

彭晓春 谢武明 编著

QINGJIE SHENGCHAN
YU XUNHUAN JINGJI

清洁生产 与 循环经济



 化学工业出版社

彭晓春 谢武明 编著

QINGJIE SHENGCHAN
YU XUNHUAN JINGJI

清洁生产 与 循环经济



化学工业出版社

北京·

善 念 明 益 德 春 潮 涌

清洁生产和循环经济作为节能减排的中心内容,已得到越来越多环保工作者及相关人士的重视,本书结合作者多年的科研成果及教学经验编写而成,主要介绍了清洁生产及清洁生产审核、清洁生产评价与应用、清洁生产工艺、循环经济及生态工业园区建设及相关的法律法规。

本书可供环境领域科研与技术人员、管理人员参考,也可作为高等院校相关专业本科生、研究生教材。

清洁生产与循环经济

清洁生产与循环经济

图书在版编目(CIP)数据

清洁生产与循环经济/彭晓春,谢武明编著. —北京:
化学工业出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-122-06031-0

I. 清… II. ①彭…②谢… III. ①无污染工艺②自然资源-资源经济学 IV. X383 F062.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第100668号

责任编辑:刘兴春 汲永臻

装帧设计:张 辉

责任校对:陈 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张13½ 字数331千字 2009年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着人类经济社会的快速发展和世界人口的急剧膨胀,社会生产力和改造自然的强度在不断提高,环境污染、生态破坏和资源枯竭的深层次环境问题日益突出。“环境公害”与近代环境问题为我们敲响了警钟,环境、资源和能源已经成为制约经济社会发展的“瓶颈”。在“和平与发展”的主题下,我国作为发展中国家,在满足人们日益增长的物质文化生活水平需要的同时,必须避免重走发达国家“先污染后治理”的老路,在科学发展观和可持续发展的指引下,沿着“资源节约型、环境友好型社会”建设的道路,利用全新的清洁生产和循环经济理念,采用合理利用资源和能源的“绿色化”发展模式,促进经济与环境协调发展,建设生态文明。

我国对清洁生产与循环经济的认识在不断加深,为了落实科学发展观和实施可持续发展战略,我国先后制定了《中华人民共和国清洁生产促进法》、《中华人民共和国循环经济促进法》和《中华人民共和国节约能源法》等一系列的法律和法规,以作为法制保证和制度要求。相应地,有关清洁生产和循环经济的宣传和教育也在逐步展开,清洁生产和循环经济的学科也得到了高度重视和快速发展。在广泛阅读相关学科资料的基础上,我们编著《清洁生产与循环经济》一书。本书按照清洁生产的来源,推行清洁生产的技术手段和工具,清洁生产工艺,循环经济理论,生态工业园区的实践和研究进展的思路组织。全书分成8章,第1章由彭晓春与谢武明共同编著,第2章~第5章由谢武明编著,第6章~第8章由彭晓春编著。书后附有清洁生产与循环经济的相关法律法规。

本书可作为高等学校本科生、研究生教材,以及环境保护和工业企业工程技术和管理人员的培训教材或参考书。

本书是在集纳清洁生产与循环经济领域的教学与科研成果的基础上编著而成,由于学科的快速发展和参考的资料众多,部分参考文献未能详细列出,在此向相关学者和专家致敬和致歉。由于受时间和水平所限,书中存在许多疏漏或不当之处,敬请有关专家和读者批评指正。

编著者
2009年6月于广州

目 录

第 1 章 绪论

1.1	人类社会及其环境问题	1
1.1.1	环境问题的分类	1
1.1.2	环境问题的历史发展	1
1.2	工业发展与资源、能源的消耗	8
1.3	工业发展与环境污染	10
1.4	自然资源、能源与清洁能源	11
1.4.1	自然资源	11
1.4.2	能源	12
1.4.3	清洁能源	13

第 2 章 清洁生产

2.1	清洁生产的由来	18
2.2	清洁生产的基本概念	19
2.2.1	清洁生产的定义	20
2.2.2	清洁生产的内涵和特点	21
2.2.3	实施清洁生产的途径和方法	21
2.2.4	清洁生产与末端治理	23
2.2.5	生命周期评价	25
2.2.6	清洁生产与 ISO 14000	29
2.2.7	清洁生产与可持续发展	34
2.3	绿色化学与清洁产品	35
2.3.1	“绿色化学”和“绿色化工”	35
2.3.2	美国总统绿色化学挑战奖介绍	38
2.3.3	绿色产品与环境标志	42
2.3.4	绿色食品和有机食品	44
2.3.5	绿色食品认证与环境标志产品认证的关系	46
2.3.6	产品生态设计	46

第 3 章 清洁生产审核

3.1	清洁生产审核的定义	51
3.1.1	清洁生产审核的发展概况	51
3.1.2	清洁生产审核的定义	51
3.2	清洁生产审核的目的与原则	52
3.2.1	清洁生产审核的目的	52
3.2.2	清洁生产审核的原则	52
3.3	清洁生产审核的方式	52

3.4	清洁生产审核思路	53
3.5	清洁生产审核的工作程序	54
3.5.1	筹划和组织	55
3.5.2	预审核	59
3.5.3	审核	63
3.5.4	方案产生和筛选	72
3.5.5	可行性分析	77
3.5.6	方案实施	80
3.5.7	持续清洁生产	83
3.6	能源审计	86
3.6.1	能源问题	87
3.6.2	清洁生产审核与能源审计	91
3.6.3	能源审计	92

第4章 清洁生产指标体系及评价

4.1	清洁生产指标体系	102
4.1.1	指标及指标体系定义	102
4.1.2	清洁生产指标体系的确定原则	103
4.2	我国清洁生产指标体系架构	104
4.2.1	宏观清洁生产指标体系	104
4.2.2	微观清洁生产指标体系	104
4.3	清洁生产评价的方法和程序	106
4.3.1	定量条件下的评价	106
4.3.2	定量与定性相结合条件下的评价	109
4.3.3	清洁生产评价程序	112
4.3.4	清洁生产评价报告书的编写要求	112

第5章 清洁生产工艺

5.1	化工行业清洁生产工艺	114
5.1.1	绿色化工理论与研究	114
5.1.2	醇醚混合物的双甲精制工艺	117
5.1.3	尿素的深度水解技术	118
5.1.4	合成氨原料气精制技术——双甲新工艺	119
5.1.5	硫酸工业双转双吸技术	120
5.1.6	离子膜法电解制烧碱	122
5.1.7	维生素C的超滤提取工艺	123
5.2	钢铁行业的清洁生产工艺	125
5.2.1	烧结工序清洁生产技术	127
5.2.2	焦化工序清洁生产技术	129
5.2.3	炼铁工序清洁生产技术	130
5.2.4	炼钢工序清洁生产技术	131
5.2.5	轧钢工序清洁生产技术	132
5.2.6	资源回收利用技术	133

5.2.7	钢铁行业节能技术	135
5.3	纺织印染行业清洁生产工艺	139
5.3.1	清洁的前处理技术	139
5.3.2	清洁的染色/印花技术	141
5.3.3	清洁的整理技术	143
5.3.4	资源回收利用技术	144
5.3.5	纺织印染行业节能技术	146
5.4	造纸行业清洁生产工艺	148
5.4.1	清洁的制浆生产工艺	148
5.4.2	清洁的造纸生产工艺	150
5.5	皮革行业清洁生产工艺	153
5.5.1	鞣前清洁生产技术	154
5.5.2	鞣制清洁生产技术	155
5.5.3	鞣后清洁生产技术	156

第6章 循环经济

6.1	循环经济的由来与发展	158
6.2	线性经济和循环经济	158
6.3	循环经济的“3R”原则	159
6.4	循环经济的基本特征	160
6.5	循环经济与可持续发展	161
6.6	循环经济的发展趋势	162
6.7	我国的循环经济发展	163

第7章 工业生态园区

7.1	工业生态学	166
7.2	生态工业园区	167
7.3	生态工业园区与工业生物群落	168
7.4	工业生态系统的演化	169

第8章 生态工业园区实践与研究

8.1	卡伦堡工业生态园区	171
8.2	我国工业生态园区建设	172
8.3	生态工业园区规划与设计	178
8.4	生态园区评价体系研究	184
8.5	可持续城市的建设与指标体系	186

参考文献	187
------------	-----

附录 清洁生产与循环经济相关法律法规

中华人民共和国清洁生产促进法	188
中华人民共和国循环经济促进法	193
清洁生产审核暂行办法	200
企业能源审计技术通则 (GB/T 17166—1997)	204

第 1 章

绪 论

1.1 人类社会及其环境问题

1.1.1 环境问题的分类

环境问题是全球环境或区域环境中出现的不利于人类生存和发展的各种现象。环境问题是目前世界人类面临的几个主要问题之一。

环境问题按照成因可分为两类：原生环境问题和次生环境问题。一般将由自然力引起的称为原生环境问题，如火山喷发、地震、洪涝、干旱、滑坡等引起的环境问题。由于人类的生产和生活活动引起环境污染和生态破坏，又危及人类自身的生存和发展的现象，为次生环境问题。次生环境问题包括生态破坏和环境污染等方面。

生态破坏是指人类活动直接作用于自然生态系统，造成生态系统的生产能力显著减少和结构显著改变，从而引起的环境问题，如过度放牧引起草原退化，滥采滥捕使珍稀物种灭绝和生态系统生产力下降，植被破坏引起水土流失等。环境污染则指人类活动的副产品和废弃物进入物理环境后，对生态系统产生的一系列扰乱和侵害，或引起的环境质量的恶化和人类健康受损。环境污染不仅包括工业、农业和生活产生的污染物质造成的直接污染，也包括物质的物理性质和运动性质引起的污染，如热污染、噪声污染、电磁污染和放射性污染。

有时候原生环境问题和次生环境问题难以截然分开，它们之间常常又存在着某种程度的因果关系和相互作用。通常意义上所指的环境问题即为次生环境问题。

1.1.2 环境问题的历史发展

环境问题是随着人类社会和经济的发展而发展，在人类生产力不断提高的同时人口数量也迅速增长，这反过来又要求生产力的进一步提高，人类改造自然的强度不断加剧最终导致环境问题变得日益突出。环境问题的历史发展大致经历以下 3 个阶段。

(1) 生态环境的早期破坏

此阶段从人类开始出现直到产业革命，从以采集狩猎为生的游牧生活到以耕种和养殖为生的定居生活。随着种植、养殖和渔业的发展，人类从完全依赖大自然的恩赐转变到自觉利用土地、生物、陆地水体和海洋等自然资源。人类在获得更为稳定和丰富生活资料的同时，人类种群开始迅速扩大。人类为了扩大物质生产来满足社会需要，便开始出现烧荒、垦荒、兴修水利工程等改造活动，引起严重的水土流失、土壤盐渍化或沼泽化等问题。较突出的例子是，古代经济发达的美索不达米亚，由于不合理的开垦和灌溉，后来变成了不毛之地；中国的黄河流域，曾经森林广布，土地肥沃，是文明的发源地，而西汉和东汉时期的两次大规模开垦，虽然促进了当时的农业发展，可是由于森林骤减，水源得不到涵养，造成水旱灾害频繁，水土流失严重，沟壑纵横，土地日益贫瘠，给后代造成了不可弥补的损失。但

总的说来,这一阶段的人类活动对环境的影响还是局部的,没有达到影响整个生物圈的程度。

(2) 近代城市环境问题

此阶段从工业革命开始到20世纪80年代发现南极上空的臭氧洞为止。随着工业的发展,人们的观念由“天人合一”转变到“主宰自然、人定胜天”,并开始粗暴地向自然掠夺资源,加深改造自然的强度。工业革命推动了历史的发展,在使人类社会变得充满生机勃勃的同时,也使环境问题呈现新的特点,并出现复杂化和全球化的特点。

18世纪后期,欧洲的技术革新大大提高了人类社会的生产力,人类开始以空前的规模和速度开采和消耗能源和其他自然资源。新技术使英国、欧洲和美国等地先后迅速进入工业化社会,并使工业发达国家的富裕程度大大超出其他国家。工业化社会的特点是高度城市化,其环境问题也与工业和城市同步发展。先是由于人口和工业密集,燃煤量和燃油量剧增导致发达国家城市空气污染,后来城市周围又出现日益严重的水污染和垃圾污染,工业“三废”、汽车尾气更是加剧了污染。世界上先后出现了众多环境污染事件,也称为“环境公害”。

① 马斯河谷烟雾事件 1930年12月1~5日,比利时马斯河谷工业区上空被大雾所覆盖,工厂排出的有害气体和煤烟粉尘无法扩散而大量积累,SO₂的浓度高得惊人。期间,整个河谷地区的居民有几千人生起病来,症状表现为胸痛、咳嗽、呼吸困难等,一星期内60多人死亡,为同期正常死亡人数的10.5倍。尸体解剖结果证实:刺激性化学物质损害呼吸道内壁是致死的原因。此次污染事件中,主要致害的物质为炼焦、炼钢、电力、玻璃、炼锌、硫酸、化肥等工厂废气中的二氧化硫和三氧化硫烟雾的混合物。

② 多诺拉烟雾事件 多诺拉是美国宾夕法尼亚州的一个小镇,坐落在一个马蹄形河湾内侧,两边高约120m的山丘把小镇夹在山谷中。1948年10月26~31日,小镇中6000人突然发病,症状为眼病、咽喉痛、流鼻涕、咳嗽、头痛、四肢乏力、胸闷、呕吐、腹泻等,其中20人很快死亡,死者年龄多在65岁以上。多诺拉镇是硫酸厂、钢铁厂、炼锌厂的集中地,工厂排放二氧化硫等毒害性气体及金属微粒,在气候反常的情况下(逆温现象)聚集在山谷中积存不散,这些毒害物质附着在悬浮颗粒物上,最终严重污染了大气,以致暴病成灾。

③ 洛杉矶光化学烟雾事件 洛杉矶位于美国西南海岸,是一个商业、旅游业都很发达的港口城市。洛杉矶光化学烟雾事件发生于20世纪40年代初期,当时洛杉矶市拥有飞机制造、军工等工业,各种汽车多达400多万辆,由于汽车漏油、排气,汽油挥发、不完全燃烧,每天向城市上空排放大量石油烃废气、一氧化碳、氮氧化物和铅烟。这些排放物在太阳光能的作用发生光化学反应,生成过氧乙酰基硝酸酯等组成的一种浅蓝色的光化学烟雾,引发人眼睛发红,咽喉疼痛,头昏和头痛等症状。

④ 伦敦烟雾事件 1952年12月5~8日,伦敦城发生了严重的“烟雾”事件:英国伦敦市因数日受高气压控制,地面无风,浓雾连续不散,工厂和住户排出的SO₂和烟尘大量在低空聚积,在金属颗粒催化作用下生成的SO₃、H₂SO₄形成酸雾,居民出现胸闷、咳嗽、呕吐、喉痛等症状,四天内4000多人因呼吸道病而死亡;呼吸道患者为平时的4倍。

⑤ 水俣病事件 日本熊本县水俣湾外围的海产丰富,是渔民们赖以生存的主要渔场。1956年,水俣湾附近发现了一种奇怪的病,患者由于中枢神经和末梢神经被侵害,轻者口齿不清、步履蹒跚、面部痴呆、手足麻痹、感觉障碍、视觉丧失、震颤、手足变形,重者

神经失常，或酣睡，或兴奋，身体弯弓高叫，直至死亡。这种“怪病”就是日后轰动世界的“水俣病”，是最早出现的由于工业废水排放污染造成的“公害病”。后经证实，事件发生的原因是氯乙烯和醋酸乙烯在制造过程中使用含汞（Hg）的催化剂（ HgCl_2 和 HgSO_4 ），含汞废水被水生生物食用、吸收后，会转化成甲基汞（ CH_3HgCl ）。甲基汞通过鱼虾并通过食物链进入人体，被肠胃吸收，从而侵害脑部和身体其他部分。

⑥ 四日市哮喘事件 20世纪50年代起，日本四日市石油工业迅猛发展，伴随而来的却是四日市哮喘病人猛增。1961年，日本四日市哮喘大流行，由于大气被污染，居民长期吸入含有 SO_2 、Pb 等物质的混合气体。它们之间相互作用，生成了硫酸等物质，引发了哮喘病。1964年，四日市多日连续烟雾不散，哮喘患者开始死亡。1967年，一些患者因不堪忍受痛苦而自杀。1972年，确认的四日哮喘病的患者达817人，死亡10多人。居住在四日市的哮喘病人，离开四日市地区，哮喘便马上好转，体现出地方性的公害病的特征。该病最早发生在四日市，所以人们把它称作“四日市哮喘”。

⑦ 米糠油事件 1968年3月，日本九州爱知县一带的23个府县在生产米糠油过程中，使用多氯联苯作为除臭过程的热载体，因管理不善和操作失误，将这种使用的热载体多氯联苯混入米糠油中，造成食物油污染。多氯联苯是一种化学性质极为稳定的脂溶性化合物，可以通过食物链而富集于动物体内。被污染的米糠油中的黑油被用做了饲料，还造成了数十万只家禽的死亡。含有多氯联苯的食物被食用后，多氯联苯多积蓄在肝脏等多脂肪的组织中，初期症状为眼皮肿胀，手掌出汗，全身起红疹，其后症状转为肝功能下降，全身肌肉疼痛，咳嗽不止，重者发生急性肝坏死、肝昏迷等，以至死亡。该事件致使约1400人食用后出现眼皮浮肿、多汗、全身红丘疹，重症患者恶心呕吐、肝功能衰退、甚至肌肉疼痛导致死亡。4个月后，中毒者猛增到5000余人，16人死亡，实际受害者超过1万人，其受害地域之广、受害人之多令人触目惊心。

⑧ 骨痛病事件 富山县位于日本中部地区，在富饶的富山平原上，流淌着一条名叫“神通川”的河流。这条河贯穿富山平原，注入富山湾，不仅是居住在河流两岸人们世代代的饮用水源，也灌溉着两岸肥沃的土地，使之成为日本主要粮食基地的命脉水源。

20世纪初期开始，人们发现该地区的水稻普遍生长不良。1931年又出现了一种怪病，患者大多是妇女，病症表现为腰、手、脚等关节疼痛。病症持续几年后，患者全身各部位会发生神经痛、骨痛现象，行动困难，甚至呼吸都会带来难以忍受的痛苦。到了患病后期，患者骨骼软化、萎缩，四肢弯曲，脊柱变形，骨质松脆，就连咳嗽都能引起骨折。患者不能进食，疼痛无比，有的人因无法忍受痛苦而自杀，由此得名为“骨痛病”或“痛痛病”。

1946~1960年，日本医学界从事综合临床、病理、流行病学、动物实验和分析化学的人员经过长期研究后发现，“骨痛病”是由于神通川上游的神冈矿山废水引起的镉（Cd）中毒。富山县神通川上游的神冈矿山是日本铝矿、锌矿的生产基地。神通川流域从1913年开始炼锌，“骨痛病”正是由于炼锌厂排放的含镉废水污染了周围的耕地和水源而引起的。污水中的镉主要通过消化道进入人体，大量积蓄就会造成镉中毒。神冈的矿产企业长期将未经处理的废水排入神通川，致使高浓度的含镉废水污染了水源。用这种含镉的水浇灌农田，稻秧生长不良，生产出来的稻米成为“镉米”。“镉米”和“镉水”把神通川两岸的人们带进了“骨痛病”的阴霾中。

⑨ 印度博帕尔事件 1984年12月3日，驻印度博帕尔市的美国联合碳化公司农药厂由于操作不当，导致45t剧毒物质甲基异氰酸酯（methyl isocyanate）爆炸外泄，受害面积

40km²，受害人 20 多万人，其中 5 万人失明，近 2 万人死亡，许多孕妇流产甚至产下死婴。根据事件的报告，由于有水渗入载有甲基异氰酸酯的储藏罐内，甲基异氰酸酯遇水产生强烈的化学反应，令罐内产生极大的压力，最后导致罐壁无法抵受压力，罐内的化学物质泄漏至博帕尔市的上空，导致这一巨大环境污染事件。

⑩ 切尔诺贝利核电站泄漏事件 1986 年 4 月 26 日，位于苏联乌克兰基辅市郊的切尔诺贝利核电站，由于管理不善和操作失误，造成第四号核反应堆爆炸起火，致使大量放射性物质泄漏，237 人受到严重的放射性伤害，直接死亡 31 人；上万人由于放射性物质远期影响而致命或重病，至今仍有被放射线影响而导致畸形的胎儿出生。这是有史以来最严重的核事故。外泄的辐射尘随着大气飘散到前苏联的西部地区、东欧地区和北欧等地。乌克兰、白俄罗斯、俄罗斯受污染最为严重，由于风向的关系，据估计约有 60% 的放射性物质落在白俄罗斯的土地。因事故而直接或间接死亡的人数难以估算，且事故后的长期影响至今难以估计。2005 年一份国际原子能机构的报告认为，当时有 56 人丧生（47 名核电站工人及 9 名儿童患上甲状腺癌），并估计大约 4000 人最终将会因这次意外所带来的疾病而死亡。

(3) 当代环境问题阶段

十大公害事件为人们敲响了警钟，发达国家的发展以牺牲环境作为代价。在 20 世纪 60~70 年代，发达国家着力于城市环境问题的治理，并把污染严重的工业转移到发展中国家，以解决国内的环境污染问题。随着发达国家环境状况的改善，发展中国家却开始步发达国家的后尘，重走工业化和城市化的老路，城市环境问题也随之发生，同时伴随着严重的生态破坏。

发达国家的污染状况虽然基本得到缓解，但是全球性的环境恶化趋势并未能得到根本遏制，特别是 20 世纪 80 年代以来，新技术革命增强了人类改造自然的强度，在经济飞速发展的同时，对环境的污染和破坏也相当恶劣，危及人类生存的全球性环境问题日益突出，出现了环境问题的第二次高潮。当代环境问题不同于以往，它更多地呈现出综合性、复杂性和全球性，概括起来表现在以下几个方面。

① 温室效应加剧，全球气候变化异常 大气能使太阳短波辐射到达地面，但地表向外放出的长波热辐射线却被大气吸收，这样就使地表与低层大气温度增高，因其作用类似于栽培农作物的温室，故名温室效应。CO₂ 气体具有吸热和隔热的功能，大气中 CO₂ 增多而形成一种无形的“玻璃罩”，使太阳辐射到地球上的热量无法向外层空间发散，而使地球表面升温。因此，CO₂ 也被称为温室气体。人类活动和大自然还排放其他温室气体：氯氟烃（CFC）、甲烷、低空臭氧和氮氧化物气体，地球上可以吸收大量 CO₂ 的是海洋中的浮游生物和陆地上的森林，尤其是热带雨林。自工业革命以来，人类在生产生活过程中大量消耗化石燃料（石油、煤炭和天然气等），向大气中排入的 CO₂ 等温室气体逐年增加，而森林面积的锐减和生态破坏使得吸收温室气体的功能降低，大气的温室效应也随之增强，引起全球气候变暖等一系列严重问题，备受全世界各国关注。

② 臭氧层破坏 来自太阳的带电粒子进入大气层，使氧分子裂变成氧原子，而部分氧原子与氧分子重新结合成臭氧分子。距地面 15~50km 高度的大气平流层，集中了地球上约 90% 的臭氧，这就是“臭氧层”。

太阳光由可见光、紫外线、红外线三部分组成。进入大气层的太阳光有 55% 可穿过大气层照射到大地与海洋，其中 40% 为可见光，它是绿色植物光合作用的动力；5% 是波长 100~400nm 的紫外线，而紫外线又分为长波、中波、短波紫外线，长波紫外线能够杀菌。

但是波长为 200~315nm 的中短波紫外线对人体和生物有害。当太阳紫外线穿过平流层时,臭氧层能够吸收并过滤掉 70%~90%而辐射到地表,因而臭氧层是地球生命的保护伞。如果失去了臭氧层的防护,地球生命将会遭受灭顶之灾。

1985年,英国科学家法尔曼等人通过在南极哈雷湾观测发现,自1975年以来,南极地区每年早春,约在10月间总臭氧浓度的减少超过30%,每年春天南极上空的平流层臭氧都会急剧耗损。基地上空臭氧层的中心地带,约95%的臭氧都被破坏。南极的臭氧空洞面积达2720km²,比整个北美洲的总面积还大。这一发现得到了许多国家南极观测结果的证实,也引起了全世界的广泛关注。实际上,臭氧总浓度的减少还不仅仅是发生在南极,在北极上空甚至中纬度地区也出现了不同程度的臭氧层损耗现象。地面观察和卫星资料显示,我国的青藏高原也存在一个臭氧低值中心,并伴有季节性臭氧大幅度降低的现象。

由于人类活动的规模不断扩大,向大气排放了大量的氯化亚氮、四氯化碳、甲烷和氟氯烷烃等物质,这类物质在紫外线作用下能与臭氧发生反应,这类物质被称为“臭氧层消耗物质(ODS)”,比如:常见的制冷剂、发泡剂、哈龙灭火器和汽车尾气等。臭氧层破坏将导致紫外线的过度照射,使人引发皮肤癌和白内障等症,紫外线强度的增高还会对生物细胞造成很强的杀伤作用,甚至造成某些生物物种的灭绝。

针对臭氧层破坏日益严重的状况,1985年,联合国环境规划署经过多次会议讨论,制定了保护臭氧层国际公约,我国于1989、1991年分别加入了《保护臭氧层维也纳国际公约》和《蒙特利尔议定书》。

③ 水资源危机 水资源是人类生产和生活不可缺少的自然资源,也是生物赖以生存的环境资源,随着水环境质量的恶化,水资源危机已备受关注。全世界淡水储量占总水储量的2.53%,但其中可供人类利用的淡水仅占总淡水量的0.26%左右。

据联合国最新公布的报告和数字,全球因水资源开发与管理不善正面临水资源匮乏的危机,全球用水量在20世纪增加了6倍,其增长速度是人口增速的2倍,全球大部分地区的水质正在下降。科学家发现,淡水物种和生态系统的多样性正在迅速衰退,其退化速度往往快于陆地和海洋生态系统。1/5的淡水鱼种群或濒临灭绝,或已经绝迹。2002年,全球约310万人死于腹泻和疟疾,其中近90%的死者是不满5岁的儿童。每年约160万人的生命原本都是可以通过提供安全的饮用水来挽救的。

我国淡水资源相当缺乏,2004年全国水资源总量为24130亿立方米,比常年值减少12.9%。北方六区水资源总量4589亿立方米(占全国的19.0%),比常年值减少12.7%;南方四区水资源总量19541亿立方米(占全国的81.0%),比常年值减少13.0%。水质污染较为严重。据2004年1300条河流3200多个监测断面的水质评价资料,全年期水质总体状况是:I类水河长占6.3%,II类水河长占27.2%,III类水河长占25.9%,IV类水河长占12.8%,V类水河长占6.0%,劣V类水河长占21.8%。全年符合和优于III类水的河长占总评价河长的59.4%,比2003年减少了3个百分点。与2003年相比,黄河区、辽河区、西南诸河区、淮河区和海河区水质有所改善,西北诸河区、松花江区、珠江区、东南诸河区和长江区水质略有下降。

此外,近年来在太湖、巢湖和滇池还出现了严重的湖泊富营养化现象,近海赤潮也使渔业和水产养殖业蒙受重大经济损失。水资源危机已直接威胁到我们国家和地区的发展。

④ 酸雨危害频繁 酸雨也称“酸沉降”,它是指pH值小于5.6的天然降水以及酸性气体和酸性颗粒物沉降,包括雨、雪、雾、霜、露和雹等。美国测定的酸雨成分中,硫酸占

60%，硝酸占32%，盐酸占6%，其余是碳酸和少量有机酸。大气中的SO₂和NO₂主要来源于煤和石油的燃烧，它们在氧化剂的作用下溶解于雨水形成酸。酸雨主要是人类生产活动和生活造成的，据统计，全球每年排入大气的SO₂约1亿吨，NO₂的5000万吨。

酸雨给地球生态环境和人类社会经济都带来严重的影响和破坏。在酸雨区，酸雨造成的破坏触目惊心，如在瑞典的9万多个湖泊中，已有2万多个遭到酸雨危害，4000多个成为无鱼湖。美国和加拿大许多湖泊成为死水，鱼类、浮游生物、甚至水草和藻类均一扫而光。北美酸雨区发现大片森林死于酸雨。我国四川、广西等省区有10多万公顷森林也正在衰亡。世界上许多古建筑和石雕艺术品遭酸雨腐蚀而严重损坏，如我国的四川乐山大佛、加拿大的议会大厦等。北京卢沟桥的石狮和附近的石碑，五塔寺的金刚宝塔等均遭酸雨侵蚀而严重损坏。

2005年，全国开展酸雨监测的696个市（县）中，出现酸雨的城市357个（占51.3%），其中浙江省象山县、安吉县，福建邵武市，江西瑞金市酸雨频率为100%。2005年，全国696个市（县）降水pH年均值范围在3.87（江西省贵溪市）~8.35（新疆库尔勒市）之间。与2004年统计的527个城市相比较，出现酸雨的城市比例增加了1.8个百分点；降水pH年均值低于5.6的城市比例增加了0.7个百分点，其中pH值低于4.5的城市比例增加了1.9个百分点，表明2005年酸雨污染较上年有所加重。

⑤ 森林面积锐减 森林具有调节陆地生态系统平衡、防风固沙、调节气候和保存物种等功能。但由于过度的开垦和采伐，地球上原本25%的森林覆盖率，森林面积正以每年1%的速度减少；热带雨林地区，每年减少1130万公顷。森林砍伐不仅导致了树木的减少和无数物种生长、栖息环境的破坏，更重要的是森林砍伐以后，其维持生态环境平衡的能力大大削弱，导致水土流失、洪涝频发和土质变差，出现红土化现象或是遭受侵蚀。

我国历史上曾经是一个森林资源极为丰富的国家，但由于长期的过度采伐，森林面积大为减少。20世纪90年代初，全国森林资源清查结果显示：我国森林面积总计1.3亿公顷，森林覆盖率13.9%，仅为世界森林覆盖率的一半。人均占有森林面积0.11公顷，只相当于世界人均水平的17.2%，居世界第119位。我国退耕还林、植树造林已经取得阶段性成果，但森林覆盖率仍然处于较低的水平。根据第六次全国森林资源清查（1999~2003年）结果：全国森林面积17490.92万公顷，森林覆盖率达18.21%。

⑥ 海洋污染严重 海洋是人类的资源宝库。然而，近年来海洋污染和对生物破坏问题日益突出。据统计，全世界每年向大海排放悬浮物和溶解盐达200亿吨，垃圾和有机物达330亿吨。每年有近1000万吨的石油、1万吨的银、25万吨铜、390万吨的锌、30万吨的铅、1万吨的汞和100万吨的有机氯农药直接排入大海。据《中国海洋环境质量公报》，2007年监测的入海排污口排海的主要污染物总量约1219万吨，比2006年减少6.1%。其中，COD_{Cr}539万吨，占主要污染物入海总量的44.2%；悬浮物652万吨，占53.5%；氨氮16万吨，磷酸盐1.7万吨，五日生化需氧量（BOD₅）9万吨，油类0.3万吨，重金属0.6万吨，挥发酚、氰化物、苯胺、硝基苯和硫化物等合计0.6万吨。

这些毒害性物质势必给海洋中的浮游生物、鱼类、贝类和海鸟带来致命的威胁。大量有机物的排放可能引发大规模赤潮和蓝潮，世界上每年有2000多人因食用含有赤潮毒素的鱼虾而死亡。2007年，全海域共发生赤潮82次，累计面积11610平方公里。全海域共发生100平方公里以上的赤潮30次，累计面积10253平方公里。由于经济和技术的局限性，海洋污染远比内陆污染难以治理，我国海洋污染快速蔓延的势头虽得到了一定程度的减缓，但

海洋环境质量恶化的总体趋势仍未得到有效的遏制。

⑦ 水土流失，土地沙漠化严重 水土流失是不利的自然条件与人类不合理的经济活动互相交织作用产生的，如：地面坡度陡峭，高强度暴雨，毁林毁草，陡坡开荒，过度放牧，开矿、修路等生产建设破坏地表植被后不及时恢复，随意倾倒废土弃石等。水土流失对当地和河流下游的生态环境、生产、生活和经济发展都造成极大的危害。水土流失破坏地面完整，降低土壤肥力，造成土地硬化、沙化，影响农业生产，阻碍经济、社会的可持续发展。

因为水土流失和沙漠化，世界上沙漠面积正以每年几百万公顷的面积在扩展。据不完全统计，我国的水土流失面积已达 160 万公顷，占国土面积的六分之一，每年流失水土量高达 50 多亿吨。过度放牧、盲目开垦和水资源利用不当等造成大面积荒漠化，2006 年全国沙化土地面积高达 174 万平方公里，占国土面积的 18.1%，沙化危害依然突出；黄河首曲、石羊河下游、塔克拉玛干沙漠周边等地区土地沙化面积仍在增加，局部扩展依然严重。

⑧ 耕地面积减少 世界人口不断增加，而耕地面积却在逐年减少。我国人口数量占世界总人口的四分之一，而人均占有耕地面积仅为 0.1 公顷，不到平均水平的 50%，多年来由于水利、交通和能源基础设施的建设，以及资源开发、退耕造林、放牧占地的增加，加上水土流失和土地沙化等原因，导致我国耕地面积大为减少，人地矛盾日益突出。据 2007 年中国国土资源公报，当年中国耕地面积为 18.26 亿亩，净减少 61.01 万亩，减幅 0.03%，同比下降 0.22%，耕地面积减少的问题不容忽视。

⑨ 草原日益退化 我国原本是一个草地资源大国，拥有各类天然草地面积 3.9 亿公顷，约占国土面积的 40%。但人均占有草地仅为 0.33 公顷，约为世界平均水平的一半。20 世纪 50 年代以来，由于长期超载放牧和过度使用，加上气候干旱，草地逐步沙化。此外，采樵、滥挖药材、开矿和滥猎以及草原病虫害等直接危害草地植被。据报道，我国退化、沙化草原已成为中国主要的沙尘源，我国的天然草原面积约占国土面积的 41%，但有 90% 的天然草原出现不同程度的退化；我国约有 40% 的自然湿地得到有效保护，但天然湿地大面积萎缩、消亡、退化仍很严重。

⑩ 生物多样性遭受破坏 生物多样性 (biodiversity) 是指一定范围内多种多样活的有机体 (动物、植物、微生物) 有规律地结合所构成稳定的生态综合体。这种多样包括动物、植物、微生物的物种多样性，物种的遗传与变异的多样性及生态系统的多样性。其中，物种的多样性是生物多样性的关键，它既体现了生物之间及环境之间的复杂关系，又体现了生物资源的丰富性。人类生存离不开生物多样性的存在，但人类社会的发展过程中的人口迅猛增长、生境的破碎化、环境污染以及外来物种入侵均导致物种多样性受到危害。而物种多样性的不断减少，逐渐瓦解人类的生存基础。我们目前已经发现大约有 200 万种生物，这些形形色色的生物物种就构成了生物物种的多样性。据估计，世界上有 10%~15% 的植物处于濒危状态，濒危物种达 4000~5000 种。此外，还有相当可观的植物中已经灭绝或正在灭绝。

我国正处于经济快速发展时期，生态环境保护与经济矛盾的日益尖锐，生物多样性在生态系统多样性、物种多样性及遗传多样性 3 个层次上都受到严重的威胁。2004 年出版的《中国物种红色名录》采用 2001 年《IUCN 物种红色名录濒危等级标准》，对我国范围内 10211 种动植物的灭绝危险程度进行了新的评估。结果表明，我国的物种濒危情况远比过去评估的比例高，各类生物物种受威胁的比例普遍在 20%~40%，特别是植物的受威胁物种比例远远超出了过去的估计。

⑪ 危险废物越境转移 随着工业的发展,工业生产过程排放的危险废物日益增多。据估计,全世界每年的危险废物产生量为 3.3 亿吨。由于危险废物带来的严重污染和潜在影响,在工业发达国家危险废物已成为“政治废物”,公众对危险废物问题十分敏感,反对在自己居住的地区设立危险废物处置场,加上危险废物的处置费用高昂,一些公司极力试图向工业不发达国家和地区转移危险废物。

危险废物的这种越境转移量正在增长,已对发展中国家乃至全球环境产生了不可忽视的威胁。首先,废物的输入国基本上都缺乏处理和处置危险废物的技术手段和经济能力,危险废物的输入必然会导致对当地生态环境和人群健康的损害。其次,危险废物向不发达地区的转移实际上是逃避本国规定的处置责任,使危险废物没有得到应有的处理和处置,长期积累的结果必然会对全球环境产生危害。危险废物的越境转移的危害还在于,这些废物是在贸易的名义掩盖下进入的,进口者为了捞取经济利益而不顾其对环境和人体健康可能产生的影响,一般难以得到应有的处理和处置。

据绿色和平组织的调查报告,发达国家正在以每年 5000 万吨的规模向发展中国家转运危险废物。从 1986 年到 1992 年,发达国家已向发展中国家和东欧国家转移总量为 1.63 亿吨的危险废物。危险废物的越境转移已成为严重的全球环境问题之一,如不采取措施加以控制,势必对全球环境造成严重危害。1989 年 3 月在联合国环境规划署 (UNEP) 主持下,在瑞士的巴塞尔通过了《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》,该公约于 1992 年 5 月生效,我国是该条约的签约国。

总之,目前人类面临多重环境问题,环境问题的产生根源主要有以下几个方面。a. 人类认识的有限性,没有认识到生态环境和人类生存面临的严重威胁。b. 市场的缺陷,市场不能精确的反映出环境的社会价值,主要原因有:第一,由于很难区分和履行对环境的所有权及其使用权,所以不存在环境的市场,而价格不能体现污染物的有害影响,结果导致大量的污染;第二,一种资源的某些用途(如热带雨林)能够出售,而其他用途(如它对流域的保护)却不能,由于不能出售的用途经常被忽视,因此导致资源的过度使用;第三,作为开放的资源,这使它们可为所有人所开发使用;第四,个人和团体对环境的影响或使其免遭破坏的低成本方法缺乏了解。c. 政策失误。例如,对农业能源的投入和对砍伐森林和开发牧场实行补贴,产品的定价只以生产过程成本为依据,未考虑产品生产、消费和报废后的社会成本,由于这些政策的失误,可能会增加由于该缺陷引起的环境破坏。

因此,人类应该认识到自己是幸运的,以感恩的心去珍视大自然,避免杀鸡取卵地发展经济的模式,在经济发展的同时兼顾环境效益和社会效益,避免和缓解环境问题,实现可持续发展。

1.2 工业发展与资源、能源的消耗

自然资源是人类赖以生存和发展的物质基础。随着人们对资源理解的加深,从资源的来源及组成来看不仅是自然资源,而且还包括人类劳动的社会、经济、技术等因素,还包括人力、人才、智力(信息、知识)等资源。因此,从广义上看,所谓资源指的是一切可被人类开发和利用的物质、能量和信息的总称,它广泛地存在于自然界和人类社会,是一种自然存在物或能够给人类带来财富的财富。或者说,资源就是指自然界和人类社会一种可以用以创造物质财富和精神财富的具有一定量的积累的客观存在形态,如土地资源、矿产资源、

森林资源、海洋资源、石油资源、人力资源、信息资源等。本书所指的资源是指自然资源的范畴。

能源是人类活动的物质基础，能源是资源的一部分，它是为人类的生产和生活提供各种能力和动力的物质资源，是国民经济的重要物质基础。能源亦称能量资源或能源资源，是指能够直接取得或者通过加工、转换而取得有用能的各种资源，包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等一次能源和电力、热力、成品油等二次能源，以及其他新能源和可再生能源。在某种意义上讲，人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。能源的开发和有效利用程度以及人均消耗量是生产技术和生活水平的重要标志。在当今世界，能源和环境是全世界共同关心的问题，也是我国经济社会发展的重要问题。

作为世界上最大的发展中国家，中国是一个能源生产和消费大国。能源生产量仅次于美国和俄罗斯，居世界第3位；基本能源消费占世界总消费量的1/10，仅次于美国，居世界第二位。我国煤的储藏量达6000亿吨，世界第3位，但人均储藏量只有462吨。我国石油可采资源量150亿吨，现已探明的65.1亿吨，有待探明84.9亿吨。在世界103个产油国中，我国石油可采资源总量和剩余可采储量分别居于第11位和第10位。我国人均占有石油可采资源12吨，相当于世界平均水平的17.6%。

我国是一个以煤炭为主要能源的国家，发展经济与环境之间的矛盾比较突出。能源安全问题已成为国家生活乃至全社会关注的焦点，日益成为制约经济社会可持续发展的瓶颈。20世纪90年代以来，我国经济的持续高速发展带动了能源消费量的急剧上升。煤炭、电力、石油和天然气等能源在中国都存在缺口，其中，石油需求量的大增以及由其引起的结构性矛盾已攸关我国能源安全。

我国改革开放以来，经济的快速发展是建立在大量能源消耗的基础之上，能源利用效率与国外先进水平的差距十分明显，这制约了我国经济的持续发展。

① 单位产值能耗 据有关机构研究，2000年按现行汇率计算的每百万美元国内生产总值能耗，我国为1274吨标准煤，比世界平均水平高2.4倍，比美国、欧盟、日本、印度分别高2.5倍、4.9倍、8.7倍和0.43倍。

② 单位产品能耗 2000年电力、钢铁、有色、石化、建材、化工、轻工、纺织8个行业主要产品单位能耗平均比国际先进水平高40%，如：火电供电煤耗高22.5%，大中型钢铁企业吨钢可比能耗高21.4%，铜冶炼综合能耗高65%，水泥综合能耗高45.3%，大型合成氨综合能耗高31.2%，纸和纸板综合能耗高120%。

③ 主要耗能设备能源效率 2000年，燃煤工业锅炉平均运行效率65%左右，比国际先进水平低15%~20%；中小电动机平均效率87%，风机、水泵平均设计效率75%，均比国际先进水平低5%，系统运行效率低近20%；机动车燃油经济性水平比欧洲低25%，比日本低20%，比美国整体水平低10%；载货汽车百吨公里油耗7.6升，比国外先进水平高1倍以上；内河运输船舶油耗比国外先进水平高10%~20%。

④ 单位建筑面积能耗 目前我国单位建筑面积采暖能耗相当于气候条件相近发达国家的2~3倍。据专家分析，我国公共建筑和居住建筑全面执行节能50%的标准是现实可行的；与发达国家相比，即使在达到了节能50%的目标以后仍有约50%的节能潜力。

⑤ 能源效率 我国能源效率比国际先进水平低10%。如火电机组平均效率33.8%，比国际先进水平低6%~7%。能源利用中间环节（加工、转换和贮运）损失量大，浪费严重。

我国能源利用效率与国外的差距表明,节能潜力巨大。根据有关单位研究,按单位产品能耗和终端用能设备能耗与国际先进水平比较,目前我国的节能潜力约为3亿吨标准煤。据国际能源署(IEA)发布的《世界能源展望2007》预测,全球2005年到2030年间的一次能源需求将增加55%,年均增长率为1.8%。能源需求将达到177亿吨油当量,而2005年为114亿吨油当量。2030年的全球石油需求量将达到1.16亿桶/日,比2006年多出3200万桶/日(增长了37%)。在2005年到2030年间煤炭需求量将上升73%,其在能源总需求中的比例也将从25%提高到28%。煤炭用量增长大多来源于中国和印度。天然气的比例适度的增加,从21%上升到22%。电力用量将翻一番,它在终端能源消费中的比例将从17%上升到22%。预计要满足全球对能源的需求,大概需要在能源供应基础设施方面投入22万亿美元的资金,筹措所有的投资资金将具有挑战性。不断增高的能源消耗,逐步威胁到世界的能源安全,减少能源资源的消耗已经显得刻不容缓。

1.3 工业发展与环境污染

物质生产的本质是将可利用的自然资源经过加工、提取、转化等手段最终转化为人类的生活质量,物质生产是人类生存和发展的基础。人类社会的发展一方面改善生活质量(包括物质和精神的质量),同时不断对自然(生态系统)进行扰动和影响。

纵观人类社会的发展历程,在漫长的农业社会中,人口密度不大,农业、手工业生产等对自然的影响相对较小,人类与自然能得到协调发展和平衡。进入工业社会后,人类的生产活动的水平随着科学技术的发展而极大提高,使大量物质在自然环境中发生空间转移和形态的转变,也成为扰动自然生态系统最主要的力量。人类社会从自然经济转向商品经济,人类思维也从“靠天吃饭”的顺应自然、转变成“人定胜天”的征服自然。人类社会发展与自然环境的关系如表1-1所列。

表 1-1 人类社会发展与自然环境关系

社会类型	狩猎时期	农业社会	工业社会	后工业社会
时间间隔	公元前 2×10^6 年 ~ 公元前 1×10^4	公元前 1×10^4 年 ~ 1800 年前后	1800 年产业革命至今	从现在开始
对自然的态度	依赖自然	改造自然	征服自然	与自然友好相处
环境问题	几乎不存在	森林砍伐导致水土流失,过度耕作导致地力下降等	从地区性污染到全球污染和生态破坏	将进行全球合作对生态和环境修复
人类对策	听天由命	意识朦胧	逐步注意和保护环境	全人类合作走可持续发展道路

工业社会的发展使自然生态系统失衡,引起了工业生产与环境(自然)的激烈矛盾,造成环境污染和生态失衡。

① 工业生产消耗大量自然资源,自然资源储量有限、更新速度慢使得自然资源快速枯竭。工业社会以大量消耗能源(尤其是化石能源)为基础,其产品的原料主要来自于自然资源(特别是矿产资源)。《世界资源报告》(1994~1995)指出,20世纪60~80年代,人类对矿物燃料、铝、铜、原木的消耗一直在增长,20世纪80年代后期比60年代早期的消耗量分别增长了38.2%、135.89%、30.63%和17.27%。比较世界上九种主要金属和三种化