

# 自然科学发展简史

(中 册)

东北工学院自然辩证法研究室编

一九八二年

# 目 录

## 第三编 近代自然科学的全面繁荣

### 第九章 蒸汽动力和工业革命

- § 1 工业革命的兴起····· (2)
- § 2 蒸汽动力的普遍应用····· (4)
- § 3 工业体系的形成····· (7)
- § 4 工业革命的动力和后果····· (10)

### 第十章 热力学的研究与能量守恒转化定律

- § 1 热机效率的理论探索····· (15)
- § 2 能量守恒和转化定律的发现····· (16)
- § 3 热力学的发展····· (20)

### 第十一章 物质结构的化学理论

- § 1 原子——分子学说的建立····· (23)
- § 2 化学元素周期律····· (26)
- § 3 有机结构理论····· (30)

### 第十二章 地质演化和生物进化论

- § 1 十九世纪的地质学····· (34)
- § 2 细胞学说和拉马克主义····· (36)
- § 3 达尔文的生物进化论····· (39)
- § 4 孟德尔、魏斯曼的遗传学说····· (42)

### 第十三章 电 磁 理 论

- § 1 光的波动说····· (45)
- § 2 电流和电流的磁效应····· (47)
- § 3 电磁感应的实验和理论····· (49)
- § 4 电学的原理和实践····· (51)

### 第十四章 十九世纪的科学和哲学

- § 1 科学进展与人类的自然观····· (55)
- § 2 理论思维与科学研究的方法····· (58)

## 第三编 近代自然科学的全面繁荣

牛顿力学的建立和蒸汽机的发明标志着近代科学技术的形成。然而，直到十八世纪下半叶，自然科学的发展速度仍不够快，水平比较低，许多部门还处在打基础阶段。自然科学的应用方兴未艾，手工技术仍然占主导地位。

生产技术的真正跃进是从十八世纪末和十九世纪里发生的。在十九世纪的上半叶，英国完成了工业革命，法国、德国和美国的工业革命也分别开始并迅速接近完成。资本主义的自由竞争在十九世纪达到了顶峰，促进了生产力和科学技术的进步。马克思和恩格斯在描述十八世纪末期到十九世纪中期的情况时指出：“资产阶级在它的不到一百年的阶级统治中所创造的生产力，比过去一切世代创造的全部生产力还要多，还要大。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——过去哪一个世纪能够料想到有这样的生产力潜伏在社会劳动里呢？”（《马克思恩格斯选集》第1卷，第256页）

机器大工业的发展必然要求自觉地利用科学，并为探索自然规律提供了大量的精密的和强有力的实验手段和仪器，使得新实验如雨后春笋、新学说层出不穷的局面得以出现。自然科学的各个主要部门都在十九世纪里进入到大发展的阶段，并且由积累材料进入到以整理材料为主的理论综合的水平，分子物理学、化学、生物学、电磁学等学科先后在自己的领域内划了一个新时代。

自然科学在十九世纪里的蓬勃发展，日益显示出其推动社会经济进步的职能。特别是从这一世纪的中叶开始，由于电磁理论等的发展，自然科学逐渐走在生产的前面，并成为技术革命的先导，促进整个工业技术体系发生了崭新的变化。

自然科学在宏观领域里的理论综合，接二连三地打开了形而上学的缺口，从根本上改变了人们进行理论思维的方式。辩证唯物主义的产生是人类思想史上的伟大革命，也是自然观、科学观上的伟大变革。

## 第九章 蒸汽动力和工业革命

### §1 工业革命的兴起

欧洲各国在十八世纪时已先后取得了资产阶级革命的胜利，摆脱了阻碍生产力发展的封建羁绊。资本的原始积累使资产者获取了大量金钱，使成千上万的农民破产为“自由的”劳动者。工场手工业的发展和分工的扩大，造成了一大批熟练工人，在技术改进上积累了经验，使应用机器进行生产成为可能。十七、十八世纪的科学技术，为生产的发展提供了许多发现和发明。在这种情况下，在这些条件具备得更充分的英国和相继而起的其他一些国家，开始了工业革命。

工业革命是新兴资产者在十八世纪后期和十九世纪里掀起的以技术革命为中心内容的一场社会变革，它的主要特点是在工业生产部门中发明了和普遍应用了专门的工作机、动力机，由手工技术过渡到机械技术，由工厂手工业过渡到大机器生产的工业技术体系。工业革命是在资本主义自由竞争的条件下兴起的，工业革命又促进了资本主义经济的发展并加剧了资本的自由竞争。

十八世纪的工业革命首先是从工作机或工具机开始的。这时的机器系统是由三个部分组成的，它们是工作机、动力机和传动机构。工作机直接作用于劳动对象并使之变为产品，从技术进化的历史看，人们首先是把加工劳动对象的过程机械化，然后再根据机械的性质和大小采用适当的动力去推动它。纺织业在很长时期里是英国工业的最重要部门，纺织工作机的发明、改进和推广是英国工业革命的起点。

十八世纪英国的纺织业发展很快，纺织技术不断改进。1733—1738年间，呢绒工人凯伊（1704—1774）发明了“飞梭”，改变了过去用手穿梭的织布操作，提高了织布效率，因而使纺纱不能适应织布的要求。1738年，英国人惠特等制成了滚轮式纺纱机，纺出了“不用手指”的棉纱，揭开了十八世纪工业革命的序幕。1764年，织布工人哈格里沃斯（1720—1778）把原来水平放置的单锭纺车改造为竖立的由多个纱锭构成的新型纺纱机——珍妮机，把引纱和捻纱的操作机械化，使纺纱效率提高了十几倍。1768年，理发师阿克莱特（1733—1792）利用了木匹海斯的设计制成了一种利用水力带动的滚筒纺纱机。珍妮机纺出的线精细但不结实，水力纺纱机纺出的线坚实但不均匀，童工出身的克伦普顿（1753—1827）在1774—1779年间综合了这两者的优点，设计了纺线既结实又均匀的纺纱机——“Mule”即骡机。这种技术上杂交的产物有300—400个纱锭，效率很高，它是近代工业革命中的重大发明。骡机的出现使织布能力又落后于纺纱，1785年，牧师卡特赖特（1743—1823）又发明了自动织布机。在十八世纪末，英国的纺织业已基本上用机器代替手工操作。

纺织技术的改革引起了一系列的连锁反应。由于在纺织部门中使用机械提高了生产

和竞争能力，增加了利润，别的部门中的资本家也纷纷仿效，把利用新的工作机作为聚财之道。而且，由于社会分工之间的联系，纺织技术的进步必然要求其他方面生产技术的相应改变。有了机器纺纱、机器织布，就要求机械化的净棉、梳棉、机械化的漂白、印染，机械化的起重、运输，要求有生产各种机械化装置的原料和加工技术，要求有力学、机械工艺学、化学等方面的研究。正如恩格斯所说：“随着纺纱部门的革命，必然会发生整个工业的革命。……我们到处都会看出，使用机械法和普遍应用科学原理是进步的动力。”（《马克思恩格斯全集》第1卷，第671—672页）

由蒸汽驱动的工业上通用的动力机的发明和应用是十八世纪工业革命的第二阶段。随着纺织机和其他新的工作机的出现，要求动力机也要有所变革；工业革命起源于工作机的改变，发展于动力机的更新。

动力、能源在社会生产中有极为重大的作用。人们最初只能用自己的双手，用风力、水力、畜力等自然力代替人力这当然是一种进步。风力本身不需要成本，在水力资源不足的地方（例如荷兰），风力曾经是主要的动力，但风力很不稳定，难以控制，不能广泛应用。水力易于驾驭，比风力稳定得多，从古代起到十七、十八世纪是大多数国家手工业生产的主要动力。水力的缺陷是受地区和季节的限制，能力不能随意增加，有时甚至枯竭。马是工厂手工业时期经常使用的一种动力，它主要被用于交通运输和矿井排水，但用马作工业动力不仅昂贵，而且非常麻烦。

动力技术的变革首先发生于矿井排水的需要，在十八世纪后半叶，英国的各矿井中已普遍使用了纽可门蒸汽抽水机。在这时，也有了对蒸汽机结构和效率的实验研究。英国机械师斯密顿（1724—1792）对各种马力的许多蒸汽机作了系统的分析，写出了许多实验报告和整理出一套计算公式，为蒸汽机的改进提供了资料。

瓦特（1736—1819）发明了新的蒸汽动力机，是工业革命中又一重大事件。瓦特原是格拉斯哥大学中从事仪器制作和修理的工匠，他在修理纽可门蒸汽机中发现，这种蒸汽机的效率很低（大约为1%）；而且，根据斯密顿的实验资料还表明，大蒸汽机的效率又比小蒸汽机的效率要高一些。瓦特根据比热、潜热的概念分析了上述现象，认为纽可门蒸汽机的主要缺点是在汽缸内反复进行冷凝、加热，把大量热能浪费于重新加热汽缸；而小蒸汽机汽缸面积对汽缸体积的比例更大，因而效率更低。针对这个问题，瓦特在1765年研制成功了同汽缸分离的单独的冷凝器，加以采取了汽缸和活塞的精密加工、润滑油活塞和汽缸外设置绝热层等措施，改进了纽可门蒸汽机，使热效率提高到3%以上。

瓦特改进和研制这种蒸汽机仍是单向动作的，可以用于矿井抽水，但不能用作工厂生产中的动力机。他又经过多年的研究、试验，在1782年研制成功了具有连杆、飞轮和离心调速器的双向蒸汽机，使蒸汽机可以把直线运动变为连续而均匀的圆周运动，因而可以经过传动装置带动一切机器运转，给整个工业和交通运输业提供了一种可靠的通用的动力机。从此，动力机、传动机、工作机组成了机器生产的系统，这是人类生产技术的一次重大的飞跃，是认识和利用自然力的一个大突破。

开始用机器制造机器，是十八世纪工业革命的第三阶段，这主要是与刀架的发明有关的。纺织业和其他行业的工作机的创建，动力机的革新特别是双向蒸汽机的发明，为

工业的发展开辟了巨大的可能性，而实现这种可能性又取决于机器制造业的水平 and 能力。否则，发明家们即或把纺纱机、织布机、蒸汽机等设计出来并造出了样机，却不能成批地、合格地把它们生产出来，不足以使整个工业实现生产资料的更新，工业革命仍不能实现。只有在可以做到用机器生产机器的时候，大工业才有它的技术基础并得以自立。

在十八世纪以前，虽然有了用水力、畜力驱动的简单机械，大量的产品基本上是靠手工加工的，连生产中所使用的机械装置也得用手工方法生产。纺织机（在十七、十八世纪时以用木料为主）靠木匠、钟表匠、纺织工匠的经验制成。早期的蒸汽机是由熟练工匠在简陋的小作坊里制作出来的，工匠们凭着精湛的技艺用双手在铁坯料上加工出汽缸和活塞等部件。但是，手工加工的速度终究很慢，产量低，成本高，精度也差，例如，加工出的汽缸和活塞常常不能有适当的配合，在使用时会大量漏气。

由于制造蒸汽机、纺织机和枪炮的推动，十八世纪末期的机械加工技术也有新的进展。在制锁、制枪支中开始实行了可以互换零部件的标准化方法，有了较大型炮筒镗床，而最重要的是英国机械师莫兹利（1771—1831）在1774年发明的车床上的移动刀架和在1797年制成的安放在铁底座上带有移动刀架的车床。莫兹利把原来用手握持的刀具安装在机架上并使之能沿着车床的中心轴线平行滑动，这种自动刀架车床可以方便、迅速、准确地加工直线、平面、圆柱形、圆锥形等多种几何形状的部件，使车床真正成为机器制造业自身的工作机。滑动刀架这一简单的发明是机械技术史上的重大创造，在十九世纪中英国出版的《全国的工业》一书中认为，滑动刀架“对机器使用的改良和推广所产生的影响，不下于瓦特对蒸汽机的改良所产生的影响。采用这种附件的结果是，各种机器很快就完善和便宜了，而且推动了新的发明和改良。”机械化操作的金属切削机床可以用来制造各种行业的工作机和动力机，也可以用来自己制造自己，它是工业革命中名副其实的工作母机，它的出现标志着机器制造业进入到一个崭新的阶段。

十九世纪是用机器生产机器的时代。在这一世纪初到四十年代，由于许多人的努力，创造了专门加工平面零件的刨床、多刀切削的铣床、自动螺丝车床、加工大型零件的立式车床、刀具作垂直运动的插床等一大批新的工作母机。在以往的机械加工技术中，工程师们只有直尺、圆规等简单的检测工具，很难测试加工精度。在十九世纪上半叶就发明了许多精密的检测手段，例如测量平面的平规、可量出万分之一英寸误差的螺旋规，还设计了多种精密机床。由于机械加工技术的多样化、专门化和标准化，使过去只能靠熟练工人的技艺乃至只靠工匠能力办不到的事情变得轻而易举了。机械工业的实力越来越雄厚，为工业革命奠定了基础。

## §2 蒸汽动力的普遍应用

工业革命在十八世纪里主要表现在机器系统方面的新发明，或者说，基本上还是技术领域内的革命，新的工作机、动力机还没有在工业上得到广泛的实际应用，也没有造



成重大的经济效果和社会作用。十八世纪的欧美各国，包括当时最发达的英国在内，主要的动力还是水力、人力和畜力，第一部实用蒸汽机的发明并没有立即导致蒸汽时代的到来，而且，蒸汽机在开始应用时还发生过锅炉爆炸等事故，许多人对蒸汽动力是否安全议论纷纷，有的人甚至主张不用蒸汽机。然而，在进入十九世纪的时候，尽管一些人仍用怀疑的眼光对蒸汽机评头品足，由蒸汽力推动的滚滚车轮已把人们带入工业革命的新时代——蒸汽时代。

蒸汽机首先是以它的技术优越性和技术改进成为时代的标志的。瓦特把蒸汽机的效率提高到 3%，但是，瓦特蒸汽机的效率仍然是不高的，蒸汽机还要在十九世纪的工业革命中经受考验和得到改造，与瓦特同时和在瓦特之后，投身于蒸汽机研制的人为数甚多。1804年，英国的符尔弗（1766—1837）把瓦特蒸汽机的单汽缸改制为双缸复胀式蒸汽机。英国的特列维西克（1771—1833）、美国的伊文斯（1755—1819）和佩金斯（1766—1849）、德国的阿尔班（1791—1846）、俄国的李特维诺夫（1785—1843）等人分别设计或制成了高压蒸汽动力装置。法国的吉恩（1815—？）开始了过热蒸汽的利用。

由于提高了进入蒸汽机的蒸汽压力和其他技术改进，因而提高了蒸汽机的效率，在十九世纪上半叶就开始了普遍使用蒸汽动力的黄金时代。在1800年，英国使用的蒸汽机仅 321 台，共 5210 马力，到 1825 年就上升到 15000 台，共 375000 马力，猛增了几十倍。四十年代，整个欧洲国家和美国都普遍推广使用了蒸汽机，在工厂、矿山都建造了安置锅炉和蒸汽机的厂房，只要是需要动力的地方，就有蒸汽机的出现。由于大型蒸汽机的效率较高，许多厂矿都只使用一台或少量蒸汽机去推动更多的工作机。蒸汽机动力经过天轴、皮带等传动装置带动着一批车床工作，这就是十九世纪机器系统的典型形式。

蒸汽机带着纺织机、鼓风机、抽水机、磨粉机，造成了纺织、印染、冶金、采矿和其他工业部门的迅速发展，创造出人们以前无法想象的技术奇迹。例如1836—1837年间，荷兰人用大型蒸汽机带动十一台水泵抽干了哈勒姆湖约 10 亿吨湖水。由蒸汽动力机和新的工作机把工厂手工业作坊转变为机器大工业工厂，这是人类劳动组织形式的重大改变，在这之后才有了真正意义上的社会化大生产。

蒸汽动力的应用，根本改造了交通运输技术的面貌，直接导致了轮船、火车的发明。交通运输从来就是社会生产和人们交往的必要条件，在自然经济占统治的封建社会里，除了海上贸易需要较大的船只，运输工具还不具有突出的地位，运输量也不大。资本主义的兴起是与远洋航海分不开的，到了十七、十八世纪之交，社会生产力上升很快，使棉花、布匹、煤炭以及各种原材料和产品的运输成为十分突出的问题。英国每年加工制作的棉花在十八世纪七十年代初是 500 万公斤，到十九世纪三十年代末约为 5 亿公斤，增加约一百倍；从 1790 年至 1830 年间，生铁产量从 7 万吨增到 69 万吨，煤炭从 760 万吨增至 1600 万吨。然而，十九世纪初期的水陆运输工具仍然是古老的帆船和马车，载运量少，速度又低，这些落后的运输工具已经成为大工业生产和相应的社会经济生活的绊脚石。正如马克思所说：“工农业生产方式的革命，尤其使社会生产过程的一般条件即交通运输工具的革命成为必要。……工厂手工业时期遗留下来的交通运输工

具，很快又成为具有狂热的生产速度和巨大的生产规模、经常把大量资本和工人由一个生产领域投入另一个生产领域并具有新建立的世界市场联系的大工业所不能忍受的桎梏。”（《马克思恩格斯全集》第23卷，第421页）

十八世纪末，就有一些人试图用瓦特蒸汽机去推进船舶。开始制造的轮船，或不能载货，或在载货后走得比帆船还慢。1807年，美国人富尔顿（1765—1815）等人建成的“克勒蒙特”号汽船航行成功。1819年带有风帆和蒸汽动力的“萨凡纳”号，满载棉花，用26天走完了当年哥伦布用木帆船行走70天的路程，横渡了大西洋。由于捷克的勒塞尔（1793—1857），瑞典的埃利逊（1803—1889）和英国的史密斯（1808—1874）等人的工作，研制成了用螺旋桨代替明轮推进的汽船。从1807年到1860年间，汽船单轮的排水量从150万吨增加到27384吨，装机动力从20马力增加到8300马力。但是，造船技术的发展并不是一帆风顺的，在将近八十年的时间里，由于技术、经济和思想上的原因，对于制造和使用汽船与帆船、铁船与木船、钢船与铁船，一直进行着相当激烈的争论。蒸汽动力的铁船和钢船，终于也以它的技术和经济上的优越性为这场争论作了总结。在1865年，英国登记的轮船吨位还不到帆船的五分之一，但轮船的载运量就已多于帆船。在这以后，帆船吨位和载重量的比例就越来越小了。

在制造汽船的同时，十九世纪初，也有一些人试图用蒸汽机代替马匹去拉车，造出了最早的“火车”。在有火车以前，已有了少量的“马车铁路”，用马拉着四轮车在铁轨上行走，使运输效率略有提高。最早的蒸汽车（本身既是机车又是货车）可以承载很少的货物，但走得比马车慢，还经常出轨或损坏铁路。1814年，英国煤矿工人出身的斯蒂芬逊（1781—1848）制成了牵引用蒸汽机车，解决了易于脱轨的问题，但速度仍不够快，震动较大。在十九世纪三十年代初，英国在建设一条长56公里铁路时，对用马牵引还是蒸汽机车牵引发生争论，并采取了两者并用的折衷方案。1825年，斯蒂芬逊驾驶着由他设计和指导制成的旅行号机车，牵引载客450人和货物90吨的列车在这条铁路上试车，净运行两小时，成功地达到目的地。这时，一些人又顾虑列车运行太快而不安全，私人的马车运输公司和水上运输公司害怕竞争，仍然反对火车。1829年5月，英皇还明文批准过禁止正式使用机车牵引。但机车牵引的试验仍在进行，1829年10月，斯蒂芬逊驾驶的火箭号机车牵引列车在火车比赛中获得第一，引起了更多人的重视，从此，火车正式登上历史舞台，开辟了陆上运输的新纪元。

四十年代中期以后，英国出现了铁路建筑的狂热，迅速建成了主要的干线。美、法、德、俄等国也着手兴建铁路，很快形成了全国铁路网。世界铁路在1840年为九千公里，到1870年增加到二十一万公里。第一次世界大战以前，用于铁路的投资占世界工业总投资的四分之一。

由于轮船、火车的发明和应用，进一步促进了整个社会经济特别是蒸汽机生产和机械加工业的发展，使大机器生产的工业体系成为现实。轮船、火车延伸到世界各地，缩短了地球的距离，把过去分散、孤立的地区和国家联结起来，成为工农业生产和社会交往的动脉。蒸汽船和火车的速度和力量象征着工业革命期间的时代精神，“开动蒸汽”、“铁路速度”扫除了中世纪留下来的悠闲懈怠的贵族习气，代之而起的是紧张、



忙迫的新鲜气息。

十九世纪中叶以后，蒸汽机技术的局限性暴露出来。旧式蒸汽机受往复运动的构件的惯性力的限制，转速较低，功率较小，适应高转速、高功率的需要，又有了蒸汽涡轮机的发明并首先在军舰上得到应用。但是，蒸汽机相对仍是比较笨重的，效率也不很高，这就要求有更灵活、更轻便、更高效的动力装置。然而，蒸汽技术不仅有伟大的历史作用，到了二十世纪乃至今天也没有完全失去其作为动力机的意义。

### §3 工业体系的形成

十九世纪的工业革命不仅是个别工业部门被新的工作机武装起来，也不仅是蒸汽动力的广泛应用，而是机械、冶金、采矿、化工、建筑、交通运输等各个部门全面改造以至整个工业体系的形成。

大量制造蒸汽机和用蒸汽作动力的工作机（这种工作机已不能主要用木材制作了），铺设铁路，制造机车、车辆、轮船和各种机床，以及近代武器的生产，使原来的冶金业在产量和质量上都不能满足需要。在十八世纪上半叶以前，一直是用木炭作为炼铁原料的，木材的不足限制了铁产量的增加。1713—1735年间，英国的达比发明了用焦炭代替木炭炼制生铁的方法，英国的考尔特（1740—1800）创立了用煤炭为燃料冶炼熟铁的搅拌精炼法，加以采用了蒸汽鼓风，使铁的产量有了较大的增长。到了十九世纪，不仅铁的需求剧增，因而有了较大的炼铁高炉，而且有了利用钢材的必要。原来的蒸汽机是铁制的，随着蒸汽机冲次的提高，硬脆的生铁或偏软的熟铁不能用来制作快速运转的部件，只能用硬度、韧度或强度都比铁好的钢材，但当时的渗透法炼钢则成本昂贵且产量很少。英国工程师贝塞默（1813—1898）发明了来复线使大炮可以打得又远又准，而这种大炮的炮筒也不能用铸铁制作，促使他转而从事冶金技术的研究。1855—1856年间，贝塞默发明了把生铁熔化吹入空气再加入高锰铁水的转炉炼钢法，去除了铁水中的杂质，控制了含碳量，可以较快较多地炼出合格的钢材，开辟了炼钢的新纪元。七十年代初，贝塞默炼钢法已在欧洲推广，在英、法、德等国已有一百多座使用这种炼钢法的转炉。随着转炉炼钢法的发展，产生了大量的工业废钢，而转炉只能用生铁水作原料，不能解决废钢处理的问题。1861年，德国工程师西门子（1823—1883）等发明了煤气发生炉和蓄热式煤气燃烧炉，得到了可以熔化钢的高温。1865年，法国工程师马丁（1824—1915）利用西门子的发明，开创了平炉炼钢法。由于这一成就，确立了高炉、转炉、平炉的钢铁冶金的生产体系，使钢铁工业大规模兴起，钢铁产量不断增加。

贝塞默炼钢法只适用于含低磷、低硫的铁矿石，这种原料在英国仅占全部铁矿石的十分之一，德、法、比利时、卢森堡等国则均为高磷矿石，不少钢铁厂在用贝塞默法炼钢时遭到失败。经过多年的研究，英国的托马斯（1850—1885）在1878年发明了碱性转炉炼钢法，用造成碱性炉渣获得了良好的脱磷效果，1868年以后，又有了高碳钨锰钢、钨铬钢和高速钢的炼制。钢产量的迅速提高和钢铁品种的不断增多，为各行各业的材料消费和机械加工中工具和刀具的改革提供了物质保证。

蒸汽机、轮船、火车和钢铁生产又使煤炭的需用量急剧增加，促进了煤矿开采技术的进步。十八世纪中叶时，绝大多数煤矿只有几个到几十个矿工，靠人力在离表面很浅的井下作业。十八世纪末，由于采用了蒸汽机排水、通风，采煤深度和采掘量有所提高。英国化学家戴维（1778—1829）应“防止煤矿事故协会”的请求，从事研制并在1815年发明了防爆安全灯。1867年，瑞典化学家诺贝尔（1833—1896）发明了不同于黑色火药的“安全炸药”——黄色炸药。这两项发明使采煤效率大为提高。然而，由于地下开采的复杂性，直到十九世纪末期截煤机的发明和应用之前，采煤技术的机械化程度还是较低的。

煤不仅是工业的燃料和动力，煤和采煤还是照明的来源。十八世纪后半叶，英国的一些地方已开始用天然煤气点灯，以后又用从煤在炼焦时所产生的煤气来照明。在十九世纪初，许多工厂、街道、办公室都安装了煤气灯。但煤气灯不仅设备费用多，亮度也不高，未能在一般家庭中普遍应用。十九世纪中叶，由于成功地通过干馏煤从溢入煤矿矿井的石油中提炼出灯油，才有了煤油灯的发明。1859年，美国首次用机械钻开凿油井成功，开创了石油工业，使石油成为灯油的原料。

工业革命的发展使煤气、煤油、石油成为照明的燃料，并进而使它们成为新动力机发明的动力。很早以前，有人就设想，把燃料摺入筒内点火爆炸利用其动力，未获成功。十八世纪末，又有了点燃煤气作动力的设计。基于机械加工技术的进步，在1823年，英国人布朗发明了最早的内燃机——煤气机。1860年，法国的卢诺瓦（1828—1900）发明点火栓，并使煤气机在工业中得到应用。1865年，法国生产的煤气机约为400台，英国100台。1862年，法国的罗哈斯（1832—1891）发表如何使压缩式内燃机提高效率的理论，德国人奥托（1832—1891）在他的理论指导下在1876年制成了四冲程煤气机，从此，煤油机的制造和应用发展更快。但是，旧式煤气机是模仿蒸汽机的样式制作的，转速不够高（每分钟200转左右），而且，煤气机上要有煤槽和煤气发生器，体积和重量都较大。1883年，奥托的协作者、德国的戴勒姆制成了汽油机，每分钟转速可达900转，而且，由于用油箱和汽化器代替了煤槽和煤气发生器，汽油机变得小巧轻便，因而有可能成为一种新的动力设备。但是，戴勒姆汽油机必需用精炼的石油作燃料，热效率也不高，除了在特殊场合试用，还不能成为广泛实用的新动力。1895—1897年德国的狄赛尔（1858—1913）试制成功了采用压燃点火的柴油机成功，使内燃机进入广泛实用阶段。但是直到二十世纪初，内燃机才真正显示出它比蒸汽机更为优越。

工业革命中纺织业和农业的发展也敲开了化学工业的大门。纺织业的大幅度增产首先引起漂白和印染的技术革新。旧时的漂白工艺要把纺织品放在草木灰碱性溶液和发酵的酸牛奶中反复浸泡，周期很长，要加快漂白过程和加大处理量，就需要甚多的酸和碱。1746年，英国医生罗巴克发明的铅室法制造硫酸，因其产量高且成本低，为硫酸的工业生产作了准备。但铅室法生产的硫酸浓度低，成份不纯，还排出有害的尾气。到1827年，法国化学家盖吕萨克（1778—1850）发明了处理铅室法尾气的吸硝塔，英国的格洛弗（1817—1902）又在1859年创制了脱硝塔，使硫酸生产形成了由脱硝塔——铅

室——吸硝塔的完整体系，以后又发展为塔式法，但塔式法制酸仍有产品浓度不高的缺点。1876年，德国的文克勒（1838—1904）又发明了用铂石棉做催化剂的接触法制硫酸，但由于没有解决催化剂中毒的问题，在十九世纪里没有推广。

制酸工业的发展为制碱工业提供了大量的原料，从而也促进了制碱技术的进步。法国医生路布兰在1791年发明的使食盐和硫酸化合再与石灰和木炭相作用的制碱法在十九世纪上半叶曾盛极一时。但路布兰法消耗硫酸和燃料过多，产品质量不高，设备腐蚀严重。经过许多人的改革，到1862年，比利时化学家索尔维（1838—1922）用氨参与中间反应从食盐和石灰制碱，这种氨碱法的产量高，质量好，原材料消耗少，从十九世纪末逐步取代了路布兰法。之后，又有了电解法制碱。

制酸和制碱是基础化学工业，它们不仅生产酸碱，还能生产漂白粉、芒硝、硫代硫酸钠、苛性钠、盐酸、硫磺，从而又促使制皂、制纸、制药、染色、玻璃等工业的发展。

十九世纪化工技术的另一个重大成就是化学肥料的制造。工业革命的发展使农业劳动力大量转入城市工业，而对农业的需求却不断增加，使提高农业生产技术和增加农业产量成为迫切任务。长期以来，人们认为植物是从腐植质中吸取营养的，土壤的肥力决定于腐植质的多少。1804年，法国的索修尔（1767—1845）通过实验证明，植物生长所需要的碳来自空气中的二氧化碳而不是来自土壤。1841年，法国的鲍辛高尔特（1802—1887）证实农作物中碳、氢、氧、氮含量总大于肥料中这些元素的含量，而豆科植物的含氮量又比肥料中的氮更大，作物中无机盐含量则小于肥料中无机盐含量，对于肥料和作物的关系有了一定的认识。

德国著名化学家李比希（1803—1873）正式确立了恢复土壤肥力的化学原理。他用化学方法分析了植物灰，发现其中含有钾盐和磷酸盐，据此造出了与植物灰成分相同的人造肥料。他还认为，既然植物的无机物质取自土壤，那就应该给土壤补充被消耗掉的无机盐。由于李比希在有机化学、有机定量分析和农业化学上的卓越贡献，他被称为德国的“化学之父”。1885年，法国化学家拜特洛（1748—1822）搞清了氮肥的机制，发现豆科植物的根瘤里生长着一种微生物，它能使大气中的氮转化为氨，而生存在泥土中的微生物又把氨变成硝酸盐，因此豆科植物可以无需施加氮肥。农业化学的应用促进了人造肥料工业的发展。十九世纪四十年代，德国、英国和欧洲其他国家陆续建立起磷肥厂、氮肥厂、钾肥厂，化肥工业成为无机化学工业中的重要组成部分。

在染料生产和煤焦油工业利用的推动下，有机化学合成工业在十九世纪后半期发展起来。煤焦油是炼焦和煤气工业的副产品，因其难于处理，最初被当作废物扔掉，煤焦油越积越多，严重污染环境，引起人们研究它的利用问题。李比希的学生、德国化学家霍夫曼（1818—1892）在煤焦油中发现了苯胺（油状液体），并设想从煤焦油的衍生物中提炼奎宁（治疗疟疾的特效药）。他把这项任务交给学生、英国人珀金（1838—1907），珀金只知道奎宁的组成而不知其结构的复杂性，没有制成奎宁，但当他把重铬酸钾加进苯胺后却意外地得到有紫色闪光的黑色粘液，再用酒精溶解成为鲜艳的紫色溶液，这是一种天然自然界所不存在的优良染料——苯胺紫。珀金在1856年作出这一发

明，由于那时的纺织业急需染料，第二年珀金就开办工厂，开始从事苯胺染料的工业化生产。

在珀金的发明以前，人们主要是从天然物获得染料的，如从茜草中提取茜素（红色），从蓼蓝（植物）提取靛蓝，但天然染料色彩不鲜艳，容易褪色，成本又高。珀金的发明大大推动了合成染料的研究。十九世纪下半叶科学家们又陆续得到了碱性品红、苯胺蓝、靛蓝，并实现了天然染料茜素的人工合成。在这一时期，还用化学合成的方法制成了水杨酸、阿斯匹林等药物，以及人造香料、糖精、人造丝、酚醛树脂（电木）、赛璐珞等物品。诺贝尔在合成安全炸药之后，又合成了比较稳定而又具有强大爆炸力的胶状炸药。

整个十九世纪是化工技术全面发展的时期，凡与人类生活有关的化工部门，如制造酸、碱、氯气、煤气、化肥、水泥、染料、油脂、药品、橡胶、火柴、人造纤维以及炼油、电镀、电解等等都建立起来了。到十九世纪末，化工技术已与冶金、电力技术并驾齐驱了。

在十九世纪的工业革命中，建筑技术、通讯技术等也有了较大的发展。修筑道路、开凿运河对英国的工业革命有重要作用，从十八世纪九十年代到 1830 年，仅英格兰和威尔士就开凿了总长约三千英里的运河。由于工业和城市的发展，必须建造大量的厂房、仓库、车站、商场、展览馆，十九世纪建筑技术的重大变化是用钢筋混凝土结构代替传统的砖石结构。工业革命不仅要求交通运输技术的发展，商业、交易所以及军事上的需要还促进了通讯技术的进步。

总之，在十九世纪里，首先是由于工作机和动力机的完善，引起了整个社会生产面貌的根本改观。这不仅是轮船、火车等社会交往方式的机械化，而主要是直接创造物质产品的生产领域采用机器操作；这不仅是个别工业部门的技术有了重大突破，而是一系列部门中都发生了技术革命并相互促进，是以机器大工业为特点的近代工业体系的形成。

#### §4 工业革命的动力和后果

十八世纪以来的工业革命是在资本主义生产方式上升时期兴起的，资产阶级对这场革命、对工业革命中科学技术的发展起了积极的推动作用。资本家、资产阶级政府不仅关心科学技术的进步，而且还采取了一些促进科学技术进步的措施，直接干预科技活动和科技事业。

在十八世纪中叶以前，科学技术活动基本上是靠个别学者、个别工匠分散进行的，特别是缺乏促进技术进步的社会组织，科学学会为数不多，人员也少。在工业革命中，情况就不同了，在资本主义国家中出现了由地方企业家赞助的科学技术团体，其中最早的一个是 1766 年在英国伯明翰成立的太阴学会。伯明翰位于英国中部，是当时资本主义经济比较发达、工业革命相当活跃的地方。学会的发起人是与瓦特合伙制造蒸汽机的企业主，成员包括化学厂老板、铁器制造厂主、发明煤气照明的工程师默克多、化学家

普利斯特列、印刷术改进者和医生等。太阴学会在每月的圆月之夜聚会，讨论本地区的工艺技术和科学问题。这个学会实际上成为英国中部工业革命的参谋部。1781年，在英国的曼彻斯特也建立了由工业家和科学家组成的地方性科学社团。当地的纺织业比较繁荣，要求解决漂白和染色中的问题，曼彻斯特学会在建立后特别关心化学，从1817年到1844年，一直由化学家道尔顿任会长。此外，专业性的学会，例如植物学会、地质学会、化学学会自十八世纪末和十九世纪中叶建立起来之后，到十九世纪末，英国全国共有一百多个科学社团，总人数约增加一百倍。1831年，成立了全国性的英国科学促进会，它的主要任务是分析科学发展的全貌，指出在进一步研究中最有成功希望的新方向。这个协会对十九世纪英国科学的发展有重要影响。英国皇家学会也在十九世纪里进行了改革，规定贵族不享受参加学会的特权，学会成员以科学家为主。

美国科学活动和科学组织更带有“官方”特点。1797—1815年间，美国总统杰弗逊认为国家少不了科学，并亲任包括农艺、医学、天文等学科在内的美国哲学学会会长，给科学研究拨给政府基金。1844年，总统泰勒主持了美国第一次全国科学大会。1863年，总统林肯批准成立美国国家科学院。在十九世纪，美国共建立了四百多个科学技术组织。但是，那时美国的科学活动整个来说落后于欧洲。美国政府在十九世纪的科学拨款主要用于研究蒸汽锅炉爆炸的原因这类有明显实用价值的项目，对基础科学的资助甚少。

在十八世纪时，资产阶级曾采用悬赏和发放奖金的办法来刺激技术发明，到十九世纪，这种临时性的悬赏办法被新的专利制度所取代。欧洲的专利制度起源于中世纪，开始是经营手工业和商业的特许权。十四、十五世纪时，英国国王或以专卖权赐给宠臣，使贵族享有专利特权，或滥发专利特许证，收取特许费，勒索盘剥。资本主义兴起后，把这种专利制度沿袭下来，对新的技术发明也给予专利。但是，旧的专利制度手续繁杂，呈请技术专利要用许多钱，一般出身寒微的发明家负担不起。发明焦炭炼铁的达比，发明纺织机的哈格里沃斯、克伦普顿，发明蒸汽机的萨弗里、纽可门，都没有获得专利权。旧的专利制度限制了工业革命的发展，资产阶级基于利用科学技术的迫切需要和要在利用新发明中设法协调彼此的关系，在十九世纪后半叶先后修改或制订了新的专利法。在1852年修订的英国专利法中否定了贵族特权，宣布凡属独创性的发明和见解均应受到法律保护并获得奖励，简化了申请专利的手续。新专利法还规定，发明创造在申请专利之后必须付之实施；如果发明人自己不实施或妨碍他人合法利用，就要强迫实施或取消专利权。法国、德国、俄国、日本也在1856—1896年间确立了比较完善的专利法。新的专利制度促进了创造发明，专利项目的增长反映了十九世纪技术的长足进步。

资产阶级需要科学技术，需要从事科学技术活动的科学家、发明家。科学技术知识分子在资本主义条件下的处境比旧时代要优越得多，他们在迅猛兴起的工业革命中大显身手。但是，在如何对待知识分子的问题上，也不是没有任何历史教训的。1793年，代表法国资产阶级民主派的雅可宾派推翻了代表大工商业资产阶级的吉伦特派的统治，实行革命民主专政。在革命高潮中，曾对与吉伦特派有联系和在旧政权中任职的科学家采取了严厉的政策，处死了曾经管理税务的化学家拉瓦锡和曾任巴黎市长的天文学家巴伊



等人，曾任法国家科学院秘书的孔多塞在拘捕前自杀，还有一批科学家被禁止活动，科学院被封闭，许多科学团体被解散，技术学校被关闭。审判拉瓦锡的法院副院长柯芬荷尔宣布“共和国不需要科学家”，法官迈兰则说，法国的“学者已经太多了”。但是，“共和国不需要科学家”的提法和做法立即遇到了困难。当时的法国革命很需要火药、枪炮、钢材和硝石等军用物质，国家财政也需要发展工业生产，而正是那些被禁止活动的科学发明家们能够解决这些问题。在这种情况下，法国革命时成立的国民议会很快就改变了对知识分子的态度，向他们提出了科学技术研究的任务，重新开放了科学院，并任用一批著名的科学家去担任政府的高级官员。

工业革命的发展需要有懂得科学并能掌握近代技术的大批人才。英国在十八世纪首先出现的技工学校到 1850 年已发展到约有六百所，其中一些后来变成了技术学院。法国在 1794 年，国民议会接受了一些科学家和工程师的建议，批准成立了法国理工学院，在招生条件、考试制度、课程设置等方面实行改革，它在十九世纪里成为科学技术教育和研究的中心，培养出了一大批作出开拓性发现和发明的著名人才。德国、奥地利、瑞士、俄国等国家也在开办工艺学校或技术学校的同时，开始兴办理工科大学或学院。德国的科学技术教育后来居上，搞得更为出色。美国也很重视科技教育，1861 年靠私人联合公司的资金建立了麻省理工学院。1862 年，美国国会通过了“土地赠予法”，规定各州要出卖从联邦政府获得的土地并把卖得的钱用于建立农业专业学院，结果在二十八个州都建立了这种学院。

资本主义国家在工业革命的过程中就曾采取过技术引进的措施。英国的纺织技术开始是采用意大利、西班牙和荷兰的手工艺。十八世纪时，由于欧洲大陆战争连绵，流入英国的工匠更多，而且，英国当时允许外国人申请专利，也使国外的发明得以输入，对英国实现工业革命起了有利的作用。1806 年，拿破仑为与英国争夺，宣布实行封锁政策，严禁欧洲大陆国家与英国有经济技术往来，企图扼杀英国，但这种做法却使法国的许多工业部门因设备落后、原料不足而陷入困境，因此不得不在 1825 年取消禁令。此后，法国从英国输入了珍妮机、水力纺织机，并用高工资从瑞典、意大利、希腊等国招聘熟练工匠，促进了法国工业的发展。在英国人仍然沿用酸性炼钢法的时候，德国人却吸取了英国人最新发明的碱性炼钢技术，使大量含磷铁矿石得到利用，在钢铁产量上很快超过了英国。

资产阶级在工业革命中的这些做法促进了社会生产力的迅速发展。由于工业革命的结果，在 1800 年到 1900 年，英、美、法、德四个主要资本主义国家的煤炭产量从 1270 吨增加到 65670 吨，生铁产量从 20 万吨增加到 3587 万吨，钢材、铁路里程、船舶吨位都有了很大的增长。从 1820 年到 1913 年，世界工业生产增加 49 倍。以大机器生产为特点的工业体系的形成是工业革命的主要成就，工业革命是资本主义生产关系推动生产力迅速进步的历史功绩，又为资本主义生产方式奠定了巩固的技术基础。恩格斯在总结工业革命的意义时指出，“蒸汽和新的工具机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。工场手工业时代的迟缓的发展进程变成了生产中的真正的狂飙时期。”（《马克思恩格斯选集》第 3 卷，第 301 页）



工业革命中的技术进步不仅造成了生产力的巨大进步，还是从根本上动摇旧世界的强大杠杆。在十八世纪中叶以前，尽管资产阶级的力量已日益强大甚至在政治上居统治地位，但是，封建经济仍有相当的实力，个体农业、个体手工业依然存在，工场手工业的一些工匠同时又是小生产者或与小生产者有种种社会联系，在这种条件下，封建王朝的势力就比较容易把历史拉向后退，更有可能把复辟的愿望变成复辟的行动。机器大工业彻底瓦解了封建的自然经济，在庄园主的领地上建立了大批工厂、矿山，使个体农民和手工业者成为雇佣劳动者并使他们不再能保持同农村的宗法联系，资本主义大中城市不断增多（十八世纪的欧洲有 22 个人口超过 10 万的城市，到十九世纪末则有 147 个），铁路和电报把它们联结起来，控制着社会的经济命脉。由于这一切，封建势力的复辟就成为根本不可能的事了，封建旧世界把它的社会经济基础丧失殆尽，它的王朝就一去不复返了。

随着工业革命的发展，新的社会力量——无产阶级登上了历史舞台。恩格斯指出：“英国工人阶级的历史是从十八世纪后半期，从蒸汽机和棉花加工机的发明开始的。”（《马克思恩格斯全集》第 2 卷，第 281 页）工业革命造成了庞大的无产者队伍，他们的劳动方式与个体生产者迥然不同。在使用纺车、手工织布机和手工锻锤的小作坊中，生产本身是一系列个人的行为，产品基本上是个体劳动者自己创造的；而在使用蒸汽动力的大机器的工厂中，生产过程则变为一系列的社会行为，产品是无产者直接协作劳动所创造。大工业所生产的纱、布、金属制品，都是许多工人的共同产品，都必须顺次经过他们的手。他们当中没有一个人能说“这是我做的，是我的产品”。这种劳动条件，使无产阶级摆脱了小生产的狭隘眼界，培养了集体主义意识和组织纪律性。

工业革命中的技术进步提高了生产的社会化程度，使生产真正成为社会的活动，把各个经济部门紧密联结起来，同时，机器大工业又使资本家之间的竞争白热化，一些资本家由于不断更新技术和提高机器的生产能力而吃掉另一些资本家，加速了资本的积累和集中。在十九世纪，社会化大生产和生产资料私人占有之间的矛盾就鲜明地表现出来。机器大工业的巨大扩张能力不顾任何阻力要求扩大产品的销路，但是，在资本主义条件下无产阶级的贫困化使市场的扩张赶不上生产的增长，这就使“生产过剩”的经济危机不可避免。这种危机 1825 年首先在当时生产最发达的英国发生，以后又接连出现多次，就是十九世纪五、六十年代的工业高涨，也在 1857 年和 1866 年两度被经济危机打断。在危机爆发时，中小企业破产，通货膨胀，失业工人激增，在业工人工资降低。机器大工业是工人创造的，现在成了奴役他们的工具。机器的改进增加了社会财富，它又使生产者变为需要救济的贫民。科学技术的发现和发明是人对自然界的胜利，而在资本家手中却成为对工人的胜利，资产者通过新技术的应用获得了巨额的利润，又由于有了新的发明可以用解雇的手段来威胁工人。为了反抗剥削和压迫，在十九世纪的英法等国，就爆发了宪章运动、里昂起义、巴黎公社运动、争取八小时工作制的罢工等工人运动。

工业革命中的技术进步，为自然科学的发展和运用开辟了广阔的道路。在工业革命以前，尽管自然科学特别是力学已有相当的发展，但整个来说，自然知识不够广博和深

刻，工匠的丰富经验还没有同直接劳动相分离，工业革命使科学和技术成为生产过程必不可少的因素，生产过程变为科学的应用，又使科学成为同劳动相分离的独立的力量，技术发明成为一种职业。“只有资本主义生产方式才第一次使自然科学为直接的生产过程服务，同时，生产的发展反过来又为从理论上征服自然提供了手段。”“随着资本主义的扩展，**科学因素**第一次被有意识地 and 广泛地加以发展，应用，并体现在生活中，其规模是以往时代根本想象不到的。”（马克思：《机器·自然力和科学的应用》，人民出版社版，第 206 及 208 页）

## 第十章 热力学的研究与能量转化定律

### §1 热机效率的理论探索

蒸汽动力推进着纺织机、鼓风机、火车、轮船的运转，也推动着人们去研究蒸汽机本身。瓦特在改革和研制蒸汽机的过程中曾得到科学的某些帮助，发明了冷凝器，提高了蒸汽机的效率。但是，瓦特蒸汽机主要还是靠工匠的技艺和经验制成的，到十九世纪效率仍然不高（热效率很少达到 5%），而进一步提高蒸汽机的效率却不能只靠经验和加工工艺的精密化，必须从理论上去探索热动力的机制，靠热机理论去解决问题。这一任务吸引了十九世纪许多自然科学家的注意，他们在以往对量热学、气体热定律研究的基础上，又对热传导、热容量、热平衡、热功转换、热效率等进行了大量的实验研究和理论分析。

热机理论的奠基人是法国工程师卡诺（1796—1832）。他熟悉各种蒸汽机的设计并有很好的数理训练，1824 年，他在《关于火的动力及产生这种动力机器的研究》的著作中分析了蒸汽机热效应和机械效率之间的关系。卡诺看到，在蒸汽机中决定热产生机械能的因素是复杂的，不同大小、不同功率、不同冲次的蒸汽机的效率各不一样；同一类型的蒸汽机，由于各部件之间存在着摩擦，要造成不同程度的机械能损失；与外界的热绝缘条件不一，又会因为热量散失而引起不作功的热消耗，如果同时考察这一切因素，就很难搞清蒸汽机工作的基本原理。为此，他用科学抽象的方法，舍弃了与热机工作过程无关紧要的辅助的、次要的因素，构思设计了“理想蒸汽机”，这台热机没有摩擦和对外的热交换，只有最基本的工作过程——热向机械功的转化。卡诺经过分析论证发现，热机必须工作于两个热源之间，热量只有从高温热源转移到低温热源时才能做功，热机做功的大小与工作物质（如气体）无关，只决定于两个热源之间的温度差，这就是卡诺原理。它为改善蒸汽机效率提供了最根本的理论原则，并且接近于能量守恒和转化定律（热力学第一定律）和热力学第二定律。

但是，卡诺仍用热素说的观念去解释他的发现。他把热机比作水车，热力比作水源，既然瀑布的动力依赖于水量和水的高度，那么热的动力亦应依赖于热素的数量和热素的“下落高度”（即交换热素的两物体之间的温度差）的结论。也就是说，在卡诺看来，在热机运转时，热素的总量是不变的，只是发生了热素由高温物体流向低温物体而做功；只有热素本身的守恒，不是热能向机械能的转化。因此，他虽然从实验中得到 630 卡热可作一马力机械功的结果，仍然不能建立起热功当量的概念。就是说，他虽然碰到了热功当量，但由于他相信错误的理论——热素说，却不能发现它和解释它。后来（1878 年）人们在他死后的遗稿中发现，在 1830 年他已放弃了热素说，认为：热不过是“改变了形式的运动”，“它是不生不灭的”，并且认为热和机械能是相互转化的，这是历史上关于能量守恒原理的最早表述，但是这一发现对当时科学的发展并未发生作