

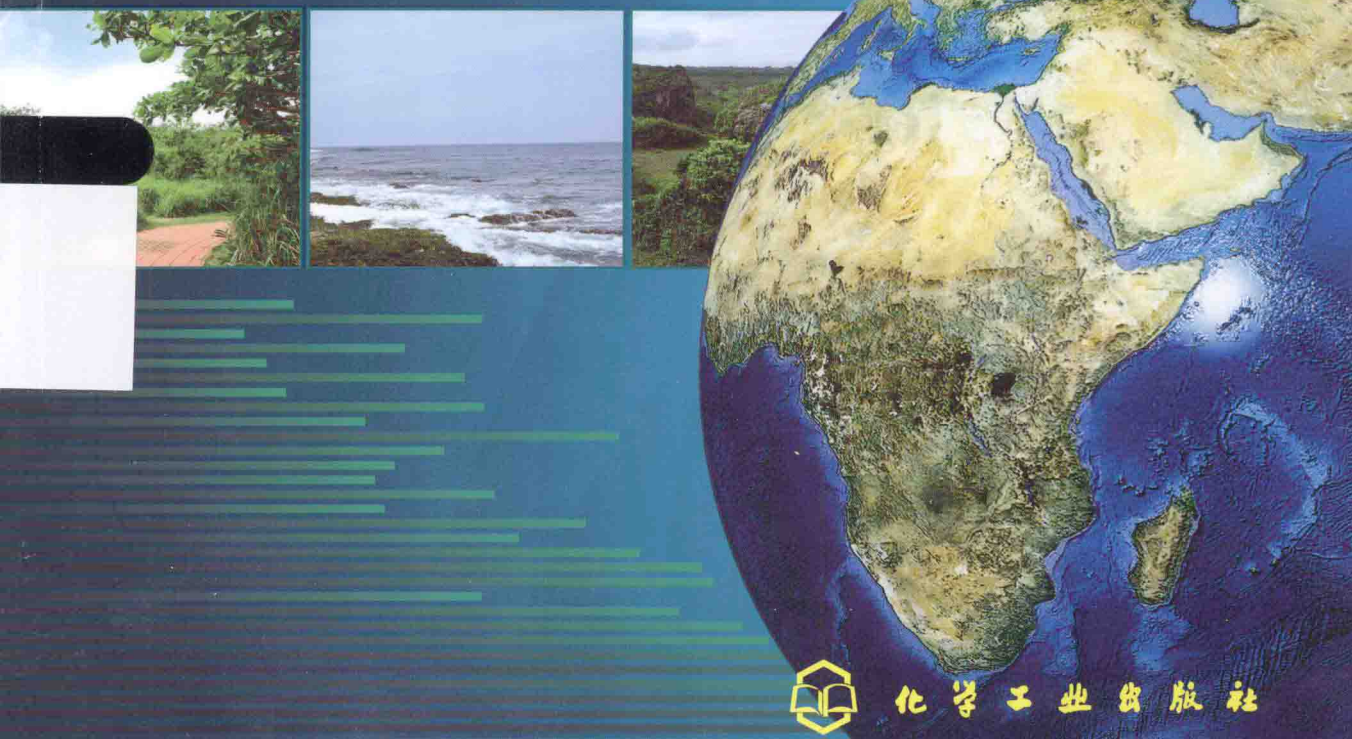


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 清洁生产与循环经济

第二版

奚旦立 徐淑红 高春梅 主编



化学工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 清洁生产与循环经济

第二版

奚旦立 徐淑红 高春梅 主编

奚旦立 徐淑红 高春梅 马春燕 冀世峰 编



化学工业出版社

全书共分为 8 章，分别为绪论；资源、能源的合理利用；碳足迹-水足迹-环境足迹；清洁生产；清洁生产审核和能源审计；循环经济；生态园区和清洁生产审核及能源审计案例。较全面地反映了国内外在本学科领域的情况和水平。

本次修订在保留第一版基本框架的基础上，根据学科发展进行了较大的补充、调整、修改和删减，主要增加了碳足迹-水足迹-环境足迹、化学品使用和人类健康的关系以及能源审计等内容。

本书主要作为高等学校环境类专业教学用书，也可供环保和有关专业技术人员使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

清洁生产与循环经济/奚旦立，徐淑红，高春梅主编. —2 版. —北京：  
化学工业出版社，2013. 12  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-122-18584-6

I. ①清… II. ①奚…②徐…③高… III. ①无污染工艺-高等学校-  
教材②自然资源-资源利用-高等学校-教材 IV. ①X383②F062. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 237568 号

---

责任编辑：满悦芝 姚晓敏  
责任校对：蒋 宇

文字编辑：荣世芳  
装帧设计：尹琳琳

---

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：北京云浩印刷有限责任公司  
装 订：三河市前程装订厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 419 千字 2014 年 4 月北京第 2 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：39.00 元

版权所有 违者必究

# 序

近 30 余年来，我国的环境保护工作取得了很大的成绩，不论在生态建设、环境治理、立法管理、科学研究、教育宣传、公众意识等方面均取得较好的进步。但不可否认，在经济高速发展的同时，资源过度消耗，生态急剧破坏，部分流域、地区、行业污染严重。面对严峻的环境保护现实，人们不得不反思：如何从深层次考虑并从根本上解决经济发展与生态环境之间的矛盾。

可持续发展已成为人类社会新的发展战略。但如何实现可持续发展？单纯依靠以末端治理为主的方式显然是行不通的。必须从源头和全过程考察人类的生产活动。清洁生产和循环经济无疑是两个重要手段。奚旦立、陈季华教授编写的《清洁生产与循环经济》一书较全面地介绍了国内外清洁生产，清洁生产审核，循环经济，生态园区建设的理论、实践、方法，并收集了大量实例、资料。全书内容翔实，论理清楚，实用性、可读性强。本书的出版对高等学校的教学、科学研究和社会实践均有很好的参考价值。

顾夏声

2004 年 11 月 23 日

# 前 言

《清洁生产和循环经济》(第一版)自2005年出版以来得到许多读者垂青,并被不少学校选作教材,十分欣慰。

近7年来国内节能减排工作发展非常迅速,节能减排也是中国可持续发展所遇到的关键问题。而国际上低碳经济、减少碳排放的理念和行动也强烈促使我国在这方面做出承诺。由于中国是第一人口大国,又是世界产品的生产大国,二氧化碳排放总量位居世界第一,尽管中国的人均排碳量还远低于发达国家,但是几年来频繁的世界气候会议对中国的压力极大。节能减排从根本上是科学技术是否先进的问题,强大的压力也一定程度上促使中国科学技术的加快发展。另外,媒体和民间组织频频曝光痕量化学品事件,例如白酒的“塑化剂”、印染行业的“壬基酚”、PM<sub>2.5</sub>问题等,引起群众的高度重视,这从另一方面促进化学品合理使用和清洁生产的发展。针对这些技术的发展,本书第二版中增加了碳足迹-水足迹-环境足迹、低碳经济、化学品使用和人类发展的关系以及能源审计等内容。

此次修订,徐淑红高级工程师负责第4章和第5章;高春梅老师负责第2章;马春燕老师负责第6章和第7章;冀世峰老师负责第8章;奚旦立老师负责第1章和第3章并负责全书统稿。

由于作者编写时间和水平有限,疏漏之处在所难免,期望读者斧正。

奚旦立  
2013年12月

# 第一版前言

我国自然资源条件较为优越，就资源总量来说，仅次于俄罗斯、美国，居世界第三位。长期以来，我们一直以“地大物博、人口众多”引以为豪。其实，这只是一种表象。必须看到，我国的国土面积仅占全世界国土面积（有定居人口的各大洲）的 7.15%，而近 100 年来，我国的人口一直占全球总人口的 20% 以上，现已超过 13 亿。人均耕地面积仅 0.104hm<sup>2</sup>/人，为世界平均值的一半，人均资源占有量远远低于世界平均水平，石油、天然气、铜和铝等重要矿物资源的人均储量分别只占世界人均水平的 8.3%、4.1%、25.5%、9.7%。人口众多但资源相对不足日益成为制约我国社会进步和经济发展的突出矛盾。

近 20 多年来，我国经济高速度发展，经济总量已居世界第六位。然而，这主要是依靠高投入、高消耗、高污染的粗放型经济增长方式来获取的。目前，我国万元 GDP 能耗是世界平均水平的 3.4 倍，是日本的 9.7 倍；33 种主要产品的单位能耗比国际平均水平高出 46%。单位 GDP 排放污染物水平，可以反映生产和发展的水平、能力和质量。据报道现在我国二氧化硫、氮氧化物的排放强度是经济合作与发展组织（OECD）平均值的 8 倍，是德国、日本的几十倍。从另一方面分析，我国与 OECD 国家相比，GDP 增加一个百分点，但资源消耗比 OECD 国家高 8 倍！这种资源消耗增长过快、资源利用效率过低、生态环境破坏严重等问题日益凸现，人和自然的矛盾从来没有像今天这样突出。我国已经没有足够的资源来支撑落后的、高能耗的生产方式，也没有充足的环境容量来承载高污染的生产方式和过度浪费的消费方式。因此，我们必须走可持续发展的道路。

如何保证我国社会和经济的持续发展？从技术层面上分析，推行清洁生产、发展循环经济是相互关联的两大手段。推行清洁生产以降低生产过程中资源、能源的消耗，减少污染的产生，发展绿色消费以减少对环境的污染和生态破坏；而发展循环经济则是促使物质循环利用以提高资源和能源的利用效率以及太阳能、潮汐能、地热能等清洁、可再生能源的充分利用和新能源的开发，这样才能达到人和自然和谐相处、较为理想的生态文明。

为了使人们进一步了解可持续发展的重要意义，认识进行清洁生产的重要性，我们编写了这本《清洁生产与循环经济》。本书较全面地介绍了国内外清洁生产、清洁生产审核、循环经济、生态园建设的理论、实践和方法，并配有大量的应用实例。

全书共分为七章，陈季华教授提供许多实例并与马春燕共同编写第七章；第三章由李燕编写；第二章由高春梅编写；第四章由李茵编写；奚旦立负责第一章、第五章、第六章以及全书的组织、编写、统稿。杨波、高阳俊、毛艳梅、沈佳璐等协助整理资料、图、表等工作。

稿成之后，承清华大学顾夏声院士指导并写序，张月娥老师对书稿提出了许多宝贵建议，在此深表谢意！

本书是作者近 10 年在东华大学对硕士、博士生讲课内容的基础上整理而成的，从讲课到成书需跨越很高的坎。由于知识有限，且这些内容是新的、发展中的，所以动笔二年以来从未满意过，但总得收笔，做个交代。不当之处祈请读者教正！

奚旦立于上海  
2004 年 11 月 26 日

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	<b>第 4 章 清洁生产</b> .....	97	
1.1 环境问题的发生及发展 .....	1	4.1 清洁生产的定义、内容 .....	97	
1.1.1 产业与环境 .....	3	4.1.1 清洁生产的定义 .....	97	
1.1.2 生态环境与城市生态环境 .....	13	4.1.2 清洁生产的内涵 .....	98	
1.2 经济发展和环境污染 .....	15	4.1.3 实施清洁生产的途径和方法 .....	99	
<b>第 2 章 资源、能源的合理利用</b> .....	17	4.1.4 清洁生产与可持续发展 .....	100	
2.1 资源、能源的定义及分类 .....	17	4.2 清洁生产的工艺、清洁产品 .....	101	
2.1.1 资源、能源的定义 .....	17	4.2.1 清洁的原料、清洁工艺、	清洁产品 .....	101
2.1.2 资源、能源的分类 .....	18	4.2.2 “绿色”和绿色产品 .....	102	
2.1.3 能源资源的储量和消耗 .....	21	4.2.3 产品的环境标志 .....	103	
2.1.4 能源结构 .....	25	4.2.4 环境标志的作用 .....	106	
2.1.5 能源效率 .....	27	4.2.5 环境标志的法律保证 .....	107	
2.1.6 能源与环境 .....	29	4.2.6 ISO 14020 系列标准——环境	标志及声明 .....	110
2.2 能源的清洁利用 .....	33	4.3 清洁生产评价 .....	122	
2.2.1 煤的清洁利用 .....	33	4.3.1 城市清洁生产评价 .....	122	
2.2.2 石油的清洁利用 .....	49	4.3.2 绿色 GDP .....	132	
2.2.3 核能的利用、可再生能源的	合理开发 .....	4.3.3 企业清洁生产评价标准及	评价方法 .....	140
2.2.4 新能源的开发 .....	70	4.3.4 生命周期评价 .....	154	
2.3 资源、能源的再利用 .....	77	4.3.5 清洁生产体系 .....	157	
2.3.1 资源、能源再利用的必要性和可能性 .....	77	4.4 清洁生产促进法主要内容 .....	162	
2.3.2 资源、能源再利用的途径 .....	79	4.4.1 清洁生产促进法的产生 .....	162	
<b>第 3 章 碳足迹-水足迹-环境足迹</b> .....	84	4.4.2 清洁生产促进法的主要内容 .....	163	
3.1 碳足迹的提出 .....	84	<b>第 5 章 清洁生产审核和能源审计</b> .....	165	
3.1.1 环境问题-生态问题-温室	气体问题 .....	5.1 清洁生产审核的由来和定义 .....	165	
3.1.2 世界气候会议和碳足迹的提出 .....	86	5.1.1 清洁生产审核的发展概况 .....	165	
3.1.3 减少碳足迹的途径 .....	89	5.1.2 清洁生产审核的定义 .....	165	
3.1.4 产品碳足迹和碳审计 .....	89	5.2 清洁生产审核的程序 .....	166	
3.2 低碳和节能减排的关系 .....	90	5.3 能源审计及方法 .....	167	
3.3 碳税、碳关税和碳交易 .....	91	5.3.1 能源审计的目的 .....	167	
3.4 水足迹、环境足迹 .....	92	5.3.2 能源审计内容 .....	167	
3.5 化学品与人类 .....	94	5.3.3 能源审计的依据及方法 .....	168	
		5.3.4 能源审计的程序 .....	168	
		5.3.5 各种能源之间的转换关系 .....	173	



<b>第 6 章 循环经济</b> .....	176	7.3.4 生态城市的评定指标 .....	205
6.1 “循环经济”产生过程 .....	176	7.3.5 生态住宅及其评定指标 .....	208
6.1.1 线性经济和循环经济 .....	176	7.4 从传统农业到生态农业 .....	208
6.1.2 线性经济的弊病 .....	177	7.4.1 传统农业 .....	208
6.2 循环经济的基本原则 .....	177	7.4.2 石油农业 .....	209
6.2.1 实施循环经济的基本原则 .....	177	7.4.3 生态农业 .....	211
6.2.2 实施 3R 原则的顺序 .....	178	7.4.4 生态农业的发展特点和 发展趋势 .....	211
6.2.3 从生产优先到服务优先 .....	179	<b>第 8 章 清洁生产审核及能源审 计案例</b> .....	214
6.2.4 资源最优化的途径 .....	180	8.1 某啤酒厂清洁生产审核案例 .....	214
6.3 循环经济的实施方式和类型 .....	180	8.1.1 企业概况 .....	214
6.3.1 实施循环经济的几种思路 .....	180	8.1.2 生产工艺 .....	214
6.3.2 循环经济的产业类型 .....	183	8.1.3 清洁生产审核 .....	214
6.3.3 循环经济的技术类型 .....	184	8.2 某针织企业能源审计案例 .....	224
6.3.4 实施循环经济的基础保证 .....	185	8.2.1 审计目的和内容 .....	224
<b>第 7 章 生态园区</b> .....	189	8.2.2 企业基本情况 .....	225
7.1 从自然生态到人工生态 .....	189	8.2.3 主要生产工艺和能源系统 .....	225
7.1.1 生态学的定义和基本概念 .....	189	8.2.4 能源管理系统 .....	233
7.1.2 生态系统的组成和结构 .....	190	8.2.5 能源利用状况分析 .....	241
7.1.3 人控生态系统及其风险 .....	193	8.2.6 节能潜力分析和建议 .....	249
7.2 生态工业园 .....	194	8.2.7 审计结论 .....	251
7.2.1 工业园区和高新工业园区 .....	194	<b>附录</b> .....	253
7.2.2 工业生态学和生态工业园区 .....	195	附录 1 各国(组织)环境标志图 .....	253
7.2.3 国外生态工业园区实例 .....	197	附录 2 地球气候及冰川变化图 .....	258
7.2.4 中国生态工业园区实例 .....	200	<b>参考文献</b> .....	260
7.3 生态城市 .....	202		
7.3.1 城市的产生和演变 .....	202		
7.3.2 城市的作用和问题 .....	203		
7.3.3 生态城市内涵和特征 .....	204		



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 环境问题的发生及发展

人类的产生和人类社会的发展历史，是人类适应、利用、改造自然的过程。从采摘野果、徒手狩猎到刀耕火种，是一大进步，说明人类开始利用自然物质，加工成工具，改造自然以提高生活质量。当砍伐森林、捕杀动物、开垦土地与草原达到一定规模，自然环境的生态平衡受到破坏，但这时的环境问题是局部的、影响较小。食物、居住、卫生、医疗条件的改善使死亡率下降，人口的增长加剧了对环境的破坏，但人类也在实践中逐渐学会如何保护环境。如连年耕作会使土地肥力下降而使产量降低，采用休耕和轮作来保护耕地。中国古代大禹治水也是保护环境的典型例子。在 19 世纪以前，环境问题整体上尚未达到影响人类生存的严重程度，环境科学尚未作为一门学科来进行研究。

21 世纪以来，由于科学技术、文化、人口等多方面的迅速发展，地球上发生了巨大的变化：①第二次世界大战以后，社会生产力迅速提高，经济规模空前膨胀，物质财富极大丰富，虽然两极分化严重，但人类文明到达新的高度。②医疗卫生水平的提高使人口爆炸性地增长。公元 1000 年时世界人口总数为 2.8 亿，经过了 800 年增长到 10.0 亿，再经过 130 年增长到 20.0 亿，再过 57 年即 1987 年 7 月 11 日世界人口达到 50.0 亿，1999 年 10 月 12 日达 60 亿，2000 年已达 61.2 亿！每年以 7800 万以上的速度增长，如此庞大的人口消耗地球上有限的资源。以中国为例，目前人口已超过 13 亿，每年净增人口 1500 万，使新增国民收入的 1/4 被新增人口所消费，给提高全体人民的生活水平造成极大困难。③自然资源的过度开发与消耗，生产和生活中所产生的污染物未经有效处理而大量排放，造成全球性资源短缺、环境严重污染、生态毁灭性破坏。全球性的环境问题有温室效应、臭氧层空洞、酸雨、森林减少（又称热带雨林减少）、水土流失和沙漠化、生物多样性锐减、人口膨胀以及城市化所造成的一系列问题。随着化学学科的发展，人类合成了 600 万种新化学品，在农药、化肥、塑料制品、合成化学纤维、工业材料等广大领域为提高生活水平起着不可磨灭的作用，但是新化学品往往影响人体健康，导致急性和慢性疾病，因此不断研究替换毒性较大的化学品成为长期任务，其实这是发展过程的必然，是文明的代价！人和自然间矛盾尖锐，不仅严重阻碍了人类社会的发展，而且对人类的生存构成了威胁。人类不得不冷静思考人与自然的关系，从原始时代人们对太阳、月亮顶礼膜拜，到产业革命后提出征服自然，但严酷的现实使人们认识到人和自然必须和睦相处，需要考虑每前进一步可能给环境留下的“足迹”，只有保护环境社会才能持久发展，因为地球只有一个、污染没有国界！

严重的环境问题引起世界性的关注始于 20 世纪 50 年代，环境科学也作为一门学科迅速发展。1972 年 6 月联合国在瑞典首都斯德哥尔摩召开人类环境会议，是人类关注和保护环境的历史性会议，所通过的“人类环境宣言”对环境问题的本质、产生原因、改善方法、人类的职责以及国际合作等方面作了原则阐述，并由此签订了一系列保护生态、保护环境的国际条约：1980 年由国际自然和自然资源保护联盟（IUCN）、联合国环境规划署（UNEP）、

世界野生生物基金会（WWF）共同起草的《世界自然资源保护大纲》；1987年 UNEP 通过了关于臭氧层的《蒙特利尔议定书》；1989年 69个国家环境部长关于大气污染和气候变化的《诺德威克宣言》；1991年在北京召开了发展中国家环境与发展部长级会议，并通过《北京宣言》；1992年生效的由 UNEP 通过的关于控制危险废物越境转移及其处置的《巴塞尔公约》。

当然，人们对世界性的生态破坏和环境问题也是有不同的看法。从 20 世纪 60 年代到 80 年代科研人员进行了热烈的讨论，例如 60 年代末美国学者鲍尔丁提出了“宇宙飞船经济理论”，认为人类生活的地球在宇宙中只是一艘小小的宇宙飞船，人口和经济的不断增长，总会耗竭飞船内有限的资源，同时对生产和消费过程中排放的废物不予处理、不断积累终将严重污染飞船而危害人类生存。要避免这种结果的产生，必须按生态学原理来组织人类生产和生活活动。由美国、德国、挪威等国科学家组成，以 D. L. 米都斯（Meadows）为代表的罗马俱乐部在 1972 年提出了研究报告《增长的极限》，指出当前人类社会的发展受到工业化、人口增长、粮食短缺、不可再生资源的枯竭、生态环境破坏五种因素相互影响、制约，如果以目前的人口和资本的快速增长模式继续下去，在 100 年内将可能达到“增长的极限”，世界就会面临一场“灾难性的崩溃”。避免这种崩溃的最好方法是限制增长，即“零增长”。建立稳定的生态和经济条件，达到全球的平衡，这种努力开始越早，成功的可能性就越大。其后又发表了《人类处在转折点》，强调当前的危机“不是一种暂时现象，而是反映了历史格局内在的长期趋势”，指出人对自然必须持有和睦相处而不是征服自然的态度；应该鼓励多样化，以有利于系统的稳定。另一些“技术至上”的乐观主义者持相反的观点。以 J. L. 西蒙（Simon）为代表的持有“没有极限的增长”（1981）、“资源丰富的地球”观点的人（1984）则认为“人类能力的发展是无限的，目前所遇到的问题不是不能解决的，世界的发展趋势是在不断改善而不是在逐渐变坏”。这是两种典型相反的观点，但多数人持既要充分重视生态和环境问题，又要以不懈的努力解决这些问题的态度。世界未来协会主席 E. 科尼什（E. Collins）认为：乐观主义者和悲观主义者都以不同的形式暗示我们放弃努力，我们不能上当。世界的好坏要靠人类自己的努力。

1980 年联合国发出呼吁：“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，确保全球持续发展”。1981 年美国世界观察研究所所长布朗（Brown）发表了《建设一个可持续发展的社会》。1983 年 11 月联合国成立了世界环境与发展委员会（WECD），以挪威前首相 G. H. 布伦特兰夫人（G. H. Brundland）为主席。联合国要求 WECD 以“持续发展”为基本纲领，制订《全球的变革日程》，经过 4 年，WECD 于 1987 年发表了著名的报告《我们共同的未来》（Our Common Future），正式提出了“可持续发展”（Sustainable development）的模式。从“持续发展”到“可持续发展”体现了思维的发展。该报告指出“过去我们关心的是发展对环境带来的影响，而现在我们则迫切地感到生态的压力……。在不久前我们感到国家之间在经济方面相互联系的重要性，而现在我们则感到在国家之间生态学方面相互依赖的情景，生态与经济从来没有像现在这样互相紧密地联系在一个互为因果的网络之中。”

“可持续发展”包含三层含义：“发展”、“持续”和“可”。传统的发展是指经济领域，物质财富的增长，它是以消耗资源为代价，未将环境的价值考虑在内。而社会的发展不仅要考虑经济，还必须包括文化、艺术、科学、道德以至政治体制的进步，即人类社会的进步。持续一词狭义理解是维持、保持、继续，针对资源与环境，则应理解为保持或延长资源的使

用性和资源整体的完整性,以保证自然资源永久为人类所利用,不能因现代人耗竭资源而影响后代人的生存。而“可”与“不可”是孪生的,是可以相互转换的,必须改变以耗竭资源为代价、不顾环境承载力的发展,走以自然资源为基础、同环境承载力相协调、同社会进步相适应的道路,人类社会才有“可”能持续进步。

这种既满足当代人的需求,又不危及后代人满足其需求的发展在1992年巴西的里约热内卢召开的联合国环境与发展大会(UNCED)上得到了共识,并在随后的一系列国际文件、条约中予以肯定。巴西会议通过了《里约热内卢宣言》、《21世纪议程》,并签署了《森林问题原则声明》、《气候变化公约》。1995年签署《荒漠化公约》,其后联合国成立了可持续发展委员会(CSD),1997年召开环境与发展的特别联大会议,这一系列活动表明人类对自己生存环境的认识观念发生的根本转变:从与自然对立斗争转变为尊重自然并与之和睦相处;从单纯向自然索取转变为珍惜资源,保护环境;从只顾自身利益转变为关心地球、关心人类;从只考虑眼前利益转变为考虑长远的持续的发展。经济发展的模式也发生转变:从资源消耗型转向资源节约型;从破坏环境转向与环境协调;从技术落后转变为技术先进;从经营粗放型转为科学管理型。

诚然,上述仅是从科学、技术层面上分析,真正要解决的问题还复杂得多。民族、国家、地区之间文化、意识、技术和宗教信仰不同,在环境问题上看法和行动完全一致还相当困难,近年来历次世界气候会议就发生许多将技术和经济以至政治利益混在一起的矛盾。发达国家是温室效应的主要责任国,人均排碳量远高于发展中国家,而且是消费型的排碳,而发展中国家还需为发达国家生产工业及日用品,这部分排碳量原应该计算在发达国家消费中,但是实际上发达国家却逼迫发展中国家承担更多的义务,碳关税往往是针对发展中国家的“技术壁垒”。同时,世界上局部战争不断,不仅资源消耗惊人,死伤大量无辜人民,并且破坏生态环境,越南战争生化武器的后遗症至今未能完全消除。

### 1.1.1 产业与环境

在人类活动中生产无疑是与环境发生作用最频繁的部分。为了生存,从单纯向自然索取食物到制造工具种植植物、圈养动物供食用,物质的丰富促使人类数量的增加,而人类数量的增加和欲望的膨胀又促使生产力进一步提高,人们在衣、食、住、行等方面的生产活动的分工越来越细,向自然索取更多的资源加工产品,并在此过程中排放大量废气、废水、废渣,破坏生态平衡,造成环境污染,这样,人口增长、生产力提高相互交替,形成一个难以逆转的“棘轮效应”。可以说,环境问题始于农业的产生,但从20世纪50年代开始的现代环境问题,是从工业污染开始的。工业污染的排污特点是排污点位集中、排污途径明确,因此容易收集、处理相对方便。对于工业集中地区,城市可以建造规模大的处理设施,从而具有规模效应,通常将这一类称为点污染;与此相对应的是面污染,是指由分散的污染源所造成的污染,它的特点是发生区域具有随机性、排放途径和排放污染物的不确定性、污染负荷空间具有差异性。由于面污染的特点,其治理难度远大于点污染,农业污染属于典型的面污染。

产业分为第一产业、第二产业和第三产业。根据中国国家统计局2003年划分规定:第一产业指农、林、牧、渔业;第二产业是指采矿业、制造业、电力、燃气及水的生产和供应业、建筑业;第三产业是指除第一、第二产业以外的其他行业。第三产业包括交通运输、仓储和邮政业,信息传输、计算机服务和软件业,批发和零售业,住宿和餐饮业,金融业,房地产业,租赁和商业服务业,科学研究,技术服务和地质勘察业,水利、环境和公共设施管

理业，居民服务和其他服务业，教育、卫生、社会保障和社会福利业，文化、体育和娱乐业，公共管理和社会组织，国际组织。

#### 1.1.1.1 第一产业与环境

在一个国家或地区，第一产业所占地域面积是最大的，也是比较分散的，面污染的治理难度远高于点污染，生态平衡的破坏是主要问题。对中国而言，局部环境污染也已达相当严重的程度，如农药、化肥使用不当和过量使用造成污染、畜禽饲养场污染等，水土流失、土壤肥力下降、沙漠化、森林面积减少、生物多样性减少等是主要的表现形式。

(1) 水土流失和土壤肥力下降 土壤是农业生产的基础，所谓土壤是指陆地地表具有肥力并能生长植物的疏松表层。它是由矿物质、动植物残体腐解产生的有机质、水分和空气所组成，其中有机质是作为耕地肥力的关键部分，通常集中在表层 0~20cm，占土壤干重的 0.5%~3%。水土流失是指由于各种原因，使土壤有机质流失、肥力降低直至丧失的过程。水土流失的原因有森林减少、过度耕种和放牧。树木发达的根系是保持水土的重要因素，而繁茂的林冠则是截留降水、防止暴雨冲刷土壤的屏障。过度耕种和放牧不仅降低土壤肥力，而且植被减少，使土地暴露在阳光和风力侵蚀之中。水土流失不仅使宝贵的有机质减少，从而降低农业产量，并且这些有机质和泥沙混合在一起，作为污染物流入河道和海洋，污染水质、堵塞河道，酿成水灾。据 2002 年《中国环境状况公报》资料中国水土流失面积  $356 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占国土总面积的 37.1%，其中水蚀面积  $165 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占国土总面积的 17.2%，风蚀  $191 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占国土总面积的 19.9%。按流失强度分类：轻度水土流失  $162 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；中度流失  $80 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；强度流失  $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；极强度流失  $33 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；剧烈流失为  $38 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。每年损失土壤达  $50 \times 10^8 \text{ t}$ ，被水冲走的氮、磷、钾等宝贵肥料达  $4000 \times 10^4 \text{ t}$ ，损失巨大！中华民族的发源地黄河流域，在 5000 年前，原本是暖温带-亚热带，森林覆盖率大于 60%，土地肥沃疏松。夏、商时人口仅 1355 万，人均耕地  $1 \text{ hm}^2$  以上，此时尚需采取休耕（轮耕）以保持土地肥力。随着人口的增长，需要大量耕地，同时也需要大量树木造房，从秦朝开始大规模毁林，修长城动用了全国约 1/3 劳力，建造绵延百里的“阿房宫”，吃、住、烧砖、建筑等消耗了关中地区所有的树林，并从西蜀调运木材。关中地区变成几乎没有森林的平原，植被破坏，水土大量流失，黄河也真正变成了“黄”河。加上历代缺乏植树固沙的知识，使黄河成为全世界含沙量最高的河流。每年流失泥沙  $16 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全国流失量的 1/3，把这些泥沙垒成高度和宽度各 1m 的土堤，可绕地球赤道 23.5 圈，水土流失的泥沙使黄河河床不断升高，以致决口，造成巨大水灾，并因此几次改道。从已有历史记载可以看出，这种灾害的频率不断增加，见表 1-1。

表 1-1 黄河历代决口情况

朝代	起止年代	间隔年数	决口次数	决口频率/(次/年)
西汉-王莽	公元前 206~公元前 20	186	10	18.6
北宋-南宋	960~1279	319	50 多次	约 6.3
明朝	1368~1644	276	127	2.17
清朝	1644~1911	267	180	1.48

新中国成立以来决口次数减少，这主要是由于技术进步、河堤升高所致，但一些城市地面标高在河床以下，隐患极大。

长江也有步黄河后尘的危险，由于上游地区过度砍伐树木，使水中泥沙量大增，水的颜色由清变浑、变黄，只是因为长江的水量较大，才不十分明显。过度耕种和放牧不仅降低土壤肥力，而且使植被减少，使土地暴露在阳光和风力侵蚀之中，一刮大风就形成沙尘暴（沙暴、尘暴），所到之处昏天黑地，美国1934年一次尘暴刮走尘土 $3 \times 10^8 \text{ t}$ ，相当于 $1.33 \times 10^9 \text{ m}^2$ 耕地的耕层土壤。中国西安、北京也多次发生尘暴，尤以2000年4月发生在中国北方地区（北京、天津等地）的沙尘暴影响严重，造成空气污染，交通堵塞，飞机停航，2004年3月的沙尘暴影响11个省市，2010年3月的沙尘侵袭16省，影响2.7亿人。

(2) 沙漠化 沙漠是指以沙土为主、含盐量高、几乎不含土壤有机质、雨水稀少而多风的荒漠，是人类几乎不能利用的土地。在沙漠和耕地的交汇处，由于耕地的植被被破坏、水资源被过度开采，引起流沙入侵，使耕地变为沙漠的过程称为沙漠化。全世界每年约有 $600 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 土地沙漠化，其中非洲北部的撒哈拉沙漠，印度的塔尔沙漠流沙扩展迅速。中国沙漠化也相当严重，受其影响，中国干旱、半干旱地区40%的耕地在不同程度地退化。北方沙化面积每年以 $6.67 \times 10^9 \text{ m}^2$ 的速度扩展。

(3) 森林的减少 森林是指由乔木或灌木为主体组成的绿色植物群体。因所处区域不同，森林可分为亚寒带针叶林、温带针阔叶混交林、亚热带落叶阔叶林和热带森林（又称热带雨林）。在史前，全球森林覆盖率达60%以上，19世纪初为43%，20世纪中叶为30%，近年来减为22%。森林在整个地球生态平衡中起着极重要的作用。首先，它是地球上重要的自然资源库，绿色植物通过光合作用生成的有机物量称为净初级产量，而地球上48.65%净初级产量来自森林。森林是调节气候的重要因素，通过光合作用吸收 $\text{CO}_2$ 、释放 $\text{O}_2$ 以平衡动物、人呼吸和人类活动燃烧过程所排放的大量 $\text{CO}_2$ 和需要的 $\text{O}_2$ 。森林截留和蒸腾水分与海洋、河流、湖泊、冰川等共同形成地球的“水循环”，如果破坏这一水循环，无疑将影响全球气候；森林具有保持水土、防风固沙以及净化空气的作用。据1997年《中国环境状况公报》报道，中国森林面积为1.3亿公顷，覆盖率为13.92%，仅占世界森林面积的3%~4%。以人均计只有世界水平的11.3%，居世界第121位。由于人口增长迅速，在长江上游等地大量砍伐森林，加上其他原因，中国遭受连年水灾，特别是1998年特大洪水，教训是惨重的。

(4) 生物多样性减少 每个生态系统，多是由许多生物物种所组成，而每一物种的数量与其他物种保持相对平衡，生物物种的多样性是生态系统成熟和平衡的标志。每一物种的存在，均有其必然性和合理性，它在生物链中起一定的作用，当某一链节受损或断裂，必将影响整个生物链。形成一个成熟的生态系统，需经千年以上，而破坏只需极短时间。由于自然和人类原因阻碍生态系统中能量流通和物质循环，破坏生态平衡，导致生物物种减少已成为世界性的严重问题，特别是热带雨林的滥伐使许多物种灭绝或面临灭绝。我国同样面临严重问题，据1997年统计，被子植物中有4000种受到威胁，其中珍稀濒危1000种，极危的28种，已灭绝或可能灭绝的7种。

(5) 过度捕捞、环境污染造成渔业减产 中国沿海多年来，由于人口激增而对水产品需求增大，促使捕鱼能力和规模膨胀，使许多品种几乎灭绝。在一些海域、河、湖，政府不得不采取“休渔”措施，即在鱼类繁殖期间禁止捕鱼以保证全年有一定的产量。而江、湖、河、海的污染，使一些适应能力较弱的珍贵品种纷纷消失，例如安徽省巢湖由于水质污染，

其鱼类品种已从 20 世纪 50 年代的 93 种下降到 1978 年的 61 种，局部污染严重地区已无鱼可捕。我国沿海富营养化的面积和程度不断扩展，鱼类大量死亡，同时也使鱼类品种愈来愈少。

(6) 农药、化肥污染 农药、化肥是现代农业提高产量的重要因素，但过量使用和不恰当地使用也会造成污染。中国是农业大国，也是人口大国，因此农药、化肥的使用量也极大。

世界上注册的农药有 1500 多种，常用的 300 多种，按主要用途分为杀虫剂、杀螨剂、杀鼠剂、杀软体动物剂、杀菌剂、杀线虫剂、除草剂和植物生长调节剂等，主要是杀虫剂、杀菌剂和除草剂三大类。20 世纪初发达国家这三类农药的用量比例约为 2:1:2，而我国目前约为 2:1:0.8，农药用量过高，在杀灭害虫的同时，会杀死种类繁多的其他昆虫，直接或通过蔬菜等食物链使人中毒。如某县曾因滥施农药，非但没有控制虫害，反而形成一系列生态恶果：河里鱼虾急减、天上鸟雀罕见、所产稻谷因极毒农药污染而不能食用的达  $7.5 \times 10^5$  kg！中国主要的农药问题是施用方法不当、施药器械质量差，导致利用率低，2003 年农药平均使用量为  $7.5 \text{ kg/hm}^2$ ，高毒高残留的有机磷杀虫剂所占比例过大，约占 21.5% 以上，但利用率很低，据估计约 70% 的农药流入环境，全国约有 1.4 亿亩耕地受到不同程度污染。

肥料是作物生长的养料，是现代农业增产的重要物质保证。肥料分为有机肥料和化学肥料。大规模生产的农业，主要依靠化肥。中国是农业大国，化肥生产量已居世界第二位，但仍需大量进口。这是因为我国人均耕地太少，粮食生产的压力太大，表 1-2 是部分国家、地区人均耕地数量。从表中可见中国人均耕地数不足世界平均水平的一半，甚至还低于印度，虽然比日本、英国、荷兰高，但它们是发达国家，且人口数量不多，粮食问题比较容易解决。

表 1-2 部分国家、地区人均耕地

国家和地区	人均耕地/( $\text{hm}^2$ /人)	国家和地区	人均耕地/( $\text{hm}^2$ /人)
全世界	0.239	荷兰	0.059
北美和中美洲	0.589	德国	0.144
亚洲	0.129	法国	0.316
欧洲	0.242	印度	0.181
美国	0.713	日本	0.032
前苏联	0.879	中国	0.104
英国	0.104		

由于人口众多，粮食压力大，化肥需求量将进一步增加，表 1-3 是中国粮食用化肥增加量的一个预测（按每公斤化肥增产粮食 6~8kg 计算）。

表 1-3 中国粮食用化肥增加量预测

年份	播种面积 / $10^4 \text{ hm}^2$	粮食总产量 / $10^4 \text{ t}$	粮食单产 /( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	化肥增加量 / $10^4 \text{ t}$	化肥总用量 / $10^4 \text{ t}$	化肥用量 /( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
2015	14196	57600	4057	950~1267	3401~3718	240~262
2030	14196	64000	4508	1750~2333	4201~4784	296~337

注：粮食作物使用化肥数量为总量的 60% 左右，所以我国化肥使用总量还需乘上 1.67。



2003年中国化肥使用总量已达  $4124 \times 10^4 \text{t}$ ，平均施用量（折纯量）达  $375 \text{kg}/\text{hm}^2$ ，远超过发达国家所规定的  $225 \text{kg}/\text{hm}^2$  的使用上限，一些蔬菜基地的化肥使用量高达  $1000 \text{kg}/\text{hm}^2$ 。另外化肥中主要成分是氮、磷、钾，我国氮肥偏高，造成土壤酸化，肥力下降。过量的氮、磷流入地面水域污染水体，使许多水域富营养化，由于农业污染基本上属于面污染，治理难度远大于点污染。

(7) 畜禽饲养场污染 人类饲养畜禽既作为生活资料，如肉、蛋、奶等作食用，皮、骨、毛等用作衣物、用品；也作为生产资料，牛、马来耕地，马还用于战争。由于生活水平的提高，生产水平的发展，畜禽饲养的数量快速增长，生产的规模和集约化程度提高，在局部地区饲养的密度高、总量大，特别是城市附近，这种饲养方式效率高，但也有负面影响，首先是一旦发生疫病，如禽流感、口蹄疫、疯牛病等将造成损失，其次，畜禽粪尿污染相当严重。畜禽粪尿排污量见表 1-4。

表 1-4 畜禽粪尿排污量

动物种类	排污量/[g/(头·天)]				
	粪	尿	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N
奶牛	30000	18000	805	1100	12
肉猪	2200	2900	203	266	37.5
肉鸡	100		8.5	18.0	1.2
鸭	135		11.5	24.3	1.6
羊	1490		20.4	180	
马	20000	12500	563	780	

畜禽粪尿的主要成分是有机质，在人口密度较低的农村和牧区传统上作为肥料，北方牧区利用牛、马粪中的纤维素作为燃料。有资料表明，在  $1300 \sim 2000 \text{m}^2$  草地上饲养一头牛可以消纳粪尿，但集约化的饲养场是不可能的，特别是在城市市区周围的畜禽饲养场，粪、尿液以及冲棚水难以就地消纳，造成很大污染。以南方某市为例：牛奶和肉类仅为部分自给，2002年共有各类饲养场 1000 多个，饲养奶牛 5 万头，肉猪 510 万多头，肉鸡 1400 万羽，每天产生 BOD1194t，COD1664t。该市常住人口 1300 万，每天粪、尿所产生的 BOD1300t，COD1820t，与之相比很接近！如不经处理，直接排入地面水，将是很大的污染源。

另一方面粪、尿可以作为肥料、生物质能源利用，家畜粪的肥分含量和有机物组成见表 1-5 和表 1-6。

家畜粪制肥料的大致方法是：饲养场将粪、尿及冲洗水分别收集，粪便集中后运往有机肥制造厂，通常添加秸秆粉、木屑粉和菌种混合发酵，每 5 天翻堆、冲氧/翻动混合，经 20~40d 便制成优质有机肥料，尿液及冲洗水另行处理。目前关键问题是与化肥相比成本偏高，影响推广使用；尿液和冲洗水处理及应用困难。

表 1-5 家畜粪的肥分含量

单位：%

畜粪	水分	有机质	氮(N)	磷酸(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	氧化钾(K <sub>2</sub> O)
猪粪	81.5	15.0	0.6	0.40	0.44
牛粪	83.3	14.5	0.32	0.25	0.16
鸡粪	50.5	25.5	1.63	1.54	0.85



表 1-6 家畜粪便有机物组成

单位: %

类别	脂肪	总腐殖质	富里酸	胡敏酸	半纤维	碳氧比
猪	11.42	25.98	15.78	10.22	5.32	7.14 : 1
牛	6.05	23.80	14.74	9.05	9.94	13.40 : 1

家畜粪便作为生物质能也是一条有效途径, 将粪、尿液、冲洗水混合厌氧发酵制沼气, 供作能源, 同时可以获得大量液体肥料供给附近农田。据国家统计局 2010 年统计年鉴显示我国 2000 年和 2010 年家畜饲养量见表 1-7。

表 1-7 中国家畜饲养量 (万头或万吨)

年份		2000 年	2010 年
畜类	牛	12353	10626
	肉猪	93496	113146
	蛋禽	2243	2763

成功的实例有上海市某农场, 共有 4000 多户居民, 场内有三个奶牛场, 饲养 2900 头奶牛, 该场建立一个沼气站, 建有 6 座 450m<sup>3</sup> 沼气罐, 年产沼气 147 万立方米, 相当于 3140t 标准煤, 供应 3000 多户居民和 14 家饭店、招待所等企业。所产生沼渣、沼液作为肥料, 沼液通过管道输送到奶牛饲养场的饲料田。本法是一种较理想的方法, 但实施过程中需有如下条件: 使用沼气的居民需相对集中并距离较近; 大量沼液必须就近消纳, 它依靠种植生长期仅 20 天的黑麦草、狼尾草作为奶牛饲料, 但在雨季时很难消纳。

(8) 农业废弃物污染 农业废弃物包括农业产品加工过程中的废弃物, 包括稻、麦、玉米、棉花等的秸秆; 蔬菜产区加工废弃的茎、根、叶等。其中农作物秸秆数量最大, 据调查, 2009 年, 全国农作物秸秆理论资源量为 8.20 亿吨 (风干, 含水量为 15%), 其中可收集资源量约为 6.88 亿吨, 占理论资源量的 83.8%, 未利用资源量为 2.15 亿吨。大致有四类用途: 饲料、造纸、造肥料和作为能源, 各类用量见表 1-8。

表 1-8 中国秸秆产生量和主要用途

项目	燃料(含秸秆新型能源化利用)	饲料	肥料(不含还田)	造纸	食用菌基料	废弃及焚烧
使用量/×10 <sup>9</sup> t	1.29	2.11	1.02	0.16	0.15	2.15
所占比例/%	18.75	30.67	14.83	2.33	2.18	31.25

在牧区和农村, 秸秆是牛、马春、冬季的饲料, 一头牛每天总饲料量约为 7.5kg, 其中秸秆为 3.45kg 左右, 部分秸秆翻耕于农田, 或与粪便混合发酵作为肥料。在农村原来大部分秸秆作为燃料, 现在特别是城市近郊, 家用燃料改成煤气、煤等, 更为清洁、方便, 因此大量秸秆无法消纳, 一些地方农村改为就地焚烧, 造成重大烟雾事件, 甚至影响飞机航班, 所以秸秆的处置成为重要的研究课题。利用秸秆造纸历史很久, 但秸秆(草浆)造纸污染严重, 远大于木浆造纸。国际上纸浆中木浆占 90% 以上, 而中国草浆占很大比例, 据中国造纸协会调查资料, 2010 年全国纸浆消耗总量 8461 万吨, 其中木浆 1859 万吨, 较上年增长 2.82%, 占 22%; 非木浆 1297 万吨, 较上年增长 10.38%, 占 15%; 废纸浆 5305 万吨, 较上年增长 6.16%, 占 63%。非木浆中, 稻麦草浆比例比上年下降 3 个百分点; 竹浆比例比

上年增长1个百分点；苇（荻）浆比例与上年持平；蔗渣浆比例比上年增加1个百分点。2010年中国纸浆原料用料表见表1-9。

表 1-9 2010 年中国纸浆原料用料表

纸浆种类	用量/ $\times 10^4$ t	所占比例/%	纸浆种类	用量/ $\times 10^4$ t	所占比例/%
木浆	1859	22	废纸浆	5305	63
其中:进口木浆	1151	14	其中:进口废纸浆	2092	25
非木浆	1297	15	合计	8461	

注：废纸浆=废纸量 $\times 0.8$ 。

(9) 林业废弃物 中国国土面积为960万平方千米，其中70%为山区，16%为沙漠。林业用地26329.47hm<sup>2</sup>，森林面积15894hm<sup>2</sup>，森林覆盖率2000年约为15.5%，2010年达到17.5%。人均森林面积0.13hm<sup>2</sup>，仅为世界平均水平的1/5左右。森林能调节气候、保持水土、涵养水源、防风固沙和维护生态平衡。从我国目前情况来看，发展林业，将部分耕地“退耕还林”，建立防护林，对防止沙尘暴和调整农业结构、促使农业可持续发展有重要意义，木材又是国民经济发展所紧缺的材料。

中国主要林区分布在黑龙江、吉林、福建、内蒙古、四川、云南、广西等地。从林种分析，经济林占38%，用材林占35%，防护林占24%，其他为3%。在保障生态平衡的条件下，木材是生产和生活的重要材料。我国木材消耗主要包括三部分：商品材约占44.2%，直接燃烧约占28.8%，自用品约占23.5%，其他为3.5%。木材采伐和加工过程产生大量剩余物，一般分三个过程：林区采伐原木时产生30%剩余物；原木加工成锯材，剩余物20%~40%，平均为30%；锯材加工成木制品，剩余物占35%~50%，平均为40%。以2011年为例：全国原木产量为7449.64万立方米，最终木制品为3122.17万立方米，三个过程所产生的剩余物总量高达6562.36万立方米，具体见表1-10。

表 1-10 中国原木采伐和木材加工量 (2011年) 单位：万立方米

林区采伐		原木加工成锯材		锯材加工成木制品	
原木产量	剩余物	锯木产量	剩余物	木制品产量	剩余物
7449.64	2234.89	4460.25	2989.39	3122.17	1338.08
总剩余物量:6562.36					

剩余物总量非常大，如何合理利用这部分资源十分重要。目前，大部分作为燃料被初级利用，只有少量加工为刨花板、纤维板。以林区采伐为例，每开采100m<sup>3</sup>原木，约有15m<sup>3</sup>林权、梢头，8m<sup>3</sup>木截头，其中包括直径5cm以上、长度1m以上可供利用的木材，完全可提高它们利用效率，以接近世界先进水平。

### 1.1.1.2 第二产业与环境

人类赖以生存的物质资料，很大部分来自工业生产，相对于比较分散的农、林、牧、渔，现代化、集约化的工业生产集中于很小的地域，因此生产过程中排放的废气、废水、废渣往往集中在局部，造成严重污染。世界上一些著名的污染事件，大多由工业污染所引起。例如：1948年美国多诺拉烟雾事件；1952年伦敦烟雾事件；分别发生于1955年、1956年日本的骨痛病、水俣病事件；1984年印度的博帕尔事件。中国工业、生活及其他污染物排