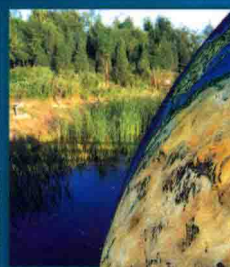


面向卓越工程师系列教材  
普通高等教育“十二五”规划教材

# 清洁生产理论与实践

万端极 李 祝 皮科武 主 编



化学工业出版社

面向卓越工程师系列教材  
普通高等教育“十二五”规划教材

# 清洁生产理论与实践

万端极 李 祝 皮科武 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。教材共分三篇，每篇四章，共计十二章。第一篇清洁生产理论，介绍了清洁生产的发展历程、概念、意义等，阐述了清洁生产涉及的理论基础，及清洁生产与循环经济和生态工业园的关系；第二篇为清洁生产审核与实践，介绍了清洁生产审核原理与流程及审核报告撰写方法；第三篇为清洁生产工艺及案例分析，各章分别论述了轻工类各行业的典型清洁生产工艺及案例分析。

本教材可供高等院校环境和化工、工程技术、经济管理、法律政策等关注可持续发展的各类专业学生使用，同时也可供相关学科领域以及社会企业读者阅读参考。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

清洁生产理论与实践/万端极，李祝，皮科武主编。

北京：化学工业出版社，2015.3

面向卓越工程师系列教材 普通高等教育“十二五”  
规划教材

ISBN 978-7-122-22926-7

I. ①清… II. ①万…②李…③皮… III. ①无污染  
工艺-高等学校-教材 IV. ①X383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 023708 号

---

责任编辑：满悦芝

文字编辑：郑直

装帧设计：史利平

---

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 装：北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$  字数363千字 2015年6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

# 本书编写人员

## 主编

万端极 李 祝 皮科武

## 副主编

高林霞 黄 磊 张会琴 曾 炜 柯文彪

## 其他参编人员

李 猷 赵春玲 范明霞 汪淑莲 李 俊 朱 林 刘 煜

廖明军 张佳磊 徐国念 赵静涛 陈 慧 赵以军 吴红艳

杨正健 高 健 王和云 陈 卓 夏 敏 韩静雯 黎 明

肖 曲

# 前 言

伴随着清洁生产在中国的发展和实践，其作为一种新型的经济模式和环保模式的转型，越来越受到政府、企业、人们的关注。同时，出于多年从事清洁生产相关教学工作的缘故，我们曾多次产生过编写有关清洁生产教材的设想。从2006年万端极教授主编的《轻工清洁生产》，再到我校环境工程专业以清洁生产为特色的“教育部卓越工程师教育培养计划”实施的推动下，《清洁生产理论与实践》纳入普通高等教育“十二五”规划教材，才促使我们实现了多年的设想。

清洁生产是由联合国环境规划署提出的，环境保护由末端治理转向生产全过程的控制的全新污染预防策略。因此，清洁生产是一种观念，是一种思维方式。清洁生产是一种建立在多学科、多专业的交叉与结合上的创新工艺，是调动和组织当今世界的一切科学发明和先进技术，在工业化生产平台上合理使用所形成的一种创新工艺及装备。它不是单项技术的原创与发明，而是在一个整体层面上运用已有的科学发明成果的一种集成创新过程。因此，清洁生产的实践过程不仅是科学家的基础理论研究，更是工程师们综合运用科学家的发明成果进行再创新的工程实践活动。清洁生产是对末端治理的环境战略的根本变革，是提高资源利用效率，保护和改善环境，促进经济和社会的可持续发展的重要措施。在全球范围内，清洁生产被越来越多的国家认为是预防污染的最佳策略。为配合清洁生产的教育及宣传，加强清洁生产审核和工艺改造的推广应用，我们编写了此书。

本教材的完成是集体努力的结果，主要由湖北工业大学资源与环境工程学院、膜技术研究所的教师和研究人员完成。我们承担过多项清洁生产创新工艺的课题研究且大多数已经完成了工业化过程，并且在研究的课题进行了理论上总结和不断完善后写成了此书。

本教材的编写工作得到湖北工业大学轻工学部和资源与环境工程学院领导和同仁的大力支持，另外得到了武汉市环境科学研究院、湖北工业大学低碳发展研究中心等单位的大力帮助。同时，也感谢化学工业出版社的编辑们为本书编写和出版所做出的努力和贡献。最后，感谢所参考的众多书刊的作者们，没有这些已有的各种文献资料，完成本教材的编写也是十分困难的。由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评赐教。

编 者

2015年4月

# 目 录

## 第一篇 清洁生产理论

第一章 清洁生产概述 .....	1	一、循环经济的由来 .....	28
一、清洁生产的诞生 .....	1	二、循环经济的内涵 .....	29
二、清洁生产的基本概念 .....	6	三、循环经济的原则 .....	29
三、清洁生产的主要内容 .....	8	四、循环经济的实施层面和技术保障 .....	31
四、清洁生产的目标和基本原则 .....	9	五、循环经济的实践模式 .....	33
五、清洁生产的意义和特点 .....	10	六、循环经济与清洁生产 .....	41
六、创新与清洁生产 .....	12		
第二章 清洁生产理论基础 .....	16	第四章 生态产业系统——生态工 业园 .....	43
一、环境资源的价值理论 .....	16	一、生态产业系统 .....	43
二、环境承载力理论 .....	17	二、生态工业园区 .....	44
三、物质平衡理论 .....	19	三、生态工业园区的类型 .....	44
四、可持续发展理论 .....	21	四、生态工业园的发展 .....	45
五、生命周期理论 .....	23	五、生态工业园区与清洁生产、 循环经济 .....	53
六、系统控制理论 .....	26	参考文献 .....	53
第三章 清洁生产与循环经济 .....	28		

## 第二篇 清洁生产审核与实践

第五章 审核原理与流程 .....	56	第一节 清洁生产审核报告基本框架 .....	98
一、清洁生产审核概述 .....	56	一、清洁生产中期审核报告基本框架 .....	98
二、清洁生产审核基本思路 .....	57	二、清洁生产审核报批报告编制框架 .....	99
三、清洁生产审核原理 .....	59	第二节 清洁生产审核技巧 .....	104
四、工业企业常用的清洁生产指标体系 .....	62	一、总体要求与思路 .....	104
第六章 清洁生产审核组织与实施 .....	65	二、清洁生产机会识别 .....	104
一、前言 .....	65	三、各审核阶段技巧 .....	108
二、企业简介 .....	65	四、清洁生产审核需把握的几个问题 .....	110
三、筹划和组织 .....	65	五、清洁生产审核过程中存在的问题 .....	111
四、预评估 .....	70	第三节 快速清洁生产审核 .....	112
五、评估 .....	75	一、快速清洁生产审核定义 .....	112
六、方案产生和筛选 .....	81	二、快速清洁生产审核适用对象 .....	112
七、方案可行性分析 .....	85	三、快速清洁生产审核方法 .....	112
八、方案实施 .....	92	四、快速清洁生产审核基本要求 .....	115
九、持续清洁生产 .....	95	五、快速清洁生产审核报告基本框架 .....	115
十、本轮清洁生产审核工作总结 .....	96	第八章 水泥行业清洁生产审核分析 .....	116
第七章 清洁生产审核报告撰写 .....	98	一、水泥行业基本情况 .....	116
		二、水泥行业清洁生产 .....	118

三、水泥行业清洁生产审核问题与 对策 .....	130
-----------------------------	-----

参考文献 .....	133
------------	-----

## 第三篇 清洁生产工艺及案例分析

<b>第九章 食品行业清洁生产</b> .....	136	<b>第四节 红霉素清洁生产工艺</b> .....	178
<b>第一节 大豆加工清洁生产</b> .....	136	一、概述 .....	178
一、概述 .....	136	二、红霉素市场状况 .....	178
二、大豆植物油的提炼 .....	137	三、红霉素的性质及用途 .....	179
三、大豆磷脂的提取 .....	143	四、红霉素的传统生产工艺 .....	179
四、大豆蛋白的提取 .....	144	五、红霉素清洁生产工艺 .....	180
五、乳清的处理 .....	146	六、新旧工艺比较 .....	182
<b>第二节 棉籽加工清洁生产</b> .....	148	<b>第五节 衣康酸清洁生产工艺</b> .....	182
一、棉籽的概述 .....	148	一、概述 .....	182
二、棉籽的主要化学成分、结构与 性质 .....	149	二、衣康酸的发酵工艺 .....	184
三、棉酚和醋酸棉酚的用途 .....	150	三、衣康酸的传统提取工艺 .....	185
四、棉籽传统加工工艺 .....	151	四、衣康酸的清洁生产提取工艺 .....	186
五、醋酸棉酚的清洁生产工艺 .....	152	<b>第十一章 酸碱行业清洁生产</b> .....	188
<b>第三节 淀粉清洁生产</b> .....	153	<b>第一节 烧碱清洁生产</b> .....	188
一、概述 .....	153	一、传统工艺 .....	188
二、淀粉及玉米淀粉 .....	154	二、清洁生产工艺 .....	189
三、玉米淀粉传统的生产工艺 .....	155	<b>第二节 硫酸清洁生产</b> .....	193
四、玉米淀粉的清洁生产工艺 .....	157	一、传统工艺 .....	193
<b>第十章 制药行业清洁生产</b> .....	160	二、清洁生产工艺 .....	194
<b>第一节 制药行业概述</b> .....	160	三、硫酸生产中的污染治理与回收 利用 .....	195
一、制药行业分类 .....	160	<b>第三节 维生素 C 清洁生产</b> .....	198
二、我国制药行业污染状况 .....	160	一、传统工艺 .....	198
三、制药行业现状和发展方向 .....	162	二、清洁生产工艺 .....	200
<b>第二节 制药行业清洁生产技术</b> .....	163	<b>第四节 废酸碱处置与资源化技术</b> .....	201
一、膜分离技术在制药行业的应用 .....	163	一、钢铁清洗废酸回收 .....	201
二、生物酶解技术 .....	166	二、硫酸废液回收 .....	202
三、吸附分离技术 .....	167	三、烟道气脱硫碱液再生利用 .....	203
四、超临界流体萃取技术 .....	171	<b>第十二章 制浆造纸行业清洁生产</b> .....	205
五、超声波和微波辅助萃取技术 .....	173	<b>第一节 制浆造纸工艺概述</b> .....	205
六、过程分析与控制技术 .....	174	一、我国古代的造纸工艺 .....	205
<b>第三节 麻黄碱清洁生产工艺</b> .....	175	二、现代制浆造纸工艺 .....	206
一、概述 .....	175	三、制浆造纸行业污染特征 .....	209
二、麻黄碱的生产现状 .....	175	<b>第二节 制浆造纸清洁生产工艺</b> .....	212
三、麻黄碱的性质 .....	175	一、我国制浆造纸企业节能减排任务 .....	212
四、麻黄碱的传统生产工艺 .....	175	二、湿法及干湿法备料 .....	212
五、麻黄碱的清洁生产工艺 .....	176		

三、连续蒸煮工艺·····	214	一、企业概况·····	218
四、洗浆筛选技术·····	216	二、企业清洁生产水平·····	219
五、无氯漂白工艺·····	216	三、清洁生产工艺改造及成效·····	222
六、白水零排放技术·····	217	参考文献·····	225
第三节 制浆造纸清洁生产工艺案例·····	218		



# 第一篇 清洁生产理论

## 第一章 清洁生产概述

清洁生产是联合国环境规划署提出的环境保护由末端治理转向生产的全过程控制的全新污染预防策略。它是以节能、降耗、减污、增效为目标，以技术管理为手段，通过对生产过程的排污审计，筛选并实施污染预防措施，以削减工业生产对人类健康与生态环境的影响，达到预防工业污染、提高经济效益双重目的的综合措施。

### 一、清洁生产的诞生

传统环保战略过重地依靠末端治理，从清洁生产最早的称呼是污染预防即可看出，清洁生产思想的诞生本身就是对传统环保战略的批判和挑战。

#### （一）环境保护运动的发展

环境问题的产生和发展与人类社会的加速发展有着密切的联系。

20 万年前，原始时期，此时期人类是被动地适应环境，不存在对环境的改造，因此不存在环境问题；2 万年前，人类开始了农业生产活动，有了对环境的初步改造，此时的环境问题主要是一些生态方面的问题，如水土流失、土地沙化等，而且是零星的、局部的；200 年前，人类开始大规模的工业生产，对环境进行了大规模的破坏，此时环境被动地适应人类，环境问题已经上升为从根本上影响人类社会生存和发展的重大问题，区域性的环境问题日益突出。

进入 20 世纪以来，环境问题呈现出地域上的扩张和程度上恶化的趋势，已逐渐由区域性环境问题演变为全球性问题。例如臭氧层的破坏、全球气温变暖、酸雨区扩展等。

总之，工业革命标志着人类的进步，但是在给人类带来巨大财富的同时，也在高速消耗着地球上的资源，在向大自然无止境地排放着危害人类健康和破坏生态环境的各类污染物。随着生产规模的不断扩大，工业污染、资源锐减、生态环境破坏日趋严重。20 世纪中期出现的“八大公害事件”就是有力的证据。从 20 世纪 70 年代开始，人类就广泛关注于由于工业发展带来的一系列环境问题，并采取了一些治理措施。经过 20 多年的发展，人们发现虽然投入了大量的人力、物力、财力，但是治理效果并不理想。

随着环境问题的日趋严重，特别是西方国家公害事件的不断发生，环境问题频频困扰人类。20 世纪 50 年代末，美国海洋生物学家蕾切尔·卡逊在潜心研究美国使用杀虫剂所产生的种种危害之后，于 1962 年出版了环境保护科普著作《寂静的春天》。在该书中作者明确提出了环境污染和环境保护的思想，并将环境污染的矛头指向了人类久而习惯的征服自然的观念，指向了由这一观念派生出来的现代知识体系、工业体系以及科学与企业的联盟。该书的出版引发了一场美国国内关于环境污染的全民大讨论，唤醒了民众的环保意识，环境保护运

动得到迅速发展，并扩展至全世界。1970年4月22日，美国举行了规模宏大的环境保护运动，全美有2000多万人、约1万所中小学、2000所高校参加了这次活动，美国国会特意休会一天，让议员回到各自代表的地区参加宣讲。该运动促使各国政府相继建立环境保护机构，开始确立环境保护目标。环境保护的科研机构、相关专业、企业环境保护机构相继产生，人类治理环境污染由此拉开序幕。

增加环境保护投资、建设污染控制和处理设施、制定污染物排放标准、实行环境立法等都是各国政府的最初做法，而且在一定的历史时期和范围内取得了显著的成绩。

## （二）末端治理存在的问题

但是，通过多年的实践发现，这种仅着眼于控制排污口（末端），使排放的污染物通过治理达标排放的办法，虽然在一定时期内或在局部地区起到一定的作用，但并未从根本上解决工业污染问题。其原因主要有以下几方面。

### 1. 治理费用高，达到要求难

随着生产的发展和产品品种的不断增多以及人们环境意识的提高，对工业生产所排污染物的检测越来越多，规定控制的污染物（特别是有毒有害污染物）的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。为达到排放的标准，企业要花费大量的资金，大大提高了治理成本，同时运行管理费用亦相应增加。即使如此，一些要求还是难以达到，所以偷排、漏排等现象严重。

据美国环境保护局统计，美国用于空气、水和土壤等环境介质污染控制的总费用（包括投资费用和运行费用），1972年为260亿美元，占国民总收入（GNI）的1%，1987年猛增至850亿美元，80年代末达到1200亿美元，占GNI的2.8%。例如，杜邦公司每磅废物的处理费用以每年20%~30%的速率增加，焚烧一桶危险废物可能要花费300~1500美元。即便有如此之高的经济代价，仍未能达到预期的污染控制目标。末端治理在经济上已不堪重负。

我国近几年用于“三废”处理的费用虽然仅占国内生产总值（GDP）的0.6%~0.7%，但已使大部分城市和企业不堪重负。以上海地区为例，目前建设一座服务人口数量30万~40万，处理能力 $10 \times 10^4 \text{t}$ 的污水处理厂需要投资2亿元人民币以上，每年的运行费用也要花费1000万元之多。对于企业而言，由于普遍情况是污染物的处理与其经济收益相矛盾，因而企业治理污染的积极性普遍不高，需要政府和社会的强制性监督。

### 2. 彻底消除污染难

末端治理污染的办法一般是先通过必要的预处理，再进行生物化学处理后排放。但有些污染物是不可生物降解的污染物，传统的处理方法只能是稀释排放，这样不仅污染环境，甚至还可能造成二次污染；有些污染物的治理只是将污染物转移，例如废气变废水、废水变废渣、废渣堆放填埋，进而污染土壤和地下水，形成恶性循环，破坏生态环境。

### 3. 企业治理污染的积极性和主动性不高

只着眼于末端治理污染的办法，不仅需要高的投资，而且使一些有再利用价值的资源（包含未参与反应过程的原料）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，从而影响企业治理污染的积极性和主动性。比如城市垃圾中的玻璃、废纸、废塑料、废金属等固体废物，都具有重复利用价值，又如工业生产过程中产生的众多固体废物则更具有回收利用价值。但就是因为缺少有效的分拣和收集措施，缺少综

合利用的途径和方法,致使上述可资源化的污染物难以回收再利用。

#### 4. 在污染物排放标准上只注意浓度控制而忽视了总量控制

现行各类政策和法规大多只是规定污染物的排放浓度标准,对超标排放的企业单位进行限制和惩罚。这种做法忽视了环境容量,没有认识到环境质量是由污染物总量与环境容量决定的这一事实;没有将污染物的控制和削减与当地环境目标相联系。虽然区域内各企业均达到排放标准的要求,但污染物总量却超出区域环境容量的限值,因此环境污染的问题并未彻底解决。

实践证明,在污染前采取防治对策比在污染后采取措施治理更为节省,而且效果显著,即预防优于治理。日本环境厅1991年报告,就整个日本的硫氧化物造成的大气污染而言,排放后采取对策所产生的费用是预防这种危害所需费用的10倍。

发达国家通过治理污染的实践,也逐步认识到防治工业污染不能只依靠治理排污口(末端)的污染,而要从根本上解决工业污染问题,必须以预防为主,将污染物消除在生产过程之中,实行工业生产全过程控制。20世纪70年代末以来,不少发达国家的政府和各大企业集团(公司)都纷纷研究开发和采用清洁工艺(少废、无废技术),开辟污染预防的新途径,把推行清洁生产作为经济和环境协调发展的一项战略措施。

### (三) 清洁生产的诞生及国内外的的发展

清洁生产的提出,最早可追溯到1976年11月欧共体(现欧盟)在巴黎举行的“无废工艺和无废生产的国际研讨会”。“无废工艺和无废生产”是清洁生产早期的一种说法。该会议提出,协调社会和自然的相互关系应主要着眼于消除造成污染的根源,而不仅仅是消除污染引起的后果。

1977年4月欧共体委员会就制定了关于“清洁工艺”的政策。1984年、1987年又制定了欧共体促进开发“清洁生产”的两个法规,明确对清洁工艺生产工业示范工程提供财政支持。1984年、1985年、1987年欧共体环境事务委员会三次拨款支持建立清洁生产示范工程。

1989年联合国环境规划署工业与环境规划活动中心根据联合国环境规划署理事会会议决议,制定组织一次世界范围内的清洁生产高级研讨会。

1992年联合国环境与发展大会通过了“21世纪议程”,明确指出清洁生产是实现可持续发展的先决条件,也是工业界达到改善环境和保持竞争力和利润的核心手段,号召工业界提高效率,开发清洁生产技术,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。

1998年10月在韩国汉城举行了第5届国际清洁生产高级研讨会,旨在提供关于如何改善其监测指标的建议,以及建立更好的清洁生产地区性举措,许多国家和大型跨国公司参与和签署了《清洁生产国际宣言》。

2000年10月,联合国环境规划署在加拿大蒙特利尔市召开了第六届清洁生产国际高层研讨会,会议指出:政府应将清洁生产纳入到所有公共政策的主体之中,企业应将清洁生产纳入到日常经营战略之中,并指明清洁生产是可持续发展战略引导下的一场新的工业革命。

2002年4月,联合国环境规划署在捷克布拉格召开了第七届清洁生产国际高层研讨会,会议主要议题:进一步强化政府政策、坚持清洁生产制度建设、在国家经济发展政策与计划

中使清洁生产成为主流、促进清洁生产的活动范围扩大到可持续消费领域、推行生命周期启动计划等。

2004年11月,联合国环境规划署在墨西哥蒙特雷市召开了第八届清洁生产国际高层研讨会,会议主题是“环境与基本需求”和“全球挑战与商业”。

通过联合国环境规划署一次次的清洁生产研讨会议,可以看出清洁生产在不断深化,人们对清洁生产的认识也在不断深入。因此,各个国家的清洁生产也在如火如荼地发展。

### 1. 美国

20世纪60年代美国在化工行业开展污染预防审计,制定了4个阶段、20多个步骤的污染预防审计工作方法,从原料采购—生产过程—废物排放进行审计,是清洁生产的起源。

1984年国会通过《资源保护与回收法》修正案,提出“废物最小化”政策。

1990年国会通过《污染预防法》,确定“污染预防”是美国的国策。《污染预防法》包括以下声明:①只要在可行的情况下,就应在源头防治或减少污染,这将是美国一项国策;②只要在可行的情况下,不能防治的污染应当以对环境安全的方式加以回收利用;③只要在可行的情况下,不能防治或回收利用的污染物应当以对环境安全的方式处理;④处置或以其他方式向环境排放污染物只应作为最后选择并以对环境安全的方式进行。

1991年美国国家环保局(EPA)公布“污染预防战略”,采取的具体计划与行动包括:①成立污染预防办公室,以协调污染预防活动;②建立美国污染预防研究所;③建立污染预防信息交换中心;④编辑出版污染预防指南和制药、机械维修、洗印等污染预防手册;⑤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,及时交流、推广污染预防工作中取得的经验。

### 2. 加拿大

加拿大成立了全国污染预防办公室,制定法律法规,制订目标计划;非政府组织和行业协会发挥了积极作用,并建立了信息交流系统。

### 3. 欧洲

瑞典在1987年最早开展“废物最小化评估”活动。荷兰、丹麦等国:清洁生产评估活动,“财政资助与补贴”等供给政策,清洁生产审计手册的应用、推广。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,并开始把环境战略转向针对产品而不是处理工艺,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替代原材料投入和最有效并以最低费用消除污染物和废物。

### 4. 国内清洁生产发展动态

我国清洁生产的形成和发展概括为以下三个阶段。

(1) 第一阶段(1983—1992年)——清洁生产引进消化阶段。20世纪80年代,我国政府确定环境保护是我国一项基本国策,并提出“预防为主,防治结合”、“谁污染谁治理”等一系列环境保护原则,制定和修改《环境保护法》,确定“新建企业和现有企业的技术改造,应当采用资源利用率高、污染物排放量少的设备和工艺,采用经济合理的废弃物综合利用技术和污染物处理技术”。由原国家环保局组织工业企业开发无废、少废工艺,在一些企业中进行试点等。1983年,第二次全国环境保护会议,明确提出经济、社会、环境效益“三统一”的指导方针,在第一次全国工业污染防治会议和第二次全国环境保护会议中阐述工业污染防治中的一些预防思路与提法。

1989年,联合国环境规划署提出推行清洁生产的行动计划后,清洁生产的理念和方法开始引入我国。

1992年8月,国务院制定了《环境与发展十大对策》,提出“新建、改建、扩建项目时,技术起点要高,尽量采用能耗物耗小、污染物排放量少的清洁生产工艺”,清洁生产成为解决我国环境与发展问题的对策之一。

1992年发布《中国清洁生产行动计划(草案)》,召开我国第一次国际清洁生产研讨会。

(2) 第二阶段(1993—2003年)——清洁生产立法阶段 1993年10月,国家环保局、国家经贸委在上海召开了第二次全国工业污染防治会议,确定了清洁生产在我国环境保护事业中的战略地位,在我国范围内逐步推行清洁生产。与此同时,国家制定修改了部分法律、法规,对全过程控制和清洁生产做了较为明确的规定。工业污染防治从末端治理向源头和生产全过程控制转变。

1994年3月,国务院通过《中国21世纪议程》,设立“开展清洁生产和生产绿色产品”方案领域,清洁生产成为中国可持续发展战略的重要组成部分。1994年,国家经贸委与环保局利用世界银行技术援助,进行“推行中国清洁生产”项目研究,选定25家企业进行清洁生产示范(B-4项目)。1994年12月成立第一批国家、行业、地方清洁生产中心。

1996年,国务院《关于环境保护若干问题的决议》明确规定所有新建、扩建、改建项目采用能耗物耗小、污染物少的清洁生产工艺。

1997年4月,国家环保总局发布《关于推行清洁生产的若干意见》,要求地方环保部门将清洁生产纳入已有的环境管理政策中。

1998年,《建设项目环境保护管理条例》明确规定工业项目应当采用清洁生产工艺。

1999年5月,国家经贸委发布了《关于实施清洁生产示范试点的通知》,选择北京、上海等10个试点城市和石化、冶金等5个试点行业开展清洁生产示范和试点。这使清洁生产得到进一步发展。表现为:清洁生产已经从企业层次进一步扩展到行业;从企业的节能、降耗、减污上升到更大范围的产业生态化。在清洁生产的组织方面,通过政府的主导作用,使清洁生产得到社会的认可和接受。1999年,全国人大环境与资源保护委员会将《清洁生产法》的制定列入立法计划。

2000年,国家经贸委公布《国家重点行业清洁生产技术导向目录(第一批)》(5个行业57项技术)。

2002年6月,全国人大常委会公布了《中华人民共和国清洁生产促进法》,标志着我国清洁生产进入法制化、规范化的发展轨道。

2003年1月1日,我国开始施行《中华人民共和国清洁生产促进法》。

(3) 第三阶段(2003年至今)——清洁生产循序推进阶段 随着《中华人民共和国清洁生产促进法》的公布实施,清洁生产成为我国发展循环经济、实现可持续发展的核心内容,正引导着产业结构、产品结构、能源结构向环境友好方向发展,不仅使企业节能、降耗、减污、增效,而且大大增强了我国产品的国际竞争力,提高了我国的国际形象。

2003年,国家环保总局发布《关于贯彻落实〈清洁生产促进法〉的若干意见》;国务院办公厅转发11部委《关于加快推行清洁生产的意见》,进行全面部署。2003年,国家发改委公布《国家重点行业清洁生产技术导向目录(第二批)》(5个行业56项技术)。

2004年,国家发改委、国家环保总局颁布了《清洁生产审核暂行办法》。《清洁生产审核暂行办法》明确了企业实施清洁生产审核的义务,对应实施强制性清洁生产审核的企业,

规定了清洁生产审核的时限、审核结果的上报以及企业不履行清洁生产审核义务应承担的法律责任；明确了政府部门推行清洁生产审核的监督管理和服务的职责，提出了建立健全清洁生产审核服务体系、规范清洁生产审核行为的要求；明确了清洁生产审核的内容、程序和方法，指导和帮助企业按照相关的程序和方法正确开展清洁生产审核。

2005年，国务院印发《节能减排综合性工作方案》，提出全面推行清洁生产，促进节能减排。2005年，国家环保总局制定《重点企业清洁生产审核程序的规定》（环发〔2005〕151号），至2006年，18个清洁生产标准、10个行业清洁生产评价指标体系出台，第三批重点行业清洁生产技术导向目录公布。

2007年5月，《国务院节能减排综合性工作方案》强制实行清洁生产审核。2007年8月，《循环经济促进法》提交给全国人大常委会第二十九次会议一审。2007年10月，修订后的《节约能源法》公布。节能减排三大体系文件都有清洁生产的相关内容要求。

2008年7月，国家环境保护部印发了《关于进一步加强重点企业清洁生产审核工作的通知》（环发〔2008〕60号）。

2009年1月，《中华人民共和国循环经济促进法》实施。

2010年4月，国家环境保护部印发了《关于深入推进重点企业清洁生产的通知》（环发〔2010〕54号）。

2012年2月29日，《中华人民共和国清洁生产促进法》进行修订，7月1日正式施行。

截至2009年3月8日已公布：三批次清洁生产技术导向目录，42个行业的清洁生产标准和23个行业的清洁生产评价指标体系。另外，自1996年以来已有多个省市颁布推行清洁生产的政策和地方法规，如《山东省清洁生产审核暂行办法》、《山东省清洁生产咨询服务机构管理暂行规定》等。到2007年，除了西藏自治区和海南省以外，全国其他所有省、市、自治区和计划单列市均出台了有关清洁生产审核的地方性配套文件，共计203份。

## 二、清洁生产的基本概念

### 1. 清洁生产的朴素定义

一些国家在提出转变传统的生产发展模式和污染控制战略时，曾采用了不同的提法。中国称之为“无废少废工艺”；欧洲国家称之为“少废无废工艺”、“无废生产”；日本称之为“无公害工艺”；美国称之为“废物最少化”、“污染预防”、“减废技术”。此外，还有“绿色工艺”、“生态工艺”、“环境无害工艺”与“环境相容工艺”、“预测和预防战略”、“避免污染战略”、“环境工艺”、“过程与环境一体化工艺”、“再循环工艺”、“源削减”等提法。这些不同的提法实际上描述了清洁生产概念的不同方面，他们的共同点是偏重于企业层次。

从企业自身出发，寻找减少损失的途径和方法，概括起来主要包括：

(1) 减少用水量 水也是原料，减少水的消耗量即是减少供水费用，同时也是减少废水产生量，降低企业废水治理投资费用。

(2) 回收、利用和再生副产品 如润滑油、添加剂、催化剂、酸和其他排放到环境中的有用物质。

(3) 变废为宝 工业废弃物如废渣，关键是要找到这些废物在别的行业中的商业用途。

清洁生产的本质就是在生产中最大限度地减少原料或产品的损失（工厂通常是指节省原材料和回收产品），追求的最终目标是削减污染和增加工厂经济效益。但是，此定义不具有学术思想，片面理解为清洁生产就是用现代化的资金密集技术替代旧的工艺设施。



## 2. 清洁生产的科学定义

(1) 联合国环境规划署的定义 联合国环境规划署综合各种说法,采用了“清洁生产”这一术语来表征从原料、生产工艺到产品使用全过程的广义的污染防治途径。1989年,联合国环境规划署提出了清洁生产的最初定义:“清洁生产是一种将综合预防的环境战略持续地应用于生产过程和产品中,以减少对人类和环境的风险性。清洁生产不包括末端治理技术,例如空气污染控制、废水处理、固体废弃物焚烧或填埋。清洁生产通过应用专门技术,改进工艺技术和改变管理态度来实现。”

但在该定义中并未涉及服务,因此在1996年,联合国环境规划署又对该定义进一步完善,完善后的定义为:“清洁生产是一种新的创造性思想,该思想将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中,以增加生态效率和减少对人类及环境的风险。”

对生产过程:要求节约原材料和能源、淘汰有毒原材料、减少所有废弃物的数量和毒性。

对产品:要求减少从原料提炼到产品最终处置的全生命周期的不利影响。

对服务:要求将环境因素纳入产品设计和产品所提供的服务中。

生态效率的概念是由弗兰克·博斯哈特提出的。他是“世界可持续发展商业理事会”的创始者之一。1992年,在巴西里约热内卢召开了联合国环境与发展大会,在会议报告中,将生态效率定义为:“提供有价格竞争优势的、满足人类需求和保证生活质量的产品或服务。同时能逐步降低产品或服务生命周期的生态影响和资源强度,其降低程度要与估算的地球承载力相一致。”

生态效率是一个技术与管理的概念,其关注的是最大限度地提高能源和物料投入的生产力,以降低单位产品的资源消费和污染物排放。这个概念可从如下两个并不相互排斥的方面来解释:

① 生态效率是一种管理工具,以实现污染预防和废物最小化,并且提高效率、降低费用和提高竞争优势。这就是所谓的环境和发展的“双赢”途径。支持这种观点的人认为经济产出可能在资源投入恒定或减少的基础上增加。

② 生态效率是一种调整企业活动方向的措施,从而导致企业商业文化、组织和日常行为的改变。支持这种观点的经济学家认为,经济产出应该保持恒定或下降,而资源投入应该大大减少。因此,从这个意义上来说,工业生态不过是生态效率在工业体系中的一个运用策略。

(2) 美国环保局的定义 “废物最少化”和“污染预防”是美国环保局提出的。“废物最少化”是美国污染预防的初期表述,现已用“污染预防”一词代替。美国对“污染预防”的定义为:在可能的最大限度内减少生产场所产生的废物量,包括通过源削减、提高能源效率、在生产中重复使用投入的原料以及降低水消耗量来合理利用资源。

污染预防定义中不包括以下几个方面:

① 废物的厂外再生利用、废物处理、废物的浓缩或稀释;

② 减少废物体积;

③ 有害性、有毒性成分从一种环境介质转移到另一种环境介质。

源削减的概念是在进行再生利用、处理和处置以前减少流入或释放到环境中的任何有害物质、污染物或污染成分的数量,减少与这些有害物质、污染物或组分相关的对公共健康与环境的危害。

常用的两种源削减方法是改变产品结构和改进工艺。其内容包括：①设备与技术更新；②工艺与流程更新；③产品的重组与设计更新；④原材料的替代；⑤科学管理（包括维护、培训或仓储控制）。

(3)《中华人民共和国清洁生产促进法》(以下简称《清洁生产促进法》)中的定义 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。

从上述定义可以看出，清洁生产是一种通过产品设计、能源和原料选择、工艺改革、生产过程管理和物料内部循环利用等环节，使企业生产最终产生的污染物达到最少的工业生产方法。

它包括生产过程少污染、无污染，也包括产品本身的“绿色”，还包括这种产品废弃之后的可回收和处理过程的无污染。

清洁生产的英文名为 cleaner production，意为“更清洁的生产”，这意味着清洁生产是一个相对概念，所谓清洁的技术工艺、清洁的产品、清洁的能源、清洁的原料都是同传统的技术工艺、产品、能源和原料比较而言的。因此推行清洁生产是一个不断持续的过程，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，达到更高的水平。

清洁生产是一种全新的发展战略，它借助于各种相关理论和技术，在产品的整个生命周期的各个环节采取“预防”措施，通过将生产技术、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、最少的资源和能源使用、最佳的管理模式以及最优化的经济增长水平。更重要的是，环境作为经济的载体，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。

### 三、清洁生产的主要内容

清洁生产的主要内容可归纳为“三清一控制”四个方面。

(1) 清洁的原料和能源 是指产品生产中能被充分利用而极少产生废物和污染的原材料和能源。选择清洁的原料与能源是清洁生产的一个重要条件。

清洁的原料与能源的第一个要求，是能在生产中被充分利用。生产所用的大量原材料中，通常只有部分物质是生产中需用的，其余部分成为所谓“杂质”，在生产的物质转换中常作为废物而弃掉，原材料未能被充分利用。能源则不仅存在“杂质”含量多少的问题，而且还存在转换比率和废物排放量大小的问题。如果选用较纯的原材料与较清洁的能源，则杂质少、转换率高、废物排放少，资源利用率也就越高。

清洁的原料与能源的第二个要求，是不含有毒物质。不少原料内含有一些有毒物质，或者能源在使用中、使用后产生有毒气体，它们在生产过程和产品使用中常产生毒害和污染、清洁生产应当通过技术分析，淘汰有毒的原材料和能源，采用无毒或低毒的原料与能源。

目前，在清洁生产原料和能源方面的措施主要有：清洁利用矿物燃料；加速以节能为重点的技术进步和技术改进，提高能源利用率；加速开发水能资源，优先发展水利发电；积极发展核能发电；开发利用太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能等可再生的新能源；选用高纯、无毒原材料。

(2) 清洁的生产过程 清洁生产过程包括：①尽量少用、不用有毒有害的原料以及稀缺



原料；②保证中间产品的无毒、无害；③减少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；④选用少废、无废的工艺和高效的设备；⑤进行厂内外物料的再循环；⑥采用可靠、简便的生产操作和控制方法，完善生产管理等。

(3) 清洁的产品 清洁的产品，就是有利于资源的有效利用，在生产、使用和处置的全过程中不产生有害影响的产品。清洁产品又叫绿色产品、环境友好产品、可持续产品等。清洁的产品是清洁生产的基本内容之一，清洁的产品要有利于资源的有效利用。

清洁的产品包括：①产品设计应考虑节约原材料和能源，少用昂贵和稀缺的原料；②产品在使用过程中以及使用后不含危害人体健康和破坏生态环境的因素；③产品的包装合理；④产品使用后易于回收、重复使用和再生；⑤使用寿命和使用功能合理。

(4) 贯穿于清洁生产中的全过程控制 它包括两方面的内容，即生产原料或物料转化的全过程控制和生产组织的全过程控制。

生产原料或物料转化的全过程控制，也常称为产品的生命周期的全过程控制。它是指从原材料的加工、提炼到产出产品、产品的使用直到报废处置的各个环节所采取的必要的污染预防控制措施。

生产组织的全过程控制，也就是工业生产的全过程控制。它是指从产品的开发、规划、设计、建设到运营管理，所采取的防治污染发生的必要措施。

## 四、清洁生产的目标和基本原则

### 1. 清洁生产的目标

清洁生产的主要目标在于：实现生产全过程污染的优化控制、节能降耗技术的开发、协调污染排放与环境的相容、绿色产品的研制与生产。总之，清洁生产的目标就是减少污染物的产生。只有减少污染物的产生才能实现污染预防。

清洁生产内部涉及人类社会生产和消费两大领域，是生态和经济两大系统的结合点，它谋求达到两个目标：

① 通过资源的综合利用，短缺资源的高效利用或代用，二次资源的利用及节能、降耗、节水、合理利用自然资源，减缓资源的耗竭。

② 减少废物和污染物的生成和排放，促进工业产品的生产、消费过程与环境相容，降低整个工业活动对人类和环境的风险。

这两个目标的实现将体现工业生产经济效益、社会效益和环境效益的统一，保证国民经济的持续发展。

### 2. 清洁生产的基本原则

根据清洁生产的生态原理及其概念，在实行清洁生产时，应考虑遵循以下基本原则。

(1) 系统性 系统性要求我们不是孤立地看待问题，而要把考察对象置于一定的系统之中，分析它在系统中的层次、地位、作用和联系。例如，考察一个工序，首先应认清该工序在整个流程中的地位和作用，与邻近工序和后续工序的联系。开发一个流程，就要看到它在工业生产网络中的地位、原料来源、废料处置与其他生产的协调等。评价它的活动，不但要看其经济效益，还要兼顾其生态后果。设计一个产品，则应从生产—消费—复用全过程加以考察，除了制定它的生产工艺，还要安排它使用报废后的去向。遵循系统性的原则，就可以打破“隔行如隔山”的心理障碍，把貌似不相干的事物联系在一起，把一些各自为政的环节统一起来。