

“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

**硫化铅精矿富
氧底吹及富氧
顶吹熔炼技术**

李卫锋 贾著红 主编

李 贵 包崇军 赵振波 副主编

Nonferrous Metals



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



硫化铅精矿富氧底吹 及富氧顶吹熔炼技术

中国有色金属工业协会组织编写

李卫锋 贾著红 主 编

李 贵 包崇军 赵振波 副主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

硫化铅精矿富氧底吹及富氧顶吹熔炼技术/李卫锋,贾著红主编.
—长沙:中南大学出版社,2010.12

ISBN 978-7-5487-0163-7

I. 硫... II. ①李...②贾... III. 硫化铅—富氧吹炼
IV. TF812.031.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第256970号

硫化铅精矿富氧底吹
及富氧顶吹熔炼技术

李卫锋 贾著红 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 12.25 ☐字数 304千字

☐版 次 2010年12月第1版 ☐2010年12月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0163-7

☐定 价 45.00元

中国有色金属丛书
NMS 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
刘柏禄	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
吴锈铭	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

NMS 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
左铁镛	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
张小国	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 莆	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	锡矿山闪星锡业有限责任公司
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。

康莉

2009 年 3 月

前言

铅是国民经济和国防建设中不可缺少的金属材料之一。在我国，铅的生产已有 2000 余年的历史。但在新中国成立以前，根本没有工业化的炼铅厂。新中国成立后，我国的炼铅业才发展，截至 2008 年全国铅产能达到了 360 万 t，已连续多年位居世界第一。中国已经成为铅生产大国，在国内国外市场都占有重要的地位。

随着铅工业的发展，铅的生产技术相应也在发展。由最早的手工开采、火法坩埚炼铅到烧结锅-鼓风炉炼铅、烧结机-鼓风炉炼铅，发展至目前的各种新型直接炼铅法，如富氧底吹-鼓风炉炼铅、富氧顶吹艾萨炉炼铅、卡尔多炼铅法等。铅工业大体可分为三个阶段：原始土法冶炼、烧结焙烧熔炼和直接炼铅技术。2002 年以富氧底吹-鼓风炉还原工艺的成功工业化应用为标志，我国才真正开始采用直接炼铅生产工艺。该技术成果应用以后，在国内得到迅速推广，截至 2008 年，短短几年时间，在建和已建的生产线已达 20 多套，总生产能力达到约 100 万 t。同时，富氧顶吹熔炼等新技术也相继投产应用，新一轮的炼铅技术革命正在如火如荼地开展。

自富氧底吹和富氧顶吹技术应用以来，一直受到同行业的关注，虽有专业书籍对之进行介绍，但生产实践太少，远远不能满足生产实际需求，为此，我们编写《硫化铅精矿富氧底吹和富氧顶吹熔炼技术》一书。本书共分 10 章，第 1 章介绍铅的一般知识，以方便查阅有关资料。第 2 章介绍硫化铅精矿熔炼的方法和原理，传统炼铅法和其他国内外先进的直接炼铅法，以加深对各种方法的比较和认识；原理介绍中既有基础的铅精矿氧化原理，也扩展介绍了鼓风炉还原熔炼的基础原理，使我们对新工艺原理的认识更加深入，但由于该方面的研究不是很深入，介绍也相对简单。第 3 章富氧底吹熔炼生产技术，第 4 章富氧顶吹熔炼生产技术，第 5 章富铅渣鼓风炉熔炼以及第 6 章铅电解技术是本书的核心内容。这样的章节安排，是由于富氧底吹、富氧顶吹熔炼工艺都有富铅渣鼓风炉还原这一特别工序，而铅的电解技术又有大极板等新型工艺的配套应用，所以分章节对此分

此分别进行介绍。第7章烟气收尘和环境治理,是出于两工艺的特殊之处,尤其是铅烟尘的高粘性使烟尘及烟气处理成为两工艺操作的关键部分,突出对该问题的重视,体现了对环保的重视。第8章资源综合回收及循环利用技术,是着眼于铅工业面临的资源问题,介绍新工艺对其他物料的适应性,借此也希望重视资源的高效利用。第9章配套应用技术,也是适用于新工艺的特点,对富氧、自动化、耐火材料三个方面进行介绍,对新工艺的认识更为全面。第10章富氧底吹及富氧顶吹熔炼技术的发展趋势,介绍两工艺面临的现实问题及发展前景,借此引起大家关注,以促进该技术的完善和提高;可喜的是针对该工艺鼓风炉还原的不足,后续研究已经很深入,有的新技术即将进入工业化应用阶段,将是炼铅工业发展的又一重大技术革命。

当前,铅工业正处于结构调整时期,面临资源、环境、能源三大问题,为促进铅工业科学持续地发展,必须走科技创新之路。本书的编写内容也是适应新形势要求的一个尝试,旨在介绍经验,促进交流,若能促进我国铅工业的技术升级和发展,当是一件幸事。但该书是两公司技术人员近几年生产经验汇集而成,由于新工艺应用时间短,研究还不深入,加之编者水平有限,可能有许多谬误,希望各位甄别吸收,并多多指导交流。

本书第1、2章由李卫锋、贾著红、赵振波、李贵编写,第3章由李卫锋、李贵、赵振波编写;第4章由贾著红、包崇军、蒋荣生、任占誉编写,第5章由李贵、包崇军、赵振波、吴红林、汤伟、蒋荣生编写,第6章由高富娥、包崇军、赵振波、吴红林、李贵、任占誉编写,第7章由徐待艳、蒋荣生、赵振波、包崇军编写,第8章由李贵、蒋荣生、赵振波、包崇军、常海峰编写;第9章由贾著红、张素霞、蒋荣生、赵振波、包崇军、李贵编写,第10章由李贵、贾著红、包崇军、赵振波编写。在本书的编写过程中,得到了河南豫光金铅股份有限公司及云南驰宏锌锗股份有限公司各级领导的大力支持,在此表示感谢。

编 者

目 录



第 1 章 铅的基础知识	1
1.1 铅的生产发展概述	1
1.2 铅的用途及消费状况	2
1.3 铅资源与储量	3
1.4 铅及其主要化合物的性质	4
1.5 铅冶金的原料	6
第 2 章 硫化铅精矿熔炼的方法和原理	8
2.1 熔炼的传统方法	8
2.2 直接炼铅技术	12
2.3 熔炼的基本原理	20
第 3 章 富氧底吹熔炼生产技术	29
3.1 生产工艺及生产装备	29
3.2 物料制备	34
3.3 主要产物的成分及产率	38
3.4 主要作业控制	41
3.5 主要故障及处理	45
3.6 熔炼渣型的选择	46
3.7 技术控制及主要技术经济指标	47
第 4 章 富氧顶吹熔炼生产技术	51
4.1 生产工艺及生产装备	51
4.2 物料制备	59
4.3 主要产物的成分及产率	61
4.4 生产作业控制	63
4.5 主要故障及处理	70
4.6 熔炼渣型的选择和控制	77
4.7 技术经济指标	80
第 5 章 富铅渣鼓风炉熔炼	81
5.1 主要工艺装备	81
5.2 投入物料	89
5.3 主要产物的成分及产率	91

5.4	生产作业控制及故障处理	94
5.5	高铅渣鼓风炉熔炼特点和技术经济指标	100
第6章	铅电解技术	105
6.1	粗铅电解精炼	105
6.2	技术条件控制	109
6.3	生产实践	111
第7章	烟气收尘及环境治理	118
7.1	烟气及烟尘特点	118
7.2	烟气除尘及净化原理	119
7.3	余热锅炉	124
7.4	电除尘器	128
7.5	烟气制酸	136
第8章	资源综合回收及循环利用技术	149
8.1	伴生元素在铅冶炼过程中的分布	149
8.2	高锌铅精矿的熔炼	153
8.3	高铜铅精矿的熔炼	153
8.4	硫酸铅渣富氧顶吹熔炼处理	154
8.5	回收铅物料的熔炼	156
第9章	配套应用技术	162
9.1	自动化控制技术	162
9.2	氧气应用技术	167
9.3	耐火材料应用	171
第10章	富氧底吹及富氧顶吹熔炼技术的发展趋势	181
10.1	液态富铅渣还原技术	181
10.2	原料适应性的提高	182
10.3	生产线向规模化、环保节能方向发展	182
10.4	采用先进的熔炼配套装备和过程自动控制技术	182
10.5	延长炉龄	182
参考文献		183

第1章 铅的基础知识

1.1 铅的生产发展概述

铅(Pb)在公元前7000—前5000年被人们发现,其原因是由于氧化铅矿石易被还原成金属铅,灼烧也容易使铅析出,故铅是有史以来人类使用最早的六种金属之一。

由于铅的性质柔软,强度不大,在当时既不适合于制造生产工具,又不适合于制造防御和进攻性武器,并且铅在潮湿空气中表面极容易氧化而失去金属光泽,故它也不适合制作各种装饰品,所以铅在世界各民族的文化发展史上,没有起到像铜、铁那样大的作用。直到16世纪,铅的生产才开始具有工业规模。

古时候,铅的生产是以木柴为燃料的,炉底用灰筑成的灰窑或是有倾斜炉底的闭式窑,以后才逐渐发展成烧煤的反射炉和膛式炉。到19世纪中叶以后,人们发现了铅的抗酸、抗碱、防潮、密度大以及能够吸收放射性射线等性能,并且还很容易与其他金属组成合金、制造蓄电池等新性质和新用途,从此炼铅工业才获得重大的发展。

在我国,铅的生产虽然也有2000余年的历史,但过去一直没有什么发展。新中国成立以前,当时除极少数几处极端落后的手工开采和土法炼铅外,根本没有工业化的炼铅工厂。新中国成立以后,我国的铅冶炼工业得到了发展。特别是在改革开放以后,新技术的开发、利用,壮大了铅冶炼工业规模,使我国铅冶炼工业走向一个全新的时代。

我国在建国初期大多数铅冶炼厂均采用传统的烧结-鼓风炉还原冶炼工艺从硫化铅精矿中生产粗铅,如株洲冶炼厂、沈阳冶炼厂。该工艺虽然具有产能大、渣含铅低、铅直收率高、烟尘率低等优点,但由于在硫化铅精矿的烧结过程中产生大量的低浓度 SO_2 烟气(SO_2 含量仅为0.8%~2%),需要采用返烟鼓风烧结工艺、非稳态制酸等措施治理 SO_2 环境污染,且整个冶炼过程还存在能源消耗高、操作条件差、资源综合利用程度低等问题,故该炼铅工艺被国家列为限期淘汰的生产工艺。因此,采用节能、环保的炼铅新工艺对我国炼铅企业进行技术改造成为当务之急。

1985年西北铅锌冶炼厂引进QSL炼铅技术,建成了一套5.2万t/a的QSL炉。由于引进过早,技术不完善,存在许多缺陷。1990年12月投料后,暴露出喷枪寿命短,虹吸口过长,隔墙、挡圈位置及渣口高度不当等问题,仅运行了35天就只好停炉。1994年依照韩国温山冶炼厂的经验改造后取得了初步成功,运行了135天,产出粗铅1万t左右。尽管有关技术指标与第一次试车生产相比有了长足的进步,但仍未完全达到设计指标,运行费用太高,造成亏损,目前处于停产状态。

另一方面,我国在引进QSL法的同时,经过消化改造自己又开发出氧气底吹氧化-鼓风炉还原炼铅技术。该方法采用QSL炉的氧化段代替传统的烧结工序,基本解决了二氧化硫的污染问题。该法自2002年在豫光金铅股份有限公司一次试产成功后,直至目前,我国采用

此方法的有二十多家企业，整体运行效果较好。

云南冶金集团总公司从澳大利亚 XSTRATA 技术公司引进艾萨法炼铅工艺的氧化熔炼部分，与本公司自主开发的富铅渣鼓风炉还原熔炼新技术进行整合创新，形成一种高效、节能、环保的炼铅新技术，即富氧顶吹氧化熔炼 - 鼓风炉还原炼铅新工艺 (ISA - YMG 法)，于 2005 年 6 月建成并投产，一直连续运行，经过对工艺和装备的改进，整体运行情况良好。

此外，还有西部矿业股份有限公司引进投产的卡尔多炼铅法，中南大学在河南新乡完成的半工业性试验氧气侧吹炼铅法都属于最近发展起来的炼铅新工艺。

目前，中国铅冶炼对于矿产铅而言，烧结 - 还原熔炼工艺占 60% 左右，新工艺只占 20% 左右，普遍存在企业规模较小、技术装备落后、再生资源利用率低、环境污染严重、技术经济指标低的缺点。

我国成功运用的炼铅新技术主要是氧气底吹氧化 - 鼓风炉还原炼铅技术和富氧顶吹氧化熔炼 - 鼓风炉还原炼铅新工艺。新工艺取消了硫化铅的烧结脱硫过程，采用富氧熔炼，有利于回收冶炼烟气中的二氧化硫，可以处理再生物料，容易实现自动化。由于以上的这些优点，这两种炼铅新技术在我国推广使用势在必行。

1.2 铅的用途及消费状况

由于铅具有各种良好的特性，故在不同的工业部门中有着广泛的用途，成为国民经济和国防建设事业中不可缺少的金属材料之一。其主要用途是：

(1) 用于电气工业：铅在电气工业中用量最多，主要是制造蓄电池；其次是制作包裹电缆的铅皮和熔断保险丝等。

(2) 用于化工冶金部门：铅皮和铅管在化工、冶金中，常用作保护设备的耐酸、防蚀材料。

(3) 制造合金：铅易与其他金属组成合金广泛地用于各个工业部门。

(4) 利用铅能吸收放射性射线的特性，用作原子能和 X 光工业的防护层或防护屏。

(5) 用于其他工业部门：醋酸铅不仅用于医药部门，而且在纺织工业上用来做媒染剂；铅的一些化合物，如氧化铅在橡胶硫化过程及精炼石油时，用做促进剂；氧化铅同时还用于玻璃、陶器及油漆工业。

随着时代的发展，人类智慧的不断开发，新的发明创造不断涌现，铅的用途越来越广泛。据统计铅消费的 71% 都是用于铅酸蓄电池的生产，这主要是受汽车工业的发展所推动，其他消费中，电缆护套所占份额最少，主要是由于光纤电缆的发展，逐步淘汰了以铅作护套的电缆，详情如图 1-1 所示。

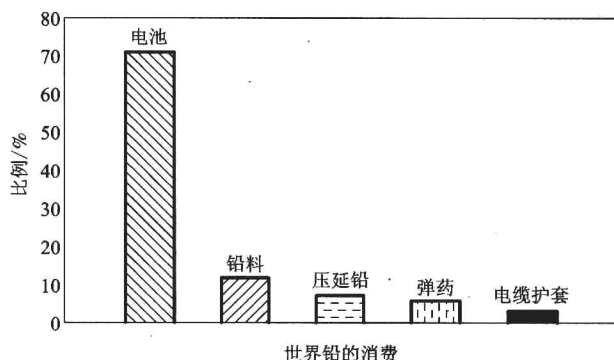


图 1-1 世界铅消费结构

近年来，世界精炼铅消费增长趋于缓慢，见表 1-1。其主要原因是随着世界各国环保法规

的日益严格,不仅铅的用途在减少,而且除铅酸蓄电池外其他应用部门的铅消费也在降低。

表 1-1 2002—2007 年 1~9 月世界铅消费量合计

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007 年 1~9 月
合计(万 t)	664.9	684.8	728.3	772.1	599.1	618.6

1.3 铅资源与储量

1.3.1 世界铅资源与储量

2005 年世界已查明的铅资源量约为 15×10^8 t。世界铅储量为 6700×10^4 t, 储量基础为 14000×10^4 t(表 1-2)。储量基础较多的国家有澳大利亚、中国、美国和加拿大, 均在 1000×10^4 t, 合计占世界铅储量基础 60% 以上。其他储量基础较多的国家还有秘鲁、南非、哈萨克斯坦、墨西哥、摩洛哥和瑞典等。按 2004 年世界铅矿山产量 309.5×10^4 t 计, 现有的储量和储量基础的静态保证年份分别为 22 年和 45 年。不过现有铅储量和储量基础分别只占铅查明资源的 4.4% 和 9.3%, 说明全球铅的勘察潜力仍很大。

表 1-2 2005 年世界部分国家铅储量和储量基础($\times 10^4$ t)

国家	储量	储量基础	国家	储量	储量基础
澳大利亚	1500	2800	哈萨克斯坦	500	700
中国	1100	3600	墨西哥	150	200
美国	810	2000	摩洛哥	50	100
加拿大	200	900	瑞典	50	100
秘鲁	350	400	其他国家	1900	3000
南非	40	70	世界总计	6700	14000

注: 资料来源于 Mineral Commodity Summaries, 2006。

世界勘察和开采的铅锌矿主要类型有喷气沉积型(Sedex 型)、密西西比河谷型、砂页岩型、热液交代型和脉型等, 以前四类为主, 占世界总储量的 85% 以上; 尤其是喷气沉积型, 不仅储量大, 而且品位高, 世界各国均很重视。

1.3.2 中国铅资源与储量

我国铅锌矿产资源比较丰富, 生产能力、消费量、出口量都居世界前列, 是我国的优势矿种。我国铅储量位于澳大利亚之后列世界第 2 位, 占世界铅储量的 12.5%, 目前保有储量 840.85 万 t, 基础储量 1247.97 万 t, 资源量 2273 万 t, 已查明资源总量 3482 万 t。尽管我国铅储量居世界前列, 但人均占有量仅为世界平均水平的 54.5%。

2006 年我国铅锌产量达到 588.85 万 t, 同比增长 15.68%, 比 2005 年净增 72 万 t, 占 10

种有色金属总产量的 30.70%。其中铅 273.55 万 t, 同比增长 15.00%, 约占世界冶炼铅总产量的 35%; 锌 315.30 万 t, 同比增长 16.31%, 约占世界锌总产量的 30%。我国金属铅已连续 5 年、金属锌已连续 15 年产量位居世界第一。

我国的铅矿资源分布较广。青海的锡铁山、湖南临湘的桃林等地的铅矿, 为大型的高品位铅锌混合矿, 属前震旦纪变质岩矿床。分布于云南、贵州、四川、广西以及川东、湘西、冀北等地的铅锌混合矿多为中小型矿床, 属碳酸岩类中矿床。湖南水口山、临武、郴县、桂阳以及云南个旧、澜沧和辽宁桓仁等地的铅锌混合矿品位都比较高, 矿储量规模不等, 属多金属共生的矿体。江西东北部的硅酸岩中扁豆状矿床是大型铅矿。广东的凡口、甘肃的厂坝等都是我国的大型铅矿资源。小秦岭地区的铅矿床含金特别高, 规模也大, 已为国人所关注。

1.4 铅及其主要化合物的性质

1.4.1 铅的性质

1.4.1.1 物理性质

铅是蓝灰色的金属, 新断面具有灿烂的金属光泽, 其结晶属于等轴晶体(八面体及六面体)。

铅的密度大, 固态时为 11.34 g/cm^3 , 液态时密度随着温度的升高而降低。

铅的熔点低(327.502°C), 在低于熔点 $3 \sim 10^\circ\text{C}$ 的温度下, 铅变得很脆。

液体铅的流动性好, 渗透性强, 其黏度随着温度的升高而下降, 流动性能更好, 因此在修建炉子时应注意防止漏铅。

铅的沸点高, 挥发性强。铅的沸点是 1525°C , 但在 $500 \sim 550^\circ\text{C}$ 便显著地挥发, 且温度越高, 铅挥发越大, 导致铅损失越大。因为铅蒸气有毒性, 所以在生产过程中, 必须备有完善的收尘设备, 加强劳动保护, 以保证原料中铅的回收和防止工作人员铅中毒。

铅的硬度小, 纯铅在重金属中是最柔软的, 它的莫氏硬度为 1.5。铅的硬度因含有少量的 Cu、As、Sb、Sn 硬金属及碱金属而增大。

铅的展性很好, 延性差, 可以轧成铅皮, 锤成铅箔, 但不能拉成铅丝。

铅是热和电的不良导体, 常温(18°C)时测定值如下: 铅的导热率为 $0.347 \text{ J}/(\text{cm} \cdot \text{s})$; 铅的比电阻($20 \sim 40^\circ\text{C}$)为 $20.65 \mu\Omega/\text{cm}$; 如果以银的导热性和导电性为 100 计, 则铅的导热性仅为 85, 而导电性仅为 10.7。

1.4.1.2 化学性质

铅是元素周期表中第 IV 主族元素(碳族), 原子序数 82, 原子量 207.19, 常见化合价为 +2 和 +4 价。

在常温时, 铅在干燥的空气中不起化学变化, 但在潮湿及含有二氧化碳的空气中会失去金属光泽, 其表面形成一层暗灰色的次氧化铅薄膜, 此薄膜慢慢地转化成为碱式碳酸铅, 并能防止内部继续氧化, 不影响铅的内在质量。

铅在空气中加热熔化时, 最初氧化成 Pb_2O , 表面出现彩虹色, 再升高温度则生成 PbO (黄丹), 继续加热到 $330 \sim 450^\circ\text{C}$, 则 PbO 转变为 Pb_2O_3 , 当温度升到 $450 \sim 470^\circ\text{C}$ 时, 生成 Pb_3O_4 (铅丹), 但是除 PbO 外, 所有铅的氧化物在高温下都不稳定, 当温度高于 600°C 时, 均会分解。 CO_2 对铅的氧化作用不大。浸没在水中(无空气)的铅很少腐蚀。