

复杂难处理矿石选矿技术

——全国选矿学术会议论文集

孙传尧 敖宁 刘耀青 主编

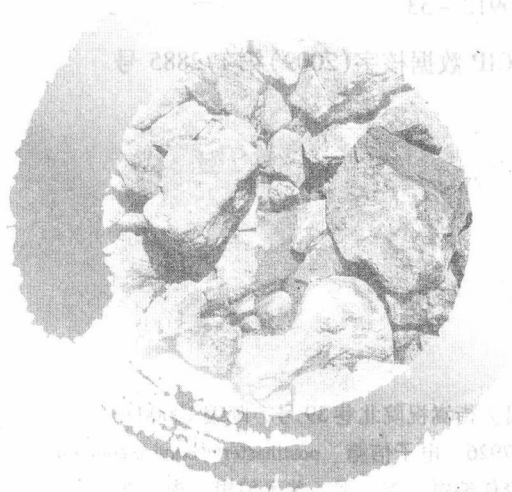


冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

复杂难处理矿石选矿技术

——全国选矿学术会议论文集

孙传尧 敖宁 刘耀青 主编



北 京

冶金工业出版社

2009

内 容 简 介

本书收录了近两年国内从事矿物加工及相关行业专家、学者及科技人员撰写的学术论文 78 篇, 内容涉及复杂难处理矿石选矿技术综述、选矿工艺、选矿设备及工艺矿物学等, 反映了当前选矿科技工作者在复杂难处理矿石选矿领域取得的最新科技成果。

本书可供从事矿业开发、矿产资源综合利用和矿物加工领域的科研和工程设计人员、企业的管理人员及工程技术人员、高等学校及中等专业学校的教师以及大学生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂难处理矿石选矿技术: 全国选矿学术会议论文集/孙传尧, 敖宁, 刘耀青主编. —北京: 冶金工业出版社, 2009. 10

ISBN 978-7-5024-5085-4

I. 复… II. ①孙… ②敖… ③刘… III. 难选矿物—选矿—学术会议—文集 IV. TD912-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 172885 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

策划编辑 张 卫 责任编辑 李 雪 美术编辑 李 新

版式设计 葛新霞 责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5085-4

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 10 月第 1 版, 2009 年 10 月第 1 次印刷

210mm×285mm; 26.25 印张; 803 千字; 407 页; 1-1300 册

90.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010) 65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

复杂难处理矿石选矿技术

——全国选矿学术会议论文集

主 编 孙传尧 敖 宁 刘耀青

主要审稿人 夏晓鸥 周俊武 吴熙群 刘永振
 茹 青 郑桂兵 朱穗玲 贾木欣
 文书明 梅雪珍

前 言

有不少学者的研究表明，一个国家的工业化进程也是矿产资源加速消耗的过程。这一趋势直到工业化完成和后工业化阶段才能改变。经过20世纪90年代国际范围的矿业萧条，从21世纪开始，随着发展中国家的工业进程和新兴国家的城市化进程加快，国际市场对矿产资源的需求量剧增。在此情况下，某些矿业公司、甚至非矿业公司积极跟进投资矿业，推波助澜，形成了连续七八年的全球性矿产资源热。2008年下半年以来，国际金融危机使世界经济增长速度变缓，在某些领域甚至造成严重的衰退，也使矿业和金属市场遭受重创。

近二十年来，中国矿业的发展过程与国际变化趋势相比可以说是有过之而无不及。20世纪90年代，中国矿业形势的低迷，使广大矿业工作者的心头蒙上一层阴影，恰恰在这个时期，一大批老矿业工作者怀着遗憾和困惑不解的心情离开了为之奋斗了几十年的工作岗位和所钟爱的矿业事业。进入21世纪以来，我国的工业化和城市化进程加快，对矿产资源的需求量剧增，矿业市场异常活跃，一批90年代立项建设而在此期间竣工投产的矿业工程显示了极强的竞争力。此外，大批从事矿产的老企业，包括中小型企业都获得了可观的经济效益。矿业市场的诱惑，使各方投资者纷纷把眼光聚焦矿业，发财致富的不少，血本无归的也有。不言而喻，当今国际金融危机对矿业带来的负面影响自然也波及到中国。

然而，我们应当清醒地认识到，中国现正处于工业化的中期阶段，城市化的进程仍在加快。今后几十年国内对矿产品的需求总体上是增加的趋势，这是实业界和经济界不争的共识，矿业的复苏只是时间问题。但矿业工作者在保持乐观态度的同时也应清醒地认识到，我国的矿产资源中除了钨、锡、锑、钼及稀土外，其他矿产的储量和资源量总体上不足，特别是人均占有量少，并且矿产资源的禀赋差，加工处理难度大。近年来不少企业在已开发矿山深部和周边开展了二轮找矿，探明了一些难处理的矿产，加之节能减排和低碳经济的需要，这就对矿物加工专业提出了更高的要求。

已经注意到不少有远见卓识的矿业企业，在当今矿业形势不景气的情况下，却抓紧立项搞矿业工程建设，以期待当矿业市场好转时新建的工程恰好能

派上用场,此前已有不少这样的先例。另一方面,企业正苦练内功,加强对难处理矿石的技术开发研究。正是在这一背景之下,召开“复杂难处理矿石选矿技术”会议并出版论文集。相信这些活动对矿业界的工程技术人员、企业家、甚至政府官员都能起到一点有益的作用。

编者阅读了本文集的全部文稿,受益很多,感到本次收录的论文有以下几个特点:一是选题广泛,涵盖了选矿综述、铁矿石选矿、多金属硫化矿选矿、有色金属氧化矿及其他矿石选矿、尾矿及冶炼炉渣综合利用、工艺矿物学、选矿设备、自动化技术及仪表等;二是不少论文扣住了复杂难处理矿石选矿这一主题,例如高磷鲕状赤铁矿处理、红土镍矿处理、高钙镁氧化铜矿处理、复杂低品位多金属硫化矿、混合矿或含金矿石的处理;三是适应循环经济发展的需要,尾矿及冶炼炉渣综合利用的论文明显增多;四是论文作者除来自高校、研究设计院所之外,企业的作者增多,这使得论文集的可读性、实用性增强;五是反映了近几年出现的新技术、新成果;六是学术讨论的氛围增浓。与此同时,我感到本文集略显不足的有以下几点:其一,2008年在北京刚开完“第24届国际矿物加工大会”,中国学者论文的数量和质量都达到较高的水平,仅时隔一年不少作者还来不及总结新的学术成果;其二,应用基础研究和理论探讨的文章偏少;其三,少数论文对问题探讨的深度不够。

中国是矿业大国,但还算不上矿业强国。在选矿工艺技术水平方面我国与矿业发达国家差距不大,在某些领域甚至领先,但在高端大型选矿设备、选矿厂过程控制及仪表方面仍差距明显。在少数难处理矿石方面至今尚提不出经济、可靠、易工程转化的实用技术。因此,我们应当提高矿物加工的整体水平。

争取国际矿业领先是我们的目标,这也是能够达到的,让我们业界同仁携手努力!

感谢论文作者的支持,能在较短的时间内提交了足够数量的学术论文,感谢不少专家学者在百忙中审稿,感谢冶金工业出版社的精诚合作和支持,使本论文集能在学术会议之前与广大读者见面。

因编者水平有限,文集中难免有疏漏之处,敬请广大读者、作者及同行专家指正。

中国矿业联合会选矿委员会主任委员
中国有色金属学会选矿学术委员会主任委员 孙传尧
矿物加工科学与技术国家重点实验室主任

2009年9月

目 录

选 矿 综 述

复杂多金属矿综合利用技术现状及发展趋势	(魏德洲 刘文刚 崔宝玉等)	3
钴矿资源开发利用选矿技术现状和进展	(吴熙群 李成必 陈金中等)	8
细粒浮选研究动态	(杨 强 张裕书 毛益林等)	12
难处理金矿石预处理技术及应用现状	(郑 晔)	17
我国复杂难选铁矿直接还原技术的研究现状	(高 鹏 韩跃新 李艳军等)	25
铁矿选矿工艺研究现状与发展	(田祎兰 刘清高 任爱军等)	30
焙烧技术处理难选铁矿石的研究	(赵福刚)	36
低碱条件下多金属矿的浮选分离研究概述	(吴多吉 童 雄 谢 贤)	43
金属老尾矿的二次回收现状	(焦 娟 郭志猛 刘祥庆等)	49
论钨矿老尾矿的再开发利用	(林海清)	54
尾矿选矿利用的国内外研究概况	(周永诚 童 雄)	60

铁 矿 石 选 矿

高磷鲕状赤铁矿还原焙烧同步脱磷工艺研究	(孙体昌 祁超英 杨慧芬等)	69
吉林临江羚羊铁矿石工艺矿物学和选矿试验研究	(印万忠 高文义 张松波)	72
辽宁凌源鲕状赤铁矿焙烧磁选一反浮选试验研究	(吕振福 韩跃新 印万忠等)	77
吉林临江羚羊铁矿石可选性试验研究	(王泽红 于福家)	83
直接还原焙烧磁选法从红土镍矿中回收镍和铁	(孙体昌 杨慧芬 曹志成)	88
某鲕状赤铁矿金属化焙烧磁选选矿试验研究	(邓 冰 孙志勇 杨丙桥等)	91

多金属硫化矿选矿

德兴铜矿伴生元素综合回收方案确定	(尹启华 张红华)	97
复杂铜铅锌多金属硫化矿浮选分离的研究特点及应用研究	(魏明安)	103
高砷硫精矿降砷综合回收金的试验研究	(叶雪均 吕炳军 刘智林等)	108
某难选钼矿粗选捕收剂的试验研究	(周为民)	112
铜山口矿难选铜矿石选矿小型试验研究	(黄瑞强)	118
铜录山矿 6312 采场矿石小型试验研究	(黄瑞强 胡正华)	124
某铜铅锌矿合理选矿工艺的研究	(欧乐明 廖 乾 刘 旭)	129

广东某银铜铅锌多金属矿选矿工艺研究	(徐晓萍 罗传胜 何晓娟)	135
含铜锡复杂多金属硫化矿选矿试验技术研究	(戴新宇 王昌良 李成秀等)	139
某铜铅多金属硫化矿选矿试验研究	(孙 阳 王建斌)	145
陕西徐家沟铜矿选矿试验研究	(王红梅 孙 阳 李素玮等)	150
银矿综合回收选矿工艺研究	(田 敏 李洪潮 张颖新等)	155
某铜锌中矿的选矿试验研究与生产实践	(戚光荣)	159
铅锌铁多金属矿资源利用研究	(尚衍波 王中明)	165
新疆某低品位铜铅矿选矿工艺研究	(凌石生 尚衍波)	170
低品位含金硫精矿生物预氧化提金技术研究	(刘美林 武 彪 舒荣波等)	174
含铜低品位铅锌矿选矿工艺技术研究	(肖巧斌)	178
复杂铜锌铁多金属矿选矿工艺技术研究	(陈经华)	182
复杂低品位铜镍矿选矿工艺技术研究	(肖婉琴)	188
重—浮联合流程处理金铜矿石的试验研究	(郑桂兵)	193
含炭复杂铜、铅、钴、镍多金属硫化矿选矿工艺技术研究	(卢烁十 王荣生 陈经华等)	197

有色金属氧化矿及其他矿石选矿

一水硬铝石型低品位铝土矿旋流分选的主要影响因素研究	(魏德洲 高淑玲)	205
磨矿细度对樟东坑矿区九龙脑西部矿石回收率影响的生产实践	(曾雪平)	213
云南兰坪复杂难选多金属硫化-氧化混合铅锌矿石选矿 分离技术研究	(陈晓青 杨进忠 毛益林等)	218
某复杂高铁泥化氧化锌矿石浮选试验研究	(周杰强 胡秋云 陈湘清)	226
湖北某白钨矿提高精矿品位选矿试验研究	(刘泽洪 汪志平)	230
尖峰坡细粒复杂锡石多金属硫化矿的选矿生产实践	(易贤荣)	233
某低品位难选含金氧化矿石选冶技术研究	(杨进忠 陈晓青 刘厚明等)	239
某铅锌混合矿选矿试验研究	(汪志平 刘泽洪)	247
低品位难选萤石矿浮选工艺研究	(窦源东 王 慧 刘云杰等)	252
某高含量水溶铜难选氧化铜矿选矿试验研究	(谭 欣 吴熙群)	256
提高攀枝花钛精矿品位的试验研究	(熊 堃 文书明 彭金辉)	262
铜录山矿难选氧化铜矿石选矿试验研究	(韩 伟)	267
难处理高钙镁氧化铜矿高效选冶新技术	(刘殿文 方建军 文书明等)	273
低品位氧化铜矿堆浸过程中的影响因素分析	(董兴国)	276

尾矿及冶炼炉渣综合利用

选矿技术在钢渣选铁方面的应用	(于克旭)	283
澳大利亚某钨矿尾矿中黑钨矿的再回收	(李 岩 徐 政 宋永胜)	288
利用某选矿厂产生的废水对该矿山的老尾矿进行综合回收铅锌的 选矿工艺试验研究	(郭 宇 张 杰)	292
从锌浮选尾矿中回收铁资源的途径	(于传兵 王中明 肖巧斌)	296
章家谷尾矿库尾砂综合利用研究	(赵结斌)	299

工艺矿物学研究

金川三矿区贫矿工艺矿物学特性研究	(赵礼兵 韩跃新 赵毕文)	305
甘肃某多金属金矿床氧化矿石金银赋存状态研究	(赵海军 张青草 符增有)	312

选 矿 设 备

BGRIMM 浮选设备的技术进展	(沈政昌 卢世杰 史帅星等)	319
KYZ 浮选柱的应用	(史帅星 张跃军 刘承帅等)	326
大型自吸气机械搅拌式浮选机研究	(杨丽君 陈 东 董干国等)	331
冶炼炉渣及粗颗粒浮选机的工业试验及应用研究	(陈 东 杨丽君 赖茂河等)	334
充气机械搅拌浮选机在栖霞山铅锌矿的应用	(张智平 芮 凯 宋福官)	339
旋流喷射浮选机回收金川尾矿资源的工业试验研究	(宋永胜 李 宾 辛云霞等)	342
以先进破碎技术提高矿企竞争力 ——适应于难碎物料的惯性圆锥破碎机	(孙锡波 唐 威)	347
惯性圆锥破碎机在难处理矿石及冶金炉渣中的应用研究	(刘方明 唐 威 陈 帮等)	352
CTG 型自卸料永磁筒式磁选机提纯硅质原料研究	(张振权)	357
SLon 立环高梯度强磁选机应用现状及展望	(陈志友 黄会春 胡 伟)	361
SLon ϕ 1600 $\times$ 900 离心选矿机冲精矿装置的改进及使用效果	(王键敏 杨庆林 余良彪等)	365
利用气水联合作用冲洗高梯度磁选机磁介质的工业试验研究	(王键敏 杨庆林 彭 征等)	370
铅锌矿尾矿的回收再选研究与应用	(杨俊平 阎信卫 刘惠中)	374
凤凰山银矿选矿厂生产系统改造实践	(何理清)	377

自动化技术及仪表

新型四流道矿浆浓度粒度一体化测量仪	(曾荣杰 王俊鹏 赵建军)	383
载流 X 荧光品位分析仪的研究与应用现状	(赵建军 曾荣杰)	389
BGPS 型矿浆管道取样器的研制	(迟庆雷 赵建军 曾荣杰)	393
X 射线荧光分析仪安全系统的设计及可靠性分析	(陆 博 赵 宇)	400
基于 Windows 平台的库里厄 30 荧光分析仪管理软件的 开发与应用	(缪天宇 赵建军 周俊武等)	404



选矿综述

● 选矿综述

铁矿石选矿

多金属硫化矿选矿

有色金属氧化矿及其他矿石选矿

尾矿及冶炼炉渣综合利用

工艺矿物学研究

选矿设备

自动化技术及仪表

复杂多金属矿综合利用技术现状及发展趋势

魏德洲^① 刘文刚 崔宝玉 周 南

(东北大学资源与土木工程学院 沈阳 110004)

摘 要: 随着经济的飞速发展及金属资源日趋贫、细、杂化,我国矿产资源的总体需求矛盾日益尖锐,开展复杂多金属矿的综合利用研究,对于保证我国矿业经济的可持续发展具有重要意义。本文在对我国复杂多金属矿的特点和利用现状进行论述的基础上,概括和总结了我国常用的复杂多金属矿综合利用技术,并对今后的技术发展趋势做了相应的介绍。

关键词: 复杂多金属矿;综合利用技术;现状;发展趋势

矿产资源是人类生产资料和生活资料的基本源泉之一,是发展国民经济的重要物质基础。矿产资源开发利用是人类社会发展的前提和动力,与国民经济的各部门有着广泛的关联。在我国,95%的能源、80%以上的工业原材料和70%以上的农业生产资料都依赖矿产开发供给^[1]。随着经济的飞速发展,我国矿产资源的总体需求矛盾日益尖锐,特别是一些重要的矿产资源出现了人不敷出的局面,产量增量大大低于消费量的增长,后备资源严重不足,大大阻碍了我国矿业经济的可持续发展。随着世界各国多年来的不断开采,矿产资源不断减少,较富的矿床已几乎采竭,从而使国内外更多的矿业开发公司注重低品位矿以及复杂多金属矿的综合利用研究^[2]。

1 我国复杂多金属矿产资源的特点及应用现状

共(伴)生组分多,开发利用价值大是我国矿产资源最典型的特点^[3]。据统计,我国有80多种矿产是共(伴)生矿,以有色金属最为普遍。例如,铅锌矿中共(伴)生组分达50多种,仅铅锌矿中的银就占全国银储量的60%,产量占70%;伴生数达大型、特大型的铜矿床就有10余座,全国伴生金的76%和伴生银的32.5%均来自铜矿等等。虽然共(伴)生矿的潜在价值较大,甚至超过主要组分的价值,但其开发利用的技术难度亦大,选冶复杂,成本高,因而竞争力低。

开采综合利用的矿产比率比较低,综合利用指数不高是我国矿产资源开发利用过程中面临的主要问题^[4]。目前我国综合利用比较好的矿产只有30%左右,部分综合利用的矿产只有25%左右,完全没有进行综合利用的有达到45%左右,有十多万个集体的或者个体的矿产基本上不搞综合利用。矿产资源综合回收的矿种只占可利用综合回收矿种的一半,综合利用指数50%,比发达国家要低30个百分点,其中伴生金矿回收率只有50%~60%、银70%~80%,在发达国家这两项指标分别是70%、80%,相差10~20个百分点。铜回收率的只有20%左右,在矿业发达国家伴生金的回收率80%以上,综合利用的产值占总产值80%以上,综合回收利用率比我国高出20个百分点。以铁矿为例,我国铁矿资源矿石类型复杂,难选矿和多组分共(伴)生铁矿储量所占比重大,难选赤铁矿和多组分共生铁矿石储量各占全国总储量的三分之一,涉及一批大中型矿区,如攀枝花、大庙、白云鄂博、大冶、铜录山、石头嘴、翠宏山、谢儿塔拉、大宝山、大顶、黄岗以及翁泉沟等矿区。多组分共(伴)生铁矿有很高的利用价值,同时也给铁矿的开发利用带来困难。我国铁矿多组分含有钒、钛、稀土、铌、铜、锡、钼、铅、锌、钴、金、铀、硼和硫等30多种,最主要的有钒、钛、铌、铜、钴、硫和稀土等,有的共(伴)生组分经济价值甚至

^① 魏德洲,男,1956年生,教授,博士生导师,东北大学资源与土木工程学院院长。

超过铁矿价值,如白云鄂博铁矿中含有丰富的稀土矿产和钽、铌;攀枝花钒钛铁矿中的V和Ti储量居世界前位。我国多组分铁矿有很大的潜在经济价值,目前我国多组分铁矿资源利用程度不高,主要是由于选冶技术水平低,难以使比铁矿价值高得多的金属得到充分利用,随着科学技术水平的提高,这些共(伴)生组分将得到充分的综合回收利用^[5]。

2 复杂多金属矿产资源利用技术现状

2.1 选矿技术在复杂多金属矿综合回收中的应用

目前多金属复杂铜锌硫化矿的分离仍是选矿领域的一个难题。多年来国内外选矿工作者对铜锌分离进行了大量的研究工作,取得了一些新的研究成果,但对一些嵌布关系复杂、难选的铜锌硫化矿石,已有的成熟选矿工艺难以达到分离的目的。袁明华^[6]等针对某复杂铜锌硫化矿石开展了分离浮选试验研究,研究表明:采用优先浮选流程,选用硫化钠、硫酸锌和亚硫酸钠合理组合抑锌选铜,最后从铜尾矿中选锌,实现了铜锌分离,获得了铜回收率73.18%、铜精矿品位22.21%,锌回收率67.55%、锌精矿品位43.20%的好指标。

针对某含银铜铅锌多金属硫化矿易浮难分、嵌布粒度极不均匀的特点,王云等^[7]采用优先浮选工艺流程,以硫化钠消除次生铜离子的影响,以组合药剂(A130+乙基黄药)作为浮铜捕收剂、硫酸锌及自制的LDN组合作为锌抑制剂、乙硫氮作为铅捕收剂,最后铜铅粗精矿再磨的工艺显著提高了铜铅分选效果,获得了铜精矿含铜23.44%、回收率88.83%,铅精矿含铅54.43%、回收率84.28%,锌精矿含锌55.72%、回收率83.72%的较佳分选指标。

福建闽北某矿山复杂多金属矿含铜、铅、锌、铁等多种有价金属矿物,综合利用价值很高。张小田^[8]等通过对该矿石进行选矿试验研究,采用先浮后磁、部分混合浮选的流程,选出铜铅混合精矿再进行铜铅分离,然后浮选锌、硫,浮选尾矿经磁选选铁,最后得出了合格的铜精矿、锌精矿和铁精矿。其处理工艺流程如图1所示。

柿竹园多金属矿是一座特大型钨、钼、铋、萤石多金属矿,其矿体集中、形态简单、有用矿物品种多、共生关系十分密切、矿石物质组分复杂,属难选矿石。孙传尧等^[9]通过十年的科技攻关研制成功的以主干全浮流程为基础、以整合捕收剂为核心的综合选矿新技术——柿竹园法(如图2所示),很好地解决了该矿石的选矿技术难题,并成功地应用于工业生产。

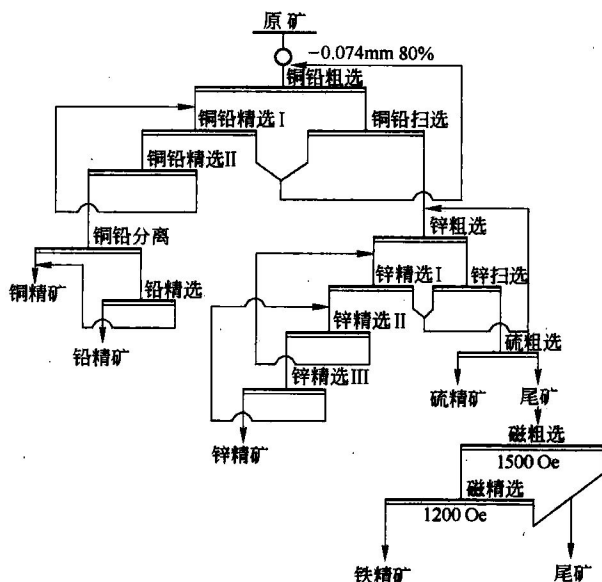


图1 福建闽北某矿山复杂多金属矿处理工艺流程

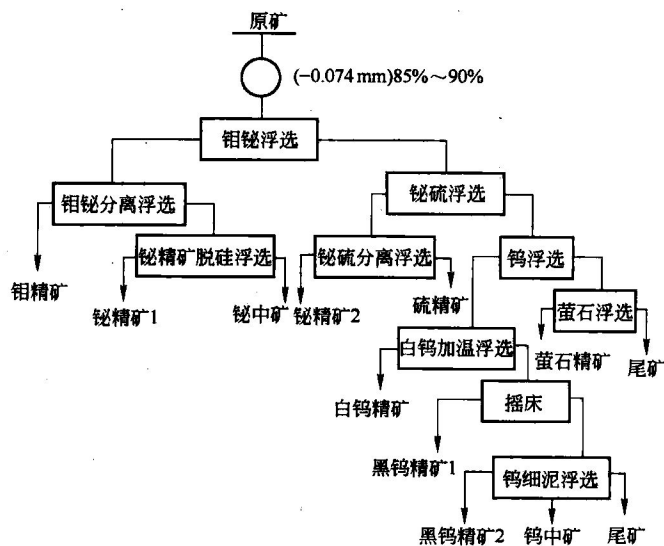


图2 柿竹园法工艺流程

试验结果表明,在钨钼铋原矿品位分别为 0.48%、0.069%、0.163% 时,柿竹园法获得的白钨矿、黑钨矿、钼、铋精矿品位分别为 66.12%、52.61%、48.26%、38.93%,回收率分别为 54.49%、21.95%、86.02%、38.93%,总钨回收率为 76.44%。在钨钼铋原矿品位均低于原生产流程的情况下,柿竹园法与原生产流程的选矿指标相比,白钨精矿品位相近(均为合格产品),钼精矿品位提高 1.77%,铋精矿品位提高 9.02%,钨、钼、铋精矿回收率分别提高 22.33%、2.85%、12.64%。由此可见,柿竹园法的实施极大地提高了钨钼铋金属的回收率,很好地解决了柿竹园多金属矿的多金属综合回收的技术难题。

我国锡矿资源丰富,分布达全国 13 个省(区)。探明储量占世界总储量的 25%,名列世界首位。我国锡矿绝大多数属于以锡为主的多金属复合共生矿床。通常除产出主金属锡外,还共(伴)生有多种金属和非金属矿产,以及大量稀贵金属元素^[9]。王翠冰^[10]等对广东金子窝多金属硫化物锡矿石进行了综合回收实验研究,试验结果表明:采用混合浮选—重选联合流程可以实现该矿石的有效分选,通过试验可获得品位为 47.54%、回收率 80.21% 的总铅精矿,品位为 43.25%、回收率 76.53% 的锌精矿,品位为 63.14%、回收率 80.45% 的锡精矿。

2.2 选矿—湿法冶金联合工艺在复杂多金属矿综合回收中的应用

刘如意等^[11]探讨了“低浓度三氯化铁选择性浸出一选矿工艺”在处理韶关精选厂产出的混合高砷多金属硫化矿中的应用,并取得了良好的分选结果。原则流程如图 3 所示,扩大试验最终产品技术指标见表 1 所示。该工艺不仅回收了铅、银、钨等金属。而且使铋、铜、钼的产品质量及金属回收率有了显著的提高。

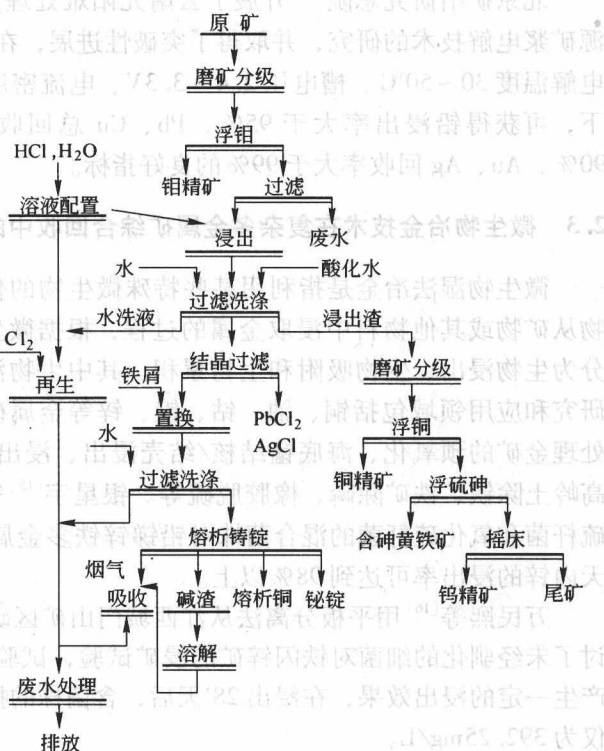


图 3 低浓度三氯化铁选择性浸出一选矿工艺流程

表 1 扩大试验最终产品技术指标 (%)

产品名称	钼精矿	铜精矿	钨精矿	粗 铋	氯化铅	银
品 位	53	25.27	62.08	>90	55.84	—
回收率	90.60	85.79	79.44	89.65	70.28	81.33

多金属复杂硫化金矿是一种难处理的金矿石,矿物结构复杂,不能用常规的方法处理,徐小平^[12]以如图 4 所示的“焙烧—酸浸—氯化”浸出方案处理国内某矿山产出的浮选金精矿,取得了较好的工艺指标,金、银浸出率分别达 99% 和 90% 以上,铜、铅、锌的浸出率都在 80% 以上,较好的实现了有价金属的综合回收。

我国富有各类不同的锑矿资源,锑、铅、锌等多种金属共生的锑矿是其中的一种重要类型。由于这类矿石中矿物种类繁多,共生组合复杂,至今尚未有理想的分离方法。刘如意等^[13]针对广西河池五圩地区的锑铅锌多金属硫化矿,研究了脆硫锑铅矿与闪锌矿的浮选分离以及锑铅精矿的湿法氯化处理。试验结果表明,采用浮选—湿法氯化法联合工艺处理锑铅锌多金属硫化矿,不仅使矿石中锑、铅、锌等多种

有价成分得到合理的利用,而且也为锑铅精矿的开发利用提供了有效方法。通过该工艺处理,可获得锑品位为 33.61%、回收率 88.73%,铅品位为 29.58%、回收率为 94.63% 的锑铅精矿和品位 57.83%,回收率 90.10% 的锌精矿;锑铅精矿经湿法氯化浸出工艺处理后,锑的总回收率可达 93.6%。

北京矿冶研究总院^[14]开展了云南元阳难处理多金属复杂金矿资源矿浆电解技术的研究,并取得了突破性进展,在矿浆液固比 6~8、电解温度 30~50℃、槽电压 2.4~3.3V、电流密度 150A/m² 的条件下,可获得铅浸出率大于 95%,Pb、Cu 总回收率分别达 95% 和 90%,Au、Ag 回收率大于 99% 的良好指标。

2.3 微生物冶金技术在复杂多金属矿综合回收中的应用

微生物湿法冶金是指利用某些特殊微生物的代谢活动或代谢产物从矿物或其他物料中浸取金属的过程,根据微生物所起的作用可分为生物浸出、生物吸附和生物累积。其中生物浸出备受关注,其研究和应用领域包括铜、铀、钴、镍、锌等金属硫化矿的浸出、难处理金矿的预氧化、海底锰结核/结壳浸出、浸出除杂如煤矿脱硫、高岭土除铁、铁矿除磷、橡胶脱硫等。银星宇^[15]等研究了氧化亚铁硫杆菌和氧化硫杆菌的混合菌株对铅锑锌铁多金属复杂硫化矿原矿的细菌摇瓶浸出,试验结果表明,10 天内锌的浸出率可达到 98% 以上。

万民熙等^[16]用平板分离法从江西城门山矿区硫化矿矿坑水中分离得到了一株浸矿用细菌 CMS,并探讨了未经驯化的细菌对铁闪锌矿的浸矿试验,试验结果表明:CMS 细菌具有一定的浸矿能力,能对 Zn²⁺ 产生一定的浸出效果,在浸出 28 天后,含菌株的摇瓶中锌离子浓度即达到 615.50mg/L,而无菌浸出液中仅为 392.25mg/L。

3 复杂多金属矿综合利用技术发展趋势

通过对我国复杂多金属矿产资源综合利用技术的总结和分析可以看出,今后其发展方向主要有以下几点:

(1) 生物冶金技术大有发展前途。由于生物冶金技术特别适于处理贫矿、废矿、表外矿及难采、难选、难冶矿的堆浸和就地浸出,并具有过程简单、成本低、能耗低、对环境污染小等突出优点,正在工业生产中逐步推广应用。随着高温浸矿菌浸出黄铜矿和异氧菌浸出红土镍矿等技术的不断进步,生物冶金技术将得到更大的发展。目前应用生物浸出技术处理低品位和复杂多金属硫化矿物资源取得了很好的效果,但在浸出速度,工艺优化,开发新菌株,研发反应设备等方面仍需要深入研究。

(2) 开发新型的选冶联合工艺。由于复杂多金属矿结构、性质比较复杂,矿物种类繁多,采用单一的处理工艺很难达到理想的处理效果。选矿、冶金联合工艺是处理复杂多金属矿的一个重要发展方向,选冶联合处理不但提高了矿石的综合利用率,而且可以得到加工程度深的产品,大大提高了矿山的经济效益。

(3) 在选矿技术方面,应加强新药剂的研发与混合用药的开发。就目前情况来看,混合用药是浮选药剂研究的重点。在研究混合用药的同时,应积极开发高效、廉价、无毒的新型药剂,特别是生物浮选药剂的相关研究。

(4) 尾矿再选是提高资源利用效率,弥补资源不足的重要手段。世界各国随着多年来的不断开采,锌、硫、砷、锡资源不断减少,较富的矿床已几乎采竭,从而使国内外更多的矿业开发公司注重低品位矿以及尾矿的综合利用。尾矿中含有的多种有价金属,目前也只有为数不多的矿山回收利用尾矿中的有

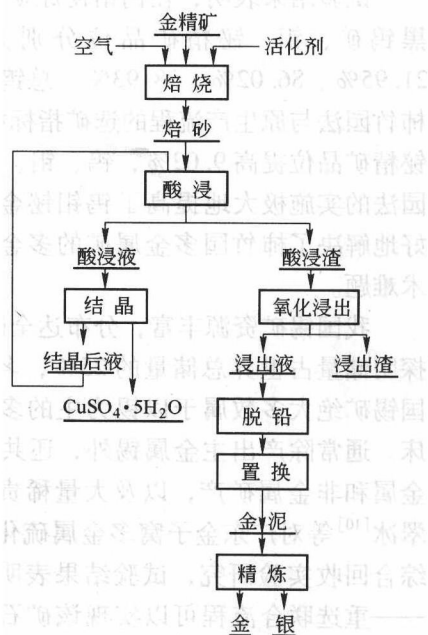


图4 焙烧—酸浸—氯化处理工艺流程

价组分。因此,开展尾矿再选和综合利用研究,对于提高我国矿产资源的综合利用效率具有重要意义。

参考文献

- [1] 袁迎菊,才庆祥,赵畅,等.矿产资源价值研究[J].金属矿山,2009,(2):18~22.
- [2] 李红零,吴仲雄.我国金属矿开采技术发展趋势[J].有色金属(选矿部分),2009,61(1):8~10.
- [3] 刘进.广西大厂锡石多金属硫化矿尾矿的综合利用研究[D].昆明:昆明理工大学,2003:11.
- [4] 雷力,周兴龙,文书明,等.我国铅锌矿资源特点及开发利用现状[J].矿业快报,2007,(9):1~4.
- [5] 马建明.我国已查明的铁矿资源[EB/OL].[2009.01.05].http://www.lrn.cn/zjtg/academicPaper/200901/t20090105_315703.htm.
- [6] 袁明华,普仓凤.多金属复杂铜矿铜锌硫分离浮选试验研究[J].有色金属(选矿部分),2008,(1):1~3.
- [7] 王云,张丽军.复杂铜铅锌多金属硫化矿选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2007,(6):1~6.
- [8] 张小田,陈宏,代淑娟.铜、铅、锌、铁复杂多金属矿综合回收研究[J].有色矿冶,2005,15(3):17~19.
- [9] 孙传尧,程新潮,李长根.钨钼铋萤石复杂多金属矿选矿新技术——柿竹园法[J].中国钨业,2004,19(5):8~14.
- [10] 王翠冰,刘绍宽.多金属锡矿石的综合利用[J].矿产综合利用,1984,(2):28~35.
- [11] 刘如意,曾达,李映厚,等.多金属硫化矿综合利用工艺的探讨[J].矿冶工程,1985,5(4):31~36.
- [12] 徐小平.高铅多金属复杂硫化金精矿处理工艺的研究[J].有色冶炼,1995,(1):38~41.
- [13] 刘如意,李文杰,何小川,等.锑铅锌多金属硫化矿综合利用工艺的研究与实践[J].有色金属(选矿部分),1994,(4):1~6.
- [14] 江海.矿浆电解技术处理多金属复杂金矿石取得成功[J].中国工程科学,2000,(1):67.
- [15] 银星宇,王军,覃文庆,等.多金属复杂硫化矿的细菌浸出[J].湖南有色金属,2005,21(3):1~4.
- [16] 万民熙,杨宇,邱冠周,等.含铜多金属复杂矿区的一株浸矿细菌的分离与鉴定[J].生态环境,2008,17(1):122~127.

钴矿资源开发利用选矿技术现状和进展^①

吴熙群^② 李成必 陈金中 刘万峰 王立刚 孙志健

(北京矿冶研究总院 北京 100044)

摘 要: 我国钴资源严重不足, 选冶工艺流程复杂, 每年需进口大量钴原料和钴制品。我国钴工业与世界相比, 存在较大差距。系统、深入开展选冶新技术研究, 扩大钴矿资源可开采范围, 提高钴的总体回收水平, 意义重大。

关键词: 中低品位; 钴矿; 选冶新技术

钴是重要的战略金属, 在国民经济和航空航天事业中具有重要的地位。钴在全球范围内应用十分广泛, 在有的领域甚至是无可替代金属^[1,2]。

我国钴资源严重不足, 现探明钴矿资源大都品位低, 回收钴的选冶工艺流程复杂, 生产成本低。我国每年从自有资源中生产的钴不到 1000t, 而每年钴消耗量却在 4000t 以上, 大量的钴原料和钴制品依赖进口。

国内外对占有钴资源越来越重视。系统、深入开展选冶新技术研究, 完善现有选冶工艺, 扩大钴矿资源的可开采范围, 提高钴的总体回收水平, 意义非同小可。

1 国内外钴矿资源概述

自然界中钴主要以独立钴矿物、类质同象(或包裹体)及吸附三种赋存状态存在, 以类质同象或包裹体形式为主。目前已发现钴矿物和含钴矿物上百种, 其中常见的仅有十几种, 主要为硫化物、硒化物、砷化物、硫砷化物、碳酸盐、硫酸盐和砷酸盐等。而具有工业价值的却只有几种, 主要为硫钴矿、铜钴矿、硫镍钴矿、含钴黄铁矿、辉钴矿、斜方砷钴矿、辉砷钴矿和钴华等。钴矿石类型主要有铜钴矿、镍钴矿、含钴黄铁和砷钴矿四种^[1]。

国外钴资源丰富, 储量约 520 万 t, 95% 集中分布在刚果(金)、赞比亚、民主刚果、澳大利亚、古巴、摩洛哥和俄罗斯等少数国家; 主要西方工业国家却没有可称之为资源的钴矿。钴绝大部分产在风化红土镍矿、岩浆型硫化铜镍矿和沉积型砂岩铜矿中, 一般作为铜、镍等的副产品产出, 摩洛哥的布阿尔(Bou Azzer)矿是世界上唯一已经开采的原生钴矿^[1,3]。

我国钴资源紧缺, 目前累计探明钴储量为 58.3 万 t (不包括攀枝花钴资源), 主要分布在青海、甘肃、新疆、吉林、四川、海南等地, 但多为含钴 0.1% ~ 0.2% 的黄铁矿, 以及与铜镍矿伴生的钴, 几乎没有单独的钴矿床^[1,4]。

钴在地壳中极为分散, 很难形成独立的经济矿床, 大多是以铜镍、铜、铁等矿床的伴生金属产出。近年来在我国东北地区、西部地区、赣西和湘东北等地区相继发现了一批大、中型不同元素组合、不同

① 本课题为国家“十一五”科技支撑计划课题“中低品位锌、钴镍的高效选冶技术研究”中的部分内容。

② 吴熙群, 北京矿冶研究总院研究员, 矿物工程研究所副所长。1985年毕业于中南矿冶学院。主持或参加江西德兴铜矿、铜陵冬瓜山铜矿、越南生权铜矿、吉林白山大横路钴铜矿等国内外各类项目 70 余项, 涉及铜、钼、铅、锌、铁、金、银、海滨砂等不同类型矿石的选矿。获部级科技进步一等奖 2 项, 三、四等奖多项。发表论文 30 余篇。主持国家科技攻关课题多项。电话: 010-88399048, 13601239142, E-mail: wu_xq@bgrimm.com