

普通高等教育“十二五”规划教材

清洁生产教程

于宏兵 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

清洁生产教程

于宏兵 主编

孙大光 乔奇 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面系统地阐述了清洁生产理论与方法。全书共分为8章,从理论角度,系统地介绍了清洁生产、清洁生产审核概念与原理、清洁生产相关理论与方法;从工业原理角度阐述了清洁生产的能流与物质流分析方法,介绍了清洁生产评价、清洁生产机制、清洁生产法规与标准,在清洁生产审核的方法学等方面还应用了编者及其团队的部分研究成果;从实践角度,列举了电力、染料、机械、汽车等行业的清洁生产审核案例。

本书可作为开设清洁生产课程的高等院校以及环境工程、环境科学、环境管理、环境评价等相关专业本科生和研究生的教材;同时也可作为从事清洁生产审核、环境影响评价和节能减排的科学技术人员的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

清洁生产教程/于宏兵主编. —北京:化学工业出版社, 2011.11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-12680-1

I. 清… II. 于… III. 无污染工艺-高等学校-教材 IV. X383

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第217891号

责任编辑:满悦芝

文字编辑:荣世芳

责任校对:边涛

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:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 字数371千字 2012年2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:36.00元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编：于宏兵

副 主 编：孙大光 乔 奇

参编人员：闫春红 张 霞 马淑琴 蒋 彬 于瀚洋

庄 琳 展思辉 王胜强 王得荣

前 言

全球资源、能源和环境空间的有限性是人类可持续发展面临的客观现实，人类别无选择，必须提高资源和能源的利用效率和循环利用效率，减少污染物对环境的影响。我国是资源和能源消费大国，也是资源贫国，节能降耗、减排增效是我国必须选择的发展道路。传统的高耗能、高消耗的经济发展模式已严重阻碍了我国经济的健康可持续发展。因此，转变经济增长模式，引导企业走新型工业化道路，成为我国发展中亟待解决的问题。

清洁生产的核心是“节能降耗、减排增效”，尽可能降低企业生产过程中资源和能源的使用，减少环境污染物排放，尽可能使用无毒和无害的原料，生产可再生利用的产品，清洁生产的理念和思想完全符合现代企业发展和国家的可持续发展的要求。清洁生产技术与清洁生产审核是生产单位实现清洁生产的有效途径和方法，是一套科学性和实用性很强的方法学，是融合了现代产业生态学、系统学、工业生产原理、生态学、环境科学、环境工程学、化工等学科的基本理论和方法。

本书不仅阐述了清洁生产的基本理论、原理和方法，还特别吸收国际和国内近年来清洁生产研究的新成果与进展。结合我国清洁生产开展的特点、存在问题 and 需求，对清洁生产方法的理论与实践做了较全面系统的总结。

本书共分为8章，第1章介绍了清洁生产概念的产生、基础知识、基本理论、研究方法，清洁生产的定义和内涵，清洁生产目标、研究对象和主要内容。第2章主要介绍了清洁发展机制。第3章论述了清洁生产工具性的理论和方法，如生态设计、生命周期评价、低碳经济和绿色经济在清洁生产上的应用，重点介绍了清洁生产的基本原理和方法。第4章介绍了我国清洁生产法规标准体系和管理制度。第5章论述了清洁生产评价内容、原则和方法体系。第6章理论和实践相结合论述了清洁生产审核程序。第7章从企业清洁生产能流和物质流分析的需求论述了工业生产原理和方法。第8章结合电厂、化工、汽车和机械等行业典型案例，论述清洁生产审核方法学在实际中的应用。各章编者分工如下：第1章，于宏兵、孙大光；第2章，于宏兵、张霞、闫春红；第3章，孙大光、马淑琴；第4章，孙大光、蒋彬；第5章，乔奇、于宏兵；第6章、第7章，于宏兵、孙大光；第8章，于宏兵、孙大光、马淑琴、张霞、闫春红。于瀚洋、庄琳、展思辉、王胜强、王得荣等相关案例资料进行了筛选和整理。

2005年开始本书的电子稿就已用于本科和研究生清洁生产课程的教学，经过多年的教学实践检验，根据教学效果和学生反馈信息不断充实和完善。在本书内容和结构设计上重点考虑清洁生产课程教学需求，体现学科的特点，尽可能全面、系统地进行相关基础理论的梳理和应用。为体现应用学科的教学效果，还增加了案例分析，和思考题等内容，引导学生理论结合实践。

本书从写作到成稿，历时3年，写作团队倾注心血，特别是于宏兵教授、孙大光高级工程师、乔奇研究员多年一直从事清洁生产管理、清洁生产审核、清洁生产技术研究工作，发表了数十篇清洁生产理论与方法的学术论文和著作。在本书编撰过程中，编者把自身清洁生产技术成果、实际案例以及在清洁生产审核方法学方面的探索和领悟进行总结归纳整理，为本书的写作奠定了基础，本书部分内容体现了编者近年来在该领域的研究成果。

本书出版，得到了国家重大水专项辽河流域重化工业节水减排清洁生产技术集成研究项目支持（项目编号2009ZX07208-002-006、2009ZX07208-002-004）；得到了国家科技支撑项目（2008BAC43B01）、环保部公益项目（200909101）的支持，在此一并感谢。

由于编者水平和时间有限，疏漏之处在所难免，殷切希望读者对本书提出宝贵建议，以利于共同促进清洁生产理论、方法与实践的进一步发展。

编者

2011年12月

目 录

1 绪论	1	2.2.4 项目监测计划的方法学	23
1.1 清洁生产的产生	1	2.3 清洁发展机制在国内外的实践	24
1.1.1 不断加重的环境问题	1	2.3.1 清洁发展机制在国外的实践	24
1.1.2 人类对污染治理方法的逐步转变	2	2.3.2 清洁发展机制在中国国内的发展	26
1.1.3 清洁生产的提出	3	思考题	29
1.2 清洁生产的概念及内涵	3	3 清洁生产的实践工具	30
1.2.1 清洁生产的定义	3	3.1 低碳经济	30
1.2.2 清洁生产的内容	4	3.1.1 低碳经济的发展概况	30
1.2.3 清洁生产的特点	5	3.1.2 中国发展低碳经济的紧迫性和必要性	30
1.2.4 开展清洁生产的意义	5	3.1.3 中国实现低碳经济发展的可能途径	31
1.2.5 清洁生产与末端治理	6	3.2 零排放技术	32
1.3 国内外清洁生产的发展	7	3.2.1 “零排放”概念的提出	32
1.3.1 国外清洁生产的发展	7	3.2.2 “零排放”技术及面临的问题	33
1.3.2 国外实施清洁生产的经验	9	3.2.3 基于生物质平台的零排放技术实现	33
1.3.3 我国推行清洁生产的历程	10	3.3 生态设计	34
1.3.4 我国推行清洁生产的做法及成果	11	3.3.1 生态设计的概念与内涵	34
1.4 清洁生产相关理论	12	3.3.2 生态设计发展历程	34
1.4.1 环境资源的价值理论	12	3.3.3 生态设计原则	35
1.4.2 环境承载力理论	13	3.4 生命周期评价	36
1.4.3 废物与资源转化理论（物质平衡理论）	14	3.4.1 生命周期评价概念	36
1.4.4 最优化理论	15	3.4.2 相关的评价与分析方法	37
1.4.5 可持续发展理论	15	3.5 绿色化学	42
1.4.6 生态工业理论	16	3.5.1 绿色化学的产生与发展	42
思考题	17	3.5.2 绿色化学的定义、内容及意义	43
2 清洁发展机制	18	3.5.3 绿色化学的发展前景	45
2.1 清洁发展机制的内容	18	3.5.4 绿色化工中的原子经济性	46
2.1.1 产生背景	18	3.5.5 绿色化工强化技术	46
2.1.2 清洁发展机制的概念	18	3.6 清洁生产审核	46
2.1.3 清洁发展机制的目的和意义	19	3.6.1 清洁生产审核的概念	46
2.1.4 清洁发展机制的项目要求	19	3.6.2 清洁生产审核的对象	47
2.1.5 清洁发展机制项目的开发和实施流程	19	3.6.3 清洁生产审核的原则	47
2.1.6 CDM 的参与机构	20	3.6.4 清洁生产审核的思路	47
2.2 清洁发展机制方法学基础	21	3.6.5 清洁生产审核思路实现途径	50
2.2.1 基准线	21	3.6.6 清洁生产审核原理	52
2.2.2 额外性	22		
2.2.3 项目边界和泄漏	23		

3.6.7 清洁生产审核工作的职能定位	54	6.3.5 提出和实施无低费方案	83
思考题	56	6.4 方案的产生和筛选	83
4 清洁生产的法规体系	57	6.4.1 方案产生	84
4.1 清洁生产法规	57	6.4.2 方案汇总	85
4.1.1 我国清洁生产的法律法规及政策概况	57	6.4.3 方案筛选	86
4.1.2 我国实行清洁生产遭遇阻碍的原因分析	58	6.4.4 方案研制	86
4.1.3 完善我国清洁生产法律制度的建议	59	6.4.5 继续实施无低费方案	87
4.2 清洁生产标准体系	60	6.4.6 核定并汇总无低费方案实施效果	87
4.2.1 清洁生产标准的框架组成	60	6.4.7 编写清洁生产审核中期报告	87
4.2.2 清洁生产标准的颁布情况	60	6.5 方案的可行性分析	88
4.2.3 清洁生产标准审核过程中的应用原则	60	6.5.1 市场调研	88
4.2.4 清洁生产标准在审核过程中的具体应用	61	6.5.2 环境评估	88
5 清洁生产评价内容与体系	62	6.5.3 技术评估	89
5.1 清洁生产的评价内容与评价体系	62	6.5.4 经济评估	89
5.1.1 清洁生产评价内容	62	6.5.5 推荐可实施的方案	91
5.1.2 清洁生产评价的原则	63	6.6 方案实施	91
5.1.3 清洁生产评价指标体系	64	6.6.1 组织方案实施	91
5.2 清洁生产的评价方法	67	6.6.2 汇总已实施的无低费方案的成果	91
5.2.1 评价等级	67	6.6.3 验证已实施的中高费方案的成果	91
5.2.2 评价方法	68	6.6.4 分析总结已实施方案对组织的影响	92
思考题	70	6.7 持续清洁生产	92
6 清洁生产审核程序	71	6.7.1 建立和完善清洁生产组织	93
6.1 筹划和组织	71	6.7.2 建立和完善清洁生产管理制度	94
6.1.1 取得领导支持	71	6.7.3 制订持续的清洁生产计划	94
6.1.2 组建审核小组	71	6.7.4 编写清洁生产审核报告	94
6.1.3 制订工作计划	72	6.8 快速清洁生产审核	94
6.1.4 宣传培训	74	6.8.1 快速清洁生产审核的适应范围	95
6.2 预评估	75	6.8.2 快速清洁生产审核的内容与方法	95
6.2.1 组织现状调研	76	6.8.3 快速清洁生产审核方法对比	97
6.2.2 进行现场考察	77	6.8.4 完成快速清洁生产审核的基本要求	97
6.2.3 评价产污排污状况	78	思考题	98
6.2.4 确定审核重点	78	7 工业生产原理	99
6.2.5 设置清洁生产目标	80	7.1 生产概论	99
6.2.6 提出和实施无低费方案	81	7.1.1 系统	99
6.3 评估	81	7.1.2 生产系统	99
6.3.1 准备审核重点资料	81	7.2 能量的输入输出系统	100
6.3.2 实测输入输出物流	81	7.2.1 能量守恒原理	100
6.3.3 物料平衡	82	7.2.2 能量守恒计算	103
6.3.4 分析废物产生原因	82		

7.3 节能降耗原理与途径	109	8.2.2 预评估	140
7.3.1 企业能源利用的四个环节	109	8.2.3 评估	142
7.3.2 节能分析方法	110	8.2.4 方案的产生和筛选	144
7.3.3 节能途径	111	8.2.5 方案可行性分析	147
7.4 物质流分析	114	8.2.6 方案实施	154
7.4.1 物质流分析方法的起源	114	8.2.7 持续清洁生产	155
7.4.2 物质流分析的基本概念和含义	114	8.3 汽车行业案例分析	156
7.4.3 物质流分析的基本原理	115	8.3.1 筹划和组织	156
7.4.4 分析框架	116	8.3.2 预审核	157
7.4.5 评价指标	116	8.3.3 评估	158
7.4.6 物质流分析的方法学评价	118	8.3.4 方案产生及筛选	160
7.4.7 案例研究——钢铁行业烧结过程 碳素流分析	118	8.3.5 可行性分析	161
思考题	119	8.3.6 方案实施	166
8 重点行业清洁生产审核分析	120	8.3.7 持续清洁生产	166
8.1 电厂清洁生产审核案例分析	120	8.4 机械行业清洁生产审核案例分析	167
8.1.1 筹划与组织	120	8.4.1 筹划与组织	167
8.1.2 预评估	121	8.4.2 预评估	168
8.1.3 评估	125	8.4.3 评估	171
8.1.4 方案产生及筛选	127	8.4.4 方案产生和筛选	173
8.1.5 可行性分析	130	8.4.5 方案研制	178
8.1.6 方案实施	136	8.4.6 方案实施	184
8.1.7 持续清洁生产	137	8.4.7 持续清洁生产	185
8.2 染料公司案例分析	138	附录 清洁生产审核工作表格	187
8.2.1 筹划与组织	138	参考文献	228

1 绪 论

1.1 清洁生产的生产

清洁生产 (Cleaner Production) 是在环境和资源危机的背景下, 国际社会在总结了各国工业污染控制经验的基础上提出的一个全新的污染预防的环境战略。它的产生过程, 就是人类寻求一条实现经济、社会、环境、资源协调发展的可持续发展道路的过程。

1.1.1 不断加重的环境问题

18 世纪工业革命以来, 由于工业生产规模不断扩大, 资源消耗速度加快, 废弃物排放明显增加, 致使生态环境破坏严重, 而大自然的承受能力是有限的, 当消纳不了这些污染物时就出现了一系列的大面积乃至全球性的恶性污染事件, 其中著名的是所谓的“八大公害事件”(表 1-1)。

表 1-1 八大公害事件

事件名称	主要污染物	发生地点	发生年份	危害情况	公害原因
马斯河谷烟雾	烟尘、SO ₂	比利时	1930	几千人病, 60 人亡	山谷厂多、逆温天气
多诺拉烟雾	烟尘、SO ₂	美国	1948	42% 人病, 17 人亡	厂多、逆温、雾日
伦敦烟雾	烟尘、SO ₂	美国	1952	5 天内 4000 人亡	烟煤取暖、逆温
洛杉矶光化学烟雾	石化尾气、汽车尾气	美国	1943	多数病, 400 人亡	尾气在紫外线作用下生成光化学烟雾
水俣病	甲基汞	日本	1953	180 人病, 50 人亡	氮生产中的催化剂
富山骨痛病	镉	日本	1931~1972	280 人病, 34 人亡	炼锌厂含镉废水
四日市哮喘	烟尘、SO ₂ 、重金属粉尘	日本	1955	500 人病, 36 人亡	工厂排放量多
米糠油	多氯联苯	日本	1968	万人病, 16 人亡	有害有机物多氯联苯进入食用油

不断发生的环境公害事件使人类逐渐意识到, 通过任意地、不计后果地掠夺自然资源、肆意地排放污染物而促进生产力大幅度增长的同时, 自己也付出了惨重的代价, 以下的环境问题已经被人类所认识到并威胁人类的生存。

(1) 全球变暖 由于大量排放温室气体, 全球气温上升了 0.6℃。全球变暖是一种大规模的环境灾难, 它会导致海洋水体膨胀和两极冰雪融化, 使海平面上升, 危及沿海地区的经济发展和人民生活, 影响农业和自然生态系统, 加剧洪涝、干旱及其他气象灾害, 并会影响人类健康, 加大疾病危险和死亡率, 增加传染病。

(2) 大气污染 主要污染物有悬浮颗粒物、一氧化碳、臭氧、二氧化硫、氮氧化物、碳氢化物、铅等。大气污染会导致气候变暖、酸雨、臭氧层破坏, 对动植物产生危害, 对人类健康也会产生有害影响。

(3) 水体污染 全世界多数河流都受到不同程度的污染, 其中约有 40% 的河流稳定流

量受到较为严重的污染。全球每年水污染导致 10 亿人患各类病, 300 万儿童因腹泻死亡。

(4) 酸雨蔓延 被称为“空中恶魔”的酸雨目前已成为一种范围广、跨越国界的大气污染现象。酸雨会破坏土壤, 使湖泊酸化, 危害动植物生长; 会刺激人的皮肤, 诱发皮肤病、肺水肿、肺硬化; 会腐蚀金属制品、油漆、皮革、纺织品和含碳酸盐的建筑。我国目前已有 30% 的地区有降酸雨的现象, 主要集中在长江以南。

(5) 海洋污染 目前, 全球每年都有数十亿吨的淤泥、污水、工业垃圾和化工废物等直接流入海洋, 河流每年也将近百亿吨的淤泥和废物带入沿海水域。海洋污染造成赤潮频频发生, 使近海鱼虾锐减。

(6) 臭氧层破坏 1985 年, 英国科学家观测到南极上空出现臭氧层空洞, 并证实其同氟利昂分解产生的氯原子有直接关系。臭氧层耗损使大量紫外线直接辐射到地面, 导致人类皮肤癌、白内障发病率增高, 并抑制人体免疫系统功能; 农作物因受害而减产; 破坏海洋生态系统的食物链, 导致生态平衡的破坏。高空中臭氧虽在减少, 但低空中臭氧含量的增加还会引起光化学烟雾, 危害森林、农作物、建筑物等, 并会造成人类的机体失调和中毒。

(7) 生物物种减少 当前地球上生物种类多样性损失的速度比历史上任何时候都快, 鸟类和哺乳动物现在的灭绝速度可能是它们在未受干扰的自然界中的 100~1000 倍。大面积地砍伐森林, 过度捕猎野生动物, 工业化和城市化发展造成的污染、植物破坏, 无控制的旅游, 土壤、水、空气的污染, 全球变暖等人类的各种活动是引起大量物种灭绝或濒临灭绝的原因, 这将逐渐瓦解人类生存的基础。

(8) 森林锐减 20 世纪 50 年代后, 全球森林面积逐渐减少, 1980 年至 1990 年期间全球平均每年损失森林 995 万公顷, 约等于韩国的面积。

(9) 土地荒漠化 这是目前世界上最严重的环境与社会经济问题, 全球每年有 600 万公顷的土地变为荒漠。亚太地区是荒漠化比较突出的一个地区, 中国、阿富汗、蒙古、巴基斯坦和印度是受荒漠化影响较重的国家。荒漠化是引起沙尘暴的原因。

(10) 固体废物污染 固体废物堆放侵占大量土地, 对农田破坏严重; 严重污染空气和水体; 垃圾传播疾病; 危险废物诱发癌症。

1.1.2 人类对污染治理方法的逐步转变

自工业革命以来, 工业化大生产不仅以前所未有的速率增加世界物质财富, 壮大工业化国家的力量, 也以前所未有的规模消耗着全球有限的自然资源, 制造出有损于自然生态和人类自身的污染物。但是, 长期以来, 人类对工业化大生产的这种负面作用缺乏足够的认识。许多工业污染物或任其自流, 让自然界稀释、化解; 或为降低眼前污染物浓度, 先经人为“稀释”再行排放, 最后靠自然界消纳。这种做法通常被称之为“稀释排放”。

工业化初期采取“稀释排放”, 环境尚能承受。但是, 自然界的容量和自净能力是有限的, 超越这个限度必然引发严重后果。所以, 至 20 世纪 50 年代, 包括伦敦光化学烟雾、日本水俣病在内的一些恶性环境污染事件相继发生。面对事实, 人们开始意识到问题的严重性, 各工业化国家不得不由“排污”转向“治污”, 即针对生产末端产生的污染物开发行之有效的治理技术, 这也就是人们常说的“末端治理”。和“稀释排放”相比, “末端治理”是一大进步, 不仅有助于消除污染事件, 也在一定程度上减缓了生产活动对环境污染和生态破坏的势头。

随着工业化的进一步迅速扩展, 污染物急剧增加, “末端治理”也很快显出其局限性。很多情况下, 末端治理需要投入昂贵的设备费用、惊人的维护开支和最终处理费用, 其工作

本身还要消耗资源、能源，并且这种处理方式会使污染在空间和时间上发生转移而产生二次污染。人类为治理污染付出了高昂而沉重的代价，收效却并不理想。

20 世纪 70 年代，环境问题不断恶化的同时又发生了全球性的石油危机，迫使工业化国家纷纷采取废物资源化政策，发展废物“循环回收利用”技术，节约资源与能源，减少废物的产生和排放。但是由于技术和经济因素，不是所有的工业废物都能找到循环途径，特别是种类越来越多、成分越来越复杂的化学废物，其分离技术复杂、成本高，难以进行循环回收利用；同时很多废物在收集、储存、运输和回收加工处理过程中存在相当的环境风险，仍然可能对人类与环境造成危害。

进入 20 世纪 80 年代，人们回顾了过去几十年工业生产与环境管理实践，深刻认识到“稀释排放”、“末端治理”、“循环回收利用”等“先污染后治理”的污染防治方法不但不能解决日益严重的环境污染问题，反而继续造成自然资源和能源的巨大浪费，加重环境污染和社会负担。面对这种情况，人类开始醒悟到，与其治理“末端”污染，不如开发替代产品，调整工艺过程，优化系统配置，使污染物减至最少。这导致并催生了清洁生产出现以及大规模的实践。

1.1.3 清洁生产的提出

在外界环境问题压力的驱使以及人们对污染治理方法转变的推动下，渴望寻求一条能够推进工业可持续发展的最佳途径，即在工业发展的同时，削减有害物质的排放，减少人类健康和环境的风险，减少生产工艺过程中的原料和能源消耗，降低生产成本，使得经济与环境相互协调，经济效益与环境效益统一，这个愿望越来越迫切。

走可持续发展道路就成为了必然选择，1987 年，为了推进“我们共同的未来”，国际社会提出了可持续发展的概念。从理论上讲，可持续发展就是在不危及满足下一代人需求的基础上满足当代人的需求。可持续发展真正的挑战是如何把理论推向实践。清洁生产提供了一种把可持续发展从理论框架推向实际行动的可操作的途径。

1989 年，联合国环境规划署工业与技术经济处（UNEP Division of Technology, Industry and Economics, UNEP-DTIE）在内罗毕召开的第 16 次大会上正式提出了清洁生产的概念，其中的定义为：对生产工艺过程与产品采取一体化预防性环境策略，以减少其对人类与环境的可能危害；对生产过程而言是节约原材料、能源，尽可能不使用有毒的原材料，尽可能地减少有害废物的排放和毒性；对产品而言是要求产品在整个生命周期内对环境的影响少。接着 UNEP-DTIE 马上开始了树立概念认识，建立机构及能力，进行实证式示范等工作来推进可持续发展。

1992 年，联合国环境与发展大会通过了《里约宣言》和《21 世纪议程》，会议号召世界各国在促进经济发展的进程中，不仅要关注发展的数量和速度，而且要重视发展的质量和持久性。大会呼吁各国调整生产和消费结构，广泛应用环境无害技术和清洁生产方式，节约资源和能源，减少废物排放，实施可持续发展战略。清洁生产正式写入《21 世纪议程》，并成为通过预防来实现工业可持续发展的专用术语。从此，清洁生产在全球范围内逐步推行。

1.2 清洁生产的概念及内涵

1.2.1 清洁生产的定义

1998 年在第五次国际清洁生产研讨会上，清洁生产的定义得到进一步的完善。联合国

环境规划署这样定义清洁生产：清洁生产是将综合性预防的环境战略持续地应用于生产过程、产品和服务中，以提高效率，降低对人类和环境的危害。对生产过程来说，清洁生产是指通过节约能源和资源，淘汰有害原料，减少废物和有害物质的产生和排放；对产品来说，清洁生产是指降低产品生命周期即从原材料开采到寿命终结的处置的整个过程对人类和环境的影响；对服务来说，清洁生产是指将预防性的环境战略结合到服务的设计和提供服务的活动中。

我国于 2002 年 6 月 29 日颁布的《中华人民共和国清洁生产促进法》也给出了清洁生产的定义。即：清洁生产是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综合利用等措施，从源头削减污染，提高资源利用效率，减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，以减轻或者消除对人类健康和环境的危害。

这两个定义虽然表述不同，但内涵是一致的。《清洁生产促进法》关于清洁生产，借鉴了联合国环境规划署的定义，结合我国实际情况，表述得更加具体、更加明确，便于理解。

从清洁生产的定义可以看出，实施清洁生产体现了以下四个方面的原则。

- ① 减量化原则，即资源消耗最少、污染物产生和排放最小。
- ② 资源化原则，即“三废”最大限度地转化为产品。
- ③ 再利用原则，即对生产和流通中产生的废弃物作为再生资源充分回收利用。
- ④ 无害化原则，尽最大可能减少有害原料的使用以及有害物质的产生和排放。

总之，清洁生产的核心是“节能、降耗、减污、增效”，这是可持续发展的要求，是相对于粗放的传统工业生产模式而产生的一种新模式，也是世界工业发展的一个大趋势。

1.2.2 清洁生产的内容

“清洁生产”的内容相当广泛。如：企业通过技术改造削减排污量，降低能源消耗，既提高了经济效益，又减少了对环境的污染。通过清洁生产，大量降低了工业用水和矿产资源的消耗。推广“绿色产品”的使用，如生产和使用可降解塑料，消除“白色污染”等。概括地说清洁生产的主要内容应包括三个方面，即清洁的能源、清洁的生产过程和清洁的产品。

(1) 清洁的能源 它包括常规能源的清洁利用，如城市煤气化供气等；对沼气等再生能源的利用；新能源的开发以及各种节能技术的开发利用。

(2) 清洁的生产过程 尽量少用、不用有毒有害的原料；采用无毒、无害的中间产品；选用少废、无废工艺和高效设备；尽量减少或消除生产过程中的各种危险性因素，如高温、高压、低温、低压、易燃、易爆、强噪声、强振动等；采用可靠、简单的生产操作和控制方法；对物料进行内部循环利用；完善生产管理，不断提高科学管理水平。

(3) 清洁的产品 产品设计应考虑节约原料和能源，少用昂贵和稀缺的原料；利用二次资源作原料；产品在使用过程中以及使用后不含危害人体健康和生态环境的因素；产品包装合理；产品使用后易于回收、重复使用和再生；使用寿命和使用功能合理。

清洁生产内容包含以下两个“全过程”控制。

(1) 产品的生命周期全过程控制 从原材料加工、提炼到产品产出、产品使用直到报废处置的各个环节所采取的必要的措施，实现产品整个生命周期资源和能源消耗的最小化。

(2) 生产的全过程控制 从产品开发、规划、设计、建设、生产到运营管理的全过程，采取措施、提高效率，防止生态破坏和污染的产生。

应该指出，清洁生产是一个相对的、动态的概念，所谓清洁的工艺和清洁的产品是和现

有的工艺相比较而言的。正如清洁生产的英文单词 Cleaner Production 中的清洁 Cleaner 一词为比较级,表明“清洁”是一个相对的概念。推行清洁生产,本身是一个不断完善的过程,随着社会经济的发展和科学技术的进步,需要适时地提出更新的目标,不断采用新的方法和手段,争取达到更高的水平。

1.2.3 清洁生产的特点

清洁生产包含从原料选取、加工、提炼、产出、使用到报废处置及产品开发、规划、设计、建设生产到运营管理的全过程所产生污染的控制。执行清洁生产是现代科技和生产力发展的必然结果,是从资源和环境保护角度上要求工业企业的一种新的现代化管理手段,其特点有如下四点。

(1) 清洁生产是一项系统工程 推行清洁生产需要企业建立一个预防污染、保护资源所必需的组织机构,要明确职责并进行科学的规划,制定发展战略、政策、法规。是包括产品设计、能源与原材料的更新与替代、开发少废无废清洁工艺、排放污染物处置及物料循环等的一项复杂系统工程。

(2) 重在预防和有效性 清洁生产是对产品生产过程产生的污染进行综合预防,以预防为主,通过污染物产生源的削减和回收利用,使废物减至最少,以有效地防止污染的产生。

(3) 经济性良好 在技术可靠的前提下执行清洁生产、预防污染的方案,进行社会、经济、环境效益分析,使生产体系运行最优化,即产品具备最佳的质量价格。

(4) 与企业发展相适应 清洁生产结合企业产品特点和工艺生产要求,使其目标符合企业生产经营发展的需要。环境保护工作要考虑不同经济发展阶段的要求和企业经济的支撑能力,这样清洁生产不仅推进企业生产的发展,而且保护了生态环境和自然资源。

1.2.4 开展清洁生产的意义

清洁生产是一种全新的发展战略,他借助相关理论和技术,在产品的整个生命周期的各个环节采取“预防”措施,将生产技术、生产过程、经营管理及产品等方面与物流、能量、信息等要素有机结合起来,并优化运行方式,从而实现最小的环境影响、最少的资源能源使用、最佳的管理模式以及最优化的经济增长水平。更重要的是,环境是经济的载体,良好的环境可更好地支撑经济的发展,并为社会经济活动提供所必需的资源 and 能源,从而实现经济的可持续发展。

(1) 开展清洁生产是实现可持续发展战略的需要 1992 年在巴西里约热内卢召开的联合国环境发展大会是世界各国对环境和发展问题的一次联合行动。会议通过的《21 世纪议程》制订了可持续发展的重大行动计划,可持续发展已取得各国的共识。

《21 世纪议程》将清洁生产看作是实现可持续发展的关键因素,号召工业提高能效,开发更清洁的技术,更新、替代对环境有害的产品和原材料,实现环境和资源的保护和有效管理。清洁生产是可持续发展的最有意义的行动,是工业生产实现可持续发展的必要途径。

(2) 开展清洁生产是控制环境污染的有效手段 尽管国际社会为保护人类的生存环境做出了很大努力,但环境污染和自然环境恶化的趋势并未得到有效控制,全球性环境问题的加剧对人类生存和发展构成了严重的威胁。造成全球环境问题的原因是多方面的,其中重要的一条是几十年来以被动反应为主的环境管理体系存在严重缺陷,无论是发达国家还是发展中国家均走着先污染后治理这一人们为之付出沉重代价的道路。

清洁生产彻底改变了过去被动的、滞后的污染控制手段,强调在污染产生之前就予以削

减,即在产品及其生产过程和服务中减少污染物的产生和对环境的不利影响。这一主动行动,具有效率高、可带来环境效益、容易为组织接受等特点,因而已经成为和必将继续成为控制环境污染的一项有效手段。

(3) 开展清洁生产可大大减轻末端治理的负担 末端治理是目前国内外控制污染的最重要的手段,对环境保护起着极为重要的作用,如果没有它,今天的地球可能早已面目全非,但人们也因此付出了高昂的代价。

据美国环保局统计,1990年美国用于三废处理的费用高达1200亿美元,占GDP的2.8%,成为国家的一个严重负担。我国近几年用于三废处理的费用一直仅占GDP的0.6%~0.7%,已使大部分城市和企业不堪负重。

清洁生产可以减少甚至在某些情况下消除污染物的产生,这样不仅可以减少末端处理设施的建设投资,而且可以减少日常运转费用。

(4) 开展清洁生产是提高企业市场竞争力的最佳途径 实现经济、社会和环境效益的统一,提高企业的市场竞争力,是企业的根本要求和最终归宿。开展清洁生产的本质在于实行污染预防和全过程控制,它将给企业带来不可估量的经济、社会和环境效益。

清洁生产是一个系统工程,一方面它提倡通过工艺改造、设备更新、废物回收利用等途径,实现“节能、降耗、减污、增效”,从而降低生产成本,提高企业的综合效益;另一方面它强调提高企业的管理水平,提高包括管理人员、工程技术人员和操作工人在内的所有员工在经济观念、环境意识、参与管理意识、技术水平、职业道德等方面的素质。同时,清洁生产还可以有效改善操作工人的劳动环境和操作条件,减轻生产过程对员工健康的影响,为组织树立良好的社会形象,促使公众对其产品的支持,提高企业的市场竞争力。

1.2.5 清洁生产与末端治理

末端治理是指污染物产生以后,在其直接或间接排到环境之前进行处理,以减轻环境危害的治理方式。与直接排放相比,末端治理是一大进步,不仅有助于消除污染事件,也在一定程度上减缓了生产活动对环境的污染和破坏程度。但是随着时间的推移和工业化进程的加速,末端治理的局限性日益增大。

首先,随着生产的发展,工业生产所排污染物的种类越来越多,国家规定的污染物(特别是有毒有害污染物)排放标准也越来越严格,从而对污染治理与控制的要求也越来越高。为达到更加严格的排放标准,企业不得不大大提高治理费用。即使如此,一些标准还难以达到。另一方面,“三废”处理与处置往往只有环境效益而无明显的经济效益,因而给企业带来了严重的经济负担,进一步影响了企业治理污染的积极性和主动性。

其次,由于污染治理技术有限,污染治理很难达到彻底消除污染的目的。排放的“三废”在处理、处置过程中对环境还有一定的风险,而且有些污染物不能生物降解,治理不当还会造成二次污染;有的治理只是将污染物转移,如湿式除尘将废气变为废水排入水体,大量废水经处理变为含重金属的污泥及活性污泥等;废物的焚烧及废渣的填埋又污染了大气和水体,如此形成恶性循环。

再次,末端治理不仅需要投资,而且使一些可以回收的资源(包含未反映的原料)得不到有效的回收利用而流失,致使企业原材料消耗增高,产品成本增加,经济效益下降。末端治理与生产过程控制往往没有密切结合起来,资源和能源不能在生产过程中得到充分利用。任何生产过程中排出的污染物实际上都是物料,如农药、染料生产得率都比较低,这不仅对环境产生极大威胁,同时也严重浪费了资源。如果改进生产工艺及控制,提高产品得率,可

以大大削减污染物的产生，不但增加了经济效益，也会减轻末端治理的负担，所以末端治理这种方式难以从根本上缓解环境压力。

清洁生产是关于产品和产品生产过程的一种新的、持续的、创造性的思维，它是指对产品和生产过程持续运用整体预防的环境保护战略。清洁生产是要引起全社会对工业产品生产以及使用全过程对环境影响的关注，使污染物产生量、流失量和治理量达到最小，资源充分利用，是一种积极、主动的态度。而末端治理仅仅把注意力集中在对生产过程中已经产生的污染物的处理上，具体对企业来说，只有环保部门来处理这一问题，所以总是处于一种被动的、消极的地位。

目前生产工艺，即使最先进的工艺也不能完全避免污染的产生，用过的产品还必须最终处理处置。尽管末端治理存在一些弊端，但末端治理与清洁生产还需要相互补充，清洁生产和末端治理是长期并存的，只有通过生产全过程和末端治理的双过程控制，才能达到保护环境的最最终目的。清洁生产始终应处在污染控制的主导地位。清洁生产与末端治理比较见表 1-2。

表 1-2 清洁生产与末端治理比较表

比较项目	清洁生产	末端治理
思想方法	污染物消除在生产过程	污染物产生后再处理
产生时代	20 世纪 80 年代末期	20 世纪 60 至 80 年代
控制过程	生产全过程,产品生命周期	污染物达标排放控制
控制效果	比较稳定	处理效果受产污量影响
产污量	明显减少	间接可推动减少
排污量	减少	减少
资源利用率	增加	无显著变化
资源耗用	减少	增加(治理污染消耗)
产品产量	增加	无显著变化
产品成本	降低	增加(治理污染费用)
经济效益	增加	减少(用于治理污染)
治理污染费用	减少	随排放标准严格,费用增加
污染转移	无	有可能
目标对象	全社会	企业及周围环境

1.3 国内外清洁生产的发展

1.3.1 国外清洁生产的发展

1989 年 5 月联合国环境规划署的工业与环境计划活动中心（UNEP IE/PAC）根据 UNEP 理事会会议的决议，制订了《清洁生产计划》，在全球范围内推进清洁生产。该计划的主要内容之一为组建两类工作组：一类为制革、造纸、纺织、金属表面加工等行业清洁生产工作组；另一类则是组建清洁生产政策及战略、数据网络、教育等业务工作组。该计划还强调要面向政界、工业界、学术界人士，提高他们的清洁生产意识，教育公众，推进清洁生

产的行动。

自 1990 年以来,联合国环境规划署已先后在坎特伯雷、巴黎、华沙、牛津、汉城、蒙特利尔举办了六次国际清洁生产高级研讨会。在 1998 年 10 月韩国汉城第五次国际清洁生产高级研讨会上,出台了《国际清洁生产宣言》,包括 13 个国家的部长及其他高级代表和 9 位公司领导人在内的 64 人共同签署了该宣言。《国际清洁生产宣言》的主要目的是提高公共部门和私有部门中关键决策者对清洁生产战略的理解及该战略在他们中间的影响,它也将激励对清洁生产咨询服务的更广泛需求。《国际清洁生产宣言》是对作为一种环境管理战略的清洁生产的公开承诺。

20 世纪 90 年代初,经济合作和发展组织(OECD)在许多国家采取不同措施鼓励采用清洁生产技术。例如在联邦德国,将 70% 投资用于清洁生产工艺的工厂可以申请减税。在英国,税收优惠政策是导致风力发电增长的原因。自 1995 年以来,经合组织国家的政府开始把它们的环境战略针对产品而不是工艺,以此为出发点,引进生命周期分析,以确定在产品生命周期(包括制造、运输、使用和处置)中的哪一个阶段有可能削减或代替原材料投入和最有效并以最低费用消除污染物和废物。这一战略刺激和引导生产商和制造商以及政府政策制定者去寻找更富有想象力的途径来实现清洁生产和清洁产品。

目前,一些国家在清洁生产立法、组织机构建设、科学研究、信息交换、示范项目和推广等领域已取得明显成就。

(1) 美国 清洁生产最早是由美国一家化学公司自愿搞起来的。该公司从自身的多年环保实践中感受到以末端治理为主的传统做法的种种弊端,认识到源削减的重要性,主动在公司内开展污染预防活动,取得了非常好的效果。这一经验在美国推广开来,进而在世界各地展开。1990 年 10 月美国国会通过了《污染预防法》,该法正式宣布:污染预防是美国的基本国策,是美国用预防污染取代末端治理政策的重大举措。《污染预防法》确定的目标是:在可行的情况下,污染应在源头预防或削减,而不是产生后再去控制。同时,在环保局的指导下,开展了著名的“绿灯计划”、33/50 计划、能源之星电脑计划等一系列清洁生产活动,成效非常显著。美国国家环境保护局增设了污染预防办公室,建立了污染预防信息交换中心和污染预防研究所,编辑出版了企业污染预防指南和制药、机械维修、洗印等行业的污染预防手册,广泛启动清洁生产示范项目,鼓励中小企业以创新的方式开展污染预防,并及时交流、推广污染预防工作中取得的经验。

(2) 德国 由于对清洁生产极为重视,因此,在取代和回收有机溶剂与有害化学品方面进行了许多工作。对物品回收做了很严格的规定,物品回收最初集中在包装品上面,现已适应包括汽车、计算机、机床等范围极为广泛的产品。物品回收的要求,赋予德国工业界在设计容易循环使用的产品以及生产过程中增设回收和再利用等方面以强大的动力。

(3) 荷兰 早在 1988 年就开展了“用污染预防促进工业成功项目(PRISMA)”,在食品加工、电镀、金属加工、公共运输和化学工业 5 个行业 10 家企业中开展污染预防研究。结果表明,工业企业废物减量与排放预防的潜力很大,仅仅通过“加强内部管理”就能使废物削减 25%~30%,若能改进工艺、革新技术,还能进一步削减 30%~80%。1990 年,荷兰出版了颇具影响的《废物与排放预防手册》,使清洁生产有章可循,逐步走入正轨。

(4) 波兰 是发展中国家开展清洁生产较早的国家。波兰工业部和环境部联合签署了《清洁生产政策》,发表了《清洁生产宣言》,制订了清洁生产计划。全国已有 670 多家企业参加清洁生产活动,有 440 多人获得清洁生产专家资格。仅 1992~1993 年间,因实施清洁

生产,全国固体废物、废水、废气和新鲜水用量就分别削减了22%、18%、24%和22%。清洁生产在波兰正日益扩展,已经成为工业企业实现可持续发展的有力手段。

(5) 澳大利亚 政府把清洁生产视为企业最佳环境管理手段,积极在企业中宣传、推广。1992年,澳大利亚制订了国家清洁生产计划。1993年,建立了国家清洁生产中心,全面开展清洁生产咨询服务、技术转让和人员培训,率先在汽车工业、玻璃工业、印刷工业和塑料工业等领域进行清洁生产试点和示范,对有意实施清洁生产和清洁生产卓有成效的企业,分别给予赠款、低息贷款支持和“清洁生产奖”。

(6) 印度 在联合国工业发展组织的支持下,于1993年在草浆造纸、纺织印染、农药加工等行业实施企业废物削减示范项目(DESIRES)。示范结果表明,许多企业都有自身可以把握的废物削减机会,不一定非要依靠发达国家的技术支持。换句话说,企业应立足使用本国的清洁技术。印度的这一经验不仅有助于本国拓展清洁生产,对第三世界国家也是一个启示。

1.3.2 国外实施清洁生产的经验

总结世界上发达国家和地区以及发展中国家和地区推广及实行清洁生产的实践活动,对我国开展清洁生产活动有着重要的启示。

(1) 完善推广清洁生产的前提条件

① 应当建立清洁生产的法律框架,改进有关的规章制度,以鼓励通过实施清洁生产来达到环境标准的要求。在修改和制订有关环境和资源保护的法律法规过程中,应将清洁生产的要求有机地纳入法律条文之中。另外,还要制定明确的相互协调的规章制度,使企业能够把资金投入清洁生产。

② 制定相关的经济政策,特别是优惠的财税政策是鼓励企业开展清洁生产的重要动力。

③ 改革科技体制,以更好地支持企业开展技术创新,平衡技术进口和自身技术发展的关系,实行清洁生产。改革的目的是通过创建致力于技术革新和清洁生产的中介机构和研究机构群体,促使研究与生产更加紧密地联系在一起。由于国内对进口技术的依赖过多,今后应该更多地开发自己的技术。

④ 公众要求政府和工业界采取有效的环境保护措施的压力显得不足,因此应进一步提高公众的环境意识,增强他们对环境保护的社会舆论压力。

⑤ 信息系统对于推行清洁生产和提高经济竞争力日益重要,因此应当改进中国的信息基础设施,包括通信、决策支持系统和基础数据库等内容。

(2) 充分发挥政府和工业部门在促进清洁生产中的作用

① 强化政府的作用。将环境问题纳入所有部门的政策中,有效地开展清洁生产。例如,农业、交通和能源各部门在制定政策时都必须支持清洁生产。政府要确定清洁生产技术 and 非技术研究的优先领域,并制订研究计划。支持建立能为清洁生产的发展、管理和应用提供技术的教育系统,并制订出在中学、大学和工作单位进行清洁生产技能培训的长期计划。

② 发挥产业部门的作用。鉴于清洁生产实施和市场情况千变万化,要求在所有企业中实施相同水平的清洁生产并不是一种简单易行的政策,公共部门无法监督企业全面遵守有关清洁生产的法律和法令。所以,应当创造这样一种条件,使企业界主动报告他们的情况。企业应在下述领域发挥关键作用:增强工厂员工对环境问题的认识;告诉顾客,他们的产品是采用清洁生产技术制造的;积极鼓励消费者的环境友善行为和购买环境友善产品。

(3) 增强科学研究与教育的重要性