

1 清洁生产的基本概念

1.1 清洁生产的定义

面对资源和环境的压力，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，如污染物减量化、无害化工艺、无废少废工艺、废物最少量化等。但是这些概念均不能包涵上述战略的多重含义，尤其不能确切表达当代环境污染防治应用于生产可持续发展的新战略。为此，联合国环境规划署工业与环境活动中心（UNEP IE/PAC）综合了各种说法，采用“清洁生产”这一术语来表征从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保护策略持续应用于生产过程和产品使用过程中以期减少对人类和环境的风险。”

清洁生产的定义包含了两个全过程控制：生产全过程和产品整个生命周期全过程。对生产过程而言，清洁生产包括节约原材料和能源，淘汰有毒有害的原材料，并在全部排放物和废物离开生产过程以前尽最大可能减少它们的排放量和毒性；对产品而言，清洁生产旨在减少产品整个生命周期，即从原料的提取到产品的最终处置过程中对人类和环境的影响。

清洁生产的策略与以前的传统思路不同之处在于：过去考虑对环境影响时把注意力集中在污染物产生之后如何处理（即所谓“末端治理”）以减少对环境的危害而清洁生产则是要求把污染消除在产生之前。

1.2 清洁生产的理论基础

清洁生产的理论基础的实质是最优化理论。在生产过程中，物料按平衡原理相互转换，生产过程排出的废物越多则投入的原材料消耗就越大。清洁生产实际上是满足特定条件使物料消耗最少，使

产品的收率最高。应用数学上的最优化理论，将废弃物最少量化表示为目标函数，求它在各种约束条件下的最优解。清洁生产是一相对概念，即清洁的生产过程和产品是与现有的生产过程和产品比较而言；资源与废物也是个相对概念，某生产过程的废物又可作为另一生产过程的原料（资源）。因此，废物最少量化的目标函数是动态的、相对的，故用一般的数量关系对较复杂的过程进行优化求解比较困难。目前清洁生产审计（又称“清洁生产审核”）中应用的理论主要是物料和能量平衡原理，旨在判定重点废物流，定量废物量，为相对的废物最少量化确定约束条件。在实际工作中，可把求解出的值（相对单一过程）作为判定现有废物产生量的标准，另外也可用国内外同类装置先进的废物产生量作为衡量的标准。凡达不到标准的，就要设法进行处理或削减。

1.3 清洁生产的内容

清洁生产包括 3 个方面内容。

1.3.1 清洁生产过程

尽量少用和不用有毒有害的原料；采用无毒无害的中间产品；采用少废无废的新工艺和高效设备；改进常规的产品生产工艺；注意物料的内部再循环利用，尽量减少生产过程中的各种危险因素，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；完善管理；对少量必须排放的污染物采取有效的设施和装置进行处理和处置等。

1.3.2 清洁的产品

在产品的设计和生产过程中，应考虑节约原材料和能源，少用昂贵和稀缺的原料；产品在使用过程中和使用后不会危害人体健康和成为破坏生态环境的因素，易于回收、复用和再生；产品的使用寿命和使用功能合理；包装适宜等。

1.3.3 清洁的能源

常规能源的清洁利用；可再生能源的利用；新能源的开发；各种节能技术的推广以提高能源的利用率等。

清洁生产是以节约能量、降低原材料消耗、减少污染物的排放量为目标，以科学管理、技术进步为手段，目的是提高污染防治效果，降低防治费用，消除或减少工业生产对人类健康和环境的影响。因此，实现无废少废的清洁工艺不是单纯从技术、经济角度出发来改造生产活动，而是从生态经济的角度出发，根据合理利用资源、保护生态环境的原则考察工业产品从研究、设计到消费的全过程，以期协调社会和自然的相互关系。它所着眼的不是消除污染引起的后果，而是消除造成污染的根源。

但也应该指出，清洁生产只是一个相对的概念，所谓的清洁工艺和清洁产品只是与现有的工艺和产品相比较而言，因此推行清洁生产是一个不断完善的过程，随着经济的发展和科学技术的进步还需要不断地提出新的目标，达到更高的水平。同时，清洁生产与末端治理两者并非互不相容，也就是说并非推行清洁生产就不需末端治理，这是由于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可避免地会有少量污染物产生，用过的产品也必须进行处理、处置，因此清洁生产和末端治理永远长期并存，两者的关系可以从图 1-1 显示出来。只有共同努力，实施生产过程和治污过程的双重控制，才能保证环境最终目标的实现。

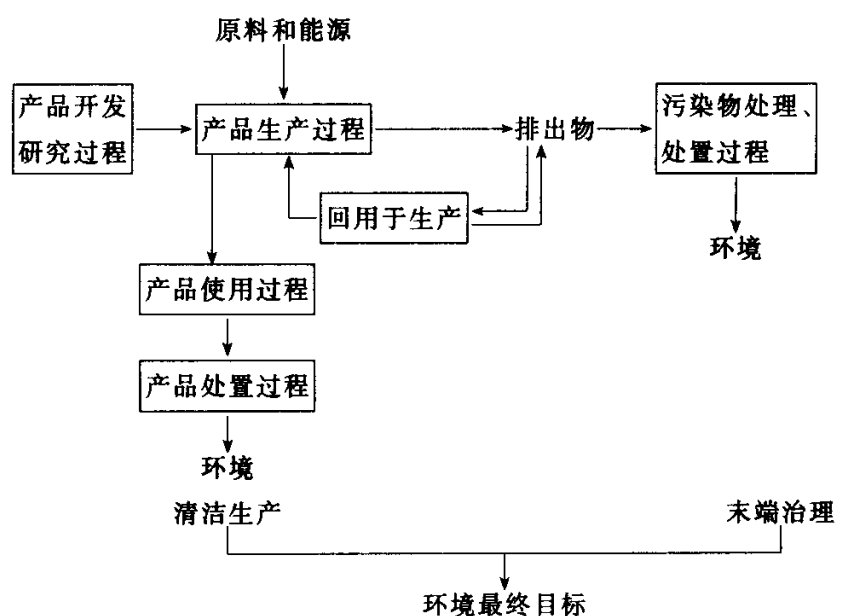


图 1-1 清洁生产与末端治理的关系

1.4 清洁生产的作用

(1) 是实现可持续发展战略的重要措施。

可持续发展的两个基本要求——资源的永续利用和环境容量的持续承受能力都可通过实施清洁生产来实现。清洁生产可以促进社会经济的发展，通过节能、降耗、减污、节省防治污染的投入降低生产成本，改善产品质量，促进环境和经济效益的统一。清洁生产可以最大限度地使能源得到充分利用，以最少的环境代价和能源、资源的消耗获得最大的经济发展效益。

(2) 是控制污染的有效途径。

清洁生产的研究和实践证明，对污染源的控制不是一个简单的设备技术更新的线性过程，它与企业内部的工艺技术、操作控制、生产管理、人员素质等有密切的关联，是一个全方位的过程控制。因此，必须从企业系统整体的角度出发，提出对生产全过程进行控制的如下要求：

建立最少量和不产生污染的工艺技术、装备系统。

最大限度地节省能量，降低资源消耗，减少废弃物的产生和排放。

污染的防治不再局限于末端治理，而是贯穿于生产全过程的各个环节。

污染防治不仅仅是环保工作者的职责，而且是各级管理者和环保工作者及全体员工的职责。

必须把企业的发展与环保统一起来，置于可持续利用的资源、保护生态环境的基础上。

⑥ 开发和采用清洁生产技术。

⑦ 使用无害的能源、新能源。

⑧ 提供无害的产品，而且要考虑产品的更新换代。

构建这种全员、全方位、全过程的整体预防污染的格局，企业就可以切实有效地、稳定地控制住污染。

(3) 给企业带来显著的经济、社会及环境效益。

清洁生产与企业的经营方向是完全一致的，实行清洁生产可以促进企业的发展，提高企业的积极性，不仅可以使企业取得显著的环境效益，还会给企业带来诸多其他方面的效益，如：

促进企业整体素质的提高。全员、全方位、全过程整体预防，必然促进企业管理水平和全体职工素质的提高。

增加企业的经济效益。由于节能、降耗、减污，必然降低原材料、公用工程及包括废弃物处理费用在内的产品成本。

提高竞争能力。质量好、成本低、服务优是产品竞争的基础。企业的环境好、无污染，就使企业具有良好的形象，这些都可增加消费者对企业产品的信任度，对产品占领市场无疑会起到重要的作用。清洁生产可提高企业产品的竞争能力。

为企业生存、发展营造环境空间。企业的环保关系着企业的生存和发展，当它成为社会不稳定因素时企业有可能被关闭。当企业实行清洁生产，做到增产、增效、不增污时，就为企业的生存和发展营造了环境空间；同时，废弃物处理、处置设施也会取得相应的余量，从而可减少新增设施的投资和运行费用。

避免或减少污染环境的风险。全员的预防意识、完好的预防设施、严密的制度、严格的管理，可以避免突发性重大污染事故的发生，消除或减少对末端治理的负荷冲击和二次污染。

⑥ 改善职工的生产、生活环境。可改善职工的操作和生活环境，减轻对职工身心健康的影响。

⑦ 为取得 ISO 14000 认证做好准备。清洁生产的目标是通过完善、科学的管理和推行专项技术来减少污染，改善环境，使企业成为环境友好的企业，这与环境管理体系 ISO 14000 的目的是完全一致的。因此，推行清洁生产可以为 ISO 14000 认证做好准备，使企业更接近 ISO 14000 标准的要求，使二者在内容上有很多相互通用之处。

2 清洁生产发展趋势

2.1 国外发展概况

在美国，与清洁生产相关的“污染预防”计划，早在 1974 年就由 3M 公司提出。其含义是：实施污染预防可以获得多方面的利益。基本观点为：污染物质就是未被利用的原料，污染物质加上创新技术就是有价值的资源。

1976 年 11 月欧洲经济共同体在巴黎召开了“无废工艺和无废生产的国际研讨会”，提出了开发“低废、无废技术”的要求。1979 年 4 月欧共体理事会宣布推行清洁生产的政策。同年 11 月在日内瓦召开了“在环境保护领域内进行国际合作的全欧高级会议”，会上通过了《关于无废、少废工艺和废料利用宣言》，通过这次国际会议基本上把西方国家所称的“清洁工艺”(cleaner process)、“清洁技术”(cleaner technologies)、“少污染和无污染技术”(low and non-waste process)统一了起来。1984 年联合国欧洲经济委员会于前苏联塔什干主持召开的国际会议上对无废工艺做了正式确认：“无废工艺乃是一种生产产品的方法。所有的原料和能源在原料资源、生产、消费、二次原料资源的循环中得到最佳的、合理的综合利用，同时对环境不造成任何污染”。同年在巴黎召开的“世界工业环境管理大会”提倡在工业上采用少废无废工艺。美国国会通过了《资源保护与恢复法》、《固体及有害废物修正案》，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或消除”。1985 年联合国环境规划署在前联邦德国召开了“国际无废工艺学术会议”。在 1984、1985、1987 年欧共体环境事务管理委员会 3 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计划活动中心据 UNEP 理事会会议的决议制定了《清洁生产计

划》，提出了清洁生产概念，并在全球范围内推行清洁生产，此次会议给清洁生产下的定义是：“对生产工艺过程与产品采取一体化的预防性环境策略，以减少其对人体及环境的可能的危害；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，尽可能减少有害废物的排放和毒性；对产品而言是沿产品的整个生命周期也就是从原材料的提取一直到产品的最终处置的整个过程都尽可能地减少对环境的影响”。1990年6月在美国召开了“无废工艺和清洁产品（cleaner products）会议”。同年9月又在英国坎特伯雷举行了“首届促进清洁生产国际研讨会”，这次会上提出了一系列建议，如支持世界不同地区发起和制订国家级的清洁生产计划，开展必要的培训活动，收集、处理和传播有关清洁生产的信息，支持创办国家级清洁生产中心，进一步与有关国际组织以及其他组织建立网络关系等等。联合国环境规划署工业与环境办公室（UNEP/IEO）和美国环保局联合创建了国际清洁工艺信息交换所（International Cleaner Production Information Clearinghouse，简称ICPIC），集中了各行各业的少废和无废工艺信息，并在加强范围的ICPIC的网络工作，是目前较为完善的系统数据库，以促进全球的无废工艺技术应用和推广。有关无废少废工艺资料也不断出现在联合国环境规划署巴黎工业与环境办公室出版的刊物《工业与环境》和《清洁生产》中。1990年10月美国国会通过《污染预防法案》，把污染预防作为美国的国家政策。

1992年10月，为了落实联合国在巴西召开的“环境与发展”大会的精神，UNEP IE/PAC又在巴黎召开了清洁生产部长级会议和高级研讨会。会议回顾了《清洁生产计划》的进展情况，制定了政策、计划和具体行动，并指出目前工业不但面临着环境的挑战，同时也正获得新的市场机遇。

联合国工业发展组织在20世纪80年代初就提出了将环境保护纳入该组织工作内容，而后成立了国际清洁工艺协会，鼓励采用清洁工艺，提高资源、能源的利用率，减少使用有毒、有害原材料，少排或不排废物。在90年代，逐渐形成了在工业发展中实施综合

环境预防战略，推行清洁生产政策。

联合国环境规划署和工业发展组织的一系列活动有力地在全世界范围内推行了清洁生产，对世界各国推行清洁生产起到了很大的促进作用。

2.2 发达国家的清洁生产进展

发达国家工业污染控制的战略从 20 世纪 80 年代起出现了重大变革，以污染防治（或预防）战略取代了末端治理为主的战略，认识到推行清洁生产是污染防治（或预防）的重要途径，也是实现可持续发展的关键因素，使清洁生产以燎原之势形成了环境保护的一次新的浪潮。

2.2.1 美国

20 世纪 80 年代以来美国环保局已着手进行一次全局范围的创新工作，将环境保护的重点从传统的末端治理为主转移到加强防治污染上来，即从源头减少污染和回收利用废物已成为环保局工作的中心。为了做好这项工作，制订了较长远的污染防治的战略规划，成立了专门的防治污染办公室，以加速其研究开发力量，制订规划中提出的重点项目或课题。1984 年通过的《危险和固体废物修正草案》中提出要在可能的情况下尽量减少和杜绝废物的产生。1986 年环保局在提交国会的报告中再次强调尽量减少废物量是最佳选择方案。1988 年环保局颁布了《废物减少评价手册》，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，并叙述了不同阶段的程序和步骤。

1990 年 10 月美国国会通过《污染预防法案》，把污染预防作为美国的国家政策，从法律上确认污染首先应削减或消除在其产生之前，取代了长期采用的末端治理的污染控制政策，要求工业企业通过源头削减包括原材料的替代、技术和设备改造、工艺流程的改进、产品的重新设计以及促进生产各环节的内部管理减少污染的排放，并在组织、技术、宏观政策和资金方面做了具体的安排。

美国各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，采用化学浓缩、降低化学反应温度和新的混合方法等清洁生产技术，使该公司产品在增产 8% 的情况下每年可减少废水排放 250 t；Unin Oil 公司化工厂用无汞农药取代有汞农药，彻底消除了汞的污染。

Dupont 公司是世界著名的大化工跨国公司，该公司 1980 年就开始执行将废物产生量减少到在技术上、经济上可行的最低限度的政策。通过 20 世纪 80 年代减少废物的努力实施，该公司体会到废物减少的原则必须制度化，这已成为公司任何活动中的首要任务，一旦废物减少的目标在整个组织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。该公司认为化学工业产生的废物可通过如下几种途径减少到最少量：①改革工艺，减少废物产生量；循环利用，最好回用到产生废物的生产工艺之中；将废物转化成有用的、有价的副产物；改变废物的性质，降低其毒性及需最终处理废物的体积。例如，在尼龙生产中开发了一种新催化剂体系，可使丁二烯转化为己二腈的生产过程不再产生高浓度含盐废水，而且提高了收率，大大减少了有机物产生量，废水排放量也减少了 50%。新工艺还循环利用催化剂，并能回收副产物。

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 6 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% (9.46×10^6 lb，即 4290 t)。

美国环保局还要求 6000 家大型企业也主动削减化工、金属、塑料及其制造和运输有关的 11000 套设施每年排出的 6.4×10^5 t (1.4×10^9 lb) 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。

2.2.2 欧洲经济共同体国家

欧洲经济共同体国家最先实施清洁生产的是荷兰和丹麦，随后德国、法国、瑞士及英国等也奋起直追。这些国家借鉴美国污染预防的观念和经验，结合本国文化传统、经济、工业系统进行发展，

取得了很大的成绩。

2.2.2.1 荷兰

荷兰在经济部和环境部的支持下实行了“污染预防项目”，取得了优异的成绩。1988年秋荷兰技术评价组织对荷兰公司进行了防止污染物产生和排放的大规模调查研究，制订出防止污染物产生和排放的政策及措施，并在10个公司中进行了预防污染的实践，其实施结果编制成《防止废物产生和排放手册》。通过10个公司预防污染的实践结果证明：

(1) 预防污染项目在荷兰工业中防止大量废物产生和排放是可能的，并可在1~3年内实现。

(2) 通过采用各种预防技术可将生产过程中不同的废物削减30%，在特殊情况下还可削减80%。

(3) 在多数情况下，公司中的预防措施无需任何费用调整就能得到实施，同时还能取得可观的经济效益。

近十几年来，荷兰在防止污染和固体废物资源化方面取得了明显的进展。例如：95%的煤灰已被利用作为原料，85%的废油回收作为燃料，65%的污泥用作肥料。荷兰政府为促进清洁生产地开展和利用，可给工厂提供新设备费用的15%~40%的补贴。荷兰政府制订的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%。

2.2.2.2 丹麦

丹麦政府于1985年颁布了“丹麦环境和发展行动计划”，通过清洁生产工艺和资源循环利用预防污染，解决环境问题。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治对大气、水、土壤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。在清洁工艺和回收一节中规定：

(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。

2.2.2.3 德国

德国有很多化学公司致力于在生产过程中采用无废少废技术防止和减少污染。例如，BASF 公司自 1987 年以来推行生产工艺过程的审计办法，此法是使“环境保护与生产密切结合”，其目的在于减少生产过程中废物排至大气、水域和土壤之中，使之达到最少量。

BASF 公司采用“四步法”来审计每个生产工艺过程的废物量是否削减至最少量：

(1) 减少和防止废物的产生。

(2) 于生产过程中回收和利用废物。

(3) 循环和回收利用生产过程的热量。

(4) 采用适宜的最终处理技术减少废物的排放。

BASF 公司用上述方法对 350 多个生产单元进行了检查，并将新的最优的清洁工艺推广应用于那些产生很多废物和难于处理的其他生产工艺中。

据 BASF 估计，1987 年较 1990 年少产生大约 600 kt 废物残渣。此外，在 1990 年还有 750 kt 废物回收利用于其他生产过程和 110 kt 废物回收利用于其他公司。BASF 有一支生产工艺过程的审计队伍，每年要审计 30 个生产工艺，凡经他们审计的生产工艺都收到了很好的效果。

2.2.2.4 法国

法国政府为防治和减少废物的产生制订了采用清洁工艺生产的生态产品和综合利用废物等一系列政策。法国环境部还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，给科研的资助高达 50%。法国从 1980 年起还设立了无污染工厂的奥斯卡奖金，奖励采用清洁工艺做出成绩的企业。法国环境部还对 100 多项清洁工艺的技术经济情况进行了调研，其中清洁工艺设备运行费低于原工艺设备的占 68%，对超过原工艺设备运行费的给予财政补贴，以鼓励和支持清洁生产的发展和推行。

2.2.2.5 英国

英国更多地鼓励工业企业建立工业污染集中控制系统，此系统通过抓住污染源，尽可能采用少废无废技术，使污染物减少到最低程度。

英国帝国化学工业公司（ICI）是历史悠久的化工公司，该公司率先在设计新工厂时进行安全风险的影响评价，使设计者能及时改变工艺路线，寻找少废无废工艺技术，减少废物的排放。该公司提出环境负荷因子（ELF）来集中反映生产单位质量的产品消耗的原材料、溶剂和其他化学品的总量：

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

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 6 步反应降低到 3 步反应，采用更少量的溶剂及化学品，若每步收率按 90% 计的话，总收率可达 72.9%，可使整个反应减少废物量为原工艺的 10% 左右。

2.2.2.6 瑞士

瑞士是世界著名的旅游之国，对环境保护要求非常严格，工业企业要想发展和生存，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，也是世界有名的以生产农药、染料及药品为主的跨国公司，该公司有明确的环保意识和政策，非常强调生产与环

境的协调，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。该公司非常重视研究开发和采用清洁生产工艺。如有机酸转化为酰胺的生产过程，老工艺需用三氯化磷为原料和酰基氯为中间体，原料和中间体均为有毒物且腐蚀性强，在生产中必须采用安全措施，同时反应中还产生有机废物、磷酸和大量的盐和水。新的酰胺合成工艺在生产中不仅不排废水，除得到酰胺产品外还可得到高纯度的乙酸，可循环使用，所产生的蒸馏残渣能容易地用焚烧法处理。

由于汽巴嘉基公司非常重视工艺过程的改革，大力推行清洁生产，自 1976 年以来，每吨产品能耗大约减少了 34%，1970~1988 年使废物产生量减少了 50%。

2.2.3 前苏联

前苏联于 1988 年 1 月召开的苏共中央和部长会议上曾对环境保护管理体制进行了改革，并在决议中指出：“改善环境保护的决定因素是在国民经济各个领域广泛采用少废无废技术以及合理利用自然资源的各项科研成果，加强对国民进行保护生态环境的教育，健全各项法律措施。”1989 年 2 月，前苏联化学工业部召开部务会议，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，并制订了 2000 年化工企业改用少废无废工艺技术的规划。环境保护的战略目标是把化学工业改造成为无排放物的工业部门。

前苏联在 20 世纪 80 年代末颁布的企业法中明确规定，实现无废生产是企业的基本方向。无废少废工艺生产的产品在 1990 年要占整个工业产品总产值的 35%，1995 年为 55%，2000 年为 65%。

前苏联推行清洁生产的突出实例是五一化工联合企业开发的工业供水和废物的闭路循环技术。五一化工联合企业是一个产品品种众多的大型企业，需要消耗大量水，同时也产生大量组成复杂的废水。该企业位于乌克兰人烟稠密区，该地区储水量有限，也不允许排放大量废水，因此必须建立闭路循环系统，以避免工业和生活用水排入水体，实现最大限度的生产废物利用。这个闭路循环系统包括废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

区处理污水的构筑物和将废物加工成产品的装置。从 1980 年起，此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 30 kt，每年由于降低原材料消耗和能耗及由产生废物制得的产品所得的经济效益为 450 万卢布。

另外，前苏联磷铁矿和磷灰石霞石矿的综合利用也是资源综合利用实现无废生产的国际范例。

2.2.4 日本

日本为研究开发和采用清洁生产工艺，将污染物消除在工艺过程中，努力实现化学工业工艺过程的闭路循环系统。其指导思想、方法和步骤如下。

指导思想：

(1) 尽可能使生产过程不排出污染物。

(2) 对于生产过程排出的污染物，尽量做到循环利用，或进行处理后再加以利用。

(3) 无法回收利用的污染物应进行无害化处理，做到不污染环境。

因此，闭路循环系统的关键在于：要在生产工艺过程内部将其所产生的污染物最大限度地加以回收和利用，使整个系统不排放污染物。

方法和步骤：

(1) 确定污染源工艺流程图，明确污染物的物料衡算。

(2) 改造单元操作，使其不排或少排废物。

(3) 将污染物处理考虑在工艺过程或在排放源处进行处理后回收或再利用。

(4) 进行工艺过程的改革，避免污染物的排放。

日本实行严格的污染物排放总量控制。污染物排放量一般以天为统计考核单元，如果污染物超过其控制值时，将要受到有关部门的处罚。企业废水总排放口设置自动连续监测仪器，以监测其排放总量的执行情况。在总量控制的基础上，各地方自治体和企业每年

都要提出新一年的污染物削减指标。通过污染物总量控制，日本环境质量得到很大的改善。例如，日本化学工业的 SO_x 排放量由 1973 年的 $1.086 \times 10^9 \text{ m}^3$ 降低到 1986 年的 $1.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，减少了 82.4%。为了降低燃煤过程的 SO_x 和 NO_x 的排放量，推广应用流动循环床燃烧锅炉新技术，该技术采用低温燃烧，将煤和石灰按比例混合后投入炉中，炉气进行二次燃烧。该技术在保证热效率条件下大大降低了 SO_x 和 NO_x 的浓度， SO_x 浓度可达 $150 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ， NO_x 可达 $250 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 。

1991 年 2 月，日本政府又提出了《废物处理法修改法案》和《再资源化促进法案》，可见对环保工作的重视程度。

2.3 我国实施清洁生产概况

我国与清洁生产相关的活动具有较长的历史。在 20 世纪 70 年代提出了“预防为主，防治结合”的方针，强调要通过调整产业布局、产品结构，通过技术改造和三废的综合利用等手段防治工业污染。但是由于当时缺乏完整的法规、制度和细则，加上计划经济体制对资源的分配和价格统一管制，企业仅对生产计划负责，因此这一方针并未得到认真的贯彻执行。到了 80 年代，随着环境问题日益严重，我国明确了“预防为主，防治结合”的政策，指出要通过技术改造把污染物排放减少到最小量，技术改造是消除污染最有效的途径，此时已认识到少废无废工艺技术在环境保护中的重要性。但由于当时技术水平和资金还受到原来不合理的产业结构的制约，此一政策的作用没有得到完全发挥。1983 年第二次全国环境保护会议提出“环境问题要尽力在计划过程和生产过程中解决，实现经济效益、社会效益和环境效益统一”的指导原则。1985 年我国政府又提出了“持续、稳定、协调发展”的方针，在总结了我国环境保护和经济建设协调发展的经验教训基础上初步提出了持续发展的思想。

虽然我国在环境保护工作中很早就提出了“预防为主”的方针，但由于对资源和环境的认识还比较肤浅，处在当时的计划经济

体制下，资源价格严重扭曲，企业以完成生产计划为目标，对其内外部生产中的非经济性不负直接责任，因此企业在执行污染预防思想方面积极性不高，加上当时没有严格的法律支持体系和管理机构，也没有系统的制度和实施细则，预防的重点仍然集中在污染物排放后的处理上，因此环境政策中有关清洁生产的思想并未得到贯彻执行。

1992年党中央和国务院批准外交部和国家环保局《关于联合国环境与发展大会的报告》中提出的“新建、扩建、改建项目，技术起点要高，尽量采用能耗、物耗少，污染物排放少的清洁生产工艺”。同年，我国有关部门与联合国环境规划署工业与环境计划活动中心联合组织了在我国召开的“第一次国际清洁生产研讨会”，中方首次推出了《中国清洁生产行动计划（草案）》。

1993年国家经济贸易委员会和国家环保局在上海联合召开了“第二次全国工业污染防治工作会议”，会议结合工业污染防治面临严峻形势和可持续发展的战略提出明确指示，工业污染的防治必须从末端治理为主向生产全过程转变，实施清洁生产，作为政策在全国推行。

1994年我国制定的《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》关于工业的可持续发展中单独设立了“开展清洁生产和生产绿色产品”的领域。议程强调了清洁生产的重要性，并指出了清洁生产的目标，清洁生产的有关项目也被列入第一批优先项目计划。与此同时也开展了一些实质性活动，国家经贸委与国家环保局利用世界银行技术援助贷款进行了“推行中国清洁生产”项目研究，选定25家企业为清洁生产示范工程，还进行了清洁生产审计。通过清洁生产示范项目的实践表明我国实施清洁生产的潜力很大，参加清洁生产示范工程提高了工业企业的管理水平，使企业通过清洁生产审计在资金有限的情况下获得了最佳的经济效益和环境效益。

为了推进我国清洁生产的过程，国家环保局在联合国工发组织和环境规划署的支持和资助下于1994年12月成立了国家清洁生产

中心与行业和地方清洁生产中心，其主要任务是：

- (1) 为国家和地区清洁生产政策和法规的制定提供依据。
- (2) 组织清洁生产技术与方法的评价与推广。
- (3) 为在工业企业开展清洁生产审计提供服务。
- (4) 组织技术培训，开展国际合作。
- (5) 建立国家和地区清洁生产信息网络，开展清洁生产信息交流。

1995年修改并颁布的《中华人民共和国大气污染防治法（修订稿）》中增加了清洁生产内容。修订条款中规定“企业应当优先采用能源利用率高、污染物排放少的清洁生产工艺，减少污染物产生”，并要求淘汰落后的工艺设备。

1996年颁布并实施的《中华人民共和国污染防治法（修订案）》中，要求“企业应当采用原材料利用率高、污染物排放量少的清洁生产工艺，并加强管理，减少污染物的排放”。同年，国务院颁布的《关于环境保护若干问题的决定》中，要求严格把关、坚决控制新污染，要求所有大、中、小型新建、扩建、改建和技术改造项目要提高技术起点，采用能源消耗量小、污染物产生量少的清洁生产工艺，严禁采用国家明令禁止的设备和工艺。

1999年国家经贸委确定了冶金、化工、石化、轻工、纺织5个行业，北京、上海、天津、重庆、兰州、沈阳、济南、太原、昆明、阜阳10个城市作为清洁生产试点。2000年国家经贸委公布关于《国家重点行业清洁生产技术导向目录（第一批）》的通知。

我国在清洁生产领域的国际合作，从中央政府到地方政府以及企业，通过各种方式和各种渠道，积极与国际机构、外国政府和产业界开展多种交流和合作。例如，联合国环境规划署参与、世界银行贷款支持的“中国环境技术援助项目清洁生产子项目（B-4项目）”、世界银行赠款的JGF项目“中国乡镇工业废物最少化管理体系的建立研究”、中-加清洁生产合作项目、中-挪清洁生产合作项目、中-荷清洁生产合作项目、中-美清洁生产合作项目等都对我国的生产清洁生产发挥了重要作用。由于这些项目的宗旨是发展和试验