

环境科学与技术应用系列丛书

清洁生产、绿色化学 原理与实践

臧树良 关伟 李川 等编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

环境科学与技术应用系列丛书

清洁生产、绿色化学原理与实践

臧树良 关 伟 李 川 等编



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、绿色化学原理与实践/臧树良, 关伟, 李川等编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 8

(环境科学与技术应用系列丛书)

ISBN 7-5025-7581-2

I. 清… II. ①臧…②关…③李… III. 化学工业-无污染技术 IV. X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 100334 号

环境科学与技术应用系列丛书

清洁生产、绿色化学原理与实践

臧树良 关伟 李川 等编

责任编辑: 董琳 徐娟

责任校对: 吴静

封面设计: 关飞

*

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)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 388 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7581-2

定 价: 48.00 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

《环境科学与技术应用系列丛书》

编辑委员会

主 任：臧树良

副主任：马 放 马溪平 李法云 李铁民

委 员（以姓氏笔画为序）：

大江宏（日本） 马 放 马溪平 任南琪

刘 强 关 伟 孙铁珩 李法云 李铁民

吴龙华 范志平 罗 勇 曾晓非 曾清如

臧树良

主 审：任南琪 孙铁珩

总 序

随着社会经济的发展,各种环境问题层出不穷,环境污染和生态破坏已严重危及到人类自身的生存与发展。从全球范围来看,环境问题已成为影响国际关系的重要因素,引起了世界各国政府首脑的极大关注。环境科学是一门新兴的综合性学科,其特点体现在发展历史较短。在发达国家,它只有50余年的发展历史,在中国则只有近30年的发展历史。随着经济的发展,人们对环境问题的认识不断提高,环境科学学科体系也一直处于完善与发展之中。从环境科学的主要任务来看,环境科学应是探索全球范围内的环境演化规律,揭示人类活动同自然生态系统之间的关系,探索环境变化对人类生存的影响,研究区域环境污染综合防治技术和管理措施等。可以说,环境科学是自然科学、社会科学、人文科学、工程技术的交叉学科,综合性是它与其他学科相比的一个最基本的特点。

目前,环境科学与工程学科在中国的发展极为迅速,环境市场日益繁荣。为了满足从事环境生物学、环境化学、环境生态学、污染环境生物修复、水污染控制、环境经济与管理等方面的教学、科研、技术和管理人员的需要,由辽宁大学环境与生命科学学院和哈尔滨工业大学环境工程系牵头,组织中国科学院生态环境研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国社会科学院城市发展与环境研究中心、湖南农业大学资源与环境学院和日本亚细亚大学经营学部等单位的中外专家编写了《环境科学与技术应用系列丛书》。

本套丛书的编写人员都是在各自研究领域具有较高声望和一定造诣的专家和学者,并有国外学者参与编写。中国工程院院士孙铁珩研究员、“长江学者”特聘教授任南琪先生担任本套丛书的主审。概括起来,本套丛书具有如下特点。

(1) 学科的交叉性:根据环境科学学科新兴、综合性的学科特点,突出学科之间的交叉与渗透。

(2) 内容的系统性:围绕当前环境科学与技术的主要研究方向,对相关学科的基本理论进行了系统的介绍。

(3) 技术的实用性:针对当前的热点环境问题,原理与实践相结合,突出环境科学原理在解决实际环境问题中的应用。

(4) 知识的前沿性:瞄准环境科学学科的研究前沿,突出环境科学领域的最新研究进展,力求知识的新颖性。

为了全面落实科学发展观,促进环境科学技术的发展,化学工业出版社一直将环境保护类图书的出版作为出书的主要方向之一。本套丛书在编写过程中,得到了化学工业出版社的大力支持,在此表示感谢。

《环境科学与技术应用系列丛书》编辑委员会

2005年2月

前 言

环境污染、生态破坏是人类在从事生产活动过程中创造了财富和文明的同时产生的危害与灾难。在频频发生的灾难面前人们已清楚地认识到：不发展要受穷，而发展中不注意解决污染问题则要受罪，发展中国家再也不能重走发达国家已走过的“先污染后治理”的道路。多年来的研究与实践证明：如果在生产过程中从设计规划到管理都能够将物质和能量的消耗降到最低，将生产过程中产生的废物减至最低，或者通过改进工艺设计，使废物转化为无害物（无害化）或有用物（资源化），则可能在少或不造成污染的情况下制造出产品，创造出财富。人们把这类既能满足人们日益增长的对物质文明的需要，同时又可合理使用自然资源和能源并保护环境的生产和措施称为清洁生产。这是一种全新的理念，是对传统生产方式的一次最有革命性的变革，是治理威胁人类生存安全与质量的环境污染问题的一种有效途径。清洁生产的产生与应用是时代的要求，是世界工业发展和社会发展的一种大趋势，是 21 世纪工业生产的基本模式，也是我国在未来建设和发展中重点推行与实施的一项重要国策。

近年来，随着我国经济建设规模与速度的扩大与加快，环境保护与生态安全被放在重要位置加以重视。作为实现经济与环境和谐发展的重要措施的清洁生产，理所当然地受到国家与各级政府的重视与各行各业的推崇。近十几年来，清洁生产在我国已经从书本上的概念走进了规划、设计生产的实施，并取得了一系列成果，产生了巨大的效益和良好的社会影响。自 1992 年联合国环境与发展大会正式提出清洁生产以来，我国政府便给予高度重视并积极响应。当年国务院批准的《环境与发展十大对策》中就提出了在新建项目中要尽量使用能耗小、污染物排放量少的清洁工艺。1993 年则进一步明确提出工业污染防治应从末端治理向控制生产全过程转变，实现清洁生产。在其后的几年内，清洁生产这一全新的理念逐渐被更多的人所理解、认识，并进一步被推行。1997 年国家环保局在《关于推行清洁生产的若干意见》中提出我国力争到 2004 年建成比较完善的清洁生产管理体制和运行机制。为了完成这一宏伟目标，国家最高层显示出巨大的决心与魄力。2002 年 6 月 29 日在第九届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议上通过了《中华人民共和国清洁生产促进法》，以立法这一最强有力的形式促进清洁生产在全国各行业的实施。这不仅是我国现代化建设史上的一次意义重大而深远的变革，而且在我国的法制建设史上也应该写下浓重的一笔。

作为一项国策、一种新型的生产模式，清洁生产以及随其伴生的绿色技术应

该在最少的时间内，在更大的范围内使更多的人熟悉了解它，推广使用它，进而不断地完善发展它。作为从事环境科学教学研究及管理工作者，我们对清洁生产及绿色技术的应用将对我国的经济建设和社会发展的重大意义有较深刻的了解，我们自觉有责任将清洁生产这一荫及子孙万代的事业让更多的人有更系统的了解。特别是应该将我国近年来的清洁生产案例加以收集、整理，并在清洁生产理论的框架之下加以分析、推介，这将具有重要的学术意义和实际应用价值。在这样一个思想指导下，我们完成了本书的编写工作，由于缺乏足够的文献资料可借鉴，有些清洁生产的案例也不是十分成熟、有代表性，只可作为参考。但是如果通过我们的劳动与努力，能为清洁生产与绿色化学的理论与应用的发展添一砖一石，那将是我们莫大的欣慰与自豪。

本书的上篇清洁生产原理与实践由李川（辽宁省环境科学研究院）、关伟（辽宁大学）、刘翠玲（辽宁省环境科学研究院）和李奎（辽宁大学）执笔，下篇绿色化学原理与实践由关伟、葛春华和景奎（辽宁大学）执笔。全书由臧树良（辽宁大学）统稿。本书参考和借鉴了许多同行发表的论文与专著，在此向他们深表谢意。同时对王恒、汪林同学在文字加工方面的工作表示感谢。由于编者学识及水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 4 月

目 录

上篇 清洁生产原理与实践

1 清洁生产基础知识	2
1.1 清洁生产的由来	2
1.2 清洁生产的基本概念	3
1.2.1 清洁生产的定义	3
1.2.2 清洁生产的内容	3
1.2.3 清洁生产的特点	4
1.2.4 国内国外清洁生产概况	5
1.2.5 清洁生产意义	6
1.3 资源、能源与清洁生产	7
1.3.1 资源	7
1.3.2 能源	8
1.3.3 清洁能源	8
1.4 清洁生产与循环经济	9
1.5 清洁生产与 ISO 14000 管理体系	11
1.5.1 不同点	11
1.5.2 清洁生产与 ISO 14000 管理体系的相依关系	11
1.5.3 清洁生产与 ISO 14000 管理体系结合的实例	12
2 清洁生产审核基本理论	13
2.1 清洁生产审核基本原理	13
2.1.1 清洁生产审核概念	13
2.1.2 清洁生产审核原则	13
2.1.3 清洁生产审核对象	15
2.1.4 清洁生产审核主要程序	16
2.1.5 清洁生产审核的特点	17
2.1.6 清洁生产审核操作要点	17
2.1.7 清洁生产审核实用技巧	18
2.2 清洁生产审核程序	18
2.2.1 筹划与组织	18
2.2.2 预评估阶段	21

2.2.3	评估阶段	27
2.2.4	方案产生和筛选阶段	33
2.2.5	可行性分析阶段	37
2.2.6	方案实施阶段	40
2.2.7	持续清洁生产阶段	42
3	清洁生产审核案例	47
3.1	某水泥有限公司清洁生产审核案例	47
3.1.1	筹划和组织	47
3.1.2	预评估	48
3.1.3	评估	57
3.1.4	方案产生和筛选	64
3.1.5	可行性分析	65
3.1.6	方案实施	66
3.1.7	持续清洁生产	67
3.2	某啤酒公司清洁生产审核案例	69
3.2.1	筹划和组织	69
3.2.2	预评估	70
3.2.3	评估	73
3.2.4	方案产生和筛选	78
3.2.5	可行性分析	84
3.2.6	方案实施	88
3.2.7	持续清洁生产	89
3.3	某柴油机有限责任公司清洁生产审核案例	90
3.3.1	筹划和组织	90
3.3.2	预评估	92
3.3.3	评估	95
3.3.4	方案产生和筛选	101
3.3.5	可行性分析	104
3.3.6	方案实施	108
3.3.7	持续清洁生产	109
3.4	某造纸有限责任公司清洁生产审核案例	110
3.4.1	筹划和组织	110
3.4.2	预评估	112
3.4.3	评估	115
3.4.4	方案产生和筛选	125

3.4.5	可行性分析	130
3.4.6	方案的实施	134
3.4.7	持续清洁生产	135
3.5	某印染股份有限公司清洁生产审核实例	136
3.5.1	筹划与组织	136
3.5.2	预评估	138
3.5.3	评估	143
3.5.4	方案产生和筛选	145
3.5.5	可行性分析	150
3.5.6	方案实施	153
3.5.7	持续清洁生产	155
3.6	某油田有限公司清洁生产审核实例	157
3.6.1	筹划与组织	157
3.6.2	预评估	157
3.6.3	评估	165
3.6.4	方案产生与筛选	175
3.6.5	可行性分析	180
3.6.6	方案实施	185
3.6.7	持续清洁生产	187
4	相关行业清洁生产技术	189
4.1	石油与天然气开采业清洁生产技术	189
4.1.1	油井套管气回收利用	189
4.1.2	超稠油蒸汽吞吐注采一体管柱套技术	190
4.1.3	含油污泥高温调剖工艺	190
4.1.4	抽油机变频调冲次技术	191
4.1.5	油泥处理回收	192
4.1.6	转注污水改造	193
4.1.7	应用大罐抽气装置回收天然气	193
4.1.8	压裂填防砂技术应用	193
4.1.9	利用地质措施恢复长停井	194
4.1.10	联合站加装轻烃回收装置	194
4.1.11	高架罐天然气回收	195
4.1.12	天然气进行氨冷工艺处理	195
4.1.13	水套炉安装节能火嘴	195
4.1.14	污水处理后达标回注	196

4.2 啤酒酿造业清洁生产技术	196
4.2.1 洗瓶机废碱液回收利用	196
4.2.2 中水回用	197
4.2.3 冷冻机油回用	197
4.2.4 采用高效设备	198
4.2.5 提高包装效率	198
4.2.6 高浓度稀释酿造工艺	198
4.2.7 酵母扩培系统更新改造	198
4.2.8 原位清洗系统	199
4.3 纺织印染业清洁生产技术	199
4.3.1 印染中水回用	199
4.3.2 冷却、冷凝水回收循环使用	200
4.3.3 染整生产二次洗水回收再利用	200
4.3.4 生物酶染色工艺	200
4.3.5 卷染改轧染工艺	201
4.3.6 漂白设备改造	202
4.3.7 丝光淡碱回收	202
4.3.8 剩余色浆的回收利用	203
4.4 制浆造纸业清洁生产技术	204
4.4.1 纸机白水集中处理	204
4.4.2 电厂粉煤灰烧结黏土粉煤灰空心砖	205
4.4.3 中段水综合利用	205
4.4.4 苇花焚烧热回收	206
4.4.5 粉煤灰制砖及冲灰水回用	206
4.4.6 汽机车间采用高压加热器	207
4.4.7 无氯漂白工艺	207
4.4.8 造纸车间三段通汽	208
4.5 矿山开采业清洁生产技术	208
4.5.1 选磨工艺改造	208
4.5.2 中水回用	209
4.5.3 铁精矿过滤系统改造	209
4.5.4 尾矿输送工艺改造	210
4.5.5 选矿下游汇水回收再利用	210
4.5.6 爆破车间污水循环利用	211
4.5.7 尾矿砂砌块生产线项目	211

4.5.8	二选工艺改造	211
4.6	燃煤电厂清洁生产技术	212
4.6.1	化学废水回收工程改造	212
4.6.2	储灰场冲灰水闭式循环改造工程	212
4.6.3	循环水联合加药处理	213
4.6.4	锅炉炉墙改造	213
4.6.5	降低输煤系统的粉尘浓度	213
4.6.6	粉煤灰生产线	214
4.7	水泥行业清洁生产技术	214
4.7.1	余热发电系统改造	214
4.7.2	窑尾电收尘器改造	214
4.8	化纤行业清洁生产技术	214
4.8.1	应用纳滤回收废碱液	214
4.8.2	二浴水回收	215
4.9	焦化行业清洁生产技术	216
4.9.1	硫回收尾气系统增设硫磺捕集器	216
4.9.2	增设氨水分离器自动监测	217
4.9.3	富液过滤器改造	217
4.9.4	蒸汽分配盘改造	218
4.9.5	增设地下放空槽	218
4.9.6	脱酸蒸氨地下槽废水循环再用	218
4.9.7	洗氨塔增开碱洗段	219
4.9.8	高压氨水泵加变频调节	219
4.9.9	氨水过滤器改造	219
4.10	食品行业清洁生产技术	220
4.10.1	制糖发酵工艺联合改造	220
4.10.2	提取精制工艺联合改造	220
4.10.3	射流真空泵水循环	220
4.10.4	循环水综合利用	221
4.11	机械加工行业清洁生产技术	221
4.11.1	冲天炉-电炉双联熔炼	221
4.11.2	冷芯盒改造	222
4.11.3	铁型覆砂技术	222
4.11.4	增大中水回用率	222
4.11.5	逆洗、压滤工艺改造	223

4.12 钢铁行业清洁生产技术	223
4.12.1 瓦斯灰混入煤粉喷吹入高炉	223
4.12.2 低位料仓粉尘综合利用	224
4.13 化工行业清洁生产技术	224
4.13.1 低浓度含碱废水循环使用	224
4.13.2 磷石膏循环利用	224
4.13.3 锅炉应用远红外节能剂	225
4.13.4 造粒尾气综合整治	226

下篇 绿色化学原理与实践

5 绿色化学原理	228
5.1 绿色化学的基本概念	228
5.2 绿色化学的定义、内容及意义	229
5.3 绿色化工中的原子经济性	232
5.4 绿色化工设计中的一般性原则	235
6 绿色化学技术	236
6.1 采用清洁的原材料	236
6.2 绿色溶剂的选择与使用	237
6.2.1 抛弃传统溶剂	237
6.2.2 环境友好溶剂	241
6.3 绿色催化剂	246
6.3.1 固体酸、碱催化剂	247
6.3.2 相转移催化剂	248
6.3.3 酶催化剂	249
6.4 不对称催化合成	250
6.5 环境友好溶剂——室温离子液体	251
6.5.1 室温离子液体的简介	251
6.5.2 室温离子液体的特性	253
6.5.3 室温离子液体的分类	254
6.5.4 室温离子液体的合成	254
6.5.5 室温离子液体的应用	254
6.6 新技术与工艺路线的优化	256
6.6.1 新技术的应用	257
6.6.2 工艺路线的优化	262
6.7 环境友好产品的生产	263

6.8 污染物处理的绿色化	264
6.8.1 吸附或吸收	264
6.8.2 沉淀法	264
6.8.3 离子交换法	265
6.8.4 膜分离法	265
6.8.5 光解作用	265
6.8.6 生物降解	265
6.9 生物技术在绿色化学中的应用	265
6.9.1 生物合成	266
6.9.2 基因工程	266
6.9.3 绿色农药	266
6.9.4 绿色肥料	266
6.9.5 绿色食品	266
参考文献	267

上 篇

清洁生产原理与实践

清洁生产基础知识

1.1 清洁生产的由来

清洁生产是在环境和资源危机的背景下出现的一个新概念，是在总结了国内外多年的工业污染控制经验后提出来的，它倡导充分利用资源，从源头削减和预防污染物，从而在保证经济效益的前提下，达到保护环境的目的。清洁生产自诞生以来，经过不断创新、丰富、发展现已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事业。那么清洁生产由何而来？

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，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，20世纪50年代左右发生了八大公害污染事件（比利时马斯河谷烟雾、美国多诺拉烟雾、英国伦敦烟雾、美国洛杉矶光化学烟雾、日本水俣病、日本富山骨痛病、日本四日市哮喘和日本米糠油）。面对这些严峻的危害，人们震惊了，认识到只靠消耗资源、牺牲环境而发展经济是不行的。70年代人们开始广泛关注由于工业飞速发展而带来的一系列环境问题，许多国家针对工业排除的污染物开展了声势浩大的治理污染工作，即对各工业排放的污染物进行末端治理。对排放的各种污染废水、工业废气进行治理，人们付出了巨大代价，然而由于工业迅速发展，排放污染物急剧增加，这种末端治理并没有从根本上解决环境恶化的问题，近20年来发生的十大公害事件又一次震撼了人们（意大利维索化学污染、法国阿摩柯卡的斯油轮泄油、美国三哩岛核电站泄漏、英国威尔士饮用水污染、墨西哥气体爆炸、印度博帕尔农药泄漏、前苏联切尔诺贝利核电站泄漏、瑞士莱茵河污染、美国莫农格希拉河污染和美国埃克森·瓦尔迪兹油轮漏油）。美国国会1990年10月通过了《污染预防法》，把污染预防作为美国的国家政策，取代了长期采用的末端处理的污染控制政策。欧洲许多国家，如法国、荷兰和德国把清洁生产作为一项基本国策。近年来，加拿大开展了“3R”运动，“3R”为Reduce、Reuse、Recycle三词的词头，即减少、再利用、循环利用的意思。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。

在我国，由于人口众多，经济增长速度过快，加之落后的经济增长方式和技术管理，资源、能源浪费严重，已成为我国经济可持续发展的瓶颈。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，不能从根本上解决污染问题，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，探索一条既能落实环境保护基本国策、实施可持续发展战略，又能使经济、社会、环境、资源协调发展的新途径——清洁生产。

1.2 清洁生产的基本概念

1.2.1 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，联合国环境规划署率先提出“清洁生产”，亦被称为“无废工艺”、“废物减量化”和“污染预防”，得到国际社会普遍响应，使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求，使社会经济效益最大的一种生产方式。

(2) 清洁生产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地应用于生产过程、产品服务中，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。

① 对生产过程，要求节约原材料和能源，淘汰有毒原材料，减少并降低所有废物的数量和毒性。

② 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。

③ 对服务，要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

(5) 《中国21世纪议程》的定义如下。清洁生产是指既能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生产和措施，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生产方式，概括地说：节能、降耗、减污、高产，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。

1.2.2 清洁生产的内容

清洁生产是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的新型生产模式。通过不断提高生产效益、以最小的原材料和能源消耗，生