



清洁生产理论与实践

张延青 沈国平 刘志强 主编



化学工业出版社

清洁生产理论与实践

张延青 沈国平 刘志强 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

前 言

清洁生产是一种谋求最小的环境影响，最少的资源能源使用，最佳的管理模式及最优的经济发展形式的先进生产方式。推行和实施清洁生产，是解决人类需求无限性与地球资源有限性这一人类社会可持续发展主要矛盾的创造性思想和主要手段；是实现“循环经济”、推进“生态文明建设”的重要途径；是在全球化市场环境下提升我国企业国际市场竞争力的必然要求；是转变“经济发展方式”，落实“科学发展观”，“提高综合国力”的最佳实践，是“安全发展”、“健康发展”的可靠保障。

自2003年1月1日《中华人民共和国清洁生产促进法》正式实施以来，清洁生产的理论与实践有了长足的发展。总结清洁生产的理论和实践成果，为企业实施清洁生产提供指导，为大学生提供具有实践意义的培训教材，为教学研究人员清洁发展研究提供帮助是本书编写的主要目的。

本书较以往的清洁生产书籍有所不同。首先本书根据清洁生产审核和清洁生产企业建设的实践，就清洁生产及其理论基础、清洁生产主要方法、清洁生产与经济社会的关系、清洁生产法制和标准体系建设、清洁生产技术发展趋势和管理提升途径、清洁生产咨询等进行了总结性、专题性的论述。其次本书针对企业这个现代社会的基本组织形式之一，为其推行清洁生产提出了在技术层面上实现信息化与工业化融合、在管理层面上实现各类体系的整合、在理念上实现清洁生产与低碳经济、绿色经济和循环经济融合，这是本书编写的一条主线，并力求在新的认识和发展视角上以“人本发展”思想，探讨“清洁生产理论”，指导企业的清洁生产实践。

本书由青岛理工大学教授张延青博士、青岛节能监察中心沈国平高级咨询师、青岛理工大学教授刘志强担任主编，由张延青策划，提出总体编写思路，并与沈国平、刘志强等一起讨论确认编写大纲和工作方案，由张延青完成统稿。全书编写分工如下：第一章由张延青、刘志强编写，第二章由沈国平、张延青编写，第三章由张延青、沈国平编写，第四章由沈国平、张延青编写，第五章由张延青、沈国平编写，第六章由刘志强、张延青编写，第七章由沈国平、张延青编写，第八章由沈国平、朱涛、张延青编写，研究生刘杨、徐洋、薛德亚同学参与了本书的资料收集、制图、排版和校对等工作。

本书的编写吸收了前辈和同行很多有价值的理论和实践成果，应用了作者在近十年的清洁生产咨询实践中的许多实际事例，在阐明理论的基础上力求实用，希望能够成为大专院校师生学习清洁生产相关知识的适用教材，也可以作为企业实施清洁生产的参考资料、清洁生产咨询机构的辅导材料。

整个书稿的编写过程中，得到了青岛理工大学领导、同仁的大力支持和关怀，同时得到了青岛市清洁生产主管单位青岛经济和信息化委员会工业园区管理处傅绍春处长、宋涛科长、青岛市商务局朱涛副处长；青岛电镀协会专家于廷杰前辈、青岛青啤集团解建强高级工程师、青岛节能监察中心侯树坤高级工程师、赵炳帅工程师的指导、支持与帮助，在此表示

衷心感谢。本书的出版还得到了青岛市许多清洁生产专家、环保专家、行业专家关心、帮助，青岛理工新环境技术开发有限公司清洁生产咨询部也给予了鼎力相助，在此一并表示诚挚感谢。同时感谢医学专家、书法爱好者潘之清教授为本书撰写了书名。

由于时间关系，尤其是编者水平有限，书中浅薄纰漏之处在所难免，恳请专家、学者、同行及读者们批评斧正。

编者
2011年11月

目 录

第一章 清洁生产及其理论基础	1	二、低碳经济提出的背景	59
第一节 清洁生产的概念	1	三、清洁生产与低碳经济的关系	61
一、清洁生产的定义	1	第三节 清洁生产与循环经济的关系	61
二、清洁生产与末端治理的区别和联系	5	一、循环经济的概念	61
三、清洁生产的作用和意义	6	二、循环经济的形成和发展	65
第二节 清洁生产的形成和发展	9	三、清洁生产与循环经济的关系	65
一、清洁生产形成的历史背景	9	本章思考题	67
二、清洁生产的形成过程	11	第四章 清洁生产法制和指标体系	
三、清洁生产的发展趋势	12	建设	68
第三节 清洁生产的主要理论基础	15	第一节 清洁生产法制建设	68
一、可持续发展理论	15	一、《清洁生产促进法》的立法背景	68
二、工业生态学理论	22	二、《清洁生产促进法》的立法指导思想和立法原则	71
三、生命周期评价理论	27	三、《清洁生产促进法》的框架结构和主要内容	72
四、废物与资源转化理论	38	四、《清洁生产促进法》重点法律条文释义	74
本章思考题	41	第二节 清洁生产指标体系建设	77
第二章 清洁生产的方法	42	一、国家清洁生产指标体系建设	77
第一节 清洁生产的方法论	42	二、企业清洁生产指标体系建设	80
一、系统论、控制论和信息论的基本思想	42	本章思考题	87
二、系统论、控制论和信息论对清洁生产的指导作用	43	第五章 清洁生产促进的基本途径	88
第二节 清洁生产一般技术方法	44	第一节 清洁生产与技术进步	88
一、源头削减	44	一、清洁生产技术及其分类	88
二、过程控制	44	二、清洁生产技术进步的途径和作用	89
三、回收利用	45	三、清洁生产技术进步发展趋势	91
第三节 清洁生产机会识别方法	45	第二节 清洁生产与管理提升	99
一、系统分析方法	45	一、企业管理体系建设	99
二、对标分析方法	46	二、清洁生产与管理体的关系	102
三、成功案例比照方法	49	三、各类管理体系的整合和融合	104
四、平衡分析方法	50	本章思考题	104
本章思考题	52	第六章 清洁生产审核	105
第三章 清洁生产与经济社会发展的关系	53	第一节 清洁生产审核的概念	105
第一节 清洁生产与生态文明建设的关系	53	一、清洁生产审核定义	105
一、生态和生态文明	53	二、清洁生产审核的目的	106
二、生态文明建设的主要内容	55	三、清洁生产审核的类型	106
三、清洁生产与生态文明建设的关系	57	四、清洁生产(审核)标准	106
第二节 清洁生产与低碳经济的关系	57	第二节 清洁生产审核过程	107
一、低碳经济的概念	57	一、清洁生产审核思路	107

二、清洁生产审核对象·····	108	主要原则·····	177
三、清洁生产审核主要程序·····	108	三、清洁生产企业建设的主要内容·····	178
四、清洁生产审核程序的应用方法·····	108	第四节 清洁生产企业建设过程·····	180
第三节 清洁生产审核的组织与实施·····	111	一、清洁生产企业建设的组织发动	
一、审核准备·····	111	阶段·····	181
二、预审核·····	115	二、清洁生产企业建设的清洁生产机会	
三、审核·····	119	识别阶段·····	181
四、实施方案的产生和筛选·····	125	三、清洁生产企业建设方案实施阶段·····	181
五、实施方案的确定·····	129	四、清洁生产企业建设持续促进阶段·····	182
六、方案实施·····	133	第五节 清洁生产企业建设现状和	
七、持续清洁生产·····	136	发展趋势·····	182
第四节 清洁生产审核平衡分析技术		一、清洁生产企业建设现状·····	182
与方法·····	137	二、清洁生产企业建设发展趋势·····	185
一、能量平衡·····	137	本章思考题·····	187
二、物料平衡·····	141	第八章 清洁生产咨询和国际交流 ·····	188
三、水平衡·····	143	第一节 清洁生产咨询的概念和特点·····	188
第五节 清洁生产审核报告编制·····	147	一、清洁生产咨询的概念·····	188
一、清洁生产中期审核报告·····	148	二、清洁生产咨询的特点·····	189
二、清洁生产审核报告·····	148	第二节 清洁生产咨询的分类和形式·····	189
本章思考题·····	170	一、清洁生产咨询分类·····	189
第七章 清洁生产企业建设 ·····	171	二、清洁生产咨询形式·····	191
第一节 企业和清洁生产企业·····	171	第三节 清洁生产的国际交流与合作·····	192
一、企业·····	171	一、清洁生产国际交流与合作的	
二、清洁生产企业·····	172	必要性·····	192
第二节 清洁生产企业建设的意义·····	175	二、清洁生产国际交流与合作的	
一、清洁生产企业建设是转变企业发展		内容和途径·····	192
方式的必然要求·····	175	本章思考题·····	201
二、清洁生产企业建设是提高企业参与		附录 1 《国家工业和信息化部行业	
全球化市场竞争能力的必然选择·····	176	清洁生产方案目录》 ·····	202
第三节 清洁生产企业建设的主要内容·····	177	附录 2 综合能耗计算通则 ·····	207
一、清洁生产企业建设法律和		附录 3 热量单位、符号与换算 ·····	211
政策依据·····	177	参考文献 ·····	214
二、清洁生产企业建设遵循的			

第一章 清洁生产及其理论基础

清洁生产是人类走向可持续发展道路的必然选择；是落实节约资源和保护环境的基本国策，是实现资源节约型、环境友好型社会的最佳实践；是落实节能减排目标任务、履行社会责任的重要抓手和切入点；是在全球化市场环境下激发创造力、提升竞争力、拓展持续力的必由之路。从理论上搞清楚什么是清洁生产及其发展趋势，是推行和实施、学习和研究清洁生产的前提条件。

第一节 清洁生产的概念

一、清洁生产的定义

• 清洁生产的概念是在人们对清洁生产不断认识与理解的基础上逐渐形成的，不同时期、不同国家有着不同的定义。

（一）联合国环境规划署（UNEP）清洁生产概念及其解释

1989年，联合国环境规划署（UNEP）巴黎工业与环境活动中心在总结了各国的经验后，率先对清洁生产做了如下定义：

清洁生产是对工艺产品不断运用一种一体化的预防性环境战略，以减少其对人类和环境的风险。

（1）对于生产工艺，清洁生产包括节约原材料和能源，消除有毒原材料，并在一切排放物和废物离开工艺之前，削减其数量和毒性。

（2）对于产品，其战略重点是在产品的整个生命周期，即从原材料获取到产品的最终处置，减少其各种不利影响。

1996年，联合国环境规划署（UNEP）在总结了各国开展的污染预防活动后，加以分析提高，完善了清洁生产的定义。其定义如下：

清洁生产是一种新的创造性的思想，该思想将整体预防的环境战略持续地应用于生产过程、产品和服务中，以增加生态效率和减少对人类和环境的风险，它包含3个环节：

① 对于生产过程，要求节约原材料和能源，淘汰有毒原材料，减降所有废物的数量和毒性；

② 对于产品，要求减少从原材料提炼到产品最终处置的全生命周期的不利影响；

③ 对于服务，要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

（二）其他国家清洁生产概念

清洁生产在不同的发展阶段或不同的国家也有不同的叫法，有的称为“废物减量化”，也有的称为“无废工艺”或“污染预防”等。

1. 废物减量化

废物减量化也称为废物最少化，指将产生的或随后处理、贮存或处置的有害废物数量减

少到可能的最小值，其结果减少了有害废物的总体积或数量，或者减少了有害废物的毒性，这种将有害废物对人体健康和环境目前及将来的威胁减少到最低限度的首要措施，就是废物的减量化。废物减量化包括源削减和有效益的利用、重复利用以及再生回收，但不包括用来回收能源的废物处置和焚烧处理。

德国在废弃物管理方面处于世界先进行列，是积极推行废物减量化及资源化的国家，也是最早采用立法形式治理废弃物的国家之一。德国的废弃物立法管理分三个大的阶段。

第一阶段是1972~1982年。1972年，德国颁布了《废弃物处理法》，开始了法治管理的新阶段。废弃物的处理包括废弃物收集、运输、处理、贮存及填埋等，业务机构是专门负责的法人社团，法律禁止废弃物所有者自行处理废弃物，废弃物处理实行许可证制度。

第二阶段是1982~1990年。1982年，德国对《废弃物处理法》进行了修改，将《废弃物处理法》改为《废弃物避免及处理法》，第一次引入了“避免和减少垃圾产生及垃圾再利用”的理念，垃圾治理的理念开始从末端治理向前端预防转变，垃圾治理的战略方针确定为优先考虑避免和减少垃圾的产生，垃圾的再利用在垃圾处理对策中具有优先权，不能再利用的垃圾才能进行最终填埋处理。此时，德国开始进入了从源头避免废物产生以及对废物进行再生利用的废物治理新阶段。

第三阶段是从20世纪90年代开始的。1991年，德国出台了《避免包装·容器废物产生条例》，这是世界上第一个最具影响力的关于包装材料减量化和循环利用的管理法规。1993年，德国出台了《废物处理技术规范》，规定从2005年起，垃圾卫生填埋场只能填埋经焚烧等前处理设施处理后的无机废物。1994年，又对《废弃物避免及处理法》进行了新一轮的修改，制定了新的《循环经济·废物法》，第一次在垃圾治理政策中提出了循环经济的观点，将垃圾治理理念上升到了循环经济和可持续发展的高度，要求实现物质“从摇篮到坟墓再到摇篮”的闭合循环，并确定了废物闭合循环管理的基本原则。

2. 无废工艺

无废工艺的概念是二十多年前由前苏联学者提出的，随即受到普遍的重视和赞同，不少国家的政府把创建无废工业生产作为经济发展的一项战略目标，有的甚至定为国策。近年来已召开过多次国际会议，探讨无废工艺的理论和方法，交流应用无废工艺的实际成果。

1979年11月，在日内瓦召开了“环境保护领域内进行国际合作的全欧高级会议”，会上通过《关于少废无废工艺和废料利用宣言》，指出无废工艺是使社会和自然取得和谐关系的战略方向和重要手段。通过这次国际会议，基本上把西方国家所称的“清洁工艺”、“少污染无污染工艺”、“无公害工艺”等统一为“少废无废工艺”。

美国环保局提出了污染预防和废物最小量化。废物最小量化是美国污染预防的初期表述，现一般都用“污染预防”一词代替。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（源削减是指：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、培训和仓储控制）。污染预防不包括废物的厂外再生利用、废物处理、废物的浓缩或稀释以及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。

1984年，联合国欧洲经济委员会在苏联塔什干主持召开的国际会议上对无废工艺作了进一步的定义：“无废工艺乃是这样一种生产产品的方法（流程、企业、地区、生产综合

体), 借助这种方法, 所有的原料和能量在原料资源—生产—消费—二次原料资源的循环中得到最合理和综合的利用, 同时对环境的任何作用都不致破坏它的正常功能。”

根据上述定义, 无废工艺首先是在认识上使征服自然、主宰自然的思想让位于谋求社会和自然的协调、人类作为生物圈的一个组分与其他组分和谐共存的思想, 把利用自然和保护自然统一起来。其次是根据工业系统的经济属性和生态属性将其扩展成一个生态经济大系统, 工业活动的目标不是单纯的内部经济性, 而是大系统的整体经济性, 并据此制定相应的经济政策。第三, 从物质转化的角度出发, 以原料的综合利用为中心, 考察原料开发—产品设计—生产—消费—回收二次资源的全过程, 实现物料在各个可能层次上的闭合循环。工业本身在能量推动下所进行的物料循环中不断发展和进化, 向生产的广度和深度进军。第四, 根据生态学原理, 规划、组织和管理区域的生态、生产和生活, 从当地的生态负荷出发确定生产的规模, 同时根据当时的生产水平有计划地调节人口数量和消费水平。在无废工艺的概念中包括无害、节能、省料、省地、复用、闭路等含义。当然, 所谓“无废”只是一种相对的概念, 一种理想的模式, 作为过渡形式可采用少废工艺。

3. 污染预防

污染预防是通过鼓励以源削减和环境安全地回收利用方式来减少污染物或废物的数量与毒性。强调从污染的产生源预防和减少污染的产生; 对无法预防的污染物应当以环境安全的方式进行再生利用。污染物的处理、处置或向环境中排放只能作为最后的手段。

20 世纪 80 年代, 人们逐渐认识到末端治理的弊端, 于是开始寻找新的办法控制污染。他们发现, “污染预防”是防治污染、保护环境的有效办法。经过几年的探索, “污染预防”这一新的思想得到不断完善。1990 年, 美国联邦政府颁布污染预防法案, 提出国家环境政策优先等级次序 (见表 1-1), 明确将污染预防列为环境政策的第一等级, 依次为废物再循环、废物处理和处置的顺序来管理废物。美国国家环保局开发并实施了一系列污染预防行动计划和项目, 在环境改善方面取得了很大进步。澳大利亚也制定了生态可持续发展的国家策略, 建立了促进生态可持续发展的框架, 其中包括废弃物的消除和最小化分析。1996 年, 欧盟制定了《综合污染预防和控制指令》规则, 要求各成员国将污染水平降至最低。1999 年, 加拿大环境保护法案明确规定, 政府致力于实现污染预防的国家目标, 将环境预防作为环境保护的优先途径。经验表明, 大约 50% 的污染物通过污染预防或简单的过程改进就可以避免, 这样会大大减少对环境的危害。

污染物产生的环境影响一般通过两种办法来补救: 消除污染物以及在污染物进入环境之前限制或消除污染物。除了直接清除污染物之外, 增加控制或隐藏污染物都不能使环境获得真正的改善, 例如, 末端治理作为一种传统环保途径, 是将污染物全部集中在尾部进行处理, 只把环境责任放在环保研究、终端管理等人员身上的一种事后处理方式。国家应倡导系统的、程序化的全面生态管理思想, 力求实现污染控制从传统的“治理型”向“预防型”的转变, 促进企业将环境因素渗透到企业的基本活动中, 改善企业环境行为, 减少环境影响。

表 1-1 环境政策优先等级

等级	环境政策	内 容
1	污染预防	在污染源头预防或减少污染
2	再循环	以环境安全的方式对不能预防的污染实行再循环
3	处理	以环境安全的方式对采取以上方法不能消除的污染进行处理
4	处置	以环境安全的方式处置废物或排入环境

（三）《清洁生产促进法》中清洁生产的概念及其解释

我国 2003 年正式颁布了《中华人民共和国清洁生产促进法》，对清洁生产做了权威性的定义。

1. 概念

《中华人民共和国清洁生产促进法》中所称的清洁生产，“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。”

2. 《清洁生产促进法释义》解释

① 1992 年，联合国环境与发展大会通过了《21 世纪议程》，首次正式提出了清洁生产的概念，指出实行清洁生产是取得可持续发展的关键因素。清洁生产在不同的发展阶段和不同的国家有不同的提法，但其内涵基本类似。目前各国还使用着许多类似的同义语，如“污染预防”、“清洁工艺”、“废物减量化”等。本法中的定义，主要是以联合国环境规划署对清洁生产的定义为参考确定的。清洁生产不包括末端治理技术，如空气污染控制、废水处理、焚烧或者填埋。

② 目前，我国已制定了多部环境保护方面的法律，如《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国环境噪声污染防治法》等，这些法律在为减轻污染对环境和公众健康的危害方面，规定了许多具体的污染防治措施。对于企业，要求他们采取各种污染治理措施，按照排放标准对产生的污染物进行处理后再向环境排放。这些措施都取得了一定的效果。但对于清洁生产而言，这些措施都属于“末端治理”，即在生产过程中不对污染物的产生加以控制，而是在生产过程结束后再对污染物进行处理，使其达到环境排放标准，这样的治理措施已经显示出了明显的缺陷：一是治理代价高；二是治理技术难度大；三是无助于减少生产过程中的资源浪费；四是行政监督管理成本过高。这都与清洁生产有着根本的区别，从该法规定的清洁生产定义来看，清洁生产是一种从生产源头进行控制，并且贯穿整个生产、使用过程的污染预防措施。所谓污染预防，就是在可能的最大限度内减少生产过程产生的全部废物流量，它包括通过源头削减，提高能源效率，在生产中重复再造循环使用投入的原料以及降低消耗量来合理利用资源。该定义提出了一个非常重要的概念，就是从源头削减污染，这是清洁生产的精髓。源头削减，就是指通过改变产品配方与设计，原料替代，工艺与流程改革，设备与技术改造，以及改进内部管理、维修、培训与仓储控制手段，对废弃物处理和处置以前，进行再生利用、减少进入废物流或释放到环境中的有害物质和污染物数量。因此，只有在生产和服务过程中，从源头削减污染，才是真正意义上的清洁生产。

③ 该定义的范围包含了全部的生产和服务领域。这样规定，从微观上讲，产品的整个生命周期必须有赖于清洁生产；从宏观上讲，国民经济的工业生产、农业、服务业等领域也都必须有赖于清洁生产。在这个定义的范畴下，依据本法，落实各级政府部门职责，开展企业乃至整个国民经济各领域的清洁生产，不断地推进我国清洁生产的发展水平。

（四）清洁生产的概念总结

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新的生产

方式。

② 清洁生产是一套科学系统的思想和方法，将污染整体预防战略持续地应用于生产、产品和服务中，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，同时达到节能、降耗、减污、增效、安全、健康目的的新的发展战略。

二、清洁生产与末端治理的区别和联系

末端治理是指对人类生产活动已经产生的污染物实施的物理、化学、生物方法的治理，力求把对环境的污染控制在尽可能低的水平上，这是末端治理理论的主要思想。清洁生产是指对污染物实行“源头削减”、“全过程预防”，从而使环境污染降到最低，这是清洁生产理论的主要思想。

1. 清洁生产与末端治理的联系

清洁生产与末端治理的联系主要表现是，都以保护环境为最终目标。清洁生产通过生产全过程控制，减少甚至消除污染物的排放，但是它与末端治理二者并非互不相容。推行清洁生产还需要末端治理，末端治理在污染防治上是不可缺少的。这是因为工业生产无法完全避免污染的产生，最先进的生产工艺也不能避免产生污染物，用过的产品也必须进行最终处理、处置。只有共同努力，实现生产全过程和治理污染过程的双控制，才能保证清洁生产最终目标的实现，才能从根本上体现经济效益、环境效益和社会效益的统一。

2. 清洁生产与末端治理的区别

清洁生产是从生产过程中减少污染物的产生，是工业污染防治的最佳模式和有效途径，它所强调的是全社会对于环境问题的关注和工业产品生产及使用全过程中污染的预防，显示出一种积极、主动的态度。它的最大优势是实现了经济效益、环境效益和社会效益三者的统一。从国外经验和国内清洁生产的实践上看，清洁生产不仅带来可观的环境效益和社会效益，还能给企业带来良好的经济效益，普遍受到企业的欢迎。而末端治理只有环境效益，把环境责任只放在环保研究、管理人员身上，仅仅把注意力集中在已经产生的污染物的处理上，始终是一种“头痛医头、脚痛医脚”的被动的、消极的治理措施。清洁生产与末端治理相比，两者的本质区别是“防”与“治”的区别（见表 1-2），清洁生产的本质是污染预防，强调污染物的源削减；末端治理的实质是污染治理，强调污染产生后的治理。具体而言，两者的差异主要表现在以下几点。

第一，清洁生产是一种对工业生产全过程进行的综合污染预防和控制，以实现“废物最小量化”的“源头削减”型战略，它改变了工业污染“末端治理”的传统模式，要求从选择原料、确定工艺路线和设备，到废物利用、运行管理的各个环节，都全面体现减少乃至消除污染物产生的要求，能够较好地解决“末端治理”与生产过程脱节，以及既耗损成本又不利于污染源根治的不足，有利于合理有效地使用原材料和能源，有利于降低生产成本、减少工业污染的产生和排放。正因如此，它才成为世界各国实施可持续发展战略的主要措施和优先领域。

第二，清洁生产体现的是一种集约型的发展方式，它要求改变以牺牲环境为代价和要素驱动经济增长的粗放型发展模式，走内涵型的发展道路。为实现这一目标，企业必须大力调整产业结构，革新生产工艺，优化生产过程，提高技术装备水平，加强科学管理，提高人员素质，实现节能、降耗、减污、增效，合理、高效配置资源，最大限度地提高资源利用率。因此，它相对于传统“末端治理”方式而言，具有更节省地利用资源和更高效率地产出等优越性，并且在经济增长的同时能够带来更多的社会公共福利。

第三,清洁生产对环境技术的提高有着迫切的需求,为了在生产过程、产品生命周期内和服务领域持续地应用整个预防的环境保护战略,它要求对技术进行相应的选择和开发。但清洁生产反对将“污染的”技术与“干净的”或“绿色的”技术截然对立起来,它坚持认为,只要优化物质与能量流,所有的技术都会变得越来越“清洁”;只要以绿色工艺和无废物加工为主线,对生产要素、生产条件、生产组织进行重新组合和优化组合,就可以建立效能更好的生产体系和科技开发、市场营销、质量、环境、安全、健康认证等保障体系,找到环境效益与经济效益的结合点。这一观点,对于那些技术水平和技术装备还不可避免地受到种种局限的企业来说,不仅更易于接受,而且更有现实的可行性。

表 1-2 清洁生产与末端治理的比较

项 目	清洁生产	末端治理(不含综合利用)
两者区别	预防	治理
实施环节	污染物消除在生产过程中	污染物产生后再处理
产生时代	20世纪80年代末期	20世纪70~80年代
控制阶段	生产全过程控制,产品生命周期全过程控制	污染物达标排放控制
控制效果	比较稳定	受产污量影响
产污量	直接、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	无明显变化
资源耗用	减少	增加(治理污染消耗)
产品产量	增加	无明显变化
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

三、清洁生产的作用和意义

(一) 清洁生产的作用

清洁生产的作用可从宏观与微观作用加以理解。

1. 清洁生产的宏观作用

推行清洁生产是一项全社会都应参与的系统工程,推动社会进步与自然的和谐发展是清洁生产的宏观作用。具体表现是:第一,清洁生产是预防工业污染、促进社会和经济发展的全新理念和指导思想,它应贯穿于社会经济发展的各个领域,达到保护环境和发展经济的双赢目的。第二,清洁生产是一套预防性、综合性的系统方法,为减少污染物的产生和排放,人们的生产和生活要按清洁生产的途径方法进行审核,筛选并实施污染防治的方案。第三,清洁生产是一个目标,社会各界,尤其是工业企业都应实现这个目标,做到使用清洁的原料、能源、工艺、设备和采用无污染、少污染的生产方式,生产清洁的产品,实施清洁的服务,实现全社会可持续发展的宏伟目标。

2. 清洁生产的微观作用

实施清洁生产是每个企业或组织都应参与的系统工程,推动企业进步、实现企业三个效益共赢是清洁生产的微观作用。企业通过实施清洁生产,提升了企业管理水平、装备水平和技术水平;优化了企业的产品结构和资源消耗结构;提高了企业或组织参与全球化市场竞争

的能力。尤其是企业通过清洁生产审核这个有效手段达到核对有关单元操作、原材料、能源、用水、产品和废料的资料；确定废物的数量、来源和类型，确定废物削减的目标，制定经济有效的废物控制措施；判定企业效率低下的制约点和管理不完善的地方；提高企业对由削减废物获得效益的认识；提高企业产品质量，实现经济效益、环境效益和社会效益的全面改善。

(二) 实施清洁生产的意义

1. 推行清洁生产是实施可持续发展的必然选择和重要保障

虽然我国的经济迅速发展，但有些企业尚未达到经济与环境持续协调发展的“双赢”模式。有些企业一直沿用着以大量消耗资源和能源、依靠经济要素驱动的粗放经营为特征的传统发展模式，通常是通过高投入、高污染来实现较高的经济增长速度。有些企业没有合理利用能够作为资源的废弃物，只满足于末端治理达标排放。因此，这种以浪费资源和能源为代价的粗放型经营是不可持续的，必将导致经济发展和环境保护的对立，也将受到资源短缺的严重制约，随着国家资源价格控制的加强，这种反作用将越来越明显。同时，如果没有经济实力的支持，环境保护也不能持续下去，这既不符合当代人的愿望，也不符合后代人的利益。清洁生产持续地将污染预防战略应用于生产过程和服务中，强调从源头抓起，着眼于生产过程控制，不仅能最大限度地提高资源能源的利用率和原材料的转化率，减少资源的消耗和浪费，保障资源的永续利用，而且能把污染消除在生产过程中，最大限度地减少环境保护和末端治理的负担，改善环境质量。可以说，清洁生产是实现经济与环境协调可持续发展的有效途径和最佳选择。

2. 清洁生产是促进经济发展方式转变，提高经济增长质量和效益的有效途径和客观要求

当前，我国经济发展面临的突出问题是经济效益低、增长的质量不高，主要原因在于企业尚未摆脱粗放型经营方式，结构不合理，技术装备落后，能源、资源消耗高、浪费大、利用率低等，且多数企业的管理缺乏科学性和最优化参数指标，操作随意性、盲目性问题突出，员工素质和技能普遍较低。这就导致我国企业具有单位产品能耗高，与国际先进水平差距明显的特点。据有关资料，目前我国单位产品的能耗比发达国家要高出两三倍。一些主要工业设备在节能方面和国外先进水平的差距大约在15%~20%，中国的单位GDP能耗如果是1吨标准煤/万元，世界平均水平则是0.29吨标准煤/万元，日本目前是0.10吨标准煤/万元。据权威部门预测，按照日本每年每人5.8吨标准煤计算，中国到2020年能源需求将达到60亿吨标准煤。按照美国现在11.7吨标准煤计算，中国2020年能源需求将高达100亿吨标准煤。中国主要高耗能产品能耗及与国际水平的比较详见表1-3。

表 1-3 中国主要高耗能产品能耗及国际比较

主要高耗能产品能耗	中国		国际先进水平	2008年差距	
	2005年	2008年		能耗	+
煤炭生产电耗/(kW·h/t)	30.45	25.5	17.0	8.5	50.0
火电发电煤耗/[gce/(kW·h)]	343	322	299	23	7.7
火电供电煤耗/[gce/(kW·h)]	370	345	312	33	10.6
吨钢可比能耗/(kgce/t,大中型企业)	732	709	616	93	15.1
电解铝交流电耗/(kW·h/t)	14680	14323	14100	223	1.6
铜冶炼综合能耗/(kgce/t)	780	564	500	64	12.8

续表

主要高耗能产品能耗	中国		国际先进水平	2008年差距	
	2005年	2008年		能耗	+%
水泥熟料热耗/(kgce/t)	133	120	103	17	16.5
水泥综合电耗/(kgce/t)	92	90	82	8	9.8
平板玻璃综合能耗/(kgce/重量箱)	22	16.6	15	1.6	10.7
原油加工综合能耗/(kgce/t)	114	108	73	35	47.9
乙烯综合能耗/(kgce/t)	1073	1003	629	374	113.7
纯碱综合能耗/(kgce/t)	396	378	310	68	21.9
电石电耗/(kW·h/t)	3450	3213	3030	183	6.0
纸和纸板综合能耗/(kgce/t)	1380	1153	640	513	80.2

由此可知,能源消耗过大,不仅是造成企业成本上升,经济效益低下,缺乏竞争力的主要原因,又是大量排放污染物、造成环境污染的主要原因。要有效地解决这些问题,必须转变经济发展方式,通过实施清洁生产,为企业和工业发展提出全新的目标,即最大限度地提高资源和能源的利用率,减少污染物的产生和排放量。要实现这一目标,就必须加强企业结构调整、科学管理、革新工艺技术、优化生产过程控制、提高员工素质和技能,使企业真正走上合理、高效配置资源与能源的集约型经济模式。因此,清洁生产包含了企业深化改革、转变经济发展方式的丰富内涵,是实现粗放型经营向集约型发展模式转变的体现,必将有力地促进经济的运行质量和企业经济效益的提高。

3. 清洁生产是现代工业发展的基本模式和现代文明的重要标志,是企业树立良好社会形象的内在要求

首先,清洁生产克服了末端治理的固有缺陷,无论是思想观念、管理方式,还是技术工艺革新和设备维护与生产控制,都会得到较大的改善和提高,体现可持续发展的要求,是工业文明的重要标志。

其次,清洁生产有利于提高企业的整体素质,提高企业的管理水平。清洁生产不仅可为生产控制和管理提供重要的基础资料和数据,而且要求全员参加,强调管理人员、工程技术人员和劳动生产人员业务素质 and 技能的提高。

再次,清洁生产的开展还有利于改善企业工作环境,减少对职工健康的不利影响,消除安全隐患,减轻末端治理负担,减少污染物的产生和排放量,改善周边环境质量。

最后,企业要生产、发展和壮大,离不开社会各界的理解和支持。如果仍采用浪费资源、污染环境的粗放型经营模式,不仅会给企业带来沉重的经济负担,而且会造成更加严重的环境污染,且会给企业带来巨大的社会压力。采用清洁的、无害或低害的原材料,采用清洁的生产过程,生产无害或低害的产品,实现少废或无废排放,不仅可提高企业竞争力,而且有助于在社会树立良好的环保形象,得到公众的认可和支

4. 实施清洁生产有利于消除国际环境贸易壁垒

近年来,在国际贸易中环境贸易壁垒日益成为发达国家手中的一个贸易“杀手铜”。发达国家凭借高新技术,在国际贸易中对发展中国家的产品提高环境标准要求,使发展中国家在国际贸易中处于不利地位。经济全球化在进一步推动中国与国际市场接轨的同时,也要求中国企业不断扩大对环境技术的要求,提高企业的环境保护水平,改善环境质量和产品的环境质量要求。由于我国产业结构不尽合理,高污染行业较多,面对日益严峻的资源和环境形

势，面对国际市场激烈的竞争，面对“绿色贸易壁垒”的压力，加快推行清洁生产势在必行。在发达国家中清洁生产产品等同于环境标志产品，在国际市场上颇具竞争力。开展清洁生产，不仅可改善环境质量和产品性能，增加国际市场准入的能力，减少贸易壁垒的影响，还可帮助企业赢得更多的用户，提高产品的竞争力，可谓一举多得。

5. 开展清洁生产是促进环保产业发展的重要举措

环保产业已经形成一个巨大的国际市场。据统计，2000年，全世界环保工业与服务市场交易额每年达3000亿美元，包括环境咨询服务、污染控制和处理设施等。其中美国占1000亿美元，日本和欧洲占1000亿美元，其他国家总共占1000亿美元。世界环保市场正以每年5%~20%的速度增长，环保产业是朝阳工业。我国环保工业年生产总值40亿元人民币（相当于6亿美元），出口产品仅为0.2亿美元，在国际环保工业市场中所占比例不足万分之一，中国环保产业大有发展潜力。

清洁生产提出“源头削减”、“过程控制”、“循环利用”等一系列新的要求，为我国环保产业提供了广阔的市场发展契机。围绕清洁生产的这些新要求，激发了我国环保产业的创新热潮，我国环保产业将研制出许多服务于“源头削减”、“过程控制”、“循环利用”等领域的新工艺、新技术、新设备，以适应清洁生产的要求；反过来，环保产业的发展，又可以促进清洁生产的更好发展。

因此，中国的环保产业应加强服务于清洁生产的工艺技术及其设备的研究与开发，并尽快适应国内市场需求，同时总结改进、消化吸收国外新技术、新成果，创新形成中国式的先进适用的技术体系，以便在日趋激烈的国际竞争中占有一席之地。

第二节 清洁生产的形成和发展

清洁生产是在较长的工业污染防治过程中逐步形成的，也可以说是世界各国几十年来工业污染防治基本经验的结晶。面对环境污染日益严重、资源日趋短缺等一系列制约人类发展的世界性难题，工业发达国家在对其经济发展过程进行反思的基础上，认识到不改变长期沿用的大量消耗资源和能源来推动经济增长的传统模式，单靠污染后采取一些补救性的环境保护措施，是不能从根本上解决环境问题的，解决的办法只有从源头削减，全过程控制。为此，清洁生产应运而生。

一、清洁生产形成的历史背景

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。20世纪中叶发生的恶性污染事件（见表1-4），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。但是，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，进入21世纪发生的几个污染事件（见表1-5）说明着一切。其原因在于：

第一，随着生产的发展和产品品种的不断增多，以及人们环保意识的提高，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。即便如此，一些环保要求还是难以达到。

第二, 由于污染治理技术有限, 治理污染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最常用的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。

第三, 只着眼于末端处理的办法, 不仅需要投资, 而且一些可以回收的资源(包含未反应的原料)得不到有效地回收利用而流失, 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。

表 1-4 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 ₂	比利时	1930	几千人生病, 60 人死亡	山谷工厂多、逆温天气
多诺拉烟雾	烟尘、SO ₂	美国	1948	20 多人生病, 17 人死亡	工厂多、逆温、大雾
伦敦烟雾	烟尘、SO ₂	英国	1952	5 天内 4 千人死亡	烟煤取暖、逆温
洛杉矶光化学烟雾	石油尾气、汽车尾气	美国	1943	多数人生病, 400 位老人死亡	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 人生病, 50 人死亡	氯生产中的催化剂
富山骨痛病	镉	日本	1931~1972	280 人生病, 34 人死亡	炼锌厂含镉废水
四日市哮喘	SO ₂ 、烟尘、重金属粉尘	日本	1955	500 人生病, 36 人死亡	工厂排放量多
米糠油	多氯联苯	日本	1968	近万人生病, 16 人死亡	有害有机物多氯联苯进入食用油

表 1-5 21 世纪发生的国外部分公害事件

事件名称	发生地点	发生年份	危害情况	公害原因
饮用水污染	匈牙利	2006	1200 人中毒	洪水流入城市水系统造成饮用水污染
水污染	巴基斯坦	2006	9 人死亡, 超过 1.9 万人出现不适症状	供水管道遭污水污染
有毒工业废液污染事件	科特迪瓦	2006	7 人死亡, 2 万 6 千多人中毒	外国货轮非法倾倒数百吨有毒工业废液, 废液排出有毒气体
饮用水碱污染	美国	2007	100 多名人员中毒, 影响了约 6 千名居民的生活	供水系统碱过量
墨西哥湾漏油事件	美国	2010	造成 5000 多平方公里的污染区, 11 名工作人员死亡	位于墨西哥湾的“深水地平线”钻井平台爆炸, 引发大火, 造成原油泄漏
铝厂毒液泄漏	匈牙利	2010	9 人死亡, 150 人中毒, 损失上亿美元	铝厂废物池泄漏, 约 100 万立方米有毒废水排入附近村镇

第四, 实践证明, 预防优于治理。根据日本环境厅 1991 年的报告, “从经济上计算, 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”。例如就整个日本硫氧化物造成的大气污染而言, 排放后不采取对策所产生的受害金额是提前预防这种危害所需费用的 10 倍。以水俣病为例, 其推算结果为 100 倍, 两者之差极其悬殊。

据美国环保局统计, 美国用于空气、水和土壤等环境介质污染控制总费用(包括投资和运行费), 1972 年为 260 亿美元(占 GNP 的 1%), 1987 年猛增至 850 亿美元, 80 年代末达到 1200 亿美元(占 GNP 的 2.8%)。如杜邦公司每磅^①废物的处理费用以每年 20%~30%的

① 磅 (lb), 1 lb=0.4536kg, 全书同。

速率增加, 焚烧一桶危险废物可能要花费 300~1500 美元。即使付出如此之高的经济代价, 仍未能达到预期的污染控制目标, 末端处理在经济上已不堪重负。

因此, 发达国家通过治理污染的实践逐步认识到, 防治工业污染不能只依靠治理排污口(末端)的污染, 要从根本上解决工业污染问题, 必须“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 年代末期以来, 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。

二、清洁生产的形成过程

1960 年, 美国学者鲍丁提出的宇宙飞船经济理论, 指出我们的地球只是茫茫太空中一艘小小的宇宙飞船, 人口和经济的无序增长迟早会使船内有限的资源耗尽, 而生产和消费过程中排放的废料将使飞船受到污染, 毒害船内的乘客, 此时飞船会坠落, 社会随之崩溃。为了避免这种悲剧, 必须改变经济发展方式, 从“消耗型”改为“生态型”, 从“开环式”转为“闭环式”。经济发展目标应以福利和实惠为主, 而并非单纯地追求产量。

成立于 1968 年的“罗马俱乐部”对人类未来面临的困境进行了深刻的讨论。1972 年, 罗马俱乐部发表的第一个研究报告《增长的极限》, 预言经济增长不可能无限持续下去, 因为石油等自然资源的供给是有限的, 做出了世界性灾难即将来临的预测, 设计了“零增长”的对策性方案, 在全世界引发了一场持续至今的大讨论。报告指出: 未来人类的发展焦点应该集中在资源的合理利用和整个人类的生存方面, 提出了“有组织性的增长”的概念。这一时期还相继出现了一些影响深远的著作, 如《人类处在转折点》、《熵——一种新的世界观》、《寂静的春天》、《未来的冲击》、《第三次浪潮》和《世界面临挑战》等, 认真分析了人类面临的环境问题和污染成因, 深刻反思了人类的发展历程。从此, “环境与发展”问题正式成为人类发展中最突出、最紧迫的全球性任务, 引起高度关注。

1972 年, 在巴西里约热内卢召开了世界环境与发展大会, 提出了五个方面的转变: 包括思想观念的转变, 要求人类从征服自然转变为与自然友善相处, 从技术论转变为生态论; 人口增长的转变, 要求人口增长要与环境承载力相适应; 能源结构的转变, 从利用不可再生能源转变到利用可再生的清洁能源; 经济发展战略的转变, 从消费型转向效率型, 并兼顾当代人和后代人的利益; 工业模式的转变, 从环境有害转为环境友好模式。随着认识的日益深刻和科技的飞速发展, 清洁生产的轮廓已初步形成, 人类逐渐进入环境保护的新阶段, 即清洁生产阶段。

国际上清洁生产的概念, 最早可追溯到 1976 年, 这一年的 11 月和 12 月间欧洲共同体在巴黎举行了“无废工艺和无废生产的国际研讨会”, 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。1979 年 4 月, 欧洲共同体理事会宣布推行清洁生产的政策, 并于同年 11 月在日内瓦举行的“在环境领域内进行国际合作”的全欧高级会议上, 通过了《关于少废无废工艺和废料利用的宣言》, 指出无废工艺是使社会和自然取得和谐关系的战略方向和主要手段。

美国是世界上第一个全面推行清洁生产的国家。1984 年, 美国国会通过了《资源保护与回收法——固体及有害废物修正案》, 该法案明确规定: 废物最小化即“在可行的部位将有害废物尽可能地削减和消除”是美国的一项国策, 它要求产生有毒有害废物的单位应向环境保护部门申报废物产生量、削减废物的措施、废物的削减数量, 并制定本单位废物最少化的规划。其中, 基于污染预防的源削减和再循环被认为是废物最小化对策的两个主要途径。在废物最小化成功实践基础上, 1990 年 10 月, 美国国会又通过了《污染预防法》, 将污染