

绪 论

自然辩证法是马克思主义的重要组成部分，其研究对象是自然界发展和科学技术发展的一般规律、人类认识和改造自然的一般方法以及科学技术在社会发展中的作用。自然辩证法的创立与发展同哲学与科学技术的进步密切相关，是马克思主义关于科学、技术及其与社会的关系的已有成果的概括和总结。

第一节 自然辩证法在马克思主义中的地位

一、自然辩证法的性质、内容与范围

自然辩证法主要以科学技术 及其与社会的关系为研究内容，它的产生与发展同哲学、科学技术及其与社会的相互作用有着密切的联系。马克思和恩格斯把科学技术看成是一种在历史上起推动作用的革命力量。他们认为，自然界是一切事物的本原，人类本身就是从自然界中分化出来并从自然界那里取得生存与发展的资料的；人类对自然界的认识产生了科学，对自然界的改造产生了技术；人类社会就是与科学技术的发展一同发展起来的；近代以后，科学革命与技术革命极大地改变了人类社会的面貌，把人类社会推向一个新的历史阶段。在此基础上，他们提出了以下极为重要的理论观点：

第一，整个世界的历史可以划分为自然史和人类史。自然界是人类赖以生存和发展的基础，只要有人类存在，人类便需要为自己的生存和发展不断地同自然界发生相互作用，自然史和人类史彼此密切相连和相互制约。^②

第二，人类生存与发展的第一个前提，也就是一切历史的第一个前提，是人们只有进行物质生产劳动才能从自然界那里取得他们所需要的生活资料。一旦人们开始生产自身所必需的生活资料的时候，就开始把自己和动物区别开来，在这个意义上说，是劳动创造了人，劳动创造了世

本书所说的科学技术一般是指自然科学技术。

^② 参看：《马克思恩格斯全集》第 3 卷 人民出版社 1965 年版 第 20 页。

界；人们为了有效地进行劳动必须结成一定的社会关系，而且随着劳动生产力的发展，人们必然会改变自己的社会关系，因此，在劳动发展史中可以找到理解全部社会史的锁钥。^①

第三，科学技术是在劳动过程中产生、形成与发展起来的。旧石器时代人类最初的劳动工具是用石头打制而成的石器，它是人的自然肢体的延长，而对石器的打制是古代人掌握的最基本的材料加工技术；大约 50 万年前，人类学会了人工取火，“使人支配了一种自然力，从而最终把人同动物界分开”^②，人工取火是古代人掌握的、最原始的能源技术。16—17 世纪，产生了研究自然界奥秘的系统的观察与实验，在此基础上，通过理性方法与经验方法的结合，产生了近代的、真正的自然科学。

第四 哥白尼 - 牛顿科学革命与英国工业革命把人类社会从闭塞、落后的农业社会推向开放、进步的工业社会。但是，在资本主义制度下，现代科学、现代工业与现代贫困、衰颓之间的对抗，生产力与社会关系之间的对抗，产生了以人类彻底解放为己任的科学社会主义学说。

恩格斯的《自然辩证法》概括了 19 世纪自然科学的最新成果，描述了自然发展史，即自然界辩证发展的图景（天体、地球、生命与人类的演化）。在《自然辩证法》的最后一篇论文《劳动在从猿到人转变过程中的作用》中，恩格斯论证了劳动在人类起源中的决定性作用，提出了劳动创造了人和整个人类社会的观点。根据这个观点，劳动以及随同它一起形成与发展起来的科学技术，乃是人类社会发展的动力。因而这篇论文可以看做是自然史与社会史的联结部分，是《自然辩证法》与《资本论》的联结部分。

马克思的《资本论》以资本主义社会为对象，研究了“资本主义生产方式以及和它相适应的生产关系和交换关系”^③，揭示了资本主义产生、发展与灭亡的运动规律。《资本论》详细地论述了科学技术与资本主义社会发展的关系，提出了一系列论断：科学技术是生产力；机器工业生产过程的特点与组织形式（工厂制度）；由工业技术引起的工业革命不同于农业革命的特点（机器大生产）；用机器来生产机器（机器制造业）是大工业的技术基础；机器生产要求以自然力代替人力，以自觉应用自然科学来代替从经验中得出的成规；机器生产的原则是把生产过程分解为各个组成阶段，并且应用力学、化学等等，总之就是应用自然科学来解决由此产

参看：《马克思恩格斯全集》第 20 卷，人民出版社 1971 年版 第 509 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 20 卷，人民出版社 1971 年版 第 126 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版 第 8 页。

生的问题；自然界并没有制造出任何机器，它们是人类的手创造出来的人类头脑的器官，是物化的知识力量，因而在人类历史上，只有机器大工业生产才第一次使自然科学为直接的生产过程服务，同时，机器大工业生产的发展反过来又为从理论上征服自然提供了手段。

马克思着重指出，在资本主义社会中，资产阶级正是利用科学技术，在不到一百年的阶级统治中创造出空前巨大的生产力。但是，在资本主义条件下，“科学获得的使命是：成为生产财富的手段，成为致富的手段”^①。科学对于劳动者来说，表现为异己的、敌对的和统治的权力。只有在社会主义条件下，由联合起来的生产者，合理地调节他们和自然之间的物质变换，把自然置于他们的共同控制之下，而不让自然作为盲目的力量来统治自己，靠消耗最小的力量，在最无愧于和最适合于他们的人类本性的条件下来进行这种物质变换，才能解决科学技术造成的巨大生产力和资本主义社会关系之间的矛盾。从历史唯物主义的观点看来，人类为了满足自己的需要，为了维持和再生产自己的生命，必须与自然界进行斗争，必须发展生产力，野蛮人必须这样做，文明人也必须这样做，这是一个必然性的王国，在一切社会形态中，在一切可能的生产方式中，都必须这样做。^②

综上所述，自然辩证法乃是马克思主义的重要组成部分，它的研究对象与研究范围涉及如下广泛的领域：自然界—科学—技术—社会。与此相适应，自然辩证法的体系和主要内容是：自然观—科学观—技术观—科学技术与社会。

唯物辩证的自然观与方法论是自然辩证法的基石。自然辩证法是以马克思主义的观点、理论与方法为指导，根据社会历史条件，结合时代的任务，对科学技术的发展及其与社会发展的相互关系进行考察的研究领域。在自然辩证法中贯穿着以下基本观点：

第一，自然界是第一性的，它是人类赖以生长的基础。

第二，辩证唯物主义自然观是研究科学技术及其与社会发展的关系的基本观点。

第三，科学技术是自然发展史与人类社会发展史相互联系、相互制约与相互作用的中介。

第四，社会发展经历不同的历史阶段，自然辩证法的研究内容有所不同。马克思和恩格斯研究的主要是近代科学技术与资本主义社会发展的

^① 《马克思恩格斯全集》第 47 卷，人民出版社 1979 年版，第 570 页。

参见：《马克思恩格斯全集》第 25 卷，人民出版社 1974 年版，第 926、927 页。

关系，当前我们研究的是现代科学技术与中国现代化的关系。

自然辩证法研究涉及的领域（自然界、科学、技术与社会）构成一个开放的复杂巨系统，对它的研究必须从辩证的观点，也就是发展的观点、整体的观点出发，并且牢牢抓住系统中的科学技术。科学技术既是人类认识自然、改造自然的活动与成果，又是改变人们的关系，推动社会发展的强大力量；科学技术是人与自然的中介，又是人与人的关系的中介。

按照上述的观点和体系，全书分为下列四编：辩证唯物主义自然观；科学观与科学方法论；技术观与技术方法论；科学技术与社会。

进入 20 世纪，科学技术广泛地渗透到社会的各个方面，自然科学需要高度的人文关怀，自然辩证法的研究范围大大拓宽了。围绕科学技术的社会、历史、文化等方面的研究，正在形成科学技术学这一广阔的研究领域。

在现代，自然辩证法已经成为一门自然科学、社会科学与思维科学相交叉的哲学性质的学科，它从辩证唯物主义的自然观、认识论、方法论与价值论方面，研究科学观与科学方法论、技术观与技术方法论、科学技术与人类社会发展的关系，是科学技术研究的思想理论基础。

二、自然辩证法与科学技术哲学

科学技术哲学，也是以科学技术为研究对象与研究内容的哲学学科，从 20 世纪 80 年代后期起，为了在国际上进行学术交流，“自然辩证法”与“科学技术哲学”这两个名称可以交互使用，但我国的科学技术哲学是在马克思主义指导下、紧密结合我国社会主义建设的理论与实践进行研究的一个领域，它与西方的科学技术哲学有着原则的区别。以当代著名哲学家与科学家马里奥·本格（Mario Augusto Bunge, 1919—）的《科学技术哲学》一书为例，它的体系是：形式科学—物理科学—生命科学—社会科学—技术科学。

科学技术哲学的主要内容如下：

形式科学：从逻辑到数学，包括数学、纯数学与应用数学、逻辑；

物理科学：从物理学到地球科学，包括经典力学与统计力学、相对论、量子论、化学、大物理学（地球科学与宇宙学）；

生命科学：从生物学到心理学，包括分类学、遗传学、进化论、神经科学、神经心理学、社会心理学、社会生物学；

社会科学：从人类学到历史学，包括人类学、语言学、社会学、政治学、经济学、历史学；

技术科学：从工程学到决策论，包括工程技术、生命技术与心理技术、信息技术、社会技术、一般技术（系统论与决策论）、技术在社会中的作用。

本格的这个体系是科学—技术—社会（占很少篇幅）。

从自然辩证法与上述有代表性的西方科学技术哲学的体系的比较中可以看出，虽然它们都是以科学技术的整体作为研究内容，但它们之间有着原则的区别：

第一，如何看待自然观。西方的科学技术哲学一般都把对自然界的哲学思考放在自然哲学、科学实在论或哲学本体论中，而自然辩证法则把自然观作为它的理论基石；第二，如何看待科学技术。西方的科学技术哲学一般是着重从科学技术成果方面来考察的，而自然辩证法则把科学技术看成是一种极其重要的社会实践活动，既从它的活动过程，也从它的活动成果来考察的；第三，如何看待科学技术与社会的相互作用。西方的科学技术哲学把资本主义社会看做是永恒的、最合乎人性的形式。而自然辩证法则认为，资本主义社会只是历史上的一个过渡阶段，它迟早要被更高级的社会形态所代替。

三、自然辩证法和科学技术与社会

在国外，关于科学技术与社会的关系的研究，主要是从以下几个方向进行：

一是哲学的方向。例如：波普尔（Karl Raimund Popper, 1902—）、库恩（Thomas Samuel Kuhn, 1922—）、拉卡托斯（Lakatos Imre, 1922—1974）等的科学哲学；埃吕尔（J. Ellul, 1912—1994）、海德格尔（Martin Heidegger, 1889—1976）、马尔库塞（Herbert Marcuse, 1898—1979）等的技术哲学等。

二是社会学、历史学的方向。例如：普赖斯（D. J. Price, 1921—1983）的科学计量学；贝尔纳（J. D. Bernal, 1901—1971）的科学学；默顿（R. K. Merton, 1910—）的科学社会学；库恩的知识社会学；萨顿（George Alfred Sarton, 1884—1956）、科瓦雷（Alexander Koyré）的科学史等。

三是自然科学与人文社会科学关系的研究方向。例如：杜尔凯姆（Emile Durkheim, 1858—1917）的社会学的方法；冯克斯·韦伯（Max Weber, 1864—1920）的自然科学与文化科学的区分；C. P. 斯诺的科学文化与人文文化的交融等。

20 世纪 60 年代末，在上述研究的基础上汇合成一门新兴的、综合性的交叉学科——科学技术与社会（STS）。科学技术与社会是科学史、科

学哲学、科学社会学、科学经济学、科学政治学、科学法学、科学人类学等相互渗透与相互作用的产物，其研究对象是科学、技术与社会的关系；并且认为，科学与技术是社会的活动而非个人的活动。

20 世纪 90 年代后科学技术与社会 (STS) 演变为科学与技术 (S&TS) 的研究。它的研究对象是科学技术发展与社会发展的关系，并进一步认为，科学与技术是全人类的事业，是关系国家的生存与发展的战略产业。

自然辩证法虽然与 STS 及 S&TS 有相同的研究对象与研究范围，但无论 STS 抑或 S&TS 都没有把自然界与自然观放在首要地位，并且它们都是以发达资本主义社会为背景，它们关注的是资本主义社会发展的前途。自然辩证法研究在借鉴它们的成果时，必须作出分析而加以吸收。

第二节 自然辩证法的历史发展

一、19 世纪到 20 世纪中叶自然辩证法的创立与发展

19 世纪马克思、恩格斯创立的自然辩证法，同当时的哲学与科学技术的状况有着密切的联系，可以分为创立与发展两个时期：

(一) 创立时期

马克思、恩格斯创立自然辩证法时，他们正处在人类历史上一个伟大的转变时期，当时蓬蓬勃勃进行的工业革命把人类历史从农业社会推向工业社会。这一时期在自然科学中形而上学的自然观占统治地位，为了确立辩证的同时又是唯物主义的自然观，马克思、恩格斯进行了三个方面的理论工作：第一，批判分析了德国古典哲学，特别是从黑格尔哲学中拯救了自觉的辩证法；第二，批判分析了形而上学的思维方式，创立辩证唯物主义的自然观与方法论；第三，研究了劳动与人的生存、发展，以及劳动在人类社会发展中的作用。在自然辩证法的研究中，人们对于第一与第二两点比较熟悉，对于第三点注意较少。从“哲学家们只是用不同的方式解释世界，问题在于改变世界”^①的观点看来，第三点正是自然辩证法的精髓所在。以劳动以及与之一同发展起来的科学技术为中介，把对自然界和社会的认识与改造联结起来，这体现了马克思主义自然观与历史观的统一。

在《资本论》以及与之有关的政治经济学著作中，马克思和恩格斯正是从劳动是社会发展的动力的观点出发，提出了以下极为重要的思想

^① 《马克思恩格斯选集》第 1 卷 人民出版社 1995 年版 第 61 页。

内容：

1. 劳动工具是区分人与动物的根本标志

人类生存的第一个前提也就是一切历史的第一个前提是：人们为了能够“创造历史”，必须能够生活。但是为了生活，首先就必须进行物质生产劳动，从自然界那里获得满足自身生存需要的生活资料。因而物质生产劳动“是不以一切社会形式为转移的人类生存条件，是人和自然之间的物质变换即人类生活得以实现的永恒的自然必然性”^①。劳动是人与自然之间发生物质变换的过程，这个过程必须通过劳动工具来进行。一旦人类开始生产自身所必需的生活资料的时候，人就开始把自己和动物区别开来，因为动物所能做到的最多是搜集，人则从事生产，制造生活资料。

科学技术史就是伴随着劳动工具史而产生与发展起来的。达尔文在《物种起源》中“注意到自然工艺史，即注意到在动植物的生活中作为生产工具的动植物器官是怎样形成的”^②。马克思在《资本论》中注意的是社会工艺史，即社会人的生产器官的形成史，这是每一个特殊社会组织的物质基础的形成史。自然工艺史不是我们自己创造的，社会工艺史则是我们自己创造的，它揭示出人对自然的能动关系，并标志着社会生产的不同历史时代。所以，马克思说：“各种经济时代的区别，不在于生产什么，而在于怎样生产，用什么劳动资料生产。劳动资料不仅是人类劳动力发展的测量器，而且是劳动借以进行的社会关系的指示器。”^③

2. 劳动工具的不同划分了不同的历史时代

工业时代使用机器作为劳动工具，它代替了农业时代以经验为基础的手工工具。机器不同于手工工具的地方在于它是牛顿科学革命以来科学技术的物化。科学技术史证明了“自然界没有制造出任何机器，没有制造出机车、铁路、电报、走锭精纺机等等。它们是人类劳动的产物，……它们是人类的手创造出来的人类头脑的器官；是物化的知识力量”^④。

劳动工具不同，对生产劳动者的要求也不同，从事工业生产的劳动者，为了能够使用机器这种新型的劳动工具，必须有一个学习和训练的过程。

工业时代的机器代替农业时代的手工工具是劳动工具的划时代的变

① 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版 第 56 页

② 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版 第 409 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版 第 204 页。

④ 《马克思恩格斯全集》第 46 卷（下），第 219 页。

革。机器是工业社会特有的生产资料，机器制造业（用机器来生产机器）是与工业社会相适应的技术基础；^①以机器代替手工工具就是以科学技术代替经验成规，它极大地提高了社会生产力，把人类从保守、闭塞、落后的农业社会推向创新、开放、进步的工业社会。

3. 先进的劳动工具代表先进的生产力

机器大工业“把巨大的自然力和自然科学并入生产过程，必然大大提高劳动生产率”^②。资产阶级正是利用科学、技术与工业，在其不到一百年的阶级统治中，创造出比过去一切世代创造的全部生产力还要多，还要大的生产力。正如《共产党宣言》所指出的：“自然力的征服，机器的采用，化学在工业和农业中的应用，轮船的行驶，铁路的通行，电报的使用，整个整个大陆的开垦，河川的通航，仿佛用法术从地下呼唤出来的大量人口，——过去哪一个世纪料想在社会劳动里蕴藏有这样的生产力呢？”^③

《资本论》就是在研究工业生产力与资本主义私有制之间的矛盾运动中揭示出了资本主义“社会机体的产生、生存、发展和死亡以及为另一更高的机体所代替的特殊规律”^④。

4. 科学技术是生产力，是市场竞争力、经济发展动力之所在

马克思指出：“机器生产的原则是把生产过程分解为各个组成阶段，并且应用力学、化学等等，总之就是应用自然科学来解决由此产生的问题。这个原则到处都起着决定性的作用。”^⑤因此，经济发展必须提高劳动过程及其产品的科学技术含量，并变革它运行的社会条件，从而变革生产方式本身，通过科学技术进步提高劳动生产率来降低成本。所以，科学技术进步，提高劳动生产率，提高市场竞争力，是资本的内在的冲动和经常的趋势。

马克思和恩格斯在上述理论研究的基础上创立了辩证唯物主义的自然观和历史观，这是自然辩证法的理论基石。由此出发，他们研究了科学技术这种极为重要的社会实践活动，研究了它与人类社会发展的关系。

（二）发展时期

20世纪初，在科学方面列宁概括了恩格斯逝世以来自然科学特别是现代物理学的三大发现（电子、X射线和放射性的发现），深入地分析了由此引起的物理学革命及有关的哲学问题。列宁一方面指出新的自然科

参见：《马克思恩格斯全集》第23卷，人民出版社1972年版，第421、422页。

② 《马克思恩格斯全集》第23卷 人民出版社1972年版 第424页。

③ 《马克思恩格斯选集》第1卷 人民出版社1995年版 第277页。

④ 《马克思恩格斯全集》第23卷 人民出版社1972年版 第23页。

⑤ 《马克思恩格斯全集》第23卷 人民出版社1972年版 第505页。

学发现进一步冲击了形而上学的物质观、运动观、时空观和因果观；另一方面对由此产生的“物质消失了”，“没有物质的运动”，相对真理和绝对真理的对立是绝对的，真理是经验的生动的组织形式等观点，从辩证唯物主义的立场上作出了分析与批判。

关于“物质消失说”。列宁指出：当时一些自然科学家所说的“电代替了物质”、“物质消失了”等等，无非表明我们的知识正在深化；那些从前以为是绝对的、不变的原来的物质特性（不可入性、惯性、质量等等）正在消失；“辩证唯物主义坚决认为，日益发展的人类科学在认识自然界上的这一切里程碑都具有暂时的、相对的、近似的性质。电子和原子一样，也是不可穷尽的。”^①至于物质，它的唯一特性就是客观实在性，它存在于我们的意识之外，全部科学证明，电子、分子和原子的客观存在是不容怀疑的。

关于唯能论。由于热力学的成就，使得许多物理、化学定律能够从热运动来解释，而不必考虑物质结构，这就在一些自然科学家中产生出把运动同物质相分离的观念。德国物理化学家奥斯特瓦尔德（*Wilhelm Ostwald, 1853—1932*）就认为，能是世界上真正的实体，一切外界现象都可以说是能量之间的过程。列宁指出，这里的问题在于：能量是不是物质的运动？唯物主义者认为，自然科学中的能量转化乃是不依赖于人的意识和人类经验的客观过程，能量和客观的物质是分不开的，因此，能量是物质的运动。列宁坚持与发展了恩格斯“没有物质的运动是不可想象的”这一辩证唯物主义观点。

列宁开创了自然科学哲学问题的新篇章。

在科学技术与社会的关系方面，19世纪末以来一方面科学技术的发展出现了新的趋势，另一方面资本主义的发展从自由竞争阶段走向垄断阶段，自然辩证法有了新的发展。

首先，科学、技术与生产紧密结合。19世纪60年代后，麦克斯韦（*James Clerk Maxwell, 1831—1879*）电磁场理论的建立、赫兹（*Heinrich Rudolf Hertz, 1857—1894*）关于电磁波的实验的成功、爱迪生工业研究实验室的创建，开始了科学、技术与生产一体化的过程。在此之前，技术决定着科学；从此以后，科学走在技术的前面，决定生产的方式与方向，形成了科学、技术与生产紧密结合的过程。最突出的表现是科学的技术化与技术的科学化：一方面，现代科学必须依靠一定的技术手段才能进行深入的研究，像基本粒子物理学必须借助于高能加速器；另一方面，现代技术

列宁：《唯物主义与经验批判主义》，人民出版社 1970 年版，第 262 页。

的发展又必须以现代科学为基础；在内容上，技术要应用科学研究的成果，在形式上，技术要应用科学研究的方法。

其次，科学技术成为第一生产力。进入 20 世纪，特别是第二次世界大战以后，科学、技术与生产的一体化大大加速了科学转化为直接生产力的过程，从而加强了科学技术在生产中的地位和作用。邓小平指出：“现代科学为生产技术的进步开辟道路，决定它的发展方向。许多新的生产工具，新的工艺，首先在科学实验室里被创造出来。一系列新兴的工业，如高分子合成工业、原子能工业、电子计算机工业、半导体工业、宇航工业、激光工业等，都是建立在新兴科学基础上的。”^①科学不仅是生产通过技术得出的概括性的结果，而且是生产的前提条件，在“科学—技术—生产一体化”的过程中，科学起着先导和指导的作用，这意味着在现代科学技术革命时期，科学技术系统已经成为生产力系统中一个极为重要的组成部分了。

最后，技术创新即开发研究成为推动科学技术发展的关键因素。技术创新是科学技术转化为直接生产力的中心环节，在这个意义上它既是一国经济、政治、社会与文化发展的动力，也是企业充满生机与活力的主要源泉。所谓技术创新，按照熊彼特（J. Shumpeter, 1883—1950）的说法，是企业对生产要素的新的结合，它包括：引入一种新的产品或提供一种产品的新质量；采用一种新的生产方法；开辟一个新的市场；获得一种原料或半成品的新的供给来源；实行一种新的企业组织形式。技术创新是科技与经济的结合，其重要意义是：它是发明成果产品化、商品化的过程；它包括经济决策与经济行为的创新，具体表现为市场创新或销售创新等；它还包括组织和管理的创新。

按照历史唯物主义的观点，科学技术既然是生产力，它必然会对经济基础、上层建筑产生重大的影响。正是在马克思主义观点的影响下，一些发达国家出现了对科学技术进行社会学与历史学研究的新领域。

1. 科学社会学

1931 年苏联科学史家黑森在伦敦第二次国际科学史大会上，作了题为《牛顿 原理 的社会和经济根源》的报告。这篇从马克思主义的观点研究科学理论产生的社会背景的报告，认为牛顿《原理》并不是牛顿个人天才的产物，而是当时社会经济条件的必然结果。黑森的报告开创了科学社会学的研究方向。

此后不久，美国科学社会学家默顿受黑森的启发，写出《17 世纪英国

^① 《邓小平文选》第 2 卷 人民出版社 1983 年版 第 87 页。

的科学、技术与社会》一书（1938）。该书以 17 世纪的英国作为研究对象，从社会学的角度，考察了科学技术与经济发展及军事技术之间的关系以及宗教（清教）对科学的影响，提出了社会、文化与科学之间相互作用的模式是什么的问题。1942 年默顿在《科学的规范结构》中进一步概括了现代科学的精神气质，即共有性、普遍性、无私利性、独创性和有条件的怀疑论“*CUDOS*”，默顿规范的第一个字母），它成为科学的社会运行的机制。1957 年默顿又在《科学发现的优先权》中，详尽地探讨了优先权在科学报酬制度中的作用。1968 年默顿在《科学家的行为模式》中论述了作为社会成员的科学家的社会行为规范。默顿的研究工作被认为是美国科学社会学的发端。

20 世纪 60 年代，科学社会学已经成熟，出现了一批卓越的科学社会学家和有影响的著作，其中受默顿影响较大的有 B. 巴伯、朱克曼、哈格斯特龙、克兰、斯托勒等。

2. 科学学

英国物理学家贝尔纳是一个马克思主义者，^①他信守马克思主义的格言：“哲学家们只是用不同的方式解释世界，而问题在于改变世界。”^②贝尔纳始终关注科学的过去、现在与未来，在《科学的社会功能》（1939）这部科学学的奠基著作中，他在马克思的“科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量”^③的思想指引下，阐明了自己的基本论点：科学是为人类服务的，科学有巨大的社会作用，如果有计划地加以利用，科学可以大大改善人类的命运。贝尔纳对科学在社会中的功能的研究，是以科学的方法对科学本身进行全方位的研究。

贝尔纳还写了《19 世纪的科学与工业》（1953）和《历史上的科学》（1954）等著作，他开创了科学学这一新的研究领域。20 世纪 60 年代以来，科学学在国外有了很大的发展，这是一门以科学本身为研究对象的、综合性的边缘学科，它探讨科学的社会性质、作用和发展规律，以及科学的体系结构、规划、管理和科学政策等问题，受到科学家和科学管理工作者的普遍重视。

3. 技术文化学

美国社会学家奥格本（W. F. Ogburn, 1886—1959）受唯物史观的影响在《社会变迁》（1922）一书中提出“文化滞后论”。他认为，在现代社

参见戈德史密斯、马凯主编：《科学的科学》，科学出版社 1985 年版 第 21 页。

② 《马克思恩格斯选集》第 1 卷 人民出版社 1995 年版 第 61 页。

③ 《马克思恩格斯选集》第 3 卷 人民出版社 1995 年版 第 777 页。

会变迁中，物质文化的变迁最快，随之而来的制度文化和精神文化的变迁则慢得多，因为社会变迁的动力来源于技术的发明、积累、传播和调适，如果物质文化飞速发展，发明、积累、传播，特别是调适跟不上，便会发生文化滞后。

在现代，自然辩证法已经成为一门自然科学、社会科学与思维科学交叉的哲学性质的学科，它从辩证唯物主义的自然观、认识论、方法论与价值论方面，研究科学观与科学方法论、技术观与技术方法论、科学技术与人类社会发展的关系，是科学技术研究的思想理论基础。

自然辩证法的范围涉及自然史、人类史与科学技术史。早在 19 世纪 40 年代，马克思就指出：“正像关于人的科学将包括自然科学一样，自然科学往后也将包括关于人的科学：这将是一门科学。”^①在马克思、恩格斯的经典著作中，《自然辩证法》是自然发展史，《资本论》是社会发展史。自然史与社会史的相互联系、相互制约与相互作用，是在人、人的劳动、人所制造的劳动工具，以及随同劳动工具产生与发展起来的科学技术中实现的。现代科学技术社会化、社会科学技术化的趋势，以及人文科学与自然科学融合的趋势，形成了科学、技术与社会日益紧密结合的强大潮流，证明了马克思关于自然科学将发展为一门关于人的科学这一正确论断。

20 世纪初列宁指出：“从自然科学奔向社会科学的强大潮流，不仅在配第时代存在，在马克思时代也是存在的。在 20 世纪，这个潮流是同样强大，甚至可说更加强大了。”^②这个潮流最初在管理科学领域中出现，美国工程师泰罗（Frederich Winslow Taylor, 1856—1915）是科学管理的创始人，他认为科学管理的中心问题是提高工人的劳动生产率，为此他应用时间研究、动作研究等科学方法，采用标准化的劳动方法、作业程序、劳动工具、作业环境和控制生产进度等科学原则，研究工人标准的工作量，据此建立起一套完整的科学的管理方法，以代替传统的凭个人经验、技能进行作业的方法，开创了“管理科学化”这一方向。沿着这一方向发展出行为科学、系统科学等管理学派。

二、20 世纪中叶以来自然辩证法的新发展

20 世纪中叶的现代科学技术革命，把人类历史推向一个新的时代，自然辩证法的问题与内容又有了新的发展。

1. 在自然观方面

马克思：《1844 年经济学一哲学手稿》，人民出版社 1979 年版，第 82 页。

② 《列宁全集》第 25 卷，人民出版社 1988 年版，第 189 页。

第一，系统自然观。现代系统科学的发展，提出了系统自然观。在马克思主义经典作家那里原本就有着极为深刻的、丰富的系统思想，唯物辩证法中的“普遍联系”与“相互作用”实质上就是系统思想的哲学表述。马克思主义自然观认为，客观世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体，而客观世界普遍联系及其整体性的思想也就是系统思想。

马克思在考察社会时，把社会看做是一个有机体，并且把生产、分配、交换、消费看做是社会有机体的不同要素。他认为，每一个有机体的要素都存在着相互联系、相互作用。^① 马克思的系统思想在《资本论》中得到了充分的、具体的、科学的体现。

恩格斯在考察自然界时，也是把自然界看成是一个系统的整体，他说：“我们所面对着的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体。”^②他指出，由于自然科学的进步，整个自然界是作为“种种联系和种种过程的体系而展现在我们面前”^③ 系统中各个要素、各个过程的‘相互作用是我们从现代自然科学的观点考察整个运动着的物质时首先遇到的东西’^④，这些相互作用是事物运动的真正的终极原因。

系统自然观是辩证唯物主义自然观的丰富和发展，它是现代自然科学最新成果（系统科学）的基础上辩证自然观的一种形式。系统自然观的科学基础是现代系统科学，它从 20 世纪 40 年代起在短短的 60 多年内迅猛发展，为辩证唯物主义自然观提供了极其丰富的、与日俱增的材料，证明了自然界是系统地存在着的，并揭示了自然界的系统演化过程。

系统科学的诞生与发展是在 20 世纪 40 年代至 60 年代，一般系统论、运筹学、控制论、信息论、系统工程、系统分析、管理科学相互渗透、相互融合，形成了系统科学。在这一时期内，系统科学的应用范围和研究领域从自然界扩展到人类社会、从基础研究扩展到应用研究，成为一门具有旺盛生命力的新兴科学。

20 世纪 70 年代至 80 年代，耗散结构理论、协同学、超循环理论和突变论等的提出，标志着系统自组织理论的诞生，把系统科学推向一个新的阶段。系统自组织理论从宏观与微观以及二者的联系上研究了系统自己走向有充分组织性的有序结构的基本问题，从而形成了系统自组织的世

① 《马克思恩格斯全集》第 46 卷(上)人民出版社 1979 年版,第 37 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 20 卷,人民出版社 1971 年版,第 409 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 20 卷,人民出版社 1971 年版,第 538、539 页。

④ 《马克思恩格斯全集》第 20 卷,人民出版社 1971 年版,第 574 页。

界图景和系统自组织演化论。

20 世纪 80 年代以来,非线性科学和复杂性研究的兴起,大大推动了系统科学的发展。在科学中,非线性是数学概念,是相互作用的数学表达,它意味着叠加原理失效,非线性科学研究各门科学中有关非线性的共性问题。复杂性研究认为,事物的复杂性是从简单性发展来的,是在适应环境的过程中产生的。关于复杂性最初的研究是对经济、生态、免疫系统、胚胎、神经系统及计算机网络等被称为复杂适应系统的研究,这些复杂系统存在某些一般规律控制着它们的行为。

复杂性研究是跨学科、跨领域的研究,它提出了不同于从牛顿肇始的经典科学的认识论与方法论问题。系统科学的诞生是划时代的,它丰富与发展了马克思主义的自然观、认识论、方法论与思维方法。国内学者在辩证唯物主义自然观和系统思想的指导下,对现代科学技术这一新成就进行了多年的研究与讨论。

早在 1979 年 10 月,中国科学院、教育部、中国社会科学院、总参、总后、军事科学院、军事学院、国防科工委等单位在北京联合举办了系统工程学术讨论会,提出了建立系统科学的体系的问题。

此后 20 多年,国内学术界在众多领域内对系统科学进行了多方面多层次的研究、推广和应用,取得了不少重要成果,特别是对社会经济系统等进行了研究,提炼与总结出了开放的复杂巨系统概念,并提出了处理这类系统的方法论。

当前我们面临的许多全局性的重大问题,诸如可持续发展、经济全球化、科技发展、西部大发展、教育改革等,都迫切需要系统科学的观点、理论、方法与技术,这已经成为广泛的共识。提出“系统自然观”正是适应新形势、回答新问题的需要。

第二,生态自然观。生物科学、环境科学与生态学的发展,提出了生态自然观。在马克思、恩格斯那里也有极为深刻的、丰富的生态思想。马克思、恩格斯认为,在人类的物质生产活动过程中,在人与自然界的关系上,自然界始终处在优先地位,因为科学史证明了,自然界是先于人类历史而存在的^①在劳动过程中“没有自然界,……劳动者就什么也不能创造”^②自然界中的植物、动物、石头、空气、光等等“是人的生活和人的活动的一部分。人在肉体上只有依靠这些自然物……才能生活”^③。因此,

参见:《马克思恩格斯全集》第 3 卷,人民出版社 1960 年版,第 50 页。

②. 马克思:《1844 年经济学一哲学手稿》,人民出版社 1979 年版,第 45 页。

马克思:《1844 年经济学一哲学手稿》,人民出版社 1979 年版,第 49 页。

马克思、恩格斯在总结他们和黑格尔的根本对立时明确指出，唯物主义者认为，自然界是本原的，“自然界是不依赖任何哲学而存在的；它是我们人类（本身就是自然界的产物）赖以生长的基础；在自然界和人以外不存在任何东西”^①。20 世纪，科学特别是生态学的发展，丰富了马克思、恩格斯的上述观点。

首先，生态学深入地研究了人类生态系统中人与自然的关系。

大约 38 亿年前生命的出现形成了自然生态系统，大约 400 万 ~ 1 000 万年前人类的出现形成了人类生态系统。有了人才有人与自然的关系。人类生态系统的特点是：人类为了生存和发展就必须进行物质生产劳动，这是“一切人类生存的第一个前提也就是一切历史的第一个前提”^②。

在农牧业阶段，人类的生产活动对自然界的影 响还不太大。工业革命后，科学技术迅猛发展，人类的生产活动对自然界的巨大冲击带来了事关人类命运与前途的大问题，即生态危机问题，人与自然的矛盾突出地摆在人们的面前，它表现在两个方面：

一方面是数量上的，是人口数量与环境容量之间的矛盾。人口不能无限增长，因为地球的容量有限。对于这个矛盾人类可以通过自觉控制出生率，以及在一定程度上提高环境容量来解决。

另一方面是质量上的，是人的生活质量与环境的质量之间的矛盾。人类进行物质生产活动谋求自身的生存与发展时，同三种自然有着休戚与共的关系：

一是自然环境，这是人类生存的地球环境，包括人类从事物质生产活动的各种资源，有非生物的和生物的，这是人类生活的物质基础。

二是人工环境，这是人类为了自身的生活需要而创造出来的，在现代社会中就是以乡村与城市为中心兴建起来的建筑、道路、运河、水库、工厂、供水设施、供电设施等，这是人类生活的物质条件。

三是人工自然，这是人类在物质生产活动中创造出来的生产资料，如林场、草场、农田、机器、电子计算机等等。它们对人类的生活质量具有无法估量的影响。

其次，生态学研究了人类经济活动对自然界的影响。

传统的工业生产通过以下两种方式破坏了人与自然的和谐发展：

一是以建造人工环境的方式加深了人与自然的矛盾。这表现在：城市化的急速发展，城市中人口、生产、消费高度集中，由此造成了自然资源

《马克思恩格斯选集》第 4 卷 人民出版社 1995 年版 第 222 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 3 卷 人民出版社 1960 年版 第 31 页。

的消耗成倍增长；城市中的各种活动及其产生的废弃物破坏城市及其周围的自然环境，形成全球性生态环境问题（如臭氧层损耗、温室效应等）。

二是以创造人工自然的方式加深了人与自然的矛盾。工业生产应用现代科学技术手段，长期掠夺、消耗自然资源，并排放大量废弃物，引发了一系列环境问题，不仅威胁人类，而且威胁各种生命的生存和发展。

最后，生态学研究了人与自然的关系在可持续发展中的决定性作用。

在当代，可持续发展观是全球达成的共识，生态自然观是它的哲学基础。

1972 年联合国环境会议的报告《只有一个地球》指出，人类生活在两个世界里：一个是自然世界（自然环境）；另一个是人类为自己而建立起来的文明世界（人工环境与人工自然），“在这后一个世界里，人类用自己制造的工具和机器、自己的科学发明以及自己的设想，来创造一个符合人类理想和意愿的环境”。^①会议通过的《人类环境宣言》指出了人类在人与自然界的关系中所处的地位，认为由于当代科学技术突飞猛进的发展，人类改变环境的能力其规模之大是空前的，人类“是破坏生态的一个主要因素”。^②

因此，人类必须担负起地球管理员的责任，在环境的开发和利用中必须尊重生态规律，这就是说，要尽可能减少人工环境与人工自然对自然环境带来的冲击。生态危机的根源是人类的生产和生活活动对自然环境的巨大影响，是经济发展与环境保护之间的矛盾。为了解决这个矛盾，必须从根本上改变传统的工业化的生产方式，向生态化的生产方式转变。

2. 在科学观与科学方法论方面

16 世纪至 17 世纪开始了以实验为基础的自然科学研究，当时亟待解决的是自然科学研究中的认识论与方法论问题。在第谷·布拉赫、开普勒、伽利略等人观察与实验的研究过程中，逐渐形成了科学认识论与方法论上的两大传统，即以培根为代表的经验主义传统和以笛卡儿为代表的理性主义传统。

到 19 世纪末，以牛顿力学为基础的物理科学趋于成熟，在解决自然科学的哲学概括与总结问题上，受经验主义的影响，产生了实证主义流派。

马克思、恩格斯则从辩证唯物主义的立场出发，对科学的本质特征、科学与人类社会发展的关系，作出了深刻的概括与总结，其主要思想为：

芭芭拉·沃德、勒内·杜博斯著《只有一个地球》吉林人民出版社 1997 年版 第 3 页。

芭芭拉·沃德、勒内·杜博斯著《只有一个地球》，吉林人民出版社 1997 年版，第 10 页。

第一 科学精神 包括 其一 批判精神 也就是怀疑精神。有怀疑 才有批判；有批判才有创造。其二，求真精神。科学追求的真理是不以人的意志为转移的客观真理。其三，创新精神。人们的知识向客观真理接近的界限总是受历史条件制约的，因而科学的真理是相对的、暂时的，科学必须不断进行新的探索，不断创新。其四，人文精神。科学是为人类服务的，科学是历史的有力的杠杆。科学的人文精神最终表现在科学家的社会责任上。

第二，科学方法：用理性方法去整理感性材料，比较、分析、综合、演绎、归纳、实验就是理性方法。因此，科学知识包括理性知识与经验知识两个部分。

第三，科学分界：科学是实验的科学，实验是检验科学真理的标准，也是区分科学与非科学、区分科学与伪科学的标准。

19 世纪末，在数学革命、逻辑学革命和物理学革命的影响下，科学哲学沿着两个方向发展：

一是规范认识论方向。逻辑经验主义把实证主义观点与逻辑分析方法相结合，以数理逻辑与现代物理学为科学理论的典范，提出：科学理论中的经验与理性的关系是观察语言与理论语言的关系；可以通过对应规则把二者联系起来；科学理论的形成与建立过程，是经验→假说→证实。这个科学认识论与方法论的原则就是所谓的归纳主义与证实主义。

波普尔从批判理性主义的观点出发，认为假说是理性的猜测，它不是通过经验的归纳，而是通过猜测与反驳得来的。科学认识过程就是：从发现问题开始，提出猜测性的解答，然后通过实验证伪，即问题→假说→证伪。这个科学认识论与方法论的原则就是所谓的演绎主义与证伪主义。在波普尔看来，证实不过是增加原来理论的内容，但是只要有一次证伪就足以推翻原来的理论，所以他用证伪主义反对证实主义。

库恩从历史主义的观点出发，认为科学理论的发展不能片面地归结为证伪的过程，它还有一个证实的过程，前者是科学革命，后者是常规科学。科学理论的发展过程是“常规科学→科学革命”不断循环往复的过程。由新范式引起的科学革命必须由认同新范式的科学共同体来完成。

拉卡托斯的历史主义赞同波普尔的科学理论可错论，但补充与发展了它的否证论，认为一次经验证伪并不能否定原来的理论。因为，科学史上一个成熟的理论就是一定时期的科学研究纲领，它包含四个互相联系的部分 硬核(基本假设)、保护带(辅助假设)、反面启示法、正面启示法。科学研究纲领的进步表现在它比以前的研究纲领有更多的预言和更多的证实，否则就是退步的。

二是实证认识论方向。规范的科学哲学重点研究科学理论的形成与建立问题,把重点放在科学理论的辩护问题或合理性问题上,至于科学理论的发展问题,即如何提出新假说、建立新理论的问题,规范的科学哲学只是用概率论的方法,对假说的经验证据的支持度与逼真度进行度量。这是量的方法,不能从根本上解决问题。

实证的科学哲学重点研究科学理论的发展问题,爱因斯坦、彭加勒(J. H. Poincaré, 1854—1912)、玻尔(N. H. D. Bohr, 1885—1962)、海森堡(W. Heisenberg, 1901—1976)等著名科学家从他们进行科学活动的经验中,研究创立新的科学理论的方法与过程、价值与目标,特别是研究了科学理论发展过程中的创造性思维问题;他们的研究还涉及科学社会学、科学伦理学与科学美学等方面。此外,还有不少科学哲学家从事科学史上重大发现的案例研究。

科学理论的发展问题说到底是创造性思维问题。实证的科学哲学家明确指出,这是规范的科学哲学无法解决的。爱因斯坦明确指出,从经验上升到基本概念、基本假说,没有逻辑通道,必须借助于思维的自由创造,即借助于创造性思维(直觉、想象、灵感、顿悟等)。在爱因斯坦看来,从特殊到一般的道路是直觉性的,他相信直觉和灵感。他还认为想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。

其他科学家如鲍林(Linus Pauling, 1901—)德·布罗意(Louis de Broglie, 1892—?)、普朗克(Plank, 1858—1947)、玻恩(Max Born, 1882—1970)等都根据自己的科学研究经验对科学的认识论与方法论有精辟的论述。

3. 在技术观与技术方法论方面

技术是直接生产力,它直接对社会发生影响,随着工业革命的深入发展,技术哲学几乎与科学哲学同时发展。由于在认识论与方法论上,技术研究与科学研究有着密切的联系,因而技术哲学的研究传统和科学研究的传统有密切的联系。

理性主义传统,主要是德国与法国。其中有哲学、社会学、工程学等方向。

实证主义传统,主要是英国与美国。其中有哲学与社会学方向。

马克思主义传统,主要是苏联、东欧国家。

马克思主义传统的基本观点认为:第一,物质生产活动是人类最基本的活动,是社会历史发展的基础;第二,物质生产活动中使用的劳动工具,是劳动者用来影响、控制和改变自然界的手段;第三,劳动工具的创造和

使用是人类独有的，它不仅是人类劳动力发展的测量器，而且是劳动借以进行的社会关系的指示器。

19 世纪，马克思研究了机器引起的物质生产过程的巨大变革，指出了科学技术发展是推动社会生产力发展的重要力量。

20 世纪中叶以后，随着新的劳动工具电子计算机的出现，人类进入了新技术革命时代。新技术革命比工业革命深刻得多，苏联与东欧国家集中研究一个新的问题：科学技术革命（STR）引起的新产业革命的问题。

1967 年出版了捷克斯洛伐克科学院拉多万·里士塔院士主编的《十字路口的文明》，它是由社会学家、经济学家、心理学家、历史学家、工程专家、科学家、政治家与哲学家等共 60 多人合作写成的。这部著作专门研究科学技术革命的性质及其对社会的影响。该书把科学技术革命与工业革命作了如下的比较：

表 1 工业革命与科学技术革命的比较

工业革命	机械化	经验管理	科学与技术 彼此独立	工厂	机器减轻 体力劳动	普通教育
科学技术革命	自动化	科学管理	科学与技术 相互结合	公司	计算机减轻 脑力劳动	高等教育

我国在实现科学技术现代化的过程中，必须坚持马克思主义传统，从实践的观点，从技术与科学相互联系与相互区别上，深入地阐明技术的本质特征、技术的认识论、方法论与价值论、技术的社会建构，特别是技术创新与高技术产业化问题。

4. 在科学技术与社会方面

马克思主义的基本原则就是要发展生产力，特别是要发展作为第一生产力的科学技术，为此，就必须把科学技术工作摆到一个非常重要的位置上。

自然辩证法作为一门哲学性质的交叉学科，必须借鉴与吸收国外科学技术研究的成果。由于我国科学技术相对落后，当前正处在从计划经济向市场经济、从工业化向信息化与生态化的转变过程中，要实现科学技术现代化就必须牢牢抓住现代科学技术不同于传统科学技术的特点。现代科学技术（齐曼称之为后学院科学）在科学组织、管理和实施方式上发生了一个根本性的、不可逆转的、遍及世界的变革，这就是出现了科学技术知识生产的新模式：科学研究—技术开发—市场营销。科学技术业已成为国家与社会共同关注的事业，其特点在于：以研究与发展为基本过程、以创新（科学、技术、管理与制度等的创新）为动力、以效率与效益经

济、社会与生态的效益)为目标进行集体化、产业化与体制化的社会活动。因此,自然辩证法必须围绕现代科学技术的过程、动力与目标,研究它在社会中是如何运行的,为保证它的运行需要建立哪些体制;在这个基础上,根据世界的形势研究现代科学技术对社会发展有什么影响以及在新科技革命的条件下中国如何走新型工业化道路等问题。

第三节 自然辩证法和中国现代化

自然辩证法作为马克思主义自然观与历史观相统一的理论,对中国现代化有着十分重要的意义,而且在中国现代化进程中,它从理论与实际的结合上不断丰富自己的内容,扩展自己的研究领域。

一、建国初期

1950年至1952年底,全国的马克思主义启蒙学习运动,从教育界扩展到文艺界和整个知识界。当时科学技术工作者学习马列主义、毛泽东思想必读的重要课目有:《社会发展史》、《思想方法论》、《自然辩证法》等,特别是《自然辩证法》中的《劳动在从猿到人转变过程中的作用》这篇重要文章,是从自然发展史过渡到社会发展史的桥梁。

一些积极分子学习了《反杜林论》、《哲学笔记》、《唯物主义和经验批判主义》以及列宁和斯大林论科学技术等著作,广大知识分子通过学习,开始注意以正确的世界观与方法论对待学术问题。

一些哲学家和自然科学家,不仅投入到学习运动中,而且结合本专业讲解自己学习马克思主义哲学的心得和体会,如地质学家李四光、人类学家裴文、数学家华罗庚等,都在刊物上发表了有关的论文,在知识分子中产生很大的影响。

二、工业化时期

从1953年起,我国开始执行工业化的第一个五年计划。自然辩证法的发展被列为科学技术发展的一个组成部分。

1. 介绍苏联自然辩证法方面的研究成果

苏联是世界上第一个社会主义国家,在建设上有40年的经验值得我们学习。从50年代初开始,我国在自然辩证法领域中大量翻译介绍了苏联研究自然辩证法基本理论和各门自然科学中哲学问题的文章,如物质观、运动观、时空观和因果观研究,以及物理学、化学、生物学、生理学、心理学、天文学、地理学、地质学的哲学问题的论文和著作。

2. 制订自然辩证法发展远景规划

1956 年 2 月，在周恩来主持下，领导制订全国自然科学和社会科学的 12 年（1956—1967）发展远景规划。哲学社会科学规划委员会制订了《自然辩证法（数学和自然科学中的哲学问题）12 年研究规划草案》，它是哲学和社会科学研究规划的组成部分。

3. 自然辩证法与党的科技政策有密切的联系

党的“百家争鸣、百花齐放”方针，就是以辩证唯物主义为指导的。在辩证唯物主义看来，客观现实世界的变化运动永远没有完结，人们在实践中对于真理的认识也就永远没有完结，因而，艺术和科学中的是非问题，应当通过艺术界和科学界的自由讨论去解决，通过艺术和科学的实践去解决。

1956 年 8 月，中国科学院和高等教育部联合在山东青岛召开遗传学讨论会，这是“百家争鸣”方针提出后，自然科学领域的第一个全国性学术会议。会议以遗传问题为典型，纠正了我国过去在学习苏联中所犯的对现代科学成果进行粗暴批评的错误，摘掉了强加给摩尔根学派的“反动的”、“资产阶级的”、“唯心主义的”三顶帽子。

4. 自然辩证法在全国推广

1960 年 8 月中国科学院哲学研究所举行了一次自然辩证法座谈会，交流 1956 年以来，各工厂、高等院校和科学研究机关学习和运用毛泽东思想指导技术革新、技术革命、科学研究和教学改革的学习情况和经验。会议研究了技术发展的辩证规律，提出了研究科技理论的观点与方法。随后许多省市成立了自然辩证法研究会，积极开展自然辩证法的学习和研究。从 1961 年起，高等院校开始招收研究生。

三、改革开放时期

自然辩证法与中国现代化建设紧密结合，有了新的发展，主要是：

1. 中国自然辩证法研究会的筹备与自然辩证法研究活动的兴起

1977 年 12 月至 1978 年 1 月，作为全国科学技术规划会议的一部分，在北京召开了全国自然辩证法规划会议。会议强调了大力开展自然辩证法学习和研究的意义和作用，制定了《1978—1985 年自然辩证法学科发展规划纲要》（初稿）和编辑出版《自然辩证法通讯》杂志的方案（草案）。中国自然辩证法研究会由于光远、周培源、李昌、钱三强等在会议期间发起，于 1978 年 1 月 16 日经邓小平批准成立。

1978 年 7 月，中国自然辩证法研究会在北京举办了全国自然辩证法第一次讲习会。参加讲习会的有来自全国 500 多个单位的 1 500 多人，

23 名自然科学工作者、自然辩证法工作者就数学、物理学、化学、天文学、地理学、人类学、科技史以及自然辩证法理论和历史等方面，作了 24 个学术报告。这是新中国成立以来，自然辩证法学术活动中规模空前的一次盛会。

2. 中国自然辩证法研究会的成立与自然辩证法的新任务

1981 年 10 月，中国自然辩证法研究会成立大会及首届年会在北京召开。这次会议总结了 1978 年以来自然辩证法研究会的工作经验，交流了学术成果，特别是研究和讨论了在新的历史时期自然辩证法工作者如何为实现中国现代化建设服务的问题，提出了新的研究任务。

3. 自然辩证法在新技术革命挑战形势下的蓬勃发展

20 世纪 80 年代中期，新技术革命的冲击波震撼着整个世界，各个国家纷纷制订对策，各个领域的学者热烈地讨论，为自然辩证法研究打开了新的局面，它把研究扩展到科技发展战略、科学技术与经济发展、科技政策、科技工作管理、科学技术与人类文明、批判分析当代各种关于科学技术与社会的思潮等重大课题上。

4. 自然辩证法课程为思想理论必修课

自然辩证法是哲学性质的交叉学科，它从自然科学向社会科学与思维科学渗透，视野广阔，富有启发性，因而自然辩证法课是培养有深厚理论基础、有战略眼光、具备文理综合素质的高级人才的必修课。

思考题

1. 自然辩证法和科学技术有什么关系？
2. 自然辩证法在现代有哪些发展？
3. 自然辩证法对中国现代化建设有什么意义？

第一编

辩证唯物主义自然观

自然观是人们对自然界的根本看法或总的观点，它既是世界观的重要组成部分，又是人们认识和改造自然的方法论。自然观的形成和发展同自然科学的萌芽、产生与发展有密切的联系。古代朴素辩证法自然观，17世纪、18世纪机械唯物主义自然观，19世纪马克思和恩格斯创立的辩证唯物主义自然观，是唯物主义自然观发展的三个历史形态。

辩证唯物主义自然观是自然辩证法的理论基石，它的创立为科学技术的深层次研究提供世界观、认识论、方法论与价值论的前提。20世纪以来在总结概括现代自然科学新成就的基础上产生的系统自然观和生态自然观，是辩证唯物主义自然观的丰富与发展。

第一章 辩证唯物主义 自然观的创立

本章结合自然科学的历史发展，阐述了唯物主义自然观发展的三个历史形态的演替，重点是论述辩证唯物主义自然观创立的自然科学基础与自然哲学思想渊源、基本观点及其重大意义。

第一节 古代自然科学和朴素辩证法自然观

一、古代科学的萌芽及其自然哲学形式

在原始社会里，人类在劳动中逐渐积累起关于自然界的知识。“随着劳动而开始的人对自然的统治，随着每一新的进步又扩大了人的眼界。他们在自然对象中不断地发现新的、以往所不知道的属性。”^①这些在劳动中产生并以经验形式存在于技术之中的自然知识，构成了自然科学萌芽的最早形式。

人类进入奴隶制社会后，由于脑力劳动与体力劳动的分工，文字的发明与应用，自然知识开始以科学最初形态出现，形成了巴比伦、古埃及、印度和中国的科学文明。随着公元前 8 世纪以后古希腊奴隶制的繁荣，公元前 1 世纪罗马帝国的建立，科学在古希腊和古罗马以自然哲学的形式，达到了奴隶制时代的发展高峰。

在古希腊文中原来只有知识“επιστημη”、技艺“τεχνη”等词，后来“επιστημη”才获得科学的涵义。后人所说的“科学”这个词起源于拉丁文“Scientia”或“Scire”。在整个古代，本来意义的自然科学，大体上只限于天文、气象、力学、数学以及和人类生活密切相关的建筑、航海、医学等方面。

总的说来，古代哲学诞生的年代，自然科学刚刚萌芽，还没有形成独立的、系统的分门别类的知识体系，一切有关自然的知识差不多都包含于

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 376 页。

统一的哲学之中。^① 其中有不少是来自抽象的思辨和猜测，但也有许多是以经验事实为依据，具有后来经验科学的雏形。古代自然哲学作为从整体上对自然界进行思辨研究的学说，实际上是关于普遍命题的哲学知识和关于自然事物的具体知识的、浑然一体的一种知识形态。在这种知识形态中，自然科学与哲学是融合在一起的，它既包括哲学的探索，又包括自然科学的研究。直至亚里士多德时代，自然科学与自然哲学仍然是一回事，并且是以脱离实用技艺、从事纯理论的探索为目的的。

二、古代朴素辩证法自然观的基本思想

古代的自然哲学，本质上是一种自发唯物主义和朴素辩证法的自然观。它一扫漫长岁月流行的神话和宗教自然观，开始尝试对大自然作出统一的合乎理性的说明。这种说明大体上是围绕以下三个问题展开的。

1. 万物的本原

早期的自然哲学是从探索自然界的“本原”开始的。希腊文“本原”(αρχη)的原意是“开始”，指构成万物的根源、元素、始基或共同基础。至于本原是什么，数目有多少，古希腊哲学家根据自己的理解作出了不同的回答。例如，关于世界的本原问题，泰勒斯认为万物的本原是“水”，阿那克西米尼认为万物产生于“气”，赫拉克利特和希巴索则认为是“火”，恩培多克勒以土加于上述三者，主张“四元素”为万物之始，阿那克萨哥拉认为各种性质不同、数目无限多、体积无限小的“种子”是构成世界万物的最初元素，留基伯和德谟克利特提出原子论，认为万物的本原就是原子和虚空。

尽管古代自然哲学家在万物的本原是什么，以及本原有多少的问题上有分歧，但他们都认为本原是物质性的元素。这个观点“已经完全是一种原始的、自发的唯物主义了，它在自己的萌芽时期就十分自然地把自然现象的无限多样性的统一看作不言而喻的，并且在某种具有固定形体的东西中，在某种特殊的東西中寻找这个统一”。^② 这些元素虽然是某种具有固定形体的物质，但它们具有一般性，是从各种各样具体的物体中抽象概括出来的，用黑格尔的话说，是“思辨的普遍性”^③。

直到亚里士多德，才在《形而上学》第4卷中将哲学与科学的区别大致划分出来，指出哲学是研究“作为存在的存在(Being as Being)”、本体的性质、变化的原理和终极原因的，而科学只是割取了“存在”的一部分，研究自然、运动的原因和原理。

^② 《马克思恩格斯全集》第20卷，人民出版社1971年版，第525页。

黑格尔：《哲学史讲演录》第1卷，商务印书馆1959年版，第184页。

2 宇宙的起源和演化

古代自然哲学，还以哲学的语言、理性思维的方式表达了宇宙的起源和演化的问题。

公元前 6 世纪中叶的米利都学派代表人物阿那克西曼德被认为是“宇宙演化学的始祖”。他提出存在物的本原是没有任何规定性的“απειρον”(apeiron, 译作“无限”、“无定形”等)因为万物都从它产生, 又复归于它; 无数个世界连续地从它们的本原中产生, 又复归于它们的本原。

公元前 5 世纪后半叶, 恩培多克勒在《论自然》中将全部宇宙演化的历史描述为由“爱”和“恨”这两种对立的力量在斗争中此起彼伏、轮流消长造成水、火、土、气四种元素的分离和结合, 这样一个周而复始、循环往复的过程。他还指出, 全部生物和人类都是在宇宙演化的一定阶段, 在“爱”和“恨”的力量作用下, 由四种元素结合产生的。

古代自然哲学家关于宇宙的起源和演化的思想, 虽然有不少想象和虚构的成分, 但是它将整个自然界看做是由物质元素在宇宙中逐渐形成的, 并且把事物运动变化的原因归于事物内在的力量, 试图从对立面的统一和斗争揭示产生事物的根源, 包含着丰富的朴素辩证法的思想。

3. “自然”的涵义

古代自然哲学家凭借敏锐的直觉, 认识到“自然”是一个自身有生命的、不断地生长发育着的有机体。

在古希腊, “自然”一词写作“φύσις”(中世纪拉丁文译为“physica”, 近代英文译为“physics”)是与动词“φύεσθαι”(生成)结合起来理解的, “自然”隐含着“事物在其自身的权利中具有生长、组织和运动的天性(principle)”^①。亚里士多德在《形而上学》一书中说: “自然”的意思, 其一是生长着的事物的生成, 其二是生长着的事物所从出的内在的东西, 其三是天然物体原初的运动之根源, 它就在物体的自身中。^②自然是自我运动的。

三、古代朴素辩证法自然观的基本特点和历史地位

1. 直观性、思辨性和猜测性

古代朴素辩证法自然观, 把自然界当做一个统一的有机体, 力图在某

^① R. G. 柯林武德:《自然的观念》, 华夏出版社 1990 年版, 第 86 页。

^② 亚里士多德:《形而上学》, 商务印书馆 1959 年版, 第 87、88 页。

种具有固定形体的东西中，在某种特殊的東西中去找尋統一，認為自然界是一幅由種種聯系和相互作用無窮無盡地交織起來的畫面，其中沒有任何東西是不動的或不變的，而是一切都在運動、變化、產生和消失。這種自然觀來自天才的直觀、理性的思考和大膽的猜測，雖然正確地把握了自然界的總畫面的一般性質，卻不能具體地說明自然界的聯系；這種自然觀雖然想從自然界本身尋求對自然現象的解釋，但當時還缺乏足以把自然現象聯結成因果鏈條的經驗知識；這種自然觀雖然想從總體上去把握自然界，但當時人們對自然界的認識尚未進步到分析和解剖的程度，對構成總體的部分和細節尚不清楚，因而對總體聯系的認識必然是模糊的。這就使得它不得不用哲學的猜想来填補知識的空白，用哲學的思辨來編制自洽的理論，因而古代人的自然觀念是籠統的，帶有直觀性、思辨性和猜測性的特點。

2. 辯證唯物主義自然觀的歷史淵源

古代朴素辩证法自然觀的產生，標志著人類對自然界的認識已冲破原始神話和宗教的藩籬，開始運用理性思維去探索自然的本質和規律，是人類在認識自然的道路上的一次巨大進步。人類對自然的認識以自然哲學的形式出現，意味著哲學與自然科學之間存在著天然的聯系：一方面哲學要以對自然界的認識作為自己的重要基礎；另一方面自然科學在認識自然界的過程中不可能回避對自然界的總觀點的問題。

古代自然觀堅持從自然界本身去尋求對自然界的解釋，堅持在自然界的總體聯系和運動、發展、變化中認識自然界。正是這種自發的唯物主義和朴素的辯證法思想，使得它一方面在哲學上成為馬克思和恩格斯創立辯證唯物主義自然觀的思想淵源，另一方面在科學上孕育了許多在以后得到發展和証實的天才預見，如古希臘阿利斯塔克的日心說、德謨克利特的原子論、巴門尼德的充實說（認為“存在”充實空間，不存在虛空）、恩培多克勒的進化論等，在近代科學誕生以后，先後發展成為哥白尼—開普勒的日心說、道爾頓的原子論、法拉第—麥克斯韋的電磁理論、達爾文的進化論等科學理論。正如恩格斯指出的：“在希臘哲學的各種多樣的形式中，差不多可以找到以后各種觀點的胚胎、萌芽。因此，如果理論自然科學想要追溯自己今天的一般原理發生和發展的历史，它也不得不回到希臘人那里去。”^①

^① 《馬克思恩格斯全集》第 20 卷，人民出版社 1971 年版，第 386 頁。

第二节 16 世纪、17 世纪自然科学和机械唯物主义自然观

一、近代自然科学的诞生和机械唯物主义自然观的科学基础

15 世纪末 16 世纪初，欧洲城市商业经济的崛起和地理上的大发现，为世界范围的贸易以及从家庭手工业到工场手工业的过渡奠定了基础。在经济和生产发展的推动下，近代自然科学伴随着文艺复兴和宗教改革的思想解放运动蓬勃兴起。

1. 近代自然科学的诞生：哥白尼革命

1543 年波兰天文学家哥白尼《天体运行论》一书的出版，揭开了近代自然科学的序幕，引发了自然观的革命性变革。在这部著作中，哥白尼提出了日心地动说。哥白尼认为地球既不是一个静止不动的天体，也不是在宇宙的中心，它只是一颗普通的行星，既有自转的周日运动，又有和其他行星一样的周年运动，太阳才是宇宙的中心，天体的视运动实际上是地球和其他行星围绕太阳作复合运动的结果。

从科学上说，哥白尼学说的提出是科学史上一件划时代的事件。它冲破了地球居于宇宙中心静止不动的传统观念，恢复了地球的普通行星的本来面貌，推翻了一千多年来占统治地位的托勒密的地心说，以天体的真实运动代替视运动，使人类对太阳系的结构、各天体的位置与运动有了比较正确的认识，为近代天文学的发展奠定了基础。

从哲学上说，哥白尼学说摒弃了神创论的宇宙观，是向宗教神学发出的挑战书，它不仅标志着自然科学开始从神学中解放出来，而且还从根本上动摇了中世纪以来宗教神学的上帝创世说，实现了自然观念上的根本变革。正如恩格斯所评论的：哥白尼用他那本不朽著作“来向自然事物方面的教会权威挑战。从此自然研究便开始从神学中解放出来”^①。

2. 机械唯物主义自然观的科学基础：牛顿力学

从 16 世纪中叶到 18 世纪末，生产力和技术的发展，不仅提供了科学发展所需要的材料，而且还提供了科学实验技术发展的新工具，从而使自然科学成为真正有系统的实验科学，成为主要是搜集材料的科学。

在这一时期，天文学、力学和数学取得了很大的进步，物理学、化学、生物学也开始逐渐形成。但只有力学得到比较完善的发展，形成了经典

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 263 页。

力学体系，它以牛顿的巨著《自然哲学的数学原理》（1687）的出版为标志。

牛顿在这部著作中总结了伽利略、开普勒等人的研究成果以及自己的科学成就，提出了力学的三大定律和万有引力定律，把地面上物体的运动和太阳系内行星的运动统一在相同的物理定律之中，实现了人类史上第一次自然科学的大综合。它不仅是 16 世纪、17 世纪科学革命的顶点，而且也是人类文明进步的划时代标志。爱因斯坦指出，在牛顿以前和以后，“都还没有人能像他那样地决定着西方思想、研究和实践方向”^①。

牛顿力学正确地反映了宏观物体的机械运动规律，是机械论自然观的自然科学基础。这主要表现在下述六个方面：

第一，惯性是物质的本质属性，物质自身没有改变状态的能力，物质要改变状态，只有依靠外力。“只有当力作用于运动物体之上时，真正的运动才能发生或者有所改变。”^②机械论者据此认为所有的运动变化的原因都在物质外部，提出了外因论。

第二，“哲学的全部任务看来就在于从各种运动现象来研究各种自然之力，而后用这些力去论证其他的现象。”^③由于牛顿未给出力学的应用范围，这就导致人们只局限于机械运动形式，而对那些高级的运动形式则虚构出某种力来解释，这实际上就是把各种复杂的、高级的运动形式还原为受力学定律支配的机械运动。

第三，物体的运动只能改变物体的速度与位置，而不能改变其质量。因而机械论者就用位置移动来说明一切变化，用量的差异来说明一切质的差异，认为自然界只有量变而没有质变。

第四，存在“绝对空间”和“绝对时间”。牛顿说：“绝对的空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的。”^④“绝对”的、真正的和数学的时间自身在流逝着，而且由于其本性而在均匀地，与任何其他外界事物无关地流逝着，它又可以名之为“延续性”^⑤。这样，空间和时间就成了脱离物质的独立实体。

第五，可以用严格的数学方程式来表示机械因果性公式，人们根据它可以精确预言运动的结果。这就是牛顿所说的：“能用同样的推理方法

① 《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆 1976 年版，第 222 页。

② H. S. 塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海译文出版社 2001 年版，第 31 页。

③ H. S. 塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海译文出版社 2001 年版，第 16 页。

④ H. S. 塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海译文出版社 2001 年版，第 26、27 页。

⑤ H. S. 塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海译文出版社 2001 年版，第 16、17 页。

从力学原理中推导出自然界的其他许多现象。”^①机械论者据此认为这种机械的单义决定论是决定论的唯一形式。

第六，物质微粒“可以无限地分割，而且是可以无限地把它分离开来的”。^②机械论者也就把自然界分解得尽可能小，尽可能简单；把自然界还原为物质实体的集合，把物质实体还原为基元粒子的集合，为一系列或多或少理想化的问题寻求解答。

二、机械唯物主义自然观的基本观点及其形成

机械唯物主义自然观是唯物主义自然观发展的第二个历史形态。它认为世界是一部机器，由惰性物体组成，与思维存在物——人无关。物体运动是由于外力的推动，遵循严格的机械决定的因果关系。机器的自然图景和严格的机械决定论，是机械唯物主义自然观的基本命题。

1. 机器的自然图景

从哥白尼到牛顿的整个发展过程一直被恰当地称为世界图景的机械化过程。16世纪末，法国著名作家亨利·德芒纳蒂尔指出，世界是一部机器，它是最有意义的和最美妙的一部机械装置。17世纪，机械观已经十分流行。开普勒说他不是要将天体的机械比喻为神圣的有机体，而是把它比作一座时钟。法国哲学家笛卡儿认为：“自然图景是一种受着精确的数学法则支配的完善的机器。”他还试图论证“动物是纯粹的机器”。英国哲学家霍布斯宣称，所谓生命，不外是肢体的一种运动，由其中的某些主要部分发动，犹如钟表中发条和齿轮一样；心脏无非就是发条，神经无非就是游丝，而关节不过是一些齿轮，它把动作传递给整个躯体。

18世纪机械观占据了统治地位。伏尔泰认为，牛顿以万有引力定律论证了宇宙是一架巨大的机器。如果制造一架良好的机器，需要极好的机器匠才能把它制造出来，而这个机器匠就是上帝。拉美特利则推进了笛卡儿关于动物是机器的思想，作出了“人是机器”的论断。在他看来，人的意识只是原子运动的一个虚幻的副产品，人与动物相比，只不过是比动物“多几个齿轮，再多几条弹簧”，人与动物“只是位置的不同和力量程度的不同，而绝没有性质上的不同。”^③从而把人简化为一种没有灵魂的自动机。

这样，一幅囊括一切层次和类别的、机器的自然图景便建立起来了。

① H. S. 塞耶：《牛顿自然哲学著作选》上海译文出版社 2001 年版 第 3 页。

② H. S. 塞耶：《牛顿自然哲学著作选》上海译文出版社 2001 年版 第 5 页。

拉美特利：《人是机器》，商务印书馆 1979 年版 第 52 页。

自然界、宇宙被描绘成一架硕大无比的、精确的机器在运转：太阳系的每一颗行星都在一个精确的轨道上运行，它的卫星又按照确定的轨道绕着各自的行星运行；所有的行星几乎都在同一平面上绕太阳转动；它们的转动方向一样，而且这个方向正好是太阳自转的方向，于是整个太阳系就像一只绕一定方向旋转的圆盘；银河系看来也像是一只更加扁平的圆盘，太阳则处于这个圆盘中并绕着这个圆盘的中心旋转……不仅如此，栖息、居住在地球这颗行星之上的一切动物包括人类在内，也无一不是机器。

2. 严格的机械决定论：拉普拉斯决定论

拉普拉斯 (Laplace, 1749—1827) 在《概率论的解析理论》(1812) 中提出的决定论，是与机器的自然图景相联系的、关于宇宙的过程可以在一个简单的数学方程式中表现出来的理论。拉普拉斯认为，应该把宇宙的目前状态看做宇宙的过去状态的结果，同时又把它看做今后接着发生的事件的原因。设想有这样一个“智神”(intelligence)，他不仅知道一定时刻支配宇宙运动的所有作用力和组成宇宙的一切实体的位置，而且还具有对这些资料进行分析的巨大能力，那么无论是最大的天体运动还是最小的原子运动，都将包括在同一公式里。对于这样的“智神”来说，没有什么事物是不确定的；未来和过去都会展现在他眼前。

拉普拉斯的决定论是在牛顿力学的决定性原理的基础上形成的。牛顿的决定性原理是：物理系统的未来一切时刻的行为，都由系统内部所有物体在某一给定时刻的初始位置和初始速度以及作用于物体上的力完全而精确地确定。牛顿之后，经典力学的巨大成就进一步增强了牛顿理论的决定论色彩。这主要表现在两方面：一是在理论上决定论描述日臻完善。继牛顿之后，科学家采用牛顿的方法研究了多质点体系刚体，进一步发展了牛顿力学；尤其是拉普拉斯和拉格朗日 (Lagrange, 1736—1813) 将他们各自的《天体力学》、《分析力学》写成牛顿的《自然哲学的数学原理》的形式，使力学成了第一个真正数学化的科学。二是在实践上引力论获得了一系列光辉的确证，如预见哈雷彗星的回归、天王星的发现等等。

至 18 世纪末，法国哲学家把这种机械决定论推向了顶峰。霍尔巴赫认为，宇宙间存在着普遍的必然的因果联系，宇宙本身不过是一条原因和结果的无穷锁链。但是，他把自然的法则简单地理解为机械的因果必然性，夸大必然性而否定偶然性，断言“一切现象都是必然的”，认为“必然性就是原因和结果之间的固定不移的、恒常不变的联系”。^① 拉普拉斯则

把因果律发展成为绝对的机械决定论，成为那个时代完全决定论的代表。

三、机械唯物主义自然观的重大贡献和局限性

1. 机械唯物主义自然观的重大贡献

机械唯物主义自然观摒弃了古代朴素辩证法自然观的直观性、思辨性和猜测性，是巨大的进步，对于近代自然科学和唯物主义哲学的发展有着历史性的贡献。它强调自然的外在独立性，是对“上帝创世说”的否定，这对自然科学冲破神学唯心主义的羁绊具有积极的意义。机械唯物主义自然观反对抽象的思辨，强调经验的和实证的方法，主张用分析还原的方法去研究对象，把对象分析、还原为它的终极组成因素，然后在思想中把这些因素重建为一个整体。这种研究方法对自然科学的发展是完全必要的，正如恩格斯所指出的：“把自然界分解为各个部分，把各种自然过程和自然对象分成一定的门类，对有机体的内部按其多种多样的解剖形态进行研究，这是最近 400 年来在认识自然界方面获得巨大进展的基本条件。”^①

2. 机械唯物主义自然观的性质与局限性

（1）机械性

机械唯物主义自然观，是以机械的观点去看待自然界和人的。它承认自然界是物质的，物质是按规律运动着的，但它用纯粹力学的观点来考察和解释自然界的一切现象，认为自然界是一部机器，把自然界的各种运动形式都归结为机械运动形式。这种观点否认了有机界与无机界、人类社会与自然界之间的性质上的差别；抹杀了物质运动形式的多样性和各种运动形式之间性质上的差别；它不把自然界理解为一个过程，而把自然界看做是按某种必然规定的机械的构成，认为自然界的运动只是永远绕着一个圆圈旋转，具有严整的秩序，不存在偶然性，而运动只有数量的增减和场所的变更，其变化的原因在于物质的外部即外力的推动。这种观点与古代朴素辩证法自然观的观点相比，显然是一种倒退。古代朴素辩证法自然观把自然界看成是相互联系和相互作用的整体，是一个活生生的生命有机体，虽然是原始的、素朴的，然而在本质上却是正确的。所以恩格斯指出：“18 世纪上半叶的自然科学在知识上，甚至在材料的整理上大大超过了希腊古代，但是在观念地掌握这些材料上，在一般的自然观上却大大低于希腊古代。”^②

^① 《马克思恩格斯选集》第 3 卷，人民出版社 1995 年版，第 359、360 页。

^② 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 265 页。

（2）形而上学性

机械唯物主义自然观的形而上学性，是与当时经验自然科学所运用的还原分析的方法密切相关的。所谓还原分析方法，就是把复杂的事物和复杂的关系，还原为简单的事物（要素）和简单的关系，即把一个统一的整体分割为若干孤立的部分（要素），分别研究各个部分（要素）的属性、特征、结构和功能，然后再把这些部分合为一体。但是，这样所得到的一般只是各个部分的共同属性，而不是原有对象的整体性。它对于当时的自然科学的发展是必要的，然而，也给人们留下了一种习惯，即孤立地考察自然界的事物和过程，撇开它广泛的总的联系；不是把自然界看做是运动的，而是看做静止的；不是看做本质上变化着的，而是看做永恒不变的；不是看做活的，而是看做死的。“这种考察方法被培根和洛克从自然科学中移植到哲学中以后，就造成了最近几个世纪所特有的局限性，即形而上学的思维方式。”^①随着自然科学的发展，尤其是理论自然科学的出现，这种形而上学的思维方法便显得愈来愈不适用了。

（3）不彻底性

机械唯物主义自然观割裂了自然界与人类社会历史发展的关系，认为自然界是孤立于人的实践领域之外的原始的自然存在物。这种观点必然导致自然观与历史观的割裂，最终陷入唯心主义和神学目的论。因为机器的自然图景是同机器的制造者相关联的，也就是说，自然界的产生与发展是同有神论者信仰的超验的上帝相联系的。比如，对于地球围绕太阳的运动最初是如何形成的？地球上无限多样的动物和植物的种类是如何产生的？人类最初又是怎样产生出来的？这些带根本性的问题，机械论者最终不得不用超自然的原因来说明。这就不难理解，牛顿用神的“第一推动力”来说明行星最初的运动；瑞典生物学家林耐（Linnaeus, 1707—1778）用上帝的安排来解释动物和植物物种的产生；至于人类的产生问题，也只好用上帝创造人类来回答。因此，“这一时期的自然科学所达到的最高的普遍的思想，是关于自然界安排的合目的性的思想，是浅薄的沃尔弗式的目的论，根据这种理论，猫被创造出来是为了吃老鼠，老鼠被创造出来是为了给猫吃，而整个自然界被创造出来是为了证明造物主的智慧。”^②这种目的论实际上根本否定了科学，使科学又回到了神学的怀抱之中。

^① 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1995年版，第360页。

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社1971年版，第11页。

第三节 19 世纪自然科学和辩证唯物主义自然观

一、辩证唯物主义自然观确立的自然科学基础

1. 生产方式的发展与理论自然科学的产生

从 18 世纪下半叶开始,在欧洲发生的以蒸汽机为主要标志的近代以来第一次技术革命,以及随之而来的产业革命,使资本主义工场手工业向机器大工业生产过渡,促进了资本主义生产突飞猛进的发展。生产的这种飞跃,有力地推动了自然科学的发展。到 19 世纪,自然科学研究从分门别类搜集材料的阶段进入对经验材料进行综合整理和理论概括的阶段,“自然科学本质上是整理材料的科学,是关于过程、关于这些事物的发生和发展以及关于联系——把这些自然过程结合为一个大的整体——的科学”^①。理论自然科学的产生及其在各个领域涌现出的一系列重大发现,深刻地揭示了自然界的一切归根到底是辩证地而不是形而上学地发生的,这就为辩证唯物主义自然观的确立提供了自然科学的基础。

2. 18 世纪末至 19 世纪中叶理论自然科学的主要成就

(1) “星云说”

1755 年,德国哲学家康德发表了《自然通史与天体论》一书,提出了太阳系起源的“星云说”。康德认为,太阳系是从同一团尘埃微粒组成的弥漫星云中,通过吸引与排斥的矛盾运动,逐渐发展成为有秩序的天体系统;他阐明地球和整个太阳系表现为某种在时间的进程中逐渐生成的东西。1796 年,拉普拉斯发表《宇宙体系论》,提出了类似的星云说,并对星云说进行数学和力学方面的论证。后人把这两个类似的假说称之为“康德—拉普拉斯星云说”。恩格斯评价说:“康德关于所有现在的天体都从旋转的星云团产生的学说,是从哥白尼以来天文学取得的最大进步。认为自然界在时间上没有任何历史的那种观念,第一次被动摇了。……康德在这个完全适合于形而上学思维方式的观念上打开了第一个缺口”。^②

(2) 地质“渐变论”

1830 年至 1833 年,英国地质学家赖尔(Lyell, 1797—1875)在其发表的《地质学原理》一书中提出了地质渐变论,以地球的缓慢的变化这样一

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷,人民出版社 1995 年版,第 245 页。

^② 《马克思恩格斯选集》第 3 卷,人民出版社 1995 年版,第 397 页。

种渐进作用，来说明整个地球、地球的表层以及地表上的植物和动物的变化都是自然力作用和演变的结果，它们“也都有时间上的历史”，这个学说既是与有机物种不变这个假说不能相容，也是对居维叶（G. Cuvier, 1769—1832）的“灾变说”的一个有力批判。正是在这个意义上，恩格斯指出：“最初把理性带进地质学的是赖尔，因为他以地球的缓慢的变化这样一些渐进的作用，取代了由于造物主的一时兴起而引起的突然变革。”^②

（3）能量守恒与转化定律

19世纪40年代，迈尔、焦耳等人通过各自的途径发现了能量守恒和转化定律。这个定律在当量的关系上揭示了存在于自然界的热、光、电、磁、机械的和化学的等等这些当时被称之为“物理力”，而实际上是能量的特殊物理量之间的联系和转化，从而打破了形而上学关于无机物之间没有联系的旧观念。因此，自然界的一切运动都可以归结为一种形式向另一种形式不断转化的过程。

（4）尿素的人工合成

1828年，德国化学家维勒 F. Wohler, 1800—1882 发表《论尿素的人工合成》一文，总结了他用人工成功地从无机物合成有机物尿素的研究成果。维勒用普通的化学方法，从氰、氰酸银、氰酸铝，以及氨水、氯化铵等无机原料合成有机物尿素，打破了有机物和无机物有着不可逾越的界限的观念，动摇了生命力论的基础，“证明了适用于无机物的化学定律对有机物是同样适用的，而且把康德还认为是无机界和有机界之间的永远不可逾越的鸿沟大部分填平了”^③。

（5）细胞学说

1838年，德国生物学家施莱登 M. J. Schleiden, 1804—1881 发表《关于论植物起源的资料》一文，指出植物是由细胞组成的；1839年，德国生物学家施旺 Schwann, 1810—1882 发表了《关于动植物的结构和生长的一致性的显微研究》，明确指出动物和植物一样，也是由细胞组成的。细胞学说的建立，证明了一切生命物质的基本单位是细胞，无论动物和植物都是由单一细胞发展而成的，从而揭示了生命现象、特别是植物和动物之间的本质同一性，揭开了有机体产生、成长及其构造的秘密，“从前不可理解的奇迹解开了，被归结为某种遵循一切多细胞的机体本质上共有的

① 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版第268页。

② 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版第268页。

③ 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版第269页。

同一规律所发生的过程”。^①

(6) 生物进化论

1859年,英国生物学家达尔文《物种起源》一书出版,系统地提出了以自然选择为基础的生物进化论,用大量的事实论证了生物界的任何物种,都有其发生、发展和灭亡的历史,都是自然界长期进化的结果,从而揭示出生物由简单到复杂、从低级向高级的发展规律,推翻了那种把动植物看做彼此毫无联系的、偶然的“神造的”,不变的东西的观点,第一次把生物学放在完全科学的基础上。马克思和恩格斯称达尔文的进化论“证明了自然界的歷史发展”^②,为自然界的歷史观“提供了自然史的基础”^③。

(7) 电磁场理论

电磁场理论的诞生,源于科学家们对于电磁相互关系的实验研究。1820年,丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)发现电流的磁效应。1831年,英国物理学家法拉第发现电磁感应现象(即变化的磁场产生电场)。1865年,英国物理学家麦克斯韦在《电磁场的动力学理论》一书中对前人和他自己的工作进行了概括,建立了联系着电荷、电流、电场、磁场的基本微分方程组,即描述电磁场运动变化规律的电磁场理论,揭示了电、磁和光的统一性,实现了物理学史上又一次理论综合。

(8) 元素周期律

元素周期律是指元素的性质随着元素原子量的增加而呈周期性的变化,1869年前后由俄国化学家门捷列夫等人发现。这一发现不仅揭示了各种元素之间的内在联系,为推断元素的一般性质、新元素的寻找和物质结构理论的研究,提供了可遵循的规律,而且揭示了元素由量变到质变、量与质相互关联的实质,为唯物辩证法提供了自然科学上的论据。因此,恩格斯说门捷列夫“应用黑格尔的量转化为质的规律,完成了科学上的一个勋业”^④。

上述理论自然科学的一系列重大发现,特别是物理学的两次重大的理论综合(能量守恒与转化定律和电磁场理论的建立)和生物学的两次重大的理论综合(细胞学说和生物进化论的建立),揭示了自然界物质运动形式的多样性以及这些物质运动形式的相互联系与相互转化,消融了有机界和无机界之间的鸿沟,自然界的主要过程得到了说明,并被归之于

① 《马克思恩格斯选集》第4卷,人民出版社1995年版,第305页。

② 《马克思恩格斯全集》第29卷,人民出版社1972年版,第503页。

③ 《马克思恩格斯全集》第30卷,人民出版社1975年版,第131页。

④ 《马克思恩格斯选集》第4卷,人民出版社1995年版,第316页。

自然的原因。由于理论自然科学的进展，人们能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画，从而使辩证自然观取代机械自然观成为历史的必然。

二、辩证唯物主义自然观创立的自然哲学思想渊源

1. 辩证唯物主义自然观的直接先驱：德国古典自然哲学

辩证唯物主义自然观的创立，除了具备上述深厚的自然科学基础和源远流长的古代自然哲学思想渊源之外，还以德国古典自然哲学为先驱。

康德关于空间与时间、物质与运动、变化与发展的哲学思考，包含了丰富的辩证法思想，刻画了一幅关于宇宙的结构与发展的宏观图景。赫尔德概括了自然科学进一步取得的成就，描述了地球的地质演变史和地上生命的自然发展史，发展了自然界演化的思想。谢林在《自然哲学体系初步纲要》中提出，与那种用经验方法考察被创造出来的自然界的自然科学不同，自然哲学是用思辨方式考察进行创造活动的自然物，因而整个自然界表现为一个由无限多样的形态组成的系统，一个从无机物到人类的动态发展系列。

黑格尔是德国古典自然哲学的集大成者。他在其《哲学全书》第二部分《自然哲学》中强调自然哲学必须以自然科学为基础，接受自然科学从经验中给自己准备的材料，并把这种材料重新加以改造。同时，他批判了那种蔑视思维，以纯粹经验主义为标榜的科学家，指出自然科学同样是用思维方式考察自然，只不过它使用的范畴是形而上学的，而自然哲学使用的范畴是辩证的，因此自然科学与自然哲学的关系就在于范畴的转换。黑格尔将自然界看做“是一种由各个阶段组成的体系，其中一个阶段是从另一个阶段必然产生的”^①，前一个阶段的产物总是后一个阶段的产物的基础。他指出了一种自然形式和领域向一种更高的自然形式和领域的发展与转化，无机界向有机界的发展和转化，有机界向生命界的发展和转化，提出了“自然界自在地是一个活生生的整体”^②的著名论断。黑格尔的自然哲学包含了不少天才的思想，如论证了空间、时间、运动和物质的统一，提出了物质的连续性与间断性的统一，猜测到最简单的生命是从化学过程产生的。

2. 马克思、恩格斯对德国古典自然哲学的批判和继承

马克思和恩格斯科学地总结了当时自然科学的最新成就，继承了古

黑格尔：《自然哲学》，商务印书馆 1980 年版，第 28 页。

② 黑格尔：《自然哲学》商务印书馆 1980 年版，第 34 页。

希腊自然观中的辩证法观点，克服了机械唯物主义自然观的形而上学性质，批判地吸取了德国古典自然哲学特别是黑格尔的辩证法思想，创立了辩证唯物主义的自然人观。

德国古典自然哲学最主要的价值，即在于把世界描绘成是一个过程的集合体，而不是单纯事物的集合体，并且明确地提出了矛盾是运动、发展的源泉的思想。马克思和恩格斯指出：“黑格尔第一次——这是他的伟大功绩——把整个自然的、历史的和精神的世界描写为一个过程，即把它描写为处在不断的运动、变化、转变和发展中，并企图揭示这种运动和发展的内在联系。”^①但是，黑格尔是用颠倒的形式叙述自然界辩证发展过程的。他认为，“自然界作为他在形式中的理念产生出来的”^②；“自然”只是“理念表现自己的一种方式”^③。这就是说，黑格尔自然哲学中的辩证法，只是观念的辩证法：发展是理念、观念的发展；联系是概念的相互联系，而自然界的辩证法只不过是它的“外化”，因而黑格尔的辩证法是头脚倒立的。

黑格尔的发展观是不彻底的。按照传统的要求，哲学体系是一定要以某种绝对真理来完成的，所以，黑格尔虽然强调永恒真理不过是历史的过程本身，但他还是把历史设想成人类将达到对绝对观念的认识，并宣布对绝对观念的认识已经在他的哲学中达到了。但是这样一来，发展也就终结了^④。所以，马克思和恩格斯在肯定以往自然哲学的历史价值的同时又指出：“旧的自然哲学，无论它包含有多少真正好的东西和多少可以结果实的萌芽，是不能满足我们的需要的。”^⑤他们在对以往的自然哲学进行扬弃的过程中，批判地消除它的神秘主义的形式，挽救其中有价值的合理思想，从而让自然界的辩证法从它们的全部的单纯性和普遍性上清楚地表述出来。所以恩格斯明确指出：“马克思和我，可以说是把自觉的辩证法从德国唯心主义哲学中拯救出来并用于唯物主义的自然人观和历史观的唯一的人。”^⑥

三、辩证唯物主义自然观的基本思想、特征和重大意义

1. 基本思想和特征

① 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1995年版，第362页。

黑格尔：《自然哲学》，商务印书馆1980年版，第19页。

黑格尔：《自然哲学》，商务印书馆1980年版，第21页。

参见：《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版，第216~219页。

⑤ 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1995年版，第350页。

⑥ 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1995年版，第349页。

辩证唯物主义自然观认为：自然界是物质的，物质是万物的本原和基础，自然界除了运动着的物质及其表现形式之外，什么也没有；运动无论在量上还是在质上都是不灭的；意识和思维是物质高度发展的产物，即人脑的属性和机能；时间和空间是物质的固有属性和存在方式；自然界的一切事物和现象都是矛盾的统一体，它们既是对立的，又是统一的，并且在一定条件下相互转化，由此推动着自然界的运动和发展；自然界的一切事物都处于普遍联系和相互作用之中，处于永久的产生和消亡之中，处于不断的运动和转化过程之中；在自然的发展过程中，在自然的特定领域发展的特定阶段上，产生了人类和人类社会；随着人类的社会实践活动的深入展开，使原有的自然部分领域不断得到认识和改造，于是出现了一个与外在于人的活动的“纯自然”所不同的具有新质的“人化自然”，这种人化自然也就是进入人类文化或文明的自然界，是人的现实的自然界。

辩证唯物主义自然观区别于以往各种自然观的基本特征是：

第一，唯物论与辩证法的统一。辩证唯物主义自然观是一种唯物辩证的自然观，体现了唯物论和辩证法的有机结合。一方面辩证唯物主义自然观与唯心主义相对立，把自然界的客观实在性和存在的优先性看做是人类研究自然的认识前提，明确指出自然界先于人类历史而存在，即“自然界的优先地位”^①；“人和自然界的实在性，即人对人说来作为自然界的存在以及自然界对人说来作为人的存在，已经变成实践的、可以通过感觉直观的，所以，关于某种异己的存在物、关于凌驾于自然界和人之上的存在物的问题，即包含着对自然界和人的非实在性的承认的问题，在实践上已经成为不可能的了。”^②另一方面辩证唯物主义自然观又克服了机械唯物主义的机械性、形而上学性和不彻底性。

第二，自然史与人类史的统一。辩证唯物主义自然观认为，“历史可以从两方面来考察，可以把它划分为自然史和人类史，但这两方面是不可分割的；只要有人存在，自然史和人类史就彼此相互制约。”^③它将自然界、人类和社会历史统一起来，看成是一个统一的自然历史过程，遵循着统一的辩证法规律。辩证唯物主义自然观不仅确认自然界先于人，先于人类社会，而且还明确地把人类社会看做自然界的一部分，指出人类的“历史本身是自然史的即自然界成为人这一过程的一个现实部分”，并

① 《马克思恩格斯选集》第1卷，人民出版社1995年版第77页。

② 《马克思恩格斯全集》第42卷，人民出版社1979年版第131页。

③ 《马克思恩格斯选集》第1卷，人民出版社1995年版第66页。

④ 《马克思恩格斯全集》第42卷，人民出版社1979年版第128页。

且“把经济的社会形态的发展理解为一种自然史的过程”^①。“我们每走一步都要记住：我们统治自然界，绝不像征服者统治异族人那样，绝不是像站在自然界之外的人似的，——相反地，我们连同我们的肉、血和头脑都是属于自然界和存在于自然之中的；……认识到自身和自然界的一体性”^②，从人与自然的关系中去考察自然。这就突破了以往把人同自然界绝对对立起来，把人类社会与自然界绝对对立起来的自然观念。

第三，天然自然与人化自然的统一。从来的自然观都是对纯粹的、天然的自然界的看法。辩证唯物主义自然观所揭示的自然界还包括人参与其中的人化了的自然界，是人创造、占有和“再生产”的自然界。恩格斯指出：“在人类历史中即在人类社会的产生过程中形成的自然界是人的现实的自然界；因此，通过工业——尽管以异化的形式——形成的自然界是真正的、人类学的自然界。”^③这种人化的自然界的思想，不仅超越了以往狭义的自然观念，而且强调了人的参与，说明人与自然的关系中最能体现人的本质力量对象化的地方，正在于人能够按照美的原则来塑造对象性的自然界，这是人类对自然界认识的重大飞跃。

第四，人与自然的对象性关系是能动性和受动性的统一。与机械论自然观不同，辩证唯物主义自然观认为：人作为自然存在物，“一方面具有自然力、生命力，是能动的自然存在物；这些力量作为天赋和才能、作为欲望存在于人身上；另一方面，人作为自然的、肉体的、感性的、对象性的存在物，和动植物一样，是受动的、受制约的和受限制的存在物。”^④在任何时候，人的能动性的发挥都不是不受制约的，不是无限的、绝对的，“外部自然界的优先地位”并不因为人的活动而消失；人类只能顺应自然界的规律性而不能违背自然的规律性；人在自然界里能获得多大的自由，并不单纯取决于人的能动性的发挥程度，同时也取决于对人的受动性的认识程度和控制能力。

2. 重大意义

第一，辩证唯物主义自然观的创立，实现了自然观发展史上的革命性变革。它克服了古代朴素辩证法自然观由于缺乏科学认识基础所造成的直观、思辨的局限性，吸取了古代自然哲学关于自然界运动、发展和整体联系的思想，以近代自然科学对自然界认识的最新成就为依据，批判了机

① 《马克思恩格斯选集》第2卷，人民出版社1995年版，第101、102页。

② 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版，第383、384页。

③ 《马克思恩格斯全集》第42卷，人民出版社1979年版，第128页。

④ 《马克思恩格斯全集》第42卷，人民出版社1979年版，第167页。

械论和形而上学，深刻地揭示了自然界本身发展的辩证法。辩证唯物主义自然观标志着人类思维从古代朴素的辩证思维到近代的形而上学思维再复归到辩证思维的否定之否定的过程。

第二，辩证唯物主义自然观的创立，为马克思主义的科学观、科学方法论以及科学与社会的研究奠定了理论基础。19世纪40年代，马克思和恩格斯创立了唯物主义历史观，发现了剩余价值规律从而揭示了资本主义生产方式的秘密，这两大发现使社会主义由空想变成科学。1848年革命失败后，马克思和恩格斯除了撰写总结德、法革命经验教训的著作外，马克思还致力于政治经济学研究，着手撰写《资本论》；恩格斯则广泛、系统地开展了自然科学方面的研究，撰写《自然辩证法》手稿。恩格斯曾说过，他“援引现代自然科学来证明辩证法在现实中已得到证实”^①。是因为唯物主义历史观及其在无产阶级革命斗争中的应用，只有借助于辩证法才有可能。这表明，辩证唯物主义是整个马克思主义学说中不可缺少的有机组成部分。

第三，辩证唯物主义自然观的创立，为科学与技术提供了世界观、认识论、方法论与价值论的理论前提。世界观问题，是一切科学研究的基本出发点。任何人从事科学研究，不管他对本体论采取何种态度，实际上总是有其世界观前提的。爱因斯坦就说过：“相信有一个离开知觉主体而独立的外在世界，是一切自然科学的基础。”^②虽然，“我们不能从逻辑上来证明外在世界的存在”，^③但它却是我们不可缺少的科学信念和科学预设，是科学家进行科学探索的深厚根基和深沉动机。而科学家关于独立于人的外在世界等科学信念和科学预设，正是辩证唯物主义自然观的重要观念和思想。固然，从时间上说，自然科学的发生是先于辩证唯物主义自然观的，但从逻辑上说，辩证唯物主义自然观一经形成，它的思想和方法也就成为自然科学所依赖的原初条件和理性根据。

科学认识与方法论是伴随着自然科学的进步而发展的。16世纪、17世纪，自然科学最先从自然哲学中分化出来，获得相对独立的发展，因而有关自然科学的认识论与方法论最先得得到比较充分的研究。特别是培根、笛卡儿等卓越的思想家对科学认识论和方法论的研究，对自然科学的发展发生了深远的影响。但是，由于历史条件的限制，这些研究不可避免地存在某些局限性。19世纪初，黑格尔第一次系统地阐述了辩证的思维

① 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1995年版，第692页。

② 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第292页。

③ 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第305页。

方法，并将辩证法运用于认识史和逻辑学的研究，从而把认识论和方法论的研究提高到一个新的水平。。但由于黑格尔唯心主义的思辨方式，使自然科学家对他的方法并不理解，甚至抱疏远以至轻蔑的态度。马克思和恩格斯创立的辩证唯物主义自然观，带来了科学方法论的重大变革，它为科学研究提供了唯物辩证的认识论与方法论，成为科学方法论发展史上的一个重要里程碑。

第四，辩证唯物主义自然观的创立，为自然科学与人的科学的结合提供了理论依据。由于机械唯物主义自然观把自然界看成是外在于人类社会的独立存在，因此认为自然科学与人类社会实践活动没有关系，是对客观自然的纯粹描述，从而成为“抽象的自然科学的唯物主义”^①。与此相反，辩证唯物主义自然观以主张自然史与人类史的统一为特征，强调自然与社会的相互联系，认为自然科学与人类社会、自然科学与人的科学是不能分离的，指出只有把自然科学的发展建立在人类社会发展的基础上，才能使自然科学真正成为人的科学。而科学的发展恰如马克思所预言的：“自然科学往后将包括关于人的科学，正像关于人的科学包括自然科学一样 这将是——一门科学。”^②

辩证唯物主义自然观按其本质来说，是批判的、革命的，而不是僵化、保守的。在自然科学飞速发展的现时代，它必然会以科学的新成果和自然界的新问题来进一步丰富和发展它的观点。

思考题

1. 何谓自然观？它与自然科学的发展有怎样的联系？
2. 在人类历史上，唯物主义自然观经历了哪几个重要形态？试评述古代朴素辩证法自然观和近代机械唯物主义自然观。
3. 阐述辩证唯物主义自然观创立的自然科学基础和自然哲学思想渊源。
4. 论述辩证唯物主义自然观的基本思想和特征。
5. 辩证唯物主义自然观的创立有何重大意义？

① 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版，第 410 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版，第 128 页。

第二章 辩证唯物主义自然观的发展 系统自然观

系统自然观是辩证唯物主义自然观的现代形式之一。本章力求概括和总结 20 世纪以来自然科学发展的重大成果，论述系统自然观产生的自然科学基础、系统自然观的基本观点及其思维方式，展现自然界的系统存在方式和演化的不可逆性与序向，揭示自然界演化的自组织机制和循环发展的无限性。

第一节 现代自然科学的发展和系统自然观的产生

一、系统自然观产生的现代自然科学基础

1. 现代自然科学革命概况

19 世纪末 20 世纪初，由于发生了物理学的革命，自然科学进入了一个新的历史阶段即现代自然科学发展阶段。这场革命起源于 19 世纪末的经典物理学危机。物理学经典理论体系的建立，曾使不少科学家认为，物理学的主要框架已经构成，剩下的工作只是把一些物理常数测得更准确，并将一些基本定律应用于各种具体问题。然而，正当他们认为物理学已到了顶峰而陶醉于“尽善尽美”的境界时，物理学的晴朗天空中却出乎意料地出现了“两朵乌云”，这就是当时用经典物理学理论无法解释的迈克尔逊—莫雷实验和黑体辐射实验。20 世纪初，爱因斯坦、普朗克等科学家在解决新实验事实同旧理论之间的矛盾的过程中，创建了以相对论和量子力学为支柱的现代物理学理论体系。之后，以物理学革命为先导，涌现出了分子生物学、控制论、系统论、信息论、耗散结构理论、协同学、超循环理论、分形理论、混沌理论等一系列在自然观上具有根本变革性质的新学科、新理论。

20 世纪的科学革命广泛地发生在宇观、宏观、微观三大层次上，使整个自然科学形成一个前沿不断扩大的多层次的综合的整体。概要说来，由相对论表征的科学革命是关于高速及宇观领域的；由量子力学和分子生物学表征的科学革命是关于微观领域的；由分形理论、混沌理论等一系列学科表征的科学革命，则是介于两者之间的宏观的领域的。它们分别

从宇观、微观、宏观三大层次上揭示了自然界的本质和规律。

2. 相对论、量子力学和分子生物学

(1) 相对论

1905 年爱因斯坦创建的狭义相对论,从相对性原理、光速不变原理和空间与时间均匀性出发,导出了同时性的相对性、尺缩效应、时间延缓效应、质增效应、质能关系式等重要结论,揭示了空间与时间之间、空间和时间与物质运动之间、质量与能量之间的统一性。1916 年他创建的广义相对论,提出在任何参考系中,自然规律都可以表示为相同的数学形式(广义协变原理);引力场对物体的引力作用与物体的加速运动是等效的(“等效原理”)推断出在引力场中,时钟要变慢,光的路程要弯曲,指出时间与空间不能离开物质而独立存在,时空的结构和性质取决于物质的分布,从而扬弃了牛顿的绝对空间和绝对时间观念,揭示了空间、时间与物质之间存在的辩证联系。

(2) 量子力学

1900 年普朗克提出的量子假说,1913 年玻尔建立的量子化的原子结构模型,1923 年德布罗意提出的物质波概念,1925 年海森堡建立的矩阵力学,1926 年薛定谔(Schrödinger, 1887—1961)建立的波动力学,以及之后玻恩对量子力学和波函数的统计诠释,揭示了崭新的、不同于宏观客体规律的微观客体规律,阐明了连续性与间断性、波动性与粒子性的对立统一,突现了量子(微观)世界的概率随机性,从而根本改变了精确确定的连续轨迹的经典概念,经典理论中的严格决定论,被因果律仅作为一种近似的和统计趋势的概念所代替。贝尔定理的证实,确认了量子关联的实在性。^①这种量子关联是非定域性的,它既存在于人与自然之间、主体与客体之间,又表现在宇宙的去与现在之间,说明自然界是一个统一的、不可分割的整体,这个整体中的各部分是普遍关联着的。

量子力学的建立,使自然科学进入到人类日常感性经验以外的微观世界。它反映了人和自然相互作用的特征,表明了人只有通过仪器装置才能观察和描述自然,人只有在同自然的相互作用中才能达到认识自然的目的;人绝不是自然之外的与之分离的观察者或存在者,而是作为自然界的一部分参与到自然现象中去。

“量子关联”这一思想,最初是玻尔在 1935 年发表的一篇论文《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗?》中提出来的。他强调把经典物理学体系分离为各个部分的处理方法在量子领域内已经失效,因为只要两个体系合成一个单一的体系,即使只在一段有效的时间内,这样的组织过程就不再能够分离。之后,经过玻姆和贝尔的研究与分析,使得量子关联的实验检验成为可能。自 1972 年以来物理学界所完成的实验表明,量子关联确实存在。

(3) 分子生物学

1953 年美国生物学家沃森 (James Dewey Wastson, 1928—) 英国生物学家克里克 (F. H. C. Crick, 1916—) 和威尔金斯 (M. H. F. Wilkins, 1916—) 关于 DNA 双螺旋结构的发现, 标志着分子生物学的诞生, 它将生物学的实验研究水平, 推进到了大分子层次, 并在生物大分子层次上阐明了生物界结构和生命活动的高度一致性。分子生物学表明, 所有生物, 包括非细胞的生物——病毒, 都有着共同的遗传物质——核酸, 而核酸也有共同的核苷酸链的分子结构和基本相同的遗传机制。其后在此基础上发展起来的 DNA 重组技术、克隆技术, 表明现代生命科学已发展到足以改造人类自身、改变人的自然本性的程度。自然界的人化过程, 同时也是人的“自然化”的过程, “作用于他身外的自然并改变自然时, 也就同时改变他自身的自然”^①。分子生物学向人们呈现了一幅将人的力量也包含其中的更为现实的自然图景。

3. 系统科学

系统科学是把对象作为组织性、复杂性系统从整体上进行研究, 以揭示其运动规律和实际处理这类系统的科学。

20 世纪 40 年代末兴起的控制论、信息论、系统论, 是系统科学研究的第一批成果。美国的维纳 (Norbert Wiener, 1894—1964) 所创立的控制论是最早把对象作为系统考察的学科, 为研究系统的性质提供了广泛有效的概括形式和处理方法。加拿大籍奥地利理论生物学家贝塔朗菲 (Ludwig Von Bertalanffy, 1901—1972) 创立的系统论第一次定义了“系统”为“相互作用的若干要素的复合体”, 提出了“整体不可分性”的“机体论”和“整体论”原则, 使科学研究的对象从孤立的部分转向系统整体及其规律的研究。美国数学家申农 (C. E. Shannon, 1916—2001) 创立的信息论, 则为人们提供了研究系统组织化程度和信息在系统中如何有效的传输的理论。控制论、信息论和系统论以“系统”的观点看自然界, 提出了系统与要素、结构与功能等新的范畴, 揭示了自然界物质系统的整体性、层次性、动态性和开放性。

20 世纪 70 年代前后相继出现的耗散结构理论、协同学、突变论、超循环论等自组织理论以及分形理论和混沌理论, 则是系统科学的新进展。普里戈金提出的耗散结构理论, 阐明了系统新结构产生的条件和机制, 论证了系统进化的可能性。德国物理学家哈肯 (Hermann Haken, 1927—) 创立的协同学, 探讨了在突变点上, 系统如何通过内部各子系统之间的

① 《马克思恩格斯全集》第 23 卷, 人民出版社 1972 年版, 第 202 页。

协同、竞争即自组织而形成新的有序结构。法国数学家托姆 (R. Thom) 建立的突变论, 超越了“自然界无飞跃”的渐进进化思想, 使突变现象成为科学研究的对象, 给系统科学提供了新的数学工具。德国生物化学家艾根 (Manfred Eigen) 提出的超循环论, 揭示了生物大分子形成的自组织形式, 架设了从无生命向生命过渡的桥梁。非平衡系统自组织理论勾画了自然从存在到演化的画面, 展示了自然演化的不可逆性和序向, 不仅指出自然界的演化是自组织的、自己运动的, 而且揭示了自然演化的自组织机制。由美国气象学家洛伦兹、生物学家 R. 梅、物理学家费根鲍姆 (Mitchell Feigenbaum) 等人创立的混沌理论, 揭示了以往科学未曾料想到的隐藏在混乱现象深处的惊人秩序以及自然万物生长演化的普适规律, 提供了一种关于系统演化的分叉与混沌方式, 它揭示了确定性系统的“内在随机性”, 体现了随机性存在于确定性之中, 确定性自己规定自己为不确定性——确定性系统自己产生了随机运动。它从根本上消除了拉普拉斯决定论的可预测性这一观念。

二、系统自然观的基本内涵和思想

系统自然观植根于相对论、量子力学、分子生物学以及以系统论、控制论、信息论、耗散结构理论、协同学、突变论、超循环理论、分形理论、混沌理论为代表的系统科学等现代自然科学理论, 为人们描绘出一幅从基本粒子、原子、分子化合物直到人类, 从微观领域直至宇观天体系统演化的自组织、自我运动、自我创造的辩证的演化发展的自然图景, 深入揭示了自然界的本质和规律, 认为“‘系统’是总的自然界的模型”^①。系统自然观最深层、最基本的内涵, 在于它揭示了自然系统不仅存在着, 而且演化着; 自然系统不仅是确定的, 而且会自发地产生不可预测的随机性; 自然系统不仅是简单的、线性的, 而且是复杂的、非线性的, 阐发了自然界是确定性与随机性、简单性与复杂性、线性与非线性的辩证统一的思想。

1. 从存在到演化

以往的自然科学, 如牛顿力学、麦克斯韦的电磁场论, 包括相对论和量子力学等, 所描述的都是可逆过程, 表现出时间反演是对称的, 未来和过去没有差别。非平衡系统自组织理论则将热力学定律的“时间之矢”与动力学系统的复杂性、不可逆性联系起来, 使时间从一个外部参量转变为自然演化的内在尺度, 指出“时间之矢”是与物理系统相联系的内部属

^① L. V 贝塔朗菲:《一般系统论 基础 应用·发展》, 社会科学文献出版社 1987 年版, 第 213 页。

性，从而提出了“内部时间”的概念，表明自然科学从存在的科学走向演化的科学。与此相联系，人们对于自然界的认识，也就从认识存在深入到认识演化，即认识到自然界不仅是存在的而且是演化的，并试图在存在和演化之间架起一座桥梁。

2. 确定性和随机性的统一

自从 1687 年牛顿发表《自然哲学的数学原理》以来，确定论观点在自然科学领域一直被奉为正统，以致机械决定论者构造了一个封闭的简单的宇宙模式，认为只要人们找到一个无所不包的宇宙方程，并且知道宇宙的一切初始条件和边界条件，那么，宇宙的过去和未来都会呈现在眼前。这就是前面所提到的拉普拉斯决定论。但是，混沌理论表明，对于那些原来看来完全确定的非线性系统，即使不受外界影响，初始条件是确定的，系统自身也会自发地产生不可预测的随机性（称之为“内在随机性”）。这类情况不是稀有的特例，而是普遍行为，完全确定论的描述在牛顿力学中仅限于稀如凤毛麟角的特例。人们终于认识到，自然界是确定性与随机性的辩证统一。

3. 简单性和复杂性的统一

正如人的认识发展道路是从认识简单事物开始一样，近代科学的产生和发展也是从研究简单系统开始的。经典科学研究的对象主要是线性的、解析的、平衡态的、规则的、有序的、确定的、可逆的、可作严格逻辑分析的对象，这本来是合理的、必然的，但也形成一种传统观念，即认为复杂性只存在于生命和社会历史领域，物理世界是简单的。因此，不问是否有可能，总是把复杂性完全简化为简单性来处理（实质上是人为地消除复杂性）其基本的方法是分析的、还原的。然而，从 20 世纪 60 年代以来，自然科学把注意力转向现实世界的复杂性系统，研究非线性的、非解析的、非平衡态的、不规则的、无序的、不确定的、不可逆的、不可作严格逻辑分析的对象，越来越广泛和深刻地揭示出了自然界的复杂性的一面，表明一个复杂的系统，不能被看做是许多要素的简单组合，而是存在着要素之间的反馈、自催化、自组织的相互联系和协同作用。正如普里戈金在《探索复杂性》一书中所指出的：“复杂性不再仅仅属于生物学了，它正在进入物理学领域，似乎已经植根于自然法则之中了。”^①人们已经意识到必须将追求简单性和探索复杂性结合起来。

4. 线性和非线性的统一

以往的科学实质上是以线性系统为研究对象的线性科学。数学的发

^① G.尼科里斯、I.普里戈金：《探索复杂性》四川教育出版社 1986 年版 第 4 页。

展早已为线性系统的研究提供了包括线性代数、线性微分方程、傅立叶分析、线性算子理论和随机过程的线性理论在内的强有力的解析方法和工具。正如人的认识发展道路是从认识简单事物开始一样，近代科学的产生和发展也是从研究线性系统这种简单对象开始的。物理学家首先考察没有摩擦的理想摆、没有粘滞的理想流体，数学家首先研究线性函数、线性方程，等等。这本来是合理的、必然的。线性模型是一大批现实系统的良好近似。事实上，线性科学在理论和实践上都有极其光辉的成果，迄今许多令人注目的重大理论和技术创造都是线性科学的贡献。但在线性科学成功发展的同时，也在自然观上形成了一种线性观，即把线性系统视为客观世界的常规现象、正常状态或本质特征，把非线性系统视为例外情形、病态现象或非本质特征，非线性系统仅仅是线性系统的扰动等等；认为只有线性现象才有普遍规律，可以提出一般原理，制定普适的方法，非线性现象没有普遍规律，不能建立一般原理和普适的方法。20 世纪七八十年代，分形理论、混沌理论等研究所刮起的“非线性风暴”，使人们终于明白：现实世界中的非线性问题不是少见的例外而是普遍现象，线性问题才是少见的例外；非线性特性不是细枝末节而是基本特征和本质的存在，线性特性才是非本质的存在和次要方面；线性系统只不过是一部分简单非线性系统在一定条件下的近似；自然界是线性与非线性的辩证统一。

三、系统自然观确立的重大意义

1. 丰富和发展了辩证唯物主义自然观

系统自然观的确立，是对辩证唯物主义自然观的丰富与发展，并且成为辩证唯物主义自然观的重要组成部分。

首先，系统自然观揭示了自然界的系统性、整体性和层次性，指出整个自然界是以系统方式存在着的有机整体，整体性是自然界最基本的属性；自然界物质系统都是由不同的层次结构组成的，这种层次结构是无限的；世界的统一性表现为系统客体的物质代谢、能量转换和信息传递的相互依赖、相互补充即物质、能量、信息三个基本要素的统一性，系统自然观丰富和深化了辩证唯物主义的物质观。

其次，系统自然观揭示了自然界物质系统的开放性、动态性和自组织性，指出自然界的一切物质客体都是不断进行物质、能量和信息交换的开放系统，亦即自然的任何客体都是动态的开放系统，同外界不发生物质、能量和信息交换的绝对封闭系统是不存在的；自然界物质系统不是被动的，而是主动的，它能够自发地或自主地有序化、组织化和系统化，即具有自组织性，从而更具体、更生动地阐明了诸如运动是物质的存在方式、

矛盾是运动的源泉、运动方式的多样性和绝对性等思想，极大地丰富和深化了辩证唯物主义的运动观。

再次，系统自然观揭示了时间的不可逆性，提出了“内部时间”的概念，指出“时间之矢”是与物理系统相互联系的内部属性；以系统、要素、结构、功能、层次、有序、无序、整体等概念对物质存在的空间形式、物质的广延性作了定性和定量的描述，更具体、更生动地阐明了空间和时间是物质存在的基本形式以及空间、时间与物质相互联系、不可分割的思想，进一步丰富和深化了辩证唯物主义的时空观。

最后，系统自然观揭示了自然界在循环发展中有序与无序、进化与退化的辩证统一，论证了辩证唯物主义自然观关于运动、发展的大循环思想。非平衡态自组织理论证明，一个远离平衡态的开放系统，通过与外界环境交换物质、能量和信息，从环境中获得负熵流来抵消系统内部的熵产生，就可能在一定条件下使系统从一种混乱无序的状态演化成为一种稳定有序的结构。同样，混沌理论也揭示了通向混沌的道路，说明了系统从有序向无序的转化过程。在自然界的演化过程中，正是由于混沌可以产生有序，有序又将复归于混沌，才使得自然界经历了“混沌—有序—新的混沌—新的有序”的循环发展过程。

2. 提供了系统思维方式

随着系统自然观的确立，形成了一种探索组织性、复杂性问题的思维方式——系统思维方式“今天我们正目睹一场思维方式的转换：转向谨严精细而又是整体论的理论。这就是说，要构成拥有它们自己的性质和关系集成的集合体，按照同整体联系在一起的事实和事件来思考。”^①系统自然观突破了传统的科学思维方式，为人们提供了系统思维这样一种崭新的科学思维方式。

所谓系统思维方式，是把对象当做一个系统的整体加以思考的思维方式，它根据系统的性质、关系、结构，把对象的各个组成要素有机地组织起来构成模型，研究系统的功能和行为，具有整体性、综合性、定量化和精确化的特征。这种思维方式认识对象的基本思路是：

第一，把对象作为其构成要素以一定的联系组成的结构与功能的统一整体——系统——来考察，从整体、部分、环境的相互联系、相互制约、相互依赖的关系中揭示对象的整体性质和运动规律。它首先从整体出发，对事物进行综合研究，然后以综合为指导，对事物的组成部分进行分析，探讨它们之间的内在联系，最后又在分析的基础上回到整体的综合研究。

① E. 拉兹洛：《用系统论的观点看世界》，中国社会科学出版社 1985 年版，第 14 页。

第二，认为由各要素组成的整体，具有不同于各要素功能简单相加的新功能，即认为系统具有非加和的性质——系统性质。人们认识系统就在于找出这种系统性质，构造一个新系统的目的就在于利用这种非加性来实现某种新功能。

第三，把所观察的系统都看做动态的开放系统，认为任何系统都处于一定环境之中，它与外界环境有着千丝万缕的联系。任何系统要得到自身的发展，必定是与环境不断进行物质、能量和信息的交换。

第四，系统思维方式对某一具体系统的研究侧重于无序、不稳定性、多样性、不平衡性、非线性等方面，这与传统的千方百计将系统简化为稳定、有序、均匀、平衡、线性作用的思维方式有很大差别。

需要指出的是，系统思维方式与还原论、形而上学思维方式不同。它观察事物的侧重点不是部分而是整体；它不是立足于分析而是立足于综合；它不是像形而上学思维方式那样把分析与综合分为截然不同的两个阶段的单向性思维，而是把综合与分析通过反馈耦合形成双向性思维。应用还原分析方法，要取决于两个条件：一是“部分”之间的相互作用不存在或者微弱到某些研究任务可以不考虑的程度；只有在这种情况下，部分才能实际地、逻辑地、数理地“求出”来，然后“放在一起”。二是描述部分的行为的关系式是线性的；只有这样才有累加性条件，即描述总体行为的方程和描述部分行为的方程具有相同形式，可以通过部分过程相加来取得总体过程。^① 因此，传统的思维方式对于内部联系不紧密、相互作用较弱、局部行为与整体行为相差不大的事物是基本适用的，但对于多因素、复杂系统就不能适用。只有用系统思维的方式，才能把握事物的整体功能。

第二节 自然界的系统存在方式

一、系统：自然界物质存在的普遍形式

1. 何谓“系统”？

“系统”一词，源于古希腊语“συστημα”，由两个希腊字构成，表示“站在一起”(stand together)或“安置在一起”(place together)的意思。这个意思与偶然堆积的意思相反，表示按一定的关系结合起来的意思。

^① L. V. 贝塔朗菲：《一般系统论（基础·发展·应用）》，社会科学文献出版社 1987 年版，第 15、16 页。

在现代一般系统论的研究中，贝塔朗菲将“系统”定义为“处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分（要素）的总体（集合）”^①。中国科学家钱学森则主张把极其复杂的研究对象称为“系统”，将“系统”表述为“由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体”^②。

概而言之，所谓“系统”，是由若干相互联系、相互作用的要素组成的具有特定结构与功能的有机整体。这一概念包含着以下四个要义：

第一，系统是由若干要素组成的，要素是构成系统的组分或单元，单一要素不能成为系统，即系统内部具有可分析的结构；

第二，“系统”在于“系”即系统内诸要素之间、系统要素与系统整体之间的相互联系、相互作用，形成了特定的结构；

第三，“系统”还在于“统”，即要素彼此之间联系成为一个统一的有机整体；

第四，系统作为一个整体对环境表现出特定的功能，功能之所以为整体所具有，是由于功能以结构为载体，并在系统诸要素的功能耦合中突现出来。

2. 系统是自然界物质存在的普遍形式

在古希腊时代，人们就确认系统是自然界物质存在的普遍形式。公元前 6 世纪，赫拉克利特在《论自然》一书中写道：“世界是包括一切的整体。”公元前 5 世纪，德谟克利特著有《宇宙大系统》一书，明确地把整个宇宙或自然界看做一个巨大的系统。

在 18 世纪，莱布尼茨认为，宇宙是“预定和谐”的、“被规范在一种完满的秩序中的统一体系”。狄德罗指出，自然界是由各种元素所构成的物质的总体。1755 年康德发表的《自然通史和天体理论》和 1796 年拉普拉斯出版的《宇宙体系论》，明确提出了物质的宇宙是一个整体、体系的观念。1770 年 霍尔巴赫在《自然的体系》中写道 自然就是‘由不同的物质、不同的配合，以及我们在宇宙中所看到的不同的运动的组合而产生的一个大的整体’”。^③

19 世纪，恩格斯明确指出系统是自然界物质的存在方式。他说：“我们所面对着的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体，而

^① L. V 贝塔朗菲：《普通系统论的历史和现状》，见中国社会科学院情报研究所编译：《科学学译文集》，科学出版社 1981 年版，第 315 页。

钱学森：《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1988 年版，第 10 页。

霍尔巴赫：《自然的体系》（上卷）商务印书馆 1964 年版，第 17 页。

我们在这里所说的物体，是指所有的物质存在，……只要认识到宇宙是一个体系，是各种物体相互联系的总体，那就不能不得出这个结论来。”

确认系统是自然界物质存在的普遍形式，不仅要把整个自然界看做一个系统，而且要认识到自然界中的所有物质客体都自成系统。从微观的基本粒子到宇观的总星系，从无机界到有机界，从天然自然到人工自然，从人类社会到人类思维，宇宙间的一切事物，都无一不自成系统。在非生物界如基本粒子、原子、分子、地上物体、地球、太阳系、银河系、星系团、超星系团、总星系等等 在生物界如生物大分子、细胞、个体、群体、生态系等等，都是由其内部若干要素按一定规则相互联系、相互依赖而组成的、具有确定结构与功能的相对独立的系统。

自然界的一切物质客体不仅自成系统，而且又互成系统。这也说明了自然界物质系统的普遍性。大系统中有小系统，小系统中有更小的系统，若干小系统相互联系、相互作用组成大系统，一些大系统则又相互联系、相互制约组成更大的系统，如原子系统可看做是由粒子子系统构成的，而分子系统又可看做是由原子子系统构成的，由此类推，直至宇宙系统。

显然，系统与要素的规定是相对的。系统之成为系统，要素之成为要素，只是在特定的联系中才能成立。要素在自身的内在联系中成为系统，系统又在自身的外在联系中成为要素。因此，任何一个系统都是较高级系统的要素，同时任何一个系统的要素本身又是较低一级的系统。譬如，相对于地球、行星而言，太阳系是一个大的系统，而相对于银河系来说，太阳系就只不过是一个要素了。

二、自然界物质系统的基本特点

1. 开放性

自然系统具有物质、能量、信息“三要素”。依据系统与外界环境之间是否存在物质、能量和信息的交换，可以将其区分为孤立系统、封闭系统和开放系统。

孤立系统，是与其环境隔绝的系统，与其环境之间没有物质、能量、信息的交换。一般说来，孤立系统只是一种理想或近似的状态。根据热力学第二定律，在孤立系统中，物质的微观状态可能性总是趋向最大的数，从而达到熵最大。

封闭系统，是与外界环境没有物质交换但有能量交换的系统。根据

质能关系式 $E = mc^2$ ，能量是可以换算为物质的质量的。与外界绝对没有物质交换的系统，自然与外界也就不会有能量交换。不过，在能量交换中所涉及的物质交换数量极小，有时可以忽略不计，在这种情况下我们便有了一个封闭系统。例如，如果忽略掉从宇宙空间中落入地球上的流星和宇宙尘埃，就可以把地球近似地看做一个封闭系统，它接收太阳及其他恒星的辐射能，这些辐射能所代表的物质质量与地球质量相比是微乎其微的。

开放系统，是与外界环境自由地进行物质、能量和信息交换的系统。开放系统有许多非一般的特性。第一，开放系统具有“等结果性”。在任何封闭系统中，最终状态是初始条件决定的，如在化学平衡中，反应物的最终浓度决定于初始浓度。如果初始条件或过程有所改变，最终状态也要改变。而对于开放系统，不同的初始条件可能以不同的方式达到相同的最终状态，这就是所谓的“等结果性”。例如，一个正常的海胆个体可以来自一个完整的卵，也可以来自半分开的卵，还可以来自两个整卵合成的卵，等等。第二，开放系统被定义为在同环境交换物质的过程中呈现出输入和输出、自身物质组分的组建和破坏的系统。这就是说，开放系统的外部特征是存在输入和输出，同环境不断进行物质、能量和信息交换；内部特征是不断破坏自身旧物质组分，不断组建新的物质组分，可以称为广义的“新陈代谢”。这两方面互为条件。由于内部不断进行组分的建构与破坏，故需与环境不断交换物质、能量；由于物质的输入和输出不断进行，系统内部才可能有组分的不断破坏与组建。每一种生物本质上都是开放系统，生命有机体之所以能处于有组织的活动状态，即具有新陈代谢、生长、发育、自我调节、刺激反应和天然的能动性等基本特征，就是由于生命系统能够不断地与外界环境进行物质、能量和信息的交换。

事实上，自然界不存在严格意义上的孤立系统、封闭系统，任何系统都与外界环境有千丝万缕的联系，都或多或少、或快或慢地同环境交换物质、能量和信息。自然界实际存在的系统都是开放系统，只是不同系统的开放程度有很大不同。一个系统的开放性微弱到相对于一定的目的可以忽略不计的程度，作为一种抽象，可以视为一个孤立的或封闭的系统。自然界的物质系统都是与环境存在相互作用的开放系统，而整个自然界就是由各种动态的开放系统组成的。

2. 动态性

现实的自然系统都是开放系统，都有物流、能流、信息流不断地运动，任何自然系统都有一个从孕育、产生、发展、成熟到衰退、消亡的过程，自然系统的这种运动、发展、变化过程，就是它的动态性。从本体论看，自然

界是物质的，而物质是系统的；不论能量和运动还是信息与控制，都是物质系统的属性。既然没有不运动的物质，那么自然界物质系统便是动态系统，静态仅是动态的特例，所以物质系统是随时间不断变化的。系统的变化发展有两个方向，一是进化的方向，一是退化的方向。封闭系统由于熵增加必然从有序走向无序，朝着退化的方向发展，最终达到热平衡而“死寂”，而开放系统由于与外界有物质、能量、信息的交换，从外界输入负熵流，依据耗散结构理论与协同学关于非平衡态系统自组织理论，在一定条件下可以从无序走向有序，朝着进化的方向发展。

3. 整体性

整体性是自然系统最突出、最基本的特征。所谓系统的整体性，是指系统的各个要素按一定的方式构成的有机整体，系统是诸要素的有机集合而不是各要素的简单地机械加和，系统的性质、功能和规律不同于它的各个组成要素的性质、功能和规律，即系统具有各组成要素所没有的新的性质、功能和规律；另一方面，处于系统整体中的组成要素的性质、功能和规律，也异于它们在孤立状态的性质、功能和规律。

整体性是一切自然系统的普遍属性。从基本粒子到总星系，从核酸、蛋白质到人体，从天然自然物到人工自然物，每一具体物质形态都是以系统的方式存在的有机整体，呈现出各种不同的整体性。例如，由许多核苷酸单体按一定方式连接组成的核酸，具有储存和传递生物遗传信息的特性，而单个的核苷酸则不具备这一特性。而当以核酸为主的遗传体系与蛋白质为主的代谢体系之间出现了偶联作用，多分子体系内部建立了信息传递、控制与调节的新关系时，也就出现了新陈代谢、自我繁殖、生长发育和遗传变异等生命特征。人脑有几千亿个神经细胞或神经元。神经元间的联结方式极其复杂，极其精细，正是这些连接所构成的基本神经回路成为脑功能的基础。

由于系统整体性的特点，组成系统的各个要素不能一一分解成独立于系统的要素。如果要这样分解，那么分解出来的要素就不再具备其在系统整体中所具有的性质、功能和规律。也就是说，组成部分（要素）是在整体制约下的相对独立的成分，一旦脱离了系统整体，就会丧失作为整体组成要素所表现出来的特性、功能和行为。

由于系统的整体必然出现新的特性，以及一个要素和结构合理的人工或复合系统的整体功能或整体效应总是大于它的各组成部分之和，所以系统的整体性又被表述为“整体大于它的各部分的总和”。“整体大于各孤立部分之和”是古希腊哲学家亚里士多德提出的哲学命题，原意是强调整体不等于它的各构成部分之和，整体除了它的部分（要素）外，还

加上它的形式，亦即为了理解一个整体或系统不仅须了解其各个部分，而且同样还须了解它们之间的关系。这就是说，要从事物的关系中、相互作用中去了解系统整体的规律性。

4. 层次性

所谓自然系统的层次性，是指一方面系统由一定的要素组成，这些要素是由更小一层次的要素组成的子系统，另一方面系统自身又是更大系统的组成要素。在一般系统论中，是用“等级性”、“等级秩序”来描述这一现象的。一般认为，自然系统的层次性主要是自然界物质系统的纵向联系的体现，它揭示了物质系统之间纵向的或垂直的有序关系。实际上，自然系统的层次性还包括两个方面：一是系统在某一等级上又可以分为多侧面的层次，即同一级的复杂系统，可从横向上分为若干互相联系、互相制约又各自相互独立的平行层次；二是一个高度复杂的自然系统以纵向层次和横向层次为基础，还可以构成纵横交错的立体网络系统，形成交叉层次。

层次性是自然界的基本属性。从宇观到微观，从无机界到有机界，人们都能见到这种层次性。在宇观世界，存在着行星系、恒星系、星系、星系团、超星系团、总星系等层次；在微观世界，有分子、原子、原子核和基本粒子等层次。在生物界，则存在着生物大分子、细胞、组织、器官、个体、种群、生态系统和生物圈等层次。

自然系统的这种层次性特征，实质上是自然系统普遍差异性的表现，而系统的等级层次恰恰是在差异形成的“关节点”上被区分开来的。在两个层次之间往往存在着“关节点”，两个“关节点”之间属于一个层次，“关节点”之外属另一个层次。在“关节点”处，系统的性质出现质的飞跃，系统的层次随之发生转换。正如恩格斯所指出的，各个非连续的部分（层次）“是各种不同的关节点，这些关节点决定一般物质的各种不同的质的存在形式”^①。

自然系统不同层次之间具有不同的质的规定性和量的规定性，是部分与整体、连续性与间断性的统一。系统连续性的中断形成相互异质的层次。横向结构连续性的中断，形成横向层次或平行层次；纵向过程的中断，形成过程层次。中断的关节点，即是相邻层次的分界线。层次与系统在结构上是相对的，系统是多质、多量、多层次、多向的复合结构，而层次只具有系统结构中一部分特定质的结构内容。系统与层次结构上的对立，引起了两者在功能上质与量的根本差异。系统与层次的统一性表现

在：系统与层次相互依存、彼此作用，并在一定条件下相互转化。

三、自然界物质系统的结构层次

1. 自然系统的结构和功能

所谓自然系统的结构，是指自然系统的诸组成要素之间相互关系的总和，它表现为系统内部的组织形式、联系方式或秩序。所谓自然系统的功能，是指系统与外部环境相互作用中表现出来的性质、能力和功效。自然系统的功能体现了系统与外部环境之间的物质、能量、信息的输入与输出的变换关系。自然系统的结构与功能之间存在着一定的联系。对于一个自然系统来说，结构是功能的内在根据，功能是结构的外在表现。没有内部的联系，就不会形成系统的结构；而没有外部的联系，也不会有系统的功能。与系统的结构具有相对的稳定性相反，系统的功能由于系统开放程度和开放方式不同而表现出多样的可能性。例如，由 20 种氨基酸和 4 种核苷酸组成的生命系统，由于它们相互组合方式不同，而形成了各种不同的结构（生命个体），导致了地球上 200 多万种动物、30 多万种植物和 10 多万种微生物的存在，出现了功能各异、绚丽多姿的生物世界。

自然系统具体的结构纷繁复杂，但总的看来可分为两种基本形式：其一，同时态的相对稳定的空间结构，即系统诸要素在空间上的联系与组合秩序。例如 DNA 分子的双螺旋结构。有的自然系统尽管存在十分短暂（某些共振态粒子的寿命为 10^{-23} 秒），也有其相对稳定的空间结构，并且正是结构使得该系统具有其他系统相区别的属性。其二，历时态的运动演化的时间结构，即系统随着时间的延伸而呈现的流动性、变动性秩序。如某些自然系统随时间的周期振荡，生命系统中存在的时间节律等。由于任何事物都具有广延性和持续性，因此系统的空间结构形式和时间结构形式一般是交织在一起的，系统诸要素不仅在空间上有相互结合的关系，而且在时间上有前后更替的顺序。

“相互作用是事物的真正的终极原因。”^①根据目前科学所达到的认识，自然界中各种物质系统的结构，主要是由引力相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用构成的。在质量巨大的天体系统之间，由于引力相互作用起着决定的作用，所以才构成星系团的结构、恒星系的结构、行星系的结构等。由于原子内部的电子与原子核之间、各种不同状态的电子之间、分子内部各原子之间以及物体内部诸分子之间存着实质上是电磁相互作用，于是才构成了原子结构、分子结构、物体的凝聚态结构；

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 328 页。

而原子内部的核结构、强子结构等则主要是电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用的综合结果的具体表现。现代分子生物学和量子生物学也力图用这四种相互作用来解释生物大分子的结构。因此，从这个意义上说，自然界的基本相互作用是一切物质系统结构的本质与根源，而自然界的各种系统的结构则是这些相互作用的具体表现形式和实现方式。

2. 无穷嵌套的立体网络结构的自然图景

自然界物质系统之间及其与子系统之间、子系统与子系统之间的纵向联系与横向联系，形成了无穷嵌套的立体网络结构的图景。这一图景一方面表现为无数相同等级的系统相互依存，构成水平网络，另一方面还表现为不同等级的系统在纵的方向上相互联系构成的垂直层次结构。所谓“立体网络”结构，还包含着这样两个意思：一是每一个物质系统并不一定由紧接着的下一个层次物质系统所构成，它可能由其底下相隔若干层次的某一层或几个层次的系统组成，例如原子是由下一层次系统的原子核与再下一层次的电子所组成；有一些恒星如中子星则是直接由基本粒子组成。二是某一层次的系统组成高级层次时，并不一定组成唯一的高层次系统，而是可以组成两种以上的不同层次，因而层次之间的联系出现了分支的现象。例如，分子这一层次既可以组成凝聚态物体、行星系、星系、星系团、超星系团等层次的系列，也可以组成生物大分子、细胞、生物个体、种群、生态系统、生物圈等层次系列。这种关于物质系统在垂直方向相互叠加形成的自然图景，拉兹洛曾给予了这样的生动而形象的描绘：“自然界的组织结构就像一座复杂的、多层的金字塔，——在它的底部是许多相对简单的系统，在它的顶部是几个（极顶是一个）复杂的系统。所有自然的系统占据了这些界限之间的位置；它们同上面和下面的层次连接在一起。就它们的组成部分来说，它们是整体，但就更高层次的整体来说，它们又是部分。”

值得注意的是，自然系统等级序列的最上层和最下层都不是封闭的，也就是说它既无上限，亦无下限。我们既不能把整个宇宙看做是目前所知道的总星系，也不能把已知的基本粒子看做是构成宇宙的最小单元。物质层次是不可穷尽的，自然界是无限的。

① E. 拉兹洛：《用系统论的观点看世界》 中国社会科学出版社 1985 年版 第 61、62 页。

第三节 自然界的演化

一、自然演化的不可逆性和自然的进化

1. “演化”和“进化”

“演化”和“进化”同源於英文“*evolution*”。但实际上，二者是有区别的。演化是一种具有不可逆性的运动形态，而进化则是一种具有特定方向的演化。所谓进化，是指事物的上升的、从无序到有序、从低序到高序的不可逆过程或复杂性和多样性的增长。它是开放系统通过物质、能量和信息的交换，以及其子系统与要素的协同作用 and 环境的相互作用，经过渐变与突变而发生远离平衡态的复杂化和有序化的过程。

“演化”则比“进化”具有更宽泛的含义。“演化”除了指事物的上升的、从无序到有序、从低序到高序的不可逆过程即“进化”之外，还包括了事物的下降的、从有序到无序、从高序到低序的过程即“退化”和从宏观有序态到远离平衡的“混沌态”以及不同远离平衡态的“混沌态”之间的更替。

2. 自然演化的不可逆性

(1) 可逆和不可逆

可逆和不可逆是自然演化过程中两种相互对应的状态。如果系统从某一状态转变到另一状态后，能够再回复到原来的状态，并且同时使系统的环境也回复到原状，这样的过程就是可逆过程；反之，若系统及其环境一经变化后，不能回复，这种过程就是不可逆过程。

通常，可用数学语言对可逆与不可逆作出精确的刻画。人们把映射： $t \rightarrow -t$ 称为时间反演变换。如果描述一个过程的动力学方程在时间反演变换下保持不变，则称该过程是时间反演对称的，亦即为可逆过程。换言之，可逆性就是过程的时间反演对称性。因此，可逆与不可逆实际上反映了自然演化的状态对时间的关系。可逆与不可逆直接涉及到关于自然演化的一个带根本性的问题，即是否出现时间箭头的问题。

(2) 时间之矢

时间是与不可逆过程相联系的有箭头（方向）的。至今人类已发现有五种“时间之矢”：一是热力学、统计物理学的时间之矢，即熵增加的时间方向；二是生物学的时间之矢，即生物进化的时间方向；三是电磁学的时间之矢，即振荡电磁所产生的电磁波的传播方向；四是量子力学的时间之矢，即原子的自发辐射的时间方向；五是宇宙学的时间之矢，即自大爆

炸开始的宇宙不断膨胀的时间方向。不过，在这几种“时间之矢”中，以宇宙膨胀的运动方向作为时间箭头可能是更普遍的。这是因为：宇宙学最基本的方程是引力场方程，加上了大爆炸的初始条件后，选择了宇宙膨胀的解，产生了第一种宇宙不对称性，出现了宇宙学箭头；然后在宇宙膨胀过程中出现了辐射为主的状态，宇宙空间充满电磁辐射，产生了电磁学箭头；在引力或其他各种不稳定性的作用下，物质出现局域聚集，出现物质为主的状态，演化为各种天体，发生统计的时间不对称性；最后，在个别天体上发生了生命赖以生存的条件，产生了生物学的时间箭头，等等。这就是说，宇宙中其他一切物质系统的时间方向性都是从属于大爆炸这个时间箭头的本原的，即都由宇宙大爆炸这个时间箭头派生而来的。

与不可逆过程相联系的时间对称破缺，具有重要的意义。它意味着，在不可逆过程存在的情况下，自然界的演化才是可能的，质的多样性才是可能的。不可逆过程既可以导致有序结构的破坏，也可以导致更有序结构的产生。因此，与不可逆过程相联系的时间箭头既可以指向退化的方向，也可以指向进化的方向。

(3) 现实的自然过程是不可逆的

自然界中实际发生的过程都是不可逆的、有时间箭头的。自然界真实的物理图像是：不可逆过程才是无条件的、绝对的。因为任何系统都处于一定的时间和空间之中，都有其演化的历史，在进化的单行道上不允许走回头路。相反，可逆过程倒是相对的，是一种理想过程，舍去了许多规定的抽象的形式。经典力学、电动力学、量子力学等用可逆的物理方程描述客观世界，只是一种相对的、有条件的、简化了的认识，是忽略掉了不可逆性的真实过程的理论近似。在此意义上，著名物理学家玻姆（David Bohm）说：“将自然规律描述成原则上完全可逆，只不过是实在的极度简化的表象的产物。”^①普里戈金 Ilya Prigogine, 1917— 也说：“那许许多多塑造着自然之形的基本过程本来是不可逆的和随机的，而那些描述基本相互作用的决定性和可逆性的定律不可能告诉人们自然界的全部真情。”^②局部的、暂时的可逆过程，并不否认自然界系统演化的不可逆性。

3. 自然界的进化：有序化和对称性破缺

如前所述，进化作为一种具有特定方向的演化，是指事物的上升的、从无序到有序、从低序到高序的不可逆过程或复杂性与多样性的增长。自然界的系统进化即有序化，大体上由宇宙、地球、生命、人类的起源与进

玻姆：《现代物理学中的因果性和机遇》，商务印书馆 1965 年版，第 119 页。

② 尼科尼斯 普里戈金：《探索复杂性》四川教育出版社 1986 年版，第 V 页。

化所构成。

(1) 序、有序和无序

“序”的基本词义为“排列”，可引申为一种规则的状态，但在现代科学中，“序”的概念不仅表现为空间结构的某种规则性，而且反映了时间演化过程的某种规律性。因此，广义的序应该是指时空结构的规则性，这种规则性既可用于描述自然系统的状态，也可以用来反映自然系统演化的过程。如某一自然系统内部各要素的空间位置呈现有规则的排列，系统的变化过程有明显的周期性，系统的行为表现出一定的关联性等，即称该系统具有一定的序。与此相反，系统内部各组成要素之间混乱而无规则的组合及系统变化的无规则性称为无序。

任何系统都是有序与无序的不同程度的辩证统一，这种统一的不同程度，就构成了系统的一定秩序，即有序度。事物或状态不同的有序度构成一系列的阶梯。如果系统向有序化发展，我们就说它的有序度愈来愈高；反之，如果系统向无序化发展，我们就说它的有序度愈来愈低。

系统的有序度可以用不同的参量来描述和度量。在热力学中，用“熵”表示系统的无序程度。一个系统的熵越大，表明它的无序程度越高。在系统论和信息论中，系统的序用它所包含的信息量来度量。一个系统有序程度越高，组织程度越复杂，它所包含的信息量越大。自然系统的有序与无序是相对的，而不是绝对的，两者处于辩证的对立统一之中。一方面，没有离开有序的绝对无序，如分子的无规则热运动在宏观上表现为物体温度的高低；另一方面，也没有无序的绝对有序，人脑是一个高度有序的系统，但也并非绝对有序。人脑的进化并没有走到终点，它还要不断消除自身的无序，向更高的有序发展。不过，对于某一具体系统，在确定了“零序面”之后，有序和无序便有了绝对的意义。有序和无序相对立而存在，并在一定条件下互相转化。现代自组织理论表明，在不违反热力学第二定律的前提下，自然系统可以经过自组织过程而从无序演化为有序。该理论指出一个处于远离热平衡态的开放系统（无论是力学的、物理的、化学的，还是生物的），通过与外界环境交换物质、能量和信息，能够从原来的混乱无序的状态，转变为一种在时间、空间或功能上有序的结构，向着有序化、复杂化的方向发展。

(2) 对称和破缺

与自然系统有序化相联系、相对应的是对称性破缺。所谓对称，是指在一定变换下的不变性。如可逆性过程的时间反演对称性（时间对称）、空间对称（结构对称）和功能对称等。最高的对称性就是在一切变换下都不变的状态。这样的状态实际上对应着无序，最对称的世界是没有任

何秩序和结构的，没有任何特殊方向和特殊点，这是平衡态的特征。在对称系统里具有无穷个对称元素，在这里一切对易（对称操作）都是允许的，反演不变的。宇宙起源于混沌、无序，起源于对称性。可以想象，宇宙处在大爆炸前的混沌状态时，空间不分上下、前后和左右，时间不分过去与未来，物质不分正粒子、反粒子和场，是完全对称的。海森堡就曾指出，物质的初始状态或“终极”的状态，是“由其对称性所决定的物质客体”，“在粒子的谱，及其相互作用以及宇宙结构和宇宙史上所建立的自然规律，可能取决于某种基本的对称性。”^①

与对称相反，破缺是指在一定变换下所表现的可变性，或对称性的降低。它实际上是对应着系统的有序状态。复杂性和层次结构正是起源于某种对称性的破缺。自然界的有序化是对称性破缺的结果，正是由于对称性破缺才使系统向有序化、组织化和复杂化演化。宇宙的演化，从最初的混沌状态到弥漫的星际物质再到形成星系、恒星、太阳系、地球、地球上的生命以至人类，就是一个从完全对称到对称性逐步丧失、非对称性逐步形成的过程。宇宙大爆炸学说和粒子物理学大统一理论就描述了这种过程。当大爆炸的最初瞬间，温度达到 10^{32}K 时，存在着完整的对称性，夸克和轻子不可分，强作用、弱作用和电磁作用是统一的；当温度降到 10^{28}K 时，对称性逐渐破缺，强作用分了出来，留下了弱作用和电磁作用的对称性，即弱电统一；当宇宙温度继续下降到 10^{16}K 时，弱电统一也破缺了。在这一系列的过程中，宇宙的对称性在不断地降低，而有序程度却在不断提高。在生物进化中，从单细胞生物到人类的进化也是对称性逐步减少的过程。

由此可见，自然界的进化就是一个不断发生对称性破缺的过程；自然界每发展到一个新的里程碑，都必有一个基本的物质的或相互作用的、时间的或空间的对称性破缺与之相适应；高度有序化、复杂化和组织化的系统，即是对称性逐步破缺过程的产物。

二、自然系统演化的基本方式

1. 分叉：稳定性和不稳定性

现代非平衡态热力学理论和混沌理论的研究表明，自然系统的进化或上升的发展，不是单一的、线性的因果关系，而是有着复杂性和多样性。同时在进化或上升的道路上，由于系统的内部的和外部的因素，会使系统在前进道路上不断地分化，从而有多种可能性和多种分支。这种类似

^① W. 海森堡：《严密自然科学基础近年来的变化》，上海译文出版社 1978 年版，第 201 页。

“进化树”的“分叉”是自然演化的一种基本方式。

分叉的选择或二中择一，表现在通过远离平衡态对外部随机涨落的敏感上。没有远离平衡，微小的涨落随生随灭，对系统并不造成大的影响；远离平衡时，系统对微小涨落变得极为敏感。在这种情形下，一个小的扰动就足以使得系统从热力学分支进入耗散结构分支。随着条件的改变，系统还可能出现新的临界点，出现新的分叉即二级分叉，再往后又可能出现更高级的分叉。这种现象被称作逐级分叉。逐级分叉使得系统从一种有序进入更高一级的有序，从而为自然系统的演化提供了一定的说明。

分叉表明了稳定性与不稳定性的辩证的对立统一。对系统进化而言，稳定性是不稳定性的基础，而不稳定性则是到达新的稳定性的必经之路。当自然系统的一种稳定状态难以挽回地被扰乱，即不稳定达到一定的临界阈值时，就会发生突变分叉，而一旦分叉发生，选择作用过后，系统进入新态，新的稳定性又开始起支配作用。系统的演化作为逐级分叉的层次跃迁的过程，就是经过一系列的稳定—失稳—稳定状态，按较突然的跃迁、爆发的方式越过稳定阈外而进行的。分叉造成了多重稳定状态：当一种平衡状态难以挽回地被扰乱和推开后，便有另外的稳定状态可供选择。在这一进化的历史中，离热力学平衡态越远的系统，用以维持动态平衡的那些反馈和催化循环就越复杂、越高级，对改变自己的结构就越敏感。于是远离平衡的系统越趋复杂，而越趋复杂的系统就越能够在许多不同的平衡状态下存在，并且可供采取的平稳状态也随着系统的复杂性和不稳定程度成比例地增长。^①

2. 突现：突发性、间断性和不可预测性

根据突变论，系统既可以通过渐变，也可以通过突变而进化。自然系统的进化是渐变与突变、连续性与间断性的统一。

所谓突现，是指由系统中的各个组成部分相互作用所产生的新的形态、结构和性质。对自然系统的演化而言，即是指自然系统的新的形态、结构和性质作为整体的突然出现。

从突变论、自组织的分叉理论以及实际过程来看，自然系统的突现不是仅有一个类型，它具有丰富的内容与类型，在突发性、间断性、不可预测性等方面表现出不同的特点。突现的突发性特点正如贝塔朗菲所指出的：“构成特征不能由孤立的各部分的特征来说明。因此复合体的特征与元素特征相比是‘新的’或‘突然发生的’。……虽然我们可以设想某

^① E. 拉兹洛：《进化——广义综合理论》社会科学文献出版社 1989 年版 第 43 页。

个总和是逐渐形成的，但作为具有相互关系的部分的总体的系统必须设想为瞬间形成的。^①所谓间断性，则是指系统跃入新的状态所具有的一种非连续的变化，它既是渐进过程的中断，又是稳定过程的中断。就生物进化而言，对于进化的间断性，过去在达尔文的理论中是不被承认的，达尔文说过：“自然选择仅能借着轻微的连续的、有利的变异之累积而发生作用，所以它不能产生巨大或突然的变化；它只能按照短小的缓慢的步骤发生作用。”他信奉林耐的箴言：“自然界中没有飞跃。”^②可是大自然无视 19 世纪这位英国人的意向和安排，照常按突然性的飞跃这种方式前进。1972 年哈佛大学的 J. 古尔德 (Stephen Jay Gould) 和美国自然博物馆的 N. 埃尔德里奇 (Niles Eldredge) 发表了《间断平衡：代替种系发生渐进主义》以他们创立的“间断平衡论”(Punctuated equilibria) 把飞跃引入了新达尔文主义生物学。他们强调生物的进化是渐变与突变、连续与间断的统一。

自然系统的演化包含着前后相继的各种运动过程，其中一个重要方面，即是临界点上新质的突然产生。分叉理论表明，在临界点上，系统可能进入多种状态，从逻辑上讲，这些状态形成的机会是均等的，而现实的突现状态只是多种可能性的一种。因此，人们只能对此作出概率性的预测，这就是突现的不可预测性特点。

3. “内在随机性”确定性和随机性

上面所说的突现之不可预测性，实际上是由确定性非线性系统内含的随机性所决定的。我们知道，动力学是研究系统演化即系统状态随时间变化的规律的。这通常可以用微分方程、偏微分方程、差分方程或迭代方程来描述。一旦建立系统的运动方程，系统后一时刻的状态便由前一时刻的状态决定，它们彼此之间的关系是确定的。但是，对于确定性非线性系统，即使没有外部的随机作用，不涉及大数现象或群体效应，初始条件也是确定的，系统自身也会产生出随机性。它是确定性系统内固有的特征，因而被称为“内在随机性”。这一发现体现了随机性存在于确定性之中，确定性自己规定自己为不确定性，从根本上消除了拉普拉斯决定论的幻想；说明了确定性与随机性是密切联系在一起的，正如恩格斯所说，“必然的东西，是由纯粹的偶然性构成的，而所谓偶然的東西，是一种有

L. V. 贝塔朗菲：《一般系统论（基础·发展·应用）》社会科学文献出版社 1987 年版，第 46 页。

② 达尔文：《物种起源》第三分册 商务印书馆 1963 年版 第 573 页。

必然性隐藏在里面的形式”^①。

三、自然演化的自组织机制

自组织是自然界物质系统自发地或自主地有序化、组织化和系统化的过程。

一个远离平衡态的开放系统通过与外部环境进行物质、能量和信息的交换，能够形成有序的结构，或从低序向高序的方向演化。

开放性、远离平衡态、非线性相互作用和涨落，是自然系统演化的自组织机制。

1. 开放性、远离平衡态

热力学第二定律指出，一个同环境之间没有物质、能量交换的系统，终究要达到热力学平衡态的，也就是系统内部能量与物质均一分布，陷于无序状态，系统的总熵达到极大。

1969 年，普里戈金发现，在不违反热力学第二定律的前提下，自然系统可以通过自然界组织过程从无序演化为有序。他指出一个远离平衡态的开放系统，通过与外界环境交换物质、能量和信息，就能够从原来混乱无序的状态，转变为一种在时间、空间或功能上有序的结构。

无序与增熵是封闭系统运行的唯一方向，这是由封闭系统所决定的，而对抗这种决定的运动路线的关键就是开放。所谓开放，就是借助外部环境输入的负熵克服、抵消系统内部的增熵。因此，开放是系统自组织得以形成的必要条件。

远离平衡态也是系统实现自组织的必要条件。因为在近乎平衡态的情况下，即使系统开放，它也会返回平衡态的。“非平衡是有序之源”，只有非平衡态才能导致有序，形成稳定的有序结构。

2. 非线性相互作用

“相互作用是事物的真正的终极原因……只有从这种普遍的相互作用出发，我们才能达到现实的因果关系。”^②在理论上，相互作用可分为简单的线性相互作用和复杂的非线性相互作用。从复杂的非线性相互作用与简单的线性相互作用的比较分析中，我们可以清楚地看出复杂的非线性相互作用在自然系统演化过程中的重要作用。在系统内部各个元素之间存在线性相互作用的情况下，系统的宏观特性仅仅是其每个要素独特特性的简单线性叠加，这种叠加还只是一种量的组合，并不会引起系统整

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 244 页。

^② 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 328 页。

体新质的产生，系统的整体性质也不会反过来改变其组成要素在孤立状态下的性质。因此，“在线性平衡热力学框架内，我们实在谈不到什么新结构”^①。而非线性相互作用是较为复杂的作用方式，是具有相干性的作用机制，系统内部的作用关系不再是各种作用的简单叠加所能说明的，而是多种作用相互制约、耦合而成的全新的整体效应。这意味着系统内要素独立性的丧失，各要素按一定方式在大范围内协调运动，从而导致系统新质的出现。

3. 涨落：“生序原理”

自然系统处于远离平衡态的非线性区时，外部的作用被系统内的非线性机制选择、吸收，不断消除系统内混乱的产生，为系统向有序的转化提供了可能性。但究竟在什么时候，出现什么样的有序结构，都不能由系统内部的非线性相互作用单一地决定，而是非线性相互作用与系统内的涨落共同作用的结果。正是在这种意义上，普里戈金说：“在非平衡过程中……涨落决定全局的结果”，“通过涨落达到有序”。^②这就是所谓“生序原理”。

通常，由大量相互作用的子系统所构成的体系，总是经常不断地受到来自系统内部和外部环境的扰动。扰动就会使得系统在某个时刻、某个局部的空间范围内产生对宏观状态的微小偏离，这种微小的偏离就称为涨落。涨落是由组成系统的大量微观元素的无规则运动及外部环境不可控制的微观变动引起的，是一种随机的、不可预言的事件。一般说来，当系统的宏观状态为平衡态和平衡态附近的某个定态，系统的各要素之间的相互作用是线性的，涨落都是衰减的。涨落本来是很微小的，衰减的涨落当然不可能对系统状态产生什么大的影响。而当系统处在远离平衡态，系统内部各构成要素或子系统之间存在着非线性相互作用，那么，某种微小的涨落就会使系统的状态发生微小变化，这种微小变化将通过非线性的反馈机制而被放大，使系统跃迁到一个新的稳定有序状态。

在系统内部，各种涨落随时产生着，被系统非线性相互作用吸收并放大的涨落可能不止一个，这样，与不同性质的涨落相对应的临界点也不止一个，于是出现了系统演化过程的分支。究竟哪一种涨落最后成为新的有序结构，系统将沿着何种分支向前发展，这要由系统内部的选择机制和系统外部的条件共同决定。

① G. 尼科里斯、L. 普里戈金：《非平衡系统的自组织》科学出版社 1986 年版 第 3 页。
伊·普里戈金、伊·斯唐热：《从混沌到有序》上海译文出版社 1987 年版 第 225 页。

四、自然界循环发展的无限性

1. 恩格斯关于物质永恒循环的思想

早在 19 世纪 70 年代，恩格斯就提出了宇宙演化的永恒循环的深刻思想。他指出，宇宙的演化是“物质赖以运动的一个永恒的循环”^①。“在这个循环中，物质的每一有限的存在方式，不论是太阳或星云，个别动物或动物种属，化学的化合或分解，都同样是暂时的，而且除了永恒变化着的、永恒运动着的物质及其运动和变化的规律以外，再没有什么永恒的东西了。”^②他还指出，认识这一问题必须注意两个方面：第一，“运动的不灭性不能仅仅从数量上，而且还必须从质量上去理解”，^③即要着重从质的不灭性方面来理解运动不灭原理，任何运动转化为其他运动形式的 ability 是不灭的、无限的；第二，“物质在其一切变化中仍永远是物质，它的任何一个属性任何时候都不会丧失”，^④即还必须从质的不灭性方面来理解物质不灭原理。按照这样的原理，宇宙中导致物质和能量逸散的过程与导致物质和能量集中的过程是不可分割地联系在一起的。在一定条件下能量要放散，而在另一些条件下能量则集结。恩格斯由此得出结论：“放射到宇宙空间中去的 heat 一定有可能通过某种途径（指明这一途径，将是以后某个时候自然研究的课题）转变为另一种运动形式，在这种运动形式中，它能够重新集结和活动起来。”^⑤“形成我们的宇宙岛的太阳系的炽热原料，是按自然的途径，即通过运动的转化产生出来的，而这种转化是运动着的物质天然具有的，因而转化的条件也必然要由物质再生产出来，……”^⑥既然在我们的地球上，在自然界本身的发展过程中，在一定的物质条件下产生了无数的有机物直到能思维的人类，那么当它在某个时候一定以铁的必然性被毁灭以后，“在另外的地方和另一个时候又一定会以同样的铁的必然性把它重新产生出来”^⑦。这就是物质“运动的一个永恒的循环”^⑧。

2. 自组织理论和混沌理论：进化和退化的交替

① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 278 页。

② 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 279 页。

③ 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 276、277 页。

④ 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 279 页。

⑤ 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 278 页。

⑥ 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 277 页。

⑦ 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 279 页。

⑧ 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 278 页。

自然界的演化，既不是单调地走向有序和进化，也不是单调地走向无序和退化。有序与无序的不断转化，进化与退化的不断交替，使自然界处于永恒的物质循环之中。

在自然界的演化中，既存在着大量的进化事实，如从弥漫星云演化为星系和恒星、从原始生命进化为人，又存在着大量的退化事实，如恒星演化晚期发生超新星爆发，大量向外抛射物质，恒星转化为新的星云。但是，这两类事实绝不是孤立的，而是相互关联的。首先，进化与退化是同存共生的。自然界在进化过程中是朝着有序性不断提高的方向发展的，但是，这种有序程度的提高，需要以负熵流的引入为代价，这相当于把系统内部不可逆过程产生的熵转移到环境中去。或者说，系统的进化以环境中某些方面的退化为代价，系统有序化程度的提高以环境无序化的过程作为补充，一个系统的无组织的发生是与另一个系统中组织的加强相联系。正如拉兹洛所指出：“在整个自然系统范围内，没有什么不受价值约束。自然系统全都尽可能地损害这个物质宇宙，向内部积聚秩序和可利用的能量，把无秩序和熵留给它们的环境。在环境走向衰败的同时，这些系统自己却保持稳定状态，甚至还能增长和增加它们自己的组织性。”^①其次，进化与退化是相互转化、相互交替的。正如非平衡自组织理论所揭示的，一个远离平衡态的开放系统，通过与外界环境交换物质、能量和信息，从环境中获得负熵流来抵消系统内部的熵产生，就可能在一定条件下使系统从一种混乱无序的状态演化成为一种稳定有序的结构。^②同样，混沌理论也揭示了通向混沌的道路，说明了系统从有序向无序的转化过程。在自然界的演化过程中，正是由于混沌可以产生有序，有序又将复归于混沌，才使得自然界经历了“混沌—有序—新的混沌—新的有序”的循环发展过程。但是，由于自然演化的不可逆性，在这种循环发展中，无论是新的混沌还是新的有序，对于原来的混沌和有序而言，都具有仿佛向原来出发点复归而又不是简单回复的特征，即在总的趋势上呈现上升的特征，也就是辩证法所理解的“否定的否定——发展的螺旋形式”^③。

3. 现代宇宙学对于宇宙未来演化趋势的推断

现代宇宙学的研究表明，宇宙未来演化的趋势取决于宇宙的质量密度。若宇宙的质量密度小于临界密度（约 $5 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^{-3}$ ），那么宇宙是

① E. 拉兹洛：《文化与价值》，《哲学译丛》1986年第1期，第22页。

值得注意的是，统计力学的奠基人吉布斯早就指出，当宇宙趋于衰退时，其中有一些局部区域的内部组织程度却有增加趋势，生命就在这些“小岛”上找到寄居地。

③ 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版，第259页。

开放的、无限的，就会像现在这样一直膨胀下去；若宇宙的质量密度等于临界密度，那么宇宙是平坦的、无限的，它也会永远膨胀下去；若宇宙的质量密度大于临界密度，则宇宙是闭合的、有限的，引力吸引将最终使宇宙停止膨胀而转变为收缩。根据天文观测，宇宙中所有可见物质的平均质量密度不到临界密度的十分之一，似乎表明宇宙要永远膨胀下去。但是，宇宙中还有许多看不见的“暗物质”，如星际物质、黑洞、中微子等等。就宇宙中弥漫的数量惊人的中微子而言，20 世纪 80 年代以来人们发现它有静止质量，仅仅是中微子的质量密度就能超过临界值而使宇宙在未来由膨胀转变为收缩，从而形成宇宙的永远重复的连续更替。然而，2002 年 11 月，由英国科学家领导的一个国际天文学小组宣布他们获得了宇宙中大部分能量是以“暗能量”形式存在的新证据。其研究结果显示，三分之二的宇宙可能由神秘的“暗能量”组成。“暗能量”能够产生与引力相反的排斥力，这可以解释为什么宇宙会出现加速膨胀现象。目前，人们正在以极大的兴趣注视着这方面的新的观测结果。

思考题

1. 试阐述系统自然观产生的现代自然科学前提。
2. 什么是“系统”？如何理解系统是自然界物质的普遍存在方式？
3. 何谓演化与进化？怎样理解自然界的进化是一个不断发生对称性破缺的过程？
4. 阐释自组织的概念以及自然系统演化的自组织机制、基本条件。
5. 怎样理解自然界循环发展的无限性？

第三章 辩证唯物主义自然观的发展 生态自然观

生态自然观是系统自然观在人类生态领域的具体体现，是辩证唯物主义自然观的现代形式之一。本章阐述了马克思、恩格斯的生态思想是生态自然观的理论来源；揭示了当代全球性的“生态危机”是生态自然观确立的现实根源和生态科学基础；论述了生态自然观的基本思想及其对实现可持续发展、生态文明的重大意义。

第一节 马克思、恩格斯的生态思想

马克思、恩格斯的生态思想是现代生态自然观的直接的理论来源。在 19 世纪，人类的生态环境问题尚没有像现在这样严重，马克思和恩格斯不可能就生态环境问题进行专门而系统的研究，但是在他们的理论体系中包含了极其丰富而深刻的生态思想。

一、马克思、恩格斯生态思想的基本观点

1. 自然界是人类生存与发展的前提和基础

其一，人是自然界发展的产物，决定了人与自然之间结成了发生学意义上的关系。马克思指出：“人本身是自然界的产物，是在自己所处的环境中并且和这个环境一起发展起来的”。^①恩格斯说：“从最初的动物中，主要由于进一步的分化而发展出无数的纲、目、科、属、种的动物，最后发展出神经系统获得最充分发展的那种形态，即脊椎动物的形态，而最后在这些脊椎动物中，又发展出这样一种脊椎动物，在它身上自然界达到了自我意识 这就是人。”^②

其二，人是自然界的一部分，人在自然界之中。马克思说：“人直接地是自然存在物。”^③人作为自然存在物，是“生活在自然界中”^④的，而不

① 《马克思恩格斯选集》第 3 卷，人民出版社 1995 年版 第 374、375 页。

② 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版 第 18 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 167 页。

④ 《马克思恩格斯全集》第 21 卷，人民出版社 1965 年版 第 322 页。

是存在于自然之外或凌驾于自然之上的。恩格斯告诫人们：“我们统治自然界、决不像征服者统治异民族一样，决不像站在自然界以外的人一样，——相反地，我们连同我们的肉、血和头脑都是属于自然界，存在于自然界的；……”

其三，人类的生存与发展依赖于自然界。恩格斯指出：“人首先依赖于自然。”^②马克思说：人是“现实的、有形体的、站在稳固的地球上呼吸着一切自然力的人”^③。“人（和动物一样）靠无机界生活，而人比动物越有普遍性，人赖以生活的无机界的范围就越广阔。从理论领域说来，植物、动物、石头、空气、光等等，一方面作为自然科学的对象，一方面作为艺术的对象，都是人的意识的一部分，是人的精神的无机界，是人必须事先进行加工以便享用和消化的精神食粮；同样，从实践领域说来，这些东西也是人的生活和人的活动的一部分。人在肉体上只有靠这些自然产品才能生活，不管这些产品是以食物、燃料、衣着的形式还是以住房等等的形式表现出来。在实践上，人的普遍性正表现在把整个自然界——首先作为人的直接的生活资料，其次作为人的生命活动的材料、对象和工具——变成人的无机的身体。”^④

2. 环境创造人，人也创造环境

马克思和恩格斯明确提出“人创造环境”^⑤的思想。人类要想持续生存和发展，就必须进行劳动。人类正是在改造自然界的生产劳动中，才使人的类本质得到确认。“通过实践创造对象世界，即改造无机界，证明了人是有意识的类存在物”。^⑥人类比其他一切动物强，在于能够认识和正确运用自然规律。“动物只是按照它所属的那个种的尺度的需要来建造，而人却懂得按照任何一个种的尺度来进行生产，并且懂得怎样处处都把内在的尺度运用到对象上去；因此，人类也按照美的规律来建造。”^⑦

马克思主张依靠积极的、能动的实践活动来实现“环境的改变和人的活动的一致”。在他看来，我们居住的自然环境应该是健康的、合乎人性的。“既然人的性格是由环境造成的，那就必须使环境成为合乎人性

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版 第 159 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 27 卷，人民出版社 1972 年版 第 63 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 167 页。

④ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 95 页。

⑤ 《马克思恩格斯选集》第 1 卷，人民出版社 1995 年版 第 92 页。

⑥ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 96 页。

⑦ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 97 页。

的环境。”^①人类的创造必须把改造自然、建设自然、美化自然有机地结合起来，这样才是合乎人性的行为。人类的创造活动要靠消耗最小的力量，在最无愧于和最适合于他们的人类本性的条件下进行。

3 自然生产力是社会生产力的基础

马克思认为在社会生产中“人和自然是同时起作用的”，进而提出了自然生产力和社会生产力这两种生产力的概念。所谓自然生产力，是“不需要代价的……未经人类加工就已经存在的”，如气候、水分、土壤、森林、矿藏；社会生产力是在自然生产力的基础上人通过劳动制造出来的，是“制造出来的生产力”^②，包括社会改造自然的能力及人类的劳动产品。人类的社会生产力必须维持在资源和环境的承受能力的范围之内。这是因为“经济的再生产过程，不管它的特殊的社会性质如何，在这个部门（农业）内，总是同一个自然的再生产过程交织在一起。”^③

自然生产力是社会生产力的基础，它制约着社会生产力。马克思指出：“撇开社会生产的不同发展程度不说，劳动生产率是同自然条件相联系的。这些自然条件都可以归结为人本身的自然（如人种等等）和人周围的自然。外界自然条件在经济上可以分为两类：生活资料的自然资源，例如土壤的肥力，渔产丰富的水等等；劳动资料的自然资源，如奔腾的瀑布、可以航行的河流、森林、金属、煤炭等等。”^④在马克思看来，自然生产力对社会生产力的影响，既包括作为“生活资料的自然资源”对社会生产力的影响，也包括作为“劳动资料的自然资源”对社会生产力的影响。

4. 人要与自然和谐一致

早在生态危机初露端倪、还未引起人们普遍重视的时候，马克思、恩格斯就提出了关于人与自然和谐一致的思想。马克思在阅读了 1847 年出版的弗腊斯的《各个时代的气候和植物界，二者的历史》一书后，十分赞赏该书的生态思想，认为农民的“耕作如果自发地进行，而不是有意识地加以控制……接踵而来的就是土地荒芜，像波斯、美索不达米亚等地以及希腊那样。”^⑤恩格斯也在《自然辩证法》一书中提到这一段历史，他写道：“美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民，为了想得到耕地，毁灭了森林，但是他们做梦也想不到，这些地方今天竟因此而成为不

① 《马克思恩格斯全集》第 2 卷，人民出版社 1957 年版 第 167 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版 第 425 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 47 卷，人民出版社 1979 年版 第 364 页。

④ 《马克思恩格斯全集》第 24 卷，人民出版社 1972 年版 第 398、399 页。

⑤ 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1975 年版 第 560 页。

⑥ 《马克思恩格斯全集》第 32 卷，人民出版社 1974 年版 第 53 页。

毛之地，因为他们使这些地方失去了森林，也就失去了水分的积聚中心和贮藏库。阿尔卑斯山的意大利人，当他们在山南坡把在山北坡得到精心保护的那同一种枞树林砍光用尽时，没有预料到，这样一来，他们就把本地区的高山牧畜业的根基毁掉了；他们更没有预料到，他们这样做，竟使山泉在一年中的大部分时间内枯竭了，同时在雨季又使更加凶猛的洪水倾泻到平原上。”^①恩格斯在总结了人向自然界索取的教训后精辟地指出：“我们不要过分陶醉于我们人类对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行报复。每一次胜利，起初确实取得了我们预期的结果，但是往后和再往后却发生了完全不同的、出乎预料的影响，常常把最初的结果又消除了。”^②他强调指出，要“认识到自身和自然界的一体性”^③。

5. 改革不合理的社会制度，是实现人与自然协调发展的重要途径

自然与社会是不可分割的，人与自然之间的不协调，实质上是人与人的问题、人与社会的问题。不改变社会环境，就不可能解决生态环境问题。因此，实现人与自然协调发展的一个不可缺少的重要途径就在于改变不合理的社会制度。在一个崭新的合理的社会里，“社会化的人，联合起来的生产者，将合理地调节他们和自然之间的物质变换，把它置于他们的共同控制之下，而不让它作为盲目的力量来统治自己；靠消耗最小的力量，在最无愧于和最适合于他们的人类本性的条件下来进行这种物质变换”^④。

二、马克思、恩格斯生态思想的基本特征

自然环境与社会环境的统一、人的能动性与受动性的统一、人的内在尺度与自然的外在尺度的统一以及自然主义与人道主义、共产主义的统一是马克思、恩格斯生态思想的“四大”特征。

1. 自然环境和社会环境的统一

马克思和恩格斯指出，人类生存与发展所依赖的外部环境，包括自然环境和社会环境即自然界和人类社会两个组成部分。由于“我们不仅生活在自然界中，而且生活在人类社会中”，^⑤所以，我们应该认识到“自然和历史——这是我们在其中生存、活动并表现自己的那个环境的两个组

① 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版 第383页。

② 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版 第383页。

③ 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版 第384页。

④ 《马克思恩格斯全集》第25卷，人民出版社1974年版 第926、927页。

⑤ 《马克思恩格斯全集》第21卷，人民出版社1965年版 第322页。

成部分”^①。这两个组成部分是相互关联的、统一的。自然是社会赖以存在和发展的前提和基础，而社会则是自然进化的产物，社会本身也是自然的一部分，“是人同自然界的完成了的本质的统一，是自然界的真正复活”^②。

2. 人的能动性和受动性的统一

马克思说：“人作为自然存在物，而且作为有生命的自然存在物，一方面具有自然力、生命力，是能动的自然存在物；这些力量作为天赋和才能、作为欲望存在于人身上；另一方面，人作为自然的、肉体的、感性的、对象性的存在物，和动植物一样，是受动的、受制约的和受限制的存在物”。^③人是具有自然力的社会存在物，为改造自然界提供了现实的可能性和内在动力。从这个意义上来说，人是“能动的存在物”，具有能动性。但是，人作为自然界的组成部分，是有形的、感性的存在物，由于它的血肉之躯和头脑都是属于自然界的，它永远不可能完全摆脱外部自然和自身自然的制约；在任何时候，人的能动性的发挥都不是不受制约的，不是无限的、绝对的，“外部自然界的优先地位”^④并不因为人的活动而消失；人类只能顺应自然界的规律性而不能违背自然的规律性。从这个意义上来说，人又是受动的、受制约的，即具有受动性。这样，人在认识和改造自然的实践活动中，就表现出“人的能动和人的受动”^⑤。如果我们能够注意到，由于人类的活动，打破了自然系统的生态平衡，从而遭受自然界对人类的报复的话，那么，我们就会更深刻认识到人的这种能动和受动、自由与必然的辩证关系。在认识和改造自然的实践过程中，人不能以纯粹自我规定的活动来实现自己的主观愿望，不能对人所具有的能动性滥加发挥；人在自然界里能获得多大的自由，并不单纯取决于人的能动性的发挥程度，同时也取决于对人的受动性的认识程度和控制能力。

3. 人的内在尺度和自然的外在尺度的统一

所谓人的内在尺度，是人的本质力量的一个表征，表现了人区别于动物的活动的创造活动。“动物只是按照它所属的那个种的尺度和需要来建造，而人却懂得按照任何一个种的尺度来进行生产，并且懂得怎样处处都把内在的尺度运用到对象上去”。^⑥所谓“按照任何一个种的尺度来进

① 《马克思恩格斯全集》第 39 卷，人民出版社 1974 年版 第 64 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 122 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 167 页。

④ 《马克思恩格斯选集》第 1 卷，人民出版社 1995 年版 第 77 页。

⑤ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 124 页。

⑥ 《马克思恩格斯全集》第 42 卷，人民出版社 1979 年版 第 97 页。

行生产”，实际上就是通过反映和掌握任何一种客观事物的具体属性和规律，以它们为根据来进行生产，即人能够认识和运用规律，表现出对于对象的超越性；所谓“处处都把内在的尺度运用到对象上去”，也就是指人将外在种属、事物的客观规律内化自己的需要、本性、本质力量，然后以此作为尺度进行改造对象世界的实践活动。

所谓自然的外在尺度，即对象尺度，就是自然界本身所具有的属性和规律。要支配自然，就须服从自然。人改造自然的活动，必须遵从自然界的外在尺度，即外部世界的客观规律。外部世界、自然界的规律，仍是人的有目的的活动的基礎。人的活动的内在尺度的形成，首先要以对客观规律的正确反映为基础。没有客观世界的存在及其规律为物质前提，内在尺度的形成就缺乏根据。然而，人的内在尺度又不仅仅限于对客观事物规律的反映，在实践上也不仅仅表现为遵从外在客观规律而简单地再生产自然界，人的内在尺度的锻造凝结了人的创造性的本质力量，它可以通过改变外部客观对象的形式，使之符合自己的需要。也就是说，必须使人的活动既符合作为人的内在尺度的体现人的本质力量的主体需要（即合目的性），又符合作为人的活动外在尺度的客观自然规律（即合规律性），实现两个尺度的统一。

4. 自然主义和人道主义、共产主义的统一

马克思指出，只有在共产主义社会才能实现人与自然之间的和谐一致。他说：“这种共产主义，作为完成了的自然主义，等于人道主义，而作为完成了的人道主义，等于自然主义，它是人和自然之间、人和人之间的矛盾的真正解决，是存在和本质、对象化和自我确证、自由和必然、个性和类之间的斗争的真正解决。”^①

所谓“自然主义”，就是遵循自然，遵循“人与自然和谐”的原则。实施自然主义，要求人类的全部活动遵从生态规律，具有较强的生态意识和环境意识，并在实践上保护地球上的生命和自然环境。

所谓“人道主义”，是指所有的人都享有公正和平等的权利与义务。实施人道主义，不但对人，而且对人以外的生命，给予必要的关怀。

共产主义，马克思认为是“人同自然界完成了的本质的统一”。在共产主义社会，人的“自然的存在方式”与“人的存在方式”统一起来。

马克思主义关于“自然主义、人道主义、共产主义”相统一的生态思想，是其强大生命力之所在，也是其本质特征。

^① 《马克思恩格斯全集》第42卷 人民出版社1979年版 第120页。

第二节 生态自然观确立的现实根源与科学基础

自 20 世纪中叶新技术革命以来,人类掌握了强大的科学力量和物质力量,迫使自然界竭尽所能地为人类服务,物质财富大量涌流,生活水平普遍提高,各种灾难性的传染病得到有效的控制,死亡率下降,平均寿命延长,如此等等。然而,现代新技术革命所带来的并非全是福音,全球性的“生态危机”严重地威胁着人类的生存与发展。与此相联系,生态科学受到了人们普遍的关注,获得了迅速的发展。以生态科学为基础的生态自然观是当代人类对“生态危机”进行反思和对生态科学进行概括与总结的结晶。

一、生态自然观确立的现实根源:“生态危机”

1. “生态危机”的概念

所谓“生态危机”,主要是指由于人类不合理的活动,在全球规模或局部区域导致生态过程即生态系统的结构和功能的损害、生命维持系统瓦解,从而危害人的利益、威胁人类生存和发展的现象。

“生态危机”是与“生态失衡”相联系的。1949 年,美国学者福格特(W. Vogt)在《生存之路》一书中首次提出“生态平衡”的概念,他把由于人类对自然环境的过度开发而引起生态条件的恶化所导致的不利于人的生存与发展的现象,概括为“生态失衡”,并由此强调保持生态平衡的重要性,说:“我们必须进一步认识到生态平衡面临严重的情况,即我们的环境阻力正在因过度砍伐、森林火灾、过度放牧、不良耕作法、种植过度、土地结构崩溃、地下水降低、野生动物灭绝等原因而迅速增加。”^②

2. 当代全球性“生态危机”的主要表现

(1) 人口激增

人类在地球上生活了三百多万年。在开始的岁月里,人口发展非常缓慢。公元初年,世界总人口只有 2.3 亿。1830 年全世界人口才达到第一个 10 亿。当时的年平均自然增长率不过 0.5%。到 1930 年,世界人口总数也只有 20 亿。真正的人口高速增长,出现于第二次世界大战之后。1950 年至 1987 年,世界人口平均增长率为 1.89%,1960 年为 30 亿,

^① “环境阻力”,即指“任何环境,其中包括被人类破坏的环境,对生物潜力或生产能力所加的限制。”(威廉·福格特:《生存之路》商务印书馆 1981 年版 第 23 页。)

^② 威廉·福格特:《生存之路》商务印书馆 1981 年版 第 252、253 页。

1974 年为 40 亿,1987 年达到 50 亿,1999 年达到 60 亿。第二、三、四、五、六个 10 亿分别用了 100 年、30 年、15 年、12 年、12 年。人口问题反映了人口数量与环境容量的矛盾。人口增加,必须要开发更多的土地、森林、草地和渔场,开发更多的水资源、能源和地下矿藏,从而加剧人类对生态系统的压力。然而,地球表面的生态资源是有限的,迄今为止还看不到大规模向太空移民的可靠前景。

(2) 自然资源消耗、短缺

自然资源,是自然界中能为人类所利用的物质和能量的总称。它是人类生活和生产资料的来源,是人类社会和经济发展的物质基础,也是构成人类生存环境的基本要素。按自然资源的物质属性,通常将其分为再生性资源和非再生性资源二类。前者是指人类开发利用后,在现阶段可更新、可循环、可再生的自然资源,如水资源、生物资源等,后者是指在现阶段不可更新、不可再生的资源,如煤、石油等矿物资源。“资源危机”,主要表现在非再生性资源的枯竭、短缺、污染,可再生性资源的锐减、退化、濒危。其中,土壤资源、森林资源、生物资源、矿物资源等问题尤为突出。

研究表明,在自然力的作用下,形成 1 厘米厚的土壤需要 100 年至 400 年的漫长岁月。然而,全球土壤流失量已增加到每年 600 亿吨,已超过新土壤的形成量。其直接结果是土层瘠薄,肥力下降。目前全球大约 30% 的陆地发生沙漠化现象,平均每年有 600 万公顷的土地沦为沙漠。因沙漠化和土壤退化而丧失生产力的土地,每年就有 2 000 万公顷。土壤资源流失的结果,使世界人均耕地面积,由 1975 年的 3 200 平方米减少为 2000 年的 1 500 平方米。

土地沙漠化之所以迅速扩展,主要原因是人类对植被的破坏。人类对森林的乱砍滥伐,对草原的过度放牧,打乱了水分的循环,气候出现干旱,土地出现松散的流沙沉积。据世界观察研究所报告,在 500 年前,地球的陆地面积有 2/3 为森林覆盖,总面积达 76 亿公顷,到 1990 年减到 34 亿公顷,覆盖着大约三分之一的陆地面积。目前,世界森林面积正以每年 2 000 万公顷的速度从地球上消失。森林是陆地生态系统物质循环和能量交换的枢纽,它同人类利益息息相关。特别是有“地球之肺”之称的热带雨林横遭破坏受到全世界普遍关注。

由于人类活动,特别是大规模砍伐热带雨林,加速了生物物种的灭绝。据资料记载,石器时代,物种灭绝速度为每 1 000 年 1 种;19 世纪工业革命时代,物种灭绝达到每年 1 种;20 世纪中叶发展到每天一个物种灭绝,现在每 6 个小时就有一个物种灭绝。1850 年以来,人类已使 75 种

鸟类和哺乳动物绝种，使 359 种鸟类和 297 种兽类动物面临灭绝的危险。据估计，目前全世界有 2 500 种植物和 1 000 多种脊椎动物濒于灭绝的危险。生物遗传的多样性，即所谓基因库，对人类的长远利益有着不可估量的重要意义，每消失一个物种都将是一个无可挽回的损失。

矿物资源也处在危急之中。现代工业国家消耗的矿物资源主要是燃料矿物和金属矿物。矿物资源是属于非再生性资源。这些矿物是经过千百万年的地质运动，在地壳中形成的，其数量有限，在人类生产发展的短暂历史时期，它们不能恢复。因此，人类在很短的时间内就可能耗尽这些矿物储备。

(3) 环境污染

所谓环境污染，是指由于人类的活动引入环境的物质和能量，造成危害人类及其他生物生存及生态系统稳定的现象。一般说来，可以根据污染物起作用的空间处所差别，把污染分为大气污染、水体污染和土壤污染；也可以根据造成环境污染的主要方面，将环境污染分为物理污染、化学污染和生物污染。目前，最具全球规模的环境污染主要表现为酸雨蔓延、臭氧层耗损和温室效应。

酸雨，通常是指和大气沉降相关的一种复杂现象，是大气污染后产生的酸性沉降物。由于最早引起人们注意的是雨中含有这种沉降物，故习惯上称为酸雨。实际上，酸性物质不仅仅依附于雨、雪、雾和露水，而且它们可以作为干尘粒降到地面。酸雨中含有多种无机酸和有机酸，绝大部分是硫酸和硝酸。工业生产、民用生活燃烧煤炭排放出来的二氧化硫，燃烧石油以及汽车尾部放出来的氮氧化物，经过“云内成雨过程”，即水气凝结在硫酸根、硝酸根等凝结核上，发生液相氧化反应，形成硫酸雨滴和硝酸雨滴；又经过“云下冲刷过程”，即含酸雨滴在下降过程中不断合并吸附、冲刷其他含酸雨滴和含酸气体，形成较大雨滴，最后降落在地面上，形成酸雨。酸雨不仅会腐蚀建筑物和文物古迹，加速金属、石料、涂层等风化，降低林木抗病虫害的能力，而且还会造成湖泊、河流酸化，导致鱼类等水生生物数量减少甚至灭绝。最新研究表明，酸雨引起的环境污染会损害人的大脑，引起早老性痴呆症。

臭氧(O_3)是大气中的微量元素，主要密集在离地面 20 ~ 25 公里的平流层内，称为臭氧层。臭氧层的含量只有大气质量的 $1/10$ ，但它好比地球的“保护伞”过滤了太阳 99% 的紫外线辐射，保护地球上的生灵万物。科学探测发现，在北美、欧洲、新西兰上空，臭氧层正在变薄，南极上空的臭氧层已出现了“空洞”。其主要原因是人类在使用挥发剂、冷冻剂、消毒剂、起泡剂、灭火剂等化学制品时，向大气中排放的氯氟烃类物质

(尤其是氟利昂)在紫外线照射下会放出氯原子,氯原子夺去臭氧中的一个氧原子,使臭氧变成纯氧,从而使臭氧层遭到破坏。臭氧的减少会使更多的紫外线射入地面,使人类非黑色素瘤皮肤癌增加,降低人体免疫系统的保护功能。

所谓“温室效应”,就是太阳短波辐射能够透过大气射入地面,而地面增温后放出的长波辐射却被大气中的二氧化碳、甲烷、一氧化二氮、氯氟烃以及水气等物质所吸收,从而使大气变暖的效应。随着人口的急剧增加,工业的迅速发展,排入大气中的二氧化氮相应增多,又由于森林被大量砍伐,大气中应被森林吸收的二氧化碳没有被吸收,由于二氧化碳逐渐增加,“温室效应”也不断增强。据统计,在过去的 100 年中 大气中二氧化碳的浓度增加了 25% 全球平均气温上升 $0.3^{\circ}\text{C} \sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 。目前全世界每年向大气中排放二氧化碳 65 多亿吨,递增速度比以往任何时候都快,估计到本世纪中叶,全球平均气温将上升 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ 。地球升温 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ 将使海平面上升 30cm ~ 50cm, 海岸和河口地区将直接受到严重威胁,并造成全球气候反常。

3. 对于‘生态危机’的反思

所谓“生态危机”,首先是人与自然的关系的危机。当代全球性“生态危机”的出现,是同过去三四个世纪中人把自己视做自然的统治者和主宰者的观念与态度有着密切的关系。“这种统治、征服、控制、支配自然的欲望是现代精神的中心特征之一。”^①在这种观念的制约和影响下,人们追求的主要是使自然界来合乎人的需要、目的和特性,却较少考虑如何使人的需要和特性等适合和适应自然的特性、法则和生态规律;人们普遍注重强调人改造、征服和战胜自然的力量增长提高与发展,而忽视人和自然之间物质交换的调节能力和人对不断变化着的自然界的适应能力的训练、提高和发展;人们一味陶醉于对大自然的胜利和统治,却忽视了对自然的每一胜利,都要受到大自然的报复和惩罚。

“生态危机”与社会问题息息相关,是社会异化的产物。例如,当今出现的环境污染问题既包括发达国家,也包括众多的发展中国家,其主要原因就在于发达国家置全人类的长远利益和国际公法于不顾,肆意向发展中国家倾倒垃圾、化学废料,把公害型企业转移到发展中国家,而发展中国家由于贫穷和债务也加剧对自然资源的开发。

全球性“生态危机”是传统工业生产方式的必然结果。传统工业是建立在大量消耗自然资源和排放废弃物的粗放式生产经营方式之上的,

它寻求最大限度地满足人的物质需求。人类通过发展科学技术极大地扩张了驾驭自然的种种能力，却没有同样扩大保存和保护自然的能力。传统工业无限地向自然界索取，使得人类能够以从前无法想象的巨大力量来燃烧、砍伐、挖掘、移动、改变各种各样的物质，从而严重地损坏了人类赖以生存和发展的生态系统。

全球性“生态危机”也是由于传统的发展观把发展等同于经济增长、单纯地追求经济增长所致。20 世纪下半叶以来，在新技术革命的推动下，传统发展观为世界许多国家所运用。按照这种发展观，自然资源可以无偿地利用。古典经济学家认为没有人类劳动参与的东西就不能体现价值，因此自然资源是无价的或低价的，可随意地无偿地利用，自然环境的各种资源是无限的，“取之不尽，用之不竭”。于是，工业革命以来的巨大经济增长即以漫无节制地消耗地球上大量不可再生资源为代价。按照这种发展观，就可以把发展理解为国民生产总值（GNP）的增长，将 GNP 作为衡量国家的生产力水平、国民生活水平和综合国力的首要指标。但在这一指标中，既没有反映自然资源的消耗，也没有反映环境质量这一重要价值的丧失程度。事实证明，这种发展观是有很大的局限性和片面性的。

二、生态自然观确立的科学基础：生态科学

1. 作为人类“生存之科学”的生态学

生态学原本是一门研究动植物与其生活环境相互关系的科学，是生物学主要分科之一。20 世纪中叶以来，由于世界范围的人口、资源和环境问题日益尖锐，以及系统科学和环境科学的发展，生态学扩展到人类生活和社会活动方面，把人类这一生物物种也列入生态系统中，^①来研究人与环境（包括自然环境和社会环境）的关系及其相互作用的规律。“当生态学成为关于人类的生态学时，就把人类安置于他们的 Oikos——他们的‘家’的逻辑之中”。^②这样，生态学就变成了一门关于人类“生存之科学”（Science of survival）。

现代生态科学的发展，特别是人类生态学的研究彰显了人在生态系统中的位置，具体而生动地体现了人与自然的关系。

第一，人在生态系统中处于杂食性消费者的生态位上。人作为大自

^①“生态”一词来源于希腊语“Oikos”，意为生活的处所、家园。“生态系统”一词，1935 年由英国生物学家坦斯利（A. G. Tansley, 1871—1955）提出，认为生态系统包括整个生物群落和它们环境中的一切物理的和化学的因素（即气候和土壤因素）。

霍 尔 姆 斯 · 罗 尔 斯 顿：《哲学走向荒野》吉林人民出版社 2000 年版，第 18 页。

然链条中的重要一环，在由动物、植物和微生物所组成的金字塔形的食物链中，人类同其他动物一起共同消费自然界的水、空气、阳光等生活资料，但作为有能动性的人类的消费与其他动物的消费有着本质的区别。人类的消费是建立在一定社会关系中以改造自然为目的的高级消费。人类的消费方式、方法、范围和质量与其改造自然的方式、方法和结果有着直接的联系。“因为他们不仅变更了植物和动物的位置，而且也改变了他们所居住的地方的面貌、气候，他们甚至还改变了植物和动物本身，使他们的活动的结果只能和地球的普遍死亡一起消灭。”^①由人类改造自然的盲目性造成的生态失衡和环境污染，最终还要通过负反馈来危及人类自身的生存。

第二，人还是生态系统的调控者和协同进化者。在人类产生以前，甚至在人类产生之后一个相当时期内，生态系统是靠自然调节机制来调节的，因而当生态系统陷入无序时会经过自我调节达到新的有序状态。但是人类社会对自然资源大规模地无限制的滥用，尤其是工业社会对自然的污染，使大自然应接不暇，单靠生态系统的自我调节机制便难以恢复正常状态了。人作为生态系统的调控者，其调控的现实对象是人类与自然界的相互影响，即人以自身的活动来引起、调整和控制人与自然的物质变换的过程。所谓人与自然的协同进化，即是说在人与自然的相互作用中，两者都必须对这种相互作用发生特定的进化变化。也就是说，两者通过相互依赖的合作关系，通过相互之间的适应性选择和制约，在人类创造自己社会历史的同时，维护地球健全的生态系统，不断提高生态系统维持生命的能力。

2. 生态理念和生态规律

生态学中的整体的观念、循环的观念、平衡的观念和多样性的观念，以及它所揭示的生态规律，构成了生态自然观的重要理念和科学根据。

整体的观念，是说生物（包括人在内）与其环境构成一个不可分割的整体，任何生物均不能脱离环境而单独存在；循环的观念，是指作为生产者的植物、消费者的动物、分解者的微生物，它们互相耦合，形成由生产、消费和分解三个环节构成的无废弃物的物质循环；平衡的观念，认为生物之间的食物链关系、金字塔结构和循环体系处在一个动态的平衡之中；多样性的观念，即“多样性导致稳定性”的生态原理，它强调保护生物物种的多样性，认为生物多样性的丧失，直接威胁着生态系统的稳定性。

陈昌笃认为生态学的一般规律，可以概括为“物物相关”、“相生相

克”、“能流物复”、“协调稳定”、“负载定额”、“时空有宜”等几条规律。“物物相关”和“相生相克”的规律，揭示了自然事物相互联系、相互制约共存共生的生态关系。自然界任何生物物种的存在都有其合理性，这是生态系统维持其动态平衡的动力之网，因而保持物种多样性，使人与生物伙伴协同进化，才能确保生态系统的稳定发展。而“能流物复”和“协调稳定”的规律是生态系统存在和发展的内在保证。物质循环、能量流动把生态系统进而把生物圈联成一个整体，虽然各系统、系统的各部分有它们独特的运动形式，但都遵循整体性的原则。“负载定额”规律揭示了任何生态系统的生产力和承载能力都是有限的。它由生物物种（包括人类）自身的特点及可供它利用的资源 and 能量决定。人口问题、资源问题、环境问题，实际上都是由于人类的活动接近或已超过生态系统的“负载定额”的限度而造成的。“时空有宜”规律揭示了生态系统动态变化的特征，使人类在构建区域社会生态系统，规划人的生产、消费理念和行为时，能既从实际出发，实事求是，又因时因地制宜，与时俱进。

三、生态自然观的基本思想

生态自然观是对马克思、恩格斯生态思想的继承与发展，是在人类反思全球性“生态危机”的过程中和总结现代生态科学的最新思想成果的基础上形成的。其基本思想大体上可以概括为下述几个方面：

其一，生态系统是生命系统。生态系统是生物系统和环境系统共同组成的自然整体，是以生命的维持、生长、发育和演替为主要内容的活生生的系统。生物圈所以被称为生态圈，就是因为它普遍存在着生命现象。在整个生物圈中，森林、草原、海洋等地带有大量的生物生存，即使“死寂”的沙漠或冻土带中，也有生命存在，也分别构成了沙漠生态系统和苔藓生态系统。因此，生态系统的平衡、破坏和演化，都是围绕生命物质来进行的。生态系统的活力是生态系统本身所固有的。

其二，生态系统具有显著的整体性。生态系统就是各个相互关联的部分有机构成的一张生命之网，无论哪一个环节出现了问题，都会对整个系统产生重大的影响。生态系统的整体性主要表现在两个方面：一是生物与非生物之间构成了一个有机的整体，离开了非生物各种因素所构成的环境，生物就不能生存，就无所谓生态系统；二是每一种生物物种都占据着特定的生态位，各种生物之间以食物关系构成了相互依赖的食物链或食物网，其中任何一个环节出现了问题，就会影响整个生命系统的生存。

其三，生态系统是自组织的开放系统。生物系统和环境系统的相互

关联、相互作用，由外来能量（主要是太阳辐射能）的输入维持。外来能量的输入及其在系统内的流动、消耗、转化，形成了生态系统复杂的反馈联系，使系统具有自我调控、保持平衡的能力。

其四，生态系统是动态平衡系统。生态系统的动态过程由系统内的物质运动决定。系统内的物质和输入系统的能量从植物的光合作用开始循环和转化，植物通过光合作用由无机元素合成的有机物质，经草食动物、肉食动物一级一级地转移，组成食物链，物质和能量从一种生物传递到另一种生物，最后被微生物分解为简单的化合物和元素，再回到环境中。这种循环和转化构成了生态系统不断发展和演化的动态过程。

其五，生态平衡是稳定性与变化性相统一的平衡。维护生态平衡不只是保持其原来的稳定状态，不是单纯的消极适应和回归自然，而是遵循生态规律，自觉地积极保护自然。那种认为人类对生态系统的任何干预都是破坏生态平衡的观点是错误的。当人们运用生态平衡的规律时，不必要也不可能完全不去打破生态系统的原有平衡。生态系统在人为的有益影响下，可以建立新的平衡，达到更合理的结构、更高的效能和更好的生态效益。

生态自然观主张把人的角色从大地共同体的征服者改变成共同体的普通成员与公民，强调生态系统是一个由相互依赖的各部分组成的共同体，人则是这个共同体的平等一员和公民，人类和大自然其他构成者在生态上是平等的；人类不仅要尊重生命共同体中的其他伙伴，而且要尊重共同体本身；任何一种行为，只有当它有助于保护生命共同体和谐、稳定和美丽时，才是正确的；人与自然之间要协调发展、共同进化。

第三节 生态自然观和可持续发展

生态自然观的确立，为可持续发展的理论和战略提供了重要的哲学依据。综观可持续发展理论和战略的提出、基本原则的形成以及可持续发展的生态文明途径的探寻，均贯穿了生态自然观的基本思想。

一、可持续发展理论和战略的提出

“可持续发展”一词，在国际上最早出现于 1980 年国际自然与自然资源保护联盟、联合国环境规划署和世界野生生物基金会联合发表的《世界自然资源保护大纲》。该大纲提出必须研究自然的、社会的、生态的、经济的以及利用自然资源过程中的基本关系，以确保全球的可持续发展。同时该大纲指出，自然保护与可持续发展互相依存，两者应当综合起

来予以思考。保护意味着对人类利用的生物圈加以管理，以使生物圈能给当代人带来最大的和可持续的效益，同时维护生物圈满足后代人需求和期望的潜力。发展是指生物圈的变化及人力、财力、生命和非生命资源的利用去满足人类需求并改进人类生活质量。

1981 年 美国著名学者 R. 布朗出版《建设一个可持续发展的社会》一书，阐述了可持续发展的观点，提出了控制人口增长、保护资源基础和开发再生能源来实现可持续发展的三大途径。他指出：“我们不是继承前辈的地球，而是借用了子孙的地球。”以此告诫人们要有建设一个可持续发展社会的责任感。

1987 年，世界环境与发展委员会在布伦特兰主席的领导下，出版了《我们共同的未来》，该报告以丰富的资料，论述了当今世界环境与发展方面存在的问题，提出了处理这些问题的比较全面而具体的建议，首次将“可持续发展”定义为：“可持续发展是既能满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展。”^①并强调可持续发展是长期的、全局的、支持全球人类持续进步的道路。

1992 年 6 月，联合国在巴西的里约热内卢召开了“环境与发展大会”这一有史以来规模最大的一次国际会议，有 183 个国家和地区参加，102 位国家元首或政府首脑到会。这次会议提出了“人类要生存，地球要拯救，环境与发展必须协调”的口号，通过了《里约环境与发展宣言》、《21 世纪议程》等重要文件，这些文件始终贯穿着一个核心，这就是可持续发展。由此可见，可持续发展战略已成为全人类的共同选择。它着眼于三个“实现”第一 实现人类社会、经济与环境的协调发展 第二 实现世界各国即不分发达国家、发展中国家的共同发展；第三，实现人类世世代代的共同发展。此外，还从政治平等、消除贫困、环境保护、资源管理、生产和消费方式、国际贸易、群众参与等方面，对可持续发展进行了详尽地阐述。

1994 年 3 月，中国政府编制发布了《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、资源、环境与发展白皮书》，首次把可持续发展列入我国经济和社会发展的长远规划，标志着中国对可持续发展理论和战略的确认和对全球可持续发展的参与。

二、可持续发展的基本原则

1. 突出发展的主题——发展原则

发展原则包括三个方面：第一，发展的必要性，认为发展是可持续发展的前提，那种主张必须停止发展以保护环境观点是不可取的。第二，发展不纯粹是一个经济现象，发展与经济增长的概念有着明显的区别，发展不等于经济增长。从最终意义上讲，发展不仅仅包括人民生活的物质和经济方面，还包括其他更广泛的方面，发展是集社会、科技、经济、文化、环境等多项因素于一体的完整现象；可持续发展的最终落脚点是人类社会，即改善人类的生活质量，创造美好的生活环境。第三，发展是人类共同的和普遍的权利，无论是发达国家还是发展中国家都享有平等的不可剥夺的发展权力。特别是对于发展中国家来说，发展权力尤为重要。目前，发展中国家正经历着来自贫穷和生态恶化的双重压力，贫穷导致了生态恶化，生态恶化又加剧了贫穷。《里约环境与发展宣言》中的第五条原则就写道：“所有国家和所有人民应把消除贫困作为可持续发展的一项不可或缺的重要任务。”因此，对于发展中国家而言，发展权尤为重要。只有发展才能为解决生态危机提供必要的物质基础，也才能最终摆脱贫困和愚昧。

2. 发展的可持续性——可持续性原则

可持续发展从人类长远利益出发，追求发展的可持续性，即人类社会世代延续不绝的发展。它不仅要实现当代人自身的发展，而且也要实现未来世代人的发展。可持续发展绝不是短期行为的发展，不是人类以今天的利益换取明天的利益，吃祖宗的饭，断子孙的路。它确认人类社会系统之间存在相互制约的关系，把有利于生态资源的持续存在和永续利用，视为重要的基本原则。正是在这种意义上，世界自然资源保护同盟、联合国环境规划署和世界野生生物基金会在 1991 年撰写的《保护地球：可持续生存战略》的报告中，把可持续发展界定为：“在不超出地球生态系统的承载能力的情况下改善人类生活质量。”^①

3. 人类根本利益和行动的共同性——共同性原则

地球是一个相互依存的整体，只有全世界范围共同发展才是真正的发展；人类生活在同一个地球上，全球性的“生态危机”，表现了人类所遇到的危机的共同性、安全的共同性和未来的共同性，实施可持续发展需要不同国家超越文化和意识形态的差异来采取联合的共同行动。鼓励和支持各国政府之间为解决全球性问题而开展的各种形式的合作，谴责和制止那些把污染严重的技术和产业输入不发达国家和地区的“以邻为

^① IUCN - UNEP - WWF. *Caring for the Earth: a Strategy for Sustainable Living*. IUCN Switzerland. 1991.

壑”和“嫁祸于人”的行径，为停止军备竞赛、停止核武器的生产与试验以及干净彻底地销毁一切核武器与大规模杀伤武器而斗争。

4. 人与人关系的公平性——公平性原则

可持续发展观确认，人与自然的危机和人与人的矛盾不可分割，只有解决人与人之间的不公平性，才有可能达到人与自然间的协调和谐。所谓公平，是指人与人之间的互利共生，协同发展。这里有两层含义：

一是代际公平，强调当代人在发展与消费的同时，应当承认并努力做到使后代人有同等的发展机会。当代人的发展不能以损害后代人的发展能力为代价。这里包含两个基本点：其一，当代人对后代人生存发展的可能性负有不可推卸的责任，必须加强对未来人负责的自律意识；其二，可持续发展要求当代人为后代人提供至少和自己从前辈人那里继承下来一样多甚至更多的财富。当代人不能滥用自己的环境权利，不能因片面追求自身的发展和消费，而剥夺了后代人理应享有的发展与消费的机会。可持续发展要求今天的人类不应以牺牲今后几代人的幸福而满足其需要。这一代人要把环境权利和义务有机地统一在一起，在维护自身环境权利的同时，也要维护后代人生存与发展的权利。

二是代内公平，即是同一代人中一部分人的发展不应当损害另一部分人的利益，就是在一个国家内，地区利益服从国家利益；在国际范围内，国家利益服从全球利益。它要求在区域内部和不同区域间从成本效益的角度实现资源利用和环境保护两者的公平分配和负担。为了实现代内公平，世界环境与发展委员会建议人们通过国际公约和国际法来解决资源和环境问题。要求各国遵循这样一些关键原则：“每一个国家有责任不损害其他国家的人民健康和环境；对任何由跨国界污染引起的危害都应承担责任并赔偿；所有有关各方享有获得补救措施的平等权利。”

三、生态文明：可持续发展的必然途径

人类从自然界中分化出来已经有三百多万年的历史。在这漫长的历史中，人类文明的进化经历了原始文明（采集与狩猎文明）、农业文明和工业文明三大阶段。工业文明历时三百年，它为人类创造了以往无法比拟的财富。但是，工业文明是建立在大量消耗自然资源和排放废弃物的工业经济的基础之上的，因而严重地损害了人类赖以生存和发展的生态系统。从工业文明走向生态文明，建设生态文明社会，是实现可持续发展的必然途径。2003年，《中共中央国务院关于加快林业发展的决定》明确指出：“加强生态建设，维护生态安全，是21世纪人类面临的共同主题，也是我国经济社会可持续发展的重要基础。全面建设小康社会，加快推

进社会主义现代化，必须走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。实现经济发展与人口资源环境的协调，实现人与自然和谐相处，要确立以生态建设为主的林业可持续发展道路，要建立以森林植被为主体、林草结合的国土生态安全体系，建设山川秀美的生态文明社会。”

在生态自然观指导下，生态文明以实现人与自然和谐的发展为宗旨，强调人类与自然环境共同发展，在维持自然界再生产的基础上进行经济再生产。

生态文明包含着下述三个相互区别、相互联系的层面：

一是物质生产层面。生态文明的主导产业是生态产业，即以生态化为目标的农业、工业、信息业与服务。其核心是维护“自然—社会—经济”生态系统平衡的基础产业——生态农业。它的生产过程是由自然界再生产过程（自然生产力）和经济再生产过程（社会生产力）交织在一起进行的。在自然界再生产过程中，物质循环、能量流动与信息交换，遵循生态产业运行的自然规律；在经济再生产过程中，物质流、能量流与信息流，一方面必须以自然界的物质、能量与信息流为基础，要遵循自然规律，另一方面又以市场为导向，遵循社会经济规律。与此相联系，其消费方式受制于：自然界的承受能力，这是维持自然界再生产过程的前提；经济发展的水平与消费水平必须保持平衡。

二是社会制度层面。生态文明是在上述物质生产的基础上建立起来的新兴的社会制度。从政治、经济、法律、伦理、教育等方面规范和约束人们的行为；为维护良好的自然生态环境建立相应的法规与机构，以协调和解决在环境保护中的人与人的关系。如建立保护生态环境的机构与组织、制定保护生态环境的政策与法律、采取确立生态意识的教育措施等等。

三是思想观念层面。生态文明的思想观念的核心要素是思维方式与价值观念的生态化思想。在思维方式上，要打破工业化的思维方式，它总是把注意力集中在工业的发展上，不考虑生态化问题。一些城市把兴“工”作为其政策，提出一切工作都要围绕“工”字来做，却没有在事前从生态化的观点对工业生产造成的环境污染或生态失调采取积极的防范措施。这实际上是重复发达国家先工业化、后治理污染的道路。在价值观念上，我们要破除把经济价值凌驾于社会价值与生态价值之上的工业文明的价值观，也要破除那种认为工业增值大，农业增值小，是弱质农业，只增产不增收的观念。

思考题

1. 从生态自然观的产生说明这种自然观是对辩证唯物主义自然观的丰富和发展。
2. 如何理解自然界是人类生存和发展的根基？
3. 现代生态学在协调人与自然关系问题上提供了哪些科学结论？
4. 对中国可持续发展之路谈谈你的想法。

第二编

科学观与科学方法论

人类是通过科学来认识自然界的，本编依据自然观、认识论和方法论相一致的原理，围绕科学理论的形成与发展，以科学问题为起点，研究通过观察和实验获取科学事实的经验方法，研究经由科学抽象、运用各种科学思维形式建立假说和检验假说的方法，在此基础上进一步探讨科学理论发展的多元模式和创造性思维的激发机制。

第四章 科学的本质和科学知识的构成

从认识史上看，把科学作为独立的研究对象，是在科学从包罗万象的自然哲学中分化出来，并建立了以实验为基础的理论体系之后。本章以科学的整体为研究对象，阐述科学的本质、科学知识的构成、科学的价值，这是马克思主义科学观的重要组成部分。

第一节 科学的本质

对科学本质的探讨主要包括科学的涵义、性质和特征，回答科学是什么的问题。这对正确评价科学的社会地位和充分发挥科学的作用，对从整体上把握科学的全貌，进一步掌握科学发展的规律具有十分重要的意义。

一、科学的涵义及性质

1. 科学的涵义

19 世纪马克思站在辩证唯物主义与历史唯物主义的立场上，对科学进行了宏观的、动态的哲学分析，并对科学的本质做出以下深刻的论述：

其一，科学和工业是“人对自然界的理论关系和实践关系”^①。它揭示出科学和工业是人对自然的能动的认识和改造关系。科学发展的历史证明了这一论断的正确性。在整个古代，科学的发生和发展一开始就是由人与自然的关系、由人的物质生产所决定的。游牧民族和农业民族为了定季节，产生了天文学；天文学只有借助于数学才能发展，于是开始了数学的研究；后来，在农业发展的某一阶段和在某个地区，特别是随着城市和大建筑物的产生以及手工业的发展，力学发展起来了。人类正是在改造自然的过程中获得了对自然的认识，并且随着实践的发展不断地使认识从初级的经验形态发展到高级的理论形态，出现了作为认识活动最终成果的科学；与此同时，科学成为进一步认识和改造自然的锐利武器。正是科学的巨大力量，使得人类改造世界的能力得到空前的强化。

^① 《马克思恩格斯全集》第 2 卷 人民出版社 1957 年版 第 191 页。

其二，科学是一种社会的、精神生产领域的劳动。马克思明确指出科学活动是一种社会劳动，是社会总劳动中的一个重要部分，它“是一切科学工作，一切发现，一切发明”^①。科学劳动的特点是它部分地以今人的协作为条件，部分地又以对前人劳动的利用为条件，而共同劳动则以个人之间的直接协作为前提，因而科学属于一般劳动，属于“精神生产领域”^②。马克思的这一思想揭示出科学这种社会实践活动的本质特征。在现代社会中，科学活动已经成为一种独立的精神生产活动，一种大规模的、有目的的、社会化的生产知识的社会活动。它是由科学劳动者、科学劳动对象、科学劳动资料、科学管理等要素组成的知识生产过程。

其三，科学是生产力。马克思指出，在资本主义制度下，“社会的生产力是用固定资本来衡量的”^③，而固定资本“既包括科学的力量，又包括生产过程中社会力量的结合，最后还包括从直接劳动转移到机器即死的生产力上的技巧”^④。因此，“在这些生产力中也包括科学”^⑤。马克思还认为，由于大工业把巨大的自然力和自然科学并入生产过程，必然大大提高劳动生产率，因而在生产力中理所当然要包括科学。

马克思进一步分析了科学在生产力中的地位和作用，指出“随着大工业的发展，现实财富的创造较少地取决于劳动时间和已耗费的劳动量，较多地取决于在劳动时间内所运用的动因的力量，而这种动因自身——它们的巨大效率——又和生产它们所花费的直接劳动时间不成比例，相反地却取决于一般的科学水平和技术进步，或者说取决于科学在生产上的应用”^⑥。其中所说的四个“取决于”，明确地表达了科学是生产力发展的“动因”的看法。“科学是生产力”这一论断是马克思对历史唯物主义的重大理论贡献。

其四，科学既是观念的财富又是实际的财富。^⑦马克思、恩格斯明确指出科学的社会作用表现在物质生产和精神生产两个方面。一方面人类在认识自然和改造自然的长期实践中创造和积累起来的科学知识，是整个人类知识体系最为重要的一个组成部分，成为社会的精神财富；另一方

① 《马克思恩格斯全集》第25卷，人民出版社1974年版，第120页。

② 《马克思恩格斯全集》第25卷，人民出版社1974年版，第97页。

③ 《马克思恩格斯全集》第46卷（下）人民出版社1980年版，第210页。

④ 《马克思恩格斯全集》第46卷（下）人民出版社1980年版，第229页。

⑤ 《马克思恩格斯全集》第46卷（下）人民出版社1980年版，第211页。

⑥ 《马克思恩格斯全集》第46卷（下）人民出版社1980年版，第217页。

⑦ 参见：《马克思恩格斯全集》第46卷（下）人民出版社1980年版，第34页。

面，科学作为生产力的要素被资本用作致富的手段，因而本身也成为那些发展科学的人的致富手段。

随着科学日益渗透到社会的各个方面，科学已经成长为社会的一项极为重要的事业，人们从各种不同的角度对科学与社会、科学与文化、科学与方法论的关系进行深入的探讨，形成了以下几种观点：其一，科学是一种社会建制。这是从科学社会学的视角，指出科学作为一种特殊的社会活动，目前已经发展成为一个相对独立的、具有特殊意义的社会事业，是社会的一个职业门类，它有自己的社会建制。其二，科学是一种文化。这是从人类文明史的视角，指出科学是一种特殊的知识生产方式和精神创造方式，是人类文化中最活跃的一个组成部分；科学文化有其不同于人文文化的性质与价值。其三，科学是一种方法。这是从认识的角度考察科学认识的方法，科学方法是以观察、实验为基础，运用经验方法与理性方法，形成科学概念和科学理论，然后经过多次的、反复的实验，证明其客观真理性的一种独特的认识方法。

综上所述，现代科学是由多种基本要素组成的复杂整体，只有把有关科学的各种涵义当做一个具有内在联系的系统来把握，揭示各种涵义之间的联系，才能全面地、综合地认识科学的本质。贝尔纳把现代科学的主要特征概括为六个方面：一种建制；一种方法；一种积累的知识传统；一种维持或发展生产的主要因素；构成我们的各种信仰和对宇宙和人类的各种态度的力量之一；与社会有种种相互关系。^①科学的诸多特征，归根结底是从人与自然相互作用过程中衍生出来的，所以，马克思把科学看做“人对自然界的理论关系”，即科学是人对自然的能动认识和反映关系的观点，是对科学本质的更一般的、更抽象、更深刻的哲学概括。这一思想对我们考察科学的社会作用具有重要的指导意义，是对历史唯物论的重大理论贡献。

2. 科学作为社会意识形态的性质

自然科学是研究自然界物质的形态、结构、性质和运动规律的科学。它的目的在于认识自然规律，为人类正确改造自然开辟道路。一般而言把现代自然科学分为基础理论科学、技术科学和应用科学三大类。自然科学作为知识体系，具有区别于其他社会意识形态的重大特点。

(1) 科学是知识形态的生产力

马克思的“科学是生产力”有两种涵义：第一，科学尚未进入生产过程时，它是知识形态的生产力，这时候它固定在劳动资料的发展形式——

参见贝尔纳：《历史上的科学》，商务印书馆 1983 年版，第 6 页。

机器体系中，是“知识和技能的积累，社会智慧的一般生产力的积累”^①。是一般生产力；第二，科学并入生产过程时，通过劳动者的劳动技能、劳动者对劳动工具和劳动对象的运用，通过管理在生产结构中发挥作用，直接转化为社会生产力，即直接生产力。科学所特有的生产力属性，不仅把它同其他社会意识形式区分开来，而且表明它是社会发展的动力，这是马克思对历史唯物论做出的重大理论贡献。

（2）科学是特殊的社会意识形式

首先，科学虽然也是社会意识形式，但它并不依赖于特定的经济基础，只要是经实践证明为真理的科学知识，就是客观的，就具有直接的继承性和相对稳定性。当然，科学的发展也要受到经济基础的制约。其次，科学本身没有阶级性。自然规律能够被社会各阶级的人所发现、利用和继承。自然科学既无国界，也无阶级界、民族界，是人类共同创造的财富，但不同阶级的世界观和社会政治制度对科学的发展会有不同的影响。

二、科学的本质属性

科学作为一种认识活动，有其特殊的认识手段（科学仪器、实验室设备和认识方法、观察方法、实验方法、假设—演绎方法）；科学作为认识成果，有其特殊表现形式即由基本概念、基本定律以及通过演绎推理得到的结论这三部分构成的理论体系。从认识论和方法论方面看，科学具有如下的本质属性：

1. 客观真理性

科学知识的客观真理性，在于它具有不以人的意志为转移的客观内容。所有的科学知识都坚持用物质世界自身来解释物质世界，不承认任何超自然的、神秘的东西。科学事实、科学定律、科学假说、科学理论无一例外的都是以科学实践为基础，要经受科学实践的反复检验。科学具有内容上的客观真理性，是科学知识最根本的属性。

事实上，科学研究中科学事实的发现、科学定律的提出、假说的构想、理论的建立和检验，都是与科学的实践分不开的，科学知识的真理性内容是随着实践而不断深化、不断完善。

2. 可检验性

科学的结论不是笼统的、有歧义的一般性论述，而是确定的、具体的命题，它们在可控条件下可以重复接受实验的检验。可检验性要求对科

^① 《马克思恩格斯全集》第46卷（下）人民出版社1980年版第210页。

学知识所涉及的内容给予明确的解释，并推导出特定的可以检验的论断，还应当预言今后可能得出的实验事实。在解释和预言中，一般都是将理论推导出的数据与实验中得到的结果相比较，这就是所谓实验检验，即科学的可检验性。如果理论经受不住实验检验，就将被修正或淘汰。

辩证唯物主义认为，科学实践既是检验科学知识的真理性标准，又是推动人类认识发展的动力。对科学来说，任何正确的思想，都必定有检验它的方法。如果一种“科学知识”不但无法在技术上接受实验的检验，而且在原则上也不可能被检验，那么它就没有资格跻身于科学的行列。科学的真理性，正是由它所具备的可检验性加以保证的。

3. 系统性

科学的系统性，表现为科学知识是有结构的体系。其一，科学是组织起来的系统化的知识，它将客观知识采用概念、判断、推论等思维形式准确表达出来，构成了有机的严密的逻辑系统。特别是重大的科学理论，体现着历史和逻辑相统一的原则。其二，科学知识作为人类的认识成果，既有经验知识，又有理论知识。二者既有区别又有联系，相互依存、相互制约而成为统一的整体。科学力求做到全面地反映客观事物，把握事物的一切方面，这一点虽然不能完全做到，但必须有全面性、系统性的要求，以防止片面和僵化。零散的知识堆积在一起不能成为科学。

4. 主体际性

科学知识作为社会意识形式，应当被不同认识主体所理解，接受不同认识主体用实验进行重复检验，并在他们之间畅通地进行讨论、交流，这就是主体际性。科学活动要求科学家将他们的理论向所有同行作出确切的说明，并用公认的方法与手段验证理论成果，也就是说科学活动应处于同行专家的严格监督之下，这是科学真理获得社会承认的必要条件。但是应该指出，有主体际性的不一定是科学的知识。

三、关于科学划界的标准

科学划界问题是科学哲学的重要论题。科学划界问题指区分科学与伪科学及其他非科学的界限问题。此问题由逻辑实证主义提出，其核心是科学划界的标准。20世纪20年代以来，关于科学划界问题大致形成以下四种观点，即逻辑经验主义的观点、批判理性主义的观点、科学历史主义的观点与科学实在论的多元观点。

逻辑经验主义认为有意义的命题才是科学的命题，否则便是非科学的命题。如果一个命题能用经验事实加以证实，那么这个命题就有意义，反之就没有意义。可以看出，逻辑经验主义以意义标准作为科学划界的

唯一标准是与它的证实原则紧密联系在一起的。而科学命题或科学理论的经验证实并不是充分条件，因为结论真，前提未必真。后来逻辑经验主义用“可检验性”或“可验证性”来代替“可证实性”作为科学划界的标准，虽然已经接近了对科学本质的刻画，但仍然遇到不可克服的困难。

批判理性主义者波普尔认为科学的理论或命题具有普遍性，不可能被经验证实，而只能被经验证伪，因为经验总是个别的，所以他主张，可被证伪的理论或命题才是科学的，否则是非科学的。可证伪性具有用可观察的证据与其比较的性质，也就是可检验的性质。对理论的检验，强调用确凿的证据反驳它，而不是去论证它。可以看出，批判理性主义与逻辑经验主义的划界标准本质上是相近的，它们都是强调经验的判定（证实或证伪），把理论与经验事实的关系看做划界的唯一标准。

科学哲学中的历史主义学派认为科学是一种社会事业，它与社会的其他精神活动形式存在着多方面的联系和相互作用，因此科学与非科学之间并不存在绝对分明的界限。历史主义者在科学划界问题上又可以分为两派，一派以库恩、拉卡托斯等为代表，承认科学与非科学、伪科学划界的必要性，坚持一种历史的、发展的和相对的，渗透着社会和心理因素的科学划界标准。他们认为科学与非科学、伪科学的区分就在于是否在范式或科学研究纲领的指导下从事解决疑难的活动。另一派则以费耶阿本德（Feyerabend, 1924— ）为代表，否认科学划界的必要性，认为不存在普遍适用的科学研究方法，不存在科学与非科学之间的一成不变的界限，因而主张科学与非科学不可划分，也不应该划分，这是历史主义走向极端的典型表现。

与逻辑经验主义、批判理性主义和以库恩为代表的历史主义的一元科学划界标准不同。邦格（M. Bunge）提出了多元划界标准。他给出科学知识领域的 12 个条件，任何不能满足这 12 个条件的知识领域都是非科学；任何一个本身不是科学却自称为科学的知识领域都可称为伪科学。

总之，不同时代、不同学派在科学划界问题上的认识是不断深化的，从绝对标准到相对标准、从一元标准到多元标准、从静态标准到动态标准，无不标志着划分科学与非科学，伪科学这项事业的进步。辩证唯物主义认为科学与非科学、伪科学是有本质区别的。可检验性是科学区别于伪科学的根本标准。伪科学是伪装成科学形式的非科学，是一种社会现象，其内容不具有客观真理性。它伪造或篡改实验数据，回避或拒绝规范的科学实验和同行专家的科学鉴定，或者用违背科学实验准则和程序的“实验”去取代规范的科学实验，其结果经不起真正的科学实验的检验。不可检验性和伪装是伪科学的基本特征。典型的伪科学有：以弘扬传统

文化和现代科学名义宣传非科学内容，如封建迷信等；利用科学知识，把非科学问题、非科学内容装扮成科学；以科学研究为幌子，违反科学规范和科学精神，目标或工夫在科学之外；利用科学声誉、影响，打着科学旗号，从事与科学无关的其他社会活动。而一般的非科学是指不满足精确性和可检验性的命题、问题或理论，无法运用自然科学方法进行检验或评价的领域，如道德、哲学、宗教信仰、神话传说、艺术等。科学与非科学没有好坏、对错之分，它们只是标明了两类不同性质的知识。

尽管人们对科学划界的标准有着不同的看法，对科学的本性也有着不同的认识，但是对科学划界问题的探讨意义是深远的，它不仅有利于明确科学知识的特性，而且能够有效捍卫科学的尊严和社会形象。即使是科学昌明的今天，各类伪科学仍屡见不鲜。对于科学划界的探讨虽然不能一劳永逸地确立起科学恒定的界限，却能通过对科学知识的多方面特性的立体刻画为我们建立起更清晰的科学观念，从而能够使人们更容易地在人类知识中辨认出科学知识与非科学知识，以便更有效地揭露伪科学。对于科学普及程度较低、文化较落后的国家和地区来说，伪科学很容易流行，而科学划界就具有特别的紧迫性和现实性。

第二节 科学知识的构成

科学认识是人对自然界的反映，科学认识过程“是一系列的抽象过程，即概念、规律等等的构成、形成过程。这些概念和规律等等……有条件地近似地把握永恒运动着的自然界的普遍规律性。”^①科学认识过程的成果是科学事实、科学定律、科学假说以及由逻辑推理和实验检验而建立起来的科学理论。科学知识主要就是由上述这些要素构成的。

一、科学事实

1. 科学事实及其类型

从人类认识运动的次序看来，总是由认识个别的和特殊的事物，逐步地扩大到认识一般的事物。人类总是首先认识了许多不同事物的特殊的本质，然后才有可能更进一步地进行概括工作，认识诸种事物的共同的本质。

科学事实是科学认识主体关于客观存在的、个别的事物（事件、现象、过程、关系等）的真实描述或判断，其逻辑形式是单称命题。科学事

^① 《列宁全集》第 55 卷 人民出版社 1990 年版 第 152、153 页。

实是科学认识的最初成果，属于认识论的范畴，其内容是客观的，形式是主观的，是客观与主观的统一。例如，“这块铀矿石具有放射性”就是科学事实，而“所有微观客体都具有波粒二象性”这样的普遍陈述，则是对科学事实进行概括或猜想后得出的定律性论断，其逻辑形式是全称命题。强调科学事实的个别性，是为了突出它主要来自感性物质活动，它反映的是被认识客体的外部联系和片断的、具体的属性。

科学事实一般分为两类：事实Ⅰ，指客体与仪器之间相互作用结果的描述。例如，观测仪器上所记录和显示的数字、图像等。事实Ⅱ是对观察实验所得到的结果的陈述和判断。被观察与实验证明了的理论结论，被称为理论事实，有时也被人们称为事实Ⅲ。可见，科学事实不仅具有经验的性质，而且还有理论的性质，其内容可以通过判断和推理等逻辑证明用抽象的方法获得。例如，光速、万有引力等科学事实，起初都不是经过观察、实验等经验方法获得的。

客观事实除科学事实以外，还包括日常生活事实和生产事实等经验事实。客观事实、经验事实与科学事实既有区别，又有联系。唯心主义的先验论否认客观事实的存在，把科学事实和经验事实都看成主观自生、没有客观依据的东西。机械唯物论将科学事实与客观事实等同看待，抹杀了两者的区别，否定了人的主观能动性的作用，不懂得客观事实转化为科学事实不仅与客观事实本身有关，而且还受到人的认识能力和社会实践水平的制约。只有坚持辩证唯物主义的观点，才能正确理解客观事实、经验事实和科学事实之间的关系。

2. 科学事实的特点及作用

科学事实作为科学对个别事物的认识，有其自身的规定性和特点：其一，科学事实具有可重复性。同一观察和实验的事实，可以在多次观察与实验中重复出现。这一特点使科学实验成为检验科学认识的重要手段。强调科学事实的可重复性是为了消除对事实描述和判断中可能存在的谬误，它体现了科学事实的可靠性。其二，科学事实渗透理论。科学事实作为科学活动中的第一阶段认识成果，是在一定的科学理论指导下取得的，并且为一定的科学研究目的服务，其中必然渗透着理论。不与科学理论相联系的科学事实是不存在的，也不可能存在。其三，科学事实应该是比较系统的。科学事实是对个别事物存在的陈述和描写，而事物的联系和变化是多样的。作为科学事实应该比较系统的反映事物的存在，只有这样才能为理性思维加工提供可靠的事实根据。其四，科学事实具有相对独立性。科学事实的发现和确定虽然依赖于一定的科学理论，但科学事实一旦被确认，就具有相对独立性。在科学发展史上常常有这种情况，当

一种假说被实践检验而否定时，假说中依据的一些事实却没有被推翻，它是科学知识中稳定、可靠的部分。

科学事实有极其重要的作用。首先，科学事实是形成科学概念、科学定律、科学假说，建立科学理论的基础。其次，科学事实是确证或反驳科学假说和科学理论的基本依据，是推进科学进步的动力之一。但是应该清醒地认识到，科学事实属于经验，它们是关于事物或现象的表面的认识，正如恩格斯所说：“单凭观察所得的经验，是决不能充分证明必然性的。”^①事物的本质或规律必须靠理论思维和实践检验来加以把握。

二、科学定律

1. 科学定律及其特征

科学定律是反映自然界事物、现象之间的必然性关系的科学命题。科学定律以观察和实验为基础，具有不以人的意志为转移的客观性，“是宇宙运动中本质的东西的反映”^②。科学定律作为科学认识形式，是科学认识主体把握客体的映象，是主观性和客观性的统一。多数严格的、普遍适用的科学定律都是以全称命题的形式表示出来的。

从科学事实到科学定律，是科学认识过程中的飞跃，一般有两条途径：一条是借助归纳法从科学事实概括出来的经验定律。它反映事物和现象之间的某种联系，具有描述性、直接实践性，与观察、实验直接相关。它拥有直接可判定或测量的经验内容，这些内容原则上可由观察或实验程序所获得的现象证据加以确认，如开普勒行星三定律。另一条是借助于想象、直觉与灵感得出的理论定律，它们“是人类理智的自由发明”，不是直接源于经验概括；理论定律中的抽象概念也不能从经验中推导出来，理论定律反映着客体更深刻的本质，具有更大的普遍性。

科学定律的特征主要表现在以下几个方面：其一，科学定律是绝对真理和相对真理的统一。一方面，科学定律作为自然规律的反映经过了一定的观察和实验的检验，包含有绝对真理的成分。另一方面，科学定律对自然规律的反映只是近似的，而不是绝对无误的反映。所以，科学定律的深刻性和普遍性是受时代和认识的水平和条件限制的，具有历史性、相对真理性。其二，科学定律具有简明性特征。科学认识的成果用数学语言和符号语言来表述，所以，科学定律尤其是物理学的定律，通常都是用数

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版 第 207 页。

② 《列宁全集》第 55 卷，人民出版社 1990 年版 第 127 页。

③ 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 314 页。

学公式、数学方程式及其他符号公式表示。

2. 科学定律的作用

科学定律在科学知识构成中发挥着重要作用。其一，科学定律揭示了事物的本质或规律。科学定律是在观察和实验的基础上，借助抽象思维对科学事实进行由表及里、由此及彼、去粗取精、去伪存真的加工制作的结果。它反映了对客体某一方面或有限方面的认识；反映了客体局部性的认识；反映了对客体的某一本质联系或某些本质联系的认识。科学定律表明在一定条件和范围内，主观与客观的某种程度上的符合，因而具有真理的意义。其二，科学定律有助于科学概念和科学理论的形成。首先，科学概念的形成要经过逻辑上的抽象和概括，它可以通过经验定律的提出或发现来完成；同时，许多科学概念的内涵是通过有关科学定律表现出来的，科学定律是明确科学概念的一种有效手段。其次，科学概念和科学定律是科学理论构成的基础。科学理论通过一系列的科学概念、科学定律的合乎逻辑的联系和转化来完整地反映某一领域的事物及其过程的本质和规律性。在科学理论中，科学定律尤其是基本定律是科学理论的核心，发挥着极大的作用。其三，科学定律是科学解释和预测的有效工具。首先，经验定律可以用来解释已知的科学事实和预见未知的科学事实。其次，理论定律是从经验定律中抽象出来的，它把若干经验定律包含于自身之中，从理论定律可以解释已知的经验定律和预见未知的经验定律，这在科学认识的过程中作用是非常重大的。

三、科学假说

1. 科学假说及其特点

科学假说是根据已有的科学知识和新的科学事实，对所研究的问题作出的猜测性说明和尝试性解答。科学假说是自然科学理论思维的一种重要形式。构成假说的基本要素通常包括：事实基础，背景理论，对现象、规律的猜测，推导出的预言和预见。

科学假说有以下基本特点：其一，科学性与猜测性的统一。科学假说是在一定的科学事实和已有的科学理论基础上建立的，并需经过一系列科学论证。科学假说对问题的看法是一种猜测，还没有经过实践的检验，其结果是或然的。因此，科学假说是科学性和猜测性的辩证统一。科学性使它具有发展为科学理论的内在根据，假定性使它具有发展为科学理论的一种可能性。其二，抽象性与形象性的统一。假说不是事实的简单堆积，而是经过了一定程度的科学抽象，因而具有抽象性；从假说的形成过程看，开始它只能以初步的猜测与想象的形式出现，常常依靠形象思

维，使假说具有某种形象性。因此，假说是抽象性与形象性的统一。其三，多样性与易变性的统一。对于同一客体的研究，可以提出各种不同的假说。对同一现象提出的假说，还会随着实践的发展而改变。新事实的发现、不同学术观点、学派之间的争论等可以使原来模糊不清的问题或谬误逐步清晰化或找到正确的答案，有可能验证或充实原有的假说，也有可能推翻或修正原有的假说。假说的科学性与猜测性、抽象性与形象性、多样性与易变性的统一等特征，反映了人类特有的认识的能动性，并使假说在科学研究中具有特殊的意义。

2. 科学假说的作用

假说的作用主要表现在以下几个方面：其一，科学假说是形成和发展科学理论的必经途径。当新发现的事实不能用原有的理论来说明时，就需提出假说。提出的假说通过实践检验，被证实或证伪，被修正或被新的假说取代。自然科学就是沿着问题—假说—理论—新问题—新假说—新理论……的途径不断地向前发展的。正如恩格斯所说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。”^①其二，假说是发挥思维能动性的有效方式。首先，由于假说是对蕴含在科学事实背后的本质和规律性的猜测、假设，它本身就是人类创造性的高度表现。所以，提出假说的能力，往往被认为是科学创造性的重要标志。其次，科学假说引导人们自觉地进行新的观察、新的实验、发现新的事实，成为发挥思维能动性的有效手段。其三，不同假说的争论有利于科学的发展。关于同一类对象的多种不同假说之间的争论，有利于揭露各种假说中存在的问题，促使人们的认识在实践的基础上不断的深化和精确化。即便是错误的假说，往往也包含一些积极因素，在一定条件下，它也可以对科学的发展起促进作用。

假说只有经受实践的检验，具备解释性和预见性，才可以转化为科学理论。当然，这种理论仍然是相对真理，作为检验标准的实践是一个不断深化的过程，理论随着实践的发展又将接受新假说的挑战，假说和理论之间的转化是不会终结的。任何已被实践检验所确认的理论仍然不可避免地包含有假定性的因素，这正是假说和理论得以不断深化和发展的内在根据。

四、科学理论

1. 科学理论及其构成

科学理论是系统化的科学知识，是关于客观事物的本质及其规律性

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版 第 218 页。

的相对正确的认识，是经过逻辑论证和实践检验并由一系列概念、判断和推理表达出来的知识体系。

科学理论是在观察与实验的基础上，运用理性的方法（比较、分析、综合、归纳与演绎、溯因与类比等方法）整理感性材料，从而形成与发展起来的。科学理论是由三个基本的知识元素组成的：基本概念；联系这些概念的判断即基本原理或定律；由这些概念与原理、定律推演出来的逻辑结论，即各种具体的规律和预见。正如爱因斯坦所说：“理论物理学的完整体系是由概念、被认为对这些概念是有效的基本定律，以及用逻辑推理得到的结论这三者所构成的。”^①它们依一定关系形成一个有层次、有结构的系统。从科学认识的形成过程来看，科学理论是它的完成和成熟的阶段，因此科学理论是科学认识的高级成果。科学理论所揭示的客观真理性在深度上和广度上都超过了科学事实、科学定律和科学假说，从整体上揭示了客体的更深层次的本质。从认识成果的逻辑关系来看，科学理论是以科学事实、科学概念和科学定律作为基础和前提，在更高层次上综合统一了的科学认识成果。科学理论往往以最为抽象、完整的理论模型和数学模型等形式存在。科学理论遵循理论符合现实是理论的唯一标准的原则。

2. 科学理论的特征

科学理论的基本特征主要有以下几个方面：

其一，客观真理性。科学理论的客观真理性，在于其内容是对客观事物的本质和规律的正确反映。科学理论是经过严密的逻辑论证和反复的实践检验的，因此是具有客观真理性的知识体系，这是使它与假说相区别的最根本的特征。

其二，全面系统性。科学理论是从事物的全部现象及其所有的联系出发概括出来的普遍本质与规律，因此它能对与它有关的一切现象与事实做出统一的、比较精确的解释与说明；它反映的内容是按客观事物的本来面貌构成的一个完整系统；它的概念、定律、逻辑结论是依其在客观事物中的地位和作用而分为不同层次的；它反映的是客观事物的横向联系与纵向进化。因此科学理论具有全面系统性。

其三，逻辑完备性。科学理论是一个概念体系，是系统化了的知识，它将客观知识采用明确的概念、恰当的判断、正确的推理以及严密的逻辑证明加以表述，它的整个体系具有内在的逻辑关联性、无矛盾性和完备性。

^① 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第313页。

其四，科学预见性。这是指科学理论不但能解释已知，而且还能预见未知。首先，科学理论通过揭示某一领域（或某一类事物）的本质和规律而普遍适用于这个领域（或这类事物）；其次，科学理论把握了事物发展的一般规律和趋势，又因其具有逻辑上的完备性，所以能提供新的知识，并在一定程度上对未知的事物状况做出符合逻辑的预言。

科学事实、科学定律、科学假说、科学理论是构成一个完整的科学知识体系不可缺少的组成部分，是不可分割地联系在一起。它们之间的辩证关系表现在以下几个方面：

其一，科学事实是科学知识体系的出发点和归宿。科学事实是科学认识的经验形式，是建立科学定律、科学假说和科学理论的前提和基础。离开了科学事实，科学定律、科学假说、科学理论就成了无源之水、无本之木；离开了科学事实的检验，科学定律就不能成立，假说就永远是假说，而不可能转化为科学理论。

其二，科学定律是构成科学理论的基础。科学定律是借助于抽象思维对科学事实进行加工制作的结果，达到了对事物的本质或规律的认识。科学定律虽然还不能从整体上、更深的层次上把握客体，但它是形成科学理论的逻辑基础。

其三，科学假说是科学理论的过渡形式。只有经过实验检验的科学假说才可以转化为科学理论。而科学假说的提出、纯化、修正和证明都必须以已有的科学理论和科学事实为依据。

其四，科学理论是科学成果的系统体现。它是从基本的科学概念和基本的科学定律开始，借助于推理规则及辅助假设，推演出的由一系列定律或结论构成的严密的逻辑体系。它既是科学认识高级阶段的成果，又是形成新的科学认识的起点。当然，科学事实、科学定律、科学假说和科学理论这四个方面又不是绝对的、凝固的，而是相对的、发展的。随着实践和认识的发展，科学理论的客观真理性、逻辑严密性、系统全面性和逻辑完备性都会暴露出新的矛盾，这就要求进一步发展科学理论。正如列宁所说，认识是思维对客体的永远的、没有止境的接近。自然界在人的思想中的反映，应当了解为不是“僵化的”不是“抽象的”不是没有运动的 不是没有矛盾的，而是处在运动的永恒的过程中，处在矛盾的产生和解决的永恒过程中。

第三节 科学价值

价值观是马克思主义哲学的重要组成部分，应用马克思主义的价值观研究科学的价值，是科学观的一个重要问题。

一、科学价值

1. 价值与科学价值

价值主要从主体的需要和客体能否满足及如何满足主体需要的角度,考察和评价各种客体(物质的、精神的现象)对个人与社会的作用和意义。所以马克思说:“‘价值’这个普遍的概念是从人们对待满足他们需要的外界物的关系中产生的”。^①价值是客体的属性满足主体需要的关系范畴。

从历史唯物主义的观点看来,价值的本质在于:它是现实的人同满足其某种需要的客体的属性之间的一种关系;价值同人的需要有关,但有其客观基础,因为各种客体(物质的、精神的现象)所固有的属性是客观存在的,因此它们才能满足人们的需要,才能成为人们的兴趣、目的所追求的对象。此外还要指出,人的需要是多方面的,各种物质的、精神的现象的属性也是多方面的,因而它们可以满足人的各种不同的需要,从而具有不同的价值。^②

科学价值是应用马克思主义的价值观来考察和评价科学对个人与社会的作用和意义,是指现实的人同满足其某种需要的科学的属性之间的一种关系。科学与人的这种价值关系是在科学与人或社会发生相互作用中实现的,是科学的属性在与人或社会发生关系时的体现。当科学对人或社会的需要和发展起到肯定作用的时候,它就具有正面价值,否则,它就没有价值或具有负面价值。

科学作为反映客观物质世界的本质和规律的知识体系,有着自身所固有的客观属性即科学属性。但科学价值并不单纯是科学属性的反映,而且标志科学属性对人类有什么积极意义,能满足人类什么需要的性能。科学的价值是以科学属性作为客观基础的科学客体与一定历史时代人类社会的需要相结合的产物。在马克思看来,科学是有价值的。科学价值既存在于科学的内在属性中,也存在于科学与社会的相互关系中。因此,科学价值可以划分为“科学中的内在价值”和“科学的社会价值”两个基本方面。

2. 科学的内在价值

人类在探索自然界的过程中,在长期的科学实践活动中,形成的求真、客观与人文关怀的科学精神,怀疑、批判与创新的科学思想,从实际

^① 《马克思恩格斯全集》第 19 卷,人民出版社 1963 年版,第 406 页。

^② 参见《中国大百科全书·哲学 I》中国大百科全书出版社 1985 年版,第 343、345 页。

出发,实事求是的科学方法,是科学的内在价值,这是科学文化的核心,是不以时代、国家、民族、地区为转移的。科学家和科学共同体不仅按照这个价值标准来衡量他们的科学活动,评价科学研究活动中科学探索的动机、科学活动的目的、科学方法的可靠、科学事实的选择、科学体系的建构、科学理论的评价等方面,而且用它来评判他们科学活动的成果。所以,科学价值判断渗透在客观知识体系之中成为科学认识的有机组成部分。

3. 科学的社会价值

科学的社会价值是指科学与社会相互作用过程中对人类社会的作用和意义。它主要表现为科学所具有的积极的、正面的社会功能。其一,科学带来的物质价值和精神价值。所谓物质价值,是指应用科学认识自然界,或对自然物进行加工,使之适合人的生存和发展。所谓精神价值是指科学的进步对人的精神文化的作用和影响,重大科学理论的创立往往影响着人们的世界观、方法论与思维方式。科学的社会价值包括科学知识的价值、科学道德的价值和科学美学的价值。科学精神、科学思想、科学方法虽然是科学的内在价值,但它成为人们进行科学活动的规范准则时,又表现出社会价值的功能,其中包括科学发展所形成的优良传统、认知方式、行为规范和价值取向等。其二,科学对人类物质文明的发展有巨大的促进作用。主要是通过物质生产的发展和人类物质生活的改善这两个方面来实现的。其三,科学推动人类文明的进步。科学对人类精神文化的影响和促进作用主要表现在人们思维方式的变革、道德观念的更新以及教育和文化事业的发展等方面。

4. 西方的科学价值观

(1) 科学价值中立说

科学价值中立说是关于科学知识与价值观念之间关系的一种观点。这种观点认为,科学知识与价值观念是互不相关的。直到 20 世纪 70 年代以前,“科学价值中立说”一直是西方学术界持有的观点。

18 世纪德国哲学家康德发展了英国哲学家休谟(D. Hume)的思想,认为科学是关于事实的认识,本身不包含价值的成分,价值标准只是评价的准则而不是形成理论的方法。20 世纪初,德国社会学家马克斯·韦伯强调经验科学只能告诉人们事实“是”怎么样,它可能怎么样,但决不教导人们“应当”怎么样,后者完全取决于人们自己依据一定的价值取向来选择。从“存在”无法上升为“应当”。因此,关于客观世界的经验知识的科学必须拒绝承担价值判断的任务,从而保持科学认识的客观性和中立性 这就是马克斯·韦伯的“价值无涉”(Wertfreiheit)观。20 世纪 20 年

代至 30 年代,以石里克 (M. Schlick) 等人为代表的逻辑实证主义认为:科学是关乎事实的,价值是关乎目的的;科学是客观的,价值是主观的;科学是追求真理的,价值是追求功利的;科学是理性的,价值是非理性的;科学是可以进行逻辑分析的,价值是不能进行逻辑分析的,因此,科学和价值是没有任何联系的、完全对立的两极。

“科学价值中立说”强调了科学认识中的客观性原则,认为事实判断不同于价值判断,二者之间是有严格区别的。按照这种观点,科学家仅研究科学知识自身的逻辑、科学知识的产生、形成与发展就可以了。科学价值中立说在就科学自身来谈科学方面,是合理的、有一定的意义的。但是,科学是在人们为了自己的生存和发展而进行的劳动过程即认识与改造自然界的过程中产生与发展起来的,归根结底是人们在实践活动的基础上创造出来并把它应用于解决实际问题的,所以科学和人及社会是分不开的,也就是和科学的价值是分不开。科学价值中立说从强调科学自身的客观性,走向科学脱离任何社会的绝对独立性,如果接受这种观点,科学家根本不必也不应该过问他们工作的社会后果,这显然是错误的、有害的。

(2) 科学负荷价值说

20 世纪 60 年代以来,核灾难的威胁和全球性环境问题的日益突现,人们对传统的科学价值观进行了深刻的反思,对“科学价值中立说”的观念产生了质疑。

1981 年美国科学哲学家普特南 (H. Putnam, 1926—) 在《理性、真理与历史》一书中提出了价值事实的存在。他认为价值与事实是分不开的,价值就是事实的价值,事实也是有价值的事实,“每一个事实都有价值负载,而我们的每一个价值也都负载事实”^①。他从这种基本观点出发,批判了传统实证主义从纯客观的角度来认识科学理性的做法。科学具有价值负荷,表现在以下几个方面:首先,在科学知识体系中就渗透着价值和价值判断因素。其次,科学家和科学共同体在科学活动中也脱离不了价值判断。因此,科学的价值并不是成为科学所探索的事实的一部分,而是成为科学本身的一个组成部分。科学研究活动中的价值,还明显地体现在科学探索的动机方面。不仅如此,彭加勒还强调科学研究活动的目的是以追求真理(或真知)为价值导向的,他说:“追求真理应该是我们活动的目标,它是值得我们活动的唯一价值。”^② 国际著名天体物理学

^① [美] 普特南:《理性、真理与历史》,辽宁教育出版社 1988 年版,第 248 页。

[法] 彭加勒:《科学的价值》,光明日报出版社 198 年版,第 187 页。

家、哈佛大学教授雷泽尔(D. Layzer) 也指出: “ 科学以证据、理性争论和对真理的积极探求为价值尺度。 ’^①科学研究活动中的价值有着极为丰富的内容, 除上述各点之外, 诸如事实的选择、体系的建构、理论的评价等也都渗进和充斥着科学家和科学共同体的价值判断。

“ 科学负荷价值说 ” 是强调科学技术渗透着价值的全过程的观点, 坚持科学不是一种纯粹的个性工具, 而是出现于特殊社会情景之中的复杂事业。这种观点认为权衡 (trade-off) 是每个社会技术系统所具有的, 科学技术也像任何其他事情一样, 有得必有失。因此, 人们必须对它们的后果从 “ 得 ” 与 “ 失 ” 的角度进行比较和权衡。但要做到这一点, 就要了解科学技术与不同的价值、制度甚至整个社会文化环境的相互作用。科学是负载价值的, 是事实判断与价值判断的统一。

二、科学精神

科学精神是指从科学研究的过程和成果中所显示出来的科学本身所独有的一种精神气质, 以及与之相应的科学思想、科学方法。它是科学价值的核心。

默顿于 1942 年发表过一篇重要论文《科学的规范结构》, 其中包含了对科学精神的探索和研究。他说, 科学的精神气质是有感情情调的一套约束科学家的价值和规范的综合。这些规范用命令、禁止、偏爱、赞同的形式来表示。它们借助于习俗的价值而获得其合法地位。这些通过格言和例证来传达、通过法令而增强的规则在不同程度上被科学家内化了, 于是形成了他的科学良心……可见, 默顿所言的科学精神是指一种非物质的东西, 如气质、境界、规范、观念等, 可将其概括为 科学共同体行为规范所体现的一种理想的精神气质 (ethos)。

科学精神的涵义是历史地演变的, 不同的价值观就会有不同的有关科学精神的界定。科学精神有广泛而深刻的涵义, 主要包括以下几个方面:

其一, 求真务实精神。求真务实精神是指在科学活动中应坚持实事求是, 勇于探索真理和捍卫真理。科学探索中常常会犯错误, 常常失败, 但是, 科学工作者总是力求获得符合实际的答案。在这个过程中科学家个人的得失必须置于真理的追求之下, 不唯书、不唯上、只求真, 就是对这种精神的一个概括。

其二, 有条理的怀疑精神。任何科学研究都要求逻辑自洽、要求提供

^① D. Layzer, *The Growth of Order in the Universe*, Oxford University Press, 1990

经验证据，必然要有理性的怀疑。有条理的怀疑是指提出的问题是讲道理（逻辑上自恰）的、有证据的，而不是怀疑一切。科学区别于迷信的一个重要方面，就是科学知识必须经过科学共同体的批判性检验之后才能被接受。

其三，开拓创新精神。创新是在不断变化的环境中，对于新问题的分析和创造。科学家必须勇于提出目前尚未提出或未解决的科学问题，得出他人没有得出的结论、见解或看法，认识结果要有新的经验内容。

人类社会发展的历史证明：科学不仅改变了世界，而且改变了人类本身。作为最先进的生产力，科学必然产生出高于那个时代其他文化因素的科学精神，从而不仅缔造了科学本身，而且能提高人的认识能力，影响人的价值取向，形成一系列先进的行为规范，对人类精神生活产生决定性影响。科学精神无疑为科学家群体所特有，但绝非为其所独有，其他人同样可以通过科学普及与亲身实践活动的途径养成科学精神。

全面建设小康社会，要求不断发展科学技术，为此，必须大力弘扬科学精神，鼓励创新。因为科学精神的实质就是实事求是、不断创新、与时俱进。坚持科学精神，坚持实践基础上的理论创新，以此来推动制度创新、科技创新、文化创新以及其他各方面的创新，这将对熔铸中华民族的生命力、创造力和凝聚力有着无法估量的意义。

思考题

1. 如何理解科学的本质？
2. 科学理论有哪些构成要素？说明它们的特点与相互关系。
3. 什么是科学精神？举例说明它的重要性。

第五章 科学认识的形成

科学认识同其他认识一样，是在实践的基础上产生、形成与发展起来的，不同之处在于这个过程中人们创造并使用的科学认识的方法。本章讨论科学认识过程中关于科学问题的提出以及科学事实、科学定律、科学假说和科学理论形成的方法论问题。

第一节 科学问题的提出

一、科学问题是科学研究的起点

1. 科学研究从科学问题的提出开始

科学认识是探索自然界奥秘的活动，它从提出科学问题开始。问题在科学认识的形成与发展过程中起着支配作用。确定了问题就确定了求解目标，预设了求解范围和方法。问题是科学认识形成过程的核心。所谓智能实际上就是在一定的知识背景下针对提出的问题而有效地获取信息、处理信息和利用信息来解决问题的一种能力。正是根据这一具有普遍意义的思维活动，人工智能专家西蒙等人编制了一个名为通用问题求解（General Problem Solving）的程序。

从哲学认识论上说，问题就是事物的矛盾。在科学上，由于科学知识包括经验知识和理性知识两个不可分割的部分，而科学认识就是在这二者之间的矛盾运动中发展的，所以科学问题实质上是经验和理性之间的矛盾，它主要包括经验事实之间、经验与理论之间、理论自身、理论与理论之间等方面的矛盾。

经验主义认为，科学的发展过程就是不断的归纳过程，这种观点正确地强调了经验的作用，但“忽略了直觉和演绎思维在精密科学发展中所起的重大作用”^②。波普尔认为，科学应当是从问题到问题的不断进步，从问题到愈来愈深刻的问题，所以，科学只能从问题开始，而不是从经验开始。他正确地指出问题产生于科学理论中出现的矛盾，指出观察是参

参见《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 313 页。

② 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 115 页。

透着理论的，正如爱因斯坦所说的：“是理论决定我们能够观察到的东西。”^①但是波普尔强调科学的发展过程是理性的选择过程，忽视了“实践的检验是任何理论的有效性的一个必不可少的先决条件”^②。

辩证唯物主义认为，人们在实践的基础上，不断地提出问题和解决问题，也就使科学认识不断地发展。在科学研究中如果没有问题，科学也就停滞不前了。所以爱因斯坦说：“提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决问题也许仅仅是一个数学上或实验上的技能而已，而提出新的问题，新的可能性，从新的角度去看待旧的问题，确需要有创造性的想象力，而且标志着科学的真正革命。”^③

“科学认识从问题开始”与“认识来源于实践”并不矛盾，它们实质上是统一的。因为问题也是在实践的基础上提出来的，只是前者突出了问题是认识发展的重要环节，更深刻地表明了科学认识自始至终就是认识主体的能动的、创造性思维活动，这同波普尔的“没有认识主体的认识论”、把科学看成是独立自主的“世界₃”（客观知识世界，包括一切见诸客观物质的精神产品）是有原则区别的。

2. 科学问题的主要来源

第一，为寻求事实之间的联系提出问题。这是由科学事实的系统化而提出的，科学必须揭示经验事实之间的联系，说明它们的共同特征。例如，人们认识到铜能导电、铁能导电、金能导电……于是就产生了这样的问题：“莫非金属都能导电？”又如，人们一次次看到静止物体受外力作用后会运动起来，于是就提出了这样的问题：“物体的运动与作用力是什么关系？”这类问题被称为“经验定律型问题”。对这类问题的肯定回答，就是经验定律的假说。

第二，从理论与事实之间的矛盾中发现问题。科学问题通常是在如何对科学事实给予理论说明或解释时提出的，如果发现了背景知识不能说明或解释的现象，抑或已有理论的预测不符合观测的事实，也就出现了有待解决的疑难问题。例如，牛顿力学理论不能解释水星近日点进动，光的波动理论解释不了光电效应。

第三，从某一个理论内部的矛盾（非自恰性）中发现问题。如果一个理论体系内部在逻辑上存在矛盾，那么就会使得人们对该理论的真

① 《爱因斯坦文集》第1卷 商务印书馆 1976 年版 第 211 页。

参见波普尔：《猜测与反驳》，上海译文出版社 1986 年版 第 316~318 页。

③ 《爱因斯坦文集》第1卷 商务印书馆 1976 年版 第 217 页。

爱因斯坦、英费尔德：《物理学的进化》，上海科学出版社 1962 年版 第 66 页。

理性和适用性产生怀疑，也就会提出问题来。在通常情况下，理论内部的逻辑矛盾不是很容易就能看出来的，需要经过演绎推理才能揭露出来，结果会在演绎推理中证明两个互相矛盾命题的等价性或是从该理论中推出它不能成立的结论。这种理论内部的矛盾在数学中称为“悖论”（如无穷小悖论，康托尔悖论、罗素悖论等），在物理学、天文学等其他学科中称为“佯谬”（如自由落体佯谬、麦克斯韦佯谬、光度佯谬、引力佯谬等）。

第四，从不同理论之间的分歧中发现问题。如果不同的科学理论，在某些方面各自都取得了成功，但是它们之间却存在着矛盾和不一致，那么就会提出问题来。这些不同的理论可以是同一个学科领域的，例如，物理学中的粒子说与波动说、天文学中的地心说与日心说、地质学中的渐变论与灾变论、生物学中的进化论与突变论；也可以是不同学科领域的不同理论，比如热力学第二定律与达尔文进化论所揭示的非生物与生物演化方向上的对立。

第五，从社会需求与已有生产技术手段的差距上发现问题。如果社会现有的生产技术手段满足不了人们的需求，自然就会提出很多问题，其中有一些则会转化为科学问题。这些问题的研究将推动人类科学认识的进程。

二、科学问题的选择

1. 选题的重要意义

自然现象变化多端、丰富多彩，人们可能提出形形色色、各种各样的科学问题。那么，科学工作者应当如何选定科学问题作为自己的研究项目呢？“选题”就是选定一个科学问题来进行研究。科研选题是否得当在研究工作中十分重要，它关系到科研的目标、方法、水平和价值。贝尔纳曾着重指出：“课题的形成和选择，无论作为外部的经济要求，抑或作为科学本身的要求，都是研究工作中最复杂的一个阶段，一般来说，提出课题比解决课题更困难，……所以评价和选择课题，便成了研究战略的起点。^①所以，在科学研究过程中，作为起始阶段的选题更为艰难、更需要具有远见卓识的权衡与决断。

2. 选题的基本原则

选题是在发现科学问题之后进行的，要以对科学问题比较全面、深入的认识和理解为前提。在这个前提下，选题的考虑一般应当遵循以下基

^① 《科学学译文集》科学出版社1981年版第28、29页。

本原则：

(1) 创新性原则

好的选题应当是在现有背景知识中没有解决或没有完全解决的问题，也就是真正有新意的科学问题。为此就需要充分了解前人和他人在相关课题方面的工作，查阅文献资料和进行必要的调研、考察，避免重复别人做过的事情和走过的弯路，吸收别人的先进思想并努力发扬；并应追踪本学科前沿的发展，这样的研究成果才会有创造性，才能提出新的科学概念、发现新的科学定律，产生新的研究方法或是对已有的概念、定律和方法赋予新的理解、找到更好的表述形式、开拓新的应用领域。

(2) 科学性原则

好的选题一定要充分考虑当前的背景知识，一定要有相关的科学事实和科学理论作为依据。不要轻率地把与已经得到实践检验的科学理论相违背的课题作为研究对象，比如“永动机”之类的。也不要把毫无科学事实根据的“伪问题”作为选择对象。科学实践和科学理论是不断发展的，在选题时，一方面要尊重已有的科学成果，但是另一方面更要注意新出现的科学事实对旧理论的挑战，适时调整问题的视角，在科学革命时期，尤其如此。

(3) 可行性原则

好的选题还要认真考虑完成课题的主观条件和客观条件，如研究者的素质、能力、人才结构和研究经费、实验设备、书刊资料、政策环境等，要将这些结合起来加以权衡。选题最好尽可能使研究者思索良久、兴趣浓厚的内容，这样容易扬长避短、发挥优势，更好地激发信心和责任感，有更大的毅力完成研究工作。对于缺乏经验的新手来说，不宜把课题选得很宽、很复杂；否则会不知从何下手，或者难度过大，久攻不克，导致半途而废。

(4) 社会需求原则

对于从社会需求与已有生产技术手段的差距中发现的科学问题来说，选题时还要把握好技术进步与社会经济的需求因素，考虑到科学、技术、经济、社会的内在联系与协调发展。满足社会不断增长的物质和文化需要，应是协调发展的最终目标，但还必须从实际出发，制定一个适应一定阶段的具体目标，并以此规划课题的选择。

需要指出的是，科学问题不同于技术问题，科学虽然有总体发展方向可循，但是在基础理论研究问题上它往往是不可预见的。重大的科学问题，在何时、何地由何人实现哪一个具体课题的突破，一般是很难预料的。科学史上不少重大发现都是科学家自由探索的成果。所以，以上提出的

选题原则，也只是针对科学研究的总体方向而言的，决不意味着要在科学上设立禁区。

三、科学问题的条件和转换

1. 科学问题的条件

科学问题 (problem) 是指科学认识过程中需要回答而在当时的知识背景下又无法解决的矛盾。科学问题的提出是有条件的，与它提出时的知识背景有密切的关系，所以它是时代的产物。由于对背景知识掌握不多、缺乏了解，提出的问题可能是一些常识性的、甚至是无知的问题 (question)。此外，还有一些完全脱离科学背景知识、不可能由人类经验来回答的伪问题，诸如上帝或鬼神问题。也有一些问题，随着科学背景知识的变化发展，在一定条件下会由虚假问题转化为科学问题，比如宇宙与人的起源问题。

在不同的知识背景下，科学问题的意义及解决问题的途径都是不同的。知识背景愈深刻，问题层次愈深入。例如，物质结构的问题在不同时代的深度是大不相同的。正如恩格斯所说：“我们只能在我们时代的条件下进行认识，而且这些条件达到什么程度，我们便认识到什么程度。”^①而随着层次不断深化的科学问题的不断解决，人们的科学认识从事物的现象逐步深入到本质，并不断深入到更深的本质。

科学问题依据对背景知识不同分析，可以分为常规问题和反常问题、事实问题和理论问题等。常规问题是在常规科学时期提出的有待解决的疑难，这种疑难的解决将使已知的理论更加充实、完善和系统化。常规问题可以通过核实纠正观察事实的报告来解决疑难，从事实的描述上给予解决，即作为事实问题处理，比如哥白尼解决恒星周年视差的问题；常规问题也可以通过调整解释事实的理论来解决疑难，对理论解释提出质疑，即作为理论问题处理，比如考虑两个以上相互吸引天体同时运动，而对开普勒定律进行修正的问题。反常问题是在科学革命时期中提出的、已有理论无法解决的疑难问题，反常问题的解决意味着一场科学理论的革命。

2. 科学问题的转换

在解决问题的过程中，有时会困难重重，长期没有进展。在这种时候，如果能从一个新的视角对问题变换一下提法，则有可能使人茅塞顿开。问题的恰当变换常常能开辟新的研究领域，引发新的思路。许多在

^① 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1972年版，第562页。

已有的视野中看不到的联系和想法，在新的视野中一下子变得明朗、清晰起来，即使以前已经认识到的内容也仿佛有了崭新的意义。上述爱因斯坦提到的“从新的角度去看待旧的问题”就是在强调问题转换的重要性。

问题的转换可以有多种不同的角度，而在科学方法论中，常规问题与反常问题之间的转换，事实问题与理论问题之间的转换，常常具有重要的意义。比如，“以太漂移”问题，在洛仑兹那里是被当做常规问题考虑的，所以终究未能跳出经典理论的制约。而在爱因斯坦那里，一旦被当做反常问题考虑，狭义相对论就应运而生了。再比如，在考夫曼（W. Kaufmann, 1871—1947）的实验中“高速电子质量为什么不变”的问题在彭加勒那里是被当做理论问题对待的，由此他怀疑相对论的正确性。但在爱因斯坦那里，则被看做事实问题，果然其他人后来的实验揭示出考夫曼的实验装置有毛病。

从变换思路方面来考察，问题转换可以是逆向转换、互补转换、发散转换和立体转换等。所谓“问题逆向转换”是将问题从否定的角度提出来，例如波义耳（R. Boyle, 1627—1691）把“如何使贱金属变成贵金属”这样的古代炼金术问题变成了“能使贱金属变成贵金属吗”这样的科学问题，从而建立起元素论化学。所谓“问题互补转换”是将问题的两个对立方面统一地提出来，比如爱因斯坦把“光是波还是粒子”的问题变成了“光不能既是粒子又是波吗？”从而创立了光的波粒二象性理论。所谓“问题发散转换”是将问题的提法拓展开去，多角度的发问，比如，克瑞斯汀·爱杰克曼（Christian Eijkman, 1858—1930）把“脚气病是由哪些细菌引起的”问题变成了“为什么食用精白米的人容易得脚气病？”从而为后人发现维生素奠定了基础。所谓“问题立体转换”是将问题的平面思考与立体思考结合起来，比如，罗巴切夫斯基（N. I. Lobachevsky, 1792—1856）和黎曼（G. F. B. Riemann, 1826—1866）把欧几里得几何中的平行公设问题放在不同的曲面中来考虑，终于创立了非欧几何理论。

第二节 科学事实的获取

一、观察与实验是获取科学事实的基本方法

科学研究的目的之一是建立各种科学事实之间的联系，通过这种联系使我们能够根据那些已经认识的科学事实去预见以后发生的事实，这样才能发挥科学的解释力与预见力的功能。而科学事实的获取主要是通过观察与实验，因此要获得可靠的、准确的科学事实，必须了解观察与实

验的特点与功能。

1. 科学观察的特点和功能

科学观察是人们有目的、有计划地利用自己的感官认识和描述各种自然现象，获取经验知识的基本手段。它与人们日常的活动相区别，不是盲目、随意的，而是从一定的问题出发有目的、有计划地进行的。与理论思维方法不同，科学观察不是通过演绎、类比等抽象过程，而是依赖感官以及观测仪器直接认识外部世界，记录和报道事实。

科学观察属于实践活动，在科学认识过程中，它既是接收外部信息、获取经验事实的基本方法，又是检验理论认识的基本手段。因此科学的研究对象及其理论、科学假说的推论都应具有客观性。

观察是主体和客体相互作用的过程，是主体在一定的条件下，通过感官从被观察对象那里获得感觉映像，形成经验，最后得出观察陈述的过程。这一过程中的每一环节，都存在着可能导致观察错误的因素。排除这些因素是增强观察能力，提高观察陈述可靠程度的重要条件。

观察并非消极的、被动的注视，而是积极的、能动的反映。科学的观察通常都要以理论为指导；观察目的的确定、手段的改进、对象和环境的选择，都有赖于理论；同时观察者还需要有相应的知识储备和理论修养。

2. 科学观察的基本原则

为了保证所获得的经验事实是可靠的，在进行观察时必须遵循认识论的基本原则：第一，坚持观察的客观性。要求实事求是地对事物进行周密的系统的观察和分析，“考察的客观性（不是实例，不是枝节之论，而是自在之物本身）^①。第二，坚持观察对象的全面性。“要真正地认识事物，就必须把握住、研究清楚它的一切方面、一切联系和‘中介’。我们永远也不会完全地做到这一点，但是，全面性这一要求可以使我们防止犯错误和防止僵化。”^②上述原则具体化为一系列要求，例如：排除感官产生的错觉；排除先入之见；注意每一个细节；注意新的现象；使观察具有可重复性；及时作出准确的记录等。

3. 科学实验的特点和功能

科学实验是人们根据研究的目的，利用科学仪器、设备，人为地控制或模拟自然现象，排除干扰，突出主要因素，在有利的条件下获得科学事实的方法。科学实验是获取科学事实和检验科学假说、科学理论的基本

^① 《列宁全集》第 55 卷 人民出版社 1990 年版 第 190 页。

^② 《列宁全集》第 40 卷 人民出版社 1986 年版 第 291 页。

手段，这是科学认识不同于其他认识的根本特征，所以马克思说：“科学是实验的科学”^①。

科学实验在认识过程中具有特殊的作用：第一，可以简化复杂的现象。自然现象是复杂的，由于各种因素互相交织，往往把现象背后的本质遮盖起来，应用实验方法，借助于科学仪器、设备所创造的条件，排除自然过程中各种偶然的、次要的因素的干扰，使我们能够深入地认识自然过程的规律性，正如马克思指出的：“物理学家是在自然过程表现得最确实、最少受干扰的地方考察自然过程的，或者，如有可能，是在保证过程以其纯粹形态进行的条件下从事实验的。”^②第二，可以使实验对象处于强化的条件。科学实验可以造成自然界中无法直接控制而在生产过程中又难以实现的特殊条件例如在超高温、超低温、超高压、超强磁场、高真空等条件下，能够观察到在地球表面的自然状态下一些材料所没有的性质（超导性、超流性、抗磁性等）。第三，运用实验方法发现自然规律和寻求新的技术方法、技术手段是可靠的和经济的。从实践到认识，又从认识回到实践的过程是曲折的、复杂的，往往要经过许多次的失败才能成功。由于科学实践的规模和范围比生产实践小得多，并且是经过调查研究、实验设计，在精密的仪器的帮助下进行的，因而可以用较少的代价获得较大、较可靠的成果。

二、模拟实验中模型方法的应用

科学实验是随着科学与技术的发展而不断发展的，表现在实验手段和实验设备的不断改进，实验类型和方法的不断创新上。在当代科学的进程中，模拟方法发挥着越来越大的作用。

1. 模拟方法的重要意义

模拟方法的哲学基础是辩证唯物主义关于物质世界统一性的原理。自然界一方面存在着千差万别的事物，另一方面同一性存在于差异性之中，形形色色的事物之间存在着性质、数量、功能、结构等方面的相同性。在科学研究中把现实的对象叫做“原型”，而把原型的相似替代物叫做“模型”，模拟方法就是以模型与原型之间存在相似性为基础揭示了模型与原型（实物）的相似关系，体现了认识主体的主观能动性。

由于科学研究的对象受到各种客观条件的限制，所以往往不能直接运用实验手段作用于对象自身（原型），这是由于下列的情况：第一，时过

《马克思恩格斯全集》第2卷 人民出版社 1957年版 第163页。

② 《马克思恩格斯全集》第23卷，人民出版社 1972年版 第8页。

境迁，原型无法再现。例如，地球上原始生命的起源，宇宙大爆炸的初始状况等。第二，涉及的范围广大，变化过程漫长或变幻莫测。例如，地球气象的变化，全球水域洋流的运动等。第三，耗费巨大，代价太高。例如，水库大坝的坍塌条件，飞机的速度界限等。第四，涉及人的性命，须要慎之又慎。比如，药物的疗效，器官移植反应等。第五，当代科学的发展不断向微观领域和宇观领域进军，在这些领域的研究对象面前，现有的实验观测手段暂时还无能为力。在上述情况下人们不得不力求找到或设计一个与原型相似的替代物（模型），通过模型来认识原型。运用模拟方法对模型进行的实验研究就称之为模拟实验。

2. 模拟实验中的实物模型

实物模型是以自然界原有的，或人工制造的材料，应用模拟方法设计出与原型相似的模型。依据模型与原型之间相似关系的特点，可以分为物理模型、化学模型、生物模型和功能模型等。前三者分别是以模型与原型之间物理、化学或生物性质的相似为基础的，通过模型来认识原型的物理、化学或生物运动过程，对应的是物理模拟实验观察、化学模拟实验观察或生物模拟实验观察。功能模型是以控制论为理论基础、以模型与原型之间功能相似为目标的，对应的是功能模拟实验观察。

3. 模拟实验中的数学模型

思想模型是运用科学思维揭示出对象（原型）的内在本质或必然联系，发挥想象力在思想中构思出与对象相似的模型。数学模型是最重要的思想模型，它是对研究对象的数量关系、逻辑关系与空间形式的模拟。数学模型表现为一个或一组数学方程、一个或一组函数、一些几何图形和逻辑关系。例如，考察地下水的运动情况，可以用一套相应的电路实验装置来代替，依据的是后者的电流场与前者的渗流场都遵循类似的拉普拉斯数学方程。地下水的运动是人们无法直接观察的，有了电路实验装置的形式模型，就可以进行模拟实验观察了。由于数学模型是高度概括的，它舍弃了许多次要的因素，因而根据数学模型作出的解释与预言总是和实际现象有一定的误差。

4. 计算机仿真模型

数学模型多数要依赖电子计算机来求解，因而它常常被计算机仿真模型取而代之。仿真模型将原型的数学模型转变成能在计算机上运行的仿真模型；编出仿真程序，运行仿真模型进行实验观察；分析实验结果，对原型作出评价。仿真模型的内容由数学模型决定，但通过运行仿真模型发现数学模型的错误时，也可修改数学模型，它们两者是互动的。

应用计算机仿真模型进行模拟实验，也被称作系统仿真，具有经济性、安全性、灵活性、可预测性等明显的优点，在科学研究中日益受到人们的青睐。有时，在计算机仿真模型中也可以加入实物模型，称之为“半数学仿真”模拟实验观察。

三、观察实验中重要的认识论问题

1. 观察与理论的关系

以培根为代表的古典归纳主义者认为，理论依赖于观察，而观察却独立于理论，不受理论的制约。现代逻辑经验主义者认为，观察层次处于科学知识结构的底层，理论层次处于科学知识结构的上层，理论层次寄生在观察层次上，观察层次则不受任何理论的影响。而波普尔、汉森（N. Hanson）、库恩等人则持不同观点，明确提出了“观察渗透理论”的观点。深入的研究表明，后者的见解是合理的。

显然，观察需要使观察对象与观察者的感官发生相互作用，并产生感觉图像。但是，观察却并不就等于感官的感觉图像。观察固然要有一定的生理基础，可是要使人的认识得以发生，还必须对感官获得的感觉图像加以组织或联系，即按一定的样式把感觉图像组成有序状态。这样，才能确定观察的对象是什么，才能做出观察报告（经验事实材料）。所以，观察是属于认识领域的范畴，不单纯是生理活动的过程。这就决定了观察要受到观察者已有的经验和所掌握的理论的影响，即观察渗透理论。

理论对观察的影响还表现在，人们观察时的注意力与理论有极大的关系。科学观察是有目的、有选择的，观察什么、详略如何，都与研究的问题有关，与观察者的理论素养有关。理论素养不同的人对观察结果的描述也会不同，他们各自在陈述自己观察的事实时所使用的术语不同。正如不运用概念就不能作出判断一样，不用术语就无法陈述观察的结果，而又没有哪个术语是与理论绝缘的。人们不是用这个理论系统的术语，就是用那个理论系统的术语来陈述观察的事实。

所以，科学观察过程并非单纯的感性活动，它处处表现出科学理论的影响。爱因斯坦也曾明确指出：“是理论决定我们能够观察到的东西……只有理论，即只有关于自然规律的知识，才能使我们从感觉印象推理出基本现象”。^①

需要指出的是，“观察渗透理论”并没有取消观察的客观性，科学观

^① 《爱因斯坦文集》第1卷 商务印书馆 1976年版 第211页。

察能够反映观察对象的本来面貌，是客观性与主观能动性的统一。观察的客观性是由观察对象——物质世界的客观实在性所决定的。尽管观察是一个复杂的认识过程，它的客观性仍然可以从以下几个方面得到保证：第一，在标准条件下，观察者所得到的感觉图像（或观察数据）是能够重演的，当然要排除观察者主观意愿的歪曲；第二，观察中渗透的理论要经过实践的检验；第三，观察中使用的仪器设备和方法手段，是符合科学理论原理的。

2. 微观领域中仪器的影响问题

在微观领域中，实验仪器对微观客体状态的影响（“干扰”）很大，与宏观测量时的情况有了明显区别。那么，对微观客体的观察是否还具有客观性呢？回答是肯定的。因为，仪器对观察对象的影响，在宏观领域与微观领域都是存在的，在对客观性的影响方面并没有原则的差异。就拿量子力学中的“不确定性原理”来说，它也没有否定观察的客观性。因为微观粒子本来就不同时具有精确的位置和动量，所以在测量中才不能同时精确地测定粒子的位置和动量，这不正说明了观察的客观性在微观领域也是成立的吗？所以，在微观领域实验观察仍是主客观相统一的过程。

3. 观察实验中的偶然性

科学观察是有的放矢的，而且与理论密切相关，因而在某种意义上可以说，人们可以预料到观察结果。但是，科学认识探索性很强，观察实验中常常又会发生意外情况，带有偶然性，这也是必须重视的。

在偶然和意外的机会里，观察到新的现象，往往导致科学问题的解决，这就是机遇观察。按照与科学问题关系的不同，机遇观察可以分为：第一，期望型。与研究问题有关，促成了问题的解决，如 1839 年美国的古特依 (Goodyear) 发明橡胶的硫化技术。第二，意外型。与观察者正在研究的问题无直接关系，但与其他科学问题有联系，如 1913 年英国冶金学家亨利·布里利发明不锈钢。第三，线索型。提供了新问题的线索，如伽利略发明望远镜、弗来明发现青霉素、伦琴发现 X 射线等。

机遇观察的合理性在于客观世界本身就是必然性与偶然性的对立统一。因此，观察者能否抓住这些新现象，在很大的程度上就取决于他对这种辩证关系的理解和自觉性的高低，能否在注意预期现象的同时又保持对意外现象的警觉性，能否有开放的思路、好奇善疑和穷追不舍的探索精神。此外，还要求观察者具备一定的背景知识，如巴斯德所说：“在观察的领域里，机遇只偏爱那种有准备的头脑”。^①

转引自贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社 1979 年版，第 165 页。

第三节 科学假说的形成

一、假说的形成与科学问题的解答

科学假说的形成同要回答的科学问题分不开，所以，阐明怎样提出假说、提出什么假说，首先必须明确所要回答的问题，就是说必须对问题进行深入的分析。

1. 分析科学问题的方法

科学问题是十分复杂的，为了明确问题之所在，首先要对它进行分析。一般是：第一步把复杂问题分解为简单问题（把一个复杂问题划分为相互关联的若干子问题）；第二步按次序从简单问题上升到复杂问题，寻找解决问题的途径和关系网络，这也就是笛卡儿提出的方法论原则的现代发展形式。^①按照分析结果的不同，复杂问题可以分为并列式和链条式两大类。并列式复杂问题是指由它所分解出来的深一层次的若干子问题，是各自独立的，相互之间没有隶属关系。而链条式复杂问题是指由它所分解出的若干子问题，并不处在同一层次上，而是像链条一样，一环扣一环，逐层展开。

科学研究的问题实质上是已知与未知的矛盾，经过恰当的分析，已知和未知相对清晰地分离开来，它们以较为明显的多种方式相互联系着。于是，从已知到未知中所涉及的事实、理论和方法的缺欠或空白，就更为明确无误地呈现出来，构成了有合理结构和层次的问题网络。分析问题就是要得到这样的问题网络，使问题细化和层次化。

还需指出，在解决科学问题的过程中可能引申出新的问题，即派生问题，从而引起对相关派生问题的研究。尤其是在科学革命时期，反常问题的突破常常会导致一系列新问题解决的可能性，引发科学上的“链式反应”。

2. 假说形成的基本条件

对科学问题网络的梳理和考察，将产生对科学问题的解答，提出相应的科学假说，它是科学思想的创新，是可能成立的科学理论，因此，从继承与创新的关系，从经验与理论的关系来看，假说的提出需要满足以下基本条件：

参见北京大学哲学系外国哲学史教研室编译：《十六—十八世纪西欧各国哲学》，生活·读书·新知三联书店 1958 年版，第 110 页。

（1）一致对应性

在常规科学时期，提出的假说应当与经过实践检验的理论相互支持（一致性）；在科学革命时期，新的假说是向传统理论的挑战，但同时它还应当继承已有理论中的合理内容，能将已有理论作为特例或极限状况（对应性），比如量子力学和狭义相对论。

（2）可解释性

假说的提出是以经验事实为依据的、对科学问题的解释。因而假说要尽可能解释已有的科学事实。但是应该指出，新理论产生时往往存在个别“异例”或“反例”，比如，日心说和门捷列夫周期律在开始提出来的时候就是如此。所以恩格斯深刻地指出：新的假说，新的说明方式“最初仅仅以有限数量的事实和观察为基础。进一步的观察材料会使这些假说纯化，取消一些，修正一些，直到最后纯粹地构成定律。如果要等待构成定律的材料纯粹化起来，那么这就是在此以前要把运用思维的研究停下来，而定律也就永远不会出现。”^①

（3）可预测性

假说的提出不仅可以解释已知的事实，更重要的是它还可以对未知的或对未来的事实作出推论。例如，大爆炸宇宙论、大陆漂移说、广义相对论等。但是，由于实践检验的历史局限性，由假说推出的论断虽然原则上是可检验的，不过当时无法完成，要等待条件具备时才行。这就是说，假说预测的未知事实应当可以检验，但又不要受当时检验技术水平的限制。

二、经验定律型假说的形成方法

1. 经验定律型假说的特点及类型

人们对科学事实的描述或记录构成了经验知识的内容。经验知识是单一现象的描述，是零乱的、混杂的，只有经验定律才使相关的经验知识得以系统化而构成有机的整体，并且能够说明相关的科学事实，使人们对科学事实的认识更全面、更正确。比如，在门捷列夫之前，已经了解到不少化学元素的原子量和它们的一些化学性质，这些都是零散的经验知识；而当门捷列夫发现元素周期律以后，相关的科学事实就被系统化地联系在一起，不仅能够说明一定原子量的元素的化学性质，而且还预言并修正了当时有人通过实验测得的铍、钛、钪、铀等元素的原子量。

因此，从这样的意义上说，经验定律才真正为人们提供了科学事实，

^① 《马克思恩格斯全集》第20卷 人民出版社1971年版 第584页。

名副其实地构成科学的基础。换言之，只有当建立在科学实践基础上的经验知识的描述概括成为经验定律的表述时，才奠定了科学的基础。因此，如何从经验知识向经验定律过渡，就成为科学研究的重要组成部分。

不过，经验定律在理论知识的系统中处于低层次的地位，它描述的是事物表面的、可以看见的运动规律，它虽然揭示了现象之间某种联系的普遍性，说明了某类现象的共同特征，但并不能理解这种普遍性，可以说是“知其然而不知其所以然”。例如，自由落体定律是一条经验定律，它说明了自由落体下落的距离与下落时间之间这种联系的普遍性。但是，何以如此呢？它并未予以解释。当然，经验定律还可以根据认识的普遍性或深刻性的不同水平，分为不同的层次。例如，万有引力定律的层次就要高于开普勒行星运动三定律，因为后者能从前者推演出来，前者更具普遍性。

经验定律的一个特征是：它采用描述性的语词（具体的科学概念），这些概念有一些可以确定的性质是可以直接通过观察或实验程序来测量的（观察概念），从而判定其内涵或意义。因此，经验定律必定包含直接可观察或测量的经验内容，这些内容原则上可通过观察或实验程序所获得的经验证据来加以确定。

经验定律的另一个特征是：它是相对稳定的。每个经验定律一旦成为科学的基础，就成为比较牢靠的组成部分。只要它所反映的相关现象继续存在，经验定律也就依然起着作用。这就保证了科学在原理定律发生变革的情况下，仍旧有着相当坚实的实践基础，理论定律的发展也才得以进行。比如，自由落体定律这个经验定律就是相对稳定的，伽利略时代是这样，几百年后恐怕还是如此。如果经验定律经常会变，那么发现这样的规律也就失去了意义，更没有必要研究何以如此的理由了。

经验定律按照它概括现象的内容差异可以分为性质描述型和关系描述型两类。性质型经验定律是对某类现象共同性质和特征的普遍化描述，是对已有经验知识的总结和推广。例如，描述液体表面张力的经验定律。关系型经验定律则是对两类现象或若干类现象之间因果关系的普遍化描述。例如，波义耳－马略特气体定律。

以上提到的经验定律都是确定的、非统计性的，它们是对自然界必然事件的描述。还有的经验定律是统计性的，是对大量随机现象的整体概括。每一随机现象的发生是不确定的，但是大量随机现象的整体可以表现出相对稳定的规律性来。例如，麦克斯韦速率分布定律就是如此。

2. 经验定律型假说是概括的成果

经验定律型假说是对某类现象共同性质和特征的普遍化描述或是对

若干类现象之间因果关系的普遍化描述，因此它是由特定的、较小范围的认识，扩展到普遍的、较大范围的认识。而概括就是由个别到一般的认识方法，是追求普遍性认识的方法。经验定律型假说的概括通常以经验概括（偶适概括）开始，完成于与演绎方式结合的定律概括。

经验概括是以不完全归纳方式进行的，它从有限的科学事实出发，上升到普遍性的认识。经验概括不是某种“先入之见”的猜测。例如，“所有的重物都会自由下落”，就是从一件件重物自由下落的事实得到的假说。但这仅是从现象上来外推的，还没有摆脱认识的表面性，所以往往可能是偶适概括，而不是定律概括。经验材料的不完备性所带来的“归纳问题”是很难回避的疑难，如何解决呢？要通过理论演绎。

定律概括是指在经验概括的基础上，通过与理论的演绎结果相结合，从而判定现象间联系的必然性，即达到对现象间的规律性认识。这就是说，经验概括的全称命题，应当与更高层次的科学理论发生演绎推理的关系，也就是说，被纳入一个理论演绎系统之中。这样，该经验概括就不仅得到已有科学事实的支持，而且还得到了理论的支持，才有资格成为定律概括。例如，“所有的重物都会自由下落”，能从万有引力定律演绎出来时，就成为定律概括了。

3. 数理统计方法在概括中的应用

有些经验定律是统计性的，是对大量随机现象的整体概括。这类经验定律型假说的提出，主要应用统计概括的方法，即在经验概括阶段要运用数理统计的方法，才能得到概率命题式的结论。如奥地利遗传学家孟德尔（G. J. Mendel, 1822—1884）的遗传定律。如果无视统计概括方法的重要性，那将不可能形成这样的经验定律型假说。孟德尔所以超越他同时代人半个世纪之遥，这是一个主要原因。当然，应用统计概括方法提出的经验定律型假说也可能是偶适概括，也需要与科学理论结合起来进行考察。

德国哲学家赖欣巴赫（Hans Reichenbach, 1891—1953）说过：“知识的本质是概括。……发现的艺术就是正确概括的艺术。”^①这话对于经验定律型假说的形成是基本适用的。然而，对于原理定律型假说的形成就无能为力了。

三、原理定律型假说的形成——溯因方法（猜想、试错）

1. 原理定律型假说的特点

赖欣巴赫：《科学哲学的兴起》，商务印书馆 1983 年版 第 9 页。

原理定律由于其自身的高度抽象性、深刻性而处于科学定律的高层次地位，与经验定律相比，它更深刻地揭示了现象的本质、联系及其发展规律。在科学领域，经验定律形成后随即就带来了如何解释这些经验定律的问题。例如，波义耳－马略特气体定律是个经验定律，但是随之而来又会引起“为什么气体体积与其所受压强之间成反比？”这样的问题，这类性质的问题都是“为什么”的问题，对这些问题的解答将提出原理定律。原理定律寻求的是对经验定律的解释，是对经验定律概括的该类现象提供更为深刻、更为精确的见解，不仅要“知其然”而且要“知其所以然”。因此，原理定律被认为是科学知识体系中最重要的一部分，被誉为“科学的皇冠”，它们的发现被认为是科学发现中最核心的内容。

原理定律怎样来达到这一目的呢？马克思在《资本论》中指出：理论的任务是“把可以看见的，仅仅是表面的运动归结为内部的现实的运动”^①。它将五光十色的现象理解为隐藏在其内部的某些现实物质的运动过程的表现并试图揭示这些物质的运动所遵循的规律。这些内部的物质运动并不是由现象所直接提供的，而是猜测出来的，假定它们受某种原理定律所支配，然后借助于这些原理定律来导出和解释已经发现的经验定律，并且通常还能预见出相关领域的新的经验定律。这样，就对所研究的那一类现象提供了更为深入的、往往也是更为精确的理解。并且由此就可以把猜测到的内部的某些现实物质的运动看做是隐藏在现象背后的支配因素（也可以称作“本质”），而现象只不过是它们的外部表现罢了。例如，气体分子运动论对波义耳－马略特气体定律的解释就是如此。该理论把气体内部想象为由大量类似弹性小球（服从牛顿力学定律）的分子所构成，所有分子都在无规则地不停运动，它们时而与容器壁发生碰撞，使容器壁受到一个连续而均匀的压力。这样就可以推演出单位体积内的分子数与气体所受压强成正比的结论，而前者又是与全部气体体积成反比的，所以气体体积与其所受压强成反比得到解释。

与经验定律的另一个区别是，原理定律采用的是非描述性的语词（非具体的科学概念）这些概念越来越远离经验，是“思维的自由创造”，没有可以确定的性质或意义能够通过观察或实验程序来测量（理论概念）。它们所描述的“内部的现实的运动”不能被直接观察到，而且有时是借助数学符号和公式来表达的。因此，原理定律不包含直接可观察或测量的经验内容，不能被直接检验。

原理定律相比于经验定律，还具有变动性大的特点。这是因为原

^① 《资本论》第1卷 人民出版社1975年版 第340页。

理定律是对经验定律的解释，是对不可直接观察的、隐藏在事物内部的某些现实物质运动过程的描述，于是只能在经验定律的基础上，发挥思维的能动性，展开大胆的猜测和想象。不同的人，自然会有不同的构思，随着科学的发展和人们认识的深入，猜测和想象的内容也会有很大变动。例如，氢原子光谱的经验定律被发现以后，一直具有相对稳定的内容。氢原子的特征光谱以及并合原则的存在，反映了氢原子内部结构的规律性，这就必然导致对原子内部结构的探索。但是，关于氢原子内部结构的理论却几经更迭、不断修改和完善，经历了“有核模型”——“定态跃迁”——“公共质心”——“椭圆轨道”——“相对论修正”——“电子自旋”等几个阶段。

经验定律与原理定律的认识层次是不同的。经验定律能够说明相关的科学事实，原理定律能够解释经验定律，从而对经验定律概括的该类科学事实提供更为深刻、更为精确的理解并指出经验定律起作用的条件和它们的近似状况。经验定律直接与可观察现象相联系，而原理定律是与经验定律相联系。原理定律所揭示的现象的本质比经验定律所描述的要深刻得多，因而涵盖的领域也就更普遍得多，适应的范围广泛得多。原理定律能解释的经验定律越广，能解释的经验定律差别越大，原理定律就越深刻而普遍。例如，牛顿的万有引力理论不仅能解释自由落体定律，而且能解释开普勒的行星运动三定律、单摆运动定律和潮汐运动定律等，把地面物体的运动和天体的运动统一起来。

原理定律按照它解释经验定律的不同特点可以分为构造性原理定律和分析性原理定律两类。这一划分方法是受到爱因斯坦思想的启发。爱因斯坦曾把物理学中的理论区分为两类：构造性理论和原理性理论，前者是“从比较简单的形式体系出发，并以此为材料，对比较复杂的现象构造出一幅图像”^①前面提到的气体分子运动论就是一个例子后者使用的是分析方法，而不是综合方法。形成它们的基础和出发点的元素，不是用假说构造出来的，而是在经验中发现到的，它们是自然过程的普遍特征，即原理，这些原理给出了各个过程或者它们的理论表述所必须满足的数学形式的判据”^②。热力学、相对论等理论中的原理就是这样的例子。爱因斯坦的这种区分虽然是针对物理学的，但从原理定律的划分来看具有普遍意义。

原理定律还可以按照它与经验定律联系的不同程度分为内部原理和

① 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第109页。

② 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第110页。

桥接原理。在内部原理中有一类被称作基本原理，那是一些内部原理中（当然也是原理定律中）最高层次的原理。比如相对论中的光速不变原理、相对性原理和等效原理等。桥接原理在原理定律中处于最低层次，介于原理定律与经验定律之间。在基本原理与桥接原理之间还可以有不同层次的原理定律。正因为桥接原理是介于原理定律与经验定律之间的，所以它既包含非描述性语词（理论概念）又使用描述性语词（观察概念），并且将两方面联系起来。例如，气体分子运动论中的气体压强公式就可以称作桥接原理，它找到了宏观的气体压强与微观的气体分子密度、平均平动能之间的统计规律。正因为如此，桥接原理执行着解释经验定律和预见科学事实的功能。气体压强公式就可以解释波义耳 - 马略特气体定律，从气体内部的分子运动来阐明为什么气体压强和气体体积成反比。再比如，从化学元素周期律可以预见新元素的存在。

2. 溯因方法与科学猜想

原理定律型假说试图揭示事物深层的运行机制，将事物表面的运动归结为“内部的现实的运动”。显然，这是不可能观察出来的，不可能通过任何经验认识的方法而获得，也就不可能用概括方法来发现；它们只能被设想、被猜测，它们必定是似然的、合乎情理的可能机制。例如，波义耳 - 马略特气体定律的深层含义是由气体分子运动论揭示出来的，后者是“原因”，前者是结果，后者是为了解释前者而设想、猜测出来的。可见，原理定律型假说的提出是个由结果回溯原因的过程，其基本模式为：(1) 相关的经验定律 L ；(2) 如果 H （设定的原理定律型假说）为真，则 L 可被解释；(3) 所以有理由认为 H 为真。

所谓“解释”就是由原理型假说为经验定律提供因果机制（“内部的现实的运动”）的描述，以使人们理解为什么如同经验定律所表明的那样，在一定的条件下可能产生期望的效应。在上面的案例中，波义耳 - 马略特气体定律这个经验定律就相当于 L ，气体分子运动论则相当于 H 。

那么，通过溯因过程何以能够猜测出因果机制呢？这不仅与科学家的个人因素及其所属的科学共同体的团体因素有关，而且与一定时代的背景知识有关。为了寻求因果机制，人们要善于思考，但是这种思考不是凭空臆造、胡思乱想，而是在前人所达到的科学知识基础上的创造。即使猜测出的原理定律型假说与背景知识的某些内容截然相反，它的提出者对背景知识也必须很熟悉并认真地加以研究过。任何合理的猜测都离不开一定的背景知识，总是植根于一定时代的科学知识的土壤，并在此基础上提出一个对经验定律作出解释的原理定律，这是科学猜测不同于非科学猜测的根本所在。

正因为“内部的现实的运动”是猜测到的，所以想象力在理论原理的提出过程中就起着主要作用。爱因斯坦说过：“想象力比知识更重要，因为知识是有限的，而想象力概括着世界上的一切，推动着进步，并且是知识进化的源泉。”^①列宁也曾指出：“即使在最简单的概括中，在最基本的一般观念（一般‘桌子’）中，都有一定成分的幻想。”^②想象力是创造性思维不可缺少的基本素质，它能帮助人们透过那些能被感知的经验事实材料去把握、探求自然现象运动的内部机制。

当然，想象并没有一定成功的把握，也可能一而再、再而三地化成泡影，还得从头开始。那么，如何才能比较顺利地猜测呢？有没有较好的方法呢？回答是肯定的。想象，这种创造性的思维活动并非应当像脱缰的野马，不必驾驭，不管方向，恣意驰骋，而是应当运用一定方法，遵循一些合理性原则，才能实现科学猜测的任务。理论模型方法就是其中十分重要的内容。

3. 理论模型的应用

理论模型是一种思想模型，是在一定的经验认识的基础上，经过分析、抽象、综合、想象、类比等复杂的思维加工而得到的，它们采取的是概念、判断、符号、图表、公式、方程等表现形式。思想模型不同，抽象的程度也不一样。

理论模型在猜测原理定律型假说的溯因过程中是怎样发挥重要作用的呢？因为对欲求的被研究对象的因果机制知之甚少，所以猜测只好从与研究对象相类似的已知对象的思想模型入手来加以想象，这样想象出来的关于未知因果机制的摹本和蓝图就是理论模型。理论原理就是在理论模型的建构过程中逐步明确和完善的。在理论原理的探索中，人们通过研究模型来间接认识未知的因果机制，这就是模型方法。通过模型，因果机制的研究得以符合逻辑地进行；通过模型，对经验定律提供解释的因果机制得到描述；通过模型的修改、更替，对因果机制的认识不断扩展与完善。

思考题

1. 科学问题在科学研究中的地位和作用如何？
2. 如何理解观察与实验是主观与客观相统一的过程？
3. 科学假说形成的主要途径是怎样的？

《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第284页。

② 《列宁全集》第55卷，人民出版社1990年版，第421页。

第六章 科学理论的创立

本章从创造性思维的角度，论述创立科学理论的思维过程、思维方法与思维形态，并阐明在这个过程中所使用的语言。

第一节 创立理论的思维过程

在科学理论创立的过程中，科学问题的提出，科学事实的获取，科学定律的发现，都是知识创新的过程。在这个过程中如何从经验上升到基本概念与基本假设的问题，规范的科学哲学家并没有深入研究，他们只是用概率论方法测定基本假设的经验支持度。实证的科学哲学家在总结概括自己的科学研究经验的基础上，一方面指出从经验上升到基本概念与基本假设是“没有逻辑通道”的，另一方面他们深入地研究了这个问题的整个思维过程，把它划分为若干阶段，并指出其中提出基本概念与基本假设的阶段必须运用直觉、灵感与想象力等思维形式。这就表明，新理论中基本概念与基本假设的形成与提出，是科学家“头脑的一种自由创造。”^①

19世纪末，新的科学理论层出不穷，研究新理论是如何创立的关系到科学的发展，赫姆霍兹（H. V. Helmholtz, 1821—1894）、彭加勒、阿达玛（J. S. Hadamard, 1865—1963）等著名科学家根据他们自己进行科学研究的经验，总结出创立新理论的整个思维过程，即从提出问题、解决问题到新理论的证明和检验的全过程。他们的研究经过后人的发展，把创造性思维过程概括为如下四个阶段：

第一 准备阶段——问题的提出。从提出问题开始，问题的深度决定科研活动是否具有创造性。研究者针对提出的问题，首先进行周密的调查研究，搜集与问题有关的研究成果，然后用已有的理论进行分析，主要用比较、分析、综合、概括、演绎、归纳等思维方法。这时候对问题的探索充满着热切的期望，是一种对问题可望而不可即的境界，这种境界可用“昨夜西风凋碧树。独上高楼，望尽天涯路。”来描述，是有意识地积累相关背景知识（主要是基础理论、专业理论和相关学科的理论以及有关的事实根据）的阶段。

^① 《爱因斯坦文集》第1卷 商务印书馆 1976年版 第342页。

第二，酝酿阶段——问题的求解。针对问题，根据已有的理论和搜集到的事实，提出各种可能的解决方案（也就是科学探索过程中的假说），并对所提方案作出评价。这实际上是试错过程，它往往要经过多次甚至无数次的失败，从而促使问题中的矛盾愈来愈尖锐化。在“山穷水尽”的情况下，研究者仍然日思夜想，进入“如醉如痴”的境界，对于这种状态著名学者王国维称之为“古今之成大事业、大学问者，必经过三种之境界”的第二境，并借用“衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴。”来描绘历尽艰辛但毫不悔恨的境界。这是有意识和无意识交替作用的阶段。

第三，豁然阶段——问题的突破。解决问题的方案（假说）是在这个阶段形成的，这是创造性思维过程的关键阶段，在这个阶段上突破陈旧的观念，摆脱思维定势的束缚，创造性地提出新观念、新思想、新方法，是决定性的环节。新观念、新假说提出时开始只是思想的闪光，或者是模糊不清的，或者是带有错误的成分的，必须经过进一步的整理、修改和完善的逻辑加工过程才能形成。应该指出，新方案的产生时间往往很短，甚至只是一瞬间，而逻辑加工的过程却需要很长的时间，只有经过逻辑加工，对问题的解决方案才能豁然开朗，才能成为可以检验、评价的方案。真是“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在灯火阑珊处。”这是第三境界，它象征历尽千辛万苦，突然发现成功就在眼前，问题的答案赫然出现，这就是顿悟。这个阶段也是有意识和无意识交替作用的阶段。

第四 验证阶段——问题成果的证明和检验。解决问题的方案是否能成功、是否有价值，只有经过检验、评价才能确定。这个阶段主要是设计、安排实验与观察，检验由新假说推演出来的新结论是否正确。在检验新假说时，新的实验与观察的执行人可以不同，时间的长短也有差别，检验的结果可以是新方案的证实或证伪，或一部分被证实一部分被证伪。这一阶段基本上是常规思维，是有意识地进行的。

爱因斯坦创立狭义相对论的过程是创造性思维的过程，以此为例可以清楚地看到这四个阶段：

首先是问题的提出。爱因斯坦 16 岁(1895) 时无意中想到：如果我以真空中的光速追随一条光线运动，那么会出现悖论。这个问题当时是朦胧的、不十分清楚的。1900 年前后，他用了约一年的时间尝试在传统观念的框架内（承认以太存在）解决这个矛盾，但却毫无结果。1902 年至 1905 年期间，他和几个科学家共同阅读和讨论科学与哲学问题，不仅熟悉了当时物理学前沿的情况，而且熟悉了休谟、马赫（ E. Mach, 1838—

1916)、彭加勒等人的哲学思想。这就为爱因斯坦的理论创新提供了思想准备。

马赫从一切事物都是相互联系、相互依赖的观点出发,指责牛顿绝对空间、绝对时间无法根据比较运动来量度的思想,特别是马赫的“概念是可以改变的”^①观点,使得爱因斯坦从坚信转向用怀疑的和批判的眼光去分析牛顿力学的绝对时空观念。

洛伦兹 H. A. Lorentz, 1853—1928) 关于以太问题的理论研究成果“电子论”,是经典物理学的辉煌成就,但它试图在牛顿力学的理论框架内解释“以太流”检测不到的原因,没有获得成功。这就把问题更加尖锐地摆在爱因斯坦面前,他说:

“一次我读了洛伦兹 1895 年的著作。他使用略去 V/C 高次项的一次近似方法(式中 V 是运动物体的速度, C 是光速),讨论并圆满地解决了电动力学的问题。接着,我根据这样的假设,即洛伦兹电子方程像洛伦兹原来讨论的那样在真空参照系中成立,同时也应该在运动物体参照系中成立,……方程式在运动物体参照系中成立的假设引出了光速不变概念,而光速不变却与力学中的加法定律矛盾。

这两个概念为什么会相互矛盾呢?这个困难确实很难解决。为了解决这个问题,我白白用了近一年的时间试图修改洛伦兹理论。”

在孜孜探索光速不变与力学中的加法定律的矛盾问题的过程中,爱因斯坦得到了他的一位朋友米凯耳·贝索(Michele Besso)意外的帮助。爱因斯坦说:“那天天气很好,我带着上述问题访问了他。开始,我告诉他:‘最近,我一直在钻研一个难题。今天到这儿来,请你和我一块攻它。’我俩讨论了问题的各个方面。后来,我突然找到了问题的关键。”^②

显然从 1895 年发现问题到提出问题(光速不变与速度合成法则为什么会相互矛盾),这是创立理论的准备阶段。

接着,为了解决这个问题爱因斯坦用了很长的时间苦苦思索,这是酝酿阶段。这段期间,物理学界围绕“以太疑难”问题展开了各种研究,其中洛伦兹和彭加勒的研究成果至关重要。

洛伦兹在“长度收缩”的假说中,引入了辅助性的局部时间,证明了在一阶近似下运动体系中电磁场方程与自由“以太”(即真空)中的电磁场方程的等价,从而解释了包含一阶效应所以实验检测不出“以太流”的

^① 《爱因斯坦文集》第 1 卷,商务印书馆 1976 年版 第 169 页。

爱因斯坦于 1922 年 12 月 14 日在日本京都大学的讲演,载于 *physics Today*, 第 45 页, 1982 年 8 月。

原因。但是，洛伦兹坚信“以太”是不动的，所以他没有从上述结果出发，走向承认经典相对性原理对电磁现象的有效性。爱因斯坦从洛伦兹的研究工作中受到启发，认为：麦克斯韦方程不仅在真空参考系成立，在运动参考系也应成立。这样一来，就得承认光速不变了。可是，光速不变是与速度合成法则相矛盾的，问题出在哪里呢？为了解决这个问题，爱因斯坦在保留速度合成法则（它是科学界公认的，不能轻易怀疑）的前提下，作过多次的修改尝试，都没有成功。

彭加勒对洛伦兹用“长度收缩”假说解释迈克尔逊—莫雷实验提出批评，主张必须考虑某些基本原理的作用。1904年他根据大量实验事实，提出相对性原理。根据这个原理，无论对于固定的观察者还是对于作匀速运动的观察者，物理定律应该是相同的。但由于彭加勒相信“以太”的存在，他未能对牛顿的绝对时空观产生怀疑，因而也没有考虑到同时性的相对性问题。

爱因斯坦在长期求解的过程中，有一天晚上（有的报道说，是在第二天起床时），他躺在床上，又在思考那个折磨他的难题，突然答案出现了，“找到了问题的关键”，思维过程进入了豁然阶段，问题突破了。办法是分析时间这个概念。时间不能绝对定义，时间与信号速度之间有不可分割的联系。爱因斯坦长期思考的问题，在一个瞬间找到了答案，显然是出现了灵感。爱因斯坦马上进行工作，使用新的概念，第一次满意地解决了整个困难。五个星期之后，他的论文写成了。经过逻辑加工，他创造性地把“相对性原理”这个猜想“提升为公设，并且还要引进另一条在表面上看来同它不相容的公设：光在空虚空间里是以一确定的速度 v 传播着，这速度同发射体的运动状态无关。”^①他根据这两个基本公设，又推导出了一系列具体的、可供检验的结论，其中运用并发展了探索性的演绎法。

爱因斯坦发表《论动体的电动力学》以后，狭义相对论并没有立即得到科学界的普遍承认，大多数人还在怀疑、观望和等待之中。随着其具体结论一一被大量实验所验证，它才成为了现代科学最重要的基础之一。这已经是创立理论过程的验证阶段了。

由此可见，科学理论的创立过程实际上是包括创造性思维在内的一个完整的过程。

^① 《爱因斯坦文集》第2卷 商务印书馆1977年版 第84页。

第二节 创立理论的语言

客观事物是现象与本质的统一。科学抽象是透过现象认识本质的理性手段。它具有“分离”、“区分”、“纯化”和“组合”的作用。完整的科学抽象过程包括两个行程，即：第一，从关于事物的整体的表象，通过科学抽象，形成概念；第二，从科学抽象得出的概念上升为理论。

这也就是马克思在“政治经济学方法”中所说的从感性具体到抽象思维，从抽象思维（抽象的规定）到思维具体（许多规定和关系的丰富的总体）^①

由此可见，科学理论的创立过程实质上是一系列的抽象过程，即概念、规律等等的构成、形成过程。科学抽象是多方面的，“物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象等等，一句话，一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”^②例如，力学中的“质点”，就是抽去与研究问题无关或者是起作用很小的、次要的因素（如物体的大小和形状），只考虑其质量的点。

一、科学理论与科学语言

科学认识的成果是通过语言来表达的，而语言则是以语音或文字（符号）为物质外壳，以语法为结构规律而构成的、人类社会特有的一种信息系统，是人们进行交际和思维活动的工具。科学语言是一种特殊的语言，是随着科学作为独立的特殊的认识活动的产生与发展而发展起来的。科学语言是在科学研究过程中从日常语言（自然语言——它一般地描述人们的感受、经验与内心的感受）中提炼出来的，自然语言是它的基础。

科学认识形成的每一个环节（科学事实的获取、科学概念的形成、科学定律的提出直至科学假说的形成），无不需要用科学语言来记录、描述与传播，才能成为共同的精神财富。

1. 记录科学事实的语言

科学理论形成的直接基础和前提是科学事实，不论它的获得方式如何不同，都必须通过科学语言中的词和句子来表达、记录、贮存和传递以表明其存在。观察与实验是获得科学事实的一条重要途径，它的结果必

参见《马克思恩格斯选集》第2卷，人民出版社1995年版，第18页。

② 《列宁全集》第55卷，人民出版社1990年版，第142页。

须运用科学语言加以记录、整理、描述和交流，否则就不能成为确切的科学事实，在科学界中得到承认。

2. 表达科学概念的术语。

在科学事实的基础上形成的科学概念，是反映对象的本质属性的思维形式。它是科学知识体系的基本单位，是科学“知识之网”的网上纽结，可以称为知识大厦的“元素”。科学概念必须借助于科学语言、用科学术语（词或词组）来表达。科学术语不仅要以科学概念作为它的内容，而且它同时指称被科学概念所反映的科学认识的对象。所以科学术语就成为科学概念的物质外壳或表现形式。由于科学概念的相互关系以及它们同感觉材料的对应关系是客观的，所以，科学概念和表达它的科学术语是一切国家和一切时代共有的，具有“超国家性质”^①。

科学概念与日常生活概念（或称常识概念）是有区别的：在认识论上，它们虽然都是反映对象属性的思维形式，但是常识概念比起科学概念来，所反映的对象属性是初步的、表层的，而后者反映的是进一步的、深层次的；常识概念具有多义性、歧义性、含糊性，科学概念具有专义性、清晰性、严密性。比如，“热”可以是常识概念，可以由人们的感觉感知，热的程度可以有主观的差异，但作为科学概念的“热”是分子运动的表现，是自然界物质运动的一种形式，测量它有严格的科学单位——温度。

所以，科学概念在认识论上能更深刻地反映事物的本质，在语言上其最基本的特征是专义性，是概念与它所反映的客观内容之间的十分确定的对应关系。科学概念在克服多义性的同时，还要求具有高度的清晰性，不发生任何歧义，因此科学概念是相当严密的。正如爱因斯坦所说：在物理学中“唯一地决定一个概念的‘生存权’的是它同物理事件（实验）是否有清晰的和单一而无歧义的联系”。^②

3. 确立科学定律命题

无论是经验定律还是理论定律，都是对自然现象或自然过程的本质或规律作出的判断，而判断是概念的展开，是关于概念所反映的对象（包括客观对象和主观构想出的对象）属性、内部联系和外部联系的论断，它必须用由科学术语构成的科学语句（即科学命题）来表述。换言之，规律性的判断的语言表达形式是命题，命题是逻辑推理的基本单位，所以，科学语言也是科学定律的物质外壳或表现形式。因此，没有科学语言就无法陈述科学研究的成果。在科学发展过程中，新观点、新观念、新理论的

① 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第396页。

② 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第118页。

出现，必然会形成新的科学概念，新的科学术语，于是科学语言也不断地变化与发展。

二、科学语言与科学理论的创立

科学理论是由科学概念、科学定律与逻辑及数学组成的，以自然科学的基础物理学来说，正如爱因斯坦指出的物理学由基本概念、基本定律、应用逻辑推理得到的结论三部分组成。爱因斯坦指出，在物理学的理论体系中，逻辑推理几乎占据了物理学理论的全部篇幅。他还认为，物理学是一门经验科学，凡是经验科学都要求其逻辑推理的结论必须同观察与实验的事实相符合。与此相应，科学理论的语言也包括三个组成部分：基本的科学术语；基本的科学命题；逻辑演算和数学演算。^①

以牛顿力学理论为例，它是科学发展史上第一个完整的科学理论，这个科学理论就是由力学的基本术语、力学的基本命题和逻辑语言与数学语言写成的。

逻辑演算表示逻辑推理。牛顿说，他的力学是“推理力学”，推理力学就是用逻辑推理的方法建构起来的力学。牛顿希望能用推理的方法从力学原理中推导出自然界的其他许多现象。而最严密的推理的典范就是两千多年来人们一致公认的欧几里得几何学，牛顿对它高度赞美，认为它通过逻辑推理“运用从别处得来的这么少数的几条原理，而能提供这么多的东西”^②

数学演算表示数学方法（微积分演算）。牛顿力学是用微积分的语言表示的，如速度 $v = ds/dt$ 加速度 $a = d^2s/dt^2$ 力 $f = ma$ 。

牛顿继承和发展了伽利略在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》（1632）中的科学方法，把数学演绎、逻辑推理和科学实验结合起来在《自然哲学的数学原理》（1687）中，从力学的基本概念和基本定律出发，运用数学演绎与逻辑推理，建立了如下的力学理论体系：（1）四个基本概念。用时间、空间、质点、力四个术语来表达。（2）四条运动定律。惯性定律、加速度定律、作用力与反作用力定律和万有引力定律，用四个基本命题来表达。（3）基本方法。数学方法（微积分运算）、逻辑方法（逻辑推理）和实验方法（归纳推理）

牛顿用上述的科学语言表达的力学理论，在物理学知识的生产、交流与传递中起了无法估量的作用。从科学发展史看，用科学语言把牛顿力

参见：《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第313页。

塞耶编：《牛顿自然哲学著作选》，上海人民出版社1974年版，第9页。

学知识系统化、规范化，对物理学的发展，乃至对科学知识的发展，都起着巨大的、不可估量的作用：

第一，在物理学理论的传授（教育）中，它是巩固已知知识、学习新知识必须具备的基础知识。

第二，在物理学理论的工程技术应用中，它是把理论知识和经验及技能结合起来必须具备的基本语言。

第三，科学的预见不仅是从科学理论合乎逻辑地推出的结论，而且是用科学的语言来表达的，只有这样才能通过观察或实验去检验它的真实性。

三、科学语言的形式化——人工语言

希尔伯特的《几何基础》（1899）提出公理化方法，它是构造理论体系的演绎方法。罗素与怀特海的《数学原理》（1913）提出数理逻辑，它是逻辑与数学相交叉的一门学科。在这两大成就的基础上构造出人工语言，它最初是出于研究数学基础问题的需要而产生的，是数学语言与逻辑语言的形式化。

人工语言的构造分四步：第一步，给出初始符号，它们相当于语言中的字母；第二步，确定形成规则，它们相当于语言中的语法规则；第三步，提出公理，它们相当于科学中的基本假设；第四步，确定变形规则，它们相当于形式逻辑中的推理规则。^①

人工语言是科学语言的进一步发展，它不仅用专门符号代替了自然语言的词汇，而且用专门符号来表达人们的思维推理过程，“它完全撇开符号的本身意义，而根据某些只涉及符号书面形态的转换规则来进行符号操作”^②。它实际上就是以数学、数理逻辑符号为框架的一种更抽象、形式化程度更高的科学语言，是科学语言发展的一个新飞跃。现代日新月异的计算机语言也可以说是能被计算机识别的人工语言，是人工语言具有里程碑意义的推广和应用，计算机人工智能研究的广阔前景也是与这种人工语言的发展密切联系在一起的。不过，还是要指出，这种人工语言依然是离不开自然语言的。因为符号的“转换规则”还需要通过自然语言予以确定或描述；尽管在思维推理过程中不必对“符号操作”的每一步都说明其含意，但最终的结果还必须使用自然语言才能加以理解。

参 见 S. C. Kleene: *Introduction To Metamathematics*, 1952.

鲍亨斯基：《当代思维方法》，上海人民出版社 1987 年版 第 40 页。

第三节 创立理论的思维方法

创立科学理论的思维方法是多种多样的，在演绎方法和非演绎方法（分析与综合、归纳与概括、类比与联想等）之外，思想模型方法在科学理论的创立中也在发挥愈来愈重要的作用。

一、演绎方法

最早对演绎方法作出系统论述的是亚里士多德。他在其形式逻辑中对三段论的说明，是从一般到特殊的演绎推理。数学的发展推动了演绎方法的发展，现在的演绎方法包括演绎推理和以演绎推理为基础的证明和公理方法。数理逻辑的兴起和发展，极大地拓展了演绎方法的功能和成效，使人工智能的逐步实现成为可能。

演绎推理的根本特点是：前提与结论之间的联系具有蕴涵关系，或者说前提与结论之间具有必然联系。在演绎推理中，从真实的前提出发，运用有效的推理形式就必然得出真实的结论。前提真，结论必真，结论假，前提必假，这是演绎推理的基本特点。

公理方法是一种重要的演绎方法，它从一些不加证明的公理出发，根据演绎规则，推导出一系列定理，从而构成一个演绎体系，这个体系称为公理系统，欧几里得几何就是几何学中的一个公理系统。公理化方法可以用来整理已知的科学知识，构造理论体系。

数学、力学等科学普遍地使用了公理方法，因而获得了巨大的成就。其他比较成熟的学科也在朝着应用公理方法的方向前进。

演绎方法在科学假说的检验过程中发挥着独一无二的重要作用。对此，人们是普遍接受的。但是，对于演绎方法在科学知识形成中的功能有两种观点：一种是否定的，赖欣巴赫说：“逻辑证明即所谓演绎；结论是由别的陈述，即被称为是论证的前提进行演绎而获得的。……结论不能陈述多于前提中所说的东西，它只是把前提中蕴含的某种结论予以说明而已。……演绎的逻辑功能便是从给予的陈述中把真理传递到别的陈述上去——但这就是它所能办到的全部事情了。”^①这个观点是片面的；另一种是肯定的，爱因斯坦说：“我坚信，我们能够用纯粹数学的构造来发现概念以及把这些概念联系起来的定律，这些概念和定律是理解自然现象

赖欣巴赫：《科学哲学的兴起》，商务印书馆 1984 年版 第 32、33 页。

的钥匙。”^①因为演绎方法所揭示的前提中蕴含的内容有可能涉及还没有被人们考察过的领域，那就有希望发现未知。例如，利用演绎推理从狭义相对论的基本原理（狭义相对性原理和光速不变原理）推导出来的钟慢、尺缩效应，相对论的动量守恒定律和爱因斯坦质能关系式，从广义相对论的基本原理——广义相对性原理和等效原理推导出来的时空弯曲效应等。又如：欧几里得几何学体系的建立，非欧几何的创立，海王星的发现，镓、锗等新元素的发现，电磁波的发现，中微子的发现，等等，科学史上的很多重大发现，都离不开演绎推理的巧妙运用。

理想实验方法是在科学研究中为了排除各种次要的和非本质因素的干扰，在纯粹状态下对自然过程进行研究，而在思想中把实验对象与实验过程理想化的方法。它不需物质设备，只在思想中进行，或者利用计算机进行模拟。理想实验方法是一种抽象思维活动，是逻辑推理过程。伽利略发现惯性原理就应用了这样的方法，爱因斯坦给予了高度评价：“它是由考虑一个既没有摩擦又没有任何外力作用而永远运动的物体的理想实验而得来的。从这个例子以及后来的许多旁的例子中，我们认识到用思维来创造理想实验的重要性。”^②爱因斯坦自己在创立相对论的过程中也受到过理想列车实验和理想升降机实验的启迪，他利用理想实验方法做出了重大科学发现。

二、非演绎方法

在创新思维方法中，除了演绎方法是必然性的推理之外，其他方法都带有不同程度的或然性、偶适性和跳跃性，它们是分析与综合、归纳与概括、类比与联想、思想模型、筹。

1. 分析与综合

前面曾讨论过科学抽象这种透过现象认识本质的思维方法，但是如何将事物的现象与其本质区分开来，将假象与真相区分开来，将无关、干扰的因素排除掉呢？分析与综合的方法就是要进一步探讨这些问题。

所谓分析是把研究对象的整体划分为各个要素、部分、方面、层次、环节并分别加以认识的思维方法。综合则是在分析的基础上，将人们对研究对象各个要素、部分、方面、层次、环节的认识整合起来，以形成对研究对象统一整体认识的思维方法。前者是认识从整体深化到局部，后者是认识从局部上升到整体。它们互为前提、相互依存，在一定条件下相互

^① 《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆 1976 年版，第 316 页。

爱因斯坦、英费尔德：《物理学的进化》，上海科技出版社 1962 年版，第 15 页。

转化。

分析要有系统的整体观点，不能把整体划分为各个部分而后去孤立地认识每一部分，这样就把有机的整体割裂开来，歪曲了研究对象各部分之间相互联系的本来面目。近代科学形成以来盛行的以分析为主的还原论方法就是这样造成了“只见树木，不见森林”的片面性的。

随着系统科学的兴起，现代科学思维方法要求进行系统分析，即从系统观出发，始终把研究对象看做是个不可割裂的、有机的整体，从部分与整体以及系统与环境的相互联系、相互制约、相互作用的关系中进行动态分析，不仅要认识各个部分，而且要认识各部分协同产生的整体效应。

可见，分析和综合的过程也就是科学抽象的过程，掌握分析和综合的方法能够更好地理解科学认识从“感性的具体→抽象的规定→思维的具体”的前进运动。

2. 归纳与概括

归纳方法是由个别或特殊推到一般的方法。这种方法最早是由亚里士多德提出来的，近代以后又有了很大发展。培根创立了更具可靠性和可操作性的“三表法”（排除归纳法），后来又出现了专门探究事物因果联系的“穆勒五法”。在培根之后，休谟首先注意到并提出了有深远影响的“归纳问题”。现代逻辑实证主义面对归纳法的疑难，向数学中的概率论求助，将概率引入归纳法，采用了严格的概率统计的成果，因而推动了数理逻辑的发展。赖欣巴赫引入了“频率概率”概念，卡尔纳普（R. Carnap）引入了“确证度”概念。

通常认为，归纳法分为完全归纳法和不完全归纳法；后者又分为简单枚举归纳法和科学归纳法。“三表法”、“穆勒五法”和概率归纳，实质上都是改进了的简单枚举法，仍然不具有演绎法那样的必然推理性质。科学归纳法则是将归纳与演绎结合起来。

概括也是一种从个别或特殊性认识上升为一般性认识的思维方法。经验概括是以不完全归纳方式进行的；定律概括是在经验概括的基础上，通过与理论的演绎结果相结合而得出结论的，因此是与科学归纳法相通的。这些在第五章中论述经验定律型假说的形成时曾讨论过。

3. 类比与联想

类比是一种十分重要的创新思维方法，在科学探索中常常能发挥冲破迷雾的导航作用。类比方法是这样的：根据两个（或两类）对象在一系列性质、关系或功能方面的相似，从已知其中一个（或一类）对象具有其他的性质、关系或功能，推出另一个（或另一类）对象也具有同样的其他性质、关系或功能。

类比既不同于演绎方法的从一般推导到个别，也不同于归纳方法的从个别推导到一般，是从特定的对象或领域推导到另一特定对象或领域的方法。因此，在归纳和演绎无能为力的地方，类比可以发挥自己特有的效能。而且，虽说这三种推理方法都是从已知的前提推出结论，结论皆在不同程度上受到前提的制约，但是，结论受到前提制约的程度是不同的，其中演绎的结果受到前提的限制最大，归纳的结论受到前提的限制次之，而类比的结论受到前提的限制最小，这就使类比在科学探索中更显得得心应手。

类比方法的结论是或然的。这是因为对象之间不仅具有相同性，而且具有差异性。其实，相似就是客观对象相同与差异的矛盾统一，事物总是同中有异，异中有同的。类比方法的结论未必真，这固然是个缺点；但另一方面，也有它特有的灵活性与创造性。如果偏重于从静态的观点看待类比推理，就会过多地强调它的或然性方面而忽略它的创造性方面，若是从科学探索的动态过程来看待类比推理，就会看到它确有优越之处。解决新的问题，涉足未知的现象领域，建立新的理论模型，都没有现成的道路可走。而受前提约束最少的、从已知通向未知的、富于创造性的类比方法正好给我们以帮助。从某种意义上说，相似处越少，越是在“异中求同”，类比的结果越是具有突破性、独创性。维纳等人在极不相同的生物和机器之间找到了一定的相似性，从而创立了控制论。难怪维纳称赞英国数学家阿希贝“把生命机体和机器作类比工作，可能是当代最伟大的贡献。”^①康德曾经说过：“每当理智缺乏可靠的思路时，类比这个方法往往能指引我们前进。”^②“我始终以类比的方法和合理的可信性为指导，尽可能地把我的理论体系大胆发展下去。”^③

类比的思维过程，离不开联想，即从一个对象联想到另一个对象，从一个对象的性质、关系或功能联想到另一个对象的性质、关系或功能，否则就不可能进行类比。所以，能够充分发挥想象力，尤其是在“异中求同”，对于类比是十分必要的。

4. 思想模型方法的广泛应用

思想模型是科学抽象成果的基本形态之一，通过建构和研究思想模型来认识未知研究对象的方法就是思想模型方法。这种方法在创新思维的过程中有着广泛应用。

^① 《维纳著作选》上海译文出版社 1978 年版 第 35 页。

^② 康德：《宇宙发展史概论》，上海人民出版社 1972 年版 第 147 页。

康德：《宇宙发展史概论》，上海人民出版社 1972 年版 第 26 页。

科学家如何能够猜想出理论假说？这不仅与他们的个人素质及其所属科学共同体的团体因素有关，与他们所处时代的背景知识有关，而且也与他们怎样猜想有关。怎样猜想？因为现象背后的实体和运动看不见、感觉不到，因为对欲求的因果机制知之甚少，所以猜想只能从人们已经比较熟悉的相似物出发，在思想中摹写或描述研究对象的性质、结构、功能或运行规律，这样猜想出来的摹本、蓝图就是思想模型。思想模型虽然是参照相似物猜想出来的，却是对相关经验定律背后的因果机制的表述；既是已知的相似物的“模型”，又是研究对象的“模型”。

在科学理论的发现过程中，人们是通过建构思想模型来推断现象背后的实体和运动的，这就是思想模型方法的实质。它们是似然的、可能的、合乎情理的推断，在这里不可能有径直的必然的演绎推理。就模型是研究者的猜想内容来说，模型是研究对象；但就模型只是摹本、研究者的真正目的是要认识未知对象的因果机制而言，真正的研究对象是现象背后的实体和运动，思想模型只不过是研究者所运用的中介或工具。正是由于思想模型的这种双重性质，使它在科学理论的发现过程中占有比较特殊的地位。通过模型，猜想找到了纵横驰骋的大方向而不会无所适从、漫无边际，不致成为想入非非的主观臆断或不切实际的幻想；通过模型，对相关经验定律进行解释的因果机制得到表述；通过模型的修改、完善或更替，对因果机制的认识不断精确、深化和扩展。

思想模型的广泛应用还表现在它具有多种多样的类型，可以满足提出不同假说的需要。按照研究对象与已知相似物之间的性质、结构、功能或运行规律相似的不同特点，可以将思想模型划分为性质相似、结构相似、功能相似或形式相似思想模型。比如，卢瑟福（Ernest Rutherford, 1871—1937）研究原子结构时提出的行星模型、沃森和克里克研究 DNA 结构时用到的鲍林提出的蛋白质 α - 螺旋结构模型、哈维（W. Harvey, 1578—1657）研究血液循环时提出的水泵模型、麦克斯韦研究电磁理论时用到的流体力学模型等，就分别是这样的四类模型。

在性质相似、结构相似、功能相似的思想模型中，形象思维发挥着重要作用，所以它们也可以称作形象思维模型。形式相似思想模型是指两者之间所遵循的数学关系式相似，因此也是一种数学模型。数学模型又可以分为确定性数学模型（以必然现象为研究对象的）、随机性数学模型（以或然现象为研究对象的）、突变性数学模型（以突变现象为研究对象的）和模糊性数学模型（以模糊现象为研究对象的）。数学模型的运用是数学方法对创新思维作出贡献的主要表现形式。

按照研究对象与已知相似物之间信息加工等方面的相似，还可以提

出信息模型。在认知心理学中就运用了很多这样的模型，比如研究心理活动的过滤器模型和衰减模型等，所以这个学科也被称为信息加工心理学。

审美观在思想模型的广泛应用中也有不可忽视的作用。它的根据在于科学真与科学美的一致性。因为科学认识的形成过程也是揭示客观事物自然美的属性的过程。例如，自然事物的对称性、和谐性、统一性（简单性）等都是这种美的体现。在科学发展的长河中，有一些思想模型就是按照研究对象与已知相似物之间审美视角的相似而提出来的，比如哥白尼的日心说模型、鲍林提出的蛋白质 α -螺旋结构模型等。这样的思想模型是以追求美为导向的，不妨称作臻美模型。它们在溯因和猜想过程中也能发挥跨越式功能。

第四节 创立理论的思维形态

创立科学理论的思维形态也是多种多样的，主要有以下几种：

一、抽象思维与形象思维

抽象思维和形象思维是人类基本的、最常见的两种思维形态，抽象思维以概念为基本要素，形象思维则以意象为基本要素。人们的头脑中所储存的信息不外乎有两类：一类是形象信息，一类是抽象信息。前者是由人类在认识和改造客观世界的过程中，客观事物的刺激作用于人的感觉器官所产生的感觉信息转化而来的，经过神经传入大脑，并以与客观事物相类似的图像、音律、颜色、气味、味道等具体的显性的感觉或隐性形象源等形式储存于大脑（记忆）之中。后者主要是通过语言、文字、符号等抽象形式，储存于大脑之中，它与大脑中的形象信息也有联系，也可以唤起大脑中相应的形象信息。二者之间通过隐性的形象源可以互相转化。抽象思维是运用抽象信息内容进行思维活动的，而形象思维是运用形象信息内容进行思维活动的。

抽象思维的“细胞”是概念，用概念揭示事物的本质，表达认识的内容，又以概念为基础进行判断和推理。概念思维可以说是抽象地反映客观事物本质和规律的思维活动。因为传统的逻辑学主要以抽象思维为研究对象，故习惯上被称为“逻辑思维”。

形象思维则是在人们对事物进行分析和综合的思维过程中，主要以图像、音调、动作等形象的符号再现某类事物形象的一般特征和共性。因为这些符号容易被人们直接感知，故又称“直感思维”。形象思维的“细

胞”是意象，用意象揭示事物的本质，表达认识的内容，也可以以意象为基础进行形象的判断和推理。意象是从印象、表象这些还处于感性认识的有关事物的生动形象或“内心画面”中，经过分析和综合而建立起来的，舍弃了个性特征而集中反映共性特征。表象是感性认识，是关于个别的认识，但意象已是理性认识，是关于一般的认识了。形象思维可以说是形象地反映客观事物的本质或规律的思维活动。应当指出的是，虽然形象思维是“形象反映”的思维活动，但是“意象”的形成也离不开从某类事物中抽取其一般属性或共性的抽象与概括过程。认为形象思维与抽象方法没有什么关系是一种误解。为了避免这种误解，采用“概念思维”和“意象思维”的提法是更恰当的。

抽象思维与形象思维的主要不同在于：概念思维的基本要素是抽象的概念，而意象思维的基本要素是形象的意象。概念是在感性认识的基础上反映事物本质属性的，是用抽象的语言或其他符号形式来表达的。意象则是在感性认识的基础上，用形象的、舍弃了与事物本质相关性质的个性特征的示意性图画来表达的。因此，抽象思维是运用概念进行思考的，而形象思维则是运用意象进行思考的。抽象思维和形象思维通过各自有所侧重的关键环节使科学认识由感性阶段向理性阶段飞跃，它们是实现这个飞跃的基本思维形式。显然，运用概念可以进行判断和推理，运用意象也能进行判断和推理。

抽象思维与形象思维的主要不同还在于：抽象思维的推理过程是在概念及其判断的基础上完成的，而形象思维的推理过程是在意象及其联想（想象）和典型化的基础上完成的。前者是由一个概念判断推及另一个概念判断，而后者是由一个意象推想到另一个意象。前者一般是线性的、串行过程，后者常常是非线性的、并行的过程。钱学森曾指出，形象思维不是线型的，是交叉并进的，不是流水加工，而是多路加工，所以形象思维是多面型的。

抽象思维与形象思维二者之间既有明显的区别，又存在着密切的联系。一方面表现在生理基础上的分工合作，抽象思维与形象思维大体上分别对应大脑左右两半球功能区，其中某些功能又是互补的。这两种思维的协同作用，有益于全面发挥个人的聪明才智。爱因斯坦、钱学森等科学家爱好音乐、艺术，鲁迅、郭沫若等作家也专修过自然科学。另一方面表现在这两种思维共存于统一的思维过程之中，相互渗透、相互转化、相互交替、相互促进。一个现代人的完整思维过程不可能是纯粹的抽象思维，也不可能是纯粹的形象思维。最明显的是，中国人抽象思维中用到的汉字就是象形字，天生的富有隐喻性。抽象的语言通过语音说出来，其中

有形象的声音成分。反之，在形象的思维活动中，也包含着抽象的内容。

二、收敛思维与发散思维

收敛思维与发散思维是美国心理学家吉尔福特（J. P. Guilford）提出来的。收敛思维的特点是根据已有的理论和方法，按照严格的程序进行；发散思维的特点是开阔思路、从不同的方面进行思考，从不同的途径进行探索，甚至标新立异，不受传统思想观点的约束，不受已有理论和方法的束缚。对于创新思维来说，收敛思维与发散思维都是不可或缺的，它们互相联系、互相补充、互相促进。

在创立新理论的过程中，常常是先运用已有的理论去研究，通过长期集中的收敛思维，找到问题的症结和困难所在，然后通过发散思维提出解决问题的方法和新的观点。比如，在科学史上发现海王星的案例就是如此。开始时是收敛思维。1771年英国天文学家赫歇尔发现了天王星，此后天文学家对天王星的运行轨道不断地进行了观测。有的天文学家还根据牛顿引力理论计算了天王星的运行轨道。1830年以后，发现天王星的运行轨道（观测值）与理论计算的轨道（理论值）不相符合，并且差别越来越大，于是对“反常”现象按收敛思维方式进行研究。在长期得不到解决后，一些天文学家开拓思路，进行发散思维，开始考虑：牛顿万有引力定律是两个天体之间的引力，是否存在第三个天体，由于它的存在所产生的引力的影响而造成了天王星轨道的偏差。于是在这样的猜测指引下进行计算，推算出了这个未知行星的位置。1846年7月，法国学者勒维烈公布了这颗未知行星可能出现的位置，9月18日他用快信通知德国天文台台长加勒，加勒接信的当天即进行搜寻，结果发现了这颗未知的行星，其计算误差不到1度。这颗新发现的行星被命名为海王星。

收敛思维与发散思维的区别，在某种程度上也可以说是渐进方式与非渐进方式的差异。抽象思维与形象思维是科学思维的两种基本形式，当采取逐步展开的程序在头脑中综合运用时，就表现为渐进的收敛思维，这也是人们通常习惯的思维形式；当采取跳跃式、发散式地运用时，就表现为非渐进的发散思维。值得重视的是，在科学研究过程中运用非渐进的思维方式时，有时会突现瞬间的领悟，呈现出问题的答案，这就是通常所说的“顿悟”。

三、顿悟——直觉与灵感

在心理学上首先研究“顿悟”这种现象的，主要是格式塔心理学派，有所谓的“顿悟说”。柯勒（Wolfgang Kohler, 1887—1967）最初从事的是

动物学习的研究，他前后进行了约 4 年的黑猩猩实验，发现了动物心理的顿悟现象。后来韦特海曼在人的创新思维中也研究了这种现象。他们所说的顿悟，指的是瞬间的颖悟，是在“格式塔”变换后对事物间本质关系的理解。

灵感在心理学中不过是一种以特殊形式表现出来的心理现象，它通常是指突然出现的一种具有创新性认识内容的模糊观念，它之所以令人感到神秘，主要是因为它的出现不是事先就意料到的，而是突然到来的。

直觉是指问题突然得到了解决，它不是对事物表面的生动直观，而是对事物规律性的一种猜测。贺麟对这两方面有过如下的概括，他指出：“同一直觉方法可以向外观认，亦可以向内省察。直觉方法的一面，注重用理智的同情以观察外物，……直觉方法的另一面，则注重向内反省体察……一方面是向内反省，一方面是向外透视。认识自己的本心或本性，则有资于反省式的直觉，认识外界的物理或物性，则有资于透视式的直觉。”^①

从上述可见，灵感、直觉与顿悟是很难分开的，因为灵感、直觉都是顿悟的心理现象，显现为突然闯入脑际的“闪念”，都具有偶然性、突发性和深刻性的特征，突然产生于某一随机过程，是对事物规律（实质）的掌握。而科学思维中的灵感与直觉，不同于宗教的地方在于，尽管它们也带有许多幻想的成分，然而，它的全部内容都是涉及对事实的理解问题，是对客观规律性的一种把握，是瞬间达到对事实本质的心领神会。

科学顿悟可以划分为两大类型：直觉与灵感。它们的区别在于，前者是在探索过程中径情直遂的顿悟；而后者是思路受阻后的顿悟。一个是酣畅淋漓有如顺流直下；一个是山穷水尽转而柳暗花明。一个着重强调的是未经渐进的精细的演绎推理而对规律性的快捷洞察；一个着重强调的是在百思不得其解时顿悟现象间的规律性的奇效。

日本著名科学家白川英树（1936— ）因为发现导电塑料而获 2001 年诺贝尔化学奖。当白川英树被问到是什么使他意识到偶然机遇中发现的价值并将它作为研究的起点时，他回答说，当看到反应容器中生成的银色薄膜时，他就意识到了它可能会有重要性。当时他们正在研究半导体聚合物，而当时这项工作不只他们在做，国际上也有同行在做，所以他一发现那个现象，就意识到那会与他们的研究有着重要的联系，只是没有想到后来的研究导致了对导电聚合物的开发。白川英树为什么一看到“反应容器中生成的银色薄膜”，就“意识”到了它的重要性？这里显然靠

贺麟：《哲学与哲学史论文集》，商务印书馆 1990 年版 第 184 页。

的是一种直觉。

爱因斯坦在回忆他 1905 年 6 月写作《论动体的电动力学》（关于狭义相对论的第一篇论文）的情景时曾经说过，他为了解决光速不变与力学中的加法定律的矛盾，白白用了近一年的时间试图修改洛仑兹理论。他从与贝索的讨论中受到了启发，不过问题尚未解决。有一天晚上，他躺在床上，又在思考那个折磨他的难题，一下子答案出现了，办法是分析时间这个概念。时间不能绝对定义，时间与信号速度之间有不可分割的联系。他马上进行工作，使用新的概念，第一次满意地解决了整个困难。五个星期之后，他的论文写成了。^① 爱因斯坦长期思考的问题，在一个晚上瞬间找到了答案，显然是出现了灵感。

达尔文在创立进化论的过程中也有类似的情形。在他已经想到该理论的基本概念以后，有一天，他阅读马尔萨斯的人口论著述作为休息。马尔萨斯清晰地阐述了人类数量增长所受到的各种遏制，并提到那些被淘汰的是最不适于生存的弱者。读到这些地方时，“当时马上在我头脑中出现一个想法，就是：在这些（自然）环境条件下，有利的变异应该有被保存的趋势。而无利的变异则应该有被消灭的趋势，这样的结果，应该会引起新种的形成。因此，最后我终于获得了一个用来指导工作的理论。”^② 这就是进化论的中心思想：生存竞争，自然选择。

爱因斯坦和达尔文的例子都涉及到灵感问题，但二者又有所不同。前者是有意识（显意识）或下意识（潜意识）冥思苦想时出现的灵感，在头脑中突如其来产生了使问题得到澄清的思想，可以称之为“冥想型灵感”（包括梦幻型灵感），这样的例子还如，德国化学家凯库勒（Kekulevon, 1829—1896）发现苯环结构，美籍奥地利生物学家洛伊（O. Loewi, 1873—1961）发现神经搏动的化学媒介作用等等；后者是人们被某个偶然事件触发时（包括机遇观察）闪现出某些具有独创性的设想，导致了未曾预料到的灵感的出现，可以称之为“诱发型灵感”，这样的例子还如海森堡发现测不准关系，法籍俄国生物学家梅契尼柯夫（E. Metschnikoff, 1845—1916）发现免疫学的吞食作用理论，阿基米德发现浮力定律等等。

四、创新思维

究竟应该如何看待创新思维？创新思维的形式和方法如何？从前面

爱因斯坦于 1922 年 12 月 14 日在日本京都大学的一次讲演，载于 *physics Today*, 1982 年 8 月。

② 《达尔文回忆录》商务印书馆 1982 年版 第 77 页。

的论述中不难看出，创新思维没有固定的程式和方法，如果有，也就不是创新思维了。而且，创新思维也不可能是一种独特的、与一般思维毫无二致的思维。应该说，创新思维与一般思维的基本手段是一致的，只是方法倚重不同，形式表现有异。创新思维是一般思维形式和方法的综合性、创造性运用。一般思维的形式和方法，当它对科学认识的形成做出贡献时，它就构成了创新思维形式和方法的有机组成部分。不过，通过对创新过程的研究可以看出：其主要思维形式是意象思维和发散思维以及直觉与灵感，在创新过程中运用的更多的是类比与联想和思想模型的方法。

创新思维所表现的顿悟形式（灵感与直觉），在有些情况下是心理学的研究对象，比如下意识思考问题时出现的灵感，半睡半醒时甚至是梦境中出现的灵感。但是，在有些情况下出现的灵感却是可以进行方法分析的。例如，达尔文创立进化论过程中的情形，显然有类比与联想的因素。阿基米德发现浮体定律也是如此。

众所周知，直觉很少在那些对该发现领域不很了解的人身上发生，科学家的直觉也只表现在他所熟悉的领域中，对于其他领域的问题，则不会产生直觉。由此可以看出，直觉实质上是对熟悉事物的再认识，在相关知识基础上的再认识。再认识可以看做是直觉的孕育形式，这时思考时所运用的思维方法还比较明显。再认识达到一定的深刻程度就可能产生直觉。在这种情况下，直觉显然不过是思维过程的简化、凝缩，采取了“跳跃”的形式。思维的一系列细节过程被省略了，跃过了许多中间环节，一下子将问题的答案呈现在面前。所以能够如此，熟悉的领域中的相关思想模型发挥着重要作用。英国物理学家查德威克（S. J. Chadwick, 1891—1974）发现中子就是一个典型的案例。查德威克是卢瑟福（Rutherford, 1871—1937）的学生，他在1920年就知道老师提出了关于中性粒子的假说，并为寻找这种粒子进行过十几年的探索。当查德威克于1932年1月18日看到居里夫妇发表的实验报告后，立即凭直觉意识到居里夫妇发现的不是 γ 射线，而是一种新的粒子，很可能是中子。在这一思想模型的指引下，查德威克经过不到一个月的研究，就验证了这种粒子正是中子，并于1932年2月17日发表了研究报告。

爱因斯坦在谈到发现相对论的过程时说过：“在那些年里，有一种方向感，一种直接到达某个具体事物的感觉。当然，那种感觉很难用言语表达；但的确确有这种情况，而且它明显有别于后来关于结果的理性形式的思考。当然，在这种方向感的背后，通常有某种逻辑的东西，不过在我

来说，这种逻辑的东西是以一种视觉方式的通盘审视而出现的。”^①“方向感”背后“某种逻辑的东西”涉及的实际上就是直觉与思维方法的关系。

思考题

1. 什么是科学思维的基本形式？它们在科学研究中有何作用？
2. 如何正确理解直觉、灵感和想象力在创新过程中的意义和作用？
3. 思想模型方法在假说的形成过程中是如何发挥作用的？

^① M. Wertheimer, *Productive Thinking*, The University of Chicago Press, 1982, p228.

第七章 科学理论的评价和检验

科学理论创立之后，必须经过同行的评价与检验，才能成为人类共同的精神财富。本章从科学理论的特点（即它必须满足的逻辑条件与经验条件）出发，讨论对科学理论的逻辑评价与实践检验，并进一步作出分析。

第一节 科学理论的逻辑评价

科学理论必须具备两个基本条件：第一，逻辑条件。科学理论是用数量上尽可能少的、逻辑上互不相关的假设为基础建立起来的概念体系，这个概念体系是“关于自然界的一个逻辑上前后一贯的摹写”^①。第二，经验条件。科学理论必须反映“各种经验事实之间的联系，这种联系使我们能够根据那些已经经验到的事实去预见以后发生的事实”^②。把这两个基本条件（逻辑条件同经验条件）联系起来的基本方法就是观察方法与实验方法。所以爱因斯坦认为，科学理论虽然是科学家的自由创造，但它们是否符合自然界的实际情况，可以而且必须“后验地（*a posteriori*）用经验方法来检验”^③。并明确指出，“（科学）理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，而理论的‘真理性’也正在此”^④。

在科学发展过程中，当一个新的科学理论提出后，它要经过科学共同体的评价、检验和选择，才能被科学界所接受。科学理论的评价、检验和选择，首先是经受同行的质疑和批判，如科学概念与实验方案的同行审查、不同规模的实验验证等等。

科学理论的评价，是判断科学理论优劣的过程。科学理论的检验，是判断科学理论真假的过程。科学理论的选择，是在两个及两个以上的科学理论中挑选出更佳的理论的过程。在上述过程中，最重要的是实验检验，因为只有经过实验检验的理论才是科学真理，才是“一种其正确性不

① 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 385 页。

② 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 298 页。

③ 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 309 页。

④ 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 115 页。

以人的意识为转移的真理”^①。爱因斯坦说，他毫不动摇地确信这一点。当然在科学研究的实践中，理论的评价、检验和选择往往密切联系在一起，有时候很难加以区分。

科学理论的结构是由少数几个基本概念和基本假设通过逻辑推理与数学演算推演出的命题系统，它表明对这些概念作出的论断（即命题）之间的相互关系。因而科学理论的功能是：一方面它的命题系统必须如实反映各种经验事实之间的联系（这是通过实验检验证明的）；另一方面，在建立了经验事实之间的联系的基础上，“使我们能够根据那些已经经验到的事实去预见以后发生事实”^②。

科学理论的逻辑评价，主要是科学共同体对科学理论的逻辑结构作出评价，它属于理性的考察，有时候也被人们称之为理性检验。新的科学理论首先应当经得起理性的检验。理性的检验会发现理论的逻辑结构的欠合理和欠完备之处，为科学理论的发展指出方向，而经不起理性检验的理论则没有必要经受进一步的经验检验。

不考虑评价者的个性、社会背景等方面的差异，科学理论的逻辑评价主要包括相容性评价、自洽性评价和简单性评价三个方面。

一、相容性评价

相容性是指新的科学理论同公认的科学理论在逻辑上是相容的。这就是说 如果从新理论 T_2 可以推出公认的理论 T_1 ，或者从 T_2 推不出与 T_1 相矛盾的推论，那么 T_2 与 T_1 就是相容的。在这种情况下，可以对新理论作出评定：它得到了公认理论的支持。反之，不相容性是指：如果从新理论 T_2 推出了对公认理论 T_1 的否定，或者从 T_2 推出了与 T_1 相矛盾的推论 那么 T_2 与 T_1 就是不相容的。所以，相容性评价是通过一个理论与相关理论的比较进行的。主要有下列几种情况：

在相对论和量子力学诞生之初，人们认为这两个新理论似乎是与牛顿力学不相容的；有些人甚至认为相对论和量子力学推翻了牛顿力学。实际上，从逻辑的相容性关系来看，牛顿力学研究宏观物体的低速运动；量子力学研究微观客体的高速（接近光速）运动；相对论研究宇观物体的高速运动。因而牛顿力学一方面可以看成是量子力学在宏观世界的近似表现，另一方面可以看成是相对论在低速世界的近似表现，因此，从逻辑的相容性关系来看问题，可以把相对论和量子力学看成是牛顿力学在高

^① 《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆 1976 年版 第 270 页。

^② 《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆 1976 年版 第 298 页。

速和微观世界的拓展，它们是相容的。

科学理论是相对真理，它总有不完善的地方，因此，在把新理论同公认的科学理论相比较时，可能出现两种情况：

第一，新理论包含有错误。例如，有位科学家发现 β 衰变中出现能量“亏损”的现象，于是他提出对能量守恒定律的质疑，认为至少在 β 衰变过程中，能量不守恒了。物理学家泡利否定了这一观点，提出在 β 衰变过程中，很可能是某种尚属未知的粒子带走了部分能量，使得实验中观察到的现象表现为能量的“亏损”。而在已有的实验中之所以没有观察到该粒子，那是由于该粒子是电中性的而且质量很小的缘故。后来，人们由此发现了一种新的粒子即中微子。瑞士籍奥地利物理学家泡利 (Pauli, 1900—1958) 正是通过分析“质量亏损”说与能量守恒定律之间的不相容性，提出中微子假说。

第二，旧理论包含有错误。例如，19 世纪前期公认的理论认为，磁体和充电体间的作用是通过空虚的空间瞬时完成的，而电磁效应则是通过物体以有限的速度传播的。麦克斯韦理论提出光也是电磁波，并且预言无线电波的存在。麦克斯韦理论的被接受，表明与之不相容的公认理论的被抛弃。再例如，人们发现原子有核存在后，卢瑟福在经典电动力学的基础上提出了原子结构的“太阳系”模型。但是根据经典电动力学，绕核旋转的电子会不断地向外辐射电磁波，从而损失能量，于是电子轨道半径越来越小，最后会沿着一条螺线轨道，掉落在原子核上。后来发展起来的量子力学即新量子论表明，卢瑟福模型及其背景理论即经典电动力学在微观领域是有问题的。

如果一个新理论与公认理论不相容，并且该新理论得到确认，那么，将由之引起科学共同体抛弃相应的公认理论或其中的某一部分，从而引起科学革命或对公认理论的修改与补充。

考察一个理论与公认理论之间是否相容，是科学家们拒斥轻率的理论的重要办法，也是利用经过大量经验证实了的、公认的理论抵制伪科学的重要手段。中国科学院自成立以来，一直都收到大量关于永动机的设计方案。这些设计方案无论看上去考虑得多么有道理，但是，仔细分析就会发现，这些方案都违背了热力学原理，或者违背热力学第一定律即能量守恒与转化定律，或者违背热力学第二定律即在孤立体系发生的过程都是熵增大过程。在 20 世纪 80 年代至 90 年代，国内曾经出现过“水变油”的事件，就是有人宣称可以在常温常压下用化学方法把水变成汽油。其实，稍加分析就可以明白，水变油中最重要的就是要把水中的氧原子改变成为碳原子，而这种原子核的变化是用普通的化学方法无法完成的。因

而所谓水变油是不可能的。

二、自洽性评价

自洽性评价就是分析理论内部是否自相矛盾。一个理论 T 如果不能从它逻辑地推出命题 A 和非 A 那么 T 就没有逻辑矛盾，就是自洽的，反之就不是自洽的。自洽性要求科学理论内部的各个命题相互之间有逻辑联系，不能相互矛盾。

评价一个理论是否自洽，这是逻辑问题，可以不借助直接的实验。伽利略就是通过理想实验，揭示出亚里士多德物理学的自相矛盾之处，从而推翻亚里士多德关于物体下落速率与物体重量成正比的理论的。亚里士多德在《论天》一书中提出，落体下落的时间同落体的重量成反比。例如，如果一物体的重量为另一物体的两倍，那么它走过一给定距离所需的时间只是另一物体所需时间的一半。伽利略在其《关于两种新科学的对话》一书中使用严密的逻辑推理来揭示亚里士多德上述理论的不自洽。他首先按照亚里士多德的理论指出，每个落体具有一种天然速率，亦即除非使用外力或阻力便不会增加或减少的一种速率。设想取天然速率不同的两个物体，把它们连接在一起，那么，速率较大物体将会受到速率较小物体的影响而使其速率减慢，而速率较小的物体将因受到速率较大的物体的影响其速率要加快一些。如果一块大石头的下落速率为 8 而一块小石头的下落速率为 4，那么把两块石头绑在一起，结果就是这两块石头将以小于 8 的速率运动；但是两块连在一起的石头显然可以看做是一块比下落速率为 8 的石头更大的石头，而其速率当然会超过 8。这样，按照亚里士多德的逻辑和落体理论，这两块绑在一起的石头下落的速率就有两个，一个大于 8 另一个小于 8。这是自相矛盾的结论。通过这样的推理，伽利略就发现了亚里士多德落体理论的悖理之处。把亚里士多德学说的不自洽性揭示出来，是欧洲科学革命时期新科学胜利的一个重要原因。

处于退化阶段的科学理论，在新的关键性的反例越来越多的时候，总是力图对理论的非自洽性进行修改，但这种修改只能使该理论进一步暴露出其内在的矛盾，加快其被新理论所取代的速度。在化学发展史上燃素说曾经解释了许多化学现象，取得了极大的成功，在化学中长期占据着主导地位。该理论认为燃烧是物体放出一种特殊的化学元素即燃素的过程。这个核心假定可以解释木头燃烧后得到的灰烬比木头轻的现象。但是后来人们发现，金属煅烧后形成的煅灰却比煅烧前的金属重。于是燃素论者提出一个新的辅助性假设，即燃素具有负重量，来解释金属煅烧后

重量增加的事实。同一种燃素，在木头中具有正的重量，而在金属中却具有负的重量。这种自相矛盾的观点，反映了燃素说的严重缺陷。拉瓦锡提出的氧化说能够取代燃素说的地位，重要的原因就是氧化说通盘考虑化学反应中所有物质的重量，克服了燃素说不自洽的困难。

处于进化阶段的科学理论，会在理论发展的过程中消解自身的不自洽之处。门捷列夫提出化学元素周期理论的时候，认为元素的化学性质是其原子量的周期函数。他据此还纠正了一些新元素的发现者在实验结果上的错误，并且成功地预言了一些当时尚未发现的新元素的性质。但是，一些元素，例如碘和碲，前者的原子量小于后者的原子量，而根据化学性质，碘在周期表上却被排在碲之后。类似的例外反映出门捷列夫周期理论的不自洽。在人们弄清了原子核结构和同位素的概念之后，把周期律的核心假定修改为“元素的化学性质是其原子序的周期函数”，这才理解了周期现象背后的实在，消除了周期律的例外。由此我们也可以看出，当一个成功的理论在更深的原因还没有弄清楚之前，它以明确的例外所表现出来的不自洽，需要我们对之进行更深入的研究；随着科学认识的发展，有可能存在消解这种不自洽的机会。在科学史上往往是在消解不自洽性的过程中，深化和发展出新的理论，加深对自然界的认识。

三、简单性评价

科学理论的简单性是指“这样的一种努力，它要把一切概念和一切相互关系，都归结为尽可能少的一些逻辑上独立的基本概念和公理。”^①这是对科学理论的逻辑基础的要求，而不是指科学理论内容的简单性。玻尔在《关于因果和机遇的自然哲学》中提到：“关于简单性问题，在许多场合中会是意见分歧的。难道爱因斯坦的引力论比牛顿的引力论简单吗？有素养的数学家会回答是的，这是指基础的逻辑简单性而说的。”爱因斯坦完全同意玻尔的看法，批注说：“唯一事关紧要的是基础的逻辑简单性。”^②

逻辑简单性之所以对科学理论起评价作用，主要是因为逻辑简单性的理论在科学认识中有以下作用：第一，它包含的信息量往往较大，因而具有更大的普遍性。如广义相对论比狭义相对论更简单，但它包含更大的普遍性和信息量。在广义相对论中，狭义相对论的两条基本假设不再是独立的逻辑元素，而成为引力场效应可以忽略不计、黎曼时空过渡到欧

① 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第384页。

② 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第442页。

几里得时空的特殊结果。第二，它往往具有更大的可证伪性。波普尔认为，两个假设中较简单的解释含有较多的经验内容，因此更容易被证伪。第三，它是一个美学原则。彭加勒认为，科学美具有统一、和谐、对称、简单性等内容。在这里，它们实质上是一致的：和谐，统一，主要是就理论内容来说的；对称，是就理论形式来说的；简单性，则是针对逻辑前提来说的。逻辑简单性是科学家的一种审美理想，一种科学追求的目标。第四，它在一定程度上表现了科学理论对自然界的正确摹写。因为自然界本身就是统一的、和谐的，自然界的运动具有“对称守恒”的规律性，并且沿着最优化的方向进行选择 and 演化，自然界的这种性质是逻辑简单性的客观基础。所以，爱因斯坦深刻地指出：“自然规律的简单性也是一种客观事实。”^①

因此，可以把科学理论的简单性评价分别表述如下：

首先是看理论的普遍性。这是因为，较普遍的理论 with 不那么普遍的理论比较起来，其概括的程度更高、适用的范围更广；而概括程度较低的理论要对概括程度高的理论所概括的全部现象提供解释，就需要更多的陈述，有时候甚至有无穷多陈述都不可能。设想一下，我们说太阳系的行星围绕太阳运转，比采用分别列举一个一个行星的办法说地球围绕太阳运转、火星围绕太阳运转、木星围绕太阳运转等等，在逻辑上就简单得多，因为按照前面一个普遍的陈述，只要我们知道某颗行星是太阳系的行星，就知道它绕太阳运转。经验定律的一个重要作用就是概括现象，科学理论的一个重要作用就是概括并解释定律。从某种意义上说，没有概括，科学就没有了意义。科学家们追求普遍的理论，就是要用简单的原理把握复杂的世界。我们知道，自然界有四种基本的相互作用力，即万有引力、电磁力、强相互作用力和弱相互作用力。物理学家们已经提出了弱-电统一理论。现在，还有不少物理学家正在研究这四种力之间是否还有更多的统一。当然，愈是普遍的理论，就是被证伪风险愈大的理论。从这种意义上说，与普遍性相联系的简单性是与可证伪性、可谬性相联系的简单性。简单的理论含有更多的经验内容。形式结构的简单并不意味着思想内容的简单。

其次是看理论的前提或者基本假定是否足够的少。前提或者基本假定少的理论是简单的理论，反之则是复杂的理论。几乎所有的科学家都相信，自然界受简单的基本自然规律制约。科学理论体系中，形式最完美的是公理化体系。所谓公理化体系，就是从少数概念和不加证明的公理

^① 《爱因斯坦文集》第1卷 商务印书馆 1976年版 第214页。

或者原理出发，推导出的整个理论体系。公理化体系的前提必须彼此独立，不能从一个推出另一个来。运动三定律就是牛顿力学理论的公理，它们规定了一些基本的物理概念，譬如匀速直线运动、运动变化、外力、作用、反作用等等，以及它们之间的不变关系，由此演绎出整个牛顿力学理论来。牛顿力学理论可以解释开普勒关于天体运动的规律，也可以解释伽利略关于落体、钟摆等地上的物体的运动规律，还包含了以前的物理学理论所没有包括的大量内容。所以它是比以前的有关理论更为简单的理论。历史上，托勒密宇宙体系把地球看做是宇宙的中心。为了解释行星与地球之间的距离变化以及行星的顺、留、逆现象，这个理论采用了均轮（围绕地球的偏心圆）和本轮（沿均轮运动的圆）的概念。这样的圆多达 80 个左右，非常累赘。哥白尼的宇宙理论把太阳当做宇宙的中心，使这样的圆减少到 48 个。所以，哥白尼理论就比托勒密理论简单得多，这是前者战胜后的一个重要的理性原因。

最后，还可以通过考察一个理论所包含的公式的参数或者变量是否较少，这些变量的次数和方程的级是否较低，来进行科学理论的简单性评价。一组观测数据反映在坐标图上如果能够用几条不同的曲线模拟，那么，科学家们习惯于选择最简单的曲线。在选择反映简单定律的曲线时，通常假定线性函数比二次函数简单，圆比椭圆简单，等等。简单的陈述比不简单的陈述能够告诉我们更多东西，因为它们的经验内容更多，更可检验。需要指出，通过确定参数和变量的多少来评价相应理论的简单性是很容易的事情，但是怎样给出一个普适的判据，通过确定几何图形或者函数（譬如圆与椭圆、正弦与余弦、对数与指数等等）的简单性来确定相应理论的简单性，仍然是科学哲学家们的一个任务。

第二节 科学理论的实验检验

理论的实验检验，是通过观察和实验对假说的推论进行经验的验证。这是由于假说是对事物的本质或规律性的猜测，具有抽象性和普遍性，无法通过经验直接验证。因此，需要由假说逻辑地推演出若干可以直接检验的推论，然后与观察到的实验结果进行对照。

在假说的实验检验过程中，需要注意推论与实验对照的三种情况：第一，推论和已知的经验相符合，这种证实是对已知经验的理论解释，在这种情况下，从假言命题 $P \rightarrow Q$ 的逻辑性质看，结论 Q 真，前提 P 可能真，也可能假。例如，化学史上一度流行的燃素说，能解释许多燃烧现象，但后来被认为是错误的。第二，推论和未知的现象相符合，这种证实是对未知

的理论预见。一个理论不仅要有解释力，而且要有预见力，这样的理论才能被称为科学真理。科学史上，哥白尼的太阳系学说有三百年之久一直是一种假说，这个假说尽管有很多经验数据说明其可靠性，但毕竟是一种假说，“而当勒维烈根据这个太阳系学说所提供的数据，不仅推算出必定存在一个尚未知道的行星，而且还推算出这个行星在太空中的位置的时候，当后来加勒确实发现了这个行星的时候，哥白尼的学说就被证实了。”^①第三，推论和未知现象不相符合，这就是假说被否定。在这种情形下，进一步深入研究的结果有两种可能：一是修改或补充原来的假说；二是推翻原来的假说，出现科学革命。

实验检验是很复杂的，以上是从理论层面作出的分析，下面将从操作层面进行更详细的分析。

一、对应规则与检验蕴涵

我们首先从科学理论的结构来看事实命题与理论命题之间的关系。

科学理论的结构在语言形式方面，可按从经验到理论、从具体到抽象的过程分为四个层次。第一个层次是实验数据，往往就是仪器指针的读数 比如“指针指向 2.0”。第二个层次是科学事实，它往往以定量的形式表示 比如“指针读数 = 2.0 大气压”。第三个层次是科学定律，反映科学概念之间的关系，比如波义耳定律反映的是在温度不变的情况下气体压力与体积间的反比关系。第四个层次是科学理论，它们把科学定律组成一个复杂的演绎系统，比如分子运动论。

这四个层次之间具有这样的关系：第一，每个较高的层次都是对较低层次的解释。比如上述例子中，分子运动论解释波义耳定律，波义耳定律解释一定温度下一定体积的气体其压力“ $P = 2.0$ 大气压”，“ $P = 2.0$ 大气压”解释“指针指向 2.0”。第二，陈述的预见力从较低层次到较高层次逐渐增加。上例中，预见力的大小按（0 = “指针 P 指向 2.0” < “ $P = 2.0$ 大气压” < 波义耳定律 < 分子运动论）的顺序递增。第三，较低层次为较高层次提供检验基础。上例中，“指针指向 2.0”可以检验“ $P = 2.0$ 大气压”，“ $P = 2.0$ 大气压”可以检验波义耳定律，波义耳定律可以检验分子运动论。第四，如果我们再进一步归类，可以把上述四个层次的语言归为观察层次和理论层次两类，其中观察层次由第一至第三个层次构成。

这些层次的语言中最基本的是术语。有的是观察术语，有的是理论术语，可以通过一定的操作，使它们之间相互对应起来，这种操作就是对

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷 人民出版社 1995 年版 第 226 页。

应规则。对应规则有两个任务：第一，给理论术语下定义；第二，规定把理论应用于现象的实验程序。其最终目的就是保证理论术语具有认识意义。例如，我们规定电荷是在一定条件下测量的结果，规定测量这种性质的实验程序，就保证了“电荷”这个术语有了认识意义。

有了对应规则，理论术语就能够演绎地推出可由经验直接检验的观察术语，从而使理论术语有了经验的基础。但是，随着实验手段的不断完善，越来越多的理论术语成为观察术语。同时，随着理论的进一步发展，又会出现越来越多的新的理论术语。新的理论术语仍然需要通过对应规则与新的观察术语联系起来，这些新的理论术语才不至于成为科学知识之外的知识。

我们再来看理论命题如何与经验命题也就是事实命题进行比较。

经验命题大多是单称命题和全称命题两类。单称命题是涉及特定的对象、事物或事件的命题，比如“太阳是由气体构成的”。全称命题是涉及普遍意义上的事物、对象或事件的命题，比如“如果一块冰受热，它将会融化”。单称命题大体上都含有专门的名称或者与之相对等的表述，而全称命题则不然。理论命题都是全称命题。

单称命题可以直接与经验比较，比如“这只天鹅是白的”，只要我们看看那只天鹅的颜色就行了。但是，全称命题无法直接与某个经验进行比较，比如“所有的天鹅都是白色的”就无法直接与任何个人所有的经验进行比较。但是，我们可以根据一定条件，从这个全称命题逻辑上必然地推出一个单称陈述，再直接验证这个单称陈述，从而对那个全称陈述进行检验。由于推出的相应单称命题，是蕴涵在那个全称命题之中的，所以我们就把这样的条件和相应的单称命题叫做检验蕴涵。

显然，检验蕴涵与条件相关。显然，检验蕴涵的前提是全称陈述。有些看上去前提是由单称陈述得出的蕴涵，其实其中往往含有全称陈述。比如，我们由“外面正下雨”得出“如果你走到外面，你将会弄湿自己”的检验蕴涵，其实里面包含着“淋雨会湿衣服”的全称陈述在其中。

二、确证

如果检验蕴涵与经验命题一致，我们就说由之推出那个检验蕴涵的全称命题得到了一次确证；如果二者不一致，我们就说那个全称命题被否证了。但是，我们不能由此简单地得出结论说某个理论被证实或者推翻了。

如果从理论命题 t 推出一个单称命题 p ，而事实正是 p 是不是就证明了 t 呢？不是。因为由 t 推出的检验蕴涵几乎无限多，单单一个甚至几

个检验蕴涵是不可能穷尽这些检验蕴涵的。确证不同于证实，因为证实具有最终的意义。通过检验蕴涵确证一个理论命题，用公式表示就是：

如果 t 为真 则 p 亦为真

$$\frac{p \text{ 为真}}{t \text{ 为真或者为假}}$$

就是说，从逻辑上看，一个检验蕴涵与一个观察结果相符，并不能决定由之推出检验蕴涵的那个理论命题是真还是假，就是说决定不了其最终命运。但是这样的相符是对理论命题的一种确证。确证在科学理论的经验检验中具有重要意义。

确证实际上就是新观察到的证据对理论的支持。一般说来，证据支持理论包括四个方面，这就是证据的数量、种类、精确和创造性。

一般说来，在没有不利于理论命题的证据或者说没有发现与理论命题相反的证据的情况下，与检验蕴涵相符的观察证据越多，该理论命题的确证程度就越高。门捷列夫提出化学元素周期律以后，曾经预言了类铝、类硼和类硅三种未知元素的存及性质。1874年，人们发现了新元素镓，镓的原子量和物理化学性质正好对应于类铝。1879和1885年，人们又分别发现了钪和锆两种元素，而这两种元素的性质分别对应于类镓和类硅。门捷列夫周期律的这三个检验蕴涵的验证，大大增加了周期律的确证程度。这是门捷列夫周期律比迈耶尔的周期律更能被人们接受的重要原因之一。当然，我们也应该注意到，同类别的有利事例的增加，对相应理论的确证程度的增加，将会随着以前确认的有利事例的增长而减小。比如，我们跳离地面后马上又落到地面上，这个事例对万有引力的存在是一种确证，但是，这种确证的程度对于万有引力理论来说已经微乎其微了，因为此前我们已经拥有了大量类似的有关证据。

证据种类的多样性对于理论的支持起着重要作用。一般说来，在没有不利证据的情况下，一个理论拥有的有利证据的种类越多，该理论被确证的程度就越高。1895年发现的化学元素氩，以及后来发现的化学元素氦，在门捷列夫及其他人设计的周期表中却没有位置。这两个元素的发现似乎是对周期律不利的证据。但是，英国化学家拉姆赛（William Ramsay）提出周期表中应当有新的一族即零族，也就是惰性元素族，氩和氦应当属于这个族。新的一族的增加非但没有突破周期律，反而进一步为周期律提供了新的支持证据。根据新的周期表，人们预言了其他惰性元素的存在，随后人们发现了元素氦、氖、氩、氪。惰性元素的发现对于周期律所提供的，实际上就是新种类的证据以及新种类的检验蕴涵。从某种意义上说，惰性元素的发现与钪和锆的发现相比，能够为周期律提供更有

力的确证。

精确的检验蕴涵的验证，会给受检理论提供令人信服的证据，大大增加理论的确证程度。根据有些理论命题，有时候人们还可以推出与科学共同体已经确认了的观察命题不同的检验蕴涵，修正这些观察命题，从而使理论经受更加严格的检验。门捷列夫曾经公然不顾当时所知的某些“事实”根据他的周期律预言并修改了当时所知道的铍、钛、铈、铀、镅等元素的原子量。例如铀的原子量，当时的测定是 75.4，但门捷列夫发现，具有这一原子量的元素在周期表中的位置已由砷（75）所占据。根据各方面的分析，他认为铀应当是三价，铀放在这一位置是不适当的。据此，他预言铀的原子量不是 75.4 而应当是 113，从而把它放到他的周期表的第 7 周期第 3 族的一个空格上。门捷列夫所做的精确预言，经过他人的进一步实验检验得到验证，从而使人们修改了相应的一些元素的原子量和物理化学性质。这些惊人的证据，进一步确证了周期律。

创造性的检验蕴涵的被证实，往往是科学史上的革命性事件，对于新颖的理论的接受起着重要作用。创造性的检验蕴涵出自创造性的理论。一般来说，创造性的理论与背景理论是相悖的，所以很新颖。麦克斯韦理论提出的时候，就与当时的一些相关理论冲突。比如，当时的理论认为光与电磁现象无关，磁体、带电体之间的作用是穿过空虚的空间瞬时完成的等等。而麦克斯韦的电磁理论认为，光也是电磁现象，变化的电磁场可以发射出一种辐射，该辐射以有限的速度在虚空的空间传播（即我们现在知道的电磁波），等等。这些预言的验证，突破了原来的理论，确证了新的电磁理论。爱丁顿考察队的日食观测对于爱因斯坦广义相对论的确证，也属于这种情况。

需要指出的是，虽然我们已经知道经验命题的数量、种类、精确和创造性都会增加理论被确证的程度，但是如何才能定量地知道这样的确证程度，这仍然是一个问题。这个问题涉及所谓的概率确证问题，即如何确定一个理论被确证的归纳概率。贝叶斯运动就力图用数学工具，来计算理论被确证的概率。这个运动虽然有一定影响，但目前还没有取得实质性的进展。

三、否证

上面我们讨论的是检验蕴涵与经验命题一致的情况。现在我们讨论检验蕴涵与经验命题不一致的情况。

如果从理论命题 t 推出单称命题 p 而事实却是非 p 从逻辑上能够得出的结论就是：理论命题 t 并非正确。我们用公式表示为：

如果 t 为真 则 p 亦为真

$\frac{p \text{ 为假}}{t \text{ 亦为假}}$

与确证的公式相比较，我们可以说，从逻辑上看，确证决定不了理论的最终命运，而否认却可以决定理论的最终命运。

为什么会是如此呢？这是因为全称陈述与单称陈述之间逻辑关系的不对称性。这个不对称性来自全称陈述的逻辑形式。因为，全称陈述不能从单称陈述中推导出来，但是能够和单称陈述相矛盾。我们不论看到多少只白天鹅，都不能证实“凡天鹅皆白”的理论，但只要看到一只黑天鹅就可否定它，这就是逻辑上的不对称性。否定用的是演绎法，它是否定后件的推理，结论假必然要传递到前提上。因此，只要发现与全称陈述相矛盾的事例，就可否定该全称陈述。而证实用的是归纳法，全称陈述的证实难以实现，因为个别有限的单称陈述不能证明严格的全称陈述。“凡天鹅皆白”这个全称陈述，要证实它，就必须对世界上所有的天鹅进行检验，这显然是做不到的。

否定检验是排除一些不必要的假说，使人们对于自然的认识逐步接近于真实情况的有效途径。这方面有一个典型的案例。19 世纪 40 年代，维也纳总医院产科病房的分娩产妇中间流行一种被称为产褥热的致命疾病。而在该医院的第一产科与第二产科之间，产妇因患这种疾病而死亡的比例相差很大。1844、1845、1846 三年中，第一产科患这种病而死亡的比率分别为 8.2%、6.8% 和 11.4%，而这三年第二产科的死亡率则分别是 2.3%、2.0% 和 2.7%。为了解释两个产科死亡率的差别，人们提出了类似中国古代“天人感应”的说法，认为是一种“大气—宇宙—土地的变化”，是“疫气的影响”的结果。但是，为什么这种影响对第一产科要强于第二产科，这种影响对维也纳其他医院不起作用呢？“疫气的影响”理论对此无法解释，因为这个理论没有说明宇宙与大气及产褥热的相关性，而且由它也无法推出可检验的命题来。塞麦尔维斯（Ignaz Semmelweis）除了排除“疫气的影响”这个不相关的假说之外，实际上还排除或者说否证了其他一系列解释第一产科的产妇患产褥热而死的比例高于第二产科的假说。诸如认为，有些进第一产科的产妇离医院较远，在路上就分娩了，因此引起高的死亡率；有的认为，是由于第一产科比第二产科拥挤，同时其饮食和接受的照顾不如第二产科所致；也有人认为，原因在于第一产科的实习医科学学生的粗暴检查。还有人认为是心理原因，因为到第二产科对临终产妇作圣礼的教士要摇着铃通过第一产科，增加了第一产科衰弱产妇的恐惧；还有的认为是分娩姿势引起的，第一产科的产妇仰卧分

娩，而第二产科的则是侧卧分娩。在一一否证了这些假说之后，一次偶然的机会，第一产科的一位男医生患了一种与产褥热的病症相同的病后去世了。塞麦尔维斯注意到，这位医生患病前，其手指被一位实习生在解剖尸体时不小心用手术刀刺伤过。而第一产科的医生和实习生在做了尸体解剖后一般只是简单洗一下手就到病房检查产妇。于是，塞麦尔维斯就推测，一定是他们这些医生和实习生把一种“尸体物质”带给了产妇。通过一次又一次地否证，塞麦尔维斯才得出了这种认识。但是，这种认识也必须像前面的假说一样，接受新的严格的检验。于是，他要求所有的实习生给产妇做检查之前必须用漂白液洗手。此后，第一产科的死亡率迅速下降到第二产科的死亡率以下。在这个基础上的进一步比较发现，第二产科的护士不必像第一产科的实习生那样进行尸体解剖，所以没有携带“尸体物质”的机会。从这个事例我们也可以看到，否证与确证是检验科学理论的两种基本形式，二者相辅相成，共同推进着科学理论的发展。

否证是从反面检验科学理论的方法和手段，同时也是从反面论证和表达某些理论命题的方式。热力学第一定律即能量守恒与转化定律，其肯定表达法是“能量只能按照一定的当量从一种形式转变为另一种形式”。其否证表达法“第一类永动机是不可能的”与其肯定表达法是等价的，因为所谓第一类永动机就是可以凭空产生能量的机器。类似地，“第二类永动机是不可能的”是热力学第二定律的否证表达，因为所谓第二类永动机就是熵减小的机器。

科学区别于伪科学和巫术的一个重要方面，就是科学知识必须经受科学共同体的批判性检验，而这种批判性检验的一个重要形式就是使理论经受否证性检验。伪科学和巫术总是只顾及和寻找有利的证据，科学则既寻找有利的证据也积极面对可能不利的证据。

四、判决性检验

前面讨论的主要是检验单个理论或者理论命题的情况。但是，在科学发展史上，常常出现一种情况，就是对于相同的对象，会有两个不同的理论，而这两个理论各自都能解释一部分现象。对于两个相互竞争的理论，科学家们往往设计出所谓的判决性检验，来决定假说的取舍。

如果关于同一问题存在着两个相互竞争的理论，已有的证据并非有利于其中的一个理论而不利于另一个理论，就是说这些证据不足以决定这两个理论的孰是孰非。在这种情况下，我们就可以设计同样的条件，由两个竞争的理论分别推出两个相互排斥的检验蕴涵，通过相应的观察或者实验，来看检验结果与哪一个检验蕴涵相符，从而断定需要放弃哪个理

论、接受哪个理论。这个过程就是判决性检验。

判决性检验的结果在很多情况下，不会最终决定两个竞争的理论孰是孰非，但是却可以支持其中一个理论而不利于另外一个理论。因为相互对立的理论的真正竞争，在于它们的核心假定相互矛盾，而如果只拿两个相互矛盾的单个陈述来说，两者不可能同为真，但却可能同为假。我们先用简单的例子来说明。比如有“这堆白色粒状物是糖”和“这堆白色粒状物是盐”两个陈述。这两个陈述不可能全为真，但却可能全为假，比如这堆白色粒状物既不是糖也不是盐。即使这样，我们还是可以根据这两个陈述，在一个相同的条件下，分别推出两个相互排斥的检验蕴涵，来做判决性检验。如果是糖，则强热时会变黑（炭化）；如果是盐，则强热时颜色不变。这里，强热就是相同的条件，变黑与颜色不变就是两个相互排斥的检验蕴涵。当然，我们会说，强热后变黑了的并不一定就是糖，强热后不变色的也不一定就是盐。这个判决性检验的结果虽然不能断定这堆白色粒状物是糖、是盐或者既不是糖也不是盐而是其他某种东西，但是它还是会支持其中一个陈述而不支持另外一个陈述。比如，强热后变黑的结果就会支持这堆白色粒状物是糖的陈述。

此外，由于理论除了有核心假定之外，还包含着一系列其他部分的假定，因此，对相互竞争的理论的判决性检验往往并不能够最终证明某个理论的核心假定一定是假的。在光学史上，曾经出现过两个相互竞争的理论，即波动说和微粒说。前者认为光是在弹性介质（以太）中传播的横波，后者认为光是高速运动的微粒。二者都能解释光的直线传播、反射和折射定律，但是在水中光的传播速度问题上，两个理论却引出了相冲突的检验蕴涵。波动说的蕴涵是光在水中传播得比在空气中慢，而微粒说的蕴涵则正好与之相反。法国物理学家傅科（Foucault, 1819—1868）的实验表明，光在水中传播的速度大于在空气中的传播速度。这个结果表明，波动说得到了关键性的支持，而微粒说得到了非常不利的证据。但是，仅由此就断定波动说为真、微粒说为假，则是不正确的，因为推出上述两个蕴涵还需要借助于光的传播机制的其他相关假定。比如，波动说认为光在密度较大的介质中运动较慢，微粒说认为由于密度较大的介质会对光施加更大的力而使光在其中的运动加速，等等。傅科的实验能够说明的，只是微粒说的诸多假定中至少有一个是假的，并不能说明其核心假定或者所有假定都为假。

另一方面，判决性检验的结果也不能最终证明某个理论一定为真。就在人们认为傅科实验判决性地说明光是波动的时候，德国物理学家勒纳德（P. Lenard, 1862—1947）又进行了关于光的波动说和微粒说的另一

个判决性检验。此时，经典的波动说中的以太已经变成了电磁波。勒纳德实验是关于光能的实验。从波动说引出的检验蕴涵是“光能可以连续变化”，而从微粒说引出的检验蕴涵则是“光能不能连续变化”。实验结果支持后者而不利前者。可见，在傅科实验中似乎被确证了的东西，在勒纳德实验中却遭到了否认。当然，这种否认也许否认的是波动说中的其他假定而不一定是核心假定。

虽然我们不能通过判决性检验最终断定某个理论的命运，但它至少可以说明，两个相互竞争的理论中，有一个是有问题的。鉴于此，科学家们在恰当的时候仍然热心于设计判决性检验，以便对理论的取舍做出判断。

五、科学理论的评价与检验的复杂性

以上，我们讨论的都是在比较理想的状态下对科学理论的评价和检验。实际上，科学理论的评价和检验是很复杂的。

首先，这种复杂性是由于观察的易谬性。我们知道，观察不是对象在视网膜上留下印象的简单物理过程，而是经由人的动机、理论和经验过滤和改造了的过程。就是说，观察渗透着理论、动机和经验，而这一切均是可谬的。后者的可谬性使得我们的观察也有了可谬性，而观察的可谬性会使我们对相应的科学理论的评价和检验成为可错的。因此，如果某个理论命题与某个观察陈述相抵触时，错误的也可能是观察陈述。当理论和观察发生冲突时，被抛弃的并非就一定是理论，很可能被摒弃的是错了的观察结果，而被保留的倒是与观察相抵触的理论。当哥白尼的理论与对于金星的观测发生矛盾时的情况恰恰就是如此。哥白尼的理论被保留下来，而关于金星在全年的过程中大小并无可见变化这一肉眼观测结果则被摒弃了。科学史上这种用理论纠正观察的错误的事例屡见不鲜。

其次，这种复杂性来自科学理论的复杂结构。有时候，一个科学理论的某个命题被经验所否认，但整个科学理论却并没有被科学共同体所拒斥。理论在遇到反例时可以通过修改原有理论进行辩护。构成一种现实的科学理论的，是一种全称陈述的复合体。在一个理论之中，除了理论中的受检陈述以外，还有其他陈述，诸如辅助性假说、初始条件和边界条件等等。在检验理论的过程中，存在这样的可能性，即应对错误负责的，并不是受检理论，而是复杂的检验情况的某一部分。因此，从严格意义上说，企图通过有限数目的观察和实验，去证实某种科学理论或普遍原理不可能，要明确地证伪它同样也不可能，因为人们总是可以通过指责诸如实验结果、所预设的条件或其他辅助性假说的方法，来保护该受检理论，使

其免遭证伪的可能性。

科学理论的辩护方式一般是转嫁难题。最常见的办法是把问题转嫁给观察陈述，就是对观察结果提出质疑，以保护理论。如果受质疑的观察结果得到确证，理论的辩护者就把难题转嫁给背景理论。如果背景理论没有问题，一般是修改受检验理论的辅助性假定，以保证该理论的核心假定。如果核心假定遭到证伪，这才意味着受检验理论的失败。

再次，这种复杂性还在于评价和检验受制于评价者和检验者的社会环境和个人因素。我们在前文已知，关于光的波动说与微粒说的两个判决性检验，得出了两个不同的结果，这与这两个检验的历史背景有关。近些年的研究表明，¹⁷ 世纪实验主义传统在英国科学研究中能够形成，与当时英国社会崇尚诚实善德的风尚有关，因为用观察和实验证据说明学理正是这种善德的表现。此外，科学家的教育背景、个人心理因素和个性气质等等，也会影响到科学理论的评价和检验。

最后，这种复杂性还在于科学共同体从表述方式及其社会形象方面对科学理论的确认。科学理论在形成和传播过程中，需要理论的提出者和传播者有一定的表述技巧和修辞学手段。这些技巧和手段有时候直接嵌入了科学理论本身，反映了科学理论的提出者对科学共同体的认知倾向和风格的把握，同时也在一定程度上影响到科学共同体对该理论的接受程度。比如，在科学理论表述的可视化方面，有的习惯于采用图表，有的习惯于采用符号等等。科学家在申请科学基金的时候会采取一些修辞学手段表达其采用的理论的恰当性，在正式投寄学术论文之前会以预印本的形式在小圈子内进行必要的社会协商。这一切，都会作为社会因素而影响到科学理论的评价与检验。

思考题

1. 什么是科学理论的评价和检验，它们在科学发展过程中起什么作用？
2. 科学理论的逻辑评价主要包括哪几个方面？举例说明之。
3. 如何对科学理论进行实验检验？举例说明之。
4. 科学的评价和检验的复杂性主要表现在哪些方面？

第八章 科学理论的发展

科学理论一旦确立之后，它是如何发展的，这是科学观的一个重大问题。本章阐述 20 世纪关于科学理论发展的三种模式，它们代表了三种不同的科学理论发展观，即：累积式发展观、否定式发展观与社会历史观。

第一节 科学理论的累积式发展观

科学理论是不断发展的，因为自然界的发生、发展的过程是无穷的，人对自然界的认识的发生、发展的过程也是无穷的，因而人们在各个一定发展阶段上的科学认识只具有相对的真理性，它必然会随着认识的发展而发展。恩格斯在谈到科学理论的发展时指出：一切科学理论都只是近似地正确，它们不是永恒的绝对真理。以波义耳定律（它是科学理论的重要组成部分）为例，恩格斯指出：这个定律“只是在一定的压力和温度的范围内，对一定的气体是有效的；而且即使在这种更加狭窄的范围内，他也不会排除这样的可能性，即通过未来的研究给予更加严格的限制，或者改变定律的公式。”^①

科学理论的发展有不同于其他事物发展的特殊规律，这是由于科学是一种特殊的认识活动，它有自身特殊的观点与方法（经验论与唯理论、归纳法与演绎法）、特殊的认识手段（观察手段与实验手段）、特殊的表示方式（用科学语言表示的理论体系）。当科学认识一日千里，科学理论对思想文化、对技术进步产生巨大影响，并成为人类的一项重要事业时，科学理论的发展规律便成为科学观的一个重大问题。在科学史上，不同的科学观都试图以某种模式概括科学理论的发展过程。这些科学发展模式无一例外地都是从不同观点、不同的方面提出的，它们概括和反映了科学理论发展的某种情况。

累积发展观是关于科学理论发展的较早且较有影响的看法。

在近代科学形成与发展时期，科学的发展过程被认为“是不断的归纳过程”，在这个过程中形成的各种理论，“在小范围内以经验定律的形式表达大量单个观察的陈述，把这些经验定律加以比较，就能探究出普遍

参见《马克思恩格斯全集》第 20 卷，人民出版社 1971 年版，第 100 页。

性的规律”^①。这种观点把科学理论的发展过程看成是经验的累积过程，在现代科学革命发生以后，才受到猛烈的冲击。

一、古典归纳主义的累积发展观

古典归纳主义认为，作为科学基础的是关于经验事实的命题，科学研究是通过归纳程序去发现一般原理，如此逐步地归纳上升到最基本的原理。它的代表人物“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”^②培根就认为，要深入到自然的内部深处，必须用他所倡导的归纳法，“从感觉与特殊事物把公理引申出来，然后不断地逐渐上升，最后才达到最普遍的公理”^③。

随着近代实验科学的兴起和发展，特别是在开普勒的天文观测研究与伽利略的实验研究的基础上，牛顿建立起他的宏伟的力学理论体系的时候，归纳主义观点便广为流行并产生了巨大的影响。牛顿本人就相信，“他的体系的基本概念和基本定律是能够从经验中推导出来的”^④。

科学理论的发展是经验的累积的观点认为，科学知识体系是以观察所提供的可靠的经验事实材料为基础，并通过归纳法建立起来的。随着观察和实验所获得的事实材料的增加，并且由于观察和实验技巧的改进而对事实的了解更加精确和深入，愈来愈多的概括性更强的定律和理论被建立起来。科学的发展就是真命题数量的不断增多，是量的积累、递增。科学只有进化、没有革命；只有量的变化没有质的飞跃。

英国科学史研究者惠威尔（W. Whewell, 1794—1866）把科学的进化比作支流汇合成江河。惠威尔认为这个模式就是一份具有支流——江河形象的“归纳表”，科学就是把以前的成就逐步并入新的理论而进步的。比如，牛顿理论就把伽利略定律、开普勒定律综合了起来。惠威尔提出，事实和观念的结合导致科学的进步。事实就是为新的定律和理论提供原料的知识，包括经验事实与被合并进新理论中的定律。观念就是把事实绑在一起的原理。这个模式认为，科学的发展经过三个步骤。第一步是把事实分解为基本事实，同时阐明和澄清有关观念。第二步是通过归纳把事实综合成为定律和理论。不过，这里的归纳不是归纳逻辑，而是用新的观点，通过试探，对事实做出冒险的概括。第三步是从理论演绎出相同

① 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第115页。

② 《马克思恩格斯全集》第2卷，人民出版社1957年版，第163页。

北京大学哲学史外国哲学史教研室编译：《十六—十八世纪西欧各国哲学》，生活·读书·新知三联书店1958年版，第10页。

④ 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第314页。

的事实（解释）和不同的事实（预言）。

二、逻辑实证主义的累积发展观

19 世纪末，在两股潮流（在哲学上经验论向实证论的发展和科学上数学、逻辑学与物理学的革命）下产生了逻辑实证主义。逻辑实证主义把实证主义观点与数学逻辑分析方法结合，形成了关于什么是科学理论、科学理论是如何发展的“正统观点”（orthodox view）。逻辑实证主义认为：第一，科学理论是从少数几个基本概念与基本假设出发，用数学演绎与逻辑推理，推演出的一系列命题。所以理论家的方法是，应用那些作为基础的普遍假设或者“原理”，从而导出结论。建立逻辑完备的科学理论体系；第二，科学理论中的命题只有通过经验证实，证明它们同我们的各个单独的经验相符合才能成立。正如爱因斯坦所说的：科学理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，“而理论的真理性也正在此”，^①第三，科学理论是通过新的经验事实的证实而不断地朝前发展的。

在科学上逻辑实证主义是正确的，爱因斯坦指出：科学家创建科学理论的目的“是要得到关于自然界的一个逻辑上前后一贯的摹写”^②。爱因斯坦认为，科学思想和科学概念都是由感觉经验所引起的，它们只有在涉及这些感觉经验时才有意义。因此，如果我们要掌握科学理论的意义，“我们就必须一方面研究这些概念同那些对它们所作的论断之间的相互关系；另一方面我们还必须研究它们同经验是怎样联系起来的”^③。

但是在哲学上逻辑实证主义则是错误的，它从实证论的观点出发提出：首先，数学命题与逻辑命题是分析命题，是先天的；经验命题是综合命题，是经验的。这样就割裂了思维与经验的联系。其次，它把经验背后的自然界的“客观实在性”斥之为“形而上学”。爱因斯坦驳斥了这种观点，他指出，科学真理“具有一种超乎人类的客观性，这种离开我们的存在、我们的经验以及我们的精神而独立的实在，是我们必不可少的”。^④他严肃地批评了马赫的唯心论立场，指出马赫忽略了这样的事实，即“这个世界实际上是存在的，我们的感觉印象是以客观事物为基础的。”^⑤爱因斯坦坚定地认为，一切自然科学的基础是“相信有一个离开知觉主体而独

① 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 115 页。

② 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 304 页。

③ 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 245 页。

④ 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 271 页。

⑤ 《爱因斯坦文集》第 1 卷 商务印书馆 1976 年版 第 213 页。

立的外在世界”^①。

作为逻辑实证主义的代表人物之一，赖欣巴赫主张把科学发现的前后关系与科学证明的前后关系进行严格的区分。因此，从累积发展的观点看，科学理论发展的过程是：经验—理论—经验。

这实际上是科学论证和辩护的过程，是科学理论的累积发展过程，而不是发现的过程。

科学理论无论是在提出的时候，还是在经受进一步检验的时候，都需要得到观察陈述的支持。由于理论命题多是全称陈述，而相应的观察陈述的数目是有限的，人们不可能通过穷尽相应的观察陈述来为理论命题提供充分的证据和支持。因此，只能诉诸概率，用观察陈述对理论陈述的支持，说明科学理论的确证性程度。归纳确证法是说明和评价一个理论的重要方法。但是还应当看到，归纳法不是完全可靠的方法，它是一种概率意义上的确证，而不是最终的证明。这样，归纳法在证明的评价问题上，只需证明理论是否具有最大的正确概率就够了。按照这种概率论的归纳逻辑，一个理论得到观察陈述支持的概率愈大，它得到确证的程度就越高。一种理论如果得到高度的确证，就应该得到承认和接受。科学发展就是这种得到高度确证的理论在新领域的扩展，或被归纳和合并到更全面的理论中。

从累积的观点看，科学理论在其发展过程中，有两种情况导致科学的进步。第一种情况是，某个理论在原来的范围内继续得到确证以后，其适用范围得到扩展。第二种情况是，若干个得到确证的理论，被新的理论所包容。这两种情况的一个共同特点，就是旧理论没有被抛弃，而是被归化入更全面的理论之中。

第一种情况为什么表现出科学的进步呢？这是因为某个理论如果在它原来的范围内成功地经受住了经验检验，得到了确证，而且确证度较高，那么它就很难在进一步的检验中被否定。如果这个理论在进一步的发展中遭到失败，也不能否定这个理论。为什么呢？因为它既然在原来的范围内得到了较高的确证度，那么它就不大会在原来的范围内失败，而这种失败只可能来自后来发现的在原来的范围以外的不同于原来的现象的新现象。既然是新现象，就需要新的实验技术手段来检验，而新的实验技术手段就需要引进新的对应规则，有时候还需要引进新的原理。有了新的对应规则和原理，就意味着理论有了新的发展。如果该理论被否定，则否定的部分应当是原有理论扩展了的部分。如果该理论得到了确证，

^① 《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第292页。

则原有理论的发展就得到了确证，科学就向前发展。在这种情况下，原来的理论术语与新的理论术语的意义并不需要发生多少变化，变化的只是增加对应规则和原理。由经典力学扩展到刚体力学，就是这种情况。

第二种情况很容易理解。以开普勒行星运动三定律与牛顿理论的关系为例。开普勒三定律都可以从牛顿万有引力定律加上相应的边界条件和少量其他原理（如角动量守恒等）推演出来，开普勒定律成了牛顿理论的推论和特例。科学史上充满着这方面的实例。

两种情况展示的科学累积发展的图景是：归纳使科学理论得到论证和确证。得到高度确证的理论在进一步发展过程中很难被否证，它们或者扩展到更广泛的范围，或者合并到更一般的理论之中。这就像中国套箱，小箱子外面套大箱子，箱子的数目不断增加。确证度高的理论不会被抛弃，而是不断被更全面的理论代替。因此科学成就不断增加，科学知识累积式地向前发展。这是科学理论发展的一种方式。

三、理论的应用、调整和修改

科学理论的累积式发展就是理论的不断应用、调整和修改的过程。当某个理论的确证度比较高，得到了人们较高的评价，并被大家普遍接受时，那就进入了应用某个理论从事常规研究活动的阶段，即多数科学家应用他们一致接受的某个理论去解决各种各样的疑难问题。这个阶段，持续时间较长，成果相当丰硕，其基本进程表现为：一是应用的范围不断扩大；二是应用的精确性不断提高。

理论应用范围的扩大表现在运用理论解决疑难活动所不断取得的成就方面，这是解题能力的扩展。而这些又扩大了人们对理论能够解释的事实的了解，从而进一步充实了理论本身。例如，哥白尼理论预见了金星也像月亮一样有盈亏，预言了恒星周年视差。后来，伽利略通过望远镜观察确证了金星有盈亏。俄国籍德国天文学家斯特鲁维（Struve, 1793—1864）观测织女星，得出了一系列关于恒星视差的结论。这些依据理论预测事实的成功都表明了哥白尼学说应用的进展。推而广之，理论的实用成就以及实验和技术的成果，也都是理论应用范围扩大的体现。

理论的移植也从认识的广度上显示了理论应用范围的扩大。比如从量子力学到量子生物学的发展就是如此。从研究微观粒子的运动规律，到研究大分子和生命现象，人们进入了一个新的领域。由于人们认识到，有生命的物质与无生命的物质都是由原子与分子组成的，它们在分子水平上的运动都应该遵从量子力学的规律，而由大量分子所组成的体系的运动则遵从统计规律。这就促使薛定谔在 20 世纪 40 年代从量子力学的

角度探讨了遗传与突变的问题。十几年后，应用了 X 射线的衍射技术，英国科学家克里克和美国科学家沃森提出了作为遗传信息载体的 DNA 双螺旋结构分子模型。

提高理论应用的精确性也是常规研究活动中十分重要的课题。它包括：改进理论的推导结果与观测事实之间相符合的程度；确定普适常数，用公式进一步明确地给出理论的定量表述等等。为了改进理论的推导结果与观测事实之间符合的程度，往往需要引入新的方法，适当修正解释事实的先行条件。确定普适常数，则要求从背景知识出发，利用已知的普遍原理、定律去设计巧妙、复杂的专门仪器，制定出合理的实验、观测方案。

应用理论从事常规研究活动也并不是一帆风顺的，有时会遇到“反常”情况。何谓“反常”？“反常”是指与理论的逻辑推断不一致的事实或理论解释不了的事实。比如，哥白尼的“日心说”就长期面临着“塔的证据”这样一种反常情况。根据“日心说”，地球既在公转又在自转。因此，如果有一块石头从地球表面的一座塔顶上落下来，那么在下落过程中，由于地球自转的缘故，塔已经离开了原来的位置，所以石头应该落在距塔基相当远的地面上。可是，人们看到的实际情形并非如此，石头总是落在塔基附近，这就是所谓“塔的证据”。在哥白尼时代，包括他本人在内，没有一个人能应用“日心说”来成功地解释这样的事实。直到伽利略提出惯性原理之后，这一反常事例才得到了澄清。伽利略指出：从运动着的地球表面的一座塔顶下落的石头，之所以掉在塔基附近而没有掉在离塔基远的地方，是因为石头受到惯性的作用也随着地球运动的缘故。

在应用理论的常规研究活动阶段，科学家会想方设法克服“反常”，因而使理论随之得到新的确证。排除“反常”而为理论辩护具有双重意义：克服理论因未解释某个事实所面临的困难；同时又为理论提供一个新的确证证据。

理论面临“反常”，就表明原有的知识体系存在着缺陷需要克服。为了排除“反常”，就要对理论进行修改。通过修改理论，“消化”掉反常事例，理论日趋完善。理论的修改是理论自身的渐进性演变过程，并不是新旧理论交替的革命性变革过程。理论的修改之所以可能，是因为理论体系具有复杂的演绎结构，而且又具有一定的韧性。理论通常由“内核”和“保护带”两个部分组成。“内核”是理论的主要部分，包括基本概念、基本命题以及公式表述等。保护带是理论系统的次要部分，它是理论核心观念的具体应用，对理论起着辩护的作用，辅助性假说以及包括那些描述初始条件时所依据的假定、观察陈述等也都属于这一部分。所谓修改理论就是指，在基本概念和基本命题保持稳定不变的情况下，对理论体系作

出某种调整，主要是对理论组成的次要部分（辅助内容）进行补充、修改或更新，而不改变其核心观念。

比如，门捷列夫的元素周期律一直安排不好，当时已经了解比较清楚的 4 种稀土元素：镧、铈、钇、铽。元素镧同周期表中位于它上面的 39 号元素钇还是对得上口的，但元素铈、钇、铽就安排不好了。依照原子量大小排列，铈元素的化学性质应当与 40 号元素锆性质相似，但实际情况却完全不同，它在化学性质上依然和 39 号元素钇相似。以后，事态的发展使问题变得更加复杂，又发现了 11 种新的稀土元素镨、钕、钐、铈、镉、铟、铊、镱、镱、钽，加上已经知道的 4 种总计 15 种，它们在化学性质上都和钇十分相似，但是却和周期表上位于它们前面的其他一些元素没有多少相像之处。实在想不出什么办法来在周期表中安排这些元素：这就是说，元素周期律理论遇到了反常事例。如何排除它呢？可以通过增添辅助性假说来调整理论的辅助内容。为了维护元素周期律理论的核心内容：元素的化学性质随其原子量的递增而呈周期性变化，科学家们提出了如下的辅助性假说：这 15 种元素在周期表中只能占据一个空格，而不是 15 个空格，就这样消化了反例。

修改理论、排除“反常”，主要是针对理论的辅助内容进行的。但是，也不完全拒绝在某些情况下对理论的核心内容予以部分的、非根本性的调整。这一点往往被人们所忽视。比如，哥白尼“日心说”的核心内容是：“宇宙的中心靠近太阳，太阳是静止的，太阳的任何视运动都可由地球运动而得到较好的解释。”^①“太阳好像是坐在王位上统率着围绕它转的行星家族。”^②

扼要地说，即宇宙的中心靠近太阳，地球等行星围绕太阳转动，但是天文学的进一步发展表明，太阳不是宇宙的中心，甚至不是它所在的银河系的中心。因此，“日心说”的核心内容就只剩下“地球等行星围绕太阳转动”了。

调整理论的辅助内容是修改理论的主要方式，但不是唯一的方式。修改理论也可以是对理论表述形式作出改进。任何理论内容都需要一定的表述形式，这是不言而喻的。表述形式既受理论内容的制约，又有其相对的独立性。表述形式既不是随意的，又不是唯一的。对于同一理论的不同表述形式来说，虽然彼此是等价的，但却有着高下、优劣之分，其完美程度对于理论功能的发挥将产生深刻的影响。因此，这对理论的发展与

① 《天体运行论》科学出版社 1973 年版 第 4 页。

② 《天体运行论》科学出版社 1973 年版 第 33 页。

完善也是很有意义的。改进理论表述形式的典型案例之一是牛顿力学的发展。

第二节 科学理论的否证式发展观

否证式发展观是现代科学革命出现之后产生的、关于科学理论发展的较有影响的看法。

从辩证法的发展观看来,科学认识所包含的需要改善的因素,“无例外地总是要比不需要改善的或正确的因素多得多”^①。科学史就是把各种谬论“逐渐消除的历史,或者说,是用新的、但越来越不荒唐的愚昧加以代替的历史”^②。20世纪初的物理学革命,极大地修正和发展了占支配地位达两百多年之久的牛顿物理学,就是一个明证。

在受到爱因斯坦广义相对论预言得到证实的震动下,科学哲学家波普尔认为:如果像牛顿物理学经受了长期的、无数次检验的理论尚且有错误,那么,还有什么科学理论能够永远正确呢?因此,波普尔提出了科学理论的否证式发展观,他认为,任何一种科学理论都只不过是某种猜想或假说,其中必然潜藏着错误,即使它能够暂时逃脱实验的检验,但终有一天会暴露出来,遭到实验的反驳,即“证伪”。科学理论就是在不断地提出猜想、发现错误而遭到否证、再提出新的猜想的循环往复的过程中向前发展的。所以,在波普尔看来,科学理论的否证式发展是:猜想—证伪—猜想。

人们在科学研究过程中,开始是发现问题,然后为了回答问题提出猜想,并根据猜想演绎出一系列的预见,再根据这些预见设计观察和实验方案,通过经验与预见的比较检验猜想,然后依据经验检验的结果来调整理论或假说。因而科学理论的否证式发展实际上是:问题→猜想→证伪→新的问题。它反映了科学研究活动中理论与经验的相互作用:理论在经验的检验中不断改变自己的形态;同时它又反映了科学认识的不断进步。换言之,科学认识是在不断改正自己的谬误中向前发展的。可以把理论不断经受否证检验而发展的过程简略地表示为: $P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$ 。其中, P_1 代表问题, TT 代表试探性理论, EE 代表排除错误, P_2 代表新的问题。

否证式发展观有朴素的和精致的两种形式。我们把否证看做科学理

① 《马克思恩格斯全集》第20卷 人民出版社1971年版 第94页。

② 《马克思恩格斯选集》第4卷 人民出版社1995年版 第703页。

论发展的一种形式而不是普遍的形式，并且综合两种形式来论述。

一、理论的可否证性

累积式发展观认为，“可证实性”是科学知识的一个重要特征。从辩证法的观点看来，这种认识并不全面，因为在科学认识与经验的关系上，科学知识的特征的更全面的概括是“可检验性”，就是科学知识经验是否符合，在物理学中就是理论“同物理事件（实验）是否有清晰的和单一而无歧义的联系”^①。而这种可与经验相符合的性质，包括“可证实性（相符合）”与“可否证性（不相符合）”两个方面或者说是两种形式。

在 20 世纪 80 年代美国阿肯色州关于“创世科学”与进化论的一场影响很大的立法官司中，科学知识的可证实性与可否证性就作为科学知识要满足的必要条件同时出现在检察官的证词中，并且这场司法诉讼的结果有利于进化论的传播。这说明，可证实性与可否证性作为科学知识与非科学知识划界的条件已经得到社会的赞同。如果说可证实性是从肯定的方面认识科学知识的性质，那么，可否证性就是从否定的方面认识科学知识的性质。二者不能互相代替，但却是互相补充的。

可否证性指的是逻辑上可以被经验否证的性质。一个理论只有在逻辑上有可能被否证，才是科学的，否则，就是非科学的。根据这一原则，在逻辑上有可能被否证但至今尚未被否证的理论，如相对论和量子力学，是科学的。历史上已被否证的理论如地心说、燃素理论等等，也是科学的，因为它们具有在逻辑上被经验否证的性质。而分析命题、数学命题、形而上学命题以及模棱两可的命题则是非科学的，不具有可否证性。

把否证原则作为科学与非科学的分界标准是基于全称陈述与单称陈述之间逻辑关系的不对称性。这个不对称性来自全称陈述的逻辑形式。因为，这些全称陈述不能从单称陈述中推导出来，但是能够和单称陈述相矛盾。我们不论看到多少只白天鹅，都不能证实“凡天鹅皆白”的理论，但只要看到一只黑天鹅就可否证它，这就是逻辑上的不对称性。这是否证主义科学观的逻辑起点。否证用的是演绎法，它是否定后件的推理，结论假必然要传递到前提上。因此，只要发现与全称陈述相矛盾的事例，就可否证该陈述。而证实用的是归纳法，证实难以实现，因为个别有限的单称陈述不能证明严格的全称陈述。“凡天鹅皆白”这个全称陈述，要证实它，就必须对世界上所有的天鹅进行检验，这显然是做不到的。如果从反归纳的立场出发反对借助概率演算来发展归纳推论的理论，那么使全称

① 《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆 1976 年版，第 118 页。

陈述以观察到确认的归纳推论也是不合理的。如果存在着归纳推论，则必然也存在着一种证明归纳推论的归纳原则。这种归纳原则应该是综合陈述，按照逻辑实证主义的要求，它作为综合陈述必须是由经验支持的。又因为这一原则是普遍陈述，所以这种支持并不是证实，而是确认。这样，这个归纳原则必定是用归纳方法得出的。为了证明这个归纳原则，就必须假定更高一级的归纳原则，于是就陷入了一种无穷的倒退。由此可见，严格的全称陈述有一个显著的逻辑特征，只能否证，不能证实。

否证原则不仅是科学与非科学的分界标准，而且还是推进知识增长的重要手段。科学的进步不仅有不断归纳、证实、积累的过程，而且还有不断否证、不断批判旧理论，大胆猜测新理论的过程。没有否证就没有科学革命，就没有科学知识的增长。

二、科学发展的否证模式

科学始于问题。为什么呢？因为，观察渗透着理论，观察事实的陈述和观察事实的确证都必须借助于理论。所以，观察不是科学的起点。同时理论也不是科学的起点，因为理论是为了解决问题而提出的。只有问题才是科学的起点。问题出现后，科学家们就要提出各种试探性理论用以解决问题。试探性理论不是从过去积累的经验材料中概括出来的，而是大胆猜想的产物。各种试探性的理论提出后，就要接受严格的批判和检验，即寻找反例进行反驳和否证。对一种理论的任何真正的检验，都是企图否证它或者驳倒它。当试探性理论被经验否证后，又产生了新的问题。这样，又从新问题到新理论，以及新理论再被否证，科学正是如此从旧问题向新问题的不断发展。这就是科学发展的否证模式。这一模式强调了科学知识的增长是一个动态的不断革命的过程，是与我们上一节所讨论的累积模式不同的。

每一个理论的可否证性程度是不同的。容易被否证的理论其可否证性的程度就高，不容易被否证的理论其可否证性的程度就低。从逻辑上看，一个好的理论，应当是可否证度高的理论。理论表述的内容越普遍，它所提供的信息量越大，可否证度就越高；其次，理论表述的内容越精确，它的可否证度就越高。可否证度是理论评价的重要标准，但不是唯一标准，理论在接受逻辑检验以后，还必须接受经验的检验。只有当理论或由其推导出的预言经受了观察实验的严格检验，并得到了确认，才可称为是真正进步的理论。当然，更重要的是可否证度，可否证度高的理论是有意义的和重要的，即使它遭到经验的反驳，也对科学的发展提出了问题，因而有助于科学的进步。

否证方法是一种对理论进行检验、进行批判和革命并最终把它否证的方法。这种方法强调批判，因为现代自然科学革命表明，科学的精神是批判，即不断推翻旧理论，不断做出新发现。

三、科学的成长与进步

如果科学的发展仅仅是否证，那么科学如何成长和进步呢？通过我们在前一章讨论的确证与否证的内容，我们可以想到，证实一个科学理论不可能，彻底否证一个理论也是不可能的。因为，第一，经验命题本身就负载着理论而理论是可错的，理论的可错性传递给经验命题，那么，可错的经验命题对理论的否证就有了可错性。第二，我们看一看科学史，历史上几乎所有的科学理论都曾面临与经验命题的矛盾，但是，这些理论有很多都存活下来了，就是说，它们实际上（而不是逻辑上）并没有被否证掉。所以，在一个理论遇到反例时，人们并不会马上抛弃该理论，而是要对这个理论做一些修改或者新的辅助性的说明，把这个反例解释过去，以推动进一步的检验。

如果为了使某个科学理论免遭被否证的危险，通过增添不可检验的辅助性假设来使该理论不具有可否证性或者可检验性，这样的做法称为对原有理论的特设性修改。特设性修改不会导致科学的进步，只会使一个理论堕落。伽利略用望远镜观察到月球表面的凹凸不平时，亚里士多德的信徒为了坚持一切天体都是完美球体的学说，提出月球上存在的不可检测的物质充满了凹处，使得月球仍然保持完美球体形状。这就是一个典型的特设性修改，它不仅没有导致新的检验，而且还逃避检验，其结果只能使亚里士多德学说在文艺复兴时期更加处于劣势。关于海王星发现的例子，情况正好相反。对海王星的预言，提供了对牛顿理论的新的独立的检验，是非特设性的，它所导致的是科学的进步。从发现海王星的例子我们也可以看到，否证主义模式并不完全否定确证在科学发展中的地位。

科学的进步有两方面的标志。一方面的标志是理论的可否证度。增加理论的可否证度，就是增加了一个理论被否证的可能性，增加了该理论的经验内容。经验内容的增加就是知识的增多，而知识的增多就是陈述的内容为真的可能性的减小。另一方面的标志是确证度的增加。高度可否证的理论如果得到不断的的确证，那就使我们的知识经受住了否证的考验。所以说，可否证度是科学理论潜在的进步标准，确证度是科学理论的实际进步标准。

比较累积模式与否证模式，我们也可以看出，前者更加注重追求真理

的证明或者可能的真理，后者更加强调科学的成长。在否认主义模式看来，确证的意义更在于它提供了证据表明被确证的理论有理由否认并且取代旧理论。

第三节 科学理论发展的社会历史观

20 世纪 50 年代末出现了新的情况：一方面，形成了一股自然科学奔向社会科学的洪流，科学社会学、科学学、科学史学、科学心理学等一系列新兴学科相继涌现，标志着自然科学与社会科学的相互联系与相互渗透；另一方面，科学成为社会的一项重要事业，它广泛地深入到社会的各个领域，对生产方式、生活方式、思维方式以至价值观念都产生了极其深刻的影响。在新的形势下，对科学理论发展的研究不能孤立地、离开它所处的社会历史环境来进行，因此在科学哲学中出现了社会历史学派。

从科学史来看，一方面，我们发现，有许多科学发现是不能确定何人在何时何地做出的。例如氧的发现至少涉及到 5 位科学家的独立工作；涉及能量守恒定律的发现的至少有 12 位科学家。另一方面，如果我们把历史上某些科学理论中克服错误和证明正确的过程分离开来，我们就不能更深入地理解那些科学理论。这就是说，科学理论的发现和发展是有其社会历史因素的，同时也说明，仅仅从科学理论自身的证实和否认两个方面理解科学的发展是不够的。

库恩正是从科学认识的社会历史背景的角度，提出他的科学发展观的。从社会学的角度出发，库恩认为，科学研究虽然离不开个人，但科学理论本质上是集体研究的产物；科学理论不是单纯的知识积累，而是一种“范式”(Paradigm)，是集体用以不断生产科学知识的工具。从历史学的角度出发，库恩认为，累积式发展观是渐变的观点，它看不到科学发展中的质变(科学革命)；否认式的发展观强调不断革命，但它忽略了常规科学发展的长期积累。为了克服这两种科学发展观的片面性，库恩主张应当尊重历史，从动态的角度来考察科学理论发展的机制和规律，据此，他提出如下的科学发展的模式：前科学→常规科学→危机→革命→新的常规科学→新的危机。这个模式认为，科学认识活动是由科学共同体进行的，在科学发展的社会史上可以分为几个时期：前范式时期，各种理论、观点、假说相互竞争，但没有一种在科学共同体中得到确认；常规科学时期，科学共同体在范式指导下不断积累知识的时期，常规研究是不断开拓与加深范式的内涵，为新观念、新理论的突破奠定基础；科学革命时期，出现了与范式所预期的不相符合的反常现象，当调整范式不能解决反常的问

题时便出现科学危机，这时候原有的范式受到质疑，科学革命时期从此开始。因此，科学的发展就是前科学—常规科学—科学革命如此循环往复的过程。

一、范式与共同体

从科学的社会历史观出发，可以看到，仅仅把可证实性或者把可否证性作为科学的标志，还不能全面回答什么是科学。从科学的整体性来看，可以把范式作为科学与非科学的分界标准。所谓范式，是指从事同一个特殊领域的研究的学者所持有的共同的信念、传统、理性和方法。范式是重要的科学成就，它有两个显著的特点，一是它可以把一大批坚定的拥护者吸引过来，二是它能指导这些拥护者进行解难题活动。因此，范式对科学研究者既有心理上的定向作用，又有实际工作上的指导作用。据此，可以把有无范式的存在看做区分科学与非科学的标志。范式是科学革命结构方法论中非常重要的概念，其重要性不仅表现在它是划界标准，而且还表现在新旧范式的更替是科学革命的标志。科学革命就是旧范式向新范式的过渡。

与范式紧密相连的，是“科学共同体”概念。“范式”一词无论实际上还是逻辑上，都很接近于“科学共同体”这个词。一种范式是、也仅仅是一个科学共同体成员所共有的东西。反过来说，也正由于他们掌握了共有的范式才组成了这个科学共同体，尽管这些成员在其他方面可以没有任何共同之处。要完全弄清楚范式，首先必须认识科学共同体。所谓科学共同体是指某一特定研究领域中有共同观点、理论和方法的科学家集团。这一科学家集团的成员受到过大体相同的教育和训练，因而有共同的探索目标和评判标准。科学知识实质上是科学共同体的产物，因为范式的产生、形成以及更替是与科学共同体成员的创造、拥护以及叛离活动联系在一起。

前科学是尚未形成范式的时期。在前科学时期，科学家们各持己见，对某一问题的解释存在着众多相互竞争的理论。例如，牛顿以前的光学就是这样。在牛顿提出光的微粒说以前，对于光的本质的见解众说纷纭，无所适从。有人认为光是物体和眼睛之间介质的变化；有人认为光是介质同眼睛发射物的相互作用；还有人把光看做是从物质客体发射出来的粒子。直到 18 世纪牛顿提出了微粒说，认为光是物质粒子，为光学提供了第一个范式，光学也就从前科学进入到常规科学。

二、常规科学及其危机

范式的形成标志着科学的成熟。有了一个范式，有了这个范式所容许的那类更具有小圈子性质的研究，这就是任何一个科学领域的发展达到成熟的标志。有了范式就意味着前科学进入到了常规科学。在常规科学时期，科学家们在范式的指导下进行解难题活动，他们满怀信心地集中精力解决范式所规定的理论和实验两个方面的难题。解决难题是为了保护和发展范式，而不是否定范式。因此，随着难题的解决，范式的结构更加完善，内容更加丰富，范式在理论上和实验上与自然界更为一致。在常规科学时期，科学是渐进发展的，是一种累积的事业。

在常规科学时期有时会出现反常现象，即范式无法解决的难题。反常现象的出现并不表示“否认”了一个理论或范式，只是对它提出了一个反例。在常规科学时期，科学家们对反常现象并不介意，不是一出现反常，就抛弃理论，而是把反常现象看做是实验仪器的问题或自己没有能力解决难题。但是，随着反常现象的频繁出现，使范式陷入了危机，这时科学家对范式开始怀疑，信念逐渐动摇，原范式的定向作用失效。于是，危机给科学共同体带来分裂，科学研究变得类似于前科学时期，各学派之间相互竞争。

随着认知科学的发展，人们试图借助计算机，对传统的科学哲学问题给出具体的答案，并尝试提出新的更加具体的问题。为了在计算机上实现这些想法，可以根据科学哲学、科学史和科学社会学领域达成的共识，把影响科学理论发展的因素分为理性因素和社会因素两大类。相应地，把科学认知分为热认知和冷认知两类。研究者的动机和情感因素在其中起作用的认知称为热认知；不包括研究者的动机和情感因素的认知叫做冷认知。萨加德（Thagard）等人倡导计算科学哲学提出的概念革命模式反映了科学理论认知框架的变化，用这种思想在计算机上系统处理了拉瓦锡氧化理论等典型的科学革命案例，为进一步具体深入地研究科学理论的发展提供了有益的启迪。^①

三、科学革命与理论更替

要解决危机，必须进行革命，抛弃旧范式，建立新范式。要创建新范式，就需要批判精神与创造精神。其实，科学研究始终都必须坚持批判和

参 见 Paul Thagard, *Conceptual Revolutions*, New Jersey: Princeton University Press, 1992
pp. 62—102.

革命的观点。但是，科学只是到了危机和革命时期才具有批判性。在科学革命时期，科学的发展是突变和飞跃，是新旧范式的更替。科学经过一场革命后，新的范式诞生，新的共同体形成，于是科学便进入了新的常规科学，在新的常规科学之后又伴随着新的危机。科学就是按照这种模式不断发展的。革命在科学中具有重要作用。科学革命导致了新范式代替旧范式。由于新范式能消除反常现象，其解难题能力比旧范式强，因而显示出科学在进步。

科学革命是科学理论的跨越式发展，是理论不断更替的过程。不同的理论互相竞争，其结果是优胜劣汰，这时就出现了理论的更替局面。这些相互竞争的理论，其核心内容是迥然不同的，所以理论的更替可以说是核心内容的根本变更，是一次理论体系的重新建构。这与理论的修改是有很区别的。“日心说”模型代替“地心说”模型，“大陆漂移模型”代替“大陆固定模型”相对论代替牛顿力学 等等 皆是如此。

如果更替前后的两个理论在根本的核心内容方面是互不相容、无法并存的，那么理论的更替就表现为新的理论取代旧的理论。例如，“地心说”认为地球是宇宙的不动的中心，而“日心说”则认为地球同其他行星一样，围绕着宇宙的中心太阳作周年的运动，显然二者无法相容。当然，“地心说”也并不是完全荒谬的。它也认为地球是球形的，并指出月食是月亮落在地球阴影以内的结果，月食时月球上暗区的圆形，乃是地球球形的证据。由地心说还可以正确地推断出，如果地球果真运动的话，从地球上看到远处两颗距离不同的恒星，它们的相互视位置应该发生变动。如同我们从行驶着的车辆上看两棵远近不同的树，就会发现它们的相互视位置发生变动一样。当时称这种现象为“视差动”。这些见解依然被保留在“日心说”的理论体系中。然而，根本的观点已经改变了，完全被倒转过来了。

在自然科学中，我们也常常遇到这样一些理论，在这些理论中真实的关系被颠倒了，映象被当做了原形，因而必须把这些理论同样地倒过来。

“燃素说”理论到“氧化说”理论的更替也是如此。如果用简单的图式来表示就看得很清楚。“燃素说”认为 $\text{金属} - \text{燃素} \rightarrow \text{煅渣}$ ， $\text{煅渣} + \text{燃素} \rightarrow \text{金属}$ 。而“氧化说”认为： $\text{金属} + \text{氧气} \rightarrow \text{煅渣}$ ， $\text{煅渣} - \text{氧气} \rightarrow \text{金属}$ 。也就是说，燃素与氧气互换，减法与加法互换，就从“燃素说”的语言译成了“氧化说”的语言，“燃素说”理论就是形式上倒立的“氧化说”理论。这样就以比较正确的理论取代了错误的理论，错误的理论一般来说就被淘汰了。

如果更替前后的两个理论，虽然根本的核心内容是不同的，但是经过

一番改造后二者可以相容，那么理论的更替就表现为旧的理论被新的理论所归并。所谓“归并”，是指理论基本概念与基本命题等核心内容被新模型吸收、包含起来。例如，从牛顿力学到量子力学的更替就属于这种情况。作为理论核心内容的基本概念、基本命题及数学表达式都发生了很大变化，但是牛顿力学并没有被摒弃，而只是适用范围受到了限制。经过改造，牛顿力学成为量子力学的特殊情况：在普朗克常数可以忽略不计的条件下，牛顿力学的公式接近于量子力学的公式。更确切地说，牛顿力学在得到检验的那些领域内以渐近线的形式与量子力学相一致。牛顿力学中的“轨迹”、“位置”、“动量”等概念可以为量子力学中相应的波函数几率波等概念所包容，牛顿力学中机械决定论的动力学规律暗伏在量子力学中统计性因果律的涨落之下。

不同的理论经过长期竞争也可能出现下述的情景：从评价理论的各个条件来看，两个理论 H 与 H' 既有共同的成就，又有各自独特的成就。像有些事实陈述由 H 能推断出来而从 H' 推断不出来，又有些事实陈述由 H 推断不出来而从 H' 能推断出来。 H 的这一些预测得到验证而 H' 的另一些预测得到验证等。综合考察，两个理论的竞争能力不相上下。在这种情况下，可能出现一种新的理论来取代相互竞争的两个理论，这种更替将是综合型的，兼有上述取代型和归并型的特点。比如，光的量子理论代替光的波动理论与光的微粒理论就是这样的。值得指出的是。这种类型更替前的两个理论的核心内容常常互不相容甚至根本对立，然而经过本质的改造后却能并存于更替后的新理论中。“正如在光的情况下一样，只要我们坚持经典概念，我们在光的本性这一问题中也就必然地要面对一种不可避免的二难推论，这种二难推论必须认为恰恰是实验证据的表现。事实上，我们这里所处理的，又不是现象的一些矛盾的图景而是一些互补图景；只有所有这些互补图景的全部，才能提供经典描述方式的一种自然的推广”。^① 可见，新的理论揭示了对立理论之间的内在联系机制，前者代替后者的发展是相当深刻的。

理论的更替在科学史上被称作“科学革命”。每一次科学革命都是对原来占据统治地位的传统理论的抛弃而接受另一个与之竞争的新的理论，也就是批判了原有的研究常规而开辟出新的研究常规。但是，这并不是说，理论的更替就是全盘否定旧理论，只有批判没有继承。实际上，任何新的理论，哪怕它影响再大、成就再辉煌，也不是否定一切传统的东西，它必定要把旧理论中的积极成果保留下来。这上面的案例分析中已经

玻尔：《原子论和自然的描述》，商务印书馆 1964 年版 第 42 页。

可以清楚地看到了。

思考题

1. 不同的科学理论累积发展模式各是如何看待理论的归并的？
2. 科学发展的否定模式如何看待科学理论的竞争？举例说明之。
3. 科学发展的社会历史观从哪些方面反映科学理论的发展？

第三编

技术观与技术方法论

马克思指出科学与技术的区别，即科学是精神生产力，技术是现实生产力。由于现代技术是在科学的基础上产生与发展起来的，技术和科学发生了密切的联系，但是从认识论与方法论的角度看来，技术仍然是和科学有区别的，本编阐明技术不同于科学的本质，技术认识论与方法论，特别是现代技术发展提出的价值论争、现代技术的社会形成等问题，从而明确科学技术在社会发展中的地位与作用。

第九章 技术的本质和结构

马克思主义技术观是基于辩证唯物主义和历史唯物主义的基本原理，从整体上揭示技术的本质而形成的总的看法和基本观点。它和马克思主义自然观、科学观一起，构成马克思主义世界观的整个理论体系。本章从马克思主义技术观出发，阐述技术的本质与技术的结构两大问题。

第一节 技术的本质和特征

一、技术的本质

“技术”一词源于古希腊语 *techne*，意指“技能”、“技艺”等。它虽与科学 *Scientia* 同属人类的智慧，但二者截然不同，*techne* 指的是主观性因素，而 *Scientia* 指的则是反映客观事物的理性知识（*episteme*）。在我国古代，技术泛指“百工”。春秋末期齐人所著《考工记》中讲到，“天有时，地有气，材有美，工有巧，合此四者然后可以为良”，指出精美器物的形成离不开天时、地利、材料和工巧各种因素的结合。近代以来，技术对自然科学理论的应用导致了技术的理论化趋向，产生了技术科学，从而在技术的构成要素中，技能、经验等主观性因素不再占主导地位，“技术”一词也从最初的 *techne* 转变成 *technology*，其后缀 *-ology* 有“学问”、“学说”之意。18 世纪末狄德罗把技术定义为完成特定目标而协调动作的方法、手段和规则体系。随着机器和工业在生产过程中占据统治地位，技能逐渐变为制造和利用机器的过程，以至人们认为技术就是工具、机器和设备，这样，在技术的本质问题上就形成了“方法技能说”、“劳动手段说”、“知识应用说”等多种观点，欧美各国的技术哲学、日本的技术论等对此都展开过讨论。

马克思主义首先是从人类最基本的实践活动即物质生产劳动出发把握技术的本质，认为技术是在劳动过程中产生、发展起来的，劳动的进化史就是技术的进化史。而劳动，“首先是人和自然之间的过程，是人以自身的活动来引起、调整和控制人和自然之间的物质变换的过程”^①。人们

^① 《马克思恩格斯全集》第 23 卷 人民出版社 1972 年版 第 201、202 页。

进行物质生产劳动时并不是直接作用于自然界，而是通过劳动资料即技术手段的中介作用，把人的活动传导到劳动对象上去。因此，人的劳动过程，实际上是借助包括劳动手段、工具及其技能、方法在内的技术，来引起、调整和控制人与自然的物质交换过程，其构成要素是有目的的活动或劳动本身、劳动对象和劳动资料，其中劳动资料包括机器、器具、工具、厂房、建筑物、交通运输线等等，它们是物化的智力。

这样，可以把技术定义为人类为满足自身的需要，在实践活动中根据实践经验或科学原理所创造或发明的各种手段和方式方法的总和，它体现在两个方面：一是技术活动；二是技术成果，包括技术理论、技术工艺与技术产品（物质设备）。技术在本质上“揭示出人对自然的能动关系，人的生活的直接生产过程，以及人的社会生活条件和由此产生的精神观念的直接生产过程”，^①体现了人对自然的实践关系，是人的本质力量的展现，属于直接生产力。

提起技术的本质，人们往往会想到科学。自然科学与技术有着非常密切的关系，它们经常被连起来使用，简称“科技”。但是，这二者是有区别的。

首先，技术和科学在本质上都反映了人对自然的能动关系，都属于生产力范畴，但它们与自然的关系不同，科学是对自然能动关系的知识形态，是对自然的理论关系，属于间接生产力或一般生产力；技术则是人对自然能动关系的现实形态，是对自然的实践关系，属于直接生产力；其次，二者的目的不同，科学属于认识范畴，它主要回答“是什么”、“为什么”的问题，并建立起相应的知识体系，技术属于实践范畴，主要解决针对客观世界（作用对象）做什么”、“如何做”的问题，并建立起相应的操作体系；再次，二者的可预见性程度不同，科学的具体的发展途径如何，哪一项突破在什么时间在哪个实验室出现，一般来说是不可预见的，而技术是以对自然界的认识为根据，利用已有的认识来改造自然，为人类服务。由于技术有了科学的根据，就有了明确的目标和实现目标的手段，并根据人们的需要和现实的可能，包括人力、资金和技术条件进行规划，因此总体来说技术是可预见的。最后，对二者的评价标准也不同，科学进步的标准在于能否完善科学理论，扩大科学知识的储备；技术提高的标准在于是否能生产出新的和更好的产品。正是技术与科学的多方面的差异，人们才得以对它们分别研究，建立起相应的技术体系与科学体系。

马克思主义把技术的本质界定为人对自然的能动作用、改造作用，这

^① 《马克思恩格斯全集》第23卷 人民出版社1972年版 第410页。

个观点是十分深刻的，因为：

第一，人对自然的能动作用即人利用和改造自然，是通过自己的实践活动来实现的，而技术就是人的实践活动所不能缺少的工具、手段和方法。人类单凭自身的体力很难获取生存所需要的生活资料，因此即使是在远古时期，原始人也需要运用最原始的工具作用于自然，离开技术，人的实践就很难进行，在当今的知识经济条件下尤其如此。技术是人利用自然物的机械属性、物理属性、化学属性所创造的人工自然物，是进行实践活动的工具，技术和改造自然的实践活动是分不开的，充分展现了人的主观能动作用。

第二，人能动地作用于自然的实践活动，是在理性的指导下进行的有目的的活动，是在改造客观世界中实现主观的目的。这里理性和目的并不直接使自然界的物质与能量发生数量上的变化，而是借助技术工具的中介作用，使自然界发生物质形式与能量形式的变化，同时在自然界中实现自己的目的。马克思在阐述这个问题时曾引证黑格尔的话：“理性何等强大，就何等狡猾，理性的狡猾总是在于它的间接活动，这种间接活动让对象按照它们本身的性质互相影响，互相作用，它自己并不直接参与这个过程，而只是实现自己的目的”。^① 技术是实现理性目的的手段，这正体现了人对自然的能动作用的观点。

第三，技术作为人对自然的能动关系，推动着人与自然之间关系的演化，并改变着人自身的自然。首先，技术的演化推动了人与自然之间关系从原始时期混沌的天人合一到近代的天人对立，再到将来的自觉的天人合一的演化。在人类早期，人的能力十分低下，在技术水平上刚刚摆脱利用自己的本能使用粗糙工具的时期。但是，“手的专业化意味着工具的出现，而工具意味着人所特有的活动，意味着人对自然界的具有改造作用的反作用，意味着生产”。^② 随着人类技术水平的不断提高，人类开始陶醉于对自然的胜利，把自然作为索取的对象，从而走向了与自然的对立，造成一系列的问题。人类应当通过自觉调整自己的行为，逐渐学会控制自然力以便经济地加以利用，并进而实现与自然的和谐统一。

同时，人类还在运用技术变革自然的实践活动中改变着自身，不仅使人的身体发生改变尤为重要的是人所特有的思维能力得以不断提升，正如恩格斯所指出的：“人的思维的最本质和最切近的基础，正是人所引起的自然界的变化，而不单独是自然界本身；人的智力是按照人如何学会改

马克思：《资本论》第1卷 人民出版社 1975 年版 第 203 页。

② 《马克思恩格斯选集》第4卷 人民出版社 1995 年版 第 273 页。

变自然界而发展的。’^①

第四，技术作为人对自然的一种能动关系，不仅存在于物质生产过程中，还表现在社会生活条件方面以及由此产生的精神生活的各个方面与过程之中。

马克思主义把劳动资料与经济时代联系起来，实际上就是把技术发展水平和不同经济时代的发展联系起来，强调了劳动资料（技术）在经济时代改变过程中所起的作用。马克思深刻地做出了“各个经济时代的区别，不在于生产什么，而在于怎样生产，用什么劳动资料生产”^②的科学论断，并指明，劳动者和生产资料（其中包括技术）结合的方式和方法使社会结构区分为不同的经济时期，就是说，技术的生产关系是社会生产关系的一个重要的组成部分。

不仅如此，技术进步还是变革社会的重要力量。马克思在研究历史时，曾说过封建势力把蒸汽、电力和自动织布机看成是比法国大革命的领导人巴尔贝斯、拉斯拜尔、布朗基“更危险万分的革命家”；把我国的火药、指南针、印刷术等发明称为预告资产阶级社会到来的三大发明，是摧毁欧洲封建社会的有利武器。邓小平针对当前我国正处于社会主义初级阶段，生产力发展水平较低的状况，提出四个现代化的发展目标中，科学技术的现代化是关键内容，并通过对二战以来特别是 20 世纪七八十年代以来科学技术发展的新情况、新特征的概括和总结，果断提出“科学技术是第一生产力”的有力论断，丰富和发展了历史唯物主义关于科学技术是生产力，以及科学技术是社会发展的革命力量的观点。

二、技术的特征

技术作为表现人对自然能动作用的关系范畴，其特征显现出独特的辩证性质：

1. 自然性和社会性

技术作为人用来延长他的自然肢体和活动器官的自然物，是客观自然界的一部分，这决定了技术活动必须符合自然界物质运动的规律，技术手段和技术方法必须依靠自然事物和自然过程，现代技术更是人类自觉利用自然科学知识的结果。因此，任何技术都首先具有自然性，从石器、铜器到铁器，从简单的工具到人手开动的复合工具到现代电子计算机和自动控制的庞大技术体系，都具有自然的属性。例如，煤的燃烧产生热

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版，第 209 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版，第 204 页。

能，热能可以转变为机械能和电能，这期间虽有人参与其中，但它们又都是自然过程。

同时，技术作为变革自然、调控社会的手段，又必须服务于人类的目的、满足社会的需要才能为社会所接受，否则也难以成为现实生产力。社会经济、政治和文化对技术的制约使技术活动只有在社会的共同整合下才能产生和实现。如古希腊的希罗（Hero）曾发明历史上第一部蒸汽机原型，但由于当时社会生产力发展水平和其他因素的制约，它难以作为动力机械在社会中出现。只是到了 17 世纪，近代工业的发展特别是工具机的发明，对蒸汽动力机提出了现实需要，当时的社会条件也为蒸汽机的出现提供了实际可能，蒸汽机才作为近代工业革命的标志载入技术史册。

2. 物质性和精神性

技术作为“人对自然的活动方式”，在物质生产过程中不仅是改造自然的资料 and 手段，包含着物质因素，而且还是“运用于实践的科学”，是“怎样生产”的“特殊的方式和方法”或“操作方法的知識”，即实践的知識体系。马克思明确提出，作为活动方式的技术手段，除了物质因素外，还有精神因素，是二者在生产劳动过程中的统一。

理解技术的这一特征极为重要，因为正是由于技术同时具有物质因素和精神因素，它才成为物质和精神之间的中介，起到了由物质变精神、由精神变物质的桥梁作用。现代技术的发展越来越显示出，技术不仅延长了人的劳动器官，而且延长了人的感觉器官和思维器官，成为人用以认识客观物质、人自身及其精神活动乃至部分代替人的大脑的智力活动的物质手段。

3. 中立性与价值性

技术的价值负荷问题长期以来都是争论的焦点之一，在这个问题上有两种观点：技术中立论与技术价值论。前者认为技术仅仅是方法论意义上的工具和手段，在政治、文化、伦理上没有正确与错误之分，其本身是价值中立的。后者则认为，任何技术本身都蕴含着一定的善恶、对错甚至好坏的价值取向。随着技术特别是现代技术的发展，对技术的价值分析越来越多地受到人们关注。其实，任何技术都既具有中立性又具有价值性，其统一源于技术的内在价值与技术的现实价值的统一。技术的内在价值是指技术自身具有的属性及其产生某种效应的内在可能性，这是由技术的自然属性规定的；技术的现实价值是指在现实的社会条件下技术作用于客体而产生的实际效应，这是由技术的社会属性规定的。技术的内在价值与现实价值不是绝对分开的。

4. 主体性和客体性

技术是人对自然的能动过程，人们的知识、技能和经验这些主体要素有重要的作用，即使是在现代技术活动中，经验性的技能、诀窍和规则仍然是必要的。然而，仅仅是主体的能力和知识还不能实现技术功能，技术还是精神向物质转化、知识向物质手段和实体转化的过程。技术是主体的知识、经验、技能与客体要素（工具、机器设备等）的统一。技术既包含方法、程序、规则等软件，也包括物质手段等硬件，缺少任何一方都不可能产生现实的技术。软件与硬件相互作用和不断更新，使技术不断发展。

5. 跃迁性和累积性

技术是发展变化的，在人类的不同历史时期占主导地位的技术不同，表现出技术的跃迁性。在人类社会早期，社会生产力水平很低，人往往通过简单的工具对自然对象进行加工制作，这使材料加工技术在古代技术结构中占据重要地位。近代工业革命侧重于解决材料加工技术发展对能源动力提出的新要求，从而能源动力技术成为近代各技术中的主导技术。20 世纪中叶开始的以信息通讯技术为主导的第三次技术革命引发了一系列高技术的产生，21 世纪将逐渐成为生物学的世纪。日本技术论学者星野芳郎（1922— ）提出的近代技术史上三次技术体系的更迭的思想就反映了近代以来技术的跃迁式的产生、发展及演化过程。

但是，技术在发展变化过程中又具有累积性。当新的技术（群）出现后，原来的技术并非全部被否定、被废弃，而是在主导技术影响下经过改造、提高的扬弃过程，形成技术的多层次性和多种技术的相互融合特征。例如，现代文明的材料、能源、信息三大技术将和生物技术交叉融合，形成生物材料技术、生物能源技术和生物信息技术，而纳米技术使人类在经历了材料主导、能源主导、信息主导以及三者融合之后，在更高层次上进入材料主导的新时代。

第二节 技术的构成和分类

一、技术的构成

1. 技术构成的基本要素

从微观的角度看，从单项技术来分析，技术的要素是技术本质的具体表现形态，说明技术活动方式究竟是从哪几个方面反映出来的，是形成一定历史时期的现实技术的基本元素。技术具有多种要素，如材料、能源、信息、机器、工具、目的、经验、控制、能力、劳动对象等。这些要素可以概括为：经验形态的技术要素、实体形态的技术要素和知识形态的技术

要素。

经验形态的技术要素主要是指经验、技能这些主观性的技术要素。经验、技能是最基本的技术表现形态。经验是人们在长期实践中的体验，主要是在生产过程中，对生产方式及方法等直觉体验的积累和综合。技能则是以技术知识、劳动工具和经验为基础，在劳动过程中所表现出来的主体活动能力（*know-how*），包括技巧、诀窍等实际知识。经验、技能在不同历史时期所表现的形式也不尽相同，如古代以手工操作为基础的经验技能，近代以机器操作为基础的经验技能和现代以技术知识为基础的经验技能。这三种形式的经验技能代表了人类在利用自然和改造自然的过程中主体活动能力或方式的不同发展阶段。

实体形态的技术要素主要指以工具、机器等生产工具为标志的客观性技术要素，它按被操作和不被操作分为“活技术”和“死技术”，前者指的是在劳动过程中的技术手段，后者指的是不在劳动过程中的技术成果或技术对象。“死技术”与“活技术”的区分是相对的，正如马克思所言：“一个使用价值究竟表现为原料、劳动资料还是产品，完全取决于它在劳动过程中所起的特定作用，取决于它在劳动过程中所处的地位，随着地位的变化，这些规定也就改变。”但由于“机器不在劳动过程中服务就没有用”，“活劳动必须抓住这些东西使它们由死复生”^①从而表现出“活技术”的重要性。实体技术也可以按不同历史时期分为手工工具、机械装置和自控机床等三种表现形式，它们表现出人类利用自然、改造自然的物质手段的不同发展阶段。

知识形态的技术要素主要是指以科学为基础的技术知识，它是现代技术构成中的主导要素。人们往往把技术看做科学的应用，但这只是一个方面，远在科学原理产生之前，人类就已经凭借技能和经验使用技术了。技术知识就是人类在劳动过程中所掌握的技术经验和理论。它有两种表现形式，一种是经验知识，一种是理论知识。前者是关于生产过程和操作方法规范化的描述或记载，后者则是关于生产过程和操作方法的机制或规律性的阐述。有人认为，古代的技术知识是“具有描述性规律的技能、准则”而现代的技术知识“是技术规则和理论”^②或者古代的技术科学就是经验知识，现代的技术科学和工程科学是以技术原理为基础的

马克思：《资本论》第1卷 人民出版社 1975 年版，第 207、208 页。

② Carl Mitcham, “Types of Technology” . Research in Philosophy & Technology, Vol. 1 . 1978 pp. 261.

知识^①。这些论述，都从不同方面阐明了两种形态技术知识的实质，表现了人类利用自然、改造自然的认识能力的不同发展阶段。

2. 不同形态技术要素之间相互关系的特点

各种形态的技术要素不是孤立存在的，它们在生产过程中构成一个有机的整体，即技术系统。技术系统中各要素之间的相互关系具有如下特点：

(1) 相关性与独立性

相关性表明各类技术要素之间是相互联系的。例如，远古弓箭的发明就需要丰富的经验和发达的智力，近代工匠的经验技能又促进了工具机的发展和知识的积累，现代技术理论大量物化成机器设备并培养出新型的劳动者。各种要素之间除了相互关联外，还是彼此独立的。工具代替不了经验，知识也代替不了技能。现代化的宝钢设备先进，仪器精良，但宝钢工人未必就会弃经验技能于不顾而只会按电钮。新毕业的大学生可能精通于技术理论，但老工程师的经验知识却令其望洋兴叹。中国古代工匠的经验技能及其经验知识在世界上可谓首屈一指，可是标志近代技术革命开端的工具机变革并没有出现于东方世界；英国人首先为电力技术的发展点燃了星星之火，但其燎原之势却出现在德国和美洲大地。历史的经验告诉我们，忽视技术要素之间既独立又相关的统一关系，就会贻误技术发展的时机。

(2) 互补性与主导性

互补性是指在技术结构内部，各类技术要素之间存在着互补机制，其中某类技术要素的变化都可能影响或牵动其他要素的变化。互补性机制保证了技术结构的整体协调，不至于使技术要素之间存在的相关链条彼此分化，使技术结构失去整体功能。同时，由于在三类技术要素矛盾运动的过程中各要素发展的不平衡性，在一定时期有的要素处于矛盾的主导地位，它的发展规定或制约其他技术要素的发展变化，这就是技术要素之间的主导性功能。

主导性决定了主导技术要素具有触发型放大作用。如改革开放前我国农业技术结构一直属于经验主导型技术结构，现在如果我们还强调农业的出路在于机械化，其结果只能是劳民伤财，收效甚微。相反，我们只要抓住了当前的主导技术要素，根据现实的生产力水平，实行以信息化带动机械化，就可能不必花费很大的能量而收到事半功倍的效果。

(3) 自稳性与变异性

^① 陈昌曙：《自然科学的发展与认识论》 人民出版社 1983 年版，第 25、303～305 页。

技术要素的自稳性是指各个技术要素都有自我稳定的一面，如某个技术要素在受到其他技术要素的干扰时，它自己就有抗干扰的能力。近代发生的技术革命使机械工具对原有手工经验技能产生了威胁，但后者并不因此就退出生产领域，而是在一定时期与前者并存。如英国在 1850 年已有 22.4 万台机械织布机，但在五年后仍有 5 万多名手工织布工人。

技术要素的自我稳定是相对的。在一定条件下，经验的积累会转化为技术知识，在历史阶段上属于知识水平的东西也会成为经验性的常识，从而表现出变异性。如在 20 世纪 70 年代的非洲，汽车驾驶员是最高级的技术人员，因为他掌握着最高级的“技术知识”，但这些知识对于包括日本在内的大多数欧美国家来说，已经纯粹属于生活技能性的操作了。可见，只有利用自稳性促进传统技术的发展，利用变异性加强现有技术的改造，并促进高新技术的产业化，才能使我国的技术结构整体能力呈现稳步发展、跃迁创新的势头。

技术要素之间的对立统一关系在技术活动中常常表现为它们组成一个有机的系统整体发挥出自己的功能。

二、技术的分类

技术与人的活动密不可分，从原则上来说，有多少种活动就有多少种技术，这就需要从各个角度对技术进行分类，以把握各种技术之间的区别和联系，了解各类技术在整个技术体系中的地位和作用，进而预见技术在纵向上的发展和横向上的交叉与融合。

1. 按照人类实践活动的领域进行技术分类

从总体上看，人类的活动领域不外三大类，即认识和改造自然界的活动、认识和改造社会的活动、认识和控制人类自身的活动。由此所有的技术都可分为三大类，即自然技术、社会技术、人类自身的技术。

自然技术是人类在同自然界的相互作用中产生的一类技术的总称。它是整个技术领域中出现最早、最为基本、也最为重要的技术，因为人类的生存与发展所需要的物质生活资料和生产资料都依赖这种技术。自然技术是人类和自然界之间相互作用的媒介和中间环节，体现了人对自然的能动作用。

社会技术是指人类社会为了达到某种预定目的和满足人们精神和物质的需要而对科学知识和物质手段的运用。人类的目的和需要是多方面的，把技术按照目的和需要加以排列组合，便形成了不同类型的社会技术。如管理技术、交通管制技术、教育文化技术、社会保障技术等。

人类自身的技术是作用于人类的身体和精神的技术，包括医疗技术、

心理技术和思维技术等。其中，医疗技术是对人的身体进行治疗的技术，如内科的各类技术、生育技术等；心理技术是针对心理疾病所使用的技术，如各种心理疗法；思维技术是人们在从事思维活动中逐渐积累起来的、能提高思维效能的各种思维技巧、创造技法、计算技术和逻辑技术等等的总称。思维技术以思维科学、逻辑学、创造学、心理学、脑科学、计算数学等为理论基础，体现了人类解决问题时的思考过程。目前，一门专门以思维为对象的新型科学（群）即思维科学正在兴起。

2. 自然技术分类

自然技术作为一个整体，主要是处理人与自然之间的关系，包括自然认识技术、自然改造技术以及一些兼具二者特征的过渡态技术，具体而言即实验技术、专业技术、工程技术和生产技术（产业技术）。

实验技术是根据现有的科学理论和一定的目的，通过实验设计，利用科学仪器和设备，在人为的条件下控制或模拟自然现象的技术或方法的集合。一般来说，实验技术是为了获得、加工、改变自然信息，检验假说和理论，这一活动的直接产物是数据，即使产出少量实物，主要也是作为样品进一步研究。按照实验技术的不同领域，它可被划分为天文观测实验技术、地学实验技术、生物实验技术、化学实验技术、力学实验技术、物理实验技术等。

专业技术是专门领域通用技术的统称。把技术科学不同专业的理论与一定的物质手段相结合和应用于不同对象的研究以及开发，就产生了不同类型的专业技术。例如：把能源科学应用于对材料的研究和开发，产生了材料技术；把激光科学应用于激光的研究和开发，产生了激光技术等。专业技术以技术科学理论为指导，是技术科学理论和生产力之间的桥梁，也是检验科学理论真理性的客观尺度。

工程技术是与应用科学相对应的关于各种产业部门技术的总称，其功能在于把技术原理与物质手段相结合，把天然自然变为人工自然，它的构成方式是规划、设计、工艺、制造和施工等。工程技术的形成不仅要运用基础科学和应用科学理论，而且要以某些类科学定律和经验法则为依据。有效性是工程技术的首要特征。工程技术按其产生与服务领域不同，可分为农业工程技术、工业工程技术、土木工程技术、交通运输工程技术、通讯工程技术等多种不同类型。

生产技术是直接改造自然的技术，直接体现在生产劳动过程中。专业技术和工程技术虽然也具有直接可用性，但在它们还未和具体的生产过程结合之前，其生产力功能还只限于对生产活动的指导。只有把它们用于具体的技术过程中，同具体的改造自然的的活动结合起来，才能发挥现

实的生产技术的功能。因此生产技术的功能是专业技术和工程技术在生产中的进一步具体化。

3. 按照基本运动形式进行分类

根据自然界的基本运动形式进行分类，可把技术分为机械技术、物理技术、化学技术和生物技术。

机械技术是指运用自然界机械运动规律的力学方法，创造人工机械运动过程，改变自然界机械运动状态和自然界形状的技术。如采掘技术、机械加工技术、运输技术等。

物理技术指运用自然界物理运动规律的物理学方法，建立人工物理过程，改变自然物质的物理性质（热、声、光、电、磁等）的技术。如电加工、热加工、超声加工、激光加工以及各种能量转换技术等。

化学技术指运用自然界化学运动规律的化学方法，建立人工化学过程，改变自然物质的成分与结构的技术。如各种化工技术、合成材料技术、冶炼技术等。

生物技术是指运用自然界生物运动规律的生物学方法，改变生命活动过程与形态的技术。如传统农业技术，以及遗传工程、细胞工程、酶工程和发酵工程等现代生物工程技术。

在人类的各个时期，都存在着上述四种基本技术，只是发展状况不同。从近代至现代是从机械技术占主导地位逐渐让位给物理技术和化学技术。在现代的知识工业或技术密集型产业中，物理技术与化学技术正占据主导地位，同时应当看到生物技术已取得巨大进展，并显示出远大的发展前途。

4. 生产技术分类

首先，根据生产中改造对象的不同，可以把技术分为物质材料技术、动力能源技术和信息通讯技术。

物质材料技术指对各种原材料进行加工，改变物质材料的性质、结构与形状并制成特定性能材料的技术。包括机械加工、冶金、化工、建筑等方面的技术。材料是人类生存和发展的物质基础，也是人类社会现代文明的重要支柱，材料的变化直接影响社会的变化。近年来，主要包括新型金属材料、高分子合成材料、新型无机非金属材料 and 光电子材料等的新材料研究受到了广泛关注，尤其是随着人类对物质微观层次的认识深入到纳米层次，不仅促进了新型材料技术的开发，而且使现有的其他技术发生革命性变革，促使人类在经历了材料主导、能源主导、信息主导以及三者融合之后，在更高层次上进入材料主导的新时代。

动力能源技术，指开发自然界的各种能量资源并转变为人们所需要

的各种资源和动力的技术，如对石油、煤、天然气、核能、太阳能、潮汐能、地热能等一次能源的开发，以及将一次能源转变为成品油、煤气、氢燃料、电力等二次能源的生产技术。水轮机、蒸汽机、汽轮机、内燃机等各种原动机的设计及相应的发电设备等，也是动力技术的组成部分。动力技术体系在技术体系中处于中心地位。

信息通讯技术，对文字、语言、数据、资料等信息进行传输与变换，对各种仪器、设备进行控制与调节的技术。如电话、电报等通讯技术，文献信息处理与服务技术，情报技术，报刊、广播、电视等传媒技术以及电子计算机和自动控制技术等。电子信息技术是当代日益向前发展的高技术群落的先导与主角，是当代社会特别是未来社会发展的技术基础。

20 世纪 70 年代以来，就有人把能材料、能源、信息称为现代文明的三大支柱。近年来，又把信息技术、生物技术和新材料技术称为新技术革命的重要标志。21 世纪将逐渐成为生物学的世纪。

其次，根据生产过程进行分类，可把技术分为三类：

农业生产过程中的技术，包括植物栽培技术、饲养育种技术、捕获技术等；

工业生产过程中的技术，包括采掘技术（如采油工业、采煤工业、矿业）材料技术（金属冶金工业、石油精炼工业、化学工业、水泥工业）机械制造技术（全部制造业以及各种加工组装业）、交通运输技术、建筑技术、动力技术；

信息产业生产过程中的技术，包括通信技术（电信、电话、广播、电视）控制技术（计测控制产业）系统技术（信息机械制造与服务）等。

最后，根据各个生产要素在生产部门集中的程度把社会生产及其产品划分为“劳动密集型”、“资本密集型”与“知识密集型”的产业（或部门）和产品。与此相应，把技术划分为：

劳动密集型技术，指投入的活劳动中体力劳动所占比例较大、消费较多，而物化劳动消耗较少的劳动密集型产品所应用的技术，轻纺工业、农业、初级服务业一般属于此类。

资本密集型技术，指生产耗费物化劳动或需要资金投入较多的资本密集型产品所应用的技术，重化工业大都属于此类。

知识密集型技术，指生产这种产品所投入的活劳动不只是简单劳动，而更多的则是复杂劳动（它要求劳动者掌握许多科学技术知识），因而该产品凝聚着更多的知识量，资源、能源耗费少，研究与开发的投资额大，其产品有少品种、大批量转向多品种、小批量、更新换代快等。这种类型的技术与高技术的含义相近。

从技术的构成和分类可以看出，技术的种类尽管很多，但这些技术并不是以孤立状态存在的，它们相互之间在某种条件下存在一定的联系，从而形成一定社会的技术系统（或技术体系），技术的发展史就是不同历史时期技术体系的更替史。

第三节 技术的体系和结构

一、技术的体系

1. 技术体系及其特征

从宏观的角度，从各项技术构成的整体来看，技术体系是各项技术之间根据自然规律、社会规律和社会条件，以一定的方式相互联结而组成的系统，也就是说，技术体系是由相互依存、相互作用的各项技术组成的。一项新的技术发明后，能否在生产中加以应用，并与已有的技术联系起来构成新的技术体系，除该项新技术自身具有实用性外，还要有一系列其他的技术，如与之相应的新材料技术、新工程技术、新动力技术和新知识等物质上和知识上的前提。同时，还需要有社会价值观念、文化基础、经济关系等各种条件的配合。这些因素的相互配合形成了一定时期的技术体系。可见，技术体系是技术在社会中现实存在的方式，它是把技术之间的联系放到社会条件下加以考察而形成的复杂的技术网络系统。

在技术体系中，有最先产生并起带动作用的先导技术，有渗透性强、关联度大的主导技术或主导技术群，以及相配套的辅助技术。例如，近代第一次技术革命形成的技术体系中，纺织机械技术是先导，而居主导地位的则是在其他行业广泛使用的蒸汽动力技术。主导技术（群）和相关技术的更新引发了不同阶段技术体系的更替，引发了不同时代技术结构的变迁。

技术体系一般具有如下特征：

其一，功能的整体性。技术体系追求的不是其中某一技术的单个功能，而是不同技术组合而成的整体功能。任何技术组合都有自己的特有功能，它们形成技术体系整体功能的技术单元，但技术体系整体功能的发挥不仅取决于各个技术单元的性能，而且取决于各单元之间的连接方式及结构。整体大于部分之和正是技术体系在功能上的突出特征。

其二，目的的社会性。任何技术体系都是按照一定的社会目的而构成的，社会目的不同，技术体系的构成以及不同技术之间的相互联系也就不同。社会目的既是形成技术体系的外在要求，又是衡量技术体系功能

的基本准则，规范着技术体系社会存在的形成，是将不同技术联系起来的重要的前提。

其三，构成的层次性。技术体系可以分为不同的层次，体现出技术体系划分的依据，如按规模大小划分，依次可分为国家的、部门的、行业的、企业的、产品的技术体系等。层次性表现出技术体系构成范围的大小。

其四，环境的制约性。技术体系是由现实的各种相关技术组合而成的，而所有现实的技术都具有地域性、民族性，都受某一时间、地点的地理环境、人才状况等因素的直接影响。因此，同一社会目的的技术体系在不同的环境条件下，其构成可以有相当大的差别。环境制约性表现出技术体系构成中的社会制约性。

近代工业革命尤其是当代科技革命以来，技术发展表现出更加明显的体系化特征。一系列新兴产业群如信息技术产业群、生物技术产业群、宇宙开发产业群、海洋开发产业群、“绿色”产业群、知识产业群等相继崛起，形成科学技术连续体。它代表着 20 世纪至 21 世纪技术发展的趋势，影响并推动着整个技术体系的产生与发展，极大改变着当今产业结构的面貌，推动世界经济的全面发展，对自然、社会和人的思维发挥着巨大的作用。

2. 技术体系的演化与变迁

技术是历史地演变的，在不同历史时期有着不同的内涵，因而技术体系也同样处在历史演变之中。任何一个技术体系在开始形成时，总是具有较大的能满足社会需要的潜力，但这种潜力的发挥总有它的极限，随着社会的发展和进步，社会需要不断发展进而超过技术体系原有潜力的极限，相对稳定的平衡就被打破。从平衡到不平衡的过程在技术体系中表现为其中某些技术从主要地位退到次要地位甚至退出技术体系的行列，而另一些技术产生、兴起，加入技术体系的行列，甚至成为占据主要地位的要素。这导致技术体系的演化并产生出新的技术体系，逐步取代旧的技术体系。

日本技术论学者星野芳郎通过对人类技术史的考察，提出在近代技术史上曾经出现过三次技术体系更迭：

第一技术体系形成于 18 世纪末到 19 世纪末。这一时期在资本主义原始积累推动下，纺织业的迅速发展要求提供一种能代替手工劳动的强大动力能源，这促成了蒸汽机技术的诞生。蒸汽机技术的广泛应用引发了制造蒸汽机和各种工作机器所需的坚固耐用金属材料的需求，促动了钢铁工业技术的发展并带动纺织、采矿、机械加工和制造、交通运输各部门技术的变革。在第一技术体系中蒸汽动力技术是主导技术，从而使人

类社会进入了蒸汽动力时代。

第二技术体系建立于 19 世纪下半叶到 20 世纪上半叶，是适应资本主义社会从自由阶段向垄断阶段发展对强大和廉价的动力能源的需求而产生的，其主导技术是电力和内燃机技术。主导技术的更替引起了整个技术体系的连锁反应。发电机、电动机的发明和电力广泛应用，促使一系列与电气技术相关的新材料出现。寻找制造电热设备所需要的耐高温大电阻导体，促进了镍铬合金的研制开发。各类气体、液体、固体物质的电性能也因电力技术应用的需要而被发现，一大批导体、绝缘体为人们所认识并制造出来，电力的应用还带动了控制技术等新兴技术涌现产生。

第三技术体系开始于 20 世纪 40 年代，其发端是第二次世界大战期间军事的需要刺激产生的火箭技术、雷达技术、核技术和电子计算机技术的产生。到 20 世纪六七十年代又出现了生物技术、激光技术、材料技术等尖端技术群，其中微电子技术处于核心的主导技术地位，并已经逐步取代了工业化时代的第二技术体系。

星野芳郎的观点对我们把握技术体系演变、进而分析技术体系演变的根源具有启发意义。

二、技术的结构

1. 技术结构及其类型

宏观的技术体系作为各项技术有机联系的整体，有它的结构即技术结构，它是指技术内部各种构成要素的组织形态和彼此之间的联结方式。尽管任何时代、任何国家或地区的技术结构都主要由经验形态、实体形态和知识形态三种技术要素构成，但是在不同时期，不同形态的技术要素相互结合的方式却是不同的。按照技术要素在技术结构中的地位和作用，相应地可以将其划分为经验型技术结构、实体型技术结构、知识型技术结构。这三种技术结构分别在农业社会、工业社会和后工业社会中占据主导地位，形成相应历史时期的社会技术基础，其中每种技术结构都是社会技术基础中的一个功能结构单元，即“结构相位”。技术结构的历史发展模式就是从单相技术结构（经验型技术结构）向双相技术结构（经验型技术结构和实体型技术结构）和三相技术结构（经验型技术结构、实体型技术结构和知识型技术结构）逐步强化的过程。

（1）古代单相的技术结构模式

在古代的单相技术结构模式中，只包含一个功能结构单元即经验型技术结构，这和古代低水平的生产力发展是一致的。在人类历史早期，技术发展水平很低，主要是人直接或通过简单的工具作用于自然。古代的

实体技术一直没有摆脱手工工具的形态，人们认为技术就是经验、技能的表现。这样，以手工操作作为基础的经验技能便在古代技术结构中占据了重要的地位，它是实体技术和知识技术发展的基础。

（2）近代双相的技术结构模式

在近代的双相技术结构模式中，包含着两个功能结构单元，即经验型技术结构和实体型技术结构，这充分体现出近代工业革命以来技术发展的特点。

在工业革命进展过程中，随着飞梭、纺纱机和织布机的问世，蒸汽机的改进和刀架、精密镗床的发明，逐渐诞生了和古代手工工具有着本质区别的新的实体技术形态——机械工具或称机器。但这并未使工匠的手艺从此销声匿迹，只不过改变了形式，“从工人身上转到了机器上面”^①。这样以手工操作为基础的经验技能便让位于以机械操作为基础的经验技能。同时，由于工业革命初期的工匠的受教育程度所限，实体型技术结构中的知识形态是半经验、半理论的。另外，经验型技术结构仍然存在于农业和手工业等领域，而代表农业机械化的拖拉机等农机具直到 20 世纪才出现。这充分表现出近代技术结构模式的双相位特征。

（3）现代三相的技术结构模式

在现代的三相技术结构模式中，包含着三个功能结构单元——经验型技术结构、实体型技术结构和知识型技术结构。

双相技术结构奠定的工业化社会的技术基础，使劳动资料取得机器这种物质存在方式，这要求以自然力来代替人力，以自觉应用自然科学来代替从经验中得出的成规。在此基础上，现代技术过程又发生了深刻的变化，这就是更加突出了技术知识的重要地位，产生了更加独立于人的新工具——自控装置，引起以技术知识为基础的知识性经验技能的产生。在这里和机器操作不同，工人不再是生产过程的主要当事者，而是站在生产过程旁边，作为生产过程的监督者和调节者同自动装置发生关系，这就需要工人深刻理解技术过程的原理知识，因此国外许多发达国家中的知识型工业技师的人数与日俱增。

此外，现代技术结构中实体型和经验型的技术结构仍然存在。据统计，即使是在进入后工业化社会的美国，在 977 个工业部门中，名副其实的知识型技术结构的高技术部门只有 36 个，还有 56 个是准知识型技术

^① 《马克思恩格斯全集》第 23 卷 人民出版社 1972 年版 第 460 页。

结构部门，剩下的全是实体型和经验型的技术结构。^①由此可见，三种技术结构并存将是现代技术发展的一个重要特征。

2. 技术结构的演化机理

技术结构的演化是一个比较复杂的过程，其中交织着各种矛盾，正是这些矛盾的存在和发展，形成了技术结构的演化机理。

（1）技术活动要素与技术结构的矛盾，决定了技术结构的转变

在古代的农业和手工业的个体生产方式中，经验型技术结构与其要素是互相匹配的，它们之间处于相对平衡的稳定状态。近代工业革命中工具机的诞生标志着经验型技术结构中的实体技术要素在形式上发生了变化，由手工工具向简单机器要素（工具的组合）、向复杂机器（工具机、传动机、动力机）逐步过渡和完善。这种新型的实体技术要素的出现打破了原来三种要素与技术结构之间的和谐局面，动摇了手工经验技能在经验型技术结构中的统治地位。正是由于技术要素与技术结构之间这种矛盾冲突，导致了技术结构由经验型向实体型的演化，奠定了近代社会的技术基础。在这个过程中，新出现的技术要素——机器起了主导作用。与此相似，在 20 世纪上半叶的技术变革中，新的技术知识是造成实体型技术结构各知识型技术结构演化的主导要素。

（2）技术结构与社会的物质技术基础之间的矛盾，决定了主体技术结构的异位

在社会的物质技术基础中，各种技术结构的地位和作用不尽相同，其中的主体部分称为主体技术结构。经验型技术结构的功能，就是形成农业化社会小生产方式的主体技术结构；实体型技术结构的功能，就是形成工业化社会大机器生产方式的主体技术结构；知识型技术结构的功能，就是形成后工业化社会信息生产方式的主体技术结构。因此，工业化的过程，实质就是经验型主体技术结构向实体型主体技术结构转移的过程，它为信息化过程、并进而为向知识型主体技术结构发展提供技术基础。在主体技术结构异位的过程中，新的技术结构与原有的社会技术基础的矛盾起着制约作用，同孕育它的技术基础之间发生了深刻的矛盾，原有的技术基础不能满足新型技术结构的需要，从而要求建立起与自己相适应的技术基础，以保证自身的生存。

（3）社会的物质技术基础与经济基础的矛盾，影响到主体技术结构异位的时机和速度

参见 廉·L. 香克林、小约翰·K. 瑞安斯：《高技术营销》，列克星敦 D. C. 希斯公司 1984 年版 第 18 页。

首先，社会的物质技术基础与经济基础的矛盾，影响到主体技术结构异位的时机。例如，在科技发展史上，18 世纪的英国和法国在科学进步和技术发明方面相差无几，主体技术结构的变化却首先在英国出现，其原因在于：在同样以经验型技术结构为基础的手工纺织业中，英国人为了同手工艺精巧、工资又低的印度等国竞争，迫切需要纺织工具机的改革来提高生产效率，以维护经济大国的利益；再加上当时英国社会经济条件的成熟，能够及早地促使这一变革的发生。

其次，技术基础与经济基础之间的矛盾还影响到主体技术结构异位的速度。苏联十月革命前的技术基础十分落后，社会主义国家对生产力的要求使它迅速建立起与大机器生产方式相适应的实体型技术结构作为主体技术结构。尽管这个过程有些缺陷，但苏联工业化的捷径是举世公认的。

思考题

1. 如何理解技术的本质与特征？
2. 构成技术的基本要素主要有哪些？
3. 技术体系具有哪些特征？
4. 怎样理解技术结构的演化？

第十章 技术认识和技术方法

现代技术与 19 世纪以前的技术有明显的不同，这主要表现在：现代技术越来越多地运用科学发展的成果，科学研究与技术开发联为一体，形成了科学、技术与生产的一体化过程；技术认识与技术方法越来越多地依靠科学理论的指导和约束，并且强烈地受到社会经济发展的影响和制约，本章论述由此引起的技术认识论和技术方法论问题。

第一节 现代技术认识的特点

一、科学研究与技术开发过程和科学、技术、工程的融合

技术和科学在 19 世纪中叶以前基本上处于分离状态，它们有着各自独特的文化传统，各自独立地发挥社会作用。那时技术的进步往往是在经验的摸索中依靠传统技艺的提高和改进实现的，关键性的技术突破常常同理论科学没有直接联系。随着第一次技术革命的深入发展，技术与科学开始结合，但这时候的技术基本上是前科学的技术知识（*prescientific technical knowledge*）是技能、技艺（*technic*），技术和科学在活动的目的、任务、对象、过程等各个方面仍存在明显差别，还没有表现出明显的相互融合趋势。从 19 世纪第二次技术革命到现在，经过麦克斯韦电磁场理论的建立（1862—1864）、赫兹电磁波实验的成功（1887）和集科研与生产于一身的爱迪生门罗公园实验室的创建（1876），出现了科学走在技术的前面，科学与技术相互融合、相互促进的新局面，形成了科学、技术与生产的一体化过程。这一过程以科学研究与技术开发（简称“研究与开发”，英文缩写为 R&D）为核心，即以“为增加知识的总量，以及运用这些知识去创造新的应用而进行的系统的、创造性的工作”为核心。它一般经过以下三个环节：基础研究、应用研究和开发研究。其中，基础研究是对物质世界客观规律的探索，它的成果在短期内收不到经济效益；应用研究是技术原理的提出或基于原理的技术发明，其目的是创造新技术、新工艺和新产品；开发研究是在科学研究基础上，在现实中运用并发展应用研究成果，选择和寻求各种形式的技术原理、方法及工艺方案，使这些方案能在社会生产、生活和经营管理中加以运用和推广。技术开发是科研成果的

物化环节，对于技术创新能否成功意义重大。

与科学研究的这三个环节相一致，我国科学家钱学森最早提出了“工程技术”的概念并把科学技术分为基础科学、技术科学和工程技术三个层次。其中，基础科学是对客观世界基本规律的认识，包括天文学、地质学、力学、物理学、化学、生物学以及作为各门科学的工具和方法的数学，它是对物质运动本质规律的反映，具有非保密性，与生产实践的关系一般较为间接。技术科学研究生产技术和工艺过程中的共同性规律，其对象大部分是技术产品，即人工自然，目的是形成技术理论，把认识自然的理论转化为改造自然的能力。工程技术是工程活动中所运用的技术或者为工程活动服务的技术，是具体地研究基础科学和技术科学如何转化为生产力的原则和方法，是工程和技术的统一体。这三个层次的实践性依次增强，向社会现实越来越靠近。

科学、技术与生产的一体化不仅要求研究科学和技术之间的关系，还要考察“工程”概念的内涵以及工程和技术的关系。

“工程”一词我国古代就曾经使用过，主要是指土木构筑如桥梁、运河等的建造，后来也指其结果。“工程”的英文为 *engineering* 其词根 *eng-* 机械)和 *ingenious* (有发明才能的)一词，都起源于同一个拉丁词根 *ingenerare* ,即“创造”。英文的 *engineer* 一词用作名词是指工程师，用作动词为设计、建造等含义。

从实践到理论、又从理论回到实践的认识论观点来看认识过程的三个层次(基础科学—技术科学—工程技术)，其中工程技术这一层次最贴近实践，它实际上包括两个彼此不可分割的方面：一方面是工程技术的理论，即工程技术；另一方面是工程技术的实践，即通常所说的工程。所以可以把工程定义为：人们综合运用科学的理论和技术的方法与手段(工程理论)，有组织、系统化地去改造客观世界的具体实践活动，以及所取得的实际成果(工程实践)。

工程与技术同属于改造自然的实践范畴，二者既相互联系又相互区别。工程一般强调的是改造自然的实践活动的实施过程，尤其指有较大规模且有着复杂的组织系统的实践活动的实施过程，而技术虽然也指技术活动，但对技术活动的规模没有要求，而且往往强调的是技术活动中的手段和方法。任何一项工程都包含了若干数量的技术活动。技术与工程是不可分离的，没有不依托于工程的技术，也没有不运用技术的工程。技术是工程的支撑与基础，工程是技术的载体与应用。工程的发展大大扩展了技术的使用范围，推动了技术的革新和进步。由此，人们经常把技术与工程组合起来使用，并派生出“工程技术活动”等词汇。当然这并不意

意味着技术与工程是等同的，从科学、技术、工程三者的区别，可以认为科学活动的核心是科学发现，技术活动的核心是技术发明，而工程活动的核心则是工程建造。

科学、技术、工程这三者相互联系的过程充分体现了从解释世界到改造世界、从科学理论到工程技术实践的飞跃，实质上是科学理论经过技术理论转化为现实生产力的过程，可以把以科学理论为基础、从应用科学到技术开发的过程分解为如下几个阶段：

第一阶段，在科学理论的基础上形成技术理论，即形成人工自然的理论与方法；

第二阶段，根据技术科学的理论与方法，设计制造出产品与工艺，即通过技术理论的实施制造出人工自然；

第三阶段，把新产品或新工艺应用于社会经济，即技术理论的应用。

其中，第一阶段为应用研究，第二阶段与第三阶段为开发研究。无论技术理论还是技术发明都还是理论上的，要使它变为现实生产力，正式投入生产，必须经过开发研究，以解决实现技术发明所需的工艺、材料、设备、市场营销、经济价值等方面的问题。从中可以看出，技术开发过程就是工程的实施或工程技术的实践过程。

在世界新技术革命与经济全球化的形势下，技术开发过程是科学技术转化为生产力的关键，同时，打开技术黑箱，研究技术活动的过程、内部结构和运行机制，也有助于恰当地理解技术和社会的关系，反驳在技术问题上的极端思想，为改造世界的实践提供认识论和方法论指导。这样，技术认识论逐渐成为技术哲学研究的重要组成部分，在技术哲学研究中处于基础地位。

二、技术认识与科学认识的区别

马克思认为，科学是认识世界，是精神生产力，技术是改造世界，是现实生产力。技术与科学在多方面的差别决定了技术认识和科学认识之间有着多方面的差别：

首先，认识目的不同。科学认识的目的是认识自然，获得关于自然的知识，发现自然的奥秘，从而增加人类的精神文化财富，是求真；技术认识的目的是利用自然、改造自然，获得改造自然的成效，从而增加人类的物质财富并使人类生活得更好，是求善。

其次，认识对象不同。科学认识的对象是天然自然，即人类尚未认识到的那部分自然和人类观测所及的那部分自然，包括自然物和自然过程；技术认识的对象是人工自然，即人类实践手段所及从而变革了的那部分

自然界，包括人工物和人工过程。

再次，认识过程不同。科学认识的过程是在观察、实验的基础上提出假说，然后对假说进行实验检验从而得出科学的理论，并在实践中不断对所得理论进行检验的过程，这是一个从个别到一般、从经验到理论的过程；技术认识则主要是以一定科学知识为基础，发挥想象力建构出技术理论，并对技术理论进行小范围试验得到构想的客体，再将其与理论相比较、对照的过程。

最后，解决的问题不同。科学和技术分属于人类认识的不同阶段，科学属于认识论中从实践到认识的阶段，科学认识要解决的是如何从观察实验上升到科学理论，解决认识论的第一个飞跃问题，即“是什么”、“为什么”的问题；技术属于认识论中从理论再回到实践的阶段。技术认识要解决的问题是如何实现从精神生产力向现实生产力的转化，解决认识论的第二个飞跃问题，也就是如何找出从科学理论认识到工程技术实践飞跃的实现途径，即“做什么”、“怎么做”的问题。

总之，技术认识论与科学认识论之间存在明显的不同，它着重于对技术发明和创新的认知过程、结果及其评估的探讨和技术应用后果的哲学反思，以规范和提高人类实践活动的自觉性，从自在走向自为。从结果看，技术认识论主要是技术创新的认识论、方法论；从过程看，技术认识论主要是工程技术的认识论、方法论；从研究和开发看，技术认识论主要是技术开发的认识论、方法论。这几种表述方式展现出相同的技术认识过程。

三、技术认识的基本程序

马克思主义认识论认为，认识是在实践基础上主体对客体的能动的反映，因此，技术认识的程序同技术开发的程序是逻辑和历史的统一。

世界经济合作与发展组织（英文缩写 OECD）在 1998 年《科学政策概要》中提出，技术的发展过程，是一个包括技术发明、技术创新和技术扩散“三种互相重叠又相互作用要素的综合过程”。它和解决任何其他的问题一样，都要经过提出问题、寻求解决的方法或方案、实现解法以及验证等各个阶段。这些阶段可以具体化为课题规划、创造性构思与设计、试验与实施三个环节，从整体上构成技术开发的基本过程和立体框架。

第一个阶段：课题规划。它包括通过对社会需求的调查而提出技术目的，并对技术发展及其后果做出预测、评估等几个环节。任何技术活动都是为了满足一定社会的需求，技术需求的直接指向是现有技术的性能指标，也是技术开发的社会基础。对社会需求和技术本身满足社会需求

的可能性做出分析，就要进行技术预测，并进行认真的技术经济预测和搜集科技情报，做到对技术发展趋势、市场需求和竞争动向等做到胸中有数，以保证技术研究工作的切实可行。

第二个阶段：方案的构思与设计。这是技术研究中最关键、最富于创造性的阶段。创造性构思的任务是寻找在既定的限制条件下满足课题要求的新方案，包括提出技术原理和解决问题的基本思路。设计的任务是通过概略设计、技术设计到施工图设计的从抽象到具体的发展阶段，把创造构思得到的设想或方案具体化，拟定出具体的可供实施的技术方案。方案设计是把技术知识物化为需要的技术装置或其他物质技术成果的中间环节，既是把技术原理付诸实现的过程，也是对技术原理检验和选择的过程。这个阶段渗透着技术分析、经济分析、法律分析、宜人分析、生态分析等因素，具有综合性、系统性，往往是在多种方案的比较、鉴别中进行优化选择。

第三个阶段：试验与实施。它是根据技术设计提供的详细图纸和技术文件所进行的产品的研制、小批量生产、技术鉴定和正式投产等环节的工作。同时，这个阶段对实施中出现的问题还要及时反馈到设计阶段，以便对方案做出调整和改进。

可以看出，研究技术开发过程对研究技术认识的程序有重要意义。技术开发的基本程序是从社会提出技术需要开始，经过规划、研究、设计等阶段，使技术原理具体化，最后通过研制、实施创造出合乎需要的产品。当然，这些阶段的划分不是机械的，从技术评估到技术实施的整个过程也不是一次能完成的，要经过不断的反馈与修改。这个过程在具体的实施中还有各种环节与各种方法之间的纵向和横向的联系，在一个阶段上会涉及许多不同的方法，或者同一个方法步骤会在不同的创造阶段多次使用。工程技术的方法论所研究的程序、方法和原则是相互制约、紧密联系的有机整体。技术开发的基本程序是技术方法的骨架和主线，它统帅和贯通了各种方法和原则，形成一个逻辑清晰的方法论纵向结构。

四、技术方法的特点

技术方法是人们在技术的研究和开发过程中所利用的各种方法、程序、规则、技巧的总称。随着科学与技术的关系日益密切，自然科学中诸如观察、实验、归纳、比较、分析、综合等方法被移植到技术研究中，使技术方法迅速发展，形成了较为复杂的技术方法体系。

技术方法和科学方法属于同一层次的方法，它们有共性和相通的一面，比如都必须以对自然规律的认识为前提，都应用已有的成果，都以实

践为基础，都有一定的可操作性、规则性；选题的原则类似，都需要有信息资料的搜集及调研；检验的方式相同，都要有数据处理、分析、综合和类比的研究。同时，二者在本质和功能方面也存在某些一致性。但是，由于科学认识是在自然过程最少受干扰的地方考察自然过程的，而技术认识则受技术过程的各种复杂因素的影响和制约，因而技术与科学方法又有区别，具有如下特点：

目的性与客观性。技术是人们有目的地创造人工自然的活动，技术方法总是与人的一定目的相对应。目的性反映了技术方法的应用是以达到目的为前提和归宿的。技术方法具有客观性，它以与客观因果性相符为前提。背离客观因果性，技术目的就不可能成立或无从实现。在技术实践中，人们常常是利用已有的客观因果性的科学认识，来设计和确定相关的技术目的。在科学技术发展水平较低的时期，人们缺乏对客观因果性的科学认识，往往只能根据经验知识来确定技术目的，科技的迅猛发展使技术方法越来越多地利用客观规律。

功利性与折中性。技术方法带有明显的功利性，它存在的价值就是协助技术活动达到预先设计好的主观愿望。功利性决定了技术方法的评价以“有效”或“无效”为标准。

同时，技术方法又具有折中性特点，这是指人们尽管会最大限度地追求技术活动的效用，但在这个过程中，人们还会考虑技术活动带来的其他效应，诸如投入与产出的合理化、环境及人的智能的合理化等，尽量达到近期功利与远期效益、经济利益与社会利益的多方面调和，所以技术方案或措施的选择要根据具体应用条件进行适当的折中。

多样性与专用性。技术方法的多样性是指，为实现同一技术目的，人们可以寻找多个不同的可相互替代的方案或方法，以便从中优选；同一性质的技术原理可以转化为多种类型的工艺方法和技术产品。比如相同的建筑原理，可以有不同的外观设计和施工方法。此外，技术方法的多样性还表现在方法与装置的多样组合上。技术方法是一种主观性的手段，不具有物质手段具体可感的性质，但方法总是与相应的设备装置不可分的，有时一种方法适用于一种或若干种装置，有时一种装置需要多种操作方法，技术与方法之间具有多种联系。

技术方法又有专用性。这不仅表现在不同的技术领域或不同的技术问题有自己特有的技术方法，而且还表现在方法的使用有时会打上个人的烙印。因为在技术领域，个人的经验和技能仍具有重要的地位。经验、技能是人在长期实践中练就的，有时很难用语言明确地表达、传授，即使

能够传授，学习者在短时间内仍无法熟练掌握它们。^①

社会性与综合性。技术本身就具有自然和社会两种属性，作为实现技术目的和技术规范的方法，必须符合技术本身的这两种属性。因此，在技术方法中，不仅有对自然规律的应用，而且还有对社会规律的适应，对技术方法的选择和应用，不能不考虑到各种社会因素。此外，技术方法同自然科学方法在纯化和理想化条件下研究自然物不同，在技术研究中，必须把那些在科学研究中被舍弃的因素和关系恢复起来，并在技术设计和研制中，对可能出现的各种偶然因素，都要综合考察。

第二节 技术的预测和评估

在技术开发过程中的课题规划阶段，技术预测和技术评估都是重要的程序和方法，它们是科技发展达到现代水平后才出现的。预测和评估有时难以分开，如规划评估、项目进行前评估就是预测。许多评估指标也是预测的条件，因此本节将技术预测和评估一起阐述。

一、技术预测

1. 技术预测及其基本步骤

预测是指通过对现有资料的研究和分析来计算或预报未来的某些事件或情况。预测的范围很广，涉及经济、政治、文化、军事等众多领域。把预测科学应用于技术领域，对技术的未来特性、趋势或对有用的机器、过程的推测就是技术预测。技术预测是科学管理的重要组成部分，主要研究技术发展的变迁规律。它最早出现于 20 世纪 40 年代，与现代技术革命的兴起密切相关。准确的、科学的预测，不仅是各国政府、经济管理部门和科技管理部门规划决策的依据和重要内容，也是企业和科研机构内的管理人员和专业科技人员从事管理活动和科技活动的依据。预测的重要作用 and 巨大效益使它在近 30 年内被普遍地采用，美国有 500 余家大型工业公司自 60 年代末均设置了专门的预测机构，平均年投资 10 万美元 另外还支出每年约 1 500 万美元，委托社会上的专业预测机构提供预测。

技术预测的基本步骤有：

第一，提出课题和任务。根据社会要求、一般情报和创造性思维，提出预测的课题，规定目标和任务、对象、基本假设，确定研究方法、结构和组织工作等。

参见陈昌曙主编：《自然辩证法概论新编》，东北大学出版社 2000 年版 第 211 ~ 213 页。

第二，调查、收集和整理资料。把与预测对象有关的过去的、现在的资料尽量收集齐全。此外，还要大量收集预测的背景材料并收集国内外同类预测研究的成果。

第三，建立预测模型。对于计量经济模式分析，建立表示因果关系的模型；对于时间系列分析，则抓住主要变动的成分找出数学模型。

第四，确定预测方法。可采取几种预测方法进行，以互相验证。

第五，评定预测结果。对预测结果再次征询专家意见，以检验预测结果，并进一步检验预测模型。

第六，将预测结果交付决策。

在预测的实施步骤中，搜集情报、建立物理模型和数学模型是最为关键的。情报资料是预测的前提。情报中的观念、观点性资料主要用于建立物理模型，数据资料则主要用于定量化预测。

2. 技术预测的基本方法

据美国斯坦福研究所的不完全统计，预测方法已达 150 种，这些预测方法可以分为几种基本类型：

第一，直观型预测方法，是指那些主要靠经验、知识、直觉和综合分析能力进行预测的方法。这类方法带有风险性，依靠主观思辨和直觉等非逻辑因素，适用于不确定因素较多、历史数据不便利用的复杂情况。德尔菲法是直观法的典型代表。

第二，探索型预测方法，是假定未来仍按过去的趋向发展，可由现在推定未来的方法。其任务是获得关于未来的新信息，模拟方案实施后的各种结果。依据取得新信息方式的不同，又可分为外推法和思辨法两类。其中外推法是利用过去和现在的资料，推断未来的状态，找出它们之间的统计关系的方法，它主要包括时间序列法、曲线预测法等。

第三，规范型预测方法，是根据未来需要，从未来回溯到现在，用以获得新信息、模拟各级目标和估计事件实现的时间、条件、途径的方法。各种基于运筹学和系统分析的方法，多属此类。这类方法包括相关树法、矩阵分析法、网络法、模型法和形态分析法等。

第四，反馈型预测方法，是将探索型和规范型等多类方法的要素结合起来，形成包含许多不同类型方法、不断反馈修正结果的方法系统。这种方法目前尚在发展中。

二、技术评估的特点和程序

1. 技术评估的特点

技术评估 (technology assessment 缩写为 TA) 就是采用科学的方法，

预先从各个方面系统地对相关技术的利弊得失进行综合评价的活动。作为与技术问题有关的社会宏观决策活动和一种政策研究形式，技术评估的主要目的是系统地确定技术在开发、引进、扩散、转移、改造和社会应用等一系列过程中可能对社会的各个方面所产生的影响，并对这些影响及后果进行客观、公正的评价，为决策部门提供咨询和建议，以便引导技术朝着趋利避害的方向发展。它以社会总体利益最佳化为目标，着眼于人与技术的关系，着眼于长期的、重大的、全局性的问题。技术评估产生于 20 世纪 60 至 70 年代，它的产生与西方社会高技术带来的负面效应密切相关。自 1972 年起，美国、欧洲许多国家和日本都相继设立了技术评估的机构，建立了技术评估协会，开始了 TA 的建制化。我国于 1997 年成立了国家科技评估中心，并围绕相关问题作了许多介绍和研讨。

技术评估主要有以下特点：

第一，评估内容的系统性。技术评估是从政治、经济、生态环境、技术、法律、文化、伦理道德、宗教信仰等各个可能产生较大影响的方面对技术正负效应做出的全面评价，它包括对近期利益和长远利益以及不同地区、不同部门、不同学科领域、不同社会阶层、不同利益集团的利益的系统考察与均衡，既有对技术的直接效果如经济效益等的评估，也有对价值、文化方面潜在方面的考虑。

第二，评估主体的多学科性。为保证评估的客观性、公正性，技术评估需要来自不同学科领域的评估者的通力合作。由于这些评估者容易习惯于将自己学科中的方法论的局限性甚至在价值观、利益等方面存在的分歧带到评估工作之中，技术评估有时成为这些各行业代表工作的简单相加，这就要求变这种多学科的 (multidisciplinary) 研究模式为跨学科的 (interdisciplinary) 的研究模式。

第三，评估对象的广泛性。技术评估以广义上的技术为评估对象，因此自然技术、社会技术，甚至有关法律的制定、社会制度的理想状态等都是技术评估的对象。其中，现在的、未来的技术、技术规划和技术政策是评估的直接对象，主要着眼于技术对社会的影响。

第四，评估方案的可操作性。技术评估通过对技术预测所形成的各种方案做出定性和定量的分析评估，从需要和可能、现实和未来、政治道德和经济利益、技术基础水平和长远开发能力等多方面进行审定和可行性分析，提供适合用于实践的具体方案、策略和规划，具有较强的可行性。

第五，评估过程的动态持续性。在技术评估初始对评估的深度、范围和评估时间等各方面的预算在进行过程中很难贯彻至终，经常要随着研究工作的进展对研究内容作相应的调整；同时，鉴于预警性技术评估的

局限性，技术评估也逐渐倾向于对技术的建构性评估，它贯穿技术开发—创新—应用的全过程，直接作用于技术发展的取向。

第六，评估视野的开阔性。技术评估不仅对技术作用的效果进行预测分析，而且直接作用于技术从开发、创新、应用的全过程；不仅关系到技术的直接的经济效益，而且关注技术的间接的、潜在的、重大的全局性问题。对目标的评估是客观的描述性和主观的规范性、兼顾近期利益和长期发展的有机统一。

2. 技术评估的程序

技术评估大致可分作六个步骤，即调查研究、寻找影响、影响分析、排除非容忍性影响，制定改良方案以及综合评价等。

第一，调查研究。通过调查把握研究对象的性质和目的，技术课题的实施对象、新技术的对比技术以及新技术相关领域及其主要影响等，从而能够确定评估报告限定的评估范围是否合理。

第二，寻找影响。了解评估对象方案的一切影响方面，包括潜在影响，明确影响的因果关系以及政府对影响的作用进行比较分析。这项工作多采用相关树法、专家讨论会方法等。

第三，影响分析。在找到影响因素后，还必须对影响的内容、程度、性质、真实性及影响规模等做出分析，并进一步明确影响的因果联系。

第四，排除非容忍性影响。这是指根据事前规定的若干评价项目，参照某些价值标准对各个项目进行逐个判断，按其程度的不同从总体上逐个归纳，最后按它们的恶劣程度、相关程度、频度和范围等因素进行判断，排除掉那些“非容忍性影响”。

第五，制定改良方案。根据以上分析采取相应对策，特别是对消除非容忍性影响的对策。诸如修改技术方案、制定补救措施、限制使用等进行指导使用。

第六，综合评价，明确被选择方案。在前面工作的基础上进行综合归纳，做出总体评价，也就是从系统的整体观念入手，权衡利弊对技术做出合理的选择。

以上评估程序在实际操作中不是一成不变的，同时，为便于决策者作出选择，还需要写出技术评估报告，要对所支持结论的科学依据予以阐发。

3. 技术评估的常用方法

第一，矩阵技术法。这种方法从系统的整体观念出发，站在事物普遍联系的高度，对事物进行全面认识和合理评价，分析事物与各种因素之间的相互关联性。矩阵技术法可以分为两种：一是不考虑时间变量的相

关矩阵法，它把评估对象与各评估因子之间的相互联系和相关程度以矩阵形式表示出来，进而获得各评估值以做出评判；二是考虑时间变量的交叉影响矩阵法，它从技术之间的相关性出发，考察新技术开发对其他技术促进或抑制的情况，通过多轮的模拟统计获得各技术发生的最终概率估计，做出新技术开发的评估。后者兼有定性与定量结合的优点，相对比较全面。

第二，效果分析法。这类方法评估重点是对象的未来效果即间接效果而不是直接的第一次效果，常用的方法如效果费用分析法与模糊综合评价法。前者根据技术特性和寿命，分析研究开发、投资和实用各阶段所需费用的关联性，做出效果评价。后者是运用模糊数学的方法，借鉴模糊综合审计的成功经验，力图对模糊性事物的评价达到精确化。

第三，多目标评估法。这种方法是指多目标系统的评价方法。技术通常是一个多目标的复杂系统，与社会系统相互影响和制约，因而评价中必然存在着价值观的对立，各种因素如质量好、成本低、产量高、污染少都可以成为技术目标，这些目标又互相矛盾，从而给评估工作带来难题。折中评价法、化多目标为单目标法、功效系数法等多目标评估法的出现为此提供了一些较为合理的参考方法。

第四，技术再评估法。这是在技术开发之后进行再评价的一种方法，评估对象为已开发的或需要推广的技术。技术再评估立足于长期、综合、根本的利益，从人的适应力、自然的吸收力、资源的有限性出发，重视价值观变化，重视技术的副作用和负面效果，把技术本身和社会效应两个最基本方面综合起来做出评估。美国政府以法律的形式把诸如农药、高层建筑、核能炼铁、基因重组等技术都列为技术再评估对象。

当然，由于每种方法都各有长短，在实际运用中也会发生变化，因而常用方法也有相对性，使用的关键在于从评估对象实际出发，方能取得较好的效果。

第三节 技术方案的构思和设计

技术方案的构思与设计是技术开发过程中方案的构思与设计阶段的程序和方法，其中起关键作用的是创造性思维。

一、技术方案的构思方法

如前所述，技术方案构思是要寻找在既定的限制条件下满足课题要求的新方案，这要求充分发挥人们的创新能力，将技术系统硬件的各个部

分组成有机统一的整体，从而最大限度地完成既定的技术目的。技术方案的构思过程包括提出技术原理和解决问题的基本思路。技术原理的形成必须依赖已有的自然科学知识和原有的技术实践经验，通过发明者创造性的思考提出，例如，瓦特提出提高蒸汽机热效率的分离式冷凝器原理就是以潜热理论和纽可门机为基础的。有了技术原理，还需要将其具体化为实现技术目的的构思，这其中需要把基本的自然规律和已有的技术经验巧妙地结合起来，围绕新的技术原理，提出具体的技术设想和方案。方案构思越多，技术原理的实现可能性也就越大。

技术原理的构思方法主要有如下几种：

第一，原理推演法，是从科学发现的普遍规律和基本原理出发，推演技术科学和工程科学的特殊规律，形成技术原理。由于现代技术创造发明的一个重要特点是越来越依赖于自然科学的进步，原理推演也就成为技术构思中最为重要和普遍的一种方法。

第二，实验提升法，是指直接通过科学观察和实验所发现的自然现象，做出理性思维的加工与提升，产生新的概念或原理的方法，科学实验常常由此成为新兴技术的生长点。例如，电磁感应的实验产生了电机技术的基本原理；爱迪生效应的发现，成了电子管技术原理的先兆。从实验中提升技术原理，关键是对实验现象的挖掘和提炼，这需要深刻的理论洞察力和敏锐的创新意识。

第三，智力激励法，又称智囊团法、头脑风暴法，其做法是：召集十人以下的小型会议，围绕一个目标明确的议题，自由地发表各种意见和设想，使与会者相互启发，激发想象和联想，引起和强化创造性思维的共振效应，从而构想出各种可能的发明设想和技术方案。运用智力激励法必须遵循以下原则：提倡每个成员自由思考、大胆创新；讨论时对各自主表的见解不作结论，也不做批评和反驳；提出的方案和设想越多越好；提倡将已提出的方案有机结合成新的方案。

第四，移植综合法，是将在某个技术领域已经发现的技术原理移植应用到其他技术领域中进行综合，形成新的技术和方法。这种方法在现代技术研究中应用极广，是导致技术发明的重要途径。例如，激光技术就是微波技术、光学技术、量子放大技术、真空技术和自动控制技术综合移植的结果。

第五，检验表法，也称设问法、校核目录法，是奥斯本和阿诺德等人提出的用以大量发掘创造性设想的发明方法。其具体做法是：列出一系列问题，然后一个个来核对讨论，从中获得解决问题的方法和创造发明的设想。研究者可以依不同领域、不同专业或不同企业的具体要求列出相应

的检验表。目前，检验表法在从材料方面和性能方面改进产品的研究中得到较为普遍的运用。

二、技术方案的设计及其方法

1. 技术方案设计的分类

设计(Design)一词由拉丁文“制造出”(Designare)一词转变而来 指运用科学知识和实践经验，创制满足某种特定功能系统的一种活动过程。设计涉及的领域广泛，包括改造或者创造、发明新事物的思维、拟定或改造计划、安排活动等内容。技术设计是在产品投产或工程实施之前，提供关于产品制造、工程施工的全部图纸和技术文件，是技术创造链条中观念建构的最后一步，在技术开发活动中有十分重要的作用。随着社会的进步和人们生活水平的提高，技术原理与人文知识的融合成为技术设计的一个重要特征。

按涉及的领域不同，技术设计可分为工程设计、工业设计、环境设计等。

工程设计是运用科学技术知识和实践经验，根据预定项目的需要以及环境限制条件，创制技术开发的构思图纸和说明书的有目的的活动。工程设计的方法论主要包括功能与能源、控制的相互关系；结构与功能的关系；工程设计的最优化问题；工程设计的数学与经验方法；可靠性设计方法以及可持续的工程设计等。

工业设计的对象是工业社会中一切人造物以及人的作用面和感知面，包括人机界面、人物界面、各种用品的使用表面以及对人的感官和思维产生作用的表面。工业设计不仅能塑造产品外形，更主要的是表现出设计道德伦理和解决一系列问题，包括使用界面的可用性、工业大生产的工艺过程、成本价格、文化可接受性、生态原则等。工业设计中的方法论问题涉及劳动学、人机学理论，具体为可用性设计方法、安全性设计方法，人机界面设计方法等。

环境设计是以一种创新的方式去规划人类生产和生活的空间与未来，主要解决创造空间的问题，涉及到城市设计、城市规划、建筑设计、室内设计等。环境设计创造着与人的生活密切相关的大部分人工环境，其方法论问题主要包括视觉思维研究、视觉造型与功能协调的方法；以人为中心的设计方法、以自然为中心的设计方法；环境设计中的技术美学、以行为模式为基础的设计方法、技术化影响下的设计程式化问题等。

2. 技术方案设计的主要方法

第一，系统设计法，是把系统工程的基本原理应用于工程设计，通过

系统分析和系统综合等一系列步骤，以寻求整体优化的合理设计方案。系统设计是随着系统工程创造工程运筹学和电子计算机科学等的发展而形成的一种崭新的设计方法，在工程技术的广泛领域得到了大量的应用，是设计工程师必须掌握的最基本的设计方法之一。

采用系统设计应遵循系统思考的一些基本原则，这主要有：

整体性原则。这要求把对象作为整体来对待，从整体与部分、整体与环境的相互制约、相互依赖的关系中考察对象。

综合性原则。这要求设计者善于综合地运用各种技术知识、经济社会知识以及创造技巧，全面协调和处理它们之间的关系，以便实现由综合而创造。设计方案是设计者的智慧、经验、知识和创造力的综合体现。

最优化原则。这是系统思考的基本原则，贯穿系统设计的全部过程。技术系统总是为满足一定的需要去执行某种功能而设计的，系统设计的每一步骤都力求经济有效地去保证整体功能的实现，力求优化整体功能。

第二，可靠性设计方法，也称概率设计法，是以 20 世纪 50 年代出现的可靠性技术为基础的设计方法。可靠性技术就是为制造尽可能少发生故障的产品所采用的一切方法，以及在运行中为避免故障的发生所采取的一切措施。传统的设计凭设计者的经验考虑数据的分散性和其他不确切因素，设计的产品或零部件存在诸多问题。采用可靠性设计，运用数理统计工具处理含有不确定性因素的设计数据，使所设计的产品在满足给定可靠性指标的前提下，结构合理、尺寸适宜，避免了凭经验选用安全系数设计时出现的危险或保守倾向。

可靠性设计的基本要求主要有：用安全可靠设计代替功能设计，它包括部件可靠性、功能可靠性、运行安全、劳动安全和环境安全；改变工业环境和操作工艺，在设计中分析并避免工业环境中的各种危险来源和危险操作；保护技术应当运行可靠并且在必要的情况下具有强制作用。

第三，最优化设计方法，是指对实际存在的各种因素加以分析，经过概括和提炼，保留代表客观对象生产过程和系统的本质和特点的内容，扬弃无关紧要而又易于混淆的部分内容，建立起代表这一客体模型的过程。最优化设计的方法主要有直觉优化方法、试验优化方法、进化优化方法等类型。

最优化设计是近几十年来随着电子计算机的发展而得到越来越广泛应用的现代设计方法之一，具有许多传统设计方法所没有的特点。首先，最优化设计可以按最优化计算方法对较多的参数进行不受次数限制的反复调整，而传统设计常因计算浩繁只能对个别参数进行有限次数探讨。其次，最优化设计以理论分析为主，辅之以实际试验，可大大缩短设计周

期，减少人力消耗，传统设计往往需要耗费工时去一一摸索鉴别各方案优劣。最后，最优化设计在数学上表现为求极大值或极小值问题，运用先进的电子计算机技术可以解决复杂的巨系统设计中的问题，而传统设计对此常常无能为力。

第四节 技术方案的试验和实施

技术开发过程中的第三阶段技术方案的试验与实施，是技术方案通过模型、试验、研制向实践转化的阶段。这是从技术方案到相应的技术产品的重要环节，关系到技术产品的质量和水平。

一、技术试验的特点和类型

技术试验是指在技术开发和设计、实施过程中，为了实现和提高技术成果的功能效用和技术经济水平，利用科学仪器、设备人为地控制条件、变革对象，进而对技术对象进行分析和考查的实践活动和研究方法。技术试验和科学实验都属于认识的实践环节，都是使用科学仪器、设备等物质手段作用于研究对象或在简化各种条件的情况下研究事物的经验方法，它们有许多共同之处。

但是，无论从认识论还是从方法论来看，试验与实验却又有很大区别。它们的区别主要有：从活动目的看，实验的目的是为了揭示客观规律，试验则直接为生产服务；从认识过程看，实验属于变革自然创立科学理论的过程，最终成果是关于自然界规律性认识，试验属于从科学知识到人工物品的创造过程；从对象范围看，科学实验主要研究自然物，技术试验主要研究人造物，围绕新技术、新产品、新工艺进行；从成功概率看，由于科学假说的推测性、假设性特点，决定了实验探索的成功率比较低，而试验大都依据可靠的科技原理，验证性强，成功率大。

技术试验的类型主要有：

第一，析因试验，是根据技术开发过程中已经出现的结果，通过实验来分析和确定产生这一结果的原因。在技术开发过程中，常会出现这样或那样的结果，通过析因试验，确定导致某一偏离预定的技术目标和技术功能，人们就可以根据已经确定的原因去分析和构想强化、减弱或消除这一结果的措施和途径，并进而改进技术方案和技术模型，或者提高技术的功能和水平。析因实验在技术开发过程中对技术方案和技术模型的验证和改进有重要的作用。

第二，对照试验，也称对比实验，是为确定两种或多种研究对象的优

劣异同所安排的试验。它有两种基本形式：一是在相同的条件下，通过试验比较不同技术对象的性能的异同或优劣程度，二是在不同的条件下，通过试验比较同一技术对象的性能的异同或优劣程度。对比试验的应用范围极广，它既可应用于技术模型的设计和技术产品的试生产过程，又可应用于技术整体的“结构—性能”的试验与选择中。

第三，模拟试验，又称模型试验，它是以相似性原则构成模型，通过对模型的研究来间接地研究原型中的规律性。传统的模拟试验方法主要有物理模拟、数学模拟，近年来又产生出功能模拟这一新的类型。

物理模拟是以模型和原型之间的物理相似为基础的模型试验方法。这里，模型和原型之间的所有同名物理量都是相似的。即所有的矢量在方向上相应地一致，在数值上相应地成比例。在这种情况下，模型和原型之间，只有大小比例上的不同，其物理过程在本质上是一致的。

数学模拟是一种以模型和原型之间的数学形式相似为基础的试验研究方法。运用的模型是电路或电子模拟计算机。数学模拟试验中，模型和原型之间的材料、结构和物理过程可以完全不同，只要它们遵循的规律在数学方程式上具有完全相同的形式，就可以运用这种试验方法。目前，大型汽轮发电机、水轮发电机的自动调节系统等的设计和研制中都普遍采用这种方法。

功能模拟思想开始于 20 世纪 40 年代，是以功能和行为相似为基础，模拟具有控制和通讯功能的系统的行为，以创造出功能新颖、性能先进的技术系统。它与传统模拟的不同在于，在传统模拟中，模型只是一种认识原型的手段，而在功能模拟中，模型本身就是研究的目的。

第四，中间试验，是为了使科技成果转化成为实际应用、使实验室内取得的研究成果得以放大或推广为工业规模化生产而进行的实验。实验室的研究成果是在严格的控制条件下产生的，规模也比较小，一旦投入生产和扩大规模，条件发生变化，就会出现种种问题和意料不到的情况。为了摸清在推广应用时可能出现的问题，就需要以更接近于生产规模的实际情况进行中间试验，从而发现可能出现的技术问题，为正式投产积累经验。因此，中间试验是由研究性质的实验转向生产实践的过渡环节，带有研究和生产的双重性质。

二、实施技术方案的方法与程序

技术方案的实施阶段是技术方案经试验确证后，根据设计阶段提供的生产或施工图纸试制新产品或建造技术系统，以获取技术与开发成果的过程。技术方案的实施方法可分成特殊实施方法与一般实施方法

两类。特殊实施方法主要是指用于解决生产或施工过程中的某些特定的技术问题方法，仅适用于某个工程技术领域的某个实施阶段，其普适性小。一般实施方法可解决各个工程技术领域的实施阶段的共性问题，它包括在判定实施计划、样机研制、小批量试制、鉴定、试销、正式投产及质量管理等实施阶段中所利用的一般方法，其普适性大。

技术方案的实施一般遵循如下程序：

第一，设计者与生产制造和管理人员进行交流与协作，修改设计，完成小批量试制工作。技术人员既负责设计又负责实施制造，这是最理想的情况，可是实际上，设计工程师与制造、管理工程师往往是分开的。为确保方案的顺利实施，三者必须进行思想成果（主要是图纸）和情报系统的交流，使设计符合生产条件。

第二，进行生产设计。设计师完成施工图设计后，制造工程师要结合本企业制造条件，对方案细节作必要的改进和变动，以便加工制造简易可行和节省生产费用。

第三，制定生产作业计划。这个阶段的任务包括确定每个零部件的详细制造阶段和工序、规定合适的机器、估算每个制造阶段和工序所用的时间、完成每个制造阶段详细生产图纸的制备等，其核心是选择加工工艺、设备和拟定制造程序。

第四，进行生产控制和质量管理。为了保证生产作业计划的顺利实施，还必须加强生产过程的控制和管理，掌握生产进度，协调好各项工作之间关系，合理地调整人力、物资和设备。目前，国内企业越来越多地采用国际流行的产品数据管理（PDM）技术和企业资源计划系统（ERP）技术对企业进行管理。

技术方案的实施是个复杂的过程，需要各方面因素的统一协调，选择适当的技术支持，需要对技术实施方案进行空间上、时间上、逻辑上的细化，要经过方案实施、运行与评价、方案改进、再实施的循环提高过程，逐步实施，不断改进。

技术的实施阶段在技术活动中有着极其重要的作用，这主要表现在：

其一，只有在实施阶段通过各种实施方法，在技术方案的设计阶段所设计出的图纸才能成为现实的存在物，才能检验设计意图和要求（如经济性、可靠性等）的合理程度。

其二，只有通过实施阶段运用各种实施方法，才能协调技术开发所必需的五大要素（简称“5M”），即人（Men）、方法（Method）、材料（Material）、机械（Machines）和资金（Money）之间的关系，以发挥它们的最佳效果。

其三，通过新的技术方案的实施过程，可以向应对企业的规章制度、生产流程等进一步优化，达到“以建促改”的目的。

在实施新的技术开发方案的同时，企业往往要对以往的制度做合理的调整和修改，使它能够对项目的实施起到推动作用。同时可利用更为先进的实施，结合企业所存在的管理问题着手在一些基础方面进行改进。

实践证明，合理地运用实施方法，必定使技术与开发达到五个目标(简称“5R”)，即合格的产品(Right Product)、优良的质量(Right Quality)、需求的数量(Right Quantity)、合适的工期(Right Time)和合理的价格(Right Price)等，加快企业的优化与更新。

思考题

1. 怎样理解技术认识与科学认识的关系？
2. 简述技术开发的基本程序。
3. 技术评估的方法主要有哪些？
4. 技术设计的方法主要有哪些？

第十一章 技术价值和技术社会观

在当代，技术对社会各个领域都产生了广泛而深刻的作用与影响。同时，技术也给社会带来了许多不良后果。本章集中研究技术的价值、伦理以及技术与社会的关系问题。

第一节 技术价值

一、技术价值的概念及特点

技术价值是指应用马克思主义的“价值”概念来考察和评价技术对人与社会的作用和意义，是现实的人同满足其某种需要的技术的属性之间的一种关系。技术与人的这种价值关系是在客体（技术）与主体（人或社会）发生相互作用中实现的，是客体的属性在与主体发生关系中的体现。当技术对主体的需要和发展起到肯定作用的时候，它就具有正面价值，否则，它就没有价值或具有负面价值。例如，当人们利用核技术建造核电站，满足人及社会的用电需要，促进人与社会发展的时候，该技术就具有正面价值。反之，当该技术被恐怖分子用来制造杀人武器，并以此危及人和社会安全的时候，它就具有负面价值。

技术价值归根结底来源于技术本身所具有的属性，是技术属性在与主体发生关系中的体现。技术价值只有在与主体发生相互关系的过程中，才能显现出来。例如，手术刀的价值是在医生使用手术刀的过程中的体现，它的价值也只有在与医生发生关系的过程中，才能显现出来，如果医生不用手术刀做手术，那么，手术刀的属性就只能潜存于其中，很难显现出其价值。

技术的属性是二重的，可分为自然属性和社会属性，技术属性是二者的对立统一体：一方面技术作为实现自然界的物质、能量和信息变换的手段、方法和活动，具有自然属性，并且是自然过程。这主要表现在技术产品的效用性、技术原理的科学性、技术操作的规范性、技术存在的客观物质性以及技术后果的两重性等特性。各个国家、各个民族虽然社会制度、政治结构和文化传统不同，但它们在生产技术和工程技术上的基本原理和基本过程是基本相同的。另一方面，技术作为社会的人所创造、所应

用，服务于一定的社会目的并满足其需要的手段、方法和活动，它具有社会属性，并且是社会过程。这主要表现在技术的社会制约性（技术的产生与发展皆受社会影响）、经济性（技术活动要符合高效率、低成本等原则）、革命性（技术在社会变革中起作用）、历史性（技术产生与发展有一个历史过程）、民族性（技术在不同的民族有不同的表现形式）等特性，因而不同的社会制度、经济结构和文化传统必然会产生不同的技术背景。

在技术与其主体发生的相互关系中，技术的二重性显现为技术价值的二重性，也就是说，技术的自然属性与社会属性共存于技术之中，技术的自然价值与社会价值也共存于技术与其主体的关系之中。例如，网络技术既有便于人们交流的自然属性，又有受管理体制和经济制度等社会因素制约的社会属性。当它被人们利用时，就分别显现出它的交际、便捷价值和文化传播价值。网络技术的两种属性都共存于网络技术之中，它的两种价值也共存于它被其主体（如网民等）用于文化传播和交流的关系之中。

技术的自然属性是其社会属性的基础，技术的自然价值是实现其社会价值的基础。技术的自然价值与其社会价值的体现是同技术所在的环境条件分不开的。当技术与主体的相互作用只受个体和自然环境因素的影响，而不受群体和社会环境因素的影响时，技术主要由其自然属性显现出自然价值，当技术与主体的相互作用受群体和社会环境因素的影响时，技术则主要由其社会属性显现出社会价值。例如，当镰刀被个体农民用于收割谷物时，它主要是由其自然属性显现出收获的效用价值，而当它被团体农民用于反抗入侵者或盗贼时，它主要是由其社会属性显现出保卫领土和家园的社会价值。现代技术尤其是高技术在被广泛应用于社会各个领域过程中，它们的社会属性及其所显现出的社会价值显得更加突出。这主要表现在，各国政府大都支持高技术的研究与开发，社会对高技术成果的应用及其后果都给予密切关注。

技术价值具有以下特点：

第一，客观性。一方面技术价值来源于技术属性，而技术属性是技术本身固有的，是客观存在的，因此，技术属性在技术与主体发生相互关系中所显现出的技术价值是有客观基础的；另一方面，主体对技术的需要也不纯粹是主观的，因为人们和社会的需要是受到自然和社会历史条件的制约。

第二，实践性。技术只有通过与其主体发生相互作用关系，才能显现出其价值来，而这种相互作用的关系是在实践过程中产生的，具有实践性，因而离开了主客体相互作用，离开了人们的实践活动，技术价值就不能显

现出来。

第三，历史性。技术价值的显现不是一蹴而就的，而是在一个历史过程中逐渐显现出来的。例如，计算机的自然价值最初只体现在提高计算速度方面，以后，随着各种软件的研制、开发与应用，它的自然价值、尤其是社会价值才被逐渐显现出来。另外，承认技术价值也需要一个历史过程。例如，火车最早是由特列维西克于 1800 年至 1804 年发明出来的，但是在当时，它的运输价值却没有被人承认，直到斯蒂芬逊于 1814 年发明了蒸汽机车并于 1825 年正式通车以后，它的运输价值才正式被承认。

第四，相对性。技术本身有用的自然属性是绝对的，但它对人们或社会是否有用却是相对的。例如，制造计算机病毒的技术对黑客们有价值，但对网民则有害。电视机制造技术虽然对其研制者有价值，但对其观众没价值。

二、技术价值的主要内容

1. 技术的自然价值

从技术的二重性的观点看，技术的自然价值是指技术在与主体发生作用的过程中，主要通过技术设计和发明，由其自然属性显现出来的价值（技术的效用价值是其主要成分）。例如：农业的播种机械、收割机械等在农业生产过程中体现出来的价值；建筑业的打桩机械、水泥搅拌机械等在建筑过程中体现出来的价值；电子计算机技术等在处理与传输信息过程中体现出来的价值等。技术的效用价值在技术实践中，是以精确性、耐久性和低成本等形式具体地表现出来的，它可以为任何时代、任何区域中的人们所认同，因此，它具有世代传承性、跨界转移性等特点。因此可以说，技术的自然价值是中立的。正是在这个意义上，在电子商务和国际贸易中，能够确立“技术中立原则”，允许外资供应商自行决定使用任何技术来提供电信服务。

技术的自然价值表明，技术在存在意义、进步指向、活动形式、实施方法和评价标准等方面都与科学有区别，这就要求我们对待技术要以技术的需要和尺度为标准进行价值判断，不能以衡量科学的标准来衡量技术。技术的自然价值还要求我们在技术发明、技术设计与开发以及技术管理等方面要按技术的自然规律办事（不能像管理科学那样管理技术），要为技术的产生与发展创造必要的物质基础与文化环境。

2. 技术的社会价值

技术的社会价值是指在技术与主体发生相互作用中，主要通过技术的开发和生产、技术的应用和普及，由其社会属性显现出来的价值。技术

的社会价值是在技术的自然价值的基础上实现的，它包括技术的经济价值、政治价值、文化价值和生态价值等。

技术的经济价值是指技术在与经济发生的相互作用中，它的经济属性显现出来的价值。技术具有提高生产力水平的经济属性（如高效率、低成本、污染少或无污染等）。技术的经济价值主要涉及技术与生产、技术与消费、技术与服务、技术与企业管理、技术与国家生产力发展水平等方面。技术的经济价值是其他社会价值的基础，是全面建设小康社会，推动社会走向物质文明、政治文明和精神文明的基础和保障。

技术的政治价值是指技术在与人和社会发生的相互作用中，它的政治属性（如技术与权利、权力、社会革命、国家安全等）所显现出来的价值。具体表现为：技术是政治变革的重要因素；技术是一个国家综合国力强弱和国际地位高低的重要标志之一；技术专家进入国家的政治组织核心，参与了政治权力和权利的分配等。

技术的文化价值主要是指在技术与文化（狭义）发生相互作用中，它的文化属性（如观念、审美意识等）所显现出来的现实价值。它主要体现在：技术是精神文明建设的客观物质基础，是变革传统伦理的重要力量，是推动文学艺术、影视艺术、远程教育的重要物质基础和手段，还是改变人们的生活观念、生活方式，提高生活质量水平的重要的物质条件和可靠保障。

技术的生态价值是指技术在被人类用来保护自然环境，协调人与自然关系的过程中，它的自然属性与社会属性所显现出来的价值。主要体现在：利用技术节能和开发再生能源、综合和循环利用资源、对废物实施零排放和低排放等。技术对环境所显现出的负面价值，是人们过度或无度地使用技术的结果，例如，酸雨、温室效应、臭氧层被损害，这些都是过量地向空中排放有害气体造成的。因此，必须从可持续发展的理念出发，限制使用已经造成负面效应的技术，防止其不良后果的蔓延，研制和开发出能够替代对自然环境产生负面效应的技术的新技术和能够与自然环境相协调的新技术（如可降解塑料技术等），促使技术的自然价值转向保护生态环境、协调人与自然的生态价值。

技术的自然价值与其社会价值既是统一的（即前者是后者的基础，后者是前者的延伸），又是矛盾的。二者的矛盾、不平衡是绝对的，它们之间是不可比的，从技术的自然价值很难准确预测出技术的社会价值，技术对社会带来的正面与负面效应更多地与其社会价值有关。因此，在文明的发展过程中，更应该关注技术的社会价值。

技术的经济价值与其他社会价值相统一（即前者是后者的基础，后者是前者的延伸），但往往又是矛盾的：有些技术（如先进军事技术和航

空航天技术等)不能只考虑其经济价值而忽视其政治价值(包括军事价值);有些价值(如加工制造技术等)不能只考虑政治价值(即为获各种奖项而仅停留在样品、展品阶段)而忽视其经济价值,即不能搞政治决定技术;有些技术(如医疗技术等)不能只考虑其经济价值(即不能只搞创收)而忽视其文化价值,忽视了治病救人的医德;有些技术(如可降解塑料技术等)不能只考虑其经济价值而忽视其生态价值。

因此,应当在正确认识和处理它们之间辩证关系的基础上,对其进行科学的价值判断,并在借鉴发达国家价值标准的基础上,依据我国的现实状况,制定出科学的价值标准,以此进行技术选择、技术评估和预测,确定技术发展战略,推动技术的持续发展。

三、技术价值的观点及评述

关于技术价值,存在着以下几种观点:

第一,技术价值中立论。这种观点认为,技术本身是中性的,不含有任何的价值判断,没有善恶和对错之分。德国哲学家雅斯贝尔斯(Karl Jaspers,1883—1969)等人就持这种观点。

第二,技术负荷价值论。这种观点认为,技术是负荷价值的,任何技术都有一定的价值取向和价值判断。辛普森等人就持这种观点,他们认为,技术拥有自身特定的价值。技术能够控制并统治人类,使人类成为被管理的对象。

第三 技术价值折中论 这种观点主张 技术在一方面是中立的、无价值的,而在另一方面却是有价值负荷的。例如,阿诺德·佩斯认为 机器的本身是中性的,但机器的使用却是有价值负荷的。

第四,技术批判理论。这种观点认为,技术价值是在技术的自然属性和社会属性相互作用的过程中表现出来的。例如,芬伯格就认为,技术价值存在于技术的自然属性(即所谓的“技术编码”)和社会属性(即所谓的“人类控制”)的相互作用之中(即所谓的“交叉域”)。这种相互作用的过程就是他所说的“斗争场景”。技术价值就是在这个“交叉域”范围内经过“斗争场景”表现出来的。

从技术的二重性(自然属性与社会属性)的观点来看:“技术价值中立论”主要是从技术的自然属性来理解技术价值的,它只承认技术具有自然价值,忽视了技术的社会属性;“技术价值负荷论”则主要是从技术的社会属性来理解技术价值的,它只承认技术具有社会价值,不承认技术有自然属性这一面;“技术价值折中论”则把技术的自然价值和社会价值(即技术应用的价值)区别开来,但没有从技术的自然属性与社会属性的

对立统一上理解技术价值；“技术批判理论”虽然注意到了技术的自然属性与社会属性的相互作用关系，但没有具体论述技术属性与技术价值之间的辩证关系。

从马克思主义的观点来看，应当从技术对人和社会的作用和意义上看待技术价值问题，从而要求从技术的二重性（自然属性与社会属性）的辩证关系上理解技术观的实质。只有这样，才能树立科学的技术价值观。

第二节 技术伦理

一、技术伦理的概念与形成

马克思主义认为，人们在自己的物质生活的社会生产过程中必然形成一定的、不以他们的意志为转移的社会关系，其中包括伦理关系。伦理关系主要是一种自律性的、有道德观念渗透其中的社会关系，它包含处理人与人相互关系所应遵守的道德和准则。伦理与价值虽然都是在人们的行为和关系中产生与形成的，但是，二者又有所不同：价值是伦理产生与形成的前提和基础，伦理则是对正面价值的维系和对负面价值的制约。技术伦理则是围绕技术所产生的伦理关系中的道德现象和道德关系，是人们在技术所发生的伦理关系中所应该具有的道德品质、应该遵守的道德规则和应该尽到的道德职责（如技术人员的一般道德行为规范、工程伦理等），它是对技术正面价值的维护或扩展和对其负面价值的制约或控制。

技术伦理的产生有一个历史过程。在古代，由于技术仅限于满足人们的生存需要，因此，当时虽然出现了如庄子提出的自然主义和反技术主义之类的技术伦理观，但它们没有成为当时人类伦理和社会伦理中的主要内容，也未在其中占据着重要地位。当时的伦理只存在人类之间和人与社会之间，其伦理观只考虑人与人的关系，只以人的利益或人类的利益为出发点和终极目的，只把人作为道德的对象，只承认人的道德地位和权利，这种伦理只是一种关于人与人、人与社会关系的伦理，而不是或主要不是关于技术的伦理。到了近代特别是现代乃至当代，技术对自然、人类社会产生了巨大的作用与影响，并产生出一系列新的伦理问题，同时与传统的伦理道德发生了很大冲突。于是，便产生了技术伦理。

可见，技术伦理来源于技术价值，更直接地来源于技术的社会价值。技术伦理虽然是伴随着技术价值而产生与形成起来的，但这并不意味着只要技术有价值，就一定会同时产生相应的技术伦理，只有当技术迅速发

展并对自然和人类社会的影响达到相当规模和程度，并且，冲击着人类社会的传统伦理并迫使人们对其进行伦理反思的时候，才会产生关于技术的伦理思考。

二、技术发展中的伦理问题

1. 技术发展的目的性问题

现代技术所产生的许多负面价值，迫使人们追问，技术究竟为什么目的服务？技术是被用来造福人类还是危害人类？技术是为整个人类谋福利，还是为一部分人或集团谋私利？技术能否在终极意义上促进人类社会走向文明？对此，不同的社会制度和文化价值观念体系会做出不同的甚至是完全对立的回答。

德国技术伦理学家汉斯·尤纳斯，在《责任原理》一书中提出，要形成一种“责任伦理”观。这种伦理观倡导要关心未来、自然、人类后代和整个生命界，主张技术的发明、创新和使用要对自然负责，要尊重和保护未来人类及未来世界的尊严和权利；技术发明与创新既要符合自然规律，同时还要符合人类的目的；在实施技术与开发过程中，要正确认识与处理人类的近期、中期和长远利益、局部与整体利益、个人与他人利益、当代与后代利益之间的辩证关系，这样的行为才是合乎道德伦理的行为。

2. 对待技术负面效应的认识问题

现代技术所产生的许多负面效应还迫使人们追问，这些负面效应的致成原因何在？人类如何减少它？应该说，产生这些负面效应的主要原因是，人们不能完全对其进行科学的预测或预知，因而也就不能预先对其进行完全地控制。但我们不能因此望而却步或悲观失望。自然、社会和技术的发展是无限的，但人类对它们的认识和探索也是无止境的，人类的智慧和能力的发展也是无限的。人类可以通过采用“预凶”的方法谨慎地使用技术并预先做出对策。这正如恩格斯曾经警告过的那样：“我们不要过分陶醉于我们人类对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行报复。”^①

另外，人类虽然不能杜绝技术的负面效应，但是一定程度上，人类可以通过科学发现和技术创新，减少技术的负面效应。例如，人们可以通过发明清洁生产技术，促进人与自然的协调发展。

3. 技术追求的最高伦理问题

一般认为，真、善、美是文明社会发展的最高目的。技术理性强调用

^① 《马克思恩格斯选集》第4卷 人民出版社1995年版 第383页。

逻辑和计算的方法来处理各种问题，成为工业化社会乃至未来社会人们追求“真”的一种思维方式和方法。从“可欲之谓善”（孟子语，即为人所需要的技术是善的）和“善的技术有利于人类”（F. 培根语）这个意义上说，技术可以成为人类追求“善”的手段和方法。人类利用技术创造人工自然，美化自己周围的环境，通过技术创造文化艺术，陶冶人们的心灵，塑造美好的精神世界。因此，实现真、善、美的统一，完全可以成为技术追求的最高伦理。

4. 高技术与传统伦理的相互冲突问题

当代技术特别是以器官移植和人工辅助生殖技术为代表的医疗技术、以克隆技术为代表的生物技术、以计算机技术为代表的网络技术都在其各自领域里与传统的伦理、道德发生了冲突，并由此产生了许多伦理问题。

人工授精、体外授精和无性繁殖等生殖技术虽然可以通过控制人的生殖过程，解决生殖功能障碍，促进人类的健康发展，但它可能割断了婚姻与生儿育女之间的联系，可能损害夫妻之间的感情，冷淡代际之间的亲情关系。特别是“租借子宫”、“替代母亲”、“试管婴儿”等技术打乱了传统的人伦道德关系。性别鉴定技术虽然可以通过及时终止妊娠，减少某些性连锁遗传病患儿的出生，但是，它可能成为重男轻女者保留男婴、摒弃女婴的手段，致使社会男女比例失调，影响人类种族的持续健康的延续。人工流产技术将会因使胎儿流产失去生命而引发关于胎儿是否是人的伦理争论甚至是人权争论。

人体器官移植技术虽然可以通过将常人体内或某些动物体内一些器官，植入患者体内并替代其相应的病态器官，使得那些器官残缺和因某些器官功能丧失而有生命危险的人，获得了新生的希望，但它冲击“天地之性人为贵”的儒家伦理和关于死亡的传统伦理观（即脑死亡与呼吸死、心脏死之间发生矛盾）降低人的价值与尊严。此外，“安乐死”技术，即所谓“无痛苦致死术”，也会冲击“敬畏生命”、“生命无价”等传统的生命伦理观。

“克隆”技术虽然可以产生出与亲代相同的新生物，但它引发关于人能否像其他客体一样被设计、制造，如何看待“克隆人”与人之间的关系等问题。分子克隆技术（又被称为 DNA 重组技术）可以从健康的人体中“克隆”出人们所需要的健康基因，并以此置换病人体中的患病基因，达到治病救人的目的，但这将会引发诸如人的基因能否当作商品进行交易等一系列伦理道德问题。网络技术虽然促进了文化传播与交流，但它因主体被虚拟化而导致虚无主义和无政府主义伦理观盛行，使得不道德行

为难以监督和控制，个人隐私被侵犯，信任与责任出现危机，信息资源的安全得不到有力保障。这些问题既严重地干扰了社会秩序和人们的精神秩序，也阻碍了网络技术的有效使用和持续发展。

此外，技术发展中的伦理问题还包括：应用技术改造自然和人类自身的价值标准和道德界限问题，技术应用于社会、战争的善恶标准问题，技术工作者所应遵循的一般道德规范问题，应用技术的动机和效果的道德评价问题，技术伦理与技术立法之间的关系问题，高技术发展对人类传统伦理的影响问题，技术伦理与社会道德之间的关系问题等。这些技术伦理成为技术伦理学的主要研究内容，它有助于我们在变革传统伦理和道德观念的基础上，形成新的技术伦理，以便与技术发展相适应，促进技术的持续、健康发展。

三、技术发展的伦理建设

技术是人类活动的产物，人类是技术的主体。因此，要进行技术伦理建设，首先就需要进行人和人类社会自身的伦理建设。就是说，要通过发展教育，提高人自身的伦理素质，通过如恩格斯所说的“对我们的直到目前为止的生产方式，以及同这种生产方式一起对我们现今的整个社会制度实行完全的变革”^①，建立如控制论的创始人维纳所说的“以不同于买卖关系的人的价值为基础的社会”，即建立完善的社会体制和面向技术的社会伦理秩序。

实施人类自身的伦理建设主要是指培养和提高技术发明家、技术使用者（如公众等）和技术观察者（如技术评估和评论家等）的伦理素质。技术发明家的伦理素质在技术伦理建设中起到重要作用，技术发明家不应该只考虑他发明对象本身的科学意义和价值，还要关注其可能产生的社会后果。就是说，技术发明家要注重自己的“责任伦理”建设。技术发明家应该明确自己发明工作的目的和意义，使自己的发明成果能够为人类的幸福和世界的和平做贡献，必须警惕其成果被滥用及其可能产生的负面效应。正如爱因斯坦对青年科技工作者所讲的：“……你们只懂得应用科学本身是不够的。关心人的本身，应当始终成为一切技术上奋斗的主要目标。……关心怎样组织人的劳动和产品分配这样一些尚未解决的重大问题，用以保证我们科学思想的成果会造福于人类，而不致成祸害。”^②

① 《马克思恩格斯选集》第4卷 人民出版社1995年版 第385页

② 《爱因斯坦文集》第3卷 商务印书馆1979年版 第73页。

另外，针对技术使用者则可以通过教育，使之树立正确的技术伦理观。例如，针对网络技术的使用者（即所谓“网民”），可以在依据技术创新，强化网络技术监控力度的同时，根据诸如全民原则、兼容原则、互惠原则、自由与自律原则等网络伦理原则对网民进行伦理教育，使之树立科学的网络技术伦理观，使得网络技术的创新与使用能够为人类的物质文明、政治文明与精神文明建设服务。

建立面向技术的社会伦理秩序，这主要由公众、企业、政府等来完成。由于公众是主要的技术相关者，公众对技术的使用乃至对技术活动的参与，直接影响技术的社会价值。因此，应当让公众理解科学特别是技术（包括技术的性质及其发展动态、战略甚至是风险等），对公众开展技术伦理教育，制定技术发明及其应用规范和准则，建立由公众参与的技术评估或评价机制。例如，针对生物技术所带来的一些问题，可以根据“不伤害人”、“尊重人”、“有益于人”、“公正对待人”、“有助于人与人之间的团结”的基本伦理规则，通过能否提供不对后代造成严重伤害的证据的“有罪推定”方法对其进行评估或评价，以此保证人的尊严和权利不受侵犯。政府应当通过进一步完善社会主义市场经济体制和法制建设，通过技术立法和行政执法，规范技术专家和工程师特别是企业的技术行为，通过畅通公众和企业、政府之间的技术协商渠道，建立安全、卫生、环境和资源可持续利用和尊重人权的的企业伦理秩序。

另外，由于技术全球化、经济全球化使发达国家与发展中国家之间的差距日益加剧，因此，还应当通过联合国及其所属各种国际组织（如负责经济开发的联合国开发计划署、负责提供技术信息服务的联合国教科文组织、负责工业化研究与开发的联合国工业发展组织以及负责提供贷款、技术援助的世界银行集团等），建立旨在利用技术解决自然生态的危机问题，解决南北地区国家及民族之间在经济、技术等方面的差距问题的国际社会技术伦理秩序，促进技术与自然及人类社会之间的持续、健康发展。

第三节 技术社会观

一、马克思、恩格斯的技术社会观

马克思主义认为，社会发展过程“是在相互作用的形式中进行的（虽然相互作用的力量很不相等：其中经济运动是最强有力的、最本原的、最

有决定性的），这里没有什么绝对的，一切都是相对的。”^①关于技术发展与社会发展的关系，它们也是在技术与社会相互作用的形式中进行考察的。

1. 技术对社会的作用与影响

马克思认为，技术是人以自身的活动来引起、调整和控制人与自然之间的物质变换的过程，在这个过程中人们形成一定的社会关系。关于技术是推动社会前进的革命力量，他们提出了一系列深刻的论断，例如：“机械发明引起生产方式上的改变，并且由此引起生产关系上的改变，因而引起社会关系上的改变。”^②“一方面，机器成了资本家阶级用来实行专制和进行勒索的最有力的工具，另一方面，机器生产的发展为用真正社会的生产制度代替雇佣劳动制度创造必要的物质条件。”^③技术的发展推动原来的手工业变成了机器大工业，从而极大地促进了社会生产力的巨大发展和物质财富的迅速增加，同时，技术的发展也改变了生产关系、阶级关系和一般社会关系，等等。

马克思不仅强调了技术对社会产生的正面效应，而且还论述了资本主义条件下技术的异化问题，指出了技术对工人所产生的负面效应。例如，“在工厂中，生产的质量、速度和精确度都由机器来决定，而工人则必须使自己的动作适合机器的运转。……在这种情况下，……他们成了自己劳动的异化物。”^④就是说，机器产生后，工人由原来居于支配地位的主体，变成处于被支配地位的客体，机器使工人异化了。关于技术的利用对社会所产生的负面效应问题，他指出，“机器具有减少人类劳动和使劳动更具有成效的神奇力量，然而却引起了饥饿和过度的疲劳。……技术的胜利，似乎是以道德的败坏为代价换来的。随着人类愈益控制自然，个人却似乎愈益成为别人的奴隶或自身卑劣行为的奴隶。”^⑤

恩格斯就技术对社会的作用与影响也进行了阐述：“我们视为社会历史的决定性基础的经济关系，是指一定社会的人们生产生活资料 and 彼此交换产品（在有分工的条件下）的方式。因此，这里面包括生产和运输的全部技术。这种技术，照我们的观点看来，也决定着产品的交换方式以及分配方式，从而在氏族社会解体后也决定着阶级的划分，决定着统治和

① 《马克思恩格斯选集》第4卷 人民出版社1995年版 第705页。

马克思：《机器、自然力和科学的应用》，人民出版社1978年版 第139页。

参见陈昌曙：《技术哲学引论》，科学出版社1999年版 第34页。

参见〔美〕D.波普诺：《社会学》（下）辽宁人民出版社1988年版 第632、633页。

⑤ 《马克思恩格斯选集》第1卷 人民出版社1995年版 第774页。

被奴役的关系，决定着国家、政治、法律等。^①他还论述了军事技术对政治的作用：“火器的采用不仅对作战方法本身，而且对统治和奴役的政治关系起到了变革作用”。^②

2. 社会对技术的促动与观控

恩格斯指出，社会需要和社会交往是技术发展的重要动力因素：“社会一旦有技术上的需要，这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进”^③“某一个地方创造出来的生产力，特别是发明，在往后的发展中是否失传，取决于交往扩展的情况。”^④当社会交往仅仅局限于某一地区的时候，发明就可能失传，“只有交往具有世界性质，并以大工业为基础的时候，只有在一切民族都卷入竞争的时候，保存住已创造出来的生产力才有了保障。”^⑤马克思认为，在奴隶社会和封建社会，技术的发展受到政治的制约和束缚，得不到大规模的发展，“只有在资本主义的生产方式才第一次使自然科学为直接的生产过程服务”，^⑥并促使潜在生产力变成现实生产力：“自然力的征服，机器的采用，化学在工业和农业中的应用，轮船的行驶，铁路的通行，电报的使用，整个整个大陆的开垦，河川的通航，仿佛用法术从地下呼唤出来的大量人口，——过去哪一个世纪料想到在社会劳动里蕴藏有这样的生产力呢？”^⑦

马克思、恩格斯不仅阐述了社会环境对技术及其发展所起到的正面作用，而且还着重论述了社会环境对技术及其发展所起到的负面作用。

马克思在指出资本主义社会促进技术发展的同时，也揭露了技术为资本主义利用而导致的使人异化、使社会道德败坏的现象和原因。资本主义社会的市场竞争促进了技术发明和技术创新，推动了生产力和整个社会经济的巨大发展。同时，资本主义社会固有的生产资料私人所有制与技术的社会化和社会化生产发生矛盾，成为其持续发展的桎梏。另外，技术的社会化和社会化大生产，诞生出了大批代表先进生产力发展方向的无产阶级的产业工人。这样，当先进的生产力与落后的生产关系之间的矛盾激化到一定程度时，便爆发无产阶级革命，通过开展“有现实的共产主义运动”（马克思语），消除资本主义的社会矛盾，消除技术异化并解

① 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版 第731页。

② 《马克思恩格斯全集》第20卷，人民出版社1971年版 第182页。

③ 《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社1995年版 第732页。

④ 《马克思恩格斯全集》第3卷，人民出版社1960年版 第61、62页。

⑤ 《马克思恩格斯全集》第3卷，人民出版社1960年版 第61页。

⑥ 马克思：《机器、自然力和科学的应用》人民出版社1978年版 第206页。

⑦ 《马克思恩格斯选集》第1卷 人民出版社1995年版 第277页。

放人本身，为技术的进步创造更积极的社会条件，实现技术与社会的协调发展。

二、技术决定论

在技术与社会的相互作用中，技术决定论片面地强调技术的作用，它强调技术的自主性和独立性，认为技术能直接主宰社会命运。它“把技术看成是人类无法控制的力量，技术的状况和作用不会因其他社会因素的制约而变更；相反，社会制度的性质、社会活动的秩序和人类生活的质量，都单向地、唯一的决定与技术的发展，受技术的控制。”^①法国学者埃吕尔、美国学者奥格本、德国哲学家海德格尔以及法兰克福学派的马尔库塞等都持有这种观点。

技术决定论可以依照对技术决定自然、人类社会发展的决定程度划分为硬技术决定论和软技术决定论（或“温和决定论”），也可以依照技术在不同领域中所起到的决定作用和不同技术所起到的决定作用划分为技术自主论、媒介决定论、技术统治论、“非意识形态论”和“科学技术意识形态论”等形式，还可以依照其对技术决定自然及人类社会的未来前景划分为技术乐观主义和技术悲观主义两种学派。

硬技术决定论认为，技术是绝对自主独立的，是自然及人类社会发展的最终决定力量。例如，文化人类学家 L. 怀特认为，技术系统是最基本的系统，社会系统是技术的功能，技术力量是文化整体的决定力量；马镫的发明、传播及其应用，因其产生培训（将士）和等级等行为方式和价值原则而对西方封建社会的形成起到了决定作用。^②软技术决定论认为，技术是相对自主和独立并受社会影响的，它不是决定社会发展的唯一因素。例如，温纳（L. Winner）和伯格曼（A. Bergman）就承认技术对社会发展起到潜在作用。

技术自主论侧重于技术在自身存在与发展及其在社会发展中的地位。例如，埃吕尔就指出，技术发展依赖于自身的内在逻辑和自主功能，社会及其发展只能从属于技术发展的目标。现代技术渗透到社会的各个领域之中，使其变成了一个巨大的技术“集中营”，技术迫使每个人都进入其中，整个文明都成了技术的文明。媒介决定论强调媒体技术对人类的精神世界和社会的组织方式所起到的决定性作用。例如，奥格本就论述了无线电广播技术对社会发展所产生的决定性影响。

于光远主编：《自然辩证法百科全书》，中国大百科全书出版社 1995 年版 第 225 页。

^② 参见柯礼文“评当代三种技术社会观”，《自然辩证法研究》，1991 年第 11 期。

技术统治论主张由科学精英或技术专家统治社会，强调其在社会发展中的决定性地位，因而也被称之为“专家治国论”或“精英政治论”。例如，T. 凡伯伦认为，现代社会的真正统治者应当是直接负责机器有效运行的技术专家；布热津斯基指出，后工业社会正在逐渐变成一个技术专家统治的社会。贝尔认为，技术理性是技术统治主义的世界观，在资本主义社会，人们用技术理性并运用计算机来决策，产生出一种决策技术——“智能技术”。“智能技术”被用于经济、管理、军事等各个方面，它对传统的社会制度及道德产生了巨大的影响，它将最终使不同制度和文化的国家由原来的“相异”变成了“趋同”，即所有的国家和民族都拥有相同的文化和社会制度。

非意识形态论认为，意识形态在传统社会发展的初期起作用，但在现代社会里，意识形态失去了指导社会的传统地位，整个社会已经变得“非意识形态化”了；科技意识形态论虽然强调意识形态的作用，但他们强调的不是传统社会中政治法律思想等，而是科学技术本身，强调科学技术特别是技术理性已经成为一种控制现代社会的意识形态，并侵入到人们的意识之中，统治国家和社会。

“技术乐观主义”认为，技术不仅能发展生产，繁荣经济，而且还能解决经济危机、失业、物价上涨、通货膨胀、能源危机、环境污染、人口、战争等问题，技术将会给人类社会带来文明。托夫勒、贝尔等人就持这种观点。“技术万能论”则是技术乐观主义的极端表现。

技术悲观主义认为，现在社会发展所存在的一切负面效应都可以归罪于技术，技术是现代社会发展中的危险物，社会最终将毁灭于技术之中。海德格尔等人就持有这种观点。例如，海德格尔认为，现代技术不仅是改造自然的一种展现，它还是一种“座架”或“框架”，它把自然和人类社会都逼入到其中，并把它们改造成一种失去其独立性甘受其奴役的“持存物”，把人类社会推向生态毁灭和政治自杀的危险边缘。

技术悲观主义和技术乐观主义在对“克隆”技术和“电脑能否代替人脑”的认识问题上产生了分歧。前者担心克隆技术将会危害人类，电脑会完全超过人脑并取代人的地位；后者却认为，克隆技术可以救死扶伤，造福于人类，不能因为“克隆”技术存在着负面效应而阻止对它的研究，阻碍它的发展。电脑不会战胜人脑，机器人只能模仿人类的某些行为，能够高效率地为人类服务而不会战胜人类。

按照马克思、恩格斯的技术社会观思想，不难看出，技术决定论极端和片面地夸大技术在与社会关系中的地位和作用，忽视了社会环境对技术的影响和塑造。在技术与人类社会的关系中，技术只是一种带有中介

性的客体，人类则是主体，技术虽然表现出一定的自主性，但它不能取代人类的主体地位，它将永远受到人类及社会的影响和控制。技术给人类社会带来的诸多负面效应不能绝对地取决于技术本身，应该通过完善人类自身和社会的体制并依靠技术来加以克服。因此，以技术取代人类的地位是不对的，而围绕技术给人类社会影响的后果所产生的极端乐观主义和极端悲观主义思想都是不可取的。

三、社会决定论

在技术与社会的相互作用中，社会决定论则片面地强调社会的作用，它强调社会对技术及其发展的决定性影响，从技术都是居于一定的社会环境和人文环境之中，都会受到社会的影响这一正确的前提出发，得出否认技术有其自身发展的特殊规律、否认技术对社会的反作用的错误结论。

根据社会对技术影响的程度的强弱，社会决定论被划分为强社会决定论和弱社会决定论。前者主张社会是决定技术及其发展的唯一因素；后者也承认技术对社会的影响。社会决定论在其以后的发展过程中，又演变为价值决定论、社会背景论和文化决定论等不同形式，把技术放在社会文化背景下进行研究，强调文化价值观念等对技术发展的作用。

在社会决定论中，引人关注的是“社会建构论”。它最初来源于科学知识社会学(SSK)，主张科学技术的产生与发展在很大程度上取决于相关社会全体的解释框架，取决于社会对它的选择作用，科学技术的发展在整体上是处于社会控制之下的，科学技术是社会建构或塑造的产物。

社会建构论又根据社会对科学技术建构程度的强弱划分为强社会建构论和弱社会建构论。其中，“技术的社会形成论”(SST)就属于强社会建构论。它是20世纪80年代欧美发达国家中的一些学者，依据科学知识社会学的理论与研究方法，进一步研究技术与社会关系所形成的一种新理论。它旨在研究社会对技术的影响或塑造问题，即研究技术是如何在特定的社会环境条件下被形成的问题。

技术的社会形成理论认为：第一，技术通过社会群体和社会关系被塑造。例如，生产技术通过经济核算框架来形成，军事技术通过政府行为来完成，民用技术通过社会文化来发展。第二，技术通过社会群体的解释被建构。社会群体通过对技术的解释所赋予其意义和价值，将影响技术发明者的设计和开发。并且，社会群体对技术的解释又是变化的，其对技术所赋予的意义也会发生相应的变化。第三，技术通过协商机制以及对称分析解决争论和冲突问题。当技术主体之间或他与社会其他群体发生利益冲突时，他们会通过相互协商，各自在考虑自己的利益和目的的同时，

也尽可能地考虑其他相关社会群体的利益和目的，最后使其达成共识。

可见，技术的社会形成理论认识到了社会对技术的影响，弥补了技术决定论的不足，但是，由于他们忽视技术选择的后果，忽视技术发展的动力等因素，因此，他们的观点也存在着许多局限性，需要加以完善。

综上所述，技术决定论和社会决定论各自片面强调技术、社会在二者关系中的地位和作用，从而使其观点具有片面性。国外的一些学者正是从这种片面的观点出发，摘引马克思、恩格斯所说的某一段话为依据，擅自得出马克思的技术社会观属于技术决定论或属于社会决定论的结论。例如，技术决定论者罗伯特·海布伦纳就以马克思的名言（即“手推磨产生的是封建主为首的社会，蒸汽机产生的是工业资本家为首的社会”）为依据，认为马克思的技术社会观属于技术决定论；而社会决定论者麦肯齐等人就以马克思在《资本论》中的“工人与机器之间的斗争”一节的论述为依据，主张马克思的技术社会观属于社会决定论。如此等等。

其实，马克思、恩格斯是辩证唯物主义者，他们既承认技术对社会发展的作用与影响，也强调了社会对技术及其发展所起到的影响和作用。马克思、恩格斯的技术社会观既不是单纯的技术决定论，也不是单纯的社会决定论，而是关于技术系统与社会系统互动的理论。因此，不能对马克思、恩格斯的论述进行断章取义地片面臆断，而应当全面、准确地理解和把握马克思、恩格斯的技术社会观思想。只有这样，才能正确认识技术与社会的辩证关系，树立科学的技术社会观。

思考题

1. 什么是技术价值？它包括哪些主要内容？
2. 什么是技术伦理？它与技术价值有何关系？
3. 现代技术对传统的伦理道德产生怎样的冲击？其原因何在？
4. 怎样运用马克思、恩格斯的技术社会观思想看待技术决定论和社会决定论？

第十二章 技术创新和高技术产业化

党的十六大提出：要“积极发展对经济增长有突破性重大带动作用的高新技术产业。用高新技术和先进适用技术改造传统产业，大力振兴装备制造业”。^① 以此来推动产业结构升级，形成以高新技术产业为先导、基础产业和制造业为支撑、服务业全面发展的产业结构格局。本章研究技术创新和高技术产业化的过程和机制，以及它对经济建设和经济体制改革的意义。

第一节 技术创新的概念和特点

一、技术创新的由来

创新一般是指人的创造性劳动及其成果。技术创新的概念是由“创新”的概念衍生而来的。对技术创新问题的研究，马克思在《资本论》中是从技术变革及其对资本主义经济发展的影响方面进行的。马克思指出，在资本主义条件下，资本家为创造相对剩余价值“必须变革劳动过程的技术条件和社会条件，从而变革生产方式本身，以提高劳动生产力”^②。资本家通过使用新机器以降低商品的价值，从而获得利润，这实际上就是通过变革劳动过程的技术条件，来提高市场竞争力，获得经济效益，这是技术创新的本意所在。

受马克思创新思想的影响，美籍奥地利经济学家熊比特于 1912 年在《经济发展理论》一书中正式提出了创新的概念，并从经济学角度把创新看成是建立一种新的生产函数，把从来没有过的关于生产要素与生产条件的“新组合”引入生产体系，获取潜在的超额利润的过程。他还提出了创新的五种表现形式：生产新的产品；引入新的生产方法和新的工艺过程；开辟新的市场；开拓和利用新的原材料或半制成品的供给来源；采用新的组织方法。

江泽民：《全面建设小康社会，开创中国特色社会主义事业新局面——在中国共产党第十六次全国代表大会上的报告》，人民出版社 2002 年版 第 22 页。

^② 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社 1972 年版，第 350 页。

此后，学者们从不同角度对创新进行新的认识，不仅深化了技术创新的概念，而且衍生出“社会创新”“制度创新”等相关的概念。例如，德鲁克（P. Drucker, 1909—）从管理学角度把创新理解为赋予资源以新的创造财富能力的行为，并以此把创新划分为创造经济价值的“技术创新”和创造社会价值的“社会创新”^①；诺思从经济学角度把创新理解为“制度创新”，认为经济发展是制度创新与技术创新的互动过程。^②

技术创新对经济与社会的发展产生极其重要的作用，受到国家和社会的高度重视。20 世纪 50 年代，日本把“技术创新”翻译成“技术革新”，认为“技术革新就是开发新技术、创造新产品，它应是包括从研究开发到实际应用的整个过程”。^③我国沿用“技术革新”概念直至 90 年代初。^④1995 年，随着经济体制与科技体制改革的深入发展，为回答世界新技术革命的挑战，《中共中央、国务院关于加速科学技术进步的决定》明确指出：“技术创新是企业科技进步的源泉，是现代产业发展的动力。”全国科学技术大会又进一步强调，要把建立、健全的企业技术创新体系作为建立现代企业制度的重要内容和搞好大中型企业的关键环节。1996 年，国家科技部等单位实施了“技术创新示范工程”。1999 年 8 月，全国技术创新大会通过了《中共中央、国务院关于加强技术创新，发展高科技，实现产业化的决定》。从此，技术创新的理论与实践在我国迅速发展。

二、技术创新的本质

技术创新把技术发明和经济应用相结合，包括技术和经济两个方面的内容。经济学家着重从经济学角度把它定义为：新产品、新过程、新系统和新服务的首次商业性转化；或者把它看成是企业家为获取商业利益，重新组织生产条件和要素，建立新的生产经营系统，推出新的产品、新的生产（工艺）方法，开辟新的市场，获得新的原材料或半成品供给来源的综合过程；管理学家着重从组织行为的角度把它定义为：由选择发明、投入资本、建立组织、制定计划、招用工人和开辟市场等若干种行为综合的结果；从创新时序过程的角度把它看成是：从认识技术的商业潜力到将其完全转化为

参见德鲁克：《创业精神与创新——变革时代的管理原则与实践》，工人出版社 1989 年版。

参见诺思：《经济史中的结构与变迁》，上海三联书店 1991 年版。

[日]森谷正规：《日本中小企业的技术开发与经营战略》，专利文献出版社 1986 年版，第 109 页。

“技术革新”条，见《中国企业管理百科全书》，企业管理出版社 1990 年版。

商业化产品的整个行为过程；从进化论角度把它看成是“一种进化过程”^①。

技术创新可以从狭义和广义两个方面来认识：狭义的技术创新是指从发明创造到市场实现的整个过程；广义的技术创新则是指从发明创造到市场实现、直到技术扩散的整个过程。

技术发明与技术创新既有联系又有区别。技术发明是技术创新的前提，属于技术领域，它主要是指新技术知识的创造，技术发明包括如下的内容：它的主体是科研人员，它的结果是样品、样机等，它主要追求先进性目标。而技术创新则是技术发明与经济应用相结合，属于技术与经济交叉的领域，它主要是指把技术发明应用于经济而产生的产品、工艺、市场、制度等方面的创新，因而技术创新主要涉及生产组织、市场销售、企业管理等问题，它的主体主要是企业家及其所属人员，其结果主要是新产品、新工艺等，它主要追求效益性目标。

技术改造与技术创新既有联系又有区别。技术改造是指引进先进技术代替落后技术，引进先进的工艺和装备代替落后的工艺和装备，以改变企业落后的生产技术面貌，生产出高质量的产品并获得丰厚的利润。而技术创新则是指一种创造出自有知识产权（包括专利技术、商标、商誉等）的技术经济活动。其中，在引进技术并获得知识产权的基础上所实施的技术创新被称之为渐进技术创新；在自己独创并获得知识产权的基础上所实施的技术创新被称之为基本技术创新。实施技术改造不能获得自有知识产权，不能实现技术与经济的跨越式发展，只有通过技术创新特别是根本技术创新才能达到这个目标。

科技成果转化主要是指科技成果进入到生产领域，转变为现实生产力的过程，其中，科技成果通过基础研究—应用研究—开发研究过程，首先完成科学成果向技术成果的转化；然后，再通过设计—试制—中间试验—工业试验等过程，完成技术成果向生产领域的转化；最后，通过技术成果的进一步扩散，完成向现实生产力的转化，实现经济和社会效益。可见，技术创新是科技成果转化全过程的结果，它是科技成果转化全过程的关键部分。

知识创新首先包括基础科学创新与技术科学创新，其中的“知识”包括自然科学知识、人文社会科学知识，这是技术创新的前提。知识创新其次包括明言知识（如书本上的知识）和潜知识（如观念、思想、经验等），因而，知识创新不仅指科学研究中的知识的生产或创造新的知识，它还指技术开发中企业根据市场需要，将新知识的产生、传播和转化引入到经济过程中，实现其经济和社会价值的过程。技术创新和知识创新虽然都强调市场需

参见约翰·齐曼：《技术创新进化论》，上海科技教育出版社 2002 年版，第 339 页。

求和经济目的，都主张企业是其创新的主体，但知识创新比技术创新的内涵更宽泛。因为：第一，现代技术创新已经不再只是由科学发现到技术发明再到经济应用的简单线性模式，而是由多种创新来源和多样创新形式所组成的一个复杂系统；第二，创新的关键已经不再只是原来所指的技术、组织、制度等因素，而是由这些因素组成的一个知识系统。所以，只有从系统的、动态的观点认识知识创新，才能以制度、政策和环境建设为背景，以提高企业、科研机构和高校的创新能力为动力，以促进它们之间的创新互动为目标，以建立国家创新系统为机制，在政府的经济扶持和政策引导下，达到资源的最优化配置，更有效地开展技术创新。

技术创新中不仅存在着关于技术创新的本质问题，而且存在着诸如技术创新的主体和客体、动机、条件、价值、方法等问题等。这些问题都是具有哲理性的问题，需要对其进行哲学和社会学研究。

从哲学角度上说，技术创新是指“作为创新主体的企业在创新环境条件下通过一定的中介而使创新客体转换形态，实现市场价值的一种实践活动。包括新设想的产生、研究、开发、商业化到扩散等一系列活动。”^①其中，创新使创新客体转换形态的过程，就是把主观的、知识的、无形的、潜在的技术形态转化为客观的、物化的、有形的、现实的技术形态的过程（其具体表现为从工艺构想想到设计技术、试验技术、生产技术、产业技术的转换）

在认识论上，技术创新是创新主体认识创新过程中的各种形态技术乃至技术本质的过程。它体现在创新主体对技术发明成果的评价、对技术创新成果的评价以及对技术应用成果的反思等。即是说，技术创新是创新主体在创新实践过程中对创新客体的认知过程，是创新认知与创新实践相互作用的动态过程。因此，技术创新是技术认识论的重要环节，是马克思主义哲学认识论过程（从实践到理论，再从理论回到实践过程）中的第二个飞跃。

从技术知识论的角度说，技术创新是知识的生产过程，即难言技术知识如技巧等和明言技术知识如专利技术等之间的相互作用过程。

在价值论上，技术创新是创新主体根据自身及社会的需要和目的，通过创新实践活动把技术的自然价值转化为技术的经济价值、文化价值和生态价值等社会价值的过程。技术创新价值的实现，不仅取决于创新主体的自身需要，而且取决于人类社会的需要。因此，创新主体应该依据价值标准，对其创新决策、创新行为以及创新结构进行技术评估和价值判断，促进技术创新与人类社会的协调、持续发展。在方法论上，技术创新是创新主

① 夏征农主编：《大词海·哲学卷》，上海辞书出版社 2003 年版 第 716 页。

体对诸如技术构思和设计方法、技术试验方法和中间试验方法等的综合运用过程。

三、技术创新的分类及特点

企业技术创新包括多种类型。例如：根据技术创新的对象不同，可以分为产品创新与工艺创新；根据技术创新中创新的强度不同，可以分为基本技术创新和渐进技术创新；根据创新进入生产过程对生产要素组合的影响不同，可以分为资本节约型创新、劳动节约型创新和中性技术创新等。

产品创新是指创造出的新技术产品，根据对技术变化量的程度可以分为全新（重大）的产品创新（如半导体晶体管、电子计算机等）和改进（渐进）的产品创新（如由收音机发展起来的组合音响等）；工艺创新是指生产过程中的技术变革，具体包括设备更新、生产方式创新以及组织管理创新等，如炼钢中创造出的氧气顶吹转炉、钢铁生产中建立的连铸系统等。

基本技术创新是指能够带来重大技术突破，并能够带来巨大经济和社会效益的创新，它能够获得自主知识产权，属于原始技术创新。例如，蒸汽机技术、电气技术、电子计算机技术以及现代的高技术创新等。渐进技术创新是指对现有技术进行改进引起的创新，创新在过程和力度上是渐进的、连续的，它能够获得次生知识产权。例如，战后日本引进欧美的半导体等技术所实施的创新，属于渐进技术创新。

资本节约型创新是指在创新过程结束后，活劳动在产品价值构成中所占的比例增大，此时，经济向劳动密集型靠拢；劳动节约型创新是指在创新过程结束以后，资本在产品价值构成中所占的比例增大，此时，经济向资本密集型靠拢；中性技术创新是指产品的价值构成中，活劳动和物化劳动各自所占的比重不变。此外，还有合作技术创新、持续技术创新等。

技术创新具有以下几方面的特点：

第一，创造性。技术创新过程中各种行为，如重组生产要素，建立新的组织结构和管理运行机制等都是一中创造性行为。为此，一方面创新主体需要更新观念，树立竞争意识、消费观念和市场观念；另一方面社会要通过建立现代企业制度，创造良好的文化环境，以保证技术创新的有效实施与实现。

第二，效益性。技术创新的最终目的是追求经济效益、社会效益和生态效益。经济效益包括微观经济效益（即以最小的投入获得最大的利润）和宏观经济效益（即促进国民经济的不断增长）；社会效益主要是指提高人民的生活水平和国家的综合国力等；生态效益主要是指协调人与自然的关

系，促进人与自然的协调发展。

第三，风险性。在实施技术创新的过程中，企业会受到技术不成熟、资源与能力不足、市场变化、创新计划设计和投资决策失误以及国内外环境等各方面因素的影响，从而使技术创新的最终实现具有不确定性，给技术创新带来很大的风险。为此，社会要建立风险投资机制，并为此形成良好的创新文化环境。

第四，周期性。技术创新是一个连续与间断相互交替的循环过程，主要表现在：从发明到创新的转化周期、从创新进入市场到退出市场的寿命周期、创新被广泛采用、模仿的扩散周期等。

第五，集群性。技术创新在时间和空间分布上具有集群出现的特征，即在某个时间和区域，会因某项技术重大突破，并能够满足当时社会的客观需要，而出现若干个技术创新集群，它们共同促进经济的迅速增长。

第六，系统性。技术创新不仅涉及企业内部的研究、开发、生产、经营、销售等问题，而且涉及到企业外部的市场环境与社会条件等因素。因此，技术创新是一个复杂的系统工程，它的运行是一个自组织行为。为此，需要各类创新主体如创新决策主体、创新 R&D 主体、生产创新主体、市场创新主体、管理创新主体以及政府、金融机构、大学和研究机构等之间相互协同，达到技术创新系统整体的最佳效益。

第二节 技术创新的过程和机制

一、技术创新的过程

技术创新的过程是指企业吸收来自企业内部和外部的技术成果，并依据市场信息，制定并确定创新决策，依靠技术设计和技术开发，通过中间实验，研制出样品或样机，再通过生产过程使之转变为产品，通过市场销售和服务使之转变为商品，最后实现经济价值、社会价值和生态价值的过程。

技术创新的过程是由若干个阶段或环节构成的。学者们从不同的角度对此进行以下几种划分：

第一，三个阶段：包括产生新构想、开发新技术、实施技术的商业价值与扩散。

第二，五个阶段 包括产品和工艺构想、技术设计、试制与试验、生产和

产业化阶段。

第三,七个环节:包括创新设想、筹措资金、技术开发、市场分析、发展计划、投资与投产、销售与获得利润。

第四,七个阶段:包括产生创新构想、设计构思原型、开发试验模型、开发工业模型、初次商业化生产、规模化生产、实施创新技术扩散。

第五,四个阶段:一是创新决策阶段,即创新主体通过市场调查和技术选择,产生创新动机,形成设想,确立项目,提出规划方案。二是创新 R&D 阶段,即创新主体以原有的科技成果资源和技术力量为基础,通过工艺分析和试验研究,设计新产品或新工艺,通过研究开发和中间试验,形成新样品或样机或新工艺模型。三是创新实施阶段,即创新主体按照用户的实际需要和生产实际需要,重新配置企业现有的生产要素,实现企业的生产条件、技术能力与产品的规模化生产相匹配,把样品转化为产品。四是创新实现阶段,即创新主体进行产品的经营和销售,售后服务,市场开拓并实现商业利润。

第六,五条路径:第一条是由认识潜在市场、进行发明设计、设计细化与试验、再设计及生产、销售等阶段组成的链式路径,它是技术创新的中心路径;第二条是由中心路径中从销售到认识潜在市场的主体反馈路径和其中每一个阶段内部构成的反馈环节所组成的反馈回路路径;第三条是由中心路径中的各个阶段与研究开发所构成的路径;第四条是科学研究推动中心路径中各个阶段的实施与实现的路径;第五条是中心路径中的各个阶段的实施与实现结果推动科学研究的路径。

在上述几种划分方法中,第二种、第三种、第四种方法都是对技术创新过程的详细分析,因此可以将其看做是第一种方法的具体化。第五种方法具体指出了每一个阶段中的具体内容。第六种方法首先指出了技术创新过程中的中心路径,其次又指出了该中心路径中的每一个环节自身又存在着的反馈路径,从而比较全面地反映出了技术创新过程中的复杂性特征和网络性特点。具体地说,它指出了技术创新过程是由中心路径中存在的主反馈路径,和其中的每个阶段之间存在的许多辅助反馈路径,共同组成的一个反馈过程,强调了各条路径彼此之间的辩证关系。同时,它也指出了科学研究与技术开发贯穿技术创新的始终,强调了科学研究、技术开发和技术创新之间的互动关系。这说明,技术创新过程中的各个阶段或环节都不是孤立的,而是相互联系、相辅相成的:其中的每一个阶段或环节既是前一个阶段的结束,同时又是后一个阶段的开始;前一个阶段的效果直接决定后一个阶段的实施,以此类推形成的“链式反应”,最终决定了技术创新的整体效益。因此,技术创新的过程是一个由各个阶段构成的双向或多向

互动的系统的动态过程。

从哲学的意义上,可以把技术创新过程看成是科学技术成果向现实生产力转化的过程,是技术发明同社会经济相结合并转化为产业技术的过程,是科学技术成果的产业化、商业化乃至社会化的过程。其中,科学向技术转化的过程,包括从科学的因果性认识向技术目的性转化、从科学的真理性标准向技术功利性标准的转化(为此,还需要考虑科学原理的对象化、转化过程的合理化以及技术系统内部要素之间及其与外部因素之间的匹配化)、从科学的一元性通则到技术多样化的转化等过程^①。技术向现实生产力转化的过程,包括从技术原理到技术发明的转化,再到产业技术的转化(其中,又包括从产品和工艺构想到设计技术、试制和试验技术、生产技术和产业技术的转化)的过程。^②

二、技术创新的机制

技术创新的机制分为两个层次:国家层次是指国家创新体系,它主要是从国家竞争力考虑;企业层次主要是指,企业在其内部和外部各种因素的影响下,通过创新建立相应的组织结构,并对社会经济发挥作用的机理和原理,它主要是从企业竞争力考虑。

企业技术创新的机制通过相应的组织结构来运行,其中内部结构主要体现在企业对创新主体、研究与开发、生产、销售、信息服务等要素的整合;外部结构主要体现在企业与企业之间、企业与市场之间的整合,即建立产业组织结构。

企业内部组织结构的建立,先后经历了等级型组织结构(即上级向下级及员工下达指令性工作的结构)、U型组织结构(设立专门的职能部门,各负其责 分工协作)、M型组织结构(把权力分散到各个子部门,实行总部领导下的分部负责制)和权变制和矩阵型组织结构(前者是指企业的组织结构可以根据创新的实际需要改变其形式;后者是指一种二元权力结构,即每位员工都服从其职能部门和特定产品管理组织的双重管理)的历史演变过程。从而满足了技术创新的客观需要,促进其持续发展。

企业外部组织结构即产业组织结构的建立,主要是解决产业中企业与市场之间的矛盾以及大、中、小企业之间在协作过程中围绕责、权、利等因素产生的矛盾。大型企业在人力和技术资源丰富、投资能力、风险承担能力以及研究与开发能力等方面具有优势,而在投入与产出的效率不确定、

参见陈昌曙:“从哲学的观点看科学向技术的转化”,《哲学研究》,1994年第11期。

② 参见陈晓田等主编:《技术创新十年》,科学出版社1999年版第2~4页。

管理运行机制不灵活等方面还存在不足，而中小型企业却与之相反。因此，欧美发达国家针对企业间地位平等、彼此相对独立等特点，通过参股、组织康采恩等形式，建立水平制的专业化协作组织；日本通过各种法律手段（如“商工协同组合法”等）将中小型企业纳入到大型企业的专业化协作网络中，建立了垂直制的专业化协作组织；我国正在通过组建企业集团和国家创新体系等形式，建立适于技术创新的产业组织结构。

技术创新在运行过程中受到各种因素的影响：从静态上看，有企业的组织因素（如企业的组织结构、信息资源配置、决策的制定等）、技术因素（如技术基础、对创新技术的选择、技术构成等）、经济因素（如经济基础及实力等）、文化因素（如员工的技术素质、技术教育、经营理念、企业文化环境等）等方面的因素；从动态上看，有影响企业技术创新过程中的创新决策、研究与开发、创新的实施与实现等各个阶段的各种因素。

上述因素大体上可以归结为技术创新的动力和能力等因素。前者具体包括内部动力（如企业产权与其经营权、技术的推动力、创新主体的素质与意识及其自身的目的性等）和外部动力（如社会经济发展的客观需要、市场需求与竞争、政府的政策与管理等）；后者具体包括产品创新能力和工艺创新能力、辨识市场机会能力、研究与开发能力、生产与营销能力和对创新资源（如人、财、物等）的投入和产出能力、创新管理能力以及社会的支持能力等。

在上述动力与能力因素的影响下，技术创新的运行采取以下几种模式：

第一，技术推动模式，即技术创新按照基础研究—应用研究与开发—生产与销售—市场开发的线性模式进行。

第二，市场拉动模式，即技术创新按照市场需要—销售信息反馈—研究与开发—生产的模式实施与实现。

第三，技术与市场互动作用模式，即技术创新在技术与市场的共同作用下进行。

第四，一体化创新模式，即技术创新过程中的各个阶段或环节不按照时间序列进行，而是各自同时并行，它们之间也不是各自独立的，而是相互联系的、一体化的。

第五，系统网络创新模式，即企业不是独立或孤立地实施技术创新，而是在与供应商、客户、竞争者、政府与非政府机构等所形成的创新网络中进行的。

上述第一种和第二种模式分别强调了技术和市场在技术创新中的作用。但是，从技术创新的本质来看，企业一般不按照这两种模式来实施，而

是依照第三种模式进行。但从现代技术创新的复杂性角度来看，一般是依照上述第四种模式尤其是第五种模式进行，这样才能充分考虑影响技术创新的各种因素，通过建立国家创新系统，更有效地开展技术创新。

要保证技术创新的有效运行，还要建立科学的激励机制。它主要包括：第一，产权激励，即通过明确创新主体与其创新成果在有形产权（如对实物的使用权等）和无形产权（如知识产权等）等方面的所有权关系，促进技术创新；第二，市场激励，即通过市场价格、经济诱导与监督，为技术创新提供一个竞争平台，推动技术创新活动的开展；第三，政府激励，即通过创新投入、政策引导、战略规划以及发展教育等，提高创新主体的素质，为技术创新提供良好的环境条件；第四，企业激励，即通过实行股份制等形式，聚集创新资本，调动创新主体的积极性，推动技术创新的有效实施与实现。

技术创新的微观机制可以根据技术知识论的观点进行思考：技术创新的过程是技术知识的转化过程，是企业把技术知识和能力注入到特定的技术产品或售后服务之中，从而开拓新的消费品市场的过程。在这个过程中，企业首先一方面通过对员工进行技术培训、引进技术人才和选派员工出去进修等形式，广泛吸收企业外部存在着的公共知识，以便将公共知识内化为企业知识，另一方面，企业通过创造良好的文化环境，促进员工之间的交流，使其所拥有的难言知识（指存在于人脑之中的技能、技艺等不可视性知识或意会性知识）转化为明言知识并进行流动，达到相互间的知识共享。不仅如此，企业还要通过各种有效的方式和方法，对其内部存在的各种知识进行整合，产生新的知识。

接着，创新主体运用其拥有的知识对物质资源进行操作，生成了新技术产品，并产生了新的售后服务和新的知识。就是说，在这个过程中，一方面，创新主体拥有的知识被物化为技术产品，另一方面，通过知识的储存、转换、激活和合成，又产生出新的知识（包括新的明言知识和新的难言知识）。企业产生出的新的明言知识主要以专利的形式表现出来，因此，企业具有垄断性或独占性。另外，企业不是孤立存在的，而是与其他相关企业乃至其他相关社会环境因素发生联系，处于社会创新网络之中。这样，企业所拥有的知识一方面属于企业自身产生的知识，另一方面是吸收其他企业的知识和社会环境中的公共知识。企业运用这些知识通过创新决策、研究与开发、生产销售与服务，实现知识的经济和社会价值。

第三节 高技术及其产业化

一、高技术及其产业化的概念

“高技术”的概念最先是由两位美国女建筑师于 20 世纪 60 年代在她们合写的《高格调技术》一书中提出的。1971 年，美国科学院编写的《技术与国际贸易》一书中，正式使用了这一概念。1981 年美国最先创办了《高技术》杂志。于是，“高技术”概念随之得到了广泛的传播。我国在 1986 年制定“863”高技术研究计划时，也用了这一概念，并在全国范围内广泛传播。

对“高技术”的含义，可以从不同角度来理解。从经济的角度，可以把高技术理解为应用先进和复杂的方法和工艺制造产品的技术，它表现出高增长率、高研究开发费用、高附加值和劳动密集等特征。从科学技术的角度，可以把高技术理解为根据基础科学研究而创造出的新的技术。如果从社会的角度出发，可以把高技术理解为体现社会最新价值目标和最新生活方式的新技术。综合上述因素，可以把高技术界定为建立在科学技术研究基础上，处于当代科学和技术发展前沿，具有重大战略意义，能够对发展生产力，促进社会文明产生重大经济效益、社会效益与生态效益的技术或技术群。一般认为，高技术的认定标准是：研究开发费用占总产出或总销售额的比重、从事研究开发的人员占全部职工总人数的比例、产品的技术水平、设备水平和工艺水平等。

高技术与高科技、高新技术虽有联系但它们之间是有区别的。所谓高科技，它只是“科技”这一传统术语的延续使用（实际上指的是高技术，科学无高低之分）。所谓高技术，它指的是基于前沿科学原理发明出来的新兴技术，而不是指在传统技术中开发出的新型技术。所以，所有的高技术都是新技术，但有的新技术却未必是高技术。

高技术具有高投入、前沿性、高增值、高效性、高风险性以及发展速度快、扩散能力强、与社会经济结合紧密等特点。例如，利用集成电路技术可以在一个只有数毫米的半导体芯片上，集成成千上万个电子器件，从而大大缩小了整个电器的体积，并且，所用的成本还不到芯片成本的 1/100。这样，就极大地提高了它的经济价值。再如，激光技术具有纯单色、多频率、强能量、高定向等特点，并被广泛地应用到工业（如“光钻”、“光刀”、“光焊”、“光探伤”和“光处理”等）、农业（如激光育种和抗病等）、医疗（如激光手术、激光杀菌）等领域，对整个社会的经济和生活都产生了巨大影响。目

前乃至未来，激光技术正在与原子核技术、电子技术、计算机技术和新材料技术以及其他高技术紧密结合，在实施与实现高技术产业化的过程中发挥着重要作用。

高技术产业是指在高技术的研究、开发、推广、应用的基础上，形成的企业群或企业集团的总称。如计算机产业是指各类生产、经营和销售计算机及其附属产品的企业的总称。高技术企业根据市场需要和自身的基础条件，通过技术创新把处于知识形态的高技术转化为物质形态的高技术产品，并通过市场流通使之变成高技术商品，从而获得商业利润。确定高技术产业要有标准。1986年，世界经济合作与发展组织（OECD）把R&D的经费强度（即R&D占产值的比重）作为界定高技术产业的指标，选择了22个制造行业，并对这些行业的R&D的经费强度进行计算，把R&D的经费强度高的产业，如航空航天制造业、计算机及办公设备制造业、电子及通信设备制造业、医药品制造业、专用科学仪器设备制造业和电气机械及设备制造业认定为高技术产业。

1994年，经济合作与发展组织又对这些行业的R&D的经费强度重新进行了计算，结果把专用科学仪器设备制造业和电气机械及设备制造业降为中高技术产业，把航空航天制造业、计算机及办公设备制造业、电子及通信设备制造业、医药品制造业认定为高技术产业。2001年，该组织又依据R&D的经费强度，把制造产业划分为高技术产业、中高技术产业、中低技术产业和低技术产业四个组，并把航天航空、医药、办公和计算设备、无线电和电视及通信设备、医疗和精密及光学科学仪器确定为高技术产业。

高技术产业化是指在高技术的基础上形成新兴产业的过程。它是把高技术成果转化为技术商品，投放市场，获得经济与社会效益的过程。很显然，这个过程就是高技术创新过程。换言之，高技术创新是实施与实现高技术产业化的重要途径。高技术产业化具有资金密集（即需要大量的资金投入）、群体化（即需要群体技术的参与）、超前性（即参与其中的技术大都是前沿性技术）、高渗透性（即高技术被应用到社会的各个领域）等特点。

实施与实现高技术产业化需要具备以下几方面的条件：第一，需要技术、人才、资金、信息等因素的有效投入和整合。其中，高技术人才的能力与素质是其核心因素，原创性的科学技术水平和科学技术教育的普及与提高，则是提高高技术产业化的前提条件。第二，需要国内和国际市场的客观需求，这是促进高技术产业化实施与实现的重要动力。第三，需要国家的相关政策（如政府制定的高技术战略规划或计划、体制、法制和运行机制等）以及经济、技术的基础（如大型实验装置、精密仪器设备、信息网络设施、创新试验基地和人才培训基地等）等方面的支撑；第四，需要社会形

成与之相适应的创新文化环境（如创新观念或理念的更新与形成、创新文化网络建设等）。

二、高技术产业化的过程

高技术产业化的过程主要是指以高技术成果为起点，以市场为终点的高技术创新的过程。高技术是技术创新的成果，它的产生需要经过基础科学研究和技术科学研究两个过程。其中，前者是对高技术的科学理论进行创新；后者是对高技术的技术理论进行创新。这两种创新都是原始创新，具有原创性。

为了高技术产业化，我国在国家层次上建立国家创新体系，组织政府部门、企业界、大学和各类研究机构，围绕高技术的科学理论和技术理论进行创新 通过创新主体——企业，通过创新知识传播——教育机构，在市场机制的作用下，加快实施高技术创新，实现高技术产业化。

在企业层次上，一个企业的高技术产业化过程主要包括以下四个阶段：第一，高技术的发明和研制阶段，即企业根据市场的客观需要，吸收企业外部或内部的高技术成果，产生出构想和设计思想，通过小规模的研究与开发（包括试制或中间实验），形成小规模的高技术样品，使得高技术成果进入实用阶段，第二，高技术产品的开发与推广阶段，即企业对研制的高技术样品的生产工艺、设备的检测能力、生产线以及与之相关的企业组织和运行机制进行大规模地研究与开发。第三，高技术产品的规模化生产阶段，即企业把上述样品投入到生产过程，通过生产管理和质量管理，进行大规模生产，生产出大量产品。第四，市场开发阶段，即通过预测市场需要，建设销售网点，进行信息及售后服务、广告宣传等，把产品投放市场，并实现其经济效益与社会效益，还要考虑其生态效果。在具体实施过程中，它包括以下几个基本环节 规划→设计→实验研究→试制→批量生产→市场经营→技术扩散→技术评估等。高技术产业化的实施与实现，主要是依靠上述各个阶段之间及其相应的各个环节之间的相互协调与协作来完成的。

在激烈竞争的市场机制下，当一个企业的高技术产品通过销售成为商品并赢得顾客欢迎，其市场占有率迅速提升后，其他相关企业就会进行模仿（创新），研制和生产出与之相似的高技术产品。从而使得高技术产品的生产和销售从一个企业扩展到多个企业甚至整个行业或整个产业，从而实现了高技术的扩散；有的高技术创新成果甚至还会渗透到其他行业或产业中。例如，美国的微软公司最先只是自己开发和研制出微软的一系列软件。但当这些产品被投放到市场以后，就会有許多家国内外企业对其进行模仿，从而使得该产品在整个计算机产业中得到扩散。而且，微软的软件

还渗透到军事、政治、教育等行业之中，促进了它们的发展。这个过程就是高技术产业的生产、扩散和渗透过程，是单个企业进行高技术产业化的后续过程或持续过程。此外，有的高技术产业化过程不是一个企业所完成的，而是需要多个企业通过分工与协作才能完成的。因此，高技术产业化推动了相关企业之间的分工与协作，打破了企业与企业之间、产业与产业之间的传统界限。这在客观上就要求相关企业、大学、研究部门以及政府部门之间形成新的合作关系，而建立这种新的合作关系的過程就是成立国家创新体系的过程。

由于高技术具有高投入、高效益、高风险、周期短等特点，因而给高技术产业化过程带来以下特点：

第一，在高技术创新的决策阶段，需要决策者善于捕捉市场行情和相关信息，需要对高技术的发展现状和未来趋势有所了解，需要具有大胆革新精神和风险意识。

第二，在实施高技术的研究与开发阶段，投入（包括人力资源和经费资源的投入等）高，但结果如何是未知数，因此，需要创新者具有风险意识，需要有政府的政策方面的支持，需要社会为其提供良好的创新环境。

第三，高技术创新的周期比一般技术创新周期要短得多，因此，在研究与开发、规模生产和销售等阶段，都要求创新者有更高的素质，才能及时作出对策。

第四，高技术创新扩散效率高，因此，需要创新者在提高自主创新能力与素质的同时，还要有知识产权意识，以便保护自己的合法权益。

产业结构的升级换代，除了高技术产业化及其扩散和渗透的过程外，还包括利用高技术改造传统产业的过程，在这个过程中，涉及到高技术与传统技术、高技术产业与传统技术产业的结构及体制等方面的关系。在认识和处理这些关系的过程中，必须针对产业结构的变化进行制度创新，也就是建立现代企业制度，更新管理观念、管理体制等。

三、高技术产业化的机制

为保证高技术产业化过程的顺利进行，必须根据高技术产业化所需的下列条件，建立良好的机制，主要是：社会的客观需要、高技术的推动作用、市场的拉动作用；国家的产业政策与高技术发展规划；在高技术企业中引入市场竞争机制；提高高技术企业的整体素质；注重高技术人才培养；国际贸易发展体系等。

根据上述条件，高技术产业化的机制具体包括：市场创新机制，研究与开发机制，风险投资机制，官、产、学合作机制，法律制度机制和激励机制等。

第一，市场创新机制。市场创新可以分为首创型市场创新、改创型市场创新和仿创型市场创新三种类型。^①

首创型市场创新是指率先推出新产品、采用新的广告宣传形式和促销方式、推出新的销售服务方式等。例如，20 世纪 60 年代，当美国市场上的 286 计算机微处理器行销正旺的时候，英特尔半导体公司就率先开发出了 386 微处理器，并率先将其投放到市场，从而抢占了市场销售份额，获得了巨大效益。

改创型市场创新是指对自己原来的市场创新模式进行改革，并吸收其他同类的市场创新模式，将它们加以综合，形成新型的市场创新模式。例如，当第一台电视机被投放到市场以后，市场上就先后出现了许多种不同类型的电视机。这时，美国哈里斯公司依靠自己的技术实力，在对自己原有的市场创新模式进行改革的同时，吸收其他公司的创新产品，开发出了更加物美价廉的电视机新产品，从而获得了效益。

仿创型市场创新是指创新主体（如中小企业）根据市场行情和自身状况，模仿前两种类型的市场创新模式，形成自己的市场创新模式（如合资或合作经营、技术或商标转让等）。

在上述三种市场创新类型中，它们的风险程度依次降低，其成功的概率反而依次增大。因此，不同企业在实施高技术产业化的过程中，将根据市场情况和自身基础和条件，来选择不同的市场创新模式。

第二，风险投资机制。由于高技术具有高风险（如市场风险、技术风险和社会及自然风险）的特点，有必要建立风险投资机制，以保证高技术产业化研发过程中所需的昂贵费用。为此，首先，要考虑风险投资金的来源。美国等发达国家主要通过捐赠资金和基金、公共和私人养老金、金融保险部门、企业、国外和家庭个人资金的投资等形式，筹集投资基金；我国则主要依靠政府投资和银行信贷等部门筹集投资基金。其次，要对风险投资金实施科学管理。为此，美国建立了健全的管理体系，主要是：在投资前，投资者要对企业的技术基础条件和应用前景、管理者的素质、企业信誉和管理机构进行评估；在投资后，投资者还要直接参与企业的决策与管理，并对其跟踪监控，以便既保证投资效益，又可以避免企业的不必要的损失。另外，美国的风险投资机制还积极为中小企业创新者的初创提供风险基金保障，以推动他们实施与实现高技术产业化。我国受到国家财力不足和金融体制不够完善等方面的影响，完善的风险投资机制还有待建立，目前已经建立的部分投资机制，其运行还不够通畅，制约了企业技术创新的积

参见傅家骥主编：《技术创新学》，清华大学出版社 1998 年版，第 234 ~ 241 页。

极性。

第三，研究与开发机制，即建立研究与开发机构，并向其投入财力、人力和物力。例如，日本的佳能公司除了增加 R&D 经费投入量，还建立了三个研究与开发机构，即中央研究所、生产技术研究所和合成开发研究中心，它们分别研究电子材料、复合材料和光电子技术和应用技术以及半导体技术，从而为企业实施高技术产业化奠定了基础。我国一方面有国有大型企业的各种类型的研发机构；另一方面，大部分研发机构集中在科研院所和高等院校之中，这两方面需要紧密相结合。为适应经济与科技发展的需要，党中央提出，有条件的科研机构和大专院校要以不同形式进入企业或同企业合作，走产学研结合的道路。例如，建立专门的高技术研究与开发工作管理机构，统一协调高技术研究与发展活动，掌握政府资助经费，并对其运行进行监督和控制；设立信息网络中心，提供国内外各种相关信息资料，为其创新决策与技术设计创造条件；建立研究与开发及技术引进中心，依靠国家科研单位的力量，增强企业创新的能力；建立市场化的研究与开发项目的申请和确立体制；建立多元化的投资机制、监控机制和以市场需要为价值标准的成果鉴定机制。

第四，官、产、学合作机制。由于高技术产业是国家的战略产业，属于国家层次的高技术产业和事关国民经济命脉的高技术产业，都需要在政府宏观管理下，由企业和高校等各方面共同努力来发展。政府的主导作用表现在实施教育培训、提供政策环境和社会环境，对研究与开发的计划及其实施进行管理和监控等方面。例如，美国政府授权其所属的各个实验室设立专门的研究与开发办公室，并与地方政府、各个企业以及大学合作进行研究与开发。大学主要为实施高技术产业化提供人才、信息和技术等方面的服务。目前，我国正在建立的国家技术创新体系，试图要建立与高技术产业化相适应的官、产、学合作机制，促进高技术产业化的实施与实现。

第五，法律制度机制。保护自主知识产权，这是实施高技术产业化的基本前提和有力保障。因此，需要建立各种与之相适应的法律、法规机制。例如美国先后制定了《综合贸易和竞争力法》、《国家合作研究法》等法律法规。我国也相继制定了《专利法》、《国家高新技术产业开发区税收政策规定》等一系列法律法规。这些法律和法规能够通过监督和规范高技术产业化的行为，保证其有效、持续地得到实施与实现。

第六，激励机制，其核心是产权改革，使参与创新的成员的利益与企业的整体利益紧密地结合起来，调动其创新的主动性、积极性。按照党的十

六大提出的“确立劳动、资本、技术和管理等生产要素按贡献参与分配的原则”^①可以实行技术入股机制，使得掌握物质资源的“企业主”和掌握知识资源的“研发成员”能够共享企业的产权；可以实行股票期权机制，将公司的资产增值部分中的一部分股份，奖励给在创新过程中做出贡献的成员；还可辅以实行税收机制，允许分期分批地扣除高技术企业购进的用于研发方面的固定资产所含进项税金；允许对高技术企业使用的先进设备加速折旧，鼓励其更新设备，采用先进技术等。此外，政府要对实施高技术产业化的企业进行适当的补贴，还要在基础设施、教育培训和信息政策等方面提供服务，以便保障高技术产业化的有效实施与实现。

思考题

1. 什么是技术创新？它与技术发明、技术改造有何关系？
2. 试述技术创新的过程与机制。
3. 什么是高技术？如何通过实施高技术产业化走新型工业化道路？

江泽民：《全面建设小康社会，开创中国特色社会主义事业新局面——在中国共产党第十六次全国代表大会上的报告》，人民出版社2002年版，第28页。

第四编

科学技术与社会

马克思主义创始人把科学技术看做最高意义上的革命力量，深刻地揭示了科学技术与社会之间关系的本质。本编着重从社会维度阐发科学技术的整体形象，探讨科学技术的社会建制和社会运行，从历史维度和时代高度阐发科学技术与社会发展的关系，进而探讨科学技术对中国现代化的作用。

第十三章 科学技术的社会建制

近代以来，科学技术与社会的互动不断增强，科学技术本身逐渐发展成为一种独特的社会建制。进入 20 世纪以后，现代科学技术与社会的互动更为频繁和紧密，由此出现了从人文社会科学对于科学技术的研究，本章阐述科学技术的社会体制化、科学技术的社会组织和科学技术的社会规范，它们是基于现代科学技术发展背景的研究成果。

第一节 科学技术的社会体制化

一、作为社会建制的科学技术体制

在社会学中，社会建制（social institution）与社会制度基本同义，是指为了满足某些基本的社会需要而形成的相关社会活动的组织系统。一般而言，社会建制主要指社会组织制度，包括价值观念、行为规范、组织系统、物质支撑四大要素。

价值观念是阐明本制度终极目标或存在价值的理论体系，其主要作用是向社会成员表明自身存在的意义，使他们在充分理解制度目标的基础上全力依从制度规范。科学社会建制的价值观念主要体现在一系列关于科学的社会目标和功能的理论中，特别集中体现在社会的主导意识形态上。在现代，依靠科学技术推动经济增长和社会发展已经成为一种普遍的主导意识。

行为规范是制度运行过程中起实际作用的要素，是一系列关于人类特定社会活动行为模式的规定。作为社会建制的科学技术体制，具有其社会成员直接面对的特殊规范系统，反映出对于成员行为的制约性。行为规范不是一成不变的，它要随着科学技术的发展而变化，以最充分地发挥科学技术共同体成员的积极性和智慧，为相应的科技活动开拓新的天地。

组织系统是社会建制的实体部分，是制度及其规范的载体。这一系统包括组织首脑、职能部门和组织成员。科学社会建制的承担者是科研组织，有学术带头人、从事研究活动的科学家和其他相关人员。社会建制的行为规范是通过组织活动来实现的，它把一定数量的社会成员集中在

一个被赋予特定目标和职能的组织中，通过组织规范其成员的行为，维持秩序和效率。

物质支撑是社会建制运行的基础保障，可以分为实体性物质保障和象征性物质保障两大类，前者如科学技术研究中的实验室、仪器设备等，后者如物理学家玻尔把中国传统的“阴阳鱼”太极图作为自己思想的表征。象征性物质体现组织的存在价值和终极目标，是物化的价值观念，能与实体性物质互动互补发挥作用。

作为社会建制的科学技术体制是在一定社会价值观念支配下，依据相应的物质设备条件形成的一种旨在规范人类对自然力量进行探索和利用的社会组织制度。人类对自然力量的探索和利用由来已久，但科学研究和技术开发成为独立的社会活动领域则是近代以后的事。这种科学技术组织制度及其对科学技术活动的社会规范从无到有并不断完善的过程，就是科学技术的社会体制化。

二、科学技术社会体制化的进程

最早把科学作为一种社会建制研究的学者是贝尔纳，他在 1954 年出版的《历史上的科学》一书中描述了科学的多重形象，提出科学“作为一种建制而有以几十万计的男女在这方面工作”，从而成为现代社会不可或缺的一种社会职业。^①实际上，随着科学技术的发展，以科学技术为社会职业的队伍也迅速壮大。据统计，21 世纪初全世界仅从事研究与开发的人员就已经达到上千万之众，远远超过了贝尔纳所处的时代。

在科学技术体制和组织中，科学家和技术专家是最基本的成员。科学技术社会体制化的核心是科学技术的职业化，其进程与科学家和技术专家的职业化程度密切相关。因此，分析科学家和技术专家的社会角色形成与演变过程，是讨论科学技术社会体制化进程的重要路径。

1. 古代：科学技术社会体制化前史

古代科学活动的主体是哲学家中具有科学气质、渴望了解自然的一部分人。他们对早期的科学发展做出了贡献，通常被称为自然哲学家。虽然他们与现代的科学家角色有相似之处，但并不是具有独立社会地位或身份的科学家。

古代技术活动的主体是生产者以及从生产者中间产生出来的工匠，他们也不是独立的技术专家。古代技术的主要形式是有关手工操作的诀窍和制品的秘方，由于掌握这些诀窍和秘方的工匠一般出身于社会下层，

贝尔纳：《历史上的科学》，科学出版社 1981 年版 第 6 页。

没有文化，技术知识的传授大多限于家庭内或师徒间的言传身教，因此技术进展十分缓慢。

由于古代科学技术的社会功能十分有限，社会对科学技术也少有需求，因此无法形成独立的科学家和技术专家的社会角色，但自然哲学家和工匠却是后来科学家和技术专家的雏形。

2. 近代：科学技术社会体制化的肇始

(1) 近代科学家角色的出现

欧洲中世纪以后，大学的任务起初是培养神职人员、法官和医生，课程也围绕神学、法学和医学设置。后来有一些教师逐渐对科学问题发生兴趣，如逻辑学教师开始讨论数学和物理学问题，医学教师开始研究生物学问题，慢慢出现了靠教授自然科学课程得到工资的专门教师，教授自然科学的大学教师成为一种社会职业，这种社会职业孕育着未来的科学家角色。形成近代科学家社会角色的还有另一类人员，就是以达·芬奇为代表的艺术家和工匠。这些人没有上过正规大学，书本知识不多，但受到工匠传统的训练，具有尊重经验、擅长观察和实验的探索精神。当大学教师的学术传统和工匠的实验探索精神结合起来时，便产生了近代意义上的科学研究，出现了近代科学家的社会角色。

英国在近代科学家社会角色形成过程中迈出了第一步。1644年开始，一批崇尚培根实验哲学的人物开始每周在伦敦聚会讨论科学问题，这一活动最终导致世界上第一个有影响的科学家组织——英国皇家学会在1660年宣布成立并于1662年获得英王的特许状。皇家学会的成立宣告了科学活动和科学家角色在英国社会中得到正式承认。在皇家学会的早期会员中有著名的大科学家牛顿、波义耳、胡克（R. Hooke, 1635—1703）、哈维等人。他们位居当时的社会上层，不需要依靠从事科学研究活动维持生计，从现代的职业观念看，属于业余科学家。

法国在英国之后迈出了第二步。1666年法国建立了巴黎科学院，它是科学家的专门学术机构。虽然科学院院士仅限于少数专职从事科学活动的高级精英人物，但是可以从国家得到丰厚的年薪，还配有助手。所以，巴黎科学院的成立和领取国家薪俸的院士制度的出现，是科学家社会角色形成过程中的重要一步。

科学终于发展成为一种专门的职业是在19世纪的德国，它和高等教育、工业生产的发展密切相关。大学教育和工业中的研究为科学家的研究活动提供了职业岗位，使科学家成为社会中一种新型的角色。科学家的社会角色首先在研究型大学的教师身上实现，企业建立的工业研究实验室也为科学家提供了职业岗位，从而开创了工业科学家的社会角色。

1834 年,英国哲学家惠威尔在英国科学促进协会成立大会上首先提出了“科学家”(scientist)一词,以区别于“太广泛太崇高”的哲学家(philosopher)这个传统的词汇。惠威尔的提法开始还受到人们的质疑,但很快就被越来越多的人接受了,至此,近代科学家群体的社会角色真正诞生了。

(2) 近代技术专家角色的出现

近代技术专家角色即工程师的产生也有一个长期的孕育过程。从 16 世纪起,欧洲开始出现土木工程师(civil engineer),主要是指以从事测量和道桥建设为职业的人员。此后,随着生产的发展,又相继出现了采矿、冶金、机械、电气、化工和管理等一系列专业工程师。

工程师角色的出现还与工程技术教育的昌盛密不可分。产业革命晚于英国的法、德两国,工程技术教育却走在英国的前面,在世界上首先创办了有相当规模的技术学院。高等工程技术教育的发展,不仅培养了一大批工程师,而且还导致了技术科学的诞生。技术科学和工程师互为因果的推动,导致近代工程师队伍的不断壮大,并逐渐取代传统工匠成为近代技术专家的社会角色。

3. 现代:科学技术社会体制化的确立

(1) 现代科学家角色的确立

19 世纪,科学在德国发展成为一种专门职业后,科学家作为一种社会角色还是羽翼未丰的。进入 20 世纪以来,随着科学对技术和生产的指导作用日益显著,科学在现代社会中的重要性被普遍认识,科学事业成为社会和国家的事业,科学成为对人类历史发展前途和现代国家兴亡起决定作用的力量,这时科学家在社会中的地位也得到了普遍的承认,科学家的社会角色稳固地确立了起来。美国的情况最具代表性。

在美国,对现代科学家社会角色确立具有重要意义的有三方面因素。一是大学教学和科研体制的改革,主要是系的建立和研究生院制度形成,训练了大批高质量研究生,毕业后大部分加盟到科学家队伍中。二是企业中工业实验室的大量涌现,这些实验室成了吸收科学家和博士学位获得者的重要机构,并产生出工业科学家。三是国家直属科研机构的兴起,聚集了大批既进行基础研究也进行应用研究的科学家,另外还有进行科学政策咨询和研究的软科学专家,他们在完成国家重大科学研究任务、影响政府进行科学决策中共同发挥了举足轻重的作用。据美国国家科学基金会 2002 年统计,全美有博士学位从事 R&D 的人员达 65.6 万多人,其中 34.6% 在工商企业,40.1% 在以大学为主体的学术机构,8.3% 在政府部门。现代科学家的角色主要是在这三种职业岗位上实现自己历史使

命的。

(2) 现代技术专家角色的确立

在现代,由于技术科学的发展,科学与技术的界限已经变得模糊不清,传统的科学与技术两分法正在被“科学技术连续统”(science-technology continuum)概念取代。这个连续统的一端是纯粹的基础科学,另一端为纯粹的实用技术,中间部分则很难说是科学还是技术。由此,人们已经很难通过对其所从事的研究工作本身来严格区别科学家和技术专家,科学家可能常常要做一些传统意义上属于技术性质的工作,而技术专家也会在从事技术活动过程中做出一些科学发现。这种科学与技术相互交织的结果,使得科学家和技术专家职业岗位相互交叠。因此,在前述科学家的三种职业岗位上,实际上也有大量的技术专家存在,加上企业中在生产第一线处理日常技术问题的人员,就构成了宏大的现代技术专家队伍,他们在社会生产中具有比科学家更加直接和显见的经济功能,从而确立了在社会中的地位。

三、科学技术体制化的内涵与科技体制改革

科学技术体制化以科学技术的职业化为核心,随着科技发展的脚步不断拓展和丰富着其内涵。在现代科学技术的条件下,科学技术体制包括科技投入体制、科技结构比例、科技法律调整、科研管理体制等方面。了解科学技术体制的主要内涵,对于理解我国的科技体制改革有重要意义。

1. 科学技术的投入体制

科技投入形式上是对开展科学技术活动的投入,但本质上却是一种生产性投入。全社会的科技投入体系主要由政府拨款的财政科技经费、金融机构的科技贷款、工业企业的技术开发经费、高校和科研机构自筹科技经费、社会风险和创业资金、基金会和民间捐赠资金组成。根据不同的科技活动内容,各类资金有不同的功能和投向。政府拨款的财政科技经费主要用于支持 R&D 活动、社会公益事业和技术基础性的研究,辅之以对科技成果转化和研究活动开始阶段的启动支持。金融机构的科技贷款和工业企业的技术开发经费是科技成果转化和研究活动投入的主体,2000年美国、日本和韩国产业界投入的研发经费分别占到本国研发总经费的 68.2%、72.4% 和 72.4%。由风险投资组织设立的社会风险和创业资金出现于 20 世纪下半叶,其主要服务对象是大批的高技术小企业,从而成为高技术产业化初始阶段的重要资金来源,著名的英特尔公司创业之初就得益于风险投资的帮助。

我国的科技投入主要是靠政府拨款这一单一渠道、唯一形式,自

1985 年进行科技体制改革以来,这种状况得到很大改变。多渠道、多形式、多层次的科技投入体制和公平竞争、择优支持的运行机制正在逐步形成,科技投入有了很大增加,2000 年研发经费与国内生产总值之比(R&D/GDP)已经达到 1.0%。但是与美国的 2.7%、日本的 3.1%、韩国的将近 2.7% 相比,还有相当差距。^① 科技成果转化为学生和商品阶段的投入不足、真正的高技术风险投资严重缺乏等问题尤为突出,必须在深化科技体制改革的过程中加以解决。

2. 科技研究的结构比例

当代科技活动的结构主要是由基础研究、应用研究和开发研究组成的庞大的有机体系。建立恰当的三者之间的比例关系,是科学技术体制的重要内涵。不同发展水平、不同环境条件的国家和地区,三种研究有不同的规模、比例。据世界经济合作与发展组织统计,2000 年美国基础研究、应用研究和开发研究所占比例分别为 18.1%、20.8% 和 61.1%,日本则为 14.3%、24.0% 和 61.8%。与基础研究相比,应用研究和开发研究在科学活动中总是占据主要地位。但是,基础研究是国家长期发展的战略资源,中国作为世界上最大的发展中国家,不可能也不应该没有自己的基础研究。我国在科技体制改革中提出的“稳住一头,放开一片”^②的方针,就是关于正确处理三种研究之间关系的具体体现。

3. 科学技术的法律调整

“二战”以后,科学技术的规模不断扩大,科学技术的层次结构日益复杂,科学技术活动的疆域大为拓展,法律对于科学技术活动调整的任务从开始只注意保护发明创造和维护市场秩序,扩大到更广阔的领域,科学技术立法几乎深入到人类科技活动的各个方面。当前在全球范围内,不管是注重成文法编纂的大陆法系国家,还是以判例法为特点的英吉利法系国家,都无例外地重视制订科学技术成文法律。科技政策法律化成为一种世界性的趋势。

法律对于科学技术的调整和保障范围,世界各国并没有也不可能有一统的规定,但在主要内容方面许多国家有共同之处,这里包括:国家发展科学技术的战略规划、宏观政策,对于科学技术组织和管理方面的纵向关系;国家部门之间、地区之间、科学技术领域之间在科技研究、开发、管

中华人民共和国科技部编:《国际科学技术发展报告 2003》,科学出版社 2003 年版,第 210 页。

“稳住一头”指保持精干的科技力量从事基础性研究、高技术研究、重点社会公益性研究和重大科技攻关项目研究;“放开一片”指推动技术开发型机构、科技咨询和信息服务以及其他科技机构多层次、多渠道、多方位地进入市场,长入经济。

理和协作方面的横向关系；科研实体、经济实体、其他法人和公民在科技活动中结成的权利义务关系；现代科学技术与政治、经济、文化、教育及社会其他方面的协调发展关系；现代科技活动中人们主观世界与客观世界的关系，例如原有科学标准、技术规范与最新科技成果的关系等。

我国的科技法制建设起步较晚，与发达国家有较大差距，科技法制建设相对于科学技术发展的需要严重滞后。加入世界贸易组织（WTO）之后，对于我国的科技法制建设，特别是关于知识产权的保护等问题提出了更高的要求。进一步加强科学技术的立法和执法，是我国科学技术体制改革重要任务。

4. 科技研究的管理体制

科研管理体制是由各国科学技术基础决定的。世界各国由于文化传统、科学背景、政策环境有很大区别，科学技术研究的管理体制也各不相同。在一些主要发达国家，科研管理体制大致有三种情况：美国是多元化的科研组织体系，市场导向是它的主要特点，没有强有力的全国统一的严密组织制度和中央协调机构，政府的总统科学顾问名义上是国家科学组织的最高行政领导人，但并不直接负责全国研究与发展事业的计划与管理；法国属于比较集中的科研管理体制，国家对于科学技术研究的战略和计划有明确的目标要求；英国、德国、日本等则大致居于两者之间，它们在发挥市场对于科学技术发展导向功能的同时，也注意了政府宏观的协调作用，以避免单一市场导向的弊端。

我国的科研管理体制在改革开放以前是与计划经济体制相适应的，这种体制在当时的历史条件下发挥了一定的作用。随着我国社会主义市场经济体制的确立和世界科技一体化进程的推进，原有的科研管理体制已经不能适应时代的要求。在我国的科技体制改革中，国家宏观科技管理部门的职能正在从具体项目管理向间接服务管理转变，其工作重点主要放在科技发展战略规划和政策法规的研究制定方面。微观层次的科研院所则进入市场，逐步成为享有充分自主权、实行科学管理的独立法人。2002 年原国家 10 个产业部门所属的 242 个科研机构管理体制实施方案实施其中 131 个院所进入企业 40 个院所转为科技类企业 18 个院所转为中介机构 24 个院所并入学校或撤销。通过改革，将在体制上根本解决科研机构重复设置、力量分散、科技与经济脱节等问题。

第二节 科学技术的社会组织

一、科学技术界的社会分层和互动

1. 科学技术界的社会分层

源于地质学的分层概念被引入到社会学，反映的是社会成员之间先天和后天的差异，它们反映了社会的等级结构和不平等性。科学技术界也具有特殊的分层现象，它主要不是由权力和财产差别形成的，而主要是由社会承认不同而形成的等级体系，在本质上是一种权威结构。这种社会承认主要通过学术职位承认和学术声望承认表现出来。

学术职位承认是有形的社会承认，学术声望承认则是无形的社会承认。由于后者是同行自愿做出的，不受非科学因素的影响，是科学技术界社会分层一个更重要的维度。学术声望的大小在相当大程度上可以用“知名度”来反映。首先，科学技术人员所在机构的知名度会影响其学术声望。一般认为，在高声望机构工作的科学家更容易被关注，更容易获得学界的高评价意见，反映了所在机构声望的光环效应。其次，根据一位科学家所获得的奖励的声望，可以间接地显示出他的知名度，例如杨振宁、李政道的学术声望对于绝大多数人来说，是因为他们作为诺贝尔奖获得者而被认同的。最后，科学家发表的论文数量及其被引证的次数是其学术声望的主要依据，也是知名度高低的测量指标。美国学者洛特卡（A. J. Lotka）在研究科学生产率的分布时发现，发表了不同数量论文的科学家人数与论文数量之间有一个平方反比规律，即对某一科学领域来说，产出 n 篇论文的科学家人数约为发表一篇论文的科学家人数的 $1/n^2$ 。这说明，科学技术的分层是一个金字塔式结构。

科学技术的分层，与从经济和权力角度的分层有很大不同。现代社会一般的分层结构是两头小中间大的形状，中间层次的人占大多数，而且社会越是发展，中间层次的比例越大。但是科学技术的分层却始终保持了越到底层人数越多的金字塔结构。美国学者朱克曼提供过一个数字：相对于美国的每一个诺贝尔奖获得者，有 13 名美国科学院院士，2 400 名有博士学位的科学家，2 600 名小有成就的科学家，4 300 名国家科学基金会认定的科学家和 6 800 名在人口普查时自称的科学家。^① 科学分层的金字塔结构反映了科学研究的艰巨性，正如马克思所描述的那样，在科学

^① H. 朱克曼：《科学界的精英》商务印书馆 1979 年版 第 14 页。

的入口处好比在地狱的入口处，必须根绝一切犹豫和怯弱。只有艰苦奋斗勇往直前，才有可能取得成功。

科学技术界社会分层的理论揭示了科学技术内部客观存在的某种不平等性，但我们同时还需要指出，由于科学技术在深度和广度两个维度上的快速推进，这种不平等性正在一定程度上为当代科学技术发展所必须的科学家团队合作精神所消解。在杰出科学家领导下，依靠众多普通科学家通力合作的科研组织形式，已经成为推进科学技术迅猛发展的有效途径。

2. 科学技术界的互动

互动是人与人之间的交互作用，是人的社会行为和社会生活的基础，也是科学技术研究活动的基础。科学家和技术专家的互动有学习、交流、合作与竞争、冲突等形式。互动的正功能可以提高效率，使研究传统得以延续，推动科学技术的发展。背离科学精神的越轨行为属于互动的负功能，它会阻碍科学技术的进步。

学习包括知识的传授、模仿和暗示。年轻人跨入科学殿堂之初，除了学习具体的知识之外，实际上还在模仿成名科学家的研究方法，接受导师从行为习惯到思维方式乃至情感取向等方面的暗示。即使对于成熟的科学家，模仿和暗示的互动依然存在。因为当一位科学家的研究成果发表时，他实际上是在暗示：我的选题是有意义并可以解决的，我依据的理论是有效的，我采用的研究方法是合理的，我作出的结论是科学的和可检验的。这可能带来其他科学家的模仿和加入。

交流是现代科学技术最重要的互动形式。科学交流不仅是学术思想的传播手段，而且是科学家获取学术承认的基本途径。科学家给学术期刊提供论文，期望得到的回报是学术承认，科学技术成果只有在交流中才能得到评价和承认。交流包括正式交流和非正式交流。正式交流主要指在正式出版物和会议上发表、报告学术成果，它体现为个体与群体的互动，受群体研究范式的制约比较大，因此频率较低且缺乏弹性。非正式交流是科学家通过个人通信和非正式讨论交流信息，具有专门、迅速、双向反馈等正式交流不可替代的优点，还会导致科学家中非正式群体即“无形学院”的出现。基于现代网络技术的电子邮件通信方法更为非正式交流提供了便捷平台，因此越来越受到科学家的青睐。

竞争与合作构成了相反相成的科学技术互动形式。竞争是由于资源有限造成的，科学研究资源的短缺需要通过竞争来进行有效配置。科学竞争在新的研究领域或研究刚刚开始的阶段表现得尤为激烈，此时范式初建，新问题层出不穷，为创造发现提供了众多的可能性。谁能抢得先

机,谁就会在激烈竞争中脱颖而出,占据获得研究资源的有利地位。合作是与竞争相伴的互动,特别是在科学研究的规模和复杂性急剧增加的今天,合作的重要性越来越被有远见的科学家所认识。各种学术刊物上几位甚至十几位作者共同发表学术论文情况的不断增多,人类基因组计划的实施,全球合作抗击非典(SARS)的研究,都是明证。当代社会,合作已经与竞争一起成为资源优化配置的有效手段。

科学家互动中的冲突形式可以分为学术性和非学术性两类,不掺入个人社会属性偏见的学术性冲突即学术论战,能够促进对学术问题更为全面的考察,是有利于科学发展的。但科学家是现实社会中活生生的人,民族的、宗教的、政治的各种社会因素不可避免地会影响他们,由此产生的非学术性冲突负功能居多。某些过分激烈的冲突甚至还会导致严重的学术越轨行为,例如科学研究活动中各种形式的欺骗行为,借用科学技术以外的非学术力量攻击竞争对手,等等。这需要科学技术界内外共同的协调来设法消除。

二、科学技术的社会组织

科学技术的社会组织是由科学家和技术专家组成的群体,这个群体是个体之间通过互动形成的有机系统。根据互动的空间范围和组织化程度,可以把科学技术组织分为实体性和非实体性两大类。这里首先讨论实体性组织。

1. 科学技术的社团组织

真正意义上的科学技术社团组织是近代以后出现的,成立于1560年的意大利那不勒斯自然秘密协会被认为是最早的科学社团,但是会员少且持续时间不长。1660年英国皇家学会成立后,期间经过许多变迁,但一直持续至今,是历史最悠久也最负盛名的科学社团。随后,德国柏林学会于1700年、俄国圣彼得堡学会于1724年分别成立。1743年本杰明·富兰克林倡导的北美第一个著名的科学社团“美洲增进有用知识哲学学会”^①在费城建立,它的名称强调了科学在实际方面的应用。进入19世纪后,影响较大的有1831年成立的英国科学促进会,1848年成立的美国科学促进会,1872年成立的法国科学协会。现在,科学技术的社团组织已经不计其数,它们为科学家和技术专家之间的互动提供了重要平台。

2. 科学技术的学术阵地

科学技术社团经常组织规模盛大的学术会议,并在此基础上创办了

^①该学会后于1749年发展成为费拉德菲亚学院,以后改为宾夕法尼亚大学。

各种学术期刊,传播新理论,报道新发明,促进科学技术的交流。各种学术杂志的出版数量也是随着科学技术迅猛发展不断增加的,1750年为10种左右,1800年前后达100种,19世纪中叶又增加到1000种,20世纪初达10000多种,平均每五十年提高一个数量级。20世纪以来,学术期刊的数量增加更为迅猛。2002年仅我国的学术期刊的总数就有7000余种,居世界第三位。

针对科学家无法全面阅读如此众多学术刊物的困难,各种摘要类、索引类的杂志也应运而生。最著名的如《科学引文索引》(SCI)收录了50多个国家发行的约3500种重要科技期刊,能够提供全世界最重要和最有影响的学术文献。20世纪90年代以来随着国际互联网的出现,科技交流又出现了一个全新的阵地。科学家和技术专家通过国际互联网,一方面可以利用各种功能强大的搜索引擎,快速、便捷地获得来自全世界同行发布的各种学术信息,另一方面又可以及时发布自己的研究结果与同行交流、讨论。通过国际互联网,科学技术交流的广度、深度和频度极大地增加,推动了科学技术社会组织的变革和创新。

3. 科学技术的教育机构

科学技术的教育机构主要是大学与专科院校,它们为科学技术事业提供源源不绝的智力资源。科技教育进入大学最早始于法国,1747年,法国建立了以培养土木工程师为主的桥梁道路学院。1794年,又设立了中央社会活动学校,并于次年改名为巴黎综合技术学校,建立起国家综合性科学技术教育机构。

德国紧随法国之后,在著名教育家洪堡(A. V. Humboldt, 1769—1859)的领导下,1809年创办柏林大学并设立工学院。根据“教育同科学研究相统一”的原则,德国的大学通过对旧制度的一系列改革,大大增加了实验科学和技术教育的内容。19世纪初开始,德国向研究型大学的方向迈出了第一步。

研究型大学后来在美国进一步发展。美国大学制度改革主要是系的建立、研究生院制度的形成和以课题为中心的研究组织的产生。系的建立突破了德国大学中教席的限制,扩大了教授的容量,从而使新的学科和新的人才得以迅速成长。研究生院制度的形成,训练了一大批高质量的研究人才,为科学技术研究活动输送了源源不断的后备力量。以课题为中心的研究组织克服了德国大学中把全部学术权力集中于教授一人的弊端,提高了科研活动的灵活性,使美国的大学成为科学研究特别是基础研究的重要阵地。

4. 现代社会的科学技术研究组织

随着科学技术的发展，职业化的科学技术体制逐步确立，到了现代，专业科学技术组织的作用进一步增大，并且成为主流。与此同时，也对科学技术组织本身的革新不断提出新的要求，使科学技术组织系统变得越来越复杂。除了科研院所、企事业单位研究机构外，还出现了各种各样官、产、学、研相结合的研究中心，科学技术联合体，科学技术服务机构等组织形式，科学家和技术专家被组织到这些机构中专职从事科学技术活动。这其中，工业实验室和国家科学实验室两种组织值得关注。

以美国为例，其工业实验室是在 19 世纪末发展起来的，通用公司实验室、贝尔实验室等都始建于这一时期。第二次世界大战后，工业实验室更是大量涌现。这些实验室中的研究课题大都与企业生产紧密相关，也少量从事与工业生产有关的基础科学问题研究。工业实验室的研究花费了企业大量资金，同时也为企业赢得了更大的利润，它在推动科学技术向现实生产力转化中具有举足轻重的作用。

另一类科学研究组织是国家直接管理的大型科学实验室。在美国，政府中约有半数以上的行政机构管理着事关国家安全和国计民生的重要科学研究机构，它们在“二战”中兴起，聚集了大批科学家和技术专家，既进行基础性研究，也进行应用研究。国家实验室的建设和运行，对于保持美国在世界科学技术各个领域的领先地位具有决定性的意义。

三、科学共同体与技术共同体

除了实体性组织，科学技术还有非实体性组织，这就是科学共同体和技术共同体。从内涵上讲，科学技术共同体的概念，与各类科学技术社会团体有许多重叠之处，但两者也有区别，主要表现在，前者是一个社会学概念，以成员的互动作为存在的基础；后者更多地是为了专业管理和协调方便而建立的。非实体性组织由于成员互动的范围往往超越了某个研究机构，也可以称为实体间组织，这种超越实体机构的互动方式在现代科学技术活动中非常普遍。

1. 科学共同体与“无形学院”

共同体 (community) 这个概念在普通社会学中译成“社区”，通常指与某一个地域范围相联系的人群。但在科学社会学中，科学共同体这个概念却首先突破了地域范围的限制，强调科学家群体所具有的共同信念、共同价值、共同规范。科学共同体中的科学家具有特殊的体制目标、行为规范和精神气质，其任务是在科学范式指导下，根据共同的实践规则 and 标准，从事科学研究。所以，科学共同体是以共同的科学范式为基础形成的科学家群体，是科学社会组织的基础和核心。科学范式是科学共同体存

在的依据，科学共同体的形成与解体和新旧范式的更替密切相关。

库恩 1962 年发表《科学革命的结构》一书之后，科学共同体成了科学界普遍使用的概念。库恩的贡献在于把科学发展的认知过程和社会过程，通过科学共同体的概念有机地结合起来，同时成功地解释了科学发展的规律问题。

库恩提出了“前科学→常规科学→反常和危机→科学革命→新的常规科学→……”的科学发展模式。其中，常规科学的特定的范式 and 科学共同体联系在一起。所谓范式，就是科学共同体全体成员所共有的东西，包括共同的信念、共同的价值标准、共同的理论框架和研究方法、公认的科学成就和范例等等。在库恩的理论中，范式和科学共同体这两个概念是融为一体的，他把范式在常规科学和科学革命两个阶段的运动转换成科学共同体在这些发展阶段上的运动，并通过科学共同体及其成员之间的互动，来揭示知识增长和科学发展的特点和规律。这样，传统的认识论问题变成了社会学问题，对知识的哲学分析变成了对科学认识主体的社会联系或互动的社会学分析。

科学共同体内部成员间互动的一种主要方式是科学交流。同一专业、同一研究领域的科学家，其职业岗位分布在不同地区、国家的不同机构中，通过发表文章、阅读与引证同一领域的文献，参加相关的会议与短期访问的交流和合作，才能使这些分散的人员联系起来。科学交流把分散的科学家的认识汇聚和统一起来，形成不同的研究领域、专业和学科，形成不同层次的科学共同体。

科学交流使科学家获取学术承认。对于科学共同体的不同成员，由于其贡献大小有别，所获得的承认也程度不同，从而导致了科学共同体的分层结构。这种分层结构又会由于“马太效应”得到进一步加强。“马太效应”是科学研究中的优势积累效应，它表现为某些科学家一旦具有一定优势后，因为荣誉背景放大的作用，就会有更多的机会进一步获得成果和承认，反之则变得更加默默无闻。“马太效应”虽然有一定的消极影响，但由于它根源于共同体内全体成员自愿基础之上的承认，客观上有利于科学权威的迅速形成，所以是科学共同体得以维系的重要保证。

在科学共同体中，“无形学院”是受到关注的重要形式。科学史家普赖斯在研究现代科学学术交流的社会网络时发现，现代科学即使是最小的分支也有成千上万的同行，所以真正有学问的人就会分裂为非正式的小团体。他认为，任何一个大学科中都有这种小规模的优秀人员构成的“无形学院”，其成员通过互送未定稿、通信等迅捷的非正式交流与合作，形成一个强有力的、高产的团体。后来，社会学家克兰通过实证研究，说

明了“无形学院”与科学共同体的关系。她认为，科学交流系统分为两类：一类是变化不大的正式的学术交流系统，任何一个成熟的学科都拥有正规的学术会议、学术期刊、学术专著、文献摘要和目录索引等，通过这种交流形成庞大的科学共同体；另一类是迅捷的、非正式的学术交流系统，常常出现于学科的前沿和几个学科的边缘，为了尽快获得新的信息，研究人员大多通过直接交谈、通讯等个人联系的方式进行非正式的交流，这就成了“无形学院”。所以，在科学的前沿，往往是由“无形学院”通过少数人的非正式交流系统创造出新知识，然后由大范围的正式交流系统来评价、承认、推广和传播。

2. 技术共同体与“创新者网络”

模仿科学共同体和科学范式的概念，美国技术史家康斯坦（E. W. Constant）于 1980 年首先提出了技术共同体和技术范式的概念。此后技术经济学家多西（Dosi）又进一步分析认为，技术和科学在发展机制上和程序上有大致相似的性质，所以存在着类似于科学范式的技术范式。可以把技术范式定义为根据一定的物质技术以及从自然科学中推导出来的一定的原理，解决一定技术问题的模型或模式。以共同的技术范式为基础形成的技术专家群体便是技术共同体，其任务是在技术范式的指导下从事技术的解题活动。在技术共同体内其成员之间的互动方式，要比科学共同体成员的互动复杂得多。以知识交流为例，在科学活动中新知识的发现者出于获得同行承认和优先权的考虑，通常会尽快将其细节无偿地向同行公开，因而交流渠道畅通无阻，但在技术活动中，技术知识的交流方式则要复杂得多，可能通过申请专利的方式来公开，也可能通过出售许可来保证有偿使用，还可以不公开即保密或部分保密。由于互动方式不同，技术共同体的结构也与科学共同体的结构不尽相同，有关这方面的深入研究，将是技术社会学的重要课题。

技术共同体有一种重要形式叫“创新者网络”，它提供创新者非正式直接互动的机会，从而提高创新活动的效率。“创新者网络”这个概念原出自技术创新经济学，意指一种特殊的创新者组织形态，即网络组织，它介于市场和企业组织之间，是两者互相渗透的产物。与市场或企业组织相比，网络组织是一种松散联结的组织，但成员组织之间有一种合作的关系作为网络组织的联结机制。这种“创新者网络”与技术共同体的关系，颇似“无形学院”与科学共同体的关系。“创新者网络”也可以视为技术共同体中的子团体。它与一般的通过创新者（如企业）之间正式的交流（如技术报告、技术资料、杂志书籍、专利转让等）而形成的技术共同体的不同之处，在于它提供了创新者进行非正式交流的机会，使其发生直接的

互动，从而提高创新活动的效率。

第三节 科学技术的体制目标和社会规范

一、科学技术的体制目标

在现代，科学与技术相互交叉、科学家与技术专家相互重叠已经成为一种大趋势，但这并不是说两者就完全没有差别了。传统的观点把科学和技术都看做是知识体系，前者是普遍的、基本的、理论的知识，后者是特殊的、派生的、实际的知识，这就无法合理地解释科学和技术的本质差别。如果把科学技术看做某种特定的社会体制，两者的差别就立刻显示出来了，其中最重要的差别，就是体制目标的不同。

科学的体制目标也就是科学家从事科学活动的动机。爱因斯坦把从事科学的人分为三类。第一类人爱好科学，是因为科学给他们以超于常人的智力上的快感，科学是他们的特殊娱乐，在这种娱乐中能寻求生动活泼的经验和雄心壮志的满足。第二类人之所以把他们的脑力产物奉献在祭坛上，为的是纯粹功利的目的。还有第三类人，这类人有消极和积极的两种动机。消极的动机是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏，积极的动机是总想以最适当的方式来描绘出一幅简化和容易领悟的世界图景，渴望看到一种先定的和谐，这种渴望是无穷毅力和耐心的源泉。^① 这第三种人的观点也就是爱因斯坦自己的人生观，他们从事科学的动机，不是为了金钱和自己的利益，而是为了追求客观知识本身，即为知识而知识，是一种非功利的动机。

1942 年默顿发表了《科学的规范结构》一文，明确指出科学的体制目标是“扩展确证无误的知识”，也就是要求科学家做出独创性的贡献，从而不断增加科学共同体和社会的知识存量。当然，这并不意味着科学对知识的实用价值毫不关心，科学家也确实常常会带着某种应用的意图去从事研究。但是，归根到底，科学的终极目标在于获得关于自然的知识，以及这种知识在进一步认识自然时的作用。科学的这个体制目标，对于理解科学的社会规范至关重要。

与此形成鲜明对照的是，技术的体制目标则是功利的，是要利用科学发现，进行技术发明，并应用于社会经济的发展，产生直接的社会经济效益，也就是要利用知识来谋利。首先，这里的“知识”可以是技术专家自

^① 《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆 1976 年版 第 100 页。

己创造的，也可以是科学家创造的。其次，这里的“利”对发明者来说是一种经济收益，而对社会来说能够享受由技术发明所带来的好处。所以，尽管谋利作为技术的体制目标，其出发点不一定是公益的，但它的结果却同时提高了整个社会的福利水平。在这个意义上，技术的体制目标与整个社会的利益是一致的。

科学与技术的体制目标不同，对科学和技术的活动及其成果评价的依据也就不同。科学的评价标准是独一无二的创造性，注重科学发现的优先权；技术的评价标准却是经济性，重在技术发明的经济效益和价值。

二、科学技术的社会规范

由于科学和技术在体制目标方面存在的差异，导致了两者社会规范的不同。

1. 科学的社会规范

科学的社会规范以公有主义、普遍主义、无私利性、独创性和有条理的怀疑主义 (CUDOS) 为标准。这是在默顿四条标准基础上提出的理想模式，尽管有不少争论，却反应了科学社会规范最基本的内容，是科学家现实行为的重要参照系，其经典地位至今未曾从根本上动摇。

公有主义 (communism) 规范要求研究者不占有和垄断科学成果。科学研究是建立在前人知识积累之上的，所有科学发现都属于“公共知识”，所有权归属于全体社会成员。任何一个以个人命名的规律和理论都不归于发现者和他的后嗣所有，也并不给这些人以使用和支配的特殊权利。这条科学伦理的理性原则把科学中的所有权要求减少到了最低的限度：科学家的知识“产权”仅限于根据这些发现对知识的贡献来量度、承认和评价。科学发现要得到及时承认和适当评价，就必须尽快完全公开发现以取得优先权。

普遍主义 (universalism) 规范强调科学标准的一致性。只要是科学真理，不管它来源如何，都服从于不以个人为转移的普遍标准。科学发现的权利和理论论据的评价是根据发现和理论本身固有的价值和科学的标准来进行的，而与国家、种族、阶级、宗教、年龄等等无关。普遍性原则和科学知识的客观性有直接的联系，自然界的规律是普遍的，科学表述的真理与价值和提出这种表述的个人属性没有关系。沙文主义者可以把他们认为是异己的科学家名字从科学史教科书中抹去，但是这些科学家所提出的科学公式却仍然是科学本身不能缺少的内容。

无私利性 (disinterestedness, 也译祛私利性) 规范要求从事科学活动、创造科学知识的人不应以科学牟取私利。科学家从事科学活动的唯一目

的是发展科学知识而不是其他，科学家不能因为自己个人的原因来接受或拒绝一种科学思想或观点，也不应该以任何方式从自己的研究中牟取私利。从事科学活动的人，不能是为了赚钱或营利，而应该是热衷于探索 and 发现，是内在的科学兴趣的驱动。这个问题不只是单纯的道德问题，而是科学体制对于科学家的强制要求。默顿认为，科学家从事科学活动的动机确实是多种多样的，科学的社会规范就是要在一个宽广的范围内对科学家的行为进行制度上的控制。

独创性 (originality) 规范要求科学家依靠自己，独立思考，对于自己所提交的学术论文必须提出新的科学问题，公布新的数据，论证新的理论或者提出新的学说。独创性是科学进步的发动机，科学论文的审稿人首先要排除纯粹的模仿研究和显然已经被反复利用的材料。审稿人经常会拒绝没有引证前人相关成果的论文，这促使科学家必须把研究兴趣集中在一个相对有限的范围内，持续关注相关领域先前的全部研究和飞速增长的新文献，从而保持科学研究的独创性。

有条理的怀疑主义 (skepticism) 规范强调科学永恒的批判精神。它要求所有的科学知识，不论是新的还是老的，都要经过仔细的检验；无论是哪个科学家做出的贡献都不能未经检验而被接受，科学家对于自己和别人的工作都应该采取怀疑的态度。有条理的怀疑主义作为科学的社会规范，能帮助科学家发展创新精神。大胆的怀疑精神，是人们在知识生产中认识发展的契机，也是实现科学的体制目标即“扩展确证无误的知识”的必然要求。

2. 技术的社会规范

由于体制目标的不同，技术的社会规范与科学的社会规范有很大差别。同时，对技术的社会规范研究目前还非常少，因此这里的讨论也是很初步的。

我们先通过与科学的比较来探讨技术的社会规范问题。第一，与科学的公有制规范完全相反，技术服从非公有规范，或称独占性规范，具体的制度安排是保密和专利制度。第二，技术具有以应用、合用为原则的精神气质，用以评价技术的标准，不仅是技术的合理性，而且是社会的合意性，后者显然不具有普遍性。第三，无私利性规范对技术也完全不适用，按照技术的体制目标，追求私利正是技术体制的激励机制，技术发明的成果在一定时期内是归发明者或其所在集团单独所有的。第四，技术的独创性要求比科学可以低得多，运用科学原理进行技术创造，虽然有技术原理的构思，但往往是局部性的，不必追求理论的普适性。第五，在技术体制中，对旧有技术的挑剔和寻找替代技术虽然经常发生，但对怀疑和

批判精神的要求不如科学体制那样强烈，因为批判和怀疑并非是实现获利目标的唯一途径。

英国科学社会学家齐曼提出了所有者的 (proprietary)、局部的 (local)、权威的 (authoritarian)、定向的 (commissioned) 和专门的 (expert) 的技术社会规范特征 (简称 PLACE 以与 CUDOS 相对应)。^① 他认为，技术即产业科学产生的是不一定公开的所有者知识，它往往集中在局部的问题而不是总体的认识上，技术研究者是在管理权威下做事而不是作为个体做事，他们的研究被定向到实际目标而不是追求知识，他们作为专门的解决问题人员被聘用而不是由于个人的创造力。齐曼对此也仅仅是提出了一种观点，进行的讨论也是初步的，但为我们进行更深入的研究提供了一种思路。

思考题

1. 什么是科学技术的社会体制化？
2. 科学技术的社会体制化对科学技术的发展有何意义？
3. 试述科学共同体与技术共同体社会规范的主要区别及其原因。
4. 试从科学技术社会建制的角度说明科技体制改革的重要意义和主要内容。

第十四章 科学技术的社会运行

科学与技术是一个有机整体，在现代，科学技术业已成为社会的一项极其重要的事业。它的发展以研究与发展（R&D）为核心，因而必然会带来科学技术社会运行的新特点与新机制，本章从宏观的角度揭示这些特点与机制，并在此基础上探讨保证科学技术健康、持续运行的社会环境、战略政策、体系制度和法律措施。

第一节 科学技术社会运行的特点

科学与技术在大第一次工业革命时开始汇流聚合，成为一种生产力；通过第二次工业革命科学研究与技术开发结合，形成科学技术转化为生产力的基本过程，它从根本上改变了人类的生产方式。进入 20 世纪，科学与技术直接和社会的各个方面融合，出现了科学、技术与社会一体化的进程，科学技术已经成为极其重要的社会实践活动，成为事关国家的命运与前途的事业。随着高技术的崛起及其产业化，科学技术成为国家提升经济实力和综合国力的决定因素，以“研究与发展”为基础的科学技术业成为国家的战略目标和战略产业。各个国家纷纷制定高技术战略发展计划，建立国家创新体系，有效的研发（R&D）投入以及研发投入强度（R&D/GDP）成为各国政府关注的重点和科学技术社会运行的关键。

现代科学技术社会运行的特点与机制是和科学技术的下列特点分不开的：

一、科学技术与生产的一体化

1. 科学的技术化和技术的科学化

早期科学主要靠直观、猜测和思辨探索自然，近代科学借助实验进行探索之后，就离不开实验的技术手段。工业革命之后，机器技术的出现，尤其是新型动力机如电机的广泛使用，进一步加强了科学与技术的结合。现代科学技术革命，人类已经进入到微观和宇观层次，需要越来越复杂的仪器设备和实验装置等技术手段。因而科学日益技术化，它的发展有赖于现代技术的最新发明。在现代，高技术与前沿基础科学理论的突破更是密不可分。技术科学化与科学技术化已经成为现代科学技术的一大

特征。

科学的技术化既指在科学活动中包含着大量的技术科学研究、技术发展研究和技术应用研究，又指科学研究需要应用技术手段和工具，科学研究的重大进展依赖于实验技术上的突破。技术的科学化既指已有的技术经验知识借助科学理论指导而形成系统的技术知识体系，并上升到技术科学，又指技术进步以科学发展为先导，技术上的重要发明通常直接来自基础科学研究的成果。此外，科学研究领域的交叉、理论方法的移植，边缘性、横断性、综合性学科的大量涌现，使科学自身日益整体化；技术开发领域的交叉、融合，使技术自身日益综合化。科学整体化和技术综合化的横向与纵向整合，导致现代科学技术日趋一体化、立体化、整体化、综合化。

德国科学社会学家贝希曼于 1982 年指出：“一方面是技术的科学化，另一方面是科学的技术化，把这两个方面综合起来，就可以清楚地看到现代科学和技术在发展中彼此紧密相依的这个特点。”^①

至此，科学解释世界的功能与技术改造世界的功能相互联系和渗透，追求真理与追求效用相互结合，使科学技术成为巨大的物质力量，深刻地影响社会的各个层面。

2. “科学—技术—生产”的体系结构

在古代，生产实践是科学技术的主要源泉，生产和技术的关系更为密切 结构模式为“生产→技术→科学”近代以来 科学实验成为科学发展的主要源泉，科学和技术的关系愈益密切，而且科学往往走在技术的前面，科学技术成为生产力，于是结构模式逐渐变为“科学→技术→生产”；到了现代，科学技术体系已形成“科学↔技术↔生产”三位一体化的双向、动态结构模式，体现基础研究、应用研究与发展（开发）三者相互联系与相互配合的密切关系。现代科学技术活动过程基本上是从科学基础理论研究、技术科学研究、技术开发研究、工程科学研究到工程实施，直到投产和推广的过程。整个过程同社会经济结构有着密切的联系。20 世纪 50 年代、特别是 80 年代前后，更是形成了“科学—技术—生产—经济实力—综合国力”的结构态势。在大科学、高技术、新科学技术革命、知识经济时代，科学技术的整体功能使科学研究和技术开发相辅相成，成为科学技术体系结构的核心。R&D 也成为现代科学技术社会运行状况的决定因素。

林德宏、陈文林：《现代科学技术革命与马克思主义》，南京大学出版社 1993 年版，第 63 页。

现代科学技术体系结构研究揭示了科学技术发展的规律：科学、技术、生产这三大部类相辅相成，协同发展，不可偏废一方，其中技术是科学转化为现实生产力的中间环节。“科学—技术—生产”一体化表明了科技成果的应用转化周期不断缩短，技术更新换代不断加快，提出了对研发投入的更高要求、对相应的三位一体的复合人才的迫切需要以及适应三位一体整体发展的形式和场所。

二、科学技术社会化

1. 从小科学到大科学

科学在近代主要处在自由研究时期，科学研究活动主要是科学家个人的智力活动。科学家自己解决研究经费，自己制造仪器设备，自己自由选题。如 17 世纪英国皇家学会时期，法拉第、波义耳时代，是典型的“小科学”时期。随着工业化进程的深入发展，科学进入了资助研究时期。研究经费的增长使个人难以承担，仪器设备的复杂使个人难以自制，加之靠企业、财团的资助，选题也不能自由。到了现代，越来越多的跨学科、综合性大课题的出现，需要大规模的合作，需要跨公司、甚至跨国的协作；项目经费巨大，仪器设备复杂，情报资料众多等等，科学技术日益社会化、国家化甚至国际化，从而进入大科学时期。所谓大科学，就是依照现代工业的形式组织起来并加以管理的科学。^① 美国的曼哈顿工程、阿波罗计划，中国的两弹一星、载人航天，以及世界各国合作的人类基因组计划等，都是典型的代表。科学技术的组织、管理、决策问题也随之凸显出来。科学技术不仅成为重要的社会活动、社会化事业，甚至成为重要战略产业、带头产业。

大科学促进了科学技术与社会的一体化，使科学、技术及其与经济、社会之间的传统界限日益模糊。正是在一体化过程中，形成了一个包括政府、企业、资本集团、科学技术研发机构等利益单元组成的社会综合体，它决定了科学技术发展的方向、规模和速度。于是，一方面社会的各个子系统和各种因素对科学技术的运行环境、对科学技术的发展产生巨大的影响；另一方面，科学技术对社会经济、政治、文化、教育，甚至生活方式思维方式的影响愈益全面、深刻，显示了社会的科学技术化，产生了一系列新的学科，如科学学、科学社会学、科学知识社会学 (SSK)、科学技术与社会 (STS) 等，它们正在汇合成一门新兴的交叉科学——科学技术学。

2. 工业研究实验室和研发中心的兴起

参 见 A. N. 米哈依洛夫：《科学交流与情报学》，科技文献出版社 1988 年版，第 6 页。

工业研究实验室是从小科学到大科学的过程中，适应“科学—技术—生产”三位一体化发展出现的。它作为基础科学研究和应用技术发展相结合的研发机构，同后来出现的各种研发中心一起成为研究与开发的重要形式。它集研发于一身，利用新科学技术成果，直接推进技术创新和产品设计，促进市场竞争，创造经济效益。工业研究实验室和研发中心成为科学技术创新的重要源泉，有力地加速和激活了科学技术的社会运行。

研究与开发包括三种活动：基础研究、应用研究和试验开发。按美国科学基金会的定义，基础研究是指向科学知识增长的研究，其基本目的是获得对研究课题（成果）的充分认识和理解，而不是考虑实际应用。应用研究则是导向知识实际应用的研究。试验开发是指科学知识的系统利用，以产生有用的材料、装置、工艺设计或方法。

19 世纪 70 年代以后，电讯、电气、有机化工等新型产业出现，其共同特点都是“以科学为基础的工业”；重大技术创新主要依赖于科学研究。

德国科研体制素有企业资助大学从事科学研究的传统。19 世纪中期，德国化工企业就在公司内部开始创建研究实验室。德国真正意义上的工业研究实验室诞生于 19 世纪 80 年代。至 19 世纪末，化工产业中的拜耳公司于 1891 年建立了大型工业实验室。其他还有巴斯夫、赫斯特实验室及电气产业中的西门子实验室。这使德国化工和电气产业的研究与开发活动非常成功，极大地提高了产业的国际竞争力。德国依傍其雄厚的科技力量和工业基础，采用集中研发的研究所和分散的联合研究中心的方法，有力地推进了科学技术的社会运行。

美国第一个工业研究实验室是爱迪生于 1876 年创建的。1900 年建立了美国 and 世界上第一个正规的工业研究实验室，即通用电气公司研究实验室，它在企业的工业研究实验室中涌现了第一个诺贝尔奖得主。1925 年成立的贝尔电话实验室，开美国工业研究实验室进行基础研究的先河，并先后培养了 11 位诺贝尔奖得主。1956 年至 1961 年国际商用机器公司（IBM）在 1954 年艾肯的 IBM 研究实验室之后，又建成了著名的沃森研究中心。美国的工业研究实验室后来居上，20 世纪以来，经工业研究实验室培养的诺贝尔奖得主就有 19 位之多，充分体现了美国工业研究实验室的基础研究实力。美国的产业界认识到，研发投入是最经济、安全、有效，投入产出最高的投资。这些工业研究实验室的研发投入和研发能力极大地推进了科学技术的社会运行。

工业研究实验室有如下特点：一是在组织形式上，它主要由基础研发部门和技术开发部门组成。前者的研究方式主要是群体性的，规模大小

不一，后者多学科合作和组织化特点更加突出。因而，它运行过程中的科研管理问题就显得十分重要，既要重视个人创造性，又要体现团队精神，组织协调好各方面的力量，促进合作互补。二是在基本任务上，它的目标是创新，只有依靠创新，企业的发展才是可持续的。为了这一目标的实现，必须从人才流动、激励机制等方面提出合理的措施，以保证它的正常运行。

三、科学技术业成为国家的战略产业

“科学 \longleftrightarrow 技术 \longleftrightarrow 生产”的现代结构模式，加速了科学技术与社会的一体化，在这个过程中，工业研究实验室和研发中心的兴起，一方面突出了科学技术在社会运行中的重要作用；另一方面充分显示出科学技术已经成为社会大系统中的一个举足轻重的子系统，成为一种新战略产业。为了从宏观的角度调控科学技术业的社会运行，出现了国家创新系统。

1. 高技术是科学技术的制高点

美国战后在电子、核能、合成材料、航空航天等尖端技术领域处于世界前列，形成新的产业，继而不断向其他发达国家扩散，从中获得巨额利润，给其衰退中的资本主义经济注入了新的活力。1971年，美国首先提出“高技术”这一术语称谓这类尖端技术领域及其新兴技术产业。高技术是现代科学技术和现代生产力结合的产物，它既充分体现了“科学—技术—生产”三位一体化的特点，同时又通过 R&D 进一步促进了科学和技术的结合及其与生产的一体化。高技术是现代科学技术的制高点，是“以科学为基础的技术（science-based technology）”，是知识经济的带头产业。

高技术在 20 世纪 80 年代中期形成热潮，各国为了抢占此制高点，纷纷出台各自的高技术战略发展计划，将之作为实现国家社会发展目标的重大战略杠杆。如美国的“战略防御倡议（星球大战计划，1983）”、日本的“科学技术振兴基本政策（1984）”和“人类新领域研究计划（1986）”、欧共体的“尤里卡计划（1985）”、中国的“高技术研究发展计划纲要（863 计划，1986）”等等。

为了推进高技术发展，促进其产业化进程，高技术开发区应运而生。1951 年，斯坦福大学在学校附近建立了第一个科技园区。1954 年又正式创立斯坦福研究区，吸引了众多高技术小公司。各公司纷纷在园区内设立研究与开发分部，它们利用大学的基础研究优势开发高技术。或者大学实验室将研究的新技术转让给园区内的小公司去试制、改进、生产，将大学智力资源辐射给高技术公司。这样一来，小公司可以不再建立工业

研究实验室。美国最早诞生的世界上第一个高技术园区——加利福尼亚科技工业园区 即“ 硅谷 ” 被誉为“ 世界高技术产业的摇篮 ”、“ 国际高技术产业基地之一 ”。硅谷创建了产学研共同体,形成了产学研创新系统,在研究型大学与高技术公司之间形成一种研发的共生关系。此后,硅谷从微电子技术创新逐渐向电子计算机和网络技术创新以及生物等其他产业技术创新过渡,并且开始从高技术生产中心向研发创新中心转化。

此后,高技术开发区成为中小企业进行技术和产品创新的重要形式。发达国家高技术开发区发展迅速,其中美国、日本、欧共体等建设的开发区占到 90% 以上,并很快波及发展中国家。高技术开发区与工业研究实验室互补、并重,推进了技术创新的发展。促进了科学技术的社会运行。

高技术开发区一般分为五种类型:以大学为中心建立的科学公园、研究园、科技园;以若干高技术为中心发展形成的研究开发、试制生产、市场营销相结合的开发区;以高技术工业为基础发展形成的开发区,称工业园区;在大学、科研院所、工业企业组成的科技城基础上形成的开发区;高技术产品加工区。

中国在 1985 年 7 月建立了深圳科技工业园,这是全国第一个区域自主建立的高技术开发区。此后,建立了国家级的高技术开发区 52 个,包括 1988 年 5 月成立的北京开发试验区、1991 年 3 月批准的 26 个,1992 年 11 月批准的 25 个。开发区大致分为三种类型:大学和科研院所集中的智力密集型;大中工业城市的工业基础型;沿海开发地区的沿海外向型。同时形成了长江三角区、珠江三角区、渤海湾等产业开发带。

高技术产业化是一个复杂的社会系统工程,需要具备相应的社会条件。为此,发达国家纷纷创立国家创新体系,以便创造良好的环境条件,促进其良性运行。

2. 国家创新系统是科学技术的新体制

在“科学—技术—生产”一体化与科学技术社会化的基础上,科学技术成为重要的社会建制。为了保障科学技术的社会运行,发挥国家在促进科学技术创新活动中的作用,国家创新系统应运而生。英国学者费里曼在研究日本经济发展的基础上,在《关于日本的技术政策与经济实绩》(1987)一书中首次使用了“国家创新系统”概念。20 世纪 90 年代后,许多国家和国际组织都对此进行研究,将之作为制订科技政策、甚至国家政治和经济政策的基础。

国家创新系统是国家层次上对科学技术的社会运行过程,即科学技术知识的产生、交流、传播与应用过程的体制化,它是在国家的总体规划下,科学技术的社会运行中各有关部门相互作用而形成的推动创新的网

络。具体地说,它是由一系列资助或从事 R&D 活动并将其成果转化与商品,以及推动和影响新技术扩散的机构和组织组成的一个不可分割的整体。^①

从现代科学技术的上述三个特点(科学技术与生产、科学技术与社会、科学技术与国家的休戚相关)产生了现代科学社会运行的新特点与新机制,这就是为了科学技术的健康发展,必须从经济条件、社会环境与国家政策三个方面予以保证。

第二节 科学技术社会运行的不平衡性

科学与技术历史悠久,首先作为一种独特的实践活动它有自身发展的规律,其次它在社会中的发展也呈现出不同的规律性,最突出的表现是其发展的不平衡性。因此,不同的国家要据此制订出适合自身条件的科学技术运行的目标、体制与保障措施,打破和利用这一不平衡性。科学技术发展不平衡性主要表现在以下方面。

一、区域(空间)运行的不平衡性

在科学技术的社会运行过程中,由于社会所处的历史发展阶段与国际环境不同,会产生区域发展的不平衡性。不同的时期一些国家和地区会成为科学活动的中心,随着社会经济的发展,科学中心会不断转移,这种中心转移又促进科学与技术的不断发展。科学活动中心在不同国家和地区的形成和转移,是多种因素综合作用的结果,它反映了不同国家和民族的优势和特点。科学技术发展的不平衡性深刻影响了世界文明的进程,成为科学技术发展的重要动力。贝尔纳首先注意到这一现象,^②日本的汤浅光朝则提出科学中心转移的理论^③。

汤浅光朝把科学成果作为重要指标,通过大量的定量统计和分析,提出科学成果占世界总量的四分之一以上即为科学中心,此持续时间即科学兴隆期,平均约 80 年。汤浅光朝还详细描述了科学中心从意大利(1540—1610)、英国(1660—1730)、法国(1770—1830)、德国(1810—1920)到美国(1920—)的转移路线,被称作汤浅现象。汤浅现象与社会经济、政治、文化、教育的状况都有相关的联系,往往是这些因素综合作

参见冯之浚:《完善和发展中国国家创新系统》,载《中国软科学》,1999(1)。

参见贝尔纳:《历史上的科学》,科学出版社 1983 年版。

^③ 参见汤浅光朝:《科学活动中心的转移》,载《科学与哲学》(研究资料),1979(2)。

用的结果，反映了科学技术社会运行的重要特点。从历史的观点与发展的观点看来，在汤浅提出的转移路线中有些因素特别是理性精神、海外贸易、经济发展、政治变革、产业革命起主导作用。

古希腊是世界商业贸易中心，孕育了其个人英雄主义的人文精神；自然哲学的传统培育了其以逻辑为中心的理性精神。古希腊是古代科学的发源地，特别是数学、天文学、物理学、生物学等。

意大利地处地中海，交通发达，是文艺复兴的发源地，也是近代科学的发源地。它继承发扬了古希腊的科学文化传统，将理性思维的哲学传统与能工巧匠操作技艺的工匠传统结合起来，由伽利略开创了数学演绎和实验研究相结合的科研实践的先河。

英国地处英伦三岛，岛国环境培养了其开放和创新的精神，借助于新航线的开辟使其殖民地遍布全球，被称作日不落帝国。新教伦理孕育的资本主义精神使其注重创新，岛国的造船技术使其注重动力革命。17世纪的资产阶级革命为科学技术发展创造了良好的社会条件，蒸汽机在棉纺织业的应用带来的工业革命又创造了良好的经济条件，皇家学会的科学传统造就了一大批世界级的科学家。英国的基础研究传统使之到19世纪末、20世纪初仍保持其相当的优势。英国是力学、电磁场理论和进化论的创始地，首先发现电子和原子结构。

法国的政治大革命，带来了思想解放的新局面，促进了科学的繁荣；18世纪末以来开办了一批技术专科学校，建立了国家综合教育体制，培养了一大批出色的工程师，涌现了一大批优秀的专职科学家。法国政治体制的作用推进了其科学技术的运行发展。

德国的哲学传统培养了其理性精神。1809年成立的柏林大学等高等院校，培养了一支基础扎实、训练有素的科技队伍；19世纪后期，德国的科技体制和教育体制在世界上是最发达、最成功的；随着国家级研究机构的建立，德国十分重视基础研究和应用研究，工业研究实验室的首先崛起说明德国较早重视研究与开发、重视产学结合，开创了其辉煌的化工、电力时代。20世纪最伟大的科学发现是相对论和量子力学，其主要部分是德国人完成的。德国长期形成的学术传统以及科学家的哲学素养是其持久潜力所在。

美国的科学技术发展占全了天、地、人的优势，它及时进入工业革命的行列，良好的地理环境条件、丰富的自然资源、欧洲移民的冒险创业精神、战后引进的大量智力资源和雄厚的经济实力、自由的科研体制等都使它的科学技术有良好的综合社会运行条件。国家对研发投入的重视、工业研究实验室的研发实践、高技术的崛起是其科学技术和经济发展的重

要保障。

科学中心形成之后，又成为吸引世界各国青年学者定居、学习的地方，成为培养一流科学家的摇篮，为下一个科学中心准备了条件，例如，法国科学家留英、德国科学家留法（李比希、维勒等著名的德国化学家都是留学法国的）美国科学家留德从 1870 年到 1915 年，美国科学家中有一大批都是留学德国的博士）。

科学技术社会运行的不平衡性是从整体水平上说的，不是科学中心的、相对落后的国家和地区仍然可以有重要的科学成就，这同重视基础研究，并注意选择突破方向及适当转移研究重点等有密切关系。例如，战后最伟大的科学发现——DNA 双螺旋结构，不是在当时最强盛、条件最好、有深厚基因研究传统的美国出现，而是在遭受战争严重破坏的英国卡文迪什实验室出现的。在战后经费困难的时期，卡文迪什实验室由开辟利用 X 射线衍射进行矿物晶体结构的分析技术转而进行生物大分子的结构分析，力图从分子的角度了解生物的遗传和生命现象的本质；利用在二战中发展起来的雷达技术，进行天文的观测和研究。由一个以物理学前沿为主要研究方向的世界知名实验室，改为利用物理学发展出的仪器和物理学家的思维方法，重点从事天文和生物的研究，这一转向的选择非常重要，使其在天文学上发现了类星体和脉冲星，在分子生物学上发现了 DNA 的双螺旋结构，并获得 1962 年的生物和医学诺贝尔奖。卡文迪什实验室分子生物学方向培养了好几位诺贝尔奖获得者。^①

二、过程（时间）运行的不平衡性

恩格斯早已指出，科学的发展同前一代人遗留下来的知识量成正比。美国科学学家 D. 普赖斯在 E. 赖德“藏书量每 16 年翻一番”的发现基础上，提出众多领域的各种科学指标都有其成倍增长的周期，体现科学发展的加速规律，即科学的指数增长律。如物理学家、重大科学发现、化学元素、大学生等数目及仪器精密度为 20 年 科学期刊、科学文摘、化合物、科学学会会员、学士等数目为 15 年。小行星发现数、行列式、非欧几何、伦琴射线、心理学等文献数及交通速度、发电量等为 10 年，等等。普赖斯给出一经验公式 $W = \alpha e^{\beta T}$ 微分得 $dW/dT = KW$ ，即表示科学指标的增长速度与已有的科学指标数成正比，完全印证了恩格斯的定性预言。

除了绝对指标外，相对指标也有类似规律。技术进步在国民经济增长中所占比重，即科技在经济增长中的贡献率，美国从上个世纪交替时期

参见周光召：《历史的启迪和重大科学发现产生的条件》，载《科学时报》，1999.12.8。

的 25.6% ,增至 20 世纪 70 年代时的 75.2% ,现在一般发达国家都在 60% ~ 80% 之间。中国的经济增长方式也正在进入从着眼粗放要素 (资金、劳动力) 到注重集约要素 (技术进步) 、从扩大外延到提高内涵的转变中。此外,还有 R&D/GDP 、科研经费与国民收入的比例等。

由于科学技术发展呈指数增长,各种科学指标增长迅速,促进了科学计量学的发展。^①

三、科学发展的不平衡性

由于科学自身逻辑和社会外在选择的共同作用,会产生科学发展的不平衡性,表现为科学的整体和科学的个体 (学科、理论) 发展的不平衡性:前者表现为上述的空间和时间发展上的不平衡性;后者主要表现为学科发展中的不平衡性,如在科学发展的不同时期,会形成不同的带头学科,且不断更替。带头学科的形成和更替,显示了科学的内在活力,促进了科学的发展。

学科发展的不平衡性主要是由于自然界的层次性、人类认识能力的局限性、社会需求的选择性等产生的,恩格斯早已发现了这一现象,他指出:“在自然科学的历史发展中最先发展起来的是关于简单的位置移动的理论,即天体的和地上物体的力学,随后是关于分子运动的理论,即物理学,紧跟着它、几乎和它同时而且有些地方还先于它发展起来的,是关于原子运动的科学 即化学。”^②苏联科学史家、哲学家凯德洛夫运用历史比较法、统计分析法对科学史实进行逻辑重组,提出带头学科更替的理论。

带头学科是指在一定时期内,在发展水平和发展速度上走在其他学科前头,并对整个自然科学的发展产生重大影响的学科。带头学科可以是单一学科或一组学科,它们交替领先。苏联哲学家凯德洛夫 (1903—1985) 描述了带头学科从近代到现代的更替过程,即:力学;化学、物理学和生物学;微观物理学;控制论、原子能科学和宇航学。他预言新的带头学科是分子生物学,下一个带头学科将是心理学为主的一组学科。凯德洛夫提出了带头学科更替的经验定律: $T = 200/2^n$ 。可见带头学科更替有周期性,且持续时间呈对半递减趋势,显示其加速性,这构成科学增长的质的特点。

凯德洛夫的带头学科的思想很有价值,如“科学的突破点往往发生

参 见 D. 普赖斯:《巴比伦以来的科学》河北科学技术出版社 2002 年版。

恩格斯:《自然辩证法》人民出版社 1971 年版 第 53 页。

在社会需要和科学内在逻辑的交叉点上”等，这部分给出了带头学科产生及更替的原因。因为，社会需求的选择和社会支持的推动，会促进相关领域的发展；重大的科学发现，一般是在学科交叉的生长点上出现，并不是按照常规计划，在可预见结果的情况下进行实验和逻辑推理能够得到的。

所以，既要进行单个学科的深入开拓，又要重视不同学科的交叉融合；既要关注社会需求的选择，又要顺应科学自身逻辑发展的规律；既要注意学习带头学科的理论和方法，又要了解把握当前学科和领域的变化……只有驾驭科学发展的不平衡性，瞄准新生长点，探索新的研究方向和实现途径，才能取得科学技术社会运行的主动权，实现科学整体的协同进化。

四、技术发展的不平衡性

由于技术自身逻辑和社会经济发展的不平衡性影响，造成技术发展的不平衡性。表现为区域、国家、国际范围的不平衡性；历史发展过程的不平衡性。自然地理、资源状况、生产方式、经济水平、文化背景、甚至宗教信仰等都会影响这种不平衡性。因而出现了技术引进、技术转移、技术贸易与技术市场、境外技术开发、技术联盟合作开发等技术发展形式。随着全球化趋势的增强，促进了国际间的技术发展，由此也造成诸多文化冲突。

第一，技术引进。这是一种从国外引进相对先进的技术成果，进行产品开发生产的形式。这种技术开发形式通常是落后国家为追赶先进、提高竞争起点和缩短竞争差距采用的方法，由于一国技术发展的不平衡性，使发达国家也要进行技术引进。日本在二战后有计划、有组织的技术引进，成功地促进了其经济发展。

第二，技术转移。这是一种企业将国内母公司所开发出的技术，转移到国外子公司，以此提高企业整体技术水平的方法。美国国际大公司新开发出的技术成果大约有 80% 是通过这种方式移到海外的。企业间的国际合作关系也可以实现技术转移，一般需要相应等价的条件。广义的技术转移，应包括技术输出和技术引进。

第三，技术贸易。一般指技术的国际贸易，高技术国际贸易在发达国家中十分盛行。测量国际技术贸易的一个重要指标是“专利自我满足率”的下降幅度。据世界经济合作与发展组织统计，在西方七个主要发达国家中，除了加拿大和日本以外，其他国家对外国专利的需求发展十分迅速，自我满足率都呈大幅度下降趋势。

第四，境外技术开发。随着全球化、国际化发展，企业尤其是欧美发达国家的国际性企业，在境外进行生产的同时，开始在境外设立研究开发机构，充分利用国外的智力资源。这一趋势还在加强。

第五，技术联盟合作开发。随着新技术、新产品开发成本和风险不断增大，也为了更好地优势互补，一些企业组成技术联盟，合作进行技术开发。这种技术联盟大都是跨国的，具有多文化特征，既有互补性，又有冲突性。

从科学技术发展不平衡性，产生了现代科学社会运行的新观点与新规划，为了加速实现科学技术现代化，必须深入研究世界科技史、中国科技史、当代科学技术发展的趋势，以便保证科学技术业按照历史发展规律顺利前进。

第三节 科学技术社会运行的保障

现代社会是一个动态的复杂巨系统，科学技术作为它的一个极为重要的子系统，必然和其他子系统相互联系、相互制约与相互作用，并且必然要受制于社会运行环境系统的综合影响。从系统的观点建立科学技术的政策、法规与组织机构，并使之制度化，以便对科学技术活动进行合理的调节控制，保障其健康持续地运行发展，这是科学技术社会运行必须解决的重大问题。

一、建立保障研发活动社会运行的机制

在科学技术与生产一体化、科学技术与社会一体化、科学技术成为国家的战略产业的新形势下，为抢占高技术这个制高点，必须建立国家创新体系，以保证科学技术社会运行中经济、政治、文化、教育等因素的协同作用，促进科学技术的发展。

国家创新系统实质上是通过研究与发展促进科学创新与技术创新的组织和制度系统。实现科学创新与技术看创新需要一定的组织形式与制度保障。首先是创新必须要有主体，即组织，包括企业、大学、研究机构和政府部门等。其次组织活动必须要有规范准则，即制度，包括资金投入、运作、成果产出、转化、市场反馈等。因此，建立创新系统的目的就是要建立科学技术在不同主体间的流动机制、促进这种流动的组织方式和对其进行调控的机制，从而保证研究与发展顺利进行。在市场经济条件下，研发过程往往不是从基础研究经应用研究，进而推进技术和产品创新的线性过程，而是与科学、技术、生产、市场和政策等诸多方面的相互作用，通

过复杂的反馈机制进行的过程。

国家创新系统还是一个以市场为基础的资源配置系统。因为创新是一项与市场密切相关的活动，企业是市场的主体，理所当然地也是创新的主体。从知识流的角度看现代企业的创新活动，说到底科学技术知识的创新，科研机构 and 大学是科学技术知识创新的策源地，是重要的科学技术创新源。随着知识经济时代的到来，国际竞争的焦点不仅是各种生产活动的最终产品，而且是各种知识活动的成果；竞争战线从生产、市场明显前移到产品的研究开发阶段乃至基础研究阶段；竞争的层次由企业竞争上升到国家综合实力的竞争、国家创新能力的竞争。所以，国家创新系统对科研机构、大学与企业的资源配置发挥调控作用是十分重要的。

由于创新过程中主体间的联系、知识在各组织间的流动等，^①国家创新系统还必须建立创新主体的激励机制，提高创新主体的创新意识和创新能力，增进各创新环节的系统整合，促进产学研协同创新，弥补市场的调节失效，保障创新中研发的基础投入，通过政策杠杆推进科技中介服务体系的建设等等。

保障国家研发能力、衡量国家创新系统力度，一般有如下指标： $R\&D$ 总资金、 $R\&D/GDP$ 、 $R\&D$ 增长率/ GNP 增长率、 $R\&D$ /国家财政总支出等。高技术领域的竞争首先表现在 $R\&D$ 的高投入上。一般发达国家 $R\&D/GDP$ 在 $2\% \sim 3\%$ 。而中国刚向 1% 迈进。美国正是凭借其 $R\&D$ 投入的明显优势，使其高技术及其产业化的创新活动处于世界领先地位。同样，高技术给美国带来的高效益，造就了美国“新经济”的神话。

科学技术和经济的全球化，促进了创新全球化，还出现了超出国家创新网络范围的国际创新网络。在国家网络与国际网络之间还有一个中间层次的网络，就是国家集团的区域性合作创新网络。如欧共体、北美自由贸易协议集团等经济组织，实际上也是与科学技术创新有关的组织，很多大型研究项目成为该区域成员国共同的合作项目。

二、建立保障科学技术发展的决策机构

国家的科学技术决策机构，根据科学技术发展规律、科学技术与经济的发展水平以及国家发展战略，制定战略、政策、法规、研发投入等，应用资金、市场、政策法律、社会创新组织等杠杆作用，保障和规范科学技术的社会运行活动。20 世纪 80 年代初，尼尔森等学者指出，在现代工业中，

经合组织（OECD）将之分为四类：企业间的合作研究；企业、大学与公共研究机构间的相互作用；知识与技术通过采用新技术与新设备等途径形成的扩散；人员的流动（1997）。

国家是科学技术这个最重要的生产要素的主要提供者。

第一，战略方针制定。科学技术与生产一体化表明：科学技术是经济和社会发展的首要推动力量，是国家强盛的决定性因素，为了适应市场经济体制和科学技术自身发展的规律，必须把科学技术与经济紧密地结合起来。我国早在 1985 年就明确提出“经济建设必须依靠科学技术、科学技术必须面向经济建设”的战略方针。从长远分析，科学技术创新，尤其是高技术创新，是一国构造未来产业国际竞争力和综合国力的根本所在。在当代，高技术产业竞争，是综合国力竞争的重要阵地，发展高技术，实现产业化，是带动产业结构升级、提高劳动生产率和经济效益的根本途径。为了推动高技术创新的可持续发展，必须提高政府对高技术创新活动的宏观调控能力，进而强化政府的创新供给。

第二，政策法规引导。要取得科学技术国际竞争的比较优势，除了企业行为的自然扩张、技术变革的内在推动外，还必须借助政府的政策导向、法规约束、管理引导等功能，去整合全社会创新主体的创新能力，形成国家创新系统与国家创新能力，推动科学技术创新活动的可持续发展。通过制定有关的政策措施，加强政府对高技术产业发展的参与、干预、组织、调控等职能是十分重要的。美国迈克尔·博腊和约翰·齐思曼通过考察日本高新技术产业发展的实践提出：国家的比较优势可以由国家的政策措施造成。政府的相关政策法规的设计、制定及其操作功能的实施能有效推进科学技术创新活动。因而，创建相关的科学技术创新的政策体系十分重要。

第三，产业升级调整。科学技术创新的直接和长远效果是国民经济产业结构的升级调整。产业结构升级进化是科学技术创新、尤其高技术创新之所以能形成新型生产力的基础和核心。通过高技术创新强化产业竞争力，是科技创新活动的核心和主要经济目标。高技术创新具有极强的产业调整和进化功能，同样，产业结构调整需求成为影响高技术创新活动的重要因素。因此，政府必须通过战略、政策的研究、制定和实施，最有效地发挥宏观调控作用。

第四，研究开发投入。作为高技术创新活动基础和前提的研究与开发，随着高技术创新活动社会化、产业化、国际化发展趋势的日益增强，政府的研发投入便愈益重要。政府研发投入引导，是提高全社会投入规模的重要手段。政府还可以通过相关优惠政策，鼓励各种有效资金进入 R&D；通过国际交流合作形式，引导跨国公司的 R&D 巨额投资。

第五，区域示范探索。高技术开发区或科技园区的建设和发展，成为高技术企业的集聚区域，是国家具体实施高技术发展计划的有效途径。

不少国家把高技术产业化创新活动作为优先发展领域加以扶持，为开发区的建设和发展提供各种有利条件，提高开发区在经济增长方式转变进程中的示范功能和探索功能，从而为科学技术社会运行、为国民经济整体运行质量的提高提供政策试验功能。

三、建立适应市场经济的科学技术体制

1. 科学奖励制度

由于科学家的职业特点、科学劳动的复杂性、科学发现和科学成果的公有性等，使科学贡献的同行和社会承认及相应的奖励显得特别重要。科学奖励系统的出现，源于对科学职业动力机制的深入考察和分析。默顿对科学家争夺科学发现优先权这一现象进行分析后，首次提出科学奖励系统的概念，以揭示科学体制本身的动力机制。正如 B. 巴伯指出“如同货币使市场运动起来一样，奖励系统使科学‘运行’起来了。”科学家从事研究工作，尽管动机各异，但最终结果是增进知识，科学知识的公有性使其不能拥有自己独创性成果的支配权，唯一权利即在使用时承认其贡献。所以，同行和社会对科学家增进知识的承认和荣誉，是最重要的奖励。

科学奖励系统的实质是对科学家独创性贡献和科学能力的承认。默顿、科尔兄弟、哈格斯特龙等对科学奖励系统的结构进行过系统分析，各自提出过自己的分类系统。科学奖励系统的特点是荣誉性、层次性、变动性，其功能在于促进优势积累、引入竞争机制、有利社会控制。科学奖励制度的建立和完善，将倡导科学家的社会规范、改善科学评价体系、优化科学的社会建制、推进科学事业持续稳定地发展。

在知识生产的社会活动中，知识生产者始终处在高度紧张的工作状态。通过考察和探索科技工作者从事研究与创新工作的社会动因，引起了社会学对“承认”这个概念的重视。所谓承认，就是对科技工作者“角色表现”在体制上的认可。社会学家认为，“角色表现”和承认之间并没有必然的联系，必须经由一个社会过程的评价。而评价的准则，就是以上提到的普遍性规范。科学家虽然有对创新的强烈追求，且通常能以此来激励自己。但是，这种不懈的追求只有在其研究成果得到及时的社会承认时才能维持。在社会行为学的研究中，有许多学者都对承认的功能进行过有益的探索。美国心理学家斯金纳（B. F. Skinner, 1904—1990）认为，强化是行为控制的核心。如果被期望的行为得到激励，那么这些行为再次发生的可能性将会增加。承认是科学家继续承担其角色的重要保证，因而是其创新工作的“能源”。

由于发现与发明的不同，科学与技术对承认的要求也不同。科学家所期望的承认，实际上就是发现的优先权。只有导致知识增长的发现的首次公布才有意义，因此发现的优先权得到极大的关注和尊重。默顿对优先权给予了一种独特的社会学解释。他认为，科学建制的目标是增长知识，这就把科学发现的独创性推到首要地位。科学规范要求科学家必须公开其发现，并接受科学界同行的审查、鉴定。而科学家把其知识贡献给整个科学界，自己并不占有其研究成果。因此，作为对其成果公开的报偿，科学共同体给予其发现的“优先权”。^①

优先权激发了科学中的奥林匹克精神，即科学竞争精神。科学知识总是由科学家生产出来的，并打上个人的标记。作为独创性知识产品的生产者，应首先得到科学荣誉，获得最大的社会承认。这就极大地激发了科学家的首创精神。

2. 技术专利制度

技术因其知识的专有性而注重技术发明的专利权。专利法和专利制度是技术创新成果的权益及其有序扩散和转化的保障。与此同时，对技术成果及其使用价值的评价，便成了技术社会承认的最重要依据。

与科学发现的优先权相对应的是技术发明的专利权。科学的直接目的是认识自然，技术的直接目的是利用、改造、创造、控制自然。技术是直接的、较多体现为物质形态的生产力，它与社会、经济、生产力的关系更为密切。技术评价的标准是权衡利弊得失、追求功利性。因而，如同科学因其知识的公有性而注重科学发现的优先权一样，技术则因其知识的专有性而注重技术发明的专利权。技术专家提交的成果通常被称为“技术发明”，技术发明的结果是创造出自然界原来所不存在的人工产物。与科学发现不同，技术发明的前期智力和资金的大量投入，以及技术发明的公开可以带来可观的商业利益，即后期模仿和增值的易获利性，都必须通过专利来调节，以保护发明者的自主知识产权，制约获利者，并保障前期投入的回收。这就引出了专利权的保护问题，要承认科技成果在这种情况下具有经济学上的意义，不能像那些“公有化”的知识，可以无偿占有，而要按其使用价值，支付数额不等的“货币”。

专利制度是技术社会建制的重要组成部分，也是技术社会运行的润滑剂，它是对技术创新成果的权益及其有序扩散和转化的保障。专利制度是否完善通常是衡量技术创新体系是否健全及富有活力的标准。中国进入 WTO 后，能否从制造中心转向研发中心，能否全面与国际接轨，提

高科技人员和企业的专利意识及完善专利制度是十分重要的。

值得注意的是，在近代，更确切地说在小科学时期，无论科学发现还是技术发明都时常出现优先权之争，但到了现代，由于科学技术的高度体制化和社会化，对于能在产业上迅速应用的新发明，不再通过给予优先权而主要通过给予专利权作为其被公开的一种报偿。因而，技术承认如何从奖励转向专利十分重要。专利制度无须组织评奖，把专利发明者的收益直接从专利实施所带来的效益中提取，可以减少国家奖励开支；而且把评判权交给社会，可以按照市场需求调节技术活动的方向和节奏，有利解决科技与生产脱节问题；在激励技术开发人员积极性方面，也比奖励制度更有效。专利制度从法律上保护了发明者的劳动成果不受侵犯，且专利带来的效益越大，专利权人的回报也越大。

3. 科技中介服务体系

科学技术的社会运行中，由于科学技术活动的复杂性，使其各种因素及其活动过程的各个环节都不可或缺。除了科学技术自身运行过程各环节的中介服务外，还包括非技术、非生产性的中介服务，如律师、市场调查、咨询、公共关系、风险投资、产品分销等以及非生产性公司，包括研发实验室、产品设计室、猎头公司、相关辅助服务公司等。其中，市场经济条件下的科技创新活动、高风险的研发投入更需要通过社会化中介机构来推进。

在科学技术的创新活动中，产学研的结合非常关键。研究型大学、高技术公司、风险投资公司、创新者个体或共同体之间形成相互依存和促进的非线性共生作用机制，促进技术、资本、服务的协同作用。在市场经济条件下，尽管政府在其中可以发挥宏观调控的作用，但大量的、尤其中小企业的科技创新活动，主要通过社会化中介机构来实现。在科技与经济紧密结合的过程中，科技中介服务是重要的中介桥梁，它是科技服务于经济建设和社会发展的的重要途径，也是广泛吸纳社会各界力量促进两者协调发展的重要保障。

风险投资，从广义上说，是泛指所有具有高潜在收益，同时又可能蒙受高风险损失的投资。这里强调的是高风险和高潜在收益，而不是资金来源、分配、使用和经营管理。从狭义上说，风险投资则专指向高技术创新的投資。它集融资与投资于一身，汇资本与管理于一体。经合组织在1983年召开的第二届投资方式研讨会上认为：凡是以高技术与知识为基础，生产与经营技术密集的创新产品或服务的投资，皆视为风险投资。

科技中介服务体系建设的目标是组织网络化、功能社会化、服务产业化。它应包括科技过程的各个环节和科技服务的各个方面。例如，信息

综合服务（信息沟通与发布、信息咨询等），技术综合服务（技术管理、技术发展、技术贸易、技术成果转化、技术推广、技术诊断与仲裁等），专利和知识产权服务（专利和知识产权的咨询、管理等），风险投资服务（风险投资资金的募集、设立、管理、运作等）科技政策、科技法律法规服务（相应科技政策和科技法律法规的研究、咨询、决策及战略规划、系统策划等），科技人才服务（科技人才的管理、培训、咨询、合理调配、市场运作等）。科技中介服务体系的完善是科技社会运行体制化建设的新的的重要组成部分。

思考题

1. 试述现代科学技术的社会运行的新特点。
2. 为什么说研究与发展是科学技术社会运行的核心？
3. 请谈谈你对科学技术社会运行规律的理解和认识。
4. 如何保障科学技术在社会中健康、持续地运行？

第十五章 科学技术和社会发展

科学技术是历史发展的火车头，科学技术革命对世界历史的发展产生着重大影响，改变了社会经济的发展方式，深刻地影响着民族国家发展战略和发展道路的选择。本章论述关于科学技术与社会发展的互动的一些基本问题，以便把握当代科学技术与社会发展的趋势，展望和谋划未来的发展之路。

第一节 科学技术革命和社会发展新阶段

一、高技术产业群的兴起

1. 科技革命、产业革命和社会革命

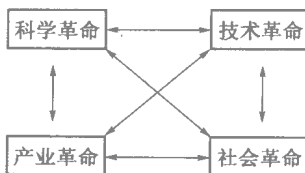
马克思主义认为，科学技术革命实质上是生产力革命，18世纪末开始的工业革命，“把工场手工业变成了现代的大工业，从而把资产阶级社会的整个基础革命化了”^①。这在现代科学技术革命与高科技产业群的兴起中，表现得更为突出。20世纪的科学、技术、产业与社会发展之间有了更密切的联系。

科学革命产生的是理论上的新成果，是人类认识世界的飞跃，它引起人们思想观念的变革；技术革命，是人类改造世界的飞跃，带来了新的劳动工具和劳动手段；产业革命，是人类物质生产方式的飞跃，它引起社会生产方式的变革；社会革命，狭义的是指社会制度的飞跃，它引起社会经济形态的飞跃，广义的是指包括社会制度变革在内的、社会生活与社会思想全面的和深刻的变革。

在古代，农业革命引起了人类物质生产方式的飞跃，导致了社会大变革，人类社会进入了农业社会；在近代，科学革命、工业革命引起了又一次社会大变革，人类社会进入了工业社会，从此开始了科学革命、技术革命、产业革命和社会革命之间的相互联系、相互影响与相互作用。这四种革命之间的关系，是网络式、反馈式的关系，即一种革命的发生必然会引起另外一种革命，并且其自身也要受到其他类型革命的影响。从系统的观

^① 《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社1995年版 第611页。

点来看,这四种相互联系、相互影响和相互作用的革命,其核心是技术革命。在这里,科学革命是它的理论前提,产业革命是它的直接后果,而社会革命则是它的深化和发展。



2. 现代科技革命与高技术产业群的兴起

20 世纪,科学革命、技术革命、产业革命和社会革命这四股革命力量汇合成一股强大的历史洪流,汹涌澎湃地推动着人类社会向前迈进。

以 20 世纪之初物理学革命的最新成果为基础,加上相继出现的信息论、基因论等科学理论的革命性进展,随着 20 世纪中叶电子计算机的问世和原子能的利用,高科技和高科技产业悄然兴起。于是,在科学技术的自身驱使和各种社会因素的拉动下,一大批在最新现代科学成果基础上迅速发展起来的高技术相继崛起,并最终形成了以电子信息技术为先导,以新材料技术、先进制造技术为基础,以新能源技术为支柱,在微观领域向生物技术、纳米技术开拓,在宏观领域向环境技术、海洋技术、空间技术扩展的一大批相互关联、成群集队的高技术和高技术产业群落。高技术产业以其高效益、高智力、高渗透,以及创新性、战略性和环境污染少等优势,对社会和经济的发展具有革命性作用,推动着人类社会的发展进入一个新阶段。

在这个过程中,科学与技术的结合更为紧密,科学技术对社会生产、经济发展的影响越来越大。科学技术上的每一次重大发现和突破,都会迅速地促进新的工业革命,并形成新的产业;同时,科技成果转化的周期也越来越短。科学技术在产品中的含量越来越高,达到了高度密集的程度。现代科学技术对社会生产的辐射和渗透程度愈来愈广泛和深入,社会经济和社会文化生活也都发生着重要的变化。科技进步日益成为社会经济发展的决定性因素,国际竞争已成为以经济实力为基础、以科技特别是高技术为先导的综合国力的竞争。

高技术和高技术产业群的形成和迅猛发展,改变了经济增长模式和社会发展模式,推动着人类社会进入一个崭新的阶段。

二、新的社会思潮

20 世纪中叶以来的科学技术革命的新阶段,也被称为新技术革命。

这场新的生产力革命是人类历史上继农业革命与工业革命之后的第三次技术革命，为知识经济、知识社会的到来奠定了基础。在这种新情况下，无论是东方国家还是西方国家，都对此给予了高度关注。正如本书“导言”中已经讲到的，苏联与东欧国家集中研究的新问题是科学技术革命（STR）引起的新产业革命的问题。下面我们评述西方发达国家中出现的若干具有代表性的社会思潮。

1. “知识产业”

美国经济学家马克卢普（Fritz Machlup）提出“知识产业”概念。马克卢普研究了美国从第二次世界大战以来至 50 年代末社会生产发展和产业结构变化的情况，将教育、R&D、传播业、信息设备和信息服务等划归为“知识产业”。他的研究发现 美国在 1947 年至 1958 年期间，知识产业以平均每年 10.6% 的速度递增，是国民生产总值增长率的 2 倍；1959 年，美国从事知识产业的劳动力已占全部劳动力的 31.6%；1958 年，美国国民生产总值中的 29% 来自知识产业。“知识产业”概念，对后来有很大的影响。

2. “后工业社会”

美国学者丹尼尔·贝尔（Daniel Bell）于 1973 年发表《后工业社会的来临》一书，全面地阐述了他关于未来社会发展的观点，他认为人类社会是从前工业社会（包括渔业社会和农业社会）经过工业社会向后工业社会发展的。后工业社会有五大特征：一是从产品生产经济转变为服务性经济；二是职业分布上专业与技术人员阶级处于主导地位；三是“中轴原理”，理论知识成为社会的核心，是社会革新的基础和社会决策的根据；四是未来的技术发展是有计划的，也是有节制的，技术评估占有重要地位；五是“智能技术”非常重要，制订各种政策都必须通过“智能技术”。这五大特征都是科学技术进步的结果，也表明了科学技术对于社会的发展越来越重要。他的分析认为，美国已进入了“后工业社会”。后来，丹尼尔·贝尔又指出，“后工业社会”实质上就是“信息社会”。拉波特在《信息经济》一书中，进一步把美国的经济结构分为六大部门，即三个信息部门、两个非信息部门和一个家庭经济部门。

3. “第三次浪潮”

阿文·托夫勒在 1970 年发表的《未来的冲击》的基础上，1980 年进一步发表了《第三次浪潮》。他认为，人类社会已经经历了两次浪潮，正面临着第三次浪潮。第一次浪潮即农业革命，使得社会结构、家庭结构、价值观念发生了根本变化，建立了农业社会。第二次浪潮即工业革命，社会的和经济的变化出现了群体化、标准化、同步化、集中化和大型化等特

点。第三次浪潮即信息革命，呈现出知识化、多样化、小型化、个人化和分散化的特点，人类社会正在走向未来的“超工业社会”。在这个社会里将出现《权力的转移》(1990) 知识、科学技术就是财富 就是资源 就是资本，就是权力，就是权力转移中的决定性的推动力量。他断言，资本主义和社会主义都是“工业时代的产物”，两种社会制度的对立和差异都将随着科学技术的进步和工业时代的结束而结束，趋向于“第三次浪潮”文明的社会。

4. “大趋势论”

1982 年，美国社会学家奈斯比特 (John Naisbitt) 提出“大趋势论”。奈斯比特研究了科学技术的迅速发展和社会信息化给社会生活带来的变化，把工业化社会之后的美国未来发展趋势归纳成十个方向，其中最根本的变化是工业社会已经变成信息社会。

奈斯比特的“大趋势论”与丹尼尔·贝尔的“后工业社会论”阿文·托夫勒的“第三次浪潮论”等，都是从新技术革命的新形势出发，认为人类社会的发展经历了三个阶段。虽然他们所用的名称有所不同，但实质上是一致的。这就是，在即将进入新的千年之际，人类社会正在面临着又一次历史性变革，正在进入一个科学技术是第一生产力的时代。

上述各种社会思潮，是从科学技术革命（实质上即生产力革命）所引起的社会变革提出来的思想学说。从马克思主义的观点看来，社会不仅包括生产力，而且包括生产关系（它表现为经济基础、上层建筑以及与之相适应的意识形态，特别是价值观念）。如果仅从生产力的角度考察社会的发展，忽略了生产关系，进而对社会经济形态作出判断，就必然会得出像丁伯根 (Jan Tinbergen, 1903—1994)、加尔布雷思 (John Kenneth Galbraith) 等提出的不同社会制度“趋同论”的错误论点。但是也应该指出，由于科学技术是第一生产力，研究由科学技术革命引发的产业革命及其对社会变革的影响是极为重要的课题；恩格斯就曾经从生产力发展水平出发，肯定了摩尔根把古代社会划分为蒙昧时代、野蛮时代和文明时代，认为这给人类史前史建立了一个科学的系统，因为物质资料生产的工具与使用它们的技能，“对于人类的优越程度和支配自然的程度具有决定的意义”。^① 现在，按照生产力发展的革命性变革，按照科学技术革命以及由它引发的产业革命，把社会划分为农业社会、工业社会、信息社会直至知识社会，这对推进现代化进程，实现邓小平提出的“社会主义的根本任务就是发展生产力”，无疑有着重大的理论意义和实践意义。

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷 人民出版社 1995 年版 第 18 页。

三、走向知识社会

现代科学技术革命正在推动人类社会从工业社会走向知识社会。

1. 知识经济概念的形成

现代社会在下列意义上是知识社会，首先，科学技术与生产之间的新型关系（突出表现在科学研究与技术开发的关系上）使得知识渗透到社会的各个方面。其次，经济的发展按 GDP 和就业情况来衡量，越来越多地依赖于知识领域的进步。知识社会的基础是知识经济，在知识经济中，知识是各种生产要素中起关键作用的因素。“知识经济”概念是 20 世纪 90 年代初联合国的研究机构提出的。美国阿斯奔研究所的《1993—1994 年鉴》指出：“信息和知识正在取代资本和能源而成为创造财富的主要资产，正如资本和能源在 300 年前取代土地和劳动力一样。而且，本世纪技术的发展，使劳动由体力变成智力。产生这种现象的原因，是由于世界经济已变成信息密集型的经济，信息和信息技术具有独特的经济属性。”它指出知识是重要的经济资源，这是对的，但是说知识“取代”物质资源容易引起误解。美国学者彼得·德鲁克认为，知识生产力已成为生产力、竞争力和经济成就的关键，知识已经成为首要产业，这种产业为经济提供必要的和重要的生产资源。

1996 年，世界经济合作与发展组织发表了《以知识为基础的经济》和《国家创新体系》两个重要报告。《以知识为基础的经济》指出，知识经济概念的形成，“表明对知识和技术在经济增长中的作用的更充分认识。知识作为蕴含在人（人力资本）和技术中的重要成分，向来是经济发展的核心。但是，只是到了最近几年，知识的重要性在增长，对知识重要性的认识在深化。成员国的经济比以往任何时候都更加依赖于知识的生产、扩散和应用，例如，在计算机、电子和航天等高技术产业中，产业和就业增长最快。……主要成员国的 GDP 的 50% 以上现在已是以知识为基础的。”

在世界经济合作与发展组织的报告中，将知识划分为四种类型：事实性知识（Know-What）、原理性知识（Know-Why）、技能性知识（Know-How）、人力资源知识（Know-Who）。其中，事实性知识和原理性知识是可以通过书本、数据库等途径获取的“明会性知识”（codified knowledge），但人力资源知识特别是技能性知识，则只能是在工作中学习的、深嵌于社会和组织之中的“隐会性知识”（tacit knowledge）。

2. 作为经济资源的知识

生产力和生产关系的辩证法告诉我们，当知识不仅是“生产力”中最

活跃的要素，而且已经成为各种生产要素中最重要的、支配性要素，即成为资本的时候，知识经济才是可能的。因此，知识经济概念的本质特征在于，经济增长主要来源于知识资本，而不是目前像工业社会那样主要是来源于金融资本。所谓的知识资本，其核心是特定的人才和技术组合之后的创造能力和这种能力的持久性。在知识经济时代，科学技术、知识成为发展的战略资源。

知识作为一种经济资源，不同于一般的物质资源，具有如下几个特点：第一，不可替代性。在经济理论中，所有物品是可以替代的，但每一种知识具有独特性，因此知识是难以替代的。第二，不可加和性。不遵从物品的加法定律。第三，不可逆性。人们一旦掌握了某种知识，便不可逆转，不可被剥夺；某种知识一旦传播开来，就不可收回。第四，非磨损性。知识在使用中本身不会被消耗，可重复使用。第五，不可分性。一条信息不可能被分成几个部分，在这里不存在半条信息的说法。第六，可共享性。所有物质商品都具有排他性，但一个人拥有的知识不排除他人也同样完整地拥有。第七，无限增值性。知识在生产、传播和使用过程中，有不断被丰富和被充实的可能性。^①

因此，知识作为经济资源，第一，改变了经济增长的方式，知识作为关键性资源成为了经济发展的动力，第二，体现了智力劳动的资产，包括专利、商标、版权等知识资产，第三，体现企业内在发展动力的资产，贯彻在企业的管理、经营方法、企业文化和企业的知识信息系统之中，第四，体现人力资源的资产，不仅是个人素质，而且整个企业员工的知识能力、工作技能、创新能力、合作能力等对于企业都是非常重要的。

随着知识经济的到来，科学技术的研究开发日益成为推进知识经济的强大动力；通信技术在知识经济发展过程中处于中心地位；服务业在知识经济中扮演了经济重心的主要角色；人力的素质和技能成为知识经济实现的先决条件；创新成为知识经济发展的关键。

在马克思主义看来，人们按照生产力的发展水平建立相应的社会关系，是生产力决定生产关系。生产力和生产关系的相互作用构成了生产方式的矛盾运动。生产方式是社会存在和发展的物质基础，在生产方式的矛盾运动中，生产力是主导的方面。生产关系一定要适应生产力的状况的规律表明，生产力是社会发展的最终意义上的决定性力量。生产力决定生产关系，进而决定着整个社会关系的基本面貌，决定着世界的历史进程。“17 世纪和 18 世纪从事制造蒸汽机的人们也没有料到，他们所制

作的工具，比其他任何东西都更能使全世界的社会状态革命化”。^① 现代科学技术革命所带来的，不仅仅是一大堆的高技术产品，而是整体性地将当代社会的发展推进到一个新阶段。

在现代科学技术革命的情况下，知识经济的出现表明科学技术的确成为了第一生产力。科学技术对于知识社会的到来，对于 21 世纪的发展，将发挥越来越大的作用。知识社会时代，是实现了科学技术是第一生产力的时代。中国特色的社会主义建设，实践“三个代表”重要思想，把是否有利于解放和发展生产力作为判断路线、方针和政策正确与否的根本标准，这就要求我们坚持科学技术是第一生产力的指导思想，最充分地适应时代的机遇和挑战，大力发展科学技术业，大力促进科学技术与社会、经济的结合，坚决地改革一切同科学技术发展不适应的生产关系和上层建筑，改变一切不适应的管理方式、活动方式和思想方式，创新发展，坚定地推进我国的现代化事业。

第二节 现代科学技术革命和经济增长方式

一、经济增长方式的变化

1. 科学技术、知识成为经济增长中的最重要因素

科学技术、知识对于经济增长的决定性作用为经济学家们认识，经历了一段漫长的过程。

18 世纪 70 年代古典经济学的奠基人亚当·斯密认为，经济的增长即财富的增加；土地、劳动、资本、技术进步和社会经济制度环境是影响财富增加的关键。斯密处在工场手工业向机器大工业过渡时期，因而他把劳动分工看做是技术进步的主要内容。大卫·李嘉图处在工业革命正在蓬勃进行的时期，他虽然和斯密同样认为，经济增长是多种因素综合作用的结果，但对于技术进步，斯密强调的主要是劳动组织形式的变化（即劳动分工），而李嘉图则更强调劳动工具、劳动对象（主要是农业改良与机器的运用）的变革。

20 世纪 40 年代后期，西方发达国家为了把亚非拉国家纳入发展资本主义经济的轨道，除了使用政治、军事的手段外，还企图通过经济增长速度产生“示范效应”，于是经济增长成为一个热点问题，出现了各种所

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷 人民出版社 1995 年版 第 384、385 页。

谓经济增长模型，它研究各种生产要素投入量与产量的关系，以明确经济增长的条件。其中的新古典经济增长模型是以柯布一道格拉斯生产函数为基础建立起来的。生产函数是指各种生产要素的某种组合可能生产的最大产量之间的依存关系，它以技术水平已知为前提。索洛模型指出，“技术进步”已成为现代经济增长的决定性因素，即科学技术不仅和资本、劳动力一样是经济增长的重要因素，而且在现代经济增长中已超过资本和劳动力的贡献而成为第一重要的因素。事实上，根据对一些发达国家的经济增长的测算，20 世纪初，科技进步对 GNP 增长率的贡献仅占 10%~15% 左右，到 20 世纪中叶上升到 40% 以上，20 世纪 70 年代以后又上升到 60% 以上，而 20 世纪 80 年代上升到 60%~80%。美国经济学家丹尼森(Denson)对经济增长因素进行了更深入的分析，他研究了教育(人力资本)、技术创新、知识进展、组织管理、资源配置等因素在经济增长中的作用，突出了“知识进展”、“人力资本”在经济增长中的贡献率。这些研究表明，新的技术革命、技术创新、科学发展和教育的贡献是使现代西方发达国家摆脱周期性经济危机保持经济持续发展的根本原因。

20 世纪 80 年代，科学技术对经济增长的巨大贡献已经有目共睹，出现了现代新经济增长理论，这就是 1986 年保罗·罗默(Paul Romer)提出的四要素的经济增长理论。四要素是：资本；非技术劳动力；人力资本(按接受教育时间的长短度量)；新思想(按专利数量度量)。不同于新古典经济增长理论中将“技术进步”作为外生变量来处理，新经济增长理论承认推动经济增长的主要是科技与知识在经济增长中的内在作用。在新经济增长理论中，科技创新是作为经济增长体系中的一种新的“内生”生产要素和生产条件，创新在此赋予资源以新的创造财富的能力，并赋予新的经济价值。因此，科技进步与创新构成了新的生产组合方式，以及促进经济增长和结构升级的新途径。

2. 科学技术的生产力功能的理论剖析

马克思主义经典作家把科学看成是“历史的有力杠杆”、“最高意义上的革命力量”，首先就是因为“科学是一种生产力”，“生产力中也包括科学”。

科学技术作为生产力要素，同劳动手段、劳动对象和劳动者这些实体性要素有所不同，即科学技术是知识形态的生产力或曰“一般生产力”。这种知识形态的生产力可以通过劳动者、劳动手段和劳动对象转化为“直接生产力”。

劳动者是社会生产力中起主导作用的最积极、最活跃的因素，劳动者的劳动能力不仅取决于体力的大小，而且取决于智力因素。随着现代科

学技术的发展及其在生产中的大规模应用,尤其是知识、科学技术密集型产业的兴起,发展和应用科学技术的人就更加成为生产力要素中的决定性要素。

生产工具的改进和革新史鲜明地体现着科学技术对于劳动资料的渗透和强化作用。科学技术劳动可以物化为劳动手段,既改变了劳动手段的性质,又改变了劳动手段的构成,极大地扩展了劳动手段的功能,提高了劳动手段的效率。

科学技术渗透在劳动对象之中,可以拓展劳动对象的范围,从原材料的加工深度的不断提高、新材料的开发利用,到自然资源的节约和高效利用以及保护,越来越多的自然力和自然物变成可以改造和利用的资源,进入生产过程的对象越来越深地打上了科学技术的烙印。

科学技术不仅渗透和作用于各个生产力要素之中,而且可以促进整个生产力系统的优化和发展,不仅是促进整个生产力系统诸要素的协调和平衡,而且还可以促进生产要素组合的不断创新,从而导致社会生产体系的结构调整 and 演化。同时,也就要求相应管理的优化和治理能力的提高。

在当代,科学技术的生产力功能得到了进一步的发挥,成为了生产力发展中的最重要的主导性因素,即科学技术成为了第一生产力。

二、社会经济结构的变化

现代科学技术革命本质上是生产力革命,导致生产关系的相应改变,体现为社会经济结构的变化。

1. 生产要素构成的变化

在农业经济中,经济的发展、财富的增长主要是依赖土地资源和劳动力,土地和劳动力成为主要生产要素。在工业经济中,资本和劳动力成为主要的生产要素,由于技术革命,生产力蓬勃发展,人类对于自然资源的开发能力不断增强,依靠对自然资源,包括对通过劳动所形成的生产资料的占有来积累财富,与此同时也使得大多数自然资源成为短缺资源。在知识经济中,知识成为了第一位的生产要素,它最主要的资源(其中包括智力开发、知识创新、技术创新和体制创新)是取之不尽、用之不竭的无形资源。应该指出,在知识经济中自然资源是物质基础,是丝毫也不能缺少的,只不过知识(智力)资源占据着主导地位,因为通过科学技术可以更合理、综合、高效地利用与开发自然资源,缓解自然资源枯竭的问题。

2. 产业结构的变化

产业结构随着经济的发展而变化,特别是随着科学技术的发展而发

生深刻的变化。产业结构反映一个国家的经济发展与科学技术发展的水平，它是国民经济进一步健康、快速发展的前提条件。农业经济的主导产业是种植业，形成了以第一产业为主导的产业结构；工业经济的主导产业是制造业，形成了以第二产业为主导的产业结构；而知识经济的主导产业则是高技术产业，它是带动产业结构变化的龙头。20 世纪以来，第三产业的迅速兴起以及第二产业本身结构的改变，体现了这种变化，因为在高技术的发展以及传统产业的改造过程中，服务性产业必然会兴起和迅速壮大。所以丹尼尔·贝尔认为，经济重心由制造业向服务业的转移是从工业经济向知识经济转变的结构变化。

3. 劳动力结构的变化

在知识经济中，高技术产业与制造业的一体化，服务业的知识化，迫切需要以先进技术和最新知识武装起来的“知识劳动者”，他们是接受较高度教育和培训、具有高素质和高技能的劳动力，劳动者的素质和技能发生了质的变化。

随着大规模的工业化生产时代向脑力劳动为主的知识经济时代的转变，劳动就业从知识含量低的工业化时期的主导产业部门向知识含量高的高新技术产业和知识含量高的服务业大规模地流动。据美国的学者预计，在未来的一二十年内，蓝领工人将会从 1995 年占美国劳动力的 20% 缩减到 10%，甚至更少。同时由于办公自动化，非专业白领工人的比例很可能从现在的大约 40% 减少到 20% ~ 30%，其余的 60% ~ 70% 左右的劳动大军可能由知识型人员组成。

表 2 三种经济形态的比较

项目 经济形态	发展生产的动力	主导产业	劳动力主要成分	主要的生产要素	技术进步对经济增长的贡献率	科研经费占 GNP 比例	教育经费占 GNP 比例
农业经济	劳动工具改进	从事农业种（养）殖业	劳动的劳动力占 80%	土地	10% 以下	0.3% 以下	1% 以下
工业经济	蒸汽机技术革命及电力技术革命	制造业	直接从事生产的工人占劳动力的 80%	资本	40% 以上 (工业经济后期)	1% ~ 2% (工业经济后期)	2% ~ 4% (工业经济后期)

续表

项目	发展生产的动力	主导产业	劳动力主要成分	主要的生产要素	技术进步对经济增长的贡献率	科研经费占 GNP 比例	教育经费占 GNP 比例
经济形态							
知识经济	新技术革命特别是以信息技术为主的高技术革命	高技术产业	从事知识生产、传播、应用的知识劳动者占劳动力 80%	知识	80% 以上	3% 以上	6% ~8%

来源 周绍森 陈东有。科教兴国论。山东人民出版社 ,1999。

三、全球化问题

1. 一个客观世界的历史进程

全球化是不可逆转的客观历史进程，是当代世界和社会的最重要特征之一。借助于当代科学技术提供的手段，特别是现代信息传递网络化对于生产、资本、金融、贸易国际化进程的推动，全球化的浪潮已经席卷世界各个角落，影响着人们社会生活的方方面面，无论是政府、企业还是个人，都不可避免地受到全球化的冲击。

马克思主义创始人尽管没有使用“全球化”这个术语，但是他们早就洞察到经济全球化的趋势，他们认为，这实际上是资本主义生产方式向世界范围扩张的趋势。在第一次工业革命时期，马克思和恩格斯就深刻地指出，由于生产工具的迅速改进，由于交通的极其便利，资产阶级通过廉价商品的输出，“迫使一切民族……采用资产阶级的生产方式”；^①由于开拓了世界市场，资产阶级“使一切国家的生产和消费都成为世界性的了”。^②

科学技术发展是不平衡的，各个国家的发展也必然是不平衡的，英国在第一次工业革命中成为“世界工厂”，由它供给各国成品，这些国家则供给它原料作为交换。在第二次工业革命时期，法、德、美等国家先后发展成了独立的资本主义国家，这些国家积累了大量“过剩资本”，为了提高资本的利润，于是资本主义生产方式扩张的手段，从商品输出变为资本

① 《马克思恩格斯选集》第 1 卷 人民出版社 1995 年版 第 276 页。

② 《马克思恩格斯选集》第 1 卷 人民出版社 1995 年版 第 276 页。

输出。由于在落后国家里，利润通常都是很高的，因为它们缺少资本，地价贱、工资低、原料便宜；并且由于铁路的发达，航空线的开通，电讯的快捷，许多国家卷入了世界资本主义的流通范围。正如列宁所指出的：“资本输出总要影响到输入资本的国家的资本主义发展，大大加速那里的资本主义发展。”^①因此，资本输出必然会扩大和加深资本主义生产方式在全世界的进一步扩张。

当代世界经济全球化从根本上来看，“是一场以发达国家为主导，跨国公司为主要动力的世界范围的产业结构调整”。^②它是指各国的商品、服务、资本、技术和人员的流动高速度大容量地跨越国界，在世界范围内相互开放、相互融合，并不断向纵深发展的趋势。由于当代科学技术日新月异，科学技术进步，特别是技术创新对经济发展、对竞争力的提高至关重要，因而技术输出（主要表现为技术贸易）代替了商品输出、资本输出，成为经济全球化中最重要的因素，由此带来的资源的全球性配置必然会对国际关系、社会关系等方面产生重大的影响。发达资本主义国家在平等竞争的旗号下，推行有利于发达资本主义国家的对外经济贸易战略，成为经济全球化的最大受益者。正是在这种激烈的竞争中，一方面是经济全球化，另一方面出现了政治多极化趋势。跨国公司在推行经济全球化过程中的行动，反过来也会对所在国家的经济的发展、科技创新的进步乃至社会文化的建设产生重要的影响。

全球化趋势同时也是一系列全球问题推动的结果。污染问题、资源问题、温室效应问题等等，都成为了当代世界共同面临的问题，都是某个国家或某些国家独自难以解决的问题，而需要世界各国的共同努力。例如，各国生物学家对于人类遗传基因问题的研究，各国科学家和工程师对全球气候变暖问题所作出的努力等等，都体现了这种全球问题推动着全球化。

在科学技术全球化方面，由于现代科学技术特别是高技术具有高度的复杂性和综合性，任何个人、企业或者单个国家，都不可能垄断性地占有全部科学技术知识和完成技术创新的全过程，都不得不通过国家之间、企业之间的科技交流与合作，来增加本国的科技知识储备，促进本国的技术创新，因而科技成果在国际上的传播、技术创新链条在全球的延伸，已越来越超越各国间有形边界的限制。《中国科技发展研究报告（2000）》将这种发展趋势概括为科技问题的全球化、科技活动的全球化、科技体制

^① 《列宁选集》第2卷 人民出版社 1995 年版 第 629 页。

刘力：《经济全球化 中国的出路何在》 中国社会科学出版社 1999 年版 第 2 页。

的全球化以及科技影响的全球化。

2. 积极参与全球化进程

尽管全球化的推动力主要来自发达国家生产力的发展，而且主要受益者也是发达国家，但是在一个全球化市场经济的环境下，全球化作为一种客观进程是不可阻挡的。拒绝或回避参与这个进程，只会使发展中国家的发展在全球化进程中不断边缘化，最终走向落后。

“放眼全球，行于足下”（“Thinking globally, acting locally”）是当代西方世界流行的警句，这对于发展中国家更是十分重要。而且，世界经济的全球化是与世界政治的多极化并存的过程；经济全球化之中同时存在着文化的多元化等等，因此这是一个既充满挑战也充满机遇的过程。

中国的发展离不开世界。作为一个发展中的大国，中国必须积极地加入到全球化的进展之中，坚持以经济建设为中心，进一步深化改革开放，积极参与，发现和争取机遇，在开放中求得发展，在参与中争取主动。

第三节 现代科学技术革命和发展模式的选择

一、现代科学技术革命与发展模式

1. 科学技术与发展

和平与发展是当代世界的主题。人类社会的历史进程是一个不平衡的、此消彼长、你追我赶的发展过程。世界各国的发展是不平衡的，这是事物发展的普遍规律在国家现代化发展过程中的表现。科学技术是推动历史前进的革命力量，它对人类社会的不平衡发展起着重要的作用。近代以来世界各国的发展历程，特别是当代后进国家和地区的追赶现代化，向我们展示了科学技术与社会发展的内在密切联系。

科学技术的发展同社会经济发展有着内在的密切关系。历史上，世界科学中心的转移路线和世界经济中心的转移路线大体上是一致的，呈现出正相关，前者是意大利→英国→法国→德国→美国，后者是英国→德国→美国。在两次工业革命之后，出现了三次后进国追赶先行国的成功范例。第一次是 19 世纪与 20 世纪之交，美国经济起飞花了大约半个世纪时间追上英国。第二次是第二次世界大战之后日本经济起飞，经过大约 40 年的时间成为仅次于美国的经济强国。第三次是 20 世纪 60 年代以来，韩国、新加坡的崛起。

无论是科学中心与经济中心的转移，还是后进国家追赶先进国家，值得注意的是，“科技兴国”主旋律是始终贯穿其中的。

美国是当今世界头号强国，综合实力遥遥领先于其他国家。究其原因，虽然不乏得天独厚、真正的地大物博以及历史机遇等内在和外在的条件，但是，重视科学技术和教育、强调创新显然是其中至关重要的因素。美国从建国之日起就注重科学技术和教育，到 19 世纪中叶已经结束了照搬欧洲技术的历史，在工业技术上开始走上了自主创新之路，在 19 世纪末所有的州都已经颁布了义务教育法，高等教育已经有了长足的进展。进入 20 世纪，美国的研发经费迅速增长，到第二次世界大战结束时已经成为世界头号科学技术和教育强国。

日本之所以能从一个资源贫乏、土地狭小的海岛国家发展成为经济实力仅次于美国的国家，科学技术和教育的作用功不可没。从明治维新之后的“教育立国”，到第二次世界大战以后的“贸易立国”、“技术立国”，再到 20 世纪 80 年代后提出“科学技术立国”可见“科技兴国”是其发展的基本轨迹。

20 世纪末期，一方面资本主义较为充分地适应了现代科学技术革命特别是新技术革命的新情况，进行了一系列的调整，从而获得了再度的繁荣；另一方面苏联等社会主义国家，却未能充分地适应现代科学技术革命特别是新技术革命的新情况，未能根据变化了的情况进行自我调整，从而导致生产力的发展停滞不前，在激烈的国际竞争和较量中处于被动地位。历史和现实都告诉我们，在不同的发展阶段、发展时期，只有结合自己的国情，选择好顺应时代潮流的、与自己国情相适应的科学技术和经济发展战略，才能赶上世界现代化的历史步伐。

2. 发展模式的新变化

发展由经济、社会、文化、科学、技术与价值观念等诸多因素组成，发展模式是对这诸多因素、过程、方面组成的作为有机整体的社会活动的一种抽象和概括，是对真实历史过程或有意识活动的一种近似的反映。

面对知识经济的历史潮流，发达国家中的美国独占鳌头，其经济自 20 世纪 90 年代以来持续增长，成为第二次世界大战以来最兴旺的增长期。为了充分地适应知识经济的新形势，保持其经济、技术大国地位，美国坚持以发展科学技术和教育为中心，不断地变革和调整自己的发展模式。

长期实施“技术立国”战略的日本，为了追赶知识经济时代的步伐，面向 21 世纪重新确立了“科技创新立国”、“知识产权战略立国”的基本国策，并相应地采取了一系列重大措施促进发展模式的进一步变化。

积极推进知识经济的进展也已成为欧盟各成员国的共识。欧盟委员会的《2000 议程》提出了“将知识化放在优先地位”；《为了建设一个知识

欧洲》的白皮书中再公布了欧盟迈向知识经济时代的基本思路，强调全面推进科研、创新、教育、培训，建设知识化社会。

联合国教科文组织 1993 年首次发表的《世界科学报告》指出：当今世界发达国家和发展中国家的差距是“知识的差距”。世界银行编制的题为《知识与发展》的 1998/1999 年世界发展报告也指出，穷国和富国不仅存在人均 GDP 的差距和人类发展指标差距，而且也存在知识和信息的巨大差距。而且，发达国家与发展中国家之间在创造知识能力与获取传播信息能力的差距甚至大于他们之间的人均收入差距。

对于发展中国家来说，知识经济既是新的机遇，又是新的挑战。许多发展中国家开始改变过去主要依靠自然资源或劳动力的发展战略，纷纷以这样或那样的方式实施科教兴国与可持续发展的战略，并采取了一系列与此有关的新的经济发展对策，包括：制定科技与教育发展的战略规划；加大科技与教育投入，保证科教事业发展；建立科技园区，加速推动科技产业化；大力发展信息产业，奠定知识经济的基石；加大人力资源开发，提高劳动者素质，逐渐形成和提高技术创新能力。

当代中国的发展，从马克思主义的立场和观点来看，实质上是以人与自然的协调发展为基础，以人和经济社会协调发展为目标，以科学技术进步为手段的发展。要促进以人为本的全面、协调、可持续的发展，贯彻落实科学技术是第一生产力的思想具有特别紧迫的现实意义。

二、面向知识经济时代的国家竞争力

国家的发展首要的是竞争力的发展，在世界新技术革命汹涌澎湃的形势下，国际竞争更是日益加剧。为了抢夺竞争优势，从美国、日本到欧洲国家，从政府到非政府组织，国家竞争力研究成为国家决策的一个重大问题。

1. 关于国家竞争力的研究

瑞士洛桑国际管理发展学院（IMD）主持的《世界竞争力年鉴》认为，国家竞争力是国家创造一个使企业有竞争力的环境的能力。一个有竞争力的环境是由本地化和全球化、吸引力与渗透力、资源与工艺过程、个人冒险精神与社会协调发展这四对基本力量塑造的。这四对力量通过国内经济、国际化程度、政府政策和运行、金融环境、基础设施、企业管理、科学技术和国民素质八个方面反映出来。因此，对国家竞争力的评价也主要从这八个方面入手。IMD 的国家竞争力评价，以大量统计数据和调查数据为基础进行的综合要素评价，是目前世界上最著名的国家竞争力评价方法之一。

在世界经济论坛 (WEF) 发布的《全球竞争力报告》中,竞争力侧重的是指一国或地区保持人均国内生产总值较高增长的能力。此报告中最初设计了三个国际竞争力指数:国际竞争力综合指数;经济增长排名;市场增长指数。后来,增加了经济创造力指数和环境管制体制指数这两个新的指数。该报告采用作者认为最新的理论来进行竞争力评价,使得竞争力指标具有多变性,并且其评价结果主要取决于评价者或调查对象的看法。

美国学者波特 (Michael Porter) 也进行了有关的大量研究,他发表了《竞争战略》、《竞争优势》和《国家竞争优势》等著作 通过对国家竞争优势形成原因的讨论,来分析国家竞争优势。他认为,国家竞争力最恰当的定义应当是生产率,而不是人均收入 (GDP) 或其他。他在批判了传统的比较优势理论和新贸易理论对国家竞争优势的来源的不正确的解释之后,提出了“钻石理论”来解释国家竞争优势的来源。波特的竞争优势理论有许多富有启发意义的观点。但钻石模型的许多结论并不适合于解释发展中国家的情况。他还提出了国际竞争发展的四阶段理论:生产要素驱动竞争;投资驱动竞争;创新驱动竞争;财富驱动竞争。在经济发展的不同阶段,竞争的产业是不同的。波特认为,一个国家从创新驱动阶段过渡到财富驱动竞争阶段,就进入了经济衰退时期。的确,一个国家的有竞争力的产业是在不断变化的,从工业化国家的发展历史看,一个国家有竞争力的产业首先是劳动密集型或自然资源密集型产业,然后由劳动或资源密集型产业向资本密集型产业过渡,最后由资本密集型产业向技术知识密集型产业过渡。创新驱动阶段之后也可能是其他产业或科技的发展的阶段,但出现经济衰退只是一种暂时的现象。

2. 国家竞争力的新变化

关于国家竞争力的研究成果表明,面向知识经济时代,以物品为基础的生产明显地转向以高技能、高技术和以服务为基础的生产;人们的经营理念也从高产量向高价值转化,转向更高层次的专门化的产品和服务;丰富的自然资源在竞争力提高中的作用已大为下降,甚至不起主要作用。与此相反,各国科学技术、知识经济的发展程度则成为其国际竞争力提高的中坚力量,成为该国经济能否获得长足发展的关键性因素。如巴西、印度、俄罗斯等国自然资源丰富但竞争力却较弱,而新加坡、日本、瑞士、芬兰等国自然资源匮乏而国际竞争力却十分强劲。

而且,当代国际竞争力的发展,已经从注重比较优势,进一步发展到注重全系统竞争力,即建设和完善国家创新体系,多层次、全方位地开发和培育国家竞争优势。国家创新体系是在全球竞争的战略高度上形成的

战略体系，也是国民经济可持续发展的基石。因此，我们也可以把国家创新体系理解为一种增强国家竞争力的“大战略”。

三、科学技术、知识与创新发展

1. 科学技术、知识与发展

世界银行的 1998/1999 年世界发展报告《知识与发展》，通过对 100 多个国家和地区的经济增长和发展实绩进行系统研究，指出“知识对于发展是至关重要的，因为我们所做的一切事情都依赖于知识”；“穷国与富国以及穷人与富人之间的差别不仅在于穷国和穷人获得的资本较少，而且也在于他们获得知识较少”。

通过研究，该报告提出了“以知识促发展”的新发展战略，强调知识在经济增长和发展中越来越显著地发挥着主导作用，指出加速知识的创造、知识的吸收、知识的传播、知识的应用的发展，是发展中经济体发挥后发优势，实现“缩小知识差距”和经济追赶的关键。

2. 知识促发展战略

知识促发展战略是新型的追赶模式，与科教兴国战略实质上是一致的。它强调投资于科学技术和教育，投资于人力资本，改革机构体制以提高吸收和利用知识的能力，旨在缩小中国与发达国家之间的知识差距，同时促进缩小城乡之间、地区之间的知识差距，从而实现“共同富裕”。缩小知识差距的主要途径一是获取全球或他国知识，二是提高本国和本地知识创新能力，三是提高广大公民吸收知识和运用知识的能力，四是培养和加强广大公民交流知识与信息的能力。促进知识获取、生产、吸收和交流四个方面的每一个方面都会对其他方面产生重大影响和协调作用。知识与信息不仅是最重要的生产要素，而且也是最重要的改革要素。当今世界，一国或地区在劳动力、土地、自然资源等有形因素上的优势不再是永远的优势，而知识及提高自己的知识潜力，获得动态比较优势才是发展关键，这使得发展中国家有着难得的发展机遇，有可能发展得更快些，甚至赶上工业化国家。

实施知识促发展战略，必须坚持创新发展。知识促进经济增长过程中，科技知识必须经过知识创新过程（新思想、新观点、新定理的创造与传播过程），知识的技术应用转化过程（新发明、新专利的创造与传播过程），知识的商品化过程（大生产技术、生产销售等过程）。其间需要工业化水平、人才政策、产业政策、科技资源、教育投入、资金投入和中介环境等系统要素的共同作用，还需要市场需求导向、市场需求拉动的反馈机制的作用。这种反馈，可以引导以知识为基础的资本投入，为相关知识创

新、研究开发、试制生产等环节提供资金和人才，并加快产业结构的升级换代。

在实施知识促发展战略中，技术创新，作为科学技术转化生产力的转化机制，其内涵也发生了实质性的变化。在工业经济时代，技术创新的速度、规模 and 方向主要是资本决定的，并且主要是由大企业承担的，在很大程度上是单个企业响应消费者需求的结果，因而基本上是一种线性模式，政府也很少参与其中。而在知识经济时代，技术创新的速度、规模 and 方向则主要是由知识的存量、发展速度与方向决定的，并且中小企业特别是以高新技术为基础的中小企业成为技术创新的主力军，尽管技术创新仍然是以企业为主体，但是现代科学技术发展的需要客观上要求企业协作攻关，要求政府从国家战略高度进行规划，创新活动在很大程度上已经网络化了。而且，与工业经济时代技术创新明显地带有民族性不同，知识经济时代的技术创新具有了全球性，是在政府、企业、个人等多层次上进行协调的技术创新，是多方面知识和力量综合作用的结果。

实施知识促发展战略，建设和完善国家创新体系具有基础性的重要意义。在全球化时代，国家创新体系的建设和完善，对科技资源的配置效率有重要影响，包括影响到可资利用的科技资源的质量和数量，从而提高国家竞争力具有关键性作用，是使国家保持持久竞争力的不竭源泉。创新系统可以通过国家行为来加以影响和建设，同时创新系统的建设也就对国家行为提出了要求：不断改善知识创新和技术创新所依赖的环境条件和制度条件。在这个过程中，适应知识创新和技术创新的制度供给是至关重要的因素。知识创新、技术创新和体制创新以及它们的扩散之间存在着相互促进和相互制约的关系，体现着生产力和生产关系矛盾运动的辩证法。国家创新系统建设就是要实现技术创新、知识创新和体制创新之间的整合与互动，促进科学技术与经济、社会发展的有机结合。正如江泽民指出的：“中国将致力于建设国家创新体系，通过营造良好的环境，推进知识创新、技术创新和体制创新，提高全社会创新意识和国家创新能力，这是中国实现跨世纪发展的必由之路。”^①

思考题

1. 试分析西方未来学关于社会发展阶段的理论观点。
2. 阐述现代科技革命对发展模式的影响。
3. 从国际比较的角度，思考我国的发展模式。

^① 江泽民：《论科学技术》中央文献出版社 2001 年版 第 207 页。

第十六章 科学技术和中国现代化

建设社会主义的现代化强国是中国人民肩负的伟大历史使命，本章从历史与现状出发，阐述科学技术在中国现代化中的地位和作用，在现代科学技术革命的新形势下，如何选择科学技术发展战略，以及在全面建设小康社会的过程中如何推动科学技术进步等问题。

第一节 科学技术现代化是中国现代化的关键

一、科学技术是推动社会前进的革命力量

马克思、恩格斯详细地研究了科学技术在推动社会转变中的作用，这方面他们有许多光辉的论述，例如：蒸汽机和棉花加工机的发明推动了产业革命，产业革命同时又引起了市民社会中的全面变革；火药把骑士阶层炸得粉碎，指南针打开了世界市场并建立了殖民地，而印刷术则变成科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆；19世纪产生了以往在人类历史上任何一个时代都不能想象的工业和科学的力量，等等。

近代以来，在两次科学技术革命的推动下，人类社会走向新的历史时代：

第一次是18世纪末的工业科学技术革命，在英国开始了世界史上的工业化过程，它把人类社会从农业社会推向工业社会。

第二次是20世纪中叶的信息科学技术革命，在美国开始了世界史上的信息化过程，它把人类社会从工业社会推向知识社会。

世界历史的现代化进程是从工业化过程开始的，所谓现代化一般认为是指从传统社会向现代社会转变的过程，这是世界历史发展的总趋势。当前正在进行的信息化过程并没有改变从传统社会向现代社会转变的方向，只是现代化的任务与内容有所不同罢了。从历史上看，科学技术是推动现代化进程的关键；并且，由于各个国家所处的历史发展阶段不同，经济基础、科学技术发展水平与价值观念不同，现代化所要解决的问题与任务也不同，因而在当代呈现出各种现代化理论。

中国的现代化是在毛泽东思想、邓小平理论与“三个代表”重要思想

的指导下，总结了我国革命与建设的经验提出的。根据我国处在社会主义初级阶段，市场经济体制正在完善，科学技术水平还相对落后的情况，党的十六大提出的中国现代化蓝图是：在经济建设和经济体制改革方面，完善社会主义市场经济体制，推动经济结构战略性调整，基本实现工业化，大力推进信息化；在政治建设和政治体制改革方面，发展社会主义民主政治，建设社会主义政治文明，推进政治体制改革，健全社会主义法制；在文化建设和文化体制改革方面，发展社会主义文化，建设社会主义精神文明，发扬民族文化，弘扬民族精神与爱国主义精神。现代化进程是上述这几个方面的互动过程，其关键是人的现代化，是全体国民素质的提高。

二、中国现代化的历史进程

1. 从鸦片战争到新中国成立

鸦片战争打开了中国闭关自守的门户，开始了现代化的历程。此后经历了洋务运动和辛亥革命运动一百多年的曲折道路。在中国共产党领导下，中国人民推翻了帝国主义、封建主义与官僚资本主义三座大山，建立了中华人民共和国，真正走上了现代化的道路。

2. 新中国成立后

(1) 20 世纪 50 年代的工业化

新中国第一代领导人提出了现代化的任务，当时主要是指工业化。这就是毛泽东提出的党的总路线：在一个相当长的时期内，逐步实现国家工业化和对农业、手工业和对资本主义工商业的社会主义改造。把工业化作为现代化的头等重要任务，这是因为，“社会主义的物质基础只能是同时也能改造农业的大机器工业”。^①

1953 年第一个五年计划开始，我国集中主要力量进行以苏联帮助设计的 156 个建设单位为中心的、由限额以上的 694 个建设单位组成的工业建设。1957 年社会主义工业化基础初步建立，这不仅表现在：工业总产值的比重增加、工业基本建设规模扩大、工业生产能力大幅度提高、工业比重超过了农业、工业技术水平提高，等等，更重要的是它为 60 年代至 70 年代“两弹一星”的发射成功准备了物质技术基础。

(2) 20 世纪 70 年代的现代化

邓小平提出，毛泽东同志已经“讲了四个现代化”^②。邓小平根据科学技术发展的新形势，不仅指出了加强企业的科研工作是多快好省地发

《列宁选集》第 4 卷，人民出版社 1995 年版，第 542 页。

② 《邓小平文选》第 2 卷，人民出版社 1994 年版，第 37 页。

展工业的一个重要途径，而且指出了科学技术现代化是四个现代化的关键，因为“没有现代科学技术，就不可能建设现代农业、现代工业、现代国防。没有现代科学技术的高速度发展，也就不可能有国民经济的高速度发展”。^①

(3) 20 世纪 80 年代后期

邓小平洞察世界历史的重大变化，特别是世界新技术革命浪潮的冲击，提出了“科学技术是第一生产力”的观点，认为“马克思讲过科学技术是生产力，这是非常正确的，现在看来这样说可能不够，恐怕是第一生产力”。^② 根据中国的具体情况，邓小平提出事关中国现代化的两项战略措施：一是尊重知识，尊重人才。靠空讲不能实现现代化，必须有知识，有人才。二是改革开放。长期闭关自守，把中国搞得贫穷落后，愚昧无知。如果不开放，再来个闭关自守，五十年要接近经济发达国家，肯定不可能。邓小平这里所说的现代化实际上包括了追赶世界新技术革命的任务，所以党的十三大提出两大历史课题：“我国的经济建设，肩负着既要着重推进传统产业革命，又要迎头赶上世界新技术革命的双重任务。”^③

三、中国现代化的关键是发展科学技术

在邓小平的理论观点指导下，1992 年党的十四大从“科学技术是第一生产力”的观点出发，提出：“振兴经济首先要振兴科技。只有坚定地推进科技进步，才能在激烈的竞争中取得主动。”^④ 并特别指出：“知识分子是工人阶级中掌握科学文化知识较多的一部分，是先进生产力的开拓者，在改革开放和现代化建设中有着特殊重要的作用。”^⑤ 因此在现代化进程中，必须“努力创造更加有利于知识分子施展聪明才智的良好环境，在全社会进一步形成尊重知识、尊重人才的良好风尚。”^⑥

1997 年党的十五大再次把“科学技术是第一生产力”的观点应用于分析新的世界形势，提出“要充分估量未来科学技术特别是高技术发展对综合国力、社会经济结构和人民生活的巨大影响，把加速科技进步放在经济社会发展的关键地位”，^⑦ 并着重指出：“人才是科技进步和经济社会

① 《邓小平文选》第 2 卷 人民出版社 1994 年版 第 86 页。

② 《邓小平文选》第 3 卷 人民出版社 1993 年版 第 275 页。

③ 《中国共产党第十三次全国代表大会文件汇编》，人民出版社 1987 年版 第 14 页。

④ 《十四大以来重要文献选编》(上) 人民出版社 1996 年版 第 25 页。

⑤ 《十四大以来重要文献选编》(上) 人民出版社 1996 年版 第 26 页。

⑥ 《十四大以来重要文献选编》(上) 人民出版社 1996 年版 第 26 页。

⑦ 《十五大以来重要文献选编》(上) 人民出版社 2000 年版 第 27 页。

发展最重要的资源，要建立一整套有利于人才培养和使用的激励机制”，^①要制订科学技术发展规划。

2002 年党的十六大进一步论述了发挥科学技术作为第一生产力的重要作用的问题，强调马克思主义执政党必须高度重视解放和发展生产力，特别是以科技含量高为标志的先进生产力，提出要“注重依靠科技进步和提高劳动者素质，改善经济增长质量和效益。加强基础研究和高新技术研究，推进关键技术创新和系统集成，实现技术跨越式发展。”^②

目前，信息技术正在向数字化、综合化、智能化发展，专家们普遍认为：数字化将成为信息技术发展的新动力，而信息技术、信息网络则是新生产力的突出的代表，在优化物质经济增长方面具有不可比拟的重要作用。但是应该指出，信息技术不可能取代物质经济的增长，必须清楚地认识到：信息资源虽然是与物质资源同等重要的资源，但知识生产必须与物质生产相结合，软件制造必须与硬件制造相结合，信息网络技术必须与传统经济相结合，才能形成推动 21 世纪经济和社会发展的强大动力。

第二节 现代科学技术革命和中国发展道路

一、现代科学技术革命改变了传统的工业化道路

从 20 世纪 50 年代到 80 年代，出现了如下两个新的情况：

一是以信息技术为核心的世界新技术革命的兴起。在经济发达国家出现了新的技术群，这就是：新材料技术、新能源技术、信息技术、生物技术、海洋技术与空间技术，其特点是新技术、新产业的发展采取群体的形式并且是知识和技术高度密集的群体（从而也是资金密集的）。

二是可持续发展观的提出。联合国第一个发展十年（1960—1970）要求发展中国家 GDP 增长 50%，重点是发展工业，结果以牺牲农业为代价，造成没有发展的增长，甚至是没有增长的负发展。此后经过“宇宙飞船经济学”、《只有一个地球》、《增长的极限》等对发展道路的反思和探索，联合国在“人与生物圈计划”“人类环境会议”等的基础上，于 1987 年发表了《我们共同的未来》一书，该书以“可持续发展观”为指导思想，从保护和发展环境资源、满足当代和后代的需要出发，提出了一系列政策

^① 《十五大以来重要文献选编》（上），人民出版社 2000 年版 第 28 页。

^② 《全面建设小康社会，开创中国特色社会主义事业新局面——在中国共产党第十六次全国代表大会上的报告》，人民出版社 2002 年版 第 22 页。

目标和行动建议，它得到了国际社会的广泛接受和认同。

1. 新技术革命对产业结构的影响

按照马克思主义的观点，新技术革命实质上是生产力革命，它必然引起社会经济结构的深刻变化。从社会生产和再生产过程来考察，社会生产过程既是人类生活的物质生存条件的生产过程，又是一个在历史上经济上独特的生产关系中进行的过程，因而社会经济结构包括人与自然之间的关系和人与人的关系；^①而产业结构则是由技术、由人对自然的能动作用决定的，它反映生产力结构，是社会经济结构中首先发生变革的。

首先，产业结构的改变。当前由六大新技术群（材料、能源、信息、生物、海洋和空间）引起的新技术革命必将带来产业结构的深刻变革。在六大新技术群中信息革命与生物革命是核心，因为，前者带来信息社会，是社会形态的变革；后者带来农业革命，是人类社会经济可持续发展的根本保证。

由于信息技术革命，一个新的产业部门——信息业兴起和迅速壮大，它突破了传统的“农业—工业—服务业”的产业结构，产生了新的即“农业—工业—服务业—信息业”的产业结构，这样，原来的“三次产业分类理论”便落后于实际情况了。

早在 20 世纪 70 年代后期，美国学者波拉特在《信息经济》中，就已经根据新产业革命的新情况，提出了“农业、工业、服务业、信息业”的四分法，并据此把美国的经济结构分为六大部门：第一信息部门，它包括一切为现存市场制造信息机器或出售信息服务的产业；第二信息部门即政府公共部门，它包括联邦政府、州政府、地方政府中能发挥信息功能的部门；第三信息部门是民间管理部门，它是在非信息企业中从事纯粹信息活动的部门；其余的三个是公共制造部门、民间制造部门和家庭经济部门。

世纪之交，新技术革命策源地美国的信息业在计算机技术与通信技术相结合的基础上，已经迅速发展成为一门极其庞大的产业，其中包括电信业、通信产品制造业、计算机产业、软件产业、信息服务业、消费电子产品制造业、集成电路产业、基础电子元器件产业、邮政通信业、军事电子工业等。^②

信息技术革命引起了产业结构发生以下深刻的变化：

第一，产业结构由工业为主导转变为信息业为主导。产业结构是一

参见：《马克思恩格斯全集》第 25 卷 人民出版社 1974 年版 第 203 页。

② 参见吴基传主编：《信息技术与信息产业》 新华出版社 2000 年版。

个国家的劳动力、资本，以及其他资源在国民经济各个产业部门之间的分配状况及其相互制约的方式。新产业革命产生了一种新的社会生产力，在劳动发展史上形成了三大生产力，即农业生产力、工业生产力、信息生产力。与此相适应的社会形态是农业社会、工业社会、信息社会。未来学家奈斯比特认为，美国目前正在实现从工业社会向信息社会的转变，“在这个新社会里，有史以来第一次，我们大多数人要处理信息，而不是生产产品”^①。

第二，产业类型从劳动力密集转变为知识密集。信息技术产业化和传统产业信息化，使生产要素的投入发生了重大的变化，在诸多的生产要素中，知识、技术、信息占据头等重要的地位，“科学技术是第一生产力”成为信息时代社会生产的一个主要特征。随之劳动力结构发生了变化，主要表现在：知识密集型的高新技术产业如旭日东升，它的就业人口在国民经济中所占的比重越来越大。以美国而论，20 世纪 50 年代末期，它的信息业就业人口就已经超过了工业就业人口。目前，随着信息技术产业化与市场化的迅速发展，以计算机为核心的信息产业更是一日千里，它的产值占 GNP 的比例不断地提高，成为美国的主导产业和规模巨大的经济支柱；美国提供日益增多的就业机会的职业，大部分是在信息产业领域。

第三，消费结构从硬化转向软化。在美国国民生产总值中，居民消费支出部分大约占 2/3。随着生活水平的提高，吃、穿、住等基本生活费用的硬性开支在居民消费结构中所占比重逐渐降低，对精神生活和服务方面的软性开支所占比重逐渐增大。据统计，美国个人消费结构中用于劳务方面的开支比重中软性开支呈逐年上升的趋势，其中家庭消费结构向信息化转变是明显的，因为，其一，现代信息技术手段逐渐为家庭所必需，据统计，美国拥有个人计算机的家庭以千万计，现仍在迅速增加，电话普及率在 100% 以上，电视机近 100%。其二，信息高速公路多媒体传输声音、图片、图像、数字等，提供日益增多的家庭服务，势必使家庭消费结构向信息化转移。

信息业的兴起和壮大对国民经济结构的影响是多方面的，诸如投资结构向信息产业倾斜，企业规模结构中增强了小企业的作用等，都反映出经济结构向信息化发展的特点。

其次，就业结构的改变。原来的就业结构是三大类：第一类广义的农业；第二类工业；第三类服务业。信息业的出现改变了就业结构，信息业就业人口的比重大大超过其他三类产业，专门以知识、信息为劳动对象的

智力劳动者越来越多。据统计，美国信息产业的就业人口每年都有大幅度的增加，其中特别是信息服务就业人员增长的势头更猛。传统产业的信息化，使得传统产业就业人员不能适应新的工作岗位而面临失业。

现在发达国家已经从传统的工业化转向以信息化为主导，以工业化为基础的道路，并据此进行产业结构调整。

2. 可持续发展成为发展战略的必然选择

世纪之交，工业化过程造成的全球性的环境污染和生态破坏已到了紧急关头，保护生态环境，实现可持续发展，已成为全世界紧迫而艰巨的任务。有鉴于保护环境和经济发展事关人类的前途和命运，早在 1992 年 6 月联合国就在巴西召开了环境与发展大会。这次会议通过的文件充分体现了当今人类社会可持续发展的新思想，反映了关于环境与发展领域合作的全球共识和最高级别的政治承诺。我国依据会议通过的《21 世纪议程》制定了《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》（中国环境科学出版社 1994 年版），根据本国国情从可持续发展的总体战略、社会可持续发展、经济可持续发展、资源与环境的合理利用与保护等四个方面组织实施，并通过双边、多边方式，与有关国家和国际组织开展自然资源 and 环境保护方面的合作研究，建立了长期合作关系。

从马克思主义的观点看来，可持续发展的核心问题是正确处理人与自然的关系，因而可持续发展实质上是一个以人与自然的关系为核心的复杂巨系统，它包括人口、经济、社会、环境和资源等子系统，这些子系统必须是相互协调地发展的；可持续发展系统是既能满足当代人的需求而又不满足后代人需求的能力构成危害的、结构优化的、动态平衡的系统。

二、现代科学技术革命条件下中国发展的新道路

我国是发展中国家，按照发达国家的经验走上工业化道路，但暴露出不少严重的问题。由于我国处在社会主义初级阶段，它的经济结构是二元的：一方面是技术比较先进、生产率比较高的现代工业部门；另一方面是大量技术落后、生产率很低的传统农业部门，因而在传统的工业化进程中不可避免地要出现一些问题，例如：农村剩余劳动力的安置；农村与城市的差距；环境污染与生态危机等。

根据当代发展观的转变，根据世界新技术革命的形势，在总结中国现代化过程的历史经验的基础上，党的十六大提出了新的发展道路——新型工业化道路，它具有如下特点：

第一，新型工业化不同于传统工业化。在新型工业化过程中：不仅要

实现工业化，而且要实现信息化，并且要以信息化为主导，加强信息产业与其他产业部门之间的相互联系与相互促进，从而推动经济发展与社会进步。不仅要用硬指标（物耗、能耗、人员数量等）而且要用软指标（科学技术含量）来衡量经济发展，力求通过科学发现、技术发明与技术创新，实现经济增长方式从粗放型向集约型的根本转变，以提高经济效益；不仅要提高经济效益，而且要提高社会效益和生态效益，尽量减少资源消耗，降低环境污染，从根本上解决经济发展与环境保护的矛盾，注重提高人民生活质量；把教育现代化放在现代化的优先地位。伴随着信息网络化而来的信息社会，将对全社会的教育观念、教学内容、教育手段、教育结构乃至整个教育带来巨大的影响，必须充分应用现代信息技术（计算机、多媒体、网络、通信等技术），通过各种渠道普及教育、提高教学水平，从而提高全体劳动者的素质。

第二，新型工业化要以信息化为主导。必须大力发展信息技术与信息产业，以推进产业结构的升级、优化与合理化，因为经济发展过程实际上是产业结构的演变过程，它表现在三个方面：

一是发展以主导技术为基础的主导产业。主导技术是居于技术发展前沿并带动整个技术体系的技术，它是技术发展的主流，在我们的时代就是信息技术，必须大力发展以信息技术为基础的信息产业，这是产业结构的升级。

二是围绕信息产业，对整个国民经济的产业结构进行优化。对我国来说，就是要以信息化带动农业、工业与国防的现代化，以信息化改造国民经济的各个部门；同时建立完整的信息技术体系，并推进其产业化与市场化，从而实现从以工业为主导向以工业为基础、以信息业为主导的产业结构调整。

三是充分考虑国民经济产业结构中的“农业—工业—服务业—信息业”之间的协调发展。这就必须从我国二元经济的现实出发，考虑改革开放以来经济增长的情况，以及在不同时期采取的产业政策，从动态上、从理论与实际相结合上，研究如何使国民经济各个环节，各个部门相互适应地按比例发展，这是产业结构的合理化。

第三，新型工业化要以农业现代化为基础。加快农业科技进步，促进农村经济发展。农业、农村、农民三大问题，是我国现代化的根本问题。农业是国民经济中的薄弱环节，必须加速以农业产业化为龙头的农业现代化进程。坚持走以农业为基础，以工业化与信息化为手段，以建设良好的生态环境为目标的道路。

在党的十六届三中全会上，总结了 20 多年来“以经济建设为中心”

的发展观，进一步提出了新的科学发展观，这就是：“坚持以人为本，树立全面、协调、可持续的发展观，促进经济社会和人的全面发展。”

第三节 科学技术现代化的战略选择

一、科技发展战略

现代综合国力的竞争归根结底是科学技术实力的竞争，科学技术发展关系到国家民族的命运与前途，各个国家无不制订自己的科技发展战略。根据世界发展的新形势，总结近代以来、特别是建国以后我国的经验教训，党的十五大与十六大都明确提出和论述了实施科教兴国的战略。

我国科技发展战略的制订必须认清以下几个基本情况：

第一，当代科技发展的新特点。现代科学技术的发展必须把科学研究与技术创新紧密结合，为此必须注意两个相互联系与相互促进的过程，并抓住这两个过程相互转化的中间环节，即科学研究过程：基础科学研究——科学理论创新；中间环节：技术科学研究——技术理论创新；技术开发过程：工程技术研究——技术创新。

第二，科技发展的现状。我国目前的情况是：一是工业化的程度与发达国家相比还存在较大的差距；信息化过程 1993 年才起步；二是科技进步在国民生产总值中所占比重远远落后于发达国家。

第三，我国人口多，人均资源相对短缺，虽然建立了比较完整的工业体系，国民经济实力有了很大的提高，但整体上说，生产技术水平还比较低，必须依靠科技进步推动经济社会发展，以解决人口、资源与发展的问題。

根据以上情况，在邓小平理论的指导下，党中央、国务院领导制订了“面向经济建设主战场、发展高新技术及其产业、基础性研究三个层次，深化科技体制改革和推进全社会科技进步建制的形成，开展国际科技合作与交流为主干的科技发展战略”。^①我国科技发展战略的三个层次把当代科技发展的新特点同中国的具体情况相结合，提出了：

第一层次是应用先进的科学知识的发展研究。由于我国经济仍很落后，要依靠科学技术振兴经济，就必须强调把现有科学技术力量的大部分，以先进的科学知识为基础，从事研究经济建设中有重大经济效益的关键性的科学技术课题，例如：加强生产技术研究，正确选择技术，形成合

理的技术结构；加强工农业生产第一线的技术开发和科研成果的推广工作；努力学习、消化、吸收国外最新技术成就。为此，必须把科技人员的60%甚至70%投入到当前的经济建设中去。

第二层次是创造新知识的技术开发研究。它以高技术研究发展和高技术产业建立为目标，寻求科学知识上的重要突破，然后再由技术研究部门进行产品和技术创新的工作。当前，世界范围内新技术革命的兴起，正在引起国际经济和社会生活的深刻变化，许多发达国家已把发展高技术列为国家发展战略的重要组成部分。现在，高技术的发展已经进入产业开发阶段，高技术产业已经成为国际经济和科技竞争的重要阵地。发展高技术、实现产业化，是带动产业结构升级、大幅度提高劳动生产率和经济效益的根本途径。

20世纪80年代邓小平就指出：“中国必须发展自己的高科技，在世界高科技领域占有一席之地。”^①1986年3月由科学家提议经党中央批准的“高技术发展研究计划”（即863计划）就属于这个层次。它根据我国具体情况，提出“目标有限，重点突出”的指导思想，集中一部分精干力量，在今后十多年内，在几个最重要的高技术领域，跟踪国际水平，缩小同国外的差距，并力争在我们有优势的领域有所突破。

第三层次是从事科学知识上的重要突破的基础科学研究。基础科学研究是高技术发展的先导和后盾，要力争在基础学科、新兴学科、交叉学科的主要领域，跟上世界发展的步伐。必须高度重视基础研究的重大意义，因为：

第一，基础研究对人类社会的发展具有深远的影响。基础科学以认识自然规律为目的，它为人类改造自然提供系统的理论基础。基础科学的新发现是新发明的源泉，是新技术的土壤。

第二，基础研究是创造性劳动，是培养勇于创新和实践的科研人才的摇篮，是向开发研究输送基础扎实、善于开拓的人才的途径。

第三，基础研究的重大发现对人类文明进步往往是一次巨大的飞跃，它导致人们自然观、宇宙观的重大转变，影响人们的思维方式。

第四，基础研究一旦取得突破性的成果，往往会促进一系列新的应用研究和开发研究，产生新技术与新产品，最终形成一个产业部门。例如：原子物理学研究的发现，导致了人类利用核能时代的到来；半导体、晶体管的发现带动了计算机和信息技术的飞速发展。

总而言之，基础研究是人类文明进步的动力，是科技与经济发

^① 《邓小平文选》第3卷 人民出版社1993年版 第279页。

泉和后盾，是新技术、新发明的先导，也是培养和造就科技人才的摇篮。

二、国家创新体系

1. 迎接知识经济时代

当今世界，科学技术突飞猛进，知识经济时代的曙光已降临。新时代的重要特点是知识化。知识化对经济发展的意义非常重大，在一切产品和服务的价值中，知识附加值的比重会越来越高，因而在知识经济中创新是关键。江泽民指出：“创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力。没有科技创新，总是步人后尘，经济就只能永远受制于人，更不可能缩短差距。”^①他接着指出：当今世界的竞争，归根到底，是综合国力的竞争，实质上是知识总量、人才素质和科技实力的竞争。世界银行在 1998/1999 年世界发展报告《知识与发展》中指出：穷国与富国的差别不仅在于资本，而且在于知识。知识是经济发展的核心。发展中国家必须制定政策，以缩小它们与富国之间的知识差距。

有鉴于此，中国科学技术现代化战略重点及时调整为重点提高综合国力和国际竞争能力的“国家创新体系”。

2. 我国的知识创新系统

20 世纪以来，科学技术的突飞猛进同科学技术发展的新特点（科学研究过程与技术开发过程紧密结合）是分不开的，研究与发展在知识经济中起着知识的生产、传播和转移的关键作用。国家知识创新系统就是把科学研究过程与技术开发过程紧密结合的、现代的、扩展了的形式。1998 年中国科学院根据科学技术发展的新形势，及时提出了建设我国国家创新体系的总体设想和政策措施，它包括：

第一，知识创新系统。它的任务是通过科学研究过程获得新的基础科学知识和技术科学知识，其目的是追求新发现、探索新规律、创立新学说、创造新方法、积累新知识，因而它是技术创新的基础，是新技术和新发明的源泉。这一系统是由与知识的生产、扩散和转移相关的机构和组织构成的，其核心是国立科研机构 and 教学科研性大学，还包括其他高等教育机构、企业研究机构、政府部门和起支撑作用的基础设施等。

第二，技术创新系统。它的任务是应用科学研究获得的、新的科学技术知识，进行技术开发过程，目的在于发明新技术、制造新产品，提高竞争

江泽民：《论科学技术》，中央文献出版社 2001 年版，第 101 页。

参阅路甬祥主编：《创新与未来——面向知识经济时代的国家创新体系》，科学出版社 1998 年版。

力，因而它是国家与企业发展的根本。这一系统是由与技术创新全过程（技术发明、设计、模型、试验等）相关的机构和组织构成的网络系统，其核心是企业，还包括政府部门，科研机构，高等院校，其他教育培训、中介机构和基础设施等。

第三，知识应用系统。它的任务是将“研究”（知识创新）与“发展”（技术创新）应用于解决实际问题，是科学和技术的实际应用，它促使科学知识和技术知识转变成现实生产力，因而是加快国家的经济发展、提高国家的综合实力的关键。这一系统是由政府部门、企业、科研机构、其他机构和组织等组成。

第四，知识传播系统。知识经济时代知识的学习与传播是提高国民素质，提高社会生产力重要的途径。它主要以教育为手段，培养和输送具有较高技能、最新知识和创新能力的人才，因而知识传播系统是联结知识创新、技术创新和知识应用的桥梁，可以把创新快捷地转变为实际应用。这一系统是由高等院校、科研机构、企业等组成。

国家创新体系是以“研究与发展”为轴心运转的，研发强度（R&D/GDP）反映国家对科技活动的支持力度；研发活动的内在需求和有效供给能力，决定于世界科技发展的新动向与国家经济发展的阶段；研发活动的类型和研发活动的部门分布，反映科技资源的配置状况。为了推动国家创新系统的建立与发展，必须考虑上述情况，并制定相关政策以保障其正常运行，特别是科技奖励、知识产权、中介服务体系诸方面的制度化建设（见第十二章）。

第四节 科学技术进步和中国现代化建设

党的十六大总结了改革开放与社会主义现代化建设的基本经验，提出了“全面建设小康社会的奋斗目标”，明确指出：实现这个任务“最根本的是坚持以经济建设为中心，不断解放和发展社会生产力”。解放和发展生产力首先必须发展作为第一生产力的科学技术。

一、建立信息技术体系及相应的信息产业结构，加速信息化进程

在现代社会中，信息技术是主导技术，信息产业是主导产业，信息产业已经成为当代世界经济发展的新的增长点，为此需要进行系统的信息化的建设工作：

1. 建立信息技术体系及相应的信息产业结构，加速信息化进程

信息化过程是指国民经济的发展，从以物质与能量为经济结构的重

心，向以信息与知识为经济结构的重心转变的过程；在这个过程中，不断地采用现代信息技术装备国民经济各部门和社会各领域，从而极大地提高社会劳动生产率。

加速信息化过程必须建立完整的信息技术体系。它包括：信息技术的基础技术，即新材料、新能量技术；支撑技术，即机械技术、电子与微电子技术、激光技术和生物技术等；主体技术，即感测技术、通信技术、智能技术和控制技术；应用技术，即应用在经济、社会领域的各类具体技术。

在发展信息技术的基础上发展信息产业。目前我国已经形成了相对完整的信息产业结构，主要是：

第一，形成了较完整的信息工业产业群，其中包括电子计算机工业、微电子产业、通信工业。

第二，形成了信息服务业产业群，其中包括通信网络信息服务业、专业计算机服务业。

但从总体上说，我们在某些领域与发达国家相比，还有很大的差距。特别是在信息网络化方面，各国都把建设一个大容量、高速率的信息网络，作为推进信息网络化的重要基础和主要任务，我国带宽不足已成为制约信息网络化建设的“瓶颈”，必须在这项技术上取得突破。

2. 用信息技术改造传统工业

以信息化带动工业化实际上就是工业信息化，它是指信息技术在产品的开发设计、生产制造和企业经营管理中逐渐渗透并发挥巨大作用的过程。由于大规模和超大规模集成电路和微型计算机的迅猛发展，在国外传统工业经历两大变革：一是机电工业生产率的提高，从传统的依靠机械化为主要的方式，向以计算机为核心的柔性、集成自动化生产为主的方式转变；二是机电工业的制成品从过去机械与电子彼此独立，向彼此高度融合，深入多种高技术的机电一体化产品发展。目前这一以信息化改造传统工业的进程正在几个领域蓬勃地进行，我国当前的重点是发展以下几项^①：(1) 计算机辅助技术，如：计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程 (CAE) 等；(2) 精密成形技术；(3) 快速原型 / 零件制造 (RPM) 技术；(4) 金属材料热成形过程动态模拟技术；(5) 超精密加工技术；(6) 数控技术；(7) 工业机器人；(8) 计算机集成制造 (CIMS)；(9) 分散网络化制造 (DMN)。

工业信息化将大大增强企业的竞争力。工业中产品信息、工艺信息

^① 参见周光召主编：《科技进步与学科发展》（上），中国科学技术出版社 1998 年版，第 263、264 页。

和管理信息的处理能力将有极大的提高，这必将带来生产方式、管理方式、销售方式、企业组织结构和决策方式的变革。

二、开展生命科学技术、尤其是农业科学技术研究

开展这项科学技术研究，是建设良好的生态环境，建设现代农业，解决中国现代化建设的根本问题（农业、农村与农民问题）的基本途径，邓小平曾经指出，将来农业问题的出路，最终要由生物工程来解决。要靠尖端技术。

1. 实施可持续发展战略，必须建立生态产业

可持续发展的实质是维护人与自然的协调发展。马克思、恩格斯认为，在人与自然界的关系中自然界始终处于优先地位，因为没有自然界便没有人类，自然界中首先是土地，它“是一个大实验场，是一个武库，既提供劳动资料，又提供劳动材料，还提供共同体居住的地方”，^①自然界是人类物质生活、生产得以产生和发展的前提条件。生态学的发展及其与经济学的融合，证明与发展了马克思、恩格斯的观点。在现代的生态经济学中，把经济系统看成是生态系统的一个子系统，而不是相反，从而否定了传统经济学把经济系统与生态系统割裂开来，甚至把后者从属于前者的错误观点。

按照生态经济学的原理来调整产业结构，就必须建立生态产业。按照“农业—工业—信息业—服务业”四次产业，从生态化的观点可以把产业分为如下几类：

生态农业，它以生物为对象，生产过程与自然生态有直接的、紧密的联系。

生态工业，它以无生命的物为对象，生产过程虽然与自然界没有直接联系，但必须考虑它对自然生态环境的影响。

生态信息业，它以信息为对象，生产过程与自然界完全没有直接联系，但是必须考虑它对自然生态环境的影响。

生态服务业，除了为生态农业、生态工业与生态信息业服务外，还有一个为提高人的生活质量服务的特殊产业部门——生态旅游业，它与自然生态环境有直接的、紧密的联系。

生态农业是生态产业的核心与基础，工业、信息业与服务业的生态化进程都是在它的基础上发展的。

关于如何建立生态产业的问题，工业革命以来的产业化发展历史表

^① 《马克思恩格斯全集》第46卷（上）人民出版社1979年版，第472页。

明，一个新时代的主导产业的发展，总是由产业研究实验室来推动的。可持续发展战略是人类为了摆脱生态危机而作出的、共同的、必然的选择，而实现这一战略的物质技术基础是生态产业，根据现代“科学—技术—产业”发展的趋势，生态产业的发展和壮大同样要由研究与发展，也就是要由生态产业研究实验来推动。

我国在生态产业的研究与发展中提出的生态工程，是生态系统持续发展能力的整合工程技术，“它根据整体、协调、循环、自生的生态控制论原理系统设计、规划和调控人工生态系统的结构要素、工艺流程、信息反馈关系及控制机构，在系统范围内获取高的经济和生态效益”。^① 20 世纪 70 年代以来，我国生态工程的理论实践在农业生产、环境保护及区域治理等领域取得很大的进步。以生态工程为先导，由政府推动，社会兴办，群众参与，先后涌现 2 000 多个生态工程示范基地，包括 160 多个生态农业县，100 多个生态示范区和 70 多个社会发展综合试验区等。^②

2. 发展农村经济，增加农民收入，必须建设现代农业

按人类经济活动过程来说，一切物质生活资料的生产都是建立在农业生产的基础上的，因为农业提供原料，特别是提供粮食，它“是直接生产者的生存和一切生产的首要的条件”。^③ 所以农业是一切社会的基础。

马克思指出农业不同于工业的特点是：一是它的经济再生产过程同自然再生产过程交织在一起；二是它的生产力不只是劳动的社会生产力，而且还有劳动的自然生产力。进入信息时代农业生产不同于工业生产和信息生产的特点，可以用下表来表明：

表 3 农业、工业和信息业的比较

	农业	工业	信息业
劳动对象	生命体	非生命体	信息与知识
劳动手段	生物科学技术	工业科学技术	信息科学技术
劳动地点	自然界	工厂	工厂、办公室、家庭

要实现党的十六大提出的“全面繁荣农村经济，加快城镇化进程”的

周光召主编：《科技进步与学科发展》(上)，中国科技出版社 1998 年版，第 173 页。

^② 材料引自周光召主编：《科技进步与学科发展》(上)中国科技出版社 1998 年版，第 174 页。

^③ 《马克思恩格斯全集》第 25 卷 人民出版社 1974 年版，第 715 页。

任务，必须依靠科学技术推进农业现代化与农业产业化的进程：

第一，农业现代化是现代化的基础。工业时代的农业现代化是指机械化、水利化、化学化、电气化、良种化；信息时代的农业现代化是以现代自然科学、社会科学为基础，用现代科学技术和现代工业和信息业来武装农业，用现代经营管理方法来管理农业，实现农业生产专业化、商品化，大幅度地提高土地生产率、劳动生产率和农产品商品率，实现优质、高产、高效和生态上良性循环的现代农业。^①

第二，农业产业化是推进传统农业向现代农业转变的必由之路。在我国现阶段，“农业产业化是以市场为导向，以家庭承包为基础，依靠龙头企业及各种合作组织的带动，将农业的产前、产中、产后诸环节联结为完整的产业链条，实行多种形式的一体化经营，形成系统内部利益均衡机制，实现资源优化配置的一种新型的农业产业经营方式”。^②

由于农业是一个复杂的巨系统，要实现农业产业化，推进农业现代化，必须发展农业科学技术，例如：作为对农业对象生命体的本质和功能的研究的生物学；作为对农业生产环境条件（如水、土、气候、生物群落等）的研究的生态学；作为生产手段的肥料学、农药学、农业机械学、农业化学等；作为对生物资源的配置的农业经济学与区域经济学；作为对农业活动的计划、组织、协调与控制的农业管理科学，等等。因而农业科学技术的“研究与发展”的课题往往是综合性的，方法是多元性的。

应用现代科学技术（包括对地球表层的系统认识），利用信息革命成果（包括系统管理的最新成果），利用新材料、新工艺建立的现代农业，必将改变传统农业，出现新型的、知识密集型的农业。走“发展知识型农业，推动农业产业化，促进农业现代化”的发展道路，同时建设农村与城市，协调发展农业与工业，这将大大消除工农差别、城乡差别，有利于解决人口、资源、环境与发展的问题。

三、发展社会主义文化，建设社会主义精神文明，增强国家民族的创造力与凝聚力

在现代社会中，文化对综合国力的竞争起着非常重要的作用，必须坚持马克思列宁主义、毛泽东思想和邓小平理论在意识形态领域的指导地位，用“三个代表”重要思想统领社会主义文化建设。自然辩证法作为马

参阅庄逢甘、刘恕主编：《学科发展与科技进步》，中国科学技术出版社 1994 年版，第 375 页。

周光召主编：《科技进步与学科发展》（下）中国科学技术出版社 1998 年版，第 674 页。

克思主义的组成部分，它在辩证唯物主义世界观与方法论的指导下，把自然科学、社会科学与思维科学结合起来，在文化建设与精神文明建设中有着特殊的重要作用。

1. 大力发展先进的科学文化

近代以来，科学技术对人类社会发展的深刻影响，使得发展先进的科学文化成为一个急迫的任务。从历史上看，科学文化与人文文化是相互渗透、相互结合的，科学精神是充满人文关怀的科学精神，人文精神是具有科学意识的人文精神。从人文社会科学与自然科学发展的历程看：

第一，社会科学最初是应用自然科学的方法发展起来的。19世纪30年代，牛顿力学获得的巨大成功激发了社会学创始人孔德（Auguste Comte, 1798—1857）的思想，他提出：对自然现象的研究形成了各门自然科学，为什么关于社会现象的研究至今尚未成为真正的科学？他认为，这是因为受到形而上学思辨的束缚，因此他提出要用自然科学的实证方法，在可观察的事实的基础上，以服务于人类的精神来研究社会。在孔德看来，研究自然的科学和研究社会的科学是一个统一的知识体系，它们都是这一体系中不可缺少的组成部分。

第二，人文社会科学和自然科学是有区别的。孔德建立社会学后，生命哲学的奠基人狄尔泰（Wilhelm Dilthey, 1833—1911）认为应把自然科学推广到精神科学，但他认为，精神科学具有不同于自然科学的特点，因为：自然科学研究的对象是外部世界，其方法是理性的和经验的；精神科学研究的对象是内心世界，其方法是情感的直觉与想象。^①李凯尔特（Heinrich Rickert, 1863—1936）进一步明确自然科学和历史科学的区别，他认为：自然科学研究一般的东西，用“一般化”的方法得出普遍的规律；历史科学研究个别的东西，用“个别化”的方法记述特殊的事件。自然科学和历史科学的主要区别在于前者与价值毫不相干，而后者则是永远具有价值的。^②

第三，科学文化与人文文化。在工业革命进行过程中，显示了科学技术的两重社会效应：一方面它改变了人类的生产方式和生活方式，把人类从农业社会推向工业社会，物质文明空前繁荣；另一方面在资本主义条件下，科学技术成为剥削的工具，成为统治人的力量。正是在这种情况下，“批判的社会理论”的代表人物如马尔库塞，把资本主义罪恶的症结从其腐朽的社会制度转向文化和科学技术，加深了自然科学与人文社会科学

参见狄尔泰：《人文科学导论》，华夏出版社2004年版。

参见李凯尔特：《文化科学》（1899）。

的分离以至对立，产生了科学文化与人文文化之间的“互不理解的鸿沟”。C. P. 斯诺的《两种文化》企图弥合这个鸿沟，他一方面要求提高自然科学的地位，提高人文科学家的自然科学素养，另一方面要求自然科学家应有高度的人文关怀，呼吁教育应该有较宽的自然科学和人文科学的基础。

第四，中国现代化的文化建设应该是两种文化并重。考虑到文化发展的历史与现状，党的十六大提出：坚持人文社会科学与自然科学并重，充分发挥哲学社会科学在经济和社会发展中的重要作用；针对我国长期的封建主义的影响，以及迷信、盲从等余毒远未肃清的现状，提出了：普及科学知识，弘扬科学精神，在全社会形成崇尚科学、鼓励创新、反对迷信和伪科学的良好氛围。

2003 年 10 月中国共产党提出新的科学发展观，它的本质和核心是坚持“以人为本”，高度重视经济社会的发展与人的全面发展的协调。这就迫切需要繁荣与发展“以人为研究对象”、“以人与自然、社会及经济的关系为研究内容”的哲学社会科学。自然辩证法是以马克思主义为指导的、自然科学和社会科学相互交叉与相互融合的、广阔的研究领域，它是贯彻学习科学发展观的一门基础理论。

2. 坚持创新精神，开展创造学的研究与开发

知识经济时代，世界的竞争是综合国力的竞争，是知识总量、人才素质和科技实力的竞争。邓小平同志指出：“国力的强弱，经济发展后劲的大小，越来越取决于劳动者的素质，取决于知识分子的数量和质量。”^①开展对创造力的研究与开发，提高智力资本的质量，是事关国家民族生存与发展的大问题。为此，党的十六大强调：创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力；在实践基础上进行理论创新是社会发展和变革的先导；通过理论创新推动制度创新、科技创新、文化创新以及其他各方面的创新，不断解放思想、实事求是、与时俱进，是我们要长期坚持的治党治国之道。

从第一次工业革命以来，科学发现、技术发明层出不穷，国际经济竞争日益加剧，终于在 20 世纪中叶前后形成一门关于人的创造力研究（creativity research）的领域，出版了不少有关的论文和专著，它涉及认知心理学、脑神经科学及人工智能等学科。20 世纪 80 年代后，这一研究领域在国际化的过程中朝着教育改革的方向发展。

我国自改革开放以来，为了适应中国现代化建设的需要，紧跟着创造

^① 《邓小平文选》第 3 卷 人民出版社 1993 年版 第 120 页。

力研究的国际化进程，开展了创造力研究。先是由引进国外成果开始，经历了引进传播、消化推广到开始从事独立研究等阶段。在相当长的一段时间内，我国在推广创造技法的同时，把主要注意力集中在科学发现与技术发明中的创造性思维的研究上，并在大、中、小学教育和成人继续教育中开展创造教育。90年代后，随着社会主义市场的建立和发展，兴起了企业创新和技术创新研究的热潮。创新的源泉是知识创新，世纪之交，我国建立了符合社会主义市场经济和科技发展规律的国家创新体系及知识创新系统，提高国家创新能力，迎接知识经济时代的挑战。

3. 大力发展教育事业，深化教育改革

党的十六大指出：“教育是发展科学技术和培养人才的基础，在现代化建设中具有先导性全局性作用，必须摆在优先发展的战略地位。”^①现代科学技术发展的特点是：创新性、综合性与社会性，必须改革同科学技术发展新特点不相适应的教育思想、教育内容与教育方法以适应知识经济时代社会的需求。邓小平同志指出：“一个十亿人口的大国，教育搞上去了，人才资源的巨大优势是任何国家比不了的。”^②

第一，教育思想要体现知识经济时代的创新精神。

在创新问题上，西方文化传统与中国文化传统有很大的区别：西方文化传统重视批判性思维。西方哲学是爱智，是思想自由。关于科学研究中思想自由的重要性爱因斯坦指出：“科学进步的先决条件是不受限制地交换一切结果和意见的可能性——在一切脑力劳动领域里的言论自由和教学自由。”^③中国经学虽然包含丰富的哲学内容，但中国经学传统重在训诂和解释，重在继承，强调“圣人之言不可违”，这种偏重继承的教育思想在教学中表现为在授课方式与学习方法上注重应试教育，而不是注重培养学生的独立思考能力与工作能力。在现代化进程中新问题、新任务层出不穷，要求教育思想从应试教育向素质教育转变，特别是要把创新作为知识经济时代极为重要的一种素质。

第二，教育内容要反映科学发展历史潮流的文理综合趋势。

现代科学技术发展既高度分化，又高度综合；学科之间相互联系、相互交叉。另一方面，我们正在步入大科学、大工程、大生产的时代，从自然科学奔向社会科学强大潮流日益强大，自然科学的两种社会效应要求

江泽民：《全面建设小康社会，开创中国特色社会主义事业新局面——在中国共产党第十六次全国代表大会上的报告》，人民出版社 2002 年版 第 40 页。

② 《邓小平文选》第 3 卷，人民出版社 1993 年版 第 120 页。

③ 《爱因斯坦文集》第 3 卷 商务印书馆 1979 年版 第 179 页。

它的工作者有高度的人文关怀；社会科学的复杂性要求它的工作者有科学素养。适应这种新的形势，教育必须注重自然科学与人文社会科学的相互渗透与相互结合。

第三，教育方式要充分利用现代科学技术手段。

信息革命使得知识的创造、存储、学习和利用方式发生了革命性的变化。计算机、多媒体、网络、通信等技术在教育领域的广泛应用，将完全改变以课堂、书本、教师为中心的传统教育方式。传统的教育方式依靠手脑并用，注重培养学生的基本能力，例如听、说、读、写、算等，但在培养其他高级能力，如支配资源、使用信息、掌握新技术、运用系统方法和与他人广泛合作等方面，单凭个人的手和脑已经远远不够了，需要依靠延长手脑的现代信息科学技术手段才能奏效。目前，我国信息技术在教育领域中的应用主要是以下方面：计算机辅助教学与多媒体教育；远程教育；虚拟现实教育。为了发展高等教育的需要，建立了“中国教育和科研计算机网示范工程”，联结全国大部分高等学校，推动学校校园网和信息资源的建设交流，与现存的国际学术计算机网络互连，这将大大提高我国高校的教学质量和科学水平。

思考题

1. 为什么说科学技术现代化是中国现代化的关键？
2. 试述中国科学技术现代化的战略及其重点。
3. 如何通过科学技术进步推动全面建设小康社会？

后 记

从 1988 年国家教委颁布《自然辩证法概论》(教学要点)以来,国际国内形势发展很快,课程需要改革以适应新的形势。

为此,2001 年 12 月,教育部社政司在北京主持召开了“‘自然辩证法概论’课程研讨会”。会上社政司领导指出,全国理、工、农、医、管类硕士研究生数量增长很快,规范“自然辩证法概论”课程迫在眉睫,希望尽快修订“教学基本要求”。

在这次研讨会上,以原国家教委社科司组编的《自然辩证法概论》(高等教育出版社,1991 年修订版)为蓝本,进行了深入讨论。会后,经黄顺基、陈其荣、曾国屏、于祺明四位同志整理,由黄顺基同志写出《“自然辩证法概论”教学基本要求修订的基本思路》一文,刊载在《思想理论教育导刊》(2002 年 8 月)上,发至全国高校广泛征求意见。

2002 年 10 月,在教育部社政司领导、组织与主持下,由中国自然辩证法研究会主办,在广西师范大学(桂林)召开“全国《自然辩证法概论》(教学基本要求)研讨会”,参加研讨会的成员都是全国高校的专家、学者和教学第一线的同志,这次会议基本统一了对“教学基本要求”的认识。会后由黄顺基根据与会者提出的意见写出“《自然辩证法概论》(教学基本要求)初稿”。

2003 年 2 月,在教育部社政司领导、组织与主持下,由黄顺基、陈其荣、曾国屏、于祺明、任定成、许为民、陈凡、肖玲、刘奇、张忠伦、张明国等 11 位同志在浙江大学对“《自然辩证法概论》(教学基本要求)初稿”逐章进行认真讨论,并分工撰写各章的教学基本要求,最后由黄顺基修改、定稿。教育部社政司徐维凡副司长在定稿前仔细阅读了初稿,并提出了重要的原则性意见。

《自然辩证法概论》(教学基本要求)完稿后,便立即进入紧张的示范教材编写阶段。2003 年 7 月中旬与 10 月中旬在中国人民大学召开了第一次与第二次统稿会议,紧接着在 11 月下旬在复旦大学召开了定稿会。这三次会议教育部社政司领导都亲临指导,并提出严格的高标准的要求。高等教育出版社为会议提供了方便的条件。

回顾《自然辩证法概论》课程教学基本要求与示范教材的编写过程,前后总共召开了有关的会议达九次之多,参加讨论的学者、专家、教授及

教学第一线的老师约数百人，因此，这部新版的《自然辩证法概论》应该说是学界同仁集体研讨的成果。这里需要说明的是，由于编者的水平有限，而马克思恩格斯创建的自然辩证法又是一个博大精深的领域，因而书中难免会有这样或那样的问题，敬希同志们提出批评指正。

本书共分为四编，由陈其荣、于祺明、黄顺基、曾国屏分别负责第一、第二、第三、第四编的统稿工作，最后由黄顺基对全书进行修改与定稿。

各章撰稿人如下：

绪论、第十六章 黄顺基（中国人民大学教授、博士生导师）

第一编

第一章、第二章 陈其荣（中国人民大学教授、博士生导师）

第三章 张忠伦（东北林业大学教授）

第二编

第四章 刘奇（北京大学医学部教授）

第五章、第六章 于祺明（中央民族大学教授）

第七章、第八章 任定成（北京大学教授、博士生导师）

第三编

第九章、第十章 陈凡（东北大学教授、博士生导师）

第十一章、第十二章 张明国（北京化工大学教授）

第四编

第十三章 许为民（浙江大学教授）

第十四章 肖玲（南京大学教授、博士生导师）

第十五章 曾国屏（清华大学教授、博士生导师）

编 者

2003 年 12 月