

“十一五”国家重点图书出版规划项目

Zn Pb
Zn

中国有色金属丛书
中国有色金属工业协会组织编写

**铅锌选矿
技术**

戴晶平 刘侦德 编著

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



铅锌选矿技术

中国有色金属工业协会组织编写

戴晶平 刘侦德 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

作者简介

戴晶平 深圳中金岭南股份有限公司(000060)矿物加工专业教授级高工,工学博士,享受国务院专家政府津贴,获国家科技进步一等奖、二等奖,省部级科技进步奖一等奖、二等奖六项,全国劳模,获全国“五一”劳动奖章。长期在生产一线从事铅锌矿选矿技术的科研开发、生产技术管理和新矿山的规划建设工作。

刘侦德 深圳中金岭南股份有限公司(000060)矿物加工专业教授级高工,享受国务院专家政府津贴,省劳动模范,获国家科技进步一等奖、二等奖、三等奖,省部级科技进步奖一等奖、二等奖七项。长期从事铅锌矿选矿技术的科研、生产技术和企业管理工作。

图书在版编目(CIP)数据

铅锌选矿技术/戴晶平,刘侦德编著. —长沙:中南大学出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-5487-0220-7

I. 铅... II. ①戴...②刘... III. 铅锌矿床—选矿技术
IV. TD952

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 036069 号

铅锌选矿技术

戴晶平 刘侦德 编著

责任编辑 胡业民

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 国防科技大学印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 13 字数 321 千字

版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0220-7

定 价 48.00 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铅分会
王树琪	中条山有色金属集团有限公司

王海东
乐维宁
许健
刘同高
刘良先
刘柏禄
刘继军
李宁
李凤轶
李阳通
李沛兴
李旺兴
杨超
杨文浩
杨安国
杨龄益
吴跃武
吴锈铭
邱冠周
冷正旭
汪汉臣
宋玉芳
张麟
张创奇
张洪国
张洪思
张培良
陆志方
陈成秀
武建强
周江
赵波
赵翠青
胡长平
钟卫佳
钟晓云
段玉贤
胥力
黄河
黄粮成
蒋开喜
傅少武
瞿向东

中南大学出版社
中铝国际沈阳铝镁设计研究院
中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
厦门钨业集团有限公司
中国钨业协会
赣州有色冶金研究所
荏平华信铝业有限公司
兰州铝业股份有限公司
西南铝业(集团)有限责任公司
柳州华锡集团有限责任公司
白银有色金属股份有限公司
中铝郑州研究院
云南铜业(集团)有限公司
甘肃稀土集团有限责任公司
河南豫光金铅集团有限责任公司
锡矿山闪星锑业有限责任公司
洛阳有色金属加工设计研究院
中国有色金属工业协会镁业分会
中南大学
中铝山西分公司
宝钛集团有限公司
江西钨业集团有限公司
大冶有色金属有限公司
宁夏东方有色金属集团有限公司
中国有色金属工业协会
河南中孚实业股份有限公司
山东丛林集团有限公司
中国有色工程有限公司
厦门厦顺铝箔有限公司
中铝广西分公司
东北轻合金有限责任公司
中国有色金属工业协会
中国有色金属工业协会
中国有色金属工业协会
中铝洛阳铜业有限公司
江西稀有稀土金属钨业集团公司
洛阳栾川钼业集团有限责任公司
遵义钛厂
中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
中铝国际贵阳铝镁设计研究院
北京矿冶研究总院
株洲冶炼集团有限责任公司
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 characters: '康' (Kang) and '勇' (Yong).

2009年3月

目 录



第 1 章 铅锌选矿基础	1
1.1 世界铅工业的基本情况	1
1.2 世界锌工业的基本情况	1
1.3 铅锌矿物原料特点	2
1.4 铅锌矿床	3
1.5 铅锌选矿中的重要矿物	3
1.6 有色金属选矿的基本概念	12
1.7 常用铅锌选矿药剂	19
1.8 浮选机	29
1.9 破碎流程	32
1.10 磨矿流程	32
1.11 浮选流程的基本概念	33
1.12 影响浮选过程的工艺因素	42
第 2 章 硫化铅锌矿的选矿	48
2.1 方铅矿的可浮性	48
2.2 闪锌矿的可浮性	49
2.3 硫化铁的可浮性	49
2.4 硫化铅锌矿选矿工艺	51
2.5 铅硫分离	54
2.6 锌硫分离	55
2.7 铅锌选矿理论和实践最新成果	55
2.8 凡口铅锌矿选矿实例	56
2.9 黄沙坪铅锌矿选矿实例	64
2.10 红狗 (Red Dog) 铅锌矿选矿实例	65
第 3 章 硫化铜、铅、锌、铋和铊矿的选矿	69
3.1 优先浮选流程	69
3.2 部分优先浮选全流程	71
3.3 铜铅混浮分离流程	73

3.4	铜、铅、锌、铋、银多金属硫化矿的选矿	75
3.5	瑞典加尔彭贝尔格铜铅锌选矿厂	76
3.6	南非黑山(Black Mountain)铜铅锌矿	78
第4章	高砷复杂多金属硫化矿浮选分离技术	82
4.1	毒砂和黄铁矿的分选技术	82
4.2	多金属矿石中毒砂的分离技术	83
4.3	细菌除砷法	87
4.4	有机抑制剂在硫化矿浮选中抑制砷黄铁矿	88
第5章	磁黄铁矿和铁闪锌矿的分选	90
5.1	磁黄铁矿	90
5.2	铁闪锌矿与磁黄铁矿分选	93
第6章	细粒铅锌矿的选矿技术	96
6.1	细粒方铅矿和闪锌矿的絮团浮选	96
6.2	凡口次生矿泥铅锌浮选生产实例	100
第7章	氧化铅锌矿的选矿	103
7.1	氧化铅矿物的浮选工艺	103
7.2	氧化锌矿物的浮选工艺	104
7.3	柴河铅锌矿混合矿的选矿实践	107
7.4	兰坪铅锌矿选矿实例	112
第8章	黄铁矿的浮选	116
8.1	黄铁矿的浮选基础	116
8.2	凡口铅锌矿选硫生产实践	117
8.3	黄铁矿精矿的综合利用	119
第9章	硫化矿电位调控浮选	123
9.1	硫化矿原生电位(OPF)调控浮选	123
9.2	电化学控制浮选在西林铅锌矿的实践	126
第10章	铅锌化学选矿	129
10.1	氧化酸浸法处理浮选铜锌混合精矿	129
10.2	铅、铋、锌等多金属硫化矿的化学处理工艺	133
第11章	浮选法回收锌浸出渣中的银	137
11.1	调节矿浆浓度	137
11.2	控制pH值	138
11.3	控制锌离子浓度	138

第 12 章 铅锌矿中伴生锗镓银的综合回收	140
12.1 伴生银的综合回收	140
12.2 稀散元素锗镓的综合回收	145
第 13 章 选矿废水综合利用和环保	150
13.1 选矿废水的基本情况	150
13.2 选矿厂废水净化处理和应用	151
第 14 章 自动控制技术	160
14.1 PROSCON®集成控制系统	160
14.2 西林铅锌矿选矿厂电化学控制系统	161
14.3 基于神经网络质量模型的磨矿过程智能控制	163
14.4 凡口铅锌矿选矿厂自动化技术的应用	166
14.5 浮选程控自动给药机	167
第 15 章 载流 X 荧光分析仪检测技术	170
15.1 载流型 X 射线荧光分析仪综合介绍	170
15.2 荧光分析仪在凡口铅锌矿的应用	172
第 16 章 陶瓷过滤机用于铅锌选矿产品的过滤	176
16.1 陶瓷过滤机工作原理	176
16.2 陶瓷过滤机工作原理与节能机理	177
16.3 陶瓷过滤机的应用	178
第 17 章 尾矿综合利用	180
17.1 全尾砂的性质	180
17.2 全粒级尾砂浆的脱水装备	180
17.3 给料和搅拌装置	181
17.4 井下输送管路	181
17.5 仪表检测及通讯联络	181
第 18 章 国内外磨矿分级技术的新进展	183
18.1 磨矿设备的新进展	183
18.2 磨机所用衬板和磨矿介质的改进	186
18.3 磨矿工艺的新进展	187
18.4 分级设备的新进展	188
18.5 自动控制技术在磨矿分级过程中的应用	191
参考文献	193

第1章 铅锌选矿基础

铅是人类从铅锌矿石中提炼出来的较早的金属之一。它是最软的重金属,也是相对密度较大的金属之一,蓝灰色,硬度1.5,密度 11.34 g/cm^3 ,熔点 327.4°C ,沸点 1750°C ,延展性良好,易与其他金属(如锌、锡、锑、砷等)制成合金。

锌是古代7种有色金属(铜、锡、铅、金、银、汞、锌)中最后的一种。锌金属为蓝白色,硬度2.0,熔点 419.5°C ,沸点 911°C ,加热至 $100\sim 150^\circ\text{C}$ 时,具有良好延压性,压延后密度 7.19 g/cm^3 。锌能与多种有色金属制成合金或含锌合金,其中最主要的是锌与铜、锡、铅等组成的黄铜等,还可与铝、镁、铜等组成压铸合金。

铅锌广泛用于电气工业、机械工业、军事工业、冶金工业、化学工业、轻工业和医药业等领域。

1.1 世界铅工业的基本情况

2007年世界铅总产量达到815万t(含中国271.0万t),中国、美国、英国、德国、日本五国的铅产量合计占世界铅总产量的62.16%。世界铅五大生产国中,中国的铅产量等于其他4国的总和。铅精矿铅含量达到368.5万t,世界再生铅的产量在2005年已经超过了矿产铅产量并有不断增加的趋势。亚洲铅精矿产量达到166.3万t,主要产铅国家有中国、印度、朝鲜、哈萨克斯坦,美洲铅精矿产量104.3万t,亚洲和美洲的铅精矿产量占全球铅精矿的3.43%。中国是第一大铅精矿生产国,产量(铅含量)达到95.34万t,占世界总产量的39.43%;澳大利亚位居第二,产量达到59.4万t,占世界铅精矿总产量的16.11%。中、澳两国铅精矿的产量占世界铅精矿总产量的55.55%。中国、澳大利亚、美国、秘鲁、墨西哥五国的铅精矿产量达到294.1万t,占世界铅精矿总量的79.8%。2007年世界铅的总消费量是822.0万t,同比增长2.02%。2007年世界十大铅消费国铅的消费量为640.4万t,占全球铅消费总量的77.79%,主要集中在西方发达国家。其中,消费大国是中国和美国,两国共消费铅415.4万t,占世界铅总消费的50.57%。世界铅精矿的主要供应商是澳大利亚和秘鲁。两国分别出口铅精矿23.34万t、17.89万t,合计为41.23万t,占2007年世界铅精矿产量的11.18%。美国进口铅26.6万t,是世界上最大的进口国。五大铅进口国分别是美国、韩国、德国、西班牙、法国,进口铅合计为73.84万t,占2007年世界铅生产量的9.06%。中国铅工业在世界铅工业中有其重要地位,中国人口占世界的1/5,铅产量、铅精矿产量、消费量、铅精矿的进口量均占其世界的1/3左右,都超过了世界人均水平。

1.2 世界锌工业的基本情况

2007年世界锌的总产量1139.4万t(含中国371万t),消费量为1140.9万t。2007年世

界锌产量比 2006 年增加 74.7 万 t, 同比增长 7.01%。其中, 中国产量增加 59.8 万 t, 同比增长了 17.8%。世界锌总消费量达到 1140.9 万 t, 中国锌消费达到 363.5 万 t, 占世界锌消费总量的 31.88%。亚洲锌产量达到 616.9 万 t, 占世界锌产量的 54.15%, 超过世界人平均水平。欧洲锌产量占世界锌总产量的 25.0%。亚、欧两大洲锌产量占世界锌总产量的 80%。锌产量前五大国是中国、加拿大、韩国、日本和西班牙, 其产量分别达到 371.1 万 t、80.0 万 t、69.7 万 t、59.8 万 t、51.8 万 t, 五国合计为 632.4 万 t, 占世界锌总产量的 55.51%。世界锌精矿产量达到 1143.1 万 t(锌含量), 比上年增加 96.8 万 t, 同比增长 9.26%。其中, 同期中国锌精矿产量 273.79 万 t, 比上年增加了 59.4 万 t, 同比增长 20.88%。2007 年中国锌精矿产量占世界锌精矿总产量的 30.07%。世界锌精矿 2005 年增长 3.97%, 2006 年增长 2.17%, 2007 年是近年来增长最快的一年。亚洲锌精矿的产量达到 486.4 万 t、美洲的产量 381.5 万 t, 分别占世界锌精矿总产量的 42.55%、33.37%。亚洲和美洲锌精矿产量合计占世界锌精矿总产量的 75.92%。世界五大锌精矿生产国是中国、秘鲁、澳大利亚、美国和加拿大, 其产量(快报数)分别是 273.79 万 t、144.4 万 t、140.2 万 t、78.8 万 t、60.4 万 t。五国锌精矿产量合计为 697.59 万 t, 占世界锌精矿总产量的 61.02%。

亚洲、欧洲、美洲锌的消费量分别为 616.9 万 t、285.7 万 t、192.7 万 t, 分别占全球消费量的 54.07%、25.04%、16.89%。亚洲和欧洲锌的消费量占世界锌总消费量的 79.11%。锌消费前五大国家是中国、美国、日本、德国、韩国, 其消费量分别达到 363.5 万 t、103.5 万 t、58.8 万 t、57.6 万 t、51.7 万 t。五大锌消费国的消费量为 635.1 万 t, 占世界锌消费总量的 55.66%。

2007 年五大锌出口国出口量(金属含量)分别为: 秘鲁 109.85 万 t, 澳大利亚 99.27 万 t, 美国 85.52 万 t, 爱尔兰 39.38 万 t, 瑞典 13.09 万 t。五国出口量合计为 347.11 万 t, 占 2007 年世界锌精矿总产量的 30.36%。2007 年最大的锌精矿出口国秘鲁出口锌精矿同比增长 11.94%, 主要原因是中国锌精矿进口量加大。

1995 年我国的锌产量是 107 万 t, 2007 年达到 371 万 t。12 年增长了 2.5 倍。2010 年前还有 50 万 t 左右的生产能力投入生产。我国锌的生产与消费将同步增长。

世界铅锌矿山采选规模不断扩大。目前超达公司在澳大利亚芒特艾萨(Mt Isa)铅锌矿年处理矿石量达到 800 万 t; 印度斯坦锌业在 2010 年铅锌选矿产能将达到 800 万 t。我国生产铅锌精矿的大企业, 云南冶金集团、宏达集团、西部矿业、中金岭南等公司, 2007 年的精矿产量(金属含量)在 15~20 万 t, 与世界级矿业大公司还有很大差距。

1.3 铅锌矿物原料特点

铅锌在自然界里特别在原生矿床中共生极为密切。它们具有共同的成矿物质来源和十分相似的地球化学行为, 有类似的外层电子结构, 都具有强烈的亲硫性, 并形成相同的易溶配合物。它们被铁锰质、粘土或有机质吸附的情况也很相近。铅在地壳中平均含量约为 15×10^{-6} , 在有关岩石中平均含量: 砂岩 7×10^{-6} 、碳酸盐岩 9×10^{-6} 、页岩 20×10^{-6} 。锌在地壳中平均含量约为 80×10^{-6} , 在有关岩石中平均含量: 玄武岩 105×10^{-6} 、花岗岩中 60×10^{-6} 、砂岩 16×10^{-6} 、碳酸盐岩 20×10^{-6} 、页岩 95×10^{-6} 。

目前,地壳中已发现的铅锌矿物有250多种,大约1/3是硫化物和硫酸盐类。方铅矿、闪锌矿等是冶炼铅锌的主要工业矿物原料。尽管现在已发现有250多种铅锌矿物,但可供目前工业利用的仅有17种。其中,铅工业矿物有11种,锌工业矿物有6种,以方铅矿、闪锌矿最为重要,其次是菱锌矿、白铅矿等。

矿石工业类型,以矿石自然类型为基础,按矿石氧化程度可分为硫化矿石(铅或锌氧化率 $<10\%$)、氧化矿石(铅或锌氧化率 $>30\%$)、混合矿石(铅或锌氧化率 $10\% \sim 30\%$);按矿石中主要有用组分可分为:铅矿石、锌矿石、铅锌矿石、铅锌铜矿石、铅锌硫矿石、铅锌铜硫矿石、铅锡矿石、铅锑矿石、锌铜矿石等;按矿石结构构造,可分为:浸染状矿石、致密块状矿石、角砾状矿石、条带状矿石、细脉浸染状矿石等。

1.4 铅锌矿床

铅锌矿床主要有5种类型:①花岗岩型。产于花岗岩及其碎屑质围岩中。矿床有用组分除铅、锌外,尚有钨、锡或铜。矿体呈脉状、浸染状。铅、锌品位较高,如湖南东坡、广东锯板坑等矿。②矽卡岩型。产于花岗岩类和碳酸盐岩接触带及其内外,矿石组分除铅、锌外,可含铜、钨、锡等。矿体呈脉状、透镜状、扁豆状。铅锌品位中等,如湖南水口山、辽宁桓仁等矿。③海相火山岩型。产于优地槽凝灰岩、熔岩及次火山岩中。矿石组分主要为铅、锌,常含黄铁矿。矿体呈似层状、透镜状、扁豆状。铅、锌品位高至中等,矿床为大、中型,如青海锡铁山、甘肃小铁山等矿。④陆相火山岩型。产于火山盆地分布的凝灰岩、熔岩及次火山岩中。矿石组分主要为铅、锌,部分含铜。矿体呈似层状、透镜状、脉状。铅、锌品位贫、富均有。矿床多为中型,如浙江五部、大岭口银山等矿。⑤碳酸盐岩型。产于地台或浅海相白云岩、石灰岩、不纯碳酸盐岩中。矿石组分除铅、锌外,部分含铜。矿体呈层状、似层状、透镜状。铅、锌品位高。矿床常为大、中型,如广东凡口、广西泗顶等矿。

1.5 铅锌选矿中的重要矿物

1.5.1 方铅矿

方铅矿是炼铅的重要矿石矿物,也是分布最广的铅矿物(见图1-1)。方铅矿是一种灰色的硫化铅,我国早在商代前就从方铅矿中提炼铅。方铅矿被风化后就变成白铅矿和铅矾。我国云南、广东、青海的几个地方的铅锌矿出产方铅矿(方铅矿总是跟闪锌矿共生),在一些煤矿中有时也会有发现。方铅矿中常常还含有银,因此也被用来作为提炼银的资源。

方铅矿可能是人类最早开采的矿石之一。古埃及古王国时期人们就使用方铅矿作为化妆品。古巴比伦人就已经开始方铅矿的冶炼了。在古罗马方铅矿也非常重要,方铅矿的学术名称Galena就是古罗马人命名的。无线电技术早期,人们使用方铅矿作为整流器。

方铅矿中常含银,中国自古就从含银方铅矿中提炼银。方铅矿具有氯化钠型晶体结构(见石盐)。呈铅灰色,强金属光泽,莫氏硬度2.5,密度达 7.5 g/cm^3 ,具完全的立方体解理。晶体呈立方体,有时为八面体与立方体的聚集体;集合体常成粒状和致密块状。

方铅矿呈铅灰色、黑色条痕,强金属光泽、立方体完全解理,硬度小,密度大。其理论组

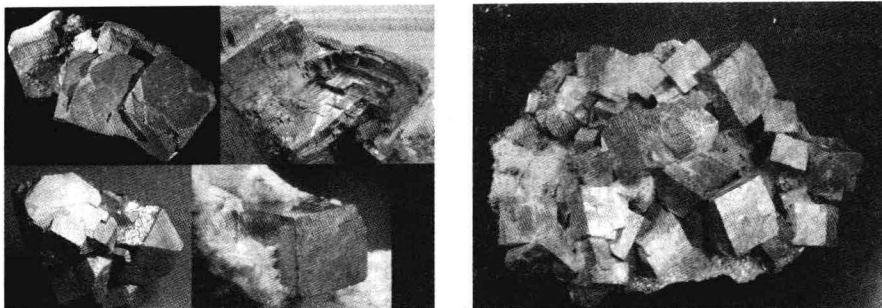


图 1-1 方铅矿 (Galena)

成为: Pb 86.60%, S 13.40%。混入物以 Ag 为最常见, 其次为 Cu、Zn, 有时有 Fe、As、Sb、Bi、Cd、Tl、In、Se 等。Se 代替 S, 可形成方铅矿-硒铅矿的完全类质同象系列。

方铅矿属等轴晶系, $a_0 = 0.594 \text{ nm}$; $Z = 4$ 。NaCl 型结构, 立方面心。化学键为离子键与金属键的过渡类型。六八面体晶类, $Oh - m^3 m (3L44L36L29PC)$; 晶体常呈立方体、八面体状。主要单形: 立方体 a, 菱形十二面体 d, 八面体 o, 三角三八面体 p 及其聚形。含 Ag 高时晶面往往弯曲。常依 (111) 呈接触双晶, 依 (441) 呈聚片双晶。集合体呈粒状或致密块状。条痕黑色。金属光泽。有平行三组完全解理。成分中含 Bi 时常有平行的裂纹。硬度 2~3。密度 $7.4 \sim 7.6 \text{ g/cm}^3$ 。具弱导电性和良检波性。主要为岩浆期后作用的产物。在接触交代矿床中, 常与磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等共生。在中、低温热液矿床中, 与闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、石英、方解石、重晶石等共生。在氧化带不稳定, 易转变为铅矾、白铅矿等矿物。

方铅矿是热液成因的矿物, 几乎总是与闪锌矿共生。方铅矿在地表易风化铅矾和白铅矿。中国铅锌矿的产地以云南金顶、广东凡口、青海锡铁山等地最著名。世界最大产地是美国的新密苏里, 仅铅的储量就达 3000 万 t。此外, 英国的康沃尔、德国的弗赖贝格、澳大利亚的布罗肯希尔等也很著名。

1.5.2 脆硫锑铅矿

脆硫锑铅矿属硫盐矿物(见图 1-2)。化学成分为 $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$, 晶体属单斜晶系。英文名来自英国矿物学家 R·詹姆森 (Robert Jameson) 的姓氏。脆硫锑铅矿是一种硫盐矿物, 呈铅灰色, 金属光泽, 很软。莫氏硬度 2.5~3, 密度 5.6 g/cm^3 。晶体形态呈柱状或针状; 通常呈羽毛状集合体, 故有“羽毛矿”之称。它主要产于多金属热液矿床中, 可作为提炼铅和锑的矿物原料。

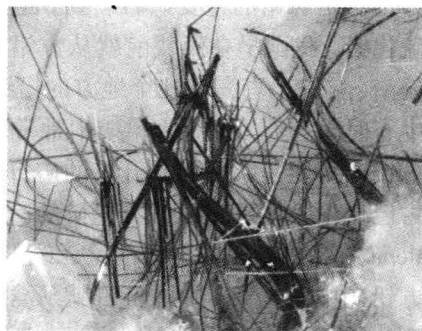


图 1-2 脆硫锑铅矿 (Jamesonite)

1.5.3 白铅矿

白铅矿(见图1-3)呈透明或半透明白色,含铅的包裹体时也呈灰色、浅绿色或蓝色,具金属光泽,有时呈油脂光泽或珍珠光泽,可以与硝酸反应产生气泡。在阴极特性下发浅蓝绿色荧光的特性当中,予以鉴定。其化学组成为 PbCO_3 , PbO 83.53%, CO 216.47%,有时含 Ca , Sr 和 Zn 。

白铅矿主要产于铅锌矿床氧化带,是方铅矿氧化成铅矾后,再受碳酸水溶液作用而形成的。常与磷氯铅矿共生;世界著名产地有美国宾夕法尼亚州(Phoenixville, Pennsylvania);捷克 Bohemia 的 Mies; 俄罗斯的 Nerchinsk; 意大利的 Sardina 岛; 非洲 Tunis; 西南非的 Tsumeb; 澳大利亚 New South Wales 的 Broken Hill 和德国 Hessen - Nassau 的 Ems 等地。

白铅矿的名称来源于 Cerussite 一字,来自拉丁语 Cerussa,指白色的铅(Whitelead),人造碳酸铅盐的旧用术语。

方铅矿属斜方双锥晶类,晶体常发育成板状、片状。晶系和空间群为正交晶系, $Pmcn$; 晶胞参数为 $a_0 = 5.15\text{\AA}$, $b_0 = 8.47\text{\AA}$, $c_0 = 6.11\text{\AA}$; 粉晶数据为 3.593(1), 3.498(0.5), 2.487(0.32); 莫氏硬度为 3.0~3.5; 密度为 6.4~6.6 g/cm^3 ; 解理为不完全柱状解理; 断口为贝壳状断口。

1.5.4 闪锌矿

闪锌矿(见图1-4)的化学成分为 ZnS , 属等轴晶系的硫化物矿物(成分相同而属于六方晶系的则称为纤锌矿),含 Zn 67.1%,通常含 Fe ,其铁含量最高可达30%,含铁量大于10%的称为铁闪锌矿。此外,常含有 Mn 和 Cd 、 In 、 Tl 、 Ga 、 Ge 等稀有元素。

闪锌矿主要产于接触矽卡岩型矿床和中低温热液成因矿床中,是分布最广的锌矿物。世界著名产地有中国云南兰坪金顶、云南会泽、广东凡口、甘肃厂坝、青海锡铁山及湖南水口山等地。其名称源自希腊语,指不可(Treacherous),这是因为它经常和方铅矿共生,也很像方铅矿,但不产铅,容易令人受骗。

闪锌矿的晶体形态属六四面体晶类,常呈四面体 $o(111)$ 或立方体 $a(100)$ 、菱形十二面体 $d(110)$ 以及 $n(112)$, $z(-357)$ 等单形组成聚形;晶系和空间群为等轴晶系,空

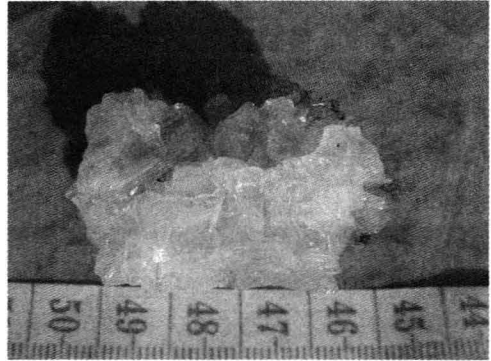


图1-3 白铅矿(Cerussite)

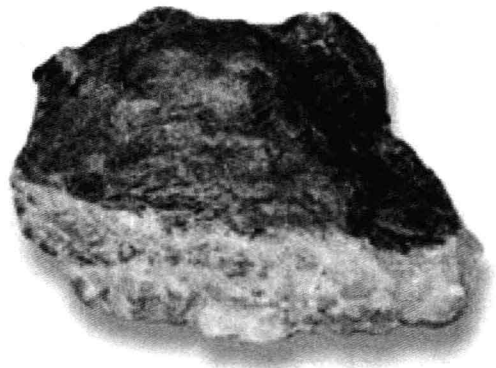


图1-4 闪锌矿(等轴晶系、晶质)
(Sphalerite, Xled Isometric)