

# 上篇 清洁生产理论

1000

# 第一章 清洁生产概论

## 第一节 清洁生产的由来及概念

### 一、清洁生产的由来

#### 1 清洁生产的提法

清洁生产在不同的国家和地区有许多不同而相近的提法。例如，欧洲国家有的称之为“少废无废工艺”、“无废生产”；日本多称为“无公害工艺”；美国则称之为“废料最少化”、“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/友善工艺”、“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”、“污染削减”、“再循环”等。这些不同的提法实际上描述了清洁生产概念的不同方面，其本质是一样的，其基本内涵都是对产品和产品的生产过程采用预防污染的战略来减少污染物的产生。表 1-1 汇集了部分与清洁生产相关的名称。

表 1-1 部分与清洁生产相关的名称

中 文	英 文
预防 and 预防战略	Anticipate—and—prevent strategies
规避战略	Avoidance strategy
首尾源管理	Front—end resource management
废物预防	Waste prevention
源削减	Source reduction
源控制	Source control
清洁工艺	Clean technology
低、无废物工艺	Low—and non—waste technology
低废物工艺	Low—waste technology
低污染工艺	Low—polluting technology
污染控制工艺	Pollution control technology
废物预防	Waste prevention
废物规避	Waste avoidance
废物削减	Waste reduction
污染预防	Pollution prevention
废物最小化	Waste minimization

我国以往比较通行“无废少废工艺”的提法。1989年联合国环境规划署（UNEP）首次提出了“清洁生产”（Cleaner Production）这个术语，目前已得到全世界绝大多数国家的认可。

## 2. 清洁生产的发展概况

清洁生产的出现是历史的必然。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。面对严重事实，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。从 20 世纪 50 年代至 70 年代，尽管人类为治理污染付出了巨大代价，全球性的环境问题依然日趋严重。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。

经过一个时期的孕育，“清洁生产”逐渐成型问世。1976 年 11~12 月间欧洲共同体在巴黎举行了“无废工艺和无废生产国际研讨会”，标志着清洁生产正式提到人类议事日程。在这次会议上，与会者提出了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这一思想。

1979 年 4 月欧洲共同体理事会宣布推行清洁生产的政策。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。此后召开了不少地区性的、国家的和国际性的研讨会。1984、1985、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。

美国国会于 1984 年通过了《资源保护与恢复法——固体及有害废物修正案》。明确规定：废物最少化，即“在可行的部位将有害废物尽可能地削减和消除”是美国的一项重要政策。这项法案要求产生有毒有害废弃物的单位应向环境保护部门申报废物产生量、采取削减废物的措施、废物的削减量，并制定本单位废物最少化的规划。源削减和再循环被认为是废物最小化的两个主要途径。1990 年 10 月美国国会又通过了《污染防治法》从法律上确认污染首先应当削减或消除在其产生之前。美国当时的总统布什针对这一法案发表讲话指出：着力于管道的末端和烟囱的顶端，着力于清除已经造成的损害，这样的环境计划已不再适用。我们需要新的政策、新的工艺、新的过程，以便能预防污染或使污染减至最小，亦即在污染产出之前即加以制止。

《污染防治法》明确指出源削减与废物管理和污染控制有原则区别，且更尽人意。并再次宣布：污染物应在源处尽可能地加以预防和削减；未能防止的污染物应尽可能地以对环境安全的方式进行再循环；未能通过预防和再循环消除的污染物应尽可能地以对环境

安全的方式进行处理；处置或排入环境只能作为最后的手段，也应以对环境安全的方式进行，这是美国的一项国策。

1988 年秋，荷兰技术评价组织在经济部和环境部的支持下，在工厂企业中进行了防止废物产生的大规模调查，并在 10 家工业公司中进行了污染预防的试点。这项由一些大学生参加称作 PRISMA 的研究项目取得了重大的成果。实践表明，防止废物产生可以通过多种途径得以实现，而且预防措施往往能获得可观的经济效益。研究中还估计了在企业中开展污染预防活动所遇到的障碍，并对制定有效的环境政策提出了建议。实施这一试点工作时，荷兰以美国环保局的《废物最少化机会评价手册》为蓝本，编写了荷兰手册。荷兰手册又经欧洲预防性环保手段（PREPARE）工作组作了进一步修改，编成《PREPARE 防止废物和排放物手册》，并译成英文，广泛应用于欧洲工业界。

实践活动确认实施清洁生产活动可以取得如下的效果：

- (1) 更容易达到环保法规的要求；
- (2) 通过节能、降耗、减污 降低生产成本 提高经济效益；
- (3) 有效保护工人安全，保护公众健康，保护生态环境；
- (4) 促进能源结构的调整和利用方式的改善；
- (5) 优化产业结构和布局；
- (6) 推动产品的升级换代，增强市场的竞争能力；
- (7) 发挥技术进步的作用，通过技术改造，实现经济的持续发展和经济与环境的良性循环。

1989 年联合国环境规划署工业与环境计划活动中心（UNEP IE/PAC）根据 UNEP 理事会的决议，制定了《清洁生产计划》，在全球范围内推行清洁生产。这一计划主要包括五个方面的内容：

(1) 建立国际清洁生产信息交换中心，收集世界范围内关于清洁生产的新闻和重大事件、案例研究、有关文献的摘要、专家名单等信息资料，并建立了一个包含 600 个实例、1200 篇出版物摘要的数据库。

(2) 组建工作组。专业工作组有制革、纺织、溶剂、金属表面加工、纸浆和造纸、石油、生物技术，业务工作组有数据网络、教育、政策以及战略等。

(3) 出版工作。包括编写、出版《清洁生产通讯》、培训教材、手册等。

(4) 开展培训活动。面向政界、工业界、学术界人士，以提高清洁生产意识，教育公众，推动行动，帮助制定清洁生产计划。

(5) 组织技术支持。特别是在发展中国家，协助联系有关专家，建立示范工程等。

1990 年 9 月在英国坎特伯雷举办了“首届促进清洁生产高级研讨会”，会上提出了一系列建议，如支持世界不同地区发起和制定国家级的清洁生产计划，支持创办国家级的清洁生产中心，进一步与有关国际组织以及其他组织联结成网等。

此后，这一高级国际研讨会每两年召开一次，以便定期评估进展，交流经验，发现问题，提出新的目标。1998 年在汉城举行了第五届会议，会上制定和签署了《清洁生产国际宣言》。

1992 年 6 月联合国环境与发展大会发表的《里约环境与发展宣言》中确认“地球的整

体性和相互依存性”；环境保护工作应是发展进程中的一个整体组成部分”；各国应当减少和消除不能持续的生产和消费方式”。大会通过的《21世纪议程》中不少章节多次提及与清洁生产有关的内容，从不同角度勾画出了清洁生产的轮廓，表明清洁生产是实现可持续发展的“关键因素”。

巴西会议进一步推动了清洁生产在世界范围内的实施，对清洁生产的认识也逐渐深化。1992年10月，为落实巴西会议的精神，UNEP IE/PAC又在巴黎发起召开了关于清洁生产的部长级会议暨第二届高级研讨会。来自欧洲、美洲、非洲的9国环境部长或工业部长以及10余位国际组织的高级人士参加了部长级会议。UNEP的执行主席及其高级助手主持了会议。参加高级研讨会的有来自50多个国家的200多位学者、环保官员、工业界人士以及非政府组织的代表。会议回顾了自上届坎特波雷会议以来《清洁生产计划》的进展情况，就下一步应采取的行动自由交换了意见，对于在世界范围内“催化”清洁生产的实施取得了共识。

世界可持续发展工商理事会（WBCSB）于1992年从经济的角度提出了“生态效率”的概念。1994年在德国学者施密特·勃利克的倡议下成立了《Factor 10》国际俱乐部，致力于将生态效率提高10倍的各项活动。一些对生产全过程控制的关注正逐渐向产品和服务生命周期的全过程控制扩展，使清洁生产的努力渗透到消费领域。

国际组织也开始参与推行清洁生产。联合国工业发展组织和联合国环境规划署（UNIDO/UNEP）在首批9个国家（包括中国）资助建立了国家清洁生产中心（NCPC）。目前世界上已经出现了37个国家清洁生产中心。世界银行（WB）等国际金融组织也积极资助在发展中国家展开清洁生产的培训工作和建立示范工程。国际标准化组织（ISO）制订了以污染预防和持续改善为核心内容的国际系列标准ISO 14000。发源自美国的污染预防圆桌会议这种交流形式正在迅速向其他地区和国家扩散，地区性的研讨会使清洁生产的活动遍及世界各大洲。

在2002年9月于南非召开的可持续发展世界最高级会议上，联合国环境规划署公布了一份全球清洁生产现状报告，这份报告突出了自1992年联合国环境与发展大会（UNCED）以来取得的进展，其重点为已取得的成就和需要做更多工作的领域，这个现状报告包括有清洁生产的下述方面：

- (1) 政策框架（包括写进决议、规章和政策、实施和允许计划项目以及自愿的协议书中的一些内容，例如清洁生产国际宣言）；
- (2) 技能的发展和能力的建立（包括培训和教育、示范项目、清洁生产中心、指南和说明书）；
- (3) 信息交流（包括数据库、出版物、提高认识的研讨会、案例研究和技术指南）；
- (4) 主流化和利益攸关者的介入（包括不同水平和类型的利益攸关者：政府、工业、非政府组织、学术界和社会团体）；
- (5) 财政资助（包括上述活动以及清洁生产审计选择的资助）；
- (6) 结合其他现有环境管理工具（生命周期评价、EM和标准、能源、健康与安全 and 可持续消费）。

## 二、清洁生产的概念

尽管清洁生产已成为当前的热门话题，但至今仍没有一个完全统一、完整的定义。正如我们在前面所提到的，在不同的国家和地区、在不同的历史时期，关于清洁生产的名称就很不统一。因此，关于清洁生产的概念在其发展过程中也不会是惟一的。

1979年11月在日内瓦通过的《关于少废、无废工艺和废料利用宣言》中，对无废工艺作了如下描述：无废工艺乃是各种知识、方法和手段的实际应用，以期在人类需求的范围内达到保证最合理地利用自然资源和能量以及保护环境的目的。

1984年联合国欧洲经济委员会在塔什干召开的国际会议上对无废工艺又作了进一步的定义：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），它能使所有的原料和能量在原料—生产—消费—二次原料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。

这一定义明确了无废工艺的目标在于解决自然资源的合理利用和环境保护问题，把利用自然和保护自然统一起来，即在利用自然过程中保护自然，并指出了实现这一目标的主要途径是在可能的层次上组织资源的再循环，把传统工业的开环过程变成闭环过程，此外还强调了工业生产全过程和自然环境的相容性。

污染预防和废物最小化都是美国环保局（EPA）提出的。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场所产生的废物量。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众健康与环境的危害），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地利用资源。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。

污染预防这一概念主要在于鼓励不产生污染，但它未明显地包含现场循环。

美国环境保护局对废物最少化技术所作的定义是：在可行的范围内，减少产生的或随之处理、处置的有害废弃物量。它包括在产生源处进行的削减和组织循环两方面的工作。这些工作导致有害废弃物总量与体积的减少，或有害废物毒性的降低，或两者兼而有之，并与使现代和将来对人类健康与环境的威胁最小的目标相一致。

这一定义包括了循环，但它主要是针对有害废弃物而言的，未涉及资源、能源的综合利用和产品与环境的相容性问题。但提出以“源削减”和“再循环”作为最小化优先考虑的手段，对于一般废料来说，同样也是适用的。这一原则已体现在美国随后提出的“污染预防战略”之中。

欧洲专家倾向于下列提法：清洁生产为对生产过程和产品实施综合防治战略，以减少对人类和环境的风险。对生产过程来说，包括节约原材料和能源，革除有毒材料，减少所有排放物的排放量和毒性。对产品来说，则要减少从原材料到最终处理的产品的整个生命周期对人类健康和环境的影响。

上述定义概括了产品从生产到消费的全过程，为减少风险所应采取的具体措施，但比

较侧重于企业层次上。

在 1993 年公布的《中国 21 世纪议程》中，也对清洁生产做出了定义：“所谓清洁生产，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产品生产的主导方向。”

国家经贸委提出，清洁生产是将污染预防战略持续地应用于生产全过程，通过不断地改善管理和技术进步，提高资源利用率、减少污染物排放，以降低对人类和环境的危害。清洁生产的核心是从源头抓起，预防为主，生产全过程控制，实现经济效益和环境效益的统一。清洁生产的宗旨是为了推进可持续发展，最终求得在各级决策过程中综合考虑经济与环境的相互协调，促进经济效益与环境效益的统一。清洁生产的目标是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。

还有一些学者根据我国长期以来的环境保护实践认为，清洁生产是以节能、降耗、减污为目标，以技术、管理为手段，通过对生产全过程的排污审计、筛选，并实施污染防治措施，以消除和减少工业生产对人类健康和生态环境的影响，从而达到防治工业污染、提高经济效益双重目的的综合性措施。这一概念是从清洁生产的目标、手段、方法和终极目的阐述的，相比而言较为具体、明确，易被企业接受。

如果不能清晰地表达清洁生产的概念，将可能引起公众的模糊认识，不利于它的推广。为此，联合国环境规划署 (UNEP) 巴黎工业与环境活动中心于 1989 年在总结各国的经验后，提出了清洁生产的最初定义，并得到国际社会的普遍认可和接受。这个定义内容为：清洁生产是对生产过程与产品采取整体预防性的环境策略，以减少其对人类及环境可能的危害。对生产过程而言，清洁生产包括节约原材料并在全部排放物和废物离开生产过程以前就减少它们的数量和毒性。对产品而言，则是借助生命周期分析，使得从原材料取得至产品最终处置的全过程中都尽可能将对环境的影响减至最低。

1996 年，联合国环境规划署对清洁生产的概念又进一步完善为：“清洁生产指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。”其涵义为：对生产过程，要求节约原材料与能源，淘汰有毒原材料，减降所有废弃物的数量和毒性。对产品，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。对服务，要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

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。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。

UNEP 的定义将清洁生产上升为一种战略，该战略的作用对象为工艺和产品，其特点为持续性、预防性和一体化。该定义的基本要素可用图 1-1 来表示。

图 1-1 表明，清洁生产首先是一种预防性方法，它要求在产品或工艺的整个生命周期的所有阶段，都必须考虑预防污染。

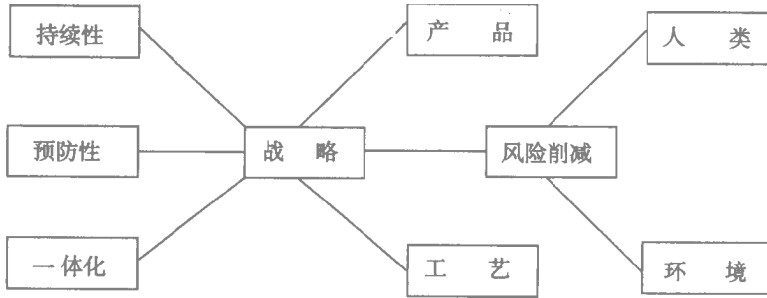


图 1-1 清洁生产概念的基本要素

由上述定义可以看出，清洁生产包含以下几方面的涵义：

- (1) 它是从资源节约和环境保护两个方面对工业产品生产从设计开始，到产品使用后，直至最终处置，给予了全过程的考虑和要求。
- (2) 它不仅对生产，而且对服务也要求考虑对环境的影响。
- (3) 它对工业废弃物实行费用有效的源消减，一改传统的不顾效益或单一末端控制方法。
- (4) 它可提高企业的生产效率和经济效益，与末端处理比，更受企业欢迎。
- (5) 它着眼于全球环境的彻底保护，为全人类共建一个洁净的地球带来希望。

### 三、清洁生产的类型

对于一个产生污染的企业来说，其生产成本包括污染控制费用及~~管理~~费用如所有材料的开支、劳动力费用、工厂一般管理费用等之和。很自然的可以把清洁生产划分为两种类型。类型 I 是完全消除了污染控制费用，并降低了制造成本。类型 II 虽然总成本降低了，但只是降低了污染控制费用，而制造费用却增加了。类型 I 称之为“高效益”清洁生产。类型 II 称之为“边际效应”清洁生产。而那种降低污染控制费用却增加制造费用，增加总生产成本的清洁生产，虽然有助于污染削减，但不能给企业提供成本效益的解决方法，被采用的机会甚少或可以说不会被采用，被排除在清洁生产研究的范围之外。类型 I 和类型 II 的区分可用图 1-2 来说明。这两种类型分别处在效益谱的两端，两者之间没有绝对的分界线来指示一种类型结束而另一种类型开始。

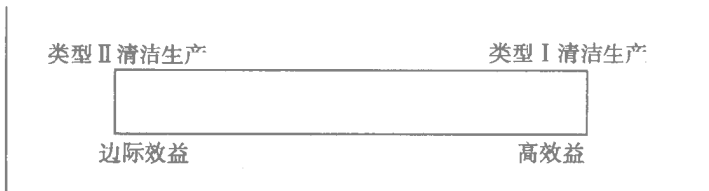


图 1-2 使用效益划分的清洁生产类型

可以举两个例子来说明上述两种类型。实例 1 是一家电镀厂，其漂洗废水连续排放，水中含有的化学物质导致环境的污染。在这种情况下，污染控制方案有两种：① 末端处理；② 清洁生产。末端处理一般为化学絮凝及沉降法，从而产生需要处理的污泥，这种污水处理系统需要化学品消耗、运行及维护等方面的开支，污染控制费用很高。利用清洁生

产,有几种生产改进可以显著降低污染: 加强对镀槽中化学品监测,必要时才作药品补充;② 镀件取出后滴更长时间,或可在镀槽及漂洗槽之间加一拖带槽(用来接受带出液)。这些措施既能最大限度地减少随工件带到废水的化学品,减轻污染,又能节省原材料,属于清洁生产类型 I。采用清洁生产后,利润提高 75%。清洁生产类型 II 是真实世界上更为常见的。实例 2 也是一电镀厂,用非氰化物代用品代替含氰化合物,消除了污染,但生产成本增加,其总利润仅提高 10%。如表 1-2 所示。

表 1-2 如何进行清洁生产分类的实例

	末端处理	清洁生产	
		类型 I	类型 II
销售额	130	130	130
生产成本			
制造成本	100	95	105
环境成本	10	0	3
合 计	110	95	108
利 润	20	35	22
		利润增加 75%	利润增加 10%

## 第二节 清洁生产在国内外的的发展

### 一、国际清洁生产运动的开展

#### 1. 发达国家开展和推行清洁生产的概况

以“预防为主”积极开展和推行“清洁生产”已被发达国家普遍关注和实施。欧洲许多国家把它作为一项基本国策。例如欧共体委员会 1977 年 4 月就制订了关于“清洁工艺”的政策。1984 年、1987 年又制订了欧共体促进开展“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 年有 12 项、1987 年有 24 项已得到财政资助。欧共体还建立了信息情报交流网络,其成员国可由该网络得到有关环保技术及市场信息情报。法国政府为防治或减少废物的产生制订了采用“清洁工艺”生产的生态产品及回收利用和综合利用废物等一系列政策。法国环境部设立了专门机构从事这一工作,每年给清洁生产示范工程补贴 10% 的投资 法国从 1980 年起还设立了无污染工厂的奥斯卡奖金,奖励在采用无废工艺方面做出成绩的企业。法国环境部对 100 多项无废工艺的技术经济情况进行了调查研究,其中无废工艺设备运行费低于原工艺设备运行费的占 68%,对超过原工艺设备运行费的给予财政补贴和资助,以鼓励和支持无废工艺的发展和推行。

瑞士是世界著名的旅游国 山多、湖泊多、风景秀丽 对环境保护要求十分严格。工业企业要想存在和发展,必须做到不污染环境,汽巴嘉基公司是瑞士的一个大化工公司,也是世界著名的以精细化工著称的最大的跨国公司之一。该公司有明确的环境意识和政策,十分强调生产与环境的统一,明确提出要在环境可接受的情况下生产产品,绝不能把

环境不能接受的产品推向市场。该公司特别重视研究开发和采用清洁生产的工艺技术，改进生产工艺，从根本上减少废物的产生量。同时，对生产过程中不可避免产生的废物，必须切实采用有效方法加以治理。在研究开发新产品、新工艺时，要求选用不产生严重污染的生产工艺，要采用回收、循环利用的方法，提高产品得率，尽量减少废物产生量和排放量。例如在将有机酸转化为酰胺的生产过程中，老工艺需要用酰基氯作为中间体，而酰基氯是由三氯化磷 ( $\text{PCl}_3$ ) 与酸反应得到的。由于三氯化磷与酰基氯均为有毒物且腐蚀性很强，在生产中必须采用特殊的安全措施，同时反应中还产生有机废物、磷酸和大量的盐与废水一同排放。针对此问题，该公司研究开发了新的酰胺合成工艺。在生产中不仅不排出废水，而且除了得到酰胺产品外，还可得到高纯度的乙酸并循环使用，所产生的蒸馏残渣能很容易地用焚烧法处理。由于汽巴嘉基公司一直致力于生产工艺的改进，1970年~1988年使得废物产生量减少了50%，到2000年减少75%~80%。该公司采用清洁生产的工艺技术，还取得了以下的成效：

- (1) 自1976年以来，每吨产品的能耗大约减少了40%；
- (2) 从某些中间染料产品生产后排出的废水量减少了50%以上；
- (3) 在荧光增白剂和杀虫剂生产中采用了闭路循环工艺，不排放废水；
- (4) 采用循环利用或燃烧处理的方法，减少向大气排放有机溶剂；
- (5) 不断减少使用有机氯溶剂；
- (6) 将副产品食盐净化，用作电解生产氯碱的原料；
- (7) 硫酸的循环利用率已达60%。

在荷兰经济部和环境部的大力支持下，荷兰实行了“污染预防项目”(PRISMA)取得了令人瞩目的结果。1988年秋，荷兰技术评价组织对荷兰公司进行了防止废物产生和排放的大规模清查研究，制定了防止废物产生和排放的政策及所采用的技术和方法(其关键内容是源削减、内部循环利用和行政管理等)。并在十个公司中进行了预防污染的实践，其实施结果已编制成《防止废物产生和排放手册》已于1990年4月出版。十个公司预防污染的实践结果证明：

- (1) 预防污染项目(PRISMA)在荷兰工业中防止大量废物产生和排放是可能的；
- (2) 防止公司中产生的大量废物和排放物可以在1~3年内实现；
- (3) 通过采用各种预防技术，把生产过程中的不同废物削减30%是可能的，在特殊情况下还可削减80%；
- (4) 在多数情况下，公司中预防措施不存在财政问题，常常无需任何费用调整就能得到实施，同时还能取得可观的效益。

“污染预防项目”使荷兰在防止污染和回收废物方面取得了明显的进展，例如95%的煤灰料已被利用作为原料；85%的废油回收作为燃料；65%的污泥用作肥料；家庭的废纸和废玻璃已有一半以上被收集分类和再生利用。荷兰政府为促进少废无废(清洁生产)技术的开展和利用，可给工厂提供占新设备费用15%~40%的补贴。此后，荷兰政府还制订了2000年防治和回收废物的环境战略目标，明确规定了到2000年对特别需要引起重视的29种废液要达到治理的要求，即：废物回收和利用率从1986年的35%提高到60%；废物总量减少5%；废物最终处理率(焚烧或填埋)从65%降到35%；废物填埋率从55%

降到 10%。

丹麦于 1991 年 6 月颁布了新的丹麦环境保护法(污染预防法)于 1992 年 1 月 1 日起正式执行。这一法案的目标就是努力预防和防止对大气、水、土壤和亚壤土的污染以及振动和噪声带来的危害；减少对原材料和其他资源的消耗和浪费；促进清洁生产的推行和物料循环利用,减少废物处理中出现的问题。该法案在清洁工艺和回收一节中规定了：

(1) 对通过采用清洁工艺和回收利用而大幅度减少对环境影响的研究和开发项目提供资助,并对清洁工艺和回收利用方面的信息活动给予资助。

(2) 对某些会对公共行业或社会整体带来效益的项目可提供高达 100% 的资助。

(3) 对其结果属于应用性的项目和研究提供不超过 75% 的资助。

(4) 对工厂中回收研究项目提供 25% 的资助。

(5) 对用于收集所有类型废物的设备进行研究可提供高达 75% 的资助。

德国许多化学公司都致力于在生产工艺过程中采用少废技术防止和减少污染,以避免为满足环境法规要求,而采用价格昂贵的三废处理。例如,BASF 公司在 Ludwtgsnden 地区自 1987 年以来实施了生产工艺过程的审计办法 该办法使环境保护与生产紧密结合,目的在于减少生产过程中的废物排放到大气、水域和土地之中,使之达到可接受的最小量。BASF 公司采用“四步法”来检查每一个生产工艺过程 看是否减少了废物的排放,这“四步法”是:① 减少和防止废物的产生; ② 回收和利用废物于其他生产过程; ③ 循环和回收利用生产过程中产生的热量; ④ 采用适当的最终处理技术减少废物。在该地区用上述办法已对 350 个以上的生产单元进行了检查,并用审计检查出的最优的新的清洁(少废无废)生产工艺来优化那些产生很多废物和那些产生很多难于处理的废物的生产工艺,据 BASF 估计,1990 年与 1987 年相比较 少产生大约 60 万吨的废物残渣。此外,在 1990 年还有 75 万吨废物回收利用于其他生产过程和 11 万吨废物回收利用于外部的其他公司。在热能回收利用上。避免了造成 175 亿吨散废物的排放。BASF 有一支生产工艺过程的审计队伍,他们每年大约要审计 30 个生产工艺,凡经他们审计的生产工艺都能得到很好的效果。

20 世纪 80 年代以来,美国环保局已着手进行一项全局范围的创新工作,将环境保护的重点从传统的控制排污口转移到加强防治污染上来,即在污染源减少污染和回收利用废物,这已成为环保局工作的中心,为了做好此项工作,制订了较长期的防治污染的战略规划,成立了专门的防治污染办公室,以加速其研究开发力量,集中规划中提出的重点项目或课题,由环保局高级管理人员组成的防治污染顾问委员会来协助全局范围内的活动。防治污染办公室负责综合管理特殊介质的防治规划及各地区的污染防治工作。根据这一战略规划,美国环保局需与国内外其他组织协调一致,共同努力,以实现在污染源防治污染这一战略转变。

美国 1984 年通过的《危险和固体废物修正法案》中,提出要在可能的情况下,尽量减少和杜绝废物的产生。1986 年环保局在提交给国会的一份报告中再次强调尽量减少废物的量是最佳选择方案。1988 年美国环保局颁布了《废物减少评价手册》(Waste Minimization Opportunity Assessment Manual),该手册系统地描述了采用清洁工艺(少废无废)技术的可能性,并给出了不同阶段的评价程序和步骤。

1990 年 10 月美国国会通过了《污染预防法》，这是一部从源头防止污染源的排放、实施预防技术（清洁生产）的重要法规，其目的就是要减少和防止污染源的排放作为全美环境政策的核心。并要求环保局从信息收集、工艺改革、财政支持等方面来支持实施这项政策，以推进清洁生产的发展。这是美国首次通过立法来肯定以预防污染取代长期采用的末端治理为主的污染控制政策，是控制工业污染战略的一个根本性的转变。

美国各大化学工业公司在预防污染减少废物排放方面，开发和推行了许多清洁生产工艺技术。例如大西洋工业公司通过改革生产工艺、在生产中采用化学浓缩、降低化学反应温度和采用新的混合方法等清洁生产工艺技术，使该公司产品在增加 8% 的情况下每年可减少废水 55 000 磅排放；DOW 化学公司通过更换管道输送装置，使有毒气体的产生量大大减少；Unin Oil 公司化工厂用无汞农药取代有汞农药，彻底消除汞的污染；EXXON 化学公司通过推行仓储管理计划使有机废物排放量减少了 75%。DOW 化学公司，EXXON 公司等 9 家企业还主动提出在 14 个州所属工厂削减六种有毒大气污染物（丁二烯、环氧乙烷、四氯化碳、氯甲烷，三氯甲烷及二氯甲烷）的排放量，到 1993 年底减少 83%。

杜邦公司是世界著名的大化工跨国公司，该公司 1980 年就开始执行一项要将废物产生量减少到在技术、经济上可行的最低限度的政策，通过 80 年代减少废物的努力实施，他们体会到废物减少的原则必须制度化，并成为公司任何计划行动中的首要事情。一旦废物减少的目标在整个组织中，特别是在经营和生产管理人员中牢牢扎根，就会取得更大的进展和成效。他们认为化学工业产生的废物可通过以下四种途径减少到最低程度：① 改革工艺减少废物产生量；② 循环利用，最好回用到产生废物的生产工艺之中；③ 将废物转化成有用的、有价值的副产物；④ 改变废物的性质，降低其毒性，减小最终处理废物的体积。例如，在尼龙生产中，老工艺将丁二烯转化为乙二腈（尼龙中间体），生产每槽车乙二腈要产生 10 槽车的高浓度含盐废水，污染严重。后来杜邦公司开发了新催化剂系统，可使丁二烯转化为乙二腈的生产过程中不产生污盐水。而且生产收率高，大大减少有机废物产生量，同时废水排放量也减少了 50%。新工艺还可循环利用催化剂并能回收副产品。所产生的催化剂废渣，采用带式过滤机使固体废物体积减少了 35%。另一种尼龙的重要中间体己二酸是通过空气氧化环乙烷生产的，在生产过程中产生多种副产物如丁二酸和戊二酸等，先是用焚烧法处理，但其中的有用资源被浪费掉，后来他们加以回收利用，用以生产一种二元醇的混合物，用于油漆和家具工业，需求量很大。

美国环保局还要求化工、金属、塑料行业的 6 000 家大型企业也主动削减 11 000 套设施每年排出的 70 万吨有毒化学物质。其中，要求在 1992 年削减其排放量的 30% 特别要求削减 17 种有毒的大气污染物的排放量。在进行废物最少化技术（少废、无废技术）的实施过程中，必须追踪到每一个污染源，通过观察、取样、分析，确定其数量、组成、浓度及其日夜排放情况。浓度的变化很重要，这对于弄清废物产生的原因及选择减少污染对策有很大帮助。它将帮助判别污染物产生的原因，是由于化学工艺过程、设备的使用、操作技术、程序的原因还是储运管理等因素所造成。对于新的生产项目，减少废物的努力方向应集中在早期阶段，重点应着眼于用来替代、工艺改革、废物的循环利用和回收利用。在进行项目设计时，这些都应在考虑之中，环境成本也应纳入传统的经济成本之中。

加拿大政府为废物管理确定了新的方向，他们制定了资源和能源保护技术的开发和示范规则，其目的是促进开展减少废物和循环利用及回收利用废物的工作，以促进清洁生产工作的开展。并开展了范围相当广泛的“3R”运动（3R为 Reduce, Reuse, Recycle 字的字头，即减少、再生、循环利用的意思）取得了良好效果。

英国则更多地鼓励工业企业建立工业污染集中控制系统，该系统是抓住污染源尽可能采用少废无废技术使污染物减少到最低程度。帝国化学工业公司（ICI公司）是历史悠久的化工公司，他们率先在设计新工厂时，进行技术安全的风险影响评价，设计者能及时根据评价结果改变其工艺路线，选择采用少废无废技术，尽量减少废物的排放。他们提出了环境负荷因子（The Environmental Load Factor，简称 ELF）的概念来集中反映每生产单位重量产品所消耗的原材料、溶剂和其他化学品的总量。环境负荷因子定义为：

$$ELF = \frac{\text{工厂新用原材料总量} - \text{售出产品总量}}{\text{售出产品总量}}$$

用此因子来及时控制原材料的消耗，以改变和减少反应步骤，改进工艺和操作技术，减少溶剂及化学品的用量，并加以回收和循环利用。ICI公司在精细化工生产中，采用此法将六步反应减少为三步反应，并采用清洁生产工艺减少溶剂和化学品用量，使整个工艺废物量减少到原工艺的10%左右。

1988年1月，前苏联苏共中央和部长会议曾在对环境保护管理体制进行改革的决定中指出：改善环境保护工作的决定性因素是在国民经济各个领域广泛运用少废无废技术以及能够保证合理使用自然资源的各项科研成果，加强对公民进行保护生态环境的教育，健全各项法律措施。1989年2月，苏联化学工业部召开部务会议的中心议题是生态问题，决定开展争当生态优秀企业的劳动竞赛，并编制了到2000年化工企业改用少废无废工艺技术的规划。大部分工作是在第13个五年计划期间（1991~1995）进行。规划包括两个方案：①生态严峻地区的企业改用少排出物或无排出物工艺；②对大部分未改用无排出物工艺的企业采用一系列防治措施。部务会议决定：化学工业环境保护工作的战略目标是把化学工业改造成为无排出物的工业部门，其核心是保证化工企业日常环境保护活动有效地进行，以解决首要的、迫切的生态任务。

苏联推行清洁生产的一个实例就是苏联五一化工联合企业开发的工业废水和废物的闭路循环技术。其创始人获得了1986年苏联国家奖。五一化工联合企业是一个产品品种繁多的大型企业。主要消耗大量的水，同时也产生大量的组成复杂的污水。该企业位于乌克兰人烟稠密区，储水量有限，也不许其排放废水。因此必须建立闭路循环系统，以避免任何工业和生活用水排入水体，实现最大限度的利用废物。这个闭路循环系统包括污水净化和所有生产废物处理装置的局部循环供水系统，以及全区的处理污水的构筑物 and 将废物加工成产品的装置。该企业从1973年起用生化装置处理有机和生活废水，生化装置由计算机调控。从1979年开始对生化处理后的废水用活性炭吸附进行三级处理。吸附剂用硝酸和氨水溶液进行再生。将再生后的溶液进行蒸发，用来制液体肥料，或与硼化物混合制成复合颗粒肥料。从1980年起，五一化工联合企业完全停止了向水体排放任何工业废水，生产中全部使用净化工业废水和城市污水的回用水。每年由废物制得的产品超过3万吨。每年由于降低原材料消耗和能耗及由生产废物制得产品所得经济效益为

450 万卢布（不包括预防环境污染应支付的 320 万卢布）。建设闭路循环系统的总投资为 3 200 万卢布。这些投资（包括环境投资在内）已全部收回。

日本为研究开发和采用少废无废工艺技术，将“三废”消除在工艺过程之中，努力实现化学工业工艺过程的“闭路循环系统”，他们的指导思想是：① 尽量做到生产工艺过程中不排放废物；② 对于各工序所产生的废物，尽量做到循环使用，或在其排放源进行处理后再加以利用；③ 对于实在要排放的废物，应进行无害化处理，使其不污染环境。

总之，“闭路循环系统”的核心在于要在生产工艺过程中，在内部将其所产生的废物最大限度的加以回收和利用，从而使整个系统不排放废物。表 1-3 为实现“闭路循环系统”的方法和步骤。

表 1-3 “闭路循环系统”的方法和步骤

步骤	内容
第一步	确定污染流程图(物料流程图) 明确工艺过程中废弃物的物料衡算
第二步	改进单元操作 将单元操作加以改进,使其不排或少排废物
第三步	将废物处理考虑在工艺过程内 将所排废物在其排放源处加以处理后回收或再利用
第四步	改革工艺过程 为了达到不排出废物,将原工艺过程进行革新

日本实行严格的污染物排放总量控制。污染物的排放量一般按每天为统计考核单位，如果在某天中某个污染物超过控制值时，将受到有关部门的处罚，企业废水总排放口设有自动连续监测仪器，以监测排放总量控制的执行情况，在总量控制的基础上，各地方自治体和企业每年都要提出下一年度的污染物削减指标。通过污染物总量控制，使日本环境质量得到明显改善。

## 2. 发展中国家研究开展和采用少废无废技术概述

20 世纪后期，发展中国家由于加快工业发展速度、城市化和人口的激增，环境污染及资源问题等越来越尖锐。许多国家和政府采取了一系列政策和措施加以防治和解决，而清洁生产已经为越来越多的政府、公众和企业所认识，成为解决上述问题的重要手段。

由于使用清洁生产技术进行污染预防比事后处理更有效，韩国政府在迅速工业化期间一直积极制订相关的政策以促进清洁生产工作的开展。

自 20 世纪 90 年代初开始，韩国政府和工业界逐步认识到清洁生产技术作为削减和预防污染的重要性，相关的研究与开发活动以及清洁生产技术的应用不断增加。政府的污染预防政策，包括清洁生产技术的使用，是通过一些《通知》或《法案》实施的。例如，1992 年通过了《关于促进资源节约与重复利用的法案》，该法案要求进行资源的有效利用和副产品与废物的再循环；1995 年颁布了《环境标志标准的通知》，该通知提出了环境友好产品和清洁产品的认证体系；1994 年通过了《关于环境技术开发与支持的法案》，目的在于促进环境技术开发。

韩国通过各方面的共同努力，已经在清洁生产技术开发方面取得了许多进展。例如，

环境部实施了“环境技术开发项目”，并得到贸易与工业部和科学技术部的支持。“低废与无废工艺技术和机动车辆排放控制技术”项目已作为一个清洁生产技术子项目加以实施。其他项目包括非污染性农用化学品以及可生物降解聚合物与表面活性剂的开发（由科学技术部实施）和新能源项目（由贸易与工业部实施）。这些项目的目标在于开发污染材料的绿色代用品和清洁生产工艺。

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、废气和新鲜用水量就分别减少了 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。

印度是 UNEP 资助的重点国家已成立国家清洁生产中心。1992 年政府发布了《污染削减政策声明》，推动清洁生产在全国范围的实施。政府为解决工业用水的严重污染问题采取了两种处理方法。一是“低废工艺”二是“清除污染工艺”。目前在新建的石油化工行业中，不断研究开发“低废工艺”。如氯乙烯单体和聚氯乙烯、丙烯腈及聚烯烃等生产工艺就是很好的例子。由于氯乙烯和聚氯乙烯采用了“低废工艺”，使得现在的生产工艺远较 20 世纪 60 年代安全可靠。目前丙烯腈生产工艺中有毒物排放量仅为 20 世纪 70 年代的 1/7。在聚丙烯生产工艺中，催化体系已逐步改进到几乎无废物产生。在化肥和农药生产中采用“闭路循环工艺”，改进催化剂体系及合成技术路线。印度还制订了经济优先政策，对进行“低废工艺”和建立污染控制装置给予年利率 11.5% 的低息贷款而正常利率则为 14%。

马来西亚是世界著名的橡胶生产国，产量名列世界前茅。全国大约有 80 个橡浆浓缩厂和 100 个橡胶生产厂，还有大量的橡胶产品生产厂。这些工厂都要排出大量的废水，严重污染环境。过去他们采用传统的生物氧化池进行处理，废水达不到排放要求而且处理费用也大。后来他们采用上流式澄清系统（upward-flow clarification system）连结过滤装置等新的清洁生产技术将废水净化回收。这个系统具有充气的特性，能使废水中的 COD、BOD 和 SS 充分进行物理化学和生物化学反应，并在瞬间进行。该系统具有最佳的沉淀效率和最小的化学品需要量，并有最大的澄清速率能使水质达到高度净化。在水力搅动下形成的闭路循环可提高废水中絮凝物质的氧化作用和提高废水中溶解氧量。BOD 和 COD 的去除率可达到 90%~95%。处理后收到的成效：① 不排放废水；② 回收利用了水资源；③ 较传统方法经济且操作方便。一个中型橡浆浓缩液厂每天可循环利用废水达 180 m<sup>3</sup>。

泰国一纺织染料厂在生产过程中排出大量的黑色废水，废水中含有多种化学品，每天工厂的耗水量为 775 m<sup>3</sup>。他们采用清洁生产技术将废水中的化学品回收利用。该技术是从美国引进的一套真空吸滤装置，将此装置安装在生产过程的最后一道工序中，以吸滤织物上多余的化学品，将吸滤出的化学品送入储槽中，再进行回收或循环利用。通过真空吸滤装置处理后，提高了生产率，节省了化学品、水和染料，并降低了污染负荷和废水的处理费用。

古巴政府规定了采用少废无废技术（清洁工艺）的原则：① 能改进生产管理；② 能经

济有效地再利用废物；③ 采用无废技术从根本上改进现有生产工艺。这三项原则在执行中不是互相排斥，而是相互补充的。古巴政府认为发展中国家应把经济有效地再利用废物放在少废无废技术（清洁生产）的优先地位来考虑，他们还制订了有关政策鼓励和促进企业广泛开展废物的回收利用和循环利用工作。在食品工业、农业、化工和造纸等工业方面已取得明显的成效。例如在生产电石乙炔的工厂，有大量的电石泥渣排出，对环境造成严重影响，为解决这一严重污染问题，他们开发了回收利用电石泥渣作涂料的技术。这种涂料具有溶剂的特性，可大量用于饲养牛的装置和设施上。古巴在所有新建的电石乙炔生产厂中都配套建立了处理装置以生产涂料。该处理装置可用掉 36% 的电石泥渣废物。其余的电石泥渣可用来作建筑材料和牛饲养装置和设施的消毒剂。古巴的实践经验认为，低污染技术是使经济上获得大发展而对环境又有利的一种很有前途的技术。

巴西在工业生产中已开展废物的回收利用工作，回收利用的量大约平均为 1.1 吨/雇员年。回收利用率最高的是食品、饮料和烟草工业，其回收利用率分别为 88%、98% 和 95% 最低的是冶金工业和造纸工业 分别为 20% 和 9%。化学工业和医药工业是大量有害废物的产生者，其回收利用率也较低，分别为 29% 和 25%。巴西还大力宣传回收利用废物的好处和推广应用现有的行之有效的回收利用技术，建立固体废物处理的法规并加以有效的实施。

## 二、我国与发达国家实施清洁生产的背景比较

由于国情不同，发展阶段亦不同，中国在实施清洁生产过程中与前述发达国家具有不同的背景。通过比较可以看出我国与上述国家存在的主要差异体现在以下几个发面。

### 1. 中国和国外发达国家实施清洁生产的经济发展阶段不同

发达国家的清洁生产萌芽于后工业化时期，经济发展与环境保护较好地融合于生活质量极大提高的前提下，随着环境标准的日趋严格，末端处理环境问题的成本越来越高。另外，社会团体、公众环境意识的不断增强，消费领域的环保呼声日益高涨，在这种内外强大压力的反作用下，污染处理被迫向上游转移，清洁生产也就应运而生了。可以说发达国家污染治理由末端向源头转移也是一个渐进的自然过程。

中国正处于加速工业化和城市化的发展阶段，人口众多，经济基础薄弱，发展经济与保护环境在总体发展目标中的权重有较大差异。就企业而言，技术水平不高，装备落后，管理水平较低，且不同所有制企业又有所差异。国有企业的技术和管理水平较高，特别是国有大中型企业，但在转型期企业经营面临一定的困难，环境与发展的协调尚存在问题；拥有“半壁江山”的乡镇企业则技术起点低，管理水平差，部分企业对环境压力较大，另外，公众的环境意识较弱，要求企业改善环境的压力也显得不足。

### 2 中国环境管理的政策水平与国外发达国家相比有一定差距

从中国的环境管理来看，当前还普遍存在污染物排放标准偏低、环境管理的法律和法规得不到严格实施，中国企业普遍没有感到末端控制的强大压力，企业搞末端治理还没有被逼到“山穷水尽”的境地。因此，也就不会觉得清洁生产是“柳暗花明”的选择。另一方面，当前中国环境管理末端控制手段的替代手段：如针对生产工艺和技术的产污标准，针对产品的生命周期评价等，很不健全，甚至是空白，因而必须承认中国推行清洁生产相对发达国家来说，清洁生产是污染防治过程中的跳跃行为，起点较低，难度较大。