数 a_i 并不总是两两互素的整数。秦九韶区分了“元数”（ a_i 是整数）、“收数”（ a_i 是小数）、“通数”（ a_i 是分数）等不同情形，并且对每种情形给出了处理方法。“大衍总术”把“收数”和“通数”化成“元数”的情形来计算，而对于元数不两两互素的情形，给出了可靠的程序，适当选取那些元数的因子作定数而把问题归结为两两互素的情形。所有这些系统的理论，周密的考虑，即使以今天的眼光看来也很不简单，充分显示了秦九韶高超的数学水平和计算技巧。

秦九韶小时曾跟随他父亲到南宋京城杭州，向太史局（主管天

^{*} $4617 \times p - 135 \pmod{1728}$ （ p 是整数，积年数 $x = 4617 \times p$ ）的同余式。这样的同余式是通过试算就可以得到答案的。从公元三世纪开始，随着天文测量技术的提高，对历法提出更精密的要求来，这时推算上元积年的同余式越来越复杂，这就促使当时的天文历算家去寻求一次同余式的一般计算方法。

事实上，设 $l_2=q_2$ ， $l_3=q_3l_2+1$ ， $l_4=q_4l_3+l_2$ ，…… $l_n=q_nl_{n-1}+l_{n-2}$ ，那么 $r_1=a_i-giq_1=a_i-c_1gi$ ，

天元 1	奇 g_i 定 a_i	1,20 27
1, $c_1=q_1,$	g_1 r_1 (q_1)	1,20 1,7
$c_2=c_1q_2+1,$ $c_1,$	(q_2) r_2 r_1	3,6 1,7
⋮		
$c_{n-2},$ $c_{n-1}=c_{n-2}q_{n-1}+c_{n-3},$	r_{n-2} r_{n-1} (q_{n-1})	3,6 4,1
$c_n=c_{n-1}q_n+c_{n-2},$ $c_{n-1},$	(q_n) 1 r_{n-1}	23,1 4,1

文历法的机构)的官员学习天文历法，“大衍求一术”很可能就是他总结天文历法计算上元积年方法的结果。但是“大衍求一术”似乎没有为他同时代的人所充分理解。明中叶以后几乎失传。一直到清代，“大衍求一术”又重新被发掘出来，引起了许多学者(张敦仁、李锐、骆腾凤、黄宗宪等)的兴趣。他们对“大衍求一术”进行了解释、改进和简化，其中黄宗宪《求一术通解》对模数非两两互素的情形给出了更加简明的方法，但是时代已是晚清。

从《孙子算经》“物不知数”题到秦九韶的“大衍求一术”，我国古代数学家对一次同余式的研究，不仅在中国数学史上而且在世界数学史上占有光荣的地位。在欧洲，最早接触一次同余式的，是和秦九韶同时代的意大利数学家斐波那契(1170 - 1250)，他在《算法之书》中给出了两个一次同余问题，但是没有一般的算法。这两个问题从形式到数据都和孙子物不知数题相仿，整个水平没有超过《孙子算经》。直到十八、十九世纪，大数学家欧拉(1707 - 1783)于公元 1743 年、高斯(1777 - 1855)于公元 1801 年对一般一次同余式进行了详细研究，才重新获得和秦九韶“大衍求一术”相同的定理，并且对模数两两互素的情形给出了严格证明。欧拉和高斯事先并不知道中国人的工作。公元 1852 年英国传教士伟烈亚力(1815 - 1887)发表《中国科学摘记》，介绍了《孙子算经》物不知数题和秦九韶的解法，引起了欧洲学者的重视。1876 年，德国马蒂生(1830 - 1906)首先指出孙子问题的解法和高斯方法一致，当时德国著名数学史家康托(1829 - 1920)看到马蒂生的文章以后，高度评价了“大衍术”，并且称赞发现这一方法的中国数学家是“最幸运的天才”。直到今天，“大衍求一术”仍然引起西方数学史家浓厚的研究兴趣。如 1973 年，美国出版的一部数学史专著《十三世纪的中国数学》中，系统介绍了中国学者在一次同余论方面的成就，作者力勃雷希(比利时人)在评论秦九韶的贡献的时候说道：“秦九韶在不定分析方面的著作时代颇早，考虑到这一点，我们就会看

到，萨顿⁹称秦九韶为‘他那个民族、他那个时代、并且确实也是所有时代最伟大的数学家之一’，是毫不夸张的。”

印度学者对一次同余论也有过重要贡献。从公元六世纪到十二世纪，他们发展了一种称为“库塔卡”的算法，用来求解和一次同余式等价的不定方程组。“库塔卡”法出现在孙子算法之后，印度数学家婆罗门笈多(七世纪)、摩柯吠罗(九世纪)等人的著作中，都有和物不知数题相同的一次同余问题。这当然不是要借此断言“库塔卡”法一定受到了孙子算法的影响，但是有人(如万海依等)硬说中国的“大衍求一术”来源于“库塔卡”，就是毫无根据的妄说了。万海依居然把中国算法中数码从左到右横写作为“大衍术”受印度影响的重要根据。大家知道，中国古代至迟从春秋战国时期就开始使用算筹记数，我们今天还可以从现存的公元前三世纪的货币上看到这种从左到右的记数方法。由此可见，万海依的论点多么荒唐可笑。中国古代数学家对一次同余论的研究有明显的独创性和继承性，“大衍求一术”在世界数学史上的崇高地位是毋庸置疑的，正因为这样，在西方数学史著作中，一直公正地称求解一次同余组的剩余定理为“中国剩余定理”。

⁹ $i-r_1q_2=gi-(a_i-c_1gi)q_2=c_2gi-l_2ai$ ，

高次方程数值解法和天元术

自然科学史研究所 郭书春

在我国古代，解方程叫做开方术¹。开方术到了宋代发展成为求高次方程的数值解，创造了增乘开方法，创造了列方程的方法——天元术和高次方程组的解法——四元术，远远走在当时世界先进水平的前面。

开方作法本源

讲到宋代的开方术，首先要讲到有重大意义的“开方作法本源”，根据《永乐大典》卷一六三四四抄录的杨辉《详解九章算法》的记载，它是十一世纪上半叶数学家贾宪在《黄帝九章算经细草》中首先提出的，是一个指数是正整数的二项式定理系数表。欧洲人一般把这个表称为“帕斯卡三角”，其实帕斯卡(1623—1662)得出这个表(公元1654年)比贾宪晚了六百多年，就是在帕斯卡之前先提到这个表的中亚人阿尔·卡西(公元1427年提出)，和德国人阿皮纳斯(公元1527年提出)，也迟出四五百年。我们有理由把这个表称为“贾宪三角”(也可称“杨辉三角”)。

贾宪三角下面注解中的前三句话，“左袞乃积数，右袞乃隅算，中藏者皆廉”说出了贾宪三角的结构和它们在开方术中的作用：它的每一行的数字表示 $(a+b)^n$ ($n=0, 1, 2, 3, \dots$) 展开式的各项系数。最外边左、右斜线上的数字，都分别是各次开方的积(a^n)和隅算(b^n)的系数，中间所藏的“二”、“三、三”，“四、六、四”等等分别是开平方、立方、三乘方(即四次方)的廉。这里积、隅、廉等名词来源于古代的开方术。贾宪三角最初来源于开方术，又用于开方术，就是贾宪“立成释锁法”，所以称为“开方作法本源”。唐宋历算家常把一些数学常数列成算表，以备计算人员使用，这种算表称作“立成”。“释锁”是宋元时期开方的代名词，形象地比喻开方求正根如同打开一把锁。“立成释锁法”就是以贾宪三角作为立成的开方法。注解中后两句“以廉乘商方，命实而除之”，简要说明了用各行系数进行开方的方法，就是以各廉法乘商(就是根的一位得数)的相应次方，然后从实中减去。如开平方

\sqrt{N} 的时候利用贾宪三角的第三层

$$(x_1+x_2)^2=x_1^2+2x_1x_2+x_2^2=x_1^2+(2x_1+x_2)x_2,$$

确定初商 x_1 后，再定次商 x_2 (可用 $2x_1$ 试除余实 $N - x_1^2$)，加次商 x_2 于 $2x_1$ ，乘以 x_2 ，再从余实中减去。同样，开立方要用到贾宪三角的第四层的系数 1, 3, 3, 1。显然，同样的步骤对于任意高次幂的开方都适用，所以，利

¹ $1-r_2q_3=(a_i-c_1g_i)-(c_2g_i-l_2a_i)q_3=l_3a_i-c_3g_i, \dots$

² $=1$ 并且 n 是偶数的时候(根据正文所说，总可以把 n 是奇数情形化作偶数情形来处理)，显然有 $m_{n-1}=l_{n-1}a_i-c_{n-1}g_i$ ； $m=cng_i-l_n a_i=1$ ，就是 $cng_i \equiv 1 \pmod{a_i}$ 。这就证明了 cn 就是所求的 k_5 。

秦九韶采用的方法是在那些元数 a_i 中约去适当的公因子，从而对每个元数求得一个因子 t_i ；使得 $m=t_1 \times t_2 \times \dots \times t_n$ 是那些 a_i 的最小公倍数，而且各个 t_i 两两互素，然后以这些 t_i 为定数，按大衍求一术计算相应的 k_i 。

用贾宪三角中的各廉，贾宪已经把我国沿用一千多年的开平方法、开立方法推广到开任意高次方，这是一个创新。

贾宪接着提出了“增乘方求廉法”，又称作“释锁求廉本源”，先依开方次数，列出位数(隅算在外)，以隅算 1 自下增入前位，到首位为止，再自下重复刚才的程序，每次低一位为止。如求开六次方的各廉，到五位，程序如下：

1	6				
1	5	15			
1	4	10	20		
1	3	6	10	15	
1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1

因此，6，15，20，15，6 便是六次方各廉。

贾宪三角对宋元数学得以达到当时世界数学高峰，起了重大作用。元代朱世杰用两组分别平行于两邪的平行线把各廉联结起来，为高阶等差级数求和问题和高次招差术的发展，提供了有力的数学工具。同时，求贾宪三角的各廉的增乘方法的塞本步骤，还可以用来直接进行开方，开辟了高次方程数值解法的新途径，这就是下面就要谈到的增乘开方法。贾宪三角对后世也有很大影响，明清许多重要数学著作都引用了它。

增乘开方法

在现代计算数学中求代数方程的数值解的时候，流行着一种极其简便的方法——秦九韶程序，这就是我国宋代的增乘开方法，它是由北宋贾宪首先提出、而由十三世纪上半叶南宋的秦九韶最后完成的。在欧洲，直到 1819 年英国人霍纳才创造了类似的方法，比秦九韶晚五百七十二年，而比贾宪晚了七百多年。

增乘开方法的产生把我国的高次方程数值解法推进到一个新的阶段。

贾宪提出的增乘开方法，不是一次运用贾宪三角中的系数 1, 2, 1; 1, 3, 3, 1; 1, 4, 6, 4, 1;而是用随乘随加的办法得到和一次运用上述系数同样的结果。如求 $x^4=N$ 的正根，先列开方式如下页的(1)，商得第一位得数是 x_1 (称为初商)。以初商乘隅加入下廉，以初商乘下廉加入上廉，以初商乘上廉加入方，以初商乘方从实中减去，如(2)式。如尽， x_1 就是所求的根。如不尽，再如(3)、(4)、(5)式所表示的那样，以初商乘隅，自下而上，继续随乘随加，并且以次低一层为止，最后得到减根后的方程(5)。用现代的符号写出，(5)式就是

$$x^4+4x_1x^3+6x_1^2x^2+4x_1^3x=N-x_1^4。$$

不言而喻，(5)式的系数就是贾宪三角的第五层。再对(5)式重复上述的步骤，商得次商 x_2 ，由下而上随乘随加，最后从实中减去，如尽， x_1+x_2 就是所求的根。如不尽，再重复(3)、(4)、(5)的步骤，求解第二次减根方程，直到求出所需的答数。

显然，这个方法比原来的开方法程序整齐，运算简捷，不仅很容易推广到任意高次幂的开方，也可以推广到求解任意高次方程的数值解。事实

人们的认识总是由低到高、从一个方面到更多的方面不断向

前发展。贾宪创造增乘开方法有不可磨灭的历史功绩。但是他用增乘开方法解决的只是限于 $x^2=N$, $x^3=N$, $x^4=N$ 之类的二项方程, 就是纯开方问题。而且到贾宪为止, 我国的方程的未知数的系数和实都是正数。据杨辉《田亩比类乘除捷法》和《算法通变本末》的记载, 首先突破这些规定的是十二世纪北宋数学家刘益, 他在《议古根源》中讨论了分别含有“负方”和“益隅”就是形如

的两类方程(其中 $a > 0$, $b > 0$), 并且创造了“益积术”和“减从术”解决这两类方程。这两种方法都不是增乘开方法, 但是其中“减从术”比较接近增乘开方法, 可以看作用增乘开方法解决负方、益隅两种类型方程这个认识长河中最初的两环。事实上, 《议古根源》中有一个用增乘开方法求益隅四次方程正根的例题, 开创了用增乘开方法求任何数字方程正根的先河。一百年后, 秦九韶在《数书九章》中把高次方程求正根的增乘开方法发展到了十分完备的程度。

秦九韶以前的数学家认为“实”是已知量，当然是正数，相当于常数项在等式的右端。秦九韶认为“实”最好和未知数放在一起，正负相消，组成开方式，这样可以把增乘开方的随乘随加贯彻到底，因此他规定“实常为负”。这样的开方式相当于方程

其中系数可正可负，可以是整数也可以是小数，有的方程高达十次。就是说秦九韶可以求解任何数字方程的正根，他自己称为“正负开方术”；当 $a_0 \neq 1$ 时，秦九韶称为“开连枝某乘方”；而方程的奇次幂系数都是零时，称为“开玲珑某乘方”。开方中减根后的方程的常数项一般越来越大，而接近于零，但有时常数项会由负变正，秦九韶称作“换骨”；有时常数项符号不变，而绝对值增大，叫做“投胎”。开方得到无理根时，秦九韶发挥了刘徽首创的继续开方计算“微数”的思想，用十进小数作无理根的近似值。

似值，这在世界数学史上也是最早的。

天元术

随着求高次方程正根的增乘开方法日臻完备，列方程的方法——天元术也逐步发展起来。设未知数列方程，今天对具备初等数学知识的人来说是轻车熟路，然而在天元术产生以前却非同小可。唐初大数学家王孝通为了列某些三次方程，只好借助于文字，他的思维过程和叙述形式非常复杂。随着要解决的高次方程越来越多，高次方程的造法也越来越难，创造一种简捷的列方程的方法成为人们的迫切需要。在北宋数学家把增乘开方法推广到开任意高次方之后，天元术的诞生就成为我国数学发展的必然结果。据记载，金元时期的北方，有许多天元术著作，可惜它们大都和贾宪的《黄帝九章算经细草》、刘益的《议古根源》一样亡佚了。现存的只有李冶的《测圆海镜》(公元 1248 年)、《益古演段》(公元 1259 年)和朱世杰的《算学启蒙》(公元 1299 年)、《四元玉鉴》(公元 1303 年)等著作。

用天元术列方程的方法是：首先“立天元一为某某”，就是现在的设未知数 x ，然后依据问题的条件列出两个相等的天元式(就是含这个天元的多项式)，把这两个天元式相减，就得到一个天元式，就是高次方程式。最后用增乘开方法求这个方程的正根。显然，天元术和现今代数方程的列法雷同，而在欧洲，只是在十六世纪才开始做到这一点。

天元术是金、元数学家独立创造的。我国古代的开方筹式给天元式提供了一个现实的原型。然而实现科学地表达天元式这一飞跃，要经过一个复杂曲折的过程。起初，人们用“天、上、……仙”九个字分别表示未知数的正幂，用“地、下、……鬼”九个字表示负幂，用“人”表示常数项。以后经过简化，用“天元”、“地元”分别表示未知数的正幂和负幂，用“太”表示常数项。李冶进一步加以改进，取消“地元”，只用一个天元表示未知数。他在《测圆海镜》中采用正幂在上、常数和负幂在下的古法，后来在《益古演段》中又颠倒过来，这样就使天元式和传统的开方式相一致。在进行天元式运算的时候，李冶有时在一次幂系数的右旁记一“元”字，有时在常数右旁记一“太”字；系数是负数的，在系数的个位数码上加一斜划。李冶的开方式中，没有“实常为负”的规定，而是可正可负。以后的朱世杰、郭守敬等人沿用了李冶的表示法。如多项式

$$25x^2 + 280x - 6905$$

可以记为

或

从李冶的著作中，我们可以看出，十三世纪上半叶人们已经熟练地掌握了多项式的加、减、乘、除(只限于用 x 的整数幂来除)。而表示方程的天元式都是有理整式。否则，用乘方消去根号，用通分化成整式，再求解。

四元术

我国早在两汉时期就能解一次联立方程组，《九章算术》中称作“方程术”。把天元术的原理应用于联立方程组，先后产生了二元术、三元术和四元术。这是十三世纪中到十四世纪初我国宋元时期数学家又一辉煌成

就。现有传本的朱世杰的《四元玉鉴》就是一部杰出的四元术著作。

所谓四元术，就是用天、地、人、物四元表示四元高次方程组。列式的方法是：在常数右侧记一“太”字，天、地、人、物四元和它们的乘幂的系数分别列于“太”字的下、左、右、上，相邻两未知数和它们的乘幂的积的系数记入相应的两行相交的位置上，不相邻的几个未知数的积的系数记入相应的夹缝中。我们用 x 、 y 、 z 、 u 分别表示天、地、人、物四元，那么它们在四元式中的位置如下图所示：

\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$\dots y^3u^3$	y^2u^3	yu^3	u^3	zu^3	z^2u^3	$z^3u^3\dots$
$\dots y^3u^2$	y^2u^2	yu^2	u^2	zu^2	z^2u^2	$z^3u^2\dots$
$\dots y^3u$	y^2u	yu	u	zu	z^2u	$z^3u\dots$
			yz			
$\dots y^3$	y^2	y	太	z	z^2	$z^3\dots$
			xu	xyz		
$\dots xy^3$	xy^2	xy	x	xz	xz^2	$xz^3\dots$
$\dots x^2y^3$	x^2y^2	x^2y	x^2	x^2z	x^2z^2	$x^2z^3\dots$
$\dots x^3y^3$	x^3y^2	x^3y	x^3	x^3z	x^3z^2	$x^3z^3\dots$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

如方程组

$$\begin{cases} -x - y - xy^2 - z + xyz = 0, & (1) \\ x - x^2 - y + z + xz = 0, & (2) \\ x^2 + y^2 - z^2 = 0, & (3) \end{cases}$$

就记为

这实际上是多元高次方程组的分离系数表示法。

四元术用四元消元法解题，把四元四式消去一元变成三元三式，再消去一元变成二元二式，再消去一元，就得到一个只含一元的天元开方式，然后用增乘开方法求正根。这和今天解方程组的方法基本一致。在欧洲，直到十八世纪法国数学家贝佐(公元 1775 年)才系统叙述了高次方程组消元法问题。

我国古代的数学家不止一次地攀登上当时世界数学发展的高峰，对于方程的研究作出了当时无与伦比的成就，为世界数学史和文明史作出了伟大的贡献。这是中华民族的骄傲。当然，任何事物都是可以一分为二的。我国古代对方程的研究往往局限于解决实际问题，不重视基础理论特别是方程性质的研究，因此，也存在不容忽视的缺点。比如，尽管我国负数的发现和应用是最早的，可是解方程却一直局限于求正根，对负根从未考虑；对于方程根的个数和次数的关系，根和系数的关系，从未讨论，甚至《议古根源》中相邻两个问题的答案刚好就是同一个二次方程的两个根，可是刘益和杨辉都没有指出这一点；四元术对于超过四元的方程组就没法应用；等等。这些问题要求贾宪、刘益、秦九韶、李冶、朱世杰等人当时就解决，是苛求于古人，但是它有可能在进一步发展中解决。然而，由于腐朽没落的封建制度的阻碍，宋元优秀的数学成就在这之后不仅没有发展，反而长期失传，加上帝国主义的侵略，现代科学也没有能在我国产生。直

到十八世纪末十九世纪初，焦循(1763 - 1820)、汪莱(1768 - 1813)、李锐、罗士琳(1789 - 1853)等人才重新研究这些问题。汪莱、李锐提出了根和系数的判别法：当方程系数有一次变号的时候，可以有一个正根；有二次变号的时候，有两个正根；有三次变号的时候，有三个或一个正根；有四次变号的时候，有四个或两个正根。这和所谓“笛卡儿符号法则”(公元 1637 年)是相同的。李锐还发现方程有负根有重根。但是得到上述结果在时间上比欧洲人要晚。

内插法和垛积术

自然科学史研究所 梅荣照

我国古代历法中应用的内插法

已知函数 $f(x)$ 在自变量是 x_1, x_2, \dots, x_n 时的对应值是 $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$, 求 x_i 和 x_{i+1} 之间的函数值的方法, 称作内插法。如果 x_n 是按等距离变化的, 称自变数等间距内插法; 如果 x_n 是按不等距离变化的, 称自变数不等间距内插法。例如 $f(x)=x^3$, 当 $x=1, 2, 3, 4, 5, \dots$ 时, $x^3=1, 8, 27, 64, 125, \dots$ 求 $x=4.26$ 时 $x^3=(4.26)^3$ 的值, 就可以应用等间距内插公式。等间距内插法的一般公式是:

$$f(x+nh) = f(x) + \frac{n}{1!} \Delta f(x) + \frac{n(n-1)}{2!} \Delta^2 f(x) + \dots + \Delta^n f(x) \quad (h > 0),$$

其中

$$\Delta f(x) = f(x_2) - f(x_1)$$

叫一级差分,

$$\Delta^2 f(x) = \Delta f(x_2) - \Delta f(x_1)$$

叫二级差分,

$$\Delta^n f(x) = \Delta^{n-1} f(x_2) - \Delta^{n-1} f(x_1)$$

叫 n 级差分。从 n 级差分的定义容易得到, 当 $f(x)$ 是一次函数时, 二级差分是 0; $f(x)$ 是二次函数时, 三级差分是 0; $f(x)$ 是 n 次函数时, $n+1$ 级差分是 0。

我国古代历法工作者, 为了制定一个好的历法, 很早就应用内插法的公式。

朔、望跟制定历法和计算日、月食有密切关系。怎样确定合朔的准确时刻, 一直是历法中一个重要的项目。根据一个朔望月的平均日数来确定合朔时刻, 叫做“平朔”。例如《古四分历》、西汉《太初历》和《三统历》就是用平朔来确定合朔时刻的。这种方法所取的分数不是过大, 就是过小, 年长日久, 合朔发生的时刻不是提前就是推后。最初历法工作者以为这种提前和推后是分数部分不精密造成的, 他们曾经企图调整分数部分以求得准确的平均朔望月日数来解决这个问题。但是由于月球运动的速度是随时间不同而变化的, 因此平朔的方法不可能得到真正的合朔时刻。东汉初年, 公元一世纪初, 天文学家发现了月球绕地球运行的变速运动。东汉建安十一年(公元 206 年), 刘洪在《乾象历》中首次提出用一次内插的方法来确定合朔的时刻。确定合朔发生的真正时刻叫做“定朔”。要根据月球运行的速度来计算合朔, 不仅需要知道每日月球的运行度数, 还必须知道小于一日的月球运行度数。刘洪测出月球在一个近点月(月球从近地点出发绕地球运行一周又回到近地点的时间间隔)里每日运行的度数。设日数是 n , n 日共行的度数是 $f(n)$, 对 $n+s$ ($s < 1$) 日月球运行的度数, 刘洪应用下列一次内插公式

$$f(n+s) = f(n) + s$$

进行计算，其中 Δ_1 是一级差分 $f(n+1) - f(n)$ 。刘洪以后，三国时期的杨伟，南北朝时期的何承天、祖冲之都是用这个公式计算月行度数的。因为月球运动速度一日之内就变化很大， $f(n)$ 不是一次函数， $f''(x) \neq 0$ ，因此上述公式只能得到不很精密的近似值。

随着天文观测技术的发展，天文学家认识到太阳运行速度的变化也影响到合朔时刻，因此提出测量日、月、五星视行度数的更加精密的内插公式。隋文帝开皇二十年(公元 600 年)，天文学家刘焯在《皇极历》中提出一个推算日、月、五星视行度数的等间距二次内插公式：

$$f(n+l+s) = f(n+l) + \frac{s}{1} \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right) + \frac{s}{1} (\Delta_1 - \Delta_2) - \frac{s^2}{2!} (\Delta_1 - \Delta_2) \\ (0 < s < 1, \quad \Delta_1 = f(n+l+1) - f(n+l), \quad \Delta_2 = f(n+l+2) - f(n+l+1))。$$

求太阳的视行度数时， l 是一节气的日数；求月行度数时， $l=1$ 日。刘焯的公式虽比以前精密得多，但是由于节气日数 l 实际上不是按等间距变化，日、月、五星也不是作等加速运动(就是说三级差分不等于 0)，因此仍然存在缺点。这两个问题分别由唐代一行和元代郭守敬等解决了。

唐玄宗开元十五年(公元 727 年)，一行在他的《大衍历》中提出了不等间距的二次内插公式：

$$f(t+s) = f(t) + s \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{l_1 + l_2} + s \left(\frac{\Delta_1}{l_1} - \frac{\Delta_2}{l_2} \right) - \frac{s^2}{l_1 + l_2} \left(\frac{\Delta_1}{l_1} - \frac{\Delta_2}{l_2} \right) (l_1 \neq l_2, s < 1)。$$

当 $l_1=l_2$ 时，和刘焯的等间距二次内插公式相同。

元世祖至元十八年(公元 1281 年)，郭守敬等的《授时历》在计算日、月、五星视行度数中考虑了日、月、五星运行的不等速运动情况，认为距离是时间的三次函数。不过《授时历》没有求出三次内插公式，而是用差分表来解决这个问题的。例如计算太阳每日的运行度数：《授时历》把冬至到春分(共 88.91 日)这一象限分成六段，测出每段太阳的实际运行度数，就可以算出以段为等间距的差分表。从表中知道，三级差分都相等而四级差分等于 0，因此考虑

$$f(t) = d + at + bt^2 + ct^3。$$

实际上， $f(0)=0$ (第 0 段的运行度数是 0)，可见 $d=0$ 。所以

$$f(t) = at + bt^2 + ct^3。$$

这样就可以变三次函数为二次函数

$$F(t) = \frac{f(t)}{t} = a + bt + ct^2。$$

应用二次内插公式便可以算出 $F(t)$ 的具体表达式，从而得到

$$f(t) = tF(t) = 513.32t - 2.46t^2 - 0.0031t^3。$$

令 $t=0, 1, 2, 3$ ，按差分的定义便可以求出 $f(0), \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ ($\Delta_4=0$)，继续按差分定义，用加减法就可以得出以日为等间距的差分表。

从公元三世纪到公元十三世纪一千多年中，内插法在天文学家和数学家中得到广泛的应用，除上面提到的以外，如唐代傅仁均的《戊寅历》(公元 619 年)、李淳风的《麟德历》(公元 664 年)、徐昂的《宣明历》(公元

萨顿(1884-1956)是美国科学史家，代表作是《科学史引论》(公元 1927-1947 年)。力勃雷希这里所引的话就出自那部书。

822 年)、宋代秦九韶《数书九章》(公元 1247 年)的“缀术推星”、元代朱世杰《四元玉鉴》(公元 1303 年)的“如象招数”等等。特别需要提出的是朱世杰的工作。

朱世杰“如象招数”的问题是已知一级差分

$$f(x)=(2+x)^3(x=1, 2, \dots, 15),$$

求 $f(n)$ ($n=15$)，他得到的公式是：

$$f(n) = n + \frac{1}{2!}n(n-1) + \frac{1}{3!}n(n-1)(n-2) + \frac{1}{4!}n(n-1)(n-2)(n-3),$$

这里 1 、 2 、 3 、 4 分别代表各级差分的第一个差分。朱世杰知道，公式的系数恰恰就是“古法七乘方图”(见后面第 133 页)从左边开始的斜线的数字的和，因此他把这一公式推广到一般情况是毫无问题的。注意到 $f(0)=0$ ，就可以看出朱世杰的公式和我们一开头介绍的等间距内插法的一般公式基本上是一样的，比欧洲最早得到这个公式的格雷果里(公元 1670 年)早三百六十七年。

恩格斯在论述“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的”的时候，首先提到天文学的需要而展开的数学。从上所述可以看出，我国的内插法是从天文学的需要中发展起来的，是在修改历法中逐渐完善的，它的应用比欧洲早一千年。

垛积术——高阶等差级数问题

所谓垛积术，就是高阶等差级数求和问题。这个问题和内插法一样，在我国古代是自成系统的。

公元前一世纪《九章算术》“均输章”曾经提出等差积数的问题，公元五世纪《张丘建算经》给出等差级数求和的公式：

$$\sum_{r=1}^n r = \frac{1}{2}n(n+1)。$$

高阶等差级数的研究开始于北宋沈括，元代朱世杰把它推到十分完备的境界。

沈括在《梦溪笔谈》卷十八“隙积术”中提到，上底宽是 a 个物体、长是 b 个物体、下底宽是 c 个物体、长是 d 个物体、高是 n 层的垛积(物体个数) s ，比上底宽是 a 、长是 b 、下底宽是 c 、长是 d ，高是 n 的长方棱

台的体积多 $\frac{n}{6}(c-a)$ ，即

$$\begin{aligned} s &= ab + (a+1)(b+1) + \dots + cd \\ &= \frac{n}{6} [(2b+d)a + (2d+b)c] + \frac{n}{6}(c-a)。 \end{aligned}$$

沈括怎样得到这个公式，没有说明，大概是先用具体数字进行试验，然后

我国古代，开方术不仅指求解形如 $x^n = N$ 的二项方程的根，也指求解任意数字方程的正根，涵义比现代广泛得多。而“方程”却不是指一元方程，而是指现今的线性方程组，和现今方程的概念不同。

“衰”，《永乐大典》作“衰”，据钱宝琮考证是“衰”之误，古代“衰”“斜”相通。

用归纳的方法得到的。

南宋理宗景定二年(公元 1261 年),杨辉在《详解九章算法》中继续对这个问题进行研究,他得到三个高阶等差级数公式:

$$s = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{n}{3}(n+1)(n+\frac{1}{2}), \quad (1)$$

$$s = a^2 + (a+1)^2 + (a+2)^2 + \dots + d^2 = \frac{n}{3}(a^2 + d^2 + ad + \frac{d-a}{2}), \quad (2)$$

$$s = 1 + 3 + 6 + 10 + \dots + \frac{n(n+1)}{2} = \frac{1}{6}n(n+1)(n+2)。 \quad (3)$$

(1)式是四隅垛,(2)式是方垛,(3)式是三角垛。他把这三式分别和《九章算术》的方锥、方亭、鳖臑相比类,可能是仿照《九章算术》的棋验法推得的。

元成宗大德七年(公元 1303 年),朱世杰在《四元玉鉴》中,利用了当时丰富的数学知识,对这个问题作了系统而详细的研究,并得到普遍的解法。

朱世杰研究了以等差级数 $\sum_1^n r$ 的和、二阶等差级数 $\sum_1^n r^2$ 的和分别是两个新级数的一般项的两种情形。在第一种情形中,

$$\sum_1^n \frac{r(r+1)}{2!} = \frac{n(n+1)(n+2)}{3!},$$

他连续以新级数的和作为一般项,就得到这一类高阶等差级数的一般公式:

$$\sum_1^n \frac{1}{p!} r(r+1)(r+2)\dots(r+p-1) = \frac{1}{(p+1)!} n(n+1)(n+2)\dots(n+p) \quad (p=1, 2, 3, \dots, 6)。 \quad (1)$$

在第二种情形中,从沈括或杨辉的公式知道,

$$\sum_1^n r^2 = \frac{1}{3!} n(n+1)(2n+1),$$

朱世杰继续以新级数的和作为一般项,

$$\sum_1^n \frac{1}{3!} r(r+1)(2r+1) = \frac{2}{3} \sum_1^n \frac{1}{2!} r(r+1) \cdot r + \frac{1}{3} \sum_1^n \frac{1}{2!} r(r+1),$$

从而引出形如 $\sum_1^n \frac{1}{2!} r(r+1) \cdot r$ 的高阶等差级数,他得到这类级数的一般形式的求和公式:

$$\begin{aligned} & \sum_1^n \frac{1}{p!} r(r+1)(r+2)\dots(r+p-1) \cdot r \\ &= \frac{1}{(p+2)!} n(n+1)(n+2)\dots(n+p)[(p+1)n+1] \\ & \quad (p=1, 2, 3, 4, 5。) \quad (2) \end{aligned}$$

在第一组公式中,从朱世杰所用的“落一形垛”、“更落一形垛”的名称可以知道,他已经认识到:前式的 r 项的和是后式的第 r 项,就是前式中到第 r 层为止的垛积降落一层是后式垛积的第 r 层。另外,从朱世杰在《四元玉鉴》中所用的“古法七乘方图”(如右图)可以看出,第一组的

级数恰好是从左边开始的第 $p+1$ 条斜线的数字的延伸，第 p 条斜线上最初 n 个数字的和恰好等于第 $p+1$ 条斜线上的第 n 个数。因此我们认为，朱世杰的第一组级数很可能就是直接从这个图得到的。他虽然只算到 $p=6$ 的情形，但是很明显， p 是任何正整数的时候都成立。

```

      1
     1 1
    1 2 1
   1 3 3 1
  1 4 6 4 1
 1 5 10 10 5 1
1 6 13 20 15 3 1

```

至于第二组级数怎样得出，朱世杰同样没有说明，很可能是通过推广的“古法七乘方图”求得的。

朱世杰在高阶等差级数方面的工作，不论在计算技术方面，还是在理论概括方面，水平都是很高的。

中国古代的无穷小分割思想

自然科学史研究所 郭书春

谈到古代数学的无穷小分割思想，人们便把目光投向古希腊的穷竭法。实际上，古希腊的数学家并没有使用无穷小分割和极限思想，他们的分割总是有一个剩余，最后用双重归谬法证明已知的命题。在微积分孕育时期的面积元素法产生之前，真正在数学证明中使用无穷小分割和极限思想的是中国数学家，首先是刘徽，后来是祖冲之父子。

无穷小分割思想的萌芽

像古希腊思想家提出了物质无限可分的若干命题一样，中国在先秦也产生了无穷小分割的若干命题。如《庄子·天下篇》引用名家的命题：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”墨家著作《墨子·经下》：“非半弗则不动，说在端。”《经说下》解释道：“非，半，进前取也，前则中无为半，犹端也。前后取，则端中也。必半，毋与非半，不可也。”显然，墨家和名家的命题是不同的。名家认为无限分割的过程永远不会完结，类似于古希腊的潜无限；墨家认为无限分割的结果终究会达到一个不可再割的端，是一种实无限思想。《庄子·秋水篇》借河神和北海神的对话也阐述了无穷小分割思想。“河伯曰：‘世之议者皆曰：‘至精无形，至大不可围。’是信情乎？’北海若曰：‘夫自细视大者不尽，自大视细者不明。夫精，小之微也；埴，大之殷也；故异便。此势之有也。夫精粗者，期于有形者也；无形者，数之所不能分也；不可围者，数之所不能穷也。’”这里说的至精无形、无形不能分的思想，和墨家不可的思想接近。

汉司马迁《史记·酷吏列传》以“破觚而为圜”比喻汉废除秦的严刑苛法。破觚为圆含有朴素的极限思想，大约是司马迁从工匠加工圆形器物化方为圆、化直为曲的实践中总结出来的。这些命题对后来数学中的无穷小分割思想有深刻影响。

刘徽的割圆术

汉代《九章算术》提出了正确的圆面积公式：“术曰：半周半径相乘得积步。”设圆周是 L ，半径是 r ，那么圆面积 $S = \frac{1}{2}Lr$ 。刘徽之前人们以圆内接正6边形的周长代替圆周长 L ，以圆内接正12边形面积代替圆面积 S ，把正12边形拼补成一个以正6边形周长的一半作为长、圆半径 r 作为宽的长方形来推证上述公式的。刘徽说这“合径率一而外周率三也”，极不严格。为了真正证明圆面积公式，他创造了著名的割圆术。

刘徽从圆内接正6边形开始割圆，依次得到圆内接正 6×2 、 6×2^2 、……边形。显然，圆内接正 6×2^n 边形的面积 $S_n < S$ 。然而，随着分割越来越细， $S - S_n$ 越来越小，“割之又割，以至于不可割，则与圆周

合体而无所失矣。”就是说 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = S$ 。另一方面，圆内接正 6×2^n 边形的每边和圆周之间有一段距离，称作“余径”，把每边长乘余径，总和是 $2(S_{n+1} - S_n)$ ，加到 S_n 上，那么 $S_n + 2(S_{n+1} - S_n) > S$ 。然而当 n 无限大时， 6×2^n 边形和圆周合体，表径等于零，所谓“表无余径，则幂不外出矣。”就是说 $\lim_{n \rightarrow \infty} [S_n + 2(S_{n+1} - S_n)] = S$ 。这就证明了它的上界序列和下界序列的极限都是圆面积。最后，刘徽把和圆合体的正多边形分割成无穷多个以圆心作为顶点、以每边的长作为底的小等腰三角形，由于以圆的半径乘每边的长是每个小三角形面积的二倍，求这些小三角形面积的总和，即圆半径乘圆周长，就是圆面积的二倍： $Lr = 2S$ ，所以 $S = \frac{1}{2} Lr$ 。所谓“以一面乘半径，觚而裁之，每辄自倍，故以半周乘半径而为圆幂，”完成了证明。

显然，这里含有明显的极限过程和无穷小分割并求它的总和的思想，和面积元素法十分接近。

刘徽批评了以往学者沿袭周三径一的错误，认为上述公式中的“周径，谓至然之数，非周三径一之率也”。为了正确使用这一公式，必须求出这个“至然之数”，即周径相比之率，就是现在所谓圆周率。刘徽从直径 2 尺的圆的内接正 6 边形开始割圆，依次求出正 6×2 、 6×2^2 、 6×2^3 、 6×2^4 边形的边长和 6×2^5 边形的面积，取圆内接正 6×2^5 边形面积 S_5

的整数部分 314 平方寸作为圆面积 S 的近似值，代入圆面积公式 $S = \frac{1}{2} Lr$ ，反求出圆周长近似值是 628 分，和直径 2 尺相约，得周率 157，径率 50，相当于 $\pi = 3.14$ 。刘徽用这组值把《九章算术》的另外两个圆面积公式 $S = \frac{3}{4} d^2$ ， $S = \frac{1}{12} l^2$ 修正成 $S = \frac{157}{200} d^2$ ， $S = \frac{25}{314} l^2$ 。刘徽认为这一周率还是微少，又求出 $314 \frac{4}{25}$ 平方寸作为圆面积近似值，代入 $S = \frac{1}{2} Lr$ ，求出周长是 $628 \frac{8}{25}$ 分，得出周率 3927，径率 1250，相当于 $\pi = 3.1416$ 。

刘徽原理

《九章算术》给出了阳马(直角四棱锥)的体积公式

$$V_y = \frac{1}{3} abk \quad (1)$$

和鳖臑(四面都是勾股形的四面体)的体积公式

$$V_b = \frac{1}{6} abh, \quad (2)$$

其中 a 、 b 、 h 分别是长、宽、高。在刘徽之前，对 $a=b=h$ 的特殊情形，由于一个正方体可以分解成为三个全等的阳马，或六个三三全等两两对称的鳖臑，人们容易用棋验法加以证明。但是，当 $a \neq b \neq h$ 时，“鳖臑殊形”，“阳马异体”，用棋验法“则难为之矣”。为了证明(1)、(2)式，必须另辟蹊径。刘徽首先提出了一个重要原理：把一个堑堵(把一个长方体沿相对两棱斜剖，使得两堑堵)分解为一个阳马和一个鳖臑，“阳马居二，鳖臑居一，不易之率也。”即在一个堑堵中，恒有

$$V_y : V_b = 2 : 1. \quad (3)$$

吴文俊氏把它称作“刘徽原理”(见本书第92页)。显然,只要证明了刘徽原理,由于堑堵体积是 $\frac{1}{2}abh$,那么(1)、(2)式的正确性是不言而喻的。

刘徽创造了如下的方法证明(3)式:

如图,用三个互相垂直的平面分别平分堑堵的长、宽、高,那么:其中的阳马被分割成一个小长方体,两个小堑堵、,两个小阳马、;鳖臑被分割成两个小堑堵、,两个小鳖臑、。显然,小堑堵和、和分别可以拼成和全等的小长方体;小阳马和小鳖臑、小阳马和小鳖臑分别是两个小堑堵,又可以拼成第四个全等的小长方体。在小长方体、-、-中,属于阳马的和属于鳖臑的体积的比是2:1,所谓“别种而方者率居三”,即在堑堵的 $\frac{3}{4}$ 中证明了(3)式。而在第四个小长方体- - -中(3)式是

否成立还不知道,即在堑堵的 $\frac{1}{4}$ 中(3)式还有待于证明。然而其中两小堑堵的结构和原堑堵完全相似,所谓“通其体而方者率居一”。显然,上述分割过程完全可以继续在剩余的两个小堑堵中施行,又可以证明在其中 $\frac{3}{4}$ 中(3)式成立,在其中 $\frac{1}{4}$ 中仍不知道。换句话说,证明了(3)式在原堑堵中 $\frac{3}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ 中成立,而在 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ 中还不知道。这个过程可以无限继续下去,第n次分割只剩原堑堵的 $\frac{1}{4^n}$ 中(3)式没有被证明,显然 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{4^n} = 0$,所谓“半之

弥少,其余弥细。至细曰微,微则无形,由是言之,安取余哉?”就是在整个堑堵由证明了(3)式。

刘徽之前,人们所使用的棋验法,无需知道阳马、鳖臑的体积公式,并且无法证明各种多面体的一般体积公式。刘徽却在首先解决了长方体、堑堵、阳马、鳖臑的体积公式之后,把其他多面体分割成有限多个长方体、堑堵、阳马、鳖臑,求它们的体积的和来解决这些多面体的体积问题。刘徽说:“不有鳖臑,无以审阳马之数,不有阳马,无以知锥亭之类,功实之主也。”这种把多面体体积理论建立在阳马、鳖臑基础上的思想,也就是建立在无穷小分割基础上的思想,和现代数学的体积理论惊人地一致。刘徽在公元三世纪就开始考虑十九世纪困扰着高斯、希耳伯特等数学大师的课题:四面体体积的解决不借助于无穷小分割是不可能的。刘徽的贡献受到1985年法国布尔巴基学派举行的希耳伯特第三问题学术讨论会的颂扬,是当之无愧的。

祖暅原理和球体积

唐李淳风等注释《九章算术》时所引祖暅开立圆术提出了一条重要原理:“夫叠棋成立积,缘幂势既同,则积不容异。”就是说:同高的两立

体如果等高处的截面积恒相等,那么它们的体积一定相等。现在称它作“祖暅原理”,它在西方称卡瓦列里原理(公元1635年)。

更一般地,如果同高的两立体等高处的截面积恒成定比,那么它们的体积必成定比。这一原理是中国古代解决体积问题的另一重要理论,实际上是另一种形式的无穷小分割。

有证据表明,早在《九章算术》时代,人们就通过比较圆锥和方锥、圆台和方台的底面积,由后者推得前者的体积公式,水平大体和欧几里得《几何原本》的有关论述相仿佛。刘徽的认识却进了一大步。他认识到,不仅要比较底面积,而且还要比较任意等高处的截面积。这在《九章算术注》中表述得特别清楚。他为了解决“羡除”(一种楔形体)的体积,需要从长方锥分割出一种特殊的“鳖臑”(仍是四面体)并求它的体积,于是刘徽提出了“上连无成不方,故方锥与阳马同实”的原理。“成”就是“层”,这是说,同底等高的方锥和阳马每一层都是相等的方形,所以它们的体积相等。联系到刘徽割圆时会达到不可割的境地的思想,我们认为刘徽是把立体看成由不可再分的薄片叠合而成的,后来卡瓦列里的不可分量和这类似。正是基于这一认识,刘徽明确提出了圆锥和外切方锥、圆台和外切方台的体积的比是 $\frac{1}{3}$,并指出了《九章算术》所蕴涵的球体积公式的错误,错误的原因在于误以为球和它的外切圆柱的体积的比是 $\frac{1}{2}$ 。他用球的两个外切圆柱体正交,它们的公共部分称做“牟合方盖”,指出球和外切牟合方盖的体积的比才是 $\frac{1}{3}$ 。显然,只要求出牟合方盖的体积,那么球体积便迎刃而解。刘徽功亏一篑,未能求出牟合方盖的体积,但是他坦诚地记下了自己的困惑,表示“敢不阙疑,以俟能言者”,表现了一位伟大学者实事求是、寄希望于后学的坦荡胸怀。

二百年后的祖暅深入研究了球的外切正方体中用两个正交圆柱切割出牟合方盖后的剩余部分。他考虑这剩余部分的八分之一,在正方体内而在牟合方盖外的部分被切割成了三块,叫作外三棋。他利用勾股定理等知识,求出外三棋的每一层的截面积的和都等于一个倒置的长、宽、高都等于球半径的阳马的等高处的截面积。由祖暅原理,外三棋的体积等于这倒置阳马的体积,就是 $\frac{1}{3}r^3$ (r 是球半径),因而牟合方盖的八分之之一的体积是 $\frac{2}{3}r^3$,

整个牟合方盖的体积是 $\frac{2}{3}d^3$ (d 是球的直径),于是球体积

$$V = \frac{\pi}{4} \times \frac{2}{3} d^3 = \frac{\pi}{6} d^3,$$

如果取 $\pi = 3$,就是 $\frac{1}{2}d^3$,圆满完成了刘徽的未竟的事业。值得注意的是,外三棋的每一块截面积的变化都不是线性的,然而它们同一截面的截面积的和的变化却是线性的。祖暅在应用后来以他的名字命名的原理上比刘徽更加灵活,认识也更加深刻。

李善兰的尖锥求积术

刘徽、祖冲之父子之后一千多年间,我国的无穷小分割思想没有什么

新的进展。直到清代中叶以后，明安图在研究三角函数幂级数展开式时提出“析之至于无穷”的思想，项名达、戴煦(1805 - 1860)的椭圆求周的计算方法符合椭圆积分法的原则，并重新涉及这个领域。而最值得称道的是李善兰(1811 - 1882)于清道光二十五年(公元 1845 年)发表的《方圆阐幽》、《弧矢启秘》、《对数探源》这三种关于三角函数、对数函数和指数函数的幂级数展开式的研究成果。其中的尖锥求积术提出了几个相当于定积分公式的命题，如“当知诸尖锥有积叠之理”，表示当 $0 < x < h$ 时， x^n 的平面积叠成一尖锥体，而由平面积 ax^n 积叠起来的尖锥体高 h ，底面积 ah^2 ，

它的体积是 $\frac{ah^2 \times h}{n+1}$ ，相当于 $\int_0^h ax^2 dx = \frac{ah^{n+1}}{n+1}$ 。又指出，同高的许多尖锥可以合并成为一个尖锥，相当于定积分

$$\int_0^h a_1 x dx + \int_0^h a_2 x^2 dx + \dots + \int_0^h a_n x^n dx = \int_0^h (a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n) dx。$$

李善兰用尖锥求积术解决了许多问题。以圆面积的计算为例。如右图，考虑直径是 2 的圆和它的外切正方形的四分之一，分别是 OAQC 和 OABC。方内圆外的部分是一平面尖锥 ABCQ，它由 ABD、ADE、AEF、AFG、

.....等无限个平面尖锥组成。诸尖锥的底 $BD = \frac{1}{2} BC = \frac{1}{2}$ ， $DE = \frac{1}{4} DC =$

$\frac{1}{2 \cdot 4}$ ， $EF = \frac{1}{6} EC = \frac{3}{2 \cdot 4 \cdot 6}$ ， $FG = \frac{1}{8} FC = \frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8}$ ，.....在 AB 上任

取一点 P，作 PR ⊥ BC，交圆于 Q。设 $x = AP$ ，那么

$$PQ = PR - QR = 1 - \sqrt{1-x^2} = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2 \cdot 4}x^4 + \frac{3}{2 \cdot 4 \cdot 6}x^6 + \dots。$$

令 $x=1$ ，上列级数的各项就是诸尖锥的底 BD、DE、EF、.....。依据尖锥求积术，方内圆外的部分的面积是

$$S_{ABCD} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cdot \frac{1}{5} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 6} \cdot \frac{1}{7} + \dots，$$

从而圆面积是

$$= 4 - 4\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cdot \frac{1}{5} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 6} \cdot \frac{1}{7} + \dots\right)。$$

李善兰的尖锥求积术是在他接触西方微积分学思想之前发明的，表明中国数学家完全有能力独立地打开微积分学的大门。由于种种原因，中国没有经历这个过程，而尖锥求积术为李善兰不久以后和伟烈亚力合译西方数学著作，把微积分学引入我国，作了准备。

三 物理学

中国古代的力学知识

自然科学史研究所 戴念祖

力学是研究力和机械运动的科学。一个物体在时间、空间中的位置发生变动，就叫机械运动。自然界中一切物体都在作机械运动，即使表面看来静止的桌椅、不动的教室，也时刻在随地球一起转动。力是物质间的一种相互作用，机械运动状态的变化就是这种相互作用引起的。静止的或运动的状态不变化，都意味着其中各种力的相互平衡。力学知识起源于对自然现象的观察和生产劳动。在中国古代有丰富的力学知识。

简单机械

杠杆、滑轮和斜面，物理学上称作简单机械。

杠杆的使用或许可以追溯到原始人时期。当原始人拾起一根棍棒和野兽搏斗，或用它撬动一块巨石，他们实际上就是在使用杠杆。石器时代人们所用的石刃、石斧，都用天然绳索把它们和木柄捆束在一起；或者在石器上凿孔，装上木柄(如图左)。这表明他们在实践中懂得了杠杆的经验法则：延长力臂可以增大力量。

杠杆在中国的典型发展是秤的发明和它的广泛应用。在一根杠杆上安装吊绳作为支点，一端挂上重物，另一端挂上砝码或秤锤，就可以称量物体的重量。古代人称它“权衡”或“衡器”。“权”就是砝码或秤锤，“衡”是指秤杆。迄今为止，考古发掘的最早的秤是在长沙附近左家公山上战国时期楚墓中的天平。它是公元前四到三世纪的制品，是个等臂秤。不等臂秤可能早在春秋时期就已经使用了。古代中国人还发明了有两个支点的秤，俗称铤秤。使用这种秤，变动支点而不需要换秤杆就可以称量比较重的物体。这是中国人在衡器上的重大发明之一，也表明中国人在实践中完全掌握了阿基米德杠杆原理。

《墨经》一书最早记述了秤的杠杆原理。《墨经》是战国时期以鲁国人墨翟(约前 468 - 前 376)为首的墨家著作。墨翟和他的弟子们以刻苦耐劳、参加生产、勇敢善战著称。因此，他们的著作中留下了许多自然科学知识。

《墨经》把秤的支点到重物一端的距离称作“本”(今天通常称“重臂”)，把支点到权一端的距离称作“标”(今天称“力臂”)。《墨经·经下》中说：第一，当重物和权相等而衡器平衡时，如果加重物在衡器的一端，重物端必定下垂；第二，如果因为加上重物而衡器平衡，那是本短标长的缘故；第三，如果在本短标长的衡器两端加上重量相等的物体，那么标端必下垂。(“衡，加重于其一旁，必垂。权、重相若也相衡，则本短标长；两加焉，重相若，则标必下。”)墨家在这里把杠杆平衡的各种情形都讨论了。他们既考虑了“本”和“标”相等的平衡，也考虑了“本”和“标”不相等的平衡；既注意到杠杆两端的力，也注意到力和作用点之间的距离大小。虽然他们没有给我们留下定量的数字关系，但这些文字记述肯定是墨家亲身实验的结果，它比阿基米德发现杠杆原理要早约二百年。

桔槔也是杠杆的一种。它是古代的取水工具。作为取水工具，一般用它改变力的方向。为其他目的使用时，也可以改变力的大小，只要把桔槔的长臂端当作人施加力的一端就行。春秋战国时期，桔槔已成为农田灌溉的普通工具。

滑轮，古代人称它“滑车”。应用一个定滑轮，可改变力的方向；应用一组适当配合的滑轮，可以省力。至少从战国时期开始，滑轮在作战器械、井中提水等生产劳动中被广泛应用。传说公元前四世纪，巧匠公输般为季康子葬母下棺，创制了转动机关(见《礼记正义》卷十)，可能就是指的滑轮。汉代画像砖和陶井模型都有滑轮装置。

滑轮的另一种形式是辘轳。把一根短圆木固定于井旁木架上，圆木上缠绕绳索，索的一端固定在圆木上，另一端悬吊水桶，转动圆木就可提水。只要绳子缠绕得当，绳索两端都可悬吊木桶，一桶提水上升，另一桶往下降落，这就可以使辘轳总是在做功。辘轳大概起源于商末周初(公元前十一世纪)。据宋代曾公亮(998 - 1078)著《武经总要前集》卷十一《水攻·济水府》，周武王时有人以辘轳架索桥穿越沟堑的记载。唐代刘禹锡(772 - 842)描写了他亲自所见的一种叫“机汲”的提水机械，它是把辘轳和架空索道联合并用，以便把山下流水一桶桶地提上山顶，既浇田地又省力(《刘梦得文集》卷二十七《机汲记》)。

最早讨论滑轮力学的还是《墨经》。《墨经·经下》把向上提举重物的力称作“挈”(qí)，把自由往下降落称作“收”，把整个滑轮机械称作“绳制”。《墨经》中说：以“绳制”举重，“挈”的力和“收”的力方向相反，但同时作用在一个共同点上。提挈重物要用力，“收”不费力，若用“绳制”提举重物，人们就可省力而轻松。(“挈与收反。”“挈，有力也；引，无力也。不必所挈之止于施也，绳制之也。”)又说：在“绳制”一边，绳比较长，物比较重，物体就越来越往下降；在另一边，绳比较短，物比较轻，物体就越来越被提举向上。(“挈，长重者下，短轻者上。”)又说：如果绳子垂直，绳两端的重物相等，“绳制”就平衡不动。(“绳下直，权重相若则正矣。”)如果这时“绳制”不平衡，那么所提举的物体一定是在斜面上，而不是自由悬吊在空中。我们对于墨家的丰富的力学知识就不能不敬佩！

尖劈能以小力发大力。早在原始社会时期，人们所打磨的各种石器，如石斧、石刀、骨针、镞等等，都不自觉地利用了尖劈的原理。墨家在讨论滑轮的功用说到它省力时，就把它比喻作“锥刺”。汉代王充说：“针锥所穿，无不畅达；使针锥末方，穿物无一分之深矣。”(《论衡·状留篇》)墨家和王充等人清楚地知道尖劈原理的经验法则。

在日常生活中常应用的尖劈之一是楔子，木楔或金属楔。人们常用它加固各种器具。唐代李肇讲过这样的故事：

在苏州建造重元寺时，工匠疏忽，一柱未垫而使寺阁略有倾斜。若是请木工再把寺阁扶正，费工费事又费钱。寺主为此十分烦恼。一天，一外地僧人对寺主说：不需费大劳力，请一木匠为我作几十个木楔，可以使寺阁正直。寺主听他的话，一面请木工砍木楔，一面摆酒盛宴外地僧人。饭毕，僧人怀揣楔子，手持斧头，攀梯上阁顶。只见他东一楔西一楔，几根柱子楔完之后，就告别而去。十几天后，寺阁果然正直了。(李肇：《唐国史补》卷中)

小小几个尖劈，作用却这样巨大！

斜面的力学原理和尖劈相同。人们在推车行平地和上坡时发现用力不同。成书于春秋战国之际的《考工记·辘(zh u)人》中说：“登陟者，倍任者也。”这就是说，推车上坡，要加倍费力气。用双手举重物到一定高度和用斜面把同样的重物升到同一高度，自然后者容易得多。《荀子·宥坐》中说：“三尺之岸而虚车不能登也，百仞之山任负车登焉。何则？陵迟故也。”人们不能把空车举上三尺高的垂直堤岸，却能把满载的车推上百仞高山。这是为什么？因为高山的路面坡度斜缓(“陵迟”)。这正是斜面物理功用的最好总结。

重心和平衡

要使物体平稳地置于桌面上，就要考虑它的重心和平衡的问题。从物理学观点看，通过物体的重心和桌面垂直的线(或面)要维持在这一物体的支持面里；否则，这一物体就很容易倒下。在日常生活中涉及重心和平衡的例子随手可拾。商代的酒器斚(ji)有三足，它的重心总是落在三足点形成的等边三角形里。西汉中山靖王刘胜墓出土的朱雀铜灯，体现了工匠关于重心的巧妙构思。东汉铜奔马，三足腾空，一足落地。但是它的重心刚好落在支撑足上，因此，即使支撑面很小，看来好像容易倾倒，其实是稳定平衡的。在杂技表演中走绳的演员手握长杠或持雨具；单臂撑的演员，他的两腿总要弯过自己的头顶。这些道具或造形，不仅在于美和险的结合，让人惊心动魄，更重要的是演员必需采取的安全措施：保持自己的重心和平衡。

大概在西周时期，聪明的工匠制造了一件盛水的“欹器”。“欹”(q)的意思是倾斜。它可以随盛水的多少而发生倾斜变化。不装水时，它成倾斜状态；装上一半水时，就中正直立；装满水时，它就自动翻倒，把所盛水倒出。《荀子·宥坐》把它描写作“虚则欹，中则正，满则覆。”所以会出现这种现象，是由于欹器的重心随盛水的多少而发生变化的缘故。有一天，孔子(前551—前479)在鲁庙中见到这种欹器，立即让他的弟子们注水实验。然后，他感慨地说：“吁！恶有满而不覆者哉！”意思是告诫弟子，要谦虚，切戒自满。汉代以后，不断地有人制造各种欹器，充分体现中国人掌握了有关的力学知识。

隋唐时期，或许由于饮酒之风盛行，人们制作了一种劝人喝酒的玩具，经匠心雕刻的木头人，称作“酒胡子”。把它置于瓷盘中，“𨮒(niè)𨮒(wù)不定”、“俯仰旋转”、“缓急由人”。(见王定保著：《唐摭言》卷十二《海敍不遇》)也有用纸制作的，“糊纸作醉汉状，虚其中而实其底，虽按捺而旋转不倒也。”(见赵翼(1727-1814)著：《陔余丛考》卷三十三)现在把这些玩具叫不倒翁。另一种劝酒器，虽叫不倒翁，但转动摇摆后最终会倒下。宋代张邦基说：“木刻为人，而锐其下，置之盘中，左右欹侧，𨮒(q)𨮒然如舞之状，久之力尽乃倒。”(张邦基：《墨庄漫录》卷八)这种玩具指向某人或倒向某人，某人当饮酒。

从这些历史文献记载中可以看出，前一种不倒翁的重心略低于木头人下半圆的中心，后一种略高于下半圆的中心，由于它们重心位置不同，造成它们左右摇摆后的不同后果。而古代人把它们制成半圆形下身，并且“虚

其中而实其底”，正说明他们有意识地利用重心位置和平衡的关系。

西汉初年(公元前二世纪)成书的《淮南子·说山训》曾就本末倒置而造成不平衡的现象总结说：“下轻上重，其覆必易。”

东汉王充对平衡问题作了极好的论述：“圆物投之于地，东西南北无之不可，策杖叩动，才微辄停。方物集地，一投而止，及其移徙，须人动举。”(《论衡·状留篇》)“策杖”是赶马用的木棍。圆球投落地面，东西南北随遇滚动，只有用棍子制止它，它才会静止一会儿。方形物体投落地面，立即就静止在那儿。如果要它移动，就需要施加外力。这些现象正是力学中随遇平衡和稳定平衡的典型例子。

力

力是物理学中很重要、很基本的概念，它的形成在物理学史上经过了漫长的时间，直到十七、十八世纪，物理学家才对它作出准确的定义。

在甲骨文中，“力”字像一把尖状起土农具耒。用耒翻土，需要体力。这大概是当初造字的本意。

《墨经·经上》最早对力作出有物理意义的定义：“力，刑之所以奋也。”“刑”通“形”，表示一切有生命的物体。“奋”的原意是鸟张开翅膀从田野里飞起，墨家用它描述物质的运动或精神的状态改变，如同今日常用词“奋飞”、“奋发”“振奋”等含义一样。由此可见，墨家定义力是指有形体的状态改变；如果保守某种状态就谈不上奋，也就无需用力了。《墨经》还举了一个例子，从地面上举起重物，就要发“奋”，需要用力。(力，重之谓。下，与，重奋也。”“与”是“举”的省文。)墨家定义力，虽然没有明确把它和加速度联系在一起，但是他们从状态改变中寻找力的原因，实际上包含了加速度概念，它的意义是极其深刻的。

在浩瀚的中国历史典籍中记述了各种各样的力，其中人们对惯性力和重力的认识是值得称道的。

战国初期成书的《考工记·辀人》最早记述了惯性现象。它描述赶马车的经验，说道：“劝登马力，马力既竭，辀犹能一取焉。”“劝登马力”就是赶马车，劝马用力。辀指小车。这句话的意思是，在驾驶马车过程中，即使马不再用力拉车了，车还能继续往前一小段路。

对重力现象最早作出描写的是《墨经·经下》。它指出，凡是重物，上不提挈，下无支撑，旁无力牵引，就必定垂直下落。(“凡重，上弗挈，下弗收，旁弗劫，则下直。”)这就是说，当物体不受到任何人为作用时，它作垂直下落运动。这正是重力对物体作用的结果。

在力学中有一条法则：一个系统的内力没有作用效果。饶有趣味的是，中国人发现和这有关的现象惊人地早。《韩非子·观行篇》中最早提出了力不能自举的思想：“有乌获之劲，而不得人助，不能自举。”乌获，据说是秦武王宠爱的大力士，能举千钧之重。但他却不能把自己举离地面。

东汉王充也说：“古之多力者，身能负荷千钧，手能决角伸钩，使之自举，不能离地。”(《论衡·效力篇》)似乎很可悲，一个身能负千钧重载、手能折断牛角、拉直铁钩的大力士，却不能把自己举离地面。然而，这正是真理所在。再大力气的人，也不能违背上述那条力学法则。因为当自身成为一个系统时，他对自己的作用力属于内力。系统本身的内力对本

系统的作用效果等于零。否则，今天就不会有这样的口头禅来嘲讽一个人的能耐是有限的：“你有本事，你也不能揪着自己的头发使自己离地三寸。”

刻舟求剑

船、河岸和水三者之间谁在运动？天和地、月和云谁在运动？这是古代人最关心的运动学问题。这里既涉及参考坐标的重要性，也和相对运动问题有关。

船、河岸和水三者谁在运动的问题，曾经几乎同时困扰了古代东西方的哲人。古希腊亚里士多德(前 384—前 322)曾经提出，停泊在河中的船实际上处于运动之中，因为不断有新水流和这船接触。“不能同时踏进同一条河”的命题就是由此而来的。古代中国人以自己的思考方式回答这些问题。

晋代天文学家束皙(x)解释“仰游云以观月，月常动而云不移”的现象说：“乘船以涉水，水去而船不徙矣。”(见《隋书·天文志上》)这个立论方式恰和亚里士多德相反。束皙认为，运动着的船实际上是不运动的，如果过江时一直保持船和河岸垂直指向对岸，船和河床的相对位置就不改变。把参考坐标取在过江线或河床上这时就得出“水去而船不徙”的结论。另一种看法是，让船和水同速漂流，把参考坐标取在整个水流上，船对于水也不发生位置移动。

从物理学看，决定空间位置或物体运动与否必需有一个参考系。否则，就会“东家谓之西家，西家谓之东家，虽皋陶(yáo)为之理，不能定其处。”(《淮南子·齐俗训》)连古圣皋陶都不能断定是非。不清楚参考坐标的人，就像“刻舟求剑”一样糊涂。

刻舟求剑的故事出于战国末期吕不韦(?—前 235)主持编纂的《吕氏春秋》。它所包含的物理意义是极其深刻的。这个故事说：有一个楚国人乘船过江，他身上的佩剑不小心掉落江中。他立即在船舱板上作记号，对他的船友说：“这是我的剑掉落的地方。”到了河岸，船停了，他就在画记号的地方下水找剑。“舟已行矣，而剑不行。求剑若此，不亦惑乎？”(《吕氏春秋·慎大览·察今篇》)这样找自己的剑，不是犯糊涂吗？从故事编纂者的口气看，他是知道怎样找到掉落江中的剑的。从物理角度看，找到这把剑有几种办法：第一，记下掉落位置离岸上某标志的方向和距离。这就是说，以河岸作为参考坐标。第二，在船不改变方向和速度的情况下，记下剑掉落时刻、船速和航行时间，据此求出靠岸的船和剑掉落地点的距离。这就是说，以船作为参考坐标。

参考坐标选取适当与否，对解决运动学和动力学中的问题是很重要的。在相对运动中，选取不同的坐标就有不同的运动结论。

前面提到过的束皙曾说：“仰游云以观月，月常动而云不移。”(《隋书·天文志上》)晋代葛洪(283 - 363)说：“见游云西行，而谓月之东驰。”(《抱朴子内篇·塞难》)南朝梁元帝萧绎(508 - 554)的诗《早发龙巢》提到在行船舱板上人们的感受说：“不疑行舫动，唯看远树来。”(见丁福保编：《全汉三国晋南北朝诗》下册《全梁诗》卷下，中华书局 1959 年版，第 957 页)敦煌曲子词中有句：“看山恰似走来迎”(见王重民辑《敦煌曲子词集》(修订本)，商务印书馆 1956 年版，第 31 页)。由于参考坐标的关

系，原来不动的物体都成为运动的了。这是并不奇怪的。令人惊奇的是，这些极其典型的相对运动的事例，很早就成为中国文人笔下的力作佳句。

然而，古代人在判断“天”和“地”的相对运动时，并不像上述事例那么简单明了。在古代人看来，“天左旋，地右动。”（《春秋纬·元命苞》）也就是说，以天上星体的东升西落（左旋）来证明地的右旋运动。汉代王充在《论衡·说日篇》中提出了另一种看法：日月星体实际上是附着在天上作右旋运动的，只是因为天的左旋运动比起日月星体的右旋运动来要快，这才把日月星体当成左旋。这种情形就像蚂蚁行走在转动着的磨上，人们见不到蚂蚁右行，而只看见磨左转，因此以为蚂蚁也是左行的。（“当日月出时，当进而东旋，何还始西转？系于天，随天四时转行也。其喻若蚁行于碓上，日月行迟天行疾，天转日月转，故日月实东行，而反西旋也。”）《晋书·天文志》中也说：“天旁转如推磨而左行，日月右行，随地左转，故日月实东行，而天牵之也西没，譬如于蚁行磨石之上，磨左旋而蚁右去，磨疾而蚁迟，故不得不随磨以左回焉。”我们暂且不管“天”是什么，是否在运动，仅从物理学看，王充等人的思想是高明的，他们不仅看到了相对运动，而且还企图以相对速度的概念来确定运动的“真实”情况。

在历史上，许多人参加了这场左右旋的争论。到了宋代，由于理学大师朱熹的名气，他所坚持的“左旋说”又占了上风。这场争论，长达二千多年。直到明代，伟大的科学家朱载堉作出物理判决之后，还争论未了。朱载堉说：“左右二说，孰是耶？曰，此千载不决之疑也。人在舟中，蚁行磨上，缓速二船，良骛二马之喻，各主一理，似则皆似矣。苟非凌空御气，飞到日月之旁，亲睹其实，孰能辨其左右哉？”（《律历融通》卷四《黄钟历议·五纬》，载《乐律全书》）天和地、人和舟、蚁和磨、快慢二船、良骛二马，如果没有第三者作参考坐标，就很难辨明它们各自的运动状态。从物理学看，两个彼此作相对运动的物体A和B，既可以看作A动B不动，也可以看作B动A不动。这两种看法都有效。若要争论它们的运动方向或谁动谁静，那真是“千载不决之疑”。朱载堉的回答完全符合运动相对性的物理意义。然而，朱载堉不明白，即使飞到日月旁，也不能“辨其左右”，而只能回答“似则皆似矣”。

以相对运动的观点来解释天地的运动，在古代的东西方都是一致的。但像朱载堉那样对相对运动作出物理判决的人，在西方只有比朱载堉稍后的伽利略算是最早的。

要解决地静还是地动的问题，关键是要提出令人信服的证据证明地动的不可觉察性。这样，才能牢固地确立地动的观念。完成这任务，在近代物理学史上是伽利略的功劳。然而，古代中国人却从经验事实中总结出这一伟大的发现。

早在汉代成书的《尚书纬·考灵曜》中说道：“地恒动不止，而人不知。譬如人在大舟中，闭牖(y u)而坐，舟行而人不觉也。”关闭的船舱，在物理学著作中被看成是最普通、最易被理解的近似的惯性系统。在一个封闭的惯性系统里，无论什么样的力学实验都不能判断这一系统是处在静止状态还是在作匀速直线运动。这个原理又称“伽利略相对性原理”。可是，在伽利略之前大约一千五百年，中国人就提出了这个原理的最古老的说法。这是中国科学史上最伟大的理论成就之一。

浮 力

沉浸在液体中的物体都受到液体的浮举作用。在中国关于浮力原理的最早记述见于《墨经·经下》，大意说：形体大的物体，在水中沉下的部分很浅，这是平衡的缘故。这一物体浸入水中的部分，即使浸入很浅，也是和这一物体平衡的。这种情况就像市上的商品交易，一件甲种商品可以换取五件乙种商品一样。（“荆(形)之大，其沈(沉)浅也，说在具(衡)。”“沈(沉)、荆(形)之具(衡)也，则沈(沉)浅，非荆(形)浅也。若易五之一。”）

《墨经》的这段文字，对浮力原理表达不确切。它没有看到浮体沉浸水中的部分正是这一物体所排开的液体，所排开的液体重量恰好等于浮力；是浮力和浮体平衡，而不是沉浸水中的部分和整个浮体平衡。但是，纵观整段文字，表明墨家已懂得这种关系。他们是阿基米德之前约二百年表达这一原理的。

浮力原理在我国古代得到广泛应用，史书上也留下了许多生动的故事。

三国时期有个早卒的神童叫曹冲(196 - 208)，他是曹操的儿子。他曾经提出“以舟称象”。没有现代的衡器而要称量几吨重的大象是令人为难的。曹冲说：把大象赶到船上，记下船在河中下沉的位置。然后，把大象拉上岸，把石头陆续装入船中，直到装载石头的船下沉到刚才那个记号为止。再分别称出船中石头的重量，石头的总重就是大象的重。（《三国志》卷二十《魏书·邓哀王冲传》）

曹冲称象的方法，正是浮力原理的具体运用。在中国历史上，据记载，有比曹冲更早的类似故事。东周燕昭王(?—前 279)有一大猪，他命司衡官用杆秤称它的重量。结果，折断十把杆秤，猪的重量还没有称出来。他又命水官用浮舟量，才知道猪的重量。（见《玉函山房辑佚书》卷七十一《符子》）

除了用舟称物之外，用舟起重也是中国人的发明。据史籍记载，蒲津大桥是一座浮桥。它用舟做桥墩，舟和舟之间架板成桥。唐玄宗开元十二年(公元 724 年)在修理这桥时，为加固舟墩，在两岸维系巨缆，特增设铁牛八只作为岸上缆柱。每头铁牛重几万斤。三百多年后，到宋仁宗庆历年间(公元 1041 年到 1048 年)，因河水暴涨，桥被毁坏，几万斤的铁牛也被冲入河中。这桥毁后二十多年，真定县僧人怀丙提出打捞铁牛、重修蒲津桥的主张。他打捞铁牛的方法是：在水浅时节，把两只大船装满土石，两船间架横梁巨木，巨木中系铁链铁钩，用这铁钩链捆束铁牛。待水涨时节，立即把舟中土石卸入河中。本来就水涨船高，卸去土石后船涨得更高，于是铁牛被拉出水面。（见《宋史·僧怀丙传》）另一记载和这方法稍有不同：在一只船上架桔槔，桔槔短臂端用铁链系牛，长臂端系在另一巨船上。待水涨时，在另一船上装满土石。这样，铁牛被桔槔从河底拉起并稍露水面。（见吴曾著《能改斋漫录》卷三《河中府浮桥》）

可能怀丙打捞铁牛用了这两种方法。怀丙是中世纪伟大的工程力学家。他创造的浮力起重法，曾在十六世纪由意大利数学家卡尔达诺(1501 - 1576)用来打捞沉船。

液体的表面张力现象

表面张力是发生在液体面上的各部分互相作用的力，它是液体所具有的性质之一。表面薄膜、肥皂泡、球形液滴等都是由于表面张力而形成的。

宋代张世南在《游宦纪闻》卷二中曾记载了一种检验桐油好坏的方法。他说：“验真桐油之法，以细篾一头作圈状，入油蘸。若真者，则如鼓面鞞(mán)圈子上。渗有假，则不着圈上矣。”这种用竹篾圈试桐油好坏的方法，虽然见于宋代的书籍，在这以前人们一定早已在应用了。

我们现在知道，液体能不能附着在这样的竹篾圈上，和它的表面张力大小有关。而表面张力也和液体里含的杂质有关。液体含杂质，会使液体表面张力大大减小。因此，如果桐油里含的杂质比较多，它的表面张力比较小，就不能在竹篾圈上形成一层鼓面状薄膜。我国古代测试桐油好坏的方法，表明人们在实践中掌握了关于表面张力的科学道理。今天学校里给学生演示表面张力现象的常用仪器，也就是一个圆圈，只是一般不用竹篾而用铁丝做成的罢了。

据载，明熹宗朱由校(1605 - 1627)玩过肥皂泡。当时人称它“水圈戏”。方以智(1611—1671)说：“浓碱水入秋香末，蘸小篾圈挥之，大小成球飞去。刘若愚言，熹宗能戏，以水抛空中成圈。”(《物理小识》卷十二《水圈戏》)

水的表面张力虽然不算大，但是如果把像绣花针那样的比较轻的物体小心地投放水面(特别是布满气泡的水面)，针也能由于水的表面张力而不下沉。我国古代的妇女们就利用这种现象于每年七月七日(农历)进行“丢针”的娱乐活动。明代刘侗(约1594—约1637)、于奕正合写的《帝京景物略》一书卷二《春场》中在记述“丢针”时写到，由于“水膜生面，绣针投之则浮。”这些话表明当时的人们已经提出了表面张力的物理效应的问题。虹吸管和大气压力虹吸管，在古代叫“注子”、“偏提”、“渴乌”或“过山龙”。东汉末年出现了灌溉用的渴乌。北魏道士李兰做称漏，也用了渴乌。西南地区的少数民族用一根去节弯曲的长竹管饮酒，也是应用了虹吸的物理现象。宋代曾公亮在《武经总要前集》卷六《寻水泉法》中，有用竹筒制作虹吸管把被峻山阻隔的泉水引下山的记载。在生产和生活的实践中，我国古代还应用了唧筒。唧筒作为战争中一种守城必备的灭火器，在军事书中经常讲到。宋代苏轼(1037 - 1101)的《东坡志林》卷四中，曾经记载四川盐井中用唧筒来把盐水吸到地面，它说，以竹为筒，“无底而窍其上，悬熟皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之，一筒致水数斗。”明代俞贞木的《种树书》中也讲到用唧筒激水来浇灌树苗的方法。

我们知道，虹吸管一类的虹吸现象是由于大气压力的作用而产生的。唧筒也是这样。正是由于广泛使用了虹吸管和唧筒一类器具，有关它们吸水的道理也就引起了古代人的探讨。南北朝时期成书的《关尹子·九药篇》中说：“瓶存二窍，以水实之，倒泻；闭一则水不下，盖(气)不升则不降。”这里讲的有两个小孔的瓶子能倒出水，闭住一个小孔就倒不出水，这个现象完全是真实的。因为两个小孔一个出水，一个可以同时进空气，如果闭住一个小孔，另一个小孔外面的空气压力就会比瓶里水的压力大，水就出不来了。《关尹子》中说的“不升则不降”，虽然没有明确提出像现代科学上说的大气压力的作用，但是道理是一致的。唐代的王冰在《黄帝内经·素问》卷十九《六微旨大论六十八》的注中，有关大气压力的物理现象就讲

得更清楚了，他说：“虚管溉满，捻上悬之，水固不泄，为无升气而不能降也；空瓶小口，顿溉不入，为气不出而不能入也。”他比《关尹子》还增加一个小口的空瓶灌不进水的事例，说是因为瓶里气体出不来的缘故，这也是符合实际的。

宋代的俞琰(1258 - 1314)在《席上腐谈》卷上中又补充了前人的发现，他讲到：“予幼时有道人见教，则剧烧片纸纳空瓶，急覆于银盆水中，水皆涌入瓶，而银瓶铿然有声，盖火气使之然也；又依法放于壮夫腹上，挈之不坠。”在空瓶里烧纸，立即盖在人腹上，就是现在大家熟知的拔火罐，由于纸火把瓶里的一部分空气赶出瓶外，火熄灭后瓶里就形成负压，也就是说造成一定的真空，瓶外的空气压力就把瓶紧紧地压在人腹上。如果把这种造成一定真空的瓶放进水里，水就立即涌入瓶里。

明代的庄元臣在《叔苴子·内篇》卷上中又补充了一个例子，他说：“覆匏而水不得入，气拒之也。”把空葫芦倒压入水中，我们会发现水并没有进入葫芦里，这是因为葫芦里有空气的缘故。关于材料和固体的知识在长期的器物制造和工程建设中，人们逐渐懂得了材料的性能。材料在使用过程中或经过加工后会发生形变，人们对这一点也很早就注意到了。在《墨经·经下》中分析了梁木的形变，认为梁木负载了重量并不挠曲，这是因为它胜任重量；而捆束在两根柱子间的绳子不加重量也会发生弯曲。（“负而不挠，说在胜。”“衡木加重焉而不挠，极胜重也。若校交绳，无加焉而挠，极不胜重也。”）从现在的观点来看，梁木具有抵抗弯曲的能力，绳子只能抵抗拉伸。《墨经》中以弯曲的情形凭经验区分了这两种不同性质的材料。当然，梁木负载重量也会发生形变，但是在许用应力的范围之内，人是察觉不出的。

关于材料的弹性形变，西方在1660年英国物理学家胡克(1635 - 1703)在进行螺旋弹簧拉伸实验时发现所谓弹性定律：在外力作用下，弹性物体的形变和外力成正比。这一关系我国早在东汉时就在测试弓的弹力中已经作出了类似的发现。东汉经学家郑玄(127 - 200)在为《考工记》“弓人”条中“量其力，有三钧”一句作注说：“假令弓力胜三石，引之中三尺，弛其弦，以绳缓擗之，每加物一石，则张一尺。”唐代贾公彦在《周礼注疏》卷四十二中疏解郑玄注时指出：“加物一石张一尺，二石张二尺，三石张三尺。”这些叙述正好描述了弓的形变和它所受的外力成正比的关系。可以说弹性定律的发现我国比西方早一千五百年，当然，无论是弓还是弹簧，这条定律只适用于弹性体在初始形变的小范围之内才是正确的。

在《荀子·劝学篇》中，还讲到了在外力取消以后材料的形变会保留下来的问题，指出笔直的木材经火烤加工，变成轮子以后，即使枯干了也不会再挺直。（“木直中绳，鞣以为轮，其曲中规，虽有槁暴，不复挺者，鞣使之然也。”）这就是现在力学中讲的塑性形变。在《考工记》“鲍人”条中，讲到了皮革的弯曲和强度问题，它指明，在选用皮革的时候，要拉伸以后皮革各方面都是直的才好，如果有不直的，那一定是一方缓一方急的缘故。如果一方缓一方急，那用不多久一定是急的一方先裂开。

古代人大概曾经利用发辫作绳，并且在生产实践中发现有些发辫容易断，有些却不容易断，这就引起了关于毛发引重的讨论，按照通常的理解，一根毛发是很容易被重物拉断的。但是，墨家认为，有被拉断的，有不被拉断的，这之间的关键是在于毛发的结构是否均匀。当毛发均匀，并且它

均匀地承受重量的时候，毛发就不会被拉断。如果挂的物体很轻毛发就被拉断了，那是毛发不匀的缘故。（《墨经·经下》：“均之绝，不，说在所均。”“发，均。县轻而发绝不均也。均其绝也，莫绝。”）同样的观点也见于《列子·汤问篇》。晋代张湛在这部书的注中讲道：“发甚微脆而至不绝者，至均故也。今所以绝者，犹轻重相倾，有不均处也。”战国后期的名家公孙龙根据墨家毛发引重的讨论，又提出了大胆的设想，说“发引千钧”（《列子·仲尼篇》）。和公孙龙几乎同时的公子牟又对这一论题加以解释，说：“发引千钧，势至等也”（《列子·仲尼篇》）。这意思是说，之所以一根毛发能引千钧重物，是由于重物作用在毛发上的“势”到处相等的缘故。正是在这种认识上，后来又出现了“一发千钧”的成语。从科学观点来看，“发引千钧”当然是不可能的，因为任何材料都有它的极限强度，超过这个极限，材料就会断。但是从材料结构均匀可以承受更大重力这一点认识来说，却是正确的。这里实际上包含有近代面上的浮萍、木条却并不随波前进，而是在作上下振动。在纺绳织网中，弹动绳子，波浪从一头传到另一头，但绳子上的线头也不随波逐流。经过人们长久思索之后，这种大自然的美终于在新石器时代被匠师以艺术的形式描画在各种陶土工艺上。如上图(1)、(2)是仰韶文化彩陶片，(3)是商代陶鼎。这些纹饰和近代波动描绘图几乎一致。

西周时期一首著名的民歌《伐檀》 唱道：

“丁丁当当来把檀树砍，
砍下檀树放河边，
河水清清纹儿像连环。

.....
做车轮儿砍树响丁当，
砍来放在大河旁，
河水清清圈儿连得长。

.....”

《管子·侈靡篇》中说道：“荡荡若流水，使人思之。”荡漾的水波激起诗人的情感，唱出了劳动的自豪。但同时，它又能牵动思维神经，提出科学的疑问：为什么扩展而开的水波不能阻止水的往下流动？《管子·君臣篇下》说：“夫水波而上，尽其摇而复下，其势固然者也。”这是古代人的回答。

约公元一世纪时，东汉思想家王充终于发现，声音在空气中的传播形式是和水波相同的。他在《论衡·变虚篇》中说：“鱼长一尺，动于水中，振旁侧之水，不过数尺，大若不过与人同，所振荡者不过百步，而一里之外淡然澄静，离之远也。今人操行变气远近，宜于鱼等，气应而变，宜与水均。”这段文字的前一句，描写了游动的鱼搅起水浪的大小浪花传播距离的远近。后一句指出，人的言语行动也使空气发生变化，变动的情况和水波一样。此外，王充在这里还表达了另一个科学思想：波的强度随传播距离的增大而衰减：鱼激起的水波不过百步，在一里之外消失殆尽；人的言行激起的气波和鱼激起的水波一样，也是随距离而衰减的。可以认为，

关于《授时历》中怎样求差分，以及这里 $f(t)$ 的具体表达式中各项系数是怎样算出来的，这里都从略，可以参看钱宝琮主编：《中国数学史》，科学出版社 1964 年版，第 191-197 页。

王充是世界上最早向人们展示不可见的声波图景的，也是最早指出声强和传播距离的关系。

到了明代，借水波比喻空气冲声波的思想更加明确、清楚。明代科学家宋应星(1587 - 1660)在《论气·气声篇》中说道：“物之冲气也，如其激水然。……以石投水，水面迎石之位，一拳而止，而其文浪以次而开，至纵横寻丈而犹未歇。其荡气也亦犹是焉。”敲击物体使空气产生的波动如同石击水面波。这就是宋应星的结论。当然，声波是纵波，水波是横波。古代人由于受到时代的局限性，对这一点分不清，我们是不能苛求的。

共振现象

当一个物体发声振动时另一个物体也随着振动，这种现象叫做共振。凡是共振的两个物体，它们的固有频率或者相同，或者成简单的整数比，如一比一，一比二，二比三。在古代典籍中有大量的关于共振现象的记述，并把这种现象解释为“同声相应”(《周易·乾》)，或“声比则应”(《吕氏春秋·有始览·应同篇》，又《恃君览·召类篇》)。这个解释和现代的科学定义几乎完全相同。公元前四到三世纪，《庄子》一书最早记下了瑟的各弦间发生的共振现象。在这部书的《杂篇·徐无鬼》中说：“为之调瑟，废于一堂，废于一室。鼓宫宫动，鼓角角动。音律同矣。夫改调一弦，于五音无当也，鼓之，二十五弦皆动。”

这里描述的瑟有二十五根弦。宫、商、角、徵(zh)、羽是古代人使用的乐音音名，相当于现在的 do、re、mi、sol、la。当在高堂明室中放上一具瑟(“废”是放置的意思)，进行调音时，人们发现：弹动某一弦的宫音，别的宫音弦也动；弹动某一弦的角音，别的角音弦也动。这是因为它们的音律相同的缘故。如果改调一弦，使它发出的音和五音中的任何一声都不相当，再弹这根弦时，瑟上二十五根弦都会动。我们知道，这条弦虽然弹不出一个准确的乐音，但它的许多泛音中总有那么几个音和瑟的二十五根弦的音相当或成简单的比。这就是它会和瑟的二十五根弦都共振的道理。《庄子》的这段文字肯定是调瑟实验的忠实记录。它不仅指出基音的共振现象，而且发现了基音和泛音的共振现象。这后一个发现在声学史上是了不起的成就。

宋代的沈括曾作演示共振的实验：先把琴或瑟的各弦按平常演奏需要调好，然后剪一些小小的纸人夹在各弦上。当你弹动不夹纸人的某一弦线时，凡是和它共振的弦线上的纸人就发生跳跃颤动(《梦溪笔谈·补笔谈》卷一《乐律》)。这个实验比西方同类实验要早几个世纪。

如果说发现共振现象只是观察认真的证明，那么，发现消除共振的方法无疑是科学才智的伟大体现。据史籍记载，晋代张华(232 - 300)对共振现象作出了正确的解释，并提出了消除共振的方法。据南北朝刘宋刘敬叔(? - 468?)撰《异苑》卷二：“晋中朝有人蓄铜澡盘，晨夕恒鸣如人叩。乃问张华。华曰：‘此盘与洛阳钟宫商相应。宫中朝暮撞钟，故声相应耳。可错令轻，则韵乖，鸣自止也。’如其言，后不复鸣。”故事发生在西晋国都洛阳。皇家宫殿里朝暮撞钟，当地某人家中悬挂的乐器“铜澡盘”(今称作“钹”)就相应地产生共振(共鸣)。张华不仅知道它共鸣的原因，而且还知道消除它的方法：把铜盘周围稍微锉去一点，它就不再和宫中的钟声

共鸣了。现在我们知道，把铜盘稍微锉小一点，也就改变了它的固有振动频率，所以不再发生共鸣了。

还有一个有趣的故事，见韦绚撰《刘宾客嘉话录》（刘宾客就是刘禹锡，曾宫太子宾客）或王说撰《唐语林》卷五：唐朝时候，洛阳某寺一僧人房中挂着一种乐器——磬，它经常自鸣作响。僧人因此惊恐成疾，求医无治。他有一个朋友叫曹绍夔(kuī)，是朝中管音乐的官员，闻讯特去看望僧人。这时正好听见寺里敲钟声，磬也作响。于是曹绍夔说：“你明天设盛宴招待，我将为你除去心疾。”第二天酒足饭饱之后，只见曹绍夔掏出怀中铁锉，在磬上锉磨几处，磬再也不作响了。僧人很觉奇怪，问他所以然。曹说：“此磬与钟律合，故击彼应此。”僧大喜，病也随着痊愈了。

无论是铜盘还是石质的磬，只要稍稍锉去一点点，就改变了它们的固有频率。因此，它们就不再和钟声共振鸣响。这些故事，表明古代中国人具有丰富的声学知识。

共鸣器和隔声

在战争环境下，古代人发明了各种各样共鸣器，用来侦探敌情。早在战国初期，勇敢善战的墨家就发明了侦探敌情的方法。《墨子·备穴》记载了其中的几种：

在城墙根下每隔一定距离挖一深坑，坑里埋置一只容量七八十升的陶瓮，瓮口蒙上皮革（这实际上就做成了一个共鸣器）。让听觉聪敏的人伏在瓮口听动静。遇有敌人挖地道攻城的响声，不仅可以发觉，而且根据各瓮瓮声的响度差可以识别来敌的方向和位置。另一种方法是：在同一个深坑里埋设两只蒙上皮革的瓮，两瓮分开一定距离，根据这两瓮的响度差来判别敌人所在的方向。还有一种方法：一只瓮和前两种方法所说的相同，也埋在坑道里，另一只瓮大，要大到足以容纳一个人，把大瓮倒置在坑道地面，并让监听的人时刻把自己覆在瓮里听响动。利用同一个人分别谛听这两种瓮的声响情形而确定来敌的方向和位置。

以上几种方法被历代军事家因袭使用。唐代李筌、宋代曾公亮、明代茅元仪等都曾在他们的军事或武器著作中记述了类似的方法。曾公亮还把《墨子》记述的蒙有皮革的瓮叫做“听瓮”，把瓮口不蒙皮革、直接覆在地道里谛听的方法叫做“地听”。明代抗倭名将戚继光(1528 - 1587)曾用大瓮覆人来听敌凿地道的声音。甚至在本世纪的一些现代战争中，不少国家和民族还继续采用这些古老而科学的共鸣器。

唐代李筌的《神机制敌太白阴经》卷五、宋代曾公亮的《武经总要》卷六《警备篇》都曾描述另一种更加简便实用的共鸣器：军队中有一种用皮革制成的叫做“空胡鹿”的随军枕，让聪耳战士在行军之夜使用，“凡人马行在三十里外，东西南北皆响闻。”宋代沈括的《梦溪笔谈》卷十九《器用》中记述：牛革制成的箭袋，用作卧枕，“附地枕之，数里内有人马声，则皆闻之。”至迟从宋代起，人们还发现，去节长竹，直埋于地，耳听竹筒口，有嗡嗡若鼓声。明代戚继光也曾用这方法，谨防倭寇偷袭。伟大的科学家沈括还对以上瓮、枕等的功用作出了物理解释。他说：“取其中虚，”“盖虚能纳声也。”他的解释和现代声音在固体中传播的知识是一致的。当声音在像地面、铁轨、木材等固体中传播时，遇到空穴，在

空穴处产生交混回响，使原来在空气中传播的听不见的声音变得可以听见。值得注意的是，那种用竹筒听地声的方法正是近代医用听诊器的滥觞。共鸣器是把声音放大，以便人能听到远处的声音。古代中国人还发明了隔声的方法。隔声是把声音约束在一定范围里，而不让它传播出去。明代方以智说：私铸钱者，藏匿于地下室之中，以空瓮累墙，使瓮口向着室内。这样，过路人就听不见他们的锯锉之声。“何也？声为瓮所收也。”（《物理小识》卷一《天类》）至晚在十九世纪上半叶，人们用同样的方法，把那种在地下的隔声室搬到地面上，以致“贴邻不闻”他室声。（郑先祖：《一斑录》卷三《物理篇》）可见，中国人最早创建了隔声室。

弦和管的振动

在科学史上，正如杠杆原理的诞生要比人类实际使用杠杆晚得很多一样，有关乐器的声学理论也要比人类实际上演奏各种乐器要晚很长时间。

弦乐器琴、瑟、筝、筑，可能在上古时代已有了雏型，后来他们中的古琴成为中国传统乐器，一直流传到现在。胡琴类弦乐器产生比较晚，大约隋唐时期先在少数民族中盛行。管乐器中簾(chǐ)、笛、箫、笙的历史也非常悠久。笙早在商代已经成为演奏乐器，考古发掘的最早的骨笛是新石器时代的器物。然而，从数理角度探讨它们的发音机制，确定它们的音高位置的规律，却是在西周中晚期才开始的。

弦线发音的高低是由它的振动频率决定的，而振动频率又决定于弦长、线密度和张力。大约公元前六到五世纪春秋战国之际，人们已经懂得了音调和弦长的定量关系，这就是闻名的“三分损益法”。这个方法是，从一个被认定作为基音的弦长出发，把它分做三等分，再去掉一分(损一)或加上一分(益一)，来确定另一音的弦的长度。在数学上，就是把基音的弦长乘以三之分二(损一)或乘以三之分四(益一)。依此类推，计算十二次，就可以在弦上得到比基音高一倍或或低一半的音(就是高八度或低八度的音)，也就完成了一个八度中的十二个音的计算。从这十二个音中选出五个或七个，就构成了五声音阶或七声音阶。这方法的最早记载见于《管子·地员篇》，比希腊毕达哥拉斯(约前 580—前 500)提出的基本相同的方法要早得多。

古代人除了对音调和弦长成反比关系总结出“三分损益法”的定量规律外，他们也知道音调随线密度变化的关系。《韩非子》卷十二《外储说左下》中说：“夫瑟以小弦为大声，以大弦为小声。”这就是这种关系的定性描述。成书于西汉初年的《淮南子》还提到张力对音调的影响：当粗弦调得太紧因而发音太高时，要在同一乐器上调出某一调式，那么细弦就有绷断的危险。（《诠言训》：“譬如张琴，小弦虽急，大弦必缓。”《泰族训》：“张瑟者，小弦急而大弦缓。”《谬称训》：“治国譬若张瑟，大弦组则小弦绝矣。”“组”是急的意思。）

以三分损益法计算而得的弦音，自然纯正，悦耳动听。但是，用它计算而得的高八度音，并非完全的高八度，而是比八度高。在西方，以“五度相生法”（就是乘以三之分二）所得的结果也是这样。为了使数学计算能得到一个完全八度音，东西方的音乐家都曾作过种种尝试，花费了上千年的时间。最后完成这一计算并创造一种新的数学方法的是明代科学家、王

子朱载堉。他把八度音程平均地分成十二等分，在数学上解决了求等比数列的方法。朱载堉把这种方法叫做“新法密律”，现在叫“十二平均律”。这就是现在的钢琴、手风琴等键盘乐器普遍采用的数理方法。十二平均律是朱载堉在明穆宗隆庆元年到神宗万历八年(公元 1567 年到 1581 年)间创建的；而今天在音乐舞台上占有乐器之王的钢琴是西方文化的产物。在中国播下的科学种子却在西方开花结果，这是东西方文化交流中至今仍有重大影响的文明之光。

在管乐器中，管里空气柱的振动和弦线振动有本质的不同。管振动是纵波，或空气的疏密波，如下图(2)是闭口管里空气柱振动模式，(3)是开口管里振动模式；而弦振动是横波，如下图(1)是两端固定的弦振动模式。古代人常用管作为定音器，用十二支长度不同的竹管(或铜管)来标定按三分损益法计算而得的八度内十二个音，这十二支竹(铜)管就叫做律管。在历史上，曾经有不少人误以为如管长和弦长相等，它们的发音音高也一致。事实上，由于受惯性影响，管里空气柱的振动要延伸到管外，如下图的(2)、(3)所示，所以要使管振动和弦振动的音高一致，管长就不能等同于弦长，而是要比弦长稍微短一些；或者使管的内径缩小。这种校管和弦的振动模式。

正乐器发音的方法在中国古代都曾经被讨论过。特别是朱载堉成功地创造了缩小管内径的校正方法，他所得到的律管管内径的系统的校正公式和校正数据，直到十九世纪还受到西方音乐家和声学家的极大推崇。

板和壳的振动

在古代各种乐器中，有些是利用板振动发声的，如古老的磬是石板，铎、钹是金属板。把板弯曲成壳体，利用壳振动发声的，如钟、铃等乐器。在中国传统的音乐文化中，钟磬之音，金石之声，备受青睐，有关的声学知识也就特别丰富。

磬起源于石器时代人们打磨石器的劳动。把石块作成一定的板式，并按照音高把它们成组地编挂在乐架上，就叫编磬。它的出现不晚于殷商时期。在湖北江陵和随县发现的战国时期的编磬分别是二十八具和三十二具，音域都在三个八度内。从这些磬的大小、厚薄和发音高低看，春秋战国时期人们已经认识到，磬板越大、越薄，振动发音越低；磬板越小、越厚，振动发音越高。成书于春秋战国之际的《考工记》科学地记下有关板振动的知识：如果磬板发声太高，就磨锉板的两个正面；如果磬板发声太低，就磨锉板的端面。这个调音技术很符合板振动的发声原理。在磬板的两个正面磨锉，使它相对地变薄，它发声就降低；如果在它的几个端面磨锉，就使它相对地变厚，于是发声升高。

战国宴乐渔猎铜壶拓片，下层是演奏编磬编钟图。

中国的钟可能起源于原始社会晚期，这些原始钟可能是竹制、木制或陶制的。铜铃或铜钟产生于商初。在春秋战国时期，铜钟的制造技术达到极高水平。把几个、十几个甚至几十个钟按大小和一定音调形式编挂在钟架上，就叫编钟。近年在湖北随县战国初年的曾侯乙墓中发掘出编钟六十五件，总重量达五千多千克，总音域跨五个八度之多。后来又在曾侯乙墓附近的擂鼓墩二号墓中发掘出编钟三十六件。这两个墓编钟数量之多，艺

术之精湛，所含科学文化内容之丰富，成为中华民族史上古老灿烂的“百钟文明”，也成为世界文化史上的一大奇迹。

如果把中国传统的编钟和西方以及印度传统的教堂寺庙钟(就是圆形钟)作一比较，人们不难发现它们结构形状各具特点：

编钟外形是扁圆形状，它的横截面是椭圆；圆形钟的内外表面形状都是圆形，它的横截面也是圆。

编钟外表有许多突起的乳头和花饰；圆形钟一般地外表光滑。

编钟的钟肩是椭圆平面；圆形钟的钟肩是半圆球形。

编钟的内表面经调音磨锉，现出一道道竖直的条形声弓；圆形钟的内表面呈现整齐划一的声弓结构。

编钟悬挂牢固，从不摇晃；圆形钟悬挂不牢，容易晃动，不少钟还带有钟舌。

由于以上特点，编钟和圆形钟的发声有巨大差别。圆形钟在被击之后，声音悠扬长久，各种谐波分音很难衰减，特别是它的嗡音不易消失。在连续敲打之后，发声相互干扰。因此，它们不能作为乐器使用。而编钟发声短，容易衰减。据实验测定，在敲击之后半秒，全部高谐波消失，基音也开始衰减，一秒之后基音也消失大半。因此它们完全可以作为乐器使用，并适宜于慢速、中速以及比较和缓的快速旋律的演奏。在历代各种文献中，对于编钟的结构形状以及它们对发声的影响有许多记述，尤其是沈括在《梦溪笔谈·补笔谈》中曾对编钟和圆钟的发音特点作了极好的科学总结。

在大量已发掘的编钟中，人们发现其中不少编钟有“一钟双音”现象，就是在一个钟体上敲击它正中位置发出一个乐音，叫中鼓音，敲击它旁侧又发出一个乐音，叫侧鼓音。中鼓音和侧鼓音往往构成三度谐和关系。经过科学家的研究分析，才揭开这个古老的双音之谜。原来，这些钟都经过乐师和乐工的磨锉调音，编钟的条形声弓就是调音时磨锉的结果。从声学上看，这两个音的振动模式井然有序，互不相干：中鼓音的振动波腹区是侧鼓音的振动波节区，中鼓音的振动波节区是侧鼓音的振动波腹区。这样，在编钟的两个敲击区分别敲击时，它们的振动波节和波腹恰巧互相错开了。因此，一个钟体能发出两个“基音”。这是古代中国人对壳体振动的最伟大的创造性应用，以致我们今天还花费了众多的科学劳动，应用了几乎最先进的仪器设备，才揭开古代人创制双音钟的声学之谜。

奇妙的“鱼洗”

古代称“洗”的东西，形状颇似今天的洗脸盆，有木洗、陶洗和铜洗。盆里底上刻鱼的称鱼洗，刻龙的称龙洗。这种器物在先秦时期已在人们生活中被普遍使用。然而，有一种能喷水的铜质鱼洗，是在唐宋期间发明的，一般称它喷水鱼洗。

喷水鱼洗，内底饰四条鱼纹，鳞尾毕具。洗里盛水后，用水摩擦它外廓上的两弦(又称“双耳”)，立即发出响亮的嗡嗡声，继而盆里出现美丽的浪花，水珠四溅，大有飞泉之妙。摩擦越快，声音越响，波浪翻腾，水珠喷射越烈。这种奇妙的鱼洗曾多次在国内外展出，成为最引人注目的展品之一。

鱼洗何以能喷水？当然不是洗内刻画鱼或龙突然显神通，而是有它

的科学道理。

当摩擦洗的双耳时，洗周壁发生激烈振动，而洗底由于紧靠桌垫不发生振动。洗的振动如同圆形钟一样，都属于对称的壳体振动。手摩擦双耳，赋予洗振动的能量。在洗周壁对称振动的拍击下，洗里水发生相应的谐和振动。在洗的振动波腹处，水的振动也最强烈，不仅形成水浪，甚至喷出水珠；在洗的振动波节处，水不发生振动，浪花、气泡和水珠都停在不振动的水面波节线上。因此，在观赏鱼洗喷水表演时，看到鱼洗水面有美丽浪花和喷射飞溅的水珠。

表现中国古代人聪明才智的是，鱼洗中四条鱼的口须(又称喷水沟)总是刻在鱼洗基频振动(四节线)的波腹位置。这证明，古代工艺师了解圆柱形壳体的基频振动。它的效果是能引起鱼在跳跃的错觉。这样，在一个小小的器皿中，把科学技术、艺术欣赏和思辨推测三者结合在一起。这种深邃的智慧和精湛的技艺，不能不令人惊叹！

天坛和莺莺塔

古代人常常应用声音的一些特性建造一些特殊的建筑物。在山谷中的寺庙有很好的回声效果，宫殿的高长门洞有一定的混响，以此增加它们肃穆威严气氛。北京天坛和山西永济的莺莺塔是迄今保存完好的具有声音效果的建筑。

天坛始建于明永乐十八年(公元 1420 年)，是明清历代帝王祭天的地方。天坛中的“回音壁”和“圜丘”建于明嘉靖九年(公元 1530 年)。

回音壁是一座高约六米的圆形围墙，半径三二·五米。围墙里有三座建筑物，一座叫皇穹宇，位于北面，最接近围墙，距围墙最近处约二·五米。整个围墙整齐光滑，是优良的声音反射体。在墙壁近旁即使相距比较远的两个人都可以小声交谈。如下图，甲紧贴围墙向北小声说话，乙不仅听得清楚，而且还误以为是从丙处发出的声音。这声音不从甲直线传到乙，而是绕围墙一周传播的。只要甲说话声对着围墙甲点切线的入射角小于二十二度，声波就总是受围墙的反射，而不受皇穹宇的散射。

回音壁声音反射示意图。

皇穹宇南面路上第三块石板，正处在围墙中央，传说在这里拍一掌可听到三响，所以叫它“三音石”。事实上，不止听到三响，可以听到五六响。在三音石周围也有同样的效应，只是模糊些。之所以能听到几响，是因为掌声等距地传播到围墙之后，被围墙同时反射回中央，于是人们听到第一响回声；这第一次回声又照样传播出去，并被围墙反射回来，于是听到第二响。这样往返几次，直到声能被墙壁和空气完全吸收为止。

回音壁南面有一座由青石砌成的圆形平台，叫“圜丘”，它最高层离地面约五米，半径约一一·五米。除东西南北四个出入口外，周边都围有青石栏杆。整个圜丘包括地面都是由反射性能良好的青石和大理石砌成的。平台并不平，而是从圆心向周边稍有倾斜的台面。它的声学奥妙就在这里。当人站在台中心叫一声，他自己听到的声音比平常的声音响，而且似乎是从他脚底石板下传上来的。这是由于声波被青石栏杆反射到稍有倾斜的台面，再从台面反射到人耳的缘故(如右图)。

莺莺塔就是普救寺舍利塔。因古典文学名著《西厢记》中张生和莺莺的故事发生在普救寺，所以人称莺莺塔。塔初建于唐武则天时期(公元 684 年到 704 年间) ,是七层的中空方形砖塔。后毁于明嘉靖三十四年(公元 1556 年)大地震。震后八年按原貌修复，并把塔高增到十三层五十米。这塔最明显的声学效应是，在距塔身十米内击石拍掌，三十米外会听到蛙鸣声；在距塔身十五米左右击石拍掌，却听到蛙声从塔底传出；距塔二·五公里村庄的锣鼓声、歌声，在塔下都能听见；远处村民的说话声，也会被塔聚焦放大。诸如此类奇特的声学效应，原来是由于塔身的形体造成的：塔体中空，具有谐振腔作用，可以把外来声音放大。塔身外部每一层都有宽大的倒层式塔檐，可以把声音反射回地面，相距稍有差别的十三层塔檐的反射声音会聚于三十米外的人的耳朵而形成蛙鸣的感觉。

莺莺塔声音反射示意图。

关于“如象招数”的问题，可以参看钱宝琮著：《中国数学史话》，中国青年出版社 1957 年版，第 136-137 页。

指南针和中国古代的磁学知识

自然科学史研究所 林文照

指南针的发明年代很早，已经有两千多年的历史。我国古籍中，有关指南针的记载很多。在这里，我们只就指南针的发明历史和它对人类的重大贡献，以及我国古代关于磁学方面的初步知识，作一简单的介绍。

关于指南针

指南针是利用磁铁在地球磁场中的南北指极性而制成的一种指向仪器，它和以齿轮结构的机械指南车不同。

我们现在所说的指南针是个总的名称，在各个不同的历史发展时期，它有不同的形体，也有不同的名称，如司南、指南鱼、指南针和磁罗盘等等。

关于指南针的最初发明者和发明年代现在无可查考。但是有一点是清楚的：指南针是我国古代劳动人民在长期的生产实践中集体智慧的结晶。

指南针的发展和演变

指南针大约在我国战国时期就已经出现了。最初的指南针是用天然磁石制成的，样子像一只勺，底圆，可以在平滑的“地盘”上自由旋转，等它静止的时候勺柄就会指向南方。古人称它“司南”。东汉的王充，在他的《论衡·是应篇》中曾说：“司南之杓，投之于地，其柢指南。”这里的“地”，是指汉代栲占的方形“地盘”。地盘四周刻有八干(甲、乙、丙、丁、庚、辛、壬、癸)和十二支(子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥)，加上四维(乾、坤、巽、艮)，共二十四向，用来配合司南定向。从战国、秦汉、六朝以至隋唐的古籍中，有不少关于司南的记载。如《韩非子·有度篇》里有“先王立司南以端朝夕”的话，“端朝夕”就是正四方的意思。《鬼谷子·谋篇》里也记载说，“郑人取玉，必载司南，为其不惑也。”就是说郑国的人到远处去采玉，就带了司南去，以便不迷失方向。

古代的司南是用天然磁石经人工用琢玉的办法琢磨成的。我国商周时期琢玉工人的技术已经很精湛，至迟在春秋时期就已经能把硬度五到七的软玉和硬玉琢制成各种形状的玉器，因此也能够把硬度只有五·五到六·五的天然磁石制成形体比较简单的司南来。

由于天然磁石在琢制成司南的过程中不容易找出准确的极向，而且也容易因受震而失去磁性，因而成品率低。同时也因为这样琢制出来的司南磁性比较弱，而且在和地盘接触的时候转动摩擦阻力比较大，效果不很好，因此这种司南未能得到广泛的使用。

见恩格斯：《自然辩证法》，《马克思恩格斯选集》第三卷，人民出版社1972年版，第523页。

详见陆学善：“中国晶体学史料掇拾”，《科技史文集》第十二辑，上海科学技术出版社1984年版，第

随着社会生产力的不断发展，科学技术的不断进步，航海业的不断扩大和发展，制造出一种比司南更好的指向仪器不但成为必要，而且也有了可能。在经过劳动人民长期的生产实践和反覆多次的试验之后，人们终于发现了人工磁化的方法，这样就产生了更高一级的磁性指向仪器。

北宋初年由曾公亮主编的一部军事著作《武经总要》和由著名的科学家沈括撰写的《梦溪笔谈》里，分别介绍了指南鱼和指南针。指南鱼是用薄铁叶裁成鱼形，然后用地磁场磁化法，使它带有磁性(详后)。在行军需要的时候，只要用一只碗，碗里盛半碗水，放在无风的地方，再把铁叶鱼浮在水面，就能指南。但是这种用地磁场磁化法所获得的磁体磁性比较弱，实用价值比较小。另一种指向仪器是指南针，它是以天然磁石摩擦钢针制得。钢针经磁石摩擦之后，便被磁化，也同样可以指南。沈括根据他的见闻，在《梦溪笔谈》卷二十四里说道：“方家以磁石磨针锋，则能指南。”直到十九世纪现代电磁铁出现以前，几乎所有的指南针都是采用这一种人工磁化法制成的。这时，指南针在它的发展史上已经跨过了两个发展阶段——司南和指南鱼，发展成一种更加简便、更有实用价值的指向仪器。以后各种名目繁多的磁性指向仪器，就都以这种磁针为主体，只是磁针的形状和装置法有所变化罢了。

《武经总要》所描述的指南鱼复原模型。

沈括的磁针装置实验示意图：1．横贯灯蕊浮水上；2．架在碗沿上；3．架在指甲上；4．用缕丝悬挂起来。

关于磁针的装置法，沈括亲自做了四种实验：把磁针横贯灯蕊浮水上，架在碗沿或指甲上，以及用缕丝悬挂起来。

沈括这四种实验，概括起来是属于三种类型：一是水浮法，二是支点旋转法，三是缕丝悬挂法。沈括认为，“水浮多荡摇，”碗沿或指甲“坚滑易坠”，而以“缕悬为最善”。其实这三种方法各有优点，它们在后来都有不同程度的发展，都在实际中得到不同程度的应用。而且前两种的应用还更加普遍。特别是水浮法，在我国指南针发展史上占有重要的地位。从已经发现的古代文献和地下出土文物可以看出，我国从两宋起，历元、明到清初，水浮法指南针在航海上和堪輿上都一直使用。有的还使用到清代的中后期。这种水浮法，据宋代寇宗奭(shì)的《本草衍义》、元代程棨的《三柳轩杂记》所说，是用灯芯或其他比较轻的物体做浮标，让磁针贯穿而过，使它浮在水面而指南。如磁针装置实验示意图的(1)所示。解放后在河北磁县、江苏丹徒、辽宁大连等地，陆续发掘出一批元代的“王”字瓷碗。碗腹内底画有三大点，中间穿一细划，样子像个“王”字。据王振铎考证，这三点一划是表示“指南浮针”，中间的直线表示磁针，三大点表示和灯芯草有共同作用的浮标。这“王”字的绘画是有用意的。一个是为了表明这碗是专为浮针用的(在大连市出土的三个“王”字瓷碗底部圈足里都墨书一个正楷的“针”字，就是为了标明这碗是针碗)。另一个可能是为了标明磁子午方向，在一定程度上起了方位盘的作用。

南宋陈元靓在他所撰的《事林广记》中，也介绍了当时民间曾经流行

见《诗经·魏风·伐檀》：“坎坎伐檀兮，置之河之干兮，河水清且涟猗。……坎坎伐轮兮，置之河之干兮，河水清且沦猗。……”本书译文转引自余冠英：《诗经选译》，人民文学出版社 1963 年版，第 120

的有关指南针的两种装置形式，就是木刻的指南鱼和木刻的指南龟。木刻指南鱼是把一块天然磁石塞进木鱼腹里，让木鱼浮在水上而指南。木刻指南龟的指向原理和木刻指南鱼相同，它的磁石也是安在木龟腹，但是它有比木鱼更加独特的装置法，就是在木龟的腹部下方挖一小穴，然后把木龟安在竹钉子上，让它自由转动。这就是说，给木龟设置一个固定的支点。拨转木龟，待它静止之后，它就会南北指向。

正如在使用司南时需要有地盘配合一样，在使用指南针的时候，也需要有方位盘相配合。最初，人们使用指南针指向可能是没有固定的方位盘的，但是不久之后就发展成磁针和方位盘联成一体罗经盘，或称罗盘。方位盘仍是汉时地盘的二十四向，但是盘式已经由方形演变成环形。罗经盘的出现，无疑是指南针发展史上的一大进步，只要一看磁针在方位盘上的位置，就能定出方位来。南宋曾三异在《同话录》中说道：“地螺或有子午正针，或用子午丙壬间缝针。”这里的“地螺”就是地罗，也就是罗经盘。这是一种堪輿用的罗盘。这时候已经把磁偏角的知识应用到罗盘上。从曾三异的话可以看出，这种罗盘不但有子午正针（是以磁针确定的地磁南北极方向），还有子午丙壬间的缝针（是以日影确定的地理南北极方向），两个方向之间有一夹角，这就是磁偏角。

当时的罗盘，还是一种水罗盘，磁针还都是横贯着灯芯浮在水面上的。北宋徐兢的《宣和奉使高丽图经》中记有：在海上航行遇到阴晦天气，就用指南浮针。

不过在南宋可能已出现旱罗盘。据《考古》1988年第四期报道，1985年五月江西临川南宋邵武知军朱济南（1140 - 1197）墓出土了七十件瓷俑，其中一件称张仙人俑，高二二·二厘米，手捧一件似是旱罗盘，磁针是菱形，中央有一小孔，以轴承支持着。这说明可能早在十二世纪末期以前，中国已有旱罗盘。旱罗盘和水罗盘的区别在于：旱罗盘的磁针是以钉子支在磁针的重心处，并且使支点的摩擦阻力十分小，磁针可以自由转动。显然，旱罗盘比水罗盘有更大的优越性，它更适用于航海，因为磁针有固定的支点，而不会在水面上游荡。

旱罗盘的这种磁针有固定支点的装置法，最初的思想起源很早。因为司南就有一定的支点；沈括关于磁针装置试验中又有碗沿旋定法和指甲旋定法等。

我国的指南针大约是在公元十二世纪末到十三世纪初经过阿拉伯传入欧洲的。宋代我国的航海业已经相当发达，泉州、广州都是世界第一等大商港，中国船只不但船身大，结构坚，而且航速快，又有指南针指航，阿拉伯商人都乐乘中国船只。而且阿拉伯和波斯商人旅居中国的不少，泉、广常住许多阿拉伯商人，因而，我国指南针的每一步发展，连同民间流行的木刻指南龟，也就很容易随着频繁的经济文化交流而传入西方，这就为旱罗盘的出现提供了基础。

顺便指出，虽然旱罗盘因磁针有固定的支点而比水罗盘显得优越，但是它在海上应用仍有很大的不方便。当盘体随海船作大幅度摆动的时候，常使磁针过分倾斜而靠在盘体上转动不了。十四到十六世纪，欧洲航海罗盘出现了一种现在称做“万向支架”的常平架，它是由两个铜圈组成，两圈的直径略有差别，使小圈正好内切于大圈，并且用枢轴把它们联结起来，然后再由枢轴把它们安在一个固定的支架上。旱罗盘就挂在内圈中，这样，

不论船体怎么摆动，旱罗盘总能始终保持水平状态。

这种常平架，就文献记载来看，在我国早在汉晋时期就已经出现了。在当时的一部著作《西京杂记》中曾经记载西京长安有个巧匠名叫丁缓的，他作了一个小香炉，像个多孔小球，可以点上香后放在被窝中，不论小球怎么滚动，炉灰总不会撒出来，因此这种小香炉称做卧褥香炉或被中香炉。卧褥香炉的原理就是在多孔小球里联结着两个套起来的金属圈，点香用的炉缸就挂在内圈上。这种卧褥香炉在汉以后历代都有制造。但是这种技术原理在当时只是为少数统治阶级服务，直到一千三百多年后欧洲人用它装置航海罗盘的时候，这一人类智慧才得到真正的尊重和充分的应用。

指南针在航海上的应用

指南针作为一种指向仪器，在我国古代军事上，生产上，日常生活上，地形测量上，尤其在航海事业上，都起过重要的作用。

我国古代航海业相当发达。秦汉时期，就已经同朝鲜、日本有了海上往来；到隋唐五代，这种交往已经相当频繁。而且同阿拉伯各国之间的贸易关系也已经很密切。到了宋代，这种海上交通更得到进一步的发展。中国庞大的商船队经常往返于南太平洋和印度洋的航线上。海上交通的迅速发展和扩大，是和指南针在航海上的应用分不开的。在指南针用于航海之前，海上航行只能依据日月星辰来定位，一遇阴晦天气，就束手无策。唐文宗开成三年(公元 838 年)，日本和尚圆仁来中国求法，后来写有《入唐求法巡礼行记》一文，描述了在海上遇到阴雨天气的时候混乱而艰辛的情景：当时，海船的航向无法辨认，大家七嘴八舌，有的说向北行，有的说向西北行，幸好碰到一个波绿海浅的地方，但是也不知道离陆地有多远，最后只好沉石停船等待天晴。

而在指南针用于航海之后，不论天气阴晴，航向都可辨认。史籍中最早记载到指南针用于航海的是在北宋。朱彧(yù)在他的《萍洲可谈》一书中评述了当时广州航海业兴盛的盛况，同时也记述了中国海船在海上航行的情形，说道：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”这时海上航行还只是在日月星辰见不到的日子里才用指南针，这是由于人们对靠日月星辰来定位有一千多年的经验，而对指南针的使用还不很熟练。随着指南针在海上航行的不断应用，人们对它的依赖也与日俱增，并且有专人看管。南宋吴自牧在他所写的《梦粱录》中说道：“风雨冥晦时，惟凭针盘而行，乃火长掌之，毫厘不敢差误，盖一舟人命所系也。”由此也可以看出指南针在航海中的地位和作用。到了元代，指南针一跃而成海上指航的最重要仪器了，不论冥晦阴晴，都利用指南针来指航。而且这时海上航行还专门编制出罗盘针路，船行到什么地方，采用什么针位，一路航线都一一标识明白。元代的《海道经》和《大元海运记》里都有关于罗盘针路的记载。元代周达观写的《真腊风土记》里，除了描述海上见闻外，还写到海船从温州开航，“行丁未针”。这是由于南洋各国在中国南部，所以海船从温州出发要用南向偏西的丁未针位。明初航海家郑和“七下西

洋”，扩大了中国的对外贸易，促进了东西方的经济和文化交流，加强了中国的国际政治影响，增进了中国同世界各民族的友谊，作出了卓越的贡献。他这样大规模的远海航行之所以安全无虞，端赖指南针的忠实指航。郑和的巨舰，从江苏刘家港出发到苏门答腊北端，沿途航线都标有罗盘针路，在苏门答腊之后的航程中，又用罗盘针路和牵星术相辅而行。指南针为郑和开辟中国到东非航线提供了可靠的保证。就世界范围来说，指南针在航海上的应用，导致了以后哥伦布(约 1451 - 1506)对美洲大陆的发现和麦哲仑(约 1480 - 1521)的环球航行。这大大加速了世界经济进程的进程，为资本主义的发展提供了必不可少的前提。

我国古代有关磁学的知识

我国古代关于磁学的知识相当丰富。古籍中记载了很多有关磁学的其他知识。远在二千多年前，我国古代劳动人民就开始同磁打交道。我们祖先对磁的认识，最初是从冶铁业开始的。劳动人民在寻找铁矿的过程中，必然会遇到磁铁矿，就是磁石(主要成分是四氧化三铁)。我国古籍中关于磁石的最早记载，是在《管子·地教篇》中：“上有慈石者，下有铜金。”人们在同磁石不断接触中，逐渐了解到它的某些特性，并且利用这些特性来为人类服务。

关于磁石的吸铁性

磁石有一个区别于别种矿石的显而易见的特性，就是它的吸铁性。磁石吸铁性的发现年代很早，它同静电学里的“琥珀拾芥”现象一起，通常被古代人联系起来比喻事物的本性。由于磁石具有吸铁的特性，因此它也容易被人们发现。古代人把磁石的这种特性比喻做母子相恋，认为“石，铁之母也。以有慈石，故能引其子；石之不慈者，亦不能引也。”(《吕氏春秋·季秋纪·精通篇》高诱注)因此，汉初以前，都是把“磁石”写成“慈石”。《淮南子·说山训》和《览冥训》中还提到“慈石能引铁，及其于铜则不行也”，“而求其引瓦则难矣”。

从现代物理学知识知道，磁石之所以能够吸铁，是由于铁的导磁系数远远比一大。铁被磁石的磁场作用后，会感应出很大的附加磁场，也就是说铁本身也成为一强磁体，因而能被磁石吸引。而铜、金等大多数的金属和非金属，都是一般的弱磁性物体，它们的导磁系数都十分接近于一(略大于或小于一)，因此这些物体不能被磁石吸引。对于这一问题，宋代的陈显微和俞琰曾经作了探讨，认为磁石所以吸铁，是有它们本身内部的原因，是由铁和磁石之间内在的“气”的联系决定的(“神与气合”，“皆阴阳相感，隔碍相通之理”)。明末的刘献廷(1648 - 1695)在他的《广阳杂记》一书中也认为磁石吸铁是由于它们之间具有“隔碍潜通”的特性。刘献廷还在他的书中记述了磁屏蔽现象：“或问余曰：‘磁石吸铁，何物可以隔之？’犹子阿孺曰：‘惟铁可以隔之耳’”。刘献廷并且把铁的这种磁屏蔽作用理解为“自然之理”。这种力图用自然界本身来解释自然现象的观点是唯物主义的。考虑到当时的科学水平，也只能作出这样解释。

我国古代还把磁石吸铁性应用于生产上。清朱琰著的《陶说》记有古

代烧白瓷器的时候，用磁石过滤釉水中的铁屑，因为素瓷如果沾有铁屑，烧成后就会有黑斑。在制药的过程中，由于铁制的杵臼往往会有碎屑混在药里，人们也往往用磁石吸去杵头的铁屑。磁石也应用于医疗上，明代李时珍的《本草纲目》记载到宋代的人就用磁石吸铁作用来进行某种外科手术，如在眼里或口里吸取某些细小的铁质异物。到了现代，已经发展为一种专门的磁性疗法，对关节炎等疾病显示出良好的疗效。

人工磁化法和有关地磁学的初步知识

我国古籍中有关人工磁化法的记载，基本上有两种。

一种是如沈括所说的用天然磁石磨擦钢针的方法。从现代观点来看，这种方法实际上就是以天然磁石的磁场的作用，使钢针内部的单元小磁体——“磁畴”由杂乱排列变为规则排列，从而使钢针显示出磁性来。之所以用钢针，是因为钢的剩磁力强，可以成为永磁体。

另一种方法是利用地球磁场的作用使钢针磁化。《武经总要》所记载的指南鱼就属于这一种。“鱼法以薄铁叶剪裁，长二寸，阔五分，首尾锐如鱼形，置炭火中烧之，候通赤，以铁钐钐鱼首出火，以尾正对子位，蘸水盆中，没尾数分则止，以密器收之。”从现在知识看，把铁叶鱼烧红是为了让铁鱼内部的分子动能增加，从而使分子磁畴从原先的固定状态变为运动状态。然后使烧红的铁叶鱼沿着地球磁场方向放置，为的是通过强大的地磁场迫使运动着的分子磁畴顺着地球磁场方向重新排列(由无规则排列到规则排列)，这时铁鱼就被磁化了。最后由于我国地处地球的北半部，地磁场的方向应是北端向下，因此“蘸水盆中，没尾数分则止”，就是令铁叶鱼“正对子位”的鱼尾略为向下倾斜，使它在更大程度上被磁化。蘸入水中是为了使它迅速冷却，把分子磁畴的规则排列固定下来，同时也是淬火过程。最后“以密器收之”，可能是把指南鱼放在天然磁石旁边，以形成闭合磁路，让它保持磁化或继续磁化。这种磁化法完全是凭经验得来的，但是它是磁学和地磁学发展的重要一环，比欧洲用同样磁化方法早了四百多年。

我国关于地球磁场可以磁化铁物的记载，还见于明代的一些著作中，如方以智的《物理小识》卷八《指南说》的注中引滕揖的话：“铁条长而均者，悬之亦指南。”李豫亨的《青乌绪言》中也记有堪舆家悬铁条使它指向的方法：“近遇地师汪弄丸者，始知以铁杖不拘巨细，系绳悬之，以手击之旋，旋定必指南，即罗经法也，余试之良然。”

磁偏角、磁倾角(地球磁场和水平面的夹角)和地磁场的水平分量(或地磁场的强度)称作“地磁三要素”。欧洲人对磁偏角的发现是在哥伦布海上探险途中的1492年，磁倾角的发现还要晚一些。而我国对磁偏角、磁倾角的发现都要早得多。

《武经总要》所记述的制指南鱼法，是包含有一定的地磁学知识的。甚至有关磁倾角的知识也反映在这种磁化法中。既然指南鱼在磁化过程中要北端(尾部)向下倾斜，这就隐含着当时的人们已经意识到有个倾角的存在。

北宋司天监杨维德于仁宗庆历元年(公元1041年)撰成的相墓书《茆原总录》说：“客主的取，宜匡四正以无差。当取丙午针，于其正处，中而格之，取方直之正也。”之所以“取丙午针，就是由于磁针存在偏角的缘故。也就是说当磁针处于“丙午”方向时，方向盘的“午”才是地理的正

南向。这是至今所发现的有关磁偏角的最早文献记载。

沈括在记述用天然磁石磨擦钢针可以指南的时候指出：“然常微偏东，不全南也。”沈括在这里说的是“常微偏东”，而不是必微偏东。他在说到悬挂磁针的时候，也是说“针常指南”。稍后一些的寇宗奭，在他编的《本草衍义》中收录了沈括的话，但他去掉“微”字，而保留“常”字，写成“常偏东”、“常指南”、“常偏丙位”等等，足见沈、寇二人对“常”字不是随便用的。从后来的地磁学发展知道，磁偏角是随地点的变化而变化的，而同一地点的磁偏角大小又随时间的推移而不断改变。这些变化是由于地磁极不断变动所致。沈括在《梦溪笔谈》里之所以记为“常微偏东”，可能是由于他观察磁针指南是在一个比较长的时间里，同时也由于他观察磁针是在随身携带在各个不同的地点上，因此他所得到的各个偏角值大小不一样，多数是偏东的，但是也不完全是这样。欧洲人首次发现磁偏角随地点变化是在哥伦布由西班牙航往美洲的途中；而发现同一地点的磁偏角随时间变化是在1634年。这些发现都是比较具体而详细的。而沈括的记述却很笼统，但是我们可以认为，磁偏角是在不断变化的这一现象，在《梦溪笔谈》里就有所反映。

到了南宋，磁偏角因地而异的情况有了更明确的记载，并且被应用到堪舆罗盘上，如前面已经提到的曾三异，他在《同话录》中说：“天地南北之正，当用子午。或谓今江南地偏，难用子午之正，故以丙壬参之。”这就是说，在地磁子午线和地理子午线一致的地方，用子午正针就可以了；而在我国东部沿海一带，地磁子午线和地理子午线有一夹角，就要参用丙壬缝针。

到元明清时期，堪舆罗盘也都设有缝针，而且不同时期、不同地域所制的罗经盘的缝针方位也都不一致。这可以看成是我国古代关于偏角因时、地而变化的原始记录。

从上面的介绍可以看出，我国古代关于磁学和地磁学的知识是相当丰富的，而指南针的发明，尤其是指南针在航海中的应用，更开世界磁性导航的先河。我国古代劳动人民以自己的辛劳和智慧为人类古代文明做出了巨大的贡献。

中国古代光学成就

自然科学史研究所 金秋鹏

光学是现代科学的一门重要分科，渗透到人类社会生活的各个领域，显示出了越来越大的威力。光学的发展有它悠久的历史。在光学发展的道路上，我国古代曾经做出过重大的贡献。

光的直线传播

太阳给人类以光和热，这是人类不可缺少的光源。但是由于地球的自转，形成了白昼和黑夜。每到晚上，黑暗就笼罩着大地。生活在远古的人类祖先，对黑夜是无能为力的。黑暗给人们以可怕、可恶的感觉，直到今天黑暗仍为人们用来形容邪恶。不知经历了多少个世纪，人类才发现火也能提供光和热。开始是使用天然火，以后又发明了人工摩擦取火。人工摩擦取火的发明是人类历史的一个划时代进步，它“第一次使人支配了一种自然力，从而最终把人同动物界分开”。生活在五十万年以前的北京猿人就已经懂得使用天然火，大约在几万年前人类又学会了用钻木的方法人工取火。火在长时期里一直是人们唯一可以利用的人造光源，后来人们创造了油灯、蜡烛，还是离不开火，一直到近代光源的发明才取代了火。

通过对光的长期观察，人们发现了沿着密林树叶间隙射到地面的光线形成射线状的光束，从小窗中进入屋里的日光也是这样。大量的观察事实，使人们认识到光是沿直线传播的。为了证明光的这一性质，大约二千四五百年前我国杰出的科学家墨翟和他的学生作了世界上第一个小孔成倒像的实验，解释了小孔成倒像的原理。虽然他讲的并不是成像而是成影，但是道理是一样的。

在一间黑暗的小屋朝阳的墙上开一个小孔，人对着小孔站在屋外，屋里相对的墙上就出现了一个倒立的人影。为什么会有这奇怪的现象呢？墨家解释说，光穿过小孔如射箭一样，是直线行进的，人的头部遮住了上面的光，成影在下边，人的足部遮住了下面的光，成影在上边，就形成了倒立的影。这是对光直线传播的第一次科学解释。

墨子的小孔成倒影实验示意图

墨家还利用光的这一特性，解释了物和影的关系。飞翔着的鸟儿，它的影也仿佛在飞动着。墨家分析了光、鸟、影的关系，揭开了影子自身并不直接参加运动的秘密。墨家指出鸟影是由于直线行进的光线照在鸟身上被鸟遮住而形成的。当鸟在飞动中，前一瞬间光被遮住出现影子的地方，后一瞬间就被光所照射，影子便消失了；新出现的影子是后一瞬间光被遮住而形成的，已经不是前一瞬间的影子。因此，墨家得到了“景不徙”的结论，“景”通“影”，就是说，影子不直接参加运动。那么为什么影子看起来是活动着的呢？这是因为鸟飞动的时候，前后瞬间影子是连续不断地更新着，并且变动着位置，看起来就觉得影是随着鸟在飞动一样。在二

详见王振铎《司南指南针与罗经盘》（上、中、下），《中国考古学报》第三、四、五册。本文插图都采自上述论文。

千四五百年前，能这样深入细致地研究光的性质，解释影的动和不动的关系，确是非常难能可贵的。墨家还从光线直线传播的原理解释了投影和半影的现象。

十四世纪中叶，元代天文数学家赵友钦在他所著的《革象新书》中进一步详细地考察了日光通过墙上孔隙所形成的像和孔隙之间的关系。他发现当孔隙相当小的时候，尽管孔隙的形状不是圆形的，所得的像却都是圆形的；日食的时候，像也有缺，和日的食分相同；孔的大小不同，但是像的大小相等，只是浓淡不同；如果把像屏移近小孔，所得的像变小，亮度增加。对于这一现象，赵友钦经过精心思索和研究，得出了关于小孔成像的规律。他认为孔相当小的时候，不管孔的形状怎样，所成的像是光源的倒立像，这时孔的大小只不过和像的明暗程度有关，不改变像的形状。当孔相当大的时候，所得到的像就是孔的正立像。

小孔成像示意图。

为了证实这个结论，赵友钦设计了一个比较完备的实验。在楼下的两间房子的地板中各挖两个直径四尺多的圆井，右边的井深四尺，左边的深八尺，在左井里放置一张四尺高的桌子，这样两井的深度就相同。作两块直径四尺的圆板，板上各密插一千多枝蜡烛，点燃后，一块放在右井井底，一块放在左井桌上。在井口各盖直径五尺、中心开小方孔的圆板，左板的方孔宽一寸左右，右板的方孔宽半寸左右。这时可以看到楼板上出现的都是圆像，只是孔大的比较亮，孔小的比较暗。赵友钦用光的直线传播的道理，说明了东边的烛成像于西，西边的成像于东，南边的成像于北，北边的成像于南，每根烛都有对应的像，由于一千多枝烛是密集成圆形的，所成的像也相互连接成为圆像。这样就说明了在光源、小孔、像屏距离不变的情况下，所成的像形状不变，只有照度上的差别：孔大的“所容之光较多”，因而比较亮；孔小的“所容之光较少”，因而比较暗。如果把右井里东边的蜡烛熄灭五百枝，那右边房间楼板上的像西边缺半，相当于日月食的时候影和日、月食分相等一样。如果在左边中蜡烛疏密相间，只燃点二三十枝，那像虽是圆形分布，但是各是一些不相联接的暗淡方像；如果只燃一烛，方孔对于烛光源来说不是相当小，因而出现的是方孔的像；把所有的烛重新点着，左边的像就恢复圆形。其次，在楼板上平行于地面吊两块大板作为像屏，这时像屏距孔近，看到的像变小而明亮。接着去掉上面所说的吊着的两块板，仍以楼板作为像屏，撤去左井里的桌子，把蜡烛放到井底，这时左井的光源离方孔远，左边的楼板上出现的像变小，而且由于烛光弱，距离增加后亮度也变弱。从这些实验结果，赵友钦归纳得出了小孔成像的规律，指出了烛(光源)的远近、强弱和小孔、像屏的远近之间的关系，指出像屏近孔的时候像小，远孔的时候像大；烛距孔远的时候像小，近孔的时候像大；像小就亮，像大就暗；烛虽近孔，但是光弱，像也就暗；烛虽远孔，但是光强，像也就亮。实验的最后一步是撤去覆盖井面的两块板，另在楼板下各悬直径一尺多的圆板，右板开广四寸的方孔，左板开各边长五寸的三角形孔，调节板的高底，就是改变光源、孔、像屏之间的距离。这时仰视楼板上的像，左边是三角形，右边是方形。这说明孔大的时候所成的像和孔的形状相同：孔距屏近，像小而明亮；孔距屏远，像大而暗淡。

从以上的实验结果，赵友钦得出了小孔的像和光源的形状相同、大孔

的像和孔的形状相同的结论，并指出这个结论是“断乎无可疑者”。用这样严谨的实验，来证明光的直线传播，阐明小孔成像的原理，这在当时世界上是绝无仅有的。

光的直线传播性质，在我国古代天文历法中得到了广泛的应用。我们的祖先制造了圭表和日晷，测量日影的长短和方位，以确定时间、冬至点、夏至点；在天文仪器上安装窥管，以观察天象，测量恒星的位置。

此外，我国很早就利用光的这一性质，发明了皮影戏。汉初齐少翁用纸剪的人、物在白幕后表演，并且用光照射，人、物的影像就映在白幕上，幕外的人就可以看到影像的表演。皮影戏到宋代非常盛行，后来传到了西方，引起了轰动。

镜面成像原理

光是沿直线传播的，但是在光的前进方向上遇到物体的时候，就会发生反射现象。我国在三千年前就制造和使用铜镜，并且很早就对光的反射有深刻的认识。

从农历的月初到月底，人们看到月亮从上弦月到圆又到下弦月，周而复始地变化着。月光是从哪儿来的呢？是月球本身能够发光吗？远古时代，人们以为月亮是能够发光的。但是大约在公元前四世纪以前，我国就知道了月亮本身是不发光的，它的光是日光照射在月面上所引起的反射光。为了说明月光是日照射的结果，宋代科学家沈括曾经做过圆球受光的实验。他用一个弹丸(代表月球)，一半涂粉(表示月球受太阳光的一面)，这样，“侧视之则粉处如钩，对视之则正圆”，(《梦溪笔谈》卷七)说明了月的圆缺的道理。

我国古代造镜技术非常发达，并且对各种镜子成像原理有深入的研究。

大家知道，只要对着光滑的平面，就可以照见自己的脸孔。在镜子使用以前，人们是利用静水来看自己的脸的，并且知道流水是照不成像的。早在公元前十一世纪前，我国就已经使用铜镜。到了秦汉以后，铜镜大大发展，畅销国内外。我国的古代铜镜至今仍旧被人们看作世界文明史上的珍品。特别是有两千多年历史的所谓“透光镜”，它能够通过反射映出镜子背面的美丽图案，引起了人们的极大兴趣。为了解开“透光镜”之谜，国内外花了几百年的时间进行研究探索，直到近代才发现，这是由于镜面在制造加工以后，有相对于背面图案的轻微不等的曲率，通过反射产生映出背面的图案。这充分说明了我国古代高超的制镜技术和对光的反射特性的深刻认识。

平面镜成像示意图。

利用平面镜反射的原理，我国在公元前二世纪前就制成了世界上最早的潜望镜。汉初《淮南万毕术》一书中，有“取大镜高悬，置水盆于下，则见四邻矣”的记载，这个装置虽然粗糙，但是意义深远，近代所使用的潜望镜就是根据这个道理制造的。

在利用平面镜的同时，人们又发现了球面镜的奇特现象。球面镜有凹面镜和凸面镜两种。

世界上最早的潜望镜。

认识凹面镜的聚焦特性，利用凹面镜向日取火，在我国有悠久的历史。

在古代，我国把凹面镜叫做“阳燧”，意思就是利用太阳光来取火的工具，这是太阳能的最初利用。早在公元前五世纪，墨翟和他的学生就对凹面镜进行了深入研究，并且把他们的研究成果，记载在《墨经》一书中。他们通过实验发现，当物体放在球心之内时，得到的是正立的像，距球心近的像大，距球心远的像小。当物体在球心之外时，那得到的是倒立的像，距球心近的像大，距球心远的像小。当物体在球心处时，那像在物处，和物大小相等，方向相反。（“景，一小而易，一大而正：说在中之外、内。”“中之内，鉴者近中，则所鉴大，景亦大；远中，则所鉴小，景亦小：而必正。”“中之外，鉴者近中，则所鉴大，景亦大；远中，则所鉴小，景亦小；而必易。”）当时墨家已经明确地区分焦点和球心，把焦点称作“中燧”。

墨家对凸面镜也进行了研究，认识到物体不管是在凸面镜的什么地方，都只有一个正立的像。（“鉴团景一”，“鉴团”就是凸面镜。）像在镜面的另一侧，就是虚像，并且总是比原物体小，只是距中心近的像显得大，距中心远的像显得小。（“鉴者近，则所鉴大，景亦大；其远，则所鉴小，景亦小。”）

我国古代制镜的手工工人在镜子生产中熟练地利用了凸镜的成像特性。宋代沈括在《梦溪笔谈》卷三中总结古代铸镜的技术说：如果镜大，就把镜面做成平面；如果镜小，就把镜面做成微凸，这样镜面虽然小，也能照全人的脸。（“古人铸鉴，鉴大则平，鉴小则凹。凡鉴洼则照人面大，凹则照人面小。小鉴不能全视人面，故令微凸，收人面令小，则鉴虽小而能全纳人面。”）现在汽车上的反光凸镜、拐弯路口所立的凸镜，也是利用这个原理。

沈括还在前人研究的基础上，正确地表述了凹镜成像的原理。他在《梦溪笔谈》卷三中指出：用手指放在凹面镜前成像，随着手指和镜面的距离远近移动，像就发生变化。沈括用这个事例说明了凹面镜成像和焦点的关系。当手指迫近镜面的时候，得到的是正立的像；渐远就看不见像，这就是因为手指在焦点处不成像；超过了焦点，像就变成倒像。他指出凹镜“聚光为一点”，他把这点叫做“碍”，就是近代光学上所谓焦点。他并且用窗隙（小孔成像）、摇橹的小支柱、腰鼓的最细处来比拟，生动又形象地说明了凹面镜产生倒像的道理。（“阳燧照物皆倒，中间有碍故也。”“如人摇橹，橹为之碍故也。”“又如窗隙中楼塔之影，中心为窗所束，亦皆倒垂，与阳燧一也。”“阳燧面洼，以一指迫而照之则正，渐远则无所见，过此遂倒。其无所见处，正如窗隙、橹橹、腰鼓碍之，本末相格。”）

现在我们知道，平行光经凹面镜反射后聚焦于焦点，它的成像有如下几种情况：当物体处在球心以外时，那得到的是倒立的实像，像小于物体；当物体在球心处时，像和物在同一位置，大小相等，方向相反；当物体在球心和焦点之间时，像是比物体大的倒立实像；当物体在焦点处时，由于通过焦点的光经球面镜反射以后成平行光，就不成像；当物体在焦点之内时，得到的是虚像，像比物体大。凸面镜却不能成实像，不论物体在镜前什么地方，都是正立的虚像，像总比物体小。

凹面镜成像示意图之三：物体在球心和焦点之间。

凹面镜成像示意图之四：物体在焦点处不成像。

凹面镜成像示意图之五：物体在焦点之内。

凸面镜成像示意图。

《墨经》中以球心来区分物体和像的关系，没有说明凹面镜中心到焦点间成像的情况，这是它的不足之处。但是在二千四五百年前，光学还处于萌芽状态，就有这样具体的描述，是值得称赞的。

光的折射和色散

光从空气中进入透明的物质，会发生折射现象，这个事实人们很早就已经发现了。例如，我们把筷子斜插到水中，就会看到筷子好像折断似的，就是由于光的折射的缘故。由于我国古代没有应用玻璃，对于透镜的知识比较差。但是具有聪明才智的我国古代人民，通过特殊的方法，还是认识到凸透镜的聚焦现象。一千多年前晋代的张华著的《博物志》一书中说：“削冰命圆，举以向日，以艾承其影，则得火。”这可以说是巧夺天工的发明创造。冰见到了热会融化，但是古人把它制成凸透镜，利用聚焦，来取得火。这看起来是不可思议的，但是事实上是可能的。从这里可以看出当时对凸透镜的聚焦已经有充分的认识，而这认识的得来是要经过多次反覆实验，付出很大代价的。

凸面镜聚焦现象示意图。

彩虹，长期以来人们写下了大量优雅的诗句来赞美它。对于彩虹的成因，我国古代也早有所探讨。大约一千五百年前，唐初的孔颖达(574 - 648)就提出了“若云薄漏日，日照雨滴则虹生”。这段描述是很深刻的，这说明了虹产生的条件是薄云、日照和雨滴，表明了虹是日光照射雨滴所产生的自然现象。八世纪中叶，张志和(约730—约810)还进行了人工造虹的试验。他背向太阳喷出小水珠，就观察到了类似虹霓的情景，这就证实了虹的产生是阳光通过水滴的结果。他并且指出，要看到虹必须“背日”，如果面对太阳就看不到。沈括在去我国北方契丹的途中，亲自实地考察了虹，也说明了对着太阳看不到虹，只有背向太阳才能观察到彩虹。沈括在《梦溪笔谈》卷二十一中记这件事的时候，还引述了当时精于历数的孙彦先的话：“虹乃雨中日影也，日照雨则有之，”来解释虹的成因。南宋的朱熹在前人的经验基础上，也提出过“虹非能止雨也，而雨气至是已薄，亦是日色散射雨气”的话，说虹往往出现在雨过初晴的时候，并不是虹能止雨，而是这时雨气已经很薄，日光散射雨气的结果。孙彦先、沈括、朱熹等用“雨中日影”、“日色散射雨气”等来解释虹的成因，就成虹的具体过程来说，是不精确甚至是错误的，因为现在知道是日光在雨滴中经过两次折射和一次(或二次)全反射产生色散的结果，但是在当时条件下，能对虹的成因提出这样的解释，是有可取之处的。

宋代的时候，人们经过长期的观察，还明了早晨和傍晚的红霞是由于太阳斜照的结果。当时有人用“斜日明霞，残虹分雨”的诗句，生动而精炼地描述产生明霞和彩虹的天空环境条件。

在认识水滴能产生五颜六色的彩虹的同时，我国至迟在公元十世纪，就发现了天然的透明晶体经日光照射以后也会出现五色光，因而把这种天然透明晶体叫做“五光石”或“放光石”。后来人们认识到透明晶体是六棱形的，“就日照之，成五色如虹霓”。把日光照射透明晶体产生的色散现象和虹霓现象联系起来，这在今天看来也是正确的。

这些关于日光通过水滴和晶体会产生色散现象的论述，虽然还很原始和粗糙，但是在人类认识光的性质的历史过程中是有重要意义的。它表明人们已经对光的色散现象从神秘中解放出来，知道它只是一种自然现象。这是对光的认识的一大进步。到了十七世纪中叶，牛顿通过三棱镜把日光分成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光，说明了白光是由这七色光复合而成的。后来人们又了解到，光在通过透明物质的时候，由于各色光的波长不同，折射率也不一样，红光折射率最小，依次递增，紫光折射率最大，因此出现七色的光谱，终于解开了虹和五光石之谜。

三棱镜把日光分散成七色光。

随着近代和现代科学的发展，人们对光的认识早已远远超出了几何光学的范围。现在人们已经知道了可见光是波长从四百到七百七十纳米(一纳米等于十亿分之一米)之间的电磁波，在它两端还有看不到的紫外线和红外线，再向外扩展就是各种射线和无线电波。对光的本质的认识已经深入到原子的内部结构，已经知道光是由于原子内部运动变化产生的，并且对光的各种特性已经有深刻的了解，如波粒二重性、偏振等。在对光的本质认识深化的同时，人们制造了各种各样的工具来利用光的特性。目前光学已经在工农业生产、国防建设和科学研究中广泛应用，近几年来激光技术的发明展现了光的应用的广阔前景。人类的认识是没有止境的，对光的认识和应用将会不断发展，开拓更广阔的前途。

四 化学和化工 造纸术的发明和发展

自然科学史研究所 潘吉星

纸是我们日常生活中最常用的物品，无论读书、看报，或是写字、作画，都得和纸接触。在工业、农业和国防工业生产中，也离不开纸。今天，如果没有纸，那简直是不可想像的。纸在交流思想、传播文化、发展科学技术和生产方面，是一种强有力的工具和材料。回顾历史，这种重要物质就是我国古代劳动人民发明的。造纸术和指南针、火药、印刷术并称为我国古代科学技术的四大发明，是我国人民对世界科学文化发展所作出的卓越贡献。

最初的纸是作为新型的书写记事材料而出现的。在纸没有发明以前，我国记录事物多靠龟甲、兽骨、金石、竹简、木牍、缣帛之类。商代的甲骨文、钟鼎文实物资料，本世纪以来不断出土；战国到秦汉的竹简、木牍和帛书、帛画，近年来也有大量出土实物。但是甲骨不易多得，金石笨重，缣帛昂贵，简牍所占空间很大，都不便于使用。随着社会经济文化的发展，迫切需要寻找廉价易得的新型书写材料。经过长期探索和实践，终于发明了用麻绳头、破布、旧鱼网等废旧麻料制成植物纤维纸。

关于造纸术的起源 过去多是沿用公元五世纪的历史家范曄(398 - 445)在《后汉书·蔡伦传》中的说法，认为纸是东汉的宦官蔡伦(62 - 121)于汉和帝永元十七年(公元 105 年)发明的。但是本世纪以来的考古发掘实践动摇了蔡伦发明纸的说法。1933 年新疆罗布淖尔汉烽燧遗址中出土了公元前一世纪的西汉麻纸，比蔡伦早了一个多世纪。1957 年西安市东郊的灞桥再次出土了公元前二世纪的西汉初期古纸。经笔者对这纸的分析化验，确认它主要由大麻和少量苧麻的纤维所制成。继这之后，1973 年在甘肃省居延的汉代金关遗址、1978 年在陕西省扶风中颜村的汉代窖藏中，也分别出土了西汉时的麻纸。值得指出的是，1986 年甘肃天水市附近的放马滩古墓葬中更出土西汉初文帝、景帝时期(公元前 179 年到前 141 年)的绘有地图的麻纸，这是目前发现的世界上最早的植物纤维纸。1990 年冬在敦煌甜水井西汉邮驿遗址中发掘出三十多张麻纸，其中三张纸上写有文字。这些事实有力地说明了，早在公元前二世纪，我国劳动人民就已经发明了造纸术，而且当时造出的纸已经可以用于书写。

但是早期的西汉麻纸仍有待进一步改进。到了公元二世纪，在东汉宫廷中任尚方令的蔡伦，凭借充足的人力和物力，监制并且组织生产了一批良纸，于永元十七年献给朝廷，从此造纸术在国内推广起来。同时，东汉还进而用树皮特别是楮皮造纸，扩大了原料来源。从这个意义上说，蔡伦在历史上是作为良纸的监制者和推广者的身分出现的，这些活动在客观上对造纸术的发展有利，因此他的作用不应该完全抹杀。

汉代麻纸制造过程，根据我们的实验研究，大体上是把麻头、破布等原料先用水浸，使它润胀，再用斧头切碎，用水洗涤。然后用弱碱性草木灰水浸透并且蒸煮，这可以说是后世碱法化学制浆过程的滥觞。通过碱液蒸煮，原料中的木素、果胶、色素、油脂等杂质进一步被除去，用清水漂

洗后，就加以舂捣。捣碎后的细纤维用水配成悬浮的浆液，再用漏水的纸模捞取纸浆，经脱水、干燥后就成纸张。如果纸表皱涩，还要研光，方能书写。

汉代劳动人民用简单平常的设备，从纺织废料中用化学和机械加工方法使纤维原料更生，制成植物纤维纸，在化学史和工艺史上的确是件值得大书的一项成就。这里有两个技术关键。一是用化学方法把纤维原料中的非纤维素成分去掉，再用强力舂捣使纯纤维素大分子被切短和分丝。二是设计出一种多孔的平面筛，使纸浆能在筛面上滞流，把大部分水滤出后，含少量水的纤维便留在筛面上，再经干燥脱水，就构成一张有一定机械强度的纸。这种平面筛就是抄纸器，是现代长网和圆网造纸机的原始雏型。

公元二世纪造纸术在我国各地推广以后，纸就成了和缣帛、简牍的有力的竞争者。公元三到四世纪，纸已经基本取代了帛、简而成为我国唯一的书写材料，有力地促进了我国科学文化的传播和发展。公元三到六世纪的魏晋南北朝时期，我国造纸术不断革新。在原料方面，除原有的麻、楮外，又扩展到用桑皮、藤皮造纸。在设备方面，继承了西汉的抄纸技术，出现了更多的活动帘床纸模，用一个活动的竹帘放在框架上，可以反覆捞出成千上万张湿纸，提高了工效。在加工制造技术上，加强了碱液蒸煮和舂捣，改进了纸的质量，出现了色纸、涂布纸、填料纸等加工纸。

从敦煌石室和新疆沙碛出土的这一时期所造出的古纸来看，纸质纤维交结匀细，外观洁白，表面平滑，可谓“妍妙辉光”。公元六世纪的贾思勰还在《齐民要术》中，专门有两篇记载了造纸原料楮皮的处理和染黄纸的技术。同时，造纸术传到我国近邻朝鲜和越南，这是造纸术外传的开始。

公元六到十世纪的隋唐五代时期，我国除麻纸、楮皮纸、桑皮纸、藤纸外，还出现了檀皮纸、瑞香皮纸、稻麦秆纸和新式的竹纸。在南方产竹地区，竹材资源丰富，因此竹纸得到迅速发展。关于竹纸的起源，先前有人认为开始于晋代，但是缺乏足够的文献和实物证据。从技术上看，竹纸应该在皮纸技术获得相当发展以后，才能出现，因为竹料是茎秆纤维，比较坚硬，不容易处理，在晋代不太可能出现竹纸。竹纸应该起源于唐以后，而在唐宋之际有比较大的发展。欧洲要到十八世纪才有竹纸。

这一时期的产纸地区遍及南北各地。由于雕板印刷术的发明，兴起了印书业，这就促进了造纸业的发展，纸的产量、质量都有提高，价格也不断下降，各种纸制品普及于民间日常生活中。名贵的纸中有唐代的“硬黄”、五代的“澄心堂纸”等，还有水纹纸和各种艺术加工纸。唐代的绘画艺术作品已经有不少纸本的，正反映出造纸技术的提高。

在公元十到十八世纪的宋元和明清时期，楮纸、桑皮纸等皮纸和竹纸特别盛行，消耗量也特别大。造纸用的竹帘多用细密竹条，这就要求纸的打浆度必须相当高，而造出的纸也必然很细密匀称。先前唐代用淀粉糊剂做施胶剂，兼有填料和降低纤维下沉槽底的作用。到宋代以后多用植物粘液做“纸药”，使纸浆均匀，常用的“纸药”是杨桃藤、黄蜀葵等浸出液。这种技术早在唐代已经采用，但是宋代以后就盛行起来，以致不再采用淀粉糊剂了。

这时候的各种加工纸品种繁多，纸的用途日广，除书画、印刷和日用外，我国还最先在世界上发行纸币。这种纸币在宋代称作“交子”，元明后继续发行，后来世界各国也相继跟着发行了纸币。明清时期用于室内装

饰用的壁纸、纸花、剪纸等，也很美观，并且行销于国内外。各种彩色的蜡笺、冷金、泥金、罗纹、泥金银加绘、研花纸等，多为封建统治阶级所享用，造价很高，质量也在一般用纸之上。

这一时期里，有关造纸的著作也不断出现。如宋代苏易简的《纸谱》、元代费著的《纸笺谱》、明代王宗沐的《楮书》，尤其是明代宋应星的《天工开物》，对我国古代造纸技术都有不少记载。而《天工开物》第十三卷《杀青》中关于竹纸和皮纸的记载，可以说是具有总结性的叙述。书中还附有造纸操作图，是当时世界上关于造纸的最详尽的记载。

《天工开物》中造竹纸图：左，斩竹漂塘；右，荡料入帘。

以竹纸为例，《天工开物》中指出：在芒种前后登山砍竹，截断五七尺长，在塘水中浸沤一百天，加工捶洗以后，脱去粗壳和青皮。再用上好石灰化汁涂浆，放在梲桶中蒸煮八昼夜，歇火一日，取出竹料用清水漂洗，更用柴灰(草木灰水)浆过，再入釜上蒸煮，用灰水淋下，这样十多天，自然臭烂。取出入臼，舂成泥面状，再制浆造纸。这些记载，和后来的民间土法造竹纸过程大体相同。

造纸术在公元七世纪经过朝鲜传入日本，八世纪中叶经中亚传到阿拉伯。在阿拉伯(古时称“大食”)的报达(今伊拉克的巴格达)、大马色(今叙利亚的大马士革)和撒马尔罕等地组织第一批造纸工场的时候，还是我国造纸工人亲自传授技术以后兴建的。阿拉伯最初造的麻纸，用破布做原料，采用的是我国的技术和设备。阿拉伯纸大批生产以后，就不断向欧洲各国输出，于是造纸术也随后由阿拉伯传入欧洲。

公元十二世纪，欧洲最先在西班牙和法国设立了纸厂，十三世纪在意大利和德国也相继设厂造纸。到十六世纪，纸张已经流行于全欧洲，终于彻底取代了传统的羊皮和埃及纸莎草纸等，此后纸便逐步流传到全世界。

在公元前二世纪到公元十八世纪初的两千年间，我国造纸术一直居于世界先进水平。我国古代在造纸的技术、设备、加工等方面为世界各国提供了一套完整的工艺体系。现代机器造纸工业的各个主要技术环节，都能从我国古代造纸术中找到最初的发展形式。世界各国沿用我国传统方法造纸有一千年以上的历史。

火药和火药武器

自然科学史研究所 周嘉华

我们祖先发明火药至今已有一千多年了。当时发明的火药，现在叫黑火药；因为它呈褐色，又有人叫它褐色火药。它是硝酸钾、硫黄、木炭三种粉末的混合物。这种混合物极容易燃烧，而且燃烧起来相当激烈。这是因为硝酸钾是氧化剂，加热的时候释放出氧气。硫和炭容易被氧化，是常见的还原剂。把它们混合燃烧，氧化还原反应迅猛进行，反应中放出高热和产生大量气体。假若混合物是包裹在纸、布、皮中或充塞在陶罐、石孔里的，燃烧的时候由于体积突然膨胀，增加到几千倍，就会发生爆炸。这就是黑火药燃烧爆炸的原理。

火药顾名思义就是“着火的药”。触火即燃是它主要的特性。那又为什么叫它做“药”呢？

在春秋晚期(公元前六世纪)，有一个叫计然的人就说过：“石流黄出汉中”，“消石出陇道”。石流黄就是硫黄；消石就是硝石，古时还称焰硝、火硝、苦硝、地霜等。可见早在春秋战国时期，木炭、硫黄、硝石已经为人们所熟知。在我国第一部药材典籍汉代的《神农本草经》里，硝石、硫黄都被列为重要的药材。即使在火药发明之后，火药本身仍被引入药类。明代著名医药学家李时珍所著的《本草纲目》中，说火药能治疮癣、杀虫、辟湿气和瘟疫。更主要的是火药的发明来自人们长期的炼丹制药的实践中。火药的名称就是这样获得的。

和其他发明创造一样，火药的发明也经历了一个长时间的实践和认识过程，随着生产的发展、社会的进步而逐步完善。

首先，人们对组成火药的三种成分的性质有了一定认识。早在商周时期，人们在冶金中已经广泛使用木炭。在实践中，已经了解到木炭是比木柴更好的燃料。硫黄有天然存在，人们很早就开采它。同时在冶炼中，逸出的刺鼻的二氧化硫和温泉中四溢的硫黄气直接地刺激着人们的感官。就在这些接触中，人们逐渐认识到硫的一些性能。除了获知它对某些皮肤病有特别的疗效外，还有某些奇特的性质。如《神农本草经》里说：“石硫黄……能化金银铜铁，奇物。”就是说硫能和铜铁等金属化合。我国最早一本炼丹著作东汉的《周易参同契》里，记载硫和水银化合生成红色硫化汞的反应。硫的这些性能在从事炼丹的方士眼里很受器重。硫不仅能和铜铁等金属化合，还能把那神奇的水银制服。于是方士们在妄图用水银炼制所谓的“金液”、“还丹”中，常常使用硫。在实验中，人们还发现，硫着火容易飞升，性质活泼，很难擒制。怎样才能使它药性缓和变成比较容易控制呢？方士们采用了一种名叫“伏火法”的办法，就是经过和其他某些易燃物质混合加热或进行某种程度的燃烧，使它变性。火药的发明就和这类硫黄伏火的实验有密切联系。硝的引入是制取火药的关键。硝的化学性质很活泼，撒在赤炭上立即就产生焰火，能和许多物质发生作用，所以在炼丹中，常用硝来改变其他药品的性质。同时又有很多伏火硝石的方法。又因为硝石的颜色和其他一些盐类如朴硝(硫酸钠)等差别不大，在使用中容易搞错，因此人们还掌握了识别硝石的方法。南北朝时期的医药家陶弘景在《本草经集注》中指出：“以火烧之，紫青烟起，云是硝石也。”这

和近代用焰色反应来鉴别硝酸钾是相似的。这为后来大量地采用硝石做了技术上的准备。

对炭、硫、硝三种物质性能的认识，为火药的发明准备了条件。在我国封建社会的上升阶段，由于医药学和炼丹活动的发展，特别是通过长期的实践，至迟在唐代，人们在伏火硫黄、伏火硝石的多次实验中观察到，点燃硝石、硫黄、木炭的混合物，会发生异常激烈的燃烧。在《诸家神品丹法》卷五中载有“孙真人丹经内伏硫黄法”：取硫黄、硝石各二两，研成粉末，放在销银锅或砂罐里。掘一地坑，放锅子在坑里和地平，四面都用土填实。把没有被虫蛀过的三个皂角子逐一点着，然后夹入锅里，把硫黄和硝石烧起焰火。等到烧不起焰火了，再拿木炭来炒，炒到木炭消去三分之一，就退火，趁还没有冷却，取出混合物，这就伏火了。从这一记载可见，当时已经掌握了硝、硫、炭混合点火会发生剧烈反应的特点，因而采取措施控制反应速度，防止爆炸。

同类的实验在唐中期的《铅汞甲庚至宝集成》卷二中也出现。有个名叫清虚子的，在讲“伏火矾法”时说道：“硫二两，硝二两，马兜铃三钱半。右为末，拌匀。掘坑，入药于罐内与地平。将熟火一块，弹子大，下放里面，烟渐起，以湿纸四五重盖，用方砖片捺以土冢之，候冷取出，其硫黄伏住。”在这个实验里，野生植物马兜铃和上面实验中的皂角子一样，都是代替炭起燃烧作用的。同样也注意防止混合物的激烈燃烧。这样的操作方法是经过反覆实践的经验总结。关于失败的教训也有记载。成书约在五代时期(公元十世纪)一本名叫《真元妙道要略》的炼丹书就告诫说，拿硫黄、硝石、雄黄(As_2S_2)和蜜合起来一块烧，会发生焰火，把人的脸和手烧坏，还能直冲屋上，把房子也烧了。由此可见人们已经熟知这类混合物燃烧爆炸的性能，在炼丹中加以防止。人们有意识地利用这类混合物的这一性能，火药就被掌握了。

火药到底有多大的用途？这一发明有什么价值？当时的人们不是立即就明白的。

在火药发明之前，古代军事家常采用火攻这一战术克敌制胜。在当时的火攻中，有一种武器叫火箭，它是在箭头上附着像油脂、松香、硫黄之类易燃物质，点燃后射出去，延烧敌方军械人员和营房。但是这种火箭燃烧慢，火力小，容易扑灭。如果用火药代替一般的易燃物，燃烧比较快，火力也大。所以在唐末宋初人们已经采用火箭了。这是火药应用于武器的最初形式。随后又在石炮的基础上，创造了火炮。火炮就是把火药装成容易发射的形状，点燃引线后，由原来抛射石头的抛石机射出。火药运用在武器上，是武器史上一大进步。在战争中，火药武器显示了前所未有的本领，这使它很快引起人们重视，许多种火药武器相继出现。宋真宗咸平三年(公元1000年)，有个叫唐福的神卫水军队长，把他所制的火箭、火球、火蒺藜献给宋朝廷。咸平五年(公元1002年)，冀州团练使石普也制得火球、火箭，宋真宗把他召来，并且让他当众作了表演。

火药武器的出现反过来推动了火药的研究和大规模生产。北宋以熟悉法令典故而著称的宰相曾公亮等编写的军事著作《武经总要》(公元1044年)里，不仅描述了多种火药武器，还记下了当时的三种火药配方：制毒药烟球用焰硝三十两，硫黄十五两，木炭五两，外加巴豆、砒霜、狼毒、草乌头、黄蜡、竹茹、麻茹、小油、桐油、沥青等；制蒺藜火球用焰硝四十

两，硫黄二十两，木炭五两，外加竹茹、麻茹、小油、桐油、沥青、黄蜡、干漆等；制火炮用焰硝四十两，硫黄十四两，木炭十四两，外加竹茹、麻茹、清油、桐油、黄蜡、干漆、砒黄、黄丹、定粉、浓油等。

由火药的这三种配方，我们可以看到，主要的成分明确是硝、硫、炭。而硝的比重已大大增加，它比硫和炭的总和还要多得多。这已经接近后来黑火药中硝占百分之七十五的配方。其他配料含量都很少，分别起燃烧、爆炸、放毒和制造烟幕等作用。可见当时火药的配方已经很复杂了。

上面说的火炮就是大的火药包。蒺藜火球也是火药包，里面除装火药外，还装有带刺的铁蒺藜，火药包一炸，铁蒺藜就飞散出来，阻塞道路，防止骑兵前进。毒药烟球有点像锥型的毒气弹，里面装的砒霜、巴豆之类毒物，在燃烧后成烟四散，能使敌方中毒而削弱战斗力。

在宋代，民族矛盾、阶级矛盾都十分尖锐，战争接连不断，这就促使火药和火药武器有更快的发展。据记载，当时的军器监规模宏大，分工比较细，雇用工人曾经达到四万多人。监下分有火药作、青窑作、猛火油作、火作(生产火箭、火炮、火蒺藜等)等十一个大作坊。而火药的生产放在第一位，可见火药、火器在兵器中的地位。史料中还记下了“同日出弩火箭七千支，弓火箭一万支，蒺藜炮三千支，皮火炮二万支”，清楚地表明了当时火器生产的规模。

这一阶段的火药武器主要利用了火药的燃烧性能。随着硝的提炼，硫黄的加工，火药质量的提高，促进了火药武器的发展，逐步过渡到利用火药的爆炸性能。蒺藜火球虽然能爆炸，但是爆炸力还是很小的。到了北宋末年，人们创造了“霹雳炮”、“震天雷”等爆炸力比较强的武器。霹雳炮一炸，声如霹雳，杀伤力比较大。宋钦宗靖康元年(公元1126年)，李纲(1083-1140)就是用霹雳炮击退金兵对开封的围攻的。震天雷是种铁火炮，它比较先进，是因为它的外壳已经不再是纸或布壳、皮壳，而是铁壳。铁壳的强度比纸、布、皮大得多。点燃火药以后，蓄积在炮里的气体压力就大，爆炸威力就强。《金史》中描述说：“火药发作，声如雷震，热力达半亩之上。人与牛皮皆碎迸无迹，甲铁皆透。”火药性能利用的转化标志着火药的成熟阶段已经到来。

宋代多次爆发的大规模农民起义也直接推动了火药武器的发展。许多起义军自己制造武器，有很多创造。宋高宗绍兴二年(公元1132年)出现的“火枪”，理宗开庆元年(公元1259年)创造的“突火枪”，都是劳动人民在斗争中发明的。这些都是管形火器。火枪由长竹竿做成，先把火药装在竿里，作战的时候把点燃的火药喷射出去。突火枪用粗竹筒制作，筒里除装火药外，还装有“子窠”，火药点燃以后，产生很强的气压，把子窠射出去。子窠就是原始的子弹。近代的枪炮就是由这种管形火器一步步发展起来的，所以管形火器的创造是武器史上的一大飞跃。

多装火药可以增强炮火的威力，但是宋代发明的突火枪。竹筒承受不了太大的气压。在当时冶铸水平已经很高的条件下，至迟到了元代，已经出现用铜或铁铸成的筒式大炮。这类炮统称“火铳”，又因为它威力最大，尊称“铜将军”。现在保存在历史博物馆的最早的“铜将军”是元至顺三年(公元1332年)造的。它是已经发现的世界上最古的铜炮。

在宋元之际，曾经出现一种利用火药燃烧喷射气体产生的反作用力而把箭头射向敌方的火箭，这现代火箭的发射原理是一致的。由于多种

原因，当时没有能够大力发展。到了明代，这类火药箭多起来了。明代的著名军事著作《武备志》中，就有不少这样的火箭图。如飞刀箭、飞枪箭、燕尾箭等，这些都已经不是普通的箭头。又如同时发射十枝箭的“火弩流星箭”，发射三十二枝箭的“一窝蜂”，发射四十九枝箭的“四十九矢飞廉箭”，发射一百枝箭的“百矢弧箭”、“百虎齐奔箭”等。它们大都是把箭装在筒里，把药线连在一个总线上，点燃总线以后，传到各箭，就一齐射出去。

在《武备志》里还记载了原理就像现在我们过节放的鞭炮“二踢脚”、“灯泡”那样，有一定爆炸或燃烧破坏力的锥型飞弹如“飞空击贼震天雷炮”、“神火飞鸦”等。

在明代，人们还创造了早期的自动爆炸的地雷(《渊鉴类函》引《兵略纂闻》、《明实录》)、水雷(《天工开物》称“混江龙”)和定时炸弹(《渊鉴类函》引《兵略纂闻》)。其中要数一种名叫“火龙出水”的火箭最值得注意，它是一种锥型的两级火箭。由图可见，它是利用四个大火箭筒燃烧喷射产生的反作用力把龙形筒射出的，这四支火箭里的火药烧完以后，又引燃龙腹里的神机火箭，把它们射向敌方。

上述这些火药武器在当时都是世界上最先进的。元初成吉思汗(1162 - 1227)和他的子孙就是使用这些武器称王于中亚、波斯等地的。可惜，后来由于封建社会的腐朽和没落，逐渐落伍了。而掌握火药和火器不久的欧洲资产阶级很快赶上并且超过了我国，随后又用洋枪洋炮敲开了关闭自守的中国的大门，使中国沦落到半封建半殖民地的处境。

欧洲的资产阶级是什么时候掌握火药和火器的呢？

恩格斯指出：“现在已经毫无疑问地证实了，火药是从中国经过印度传给阿拉伯人，又由阿拉伯人和火药武器一道经过西班牙传入欧洲。”事实正是这样。

早在唐代，我国和波斯、印度、阿拉伯等一些国家通过海上的贸易往来很频繁，就在这时，硝随同医药和炼丹术由我国传出。当时阿拉伯人把硝叫做“巴鲁得”，意思就是“中国雪”，波斯人却叫它做“中国盐”，但是他们只知道用硝来炼金、治病和做玻璃。直到公元1225年到1248年间火药才由商人经印度传入阿拉伯国家。欧洲人，首先是西班牙人，在公元十三世纪后期通过翻译阿拉伯人的书籍，才知道火药。主要的火药武器大多是通过战争西传的。元代初期，在西征中亚、波斯的交战中，阿拉伯人才知悉包括火箭、毒火罐、火炮、震天雷在内的火药武器，进而掌握了火药的制造和使用。欧洲人又是在和阿拉伯的战争中，接触和学会了制造火药和火药武器的。英法各国直到公元十四世纪中期，才有应用火药和火器的记载。火药、火器传到欧洲，不仅改变了作战方法，重要的是帮助资产阶级把封建骑士阶层炸得粉碎，为资本主义的到来作出了贡献。所以恩格斯明确地评价说：“火药和火器的采用决不是一种暴力行为，而是一种工业的，也就是经济的进步。”

参见王振铎：《指南车记里鼓车之考证及模制》，《史学集刊》第三期。

见王振铎：《试论出土元代磁州窑中所绘磁针》，《中国历史博物馆馆刊》1971年第一期。

驰名世界的中国瓷器

自然科学史研究所 洪光住

瓷器是我国独创的发明之一。我国瓷器的历史，最早可以追溯到三千多年前的商代，它是在制陶技术不断发展的基础上发明的。

早在六千多年前原始社会的新石器时代，我们的祖先就已经创造并且使用陶器。当时的陶器是用粘土经手工捏制以后，在陶窑里大约五六百摄氏度的低温下烧成的，因此质地粗松。

到了仰韶文化和龙山文化时期，在长期的实践中，人们对于陶土的粘性和可塑性，对于火的利用和控制，有了进一步的认识和提高。在制造陶器的过程中，已经懂得了采用精细淘洗过的陶土作胎。制胎不仅有手制、模制，有的还用轮制。器皿的外部不仅研光，有的还绘有红色和黑色等图饰，考古家叫它做“彩陶”。有一种质地坚致、胎薄、纯黑、近乎半透明的陶器最引人注意，叫它做“蛋壳陶”。这些陶器之所以质地坚致，是和当时陶窑结构的进步分不开的。河南庙底沟发现的龙山文化时期的陶窑，已经出现了火口、火道、火膛、火室等结构。这种窑通风和热量扩散比较好，烧成温度比较高，火候控制也比较容易，因此当时陶器不仅质地致密，而且品种增多，既有一般的红陶、灰陶，又有制作比较精的白陶和黑陶。

瓷器虽然和陶器有本质上的区别，但是它们的烧制过程是极其相似的。可以认为，制瓷工艺是导源于制陶工艺的。从新石器时代晚期到商代，出现了用瓷土做原料、经一千摄氏度以上高温烧成的刻纹白陶和压印几何纹饰的硬陶，这就是原始瓷器出现的基础。

自1953年以来，我国先后在河南郑州二里岗、安徽屯溪、江苏丹徒、陕西西安和扶风等地，发现了许多商周时期的釉陶或青釉器皿，品种很多，有尊、碗、瓶、罐、豆等，它们具有光泽，质地坚硬，扣之作金石声。由于这些釉陶器皿的外观或成分等方面兼具有陶和瓷的某些特点，所以人们叫它做“釉陶”、“原始青瓷”或“原始瓷器”。

所谓“瓷器”，它的坯料是由高岭土（也叫瓷土）、正长石和石英混合而成的，胎的表面施有玻璃质釉，在一千二百摄氏度左右的高温下焙烧而成的，成品的吸水率很低，烧结后的器皿质地坚硬。为了鉴别和深入研究以上这些带釉出土品的质地情况，有关单位对安阳殷墟出土窑器作了化学分析。从分析结果可以看出，原始瓷器的坯料是由高岭土一类的原料制成的。还可以看出，原始瓷器和陶器不同，它的胎中所含的酸性氧化物二氧化硅相对地增加了，而碱性氧化物氧化钙、氧化镁、氧化钠等却相对地减少了，这种人为的增加和减少，导致了原始瓷器烧成温度的提高，就是胎体熔化温度升高了，达到了一千摄氏度左右。在这样高温下烧结的原始瓷器，由于表面施有一层薄薄的青色玻璃质釉，所以它的吸水率降低了。据分析，安阳小屯出土的原始瓷器，吸水率的平均数大约只是千分之四。由此看来，商周时期原始瓷器的出现，恰好标志着我国陶瓷生产已经进入了一个新的时代。高岭土的采用，釉的发明和发展，以及烧成温度的提高，都为瓷器的产生奠定了深厚的基础。

然而，由于商周时期原始瓷器的加工制造过程还不很精细，胎和釉的配料还不很准确，温度控制和火候掌握还不够熟练，所以和后来瓷器相比，

质量比较差，因此叫它“原始瓷器”。

1924年，在河南信阳擂鼓台曾经发现了汉和帝永元十一年(公元99年)的早期青瓷。近年来，又在浙江上虞一带出土了东汉后期的青瓷。解放以后，从遍及我国南北的墓葬中，出土了许多东汉、三国、两晋时期的青瓷器皿。其中，在南京石门坎发现三国时期吴赤乌四年(公元241年)的青瓷

和砚，在南京光华门外赵士岗的墓里发现赤乌十四年(公元251年)的越窑上虞袁宜所作青瓷水注，在江苏宜兴周处(240 - 299)墓发现了西晋元康七年(公元297年)的艾青瓷器。这些青瓷，胎质细腻坚致，通体施有颜色浓绿的厚釉，已经离开了早期原始青瓷施釉薄颜色淡绿的阶段。此外，在浙江上虞帐子山还发掘出两条东汉龙窑，长度有十米以上，据研究这种窑的烧成温度已能达一千二百五十摄氏度。根据这些有确实年代可考的出土文物说明，我国古代劳动人民在东汉到六朝时期，已经发明了瓷器，并且比较成熟地掌握了瓷器生产。而且在制釉方面，向前发展的迹象更加突出。

瓷器所以引人注目，很重要的一个原因，就是它的坯体上施有一种或几种不同颜色的釉药。所谓晋有“缥瓷”(青白色瓷)，唐有“千峰翠色”，柴周有“雨过天青”，吴越有“秘色”，宋代有粉青、翠青、乌金、玳瑁和杂彩，元代有青花釉里红，……这些美名都是对我国历代在制釉方面既有新的发展、又有独特风格的赞扬。

我国早在商周时期就发明了釉药。首先被烧制出来的是青釉，也就是以氧化钙作为熔剂的石灰釉。它是我国传统的瓷釉之一。釉和坯同样是由矿物料制成的，主要成分在硅酸盐、氧化铝、硼酸盐或磷酸盐等。在古代，釉的呈色剂(也叫着色剂)有铁、铜、钴、锰、金、锑以及其他金属元素。所谓汉代多色釉，就是以氧化铅作为熔剂，以铜、铁、锰、钴等金属元素作为呈色剂而烧制出来的铅釉。关于“呈色剂”，只就铁的呈色作用来说明：铁的氧化物有两种：一种是氧化亚铁，呈绿色；一种是三氧化二铁，呈黑褐或赤色。釉中的铁如果用还原焰烧炼，就能变成氧化亚铁；如果用氧化焰烧炼，就能变成三氧化二铁。据分析，在瓷釉中，如果氧化亚铁的含量达到千分之八，烧出来的瓷器就出现淡绿色，如果含量大于千分之八并且不断增加，绿色就由淡变浓。如果铁的成分太多，那也不好，超过百分之五，不仅还原发生困难，而且颜色渐呈暗褐色，甚至近似于黑色了。由于造瓷技术有了飞速的发展，所以到了唐代，越窑(在今浙江绍兴、余姚一带)的美丽的“千峰翠色”瓷，就是由工人掌握釉中恰当的氧化亚铁成分(百分之一到百分之三)而获得的。当时掌握这一技术是很不容易的，不仅配制釉药量要准确，含铁的成分要适当，而且还必须严格掌握窑里的温度和通风情况，使瓷器在还原焰中烧成。

在传统的技术经验基础上，通过不断的实践，后世制作青瓷的技术更加提高，产品更加精妙。

在釉药的发明和发展过程中，中国古代的玻璃制造技术也得到了发展。1976年在陕西宝鸡茹家庄地区发掘西周都市遗址时，发现了四种不同形式的玻璃珠和管状绿色玻璃项链。在这以前，也曾经从湖南长沙、河南辉县等地的战国墓葬中出土一批白色、翠绿色、深绿色的玻璃或釉玻璃制品，色泽美观，大都半透明。据分析，它们是一些含铅量比较高的铅玻璃。可见，中国古代的玻璃制造技术同铅釉的发明和发展是密切相关的，历史渊源也是由来已久的。

我国白釉瓷器，萌芽于南北朝时期，比较成功地烧成于隋代。到了唐代，邢窑(在今河北内丘)的白瓷已经发展成为青、白二大瓷系中的主流之一。唐代著名白瓷窑除了邢窑之外，江西景德镇和四川大邑也是名列前茅的。1958年，在景德镇胜梅亭出土的唐代白碗，据研究，白瓷胎含氧化钙比较多，烧成温度已经达到了一千二百度，瓷器的白度也达到了百分之七十以上，接近现代高级细瓷的标准。这一成就的深远意义，在于为后来青花瓷器的发展提供了基础。

宋代瓷器在胎质、釉料和制作技术上又有新的提高，是我国瓷业发展上的一个重要阶段，向来被称为造瓷技术完全成熟的时期。在工艺过程方面，有了明细的分工，有专管火候、配料、制胎和施釉等工种。这种生产上的明确分工，既标志着瓷业的发展，也促进了专门技术的提高。定窑、汝窑、官窑、龙泉哥窑、钧窑是宋代五大名窑，这五大窑和其他名窑的作品，在釉色和花纹图案装饰等方面，都有独特的风格。例如龙泉哥窑运用不同的受热膨胀系数烧成的“百圾碎”，龙泉弟窑的“粉青”，定窑的莹白、甜白、牙白和绣花、刻花、印花，官窑的“紫口铁足”，景德镇的月白(影青)，建窑的“乌黑兔毫”、“鹧鸪斑”，磁州窑的黑釉刻花以及杂彩等瓷器，都是负有盛名为世所珍的佳品。

在宋代的许多名窑中，应当重点指出的是现今河南禹县的钧窑窑变(经过窑烧釉药起化学变化)，它以盛烧红、蓝色釉和衍生的紫色瓷器著称，五光十色，异军突起，打破了以往青、白瓷的单纯色调。据分析，钧窑釉的红色，是由还原铜的呈色作用产生的。铜和铁的呈色原理十分相近。在钧窑红釉的成分中，含氧化铜大约百分之三三。虽然釉中的其他微量金属元素也可能起呈色作用，但是，宋代劳动人民懂得利用铜盐的呈色作用、通过控制火焰性质的办法来得到几种釉色的技术，是难能可贵的。

宋代瓷窑结构的革新也值得重视。就北宋的龙泉窑来说，它是龙式窑，依山建筑，窑腔庞大，一窑可以放置墩一百七十多排，每排容一千三百多件，估计一次可以烧两万到两万五千件。窑的中部作弧形，可以降低火焰的流速，火势从前向后移去，窑温可以全部被利用，成品的釉色一致，老嫩差异很小。这时候北方烧瓷由烧柴的直火窑改进成为烧炭的倒火焰式窑，也大大地提高了产品质量。

元代北方还有用铜红呈色、色泽别致的釉里红瓷器，而景德镇工匠又把它提高，并且制作成功一种用钴土矿作颜料釉下彩的青花瓷器。

明代烧瓷技术比前代又有所前进，它的巨大成就首先表现在精致白釉的烧制成功。这种细腻莹彻的白釉，由于所含的氧化铝和二氧化硅特别高，同时熔剂含量又很低，所以釉色透亮明快，纯白如牛乳色。白釉质量的提高，为一道釉和彩瓷的发展提供了优越的条件。

彩瓷一般分为釉上彩和釉下彩两大类。彩瓷先在胎坯上画好花纹图案，再上釉后入窑烧制的，叫做釉下彩；在上釉后入窑烧成好了的瓷器上再彩绘，又经炉火烘烤而成的，叫做釉上彩。我国著名的青花瓷器就是釉下彩的一种。所谓青花瓷器，它是一种白地蓝花的作品，也是明代瓷器生产的主流之一。据分析，在它的釉料中，含有氧化钴青料，这种青料的色调，随着温度的高低和火焰的性质情况而有很大的变化。如果瓷器不是在还原焰中烧成，那么青料中的钴便不会显现出美丽的蓝色；温度太高或太低，也会使青花大大减色。因此，就必须严格地掌握火焰的性质和配制釉

药的准确性。在这方面，明代劳动人民已经取得了很大的成就，所以明代青花瓷器质地优美，畅销中外。

明代的另一项重要成就，就是铜红呈色的一道釉瓷器，获得了很大的成功。明代瓷器丰富多彩，就一道釉瓷来说，永乐年间有鲜红、翠青，宣德年间有宝石红，弘治年间有娇黄，正德年间有孔雀丝、回青，嘉靖年间有孔雀蓝。其中鲜红、宝石红等铜红釉成品格外优异。铜红釉虽是从宋代的钧窑窑变开始的，但是经过元代的继续发展，到了明代，已经很成功地烧成了色调别致的釉里红的鲜红和宝石红。这是由于在烧炼的过程中，既掌握了还原焰技术，又能够把氧化铜转变成游离状态的铜，使它均匀地分散于釉药中，并且把金属铜转化为胶体状态，这种成就不是偶然得到的。

明代瓷器加彩方法的多样化，标志着我国造瓷技术的高度发展水平。如成化年间的斗彩，嘉靖、万历年间的五彩，就是名驰中外的杰作。所谓斗彩，就是在烧成青花瓷器上加红、黄、绿、紫等彩料，经炉火烧炼而成的。所谓五彩，不一定是五种颜色，而是包括红彩在内的多彩瓷器。

清代的瓷器，是在明代取得卓越成就的基础上进一步发展起来的，因此造瓷技术达到了辉煌的境界。

在一道釉方面，康熙年间烧制的天蓝、翠青、碧青、苹果绿、娇黄、吹红、吹紫、吹绿最好，乾隆年间生产的各种宋釉、五彩最好，而雍正年间的胭脂水、油绿、天青以及仿汝、仿官、仿钧、仿龙泉等仿古瓷器，都能准确配料，恰如其分地掌握好火候，使器皿在烧成的时候和原样无异。

在红釉方面，康熙年间的鲜红、郎窑红和乾隆年间的仿宣德霁红以及矾红、釉里红等，都是继承并发展了明代造瓷技术之后所取得的新成果。

在彩瓷方面，康熙年间的素三彩、五彩和雍正、乾隆年间的粉彩、珐琅彩等，都是闻名中外的。粉彩和珐琅彩都是属于釉上彩。所谓粉彩，就是在色料中加入铅粉或在色料上面另外涂上铅粉制成的，利用控制温度的办法，使它在烧成的时候釉面呈现不同的色泽。由于浓淡协调，光泽柔和，能表现出明暗分明的立体感，所以很受人们欢迎。珐琅彩也是用粉彩的手法制造的，瓷胎画珐琅，它和粉彩瓷器在胎质、形态、款式、图样、风格等方面都是精美无比的。

在清代的青花釉中，所含的氧化钙和铁的成分都比较高，因此胎、釉的色调常常是白里泛青，这是我国清代瓷器色泽上的显著特征之一。就技术上来说，青釉中的青色，来源于胎、釉中含有的氧化亚铁成分。根据有关单位分析得知，它的釉中所含的氧化亚铁成分，在总铁量中已经占百分之九十以上。

为了减少瓷胎变形，清代采用了过量的高岭土配比作胎的技术。根据物理性能测定，由于原料淘洗加工极其精细，石英颗粒比前代细小，而且分布均匀，在烧炼温度适当而又稳定、并且能够准确控制烧炼时间的条件下，瓷胎中有一种外国人叫“莫来石”的含铝硅酸盐晶体发育很好，所以瓷器的白度和透光性更好，清代雍正年间的彩盘白度已经超过了百分之七十五，烧成温度已经达到了一千三百一十摄氏度。在这样高温下烧成的瓷器，胎、釉自然更加坚硬优美，根据显微结构分析，瓷质已经达到了现代硬瓷的各项标准。

瓷器是一种工艺化学产品，在世界上以我国的发明最早。远在唐代，我国的瓷器和茶叶、丝绸都大量地经过海上和陆上的“丝绸之路”远销国

外，此后历代都有瓷器向国外销售，从来没有间断过。

公元十一世纪，我国造瓷技术传到了波斯喇吉斯，后来又传到了阿拉伯、土耳其和埃及。十五世纪后半叶，中国造瓷技术又传播到意大利的威尼斯。从此以后，欧洲的造瓷技术才得到迅速的发展。

中国古代的油漆技术和漆器

自然科学史研究所 潘吉星

漆器和瓷器一样，同是我国古代劳动人民在化学工艺和工艺美术方面的重要发明。漆器坚固耐用，外表光泽美观，体质轻巧，不但广泛用于日常生活中，而且用于工业的各部门。我国出口的具有民族风格的各种漆器，至今还受到各国的欢迎。国产漆又名大漆，是我国原产的漆科木本植物漆树的一种生理分泌物，主要成分是漆酚。从漆树上取出的漆汁中含有一些水分，称作生漆。生漆在日光下边搅边晒脱水以后，就成了深色粘稠状的流体，称作熟漆。

我们现在知道，把漆液涂饰在各种器物表面以后，在它所含的漆酶或加热的作用下，漆汁中的漆酚发生化学作用，结果在器物表面形成薄膜，就是漆层。如果在漆液中加入各种颜料或染料，就会形成彩色漆层，使漆器格外美观。

我国古代制漆器的时候，常常要在漆里掺入桐油等干性植物油。在制造彩色漆器的时候，也用桐油和各种颜料或染料构成的油彩加绘各种花纹图案。因此形成我国具有独特民族风格的漆器工艺。桐油是我国特产的应用得比较广的干性植物油。它是从油桐树种子中榨出来的，主要成分是桐油酸 $C_{17}H_{19} \cdot COOH$ 。我国古代很早就认识了桐油成膜的性能，并且把它和漆液合用，这在化学技术史上也是一个卓越的创举。

尽管漆器制造所依据的化学原理只是在本世纪才最终弄清，然而我国古代劳动人民早已不自觉地应用这种原理发明了漆器，认识到漆膜的性能和成膜的条件。从文献记载上看，我国漆器起源于四千多年前的虞夏时期。战国时期成书的《韩非子·十过篇》曾说：“尧禅天下，虞舜受之，作为食器，……流漆墨其上”，“舜禅天下而传之于禹，禹作为祭器，墨染其外，而朱画其内”。《禹贡·夏书》更把漆列为贡品之一：“济河惟兖州，……厥贡漆丝。”这就是说，在新石器时代晚期，氏族公社解体到奴隶社会兴起，我国就有了把漆用在食器、祭器上的记载了。记载中说到的祭器墨外朱内，这是色漆的开端，后世的漆器也多是这样。

按漆液从漆树中自然分泌出以后，经日晒形成黑色发光的漆膜，是容易被观察到的。我国古代聪明的劳动人民把这种自然现象加以人工利用，从漆树中有意识地引出更多的漆液，把它刷在用具上，就成为原始的漆器。加入红色颜料，就成为原始的色漆。因此上述记载必是历代相传下来的事实记录。这种记载已经由近年来考古发掘证实了。例如本世纪五十年代曾经在江苏吴江新石器时代晚期遗址中，出土有漆绘黑陶罐，和《韩非子》记载的时代正相吻合。在公元前十四到十二世纪的安阳殷墟遗址中也出土红色雕花木器印痕，是现存最古的漆器纹饰。

春秋时期(公元前八到五世纪)已经重视漆树的栽培。《诗经·国风》中有“山有漆，隰有栗，子有酒食，何不日鼓瑟”(《唐风·山有枢》)，“椅桐梓漆，爰伐琴瑟”(《鄘风·定之方中》)等句。《尚书·周书·顾命篇》有“漆仍几”的话。春秋晚期精美的髹漆彩绘的几、案、俎、鼓瑟、戈柄、镇墓兽等，都有实物出土，为有关古代文献记载提供了实物资料。

战国时期(公元前五到三世纪)已经设有官营的漆林，由专门官员掌

管。《史记·老庄列传》中说：“庄子者蒙人也，名周，尝为漆园吏。”战国时期的工匠还初步认识到漆膜对器物的防腐保护性能。《考工记》中说：“漆也者，以为受霜露也。”从西周至战国这段时间里，用漆涂饰的车辆、兵器把柄、日用几案、盘、奁等以及乐器、棺槨等物都有大量出土。从出土实物分析，知道这时多用木胎、皮胎和夹纆胎(用麻布)等胎型。为了防腐，后来有些木建筑和金属器物表面也涂饰漆层，许多漆器上都绘有各种彩色花纹图案。照明代制漆器艺人黄成的说法，“盖取其坚牢于质，光彩于文也。”

从技术上来判断，战国时期一些漆器显然是用干性油加各色颜料配成的油彩来绘饰各种纤细的花纹图案的。按油彩亮度比漆大，但是抗老化性不及漆。漆产量比油小，成本比油高。把干性油作为稀释剂填入漆中，既可改善性能，又可降低成本。把油和漆合用，正可取长补短，使物尽其用。就是近代也还是这样。我国古代还发现用蛋清和密陀僧(氧化铅)或土子(含二氧化锰)分别作为大漆和干性油高聚物薄膜的催干剂。

战国漆器彩绘中包括红、黄、蓝、白、黑五色和各种复色，所用颜料大概是朱砂、石黄、雄黄、雌黄、红土、白土等矿物性颜料和蓝靛等植物性染料。

秦汉时期(公元前二世纪到公元三世纪)油漆技术进入新的发展阶段，并且遍及于全国各地，各地都有出土漆器。《史记·滑稽列传》中更有关于“荫室”的记载，荫室是制漆时候的特殊专用房间，因为漆酚在阴湿环境下容易聚合成膜，干后又不容易裂纹，荫室的设置正是为此提供条件。汉代出土漆器有勺、盘、案、奁、盒、耳杯、枕、棺槨等，内胎多是木、麻二种，麻胎的称夹纆。漆器上还饰以金银铜箍，叫做“扣器”，是一种奢侈品。西汉桓宽《盐铁论·散不足篇》讲到各种漆器的时候指出：“富者银口黄耳，金罍玉钟；中者舒玉纆器，金错蜀杯。”又说：“夫一文(纹)杯得铜杯十。”就是说一件纹饰漆杯等于十件铜杯，而金银扣器自然要比这还贵重。

汉代在漆器主要产地四川的蜀郡(成都)和广汉郡设置工官监造漆器。据《汉书·贡禹传》，只广汉郡一处每年为造金银饰漆器就设立了三工官，岁费五千万钱，耗去大量人力物力。富豪之家竞相使用漆器。这类金银扣器在出土器物中也有出现，漆器铭文中的“黄涂工”可能和造这类漆器有关。

从出土的汉代纪年铭漆器上，可以考查出它的制作年代、地点和工匠名，还反映出漆作坊里的劳动分工相当繁细，这为了解当时油漆技术操作过程提供了宝贵资料。汉代官营漆器作坊中，有素工(作内胎)、髹工、上工(漆工)、黄涂工(在铜制附饰品上鎏金)、画工(描绘油彩花纹)、工(刻铭文)、清工(最后修整)、造工(管全面的工师)等工种。官中有护工卒史、丞、掾、令史等。除官工外，民间漆工经营也相当发达。《史记·货殖列传》中说：“陈夏千亩漆，齐鲁千亩桑麻，渭川千亩竹，此其人皆与千户侯等。”这和民谚“家有百株桐，一世永无穷”，是一样意思。近年来长沙马王堆汉墓出土的漆器是汉初的代表作。

两晋、南北朝时期(公元三到六世纪)又发明用夹纆造像。先借木骨泥模塑造出底胎，再在外面粘贴麻布几层，布胎上髹漆并且彩绘，等干了以后，除去泥模，就成了中空的漆塑像，又叫脱胎。当时已经可以塑造出丈八高的巨型脱胎塑像，是古代油漆工艺的一大成就。北朝科学家贾思勰还

在他的《齐民要术》中有专篇论述漆器，尤其是叙述了延长漆膜耐久性的保护方法，指出“盐醋浸润，气彻则皱，器便坏矣”，讲到漆器遇潮湿容易生霉，须在盛夏连雨季节“一曝使干”，利用日光紫外线杀菌。还提到“朱本和油，性润耐日”，就是说朱砂亲油性好，具有耐候性。这些精辟意见，都是根据长期实践总结出来的。

在战国、两汉金银扣器基础上，到唐代(公元七到九世纪)发展为“金银平脱”。就是把金银薄片雕成花纹胶粘在漆胎上，上漆后经打磨推光，现出闪闪发光的金银花纹，和漆面平托于器表，十分考究。唐代又创制“剔红”技术，把朱漆层层涂在木或金属胎上，每上一道漆就用刀剔出深浅花纹图案，显出有立体感的图像。同时用蚌壳、玉石装饰在漆面上的螺钿也相当发展。五代时候的朱遵度为了总结历代漆工的经验，写出《漆经》一书，是最早的漆工专著。可惜，这样一部重要的书后来竟没有流传下来。

唐代的剔红在宋元时期(公元十到十四世纪)很盛行，又称“雕红”，底胎用贵金属。明代的张应文《清秘藏》中说：“宋人雕红漆器，宫中所用者多以金银为胎，妙在刀法圆熟，藏锋不露，用朱极鲜，漆极厚而无敲裂，所刻山水、楼阁、人物、鸟兽，皆俨若图画，为佳绝耳。”这类器物至今仍有传世，确实名不虚传。还有一种叫“犀皮”的漆器，也以宋代所制的比较好，涂的是朱黑黄三色漆，和犀牛皮很相像。宋人李诫(? - 1110)《营造法式》在讲到建筑用的油漆的时候，对熬炼桐油的技术有比前人更详细的记载。

元代以浙江嘉兴的张成、杨茂二家所制雕红最闻名，雕法圆浑。嘉兴彭君宝又以“戗金”著称。所谓戗金是填漆的一种，在漆地上先刻好花纹图案，再填上金粉，经打磨后成器。和金银平托相比，又别具一格。“螺钿”也是元代供富室之家享用的高级漆器，除蚌壳外，还饰以各种颜色的珠宝玉石，组成一幅美丽的画面。

明清时期(公元十四到二十世纪)，油漆技术继续发展。明初洪武年间(公元1368年到1398年)就在南京设立漆园、桐园，种漆、桐各千万株，以示提倡。永乐年间(公元1403年到1424年)又在北京果园厂设立官局制造雕漆，由元代著名漆工张成的儿子德刚等名匠在里面操作，用金、木、锡料作胎，专供御用。宣德年间(公元1426年到1435年)的剔红、填漆尤其优美。隆庆年间(公元1567年到1572年)，新安的民间剔红艺人黄成的作品，可以和官局果园厂制品媲美。

黄成还写了《髹饰录》一书，天启五年(公元1625年)由嘉兴漆工杨明为它作注。这书分乾、坤二集：乾集讲漆器制造的原料、工具、方法，列举了各种漆器可能产生的毛病和原因；坤集叙述漆器分类和各种漆器的几十种装饰手法。这是现存一部完整的具有总结性的漆工专著。

清代以来基本上承袭了前代的技术。嘉庆、道光年间(公元十九世纪上半叶)扬州漆工卢葵生和他的作品是有代表性的，所制镶嵌、雕刻、造像等都有传世作品。后来油漆技术没有很好地发展，有些技法反而失传。

我国漆器和髹漆技术很早就流传到国外。朝鲜、蒙古、日本等东亚国家，缅甸、印度、孟加拉国、柬埔寨、泰国等东南亚国家，以及中亚、西亚各国，都在很早以前的汉、唐、宋时期从我国传入了漆器和油漆技术，并且分别组织了漆器生产，构成亚洲各国一门独特的手工艺行业。汉代四川广汉郡官漆作坊生产的纪年铭漆器在朝鲜北部有大量出土，蒙古的诺因

乌拉古墓群也出土不少汉代纪年铭金铜扣漆器，也是蜀郡漆工所造。日本正仓院至今还收藏着唐代泥金绘漆、金银平脱等。

我国漆器经波斯人、阿拉伯人和中亚人再向西传到欧洲一些国家。在新航路发现以后，中国和欧洲间直接交往，又通过葡萄牙人、荷兰人等不断把我国漆器贩运到欧洲，引起欧洲社会上的欢迎。公元十七、十八世纪以来欧洲各国仿制我国漆器成功。当时法国的罗贝尔·马丁(1706 - 1765)一家的漆器闻名于欧洲大陆，以后德国、意大利等国的漆业相继兴起。最初的制品风格仍旧脱胎于我国，就是欧洲人所谓中欧混合体的“罗柯柯”艺术风格。像瓷器一样，世界各国的漆器也受惠于我们祖先的发明。

和漆器一起，我国的桐油也从公元十六世纪经葡萄牙人输入欧洲。在这以前，欧洲人从公元十三世纪来华的意大利人马可波罗(1254 - 1324)的游记中已经知道了桐油。由于桐油的干性比亚麻仁油强，所以十九世纪后半叶我国桐油运到美国后，便用来代替亚麻仁油制造油漆。1902年美国才开始种植桐树。

古代炼丹术中的化学成就

自然科学史研究所 王奎克

高度发展的现代化学今天不仅揭开了物质变化的秘密，而且造出了许多自然界本来没有的人造物质，可以说已经达到了古人所梦想的“夺天地之造化”的地步。然而我们知道，这门科学和人类其他知识一样，一开始也是经过了一个幼稚阶段的；这一阶段就是恩格斯称做化学的“原始形式”的炼金术或炼丹术。

炼丹术是古人为求“长生不老”而炼制丹药的方术，这种方术在我国起源很早，据《汉书·刘向传》载，淮南王刘安(前179 - 前122)在他的《枕中鸿宝秘苑书》中说，战国时邹衍(约前305 - 前240)有“重道延命方”，看来这可能是我国古代丹方之祖。但是这方不传于世，刘安那部书也早已散佚，内容怎样现在已经无从查考。不过，《战国策》有方士向荆王献“不死之药”的记载，《史记》对秦始皇求“仙药”和派方士徐市(福)率童男女几千人入海求“仙人”的事叙述很详细，可见我国炼丹术在先秦时期的确已经开始萌芽。到西汉时期，武帝刘彻(前156 - 前87)以更大的规模求仙求药，并采纳方士李少君的建议，在宫中设立丹灶，亲自从事炼丹。从此以后，炼丹之风就在封建统治阶级中开始盛行，并且经久不衰，一直发展到宋元以后。所以历代都出现了许多烧丹炼汞的方术之士，也就是我们今天所谓的炼丹家。

我国古代的炼丹活动(以锻炼身体为主的“内丹”除外)，涉及自然科学的许多不同领域，但是它的主要内容是以下三个方面：

第一，用各种无机物，包括矿物和金属，经过化学处理制作长生药的研究；

第二，为了研制药用的人造“金”、“银”而进行的冶金技术研究；

第三，为了寻求植物性长生药而进行的药用植物研究。

炼丹术所追求的目的是荒诞的，所依据的理论也大部分是属于唯心主义和迷信的，这是它在流行一千几百年之后终于让位给本草学(就是包括制药化学在内的中国传统药物学)的原因。不过历代炼丹家在广大劳动人民生产斗争知识的基础上，亲自采药、制药，做了种种实验，在炼丹实践中对自然现象进行观察研究，这就使得他们能在科学技术特别是在化学方面，取得许多重大成就，成为留给后人的宝贵遗产。

火法炼丹

我国古代炼丹的方法可分火法和水法两种。所谓火法，主要是带有冶金性质的无水加热法。东汉炼丹家魏伯阳在《周易参同契》中说，他那时有《火记》六百篇，讲的就是这种火法。但是这部书早已失传，内容已经无从查考。据晋葛洪《抱朴子内篇》以及比较晚的炼丹著作的记载，火法大致包括煅(长时间高温加热)、炼(干燥物质的加热)、炙(局部烘烤)、熔(熔化)、抽(蒸馏)、飞(又叫升，就是升华)、伏(加热使药物变性)等方法。

《西京杂记》，旧题西汉刘歆撰，经考证是晋代葛洪所著。

炼丹术最早的研究材料可能是丹砂，就是红色硫化汞，这种研究用的就是火法。红色硫化汞一经加热就会分解出水银(汞)，水银和硫黄化合生成黑色硫化汞，再加热使它升华，就又恢复红色硫化汞的原状。所生成的水银，是金属物质却呈液体状态，圆转流动，容易挥发，显得和寻常物质不同。所有这些现象都使古人感到神奇，因此炼丹家一直想利用这些物质制成具有神奇效用的“还丹”，又称“神丹”。《抱朴子·金丹篇》说：“神丹既成，不但长生，又可以作黄金。”就是说，这种“神丹”是兼有使人“长生”和“点铁成金”作用的万应灵丹。古代炼丹家为了炼“九转还丹”，把汞的实验反覆做了又做，所以他们对这种变化很熟悉。西汉刘安在《淮南万毕术》中说：“丹砂为汞(汞)。”东汉魏伯阳的《周易参同契》很生动地描写了水银容易挥发、容易和硫黄化合的特性，并且讲到在丹鼎中升华后“赫然还为丹”的过程。晋代葛洪的《抱朴子·金丹篇》把这些话总结为一句：“丹砂烧之成水银，积变又还成丹砂。”这些说法当然都是他们从长期实验中得出的结论。到了唐代，陈少微《九还金丹妙诀》所载的“销汞法”(用汞和硫黄制丹砂法)，已经相当精确细致，汞和硫的分量有一定的比，加热有一定的火候，操作有一定的程序，最后达到“化为紫砂，分毫无欠”(紫砂就是丹砂)的结果。这样的方法，和近代化学相比可说已经差不太远。红色硫化汞有天然和人造的两种，天然产的就是丹砂(湖南辰州产的叫辰砂)，人造的叫银朱或灵砂。人造红色硫化汞是人类最早用化学合成法制成的产品之一，这是炼丹术在化学上的一大成就。

由于炼丹家从很早的时代起便研究水银的变化，他们对水银的其他化合物也是有研究的。例如，唐人炼丹著作《太清石壁记》有“造水银霜法”(水银霜就是升汞或氯化亚汞)：先把水银和锡以不同温度分别加热，使成锡汞齐，然后捣碎加盐，和以太阴玄精(氯化镁)、敦煌矾石(粗石膏)或绛矾(含铁粗石膏)，用朴硝末(硫酸钠)覆在上面，加热七昼夜。我们现在看来，汞和氯化钠、硫酸钠共热是能生成氯化汞的，氯化汞和多余的汞再起作用，就会生成氯化亚汞。这个方法很复杂，后世生产水银霜的方法已经比较简单了。

关于汞和其他金属形成汞齐的作用，古人在炼丹实践中早就注意到了。魏伯阳所谓“卒得金华，转而相亲，化为白液，凝而至坚”，说的就是汞的这种作用。他们制成的汞合金，除锡汞齐以外，还有金、银、铅等金属的汞齐。刘安的《淮南子·修务训》说，“明镜”要“粉以玄锡”，“玄锡”就是铅汞齐，古时用作制铜镜时候的抛光剂。南北朝时期的陶弘景说：水银“能消化金、银使成泥，人以镀物也。”这说明制作金银汞齐的方法在南北朝的时候已经普遍用于生产。宋人《诸家神品丹法》中有“化庚粉法”，就是利用金汞齐制造金粉的方法：先制成金汞齐，再加入食盐，然后蒸发掉水银，溶掉食盐，留下来的就是粉末状的黄金。宋人《感气十六转金丹》书中有“十四转紫河车法”：丹砂四两，雄黄四两，生汞二两，同研成粉末，在丹炉中密闭加热六十日，就成所谓“紫河车”。用少许紫河车可以“干汞一两，其色转黄”。有人这样解释这一反应：三种药物加热以后可能形成一种红褐色的固体溶液(紫河车)，取少量这种固体溶液加入水银中，可能又使水银变成一种黄色固体溶液。不难理解，古代炼丹家研究汞的这种反应，也是为了寻求一种能“点”水银成黄金的“神丹”。在当时的条件下，他们这种想法是不能实现的，但是他们的实践却扩大了

人类对自然现象的认识。

金属铅和它的化合物在我国出现很早，我国劳动人民大约在汉代以前已经在制造化妆用的胡粉，就是碱式碳酸铅(胡粉是糊面的粉，不是胡人的粉，见汉刘熙：《释名》)。“胡粉投火中，色坏还为铅”(《周易参同契》)，这种变化引起了炼丹家的注意，把它当作重要研究对象之一。他们除用铅制造铅汞齐外，还用它制备黄丹，就是四氧化三铅。《抱朴子·黄白篇》说：“铅性白也，而赤之以为丹；丹性赤也，而白之而为铅。”这是说铅不止用来制作白色的胡粉，而且还可以用来制作赤色的黄丹，把黄丹投入火中，也一样会“色坏还为铅”。比较晚的炼丹家对铅的化合物还有许多研究，例如唐代清虚子的《铅汞甲庚至宝集成》中有“造丹法”，用铅、硫、硝三种物质经过溶化和“点醋”等手续，可以制得一种叫作“黄丹胡粉”的粉末，可能是不纯的醋酸铅。

“金性不败朽，胡为万物宝。”(《周易参同契》)炼丹家认为服用金银矿物等“不败朽”的东西，可以使人的血肉之躯也同样“不败朽”，因此他们不仅要设法服用这些东西，还要用人工方法炼制药用的金、银。从汉朝的刘彻、刘安开始，许多帝王将相豪门贵族都曾经招致炼丹家替他们炼金。这一目的在那时是不可能实现的，但是他们在劳动人民生产经验的基础上，在冶金方面的确有不少发明创造。葛洪在《抱朴子·黄白篇》中说，在他的时代，炼丹家有《神仙经·黄白之方》二十五卷，共一千多首方子；另外还有《黄白中经》等书，讲的都是炼“金”、“银”的方法，就是所谓“黄白术”。他还提到锡、铅、汞等可以用药物化为“金”、“银”，说明晋代炼丹家已经能利用各种贱金属制成各种黄色或白色的合金。南北朝时期陶弘景在《名医别录》中说，雄黄“得铜可作金”，说明那时炼丹家已知利用含砷矿物炼制铜砷合金。到唐、五代时期，据《宝藏论》所载、当时市面上曾经流行假金十五种，假银十二种，都是用药物“点”、“化”而成。这种炼金活动在我国古代曾经盛极一时，直到宋代还没有结束，宋真宗赵恒(968 - 1022)就曾命方士王捷替他用铁炼制“鸦觜金”，铸成“金”龟、“金”牌赐给近臣。

炼丹家对于硫黄、砒霜等具有“猛毒”的金石药，在使用之前要先用烧灼的方法“伏”(驯服)一下，使它们失去或减少原有的毒性，这种手续叫做“伏火”。“伏火”法起源很早，方法有时只用火煅烧，有时另加其他易燃的药物。唐初孙思邈(581 - 682)有“伏硫黄法”：硫黄、硝石各二两，研成粉末放石锅中，用皂角(含碳)三个引火，使硫和硝起火燃烧，火熄后再用生熟木炭三斤来拌炒，到炭消三分之一为止。唐宪宗元和年间(公元806年到820年)，炼丹家清虚子有“伏火矾法”，所用药物是硝石、硫黄各二两，马兜铃(含碳)三钱半，和孙思邈“伏硫黄法”用药几乎完全相同。伏火的方子都含有碳素，而且伏硫黄要加硝石，伏硝石要加硫黄，可见炼丹家是有意使药物容易起火燃烧，以去掉它们的“猛毒”的；不过现在从化学上看，这种处理手续的目的是不很明确的。但是，由于经常因给药物“伏火”而引起丹房失火事故，却使唐代炼丹家取得一项重要经验，就是硫、硝、炭三种物质可以构成一种“火药”。大约在晚唐时候，这一配方已由炼丹家转入军事家之手，这就是我国古代四大发明之一的黑色火药。

火法炼丹的另一重大成就，是单质砷的制备。葛洪《抱朴子·仙药篇》

记载了六种处理雄黄的方法，最后一法是用硝石、玄胴肠(猪大肠)和松脂“三物炼之”。雄黄(As_2S_2)和硝石(KNO_3)同炼，可收集到三氧化二砷(As_2O_3)，再先后用含碳的猪大肠和松脂炼两次，就被还原成为纯净的单质砷。这是世界最早的制备单质砷的方法，比公元十三世纪日耳曼的炼金家大阿尔伯图斯(约1200 - 1280)制取砷的方法早九百年。

水法炼丹

古代炼丹家对于金石药，一方面要把它们炼成固体的丹，另一方面又要把它们溶解成为液体。因此他们在溶解金石药的长期实践中，对水溶液中的复杂反应也取得了相当丰富的经验性知识。《道藏》洞神部众术类有《三十六水法》，可能是晋代以前的著作，保存了古代炼丹家溶解三十四种矿物和二种非矿物的五十四个方子。《抱朴子·金丹篇》也记载有许多同类的丹方。这些古方再加上唐宋时期的记载，使我们今天还可以略知古代水法炼丹的大概。

水法炼丹处理药物的方法，大约有下列几种：化(溶解，有时也指熔化)，淋(用水溶解出固体物的一部分)，封(封闭反应物质，长期静置或埋于地下)，煮(在大量水中加热)，熬(有水的长时间高温加热)，养(长时间低温加热)，酿(长时间静置在潮湿或含有碳酸气的空气中)，点(用少量药剂使大量物质发生变化)，浇(倾出溶液，让它冷却)，渍(用冷水从容器外部降温)，以及过滤、再结晶等。

用水法制备药物，首先要准备华池，就是盛有浓醋的溶解槽(有时用缸、盆等代替)，醋中投入硝石和其他药物。硝石，古书中原作“消石”，因为它能“消七十二种石”，在我国炼丹术中非常重要。它在酸性溶液中提供硝酸根离子，起类似稀硝酸的作用，所以许多金属和矿物都可以被它溶解。我国古代炼丹家有意识地在醋酸中加入硝石，按近代化学的观点来看，这是把酸碱反应和氧化还原反应统一起来加以运用，在化学史上是一种创造，就是在今天也不失为一种有用的方法。

炼丹家在华池中溶解金石药，有些反应相当复杂，在近代化学出现之前能使用那样复杂的化学方法，是值得注意的。现在举例如下：

黄金的溶解《抱朴子·金丹篇》有“金液方”，用来溶解金的药物除醋、硝石、戎盐等以外，还有一种“玄明龙膏”，据唐人梅彪《石药尔雅》的记载，这一名称可以代表水银，也可以代表醋(玄明)和覆盆子(龙膏)。按照《金丹篇》的说法，只要把黄金连同药物封在华池中静置一百日，就会慢慢溶解而“成水”。现代实验化学告诉我们，金的化学性质很不活泼，用一般化学方法是不能使它溶解的，只有下列四种方法例外：

第一，溶于王水、无水硒酸和其他能产生氯、溴、碘的浓酸混合液中；

第二，溶于氯水，生成三氯化金；

第三，溶于水银，生成金汞齐，含金量不超过百分之十五的时候呈液体状态；

第四，在有空气(氧)存在的条件下，溶于碱金属氰化物的稀溶液中，形成二氰金(Ⅲ)酸根络离子 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 。

从金液方所用药物来看，生成王水、各种浓酸和氯水是不可能的，但

是水银和覆盆子的醋浸液正和上列第三、四两法相合：如果用的是水银，它是能溶解金的；如果用的是醋和覆盆子，由于未成熟的覆盆子果实中含有氢氰酸，华池的醋浸液中含有氰离子和由其他药物提供的钠、钾离子，只要有空气存在，金也是可以慢慢溶解的。黄金这样难溶，而金液方中恰巧有能溶解金的水银和氢氰酸(覆盆子)存在，显然是炼丹家经过大量实验以后所得到的结果。因此，尽管方中药物复杂，有些反应还值得研究，可是它能溶解金这一点是可信的。在那么早的年代出现溶解金的方法，在化学史上也是一项重大成就。

硫黄的溶解《三十六水法》有“硫黄水”，使用的药物包括硫黄、白垩、醋和尿(氨水)等。用这些东西制成的溶液，应当含有多硫化钙，这种物质能使金属改变颜色，和金属盐生成有色沉淀，甚至能侵蚀贵金属。炼丹家制造这样的溶剂，似乎也是把它当作一种万能的“神丹”。

水法炼丹并不是千篇一律都使用醋和硝石，方法是多种多样的。《黄帝九鼎神丹经诀》有制取硫酸钾的方法：用热水溶化朴硝和硝石，取澄清的混合溶液加热蒸发，使它浓缩，然后在小盆中用冷水从外部降温，经过一宿的时间，溶液中生成的硫酸钾就慢慢结晶出来。这是利用溶解度不同制取药物的方法，也是化学史上的一项创造。

水法炼丹的另一发现，是水溶液中的金属置换作用。炼丹家早有金属互相“转化”的理论，他们为了制作“药金”，梦想找到使某种贱金属转化为黄金、白银的方法，从很早的时代就注意到溶液中金属互相取代的现象，以为那就是金属的“转化”。西汉的《淮南万毕术》已经有“曾青得铁则化为铜”的记载，曾青是硫酸铜。晋代葛洪进一步观察到，“以曾青涂铁，铁赤色如铜，……外变而内不化也。”南北朝时期的陶弘景把实验扩大到硫酸铜以外，发现鸡屎矾(碱式碳酸铜或碱式硫酸铜)的性质和曾青相似，可以用来“合”(制造)“熟铜”。这说明炼丹家先后作了很多实验，对金属置换现象作了最早和相当细致的描述；但是由于受到时代条件的限制，他们还不能作出正确的解释。这一发现后来得到发展，成为湿法冶金胆铜法的起源。

炼丹术所用的药物

炼丹术所用的药物和工具同化学的产生有关，它究竟为化学提供了哪些药物和工具呢？谈这个问题要加一点说明：因为炼丹和医药本来有密切关系，古代许多炼丹家都兼搞医药，许多医家也兼搞炼丹，他们的著作往往没有一条清晰的界限。例如东汉的《神农本草经》是现存最古的本草学著作，一般认为是医家的书，但是书中把丹砂列为上品第一，把炼丹常用的四十多味金石药分别列入上、中、下三品，而且明确说划分等级的标准是“上药令人身安、命延、升天、神仙……”，这就颇有炼丹术的意味。至于确实出于炼丹家之手的医药著作，如葛洪的《肘后备急方》、陶弘景的《名医别录》、孙思邈的《千金翼方》等，当然更是这样。在这种情况下，我们很难查明哪些先用于医药，哪些先用于炼丹，只好根据炼丹文献把炼丹用过的东西开列出来，不再考查它们的出处，当然里面有一些并不是炼丹家的发明或发现。

关于药物方面，化学史家袁翰青(1905 - 1994)曾根据炼丹文献作出一

个不完整的统计，包括无机物和有机物在内，总共约有六十多种。现在略加修改列在下面：

元素 汞、硫、碳、锡、铅、铜、金、银等。

氧化物 三仙丹(HgO)、黄丹(PbO)、铅丹(Pb_3O_4)、砒霜(As_2O_3)、石英(SiO_2)、紫石英(含 Mn)、无名异(MnO_2)、赤石脂(Fe_2O_3)、磁石(Fe_3O_4)、石灰(CaO)等。

硫化物 丹砂(HgS)、雄黄(As_2S_2)、雌黄(As_2S_3)、礬石(FeAsS)等。

氯化物 盐(包括戎盐、冰石等, NaCl)、硃砂(NH_4Cl)、轻粉(Hg_2Cl_2)、水银霜(HgCl_2)、卤咸(MgCl_2)等。

硝酸盐 硝石(KNO_3 或 NaNO_3)。

硫酸盐 胆矾($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、绿矾($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、寒水石($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、朴硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、明矾石($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)等。

碳酸盐 石碱(Na_2CO_3)、灰霜(K_2CO_3)、白垩(包括石钟乳等, CaCO_3)、炉甘石(ZnCO_3)、石曾($\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$)、空青($\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$)、铅白($\text{Pb}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{PbCO}_3$)等。

硼酸盐 蓬砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)。

硅酸盐 云母(白色, $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$)、滑石($\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$)、阳起石($\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{SiO}_3)_4$)、长石($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)、不灰木(石棉, $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7$)、白玉($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$)等。

合金 鎗石(铜锌合金)、白金(白铜, 铜镍合金)、白镱(铅锡合金)、各种金属的汞齐等。

混合的石质 高岭土(SiO_2 、 Al_2O_3 等)、禹余粮(含褐铁矿和粘土的砂粒)、石中黄子(夹有黄色粘土的砂粒)等。有机溶剂醋(CH_3COOH)、酒($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)。

当然、这统计还不够完整，因为不仅植物性、动物性药物没有列入，即使单从金石药来看，恐怕也不止这六十多种。不过，我们从这里可以对古代炼丹的常用药物得到一个大概的印象。炼丹术所用的工具和设备

关于工具和设备，见于炼丹文献的大约有十多种，就是丹炉、丹鼎、水海、石榴罐、甘塌子、抽汞器、华池、研磨器、绢筛、马尾罗等。

丹炉也叫丹灶。南宋吴悞《丹房须知》(公元 1163 年成书)有“既济炉”和“未济炉”。安置在丹炉内部的反应室，就是丹鼎，又名“神室”、“匱”、“丹合”，有的像葫芦，有的像坩埚，有的用金属(金、银、铜)制作，有的用瓷制。《金丹大要》有“悬胎鼎”，内分三层，“悬于灶中，不着地”。《金华冲碧丹经要旨》说，神室上面安置有一种银制的“水海”，用以降温。《修炼大丹要旨》中另有一种“水火鼎”，可能是鼎本身具有盛水的部分。总之，这些东西是炼丹的主要工具，可以放在炉中加热，使药物在里面熔化并起反应，或使它升华。

除丹鼎外，炼丹家还有专用于从丹砂中抽汞的蒸馏器，可以叫它“抽汞器”。《金华冲碧丹经要旨》所载的是简单的一种，分两部分，上部形似圆底烧瓶，叫做“石榴罐”，下部作桶形，叫做“甘塌子”。用的时候

加热，使罐中生成的水银蒸气在甘塌子的冷水中成为液体水银。南宋吴悞《丹房须知》有另一种比较复杂的蒸馏器的图，虽然没有说明用什么材料制成以及大小、用法等，但是从图上可以清楚地看出，下部是加热的炉，上部是盛丹砂等药物的密闭容器，旁边通一根管子，使容器里所生的水银蒸气可以流入放在旁边的冷凝罐里。这样的蒸馏设备，即使在今天看来也是相当完善的，当然是在长期炼丹实践中逐步改进的产物；它的成型当在吴悞之前。西方科学史家一向认为蒸馏器是阿拉伯人发明的，其实我国古代炼丹家早已有制造这种设备的传统。

中西炼丹术的关系

化学这门科学是在欧洲中世纪炼金术的基础上发展起来的，而欧洲中世纪炼金术是导源于阿拉伯炼金术的，这在化学史上早已是公认的事实。但是，直到二十世纪三十年代以前，人们还不知道八世纪出现的阿拉伯炼金术同中国炼丹术有密切的关系。

在中国炼丹术和阿拉伯炼金术之间，有许多相似的地方：我国古代炼丹家追求一种既能使人“长生”、又能“点铁成金”的“神丹”，阿拉伯炼金家也追求这种万能药剂，叫它做“耶黎克色”或“哲人石”。我国古代炼丹家试图用某种方法使硫化汞化为黄金，他们也企图用硫和汞制作黄金。我国古书《淮南子·坠形训》有关于金属在地下生长、转化的理论，阿拉伯炼金家伊本·海彦也有类似的说法。由于阿拉伯炼金术出现很晚，中国和阿拉伯当时已经有文化交流，这些相似之处自应看作是中国炼丹术西传的证据。

更值得注意的是，中国炼丹术很早就使用古希腊和埃及所不知道的硝石和硃砂，阿拉伯和波斯不但也使用这些药物，而且硝石在阿拉伯和埃及都叫“中国雪”，在波斯叫“中国盐”。此外，阿拉伯和波斯炼金术家都在七种金属中列入“中国金属”或“中国铜”。这可以说是中国炼丹术传入中亚和埃及的铁证。至于阿拉伯语称炼金术为 al - kimiya，有人说 kimiya 是汉语“金液”两字的古音，这是完全可能的，因为唐宋两代我国和中亚来往频繁，尤其是宋代和大食(阿拉伯帝国)海上贸易十分发达，福建泉州是重要贸易港口之一，泉州话到现在读“金液”两字的音还是 kim - ya。

可是在二十世纪初期，西方学者对这些事实完全茫然了。他们不但把古希腊和埃及当作炼金术的唯一发源地，并且有人硬说什么中国炼丹术是从希腊通过阿拉伯输入的舶来品。直到二十世纪三十年代，由于我国和西方一些学者分别进行了认真的研究，问题才逐渐得到澄清，肯定了中国炼丹术源远流长的事实。英国科学史家李约瑟(1900—)说：“整个化学最重要的根源之一(即使不是最重要的唯一根源)就是地地道道从中国传出的。”这话说得不错，我们中华民族在化学这门科学上，同在其他科学技术领域中一样，是曾经为人类作出了伟大贡献的。

五 地 学

中国古代对天气现象的 观测和理论

南京气象学院 王鹏飞

远在三千年前，我国殷代甲骨文中，就有关于天气实况的记录，卜辞中还反映出人们已经有预知天气状况的要求，这些都是和当时农业生产的需要相适应的。以后随着生产的发展，有关气象的知识不断积累和丰富，取得很大成就。下面只就我国古代对风、云、湿度和降水的观测以及在天气现象理论和天气变化规律方面的成就，作一个简略的介绍。

风的观测和仪器

远在殷代，已经有四方风名：东风叫“𩇛”(xiá)；南风叫“𩇛”(kǐ)；西风叫“夷”；北风叫“𩇛”(hán)。以后逐渐发展，到汉代已有二十四方位的称呼。唐代，李淳风《乙巳占》中有一张占风图，列出了二十四个风向名称，并且指出，这些方位是由八个天干、四个卦名、十二辰(地支)组合而成。“子”指北方，“午”指南方，“卯”指东方，“酉”指西方。还举例说明怎样判定风向说：凡风从戌(西北偏西)来的，须看吹向是否是辰(东南偏东)；风从辛(西偏北)来的，须看吹向是否是乙(东偏南)；风从乾(西北)来的，须看吹向是否是巽(东南)。这就是根据风的去向来决定来向。

我国风向器的发明很早。在西汉《淮南子》中，已经举出一种叫“伱”(xiàn)或“綰”的风向器。它很可能是由风杆上系了布帛或长条旗的最简单“示风器”演变过来的。《淮南子·齐俗训》中说：“伱”在风的作用下，没有一刻是平静的。(“伱之见风也，无须臾之间定矣。”)说明这种风向器还相当灵敏。

汉代的风向器除“伱”外还有“铜凤凰”和“相风铜乌”两种。这三种风向器，显示了当时风向器发展的三个方向。

铜凤凰主要安装在汉武帝于太初元年(公元前 104 年)所建的建章宫里。当时建章宫东的风阙上装了两个铜凤凰，建章宫南的玉堂的璧门上装了一个铜凤凰，是装在屋顶上的。据《三辅黄图》说，铜凤凰的下面有转枢，所以风来的时候，铜凤凰的头会向着风，好像要飞的样子。此外在建章宫北的圆阙上也装了铜凤凰。铜凤凰既然“下有转枢，向风若翔”，它当然是风向器。但是这种风向器后来渐渐演变为装饰品，失去了作为风向器的作用。

相风铜乌是一种铜做的形状像乌鸦那样的风向器(“相风”就是观测风的意思)，它装在汉代观测天文气象的灵台上。这是专职观测天象单位所设置的仪器，最初造得比较笨重，《玉海》说要在千里风来的时候才动。但既然是作为仪器而设置的，自然要不断改进，所以以后就渐渐做得轻巧灵敏一些，使得受小风也能转动。例如在晋代，太史令就设有木制相风乌。以后相风木乌就渐渐普遍。在唐代李淳风《乙巳占》中，也描述了这种相

风木乌的构造。

但是从军事和交通等方面看，最好采用构造更加简单的风向器。《乙巳占》中就指出：“常住安居，宜用乌候；军旅权设，宜用羽占。”意思是说，相风乌只宜设在固定的地方，在军队中驻地经常变化，还是用鸡毛编成的风向器为好。

鸡毛编成的风向器，是由“伷”等发展而来的，所用的鸡毛重约五两到八两，编成羽片挂在高杆上，让它被风吹到平飘的状态，再进行观测，这种羽毛风向器就称为“五两”。这种风向器，在唐代以前就有了，但是在唐代和唐代以后，变得十分普遍。以后“五两”就作为各种形式的简便风向器的通称了。

我国古代除观测水平各向的风外，也观测自下而上和自上而下的旋风，方向混乱的乱风。例如，把自上而下吹的风叫做“颓风”，也叫“焚轮风”，自下而上吹的风叫“飙风”，也叫“扶摇风”等，说明对风的观测是细致的。

观测风不单要观测风向，也需要观测风力。这是因为风力大往往是风具有破坏性的重要原因。在唐代，已经采取地面物体受风影响所表现的破坏程度来表示风力大小，例如根据《乙巳占》，当时把风力分为八级：一级动叶，二级鸣条，三级摇枝，四级堕叶，五级折小枝，六级折大枝，七级折木飞砂石或伐木(折木)，八级拔木树和根。这八级风，再加上“无风”和“和风”(风来清凉，温和，尘埃不起的，叫和风)两个级，可合为十级。

云的观测和古云图集

云的观测在预报天气中用处很大。这是因为预报天气的时候，重要的在于判断未来晴雨，而雨是从云中下降的。是不是会下雨？下什么样的雨？都和云的情况有关。

我国古代劳动人民很重视云的观测。例如在《诗经·小雅·信南山》中有“上天同云，雨雪雰雰”的话，意思是说：下雪的云，在天空中是均匀一色的。也有把“同云”写为“彤云”，意思是下雪的云，色彩微带红色。

在《管子·侈靡篇》中提到：云块比较平坦，雨不会下得很大。下雨的时候如没有供应水分的云伴存，雨下不长，很快雨就会下完。（“云平而雨不甚。无委云，雨则遽已。”）这个结论只有对云有过仔细观测，并且已经提高到一定的理性认识高度，才能得出。在《吕氏春秋·有始览·有始篇》中，已经把云按形状分为“山云”、“水云”、“旱云”、“雨云”四种。

我国民间，很早就有许多有关云的天气谚语，作为观测云和预报天气的依据。例如唐代李肇《国史补》中，就有“暴风之候，有炮车云”的话。炮车云就是雷雨云，因为云顶呈砧状，很像炮车。唐代黄子发《相雨书》中，有“云若鱼鳞，次日风最大”的话。这是指一种由细鱼鳞状云块组成的云，就是卷积云。宋代孔平仲的《谈苑》中，有这样的天气谚语：“云向南，雨潭潭；云向北，老鹤寻河哭；云向西，雨没犁；云向东，尘埃没老翁。”把云向和晴雨联系起来，是很有意义的。

为了辨认云，需要云图。目前发现的最早云图是马王堆三号墓出土的

《天文气象杂占》(那是西汉帛书)和敦煌所出唐天宝初年的《占云气书》。这两种云图都在 1979 年十月《中国文化》中刊出，它们都是为军事需要卜占吉凶而用的。至于文献中的云图，《汉书·艺文志》中著录有《泰壹杂子云雨》和《国章观霓云雨》等书，这些书很可能附有云图。宋代郑樵(1103 - 1162)《通志略·艺文略》、《宋史·艺文志》、《宋史新编·艺文志》等史籍中有《日月晕珥云气图占》一卷、《天文占云气图》一卷、《云气图》一卷、《占风云气图》一卷等云图。可惜都已经失传，无法考查。明代茅元仪《武备志·载度占》中的《玉帝亲机云气占候》，里面有五十一幅云图。道藏本《雨暘气候亲机》，里面有云图三十九幅。王重民《善本书籍经眼录》所录写本《观象玩占》中也有图配合。此外还有各种版本或手写本的《白猿经》，都是图文对照的古云图集。这些古云图集，现在还在流行。

把现代流行的上述各种古云图集互相对照，发现它们都大同小异。看来明代以来的各种古云图集都有一些共同蓝本，这些蓝本应当是明代以前的各种古云图集。有些早期古云图集，表面上失传了，但是实际上却改用别的书名、补充或删除了某些内容而在下几个朝代出现。这些蓝本，《白猿献三光图书》中的霰云(絮状云)图。可以追溯到什么时代，是还需要进一步研究的。但上面举出的西汉帛书《天文气象杂占》和唐代的《占云气书》，和以后留传的云图还是一脉相通的。

湿度观测和仪器

我国是最早发明测湿仪器的国家。在《史记·天官书》中曾提到把土和炭分别挂在天平两侧，以观测挂炭一端天平升降的仪器。《淮南子·天文训》中指出这个仪器的挂炭一端升降的意义说：天气干燥了，炭就轻；天气潮湿了，炭就重。(“燥故炭轻，湿故炭重。”)《淮南子·泰族训》还说：湿气到来的时候，人是看不见的；但是炭已经表显出沉重了。(“夫湿之至也，莫见其形，而炭已重矣。”)这就进一步阐明了这个测湿仪器起到能测量看不见的水汽多少的作用。

宋代有一个叫赞宁的和尚，在他的《物类相感志》一书中提到，把土炭两件东西，放在天平两边，使它们平衡，然后悬挂在房间里。天将要下雨的时候，炭就会变重，天晴了，炭会变轻。这已经是把测湿仪器作为预报天气晴雨的仪器了。

除了上面天平式的测湿仪器外，清康熙年间，西方来华传教士南怀仁曾用小鹿的筋做成一个弦线湿度表，以验空气中的燥湿。几年以后，黄履庄(1656 - ?)也研制成功了“验燥湿器”，利用弦线随湿度伸缩的原理测量湿度。这是毛发湿度计的前身。其实，远在汉代，就已经有利用琴弦感应的湿度原理预测晴雨的事例了。例如东汉王充在《论衡·变动篇》中曾经谈到，琴弦变松，天就要下雨。(“天且雨，……琴弦缓，……”)琴弦变松，是天变潮湿、弦线伸长所造成的。元末明初娄元礼在《田家五行》一书中也说：如果质量很好的干洁弦线忽然自动变松宽了，那是因为琴床潮湿的缘故；出现这种现象，预示着天将阴雨。这句话已经明确点出了湿度一方面影响弦线的长度，一方面又联系着天气的晴雨。他还谈到，琴瑟的弦线所产生的音调如果调不好，也预兆有阴雨天气，这也是合乎科学道

理的。

降水观测和仪器

我国古代对雨水观测十分重视。甲骨卜辞中，对雨已经有“大雨”、“猛雨”、“疾雨”、“足雨”、“多雨”、“毛毛雨”等区别，而且还注意到雨的来向。

雨下的是否及时，以及雨量的分配和多少，直接影响着农业生产。这就迫使我国古代国家对上报雨量的重视。在秦代，我国已经有报雨泽的制度。1975年二月在湖北云梦睡虎地发掘的十一号秦墓中发现了《秦律十八种》的竹简，其中《田律》里规定，凡下及时的而且有利于谷物抽穗的雨，雨后应书面分别报告有抽穗谷物和未种谷物的受雨田亩数。庄稼生长后，如下了雨，也应报告雨泽多少和受益的田亩数。如有干旱、暴风雨、水潦等灾害，也要报告受灾田亩数。这些报告，就近的县要走得快的人递送，远处的县可由驿站传送，必须在八月底前送到。在东汉，也曾经要求所辖各郡国从立春到立秋整个作物生长期间向中央报告雨泽情况。

东汉以后，历代对降水都很关心。在南宋，数学家秦九韶曾在《数书九章》卷四中列有四道有关降水的算题，就是“天池测雨”、“圆罍测雨”、“峻积验雪”、“竹器验雪”。秦九韶在序中明确说：农业生产的丰收与否，和雨雪很有关系。主管农业的官员想知道雨雪下降量，但是如果盛雨雪的容器形状不同，容器里积的雨雪量就大有不同。怎样才能客观地从容器的雨雪量计算出有代表性的雨雪量呢？出这四道题的目的就在于解决这个难题。因此这四道题最后所问的，都是合平地的雨深或雪厚是多少。从这里可以看出，当时已经知道换算为平地的量，才是有代表性的量。

从算题中还可以看出，当时还没有标准雨量器。天池是各地为了预防火灾积蓄雨水的容器，这在当时各州郡都有。它正是我国雨量器的前身，因为它本来就是积雨水的。只是由于是用于防止火灾的，所以形状就没有一定的标准。

我国雨量器的发明大约在明清时期。在朝鲜曾经发现黄铜雨量器，并且附有标尺。雨量器花岗石台基上刻有“测雨台”和“乾隆庚寅五月”等字样，可以作证明。这是公元1770年所制的一个雨量器。据研究，这还不是世界最早的雨量器。

明代从洪武年间(公元十四世纪后半叶)开始，就很重视测雨，要求全国州县的负责官吏按月向中央上报雨水情况。这种制度在清代还保持着，因此现在在故宫里还保留明清两代大量的各地上报雨泽的奏折。

古代天气现象理论

我国古代有关天气现象的理论是很多的，这里只能作简单的介绍。

《黄帝内经·素问》卷二中，提出了水分循环和云雨形成的理论。书中说云是地气上升所形成的，雨是天气下降所形成的。雨虽然是从天下降，追它的根本，却来自地气上升所致；云虽然是地气上升而成，追它的根本，却又是天气下降的雨所供应的。(“地气上为云，天气下为雨。雨出地气，云出天气”。)东汉王充在《论衡·说日篇》中也有相似的见解：“雨从地

上不从天下，见雨从上集，则谓从天下矣，其实地上也。”

西汉董仲舒(约前 179 - 前 104)，在他所著《雨雹对》一文中，认为雨滴是由小云滴受风合并变重下降而成的。(“攒聚相合，其体稍重，故雨乘虚而坠。”)他说：风大使云滴合并得快，这就使下降的雨滴大而比较疏。风小使云滴合并得慢，这就使下降的雨滴细而比较密。(“风多则合速，故雨大而疏；风少则合迟，故雨细而密。”)这种从微观角度说明的雨滴形成过程，基本上和现代的暖云降雨理论是符合的。

在雪的形成方面，《春秋说题辞》中认为是水汽凝成的。(“盛阴之气，凝滞为雪。”)西汉董仲舒，东汉许慎(约 65 - 约 147)、刘熙，宋代朱熹，明代王逵等，认为是云滴或雨滴冷冻结成的。明代杨慎(1488 - 1559)认为是霰或米雪形成的。归纳起来，我国古代对雪的形成，有“气体形成说”、“液体形成说”和“固体形成说”三类。就现代世界上关于雪的形成理论看，依旧有这三类看法。

关于雾的形成，《尔雅》中说，地面水分向上扩散，但是无法充分扩散出去，就成为雾。(“地气发，天不应，曰雾。”)宋蔡卞在《毛诗名物解》中说，水汽在空中可形成雾，雾和云是同一类的东西。(“水气之在天成雾，雾，云之类也。”)

关于雷电现象，在我国古代也有两种理论：一种是“摩擦形成说”，是战国时期慎到首先主张的。他说：“阳与阴夹持，则磨轧有光而为电。”另一种是王充等所主张的“爆炸起电说”。

王充在《论衡·雷虚篇》中用“一斗水灌冶铸之火，气激裂，若雷之音矣”来解释雷声是很有道理的。王充特别对雷电现象有季节性作了科学解释。他把雷电的季节性出现归结为太阳的热力作用发生变化，认为春季太阳热力作用渐强，所以有发生雷电的可能；夏季太阳热力作用强盛，所以雷电也比较厉害；秋冬太阳热力作用已经衰弱，所以雷电现象也就很难出现了。(“雷者，太阳之激气也，何以明之？正月阳动，故正月始雷。五月阳盛，故五月雷迅。秋冬阳衰，故秋冬雷潜。”)

天气预报

历代劳动人民，在生产斗争中，了解到不少天气变化规律的知识，这些知识大量反映在天气谚语上。

例如《诗经·小雅·弁》中说：下雪以前往往先会下霰。(“如彼雨雪，先集维霰。”)汉《焦氏易林》中说，蚂蚁把洞口封住，将会有大雨。(“蚁封穴户，大雨将至。”)《论衡·寒温篇》中说，早晨要是有很多的霜，必定夜间的星既多而亮。(“朝有繁霜，夕有列光。”)后魏《齐民要术》卷四《栽树第三十二》中说：天雨后刚晴，见到寒冷彻骨的北风袭来，那天夜里必定会出现霜。(“天雨新晴，北风寒彻，是夜必霜。”)

随着劳动人民和天斗争经验的积累，天气谚语越来越丰富，而且往往需要汇集成书，便于集中参考。在唐代，民间天气经验的书籍中，最有名的是黄子发的《相雨书》。这本书收集了唐代以前的一些天气经验，有些还很有价值。例如书中说：云中出现黑色和红色，就会下冰雹。这个经验在现在各地进行人工抑雹作业的时候，仍旧用作判断雹云的依据。

由于农业的不断发展，观察天气的经验更加丰富，要求能用简短韵语

来表达这些丰富的经验，以便于记忆和应用。这种要求日渐迫切，于是到了元代，天气谚语已经绝大部分用韵语表达了。元末明初娄元礼《田家五行》就是大量集中当时流行在太湖流域的韵语和非韵语的天气经验的专集。这本天气经验集的流行影响很大，所录的天气谚语，不胫而走，在农村造成家喻户晓、世代相传的局面。

明末徐光启(1562 - 1633)《农政全书·占候》，进一步整理和补充了《田家五行》的天气经验，并且大量删去了一些明显的迷信糟粕，在纯洁天气谚语上，起了一定作用。

元明两代还出现了海上天气预报的著作。当时人们曾经把水手和渔民的天气经验用五言和四言的韵语表达出来。在明代张燮《东西洋考》一书中就有这个内容。例如：“乌云接日，雨即倾滴”；“迎云对风行，风雨转时辰”；“断虹晚见，不明天变；断虹早挂，有风不怕”；等等。

还有一类预报天气的书，就是“古云图集”，一般古云图下面的说明，大多分两部分：前一部分说明图中云的特征，后一部分说明出现这种特征的云的时候风雨或其他坏天气在什么时候将要到来，强烈程度大体怎样。

关于天气预报实践和理论解释方面，可以举北宋沈括的一个实例：有一年，天气久旱，农作物普遍缺水，人人望雨心切。不久出现了一连几天的阴天，看来必然要下雨了，可是并没有下雨。反而有一天，天气转为大晴天，太阳光很强烈。沈括那天正好去见宋神宗。宋神宗问他：“什么时候下雨？”沈括回答说：“下雨的条件具备了，明天就会下雨。”当时许多人认为连续几天阴天闷热，尚且不下雨，现在又晴又干，怎么会有下雨的可能呢？所以不相信沈括的话。但是到了第二天，果然下了雨。沈括对这次所以会下雨，提出了他的理由是：那时正是水汽充沛的季节，连日天阴，说明水汽的确已经多了，但是因为风比较大，云比较多，所以未能成雨；后来突然云散天晴，阳光可以烤热地面，使水汽有了充分发挥成雨作用的条件，因此，在第二天，水汽和地面热力作用两个条件都具备了，共同发挥了作用，必然会出现雨(见《梦溪笔谈》卷七)。这次，沈括在说明预报理由时，也采用了一些五运六气的术语，但仔细分析这一段叙述，可以看出沈括是反对当时医家用五运六气的死方法预报天气的。他在这一段文章中批判了五运六气说，强调要根据当时当地的特点来预报天气。他根据那次实际天气演变(就是“连日重阴，一日骤晴”)进行仔细分析，最后判断出要下雨，这种判断是科学的，所以这次预报也是成功的。

中国古代的物候历和物候知识

自然科学史研究所 曹婉如

在生产和生活实践中，当人们认识到植物的生长荣枯和动物的来去飞鸣同季节冷暖的周期变化之间有一定关系的时候，便产生了物候知识。我国农业发展历史悠久，为了不误农时，人们很早就利用物候知识安排生产了，因此我国物候历的出现是比较早的。

我国现存最早的一部记载物候的著作是《夏小正》。关于《夏小正》的时代，说法虽有不同，但是从著作本身的文字和内容来看，认为它是我国奴隶社会时期的文献，是有一定道理的。

《夏小正》全书不到四百字，文辞古朴简练，虽然用字不多，内容却相当丰富。它按一年十二个月分别记载物候、气象、天象和重要的政事，特别是有关生产方面的政事如农耕、蚕桑、养马等。其中最突出的部分是物候，说明我国古代以农立国，由于农业生产上的需要，早就注意收集物候资料，并且按月记载下来，作为适时安排农业生产的依据。它主要是各月的物候和农事活动的记载，是我国早期的一部为便利农业生产记下的物候历，是十分珍贵的文化遗产。

关于《夏小正》所记物候的具体内容，可以正月和九月为例表述如下：

正月：启蛰；雁北乡；雉震响；鱼陟负冰；囿有见韭；田鼠出；獭祭鱼；鹰则为鸛；柳稊；梅杏桃李华；缙缢；鸡桴粥。

时有俊风；寒日涤冻涂。

鞠则见；初昏参中；斗柄县在下。

农纬厥来；农率均田；采芸。

九月：遯鸿雁；陟玄鸟；熊罴貉貉麋鼯则穴；荣鞠；雀入于海为蛤。

内火；辰系于日。

树麦；王始裘。

正月是一年的第一个月，《夏小正》中的正月相当现在阳历二月。这时春回大地。按书中所记：

第一段记物候：冬眠的虫苏醒了；大雁向北方飞去；野鸡振翅鸣叫(是求偶的表示，“响”(gòu)的意思是鸣叫)；水温上升，鱼从水下向上游动，水面还有薄冰；园子里栽培的韭菜又长出来了；田鼠出穴活动；水獭捕食鱼类，鱼多吃不了，弃置水边；鹰变为鸛(鹰和鸛都是候鸟，来去有一定时期，到了正月，鹰去鸛来，当时人们误认为是鹰变化为鸛了)；柳树生出花序；梅、杏和山桃都开花了；缢(是一种莎草)已经结实(记结实是观察上的错误，应该是已经生出花序，缢草的花序和实相似)；鸡又开始产卵了。

第二段记气象：时而和风吹来，虽然还有寒意，却能消融冻土。

第三段记天象：天空又看到鞠星了；黄昏的时候参宿在南；北斗七星的斗柄向下。

第四段记农事活动：修整耕具耒耜；整理疆界，规定一个奴隶要为奴隶主耕多少田；采摘芸菜(供祭祀用)。

《夏小正》中的九月和现在阳历十月相当。天气转冷。第一段记物候：大雁又从北方飞往南方；燕子也高飞而去；熊、罴、貉、貉、麋(s，一种鼠的名字)、鼯等哺乳动物住在洞穴里；黄色的野菊花开了；雀飞入海变成

蛤(因为蚌蛤壳上的花纹很像麻雀毛羽,古人错误地以为蛤是麻雀变来的)。这月未记气象。第二段记天象特点是太阳靠近大火(心宿二),大火隐而不见;随后大火和太阳同时出没,好像联系在一起的样子。第三段记农事上要大抓冬小麦播种;最高统治者开始制备冬季服装了。

以上列举的虽然只是全书的一部分,但是也足以说明,远在大约三千年前,我国的物候观测内容已经很丰富。在植物方面,对草本和木本植物都进行了观察;在动物方面,凡鸟、兽、家禽和鱼类活动都已经注意到;而且,记载中物候和农事并列,反映了我国物候知识的发展从开始起就和农业生产需要紧密结合在一起。

《夏小正》记载的物候,既说梅、杏和山桃在正月开花,又提到了淮河(十月:“玄雉入于淮为蜃”)、大海(“雀入于海为蛤”)和扬子鳄(二月:“剥鱓”,鱓(tu)就是现在长江中下游一带的扬子鳄,其他地区没有这种动物)等,所以它反映的主要是当时淮河、长江沿海一带的物候情况。

《诗》三百篇是我国奴隶社会的一部诗歌集,其中也有关于物候的记载,特别是《诗·豳风·七月》一篇比较集中,如记“四月秀蓂”(蓂草开花),“五月鸣蜩”(蜩(tiáo)就是蝉),“六月莎鸡振羽”(莎鸡据《虫荟》说就是纺织娘),“十月蟋蟀入我床下”,等等,说它是一篇最早的有关物候学的诗歌也不过分。

每逢一定节气的日子观测和记录物候,在我国也有悠久历史。早在春秋时期,已经有每逢春分、秋分、夏至、冬至各节气记载物候和天气的传统了。

战国末期的《吕氏春秋·十二纪》,基本沿袭了《夏小正》的体例,按春夏秋冬四季的孟、仲、季也就是按十二个月记载天象、物候和其他政事。但是《吕氏春秋·十二纪》和《夏小正》不同的地方是内容比较庞杂,增加了许多和物候无关的记述。其中记载物候的部分主要来自《夏小正》,当然也增加了一些新材料,特别是气象方面的。此外,还认识到反常的物候现象所产生的后果,如:“孟春行夏令,则风雨不时,草木早槁,国乃有恐。”意思是说,初春时候如果出现了夏天那样的天气,风雨不按时来,草木会早干枯,国家就惶恐不安了。这些论述是有意义的。至于说:“仲春行秋令,则……寇戎来征”等语,把节候的反常附会到人事上去,就是错误的了。

汉代出现的《礼记·月令》和《淮南子·时则训》等都是因为有物候内容著称的,不过它们和《吕氏春秋·十二纪》记载的物候几乎完全相同,没有什么发展。

值得注意的是汉代的另一部著作《逸周书》,其中有两篇是记物候的。一篇是《月令解》,基本上和《礼记·月令》等相同,就不谈了。另一篇是《时训解》,其中所记物候虽然没有超过《夏小正》和《吕氏春秋·十二纪》的内容,但是它是按二十四节气和七十二候(一候是五天)记述的,这是我国物候历的一个很大的改变,并引起人们对物候观测的重视。到了北魏(公元五世纪),这种具有七十二候的物候历被载入国家历法之中,以后历代大都是这样,而且在候应方面和《逸周书·时训解》的候应也有不少是相同的。到清代太平天国在南京颁布的“天历”(用阳历)中,纠正了前代历书不顾物候地区差异的缺点,把南京所观测到的物候编成《萌芽月令》,并且把上一年观测情况附在下一年同月份日历之后,以便农家参考

使用。

虽然天文历法的进步对农业生产起着重要的作用，但是物候知识在古代农业生产中一直在发挥作用的事实，从我国古代农书中还可以得到证明。农书中讲到耕地和播种等的适宜时间，有时以自然界的物候为准。例如西汉的著名农书《汜胜之书》，记陕西关中地区的农业生产的时候说：对“轻土弱土”（轻松的土地）要在“杏始华荣”（杏花开始繁盛）的时候耕一遍，看到“杏花落”的时候再耕一遍；记豆类的播种时间说，大豆在“三月榆莢时”（榆树结翅果的时候）有雨可在高地上种，小豆应该在“椹黑时”（桑椹熟到发黑的时候）有雨种下。再看北魏著名农学家贾思勰写的《齐民要术》讲种谷（粟），首先指出要掌握“天时”，才能“用力少而成功多”，不然违反自然规律就“劳而无获”了。因此他很重视农时，常把作物的播种时间分为上、中、下三期。《齐民要术》是论华北平原地区的农业生产的，讲种谷在“杨生种者为上时”（杨树出花生叶的时候种最好），“清明节桃始花为中时”，但不能晚于“枣叶生桑花落”的时候，这是“下时”。其他古农书中如东汉崔寔（？ - 约 170）的《四民月令》、元代的《农桑辑要》、《王祯农书》和明代徐光启的《农政全书》等都有关于物候的记述，就不一一列举了。

两宋和明末清初，我国在物候观测和研究方面又取得了新成就。

古代物候的第一手观测记录，现在保留下来的已经不多。目前所见时间最早而又有一定内容的实测记录是我国南宋吕祖谦（1137 - 1181）写的《庚子·辛丑日记》。吕祖谦是一位著名文学家，浙江金华人，他在逝世前两年居家患病期间每天都记日记，并且写下他所留心观察的物候。日记从宋孝宗淳熙七年（公元 1180 年）正月初一日到次年七月二十八日，记有腊梅、樱桃、杏、桃、紫荆、李、海棠、梨、蔷薇、蜀葵、萱草、莲、芙蓉、菊等二十多种植物开花和第一次听到春禽、秋虫鸣叫的时间。不过他是按阴历日期记载的，因此从时间上看，两年物候相差比较大，使用的时候应该注意。这份物候资料非常宝贵，是世界现存最早的凭实际观测获得的记录。

北宋科学家沈括对于物候和高度的关系、物候和纬度的关系、物候和植物品种的关系、物候和栽培技术的关系等方面都进行了研究，并在所著《梦溪笔谈》卷二十六中记下了他的科学见解。他说由于“地势高下之不同”，在平原地区“三月花者”，到了山区“则四月花”。他很赞赏唐代诗人白居易（772 - 846）的名句：“人间四月芳菲尽，山寺桃花始盛开，”说这指出了物候的“常理”。又说南岭地方的草“凌冬不雕”，而汾河流域的树木“望秋先陨”，这是因为“地气之不同”。他分析水稻“有七月熟者，有八九月熟者，有十月熟者”的原因是水稻本身的“物性之不同也”。更重要的是他解释了栽培作物的物候除受自然因素制约外，人的因素就是栽培技术也起很大作用。他说由于“人力之不同”，“岂可一切拘以定月哉”，这是非常正确又富有积极意义的见解，指出提高栽培技术可以使作物早熟增产。

明代著名医学家李时珍著的《本草纲目》记载了将近两千种药物，包括有丰富的物候材料。和李时珍差不多同时的地理学家徐霞客（1587

- 1641) 在他的《徐霞客游记》中也指出物候南北差别的原因是“盖愈北而愈寒也”，为沈括论述的“地气之不同”作了更加科学的解释。

清初地理学家刘献廷也很注意观察各地物候，并且批评了当时历书中记载的七十二候是抄袭古代的“月令”，早已因时间地点不同而不适用了。他在所著《广阳杂记》中说，各地的七十二候“各各不同”，“如岭南之梅十月已开，湖南桃李十二月已烂漫，”因此他建议在“南北诸方”都要详记物候，并且要把这种记录“传之后世”。这样，“天地相应之变迁，可以求其微矣。”意思是说，这样便可以探求大自然的规律了。刘献廷的宝贵意见在当时的社会条件下是不可能做到的。

现在我国已经出版了《中国动植物物候观测年报》第一至三号，记录了1963年到1972年全国几十个观测地点的木本植物、草本植物、动物和气象水文等现象。今后我国的物候学研究工作，一定会在前人成就的基础上，作出更大的成绩。

恩格斯在《德国农民战争》一书1875年版上加的注，《马克思恩格斯全集》，人民出版社1951年版，第七卷第386页。

中国古代的旅行考察事业

自然科学史研究所 郑锡煌

在我国悠久的历史上，或因政治的、或因宗教的、或因经济的目的，经河西走廊到达中亚、南亚各国访问考察，或取海路越南海远航到印度洋沿岸各国访问考察的，不乏其人。其中以汉代的张骞(前 175 ? - 前 114)、晋代的法显、唐代的玄奘(602 - 664)、明代的郑和、徐霞客等五人在旅行考察中所取得的成就最为卓著。

汉代张骞的三次出使

张骞，陕西汉中成固(今城固)人。他受汉武帝的派遣，曾经三次出使。第一次是在建元三年(公元前 138 年)，从长安出发，到达中亚的大宛(今乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦境内的费尔干纳盆地)、康居(今乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦境内)、大夏(阿富汗北部)、大月氏(阿姆河流域和它迤西一带)等国，元朔三年(公元前 126 年)回国，前后历十三年。第二次是在元狩元年(公元前 122 年)，从西蜀的犍为(今四川宜宾)出发，试图经云南、贵州探寻前往身毒(yuándù, 今印度)的捷径，但是没有成功。元鼎二年(公元前 115 年)第三次出使，到达乌孙(今伊犁河、楚河、巴尔喀什湖、伊塞克湖一带)、大宛、康居、大月氏、大夏、身毒、安息(在伊朗高原)、于阗(今新疆和田)、扞弥(今新疆于田)等国。张骞以及他的分遣队，先后到了当时中亚、西亚、西南亚的一些国家。

张骞两次出使中亚各国的意义是重大的。在他出使成功以后，经由河西走廊通往中亚的大道更加畅通，成为著名的“丝绸之路”。两汉以及以后的历代封建王朝，通过这“丝绸之路”，不断地向中亚、西亚、西南亚各国派遣使节，这些国家的使节也频频来华；商贾更是沿着张骞开辟的道路，络绎不绝地往返于中国和中亚各国之间。这就促进了东西方各国间的政治、经济和文化上的交流，推动了这些国家的经济和文化的发展。

张骞出使旅行的地理意义也是十分重大的。他把沿途亲身经过的和传闻中的国家，如：大宛、乌孙、康居、大月氏、大夏、安息、身毒、奄蔡、条支(今伊朗、伊拉克境)等十几个国家的人口、兵力、物产、交通以及这些国家彼此之间的距离，都一一加以详尽的介绍。这是我国古代有关中亚各国经济地理最早的描述。途中，他对自然地理情况也有认真的考察，发现于阗以西的河流都向西流入西海(今咸海)，于阗以东的河流都流入蒲昌海(今罗布泊)。对身毒、条支等国的气候也有扼要的描述。张骞说：印度的气候卑湿暑热；条支国靠近地中海，气候炎热，多稻田。这些记载都是正确的。张骞在开阔中国人民的地理视野、丰富中国人民的地理知识方面，起了重要的作用。

张骞的第二次出使，虽然没有取得成功，但是他这次出使的地理意义还是值得重视的。他根据第一次出使的时候在大夏看见邛竹杖、蜀布这一

恩格斯：《反杜林论》，《马克思恩格斯选集》，人民出版社 1972 年版，第三卷，第 206 页；《马克思恩格斯全集》，人民出版社 1971 年版，第二十卷，第 182 页。

件事，作出十分大胆却是颇为合理的推测，认为从四川应该有条经过印度通往阿富汗的捷径。在这个信念驱使下，张骞进行了第二次出使，虽然只到了昆明，但是通过这次旅行，得知在四川南面千里之外有一个叫滇越(今缅甸)的国家。同时，通过张骞的考察，进一步了解了四川西南部、云南、贵州一带地方的情况，这为后来开拓这一带地方，打下了良好的基础。

晋代法显的南亚之行

法显，晋平阳郡平阳(今山西临汾西南)人，是晋代的高僧。晋安帝隆安三年(公元399年)，他以六十多岁的高龄，从长安出发，经河西走廊，穿越葱岭(帕米尔)，遍历北、西、中和东印度，以后又下南印度，乘船经斯里兰卡、苏门答腊、爪哇，渡南海、东海，于义熙八年(公元412年)在山东半岛的崂山地区登陆，回到阔别十三年的祖国。回国后，他根据亲身历经三十多国的所见所闻，写成《佛国记》(也称《法显传》、《佛游天竺记》、《历游天竺记传》)这部在文学和地学上都具重要意义的杰作。

《佛国记》全书九千多字。它以精练的文辞，生动地记述中亚和印度的宗教经典、风土人情、山川形势、经济生活等情况。它不但使我们了解了汉晋时期东西方商业和文化交通的几条主要路线，而且也提供了法显当年所见印度阿育王建立的石柱，以及石柱上所刻的敕文和雕刻艺术，它是我们研究阿育王时代极其珍贵的资料。

法显是我国从陆路到达中亚并深入旅行到印度、然后取海路回国的第一个人。他写的《佛国记》是现在能看到的我国古代记述中亚、印度和南海地理风俗的第一部著作。全书文字不多，但是它所包含的有关地理知识的内容，却是十分丰富的。试引证几段他在旅途的不同地段所记下不同的自然地理景色，略加说明。

“沙河中……上无飞鸟，下无走兽，遍望极目，欲求度处，则莫知所拟，唯以死人枯骨为标识耳。”这里，他把从敦煌到鄯善(今若羌东北)一千五百里的茫茫沙漠生动而逼真地描述出来了。

越过葱岭，自然景色别具一格。书中说道：“自葱岭已前，草木果实皆异，唯竹及安石榴、甘蔗三物，与汉地同耳。……葱岭冬夏有雪，……彼土人，人即名为雪山人也。……顺岭西南行十五日，其道艰阻，崖岸嶮绝。其山唯石，壁立千仞，临之目眩，欲进则投足无所。”法显把葱岭冬夏积雪的寒冷气候和崎岖险峻的地形，描绘得淋漓尽致，人们读到它仿佛自己置身于高耸入云、白雪皑皑的世界屋脊之巅。

度山之后，再向东走过印度河(当时他叫新头河)到印度(南天竺)，这里的地理景色又大不相同。“复渡新头河，两岸皆平地，……自渡新头河至南天竺，迄于南海，四五万里，皆平坦，无大山川，”虽然“四五万里”是出于估计，“无大山川”和事实也有出入，但是法显进入了印度河平原以后，对那里的自然景色的记述，却为今天我们了解古代当地情况提供了有用的资料。另外，法显对中印度的气候，也有简洁的描写。如：“……从是(指恒河上游的摩头罗——引者)以南，名为中国(指中印度——引者)。中国寒暑调和，无霜雪。人民殷乐。”

后来，他乘船到达师子国(今斯里兰卡)，法显说：“其国和适，无冬夏之异，草木常茂，田种随人，无所时节。”这正是斯里兰卡热带气候的

真实写照，那里终年炎热，长夏无冬，一年四季都是作物生长季节。

诚然，法显虽是为“求戒律”而西行，但是他以简明扼要、具体生动的语言，把旅途所经的山川、地势、气候、物产等情况一一载入《佛国记》，无疑他对扩大中国人民的视野，丰富中国人民的地理知识，有重要的贡献。它也是我们今天研究中亚、印度和南海诸地的历史地理的重要参考文献。

唐代玄奘对印度的考察

玄奘，原姓陈，名祿。玄奘是他当了和尚以后的法名。为了研究佛学，他遍访四川、湖北、河南、河北、陕西等地的名师益友，成为国内很有名声的佛学家。然而玄奘在佛学上作出的重大贡献，还是到了印度之后取得的。这就是有名的“唐僧取经”。

玄奘于唐太宗贞观元年(公元627年)踏上西行取经的征途。他以“宁死在半路，也决不东退一步”的坚韧顽强的毅力，长途跋涉十七年，历经无数艰难险阻，走完五万多里，游历了一百一十个国家和地区，足迹遍于西域和五印度，成为世界历史上一位出色的旅行家。

玄奘在印度期间，考察了佛教的名胜古迹，虚心向学者、名师学习，刻苦钻研佛教经典，获得了佛学理论的渊博知识。他是中国和亚洲知名度很高的佛学家。

贞观十七年(公元643年)玄奘起程回国。他从印度带回五百二十夹、六百五十七部佛经和佛像、佛骨、花果种子等物。回国后，他十九年如一日，孜孜不倦地翻译了佛教经典七十三部，计一千三百三十五卷，在我国佛经翻译史上写下了重要的一页。由于佛经的大量翻译，为我国的文化宝库增添了新的内容；同时，玄奘又把以前传入我国还有传本而印度已经失传的《大乘起信论》和我国古代的哲学著作翻译成梵文，为中印文化交流作出了卓越的贡献。

玄奘回国后，在翻译佛教经典的同时，受唐太宗李世民(599 - 649)的命令，还把他在十多年的旅行中所亲身经历的一百一十个国家和地区以及传闻中的二十八个国家的历史沿革、风土人情、宗教信仰、地理位置、山脉河流、物产气候，写成《大唐西域记》这部杰作。这里引一段玄奘对东印度摩揭陀国(今印度比哈尔邦伽耶城东北)的叙述：“摩揭陀国，周五千余里，地少居人，邑多编户。地沃壤，滋稼穡。有异稻种，……土地垫湿，邑居高原。孟夏之后，仲秋之前，平居流水，可以泛舟。风俗淳质，气序温暑。崇重志学，尊敬佛法。伽蓝五十余所，僧徒万有余人，并多宗习大乘法教。天祠数十，异道甚多。”这段引文，文辞简练，但是地理内容相当丰富，只一百个字左右，就把摩揭陀国的面积、城邑、土壤、地形、气候、物产、水利、宗教等方面的情况，简要地描绘出来了。由此可见，玄奘在旅途上的考察是比较深入和细致的。再引一段他对沿途自然景物的描写：“……至凌山(今天山山脉的穆索尔岭——引者)，此则葱岭北原，水多东流矣。山谷积雪，春夏含冻，虽时消泮，寻复结冰。经途险阻，寒风惨烈，……山行四百余里，至大清池(今伊塞克湖——引者)，或名热海，又谓咸海，周千余里，东西长，南北狭，四面负山，众流交凑，色带青黑，

味兼咸苦，洪涛浩瀚，惊波汨汨，龙鱼杂处，……千泉者地方二百余里，南面雪山，三垂平陆，水土沃润，林树扶疏，暮春三月，杂花若绮，……”这样详细地描写自然景物的，在书中不乏其例。玄奘在地理知识的发展和传播上，有卓越的贡献。直到今天，《大唐西域记》还是我们研究中亚、印度和巴基斯坦的历史地理所必不可少的文献。不但在中国地理学史上，就是在世界地理学史上，也占有重要地位。

明代郑和的七“下西洋”

郑和，云南昆明人，回族。永乐三年（公元1405年），受明成祖朱棣（1360 - 1424）的命令，他率领庞大的舰队首次出航。从永乐三年到宣宗宣德八年（公元1405年到1433年），历二十八年，先后七次“下西洋”，经三十七个国家，向南到了爪哇，向西到了波斯湾和红海里的默伽，最远到了赤道以南的非洲东海岸，是我国历史上空前未有的壮举。郑和的航海，比葡萄牙人迪亚斯（约1450 - 1500）于1487年绕过非洲南端好望角早八十二年，比哥伦布于1492年发现美洲新大陆早八十七年，比葡萄牙人达·伽马（约1460 - 1524）于1497年沿着非洲南岸、绕过好望角到达印度海岸早九十多年。郑和“下西洋”也是世界航海史上伟大的壮举。他对亚洲、非洲的访问，具有政治和经济方面的重要意义，对国际经济和文化的交流产生了深远的影响。

郑和“下西洋”的成就和影响，首先表现在经济和文化方面。他开拓了我国在南洋群岛、印度洋沿岸国家的海外市场，扩大了我国的对外贸易，促进了各国间经济和文化方面的交流，扩大了我国的国际政治影响。由于海外市场的开拓，我国的海外贸易急剧发展了。它有力地刺激了商品生产的增长，促进了我国手工业生产更进一步的发展，特别是丝织和瓷器生产的发展，对我国封建社会内部资本主义生产方式因素的增长起了一定的促进作用。

郑和“下西洋”的成就和影响还表现在对国际交通和贸易方面。郑和庞大的舰队经常拥有大海船六十多艘，航行的技术先进，他不但使用了罗盘和航海图，而且还结合天文和地理的知识，不断地对航船进行定位、定向，保证了船队向着预定的目的地顺利前进。航程最远的第五次航行，到了红海口的阿丹（今亚丁）和非洲，东海岸赤道以南一带，首次开辟了从中国到红海和非洲东海岸一带的航道。本世纪初，在罗得西亚的第二大城市布拉瓦东南大约二百五十公里的石头古城的地下，发掘出一批中国明代的瓷碗和一些十三世纪中国瓷器的碎片，就是郑和远航到那里的一个实物旁证。郑和每次航行，都把沿途各国的位置、航程的远近、航行的方向、停泊的港口以及航道上的浅滩、暗礁，一一加以详细记载，绘出航海地图，写了航行手册——“针位编”。这一图一编，总结了当时的航海技术和航海的地理知识，不但丰富了我国人民的海外地理知识，而且为以后东西方之间的海上交通提供了宝贵的资料，对沟通东西方海上交通作出了重大的贡献。

郑和“下西洋”，对我国的地理学也作出了重要的贡献。他根据自己航海所取得的经验和知识绘制的航海地图，是我国地图学史上比较早的一部内容最丰富的现存的航海图。它一共有四十面二十图。其中，绝大部分

基本上是正确的，只有小部分是基本上不正确的。在五百多年前能绘出这种水平的航海地图，可以说是十分难能可贵的。郑和的航海图连同马欢的《瀛涯胜览》、费信(1388 - ?)的《星槎胜览》、巩珍的《西洋番国志》等三部地理著作，介绍他们经过的三十多个国家的风土人情和地理知识，使中国人民的地理视野一直扩展到了非洲的东海岸，大大增加了地理学界对南洋群岛、阿拉伯海、红海和东非洲一带的地理知识。可以说，郑和的七次“下西洋”，不但是中国海上探险事业的巨大成就，也是世界地理发现史上的壮举。

明代徐霞客的地理和地质考察

徐霞客，名宏祖，字振之，江苏江阴人。他出生在封建礼义之家，从小就得“博览古今史籍与地志、山海图经，以及一切冲举高蹈之迹”，萌发了问奇于名山大川、探索祖国大自然奥秘的兴趣。他不应科举，不入仕途，倾毕生的精力于瑰丽的大自然之中。从二十二岁起，到五十六岁去世为止，历三十多年的考察，足迹踏遍浙江、江苏、山东、安徽、河北、河南、山西、陕西、福建、江西、广东、广西、云南、贵州、湖南、湖北等十六个省(区)。他以忘我的追求真理的精神，战胜了旅途上一切严重的困难，几十年如一日，对山脉、河流、动植物等特征，进行细致的观察，并加详实的记录，最后写成十卷巨著《徐霞客游记》这部对地学极有价值的宝贵文献，留给后世。

综观游记，似乎可以把徐霞客对地学的贡献归为地貌和水文两个方面。特别是对石灰岩地貌的考察和研究，贡献尤大。从时间上看，他比欧洲最早对石灰岩地貌进行考察和描述的爱士倍尔早一百多年，比欧洲最早对石灰岩进行系统分类的诺曼早二百多年。从考察的广度和深度来说，他的业绩不但在我国，而且在世界地学史上，也是空前的。在西南地区，他用了三年又十个月的时间徐霞客旅行路线图。

间，对石灰岩地貌进行广泛详细的考察，对峰林、圆洼地、溶水洞、地下暗流的特征和成因，都作了生动而确切的描述。他所描述的也不限于个别现象的表面和孤立的考察，实际上已经涉及到岩石性质和地质构造的范围了。他一丝不苟地探查了一百多个岩洞，详尽记载了岩洞的分布情况以及它们的高度、深度和宽度，并对石笋、石钟乳的形成作出了符合科学的解释，认为那是由于滴水蒸发后的碳酸钙凝聚而成的。他说：“崖间有悬于虬枝，为水所淋漓者，其外皆结肤为石，盖石膏日久凝胎而成。”他根据自己观察到的各种现象，对石灰岩地貌进行类比总结，指出了不同区域间的区域特征，也厘订了罾(yu n)井、盘洼等名称。徐霞客是在当时整个世界上科学的地理学、地质学都还处在萌芽状态的情况下，对石灰岩地貌进行卓有成就的研究的，可见他知识的渊博和贡献的重大。

徐霞客在水文方面的贡献也很重要。他经过深入的实地考察，正确地指出金沙江才是长江的上游，这就纠正了一千多年来以岷江为长江上游的传统说法。对流水侵蚀作用，他也有很多科学的观察，“江流击山，山削成壁”，“两旁石崖，水啮成矶”，“山受啮，半剖为削崖”，就是流水对地表的侵蚀的逼真而生动的写照。他在福建考察的时候发现，两条河流的发源地高度大约相等，但是入海的距离却相差很远，那么这两条河流的

河床坡度就有明显的差异，流程短的，流速就快。这就是他说的“程愈迫，则流愈急”。这些见解都是符合科学的。

总之，三百多年前，徐霞客对流水侵蚀作用的理解是正确的，对西南石灰岩区域的考察，已经从一般表象的观察进入到更深入一步的研究阶段。虽然他还没有写出从理论上加以总结的文章，但是，他已经朝这个方向迈出可喜的一步。

中国古代的水利工程和水文知识

自然科学史研究所 宋正海

水利是农业的命脉。几千年来，勤劳、勇敢、智慧的中国人民同江河湖海进行了艰苦卓绝的斗争，修建了无数大大小小的水利工程，有力地促进了农业生产。同时，水文知识也得到了相应的发展。

几项重要的水利工程

我国古代有不少闻名世界的水利工程。这些工程不仅规模巨大，而且设计水平也很高，说明当时掌握的水文知识已经相当丰富了。

都江堰 位于成都平原西部灌县(今都江堰市)附近的岷江上。这是秦昭襄王五十一年(公元前 256 年)李冰(约前 280 - 约前 220)任蜀郡守后，领导群众修筑的。都江堰由分水“鱼嘴”、“飞沙堰”和“宝瓶口”三项主要工程组成。分水“鱼嘴”是中流作堰，把岷江一分为二：东边是内江；西边是外江，是岷江正流。“宝瓶口”是劈开玉垒山建成的渠首工程。“飞沙堰”是调节入渠水量的溢洪道。内江从宝瓶口以下进入成都平原上密布的农田灌渠。有了都江堰，成都平原“旱则引水浸润，雨则杜塞水门”，成为富有的粮仓，享有“天府”的称号。都江堰的规划、设计和施工都具有比较好的科学性和创造性。工程规划相当完善，分水鱼嘴、飞沙堰和宝瓶口联合运用，能按照灌溉、防洪的需要，分配洪、枯水流量。据晋常璩撰《华阳国志》记载：为了控制内江流量，在进水口“作三石人，立三水中，”使“水竭不至足，盛不没肩。”这些石人显然起着水尺的作用，这是原始的水尺。从石人“足”和“肩”两个高程的确定，可见当时不仅有长期的水位观察，并且已经掌握岷江洪、枯水位变化幅度的一般规律。通过内江进水口水位观察，掌握进水流量，再用鱼嘴、飞沙堰和宝瓶口的分水工程来调节水位，这样就能控制渠道进水流量。这说明早在二千二百多年前，我国劳动人民在管理灌溉工程中，已经掌握并且利用了在一定水头下通过一定流量的“堰流原理”。在都江堰，“李冰作石犀五枚，……二在渊中”，“二在渊中”是指留在内江中。石犀和石人的作用不同，它埋的深度是作为都江堰岁修“深淘滩”的控制高程。通过“深淘滩”，使河床保持一定的深度，有一定大小的过水断面，这样就可以保证河床安全地通过比较大的洪水流量。可见当时人们对流量和过水断面的关系已经有一定的认识和应用。这种数量关系，正是现代流量公式的一个重要方面。

郑国渠 是秦始皇元年(公元前 246 年)由一个名叫郑国的水工设计和领导修筑的。郑国渠从现今陕西泾阳境里起，引泾水向东注入洛水，全长三百多里，灌溉关中平原。渠成以后，人们用富有肥效的细泥(悬浮体)的泾水进行“粪灌”(就是淤灌)，把关中平原二百多万亩盐碱地改良成平均亩产二百多斤的良田。从此“关中为沃野，无凶年。”(《史记·河渠书》)当时关中流传着这样一首歌谣：“郑国在前，白渠起后。举耜为云，决渠为雨。泾水一石，其泥数斗，且溉且粪，长我禾黍，衣食京师，亿万之口。”

(《汉书·沟洫志》)生动描绘了在郑国渠等灌溉渠的淤灌下,关中平原农业发达、经济繁荣的情景。郑国渠的建设也体现了比较高的河流水文学知识。郑国渠渠首工程布置在泾水凹岸稍偏下游的位置,这是十分科学的。在河流的弯道处,除通常的纵向水流外,还存在横向环流,上层水流由凸岸流向凹岸,河流中最大流速接近凹岸稍偏下游的位置,正对渠口,所以渠道进水量就大得多。同时水里的大量细泥也进入渠里,进行淤灌。横向环流的下层水流却和上层相反,由凹岸流向凸岸,同时把比较重因而在河流底层移动的粗砂冲向凸岸,这样就避免了粗砂入渠堵塞渠道的问题。

龙首渠 是汉武帝时发卒万人开掘的一条引洛河水灌溉重泉(今陕西蒲城东南四十里)的一条大型渠道,这条渠道必须经过商颜山(今铁镰山)。如果沿山脚挖明渠绕过去,由于山脚的黄土层受水浸蚀,大量崩塌,渠道容易毁坏。于是劳动人民另想别法,终于发明了“井下相通行水”的“井渠法”,使龙首渠从地下穿过了七里宽的商颜山。

芍陂(安丰塘) 春秋时期楚国楚庄王在位年间(公元前 613 年到公元前 591 年),楚国劳动人民在今安徽寿县南面兴建了芍陂。这是个大似湖泊的水塘,塘堤四周设有三十六道门,七十二道涵。它接引了六安山区流来的水,形成一座周围一百二十多里的蓄水库,可以灌溉万顷农田。现在它成为淠史杭水利综合利用工程的一个组成部分。

黄河大堤 黄河流经黄土高原,因而含有大量泥沙。河南孟津以下,黄河流入平原,河床坡度骤然变小,大量泥沙淤积河床,因而洪汛来的时候,经常泛滥、决口或改道,在历史上,黄河洪水灾情特别严重。我国历代劳动人民同黄河洪水斗争有过光辉的成就,创造了不少治河方法。目前,黄河两岸的千里大堤正是这种斗争的产物,它是在漫长的岁月中发展完善起来的。春秋时期,黄河下游已经部分出现了堤防,但是规模不大。战国时期,堤防更加普遍,某些地段还出现了所谓“巨防”和“千丈堤”。秦始皇统一中国以后,“决通川防,夷去险阻,”第一次统一治理了黄河大堤。以后黄河大堤又有所发展。特别是到了明清二代,由于“束水攻沙”理论的提出和应用,使堤防由消极的防洪挡水的工程变成了积极的冲刷淤沙的工程,因此黄河大堤迅速得到发展并且完善起来,出现了多种堤防的配合。此外还有许多辅助工程出现,如排水坝、顺水坝、透水坝、减水坝。在河流险工段更有多种护堤工程——“埽”。黄河大堤对于控制洪水灾害,保护人民生命财产,促进华北平原农业生产发展,本来应该起到积极的作用。但是历代反动统治阶级根本不顾人民死活,往往借治理黄河之名收刮民脂民膏,不重视大堤的维修工作,因而起不到积极的作用,黄河洪水灾害仍旧历年不断。

“束水攻沙”理论是我国古代河流水文学的光辉成就,也是治黄和黄河大堤完善化的理论基础。“束水攻沙”是明代潘季驯(1521 - 1595)吸取前人对河流泥沙运动规律的认识成果,结合自己的治河经验总结出来的。他在《河议辩惑》中说:“水分则势缓,势缓则沙停,沙停则河饱”;“水合则势猛,势猛则沙刷,沙刷则河深”;“筑堤束水,以水攻沙,水不奔溢于两旁,则必直刷乎河底,一定之理,必然之势,此合之所以愈于分也。”“束水攻沙”符合河流泥沙的运动规律,因而是确有成效,在世界水文学史上占有重要地位。清代陈潢(1637 - 1688)发展了“束水攻沙”的治河方针,为了使黄河能保持均匀的水势,必须根据河床宽窄及时在某些河段泄

水，“务使所泄之数，适称所溢之数，”为此他吸取劳动人民测土方的方法，用而测水。陈潢认为：河流流动好比人走路，流得快的，好像“急行人”，每天可流二百里；流得慢的，好像“缓行人”，每天可流七十八里。以水纵横一丈、高一丈算一方，这样可以计算河流一天能流动的水方数，终于第一次发明了河流流量测算方法。

海塘 出现于西汉，之后筑塘技术不断发展，不少海塘由土塘发展到石塘，规模也不断扩大。江苏、浙江两省是全国漕粮的来源地。但是两省地滨东海，常遭台风、海啸袭击，潮灾严重，尤其是杭州、嘉兴一带最严重，因此江浙海塘建筑成为水利建设的重要方面。继宋元二代多次筑塘后，清代康熙、雍正年间，曾经先后六次大修海塘。江浙海塘是世界闻名的，北起金山卫，南到杭州，全长三百多里。海塘像一座座海边长城，阻挡海潮侵袭，捍卫着沃野千里的三角洲和滨海平原。

两条著名的通航运河

除了上述直接为农业生产服务的水利工程外，我国还有用来沟通水系、便利交通的运河。

灵渠 位于广西兴安，它是秦始皇统一六国以后，为了进一步完成统一事业，克服五岭障碍，解决运输军粮问题，派史禄领导开凿的。它长约三十多里，宽约五米，连接湘水(长江水系)和漓水(珠江水系)。开凿灵渠，先在湘水中用石堤筑成分水“铧嘴”和大小“天平”，把湘水隔断。在铧嘴前开南北两条水渠，北渠仍通湘水，南渠就是灵渠，和漓水相通。湘水上游，海阳河流来的水被铧嘴一分为二，分别流入南渠和北渠，这样就连接了湘水和漓水，沟通了长江和珠江两大水系。当海阳河流来的水大时，灵渠可以通过大小天平溢洪道，把洪水排泄到湘水故道去，保证了运河的安全。灵渠选择在湘水和漓水相距很近的地段，这里水位相差不大，并且使运河路线迂回，来降低河床比降，平缓水势，便于行船。灵渠设计和布局都很科学，在世界航运史上占着光辉的地位。

大运河 是世界上开凿最早、规模最大、里程最长的航行运河。它北起北京，南到杭州，全长一千七百九十四公里，沟通海河、黄河、淮河、长江和钱塘江五大水系。它的建成克服了过去没有南北水路的缺陷，发挥了很大作用，直到京广铁路修筑前，是南北的交通干线。大运河最早的一段是二千四百年前开凿的邗(hán)沟，以后不断发展。隋炀帝大业年间(公元605年到613年)，为了漕运，就大开运河，经过六年，开通了二千四百公里的南北大运河。但是隋代的大运河在淮河和海河中间的一段和现在的不同，是以隋代的东都洛阳为中心向东北和东南伸展的。元代建都北京以后，要从江浙运粮到北京，为了避免绕道洛阳，就裁弯取直，形成现在的京杭大运河。开凿大运河要通过不同的地理环境，因此工程十分复杂，而开导水源、保持水量是工程中的关键。劳动人民排除万难，解决了许多复杂的技术问题，才使运河能够通航。元代开凿的山东西部丘陵地区的一段运河，因为穿过黄河，地势高低悬殊很大，水流湍急，不便航行，更是一项极其艰巨的工程，是运河南北通航的关键地段。这个问题，到明代永乐年间(公元1403年到1424年)，由于平民白英的合理建议，才得到真正解决。白英选择了这段运河上的最高点，然后设法把汶河的水全部汇集到这

里，使它南北分流；沿运河还利用地形修筑“水柜”蓄水，解决了水源问题，又修建了三十多座水闸，节节控制，分段平缓水势，以利航行。这段运河穿过黄河，于是采用水流由运河注入黄河的办法，这样就避免了黄河泥沙进入运河、堵塞河道这个大问题。隋代和元代大运河建成以后，成为南北交通的大动脉。唐代的时候，由大运河运到北方的粮食，每年在二百万石以上。到了宋代，每年增加到七百万石。大运河促进了南北经济的发展。沿河也发展了不少著名城市，如德州、济南、淮安、扬州、镇江等。

河流水文观测

水文学随着水利事业的发展而发展，并且充分发挥了理论对实践、科学对生产的能动作用。古代河流水文学的成就，除上述水利工程中体现出来之外，值得专门提出的，还有涪陵石鱼和吴江水则碑。


涪陵石鱼 河流枯水直接影响着航运、灌溉和生活用水，所以也为古人所重视。近年来，为了探索长江枯水规律，进行了长江上游历史枯水调查，结果发现宜昌 - 重庆段有枯水题刻群十一处，尤以江津莲花石、重庆丰年碑、涪陵白鹤梁、云阳龙脊石、奉节记水碑等最重要。其中涪陵白鹤梁石鱼题刻是目前在这一段中保存最好也最有价值的。它一共镌刻了一百六十三则古代石刻题记。从中获得了自唐代广德二年(公元 764 年)以来断断续续的七十二个年份的枯水记录，它说明我国劳动人民距今一千二百年前就创造了富有民族风格的以石鱼作为水标的我国古代最早“水位站”。据考证：宜昌 - 重庆段枯水题刻可以追溯到大约二千年前的汉光武时期。

吴江水则碑 宋代吴江上立有两座水则碑，一座可以记载一年内(各月、各旬)的水位变化，另一座可以记载各年的水位变化。碑有“横七道，道为一则。以下一则为平水之衡，在一则，则高低田俱无恙。过二则，则极低田渰。……过七则，极高田俱渰。”(沈启：《吴江考》卷二，“渰”通“淹”。)二碑石刻中刻有“大宋绍熙五年水到此”、“大元至元二十三年水到此”。可见宋代为了统计汛期农田被淹面积，已经建立了水位观测制度，这是我国历史记载的直接为农业生产服务的“水位站”。

潮汐表

潮汐是一种近海岸处发生的海洋水文现象。我国古代有大量的潮汐记载，并有不少潮汐论著，还出现不少潮汐学家。由于航运、渔业、制盐、海战和潮灾预防等活动迫切需要知道潮汐时间和强度，古代编制了不少潮汐表，其中又以唐宋时期的表最出名。

窦叔蒙涛时图 唐代窦叔蒙根据东汉王充“涛之起也，随月盛衰”(《论衡·书虚篇》)原理，运用当时天文历法推算月亮周日视运动(实际是太阳日)的方法，来推算潮汐周期，使正规半日潮区的理论潮时达到相当高的精度(和历法精度一致)。他首先引入了历法中作为起算点的所谓“七曜同度”的“太初上元”，并把它作为潮汐的起算点。然后他推算自太初上元冬至到唐代宝应二年(公元 763 年)冬至这一漫长时期的日数和潮汐次数。计算结果得时间是二千八百九十九万二千六百六十四日，得潮汐是五千六百另二万一千九百四十四次。由此可知潮汐周期是十二时二十五分十二秒，潮

汐逐日推迟五十分二十四秒。这个数字和现在计算结果相差很小。为了实用方便，龚叔蒙便把高潮时刻作成直观的图表。这图表现在已经佚失，但从他的《海涛志》中有关记载可以初步复原的。这图表的横坐标是一朔望月内各月相(按朔、、上弦、盈、望、虚、下弦、魄、晦排列)。纵坐标是每次高潮时刻。他把代表不同月相的高潮时刻的点都标在坐标相应地方，然后把这些点联结起来，便形成一条条斜线。用这图表可以根据当天月相查出高潮时刻。

四时潮候图 北宋时吕昌明编制了仁宗至和三年(公元 1056 年)杭州的钱塘江《四时潮候图》。这是实测潮汐表，因此不仅更符

合实际潮时，并且还记有潮高(潮的大小)。所以比理论潮汐表实用价值更大。明代初年宣昭在杭州做官时，曾把《四时潮候图》刻在江畔浙江亭的石碑上。这样行人都能看到，过江人可免遭不测。类似的潮汐表在欧洲要到公元十三世纪才出现。宋哲宗元 元年(公元 1086 年)，沈括指出一个地方的实际潮时比理论潮时往往要迟一些，随着离海远的程度，涨潮时间也要相应延迟。这实际上给

春秋同					夏					冬				
初一	十六	午未	大	夜子正	初一	十六	午未	大	夜子正	初一	十六	午未	大	夜子初
初二	十七	未初	大	夜子末	初二	十七	未初	大	夜子末	初二	十七	未正	大	夜子末
初三	十八	未正	大	夜丑初	初三	十八	未正	大	夜丑初	初三	十八	未末	大	夜丑初
初四	十九	未末	大	夜丑末	初四	十九	未末	大	夜丑正	初四	十九	申初	大	夜丑末
初五	二十	申正	下岸	夜寅初	初五	二十	申初	下岸	夜丑末	初五	二十	申正	下岸	夜寅初
初六	廿一	寅末	渐小	晚申末	初六	廿一	寅初	小	晚申正	初六	廿一	寅末	渐小	晚申末
初七	廿二	卯初	渐小	晚酉初	初七	廿二	寅末	小	晚申末	初七	廿二	卯初	小	晚酉初
初八	廿三	卯末	渐小	晚酉正	初八	廿三	卯初	小	晚酉初	初八	廿三	卯末	小	晚酉正
初九	廿四	辰初	小	晚酉末	初九	廿四	卯末	小	晚酉正	初九	廿四	辰初	小	晚酉末
初十	廿五	辰末	交泽	晚戌正	初十	廿五	辰初	交泽	晚酉末	初十	廿五	辰末	交泽	夜戌初
十一	廿六	巳初	起水	夜戌初	十一	廿六	辰末	起水	夜戌初	十一	廿六	巳初	起水	夜戌正
十二	廿七	巳正	渐大	夜亥初	十二	廿七	巳初	渐大	夜戌末	十二	廿七	巳正	渐大	夜戌末
十三	廿八	巳末	渐大	夜亥正	十三	廿八	巳末	渐大	夜亥初	十三	廿八	巳末	渐大	夜亥初
十四	廿九	午未	渐大	夜亥末	十四	廿九	午初	渐大	夜亥末	十四	廿九	午初	渐大	夜亥正
十五	三十	午十	极大	夜子初	十五	三十	午未	大	夜子初	十五	三十	午正	渐大	夜亥末

浙江四时潮候图。

“港口常规时差”下了明确的定义，并且显示了各港口、渡口编制实测潮汐表的必要性。这就推动了实测潮汐表工作的发展。因此英国学者李约瑟曾指出：“说到潮汐表的系统编制，中国人显然早于西方”。

徐霞客生于明万历十四年十一月二十七日，公元 1587 年一月五日，以往按万历十四年作 1586 年。

马王堆出土的地图和裴秀制图六体

自然科学史研究所 曹婉如

地图是表达和传播地理知识的重要手段。在我国，传说夏代的时候铸过九只鼎，各鼎都有图象表示不同地区特有的山川、草木、禽兽等，作为人们去远方各地的指南。这种说法虽然不见得都是史实，但是我国在四千年前或更早于夏代的时候，就在某些器物上绘有表示山川等内容的地图，是很有可能的。只是那时绘制的原始地图很难保存下来罢了。

古代文献中，有关地图的史料很多。先秦书籍如《尚书·周书·洛诰》、《诗经·周颂》、《周礼·地官司徒》、《管子·地图篇》和《战国策·赵策》等各有详简程度不同的有关地图的记载。其中以《周礼》和《管子》中的记述最精详。

《管子·地图篇》中说道：“凡兵主者必先审知地图，轶之险，濫车之水，名山通谷经川陵陆丘阜之所在，苴草林木蒲苇之所茂，道里之远近，城郭之大小，名邑废邑困殖之地，必尽知之。地形之出入相错者，尽藏之。然后可以行军袭邑，举错知先后，不失地利，此地图之常也。”

《管子》一书，大致是战国时期的作品。当时地图在军事上的地位非常重要。凡军事负责人在指挥作战之前，必先研究和熟悉地图，知道哪里地势险阻，哪里有山陵、通谷、河流，哪里林木、苇草丰茂，以及道路的远近、城镇的大小兴废、荒地耕地的分布等等情况。根据这些情况，利用各种有利条件，才好具体制定作战方案。著名兵书《孙子兵法》和《孙臆兵法》都有附图。地图在军事上受到这般重视，可见已经是相当实用的了。从图上既可看出山川“之所在”、“道里之远近”、“城郭之大小”，说明这时绘制的地图已经有方位、距离和比例尺的规定。至于图上地物的位置究竟精确到什么程度，可惜地图都已佚失，无从知道了。

令人高兴的是，1973年在湖南长沙马王堆三号汉墓中出土了埋藏已久的三幅地图，当它们重新展现在面前的时候，人们不禁都为我国两千多年前的地图测绘水平赞赏不已！

这三幅图都绘在帛上，一幅是地形图，一幅是驻军图，另一幅是城邑图(或称园寝图)。图上都未注图名、比例尺、图例和绘制时间。但是从图中的地名以及地图是出于西汉文帝十二年(公元前168年)下葬的墓来看，可以断定是西汉初年绘制的，距今至少有两千一百多年了，是世界上现存最早的以实测为基础绘制的地图。图以上为南，下为北。比例尺根据现在推算，地形图的主要部分大致是十五万分之一到二十万分之一之间，驻军图是八万分之一到十万分之一左右。

地形图长宽各九十六厘米，绘有山脉、河流、居民点和道路等，已经具备了地形图的基本内容。图的地理范围主要是当时长沙国(诸侯国)的南部，就是现在湘江上游潇水流域一带，这部分图的精度相当高。再往南直到南海的部分是西汉诸侯南粤王的辖地，这部分比例尺突然变小，图的精确程度显然下降了，特别是海岸线很不准确，这主要是缺少具有比较高的水平的测量资料作为依据的缘故。

驻军图长九十八厘米，宽七十八厘米，范围仅仅是地形图中的一部分。

因为是军事守备图，内容除山脉、河流、居民点和道路外，还标明了驻军的布防、防区界线和指挥城堡等，反映了汉初长沙诸侯国军队守备作战的兵力部署情况。这对研究我国古代军事思想，尤其是西汉时代的作战思想，有重要参考价值。

就科技成就来说，最可贵的是西汉地图的测量和制图技术水平都很高。

先说测量水平。如果把地形图和现代南岭地区的地形简图进行比较，可以看到深水(今潇水)和它的支流的水道大部分已经接近于现在的地图。图中各县城如营浦(今湖南道县)、南平(今湖南蓝山)、舂陵(今湖南新田)、泠道(今湖南宁远)等的位置也比较准确。对于山脉如峰峦起伏的九嶷山和南北走向的都庞岭以及整个流域的地势，都表现得十分出色。汉代地图能这样精确，必定是有相当科学的测量方法作为基础的。

湖南南部南岭一带的地形是比较复杂的。在复杂的地形条件下，测量地物的距离不能以人行的路程为准，需要求出水平直线距离才能准确地画在图上。所以测绘复杂地形和远方地物的时候，除直接测量一些地段外，还要进行间接测量。间接测量的方法在汉代的数学家叫它做“重差术”，就是利用相似三角形对应边成比例的原理解决间接测远、测山高、测城邑大小等问题。可以认为，地形图的测绘利用了古代数学的光辉成就“重差”法，所以精度比较高。

如下图 重差法求远方地物 AB 的高 h 和 Q 处离地物的水平直线距离 d 。

Q、S 两处立竿 QP、SR，各长是 b ，两竿相距 QS 是 l 。人目着地分别在 M 和 C 处望高物和竿端成一直线，测得 QM 是 a_1 ，SC 是 a_2 。作 RN 和 PM 平行，那么 $NC=a_2 - a_1$ 。作 TR 和 BS 平行，那么 $PR=QS=l$ 。因为 ATP 和 RSN 相似，APR 和 RNC 相似，所以

$$\frac{TA}{SR} = \frac{TP}{SN} = \frac{AP}{RN} = \frac{PR}{NC} ,$$

$$\text{或} \quad \frac{h - b}{b} = \frac{d}{a_1} = \frac{l}{a_2 - a_1} ,$$

所以远方地物的高

$$h = \frac{bl}{a_2 - a_1} + b ,$$

远方地物和Q处的水平距离

$$d = \frac{a_1 l}{a_2 - a_1} .$$

再看制图技术。图中已经有了统一的图例：地形图的居民点采用两种符号，县治用方框表示，乡、里用圆框表示，注记写在框里；水道用上游细下游粗的曲线表示，注记有一定位置，对深水和冷水(就是现在的冷水)还注明了水源；山脉用闭合曲线表示山体和延伸方向，在闭合曲线里还附加晕线；对九嶷山的表示更有独创之处，除用比较粗的闭合曲线勾出山体外，又用细线画成鱼鳞状层层重叠表示峰峦起伏的特征，很像现在的等高线画法；主要山峰用柱状符号表示，而且高度不同；道路用细直线表示，不加注记。图的清绘笔法也是相当熟练的。驻军图和地形图比较，对于山

脉的表示不及地形图，但是它加用彩色突出水文和军事要地等，又是地形图所不具备的。

总之，马王堆西汉地图的出土是科技史上的一件大事，为我国和世界地图学史增添了新的光彩。

当然，汉代地图也有不少是没有严格地依据制图原则绘制的，如地形图中五岭以南的部分。那时为了军事目的经过实测的地图不会很多，而一般常见的行政区图等大都相当简陋。到西晋裴秀(224 - 271)看到的只有汉代一般的行政区图了。裴秀说这些地图“不设分率”(比例尺)，“又不考正准望”(方位)，是“不可依据”的。他曾经主持编绘《禹贡地域图》十八篇，在为《禹贡地域图》十八篇所写的序(见《晋书·裴秀传》)中提出了绘制地图必须遵守的几项原则。这几项原则虽然是前人在实践中已经做到了的，但是裴秀把这些宝贵经验加以总结提高，明确规定“制图之体有六”，对我国传统制图学理论的建树作出了贡献。影响所及，直到清代。

裴秀提出的制图六体是：“一曰分率，所以辨广轮之度也，”就是说首先要具有反映地区长宽大小的比例尺；“二曰准望，所以正彼此之体也，”是说其次要确定彼此间的方位关系；“三曰道里，所以定所由之数也，”是说第三要知道两地之间的人行路程；“四曰高下，五曰方邪，六曰迂直，此三者，备因地而制宜，所以校夷险之异也，”这第四、第五和第六三项是说人行的路程有高下、方斜、迂直的不同，必须逢高取下，逢方取斜，逢迂取直，就是说要因地利制宜，求出地物之间的水平直线距离。以上是裴秀论述制图六体的主要内容。事实表明，我国在公元三世纪的时候就已经提出绘制平面地图的科学理论。

唐代贾耽(730 - 805)编制《陇右山南图》和《海内华夷图》的时候，也是遵循“六体”原则的，他对裴秀的贡献推崇备至。《海内华夷图》是一幅“广三丈、纵三丈三尺”的大图，比例尺“以一寸折成百里”。这幅图的特点有二：一是地区范围大，除本国外兼及外域，所以称“华夷”图。当时贾耽因职务关系，有机会接触“四夷”使者，能得到有关外域的情况和材料。二是注意古今郡国州县的改易，他用红、黑二色分今古，说：“古郡国题以墨，今州县题以朱。”(《旧唐书·贾耽传》)此后沿革地图也多采用这种方法。

北宋沈括在《梦溪笔谈·补笔谈》卷三中谈到“飞鸟图”和取得“鸟飞之数”的方法，指出：飞鸟图中各地之间的距离“如空中鸟飞直达”。他绘制《守令图》的时候，“取鸟飞之数”的方法，正是裴秀“制图六体”中的后三项(就是“高取下”、“方取邪”、“迂取直”三法)，就是因地制宜求得两地之间水平直线距离的方法。

一直流传到现在的在宋代上石的《九域守令图》、《华夷图》、《禹迹图》和《地理图》，范围包括长城以北、黄河、长江和珠江等流域，图中水系和海岸线大都精度比较高。《华夷图》和《禹迹图》是宋高宗绍兴六年(公元1136年)同一年刻石的，而且刻在同一石碑的两面。但是两图的图形有一定差别，说明两幅图根据的实测资料不同。《禹迹图》显然比《华夷图》精确，而且比例尺采用计里画方的方法在图上绘小方格，注明“每方折地百里”。

元代朱思本(1273 - 1333)亲自考察过许多地方，他核对前人地图，发现有不少错误；于是花费十年时间，根据大量材料编绘一幅“长广七尺”

的《輿地图》(据罗洪先：《广輿图·自序》)，图上画有方格。明代罗洪先(1504 - 1564)又感到朱思本图是一幅大图，使用不便，就改绘成分幅图，并且增补了许多图幅，增补的主要是边区图和专门性的河道图等，成为一本内容相当丰富的地图集，称作《广輿图》。图上也有画方。此后在明清地图上时常见到画方。这样，计里画方就成为我国传统地图的一大特色，说明裴秀倡导的比例尺等项原则充分得到后世地图学家的重视，并且有所发展。到了清代康熙年间，我国大规模地开展全国性地图测量工作，绘制《皇輿全国》的时候，吸取了欧洲制图理论中考虑大地是球面的优点，进行经纬度测量，并且采用了地图投影方法。但是我国传统的制图理论，就是讲求比例尺、方位和距离的准确，仍然是测绘地图所必须遵守的重要原则。

中国古代的矿物学和采矿技术

自然科学史研究所 杨文衡

中国古代的矿物学

矿物和人类生活关系极其密切，我们的祖先在旧石器时代就认识和使用过十四种矿物和岩石。新石器时代认识和使用矿物岩石的品种有三十七种，玉石、铜都相继为人们所注意和使用。

四千多年前，中国人民已经开采铜矿石炼铜。到殷商末年，已经铸造出一千七百五十斤重的司母戊鼎。随着炼制青铜的需要，锡、铅矿也被开采使用。三千多年前，中国人民开始用陨铁。春秋战国时期，人们已经掌握了铸铁技术，出现了块炼渗碳钢，铁工具已经在农业和手工业生产中使用。石器——铜器——铁器的演进必须以对矿物的认识演进和矿产的探寻、开采、冶炼事业的向前发展作基础。中国古代矿物学也就从矿石生产中逐渐产生。比如：《山海经·五藏山经》(以下简称《山经》)、《禹贡》等著作中，有关矿物知识的记载，就是从石器时代到铁器时代对矿物的认识 and 使用的总结。《山经》成书于战国时期(公元前五世纪左右)，记载了矿物八十九种，其中有金属矿、非金属矿和各种怪石、各色垩土；记载产地三百零九处，对矿产出处描述比较详细，如山上、山下，山阴、山阳，水中等等；又根据矿物岩石的硬度、颜色、光泽、透明度、粗糙或平滑的程度、敲击声音、磁性、医药性能、集合体的状态(土状的、块状的、卵状的、米粒状的、巨大的)等等性质来识别矿物和岩石；部分的知道了矿石的可熔炼性；有时就根据这些特性对矿物和岩石命名，如磁石、采石、璊(ru n)石(软的石头)、丹粟(红色粒状)、苾(z)石(紫色石头)、白玉、青腹(hù)(黑色石头)等等。《山经》中还反映了近代矿床学上所称的“共生现象”，如赤铜 - 砺石、铁 - 文石、银 - 砥砺、铁 - 美玉 - 青垩、黄金 - 银、白金 - 铁、金 - 银 - 铁、金 - 玉 - 赭石等。以前曾经有人把希腊学者泰奥弗拉斯托斯(约前 372 - 前 287)于公元前三世纪写的《石头志》(书中只记载了十六种矿物，分金、石、土三类)说成是世界上最古老的地质文献。其实，当《石头志》问世时，我国的《山经》已经传世二百年左右了，而且内容比它丰富得多。

中国古代矿物知识和中医药学有很密切的关系。在历代本草著作中，都收集了矿物药，积累了丰富的矿物知识。从《神农本草经》到《本草纲目》，其中主要的本草著作在三十种以上。本草著作中记载了矿物的药性，矿物的化学、物理性质，矿物的产地以及鉴别、采掘方法等。这就完全有理由把各类本草著作中有关矿物知识的部分看作中国古代的矿物学著作。比如来代寇宗 的《本草衍义》，就利用化学变化、晶形、解理、色泽来鉴定许多矿物。明代李时珍的《本草纲目》集历代本草著作的大成，也是古代矿物知识的总结。书中列有矿物药二百六十六种，除水、火、土三部外，金石部所载连附录共达一百六十多种，分金、玉、石、卤四类，保存了不少可供研究参考的矿物学资料。书中对每种金石的产地、形色和采掘、鉴别方法都有不同程度的详细记述，并且考察历史记载，鉴别正确和错误，使它更加完整。

中国古籍中，比较重要的矿物岩石著作还有宋代杜绾的《云林石谱》、明代陶宗仪的《辍耕录》、宋应星的《天工开物》以及某些《砚谱》。

《云林石谱》重点是讲园庭装饰和鉴赏的岩石以及制砚、制各种用器、珍品、文物等的石头，描述石头的大概形状、颜色、声音、硬度、文理、光泽、晶形、磁性、透明度、吸湿性、风化程度、化学作用等。它所记石类有：第一，比较纯的石灰岩类，曾经被水侵蚀、有特别形状、可以作假山用的石头近二十种；第二，石钟乳类；第三，含有长石的石灰岩或砂岩；第四，含有锰质或铁质的石灰岩或砂岩；第五，比较纯的石英岩、砂岩、玛瑙等；第六，叶蜡石、云母、滑石类；第七，页岩和砚石类；第八，比较纯的金属矿物和玉类；第九，化石类。这确实是一部比较全面而专门的矿物岩石著作，特别偏重于沉积岩、变质岩的研究，是名副其实的《石谱》。至于陶宗仪所注意的矿物都属于宝石类。《天工开物》研究的重点是五金、盐、各类粘土、石灰岩、煤炭、各种矾石以及在军事工业上起重大作用的矿物，而把珠玉放在最后，这种安排，体现了作者贵五金贱珠玉的思想。

《天工开物》对矿物研究的特点是：不仅记载矿物名称、种类、性状，而且详细记载探矿、开采、冶铸技术。它是中国古代百科全书式的科学技术著作。此外，中国古代各类历史专著、地方志、博物志、笔记等，也记载有丰富的矿物学资料。

中国是世界上最早发现和使用石油的国家之一。明确记载石油产地的是《汉书·地理志》。秦汉时期的高奴县(今延安一带)人民，发现延河的支流洧水的水面上有可燃烧的液体，便“接取用之”(《水经·河水注》)。东汉时候，人们又在酒泉延寿县南山流出的泉水中发现了石油。由于这种液体装在器皿中“始黄后黑”，有如漆状，所以当地人叫它“石漆”(张华：《博物志》，《续汉书·郡国志》引)。这种“石漆”不仅“燃之极明”，而且“膏车甚佳”，可以作车轴的润滑剂。北魏和唐代，我国新疆库车和甘肃玉门一带，相继发现了石油，劳动人民对石油的开采和性能有了进一步的认识。北宋出现了石油军用加工场，用石油作主要原料造军用武器。“石油”的名称，是沈括明确提出的。沈括还试验成功了用石油烟制墨(《梦溪笔谈》卷二十四)。南宋，石油的一种固态照明产品——石烛问世。关于石油的药用功能，明代李时珍作了记载。那时四川、陕北一带的人民已经开始炼油。这些记载是很宝贵的，总结起来，可以看出我国人民对石油的发现、认识、使用、开采是一步步提高的。

中国古代的矿物学和炼丹也有密切的关系。古代炼丹家对矿物药的认识，是矿物学的重要组成部分。后代讲炼丹的著作，不仅记载了一些矿物名称，解释了炼丹药的隐名，而且记载了矿物的产地和鉴别方法。比如晋代葛洪的《抱朴子内篇》对黄金、云母、雄黄的鉴别就是很有科学道理的。他说：“黄金入火，百炼不消；埋之，毕天不朽。”他把黄金的化学稳定性作了恰当的描述。对云母，当时的人多不能分别，而葛洪却有一套鉴别方法，说是“法当举以向日，看其色，详占视之，乃可知耳。”这是我国最早记载直接看反射光颜色来区别云母种属的方法。唐代炼丹著作《金石簿五九数诀》特别强调鉴别矿物药的重要，说：“夫学道欲求丹宝，先须识金石，定其性质，知美恶。”正因为书的作者深感鉴别矿物的重要，所以书中除了记载矿物产地外，还记载了各种矿物的鉴别方法，说明颜色、光泽、形状、透明度、反射光的颜色、粗细感觉程度、敲击声音、磁性、

污染性、火焰色、燃烧气味、味觉等等。唐代梅彪著的《石药尔雅》，主要是解释炼丹药的隐名，剥掉炼丹家故意加在矿物药名上的神秘色彩，为炼丹药名的通俗化作出了贡献。

中国古代矿物学和绘画所使用的颜料有一定关系。古人对矿物颜料的认识是古代矿物学的组成部分。汉代墓室壁画使用的矿物颜料有石青、石绿、赭石、石黄、朱砂等。魏晋隋唐壁画使用的矿物颜料是赭石、黄土、石青、石绿、白垩、朱砂、孔雀蓝、煤黑、高岭土、蓝铜矿、绿泥石、氧化铝、青金石、密陀僧(PbO)、黄铜粉、绛矾(Fe_2O_3)、金、银、银朱(硫化汞)、铅粉(碱式碳酸铅)等。制造陶瓷的原料和彩绘着色剂都和矿物有关。这方面的矿物知识也是中国古代矿物学的重要内容。我国在新石器时代早期已有陶器，原料是陶土，包括红土、沉积土、黑土或其他粘土。从仰韶文化晚期起，已出现白陶，原料是瓷土和高岭土。商代中期出现了原始瓷器，原料是高岭土或瓷土。东汉出现了瓷器，原料是瓷石或瓷土，它是一种含石英 - 高岭 - 绢云母类型的伟晶花岗岩风化后的岩石矿物。由于瓷土中含铁量的不同，出现了青瓷、白瓷和黑瓷。宋代出现了紫砂器，原料是一种质地细腻、含铁量高的特殊陶土，属于高岭 - 石英 - 云母类型。陶瓷的彩绘呈色剂也和矿物有关。比如仰韶文化彩陶彩料，经光谱分析得知，赭红彩中的主要呈色元素是铁，黑彩中的主要呈色元素是铁和锰。因此估计赭红彩料可能是赭石，黑色彩料可能是一种含铁很高的红土，或乌金土和紫金土。白色彩料可能是一种配入熔剂的瓷土。商周釉陶器表面上的釉，是用天然的碳酸钙矿物配合粘土制成的。这种石灰釉是后世青瓷釉的鼻祖。青瓷釉由石灰石和瓷土配制而成。在石灰釉里，铁是主要呈色元素，其次是钛和锰。商周时期还发明了铅釉，以铅的化合物作为基本熔剂，主要呈色剂是铜和铁。铜使釉呈现翠绿色，铁使釉呈现黄褐和棕红色。在铅釉中加入少量含钴或含锰的矿物，还会得到蓝、紫等各种不同色调的低温釉。在陶瓷色料应用上，钴仅次于铁、铜，像唐三彩的蓝色，就是用钴呈色的。此外天蓝釉、霁青釉都加入了钴。宋代发明的青花釉，主要呈色剂是氧化钴(CoO)，矿物学上叫钴土矿。瓷器上的釉上彩粉彩类，色料在我国采用不纯的矿物原料，如青矾、黄丹、铜花等作为呈色剂，配以石末、牙硝、铅粉等炼成熔块，磨细制成，大约有二十多种。

中国古代的探矿理论

中国古代有比较系统的探矿理论。最著名的是战国时期的《管子·地数篇》。它总结了一些矿床中矿物的分布规律，指出可以根据矿苗和矿物的共生关系来寻找矿床。

书中说道：“山，上有赭者，其下有铁；上有𨾏(“𨾏”是“铅”的异体字——引者注)者，其下有银；一曰上有𨾏者，其下有𨾏银；上有丹砂者，其下有𨾏金；上有慈石者，其下有铜金。此山之见荣者也。”又说：“上有丹砂者，下有黄金；上有慈石者，下有铜金；上有陵石者，下有、锡、赤铜；上有赭者，下有铁。此山之见荣者也。”所谓“山之见荣”，就是矿苗的露头。此外，在唐代张守节的《史记正义》中，所引《管子》文字

关于玄奘的生年，说法不一，除生于 602 年一说之外，也有说生于公元 596 年，有说生于公元 600 年。关于玄奘西行的年份，也有的说是贞观二年，有的说是贞观三年。

略有不同：“山上有赭，其下有铁；山上有铅，其下有银；山上有银，其下有丹；山上有磁石，其下有金也。”

上引三段文字互有出入，夏湘蓉等把它们归纳成六条，称作“管子六条”：第一，山上有赭，其下有铁；第二，山上有磁石，其下有铜金；第三，山上有铅，其下有银；第四，山上有丹砂，其下有黄金；第五，山上有陵石，其下有铅、锡、赤铜；第六，山上有银，其下有丹。六条中，第一、二两条是三段文字所共有。第三、四两条是两段文字所共有。第五、六两条却是一段文字仅有的。“管子六条”包括铁、铜、锡、铅、金、银、汞七种金属矿产，分组说明它们的上下关系，是西汉以前找矿采矿实践中得出的经验总结。“管子六条”中所说的上下关系，包含三种意义：

第一，一个垂直的矿体或一条矿脉，山上露头中出现某种矿物，可能对下面赋存的另一种主要矿产起到指示作用，这种指示矿物在古代称作“苗”或“引”。又某些多金属矿体(脉)的上部和下部富集的矿种有所不同，这种垂直分带现象，在古代也是有所认识的。

第二，山上出现的某种矿物和山下出现的另一种矿物，分别产于不同的地层或岩石中，既不同属于一个矿体，成因上又没有明显的联系，属于这种情况的上下关系，仅仅是一种空间位置的相对关系。

第三，山上赋存有某种原生矿床，而山下出现另一种砂矿，这也是一种上下关系。这种关系也不一定和矿床成因有联系。

由于“管子六条”是实践经验的总结，因此，它是符合实际的，有科学价值的。各条的科学价值是：

第一条，无疑是从采矿实践中总结出来的经验。它基本上适用于邯郸、邢台式、大冶式和某些鞍山式铁矿。

第二条，是古人从开发铜矿中总结出来的经验。适用于铜绿山类型的铜矿。

第三条，这里的“铅”主要指方铅矿，“银”指自然银或辉银矿。自然银主要是次生的，赋存于铅银(或银铅)矿床上部的氧化带中。《楚雄县志》说：“铅乃银之母，银乃铅之精也。”辉银矿的成因有次生的，也有原生的。原生辉银矿经常和方铅矿共生。

第四条，丹砂和自然金在汞或金的原生矿脉中，除少数外，一般不存在共生关系。这条规律，对于原生脉金矿床来说，没有实际意义。不过先秦时期的汞矿或金矿都以砂矿为主。在汞和金共生的砂矿床中，这条规律是确切的，是反映实际情况的。

第五条，陵石，《太平御览》地部三引作绿石，就是孔雀石。因此，这条规律适用于以铅为主的铅锌铜多金属矿床，上有绿石、下有锡的现象也是存在的，而上有绿石、下有赤铜是实际情况的确切反映。

第六条，也是古代采矿经验的总结。这种银在上、汞在下的上下关系，是两种矿产赋存于时代不同的两个地层中的上下关系，而不是一个矿体(脉)中金属矿产的垂直分带关系。除了“管子六条”外，古人对矿物和围岩的关系也有所认识，并且把它用于找矿。比如唐代陈藏器把粉子石作为金矿的标志(见《本草纲目》卷八)。宋代，苏颂把白石作为辰砂矿的标志(见《重修政和经史证类备用本草》卷三)。

清初孙廷铨(1616 - 1674)在《颜山杂记》中记载了人们利用岩层和矿床的关系找矿，说：“凡脉炭者，视其山石，数石则行，青石、砂石则否。察其土有黑苗，测其石之层数，避其沁水之潦，因上以知下，因近以知远，往而获之为良工。”这段话的意思是：凡是找煤矿的人，必须先观察山上的岩石性质。假如山上有页岩出现，就可能有煤。如果山上全是石灰岩、砂岩，就没有煤。当看到土地上有黑色的煤层露头时，就要仔细测量煤层上下岩石的层次，避开涌水。从上面的岩层情况推测地下的各种情况，从近处的岩层情况推测远处的各种情况。这样去找煤矿就容易找到。这样的人才是优秀的煤矿勘探者。

在探矿理论方面，南北朝的梁代出现了新的理论著作，体现了新的方向。这就是有名的地植物找矿著作——《地镜图》。《地镜图》原书已佚，现在只能从后人的引文中看到它的部分内容。它的主要观点是把地下的矿床和地表的植物联系起来，是现代指示植物找矿或生物地球化学找矿方法的肇端，是一个很有科学价值的新创见，新理论。当然，这个新理论也是逐步产生的，并不是突然出现的。往上追溯，我们发现，《荀子·劝学篇》就说过：“玉在山西草木润”，首次提出了山上赋存的矿物和周围植物生态有关的思想。晋张华《博物志》也说：“山，……有谷者生玉”。到《地镜图》，内容就大大充实了。书中说道：“二月中，草木先生下垂者，下有美玉。五月中，草木叶有青厚而无汁，枝下垂者，其地有玉。八月中，草木独有枝叶下垂者，(下)必有美玉。有云，八月后草木死者亦有玉。十二月中，草木独有枝叶垂者，下有美玉。山有葱，下有银，光隐隐正白。草茎赤秀，下有铅；草茎黄秀，下有铜器。”唐代段成式(?—863)对它作了初步的整理，说：“山上有葱，下有银；山上有薤，下有金；山上有姜，下有铜锡；山有宝玉，木旁枝皆下垂。”(《酉阳杂俎》卷十六)这些记载，不一定完全和实际相符，但是他所指出的利用指示植物找矿的方向是对的。

对中国古代利用指示植物找矿理论的发明和发展，英国科学史家李约瑟曾经作过恰当的评价，他说：“中国人在中古代所进行的观察，确实可以说是仍在迅速发展中的、范围十分广阔的现代科学理论和科学实践的先驱。”

中国古代的采矿技术

我们的祖先对矿物的大量需要，必然要以发达的采矿业做基础，也必然会从生产实践中产生先进的采矿技术。下面分述几种主要采矿业和采矿技术。

铜矿的开采

中国铜矿石的开采极晚到商代已经初具规模，虽然历史上这方面的记载缺乏，但是从商代大量铜器的出现和铜矿遗址的发现，我们可以得出这个结论。

据 1989 年一月二十七日《中国文物报》报道，江西瑞昌铜岭发现一处

商代中期大型铜矿遗址，是目前发现的中国最早的一处采铜遗址。遗址面积约二十五万平方米(一平方里)，在已发掘的三百平方米范围内，有竖井二十四口，平巷三条，露天采矿坑一处，选矿槽一处。这说明当时已经采用竖井、平巷、坑采等联合开采方法。井巷有木材支护结构，井壁贴有扁平木板或小木棍，井体采用榫卯式和内撑式方框支架组接，井深大都在八米以上。还有一条斜巷。提升工具有轱辘，采掘工具有青铜弧刃钺形斧。

1979年四月，湖南麻阳发现一处春秋战国时期的铜矿遗址，有古矿井十四处，其中一处是露天开采，其余是矿井式地下开采。一般是在地表沿矿脉露头开口后，就沿矿脉倾向由上而下进行斜井开采。矿井不规则，宽窄不一，呈弯曲的鼠穴式。垂直深度约八十米。在跨度大的采空区间内，留有矿柱或隔墙，在跨度比较大的相邻矿柱之间，又辅以木支柱，以防止矿井顶板因压力过大而下塌。

1974年，湖北大冶铜绿山发掘出了春秋战国时期的古铜矿井，比较完整，是一部很有价值的实物历史。铜绿山铜矿富集，主要有孔雀石、自然铜、黄铜矿等。这些矿物有的呈孔雀绿，有的呈金黄色，颜色鲜明，容易发现和采选，含铜的品位也很高。矿床类型属接触变质的钢铁矿床。这一古代矿井(当地称老窿)是在露天采矿过程中被揭露出来的，老窿从南到北呈不规则条带状分布。考古工作者选择发掘了两处：“十二线老窿”和“二十四线老窿”，两处南北相距三百米。“十二线老窿”发掘点距地表四十多米，在五十平方米发掘面积里，出现了八个竖井和一个斜井。支护木料是直径五到十厘米的圆木。竖井井口直径约八十厘米。“二十四线老窿”发掘点距地表井口五十多米，大约一百二十平方米发掘面积里，有五个竖井，一条斜巷和十条平巷，支护用的圆木直径一般在二十厘米左右，竖井井口直径一般是一百一十到一百三十厘米。比“十二线老窿”的竖井大。竖井是交通孔道，从这里把矿石和地下水提出地面，把井架支护木送到井下。五十米深的竖井分几段，就是掘一段竖井，挖一段平巷，每一条平巷都装有轱辘，这样逐级提运，接力完成。十条平巷的方向不一致，宽窄也不一样。最大的是二号巷道，内空高一米六，宽一米九五，其他巷道的高宽一般在一米三到一米五。斜巷和平巷的作用不同，从矿层表面开斜巷斜穿到底部，主要是为了探矿；再沿水平方向开平巷，从矿层底部向上回采。已采的矿石在井下进行初选，把贫矿和废石充填进采空区，这样，既可以有选择地进行开采，又可以使出窿的矿石品位比较高，减少提运量。总之，矿床的开采采取了竖井、斜井、斜巷、平巷相结合的采掘方式。同时又用各种技术手段初步解决了井下通风、排水、提升和巷道支护等一系列复杂的技术问题。比如矿井工人利用不同井口气压差的高低，形成自然气流，并且采取密闭已经废弃的巷道，来控制气流沿着采掘方向前进，保证气流到达最深处的工作面；井下，矿工们又利用船形木盘等器具，进行重力选矿，以测定矿石的品位，决定采掘方向。他们十分准确地选择了断层接触带中矿体富集、品位高的地方进行开采。这个古铜矿井的被发掘，以十分生动的事实说明了当时高水平的采矿技术。

像这样采矿的规模和技术，在历史书中很少记载，只有宋代孔平仲在《谈苑》中讲到铜矿的开采情况。书中记载：“韶州岑水场，往岁铜发，掘地二十余丈即见铜。今铜益少，掘地益深，至七八十丈。役夫云：地中变怪至多，有冷烟气中人即死。役夫掘地而入，必以长竹筒端置火先试之，

如火焰青，即是冷烟气也，急避之，勿前，乃免。”韶州是今广东韶关一带，说那里往年铜矿发达，现在铜已经少了。所说冷烟气可能是含一氧化碳比较多的天然气。这里讲到了矿井深度和防止冷烟气的办法，但是对整个矿井的结构没有记载。明代宋应星的《天工开物》提到：“湖广武昌、江西广信皆饶铜穴，”“凡出铜山，夹土带石，穴凿数丈得之。”

到了清代，有了不少关于矿井的文献记载。比如张泓的《滇南新语》，王崧的《矿厂采炼篇》，倪慎枢的《采铜炼铜记》，吴其（1789 - 1847）的《滇南矿厂图略》，以及某些地方志等。其中以《滇南矿厂图略》讲得最详细，又附有矿井剖面图，是一部图文并茂的著作。书分上下两卷，上卷《云南矿厂工器图略》，下卷《滇南矿厂舆程图略》，采铜技术、铜矿井结构都在上卷叙述。上卷书的前面，绘有矿厂剖面图，把有关采矿技术作了形象的反映，文和图对照阅读，能使读者清楚地知道当时采铜技术的各个细节。图上有矿井内部结构，如平巷、斜巷、另峒、钓井、掌子面、陡腿、平推、钻篷、象腿、倒回龙、马鞭桥、顶子、门等；有矿井中的设备，如油灯、摆夷楼梯、风箱、风柜、拉龙等。此外，通风、排水、照明、挖矿石、背矿石等等劳动场面，图上也有表现。还有专门的工具器物图。所以，图在这本书中和文字一样重要，甚至更胜过文字。比如图上画的象腿，就是石柱或矿柱，它代替坑木支护矿井，是自春秋时期以来就有的一种开采方法，文字说明中没有。文字部分写得层次分明，共分十六个部分：第一“引”，讲矿苗；第二“硐”，讲矿井内部结构和具体技术操作；第三“桐之器”，讲矿井中使用的工、器具；第四“矿”，讲矿石品位高低；第五“炉”，讲冶炼；第六到第八，讲冶炼和用品；第九“丁”，讲矿山人员组成；第十“役”，讲分工；第十一、十二讲矿山制度和禁忌；第十三“患”，讲矿灾、矿害；第十四到第十六讲迷信活动。所以整本书讲的是铜矿的开发、管理、经营，开采技术只是其中几个小部分。整本书为我们展现了当时矿业上各方面的活动场面，使我们能够比较清楚地了解当时铜矿开采的水平。

盐卤、天然气、石油的开采

四川盐井的掘凿是战国时期李冰首创的。他成功地组织人民“穿广都盐井”、“盐溉”。这些盐井、盐溉属于大口浅井的雏形。东汉是中国大口浅井型盐井蓬勃发展的时期，不但能开采自然盐泉、盐岩所标示的地下盐卤，而且能开采没有自然盐泉标示的地下盐卤。东汉以后盐井逐渐向深度发展，晋永康元年(公元 300 年)已经凿到三十丈深，唐时陵井深八十丈。

汉代四川井盐生产劳动画像砖，为我们展现了距今两千多年前盐井工人劳动的情景。汉代不仅有盐井，而且有火井(就是天然气井)，井深达六十多丈，用火井煮盐。这比英国 1668 年使用天然气大约早十三个世纪以上。

小口深井的盐井又叫“卓筒井”，北宋仁宗庆历、皇 年间(公元 1041 年到 1054 年)已经开凿，凿井的工具是“圈刃”，凿出的井口只有小碗那么大，深却有几十丈。用粗大的竹子做井套，隔断淡水。用比较小的竹子做桶，出入井中，一筒装水几斗，用机械提升。这种“圈刃”是近代钻井用的各种各样凿刀的先驱，在深井钻凿中是必不可少的工具。凿井的工作

过程，在宋代苏轼的《东坡志林》中叙述得很详细。主要工作环节是四个：

第一，筒井用圆刃锉钻凿。这是一种新发明的冲击式环形锉，顿击井底而把岩石捣碎。每挫一次，重新提起，再作第二次顿击。这样循环往复，打成深井。

第二，井内下隔淡水用的井套，井套用巨竹去节，牝牡相衔构成。

第三，提卤用竹桶，竹桶用比井套略小的竹子做成，桶的底端开一两个小孔，把几寸熟皮绑在桶底，做成活门。

第四，用机械提卤。

在当时世界上，这是最先进的凿井技术，是中国人的一项伟大发明，可以列为中国的第五大发明。

明朝万历年间(公元 1573 年到 1620 年)四川射洪人马骥写了一篇《盐井图说》，原著已佚，只在明代曹学 (1574 - 1647)撰《蜀中广记》和清代顾炎武(1613 - 1682)著《天下郡国利病书》中有部分引文。《盐井图说》详细记载了盐井开凿工艺，内容包括井位勘察、开井口、钻凿工具、竖井架、凿大窍、清孔、竹桶的用法、下套管、凿小窍、树立提卤井架、吸卤和它的机械装置、事故的处理等，比《东坡志林》明代以前的盐井凿井图。志林》的内容丰富得多。井深也由宋代的几十丈发展到一百多丈甚至二百多丈。

明代末年，宋应星在《天工开物》中也详细记载了盐井开凿技术，并附了一幅插图，这是盐井工艺最早的图画。

清代记载盐井工艺的著作，有段玉裁(1735 - 1815)的《富顺县志》，严如 的《三省边防备览》，吴鼎立的《自流井说》，李榕的《自流井记》，丁宝桢(1820 - 1886)的《四川盐法志》等。

《自流井说》是我国古代第一部系统论述石油生产的专著，内容有六项：第一，介绍自流井的性质和位置。第二，介绍盐井的经营机构、人员分工和各个部门的名称。第三，介绍盐井开凿工艺。第四，介绍井病整治办法。第五，介绍井台危险。第六，介绍四个石油品种和生产方法。这部书真实地反映了清代同治年间四川自流井的生产水平和面貌。

光绪初年李榕写的《自流井记》反映了当时自流井的生产规模、工艺水平和对地层的认识，是一篇不可多得的盐井技术史著作。主要内容有：第一，盐井开凿技术。第二，盐井中岩层层位关系。第三，卤水深度和含盐率的关系。第四，井病的整治。

光绪八年(公元 1882 年)丁宝桢编纂的《四川盐法志》，以两卷的篇幅总结了四川盐井生产技术，有精美的插图，图文并茂。

随着盐井深度的加深，把当地含油地层给打穿了。这样，我国于明代正德十六年(公元 1521 年)在四川峨嵋山下的嘉州(今乐山)凿成了第一口石油竖井，深度至少达几百米，开创了我国钻井取油的新时代。这个成就，在当时居世界第一位，比北美和欧洲早三百多年。美国到 1859 年才钻成一口深二十一米多些的油井。到清代道光年间，我国四川自流井地方的钻井能手，又用竹、木、钻头构成的钻机，钻穿了四川气田的主要地层，建成了深达一千米以上的气井，使天然气的开采达到了一个新的历史水平。

煤炭的开采

中国在西汉时已经正式用煤炼铁，河南等地的煤田已经开始开采。

宋代，煤矿开采已经有一套比较完整的技术。从鹤壁古煤矿遗址知道，当时是先由地面开凿圆形竖井，深达四十六米，然后依地下自然煤层的变化开掘巷道。巷道高一米多，形状上窄下宽，上宽一米，下宽一米四，再把需要开采的煤田凿成若干小区，运用“跳格式”的先内后外的方法逐步后撤。井下排水一方面用辘轳往外抽水，另一方面把地下水引进采完煤的坑洼地区贮积起来。

明代，对采煤技术记载比较详细的是《天工开物》，书中说：“凡取煤经历久者，从土面能辨有无之色，然后掘挖。深至五丈许，方始得煤。初见煤端时，毒气灼人。有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上，人从其下施拾取者。或一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。其上支板，以防压崩耳。”这里讲的用竹筒排毒气的办法是很科学的。

清代，记载采煤技术的书以孙廷铨的《颜山杂记》最详细，最好。他的记载是符合实际的，是当时山东淄博地区煤矿工人实际经验的总结。他从煤的性质讲起，然后顺序讲煤矿的勘探和开采。关于煤矿开采技术，书中是这样讲的：“凡攻炭，必有井干焉。”这是指主井、竖井。“虽深百尺而不挠。”竖井虽深百尺也不弯曲，是直立的。“已得炭，然后旁行其隧。视其炭之行，高者倍人，薄者及身，又薄及肩，又薄及尻。”当竖井的深度和将要开采的煤层相当时，从竖井的旁边开巷道，巷道的方向看煤层的走向而定。煤层有厚有薄，道巷有高有低，高的有两个人高，薄的只有一人高，再薄的只有一个人的肩头高，最薄的只有一个人的屁股高。“凿者，远者驰。凿者坐，远者倮。凿者蟠卧，远者鳖行。”这是讲开凿工和运煤工彼此的关系。当挖掘工人可以站着工作时，巷道自然高敞，所以运煤工人可以直立行走；当挖掘工人只能坐着干活时，巷道低矮，运煤工人就得弯腰走；当挖掘工人仰卧干活时，巷道极其低矮，运煤工人只能像鳖一样爬行了。“脉乍大乍细，窠窠螺螺，若或得之而骤竭，谓之鸡窝，二者皆井病也。”这是指煤层不均匀，时大时小，甚至尖灭，这都是不利于开采的。“凡行隧者，前其手，必灯而后入。井则夜也，灯则日也。冬气既藏，灯则炎长；夏气强阳，灯则闭光。是故凿井不两，行隧必双，令气交通，以达其阳。攻坚致远，功不可量，以为气井之谓也。”这里讲了井下照明，井下通风。为了让井下空气对流，工人们发明了开气井的办法。气井、气巷和工作井巷分开。这是中国古代采煤技术中首次提到开气井的文献，反映了明末清初在煤矿井坑设计和建造方面又迈出了新的步伐，达到了一个新的技术水平。

中国古代对海陆变迁的认识

自然科学史研究所 陈瑞平

我国位于亚洲东方和太平洋西部，领土辽阔，海陆相接。从远古时候起，中华民族的先辈就在这里生活和劳动，并对海陆自然现象进行观察，有所认识。早在先秦时期，不仅就记载了“高岸为谷，深谷为陵”（《诗经·小雅·十同之交》）的山川变化现象，提出了“地道变盈而流谦”（《周易·系辞》），意思是地表高低形态会发生转化的观点，而且孕育着差别极其悬殊的海陆也会转化的思想。这种海陆变迁的思想，随着社会的发展和观察的深入，内容被逐渐补充和丰富，并在这基础上作出了具有相当科学水平的论证。

相关的神话故事，在春秋晚期（公元前 476 年以前）成书的《山海经·北次三经》已有记载：上古时炎帝有个少女，名叫女娃。“女娃游于东海，溺而不返。”她被溺后化作神鸟，“名曰精卫。”精卫为着东海不再溺人，“常衔西山之木石，以堙于东海。”这个饶有趣味的神话故事表明，早在春秋晚期以前，已经有了为改变自然环境而要填东海成陆的幻想，标志着当时海陆变迁思想的萌芽。《列子·汤问》和《淮南子·天文训》也以神话故事形式记载了海陆变迁的思想。《淮南子》中说：“天柱折，地维绝，天倾西北，故日月星辰移焉；地不满东南，故水潦尘埃归焉。”这里猜想了大地发生过西北高而倾向东南的大规模的地壳变动，并且指出了这种变动又导致河水搬运泥沙流向东南海洋沉积。此外，“地不满东南”指东南原有陆地下沉到海平面之下，而后又“水潦尘埃”归积到这里，暗示这里又会成陆。因此，它隐含着宝贵的海陆变迁思想。此后，我国更以“沧海桑田”这一生动词汇来表达海陆变迁。

西汉末期，王横为研讨治理黄河指出：“往者天尝连雨，东北风，海水溢，西南出，浸数百里，九河之地已为海所渐矣。”（《汉书·沟洫志》）这指的是往昔在渤海的黄河三角洲，因常受风暴海啸的侵蚀变成海域了。汉代徐岳的《数术记遗》（约成书于公元二世纪）一书中就有了沧海变桑田的记载：“未知刹那之賒促，安知麻姑之桑田？”意思是不知道短瞬间有多长的人，怎么会懂得麻姑所说沧海变成桑田经历时间之长呢？这表明，当时已猜想到大范围的海陆变迁，要经历漫长岁月才能显现出来。这种假借神仙麻姑之口，述说对海陆变迁的认识，在稍后有了更详细的记载。

晋代的葛洪在《神仙传》一书中说道、“麻姑谓王方平曰：‘自接待以来，见东海三为桑田。向到蓬莱，水乃浅于往昔略半也。岂复将为陵陆乎？’方平乃曰：‘东海行复扬尘耳。’”这个神话故事表达的中心意思就是，东海这个地方过去曾经发生过海陆变迁，现在东海正在变浅，将来又会变为尘土飞扬的陆地。这里所称的东海，是泛指我国东部海域。从春秋时期以后到晋代，我们的祖先在东部沿海的活动远比以前活跃。他们对于黄河和长江三角洲向海洋伸展和近海沙洲的出现以及它们的变化，比以前有了比较多的认识。所以，反映在这个神话中的海陆变迁思想，内容也比前多了，表述了海陆变迁的反覆性。然而，它毕竟是神话，没有讲出海陆变迁的道理来。

海陆变迁是个复杂的地壳变化过程。为要鉴定这一地质现象的存在和

它的作用过程，这就需要作比较详细的观察研究，需要寻求出科学的方法来。其中的有效方法之一是利用化石去鉴定。所谓化石，就是保存在岩层中的古代生物遗体或它们的痕迹。由于一定的生物有和它们生活需要相适应的自然环境，所以根据一定的化石就可以追溯这些生物原来的生活环境和它们的改变情况，其中包括鉴别海陆变迁与否。可见，化石是地壳变化的重要物证。现代科技发展，虽然有放射性元素衰变规律测定法、古地磁测定法、大地测量法和物化探测法等许多方法可以鉴定地壳的变化，但是化石仍然是推断这种变化和测定地层相对年龄的重要依据。因此，在地质学史上，利用化石鉴定地壳变化，这是一项伟大成就。这样重要的科学方法，在我国唐代已经发现，并且被应用到海陆变迁的研究之中，使这一认识和研究比以前推进了一大步。

当时颜真卿(709 - 785)对这一点就作了记载。他在《抚州南城县麻姑仙坛记》中，引了上述葛洪写的神话故事以后，接着说道：麻姑山“东北有石崇观，高石中犹有螺蚌壳，或以为桑田所变。”显然，他的论述既以沧海桑田来解释海相螺蚌壳化石所以出现在高岩中的原因，又从这化石存在于高岩中，认识到这里发生过沧海桑田的变化。这就使海陆变迁的认识具有一定的科学性了。此外，当时的大诗人白居易，通过对海滨情况的实际观察，写了一首表达沧海桑田思想的《海潮赋》：“白浪茫茫与海连，平沙浩浩四无边；朝来暮去淘不住，遂令东海变桑田。”这寥寥几句，反映了他对沧海变桑田过程的认识；虽然他所作出的解释还很不全面，但是他指出的海浪对陆地泥沙的不断冲刷和搬运到海中沉积，确定是使海淤填而成陆的一种地质作用。

到了北宋，沈括把海陆变迁的认识又推向了一个新的阶段。他在《梦溪笔谈》卷二十四中说道：“予奉使河北，遵太行而北，山崖之间，往往衔螺蚌壳及石子如鸟卵者，横亘石壁如带。此乃昔之海滨，今东距海已近千里。所谓大陆者，皆浊泥所湮耳。尧殛鲧于羽山，旧说在东海中，今乃在平陆。凡大河、漳河、滹沱、涿水、桑乾之类，悉是浊流。今关、陕以西，水行地中，不减百余尺，其泥岁东流，皆为大陆之土，此理必然。”可以看出，沈括已经采用综合分析的方法去论证了。首先根据太行山麓岩石中含海相螺蚌壳化石和海滨往往具有磨圆度比较好的卵石分布的特点，论证这山麓一带是过去的海滨；又利用社会历史遗址和自然环境变化的历史比较方法，进一步说明现在是千里平原的地方，过去却是海洋；再从大海变成陆地的物质来源和它的输送途径，从陆地的形成是以漫长岁月的沉积方式进行的等方面，论证了海洋变成陆地的课题。他认为黄河、漳水等含沙量都很大，这正是填海成陆的泥沙来源；再从西北黄土高原地区的情况看，也可以说明这点。那里河流不断侵蚀下切，使河床加深，现在河水已经在不少于一百多尺的深沟峡谷中流动了，这些被侵蚀的泥沙就都被河水带向东流，填海成陆。这是必然的结果。离沈括将近九百年后的今天，华北平原海滨还以这种成陆方式在发展着。可见，沈括既比较全面地阐明了华北平原的形成，又有力地论证了海陆变迁现象，把起源很早的海陆变迁说建立在科学性更强的基础上了。

宋代论述海陆变迁问题是相当活跃的。除沈括以外，还有其他一些人也有论述。杜绾在研究潭州湘乡和甘肃陇西两地的鱼化石过程中，明确地提出了和沧海桑田相关的“岁久土凝为石”的观点。南宋朱熹在吸取前人

研究成果的基础上，对海陆变迁也有所论述。他在谈“海宇变动”的时候说：“水之极浊便成地”，“初间极软，后来方凝得硬”。又说：“常见高山有螺蚌壳，或生石中。此石即旧日之土，螺蚌即水中之物。下者却变而为高，柔者变而为刚。”从他这段论述可以看出，他不但相信海陆会发生变迁，而且已经认识到沉积在海洋中的柔软的淤泥，在长期的地质作用下，会凝结成坚硬的岩石。这是符合科学道理的。和前人比较，他关于从浊水到淤泥并变成高山之石的过程叙述得比较具体，对于螺蚌化石包含在高山岩石中的原因也作了更加明确的解释。然而，他却相信天地十二万九千六百年一次大开合不符合实际的观点，并认为高山螺蚌壳就是验证。值得注意的是：我国筑海堤和创造圩田有比较早的历史，而宋代开始更有比较大的发展。这是与海争地和促海成陆而为耕地的伟大实践，并且不断出现相关的理论，为防风潮灾害和发展沿海经济作出了重要贡献。

宋代以后，对海陆变迁继续进行探索，既有测量海中淤积情况的试验，也有理论上的一般探讨。例如，元文宗天历元年（公元1328年），当时一个水利部门曾经在浙江盐官海塘外进行测量，隔一段时间测一次海深，加以对比，结果发现海底在淤浅。因为淤浅有利于海塘的安全，所以把盐官州改称为海宁州了。（《浙江通志》卷六十二）明代一些著作还注意记述了沿海崇明沙洲的演变情况。而清代中期靳辅（1633-1692）著《治河方略》还记载了苏北沿海黄河口淤积的速度。

明末清初，我国开发台湾进入了一个新的发展时期。在这形势推动下，对台湾的沧桑之变也有了论述。清代乾隆年间朱仕《小琉球漫志·海东纪胜》记载：台湾的大岗山（在今高雄），“今山之巔，牡蛎螺蚌遗壳甚夥。山去生熟番既远，且上无居人。”意思是说，人为因素导致山顶有螺蚌壳的可能性可以排除。又说：“彰化诸高山，在治内者亦然。岂台地诸山，昔皆海中耶？沈文开杂记云：‘台湾当混沌时，总属茫茫大海，中峙高山，因水归东南，渐现沙土，所以地薄而常动。’理或然也。”朱仕

还为此赋诗：“安知十万代，壤涸青畴。”这说明我国从明末清初起，已经认识到台湾岛是在漫长的地质年代中经过沧桑之变而形成的。

从上面简要的回顾已可看出，我国古代对海陆变迁的认识，不仅起源很早，而且内容丰富，既有理论性探讨，也有联系社会需要的调查研究和实践，贡献和创见是多方面的。其中关于淤泥成岩作用的观点、侵蚀和沉积地形形成原理方面，都比欧洲同类学术观点有更好的阐述。此外，关于化石和它的地质学意义的认识，虽然古希腊已经有比较早的记载，但这种研究因后来受封建教会黑暗势力的统治和摧残而中断了，到公元十五世纪下半叶的欧洲文艺复兴时期，才逐渐发展起来。在十一到十三世纪，亚洲中西部一些国家和地区，也有关于化石和它的地质学意义的记述，但是在海陆变迁的认识上也没有超过我国同时期的水平。事实上，我国直到十六世纪，在海陆变迁的研究和认识水平仍处在世界先进的地位。只是此后因封建制度的继续束缚以及传统科学的某些消极因素的影响而落后了。回顾我国古代历史，一方面有应引以为戒的教训，另一方面更有应当很好地继承和发扬的精神，这就是认真观察研究自然、探寻科学真理和联系社会实践的精神。

中国古代的地震测报和防震抗震

自然科学史研究所唐锡仁

我国是一个地震比较多的国家。几千年来，我们的祖先顽强地和地震灾害进行斗争，留下了历史悠久的地震记录，创造了世界上第一架地震仪，观察记载了大量的地震前兆现象，积累了许多防震抗震的经验和知识，在地震测报和防震抗震的领域，取得了辉煌的成就。

我国记录地震开始很早。晋代出土的《竹书纪年》记载有帝舜时期“地坼及泉”、夏桀末年“社坼裂”的现象，可能是关于地震最早的记载。战国时期晚期(公元前三世纪)的《吕氏春秋·季夏纪》里记载了“周文王立国八年，岁六月，文王寝疾五日，而地动东西南北，不出国郊。”这一记载明确指出了地震发生的时间和范围，是我国地震记录中具体可靠的最早记载。此外，在《诗经》、《春秋》、《国语》和《左传》等先秦古籍中都有关于地震的记述，保存了不少古老地震记录。从汉代开始，地震就作为灾异记入各断代史的“五行志”中了。宋元以后地方志发达起来，地震也被作为灾异记入志中，地震史料大大增加。除了这些官修的正史、方志外，许多私人写的笔记、杂录、小说和诗文中也有地震的记载，而且往往附有生动的描述。历代的一些“类书”，如宋代编的《太平御览》、清代编的《古今图书集成》等，还按分类收集了不少地震资料。此外，碑文中也有历史地震的记载。

我国历代积累下来的地震记录，是一份十分珍贵的历史遗产。解放以后，我国的一些史学和地震工作者，共同搜集整理这份历史遗产，翻阅了八千多种文献，从中摘出一万五千多条地震史料，经过审核考订，获得了从公元前 1177 年到公元 1955 年止的八千一百多次地震记录，其中发生五到五·九级地震一千零九十五次，六到六·九级地震四百十次，七到七·九级地震九十一一次，八级以上地震十七次。这样悠久而丰富的地震记录，具有重要的科学价值，已经受到国内外地震科学工作者的广泛重视。我国的地震工作者利用丰富的历史地震资料，编制各种地震图表，进行各种数理统计，在我国地震区域划分、地震预测预报和国民经济建设合理布局等方面，提供了重要的科学依据。

在不断记录地震、积累地震知识的基础上，东汉时候杰出的自然科学家张衡发明了世界上第一架观测地震的仪器——地动仪。张衡一生中遇到过好多次地震。据统计，从汉和帝永元四年(公元 92 年)到汉顺帝永和四年(公元 139 年)间，京师(洛阳)和陇西发生地震二十次。其中大约有六次是破坏性地震。张衡是河南南阳人，又在当时的首都洛阳工作，所以对于那许多次地震，他有不少亲身体验。另外，张衡担任过太史令的官职多年，不但掌管天文，而且地方上发生地震上报以后，也都由他记录下来。为了掌握各地发生的地震情报，他感到很需要有仪器来进行观测。正是以上情况促使张衡经年累月、孜孜不倦地研究这个问题，终于在汉顺帝阳嘉元年

常书鸿：《漫谈古代壁画技术》，《文物参考资料》1958 年第十一期第 36 页。李亚东：《敦煌壁画颜料的研究》，《考古学集刊》第三集，1983 年版。

(公元 132 年), 创造了世界上第一架地震仪, 在人类和地震作斗争的历史上写下了光辉的一页。

关于这架仪器,《后汉书》中记载:“地动仪以精铜制成,圆径八尺,合盖隆起,形似酒尊。”(酒尊就是酒坛。)里面有精巧的结构,主要是中间的“都柱”(类似惯性运动的摆)和它周围的“八道”(装置在摆的周围和仪体相接联的八个方向的八组杠杆机械),外面相应设置八条龙,盘踞在八个方位上。每个龙头的嘴中含有一个小铜球,每个龙头下面都有一只蟾蜍张口向上。如果什么地方发生了比较强的地震,传来地震的震波,“都柱”偏侧触动龙头的杠杆,使处在那个方位的龙嘴张开,铜球当啷一声掉在下面的蟾蜍口里。这样,观测人员根据铜球“振声激扬”而知道在什么时间什么方位发生了地震。地动仪制成以后,安置在洛阳,并且观测到了永和三年(公元 138 年)陇西发生的一次六级以上的地震,开创了人类使用科学仪器观测地震的历史。

由于封建王朝的统治者对于科学技术上的发明创造素来不加重视,所以张衡在地震方面的研究和发明得不到他们的支持,地动仪创造出来以后,不仅没有得到推广使用,就连仪器本身也没能受到保护而留存下来。这是科学技术史上的一个重大损失。尽管如此,张衡地动仪是湮没不了的,它的灿烂夺目的光辉一直吸引着人们的注意。张衡之后的一些科学家,对地动仪的装置和原理,不断写过一些著作,进行记载和论述。并且由于张衡地动仪是当时世界上遥遥领先的伟大发明,所以它对国外也是有影响的。有人认为张衡地动仪里面摆的构造设计可能在隋唐时期传到了波斯(今伊朗)和日本。至于《后汉书》中关于地动仪的记载,从十九世纪以来,不断被译成许多种外文,传播于世界。到了近代,我国和外国的一些科学工作者对张衡地动仪进行研究复原,由我国复原的地动仪现在陈列在中国历史博物馆,成为向广大群众进行宣传教育的生动材料。张衡地动仪经过中外学者的研究,一致给予很高的评价,认为它是利用惯性原理设计制成的,它的基本构造符合物理学的原理,能探测地震波的首先主冲方向。和外国相比,张衡地动仪要比西方类似仪器的出现,早约一千七百年。

我国人民和地震作斗争,除了地动仪这样伟大的发明创造外,他们在实际斗争中,还通过亲身的体验和观察,记载了大量的地震前兆现象,如地声、地光、前震、地下水异常、气象异常、动物异常等,积累了相当丰富的预测预报地震的知识。

地声、地光是非常重要的临震前兆现象。我国史书对很多地震都有震前地声情况的记述。如南北朝时期北魏孝文帝延兴四年(公元 474 年)山西“雁门崎城有声如雷,自上西引十余声,声止地震。”(《魏书·灵征志》)唐玄宗“开元二十二年二月十八,秦州地震。先是秦州百姓闻州西北地下殷殷有声,俄而地震。”(《旧唐书·五行志》)开元二十二年是公元 734 年。明宪宗成化四年(公元 1468 年)四月四日广东琼州府“夜四更地震,未震之先,有声从西南起,遂大震,既而复震,良久乃止。”(《成化实录》卷五十五)有些强烈地震在发生之前,震区上空往往出现灼亮的闪光,这种发光现象叫地光。史书中关于这方面的记载,如明武宗正德四年五月二十六日(公元 1509 年六月十三日)夜湖北“武昌府见碧光闪烁如电者六七次,隐隐有声如雷鼓,已而地震。”(《明武宗实录》卷五十)正德八年十二月三十日(公元 1514 年一月二十五日)四川越隰县“有火轮见空中,声如雷,

次日戊戌地震。”(《明武宗实录》卷一 七)这两个震例，不但震前出现了地光，而且还同时有地声。

大震之前往往有一系列微震和小震，叫做前震。历史上有不少震例记载有前震现象，如正德七年(公元 1512 年)“五月云南地连震十三日，八月云南地大震。”(孙之 ；《二申野录》)清康熙七年七月二十五日(公元 1668 年九月十二日)江苏镇江府、丹阳“戌时地震，先数日微震一次，是日震甚，山动摇，江河之水皆为鼓荡，停泊之舟多覆溺，城内外震裂墙屋无算。”(康熙《镇江府志》、乾隆《丹阳县志》)

强烈地震发生前，地下水位往往发生异常变化，例如清康熙七年(公元 1668 年)山东郯城发生八·五级大震，好几个地方出现了河水突然干涸的记载：山东寿光“未震之前一日，耳中闻河水汹汹之声，遣子探试，亦无所见，或云先一日弥丹诸河水忽涸。(民国《寿光县志》引《青社遗闻》)江苏赣榆“先是苦雨几一月，是日城南渠一晷之间，暴涨忽涸，见者异之。”(康熙《海州志》引倪长犀《地震记》)除了这种水量显著变化的观察记载外，在一些古籍中对震前地下水成分、色味的改变还留有记载，如“井水忽浑浊”、“水变赤如流丹”、“井水变味、甘咸相反”等。

关于震前出现气象异常情况，如高温酷热、雷雨骤烈、飓风大作、阴霾昏晦、干旱水涝等，在史书中都有屡见不鲜的记载。例如康熙十八年(公元 1679 年)三河、平谷八级大震前，出现了“特大炎暑，热伤人畜甚重”的热异常；四川嘉庆《射洪县志》记载嘉庆二十四年五月十九日(公元 1819 年七月十日)发生的地震：“五月霪雨十日，至十九日夜大雨如注，是夜地震，泛水涨数丈。”很显然震前先是霪雨不休，后是暴雨倾盆，紧接着发生了地震。其他如震前出现“云气弥天”、“日色昏黄，亭午风霾晦冥，晚不见月”等等震例，就不一一列举了。

地震前，许多动物出现异常反应。对动物这种震前异常反应，我国历史上从唐代开始便有记载，如《开元占经·地镜》中说道：“鼠聚朝廷市衢中而鸣，地方屠裂。”在地震地裂之前出现了老鼠成群鸣叫的现象。明世宗嘉靖三十五年正月二十三日(公元 1556 年二月十四日)夜河南邓县、内乡“分闻风雨声自西北来，鸟兽皆鸣，已而地震轰如雷。”(顺治《邓州志》)清仁宗嘉庆二十年(公元 1815 年)山西平陆强烈地震后，还总结了这方面的经验，山西《虞乡县志》中明确指出“牛马仰首，鸡犬声乱，即震验也。”在对震前动物异常反应的长期而大量的观察之后，有的震区还得了震前“水陆间生物顿有异象”的认识。

由上可见，我国历史上关于地震前兆宏观现象的记载，确是非常丰富的。不仅这样，劳动人民还根据前兆现象，成功地预报、预防了一些地震。例如清文宗咸丰五年(公元 1855 年)辽宁金县地区的劳动人民，根据地声预报了一次破坏性地震，故宫档案记载说：“未震之时，先闻有声如雷，故该处旗民早已预防，俱各走避出屋，是以未经压毙多人，只伤男妇子女共七名。”嘉庆十四年八月十一日(公元 1809 年九月二十日)贵州正安发生强震之前，存在明显的前震活动，在“小溪里、罗乾溪忽山动石坠”，当地居民根据这种前震活动，迅速采取预防措施，把器具牛羊转移到安全地方，“迁毕地摇，房屋倒塌，田土尽翻。”(道光《遵义府志》)嘉庆二十年(公元 1815 年)山西平陆发生强烈地震，震前劳动人民根据天气异常作了预报。《虞乡县志》说：“八月六日阴雨连绵四旬，盆倾檐注，过重阳微晴，

十三日大霁，乡老有识者，谓霁雨后天大热，宜防地震。”后来，果然“屋舍倾塌”，发生了一次强震。

劳动人民预测预报地震，不只是限于个别地震前兆，他们还以综合的观点，对预报地震的前兆现象作了概括。例如清高宗乾隆二十年（公元 1755 年）编写的《银川小志》，记载清初一位在官府做饭的炊事员和几位老乡共同总结出了预报地震的前兆，书中说，宁夏地震“大约春冬二季居多，如井水忽浑浊，炮声散长，群犬围吠，即防此患。”从这段记载，可以看出劳动群众除了认为宁夏地震发生的时间有春冬二季居多的特点外，更重要的是，提出了井水变化、地声和动物异常跟地震的关系，已经有了综合多种前兆现象来预报地震的思想。这种观点是很科学的。因为地震是一种复杂的自然现象，要对它的发生做出准确预报，就必须采取多途径、多手段，从各个不同角度，把各种观测方法所获得的资料进行综合的分析研究，而不能仅仅根据某种异常现象就轻易作出预报。

为了减少和避免地震造成的伤亡破坏，采取防震抗震措施是一个重要的方面。古代人民群众在这方面积累了丰富的经验，找到了好些切实可行的办法和措施。

在房屋抗震方面，我国劳动人民有很多的实践经验。台湾是我国地震最频繁的一个省，古代台湾人民在兴建城市中就注意到“台地罕有终年不震”（乾隆《台湾县志》）这个特点，采取一定的抗震措施。如在淡水，有的城墙便是用竹子和木头等材料建成。用竹木建城，不但就地取材，经济方便，更重要的是竹木性质柔韧、质轻、抗震性能高，是很好的抗震建筑材料。其他震区的劳动人民也有这方面的经验，如在云南经常发生地震的地方，常采用荆条、木筋草等材料编墙，也是根据这个道理加以选择的。

劳动人民动土兴工，建造房屋、桥梁、塔寺，为了要经久耐用和安全可靠，一般都很注意地基牢固，建筑物结实、整体性好，特别在多震地区，他们更紧密联系地震的威胁，慎重考虑这些问题。通过古建筑的考察，我们很清楚地看到劳动人民在这方面的聪明才智，他们对抗震设计和施工有很丰富的知识。例如建于辽代的天津市蓟县独乐寺观音阁、山西应县高达六十多米的木塔和建于隋代的河北赵县、横跨水的赵州桥，距今都有千年的历史了，它们都位于地震比较多的华北地震区，经受过多次不同程度的地震震撼，到现在还巍然屹立。这不仅证明我国古代劳动人民在建筑技术上的卓越成就，而且也为我们提供了研究建筑物抗震性能的十分重要的实物例证，可以为现在的抗震设计起到借鉴的作用。

大震之后，房屋有的倒塌，有的遭到破坏，而且余震不止，生命财产继续受到威胁。在这种情况下，怎样防震抗震，古书上也记载了劳动人民不少的办法，归纳起来多以木板、苇席、草等物搭棚造屋或趋避空旷的地方，以减免伤亡和损失。这方面的记载，最早见于宋代，宋代之后史不绝书，如“居者惧覆压，编苇为屋”（江苏《赣榆县志》）；“于场圃中，戴星架木，铺草为寝所”（山西《虞乡县志》）；“于居旁隙地，架木为棚，结草为庐”（河北《临漳县志》）等。这些办法在防震抗灾中发挥了有效作用，在史书里留下有明确的记载，如据故宫档案记载，清道光十年（公元 1830 年）闰四月二十二日河北磁县发生七·五级大震，震后余震不止，到五月初七日发生了一次强余震，“所剩房屋全行倒塌，幸居民先期露处或搭席棚栖身，是以并未伤毙人口。”由于这些防震抗震的措施简易安全，

行之有效，所以到现在还在沿用。

古代人民群众不但有很多震前震后的防震抗震知识，而且在强烈地震发生来不及跑出房屋的危急时刻，怎样采取应急措施，防止伤亡，也有很宝贵的经验。嘉靖三十五年(公元 1556 年)一月二十三日陕西华县发生了八级大震，这次地震的幸存者秦可大根据亲身体验和耳闻目睹的事实，写有一篇重要著作《地震记》，提出了大震应急措施，他说：“……因计居民之家，当勉置合厢楼板，内竖壮木床榻，卒然闻变，不可疾出，伏而待定，纵有覆巢，可冀完卵；力不办者，预择空隙之处，审趋避可也。”在还没有完全实现地震预报的今天，地震突然发生，来不及跑出屋外，就躲在坚实的家具下，以免砸伤压毙，这是现在防震抗震中仍然重要的一条措施。四百多年前由秦可大总结提出的这个办法，不但具有历史意义，而且很有现实价值。

综上所述，我国古代人民在地震测报和防震抗震等方面有很重要的成就，在战胜地震这一严重自然灾害的征途上作出了卓越的贡献。他们的斗争实践和辉煌成就启迪我们：虽然地震预报是一个很复杂的问题，当今还有一些实际问题和理论问题没有得到解决，但随着科学技术的发展和人们的不断努力，这个难题一定会被攻克，人类将在这个必然王国里获得自由。

六 生物学

中国现存的几部古代动植物志

自然科学史研究所 刘昌芝

用文字和图形记录动植物的名称、类别、形态、生活习性、地理分布和经济价值等的著作，我们现在称作动物志、植物志。它是动植物学的基础，也是开发和利用动植物资源的重要文献。

中国医药学、农学、园艺学有悠久的历史，积累了丰富的动植物知识。据不完全统计，我国古代农医文献，包括现存和已经散佚的，有八千多种。这些文献是中国古代动植物学知识的宝库。随着农医实践的发展，人们对动植物的知识逐渐深入系统化。因而出现了各种动植物志。

下面介绍我国现存的、在生物学史上占有一定地位的几部动植物著作或动植物志。

《南方草木状》

《南方草木状》旧题晋永兴元年(公元 304 年)嵇含著。关于它的作者和成书年代，众说纷纭，到现在还没有定论。它的渊源比较古，内容丰富、详实。它主要记载我国广东番禺、南海、合浦、林邑等地的植物。它是我国第一部记述南方植物的著作，也是世界上现存最早的地方植物志。

这部书共分三卷：卷上叙述草类，有甘蕉、耶悉茗、茉莉花、豆蔻花、鹤草、水莲、菖蒲、留求子等二十九种；卷中叙述木类，有榕、枫香、益智子、桂、桄榔、水松等二十八种；卷下叙述果类和竹类，果类有荔枝、椰、橘、柑等十七种，竹类有云丘竹、石林竹、思摩竹等六种。全书共记述植物八十种。其中大多数是亚热带植物。虽然所记述的植物种类和种类繁多的南方植物相比还差得很远，但所记载的植物如茉莉花、诸蔗、龙眼、椰树等，都反映出了南方植物的特色。所记录的各种植物，除少数名称无法考订外，大多数都和现在所知的植物相符。这说明当时人们对植物的观察和认识已经达到相当的水平。

《南方草木状》依据植物的生物学特性，描述了它们的形态、生活环境、用途和产地等，文字相当生动简练。例如书中说：“榕树，南海桂林多植之，叶如木麻，实如冬青。树干拳曲，是不可以为器也。其本棱理而深，是不可以为材也。烧之无焰，是不可以为薪也。……枝条既繁，叶又茂细。软条(指气根——引者)如藤，垂下渐渐及地，藤梢入土，便生根节。或一大株，有根四五处，而横枝及邻树，即连理。”又如：“椰树，叶如桐，高六七丈，无枝条。其实大如寒瓜，外有粗皮(指有纤维质的中果皮——引者)，次有壳，圆而且坚(指坚硬的内果皮——引者)，剖之有白肤(指可食的胚乳——引者)，厚半寸，味似胡桃，而极肥美。有浆，……”寥寥

参阅中国硅酸盐学会编：《中国陶瓷史》，文物出版社 1982 年版。周仁：《我国传统制瓷工艺述略》，《文物参考资料》1958 年第二期，第 6 页。

夏湘蓉、李仲均、王根元：《中国古代矿业开发史》，地质出版社 1988 年版，第 317-311 页。

几句话，把榕树和椰树的形态和果实等描述得相当逼真。对菖蒲的生活环境，书中指出：“菖蒲，番禺东有涧，涧中生菖蒲。”菖蒲属植物有两种，一种名菖蒲，在我国一般多是栽培种。另一种名石菖蒲，一般生长在山涧或潮湿的地方，多见于华南地区。这里所说的菖蒲属后一种，就是我国华南地区常见的石菖蒲。此外还依据柑和橘的滋味香甜和花果颜色描述了它们的共同特性，首次提出了“柑，乃橘之属”，把柑和橘合并作为一种。

《南方草木状》首次记载了我国劳动人民利用益虫防除害虫的生物防除法。书中介绍：当时广东一带栽培的柑橘有很多害虫，种柑橘的人普遍知道用一种蚂蚁(惊蚁)来防除。这种蚂蚁能在树上营巢，专吃柑橘树上的害虫。因此经常有人从野外捉这种蚂蚁来卖给管理果园的人，作为一种职业。利用天敌防除害虫的思想，在西方最早见于 1877 年在德国哈提的著作，首先应用的是德国博吉陶和 1889 年美国里莱。而我国早有这种思想，应用也远在哈提和博吉陶之前。

从《南方草木状》还可以看出，我国早在三国时期吴国永安年间(公元 258 年到 264 年)已开始出现实物绘图。书中“水蕉”条说：“水蕉如鹿葱，或紫或黄。吴永安中，孙休尝遣使取二花，终不可致，但图画以进。”看来当时的植物图已能真实地反映植物的性状。但后来的各种版本如《百川学海》、《汉魏丛书》、《格致丛书》、《龙威秘书》等都没有附图，当是传抄中已经失落。1955 年商务印书馆铅印本加入上海市历史文献图书馆珍藏的图六十幅，为鉴定植物学名提供了依据。

这部书对中国古代植物学的发展有比较大的影响。宋代以后，曾被许多花谱、地志所征引，特别是后世本草学著作引用更多。明代药物学家李时珍在他的名著《本草纲目》一书中描述到南方植物时，有不少是以《南方草木状》的记载作为注释的。这部书还传播到国外，如德国植物学家毕施奈德(1833 - 1901)在他所著《中国植物学文献评论》中认为《南方草木状》是中国最早的植物学著作，是解决植物学若干问题的重要文献之一。

《救荒本草》

《救荒本草》是我国明代早期(公元十五世纪初叶)的一部植物图谱，它描述植物形态，展示了我国当时经济植物分类的概况。书中对植物资源的利用、加工炮制等方面也作了全面的总结。对我国植物学、农学、医药学等科学的发展都有一定影响。

《救荒本草》明永乐四年(公元 1406 年)刊刻于开封，明代朱 (1360 - 1425)编写。朱 是明太祖第五子，封周王，死后谥定，所以《明史·艺文志》对这部书题“周定王撰”。《救荒本草》是一部专讲地方性植物并结合食用方面以救荒为主的植物志。全书分上下两卷，记载植物四百十四种，分为五部：草部二百四十五种，木部八十种，米谷二十种，果部二十三种，菜部四十六种。其中出自旧本草的一百三十八种，并注有“治病”

李约瑟，《中国科学技术史》，科学出版社 1916 年版，第五卷，第 484 页。

我国历史年代，从西周共和行政元年起，才有比较确凿的编年材料。西周共和行政元年是公元前 841 年，周文王立国八年，一说是公元前 1177 年。但各家说法不一。如武王伐纣，一说在公元前 1122 年，一说在公元前 1066 年，一说在公元前 1057 年，一说在公元前 1027 年。

二字，新增加的二百七十六种。

《救荒本草》新增的植物，除开封本地的食用植物外，还有接近河南北部、山西南部太行山、嵩山的辉县、新郑、中牟、密县等地的植物。在这些植物中，除米谷、豆类、瓜果、蔬菜等供日常食用的以外，还记载了一些须经过加工处理才能食用的有毒植物，以便荒年时借以充饥。作者对采集的许多植物不但绘了图，而且描述了形态、生长环境，以及加工处理烹调方法等。李濂在《〈救荒本草〉序》中说：“或遇荒岁，按图而求之，随地皆有，无艰得者，苟如法采食，可以活命，是书也有助于民生大矣。”

朱 撰《救荒本草》的态度是严肃认真的。他把所采集的野生植物先在园里进行种植，仔细观察，取得可靠资料。因此，这部书具有比较高的学术价值。这部书有嘉靖四年(公元 1525 年)山西都御史毕昭和按察使蔡天

刊本，这是《救荒本草》第二次刊印，也是现今所见最早的刻本。稍后有嘉靖三十四年(公元 1555 年)陆柬刊本。这个刊本的序中误以为书是周宪王编撰，后来李时珍《本草纲目》和徐光启《农政全书》都沿袭了这个错误。以后还有嘉靖四十一年(公元 1562 年)胡乘刊本、万历十四年(公元 1586 年)刊本、万历二十一年(公元 1593 年)胡文焕刊本，徐光启《农政全书》把《救荒本草》全部收入。传到日本，有享保元年(公元 1716 年)皇都柳枝轩刊本。

值得注意的是，这部书在“救饥”项下，提出对有毒的白屈菜加入“净土”共煮的方法除去它的毒性。这种解毒过程主要是利用净土的吸附作用，分离出白屈菜中的有毒物质，是植物化学中吸附分离法的应用。这种方法和现代植物化学的分离手段相比显得很简单，但在当时却是难能可贵的。它和 1906 年俄国植物学家茨维特(1872 - 1919)发明的色层吸附分离法在理论上是一致的。

《救荒本草》很早就流传到国外。在日本先后刊刻，还有手抄本多种问世。据日本研究中国本草学的冈西为人说，《救荒本草》在日本德川时代(公元 1603 年到 1867 年)曾受到很大重视，当时有关的研究文献达十五种。这部书曾由英国药学家伊博恩译成英文。伊博恩在英译本前言中指出，毕施奈德于 1851 年就已开始研究这本书，并对其中一百七十六种植物定了学名。而伊博恩本人除对植物定出学名外，还做了成分分析测定。通过比较，指出《救荒本草》的原版木刻图比《本草纲目》的高明。美国植物学家李德在他著的《植物学小史》中也赞颂《救荒本草》配图的精确，并说它超过了当时的欧洲。近年国内王作宾等对《农政全书》中转录自《救荒本草》中的四百种植物作了研究定出学名，并作为石声汉校注的新版《农政全书》附录刊行。

《闽中海错疏》

我国海域具有复杂的海洋水文和气象条件，加上长江、黄河等几条江

见华南农业大学农业历史研究室编：《〈南方草木状〉国际学术讨论会论文集》，农业出版社 1990 年版。

见吴德邻：《诠释我国最早的植物志》，《植物学报》1958 年第七卷第一期。

见周尧：《中国昆虫学史》，昆虫分类学报社 1980 年版，第 79 页。

这部书有石声汉译本，商务印书馆 1957 年版。

河带来了极丰富的营养物质，为我国沿海海洋动物构成了极其优良的生活条件，繁殖着各种各样的海洋生物。明代，由于商品经济的发展和资本主义的萌芽，海洋生物资源被大规模地开发利用，区域性的海洋专著纷纷出现。成书于万历二十四年(公元 1596 年)的由屠本 撰的《闽中海错疏》就是比较杰出的一种。它主要记载了我国福建一带的水产动物，其中海产动物占全书的四分之三，是本书研究的重点。这部书的编写体例和历代农学、医药学著作不同，主要是根据动物形态、生活环境、经济价值和产地来鉴别各种动物，给予命名。它的编写体例和现在的动物志基本相似。

屠本 字田叔，浙江鄞县人，曾做过刑部检校、太常寺典簿、盐运司同知等官。他从小就刻苦学习，直到晚年仍然勤学不辍，对动植物都感兴趣。《闽中海错疏》就是根据他在福建观察到的各种水产动物写成的。

《闽中海错疏》全书正文分上、中、下三卷，包括鳞部二卷，介部一卷。此外还有《自序》和《附录》各一篇。书中共记载水产动物二百多种，包括无脊椎动物和脊椎动物。不少水产动物具有较高的经济价值，有著名的大黄鱼、小黄鱼、带鱼和乌贼四大海产，还有马鲛、鲱鱼、沙丁鱼、鳓鱼、鲳鱼等，以及驰名中外的对虾等。《闽中海错疏》中记载的鱼类计有鲫鱼、真鲷、方头鱼、狭纹虎鲨、刀鲚、鲥等八十多种，分属鲤科、鲷科、方头鱼科、虎鲨科等四十个科，分属鲤形目、鲈形目等二十个目。所记载的两栖类有蟾蜍、雨蛙、虾蟆、水鸡等十种，分属蟾蜍科、雨蛙科、蛙科三科。此外还记载有软体动物、节肢动物以及少数哺乳动物。这部著作对研究海产动物和开发、利用海洋资源都是重要的文献。《闽中海错疏》在动物学上的成就，主要有以下几方面：

第一，《闽中海错疏》比较全面地记载了福建的水产动物，包含不少动物形态、生态和生活习性方面的知识。在形态方面，例如说：“方头，似棘鬣而头方，味美”，因头方而得名。又如对珠蚶和丝蚶的形态描述很形象、逼真。珠蚶个体小，壳面的放射肋细，前后端圆，“形如莲子而扁”。丝蚶壳皮同心纹很细，书中说它“壳上有纹如丝”，突出了蚶的基本特点。到现在福建地区仍用珠蚶和丝蚶这两个名称。书中还有许多关于水产动物生活习性的知识，这里只举几个例子。如“泥螺”条，明确记载了泥螺的形态、产地和生长繁殖的情况。据现代动物学调查证实，泥螺七月到九月产卵，卵生的小螺冬季生长很慢，到第二年五六月长大，开始繁殖。这和书中的记载基本一致，书中还说，秋天采到的个体已排卵，所以“肉硬膏少，味不及春”，对泥螺的观察和认识已经达到相当的水平。这种螺，现在动物学上仍称“泥螺”，在西方是在 1848 年定名的，晚于《闽中海错疏》的记载近二百五十年。从对真鲷(过腊鱼)的描述，说明当时已经认识真鲷冬季入港、第二年春天出海的洄游规律。这些认识和现在福建观察到真鲷的鱼期是一致的。值得提出的是，《闽中海错疏》中，对一些水产动物的某些内部器官已有一定的认识，如记载章鱼“膜内有黄褐色质，有卵黄，有黑如乌 墨，有白粒如大麦，味皆美，……”只是由于当时科学水平的限制，没有指出肝脏、墨囊、卵巢三种器官的名称罢了。

第二，屠本 在以动物形态、生活环境、产地等来描写和鉴定种类的

见宋之琪：《〈救荒本草〉与我国古代分离法的应用》，《药学通报》第十五卷第九期，第 21 页。

见日本天野元之助著、彭世奖、林广信等译《中国古农书考》，农业出版社 1992 年版。

基础上，把性状相近的水产动物排列在一起，分成各大类，在大类中再分小类，并且把许多同科属的动物排列在一起。他已经注意到排列次序和分类级(科、属、种)间的亲缘关系，可说已经孕育着现代分类学的萌芽。这是以前诸家本草、农医著作从未做到过的。和同时期西欧的动物学家按字母次序排列或按药用性质、用途等进行分类相比，显然《闽中海错疏》要进步得多。

第三，在明代，淡水养殖业已经相当繁盛，《闽中海错疏》中记载着丰富的淡水养鱼资料，总结了当时福建地区饲养草鱼、鲢鱼的方法，以及养鱼前进行除野的方法，反映了我国明代淡水养殖业已经取得丰富的经验。这些经验直到今天还具有现实意义。

此外书中有些内容是前人没有提到过的，如“海胆”这个名字，有人认为是从日本引进的，实际上是日本从这本书引用过去的。

《闽中海错疏》既是我国也是世界比较早的一部水产经济动物志，又是动物学从以实用为主向系统动物学方向发展的重要著作之一。

《植物名实图考》

《植物名实图考》是中国古代一部科学价值比较高的植物学专著或药用植物志。它在植物学史上的地位，早已为古今中外学者所公认。

吴其 写作《植物名实图考》，主要以历代本草书籍作为基础，结合长期调查，大约花了七八年时间才完成。它的编写体例不同于历代的本草著作，实质上已经进入植物学的范畴。这部书是吴其 死后一年，就是道光二十八年(公元 1848 年)，由山西巡抚陆应谷校刊的。

《植物名实图考》全书七万一千字，三十八卷，记载植物一千七百十四种，分谷、蔬、山草、隰草、石草(包括苔藓)、水草(包括藻类)、蔓草、芳草、毒草、群芳(包括寄生在一些木类上的担子菌)等十二类。每类列若干种，每种重点叙述名称、形色、味、品种、生活习性和用途等，并附图一千八百多幅。

吴其 利用巡视各地的机会广泛采集标本，足迹遍及大江南北，书中所记载的植物涉及我国十九个省，特别是云南、河南、贵州等省的植物采集的比较多。《植物名实图考》所记载的植物，在种类和地理分布上，都远远超过历代诸家本草，对我国近代植物分类学、近代中药学的发展都有很大影响。

《植物名实图考》的特点之一是图文并茂。作者以野外观察为主，参证文献记述为辅，反对“耳食”，主张“目验”，每到一处，注意“多识下问”，虚心向老农、老圃学习，把采集来的植物标本绘制成图，到现在还可以作为鉴定植物的科、属甚至种的重要依据。

这部书既主要以实物观察作为依据，作为一种植物图谱，在当时是比较精密的，是实物制图上一大进步。由于这部书的图清晰逼真，能反映植物的特点，许多植物或草药在《本草纲目》中查不到，或和实物相差比较大，或是弄错了的，都可以在这里找到，或互相对照加以解决。如《植物

见董恺忱：《明代救荒植物著述考析》，《中国农史》1983 年第一期。

见胡道静：《我国古代农业发展概况和若干古农学资料概述》，《学术月刊》1963 年第四期。

名实图考》中藿香一图，突出藿香叶对生、叶片卵圆形或三角形、基部圆形、顶端长尖、边具粗锯齿、花序顶生等特征，和现代植物学上的唇形科植物藿香相符，而《本草纲目》上绘的图，差别很大，不能鉴别是哪种植物。书中记载的植物，不仅从药物学的角度说明它们的性味、治疗和用法，还对许多植物种类着重同名异物和同物异名的考订，以及形态、生活习性、用途、产地的记述。读者结合植物和图说，就能掌握药用植物的生物学性状来识别植物种类，可见《植物名实图考》一书对药用植物的记载已经不限于药性、用途等内容，而进入了药用植物志的领域。它是我国第一部大型的药用植物志。

《植物名实图考》一书在国际上享有很高的声誉，为世界植物学的发展作出了一定的贡献。1870年德国毕施奈德在《中国植物学文献评论》中认为《植物名实图考》是中国植物学著作中比较有价值的书，“刻绘尤极精审”，“其精确程度往往可资以鉴定科和目”，甚至“种”。1884年日本首次重刻这部书，伊藤圭介为这部书写的序中对这部书作了高度评介，认为“辩论精博，综古今众说，析异同，纠纰缪，皆凿凿有据，图写亦甚备，至其疑难辨者，尤极详细精密”。1940年日本牧野富太郎著的《日本植物图鉴》，其中有不少取材于《植物名实图考》。此外美国劳弗·米瑞和沃克等人的著作对这部书也有所引用和推重。现在世界上很多国家的图书馆都藏有这部书。

《植物名实图考》一书的内容十分丰富，不仅有珍贵的植物学知识，而且对医药、农林以及园艺等方面也提供了可贵的史料，值得科学史家用作参考。

我国有关动植物知识的文献，浩如烟海。本文只着重介绍了以上四部动植物志。它既不同于农业、医药著作，也不同于观赏植物的文献，它的特点表现在：一是建立在对动植物直接观察基础上的，以记载各种动植物的形态、生活环境、用途和产地为主。二是编写体例和现在动植物志相似，可算作区域动物志或植物志，孕育着现代动植物分类学的萌芽。正因为这样，它们为生物学的发展作出了卓越的贡献。另一方面，应当指出，由于历史条件的局限，这些著作的作者，不是专门的自然科学家，多数是封建地主阶级的知识分子或大小官僚。在他们的著作中，除了有不够科学的地方之外，还夹杂有一些迷信和唯心主义的说法。我们今天阅读时，当然要注意去其糟粕。

见刘昌芝：《〈闽中海错疏〉中的鱼类研究》，《科技史文集》，上海科技出版社1980年版，第四辑第105页。

中国古代的动植物分类

自然科学史研究所 苟萃华

远在人类社会初期，我们的祖先在从事最简单的采集、渔猎的生产过程中，就已经开始学会辨别一些有用的和有害的动物和植物。随着农牧业生产的发展，人们在实践活动中，不断观察，不断分析，不断比较，不断认识，逐渐产生了要把周围形形色色的生物加以分类的想法，并且逐步地形成了我国古代的动植物分类体系。

对动植物加以分类，是人类认识利用生物的重要手段，它对农牧业生产和医药事业都具有重要的意义。

我国古老的传统分类认识

用草、木、虫、鱼、鸟、兽来概括整个动植物界的种类，这是我国最古老的传统分类认识。这一分类认识在我国最早的一部词典——《尔雅》中比较完整地反映了出来。

《尔雅》大概从战国时期起就已经开始汇集，到西汉才告完成，是一部专门解释古代词语的著作。书中有释草、释木、释虫、释鱼、释鸟、释兽、释畜等篇，专门解释动植物的名称。前六篇主要包括野生的植物和动物，最末一篇主要讲家养动物。从它的篇目排列次序来看，反映了当时人们对于动植物的分类认识，就是分植物为草、木二类，分动物为虫、鱼、鸟、兽四类。这是我国古代劳动人民对动植物分类的朴素、自然的认识。

这一朴素的分类方式，追溯它的起源，由来已久，流传也比较广。

根据殷墟甲骨卜辞中有关动植物名称的文字来考察，可以清楚地看到，四千多年前，人们在长期的农牧业生产实践中，就已经把某些外部形态相似的动物或植物联系起来，以表示这类动物或植物的共同性；把某些外部形态相异的动物或植物相比较，以表示它们之间的相异性。例如，犬()和狼()都从犬形，表示犬、狼的外部形态特征相似，同属犬类；豕()、彘(野猪)都从豕形，表示野猪的外部形态和猪相似，同属猪类。至于犬和猪的外部形态，基本相似，所不同的是犬的躯体瘦小，而猪的躯体肥硕，表明犬和猪同属一大类，但是并不同属一小类。这基本上是符合客观实际的。其他如鹿、麋、麕等，都从鹿形，表示它们同属鹿类。如果再把甲骨文中有关兽类名称的文字，如牛、羊、马、犬、狼、豕、彘、鹿、麋、虎、豹、象等字，加以分析，就不难看出，这些字形的共同特征都显示了这些动物有“四足”这一外部形态，表明它们同属兽类。

又如：雉、鸡、雀、凤(指繁体字)等文字，都从隹(鸟)形，有羽翼，表示它们同属鸟类。因此，可以认为，这是《尔雅》中所反映的“四足而毛谓之兽，二足而羽谓之禽”这一概念的起源。

甲骨文中有关虫类名称的字形不多，但是仍然反映人们对虫类的分类认识。例如，虫、蚕都从虫形，表明它们同属虫类。也许当时人们对各种鱼类还没有严格的区分，因此，在甲骨文中没有反映各种鱼类名称的文字。各种鱼类都用 形来表示，以示它们同属一类。所以，我们说，在甲骨文中，已经有了虫、鱼、鸟、兽的分类认识的雏型。

谷类植物都是草本，生长期短，适宜于农业栽培，是人们生活资料的主要来源之一。甲骨文中有关谷类名称的有：禾()、秫()、麦()、黍()等，都从禾形，表明它们同属一类，都是草本植物。木类名称有：杜()、柏()、桑()、栗()等，都从木形，表示它们同属木本植物。这些都是古代传统分类认识分植物为草本和木本二类的起源。

由此可见，《尔雅》中的分篇，正是应用了这一古老的传统分类方式。从每篇所包含的具体内容来看，清楚地表明，人们对每一类的分类认识是相当明确的。

《释草》中所包含的一百多种植物名称，都是草本植物；《释木》中的几十种植物名称，都是木本植物。这说明人们把植物分为草本和木本二类，和现在分类学的认识基本一致。

《释虫》所包含的八十多种动物名称中，绝大多数是节肢动物，其余是软体动物。因此，虫类相当于现在分类学上的无脊椎动物。

《释鱼》所列举的动物名称有七十多种，种类比较复杂，其中以鱼类为主，其次是两栖类、爬行类、节肢动物、扁虫类和软体动物。如果按照《尔雅》中“有足谓之虫，无足谓之豸”的概念，把节肢动物、扁虫类和软体动物归入虫类，那么《释鱼》所包含的动物相当于现在分类学上的鱼类、两栖类和爬行类(龟、鳖)，也就是所谓凉血动物。

《释鸟》列举的动物大约九十多种，除蝙蝠、鼯鼠应列入兽类外，其余都属鸟类，大致相当于现在分类学上的鸟类。

《释兽》列举的动物名称大约有六十多种，都属兽类，和现在分类学上的兽类同义。

因此，这一古老的传统分类方式，基本上反映了自然界的客观实际。

分动物为大兽和小虫

人们在虫、鱼、鸟、兽古老的传统分类认识的基础上，又进一步把动物概括为大兽和小虫两大类。这是我国古代动物分类认识的又一发展。它最早反映在春秋末年齐国记录的官书《考工记》中。

《考工记》的内容，主要记述当时手工业生产技术的知识，是我国现存记述古代科技的重要文献典籍。书中有一段记载说，“梓人”(木工)制造乐器架子，为了使“笋”(悬挂成组乐器的横梁)，“ ”(整个乐器架子的支柱)壮丽美观，便根据它们的结构用途，选择一些动物形象作为造型艺术题材。接着又说：“天下之大兽五：脂者、膏者、 者、羽者、鳞者。”脂、膏二类作为宗庙祭祀用牲。 、羽、鳞三类作为笋 的造型题材。至于“小虫之属”，就作为雕刻的艺术题材。这些记载反映了古代的动物分类认识：分动物为大兽和小虫两大类，而大兽又分为脂、膏、 、羽、鳞五类。

脂、膏二类既是供宗庙祭祀的用牲，显然是从实用观点出发来识别动物种类的，这和以动物的外部形态特征作为分类依据是相违背的，不能反映人们对大兽分类认识的本质。

根据和《考工记》差不多同时期的《周礼·地官》、《管子·幼官篇》、战国末期的《吕氏春秋·十二纪》和汉初的《淮南子·时则训》中的有关记载，充分表明，大兽所包含的五类动物不是别的，而是羽、毛、鳞、介、

。羽、毛、鳞、介、的分类认识，虽然受到早期“五行说”的一定影响，但是它仍然是以动物的外部形态特征作为主要依据的。尽管《考工记》中对、羽、鳞三类动物只是雕刻造型艺术的形象描述，但是由于它是以此三类动物的形象作为题材，因此，在一定程度上也能反映客观存在。

羽，这类动物的形态特征是“体被羽毛”。《考工记》的描述是：锐喙决吻，细目短（颈），小体寡腹。这是鸟类的形象。因此，“羽属”实际上是古老的传统分类中的鸟类。

鳞、介二类是从古老的传统分类的鱼类中分化而来的。鳞，是因它“体被鳞甲”而得名的。一般是指鱼类和爬行类。《考工记》中“小首而长，转身而鸿”，正是“鳞”的形象描述。

介，是传统分类认识中鱼类的另一部分，就是龟鳖类。这类动物的躯体包裹在骨甲(介)里面，古人称它为介兽。

毛，古人往往把虎、豹、貔、之类的动物称为毛兽，也是因为它们“躯体被毛”的缘故。这类动物实际上是传统分类认识中的兽类。

至于属，根据大量事实，我们认为是指人类，相当于现在分类学上的人科。在古人看来，人的体外没有羽、毛、鳞、介等附属物，所以称为“”，意思是裸体的，就是人。古人也有称人为“”（见《淮南子》）的。所谓（同）就是指人的汗毛。所以，称人为“”比称人为“”比较合理一些。

综上所述，羽、毛、鳞、介、这五类动物，既然是指鸟类、兽类、鱼类和爬行类、龟鳖类、人，而这些动物在现在分类学上都同属脊椎动物，因此“大兽”的含义自然也 and 现在分类学上的“脊椎动物”一词同义。

“小虫之属”，据《考工记》说：“外骨、内骨，却行、仄行、连行、纡行，以鸣者、以注鸣者、以旁鸣者、以翼鸣者、以股鸣者、以胸鸣者，谓之小虫之属。以为雕琢。”这些雕刻艺术造型的描述，是以动物的外部形态结构、行动方式以及发声部位来区分的。这是些什么动物呢？一时很难弄清楚。比如，节肢动物的体外有几丁质的外壳，软体动物的体外也有石灰质的贝壳，都可以算是“外骨”。软体动物中的头足类，体内也有软骨的特征，可以算是“内骨”。连贯而行除鱼类外，蚁类也是连贯而行的。所谓“鸣”，是指两物交错摩擦成声的意思，这种现象在某些昆虫中是存在的。它们中有的以两翅摩擦成声，有的以翅和股摩擦成声，等等。明代李时珍曾经正确地指出，小虫是有别于大兽的动物，说“虫乃生物之微者，其类甚繁。……其物虽微，不可与鳞、凤、龟、蛇为伍。”因此，“小虫之属”所包含的内容，实际上是古老的传统分类中的虫类，相当于现在分类学上的无脊椎动物。

两千年前，人们把动物分为大兽和小虫。大兽相当于现在分类学上的脊椎动物，小虫相当于现在分类学上的无脊椎动物。这是我国古代传统分类认识的一次飞跃。

比较细的动植物分类认识

人们在生产实践中，不仅在动植物的大类方面积累了宝贵的分类知识，而且，对于动植物还有进一步的比较精细的分类。比如，从古到今的

习惯用语上，有“杨柳”、“松柏”、“桃李”、“牛羊”、“虎豹”、“豺狼”等合二名为一词的，就表现了分类上的意义。这些习惯用语，看来似乎很平常，但是，如果没有正确的观察和认识，是不会这样说的。这样的认识和现在的动植物分类学基本上是一致的。

《尔雅》中也表现了这样的动植物分类认识。《尔雅》中的动植物名称，在排列上是略有顺序的，从它的排列顺序，不难看出古代比较精细的分类认识。

比如葱蒜类，《释草》中说：“藿，山韭。茗，山葱。 ，山（同薤——引者注）。蒿，山蒜。”把山韭、山葱、山薤、山蒜等植物名称排列在一起，表明它们是一类的。而韭、葱、薤、蒜等植物，在现在的分类学上认为是同一属的，称葱蒜属。

又如栲栳类，《释木》中说：“栲，赤栳；白者栳。”显然，把栳分为赤、白二种，自然是把栲和栳看作一类。根据郭璞(276 - 324)注解，赤栳树，“叶细而歧锐，皮理错戾，好丛生山中，中为车輶。白栳，叶圆而歧，为大木。”郭璞所说栳树的叶形和现在的槭属相同，反映我国古代已经有“槭树属”的概念。其他如桃李类、松柏类、桑类、榆类、菌类、藻类、棠杜类等等，不一而足。

同样，在动物方面也是这样。例如蝉类，《释虫》中把蛎(蝉)、蛎(蝉的一种)、蠶(“似蝉而小，青色”，可能是炤燎，蝉的一种)、蝻(一种大蝉，可能就是茅蛎)、蛎(色黑而赤，可能就是寒蝉)等动物名称排列在一起，表示它们同属一类。这些不同种类的蝉，在现在分类学上属同翅目蝉科。又如甲虫类，《释虫》中说：“蜻蛚，蛚娘。蛚，蛚。蛚，蛚桑。诸虑，奚相。蛚蛚，渠略。蛚，蛚蛚。蛚，蛚父，守瓜。”把这些名称排列在一起，显然是认为它们同属一类。蛚蛚，“黑甲虫，噉粪土”，就是现在的蛚娘，属鞘翅目金龟子科。蛚又名蛚，“木中蠹虫”，这是一种甲虫的幼虫。蛚，一名蛚桑，“似天牛，角长，体有白点，喜蛚桑树，作孔入其中，”可能是现在的蛚桑，属鞘翅目天牛科。诸虑，郝懿行(1755 - 1823)以为和蛚桑同类，是甲虫的一种。蛚蛚，“似蛚蛚，身狭而长，有角，黄黑色，丛生粪土中，朝生暮死，猪好啖之，”可能是属鞘翅目金龟子科的一种，名叫双星蛚或角蛚。蛚，一名蛚蛚，郭璞注：“甲虫也，大如虎豆，绿色。今江东呼为黄蛚”，当是现在的金龟子，属鞘翅目。蛚，又名守瓜。“今瓜中黄甲小虫，喜食瓜叶。故曰守瓜。”现在仍然叫守瓜，是金花虫一类的昆虫，属鞘翅目金花虫科。

古人把这些甲虫排列在一起，列为一类，可知他们已经有甲虫类的概念。甲虫在现在分类学上是鞘翅目的总称。

《尔雅》中所反映的比较细的动物分类，还有蚁类、蜂类、蚕类、贝类、麋鹿类、虎豹类、蛇类、鱼类、雉类、蛙类、鸱枭类等等。

值得重视的是，《尔雅》中还出现了“属”的分类概念。在《释兽》、《释畜》篇中，有“寓属”、“鼠属”、“鼯属”、“须属”、“马属”、“牛属”、“羊属”、“狗属”、“豕属”、“鸡属”等名称。从各属所包含的内容来看，这里的“属”，和现在分类学上“属”的定义不尽相同。比如，“马属”所包含的动物有马、野马；也有騊、騊駼等良马；还有按毛色变异的不同而有不同名称的马达四十种之多：大抵是家马和野马两类，相当于现在分类上的马科。“鼠属”所包含的动物十多种，大多属现

在分类上的啮齿目，其次是食虫目(鼯鼯)、食肉目(鼬)。鼯鼯和鼬之所以列入鼠属，是因为它们外形跟鼠相似。其他如“鸡属”，基本上和现在分类学上的雉科同义。

综上所述，我国在三四千年前，就已经出现了古老的传统分类认识——有了草、木、虫、鱼、鸟、兽的区分；以后人们在这一分类认识的基础上，又把动物分为大兽和小虫两大类，而大兽包含羽、毛、鳞、介、羸五类。这是我国古代劳动人民的智慧结晶，是我国生物学史上的一份宝贵遗产。

这一古老的分类认识，一直是我国古代分类学的基础。三国时期陆机(261 - 303)注释《诗经》中的动植物知识，就直接用草木虫鱼鸟兽作为书名，称为《毛诗草木虫鱼鸟兽疏》，这不是偶然的事。直到明代，李时珍把动物药品分为虫、鳞、介、禽、兽、人等类，基本上还是承袭了《考工记》中所反映的分类方式，但是在排列次序上却表现了动物由低级到高级的发展顺序。这又是一大进步。

拙作《我国古代的动植物分类》一文，载《科学史文集》第四辑第51页，有“我国古代动植物分类示意表”，现在略作改动，附在这里，作为本文的总结。

《周礼·地官》中的反映 《考工记》中的反映 甲骨文和《尔雅》中反映的传统分类认识 《周礼·地官》、《考工记》、《管子·幼官》、等著作中的反映 《淮南子·坠形训》中的反映 《尔雅》中反映的较细的分类

生物 植物 草类(草本植物) 丛物(藿、苇之属) 苹草(藻类) 菌类、藻类、竹类、葱蒜类.....膏物(莲、芡之属) 草

木类(木本植物) 荚物(芥、荚、 之属) 松柏类、桃李类、棠杜类、桑类、榆类、 类，.....覆(核)物(李、梅之属) 早物(、栗之属)

动物 小虫(无脊椎动物) 虫类 蝉类、甲虫类、蚁类、蜂类、蚕类..... 大兽(脊椎动物 鱼类 鳞物(鱼类、蛇类 鱼类、贝类、蚌类、龟类、蛇类、..... 介物(龟整类)

鸟类 羽物(鸟类) 雉类、鸱梟类、.....

兽类 毛物(兽类) 鹿类、虎豹类、猿类、牛类、马类、犬类、羊类、.....

物(人)

我国古代动植物分类示意表。

中国古代关于遗传育种的研究

中国科学技术大学 张秉伦

我国是世界上最大的动植物起源中心之一。很多家养动物和栽培植物是我国古代劳动人民从野生动植物驯养和培育出来的。不仅这样，许多世纪以来，我国古代劳动人民还通过改良营养条件、人工选择、杂交育种等实践和研究，创造性地培育了大量的动植物优良品种，积累了极其丰富的遗传育种知识。

古代对遗传性和变异性的认识

遗传和变异是生物界的普遍现象。生物的进化过程，就是遗传和变异对立统一的过程。如果只有遗传，没有变异，那就没有进化发展了。但是如果只有变异，没有遗传，下一代将会和上一代面目全非，物种就不能保持相对的稳定性。遗传育种正是在遗传和变异基础上进行的。

所谓“种瓜得瓜，种豆得豆”和“类生类”等，讲的就是遗传现象。汉代王充在《论衡·奇怪篇》中说：“万物生于土，各似本种，……物生自类本种”；又在《物势篇》中说：“种类相产”。就是说物种具有相对的稳定性，因而能够“类生类”。他在《初稟篇》中还说：“草木生于实核，出土为栽蘖，稍生茎叶，成为长短巨细，皆由实核。”指出草木从萌发到生长发育，表现出各种性状，都是由种子决定的，也就是由上一代遗传性决定的。我国古代人民很早就从这种普遍的遗传现象中，认识到各种生物都存在遗传性。古籍中有很多关于生物的“性”、“本性”或“天性”的记载，认为生物种类不同，本性也不一样。其中有一大部分讲的就是遗传性。并且认识到遗传性和生活条件有密切的关系。因此在生产中，必须“适其天性”，而不能“任情返道”，必须“顺物性，应天时”，满足生物的生活条件，才能得到好的栽培或饲养的结果。

但是，遗传性并不是一成不变的，我国古代早就认识到生物具有变异性。王充在《论衡·道虚篇》中说：“万物变化，无复还原”，说的就是变异性。古代人民并且认识到变异是普遍发生的，这可以从古代对由于变异而形成的不同品种的认识来说明。《诗经·鲁颂·閟宫》载：“黍稷重穋，稊稷薿麦”，这里“重”通“穋”(tóng)，指后熟，“穋”(lù)通“稊”，指先熟，“稊”(zhí)指先种，“稊”指后种，说明当时已能区别成熟期不同的品种；此外《鲁颂·駉》还举出了十六种不同毛色、外形的马。北魏贾思勰在《齐民要术·种谷》中说：“凡谷成熟有早晚，苗秆有高下，收实有多少，性质有强弱，米味有美恶，粒实有息耗。”描述了谷子不同品种的成熟期、形态、品质、产量和出米率各不相同的特性。宋代刘蒙《菊谱》中不仅记载菊花三十五个品种，而且论述了菊花品种的演变规律：“花大者为甘菊，花小而苦者为野菊，各种园圃肥沃之处，复同一体，是小可变为甘也，如是则单叶变为千叶亦有之矣”。他还引陈藏器的话说：“白菊生平泽，花紫者白之变，红者紫之变也。此紫所以为白之次，而红所以为紫之次云。”明代宋应星在《天工开物》“黍稷粱粟”一节中说：“种类甚多，相去数百里，则色味形质随方而变，大同小异，千百其名。”明

夏之臣《评亳州牡丹》中，所谓“具种类异者，其种子忽变者也”是对“突变”的认识。反映了古代对于变异普遍性的认识。

至于变异的原因，今天我们知道，营养条件、理化和生物因素等等，都可以引起变异的发生。我们的祖先虽然不可能像我们今天这样认识深刻，但是他们已经认识到环境条件的改变和实行嫁接可以产生变异。宋代王观在《扬州芍药谱》中说：“今洛阳之牡丹，维扬之芍药，受天地之气以生。而大小深浅，一随人力之工拙而移其天地所生之性，故异容异色间出于人间。”又说：“花之颜色之深浅与叶蕊之繁盛，皆出于培壅剥削之力。”明代李时珍《本草纲目》中引苏颂的话说：牡丹“近世人多贵重，欲其花之诡异，皆秋冬移接，培以粪土，至春盛开，其状百变。”这说明通过改变营养条件、嫁接等可以导致变异的产生。

尤其可贵的是我国古代已经知道变异是形成新生物类型的材料。宋代刘蒙在《菊谱》中描写了三十五个菊花品种以后，有这样一段精采的评论：“余尝怪古人之于菊，虽赋咏嗟叹尝见于文词，而未尝说其花怪异如吾谱中所记者，疑右(当作“古”——引者注)之品未若今日之富也。今遂有三十五种。又尝闻于蒔花者云，花之形色变易如牡丹之类，岁取其变以为新。今此菊亦疑所变也。今之所谱，虽自谓甚富，然搜访有所未至，与花之变异层出，则有待于好事者焉。”值得注意的是，这里真实地反映了栽花人的宝贵经验，如牡丹之类花的形色经常在变异，只要年年选取有变异的，保存它的变异，就可形成新的生物类型。刘蒙据此推测，丰富多采的菊花品种也是通过对变异的选择而形成的。明代袁宏道(1568 - 1610)《张园看牡丹记》中说：张元善“每见人间花实，即采而归，种之二年，芽始茁，十五年始花，久则变而为异种。”

这些以变异为材料可以实现由少数类型到多数类型的思想，不仅可以直接指导生产实践，而且也反映了我国古代已经具备了生物进化的观念。

关于人工选择的应用和研究

我们的祖先，不仅认识到变异的普遍性和它同环境条件的关系，而且认识到人类可以利用变异作为材料，通过人工选择来培育新品种。人工选择的实质，就是淘汰那些不符合人们需要或嗜好的变异的个体，让那些具有符合人们需要或嗜好的变异的个体留传后代，这样经过长期的去劣留良的选择作用，符合人们需要的新的生物类型就形成了。自古以来，我国勤劳智慧的劳动人民在生产实践中，充分利用变异作为材料，广泛地采用存优汰劣的留种和选种技术，创造了无数的优良品种，为人类作出了贡献。我国栽培植物和饲养动物，尤其是花卉、家蚕和金鱼等品种之多，是别的国家不能相比的。

选择的方法也是多种多样的。农作物穗选法的详细记载见于公元前一世纪西汉后期的《汜胜之书》，书中说：“取麦种，候熟可获，择穗大强者”收割下来，成束晒干，收藏好，“顺时种之，则收常倍”。到北魏，《齐民要术》中关于人工选择的记载就更多了，在猪、羊、鸡、蚕和黍、粟、稷、秫等家养动物和栽培作物中，普遍地应用人工选择的方法来选育新品种。宋代还有芽变选择的记载，欧阳修(1007 - 1072)在《洛阳牡丹记》中说，牡丹“潜溪红”这个品种，“本紫花，忽于丛中特出绯者一二朵，

明年移在他枝，洛阳谓之转枝红”。这是芽变选择在育种上的具体应用。现在知道，芽变是植物体细胞的突变，是可以遗传的。明代王象晋《群芳谱》记载：牡丹“善种花者，须择种之佳者种之，若事事合法，时时着意，则花必盛茂，间变异品，此则以人力夺天工者也。”这说明花卉也须择种之佳者种之，而且要和合理的栽培措施、精心管理结合起来。在金鱼人工选择方法中，不仅采取汰劣留良的方法，而且采用隔离饲养，从中找出合适的金鱼让它们交配，来选育为人们所喜好的新品种。《朱砂·鱼谱》(公元1596年)中说：“蓄类贵广，而选择贵精，须每年夏间市取数千头，分数缸饲养，逐日去其不佳者，百存一二，并作两三缸蓄之，加意培养，自然奇品悉备。”《金鱼图谱》(公元1848年)中，更进一步记载了创造性的人工选种和育种的方法：“咬子时雄鱼须择佳品，与雌鱼色类大小相称。”就是说，在金鱼雌雄交配的时候要精选种鱼，有意识地进行育种。这样精心选择，隔离培养，选择具有相似变异的雌雄个体进行交配，可以使符合人们需要或嗜好的变异积累起来，形成新的品种。可见我国早在达尔文(1809-1882)之前，选育良种已经达到了相当高的水平。所以达尔文曾经系统地描述了中国关于金鱼人工选择的过程和原理，并且说：“中国人曾经运用这些相同的原理于各种植物和果树上。”他在《物种起源》中还说：“如果以为选择原理是近代的发现，那就未免和事实相差太远，……在一部古代的中国百科全书中已经有关于选择原理的明确记述。”

现代常用的两种选种方法——混合选择法和单株选择法，在我国古代也是相当突出的。

混合选择法，就是根据育种的目的，每年按照一定的经济目的，从大田或留种地中，选出一定的优良植株，经过复查，去掉不良植株，把全部优良植株混合脱粒、混合贮藏和播种，并且和原品种以及标准品种进行比较。这样经过连续几年的选择，就可以从混杂群中选出性状一致的优良品种。我国劳动人民继西汉创用穗选法以后，到了北魏，混合选择法已经达到相当高的水平。《齐民要术·收种》中详细地记载了这一方法：“粟、黍、稷、粱、秫，常岁岁别收，选好穗色纯者，剉刈高悬之。至春，治取别种，以拟明年种子。其别种种子，尚须加锄，先治而别埋，还以所治穰草蔽窖。”意思是说：粟等五谷，要年年选种，把好的穗子割下来，悬挂高处，来年春天单独种在特设的留种地里，精心培育，准备作为一年的种子。为了避免和其他种子混杂，要先处理，收藏好，收藏种子的洞口，要用脱粒后的原穰草掩盖。这种和近代混合选择法十分近似的方法，在选种史上比德国选种家仁博于1867年改良黑麦和小麦使用的混合选择法要早一千三百多年。明代耿荫楼在《国脉民天》一书中记载的选种方法和现在的混合选择法，几乎没有什么区别了。

单株选择法，是用一个具有优良性状的单株或单穗选育新品种的方法。这在我国清代康熙年间(公元1662年到1722年)就已经相当普遍地应用了。例如，据《康熙几暇格物编》上册记载，康熙年间乌喇劳动人民曾经发现“在树孔中忽生白粟一科”，不同于一般粟子，后用这棵白粟播种，“生生不已，岁盈亩顷，”终于选育出味既甘美、性复柔和而高产的优良品种。康熙获得这一良种后，又叫人在山庄里进行试验，果然发现这种良种“茎干、叶、穗较他种倍大，熟亦先时，”而且用来制做食品，“洁白如糯米，而细腻香滑殆过之”。这是目前所了解的关于单株选择的比较早

的记载。其实单株选择法可能在这之前很早就有了。《康熙几暇格物编》上也说：“想上古之各种嘉谷或先无而后有者，概如此，可补农书所未有也。”

康熙还运用劳动人民创造的单株选择法，选育成功了一种“早熟”、高产、“气香而味腴”的水稻优良品种——“御稻”。《康熙几暇格物编》下册记下了这个选育过程：“丰泽园中，有水田数区，布玉田谷种，岁至九月，始刈获登场。一日循行阡陌，时方六月下旬，谷穗方颖，忽见一科，高出众稻之上，实已坚好，因收藏其种，待来年验其成熟早否。明岁六月时，此种果先熟。从此生生不已，岁取千百，四十余年以来，内膳所进，皆此米也。其米色微红而粒长，气香而味腴，以其生自苑田，故名御稻米。”由于用单株选择法选育成功的“御稻”生长期短，成熟早，既适于关外无霜期比较短的地区种植，又适于南方一年两熟。因此在康熙五十四年(公元1715年)推广到江浙一带，“令民种植”，第一年就在苏州地区获得一年两熟的成功，第二年在总结经验教训的基础上，又和对照田进行对比试验，结果“御稻”两季亩产共五石二斗，比对照田每亩多收一石三斗。四年以后，每亩两季最高达到六石八九斗，相当于原对照田的一·七倍，增产效果明显。后来推广到安徽、江西等地，都获得好收成。可见“御稻”的单株选择是十分成功的。它比现代选种史上维尔莫林在1856年开始的甜菜单株选择要早一百多年。

杂交育种和杂种优势利用

人工杂交是人工创造生物新类型的一种方法。通过杂交形成的新种(或品种)，可以把两个或两个以上亲本的优良性状结合起来，成为一个具有更高生产性能和更能抵抗不良环境的新的生物类型。杂交分有性杂交和无性杂交，这两种方法在我国古代的应用都是相当突出的。

骡子是利用杂种优势的典型例子。现在人们把母马配公驴生的骡子叫马骡，古代叫“羴”(yíng)，把母驴配公马生的骡子叫驴骡，古代叫“馱騃”(jué tí)。我国早在春秋时期就记载了赵简子有两个骡子。屈原(约前340 - 约前278)楚辞中也有骡子的记载。说明我国至少在春秋时期就有了马和驴的杂种，异种间可以杂交产生新种早就为我国劳动人民在生产实践中运用了。汉代曾引进过很多大宛马来改良中国的马种。

《齐民要术·养牛马驴骡》关于马驴杂交和杂种优势的记载就更清楚了：“羴：驴覆马生羴则难。常以马覆驴，所生骡者，形容壮大，尔复胜马。”《新唐书·兵制》记载有“既杂胡种，马乃益壮”，反映了当时对于杂种优势的认识。《本草纲目》中说“骡大于驴，而健于马”，方以智的《物理小识》卷十中说“骡耐走，不多病”，等等。马和驴杂交产生的杂种——骡，结合了马和驴的优良性状，而胜于马和驴。它从马那里得到体大、快跑、力大、活泼等优点，又从驴那里得到步伐稳健、不易激动、忍耐力强、耐粗饲的特点。因此，既适宜于载重走险路，又适宜在农村干搬运工作。到目前为止，像骡这样有用的种间杂种，在家养哺乳动物中还是少见的。而我国劳动人民早在二千多年前，就利用种间杂交，获得了杂种优势明显的骡。直到今天，这种杂交育种还在生产实践中广泛地应用。

《天工开物》中还记载了家蚕不同品种之间的杂交试验：“凡茧色唯

黄白两种。川、陕、晋、豫有黄无白，嘉湖有白无黄。若将白雄配黄雌，则其嗣变成褐茧。”又说：“今寒家有将早雄配晚雌者，幻出嘉种，一异也。”可见明代我国劳动人民已经广泛地应用品种间的杂交，并且得到了兼有双亲优点的“嘉种”。

无性杂交的嫁接技术，也是我国首创的。在我国，嫁接技术究竟什么时候开始，现在还没有定论。靠接法的记载见于《汜胜之书》：先种瓠十棵，等长到二尺左右，“便总聚十茎一处，以布缠之五寸许，复用泥泥之，不过数日，缠处便合为一茎，留强者，余悉掐去，引蔓结子。”由于十棵瓠根吸收的养料供给一棵瓠子的地上部分生长发育，结果得到硕大丰满的果实。

汉以后嫁接技术发展到不同种的植物之间的嫁接。《齐民要术》中，就有利用不同种的树木进行嫁接来提早果树结实和改良品质的记载。比如梨的嫁接，可以用棠树或杜树做砧木，用梨树苗作接穗，梨结得大而细密，证实嫁接繁殖比实生苗繁殖又快又好；而且还研究了接穗因采用的部位不同，跟结果早迟和树形好坏直接相关。到金元时期，据《务本新书》记载，当时已经有身接、根接、皮接、枝接、盾接和搭接等六种嫁接方法，应用于桑树嫁接。关于嫁接的作用和原理，在我国古代也有一定研究，《务本新书》中已经认识到“一经接博(通“缚”——引者注)，二气交通，以恶易美，以彼易此，有不胜言者矣。”陈淏子(扶摇)《花镜》中说：“凡木之必须接换，实有至理存焉。花小者可大，瓣单者可重，色红者可紫，实小者可巨，酸苦者可甜，臭恶者可馥，是人力可以回天，惟在接换之得其传耳。”嫁接时间宜在春分前秋分后，因为这时候皮层比较容易分离，树液流动旺盛。

解放后，我国广大劳动农民和科技人员继承我国古代关于遗传育种的科学遗产，广泛开展人工选择和杂交育种的科学实验，为发展农业生产作出了贡献。

中国古代认识和利用微生物的成就

微生物研究所程

光胜 门大鹏

微生物，顾名思义，是指那些微小的、靠肉眼难以看到或看清的生物，一般包括病毒、细菌、放线菌和真菌(又分酵母菌和霉菌)四大类。因为它们个体很小，在显微镜发明之前，人们并未直接认识到这些生物的存在。但是事实上，从人类开始出现，就在许多方面和它们打交道，在利用有益微生物和防除有害微生物方面，不断地积累经验。

几千年来，我国劳动人民在认识和利用微生物方面，有过许多重大发明创造；在中华民族的文明宝库中，它们像一颗颗晶莹的明珠，放射着中国人民聪明才智的光辉。

在这里，我们打算谈谈我国古代在和工业、农业有关的微生物学方面的某些重大成就。

独具一格的制曲和酿酒

根据历史记载，我国酿酒历史至少有四五千年。殷墟出土的商代甲骨文中，有和现代汉字形体相似的“𩚑”字。在殷墟中发现的酿酒作坊遗址，证明早在三千多年前，我国的酿酒事业已经相当发达。

用谷物酿酒，须经过把淀粉分解成葡萄糖(糖化)、再把葡萄糖转化成酒精和二氧化碳(酒精发酵)两个主要过程。记叙殷商历史的书籍中，有“若作酒醴，尔惟曲蘖”(《尚书·说命下》)的字句，说明当时酿酒已经用了长微生物的谷物(曲)和发芽的谷物(蘖)。但是，在汉代以前，酿酒已经只用曲了。当时，由于制曲的时候利用了某些有利条件，曲中应该大量含有混杂生长着的霉菌和酵母，分别起着糖化和酒精发酵的作用。用这种曲酿酒，可以使酿酒的糖化和酒精发酵两个过程连续而又交叉地进行。今天称这种方法叫复式发酵法。这是我国劳动人民在酿酒工业中的一大发明。我国出产的风味别致、驰誉世界的黄酒“善酿”和白酒“茅台”，都是复式发酵法不断发展中产生的名酒。古代西方用麦芽酿成啤酒。直到今天，西方各国主要的谷物酒仍然是用麦芽糖化、再加入酵母进行酒精发酵制成的(例如威士忌酒、伏特加酒等)。十九世纪末，欧洲人在研究了我国的酒曲后，才知道我国这种独特的方法，把它称作“淀粉发酵法”。

《礼记·月令·仲冬篇》中，提出过六个酿酒要素，大意是：用的谷物必须备齐，曲蘖生产必须及时，浸谷蒸饭必须清洁，用水必须清澈无味，陶器必须精良，温度控制必须得当。在《周礼》卷五《天官冢宰下》中还有“五齐”、“三酒”等酒名的记载。我们可以认为，“五齐”是指酿酒过程中的五个阶段，“三酒”是发酵成的不同类型的几种酒。这充分表明，早在三千年前，对曲蘖酿酒的观察已经很周到，对曲中微生物的生长发育规律已经有一定认识，酿酒技术已经相当进步了。

东汉末，曹操(155 - 220)曾经向皇帝上疏提出一种“九酝酒法”，也就是连续投料的方法。这样可以防止由于糖度过高抑制发酵，酿成的酒自然更加醇厚了。直到今天，我国江浙一带的加饭酒，仍然采用这种方法制造。应当指出，两千年前总结过的这种方法，和今天发酵工业中连续投料

或在发酵过程中多次追加原料(就是流加)的方法，所依据的原理是相同的。

从有关制曲酿酒的我国古籍中还可以见到，在很早以前，我国就已经有了许多发酵技术方面的创造，如用酸浆调节发酵，加热杀菌以防止酒变质，加蜡或加油消除泡沫等。

在制曲酿酒方面，特别应该提到红曲。这是我国劳动人民的一项重大发明。据历史记载，红曲的出现不会晚于公元十世纪。宋代诗人曾经有过“夜倾闽酒赤如丹”的诗句，可见用红曲酿成的酒，在宋代已经相当普遍了。在长期生产实践中，人们学会了用明矾处理大米使它维持酸性、分期加水调节通气量和时摊时聚调节温度等特殊手段，使具有耐酸、耐热、耐缺氧特性、兼具糖化和酒精发酵能力的红曲霉能够长透大米粒内外，这充分显示了当时培养微生物技术的高超。红曲是我国特产，不仅可以酿酒，又是一种无害的食品染料，并且可以作药用。

用曲治病，早在春秋时期就有记载。如《左传》载，鲁宣公十二年(公元前 597 年)申叔展问还(xuán)无社：“有麦曲乎？曰无。叔展曰：河鱼腹疾，奈何？”但是专门生产药用曲的记载，首先见于南北朝时期的梁代(公元 502 年到 557 年)的《春秋纬》一书，书中说道：“麦阴也，黍阳也。先浸曲而投黍是阳得阴而沸。后世曲有用药者，所以治疾也。”明代已经把药用曲特称“神曲”。今天，神曲仍是民间常备的一种消食、行气、健脾、养胃的药物。

在制曲技术发展的漫长过程中，还分化出专用于酿醋、制酱和腌制食品的各类曲。

酿醋是使酒精进一步氧化成醋酸，在西方是以酒作原料进行醋酸发酵而成的。《周礼》卷六中有“醯人”的记载，“醯”是当时的醋，说明至少在两千五百年前，我国就知道制醋了。到南北朝后期(公元六世纪)，已经有用谷物作原料固体发酵酿醋的萌芽，后来就全用谷物直接酿醋了。用谷物固体发酵酿醋，是我国酿醋方法的特点，由于曲中微生物种类多，使醋中除醋酸外，还有像乳酸、葡萄糖酸等有机酸，因而醋的风味更好。

制酱，是利用曲中微生物产生的蛋白酶，把豆类、肉类等食品中大量含有的蛋白质分解成氨基酸等水解产物。这是我国首创的。据《周礼》卷四记载的“膳夫掌王之食饮膳羞，……酱用百有二十瓮”一语，可知酱大致也是在两千五百年前出现的。日本木下浅吉所著《实用酱油酿造法》中说：“天平胜宝六年，唐僧鉴真来朝，传来味 制法。”“味 ”就是酱。天平胜宝六年是公元 755 年，鉴真(688 - 763)于唐天宝十二年(公元 753 年)东渡日本，可见日本的制酱方法是在那时由我国传去的。

随着制曲技术的发展，人们对微生物活动的认识越来越深入，观察也越加仔细了。

我国古代已经有不少观察微生物活动的记录，有些方法和近代微生物学所采用的方法相接近。因此，曲的质量不断提高，种类增多，用途也日趋专一。

例如，早在周代，王后穿的黄色礼服叫做曲衣，这说明当时的曲中黄曲霉已经占显著优势，使曲呈现美丽的黄色。

东汉时代，有些酿酒方法中，用曲量已经由原来的百分之几十降低到百分之几，这表明曲的用途已经由糖化发酵剂变成使所需微生物繁殖的菌

种了。如果曲中的微生物不是相当纯，就难以保证酿酒的成功。

晋代已经有曲中加入中草药的记载，如嵇含著《南方草木状》记载两广的制曲方法：“杵末粉杂以众草叶，治葛汁，搜之大如卵，置蓬蒿中，经月而成，用者合糯为酒。”由于中草药里含有某些有助于微生物生长的维生素等，曲中的微生物能长得更好，酿出的酒也具有特殊风味。

北魏时代，曲的形式已经几乎全部是成块的“饼曲”了。这种曲，外面有利于曲霉生长，内部却有利于根霉和酵母的繁殖。

到宋代，已经知道制曲的时候把优良的老曲涂在培养前的生曲表面，所谓“传醅”的方法。这类似于今天的接种操作，曲的质量就更加容易保证了。

正是通过千百年来选育，我国的曲中有许多生产能力极强的菌种。例如小曲中的根霉，它的糖化力之强是罕见的。

北魏贾思勰著的《齐民要术》一书，是完整地保存下来的一部杰出的古代农业科学著作。在微生物学方面，这部书也有丰富的内容，它记录了我国当时农业和农村手工业中应用微生物知识的许多重要史实，有些还上升为比较系统的规律性认识。在微生物学发展史上，它是一部重要经典。例如，在书中提出，曲成熟的标准，应该是曲中长满了各种菌，所谓“五色衣成”；把醋酸的形成和醋酸菌形成的膜(衣)联系起来，并且意识到了“衣”是有生命的物质。书中还指出，白醭(很可能是糙膜酵母形成的膜)对酿醋是有害的。贾思勰用“鱼眼汤沸”这样生动的语言，描述了酒精发酵的时候二氧化碳释放的现象。还应当指出，书中把制酱用的以麦粒制成的曲(黄衣)、面粉制成的曲(黄蒸)和发芽的谷物()放在一起列作一章来论述，表明当时已经意识到这三者之间的内在联系。现在看来，这些都是和水解蛋白质、淀粉的水解酶类有关的。可以说，作者已经有了类似今天“酶制剂”的朦胧意识。

最后还应该指出，几千年前我国劳动人民创造的用淀粉质原料制曲，是一种利用固体培养物保存微生物的好办法。因为在干燥条件下，微生物处于休眠状态，活性容易保持不变。这种方法所依据的原理一直应用到今天。

用肥和养土——利用微生物提高地力

早在春秋战国时期，人们已经知道腐烂在田里的杂草可以使庄稼长得茂盛，已经懂得用腐烂的野草和粪作肥料了。我们知道，腐烂是微生物活动的结果，所以，事实上当时已经开始利用微生物来提高地力了。

豆科植物根部的根瘤菌，有固定大气中氮素的能力，因此豆科植物在提高土壤肥力上具有重要的作用。前汉后期(公元前一世纪)的《汜胜之书》中，曾经提到瓜类和小豆间作的种植方法。公元三世纪末西晋郭义恭著的《广志》一书中，已经有稻田栽培紫云英作绿肥的记载。书中说道：“苕，草色青黄，紫华，十二月稻下种之，蔓延殷盛，可以美田，叶可食。”这里所说的“苕”，就是紫云英，又叫红花草。到公元六世纪北魏的《齐民要术》一书中，已经对不同轮作方式进行了比较，特别强调了以豆保谷、养地和用地相结合的豆类谷类作物轮作制。书中说道：“凡谷田，绿豆、小豆底为上”，“凡黍田，新开荒为上，大豆底为次，豆底为下。”这

说明当时已经有了和豆类作物轮作或间作的谷物耕作制度。到十八世纪三十年代，英国才有轮作制，欧洲其他国家如德、俄等国，才大规模种植绿肥。

长期以来，我国农民就知道把多年种过豆科植物的土壤移到新种植豆类的田里去，以保证新种植豆类的良好生长。人们称这种方法叫“客土法”。现在看来，这实际上是接种根瘤菌。这是近代使用细菌肥料的萌芽。我国成都平原的农民，很早就采用了一种接种根瘤菌的方法，就是在收获大豆以后，把大豆根连同根瘤和泥土捣碎，掺入少量草木灰揉成小团，用稻草包扎好，以备次年大豆拌种用。这是“客土法”的进一步发展，实际上是原始的细菌肥料。

中国古代认识和利用微生物的成就是巨大的。此外关于狂犬病的治疗，种痘法的采用等方面，中国古代也有很有价值的创造和发明，请参看本书第 494 页，这里就不说了。

七 农学

中国古代几部重要农书

自然科学史研究所 范楚玉

自古以来，我国就有发达的农业。河南新郑裴李岗、密县莪沟和河北武安磁山以及浙江余姚河姆渡等新石器时代早期遗址的发掘证明，七千多年前，我们的祖先已经在黄河流域种植粟等农作物，在长江流域肥沃的土地上开田种植水稻。三千多年前的殷代甲骨文中，已经有稻、禾、稷、粟、麦、来(大麦)等农作物名称，还有畴、疆、井、圃等有关农业生产土地整治的文字。我国第一部诗歌总集——《诗经》中有十多篇专门叙述农事的诗，说明周代的农业已经达到相当高的水平了。

悠久的农业历史积累了丰富的农学和农业技术知识理论。从很早起，我国就出现了不少农学的专著，反映了我们的祖先在向大自然进军中所取得的伟大胜利成果。传到现在的最早的农学论文和农书，距今至少有两千多年。两千多年来，据不完全统计，我国的古农书，包括现存和已经散失的，总数共有三百七十六种。这三百多种农书，大体分为两大类：一类是综合性农书，一般以作物栽培、园艺、畜牧和蚕桑作为基本内容，而又以大田生产为主。有的还包括水产以及农具、水利、救荒、农产品加工等等。另一类是所谓专业农书，包括关于天时、耕作的专著，各种专谱，蚕桑专书，兽医书籍，野菜专著，治蝗书等。

综合性农书又可分三种：第一种是农家月令书，它创始于公元三世纪东汉崔寔的《四民月令》，以后的如《四时纂要》、《农桑衣食撮要》、《经世民事录》、《农圃便览》等等，层出不穷。这类书是我国农书的一个特殊体例，把一年十二个月每月需要进行的农业生产操作事项，按照缓急，分别先后，依次序排列写成。第二种，以公元六世纪北魏贾思勰的《齐民要术》作为代表，着重于农、林、牧、副、渔各项技术知识的系统记述。第三种是通书性质的农书。所谓通书，主要是指民间的日用百科全书。如元代的《居家必用事类全书》，明代的《便民图纂》、《多能鄙事》，都属这一类。

下面介绍几部在我国农学史上、甚至在世界农学史上都具有重要地位的农书。

现存几篇最早的农学论文

据《汉书·艺文志》记载，战国时期的专门农书有《神农》、《野老》两种，可惜它们早已散失了。只有《吕氏春秋》中的《上农》、《任地》、《辩土》、《审时》四篇，是专讲农业的，它们可以说是我国现存最古老的农学论文。

《吕氏春秋》是秦相吕不韦手下的门客集体编写的一本书。有人考证它成书于秦始皇八年(公元前239年)。《上农》等四篇虽不是独立的专门农书，但是它们联成一个体系，已经是一套完整的论文。

战国时期，作为新生产关系的体现者地主阶级，认识到发展农业生产

的重要性，提出了“上(尚)农”的理论，推行以农业为本、工商为末的“崇本抑末”政策。《上农》篇中提出的重农理论和政策，和商鞅(前 390 - 前 338)、吴起(? - 前 381)、韩非(约前 280 - 前 233)的重农思想基本上是一致的。《任地》、《辩土》、《审时》三篇是专讲农业技术的。《任地》讲利用土地的原则，先从整地、利用和改良土壤讲起，讲到耕作保墒、除草通风等，使农作物生长健壮、获得高产的十个重要问题。接着提出了土壤的“力”和“柔”(坚硬和粘和)、“息”和“劳”(休闲和连作)、“瘠”和“肥”、“急”和“缓”(紧密和疏松)、“湿”和“燥”等矛盾，并指出这些矛盾在一定条件下可以转化，土地的利用就是通过劳动来改良土壤的性质，使它适于耕种。《辩土》是讲使用土地，就是以人力来改变土壤的现状，对《任地》篇所提出要求的事，作了具体回答。首先是对性质不同的土壤在耕作时间上作不同的安排。接着谈了由耕作不良引起的三种弊害，称作“三盗”，就是“地窃”(播种过稀)、“苗窃”(缺苗)、“草窃”(杂草妨害苗生长)。再则谈到耕种不及时和整地不得法的弊病，封垅前后庄稼最合理的布局，以及这些布局方式对农作物生长的影响。《审时》篇讨论耕作及时不及时对农作物各方面、特别是对子粒性质的影响。

《任地》等三篇包含着农业生产方面丰富的辩证法思想，总结了先秦劳动人民的农业生产经验，反映了春秋战国时期农业科学技术水平。和罗马农学家加图(前 234 - 前 149)在公元前 160 年左右写的《农书》相比，《吕氏春秋》所总结的农业科学原理要深刻得多。

《汜胜之书》

据《汉书·艺文志》记载，在西汉以前共有九种农书。除《神农》、《野老》外，其余七种中，四种早已下落不明。剩下的三种，两汉之交的刘向和班固(32 - 92)都肯定它们是西汉人的著作，就是《董安国》(十二篇)，《蔡葵》(一篇)，《汜胜之书》(十八篇)。前二种也已散失，只有《汜胜之书》，靠《齐民要术》等几部书的引文，保存了一些零星片断的文字。但是从残存的三千多字中，仍足以反映出西汉农业科学技术的水平。

汜胜之是山东曹县人，在汉成帝在位的时候(公元前 33 年到前 7 年)，曾经当过议郎官职。又在京城西安附近的三辅地区指导过农业生产，取得了很好的成绩。当时对农业生产有兴趣的人，都乐于向他请教。后来升为御史。

《汜胜之书》总结了西汉我国北方特别是关中地区的耕作制度，对耕作原理提出了一些基本原则：“趣时”(赶上雨前雨后最合适的耕地时间)、“和土”(耕、锄、耨平，使土壤松软)、“务粪泽”(保持土壤肥沃和湿润)、“早锄早获”(及时中耕除草和收割)。

《汜胜之书》列举栽培作物十多种，粮食作物有黍子、谷子、冬小麦(宿麦)、春小麦(旋麦)、水稻、小豆、大豆；油料作物有苴(jú)(雌株大麻)和荏(油苏子)；纤维作物有(𦏧)(雄株大麻)和桑树；还有瓜、瓠、芋等副食。对每种作物从选种、播种、收获到储种，都有精确叙述。在选种方面，第一次提出麦子、谷子的穗选保纯法。穗选法和稻田控制水流以调节

水温的方法,桑苗截干法等,很突出地显示出当时农业技术的进步。此外,还有两项特殊的农业技术措施,关于种子处理的“洩种法”和一种能集中使用水肥的“区种法”,也是值得我们今天重视和研究的。

《齐民要术》

我国现存最早最完整的农书,得数贾思勰的《齐民要术》,这本书写于北魏孝武帝永熙二年到十三年间(公元533年到544年间)。从《齐民要术》的记载中可以看出,当时农业生产工具比西汉又大有增加,使用方法也大有改进。如耕作就有锄、耜、劳、铧、耩(ji ng)五种农具。农具的这种从简到繁、从少到多的演变,也是生产力发展的标志。

贾思勰写作《齐民要术》的态度是很严肃认真的。据他自己说,从古今书籍中收集了大量材料,又收集了许多口头传说、民间谚语,请教了有经验的老农,自己再在实践中体验过。全书正文十卷,九十二篇,共十一万多字;此外,书前还有《自序》和《杂说》各一篇。

全书包括了农、林、牧、副、渔各个方面,涉及的地区范围,包括今天山西东南部、河北中南部、河南的黄河北岸和山东等地。魏晋以来,这里是各民族大融合的地区,因此这部书也可以说是总结了各族人民的生产斗争经验。《齐民要术》在农学方面的成就,概括起来有下列几个方面:

第一,对天时、地宜的认识,比《汜胜之书》又前进了一步,指出“顺天时,量地利,则用力少而成功多。任情返道,劳而无获。”(《种各篇》)深刻地阐明了我国古代因时制宜、因地制宜的先进农业生产思想。在这一基本原则下,贾思勰又把农业操作时间按照不同作物分为上、中、下三时。如种谷子,二月上旬是上时,三月上旬是中时,四月上旬是下时。又把地宜也分为上、中、下三等。如谷子以绿豆、小豆为底(前作物)是上,以麻、黍、胡麻为底是中,以芜菁为底是下。而且同一作物因地方的不同和时间的不同,播种也应该随着而有所不同。这些都是符合科学实际的。

第二,我国北方地区的气候特点是“春多风旱”,因而春播前后怎样保持土壤中的水分便成了能否增产的关键。耕锄和保墒有密切关系,《齐民要术》对这方面作了比较深入的探讨。它进一步肯定了秋耕的重要性。并且指出耕地深浅要按不同情况而定,“初耕欲深,转地欲浅”;“秋耕欲深,春夏欲浅”。耕种高田或低田,“不问春秋,必须燥湿得所为佳,若水旱不调,宁燥不湿”。(《耕田篇》)对于耕地后把地耨平,中耕除草,可以防旱保墒,以及抢墒播种等经验,也是由贾思勰具体总结出来的。

第三,在贾思勰以前,人们主要用轮换休闲的办法来恢复土地肥力,而贾思勰却于休闲之外,又总结和研究了轮作制。首先,他根据作物特性分出哪些可以轮作,哪些不能。并且总结了一套轮作法,指出豆类作物是良好的前茬作物。其次,肯定了绿肥作物的肥效,说:“凡美田之法,绿豆为上,小豆、胡麻次之。”(《耕田篇》)看来当时黄河流域已经比较广泛地栽培和利用绿肥作物了。《齐民要术》对套作也进行了总结,为充分利用阳光和耕地面积、提高单位面积产量找出了一个新方向。《汜胜之书》中的套作还只限于蔬菜,北魏的时候已经由蔬菜扩大到了大田作物。

第四,《齐民要术》对品种有专门的论述。《种谷篇》中介绍粟的品种就达八十六种,并且分析了各品种的品质和特点。这是以前农书中所没有见到的。贾思勰还把作物品种和天时地宜联系起来,正确地强调了品种的地域性。

除上述以外,果树、林业方面的苗圃育苗、嫁接技术和熏烟防霜等经验,一直到今天还为人们所习用。对于植物有机体的认识,果树的阶段发育理论,更有比较大的科学价值。动物饲养方面,在家畜形态学上的理论,以及饲养要勤、役使要合理的实际概括,使我国的畜牧业一直保持着比较高的水平。从农产品加工和微生物利用方面的记载看,当时也已经达到了比较高的水平。

总之,《齐民要术》内容丰富,资料多,记述详细正确,系统全面地总结了公元六世纪以前我们祖先在农业生产技术方面所积累的大量知识,有许多项目,比世界其他各先进民族的记载要早三四百年,甚至一千多年;它的取材布局,也为后来的许多农书作者所借鉴。

《陈旉农书》

江南地区自然条件比较好,从魏晋南北朝时期起,经过大力开发,到了北宋以后,农业生产已经发展到比较高的水平。陈旉(1076-?)写成于南宋高宗绍兴十九年(公元1149年)的《陈旉农书》,就是我国最早专门总结江南水田耕作的一部小型综合性农书。全书连序、跋在内共约一万二千五百字。篇幅虽小,但是内容丰富。它着重记述作者参加农业经营的心得体会,即使引用古书,也是融会贯通在他自己的文章里,体例和《齐民要术》不同。《陈旉农书》在我国古代农学上表现出不少新的发展,应当列为我国第一流的综合性农书之一。全书分上、中、下三卷,上卷概括地讨论以水稻为主的耕种方法,其中也谈到了麻、粟、脂(芝)麻、萝卜和小麦等辅助作物。中卷专谈水牛,水牛是江南地区适用于水田耕作的唯一役畜。下卷专谈蚕桑,从种桑起,到收茧止。

一般认为,《陈旉农书》在我国古代农学上表现的新发展,比较突出的可以归纳为五点:第一,第一次用专篇来系统地讨论土地利用。第二,第一次明确提出两个杰出的对于土壤看法的基本原则:一是土壤虽有多种,好坏不一,只要治理得法,都能适合于栽培作物;另一个是使用得当,土壤可以经常保持新壮。第三,关于肥料,不但用专篇来谈论,其他各篇也有具体细致的论述,对肥源、保肥和施用方法有不少创新和发展。第四,这是现存的第一本专门谈论南方水稻区农业技术的农书,并且有专篇谈论水稻的秧田育苗。第五,具有相当完整的系统的理论体系。

《王桢农书》

元代的《王桢农书》是一部大型的农书。王桢字伯善,山东东平人,曾在安徽、江西两省做过地方行政官。他常到农村去作实际视察,对农业生产很关心。这部农书是综合了黄河流域旱田耕作和江南水田耕作两方面的生产实际写成的。现在的通行本大约十一万字左右,共分三部分:《农桑通诀》、《百谷谱》、《农器图谱》。第三部分占全书的五分之四,是全书重点所在。

《农桑通诀》是作为农业总论写的,贯穿农本观念和天时、地利、人

力共同决定农业生产的思想。具体地说明了农桑的起源，泛论了农、林、牧、副、渔各项技术和经验，叙述了时宜、地宜，也还谈论了一些和农业技术无关的《劝助》、《孝悌力田》、《祈报》之类反映封建时代农学家的传统思想和他的时代局限性的东西。

《百谷谱》是农作物栽培各论，叙述了谷子、水稻、麦等粮食作物以及瓜、菜、果树的栽培、保护、收获、贮藏、利用等技术和方法也包括了林木、纤维、药材等的种植和利用。

有图有说的《农器图谱》是这部农书的一个创举。三百零六幅图中大部分是当时实物的写真，有许多农具今天还在使用。个别的虽然“去世已远，失其制度”，但还是经过王祯“多方搜访，列为图谱”。这些图谱无论从数量和质量来说，都是空前的，并为后世所借鉴。

《王祯农书》对农田水利的认识是比较系统全面的，能注意到水的综合利用，把灌溉和航运、水力利用、水产等结合在一起考虑安排，也提出了兴修水利的条件和远景的宏伟设想。

“授时指掌活法之图”是王祯的一件值得赞扬的创作，他把星躔、季节、物候、农业生产程序，灵活而紧凑地联成一体，把“农家月令”的要点，全部集中总结在一个小图中，明确、方便，非常实用。

《王祯农书》中的“授时指掌活法之图”。

《王祯农书》确实是祖国农学的珍贵遗产。

《农政全书》

明末徐光启是我国古代杰出的科学家。他在数学、天文、历法和农学等方面，都作出了不少贡献。在农学方面，他给我们留下了一部综合介绍我国传统农学的空前巨著——《农政全书》。

《农政全书》总共约有七十万字，所采用的文献共二百二十九种。这部书中，徐光启建立了一个比较完整的农学体系。但是他自己生前因事务繁忙，没有来得及定稿，身后存留的手稿，由陈子龙(1608 - 1647)等人编定刻印成书。全书六十卷，分成十二目：农本(经史典故、诸家杂论、国朝重农考)，田制(井田考和《王祯农书》中的各种田制图)，农事(营治、开垦、授时、占候，以屯垦为重心)，水利(水利工程、农田水利、《泰西水法》)，农器，树艺(谷物、蔬菜、果树)，蚕桑，蚕桑广(木棉、苎麻)，种植(经济作物)，牧养，制造(食品、房屋)，荒政(备荒，附《救荒本草》和《野菜谱》)。

《农政全书》和以前所有大小农书不同的地方，就是系统而集中地叙述了屯垦、大规模的水利工程(包括农田水利)、备荒三项。这三项不是一般的农业生产技术措施，却是保证农业生产和农民生命安全所必需的。《齐民要术》和《王祯农书》可以说是纯技术性的农书，《农政全书》重点在于保证农业生产的其他措施，如田制、水利、荒政等项。酿造项目只收酱、醋、豉，没有讲酒的酿造。烹调只限于农家所能用上的简单几条，把《齐民要术》中精致讲究而对农家无用的食谱都删除了。在“工欲善其事，必

见刘昌芝：《我国现存最早的水产动物志——〈闽中海错疏〉》，《自然科学史研究》第一卷第四期，1982年。

先利其器”的思想指导下，大量地收录了《王祯农书》中的农器图谱，并且还有所增补。

《农政全书》并没有因为着重政治措施而忽视技术。宋代以来，蚕桑是江南重要的经营项目，徐光启就记录了后起的新经验。他的故乡松江地处江南，是当时全国棉纺织业最先进的地方，他把当地植棉和棉田管理的新技术作了记录。对河北肃宁群众以稳定湿度为纺织环境的好办法，也特别加以推荐。至于对当时传入我国还不久的甘薯，他根据自己的实践，写了《甘薯疏》，收入《农政全书》，提倡人们大量种植，用来备荒。对一切新引入新驯化栽培的作物，他都详尽记述。一句话，《农政全书》比以前所有农书更全面。

明代以前有价值的农书很多，本文只着重介绍了以上几部。它们都是各个时代农业生产知识的总结，从中可以看出我国古代农业科学的大概轮廓。明清时期还出现了不少小型农书，讨论一个小地区的农业生产技术和特点。如明末总结太湖地区栽桑种稻的《沈氏农书》，清代陕西杨 的《豳风广义》和《知本提纲》等等，对指导当时当地的农业生产都起过积极作用。

从《任地》等篇和《汜胜之书》到《农政全书》的作者，把古代劳动人民在农业生产实践中积累起来的经验和发明创造加以概括总结，写成农书，不仅对我国农业科学技术的发展作出了贡献，对日本等国家也有很大影响。不过，另一方面，这些农书有它的局限性。首先，作者终究是地主阶级的知识分子，本身也是当时政府中的大小官僚，他们所共有的农本观念是封建正统的，是为了把农民束缚在土地上，以便封建地主阶级更好地进行统治和剥削。其次，这些农学家的世界观都是剥削阶级的，唯心主义和封建迷信思想如“孝悌力田”“忌日”“丛辰”之类，或成篇累牍，或片言只语，杂在书中。再其次，这些大型农书基本上是个人的著作，个人经历和知识面以及当时的科学水平都有一定局限，有些记载和总结是不符合实际的，是不科学的，征引文献资料也常常有错乱。以上几本农书虽然受到时代的限制，有许多缺点，但是并不妨碍我们批判地继承这份宝贵的遗产。

精耕细作是中国农业技术的优良传统

北京农业大学 杨直民

农业生产是在一定的社会、自然和科学技术条件综合作用下的生产活动。各国农业有不同的背景和发展道路。1949 年中华人民共和国成立后，我国人民回溯、总结我国有悠久历史的农业技术经验时，创用了“精耕细作”这一词汇。毛泽东也曾经指出：“我看中国就是靠精耕细作吃饭。”

“精耕细作”，对我国古代农业科学技术特点来说，是一个精辟的概括和总结，它也给我我国农业科学技术现代化指明了前进的方向。

我国农事活动最早见于文字已经有三千多年。但是农业科学作为一门学问发展起来，还是春秋战国时期的事。在公元前三世纪战国末年写成的《吕氏春秋》里面，有《任地》、《辩土》、《审时》等篇。这几篇著作强调因时、因地制宜，特别重视人的主观能动作用，发掘土地增产潜力，称得上是我国精耕细作农业科学技术的发端。

这一发端在漫长的年代里不断丰富、发展，形成了我国独特的精耕细作优良传统。

积极利用和改造土壤

古代农民很早就注意到“土宜”，对土壤逐步加深了认识。大约写成于战国时期的《禹贡》里面，列举了当时九州的各种类型的土壤和主要农作物。书中把雍州(今陕西、甘肃一带)的土壤叫做“黄壤”，就是黄土层；把扬州(今长江下游)、荊州(今长江中游)的土壤叫做“涂泥”，因为那一带当时天然沼泽很多，开垦出来是低湿田地；把青州(今山东东部)的土壤叫做“海滨广斥”，所指大概是海滨地区的盐渍土。这都同实际情况相符合。书中为种种不同的土壤定下“壤”、“垆”、“涂泥”、“斥”等名称，并且把“壤”又分成白壤和黄壤等等。不少土壤名称到现在仍然为广大群众所沿用。

春秋战国时期的《管子》一书里面，有一篇《地员》，可说是讲土壤的一部专著。它把土壤分类同地下水位高低以及宜于何种作物和植物都联系了起来。它把九州的土壤，就它们的肥沃程度，区分为上、中、下三级，每级都包括六种，一共是十八种。这种分辨土壤、因土种植的传统经验，一直为后世所继承。

元仁宗皇庆二年(公元 1313 年)成书的《王祯农书·地利篇》中说：“天下地土，南北高下相半。且以江淮南北论之：江淮以北，高田平旷，所种宜黍稷等稼；江淮以南，下土涂泥，所种宜稻秫。又南北渐远，寒暖殊别，故所种早晚不同；惟东西寒暖稍平，所种杂错，然亦有南北高下之殊。”这讲明南北不同纬度、日照、气温以及不同土质、东西不同海拔高度、干湿寒暖，各有所宜种植的作物。

我国古代就有强土和弱土、轻土和重土、紧土和缓土、肥土和瘠土、燥土和湿土、生土和熟土、寒土和暖土等分法。种种性质不同的土壤，如

果不合用的话，人们都可以设法加以改良，使它适于作物的生长。《吕氏春秋·任地篇》就讲，要使坚硬的土变得松软些，要使松散的土变得坚实些；要使贫瘠的土壤肥沃些，但是又不让土壤过肥。公元前一世纪西汉后期的《汜胜之书》里面还记载了“强土弱之”、“弱土强之”的办法；过于坚硬的土壤(强土)，可以在开春的时候犁过，然后再耙，等上面草长起来，再翻一遍，下过小雨之后，又再犁过使土里不见硬块为止，这样使强土弱化。过于松散的土壤(弱土)，要在杏树一开花的时候就犁，杏花落的时候再犁一遍，每犁一次就压一次，等上面草长起来，再犁，再压：更松散的就叫牛羊在上面践踏，这样使土壤变得坚实一些。这种适时精细耕作的改土效果很明显，古农书上曾有“田虽薄恶，收可亩十石”的称誉。十二世纪南宋《陈旉农书》中曾指出，过肥的黑壤土也不利于作物的生长发育，须用“生土以解之”，用掺生土的办法，克服“苗茂而实不坚”的弊病。

战国时期，黄河下游有大片盐碱地(古称“斥卤”)不能利用，当时有一个名叫史起的人，领导人们挖灌排水渠，利用漳水灌溉洗盐，使邺郡种上水稻，盐碱地长出好庄稼。当时民歌就有“邺有圣令，时为史公，决漳水，灌邺旁，终古斥卤，生之稻粱”的称颂(见《吕氏春秋·先识览·乐成篇》)。明神宗万历十九年(公元1591年)袁黄撰写的《宝坻劝农书》里面也提到：“濒海之地，潮水往来，淤泥常积，有咸草丛生，……其地初种水稗，斥卤即可，渐可种稻。”把大片盐碱不毛之地，通过种植耐盐植物和水利土壤改良等措施，转化成为丰产田。无疑，这是我国古代劳动人民在改土造田方面的光辉成就之一。

在开田造地的艰巨事业中，还必须提到梯田。从什么时候起有了梯田，现在说法不一。四川彭山崖墓中发现过汉代陶水田模型一方，陶水田田面呈鱼鳞状，可能就是梯田的雏型。文字上最早提到梯田名称，见于宋孝宗乾道八年(公元1172年)范成大(1126-1193)所写《骞鸾录》，提到袁州“岭阪上皆禾田，层层而上至顶，名梯田”。在不同条件的地区，梯田的修筑形式和效果差别很大。例如西北黄土地带，主要是为着拦截水土，当地农民现在还有“水不下塬、土不下坡、泥不出沟”的说法。而南方丘陵地区的梯田，结合丰富的水源条件，产生了对水土高度利用的效果。宋代朱行中有诗句：“水无涓滴不为用，山到崔嵬犹力耕”(据方勺：“泊宅编”)，很恰当地道出了水的充分利用和山地造田的情景。古代劳动人民和山争地，和水争地，丘陵山地辟梯田，洼地设“围田”、“柜田”，水边作“涂田”、“沙田”，水面弄“架田”，耕地面积不断增多。这广大肥田沃地的开辟，凝聚着中华民族各族人民的辛勤劳动和聪明才智。

用地养地，使地力“常新壮”

用地养地，使地力常新壮，是我国古代农业科学技术的杰出成就。我们知道，最早恢复地力的办法是所谓弃耕制。后来发展为短期弃闲。到春秋时期，仍有不易之地(连种)、一易之地(休闲一年)、再易之地(休闲二年)的区别。

据史书记载，战国初期(公元前四世纪)魏国政治家李悝(ku)(约前455-前395)曾经提倡“尽地力”。“尽地力”的主张有倡导垦荒的含义，

也有发挥土地潜力、增加单位面积产量的内容。“地力”这个农业技术常用的词汇，出现已经有两千四百多年的历史，人们对它的认识不断加深，并且发展了多种技术措施，维持地力久不衰竭。

公元前一世纪初西汉时期的赵过曾提倡过“代田法”。代田法就是种植行(垄沟)和行间(垄背)每年互换位置的种植办法。它可以使全部土地每年都得到充分利用，又可以取得地力恢复的一定效果。具体办法是把谷种播在垄沟，出来的幼苗得到垄的保护。等到苗长起来，就逐渐把垄背的土堆到沟里，壅培作物的根部，这样作物根部入土比较深，能抗风旱。代田法配合使用便巧的农具，实行精细的田间管理，增产效果明显，每亩要比中等田块增产三分之一到三分之二。《汉书·食货志》评价“代田法”是：“用力少而得谷多”。

为适应北方旱塬各种复杂地形，公元前一世纪的西汉时期还有“区田”的创造。开出小区，集中使用水、肥，种植作物。《汜胜之书》里面讲：“区田，不耕旁地，庶尽地力。”“区田，以粪气为美，非必须良地也。诸山、陵、近邑高危、倾阪，及丘城上，皆可为区田。”这是充分发挥人的作用、精耕细作、用地养地、争取高产的办法。我国传统农学的特点是因地因时制宜，充分发挥人力作用，在地力维持方面尤其明显。公元一世纪的东汉王充在《论衡·率性篇》中曾经提出：“深耕细锄，厚加粪壤，勉致人功，以助地力。”在《效力篇》中还说：“地力盛者，草木畅茂，一亩之收，当中田五亩之分。”地力好坏，影响收成显著。而地力人助，确是积极改造自然的进取态度。

还应该提到十七世纪明代耿荫楼的《国脉民天》一书中所提倡的“亲田”。“亲田”的特点是限地精耕，着眼于提高地力。办法是把全部耕地分做五个区，每年对其中一个区加以特别的处理，耕、耙、耨、上粪都多加几次，天旱用水浇，对这块田偏爱偏重，分五年把全部耕地轮亲一遍。在古代肥料种类少、耕具比较简单的条件下，“亲田”比一般田收获“定多数倍”。

采取耕、耙、耨、压等耕作措施，精细整地，对改善土壤的水分，空气、温度、养分等状况有决定性的作用。它可以使植物无法吸收的养分转化为可以吸收的养分。公元六世纪北魏的《齐民要术》对土壤耕作技术作了科学的论述。特别对旱地耕地各项作业的密切配合，许多措施到现在仍有实际意义。书中说：“凡耕高下田，不问春秋，必须燥湿得所为佳。若水旱不调，宁燥不湿。”并引农谚说：“湿耕泽锄，不如归去”，讲要趁土壤水分适宜的时候及时耕，由人们根据“燥湿得所”的情况具体掌握，强调关键是抓住土壤中的适量水分。《齐民要术》主张秋耕要深，深耕利于容纳水分和熟化土壤；春耕要浅，防止跑墒。耕作要求精细，一般不扰乱土层，最好把秋深耕和压绿肥结合起来，就是所谓“凡秋耕欲深，春夏欲浅，犁欲廉，劳欲再，秋耕掩青者为上”，强调耕后必须耙耨。提出春耕随即耙耨，秋耕后待地皮发干再耨，使地表成为松土层，保墒容易。并且引农谚警告说：“耕而不耨，不如作暴。”意思是讲，如果耕田以后不把土壤耙细，那就是糟踏土壤。

水田耕作技术创造也是很丰富的。公元九世纪唐代陆龟蒙(? - 约881)《耒耜经》所记当时江东水田犁和近世水田犁的部件已经很接近。《陈旉农书》对南方水田耕作，就有早稻收割后耕翻晒垡、施肥、复播豆、麦、

蔬菜的记载。山区高地比较冷，冬深耕，放水干田，利用冻融作用，促使土壤酥碎。水田耙在我国应用很早。广东连县曾经发掘了西晋怀帝永嘉年间(公元 307 年到 313 年)的一座古墓，出土黑色陶质犁田耙田模型一方，模型中间有一条田埂把耕地分成两块，一块上有一人使牛犁田，另一块上有一人使牛耙田。出土犁、耙、耨图案和模型，说明在公元三四世纪，我国从北方到南方，不论是旱地还是水田，耕作农具都有了相当的进步。

除了使用肥料，我国很早就采用换茬、轮作、复种的办法来培育地力，把用地养地结合起来。《齐民要术》里面对换茬、轮作、复种技术有精辟的论述。前茬，《齐民要术》中称作“底”，是我国传统农学中的重要术语，到现在仍在广泛使用。《齐民要术》把不同作物的前茬分为上、中、下三类。对绿肥作物的种植方法、翻压时间、肥效评定、增产效果，都详细作了说明，说“为春谷田，亩收十石，其美与蚕矢熟粪同。”谷子换茬为防杂草。麦接黍茬或小豆接麦茬看来是为了使生长期前后衔接。种谷用瓜茬，是因为一般瓜地施肥比较多，有余力可以利用。水稻由于需水量大，地块不能倒换需要连作的时候，采用移栽的办法。稻“即非岁易，草稗俱生，芟亦不死，故须栽而薅之”。这是用移栽办法解决除稗问题。

仅从《齐民要术》书中列举的几种作物的最适宜的茬口关系，就可以安排出十几种复种轮作方式，如谷子和绿豆、小豆，大豆和麦，等等。把豆科作物和禾谷类作物、深根作物和浅根作物搭配起来，形成合理的复种、轮作制，保证主茬作物，调协不同作物的养分供应，有利于用地养地。

古代农书上曾经有“地久耕则耗”的话，耕作管理不当，会招致农作物产量下降和地力衰竭的恶果。但是地力衰竭是否是必然的趋势呢？不是。南宋的《陈旉农书》中说：“若能时加新沃之土壤，以粪治之，则益精熟肥美，其力常新壮矣，抑何蔽何衰之有！”这部书中还进一步阐发耕种庄稼是“盗天地之时利”的道理，主张充分利用天时地利，这样，“则相继以生成，相资以利用，种无虚月，收无虚月，一岁所资，绵绵相继。”这说明了合理使用可以防止地力衰竭。

抗旱保墒和合理用水

我国北方春旱多风，每到播种季节，常常缺少雨水，土壤水分蒸发却很快。就在这种很不利的干旱条件下，我国从古代起，就形成和发展了一套抗旱保墒、精耕细作的农业技术。

古代抗旱保墒主要通过耕、耙、耨、锄等作业实现。战国时期《吕氏春秋·辩土篇》中说：“凡耕之道，必始于垆，为其寡泽而后枯。”意思是说耕地要紧的必须注意垆土，因为它失去水分变干硬就难侍弄了。《汜胜之书》里面的“凡耕之本，在于趣时、和土、务粪泽，早锄、早获”这一因时耕作、因土耕作、精耕细作的农业技术要领，一直为后世所遵循。

采取正确耕作措施，保蓄水分，对北方旱塬说来，不只是关系到收成多少而是决定有无收成的大问题。抓紧时令，耕作技术配合得好，可以收到“一而当五”的功绩；错过农时，耕耙不适，也可以遭到“五不当一”的失败。日本学者西山武一著文说，中国北方到公元六世纪《齐民要术》问世，表明旱地农作法已经定型化，后世中外学者对这部书中旱地保墒技术十分推重，是因为它触及到亚洲农业的精髓。我国古代农业科学技术中，

雨季收墒，秋季蓄墒，春季防止跑墒，播种期缺雨套犁深耕借墒，作物生长前期锄地浅中耕保墒，遇雨水多时深中耕放墒。许多作物播种要趁墒，像谷子等耐旱作物可以“黄墒”下种。围绕着墒情创造了各种经验，称得上是灵活运用，丰富多彩。

利用各种水源条件，发展农田灌溉，在我国古代农业科学技术中占有重要地位。很早人们就利用流泉河溪，开凿水井，浇灌作物。西晋傅玄(217—278)说：“水田制之由人，人力苟修，则地利可尽。”《魏书·刁雍传》载有“一旬之间，则水一遍，水凡四溉，谷得成实”的灌水次数和每次间隔的经验。

洪水有极大的破坏力，危害严重，但是我国古代劳动人民利用它的规律，化害为利，引导它灌溉农田。《汉书·沟洫志》中的“白渠歌”：“泾水一石，其泥数斗，且溉且粪，长我禾黍。”这说的就是引洪灌溉。

秦汉时期黄河中下游凿水井灌田已经比较普遍。考古学证明在现在的北京和河南泌阳等地，都曾经有灌溉农田的古代水井群发现。《齐民要术·种葵篇》还有田间井群怎样布置的方案。说三十亩园田，可穿井十口，地形狭长的作一行，方形的作两三行，斜角布井妨碍耕作不好。书中还说：“若竟冬无雪，腊月中汲井水普浇，悉令彻泽。”“彻泽”是浇透的意思。这一记载是我国农书上最早见到的冬灌记录，在世界上恐怕也是冬灌的最早记录了。《种葵篇》中说，葵生三个叶再浇，浇水要利用早晚，中午不要浇。把一种作物的开始浇水时间，一天之内又怎样掌握，讲得详细有理。种稻就要：“薅讫，决去水，曝根令坚，量时水旱而溉之。”(《齐民要术·水稻篇》)这说明不同作物有不同的灌溉技术要求，千篇一律不行。

古时稻田用水非常讲究，正如《农政全书》所讲：“稻田用水，随时随地，不拘一法，括之以两言曰，蓄与泄而已。”具体运用起来，的确是千差万别。《陈旉农书》认为南方高田，为解决用水问题，修凿水塘，“约十亩田，即损二三亩以潴蓄水”，这种水塘，旱时灌水，涝时蓄水，为的是保证丰收。

《王桢农书》把元代以前的引水、提水工具和设施作了总的叙述，并且绘有图册，包括水车、筒车、虹吸、渡槽等种种工具和设施。书中还说，由于这些东西创造出来，“大可下润于千顷，高可飞流于百尺，架之则远达，穴之则潜通，世间无不救之田，地上有可兴之雨。”短短几句话，概括地说明了我国古代在农田灌溉方面所取得的重大科学成就。

合理施肥，“用粪犹用药”

我国古代很早就十分重视施肥技术，公元前一世纪西汉后期已经把施基肥、补追肥的经验分开来叙述。尤其引人注意的是，《陈旉农书》记下了宋代劳动群众创造的“粪药”经验：“俚谚谓之粪药，以言用粪犹用药也。”把用粪比作医生看病对症下药，很简朴深刻。

我国古代利用的肥料种类多样。《诗经》里面就有锄草沤肥、使黍稷繁茂生长的记载，如《周颂·良耜》：“其耜斯赵，以薅荼蓼，荼蓼朽止，黍稷茂止。”战国时期《荀子·富国篇》里提到：“多粪肥田，是农夫众庶之事也。”说明那时往田里施粪肥已经是农民群众普遍做的事。稍晚些时候，《韩非子·解志》中讲到：“积力于田畴，必且粪灌。”把施肥和

灌水两项技术紧密地联在一起。《汜胜之书》里谈到肥料的种类已经有蚕矢、骨汁、粪便。它明确地提出，麻高一尺的时候，可以蚕粪作追肥，没有蚕粪，用坑中腐熟过的人粪尿也好。书中还针对遇到天旱雨水少的情况，提出可用酢浆和蚕矢拌麦种，说这样能使小麦“耐旱”、“忍寒”，提高抗寒性和耐旱能力。公元三世纪魏晋时期我国有最早种植、翻压豆科植物苕草作绿肥的记载。到公元六世纪南北朝时期，又增加了旧墙土、草木灰、厩肥等等。其后，像石灰、骨灰、食盐、硫黄、石膏、卤水等，在不同地区曾经有当作肥料施用的。十七世纪明代宋应星的《天工开物》里面，仅饼肥就列举了芝麻饼、棉子饼等七种。在这部书的《稻宜》一节中，载有“土性带冷浆者，宜骨灰蘸秧根，石灰淹苗足。”这是因地制宜、因土施肥的事例。“土性带冷浆者”，就是冷浸田或冷浆田，一般都是山区洼地，水土温度比较低，属酸性土壤。骨灰蘸秧根，是施磷肥，符合酸性土的需要。石灰淹苗足，是利用石灰中和土壤的酸性以改良土壤。这些都是符合科学道理的。

《知本提纲》中提到，耕作施肥处理得好，可以收到“一载之间，即可数收，而地力新壮，究不少减”的功效。书中再三强调粪壤的好处，认为合理施用肥料，“田得膏润而生息，变臭为奇，化恶为美，丝谷倍收，蔬果倍茂。”我国古代劳动人民这种“变臭为奇、化恶为美”的积极改造自然的光辉思想，在南方水田区的耕种技术中也早有论述。明代《沈氏农书》中就有这样一段：“种田地力最薄，然能化无用为有用；不种田地力最省，然必至化有用为无用。何以言之？人畜之粪与灶灰脚泥，无用也；一入田地，便将化为布帛菽粟。”

《陈旉农书》所载“用粪犹用药”这种宝贵经验，后来更有发展。十八世纪清代《知本提纲》讲施肥“实有时宜、土宜、物宜之分”，“寒热不同，各应其候”，“物性不齐，当随其情”，并着重指出：“皆贵在因物试验，各适其性，而收自倍矣。”对肥料，元代《王桢农书·粪壤篇》里记有大粪、踏粪(厩肥)、苗粪、草粪(后两种都是绿肥)、火粪(草木灰、石灰)、泥粪(用沟、港里的青泥同大粪合用)等多种。书中还指出“一切禽兽毛羽亲肌之物”，也都是很好的肥料。《知本提纲》讲：“酿造粪壤，大法有十。”把肥料更扩大为十大种类。对不同土壤、不同作物、不同时间使用不同肥料，都作了具体叙述。例如，骨蚌蹄角粪和毛皮粪可施用于稻田，种麦、粟要用黑豆粪和苗粪，种瓜菜宜用人粪之类。到现在也还流传有冷性肥、热性肥的说法。有的书中把施基肥称作垫底，说“垫底尤为紧要”。把追肥称作接力，说“盖田上生活，百凡容易，只有接力一壅，须相其时候，察其颜色，为农家最要紧机关。”(《沈氏农书》)凡此种种，反映我国古代施肥技术是多种多样的。

适时播种和种子处理

战国时期已经很重视适时播种，《吕氏春秋·审时篇》详细谈论了谷、黍、稻、麻、豆、麦主要作物适时耕作播种的好处，失时(过早或过晚)的害处。说“得时之稼兴，失时之稼约”。这里“兴”指长得好，收成多；“约”指长得差，减产。它还说小麦过早播种，麦苗容易得病遭虫或冬前拔节；过晚播种会使植株弱小、贪青。这些都对收成不利。《汜胜之书》

也讲了麦“早种则虫而有节，晚种则穗小而少实”。

《齐民要术》不仅重视适时趁墒播种，还进而规定了播种不同作物的“上时”、“中时”、“下时”，并且用物候作为指标。根据播种期的适时与否，土质好坏，不同的墒情，规定不同的播种量，采用相应的播种方法。从各方面把握适时下种，争取全苗、壮苗，以发挥其他技术措施的作用。《齐民要术·种谷篇》中就讲到：“凡春种欲深，宜曳重耞；夏种欲浅，直置自生。”对于谷子春播为什么要深和播后要镇压，书中有精要的注解，说：“春，气冷，生迟，不曳耞，则根虚，虽生辄死。”把播种前后的气温高低、种子萌发、作物幼苗生长情况都作了周密考虑。夏播要浅，像撒在地皮上那样就可以，是因为“夏，气热而生速”。书中引农谚说：“以时及泽，为上策也。”这就是说，要把握住播种最适时期和注意墒情。

《齐民要术》讲到撒种的有漫耞、耨耞漫耞、逐犁漫耞；条播有耨种、耨种、耨头中下之；点播有 种、逐犁 种，等等。播种后，有的要镇压，有的不要镇压。特别指出了耨种的优点：“凡耨种者，匪直土浅易生，然于锋锄亦便。”（《大小麦篇》）讲耨种的好处不只是覆土浅而均匀，容易出苗，也便于中耕锄草和培土。在《种大豆篇》中说：“必须耨下，种欲深，故豆性强，苗深则及泽。”用耨下种，播的深，墒情好，能适应大豆生长发育的要求。可见，同样是用耨，完全根据具体情况，灵活运用，控制播种的深浅。

我国古代农业技术中有精致的种子处理办法。利用水淘、泥水选、风扬等措施去秕去杂，给种子拌精质肥料。《汜胜之书》里面还提到用中药附子浸汁拌种防虫。明清两代的农书比较多地出现用信石等剧毒药物拌种的记载。种皮厚的，如苜蓿种子，播前要碾压搓摩；种子干湿不匀的，“临种必晒曝种子”。这些都是为了能使种子提早发芽，发芽整齐一致，减轻病害，培育成壮苗。

浸种催芽是农作物生产中广泛采用的措施。《齐民要术》谈到种胡荽时说：“凡种菜，子难生者，皆水沃令芽生，无不即生矣。”现今种瓜种菜，播稻植棉，仍然普遍实行浸种催芽技术。《齐民要术》中提到浸种的有大麦、小麦、水稻、麻、胡荽，还有槐等。《水稻篇》中说，稻种浸三天，捞出放在草编器具中，再经过三天，等到芽长二分，再播种。《齐民要术·旱稻篇》讲到对旱稻播种的要求是只要种子开口，不待生芽就要下种。天时不好，为抢时间，也可以不浸种。高田种旱稻，“至春，黄墒纳种”，并且嘱咐“不宜湿下”。可以看出，浸种、催芽、下种各项技术，完全根据作物生长发育特点和气候土壤等具体条件而定。

精细的田间管理

播种出苗到收获的田间管理作业，包括很多内容。我们仅从下列几项措施，也可以看到我国古代农业的成就。

锄地，在世界农业科学技术史上是很有特点的一项创造。锄草的作用不但在于去草锄苗，而且在于蓄水防旱。《齐民要术·种谷篇》讲：“春锄起地，夏为除草。”春锄主要是松土、发根、防旱保墒，适应春旱多风、气温回升快的情况。在“春苗既浅，阴未覆地”，就是说苗小、遮荫不良，不利于保蓄土壤水分的时候，锄地松土，可以切断毛细管水上升的通路，

创造比较好的水肥条件，使作物生长发育良好。正如书中夹注写的，“锄者非止除草，乃地熟而实多、糠薄、米息。”所以要“锄不厌数”，“勿以无草而暂停”。夏锄主要是除草，因为“夏苗荫厚，地不见日”。庄稼长起来了遮荫层大，又到了雨季，这时锄地是为防止草荒。《齐民要术》在《杂说》中讲到锄谷，“第一遍锄未可全深，第二遍唯深是求，第三遍较浅于第二遍，第四遍又浅于第三遍。”这种“浅、深、浅、浅”的安排，正适合谷子生长发育的要求，到现在仍有实际意义。

关于稻田水层管理的科学方法，《汜胜之书》说：水稻生长初期，水温需要提高些，“令水道相直，”就是把田埂的进水口和出水口开对直，使田块大片水层稍稳定，水温容易上升；到了夏天，水温太高不利于稻的生长发育，“令水道错，”就是把田埂进水口和出水口错开，灌进的水迂回流过全田，不致使水层积温过高。这在当时应该是很了不起的技术成就。在旱地灌溉中，人们也很注意水温的细致变化。《汜胜之书》关于种麻子还说到：碰到天旱，用流水浇，如果没有流水，用井水要晒一晒，杀一下“寒气”再浇。

古时种水稻还有“烤田”的技术创造。明代《沈氏农书》载有“六月不干田，无米莫怨天”的农谚。这种做法最早见于公元六世纪北魏的《齐民要术》，说水稻薅过后，撤去水，“曝根令坚”。通过太阳曝晒，使稻根向纵深发展。《沈氏农书》说得更具体些，规定烤田的时间，在栽插后，经过两次耘耨，靠近立秋节气，放水晒田。还说，必要田干缝裂方好。经此一干，可以收到“根脉深远，苗干苍老，结秀成实，水旱不能为患”的功效。立秋前多晒几天可以，到了立秋之后，地见裂缝就要车水灌田。这是因为到处暑节气，水稻正在孕穗，决不可缺水。

栽插农作物，最早见于汉代的《四民月令》，书里把移栽水稻叫“别稻”。《齐民要术·种谷篇》提到，缺苗断垅稀豁的地方，就把苗补上，把补苗移栽看成很普通的事。还值得提一下，《齐民要术·旱稻篇》中说，栽插要浅，让根须四散，生长发育才好；如果栽插过深，根窝在一团，福就长不好。还说秧苗如果过大，可以把老秧苗从上部去掉几寸叶，保护心叶，减少蒸腾，容易栽活。到了七月，就不能再栽插了。这种观察、处置，不能不说细致精巧。说到小麦移栽，近年国外曾经有人当作新创造加以报道。其实这项技术在我国古代农书中早有记载。十七世纪《沈氏农书》中说：“若八月初先下麦种，候冬垦田移种，每科十五六根，照式浇两次，又撒牛粪，锹沟盖之，则干壮麦粗，倍获厚收。”清代《知本提纲》虽然主要讲旱地农业，但是对栽插仍很注意，说物性各有所宜，有的适合燥栽，如麦苗、小蓝、莴苣、韭菜、瓜苗之类，适宜先栽后浇，如果放在水中栽，就不发旺，长不好；而有些适合水中栽，像稻秧、粟苗、茄苗之类，随水栽，栽后第二天再浇，隔一天又浇，三天才能生根，要是先栽后浇，也长不好。这些经验之谈，值得分析研究，精心提炼。

作物田间管理技术中，像棉花整枝打杈这种措施，也很引起人们注意。公元十三世纪元代《农桑辑要》讲种棉，“苗长高二尺之上，打去冲天心，旁条长尺半，亦打去心，叶叶不空，开花结实。”清乾隆三十年(公元1765年)编绘的《棉花图》，有专门描述棉花摘尖的诗赋和图画。公元十八世纪的清代，我国一些农书中关于作物地上部分和地下部分(根、主根、须根)之间的关系，作物和光、温、水、气、养分之间的关系，有不少可贵的论

述。《知本提纲》说：作物有根有梢，生长固定，长得好坏受地力影响极大。根向下，吸收“地阴”（指水、肥），枝梢向上，接受“天阳”（指阳光雨露）。上部下部配合得好，作物长势才旺。提到有些作物主根能深扎，但是要去掉些表层浮根，否则主根扎不下，影响吸水吸肥，产量不高。

我国古代优异的农业科学技术创造，贯串着因时因地因物制宜的原则，丰富多采，巧妙灵活，蕴藏着深刻的科学道理，在人民群众中流传、发展着，它有无限的生命力，是我们取之不尽、用之不竭的宝藏和源泉。

历史悠久的中国园艺技术

北京农业大学码 董恺忱

精耕细作是蔬菜生产的突出特点

蔬菜生产在我国有悠久的历史。西安半坡新石器时代遗址出土谷粒的同时，还发现在一个陶罐里，保留有芥菜或白菜一类的菜子。据测试，时间大约在六千年以前。到了周代，蔬菜栽培已经相当发达了。《诗经》里对蔬菜生产已经有所描述，如《豳风·七月》中有“七月食瓜，八月断壶”(壶就是瓠)，“九月筑场圃，十月纳禾稼”。春秋战国时期，随着城镇的发展，农(大田作物)圃(蔬菜作物)分工，园圃种蔬菜已经成了专业。

合理利用时间空间，提高土地利用效率，在蔬菜生产上有重要意义。公元六世纪的北魏贾思勰的《齐民要术》里就说到，一年里葵可以种三次，韭收割不过五回，反映了在一块土地上连续播种收获同一种蔬菜的情况。至于说到在瓜区中间种薤或小豆，葱里杂种胡荽，反映出当时在蔬菜栽培上已经出现了套种。《齐民要术·杂说》中还有一个说明蔬菜生产中种类繁多的例子：如果靠近城镇，务须多种些瓜、菜、茄子等等，这样既可供给家用，多余的还可出卖。假如有十亩地，选出其中最肥的五亩，用二亩半种葱，其余的二亩半种杂菜。用这二亩半地，分别在二、四、六、七、八月，种上瓜、葵、莴苣、萝卜、蔓菁、白豆、小豆、芥、茄子近十种蔬菜。这样频繁的栽种，反映出当时蔬菜种植的技艺水平已经相当高了。到了宋代，孟元老在《东京梦华录》里描述当时开封近郊蔬菜种植的盛况说：“大抵都城左近，皆是园圃，百里之内，并无闲地。”皇家有专用的菜园，除了平时供应，还要在“立冬前五日，西御园进冬菜”，“充一年食用”。

为了保证蔬菜丰产和周年均衡供应，就要求注意品种搭配，在茬口的安排上力求衔接，做到合理轮茬。我国农业生产有精耕细作的传统，劳动人民又培育出丰富多样的品种，这样就能够把多种蔬菜组织到一定的栽培制度中去。人们有时用“园耕”或“园田化”来描述我国的农业，就是因为蔬菜生产比较集中地体现了精耕细作的特点。

丰富多采的蔬菜品种资源

我国的蔬菜种类繁多，品种丰富。据清代吴其《植物名实图考》(公元1848年)中的记载，当时蔬菜已有一百七十六种之多，现在经常食用的大约在一百种左右。在这一百种蔬菜中，我国原产的和引入的大约各占一半。我国原产的蔬菜，最早的记载见于《诗经》，有瓜、瓠、韭、葵、薤(蔓菁)、荷、芹、薇等十多种。但是哪些是栽种的，哪些是野生的，有些现在难以作出确切的判断。据《齐民要术》记载，黄河流域各地栽种的蔬菜有瓜(甜瓜)、冬瓜、越瓜、胡瓜、茄子、瓠、芋、葵、蔓菁、苤、芦菔、蒜、葱、韭、芥、芸薹、胡荽乃至苜蓿等三十一一种。其中现在仍在栽种的有二十一种，余下的已经从菜圃中退出或转作他用。在现有的二十一种中，经过历代劳动人民的精心培育，如苤(白菜)、芦菔(萝卜)已经成为主要的蔬菜，芥因为适应多种用途而有了许多变种。

白菜古称菘。因为它栽培普遍，并且能四时供应，久吃不厌，深受人们喜爱。白菜中以北方的包心大白菜最有名。大白菜是由不包心的小白菜经过人工培育演化而来的。晋代以前，北方的古书里没有关于白菜的明确记载。南北朝时期，文献中有关的记载才多起来。如《南齐书》里就有“春初早韭，秋末晚菘”，是菜食中味最佳者。《齐民要术·蔓菁篇》中附带提及“种菘、芦菔法与芜菁同”（芜菁就是蔓菁）。后来宋代苏颂在《图经本草》中说：“旧说北无菘，今京洛种菘，都类南土，但肥厚不及尔。”明代李时珍在《本草纲目》中又说：“北无菘者，自唐以前或然，今则紫菘、白菘南北通有。”可见南北朝时期南方白菜种植虽然已经很发达，北方却在唐宋以后方盛。菘在栽培过程中，经历了散叶类型、半结球类型，最后才成为叶球坚实的结球类型，也就是包心紧凑的大白菜。这几种类型现在都还有栽种。清《顺天府志》产品录有关于结球白菜的确切记载。经过精心培育，现在华北地区已经有了五百多个地方品种，有些又引种到南方，栽培上也得到良好的成果。由于小白菜和大白菜都原产我国，所以它们的学名分别叫 *Brassica chinensis* 和 *Brassica pekinensis*，就是在芸薹属后边加上了中国和北京的字样。日本从 1875 年开始由我国引种白菜，中间几经波折，后来才迅速推广开来，现在产量和种植面积都占蔬菜中第二位。解放后还有另外一些国家从我国引种白菜。

萝卜古称 或称芦菔、莱菔。我国是萝卜的原产地之一。最早的记载见于《尔雅》。唐代苏敬在《新修本草》中说：“江北、河北、秦、晋最多，登莱亦好。”宋代已经“南北通有”，“河朔极有大者，而江南安州、洪州、信阳者甚大，重至五六斤，或近一秤，亦一时种蒔之力也。”（《图经本草》）由于我国萝卜栽培时间久，种植地域广，所以有世界上类型最多的品种。如有一二两重一个的四季萝卜，也有一二十斤一个大萝卜；有适于生吃色味俱佳的心里美，也有供加工腌制的露八分等。

芥菜是我国特产的蔬菜之一，有利用根、茎、叶的许多变种。野生芥菜原产我国，最初只是用它的种子来调味。李时珍在《本草纲目》里说，除了辛辣可以入药的，还有可以食叶的如马芥、石芥、紫芥、花芥等。现在叶用的有雪里蕻、大叶芥等，茎用的变种有著名的四川榨菜，根用的变种有浙江的大头菜等。这是我国劳动人民在改造植物习性上的一项成就。

除了驯化培育，我国还从很早就不断引进外来蔬菜，经过精心培育，逐渐改变了它们的习性，适应我国的风土特点，创造出许多新的、优良的类型和品种。如黄瓜，原来瓜小、肉薄，经过改进，不仅瓜型品质有了提高，而且还育成了适应不同季节和气候条件的新品种，从春到秋都可以栽种。原产印度的茄子，原始类型只有鸡蛋大小，而在我国很早就育成了长达七寸到一尺的长茄，重到几斤的大圆茄。华北的紫黑色大圆茄已经引种到许多国家。辣椒原产美洲，后来经由欧洲传入我国，不过三四百年，但是我们已经有了世界上最丰富的辣椒品种。除了长辣椒，还育成了许多类型的甜椒，其中北京的柿子椒已经引种到美国，命名为“中国巨人”。国外的许多甜椒品种就是在它的基础上选育出来的。

多种形式的蔬菜栽培技术

黄河中下游是我国早期农业的基地之一，在这冬季寒冷干燥而又漫长

的地区，自古能够做到周年均衡供应新鲜蔬菜，的确很不容易。为了争取多收早获，我国蔬菜生产除了露天栽培外，历代劳动人民还在生产实践中创造了保护地栽培、软化栽培、假植栽培等多种形式。像风障、阳畦、暖窖、温床以及温室等，到现在仍在沿用。

利用保护地栽培蔬菜，世界上当以我国为最早，至迟在西汉已经开始。《盐铁论·散不足篇》描写当时富人的生活享受有“冬葵温韭”，温韭就是经过加温培育的韭菜。《汉书·循吏传》说的更加具体，元帝竟宁元年(公元前33年)“太官园种冬生葱韭菜茹，覆以屋庑，昼夜燃蕴火，待温气乃生”，形象地描述了当时的宫廷为了在冬季培育葱韭菜蔬，盖了屋宇，昼夜不停地加温来生产的实况。根据传说，秦始皇的时候，在骊山已经能够利用温泉在冬季栽培出喜温的瓜类。到了唐代，对利用温泉的热能栽培蔬菜就有了比较确切的记载，这从王建(约769 - 约830)的诗“内园分得温汤水，二月中旬已进瓜”中可窥知一二。

元代《王祯农书》中，对利用阳畦生产韭菜有精确的记载：“又有就阳畦内，冬月以马粪覆之，于迎风处随畦以蜀黍篱障之，用遮北风，至春其芽早出，长可二三寸，则割而易之，以为尝新韭。”这是说北方的菜农，在冬天作成阳畦，利用马粪来发热壅培旧韭菜根，在早春时节取得新韭。用阳畦生产比温室更加经济，产品就可以供“城府士庶之家，造为饌食”了。

由阳畦、温室供应的蔬菜，在品种和数量上终归有限。冬季每天吃贮藏的萝卜、白菜，也嫌有些单调。于是就有了更加简便的用软化栽培生产的黄化蔬菜。早在战国时期就已有被称做“黄卷”的豆芽菜了。宋代以后，孵豆芽发展成一套完整的技术。据林洪《山家清供》中“鹅黄豆生”一节的记载，可用黑大豆做豆芽菜，因为它“色浅黄名为鹅黄豆生”。豆芽菜是我国劳动人民的独特创造，它是使种子经过不见日光的黄化处理发芽做成的。黄豆、绿豆和豌豆都可以用来生芽。它不只清脆可口，而且营养丰富，所以深受广大人民群众喜爱。

黄化蔬菜，不限于豆芽菜一类，韭、葱、蒜以至芹菜的秧苗都可以作黄化处理，其中韭黄一直受人珍视。宋代苏轼已经有“青蒿黄韭试春盘”的诗句。孟元老在《东京梦华录》里，也说到当时开封在十二月里，街头也有韭黄卖，可见韭黄至迟在北宋已经有了。关于温室围韭黄的技术，《王祯农书》里讲的比较具体：“至冬移根藏于地屋荫中，培以马粪，暖而即长，高可尺许，不见风日，其叶黄嫩，谓之韭黄。”

鲜菜贮藏除了常用的窖藏、埋藏外，还可以用假植栽培的方法。《齐民要术》卷九“藏生菜法”条中说：九月到十月中，在墙南边太阳可以晒到的阳处，挖一个四五尺深的坑，把各种菜一种一种的分别放在坑里，一行菜，一行土，到离坎一尺左右时就停止，上边厚厚的盖上秸秆，这样就可以过冬，要用就去取，和夏天的菜一样新鲜。这是利用类似阳畦的设施来贮藏保存像芹、油菜、茼蒿一类蔬菜。

世界上最大的果树原产地

世界上三个最大最早的果树原生地，除了南欧之外，就是我国华北、华南以及和它毗邻的地区。以华北为中心的原生种群，包含许多重要的温

带落叶果树，其中包括桃、中国李、杏、中国梨、柿、枣和栗等。分布在长江流域以南的常绿果树，有柑橘、橙、柚和龙眼、荔枝、枇杷等。有些不仅原产我国，而且到现在还是我国的特产。这些原产于我国的果树，现在多数已经推广到世界各地。下面仅就桃和柑橘类果树稍加说明。

桃原产我国西北部，是我国古老的栽培果树之一。过去西方一直误认为它起源于波斯(今伊朗)，所以桃在西方叫 *Persica*，意思是波斯果；桃的英文名称 *Peach*，也是由此衍变而来。经过考证和调查，近年来已经公认桃是我国原产。

桃在我国栽培已经有三千多年的历史，《诗经·周南·桃夭》中有“桃之夭夭，灼灼其华”，描写桃树开花结果的情况。《尔雅》也有“旌，冬桃”，“桃，山桃”的记载。其他文献上记载桃的就更多了。《齐民要术》上关于桃的特性、繁殖、栽培技术已经有比较详细的记载，可见当时桃树栽培技术已经相当发达。明代王象晋的《群芳谱》对于桃的品种叙述得比较详尽。

桃原产我国，近年来通过品种资源的调查，也得到了证实。桃的野生种和近缘种，如山桃、甘肃桃等，在我国西部和西北部山区都已经发现。而现在桃的栽培品种的不同类型，如粘核和离核，软肉和硬肉，尖嘴和平顶，以及蟠桃和油桃两个变种，在我国栽培品种中都有。所以说桃起源于我国，是无可怀疑的。

桃可能是在公元前二到一世纪西汉由我国西北沿“丝绸之路”经由中亚传入伊朗的，再由伊朗传到希腊，以后再传到欧洲各国。公元九世纪以后栽培的逐渐多起来，十九世纪后半期，日本、美国等又从我国引种水蜜桃和蟠桃，在这基础上培育了许多新的品种。

柑橘类果树是一个综合名称，它包含很多的种、变种和栽培品种。经济意义比较大的有甜橙、橘、柚和柠檬四种。除了柠檬，其余三种都原产我国。至于柑和橘严格说来没有截然的区别，学名都是 *Citrus reticulata* Blauco，除了果形有些差别，在生物学的习性上橘比较耐寒一些。

柑橘类在我国栽培的历史也是十分久远的，周代已经作为贡品，《禹贡》中就有记载，“厥包橘柚锡贡”。到了汉代已经大规模种植，《史记·货殖列传》上说，“蜀汉江陵千树橘”，收入可以比得上“千户侯”。后来宋代韩彦直写成了有关柑橘的专著《橘录》(公元 1178 年)。以橘做题材的文学著作，从《楚辞》的《橘颂》开始，多得数不清。可见它是深深受到我国人民喜爱的。

现在柑橘在我国栽培种植得很广，遍及长江流域以南十六个省区。柑橘类果树虽然喜温，但是经我国历代劳动人民精心培育，提高了它的越冬性，成功地培育出了抗寒品种。在栽培上又总结出了用实生树引种驯化，提早进入休眠期，以及培土壅根等措施。我国古代已经知道果园的位置要选在比较避风、避霜的地方。这样尽管长江流域经常遭受到周期性冻害，但是柑橘种植业还是不断得到发展。明代俞宗本在《种树书》上就说过，“洞庭霜虽多，无所损，橘最佳，岁收不耗。”

在欧洲，古代只有香橡供药用，公元十世纪以后才见到酸橙和甜橙的名称。公元 1545 年中国的甜橙第一次由葡萄牙人引种到里斯本，在这以后西方各国才开始大量栽培，逐步传播到世界各地。

巧夺天工的嫁接技术

在果树和经济林木的繁育上，嫁接有重要意义。因为这样的无性繁殖，比用种子的有性繁殖，不仅结果快，而且还能保持栽培品种原有的特性。同时，还能促使变异，培育新品种。嫁接技术在我国至迟到战国后期就已经出现。以后，《齐民要术》对有关嫁接的原理、方法，都有比较详备的记载。

《齐民要术》在《种梨篇》里指出：嫁接的梨树结果比实生苗快，方法是用棠梨或杜梨做砧木，最好是在梨树幼叶刚刚露出的时候。操作的时候要注意不要损伤青皮，青皮伤了接穗就会死去；还要让梨的木部对着杜梨的木部，梨的青皮靠着杜梨的青皮。这样做是合乎科学道理的，因为接木成活的关键在于砧木和接穗切面上的形成层要密切吻合。按《齐民要术》中说的，就是要求彼此的木质部对着木质部，韧皮部对着韧皮部，这样两者的形成层就紧密地接合了。

嫁接梨树，《齐民要术》中提到可供利用的砧木有棠、杜、桑、枣、石榴等五种。经过实践比较：用棠作砧木，结的梨果实大肉质细；杜差些；桑树最不好。至于用枣或石榴作砧木所结的梨虽属上等，但是接十株只能活一二株。可见当时对远缘嫁接亲和力比较差、成活率低这个规律，已经有了些认识。我们今天知道梨和棠、杜是同科同属不同种，至于梨和桑、枣、石榴却分别属于不同的科。

为了突出说明用嫁接繁育的好处，《齐民要术》还用对比的方法，介绍了果树的实生苗繁育。指出：野生的梨树和实生苗不经过移栽的，结实都很迟，而且实生苗还有不可避免的变质现象。就是每一个梨虽然都有十来粒种子，但是其中只有两粒能长成梨，其余的都长成杜树。这个事实说明当时人们已经注意到实生苗会严重变劣和退化，而且有性繁殖还会导致遗传分离的现象。用接木这样的无性繁殖方法，它的好处就在没有性状分离现象，子代的变异比较少，能够比较好地保存亲代的优良性状。

关于嫁接的方法，随着时代的推移也有了提高。《齐民要术》讲到的有见于《种梨篇》的一砧一穗或多穗的枝接法，有见于《种柿篇》的“取枝于枣根上插之”（枣就是软枣、黑枣）的根接法。元代《王桢农书·种植篇》中，总结出了以下六种方法：“夫接博（缚）其法有六，一曰身接，二曰根接，三曰皮接，四曰枝接，五曰靱接，六曰搭接。”“身接”近似今天的高接；“根接”不同于今天的根接，近似低接；“靱接”就是压接。这个分法有依据不一致的缺点：有以嫁接方法分类的，如压接、搭接；有以嫁接的砧木和接穗的部位分类的，如身接、根接、枝接等。但是他叙述得既简明而又条理细致，所以仍为后来的许多农书所袭用。有些接木名词作为专门术语，今天不只是在我国，甚至在日本也还在沿用。

正确掌握嫁接成活的技术关键，可以看作是嫁接技术提高的一个标志。明代徐光启在《农政全书》卷三十七《种植》中说：接树有三个秘诀：第一要在树皮呈绿色就是还幼嫩的时候，第二要选有节的部分，第三接穗和砧木接合部位要对好。照这要求来做，万无一失。它简要而又确切地说明了嫁接的年龄、部位和应该注意的事。有节的地方分殖细胞最发达，选择这个部位是有科学根据的。

清代陈子《花镜》一书，对嫁接的生理做了探索。《王桢农书》里

只是用“一经接博(缚)，二气交通”这样概括的推断来说明内在的机制。而《花镜》却清楚地说：“树以皮行汁，斜断相交则生。”它对嫁接成活生理机制的解释，符合砧木和接穗是通过两者木质部和韧皮部的营养输送而达到嫁接成活这一原理的。

最后顺便指出，从唐宋时期起，嫁接的应用已经不限果树桑木，并且推广到花卉上。宋代周师厚的《洛阳牡丹记》(公元 1082 年)里，就已有关于嫁接牡丹的记载。牡丹原产我国西北地区，它花大色艳，富丽多采，深受人们喜爱。但据成书于汉魏之间的《本草经》记载，最初却是作为药用植物被人采摘的。到了隋唐时期才成为主要供观赏用的花卉来栽种。宋代除了用引种、分株和实生等方法，还采用嫁接来繁殖。嫁接的好处不只能产生新种，而且还能把新种很快繁殖起来。所以宋代牡丹的品种既多，花型花色的变化也就更加复杂了。当时洛阳还出现了一些靠嫁接牡丹为生的园艺专业户，以致“种花如种黍，动以顷计。”嫁接的牡丹多已成为特殊的商品在市场上出售。嫁接的花卉除了牡丹，还推广到海棠、菊花、梅花等等。这虽然是由于迎合文人雅士和官绅的兴致，但也反映出当时的劳动人民在园艺技巧上的非凡成就。达尔文在《动物和植物在家养下的变异》一书中指出过：“按照中国的传统来说，牡丹的栽培已经有一千四百年了，并且育成了二百到三百个变种”。在这些变种中就有许多是靠嫁接获得的。

茶

中国科学技术大学 张秉伦

茶的起源和发展

我国是茶树的原产地之一，也是世界上发现茶树和应用茶叶最早的国家。我国茶叶一向以品质优良、品种繁多著称。现在世界上各产茶国家都直接或间接从我国引种过茶树或茶籽。因此各国现代语中的“茶”字，都是由我国“茶”字的广东音或厦门音转变而来的。而唐代陆羽(733 - 804)《茶经》(公元780年)又是世界上第一部茶的专著。

我国用茶历史悠久。茶在古代称荼，又名檟、蔎、茗、等。公元前一世纪西汉蜀人王褒《僮约》中就有“武都买茶，扬氏担荷”，“烹茶尽具，酺已盖藏”的话，是我国烹茶、买茶的比较早的记载，也是后世认为饮茶起源于四川的根据之一。

茶叶的应用，一开始是用野生鲜叶直接作为药用或饮用的，后来才有栽培茶树。我国已有二千多年的种茶历史了。据《四川通志》记载：“汉时甘露祖师姓吴名理真”曾在蒙山种茶。晋代常璩《华阳国志》载有“园有芳蒻、香茗”，芳蒻是竹子，香茗是茶。既然种在园中，肯定是人工栽培的茶树。到唐代，茶树栽培已经扩展到现在的江苏、安徽、江西、四川、湖北、湖南、浙江、福建、广东、云南、陕西、河南等省。当时农民致力种茶，崎角山麓遍植茶树，而且出现了官营茶园。关于茶树栽培的详细记载，比较早的见于唐代的陆羽《茶经》和韩鄂《四时纂要》等；元代的《四时类要》等书，也有关于茶树栽培的详细记载。茶树是适宜短日照而且耐阴的植物，宋子安《试茶录》说：“茶宜高山之阴而喜日阳之早”。一定的阳光照射，能使茶树茂盛，但是日光太强，叶片老得快，制成茶叶品质不好。云雾缭绕的山区出产的茶叶，又嫩又香。所谓“高山出名茶”，就是这个道理。所以我国古代茶园选择的标准，是“宜山中带坡坂”有树荫或北阴的地方，或者是“植木以资茶荫”。这样既有利于排水，又能提高茶树成活率和茶叶的品质。我国著名的绿茶婺源茶，就是栽培在乌桕树下的。如果平地种茶，那就要开沟泄水，因为茶树根受水浸泡容易死去。

陆羽《茶经》书影。

茶籽需要经过一定的休眠期，并且要求保持一定的温度和湿度，才能发芽。唐代韩鄂《四时纂要》中记载了沙藏催芽法，把成熟的茶籽用湿沙土拌和，放在筐笼里，再加糠覆盖，以免受冻。来年采用多子穴播法种在已经挖好并且上足基肥的茶坑里，精心管理，干时要浇水，合理施用人粪尿和蚕粪等有机肥料，“三年后每科收茶八两，每亩计二百四十科，计收茶一百二十斤。茶未成，开四面不妨种雄麻、黍、稷等”(《四时纂要》)。可见当时茶叶产量已经相当高，并且在茶苗阶段实行了茶粮间种。

古代采摘茶叶也是十分讲究的。陆羽《茶经》中说：“采不时，造不精，杂以卉莽，饮之成疾，茶之累也。”一般说来气温比较高的地区采茶比较早，气温比较低的地区采茶稍晚。同一采茶季节，唐宋两代以早晨或阴天为采茶得时，而且讲究用指甲不用指头采茶。“以甲速断不柔，以指则多温易损。”制作高级茶叶，还要求根据茶叶的老嫩程度分别采摘，如

分“芽如雀舌谷粒”、“一枪一旗”(即一芽一叶)、“一枪二旗”等等。这样,加工的时候便于操作和掌握火候,外形也整齐划一。

关于茶叶的加工,根据陆羽的记载,三国魏张揖所撰《广雅》中说:“荆巴间采叶作饼,叶老者饼成,以米膏出之,欲煮茗饮,先炙令赤色,捣入瓷器中,以汤浇覆之,用葱、姜、橘子芼之,其饮醒酒,令人不眠。”(引自《茶经》,芼(mào)‘拌和’的意思。)

唐代的茶叶加工方法已经有很大改进,并且发明了蒸青制法,就是把鲜叶采回,用蒸汽杀青,捣碎,制饼、穿孔,贯穿起来烘干,消除了以前茶饼的青臭气味,也便于贮藏和运输。所以在唐代,江南茶叶大量运销华北和塞外。宋代是把鲜叶先洗涤后蒸青,蒸后压榨去汁,再制饼。从宋到元,人们为了简化制茶过程,保持茶叶真味,逐渐由蒸青饼茶和团茶改为蒸青散茶,茶叶蒸青后不揉不拍,直接烘干制成。全叶茶从此问世,古老的饼茶制法基本终结。

元末明初又发明了炒青绿茶,制法简单,省工省时,茶叶的色、香、味、形都有很大改进,一直沿用到今天。明代以来,花茶和红茶的制法又相继发明。所以我们现有的绿茶、红茶、花茶等几种主要茶类,在明代就都有了。

绿茶的主要生产工艺包括杀青、揉捻、干燥等过程。杀青的目的是破坏酶类,防止发酵,保持天然色泽,所以绿茶又叫不发酵茶。杀青能使叶细胞里水分向外扩散,降低膨压,使叶片呈柔软状态,便于进一步加工揉捻而不至破碎。揉捻目的是把茶叶捻成紧索,便于包装运输。同时由于揉捻,茶汁流出,凝集于表层,使茶叶油润,泡饮的时候浸出物也多,所以绿茶有香气高、滋味醇厚的特点。

红茶要经过萎凋、揉捻、发酵等加工过程。萎凋是使含有百分之七十以上水分的鲜叶失去一部分水分,降低细胞里的膨压,使细胞膜呈现松弛皱缩状态,便于揉捻的时候卷曲成条,不容易破碎。发酵是通过酶类微生物、氧化等作用,使茶叶发生化学变化,青草味消失。所以红茶又叫发酵茶。红茶气味芬芳,滋味醇厚,色泽乌黑油润,汤色红艳明亮。

花茶是选用浓郁芬芳的鲜花和上等绿茶窨(同“熏”)制而成。最早在茶叶中掺入他种香料是在宋代。蔡襄(1012 - 1067)《茶录》中说:“茶有真香,而入贡者,微以龙脑和膏,欲助其香。”以花窨茶,是明代开始的。明代程荣的《茶谱》中说:“木樨、茉莉、玫瑰、蔷薇、蕙兰、莲、橘、梔子、木香、梅花皆可作茶。诸花开时,摘其半含半放蕊之香气者,量其茶多少,摘花窨茶,三停茶,一停花,用瓷炉罐,一层茶,一层花,相间至满,纸箬封固入锅,重汤煎之,取出待冷,用纸封裹,火上焙干收用。”浓郁的鲜花香气溶于清爽茶味之中,使花香茶味相得益彰,是花茶的特色。花茶属于特别茶。

就茶叶的品种来说,早在唐代,由于“风俗贵茶,茶之名品亦众”(陆羽:《茶经》)。蒙顶石花、顾渚石笋、福州方山露芽、霍山黄芽等十多种,都是当时的名茶。宋代仅福建一地的“贡茶”,就有“万春银叶”、“上品拣茶”等四十一一种之多。今天,茶的名品更是数不胜数。在国内外市场上享有很高声誉的,就有安徽祁门红茶、黄山毛峰、齐云瓜片、太平猴魁,浙江狮峰龙井、平水珠茶,福建武夷岩茶,江苏碧螺春,云南红茶、普洱茶,台湾乌龙茶,以及各省窨制的高级茉莉花茶等等。

古籍中关于茶叶功效的记载

古今中外，人们之所以喜欢饮茶，是因为茶叶不仅是一种可口的饮料，而且饮茶有益健康。正因为茶叶具有这种功能，所以茶叶一经传入欧洲，很快就同咖啡、可可一起成为世界三大饮料之一。关于茶叶功效的记载，我国古籍中很多。例如《神农本草经》说，神农尝百草，遇毒，“得茶易解之”；“茶能令人少眠、有力、悦志”。东汉三国的医学家华佗(145？- 208)在《食论》中说：苦茶久饮，可以益思。明代顾云庆《茶谱》中说：“人饮真茶能止渴，消食，除痰，少眠，利尿道，明目益思，除烦去腻。人固不可一日无茶。”李时珍《本草纲目》中说：“茶苦而寒，……最能降火，火为百病，火降则上清矣。”“温饮则火因寒气而下降，热饮则茶借火气而升散。”

据近代科学分析研究，饮茶确有清热降火、消食生津、利尿除病、提神醒脑、消除疲劳、恢复体力等功效。实践证明，劳动疲劳之后，脑力劳动困倦的时候，饮浓茶一杯，顿觉精神兴奋。因为茶中含有咖啡碱，具有刺激神经、亢进肌肉收缩力、活动肌肉的效能，并能促进新陈代谢。炎热酷暑，喝一杯热茶，便觉凉爽。在丰餐盛宴以后，饮一杯浓茶，油腻食物便容易消化。这是因为茶中含有芳香油，能溶解脂肪。有人曾用白鼠做试验，发现每餐后饮茶十毫升的小白鼠，粪便中所含脂肪酸比不饮茶的少三分之二。还有人证实，茶汁有中和由偏食蛋白或脂肪而引起的酸性中毒的功效。因此一些以肉食为主的民族有“宁可一日无油盐，不可一日无茶”的说法。这些试验结果表明，我国古代关于茶叶功能的记载是相当科学的。

此外，茶中含有多种维生素和氨基酸、矿物质等。维生素C能抗坏血病。维生素P可以减少脑溢血的发生。茶鞣质能凝固蛋白质，而且具有杀菌和抑制大肠杆菌、链球菌、肺炎菌活动的作用，因而能治疗细菌性痢疾，对伤寒霍乱也有一定的疗效。茶叶还有助于增强血管弹性，预防动脉硬化。国内外研究结果认为，饮茶对治疗慢性肾炎、肝炎和原子辐射都有一定效果。自古以来，我国中医药方中常常用到茶叶，现在济南中医药方中还经常要用到松萝茶。可见我国古代认为饮茶有益健康，用茶治病，是有科学根据的。

茶香万里，情及五洲

茶不仅是我国人民的传统饮料，也是世界人民普遍爱好的饮料之一，因此，很早就成为我国出口的主要商品了。

公元五世纪，我国茶叶开始输入亚洲一些国家，十七世纪运往欧美各国。茶叶一旦传入外国，立即受到国外人士的珍视和欣赏，广为宣传。从此中国茶叶的功能和饮用方法先后为世界各国所了解，饮茶风尚逐渐盛行全球。因此我国茶叶输出量与日俱增。十九世纪末叶以前，我国茶叶在世界市场上还是独一无二的。输出量最盛时期的清光绪十二年(公元1886年)达二百六十八万担(合十三万四千吨)，值银五千二百二十万两，占出口总值半数以上，居我国出口商品的第一位。我国不仅输出茶叶，而且向很多国家提供过茶树或茶籽。公元九世纪初茶树传入日本，十七世纪茶籽传入

爪哇，十八世纪茶籽传入印度，十九世纪茶树先后传入俄国和斯里兰卡等国。爪哇和印度还分别在公元 1833 年和 1834 年从中国运走茶工和制茶工具，在国内试种茶树和制茶。

解放后，我国茶叶不仅行销五大洲近百个国家和地区，而且为了增进亚非人民的友谊，我国政府还协助马里、几内亚、摩洛哥、阿富汗等国引种了中国茶。现在友谊之树已经开花结果。马里的西卡索郊区试种我国茶树采制的第一批茶叶，品质优良，这种茶曾经在巴黎参加农业博览会，荣获一等奖。真是茶香万里，情及五洲。

中国古代养蚕科学技术的发展和传播

自然科学史研究所 汪子春

中国是世界上栽桑、养蚕、丝织最早的国家。中国古代劳动人民发明了栽桑养蚕的技术，在长期的生产实践中，不断地发展和提高，并先后传播到世界各国。养蚕取丝是中国古代人民开发利用生物资源取得伟大成就的最显著例子之一，这是中国古代对世界人民的一项卓越贡献。

悠久的历史

据传说，养蚕织丝是黄帝的妻子嫫祖发明的。当然，像养蚕织丝这样的伟大发明，只能是广大人民群众在长期生产实践中不断积累经验的结果，决不可能是哪一个人的发明。不过，这一传说说明，我国蚕桑生产的确有非常悠久的历史。

中国考古工作者在浙江吴兴钱山漾新石器时代的遗址中，发现有一批盛在竹篮里的丝织品，其中有绢片、丝带和丝线等。这说明，我国至迟在距今四千多年前，就已经有比较发达的蚕桑丝织生产了。如果再往前推，1926年考古工作者在比钱山漾遗址年代更早的山西夏县西阴村新石器时代遗址中，发现过一个被切割过的蚕茧，这个蚕茧也许跟我们的祖先的蚕丝生产活动有某种联系。

蚕，原是野生在自然生长的桑树上的，以吃桑叶为主，所以也叫桑蚕。在桑蚕还没有被驯养之前，我们的祖先很早就懂得利用野生的蚕茧抽丝了。究竟在什么时候开始人工养蚕，现在还难以确定。但是早在殷周时期，我国的蚕桑生产已经有很大发展，可见开始人工养蚕远在殷周之前。

从古老的文献中，我们看到关于养蚕的直接记载。反映夏末殷初淮河流域一带的生产情况的《夏小正》中说：“三月……撮桑，……妾子始蚕。”这是说，夏历三月（阴历四月间）要修整桑树，妇女开始养蚕。

殷代甲骨文中不仅有蚕、桑、丝、帛等字，而且还有一些和蚕丝生产有关的完整卜辞。据甲骨文学家胡厚宣的研究指出，有的卜辞上记载，叫人察看蚕事，要经过九次占卜。可见蚕桑在当时是一项非常重要的生产事业。甲骨文中还有关于蚕神和祭祀蚕神的记载，当时人们为了养好蚕，用牛或羊等丰厚的祭品祭祀蚕神。

考古学家还不是一次在殷墓中发现有形态逼真的玉蚕，例如河南安阳殷墓和山东苏埠屯都出土有商代的玉蚕。在殷商的铜器上也常发现有用蚕做装饰花纹的。这些都说明，蚕在当时人们心目中占有重要的位置。

许多传世的殷代青铜器物附着有丝织物的痕迹或绢丝断片。经研究，有些丝织品反映出当时已经有相当高级的丝织技术；并且有大量事实说明，丝织品在当时社会经济生活中越来越重要，已经成为货物交换的中间媒介。要生产大量的丝织品，只有靠发展人工养蚕，才能提供足够的蚕丝原料。

到了周代，栽桑养蚕已经在我国南北广大地区蓬勃发展起来。丝绸已经成为当时统治阶级衣着的主要原料。养蚕织丝是妇女的主要生产活动。

《诗经》中就有许多诗篇提到蚕桑。例如《诗经·豳风·七月》：“春日

载阳，有鸣仓庚。女执懿筐，遵彼微行，爰求柔桑。”意思是：春天里一片阳光，黄莺鸟儿在欢唱。妇女们提着箩筐，络绎走在小路上，去给蚕采摘嫩桑。这生动地描绘了当时妇女们采桑养蚕的劳动情景。

周代已经大面积栽种桑树。《诗经·魏风·十亩之间》中有“十亩之间兮，桑者闲闲兮”的诗句，意思是：十亩桑园绿树间啊，采桑人儿多悠闲啊。这说明春秋时期桑树已经成片栽植，而且一块桑田有十亩之大。当时栽种的桑树，大概有灌木式的，也有乔木式的。现在我们还可以在战国时期铜器上的采桑图中看到古代劳动妇女提篮采桑的生动形象，也看到当时栽种的乔木式和灌木式两种桑树。

据《诗经》、《左传》、《仪礼》等古书记载，当时蚕不仅已经养在室内，而且已经有专门的蚕室和养蚕的器具。这些器具包括蚕架(“桤”或“槌”)、蚕箔(“曲”)等。由此可见，到殷周时期，我国已经有了一套比较成熟的栽桑养蚕技术。

蚕桑技术的发展

战国时期的《管子·山权数篇》中说：“民之通于蚕桑，使蚕不疾病者，皆置之黄金一斤，直食八石，谨听其言，而藏之官，使师旅之事无所与。”这是说，群众中有精通蚕桑技术、能养好蚕、使蚕不遭病害的，请他介绍经验，并给予黄金和免除兵役的奖励。的确，最有经验、最有知识的，是从事生产实践的广大人民群众。他们中有很多蚕桑专家和能手，他们在长期的养蚕生产实践中，不断有所创造和发明，为我国和世界养蚕业积累了极其丰富和宝贵的经验。

中国古代有很多记述栽桑养蚕技术的书。汉代曾经提到我国古代有《蚕法》、《蚕书》、《种树藏果相蚕》等蚕桑著作。可惜，这些古籍都已经失传了。但是从汉代以来，两千多年中，仍然留下了不少有关蚕桑的古籍，如《汜胜之书》、《齐民要术》、《秦观蚕书》、《豳风广义》、《广蚕桑说》、《蚕桑辑要》、《野蚕录》、《樗茧谱》等等，或是专讲蚕桑的，或是讲到蚕桑的。这些书记下了我国历代劳动人民栽桑养蚕的丰富经验。

要发展养蚕，就必须繁殖桑树，发展桑园。远在西周，人们就利用撒子播种来繁殖桑树。至迟到公元五世纪南北朝时期，压条法已经应用在桑树繁殖上。《齐民要术》中讲述了这种方法。压条法用桑树枝条来繁殖新桑树，比用种子播种缩短了许多生长时间。宋元以来，我国南方蚕农更发明了桑树嫁接技术，这是一种先进的栽桑技术，它对旧桑树的复壮更新，保存桑树的优良性状，加速桑苗繁殖，培育优良品种，都有重要的意义，到现在也还在生产中发挥着重大的作用。

桑叶是家蚕的主要食料，桑叶的品质好坏，直接关系到蚕的健康和蚕丝的质量。我国很早就发明了修整桑树的技术。早在西周，就已经有低矮的桑树，它或许就是后来所讲的那种“地桑”(鲁桑)。西汉的《汜胜之书》具体讲述了这种地桑的栽培方法：头年把桑葚和黍种合种，待桑树长到和黍一样高，平地面割下桑树，第二年桑树便从根上重新长出新枝条。这样的桑树，低矮便于采摘桑叶和管理。更重要的是这样的桑树枝嫩叶肥，适宜养蚕。贾思勰在《齐民要术》中引用农谚，对地桑(鲁桑)作了肯定的评价，说：“鲁桑百，丰绵帛，言其桑好，功省用多。”著名的湖桑就是源

于鲁桑，两宋以来，人们已把北方的优良桑种鲁桑应用嫁接技术引种到南方。人们以当地原有的荆桑作为砧木，以鲁桑作为接穗，经过长期实践，逐渐育成了鲁桑的新类型“湖桑”。湖桑的形成，大大促进了我国养蚕业的发展。桑树修整技术不断发展提高，桑树树形也不断变化，由“自然型”发展为高干、中干、低干和“地桑”，由“无拳式”发展为“有拳式”。质量优良的桑叶，只能在新生的枝条上产生，通过修整，剪去旧枝条，可以促使新枝条发生。新生枝条吸收了大量的水分、养分，使叶形肥大，叶色浓绿，既增加产量，又提高叶质，这就有利于养蚕生产。这也是我国古代劳动人民的独特创造。十九世纪后半叶，日本人也根据我国《齐民要术》和其他蚕桑古籍的记载，把桑树培育成各种形式。

制备蚕种，是养蚕生产的一个重要环节。《礼记·祭仪》中有“奉种浴于川”的记载，可见早在两千多年前，人们就已经知道用清水浴洗卵面保护蚕种。后来更发展用朱砂溶液、盐水、石灰水以及其他具有消毒效果的药物来消毒卵面，如南宋《陈旉农书》记载：“至春，候其欲生未生之间，细研朱砂调温水浴之。”这种临近蚕卵孵化的时候所进行的浴种，对预防蚕病是很有意义的。因为通过浴种，把卵面消毒干净，蚕孵出以后，就不会有病菌侵袭蚕蚁(幼蚕)。我们知道，有许多病菌，如微粒子病原虫和脓病毒，都是经过食道传染的。孵化的时候，蚕蚁都要咬去一部分卵壳才能出壳。如果卵面上带有这些病菌而又没有消毒，那么蚕蚁咬壳的时候就非常容易感染这些疾病。

至少在一千四百多年前，蚕农就已经注意蚕种的选择工作了。《齐民要术》说：“收取茧种，必取居簇中者。近上则丝薄，近下则子不生也。”古人认为选种对养好蚕有两种意义：一是可以淘汰体弱有病的蚕种，二是使第二代蚕的生长发育时间和速度一致，便于饲养和管理。选种包括选蚕、选茧、选蛾和选卵四项。但是最初人们选种的时候并没有完全包括这四项。《齐民要术》只是提到要选取“居簇中”的茧留作种。宋末以来，人们已经进一步从各个角度，如茧的质量，成茧的时间和位置，蛾出茧的时间，蛾的健康状态，以及卵的健康状态等，来选取种茧、种蛾和种卵。到清代，人们更注意到了选蚕，他们知道只有“蚕无病，种方无病”。

通过层层严格选种，淘汰了大量有病或体质虚弱的蚕种，这样就提高了第二代蚕的体质，增强了它们对疾病的抵抗力，同时还在一定程度上防止了微粒子病原虫和脓病毒通过胚子传染给子代蚕。我们知道，十九世纪法国微生物学家巴斯德(1822 - 1895)提出的防止微粒子病蔓延的基本方法就是通过严格选种，以切断微粒子病原虫的胚胎传染途径。

古人也认识到蚕的生长发育和周围环境有密切关系。远在秦汉时期，人们就知道：适当的高温和饱食有利于蚕的生长发育，可以缩短蚕龄；反过来就不利于生长发育，并且要延长蚕龄。历代蚕农都非常重视控制蚕的生活的环境条件。《齐民要术·种桑柘篇》载有在蚕室四角置火加温来调节蚕室温度的办法，“火若在一处，则冷热不均”，“数人候看，热则去火”。金末元初的《士农必用》也提出：幼蚕时蚕室要暖些，因为那时天气还很冷；而到大眠之后，就必须凉些，因为那时天气已经热了。《务本新书》说：“风雨昼夜总须以身体测度凉暖。”养蚕的人只穿单衣，以自己身体做比较：“若自己觉寒，其蚕必寒，便添火；若自觉热，其蚕必热，约量去火。”在一般情况下，人体的舒适的环境温度和蚕所需的生活温度

大致相近，以人体的冷热感觉来调节蚕室温度，基本上是合理的。《王祯农书》中对幼蚕期蚕室生火，体测冷热，一眠后卷窗帘通风，夏日门口置水瓮生凉气等，都有详细记载。

在长期的养蚕生产中，我国古代蚕农积累了丰富的防治蚕病的经验。他们采取了许多卫生措施、药物添食以及隔离病蚕等办法，来防止蚕病的发生和蔓延。

公元二世纪东汉崔寔在《四民月令》中说：“三月清明节，令蚕妾治蚕室，涂隙穴，具槌持箔笼。”这是说，养蚕前必须修整和打扫蚕室蚕具。古代还发明了用烟熏的方法来消毒蚕室。这些养蚕前的卫生消毒工作，对预防蚕的病虫害，无疑起了积极的作用。另外在整个饲养过程中，要及时清除蚕沙(蚕粪)，不断消毒蚕具。金元时期的《农桑要旨》说：蚕座的“底箔须铺二领，蚕蚁生后，每日日出卷出一领，晒至日斜，复布于蚕箔底，明日又将底箔搬出曝晒如前”，反覆替换。这样利用日光消毒蚕具，是一个经济实用的方法。药物防治蚕病，包括药物添食和药物烟熏两种。

药物添食防治蚕病已经有八百多年的历史。《士农必用》说：以快要落叶的桑叶，“捣磨成面”、“能消蚕热病”。后来的《养余月令》(公元1633年)和《养蚕秘诀》等书还记载了用“甘草水”、“大蒜汁”、“烧酒”等喷在叶上喂蚕，来防治各种蚕病。到后来更针对不同的症状，提出不同的治病药方。

从明代以来，对某些传染性蚕病，如脓病、软化病和僵病等，已经有了一定的认识，并且知道采取淘汰或隔离的措施，来防止蚕病的蔓延。

家蚕蝇蛆病是我国养蚕史上的主要病害之一。蝇蛆病是种蚕蛆蝇寄生的结果。蝇，古称“蠋虫”。两千多年前，《尔雅》中就有“国貉虫蠋”的话，晋代郭璞《注》说：“今呼蛹虫为蠋”。蛹虫的意思是，这虫寄生在蛹身上。南宋末年陆佃著《埤雅》中清楚地描述了这种寄生现象。他说：“蠋，旧说蝇于蚕身乳子，既茧化而成蛆，俗呼蠋子。入土为蝇。”这里说蠋把卵产在蚕身上，待蚕结茧化蛹时，它已化为蝇蛆。明代谭贞默通过亲身观察，进一步证实前人的记载完全正确。他进一步指出蚕蛆蝇多发生于二蚕，二蚕有十分之七被寄生。在古代，由于蚕蛆蝇为害主要是在夏蚕，所以随着夏蚕饲养比例的上升，蝇蛆病为害问题也就更加引起人们的注意了。人们虽然很早就发现了蝇蛆病，但在宋代以前的农桑著作中，却很少有关于防治蚕蛆蝇为害的记载。到了宋代以后，记载就屡见不鲜。元代初年，司农司所编写的《农桑辑要》一书，多次提到养夏蚕和防蝇的问题。它在“夏秋蚕法”条下引《士农必用》说：“今时养热蚕，以纸糊窗，以避飞蝇，遮尽往来风气，……或用荻帘，当窗系定，遮蔽飞蝇。”在《王祯农书》中，也有类似的记述：“又有夏蚕、秋蚕，夏蚕自蚁至老俱宜凉，惟忌蝇虫。”这说明在元代人们为了养好夏、秋蚕，就已经十分注意防蝇工作了。

在明清时期的著作中，有关蝇蛆病和防蝇的记述就更多了。在谭贞默著《谭子雕虫》一书之前，皇甫汈的《解颐新语》(公元1582年)也谈到了“蝇蛆病”：“今之养蚕者，苍蝇亦寄卵于蚕之身。久则其卵化为蝇，穴茧而出”。徐光启在《农政全书·蚕桑篇》中也特别提醒蚕农，养“夏、秋蚕俱要计算除蝇”。宋应星《天工开物·乃服篇》中有这样的记载：“凡害蚕者，有雀、鼠、蚊三种，雀害不及茧，蚊害不及早蚕，鼠害则与之相

始终。”这里说的“蚊害”，当是“蝇害”之误。因为在养蚕生产中，蚊子并不造成危害，而且在养蚕史上，也只有“蝇害不及早蚕”一说。

清代，蝇蛆病害引起了人们的严重关切。同治年间，沈秉成在《蚕桑辑要》一书中说：“原蚕即夏蚕，又名二蚕，……二十二日即老，最忌大苍蝇。”沈秉成是浙江人，他生活在养蚕地区，并做过清朝的常州、镇江、通州、海宁道道台，曾在镇江提倡蚕桑。他说养夏蚕“最忌大苍蝇”，显然是根据当时实际情况作出的经验总结。在这里他用了“最”这个副词，以引起人们的特别注意。俞墉在《蚕桑述要》(公元1866年到1874年)中也说：“蚕更忌苍蝇，无论大小，被叮咬一口，至蚕老成茧之后，即有蛆虫于茧身，咬一小孔钻出，而蚕蛹已死，不复变蛾。隔三四日，蛹腐污茧矣。”俞墉是浙江吴兴人，记述虽然比较粗糙，但也是从实践和观察中得出的结论。他指出了被蝇蛆所寄生的蚕蛹是要死亡的，而死蛹的烂尸还污染茧丝。

对多化性蚕蛆蝇和它的为害描述最详细的是赵敬如撰写的《蚕桑说》(公元1896年)一书。书中有如下一段记载：“又有一种大麻蝇，虽不食蚕，为害最甚。此麻蝇与寻常麻蝇不同，身翅白色，遍体黑毛，两翅阔张，颇形凶恶之状。其性颇灵，其飞甚疾。每至飞摇不定，不轻栖止，即偶栖止，见影即飞，甚不易捉获。其来时蚕略栖即下一白卵，形细如虬。二日，下卵之处变黑色，其蛆已入蚕身，在皮内丝料处，专食蚕肉。六七日，蛆老，口有两黑牙，钳手微痛。蚕因不伤丝料，仍可作茧。蛆老借两黑牙啮茧而出，成小孔，即蛀茧也。蛀茧丝不堪缫。蛆出一日，成红壳之蛹。十二三日，破壳而出仍为白色大麻蝇。幸而二三眠天气尚凉，此蝇不多。天暖蝇多，无术可驱。大眠初起受蛆，便不及作茧而死。故夏蚕不避此蝇，蚕无遗种。”这段记载，对蚕蛆蝇的形态和生活习性作了相当详细的描述。正如邹树文在《中国昆虫学史》一书中指出：赵敬如《蚕桑说》中对蚕蛆蝇的细致观察和描述，可能是接受了西方现代的科学方法。这也进一步印证了我国古籍中关于家蚕蝇蛆病害的记载基本上是正确的。

家蚕经过历代人民长期的饲育和选择，性状发生了很大变化，在各个历史时期和各个地区，形成了各种类型的品种。宋元时期，虽然我国北方主要还是饲育一化性的三眠蚕，但是在南方已经主要饲养一化性或二化性的四眠蚕了。三眠蚕抗病能力比四眠蚕强，容易饲养。但是从蚕丝生产角度看，四眠蚕的茧丝比三眠蚕优良。经过长期培育，我国南方江浙地区终于成功地饲养了四眠蚕，并且培育出了许多优良品种。难饲养的四眠蚕的饲育成功和推广，是养蚕生产上的一个进步。

为了发展蚕丝生产，我国古代除了饲养春蚕外，还饲养夏蚕、秋蚕，甚至一年里养多批蚕。早在《周礼》这部书中，就已经提到“原蚕”，“原”是“再”的意思。原蚕就是一年中第二次孵化所养的蚕，也就是夏蚕。汉代焦贛(延寿)所著的《易林》中有“秋蚕不成，冬蚕不生”的记载。可见当时人们不仅饲养夏蚕，而且还饲养秋蚕和冬蚕。为了一年能养多批蚕，古人除了利用多化性自然传种外，在一千六百多年前，还发明了低温催青制取生种的方法。这方法是利用低温抑制一种二化性蚕的蚕卵，使它延期孵化。这样，一种蚕就可以在一年里连续不断孵化几代，为能在一年里多批养蚕创造了有利的条件。这是我国古代养蚕生产技术上的又一项重要创造。用人工低温制取生种，充分反映我国古代人民的聪明才智。在人工孵

化法发明以前，人们为了能在一年里养多批蚕，只能利用天然的多化性蚕来传种。但是多化性蚕所出产的蚕丝，无论是数量和质量都远不如二化性蚕。为了能在一年里分批多次养蚕，并又能获得比较多和比较好的蚕丝，我们的祖先创造性地采用人工低温催青二化性蚕，使它在一年中连续孵化出好几批蚕。同时又让每批这种蚕所产的卵，在自然高温影响下孵化，从而获得了各批越年化的蚕。虽然这种蚕所产卵须待来年春天才能孵化，但由于它质量比较好，所以它还是受到蚕农的欢迎。这样，既可以解决多次养蚕的传种问题，同时又尽可能获得比较好的蚕丝。

特别要提到的是，我国明代蚕农，在制备夏蚕种的生产中发现了家蚕的杂种优势。明代宋应星在《天工开物》中说：“凡蚕有早、晚二种。晚种每年先早种五六日出，结茧亦在先，其茧较轻二分之一。”又说：“今寒家有将早雄配晚雌者，幻出嘉种，一异也。”《天工开物》中所说的“早种”就是一化性蚕，“晚种”就是二化性蚕。所以，所谓“早雄配晚雌”就是一化性的雄蚕和二化性的雌蚕杂交。根据现代家蚕杂交实验证明，“早雄配晚雌”所产生的杂种是二化性的，因此它可以作为夏蚕种继续在夏季饲养。《天工开物》指出“早雄配晚雌”出现了“嘉种”，就是产生了优良的杂种。这是世界上最早的关于家蚕杂种优势利用的记载。

我国也是世界上最大的生产柞蚕丝的国家。

柞蚕，也叫山蚕或野蚕。它以吃柞树叶为主。我国山东半岛是放养柞蚕的发源地。那里的人民很早就利用柞蚕茧丝。据古书记载，早在汉元帝永光四年(公元前 40 年)，山东蓬莱、掖县一带的人民就已经采收野生的柞蚕茧，制成丝绵。后来人们逐渐知道利用柞蚕茧丝来织绸。到了明代，用柞蚕茧丝织绸制衣，已经风行全国。

在明代，山东蚕农已经有了一套比较成熟的放养柞蚕的方法。清初山东益都的孙廷铨还写了一部《山蚕说》，专门介绍放养柞蚕的技术。书中说，当时胶东一带山区，到处都放养着柞蚕。不久，放养柞蚕就逐步扩大到我国的其他地区，首先传到和山东隔海相望的辽东半岛。这里逐渐地成了我国第二个放养柞蚕的中心地。接着放养柞蚕的方法又传到河南和陕西，后来又推广到比较远的云贵等地。

蚕桑技术的外传

世界上所有养蚕国家，最初的蚕种和养蚕方法，都是直接或间接地从我国传去的。

朝鲜是我国的近邻，两国人民早就亲密往来。根据古书上的记载，我国的蚕种和养蚕方法，远在公元前十一世纪就已经传到了朝鲜。日本的养蚕方法，据传说是在秦始皇的时候从中国传去的。后来日本人又多次派人到中国和朝鲜取经，或招收中国技术人员去日本传授经验，以促进发展养蚕事业。直到近代，日本还不断地从我国引进优良的家蚕品种和先进的栽桑技术。

我国古代劳动人民生产的美丽的丝绸，很早就源源不断地运往波斯、罗马等地。西汉建元三年(公元前 138 年)，汉武帝派遣张骞通西域，最远曾到达中亚细亚，我国古代的丝绸，大体就是沿着张骞通西域的道路，从昆仑山脉的北麓或天山南麓往西穿越葱岭(帕米尔)，经中亚细亚，再运到

波斯、罗马等国。这就是闻名世界的“丝绸之路”。后来蚕种和养蚕方法也是先由内地传到新疆，再由新疆经“丝绸之路”传到阿拉伯、非洲、欧洲去的。

公元七世纪，养蚕法传到阿拉伯和埃及。十世纪传到西班牙。十一世纪又传到意大利。十五世纪蚕种和桑种被人带到法国，从此法国开始有了栽桑养蚕织丝的生产。英国看到法国养蚕获大利，便效仿法国，于是养蚕生产又从法国传到了英国。

在美洲，据说墨西哥公元十六世纪中叶就已经养蚕，但是，美洲大规模发展养蚕生产还是十七世纪的事。那时英国殖民主义者认为它的美洲殖民地气候适宜，土地肥沃，发展养蚕有利可图，于是就在美洲殖民地大规模开展养蚕试验。

中国古代畜牧兽医方面的成就

北京农业大学 张仲葛

中国驯养动物，和世界其他古老的民族一样，起始于远古时期。

根据考古发掘，许多新石器时代遗址中，都发现有猪、狗、牛、羊的骨骼，个别遗址中还有马和鸡的骨骼。可以说，新石器时代中国已经有了原始的畜牧业，而且在过去的几千年中，畜牧业曾在经济上占有重要地位。

自古以来，我们的祖先在畜牧和兽医方面，积累了丰富的科学知识和技术经验。

马的饲养管理、蹄铁术的发明以及杂交改良工作

马匹不仅是农业生产中的重要役畜，更重要的是古代军事和交通的必需物资，所以历代对养马都非常重视。

劳动人民在长期饲养家畜的实践中，了解到一切家畜中，以马最娇贵，必须特别加以细心饲养，才能培育出良好的马匹来。当时就已经知道在饲养马匹方面进行饲料的合理搭配。如《诗经·周南·汉广》：“言秣其马”；《韩非子·外储篇》：“吾马菽粟多矣，甚臞，何也？”古代以粟和菽(豆)作为主要精饲料，统称“秣”。粟是碳水化合物含量高的饲料，豆是蛋白质饲料。使用碳水化合物和蛋白质饲料、粗料和精料合理搭配，说明中国在春秋战国以前就有了比较科学的饲养技术。此后，又对马匹进行生态学的观察，掌握它的生活习性，在这方面的经验总结是：“养物惟马为贵，其性恶湿，利居高燥，须惕其好恶，顺其寒温，量其劳逸，慎其饥渴。”

在饲养方面还有许多宝贵的经验，如“食有三刍，饮有三时”(《齐民要术》)，意思是说饲料不可太单纯，饲饮要有定时。《三农纪》中说：“凡草宜择新草，细铧筛簸石土，”意思是说饲马的草料要新鲜，不可用发霉腐败的草，而且要铡碎簸尽石土，因为马的消化器官最容易犯病，吃了发霉不洁的草，很容易发生疝痛而致马于死命。“每日清晨毕宜出厩，系高桩，梳刷毛鬣。候抵午，入厩复饲，饲毕又移拴厩外。临晚饮水毕牵游一二百步，入厩缓饲。”这种每日注意刷拭、行日光浴和作轻便运动的合理办法，直到现在仍在运用。

古代传说少昊制牛车，奚仲制马车，并制造鞍的勒(胸前的革带)靽(肩前支持鞍的革带)，驾六匹马拉的车子。这说明我国在很早以前，就可能已经用牛和马来驾车了。从近年殷墟的发掘，更证实了殷代已用四马或六马拖车，而且还有装饰头络，和今天的络制大同小异。

马匹的调教是饲养马的一项重要技术，《淮南子·修务训》有这样关于调教草地马的记载：“夫马之为草驹之时，跳跃扬蹄翘尾而走，人不能制，齧咋足以肌碎骨，蹶蹄足以破卢陷匈。及至圉人扰之，良御教之，掩以衡轭，连以辔御，则虽历险超堑，弗敢辞也。故其马之不可化而可驾，御教之所为也。”由此可见我国古代马匹调教技术的精湛。

《诗经·大雅·绵》记载：“古公亶父，来朝走马。”古公亶父是周太王，周文王的祖父，可见殷末已有骑术。战国以前，在战术中重车战，战车在战胜敌人中有十分重要的作用。到了春秋以后开始重视骑兵，因而

骑术更加重要。骑兵在历代都有所发展。到了元世祖忽必烈(1213 - 1294)时，部下有很多蒙古骑兵，为了要求能在马上射箭准确，很注意对蒙古马的调教。今天蒙古马在速步时步法所以能这样平稳，就是我国劳动人民对马的特殊训练调教的结果，是有长期的历史传统的。

蹄铁是马匹管理上不可缺少的东西，由“无铁即无蹄，无蹄即无马”这句谚语，就足以说明蹄铁的重要。制造蹄铁和装蹄、削蹄是一门专门技术，它可以提高马匹的效能。蹄铁在我国至少已有两千多年的历史。那时候在欧洲还只知道用革制简单的蹄鞋。自从我国古代人民发明了蹄铁术之后，各地竞相模仿。今日欧洲的蹄铁术，是受到我国蹄铁术的影响加以改良而成的。

汉武帝为了抵御匈奴，曾致力于养马业的发展。为了改良马种，他曾派遣使臣到西域大宛，引入古代有名的汗血马三千匹，进行大规模的繁殖和杂交改良工作。唐代在马匹改良上也曾经作过极大的努力。在汉代以来改良品种的基础上，还不断从西域输入大批的优良马种。据《唐会要》记载：唐高祖武德年间(公元 618 年到 626 年)，康居国(今新疆北境和中亚地方)进贡马四千匹，属大宛种，体躯很大。唐太宗贞观二十年(公元 646 年)，居住在瀚海以北的“骨利干”族人(在现今西伯利亚叶尼塞茨克地方)派遣使者来我国，带来良马一百匹，其中有十匹特别好，唐太宗极其珍爱，给每匹马都取了名字，号称“十骥”。唐太宗曾用军事力量保护丝绸之路的畅通无阻。伴随通商，引进了外国一些先进科学技术，良马也传进来了。

“昭陵六骏”中的名马之一“什伐赤”，就是引进的十分名贵的优良马种。汉、唐以来，先后从西域输入的，有大宛、乌孙、波斯、突厥等地的良马。这些良种马的引入，对于内地马匹的改良，起了极大的作用。《新唐书·兵志》称：“既杂胡种，马乃益壮。”汉、唐以来所产生的改良驹，体质健壮，外形优美。这些名驹良骥的雄姿，到现在还可以从汉、唐遗留下的陶俑马、浮雕、壁画和石刻中见到。汉、唐有意识地引入外地种马杂交本地种马，无论是技术成就和数量规模之大，在当时世界上都是少有的。利用异种间的杂交方法来创造新畜种馱驎、骡等，也是中国古代家畜育种科学的重大成就。

猪的选育和饲养管理技术

据近代遗传学的研究，中国家猪的体质外貌、胴体品质、生长速度(平均日增重)的遗传力都比较高。在猪的育种工作中，对遗传力比较高的性状，通过选育，可以比较容易地收到预期的效果。

汉代在猪的选育方面的经验和技術也相当成熟。《史记·日者列传》记载：“留长孺以相彘立名。”《齐民要术》引“留长孺相彘法”说：“母猪取短喙无柔毛者良。喙长则牙多，一厢三牙以上，则不烦畜，为难肥故。有柔毛者焰治难净也。”这说明当时已经认识到外形是体质的外部表现，能反映猪的生理机能的特点和生产性能。因此，据以选留种猪，对于汉代猪种质量的提高起了很大作用。关于汉代猪种的优良品质，可以从现代出土的古代文物中得到证实。

根据华南汉墓出土的汉代青瓦猪的外型来看，汉代华南小耳型猪(属华南猪类型)头短宽，耳小直立，颈短阔，背腰宽广，臀部和大腿发育极其良

好，四肢短小，鬃毛柔细，品质优良。这种优美的体态，说明中国古代猪种很早就具有早熟、易肥、发育快、肉质好的特性。

根据华北汉墓出土的汉代青瓦母猪和仔猪的外型来看，应属于华北猪类型中的大耳型猪，它们的体态是：头部长而直，耳大下垂，体型比较大。又由出土的母猪俑所表现出的十分发育的乳房和仔猪丰肥的情况，可以看出这一猪种的优良素质。

在历代劳动人民的精心选育下，中国各地曾培育出不少优良猪种。据西晋张华《博物志》中所载：“猪，天下畜之而各有不同：生青、衮、徐、淮者耳大；生燕、冀者皮厚；生梁、雍者足短；生辽东者头白；生豫州者喙短；生江南者耳小，谓之‘江猪’；生岭南者白而极肥。”可见早在公元三世纪，我国各地已经有了不少名贵猪种。

中国猪种向以早熟、易肥、耐粗饲和肉质好、繁殖力强著称于世，汉、唐以来，广为欧亚各地人民所称赞。当时大秦国(罗马帝国)的本地猪种生长慢、晚熟、肉质差，因此他们特别注意早熟、易肥的中国猪，千方百计地引入中国华南猪以改良他们本地的猪种，育成了罗马猪。罗马猪对于近代西方著名猪种的育成起过很大作用。

英国在公元十八世纪初，引入中国的广东猪种。到十八世纪后期，英国本地种猪已渐绝迹，代之以具有中国猪血统的猪种了。例如，大约克夏猪，又名英国大白猪，是英国最著名的腌肉用猪。这种猪就是用中国华南猪和英国约克夏地方的本地猪杂交改良而成的。1818年这种猪曾被称为“大中国种猪”，以示不忘根本。英国的巴克夏猪和中国猪的血缘关系最深。美国的波中猪也具有中国猪的血统。白色折斯特猪是在1817年用中国华南白色猪改良育成的。现今世界上许多著名猪种几乎都含有中国猪的血统。由此可见我们祖国的猪种素质多么优良，对世界养猪业作出过贡献。正如达尔文说的：“中国猪在改进欧洲品种中，具有高度的价值。”

我国劳动人民在几千年养猪实践中，形成了一套合乎科学的饲养管理方法。如在仔猪培育方面，我国早在公元六世纪南北朝时期以前，就有了仔猪的补料办法，并采用了补饲栏，以营养丰富的饲料喂饲幼猪。例如《齐民要术》记载说：“供食豚，乳下者佳，简取别饲之。愁其不肥，共母同圈，粟豆难足，宜埋车轮为食场，散粟豆于内。小豚足食，出入自由，则肥速。”在这样的培育条件下，大大提高了猪的早熟和易肥的优良性能。

优良猪种培育的影响。

对冬天分娩产下的初生仔猪的护理技术，早在公元六世纪南北朝时期，我们的祖先就已经掌握，这样就大大减少了初生仔猪的死亡率。《齐民要术》提出的小猪防寒护理方法是：“……十一、十二月生者，一宿蒸之。蒸法，索笼盛豚，着甑中，微火蒸之，汗出便罢。豚不蒸则脑冻不合，出旬便死。所以然者，豚性脑少，寒盛则不能自暖，故须暖气助之。”上述论证是相当科学的。初生仔猪大脑皮层发育不全(“豚性脑少”)，调节体温机能不完善，受寒可使新生仔猪体温发生不可逆的降低(“寒盛不能自暖”)。冬天产下的仔猪，体温急剧下降，需要几天才能恢复正常。受寒的仔猪，行动迟缓，被母猪压死的危险性要大些。同时受寒也是使仔猪得病死亡的一个诱因。因此，对初生仔猪作好保温工作是十分重要的。《齐民要术》关于新生的仔猪的特点、死亡原因和采取补救措施的科学总结，对

促进养猪业的发展有实际意义。

《齐民要术》还提出“圈不厌小，圈小则肥疾”。《三农纪》说：“若养数猪，饲须下少。豢人持糟工圈外，每一槽着糟勺，轮而复始，令极饱。若剩槽，复加麸糠，散于槽上，令食极净方止。善豢者六十日而肥。”明代《农政全书》记载说：“猪多，总设一大圈，细分为小圈，每小圈止容一猪，使不得闹转，则易长也。”在肥猪法上，“用贯仲三斤，苍术四两，黄豆一斗，芝麻一升，各炒熟，共为末，饵之，十二日则肥。”

以上这些我国古代养猪技术的科学总结，即使在现代的养猪生产中，也是具有指导意义的。

另外值得提一下的是，我国很早就利用微生物发酵的办法，用粗饲料堆制发酵饲料。《王桢农书》中特别提倡用发酵饲料喂猪，他总结的经验是：把割下的马齿苋切碎，加米泔水和糟等发酵。经发酵后的饲料，不仅能杀死病菌，使植物纤维变软，并且产生酸味和香味，刺激猪的食欲，帮助消化，增进食量，提高饲料营养价值。这是一种很科学的饲料调制法，至今仍在使用。

人工孵化法、填鸭技术、强制换羽法的发明

我国战国时期已经开始养鸭养鹅，养鸡比这更早。家禽人工孵化法究竟什么时候发明，已难于稽考，已知早在公元前就在我国应用，一直沿用至今。在北方，大都用土缸或火炕孵蛋，靠烧煤炭升温。在南方，一般用木桶或谷围孵蛋，以炒热的谷子作为热源。炒谷的温度大约在三十八到四十一摄氏度之间，经八小时逐渐降低到三十四五摄氏度，再炒一次。每天共炒谷三次，使木桶里的温度经常保持在三十七摄氏度左右。种蛋孵化十天后，蛋里胚盘发育中自身产生热，此后就可掺入新的种蛋。如果木桶里保温良好，这样旧蛋自身发出的热已足以供给新蛋胚盘发育的需要，无须再炒谷了。土法孵化的巧妙处也就在这里。

我国人工孵化法的特点是设备简单，不用温度调节设备，也不需要温度计，却能保持比较稳定的温度，而且孵化数量不受限制，成本很低，孵化率可达百分之九十五以上。

北京鸭味美可口，早在明代已为人们所赏识。这是由于发明了填鸭肥育技术、改善了鸭的肉质的缘故。北京鸭在孵出后六七十日就开始填肥。这需要专门的技术。每天给两回肥育饲料。在肥育期间，不再在舍外放饲，同时在肥育舍的窗格子上挂上布帘，把屋子弄成半明半暗。肥育用的饲料是高粱粉、玉米粉、黑麸和黑豆粉。把这些饲料用热汤搓制成棒状的条子，叫做“剂子”，由“把师”（填鸭的技师）用手把鸭嘴撑开，一个一个填下。初次试填，每天每只约填七到九个。如有消化不良的，下次宜减去一二个：如消化良好，以后逐日递增，最后约填二十个左右。这样鸭子在肥育期的两周到四周间，就可增加体重四斤到六斤，肥育完成，可增重到九斤到十二斤，肉味特别鲜美。

我们的祖先掌握了鸭的生长发育规律，还发明了人工止卵和强制换羽的方法，使种鸭能依照养鸭人的意愿，要什么时候下蛋就什么时候下蛋，要什么时候换羽毛就什么时候换羽毛，而且缩短了换羽期，增长了产卵期。

夏天鸭因怕热，生长迟缓，下蛋数量少，质量也差。这时候一般就人

工止卵：先使它停食三天，只给清水，以维持生命。三天后，改喂米糠，不再放饲，就可以自然停止下蛋。

停止下蛋后大约五个星期，一般就会换羽。如果任鸭自然换羽，前后大约要经过四个月，而且恢复健康也慢，甚至会耽误和影响秋季下蛋。强制换羽，可以把换羽时间缩短到五六十天。强制换羽的具体方法，如上所述，先减少鸭子的饲料，使它停产而催促脱羽。脱羽到相当程度，再把它的尾羽、翅羽分次用手拔尽，这对鸭子并无损伤，而且是有益的。这时添给适量的黑豆，以促进羽毛生长。拔羽在六月上旬实行，到七月中旬新羽生长一半时，再赶下河去放饲。这时饲料恢复原状，用米糠、黑豆和高粱。到了七月下旬，就加喂粟米，配合量和未停止下蛋时一样(就是喂给鸭子以生产饲料)。几天后就可看到鸭有交尾的。到八月上中旬，就又开始下蛋了。这种办法可使停止产卵期缩短一半。

古代相畜学说的形成和发展

相畜学说在我国是一门古老的科学，起源远在没有文字记载以前。

古时根据牲畜的外形来判断牲畜的生理机能特点和生产性能，以此作为识别牲畜好坏和选留种畜的依据，就是古时相畜学说的主要内容。

春秋战国时期，由于诸侯兼并战争频繁，军马需要量与日俱增，同时也迫切要求改善军马的质量。当时也是生产工具改革和生产力迅速提高的一个时期，由于耕牛和铁犁的使用，人们希望使用拉力比较大的耕畜。这种情况，促进了我国古代相畜学说的形成和发展。

春秋战国时期已经有很多著名的相畜学家，最著名的要算春秋时期卫国的宁戚了。他著有《相牛经》，这部书虽早已散失，但它的宝贵经验一直在民间流传，对后来牛种的改良起过很大作用。相马的理论和技术，成就更大，有过很多相马学家。战国时期的《吕氏春秋·恃君览·观表篇》说：“古之善相马者，有寒风相口齿，麻朝相颊，子女厉相目，卫忌相髭，许鄙相，投伐褐相胸胁，管青相唇吻，陈悲相股脚，秦牙相前，赞君相后。凡此十人者，皆天下之良人也。”此外赵国的王良、九方皋，对于相马也都有独到的见解。由于各人判断良马的角度不同，当时也形成了许多相马的流派。我国历史上最有名的相马学家要算是伯乐，他总结了过去以及当时相马家的经验，加上他自己在实践中的体会，写成《相马经》，奠定了我国相畜学的基础。汉代已有完整的《相六畜》书和铜质的良马模型。以后到了盛唐时期，更有进一步的发展。

古时的相畜学说对于后世家畜品质的提高，起过很大的作用。

阉割术的发明

阉割术的发明，是畜牧兽医科学技术发展史上的一件大事。据闻一多(1899 - 1946)等的考证，商代甲骨文中就已有关于猪的阉割记载。

《周易》：“豕之牙吉。”意思是说阉割了的猪，性格就变得驯顺，虽有犀利的牙，也不足为害。《礼记》上提到“豕曰刚鬣，豚曰肥”，意思是：未阉割的猪皮厚、毛粗，叫“豕”；阉割后的猪，长得膘满臀肥，叫“豚”。

目前我国民间还流行的小母猪卵巢摘除术，手术过程一般只一二分钟，而且术前不需麻醉，术后不需缝合。手术器械简单(只要一把刀和少量消毒药品)，手术部位正确，创口比较小，手术安全，无后遗症，随时随地都能进行手术。阉割术是古代劳动人民遗留下的一份宝贵遗产。

国外畜牧兽医界对我国猪的阉割技术经验十分重视。在丹麦哥本哈根农牧学院所筹建的一所兽医博物馆里，陈列了很多兽医器械，其中有一件是用于给三周龄小猪阉割的工具。它是公元十八世纪末由一位瑞士商人从中国带到欧洲去的。丹麦哥本哈根农牧学院兽医系主任佛里德瑞克·埃尔文斯教授认为：“中国人民高度发展的文明，在很多方面走在欧洲文化的前头。中国和欧洲之间很早就有了接触。中国兽医器械的发现，说明中国兽医器械的制造对欧洲同类器械制造的影响是深远的。在李约瑟的巨著《中国科学技术史》一书中，已说明了这一点。”

日本人川田熊清专门研究过我国古代马的阉割术，认为世界上马的阉割，以中国为最早。《周礼·夏官》“校人”的职掌中有“颁马攻特”之说，所谓“攻特”，就是马的阉割，或称去势，古代却称“攻特”。秦汉以前，骗马还不普遍，可能仅施行于凶恶不驯的马匹。到了秦汉之交，因为激烈的战争和骑战的盛行，需要有合乎军马条件的马匹，从此马的阉割术也就盛行了。

兽 医

自有畜牧业，也就有了兽医的活动。最早还没有文字的时候，交流兽医医术经验依靠口头传授。

我国最早记有“兽医”一词的文献是战国时期的《周礼》，其中载有：“兽医掌疗兽病，疗兽疡。凡疗兽病，灌而行之，以节之，以动其气，观其所发而养之。凡疗兽疡，灌而之，以发其恶，然后药之，养之，食之。”意思是说：兽医的职掌是治疗内外科兽病。治疗内科病，采用口服汤药，缓和病势，节制它的行动，借以振足它的精神，然后观察它的表现和症状，妥善调养。治外科病，也是服药，并且要手术割治，把脓血恶液排除，然后再用药治，让它休养，并注意调养。说明当时兽医已经比较发达，不仅已经有了内科外科的区分，而且制订了诊疗程序，并且重视护理。

中国兽医学有自己独特的体系。中兽医学的基本理论原则，最早导源于公元前三世纪的《内经》。我国最早的一部人畜通用的药学专著是汉代的《神农本草经》，书中特别提到“牛扁疗牛病”、“桐叶治猪疮”以及“雄黄治疥癣”等。1930年在内蒙古额济纳河流域汉代烽燧遗址发现的所谓《居延汉简》和罗振玉(1866 - 1940)、王国维(1877 - 1927)据匈牙利人斯坦因在我国敦煌等地盗掘的汉代等简牍、纸片、帛书等照片选录编撰的《流沙坠简》中记有兽医方剂，并开始把药做成丸剂给马内服。晋代葛洪所著《肘后备急方》中有“治牛马六畜水谷疫病诸病方”，对于“谷道入手”的诊疗技术，用黄丹治脊疮等十几种病，提出了疗法，并指出了疥癣里有虫。北魏《齐民要术》有畜牧兽医专卷，记有家畜疾病治疗技术方法四十多种，如掏结技术，用削蹄法治漏蹄，用雄黄(主要含硫化砷)调猪油疗疥，烧柏脂(含酚类化合物)涂疥，猪羊去势术，以及有关群发病的防治隔离措施等。隋代兽医学的分科已经更加完善，关于病症的诊治、药方和

针灸都有专著。此后，唐、宋、元、明、清各代，都有不少专门的兽医著作出现。比较著名的有唐代李石编著的《司牧安骥集》，是现存比较完整的一部中兽医古典著作，对于理论和技术都有比较全面的论述。它也是我国最早的一部兽医教科书。明代喻仁(字本元)、喻杰(字本亨)编著了著名的《元亨疗马集》，内容丰富，也是在国内外流传比较广的一部中兽医古典著作。

针灸治疗家畜疾病，距今三千多年前已有文字记载。西汉刘向著《列仙传》中，记有马师皇(相传是黄帝时的兽医，善医马，后世尊为兽医鼻祖)用针“针其唇下及口中和甘草汤治愈”的记载。这说明中兽医“方不离针，针不离方”的传统由来已久。中兽医针灸疗法到公元五世纪流传到国外，它在世界兽医学中仍然是一种独特的、非常有价值的医疗技术。

八 医药学

从两部古典的中医名著看 中国医学的早期成就

中国中医研究院中国医史文献研究所 余瀛鳌

中国医药学具有悠久的历史。它是我国人民长期同疾病作斗争的经验总结。祖国医学文献记载了几千年来所积累的医药科学知识和医疗实践，不仅数量大，种类多，并有十分丰富的内容。它是我国古代灿烂文化的重要组成部分。历代医家对于疾病的认识、观察、分析和治疗，主要是通过中医药文献的形式予以保存和传播。据不完全统计，现存中医药著作达一万多种，其中以临床医学占绝大多数。

从殷墟出土的商代甲骨文中，可以看到在公元前十三世纪已有蛊(腹内寄生虫病)、龋(蛀齿)等一些病症的记载，并且有了按照体表部位对于病症初步分类的概念。在 1973 年长沙马王堆三号汉墓出土的帛书中，保存了春秋战国时期的《五十二病方》、《足臂十一脉灸经》、《阴阳十一脉灸经》等医方和有关针灸、经脉的著作，这是最早形式的医学文献。据考证，从西周至战国八百多年间，开始出现了专门医药文献。但由于当时中国为大小诸侯分别割据，政令互异，书不同文，书籍的抄录和传播都受到一定的限制。现存的中医药文献，主要是从战国时期开始，两汉、三国以后，越来越多。其中，《内经》(一名《黄帝内经》)和《伤寒杂病论》是十分重要的两种，反映了我国古代医学的早期成就。

《内经》

《内经》是我国现存最早、内容比较完整的一部医学理论和临床实践相结合的古典医学著作。成书约在战国时期公元前三世纪前后。这部著作并非出自一时一人的手笔，而是在长时期内由许多人参与编写而成。原书十八卷，包括《素问》和《针经》(唐代以后的传本把《针经》改称《灵枢经》)各九卷，后人补辑编次为《素问》二十四卷八十一篇，《灵枢经》十二卷八十一篇。《内经》在朴素的唯物主义观点指导下，以论述中医基础理论为重点，兼述卫生保健、临床病症、方药、针灸等多方面内容，为祖国医学的学术理论体系奠定了广泛的基础。

阴阳学说，作为我国古代自发的唯物观和朴素的辩证法思想，在《内经》中贯串于学术体系的各个方面，用以说明人体组织结构、生理、病理、疾病的发生发展规律，并指导临床诊断和治疗。阴阳学说从事物正反两个方面的矛盾对立、相互依存、相互消长、相互转化来认识和观察事物的变化发展，认为人体阴阳的相对平衡和协调(所谓“阴平阳秘”)是维持正常生理活动必备的条件。也就是说，如果失掉人体阴阳这种相对的平衡和协调，就会产生疾病。拿发热这个症状来说，阳盛可以引起，阴虚也可以引起，病因、病理各不相同。如何区别？又须结合患者发热的特点和其他临床表现进行整体分析。这种整体观念在后世医学又有所丰富和发展，是中医诊疗和分析病症的主要思想方法之一。

脏腑、经络学说，是中医独特的理论体系中用以说明生理、病理的重要理论。《内经》关于脏腑、经络的论述，已经比较系统和全面。《内经》介绍脏腑功能，有一段不平凡的记载。《素问·经脉别论》提到饮食经过胃和消化系的吸收，其中水谷精微之气，散之于肝；精气的浓浊部分，上至于心，由心脏输送精气滋养血脉，血脉中的水谷精气，汇流于肺，所谓“肺朝百脉”；由肺(通过心)再把精气转输到全身，包括体表皮毛和体内脏腑等组织。这是对人體体循环和肺循环概况的大致正确的论述。《素问》还提出“心主身之血脉”(《痿论》)和“经脉流行不止，环周不休”(《举痛论》)的理论，表达了心脏和血脉的关系和血液循环概念。

解剖方面，《灵枢经·经水篇》指出：“若夫八尺之士，皮肉在此，外可度量切循而得之，其死可解剖而视之，其脏之坚脆，腑之大小，谷之多少，脉之长短，血之清浊，……皆有大数。”这说明在《内经》时代已经有病理解剖的萌芽；并且可从中看出，当时已经比较重视解剖中的客观数据。在《灵枢·肠胃篇》中，采取分段累计的方法，度量了从咽以下到直肠的整个消化道的长度，数据和近代解剖学统计基本一致。

诊断方面，早在战国初期公元前五世纪，扁鹊(名秦越人)已开始运用切脉结合望诊诊断疾病。到了《内经》时代，又予以归纳总结，并有所补充和发展。《内经》谈切脉，除目前仍然沿用的两手腕部的桡动脉外，还记载了头面部的颞颥动脉和下肢的胫前动脉，作为人体体表三个切脉的部位。至于望诊，经验更加丰富，内容逐步趋于完善。书中特别强调在诊病中切脉和望诊的互相结合运用，以防止诊断中的片面性。

关于临床病症，《内经》叙述了四十四类共三百一十种病候，包括各科多种常见病症，如：伤寒，温病，暑病，疟疾，咳嗽，气喘，泄泻，痢疾，霍乱，寄生虫病，肾炎，黄疸型肝炎，肝硬化腹水，糖尿病，流行性腮腺炎，多种胃肠病症，衄血、呕血、便血、尿血等出血性病症，贫血，心绞痛，脑血管意外，风湿性关节炎，神经衰弱，精神病，癫痫，麻风，疔毒，痔疮，血栓闭塞性脉管炎，颈淋巴结核，食管肿瘤，疝气，以及一些妇科、五官科、口齿病症等。书中对一些病症的病因、症候、治法等有不少生动的描述和卓越的见解。如噎膈(包括食管肿瘤)，有“饮食不下”、“食饮入而还出”这样抓住主要症候特征的描述。关于疟疾，除有典型的症候描述外，还能明确区分单日疟、间日疟、三日疟等不同类型。脑血管意外在半身不遂的情况下，书中提出如患者“言不变，志不乱”，那就预后比较好；神志昏乱严重，不能说话的，预后不良。观察黄疸除皮肤、结膜和小便外，还特别注意到齿垢和指甲发黄(见《灵枢经·论疾诊尺》)。诊察水肿病也十分细致，指出轻微的浮肿先见于下眼胞(见《素问·评热病论》：“微肿先见于目下”)，加重则上眼胞可肿如卧蚕，并可以手指压迫肿处，观察能否回复以决定水肿的性质。当时并对多种原因所致的气喘，在怎样辨别属虚症和实症方面，已能抓住主要的病理和临床特征。对颈淋巴结核(书中称作“瘰癧”、“鼠瘻”)，认为“鼠瘻之本，皆在于脏，其末上出于颈腋之间”(《灵枢经·寒热篇》)，正确地指出了它和内脏结核的关系。《内经》对于病症的论析，为后世深入研究提供了富有价值的临床参考资料。

治疗方面，《内经》强调“治未病”，就是以防病为主的医疗思想。所谓“治未病”，一是指未病前先采取预防措施。《素问·四气调神大论》

用带有启发性的比喻阐明了这个问题，指出如果一个人的病乱已成，再吃药治疗，就好像是口渴了才想起打口井。那不是晚了吗？（“故圣人不治已病治未病，……夫病已成而后药之，……譬犹渴而穿井，……不亦晚乎？”）一是指得病后防止疾病的传变，认为作为一个有经验的医生，应该在疾病的早期就给予有效的治疗；所谓“上工救其萌芽”（《素问·八正神明论》），就是这个意思。特别值得提出的是，《内经》在治疗学上明确表现了反对迷信的思想：所谓“拘于鬼神者，不可与言至德”（《素问·五脏别论》），就是说凡是笃信鬼神的人，医药治病的道理，他们是听不进去的，不用跟他们去打交道。至于怎样治病？书中精辟地分析了“治病必求于本”（《素问·阴阳别论》）的道理，以及临床上怎样掌握治本、治标的问题。关于具体治疗，《内经》运用了内服（包括药物和饮食治疗）、外治、针灸、按摩、导引等多种治法。其中值得一提的是，当时已有腹腔穿刺术治疗腹水病症的详细记录。方法是用铍针刺入脐下三寸的关元穴部位，再用筒针套入引水外流。腹水流到一定程度，把针拔出，紧束腹部以避免手术后因腹腔压力骤变引起心腹烦闷等症状。这种手术操作方法和术后处理，反映了我国古代医家的聪明才智和医学水平。此外，《灵枢·痈疽篇》记载，当脱痈（相当于血栓闭塞性脉管炎）的病情不能控制时，采用手术截除的应急手术，以防止它向肢体上端蔓延发展。由此可见，《内经》一书不仅具备辩证的、科学的防治观点，并且已经积累了相当丰富的实际治疗经验，促进了后世医学的发展。

《伤寒杂病论》

《伤寒杂病论》是东汉张仲景（150 - 219）编写的，书成于战国后期公元三世纪初。后人把本书分别整理成《伤寒论》和《金匮要略方论》（简称《金匮要略》）二书。《伤寒杂病论》比较系统地总结了汉代以前对伤寒（急性热病）和杂病（以内科病症为主，也有一些其他科的病症）在诊断和治疗方面的丰富经验。作者张仲景在他的整个医疗活动中，提倡“精究方术”，反对用巫术治病。他主张要认真学习 and 总结前人的理论经验，广泛搜集古今治病的有效方药（包括他个人在临床实践中创用的验方），也就是他“自序”中所申明的“勤求古训，博采众方”。正因为作者有严谨的治学态度，重视继承前人的医学成就，比较全面地总结人民群众的防治经验，并且通过他自己反覆实践验证，予以归纳和总结，奠定了各科临床的基础，使本书成为在临床医学中具有广泛影响的重要著作。

《伤寒杂病论》在医学上的贡献，主要是诊断中的辨证方法，以及切合病情的多种治法和方药。

在诊断辨证方面，《伤寒杂病论》中运用四诊（指望诊、闻诊、问诊、切诊）分析病情。对于伤寒，把各种类型和不同的病程阶段，区分为太阳病、阳明病、少阳病、太阴病、少阴病、厥阴病六大症候群，每一症候群用一组突出的临床症状作为辨证依据。并且从具体病症的传变过程中，辨识病理变化，掌握病候的实质，这就是“六经辨证”。除此之外，并已具备八纲（阴、阳、表、里、虚、实、寒、热）辨证的雏形，这种辨证的思想原则和方法，有助于进一步分析病症的属性，病位的深浅，病情的不同表现，以及人体的抗病能力，使诊治者由此对疾病获得纲领性的认识。

这部书从临床实际出发，结合古今医学的成就，把《内经》以来的病因、脏腑经络学说，同四诊、八纲等辨证方法，加以有机地联系，并从伤寒和杂病各类病症中，总结出多种治疗大法。后人把它归纳为“八法”，就是汗、吐、下、和、温、清、补、消。它的治疗原则是：邪在肌表用汗法，邪壅于上用吐法，邪实于里用下法，邪在半表半里用和法，寒症用温法，热症用清法，虚症用补法，属于积滞、肿块一类病症用消法。这些治疗法则，概括性强，实用价值高，可以根据不同的病情，或单独使用，或相互配合应用。诊疗疾病或分析病症，讲究理、法、方、药(就是有关辨证的理论、治疗法则、处方和用药)相契合。张仲景的学术思想和有关病症的论述，成为中医辨证论治的规范。

《伤寒杂病论》共收选方三百多个，这些方剂的药物配伍比较精炼，主治明确。有的医家尊称《伤寒杂病论》方是“众方之祖”，或称它是“经方”。实践证明，其中大部分方剂确有比较高的临床疗效，如麻黄汤、桂枝汤、柴胡汤、白虎汤、青龙汤、麻杏石甘汤、承气汤、理中汤、四逆汤、肾气丸、茵陈蒿汤、白头翁汤、大黄牡丹皮汤等等。这些著名验方，经过千百年临床实践的考验，为中医方剂学提供了变化和发展的依据。《伤寒杂病论》除大量内服方药外，还介绍了针刺、灸、烙、温熨、药摩、坐药、洗浴、润导、浸足、灌耳、吹耳、舌下含药、人工呼吸等多种具体治法。例如用人工呼吸为主抢救自缢，书中记载要先把人抱下来，解去绳子，盖被铺垫保暖，一人用脚踏自缢者两肩，用手挽住他的头发，不要放松，“一人以手按据胸上，数动之，一人摩捋臂胫屈伸之，但渐渐强屈之，并按其腹，……”(《金匱要略·杂疗方》)配合肉桂煎汤或粥汤喂含润喉，观察他能否含咽，如能就可停止喂含，再向自缢者两耳内吹气。这种综合的抢救措施的描述，具体、生动，方法又符合科学性。全书论述治法简要，并有实效。

综上所述，充分运用各种诊断方法，对病人复杂的症候进行综合分析，并根据中医的治疗原则，确定治疗方法(这就是“辨证论治”)，是从《伤寒杂病论》一书开始有比较全面的认识的。后世把它作为诊疗中必须遵循的一种辨证的思想方法，体现了祖国医学独特的和比较完整的医疗体系。

由于受到时代和认识上的限制，《内经》和《伤寒杂病论》不可避免地存在一些封建、唯心或牵强附会的论述，须予分析批判地对待。

我国医药学文献，浩如烟海。在《内经》以后、东汉三国以前，还有一些古典医籍，其中的《神农本草经》(我国第一部系统的药物学专著)和《难经》(以论述中医基础理论为主，也分析了一些病症和针法、穴位等)是现存的另外两种名著。这四部作品，都是年代久远、有广泛影响的古典医籍。晋、唐以后，更涌现了大批医药文献，包括医学理论专著，有关生理、病理的著作，诊断学，本草学，针灸学，方书，各科临床(其中还有某些特殊病种，如麻风、结核等)的专著，综合性医书，养生，护理，按摩，外治法，法医，兽医专著等，这些著作的刊行，为人类保健事业作出了不可磨灭的贡献。

毛泽东指出：“中国医药学是一个伟大的宝库，应当努力发掘，加以提高。”认真钻研有关文献，用现代科学方法发掘整理祖国医学遗产，对

于加强中西医结合，创造我国统一的新医学新药学，一定能发挥积极显著的作用。

中药学的突出成就

中国中医研究院中国医史文献研究所 蔡景峰

中药是我国人民用来和疾病作斗争的一种重要武器。有关中药的知识，是我们的祖先在长期的医疗实践中积累起来的，是我国古代优秀文化遗产的重要组成部分。

悠久的历史

据记载，古代有“神农尝百草”的传说。“神农时代”大约相当于新石器时代。那时候，人们已经有了原始的农业，对各种农作物和天然植物的性能逐步有所了解，对它们的药用性能也开始有所认识。所谓“尝”，指的就是当时用药都是通过人体自身的试验来了解它们的治疗作用的。早在春秋时期的《诗经》中，就已经记载了一些可以做药的植物，如“芣”(车前)、“蕞”(贝母)、“蕓”(益母草)等。两千多年前的《山海经》更明确地提到一百二十多种药，包括植物、动物、矿物三类，并提到了它们的简单用法和治疗性能，有的还用来预防疾病。如“菴蓉，食之使人无子”；“箴鱼，食之无疫疾”；“礞石能毒鼠”；等等。书中记载的某些药物，有的名称比较特殊，还不能明确指出是现代的哪一种药，有待进一步考证，但这也足以说明，当时对药物已有一定的认识了。

由于古代的药物主要来自自然界的植物，因而人们把药物学著作称作“本草”。大约到汉代，我国出现了一本专讲药物的书《神农本草经》。这是我国现存最早的药物学专著。书中记载药物三百六十五种，分成上、中、下三品。这部书对每一味药的产地、性质、采集和主治的病症，都有详细的记载。对各种药怎样互相配合应用，以及简单的制剂，都作了概述。更可贵的是早在两千年前，我们的祖先通过大量的治疗实践，已经发现了许多特效药物，如麻黄可以治咳嗽，大黄可以泻下，常山可以疗疟等等。这些都已用现代科学分析的方法得到证实。

随着实践的不断深入，药物知识也逐渐丰富起来。大约又过了三四百年，到了南北朝时期，《神农本草经》的内容已远远不能满足实践的需要。于是，南朝的博物学家陶弘景把前人积累的经验 and 知识搜集起来，结合自己的实践经验，进行了另一次总结，整理成《本草经集注》一书，共得药物七百三十种，比《神农本草经》收集的增多一倍。在书中，他首创按药物的自然属性和治疗属性来分类的新方法。《神农本草经》的三品分类法，仅仅概括地指出有毒、无毒，还嫌粗糙，有时也容易造成治疗上的差错。陶弘景首先把七百多种药分为草、木、米食、虫兽、玉石、果菜和有名未用等七类，这种分类方法后来成了我国古代药物分类的标准方法，在以后的一千多年间一直被沿用，并加以发展。陶弘景还首创按治疗性能对药物进行分类的方法，例如，祛风的药物有防风、秦艽、防己、独活等，就归在同一类。这种分类方法，便于治疗参考，对医药的发展也起到了促进作用。

唐代是我国封建社会的全盛时期，封建文化高度发展。在这一时期，曾由政府主持编修了一部药物学著作，是一部集体创作。它总结了一千多

年来的药物学知识，并由各地征集实物标本，绘制成图，成为一部图文并茂的药物学专著，取名《新修本草》，在唐高宗显庆四年(公元 659 年)编修完毕。书中共载药物八百四十四种，分为九类。这种由国家颁定的药物学专书，现在称作“药典”。世界各国政府都有自己的药典，《新修本草》就是我国古代的第一部药典。据记载，西欧最早的药典是公元 1494 年意大利佛罗伦萨药典和公元 1542 年纽伦堡政府的药典，这两部药典都比《新修本草》晚得多。药典的颁行，对于统一药名，订正对药性的认识，促进医药的发展，都有积极的作用。

古代中药学的发展，到明代达到了高峰。明代社会已经孕育着资本主义的萌芽，商业发达，交通方便，内外交流频繁，药物学知识空前丰富，采矿业、农业等知识也有很大的发展，从国外输入和同少数民族边远地区交流的各种药物也不少。这时候对药物学的知识亟需加以进一步总结。这个重任由当时杰出的科学家李时珍完成了。李时珍通过毕生的努力，深入实践，埋头苦干，参考了古代有关著作包括经、史、子等各类古书共八百多种，并积极向群众学习，终于著成举世闻名的《本草纲目》。这部巨著编成于明神宗万历六年(公元 1578 年)，共五十二卷，记载药物一千八百九十二种，收入方剂一万一千首，共分成十六部。《本草纲目》外文译本集影。书中图文并茂，纠正了前人许多舛误；并且以唯物主义的态度，猛烈抨击了当时方士道家妄图通过服食炼丹求得长生不老药的邪说谬论。它以单一的药物为纲，由同一药物派生或演化的附属物为目，对每一药物的名称、栽培养殖、收采、炮()制、药性、应用、方剂等有关内容，旁征博引，考证鉴定，十分详明。书中对生物的分类法已具有初步的生物进化论思想萌芽，还应用比较解剖的方法对动植物进行分类研究。这部书涉及古代自然科学许多领域，诸如动物、植物、化学、矿物、地质、农学、天文、地理等学科。它对后世的影响很大，已经被全部或部分地译成日文、英文、德文、法文、拉丁文、俄文等多种文字，在世界上广泛流传。著名的英国科学家达尔文曾提到“中国古代的百科全书”，并且参考引用了它的内容。有人认为他所称誉的这部巨著主要是指《本草纲目》。李时珍是世界公认的杰出的自然科学家。

古代中药学的著作很多，以上虽仅列举了几部有代表性的著作，但是由此已足以说明中药学的悠久历史和它在世界上的位置。

独特的内容

在西学东渐以后，西医是早期被引进的一门近代科学技术。于是中医中药被说成是“不科学”的，他们认为中药尽是一些草根树皮，治不了大病。这完全是民族虚无主义的谬论。事实上，我国古代医学家正是利用“草根树皮，石头虫鱼”，在我国几千年的历史中，为保护人民的健康作出了不可磨灭的贡献。我国的中药学具有许多独特的内容和特点。

首先，它有一套独特的理论系统。这些理论知识是根据对疾病的认识，对药物的自然属性和在人体内的治病作用等概括出来的。中药有“四气”、“五味”、“升降”、“浮沉”、“归经”的属性。藏医学中更把药物的性能分成“六味”、“八性”和“十七效能”。这些独特的认识是其他任何医疗系统中所没有的。四气是“寒热温凉”，五味是“辛苦咸酸甘”。

寒凉药能治热性病，凡发热的病多用寒凉药；凡是机体虚弱、体温偏低、手足冰凉的病症，多用温热药。升降浮沉指的是药物在体内发挥作用的趋向，升浮指向上向外的趋向，反过来就是沉降。如麻黄可发汗，升麻有消除下坠感觉的作用，因而属升浮药。一般说，凡是植物的花、叶部分，多具升浮作用，如辛夷、苏叶等；凡是子实和矿石类物质，多是沉降药(当然有例外)，如代赭石、枳实等。经分析鉴定，古代对药物的这些认识，是通过长期实践概括总结出来的，是合乎科学道理的。黄连、黄芩、板蓝根一类苦寒药，都含有杀菌、抑菌成分，确可退热；而古代所说的杀虫药，有不少含有杀虫、驱虫成分，如常用的槟榔中含槟榔素，对多种寄生虫，尤其是绦虫，具有麻痹作用，至今仍是比较理想的驱虫剂。归经是指药物对哪一种脏器、经络具有亲和力的意思，在临床应用中，常要根据哪一脏器、经络患病，选用相应的药物。

其次，人们在治病过程中，积累和总结了对药物加工改造的独特方法，称作“炮制”(或“炮炙”)。中药的炮制方法极其丰富，大致分水制、火制和水火共制等几类。水制如用酒泡、醋泡、水漂等等；火制如炒、焙、煨等；水火共制如蒸、煮等等。炮制是中药治疗过程中不可缺少的一个环节，它的目的是消除毒性，增强药效，改变性能，便于服用、保存和去除杂质。举例说，乌头、附子、半夏这些药，都有比较大的毒性，不经炮制加工，吃了要中毒，而用姜、明矾浸泡加工后，毒性就去除了，药效仍保存下来。又如生地黄是凉性药，可以用来治热性病；如果把地黄经过反复多次蒸熟晒干，却变成温性的，可以补血。加工炮制后，去掉杂质，可以做成便于服用和贮存的小片或其他剂型。所有这些，形成了我国中药独特的炮制学。

最后，中药的复方配伍以及采用药物的不同部位和剂型，也是独具一格的。一般说，中医大多采用复方的形式治病，一张方子，少则三五味，多的可达几十味。这些药物之间，互相配合，互相箝制，常常由于配伍的不同，甚至剂量的变化，而达到不同的治疗作用。早在两千多年前的《黄帝内经》中，就已有简单的复方。汉代张仲景的《伤寒杂病论》中，也记有许多复方，以治疗不同的病症。如桂枝和麻黄合用，用来发汗治外感病；麻黄和杏仁、石膏等合用，却又是用来治喘咳壮热的；如麻黄配合白术、生姜，又变成消肿的方剂。再以当归为例，如果用完整的全当归，可以补血；如果用的是当归尾梢，却起行血活血的作用。同一味药的不同部位和不同配伍，作用这样不同，这是通过极其细心的观察和长期的实践取得的知识。

在漫长的岁月中，为了适应不同的治疗需要，人们又发明了形式多样的治疗剂型。目前我们常用的汤剂、丸剂、散剂等，在两千多年前早就有了。古代的药物剂型，包括外用、内服，多达一二十种。有不少固定的方剂，已制成固定的剂型，沿用千百年。汉代张仲景《伤寒杂病论》中的“白虎汤”、唐代的“四物汤”、宋代的“至宝丹”、藏医学中的“珍珠丸”等中成药，至今仍然在临床中发挥有效的医疗作用。

我国古代就已经有了多种特效药物。除去上述《神农本草经》中提到的以外，其他如鸦胆子治疗痢疾(阿米巴痢疾)，苦楝、雷丸杀虫，海藻治甲状腺肿，动物肝脏(含各种维生素)治疗夜盲等等，都具有科学的道理。尤其突出的是东汉三国时期的华佗(145?—208)，已经应用酒服麻沸散作

为麻醉剂做外科手术。这种麻醉法在世界上具有很大的影响。美国拉瓦尔在《世界药学史》一书中，曾提到华佗精通麻醉术，古代阿拉伯国家应用吸入麻醉剂，可能就是从中国学去的。又如早在东晋葛洪《肘后备急方》中就有应用绞取青蒿汁治疗疟疾的记载。已经证实，青蒿中含有抗疟药“青蒿素”，它的医疗作用比奎宁等常用抗疟药还好。所有这些都表明我们的祖先在临床药物治疗方面有高度的成就。

古代的炼丹术在客观上也为中药的发展起了积极作用。由炼丹制出的产物，后来在外科上得到应用，如红升丹、白降丹等，至今仍是外科常用的药品。

中国医学独特的针灸疗法

中国中医研究院中国医史文献研究所 马继兴

针灸疗法是我国古代劳动人民创造的一种独特的医疗方法。特点是治病不靠吃药，只是在病人身体的一定部位用针刺入，或用火的温热刺激烧灼局部，以达到治病的目的。前一种称作针法，后一种称作灸法，统称针灸疗法。

针法的前身是砭石疗法。砭石是新石器时代应用的一种石制医疗工具。灸法也是在新石器时代用于治疗疾病的。周代以后，我国开始出现了金属的针灸用针。河北满城西汉墓中曾经出土针灸用的金针。几千年来，针灸疗法始终是我国医学中的一项重要医疗手段。

针灸疗法具有很多优点：第一，有广泛的适应症，可用于内、外、妇、儿、五官等科多种疾病的治疗和预防；第二，治疗疾病的效果比较迅速和显著，特别是具有良好的兴奋身体机能，提高抗病能力和镇静、镇痛等作用；第三，操作方法简便易行；第四，医疗费用经济；第五，没有或极少副作用，基本安全可靠，又可以协同其他疗法进行综合治疗。这些也都是它始终受到人民群众欢迎的原因。

针灸疗法的发展

早在两千多年前，我国医家已把针灸的临床经验进行了系统总结。如1973年在湖南长沙马王堆汉墓中，发现了多种周代编写的医书，其中在《足臂十一脉灸经》和《阴阳十一脉灸经》两书中，除了记有在经脉循行路线上的各种疼痛、痉挛、麻木、肿胀等身体局部症状，以及眼、耳、口、鼻等器官症状外，还有一些全身症状如烦心、嗜卧、恶寒等，都是用灸法治疗的。

此后在战国时期的医书《黄帝内经》中，已经多方面记述了针灸的适应症，并且进一步论述了各种脏腑疾病、热病、疟疾、痈疽等病的针灸治疗，更加扩大了针灸适应症的范围。

《黄帝内经》还对针灸治疗所使用的一些手法，如针灸的补泻手法，身体左右交叉刺法(称“巨刺”和“缪刺”)，以及其他各种名称的手法，作了详细介绍。

当时已有不少精通针灸的医生，例如《史记》记载的扁鹊就是其中之一。相传扁鹊在各地巡回行医时来到虢国(今陕西宝鸡一带)，听说虢国的太子因病刚刚死去。扁鹊和他的学生赶到宫门，询问了太子的病情，知道太子死亡的间时还不长，根据他的医疗经验主动提出可以救活。虢君听说，急忙请他医治。经过扁鹊的精心望色、问症、切脉等诊察，确定太子是“尸厥”(类似休克)，并非真正死亡。扁鹊应用针灸等医疗方法进行抢救，结果很快使太子苏醒过来，恢复了健康。这件事一直为当时的人民所传颂，说是他能起死回生。

以上说明早在春秋战国时期，针灸疗法不仅已经相当普及，而且在医疗质量上也已经有了很大的提高。

秦汉时期，我国先后出现了两部比较系统的针灸学专书，就是秦汉之

际的《黄帝明堂经》和三国时期的《针灸甲乙经》。这些著作进一步总结了针灸治疗的经验。特别是对于每种疾病的针灸取穴，以及每一俞穴的主治病症范围，都作了归纳整理，对于后代针灸学的发展有很大影响。此外，这时还出现了一些绘有针灸俞穴图的著作。

到了南北朝和隋唐时期，针灸学著作不仅数量上有了很大增加，而且内容也更加丰富多彩。此外还有不少彩绘针灸挂图、针灸图谱、灸疗专书和兽医针灸著作等。例如唐代著名的医家孙思邈、王焘等人的医学著作中，都专门详细地记述了针灸疗法。孙思邈还绘制了三幅大型彩色针灸挂图，分别把人体正面、背面和侧面的十二经脉用五色绘出，把奇经八脉用绿色绘出。王焘又分绘成十二幅大型彩色挂图，也用不同的颜色绘出十二经脉和奇经八脉。当时的针灸疗法和其他医学科目一样，都被正式列入了国家的医学教育课程，明确规定以《黄帝内经》、《黄帝明堂经》等做教材。太医署里还专门设立了针博士、针助教、针师、针工和针生等职衔。这些都说明当时针灸学已发展到相当高的水平。

唐代以后到近代，我国医家又陆续编写了大量的针灸学著作。著名的有北宋医官王惟一主持编修的《铜人俞穴针灸图经》，明代杨继洲的《针灸大成》等，都是有相当学术价值和流传很广的书。

为了使针灸图的形象更加真实化和富有立体感，王惟一在宋仁宗天圣五年(公元 1027 年)编写《铜人俞穴针灸图经》的同时，还在医官院主持监制了最早的两具刻有经脉俞穴的铜质人体模型，叫做针灸铜人。这种铜人除了供教授和学习辨认俞穴外，还可作考试用。据说，在测验针灸课程的时候，先把铜人外面遍身涂蜡，铜人体内盛满了水银，然后给铜人穿上衣服，让医生试针。如果能准确地刺入孔穴，就可以使水银射出；如果取穴位置错误，针就不能刺入。可见针灸铜人是一种造逼真、构造精巧的教学工具。此后我国还陆续制造了很多针灸铜人，其中有明、清太医院制造的，有民间医生制造的，也有药铺制造的。它们都在促进针灸的教学方面起了一定作用。可惜的是过去不少针灸铜人有的已在战乱中损毁，有的在帝国主义侵略中国时掠去。像明英宗正统八年(公元 1443 年)太医院监制的“正统”铜人，就是在清光绪二十六年(公元 1900 年)八国联军占领北京时被帝俄军队劫去，至今还存放在列宁格勒(现又改名圣彼得堡)博物馆里。

清代复制的“正统”针灸铜人。

我国历代医家还对针灸疗法的工具和技术方面作了不少改进，创造了多种多样的针刺方法(如火针、温针、梅花针等)，发展了灸疗方法(如一些药饼灸法、灯火灸法等)和艾卷(如所谓“雷火针”，“太乙针”等)，不断丰富针灸疗法的内容。

经络学说是针灸学的理论基础

针灸疗法所以能卓有成效地治疗多种疾病，除了由于针法的器械性刺激和灸法的温热性刺激本身的性质和强度等因素可以直接调整人体机能、增强防病能力外，还同针灸的刺激部位和针灸所引起的机体传导作用有关。这就是中医学特有的经络学说，也是我国古代医学的一项重要成就。

经络学说是古人在长期医疗实践中对人体认识不断深化的成果。

在长沙马王堆汉墓出土的周代古医书中，记载了人体经脉的一些原始名称，其中有“齿脉”、“耳脉”和“肩脉”等脉名。它们都是根据针灸这一脉时所出现的感觉传导主要路线而命名的，也是经络学说的雏型。《足臂十一脉灸经》等古医书，已开始把人体的经脉分为十一条，还根据上、下肢和阴阳学说的概念，重新确定了经脉的名称，并作了系统的分类记述。

在《黄帝内经》一书里，进一步把人体的主要经脉总括为十二条，称作十二经脉；并对每条经脉的循行部位，以及经脉和疾病、治疗的关系等内容，都作了全面的修订补充，使经络学说更加丰富，从而奠定了针灸学的理论基础。

经络学说的基本内容是：经络遍布在人体各部位，负担着运送全身气血、沟通身体内外上下的功能。经络不仅分布在体表，而且进入体内和脏腑相互联结，并周而复始，如环无端地循环运行。其中直行的干线称作经脉，旁行的支脉和小支称作络脉和孙脉。此外还有十二经脉以外的奇经八脉等名称。

在经络学说的基础上又进一步发展了俞穴。俞穴又称“孔穴”或“穴位”。每个俞穴都在身体表面，有一定的部位。由于《黄帝内经》等书所记的俞穴都位于经脉循行的径路上，所以也称作“经穴”。以《针灸甲乙经》为例，共记有经穴总数六百五十四个。

我国历代的医家，除了对经穴的作用、经穴和脏腑的联系以及经穴的适应症范围等认识不断有所发展外，又陆续发现了不少新的穴位，提供了更多有效的医疗途径。

针灸疗法的传播

针灸疗法不仅对国内医疗事业有很大影响，而且也传播到世界许多国家，为人类保健和医药科学发展作出了很大贡献。

早在秦汉时期，我国已经和朝鲜、日本、东南亚和中亚细亚地区各国，进行友好贸易往来和文化交流。同时，中国医药学，包括针灸疗法，也相应地传播到这些国家和地区，并受到各国政府和人民的很大重视。例如在日本，南北朝时期梁武帝天监十二年(公元513年)，中国医生杨尔去日本讲授医学。梁简文帝大宝元年(公元550年)，吴人知聪曾携带了大批中国医书和针灸图等去日本。梁元帝承圣元年(公元552年)，梁帝还赠送日本政府《针经》一书。此后日本不断有人来中国学医，钻研针灸学。在日本于公元701年颁布的法令《大宝律令》中仿效我国唐代的制度，明确规定用《黄帝明堂经》、《针灸甲乙经》等作为学习医学和针灸学的必修课目，并定出相应的措施，从而针灸疗法在日本得到很大发展，出现了不少著名的针灸家、著作、专门学校等。

又如在朝鲜古代的新罗、百济、高丽等国，都根据唐代的科举制度，规定了各种学习科目，包括医学在内。像公元1136年高丽政府就正式规定以中国古医书《针经》、《黄帝明堂经》、《针灸甲乙经》等作为学习医学针灸的必修课程。

宋元以后，随着海路航运事业的发展，我国和非洲、欧洲不断有了相互交往。针灸疗法也逐渐被介绍到这些地区。当时英国、法国、德国、荷兰、奥地利等国家的一些医学家，都开始把针灸应用于临床和研究，同时

也翻译了一些中医针灸著作。

针灸术的新发展

解放后，在党和政府的倡导下，中西医密切合作，使针灸疗法得到了飞跃的发展。针灸疗法的临床应用更加普及，在传统针灸疗法的基础上创造出了很多新的医疗方法，如电针、耳针、头针、穴位注射、穴位结扎、磁穴疗法等等，都进一步扩大了针灸医疗的范围和研究课题。特别是针刺麻醉的成功，开辟了麻醉学的新途径。

针刺麻醉，就是在进行医疗手术时，充分利用针刺的麻醉作用，来代替药物麻醉的一种方法。这种方法不仅避免了麻醉剂的副作用，简便安全，有利于手术后患者健康的恢复，而且由于针刺麻醉可以广泛地应用于包括头颅、颈部、胸腔、腹腔和四肢等部位的各种大小手术，具有良好的无痛和镇痛效果，因而受到了国内外医学界的极大重视，并迅速得到了推广应用。

现在针灸疗法已为五大洲各国人民所重视和应用，成为人类战胜疾病的有力武器。

中国古代医学的突出成就之一——脉诊

中国中医研究院中国医史文献研究所 马堪温

要有效地治疗疾病，首先必须有正确的诊断。现代医学利用科学技术的有关成就，诊断疾病的手段越来越多了。但在古代，医生诊病主要靠眼望、口问、耳听、鼻闻、手摸等方法。这在古代世界许多国家几乎都是这样，而且各国都有自己丰富的经验。我国古代医学在诊断疾病方面采用的脉诊，是一项独特诊法。脉诊又叫切脉，是中医“四诊”（望、闻、问、切）之一，也是辨证论治的一种不可少的客观依据。

源远流长

脉诊在我国有悠久的历史，它是我国古代医学家长期医疗实践的经验总结。《史记》中记载的春秋战国时期的名医扁鹊，便是以精于望、闻、问、切的方法特别是以脉诊著名的。

《史记》的作者司马迁甚至说：“至今天下言脉者，由扁鹊也。”他把我国古代脉诊的发明完全归功于扁鹊，并不确切。据历史记载，我国脉诊的渊源很古，例如，传说中的上古医生伏羲、鬼臾区等已经讨论了脉诊。到春秋战国时期，脉诊已经达到相当水平。当时开始出现的重要医学著作《黄帝内经》和稍晚的《难经》中，已经对脉诊有许多详细论述。1973年湖南长沙马王堆三号汉墓出土的医药文献帛书——《脉法》、《阴阳脉症候》，也有用脉诊判断疾病的宝贵材料。这些都说明早在两千多年前，脉学已成为我国古代医学的重要组成部分了。

到了汉代，脉诊就更加普遍了。《史记》记载的另一位名医淳于意（又叫仓公，约前 205 - ?）就曾跟从他的老师公乘阳庆学习脉法达三年之久，并且接受了公乘阳庆传给他的《扁鹊脉书》。从《史记》记载的淳于意看病的“诊籍”（病案）中可以看出，他当时看病必先诊脉。在东汉名医张仲景的《伤寒杂病论》中，可以看出脉诊已经广泛用于临床，并且有进一步的发展和提高。到了晋代，名医王叔和综合前代有关脉学的知识和经验，写成了《脉经》一书，成为我国现存最早的脉学专著。书中把脉分为二十四种，对每种脉象作了说明，并且叙述了各种切脉方法和多种杂病的脉症，把脉诊和病症进一步结合起来，使脉学成为更加实际的学问。此后，我国古代脉学著述不断增多。许多名医都精通脉学，例如，明代的李时珍对脉学也有深入的研究，著有《濒湖脉学》（公元 1564 年）等书。据不完全统计，清代以前脉学著述已不下一百多种。其中虽有重复，但是仍不同程度地反映了我国古代脉学的发展。

关于切脉有关因素的观察

脉诊要求医生有解剖生理学等有关知识。这方面，我国古代有许多可贵的记述。

第一，关于心脏、血液和血管的关系。脉和血液以及心脏的关系极其密切。《内经》明确记述说：“心藏血，脉之气也”（《平人氣象论》）；“五

脏所主，心主脉”(《宣明五气》)；一切血液和血管都受心脏控制；血管是血液流行的处所；心和脉是相合的；心气绝了，脉就不通，脉不通，血就不流；脉道通了，血气才流行。它明确指出脉是血脉，发源于心，脉搏是心脏功能的具体表现。特别值得称道的是，《内经》已经记述了血液循环的概念，如说，饮食经过消化系统，吸收营养而传到肝脏，由肝传到心，由心传到肺，又由肺传到心，然后输布精气于脏腑皮毛(《经脉别论》：“食气入胃，散精于肝，……浊气归心，淫精于脉，脉气流经，经气归于肺，肺朝百脉，输精于皮毛，毛脉含精，行气于府。”)；并且说脉管的血循环不停地流着，上下相贯，如环无端，等等。这种认识虽是初步的，甚至是带有某些想像成分，但是它体现了古代医家对于循环生理学的认识，并为古代脉诊的发展提供了基础。

第二，关于血液速度的认识。我国古代医家已经注意到血流速度问题。《难经》说：人一呼，脉管中的血液流行三寸；一吸，也流行三寸；一呼一吸，共流行六寸。(“人一呼脉行三寸，一吸脉行三寸，呼吸定息脉行六寸。”)这种认识尽管很不精确，却是很有意义的。因为血液速度是血液循环状态的一种重要指标，现代医生为心血管系统病人做临床检查，也把测定大、小循环的时间当作一种常规。

第三，关于呼吸和脉搏频率关系的认识。《内经》上说：人一呼，脉跳两次，一吸，脉又跳两次，一呼一吸，脉跳四次。(《平人氣象论》：“人一呼脉再动，一吸脉亦再动。”)这样，连续计数，以每分钟呼吸十八次计算，一分钟脉就跳七十二次。这里不仅明确指出了脉搏和呼吸的关系，而且知道呼吸和脉搏频率是一和四之比，和现代生理学所观察的是一致的。此外，《内经》还记述了脉搏和呼吸次数之间的比例改变是一种不正常现象；指出人一呼脉只跳一次，一吸脉只跳一次，以及人一呼脉跳动三次，一吸脉跳动三次，都是病态。(“人一呼脉一动、一吸脉一动曰少气；人一呼脉三动、一吸脉三动而躁，尺热曰病温，尺不热脉滑曰痛风，脉涩曰。”)我们知道，脉搏和呼吸之间的关系反映心脏和肺脏功能之间的关系。临床上不难观察到，由于肺循环和动脉血液缺氧引起心跳节律不齐、脉搏的性状因之改变的情况。

第四，关于切脉部位的认识。切脉的部位，在我国古代有一段演变过程。先后有过“遍身诊”、“三部诊”和“寸口诊”。起初，主要是“遍身诊”，就是按摸全身从头到脚可以触摸到的动脉，包括头、颈、两颊动脉，上肢的桡动脉，下肢的胫后、足背、胫前、股动脉。这些部位的动脉都在体表，或贴于骨上和皮下。《内经》记述的切脉，主要就是“遍身诊”。“遍身诊”又叫“三部九候”诊。“三部诊”，是诊头部的人迎(颞颥动脉)、腕部的寸口(桡动脉)和足部的趺阳(足背动脉)。寸口诊就是切摸两手掌后突起(桡骨茎突)的桡动脉，即所谓“独取寸口”，这主要是因为古人认为寸口是人体经脉的会合处，诊寸口可以了解人体气血的情况。这种方法，《内经》已有记述，以后的《难经》、《脉经》等书所记述的主要就是寸口诊，并一直沿用到今天。

“遍身诊”后来已不常用，甚至不用。其实，这种方法即使在今天仍有实际意义。我们知道，血液在心脏收缩时产生的压力波叫脉波，脉波通过动脉管传到周身。脉波的形状随循环系统情况的改变而改变，它反映心脏的情况，也反映动脉管的弹性情况。所以，观察全身各处的脉搏形状，

可以得到更全面的诊断体征。例如，主要由于主动脉弓等有关动脉发生病变而造成的“无脉症”，因肢体积血，可使上肢和下肢的一些动脉搏减弱或消失。对这样的病人进行“遍身诊”，就可以帮助了解他的血管的病理情况。又如对心脏病人和血栓闭塞性脉管炎病人，用“遍身诊”也很有意义。

第五，对和切脉有关因素的认识。《内经》说，诊脉要常在清早，这时人的阴气未动，阳气未乱，才可以查出不正常的脉。又说脉应四时气候而变动；并指出诊脉要注意人的性格的勇怯，骨肉皮肤的质地，“形之肥瘦”，人的精神因素等情况；认为惊恐、忧虑、动静都会使脉发生变化。以后的脉书，在这一方面的论述更加全面，诸如男女长幼高矮等等都在注意之列。现代生理学证明，人类心脏的活动(心搏率、心血输出量等)，很容易受各种因素的影响而变化。以心血输出量来说，在十分静止的状况下，如清晨初醒尚未起床，人的心血输出量就相当恒定。又如人的正常心搏频率，不但男女有差异，长幼不同，就是同一个人在同一天内，也常因体态的改变、活动的多少以及精神等因素的改变而变异。可见，古人对和切脉有关因素的观察是很细致的，因为这对分辨正常脉和病脉是很有关系的。

脉诊在临床上的意义

我国古代医家很注意脉诊在临床上的意义，认为通过切脉可以了解病的属性是寒还是热，机体正气是盛还是衰，以及测知病因、病位和判断预后。正如《内经·灵枢经·经脉》所说：“经脉者，所以能决生死处百病，调虚实，不可不通。”这就是说，脉诊可以判断病人的生死，处理百病，调理虚实。《内经·素问·阴阳应象大论》，又说：“善诊者察色按脉，……观权衡规矩而知病所主，按尺寸观浮沉滑涩而知病所生以治。”这就是说，从脉象的权衡规矩，可以识别疾病所主的脏腑；从病人的脉象去辨别浮沉滑涩，可以知道疾病产生的原因。这是从把人体看成一个整体的观点出发的，而这种整体观点又是以经络学说作为基础的。中医认为经络是人体气血运行的通路，它内通脏腑，外连四肢肌肤骨节，把全身构成一个有机整体。脉是整体的一部分，所以从脉象的变化可以察知内在的变化。所谓“有诸内，必形诸外”，就是说，人体内部的变化会在外部表现出来。

脉搏是循环机能的综合表现。脉象的情况因循环系统的情况改变而不同。心脏主动脉活瓣是否健全，心跳是否合乎节律，以及动脉的弹性怎样，都可以通过脉搏诊出。不仅如此，由于循环系统和身体各内脏都有密切关系，组织代谢的任何变化都会给血液循环以一定影响，而机体的重要疾病变化都会在不同程度上影响循环系统的功能。所以，脉象不单单反映循环系统的变化，还反映其他内脏和系统的变化。例如，许多疾病都和血液成分的改变有关，发烧、发炎时，血液中的白血球数相应增加；肝癌、糖尿病等疾患，都能使血液成分起变化，从而导致血流速度等方面的改变，并引起脉象的变化。尤其是神经系统和循环系统关系更加密切。例如，由于血管壁受交感神经和副交感神经的控制，当有些疾病引起这两种神经的变化时，血管就受影响，从而引起脉象的改变。由此可见，我国古代医学强调脉诊在临床上的意义，是有依据的，只不过古人由于条件的限制，不可能有像今天这样的认识罢了。

所谓脉象，就是医生用手指感觉出来的脉搏形象，它包括动脉搏显现部位的深浅、速率的快慢、强度的大小、节律的均匀与否等等。正常的脉象是不浮不沉、不快不慢、中和有力、节律均匀的，称作“平脉”（正常脉象）。有病时的脉象叫做病脉。不同的病症常出现不同的脉象。我国古代医家对于脉象的研究是很细致的。《内经》已经记有十多种脉象，《脉经》总结了二十四种，以后的脉书甚至记述多达三十多种或更多。特别值得一提的是宋代施发的《察病指南》（公元 1241 年）一书，载有三十三幅脉象图，很是生动有趣。近代用科学仪器描绘脉象，是法国生理学家马雷（1830 - 1904）在公元 1860 年发明脉搏描记器以后才实现的。我国古代医家能在他几 479 百年前凭手指感觉和想像，绘出那么多脉象，是世界脉学史上罕见的。

古代文献所记的常用脉象约二十多种，如浮、沉、迟、数、滑、涩、虚、实、濡、芤、缓、弱、结、代、促、紧、弦、洪、细、微等等。现仅举其中几种为例，简略介绍一下。

“浮”、“沉”在《内经》中已有记载，《难经》、《伤寒论》上也都有所论述。它们反映脉位。所谓脉位，就是用手指端去切脉所觉察出的脉搏表现最明显的部位。“浮”是指用手指轻按就可觉察脉搏、重按反而减弱的脉象，主要表明病在“表”，常见于外感病初起，机体和外界致病因素（外邪）相抗争于肌表。在生理病理上，这多由心搏排血量增加、血循环加速、血管弹性阻力降低、桡动脉充盈度增大所致。相反，“沉”却是指轻按不能觉察、重按才能察清的脉象，主要表明病在“里”，阳气衰微，常见于心脏病患者。在生理病理上，这多因心搏排血量减低、血压下降、末梢动脉血减少、血管弹性阻力增加所形成。

“迟”、“数”是《内经》等古典文献早有记述的脉象。这两种脉象反映脉搏的速率。“迟”脉是指一息脉跳四次以下（每分钟不足六十次），表明病属“寒”性，机体气血运行不正常。现代医学研究，它在生理病理上多因迷走神经兴奋增高，心房心室传导阻滞等心脏的变化所形成。“数”脉和它相反，它快于正常脉跳而呈一息五次以上（每分钟九十次以上），常见于“热”症，主要反映机体功能亢进等情况。

“代”脉反映脉搏的节律。《内经》已有记述。《脉经》说它是跳动几次之后中止几次再跳的脉象。这是一种慢而有规则间歇的脉，相当于现代医学所说的二联脉、三联脉、四联脉，多见于代谢机能发生障碍的心脏病人、严重心力衰竭或机体机能陷于危极时期的病人。《内经》指出这种脉说明脏气衰弱，和现代医学的说法一致。

“滑”、“涩”主要表现脉波形态，就是脉搏升降速度的异常变化。“滑”脉在《内经》中已有记述，《脉经》中描述为往来“流利展转”，唐代名医孙思邈说它“如珠之动”。这种脉常见于痰喘咳逆、蓄血、实热等症。在生理病理上，多因代谢旺盛、血管舒缩都快、血流通畅等情况所形成，常见于甲状腺机能亢进、动脉硬化等症。妇女妊娠三个月后，因血容量和排出量增加、血流加速等因素，常有“滑”脉，不属病脉。古代中医就认识通过察脉可判断妊娠，是有一定道理的。“涩”脉正好相反，是脉搏来去艰涩的脉象。这种脉“往来蹇滞，行而多碍”，《内经·脉要稍微论》中说“涩则心痛”。这种脉有虚实之分。虚的多表明气血亏损，实的多表明有气、食、痰等阻滞脉道，气血运行不畅。在生理病理上，这主

要是由于心脏排血量减抵、血流减慢等情况所形成，常见于贫血、失血以及心机能不全等症。

古人还总结有“诸病宜忌脉”，如“中毒宜洪大，忌细微；腹内有蓄血宜弦滑，忌弱小；中风宜迟浮，忌急实大数；”等等。还总结有“脉象常见主症”，如“沉脉为里，有力为里实，无力里虚；沉紧冷痛；沉缓寒湿；沉迟痼冷；沉数内热；沉滑痰饮；沉涩气郁；”等等。这些对于诊断上辨别病因、病症类型、病症的机转和预后等等，都是有价值的。

当然，脉诊不能代替一切诊断手段。《内经》、《伤寒论》也早已指出，切脉必须配合全面观察，主张“四诊”（望、闻、问、切）合参，进行辨证论治，反对只靠脉诊一项来断定疾病。

我国脉学的外传

据历史记载，我国古代脉学很早就已经传到国外。隋唐时期，《内经》、《脉经》等书已经传到附近国家如日本等。以后又传到阿拉伯。据研究，古代阿拉伯名医阿维森纳(约 980 - 1037)的巨著《医典》中的脉学，明显受我国脉学影响。公元十四世纪，我国脉学传到波斯，当时波斯的一部载有中国医药的百科全书中，就包括脉学，并且特别引述了《脉经》和它的作者王叔和的名字。十七世纪来中国的耶稣会传教士波兰人卜弥格(1612 - 1659)曾经把《脉经》译成拉丁文，于公元 1666 年出版，并附有铜版，描述我国脉法。值得特别提出的是英国著名医学家芙罗伊尔(1649 - 1734)受我国《脉经》的影响而研究脉学，并且发明一种给医生用的切脉计数脉搏的表。他还写了一本叫做《医生诊脉的表》，于公元 1707 年在伦敦出版。他的著述和发明被西方认为具有重要历史意义。十七世纪以后，西方译述我国古代脉学著作达十多种。

把第一年生长的桑苗，用锋利的镰刀贴着地面割下来，就是所谓截干法。这样可以使次年苗木生长迅速旺盛，比不截干的好。

中国古代的外科学成就

中国中医研究院中国医史文献研究所 李经纬

我国外科学具有悠久的历史。《周礼》记载的医学分科中，已有相当于外科医生的“疡医”，负责治疗肿疡、溃疡、金疡、折疡一类外科疾病。这说明外科在我国周代已发展到一定水平，否则是不会有专科医生出现的。成书于春秋战国时期的理论专著《内经》，对外科病的诊治已有不少宝贵论述。长沙马王堆三号汉墓出土的帛书《五十二病方》，是和《内经》同时或更早出现的一部外科专书，已对破伤风、疥疮、狂犬病、痔瘘、漆疮等许多疾病有所认识和论述。特别是设计制造的用新鲜犬“膀胱吹气法”，使内痔充分暴露于手术野，以及用结扎切除等手术治疗痔核，用搔爬术治疗瘰管，用葫芦加工造成疝气罩以治疗疝气等，都是十分突出的成就。秦汉以后，外科名医辈出，先进的科学技术，专门的论著，杰出的手术病例，不断出现，有些在世界上曾处于领先的地位。

腹腔手术和麻醉术

东汉三国时期公元二世纪，我国古代著名医学家华佗，以他在当时来说称得上杰出的外科手术著称于世。《后汉书》等文献记载了他的事迹，其中关于腹腔外科手术的描述，文字虽然不长，给人的印象却十分深刻。《后汉书》中有一段说，当疾病郁结在人体内部，用针灸和服药的办法不能治愈时，让病人先用酒冲服麻沸散，等到病人犹如酒醉而失去痛觉时，就可动手术，切开腹腔或背部，把积聚(类似肿瘤)切除。如果病在肠胃，那就要把肠胃切断，除去积聚和疾秽的东西，清洗干净，然后把切断的肠胃缝合，在缝合处敷上药膏，四五天创口就愈合，一个月可以恢复正常。这种描述确切地告诉我们，华佗曾经成功地做过腹腔肿瘤切除术。他为了完全摘除肿瘤，还曾做过肠胃部分切除吻合术。我们知道，这样的手术即使在今天，仍然还算是比较大的手术。

大的外科手术，能否顺利进行和取得成功，和麻醉是否理想关系密切。华佗在一千七百年前所以能成功地进行这样高明而成效卓著的腹腔外科手术，是和他已经掌握了麻醉术分不开的。华佗的麻醉术，继承了先秦用酒作为止痛药的经验和应用“毒酒”进行麻醉的传统，创造性地用酒冲服麻沸散。酒本身就是一种常用的麻醉剂，即使现代，外科医生还有用酒进行麻醉的。可惜麻沸散的药物组成早已失传。据现代人研究，它可能和宋代窦材、元代危亦林(1277 - 1347)、明代李时珍所记载的睡圣散、草乌散、蒙汗药相类似。窦材的《扁鹊心书》(公元1146年)记有用睡圣散作为灸治前的麻醉剂，它的主要药物是山茄花(曼陀罗花)。危亦林的正骨手术麻药草乌散，是以洋金花(也是曼陀罗花)为主配成的。日本外科学家华冈青州于公元1805年用曼陀罗花为主的药物作为手术麻醉剂，被誉为世界外科学麻醉史上的首创，实际上晚于我国几百年。

几年前，我国外科医师和麻醉师合作，用曼陀罗花等作为手术麻醉剂，取得可喜的效果，使湮没的中药麻醉剂重放异彩。实践证明，它不仅效果可靠，使用安全，而且有抗休克、抗感染的优越性，是其他麻醉剂所不能

比的。因为休克是外科手术、尤其是大手术中经常发生的，能否在手术中解决休克，是关系到手术能否顺利进行的一项重要课题。

华佗做过的外科手术和使用的麻醉术，绝非仅有的独例。秦汉以后，不论隋唐还是宋元，不少医药文献以至于史书小说，都有过这方面的生动记载。例如，隋代的巢元方和元代的危亦林等都描写过断肠吻合术。明代的王肯堂(1549 - 1613)和外科医学家陈实功(1555 - 1636)，还曾成功地做了难度很大的落耳再植和断喉(因外伤或自杀切断气管)吻合术等等。

骨折和脱臼的整复手法

骨折等疾患，古代叫“折疡”，它是周代医事制度中“疡医”分管医治的疾病。汉代军营设有“折伤簿”，记录军队外伤骨折的治疗情况。这说明在两千多年前，骨折的治疗已经相当发展。

我国现存最早的治疗骨折和脱臼的专书是《仙授理伤续断秘方》，成书于唐武宗会昌元年(公元 841 年)，内容十分丰富。其中对人体各部位的骨折和各关节脱臼的整复手法、治疗技术等，提出了十大步骤或称十大原则，诸如：清洁伤部的“煎洗”，检查诊断的“相度损处”，手法牵引的“拔伸”，使移位《医宗金鉴》中整复脊柱骨折“攀索叠砖用法图”牵引的“拔伸”，使移位的断骨复位的“收入骨”，使骨折的两断端正确复位并防止再移位的“捺正”，夹板固定，以及使用通经活血药等。现在来看，这些步骤基本上是正确的。这些原则长期指导了我国正骨术的发展，有些原则和方法一直沿用至今，成为中西医结合治疗骨折的重要内容。例如复杂骨折是一种比较难治疗的骨折，这部书在强调整复治疗原则的时候指出：如果折断的骨锋刺破肌肉皮肤而穿出体外，或是运用单纯手法整复不能正确复位，可以用最锋利的手术刀削掉断端的骨锋，或是切开皮肉再进行手术整复。这样的处理原则，到现在仍然有现实意义。

元代的名医危亦林在治疗最棘手的脊柱骨折方面，达到了很高的水平。他强调的脊柱骨折整复原则和手法，以及运用大桑树皮固定的要求等，同现代的整复方法和石膏背心固定相比，并不逊色，基本原理完全一致。

关于关节脱臼的整复，唐代著名医学家孙思邈首先描述的下颌骨(下巴)脱臼的整复术，它的步骤和要领完全符合现代解剖、生理学的要求，一直沿用到现在。明代外科医学家陈实功，对下颌骨脱臼的发生和治疗整复作了更全面的论述。到了清代，我国医家更绘制了精致的整复图。其他如整复肩关节脱臼、髋关节脱臼等，也都达到了相当高的水平。乾隆七年(公元 1742 年)官修医书《医宗金鉴》中的《正骨心法要旨》编，是我国古代正骨术的全面总结。

清代中期，公元十九世纪初，我国骨科学家江考卿创造性地成功地应用了骨移植手术。就是把患者本身其他部位的骨头切下一段，移植在粉碎性骨折造成的两断骨间的缺骨处，镶入两断端作为骨桥，以促进新骨生长，促进骨折愈合。现在，骨移植手术已经广泛应用在战伤等的治疗上。同时代的罗天鹏还设计创造了一种叫做“幌床”的设备，对提高四肢拘挛病人的疗效，加强严重骨折病人长期卧床的护理，防止合并症的发生，都有很好的效果。它和现代所应用的幌床原理相同。

血管结扎和大网膜切除

腹部外伤引起大网膜部分坏死，往往因此而引起腹腔弥漫性化脓性感染，最终造成严重的后果。我国隋代著名的病因病理学家巢元方是一位宫廷医生，曾编撰巨著《诸病源候论》五十卷，这部书虽然不是临床医学著作，更非外科学专著，但他特别记载了当时先进的外科手术方法和步骤，反映了我国隋唐时期的外科手术已经达到很高水平。例如：巢元方在这部书卷三十六“金疮肠断候”条叙述说：如果肠腹（大网膜）从疮出，当看外伤的严重程度判断它的预后。如果伤势比较轻，病人安定不烦，呼吸等也都正常，只是外伤处感到疼痛的，可以进行手术治疗。然后，他强调指出，如果进行大网膜伤损坏死部分的切除术，必须首先用丝线结扎坏死部位的血管，然后在结扎后一宿，观察血管结扎后的大网膜紫变坏死的情况，以决定手术切除大网膜的部位。切除术完成后就关闭腹腔，但同时强调“勿闭其口”，并用消毒药膏留置引流，以防止可能的腹腔或伤口感染。必须说明，人体大网膜的营养血管是随大网膜扇形分布的，因此大网膜部分伤损坏死如果只着眼于坏死部分的切除，这部分血管的切除必然引起它所营养的其他大网膜新的坏死。正因为如此，现代外科学在进行大网膜部分切除时，强调首先结扎坏死部位的根部营养血管，然后根据这血管所营养的大网膜一并切除，才能防止并发新的坏死，这是现代外科学手术切除大网膜经验教训的积累。巢元方这样精辟的论述，强调“当以生丝缕系，绝其血脉，当令一宿，乃可截之，勿闭其口，膏稍导之”，真是一项十分伟大的创举。不难理解，这一经验教训的取得，绝非个案治疗所能总结得出的。在这一条中，巢元方还记述了腹部外伤引起肠断裂的手术吻合方法和步骤，所述吻合术的适应症、手术方法和步骤、术后护理和饮食制度、吻合术针法等，也都达到当代外科手术的高水平。巢元方的记述，也进一步证明前面所说华佗的腹腔外科手术确实是有广泛的实践经验作为基础的，现代有人由于某些思潮的影响，怀疑华佗外科手术的高水平，是没有理由的。

唇裂修补术

唇裂，我国古代医家因它形似兔唇，所以叫它“兔缺”，也有叫做“缺唇”的，群众中习惯叫做“兔唇”。虽然这种病严重的可影响吮乳和饮食，但一般大多没有痛苦，只是对美观造成很大的缺陷，病人多为此而烦恼。这种先天性疾病，针灸、外治和药物治疗都是无能为力的，只有外科手术的进步，才使它有了治愈的可能。远在一千五百年前，我国医学家已经创造性地掌握了唇裂修补术，并且已经达到相当高的水平。如《晋书·魏咏之传》记载：“咏之生而兔缺，年十八，闻荆州刺史殷仲堪帐下有名医能疗之，乃西上投仲堪。仲堪召医视之，医曰：‘可割而补之，但须百日进粥，不得笑语。’咏之曰：‘半生不语而有半生，亦当疗之，况百日耶！’遂闭口不语，惟食薄粥，而卒获痊。”这说明魏咏之的兔唇经这位佚名名医给予唇裂修补术被治愈了，也说明这一修补术并非只此一例。殷仲堪帐下名医在荆州，魏咏之是任城（今山东曲阜）人，相距近千里，能听说他的名字，可见这位医家以割补兔缺的良好效果已经远近闻名了，那就绝非一

二例治疗成功所能达到的。

唇裂修补术在我国得到了不断的发展。唐代一位名叫方干的人，也因唇裂而进行过修补术，所以当时人称他“补唇先生”。《唐诗纪事》卷六十三方干条，记述了为方干进行修补术的医家曾为十多人作过唇裂修补术，都获得良好的效果。清代康熙二十五年(公元 1686 年)，著名外科医家顾世澄在他的著作中，对唇裂修补术作了进一步的发挥，并比较系统地介绍了手术步骤和方法，使它更加接近现代的水平。他记载：“整修缺唇，先将麻药涂缺唇上，后以一锋刀刺唇缺处皮，即以绣花针穿丝，钉住两边缺皮，然后擦上血调之药，三五日内不可哭泣及大笑，又怕冒风打嚏，每日只吃稀粥，肌生肉满，去其丝即合成一唇矣。”这是我国医学著作中最早系统叙述这种手术的。我国整形外科以唇裂修补术的历史为最早。

金针拨内障和针拨套出术

白内障是一种常见眼病，患者往往因此失明。为了使患者“拨云见日”，一千多年来我国医家积累了丰富的经验。其中以金针拨内障术最为突出。我国运用这种手术的历史可以追溯到东晋南北朝时期(公元五世纪)。唐玄宗天宝十一年(公元 752 年)成书的《外台秘要》，对白内障的临床表现已经作了全面论述，而且还分别叙述了先天性白内障和外伤性白内障。它所描述的金针拨障术是我国最早的系统记载。到明代后期(公元十六、十七世纪)，掌握这一手术的医家已经相当普遍。这种手术最大的特点是手术简便，容易掌握，不需要复杂的设备。近二十年来，这一古代的医疗技术发展提高为“针拨套出术”。针拨套出术不但能把混浊的晶状体剥离掉，而且能把它套出。它和西医学的晶状体摘除术相比，有方法简便、手术时间短、切口小、病人痛苦少等优越性。

小手术巧夺天工

在我国外科学的发展史上，还记有许许多多十分巧妙的小手术。这里只举几例。

第一，鼻息肉摘除术。小小的鼻孔里长了大大小小形状像石榴籽的息肉时，会使鼻孔堵塞，呼吸不通。一般说虽然没有生命危险，但因病人必须用口呼吸，久而久之，可使声调改变，甚至面部变形。明代外科医学家陈实功曾设计过一个简单而精巧的手术器械(公元 1617 年)，用来摘除鼻息肉。方法是用两根细铜筋，筋头各钻一小孔，以丝线穿孔中，使两筋相连约距五分许。手术前，先往鼻孔内滴入麻药。然后把两筋头直伸到息肉的根部，用两筋头的丝线把息肉从根部绞紧，然后向下一拔，息肉就可摘除。

第二，导尿术。往往有些病会引起小便不通，轻的下腹部胀痛难忍，重的由于尿潴留体内废物排不出去而导致酸中毒，甚至可以危及生命。唐代著名医学家孙思邈巧妙地用葱叶作为导尿管进行导尿术，解除了病人小便不通的痛苦。他选用中空的“葱叶除去尖”，把葱叶“轻轻插入尿道三寸许”，“用口轻轻吹葱叶的另一端，使葱叶张开”，使潴留的小便从膀胱经葱叶管导出。

第三，穿刺放水术。阴囊积水如果得不到恰当处理，积水越积越多，阴囊也越胀越大，行走就十分困难。另外像腹水(鼓胀)、胸水等，除使病人十分痛苦外，还会危及生命。早在《内经》中已记载了筒针放腹水的方法，但记录不详。南宋医学家张子和(1156 - 1228)设计制造了一种“漏针”，用它放水，可以解除阴囊积水患者的痛苦，缓解胸腹积水病症等。不论叫“筒针”，还是叫“漏针”，实际上就是古老的穿刺针。

第四，咽部异物剔除术。婴幼儿童玩耍，把钉、针、古钱等吞入咽部或食道，这在古今都是比较常见的。有的甚至因异物堵塞气管而窒息死亡。我国古代医家曾经设计制造了种种器械，施行各式各样的手术，以解除患儿的病痛。晋代著名炼丹家葛洪，治疗误吞铁针入咽的病人，曾设计了口含吸铁磁石把针吸出的办法。这种方法后来又由外科医生加以改进，就是把吸铁石加工成枣核大小，并锉磨光滑，钻孔穿线，叫病人口含吞咽，针、钉等异物即使已到食道，也可以吸出来。南宋张子和设计了一种剔除卡在咽部或食道上部的古钱的器械。方法是先用清洁的白表纸，卷成筷子形，把一端剪成乱发团状。另卷一筷子形的纸卷，一端缚一针钩，下到咽中。探到针钩进入钱孔时，再把一端剪作乱发团状的纸卷纳入咽中，并和针钩相抵，使针钩进入“乱发团”里，防止损伤肌肉，然后把纸卷等一并提出，古钱就随着取出。这虽不能和现代的内窥镜相媲美，但是设计的基本思想大致相同。在七八百年以前就有这种实践，真可谓巧夺天工。

可贵的外科治疗观点

我国古代外科学在治疗上十分强调整体思想：既重视体表疾患的局部表现，更重视患者机体的内在变化；既重视手术、手法治疗，更重视机体抗病能力的增强。早在《内经》中，就强调了疮疡、痈疽等局部化脓性感染是和经脉不通、过食酒肉等有关，治疗强调活血化瘀、清热解毒。《仙授理伤续断秘方》对骨折的治疗和固定，提出既要夹缚捺正，又要或屈或伸、时时运动的动静结合的明确观点。宋代陈自明、元代齐德之 and 明代汪机等写的外科专著，都着重指出外科必以内科为本。知道内部才可以探求外部；内部有病，定要表现在外部。如果只治疗外部而忽略了内部，这就叫做不去探求本而去治疗末。反对外科医生只重视局部和体表的病变，不重视甚至忽视局部和全体的内在联系。陈实功等提倡外科治疗还要重视调理消化机能和饮食营养。

古代正骨医生尤其重视上述思想和观点，强调“肢体损伤于外，气血则伤于内。营卫有所不贯，脏腑由之不和”，明确地说明了局部病变和整体的关系；因而强调局部受伤不能单从局部治疗入手，而应是局部和整体并重。对骨折病人不但重视局部的处理整复固定，更强调适当活动和功能锻炼，以及配合使用活血化瘀和调理脏腑功能的药物，这就为骨折愈合创造多方面的良好条件。西医治疗骨折虽然也曾有过注重局部和整体的观点，但近代受形而上学的影响，越来越忽视整体。特别是十九世纪以来，欧洲治疗骨折广泛采用石膏绷带，更加强调绝对固定和休息。不少有影响的骨科权威和专家，如法国的迪早尔(1744 - 1795)、英国的多马斯(1834 - 1891)等甚至竭力主张，治疗一切骨折都要持续广泛的固定。维也纳的毕勒甚至认为，骨折要依靠骨本身的自然愈合和等待时间，否定适当活动对

促进骨折愈合和功能恢复的意义。因此，西医治疗骨折的效果长期得不到明显的提高。近年，我国医务工作者采用中西医结合的方法，发挥西医的长处，着重吸取了中医治疗骨折的整体观点，强调早期活动，注意动静结合，全身和局部结合，采取手法整复小夹板固定，取得了很好的成果。几万个病例表明，中西医结合治疗骨折比西医治疗的愈合时间缩短了三分之一，甚至二分之一，治疗费用也大大降低。过去一再出现的骨不连、关节强直、肌肉萎缩等合并症，也几乎完全消失了，超过了国际水平。

免疫法的先驱

北京医科大学 程之范

在我国医学史上，免疫的概念很早就有了。在祖国医学里，有一种“以毒攻毒”的治病方法，在这种思想的启示下，很早就有近似疫苗的记载。公元四世纪初，晋代葛洪曾著有《肘后方》一书。所以叫做“肘后”，就是携带和使用方便的意思。在这部书的卷七里，记有“疗犬咬人方”，就是人被狂犬咬了以后，便把咬人的那只狂犬杀掉，把犬脑敷贴在被咬的伤口上，以防治狂犬病。狂犬的脑中含有大量狂犬病病毒，这是十九世纪末几位法国医学家所证实了的。可见，早在距今一千六百多年前，我国就有利用毒素以增强身体抗病能力的想法；虽然在操作方法上还存在问题，但是就它的思想来看，可以说是狂犬病预防接种的先驱。

在这部《肘后方》卷七还记有“射工”一项，“江南有射工毒虫，一名短狐，一名蜮，常在山间水中，人行及水浴，此虫口中横骨角弩，唧以射人形影则病。”葛洪描述了射工病的临床症状和治疗方法。到隋代大业六年(公元610年)，巢元方等人集体编写的《诸病源候论》卷二十五“射工候”中，更进一步指出：“若得此病毒，仍以为屑，渐服之，”就是把这种携带病源的毒虫磨成细屑服下，可以治疗这种病。这也是我国古代使用的接近疫苗原理的治病方法，虽然目的还是用于治疗而不是预防，但这种“以毒攻毒”的方法中，包含着免疫思想。

至于免疫方法进一步的应用，当推预防天花的种人痘法。天花这种病大约从公元一世纪的东汉就传入我国。因为是由战争中俘虏传来的，所以又叫“虏疮”。以后中医书中有不少天花的别称，如豌豆疮(《肘后方》、《外台秘要》)，登豆疮(《诸病源候论》)，豆疮(《太平圣惠方》)，斑豆疮、麸豆疮(《圣济总录》)，天行豆疮、斑疮(《三因方》)，等等。但是一直没有很好的治疗和预防方法。这种病到了公元十五世纪以后的明清时期，由于交通比以前发达，人民来往较多，所以流行很厉害，不只广大劳动人民深受其害，就是统治阶级也不能幸免。据说清帝福临(顺治)就是患天花死去的，在玄烨(康熙)写的文集中，曾说他因避天花传染，不敢进宫看他父亲的病。至于患了天花而幸存的麻面人，就更多了。

在和这种猖獗的疾病做了长期斗争后，我国勤劳智慧的劳动人民终于发明了预防的方法——人痘接种法。种人痘的方法究竟什么时候发明的？传说不一。据确实可靠的记载，我国种痘法大约是在公元十六世纪下半叶发明的。清代俞茂鲲《痘科金镜赋集解》(公元1727年)中说：明代隆庆年间(公元1567年到1572年)，宁国府太平县(在今安徽省内，原为太平县，现为黄山市)开始种痘，由此才推广到全国。到了明代末年，喻昌(1585-1664)写的《寓意草》(公元1643年)一书明确记有顾明的二郎、三郎在北京种痘的病案。十年之后，董含的《三冈识略》一书中记载：安徽省安庆张氏，三世以来用痘浆染衣，使小儿穿著，可发轻症，以预防天花。康熙二十年(公元1681年)，清政府曾专差迎请江西省痘医张琰，为清王子和旗人(贵族)种痘。据张琰在他著的《种痘新书》中说：“种痘者八九千人，其莫救者，二三十耳。”康熙三十四年(公元1695年)张璐的《医通》一书中记有痘浆、旱苗、痘衣等法，并记述种痘法推广的情形：“始自江右，

达于燕齐，近者遍行南北。”由以上这些记载，可知我国至迟在十六世纪下半叶已经发明了种痘法，到十七世纪不但已经推广到全国，而且技术也相当完善。

我国发明的种痘法，归纳起来可以分为以下四种：

第一，痘衣法。用得了天花的儿童的衣服给被接种的人穿上，使他感染。

第二，痘浆法。用棉花蘸染痘疮的疮浆，塞入被接种的儿童鼻孔里，使他感染。

第三，旱苗法。把痘痂阴干研细，用银管吹到被接种儿童的鼻孔里。痘痂要求光圆红润。

第四，水苗法。把痘痂研细并用水调匀，用棉花蘸染，塞到儿童鼻孔里。

上述四种方法，痘衣法和痘浆法是比较原始的方法；第三种旱苗法用痘痂作为痘苗，在方法上已经大大改进；而水苗法比旱苗法更加进步。自从旱苗法和水苗法发展之后，对痘苗的贮藏也很讲究。在痘痂脱落后，用乌金纸包好，紧封在干净的瓷瓶中，用时加清水研如浆糊，用新棉花蘸痘屑，捻成枣核大小，塞入鼻孔。

痘苗最初是用天花的痂，叫做“时苗”。实际上就是用人工方法感染天花，所以危险性比较大。后来改用经过接种多次的痘痂作疫苗，叫做“熟苗”。熟苗的毒性已减，接种后比较安全。在清代朱奕梁写的《种痘心法》中说：“其苗传种愈久，则药力之提拔愈清，人工之选炼愈熟，火毒汰尽，精气独存，所以万全而无害也。若时苗能连种七次，精加选炼，即为熟苗。”从这段文字看，说明我国人民在人痘苗选种培育上是完全符合现代疫苗的科学原理的。这种对人痘苗“提拔愈清，人工之选炼愈熟，火毒汰尽，精气独存”的选育工作，是和今天用于预防结核病的“卡介苗”的定向减毒选育、使菌株毒性汰尽、抗原性独存的原理，是完全一致的。卡介苗是二十世纪初才制成的活菌苗，是把一株有毒力的牛型结核杆菌，通过牛胆汁培养基培养，每三个星期左右传代一次，一共传代二百三十多次，费时历十三年之久，才得到一株无毒活菌株，才制成卡介苗的。而我国早在公元十六世纪六十年代，已经有通过人体使“火毒汰尽，精气独存”的痘苗了。

人痘接种法的发明，不但有效地保卫了我国儿童的健康，而且不久就传到国外。清康熙二十七年(公元 1688 年)，俄国医生到北京来学习种人痘的方法。清道光年间，俞正燮(1776 - 1844)《癸巳存稿》中有康熙时俄国遣人“至中国学痘医”，“在京城肄业”的记载。以后更由俄国传入土耳其。英国驻土耳其大使夫人孟塔古，在君士坦丁堡看到当地人为孩子们种痘以预防天花，效果很好，由于她的弟弟死于天花，她自己也曾感染，所以在 1717 年给他的儿子种了人痘。后来又把这方法传入英国，得到英国国王的赞同。不久，种人痘法就盛行于英国，更由英国传到欧洲各国和印度。至于日本等国，种人痘法是十八世纪中叶直接由我国传去的。种人痘法的发明，可以说是我国对世界医学的一大贡献。

公元 1796 年英国种人痘医生琴纳(1749 - 1823)接种牛痘预防天花试验成功，公元 1798 年发表了有关论文。种牛痘法于清嘉庆十年(公元 1805 年)由澳门的葡萄牙商人传入我国。因为牛痘比人痘更加安全，我国也逐渐用牛痘代替了人痘，并改进了种痘技术。这也说明我国人民不仅善于发明

创造，而且善于接受外来的科学文化，使我国固有的科学文化更加灿烂光辉。

1979年十月二十五日，世界卫生组织宣布天花在地球上绝迹了。当前免疫的概念也远远超出了预防天花的范围。但是人们不能忘记我国是发明免疫法的先驱。

世界第一部法医学专著

北京医科大学 高铭喧 宋之琪

我国的法医学有悠久的历史。远在《礼记·月令》中就有命刑法官“瞻伤、察创、视折、审断，决狱讼必端平”的记载。据汉代蔡邕(132 - 192)解释，损害皮肤叫伤，损害血肉叫创，损害筋骨叫折，骨肉都折叫断。所谓瞻、察、视、审，都是检验的方法。这就是法医学最早的萌芽。《内经》已有把死人躯体剖开来观察的记载。(《灵枢经·经水》：“其死可解剖而视之。”)王莽时(公元9年到23年)，曾由太医对被杀者尸体进行过解剖。三国时期，名医吴普曾检验一歌女的丈夫，断定是被用古井里的鱼毒所谋害。不过汉、唐期间，只是积累了一定的法医学知识，还没有一本法医学专书。到五代时期(公元907年到960年)和凝、和父子合著了《疑狱集》(公元951年)，这是我国现存最早的法医著作。到宋代有无名氏的《内恕录》，赵逸斋的《平冤录》，郑兴裔的《检验格目》，郑克的《折狱龟鉴》，桂万荣的《棠阴比事》等，也都是有关法医检验的书籍。但是上述这些书籍，内容还比较粗糙，体系也不够完整。真正称得上是我国也是世界上第一部系统的法医学专著的，是宋代宋慈(1186 - 1249)所著的《洗冤集录》。这部书出版于宋理宗淳七年(公元1247年)，而外国最早的法医学专著是公元1602年意大利人菲德里(1550 - 1630)所写，晚于《洗冤集录》三百五十多年。

宋慈曾任高级刑法官。据史料记载，他作法官时，审案认真，处事慎重，对于重大疑案，总是反覆思考，审之又审。在检验的现场，他从始至终监视仵作(尸体检验员)的操作，遇有疑惑的地方，便要重检；还常常亲自动手检验尸体，找寻现场实证。有一次，宋慈重审一件自杀案，发现自杀者死后握刀不紧，伤口又是进刀轻，出刀重，情节非常可疑。于是他亲下现场调查，终于查明真相，原来是某土豪为了掠夺妇女，谋杀了一个无辜的庄稼人，又贿赂吏役，诬死者是自杀。

由于宋慈长期从事审判工作，和现场尸体检验打了不少交道，加之平时喜欢钻研历代法医文献，遇有问题，常向医师和老吏请教商量，因此积累了丰富的法医检验知识和经验。他在总结前人成就的基础上，于宋理宗淳五年(公元1245年)开始编写《洗冤集录》。序言里谈到他编写动机和过程说：他常常想到，审案的失误，大多发生于开始时的差错，检验鉴定搞得不对，这是由于经验不足的缘故。因此他就广泛采集从《内恕录》以来近世流传的各家书籍，加以综合提炼，校勘订正，并增加进去自己的意见，汇编成书，名叫《洗冤集录》。他并期望这本书能起到“洗冤泽物”、“起死回生”的作用。历两年，书编成以后，奉旨颁行。于是这部著作便成了当时乃至历代审判官员案头必备的参考书。

宋慈的《洗冤集录》现在流传的有四卷本、五卷本，内容丰富，范围比较广，牵涉到解剖、生理、病理、药理、诊断、治疗、急救、内科、外科、妇科、儿科、骨科等各方面的知识，有很多精辟的叙述。和近代法医学比较，不但论述的项目和范围基本吻合，而且内容也具备了现代检验方面所需要的初步知识。例如在生理、病理、内科学方面，《洗冤集录》指出，尸体上有微赤色的斑痕，是死后因血行停止、血液坠积而形成的尸斑，

并且指出尸斑和尸位的关系。以尸斑断定死状确实具有法医学上的意义。它还告诫验尸前要洗霉，就是用皂角水洗尸后，用米醋、酒糟、白梅、五倍子等局部霉洗，以预防检验时感染伤处，致使创痕发生变化；另外记载了斑疹伤寒致死一定有紫红斑；破伤风致死一定是口眼斜，拳手缩足。它在缢死急救法中介绍了类似现代的人工呼吸法。这些都是很科学的。又如在解剖、外科和骨科学方面，《洗冤集录》对人体全身骨骼部位和作用作了详尽说明。它记载了新鲜创口的处理方法，提出对有些创口要采用扩创手术，说“毒蛇能毙人，……急以利刀去所啮之死肉”。还记载了诊断治疗骨折、用夹板固定伤断部位的方法。这些都是合乎科学道理的。对于检验尸骨上的生前伤，提到使用黄油新雨伞，罩定尸骨，迎日隔伞看，伤之在骨内的就毫发毕露。这一方法完全符合光学原理，因为不透明的物体在阳光下所显示的颜色，都是选择反射的结果，而光线通过黄油伞，能吸收一部分足以影响仔细观察的光线。这和现今应用紫外线罩射尸骨检查伤痕，原理是一致的。又如在毒物学方面，《洗冤集录》列举了许多毒物的名称，如鼠莽草、巴豆、砒霜、水银、菌蕈、河豚等。它还记载了许多服毒后中毒的症状和解毒的方法。例如提到“中煤炭毒，土坑漏火气而臭秽者，人受熏蒸，不觉自毙，其尸软而无伤，与夜卧梦魇不能复觉者相似。”可见我国在很早的时候，就发现一氧化碳中毒的事例了。还提到虺(hu)虺(虺，是古书上说的一种毒蛇；虺，就是虺蛇，体色灰褐，头部略呈三角形，有毒牙)伤人，“其毒内攻即死。立即将伤处用绳绢扎定，勿使毒入心腹。令人口含米醋或烧酒，吮伤以拔其毒，随吮随吐，随换酒醋再吮，俟红淡肿消为度。吮者不可误咽中毒”。我们知道，凡是被毒蛇咬伤，在伤处的上部位，采用上行段血管局部结扎办法，防止中毒的蔓延，在今天来说，也是一个重要的措施。用“吸吮拔毒”的方法有一定的危险性，这在书中已提起注意，并采用口含烧酒以达到口腔消毒的目的。在当时的条件下，提出这样的办法，确是难能可贵的。另外提到“砒霜服下未久者，取鸡蛋一二十个，打入碗内搅匀，入明矾末三钱，灌之，吐则再灌，吐尽便愈。但服久，砒已入腹，则不能吐出。”砒霜的化学成分是三氧化二砷，中毒后很容易由胃壁吸收入血；但砒在胃里遇到蛋白质，会产生凝固作用，变成一种不溶于水的物质，毒性就不容易被胃吸收入血了。明矾可以催吐。这种催吐洗胃、蛋白解毒的方法，是很符合科学原理的。在检验服毒的方法方面，书中提到“用银钗，皂角水揩洗过，探入死人喉内，以纸密封，良久取出，作青黑色，再用皂角水揩洗，其色不去。如无(毒)，其色鲜白。”这种方法对于初步检验有毒硫化物还是有效的，因为硫化物遇银钗后，会产生黑色的硫物银。

总之，《洗冤集录》中的许多内容是有科学价值的。当然，由于历史条件的限制，当时科学还不够发达，因此书中有些论点不切实际，对某些现象的观察不够严密，缺乏科学根据，甚至带有迷信色彩，这也是难免的。我们应当分清它的精华和糟粕，有批判地予以继承。

《洗冤集录》从十三世纪到十九世纪沿用六百多年。元、明、清三代的法医学著作大都以《洗冤集录》做蓝本，有的对内容加以引证，有的就原文加以订正，有的对理论加以考释，有的补充一些事例。属于这类著作的有元武宗至大元年(公元1308年)王与的《无冤录》，明末王肯堂的《洗冤录笺释》，清初曾慎斋的《洗冤汇编》，嘉庆元年(公元1796年)王又槐

的《洗冤录集证》，道光七年(公元 1827 年)瞿中溶的《洗冤录辨正》，光绪年间沈家本的《补洗冤录》等。宋慈的《洗冤集录》，影响所及还超出了国界。清同治元年(公元 1862 年)，荷兰人把它译成了荷兰文本，1908 年法国人又从荷兰文本译成法文本，以后又译成德文本，此外还被译成朝、日、英、俄等国文字。这是我国法医学史上光辉的篇章。

九 印刷术 印刷术的发明发展和外传

山西大学 邢润川

对人类文化的传播、发展有重大作用的印刷术，是我国发明的。这一发明闪烁着我国劳动人民智慧的光辉。

印刷术出现的条件

在印刷术发明前，文化的传播主要靠手抄的书籍。但是，一个个字的抄写实在是麻烦得很。一部书如果要制成一百部，就要抄上一百次。如果遇着卷帙浩繁的著作，就得要抄写几年，甚至更长时间。抄写时还会有抄错抄漏的可能，这样对于文化的传播会带来不应有的损失。另一方面，随着社会经济、文化的发展，需要读书的人越来越多，抄书既慢，数量也不多，无法满足人们对文化的要求。这就为印刷术的发明提出了客观的要求。

印章和石刻的长期使用给印刷术提供了直接的经验性的启示。印章是用反刻的文字取得正写文字的方法，不过印章一般字都很少。石刻是印章的扩大。秦国的十个石鼓是现在能见到的最早的石刻。后来，甚至有人把整本书刻在石头上，作为古代读书人的“读本”。公元四世纪左右的晋代，发明了用纸在石碑上墨拓的方法。用事先浸湿了的坚韧薄纸铺在石碑上面，轻轻拍打，使纸透入石碑罅隙处。待纸干后，刷墨于纸上，然后把纸揭下，就成为黑底白字的拓本。这是一种从阴文正写取得正写文字的复制方法。

正是在这些条件下，雕版印刷发明了。

雕版印刷的发明

根据《隋书》和《北史》等文献的记载来看，雕版印刷发明于隋代的可能性比较大，距今已有一千三百多年的历史。

雕版印刷所用的版料，一般选适于雕刻的枣木、梨木。方法是先把字写在薄而透明的纸上，字面朝下贴到板上，用刀把字刻出来；然后在刻成的版上加墨，把纸张覆在版上，用刷子轻匀地揩拭，揭下来，文字就转印到纸上成为正字。

雕版印刷很早就和人民群众的生产、生活发生密切联系。初刻印的书籍大多是农书、历本、医书、字帖等。大约在唐代宗宝应元年(公元 762 年)后，长安的商业中心东市已经有商家印的字帖、医书出卖。过了二十多年，民间市场上也出现了一种“印纸”，作为商人交易、纳税的凭据。唐穆宗长庆四年(公元 824 年)，元稹(779 - 831)为白居易诗集写的序文中，说到有人拿白居易诗集的印本换取酒茶，可见当时雕版印刷的应用已经扩大到人民爱好的诗歌了。历本是农民从事耕种的必需品，因为有广泛的需要，所以唐文宗大和九年(公元 835 年)左右四川和江苏北部一带地方民间都曾“以板印历日”(历本)，拿到市场上去出卖。东川节度使冯宿认为政府的司天台还没有颁布新历，民间所印历本“已满天下”，有损皇帝的威

严和“授民以时”的权利，所以他就上书请皇帝下令禁止。文献里保存下来的这些记载说明，雕版印刷至少在这时候已经在民间相当流行了。唐代统治者尽管下令禁止民间刻印，但是，怎么也禁止不了。黄巢（？-884）领导的农民大起义，使唐王朝政权摇摇欲坠，民间刻印的书就更多了。四川就是当时主要的刻书中心。

雕版印刷发明不久，佛教便利用它刻印了大量的佛教经典、佛像和宗教画。据记载，唐代高僧玄奘每年就用大量的纸来印佛像。现在发现最早的印刷物，有1966年在韩国古都庆州佛国寺释迦塔遗址出土的木刻《无垢净光大陀罗尼经》，是由唐代僧人弥陀山（汉名寂友）在武则天天授二年到长安四年（公元691年到704年）在长安翻译又在长安印刷，以后传入新罗（今朝鲜半岛）首都庆州。唐玄宗天宝十年（公元751年）在新罗佛国寺修建释迦塔时把它藏在金铜函里藏在塔中。还有在日本和韩国发现的刻印于唐代宗大历五年（公元770年）的《陀罗尼经》，可能是当时的留唐学问僧在中国学到印刷术后在日本刻印的。1900年，在甘肃敦煌千佛洞里发现一本印刷精美的《金刚经》，末尾题有“咸通九年四月十五日”等字样。唐咸通九年，就是公元868年。这是国内发现的最早最完整的木刻印刷物。《金刚经》的形式是卷子，长约一丈六尺，由七个印张粘接而成。最前的一张扉页是释迦牟尼在祇树给孤独园说法的图，其余是《金刚经》的全文。这卷印品雕刻精美，刀法纯熟，图文浑朴凝重，印刷的墨色也浓厚匀称，清晰显明，显然刊刻技术当时已经达到了高度熟练的程度。

国内发现的最早印刷物——唐咸通九年印造的《金刚经》。

五代时期，封建政府的文化机关大规模地刻印古代书籍，民间刻书也很盛行。当时刻书的，除开封外，现在甘肃的西部、山东的东部以及南京、福建等地方也开始刻书，而以四川、浙江一带刻的最多。到了宋代，雕版印刷更加发达，技术已经十分完善。著名刻工蒋辉就是千万个技术纯熟的刻工的突出代表。当时以杭州、福建、四川刻的书质量比较高。宋代的刻书不但多而且刻的精美讲究。宋版书是很珍贵的版本。宋太祖开宝四年（公元971年），张洎在成都雕印全部《大藏经》，这是印刷史上比较早期的分量最大的一部书，费工十二年，计一千零七十六部，五千零四十八卷，雕版达十三万块之多。由此可见，那时雕版印刷技术已经发展到很高的水平。

宋代以后，还出现了铜版印刷。铜版一般用来印刷钞票，这是因为铜版可以印制线条细、图案复杂的画面，印成之后，难于仿造。

雕版印刷在后来的发展中最为突出的成就，就是别开生面的彩色套印。

套色印刷是一种复杂的、高度精密的技术。比方，要印红黑两色，那就先取一块版，把需要印黑色的字精确地刻在适当的地方；另外取一块尺寸大小完全相同的版，把需要印红色的字也精确地刻在适当的地方。每一块版都不是全文。印刷的时候，先就一块版印上一种色；再把这张纸覆在另一块版上，使版框完全精密地互相吻合，再印上另一种色，一张两色的套色印刷物就完成了。假如印刷的时候粗心大意，两块版不相吻合，或者刻版的时候两块版上的字位置算得不准确，那么，印成之后，两色的字就会参差不齐，无法阅读。如果要套多种颜色，都可以照这办法去做，不过

套色越多，印刷起来越费事，所以需要极其熟练的技术。这样用各种颜色套印出来的书，如果印在洁白的纸上，真是鲜艳夺目，美不胜收！这种套印的方法，至迟在公元十四世纪的元代就已经发明了。元代的时候，中兴路(今湖北江陵)所刻《金刚经注》，就是用朱墨两色套印的，这是现存最早的套色印本。但是到明代公元十六世纪末，这方法才得以广泛流行。明代万历年间闵齐、闪昭明、凌汝享、凌初、凌瀛初都是擅长这种印刷术的名家。在清代，这种技术也得到相应的发展。

这种套色技术结合着版画技术，便产生出光辉灿烂的套色版画。明代末年原版《十竹斋画谱》和《笺谱》就是很好的样本。一张版画呈现着各种颜色，浅深浓淡，阴阳向背，无不精细入微。有的古版画的确是艺术上的珍品。

活字印刷的诞生和发展

雕版印刷比靠手工抄写确实方便得多，一次就可以印出几百部、几千部。但是，雕版依然很费工，印一页就得刻一块版，雕印一部大书，往往需要几年工夫；雕好后的板片，还得用屋子存放；同时要想出版别的著作，又得从头雕起。人力、物力和时间都很不经济。

宋代湖北英山布衣(平民)毕升(? - 1051)生活在雕版印刷的全盛时代，他通过长期的亲身实践，在世界上首先创造了活字印刷。这种方法节省了雕版费用，缩短了出书时间，既经济，又方便，在印刷史上是一大革命，影响深远。现在盛行的铅字排印的基本原理，和最初毕升发明活字的排印方法是完全相同的。

毕升这一发明，在宋代著名科学家沈括的《梦溪笔谈》卷十八中留下了最可靠的记载。宋仁宗庆历年间(公元1041年到1048年)，毕升用胶泥刻字，一个字，一个印，用火烧硬。先预备好一块铁板，铁板上放着松香、蜡、纸灰等，铁板四周围着一个铁框，在铁框里密密地摆满字印，满一铁框就是一板，拿到火上加热，药就熔化，用一平板把字压平。为了提高效率，用两块铁板，一板印刷，另一板又排字，这块板印完，第二板已准备好了，这样相互交替着用，印得很快。每一个单字，都有好几个印，最常用的字更多些，以备一板里有重复的时候用。至于没有预备的偏僻生字，就临时写刻，马上烧成了用。根据毕升的试验，印三五本显不出简便，如果印上几百本、上千本，就快得很。

清道光年间，安徽泾县有位教书先生翟金生，根据《梦溪笔谈》关于泥活字的记载，花了好多年工夫，制成了十多万个坚硬的泥活字。他用自己的这些泥活字印过《泥版试印初编》等书。近些年来，在北京图书馆里发现了好几种用泥活字印的书。这些都证明了《梦溪笔谈》里关于毕升泥活字记载的真实性。

毕升也曾经试制过木活字，但是他发现木头的纹理疏密不同，沾水后有伸胀性，排出版来高低不平，此外又容易和药物相粘，取下不便，所以他只好改用胶泥制活字。

到了元代，农学家王桢创制木活字成功，他还发明了转轮排字架，用简单的机械，增加排字的效率。关于他制木活字的方法和印刷经验，在他所著的《农书》中有详细的说明。

王祜所创制木活字的办法是，先从官定韵书中挑选可用的字，分韵写成字样。此外常用字如“之”、“乎”、“者”、“也”以及数目等，各分一类。把字样糊在板上雕刻。字和字之间稍微隔开，雕成以后，用细齿小锯把字一个个锯下，成为四方形。再拿小裁刀四面修理，使得每个活字都合乎标准，大小高低相同。印的时候把活字排进木制的盔盘里，削竹片夹起来。字满以后，用小木块塞紧，右边安置界栏，用木栓拴住，不让再动摇。如果有高低不平，随字形用小竹片垫好，让字体平稳。然后刷墨付印。刷墨用棕刷顺界行竖刷，不可横刷，印的时候也是这样。贮存活字用轻质木料做成类似圆桌面大轮盘，直径大约七尺，轮轴高约三尺。轮盘上铺圆形竹制的框子，活字按韵分别放在里面。每韵每字都依次编好号码。同时准备两架轮盘，一架放选出可用的字，一架放普通常用的字。另有两本册子，把活字依照轮盘上号码次序登录。排版的时候一人从册子上叫号码，另一人坐在两架轮盘之间，依所叫号码，从轮盘上取下活字，放进盔盘。因为轮盘可以旋转自如，所以摘字的人只要坐在中间，“左右俱可推转摘字”。王祜自己说：“以人寻字则难，以字就人则易。此转轮之法，不劳力而坐致，字数取讫，又可铺还韵内，两得便也。”元成宗大德二年(公元1298年)，他曾经用这种方法试印一部六万多字的《旌德县志》，不到一个月的工夫，就印成了一百部，印刷又快，质量又好。他的排字、印刷方法在印刷史上也是一次重大革新。

王祜以后，木活字印书一直在我国流行。明清两代更加盛行。清乾隆三十八年(公元1773年)清政府曾经用枣木刻成二十五万三千五百多个大小活字，先后印成《武英殿聚珍版丛书》一百三十八种，计二千三百多卷。这是我国历史上规模最大的一次用木活字印书。

活字印刷的另一发展，是用金属材料制成活字。王祜还提到，近世有人用锡做活字，这应当算是世界上最早的金属活字。但由于锡不容易受墨，印刷常遭失败，所以未能推广。到明孝宗弘治年间(公元1488年到1505年)，铜活字正式流行于江苏无锡、苏州、南京一带。我国用铜活字印书，工程最大的要算印刷清代的百科全书《古今图书集成》了。

印刷术的外传

我国是印刷术的发源地，世界上许多国家的印刷术，都是在我国印刷术的直接或间接的影响下发展起来的。

唐代的雕刻印本书传到日本，公元八世纪后期，日本的木板《陀罗尼经》完成。大约在公元十二世纪或者略早，雕版印刷术传到埃及。公元十三世纪，欧洲人来中国多取道于波斯，就是今天的伊朗。波斯当时已经熟悉了中国的印刷术，并且曾经用来印造纸币。波斯实际成了当时中国印刷术西传的中转站。公元十四世纪末，欧洲才出现用木板雕刻的纸牌、圣像和学生用的拉丁文课本。

我国最初的木活字印刷术，大约在公元十四世纪传到朝鲜、日本。具有聪明才智的朝鲜人民在吸取我国传去的木活字经验基础上，发扬光大，最早创制了铜活字，对世界印刷术的发展作出了贡献。公元十五世纪后，朝鲜铜活字印刷又对我国印刷术产生影响。

元代的木活字印刷术，在我国少数民族中间也有流传。维吾尔族人民，

按照维吾尔文字拼音特点，制成单字，不是字母的活字。这很可能是世界拼音文字中出现的最早活字。以后，我国的活字印刷术经由新疆到波斯、埃及，传入欧洲。公元 1450 年前后，德国谷登堡(约 1394—1468)受中国活字印刷的影响，用铅、锡、锑的合金初步制成了欧洲拼音文字的活字，用来印刷书籍。

印刷术传到欧洲后，改变了原来只有僧侣才能读书和受高等教育的状况，为欧洲的科学从中世纪漫长黑夜之后突飞猛进发展，以及文艺复兴运动的出现，提供了一个重要的物质条件。马克思在 1863 年一月二十八日给恩格斯的信里认为印刷术、火药和指南针的发明“是资产阶级发展的必要前提”。由此可知，印刷术的发明意义是多么重大。

徐光启极重视农田水利，并且编译了《泰西水法》，在我国已有的水利技术知识的基础上，吸取了西方的一些进步方法。

十 纺织

中国古代的纺车和织机

上海纺织科学研究院 高汉玉 史伯奎

我国古代的纺织工艺技术十分发达，精湛的丝绸著称于世。这除了我国手工业劳动者的技术高明外，纺织工具的发明和不断革新也起了很大作用。这里我们仅介绍纺车和织机的发展情况。

纺车

要把麻、丝、毛、棉等纤维原料加工成纺织品，首先必须纺成纱线。我们的祖先很早就开始用“纺专”进行纺纱，在我国各地许多新石器时代遗址里，都曾经发现过大量的这种原始纺纱工具。所谓纺专，是由陶质或石质制作的圆块，直径五厘米左右，厚一厘米，叫“专盘”，中间有一个孔，可插一根杆，叫“专杆”。纺纱时，先把要纺的麻或其他纤维捻一段缠在专杆上，然后垂下，一手提杆，一手转动专盘，向左或向右旋转，并不断添加纤维，就可促使纤维牵伸和加拈。待纺到一定长度，就把已纺的纱缠绕到专杆上。然后重复再纺，一直到纺专上绕满纱为止。这种纺纱方法是很原始的手工劳动，既吃力又缓慢，拈度也不均匀，产量和质量当然都很低。

经过长期的生产劳动，随着社会生产的发展，一种手摇单锭纺车出现了，很快代替了纺专，成为纺织手工生产的重要工具。

纺车最早出现在什么时代，目前还无法确定。关于纺车的文献记载最早见于西汉扬雄(前 53—后 18)的《方言》，在《方言》中叫做“车”和“道轨”。单锭纺车最早的图像见于山东临沂金雀山西汉帛画和汉画像石。到目前为止，已经发现的有关纺织画像石不下八块，其中刻有纺车图的有四块。如 1956 年江苏铜山洪楼出土的画像石上面刻有几个形态生动的人物正在纺丝、织绢和调丝操作的图像，它展示了一幅汉代纺织生产活动的情景。这就可以看出纺车在汉代已经成为普遍的纺纱工具。因此也不难推测，纺车的出现应该是比这为早的。

江苏铜山洪楼出土的画像石上纺织图的一部分，图上的人正在纺丝。

汉代纺车，根据画像石上所画的形状看，和明代《天工开物》上的纺车类似。这种纺车的结构虽然比较简单，但是纺纱功效已经比纺专提高大约二十倍。这种纺车上已经使用绳轮传动，证明我国早在两千年前就在工具机上使用绳轮传动了。使用这种纺车，还可以加拈、并合比较均匀一致、不同粗细的丝或弦线。1972 年长沙马王堆汉墓出土叫做“汉瑟”的乐器，它的弦是用十六根单丝合股加拈成的，每一根都纺得非常均匀，能发出协调的音律，大概就是用这种纺车加工的。

这种纺车，除了可以纺纱之外，还有一个重要作用，就是制成纬纱用的纡子。过去用纺专的时候，需要另外的工具摇纡，现在有了纺车，就能兼做这项工作了。这就可以比较大地提高生产效率。

汉、唐以来，我国绚丽的丝绸，通过“丝绸之路”向西方输出，博得了极高的声誉。今天在当年丝绸之路的古道上，仍然可以发现当时的锦、罗、绫、绮等水平相当高的丝织品。生产这些高水平的丝织品也是和纺车的使用分不开的。

在纺绩麻、丝、棉等生产实践过程中，为了提高质量和产量，我国劳动人民是不断有所创造、有所前进的。在手摇纺车的基础上创造的脚踏纺车和水力纺车，又进一步把我国的纺纱技术提到了一个新的高度。

脚踏纺车是利用偏心轮在纺车制造上完成的一次改革。脚踏纺车的最早发明时间还有待查考，现在能见到的是公元四世纪我国东晋著名画家顾恺之(约 345 - 406)一幅画上的脚踏三锭纺车。后来在元代皇庆二年(公元 1313 年)，我国著名的农学家王祯在他所著的《农书》上也出现了三锭脚踏棉纺车和三锭、五锭脚踏麻纺车，证明了脚踏纺车从东晋以后一直都在使用。

纺车在棉纺织中应用最广，时间也比较长。在植棉和棉纺织中，我国少数民族作出了杰出的贡献。云南和海南岛的少数民族很早就积累了一套棉花的纺织加工技术，就纺车来看，既使用大竹轮的纺车，一般直径在六十一厘米，也采用小直径的竹轮纺车，直径三十到四十厘米，以适应棉纤维比丝麻短的纺纱需要。

宋末元初，松江乌泥泾(今上海县乌泥镇)童养媳出身的棉纺织革新家黄道婆(约 1245—?)，年轻的时候曾经流落到海南岛崖州(今海南省三亚市)，向黎族姐妹学习了棉纺织技术，元成宗元贞元年(公元 1295 年)左右回到故乡，和当地的织妇一起，在纺织生产的实践中，把用于纺麻的脚踏纺车改成三锭棉纺车，并且总结了一套纺纱技术。同时她还革新了轧棉和弹棉工具，纺纱产量得到大幅度提高，迅速改变了当时松江地区的落后面貌。她又总结提高了织布中的“错纱、配色、综线、挈花”等织造技术，使当时松江地区成为棉纺织中心之一，精美的“乌泥泾被”运销全国。

在王祯的《农书》中，除了对手摇和脚踏纺车作了全面总结外，更介绍了另外两种新的纺车，大纺车和水转大纺车。大纺车，它不同于旧的纺车的特点是：纺纱的锭子更多，达到三十二枚，这样它的生产力就显著增加。一般的单锭纺车，一天只能纺三到五两纱，三锭也不过七到八两，这是指棉。纺麻，用五个锭子也不超过二斤。大纺车是纺麻的，一天一夜可以纺一百斤。纺绩的时候需要集中多家的麻才能满足它的生产要求。其次，大纺车的传动已经采用和现在的龙带式传动相仿的集体传动了。

现代机器纺纱，除了最新的气流纺外，它的机构形式还是离不开锭子和它的传动。只是由于机械的动力大，锭子数目更多，速度更快罢了。把古代纺车和现代纺纱机相比，现代传动锭子的滚筒就是纺车竹轮的替代，而所谓最新式的龙带传动，和大纺车的皮弦带动更是同一个方式。它们的纺纱基本原理是一致的。

织机

关于原始织布机的具体型制，目前还缺乏更多的实物依据，但是，我

们根据考古学的大量资料，也可以了解到它的大致情况。1975年，浙江余姚河姆渡新石器时代遗址，出土纺专、管状骨针、打纬木刀和骨刀、绕线棒等纺织工具。这是距今六千多年前已有最早的原始织机的佐证，也是到目前为止所发现的世界上最早的原始织布工具。

人类最初是怎样织布的呢？还得先从布的名称谈起。据《释名》说：“布列众缕为经，以纬横成之也。”平布就是由许多纵向的经线和横向的纬线相互交织而成。原始的织布方法，古时称作“手经指挂”，可能就像是云南晋宁石寨山遗址出土的贮贝器盖上所塑造的几幅原始织机的图像。

这是一幅奴隶们为滇族奴隶主织布的生产活动场面。织布女奴穿着粗布的对襟服，腰束一带，席地而织，用足踩织机经线木棍，右手持打纬木刀在打紧纬线，左手在作投纬引线的姿态。女奴弯着腰在吃力地织着布匹。这种织机可以称做踞织机或腰机。从那上面的形象看，这种原始织机已经有了上下开启织口、左右穿引纬纱、前后打紧纬密的三个方向的运动。它是现代织布机的始祖。

后来，人们在织布的生产实践中又逐步革新创造成功了脚踏提综的斜织机。江苏泗洪曹庄出土的汉画像石上刻着“慈母投杼图”，图上有斜织机的型制。这种斜织机已经有了一个机架，经面和水平的机座成五六十度的倾角。这样改进以后，操作的人既可

云南晋宁石寨山遗址出土的贮贝器盖。

贮贝器盖上女奴纺织的各种姿式： 、 、 、 式都在织布。

以坐着织造，又可以一目了然地看到开口后经面上的经线张力是否均匀，经线有无断头。更重要的是斜织机已经采用脚踏提综的开口装置。在图中可以看到织工们用脚踏一长一短的两块踏板(杆)，分别带动综线。当脚踏动提综踏板的时候，被踏板牵动的绳索牵拉“马头”(提综摆杆，前大后小，形似马头)，前俯后仰，就使得综线上下交替，把经纱分成上下两层，形成一个三角形的织口。实行手脚并用，用双脚代替了手提综的繁重动作，这样就能使左右手更迅速有效地用在引纬和打纬的工作上。斜织机的生产率比原 江苏泗洪曹庄出土的汉画像石上慈母投杼图一部分，图上有斜织机的型制。始织机一般可以提高十倍以上，可以大幅度地提高布帛产量。据史籍记载，战国时期诸侯间馈赠的丝绸数量比春秋时期高得多。秦汉之际，斜织机在我国黄河流域和长江流域的广大地区已经比较普遍，在农村中广泛地采用了这种脚踏提综的织机。从图中还可以看到一把将要落地的两头尖的梭子。利用这小巧玲珑的梭子，来往穿引纬纱，进一步提高了织造的速度，是织布工具的重大革新之一，一直为后世所沿用。

后来，织机又不断地得到改进。宋末元初，山西万泉(今山西万荣)人木匠出身的薛景石，在《梓人遗制》这部著作中，给我们留下了立机子、华机子、罗机子和布卧机子等织机的具体型制，并且标明了装配尺寸，阐明了结构间的相互关系和作用原理。《梓人遗制》中的立体图，使人看了一目了然，使制造织机的木工“所得可十之九矣”。这部我国纺织科学技术史上的重要著作，是研究织机发展史的珍贵资料。

那时各家各户的织机，出自不同木工之手，式样不同，尺寸有异，“各有法式”，给装修织机带来许多困难。薛景石从长期的织机修造中积累了丰富经验，总结了各家之长，经过辛勤劳动，终于完成了这部织机制造图文并茂的著作。他对织机中的“每一器必离析其体而缕数之”，就像今天

工厂里设计机器一样，既绘有零件图，又有总体装配图，并且说明了每个零件的尺寸大小和安装部位，正如序言中所说的，“分则各有其名，合则共成一器。”如罗机子是织造各种轻薄透明花罗织物的织机，在《梓人遗制》中绘制得相当清楚。罗机子身長七尺到八尺，横 外宽二尺四寸到二尺八寸。织罗纹的绞纱机构相当奇特，由于它的形状似“老鸦翅”而得名。在织罗的时候，老鸦翅管理绞经，作上下运动和左右移动，用绞经和地经互相绞缠，按花纹图案，有规律地在左右方和地经互相绞转而形成椒眼孔的网纹。

《梓人遗制》中对于华机子和布卧机子的结构原理的说明，在有些地方比明代徐光启的《农政全书》和宋应星的《天工开物》中的腰机和织罗机要详尽。梭子的尺寸也更加规范化了，梭长一尺三寸到四寸，中心宽一寸五分，厚一寸二分，中间开一梭眼，以引导纬纱。由于织布机上开口、投梭、打纬三个主要运动的进一步完善，织布的产量和质量大为提高。薛景石在实践中创制的各种织机和织具，在山西潞安州(今山西长治一带)名噪一时。潞安州地区，由于推广了薛景石制造的织机，原来已经非常发达的纺织业就更加发展，已经和长江流域的江浙地区并驾齐驱，有“南松江，北潞安，衣天下”的说法。

提花机

提花机是织造提花织物的机械。我国古代能织造五彩缤纷的纺织品，这是和提花机的发明和使用分不开的。早在四千多年前，古代劳动人民就已经织出了具有简单几何图案的斜纹织品。在河南安阳殷墟的大司空村的殷商王族墓葬中，就曾经发现了包在铜 安阳殷墟发现的几何回纹提花丝织品痕迹。钺上面的一块几何回纹的提花丝织品痕迹。这是一种在单色的平纹地上起出斜向的经斜纹花来的织物，称作“绮”。到了周代，已经能织造多色提花的锦了。这表明我国很早就已经使用提花机械。有人认为，在先秦的史籍中已经有关于提花机的文字记载，如《周易·系辞下》中有：“叁伍以变，错综其数，通其变而成天下文也。”这是说当时已经有比较复杂的提花机构，可以按照“叁伍以变”的规律，普遍能织出比较复杂的花纹来。

秦汉之际，丝绸业更加繁荣发达。朝廷设置了东西织室和服官，出现了拥有几千名织工的手工业工场。丝绸提花技术达到了相当高的水平。长沙马王堆汉墓出土物中有一批对鸟纹绮，花卉、水波纹、夔龙、游豹纹锦，以及第一次发现的绒圈锦，它是现代漳绒、天鹅绒等绒类织物的先驱，是提花纹锦的重要发展。

汉初的提花机的具体型制是怎样，还有待研究。但从马王堆汉墓出土的绒圈锦的结构分析，大致可以知道它的机构特点。绒圈锦的制织技术相当复杂，这种织物结构是四根一组的双面变化重经组织，按织幅是五十厘米计算，那总经根数是八千八百到一万二千。织造工艺技术上已经使用分组的提花束综装置，以及用地经和绒经分开提沉的双经轴机构。

关于西汉的织绦锦情况，《西京杂记》有一记载说：“霍光妻遗淳于衍……蒲挑锦二十四匹，散花绦二十五匹。绦出巨鹿陈宝光家，宝光妻传其法，霍显召入其第，使作之。机用一百二十镊，六十日成一匹，匹直万

钱。”

由于《西京杂记》的记载太简单了，陈宝光妻所用的提花机的具体型制就很难推测。在东汉王逸的《机妇赋》里，大致可以了解一些梗概。其中“高楼双峙”，是指提花装置的花楼和提花束综的综相对峙，挽花工坐在三尺高的花楼上，按设计好的“虫禽鸟兽”等纹样来挽花提综。挽花工在上面俯瞰光滑明亮的万缕经丝，正如“下临清池”一样，制织的花纹历历在目。“游鱼衔饵”是指挽花工在花楼上牵动束综的衢线，衢线下连竹棍是衢脚，一般要一千多根，挽花工迅速提综，极像鱼儿在上下争食一样快。提牵不同经丝，有屈有伸，从侧面看，确如汉代人习惯画的星图，“宛若星图，屈伸推移”是一句十分形象化的比喻。“一往一来”是指“推而往引而来”的打纬用的筵。他把提花机的作用原理描绘得维妙维肖，提花过程也描绘得十分具体生动。

这种复杂的提花机，在民间一般是不容易推广的，也不能适应封建经济进一步发展的需要。三国曹魏初年扶风(今陕西兴平)的马钧，少年时候看到提花机非常复杂，生产效率很低，挽花工的劳动强度很高，“乃思绫机之变，不言而世人知其巧矣。旧绫机五十综者五十，六十综者六十，先生患其丧功费日，乃皆易以十二综十二”(据《三国志·魏书·方技传》裴松之(372 - 451)注引魏晋文学家傅玄(217 - 278)文)。织成的提花绫锦，花纹图案奇特，花型变化多端，而且提高了提花机的生产效率。虽然还没有更多的资料来说明马钧革新提花机的具体型制，就综片数来说，它和南宋楼 绘制的《耕织图》上的提花机是比较接近的。

现在我们所知道的最具体完整的古代提花机型制，是记载在明代宋应星的《天工开物·乃服篇》里：“凡花机通身度长一丈六尺，隆起花楼，中托衢盘，下垂衢脚。……提花小厮坐立花楼架木下。机末以的杠卷丝。中用叠肋木两枝，直穿二木，约四尺长，其尖插于筵两头。”这里所谓“衢盘”今称目板，所谓“衢脚”今称下柱，“的杠”是经轴，“叠肋木”是打筵用的压木。凡制织绚丽多彩的四川蜀锦和南京云锦都用这种提花机，在现今的历史博物馆里就可以看到它的具体结构。

云南晋宁石寨山遗址出土的贮贝器盖。

另外，在提花技术中最难掌握的要算结花本。《天工开物》中说：“凡工匠结花本者，心计最精巧。画师先画何等花色于纸上，结本者以丝线随画量度，算计分寸秒忽而结成之，张悬花楼之上。”就是说人们如果想把设计好的图案重现在织物上，得按图案使成千上万根经线有规律地交互上下提综，几十种结线有次序地横穿排列，作成一整套花纹记忆装置。花本结好，上机织造。织工和挽花工互相配合，根据花本的变化，一根纬线一根纬线地向前织着，就可织出瑰丽的花纹来。花本也是古代纺织工匠的一项重要贡献。

中国古代的丝绸和丝织技术

自然科学史研究所 赵承泽

丝绸是中国驰名世界的传统产品。中国古代在长期生产丝绸的过程中，曾经创造出在古代世界属于最高水平的许多纺织技术，对世界纺织科学的发展产生过相当深远的影响，是中国和世界珍贵的科学文化遗产中重要的一部分。

中国古代的丝绸在中国和世界 纺织产品中的地位

中国织造丝绸，历史悠久，最初用野蚕丝，后来改用家蚕丝。使用家蚕丝的时间，有据可查的，至少有五千多年。1958年发掘浙江湖州钱山漾新石器时代遗址(约4700年前)时，发现一小块绢片和一段丝带，就是证明。

中国历来都很重视丝绸的生产。在殷商的甲骨文里，已经有丝桑帛的字样，说明丝绸的织造，到殷商已经在社会生产中占据了一定的地位。周秦以后，丝织业更加发达。有些朝代还明确规定：有条件发展蚕桑的地区，各个农户都要种植若干亩桑田，缴纳丝绸，作为赋税。因而历代丝绸的产量也不断提高。各个时期的生产总数虽然已经无从稽考，但是从现在所知道的个别极不完整的统计，也能看出大概情况。据古史记载，汉武帝在山西和山东的一次巡狩中，就“用帛百余万匹”(《汉书·食货志》)，宋高宗每年仅在两浙地区征收和收购的丝绸，都达一百一十七万多匹。

中国古代织造的丝绸，一直都是以精彩华美见称的。它不仅是中国各个时期主要的衣着原料之一，也是中国古代对外贸易的重点商品。在很早的时候，就不断地通过中国西北的“丝绸之路”和东南沿海港口，远销西亚和欧非两洲，极受西方国家的欢迎。古代罗马和埃及都把中国丝绸看作“光辉夺目、人巧几竭”的珍品，以能穿着这种珍品为荣。据西方历史记载：罗马恺撒大帝(前100—前44)曾经穿过一件中国丝袍在剧场观戏，引起全场的钦羡，被看作是绝代的豪华。许多国家的商人都经营中国的丝绸，因为远途运输，售价极昂，有时每磅丝料的价格竟高达黄金十二两。直到公元十三世纪以后，中国丝绸仍是西方市场的畅销品。

中国丝绸的制造技术

中国制造丝绸的技术是非常细致的。生产工序十分复杂。最重要的是缫丝、练丝、穿筘、穿综、装造和结花本。

缫 丝

这是制造丝绸的头一道准备工序，是指松解蚕茧和抽引蚕丝。未经处理的蚕丝都附有一定的杂质，主要的是丝胶，如果不适当清除，就不能得到合用的蚕丝，不能使蚕丝显现出它特有的柔软细长和光泽的特点。中国

从一开始利用蚕丝，就采用一定的松解和抽引的方法。有关松解的工艺，在战国和两汉的著作中就已经出现，是把蚕茧放在沸水中煮烫，利用水温脱胶。后来又进一步总结出必须控制水温 and 水中丝胶的浓度，使用文火和适当掺加冷水，防止过热出现脱胶不匀、丝多疵累缺点，过冷出现丝头散扬难于松散的毛病，最好常令煮茧的沸水形如蟹眼。同时注意换汤，换汤过勤会出现蚕丝白而不亮的现象，换汤不勤又会出现蚕丝亮而不白的缺点。抽丝的工艺是用小木棍把已经散开的浮丝从锅中挑起，几根合成一缕：细长完整的合成细缕，根数比较少；稍次的断丝合成粗缕，根数稍多；最次的断丝合成纺丝，根数更多。南北朝时期以前最细的丝多半是五根合成的，宋代以后多半是三根合成的。

练 丝

练丝是对蚕丝的进一步处理和漂白。未练的丝叫生丝，已练的丝叫熟丝。练丝的工艺和缫丝相似，是把已抽的蚕丝放进含楝木灰、蜃灰(蛤壳烧的灰)或乌梅汁的水中浸泡。汉以前用温水，东汉以来用沸水。然后在日光下曝晒。晒干后再浸再洗。这样，一面利用灰水中的碱性物质和日光的紫外线起漂白作用，提高丝的白洁度；一面利用水温和灰水或乌梅中的碱性物质或酸性物质继续脱掉丝上残存的丝胶，使蚕丝更加柔软，容易染色。

穿筘和穿综

筘是织机上的竹筘，综是织机上的综桃。穿筘穿综的目的是使织机上的经线在织造过程中能开出符合丝绸结构设计的梭口。筘是用竹片制成的细长方框，中间有间距相等的竹丝，在古代又叫杼、筘、捆。综是用木条制成的长方框，中间有一根横棍，横棍上下各有一条细线，用丝绳连接横棍、细线和木框两边，绕成互相环结的上下两个圈套，就是南北朝时期以前所说的“屈绳制经令得开合也”的工具，在古代又叫泛子、翻子。筘只一片；综的数量不定，最少两片，最多八片，如果提花最多可增到十六片。穿筘是按照设计要求，把经线分组的穿过每个筘齿。穿综也是按设计要求，把经线穿在综里：如果是素织，一根只穿一片，穿在框上的两个圈套的上套；如果是花织，一根要穿两片，根据需要，一片穿在圈套的上套，一片穿在圈套的下套。

装造和结花本

装造系统和花本是丝绸提花的装置。

装造系统也是在汉代就已经有了记载的。凡是提花的织机都有花楼，装造系统垂直地装在花楼之上，是由通丝、衢盘、衢丝、综眼、衢脚组成。通丝又叫大纤；每根通丝都相当于一般织机的一片综片。综眼是容纳准备提动的经丝的。通丝的数量根据花数循环确定，每根通丝可以分吊二到七根衢丝，就是现代纹织学上所说的“把吊”。

花本是提花丝绸显花的直接来源，所以叫它“花本”。有花样花本和花楼花本两种。

花样花本的编结方法是：在一块经纬数量相同的方布上画出准备织造的纹样，也可以先画在纸上，再过在布上。用另备的经线，同方布的经线一根接一根重叠地连在一起，再用另备的纬线，按已画的花纹所占位置和尺寸，置换方布原有的纬线，把原有的经线抽出，用新接的经线代替原来的经线，使花纹重新显现。明代宋应星《天工开物》中说的“画师先画何等花色于纸上，结本者以丝线随画量度，算计分寸杪忽而结成之”，就是这个意思。

花楼花本的编结方法是：把花样花本的经线和花楼上垂下的同量通丝接在一起，提起花本纬线，带动通丝，另用比较粗的其他纬线横穿入通丝之内，就可以把花样过到花楼之上。

装造系统和花楼花本是互相配合的，在花楼花本完成以后，牵动花楼花本的经浮线，也就是在花楼花本上显花的通丝，带动全部装造系统，就可以提花了。

主要丝绸品种的结构和发展

中国丝绸的品种确实可以说是丰富多彩。不同品种有不同的结构，最有代表性的是锦、纱、罗、绦、缎、绸、绒、绉丝。

锦

什么是锦？中国古代所说的锦，有时是泛指具有多种彩色和花纹的丝织物；但是更多的是指用联合组织或复杂组织织造的重经或重纬的多彩丝织物。这种重经或重纬的织物织起来难度比较大，是古代最贵重的织品。所以古代又有这样的说法：“锦金也，作之用功重，其价如金，”把它看成和黄金等价。

这种织物有经起花和纬起花两种，分别叫经锦和纬锦。经锦是用两组或两组以上的经线同一组纬线交织。经线多是两色或三色，一色一根作为一副；如果需要更多的颜色，也可以使用牵色条的方法。纬线有明纬和夹纬；用夹纬把每副中的表经和底经分隔开，用织物正面的经浮点显花。1959年在新疆民丰尼雅遗址发现的东汉“万年如意锦”，使用绛、白、绛紫、淡蓝、油绿五色，通幅分成十二个色条，就是汉代典型的经锦。纬锦是用两组或两组以上的纬线同一组经线交织。经线有交织经和夹经；用织物正面的纬浮点显花。1969年在新疆阿斯塔那发现的唐代锦袜，在大红色地上起各种禽鸟花朵和行云的图案，就属于这一种锦。经锦和纬锦具有不同的织造效果。经锦的纬密比较低，只用一把梭子，生产效率比较高。纬锦织造费时，但是可以使用两把以上的梭子，容易变换色彩，丰富色彩的内容。这两种锦在中国出现时间都比较早。但是南北朝时期以前织造的，似乎以经起花的为主；隋唐以后织造的，似乎以纬起花的为主。因此有些外国的研究者竟认为中国纬锦的织造法是从外国引进的。这种推测过于片面，中国的纬锦也是中国自己的创造。前些年在前苏联的巴泽雷克发现一批中国战国时期的丝绸，就有用红绿二色纬线织造的纬斜纹起花的纬锦。

纱罗

中国古代的纱，从组织来说可以分两种：一种是同现在的冷布相似的平纹稀经密的织物，唐代以前叫方孔纱；一种是和罗同属于纱罗组织的、把经线分为地经和绞经互绞、但是密度比较小的织物，有两经相绞的，有三经相绞的。南北朝时期以前都是素织，从唐代起间有花织，使用提花设备提花。

中国古代的罗和现代的罗不同，多半用四根经线为一组织造的。两根绞经，两根地经，一比一排列，隔一梭起绞一次，两两互绞；四根纬线是一个循环，每行都有纱孔。如果要提花，不用提花装置，另外加挂不定量的综。

现代的罗大概是在明代开始出现的，都是先织三到七梭平纹，再起绞一次，纱孔是分段出现的。

古代的罗比较疏朗，现在的罗比较结实，各有优点。

绫缎

绫是属于斜纹组织的织物。斜纹组织的特点是使织物的经纬浮点呈现连续斜向的纹路。绫也有斜向的纹路，但是又和一般的斜纹不同，实际上是现代纺织学上所说的“变化斜纹组织”，多半呈现山形斜纹或正反斜纹。据我国古书《释名》说：“绫，凌也。其纹望之如冰凌之理也。”冰的纹理呈形，具备摇曳的光泽，绫的特点正是这样。

缎属于缎纹组织。缎纹组织是在斜纹的基础上发展起来的，但是没有明显的斜路。它的织造特点是织物的各个单独浮点比较远，并且被它两旁的经纬纱的长浮点遮蔽；不仅使整个幅面具有平滑光泽和强烈的立体感的特色，而且可以防止出现底色混浊的现象，最适宜于织造多种复杂颜色的纹样。中国的这类织物大概是在宋代出现的。最初叫丝，后来才改称作缎。

绒

绒是属于起毛组织的织物。中国古代的绒都是经起绒，把经线分做地经和绒经两部分：地经专织地子；绒经起绒。每织三四梭地子才起一梭绒经，并且把预先备下的篾丝或金属丝插入梭口，使绒经呈现凸起的圆圈，然后用刀割开，就可以形成丝绒。中国织造起绒织物的历史也非常长远。过去有人说中国的起绒技术是在明代从日本输入的，并且把起绒织物叫作倭缎，其实是错误的。1972年湖南长沙马王堆出土的一批汉初的丝织物里就没有开毛的起绒织物。这说明从汉代到明代，中国始终都曾经织造过这个品种。明代以后织造的绒，以福建漳州的最著名，有漳绒、漳缎和天鹅绒几种。漳绒是素绒；漳缎和天鹅绒是花绒，但是漳缎是用提花装置在缎地上起花的，天鹅绒不用提花装置起花，也不是缎地。漳绒和漳缎的绒都是在织机上边织边割，天鹅绒的绒是在下机以后在素地上钩画花纹，再用刀在图案范围里开割。过去有人论述漳绒历史的时候，常把天鹅绒和漳绒混在一起，是不大正确的。

绸

绸是中国丝织物中出现最早的一个品种，属于平纹组织，由两根经纱和两根纬纱组成一个循环，各用一根交错织成。原来写作“𦃟”，后来才改写成“绸”。最初大概都是素织，专用短断的废丝纺的纺丝作原料。宋代以后往往也有用精丝在平纹地上起本色花的，叫暗花绸，并且把所有的细薄的单色丝织物都叫作绸，而把用纺丝织的，专叫纺绸。

缣丝

缣丝可能是历史上最古老的大花纹织物。唐代以前叫织成，后来有许多不同称呼——刻丝、克丝、𦃟丝、刻丝作、刻色作。缣丝也属于平纹组织，但是只经线和一般的平纹织物相同，纬线并不完全相同，不是只用一把梭子通投到底，而是根据花纹的不同色彩，把每梭纬线分成几段的断纬，用若干小梭分织。据宋代庄绰的《鸡肋篇》说：“定州织刻丝，……以熟色丝经于木𦃟之上，随所欲作花鸟禽兽状。以小梭织纬时，先留其处；方以杂色线，缀于经纬之上，合以成文。……虽作百花，使不相类亦可。盖纬线非通梭所织也。”所谓“纬线非通梭所织”，就是指断纬说的。缣丝的组织从织造的角度看，是比较简易的，但是因为断纬，却可以随心所欲地织造，可以织出十分细致的图案。特别是宋代以后，随着中国绘画艺术的进一步成熟，还发展成和画卷几乎没有分别的缣丝画，常常把许多非常精彩的绘画完整无缺不爽毫厘地织进去，成为中国驰名世界的工艺品。

中国丝织技术的外传

中国古代的丝织技术都是中国历代人民自己的发明创造，并不像某些外国人说的那样有的是从外国传来的；相反地，却曾经不断地向外输出，对世界纺织技术的发展起了重大作用。

中国的丝织技术，早在公元以前就和世界发生了关系。

首先是日本。据日本学者研究，大约在秦和西汉时期，中国的缣丝织绢和织罗技术就相继传入日本，日本传说中的兄媛、弟媛、吴服、穴织四个人物，就是在这样的情况下产生的。这样的结论是相当正确的。这在中国的史籍里也有所反映。《三国志·魏书·倭人传》载三国时期日本有“蚕桑”、“缣绵”，无疑就是在这以前传去的技术的结果。

中国的丝织技术对西方国家的影响，也可从这时说起。在张骞开通西域之后，中国的丝织品沿着丝路源源地输往西方，使中亚细亚和欧洲的一些国家对中国的丝织物有了比较明确的认识。西方古代纤维原料，主要是亚麻和羊毛，生产出来的织物都很粗糙厚重。由于看到了中国的丝绸比较细薄，才有所改变，常常拆取中国丝织物的色丝加杂亚麻羊毛重新织造。

《三国志·魏书》卷三十裴松之注引《魏略》说：大秦国“常利得中国丝，解以为胡绌”，就是说的这种情况。同时还影响到他们的织机的结构。古代西方的织机都是竖机，和中国不同，竖机不能使用较多的综片，也不能利用脚踏控制经线的提升或间丝，织不出结构比较复杂的织物。由于追求中国丝绸的效果，所以也只好废弃竖机不用，而改用中国式的水平织机。

公元五世纪到六世纪是中国的南北朝时期，那时中国社会是相当混乱的。但是由于中外交通已经越来越频繁，中国对外文化交流也随着增强，曾经有不少外国人来中国观光学习。据西方记载，波斯就专门派遣了两个使者前来了解丝绸的织造技术，并且搜集蚕种带回试养。据日本记载，日本也专门派人在浙江沿海招募丝织技工，去日本传授技术。另外还有一部分中国的北方人东渡定居，专门从事纺织，成为那时日本纺织业的骨干。

公元七世纪以后，中国丝织技术的对外影响更加显著。

日本在中国的隋、宋之间，曾经从中国购买大量丝织物，现在仍有不少保存在日本正仓院和其他博物馆。日本古代丝织物中著名的博多织，就是在这时期里学习了中国技术之后出现的。

波斯公元七世纪和八世纪的纺织工艺在当时西方世界中是比较突出的，但是仍不能和中国相比，非常需要中国的技术，常常利用中国的工匠帮助织造。据唐代旅行家杜环的《经行记》说，他在天宝十年(公元 751 年)到过大食，亲眼看到中国的河东人乐 、 吕礼在那里织络，络就是绸。

元代的版图非常大，横跨欧亚两大洲。元代的统治者曾经把中国的各种技工集中起来，安置在中国各省以及中国以外他的势力所及的地方。元初道士邱处机(1148 - 1227)应成吉思汗的召唤，去中亚游历，途中也曾经看见汉人工匠千百人在那里织造绫、罗、锦、绮。

中国丝织技术对欧洲的最后的也是最重要的影响，是花机和花本的利用。西方在公元六世纪以前还不会织造大花纹的丝织物，直到六七世纪，才辗转得到中国的花机和花本的构造方法，开始织出比较复杂的提花织物，后来一直沿用下来，虽然偶尔有些变化，但是始终没有脱离原有的窠臼。就是到了最后出现的法国雅卡尔(1752 - 1834)的提花机以及现在世界各国通用的龙头机，也和中国的花机有极密切的关系，它们的基本构造仍然相同，虽然把花本改成纹版，但是原理依然未变，只不过形式稍有不同罢了。

中国古代的葛、麻纺织

上海纺织科学研究院 裴晋昌 王裕中

葛藤和大麻、苧麻的韧皮纤维，是我国古代的重要纺织原料。我们的祖先在利用葛麻之类植物纤维方面，不仅有悠久的历史，而且在技术方面也有卓越的创造。

麻纺织生产由来已久

1972年，江苏吴县草鞋山的新石器时代遗址中出土了三块珍贵的葛布残片，这些纺织品是五千多年前我们祖先的杰作。在浙江余姚河姆渡遗址中出土了苧麻绳索，浙江湖州钱山漾也出土了几块毫不逊色的苧麻布残片，福建武夷山岩棺出土了几块商代苧麻布和大麻布，河北藁城又出土了商代大麻布残片。这些出土的实物，就是我国早在四五千年前利用葛麻作为纺织原料的可靠见证。

在二三千多年前，我国劳动人民已经从生产实践中鉴别出大麻是雌雄异株，把雄麻叫（x），雌麻叫苴（j），这是世界上最早对大麻进行植物生理方面的认识。麻韧皮纤维比较柔细，可以制做精细的织物，而苴麻纤维粗硬，织出的织品比较粗糙。麻（指大麻）、苧、葛是古代主要纺织原料，在《诗经》中，提到麻、苧、葛的诗句有几十处之多。西周王室还设立了“典”的官职，专门掌管麻和苧的纺织生产；又设立了“掌葛”的官职，专门“征苧、苧之材”和“征草贡之材”（《周礼》），也就是征收麻、苧等类纺织原料。用苧、麻纤维织成的织物就叫苧布、麻布；用葛纤维纺织成的织物当时有精细和粗糙两种，精细的叫“絺”（chí），粗糙的叫“褐”（hè）。由于苧、麻纺织加工精细，一般都成为统治阶级的奢侈品。“冬日被裘，夏日服絺”（《淮南子》），“褐”（jì）是毛织物。这就是当时统治阶级的生活写照。西汉初，刘邦（前256—前195）为了抑商倡农，曾经下令：“贾人毋得衣锦、绣、绮、縠、纈、纁”（《前汉书》），“纁”（hú）也是丝织品。可见当时的苧布已经和高贵的毛丝织物并列。

麻类纤维脱胶技术的演变

葛和麻都属韧皮植物，它们的韧皮是由植物胶质和纤维组成。要利用纤维进行纺织，必须先把胶质除掉一部分，使工艺纤维分离出来才行。这一加工过程叫做“脱胶”。

最早记录我国劳动人民进行葛脱胶和纺织加工的是《诗经·周南·葛覃》里的“葛之覃兮，施于中谷，维叶莫莫，是刈是沤，为絺为褐，服之无愆”，不仅描绘了葛的形态，而且也说明了把葛刈回来用（煮）的办法进行脱胶，最后把得到的葛布、麻布的加工图。纤维按粗细不同，加工成苧布或麻布。对大麻和苧麻的脱胶方法，在《诗经·陈风》里也有记载：“东门之池，可以沤麻”；“东门之池，可以沤苧”。这说的是大麻和苧麻采用池

水沤渍的办法进行脱胶。这是利用池水中天然繁殖的某些细菌能分解麻类韧皮中的胶质，从而起到脱胶作用，工艺纤维也就被分离出来。这种沤渍脱胶方法直到现在农村中仍在采用。

采用沤渍脱胶，掌握气温很重要。西汉《汜胜之书》中曾指出沤大麻的时间是“夏至后二十日”，这时正值阳历七月中旬，气温比较高，适宜于细菌繁殖，脱胶也就爽利。北魏《齐民要术》中又总结了我国劳动人民对沤麻的水质水量的要求，指出“沤欲清水，生熟合宜，浊水则麻黑”；如果水太少不能浸没麻皮，“则麻脆”；又沤渍不透，麻皮就难以剥下；如果沤得过头，就“太烂则不任”。

苧麻除用沤渍脱胶外，也可以“煮之用缙”（《毛诗草木鸟兽虫鱼疏》），就是用煮的办法。但是用煮的办法给苧麻脱胶，水里必须加入石灰等强碱性的物质。我国早在公元前四世纪前后，已经知道用蜃灰（烧过的蛤灰，就是生石灰）来练丝绸（给蚕丝脱胶）了，所以一定也知道用石灰汁可以煮苧麻。在长沙马王堆一号汉墓和湖北江陵凤凰山西汉墓出土的苧麻布和麻絮，经分析已经证明，纤维上附有比较多的钙离子，并且绝大多数纤维呈单个分离状态，充分说明我国秦汉时期用石灰进行苧麻脱胶的技术已经比较成熟了。

苧麻除用沤、煮（碱性）脱胶外，在宋元时期又创造了半浸半晒

半浸半晒法苧麻脱胶图。

的新方法。加工过程是把用石灰水煮过的麻缕用清水洗净以后，摊在铺在水面的竹帘上，半浸半晒，日晒夜收（《农书》、《士农必用》）。由于半浸半晒，日光紫外线和水起界面反应放出臭氧，把纤维中的杂质和色素去除，这就起到了漂白的作用。此外，还有用硫黄熏蒸的方法来漂白葛麻织物的（宋《格物粗谈》）。

精湛的葛麻纺织技术

从草鞋山新石器时代遗址出土的葛布残片分析来看，它是属于罗纹组织，双股纱线的直径（投影）是 \cdot 四五到 \cdot 九 毫米，拈向 S 拈。经纱密度大约每厘米十根，纬纱地部密度是每厘米十三四根，罗纹部分大约每厘米二十六到二十八根。钱山漾出土的苧麻布是平纹组织，经纱密度大约每厘米二三 \cdot 六到三 \cdot 七根，纬纱密度大约每厘米十六到二十根。可以看出：在四五千年以前，我国的葛麻纺织技术已经有相当水平了。

到了奴隶社会；对纺织品的加工更加精细，并且对麻布的规格也定了标准，用“升”作单位来衡量织物的粗细疏密。那时布幅大约合今天半米（市尺是一尺半，汉尺二尺二寸）。如果布幅里有八十根经纱就叫一升，如果有一百六十根就是二升，依此类推。当时把十五升的叫纁布，是作吉服的原料；把最精细的三十升布（经纱密度已经达到每厘米五十根，相当于今天的府绸），专门作制冕的原料，这种冕就是所谓麻冕。由此可以看出当时纺织加工葛麻织物的精细程度了。

我国除中原地区发展葛麻纺织生产外，一些少数民族地区也精于纺制苧麻布，如闻名西南的“阑干细布，织成文章如绫锦”（《后汉书·西南夷传》），真是五彩缤纷。此外，著名的蜀布也曾经运销到印度并且转输中亚、西亚一带（《汉书·张骞传》）。

唐宋以后，麻织物加工更是丰富多彩。如浙江诸暨的“山后布”，就是“皱布”，所用的麻纱专门加了强拈，织成的布精巧纤细“盖亚于罗”，如果放入水中，由于吸水收缩而形成米粒一样的“谷纹”来(南宋嘉泰《会稽志》)。又如南宋静江府(今桂林地区)，在织布前把苧麻纱用调成浆状的滑石粉上浆，这样“行梭滑而布以紧也”，织出的布又厚实又坚牢。此外，当时广西邕州地区(今南宁地区)生产一种名叫“子”的苧麻布，用它“暑衣之，轻凉离汗者也”，“一端长四丈余”，“而重止数十钱”(只合一百多克重)，卷起来放到小竹筒里“尚有余地”(《岭外代答》)，可见它精细至极。到了清代，广东和湖南地区又生产一种用苧麻纱和蚕丝交织而成的“鱼冻布”，“柔滑而白”，并且“愈洗愈白”。我国盛产的葛麻纺织品，以后随着棉花的广泛种植和利用，便逐渐失去了它先前的地位。但是大麻到清光绪年间(公元 1875 年到 1908 年)美国还专门从我国浙江移植到肯塔基州，成为麻纺织工业原料之一。苧麻这种被誉为“中国草”的纺织原料，大量出口到欧、美各国，到现在也仍旧驰名中外。它的纺织产品夏布也运销到世界各地。

中国古代的染色技术

上海纺织科学研究院 裴晋昌

我国很早就利用矿、植物染料对织物或纱线进行染色，并且在长期的生产实践活动中，掌握了各类染料的提取、染色等工艺技术，生产出五彩缤纷的纺织品，丰富了我国古代的物质文化生活。

各类矿、植物染料的应用

早在几万年前的山顶洞人时代，我们的祖先已经用天然的赤铁矿粉涂染串珠贝和筋绳。到了奴隶社会，生产分工精细，专门设有官职“掌染草，掌以春秋敛染草之物，以权量受之，以待时而颁之”；并且有“染人掌染丝帛”（《周礼》）。高贵的丝和丝织物在染色以前，还要经过“暴练”处理（相当于现今的精练工艺）。在《考工记·氏》中曾经记述“暴练”的操作工艺：先是“以说水沤其丝七日，去地尺暴之”，而后“昼暴诸日，夜宿诸井”，共“七日七夜”。对于丝织物，因为它比丝线紧密，暴练的时候要“以栏为灰，渥淳其帛”，再“实诸泽器，淫之以蜃”，同样反覆处理七昼夜。水和栏(liàn)灰都是富含碱性的植物灰汁(碳酸钾等)，栏灰就是楝木烧成的灰，而蜃是用贝壳煅烧出来的碱性更强的生石灰(氧化钙)。丝线和丝织物经过反覆碱性灰汁或灰处理以后，就把纤维外面的大部分丝胶除去，有利于染色。织物染前的预处理——“暴练”大都在春季进行(“春暴练”)，以后便开始了大规模的“夏 玄，秋染夏”(“夏”的意思是五色)的染色生产活动。

古代染色用的染料，大都是天然矿物或植物染料，它们的提取和施染方法各不相同。

矿物颜料

前面提到的天然赤铁矿，是最早利用的矿物颜料，到春秋战国时期，仍然用来涂染粗劣的麻织物。当时称作赭衣，可能是用天然赤铁矿石粉涂染的，无领的赭衣作为罪犯的囚衣。此外，朱砂(主要成分是硫化汞)也是古代重要的染红用的矿物颜料。在《考工记·钟氏》中曾经记述用丹涂染羽毛，丹就是朱砂。在宝鸡茹家庄西周墓出土的麻布以及刺绣印痕上，都有用丹涂染的痕迹。由于朱砂颜色红赤纯正，经久不褪，一直到西汉，仍旧用它作为涂染贵重衣料的颜料。长沙马王堆一号汉墓中出土的朱红菱纹罗绵袍上的朱红色，经X射线衍射分析，它的谱图就和六方晶体的红色硫化汞相同。朱砂或赭石颜料施染以前，都要经过研磨，并且加胶液调制成浆状，才可以用工具涂到织物表面。从上面说的出土纺织品的分析，可以看出当时的颜料研磨已经相当精细，涂染技术十分精良。除染红色的朱砂、赭石外，其他的天然矿物颜料有染白的绢云母，染黄的石黄，染绿的石绿等。

植物染料

我国古代所用伪植物染料种类很多，按化学性质和染色方法来分，有直接染料、碱性染料、媒染染料和还原氧化染料等。

直接染料和碱性染料 栀子是我国古代中原地区应用最广泛的直接染料，《史记》中就有“千亩后茜，……此其人皆与千户侯等”的记载，可见秦汉时期采用栀子染色是很盛行的。栀子中主要成分是栀子苷。这是一种黄色素，可以直接染着于天然纤维上。又富含小檗碱的黄檗树的芯材，经过煎煮以后，也可以直接染丝帛。《齐民要术》中就曾经记述黄檗的栽培和印染用途。小檗碱属碱性染料，用来染丝绢、羊毛等动物纤维很适宜，南北朝时期的鲍照(约414-466)曾经写出“檠染黄丝”的诗句，表明当时用黄檗染丝很盛行。这不仅由于它染色方便，也因为小檗碱具有杀虫防霉的效果。

媒染染料 茜草是我国古代文字记载中最早出现的媒染植物染料之一，《诗经》曾经描述茜草种植的情况(《郑风·东门之》：“茹在阪”，“茹”就是茜草)，并且讲到用茜染的衣物(《郑风·出其东门》：“缟衣茹”)。茜根中含有呈红色的茜素，它不能直接在纤维上着色，必须用媒染剂才可以生成不溶性色淀而固着于纤维上。古代所用媒染剂大多是含钙铝比较多的明矾(白矾)，它和茜素会产生鲜亮绯红的色淀，具有良好的耐洗性。在长沙马王堆一号汉墓中出土的深红绢和长寿绣袍底色，都是用茜素和含铝钙的媒染剂染的。可以媒染染红的除茜草外，还有《唐本草》记载的苏枋木，也是古代主要媒染植物染料。这种在我国古代两广和台湾等地盛产的乔木树材中，含有“巴西苏木精”红色素，它和茜素一样用铝盐发色就呈赤红色。

《尔雅》中的“藐花”(紫草)是古代染紫色用的媒染染料。紫草根中含有紫草素。可以染黄的媒染植物染料更多，如荇草中含有木樨草素，可以媒染出带绿光的亮黄色，古代专用荇草(古时称作(ì)草)染成的“绶”，作为官员的佩饰物。又如栌和柘，“其木染黄赤色，谓之柘黄”(《本草纲目》)。槐树的花蕾——槐米，也是古代染黄的重要媒染染料。桑树皮“煮汁，可染褐色久不落”(《食疗本草》、《雷公炮炙论》)。栌和柘木中含的色素叫非瑟酮，染出的织物在日光下呈带红光的黄色，在烛光下呈光辉的赤色，这种神秘性光照色差，使它成为古代最高贵的服色染料，《唐六典》记“自隋文帝制柘黄袍以听朝，至今遂以为市”，到明代也是“天子所服”。这一服色制度以后也传到日本。

我国古代所用的铝媒染剂除天然明矾外，也利用富含铝盐的柃木、椿木灰作媒染剂，在宋代还有利用溶有铝盐的大庾岭河水媒染苏枋的。

栎树(就是橡树，在《诗经》中称作“朴”，见《召南·野有死》)和我国特产的五倍子都含有焦酚单宁质；柿子、冬青叶等含有儿茶酚单宁质。单宁质直接用来染织物呈淡黄色，但是和铁盐作用呈黑色。《荀子·劝学篇》中所说的“白沙在涅，与之俱黑”，涅就是硫酸亚铁(古时又称青矾、绿矾、皂矾)，用单宁染过的织物再用青矾媒染，就会“与之俱黑”。黑色在古代大都作为平民服色，到秦汉时期“衣服族旌节旗皆上黑”(《史记·秦始皇本纪》)。以后对染黑所需的铁媒染剂数量越来越多，到公元六世纪前后，我国劳动人民便人工制造铁媒染剂。含单宁的植物还有鼠尾草、乌桕叶等也是古代有文字记载可以染黑的原料。其他如柞、石榴皮等虽未有记

载，但是一直到解放前都是我国广大农村所使用的染黑染料。

还原氧化染料 《诗经小雅·采绿》中的“终朝采蓝，不盈一 ”的蓝草，就是天然还原氧化染料。蓝草中含有靛苷，经水浸渍以后可以染着织物，再经空气氧化成蓝色的靛蓝。周代以前采用鲜蓝草浸渍染色，所以《礼记·月令》有“仲夏令民勿刈蓝以染”的规定。到春秋战国时期，由于采用发酵法还原蓝靛成靛白，可以用预先制成的蓝泥(含有蓝靛)染青色，所以有“青，取之于蓝而青于蓝”(《荀子·劝学篇》)的说法。公元六世纪，北魏的贾思勰在《齐民要术》中详尽地记述了我国古代劳动人民用蓝草制蓝靛的方法：“刈蓝倒竖于坑中，下水，”用石头或木头镇压住，以使蓝草全部浸于水中，浸的时间“热时一宿，冷时再宿，”然后过滤，把滤液置于瓮中，“率十石瓮著石灰一斗五升，”“急抨之，”待溶解在水中的靛苷和空气中的氧气化会以后产生沉淀，再“澄清泻去水，”另选一“小坑贮蓝靛”，待水分蒸发后“如强粥”，盛到容器里，于是“蓝淀成矣”。这可以说是世界上最早的制备蓝靛工艺操作记载。到明代，可以制蓝靛的已经有五种蓝草，并且人们已经观察到靛蓝染后“红焰之色隐然”(《天工开物》)，说明当时我国劳动人民已经注意到天然靛蓝中还有少量靛红存在。

其他染料 红花，是古代可以染红的植物染料之一。秦汉时期，就有“种红蓝花以为业”的人。红蓝花是就红花，含有叫红花苷的红色素和一种黄色素，红花苷可用碱液从红花里浸出，再加酸就呈带有荧光的红色。

《齐民要术》中曾经详细地叙述了从红花中浸渍和萃取染料的复杂的物理化学过程。当时用的酸是“粟饭浆水”和“醋石榴”等有机酸作发色剂。

《天工开物》中又增添乌梅作发色剂。石榴和乌梅中的有机酸是多元酸，发色效果比“粟饭浆水”中的醋酸(一元酸)要好，中和的时候沉淀既快又颜色纯正。用红花染过的织物，如果要剥掉原来的红色，只要“浸湿所染帛”，用碱性的稻灰水滴上几十滴，织物上的“红一毫收转”。洗下来的红水也不丢弃，“藏于绿豆粉内”，以后需要的时候还可以再释放出来染红，“半滴不耗”。(《天工开物》)

除红花外，还有地黄、冬青叶等都可以作为碱性染料(《齐民要术》、《本草纲目》)。

染色工艺的发展

用某种染料染色的时候，织物每浸染一次，颜色便加深一些。古代对茜草染红套染的时候，由浅红到深红有不同名色，“一染源，再染 ，三染 ，”(《尔雅》)“三入为 ，五入为 ，七人为缁。”(《考工记·钟氏》)

用两种不同的染料套染的时候，可以显出第三种颜色来。但由于颜色的遮盖作用以及染料、媒染剂化学成分的相互作用，不同染料套染也是有规律地进行的。《淮南子·说山训》中曾经记载：“染者先青而后黑则可，先黑而后青则不可。”这说明古代劳动人民在生产实践中已经掌握各种染料套染织物的时候遮盖作用的影响。另外古书中有“青黄为绿，今以藤黄合靛青即为苦绿”的说法，指出在三原色套染染色，虽然青(就是蓝色)和黄色可以合为绿色，但是由于所用青、黄染料不同，就可以得到不同的绿

色来。不同化学性质的染料在套染的时候，也常常遇到困难，如黄檗中所含小檗碱是碱性染料，如果和其他染料相混，就要产生沉淀而失去染色效果；如果先用黄檗染，那其他染料也无法再染。通常是先染其他染料再用黄檗染。另外，同一媒染染料染色，如果媒染剂不同，也可以染出不同的颜色来。明代的《多能鄙事》中曾经记述了种种染色法。以染枣褐为例：先用苏木明矾染，再下绿矾，“当旋看色深浅添加，太多则黑，少则红，合中乃佳。”

随着染色工艺技术的不断提高和发展，施染出的纺织品的颜色也不断地丰富。在西周到春秋时期，仅《诗经》中提及的有关织物颜色的“绿兮衣兮，绿衣黄里”（《邶风·绿衣》），“缁衣之宜兮”（《郑风·缁衣》），“青青子衿”（《郑风·子衿》），“缟衣綦巾”（《郑风·出其东门》），“素衣朱”（《唐风·扬之水》），“载玄载黄”（《豳风·七月》）等，以及毛织物染色“毳衣如”，“毳衣如”（《王风·大车》）等，可以说是五光十色了。以后染色技术特别是不同染料的套染技术不断发展，到西汉，从长沙马王堆一号汉墓中出土的纺织品上就可以看到色谱已经大大丰富了。隋唐时期，染色工艺更是大发展，以新疆阿斯塔那出土的刺绣品为例：底色就有大红、正黄、叶绿、翠蓝、宝蓝、湖蓝、绛紫、藕荷、古铜等。到了明代，染色色谱分得更精细，仅染红色就有大红、莲红、桃红、银红、水红、木红等（《天工开物》）。明代的染色生产活动也蓬勃发展起来，除皇家专设“蓝靛所”为封建统治阶级服务外，在民间也开设有各种私家染坊，只苏州一地就有染匠几千人（《明万历实录》卷三百六十一），染坊中又有蓝坊、红坊、红漂坊、杂色坊等不同分工。

十一 冶金铸造 中国古代冶金技术的成就

自然科学史研究所 何堂坤

生铁和柔化处理技术

生铁

我们通常说的“铁”分“生铁”和“熟铁”两种，包括“钢”在内，都是以铁(Fe)和碳(C)两种元素为主的一种合金。人们通常把含碳量在百分之二·五以下的叫熟铁，百分之二·五到百分之二·六的叫钢，百分之二·六到百分之六·六七的叫生铁。

人类早期炼得的熟铁通常叫块炼铁，它是铁矿石在八百到一千摄氏度左右的条件下，用木炭直接还原得到的。出炉产品是一种含有大量非金属夹杂的海绵状固体块。块炼铁和生铁比较起来，有如下几个缺点：一是它不能从炉里流出，取出铁块时，炉膛要受到不同程度的破坏，不能连续生产，生产率比较低，产量比较小。二是成形费工费时。三是所含非金属夹杂比较多，要通过反覆锻打才能排除。四是含碳量往往比较低，因而很软。生铁的冶炼温度是一千一百五十到一千三百摄氏度，出炉产品呈液态，可以连续生产，可以浇铸成型，非金属夹杂比较少，质地比较硬，冶炼和成形率比较高，从而产量和质量都大大提高。由块炼铁到生铁是炼铁技术史上的一次飞跃。

我国钢铁冶炼技术的发展道路和世界各国是不完全相同的。国外一般是先有块炼铁，经过长期缓慢发展之后才有生铁。欧洲许多地方的块炼铁是公元前1000年前后发明出来的，但是直到公元十四世纪才有生铁。我国却不是这样。我国冶铁术大约发明于西周时期，比欧洲晚，可是它一经发明，不久就出现了生铁，后来者居上，使我国成为世界上最早发明并使用生铁的国家。

1964年，江苏六合程桥镇出土一件春秋晚期的铁块，经鉴定是白口生铁。这是到现在为止我国出土并且经过科学分析的最早生铁实物。战国中晚期，铁器在我国农业、手工业生产中占据了主导地位。据不完全统计，目前出土的战国铁质生产工具大约十六种左右，其中多数是生铁和它的柔化处理件，块炼铁处于辅助地位。这表明这时我国生铁生产已经有了比较大的发展。

我国生铁技术发明比较早的原因是多方面的，我们以为在技术上至少应包括以下几点：一是我国冶铜术中很早就使用了比较强的鼓风装置。二是很早就对冶炼用的原料进行了比较好的选择和处理。三是很早就发明了比较高大的冶炼竖炉。一般认为，我国生铁技术的发明和发展同青铜技术有密切的关系。

可锻铸铁

可锻铸铁原是白口铁经高温退火得到的一种高强度铸铁，具有一定的塑性和冲击韧性。依热处理条件的差别，又可分成白心可锻铸铁和黑心可

锻铸铁两种：白心可锻铸铁以脱碳为主，又叫脱碳可锻铸铁；黑心可锻铸铁以石墨化为主，又叫石墨化可锻铸铁。

国外的白心可锻铸铁是公元 1722 年由法国人首先发明的。公元 1826 年，美国人又发明了黑心可锻铸铁。此后一个相当长的时期里，人们都把白心可锻铸铁叫做“欧洲式可锻铸铁”，把黑心可锻铸铁叫做“美洲式可锻铸铁”。其实，这两种可锻铸铁，我国早在两千多年前都已经发明了。

洛阳水泥制品厂战国早期灰坑遗址出土过一件铁铲，铲体基本锈蚀，只在銎(qióng)部(装柄的孔)有部分金属残留，在金相显微镜下显示了黑心可锻铸铁组织，基体是铁素体，上面分布着团絮状退火石墨。这是到现在为止世界上经过科学分析的最早的铸铁可锻化退火处理件。战国中晚期后，可锻化处理工艺有了比较大的发展，主要表现在：第一，分布地域更广了。在北方，目前经分析过的有河北易县燕下都遗址的铁 、铁锄、铁 等，在南方有湖北包山出土的空首斧、湖南长沙出土的铁铲等。第二，部分器件已经处理得比较好，器件断面基本上是可锻铸铁组织，中心没有白口铁残余，如燕下都的铁 等。汉代到南北朝时期，铸铁可锻化技术发展到了比较成熟的阶段：一是使用范围有了进一步扩展。近年在山东薛城、河南南阳、淅池和巩义市，北京清河和大葆台，湖北铜绿山等地，都发现了这类器件。南阳瓦房庄出土的农器有十二件，经过分析，九件是普通可锻铸铁，两件是铸铁脱碳钢，只有一件是白口铁。二是技术水平有了进一步提高。凡处理过的器件，中心很少有白口铁组织残留，石墨发育比较好，形态多和现代可锻铸铁相当。这些可锻铁中，有白心的，也有黑心的，多数是农具。

铸铁可锻化处理有十分重要的意义。在常温下，碳在铸铁中主要有两种存在形式：一是化合态，主要是渗碳体；二是自由石墨态，有条状、团絮状、球状石墨等。碳的存在形式不同，同一成分的铸铁，性能也是不尽相同的。白口铁中，碳全部以渗碳体形式存在，因渗碳体硬度很高，塑性极低，所以白口铁性硬而脆。通过可锻化处理，白口铁中的碳或以自由石墨态形式析出，或因氧化而去除，从而使材料强度提高，硬脆性减少，综合机械性能得到改善。战国中期以后，我国在农业、手工业中这样广泛地使用了铁器，可锻铸铁的发明和发展是起了重要作用的。

球墨可锻铸铁

球墨可锻铸铁因所含石墨呈球状而得名。它有比较高的强度、塑性和韧性，铸造加工性能也比较好。

1974 年，河南泥池发掘了一个北魏铁器窖，里面藏有从汉代到北魏的铁器四千多件，种类有生产工具、兵器、日用器皿以及铸范、铁材等。有一件铁斧，整体经过脱碳退火处理，器件断面大部分相当于含碳百分之·四的中碳钢，没有石墨析出。但在銎的底部发现有球状石墨，直径是二十微米，分布在平均厚度约三·二毫米、总长五十毫米的 U 形断面上，共约三十颗，外形比较规整。这类具有球状石墨的铸件在南阳瓦房庄、巩义市铁生沟等两汉冶铸遗址也有发现。特别值得指出的是巩义市铁生沟一件汉代铁 ，它的石墨发育良好，有明显的核心和放射性结构，和现行国家球墨铸铁标准一类 A 级相当。从现有研究资料看，这种球状石墨应是白

口铁退火过程中得到的。

在国外，铸态球墨是 1947 年后使用了加入球化剂的方法才得到的。多年来，人们一直试图用白口铁退火的方式来获得球状石墨，但是难度很大。我国古代生铁含硅量长期偏低，在低硅的情况下，我国人民不但生产了大量具有絮状石墨的可锻铸铁，而且生产了部分球墨可锻铸铁，这在世界冶金史上是十分罕见的，实在难能可贵。

炼 钢 技 术

炒钢

炒钢因在冶炼过程中要不断地搅拌好像炒菜一样而得名。

炒钢的原料是生铁，操作要点是把生铁加热到液态或半液态，利用鼓风或撒入精矿粉等方法，令硅、锰、碳氧化，把含碳量降低到钢和熟铁的成分范围。炒钢的产品多是低碳钢和熟铁，但是如果控制得好，也可以得到中碳钢和高碳钢。

炒钢工艺大约发明于西汉。近年在河南巩义市铁生沟、南阳瓦房庄等处都发现过汉代炒钢炉遗址。巩义市遗址断代是西汉中期到新莽，瓦房庄遗址使用时间比较长，由西汉中期到东汉晚期。另外，铁生沟还出土了一些炒炼产品，经分析，有的含碳量是百分之一·二八，有的是百分之·四八。文献上关于炒钢的记载最早见于东汉《太平经》卷七十二，书中说：“使工师法治石，求其铁，烧冶之，使成水，乃后使良工万锻之，乃成莫邪耶。”这“水”应指生铁水。“万锻”应指生铁脱碳成钢后的反覆锻打。

炒钢的优点是成分可适当控制，生产率比较高，质量也比较好。在现代，人们常把由矿石直接制钢的工艺叫一步冶炼或直接冶炼，而把先由矿石冶炼成生铁、然后再由生铁炼钢的工艺叫两步

《天工开物》中的炒钢图。

冶炼或间接冶炼。炒钢的生产过程也分两步：先炼生铁，后炼钢。因而在某种意义上说，炒钢的出现便是两步炼钢的开始，是具有划时代意义的重大事件。它进一步促进了我国古代铁器的广泛使用和社会生产力的发展。十八世纪中叶，英国发明了炒钢法，在产业革命中起了很大的作用。马克思怀着极大的热情给予了很高的评价，说不管怎样赞许也不会夸大了这一革新的重要意义。

百炼钢

“百炼钢”以一种含碳量比较高的炒炼产品作为原料，操作要点是反覆加热锻打，千锤百炼。现在见到的最早百炼钢实物是东汉晚期的制件。1961 年日本大和栢本东大寺古墓出土一把东汉灵帝中平年间(公元 184 年到 189 年)的纪年钢刀，上有错金铭文“百练清刚”字样。“练”就是“炼”，“刚”就是“钢”。在文献中，“百炼钢”一词最早也见于东汉晚期。曹操宝刀五枚，称誉是“百炼利器”；陈琳(?—217)《武军赋》说：“铠则东胡阙巩，百炼精钢。”这些实物和文献都说明了百炼钢工艺已经兴起。除百炼钢外，我国古代还有“卅炼钢”、“五十炼钢”等说。1974 年，山东苍山出土过一把东汉安帝永初六年(公元 112 年)大钢刀，上有错金铭文

“卅 大刀”字样；1978年徐州铜山出土一把东汉章帝建初二年(公元77年)大钢剑，上有“五十”字样；在文献注录中还有东汉和帝永元十六年(公元104年)“卅”金马书刀等物。看来，标以“炼数”的制钢工艺至迟在东汉早期就已产生。

宋代沈括《梦溪笔谈》卷三曾对百炼钢的工艺操作作了比较详细的记载，说把“精铁”锻炼一百多火，一锻一称一轻，待到斤两不减，就成“纯钢”了；“凡铁之有钢者，如面中有筋，濯尽柔面，则面筋乃见。”沈括所说的“精铁”，不应是生铁，也不是现代意义的熟铁，由建初“五十”长剑、永初“卅 大刀”等器物的科学考察，以及有关文献来看，应是含碳量稍高的一种炒炼产品。这种炒炼产品所含非金属夹杂是比较多的。一锻一称一轻，是因为逐渐排除这些夹杂，氧化铁皮不断产生并脱落了。说最后“斤两不减”，这是相对说的，实际上，不断地加热锻打，氧化铁皮不断地产生又脱落，重量总要不断减轻的。渗碳和脱碳都不是百炼过程的主要环节。百炼钢工艺的主要操作是反覆加热锻打。锻打可以去除夹杂，减小残留夹杂的尺寸，使成分均匀，组织致密，有时也可以细化晶粒，从而使材料强度大大提高。曹植(192 - 232)在他的《宝刀赋》中称赞百炼钢刀能“陆斩犀革，水断龙舟”，沈括在《梦溪笔谈》卷三中说百炼钢“其色清明，磨莹之，则黯黯然青且黑，与常铁迥异。”这都说明了百炼钢性能的优良。

百炼钢是在块铁渗碳钢反覆锻打的基础上，伴随着炒钢技术、刀剑工艺的发展而兴起的。“十炼”，“三十炼”的说法在公元前一世纪的西汉后期就已出现，最初是用在炼铜上的。魏晋时期百炼钢发展到了鼎盛阶段，之后，虽因一些技术和社会的原因而有所减弱，但一直沿用到了明清时期。百炼钢制作比较艰难，成本比较高，主要用来制造宝刀、宝剑等一类贵重器物，它凝聚着我国古代劳动人民的勤劳和智慧，一定程度上反映了当时金属冶炼和加工技术的先进水平。

铸铁脱碳钢

铸铁脱碳钢是用热处理方法制作出来的。它的操作要点是先生产出白口铁铸件，然后在氧化性气氛中脱碳退火，使含碳量降低到钢的成分范围以下，不析出或很少析出石墨。它的金相组织同近代的钢和熟铁相似。

铸铁脱碳技术大约可以追溯到战国早期。洛阳水泥制品厂战国早期灰坑遗址出土过两件铁铤，对其中一件的銼部作了金相分析，知道它的表层已经脱碳，稍里是珠光体，中心是白口铁组织。这表明铁铤进行过不完全的脱碳退火处理，应属铸铁脱碳钢的前身或早期阶段。经秦、汉、魏、晋到南北朝时期，这项技术发展到了相当成熟的阶段，主要表现在：第一，进行这种处理的器物更多了。近年在北京大葆台、河北武安和河南浚县、南阳瓦房庄、郑州古荥镇、鲁山望城岗等处都有发现，种类有铁斧、铁剪、铁铲、铁小刀、铁凿、铁斧、铁犁、铁铤等成形件，以及梯形和长方形的小铁板等半成品件。第二，多数器件的整个断面都已经脱碳成钢或熟铁，中心再没有白口铁组织残余，没有或只有微量石墨在晶粒间界析出。第三，部分器件在整体脱碳成钢或熟铁后，经过局部锻打、刃部渗碳或其他加工，获得了更加良好的使用性能。第四，铸铁脱碳钢主要用作手工业工

具的斧、剪以及农具的镰一类锋刃器，而一般可锻铸铁主要用作农具的锄、铲一类，至于铁釜、铁范、轴承一类生活用器、生产工具和交通用具，多用白口铁和灰口铁制作，说明当时人们对这些材质的性能已经有了相当认识，也说明铸铁脱碳钢技术、可锻化处理技术已经达到比较高的水平。南北朝时期以后，由于炒钢等冶炼工艺和加工工艺的发展等，铸铁脱碳钢技术、可锻铸铁技术逐渐失去了它们在生产中的重要地位，唐代以后就很少看到了。

铸铁脱碳钢的发明具有十分重要的意义。古代一般是没有铸钢的，而锻钢生产率很低，加工成形比较难，所含杂质比较多。我国古代利用生铁生产率比较高、容易成型、夹杂比较少的优点，通过脱碳退火的办法，得到一种组织和性能同近代铸钢相近的铸件，这是我国古代冶金技术上的一项重大发明。

灌 钢

所谓“灌钢”，用宋代苏颂的话来说，就是“以生柔相杂和，用以作刀剑锋刃者”。“生”就是生铁，“柔”应是一种可锻铁，只从含碳量看，应包括现代意义的钢和熟铁。所以依苏颂所说，灌钢是由生铁和可锻铁在一起冶炼得到的、用来制作刀剑锋刃的一种含碳比较高、质量比较好的钢。

灌钢发明时间似可追溯到汉魏晋时期。东汉末年五粲(177 - 217)的《刀铭》中说：“灌褱已数、质象已呈。”西晋张协《七命》中说：“乃炼乃炼，万辟千灌。”“辟”同“褱”，意思就是“叠”，指钢铁材料的多层积叠，多次折叠。“灌”应指“灌炼”，就是“灌钢”。

南北朝时期，灌钢工艺有了一定的发展，南朝梁代陶弘景说灌钢是“杂炼生作刀镰者”。既然灌钢已用作刀、镰一类普通生产工具和生活用器，可见它的生产已经比较普遍。北朝东魏北齐间的綦母怀文用灌钢制造了一把大钢刀，叫“宿铁刀”，“斩甲过三十札”，非常锋利。

在历史上，灌钢有过好几种不同的操作工艺。一种是把生铁和柔铁片捆在一起，用泥封住，入炉冶炼，如沈括《梦溪笔谈》卷三所说：“用柔铁屈盘之，乃以生铁陷其间，泥封炼之，锻令相入，谓之‘团钢’，亦谓之‘灌钢’。”一种是把生铁放在熟铁(可锻铁)片的上面，生铁先化，渗淋到熟铁中，如宋应星《天工开物》卷十四所说：“用熟铁打成薄片如指头阔，长寸半许，以铁片束包尖紧，生铁安置其上，又用破草履盖其上，泥涂其底下，洪炉鼓鞴，火力到时，生钢先化，渗淋熟铁之中，两情投合。取出加锤，再炼再锤，不一而足。俗名团钢，亦曰灌钢者是也。”一种是“苏钢”，它是灌钢发展的高级阶段，灌钢的优点在这里得到了最充分的表现。

苏钢操作的要点是：先把熟铁料放到炉里鼓风加热，后把生铁的一端斜放到炉口里加热。当炉温达到一千三百摄氏度左右时，炉里生铁不断熔滴，熟铁料已经软化，使用钳子钳住生铁块，使铁水均匀地浇淋到熟铁料上。浇淋完毕后，停止鼓风，夹出钢团，砧上锤击，去除夹杂。一般要渗淋两次。苏钢冶炼高明的地方有两点：一是熟铁组织比较疏松，所含氧化夹杂比较多，硅、锰、碳含量比较高，灌炼时氧化反应比较剧烈，有利于

渣、铁分离。二是熟铁所含铁氧化物和生铁中的碳作用后，部分铁可被还原出来，提高了金属收得率。

灌钢以生铁和可锻铁作为原料，灌炼操作在生铁熔点以上进行，因此生产率比较高，渣、铁分离比较好；人们可以通过控制原料配比和鼓风等操作来控制产品成分，因此产品质量也比较好。在公元 1740 年坩埚液态炼钢法发明以前，世界上制钢工艺基本上属于固态冶炼和半液态冶炼，渣、铁分离比较难。像灌钢这样，成分比较容易控制，渣、铁分离也比较好，在古代制钢技术中是十分罕见的。

有色冶金

“六齐”

“六齐”是我国古代配制青铜合金的六条规定，见于《考工记》一书，原文如下：

“金有六齐：六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金锡半，谓之鉴燧之齐。”

郭沫若(1892 - 1978)认为，《考工记》原是齐国的官书。“六齐”的“齐”同“剂”，原是调剂、配合的意思。“金”指赤铜。“六分其金而锡居一”就是六分铜一分锡，“金锡半”就是一分铜半分锡。所以“六齐”中各“齐”的含锡量分别是：“钟鼎之齐”百分之一四·三，“斧斤之齐”百分之一六·七，“戈戟之齐”百分之二，“大刃之齐”百分之二五，“削杀矢之齐”百分之二八·六，“鉴燧之齐”百分之三三·三。

“六齐”的成分配比规定是我国古代青铜技术高度发展的表现，它是许多试验资料的反映和归纳。现有考古资料表明，我国早在夏代(公元前二十一世纪到公元前十六世纪)就掌握了红铜冷锻和铸造技术，夏末商(公元前十六世纪到公元前十一世纪)初就有了青铜冶炼和铸造，商代中期以后就创造了高度发展的青铜文化。目前出土的青铜器中，既有大批礼器、兵器、日用器，也有部分生产工具(包括手工业工具和农具)等。浑厚庄重的司母戊大鼎、技术高超的四羊尊等都是青铜器的精品。兵器都刚强锋利；响器的声音悦耳悠扬。这些都说明我国人民很早就有了丰富的合金知识。

“六齐”的成分配比规定和现代科学的基本原理是完全相合的。我们知道铜锡合金的含锡量是百分之十四左右的，色黄，质坚而韧，音色也比较好，所以宜于制作钟和鼎。铜锡合金含锡量是百分之十七到百分之二十五的，强度、硬度都比较高，所以宜于制作斧斤、戈戟、大刃和削杀矢。斧斤是工具，既要锋利，又要承受比较大的冲击载荷，所以含锡量不宜太高，否则太脆。戈戟、大刃、削杀矢都是兵器，都需要锋利。戈戟受力比较复杂，对韧性要求比较高，所以在兵刃中含锡量最低。大刃(刀剑)既需要锋利，也要求一定的韧性以防折断，所以含锡量比较高而又不太高。削杀矢比较短小，主要考虑锐利，所以在兵器中它的含锡量最高。铜锡合金含锡量是百分之三十到百分之三十六的，颜色最洁白，硬度也较高。色洁白，就宜于映照；硬度高，研磨时就不容易留下道痕。所以这种铜锡合

金宜于制作铜镜和阳燧。

有一点需要指出的是，除了钟鼎外，“六齐”规定成分和考古实物科学分析的成分基本上是不相符合的，原因是：“六齐”并不是生产经验的总结，而是一种试验资料的反映和归纳；人们在生产实践中已对“六齐”成分作了适当的修正。

“六齐”的产生有极大的技术意义和社会意义。它是世界上对合金成分和性能的关系的最早认识。在古代世界中，我国青铜技术的产生并不是最早的，但发展很快。除资源等方面的原因外，在技术方面至少有两点：首先是我国很早就掌握了金属冶炼所需要的高温技术；其次是很早具有了水平比较高的合金技术。世界上不少国家在公元前二千年就进入了青铜时代，但发展缓慢。我国却不是这样。我国人民一旦发明了冶铜技术，很快就具有丰富的合金知识，并且迅速地把整个青铜技术推到更高的阶段，建立了世界上最光辉灿烂的青铜文明。

黄铜和锌的冶炼

锌在我国古代又叫“倭铅”、“白铅”。“倭铅”一名最早见于署名“飞霞子”著的《宝藏论》(辽神册三年，公元918年)一书中。

据文献记载和一些实物分析，我国用锌的历史大概分三个阶段。

第一阶段是西汉以前。这时锌作为伴生矿成分随铜或者随锡、铅进入铜合金中，铜器含锌量常在万分之几的水平上，个别的比较高，也有含锌量超过百分之二十五的。

第二阶段是西汉到宋元时期。这时开始有意地把锌的氧化物如炉甘石加入化铜炉里，氧化锌被还原并立刻溶解到铜中，成为以锌为主要合金元素的铜合金，就是黄铜。这一技术是逐渐成熟的。

第三阶段至迟从明代开始，这时发明了用炉甘石生产金属锌、再用金属锌配制黄铜的方法。明《天工开物》卷十四曾详细地记述了金属锌的生产过程：把十斤炉甘石装入泥罐，用泥封牢，晾干，用煤垫底，用木柴煅烧。炉甘石熔化成团，冷定后破罐取出，就得倭铅，每十斤损耗两斤。原记载虽不尽完美，如遗漏了还原剂等，但基本原理和设备同现代横罐炼锌法是相似的。这说明至迟在明代我国就生产了比较多的金属锌。

黄铜和锌的出现有重要的技术意义。黄铜耐蚀性能、机械性能都比较好，在现代工业中有广泛的用途。

我国是世界上最早冶炼并使用了金属锌的国家。欧洲直到十六世纪才了解到锌是一种金属，十七世纪才知道由炉甘石炼锌。这充分显示了我国人民的聪明才智和创造精神。

含镍白铜

我国使用含镍白铜的时间比较早，制炼工艺最初大约是使用一种铜镍矿，后来才使用含镍矿石和铜矿或者和铜一起冶炼的。

文献上关于“白铜”的记载开始见于东晋常璩《华阳国志》，说在今云南会泽、巧泉一带有一座螳螂山“出银、铅、白铜、杂药”。结合后世的大量资料看，这“白铜”就是含镍白铜。因为那一带就产铜和铜镍矿，

东晋时候冶炼出含镍白铜是完全可能的。

国内外不少学者对我国生产和使用镍白铜的问题作过研究。有人说早在秦汉时期，我国镍白铜就运到了大夏国，他们还用它铸成了钱币，它的成分和中国的白铜十分接近，含铜百分之七十七，镍百分之二十。十八世纪的时候，西方许多人都极力仿制中国白铜，直到公元 1823 年才由英国人和德国人仿制成功。以后各种各样的仿制品都进入了市场，最流行的名叫“德国银”。我国白铜的西传，对西方镍白铜的生产和近代化学工艺起了很大的启发和推动作用。

鼓风技术和冶金燃料

水 排

水排是我国古代一种冶铁用的水力鼓风装置。人类早期的鼓风器大都是皮囊，我国古代又叫橐。一座炉子用好几个橐，放在一起，排成一行，就叫“排囊”或“排橐”。用水力推动这种排橐，就叫“水排”。

水排发明于东汉早期，它是南阳太守杜诗(? - 38)在总结劳动人民实践经验基础上发明出来的。因为它“用力少，见功多”(《后汉书·杜诗传》)，所以大家乐于使用。三国时期的韩暨把它推广到了魏国官营冶铁作坊中，用水排代替过去的马排、人排，四季不歇。水排不但节省了人力、畜力，而且鼓风能力比较强，因此促进了冶铁业的发展。水排在我国沿用了很长一个时期，直到本世纪七十年代，一些地方还在使用。

汉代水排的具体构造现在已经很难了解，由同一时期的水碓和翻车结构推测，大约也是一种轮轴拉杆传动的装置。我国古代水排构造的详细记述最早见于元代的《王祯农书》，依水轮放置方式的差别，王祯把水排分成立轮式和卧轮式两种。它们都是通过轮轴、拉杆以及绳索把圆周运动变成直线往复运动的，以此达到启闭风扇和鼓风的目的。因为水轮转动一次，风扇可以启闭多次，所以鼓风效能大大提高。

鼓风器最早是皮囊，后来是风扇，再后是风箱。风扇大约发明于公元十世纪以前。北宋《武经总要》前集的行炉图，敦煌榆林窟西夏(公元 1032 年到 1227 年立国)锻铁壁画，元代《王祯农书》的水排图，都有风扇的形象。活塞式风箱最早见于明代《天工开物》中。

水力鼓风有十分重要的意义，它加大了风量，提高了风压，增强了风力在炉里的穿透能力。这一方面可以提高冶炼强度，另一方面可以扩大炉缸，加高炉身，增大有效容积。这就大大地增加了生产能力。足够强大的鼓风能力，足够高大的炉子，是炼出生铁的必要条件。欧洲人能在十四世纪炼出生铁来，和水力鼓风的应用是有一定关系的。水排的发明是人类利用自然力的一次伟大胜利。

冶金用燃料的发展

燃料在冶金生产中占有特殊的地位。它既是一种发热剂，也是一种还原剂；既要为冶炼过程创造必要的高温，也直接参与冶金的物理化学过程。因此，人们对冶金燃料提出了许多特殊要求。

人类最早使用的冶金燃料是木炭。木炭的优点是：第一，容易获得。

第二，气孔度比较大，使料柱具有良好的透气性。在鼓风能力不强、风压不高的条件下，这点具有尤其重要的意义。第三，所含硫、磷等有害杂质比较低。一直到现在，木炭还是冶炼高级生铁的理想燃料。

木炭的最大缺点是资源有限，所以人们一直在努力寻找新的燃料。首先找到的是煤。

我国冶炼生铁用煤的起始年代大约可以上推到南北朝的时期。北魏郦道元(约 466 - 527)《水经注·河水篇》说：今新疆库车县北二百里山，人们取山上的煤来冶炼山上的铁，供给周围的广大地区使用。一般认为，宋代以后，冶炼用煤又有了一些发展。

但是用煤冶炼也有缺点：一是所含硫、磷等有害杂质成分比较高，它们在冶炼过程中会渗入生铁而引起金属加工过程中的热脆和冷脆。二是所含其他杂质也比较多，因此炼渣多，炉子容易发生故障。三是煤的气孔度小，热稳定性能比较差，容易爆裂，影响料柱透气性。于是人们又进行新的探索，终于找到了另一种冶金燃料，就是焦炭。焦炭是由煤干馏得到的，它保留了煤的长处，避免了煤的缺点。直到现在，仍旧是冶金生产的主要燃料。

我国冶炼用焦的记载最早见于明末清初方以智的《物理小识》卷七，说把发臭味(挥发分多)的煤烧熔封闭起来，就成焦炭(“礁”)了；用它“煎矿煮石”，都“殊为省力”。在《戒庵漫笔》、《颜山杂记》、《会理州记》等书上，也有关于炼焦的记载。

冶金用燃料由木炭到煤，由煤到焦，都是重大的转变，这每一次转变对冶金生产都产生过重大的影响。欧洲人到十八世纪初才使用焦炭，才解决了冶炼用焦的问题。在生铁冶炼用煤和冶金用焦上，我国都比欧洲早得多。

湿法冶金起源——胆铜法

山西大学 邢润川

胆水炼铜，以我国为最早，是湿法冶金的起源，在世界冶金史上占有光辉的一页。

在漫长的历史长河中，我们的祖先在冶炼铜和铁、应用铜铁器的实践中，以及在探索各种物质所进行的变化的一些实验工作中，逐渐对铁和铜的盐类相接触而发生的化学作用有了一些认识。

早在西汉成书的《淮南万毕术》里，就有“曾青得铁则化为铜”的话。曾青又有空青、白青、石胆、胆矾等名称，其实都是天然的硫酸铜。硫酸铜一般呈蓝色结晶体，因在空气里部分风化失掉水分成为白色，所以曾青又叫白青。东汉时的著作《神农本草经》也有“石胆……能化铁为铜”的记载，这和上面的话是一致的。晋葛洪《抱朴子内篇·黄白》中也有“以曾青涂铁，铁赤色如铜”的记载。南北朝时期陶弘景所作的实验，又扩充了以前的范围，不限于硫酸铜，只要是可溶性的铜盐，就会和铁起置换反应。他说：“鸡屎矾……投苦酒中涂铁，皆作铜色。”苦酒指醋酸。鸡屎矾也许是碱式硫酸铜或碱式碳酸铜。它们和硫酸铜不一样，都是难溶于水的物质，所以要加醋酸使它溶解。以上记载都清楚地表明，铁和铜盐能起反应，把铜盐中的铜置换出来。我们把金属活性顺序表和上面的记载略加比较，就能看出我们的祖先对这一现象认识的深刻程度。几种金属活性顺序依次是：钾、钠、钙、镁、铝、锌、铁、锡、铅、(氢)、铜、汞、银、铂、金。金属的位置越排在前面，它的金属活性越强。铁在上面金属活性顺序表中排第七位，而铜却排在第十位(氢除外)，说明铁要比铜活动得多。因此，铁能和铜盐起作用而置换出铜。

我们的祖先并没有仅仅停留在上述这一认识上。到了宋元时期，或许还稍早些，已经发展成湿法炼铜的胆铜法而应用于生产上，成为大量生产铜的主要方法之一。

所谓胆铜法，就是把铁放在胆矾(就是水合硫酸铜)溶液(俗称胆水)里使胆矾中的铜离子被金属铁所置换而成为单质铜沉积下来的一种产铜方法。这种产铜方法有许多优点。它可以就地取材，在胆水多的地方设置铜场；设备比较简单，技术操作容易，成本低，只要把铁薄片和碎块放入胆水槽中，浸渍几天，就能得到金属铜的粉末。胆铜法可以在常温下提取铜，不必像火法炼铜那样需要高温，这样既节省大量燃料，又不必使用鼓风、熔炼等设备。胆铜法还可以使含有铜的贫矿和富矿都能作原料用。

由于社会经济的发展，宋代铸币感到铜原料不足，而湿法炼铜的胆铜法具有上面的许多优点，所以宋代对胆铜法很重视，应用这种方法生产铜的地方很多，据宋代文献记载，就有十多处。其中以韶州岭水(今广东曲江)、信州铅山(今江西铅山)、饶州德兴(今江西德兴)三场最著名，规模也最大。北宋胆铜产量每年达一百多万斤，占当时铜总产量的百分之十五到二十五。南宋铜产量虽大减，胆铜比重却比以前都高，宋高宗绍兴年间(公元1131年到1162年)胆铜占总产量的百分之八十五以上。

我国古代的胆水炼铜图。

胆铜的生产过程包括两个方面：一是浸铜，二是收取沉积的铜。各场所用方法，有同有异，但总括起来大概有三种：一种是在胆水产地就近随

地形高低，挖掘沟槽，用茅席铺底，把生铁击碎，排砌在沟槽里，把胆水引入沟槽浸泡，分节用木板闸断，看上去呈阶梯状。利用铜和铁颜色不一，浸泡后待颜色改变，说明胆水里的铜离子已被铁置换。然后把浸泡过的水放走，把茅席取出，沉积在茅席上的铜就可以收集起来。再引入新的胆水，周而复始地进行生产。另一种是在胆水产地设胆水槽，把铁锻打成薄铁片，排置槽中，用胆水浸没铁片，浸渍几天，薄铁片表面便有一层“赤煤”（铜的粉末）覆盖。把薄铁片从胆水槽中取出，刮取铁片上的“赤煤”。因“赤煤”几乎全是单质的铜，把它放入炼炉里略加炼制，就得纯铜。这种方法和上法大同小异，只是比前法费事得多。不过把铁锻打成薄片浸铜，是有道理的。因为同样重量的铁，用薄铁片浸铜可增加铁的表面面积，加大铁和胆水的接触面积，使铁和胆水中的铜离子接触机会增多，这样既能缩短炼铜时间，又可提高铜的产量。第三种是煎熬法，把胆水引入用铁所做的容器里煎熬。这里盛胆水的工具既是容器，又是化学作用的参加者。煎熬一定时间。就在铁容器上得到铜。煎熬法的长处在于加热和煎熬过程中胆水由稀变浓，都可加速铁和胆水中铜的置换反应，但是这种方法毕竟要用燃料，还需要专人操作，成本高，工多而利少。所以宋代胆铜生产多数胆场基本上用前两种方法。在胆铜生产中，浸铜时间随胆水浓度等不同而有长有短。元末明初的危素(1303 - 1372)在《浸铅要略序》(见《危太朴文集》)中对饶州兴利场的浸铜时间作了说明：“……其泉三十有二，五日一举洗者一，七日一举洗者十有四，十日一举洗者十有七。”浸铜一次所需时间不同也是符合实际情况的，因为要浸得一定数量的铜，胆水越浓，含铜离子越多，浸铜时间可短些；胆水稀，含铜离子少，浸铜时间就要长一些。《浸铜要略》一书是北宋哲宗(公元 1086 年到 1100 年在位)时张潜所撰。危序所反映的当是书中所记述的宋代的情况。综上所述，从浸铜、取铜方法优劣的比较，到浸铜时间的掌握，说明湿法炼铜的胆铜法在宋代已经发展成一套比较完善的工艺。

在欧洲，湿法炼铜出现比较晚。十五世纪五十年代，人们把铁片浸入硫酸铜溶液，偶尔看见铜出现在铁表面，还感到十分惊讶，更谈不上应用这个原理来炼铜了。

中国古代三大铸造技术

自然科学史研究所 华觉明

“冶石为器，千炉齐设”，晋曹毗《咏冶赋》的著名诗句，真实描绘了我国古代冶铸生产的情景。在我国古代金属加工工艺中，铸造占着突出的地位，具有广泛的社会影响，像“模范”、“陶冶”、“熔铸”、“就范”等习语，就是沿用了铸造业的术语。劳动人民通过世代相传的长期生产实践，创造了具有我国民族特色的传统铸造工艺。其中特别是泥范、铁范和熔模铸造最重要，称古代三大铸造技术。

泥范铸造

我国自新石器晚期，就进入铜石并用时代。河北唐山等地出土的早期铜器，有锻打成形的，也有熔铸成形的，说明范铸技术在我国源远流长，很早就发展起来。

古代文献中有不少关于昆吾(夏代的一个部落，居住在今河南濮阳市境北)制陶、铸铜的记载以及禹铸九鼎的传说。从近年考古发掘来看，夏代已经能熔铸青铜。最初的铸型是使用石范。由于石料不容易加工，又不耐高温，在制陶术发达的基础上，很快就改用泥范，并且在长达三千多年的时间里，在随着近代机器制造业的兴起采用砂型铸造以前，它一直是最主要的铸造方法。

商代早期以河南偃师二里头遗址作为标志，已经用泥范铸造铜铸、铜凿等小型生产工具和铜铃、铜爵等日用器具。稍后，以郑州二里岗作为标志，青铜冶铸业开始发达起来。郑州张寨出土的两件大方鼎，分别重六四·二五和八二·二五千克，表明商代中期铸铜技术已经具有相当水平，从单面范、双面范铸造，发展到能用多个型、芯组成复合铸范铸作重达百斤以上的大型铸件。

盘庚迁殷以后，以安阳小屯殷墟作为标志，青铜冶铸技术达到鼎盛时期。出土和传世的几万件商、周青铜器，既是重要的历史文物，又是冶铸奴隶智慧和才能的结晶，它们的学术、艺术价值和技术水平是世所公认的。

为了获得形状高度复杂、花纹精细奇丽的青铜铸件，古代冶铸工匠采取了一系列重要的工艺措施，例如：

在造型材料的制备上，就地取材，精选质地纯净、耐火度比较高的砂泥，予以练制。铸型表层所用的面泥，用水澄洗，得到极细极纯的泥(澄泥)，这种泥料有很好的塑性和强度，翻制铸范的时候能得到很高的清晰度和准确度。背泥却采用比较粗的泥料或杂以砂子、植物质，以减少澄泥的耗用量，增加铸范的透气性。所有泥料都要经过长期阴干，反覆摔打，使它高度匀熟，不致在造型、干燥的时候开裂。

在造型工艺上，以分铸法作为基本工艺原则，获得复杂的器形：或者先铸器身，再在上合范浇注附件(如兽头、柱等)；或者先铸得附件(如鼎的耳、足等)，再在浇注器身的时候铸接成一体。著名的四羊尊(湖南宁乡出土)就是使用了分铸法才铸成的。这个方法的起源可以上溯到二里岗期

(商代前期), 到小屯期(商代后期), 基本型式已经大体具备。春秋时期, 先铸附件后铸器身成为分铸法的主流, 新郑彝器和战国时期的鼎、壶等类多半是这样铸成的。运用简单的工艺原则成功地解决复杂的工艺问题, 执简御繁, 平凡的劳动中显现出独具的匠心, 这是古代劳动人民的卓越创造, 也是了解商周青铜器铸造技术的一个关键。把像四羊尊这样复杂的器物误认为失蜡铸件, 是不符合实际的, 把商周青铜器说得神秘莫测, 不可逾越, 那更是错误的。

此外, 对于范芯的干燥、焙烧、装配, 均匀壁厚使它达到同时凝固, 预热铸型使它能顺利浇注等方面, 商周时期都已经摸索出了一整套成熟的工艺, 不但为后代的泥范铸造, 也为金属型和熔模铸造, 奠定了技术基础。

但是, 在剥削阶级占有生产资料、掌握国家机器的社会条件下, 劳动人民的科学技术创造成果总是被统治者所攫取, 用来镇压、欺骗人民, 满足他们穷奢极欲的腐朽生活需要。商周青铜器中, 礼、乐、兵、车四类占了绝大多数, 生产工具为数很少, 许多明器(陪葬器物)铸成后就埋置地下。这种情形极大地阻碍了社会生产力的发展。以致在长达一千多年的时间里, 泥范铸造基本上停留在一次型的阶段, 到春秋时期才用多次型(半永久性泥型)铸造铜工具(铍)。

我国古代泥范铸造的又一个杰出成就, 是叠铸法的早期出现和广泛应用。所谓叠铸是把许多个范块或成对范片叠合装配, 由一个共用的浇道进行浇注, 一次得到几十甚至几百个铸件。这种方法在近代是随着大机器生产的出现, 需要大批小型铸件(如活塞环、链节等), 才发展起来的。由于它生产率高, 成本比较低, 可以节省造型、浇注面积, 目前仍在广泛应用。我国最早的叠铸件是战国时期的齐刀币, 是用铜质范盒翻制出具有高度对称性和互换性的范片, 每两片合成一层, 多层叠浇而成。到了汉代, 广泛用于钱币、车马器的生产。近年来, 在陕西、河南、山东等省, 这种铸范和烘窑多有出土。特别是河南温县西招贤村汉代冶铸遗址一个烘范窑, 就发掘出十六类、三十六种规格的五百多套叠铸范, 为我们了解这一工艺提供了很宝贵的实物资料。它们结构巧妙, 制作精细, 为便于清理铸件, 内浇口厚度只有二到三·五毫米。用这些铸范浇出的铸件, 表面光洁度达到五级(光洁度共分十四级), 金属收得率可以达到百分之九十, 工艺水平和广东佛山近代所用同类方法已经相当接近。

河南温县出土的汉代六角承叠铸范复原图。

用泥范铸造大型和特大型铸件, 从唐宋时期起, 有很大发展。沧州五代时期的铁狮, 当阳北宋的铁塔, 北京大钟寺明代的大钟, 都是世界闻名的巨大铸件。宋应星《天工开物》卷八记述了两种浇注大件的方法: 一是用多个行炉相继倾注(千斤以内的钟), 一是用多个熔炉槽注(万钧钟)。这在古代手工业生产的技术条件下, 应当说是一种巧妙而又需要熟练技巧和很好组织协同的工艺措施。就是在现代, 要成功地浇注三四十吨的大铸件, 也不是一件轻而易举的事。

金属型铸造

铸型材料从石和泥、砂改用金属, 从一次型经多次型又改进成为耐用

性更高的所谓“永久”型(就是金属型),在铸造技术的历史发展上具有重要的意义。1953年河北兴隆铁范的发现,证明我国早在战国时期已经用白口铁的金属型浇注生铁铸件。这批铁范包括锄、镰、斧、凿、车具等类共八十七件,大部完整配套。其中,镰和凿是一范两件,锄和斧还采用了金属芯。它们的结构十分紧凑,颇具特色。范的形状和铸件相吻合,使壁厚均匀,利于散热;范壁带有把手,以便握持,又能增加范的刚度。可以说是创造了一种中国风格的金属型,并且在那个时候已经大体定型了。近年来,在河南南阳、郑州、镇平和河北满城、山东莱芜等地又陆续出土汉代铁范许多件,品种比战国时期显著增多,型式却基本相同。河南渑池汉魏铁器窖藏中还有铸造成形铁板和矢镞的铁范以及长达半米的大型铁犁范。

除铁制金属型外,战国时期和汉代已经用铜制金属型铸造钱币(如传世和出土的五铢铜范等)。它们在生产中起着重要作用,但是在文献中,却很少看到记载。《汉书·董仲舒传》里说:“犹金之在 ,惟冶者之所为。”“ ”字注:“谓铸器之模范也。”这可以认作是金属型铸造的最早记述。但是后来这个“ ”字多和“熔”字通用,失却它的本意了。

曾经有一种意见,认为铁范在我国很早发明,以后失传了,到近代才又从国外引进。这是不对的。因为,虽然锄、镰等小农具,在唐宋以后,由于炒铁的发明和推广,已经由铸制改成锻制,但是,犁镜一类却直到近代仍有用铁范铸造的。从战国、秦、汉起,由泥范翻铸铁范、再由铁范翻铸铁器的工艺方法基本上延续不变,是一脉相承的,在工艺操作上形成一套合乎科学原理的办法。例如:用铁水预热铸型(最初浇注的若干件作为废品或次品处理),使用双层涂料,浇注以后及时打箱,除使用金属芯外还采用泥芯,使用简易的装卡机构等。由于金属型生产率高,使用寿命长(小型铸件可以达到几百次),产品规格齐整,又能保证得到白口组织(在浇注铁件的时候),它和铸铁柔化术配合使用,在古代农具铸造上发挥十分重要的作用。《汉书·沟洫志》描绘汉代大规模兴修水利的情景说:“举

如云,决渠为雨。”出土铁器的检验表明,在这么多的铁工具中,有相当数量应该是由金属型铸成的。

用铁范铸炮是我国传统金属型铸造的一个创造。第一次鸦片战争时期,在浙江省炮局监制军械的龚振麟,为了赶铸炮位,打击侵略者,曾经创议用铁范铸炮并且得到成功。他所撰写的《铁模铸炮图说》,由魏源(1794 - 1857)收入《海国图志》中,得以保存到现在。它是世界上最早论述金属型铸造的科学著作。书中总结了使用铁范的一些优点,如一范多铸,成本低,工效高(“用一工之费而收数百工之利”,“用匠之省无算”),减少表面清理和旋洗内膛的工作量,铸型不含水气,不出气孔,收藏、维护方便,如果战事紧迫,能很快投产以应急需,等等。所有这些都讲得比较真切,和现代铸造学对金属型的认识是一致的。虽然由于清代反动政府的腐败无能以及此后不久钢炮的发明,这种工艺没有可能进一步发展,但是龚振麟的爱国主义和首创精神,仍是值得赞扬的,他的创造是来源于历代劳动人民的生产实践的。

熔模铸造

传统的熔模铸造一般称失蜡、出蜡或捏蜡、拨蜡。它和用来制造汽轮机叶片、铣刀等精密铸件的现代熔模铸造，无论在所用蜡料、制模、造型材料、工艺方法等方面，都有很大不同。但是，它们的工艺原理是一致的，并且，现代的熔模铸造是从传统的熔模铸造发展而来的。

清代的桂馥(1736 - 1805)说：“汉印多拨蜡”。一些带兽钮的汉代印章，钮制细小，形体复杂，又没有明显的鑿、凿痕迹，很可能是失蜡铸造的。云南石寨山出土的汉代滇族文物贮贝器盖(参看本书第 518 页的图)，也是失蜡铸件。

1978 年湖北随县出土的曾侯乙尊盘和 1979 年河南浙川出土的楚国铜禁，经研究，都是失蜡法所铸，说明中国在春秋时期已经发明这种技术。

《唐会要》卷八十九说，开元通宝已经使用蜡模(原文是“ ”，古“蜡”字)，这可以说是失蜡法的最早文献记载。现在传世和出土的开元钱，还有一种是带甲痕的，据说就是用蜡模铸造留下的痕迹。

宋代赵希鹄著的《洞天清禄集》里具体地记述了这一工艺，是用蜡刻画成模，放在桶状的容器里，经用澄泥浆多次浇淋以后，撤去桶板，再加敷含有盐和纸筋的细泥和背泥，做成铸型，然后出蜡，浇注。这种方法用于小型铸件，和明清时期失蜡铸印工艺比较接近。

现代熔模铸造多数也用于小型铸件，铸件过大，精度不容易保证。古代熔模铸造多用于艺术铸件或钟、 等，精度要求不像现代机械零件那样严格。因此，如《天工开物》所记述，有用失蜡法来铸“万钧钟”的。它采用地坑造型；蜡料由牛油、黄蜡调制，油蜡是八和二之比(“油居什八，蜡居什二”)，泥料中加入炭末以减少收缩，增加透气性，并且使表面光洁；每一斤蜡料，配铜十斤。附图是《天工开物·冶铸篇》所载塑钟模图(铁钟模是泥制的)。

元代设出蜡局，专管失蜡铸造。清代内务府造办处等也设有专职工匠，现存故宫博物院、颐和园的铜狮、铜象、铜鹤、狻猊等，都是有代表性的艺术价值很高的失蜡铸件，颐和园铜亭的某些构件也是用失蜡法铸成的，亭壁镌刻有拨蜡工杨国柱、张成、韩忠、高永固四位匠师的姓氏，可作佐证。

以上事实说明失蜡法在我国有悠久的历史，具有自己的工艺特点和艺术风格。但是，在封建制和旧中国半封建半殖民地生产关系的桎梏下，这一传统工艺只在很狭窄的范围里应用(主要是用来铸造用一般方法无法得到的艺术铸件和用于宗教迷信的神像等)，未能向现代精密铸造工艺转化。只是在新中国成立后，革命解放了生产力，熔模铸造车间才得以成批建立，并逐步实现机械化和自动化。在“古为今用”方针指引下，传统的失蜡铸造目前在生产中仍有应用，它和泥范、铁范一样，都是劳动人民创造的珍贵的科学技术遗产，可供我们学习、借鉴。

十二 机械

中国古代的农业机械

自然科学史研究所 赵继柱

在我国几千年的文明史上，农业在整个生产中都占重要的地位。随着社会经济的发展，为了增加产量，提高劳动生产率，劳动人民发明创造了多种多样的农业生产工具，不但数量多，而且在时间上也多是比较早的。下面只介绍几种主要的农具。

汉唐以来的耕犁

我国很早就发明了耒耜，用耒耜来翻整土地，播种庄稼，进行农业生产。随着生产的发展，耒耜发展成犁。不过在战国时期以前，人们使用的只是石制、木制、骨制和少量的铜制整地工具。后来由于牛耕的出现和冶铁业的兴起，战国时期便出现了铁制的耕犁，河北易县燕下都遗址和河南辉县都出土过战国时期的铁犁铧。铁犁铧的发明是一个了不起的成就。它标志着人类社会发展的新时期，也标志着人类改造自然的斗争进入一个新的阶段。

汉代大力推广先进的生产工具和耕作方法，耕犁也得到了进一步的发展，并且在全国各地广泛使用。解放后出土的一百多件汉代的铁犁中，有铁口犁铧、尖锋双翼犁铧、舌状梯形犁铧，还有大型的犁铧。从山西平陆等地汉墓中出土的几幅犁耕图中，可以看出汉代耕犁的构造形式。当时的耕犁是铁制的犁铧，已经有犁壁的装置。山东安丘、河南中牟和陕西西安、咸阳、礼泉等地都有汉代铁犁壁出土。犁壁的发明是耕犁的一个重大发展。没有犁壁的耕犁达不到碎土松土起垅作亩的目的，还必须靠锄类和铲类农具的帮助才行；有了犁壁就能翻土碎土，犁壁有一定的方向，向一侧翻转土垡，把杂草埋在下面作肥料，同时还有杀虫的作用。欧洲的耕犁直到公元十一世纪才有犁壁的记载，我国至迟到汉代就有了犁壁的装置，比欧洲要早近一千年。汉代耕犁的木质部分由犁辕、犁梢(犁柄)、犁底(犁床)、犁箭、犁横等部件组成。由此可以看出，汉代的耕犁已经基本定型，它除了有先进的犁壁装置外，还有能调节耕地深浅的犁箭的装置。汉代的犁有双辕和单辕的，基本上是二牛抬杠式的。由于是直辕长辕犁，耕地的时候，回头转弯都不够灵活，起土费力，效率也不很高。尽管如此，它比战国时期的耕犁已经有了很大的进步。

唐代，陆龟蒙的《耒耜经》详细记述了当时耕犁的部件、尺寸和作用。这种犁的构造是由金属制造的犁铧和犁壁，以及由木材制造的犁底、压板、策(轅)、犁箭，犁辕、犁梢、犁评、犁建、犁 等十一个部件组成。这些部件都各有特殊的功能和合理的形式。犁壁在犁铧之上，它们是成一个曲面的复合装置，用来起土翻土的；犁底和压板把犁头紧紧地固定下来，增强犁的稳定性；策是捍卫犁壁的；犁箭和犁评是调节犁地深浅的装置，通过调整犁评和犁箭，使犁辕和犁床之间的夹角张大或缩小，这样就使犁头深入或浅出；还可以通过犁梢来掌握耕地的宽窄；它的犁辕是短辕曲辕，辕头又有可以转动的犁头，牲畜是用套耕索来挽犁的。整个耕犁

是相当完备、相当先进的，也很轻巧，耕地的时候回头转弯都很灵便，而且入土深浅容易控制，起土省力，效率比较高。

陆龟蒙所叙述的耜犁是中国耜犁发展到比较完备阶段的典型，它的构造要比秦汉时期的犁完备和复杂得多，和现代的耜犁基本相同。这是广大劳动人民在长期的生产斗争实践中不断摸索创造的成果，是劳动人民智慧的结晶。

宋元以后，耜犁的形式更加多样化，各地创造了很多新式的耜犁。南方水田用耜，北方旱地用耜铧，耕种草莽用耜镑，开垦芦苇蒿菜等荒地用耜刀，耕种海地用耜锄。

根据史料记载，在整个古代社会，我国耜犁的发展水平一直处于世界农业技术发展的前列。

汉代的播种机——三脚耩

我国在战国时期就有了播种机械。汉武帝的时候，赵过在一脚耩和二脚耩的基础上，创造发明了能同时播种三行的三脚耩。一头牛拉着，一人牵牛，一人扶耩，一天就能播种一顷地，大大提高了播种效率。汉武帝曾经下令在全国范围里推广这种先进的播种机。

汉代三脚耩复原模型，现在陈列在中国历史博物馆里。它的构造是这样的：下面三个小的铁铧是开沟用的，叫做耩脚，后部中间是空的，两脚之间的距离是一垅。三根木制的中空耩腿，下端嵌入耩铧的銎里，上端和子粒槽相通。子粒槽下部前面由一个长方形的开口和前面的耩斗相通。耩斗的后部下方有一个开口，活装着一块闸板，用一个楔子管紧。为了防止种子在开口处阻塞，在耩柄的一个支柱上悬挂一根竹签，竹签前端伸入耩斗下部系牢，中间缚上一块铁块。耩两边有两辕，相距可容一牛。后面有耩柄。

播种前，要根据种子的种类、子粒的大小、土壤的干湿等情况，调节好耩斗开口的闸板，使种子在一定的时间内流出的多少刚好合适。然后把要播种的种子放入耩斗里，用牛拉着，一人牵牛，一人扶耩。扶耩人控制耩柄的高低，来调节耩脚入土的深浅，同时也就调整了播种的深浅，一边走一边摇，种子自动地从耩斗中流出，分三股经耩腿再经耩铧的下方播入土壤。在耩后边的木框上，用两股绳子悬挂一根方形木棒，横放在播种的垅上，随着耩前进，自动把土耙平，把种子覆盖在土下，这样一次就把开沟、下种、覆盖的任务完成了。再另外用砣子压实，使种子与土紧密地附在一起，发芽生长。

现代最新式的播种机的全部功能也不过把开沟、下种、覆盖、压实四道工序接连完成，而我国两千多年前的三脚耩早已把前三道工序连在一起由同一机械来完成。在当时能够创造出这样先进的播种机，确实是一项很重大的成就。这是我国古代在农业机械方面的重大发明之一。

灌溉机械——龙骨水车

龙骨水车是我国古代最著名的农业灌溉机械之一。龙骨车，古书上都叫翻车，据《后汉书》记载，这一灌溉机械是东汉末年发明的。最初是利

用人力转动轮轴灌水，后来由于轮轴的发展和机械制造技术的进步，发明了以畜力、风力和水力作为动力的龙骨水车，并且在全国各地广泛使用。根据动力的不同，龙骨水车有下列几种。

人力龙骨水车 人力龙骨水车是以人力做动力，多用脚踏，也有用手摇的。元代《王祯农书》和清代麟庆的《河工器具图说》中关于龙骨车的叙述比较详细。它的构造除压栏和列槛桩外，车身用木板作槽，长二丈，宽四寸到七寸不等，高约一尺，槽中架设行道板一条，和槽的宽窄一样，比槽板两端各短一尺，用来安置大小轮轴。在行道板上下，通周由一节一节的龙骨板叶用木销子连结起来，很像龙的骨架一样，所以名叫龙骨车。在上端的大轴的两端，各带四根拐木，作脚踏用，放在岸上的木架之间，人扶着木架，用脚踩动拐木，就带动下边的龙骨板叶沿木槽往上移动，把水刮上岸来，流入田间。龙骨板叶绕过上端大轴，又在行道板上边往下移动，绕过下端的轴，重新刮水。这样循环不已，水从低处源源不断地被车上岸来。这就是龙骨车的构造和工作过程。人力龙骨水车因为用人力，它的汲水量不够大，但是凡临水的地方都可以使用，可以两个人同踏或摇，也可以只一个人踏或摇，很方便，深受人们的欢迎，是应用很广的农业灌溉机械。

畜力龙骨水车 大约在南宋初年，龙骨水车有了新的发展，出现了用畜力做动力的龙骨水车，这是龙骨水车发展的一个新阶段。它的水车部分的构造和前面讲的相同，只是动力机械方面有了新的改进。在水车上端的横轴上装有一个竖齿轮，旁边立一根大立轴，立轴的中部装上一个大的卧齿轮，让卧齿轮和竖齿轮的齿相衔接。立轴上装一根大横杆，让牛拉着横杆转动，经过两个齿轮的传动，带动水车转动，把水刮上来。因为畜力比较大，能把水车上比较大的高度，汲水量也比较大。

水转龙骨水车 在元代《王祯农书》上还有水转龙骨水车的记载，可知这一机械的发明应该在《农书》成书之前，大约在元初，也有近七百年的历史了。它的装置，水车部分完全和以前的各种水车相同。它的动力机械装在水流湍急的河边，先树立一个大木架，大木架中央竖立一根转轴，轴上装有上、下两个大卧轮。下卧轮是水轮，在水轮上装有若干板叶，以便借水的冲击使水轮转动。上卧轮是一个大齿轮，和水车上端轴上的竖齿轮相衔接。把水车装在河岸边挖的一条深沟里，流水冲击水轮转动，卧齿轮带动水车轴上的竖齿轮转动，也就带动水车转动，把水从河中深沟里车上岸来，流入田间，灌溉庄稼。

如果水源比较高，可以作大的立式水轮，直接安装在水车的转轴上，带动水车转动，这样可以省去两个大齿轮。

在利用流水作动力的灌溉机械上应用了一对大的木齿轮，把水轮的转动传递到水车的轴上，来带动水车把水刮上来，进行灌溉，这是元代机械制造方面的一个巨大的进步，也是人们利用自然力造福于人类的一项重大成就。

先进的粮食加工机械——水碓和水磨

谷物收获脱粒以后，要加工成米或面才能食用。我国古代在粮食加工方面发明了不少机械，如磨、碾、碓、扇车、罗等，后来又发明了用水力

做动力的水碓和水磨，这些机械效率高，应用广，是农业机械方面的重要发明。

水碓是利用水力春米的机械，在西汉末年就出现了，汉代桓谭(约前23 - 后50)的《桓子新论》里有关于水碓的记载。

水碓的动力机械是一个大的立式水轮，轮上装有若干板叶，轮轴长短不一，看带动的碓的多少而定。转轴上装有一些彼此错开的拨板，一个碓有四块拨板，四个碓就要十六块拨板。拨板是用来拨动碓杆的。每个碓用柱子架起一根木杆，杆的一端装一块圆锥形石头。下面的石臼里放上准备要加工的稻谷。流水冲击水轮使它转动，轴上的拨板就拨动碓杆的梢，使碓头一起一落地进行春米。利用水碓，可以日夜加工。

凡在溪流江河的岸边都可以设置水碓。根据水势的高低大小，人们采取一些不同的措施。如果水势比较小，可以用木板挡水，使水从旁边流经水轮，这样可以加大水流的速度，增强冲动力。带动碓的多少可以按水力的大小来定，水力大的地方可以多装几个，水力小的地方就少装几个。设置两个碓以上的叫做连机碓，常用的都是连机碓，一般都是四个碓。

磨，最初叫，汉代才叫做磨，是把米、麦、豆等加工成面的机械。磨用两块有一定厚度的扁圆柱形的石头制成，这两块石头叫做磨扇。下扇中间装有一个短的立轴，用铁制成，上扇中间有一个相应的空套，两扇相合以后，下扇固定，上扇可以绕轴转动。两扇相对的一面，留有一个空腔，叫磨膛，膛的外周制成一起一伏的磨齿。上扇有磨眼。磨面的时候，谷物通过磨眼流入磨膛，均匀地分布在四周，被磨成粉末，从夹缝中流到磨盘上，过罗筛去麸皮等就得到面粉。磨有用人力的、畜力的和水力的。用水力作为动力的磨，大约在晋代就发明了。水磨的动力部分是一个卧式水轮，在轮的立轴上安装磨的上扇，流水冲动水轮带动磨转动，这种磨适合于安装在水的冲动力比较大的地方。假如水的冲动力比较小，但是水量比较大，可以安装另外一种形式的水磨：动力机械是一个立轮，在轮轴上安装一个齿轮，和磨轴下部平装的一个齿轮相衔接。水轮的转动是通过齿轮使磨转动的。这两种形式的水磨，构造比较简单，应用很广。

随着机械制造技术的进步，后来人们发明一种构造比较复杂的水磨，一个水轮能带动几个磨同时转动，这种水磨叫做水转连机磨。《王祯农书》上有关于水转连机磨的记载。这种水力加工机械的水轮又高又宽，是立轮，须用急流大水，冲动水轮。轮轴很粗，长度要适中。在轴上相隔一定的距离，安装三个齿轮，每个齿轮又和一个磨上的齿轮相衔接，中间的三个磨又和各自旁边的两个磨的木齿相接。水轮转动通过齿轮带动中间的磨，中间的磨一转，又通过磨上的木齿带动旁边的磨。这样，一个水轮能带动九个磨同时工作。

中国古代原动力的利用 ——人力的进一步发挥和 自然力的有效利用

自然科学史研究所 周世德

人力的进一步利用

世界上任何一个民族，在发明机械的初期，所需要的原动力都出自人的本身。人力的利用可以说是源远流长。要是能把一人或多人的力量储备起来，延长一段时间再利用，这在人力的利用方面却是一个巨大的进步；在机械制造方面也是一个卓越的成就。弩机就是典型的储备人力的机械装置。

上古的时候，弹和箭都是利用弓的弹力发射出去的。随着弓箭的发展，弓的力量已经逐步增加到相当强大的地步，可以射远；但是人的臂力有限，张开了弓不能持久，迫切需要一个“延时装置”，以便捕捉最有利的发射时机。经过劳动人民的刻苦研究，创造了弩机。弩的使用是先把弦拉开扣在弩机上，要射的时候再搬动“悬刀”（板机），把箭射出去。当时的弩机只具备“延时装置”的作用，也就是储备人力的作用。

我国在春秋时期已经有弩机，战国中期的铜弩机已经比较进步了。我国弩的出现比西方早十三个世纪。

到汉代，弩逐渐走向标准化，有一石、……五石、……十石等八种。其中六石弩最常用，张力一百八十六千克，射程二百六十米，同时，射击的准确性也有了很大的提高。弩机的“望山”上开始出现刻度，这相当于步枪的标尺。当时的士兵和工匠在射击的实践当中，不断发现平射不能及远，并且射中点总是比目标低。为了校正这一项误差，就抬高箭镞，使箭在发射的时候有一个“投射角”。又继续发现，“投射角”不能固定不变，不同的射程应该有不同的投射角。经过多次实践，终于在“望山”上标出了几道很重要的刻度，有的十道，有的五道，这样就使射击的准确性得到很大提高。这是弩机制造技术的又一个巨大的进步，除了具备“延时装置”的作用以外，还具有“瞄准装置”的作用，同时体现了劳动人民对斜抛物体运动中的投射角以及投射角和射程的关系有了正确的认识。它有力地说明了科学技术来源于实践。弩机的发明和逐步完善是我国古代兵器制造技术的突出成就。最初，弩也和弓一样只用一个人手臂的力。经过逐步发展，就有了采用脚蹬方式拉弦的叫“神臂弓”，有用绞车开弦的叫“车弩”，还有把两张弓或三张弓合成一个弩的叫“床子弩”，就更加发挥了储备人力的作用。

我国古代和弓弩的道理相似的机械装置还有锥井机，它也是利用人力和弹力进行工作。锥具的上端系在大竹弓的弓弦中间，凿井的时候利用人力使锥具下行向下凿进，同时也使弓弦向下拉，这样就储蓄了一部分弹力。锥具返回上行就利用弓弦的弹力使它向上。我国劳动人民在汉代就能够开凿深井了。我国的深钻技术比西方大约早十一个世纪。

畜力和风力的利用

牲畜力的利用在我国也是很早就开始的，并且得到广泛的应用。如利用畜力拉车、驮载；在农业方面耕田，播种，提水灌溉，以及农作物的收获和加工；在手工业方面如冶铸业的鼓风，盐业的汲卤，纺织业的纺纱，糖业的榨蔗取浆等等：都广泛地利用牲畜力。

在古代人们开始利用风力的时间只次于牲畜力，也是很早的，或利用风力表明风向，或利用风力行船，或利用风轮提水灌溉，或利用风轮吸海水制盐。我国立帆式的风轮更具有民族特点。立帆式风轮是在风轮的外缘竖装六张或八张船帆。中国船帆的特点之一是非常灵活，立帆式风轮就充分发挥了这一特点。每一张帆转到顺风一侧能自动和风向垂直，这样就能获得最大风力。转到逆风一侧的时候，又能自动地和风向平行，使所受阻力最小。并且不管风向怎样改变，风轮总是向一个方向旋转。这是我国劳动人民的独特创造。它像船帆一样，风大可以放落一部分，减少所受风力，以免速度太大以致全轮受损。

水力的利用

关于水力的利用，我国古代劳动人民也有许多成效卓著的发明创造。

首先是浮力的利用，除了利用水的浮力作船舶运输以外，还利用水的浮力和利用一定水位具有一定水压力能控制流量的道理，创造计时仪器“铜壶滴漏”。古代人用船称象，用水浮球，用大船打捞铁牛等都是利用水的上浮力的著名历史事迹。

我国古代利用水力鼓风冶铁也是科学技术史上光辉的篇章，比西方大约早十一个世纪(参看本书第 561 页)。

至于用水力舂米、磨面，那更是非常广泛的了。用水力扬水有水转翻车等。前面农业机械一文已经介绍。用水力纺纱，在元代有“水转大纺车”，至少也有六百四十多年的历史。这在当时国际上也是卓越的先进技术。

总的来看，最晚在西汉末年，我国已经开始利用水力做原动力，已经有两千多年的历史了。

热力的利用

我国古代对于热力的利用，时间比较早，处于世界先进行列，也是我国科学技术史上光辉的一页。用上升热空气流驱动的走马灯，表明这一项原理的利用比西方大约早十个世纪。宋人诗词和笔记中有不少关于“马骑灯”的记载。它是现代燃气轮机的始祖。

我国最早发明火箭是世界公认的。在公元十三世纪宋元时期，我国就有关于“起火”的记载。宋理宗绍定五年(公元 1232 年)汴京之战，已经使用了真正的火箭。当时，甚至有人利用四十七枚大火箭作推进座椅飞行前进的试验。因此，外国人称中国人是“第一个企图使用火箭作运输工具的人”，或称“第一个企图利用火箭飞行的人”。

古代的火箭最简单的一种只是在箭身上绑一个厚纸做成的火药筒，点燃引火线后，药筒里火药燃烧，从尾部喷射出火焰(燃烧气体)，火焰向后喷就产生了反作用力，推动药筒向前运动，箭也随着向前飞行了。“起火”

的飞向天空也就是这个道理。小“起火”飞向天空的时候后面带着一溜火星。大“起火”由于装药比较多，并且有各种不同的装配方式，火花各不相同，有许多名色，如“流星赶月”、“九龙取水”等等，有的还装有各种彩色闪光物质，点燃以后放射出绚丽的火花。一时间花雨泻空，五彩缤纷，点缀着那安静而又深邃的苍穹，形成了丰富多彩的夜景。

明初的“火龙神机柜”、“一窝蜂”都是多发火箭。明代还有“神火飞鸦”和“飞空击贼震天雷炮”。“神火飞鸦”用大“起火”四支作为推动力。“飞空击贼震天雷炮”是一种雏型飞弹，中有纸筒装送药。这两种火器都有翼，是一种新的创造。

明代还有一种两级火箭，叫“飞空砂筒”，用两个“起火”一正一倒异向装置，一个起火作为飞去的动力，爆炸后，另一起火引燃作为飞回的动力，仍能向本营方向飞回。还有一种叫“火龙出水”，也是雏型两级火箭，用四个大火箭筒作为动力，把一个龙形竹筒射出，射到敌方以后，又引着竹筒里的神机火箭，杀伤敌人。

以上各种火箭的记载，不仅说明了我国发明火箭最早，而且具有多种形式，充分体现了我国人民的高度和智慧和卓越的创造能力。

我国古代对于各种原动力的利用，表明了我国人民自古以来就具有良好的创造能力。不仅在机械结构方面巧夺天工，如张衡地动仪，水运仪象台的擒纵器，指南车的自动离合齿轮系，以及被中香炉的游动常平悬吊器 ，等等，都表现了卓越的技巧，并且能够卓有成效地利用人力和各种自然力，从而使我国古代科学技术在长达两千年之久的时间里经常走在世界的前列，使我们伟大祖国在国际上受到许多赞誉。

中国古代各种车辆、指南车和记里鼓车

自然科学史研究所 周世德

早在商代，我国车工已经能制造相当高级的两轮车，车轮有辐条，结构精致华美。周代已经采用油脂作为轴承润滑材料。春秋战国时期除了出现高架车辆巢车等新型车辆以外，还特别注意薄弱环节的加强，如车轮上出现夹辅等。

在汉魏时期，盛行独轮车。独轮车在当时是一种极经济而应用很广的交通运输工具，在交通运输史上是一项十分重要的发明。《三国演义》中所着力描述的“木牛流马”，据许多人研究，就是一种独轮车。同时也出现了四轮车。

南北朝时期出现驾十二条牛的大型牛车；又出现磨车，把石磨放在车上，行十里磨十斛。还有用石油做润滑材料的记载，以及装二十个轮子的车。五代时出现三轮车。明代为了运输建筑材料，曾经设计制造性能良好、山地和平原都能适用的八轮车。清代出现挂帆的独轮车和四轮铁甲车。

在车辆发展的过程当中，从机械结构方面来说，尤其重要的是指南车和记里鼓车的出现。

从三国时期开始，历代史书差不多都有记里鼓车和指南车的记载；但是比较简略。直到宋元时期，《宋史》才详细地记载了它们的内部齿轮构造。

指南车是一种双轮独辕车。车上立一个木人伸臂南指。只要一开始行车的时候木人的手臂向南指，此后不管车向东或向西转弯，由于齿轮系的作用，木人的手臂始终指向南方。在宋代，燕肃于宋神宗天圣五年(公元1027年)造指南车，后来又有吴德仁于宋徽宗大观元年(公元1107年)再造指南车。这里介绍的是指南车的基本原理。指南车上的轮和齿轮如下：

足轮二个，直径六尺，圆周十八尺；

小轮二个，直径三寸；

附足立子轮(齿轮)二个，直径二尺四寸，圆周七尺二寸，齿距三寸，齿数二十四个；

左右小平轮(齿轮)二个，直径一尺四寸，齿数十二个；

中心大平轮(齿轮)一个，直径四尺八寸，圆周十四尺四寸，齿距三寸，齿数四十八个。

所谓足轮就是车脚轮，是着地旋转的行走元件。小轮是滑车。附足立子轮是附在足轮上的齿轮。中心大平轮是平放在车箱当中的一个齿轮，这个大齿轮的轴向上伸出，轴上立一个木人。中心大平轮转多少度，轴上的木人同样也转多少度。左右小平轮是两个小齿轮，分装在中心大平轮的两边，起传动作用。当车一直向前行驶的时候，左右小平轮和中心大平轮是分离的，不相接触。因此两边足轮的转动不影响中心大平轮。当车辆向左转弯时，辕的前端向左移动，辕的后端就向右移动，辕后端的绳向右经过滑车，把右边的小平轮放落，和中心大平轮相接触。结果中心大平轮受右边车轮的影响向右转动，恰好能抵消车辆向左转弯的影响，使木人手臂所指的方向不变，仍旧指向南方。比如车向左转六十度，中心大平轮就向

回转，向右转六十度，使木人保持原来的方向，手臂仍指向南方。

指南车结构简单，能使木人的手臂始终指向南方，关键就在于中心大平轮和附足子轮或联或断的设计。这种设计体现了我国古代劳动人民和机械设计人员的高度智慧和创造能力。

关于记里鼓车的制造，《宋史·舆服志》也有两项记载：一是宋神宗天圣五年(公元 1027 年)卢道隆制记里鼓车；一是宋徽宗大观年间(公元 1107 年到 1110 年)吴德仁再造记里鼓车。

卢道隆记里鼓车的轮和齿轮如下：

足轮二个，直径六尺。圆周十八尺；

立轮(齿轮)一个，直径一尺三寸八分，圆周四尺一寸四分，齿距二寸三分，齿数十八个；

下平轮(齿轮)一个，直径四尺一寸四分，圆周十二尺四寸二分，齿距二寸三分，齿数五十四个；

旋风轮(齿轮)一个，齿距一寸二分，齿数三个；

中平轮(齿轮)一个，直径四尺，圆周十二尺，齿距一寸二分，齿数一百个；

小平轮、上平轮(都是齿轮)各一个，尺寸原文有讹误，齿数分别是十个和一百个。

记里鼓车的整个齿轮系是和车辆同行同止的。只要车轮一转动，整个齿轮系就随着转动。车轮一停下来，整个齿轮系也就随着停下来了。

足轮直径六尺，转一周车行十八尺。足轮转一百周，车行一百八十丈，恰合一里之数。足轮、下平轮、旋风轮和中平轮等四个齿轮的齿数分别是十八、五十四、三、一百。车行一里，

$$100 \times \frac{18}{54} \times \frac{3}{100} = 1 \text{周},$$

中平轮只转一周。在中平轮的轴上装上一个起凸轮作用的拨子，拨动木人的手臂，就可以使木人击鼓一次。也就是车行一里击鼓一次。如果再加上一个十齿的小平轮和一个一百齿的上平轮，每当车行十里的时候，上平轮才能转一周，它上面的拨子拨动另一个木人的手臂，使木人击镯一次。

指南车和记里鼓车都经王振铎氏复原制作模型，如前图所示。

记里鼓车本身具有一套减速齿轮系使运动变慢，最后一根轴在车行一里或十里的时候才转一周；而指南车的齿轮系虽然比较简单，但是它是能自动离合的齿轮系，技巧又超过了记里鼓车。总之，这两种车，根据记载，在我国封建社会前期、汉魏时期就已经出现，它体现了两千年前我国机械工程技术的高度水平，是我国古代技术的卓越成就。

水运仪象台

自然科学史研究所 周世德

在许多大型仪器设备当中，有一种仪器能用多种形式来表达天体时空的运行，人们叫它做“天文钟”。它是把动力机械和许多传动机械组合在一个整体里，利用几组齿轮系把机轮的运动变慢，使它经常保持恒定的速度，和天体运动一致。它既能表示天象，又能计时。后世的钟表就是从它

演变出来的。

我国宋代的“水运仪象台”就是这种天文钟的祖先；可以说是世界上最古老的天文钟，国际上对它给予高度的评价，认为“很可能是后来欧洲中世纪天文钟的直接祖先”。

宋哲宗元三年(公元1088年)，在苏颂的领导下，制成了水运仪象台，设在当时的汴京(今河南开封)。

苏颂所著《新仪象法要》相当详细地介绍了水运仪象台的构造，反映了当时科学技术的卓越成就。这部书还附有全图、分图、详图六十多幅，多是透视图或示意图。

水运仪象台的高度以宋木矩尺计算是三十五尺六寸五分，将近十二米，宽二十一尺。全台是一座正方形上狭下广收分的木构建筑，用木板作台壁，板面画飞鹤。台分三层，底层向南有两个门；靠北台壁设有木板长台，是操作场所，打水人运转水轮的地方。操作台前面有一组提水机械：由升水下轮、升水下壶、升水上轮、升水上壶、河车以及天河组成。转动河车把水由升水下轮(筒车)逐级提升灌入到天河(受水槽)中。在这组提水机械的东边，有一组“铜壶滴漏”式的装置：在一个木架上设两个方水槽，高的是天池，低的是平水壶。平水壶有泄水管，使平水壶经常保持一定的水位，平水壶下端的出水口就能保持恒定的流量。平水壶之西有一座直径十一尺的枢轮，它是全台机械结构的原动轮，由水力推动。那是一个由三十六个水斗和钩状铁拨子组成的水轮。枢轮顶部附设一组杠杆装置，相当于钟表里面的“擒纵器”(俗称“卡子”)。它和公元十七世纪欧洲的锚状擒纵器非常相似，具有基本上相同的作用。

枢轮下面设有退水壶，退水壶有水管和升水下壶相连。这样周而复始，水流循环一周，泄水槽就又成了水源了。

当枢轮水斗注满一斗的时候，它的重量使枢权失去平衡。这时格叉向下倾，枢权向上扬起。枢轮上的铁拨子拨开关舌，拉动了天衡，使天关向上开启。枢轮向下转动一斗，天关又随即下落。由于左右天锁的擒纵抵拒的作用，使枢轮只转动一个水斗。枢轮运转的速度是由漏壶的流量决定的，由格叉和枢衡等一套擒纵器加以控制。

枢轮通过几组齿轮使天文仪器和计时仪器分别按一定的速度转动。当时关于机械构造的记载相当粗疏和简略。在《新仪象法要》一书中，只给出天轮和拨牙机轮各具有六百个齿，其余齿轮的齿数都没有写明。

计时仪器的机械装置在原书叫“昼夜机轮”。它前面有木阁几层：第一层木阁是昼夜钟鼓轮。轮上有三个不等高的小木柱(起凸轮的作用)，可按时拨动三个木人的拨子，拉动木人手臂；一刻钟木人打鼓，时初摇铃，时正敲钟。第二层木阁是昼夜时初正轮，轮边有二十四個司辰木人，表示十二个时辰的时初、时正，相当于二十四时。这轮上的二十四個木人随着轮子转动按时在木阁门前出现。第三层木阁是报刻司辰轮，轮边有九十六个司辰木人，每一刻出现一人。第四层木阁是夜漏金钲轮，可以拉动木人按更击钲报更数，并且可以按季节进行调整来适应昼夜长短的变化。第五层木阁是夜漏司辰轮，轮边设三十八个司辰木人，木人位置可以按节气变动，从日入到日出按更筹排列。

台里在几层木阁的上面还设有浑象一座，浑象下部有木柜，上部在柜外，下部隐在柜中。浑象是一个球体，在球面布列天体星宿。浑象和昼夜

机轮轴相接，随机轴由东向西转动，和天体视运动一致，使得球面星宿位置和天象相合。

台顶有露台，设有浑仪一座。通过齿轮和枢轮轴相连，使浑仪也能随天球转动，就好像近代望远镜有转仪钟控制随天球转动一样。浑仪是观测天体运行的仪器。浑仪的第二重仪器中增设了“天运单环”，使浑仪能随水轮运转。这是一个创造性的设计。浑仪上覆盖的“板屋”有九块可以活动的屋面板，作用和今天天文台可以开启的球形台顶相同。

苏颂倡导和主持了水运仪象台的创造，具有相当重大的意义和不可磨灭的功绩。同时参加这一工作的还有太史局的周日严等人，特别是吏部的韩公廉在计算工作方面劳绩最著。还有一些年轻的生员袁惟几等，学生侯永和等，以及测验规景和刻漏等专门工作人员，说明这是许多人共同的创造。它既继承了汉、唐以来天文学上的成果，同时又有不少创新，特别是在计时仪器部分。因此，可以说，水运仪象台是公元十一世纪末我国杰出的天文仪器，而尤其重要的是，它是体现出当时我国机械工程技术水平的卓越成就。

十三 建筑

雄伟的万里长城

自然科学史研究所 张驭寰

万里长城雄踞于我国北部河山，它的走向由西向东，跨过黄土高原，沙漠地带，崇山峻岭，河谷溪流。它雄伟壮观，工程艰巨，是世界建筑奇迹之一。

万里长城的历史可以上溯到两千二百多年以前。最早修筑长城从战国时期就开始了。那时已经形成了一些大城市，例如秦国的咸阳、赵国的邯郸、燕国的下都、魏国的大梁等，北方的大平原成了北部游牧民族 猃狁(xiān yǎn)、林胡、楼烦、东胡、匈奴的统治者向南争夺的对象。同时，各诸侯国统治阶级集团之间的兼并战争也达到非常频繁的地步。起先，为了防止来自北方的突然袭击，各诸侯国在北部修建了长城。后来，各诸侯国之间也筑起了长城，进行自卫。保存到今天的有燕、赵、魏、齐各诸侯国长城的遗迹。燕国长城西起独石口(今河北赤城境内)，东到辽东，用它防御匈奴和东胡。赵国长城西起内蒙古临河，东到河北蔚县，主要防御林胡和楼烦。魏国长城北起黄河后套，直达陕西西北方，南边接华山，它的防御对象是匈奴和秦国。齐国长城西起山东境内黄河，沿泰山到诸城，主要防御吴国和楚国。

秦始皇灭六国，建立了中国历史上第一个中央集权封建制的大帝国。为了防范匈奴奴隶主贵族的侵袭，秦始皇把燕、赵、魏各诸侯国的长城连接起来，用三十万人力连续修了十多年，这项工程才初步完成。这就是历史上有名的万里长城。秦代的万里长城西起甘肃临洮(岷县)，沿着黄河到内蒙古临河，北达阴山，南到山西雁门关、代县、河北蔚县，接燕国北长城，经张家口东达燕山、玉田、锦州延到辽东。

以魏长城为例，可以看出战国时期长城的构造。陕西韩城南马陵庄附近遗留的魏长城，南北平行有两条，相距一百六十米。南长城基部宽七米，顶部宽四米，残存高度四米；北长城残存体型略小，城墙下部宽五米，顶部宽三米半，残存高度约三米左右。城墙全部用黄土夯筑。烽火台建在南长城的南面，距城墙约二百五十米左右，也全部用黄土筑成。平面呈方形，每边七米，总高度九米，台子做出收分。烽火台自地面四米半高的部位，每面露出方木三根，头端向外，这可能是防止坍塌的“木”。

秦代的长城，就甘肃临洮那一段来说，全部用黄土筑成。城墙下部宽四·二米，上部宽二·五米，残存高度三米左右。有的地段用黄粘土夹杂少量的碎石筑成，用夯头紧密捣固。夯窝比较小，可能用夯杵施工。

汉代万里长城从遗物的尺度和烽火台的体形看来，都远远超过前代，城墙和烽火台都保存到今天。汉代重修秦代所筑的万里长城外，还修筑“朔方长城”(今内蒙古境内鄂尔多斯高原一带)，大修“凉州西段”长城，建立河西四郡凉州(今武威)、甘州(今张掖)、肃州(今酒泉)和沙州(今敦煌)。当时用巨大的人力物力修筑“凉州西段”长城的主要目的，是为了保证河西走廊的畅通，维持对西域各少数民族的统治，同时又能切断匈奴和西域的交通联系。“凉州西段”长城在甘肃境内，北端自额济纳旗居延

海开始，向西南方向经过大方城到金塔是北长城；从金塔经破城子、桥弯城到安西是中长城；从安西经敦煌城北直达大方盘城、玉门关进入新疆是南长城。这三段长城是汉武帝时开始修筑的。《居延汉简》有“五里一燧，十里一墩，卅里一堡，百里一城”的记载，据现场调查，实际上三里左右就有一燧，几十里就有一城。

汉代长城和魏、秦长城构造不很相同。从敦煌西南玉门关的一段长城看，墙身下部宽三·五米，上部宽一·一米，墙身残存高四米。墙身筑法，自地面五十厘米开始，每隔十五厘米铺芦苇一层，做防碱夹层。芦苇摆法纵横相交，厚六厘米。芦苇至今保存完好。墙身夯土用当地的土，土中夹杂一些细小石子，全部用夯筑实。汉代长城的烽火台都建在长城边沿，有的建在长城外，也有的建在长城里，遗留到今天的数量很多，不下几百座，仅在甘肃金塔、额济纳旗就存留二百多座。烽火台平面呈正方形，每边十七米，高二十五米左右，四个壁面有明显的收分，有的用夯土筑成，有的用土坯砌筑，也有的用夯土和土坯合筑。土坯尺寸长三十八厘米，宽二十厘米，厚九厘米。土坯砌法，每隔三层土坯夹一层芦苇。目前各烽火台除四角被剥蚀外，其余都还完好。施工中采用芦苇，可使城墙坚固不易坍塌。从烽火台留下的洞眼来分析，城墙和烽火台施工时都采用“夹板脚手架”的施工方法。例如金塔一个烽火台的壁面上，保留洞眼两排，每排四个，第一排距地面高十四米，两排间的距离八十厘米，洞眼间距一米二，可见墙面土坯砌筑采用了“插杆单排脚手架”。在那千里荒无人烟的戈壁滩上，搭盖临时住所，解决食宿，运输材料，兴建巨大的工程，显然是非常艰巨的。特别是西北地区风沙漫天，气候变化无常，寒冷天气占一大半，可以想像施工时的艰苦状况。这更说明万里长城是古代劳动人民血汗的结晶。

今天我们在北京居庸关、八达岭等地所看到的雄伟的长城，是明代重新修筑的，前后经过一百多年才完成。

明代长城西起嘉峪关，东达山海关，总长六千三百五十公里(一万二千七百里)。当时分段进行防守。起初设立四大镇。辽东镇，设在辽宁辽阳，管辖范围南起凤凰城，西达山海关，共长九百七十五公里(一千九百五十里)。宣府镇，设在河北宣化，管辖范围东起居庸关，西达大同市，全长五百一十一·五公里(一千零二十三里)。这一段地处北京外围，为了加强防卫，筑造长城九重。大同镇，设在山西大同，管辖范围西起山西偏关，东到山西天镇，全长三百二十三·五公里(六百四十七里)。榆林镇，设在陕西榆林，管辖范围东起内蒙古清水河，西达宁夏盐池，全长八百八十五公里(一千七百七十里)。后来为了进一步加强防卫，又设立三镇。宁夏镇，设在宁夏银川，管辖范围东起宁夏盐池，西达甘肃靖远，全长一千公里(二千里)。甘肃镇，设在甘肃张掖，管辖范围东起兰州，西达嘉峪关，全长八百公里(一千六百里)。蓟州镇，设在河北蓟县(今属天津市)，管辖范围东起山海关，西达居庸关，长达六百公里(一千二百里)。蓟州镇的城墙非常坚固，靠近居庸关一带有长城三重，用意在保卫北京。此外偏关、宁武关、雁门关是外三关，居庸关、紫荆关、倒马关是内三关。

明代长城又分东西两大部分。山西以东是东半部。东半部长城都建在崇山峻岭间，随山势曲折延伸。城墙下部宽六米，墙顶宽五·四米。墙顶外部设立垛口，高二米；内部砌女墙，高一米。城墙总高八·七米。墙身每隔七十米左右设敌楼一座。敌楼建筑有两种：一种内部可以住人，进行

防御；另一种是实心体。墙上设有排水沟和吐水口。墙身内部每隔二百米建石阶磴道，上下城墙用。城墙全部用砖砌筑，内部夯土。当年施工时在集中点建窑烧砖，就近搬运。高山顶上用砖，采取人力运搬，很不容易，特别是八达岭和它以东长城的有些部位，用大石条砌筑，在地势不平的条件下施

崇山峻岭间的万里长城。

工，砌筑大型石条十八层，是相当困难的。山西以西的明代长城是西半部。西半部长城全部夯土筑成，墙面没有包砖。墙身下部宽四米，上部宽一·六米。墙顶设有敌墙，垛口高八十厘米。墙顶通道宽一·二米。城墙总高五·三米。城墙采用夯土版筑，每版长四米。烽火台建筑在长城两侧，独立建在高山上，也有和城墙接连的，平面呈方形，每面八米，总高十二米，四个墙面做出很大收分。长城所用的土，就地取材。夯筑采用“夹板脚手架”的施工方法，一版长的城墙用土量就要八十立方米，一个烽火台的用土量就得八百立方米。可见万里长城用土的数量有多么大！土的运输量又有多么大！施工时按队按工来计算。据嘉靖十九年(公元 1540 年)嘉峪关北墙出土的“第一工起石牌”记述，一工是一队，以六队作为一个施工单位，按段施工，前后用了一百多年。

明代长城的关城很多，都选择在地势险峻的重要部位。著名

明代长城的城墙和敌楼。

的关城有嘉峪关城、山海关城等。嘉峪关城是明代长城西端的起点，建在酒泉西三十五公里通往新疆的大道上。关城平面方形，城周六百六十米，东西两面有城门，门外各设子城一个。城墙高十二米。四角设有角楼。南北设敌楼。城门上建楼，有光化门城楼、柔远门城楼、嘉峪关城楼，威严耸立。关城的墙顶、女墙、垛口和马道都用砖砌，其他部分全是夯土墙。万里长城的起点从祁连山下经几百米和关城相联，形势极端险要，称为“天下第一雄关”。山海关是明代万里长城东端的终点，建在河北、辽宁两省的交界线上，西部是高山，东临大海，中间建立山海关城。长城自山上而下和关城相联，构成险要的关隘，成为通往东北三省的咽喉要道。山海关城平面方形，东西南北各开一个城门，仅东门外建立子城。四个城门都建有城楼。城高十二米，墙内用土夯实，外部包砖，非常坚固。登上城楼北望，万山丛叠；东览大海，气象万千。山海关自古以来就是军事重镇，号称“天下第一关”。

万里长城这座雄伟的军事工程，它凝聚了无数劳动人民的血汗和智慧。每当我们登上万里长城，都要为我们祖国的伟大创造而感到骄傲，感到自豪！

中国古桥成就

铁道部大桥工程局 唐寰澄

在中国九百六十万平方公里的土地上，有世界上著名的黄河、长江、珠江等大河。自涓涓细流到浩浩巨浸，蜿蜒曲折，奔流入海。全国河道密如蛛网，上面布满着大小、形形式式的桥梁。我国古代桥梁，和其他事物一样，有一个发生发展的过程。

陕西西安发掘出的公元五六千年前新石器时代村落遗址半坡村，在村居四周，有宽深各约五六米的围塍，要越过围塍出入村落，必然已有即使是很简陋的木桥。

中国古代的信史或诗歌中有很多关于“梁”的记载。这些梁，可能是架木而成，或是堤梁一类有少数架空的部分。比较早的大桥的记载是殷代首都殷(今河南安阳)附近跨漳水的“巨桥”(据《通典》在今河北曲周东北)。公元前1066年，周武王伐纣，攻克朝歌(今河南淇县)，命南公括“发巨桥之粟”(《史记·周本纪》，又见《吕氏春秋·慎大览》、《淮南子·主术训》)以救济贫民。《水经注》漳水条记：“迳巨桥邸阁西旧有大梁横水，故有‘巨桥’之称。”桥的建设应早于这一年代。

在这之前，大约在公元前1134年，周伯姬昌(就是后来的周文王)“亲迎于渭，造舟为梁”(《诗经·大雅·大明》)。这是说当时用船造过临时性的浮桥。

据《华阳国志》，秦代李冰任蜀守时(公元前256年到251年)，在四川益州(今成都)造了七座桥，其中一座名“笮桥”，据唐代宰相李吉甫(758-814)在《元和志》中解释道：西南地区凡称“笮”的地名便表示有藤索桥或竹索桥。铁索桥传说起自西汉初期(公元前200年左右)，据陕西褒城(今撤销并入勉县和汉中市)樊江桥明嘉靖八年(公元1529年)在桥头所树碑上的记载，是西汉大将樊哙(?-前189)在西汉元年(公元前206年)在褒城马道驿的寒溪上建起了这座铁索桥。

据史书记载，我国早在东汉末年已有砖石拱桥，魏王都邺(今河北临漳西南)有石梁桥，晋代洛阳有石拱桥。

从以上简单介绍，可知中国古代已经具备了各种桥式。桥梁的基本型式不外乎梁、拱、索、浮。而中国古代的桥梁建设者们，充分科学地利用当年仅有的竹、藤、木、石和人工冶炼的铸铁或锻铁等，发挥材料的特长，根据丰富的成败经验，因时、因地制宜地衍变出丰富多彩，美不胜收的桥梁。中国古桥的某些结构形式，已为近代桥梁所借鉴，并继续不断地在推陈出新，有力地影响着国内外桥梁建设。

木梁桥

木料容易得到，又容易加工，所以古代造桥以木居多。重要的木桥多半位于历代都城和经济、军事要冲的道路上。

木桥简单的是简支木梁桥。历史上规模宏大的木梁桥是秦代首都咸阳跨渭水的渭桥。汉代称中渭桥。据《三辅黄图》，秦始皇统一中国(公元前221年)之后，建都咸阳，引渭水贯都城，横桥南渡。桥共有六十八孔，

总长大约五百四十四米，是木梁石柱桥。桥面宽达一九·四米。每一桥墩估计并列十根石柱。很可能石柱是整根的，因为有柱重难于移运的记载。

东汉墓葬壁画汉代长安渭水桥。

汉代有包括中渭桥在内的三座渭桥。中渭桥是把秦代的渭桥重建并且移了位置。唐代记载，三桥都是木梁木柱。一直保留到近年西安地区诸水的古桥仍是木梁，只是采用了叠砌石轴成石柱的石轴柱桥。

1971 年内蒙古和林格尔县新店子发掘出一座东汉墓有“七女为父报仇”壁画，画上有汉代渭水桥，在桥墩上梁下都有短托木。这也许便是木伸臂梁的雏型。

木伸臂梁桥是借伸臂作用，用短梁造成的长跨桥。最早记录的伸臂梁桥在西北循化(今青海省循化撒拉族自治县)的古什群口。汉代，吐谷(yù)浑族人民在这一黄河峡口上造木伸臂梁桥。宋代，段国《沙州记》称：“……两岸累石作基陞，节节相次，大木纵横，更相镇压。两边俱平，

木伸臂梁。

相去三丈，并大材，以板横次之。施钩栏，甚严饰。”桥跨总长约三十六米，就是两边单向向河心伸大约十五米。至今甘肃、四川、西藏等省、自治区仍有不少木伸臂梁桥。

木伸臂梁从单向伸臂发展到平衡双向伸臂，也从山区峡谷走向平原河流，并造成多孔的伸臂木桥，如湖南醴陵渌江桥等。

渌江桥始建于宋理宗宝 年间(公元 1253 年到 1258 年)。到清代已屡经修缮。桥长约一百六十米，共七墩八孔。跨长不等，最大的约二十二米，伸臂各六米，中间悬孔长大约十米，桥宽三·八米。

木桥一般都有桥屋。一方面方便行旅避风雨日晒和休憩，另一方面使木料保持干燥，防止腐朽以延长寿命。中国有桥屋的木桥，保存记录竟达五百多年。至今浙江、广西、湖南等仍多“风雨桥”。桥上廊屋富于地方民族色彩，桥亭多到五六重檐，和它旁边的村寨建筑十分协调。

木拱桥

北宋名画家张择端所绘《清明上河图》画的是宋都汴京清明时

《清明上河图》宋代汴水虹桥。

节的风情画。画面高峰之处是一座非常别致的木拱桥。

根据历史记载，这一桥式创始于宋仁宗明道年间(公元 1032 年到 1033 年)青州(今山东青州市)的南洋桥，也叫万年桥。青州南洋河上，原来有桥，但“水与柱斗，率常坏桥，……会得牢城废卒，有智思，叠石固其岸，取巨木数十相贯，架为飞桥，无柱。”(王辟之：《渑水燕谈录·事志》)后来山西、河南到处造有飞桥。图上汴水上的桥称为虹桥。

宋室南迁，北方这类木拱桥或因战火，或因失于修缮，或因河道干涸，濒于失传。然而南方福建和浙江山区却出现了类似而又有改进的木拱结构。最早的是浙江泰顺横溪三条桥。桥上旧瓦有

浙江泰顺三条桥。(唐寰澄、叶法葆摄)

宋代“绍兴七年”(公元 1137 年)字样。现在的这座桥是清代道光二十三年(公元 1843 年)建的，距今也已有一百五十年之久。虹桥的结构模式和闽浙木拱的构造和结构模式如下页的图所示。

中国还有其他构造复杂精巧的木拱桥，在世界桥梁史中是西方桥梁所没有的。

(a)虹桥(b)浙、闽木拱木拱桥结构图。

石梁桥

文献中石梁的记录最早见于春秋时期，如宋景公(公元前 516 年到公元前 450 年在位)的吕梁便是其中之一。西安的古灞梁是新莽地皇三年(公元 22 年)改木梁为石梁的石梁石柱桥。石梁桥遍布全国各地。中国石梁桥建设最多、规模巨大的是福建省，特别是泉州市。泉州古有十座名桥，从南宋仁宗皇 五年(公元 1053 年)起 福建泉州洛阳桥。(采自《中国古建筑画册》)到元惠宗至正年间(公元 1341 年到 1368 年)陆续建成。其中现在是国家重点文物保护单位的安平桥，又名五里桥，以桥长五里而得“天下长桥无此长”的美名。现存桥长二千一百米。

诸石梁桥中最著名的是宋代状元、名书法家蔡襄所兴建的万安桥，又名洛阳桥。洛阳桥原是四十七孔，总长八百九十米，桥宽三·七米。泉州石桥都以方形截面长条石纵横叠砌成船形桥墩建在海底砂床上的抛石筏形，或大木纵横叠架的“睡木”基础上。石墩两侧，叠涩出檐，以搁石梁。洛阳桥还采用了种养并禁采牡蛎以固结桥墩石条和它下面抛石的巧妙方法。

建于宋理宗嘉熙元年(公元 1237 年)的福建漳州江东桥，当年桥共十五孔，总长大约四百九十四米，最大石梁长二三·七米，宽一·七米，高一·九米，重量达二百多吨。这样重的梁共有四十五根，它们的采运、安装，即使在今天，也是相当艰巨的工程。

石拱桥

中国石拱桥演进。

中国石拱桥的发展看来有它独特的道路。国外认为石拱或由于假拱(类似于中国的叠涩)演变而成。根据中国的墓葬结构，以及浙江一带仅存的折边拱桥，可以推论，中国石拱是由折边结构推演的结果。

石梁柱桥的石柱，演化成为倾斜的三折边。然后有五折边、七折边，最后成为圆拱。虽然还有其他的推论。但是这一假说很合逻辑，并且有实物可资证明。

在今宁夏乌兰布和沙漠发现汉武帝元朔二年(公元前 127 年)的墓葬，已有半圆形砖拱顶。甘肃武威雷台东汉墓葬却是椭圆形砖拱。前面说过，史书记载，东汉末年魏王都邺有石梁桥，晋代洛阳有石拱桥。现存的石拱桥实物最早建于隋代。

河北赵县安济桥，一称赵州桥。桥始建于隋文帝开皇十五年(公元 595 年)，完工于隋炀帝大业元年(公元 605 年)，距今已近一千四百年。桥净跨三七·二米，矢高七·二三米，宽九米。主拱是比较平坦的圆弧拱，以二十八道并列的拱券砌成。主拱以上，左右各叠砌两小拱，以减轻自重，宣泄洪水，是世界上最早的敞肩圆弧拱。桥上栏板望柱，刻有“龙兽之状，蟠绕踞，眈眈翕(眈(su)眈(x)，怒目而视的意思；翕(x)(x)，

呼吸吞吐的意思。河北赵县安济桥。(唐寰澄摄)——引者注),若飞若动”的石雕,可以称它作“龙桥”。现在赵州桥已经被列为世界文化遗产,予以特别保护。

类似于赵州桥的敞肩圆弧拱古桥,中国在河南、山西、河北各省还有多处。河南的小商桥可能年代比赵州桥还早,但未经最后考古证实。

中国的石拱桥,北方多数桥面是平坡(或微坡),以适应以车马为主的道路运输。除敞肩拱外,拱背多是实腹,厚拱券。拱券石厚是桥跨的六分之一到二十五分之一。南方比较多的是驼峰拱,以适应水上船只运输为主,薄拱券,薄桥墩。拱券石厚小于跨径的二十五分之一。一般从二十八分之一到五十分之一。最薄拱券是江苏苏州觅渡桥,净跨二十米,矢高八·二米,拱券石厚·三米,合净跨的六六·七分之一。觅渡桥始建于元成宗大德二年(公元1298年),历代重修,现仍屹立于河上。

长石拱桥一般建成联拱。为了抵御流水漂木、流冰等的撞击,山区河流上的石拱桥多半用厚墩,如果一个桥墩被冲垮,只影响左北京卢沟桥。(唐寰澄摄)右两孔而不影响别的孔。中国北方厚墩联拱桥著名的是北京卢沟桥。桥跨永定河,始建于金世宗大定二十八年(公元1188年),完工于金章宗明昌三年(公元1192年)。桥全长二一二·二米,共十一孔,净跨不等,从一一·四米到一三·四五米。墩宽从六·五米到七·九米。桥墩插木为基,以柏木桩“乘湿带皮用之”。墩迎水面有分水尖,尖端镶有三角形铸铁柱用以破冰;背水面是方形。桥梁宽九·三米,两旁栏杆望柱头上,历代刻有装饰性的石狮子,子母抱负,形态各异,数都数不清,极统一变化的能事,可以叫它做“狮桥”。

南方单孔石拱桥,两侧踏阶上桥,形成驼峰拱,这适合南方水网地区的船只可以在桥下通过。同时因为南方软土地基,要尽量减少石拱的重量,驼峰拱使拱上的重量达到最低的限度,它的衡载压力线接近于半圆拱轴线。它的设计计算理论和国内外习用的不同。

多孔薄墩薄拱联拱桥最长的是江苏吴江垂虹桥。宋仁宗庆历江苏苏州宝带桥。(唐寰澄摄)八年(公元1048年),这桥是木桥。元泰定帝泰定二年(公元1325年)改建成六十二孔的石拱桥。元惠宗至正十二年(公元1352年)又增加到八十五孔,中间有两个驼峰以通航运。解放后还有七十二孔,桥长四百多米,在南方称长桥。本世纪六十年代,这座桥崩塌了。

江苏苏州的宝带桥始建于唐代,历代曾经多次重修。桥共五十三孔,中间有三孔隆起,以通船只。桥全长三一六·八米,桥宽四·一米,因略短于垂虹桥,所以又称小长桥。

索 桥

我国四川、云南、西藏等省、自治区,常用抗拉比较好的材料如藤、竹、皮绳等绞成拉索,或锻铁成链,建造索桥。云南凡用“笮”作地名和水名的必有索桥。而四川茂州(今茂县),古称绳州,因那里的峡谷之中“以绳为桥”(据《寰宇记》)。徐霞客称拱桥“拱而中高”,索桥“中悬及下”,这是物理性能不同的形象表现。

中国古代索桥形式很多,基本上有六种类型:单索溜筒桥,双索双向溜筒桥,上下双索步道桥,V形截面双索或三索步道桥,并列多索步马桥,

多索网状桥。

溜筒桥是把人和货物(甚至牛马)悬在索上,溜放过江,构造相当简单。现在民间在峡谷两边的村落之间仍多随处架设这种溜索过河。

V形桥吊索成斜面,两侧吊索会合向内共同吊中部的步道木板或布道索,是一个典型的空问结构,开近代斜面吊索管道桥的先声。

并列多索桥,索上横铺木板,可走人马,两侧还有保证安全的栏杆索。

明代曹学《蜀中广记》说:“绳桥之法,先立木于水中为桥柱,架梁于上,以竹为。乃密布竹于梁,系于两岸。……夹岸以大木为机,绳缓则转收之。”这是调整几条竹索到同一水平并且用来纠正松弛的好办法。铁索桥却不用大木转机,而是用铁楔打入环扣之间以调整索长和它的垂度。

四川灌县珠浦桥建造年代很早。宋太宗淳化元年(公元990年)的记载是“为石笼、木栅、竹绳,而属绳于栅,植于笼,跨江而桥”。这是一座多孔连续并列多索的竹索桥。因历代改弦更张,所以桥址有所移动,桥跨和桥长也有变化。当年最长的时候是三百三十米,最大跨长六十一米,木架八,石墩一。因竹索易朽,已经改成钢丝绳,但是尽量维持古桥的外形。

四川泸定大渡河铁索桥是现存古代铁索桥中制作最精良的一座。桥始建于清代康熙四十四年(公元1705年),次年完成。桥净跨约一三米,每根铁链长约一二七米,桥宽二·八米。共九根底链,上横铺木板,纵铺走道板。两侧各有两根栏杆铁链。两岸石砌四川泸定桥。桥台,锚定铁链,上有美丽的桥屋。所有建筑、石台、铁链等,制作精良。当年还在左岸铸铁犀一头,右岸铸铁蜈蚣一条,目的是用来镇压“水妖”。桥位于川藏要道,当年红军抢占泸定桥,桥已成为重要的历史文物。

多索网桥用藤圈作间隔,用多索围绕,高悬两崖之间。人走在网中,极其安全。

中国的古代索桥单跨长可达一百三十多米,创始年代久远,还正继续推陈出新,开拓新的悬索桥领域。

浮桥

凡是浮体都可以作浮桥。连接诸浮体成桥,称“桥航”(见《水经注》浙江条)。作浮桥的浮体有竹筏或木筏、皮筏、罌(小口大肚的瓶子)或木船等,以木船最常用。

有的浮桥的木船是挂在锚着于两岸的竹索或铁索上的,桥会随水流而弯曲,所以叫曲浮桥。曲浮桥一似平放着的悬索桥。

有的浮桥的木船每只单独抛锚锚着于河底,桥就非常顺直,这是直浮桥。

曲浮桥受索长和索力的限制,但不受河床面冲淤变化的影响,所以桥长虽有一定限度,但是任何河道都可以架设。在黄河上,古代便有很多有名的曲浮桥,有的单孔,有的借河中的沙洲,起架两座曲浮桥。最古和最著名的是山西永济蒲津浮桥。春秋时期鲁昭公元年(公元前541年),在夏阳津地方的黄河上,曾因秦公子带着“车重千乘”的队伍投奔晋国,建造了一座大浮桥,这还是一次性的临时桥。秦昭襄王五十年(公元前257年)正式造竹索木船的蒲津浮桥。到唐玄宗开元十二年(公元724年),决

定“以铁代竹”，两岸各铸四个各重几万斤的铁牛以锚住铁链，每牛有一铁人作驱策的样子。明穆宗隆庆年间(公元 1567 年到 1572 年)，西边一组铁牛因黄河改道沉入河底而不能成桥。东边一组铁牛于清末民初也淤埋而不见。1989 年，经探测开挖出土。这一文物已有一千二百

山西永济蒲津浮桥唐代铁牛铁人。(唐寰澄摄)

多年的历史，当年曾锚定大约三百六十米桥跨的浮桥，实在可说是世界的艺术和技术的奇迹。

中国古代桥梁在技术和艺术上的成就实在是令人神往的。

世界历史名城——唐代的长安城

考古研究所 马得志

唐代都城长安，以它的宏大的规模、严谨的规划著称于世。在公元七到九世纪的三百年间，长安曾经是一个世界性的贸易、文化中心，对于促进古文化的交流和发展，作出过一定的贡献。

唐长安城的前身——隋大兴城

长安城位于关中平原，在今西安市的市区所在地，北临渭水，西有沣河，东依灞、二水，南对终南山，气候温和，物产丰富，山明水秀，风景宜人，是古代中国经济区的重心。秦代统一六国建立第一个统一的封建制国家，都城咸阳就设在关中平原的渭水北岸。西汉的都城长安，却在渭水南岸。隋代重新统一中国后，在西汉长安东南营建新都。隋文帝杨坚（541 - 604）命令当时著名的建筑家宇文恺（555 - 612）负责规划设计和督造，于开皇二年（公元582年）六月开始兴建，第二年三月就迁入新都宫城，定名大兴城。大兴城的面积达八十四平方公里，大约是现在西安城（明清时所建）的七倍多，规模之大是前所未有的。唐建国后，仍建都在这里，改名长安城。唐代对长安城的规划布局没有大的变动，仅有局部修建和扩充。唐代经济文化的繁荣，以及对外贸易往来之频繁，比隋代大有发展，长安也随着成为当时世界上最大最繁荣的国际城市。这样一座规模宏大的城市的规划建设和管理，从唐代开始直到今天，曾引起许多中外学者的极大注意，并作了大量的研究工作。

新中国建立后，从五十年代开始，就有计划有步骤地对长安城遗址进行勘查和发掘。现在已把当年长安城的形制和布局基本上勘测清楚，给对长安城的进一步研究提供了基础。

宫城和皇城

长安城的建设程序，是先建“宫城”和“皇城”，后建“外郭城”。

宫城是皇帝居住的地方，位置在长安城中央的最北边。经过实测，宫城东西广二千八百二十米，南北长一千四百九十二米，周长八·六公里多。据记载，当时宫城的城墙高三丈五尺。宫城里有墙分隔成中、西、东三部分。西部名“掖庭宫”，是安置宫女学习技艺的地方。东部是“东宫”，专供太子居住和办理政务。中部隋时称“大兴宫”，唐代改名“太极宫”，又称“西内”或“大内”，是皇帝起居、办公和朝见群臣的主要宫廷。太极宫里的正殿名太极殿，北有两仪殿、甘露殿等，此外还有殿台楼阁几十所。宫城南边正门承天门，南对皇城的朱雀门，以及外郭城的明德门。宫城北有玄武门（西）和安礼门（东）通禁苑。历史上著名的“玄武门之变”就是在宫城北门（西）发生的。

隋时宫殿建筑只这一处，到唐代又另外扩建了大明宫（东内）和兴庆宫（南内）两处宫殿群，总称“三内”。

长安城内地势不平，有东西向的六条丘陵岗地，俗称“六坡”。宫城

所处的地方地势比较低而潮湿，因此唐太宗李世民(599 - 649)于贞观八年(公元 634 年)在宫城东北隅龙首原上兴建永安宫，给他的父亲李渊(566 - 635)居住。次年改名大明宫。龙朔二年(公元 662 年)唐高宗李治(628 - 683)又大加改建，规模比太极宫还大。自李治以后，历代皇帝常居大明宫(又称东内)听政。大明宫正殿名含元殿，国家大典多在这殿举行。含元殿北有宣政殿、紫宸殿，常朝在这里听政。此外，有延英殿、麟德殿等三十多所。其中麟德殿规模宏大，宫内宴会百官和接见使节等就在这殿。从发掘的遗址来看，它可算得上是唐代宫殿建筑的代表作。

兴庆宫也称南内，原是玄宗李隆基(685 - 762)做晋王的时候在兴庆坊的旧居。李隆基即位后，开元二年(公元 714 年)置为宫，开元十四年(公元 726 年)扩建兴庆宫置朝堂，开元十六年(公元 728 年)竣工，此后玄宗基本上就在这里起居、听政。

皇城也称子城，建在宫城的南面，是中央官署区。东西广和宫城相等，也是二千八百二十米，南北长一千八百四十三米，周长九公里多。南面三门，正中是朱雀门，东是安上门，西是含光门。东面二门，北是延喜门，南是景风门。西面二门，北是安福门，南是顺义门。皇城里南北向的街五条，东西向的街七条，其中最北的一条东西街，界于宫城和皇城之间，叫做横街。文献记载横街宽三百步，合四百四十一米，经实际勘测，现仅残存二百二十米，它是长安城里一条最宽广的大街，实际上是当时承天门前行重大庆典的一个广场。

隋大兴城的规划，把宫城皇城集中一处，布置在中轴线的北端。这无疑比过去宫廷杂处于坊里之间的都城规划分区明确，更能满足统治者防卫的需要。宫殿官府集中于城市中轴线上，也为了显示封建帝王至高无上的绝对权威。

“百千家似围棋局，十二街如种菜畦”

外郭城也名“罗城”。它围在宫城和皇城的东、西、南三面。城的形制非常规正，东西较长，南北略窄，平面呈长方形。经实测得知，外郭城东西广九千七百二十一米，南北长八千六百五十一米，

唐代长安城复原图。

周长达三六·七公里多。城墙高一丈八尺(合六米)。外郭城共十二座城门，每面开三门。北面中部因被宫城所占，而把北面三门开在宫城以西的位置上。南面正门明德门，东是启夏门，西是安化门；西面三门中是金光门，北是开远门，南是延平门；东面三门中是春明门，北是通化门，南是延兴门；北面三门中是景耀门，西是光化门，东是芳林门。其中南面明德门，因处于中轴线上，比其他各门的规模都大，其他各门都是三个门洞，而明德门是五个门洞，门楼五观，也更为壮观。出入城门规定“入由左，出由右”，街道按右侧通行分上下道。城里共有南北向大街十一条，东西向大街十四条。其中南北向的中间一条大街，南起明德门，向北穿过皇城的朱雀门直到宫城的承天门，是有名的“朱雀街”；又因北端起于承天门，所以也叫作“天街”。朱雀街宽达一百五十米，是贯通京城南北的一条中轴主干道。通其他各城门的大街，实测宽度都在百米以上，而沿城墙的各顺城街最窄也都在二十五米左右。

各大街的两侧都有排水沟,以发掘的朱雀街的排水沟为例,沟宽三·三米,深达二·一米。这些纵横的水沟解决了长安城的排水问题。由于沟宽,而且是明沟,因此在交叉路口处都架有桥。这些大街的两侧和排水沟边都种植树木。这些行道树以榆、槐为主,株行距整齐划一,纵横成行,保养及时,如有树缺,就予以补植。这些宽广笔直的林荫大道为长安城的壮丽景色增添了异采。

长安城里笔直的南北十一条街和东西十四条街纵横交错,形成了方格网的布局。各街之间所形成的方格是里坊(隋称“里”,唐称“坊”)。唐时共有一百一十个坊,两个市(共占四坊)。由于城东南隅一坊划入曲江池,实际只有一百零九坊(文献多称一百零八坊,误以为有二坊划入曲江池)。各坊都筑有坊墙,残存的墙基宽二·五到三米左右,据此推测,坊墙高应在三米左右。皇城以南的三十六坊比较小,只开东西二门,坊里有东西大街一条。皇城两侧的各坊都是四面开门,里面有十字大街。各坊除有一条大街或十字大街之外,还有规划整齐的纵横曲、巷和沿坊墙的顺墙街道。这些里坊,除一般市民的住宅之外,还有不少官僚府第和寺庙,它们往往占据距离宫廷、官署和市场比较近的繁华区或风景优美的区域。

唐代统治阶级极其重视宗教的麻痹作用,唐长安城里宗教建筑很多,几乎每个坊里都有佛寺或道观,有的一坊之内就有三四座寺观。另外还有波斯寺、胡袄祠,是中亚、阿拉伯各国的僧侣、商人到长安后修建的。长安城的寺观规模都很庞大,建筑宏丽,如朱雀街两侧靖善坊的兴善寺和崇业坊的玄都观,都是著名的大寺观,也是长安城里两处游览胜地。传播密宗的青龙寺,建筑在东城延兴门里新昌坊,寺址地势高爽,风景优美。日本高僧空海、圆仁等就在这寺学法,回国后传播到日本,号称“东密之宗”。各寺大都建有佛塔,如现存的慈恩寺大雁塔和荐福寺小雁塔,至今仍是西安市的游览名胜。

各坊中还有不少的小商业店铺,如饮食业、旅馆、酒肆等以及各种手工业作坊。如靖恭坊有一条胡同名叫“毡曲”,就是造毡作坊的集中地。各坊都各自成为独立的居民区,俨如一座座的小城市。长安城就是由宽广笔直的林荫大道所界划出的这样一百多个排列整齐的小城市所组成的。当时的诗人白居易曾有“百千家似围棋局,十二街如种菜畦”的诗句,生动地描绘了长安城里的这种布局。

长安城的商业区主要在东、西两市,就是隋代的“都会市”(东市)和“利人市”(西市)。它们分别在皇城的东南和西南,位置东西对称。东市经营的行业有二百二十种,四方珍奇宝货多集聚在这里。日本僧人圆仁在他的《入唐求法巡礼行记》中记载了东市失火的情形,“夜三更东市失火,烧东市曹门以西二十四行,四千余家。”由此可见市里店铺的稠密程度。西市据文献记载,有“大衣行”、“绢行”、“秤行”、“麸行”、“饔饩行”等各种行业,商业比东市更加繁荣,西域胡商多在西市。两市都设有官署——“市署”、“平准局”,负责管理集市交易。

市场里由四条街的“井”字交叉,把整个市场界成九个长方形的区域,店铺按行业分片临街布置。在每方之内还有一米左右的小巷道,有的在巷道下面还有砖砌的排水暗沟,通向大街两侧的明沟。由于商业大都集中在东、西两市,它不仅是当时长安城的经济活动中心,而且也成了市民消遣游玩的场所。

长安城的手工业也非常发达，除官设的各种手工业作坊外，还有许多分散在各坊里的个体手工业作坊。因此，当时长安城已经有了相当数量的手工业工人。近年来在长安城出土了大批珍贵文物，尤其在宫殿区和官僚住宅遗址中发现了大批金银器皿，它不仅反映当时统治阶级所过的剥削、奢侈的寄生生活，而且也反映了当时手工业的发达和手工业工人们伟大的创造和智慧。

烟水明媚的曲江池

长安城东南隅地势变化比较大，林木茂盛，低洼处形成水面，风景幽美，秦汉时期就成为有名的风景区，为统治阶级所占有，秦代称“宜春苑”，汉代称“乐游苑”，隋代称“芙蓉园”。水面因为弯曲而称“曲江”。唐代因袭隋的旧称。考古实测芙蓉园遗址南北长约二千米，东西约一千四百多米，周长约七公里。曲江在唐代又经疏浚，水面范围据勘探南北约一千三百六十米，东西约五百多米，周长将近四公里。康骅《剧谈录》记载唐代曲江池的风景说：“开元中疏凿为妙境，花卉周环，烟水明媚，都人游赏盛于中和节。江侧菰蒲葱翠，柳荫四合，碧波红蕖，湛然可爱。”此外，在曲江池四面建有楼亭行宫等多处，所以杜甫(712 - 770)的《哀江头》中有“江头宫殿锁千门”的诗句。当时，唐代皇帝为了游乐，专从大明宫沿外郭城东墙修筑夹城作通道，以便往来于兴庆宫和芙蓉园。

曲江池水向西北流入晋昌坊慈恩寺和寺南的“杏园”，这两处也是长安城里的游览胜地。

长安水系

除曲江池之外，为解决长安城的给排水(居民饮用水主要靠水井，城市雨水排泄靠沟渠)和航运交通问题，同时便于绿化和改善小气候，当时修建了几条渠道引水入城。在南城开凿了永安渠和清明渠。永安渠引交水北流入城，经西市的东侧又北流出城入苑，再北流注入渭河。渠的两岸都种植茂密的柳树，王建(约 767 - 约 830)《早春五门西望》诗句：“宫松叶叶墙头出，渠柳条条水面齐，就描写了宫城里的松树和永安渠两侧植柳的情况。清明渠在永安渠之东，引水北流经安化门西侧入城，向北引入皇城，再入宫城里注为三海(“南海”、“西海”、“北海”，都在太极宫西部)。

在城东修龙首渠，引河的水入城。龙首渠分两支，一支由东城春明门北流入城，向西入兴庆宫注为“龙池”，再西流入皇城，然后向北流入太极宫注为“山水池”，再北流注为“东海”。另一支于东城外北流，经城东北隅，折而西流入大明宫东内苑注为“龙首池”，然后又出而西流，经大明宫丹凤门里向西出大明宫而入西内苑，到光化门东汇合永安渠，北流入渭河。这些水渠的开凿和引用，大都是为美化统治者的宫廷而设计的。同时由于渠水的便利，当时不少官僚贵族以及商贾之家都引各渠的水入第，建造私家的山池院。因此，长安城出现了不少著名的私家园林，成为官僚以及文人骚客们饮宴兴会之所。以上三渠都是隋代筑城之后开凿的。唐代于天宝元年(公元 742 年)又在城西分水修筑了一条“漕渠”，

自金光门北入城到西市的东街注为潭。这条漕渠专为运南山的薪炭、木材等到西市东街的潭，供长安城的需要。

一座军事管制的城堡

唐代首都长安城，是当时全国政治、经济和文化的中心，城市人口大约一百万左右。除居民以外，有来自全国各地的官吏，游学的文人，做买卖的商贾等；此外，还有邻近各国如日本、朝鲜和中亚、阿拉伯国家的商旅和友好使节。这些流动人口最多的时候不下几万人。另外还有留居中国的侨民也近万人，其中很多人和汉人结婚，并在朝廷供职。

对于这样一个人口结构复杂的国际城市，特别是作为封建帝国的都城，它有一套严格的管理制度。反映在城市规划上的这些里坊，正是军事管制的基本单位。管理长安城的最高机关是“京兆府”，设“京兆尹”一人，“少尹”二人，掌管行政和军事。下设长安、万年二县，朱雀街以东五十四坊和东市属万年县管辖，朱雀街以西五十五坊和西市属长安县管辖。各坊设“里司”（也称“里正”）一人。宫城、皇城附近驻有大量军队，多时曾达十万多人，全城戒备森严。各城门和里坊间都设“武侯铺”驻兵把守，有“城门郎”掌管京城、皇城和宫城各城门的开闭，并设有“门仆”八百人轮番值班。各城门和各坊、市门的开闭也有严格的制度。在直通各城的六条主干大街设有街鼓，黎明时擂鼓后城门、坊门才开，开时先外而后内。日暮时擂鼓后关闭各门，闭时先内而后外。每到日暮鸣鼓之后，街上行人必须回到坊里，关闭坊门。夜有“街使”巡行查夜，各“武侯铺”的兵士都巡警监视，违禁犯夜的必严惩，有的甚至当场被杖杀。所以有“六街鼓绝行人歇，九衢茫茫空有月”的诗句来形容长安城宵禁的情景。每年只有正月十五到十七日三天开禁，各坊市的门可以大开，街上张灯结彩，人们可以在街上通宵游览观赏。

长安城的繁荣和覆亡

唐代都城长安的规划和建设，基本上是在我国历史上又一次大统一的重大变革时期——隋代完成的。

隋大兴城的规模，是古代世界第一。它不是自然形成而是一次规划按期完成的；不是盲目扩建而有周密的计划。要建设这样一座城市，需要考虑地形、水源、绿化、交通、军事防御、城市管理、城市经济文化生活等方面许多复杂因素。从当时历史条件看来，这个规划比较能预见一个统一的封建国家都城所面临的各种问题，给予比较成功的安排。这种计划性的周密程度，当然被看作是一个民族的科学文化发展的重要标志，是社会文明程度的一种标志。隋代大兴城的高度规划水平，当然不是凭空想像出来的，而是在这之前一千多年来中国社会发展在城市建设方面经验积累借鉴的结果，特别是对东汉洛阳、曹魏邺城、北魏洛阳的经验借鉴的结果，是中国古代劳动人民血汗和智慧的结晶。

隋大兴 - 唐长安所采取的宫城、皇城和坊市分隔、实行夜禁的城市制度和坊里制度的形式，是出于统治阶级控制和防卫的要求，是以满足统治阶级利益为前提的。它的布局形式本身，就表明了城市的阶级性质，反映

了封建社会里阶级矛盾的对立和斗争。

唐长安城建筑壮观，街衢整齐，道路宽广砥直，绿树成行，渠水周流，人烟稠密，百货骈阗。经济文化的繁盛堪称楷模，引起邻国的向慕和仿效。它发达的手工业和商业经济孕育着新的城市生活面貌。它是中国古代城市制度的分水岭，是坊里制城市最高也是最后的典型。

隋大兴 - 唐长安人口集中，供给仰给于漕运，而不再是仅靠关中渭水盆地所能负担。隋唐两代之所以在漕运比较便利的洛阳设立东都，而唐代以后的宋代终于放弃长安，而把全国经济政治中心东移到南北运河和黄河交会地区的汴梁，经济和运输是主要原因之一。这个结局是大兴城的规划者始料所未及的。此外，隋大兴城失之过于空阔，大而无当；唐代三百年，城南一带，所谓“围外”，始终荒凉少居民。这些，又反映了当时认识的局限性和城市规划的形式主义的一面。

唐代长安的繁荣，孕育着唐代长安的覆亡。“朱门酒肉臭，路有冻死骨”，杜甫的诗句深刻揭露了唐代长安繁华表象下的残酷现实。黄巢起义所代表的农民革命战争，震撼了唐王朝的统治基础；唐代长安由此衰落，最后到公元十世纪初在军阀混战中毁灭。然而，这个伟大的古代城市所残留的遗物，永远是中国古代劳动人民留给我们的珍贵文化遗产。

辉煌灿烂的故宫建筑

故宫博物院 单士元

在我国首都北京，有一座辉煌壮丽的古建筑群，它原是历史上最后两个王朝明代和清代的皇宫，现在叫它“故宫”。它始建于明代永乐四年(公元1406年)。全部宫殿和庭院共占地七十二万多平方米，合一千零八十七市亩。当时劳动人民在继承和发扬传统建筑技术和艺术成就的基础上，创建了这座集中体现中国建筑优秀传统和独特风格的建筑群。从总的布局来说，分前后两大部分，俗称外朝和内廷。前部主要宫殿，以太和、中和、保和三大殿为中心，以文华殿、武英殿为两翼，这部分宫殿是封建皇帝行使专制政权的主要场所。后部以乾清宫、坤宁宫和东西六宫组成，是封建皇帝和后妃居住的区域，在清代也作皇帝进行日常统治活动的地方。前后两部宫殿，按中国建筑以四根柱子当中的空间为一间计算，全部宫殿共约九千多间。宫殿群的外围，用十米高的紫禁城和五十二米宽的护城河环绕起来。

整个故宫，在建筑布置上，用形体变化、高低起伏的手法，组合成一个整体。在功能上符合封建社会的等级制度。而左右均衡和形体变化的艺术效果，像是一幅千门万户的绘画长卷。紫禁城的正门叫“午门”，在十米高的城墙墩台上，有一组建筑。正中是九间面宽的大殿，在左右伸出两阙城墙上，建有联檐通脊的楼阁，四隅各有高大的角亭，辅翼着正殿。这组城上的建筑，形势巍峨壮丽，是故宫宫殿群中第一高峰。在午门以内，有广阔的大庭院，当中有弧形的内金水河横亘东西，北面就是外朝宫殿大门——太和门，左右各有朝房廊庑。金水河上有五座桥梁，装有白色汉白玉栏杆，随河宛转，形似玉带，这种布局，给人以极大的吸引力。登上太和门，在三万多平方米开阔的庭院中，一座大殿堂——太和殿出现在眼前。太和殿和中和殿、保和殿前后排列在一个八米高的工字形基台上，太和在前，中和居中，保和在后。这就是外朝的三大殿。基台三层重叠，每层周围都用汉白玉雕刻的各种构件垒砌，造型优美。下层基台最大，通过龙墀走道上达中层，再通过中层龙墀到达上层台面。三台当中有三层石雕“御路”，每层台上边缘都装饰有汉白玉雕刻的栏板、望柱和龙头。在两万五千平方米的台面上有透雕栏板一千四百十四块，雕刻云龙翔凤的望柱一千四百六十个，龙头一千一百三十八个。用这样多的汉白玉装饰的三台，造型玲珑秀丽，重叠起伏，像是白玉砌的山峦。这是我国建筑上具有独特风格的装饰艺术。而这种装饰在结构功能上，又是两万五千平方米台面的排水管道。在栏板地袱石下，刻有小洞口；在望柱下伸出的龙头唇间，也刻出小洞口。每到雨季，三台雨水逐层由各小洞口下泄，水由龙头流出，大雨如白练，小雨如冰柱，千龙喷水，蔚为壮观。这是科学而又艺术的设计。

太和殿高三十五米，用七十二根大木柱支承梁架构成四大坡的屋面。我国古代建筑屋面呈现坡度，这跟建筑技术有关。这种构架习惯上称抬梁式。先在柱础上立木柱，在柱上架大梁，又在梁上立小矮柱(瓜柱)，然后再架上一层比较短的梁。自大梁而上可以通过小柱重叠几层梁，逐层加高，而每层的梁却逐层缩短。在最上层立脊瓜柱，在两组构架之间，横

搭檀枋。在檩上铺木椽，椽上铺木板(望板)，板上苫灰背瓦。由于梁架逐层加高，而小梁逐层缩短，就构成具有坡度的屋面。太和殿的四大坡顶就是这样构成的。

太和殿殿座南北纵深三七·二米，东西横广六三·九六米。由南北纵深计算，木柱是六根为一组；东西横阔计算，是十二根为一组。殿内支承梁架的柱子名金柱，高一四·四米，柱径一·六米，都是整块巨材。以每四柱的空间作为一间计算，太和殿是由五十五间组成的大殿堂。殿里的“天花”、“藻井”，殿外檐下的“斗”，都加彩绘，富丽堂皇。“斗”是我国建筑中的一种特殊构件。斗的形状像一个小方木斗；弓形又像船形的木块叫做。斗在下面，安放在斗的上面槽里，总称斗。这种构件，装在柱头上的叫柱头科，分组装在外檐两柱之间额枋上的平板枋(又名坐斗枋)上的叫平身科，装在角柱上的叫角科。像太和殿这样出檐深远的大殿堂，各组斗可以重叠挑出多层，术语叫做几。檐下斗，在建筑上具有两重作用：主要在结构上起到支撑作用，支托屋檐重量通过斗过渡到立柱上；另外，由于在檐下重叠挑出，并加彩绘，远望如重峦叠翠，具有装饰作用。

太和殿是故宫中最大的木结构建筑，它是封建皇帝向全国发布号令和举行大典礼的场所，建筑形体要求庄严雄伟，富丽堂皇。这个建筑是达到了所要求的效果的。

中国建筑的屋顶形式是丰富多彩的，在故宫建筑中，不同形式的屋顶就有十种以上。以三大殿为例，屋顶各不相同。太和殿是五脊四坡大殿，从东到西有一条长脊，前后各有斜行垂脊两条，这样就构成五脊四坡的屋面，建筑术语上叫庑殿式。大约从十四世纪明代起，垂檐庑殿是封建王朝宫殿等级最高的形式。太和殿就是这种造型的大殿。中和殿高二十七米，是屋顶有四条垂脊的亭子形的方殿。四脊顶端聚成尖状，上安铜胎鎏金球形的宝顶，建筑术语上叫四角攒尖式。保和殿高二十九米，是屋顶有九条脊的殿堂。屋顶正中有一条正脊，前后各有二条垂脊，在各条垂脊下部再斜出一条岔脊，连同正脊、垂脊、岔脊共九条，建筑术语上叫歇山式。这三座大殿是故宫中的主要建筑，它们高矮造型不同，屋顶形式也不同，显得丰富多样而不呆板。

故宫建筑屋顶满铺各色琉璃瓦件。主要殿座以黄色为主。绿色用于皇子居住区的建筑。其他蓝、紫、黑、翠以及孔雀绿、宝石蓝等五色缤纷的琉璃，多用在花园或琉璃壁上。太和殿屋顶当中正脊的两端各有琉璃吻兽，稳重有力地吞住大脊。吻兽造型优美，是构件又是装饰物。一部分瓦件塑造出龙凤、狮子、海马等立体动物形象，象征吉祥和威严，这些构件在建筑上起了装饰作用。

在三大殿之后，有一片广场，正北是内廷宫殿的大门——乾清门，左右有琉璃照壁，门前金狮金缸相对排列。门里是后三宫。乾清宫是封建皇帝的寝宫。坤宁宫在后，是皇后的寝宫。在两宫之间夹立着一座方殿，名叫交泰殿，是内廷的小礼堂。皇后每年过生日的庆典和所谓亲蚕典礼都在这里举行。清代的“宝玺”(印章)也收藏在这里。在后三宫东西庑，还有为皇帝存储冠、袍、带、履的端凝殿，放置图书翰墨的懋勤殿。南庑有皇子读书的上书房，有翰林学士承值的南书房，以及管理宫廷日常生活的处所。此外还有左右对称的日精门、月华门、龙光门、凤彩门、基化门、

端则门、隆福门、景和门，通妃子居住的东西六宫。这种左右对称的平面布局，也是中国古代建筑的特征之一。

故宫前部宫殿，当时建筑造型要求宏伟壮丽，庭院明朗开阔，象征封建政权至高无上。后部内廷却要求庭院深邃，建筑紧凑，因此东西六宫都自成一体，各有宫门宫墙，相对排列，秩序井然；再配以宫灯联对，绣榻几床，都是体现适应豪华生活需要的布置。内廷之后是宫后苑。后苑里有岁寒不凋的苍松翠柏，有秀石叠砌的玲珑假山，楼、阁、亭、榭掩映其间，幽美而恬静。上述这些宫殿建筑，都在紫禁城围绕之内。紫禁城有四个门，正门名午门，东门名东华门，西门名西华门，北门名神武门。在紫禁城四隅还各有角楼一座，角楼高二七·五米，十字屋脊，三重檐叠出，四面亮山，多角交错，是结构奇丽的建筑。面对紫禁城北门，有高耸的景山，是用土、石筑成，满山松柏成林。山分五峰，每峰各建一亭，巍峨矗立。在整体布局上，景山可说是故宫建筑群的屏障。

故宫是几百年前劳动人民的创造，是劳动人民智慧和血汗的结晶。初建时被奴役的劳动者有工匠十万，夫役百万。紫禁城里每一块砖瓦，每一座殿宇，都渗透着劳动人民的血汗。在当时社会生产条件下，能建造这样宏伟高大的建筑群，充分反映了中国古代劳动人民的高度智慧和创造才能。同时，为了修建故宫，也给劳动人民带来了巨大的灾难。如所需的木材，在明代时，大多采自四川、广西、广东、云南、贵州等地，无数劳动人民被迫在丛山峻岭中的原始森林里，伐运木材，不知夺去了多少人的生命。所用石料多采自北京远郊和距京郊二三百里的山区。每块石料往往重达几吨甚至几十几百吨，如现在保和殿后檐的台阶，有一块云龙雕石重约二百五十吨。不知又有多少采石和运石民工在采运过程中就此伤残和丧生。

故宫建成后，经历了明、清两个王朝。当时劳动人民连走近紫禁城墙附近地方都算犯罪。随着清王朝的没落，特别是解放前的三十八年中，故宫建筑日渐破坏，有好多处宫殿群成片倒塌，垃圾成山，高和紫禁城齐。

1949年全国解放后，党和政府非常重视文物保护工作，把故宫列为全国重点文物保护单位之一。从此劳动人民创造的文化财富，又回到了人民的手中。

颐和园——中国古典园林 建筑的珍贵遗产

国家文物局 罗哲文

中国园林建筑艺术有悠久的历史，在世界造园艺术中，独树一帜，有重大的成就。几千年来，我国古代造园工匠，以他们辛勤的劳动和智慧，创造了许多具有高度艺术成就的园林，颐和园仅是千千万万个园林中保留下来的一个。

颐和园在北京的西郊，距城十公里多。它是我国现在保存规模宏大而又完整的一处古代封建帝王的宫苑。由于它园林建筑艺术的优美，是国内外游人所向往的游览胜地。

在介绍颐和园之前，有必要先把我国造园的历史作一简略的回顾。

相传在殷代，奴隶主就迫使奴隶为他们建造了规模宏大的园林。

远在两千多年前的周代，就已经有了描写园林情况的作品。如《诗经·大雅·灵台》上说：“王在灵囿，鹿攸伏。鹿濯濯，白鸟鹄。王在灵沼，於鱼跃。”诗中所写的灵囿，就是养有禽兽的动物园。灵沼就是饲养鱼类的池沼。诗中还描述了园中鸟兽鱼类活泼驯服的景象。

《周礼·地官》中还记载周代已设专人管理园囿的事：“囿人：中士四人，下士八人，府二人，胥八人，徒八十人，”“囿人掌囿游之兽禁。”从这个记载中我们可以看出，当时已经有了管理园囿事务和饲养鸟兽的人员，并且有了园艺工匠。当时对园林的经营管理已经有了一定的制度。

《述异记》上记载，吴王夫差（？-前473）修筑姑苏台，三年才建成。园林建筑周旋诘曲，横亘五里，崇饬土木，殫耗人力不知多少。又在宫里修建海灵馆、馆娃阁，铜勾玉槛，建筑物上用珠玉来装饰。园林规模的宏大和建筑的华丽，可以想见。

秦始皇统一中国，在咸阳大兴土木，建筑了规模宏大的上林苑，在苑里修建了阿房宫，把宫殿和园林更加密切地结合在一起。汉武帝更扩大了上林苑的规模，园的周围达三百多里，离宫七十多所；又建甘泉苑，周围五百多里，宫殿台阁一百多所；还开凿了巨大的昆明池和昆灵池。文献记载：“宫内聚土为山，十里九坡，种奇树，育麋鹿麕鸟兽百种。激上河水，铜龙吐水，铜仙人承水下注。”可知当时已有了人造假山和人工提水的设施，园中的花木禽兽已经非常丰富。除了封建帝王之外，当时许多财主豪绅也大造园林。

汉代以后，园林更加发展起来，帝王宫苑和私家园林规模之大，数目之多，不可胜计。比较著名的如三国时候曹操的铜雀台，隋炀帝杨广所营西苑，唐代的禁苑、骊山华清宫等等。宋徽宗赵佶（1082 - 1135）所营万寿山艮岳，从政和到靖康年间（公元1111年到1126年），经过了十多年的经营，楼台亭阁、假山叠石荟集园内，把“四方的怪竹奇石悉聚于斯”，成了一处具有高度艺术价值的帝王宫苑。在建造这处精美园林的时候，宋代统治者对人民进行了十分残酷的剥削和压迫。这个万寿山艮岳在当时的首都东京（今开封），而堆叠假山用的山石却要从江苏太湖采取。高广几丈的大块太湖石，用大船载着，上千人拉船，沿途强迫老百姓为他们服役，供应食用。不但挖河拆桥，而且把塘堰水闸都拆毁了。这座园林的建成，不

知凝聚了多少劳动人民的血和汗。

辽、金、元、明、清各代的统治者，在他们的首都(今北京)城里城外经营了许许多多宫苑园林，今天还保存的北海、中南海、颐和园以及西山诸园就是这些朝代经营修缮的部分遗物。特别是清代所谓的康熙、乾隆盛世，北京西郊的园林，盛况空前，在几百平方里以内楼阁连云，遮天蔽日。非常令人可恨的是北京西郊许多规模宏大的帝王宫苑和私家园林，在清咸丰十年(公元 1860 年)英法联军入侵和光绪二十六年(公元 1900 年)八国联军入侵的时候，被野蛮地烧毁劫掠了。

颐和园所处地点被封建帝王占作宫苑，是从八百年前的金代开始的。金章宗完颜 (公元 1190 年到 1207 年在位)曾经在这里建立行宫，是西山八院之一的“金水院”。颐和园主要由万寿山和昆明湖两大部分组成。万寿山金元以来曾有金山、瓮山等名称，昆明湖曾称作金水、瓮山泊、大湖泊、金海、西湖等。明代在瓮山上建圆静寺，园名好山园。

到了清乾隆十五年(公元 1750 年)，乾隆帝弘历(1711 - 1799)在圆静寺的基础上，修建了一个大报恩延寿寺为他的母亲祝寿，才把瓮山改名万寿山；并且把金海大加疏浚，改名昆明湖，整个园林名叫清漪园。经过咸丰十年(公元 1860 年)侵略军的破坏，清漪园的木构建筑已荡然无存。光绪十四年(公元 1888 年)，慈禧太后叶赫那拉氏(1835 - 1908)为了满足她的奢侈享乐生活，不顾国家的垂危和列强的侵略，挪用海军建设费和其他款项银三千多万两，在清漪园的旧有基础上进行修复，改名颐和园。现存园林就是这次修复的。

颐和园的园林建筑，继承了我国古代园林艺术的传统特点和造园手法，并且有所发展。

颐和园园林布局的第一个特点是以水取胜。广阔的昆明湖水面，是园林布置极好的基础。园的周围共有十三里(六公里半)，全园面积四千三百多亩(约三平方公里)，其中陆地面积仅占四分之一，在当时北京诸园中是水面最大的一个。因此，设计人抓住了水面大这一特点，以水面为主来设计布置。主要建筑和风景点都面临湖水，或是俯览湖面。当时取名“清漪园”，也就是清波满园的意思。

湖山结合，是颐和园的又一特点。位于广阔的昆明湖北岸，有一座高达五十八米的万寿山，好像一座翠屏峙立北面。清澈的湖水好像一面镜子，把万寿山映衬得分外秀丽。湖山景色密切结合成为一个整体。古代的造园艺术家和工匠们，在设计和建造这座园林的时候，充分利用了这一湖山相连的优越自然条件，适当地布置园林建筑和风景点。如抱山环湖的长廊和石栏，把湖和山明显地分清而又紧密地连接在一起。伸入湖中的知春亭，临湖映水的什景花窗，建造在湖边山麓的石舫等等，都巧妙的把湖山结合在一起。

鲜明对比的手法，是颐和园园林布局的另一特点。我们在颐和园中，不仅可以看到有建筑壮丽、金碧辉煌的前山，还可以看到建筑荫蔽、风景幽静的后山；不仅可以俯览浩荡的昆明湖，还可以漫步怡静的苏州河(后湖)；不仅有建筑密集的东宫门，还有景物旷野的西堤和堤西区。处处有阴阳转换，时时有矛盾开展，才觉山穷水尽，忽又柳暗花明，使游人心情随着抑扬顿挫。

颐和园中布置的许多风景点，处处景色都不相同。这些风景点，用楼、

台、亭、阁、斋、堂、轩、馆以及曲槛回廊等建筑物和假山花木等分别不同的地位组合而成。值得注意的是这些风景点之间有明显的分隔，而又有有机的联系。从这个风景点看那个风景点，彼此构成一幅图画。当人们行走在长廊里或是谐趣园的时候，走几步，周围的景色又有变化。这就是古代园林布置中所谓“景随步转”，也就是风景点彼此之间互相转移变化的布置手法。

“借景”的造园技法，是我国古代造园工匠多年积累的经验，在颐和园的设计中得到了充分的运用。设计时不仅考虑到园里建筑和风景点互相配合借用，而且把四周的自然环境、附近的园林以及其他建筑物，也一并考虑在内。当我们转过仁寿殿来到昆明湖东岸的时候，西山的峰峦，西堤的烟柳，玉泉山的塔影，好像都结合在一起，也成了颐和园中的景色。这种不仅园里有景而且园外也有景的“借景”手法，使园的范围更加扩大，景物也更加丰富。

“园中有园”，是颐和园设计布置园里风景时继承传统、利用自然地形的很好例子。在颐和园万寿山东麓，原来就有一处地势较低、聚水成池的地方。造园工匠就利用了这一地形，布置了一处自成格局的小园“谐趣园”。当人们从万寿山东麓的密集宫殿区或是从后山的弯曲山路来到这里的时候，进入园门，好像又来到一处新的园林中，建筑气氛、风景面貌给人焕然一新的感觉。这种“园中有园”的设计布局增加了园林的变化，丰富了园林的内容。

颐和园水中布置岛屿，也是继承了我国两千多年前的传统手法。用长堤把湖面划分成几个区域，还在昆明湖中布置了凤凰墩、治镜阁、藻鉴堂等孤立湖心的岛屿，象征传说中的蓬莱、方丈、瀛洲的海上三神山。它的实际作用是打破广阔的昆明湖面的单调气氛，增加了湖中的景色。

“集景模写”是我国古代园林设计中的一种传统手法，清代北京西郊诸园和承德避暑山庄，运用这个手法特别突出。在清漪园建造之初，就派出许多画师和工匠，到全国各地去参观和模写有名的风景和建筑物，把它们仿造在园里。颐和园中的景色，可说是汇集各地有名建筑和胜景而成。但是，设计人和造园工匠绝非生搬照抄，而只是仿其风格而已。如谐趣园和无锡惠山园神同形异，涵虚堂、景明楼也和黄鹤楼、岳阳楼不完全一样，园里的苏州街和江南苏州的市街更相去很远。这说明我国古代建筑工匠在参考借鉴的时候，绝不生搬硬套，很注意创新。

“虽由人作，宛自天开”，这是我国园林艺术和造园技巧中的又一传统经验。如颐和园后湖的风景，虽然是人工所造，但是宛如江南水乡一样。园中许多风景、林木，也力求达到宛如自然景色的效果。

颐和园的布局，大体可以分做东宫门和东山、前山、后山、昆明湖几个部分。

第一，东宫门和东山区：颐和园原有水旱十三门，主要入口是东宫门，其次是北宫门。因此在东宫门里布置了许多组重要的建筑物。一进东宫门是仁寿殿，清代的封建帝后们，夏天住在园中就在这里“听政”。在仁寿殿前陈设着造型精美的铜龙、铜鹤，院中山石挺秀。绕过仁寿殿，面临昆明湖，到了这里使人心胸顿开，只见万寿山雄峙北岸，知春亭伸入湖中，昆明湖碧水连天，连西山景色都一概映入眼帘，可说是进颐和园的第一处壮观景色。

仁寿殿北面的德和园颐乐殿，是帝后群臣观剧之处。院中有大戏台，分上中下三层，可同时演出。这个戏台建筑宏大，设计周密，是我国现存古戏台中的重要遗物。自德和园往北是景福阁、乐农轩。由此下山往东，因地形布置了一个精美的小园“谐趣园”。上面说过，它是仿照无锡有名的惠山园建造的，以一个水池为中心，四周环绕布置了涵远堂、湛清轩、知春堂、瞩新楼等建筑，更有小桥、亭榭、游廊曲槛等，自成一个园林格局。到这里好像进入另一个园中，是一种“园中有园”的布局。

在仁寿殿之后，临水布置了乐寿堂、萱芸馆、夕佳楼、藕香榭等建筑。临湖石栏曲折，在临水墙壁上开了各式各样的什景漏窗，窗里晚间点上灯火，倒映水面，又增一番景色。

第二，前山区，前山是全园的中心，正中是一组巨大的建筑群，自山顶的智慧海而下是佛香阁、德辉殿、排云殿、排云门、云辉玉宇坊以达湖面，构成一条显明的中轴线。琉璃砖瓦的无梁殿(智慧海)和高达四十一米的佛香阁，气势雄伟，色彩鲜丽。

在这组中轴线的两旁，布置了许多陪衬的建筑物，东边以转轮藏为中心，西边以宝云阁(铜亭)为中心，顺山势而下，按地形而建筑，并有许多大型的假山隧洞，上下穿行，人行其中，别觉清凉幽邃。人们登上佛香阁或智慧海，回首下望，只见山下一片金黄色的琉璃瓦顶殿宇，金光灿烂；昆明湖水宽广异常，波光云影上下流动辉映。南湖中的十七孔桥，横卧波心，西堤六桥伏压水面，远望西山如黛。在雨后晴天，连北京城里的白塔、景山以及八里庄慈寿寺塔，广安门外天宁寺塔，都齐集眼底，构成一幅宽阔的图画。

前山的東西两面，随山势上下，布置了许多点景建筑物。东边有重翠亭、千峰彩翠、意在云迟、无尽意、写秋轩、含新亭、养云轩等，西边有邵窠、云松巢、山色湖光共一楼、湖山真意、画中游、听鹧馆、延清赏楼、小有天、清宴舫(石舫)、澄怀堂、迎旭楼等等。这些建筑的形式多样，色彩丰富，各抱地势，相互争辉。但是更加壮丽的是前山脚下环湖一抹二百七十六间的长廊，自东迤西全长七百五十五米。它依山带水，好像万寿山的一条项链。

第三，后山区：后山以曲折幽静著称。山路在山腰盘绕，路旁古松丫杈，有如图画。山脚是一条曲折的苏州河(也称后湖)，时而山穷水尽，忽又柳暗花明，真有江南风景的意味。

在后山的正中，原来有一组仿西藏式的庙宇建筑，叫“须弥灵镜”，也称后大庙，主要建筑已被帝国主义侵略军焚毁，现在只存残迹。后山东部林木葱郁。山腰有一座多宝琉璃塔，突兀半山，原来和花承阁是一组建筑，其他建筑已被侵略军所毁，由于它是砖石琉璃所建，才幸存了下来。

后山山下是幽静的苏州河，自清琴峡起，向西到北宫门一带，都是土山林木。再自北宫门往西，沿着苏州河两岸，原来建有苏州街、买卖街，古时茶楼酒肆，以至古玩商店，无不具备。这些临河街市，已为侵略军所毁，只有一些遗迹。近年发展旅游业，已重修了苏州街。

此外，在后山还有清河轩、赅春园、留云、构虚轩、会芳堂、停鹤、绮望轩、贝阙、寅辉等建筑，点缀山间，相互呼应。

第四，昆明湖区：颐和园的北部万寿山耸立如翠屏，各种建筑物和风景点布满其间，而南部却是碧波粼粼的昆明湖。湖中有几处岛屿浮现水

面，又以长堤、石桥加以联系。西堤六桥是仿照杭州西湖中的苏堤修筑的，垂杨拂水，碧柳含烟，人们漫步堤上，胸襟倍觉轻松舒畅。

在西堤上有两座洁白石拱桥，俗称罗锅桥，它们是昆明湖的出入水口。北头的入水口叫玉带桥，南头的出水口叫绣漪桥。桥面陡峻，桥拱高耸，洁白石桥映衬着碧柳垂杨，分外明媚。

在堤西的昆明湖心，有一个湖中岛屿，因为上面有一座龙王庙，所以俗称龙王庙岛。岛上有龙王庙和月波楼、鉴远堂、涵虚堂等建筑群。涵虚堂(已毁)仿武昌黄鹤楼修建。龙王庙之东有一座雄壮的十七孔石桥，从岛上通向湖岸，桥长一百五十米，宽八米，是仿照有名的卢沟桥建造的。桥东头岸上有一座铜牛守望湖心，和长桥、岛屿、廓如亭等共同构成一幅绮丽的景色。

颐和园这座规模宏大、建筑精美的园林，体现了我国古代造园技术的光辉传统，表现了我国古代劳动人民的高度智慧和创造才能。但是它在过去却被封建统治阶级所霸占，特别是重建之后，更为祸国殃民的慈禧所独霸。

颐和园还是一百多年来帝国主义侵略罪行的见证。园中处处留下了侵略军烧毁破坏的痕迹。

解放后，劳动人民创造的颐和园，终于回到了人民的手里，颐和园成了全国各族人民游览的胜地。来北京访问的国际友人，也必来这里游览。

颐和园的园林艺术，有很高的成就。但是，它毕竟是封建剥削社会的产物，就是在成功的艺术手法上也还包涵了不少封建迷信糟粕。我们必须以“古为今用”的原则，取其精华，去其糟粕，使这座古典园林能在今后新的园林设计和造园艺术上有所借鉴，推陈出新。

近年来北京市园林管理部门已经对颐和园着手加以修整，浚深了昆明湖，修复了一些被毁的建筑，湖光山色，更加明媚。

中国古代高层砖石建筑 ——嵩岳寺塔和其他

自然科学史研究所 张驭寰

我国现存最古的高层砖石建筑——嵩岳寺塔，是世界著名建筑之一。

我国建塔是从佛教传入开始的。南北朝时期以来的历代王朝，建塔工程一直没有间断，并有创造性的发展，保存到今天的数量仍然很多。古塔按构造式样大致分做两大类：

第一大类是实心塔，是用砖石等材料砌出的实心体，不能登临远眺，只能作为一种象征性的纪念物。实心塔又有四种式样：一是“阿育王塔”，五代十国和宋代这种塔最多，主要分布在江苏、浙江、福建等地。二是密檐塔，以辽代最多，它分别建在辽宁、河北以及山西北半部。三是喇嘛塔，从元代到明清各时期都有建造，它大多数都分布在我国西南部、西北部和北部边疆佛教盛行的地方。四是金刚宝座塔，元、明两代都有建造，数量比较少。

第二大类是楼阁式塔，它是继承我国固有的楼阁建筑技术发展起来的，我国古塔大部分都属于这一大类。也分做四种：一是密檐楼阁式塔，从北魏的嵩岳寺塔开始，到唐宋大量发展起来。这种塔内部是楼阁，外部采用密檐结构，主要分布在陕西、河南、云南、四川等地。二是楼阁式塔，内外楼层一致，实际上和第一种同属一个类型。三是砖木混合式塔，基本上都是砖结构，但是斗、栏杆等用的是木结构，宋代建造比较多，主要分布在江苏、浙江一带。四是砖石混合式塔，宋、明两代发展最多，分别建在浙江和湖南等地。

嵩岳寺塔就是楼阁式塔中最早的一个代表作，建筑在河南登封嵩山南麓。嵩岳寺起初是北魏宣武帝元恪(483 - 515)的离宫。孝明帝元诩(? - 528)舍宅建寺，正光年间(公元520年到525年)改名闲居寺。塔就建立在寺院的中心。塔东有千佛殿，塔西有定光佛堂，南边是山门，北建大佛殿。到隋代开皇年间(公元581年到600年)改名嵩岳寺。今天在塔前有一简单的山门，塔后有大殿，两面回廊，仍然成为一个塔院。

塔的平面呈十二角形，内部建有八角形塔室，塔室宽九米多，砖砌的塔壁厚五米。东西南北四面开门，门口宽二·五米。塔里构造采用“厚壁空心式”木板楼层结构，壁体砌到楼层处，用砖叠涩和楼板相交，楼板架在木梁上。共有十个八角形塔室，上上下下用木扶梯。外部做密檐十五层，塔高四十一米。砖塔第一层塔身特高，上部加一道腰檐。腰檐以上塔身，各角砌出八角形倚柱，采用方墩柱础，束莲柱头。壁面除四个券门外，每面砌有“阿育王塔”的形象作为塔身的装饰。砖塔第二层以上，塔身逐层缩短，每面开一个小窗，各层都用砖叠涩出檐，第十五层以上置塔刹，相轮七层以收顶部。全塔外表涂白灰，外型轮廓具有刚柔结合的线条，给人一种轻快秀丽的感觉。

嵩岳寺塔的结构、造型和装饰，是我国古代砖塔建筑的一种开创性的尝试。一千六百多年以前没有钢筋也没有水泥的情况下，仅用砖结构建成高达四十多米的高塔，经受了长时间风雨的剥蚀，依然雄伟屹立，这说明当时我国在高层建筑技术方面已经达到了相当高的水平。

嵩岳寺塔以后，我国砖塔建筑有过三个大的发展阶段。

第一个大的发展阶段是在唐代。唐代国家统一，经济繁荣，在商周秦汉固有文化传统的基础上，又吸收了外来艺术，建筑技术和建筑艺术有了发展。在这一时期选用砖石材料建造了大量楼阁式高塔，平面以方形为主，塔的层数增加到十三层，塔高达五十多米，最高的有六十多米。塔的内部结构都受到嵩岳寺塔的启示和影响，用黄土做胶泥，四周砌出厚壁，内部成为空心式，各层的楼层地面采用木过梁承担楼板的结构，用木扶梯按层折上，塔室四面开窗。

从唐代开始，在砖塔上逐渐模仿木结构建筑式样，第一层塔身直接砌出地面，不做台基和基座。塔身比较高，各层都以素面为主，不作任何装饰，个别的仅在塔檐做出简单的斗，各层用砖叠涩出檐。唐代用砖砌塔方法，按长身平砌，每隔五层加一层丁头平砌。砖块尺寸一般长三十六厘米，宽十八厘米，厚七厘米。外形整体轮廓同样收成刚柔结合的曲线，给人以优美的感觉。现存唐代楼阁式塔很多，散布在陕西、河南、山西等地。其中西安小雁塔、香积寺塔、大理千寻塔、蒲城崇善寺塔都是很好的实例。

第二个大的发展阶段是在宋代。宋代经济文化得到进一步发展，在建筑方面已经取得很高的成就，宋代砖塔也有重要的发展。宋塔由方形改成八角形或六角形，使平面增加稳定性。外观以楼阁式为主，第一层塔身比各层高，各转角施用倚柱，每层每面为一间，每面中间开窗子，常常用柱，左右施壁带，斗比较简单，常做替木檐枋椽飞等。在各层中普遍砌出平座、栏杆。塔身基本上都是用砖雕出木结构的形象，成为宋塔显明的特征。宋代塔砖尺寸一般长三十三厘米，宽十六厘米，厚六·五厘米。宋代砖塔内部结构方式有两种：第一种底层辟塔室，上部各层做成空心式；第二种各层都辟塔室，外壁、梯道、楼层三者结合在一起，全部改用砖砌。这样改变了空心式木楼层的结构，是构造技术上的一大进步。因为厚壁空心式木楼板，上下十三层，中间没有横向的拉力，塔壁极易开裂或倒塌。到宋代开始就有一部分砖塔做了这样改革：在空心之间增加横向结构，使砖塔更加坚固。宋代砌塔使用黄土胶泥，个别的开始使用白灰做胶泥，塔高可达八十多米，这又是一个大进步。陕西富县直罗宝塔、东张塔，甘肃宁县湘乐砖塔，山西中条山栖严寺塔，江西庐山东林寺塔，都是这个时期的代表。

第三个大的发展阶段是在明代。明代砖石建筑有大规模的发展。全国凡是包砖城墙，绝大多数都是明代的建筑。这种方法在砖石建筑技术上是一个进步。明代砖塔以六角或八角形为主，高度可以达到八十八米以上。内部结构主要采取外壁、楼梯、楼层三者相结合，全部用砖砌出一个整体，而且按层建造塔室，取消空心式结构，全部改成“壁内折上塔室式”结构，结构上比唐宋塔前进一大步。明代塔砖尺寸增大，长三十八厘米，宽十七厘米，厚九厘米，仍用长身平砌，全部改用石灰浆做胶泥，因而使塔体更加坚实。外观方面，常常在下几层的塔身和塔檐模仿木结构建筑式样，转角部位施用垂莲柱，平板枋、大额枋的表面雕刻了一些花纹，斗的各种构件上的雕刻都很细致。这一整套手法成为明代砖塔的固定式样。山西永济万固寺塔、安徽芜湖东江塔、陕西高陵砖塔、延安宝塔山宝塔，都是这一时期的建筑。

在古代，仅仅使用砖、木材、黄土等简单的建筑材料，建造出大量雄

伟的高层古塔，体现了我国古代劳动人民的聪明才智和我国古代建筑技术的高度水平。

世界上现存最高的古代木构建筑 ——山西应县木塔

考古研究所 杨鸿勋

距今九百多年前建造的一座木塔，屹立在山西应县城里。应县原是辽国首都平城(今山西大同市)近畿地方的应州。塔是当时崇信佛教的统治者辽兴宗耶律宗真(1016 - 1055)命令修建的，辽道宗清宁二年(公元1056年)落成。它凝聚了我国古代匠师的聪明才智和创造才能。木塔是佛宫寺(原名宝宫寺)的主要建筑物，本名“释迦塔”。塔的平面是八角形，底层副阶(外廊)前檐柱对边约二十五米。塔身外观是五层六檐(最下层是重檐)，二、三、四层都有平座夹层，所以全塔实际上是九层。塔高，从地面到塔尖达六七·三一米，是世界上现存最高大的古代木构建筑。这座木塔经受了近千年的雁北狂风雨雪以及严重地震的考验，至今还巍然屹立，成为我们民族文化的骄傲！

佛宫寺原位于辽应州城的中部。现在看到的城墙是经明洪武年间(公元1368年到1398年)改动过的，西、北两面城墙向城里移动一里许，寺的位置已偏处城的西北部了。寺居城市的中心部位，说明当时它作为精神统治的工具，受到统治阶级的高度重视。在城市的立体轮廓线上，土红色的释迦塔高高耸立于全城低矮的灰色民居的中央，构成了当时应州城的特殊面貌。

这座木塔是保持民族传统特色的楼阁形制的塔。自汉末佛教传入中国以后，出现了佛寺建筑。佛教寺院其实和传统的宅第、衙署没有多大区别，具有明显佛教特征的建筑主要是塔。木塔是在中国固有的楼阁的基础上吸取印度佛塔特点而创作的。初期木塔比较低矮，如《洛阳伽蓝记》所载三国时期建造的浮图祠，就是在汉代所流行的方形重楼上安装塔刹构成的。南北朝时期，随着高层木构技术的发展和佛教的兴盛，木塔也越来越加高大。著名的北魏洛阳永宁寺塔，高达几十米，就是这一时期楼阁式木塔的代表作。现在应县木塔是永宁寺塔的进一步发展。这座木塔改变了应县木塔平面图。隋唐以前的方形平面，作八角形，使应力分布比较均匀；同时改变了中心柱的做法，采用连结内外槽柱所构成的筒型框架的结构方式，这既争取了中部空间，便于布置佛像等，也提高了抗弯抗剪的能力，使塔身更加牢固。这是古代木结构发展中的一个巨大的进步。

木塔的结构、构造概况是：全塔建筑在一个夯土心的砖石基座上，基座分两层，下层方形，上层八角形。在八角形台基座上，布置内槽柱、外檐柱以及副阶前檐柱。所有的柱子用梁枋连结成一个筒型的框架。塔身底层的内槽和外檐角柱都用双柱，并砌在一米厚的土坯墙里。墙的下部是砖砌裙墙，裙墙和土坯墙体交接处垫木枋一层以防潮。转角增设一柱，既可减小梁枋和柱头铺作(斗)交接处的剪力，也增加了构架的稳定性。柱间用厚墙填充，可以防止构架的扭曲，提高了坚固性，保证了结构的稳定。

底层以上设平座夹层，再上是二层，二层上又设平座夹层，这样重叠直到五层。各层柱子都衔接而上，每层外檐柱都和它下面的平座层柱同一轴线，而比下层的外檐柱向塔心退入约半柱径。平座层外柱立在下层斗所挑承的草(梁)上。这样既造成塔身美丽的曲线，又不超过结构的合理

限度。从整体上讲，下大上小，也正是结构的稳定性所要求的。至于内槽柱，既没有外轮廓的问题，因此只是根据力学的要求，把上下各层柱都放在同一轴线上，并使八根轴线都略向塔心倾斜。这座塔是把结构、构造和建筑造型统一起来的一个典范，可以给我们今天建筑设计以宝贵的启示。

我国木结构技术的发展，从浙江余姚河姆渡遗址出土的带有榫卯的干阑长屋遗构算起，至少已有将近七千年的历史。通过历代匠师的辛勤、智慧的营造实践，逐步积累了丰富的经验，掌握了若干木结构的规律性。到辽宋时期，高层木构的设计和施工已经相当成熟。对于高层木构的设计来说，风力是一项不容忽视的水平活荷载。对于这一点，辽宋匠师是有明确认识的。和应县木塔时代相近的宋汴京（今河南开封）开宝寺木塔，是当时杰出工匠喻皓设计、督造的。他考虑到西北风比较大，因此使塔身微向西北倾斜，以增强它抵抗相应方向弯矩的能力。像应县木塔这样一个高大的建筑物，特别是建造在蒙古风常年吹过的开阔地带，更不能忽视风力这项荷载因素。这座木塔在结构、构造上的最大成功，主要是合理地解决了水平荷载的问题，使它能够经得起这样长时间的自然力侵袭的考验。为了抵制风力以及地震横波的推力，防止水平方向的位移和扭动，卓越的古代匠师使用了大批斜撑固定复梁。这撑杆和复梁的组合体，从性能上可分两大类：一类是使平座内槽系统和外檐系统各自加大它们的稳定性；另一类是使内外两层系统保持它们的相对位置。由于这些撑杆的连结，构成了整体空间系统，一经受力，各构件就可以联合作用。

平座夹层的结构，就是用斜撑和梁、柱组成的一道平行桁架式的圈梁。在这个圈梁的内环上，又叠置由四层枋子组成的一道井干式的圈梁。整个夹层，实际是一个牢固的刚性的箍，在五层塔身中，间隔均布了这样四道刚性箍。在外观上，夹层巧妙地处理成为各层平座腰檐。

结合建筑处理，在塔五个正式楼层上，内槽柱里的中央空间供奉佛像，内槽和外檐柱之间是供人通行的空间，因此不设斜撑。塔壁四个正方向每面三开间，中间辟门。壁外平座设栏干形成周圈挑台，以供人凭眺。在四个斜方向上，两次间的柱间原有剪刀撑，封上荆笆抹泥墙。这既是出于结构的需要，同时在建筑构图上和四个正方向的门、窗、隔扇形成虚实的对比，也颇为得体。可惜后世维修时拆改为门、窗、隔扇，严重地损害了塔的结构，以致塔身发生了向东北歪扭的现象。

塔里扶梯的布置，也是既考虑垂直交通的实用要求、又兼顾结构的合理而设计的。因为楼层比较高，为使扶梯坡度不致太陡，每层都分作两折而上，利用平座夹层做休息板。夹层中每在楼梯处都不能安置斜撑，因而造成结构上的弱点。为使弱点分散，扶梯每隔一面安置一道，采取沿塔身螺旋而上的办法。

全塔的细部构造处理，诸如构件比例、榫卯搭接等等所表现的优秀手法，也是值得称道的。仅以斗来说，由于作了因地制宜的变化处理，全塔采用了六十多种式样，看来极其丰富多彩。这表现了古代匠师的技巧的纯熟，也使我们从中学到了正确的创作方法。他们没有机械搬用前人的成规，而是按照各种不同的结构、构造要求和材料的经济使用，灵活设计和制作的，使这些斗不但担负了结构任务，而且也起了装饰美化建筑的作用。

这座塔各层都在中部安置有泥塑佛像，底层并有壁画。为了渲染宗教

的神秘气氛，底层厚墙仅在南北两面开口。内圈墙的中央，安置一尊高约十一米的释迦佛坐像。由于塔的进深比较大，自然光线不能直接照在佛像上，只靠微弱的间接光隐约显示。佛像全部漆金，在暗影中烁烁发光。上面各层四面采光，所以比底层亮些。各层中部都设有佛像群，在内槽柱间设栏干划分空间，当年信徒、游人可以在栏干外巡回礼佛。所有佛像大概是辽代原作，但经后世屡次粉妆，表面色彩粗俗，已经面目全非了。

总的来说，应县木塔不愧为古典高层木构的杰作。它是古代文化的出色遗产，可供我们建筑设计借鉴。我国是使用木材建筑历时最久的国家，在木材的运用上积累了丰富的经验。这座高大的古代木构，在九百多年荷载作用下木材反应的情况，实在是难得的材料力学方面的资料。因此，它也是我们进行科学研究的一件珍贵的标本。

解放以来，按照党的文物政策，已经把这座不朽杰作列为全国重点文物保护单位，设有专门机构负责保管。

十四 造船和航海 中国古代造船工程技术成就

自然科学史研究所 周世德

船 型

中国是世界上造船历史最悠久的国家之一。在历史上，中国木船船型十分丰富多彩。到本世纪五十年代估计有千种左右，仅海洋渔船，船型就有二三百种之多。我国古代航海木帆船中的沙船、乌船、福船、广船，是最有名的船舶类型，尤以沙船和福船驰名于中外。

沙船在唐代出现于江苏崇明。它的前身，可以上溯到春秋时期。沙船在宋代称“防沙平底船”，在元代称“平底船”，明代才通称“沙船”。

沙船载重量，一般记载说是四千石到六千石(约合五百吨到八百吨)，一说是二千石到三千石(约合二百五十吨到四百吨)，元代海运大船八九千石(一千二百吨以上)。清代道光年间上海有沙船五千艘，估计当时全国沙船总数在万艘以上。沙船运用范围非常广泛，沿江沿海都有沙船踪迹。元明海运最盛时期年运量达三百五十万石以上。远洋航线沙船也很活跃。早在宋代以前公元十世纪初，就有中国沙船到爪哇的记载。在印度和印度尼西亚都有沙船类型的壁画。二十世纪初有人认为，当时从我国北方到新加坡航线上的沙船，就是中世纪以前从我国到红海以及东非港口贸易的那种船。

公元十五世纪初的明代初年，郑和七次下“西洋”，二十多年间访问了三十多国，在世界航海史上写下了光辉的一页。每次出动船舰一百多艘或两百多艘，其中宝船四十多艘或六十多艘，共载两万七千多人。当时在南京和太仓造船，集中在太仓刘家港整队出海。郑和宝船长约一百五十米，舵杆长一一·七米，张十二帆，这是最大的沙船了。

沙船有许多特点：第一，沙船底平能坐滩，不怕搁浅。在风浪中也安全。特别是风向潮向不同时，因底平吃水浅，受潮水影响比较小，比较安全。第二，沙船能调舵使斗风(详见船舶动力一节)，顺风逆风都能航行，甚至逆风顶水也能航行，适航性能好。第三，船宽初稳性大，又有各项保持稳性的设备，所以稳性最好。第四，多桅多帆，帆高利于使风，吃水浅，阻力小，快航性好。

沙船方头方尾，俗称“方艏”；甲板面宽敞，型深小，干舷低；采用大梁拱，使甲板能迅速排浪；有“出艏”便于安装升降舵，有“虚艏”便于操纵艏篷；多桅多帆，航速比较快；舵面积大又能升降，出海时部分舵叶降到船底以下，能增加舵的效应，减少横漂，遇浅水可以把舵升上。沙船采用平板龙骨，比较弱，宽厚是同级繒船 船的百分之四五十，而大(是沙船两舷前后纵通材，非常粗壮坚实)特别多，大中型沙船每侧有大四根到六根，直压到头，川口镶口(沙船舱口前后的纵通材)也很粗壮，直通前后。因而结构强度仍比其他同级航海帆船大。采用多水密隔舱以提高船的抗沉性。七级风能航行无碍，又能耐浪，所以沙船航程远达非洲。

福船是一种尖底海船，以行驶于南洋和远海著称。宋人说：“海舟以福建为上。”明代我国水师以福船为主要战船。古代福船高大如楼，底尖

上阔，首尾高昂，两侧有护板。全船分四层，下层装土石压舱，二层住兵士，三层是主要操作场所，上层是作战场所，居高临下，弓箭火炮向下发，往往能克敌制胜。福船首部高昂，又有坚强的冲击装置，乘风下压能犁沉敌船，多用船力取胜。福船吃水四米，是深海优良战舰。1974年七八月间，福建泉州湾后渚港发掘出一艘宋代海船，尖底而船身扁阔，平面近似椭圆形，头尖尾方，从龙骨到舷侧有船板十四行，一到十行是两层船板叠合，十一到十三行是三层船板叠合，三层总厚度十八厘米(里层八厘米，中层五厘米，外层五厘米)，用三层板是防水线附近波浪冲击，这和沙船用大甚至用护是一个道理。船板搭接和平接两种方法混合使用。板缝有麻丝、竹茹和桐油灰捣成的合物。泉州古船十三舱，复原以后的船长三四·五五米，宽九·九米，深三·二七米，排水量三七四·四吨。

公元七世纪的唐代，我国海船就以体积大、载量多、结构坚固、抗风力强闻名于世。此后，阿拉伯商人常乘中国帆船往来于东南亚一带。九世纪中叶晚唐时期以后，我国建造的大海船更为许多亚非国家的人民所乐于乘坐。宋元时期，我国造船业又进一步发展。许多外国朋友往往用“世界最进步的造船匠”来称誉我国船工。

我国古代造船技术的特点，是能创造出可以适应各种不同地理环境、各种不同性能要求的优良船型。例如，周代的方舟，是一种双体船。战国时期有舫船，也是两船并连在一起的双体船，不仅能提高稳性，更便于装货载人。汉代的楼船非常高大雄壮。三国时期海上大船长二十多丈。晋代卢循(? - 411)作八槽舰。南北朝时期祖冲之作千里船。唐代有海鹞船，又出现新型漕船叫歇支江船。宋代最大的车船(桨轮船)，长三十六丈，宽四丈一尺。明代有郑和宝船，还有两头船、蜈蚣船、连环舟、子母舟以及其他新型船舰。连环舟分前后两截，前截冲炸敌船，后截脱环驶回。连环舟还长时期地用于民间运输，也很方便，在弯曲小河中可以分成两截，便于转弯。子母舟后部中空藏小船，入敌阵后发火和敌船同毁，战士乘小船返回。

我国船工还善于吸取几种优良船型的优点，综合起来，创造新船型。例如宋代的江海两用船，就是采用湖船底、战船盖、海船头尾的新船型。又如清初康熙年间的福州运木船，又称三不像船，它不像沙船，不像鸟船，不像船，实际上就是吸取了这三种船型的优点创造出来的新船型。

船舶设计

宋代文献中曾出现“船样”二字：“温州言，制置司降下《船样》二本，仰差官买木，于本州有管官钱内各做海船二十五只”，这里记载的《船样》可能主要还是船图和工料定额。另外还有提到“战船木样”，那就显然是指木制船模了。

明代《南船纪》、《龙江船厂志》、《漕船志》中，记载的工料定额、尺寸、数量十分详尽，但是没有涉及船舶设计。目前已经发现的有关船舶设计的历史文献是清初的记载，它可说是我国封建社会后期传统的船舶设计的代表作，表现了我国船工的智慧 and 创造性。

清初，福建赶缙船的设计，是我国古代福船系统设计放样的精华。赶缙船的龙骨是有弯度的，先决定龙骨长短，后决定弯度。先由船长决定龙

骨总长度,再按比例决定三段龙骨长度。其次便要决定龙骨两端的起橈(起翘),根据前后起橈就决定了龙骨的弯度。我们知道,三角形已知两边和高是不难画出的。以前起橈作高,前龙骨和中龙骨作两边,画出一个三角形;再用后起橈、中龙骨和后龙骨又画出一个三角形。把两个三角形相同的一边(中龙骨)重合起来,再描绘平滑曲线,如上图所示,便绘出龙骨纵剖面图。

赶缙船的横剖面,设计和绘制程序如下:设梁头(船上的横梁)长若干,这就是上平墨长度(上平线,墨是墨线)。每上平墨一丈配下平墨(下平线)若干。上下平墨互相平行,两端两两连接起来就是边墨(边线)。上下平墨间的垂直距离等于舱深减去鸡胸,这就得出上下平墨间的距离。又有所谓“样橈”,就是为了把水圆转处画得肥圆一些的起橈。样橈是边墨和下平墨的交点到水圆转处的垂直距离(和边墨垂直)。如图所示,画出上下平墨、边墨、鸡胸、样橈以后,再把上平墨两端,鸡胸下端,两个样橈外端,五点连成一条平滑曲线,这一条平滑曲线和上平墨就构成了船舶横剖面单线图。由四大梁头处的四个横剖面(四大梁头指头禁梁、驶风梁、官舱梁、尾禁梁),以及龙骨纵中剖面,构成赶缙船的基本线型图。此外,在边墨的中点画一根和边墨垂直的线,叫班胸,可以使水线附近的弧度更加肥满一些。

这种传统的船舶设计方法是我国船工创造的具有民族风格的古代船舶设计方法。它的特点是方法简便,效果良好,整体局部巧妙结合。以船舶的横剖面为例,变更上下平墨和边墨围界起来的梯形,是横剖面的整体变更。变更样橈、班胸等的长短,那是局部调整。把整体变更和局部调整灵活地互相结合起来,就形成了一套十分简便而又巧妙的设计方法。它体现了我国船工的智慧 and 创造性。

至于我国各个地区各种船型的设计,往往采用各种不同的设计模数,一代一代地传授下来,而采用哪一种尺度作基数,那是各不相同的。

船舶建造

南京市汉中门挹江门之间的三汊河中保村,相传是宝船厂遗址。遗址上分布着许多长方形大型水塘,依次称一、二、……有几个塘长二百到二百四十米,宽二十七到三十五米,深二米左右,当地居民都知道这是建造宝船的地方,至今仍有“上四坞”、“下四坞”的名称。在这几个大船坞遗址当中,1953年、1957年和1965年先后发现长一一·七米的大舵杆以及残损的绞关木(复原长四·七五米)等船上设备构件。这八个大船坞可以说是我国古代劳动人民制造宝船的历史见证。

在造船过程中设计船模,以及利用船坞造船,历史文献累有记载。宋代有黄怀信用大船坞修理大船,明代有“二十五日出坞,坞即造船之所”等记载。金代张中彦“手制小舟,才数寸许,……”记述了建造船舶先制船舶模型的过程。这比战船“木样”的记述更加明确地表示了设计建造船舶的程序。由此上溯到秦汉时期,汉墓中几次发现的木制、陶制船舶明器,类似船舶模型。这至少可以说当时在造船过程中已经具备了先制造船模的条件。而广州秦汉造船工场遗址的发现,似乎更加足以证明,在历史上我国船工很早就利用船台造船,利用滑道使船舶下水了。

1974 年底在广州市发掘的秦汉造船工场遗址,是一个规模巨大的古代船舶工场,有三个平行排列的造船台,还有木料加工场地。船台和滑道相结合,外形和铁路相似,由枕木、滑板和木墩组成。枕木分大小两种。滑板宽距可以调节。一号船台两滑板中心间距一·八米,船的宽度应是三·六到五·四米;二号船台两滑板中心间距二·八米,能造五·六到八·四米宽的船。滑板上平置两行承架船体的木墩,共十三对,两两相对排列,高一米左右。在船底钻孔、打钉、缝,有这样的高度是比较合适的。

一号船台南侧有木料加工场地,场地上有烘弯木料的“弯木地牛”结构。还出土了划线铅块,这是下料时划线用的。造船台出土铁铤、铁凿、铁钉和缝用的“挣凿”,此外还有方锥形木垂球(取垂线用)。

秦汉时期相当规模的造船基础,为以后唐宋时期我国远洋帆船的高度发展创造了很好的条件,这就使我国航海木帆船在太平洋和印度洋上声誉卓著达一千年以上。

船舶性能

我国古代船舶有很好的性能,主要有以下四点:

第一,快航性。如江苏沙船由于多桅多篷,篷又高,能充分利用风力,船体吃水又浅,阻力小,所以快航性好。乌船头小肚膨,身长体直,由于型线比较好,在速度方面和沙船、唬船差不多一样快。明清时期各种船型当中具有快航性能的不少,如淮扬课船、江西红船等内河船,也都具有快航的特点。

第二,抗沉性。我国古代船舶的抗沉性是世界闻名的。唐代的船已用桐油石灰缝,使船舶具有很好的抗沉性。有人认为晋代八槽舰就是八个不漏水的舱(水密隔舱),虽然没有确切的证明,但是当时的确已经具备制造水密隔舱的条件。宋元时期我国船舶的水密隔舱蜚声中外,许多外国朋友提到中国船,就要称誉中国船的抗沉性和水密隔舱(一舱两舱漏水,不至于全船沉没)。而西方到十八世纪才有水密隔舱。

第三,适航性。我国古代的船舶船型众多,多能因地制宜。各种不同船型能适应各种不同的地理环境。例如北方沿海多沙滩,我国船工就创造了平底沙船,少搁无碍。不管顺风逆风,甚至逆风顶水,也能航行。至于各水系的内河船,适航性能好的也很多。

第四,稳定性。宋代大龙舟用压舱铁八十万斤才能保持船舶的稳定性。福船分四层,最下层装土石压舱。这说明我国船工对于船舶的稳定性一向予以极大的注意。

公元九世纪以前,唐代海鹞船两舷有浮板,起稳定作用,这是被水板的起源。宋代海鹞船图每侧浮板四到六具,到明代已经简化为一具。这就是披水板,通称橈头。后来,到明清之际,船底增设了梗水木两根,有如今天的舳龙筋,起稳定作用。梗水木的出现是一大进步。沙船又备有竹制太平篮,平时悬挂船尾,遇风浪时装石块放置水中,使船不摇荡。因此,中国船的安全平稳在当时获得了世界好评。

船舶动力

充分和灵巧地利用风力，是我国古代船舶技术高度发展的标志之一。利用人力推进时，从桨、楫发展到橹是一大进步。俗话说“一橹三桨”，说明橹的效率是桨的两倍甚至三倍。用桨划船一半做实功，一半做虚功；而橹的整个运动过程都是做实功，使船舶推进工具的效率大大提高。秦汉造船遗址，汉代楼船，以及高效率推进工具橹的出现、船尾舵的出现和风帆的使用，说明我国古代造船技术到汉代已经成熟了。

汉魏时期，我国船工就经常把帆转到一定的角度，它的使用面积是随风力大小而增减的。

宋人说：“风有八面，唯当头不可行。”这说明十三世纪以前我国在使用风力方面，除当头风以外，其余七面都可以行船。而西方的帆船，到十六世纪以后才能做到这一点。

至于逆风行船，在我国已有四百年以上的历史。逆风行船的记载首见于沙船。“沙船能调戗使斗风！”逆风行船必须戗走(斜行)，否则不能前进。为了保持正确航向，又必须“调戗”(轮流换向)，必须走“之”形航线。逆风行船，披水板、船尾舵和风帆要密切配合。

二桅沙船两舷各装披水板一块，调戗时轮流使用下风一侧的披水板。把披水板放落水中，伸到船底之下，以增加船舶横向移动的阻力，来减少船舶偏航角度。

我国船工曾经创造了各种不同形式的风帆。例如同是沙船，而风篷不同：内河沙船风篷狭长；外海沙船风篷比较宽而短，大约宽一倍，短三分之一左右。大概因为海风强劲，海船风篷必须降低风压中心。我国南海帆船的风篷，把下风的边缘做成折角或曲线形，上部比较小而下部比较宽大，使风压中心降低，船就不易被风吹翻。

风帆的利用，从初期的单桅单帆说，帆不大，船跑得不快。后来逐步发展到三帆、四帆、五帆、七帆，甚至十二帆。人们并发现帆挂桅顶最有效。所谓“头巾顶可以提吊船身轻快”，顺风时使用“头巾顶”航行速度就加快。在大篷的两边加“插花”，可使船身不欹侧。“插花”多在旁风时使用。大篷下面再加“篷裙”，更能降低风压中心。

风篷增多固然可以充分利用风力，但同时也增加了操作的复杂性，加重了船工的劳动。如遇风暴突然来临，不能把帆及时降下，就有折桅翻船的危险。于是又逐步简化到一桅只有一帆，而帆的面积加大，使得既能充分利用风力，又便于操作和节省劳力。明代公元十五世纪以后，我国帆船的篷帆便逐渐简化。从简单到复杂，又从复杂进步到在同等效率下力求简化，这是事物发展的一般规律。

在古代，我国船舶动力大多使用风力，特别是长途航行。至于短途航行，却多使用桨橹。而桨轮船(车船)的出现，在一千多年当中也发挥过巨大的作用。

南北朝时期祖冲之造千里船，日行一百多里。千里船可能是一种桨轮船。唐代李皋(733 - 792)创造桨轮船，史书记载十分明确：“为战舰，挟二轮踏之，翔风破浪，疾苦挂帆席。”(《旧唐书·李皋传》)桨轮船到南宋就有了较大规模的发展。在洞庭湖起义的农民领袖杨么(? - 1135)，他的部下高宣曾经创造许多桨轮船。宋代大型的桨轮船长二三十丈，可容战士七八百人。杨么的桨轮船有楼两三重，载一千多人，吃水一丈左右。桨轮船车数从四车、八车增到二十车、二十四车、三十二车。当时还有一种

飞虎战舰是四车船，四轮两轴，每一轮桨一般有八叶桨片。以后一直到清末二十世纪初，我国南方地区还曾有过少量桨轮船。桨轮船的动力是用人力，不如帆船使用风力经济，因此，虽然在一定时期里面也曾形成高潮，但是终于未能十分广泛地使用。

桨轮船也叫明轮船，是把桨楫改成桨轮推进，把桨楫的间歇推进改成桨轮的旋转推进(连续运转)。桨轮船的出现是船舶推进技术上的一次重大进步。从唐代李皋算起，我国创造桨轮船比西方桨轮船的出现要早七八百年，欧洲到十五、十六世纪才有桨轮船出现。

船舶的动力问题解决了以后，同样重要的是航行方向问题。

这个问题又可分两个方面，一是掌握航向，一是辨别方向。掌握航向靠舵。我们知道，用桨橹推进的船舶，可以不需要船尾舵；而帆船却非有船尾舵不可。在我国，汉代陶船明器(广州汉墓出土)上的船尾舵，可以明显地看出由“梢”发展成舵的迹象，它标志着当时船尾舵的出现。我国船工创造船尾舵比西方约早四个世纪。以后逐步发展，甚至有了正舵、副舵、三副舵。两千多年来，我国船工创造了各种形式的舵，如升降舵、平衡舵、开孔舵等各种式样。平衡舵和开孔舵都可以降低转舵力矩，使转舵省力。我国在唐宋时期已经有平衡舵。

至于用指南针辨别方向，那更是我国航海技术的突出成就。航海船舶沿海岸航行，不需要辨别方向的仪器，老舵工熟悉沿海岸水域的海水深浅，看海岸远近趋深避浅，船上往往只有舵工。在大洋中航行，舵工掌舵就要听“火长”指挥(火长就是现今所谓“领航员”)。所谓“惟凭针盘而行，乃火长掌之”，说的就是这个情况。在大洋中航行，一望无边，指南针就成为必不可少的航行仪器。“夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”(朱：《萍州可谈>)指南针是我国四大发明之一，在宋代用于航海，是我国航海技术的卓越成就，比西方要早两个世纪。

中国古代航海技术上的成就

自然科学史研究所 严敦杰

我国幅员辽阔，海岸线很长，不只是一个大陆国家，而且也是一个海洋国家，自古以来航海事业就很发达。

天文航海技术

天文航海技术主要是指在海上观测天体来决定船舶位置的各种方法。我国古代出航海上，很早就知道观看天体来辨明方向。西汉时代《淮南子》就说过，如在大海中乘船而不知东方或西方，那观看北极星便明白了。（《齐俗训》：“夫乘舟而惑者，不知东西，见斗极则悟矣。”）晋代葛洪的《抱朴子外篇·嘉》上也说，如在云梦（古地名）中迷失了方向，必须靠指南车来引路；在大海中迷失了方向，必须观看北极星来辨明航向。（“夫群迷乎云梦者，必须指南以知道；并乎沧海者，必仰辰极以得反。”）东晋法显从印度搭船回国的时候说，当时在海上见“大海弥漫，无边无际，不知东西，只有观看太阳、月亮和星辰而进。”一直到北宋以前，航海中还是“夜间看星星，白天看太阳”。只是到北宋才加了一条“在阴天看指南针”。

大约到了元明时期，我国天文航海技术有了很大的发展，已能观测星的高度来定地理纬度。这是我国古代航海天文学的先驱。这种方法当时叫“牵星术”。牵星术的工具叫牵星板。

牵星板用优质的乌木制成。一共十二块正方形木板，最大的一块每边长约二十四厘米，以下每块递减二厘米，最小的一块每边长约二厘米。另有用象牙制成一小方块，四角缺刻，缺刻四边的长度分别是上面所举最小一块边长的四分之一、二分之一、四分之三和八分之一。

比如用牵星板观测北极星，左手拿木板一端的中心，手臂伸直，眼看天空，木板的上边缘是北极星，下边缘是水平线，这样就可以测出所在地的北极星距水平的高度。高度高低不同可以用十二块木板和象牙块四缺刻替换调整使用。求得北极星高度后，就可以计算出所在地的地理纬度。

元代意大利的马可波罗由陆路来我国，在我国耽了二十多年后由海路回去。海路航线是经我国南海进入印度洋折而往西。马可波罗当时是搭乘我国航海家驾驶的我国船舶回去的。在马可波罗游记中记载了当时我国海船和航海的情况。据游记记载，海船由马六甲海峡进入印度洋后，便有北极星高度的记录，可见那时我国航海家已经掌握了牵星术。明代郑和七次下“西洋”，“往返牵星为记”。可知当时航行在印度洋中的我国航海家已经十分熟悉牵星术了。明代牵星，一般都是牵北极星，但在低纬度（北纬六度）下北极星看不见时，改牵华盖星（北极星是小熊座星，华盖星是小熊座、双星）。

明代在航海中还定出了方位星进行观测，以方位星的方位角和地平高度来决定船舶夜间航行的位置。当时叫观星法，观星法也属牵星术范围之内。

明代牵星术的航海记录，例如从古里（今印度西海岸的科泽科德）到祖

法儿(今阿拉伯半岛东海岸阿曼的佐法尔)航路,在古里开船,看北极星的高度是六度二十四分(折合今度,下同)。船向西北,船行九百公里到莽角奴儿(今印度西海岸的门格洛尔),看北极星的高度是八度。后船向西北偏西,航行一千五百公里,在大海中,看北极星的高度是十度。又船向正西稍偏北,航行二千一百公里,到祖法儿,看北极星的高度是十二度四十八分。把北极星高度用当时的算法折算地理纬度,和现在各地的地理纬度基本相合。又从航路来看,航向和航程也和现在的航路大致相同。由此可见,明代天文航海技术已经相当先进。

关于求天象出没时间,明代航海家也有些规定。流传下来的明末抄本航路专书中有太阳月亮的出没时间表,还有“定太阳出没歌”和“定太阴出没歌”。“定太阳出没歌”文是:

“正九出乙没庚方;二八出兔没鸡场;
三七出甲从辛没;四六生寅没犬藏;
五月出艮归乾上;仲冬出巽没坤方;
惟有十月十二月,出辰入申仔细详。”

这是把十二个月的太阳出没时辰用一首歌诀来概括。正月、九月太阳出在乙时没在庚时,乙时在卯时和辰时之间,庚时在申时和酉时之间。又兔指卯时,鸡指酉时。甲时在寅时和卯时之间,辛时在酉时和戌时之间。犬指戌时。艮时在丑时和寅时之间,乾时在戌时和亥时之间。巽时在辰时和巳时之间,坤时在未时和申时之间。五月是夏至所在的月份,所以太阳出的时间要早,没的时间要晚。仲冬是十一月,是冬至所在的月份,所以太阳出的时间要晚,没的时间要早。这样计时和天象实际相比是有些误差的,但大致还适用。

据明代一些航海书籍记载,远洋海船上各色人员俱备,其中阴阳官、阴阳生专管观测天象。明末流传的小说《三宝太监西洋记通俗演义》中记载,“观星斗阴阳官十员”。又说:“每一号船上面有三层天盘,每一层天盘里面摆着二十四名官军,日上看风看云,夜来观星观斗。”虽然这是一部小说,但多少也反映了明代航海中一些实际情况。

地文航海技术

我国古代地文航海技术的成就,包括航行仪器如航海罗盘、计程仪、测深仪的发明和创造,以及针路和海图的运用等。

航海罗盘是我国发明的。我国发明指南针后,很快使用到航海上。北宋时的指南浮针,也就是后来的水罗盘。宋代朱或叙述宋哲宗元符二年到徽宗崇宁元年(公元1099年到1102年)间的海船上已经使用指南针。宣和五年(公元1123年)徐兢到朝鲜去回国后所著《宣和奉使高丽图经》中描写这次航海过程说:晚上在海洋中不可停留,注意看星斗而前进,如果天黑可用指南浮针,来决定南北方向。这是目前世界上用指南针航海的两条最早记录,比公元1180年英国的奈开姆记载要早七八十年。

航海罗盘上定二十四向,二十四向我国汉代早有记载。北宋沈括的地理图上也用到这二十四向。把罗盘三百六十度分做二十四等分,相隔十五度为一向,也叫正针。但在使用时还有缝针,缝针是两正针夹缝间的一向,因此航海罗盘就有四十八向。大约南宋时已有这四十八向的发明了。四十

八向每向间隔是七度三十分，这要比西方的三十二向罗盘在定向时精确得多。所以三十二向的罗盘知识在明末虽从西方传进来，但是我国航海家一直用我国固有的航海罗盘。

古时船上放罗盘的场所叫针房，针房一般人员不能随便进去。掌管罗盘的人叫火长。明代《西洋番国志》中说：要选取驾驶人员中有下海经验的人做火长，用作船师，方可把针经图式叫他掌握管理。“事大责重，岂容怠忽。”可见航海罗盘是海船上的一个重要设备。

计程仪又叫测程仪。三国时期吴国海船航行到南海一带去，有人写过《南州异物志》一书，书中有这样的记载：在船头上把一木片投入海中，然后从船首向船尾快跑，看木片是否同时到达，来测算航速航程。这是计程仪的雏型。一直到明代还是用这个方法，不过规定更具体些，就是以一天一夜分为十更，用点燃香的枝数来计算时间，把木片投入海中，人从船首到船尾，如果人和木片同时到，计算的更数才标准，如人先到叫不上更，木片先到叫过更。一更是三十公里航程。这样便可算出航速和航程。

我国古代这种计程的方法，和近代航海中扇形计程仪构造很相近似。扇形计程仪也是用一块木板(扇形)，不过用和全船等长的游线系住投入海中，然后用沙時計计算时间。沙時計一倒转是十四秒。在游线上有记号，从游线长度算出航速和航程。我国古代用香枝(也叫香漏)，西方近代用沙時計(也叫沙漏)，两者实在是异曲同工。

我国至迟在唐代末年已有测深的设备。一种是“下钩”测深，一种是“以绳结铁”测深。深度达到六十多尺，这还是浅水测深。再稍晚一些，有记载说用纲下水测深，“纲长五十余丈，才及水底。”纲是大绳，五十多丈，这已是深水测深了。

南宋末年吴自牧的《梦粱录》上说：如果航海到外国做买卖，从泉州便可出洋。经过七洲洋，“船上测水深约有七十余丈”。当时测水这样深，可见我国宋代已经有比较熟练的深水测深技术了。

宋代已经有针路的设计。航海中主要是用指南针引路，所以叫做“针路”。记载针路有专书，这是航海中日积月累而成。这些专书后来有叫“针经”，有叫“针谱”，也有叫“针簿”的。

凡是针路一般都必写明：某地开船，航向，航程，船到某地。航向的名称有下列各种：单向的，叫单针(也有叫丹针的)，或叫正针。双向的，以相邻两向并称，就是上文提到的缝针。两个航向合称时，有四种情况：第一，先单向后双向；第二，先双向后单向；第三，两个都是单向；第四，两个都是双向。还有超过两个航向合称的。航程都用更计算。船到某地，就用四种不同称号：第一，平，并靠的意思；第二，取，经过的意思；第三，见，望见的意义；第四，收，到达的意思。船舶在晚间航行时，要把牵星记录写入针路里。又在航行过程中还要不断测量水深，也要写入针路。

现在把明代《筹海图编》记载由太仓到日本的针路举例摘录如下：“太仓港口开船，用单乙针，一更，船平吴淞江。用单乙针及乙卯针，一更，平宝山，到南汇嘴。用乙辰针出港口，打水 六七丈，沙泥地是正路，三更，见茶山。自此用坤申及丁未针，行三更，船直至大小七山，滩山在东北边。滩山水深七八托 ，用单丁针及丁午针，三更，船至霍山。……”这段文字不算难懂。现在已经发现好几种针路抄本，包括东洋和西洋的，

我们要进一步研究。十六世纪初葡萄牙人航行于东南亚时，袭用了我国航海家所用的针路。

至于海图，北宋徐兢《宣和奉使高丽图经》上已有海道图，这是我国航海海图最早的记载，可惜原图已失传。我国现存最早的海道图是明初《海道经》里附刻的“海道指南图”。

明茅元仪辑《武备志》二百四十卷，卷末附有“自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番图”，这就是著名的“郑和航海图”。图上的航程地理，和明代祝允明(1460 - 1526)《前闻记》所记宣德五年(公元 1430 年)郑和末一次下“西洋”相合，推测这图大概是十五世纪中叶的作品。“郑和航海图”已蜚声中外，研究十五世纪中外交通史和航海技术史，都把这幅海图作为重要的依据。

明末有些古籍记有“各处州府山形水势深浅泥沙礁石之图”，“灵山往爪哇山形水势法图”，“新村爪哇至瞞刺加山形水势之图”，“彭坑山形水势之图”等，这些图都只保留了文字记载，原图都失传了。从这些海图的文字说明看，当时海图上都注明海上危险物(比如“有草屿”、“有芦荻”等)，浅滩(比如“湾内浅可防”、“有泥浅”等)，暗礁(比如“有沉礁在港口不可近”、“有沉礁打浪”等)，沙州(比如“有沙礁”)以及岩石(比如“有老古石”、“有古老石岸”等)。这些和近代海图上的要求大致符合。

清代前期保存下来的海图，有西南洋各番针路方向图一幅，彩绘纸本，时代大约在康熙五十年到五十四年(公元 1711 年到 1715 年)间；有东洋南洋海道图一幅，也是彩绘纸本，时代大约在康熙五十一年到六十一年(公元 1712 年到 1722 年)间。这两幅海图现在都保存在北京故宫。

十五 军事技术

中国古代的兵器成就

军事科学院 王兆春

人类在原始社会晚期就有战争，我国也不例外。和战争相随而生、相促相长的兵器，在我国漫长的历史发展过程中，发明和创造史不绝书，无论是冷兵器还是火器，都取得了巨大的成就。这些成就，成为中国古代军事技术成就的主要组成部分，它们如同颗颗璀璨的明珠，至今仍在中国古代科学技术宝库的辉煌殿堂中，闪烁着耀眼的光芒。

异彩纷呈的冷兵器

通常所说的冷兵器，是指用人力和机械力操持的直接用于斩击和刺杀的武器，如刀、矛、剑、弓箭等。冷兵器是人类社会发展到一定阶段才出现的，它经历了石兵器、青铜兵器和钢铁兵器三个发展阶段。

石兵器

我国古代的冷兵器，最初是由原始社会晚期的生产工具发展演变而来的。那时候，各氏族、各部落之间因纠纷而引起的武力冲突日渐增多，规模也不断扩大，终于发展成部落之间的战争。在这种战争中，单纯地利用带着锋刃的生产工具已经不能满足需要，于是就有人用石、骨、角、木、竹等材料，仿照动物的角、爪、鸟喙等形状，采用刮削、磨琢等方法，制成最早的兵器，或者说是胚胎形的兵器。它们以石制的为多，所以称作石兵器。这类制品出土的不少，主要有石戈、石矛、石斧、石铲、石镞、石匕首、骨制标枪头等，有的还把石刀嵌入骨制的长柄中。这些石兵器，大致经过选材、打制、磨琢、钻孔、穿槽等工序制作而成。

石器时代的兵器虽然制作粗陋，但是已经形成了冷兵器的基本类型，如：长杆格斗兵器戈、矛，短柄卫体兵器刀、匕首，射远兵器石镞等。这些石兵器的制作虽因年代久远没有确切记载，但是在先秦、西汉的一些典籍中也有所反映。如《世本·作篇》说“蚩尤作兵”，《管子·地数篇》称蚩尤之时已有矛、戟、芮戈(一种短戈)之类的武器。《越绝书·记宝剑》留下了神农氏、赫胥氏“以石为兵”、黄帝时“以玉为兵”的故事等等。它们和出土实物相对照，在制作年代上是大致相吻合的。石兵器虽然制作简单，但是它们却为第一代金属兵器——青铜兵器的创制开了先河。

青铜兵器

我们的祖先在新石器时代晚期，已经初步掌握了冶铜技术，甘肃马家窑遗址出土的一件锡青铜刃小刀表明，我国大约在公元前 2740 年前后，已经能够使用一些锡青铜器具了。作为装备军队的青铜兵器，在公元前二十一世纪建立的夏王朝已经问世。到了商代，随着青铜冶铸技术的提高，青铜兵器得到了进一步的发展，制品有长杆格斗兵器戈、矛、斧，卫体兵

器短柄刀、剑，射远的复合兵器弓箭，防护装具青铜胄、皮甲、盾等。商代以后，铜的采掘和青铜冶铸业得到比较大的发展。《考工记》中关于“六齐”的论述，已经总结出春秋时期一些青铜兵器中铜和锡的组配比例，其中斧斤是五比一，戈戟是四比一，大刀是三比一，削杀矢是五比二。有了这些组配比例，就能保证所制各种兵器适当的坚韧度，满足作战的需要。此外，《考工记》的“冶氏”、“桃氏”、“函人”、“庐人”、“弓人”等条，还记录了杀矢、剑、甲、戈戟、矛、弓等一些兵器的材料选择、尺寸大小、形制构造和规范等内容，表明当时制造的兵器已经向标准化迈出了最初的一步。

春秋战国时期还出现了青铜复合剑的制造技术，这种剑的脊部和刃部分别用含锡量不同的青铜铸成。铸造时，先铸造剑柄和剑脊，后铸造剑刃，再把剑刃同剑脊的榫部结合成一体。经过对这种剑的实物测定，脊部的青铜含锡量是百分之十，刃部的青铜含锡量是百分之二十。含锡量比较低的脊部韧性比较大，不易折断，便于久用。含铜量比较高的刃部坚而刚，利于刺杀。这种脊韧刃坚、刚柔相济的复合剑，既有比较高的刺杀力，又经久耐用，是青铜兵器制造技术提高的一个重要标志。同时，铜制的射远兵器弩，也在实践中得到了广泛的使用。

钢铁兵器

我国虽然在春秋晚期才进入铁器时代，但是河北藁城出土的铁刃铜钺说明，我们的祖先在商代，已经能够使用陨铁制成比较锋利的钺刃，以后再在浇铸青铜钺身时合在一起，制成铁刃铜钺。出土实物还表明，我国在春秋晚期，已经使用人工制造的铁器。到战国晚期，已经比较好地掌握了块炼铁固态渗碳炼钢技术，炼成质地比较好的钢，为制造钢铁兵器提供了原材料。这时，南方的楚国、北方的燕国和三晋地区，已经使用剑、矛、戟等钢铁兵器和用于防护的铁片兜鍪。到了西汉，由于淬火技术的普遍推广，钢铁兵器的使用越来越普遍，军队装备钢铁兵器的比例不断上升。考古界在西安市汉都长安的发掘中，发现了一座建于汉高祖时的兵器库，内藏铁制的刀、剑、矛、戟和大量箭镞，数量远远超过了青铜兵器，生动地反映了铜兵器和钢铁兵器的消长情况。

从东汉到唐宋，钢铁兵器进入全面发展的时期。坚韧锋利的各种钢铁兵器层出不穷。步兵使用刀、盾作战，具有攻防兼备的作用。骑兵使用双刃马槊，可直透敌兵的铠甲。射远兵器弩，继西汉出现带刻度的望山后，又在东汉出现了腰开弩；三国时期的诸葛亮(181 - 234)创制了连弩，使蜀军的射远兵器得到了很大改善；到唐代，射远的强弩已经发展成为重型的床弩，杀伤力大大增强。晋代创制的马蹬，得到了普遍的推广和使用，提高了骑兵的骑术和战斗力。官兵披着的铠甲五光十色，唐代的制式铠甲已多达十三种，被称作“唐十三甲”。这一时期钢铁兵器的发展，不仅表现在制造的标准化方面，而且也表现在军队装备的制式化方面。据《新唐书·兵志》记载，当时一名士兵的基本装备是：“弓一、矢三十，胡禄、横刀、……皆一。”唐河东节度使都虞侯李筌在《神机制敌太白阴经·部署篇》中说，当时一个军编有一万二千五百人。又在这部书的《器械篇》中记载了一个军的全部装备，共有弓一万二千五百张(配箭三十七万五千

支)，弩二千五百张(配箭二十五万支)，枪一万二千五百支，佩刀一万把，陌刀二千五百把， 二千五百杆，甲七千五百领，战袍五千领，牛皮牌二千五百面。从上述装备的数量可知，刀、枪、弓、铠甲和战袍是士兵必备的装备，平均每人一件，每张弓配箭三十支；弩每五人一张，配箭一百支；牛皮牌是遮挡型防护装具。就全军装备的兵器来说，种类齐全，用途多样，有格斗兵器、卫体兵器、射远兵器和防护装具，具有攻防兼备、轻重结合、长短互补的特点。如果全军出征，各种兵器配合使用，便可发挥综合杀敌的作用。

北宋仁宗庆历四年(公元 1044 年)刊印的《武经总要》，全面记载了北宋初年制造和使用的钢铁兵器，有长杆刀枪各七种，短柄刀剑三种，专用枪九种，兵器和工具合一的五种，斧和叉各一种，鞭铜等特种兵器十二种，防护装具四种，护体甲冑五种，马甲一种，弓四种，箭七种，弓箭装具五种，弩六种，复合式床子弩八种。它们实际上是集宋代以前发展的各种冷兵器的大成。人们常用刀、枪、剑、戟、斧、钺、钩、叉、棍、槊、棒、鞭、铜、锤、挝、拐子、流星等十八般兵器来形容中国古代兵器之多，但是实际上中国古代兵器远远不止这十八种，说它多得数不清是不算夸大的。宋代以后，钢铁兵器虽然仍在发展，但是它们的战斗作用同逐渐发展的火器相比，便退居次要地位。

不断创新的古代火器

大约在公元十世纪北宋初年，火药武器开始用于战争。从此，在刀光剑影的战场上，又升起了弥漫的硝烟，传来了火器的爆炸声响，开创了人类战争史上火器和冷兵器并用的时代。这个时代的火器可以分三个发展阶段：初级火器的创制，火铳的发明和发展，火绳枪炮和传统火器同时发展。

初级火器的创制

据《宋史·兵志》等史书记载，从宋太祖开宝三年到宋真宗咸平五年(公元 970 年到 1002 年)，兵部令使冯继升、神卫水军队长唐福、冀州团练使石普等人，先后向朝廷进献了火球、火药箭等燃烧性火器。《武经总要》记载了这些火器的制造和使用方法，并提供了火球、蒺藜火球、毒药烟球三个火药配方。

《武经总要》记载的火球有引火球、蒺藜火球、霹雳火球、烟球、毒药烟球、火球、铁嘴火鹞、竹火鹞等八种制品。前六种的制法基本相同，通常是先把配制好的火药，同铁片一类杀伤物和致毒物拌和，然后用多层纸糊固成球形外壳，壳外涂上易燃的引火物，待晒干后使用。铁嘴火鹞是用薄板制成鹞身，头部安上铁嘴，尾部绑有秆草，火药装在尾中。竹火鹞是用竹片编成笼形外壳，外壳糊几层纸、内装火药一斤，尾部绑草三斤到五斤。作战时，先用烙锥把火球壳烙透，然后用抛石机抛到敌阵，达到燃烧、障碍、致毒和遮障等作战目的。宋钦宗靖康元年(公元 1126 年)，北宋尚书右丞李纲(1083 - 1140)，曾指挥宋军用霹雳火球打退了金军的初次进攻。到明代后期，火球类火器又有增多。主要有神火混元球、火弹、火妖等毒杀性火球，烧天猛火无栏炮、纸糊圆炮、群蜂炮、大蜂窝、火砖、

火桶等燃烧和障碍性火球，万火飞沙神炮、风尘炮、天坠炮等烟幕和遮障性火球。

火药箭是北宋初年创制的另一种初级燃烧性火器，主要制品有弓弩火药箭和火药鞭箭两种。弓弩火药箭是在一支普通箭头的后部绑附一个环绕箭杆的球形火药包，包壳用易燃物制成，内装火药，药量由弓弩的大小而定。作战时，先点着火药包，然后把箭射到敌军粮草积聚上，待着火的包壳引燃壳内的火药后，就引起猛烈燃烧。

初级火器除了北宋初年创制的火球和火药箭之外，南宋又创制铁火炮和竹制、纸制的火枪。这一时期战争频繁，错综复杂，有南宋对金、金对蒙古、蒙古对南宋、蒙古西征等多种战争。交战的各方都全力利用和研制新式火器，以便战胜对方，这就促进了火器的发展。金军在灭亡北宋以后，由于掌握了北宋的火器制造业和工匠，创制了铁火炮。南宋宁宗嘉定十四年(公元1221年)，金军在进攻蕲州(今湖北蕲春)时，率先使用了铁火炮。铁火炮用铁做壳，有球形、罐形、葫芦形、合碗形等样式，内藏火药，有火捻从炮内火药中通出。使用时，士兵点着火捻，待抛到敌方时，火捻引着火药，使铁壳爆炸。这种用火捻点火引爆的方法，比火球用烙锥烙透球壳的方法，大大前进了一步。铁火炮点火爆炸后，既能以火焰烧灼敌方，又能以四散飞击的铁壳碎片击杀敌军人马和敌军战具，成为世界上最早的铁壳爆炸弹，为明代后期创制的地雷、水雷和各种爆炸弹奠定了基础。

火枪的创制和发展，是南宋初级火器发展的又一重要成果。它的最初制品是在宋高宗绍兴二年(公元1132年)，由德安(今湖北孝感地区)守将陈规用火炮药制成能喷射火焰烧毁敌人的大型攻城器械——天桥的长竹杆火枪，他因而取得了守城战的胜利。陈规可以说是管形火器的发明家。时隔百年之后，金忠孝军在宋理宗绍定五年(公元1232年)，使用了既能用火药筒喷火灼敌、又能用枪锋刺敌的飞火枪，取得了夜袭蒙古军兵营的胜利，成为我国集群士兵使用单兵火枪作战的首例。到理宗开庆元年(公元1259年)，寿春府(今安徽寿县)地方的火器研制者创制了“突火枪”，“以巨竹为筒，内安子窠，如烧放，焰绝然后子窠发出如炮声，远闻百五十余步。”(《宋史》卷一百九十七)“子窠”是最早的子弹。这是把燃烧性火器过渡到管形射击火器的发展阶段，为金属管形射击火器——火铳的创制奠定了基础。

火铳的创制和发展

火铳的创制是中国元代兵器制造的重要成果，它是依据南宋火枪尤其是突火枪的发射原理制成的。现存的元文宗至顺三年(公元1332年)所制、安放在架上发射的盏口铳，元惠宗至正十一年(公元1351年)研制的手铳，分别是当时所制大型火铳和手铳的代表性制品。此外还有其他一些出土实物。它们在构造上基本相同，都由前膛、药室和尾銚构成。同火枪相比，火铳的使用寿命长，发射威力大，是元军和元末农民起义军使用的利器。明王朝建立后，由军器局和兵仗局专造碗口铳(和盏口铳类似)和手铳。铳身都刻有铭文，主要内容有造铳地点、单位、监造官员的职务和姓名、造铳的军匠和民匠的姓名、用铳卫所的名称、使用火铳的教师和习学军人的姓名、火铳的重量和造铳年月等，基本上反映了火铳制造和使用情况。

从明成祖永乐年间(公元 1403 年到 1424 年)起,火铳得到了长足的发展,增加了品种和数量,改进了结构,提高了质量。

同明太祖洪武年间(公元 1368 年到 1398 年)的火铳相比,这一时期的火铳、手铳有比较大的改进,手铳的改进尤其突出。除了表现在制造工艺更加精细、产品精度更加提高外,主要表现在构造的改进和配件的增加等方面。

首先是外形构造上的改进。这一时期手铳的外形改变最明显,前膛已不再是简单的直筒形,而是从铳口到药室逐渐增大,形似现在的粉笔,这是前膛壁从铳口到药室逐渐增厚的结果。构造上的这种改进,反映了当时的火铳研制者对火药在药室内燃烧后作用于膛壁的压强从药室前到铳口成递减分布的状况,有了一定的经验和感性的认识,因此在设计火铳时,在膛径保持前后不变的情况下,把靠近药室的膛壁增厚,使它能承受比较大的膛压,而铳口所受的膛压最小,所以膛壁也最薄。这是当时火铳设计科学性提高的表现。

其次是增加了火门盖。手铳构造上的另一个重要改进,是在药室的火门外,增加了一个长方形的曲面活动盖,盖的一端固连在铳上,可以翻旋。装填火药后便把活动盖盖上,保持药室内的火药不受风雨灰沙的侵蚀,处于干燥清洁和良好的待发状态。

第三是增配了装药匙。这种增配的装药匙是专门给手铳装填火药用的,出土实物也不算少。在已经发现的装药匙中,除单独出土的外,也有的伴随手铳一起出土,如在南京东华门附近挖出“神字二十一号”手铳时,也随着挖出了一个装药匙,匙柄上刻有“重二两五钱”等字。另外,日本的一些火器史研究者也搜集了几件类似的装药匙,有一个装药匙除了在柄上刻有“重二两五钱”几个字外,还刻有“天字二万三千二百五十九号”等字。这个装药匙很可能是永乐七年(公元 1409 年)所造同号手铳的附件。同样,另一个刻有“胜字六千六百五号”的装药匙,可能是明英宗正统九年(公元 1444 年)所造同号手铳的附件。在已经搜集到几件装药匙中,它们的主要尺寸相同,如全长一百五十五毫米,匙部长八十四毫米,横幅宽二十八毫米;两侧内凹,前端口部幅宽五毫米,可插入火铳口内,使匙内火药直接装入膛内,不致散落在外;装药匙的柄长七十一毫米,最粗处截面是五毫米乘四毫米。从匙柄上所刻重量相同的匙部的规格一致可知,它们向手铳内装填的火药量也没有差异,这样既不会发生因装药量过少而发射无力的弊病,也不会出现因装药量过多而发生手铳爆裂的危险,保证了发射的威力和安全。装药匙的柄端还有一个小孔,可系上绳环,便于士兵系在腰间。使用装药匙的本身也说明当时所用的是优质粉状或粒状发射火药。

第四是使用了“木马子”。在出土的实物中,还发现个别手铳中残存有“木马子”。“木马子”是在药室中装填火药后用以筑实火药用的附件,具有紧塞和闭气的作用,可以增强火药的爆发力,使安在“木马子”前的弹丸受力瞬时而集中,增加了射程。据《大明会典·火器》记载,在明孝宗弘治元年(公元 1488 年)前,军器局每年要造“椴木马子三万个,檀木马子九万个”。因此,“木马子”似应在明初已经制造,但是由于木质容易腐烂,所以到现在为止只在河北省文物研究所收藏的一件刻有“奇字壹万贰千肆拾陆号永乐拾叁年玖月日造”的手铳中,发现这种配件的残留

件。

永乐手铳也都刻有铭文，内容有编号数和造铳年月，反映了当时火铳的统一制造和管理的情况。从已经出土的永乐型手铳的各个编号数，可以判断永乐到弘治年间所造手铳已经超过十六万支。

火铳的大量制造和使用引起我国古代军事方面的大变革。这次大变革主要表现在下列几个方面：首先是全国各地卫所驻军开始按编制总数的十分之一装备火铳；其次是在永乐七八年间创建了世界上最早装备神机枪炮的火器部队神机营；第三是火铳和冷兵器相结合的战术，在野战、攻守城战和水战中都有创造；第四是在边防、海防要地开始增配火铳，改善了守备设施。这些变革，无论在深度和广度上，都是以往在冷兵器时代的变革所不可比拟的。

火绳枪炮的传入和传统火器的更新

我国发明的火药和创制的火器，在公元十四世纪初叶传入欧洲后，欧洲的火器研制者就在十四世纪后期仿制成手持枪和早期射石炮。之后又进行各种改进，在十五世纪后期制成各种火绳枪炮。十六世纪初叶，葡萄牙人东来，把用火绳点火发射弹丸的枪炮带到了印度、日本和中国。明世宗嘉靖元年(公元 1522 年)，明军在广东新会西草湾反击葡萄牙舰船的挑衅时，缴获了两艘舰船和它们所装备的舰炮。这种舰炮，炮管比较长，安有瞄准装置，炮管后部有一个肩形敞口的装弹室，可以安放子炮，每门舰炮备有四个到九个子炮。子炮的作用相当于后来的定装式炮弹，可事先装填火药，并用火绳点火发射。发射时，先把一个子炮安置在装弹室里，射毕后再换装一个子炮，因而可以轮流发射，大大提高了射速。因为当时我国把葡萄牙人称作佛郎机，所以也把这种舰炮称作佛郎机。

嘉靖二十七年(公元 1548 年)，明军在收复被日本人和葡萄牙人占据的双屿港(今浙江宁波东南海中)时，缴获了欧洲人和日本人制造的火绳枪。这种枪的枪管细长，从枪口装填火药和弹丸，前有准星，后有照门和药室，安在弯形的枪托上，枪托上固连一个龙头形扳机，龙口内衔有火绳，扣动扳机时，龙头向下旋转，点着的火绳头落入装药池中，点着火药，把弹丸射出。当时因弯形枪托形似鸟嘴，就把它称作鸟嘴铳、鸟铳或鸟枪。由于火绳枪炮具有比明军使用的火铳装填方便、射速快、命中精度高、杀伤威力大等优点，所以明代的军器局和兵仗局就在嘉靖年间以缴获的实物作为样品，仿制和改制成多种形式的佛郎机和鸟枪，开了我国仿制外来枪炮的先河。此后，火器研制家赵士桢，在明神宗万历二十六年到三十九年(公元 1598 年到 1611 年)，除仿制成土耳其式噜密铳外，还研制成摯电铳、三长铳、双叠铳、迅雷铳等多种单管和多管火绳枪，把火绳枪炮的研制推进到一个新的发展阶段。

明代嘉靖到万历年间，在大量制造火绳枪炮的同时，还全面发展了各种传统火器，包括改制明代前期的各种火铳，创制了快枪、多管(多发)铳、虎蹲炮，发展了利用火药燃气反冲力推进的火箭类火器和火球类、喷筒类、火禽火兽火车攻战类等各种燃烧性火器，创制了各种爆炸弹和地雷、水雷。这些火器连同火绳枪炮，基本上包括了中国古代火器的各个门类，形成了中国火器发展史上外来火器和传统火器同时发展、交相辉映的新时期。

佛郎机、鸟枪和各种传统火器的大量研制和使用，使我国军事领域的

各个方面又发生了一次大变革。这种变革，突出地表现在明穆宗隆庆年间(公元 1567 年到 1572 年)戚继光(1528 - 1587)在蓟镇编练的车营、步营、骑营、辎重营等新型的兵种之中。这些营使用鸟枪、佛郎机、虎蹲炮、火箭等火器的士兵已占编制总人数的一半左右。因此，就武器装备的比例和在作战中的作用来说，它们实际上已经成为火绳枪炮和冷兵器相结合的车炮营、鸟枪营、骑炮营和火器补给营。它们不但可以成为独立的新兵种，而且可以成为协同作战的合成军种。同时，用火绳枪炮和冷兵器相结合的作战方式、军事教育训练、国防设施也都随着产生。

从明熹宗天启元年(公元 1621 年)起，为抵御后金军的进攻，以大学士徐光启为代表的军事技术家受明朝廷的命令，向澳门葡萄牙殖民当局购买了欧洲使用的早期加农炮，当时我国叫它“红夷炮”。这种火炮构造合理，具有身管长、威力大、射程远等优点，能轰毁大型城墙，是攻守城战的锐利兵器。天启六年(公元 1626 年)正月，宁前兵备道袁崇焕(1584 - 1630)曾在宁远(今辽宁兴城)指挥明军使用红夷炮，打退努尔哈赤(1559 - 1626)所部后金军的进攻。之后，明廷委任徐光启、李之藻(1565 - 1630)等科学家和军事技术家，组织工匠制造红夷炮，把欧洲用泥模铸炮的方法以及以口径的尺寸作为基数按一定的比例倍数设计火炮各部分的方法引进中国，提高了火炮制造的科学性。

不久，后金军也开始研制和使用“红衣炮”(后金改“夷”为“衣”)，作为攻城掠地的重型火器。入关以后，仍然大量制造和使用，并发展成为清军装备的系列火炮。清圣祖康熙年间(公元 1662 年到 1722 年)，为了收复被沙俄侵占的雅克萨城和平定“三藩”的需要，曾委任耶稣会传教士比利时人南怀仁先后制造了五百多门各型红衣炮。同时，火器研制家戴梓(约 1649 - 1726)，也创制了蟠肠鸟枪、子母炮和连珠火铳等枪炮。子母炮炮身长二·一尺，重三百斤，发射二十到三十斤重的铸铁炮弹，内装“子弹”，发射时，杀伤威力比较大。连珠火铳是一种连扳连射式燧发枪，铳脊有弹匣，可贮存火药和二十八发弹丸。这铳有两个相连的扳机，扳动第一机时，火药铅丸自动落入筒中，同时第二机也随着转动，把弹丸射出。接着再射第二发。以后依次连扳连射，装填一次可连扳连射二十八发弹丸，大大提高了射速。遗憾的是，这一重大的成果未能获得朝廷的重视和采用。

中国古代战车、战船和 城防技术成就

军事科学院 王兆春

中国古代军事技术，不但在兵器制造和使用方面取得了丰硕的成果，而且在战车、战船和城防技术方面，也有许多杰出的创造，成为中国古代军事技术成就的重要组成部分。

战车技术成就

从广义上说，中国古代战车是指专为作战使用的各种战斗车辆的总称。它由原始社会晚期木板圆轮式陆上运载工具演变而来，除了辘重车和特种攻城车外，主要有商周车战时代用来乘载士兵作战的木质战斗车辆，以及宋代以后装备各种兵器的战斗车辆。

车战时代的战车

据文献记载，我国在远古时代已有车骑。随着社会生产力的发展和战争规模的扩大，战车使用的数量也越来越多。在周武王灭商的牧野(今河南淇县以南卫河以北地区)之战中，就动用了三百乘战车。到了春秋时期，战车发展到鼎盛阶段，千乘之国已不稀罕。周襄王二十年(公元前 632 年)，晋楚两国在城濮(今河南濮阳，一说今山东鄄城濮阳集)之战中，双方各出动了七百乘战车。到春秋末期，有的诸侯国拥有战车达四千乘以上。春秋战国之际，虽然由于步骑战兴起，车战地位逐渐下降，但各诸侯国拥有战车的数量仍然相当可观。直到汉代初年，战车在战争中仍然发挥着一定的作用。

车战时代的战车，在形制构造上大同小异。商周时期战车的形制构造，不但在《考工记》中有详细的记载，而且还有出土实物可资考察。它们一般是独辕、两轮、长毂；车舆(车厢)是横宽竖短的长方形，门开在后方；车辕后端压在车厢和车轴之间，辕尾稍露在厢后；车辕前端横置车衡，衡上缚附两轭，用以驾马；车体都是木质结构，通常在重要部位装着各种青铜制的车器，目的在于增加车身的坚牢度，便于纵横驰骋，在一般“错毂”交战中不致被损坏。

车战时代的马车由两马或四马驾挽，以四马为主。从殷墟出土的车马装具可知，大约在公元前十四世纪的商代武丁时期，每乘四马战车的编制装备已经制式化。按当时规定，每车编左中右三名甲士。左方的甲士持弓箭射远，称车左，是车首；右方的甲士执戈或矛同敌击刺，称车右；居中的甲士称御者，佩剑一把。在通常情况下，车上装备五件兵器，称作“车之五兵”。《考工记》所记载的“车之五兵”是戈、殳、戟、酋矛、夷矛，分别插在舆侧的固定位置，供甲士临战使用。兵器的这种装备方式，具有长短兼备、远近结合的特点。不过战车装备的兵器也并非千车一律，种类和多寡稍有不同。

到西周时期，为适应作战的不同需要，战车的分类已经越来越明显。

据《周礼·春官》记载，当时的战车已分成戎路、轻车、阙车、苹车、广车五大类。戎路也称戎车，是国君或统帅乘坐的指挥车。轻车便于往来驰骋，是攻击型战车。阙车负责警戒和补充缺损的战车。苹车是一种防御性战车(据郑玄注“苹犹屏也”)，可互相联结成屏障，以抵挡或阻滞敌军的进攻。广车兼有攻防作用，主要用作防御。

西汉以后，步骑兵逐渐取代了战车兵，作为车战时代的战车，便逐渐失去了它原有的作用。

宋代以后的战车

宋代以后的战车同车战时代的战车不同，主要不是乘载士兵作战的战斗车辆，而是装备各种冷兵器和火器的战斗车辆，种类比较多，形制构造各有特点。

在《武经总要·器图》中，绘制有车身小巧的独轮攻击型战车，包括运干粮车、巷战车、虎车和象车、枪车等。运干粮车、巷战车和虎车的基本构造相同。它们是在一辆独轮车上，或在车前安置挡板，两侧安置厢板，或在车上安一个虎形车厢，以掩护推车士兵。同时在车的底座上和虎形大口中，通出多支枪锋，以便在作战时冲刺敌军。由于这种独轮车车身小巧，便于机动，所以士兵可以在狭窄的田埂、道路、街巷中推车冲进，同前来劫粮和进攻的敌军搏斗；也可在旷野中排成车阵，由众多士兵拥推成百上千辆蜂拥而前，冲击敌军的前阵，配合步骑兵进攻。安有四轮的象车和枪车的车身比较宽，象形车厢和挡板比较大，安插的枪锋比较多，主要是在野战中排成车阵，用来冲击敌军的前阵，配合步骑兵进攻。

南宋抗金将领魏胜(1120 - 1164)，在宋孝宗隆兴元年(公元 1163 年)的抗金备战中，创制了几十辆抛射火球的炮车和几百辆各安几十支大枪的如意战车，以及安有床子弩的弩车。这些战车在车前安有兽面木牌，旁侧有毡幕遮挡，每车用两人推进，可蔽士兵五十人。行军时，上载辎重器甲；驻营时，挂搭如城垒，敌不能近；列阵时，如意车列在阵前，弩车作阵门，可射出如茵的大矢，一矢能射几人，炮车在阵中，抛射火球、石弹，可远及两百步；作战时，三种车上的兵器配合使用。当敌我双方相对接近时，从阵中发射弓弩箭炮，发扬火球同射远冷兵器的远距离杀伤和摧毁作用；如果敌接近阵门，刀斧枪手可以同敌近战搏杀；待敌溃退时，士兵就拔营推车追击。魏胜创制的炮车、如意车和弩车，受到了朝廷的重视，曾下令各军仿造使用。(《宋史·魏胜传》)

明代自世宗嘉靖年间(公元 1522 年到 1566 年)以后，由于火器的大量制造和使用，装备火器和冷兵器的战车得到了长足的发展，种类繁多，适应于各种不同作战用途的需要。仅《武备志·火器图说十一·车》中，就记载了下列几种类型的火攻车。

首先是火器和冷兵器相结合的战车。这类战车有万全车、架火器战车、破敌风火鼎等。它们的构造特点是在两轮或四轮车上安有大型木柜或木架，架置各种火器和冷兵器，杀伤敌军。有的木柜大到八尺见方，高达一丈多，顶部造成女墙形状，中藏折叠式望楼，可载乘八名士兵，形似活动式碉楼，具有攻守兼备的特点。

其次是纵火战车。这类战车有火龙卷地飞车、铁汁油车、盛油引火车、

行炉和扬风车等。它们是在一辆两轮或四轮车上装备各种燃烧性火药，或在锅内盛满烧沸的油和烧熔的铁汁。作战时，把它们迅速推到敌阵纵火，并用扬风车扇风催火，帮助燃烧。

第三是火箭战车。这类战车有冲虏藏轮车、火柜攻敌车等。它们是在独轮或两轮车上安置一个到几个大火箭筒，内装四十到一百支箭，用木柜或前挡板作屏蔽，以防敌军射来的矢石。作战时，士兵推车接敌，点燃火箭的火捻，使众箭齐飞，大量射杀敌军。戚继光在蓟镇练兵时编练的一个车营中，就有四辆火箭战车。

第四是炮车。这类战车最多，明代后期的大型火炮都已安在车上。在戚继光编练的车营中，每营就有一百二十八辆炮车，载运二百五十六门佛郎机炮。其他如攻戎炮、千子雷炮、叶公神铳、灭虏炮、将军炮等，都由炮车载运。这类炮车把车的机动性和火炮的摧毁威力合而为一，提高了火炮的机动性、参战速度和毁杀威力。

第五是轻便火器战车。这类战车轻便灵活，如独轮屏风车，车前放置一个高于人体的屏板，两侧内折九十度角，使人体的三面受到保护；屏板上开有射孔，可对敌发射火箭和枪弹；每车编士兵三名，备干粮若干，供士兵食用。屏风车既可单车作战，也可多车并列射敌，并可在驻营时排列成临时军营的挡墙。

第六是综合型战车。这类战车备有多种火器，如万胜神毒火屏风车，既有射远的火铳、火箭，又有近战的火弩、火枪，还有各种燃烧性火药，可发挥综合杀敌的作用。

如果说车战时代的战车主要是乘载甲士进行对阵作战和错毂拼杀的话，那么宋代以后的战车是兵器的毁杀作用和车辆的机动性相结合的攻击性战车，使用范围和战斗作用要宽广得多了。

战船技术成就

在商末周武王伐纣时，已经使用船只，运送军队和战具，渡过黄河去作战。到春秋时期，吴、楚、越三国争霸于长江流域，经常用船只运载军队进行水战。据《左传》记载，鲁襄公二十四年(公元前 549 年)， “ 楚子为舟师以伐吴 ”，这是关于水军和专为水战而建造船只的最早文献记载。鲁昭公十七年(公元前 525 年)，吴国出动舟师和楚国舟师战于长岸(今安徽当涂西南)，楚国 “ 大败吴师，获其舟 ” (史书中出现的最早的战船名，也作 “ 余皇 ”，是吴国国王乘坐的指挥船)。随着水战的发展，各种用途的战船也不断涌现。公元前六世纪末，伍子胥(?—前 484)在吴国训练水军时，把大中小各型战船按作战用途分成大翼、小翼、突冒、楼船、桥船等，并以战车作比喻，说大翼相当于重车，小翼相当于轻车，突冒相当于冲车，楼船相当于行楼车(指挥车)，桥船相当于轻足骠骑，是一种小型快艇。(据《越绝书》)这些战船在水战中配合使用，发挥综合的战斗作用。同时，越国和秦国也建造了各型战船。

从秦汉到明代，随社会生产力的发展和战争规模的扩大，我国古代战船也得到了长足的发展。

首先是水军战船数量多，舰队规模大。如汉元狩三年(公元前 120 年)，汉武帝下令在长安城西南挖了四十里方圆的 “ 昆明池 ”，在池中建造楼船、

戈船等几百艘战船，大船可容千人。东汉建武十八年(公元 42 年)，汉光武帝派伏波将军马援(前 14 - 后 49)率部队分乘两千艘战船，前往交，进行水上作战。三国时期，东吴水师拥有战船五千艘。隋文帝开皇八年(公元 588 年)，在隋灭陈之战中，隋将杨素(? - 606)率水军有几千艘战舰。

其次是大型主力战舰屡有创新。汉代的楼船高达十多丈，船面上建楼二层到四层，每层外面都环有三尺高的女墙，掩护士兵作战。大型楼船可载将士一千人，东吴的楼船可载将士三千人，宛如水上高城。据《晋书·王传》记载，西晋建造的战船“连舫”，“方百二十步，受二千余人，以木为城，起楼橹，开四出门，其上皆得驰马来往。”隋代杨素建造的大型五牙、大等战船，上建五层楼，高一百多尺，乘员八百多人，四周安有高十多尺的拍杆，用以击打敌船。郑和下“西洋”时主帅乘坐的宝船，长达四十四丈、宽达十八丈。主力战船的创新，使水师的战斗力不断提高。

第三是战船分类越来越科学。西汉时期已经根据不同作战任务的需要，把战船进行分类：大型楼船是水军主帅乘坐的指挥船；运送士兵率先登陆抢滩头阵地的船称“先登”；船体狭长、专门用来冲击敌方船队的战船称“艨冲”；侦察敌情的船称“斥候”；轻型快的船称“赤马舟”；防御设备比较好的船称“舰”；行驶平稳而体短的船称“”；小型战船称“艇”；比楼船稍小的船称“斗舰”；四周有女墙防护、桨手多、航速快的船称“走舸”；装有冲角、用以撞击敌船的船称“突冒”等。战船进行科学分类后，既使战船将士能明确自己的职责，又利于相互进行协同作战。

第四是兵器装备逐渐更新。早期战船只装备刀、矛、弓、剑、戈。秦汉时期增加了弩。东晋(一说隋代)的战船已经安有拍杆。宋代的战船开始配备火球、火药箭、火枪，水军也进入冷兵器和火器并用的时期。元末明初的战船上开始装备金属管形射击火器——火铳。嘉靖年间，戚继光所编水军营的大型福船、中型海沧船、小型苍山船，都增加了大发贡(一种大型火炮，“贡”也作“”)、佛郎机炮、鸟铳等火绳枪炮，加上火箭、火砖、喷筒等火器，战船上使用火器的士兵已占编制总数的一半左右。同时，还创造了子母舟、连环舟、火龙船、赤龙舟等各种专门装备火器用于火攻的小型战船。此外，新创制的水雷和古代二级火箭——“火龙出水”已在水战中使用。

城防技术成就

城防技术成就包括军事筑城和守城器械两方面，它们之间相辅相成，同时发展。

军事筑城技术成就

城是中国古代都邑周围用土或砖石砌成的防御性墙垣。据说在原始社会末期，聚居于中原嵩山地区的部落领袖鲧(禹的父亲)，已经开始构筑最早的城。随着社会生产力的发展和战争的推动，便逐渐形成以都邑为中心、以城墙为主体、以城门和敌楼为重点的点线结合、综合配置的军事筑城体系。由城墙围圈的城郭有正方、长方、圆形和其他不规则几何图形，它们的建筑要受地质、地形、地理位置的制约，因此有平陆筑城、依山筑

城、沿海临江筑城等，千姿百态，各有千秋。

按唐代规定，平陆筑城的城高、城根厚、城顶厚之间的比是四比二比一（见《卫公兵法辑本·攻守战具》）。如城高是六丈，那城根厚是三丈，城顶厚一丈半。按照这一比例构筑的城墙，既坚固耐久，又节省工料。但是在复杂地形上建筑城郭，就要因地制宜了。明立国前二年到洪武二十三年（公元1366年到1390年）建成的明初南京城，就是在复杂地形上因地制宜建成的一座在当时规模最大、技术最先进、构筑最坚固的大型军事城防，是我国古代军事筑城技术高度发达的标志。它的特点主要表现在下列几个方面：

首先，充分利用天然的和历史上形成的地形地物作为筑城的基础。这样做，不但独具形胜，而且节省工料。如利用马鞍山、四望山、卢龙山的“岗垄之脊”而构筑的南京城西北段城墙，在墙外的敌人但见它立于崖壁之上，高耸难攻，而城内的守军却可凭借平缓的护土坡上下往来，进行机动作战。又如建于清凉门（石头城附近）左右侧的城墙，因三国时期孙吴所建石头城的旧址而筑，也具有同样的军事形胜。

其次，建筑深厚牢固的墙基，使新筑的城墙坚实耐久。如三山门到石城门段的城基，都用大条石砌成，深入地下五米多，还不见底层基石；覆舟山到解放门段城基，深挖到十二米，仍不见铺砌的大条石底层。

第三，采用巧妙的筑基技术，减轻城墙对地表的重荷，避免城墙塌陷的危险。如在三山门到石城门土质比较松软的地段，在两端建筑坚固的墩基，以后在墩基上交错支架多层大粗木排，把城墙对地表的压力通过木排转移到墩基上。在聚宝门、正阳门东侧和光华门东侧的城基下，都发现了采用这种方式构筑城基的大量圆木。如果遇到在地下埋设水管的地段，那么就在水管上面建筑拱顶，使城墙的重压避开管道，通过拱顶转移到两端的墩基上。1980年，在覆舟山西侧挖掘防空巷道时，就发现了一座横在城墙之内高四米半、宽四米、长二十米的拱顶和墩基建筑。经考察认为，它是为保护武庙闸通往后湖的涵管而建的。

第四，修建了排水和控水设施，使城内不受旱涝之患。城墙的排水设施在筑城时已一并设计：城顶以砖砌面，外沿置滴水槽，使雨水从顶部流入城根略高于地表的石槽，通过窰井排入河流。聚宝门一带到现在还可见到这种设施。控水设施主要是建于河水入城处的水闸，水闸下接铜铁涵管或砖砌涵洞，启闭闸门便可控制流入城内的水位。在朝阳门南、太平门内偏西的地方，都发现这种设施；在秦淮河流入流出的通济门和三山门，各建有三道闸门。为守御两门，还建有藏兵洞，仅通济门东关头就建有二十二个藏兵洞。

第五，选择优质的材料，保证筑城的质量。筑基所用的条石，是在南京东部的汤山采制的，一般长达八十到一百一十九厘米，宽七十厘米，厚二十六到三十三厘米。城砖长四十厘米，宽二十厘米，厚十厘米；从已搜集到的实物和刻在上面的铭文可知，它们是由相当于今江苏、江西、安徽、湖北和湖南五省的二十八个府、一百一十八个县、工部下属的一些单位，以及飞熊、豹韬、横海三个卫，组织民工和军士烧制的。砌城的粘合剂，是把江、浙两省所产的一种“蓼草”加水加温成粘液，再配以适量的石灰、细沙，搅拌成混合浆而制成的。据考古部门取样试验，它的承压能力比现在的水泥沙浆稍低，而拉力和渗透力都比水泥沙浆高，因此是一种韧性比

较大的粘合剂。

采用先进技术构筑的南京城郭，再配以厚足的兵力和守城器械，已经形成一个据可守、进可攻的坚固城防体系，达到了古代军事筑城技术的高峰。

守城器械成就

守城器械种类很多，它们根据作战的需要配置在坚固城防的各部位，由守城士兵操持，依托城郭，发挥守城作用。按作战用途，它们大致可以分成攻击式、侦听式、抵御式、撞击砸打式、烧灼式、灭火式等六大类。

攻击式守城器械主要有各种抛石机，它们可以在比较远的距离上抛射巨石，击杀前来攻城的敌军士兵，击毁敌军的攻城器械，阻止敌军接近城墙。

侦听式守城器械有瓮听、地听等，用法是先在城内要道处挖二丈左右的井状地穴，以后用无缝的陶瓮覆在井口，命耳聪的士兵以耳贴近陶瓮，倾听异常声音。因为如有敌军挖掘地道，便有声音传来，守城士兵听到这种声音，就采取防御和反击措施。

抵御式守城器械有竹立牌、木立牌、布幔、木幔、皮帘、垂钟板、篾篱笆、皮竹笆、护城遮架等遮挡器械，以遮挡攻城敌军射来的矢石；有加强城门和城垛防御的插板、墙门、槎碑、塞门刀车、木女头和木女墙等。它们能在城门、女墙被敌摧毁时进行应急性的补救，以阻止敌军从突破口冲入城内；还有抵御和托阻敌军云梯的叉杆、抵篙等。

撞击砸打式守城器械有撞毁敌军云梯和尖头木驴用的撞车和铁撞木，有击砸敌军人马和攻城器械的各种橛木(夜叉橛、砖橛、泥橛、木橛、车脚橛)、奈何木、坠石、狼牙拍等。

烧灼式守城器械有铁火床、游火铁箱、行炉、猛火油柜、燕尾炬、飞炬、金火罐等。它们或以猛火烈焰，或以烧熔的铁汁，浇灼敌军的士兵和攻城器械。

灭火式守城器械有水囊、水袋、麻搭、唧筒、油筒等。它们的作用是在敌军焚烧城门、城楼时，用水把火浇灭，不使敌人的火攻得逞。

此外，还有一些特殊用途的守城兵器和器械。如钩取敌军士兵和器械的飞钩、铁提钩、绞车，供士兵上下城墙用的吊机、吊车、绳梯，攻击从地道中攻城的风扇车、土色毡帘等。

除专用于守城的器械外，障碍器材也大多用于守城战。障碍器材是阻止敌人行动和杀伤敌人而用人工制作的各种障碍物，主要用于保障城郭和营垒的安全。明代中期以前的障碍器材多是非爆炸物，如铁蒺藜、拒马、鹿角木、(ch u)蹄、地涩等。明代中期以后，已经大量使用地雷和水雷等爆炸物作为障碍器材，使障碍器材进入了一个新的发展阶段。

十六 少数民族的科技成就

蒙古族在我国古代科学上的贡献

内蒙古师范大学 李迪

中国是一个由多民族结合而成的国家。在我们的国家中，除汉族以外，“共有数十种少数民族，虽然文化发展的程度不同，但是都已有悠久的历史。”^①各少数民族在文化科学方面都作出了自己的贡献，充实、丰富了祖国和世界的文化科学宝库。

蒙古族和其他民族一样，有悠久的历史。十三、十四世纪期间，以蒙古族为主体建立了元王朝。元代建立了当时世界上规模最宏伟、设备最完善的天文台，进行了全国范围的天文观测，制订了优良的历法——《授时历》。各族劳动人民兴修了许多水利工程，闻名世界的南北大运河最后凿通，由杭州起航的船只通过运河可以直达首都——大都(今北京市)。棉花的种植得到了推广，棉纺织业有了发展，政府主编了农书。元代的青花瓷驰名世界。由于东西交通大开，为中外科学交流创造了条件，交流活动比前代更盛，对于科学的发展起了促进作用。

元代以来，蒙古族在许多科学领域中作出了贡献。

蒙古族对数学作过许多研究。我国最先研究著名的欧几里得《几何原本》的是蒙古族的蒙哥(1208—1259)。据记载，“成吉思汗系诸王以蒙哥皇帝较有学识，彼知解说 Euclid 氏之若干图式。”

蒙哥是成吉思汗(1162—1227)的孙子，元世祖忽必烈(1213 - 1294)的哥哥。Euclide 就是古希腊数学家欧几里得，所作《几何原本》十三卷，别人又后续二卷。元秘书监所记“至元十年十月北司天台申本台合用文书”的书目里，有“兀忽列的四肇算法段数十五部”一种，据认为就是十五卷本的欧几里得《几何原本》的阿拉伯文译本。北司天台在当时蒙古族的政治中心之一的上都——今内蒙古自治区正蓝旗境内，蒙哥所研习的“若干图式”可能就是这部《几何原本》的部分内容。

十八世纪前期在清代钦天监任职的蒙古族科学家明安图在数学方面作出了贡献。当时从欧洲传进三个有关三角函数的解析式子，但是没有证明。明安图“惜仅有其法，而未详其义”，于是用三十年的时间进行研究，不仅创用“割圆连比例法”证明了三个式子，而且又独立获得六个解析式(参见本书第 103 页)。明安图留下的数学研究手稿，后来由他的儿子明新、学生陈际新、张良亭整理成书，题名叫《割圆密率捷法》，凡四卷，留传到现在。明安图的数学思想方法对我国十八、十九世纪数学发展很有影响，实际上形成了一个学派。

蒙古族研究数学并有著作留传于后世的，不止明安图一人，此外还可以提到清末的都伦。都伦著有《贻笑大方算草》一卷，又名《少广章初编》，内容属于初等数学。

在天文方面，旭烈兀(1219 - 1265)西征的时候，蒙哥曾命他把有名的天文学家纳速刺丁·徒思送来中国。旭烈兀把徒思带到塔弗利兹，自己建立了一座天文台。不久，忽必烈批准由一批汉族天文学家(如王恂、郭守敬)在大都建立一座大天文台，和北司天台同时并存，规模和设备都不亚

于徒思所建立的。

清代钦天监中有不少蒙古族天文研究人员。在钦天监任职时间最长、成就最大的要推明安图，他前后在钦天监工作五十年左右，当时清政府主编《律历渊源》、《历象考成后编》和《仪象考成》三部有关天文历法的书，明安图都参加了。

在呼和浩特的五塔寺后照壁上，有一幅石刻的蒙文天文图，署“钦天监绘制”，大概刻于乾隆初年。这幅图的形式和南宋苏州的石刻天文图相似，是一幅内容全面的“盖天图”，北极在图的中心，有赤道，黄道画成扁圆形和赤道相交，有二十八宿的划分和银河，周围标注黄道十二宫、二十四节气和二十八宿名称。恒星除传统的星座外，还标出一些新测定的恒星，和其他恒星没有连线。按乾隆九年到十七年(公元 1744 年到 1752 年)编纂《仪象考成》的时候，曾经进行一次恒星观测，“外增一千六百一十四星”，并“著之于图”。呼和浩特天文图显然和这次测量有密切的关系。星座的联法和我国古代传统联法一致，银河的两端相接更接近事实，把黄道画成扁圆是个改进。所有标注的文字全是蒙文，周天度数和纬度都用藏码标记。用少数民族文字刻制的天文图保存到现在的极少。呼和浩特天文图是目前所见的唯一的一幅石刻蒙文天文图。

内蒙古图书馆有几种写本蒙文天文学书籍，有一部是从清代中期徐朝俊所著《高厚蒙求》一书中择译的，翻译得很好，同时在“三垣二十八宿”两部分中配上了天文图，使文字和图对照，比汉文原书好得多。这部蒙文译本，又加了全天星图，由黄道分开，南、北天半球各一幅。值得注意的是每幅图上除有黄极外，还有赤极，黄经线用实线，赤经线用虚线，但赤经线和黄经线都在黄道上相交是不对的。这种天文图在我国历史上很少见，有必要进一步加以探讨。

在地理学和测绘学方面，元政府主编了《大元一统志》，记载当时全国的地理情况。至元二十五年(公元 1288 年)又由回族著名科学家扎马刺丁负责纂修《地理图志》。到大德七年(公元 1303 年)，有方平完成彩色地图。

在编纂全国的地理志和绘制地图的同时，元政府派契丹族旅行家都实(又作笃什)勘查了黄河河源，并根据这次考查记录绘制了一幅《河源之图》。

清代的明安图在地图测绘方面也作出了贡献。康熙四十七年到五十五年(公元 1708 年到 1716 年)间，清政府曾发动一次大规模的地图测绘工作，一共测定了六百三十个经纬点；康熙五十六年(公元 1717 年)绘制成《皇舆全图》。但是这次地图测绘，由于额鲁特蒙古准噶尔部上层贵族的分裂、叛乱，新疆大部分地区没有进行。乾隆二十年(公元 1755 年)，清政府平定了天山山脉以北的准噶尔上层贵族的叛乱，从第二年春到第三年春，派测量队前往测绘地图和测定“日出入、昼夜、节气时刻”。这次测量，明安图是科学技术的主要负责成员之一。到乾隆二十四年(公元 1759 年)，天山以南的回部地区封建主的割据叛乱也已经平定，“五月庚辰朔，命明安图、傅作霖绘回部舆图”。明安图带队完成了回部地区的测量工作，第二年四月还京。

经过这两次实测，新疆的地图得以绘成；用近代科学方法测绘的我国第一幅全国大地图也在这基础上全部完成。在这两次测量中，明安图是劳

绩卓著的人物。

在医药学尤其是外科学方面，蒙古族结合本民族的生活特点，有不少创造。明末著名蒙医墨尔根绰尔济善于治疗骨伤，“先以热镬熏蒸，次用斧椎其骨，手捏有声，对好即愈。”清代有的蒙医在接合股骨的手术中采用了冰冻麻醉的方法。清政府在上驷院设“蒙古医士”，从“上三旗”挑选“蒙古土族之谙习骨法者，每旗十人”，“凡禁廷寺人有跌损者，由其医治，限以期日，逾期则惩治焉”。这种严格的要求，反映了蒙医的外科学技术水平是相当高的。

蒙古族对于医学和药理学进行了许多总结，写了不少医药方面的著作，也把一些汉文和藏文医药著作译成蒙文，例如《蒙藏合璧医学》、《医学四部基本理论》、《医学大全》等都是很有名的，还把李时珍的《本草纲目》由汉文译成蒙文。内蒙古图书馆藏有二十多种蒙文医药学译著，包括内科、外科、妇产科、验方等，是祖国医药遗产的一部分。

在长期生产实践中，蒙古族积累了丰富的畜牧经验，培育了不少优良畜种。兽医的技术也很高明，他们“颇有擅长刀圭之术而能起死回生者”。

在机械制造方面，蒙古族也作出了成绩。元世祖至元十九年(公元1282年)尚书纳怀参与“制饰铜轮仪表、刻漏”。铜轮仪表大概是一种有铜齿轮装置的天文仪器，刻漏是古代的计时器。元顺帝妥 贴睦尔(1320 - 1370)也熟悉机械制造，他设计的“宫漏”，“约高六七尺，广半之，”附装按时捧时刻筹浮水而上的玉女，敲击钟、钲的二金甲神，能活动的狮、凤、飞仙六人等。这是在前代水运浑仪一类天文仪器的基础上设计的自动报时器。他还精通建筑技术，曾亲自设计过宫殿的建筑图和模型，工匠“按式为之，即成华屋”，因此人们称他“鲁班天子”。

以上，是蒙古族古代科学成就的一些片断。此外在兵器制造、毛织、建筑、水利等方面，蒙古族也有一定成就。

藏族医学的成就

中国中医研究院中国医史文献研究所 蔡景峰 赵璞珊

藏族医学是祖国医学的重要组成部分，是藏族人民长期同疾病斗争的经验总结。远在唐代，祖国医学宝库里的中医学(一般习惯上所说的中医学指的是汉族医学)，就随着文成公主(? - 680)、金城公主(? - 739)的入藏而传入西藏，对藏族医学的形成和发展产生过比较大的影响。此后，藏汉民族关系不断密切，医学交流也频繁起来。藏医学为祖国医学宝库增添了宝贵的内容。

生理解剖学的可贵成就

早在公元八世纪，藏医学关于骨骼、肌肉、内脏等的解剖位置，认识就已经比较准确。由于宗教信仰和自然条件的限制，藏族人民在历史上还曾有死后剖割尸体的风俗，这在客观上促使藏医在解剖学、病理学和生理学方面取得比较多的成就。

值得提出的是当时对神经系统中神经的分布和它的功能，已经有比较

深入的认识。藏医学提到，从脑部发出条条“白脉”（神经的颜色一般都是白色的），支配着全身各个部位；一旦“白脉”有了病，受这条“白脉”支配的肢体的相应部位就要发生麻痹或运动障碍。这是难能可贵的认识。

在循环系统方面，藏医学详细地描述了身体上的脉管，指出脉是流通气血的管道，和五脏六腑相连。更指出脉可分成跳动的脉（动脉）和不跳动的脉（静脉）。

藏医学还很形象地叙述了人体胚胎的发育过程。早在一千二百多年前，藏医学就精确地指出人胚需要经过三十八周的发育过程才达到成熟。更可贵的是它还正确地指出，这个发展过程需要顺序经历鱼期、龟期和猪期三个不同阶段，形象地表达了人体在胚胎时期重演了鱼类、爬行类和哺乳类这三个不同的进化阶段的历史。这在生物进化史上是相当宝贵的资料。

丰富多彩的诊疗技术

藏医的诊断方法和汉族医学有很多相似的地方，如望诊、问诊、切诊，都和汉医相同，甚至切脉部位的名称叫冲、甘、恰，和汉医的寸、关、尺是一致的。脉的每一个部位诊候人体内部的一个脏器；左冲、甘、恰分别诊心、脾、肾的疾病，右冲、甘、恰分别诊肺、肝、肾的疾病。藏医的望舌，根据舌质和舌苔的厚薄、颜色、湿润度等来判断病情。尿诊更是具有特色的重要诊断技术，观察的方法很细致，要求收集清晨起床后的第一次尿做标本。把尿放置在瓷碗中，加以搅拌，然后观察尿的颜色，泡沫或漂浮物的有无，以及沉渣的性质，蒸汽逸出的情况；还要检查尿的气味，是否有血液、油脂等等。此外，还在标本中外加其他物质来观察尿液变化，再根据尿的性质来判断疾病。例如，颜色深、气味浓、又有大量沉渣的尿，表明是热性病；沉渣中如果有类似沙子的物质，表明肾脏有病。这些都是合乎科学道理的。尿诊的方法至今仍是临床常用的诊断方法。

藏医学的治疗技术也具有自己的特色。早在公元八世纪以前，就已经采用穴位放血、穿刺术治疗腹水的技术，还有灌肠、冷热敷、针拨白内障、导尿、熏蒸治疗、药水浴身、涂油疗法等丰富多彩的治疗技术。有的治疗技术显然和汉医有关，例如穿刺放血和火灸用的穴位，有相当一部分和汉医相同，这些技术有些至今仍然在临床上应用。

病因病理学上的发现

正如其他任何国家或民族的古代文化一样，由于时代的局限，藏医对于疾病原因的认识不免掺杂少量迷信的成分。尽管如此，藏医学对许多疾病病因的认识都是合乎科学道理的。

公元八世纪的藏医古典医籍《四部医典》（藏名《据悉》）就指出相当于现代的炭疽病的一种疾病是传染病，并指出有内脏和皮肤等不同类型，认为炭疽病的起因是吃了有病动物的肉所致。这在藏族聚居的地区是常见的一种类型。由于藏族有吃生牛羊肉的习惯，容易发生内脏型炭疽。藏医学还指出炭疽病除发热外，皮肤上有小疹、黑泡等皮肤病变。

就婴幼儿和儿童的先天性疾病的病因来说，现代医学也还没有很准确

的认识。藏医学在一千多年前就认为儿童的先天性疾病是由于胎儿在母体内发育的时候母体受到疾病的侵袭或是饮食不当所致。这 and 现代医学的一些观点是相符合的。

藏医学很重视饮水卫生对人体健康的影响。在西藏地区这样的特定条件下，雨水的水质被认为是最好的，其次是雪水，而森林中流出的水水质最差，因为含有咸味、杂质和小虫。在地处高原地区的西藏，这种用水卫生的观点是合乎卫生要求的。

藏药学的特点

祖国医学中的药物学，讲的都是利用当地易得的动、植、矿物药的知识。西藏地区由于特殊的地理和气候条件，藏族人民所采用的药物就和其他民族(如汉族)所用的药物有所不同。

早在藏族开始生活在祖国西南的世界屋脊上的时候，由于他们过着游牧生活，对动物药的性能了解得比较多。在藏族社会的史前时期，他们就已经学会用熔化的酥油止血和用青稞酒渣局部敷用以治疗外伤。随着以后生产的不断发展，药物知识也越来越丰富，《四部医典》中就载有药物近一千种。从这部书的药物学部分可以见到，不少药物和汉药相同。这些药物有一部分是祖国内地出产的。藏药也被区分为寒性、热性两大类，并且也是采用对抗疗法：用温热药治疗寒性疾病，寒凉药治疗热性疾病。藏医对药物的性能有相当深入的研究，认为药物可以有六味、八性、十七种效能。六味是咸、酸、甘、辛、苦、涩，八性是轻、重、寒、热、钝、锐、润、糙，十七种效能是轻、重、寒、热、稳、动、润、燥、温、凉、钝、锐、稀、干、柔、软、糙。这说明藏医对药物的认识除吸取了汉族医学和邻近地区或国家的医药精华以外，还结合本民族本地区的特点对药物进行深入的研究。

藏药中有相当大一部分是西藏当地的特产，有些还具有特效，如高山雪莲、乌奴龙胆、红景天、独一味、翼首草、凤毛菊、绢毛苣、鞑新菊、高山大黄等等。这些药大多生长在海拔四千五百米以上的高山上。雪莲花对关节炎有良好的治疗作用，还可滋养补肾。还有鹰胃、麝香、熊胆等都是珍贵的藏药。古代藏医常用三颗针的液汁滴眼防治眼病，这也是合乎科学道理的，因为这种植物的茎部内皮中含黄连素，具有杀菌作用。

藏医的治疗原则有催吐、攻泄、利水、清热等等。关于攻泄，指出孕妇、老人、患痔疮的人都不宜攻下。藏药的剂型也是丰富多彩的，有汤剂、散剂、丸剂、煮散剂、煅制剂、酒剂、滴鼻剂等等。汤剂在西藏高原用得比较少，这可能因为高原的气压低，水的沸点也低，不易把药物所含的有效成分全部溶解在汤剂中。藏药剂型中以丸药最常用，有些丸药用当地出产的酥油做赋形剂。古代藏药成药中有些至今仍具有相当好的效果，如用生等丸、悲孜丸治疗关节炎，珍珠丸治疗偏瘫，都有比较好的效果，受到国内外患者的信任和欢迎。

藏医的药物学专著以丹增彭措所著的《晶珠本草》(藏名《协称》)最著名。这部书写于公元 1840 年，共收药物二千二百九十四种，除去重复或加工炮制的药物外，实收原药一千四百多种。每种药物之下都列载形态、特征、别名、产地、生长环境、效用和用法等。这部书对植物药的认

识比较深入，如把乌奴龙胆、长梗秦艽花、高山龙胆、蓝花龙胆等都归在同一龙胆属，马先蒿属植物之下有长筒、鹅首、奥氏、普氏等几种不同马先蒿，说明它的科学性是比较高的，也表明藏医本草学的发展水平。

具有民族特色的医药彩图

祖国古代医学文献中，常附有一些插图，作为正文的说明和补充，如在药物学和经络穴位等的文献中，都有不少形象的插图。藏医学文献中也有医药插图，这些插图具有浓厚的民族色彩。

最早的藏医学插图是十三到十五世纪在解剖学、药物学著作中出现的。以后，在五世达赖(1617 - 1682)时期，根据《四部医典蓝琉璃》(《四部医典》通行注释本)的内容，编绘了一套完整的医药彩色挂图。这套挂图共八十幅。这种彩色挂图用优质布料经过细致的加工后制成，大小比一张对开的报纸略大，经过裱衬制成精致的可以收卷的挂图，用时可展开挂在墙壁上。挂图的内容极其丰富，包括病因病理、诊断治疗、养生预防、经络穴位、药物等等，颜色鲜艳，画中人物栩栩如生，药物形象逼真，有些甚至达到了可以按图鉴定实物的精确程度。这种包罗藏医学全部内容的彩色挂图，形

丁津诺布画的躯干解剖图，原图上脏腑标有蓝字，骨骼标有红字，肌肉标有黑字。

象地把医学用图画的形式表达出来。这对于普及医学知识，进行形象教育，是有很好的促进作用的。像这样内容丰富、包罗齐全在古代大型医药彩色挂图，不论在国内或国外，都是一种创举。

彩图的具体内容不仅涉及医学的各个方面，而且还体现出在医学发展过程中唯物主义和唯心主义斗争的真实情况。例如，在封建农奴社会里统治阶级把人体的心脏比喻作一身之主，主观地把心脏画在人体胸腔的正中，而且心底部朝下，心尖朝上。这完全是为封建农奴主服务的主观唯心的臆测。公元十七世纪唯物主义的藏族医家兼画家丁津诺布，通过对尸体的实际观察和调查研究，改绘了这类挂图，如实地把心脏画在胸腔正中偏左的位置，心尖朝左下方，并指出这是所见的实际情况。在一个政教合一的地区里，这是对封建农奴主至高无上的统治神权的挑战，这种对立的思想斗争也是藏医学得以不断进步的重要因素。

丰富的古代文献

藏医药学古代文献相当丰富，所涉及的范围也很广，这里仅举一二例。

《四部医典》是在公元八世纪左右主要由藏族著名医家宇陀·元丹贡布编成的。它已经成为古代藏医的经典著作，奠定了藏医学的基础。历代的藏医学家用它作依据，不断学习，逐渐发展，先后出现上百种注释本。

《四部医典》是学习藏医不可缺少的古典著作，在国内外有比较高的地位和比较大的影响。它还传入了蒙族地区，蒙族人民用它做主要学习材料，通过自己民族的具体实践，发展成为具有本民族特色的蒙医学。

《四部医典》是藏族人民智慧的结晶。它从医学理论到临床实践，从

病因病理到诊断治疗，从药物到方剂，从卫生保健到胚胎发育，都有详细的叙述，并具有本民族的特点。书中关于脏腑的功能，治疗原则，以至切脉部位和方法，都和汉族中医相似。当然也可以看到它还受到邻近的国家(如印度)古代医学的影响。

《月王药诊》(藏名《曼杰达维给布》)是现存藏医学最早的古代著作。这部书大约写成于公元八世纪上半叶，是在金城公主带入吐蕃(b)王朝的大批医药书籍的基础上，由摩诃衍(汉族人藏僧人)和藏族著名译师 卢遮那共同编译而成。这部书主要内容涉及脏腑、诊断、病因病理、治则、药物和预防等医学基本理论，现存版本全书共一百一十三章，也是《四部医典》等藏医古典著作的重要基础。

藏医学的古代著作丰富，除上述的一些以外，还有临床各科、方剂、药物等等专科著作。《四部医典》的注释文也很多。比较著名的如前面提到过的《晶珠本草》、《四部医典蓝琉璃》，以及《解剖明灯》、《药物蓝图》等等。

藏医药学是祖国医学宝库中的一颗瑰宝。过去，藏医学掌握在三大领主手中，广大劳动人民无医无药。统治阶级在拉萨药王山建立的医药中心，一般劳动人民根本无权上门看病。解放后，人民政府把它改造成自治区藏医院，使藏医学回到人民手中。现在，藏医学得到继承和发扬，正在为中(藏)西医结合、创造我国统一的新医药学而贡献自己的力量。

新疆古代少数民族在农业 科学技术上的贡献

自然科学史研究所 范楚玉

我们伟大祖国西陲的新疆，是个多民族的地区。在这片辽阔富饶的大地上，居住着维吾尔、哈萨克、汉、回、蒙等十三个民族。他们都是勤劳勇敢的民族，并且具有悠久的历史 and 灿烂的文化。尤其在农业科学技术上，给祖国的科学宝库增添了光辉。

新疆是我国种植棉花最早的地区

新疆的土壤和气候非常适宜种植棉花，是我国种植棉花最早的地区之一。根据考古发掘和文献资料证明，新疆的少数民族，在东汉以前就已经开始种植棉花了，距今至少已经有一千七百多年。而我国内地普遍种植棉花大约在北宋时期。

1959年新疆民丰县以北大沙漠中发掘出来的东汉合葬墓里，出土了大批纺织物品，其中有两块盖在盛着羊骨、铁刀、木碗上的蓝白印花布，就是棉织品。纺织工艺十分精巧。

公元五到六世纪，吐鲁番一带植棉已经比较普遍。史书记载说：高昌（今吐鲁番盆地）“多草木，其实如茧，茧中丝如细，名为白叠子，国人多织以为布。布甚软白，交市用焉。”（《梁书》卷五十四）用棉布充当流通手段，用作“交市”，可见当时棉布产量是相当多的。属于这个时期的吐鲁番阿斯塔那墓葬中，除了有棉织物外，还发现了西魏大统十七年（公元551年）借贷棉布的契约。在这张契约里提到，一次借贷棉布达六十匹之多。显然这些棉布是当地生产的。

到了唐代，吐鲁番的棉花种植和纺织生产更进一步发展。在阿斯塔那的一个唐墓中，曾发现一张残缺不全的记载着发放棉布口袋的记帐单。这张记帐单的时间是在贞观十九年（公元645年）前后。棉布口袋当时是作为军用品发付的，共发付过两次：一次是二百七十条，另一次是发给当时属雍州军府之一的折冲府的。唐代雍州的治所在长安，从西州（今吐鲁番盆地）供应棉布口袋给雍州地区的折冲府军用，而且达几百条之多，可见唐代吐鲁番地区植棉和纺织已经相当发达。

公元十三世纪元代农书《农桑辑要》中说：“苧麻本南方之物，木棉亦西域所产，近岁以来，苧麻艺于河南，木棉种于陕西，滋茂繁盛，与本土无异。”由此可见，我国黄河流域的木棉，也是从新疆引种的。

“瓜果之乡”

人们喜欢用“瓜果之乡”来形容新疆地区瓜果种类的丰富多彩。新疆是我国著名的瓜果产区之一，也是我国生产瓜果最大的基地。那里果树资源极其丰富，栽培果树和野生果树大约有八十多种，驰名国内外的有哈密瓜、吐鲁番葡萄、伊犁苹果、库勒尔香梨、叶城石榴、喀什花油桃等等。

从《史记》和《汉书》的记载中，我们知道，新疆早在西汉以前，就已经种植葡萄和酿造葡萄酒了。唐代龟兹（qī cí，今新疆库车县一带）王城中家家都有葡萄酒。汉武帝的时候，张骞通西域，开始把葡萄传入内地，

高昌的马奶子葡萄于唐初引植到内地，以后直到清代康熙年间，还不断从新疆把葡萄新品种输入内地。千百年来，经过维吾尔族人民辛勤劳动，培育了很多葡萄品种，有红的、白的、紫的、绿的、青的、暗红的、淡红的，有像珍珠粒似的，也有琥珀珠大的，共几十个品种，尤以无核葡萄最有名。宋代的苏颂曾提到一种无核葡萄。明代陈诚、李暹撰的《西域番国志》明确记载：“有小葡萄，甘甜而无核，名曰锁子葡萄。”现在新疆种的无核白葡萄，果皮薄，肉质鲜美，甜如蜜，含糖量达百分之二十四，营养丰富，晒制成葡萄干，很受各地人民喜爱。新疆人民在长期生产实践中，积累了丰富的种植葡萄的经验，如鄯善一带的开沟墩植、多枝就地扦插繁殖、植株搭低架或匍匐地面、绿枝摘心、深沟灌溉、环形施肥、盘墩埋土等技术措施，都是适应当地环境条件而形成的。

新疆的瓜果中，以哈密甜瓜最有名。在新疆，一年四季都可以吃到瓜，夏有夏瓜，秋有秋瓜。甜瓜的栽培面积很大，鲜瓜和瓜干不但畅销国内，而且大量出口。我国公元十五世纪的著作中已经提到柳城广植甜瓜，实际栽培历史比这要早得多。因为栽培历史很悠久，瓜农从整地、施肥、种子处理、播种、培土压蔓、灌溉、整蔓打顶到采收、留种甚至制成瓜干，都有一整套的技术经验。鄯善的东湖瓜，种植在含碱比较多的地里，不用浇灌，全靠发达的根系吸取一米多深的地下水来滋润秧苗，生长结果。它的生长特点，正如当地瓜农所说，“见水不得，离水不得。”因此要瓜长得大而甜，必须保证一定的地下水位。这是维吾尔族农民在园艺上的一项独特创造。

新疆也是我国最早栽培核桃的一个地方，以后引入甘肃，渐渐传播到陕西，又东传到北方各省(见《图经本草》)。东晋王室的华林园中，种有八十四株核桃树。郭义恭的《广志》里关于核桃有这样一段话：“出陈仓者薄皮多肌，出阴平者大而皮脆，急提则碎。”(陈仓今陕西宝鸡，阴平今四川平武一带。)唐宋时期的一些著作里都说“北方多种之”，可见核桃在我国北方种植很多。维吾尔族农民在长期种植过程中，培育出了许多核桃优良品种。如“油核桃”，可以用手指掐出油来，含油量高达百分之七十九左右，比花生、芝麻、油菜含油量高，是榨油的良好油料。“丰产核桃”一株可结万果，年年不断，而且比一般核桃早熟一个半月。其他还有隔年核桃、薄壳核桃、纸皮核桃等优良品种。

北疆准噶尔盆地周缘和阿勒泰地区，冬季严寒，平均最低温度常在零下三十摄氏度以下，一般栽培果树很难直立过冬。因此，除伊犁、塔城两地外，那里果树都采用人工匍匐整形栽培法。这是北疆果农为适应恶劣的自然条件创造出的一种特殊栽培法。这种方法，最迟在清代就已经采用了。匍匐整形栽培法的目的是防冻防风，保护果树冬季不受冻害；同时，夏季由于树干接近地面，温度高，二氧化碳多，可以促进结果，提早成熟；又因树形矮化，树干短小，可以预防秋末春初的日烧病和树干龟裂。果农们还摸索出了匍匐丛状形和单臂扇形整枝法、夏季修剪和压枝、冬季埋土防寒和早春出土等经验。对树龄较大、树干较粗、不易弯曲的果树，用斧子砍伤树的干径三分之一，然后压下。砍伤的树，第二年春天常从根颈下发出萌蘖，在萌枝上又行嫁接，几年后，苹果、梨、桃等乔木果树就形成灌木状的了。

“乌孙天马”和伊犁马

新疆伊犁河草原上，自古以来就出产良马。汉代的“乌孙天马”，就是今天的伊犁马，当地一向称作哈萨克马。张骞奉汉武帝之命通西域的时候，不仅发现大宛马是当时天下最好的良马，同时也发现了乌孙良马。而乌孙马比大宛马传到我国内地还要早些。《汉书·张骞传》说：“得乌孙好马，名曰天马；及得宛汗血马，益壮，更名乌孙马曰西极马，宛马曰天马。”

《史记》和《汉书》中，都讲到当时乌孙王“以千匹马聘汉女”的事，说明中华民族大家庭里汉族和新疆地区的少数民族早有了亲密的关系。

汉、唐以来，人们很注意马种的改良，先后引入乌孙、大宛、波斯、突厥等地良马作为种马，进行杂交，改良内地马种。

“伊犁马”这一名词是近三百年来才有的。伊犁马体格健壮，四肢有力，性格温顺，耐粗饲，有乘挽兼用的体型，它是我国现有改良马中首屈一指的良种马。

特有的灌溉工程——坎儿井

水利对农业生产关系十分重大，我国历代各族劳动人民对水利有很深刻的研究。新疆地区气候干燥，每年平均雨量不到二百毫米。但是新疆的水源非常丰富。天山、阿尔泰山和昆仑山崇山峻岭，终年积有深厚的冰雪，一过阳春，积雪融化，汇成无数道水流，注入南北疆两大盆地。比较大的河流，如塔里木河、开都河、玛纳斯河、伊犁河、额尔齐斯河等，都是人们取用不竭的水源。新疆各族人民祖祖辈辈辛勤劳动，开渠凿井，引用山水河水，在戈壁滩上开发了无数片肥美的绿洲。

新疆各族人民利用水源的办法可分两种：一是修建水渠，利用山上融化的雪水；另一种是开凿坎儿井，利用地下水。

坎儿井是新疆特有的灌溉工程。坎儿井的水源，是雪水经过山麓渗漏入砾石层里的伏流或潜水。据十七、十八世纪的《新疆图志》记载，北疆的巴里坤、济木萨（今吉木萨尔）、乌鲁木齐、玛纳斯、景化（今呼图壁）、乌苏，南疆的哈密、鄯善、吐鲁番、于阗（今于田）、和阗（今和田）、坎儿井示意图。莎车、疏附、英吉沙尔（今英吉沙）、皮山等地，都有坎儿井。当时吐鲁番的坎儿井有二十八处，鄯善有四十五处，叶城多到五十一处；最长的哈拉巴斯曼渠，长一百五十里，宽七尺，能灌溉田地一万六千九百多亩。

坎儿井主要由三部分组成：

一是暗渠，或叫横渠，是地下的集水道和输水道，地下水渗到暗渠里，并从暗渠流到用水的地方。长度从不足一公里到十公里以上不等。为了减少渗漏，有时还用毛毡铺底。

坎儿井的第二部分是露出地面的明渠，用以引水灌田，所以明渠也就是灌溉的渠道。

第三部分是竖井，或叫直井、立井。竖井是从地面向下凿的井，在开挖暗渠前必须先凿竖井，借以了解地下水位，确定暗渠开挖的位置；同时在挖暗渠的时候，也要用竖井作为出土口和通风口。竖井的深度随暗渠距

地面的深度而不同，深的可达一百米，浅的只有十米；竖井的间距不等，井口常用石块或树枝、苇草等盖上。

坎儿井水量大的每天可灌溉农田几十亩，小的三五亩。坎儿井可以利用地下的深层潜水，自流灌溉；随地可以开挖，独立成一灌区，施工比较简单，使用期长久；更因水行地下，减少了蒸发，避免了风沙埋没，适应当地的自然条件，确实是一种因地制宜的灌溉方法，是一个光辉的创造。

坎儿井和《汉书·沟洫志》中所说的“井渠”很相似。汉武帝时，在现在的陕西大荔一带开龙首渠，引洛水灌田。因为渠岸容易倒塌，水工们就设计凿成井，在井下通水。穿井技术在汉代已由内地传到了新疆；井渠法在稍后也传入新疆。当地少数民族在这个基础上，根据当地自然条件，又加以发挥改进而成为坎儿井。

优秀的维吾尔族农学家——鲁明善

《农桑衣食撮要》是我国元代三部重要农书之一。它刻印于元仁宗延元年(公元 1314 年)。作者鲁明善，原名铁柱，是维吾尔族人。他曾做过寿春郡(今安徽寿县)监察官。这部书是他在任监察官的时候写成的。

《农桑衣食撮要》是一种农家月令书，也是我国最好的农家月令书之一。《农桑衣食撮要》的材料主要来源于比它早印行四十年的《农桑辑要》。寿春在江淮地区，所以《农桑衣食提要》中增加了一些适合江淮地区情况的资料，例如四月“做笋干，煮新笋”，八月“取漆”，十二月“收鳊鱼”，都是江淮间的产物，不是黄河中下游地区所常有的。其次，《农桑衣食撮要》是专门解决自给自足的小农经济家庭生活的，不像东汉时代的《四民月令》或唐代的《四时纂要》两本月令书那样，以农业收入为主、商业收入为辅来维持一个庄园地主家庭生活需要的那一套内容。另外，全书前后总共只有十条占候、禳禁等纯属迷信的条文，比起其他月令书来要少得多。第三，作者编写《农桑衣食撮要》，目的在于民间应用，所以文字比较通俗，全书既不引经据典，也不雕饰辞句，记述各种作业简明扼要，要言不繁，这也是这部书的优点。《农桑衣食撮要》确实算得上是我国古代比较好的一部农书。

我国古代的科学技术发展史，是古代各族劳动人民在同自然界作斗争中共同创造的，各族劳动人民是科学技术的真正主人。古代居住在新疆地区的少数民族，在农业科学技术方面所作出的巨大贡献，也证明了这一点。

美丽精致的壮布和壮锦

自然科学史研究所 赵承泽

壮布和壮锦就是我国壮族人民所织造的布和锦，载誉古今，以美丽精致见称。

我国是一个幅员辽阔多民族的国家。壮族是我们这个民族大家庭的重要成员。

壮族在古代叫俚族、僚族、 族、土族，从宋代起，才改称为僮(zhuàng)，现在又改称为壮。

壮族有很古老的历史，世代居住在我国西南部的广西、云南、贵州和湖南的部分地区。远在战国时期，壮族人民就和同他们生活在一起的其他兄弟民族共同开发了我国西南地区的许多地方。后来，又把我国内地的冶铁、牛犁和其他先进的生产技术陆续移植过去。一面还结合汉字特点和壮语语音，创造壮字，积极地和其他兄弟民族交流生产经验。在加速发展我国西南地区的社会经济中，建立了不朽的功绩。

古代壮族最主要的手工业是冶铸 和纺织，尤其以纺织更值得称述。

古代的壮族，有相当繁盛的纺织业，花色品种也比较繁多，现在知道的还有好几种：在印染方面，有斑布；在麻织方面，有柳布、象布、古布、(sh)子；在棉织方面，有壮人布；在丝织方面，有水绸、壮锦。重要的，是斑布、 子、壮人布和壮锦。这些织物不仅吸收了我国传统纺织技术的优点，还有突出的地方特色，在我国古代的纺织品里，占有一定的地位。

这些织物的显著特点是它们的色彩和纹样。古代的壮族，有不少人有良好的艺术才能，曾经创造出许许多多优秀的艺术作品，除了现存著名的花山崖画和历代制造的各种金属饰件，也包括这些织品。这些织品大都具备非常悦目的色彩，多半用大红、杏黄、翠绿或纯白作地色，而以对比强烈的颜色作花色，力求色调鲜明，五彩斑斓；纹样也极其绮丽绚缦，常常用遍地方胜纹(菱形几何花纹)作骨架，以粗犷线条表现的菊、梅等花卉作主题花，普填在里面，或者用回纹、 字和水波浪作地纹，以造型奇异的龙凤鸟兽纹作有规则的散点排列；结构十分谨严，而又极富变化，绝无板滞的缺点；既端庄肃穆，而又豪放爽朗，具有浓厚的装饰效果。如果同以轻细纤巧为主的其他各种纹织物比较，这些织品虽似粗犷，却又别具一番风韵。

这些织物的名称，在我国古代的著作里都有所记载。斑布就是印花布，斑就是花的意思，是属于我国古代所说的“缣”的一类产品。 子大概和西汉司马相如(前 179 - 前 117)《凡将篇》、扬雄(前 53 - 后 18)《蜀赋都》中的“黄润”相似 ，而同汉初贱商政策的“令贾人无得衣 ”的接近，“轻凉离汗”，是制做夏服的理想材料。壮人布就是清代沈曰霖《粤西琐记》里的僮布，匹头比较小，是做包头巾、腰带和手巾的布。壮锦又叫绒花被，比较厚，大概就是宋代以后著作中谈到的白 和峒 。“ ”是“毯”的不同写法(因为是丝织物，所以从糸，不从毛)，是对壮锦厚度的形容。壮锦最适于作被面、褥面和背包、挂包的表层。

这些织物都有独特的制作工艺，非常值得珍视。

斑布，基本上有三种：缚染、镂染、蜡染。缚染是用线在布上缀花，入缸浸染，去线显花。镂染是用镂空的花板紧夹织物，以染汁注入空中染色，或者以蜡液注入空中，浸染之后，去蜡显花。蜡染是用蜡液直接在织物上绘画，或者以蜡液满涂于织物表面，再用竹针钩画，加染之后，去蜡显花。

子，以细薄见称，是选择上好的苧麻，经过仔细脱胶，纺成特细的高支纱，再用稻糠灰充分漂练，然后织造的。成品轻靡白净。据说每一匹长约四丈的布，卷起来都能塞进一节小小的竹筒里去。它的精细程度，可想而知。一般的是素织。但是也有花织，在大红色地上起花，是明代政府在广西重点搜刮的物品。

壮人布，有二色的和多色的两种。二色的，是用青白两色棉纱作间道排列织造的，纬纱打的比较紧密，最耐浣濯，尽管连续使用三四年，依然十分牢固，坚实不败。多色的，大概是挑织的。先绘制一方设色图案的布样，放在已经上机的经线之下，根据图案的笔触色彩，用挑花钩挑动经线，以五色棉纱穿织，织出后，和原有花样一般无二。

壮锦，是用棉或麻的股纱作经线、以不加拈或者微拈的缕丝作纬线交织而成的织物。它的结构和云锦、侗锦同类，也属于重纬组织的范畴。它的来源，大概同早期的蜀锦(和现在的蜀锦不同)有关系。据贵州和广西的侗族传说：侗锦是三国时期从四川传过去的(见《黔书》、《续黔书》、《黎平府志》卷三)。壮锦的兴起可能也是这样，至少也有一定的内在联系。壮锦的织造方法，和古代的“织成” 相似，但是又不完全一样，好像和唐宋时期所说的隔布、隔织相同。织成需用断纬 ，壮锦不完全这样。壮锦的纬线，有表纬和底纬两种。表纬是断纬，底纬是通纬。织成不需要提花，壮锦需要提花。最初使用的织机，是多综片式的提花机，到了清代道光咸丰以后，又改用竹笼式提花机。竹笼机是壮族人民在纺织技术上的一项出色的发明。这种花机的结构，和我们习见的提花机不同，在它的顶部装有一个和机身同宽的竹笼，利用竹笼提花。织造的时候(织物反面向上)，以综挑织地文，另把提花的综丝用若干综竿一排排分穿，有次序地挂在竹笼的一侧。如果显花，再按原有顺序一根根移置于另一侧。每移一根之前，都用另备的综竿插入原有综竿所悬综丝的开口里，把原有综竿替换下来，使整排综丝落于新综竿上，然后移动。一面移动，一面过纬。过纬的时候，先织断纬，以若干色杼分别缠结，再织通纬固结全体。这样既能获得织成的织造要求，又能使处在同一提花地位的花纹尽量变换花形和花色，充分表现织造者的艺术构思和创造才能；再加上比较粗的表纬的浮长所反射出的比较强的光泽，越发可以增加它的美感。这是壮族所织的织物中最有艺术价值的一种。

壮族的这些织物，由于织造精致，所以始终都很受人们的欢迎；织造量也比较大，在很长的时期里，都是我国西南地区人民婚姻嘉会、装饰行李必备的物品，不但常常受到人们的赞美，也具有比较高的市场价格。宋代周去非的《岭外代答·服用门》说：宋代的 子价极昂贵，“一端十余缗”。清代沈曰霖的《粤西琐记》说：那时的壮锦，“五彩烂然，与刻丝 无异”，“凡至其地者，莫不争购之”，售价很高。这些记载都能反映一部分事实，使我们今天读了，犹不难想见它们在历史上大量生产的盛况。

但是，到了近百年间，壮布和壮锦的生产发展却是很不顺利的。鸦片战争以后，我国沦为半封建半殖民地的国家。由于西方帝国主义殖民势力的入侵，严重破坏了我国固有的社会经济基础。壮族地区也不例外。在三座大山的压榨下，壮族地区的各种生产都遭到沉重的打击。同样也使壮族的纺织业蒙受一定的摧残，产量骤减，一蹶不振。精于织造壮族传统织物的熟练工人大都转而务农，或者成为半农半工的农民。结果竟致很难再看到有比较好的壮布和壮锦投入流通领域。

这样的局面，直到我国西南地区全部解放，方才扭转。解放使我国获得了新生，也使壮族的纺织业获得了新生。我们的党和政府十分关心壮族的发展，也极力支援壮布和壮锦的生产。解放不久，便在宾阳和靖西专门设立三个壮锦厂，除了供给足够的原料，帮助开辟新的市场，还积极支持壮族人民培养新一代的织造工人，终于使壮人布、壮锦和其他部分濒于绝灭边缘的品种重新恢复起来；而且不论在生产上还是工艺上，都有很大的发展。目前的壮锦，不仅是我国国内市场的重要商品，也是我国外贸的重点商品。我们相信，在我们党的正确领导和壮族人民的努力下，今后壮布和壮锦的生产水平以及织造工艺一定都会有更大的提高。

彝族的火器——“葫芦飞雷”

民族研究所 刘尧汉

“葫芦飞雷”是云南哀牢山彝族独创的一种火药武器，它是用手投掷的一种小型炸弹，也就是用葫芦作为弹体的手榴弹。

手榴弹是现代战争中在迫近白刃格斗前使用的一种有力武器。无论防守或进攻，它都能发挥威力。这种火器，外国是在本世纪初日俄战争中才开始使用的。我国云南哀牢山彝族创制的兜抛葫芦飞雷，却早在十八世纪已经用在狩猎生产上了。清代咸丰年间，十九世纪五十年代，哀牢山爆发了响应太平天国的各族农民大起义，彝族农民军便把打野兽的兜抛葫芦飞雷改变成手投葫芦飞雷，用来打清军，使这种土法制造的新型火器首次使用于革命战争，由兜抛式发展出更便于掌握的手投式，在一些战役中发挥了克敌制胜的威力。

我国是火药和火炮、突火枪等火器的故乡，这已经是举世公认的事实。但是从十五世纪以后，火药和火器的改进、发明，似乎已经转向西方，中国被认为再没有什么创造了。事实却并不是这样。我国哀牢山彝族在十九世纪五十年代领先创造的手投葫芦飞雷，就比西方国家出现的手榴弹早了半个世纪。这里介绍的情况，是在调查哀牢山区各族农民反清起义的过程中访问到的。

葫芦飞雷是彝族劳动人民在长期的生产劳动的实践中创造出来的一项科技成果，是哀牢山彝族为发展狩猎、牧畜和农业生产而进行反覆实验制造成功的。

哀牢山出产火药的重要原料火硝、硫黄、木炭，以及铅、铁等矿物，当地又种植葫芦，这就为制造葫芦飞雷提供了物质条件。

哀牢山脉全长八百多公里，纵贯云南省西南部，东侧和礼社江平行。在礼社江岸的岩穴中，盛产天然火硝，岩谷间又产天然硫黄。彝族传说，他们的祖先在从事狩猎和牧畜的时期，已经认识了火硝和硫黄的效用。在狩猎生产中，他们注意到有些野兽身上长寄生虫，偶尔也有皮肤病；但是在岩羊身上，却从未发现这种情况。彝族猎手对活跃在悬崖峭壁间的岩羊的习性是早已熟知了的。他们为了弄清岩羊身上不长寄生虫和不患皮肤病的原因，曾经作了细致的观察，发现岩羊经常在有火硝和硫黄的地方打滚、摩擦。于是，他们就把火硝和硫黄混合调剂，用来治疗家畜的皮肤病和杀灭寄生虫，果然有效。他们接着又把这种调剂用来治疗人的皮肤病，也收到了良好的效果。

据说，为了加强这种药物的疗效，有的人进一步加工炼制，把火硝和硫黄一起放入锅里，加水熬炼，所用燃料是各种干树枝。在历代相传的熬炼过程中，有人偶尔用带炭的柴棒当作搅棒，无意中就把炭末混入锅里。当炼锅的水熬干的时候，便发生了意想不到的剧烈爆炸。这种情况不止一次地发生，虽然多次伤了人，却由此认识到了火药。经过反覆实验，逐渐掌握了火硝、硫黄和某种木炭配制成火药的比例。

彝族人民独立发明火药，虽属传说，但是它符合实践、认识、再实践这个实践出科学的原理。我国幅员辽阔，民族众多，各地各族的历史发展不平衡。哀牢山僻处边区，交通闭塞；因此，这里的彝族独立发明火药也

是可能的。但是更有可能的是十三、十四世纪元、明之际，由汉族传入，经过彝族人民的学习制造出来的。

到十八世纪，彝族已经把火药用在狩猎生产上，改进了原来的抛掷猎器。

彝族原来的抛掷猎器是一种用竹皮或麻绳编织成的敞口网兜，沿边系着三条大约一米长的绳索。使用的时候把三条绳索的绳头合束，网兜里放置若干石子，然后手执绳头，旋转三五周，便可把兜里的石头抛出四五十米，用来打击地面或树上的鸟群，有时一次能打中四五只乃至十几只鸟。如果用它打鹿、麂、狐、狼等野兽就在兜里放置比较大的石头。如果再把抛兜的绳头系在两尺多长的木棒上，手执木棒旋转几周再抛出去，那么石头就被抛得更远。

后来，人们为了提高这种原始猎器的效能，又改用火药，就是用“火药葫芦”代替了石头。这种“火药葫芦”的制造方法是，把火药和铅块(或铅球)、铁矿石碴或铁锅碎片等物，放入掏尽籽实的干葫芦里，在葫芦颈里塞入火草作为引火物，就是导火线。这种火草是当地的一种野生植物，有大叶和细叶两种，人们把叶背上的一层白色皮绵剥下晒干，揉成绵绒，然后投入木炭热灰中，炮制成为一点即燃的火草。当使用火药葫芦的时候，先把葫芦放在网兜中，点燃火草，就很快抛掷出去。葫芦抛达目标，火草燃及火药，就发生爆炸，导致铅块(或铅球)、铁矿石碴、铁锅碎片等四溅，具有相当的杀伤力。彝族把它叫做“葫芦飞雷”。

火草冒烟火草火药铅球火草冒烟火草火药铅丸抛兜短颈葫芦飞雷。

使用葫芦飞雷，须经一番苦练，关键在于掌握火草燃烧的速度，以达到命中爆炸的目的。点燃葫芦飞雷，也有一个发展过程。原先是用火镰打火石，点燃火草绒球，再去点燃葫芦飞雷的引火草。后来改用一种用树皮纤维制的火绳，它的燃烧速度比火草慢，比一般的绳索又快。人们把火绳绕成一卷带在身边，进入猎区以后把它点燃，以备随时点燃葫芦飞雷，抛向目标。

到十九世纪，葫芦飞雷成为彝族起义军反清斗争中的有力武器。清咸丰六年(公元 1856 年)，哀牢山区以彝族雇农李文学为首的彝、汉、白、傣、苗、哈尼等各族农民联合起义，手中只有刀、叉、戈、矛、弓箭等原始武器；而敌方的清军和地主武装却拥有火炮和火枪。彝军为了改变在武器上的劣势，便决定制造大量的葫芦飞雷。于是发动各族农民在房前屋后、田头地脚多种葫芦，并且大量采集野生火草，剥积绵层，储备军用。同时调集火药匠师，集中在产火硝的几个大岩穴，由专人负责监制葫芦飞雷；又另由专人负责训练一批战士使用葫芦飞雷。清咸丰八年(公元 1858 年)秋末的 嘉战役中首次使用，就发挥了威力。

嘉位于哀牢山中段东麓，是滇西双柏县属的一个分县首邑。这里出产铁、铅、铜等矿，有官绅地主经营的矿场。它是哀牢山的经济中心和军事要塞，彝军决心夺取。

当时，进攻的彝军只有二三千人，防守的清军却有六七千人。清军人多势众，又拥有火枪、火炮，不把只有刀矛的彝军放在眼里。彝军进据嘉城西和城北外围三四十里，迟迟不进攻。清军就误认为彝军畏惧他们的枪炮，不敢靠近，于是守备逐渐懈怠。不料在一天的黎明前，葫芦飞雷向

西、北两门漫天飞来，铅块、铅球、铁矿石碴、铁片横飞四射，护城的土筑碉堡被突破，守城炮手和护炮的枪手被炸死、炸伤。清军闹不清彝军使用的是什麼奇妙武器，惊惶万状，不战自乱。城里又有内应开门，彝军一拥而入，清军弃械溃逃。彝军速战速决，日出的时候已经基本结束战斗，占领了 嘉，缴获了火炮、火枪和其他物资，加强了自己的武器装备。

清军意想不到彝军会创用葫芦飞雷。在 嘉战役前，清军曾经偶然看到彝军中有腰系葫芦的战士，却不知道它里边装的什么东西，正如俗话所说：“不知葫芦里装的是什麼药”。有的猜说，彝军爱喝酒，身边带的葫芦像平常一样是装酒喝的。谁知装的却是火药和铅块、铅球、铁矿石碴、铁锅碎片。所以当这些葫芦自天而降，在清军中爆炸的时候，清军猝不及防，晕头转向，火炮和火枪的优势都失去了作用，哪敢再进行顽抗，惟恐跑得不快，丢了性命。

彝军首次采用葫芦飞雷战术，出敌不意，以少击众，取得了重大胜利。在此后的多次战役中，葫芦飞雷也发挥了它的威力。

彝军在反清战争中，除了使用兜抛短颈葫芦飞雷外，又创造了一种直接用手投掷的长颈葫芦飞雷。兜抛葫芦飞雷多集中用来摧击近百米的碉堡。在敌人逼近将要使用刀矛进行肉搏格斗之前，彝军就使用更简易的手投长颈葫芦飞雷，把部分敌人炸死炸伤，来减弱敌人的格斗力。后来，清军捡到了葫芦飞雷，他们想仿制，感到困难的是炮制飞雷用的引火草；炮制不好，燃烧太慢，不能及时引起爆炸；如果在引火草上掺入火药，又燃烧太快，不及抛出就爆炸。而山区各族军民又实行坚壁清野，使清军终因缺乏物资，未能仿制这种近战的有力火器“葫芦飞雷”。

显然，哀牢山彝族独创的手投长颈葫芦飞雷，就是手榴弹的前身，是近战火器的前驱，在兵器史上应有一定的地位。

火绳火药铅丸手投长颈葫芦飞雷。

初版后记

我们谨把本书献给即将召开的全国科学大会，献给来自祖国四面八方科技战线上的各位代表，献给日夜奋战在科技战线和教育战线上的同志们，献给积极开展群众性科技活动的广大干部。同时，我们也诚恳地把它献给祖国的未来和希望——广大的青年读者们。

中国古代科学技术的成就证明：中华民族有能力自立于世界民族之林。中国古代科学技术成就还将鼓舞我们的信心，坚定我们的决心：以尽可能短的时间，赶上并且超过世界先进水平。中国应当对于人类有较大的贡献。

在本书编写过程中曾经得到：中国科学院数学研究所、微生物研究所，北京天文馆，华北农业大学，中医研究院医史文献研究室，北京医学院，南京气象学院，上海纺织科学研究所，内蒙古师范学院数学系，国家文物事业管理局，故宫博物院，中国社会科学院考古研究所、民族研究所等单位的大力支持，特在此表示感谢。

我们尊敬的科学史界老前辈、全国科学技术协会副主席、铁道研究院茅以升院长，在百忙中多方关心这本书的编写工作，并且为我们全书写了序言，使我们受到很大鼓舞。

中国青年出版社和印刷厂的同志们，为使本书能在全科学大会召开前夕出版，日夜奋战，他们这种认真负责、努力工作的作风值得我们学习。

本书编写时间比较仓促，书中不尽妥当的地方一定很多。中国古代的科技成就远不是这一本书就能概括得了的，必然有遗漏的地方。希望读者多多提出宝贵意见，以便再版时可以把它改得更好些。

负责编辑本书的是：我所杜石然、范楚玉、金秋鹏、陈美东、何绍庚同志。

中国科学院自然科学史研究所
1977年十一月

再版后记

本书初版于1978年三月，正是第一次全国科学大会开会前夕。自出版以来，本书一直受到国内外读者的欢迎，1980年曾获“新长征优秀科普作品奖”。外文出版社出版了英文版。在德国，又以英文版为基础出版了德文版。台湾也以《中国古代科技》为书名翻印了本书。

本书初版由中国科学院自然科学史研究所组织本所和其他单位的六七十位专家撰稿，由本所杜石然、范楚玉、金秋鹏、陈美东、何绍庚五位同志负责编辑。时隔十多年，中国青年出版社提出将本书加以修订重版。为此，由负责初版编辑工作的杜石然、金秋鹏、陈美东、范楚玉、何绍庚五位同志外加吴晓峰同志分头和各位撰稿者联系，将各篇文章作了修改补充，并增补了天文学、数学、生物学方面各一篇文章，又增加军事技术一个部分两篇文章。

本书编辑的初衷，旨在比较全面地介绍中国历史上的科学技术成就，让更多的人了解中国往昔在科学技术上作出过哪些贡献，借以增强我们的民族自信心。正如我们在“初版后记”中所说：“中国古代科学技术的成就证明：中华民族有能力自立于世界民族之林。中国古代科学技术成就还将鼓舞我们的信心，坚定我们的决心：以尽可能短的时间，赶上并且超过世界先进水平。中国应当对于人类有较大的贡献。”我们相信，本书的修订再版，对于宏扬中华民族的优秀科技文化，鼓励人们奋发图强，尽快实现现代化建设，仍将有积极的意义。

本书的撰稿者都是学有专长的专家学者，所以本书虽为考虑到中国青年出版社的读者对象是广大青年，写法上力求通俗易懂，但内容深入浅出，仍具有较高的学术性，在国内外学术界中受到普遍的重视，不少观点或论述一再被引用。初版由于时间仓促，从组稿到出书只有五个月时间，存在一些问题和不足。这次再版，我们对全书作了认真的校订，修正了错讹，也增补了一些内容。尽管如此，本书仍不免会有欠妥之处，敬请读者提出宝贵的意见。

光阴不留人，为本书初版撰写序言的科技界老前辈茅以升教授，本书的撰稿者严敦杰研究员、刘金沂副研究员先后去世，我们谨以此书的再版表达悼念之情。

本书初版，由中国青年出版社王幼于、陈天昌两位同志担任责任编辑。这次再版，由于陈天昌同志已调离中国青年出版社，王幼于同志虽已退休，还是担任了本书的责任编辑。他不顾高龄体弱，极其认真负责地对本书全部稿子进行加工修改，精神实令人敬佩。中国青年出版社的阙道隆、庄似旭两位同志对再版工作给予大力支持和协助。初版由中国青年出版社林继勋同志负责美术编辑工作，再版由刘茗茗同志负责这一工作。对这几位同志，我们谨此致以衷心的感谢！

1993年九月

