



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属 理论与应用 SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL APPLICATIONS OF NONFERROUS METALS

有色冶金过程污染控制与资源化

POLLUTION CONTROL AND RESOURCE REUSE IN NONFERROUS METALLURGICAL PROCESS

赵由才 蒋家超 张文海 编著

Zhao Youcai Jiang Jiachao Zhang Wenhai



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

有色冶金过程 污染控制与资源化

POLLUTION CONTROL AND RESOURCE REUSE
IN NONFERROUS METALLURGICAL PROCESS

赵由才 蒋家超 张文海 编著

Zhao Youcai Jiang Jiachao Zhang Wenhai



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

图书在版编目(CIP)数据

有色冶金过程污染控制与资源化/赵由才,蒋家超,张文海编著.
—长沙:中南大学出版社,2012.12
ISBN 978-7-5487-0609-0

I. 有... II. ①赵...②蒋...③张... III. ①有色金属冶金—
冶金过程—污染控制②有色金属冶金—冶金过程—资源化
IV. X758

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 188310 号

有色冶金过程污染控制与资源化

赵由才 蒋家超 张文海 编著

☐责任编辑 史海燕

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷有限公司

☐开 本 720 × 1000 B5 ☐印张 25.75 ☐字数 498 千字

☐版 次 2012 年 12 月第 1 版 ☐2012 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0609-0

☐定 价 110.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

内容简介

Introduction

本书共分 11 章,分别介绍了有色金属工业环境污染控制与资源化相关内容,主要内容包括有色金属工业环境污染现状及污染综合防治,有色金属工业环境管理,各种污染控制及资源化技术基础(包括大气污染、水污染和固体废物),有色金属采选、冶炼、加工等过程中的“三废”污染控制与资源化技术及工程应用实例,含锌废物及贫杂氧化锌矿碱介质湿法生产金属锌粉技术原理及工程应用。全书结构清晰,内容简明,原理阐述透彻,突出了有色金属工业“三废”治理与资源化工程应用的特点。

本书可供从事有色冶金生产、管理、环境保护等方面的人员及相关科学研究、工程设计、环境咨询等单位人员学习参考,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考用书。

作者简介

About the Author

赵由才，男，1963年7月生于福建泉州市安溪县，教授、博导。1980年9月安溪一中高中毕业，1984年四川大学化学系本科毕业，1989年12月北京中关村中国科学院化工冶金研究所博士毕业(硕博连读)，1991年复旦大学化学系博士后流动站出站后到同济大学工作至今。1992年6月晋升副教授，1996年1月晋升教授，1999年9月聘为博导，2008年1月被聘为同济大学首批二级教授。先后在瑞士、新加坡、美国和希腊工作4年，获欧盟 Marie-Curie 奖学金、入选教育部跨世纪优秀人才、上海市科技“启明星”人才计划和“启明星后”人才跟踪计划、上海市优秀青年教师，享受国务院政府特殊津贴。从事危险废物、生活垃圾、建筑废物、污泥等处理与资源化研究与应用，提出矿化垃圾概念和定量化指标体系，在锌铅危险废物碱介质湿法冶金资源化利用、生活垃圾卫生填埋与焚烧发电、建筑废物污染控制、河湖底泥处置、矿化垃圾处理渗滤液、温室气体减排与控制、湿垃圾(餐厨垃圾)及城市与工业污泥化学调理与深度脱水及其卫生填埋等方面做了系统性研究工作，研究成果得到广泛应用。担任八种杂志副主编或编委、六种丛书编委会主任。承担了5项国家基金项目、4项科技部863和科技支撑课题、1项环保部公益性科研专项项目、12项上海市科委重大和重点项目、3项教育部重大和博士点项目及跨世纪人才培养项目、18项企业技术研发项目等；作为第一完成人主持的“可持续生活垃圾填埋处置及资源化研究与应用”、“生活垃圾能源化和资源化关键技术及应用”、“大宗碱溶性金属废物碱介质提取技术与产业化应用”分别获得2008年上海市科技进步奖一等奖、国家教育部2011年科技进步奖一等奖、上海市2010年技术发明奖二等奖。授权发明专利33项，SCI收录论文98篇，出版专著和学术著作71部(2500万字)。培养博士和博士后48名，硕士58名、教育部委派进修生6名。

蒋家超，男，1981年生，江苏省徐州市丰县人，中共党员，博士，中国矿业大学讲师。1999—2006年，在中国矿业大学环境工程专业学习，先后获学士、硕士学位；2006—2010年，在同济大学环境学院攻读博士学位。硕士期间主要从事污水治理工艺及机理研究，博士期间主要从事固体废物处置与利用研究，在高浓度氨氮废水处理、重金属危险废物无害化处置与资源化利用等方面开展了系统而深入的科研工作。参与国家863计划项目、上海市科委重大专项、校企联合项目等4项，主持校级科研项目1项。目前，获上海市技术发明二等奖1项，申请发明专利4项(2项已授权)，发表论文13篇(5篇被EI检索)，主编《矿山固体废物处理与资源化》、《碱介质湿法冶金技术》、《工业领域温室气体减排与控制技术》专业书籍3部，参编《固体废物处理与资源化实验》、《大气污染控制工程》、《环境保护概论》专业教材3部。

张文海，男，1939年生，福建省福州市长乐县人，有色金属冶金专家，中国工程院院士。1963年毕业于中南矿冶学院，长期从事有色冶金工程设计和科学研究，历任江西贵溪冶炼厂、安徽金隆铜业公司等国家重点工程总设计师。主持金隆铜业“冷风闪速炼铜”技术攻关获得成功，并首次实现我国闪速炼铜设备国产化和输出，促进了我国铜冶金的技术进步。致力于冶金过程控制与计算机软件的研发，对循环物料的平衡及挥发性元素的积累提出了定量的数学描述方法，软件成果在多项国内外工程应用，为提高我国工程设计技术水平做出贡献。作为第一完成人，获国家科技进步一等奖、国家优秀工程设计金奖、国家优秀计算机工程软件金奖、香港刘永龄奖等10余项。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张懿	中国工程院院士	陈景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周廉	中国工程院院士	钟掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司总经理)

副主任

邱冠周(教授 国家“973”项目首席科学家)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东(教授 中南大学出版社社长)

委 员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 陈灿华

胡业民 刘 辉 谭 平 张 曦 周 颖

汪宜晔 易建国 李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合的金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，《有色金属理论与技术前沿丛书》计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士学位论文获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。《有色金属理论与技术前沿丛书》瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程技术方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在《有色金属理论与技术前沿丛书》的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、科研院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010年12月

前言

Foreword

有色金属又称非铁金属，是除铁、锰、铬以外的所有金属的统称，是现代经济、社会发展和国防建设的关键支撑材料。有色金属工业是以开发利用有色金属矿产资源为主的基础性产业，包括矿石采选、冶炼、加工等环节。进入 21 世纪以来，受市场需求高速增长刺激，我国有色金属工业总量持续快速扩张，目前总产量已居世界第一。随着我国经济社会发展及工业化、城市化进程加快，对有色金属的需求仍不断增加，必将有力地推动我国有色金属工业的进一步发展。

有色金属工业属于矿物加工利用型行业，包括采选、冶炼、加工等在内的有色冶金各过程均会产生大量的废气、废水和废渣。这些“三废”的产生不仅腐蚀生产设备，恶化生产环境，影响生产的正常运行，而且还严重污染大气、水体和土壤，危害人体健康，破坏周边生态环境。同时，有色金属矿石采选、冶炼、加工过程中产生的脉石、尾矿和废渣等还将侵占大量的土地资源。在一些地区，有色金属甚至成了环境污染的代名词。随着我国环境保护工作的开展及污染治理力度的加大，以及冶金、环保界同仁们的共同努力，我国有色金属工业在环境保护方面取得了很多成绩，污染治理初见成效。然而，受经济、技术等发展水平限制，我国有色金属工业目前仍面临着资源利用率低、能源消耗高、污染物排放量大等问题。有色金属工业发展中的环境问题仍将在今后一段时期内长期存在。

有色冶金过程污染控制的根本出路在于清洁生产和废物的循环使用，如采用无毒无害的化学试剂代替有毒有害的化学试剂，产生的废水全部循环使用而不对外排放。另外，许多矿石的伴生矿很多，在生产过程中，一般以某种金属为目标加以分离，其他

伴生元素事实上也就以废物形式进入环境中，因此可以将其中所含的有价资源加以回收利用，以保护环境和节约资源。对于有色金属工业发展而言，节能减排、生态保护、资源综合利用等环境要求对有色金属工业的企业布局和产业结构调整起着重要的制约作用。环境问题影响到有色金属工业的国际形象，特别在利用外资、引进技术和出口产品时会影响到有色金属工业的国际合作。因此，污染控制与资源化已成为有色金属工业发展中的一项极为重要的工作。

本书是“有色金属理论与技术前沿丛书”中的一部，全书共11章。第1章介绍了有色金属工业的发展及发展中存在的主要环境问题，并对污染综合防治的概念及措施进行了论述。第2章概述了环境管理的概念及其与清洁生产的关系，讨论了有色企业环境管理的概念、内容、主要手段及存在的问题等，提出了强化环境管理的建议。第3章、第4章和第5章针对有色金属工业“三废”情况，介绍了环保界已经成熟或近年来新兴的“三废”污染防治与资源化技术和原理，以及有色金属工业温室气体的减排与控制措施。第6章、第7章、第8章、第9章和第10章按照有色冶金生产环节顺序，分别对采选、冶炼、加工过程中具体“三废”的来源及其污染控制与资源化技术进行了系统阐述，并以案例形式介绍了各生产环节“三废”治理及资源化的方法。第11章系统介绍了一种体现清洁生产及资源综合利用思想的典型技术工艺，即以含锌废物和贫杂氧化锌矿为原料碱浸-电解生产金属锌粉。

本书编写人员长期从事有色冶金生产研究和环保技术开发工作。在编写过程中，参阅了当前国内外最新的文献资料。全书内容涵盖了有色金属工业主要污染物的控制技术 & 资源化方法，反映了我国有色金属工业污染治理工作的实际情况，同时力求理论与工程实践相结合。需要指出，近几年我国对有色金属行业的污染治理力度不断增强，2010年以来国家先后出台了铝、镁、钛、铜、镍、钴、铅、锌、稀土等工业的污染物排放标准。与之前的标准相比，新标准更为严格和具体。有色企业在现有生产技术水平 & 环保设施基础上如何进行调整和改进，以满足新的污染排放标准，是当前亟待解决的重大问题。希望本书的出版可以为从事有色冶金生产、管理、环境保护等方面的人员及相关科学研究、工程设计、环境咨询等单位的人员提供借鉴和参考。

本书第1章由蒋家超、张文海编写，第2章由蒋家超、赵由才编写，第3章和第5章由崔亚伟、万田英、蒋家超编写，第4章和第7章由杨爽编写，第6章由姜亚敏编写，第8章由万田英编写，第9章由蒋家超、赵由才编写，第10章由冯雷雨编写，第11章由蒋家超、张承龙、赵由才编写。

多年来致力于有色冶金污染控制与资源化的专家、学者和工程管理技术人员为本书提供了大量的参考资料，易天晟、施万胜、徐军科、王海峰、汪宝英等参与了部分资料的收集工作并提出了中肯建议，中南大学出版社史海燕编辑为本书整理出版提供了大力的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间有限，在本书编写过程中难免会出现漏误及不足之处，热忱希望读者提出批评和意见。

编 者

目录

Contents

第1章 绪论	1
1.1 有色金属工业发展概况	1
1.1.1 有色金属及矿产资源	1
1.1.2 我国有色金属工业的发展	4
1.1.3 我国有色金属工业发展主要存在的问题	5
1.2 有色金属工业环境污染形势	7
1.2.1 基本形势	7
1.2.2 能源消耗	7
1.2.3 水资源消耗	8
1.2.4 “三废”排放	9
1.2.5 重金属排放	12
1.2.6 矿区生态环境破坏	15
1.2.7 环境干扰	16
1.3 环境污染综合防治	17
1.3.1 污染综合防治概论	17
1.3.2 有色金属工业产业政策与环保政策	18
1.3.3 有色金属工业污染综合防治措施	20
第2章 有色金属工业企业环境管理	23
2.1 环境管理概论	23
2.1.1 环境管理的概念及对象	23
2.1.2 环境管理的手段与原则	24
2.2 环境管理体系与清洁生产	26
2.2.1 环境管理体系概述	26
2.2.2 清洁生产概述	31
2.2.3 环境管理体系与清洁生产的关系	34
2.3 有色企业的环境管理	35
2.3.1 有色企业环境管理的概念、内容及体制	35

2 / 有色冶金过程污染控制与资源化

2.3.2 作为管理主体的有色企业的环境管理	38
2.3.3 作为管理对象的有色企业的环境管理	39
2.3.4 有色企业环境管理的主要手段	40
2.3.5 有色企业环境管理面临的主要问题及建议	41

第3章 有色冶金过程大气污染控制基础 44

3.1 大气污染概述	44
3.1.1 大气污染的基本概念	44
3.1.2 大气污染的影响与危害	45
3.2 颗粒污染物去除技术	45
3.2.1 颗粒的物理特性	45
3.2.2 颗粒捕集的理论基础	53
3.2.3 净化装置的性能	55
3.2.4 除尘装置	55
3.2.5 除尘器的选择	59
3.3 气态污染物净化技术	61
3.3.1 气态污染物净化方法	61
3.3.2 低浓度二氧化硫烟气脱硫	65
3.3.3 含氮氧化物废气的净化	67
3.3.4 挥发性有机物的控制	68
3.3.5 酸雾治理	70
3.3.6 恶臭控制	71
3.4 温室气体减排与控制	73
3.4.1 温室气体的种类及来源	73
3.4.2 温室气体减排及控制措施	73
3.4.3 有色冶金过程温室气体的减排与控制	74

第4章 有色冶金过程废水治理基础 75

4.1 概述	75
4.2 物理处理	75
4.2.1 格栅和筛网	75
4.2.2 沉淀池	76
4.2.3 隔油池	78
4.2.4 气浮池	78
4.3 生物法	78
4.3.1 活性污泥法	78

4.3.2	生物膜法	84
4.3.3	厌氧生物处理法	89
4.3.4	稳定塘废水净化系统	92
4.3.5	废水土地处理系统	93
4.4	化学法	95
4.4.1	中和法	95
4.4.2	混凝法	96
4.4.3	化学沉淀法	99
4.4.4	氧化还原法	100
4.4.5	超临界处理技术	101
4.5	传质法	102
4.5.1	离子交换法	102
4.5.2	吸附法	105
4.5.3	萃取法	107
4.5.4	膜析法	108
4.6	传热、蒸发、结晶	110
4.6.1	传热	110
4.6.2	蒸发	111
4.6.3	结晶	111
4.7	中水回用技术	111
4.7.1	回用途径及回用水水质标准	111
4.7.2	预处理技术	111
4.7.3	深度处理技术	112
4.7.4	组合技术	112
4.7.5	回用安全措施	113
第5章 有色冶金过程固体废物处置与利用基础		114
5.1	概述	114
5.1.1	固体废物的定义及分类	114
5.1.2	固体废物的环境危害	116
5.1.3	固体废物的处置及利用	116
5.2	固体废物的收运、压实、破碎与分选	117
5.2.1	固体废物的收运	117
5.2.2	固体废物的压实	117
5.2.3	固体废物的破碎	118
5.2.4	固体废物的分选	119

4 / 有色冶金过程污染控制与资源化

5.3 固体废物的生物处理	121
5.3.1 好氧堆肥	121
5.3.2 厌氧消化	122
5.3.3 微生物浸出	123
5.4 固体废物的热处理	124
5.4.1 焚烧处理	124
5.4.2 热解处理	126
5.5 危险性废物的土地处置	127
5.5.1 危险废物安全填埋场	127
5.5.2 放射性废物的处置	130
5.6 采矿废石的排土场贮存	131
5.6.1 排土场的类型	131
5.6.2 排土场的发展方式	133
5.6.3 排土场的设计及运行管理	133
5.7 选矿废物的尾矿库贮存	137
5.7.1 尾矿库设施及类型	137
5.7.2 尾矿库选址及等别划分	140
5.7.3 尾矿库的设计及管理维护	141
5.8 固体废物的资源化利用	142
5.8.1 资源化的意义	142
5.8.2 资源化原则及途径	142

第6章 有色金属矿物采选过程中的污染控制与资源化

6.1 大气污染控制	144
6.1.1 大气污染物主要来源及特点	144
6.1.2 污染控制技术	149
6.1.3 案例	155
6.2 废水治理	158
6.2.1 废水来源及特点	158
6.2.2 污染预防措施	160
6.2.3 治理技术	160
6.2.4 案例	171
6.3 固体废物处理	173
6.3.1 固体废物的来源及特点	173
6.3.2 处理技术	176