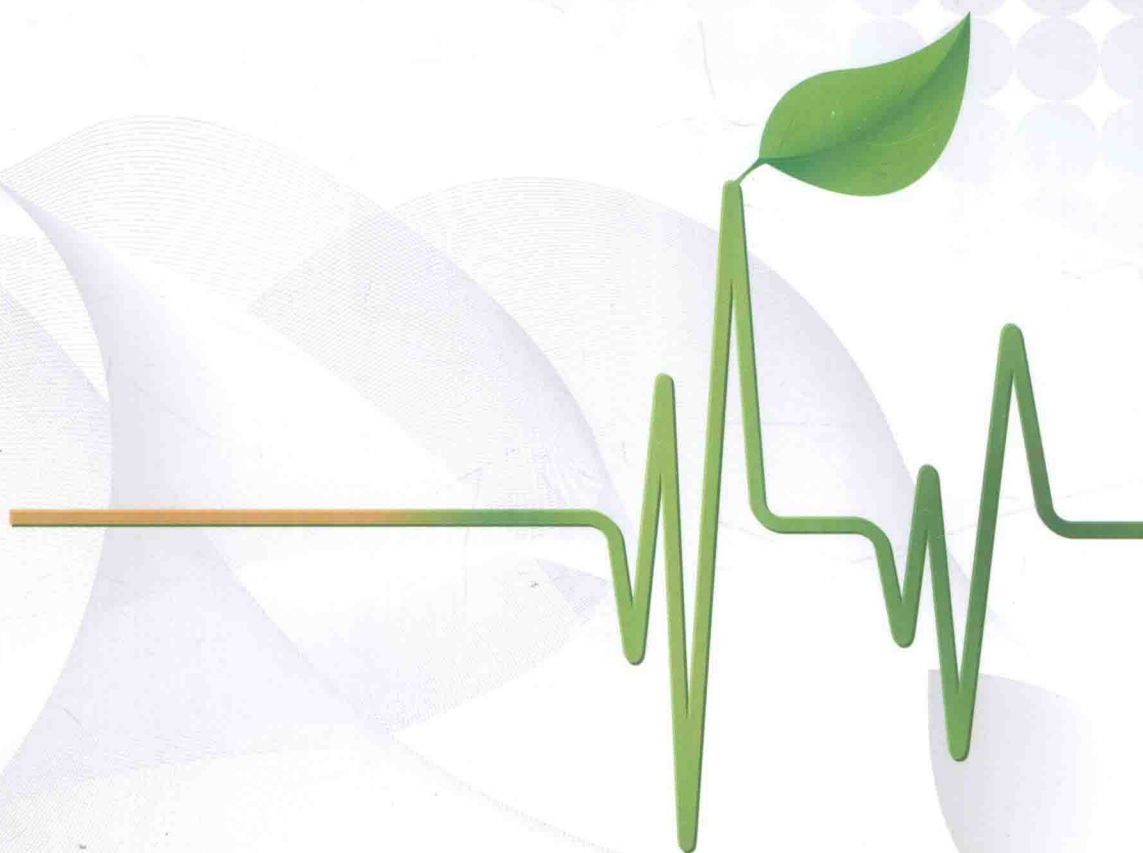


现代有色冶金 环境工程

柴立元 著



科学出版社

现代有色冶金环境工程

柴立元 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于有色冶金环境工程的内涵与发展,以有色冶金污染源、基础理论、最新技术和工程案例为主线,系统介绍了有色冶金环境工程相关知识与作者二十多年来科研工作的研究成果。全书共分为六篇,分别为绪论、有色冶金环境工程基础理论(有色冶金污染物沉淀-溶解、吸附-解吸、氧化还原和重金属复杂矿物相分解-转化基础理论)、有色冶金二次资源综合利用新技术(锌浸渣有价金属综合回收技术、铅锌冶炼渣硫化-浮选回收人造硫化矿技术、高砷多金属物料清洁利用技术)、有色冶金“三废”污染治理新技术(重金属废水多基团配位深度处理与回用技术、重金属废水新型吸附剂深度处理技术、含砷固废固化/稳定化处理处置技术和低浓度二氧化硫烟气治理与单质硫回收技术)、重金属废渣堆场土壤治理与修复新技术和有色冶金环境工程案例。

本书可供从事有色冶金环境保护工作的科研人员和工程技术人员使用,可作为高校和科研院所研究生的教材及参考书,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代有色冶金环境工程/柴立元著. —北京:科学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-03-052007-4

I. ①现… II. ①柴… III. ①有色金属冶金-冶金工业-环境工程-研究 IV. ①X758

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 044506 号

责任编辑:杨 震 霍志国/责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴/封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:36 3/4 插页:1

字数:870 000

定价:170.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

环境、资源和能源是影响中国有色冶金工业发展的主要因素。环境保护是有色冶金可持续发展的核心，是有色冶金企业的生命线。环境保护与有色冶金的发展如影随形，环境污染事件的发生影响了有色冶金企业的发展，而每一次环境保护标准的提高又倒逼并催生了一批有色冶金新工艺、新技术和新装备。提高自主创新能力，必须发展有色冶金环境工程的基础理论，突破制约有色冶金发展的资源、能源、环境共性技术、关键技术和核心技术，形成并示范推广系列有色冶金二次资源综合利用新技术及有色冶金“三废”污染治理新技术，解决影响产业发展的瓶颈问题，保障与促进有色冶金工业健康绿色发展。

有色冶金环境工程是利用物理、化学、生物等科学原理及冶金工程、环境工程、生物工程等技术手段，解决有色冶金行业资源浪费、环境污染等问题的多学科交叉的一门新兴工程学科。该学科从资源高效利用、节能减排、生态环境保护的角度出发，研究有色冶金过程目标元素和有害元素的高效提取和定向分离的科学原理，实现冶金过程“三废”污染物的高效治理与资源化利用及无害化；研究冶金环境介质中污染物的传输机制及其生态修复技术和方法，建立以环境保护优化经济发展的新模式，为有色冶金工业清洁生产、资源循环利用和环境保护提供新方法和新技术，实现有色冶金工业环境友好、生态环境可持续发展。

有色冶金环境工程主要涉及有色冶金中间物料综合利用、“三废”污染治理与资源循环、污染场地治理等领域。初步建立了“沉淀-溶解”、“吸附-解吸”、“矿相形成-分解/转化”等有色冶金环境工程基础理论；创新研发了有色冶金环境工程系列先进适用技术，如高铁锌物料选冶联合综合回收、重金属冶炼废渣硫化回收人造硫化矿、有色冶炼含磷固废清洁利用等资源综合利用技术，重金属冶炼废水多基团配位深度处理、废(污)酸废水铜砷分离与回用、废水中多离子污染物材料吸附法深度净化、冶炼低浓度二氧化硫烟气治理与硫黄回收、重金属危险废物胶凝固化稳定化等有色冶金“三废”治理新技术，以及重金属废渣堆场土壤治理与修复技术。现代有色冶金环境工程新技术的进步与推广应用为有色冶金工业的可持续发展提供了支撑。

本书的研究工作得到了国家杰出青年科学基金[50925417 有色冶炼减排与重金属污染物资源循环的基础研究]，国家自然科学基金重点项目[51634010 重金属冶炼砷污染物形成与调控原理]、[50830301 有色重金属废水生物法深度处理的基础研究]与面上项目[51474246 铅锌冶炼烟气铅汞形态分布规律及分离原理]、[50508044 内聚营养源 SRB 污泥固定化技术处理重金属废水的研究]、[51474247 有色重金属冶炼废渣硫化法回收过程特征研究]，国家水专项课题[2008ZX07212-001-01 典型重金属污染行业废水污染控制及清洁生产关键技术与集成]，国家“863”计划重点项目[2010AA06520 湘江流域冶炼重金属固体废物减排及其综合利用关键技术与工程示范]，国家“863”计划主题项目

[2011AA061001 选-冶联合清洁炼锌技术], 国家科技支撑计划项目[2007BAC25B00 重金属冶炼和造纸废水深度处理关键技术与工程示范]、国家环保公益科研专项[201509050 铜冶炼过程砷污染源解析及其废物控制技术研究], 湖南省科技重大专项[2009FJ1008 株洲清水塘典型冶化工业区固体废物梯级利用产业链关键技术开发]、[2006SK1002 区域循环经济关键技术与示范], 湖南省科技计划重点项目[05SK1003-1 基于阻断湘江水体重金属污染源的生物处理新技术开发]、[2008SK1002 重金属冶炼节能减排关键技术与工程]、[02CTY2003 重金属废水生物处理技术的开发与产业化]、[2007SK2006 含镉废水废渣处理技术与综合利用研究], 教育部长江学者奖励基金[T2011116]及重大项目[308019 重金属废水生物制剂直接处理与回用关键技术研究], 中央环境保护专项[财建[2006]859 号, 株洲冶炼集团有限公司重金属废水处理资源化]等项目的资助, 在此表示感谢。另外, 还要感谢我的团队成员王云燕教授、闵小波教授、彭兵教授、杨志辉教授、刘恢教授、王海鹰教授、李青竹副教授、杨卫春副教授、王庆伟副教授、周萍教授、陈卓教授、邹滨副教授等, 及我团队所指导的博士、硕士研究生史美清、颜旭、柯勇、梁彦杰以及陈润华、蒋国民、王建强、姜文英、常皓、周敏、尤翔宇、熊珊、袁翠玉、王海棠、闫缓、汤景文、张纯、张志、吴瑞萍、王兵、王延、张海静、胡明、周波生、李密、王洋洋、赵娜、唐琼芝、于婉婷、桑培伦、戴硕、王婷、沈忱、李二平、刘维、邓新辉、彭宁、李燕春、王忠兵、向开松、杨本涛等为本书所做的贡献。书中所引用文献资料统一列在了参考文献中, 部分做了取舍、补充或变动, 而对于没有说明之处, 敬请作者或原资料引用者谅解, 在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限, 书中不足之处在所难免, 敬请读者批评指正。



2017 年 3 月

目 录

前言

第一篇 绪 论

第 1 章 有色冶金环境工程内涵与发展概况	3
1.1 有色冶金与环境工程的关系	3
1.1.1 有色冶金与环境保护	3
1.1.2 有色冶金相关的环境法规标准	4
1.1.3 铅冶金技术进步与环境工程的关系	6
1.2 有色冶金环境工程的概念	7
1.3 有色冶金环境工程发展概况	8
第 2 章 重金属冶金污染源及特征	10
2.1 铜冶金污染源及特征	10
2.1.1 火法炼铜工艺流程及排污节点	10
2.1.2 湿法炼铜工艺流程及排污节点	13
2.2 铅锌冶金污染源及特征	14
2.2.1 铅冶炼生产工艺流程及排污节点	14
2.2.2 锌冶炼生产工艺流程及排污节点	18
2.3 锑冶金污染源及特征	21

第二篇 有色冶金环境工程基础理论

第 3 章 有色冶金污染源解析方法	27
3.1 有色冶金污染物浓度场数值模拟	27
3.1.1 有色冶金污染物浓度场数值模拟方法	27
3.1.2 有色冶金污染物浓度场数学模型	27
3.1.3 求解有色冶金污染物浓度场的有限容积法	29
3.1.4 铜闪速熔炼含砷污染物浓度场的数值模拟	29
3.2 铜闪速熔炼砷污染源解析专家系统	33
第 4 章 有色冶金污染物行为特征	38
4.1 废水中重金属形态分布规律	38
4.1.1 废水中重金属离子存在形态	38
4.1.2 污酸中汞存在形态	39
4.1.3 重金属有机废水中配合离子的存在形态与分布	41

4.2	固体废物中重金属物相分布特征	41
4.2.1	重金属废水处理污泥物相组成及化学形态	41
4.2.2	高温熔炼渣物相组成及化学形态	43
4.2.3	湿法炼锌渣工艺矿物学特征	47
4.2.4	重金属冶炼砷渣工艺矿物学特征	51
4.3	重金属冶炼废气污染物形态与物相分布	55
4.3.1	低浓度二氧化硫烟气	55
4.3.2	锌冶炼烟气中汞分布与形态	55
4.4	冶炼废渣堆场土壤污染特征	57
4.4.1	堆场污染土壤重金属含量	57
4.4.2	堆场污染土壤重金属的赋存形态	60
4.4.3	堆场土壤重金属的迁移与分布	62
第5章	有色冶金污染物沉淀-溶解基础理论	65
5.1	重金属沉淀-溶解平衡	65
5.1.1	重金属复杂水体系沉淀-溶解分离原理	65
5.1.2	水热条件下铅锌沉淀-溶解平衡热力学	91
5.1.3	重金属多基团配位平衡与破络原理	101
5.2	重金属废水化学沉淀颗粒污泥形成理论	105
5.2.1	重金属废水沉淀污泥絮状结构特征和成因	105
5.2.2	重金属废水沉淀颗粒污泥结晶形成原理	106
5.2.3	重金属废水沉淀颗粒污泥聚集原理	108
5.3	稳定矿物相臭葱石沉淀形成热力学	109
第6章	有色冶金污染物吸附-解吸基础理论	113
6.1	砷污染物的吸附-解吸	113
6.1.1	砷在磁性铁表面的吸附	113
6.1.2	砷在金属掺杂磁性铁表面的吸附	121
6.2	重金属阳离子吸附-解吸	124
6.2.1	生物质表面矿化改性对重金属阳离子的吸附作用	125
6.2.2	生物质表面活性基团强化对重金属阳离子的吸附作用	130
6.2.3	重金属阳离子在生物质表面吸附-解吸行为特征	146
6.3	氟离子的吸附	153
6.3.1	氟离子在金属氧化物表面的吸附作用	153
6.3.2	氟离子在氧化铝/菌体上的吸附作用	159
第7章	有色冶金污染物氧化还原基础理论	161
7.1	水环境中污染物的氧化还原原理	161
7.1.1	化学氧化还原基础理论	161
7.1.2	基于硫酸根自由基光化学氧化砷的基础理论	164
7.1.3	生物制剂与氧化剂协同氧化处理原理	167

7.2	二氧化硫自催化歧化基础理论	168
7.2.1	二氧化硫吸收液亚硫酸根歧化的热力学	168
7.2.2	硒催化硫酸氢根歧化的动力学特征	170
7.2.3	催化反应机理	176
第8章	重金属复杂矿物相分解-转化基础理论	186
8.1	稳定矿物相高温解离基础理论	186
8.1.1	ZnFe_2O_4 还原热力学及分解机制	186
8.1.2	ZnFe_2O_4 还原过程的物相转变特征	193
8.1.3	ZnFe_2O_4 还原过程的物相调控	200
8.2	ZnFe_2O_4 硫酸盐化分解-转化理论及规律	214
8.2.1	硫酸盐化焙烧热力学	214
8.2.2	ZnFe_2O_4 硫酸盐化焙烧反应机制	215
8.2.3	ZnFe_2O_4 硫酸盐化焙烧产物及特性	217
8.3	ZnFe_2O_4 硫化焙烧理论及行为	221
8.3.1	ZnFe_2O_4 硫化焙烧热力学	221
8.3.2	ZnFe_2O_4 硫化焙烧过程特征	223
8.3.3	ZnFe_2O_4 硫化焙烧反应机制	229
8.4	臭葱石晶体形成机制与生长过程特征	231
8.4.1	臭葱石晶体形成机制	231
8.4.2	臭葱石晶体生长过程特征	236

第三篇 有色冶金二次资源综合利用新技术

第9章	锌浸渣有价金属综合回收技术	245
9.1	锌浸渣还原焙烧及铁锌分离技术	245
9.1.1	锌浸渣还原焙烧过程工艺	245
9.1.2	锌浸渣还原焙烧后铁锌浸出分离工艺	247
9.2	锌浸渣硫酸盐化焙烧及有价金属回收技术	248
9.2.1	锌浸渣 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 焙烧及有价金属回收	248
9.2.2	锌浸渣 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 焙烧及有价金属回收	254
9.3	锌冶炼中浸渣还原浸出技术	260
9.3.1	工艺流程	260
9.3.2	工艺参数	261
9.3.3	处理效果	262
第10章	铅锌冶炼渣硫化-浮选回收人造硫化矿技术	264
10.1	铅锌冶炼废水中和渣水热硫化-浮选回收人造硫化矿	264
10.1.1	技术原理及工艺流程	264
10.1.2	硫化工艺参数	265

10.1.3	人造硫化物常规浮选分离工艺参数	268
10.1.4	技术实施效果	271
10.2	人造硫化矿晶型调控优化及其浮选技术	271
10.2.1	人造硫化矿可浮性特点	271
10.2.2	晶型调控的技术原理	272
10.2.3	人造硫化物水热晶型调控技术参数	275
10.2.4	技术实施效果	277
10.3	废水中和渣-富硫浸锌渣协同硫化-浮选技术	278
10.3.1	工艺流程	278
10.3.2	工艺技术参数	280
10.3.3	技术实施效果	281
10.4	硫酸钙水化转化促进硫化锌分离及回收新工艺	282
10.4.1	工艺流程	283
10.4.2	水化工艺技术参数	283
10.4.3	水化调控效果	286
10.4.4	水化产物中硫化锌的分离及回收	287
10.5	锌浸渣硫化焙烧-磁选-浮选锌铁回收技术	289
10.5.1	工艺流程	289
10.5.2	硫化焙烧工艺参数	290
10.5.3	焙烧产物锌铁分离工艺	291
10.5.4	技术实施效果	296
第 11 章	高砷多金属物料清洁利用技术	298
11.1	铅阳极泥源头脱砷与有价金属梯级分离技术	298
11.1.1	高效脱砷剂	298
11.1.2	工艺流程	300
11.1.3	工艺参数	302
11.1.4	工艺效果	319
11.2	湿法处理砷碱渣制备胶体五氧化二锑技术	324
11.2.1	工艺流程	324
11.2.2	工艺参数	325
11.2.3	工艺效果	339
11.3	砷滤饼湿法浸出铜砷分离技术	339
11.3.1	工艺流程	339
11.3.2	工艺参数	340
11.3.3	工艺效果	343
11.4	黑铜泥酸性浸出铜砷分离技术	344
11.4.1	工艺流程	344
11.4.2	工艺参数	345

11.4.3 工艺效果	349
-------------------	-----

第四篇 有色冶金“三废”污染物治理新技术

第 12 章 重金属废水多基团配位深度处理与回用技术	355
12.1 重金属冶炼废水生物制剂深度处理与回用技术	355
12.1.1 工艺流程	355
12.1.2 工艺参数	356
12.1.3 处理效果	360
12.2 高汞废水生物制剂配位-水解深度处理技术	360
12.2.1 工艺流程	360
12.2.2 工艺参数	361
12.2.3 处理效果	363
12.3 重金属有机复杂废水生物制剂协同氧化深度处理技术	364
12.3.1 采选废水生物制剂多基团协同氧化处理技术	364
12.3.2 镍氨废水生物制剂-吹脱联合处理技术	371
12.3.3 硫化-三维电极联合处理 Cu-EDTA 废水	379
第 13 章 重金属废水新型吸附剂深度处理技术	384
13.1 金属氧化物材料新型吸附剂吸附-解吸技术	384
13.1.1 基于磁性铁吸附处理技术	384
13.1.2 基于氧化铝复合材料的吸附处理技术	395
13.2 聚芳香胺类新型吸附剂吸附-解吸技术	405
13.2.1 聚间苯二胺纳米材料合成及结构调控技术	405
13.2.2 基于聚间苯二胺复合材料吸附处理技术	416
13.3 生物质材料及重金属吸附-解吸技术	425
13.3.1 氯化钠改性麦糟吸附脱除重金属阳离子	425
13.3.2 酯化改性麦糟吸附脱除重金属阳离子	428
13.3.3 巯基化改性麦糟吸附脱除重金属阳离子	438
第 14 章 含砷固废固化/稳定化处理处置技术	445
14.1 机械活化铁粉稳定含砷废渣技术	445
14.1.1 工艺流程	445
14.1.2 工艺参数	446
14.1.3 处理效果	448
14.2 含砷固废熔融固化处理技术	449
14.2.1 工艺流程	449
14.2.2 工艺参数	449
14.2.3 工艺效果	463
14.3 含砷固废钙砷晶化稳定化技术	464

14.3.1	工艺流程	464
14.3.2	工艺参数	465
14.3.3	技术效果	469
第 15 章	低浓度二氧化硫烟气治理与单质硫回收技术	471
15.1	自氧化还原回收单质硫工艺	471
15.1.1	工艺流程	471
15.1.2	低浓度二氧化硫烟气吸收	471
15.1.3	吸收液自氧化还原回收单质硫技术	473
15.1.4	硫化钠再生工艺	475
15.2	低温液相催化歧化回收单质硫新工艺	476
15.2.1	工艺流程	476
15.2.2	低浓度二氧化硫碱液吸收	477
15.2.3	吸收富液催化歧化回收单质硫	479
15.2.4	微波加热结晶硫酸氢钠	484
 第五篇 重金属废渣堆场土壤治理与修复新技术		
第 16 章	铅锌冶炼废渣堆场土壤微生物淋洗修复技术	491
16.1	产酸微生物淋洗修复技术	491
16.1.1	产酸菌	491
16.1.2	产酸微生物淋洗修复工艺	493
16.1.3	修复效果	497
16.2	产表面活性剂微生物淋洗修复技术	500
16.2.1	产表面活性剂菌株	500
16.2.2	产表面活性剂微生物淋洗修复工艺	502
第 17 章	铅锌冶炼废渣堆场土壤重金属化学钝化修复技术	508
17.1	多羟基磷酸铁钝化剂	508
17.1.1	多羟基磷酸铁的物理特征	508
17.1.2	多羟基磷酸铁的结构与组成	509
17.2	铅镉污染土壤钝化修复工艺	511
17.2.1	修复工艺流程	511
17.2.2	修复工艺参数	512
17.2.3	最佳条件下铅镉钝化效果	515
17.2.4	修复土壤中铅镉稳定性	516
第 18 章	含砷废渣堆场土壤微生物氧化-羟基硫酸铁钝化修复技术	519
18.1	砷污染土壤微生物氧化修复技术	519
18.1.1	砷(Ⅲ)氧化菌	519
18.1.2	修复工艺参数	522

18.1.3 土壤砷(Ⅲ)的氧化修复效果	524
18.2 砷污染土壤羟基硫酸铁钝化修复技术	526
18.2.1 羟基硫酸铁的生物合成及表征	526
18.2.2 砷污染土壤钝化修复工艺条件	532
18.3 砷污染土壤微生物氧化-羟基硫酸铁钝化联合修复技术	535
18.3.1 联合修复工艺	535
18.3.2 修复效果	535

第六篇 有色冶金环境工程案例

第 19 章 现代有色冶金环境工程案例	543
19.1 重金属废水生物制剂法深度处理与回用工程	543
19.1.1 重金属废水生物制剂深度处理工程	543
19.1.2 含汞污酸废水生物制剂法处理工程	544
19.1.3 采选矿废水生物制剂多基团协同氧化处理工程	547
19.2 污酸气液强化梯级硫化处理与资源化工程	549
19.2.1 铅锌冶炼烟气洗涤污酸废水处理中试工程	549
19.2.2 铜冶炼烟气洗涤污酸废水处理中试工程	550
19.2.3 紫金铜业污酸废水气液高效硫化处理工程	552
19.3 有色冶金含砷固废治理与清洁利用工程	554
19.3.1 铅阳极泥清洁利用工程	554
19.3.2 含砷废渣稳定化工程	557
19.4 有色冶炼低浓度二氧化硫烟气治理与单质硫回收工程	558
19.5 有色冶炼重金属废渣硫化-浮选回收工程	559
19.6 铅锌冶炼废渣堆场土壤重金属化学钝化修复工程	563
参考文献	565
彩图	

第一篇 绪 论

第1章 有色冶金环境工程内涵与发展概况

环境、资源和能源是影响中国有色金属工业发展的主要因素。环境保护是有色冶金可持续发展的核心，是有色冶金企业的生命线。环境保护与有色冶金的发展如影随形，环境污染事件的发生影响了有色冶金企业的发展，而每一次环境保护标准的提高又倒逼并催生了一批有色冶金新工艺、新技术和新装备。提高自主创新能力，必须发展有色冶金环境工程的基础理论，突破制约有色冶金发展的资源、能源、环境共性技术、关键技术和核心技术，形成并示范推广系列有色冶金二次资源综合利用新技术及有色冶金“三废”污染物治理新技术，解决影响产业发展的瓶颈问题，保障与促进有色冶金工业健康绿色发展。

1.1 有色冶金与环境工程的关系

1.1.1 有色冶金与环境保护

有色金属冶金生产过程往往伴随着废气、废水及固体废物污染。全国废水中铅、镉、汞、砷、铬产生量中约 70%源于有色行业，在有些地区甚至严重危及居民身体健康和社会和谐稳定。我国有色金属矿大多为多金属矿、贫矿、杂矿和难处理矿，有色冶金的资源综合利用率仍然偏低。环境保护成为制约有色冶金发展主要因素的同时，环境压力却又成为推动有色冶金技术进步的动力。人类总是在社会发展中不断进行调整，科学技术的进步及基础理论的发展可以很好地协调有色冶金与环境保护的关系，有色冶金全过程污染控制、“三废”深度治理是实现有色冶金可持续发展的有效途径。

纵观有色冶金的发展史，当社会对环境保护提出更高的要求时，环境对有色冶金的压力加大。企业要生存，就要避免造成环境污染。一些落后的工艺将被淘汰，一批污染严重的企业面临关闭，而一批清洁的新工艺，如底吹熔炼、闪速熔炼、富氧浸出、生物冶金和各种新的湿法冶金，便应运而生，只有那些在环境保护方面具有明显优点的冶金新工艺，才有可能被广泛采用。近年来，几乎所有取得重大进展的有色冶金技术都是在环境保护压力加剧的背景中产生，而又在环境保护方面取得突破后而告成功。

环境保护是保障有色金属工业可持续发展的重要条件。中国的有色金属工业主要是在新中国成立以后建立和发展起来的。旧中国遗留下来的少数几个有色金属冶炼厂和分布在各地的小矿山，生产技术落后，规模很小，对环境及生态未构成严重的污染和破坏。从有色金属恢复生产到第一个五年计划完成，安全生产工作做得好，环境污染也不突出。在“大跃进”和“十年动乱”的年代里，有色金属工业的环境保护、安全生产和工业卫生工作受到了严重的干扰和破坏。1973 年第一次全国环境保护工作会议后，特别是 1978 年 12 月中共十一届三中全会以后，有色金属行业环境保护才得到迅速发展。全行业建立

健全了各级环境保护、安全生产和工业卫生三个完整的工作体系;大力开展了对“三废”的治理;重新确立了各项安全生产和防治职业病的规章制度,主要环境污染已经基本得到控制,为有色金属工业的发展创造了良好的条件。新中国成立 60 多年,特别是改革开放 30 多年以来,有色冶金行业最鲜明的标志是技术进步。有色金属工业依靠技术进步,通过自主创新、集成创新和引进消化再创新,成功研发了一大批行业共性的关键性技术并用于生产,显著提高了企业生产技术装备水平,缩小了与发达国家的技术差距,增强了我国有色金属工业的竞争力。铜、铅闪速熔炼技术,铜、铅富氧熔池熔炼新技术,自主研发的“氧气底吹炼铅、炼铜新工艺”,这些具有世界先进水平的新技术、新工艺在生产中的应用,大大提升了我国重金属冶炼技术水平,相应在污染治理及环境保护方面也得到了提高。

“十一五”以来,有色金属行业通过淘汰落后产能,推广成熟的先进技术,推进关键技术突破及产业化应用,在节能减排方面取得了显著成效,但总体环境污染状况不容乐观。《关于有色金属工业节能减排的指导意见》(工信部节[2013]56 号)中指出我国重金属污染问题较为突出。有色金属工业的行业特征决定了其在生产过程中重金属污染物产生和排放量较大,铜冶炼、铅锌冶炼等重金属污染防治重点行业面临新增污染源防治与历史遗留污染解决的双重任务,工作难度和压力较大。尽管有色金属工业在淘汰落后生产能力方面已取得积极进展,但从整体上看,能源消耗高、环境污染大的落后生产能力在有色金属工业中仍占相当比例,尤其是铅锌冶炼行业,中小企业居多,淘汰落后产能任务仍十分艰巨。近年来,重金属污染物、化学需氧量、 SO_2 排放量等都有不同程度的下降,尾矿、冶炼渣等大宗固体废物综合利用水平不断提高。进一步加大有色金属工业节能减排与环境保护力度,既是国家整体节能减排和环境保护的战略需要,也是有色金属工业转变发展方式、走可持续发展道路的必然选择。

随着我国能源、资源和生态环境要素的制约日趋强化,有色金属产业规模的扩大,国内资源能源短缺的瓶颈日益突出,国家大力建设资源节约型、环境友好型社会;有色金属工业面临的节能减排、生态保护压力日趋增加。资源的严重短缺和低质化使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机,同时促进了节能减排与环境保护技术的发展。冶金过程环境保护对缓解这种矛盾具有非常重要的意义。

进入 21 世纪以来,我国有色冶金工业工艺技术与国际先进水平的差距正在急剧缩小,尤其是自主开发了如水口山炼铅法等先进技术,引进和消化了熔池熔炼、富氧浸出等先进的冶炼技术和装备,使得冶金产品产量大幅增长,环境污染物的总排放量得到有效控制。继续加快有色冶金行业循环经济发展进程,促进节能减排及环境工程新理论、新方法、新技术、新工艺、新材料和新装备的发展,是有色冶金工业持续发展最为重要的前提和条件。

1.1.2 有色冶金相关的环境法规标准

有色冶金环境保护的进步与逐步严格的环境法规的颁布与修订密切相关。1973 年是我国环境保护起步阶段,颁布了第一个工业污染物的排放标准《工业企业“三废”排放试行标准》(GB J4—73),并于 1974 年 1 月 1 日起正式实施。在冶金工业方面,我国于

1985 年首次制订了与有色金属工业废水、废气和固体废物排放相关的《轻金属工业污染物排放标准》(GB 4912—85)、《重有色金属工业污染物排放标准》(GB 4913—85)、《有色金属工业固体废物污染控制标准》(GB 5085—85)、《有色金属工业固体废物浸出毒性试验方法标准》(GB 5086—85)、《有色金属工业固体废物腐蚀性试验方法标准》(GB 5087—85)以及《有色金属工业固体废物急性毒性初筛试验方法标准》(GB 5088—85)。

1996 年,对上述标准进行了修订,将废气排放纳入《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)和《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB 9078—1996),将废水排放纳入《污水综合排放标准》(GB 8978—1996),将固体废物排放纳入《危险废物鉴别标准》(GB 5085.1~5085.3—1996);1998 年颁布的《国家危险废物名录》和 2001 年制订的《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598—2001)、《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18598—2001)以及《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)等。2007 年,又对《危险废物鉴别标准》(GB 5085.1~5085.3—1996)进行了修订和调整,颁布了《危险废物鉴别标准》(GB 5085.1~5085.7—2007),并于 2008 年重新颁布了新的《国家危险废物名录》。

为了加强有色金属行业污染防治工作,环境保护部大力推进有色金属工业污染物排放标准的制定工作。2010 年、2011 年先后发布了《铝工业污染物排放标准》(GB 25465—2010)、《铅、锌工业污染物排放标准》(GB 25466—2010)、《铜、镍、钴工业污染物排放标准》(GB 25467—2010)、《镁、钛工业污染物排放标准》(GB 25468—2010)、《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451—2011)及《钒工业污染物排放标准》(GB 26452—2011)等 6 项污染物排放标准。

为贯彻落实国务院《大气污染防治行动计划》,通过制定、修订重点行业排放标准“倒逼”产业转型升级,环境保护部制定并会同国家质检总局发布了相关标准。新制定的《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271—2014)增加了燃煤锅炉氮氧化物和汞及其化合物的排放限值,规定了大气污染物特别排放限值,取消了按功能区和锅炉容量执行不同排放限值的规定,以及燃煤锅炉烟尘初始排放浓度限值,提高了各项污染物排放控制要求,同时规定环境影响评价文件要求严于此标准或地方标准时,按照批复的环境影响评价文件执行。

2014 年之前我国锡、锑、汞工业污染物排放管理执行《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB 9078—1996)、《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)和《污水综合排放标准》(GB 8978—2002)等综合类排放标准。存在标准针对性不强,污染物项目存在缺失,污染物排放浓度限值已经明显落后于当前生产工艺和污染防治技术水平等问题。开展制订相关标准,对锡、锑、汞工业各种污染物排放进行有效控制、促进污染防治技术进步,可引导锡、锑、汞工业向清洁、健康的方向发展。新制定的《锡、锑、汞工业污染物排放标准》(GB 30770—2014)规定新建企业污染物排放限值接近发达国家的标准要求,特别排放限值达到国际领先或先进水平。现有企业实施并达到新标准中的新建企业限值后,二氧化硫(SO₂)、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)年排放量将分别削减 41%、47%和 57%,废气中各类重金属的削减率均在 65%以上。

从有色冶金相关法规标准的发展可知,有色冶金环境保护中的污染控制由最初单纯