

冶金过程污染控制与资源化丛书

绿色冶金与清洁生产

马建立 郭 斌 赵由才 主编



冶金工业出版社

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

冶金过程污染控制与资源化丛书

绿色冶金与清洁生产

马建立 郭斌 赵由才 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2007

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色冶金与清洁生产/马建立等主编. —北京: 冶金工业出版社, 2007. 6

(冶金过程污染控制与资源化丛书)

ISBN 978-7-5024-4247-7

I. 绿… II. 马… III. 冶金—无污染技术 IV. TF1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 072057 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 程志宏 美术编辑 李 心 版面设计 张 青

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4247-7

北京鑫正大印刷有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
2007 年 6 月第 1 版, 2007 年 6 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 16.25 印张; 432 千字; 502 页; 1 3000 册

49.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

冶金过程污染控制与资源化丛书

编 委 会

主 任 赵由才

副主任 刘 清

委 员	马建立	唐 平	曹先艳	孙晓杰
	孙英杰	宋立杰	李鸿江	招国栋
	钱小青	肖 灿	王金梅	牛冬杰
	柴晓利	郭 斌		

丛 书 前 言

冶金工业是一门既古老又现代的工业门类。黑色金属(钢铁)、有色金属(包括铜、锌、铅、铬、镍等)、稀有金属(包括钨、钼、钽、铌等)、贵金属(包括金、银、铂、钯等)、放射性金属(铀、钚等)、稀土金属等的各种形态物质的生产、加工等均属于冶金工业的范畴。

冶金工业是我国国民经济的支柱产业之一,为社会的发展做出了重要贡献。然而,冶金企业造成的环境污染与资源浪费也是相当严重的。每生产 1t 钢的总耗水量为 100~300t。虽然水的循环使用率已大大提高,但每吨钢需要处理的废水一般仍达 50t 左右。废水中带有大量有害的悬浮泥渣及溶解物质,而且温度较高(30~60℃),直接外排会造成热污染。钢铁工业造成的大气污染尤为严重,每生产 1t 钢要产生废气 10000m³,粉尘 100kg,废气中含有一氧化碳、二氧化硫及氧化铁等有害物质。此外,生产 1t 钢还要产生近 0.5t 钢铁废渣。由于冶金工业产生的污染物数量大、毒性强、品种多,造成的环境问题极为严重,因此对冶金工业污染的处理处置及资源化有着巨大的环境价值、经济价值和社会价值。多年来,我国各级政府、相关企业对冶金污染控制与资源化做了大量研究开发和整治工作,取得了明显的成效,积累了大量的经验教训。然而,国内外相关资料比较分散,部分冶金学术著作中对其污染控制与资源化虽有所描述,但并不全面和系统,读者难以系统深入了解和掌握,故实用性较差。

本丛书全面系统地描述了国内外冶金污染控制与资源化

的原理、技术、应用工艺、管理、法律和法规等内容,包括冶金过程固体废物处理与资源化、冶金过程大气污染控制与资源化、冶金过程废水处理与利用、矿山固体废物处理与资源化、冶金企业废弃生产设备设施处理与利用、冶金企业受污染土壤和地下水整治与修复、绿色冶金与清洁生产等。

这套丛书适合于大、中专院校教学使用,也可供从事环境保护的工程技术人员、国家和地方政府的工业管理部门以及科技管理部门的相关人员阅读和参考。

本丛书中所引用的国内外文献资料均在参考文献或文中列出,但由于参考文献来源广泛,如编者在归纳、整理中出现遗漏,请有关资料作者谅解。

赵由才

2007年1月

于同济大学明净楼

前 言

清洁生产 (Cleaner Production) 是 20 世纪 80 年代以来发展起来的一种全新的、创造性的保护环境的战略措施, 它着眼于从根本上解决工业污染的问题, 即在污染前采取防止对策, 实行工业生产全过程控制, 将污染物消除在生产过程之中, 而不是在污染后采取措施治理。许多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 (少废或无废技术), 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重要的战略措施。

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绿色生产方式。工业生产绿色化是清洁生产在工业领域的体现和发展, 概括地讲就是: 低消耗、低污染、高产出, 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。

冶金工业是我国国民经济建设的支柱产业, 同时也是环境污染和能耗大户。在冶金行业内推行清洁生产, 从而实现冶金工业的绿色化是推动全社会节能降耗, 提高能源利用效率, 加快建设节约型社会的客观要求; 是缓解甚至解决资源约束矛盾, 保障国家能源安全的现实选择; 是改善环境质量, 缓解环境压力的根本措施; 是提高经济增长质量和效益, 增强企业竞争力的重要途径。

本书从绿色冶金角度出发, 将冶金领域内先进的生产设备和技术工艺作为本书的主要内容, 阐明在现代化工业发展阶段解决由冶金过程引发的环境、能源等一系列问题的最佳

办法。书中详细介绍了清洁生产的概念、企业实施清洁生产的步骤及相关的环境管理体系,并系统、全面地阐述了钢铁行业、有色冶金行业及矿业工业中的清洁生产工艺、节能减废技术、污染物控制技术和资源综合利用技术等内容及其在相关领域的应用。

参加本书编写的有马建立(第1章),周江亚(第2章),倪静(第3章),王金梅、刘涛(第4章),郭斌、李良玉(第5章),马建立、赵由才(第6章),牛冬杰、柴晓利(第7章)。本书由马建立、郭斌和赵由才任主编,王金梅负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中得到了程志宏、刘清、王琛等同志的大力帮助,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,本书难免会有一些缺点与不足,恳请有关同仁及相关专业人士批评指正。

编 者

2006年12月25日

于同济大学污染控制与
资源化研究国家重点实验室

目 录

1 清洁生产概述	1
1.1 清洁生产的基本概念	1
1.1.1 清洁生产的发展历程	1
1.1.2 清洁生产的定义	5
1.1.3 清洁生产的主要内容	8
1.2 清洁生产与可持续发展	15
1.2.1 可持续发展含义及内容	15
1.2.2 我国可持续发展所面临的问题	17
1.2.3 推行清洁生产是实现 可持续发展的内在要求	18
1.3 清洁生产与循环经济	19
1.3.1 循环经济的内涵	19
1.3.2 清洁生产与循环经济的关系	21
1.3.3 循环经济发展概况	22
1.4 国内外清洁生产概况	24
1.4.1 国内清洁生产概况	24
1.4.2 国外清洁生产概况	28
2 清洁生产的实施	36
2.1 清洁生产的实施途径	36
2.1.1 源头削减	36
2.1.2 资源循环利用	39
2.1.3 必要的末端治理	40
2.1.4 清洁生产的实施工具	41

2.2 清洁生产审核	50
2.2.1 清洁生产审核概述	50
2.2.2 清洁生产审核的过程	52
2.2.3 清洁生产与清洁生产审核	55
3 清洁生产与环境管理体系	56
3.1 环境管理体系产生的背景	56
3.1.1 环境管理体系的形成	56
3.1.2 环境管理体系的标准化发展	57
3.2 ISO 14000 简介	58
3.2.1 ISO 14000 概况	58
3.2.2 环境管理体系标准 (ISO 14001、ISO 14004) 概况	64
3.3 清洁生产与 ISO 14000 环境管理体系	71
3.3.1 清洁生产审核与环境管理体系审核	71
3.3.2 清洁生产与 ISO 14000 环境管理体系的综合应用	72
3.4 环境管理体系审核认证	79
3.4.1 环境管理体系审核认证程序	79
3.4.2 环境管理体系两个审核阶段的区别	82
4 绿色化学与绿色工业	84
4.1 绿色化学原理	84
4.1.1 绿色化学的提出及其含义	84
4.1.2 绿色化学的原则	85
4.1.3 各国政府对绿色化学的政策	87
4.1.4 绿色化学在中国的发展和研究战略	89
4.2 绿色工业与清洁生产	92
4.2.1 绿色工业的理论基础——工业生态学	92
4.2.2 绿色设计	97

4.2.3 绿色制造	101
4.2.4 绿色工业与清洁生产	106
4.3 绿色产品的生命周期评价	109
4.3.1 绿色产品	109
4.3.2 绿色标志	110
4.3.3 绿色产品的生命周期评价	113
4.4 绿色冶金工业的发展趋势	122
4.4.1 绿色冶金工艺技术	122
4.4.2 冶金工业的绿色化生产	123
4.4.3 绿色的污染物处理技术	125
4.4.4 绿色冶金生态工业示范园	127
5 绿色的钢铁工业	131
5.1 钢铁工业生产概述	131
5.1.1 我国钢铁工业发展现状	131
5.1.2 钢铁生产工艺	132
5.1.3 钢铁工业污染物排放及其特点	135
5.2 绿色的钢铁工业生产技术	143
5.2.1 绿色的钢铁工业概述	143
5.2.2 烧结工序生产新技术	150
5.2.3 炼焦工序生产新技术	155
5.2.4 高炉炼铁工序生产新技术	160
5.2.5 炼钢工序生产新技术	168
5.2.6 轧钢工序生产新技术	181
5.3 钢铁工业节能减废新技术	182
5.3.1 我国钢铁工业能耗	182
5.3.2 钢铁工业节能减废新技术	186
5.4 钢铁工业污染物控制技术	207
5.4.1 钢铁工业废水控制技术	207
5.4.2 钢铁工业固体废物资源化综合利用	219

5.5 钢铁工业清洁生产工程实例	227
5.5.1 主要技术措施	227
5.5.2 典型的清洁生产技术	228
5.5.3 绿色宝钢的建设	230
6 绿色的有色冶金工业	232
6.1 炼铅工业的清洁生产工艺	232
6.1.1 炼铅工艺概述	232
6.1.2 直接炼铅新工艺	235
6.1.3 炼铅废渣回收处理技术	245
6.1.4 铅鼓风炉渣的处理	252
6.1.5 湿法炼铅新技术	259
6.2 炼锌工业的清洁生产工艺	262
6.2.1 炼锌工艺概述	262
6.2.2 焙烧矿的湿法冶炼新工艺	265
6.2.3 硫酸锌溶液的净化新技术	274
6.2.4 电积提锌新技术	281
6.3 炼铜工业的清洁生产工艺	285
6.3.1 炼铜工艺概述	285
6.3.2 强氧化熔炼技术	288
6.3.3 湿法炼铜新工艺	302
6.4 其他有色金属的清洁生产工艺	310
6.4.1 铝冶金减废新技术	310
6.4.2 镍冶金减废新技术	319
6.5 绿色的有色冶金工业生产技术	326
6.5.1 绿色湿法冶金技术	326
6.5.2 生物冶金技术	347
6.5.3 再生资源循环利用技术	355
6.6 有色冶金工业废弃物控制与综合利用	361
6.6.1 有色冶金工业废气和炉尘	361

6.6.2 有色冶金工业废渣	376
6.6.3 有色冶金工业废水	386
6.7 有色冶金工业清洁生产工程实例	389
6.7.1 株冶和韶冶锌冶炼过程的生命周期评价 和清洁生产措施	389
6.7.2 铅锌硫化矿浮选的清洁生产	392
7 绿色的矿业工业	399
7.1 金属矿业工业概述	399
7.1.1 金属矿业工业	399
7.1.2 金属矿业工业生产技术	400
7.1.3 金属矿业工业污染物排放	407
7.2 绿色的金属矿山建设	412
7.2.1 绿色矿山的开发模式	412
7.2.2 绿色矿山的主要内容	413
7.2.3 绿色矿山生产技术	418
7.2.4 绿色矿山的建设与恢复	427
7.3 金属矿山的生态恢复	430
7.3.1 金属矿山的生态恢复	430
7.3.2 金属矿山的复垦	440
7.4 矿山污染物控制和综合利用	460
7.4.1 金属矿山废水的控制与处理	460
7.4.2 尾矿资源的综合回收利用	471
7.5 金属矿业城市的可持续发展	484
7.5.1 中国矿业城市特点和存在的主要问题	485
7.5.2 矿业城市经济转型模式	488
7.5.3 矿山二次资源的开发利用	495
参考文献	499

1.1 清洁生产的基本概念

1.1.1 清洁生产的发展历程

1.1.1.1 清洁生产的发展

清洁生产的基本思想最早出现于 1974 年美国 3M 公司推行的“污染预防有回报”，即 3P (Pollution Prevention Pays) 计划中。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，也曾采用了不同的提法，如废物最少量化、无废少废工艺、清洁工艺、污染预防等等。但是这些概念不能包容上述多重含义，尤其不能确切表达当代环境污染防治于生产及可持续发展的新战略。

联合国环境规划署与环境规划中心 (UNEP IE/PAC) 综合各种说法，于 1989 年 5 月首次提出“清洁生产”这一术语，用来表明从原料、生产工艺到产品使用全过程的广义的污染防治途径，并定义为“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中，以期减少对人类和环境的风险。”

1990 年 10 月联合国环境规划署 (UNEP) 正式提出清洁生产计划，希望摆脱传统的末端控制技术，超越废物最小化，使整个工业界走向清洁生产。

1992 年 6 月在联合国环境与发展大会上，正式将清洁生产定为实现可持续发展的先决条件，同时也是工业界达到改善和保持竞争力及可盈利性的核心手段之一，并将清洁生产纳入《二十一世纪议程》中。随后根据环发大会的精神，联合国环境规划署调整了清洁生产计划，建立示范项目及国家清洁生产中心，以加强各地区的清洁生产能力。

1993年5月,联合国环境规划署又推出了环境无害技术转让的决定,推动了清洁生产的发展。

1996年,联合国环境规划署提出了一种新的定义,延伸了7年前定义的覆盖面,不仅对生产过程与产品,对服务也提出了要求。新的定义要求将环境因素纳入产品的设计和所提供的服务中。这种服务实际上是对产品最终处置的进一步强调与补充。在产品问世前,应当考虑环境因素,采用“绿色设计”,消除产品形成后对环境产生的负面影响,亦即强调从产品的生产到消费到最终的处置全过程——产品全生命周期的清洁生产。

1998年10月,在汉城清洁生产会议签署了《国际清洁生产宣言》。宣言认识到实现可持续发展是共同的责任,保护地球环境必须实施并不断改进可持续生产和消费的实践;相信清洁生产以及其他例如“生态效率”、“绿色生产力”及“污染预防”等预防性战略是更佳的选择;认识到清洁生产意味着将一个综合的预防战略,持续地应用于生产过程、产品及服务中,以实现经济、社会、健康、安全及环境的效益。

自从清洁生产的概念提出后,每两年都要举行一次全球范围的清洁生产研讨会,交流各国各地清洁生产的方法和经验,为未来的工业化指明发展方向。目前,美国、澳大利亚、荷兰、瑞典、加拿大等国家在清洁生产立法、组织机构建设、科学研究、信息交换、示范项目和推广等领域已取得明显成就。

2005年2月16日,旨在遏制全球气候变暖的《京都议定书》正式生效,目前全球已有141个国家和地区签署议定书,其中包括30个工业化国家。

《京都议定书》规定,到2010年,所有发达国家排放的二氧化碳等6种温室气体的数量,要比1990年减少5.2%,发展中国家没有减排义务。对各发达国家来说,从2008年到2012年必须完成的削减目标是:与1990年相比,瑞士、中欧和东欧国家、欧盟削减8%;美国减排7%;日本、加拿大、匈牙利、波兰削减6%;新西兰、俄罗斯和乌克兰则不必削减,可将排放量稳定

在 1990 年水平上；挪威、爱尔兰、澳大利亚的排放量可分别增加 1%、10% 和 8%。

为了提高《京都议定书》的可操作性，气候公约缔约方会议及其附属机构会议通过谈判提出了“议定书三机制”，即议定书第六条所确立的允许发达国家“联合履行机制”（Jointly Implement, JI）政策和措施、第十二条所确立的清洁发展机制（Clean Development Mechanism, CDM）和第十七条所确立的国际排放贸易（International Emissions Trading, IET）。

JI 是指发达国家之间通过项目级的合作，其所实现的减排单位可以转让给另一发达国家缔约方，但是同时必须在转让方的“分配数量”配额上扣减相应的额度。

IET 是指一个发达国家，将其超额完成减排义务的指标，以贸易的方式转让给另外一个未能完成减排义务的发达国家，并同时从转让方的允许排放限额上扣减相应的转让额度（“排放配额单位”）。

CDM 主要内容是指发达国家通过提供资金和技术的方式，与发展中国家开展项目级的合作，通过项目所实现的“经核证的减排量”，用于发达国家缔约方完成在议定书第三条下的承诺。CDM 被认为是一项“双赢”机制：一方面，发展中国家通过合作可以获得资金和技术，有助于实现自己的可持续发展；另一方面，通过这种合作，发达国家可以大幅度降低其在国内实现减排所需的高昂费用。

1.1.1.2 清洁生产在中国的发展

中国对清洁生产也进行了大量有益的探索和实践。中国早在 20 世纪 70 年代初就提出了“预防为主，防治结合”，“综合利用，化害为利”的环境保护方针，该方针充分体现和概括了清洁生产的基本内容；80 年代开始推行少废和无废的清洁生产过程；90 年代提出的《中国环境与发展十大对策》中强调了清洁生产。

1994 年将清洁生产明确写入了《中国 21 世纪议程》。在确定国家可持续发展优先项目中，把建立资源节约性工业生产体

系、推行清洁生产列入了可持续发展战略与重大行动计划中，并指出清洁生产的实质是一种原材料和能耗最少的人类生产活动的规划和管理。在《中国 21 世纪议程》中还提出，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。

1995 年 5 月和 9 月，先后在北京和上海举行了两次规模较大的国际清洁生产与经济效益高级研讨会，对下一步在中国全面推行清洁生产起到了经验交流、学习宣传和促进推动作用。

1996 年国务院《关于环境保护若干问题的决定》再次明确新建、改建、扩建项目，技术起点要高，尽量采用能耗物耗小、污染物排放量少的清洁生产工艺。

1998 年 9 月 29 日，中国代表在韩国汉城首批签约《国际清洁生产宣言》，向世界承诺中国推行清洁生产的行动战略。

1999 年 3 月，全国人大九届二次会议通过的朱镕基总理的《政府工作报告》提出“鼓励清洁生产”，这是国家最高级别会议首次提出清洁生产，再次充分表明中国政府已将实施污染防治，推行清洁生产提上国家议事日程。

1999 年 5 月，国家经贸委批准北京、天津、上海、重庆、沈阳、太原、济南、昆明、兰州、阜阳等 10 座城市为全国清洁生产示范试点城市；石化、冶金、化工、轻工、船舶等 5 个行业为全国清洁生产示范试点行业。

2003 年 1 月 1 日，我国开始实施《中华人民共和国清洁生产促进法》，进一步表明清洁生产已成为我国工业污染防治工作战略转变的重要内容，成为我国实现可持续发展战略的重要措施和手段。

从上面我国推进清洁生产的过程不难看出我国政府的积极态度。目前我国正在根据国情，积极推进清洁生产，以节能、低耗、减污为目标，以管理和技术为手段，将整体预防的环境保护战略，持续应用于全生产过程、产品和服务之中；通过对生产全过程的排污审核，筛选最佳方案并实施污染防治，使污染的产生