

普通高等教育规划教材

# 清洁生产与循环经济

雷兆武 薛冰 王洪涛 主编



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

# 清洁生产与循环经济

雷兆武 薛冰 王洪涛 主编

本书可作为高等院校环境工程、环境科学、环境管理、环境教育等相关专业及从事清洁生产、循环经济工作的工程技术人员、管理人员、决策者的培训教材，也可供从事清洁生产、循环经济工作的工程技术人员、管理人员、决策者参考。

第一版，1999年  
第二版，2004年

第三版，2011年  
第四版，2014年



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容包括清洁生产概述、理论基础、内容与评价指标、清洁生产要求及实施；清洁生产审核概述、程序、审核报告与评估验收、审核案例；环境管理体系标准要求、体系建立及审核；产品生命周期评价思想与方法框架，新型干法水泥生命周期评价案例以及结合水泥生命周期评价案例的数据库操作；循环经济的内涵、模式、评价与管理及案例，低碳发展的内涵、路径体系及案例；产业生态学内涵、理论与方法，产业生态实践与生态文明建设，生态工业内涵，生态工业园及规划、管理，生态农业内涵、建设模式与机制、管理与规划等。

本书为高等院校环境类专业及相关专业课程的教材，也可供从事清洁生产、环境管理、生命周期评价、循环经济与低碳发展、生态工业（园）和生态农业规划与管理、环境保护等研究人员和工作人员参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

清洁生产与循环经济/雷兆武, 薛冰, 王洪涛主编. —北京: 化学工业出版社, 2017.9

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-30046-1

I. ①清… II. ①雷…②薛…③王… III. ①无污染工艺-高等学校-教材②循环经济-高等学校-教材 IV. ①X383②F062.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 149346 号

---

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 林媛

责任校对: 王静

装帧设计: 王晓宇

---

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: 北京新华印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{1}{4}$  字数 374 千字 2017 年 9 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: 42.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

---

加速向绿色经济模式转变、全面提高环境治理水平、促进全球环境可持续性，是联合国《2030年可持续发展议程》所确立的核心目标之一。立足我国基本国情和全球可持续发展趋势，将绿色发展明确作为关系我国发展全局的一个重要理念，作为“十三五”乃至更长时期我国经济社会发展的一个基本发展理念。

清洁生产与循环经济是推进绿色发展的重要组成部分，也是在企业、区域和全社会尺度上践行绿色发展的重要科学理论基础。清洁生产、资源循环、低碳发展、生态设计等是推动绿色转型发展的重要途径，清洁生产审核、企业环境管理体系与审核、产品生命周期评价等则是评价生产过程、产品及环境绩效的重要工具。同时，随着国家应用型本科高校建设的推进，培养应用型和技术技能型人才以切实服务地方经济社会发展，成为应用型本科院校人才培养的主要目标。因此，我们立足清洁生产与循环经济这一主题，以应用型本科院校为对象，结合课程教学特点编写了本教材。

本教材注重突出应用性，融理论与应用于一体，以满足教材对应用型本科院校课程教学的需要；同时，将国家、行业最新政策、标准、研究成果等引入教学内容，完善课程内容与岗位职业能力要求的衔接。在附录中收集了清洁生产审核办法、电镀行业清洁生产评价指标体系、环境管理体系标准等相关资料，供教学参考使用。此外，根据各章节核心内容，设置思考题，供学生复习与思考。

本书由雷兆武、薛冰、王洪涛主编，其中第一章、第二章由河北环境工程学院雷兆武编写，第三章由河北环境工程学院张俊安编写，第四章由四川大学王洪涛、章菁、梁一苇编写，第五章、第六章由中国科学院沈阳应用生态研究所薛冰、韩彬、逯承鹏编写。

在本书编写过程中，参考并引用了大量文献资料，在此一并致谢。

由于编者知识、能力所限，书中存在的不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2017年5月

# 目录

## 第一章 清洁生产

第一节 清洁生产概述	001
一、清洁生产的产生与发展	001
二、清洁生产定义、原则及特点	005
三、清洁生产的目的、作用及意义	007
第二节 清洁生产理论基础	008
一、可持续发展理论	008
二、废物与资源转化理论	009
三、最优化理论	009
四、科学技术进步理论	009
第三节 清洁生产内容与评价指标	010
一、清洁生产内容	010
二、清洁生产评价指标	010
第四节 清洁生产要求及实施	011
一、清洁生产要求	011
二、清洁生产实施途径	016
三、清洁生产技术与方案	019
思考题	021

## 第二章 清洁生产审核

第一节 清洁生产审核概述	022
一、清洁生产审核的定义	022
二、清洁生产审核的目的和原则	022
三、清洁生产审核方式和要求	024
四、清洁生产审核思路 and 技巧	024
五、清洁生产审核的人员和作用	026
六、清洁生产审核的特点	027
第二节 清洁生产审核程序	027
一、筹划与组织	027
二、预审核	031
三、审核	037
四、方案产生和筛选	043
五、可行性分析	046
六、方案实施	050
七、持续清洁生产	052
第三节 清洁生产审核报告与评估验收	054
一、清洁生产审核报告	054

二、清洁生产审核评估与验收 .....	055
第四节 清洁生产审核案例 .....	058
一、企业概况 .....	058
二、审核准备 .....	058
三、预审核 .....	059
四、审核 .....	068
五、方案产生和筛选 .....	072
六、方案确定 .....	076
七、方案实施 .....	077
八、持续清洁生产 .....	079
九、结论 .....	080
思考题 .....	081

### 第三章 环境管理体系

第一节 环境管理体系概述 .....	082
一、环境管理体系的产生 .....	082
二、ISO 14000 系列标准构成和特点 .....	084
三、ISO 14001: 2015 的颁布 .....	090
第二节 环境管理体系要求 (ISO 14001: 2015) .....	090
一、范围 .....	090
二、主要术语 .....	091
三、组织所处的环境 .....	092
四、领导作用 .....	093
五、策划 .....	095
六、支持 .....	098
七、运行 .....	100
八、绩效评价 .....	101
九、改进 .....	104
第三节 企业环境管理体系建立 .....	105
一、领导决策与准备 .....	105
二、初始环境评审 .....	105
三、体系策划与设计 .....	106
四、体系文件编制 .....	106
五、体系试运行 .....	106
六、体系内部审核和管理评审 .....	107
第四节 环境管理体系审核 .....	110
一、审核 .....	110
二、审核启动 .....	112
三、现场审核准备 .....	113
四、现场审核实施 .....	114
五、审核报告 .....	117
六、监督、跟踪 .....	118
思考题 .....	119

## 第四章 产品生命周期评价

第一节 生命周期评价概述 .....	120
一、生命周期思想与生命周期评价 .....	120
二、生命周期评价方法框架 .....	121
三、生命周期评价方法的特点 .....	127
四、LCA 数据库与软件 .....	127
五、中国 LCA 政策、研究与应用 .....	130
第二节 新型干法水泥生命周期评价 .....	133
一、目标与范围定义 .....	133
二、数据收集与建模 .....	133
三、结果分析 .....	137
四、数据质量评估与改进 .....	140
第三节 生命周期评价软件 eFootprint 操作 .....	141
一、新建一个水泥模型 .....	141
二、编辑目标与范围定义 .....	142
三、生命周期建模——树形模型 .....	143
四、添加消耗与投入 .....	144
五、添加废弃与排放 .....	145
六、指定上游过程数据来源 .....	147
七、物料平衡检查 .....	151
八、LCI 结果计算 .....	152
九、结果评估 .....	153
思考题 .....	155

## 第五章 循环经济与低碳发展

第一节 循环经济 .....	156
一、循环经济的内涵特征 .....	156
二、循环经济的发展模式 .....	157
三、循环经济评价与管理 .....	160
四、循环经济典型案例 .....	162
第二节 低碳发展 .....	164
一、低碳及低碳发展的基本内涵 .....	164
二、低碳发展案例与讨论 .....	166
思考题 .....	169

## 第六章 产业生态理论与实践

第一节 产业生态学发展概述 .....	170
一、产业生态学内涵 .....	170
二、产业生态学理论与方法 .....	170
三、产业生态实践 .....	173



第二节 生态工业 .....	174
一、生态工业内涵概述 .....	174
二、生态工业园 .....	175
三、生态工业园规划方法与管理 .....	176
第三节 生态农业 .....	179
一、生态农业内涵概述 .....	179
二、生态农业建设模式 .....	179
三、生态农业管理与规划 .....	183
思考题 .....	185

---

## 附录

附录一 清洁生产审核办法 .....	186
附录二 年贴现值系数表 .....	190
附录三 电镀行业清洁生产评价指标体系 .....	192
附录四 环境管理体系要求及使用指南 (GB/T 24001—2016 idt ISO 14001: 2015) .....	201
附录五 清洁生产审核工作表 .....	215

---

## 参考文献



# 第一章

# 清洁生产

## 第一节 清洁生产概述

### 一、清洁生产的产生与发展

#### (一) 人类社会的发展与环境问题

人类文明的演进和对人与自然关系及发展模式的思考表明：人类生存繁衍的历史可以说是人类社会同大自然相互作用、共同发展和不断进化的历史。在人类征服自然、改造自然的过程中，科学技术无疑起了十分重要的作用。人类依靠先进的科学技术武装起来的强大生产力无节制地向自然索取，掠夺式地开发自然资源，损害了地球的基本生态，出现了滥伐森林、草场退化、沙漠扩大、水土流失、物种灭绝等严重现象；而另一方面，不断向环境排放废弃物，超越了自然净化的能力，出现了大气污染、水污染、土壤污染，以及一系列严重的全球性问题，威胁着人类生存，使人们首次认识到，人类在地球上的持续生存有了危险。

环境问题主要是指由于人类活动作用于周围环境所产生的环境质量变化以及这种变化反过来对人类的生产、生活和健康产生影响的问题。环境问题可分为两类：一是不合理开发利用自然资源，超出环境承载力，使生态环境质量恶化和自然资源枯竭的现象；二是人口激增、城市化和工农业高速发展引起的环境污染和破坏。总之是人类社会发展与环境关系不协调所引起的问题。

#### 1. 环境污染和生态破坏

环境污染问题伴随着人类在地球上的出现而存在。自工业革命至 20 世纪 50 年代前，是环境污染问题的发展恶化阶段，进入 20 世纪，特别是第二次世界大战以后，科学技术、工业生产、交通运输都得到了迅猛发展，尤其是石油工业的崛起，导致工业分布过分集中，城市人口过分密集，环境污染由局部扩大到区域，由单一的大气污染扩大到气体、水体、土壤和食品等方面的污染，有的已酿成震惊世界的公害事件，如马斯河谷烟雾事件、伦敦烟雾事件、日本水俣病事件、日本富山骨痛病事件等。20 世纪 80 年代以后，环境污染日趋严重和生态大范围破坏。人们共同关心的影响范围大和危害严重的环境污染和生态破坏问题有三类：一是全球性的大气污染，如温室效应、臭氧破坏和酸雨；二是大面积森林毁坏、草场退化、土壤侵蚀和沙漠化；三是突发性的严重污染事件频繁。

根据 2012 年至 2015 年《中国环境状况公报》，各年污染物的排放情况如表 1-1。

表 1-1 各年污染物排放情况

年度	化学需氧量/万吨	氨氮/万吨	二氧化硫/万吨	氮氧化物/万吨
2015 年	2223.5	229.9	1859.1	1851.8
2014 年	2294.6	238.5	1974.4	2078.0
2013 年	2352.7	245.7	2043.9	2227.3
2012 年	2423.7	253.6	2117.6	2337.8

在工业固体废物方面，2014 年全国工业固体废物产生量为 325620.0 万吨，综合利用量（含利用往年贮存量）为 204330.2 万吨，综合利用率为 62.75%；2013 年，全国工业固体废物产生量为 327701.9 万吨，综合利用量（含利用往年贮存量）为 205916.3 万吨，综合利用率为 62.8%；2012 年，全国工业固体废物产生量为 329046 万吨，综合利用量（含利用往年贮存量）为 202384 万吨，综合利用率为 61.5%。

在陆源污染物排海方面，污染物排放情况如表 1-2。

表 1-2 陆源污染物排海情况

年度	污水排放量/亿吨	污染物量
2015 年	62.45	化学需氧量 21.0 万吨，石油类 824.2 吨，氨氮 1.5 万吨，总磷 3149.2 吨，部分直排海污染源排放汞、六价铬、铅和镉等重金属
2014 年	63.11	化学需氧量 21.1 万吨，石油类 1199 吨，氨氮 1.48 万吨，总磷 3126 吨，部分直排海污染源排放汞、六价铬、铅和镉等重金属
2013 年	63.84	化学需氧量 22.1 万吨，石油类 1636 吨，氨氮 1.69 万吨，总磷 2841 吨，汞 213 千克，六价铬 1908 千克，铅 7681 千克，镉 392 千克
2012 年	56.0	化学需氧量 21.8 万吨，石油类 1026.1 吨，氨氮 1.7 万吨，总磷 2920.9 吨，汞 228.5 千克，六价铬 2752.7 千克，铅 4586.9 千克，镉 826.1 千克

大量污染物进入环境，危害着我国环境质量和生态安全。

## 2. 资源短缺

资源是人类赖以生存和经济赖以发展的基础，包括能源、水资源、工业资源（即矿物资源）、土地资源、生物资源、森林资源等。人类在发展技术、文化，提高人们生活水平的同时，急剧大量地消耗了地球资源。整个 20 世纪，人类消耗了 1420 亿吨石油，2650 亿吨煤，380 亿吨铁，7.6 亿吨铝，4.8 亿吨铜。我国人均耕地、淡水、森林仅占世界平均水平的 32%、27.4% 和 12.8%，矿产资源人均占有量只有世界平均水平的 1/2，煤炭、石油和天然气的人均占有量仅为世界平均水平的 67%、5.4% 和 7.5%。

根据 2013 年、2014 年、2015 年《中国环境状况公报》，2015 年全国一次能源生产总量达到 36.2 亿吨标准煤，其中原煤 37.5 亿吨、原油 2.1 亿吨、天然气 1346.1 亿立方米；全国一次能源消费总量为 43.0 亿吨标准煤，煤炭消费量占能源消费总量的 64.0%，天然气占 5.9%，非化石能源消费比重达到 12.0%。2014 年全国一次能源生产总量达到 36.0 亿吨标准煤，其中原煤产量 38.7 亿吨，原油产量 2.1 亿吨，天然气产量达到 1301.6 亿立方米；2014 年能源消费总量 42.6 亿吨标准煤。2013 年能源生产总量 34.0 亿吨标准煤，原煤产量 36.8 亿吨，原油产量 2.09 亿吨，天然气产量 1170.5 亿立方米；2013 年全国能源消费总量为 37.5 亿吨标准煤。

“十二五”期间，全国万元国内生产总值能耗累计下降 18.2%；火电供电标准煤耗由

2010年的333克标煤/千瓦时下降至2015年的315克标煤/千瓦时。2014年全国人均能源消费总量约3.1吨标准煤,人均用电量4038千瓦时,人均天然气消费量135立方米。

我国单位国民生产总值能源消耗是发达国家的3~4倍、世界平均水平的2倍,水泥、钢铁等高载能产品单位能耗相比国际先进水平高出20%左右。

2014年,我国能源消费量超过42亿吨标准煤,其中工业能源消费量在70%以上;2014年,我国工业用水量超过1500亿立方米,占全国用水总量的比例超过20%,万元工业增加值用水量约为66立方米。

近年来,国内矿产资源消费保持两位数增长,石油、铁矿石、精炼铜、精炼铝、钾盐等大宗产品的进口量大幅攀升,对外依存度居高不下,分别为:石油54.8%、铁矿石53.6%、精炼铝52.9%、精炼铜69%、钾盐52.4%。我国已成为世界上煤炭、钢铁、氧化铝、铜、水泥、铅、锌等大宗产品消耗量最大的国家,石油消耗量居世界第二位。到2020年,有25种矿产将出现不同程度的短缺,其中11种为国民经济支柱性矿产。中国剩余可开采储蓄仅为1390亿吨标准煤,按照中国2003年的开采速度16.67亿吨/年,仅能维持83年。

人类目前使用的主要能源有原油、天然气和煤炭三种。根据国际能源机构的统计,地球上这三种能源能供人类开采的年限,分别只有40年、50年和240年。

### 3. 可持续发展

环境污染、生态破坏及资源短缺,影响和制约着经济社会的发展,如何在发展经济的同时保护人类赖以生存和发展的生态环境,已成为当今世界普遍关注的重大问题,人类在反思过去发展模式的基础提出了可持续发展模式。我国经济社会在经历了“十一五”“十二五”发展的基础上,可持续发展模式得到了深化和拓展。

坚持绿色发展,必须坚持节约资源和保护环境的基本国策。坚持可持续发展,坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,加快建设资源节约型、环境友好型社会,形成人与自然和谐发展现代化建设新格局,推进美丽中国建设,为全球生态安全作出新贡献。

《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》提出,“在资源开发与节约中,把节约放在优先位置,以最少的资源消耗支撑经济社会持续发展;在环境保护与发展中,把保护放在优先位置,在发展中保护、在保护中发展;在生态建设与修复中,以自然恢复为主,与人工修复相结合。坚持把绿色发展、循环发展、低碳发展作为基本途径。

到2020年,资源节约型和环境友好型社会建设取得重大进展,主体功能区布局基本形成,经济发展质量和效益显著提高,生态文明主流价值观在全社会得到推行,生态文明建设水平与全面建成小康社会目标相适应。

资源利用更加高效,生态环境质量总体改善。单位国内生产总值二氧化碳排放强度比2005年下降40%~45%,能源消耗强度持续下降,资源产出率大幅提高,用水总量力争控制在6700亿立方米以内,万元工业增加值用水量降低到65立方米以下,农田灌溉水有效利用系数提高到0.55以上,非化石能源占一次能源消费比重达到15%左右。”

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》提出,“坚持创新发展、协调发展、绿色发展、开放发展、共享发展,是关系我国发展全局的一场深刻变革。绿色是永续发展的必要条件和人民对美好生活追求的重要体现。必须坚持节约资源和保护环境的基本国策,坚持可持续发展,坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,加快建设资源节约型、环境友好型社会,形成人与自然和谐发展现代化建设新格局,推进美丽中国建设,为全球生态安全作出新贡献。”

绿色发展是以效率、和谐、持续为目标的经济增长和社会发展方式，是建立在生态环境容量和资源承载力的约束条件下的可持续发展。绿色发展使经济社会发展摆脱对高资源消耗、高环境污染的依赖，当前，绿色发展已经成为国际的大趋势，发达国家率先发展绿色经济，发展中国家也紧随其后，中国在坚定地走绿色发展的道路。清洁生产是在微观和宏观上实现绿色发展、可持续发展的有效途径。

## （二）清洁生产概念的产生和发展

清洁生产的概念最早大约可追溯到1976年。当年欧共体在巴黎举行了“无废工艺和无废生产国际研讨会”，会上提出了“消除造成污染的根源”的思想。1979年4月欧共体理事会宣布推行清洁生产政策，1984年、1985年、1987年欧共体环境事务委员会3次拨款支持建立清洁生产示范工程。清洁生产审核起源于20世纪80年代美国化工行业的污染预防审核，并迅速风行全球。

20世纪90年代初，我国开始引入清洁生产理念，与多个国家和国际组织开展多种形式的清洁生产合作。1992年5月，原国家环保局与联合国环境署在我国联合举办了国际清洁生产研讨会，并首次推出“中国清洁生产行动计划（草案）”。国家环保总局于1997年4月发布了《关于推行清洁生产的若干意见》，1995年5月原国家经济贸易委员会发布了《关于实施清洁生产示范试点的通知》。联合国环境署1998年10月在汉城举行第六届国际清洁生产高级研讨会，会上出台了《国际清洁生产宣言》，中国在《国际清洁生产宣言》上郑重签字，表明了我国政府大力推动清洁生产的决心。2002年6月，九届全国人大常委会通过了《中华人民共和国清洁生产促进法》，并于2012年2月进行修订。2003年国务院办公厅转发了国家发展和改革委员会等11个部委《关于加快推行清洁生产的意见》，2004年8月颁布了《清洁生产审核暂行办法》，国家发展和改革委员会、国家环境保护部于2016年5月对其进行修订，颁布了《清洁生产审核办法》，这标志着我国清洁生产跨入了全面推进的新阶段，使清洁生产工作更加具体化、规范化、法制化。

自2003年《中华人民共和国清洁生产促进法》实施以来，各级工业主管部门将实施清洁生产作为促进节能减排的重要措施，不断完善政策、加大支持、强化服务，工业领域清洁生产推行工作取得积极进展。“十二五”期间编制并实施了《工业清洁生产推行“十二五”规划》；2016年，工业和信息化部发布了《工业绿色发展规划（2016—2020年）》，加快推进生态文明建设，促进工业绿色发展。

清洁生产政策标准体系基本建立。国家和地方颁布了《关于加快推行清洁生产的意见》《清洁生产审核办法》《重点企业清洁生产审核程序的规定》《关于深入推进重点企业清洁生产的通知》《中央财政清洁生产专项资金管理暂行办法》《重点企业清洁生产行业分类管理名录》等一系列推进清洁生产的政策、法规和制度；发布《工业企业清洁生产审核技术导则》《工业清洁生产评价指标体系编制通则》，编制或修订了40个行业清洁生产评价指标体系、59个环境保护行业清洁生产标准；发布了《产业结构调整指导目录（2011年本）》，并于2013年、2016年进行了修正；发布了4批次《高耗能落后机电设备（产品）淘汰目录》；发布2批次《国家重点推广的低碳技术目录》等，以及各地方政府颁布的有关清洁生产政策、行业清洁生产指标体系等，为我国清洁生产工作的全面开展和企业清洁生产水平的评估提供了政策、标准、技术的支持和保障。

清洁生产基础工作得到加强。全国陆续成立了一批地方清洁生产中心和行业清洁生产中心

心,截至2013年年底,我国共建立了至少21个省级清洁生产中心,部分省(区、市)还进一步建立了至少25个地市级清洁生产中心;从行业角度看,我国成立了包括煤炭、冶金、轻工、化工、航空航天等在内的多个行业清洁生产中心。到2013年年底,清洁生产咨询服务机构数量达到934家。这些清洁生产中心在地方清洁生产政策建设、清洁生产理念传播、清洁生产咨询及技术推广等方面发挥了重要作用。

## 二、清洁生产定义、原则及特点

### (一) 清洁生产定义

#### 1. 《中华人民共和国清洁生产促进法》的定义

《中华人民共和国清洁生产促进法》第二条规定:“本法所称清洁生产,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. 联合国环境规划署的定义

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,并加以分析提高后,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人类和环境的风险。

——对于生产过程,要求节约原材料和能源,淘汰有毒原材料,减少所有废物的数量和降低废物的毒性;

——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;

——对服务,要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

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、预防性和综合性。

根据清洁生产的定义,清洁生产内涵的核心是实行源削减和对生产或服务的全过程实施控制。

### (二) 清洁生产原则

#### 1. 持续性

清洁生产要求对生产过程在原材料和能源、技术工艺、过程控制、设备、管理、产品、废物及员工技能和素质等方面进行持续不断地改进和提高,使企业降低原辅材料和能源消耗、减少污染物的产生和排放、提高产品质量和产量,实现“节能、降耗、减污、增效”的目的,因此,在清洁生产的实施方面,具有持续性。

在清洁生产的效益方面,在企业管理中,要求将已实施方案纳入企业正常的生产管理制度之中,使其在企业生产过程中得以持续实施,保证企业持续获取其经济效益和环境效益。

清洁生产的持续性,是企业现有生产过程基础上的不断改进,是企业实现生产方式绿色化转变和企业绿色发展的基础。

#### 2. 预防性

清洁生产通过源头削减和生产过程控制,降低资源、能源消耗,减少废物的产生和排



放,实现资源、能源消耗的合理化,废物产生和排放的最小化,在生产过程中减少或避免污染物的产生,达到预防废物产生的目的。

清洁生产与末端治理不同。末端治理是对已产生废物的无害化过程,以满足污染物排放标准或环境许可为目的。清洁生产主要是通过原辅材料和能源替代、产品生态设计、改进工艺和设备、改善过程控制、强化管理、废物回收利用、提高员工技能和素质等方法,改善企业各项生产指标,提高企业清洁生产水平,降低废物毒性,减少废物产生量和排放量。

### 3. 综合性

清洁生产工作以企业生产过程、产品或服务为基础,涉及企业的方方面面,需要贯彻到企业的各个层次和各个职能部门,只有全员参与,才能确保清洁生产的实施和取得相应的效果。全员参与是企业获得清洁生产效益的保障。

企业清洁生产的效益包括环境效益和经济效益。资源消耗、废物排放的减少量均为清洁生产的环境效益;经济效益,包括原辅材料消耗、能耗降低带来的生产成本减少,产品产量和质量提升带来的经济效益,以及由于废物产生量和排放量减少或废物毒性降低带来的废物处理成本降低,这三方面产生的综合效益作为清洁生产的经济效益。

## (三) 清洁生产特点

清洁生产是基于产品生态设计和原辅材料选择、生产过程控制,通过源头削减和过程控制,降低资源和能源消耗,减少或避免废物的产生和排放,实现污染预防和企业生产方式绿色化的战略思想,具有如下特点。

### 1. 清洁生产是一项系统工程

清洁生产在对企业现状、国内外同行业水平、行业清洁生产指标体系或清洁生产标准、国家产业政策要求等进行系统调查的基础上,从原辅材料和能源、工艺、设备、过程控制、管理、员工、产品及废物八个方面,系统产生清洁生产方案,推行清洁生产。

清洁生产从生产工艺和设备、资源和能源消耗指标、污染物产生指标、环境管理指标、产品指标等方面,采用定量指标和定性指标相结合,系统评价企业清洁生产水平。

### 2. 重在预防和有效性

废物产生于生产过程。清洁生产通过对输入端和生产过程全过程的控制,使废物的产生量和排放量最小化,在生产过程中减少和避免废物的产生和排放,有效预防废物产生。清洁生产并不会提高企业污染物排放要求,不改变企业遵守的行业污染物排放标准。

### 3. 经济良好

企业通过实施清洁生产方案,使生产过程在最优化条件下运行,实现企业原辅材料和能源消耗、产品产量和质量、废物排放量等各项指标在同行业中处于先进水平,从而提升企业经济效益。

### 4. 与企业发展相适应

在企业推行清洁生产活动中,产生的清洁生产方案包括无费方案、低费方案、中费方案、高费方案四个类型。在满足国家产业结构调整指导目录、高耗能落后机电设备(产品)淘汰目录、行业清洁生产标准或行业清洁生产指标体系等要求的条件下,企业可根据自身情况,选择先实施无费/低费方案,并通过实施无低费方案积累资金,为中费/高费方案的实施提供条件,避免企业因缺乏资金而无法推行清洁生产。

## 三、清洁生产的目的、作用及意义

### (一) 清洁生产的目的

#### 1. 自然资源和能源利用的最合理化

自然资源和能源利用的最合理化,要求以最少的原材料和能源消耗,满足生产过程、产品和服务的需要。对于企业来说,应在生产过程、产品和服务中最大限度做到:①节约原材料和能源;②利用可再生能源;③利用清洁能源;④开发新能源;⑤采用节能技术和措施;⑥充分利用副产品、中间产品等原材料;⑦利用无毒、无害原材料;⑧减少使用稀有原材料;⑨物料现场循环利用。

#### 2. 经济效益最大化

企业通过清洁生产,降低生产成本,提升产品产量和质量,以获取尽可能大的经济效益。要实现经济效益最大化,企业应在生产和服务中最大限度地做到:①采用清洁生产技术和工艺;②降低物料和能源损耗;③采用高效设备;④提高产品产量和质量;⑤减少副产品;⑥合理组织生产;⑦提高员工技术水平、技能和清洁生产意识;⑧完善企业管理体系和制度;⑨产品生态设计。

#### 3. 对人类和环境的危害最小化

对于企业,对人类与环境危害最小化就是在生产和服务中,最大限度地做到:①减少有毒有害物料的使用,降低废物毒性;②采用少废、无废生产技术和工艺,减少或避免废物的产生;③减少生产过程中的危险因素;④废物在厂内或厂外循环利用;⑤使用可重复利用的包装材料;⑥合理包装产品;⑦采用可降解和易处置的原材料;⑧合理利用产品功能;⑨延长产品使用寿命。

### (二) 清洁生产的作用

#### 1. 清洁生产的宏观作用

清洁生产的宏观作用是实施清洁生产所产生的社会效益。根据清洁生产的概念和内涵,清洁生产应贯穿于社会经济领域的各个领域,达到保护环境、发展经济的目的。清洁生产是一项全社会都应参与的系统工程,推行清洁生产,推进绿色发展。

#### 2. 清洁生产的微观作用

清洁生产微观作用是企业实施清洁生产所能获得的效益。通过清洁生产使得企业生产过程处于最优化状态运行,企业的资源消耗、能源消耗最合理化,废物产生及环境影响最小化。实施清洁生产,推进企业生产方式绿色化,实现企业生产过程、产品或服务的绿色转型。

### (三) 实施清洁生产的意义

#### 1. 推行清洁生产是实现绿色发展、可持续发展的需要

总体上看,我国生态文明建设水平仍滞后于经济社会发展,资源约束趋紧,环境污染严重,生态系统退化,发展与人口资源环境之间的矛盾日益突出,已成为经济社会可持续发展的重大瓶颈制约。

清洁生产是一种持续地将污染预防战略应用于生产过程、产品和服务中,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,最大限度地减轻环境影响和末端治理的负担,改善环境质量。因此,清洁生产是实现绿色发展的有效途径,是实现可持续发展的最佳选择。

## 2. 清洁生产是工业污染防治和企业绿色转型的选择

我国工业总体上尚未摆脱高投入、高消耗、高排放的发展方式,资源能源消耗量大,生态环境问题比较突出,形势依然十分严峻。环境统计显示,工业污染物排放量大、危害重、风险高。

清洁生产通过源头削减和过程控制,最大限度地提高资源和能源的利用率,减少污染物的产生量,实现污染物排放量的最小化,我国清洁生产实践证明了对工业污染防治的有效性。截至2013年年底,全国环保系统共对35530家重点企业组织开展了清洁生产审核。据环境保护部2009~2013年对强制性清洁生产审核企业的统计,全国重点企业通过清洁生产审核提出清洁生产方案19.7万个,实施18.6万个;累计削减废水排放约170亿吨、COD 12万吨、SO<sub>2</sub> 19万吨、NO<sub>x</sub> 18万吨、节水6亿吨、节煤11亿吨、节电58亿千瓦时,取得经济收益约284.61亿元。清洁生产是防治工业污染的最佳模式,是企业实现绿色转型的有效途径。

# 第二节 清洁生产理论基础

## 一、可持续发展理论

### (一) 可持续发展的基本思想

可持续发展是“既满足当代人的需求,又不对后代人满足自身需求的能力构成危害的发展”,其基本思想如下。

#### 1. 可持续发展鼓励经济增长

可持续发展强调经济增长的必要性,不仅重视经济增长的数量,更要追求经济增长的质量,达到具有可持续意义的经济增长。

#### 2. 可持续发展的标志是资源的永续利用和良好的生态环境

可持续发展以自然资源为基础,同生态环境相协调,在保护环境、资源永续利用的条件下,实现经济增长和经济社会的发展。

#### 3. 可持续发展的目标是谋求社会的全面进步

可持续发展是要实现以人为本的自然-经济-社会复合系统的持续、稳定、健康的发展,改善人类生活质量,提高人类健康水平,创造一个保障人们平等、自由、教育和免受暴力的社会环境。

### (二) 可持续发展的基本原则

可持续发展具有十分丰富的内涵,包括主张公平分配,主张建立在保护地球自然系统基础上的持续经济发展,主张人类与自然和谐相处。从中所体现的基本原则如下。

#### 1. 公平性原则

公平性原则包括两个方面:一是本代人的公平即代内之间的横向公平,在满足所有人的基本需求上,有同等利用自然资源与环境的权力;二是代际间的公平即世代的纵向公平,当

代人不能因为自己的发展与需求, 损害后代人满足其发展需求的自然资源与环境, 给后代人以公平利用自然资源的权力。

### 2. 持续性原则

资源与环境是人类生存与发展的基础和条件, 资源的永续利用和生态环境的可持续性是可持续发展的重要保证, 人类发展必须以不损害支持地球生命的大气、水、土壤、生物等自然条件为前提, 必须充分考虑资源的临界性, 必须适应资源与环境的承载能力。

### 3. 共同性原则

可持续发展关系到全球的发展。要实现可持续发展的目标, 必须争取全球共同的配合行动。可持续发展就是人类要共同促进自身之间、自身与自然之间的协调, 这是人类共同的道义和责任。

## 二、废物与资源转化理论

根据物质守恒定律, 在生产过程中, 物质按照平衡原理相互转换。生产过程中产生的废物越多, 则原料(资源)消耗也就越大, 原料(资源)利用率越低。废物由原料转化而来, 提高原料(资源)利用率, 即可减少废物的产生。

资源与废物是一个相对的概念。生产中的废物具有多功能特性, 即某一生产过程中的废物, 作为另一生产过程的原料进行利用, 如粉煤灰在水泥生产过程中作为原料利用。

## 三、最优化理论

在生产过程中, 一种产品的生产必定存在一个产品质量最好、产率最高、能量消耗最少的最优生产条件, 其理论基础是数学上的最优化理论。清洁生产就是实现生产过程中原料、能源消耗最少、产品产率最高的最优生产条件, 即将废物最小量化作为目标函数, 求它的各种约束条件下的最优解。

### (一) 目标函数

废物最小量这一目标函数是动态的、相对的。一个生产过程、一个生产环节、一种设备、一种产品, 在不经过末端处理设施而能达到相应的废物排放标准、能耗标准、产品质量标准等, 就可以认为目标函数得以实现。由于国家和地区的废物排放标准和能耗等标准的不同, 目标函数值也不同; 即使在一个国家, 随着技术进步和社会发展, 这些标准发生变化, 目标函数值也会发生变化。因此, 目前清洁生产废物最小化理论不是求解目标函数值, 而是为满足目标函数值, 确定必要的约束条件。

### (二) 约束条件

利用能量与物料衡算, 得出生产过程中废物产生量、能源消耗、原材料消耗与目标函数的差距, 进而确定约束条件。约束条件包括: 原材料及能源、生产工艺、过程控制、设备、管理、产品、废物、员工等。

## 四、科学技术进步理论

科学技术是第一生产力, 是经济发展和社会进步的重要推动力量。清洁生产以提高资源利用率、产品产率、能源利用效率、生产效率为目标, 降低生产过程、产品和服务中资源消耗、能耗和废物的产生量。要实现清洁生产这一作用, 需要合理利用资源、开发新的能源、