、

第3讲 福特制背景下的大规模生产

第一部分 福特制背景下的大规模生产

一、时代背景

“福特制”几乎与“泰勒制”同时出现，社会背景相同。所不同的是，泰勒制主要从劳动者自身的动作入手，而福特制主要从改变生产方式入手，从而达到相同的目的，提高劳动生产率。

二、主要观点及做法

1.福特汽车公司的创立

1863年，亨利·福特（1863-1947）出生于密歇根州格林费尔德城。父亲是爱尔兰移民，在兄弟6人中排行第一。自幼动手能力很强，对于所有与机械相关的东西都感兴趣。总是在摆弄机器，总是在与同事们商量着如何改进机器的性能。福特是一个典型的美国式机械师，但是又比一般的机械师高出几个层次，因为他能凭直觉判断如何使机器更好地工作。

1896年，福特发明了他的第一台不需要马的四马力四轮马车。其实就是在四个自行车轮子上安装了一个不太稳定的轿车框架。这些并不能让福特在竞争中领先。因为，当时在刚刚起步的轿车市场中，涌现了大量发明和改进，有很多竞争对手。福特的战略是设计出一个模型，然后卖出去。这样就从资金上保证聪明的想法可以不断出现。福特狂热地沉浸在汽油发动机的钻研之中，还没有考虑如何将自己在机械方面的天赋转换到商业方面。这就使福特的资金支持者们对于福特坚持寻求改进的做法并不满意。

1903年6月16日，福特汽车公司成立，共有12位投资人, 筹资金额2.8万美元，开始在底特律的麦克大街（Mack Avenue）的工厂里组装汽车。公司推出了一系列车型，按照字母顺序排列，分别为最先销售的是双缸A型福特轿车，B型、C型、F型、K型、N型、R型、S型，福特汽车公司在第一年里推出了8种不同车型，到了1908年公司每日生产达到了100辆。股东们已经狂喜，但福特不满意，他盼望的是每天能生产1000辆轿车。股东们很忧虑，希望能阻止福特将利润用于扩张，阻碍了福特公司在既定的轨道上迅速发展。但是，福特依然我行我素。

1908年10月1日，第一辆T型车面世。售价为850美元。福特在T型车诞生的时候，向世人宣布：我将为最大多数人生产轿车，希望创造一种大众买得起的轿车。1909年，福特宣布，他将在未来只生产一种型号的轿车，那就是T型车。此后的19年，T型车是福特公司唯一生产的车型。为此，福特公司持续地寻求降低生产成本的方法。轿车越便宜，销售量就越大。“轿车价格每降低1美元，我就可以增加1000个购买者。”每当成本降低时，福特公司就下调T型车的价格。1908年，福特公司生产了6000辆T型车，售价为850美元（当时大多数的车型售价在2000-3000美元之间）。1916年，售出了60000辆，售价为360美元。当T型车的1500万辆下线时，售价为290美元。

2.生产方式的缺陷

当时的汽车生产主要依靠工人手工组装。一辆汽车大约五千多个零件，而通常的装配方式是，先分散进行组装，即汽车各个总成部分的零件由各个装配小组集中一处装配，然后，将各个总成再搬运集中到总装场地总装成整车。这种方式，地上零件堆码无序，耗时多、浪费大、效率低，不适于大量生产，也不可能满足市场的需要。正如福特在自己的传记中所描述的那样：在我们最初进行装配时，只不过是在地板上找块地方把一辆汽车安装起来。工人们按顺序安装零件，同盖房子的方法很相像。无人指挥的工人在场地上走来走去，选择材料和工具花去很多时间，甚至超过他们实际操作的时间。工人得到的报酬不高，因为这种在安装场地的“步行锻炼”不是按高额付酬的生产线。

3.流水装配线的基础

装配线的出现可以追溯到可交换零部件的概念，为装配线的形成奠定了基础。

⑴18世纪法国的枪炮制造工匠欧内·布兰卡（Honore Blanc）曾经使用可交换零部件为拿破仑每年生产1000火枪。该方法可以使用非熟练劳动力。但是，当时的法国政府认为，让工人只生产产品的一部分是不可行的、不明智的。手艺就意味着一个人可以生产出整件的产品。布兰卡的生产方式被无理地终止了。

⑵1793年埃利·[惠特尼](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=10902703" \t "_blank)发明了锯齿轧棉机，产量比旧轧棉机高出十多倍，使得棉花种植变得有利可图了。在这之前，一个劳力最快要花半天时间，才将一磅[棉纤维](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=1138213" \t "_blank)和棉籽分开，惠特尼轧棉机每天可以分离上千磅，导致种植棉花的黄金时代的到来。1850年，世界棉花供应的78%出自美国南方，占美国出口总额的一半。

惠特尼在1798年为美国军队提供10000支火枪。在这期间，他改革了以往的手工业方法。原来每枝步枪的主要零部件都由一个熟练工人制造、组装，惠特尼则将步枪的零件尽可能分开，然后使用机床精确加工每一个零件，最后以装配架为基础统一装配。他设计的这种生产方法，可以使用廉价的不熟练工人，装配火枪的可交换零件，减少产品差异，组合成功能完善的火枪，从而保证了火枪的质量。1812年，他又获得了15000支火枪的订单。1851年在伦敦举办的世界博览会展示了用这种方法制造的步枪。参展的6支步枪的零件可以拆卸下来任意调换，然后重新组装，精度丝毫不受影响。这在当时被称为“世界工厂”的英国引起了轩然大波，英国人把这种零件互换的生产方式称之为“美国生产方式”。

4.流水装配线的建立

为了降低生产成本，福特采用了当时最先进的生产技术。1910年1月福特公司建成了海兰公园工厂，占地63英亩。公司的生产制造业务全部移往海兰公园工厂。亨利·福特在他的工厂中使用了装配线的理念。据说，福特从屠宰场的作业过程得到了启发。一次在芝加哥参观屠宰场，福特发现那里的流水线作业方式效率极高：将一头牛放进去，出来时各个部位的肉与骨头都依照规矩有序存放，而且整个工作过程与程序极富连贯性。

福特的流水装配线作业方式包括了生产标准化和移动装配法两个方面。生产标准化基本上是对惠特尼“零件互换制”的发展，包括：产品标准化（即单一产品）、零件标准化、机械工具标准化和作业标准化。

1903年，当汽车行业还处于多型号、小批量生产时代时，福特就说过：“造汽车的正确方法应该是让一辆汽车和另一辆汽车一模一样，汽车工厂应该能生产一种一模一样的汽车，就像图钉工厂生产的图钉都是一种型号，火柴工厂造出的火柴全是一个规格。”

所谓装配线就是一种严格将工作区分开来、让每个人以最有效的方式从事一种活动的基本流程方法。“向前运行的装配线把工作送到工人的面前，而不是让工人到工作面前。现在，在所有的生产活动中，我们有两条基本原则—如果可以避免，一个人不必做超过一个步骤的工作；以及，所有人都不必弯腰工作。”简单地说，装配线除去了传统生产方式中许多无效率之处。

福特将工作组织的基本原则列成三个简单的步骤：

（1）将工人和工具按生产的顺序排列，以保证每一个生产部件在安装好前通过最短的距离。

（2）使用工作滑梯或其他形式的传送工具，以保证工人在完成了工作后总能把部件放在同一位置上—这个位置必须是他的双手最便于取放部件之处—如果可能，就让部件在重力的作用下到达下一个工人的工作地点。

（3）使用让部件以最方便的距离进行传送的有滑梯的装配线。

1913年4月，海兰公园工厂的移动装配线完成了实验。最初的实验是在飞轮永磁发电机的生产过程中进行的。以前，该工作由一个工人独立完成。一个工人一天工作9小时，可以生产35-40片飞轮，组装一个永磁发电机需要20分钟。福特将组装过程分解为29个独立步骤。通过一条生产线将每个步骤安排一个工人，组装时间减少到13分10秒。1914年福特还通过将生产线的高度提高8英寸，使工作时间减少到7分钟。一些进一步的提速实验将工作减少为5分钟。

在福特和他的工程师做了大量完善工作后，装配线开始运行。福特创造了一个复杂的系列生产系统，确保了零件、分组合件和组合件能在适当的时间运送到装配线上。结果是，劳动生产率提高了10倍。装配线将组装一辆轿车的时间从9小时54分钟减为5小时56分钟。以前福特公司生产轿车底架，需要将部件搬运到固定装配点，耗时超过12小时。而装配线（实际是用一条粗绳索拉动轿车底架经过部件的堆放地点）将这一时间减为1小时33分钟。

“简而言之，结果就是：在科学研究的帮助下，现在一个人可以做几年前由4个人完成的工作。这条生产线奠定了生产方法的高效性，现在我们广为使用这一方法。以前由一个人做的轿车组装工作，现在被分为84个生产步骤—所有工人所做的工作，在以前需要三倍时间才能完成。”在1917年，该厂生产了超过70万辆T型车。

5.高工资高福利的实施

1914年，福特公司宣布实施日工资制度，由9小时2.34美元，变为8小时工作工资5美元。1916年，这一制度推广到女工身上。1929年工资上涨到每日7美元。但是，1932年的大萧条，工资降为4美元。20年代中期，福特公司率先将周工作日由六天改为五天。

原因在于：1913年福特公司的人员流动率高达380%。而日工资5美元立刻解决了这个难题。

6.产业集群的形成

1918年，胭脂河（River Rouge）工厂开业。胭脂河厂区有1.5英里长，0.75英里宽。该厂可以容纳81000名工人，厂房面积为700万平方英尺，建设成本高达2.67亿美元。与它相比，海兰公园厂区就显得简陋狭小多了。它的建成标志着公司的重心发生了转移。20年代中期达到满负荷生产，1923年，福特的T型车年生产量达到200万辆。

福特公司急剧增长的产量，也要求相应的上游供应商及时跟上发展的步伐。但是，相关的谈判和协调耗费了大量时间和精力。由此，福特公司决定向上游发展，自己完成原材料的供应和对相应资源的控制。福特公司购买了一条铁路、16座煤矿和大约70万英亩（合28.5万公顷）的森林，建立了锯木厂，购买了一支五大湖区的货运船队，以便把在苏必利尔湖的矿山的矿石运出来；甚至还买了一家玻璃加工厂。所有以上垂直一体化的经营活动，形成了今天意义上的产业集群。每天都有一艘公司的货船满载从公司的矿山挖掘出来的、足够使用一天的铁矿石抵达。公司煤矿生产出来的煤用于加热铁矿石。还有公司自己的森林里的原木、种植园中的橡胶等。胭脂河工厂的开业意味着另一个时代的开始。20世纪20年代是福特公司的巅峰时代。1922年公司的销售额达到最高。1926年之前，福特公司的收入一直超过通用汽车公司。但从1926年开始，直到1986年，福特公司被通用汽车公司超过。1991年，福特公司亏损23亿美元。

三、主要成果及贡献

1908年，福特公司生产了6000辆T型车。T型车推出的第一年，售出了17000辆，这是一个罕见的记录。此前的4年里，全世界汽车工业共生产了22000辆轿车。福特占有美国轿车市场48%的份额，年销售额为1亿美元。当第一次世界大战结束的时候，地球上差不多一半的轿车都是T型车。在T型车存在的19年中，福特公司在美国销售了1500万辆，在加拿大售出了100万辆，在英国销售了25万辆，占全世界轿车产量的一半。

美国汽车工业发展的三阶段

第一阶段：市场零散

1900年，没有任何一家汽车公司有广阔的市场、很高的知名度和雄厚的资金；没有任何一家有全国性的经销网。每家公司都局限在特定的地理区域内；每家的产品设计、生产和营销策略各不相同。在1909年的高峰期，美国共有274家公司生产小汽车，大部分公司都保持着低产量、高收益、汽车售价很高。

第二阶段：市场集中

某些品牌或车型占据主导优势，形成高产量、低收益和全国范围（甚至世界范围）内的销售网。1908年，福特公司的T型车问世，成为了汽车工业的主流设计。不久，巨型福特工厂和遍及全国的销售体系使汽车产量高到令人无法想象的地步，其辉煌程度达到极致。

第三阶段：市场分割

20世纪20年代，在价格和产品策略的基础上，通用汽车公司大胆地将汽车市场分割成块，此举对于世界汽车业产生了极为深远的影响。第二次世界大战结束后，营销人员不仅仅要根据消费者的人口结构（年龄、收入和教育），还要根据他们的消费心态来决定市场的目标市场。第三阶段的市场营销人员创造出了新方法来划分产品和分割市场。60年代的大马力中型汽车和70年代的赛车型小型汽车都很畅销，这是因为设计者和营销人员以购买者的需求为中心，从而赢得了顾客的赏识和信赖。

亨利福特的管理理念促进了美国汽车工业从第一阶段向第二阶段的转化，具有深远的经济和社会意义。

1.从宏观经济的角度看，汽车产业将钢铁业、玻璃工业、橡胶工业、以及石油工业紧密联系在一起；汽车工业是这些产业的核心，也是20世纪经济的核心。到20世纪70年代，美国有六分之一的企业与汽车产品的生产、销售或操作有关。

2.从社会生活的角度看，汽车给社会带来的影响是无法估量的：一方面，汽车运动快捷、方便，使人类精神得到了解放；个人能从开车的旅行中得到快乐；农民们从此结束了远离尘嚣的生活；郊区变了模样；一座城市的人可以乘车赶到另一座城市上班。另一方面，职工工资的增长，休闲时间的增加，促进了大众消费的到来。

福特公司宣布：“福特轿车可以把你带到除了社交场合的任何地方。”卑微的T型车改变了数以百万计的人们生活。在20年时间里，它打破了产生孤独的源泉。农场主的旅行比以往任何时候都方便，甚至许多人是第一次出门旅行。因为市场不再需要大量马匹用的干草，所以大量土地可以改种新的粮食作物。轿车成为社会发生变化的核心。生活中出现了假期、郊区、高速公路、城市化及更多的东西.

3.从环境保护的角度看，20世纪有毒的空气、拥挤的街道和公路，以及车祸造成的死亡率是当初发展汽车工业时所未能预料的。就如人们未料到汽车给人们生活带来如此多的好处一样。在20世纪，有250万美国人死于车祸，超过了美国经历的所有战争死亡的人数之和。

**第二部分 中国明朝时期的运营管理**

1637年，明朝的宋应星编撰出版了《天工开物》，这是一部关于明代农业、手工业生产技术的综合性科技著作，分为上、中、下三册，共计18卷，插图123幅。书中的内容涉及作物种植、食品加工、桑织染色、陶瓷、金属矿冶、锻造、造纸印刷、珠玉采集等方面，反映了明朝时期的中国在农业和手工业生产领域的技术成就，为研究明代社会的经济、科技、文化等提供了重要的文献参考，被誉为“中国十七世纪的工艺百科全书”。

一、众多的技术种类

《天工开物》中收录了诸如农业的水稻浸种、育秧、插秧、除草、防灾，以及麦、黍、粟、麻、菽等五谷生产的全过程，手工业则如机械、砖瓦、陶瓷、硫黄、烛、纸、兵器、火药、纺织、染色、制盐、采煤、榨油等生产技术，与《考工记》所记载的30个工种相比，已经有了极大的增长。

二、巨大的产业规模

一些经济作物的种类和种植规模都有大幅度的增加，如茶叶、棉花、甘蔗、桑树、染料作物等在江南地区得到了快速发展，一些地区还出现了大规模的经济作物种植区。例如，松江地区“官民军灶垦田凡二百万亩，大半植棉，当不止百万亩”[[1]](#footnote-0)；苏杭地区的丝绸业形成了蚕桑养殖和专门化的桑叶交易市场“叶市”。

原来的官营手工业和民间工匠手工业开始向手工工场的规模化生产方式转变。例如《江西省·浮梁县志》卷四中记录，明代景德镇的制瓷业“镇官民窑，每窑不下数十工，一工有事故必扯累窑户”[[2]](#footnote-1)。（一个工人的生产技能缺失都可以影响到窑户的产品质量和生产获利。）《明神宗万历实录》中提及苏州的纺织业“染房罢而染工散者数千人，机房罢而织工散者又数千人”[[3]](#footnote-2)。《江西通志·土产志》记载，明代嘉靖年间，民营纸坊兴盛，槽户雇佣很多造纸工人[[4]](#footnote-3)。江苏常熟著名的私人刻书家毛晋，他的次子记载“吾家当日有印书作，聚印匠二十人，刷印经籍”[[5]](#footnote-4)。

明代官私刻书数量之大、品种之多，超越宋、元。当时“两京十三省”，无省不刻书。原有的出版中心，如河南开封、山西平阳府、成都、杭州等地，在明朝时期不同程度地衰落了，而新兴的出版中心崛起了，如南京、北京、苏州、徽州、湖州等。明朝时期的南京，不仅有国子监这样的官方出版机构，也有31家著名的民间书坊；既出版了六、七十种“制书”，也出版了大量的佛经、经、史、子、文集等书籍；不仅印刷书籍，还印制“大明通行宝钞”。从企业规模的角度看，南京宝钞局有钞匠五百八十名，而且在十四世纪末期就出现了五六百人的印刷厂[[6]](#footnote-5)。永乐十九年（1421年），明朝自南京迁都北京，北京成为全国政治文化中心，也是书籍最大集散地。嘉靖初年司礼监内有刊字匠、刷印匠、摺配匠、表背匠（装订匠）共931人，笔匠、墨匠各数十名。刊印装背工匠多至数百人，相当于现代的小印刷厂、装订工厂[[7]](#footnote-6)。刊印的书籍包括“制书”三十多种、大量的宗教书籍和其他书籍。书肆主要集中在宣武外琉璃厂，一部分在隆福寺一带，形成现代意义上的产业集群。

三、复杂的制作工序

明代手工业作坊中愈发细致的分工和技术合作，与现代工厂中流水线的生产方式类似，提高了生产效率，使大批量生产成为可能，满足了明代商品经济快速发展产生的社会需求。其中制瓷业是分工明确细化的典型。瓷器作为精美的工艺制品，生产过程极为复杂。从原料泥的开采和调配，然后要经过精炼、成型、施釉和装匣烧制的工艺步骤，每一步都需要专业的工匠操作，保证产品质量和提高生产效率。

1.在原料工序，原料泥的开采和调配，是指“其土作成方块，小舟运至镇。”

2.在精炼工序，精炼是对原料泥进行碓（duì）舂（chōng）、水澄、近火干燥的加工。

原文如下：“造器者将两土等分入臼（jiū）舂一日，然后入缸水澄。其上浮者为细料，倾跌过一缸，其下沉底者为粗料。细料缸中再取上浮者，倾过为最细料，沉底者为中料。既澄之后，以砖砌方长塘，逼靠火窑，以借火力。倾所澄之泥于中吸干，然后重用清水调和造坯。”

3.在成型工序，成型是制造瓷坯，瓷坯分为印器和圆器。成型的过程包括拉坯、干燥、印坯、汶水、过利。

原文如下：“凡造瓷坯有两种，一曰印器，如方圆不等瓶瓮炉合之类，御器则有瓷屏风、烛台之类。先以黄泥塑成模印，或两破或两截，亦或囫囵。然后埏白泥印成，以釉水涂合其缝，烧出时自圆成无隙。（见图7-8）一曰圆器，凡大小亿万杯盘之类乃生人日用必需。造者居十九，而印器则十一。造此器坯先制陶车。车竖直木一根，埋三尺入土内使之安稳，上高二尺许，上下列圆盘，盘沿以短竹棍拨运旋转，盘顶正中用檀木刻成盔头冒其上。”

4.在施釉工序，施釉前要打圈、书画，接着过釉。

原文如下：“凡造杯盘无有定形模式，以两手棒泥盔冒之上，旋盘使转。拇指剪去甲，按定泥底，就大指薄旋而上，即成一杯碗之形。初学者任从作废，破坯取泥再造。功多业熟，即千万如出一范。凡盔冒上造小杯者不必加泥。造中盘、大碗则增泥大其冒，使干燥而后受功。凡手指旋成坯后，覆转用盔冒一印，微晒留滋润，又一印，晒成极白干。入水一汶，（见图7-9）漉上盔冒，过利刀二次，过刀时手脉微振，烧出即成雀口。（见图7-10）然后补整碎缺，就车上旋转打圈。（见图7-11）圈后或画或书字，画后喷水数口，然后过釉。”

5.在烧制工序，装匣进窑烧制。

原文如下：“凡瓷器经画过釉之后，装入匣钵。装时手拿微重，后日烧出即成坳口，不复周正。钵以粗泥造，其中一泥饼托一器，底空处以沙实之。大器一匣装一个，小器十余共一匣钵。钵佳者装烧十余度，劣者一二次即坏。凡匣钵装器入窑，然后举火。其窑上空十二圆眼，名曰天窗。火以十二时辰为足。先发门火十个时，火力从下攻上，然后天窗掷柴烧两时，火力从上透下。（见图7-12）器在火中其软如棉絮，以铁叉取一以验火候之足。辨认真足，然后绝薪止火。共计一坯工力，过手七十二方克成器，其中微细节目尚不能尽也。”

四、明确的造物思想

《考工记·总论》中记述：“知者创物，巧者述之，守之世，谓之工。百工之事，皆圣人之作也。烁（shuÒ）金以为刃，凝土以为器，作车以行陆，作舟以行水，此皆圣人之所作也。”即造物的设计发明或者开发有赖“知者”，兵器、陶器、车船的创造都是圣人之功，造物的生产则依靠作为工匠的“巧者”。

《天工开物·彰施》中提出：“霄汉之间云霞异色，阎浮之内花叶殊形。天垂象而圣人则之，以五彩彰施于五色，有虞氏岂无所用其心哉”，认为有虞氏正是受到了自然色彩的启发，通过模仿自然把衣服染成不同颜色。这一思想与《考工记》的“知者创物”有异曲同工之处。

与此同时，《天工开物》在崇尚圣人、赞叹自然的同时，也观照现实，也肯定了人在造物活动中的创造性和主观能动性。强调“人与天相协调、人工与天工相配合、通过技术从自然界中开发出有用之物。”

从《考工记》到《天工开物》，中国传统造物的主体已经由“智者”和“圣人”变成了“天”、“人”并存，从“知者创物，巧者述之”到“人巧造成异物”，工匠们逐步从历史舞台的幕后走向前台，他们在改造自然、改善生活中的主观能动性已经发挥了巨大作用，虽然相比“天工”，“人力”尚有不可企及之处，但《天工开物》同时也强调人在应对自然时积极的人世态度，这在封建社会显然具有重要的思想史意义[[8]](#footnote-7)。

五、和谐的天人关系

《考工记·总序》中记述：“天有时，地有气，材有美，工有巧，合此四者，然后可以为良。”体现了中国古代造物活动的重要价值标准，即同时满足天时、地气、材美和工巧四个条件可以制作出优良的器物。“材美工巧，然而不良，则不时，不得地气也”进一步阐述了四要素中的天时、地气是决定造物之优劣的先决条件，把造物活动与自然规律紧密联系在一起，反映了战国时期和先秦时期朴素自然的设计观。

从“天时”的角度看，《考工记·弓人》中论述了弓的选材及制作均需遵循天时，“弓人为弓，取六材必以其时”。六材为干、角、筋、胶、丝、漆。角存在“秋杀者厚，春杀者薄”的差异；弓的制作工艺更是讲究四时分明，“凡为弓，冬析干而春液角，夏治筋，秋合三材，寒奠（dìng）体，冰析灂（jiaò）”，因为“冬析干则易，春液角则合，夏治筋则不烦，秋合三材则合，寒奠体则张不流，冰析灂则审环”，而等到第二年春天再安上弦，一张弓的制作才算完成。《考工记·轮人》中记述“轮人为轮。斩三材必以其时。三材既具，巧者和之。”，即轮子的制作必须遵循“斩三材必以其时”的要求，在三材（毂、辐、牙）既具的前提下，“巧者和之”。

从“地气”的角度看，《考工记·总序》提出“郑之刀，宋之斤，鲁之削，吴粤之剑，迁乎其地而弗能为良”，正是因为“地气然也”。《考工记·匠人》中记述了建设城邑布局的技术规范，需要测量地平、观察日影并参考北极星来确定方位。

“匠人建国。水地以县，置以县，视以景。为规，识日出之景与日入之景。昼参诸日中之景，夜考之极星，以正朝夕。”

“匠人为沟洫（xǜ），凡沟必因水势，防必因地势”。介绍了西周时期“井田制”沟洫排灌规划，几种水利设施的特殊设计，修筑水沟和堤防的技术窍诀。提出版筑技术的要求以及茅屋、瓦屋、圆仓、地窖墙体的不同设计。

《考工记·轮人》记述“凡为轮，行泽者欲杼（zhū），行山者欲侔（móu）。杼以行泽，则是刀以割涂也，是故涂不附；侔以行山，则是抟以行石也，是故轮虽敝不甐（lìn）于凿。”提出为适应泥泽和山石不同的道路条件，需制作轮缘截面不同的车轮。

《考工记·车人》记述“车人为车。行泽者欲短毂，行山者欲长毂。短毂则利，长毂则安。行泽者反，行山者仄。反则易，仄则完。”

《天工开物》中对于许多造物工艺来说，非常注重对风、水等自然资源的科学利用。在《天工开物》的《卷下·佳兵第十五》也记述了“弓”的制作工艺。从“天时”的角度看，造弓的竹料“宜秋冬伐，春夏则朽蛀”，已经充分考虑了时令对于选材的影响；“凡成弓，藏时最嫌霉湿”，说明弓的储藏也容易受到季节变化的影响。并进一步指出“近岁命南方诸省造弓解北，纷纷驳回”，指出南方之弓不适北方乃是其“离火即坏”的原因，说明了自然地理环境对造物的直接影响。“天生数物，缺一良弓不成，非偶然也”，说明了造物的一物之成乃是多种自然材料的综合应用。

总体来看，《考工记》特别强调人类社会活动与自然的紧密联系。早在春秋以前，人们在日月星辰周而复始的运转中发现了宇宙自然的“规律”，并将空间关系转换成时间关系，先民对天地神鬼关系及世俗权利的思考则促使人们以礼制秩序来约定人的日常行为与造物活动。如果说春秋以前的人与自然关系是神圣而神秘的，追求的是人道与天道的“合一”，那么晚明时期人与自然关系的神秘色彩逐渐淡化而归于世俗化，讲究的是人与自然“平等”、“和谐”。在《考工记》所记载的工艺活动中，工匠们的选材与制作均需考虑天时、地利及其使用环境，传统造物的整体思想与现代设计的系统理论契合，这无疑是科学且合理的。这一理念在《天工开物》中也得到了充分体现[[9]](#footnote-8)。

六、巧借的自然能力

《天工开物》中一条潜在的主线是，大自然蕴藏着造化伟力，人需要持续不断地探求自然中万事万物的规律，才能借助自然的神奇力量为人类所用[[10]](#footnote-9)。大自然是一个巨大的资源宝库，不仅有作为原材料的物产供给，也蕴藏着作为动力的自然能量。

明代晚期，由于农业和手工业生产规模的扩张，在以自然力为动力的工具器械上也达到了新的高度。在农作物生产中，水力机械至关重要。《卷上·乃粒第一》篇中有“水利”一节，对于筒车、牛车、踏车、拔车、桔槔（gāo）几种类型，如何分别利用水力、牛力、人力与风力都做了扼要介绍并附图说明。其中筒车自唐宋时期开始出现，在17世纪初期，已经在有河流之利的地区得到较为普遍的应用，且已经达到了“昼夜不息，百亩无忧”的效果。在水力机械中，水碓（duì）的设计令人叫绝。江南广信府（今江西上饶一带）有一种连机水碓，具有一举三用的功效。这一水力机械巧妙地利用水力完成了三种功用，虽属人力工巧，但其对自然动力之利用可谓是“巧夺天工”。

《卷上·粹精第四·攻稻》篇中记载“凡水碓，山国之人居河滨者之所为也。攻稻之法省人力十倍，人乐为之。引水成功，即筒车灌田同一制度也。设臼多寡不一。值流水少而地窄者，或两三臼。流水洪而地室宽者，即并列十臼无忧也”（见图4-12）。

江南信郡水碓之法巧绝。盖水碓所愁者，埋臼之地卑则洪潦为患，高则承流不及。信郡造法即以一舟为地，橛桩维之。筑土舟中，陷臼于其上，中流微堰石梁，而碓已造成，不烦椓（zhuó）木壅坡之力。又有一举而三用者，激水转轮头，一节转磨成面，二节运碓成米，三节引水灌于稻田，此心计无遗者之所为也。凡河滨水碓之国，有老死不见砻者，去糠去膜皆以臼相终始，惟风筛之法则无不同也。

在“舟船”一章中，对帆船使用风帆的过程中，如何借用风力也有细致论述。船的各个部分如船锚、缆绳、帆、桅的设计都必须严格符合规定尺寸，其中，风帆的尺寸要根据全船的宽度决定。而帆叶是巧借风力的关键，风帆受的风力，顶上的一叶相当于底下的三叶。当调节得准确顺当而又借着风力时，将帆扬到最顶端，船会前进得快如奔马。但是，如果风力不断增大，就要逐渐减少帆叶。另外，“舟船”一章中还记述了遇到横风即抢风时所用的经验，其中提到我国最早采用的一种航行操纵工具即“披水板”（船翼）的设计，若船身太长而风力很强劲时，作为船翼的披水板就能发挥关键作用，这时若急速放下一块披水板，就有助于抵挡风势。

《卷上·舟车第九·漕舫》中记载：凡船篷其质乃析篾成片织就，夹维竹条，逐块折叠，以俟悬挂。粮船中桅篷合并十人力方克凑顶，头篷则两人带之有余。凡度篷索先系空中寸圆木关捩（liè）于桅巅之上，然后带索腰间缘木而上，三股交错而度之。凡风篷之力其末一叶，敌其本三叶。调匀和畅顺风则绝顶张篷，行疾奔马。若风力洊（jiàn）至，则以次减下。遇风鼓急不下，以钩搭扯。狂甚则只带一两叶而已。

凡风从横来名曰抢风。顺水行舟，则挂篷之玄游走。或一抢向东，止寸平过，甚至却退数十丈。未及岸时捩舵转篷，一抢向西，借贷水力兼带风力轧下，则顷刻十余里。或湖水平而不流者亦可缓轧。若上水则一步不可行也。凡船性随水，若草从风，故制舵障水使不定向流，舵板一转，一泓从之。

在此书中强调“人类要和自然相和谐、人力要与自然力相配合、利用自然力（天工）来进行创造性生产的哲学观”。

**参考文献**

[1]托马斯·麦格劳，现代资本主义—三次工业革命的成功者，江苏人民出版社，2000年

[2]亨利·福特，亨利·福特自传，

[3]查理·卓别林主演的《摩登时代》。

[4]宋应星著，夏剑钦译注，天工开物，岳麓书社，2022年3月第1版

[5]李伯重，江南的早期工业化（1550—1850年），社会科学文献出版社，2000年12月第1版。

1. 徐光启撰，农政全书，上海古籍出版社1979年版，第969页。 [↑](#footnote-ref-0)
2. （清）陈淯等修，邓熝等纂，浮梁县志，台湾成文出版社有限公司1989年版，第669页。 [↑](#footnote-ref-1)
3. 转引自童鹰著，世界近代科学技术发展史，上册，上海人民出版社1990年版，第207页。 [↑](#footnote-ref-2)
4. 潘吉星，中国造纸技术史稿，文物出版社1979年版，第109页。 [↑](#footnote-ref-3)
5. 黄镇伟编著，中国编辑出版史，苏州大学出版社2014年版，第231页。 [↑](#footnote-ref-4)
6. 张秀民，明代南京的印书，文物，1980年第11期。 [↑](#footnote-ref-5)
7. 张秀民，明代北京的刻书，文献，1979年第1期。 [↑](#footnote-ref-6)
8. 吴新林，从《考工记》到《天工开物》：艺术比较视域下的中国传统造物思想之承变，艺术设计研究，2018年第3期。 [↑](#footnote-ref-7)
9. 吴新林，从《考工记》到《天工开物》：艺术比较视域下的中国传统造物思想之承变，艺术设计研究，2018年第3期。 [↑](#footnote-ref-8)
10. 马敏，“格物穷理”巧循自然--《天工开物》造物思想的生态意蕴与价值，美术与设计，2020年第1期。 [↑](#footnote-ref-9)