

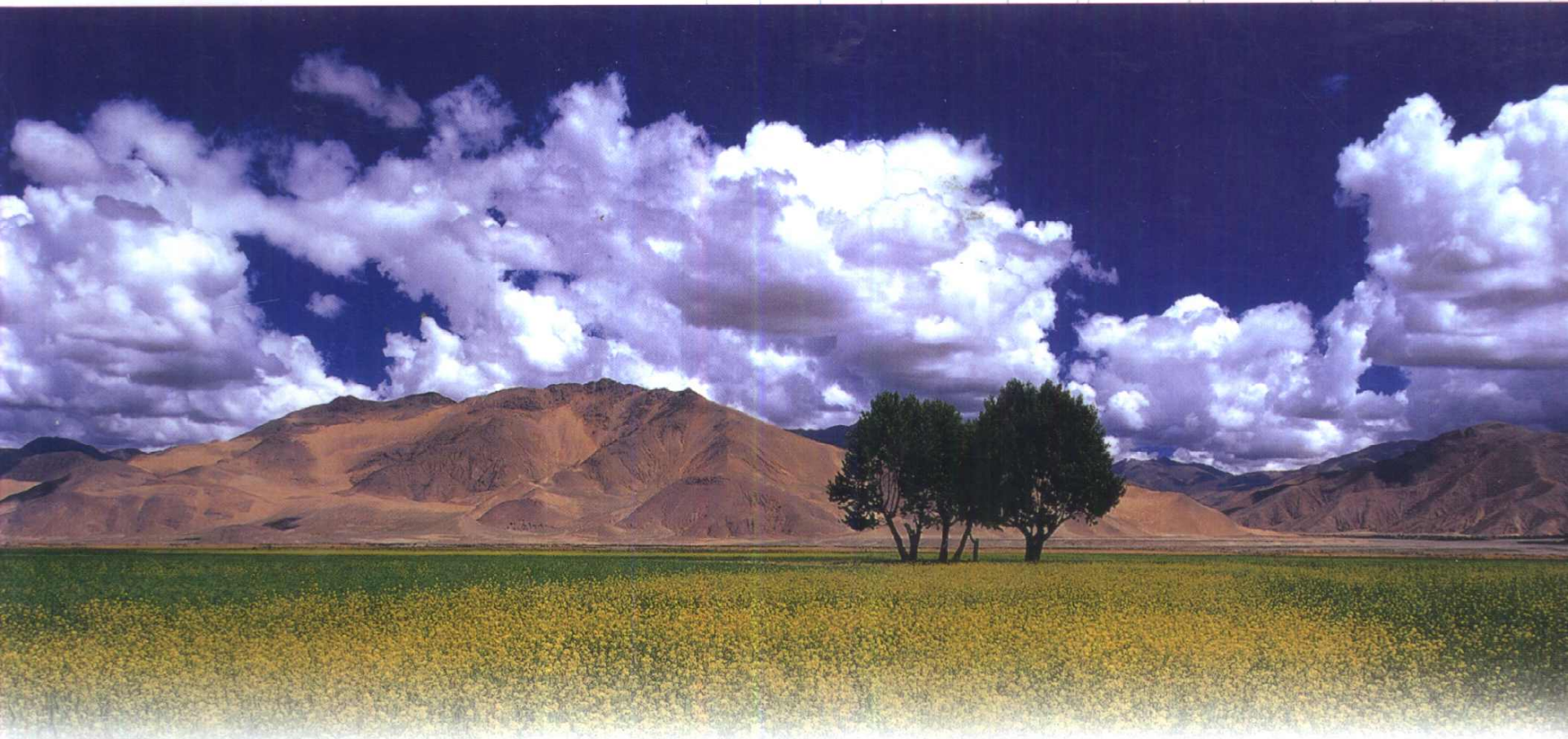


环境工程实例丛书

HUANJI NG GONGCHENG SHILI CONGSHU

# 清洁生产工艺 及应用实例

周中平 赵毅红 朱慎林 编著



化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心



27

环境工程实例丛书

# 清洁生产工艺及应用实例

周中平 赵毅红 朱慎林 编著

化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心  
·北京·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

清洁生产工艺及应用实例/周中平, 赵毅红, 朱慎林  
编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.5

(环境工程实例丛书)

ISBN 7-5025-3767-8

I. 清… II. ①周…②赵…③朱… III. 无污染工  
艺 IV. X383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 017928 号

---

环境工程实例丛书

**清洁生产工艺及应用实例**

周中平 赵毅红 朱慎林 编著

责任编辑: 董琳

责任校对: 马燕珠

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19½ 字数 485 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3767-8/X·173

定 价: 42.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 出版者的话

环境保护是我国的基本国策之一，近年来呈蓬勃发展之势。尤其水污染控制工程、大气污染控制工程、固体废物处理处置工程、生态保护工程更是我国环保工作的重点。政府部门、科研院所及环境工程企业单位均投入了大量人力、物力从事这方面的研究与开发工作。对于环境工程设计人员、技术人员及大专院校学生来说，如何将环境工程专业理论合理地运用到具体的工程实践中去，是一个既现实又迫切的问题。为此，化学工业出版社环境科学与工程出版中心组织国内一批有丰富实践经验的专家、学者和工程技术人员精心编写了这套“环境工程实例”丛书，共计14册。

本套丛书具有以下特点。

(1) 系统性 本丛书既有《城市污水处理技术及工程实例》、《燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例》、《垃圾处理处置技术及工程实例》等按专业划分的分册，又有《膜法水处理技术及工程实例》、《间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例》、《曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例》等按方法划分的分册。全面性、系统性强，读者可按需选择。

(2) 实用性 本丛书是国内第一套将环境工程技术理论与具体的工程实例结合在一起的图书。理论部分系统、全面、先进、精炼；实例部分典型、实用、可操作性强，读者在阅读时可将理论部分与实例部分互相验证。

(3) 权威性 本丛书作者大多为本专业内的一线专家、学者和工程技术人员，很多实例均是作者亲自主持或参与设计的，从而使丛书具有较强的先进性与权威性。

多年来，化学工业出版社一直把环保图书作为主要出书方向之一。2000年6月、2001年6月我社成功地在全国各大、中城市举办了两届化工版环保图书展，2002年6月我社将在全国各大、中城市新华书店举办为期一个月的第三届化工版环保图书展。本套丛书在众多专家、学者的支持下将如期出版参展，希望能得到广大读者的认可，也希望广大读者对我社环保图书出版多提宝贵建议与意见。

化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心  
2002. 3

## 前 言

1992年联合国环发会议之后，保护好人类赖以生存与发展的自然环境与资源，防治环境污染和生态破坏，成为世界各国可持续发展的一项战略性任务。全球的环境污染和生态破坏主要来自工业生产领域。因而控制和预防工业污染，保护生态环境是可持续发展的一个重要内容。中国正处于工业高速发展的阶段，是世界上工业污染比较严重的国家之一。在中国相当一部分企业的环境保护意识还很薄弱，特别是中西部一些地区经济比较落后，缺乏环境保护的投入和污染治理的能力，发展与环境保护的矛盾比较突出。中国工业长期形成的传统生产方式在短期内难以改变，大量落后的技术装备，生产工艺和企业员工素质水平比较低以及工业环境管理采取的“末端控制”方式，使得中国工业的发展对环境和生态产生严重的不利影响。

在工业生产中，原料及辅料开采及运输中的泄露、工艺过程中的不完全反应和不完全分离造成的物料损失和中间体形成，以及产品运输、使用过程中的损失和产品的废弃是产生环境污染的主要原因。实际上原料、能源、工艺技术、运行管理是对特定生产过程的投入，它是影响和决定产品和工业废物产出的要素。通过改变过程的投入，可以影响和改变产品和工业废弃物的收率、组成、数量和质量，从而减少废弃物的产生量。高消耗是造成工业污染严重的主要原因之一，也是工业生产经济效益低下的一个至关重要的因素。在工业生产过程中原料、水、能源等过量使用导致的结果是产生更多的废弃物。它们以水、气、渣的任何一种形式排入环境，到了一定的程度就会造成对环境的污染。若是对废弃物进行末端处置，对控制污染能够收到一定的成效，但需要很大的投资和运行费用，需要消耗能源和资源，增加了企业的生产成本。

要从根本上解决环境问题，必须实现可持续发展的战略，转变以大量消耗资源、粗放的传统生产方式，转变以末端治理为主的环境管理模式，保持资源、能源的永久持续利用，保持环境容量的持续承载能力。实施“清洁生产”是实现生产方式与环境管理模式转变的最佳方式。推行清洁生产已经成为世界各国，尤其是发达国家，发展经济和保护环境的一项基本策略。

在2001年开始实施的“环境保护十五计划”中，我国将围绕控制排污总量、改善环境质量、遏制生态破坏、维护生态平衡、实现经济发展与环境保护“双赢”的目标，全面推行清洁生产。首先是在已经建成但效益欠佳、污染严重的企业内大力推行清洁生产审计，培养企业清洁生产意识，帮助企业发现和实施无/低费方案；其次是在新建、改建、扩建和效益较好的企业内推行清洁生产技术，从污染源消减角度推动企业的产业升级、产品和技术科技含量的提升工作；第三是推行区域的清洁生产，积极帮助推动生态工业园区的建设。

实现清洁生产的主要途径是调整产品结构，生产清洁产品，把好原料选择及产品设计关，不采用对环境有害的原料，不生产对环境有害的产品，防止对环境的不利影响；改革生产工艺，更新生产设备，最大限度地提高生产效率减少污染排放，将排废工艺改革成为少废或无废工艺；优先采用高效的生产设备，提高物料转化率，不产生或少产生废物；建立生产过程中的废物循环系统；加强生产全过程管理，完善企业管理的规章制度和规范操作规程，

优化生产组织，采用先进的管理方式，强化生产者责任心。本书比较系统、全面、科学地阐述了清洁生产的概念，列举了国内外大量的企业实施清洁生产的实例。作者的目的是希望通过介绍清洁生产的技术与工艺以及企业实施清洁生产的成功的实例，让更多的人认识清洁生产、了解清洁生产，积极行动起来，踊跃投入到清洁生产的实践中来，促进清洁生产工作的顺利实施；使我国在加速工业化进程当中，能够合理地利用资源、能源，减少污染物的产生和对环境的冲击；使我国的经济的发展能够继续快速地持续进行。

在本书编写过程中，得到了许多同事和同行的关心和帮助，本书的部分内容参考了同行的著作及研究报告，在此谨向他们致以诚挚的谢意。

参加本书编写的人员还有张景涛、俞珠峰、赵宏红、牟小楠、罗毅、朱昕昊、王桂华、胥晓瑜、王汉玉、李霞。

感谢徐向阳、王文一、张礼、郝家学、陈兴杰提供了相关的研究报告，丰富了书中的内容。同时对周湘梅、王敬哲在文字加工和润色过程中的工作表示感谢。

编著者

2002年3月于北京清华园

# 目 录

<b>1 概念</b> .....	1	2.3.7 综合利用 .....	46
1.1 清洁生产的由来 .....	1	2.3.8 扩大资金来源 .....	48
1.2 清洁生产的概念 .....	3	2.3.9 企业实施清洁生产遇到的问题 .....	48
1.2.1 工业化带来的环境问题 .....	3	<b>3 绿色化学浪潮</b> .....	51
1.2.2 清洁生产的成因 .....	3	3.1 绿色化学 .....	51
1.2.3 清洁生产的定义 .....	4	3.2 各国政府对绿色化学的政策 .....	52
1.2.4 清洁生产的内容 .....	5	3.2.1 美国“总统绿色化学挑战奖” .....	52
1.2.5 清洁生产的特点 .....	6	3.2.2 日本的“新阳光计划” .....	52
1.2.6 实施清洁生产的途径 .....	6	3.2.3 欧洲国家的环境保护新政策 .....	52
1.2.7 清洁生产的推行 .....	8	3.2.4 中国的“绿色化学”规划 .....	53
1.2.8 国外、国内清洁生产概况 .....	10	3.3 绿色化学与技术的学术活动 .....	54
1.2.9 清洁生产的意义 .....	12	3.4 绿色化学的原则与范围 .....	54
1.3 资源、能源与清洁生产 .....	13	3.5 绿色化学与技术的发展动向 .....	55
1.3.1 资源 .....	13	3.5.1 学术奖(Academic Award) .....	55
1.3.2 能源 .....	14	3.5.2 变更合成路线奖(Alternative Synthetic Pathways Award) .....	59
1.3.3 清洁能源 .....	14	3.5.3 优新反应条件奖(Alternative Solvents/Reaction Conditions Award) .....	61
1.4 清洁生产与可持续发展 .....	19	3.5.4 设计安全化学品奖(Designing Safer Chemicals Award) .....	64
1.5 清洁生产与生态工业和循环经济 .....	21	3.5.5 小企业奖(Small Business Award) .....	67
1.5.1 清洁生产 .....	21	3.6 结语 .....	69
1.5.2 生态工业 .....	21	<b>4 清洁产品</b> .....	71
1.5.3 循环经济 .....	23	4.1 产品环境标志的产生 .....	71
1.5.4 清洁生产、工业生态、循环经济的 共同点 .....	24	4.2 环境标志产生的历程 .....	71
<b>2 实行清洁生产的步骤与实施</b> .....	25	4.3 环境标志的含义 .....	72
2.1 企业实行清洁生产的程序 .....	25	4.4 环境标志的获得 .....	72
2.2 企业实行清洁生产的步骤 .....	26	4.5 环境标志能够实现的目标 .....	72
2.2.1 准备阶段 .....	26	4.6 实施环境标志制度的步骤和方法 .....	72
2.2.2 审计阶段 .....	27	4.6.1 建立机构 .....	72
2.2.3 制订方案 .....	32	4.6.2 确定产品类别 .....	73
2.2.4 实施方案 .....	38	4.6.3 建立环境标志的标准 .....	73
2.2.5 编写清洁生产报告 .....	39	4.6.4 授予产品环境标志的程序 .....	74
2.3 企业清洁生产的实施 .....	41	4.6.5 管理与监督 .....	74
2.3.1 组织保证 .....	41	4.7 实施环境标志制度成效 .....	74
2.3.2 转变传统观念 .....	42	4.8 环境标志图案 .....	74
2.3.3 完善管理措施 .....	43	4.9 产品生态设计和包装 .....	75
2.3.4 加强原料、燃料管理 .....	45		
2.3.5 改进、完善工艺和设备 .....	45		
2.3.6 更新设备 .....	46		

4.9.1 产品的生态设计 .....	75	7.2.2 生态工业园区 .....	129
4.9.2 产品包装 .....	77	7.2.3 生态工业园区与工业生物群落 .....	133
4.10 环境标志与清洁建材 .....	78	7.2.4 可持续的工业生态系统 .....	133
<b>5 清洁生产与环境管理体系(ISO</b>		7.2.5 积极发展生态工业 .....	134
14000) .....	80	7.2.6 我国生态工业园区的实践 .....	136
5.1 概念 .....	80	<b>8 实施清洁生产的技术和途径 .....</b>	<b>138</b>
5.1.1 ISO 14000 产生背景 .....	80	8.1 化工、石油化工行业 .....	138
5.1.2 ISO 14000 简介 .....	80	8.1.1 化学工业实行清洁生产 .....	138
5.1.3 ISO 14000 的指导思想 .....	80	8.1.2 醇醚混合物的双甲精制工艺 .....	141
5.1.4 ISO 14000 系列标准实施的意义 .....	81	8.1.3 尿素的深度水解技术 .....	145
5.1.5 ISO 14000 推行的必要性 .....	81	8.1.4 氯碱行业实施清洁生产技术 .....	147
5.1.6 ISO 14000 与国际贸易 .....	82	8.1.5 塔式好氧微生物法处理含氰废水	
5.2 清洁生产与环境管理体系(ISO		技术 .....	148
14000) .....	82	8.1.6 甲醇生产装置实行清洁生产 .....	149
5.3 环境管理体系的审核认证 .....	84	8.1.7 废有机溶剂回收工艺 .....	150
5.3.1 ISO 14001 介绍 .....	84	8.1.8 催化裂化装置实行清洁生产 .....	152
5.3.2 环境管理体系审核认证的术语 .....	90	8.2 煤炭行业 .....	153
5.4 审核 .....	92	8.2.1 煤矸石清洁发电工艺 .....	153
5.5 环境管理体系审核认证实施程序 .....	94	8.2.2 煤矸石生产建筑材料及制品 .....	154
5.5.1 环境管理体系审核 .....	94	8.2.3 矿井水处理及资源化利用技术 .....	155
5.5.2 环境管理体系审核的实施程序 .....	94	8.2.4 高效低污染动力煤重介洗选工艺 .....	156
<b>6 生产周期评价 .....</b>	<b>102</b>	8.3 其他行业 .....	157
6.1 引言 .....	102	8.3.1 造纸工业废水处理污泥资源	
6.2 生命周期分析的定义 .....	103	化途径 .....	157
6.3 产品生命周期的主要阶段 .....	103	8.3.2 水处理流程零排放工艺 .....	158
6.4 生命周期评价的技术框架 .....	104	8.3.3 饮料厂废水回收利用工艺 .....	160
6.5 LCA 和其他几种环境管理工具的比较 .....	110	8.3.4 塑胶废弃物资源化工艺 .....	163
6.6 LCA 在环境管理中的应用 .....	110	8.3.5 纺织印染厂清洁生产工艺 .....	164
6.7 LCA 的局限性和今后的发展 .....	113	8.3.6 钢铁工业清洁生产技术 .....	167
6.8 LCA 应用的一些实例 .....	114	8.3.7 金属铸造工业清洁生产技术 .....	167
6.9 结语 .....	115	8.3.8 电讯行业实行清洁生产 .....	168
<b>7 循环经济与生态工业 .....</b>	<b>116</b>	8.3.9 用电行业实行清洁生产 .....	169
7.1 循环经济 .....	116	8.3.10 涂装工业清洁生产技术 .....	170
7.1.1 循环经济的由来和发展 .....	116	8.3.11 水泥的绿色包装 .....	170
7.1.2 循环经济的概念 .....	116	8.3.12 汽车行业实行清洁生产 .....	171
7.1.3 循环经济的“3R”原则 .....	118	8.3.13 机动车清洁排放途径 .....	174
7.1.4 循环经济的发展进程及趋势 .....	119	8.3.14 旅游业的可持续发展及旅馆的	
7.1.5 循环经济将成为中国可持续发		清洁生产 .....	176
展的必然选择 .....	121	8.3.15 绿色政府机关 .....	178
7.1.6 对我国发展循环经济的一些建议 .....	122	8.3.16 使用清洁能源 .....	178
7.1.7 结束语 .....	123	8.4 行业清洁生产项目目录及信息查询 .....	179
7.2 生态工业 .....	124	8.4.1 化工清洁生产技术 .....	179
7.2.1 工业生态学 .....	124	8.4.2 石油化工清洁生产技术 .....	180
		8.4.3 冶金清洁生产技术 .....	180

8.4.4 轻工清洁生产技术 .....	181	9.19 宝灵化工股份有限公司 .....	270
8.4.5 纺织清洁生产技术 .....	181	9.20 皋市化肥厂 .....	272
<b>9 国内实施清洁生产实例 .....</b>	<b>183</b>	<b>10 国外实施清洁生产实例 .....</b>	<b>275</b>
9.1 华通电脑公司 .....	183	10.1 奶制品加工过程的清洁生产 .....	275
9.2 德州第二建材厂 .....	186	10.2 鱼产品加工过程的清洁生产 .....	277
9.3 安徽种子酒厂 .....	191	10.3 肉类加工过程清洁生产 .....	280
9.4 六十铺造纸厂 .....	195	10.4 农场中的清洁生产 .....	281
9.5 滨州造纸厂 .....	201	10.5 造纸工业中制浆过程的清洁生产 .....	283
9.6 燕山石化公司合成橡胶厂 .....	206	10.6 电镀过程中的清洁生产 .....	286
9.7 燕山石化公司炼油厂 .....	211	10.7 镀金属显示架生产过程中的清洁 生产 .....	287
9.8 燕山石化公司化工二厂 .....	217	10.8 生产金属板橱柜和精密合金组件 工厂的清洁生产 .....	289
9.9 中成化工有限公司 .....	226	10.9 半导体加工工业中清洁生产 .....	291
9.10 鲁北化工厂 .....	228	10.10 集成电路板加工过程中清洁生产 .....	293
9.11 济南钢铁集团 .....	231	10.11 德国 G&P 公司以废纸为原料的 全封闭无废水造纸技术 .....	294
9.12 东北制药总厂 .....	242	10.12 德国某制革厂阶梯式均匀加工法 制革工艺 .....	296
9.13 太化集团公司化工厂 .....	247	10.13 日本的塑料再循环 .....	298
9.14 海四达化学电源有限公司 .....	254	<b>主要参考文献 .....</b>	<b>303</b>
9.15 恒祥化工有限责任公司 .....	258		
9.16 海门颜料化工厂 .....	261		
9.17 大伦化工厂 .....	264		
9.18 海四达启东化肥厂 .....	268		

# 1 概 念

## 1.1 清洁生产的由来

清洁生产自诞生以来，经不断创新、丰富、发展成为国际环境保护的主流思想，有力地推动了世界各国的环境保护，清洁生产由何而来呢？

在人类历史的长河中，工业革命标志着人类的进步，但在烟囱林立、烟尘滚滚、钢花四溅、生产规模不断扩大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。大自然承受能力是有限的，当消纳不了这些污染物时就出现了 20 世纪 50 年代相继发生的恶性污染事件（见表 1-1）。面对这严峻的危害，人们震惊了，认识到只顾单纯地消耗资源而发展经济不行了。70 年代人们开始广泛关注由于工业飞速发展带来的一系列环境问题，国家针对工业排出的污染物展开了攻势——治理污染，即对各工业排放的污染物进行末端治理，人们付出了巨大代价，对排放的各种污染废水、工业废气进行治理，然而工业迅速发展，排放污染物急剧增加，这种末端治理显示出其局限性，近 20 年来发生的十大公害事件（见表 1-2）又一次震撼了人们。人们明确地认识到在人类社会大大进步的同时，由于人们对大自然的任意掠夺而付出的惨痛代价，自工业革命 100 年来，困扰人类的下列十大环境问题说明着一切。

(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。

表 1-1 20 世纪中叶国外八大公害事件

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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	美国	1948	42% 人病, 17 人亡	厂多、逆温、雾日
伦敦烟雾	烟尘, SO <sub>2</sub>	英国	1952	5 天内 4 千人亡	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 老人亡	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	SO <sub>2</sub> 、烟尘、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油

表 1-2 近 20 年来的十大公害事件

事件名称	发生年份	发生地点	危害情况	公害原因
维索化学污染	1976	意大利	多人中毒，居民搬迁，几年后婴儿畸形多	农药厂爆炸，二噁英污染
阿摩柯卡的斯油轮泄油	1978	法国	藻类、湖间带动物、海鸟灭绝，工农业生产、旅游业损失大	油轮触礁，22 万吨原油入海
三哩岛核电站泄漏	1979	美国	周围 50 英里 200 万人口极度不安，直接损失 10 多亿美元	核电站反应堆严重失水
威尔士饮用水污染	1985	英国	200 万居民饮水污染，44% 的人中毒	化工公司将酚排放入河
墨西哥气体爆炸	1984	墨西哥	4 200 人伤，400 亡，300 栋房毁，10 万人被疏散	石油公司一个油库爆炸
博帕尔农药泄漏	1984	印度	1 408 人伤，2 万人严重中毒，15 万人接受治疗，20 万人逃离	45 t 异氰酸甲酯泄漏
切尔诺贝利核电站泄漏	1986 年	前苏联	31 人亡，203 人伤，13 万人疏散，直接损失 30 亿美元	4 号反应堆机房爆炸
莱茵河污染	1986	瑞士	事故段生物绝迹，100 英里鱼类死亡，300 英里不能饮用	化学公司仓库起火，磷、汞、大量硫、剧毒物流入河
莫农格希拉河污染	1988	美国	沿岸 100 万居民生活受严重影响	石油公司油罐爆炸，350 万吨原油流入河
埃克森·瓦尔迪兹油轮漏油	1989	美国	海域严重污染	漏油 26.2 万桶

(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空洞，并证实其与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 100~1 000 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，全球森林面积的减少，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。

这一切使人们清醒地认识到，由于我国处于社会主义初级阶段，人口众多，经济增长速度过快，加之落后的经济增长方式和技术管理，使资源、能源浪费和短缺，成为我国经济可持续发展的重要障碍。末端治理措施已付出沉重代价，人们意识到单纯依靠末端治理已不能有效地遏制环境的恶化，不能根本解决污染问题，环境恶化的继续，在相当大程度上制约了经济进一步发展，面对现实，人们不得不对过去的经济发展模式进行反思，重新审视经济—环境—资源间的关系，从而寻求一种节约资源、能源，排污少和经济效益最佳的生产方式，探索一条既落实环境保护基本国策、实施可持续发展战略，又使经济、社会、环境、资源协调发展的新途径——清洁生产。

## 1.2 清洁生产的概念

### 1.2.1 工业化带来的环境问题

传统的粗放式工业发展模式使自然资源造成了巨大消耗，目前很多资源已经枯竭，到了走投无路的地步，其后果使人类遭到了大气污染、水污染、有毒有害化学品的污染。

工业废气的污染主要来自冶金、电力、建材、化工行业。以北京为例，这四种行业排放的  $\text{SO}_2$ 、烟尘、粉尘分别占全市工业排放总量的 57.2%、83%、99.8%。

工业废水的污染主要来自造纸、化工、纺织、电力、冶金、食品酿造行业，这些行业废水排放量占北京市工业废水排放量的 58.7%，废水中的 COD 占全市废水 COD 的 48.2%。

工业固体废物主要来自冶金等行业的粉煤灰、采矿业的煤矸石和矿渣等。

我国工业生产存在着以下一些问题。

① 产业结构不合理，使污染会长期存在，导致整体工业水平长期停留在粗放型经营阶段。

② 工业布局不合理，城市集中了 80% 的工业企业，功能区划不清，不少产生污染的工厂建在居民区、文教区、水源地等环境质量要求较高地区，这样加重了工业污染的危害。

③ 技术水平、企业生产运营管理水平低，生产工艺陈旧落后，造成了企业高投入、浪费资源、低产出、高消耗、低效率的状况，物料流失现象严重，增加了污染。

④ 中小企业众多，乡镇企业发展过快，而其工艺、技术相对较落后，设备简陋，操作管理水平低，会造成更多的污染。

### 1.2.2 清洁生产的成因

由于工业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 70 年代人们开始广泛地关注由于工业飞速发展带来的一系列环境问题，采取了一些措施治理污染。一般采用的都是传统的末端治理方法。企业虽然在污染源排放口安置了治理污染物的设施，但是常常因为人力的短缺和较高的操作管理成本影响设施的使用和治理效率，加之管理的力度不够、执法不严导致一些废弃物直接排入环境。这样进行的环境保护污染治理工作，投入了大量的人力、物力、财力，结果并不十分理想。此时，人们意识到仅单纯地依靠末端治理已经不能有效地遏制住环境的恶化，不能从根本上解决工业污染问题。环境恶化

的问题得不到有效的解决，在相当大的程度上制约了经济的进一步发展。

高消耗是造成工业污染严重的主要原因之一，也是工业生产经济效益低下的一个至关重要的因素。在工业生产过程中的原料、水、能源等过量使用导致的结果是产生更多的废弃物，它们以水、气、渣的任何一种形式排放环境，到了一定的程度就会造成对环境的污染。若是对废弃物进行末端处置，将要进行生产之外的投入，增加企业的生产成本。假如通过工业加工过程的转化，原料中的所有组分都能够变成我们需要的产品，那么就不会有废物排出，也就达到了原材料利用率的最佳化，达到经济效益和环境效益统一的目的。人们正在不断地努力缩小实际与理论最佳点的距离，同时考虑其他费用成本的最小化问题。从生产工艺的观点来看，原料、能源、工艺技术、运行管理是对特定生产过程的投入，它是影响和决定这一特定过程产品和工业废物产出的要素，改变过程的投入，可以影响和改变产出，即产品和工业废弃物的收率、组成、数量和质量，从而减少废弃物的产生量。

环境污染已严重威胁到人类的生存与发展。其中大气污染、水污染和有毒化学品污染危害尤为突出，而造成环境污染的重要来源是工业生产。人类经过多年的寻求探索，思考工业发展造成这些环境问题的根本原因，渴望寻求一条能够推进工业可持续发展的最佳途径：在发展工业的同时，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。

走可持续发展道路就成为必然的选择，“清洁生产”是实施可持续发展战略的最佳模式。而人类科学技术进步为解决环境污染、降低消耗提供了新的技术手段，使“清洁生产”成为了现实可能。

朱镕基总理在人大九届二次会议上所作的《政府工作报告》中，提出了“鼓励清洁生产”的新主张，这是在国家最高级讲坛上，在政府最高层次的报告中第一次提出清洁生产。这就是说，清洁生产已正式提上国家的议程。

### 1.2.3 清洁生产的定义

为了保证在获得最大经济效益的同时使工业的工艺生产过程、产品的消费、使用以及处理对社会、生态环境产生最小的影响，1989年，联合国环境署率先提出“清洁生产”，亦被称为“无废工艺”、“废物减量化”、“污染预防”，得到国际社会普遍响应，是环境保护战略由被动转向主动的新潮流。

清洁生产有如下一些定义。

① 清洁生产是在产品生产过程和产品预期消费中，既合理利用自然资源，把对人类和环境的危害减至最小又充分满足人们的需要，使社会、经济效益最大的一种生产方式。

② 清洁生产是将污染整体预防战略持续地应用于生产全过程，通过不断改善管理和技术进步，提高资源综合利用率，减少污染物排放以降低对环境和人类的危害。

③ 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人类及环境的风险。

④ 联合国环境规划署与环境规划中心综合各种说法，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，给出了以下定义：清洁生产是指将综合预防的环境策略持续地应用于生产过程和产品中，以便减少对人类和环境的风险性。对生产过程而言，清洁生产包括节约原材料和能源，淘汰有毒原材料并在全部排放物和废物离开生产过程以前减少它的数量和毒性；对产品而言，清洁生产策略旨在减少产品在整个生产周期过程（包括从原料提炼到产品的最终处置）中对人类和环境的影响。清洁生产

不包括末端治理技术如空气污染控制、废水处理、固体废弃物焚烧或填埋，通过应用专门技术、改进工艺技术和改变管理态度来实现。对服务，要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

⑤ 美国环保局提出污染预防和废物最小量化。废物最小量化是污染预防的初期表述，现一般已用污染预防一词所代替。美国对污染预防的定义为：污染预防是在可能的最大限度内减少生产厂地所产生的废物量。它包括通过源削减（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）、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。常用的两种源削减方法是改变产品和改进工艺（包括设备与技术更新、工艺与流程更新、产品的重组与设计更新、原材料的替代以及促进生产的科学管理、维护、培训或仓储控制）。污染预防不包括废物的厂外再生利用、废物处理、废物的浓缩和稀释减少其体积，或有害性、毒性成分从一种环境介质转移到另一种环境介质中的活动。

⑥ 《中国 21 世纪议程》的定义：清洁生产是指既可满足人们的需要又可合理使用自然资源和能源并保护环境的实用生产方法和措施，其实质是一种物料和能耗最少的人类生产活动的规划和管理，将废物减量化、资源化和无害化，或消灭于生产过程之中。同时对人体和环境无害的绿色产品的生产亦将随着可持续发展进程的深入而日益成为今后生产的主导方向。

总之清洁生产是时代的要求，是世界工业发展的一种大趋势，是相对于粗放的传统工业生产模式的一种方式，概括地说就是：低消耗、低污染、高产出，是实现经济效益、社会效益与环境效益相统一的 21 世纪工业生产的基本模式。

清洁生产主要体现在以下几个方面。

① 尽量使用低污染、无污染的原料，替代有毒有害的原材料。

② 采用清洁高效的生产工艺，使物料能源高效益地转化成产品，减少有害于环境的废物量。对生产过程中排放的废物实行再利用，做到变废为宝、化害为利。

③ 向社会提供清洁的产品，这种产品从原材料提炼到产品最终处置的整个生命周期中，要求对人体和环境不产生污染危害或将有害影响减少到最低限度。

④ 在商品使用寿命终结后，能够便于回收利用，不对环境造成污染或潜在威胁。

⑤ 完善的企业管埋，在保障清洁生产的规章制度和操作规程，并监督其实施。同时，建设一个整洁、优美的厂容厂貌。

⑥ 要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

#### 1.2.4 清洁生产的内容

清洁生产使自然资源和能源利用合理化、经济效益最大化、对人类和环境的危害最小化。通过不断提高生产效益，以最小的原材料和能源消耗，生产尽可能多的产品，提供尽可能多的服务，降低成本，增加产品和服务的附加值，以获取尽可能大的经济效益，把生产活动和预期的产品消费活动对环境的负面影响减至最小。对于工业企业来说，应在生产、产品和服务中最大限度地做到：

① 节约能源，利用可再生能源，利用清洁能源，开发新能源，实施各种节能技术和措施，节约原材料，利用无毒和无害原材料，减少使用稀有原材料，现场循环利用物料、废弃物；

② 减少原材料和能源的使用，采用高效、少废和无废生产技术和工艺，减少副产品，

降低物料和能源损耗，提高产品质量，合理安排生产进度；

③ 培养高素质人才，完善企业管理制度，树立良好企业形象。

清洁生产包括以下三方面内容。

(1) 清洁能源 包括新能源开发、可再生能源利用、现有能源的清洁利用以及对常规能源（如煤）采取清洁利用的方法，如城市煤气化、乡村沼气利用、各种节能技术等。

(2) 清洁原料 少用或不用有毒有害及稀缺原料。

(3) 清洁的生产过程 生产中产出无毒、无害的中间产品，减少副产品，选用少废、无废工艺和高效设备，减少生产过程中的危险因素（如高温、高压、易燃、易爆、强噪声、强振动声），合理安排生产进度，培养高素质人才，物料实行再循环，使用简便可靠的操作和控制方法，完善管理等，树立良好的企业形象。

(4) 清洁的产品 节能、节约原料，产品在使用中、使用后不危害人体健康和生态环境，产品包装合理，易于回收、复用、再生、处置和降解。使用寿命和使用功能合理。

### 1.2.5 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一种新的现代化管理的手段，其特点有如下四点。

(1) 是一项系统工程 推行清洁生产需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，以有效的防止污染的产生。

(3) 经济性良好 在技术可靠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。

### 1.2.6 实施清洁生产的途径

清洁生产是一个系统工程，是对生产全过程以及产品的整个生命周期采取污染预防的综合措施。一项清洁生产技术要能够实施，首先必须技术上可行；其次要达到节能、降耗、减污的目标，满足环境保护法规的要求；第三是在经济上能够获利，充分体现经济效益、环境效益、社会效益的高度统一。它要求人们综合地考虑和分析问题，以发展经济和保护环境一体化的原则为出发点，既要了解有关的环境保护法律法规的要求，又要熟悉部门和行业本身的特点以及生产、消费等情况。对于每个实施清洁生产的企业来说，对其具体的情况、具体的问题、需要进行具体的分析。它涉及产品的研究开发、设计、生产、使用和最终处置全过程。工业生产过程千差万别，生产工艺繁简不一。因此，应该从各行业的特点出发，在产品的设计、原料选择、工艺流程、工艺参数、生产设备、操作规程等方面分析生产过程中减少污染物产生的可能性，寻找清洁生产的机会和潜力，促进清洁生产的实施。实施清洁生产主要途径有如下几种。

① 在产品设计和原料选择时以保护环境为目标，不生产有毒有害的产品，不使用有毒有害的原料，以防止原料及产品对环境的危害。

a. 产品设计和生产规模 产品的设计应该能够充分利用资源，有较高的原料利用率，产品无害于人体的健康和生态环境。反之，则要受到淘汰和限制。如含铅汽油作为汽车的动力油，因为在其使用过程中会产生对人体有害的含铅化合物而被淘汰；作为燃料的煤炭因为其燃烧会产生烟尘和硫化物而被限制使用。

产品设计中，工业生产的规模对原材料的利用率和污染物排放量的多寡以及经济效益有直接影响。例如制浆造纸企业碱回收的经济效益与制浆的规模密切相关，日产 50t 浆的草浆厂为碱回收的最小规模，日产 100t 浆和更大规模的草浆厂才有可能产生碱回收的经济效益。合理的工业生产规模在经济学称之为规模经济，它在投资、资源能源利用、生产管理、污染预防等方面较中小企业都有明显的优势。

b. 原材料选择 减少有毒有害物料使用，减少生产过程中的危险因素，使用可回收利用的包装材料，合理包装产品，采用可降解和易处置的原材料，合理利用产品功能，延长产品使用寿命。

原料准备是产品生产的第一步。原材料的选择与生产过程中污染物的产生量有很大相关性。例如化工行业的中小型聚氯乙烯生产，采用电石（乙炔）为原材料，产生大量的电石渣，对环境危害很大，同时加重了末端治理的负担。对于某种特定产品的生产来说，原材料的选择由多种因素决定，但是不能以牺牲环境为代价，或者以高昂的费用来处理、处置生产过程产生的大量废弃物，来弥补原材料选择的缺陷。

原材料的质量对于工业生产也非常重要，直接影响生产的产出率和废弃物的产生量。如果原材料含有过多的杂质，生产过程中就会发生一些不期望的反应，产生一些不期望的产品，这样既加大了处理、处置废弃物的工作量和费用，同时增加了原材料和废弃物的运输成本。

② 改革生产工艺，更新生产设备，尽最大可能提高每一道工序的原材料和能源的利用率，减少生产过程中资源的浪费和污染物的排放。

在工业生产工艺过程中最大限度地减少废弃物的产生量和毒性。检测生产过程、原料及生成物的情况，科学地分析研究物料流向及物料损失状况，找出物料损失的原因所在。调整生产计划，优化生产程序，合理安排生产进度，改进、完善、规范操作程序，采用先进的技术，改进生产工艺和流程，淘汰落后的生产设备和工艺路线，合理循环利用能源、原材料、水资源，提高生产自动化的管理水平，提高原材料和能源的利用率，减少废弃物的产生。

③ 建立生产闭合圈，废物循环利用。企业工业生产过程中物料输送、加热中的挥发、沉淀、跑冒滴漏、误操作等都会造成物料的流失——这就是工业中产生“三废”的来源。

实行清洁生产要求流失的物料必须加以回收，返回到流程中或经适当的处理后作为原料回用，建立从原料投入到废物循环回收利用的生产闭合圈，使工业生产不对环境构成任何危害。

我国农药、染料行业主要原料利用率只有 30% ~ 40%，其余都排入环境，大有用武之地。山东牟平电镀厂应用的电镀漂洗水概排（或微排）技术，使电镀漂洗水实现了闭路循环。

厂内物料循环有下列几种形式：将回收流失物料作为原料，返回到生产流程中；将生产过程中产生废料经适当处理后作为原料或替代物返回生产流程中；废料经处理后作为其他生产过程的原料应用或作为副产品回收。

④ 加强科学管理。经验表明，强化管理能削减 40% 污染物的产生，而实行清洁生产是一场新的革命，要转变传统的旧式生产观念，建立一套健全的环境管理体系，使人为的资源浪费和污染排放减至最小。加强科学管理的内容包括以下几点。

安装必要的高质量监测仪表，加强计量监督，及时发现问题；加强设备检查维护、维修、杜绝跑、冒、滴、漏；建立有环境考核指标的岗位责任制与管理职责，防止生产事故；完善可靠翔实的统计和审核；产品的全面质量管理，有效的生产调度，合理安排批量生产日程；改进操作方法，实现技术革新，节约用水、用电；原材料合理购进、贮存与妥善保管；产成品的合理销售、贮存与运输；加强人员培训，提高职工素质；建立激励机制和公平的奖惩制度；组织安全文明生产。

### 1.2.7 清洁生产的推行

推行清洁生产、保护环境的最終目的是要不断满足人们日益增长的物质、文化生活的需要，使人们享有丰富的精神和物质财富。清洁生产与工业企业管理和技术改造密切相关。清洁生产是提高企业管理水平的重要措施和思想；企业管理是企业推行清洁生产的基本保证和手段。企业良好的管理可以减少原材料的浪费，降低废弃物的产生，从而在降低生产成本和提高产品质量的同时，减少了污染物的排放和对环境的危害。企业实现清洁生产的另一重要的手段，是企业的技术进步和生产设备的技术改造。同时，清洁生产也使技术改造更具针对性，更有利于技术改造的实施，并使技术改造获得更佳的经济效益和环境效益。

发达国家在 20 世纪 60 年代和 70 年代初，由于经济快速发展，忽视对工业污染的防治，致使环境污染问题日益严重。公害事件不断发生，对人体健康造成极大危害，生态环境受到严重破坏，社会反映非常强烈。环境问题逐渐引起各国政府的极大关注，并采取了相应的环保措施和对策。例如增大环保投资、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，以控制和改善环境污染问题，取得了一定的成绩。

(1) 工业污染存在的原因 通过十多年的实践发现，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。其原因有以下几点。

① 随着生产的发展和产品品种的不断増加，以及人们环境意识的提高，对工业生产所排污染物的种类检测越来越多，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，为达到排放的要求，企业要花费大量的资金，大大提高了治理费用。即使如此，一些要求还难以达到。

② 由于污染治理技术有限，实质上很难达到彻底消除污染的目的。因为一般末端治理污染的办法是先通过必要的预处理，再进行生化处理后排放。而有些污染物是不能生物降解的污染物，只是稀释排放，不仅污染环境，甚至有的治理不当还会造成二次污染；有的治理只是将污染物转移，废气变废水，废水变废渣，废渣堆放填埋，污染土壤和地下水，形成恶性循环，破坏生态环境。

③ 只着眼于末端处理的办法，不仅需要投资，而且使一些可以回收的资源（包含未反应的原料）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。