



2011—2012

*Report on Advances in Nonferrous
Metallurgical Engineering and Technology*

中国科学技术协会 主编
中国有色金属学会 编著

有色金属冶金工程技术 学科发展报告

中国科学技术出版社





2011-2012

有色金属冶金工程技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN NONFERROUS METALLURGICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编

中国有色金属学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2011—2012 有色金属冶金工程技术学科发展报告/中国科学技术协会
主编;中国有色金属学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2012. 4

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 6034 - 3

I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①有色金属冶金-技术发展-研究
报告-中国-2011—2012 IV. ①TF8-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 042212 号

选题策划 许 英

责任编辑 李惠兴

封面设计 中文天地

责任校对 王勤杰

责任印制 王 沛

出 版 中国科学技术出版社

发 行 科学普及出版社发行部

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010 - 62173865

传 真 010 - 62179148

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16

字 数 236 千字

印 张 10.25

印 数 1—2500 册

版 次 2012 年 4 月第 1 版

印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷

印 刷 北京凯鑫彩色印刷有限公司

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6034 - 3/TF · 24

定 价 31.00 元

(凡购买本社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

2011—2012

有色金属冶金工程技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN NONFERROUS METALLURGICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

首席科学家 邱定蕃

专 家 组

组 长 钮因健

副组长 张洪国 赵国权

成 员 (按姓氏笔画排序)

马育新	王永录	王向东	王忠实
王建铭	朱永安	李 劼	李明阳
陈少纯	周国宝	顾松青	黄小卫
黄其兴	黄其兴	韩 薇	褚幼义
熊炳昆			

学 术 秘 书 杨焕文 周景琦 崔雅秋

序

科学技术作为人类智慧的结晶,不仅推动经济社会发展,而且不断丰富和发展科学文化,形成了以科学精神为精髓的人类社会的共同信念、价值标准和行为规范。学科的构建、调整和发展,也与其内在的学科文化的形成、整合、体制化过程密切相关。优秀的学科文化是学科成熟的标志,影响着学科发展的趋势和学科前沿的演进,是学科核心竞争力的重要内容。中国科协自 2006 年以来,坚持持续推进学科建设,力求在总结学科发展成果、研究学科发展规律、预测学科发展趋势的基础上,探究学科发展的文化特征,以此强化推动新兴学科萌芽、促进优势学科发展的内在动力,推进学科交叉、融合与渗透,培育学科新的生长点,提升原始创新能力。

截至 2010 年,有 87 个全国学会参与了学科发展系列研究,编写出版了学科发展系列报告 131 卷,并且每年定期发布。各相关学科的研究成果、趋势分析及其中蕴涵的鲜明学术风格、学科文化,越来越显现出重要的社会影响力和学术价值,受到科技界、学术团体和政府部门的高度重视以及国外主要学术机构和团体的关注,并成为科技政策和规划制定学术研究课题立项、技术创新与应用以及跨学科研究的重要参考资料和国内外知名图书馆的馆藏资料。

2011 年,中国科协继续组织中国空间科学学会等 23 个全国学会分别对空间科学、地理学(人文-经济地理学)、昆虫学、生态学、环境科学技术、资源科学、仪器科学与技术、标准化科学技术、计算机科学与技术、测绘科学与技术、有色金属冶金工程技术、材料腐蚀、水产学、园艺学、作物学、中医药学、生物医学工程、针灸学、公共卫生与预防医学、技术经济学、图书馆学、色彩学、国土经济学等学科进行学科发展研究,完成 23 卷学科发展系列报告以及 1 卷学科发展综合报告,共计近 800 万字。

参与本次研究发布的,既有历史长久的基础学科,也有新兴的交叉学科和紧密结合经济社会建设的应用技术学科。学科发展系列报告的内容既有学术理论探索创新的最新总结,也有产学研结合的突出成果;既有基础领域的研究进展,也有应用领域的开发进展,内容丰富,分析透彻,研究深入,成果显著。

参与本次学科发展研究和报告编写的诸多专家学者,在完成繁重的科研项目、教学任务的同时,投入大量精力,汇集资料,潜心研究,群策群力,精雕细琢,体现出高度的使命感、责任感和无私奉献的精神。在本次学科发展报告付梓之际,我衷心地感谢所有为学科发展研究和报告编写奉献智慧的专家学者及工作人员,正是你们辛勤的工作才有呈现给读者的丰硕研究成果。同时我也期待,随着时间的久远,这些研究成果愈来愈能够显露出时代的价值,成为我国科技发展和学科建设中的重要参考依据。

A stylized, cursive handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Ming, positioned above the date.

2012 年 3 月

前 言

有色金属冶金工程技术学科是工程技术学科中重要的学科,也是有色金属工业、其他众多的工业、高新技术产业以及国防军工发展的基础学科。近年来,依靠科技进步,我国有色金属工业蓬勃发展,10种常用有色金属产量已连续10年位居世界首位,我国已成为世界有色金属生产和消费大国。我国有色金属工业是在有色金属冶金工程技术学科取得重大进展的基础上发展起来的。近年来,为了迅速提高我国有色金属冶金技术水平,广大科技人员在自主研发的同时,积极学习国外先进经验,在主要生产环节上引进国外先进技术和设备,通过自主创新、集成创新和引进消化再创新,使我国有色金属冶金工程技术学科取得了重大进展。目前,我国有色金属冶金技术水平已登上世界先进行列,许多冶金技术和设备已出口到国外,我国已从技术设备进口国转变成成为出口国。

本研究报告是中国有色金属学会根据中国科学技术协会专项开展的“学科发展进展与发布活动”的精神和要求组织编写的。在中国科协的指导下,在以中国有色金属学会副理事长兼秘书长钮因健教授任组长、中国工程院邱定蕃院士为首席科学家的编写小组的20多位专家学者的共同努力下,历经两年,集思广益,几易其稿,终于完成了本报告的编写。这是集体智慧的结晶。报告的重点放在近五年来有色金属冶金工程技术学科取得的重大进展、存在问题和未来的发展战略。报告分两大部分:第一部分是综合报告:有色金属冶金工程技术学科发展现状和前景。综合阐述了我国有色金属冶金工程技术学科发展的现状和取得的成就,并通过国内外有色金属冶金技术发展的分析对比,提出了我国有色金属冶金学科发展的方向和重点。第二部分是专题报告。有色金属是64种金属元素的总称,它们各自具有特殊的优异性能,被广泛应用于经济和社会发展的各个领域。根据它们的特性,将64种有色金属冶金分为轻金属、重金属、稀有金属和贵金属冶金四个专题,分别论述了近年来的发展现状和趋势。

由于有色金属包含64种金属元素,涉及的冶金方法和相关的理论领域相当广泛,加之近年来我国有色金属冶金工程技术水平飞速提高,取得进展的内

容非常丰富,尽管撰稿人员力求选材客观、公正,但是受掌握资料、特别是知识水平和时间所限,本报告可能难免有挂一漏万、不当之处,敬请广大读者指正。

本报告是在中国有色金属学会的领导和中国科协的资助和指导下完成的。在本项目的研究中得到了中国科协领导的支持与关怀,特别是学会部黄珏同志的热情指导,在此表示衷心的感谢!在报告编写过程中,得到了有色金属及相关行业的科研院所、大专院校、工矿企业的大力支持和帮助,广大有色金属冶金专家和技术人员积极参与,在此一并表示衷心的感谢!

中国有色金属学会

2011年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国有色金属学会

综合报告

有色金属冶金工程技术学科发展现状和前景	(3)
一、引言	(3)
二、我国有色金属冶金工程技术学科发展现状及进展	(4)
三、有色金属冶金工程技术学科国内外比较分析	(20)
四、学科发展趋势及展望	(23)

专题报告

重有色金属冶金工程技术学科研究进展	(27)
轻金属冶炼分学科研究进展	(58)
稀有金属冶金工程技术学科研究进展	(80)
贵金属冶金工程技术学科研究进展	(114)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Nonferrous Metallurgical Engineering and Technology	(131)
---	-------

Reports on Special Topics

Advances in Heavy Nonferrous Metal	(144)
Advances in Light Metal	(147)
Advances in Rare Metal	(149)
Advances in Precious Metal	(152)

综合报告

有色金属冶金工程技术学科发展现状和前景

一、引言

有色金属冶金工程技术学科是工程技术学科中重要的学科,也是有色金属工业、其他众多工业、高新技术产业以及国防军工发展的基础学科。

有色金属是 64 种金属元素的总称,它们各自具有特殊的优异性能,被广泛应用于经济和社会发展的各个领域。64 种有色金属根据它们的特性,被分为轻金属、重金属、稀有金属和贵金属四大类。在这四类金属中的各单个金属元素之间,在金属冶炼、合金和化合物以及应用方面都具有一定的共性,因此有色金属冶金工程学科就由轻金属冶金、重有色金属冶金、稀有金属冶金和贵金属冶金这四类相应的学科组成。

21 世纪以来我国有色金属工业发展迅速,10 种常用有色金属产量已经从 2000 年的 783.81 万 t 发展到 2010 年的 3135 万 t,连续 9 年位居世界第一,我国已从有色金属资源大国发展成为世界有色金属生产大国。科学技术是生产发展的基础,近 10 年来有色金属科学技术的不断创新有力支撑了生产的快速发展。有色金属冶金工程技术学科,在冶金过程基础理论和生产技术、金属合金材料科学及应用技术、冶金设备和自动化、冶金环境保护和治理、现代工程化理念和先进设计等各方面都取得了重大进展,开发并创新出一批领先于国际或达到国际先进水平的、具有我国自主知识产权的新技术、新工艺、新设备和新材料,冶金的各项主要技术经济指标也已接近、达到或超过国际先进水平,节能减排效果明显。科技的重大进步促进了有色金属工业向科学的可持续发展的方向迈进。

我国有色金属工业技术发展是一个从量变到质变的过程。20 世纪 50 年代是量变的积累,21 世纪进入了质变新阶段。铝电解工业技术的突飞猛进是质变的标志。21 世纪以来,在世界上率先淘汰了落后的自焙阳极铝电解槽技术,开发应用了先进的预焙阳极铝电解技术,特别是近年来开发成功世界最大容量 400kA 的电解槽技术并实现了多条系列的规模化生产,更大容量的 500kA 电解槽技术也已成系列地投入工业运行。近几年研究成功的新型结构电解槽等技术已大规模应用于铝电解生产,吨铝节电达到 1000kW·h 左右,占领了当今世界铝电解工业节能技术的制高点。

近年来重有色金属冶炼技术也得到重大发展,我国自主研发开发的氧气底吹炼铅技术全面推广应用及近两年进一步研究成功的双底吹连续熔炼和底吹侧吹连续熔炼技术使我国炼铅技术达到了国际领先水平。21 世纪以来,铜冶炼技术在自主创新了闪速炉技术和奥斯曼特(艾萨)炉技术的基础上又开发成功了双闪速炉和双奥斯曼特炉技术,特别是 2010 年刚研发成功的底吹炼铜技术使我国的铜冶炼技术代表了国际先进水平;自主研发的氧气加压浸出技术和大极板电解技术等成功和应用,使我国锌冶炼技术达到了国际先进水平。

在稀有金属冶金、贵金属冶金和新材料研究方面,近年来也取得了一系列具有国际先

进水平的科技成果,新研发的一批高技术高性能材料支撑了我国航空航天、电子信息、新兴能源、交通运输等高新技术的发展,为国民经济和国防军工建设作出了贡献。

目前,尽管主要有色金属的冶金技术已经达到国际先进水平,但是在有色金属技术发展的整体水平上与国际先进尚有一定差距,在某些方面差距更大。与其他原材料工业一样,我国有色金属工业的发展也受到资源、能源和环境三大瓶颈的制约。常用有色金属铝、铜、铅、锌、镍等资源匮乏且质量差,有色金属冶金的高能耗属性和矿物加工的属性使有色金属工业成为高能耗行业和污染产生的源头。因此提高资源利用率和资源综合回收、高效节能降耗以及深度减排和环境保护是有色金属工业得以可持续发展的关键所在。提高解决这些关键问题的技术水平,提高有色金属行业在国际上的竞争能力正是有色金属冶金工程技术学科今后科学研究和技术开发的主要任务。我们必须继续努力,用科技创新的精神,研究开发出更多能代表国际水平的新技术、新工艺、新装备和新产品,以使我国从有色金属工业生产大国发展成为名副其实的世界有色金属工业强国。

本综合篇将就有色金属冶金工程学科新世纪以来发展和取得的成绩、与国际先进水平的对比以及未来发展目标和任务、问题和对策进行论述。

二、我国有色金属冶金工程技术学科发展现状及进展

(一)轻金属冶金工程技术学科

1. 铝电解

铝是仅次于钢铁的第二大金属,是重要的基础原材料,广泛应用于建筑、交通、电力、轻工、国防等各领域。冰晶石—氧化铝熔盐电解法一直是原铝生产的唯一方法。中国电解铝工业发展迅猛,自 2001 年以来原铝产量已连续 10 年位居世界第一。2010 年我国原铝产量已达 1619 万 t,为世界总产量的 40.1%。2010 年我国原铝消费量 1650 万 t,为全球消费总量的 41.5%,中国已成为全球最大、最具活力的铝消费市场,亦是推动世界铝工业发展的重要力量。

我国铝电解工业快速发展的基础是科技进步。自 20 世纪 90 年代自主研究开发成功 280kA 大型预焙阳极电解槽技术以后,我国又进一步深入研究了铝电解槽电场、磁场和热场等物理场方面的理论和计算模拟技术,有力地推动了大型预焙阳极电解槽技术的蓬勃发展,槽型等级不断提高,从 280kA、300kA、320kA、350kA、400kA 到 500kA,形成了中国品牌的大型预焙阳极铝电解槽的系列设计和制造技术,开发了相应的系列产品,实现了大规模产业化。与此同时,相配套的大型阴、阳极及铝用碳素技术、生产辅助设备、自动控制以及环境保护技术等方面的研究也同样取得了迅速的发展,取得了诸如优质炭阳极生产关键技术、先进节能的石油焦煅烧技术、炭阳极开槽技术、高石墨质及石墨化阴极生产技术、大规格阴极和阳极的先进制造技术、大型铝电解槽系列不停电停开槽技术、电解槽异地维修和搬运技术、铝电解槽先进控制技术和网络管理技术、适合电解槽大型化的输变电和整流机组、烟气治理及含氟量测试技术、废电解槽内衬材料的无害化处理和利用等一系列研究成果,有力地促进了铝电解大型化技术的不断升级以及节能降耗和环境保护

水平的不断提高。我国已于 2004 年全部淘汰了落后的小型自焙槽,并且还将于 2011 年全部淘汰 160kA 以下的小型预焙槽,从而成为世界上唯一全面应用高效、清洁大型预焙槽技术生产铝的国家。

近年来,我国铝电解节能技术和相关理论研究方面取得了领先于国际水平的重大创新。中国铝业公司、东北大学等单位通过对电解槽阴极和内衬结构、能量平衡以及极距、槽电压和电流效率之间关系的深入研究,创新发明了改变阴极和内衬结构—降低铝液波动和水平电流—降低极距和槽电压—降低电耗的新型导流结构电解槽和异型阴极结构电解槽技术,实现大规模、整系列铝电解生产应用,实现了槽电压降低 0.3V 以上、吨铝直流电耗降低 1000kW·h 左右的重大节能成果,成为当代世界铝电解节能技术的里程碑式的创举。目前该类技术已在国内铝电解企业全面推广应用。中南大学研究的“五低、三窄、一高”电解槽控制技术也有效地降低了槽电压和电耗,取得了重大的节电效果,并在推广应用。以上这些技术的开发成功使我国铝电解工业在节能方面达到了国际领先水平。近年来,我国在铝再生循环利用方面也取得了较大进步,产业已向规模化、现代化、集约化方向发展,再生铝产量已达到原铝产量的四分之一,整体装备技术、综合利用水平也有了很大提高。

2. 氧化铝

氧化铝是铝电解生产的主要原料,也是化工、轻工、电子、电力等工业的重要原材料。我国氧化铝工业随着铝电解工业的快速发展而相应发展。2010 年产量已达到 2895.5 万 t,已连续 5 年位居世界第一。

我国氧化铝工业的铝土矿资源与国外不同,主要是碱难溶且含硅高的一水硬铝石铝土矿,因此难于应用国外氧化铝工业通常采用的低能耗的拜耳法进行生产,而不得不大量采用高能耗的烧结法以及中国自行改进的拜耳—烧结混联法工艺。

多年来,为了提高氧化铝工业生产技术水平,降低能耗、物耗和生产成本,我国氧化铝科技工作者针对一水硬铝石原料生产氧化铝出现的各种技术难题,开展了长期持之以恒的研究,攻克了一大批重大技术关键,取得了丰硕的自主创新技术成果,创新开发出一系列处理中低品位一水硬铝石矿的新流程、新工艺和新装备。如选矿拜耳法技术、石灰拜耳法技术、富矿(强化)烧结技术、一水硬铝石矿间接加热、强化溶出技术、一水硬铝石矿生产砂状氧化铝技术、提高拜耳法循环效率及后加矿增浓技术、烧结法粗液与拜耳法溶出液合流技术、多种强化氧化铝生产过程的化学添加剂;同时,引进消化、自主创新和集成开发了一大批适合于高硅一水硬铝石矿生产氧化铝的大型高效节能工艺装备,如气态悬浮氢氧化铝焙烧炉、高效沉降槽系统、多效逆流降膜蒸发器、大型高压隔膜泵及节能离心输送泵、大型机械搅拌分解槽、大型高效液固分离设备。我国在氧化铝节能和清洁生产以及环境保护方面也已取得了重要成就,如开发成功废蒸汽和烟气余热的充分回收利用技术、高铁赤泥选铁综合利用技术、赤泥筑坝和干法堆存技术、氧化铝厂废水零排放技术等。我国氧化铝工业借助于独特的生产工艺,嫁接开发了镓、钒等稀有金属及一大批化学品氧化铝的生产技术,增加了产品品种、提高了产品附加值。

由于上述一系列技术成就,我国形成了一套世界上独一无二的完整的中低品位一水硬铝石矿生产氧化铝的工艺流程和生产体系,在氧化铝回收率、碱耗等重要技术指标方面

达到国际先进水平,在能耗方面也大大缩小与国外三水铝石矿拜耳法生产的差距,明显提高了企业的竞争力、经济效益和环境保护水平。

近年来,我国氧化铝科技界正在开展若干重大的前瞻性研究,并取得了一些重要的阶段性成果,如最新研究成功的拜耳法—赤泥湿法处理的湿法串联技术已完成工业试验、正在进行低品位铝土矿干法烧结节能新工艺研究。如果这些研究最终取得成功用于生产,将进一步提高我国氧化铝工业的整体技术水平以及抗御资源、能源短缺风险的能力,实现节能减排的可持续发展。

3. 镁冶金

镁是比铝还轻的金属,近年来在结构材料方面的应用越来越广,特别是交通运输和电子工业的用量与日俱增,促进了镁生产的快速发展,使其成为产量仅次于铝、铜、铅、锌有色金属的第五大金属。我国镁资源丰富,由于在技术上成功应用了低成本的热还原法——皮江法工艺,产品迅速占领国际市场,产量剧增,2010 年达到 65.4 万 t,已经连续 11 年位居世界第一。

近年来,我国镁冶金工程技术学科发展迅速。首先是有效提高了皮江法的生产技术水平,通过调整能源结构——以气代煤、改进设备结构——用节能环保型的燃气可控竖窑和带立式预热器、立式冷凝器的回转窑代替落后的混烧竖窑和平窑,设置储能装置回收烟气或固体物料的余热,有效降低了能耗和对环境的污染,提高了生产效率和产品质量;其次是镁应用研究发展迅速,研究水平不断提高,镁制品表面处理技术和镁压铸、压延设备技术的提高,使镁的应用领域进一步扩大。研究成功的高强度高韧镁合金、轮毂专用镁合金、自行车专用镁合金等已经成功用于汽车、自行车和其他运输工具,镁合金在电子、电器设备外壳和手提电动工具等方面的应用也日益广泛,在新型轨道交通和航空航天器和战术武器轻量化方面的应用已得到了新的发展。第三是改进了电解法炼镁技术,新的更高效环保的炼镁新技术已在试验研究中。

(二) 重有色金属冶金工程技术学科

1. 铜冶金

我国是世界上最大的铜消费国,也是世界上最大的产铜国。2010 年消耗铜 560 万 t,年产精铜 457.3 万 t,但是自产精矿的比例低,大部分依靠进口精矿冶炼。

多年来我国铜的生产技术是在自主研究加不断引进国外先进技术装备并不断进行消化创新的基础上快速发展起来的。目前,世界上各种炼铜工艺大部分在我国都有使用。传统的炼铜方法,密闭鼓风炉熔炼、反射炉熔炼和电炉熔炼已逐渐被淘汰。近年来,我国铜工业的自主创新水平提高很快,具有我国自主知识产权的新的炼铜工艺不断涌现。新的炼铜工艺共同的特点是氧气强化熔炼,其效果是反应速度快,生产能力大,燃料消耗少,烟气量少且 SO_2 浓度高,有利于烟气制硫酸,硫的利用率高, SO_2 排放少,节能减排效果明显。新的炼铜工艺分闪速熔炼和熔池熔炼两大类。闪速熔炼自 1985 年我国贵溪冶炼厂引进后,经消化创新,该闪速熔炼炉产能目前已从引进初期的年产 9 万 t 铜改造扩大到年产 30 万 t 铜,而且在炉内结构和辅助设施等方面已形成了一批具有我国自主知识产权

的专利。2007年山东祥光铜业公司引进了闪速熔炼和闪速吹炼技术,即双闪工艺,并在引进建设过程中进行了自主创新,投产后的各项技术经济指标均优于引进的指标,并申报了具有我国知识产权的新专利。富氧顶吹熔池熔炼技术在我国应用已比较广泛,现在共有7座熔炼炉在有关企业生产,还在2座在建设中。2002年云南冶炼厂引进了艾萨型的氧气顶吹熔炼炉,投产后各项技术经济指标均优于引进指标。中条山有色金属公司在本世纪初从澳大利亚引进了奥斯麦特型的氧气顶吹熔炼炉和吹炼炉,即双奥斯麦特炉。最近,一座全部由我国自行设计、制造设备的艾萨型氧气顶吹熔炼炉即将在四川会理投产。具有我国自主知识产权的氧气底吹连续炼铜技术于2009年在东营方圆有色金属公司投产,现在年产铜达到10万t。该项技术对原料适应性强、能耗低、环保好,贵金属回收效率高,整体技术已经超越了国际先进水平。铜电解精炼技术,近年来也有很大发展,特别是艾萨法(即永久阴极法)电解技术装备的引进、创新和推广,有力地推动了铜电解精炼的技术进步;堆浸湿法炼铜具有生产成本低,环境好,可利用低品位铜矿资源的特点,世界主要产铜国如智利有大规模生产,我国近几年有很大的发展,已建成年产万吨级堆浸冶炼厂,技术已接近国际水平。近年来铜冶炼企业的综合利用和环境治理技术水平有很大提高,综合利用的经济效益在企业总效益中的比重逐年提高。我国废杂铜回收水平不断提高,目前从废杂铜中回收的量已达到铜总产量的30%,回收技术也正在提高中。

2. 铅冶金

随着我国汽车等工业的高速发展,铅的用量剧增,2010年我国铅产量为419.9万t,已连续9年位居世界第一。21世纪以来,我国炼铅技术进步很快,由于具有自主知识产权的氧气底吹—鼓风炉还原新工艺的研究成功和应用推广,以及国外先进的富氧顶吹—鼓风炉还原技术的引进和成功投产,显著提高了我国炼铅技术的水平,从而使落后的烧结锅冶炼技术逐步退出生产,有效地提高了生产效率和减轻了环境污染。近年来,又针对氧气底吹—鼓风炉还原工艺进一步节能减排开展了新的研究,2008年和2009年相继研究成功了技术更先进的氧气底吹炉吹炼—液态高铅渣底吹炉还原和氧气底吹吹炼—液态高铅渣侧吹炉还原两种相似的连续冶炼新工艺,新工艺由于取消了底吹炉渣冷却—磨碎—再入炉还原的耗能和污染环节,实现了底吹炉热渣直接入还原炉连续生产,从而达到大幅节能和显著减排的目的,能耗从原有的340kg标煤/t降到230kg标煤/t,气体排放达到国家标准。目前正在试验的炼铅新工艺还有铅富氧闪速熔炼工艺等。废蓄电池等二次铅金属回收,也由于新工艺的应用而提高了回收效率和环保水平。

粗铅电解精炼是一个很成熟的电化学冶金过程,旨在获得纯度高的工业用铅,同时还可以充分回收粗铅中的有价金属(铜、锑、铋等)和贵金属(金、银等)。多年来,我国铅电解精炼工艺的变化不大,但在设备大型化、机械化和自动化方面取得了很大的进步,如引进了先进的立模浇铸型阳极铸型机组、DM机组、阴极制造机组、阴阳极自动排距机组及导电棒研磨机等,并在引进设备的基础上创新。还有通过增大圆盘铸型机组的圆盘直径来增大阳极板尺寸,同时改造现有的整平机构,实现了大极板电解,铅电解直流电耗已经降低10%左右,达到了110~120kW·h/(t·铅)。

铅烟污染是我国铅电解工业普遍存在的环保问题。“铅烟”主要是熔铅锅和电铅锅操作中产生的铅蒸汽。通常,我们往往只是将注意力放在企业向外部排放的污染物是否达

标上,却经常忽视生产一线的操作环境情况,因而要实现铅电解车间真正意义上的清洁生产,还有很多工作要做。例如,使用自动耙渣机,避免了人工捞渣可能导致的对人体的危害。总之,要实现电铅企业真正的清洁生产尚需进一步努力。

3. 锌冶金

2010 年我国锌产量为 516.4 万 t,已经连续 19 年位居世界第一。由于我国锌金属消费快速增长,产能和产量的急剧扩大,导致锌矿产资源的日益紧张,硫化锌矿作为炼锌的主要原料逐渐减少,原料供需矛盾日益突出,造成原料来源复杂,锌品位下降和杂质含量增高。从难选冶、低品位、多金属复杂锌矿及湿法炼锌浸出渣中提取金属锌和有价金属已引起人们的重视。21 世纪以来,我国锌冶炼工程技术学科在对常规锌冶炼技术和装备不断改进的基础上,针对我国矿源变化的客观实际,研究开发和应用了一批具有原料适应性强,节能减排效果好的具有世界先进水平的新技术。

云南冶金集团自主研究开发成功了高铁锌精矿加压氧浸新工艺,并在建立示范厂的基础上进行了较大规模的推广。其主要技术指标:锌浸出率 $\geq 98\%$,锌总回收率大于 90%,银回收率大于 90%,元素硫的转化率 92%,元素硫的总回收率大于 80%,铁浸出率 $\leq 30\%$,氧耗 220kg/t 精矿,所获指标达到国际先进水平。株洲冶炼厂于 2002 年引进了奥托昆普的常压富氧浸出技术,于 2009 年投产,目前已逐步走向工艺连续正常运转。可以预期,随着国内设备制造水平的不断提高,新材料研制的不断创新以及仪表、元件及自动化控制的日益改进,这两个先进工艺,必将在我国锌冶金中得到更多的推广应用。

低品位氧化锌矿直接浸出工艺已在云南开发成功,并在金顶锌业建成 10 万吨以上规模的生产厂。该技术是个连续过程,可对含锌低于 20%的氧化锌矿进行处理,生产成本低,硫酸消耗少,不消耗中和剂,浸出液可循环使用,可获得含锌高的硫酸锌溶液,锌的浸出率高。

硫化锌精矿与氧化锌矿的联合浸出工艺有云南祥云飞龙公司研究成功并已推广五个冶炼厂,产能合计 23 万 t/a。该工艺流程与其他工艺流程相比具有如下特点:硫化锌矿焙砂与氧化锌矿(或精矿)的浸出在一个浸出工序中进行;硫化锌矿焙砂高温高酸的浸出液体除硅、铁的过程与氧化锌矿(或精矿)的中性浸出同时进行,不需要单独的沉硅、铁工序,也不需要外加中和剂,与此同时,利用了硫化矿浸出液的体积,增大氧化锌矿浸出的液固比,解决了单独处理氧化锌矿澄清、液固分离困难的问题;整个过程不需附加成矾离子和硅絮凝剂等;硫化锌焙砂与氧化锌矿(或精矿)的配比有较大的可调范围,硫化矿焙砂比例的高限是氧化矿中性浸出中和酸量的平衡点,低限为硫化锌矿焙砂为零,这时就变成氧化矿单独处理的流程,需加大氧化锌矿的中性液返回量和酸浸液返回量以提高氧化锌矿浸出的液固比,提高浸出液锌含量。这些特点决定了本工艺流程简单、投资省、运行成本低、对环境友好,在竞争日益加剧的现实社会中具有较强的竞争能力。本工艺适用于氧化锌矿与硫化锌矿资源同时存在的地区。

4. 镍钴冶金

镍是重要的战略金属,2010 年产量 17.1 万 t。镍的冶炼分为硫化铜镍精矿冶炼和红土矿(氧化镍矿)冶炼两大类。21 世纪以来,硫化铜镍精矿火法熔炼的传统鼓风炉反射炉