

工业化进程与 资源·环境·节能

曾建文 孙焱婧 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工业化进程与资源、 环境、节能

曾建文 孙焱婧 编著



机械工业出版社

资源、环境、节能等问题随着工业化进程的深入发展,越来越受到世人的关注。人们在享受越来越丰富的物质生活的同时,也受到了环境恶化、资源越来越匮乏的困扰。

本书针对上述情况,从工业化进程的角度,科学地阐述了资源、环境、节能等概念与知识;介绍了鉴于人类社会越来越受制于环境,即正面临资源逐渐枯竭的困境,并随着能源价格日益飙升和消费量增加而更加突显的能源危机问题,及为了人类生存和发展而采用各种节能、绿色制造等问题,进而形成工业化进程中相互联系又相互制约的诸多因素,并由此确立全面、协调、可持续发展的观念。

本书可帮助各领域、各阶层的广大读者了解资源(资源配置)、环境、节能等与人类的关系,进而从自身做起,实现和谐发展。

图书在版编目(CIP)数据

工业化进程与资源、环境、节能/曾建文,孙焱婧
编著. —北京:机械工业出版社,2010.10

ISBN 978-7-111-32127-9

I. ①工… II. ①曾…②孙… III. ①工业化—关系—
自然资源—研究②工业化—关系—环境保护—研究③工
业化—关系—节能—研究 IV. ①X②TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 194074 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:沈 红 责任编辑:沈 红 版式设计:霍永明

责任校对:张玉琴 封面设计:姚 勤 责任印制:李 妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·22.75印张·452千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-32127-9

定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379778

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

资源、环境问题随着工业化进程的进一步深入发展,越来越受到世人的关注。人们在享受越来越丰富的物质生活的同时,也受到了环境恶化、资源越来越匮乏的困扰。人们已经越来越意识到资源、环境、节能等重大问题已远不是专家学者的问题,也不是单纯的自然科学与技术问题,它与科学技术、经济、社会、教育、文化乃至人们日常的思维方式密切相关。

为实现全面、协调、可持续发展的战略,满足经济与社会发展的紧迫需求,必须使更多的人在了解资源、环境现状的前提下,提高忧患意识,同时在高技术的进步不断带给人们惊喜和憧憬时,也引发人们对一些相关负面问题的新的思考。

我国已成为世界制造业大国,并正处于经济高速增长和资源消耗高峰期。基础制造业发展迅速,而制造业能耗占全国一次能耗的 63%。但我国制造业与国际先进水平相比尚有较大差距,资源利用率和生产率较低,对环境污染严重,这些因素已严重制约了经济与社会的发展。我国要成为制造业强国,必须从解决资源与环境可持续发展的瓶颈问题入手,加速制造业的绿色化改造,降低资源消耗率,采用环境友好技术,依靠技术进步实现增长方式的转变。

本书将从工业化进程的角度,科学地阐述资源、环境、节能等概念与知识;同时,从工业化进程的角度阐述了人类社会发展越来越受制于环境,正面临资源逐渐枯竭的困境,并随着能源价格日益飙升和消费量增加而更加突显的能源危机;为了人类生存和发展而采用的绿色制造等问题。进而形成工业化进程中相互联系又相互制约的诸多因素,由此确立全面、协调、可持续发展的观念。

本书由曾建文、孙焱婧编著,其中曾建文编写第 1 章,第 2 章的第 1、2、4 节,第 4 章,第 5 章的第 3~5 节,第 6 章的第 5 节;孙焱婧编写第 3 章,第 2 章的第 3 节,第 5 章的第 1、2 节,第 6 章的第 1~4 节。全书由曾建文统稿,王一兵审稿。

由于作者水平有限,本书难免有不妥之处,敬请读者指正。

编 者

2010 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 工业化进程	1
第 1 节 欧美工业化进程	1
第 2 节 工业化进程带来的挑战	8
第 3 节 工业与制造业的内涵与构成	21
第 2 章 工业化与资源	26
第 1 节 矿产资源	26
第 2 节 能源	46
第 3 节 水资源	66
第 4 节 资源与可持续发展	74
第 3 章 工业化与环境	78
第 1 节 环境系统	78
第 2 节 环境与能源	86
第 3 节 工业化与环境	94
第 4 节 工业化与绿色发展	106
第 5 节 能源、环境与可持续发展	119
第 4 章 工业节能技术	126
第 1 节 节能现状	126
第 2 节 电力系统和用电节能	135
第 3 节 热力系统节能	164
第 4 节 建筑节能	191
第 5 节 交通节能	203
第 5 章 清洁能源技术	212
第 1 节 煤的高效清洁利用技术	212
第 2 节 天然气水合物利用技术	221
第 3 节 先进核能技术	230
第 4 节 太阳能规模利用技术	250
第 5 节 风能规模利用技术	275

第 6 章 工业污染治理技术	291
第 1 节 工业污染概述	291
第 2 节 废气治理技术	294
第 3 节 颗粒物治理技术	300
第 4 节 污水治理技术	308
第 5 节 固体废物处理技术	325
参考文献	350

第 1 章 工业化进程

第 1 节 欧美工业化进程

1. 英国工业革命的兴起

18 世纪工业革命的兴起，首先逐渐改变了欧洲和北美的社会面貌。而当工业革命在 19 世纪末结束时，欧美已告别了漫长的农业社会时代，进入了工业社会，千百年来传统生活发生了巨变。

(1) 棉纺织业的机器发明与使用 18 世纪下半叶和 19 世纪，一场影响深远的大革命把世界带入了工业时代，这场大变革就是工业革命。所谓工业革命，简单地说，就是以机器生产取代手工劳动，以工厂制度取代家庭作坊与手工工厂的过程。工业革命不仅使社会生产力飞跃发展，而且有力地促进了社会变革。18 世纪 60 年代，工业革命首先在英国发生，然后在欧洲其他国家和北美扩散开来。

工业革命首先从棉纺织业的机器发明与使用开始。最初，棉纺织业是一种农村家庭手工业，在家庭的茅屋里操作，一次纺一根纱。织布用的梭子要用手从一端掷到另一端，织出的布幅面窄，质量不高。1764 年，木匠哈格里夫斯发明多轴纺纱机（珍妮机）。珍妮机最初可纺 8 根纱线，后来，经过改进每次能纺出 80 根甚至更多的纱线，大大提高了功效。1769 年，阿克莱特制造了水力纺纱机，用水轮机推动。这种机器纺出来的纱线坚韧结实，克服了珍妮机的缺点。1771 年，阿克莱特与人合作在德比郡的克隆福德建立了英国第一座水力纺纱厂，到了 18 世纪末和 19 世纪初，纺纱厂在英格兰西北部地区如雨后春笋般地建立起来。工厂制度的诞生，吹响了工业时代的号角，从此一种全新的生产组织形式和生产方式诞生了。阿克莱特被后人誉为近代工厂制度之父，在阿克莱特之后，纺织行业的技术革新不断深化。1779 年，纺纱工人克隆普顿发明走锭精纺机；1785 年，牧师卡特莱特制成了水力织布机；同时，棉纺织业中的净棉、梳棉、漂白、染整等一系列工序采用了新技术，毛、麻、丝等纺织也逐渐走上了机械化道路。

(2) 蒸汽机的广泛使用与钢铁冶炼进入了规模化生产阶段 英国工业革命的另一个重大成就是蒸汽机的广泛使用。用蒸汽力作为机械动力的活动很早就开始了，1698 年和 1705 年，英国人莎维利和纽康门先后发明了蒸汽抽水机，不过将蒸汽力变为大工业的机械动力的任务是由詹姆斯·瓦特完成的。瓦特是在吸收了前人研究成果的基础上经过不断改进，在 1769 年取得蒸汽机专利的。他之后制成了

复动式蒸汽机，这种机器通过传动装置可以带动各种机器转动，后来成为广泛使用的机器动力。

瓦特的发明开创了蒸汽动力时代，而机械化大工业的普遍发展和最终胜利还有赖于冶金业的技术革新。长期以来，英国的冶铁业一直以木炭作为燃料，发展十分缓慢，不仅如此，还造成了英国森林资源的枯竭。如果把树木都砍光了，以后英国人拿什么来做船舶的桅杆呢？冶铁业如何继续发展呢？因此寻找新的燃料刻不容缓。1709年，亚伯拉罕·达比采用了煤焦冶铁的方法，以后经过达比后代的不断改进，煤焦炼铁技术日益成熟，为冶铁业的发展开辟了广阔的前景。随着铁产量的增加，在生产和生活中铁的用途不断扩大，如用铸铁制造桥梁等。与此同时，炼钢技术也取得重大进步。1740年，钟表匠亨茨曼发明了坩埚炼钢法；1856年，贝塞麦发明了酸性转炉炼钢法；19世纪60年代，法国人马丁与德国人西门子发明了平炉炼钢法；1878年，英国人托马斯又发明了碱性转炉炼钢法。钢铁冶炼由此进入了规模化生产阶段，钢铁生产量成十倍、成百倍的增长。钢铁冶炼方法的革新，无疑是材料科学的一次伟大革命。

(3) 交通运输业的变革与机器制造作为一个独立的工业部门发展起来 工业部门的重大飞跃，始终伴随着交通运输业的变革。为了运输煤炭等笨重物品，英国人首先掀起了开凿运河的热潮。1761年，煤矿主布里奇沃特公爵在两位工程师的帮助下，建成了英国第一条运河，把煤运到了曼彻斯特。到19世纪初叶，英国大大小小的河流已经被运河连接了起来，形成了全国范围的水运网。18世纪后，人们开始将蒸汽动力用于水上运输试验。1788年出现了船用蒸汽机，1802年第一艘实用汽船试航成功。1838年以后，明轮推动逐渐被螺旋桨推动取代，船体也逐渐改用铁板和钢板制造。陆上交通的改善是从改进公路开始的。过去道路质量非常差，一遇下雨泥泞不堪，马车根本无法通行。工业革命开始后，英国工程师梅特卡夫、特尔福德、麦克达姆等人发明了用石块和碎石修筑硬路面的新技术，改进了公路的质量；无论白天黑夜、晴天雨天，公路都通行无阻，而且使车辆的行进速度大大提高。如过去从爱丁堡到伦敦要14天，在新公路上乘快速马车只要40h就能到达。19世纪初，人们又开始了用蒸汽机牵引车辆的试验。1804年，特里维西克发明了火车头，10年后斯蒂芬逊也发明了机车。在1852年，斯蒂芬逊制成了世界上第一台客运机车，并负责建成了从斯托克顿到达林顿的铁路，这是世界上第一条铁路，从而开创了铁路运输时代。19世纪三四十年代，英国出现了修建铁路的热潮，到1850年建成通车铁路近1万km，这时，英国铁路网的主干结构已初步形成。

在工业革命过程中，各工业生产部门的机械化有赖于机器制造本身的机械化。18世纪下半叶开始出现简单的工作母机。1825年，克莱门特发明了刨床和车床；1839年，詹姆斯·纳斯密斯发明了蒸汽锤；1848年，罗伯茨发明了镗床。制造机

器所需要的主要工作母机都先后被发明出来,19世纪40年代,机器制造作为一个独立的工业部门发展起来,到这时,英国工业革命已基本完成。

(4) 工业革命带来的深刻变化 历时将近一个世纪的工业革命彻底改变了英国的面貌,工业领域首先发生了翻天覆地的变化,机器大生产逐渐取代了昔日的手工作坊和手工工厂。工业革命改变了英国的经济布局,经济重心向工业地区转移,英格兰西北部成了英国的经济中心。工业向城市的集中,推动了城市化的发展,农村人口大量向工业地区和工商业城市流动,一大批新兴的工业城市迅速崛起。到1851年,英国的城市人口超过了农村人口,英国成了初步实现城市化的国家。城市文明取代了乡村文明,这一巨大变革使人们的思想观念和生活方式都发生了深刻的变化。

工业革命推动了英国生产力的飞速发展,工业劳动生产率不断提高,工业产值在国民生产总值中的比重日益上升。到19世纪中叶,英国已成为世界上工业化程度最高的国家,英国的经济地位发生了根本变化。1850年,英国生产了世界煤产量的60.2%,铁产量的50.9%,加工了世界棉花产量的46.1%,英国被称为“世界工厂”。

工业革命引发了英国社会的全面变革,社会阶级结构发生了巨大变化。在19世纪的100年中,英国的人口增长了3倍,但是按照人口平均计算的人均收入却增长了4倍。另一方面,工业革命开始以后,国际之间的交往日渐密切,日渐频繁。

2. 欧洲与北美的工业化进程

在英国发生的工业革命像一股强劲的东风,很快席卷了欧洲和北美大地,这是新兴工业文明的胜利扩张。在它所到之处,资本主义纷纷从手工工厂时代进入工业时代和蒸汽时代。继英国工业革命之后,19世纪在西欧和北美的主要资本主义国家,如法国、德国、比利时、俄国和美国等国,都先后掀起了技术革命的浪潮,发生了以机器生产为主的工厂取代手工工厂及家庭作坊的重大经济和社会变革。

最先传到国外的是英国的纺纱和织布技术,英国纺纱机发明后不到20年的时间,美国、德国、比利时和法国等国家都先后引进英国的珍妮纺纱机,开办了自己的机械纺纱厂。1790年,美国自己制造的纺纱机开始运转,这在美国具有划时代的意义。英国的蒸汽机也很快传到了欧洲大陆和美国,大约在1801年,美国纽约的一家锯木厂和费城的一家燃料厂开始使用蒸汽机,1804年,美国费城的奥利弗·埃文斯研制成功美国式的蒸汽机,此后蒸汽机传播的速度加快,法国仅在1840~1870年30年间,蒸汽机的马力数就增加了近10倍,普鲁士蒸汽机的拥有量从1826年的58台增加到1857年的984台,增加近16倍。

新型陆上交通工具火车,像它所开创的速度一样,迅速传播到世界各地。英国第一条铁路建成后不到10年的时间,美国、法国、德国都开始修筑自己的铁路,

其中美国的铁路建设在世界交通史上留下了辉煌的一页。美国地域辽阔, 1869 年, 连接东西部海岸的第一条横贯大陆的铁路通车。在以后 10 余年的时间, 美国又建成了 4 条贯穿东西的铁路干线, 到 1880 年, 美国已有铁路 9 万多 km; 到第一次世界大战开始时, 美国铁路总长度超过 20 万 km, 相当于世界铁路总长度的 1/3。19 世纪五六十年代, 法国和德国也完成了铁路网的建设。

3. 工业革命与技术进步

(1) 第二次技术革命 19 世纪是人类智慧创造力喷发的时代, 各种科学发现和技术发明层出不穷, 生产力迅猛发展。19 世纪下半叶发生了以钢铁冶炼、电力、内燃机、合成化工为中心内容的第二次技术革命, 欧洲、北美国家借第二次技术革命的强劲东风, 把工业革命引向了更高的发展阶段。19 世纪 60 年代, 德国工程师奥托试制成功了四冲程内燃机, 后来, 内燃机经过不断改进, 成为一种轻便、高效, 容易控制的新兴动力机, 在许多方面取代了蒸汽机。内燃机被用来推动车辆, 从而开创了汽车时代。19 世纪晚期, 内燃机被广泛用做农业机械的动力机, 安装在拖拉机、收割机、播种机、脱粒机等机械上, 农业机械化迅速推进, 机器的轰鸣声打破了田野的宁静。美国人发明的联合收割机, 把谷物收割的速度提高了几十倍, 后来推广到世界各国。

20 世纪初, 内燃机被用做飞机的发动机。1903 年, 美国的莱特兄弟制造和驾驶了世界上第一架动力飞机, 实现了人类翱翔蓝天的伟大梦想。在电磁学发展的基础上, 德国人西门子于 1882 年发明了直流发电机, 后经过不断改进, 技术趋于完善, 为发电厂的建立奠定了基础。紧接着电动机应运而生。1882 年, 美国发明家爱迪生, 在美国建立了第一座火力发电厂, 廉价的电能通过变电站和输电线路源源不断送往工厂和千家万户。发电站在欧美国家如雨后春笋般地建立起来, 电开始广泛用于工业生产和日常生活。电动机不仅被用来推动车辆, 出现了电车, 而且广泛用于带动各种机床、电梯、电锯等, 利用弱电的电话和其他电器也相继发明出来。电灯给黑夜的世界带来了无限的光明。

新的炼钢法, 解决了规模化炼钢的技术难题。欧美国家采用新的炼钢技术, 使钢的生产量迅猛增加, 世界钢产量, 从 1870 ~ 1879 年的平均年产量 172 万 t, 增加到 1910 ~ 1914 年的 6503 万 t, 40 年间增加了约 37 倍。在第二次技术革命浪潮中, 美国和德国在采用新技术成果方面走在了前面, 后来居上, 很快赶上和超过工业上的霸主英国。19 世纪下半叶, 美国和德国等后起的国家采用平炉和转炉炼钢技术, 实现了钢铁冶炼的规模化生产, 使钢的生产量迅猛增长。美国钢的平均年产量, 从 1870 ~ 1879 年的 38 万 t, 增加到 1910 ~ 1914 年的 2657 万 t, 增加 68.9 倍。同期德国年产量从 31 万 t 增加到 1479 万 t, 增加 46.7 倍, 而英国仅从 66 万 t 增加到 703 万 t, 只增加了 9.65 倍, 比美德两国慢很多。

(2) 新型工业部门的兴起 美国和德国在发展化学工业、电力工业、汽车制

造业方面也走在世界的前列。

19 世纪下半叶，一个新的工业部门——合成化工工业诞生了，化学家用人工合成的方法生产染料、人造丝、塑料、化肥、药品及基础化工原料。

美国人不仅善于吸收别国的先进技术，而且善于对已有的技术进行改进，并不断发明新技术。1792 年，F·惠特尼发明轧棉机，实现了棉花脱籽工序的机械化。这项技术很快又传到了英国和其他国家。1803 年，美国人罗博特·富尔顿发明了汽船，从此，汽船航行于大江大河之上，穿越于大洋两岸之间。在现代通信技术方面，美国发明家有独特的贡献。1838 年，莫尔斯发明了电磁式电报机，并发明了著名的莫尔斯电码；1875 年，亚历山大·贝尔研制成功能够传递声音的机器——磁石电话机；1895 年，意大利人马科尼发明了无线电报装置。这些发明实现了意义深远的通信技术革命，它们使地处遥远的人们能够瞬间传递信息，这等于拉近了地球空间的距离，为全球经济联系提供了强有力的通信工具。缝纫机的发明是美国对世界服装工业的一大贡献。1832 ~ 1834 年间，沃尔特·亨特研制成功世界上最早的缝纫机，以后各种型号的缝纫机相继发明出来，并在 1845 年建立了最早的缝纫机制造厂，并开始成批地生产。19 世纪 50 年代，由于缝纫机的广泛使用，使以机械化生产为主的缝纫业蓬勃地发展起来。在这一时期，美国还发明了制鞋机，使制鞋业逐步实现了机械化。

(3) 管理成为一门科学 美国在对工厂实行科学管理方面也有很多创新。机器零部件的标准化和机器组装的流水线的作业方式是生产流程上的最大革新。泰勒发明的管理方法，对每道工序所需的劳动时间进行精确的计算，目的在于最大限度地提高工人的劳动生产率。

4. 工业革命与生活方式

(1) 工业化促进了社会变革 欧洲北美的工业革命具有划时代的意义，对世界历史进程产生了深刻影响。工业革命打破了经济缓慢发展的状况，使物质财富的生产成十倍、成百倍地增长，为资本主义的工业化奠定了坚实的基础。工业化从根本上改变了国家的经济结构，把以农业为基础的农业社会改造为以工业为基础的工业社会。城市工业、商业和其他服务业的发展，促使农村人口大量向城市迁移，结果造成城市数量和城市人口急剧增加。工业化促成了城市化，工业化还促进了国家的民主化和社会生活的全面变革。

欧美国家的工业革命使欧美国家的经济走上了快速发展的轨道，加强了他们的经济和军事实力，从而改变了各国力量的平衡，使世界的政治、经济和文化的重心从古老的东方转移到欧洲和北美。工业化代表了世界物质文明发展的方向，推动了历史车轮的前进。

英国和欧美工业革命也带来了诸多负面影响，其中环境污染是一个危害久远的问题，直到今天，这个问题也没能得到根本解决。不可再生资源被大量的消耗，

制造成五花八门的各类制成品供人们享用，致使今天的人们陷入了可持续发展与资源即将枯竭相矛盾的困境之中。

(2) 工业化深刻地影响着人们的生活内容和生活方式 18 世纪前期，欧洲及北美的人们，生活在少有变化的农业社会中，衣、食、住、行等各个方面与前人相差无几。在 1700 年的欧洲，交通工具只有马车、木船和自己的双腿，如果道路不好就要费力走上几天，甚至更长时间，才能到达今天看来并不远的地方。夜晚，人们只有用昏暗的油灯或蜡烛来照明。在这样的传统社会里，绝大多数人都是农民。而 200 年后，即工业革命以后的 1900 年，人们发现工业革命中的工业化和城市化已经使欧美社会完全改观。人们可以乘坐火车或轮船，使出行方便快捷，而一种叫汽车的交通工具也出现在街道上。还能与千里以外的人用电报迅速通信，用电话进行直接交谈。晚上可以用煤气灯或电灯照明，城市的夜晚也变得绚丽多彩。可以进电影院看无声电影，享受电影带来的快乐与刺激。大量发行的报纸杂志，传播着各类信息。商店里供应着各类工业产品，包括留声机、缝纫机、自行车、钢笔，甚至冷冻食品等。日常生活中，煤炭取代了木材，火柴取代了千百年来的火石和火绒，洗衣肥皂也被广泛使用，工业产品已经彻底改变了人们的生活。在这里，不仅人们的衣、食、住、行大为改观，社会行为和思想意识也发生了巨大变化，其深层原因是科技革命促成了生产力的飞跃发展，工业社会的形成为社会创造了巨大的社会财富，涌现出各种各样的发明创造，这些变化都深刻地影响着人们的生活内容和生活方式。

工业化中涌现的大量发明创造是科技革命的成果，一方面丰富了人们的物质生活，另一方面也满足了人们的精神需求。1814 年，德国人发明了滚筒式蒸汽动力印刷机，大大提高了印刷速度与印刷质量，降低了印刷成本，促进了报刊书籍的大众化，书报不再是可望而不可及的贵重物品，而成为了知识大众化的传播工具。

(3) 工业化促进了城市化进程 随着工业化的生产方式和经济体制的确立，千百年来作为社会主体的传统农民越来越少，开始走向消亡。在英国的劳动力中，从事农业、林业、渔业的劳力在 1770 年占 42%，到 1901 年就只有 8.7%，与此相反，聚集在城市和工厂里的劳动者则越来越多。城市化犹如一台巨大的抽水机，从农村吸入数以百万计的农民。工业化改变了社会的经济地理，使一个个乡村和小镇变为工业城市，乡村开始成为一个怀旧的字眼，而有着机器轰鸣和大烟囱的工厂和城市则越来越为人们所熟悉。在英格兰和威尔士的总人口中，城市人口 1750 年占 25%，到 1851 年达到 50.2%，1911 年则达到了 78.1%。1800 年，伦敦是欧洲第一个突破 100 万人口的大城市，随后伦敦加速膨胀成一个庞然大物，1851 年有 250 万人口，1900 年达到 500 万人口，巴黎、柏林、纽约等也都成了百万人口的大城市。工业城市作为工业革命的最大产品之一，是近代社会生活的集中体现。

首先引人注目的是物质生活的进步。欧美城市出现了大量的新建筑, 比如为举办世界博览会建造的伦敦水晶宫和巴黎埃菲尔铁塔等。城市有了更宽阔的街道, 比如雄心勃勃的拿破仑三世改建巴黎后的香榭丽舍大街、里伏尼大街等。新建的大城市也出现了, 比如俄国的圣彼得堡。18 世纪初, 城市街道在夜晚很少有照明, 1783 年, 巴黎还在用蜡烛或火把照明街道, 此时伦敦用有玻璃罩的鱼油或石油街灯照明, 然而到了 19 世纪末 20 世纪初, 许多城市已经在家或街道使用明亮的煤气灯甚至电灯了。城市交通更有进步, 1818 年, 公共马车在巴黎开始出现, 1883 年, 更快捷和载客量更大的有轨电车在纽约出现; 1880 年, 纽约的有轨电车替代了马车; 不过更重要的是在 1863 年, 伦敦开通了世界上第一条地铁, 后来又出现了汽车。城市中还洋溢着浓厚的文化生活气息。公共图书馆在 18 世纪还不多见, 而到了 1844 年, 法国、美国、普鲁士和奥地利则各有上百个公共图书馆, 剧院、音乐厅、博物馆, 还有 19 世纪末的电影院已在城市普遍出现。咖啡屋和酒吧的兴旺发达是近代城市生活的一大特色。在伦敦、巴黎和纽约, 大量的咖啡馆和酒吧不仅是寻常人的去处, 更是文学家、艺术家和思想家的光顾之地和社交场所。各种各样的时尚也流行开来。在西方各国讲究的西装外套、马甲、礼帽, 到 19 世纪中叶成为男装的主流, 巴黎更以时髦服装和名贵香水闻名于世。到 19 世纪中期以后, 中产阶级还流行使用室内的冲水厕所以及用热水洗澡。

(4) 工业化诞生了雇佣劳动者群体 但是, 撕开温文尔雅的面纱, 城市生活也有丑陋可怕的一面。一位英国近代作家说: 一个好的社会有红葡萄酒和天鹅绒地毯, 有歌剧和交际舞。但是, 这样的社会是用巨大的代价换来的, 包括许多人的节衣缩食, 震耳欲聋的工厂, 苦难的矿井、磨房和铁匠炉, 以及贫瘠土地上的茅草小屋。工厂制度使劳动者变成依附机器和金钱资本的奴隶, 对依靠出卖劳力勉强维持生活的工人来说, 12h 的工作时间是普遍的情况, 工人收入微薄、身心疲惫、健康恶化, 城市中贫穷人口迅速增加, 形成了大量的贫民窟。18 世纪初, 格拉斯哥只有万名居民, 是英国最清洁美丽的城市之一, 到 1840 年, 它成为 30 多万人的工业城市, 政府调查官员发现, 它是充满肮脏、犯罪、痛苦与疾病的地方。

(5) 工业化加速了资源枯竭与环境污染 自 18 世纪中叶产业革命以来, 由于工业化的需要, 矿产资源已经成为国民经济的重要物质基础, 工业化进程的加快, 使得社会对能源和原材料等矿产品的需求大量增加, 矿产资源已经成为决定经济繁荣、社会进步和国家富强的重要因素之一。

人们有理由为过去科技成果和工业化推动文明进步而感到自豪, 然而在科学技术推动下的工业革命对人类的生存与发展提出了一系列的挑战。在人们享受着工业化带来的日益丰富的物质和精神生活的同时, 环境遭到了前所未有的破坏。作为人们食物主要来源的土地正遭到侵蚀, 人类的生活和生产还消耗着地球几十

亿年发展过程中形成的煤炭、石油、铁、铜、铝等各类能源、金属矿产资源和非金属矿产资源，并且还在以更大的规模吞噬着所剩无几的有限资源。据计算，按目前的规模与速度，稀缺资源再过几十年将面临着枯竭的危险。尽管技术的进步使人们可能会找到一些替代的方法，人们的生产方式和生活方式也会作出某些改变，社会发展方向也会作出某些调整，但绝大部分资源的稀缺性和不可再生性的性质却不会改变。尽管技术乐观主义者对未来充满着信心，描绘着美好的图景，但这仅仅是对不确定的未来作出肯定的判断，或者说作出较为乐观的估计而已，但那还不是事实。人们应当未雨绸缪思考如何发展、怎样发展、人们的生活方式应该是怎样的，才会使人类有更长久的生存空间。因此我们面临的真正问题是人类的可持续生存问题，作为地球人，每个人都将面临着这个相同的问题。

第2节 工业化进程带来的挑战

1. 指数增长问题

(1) 指数增长的基本特性 现在几乎所有的人类活动，从城市的扩大到人口的增长，资源的消耗到经济的增长等都可以用指数增长曲线来表示，它们每年以数学家称为指数增长的模式增长着。许多研究报告所提出的人口、粮食生产、工业化、污染和不可再生的自然资源的消耗还在继续增长。由于人类活动中将大量涉及指数增长曲线，所以理解它们的一般特征对我们理解工业化进程带来的挑战是有帮助的。

大多数人习惯地以为，增长是一个线性的过程。当一个量在一个既定时间周期内按常量增长时，这个量才是线性增长。例如，一个孩子每年长高1cm，就是线性增长。又如，一个人每年在他的床垫下藏十块钱，他秘藏的钱也是以线性方式增长的。每年增长的量显然不受孩子的大小，也不受已经在床垫下的钱数的影响。

当一个量在一个既定的时间周期中，其百分比增长是一个常量时（如每年增长1%或2%等），这个量就显示出指数增长。例如，在一个酵母细胞群体中，每一个细胞每10min分裂为两个就属于指数增长，其增长率是100%。在下一个10min以后，就会有4个细胞，然后是8个、16个等。如果一个人从他的床垫下取出100块钱，按年息7%投资（结果是总量的积累以每年7%的速度增长），这种投资的增长会比床垫下的贮存的线性增长快得多。银行账簿上每年增加的数量或酵母群体每10min增加的数量不是常量。随着积累起来的总量增长，它在不断地增长。这种指数增长，对于生物系统、财政系统和这个世界的其他许多系统来说，是一种共同的过程。

在通常的情况下，指数增长可以产生惊人的结果，这种结果许多世纪以来都

使人类迷惑不解。有一个古老的波斯传说：有一个聪明的朝臣献给他的国王一个精美的有 64 个方格的棋盘，并请求国王给他在这棋盘的第一个方格上放 1 粒米，在第 2 个方格上放 2 粒，在第 3 个方格上放 4 粒，如此等等作为报答。国王立刻同意了，并下令从他的仓库里取米。这棋盘的第 4 个方格需要 8 粒，第十方格需要 512 粒，第 15 方格需要 16384 粒，而国王在第 21 个方格给这个朝臣的米超过 100 万粒。到第 40 个方格必须从仓库里取出 1 万亿粒米，在到达第 64 个方格以前国王储备的全部米粒已经耗尽了。指数增长具有欺骗性，因为它很快就产生巨大的数量。

指数增长是一种动态现象。也就是说，它所包括的各种因素是随时间变化的。在简单的系统里，像银行账目或者细胞数量，指数增长的原因及其未来进程是比较容易理解的。可是，当许多不同的量在一个系统里同时增长时，以及当所有的量以复杂的方式相互联系时，分析这系统的增长原因和未来趋势确实变得很困难。人口增长引起工业化吗？或者工业化引起人口增长吗？这两个因素中单独一个是否应对增加污染负责呢？还是两个因素都应当负责呢？更多的粮食会造成更多的人口吗？如果这些因素中任何一个增长得较慢或较快，那么所有其他因素的增长率会怎样呢？今天世界上许多地方正在讨论这些问题。通过对构成全部复杂系统的全部重要因素进行分析与理解，其趋势是可以找到的。

在麻省理工学院已经发展了一种理解复杂系统的动态行为的新方法。这种方法叫做系统动力学。在 J·W·福雷斯特的《工业动力学》(Industrial Dynamics) 和《系统原理》(Principles of Systems) 中提出了系统动力学分析方法的详细描述。这种方法的基础是认识到任何系统的结构的组成部分之间都存在着许多循环的、连锁的、有时滞后的关系。这种结构在决定其行为时，常常像个别组成部分本身一样重要。这本书中描述的世界模型就是一个系统动态模型。

动态模型指出：任何按指数增长的量，以某种方式包含了一种正反馈回路。正反馈回路有时叫做“恶性循环”。人们熟悉的工资 - 价格螺旋就是一个例子。工资增加引起价格增加，价格增加又导致更高工资的要求等。在正反馈回路中，因果关系的链条本身是封闭的，以致增加回路中的任何一个因素都会引起一系列变化，结果使最初变化的因素增加得更大。假定在账目上存了 100 元钱，第一年的利息是 100 元的 7%，或者 7 元，加在账目上，总数成为 107 元。第二年的利息是 107 元的 7%，或者 7.49 元，使新的总数成为 114.49 元。一年以后，这总数的利息将超过 8 元。账目上的钱愈多，每年加上的利钱就愈多，加上的利钱愈多，下一年账目上的钱也就愈多，从而引起利钱增加得更多等。当我们环绕着回路一圈又一圈地走时，账目上积累起来的钱在按指数增长。利率（按 7% 不变）决定着环绕这回路的所得，或者说银行账目上的数量按利率增长。

前面已经提到过的一些量按指数增长的基础是正反馈回路，我们可以通过寻

找这种正反馈回路，开始对这世界的长期形势进行动态分析。这些因素中有两个因素——人口和工业化的增长率令人感兴趣，因为许多发展政策的目标是鼓励工业人口按比例增长。这两个基本的正反馈回路说明，人口和工业化按指数增长在原理上是简单的，在下面将描述它们的基本结构。在这两个正反馈回路的行动之间有许多相互联系，增强或削弱回路的作用，使人口和工业化的增长率结合或分离。

(2) 指数增长的结果 指数增长问题是罗马俱乐部在 1972 年公开发表的《增长的极限》一文中提出的这份研究报告所提出的全球性问题，如人口问题、粮食问题、资源问题和环境污染问题（生态平衡问题）等，已成为世界各国学者专家们热烈讨论和深入研究的重大问题。这些问题也早已成为世界各国政府和人民不容忽视，亟待解决的重大问题。对此，在思想上必须高度重视，在实际行动上必须高度负责，切实解决，否则，人类社会就难以避免在严重困境中越陷越深，为摆脱困境所必须付出的代价将越来越大。

研究报告中的观念和论点，现在听来，不过是平凡的真理，但在当时，西方发达国家正陶醉于高增长、高消费的“黄金时代”，对这种惊世骇俗的警告不以为然，甚至根本听不进去。现在，经过全球有识之士广泛而又热烈的讨论，系统而又深入的研究，有越来越多的人取得了共识。人们日益深刻地认识到：产业革命以来的经济增长模式所倡导的“人类征服自然”，其后果是使人与自然处于尖锐的矛盾之中，并不断地受到自然的报复，这条传统工业化的道路已经导致全球性的人口激增、资源短缺、环境污染和生态破坏，使人类社会面临严重困境，实际上引导人类走上了一条不能持续发展的道路。

在英文版序言中，罗马俱乐部给出了这样的结论：到目前为止，从我们的工作中已经得出了以下一些结论。但我们绝不是阐明这些结论的第一个团体。在过去几十年中，用长期的全球观点来观察这个世界的人已经得到了类似的结论。然而，绝大多数政策制定者所积极地追求的目标，看来同这些结果是不一致的。我们的结论是：①如果在世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗方面，按现在的趋势继续下去，这个行星上增长的极限有朝一日将在今后 100 年中发生。最可能的结果将是人口和工业生产力双方有相当突然的和不可控制的衰退。②改变这种增长趋势和建立稳定的生态和经济的条件，以支撑遥远未来是可能的。全球均衡状态可以这样来设计，使地球上每个人的基本物质需要得到满足，而且每个人有实现他个人潜力的平等机会。③如果世界人民决心追求第二种结果，而不是第一种结果，他们为达到这种结果而开始工作得愈快，他们成功的可能性就愈大。这些结论是如此深刻，而且为进一步研究提出了这么多问题，以致我们十分坦率地承认已被这些必须完成的巨大任务所压倒。我们希望，这个结论将适合于许多研究领域和世界上的许多国家，引起其他人的兴趣，提高他们所关心的事情的空

间和时间的水平，和我们一起理解和准备这个伟大的过渡时期，即从增长过渡到全球均衡。

2. 人口增长与粮食问题

(1) 世界人口的超指数增长 据估计，地球的人口在原始社会时期，约3万年才翻一番，在1万年前只有约10万人；埃及法老建金字塔时约只有几百万人，罗马帝国时期（公元5世纪）约1亿人。此时，大概每千年增长一倍。1650年，全球约有2.5亿人，1750年约有5亿人，1850年约有10亿人。以后人口爆炸，目前世界人口约33年翻一番。因此，不仅人口在按指数增长，而且增长率也在增长。可以说，人口增长已经“超”指数了，人口曲线甚至比严格按指数的增长上升得更快。

是什么引起最近世界人口的超指数增长呢？在工业革命以前，出生率和死亡率都比较高，而且不规则。出生率一般只是略超过死亡率，人口按指数增长，但是速度很慢，并且不稳定。在1650年，世界大多数人口的平均寿命在30岁左右。从那时以来，人类许多实践活动的发展，对人口的增长系统，尤其是对死亡率产生了深刻的影响。随着现代医学、公共卫生技术的发展，以及粮食生产和分配的新方法的传播，全世界的死亡率已经下降。估计现在世界平均寿命大约是71岁，而且还在上升。按世界平均计算，在人口系统中死亡率在减少的同时，出生率却只有少量减少，结果是在人口系统中的优势增长和出现，人口按指数急剧增长。

1987年7月11日，联合国宣布世界第50亿个居民在原南斯拉夫克罗地亚共和国首府萨格勒布市作为“和平一代”降生。到了20世纪后半叶，人类猛然发现，如果放纵自身繁衍，马上就要超过地球能够容纳的限度，我们的家园——地球，已经到了“最后一天”！现在地球上的人口已经从60亿向70亿迈进。

(2) 人口问题已经成为第一号全球问题 美国科普作家、未来学家阿西摩夫在1972年就人口未来写道：“目前，世界人口正以每日20万或每年7000万人的速度增长着……完全有理由担心，到公元2000年，全球人口将超过60亿……如果地球继续像现在这样每过35年就增加一倍，那么，到公元2570年（也就是500多年以后）人口将增加10万倍……到公元3550年（也就是1500多年以后），人类机体的总质量就会等于地球的质量……到公元7000年（也就是大约将近5000年后），人类质量就会等于已知宇宙的质量！……看来很明显，如果目前的趋势持续下去……将造成不可估量的恶果。”

尽管上述的描述有些夸张，但现在，全世界都承认，人口问题是第一号全球问题。当前，粮食不足、人均资源不足、资金不足、生态平衡破坏等世界性紧迫问题都与人口过多有关，或者说人口过多是其直接原因之一。人口压力首先会产生生态压力和资源匮乏，导致过度的开荒、耕作、捕捞、放牧和对环境的破坏；