

“十一五”国家重点图书出版规划项目

Zn Pb

中国有色金属丛书

中国有色金属工业协会组织编写

铅锌密闭鼓
风炉冶炼

张伟健 主编

钟 勇 曾令成 副主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



“十一五”国家重点图书出版规划项目



铅锌密闭鼓风炉冶炼

中国有色金属工业协会组织编写

张伟健 主 编

钟 勇 曾令成 副主编



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

铅锌密闭鼓风炉冶炼/张伟健主编. —长沙:中南大学出版社,
2010. 12

ISBN 978-7-5487-0157-6

I. 铅... II. 张... III. 铅锌密闭鼓风炉冶炼 IV. TF111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 257204 号

铅锌密闭鼓风炉冶炼

张伟健 主编

-
- 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 国防科大印刷厂

-
- 开 本 787 × 1092 1/16 印张 18.5 字数 454 千字
 版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
 书 号 ISBN 978-7-5487-0157-6
 定 价 68.00 元
-

中国有色金属丛书
CNMS 编委会

主任：

康 义 中国有色金属工业协会

常务副主任：

黄伯云 中南大学

副主任：

熊维平	中国铝业公司
罗 涛	中国有色矿业集团有限公司
李福利	中国五矿集团公司
李贻煌	江西铜业集团公司
杨志强	金川集团有限公司
韦江宏	铜陵有色金属集团控股有限公司
何仁春	湖南有色金属控股集团有限公司
董 英	云南冶金集团总公司
孙永贵	西部矿业股份有限公司
余德辉	中国电力投资集团公司
屠海令	北京有色金属研究总院
张水鉴	中金岭南有色金属股份有限公司
张学信	信发集团有限公司
宋作文	南山集团有限公司
雷 毅	云南锡业集团有限公司
黄晓平	陕西有色金属控股集团有限公司
王京彬	有色金属矿产地质调查中心
尚福山	中国有色金属工业协会
文献军	中国有色金属工业协会

委员(以姓氏笔划排序)：

马世光	中国有色金属工业协会加工工业分会
马宝平	中国有色金属工业协会铝业分会
王再云	中铝山东分公司
王吉位	中国有色金属工业协会再生金属分会
王华俊	中国有色金属工业协会
王向东	中国有色金属工业协会钛锆铪分会
王树琪	中条山有色金属集团有限公司

王海东	中南大学出版社
乐维宁	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
许健	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
刘同高	厦门钨业集团有限公司
刘良先	中国钨业协会
刘柏祿	赣州有色冶金研究所
刘继军	荏平华信铝业有限公司
李宁	兰州铝业股份有限公司
李凤轶	西南铝业(集团)有限责任公司
李阳通	柳州华锡集团有限责任公司
李沛兴	白银有色金属股份有限公司
李旺兴	中铝郑州研究院
杨超	云南铜业(集团)有限公司
杨文浩	甘肃稀土集团有限责任公司
杨安国	河南豫光金铅集团有限责任公司
杨龄益	锡矿山闪星锑业有限责任公司
吴跃武	洛阳有色金属加工设计研究院
吴锈钢	中国有色金属工业协会镁业分会
邱冠周	中南大学
冷正旭	中铝山西分公司
汪汉臣	宝钛集团有限公司
宋玉芳	江西钨业集团有限公司
张麟	大冶有色金属有限公司
张创奇	宁夏东方有色金属集团有限公司
张洪国	中国有色金属工业协会
张洪恩	河南中孚实业股份有限公司
张培良	山东丛林集团有限公司
陆志方	中国有色工程有限公司
陈成秀	厦门厦顺铝箔有限公司
武建强	中铝广西分公司
周江	东北轻合金有限责任公司
赵波	中国有色金属工业协会
赵翠青	中国有色金属工业协会
胡长平	中国有色金属工业协会
钟卫佳	中铝洛阳铜业有限公司
钟晓云	江西稀有稀土金属钨业集团公司
段玉贤	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
胥力	遵义钛厂
黄河	中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
黄粮成	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
蒋开喜	北京矿冶研究总院
傅少武	株洲冶炼集团有限责任公司
瞿向东	中铝广西分公司



中国有色金属丛书

CNMS

学术委员会

主任：

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

常务副主任：

黄伯云 院士 中南大学

副主任(按姓氏笔划排序)：

于润沧 院士 中国有色工程有限公司
古德生 院士 中南大学
左铁镞 院士 北京工业大学
刘业翔 院士 中南大学
孙传尧 院士 北京矿冶研究院
李东英 院士 北京有色金属研究总院
邱定蕃 院士 北京矿冶研究院
何季麟 院士 宁夏东方有色金属集团有限公司
何继善 院士 中南大学
汪旭光 院士 北京矿冶研究院
张文海 院士 南昌有色冶金设计研究院
张国成 院士 北京有色金属研究总院
陈景 院士 昆明贵金属研究所
金展鹏 院士 中南大学
周廉 院士 西北有色金属研究院
钟掘 院士 中南大学
黄培云 院士 中南大学
曾苏民 院士 西南铝加工厂
戴永年 院士 昆明理工大学

委员(按姓氏笔划排序)：

卜长海 厦门厦顺铝箔有限公司
于家华 遵义钛厂
马保平 金堆城钼业集团有限公司
王辉 株洲冶炼集团有限责任公司
王斌 洛阳栾川钼业集团有限责任公司

王林生	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司
任必军	伊川电力集团
刘江浩	江西铜业集团公司
刘劲波	洛阳有色金属加工设计研究院
刘昌俊	中铝山东分公司
刘侦德	中金岭南有色金属股份有限公司
刘保伟	中铝广西分公司
刘海石	山东南山集团有限公司
刘祥民	中铝股份有限公司
许新强	中条山有色金属集团有限公司
苏家宏	柳州华锡集团有限责任公司
李宏磊	中铝洛阳铜业有限公司
李尚勇	金川集团有限公司
李金鹏	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
李桂生	江西稀有稀土金属钨业集团公司
吴连成	青铜峡铝业集团有限公司
沈南山	云南铜业(集团)公司
张一宪	湖南有色金属控股集团有限公司
张占明	中铝山西分公司
张晓国	河南豫光金铅集团有限责任公司
邵武	铜陵有色金属(集团)公司
苗广礼	甘肃稀土集团有限责任公司
周基校	江西钨业集团有限公司
郑萧	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
赵庆云	中铝郑州研究院
战凯	北京矿冶研究总院
钟景明	宁夏东方有色金属集团有限公司
俞德庆	云南冶金集团总公司
钱文连	厦门钨业集团有限公司
高顺	宝钛集团有限公司
高文翔	云南锡业集团有限责任公司
郭天立	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
梁学民	河南中孚实业股份有限公司
廖明	白银有色金属股份有限公司
翟保金	大冶有色金属有限公司
熊柏青	北京有色金属研究总院
颜学柏	陕西有色金属控股集团有限责任公司
戴云俊	锡矿山闪星锑业有限责任公司
黎云	中铝贵州分公司

总序



有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2 520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业

已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了全面提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

A stylized, calligraphic signature in black ink, consisting of two large characters, '康' and '芮', written in a fluid, expressive style.

2009年3月

前 言

锌的冶炼方法分为火法炼锌和湿法炼锌两大类。

湿法炼锌最早于1916年投入工业生产，随着技术的发展和环保的要求，湿法炼锌已是当今炼锌的主要方法，其产量占世界锌产量的80%以上。湿法炼锌有常规湿法炼锌工艺、热酸浸出炼锌工艺和硫化锌精矿氧压浸出工艺等。前2种工艺都需要进行焙烧，使 ZnS 变成易被稀硫酸溶解的 ZnO ，焙烧产出的氧化锌焙砂送湿法炼锌系统生产电锌。硫化锌精矿氧压浸出新工艺于1981年在加拿大开始投入工业生产，因为取消了锌精矿的焙烧作业，真正实现了全湿法工艺炼锌。

火法炼锌的方法有平罐炼锌、竖罐炼锌、电炉炼锌和铅锌密闭鼓风炉炼锌4种。平罐炼锌由于环境污染严重，劳动条件差，目前已基本淘汰。竖罐炼锌经过几十年的发展，单罐受热面积由最初的 40 m^2 提高到 100 m^2 ，热利用效率大大提高，但是能耗偏高，制约了其工艺的发展，也逐步被其他方法所代替。电炉炼锌是于20世纪30年代出现的炼锌技术，我国于20世纪80年代开始采用该工艺，目前已有几十个小工厂应用该方法，但是其生产规模都较小，一般产量为 $500\sim 2500\text{ t/a}$ 。

由于自然界中铅、锌矿物共生现象较普遍，尤其是有些矿物呈细粒嵌布状，选矿分离困难且费用较高，因此，用一种工艺来同时生产铅、锌已成为人们追求的目标。铅锌密闭鼓风炉熔炼法是火法炼锌中的一大改革。很久以前有人试图用直接加热法的鼓风炉炼锌，但因鼓风炉炉气中 CO_2 和 N_2 含量高而锌蒸气低，冷凝时又被 CO_2 重新氧化等难点而未获成功。英国帝国公司经历了近三十年的研究，采用了高温炉顶($1000\sim 1080^\circ\text{C}$)和铅雨冷凝器后，才于1950年实现了小规模鼓风炉炼锌的工业生产。因此，铅锌密闭鼓风炉炼锌又称帝国熔炼法(Imperial Smelting Process)，简称ISP法，其发展和推广者主要是以Derek Temple博士为代表的英国铅、锌联合会。该工艺是火法炼铅锌的重大技术发展，突破了竖罐炼锌由间接蒸馏到直接还原熔炼的技术难题，且由于铅锌密闭鼓风炉具有生产率高，投资少，综合回收好，特别适于处理含有锌、铅、铜的复杂矿石，因而引起了人们的重视。所以在20世纪60年代，ISP应用于工业生产后得到了迅速发展，单台鼓风炉粗铅锌产量由最初的5万t/a提高到 $10\sim 15\text{ 万 t/a}$ ，锌产量曾经占当时世界锌总产量的12%左右。

1959年,英国首先在斯温西锌厂建立了一座炉身面积为 17.2 m^2 的标准型铅锌密闭鼓风炉,年产粗铅锌 $5\sim 7$ 万t。

1968年,英国阿旺茅斯铅锌冶炼厂兴建了一座 27.2 m^2 的炉子,设计能力为年产粗铅锌9万t。

韶关冶炼厂于20世纪60年代引进ISP工艺用于处理凡口铅锌矿,1975年建成了我国第一座炉身面积为 17.2 m^2 的标准型铅锌密闭鼓风炉,设计能力为年产粗铅锌5万t。1996年韶关冶炼厂兴建了第二座炉身面积为 17.2 m^2 的标准型铅锌密闭鼓风炉,年设计能力为年产粗铅锌8.5万t。全世界曾建有14座铅锌密闭鼓风炉,现有10座炉正在进行铅锌的生产。目前国内韶冶、白银三冶、陕西东岭和葫芦岛锌业公司共有五套ISP工艺铅锌生产系统;国外有钱德里亚(印度)、柯普沙·米卡(罗马尼亚)、米亚斯特茨克(波兰)、八户和播磨(日本)五套ISP工艺生产系统。

铅锌密闭鼓风炉生产工艺(ISP工艺)可分为以下几个阶段:

- (1) 铅锌硫化精矿、氧化物料和熔剂的烧结与脱硫。
- (2) 烧结焙烧过程产生的 SO_2 烟气经净化后送去生产硫酸。
- (3) 烧结块和其他含Pb、Zn的团块配入焦炭,加入鼓风炉中进行热风熔炼。
- (4) 从鼓风炉下部放出粗铅和炉渣,在电热前床中分离。
- (5) 从鼓风炉顶部溢出的含锌炉气经炉喉引入铅雨冷凝器中,锌蒸气被铅雨捕集、吸收,含锌铅液由铅泵抽出,经冷却分离后产出粗锌。
- (6) 产出的粗锌与粗铅经进一步精炼,得到符合国家标准的产品锌锭和铅锭。

ISP工艺最大的特点是在密闭鼓风炉熔炼过程中同时产出粗铅和粗锌,对原料的适应性广泛,机械化、自动化程度相对较高,能源利用较合理,资源综合回收较好。经过几十年发展,在世界ISP俱乐部成员的共同努力下,世界各ISP厂家在生产中不断改进、强化冶炼过程,规模不断增大,密闭鼓风炉炉身面积由最初标准型 17.2 m^2 增大至目前最大的 28 m^2 ,并将冷凝器相应扩大,炉顶加料装置及其他附属设备进行相应改进,粗铅锌产量由最初的5万t/a提高到目前的15万t/a,规模不断扩大,在产能增长的同时,单耗及成本进一步降低。同时通过新技术、新材料的应用,如打炉结机应用、富氧烧结及熔炼、烧结机和光辊破碎机的改进等,进一步提高了烧结料层厚度,延长了鼓风炉系统的清扫周期,提高了各ISP厂的作业时间,增加了粗铅锌产量,进一步降低了生产成本,推动了ISP技术进步。

在目前资源利用被足够重视,原料价格不断上涨的情况下,ISP工艺的潜在优势越来越明显。二次物料的利用符合节约资源和清洁生产的要求,这也是ISP工艺优势所在,使用二次物料,有利于降低原料成本,增加产量,保护环境,提

高金属回收率。该工艺对二次物料的处理，首先是解决自身工艺流程中所产出的氧化物料，如蓝粉、浮渣、次氧化锌、各收尘烟灰等，同时也可以处理含 Pb、Zn 的威尔兹氧化物、钢厂烟灰、电弧炉灰、锌中浸渣、铅银残渣、热镀锌灰等。另外阿旺茅斯、八户、杜依斯堡、柯克·克里克厂先后发展了冷、热压团技术，即将氧化物料与黏结剂压成团块直接加入鼓风炉进行还原熔炼，还有部分厂家研究了风口喷吹泵池浮渣技术，这些技术都取得了一定效果。

能源是国民经济发展的物质基础，合理利用能源、节约和降低能耗是我国一项重要国策。近年来，各 ISP 厂家在降低能耗方面做了大量工作：扩大产量降低单耗、提高鼓风炉热风温度降低焦炭单耗、冷却流槽余热发电、利用低热值煤气发电、烟化炉与锅炉一体化、烧结机烟罩余热的利用、精馏塔采用新型塔盘、提高水循环利用率、变频器的使用等，大大降低了 ISP 工艺能耗。

从 ISP 工艺应用于工业生产铅锌以来，各 ISP 冶炼厂都非常重视环境治理，将环境污染降低到最低限度，废气、废水、废渣均做到了达标排放，满足了日益严格的环境保护要求。近年来在环境保护方面所做的主要工作有：SO₂ 烟气制酸工艺由一转一吸改造为两转两吸、烧结机机头增加烟气脱硫装置、机尾烟气的全返回、鼓风炉及烟化炉渣水淬和鼓风炉炉顶烟气采用电收尘处理、污水采用纳滤工艺深度处理回用等，通过这些措施的落实，进一步促进了 ISP 厂的环境保护工作。

ISP 工艺优势体现在可以处理其他工艺无法处理的铅锌混合精矿和二次氧化物料等方面，降低了生产成本，提高了资源综合利用水平，促进循环经济的发展。

本书由张伟健主编，钟勇、曾令成副主编，参与编写的人员还有周长青、曾平生、戴孟良、黄大霜、江新辉、王起愈、徐克华、岳德宇、张建立、欧晓富、欧耀彬、杨林平、刘吴盛、熊建军、袁贵有、吴成春、李昭、石怀涛、韦战辉、赵兴伟。

本书适用于锌冶炼企业的工人、技术人员和管理人员，也可供大、中专院校、职业培训学校的教师和学生以及相关研究、设计人员参考。

目 录



第 1 章 绪论	1
1.1 铅的性质	1
1.1.1 铅的物理性质	1
1.1.2 铅的化学性质	2
1.2 锌的性质	2
1.2.1 锌的物理性质	2
1.2.2 锌的化学性质	2
1.3 铅、锌的主要用途	3
1.3.1 铅的主要用途	3
1.3.2 锌的主要用途	3
1.4 铅、锌的主要化合物	3
1.4.1 铅的主要化合物	3
1.4.2 锌的主要化合物	4
1.5 铅锌冶炼方法	5
1.5.1 铅冶炼方法	5
1.5.2 锌冶炼方法	6
第 2 章 硫化铅锌精矿的烧结焙烧	7
2.1 概述	7
2.2 硫化精矿烧结焙烧的理论基础	7
2.2.1 金属硫化物的着火温度	7
2.2.2 硫化物氧化过程机理	8
2.3 烧结焙烧时精矿中各组分为行为	9
2.3.1 硫化铅的焙烧反应分析	9
2.3.2 ZnS 焙烧反应分析	10
2.3.3 其他 MeS 的焙烧反应	11
2.4 烧结焙烧的工艺流程	14
2.4.1 烧结焙烧的目的	14

2.4.2	烧结焙烧工艺流程简介	14
2.4.3	烧结焙烧的原料	14
2.5	烧结焙烧前物料的准备工作的	15
2.5.1	烧结焙烧对物料化学成分的要求	15
2.5.2	烧结焙烧对物料物理性能的要求	16
2.5.3	精矿干燥	17
2.5.4	混合与制粒	18
2.5.5	返粉制备	19
2.5.6	烧结配料	19
2.6	烧结焙烧设备	20
2.7	烧结机供风与返烟系统	22
2.8	烧结焙烧生产实践	23
2.8.1	烧结焙烧作业	23
2.8.2	影响烧结焙烧的因素	24
2.8.3	工艺故障判断与处理	27
2.9	烧结块质量及主要技术经济指标	28
2.9.1	烧结块质量指标	28
2.9.2	烧结主要技术指标及计算公式	29
2.10	烧结过程物料衡算	30
2.11	烧结过程热平衡	30
2.12	烧结焙烧的技术发展方向	31
第3章	铅锌密闭鼓风炉还原熔炼	32
3.1	概述	32
3.2	铅锌密闭鼓风炉还原熔炼的理论基础	32
3.2.1	ZnO 还原反应的热力学	32
3.2.2	ZnO 还原反应的动力学	35
3.3	铅锌密闭鼓风炉还原熔炼时炉料中各组分的行为	37
3.3.1	锌的化合物	37
3.3.2	铅的化合物	39
3.3.3	原料中其他组分的化学反应	39
3.4	铅锌密闭鼓风炉还原熔炼	42
3.4.1	铅锌密闭鼓风炉炼铅锌的技术特点	42
3.4.2	铅锌密闭鼓风炉对物料的要求	43

3.4.3	铅锌密闭鼓风炉内主要物理化学变化	45
3.4.4	焦炭燃烧的完全程度和还原能力	53
3.4.5	铅锌密闭鼓风炉还原熔炼渣型的选择	55
3.4.6	锌蒸气的冷凝	58
3.5	铅锌密闭鼓风炉还原熔炼生产实践	61
3.5.1	正常岗位操作与控制	61
3.5.2	故障的判断与处理	68
3.6	铅锌密闭鼓风炉主要生产设备	71
3.6.1	铅锌密闭鼓风炉	71
3.6.2	铅雨冷凝器	75
3.6.3	分离系统	76
3.6.4	电热前床	78
3.7	铅锌密闭鼓风炉附属设备及流程	80
3.7.1	供风系统	80
3.7.2	供料系统	84
3.7.3	煤气洗涤系统	88
3.8	铅锌密闭鼓风炉的熔炼产物	91
3.8.1	产品	91
3.8.2	副产品	92
3.9	铅锌密闭鼓风炉主要技术指标及计算公式	94
3.9.1	燃炭量	95
3.9.2	炭锌比与焦率	95
3.9.3	烧结块中的铅锌比	96
3.9.4	锌的冷凝分离效率	96
3.9.5	金属直收率与回收率	97
3.9.6	铅锌密闭鼓风炉炉期	98
3.9.7	消耗指标	98
3.10	铅锌密闭鼓风炉熔炼的物料衡算	98
3.10.1	物料衡算设定条件	98
3.10.2	物料衡算过程	99
3.10.3	物料平衡表	102
3.11	铅锌密闭鼓风炉热平衡	104
3.11.1	我国某厂铅锌密闭鼓风炉热平衡实例	104

3.11.2	国外其他厂家铅锌密闭鼓风炉热平衡研究	110
3.12	铅锌密闭鼓风炉节能途径及方向	112
3.12.1	提高热风温度	112
3.12.2	富氧熔炼	113
3.12.3	低热值(LCV)煤气的利用	114
3.12.4	空气的脱湿	114
3.12.5	铅雨冷凝器循环铅的潜热利用	115
3.13	铅锌密闭鼓风炉技术发展方向	116
第4章	锌精馏精炼	118
4.1	概述	118
4.2	锌精馏精炼工艺流程	119
4.3	锌精馏精炼产物	120
4.3.1	锌锭	120
4.3.2	高镉锌	121
4.3.3	硬锌	121
4.3.4	B [#] 锌	121
4.3.5	锌渣	121
4.3.6	粗铅	122
第5章	铅电解精炼	123
5.1	概述	123
5.2	铅电解精炼的基本原理	123
5.2.1	铅电解精炼的电极反应过程	123
5.2.2	铅电解精炼时杂质的行为	124
5.2.3	电解阴极沉积物的构造	126
5.3	铅电解精炼工艺流程	127
5.4	铅电解精炼生产操作与控制	128
5.4.1	电流密度	128
5.4.2	电解液成分	130
5.4.3	电解液温度	132
5.4.4	电解液循环	133
5.4.5	添加剂	135
5.4.6	同极距	137

5.4.7 电解槽清理周期	137
5.5 故障的判断与处理	137
5.6 铅电解精炼主要设备	138
5.6.1 电解槽	138
5.6.2 熔铅锅	139
5.6.3 阳极板铸型机	139
5.6.4 阴极片生产线	140
5.6.5 精炼锅	142
5.6.6 电铅铸锭机	142
5.7 铅电解精炼产物	144
5.8 主要技术经济指标及计算公式	145
5.8.1 铅浮渣率	145
5.8.2 氧化渣率	146
5.8.3 残极率	146
5.8.4 电流密度	46
5.9 电解精炼物料衡算	47
5.9.1 物料衡算步骤	47
5.9.2 计算举例	47
5.9.3 电解液脱铅的计算	51
5.9.4 槽电压组成计算	51
5.9.5 热平衡计算	52
5.10 技术装备及发展方向	154
5.11 粗铅火法初步精炼浮渣的处理	155
5.11.1 浮渣处理目的及其处理方法	155
5.11.2 苏打-铁屑法	156
5.11.3 浮渣反射炉熔炼计算	157
5.11.4 浮渣处理的基本原理	159
5.11.5 反射炉处理浮渣的生产实践	160

第6章 综合回收

163

6.1 二氧化硫烟气碘配合-电积法回收汞	163
6.1.1 概述	163
6.1.2 工艺流程	163
6.1.3 主要设备	164