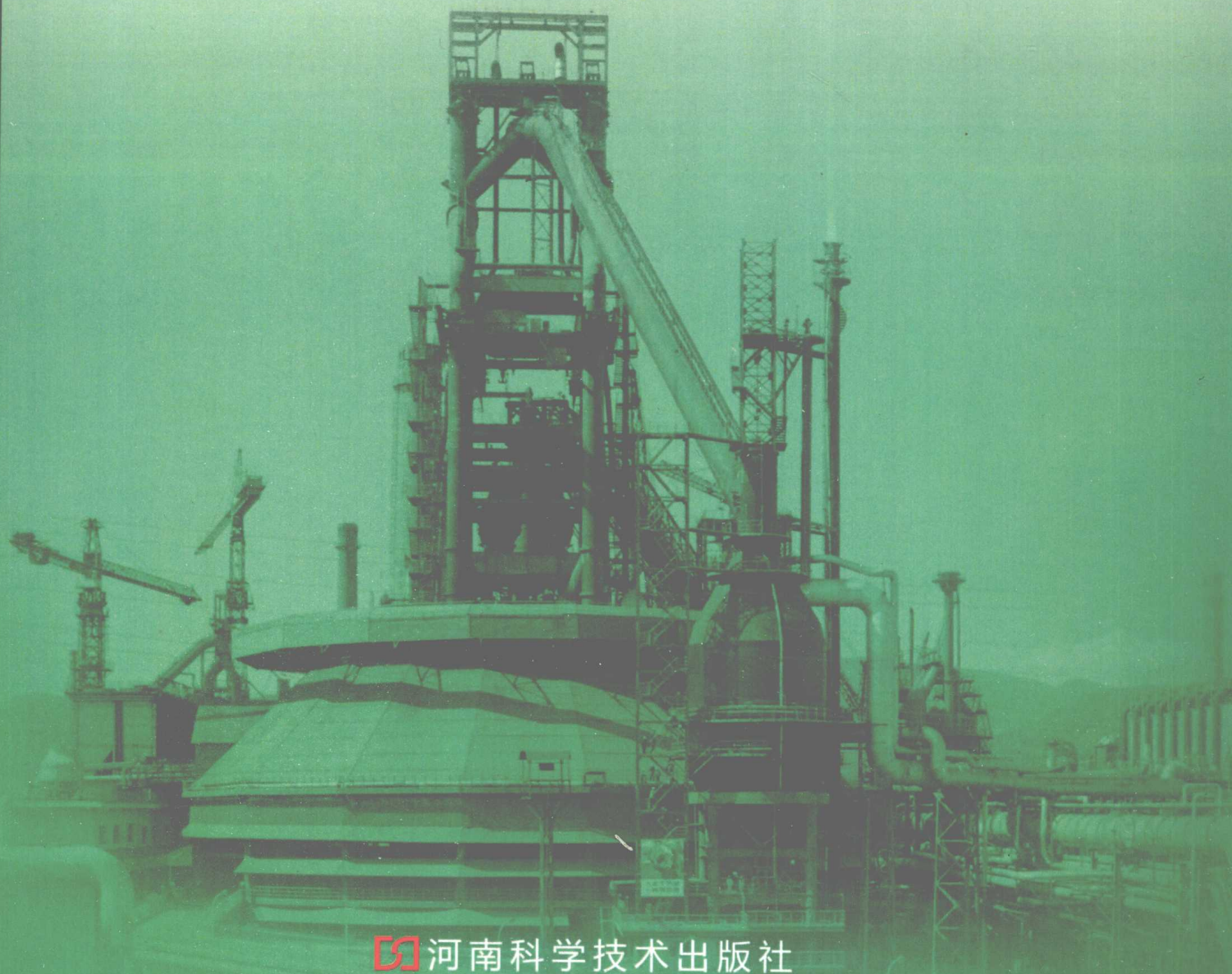




第十届北京冶金青年科技 优秀论文集

(上册)

北京金属学会 编



 河南科学技术出版社

第十届北京冶金青年科技 优秀论文集 (上册)

北京金属学会 编

河南科学技术出版社

内 容 提 要

本书收录了北京冶金青年科技优秀论文 230 篇, 内容涉及钢铁、有色金属两大领域的采选、冶炼, 相关的材料加工、材料分析、设备、机械工程、仪器仪表、自动化、资源利用、节能环保等学科的技术和经验。

本书可供钢铁冶金、有色金属冶金领域各相关专业的科技人员以及高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

第十届北京冶金青年科技优秀论文集 / 北京金属学会编. — 郑州: 河南科学技术出版社, 2010. 9

ISBN 978 - 7 - 5349 - 4641 - 7

I. ①第… II. ①北… III. ①冶金工业 - 文集 IV. ①TF - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 139357 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788613

网址: www.hnstp.cn

责任编辑: 张 建

责任校对: 梁 语

封面设计: 蔡建滨

版式设计: 李 爱

印 刷: 北京慧美印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 210 mm × 285 mm 印张: 68 字数: 1500 千字

版 次: 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

总 定 价: 220.00 元 (上、下册)

前 言

第十届北京冶金青年科技优秀论文集选编了 230 篇文章，内容涉及钢铁、有色金属两大领域的采选、冶炼，相关的材料加工、材料分析、设备、机械工程、仪器仪表、自动化、资源利用、节能环保等学科的技术和经验。本书较全面地反映了近两年来北京冶金工业科技创新、技术进步、科学实验研究与实践的成果，展现了北京冶金行业青年科技工作者对本行业相关科学技术的研究广度和深度，体现了快速增长的青年科技实力。

经专家评选，论文集中有 46 篇文章获奖，分别为一等奖 8 篇，二等奖 13 篇，三等奖 25 篇。在此谨向获奖论文作者表示衷心祝贺。

本论文集在论文征集、编选、评奖和出版工作中得到了有关评审专家、广大会员、分会秘书、各单位联系人的大力支持和帮助，在此论文集出版之际，向他们表示衷心的感谢。

北京金属学会学术委员会

2010 年 2 月 28 日

第十届北京冶金青年科技优秀论文集

论文评选获奖名单

一等奖

- 1.磨矿浮选控制系统开发与应用 尚海洋(北京矿冶研究总院)
- 2.首钢迁钢公司2号高炉近年来降焦实践 赵铁良(首钢迁钢公司)
- 3.新型油基纳米粒子冷轧乳化液的研究探索 朱广平,王士庭,孙建林,王一助(北京科技大学)
- 4.ZnS上金刚石膜的过渡层设计和附着力研究 郝鹏,张树玉,黎建明,杨海,苏小平,余怀之(北京有色金属研究总院)
- 5.17CrNiMo6钢中板条马氏体的形态与晶体学分析 王春芳,王毛球,时捷,惠卫军,董瀚(钢铁研究总院)
6. Exchange bias behaviour of amorphous CoFeNiSiB ribbons 周磊(钢铁研究总院)
- 7.冷连轧过程控制数学模型研究 陈丹,郭立伟(北京首钢自动化信息技术有限公司)
- 8.废石尾砂胶结充填试验研究 郭利杰,杨小聪(北京矿冶研究总院)

二等奖

- 1.高海拔地区硫化铜矿生物浸出研究 武彪¹,武名麟¹,李岩¹,华金仓²,罗已翀²,温建康¹
(1.北京有色金属研究总院 2.西藏玉龙铜业股份有限公司)
- 2.迁钢2号高炉高风温技术研究 陈冠军¹,竺维春¹,胡雄光¹,蔡景春²,倪苹³,杨天钧⁴
(1.首钢技术研究院; 2.首钢迁钢公司; 3.首钢国际工程技术公司; 4.北京科技大学)
- 3.气动板形仪动态标定及系统圆周误差鉴相补偿 刘建¹,王益群²,胡晓军¹,王丹¹
(1.中冶京诚工程技术有限公司; 2.燕山大学机械工程学院)
- 4.生态材料—多元复合稀土钨电极 王芦燕,李炳山,彭鹰,王来运(北京矿冶研究总院)
- 5.The effect of element doping and heat treatment on the impact resistance of Nd-Fe-B sintered magnets 王会杰(钢铁研究总院)
- 6.冶炼方法和热处理工艺对0Cr12Mn5Ni4Mo3Al高强不锈钢带力学性能和组织的影响 孙永庆,梁剑雄,杨志勇,宋为顺(钢铁研究总院)

7. First-principles investigation of 3d transition elements in $L1_0$ TiAl 党宏丽 (钢铁研究总院)
8. 基于十六烷基三甲基溴化铵修饰的磁性纳米 Fe_3O_4 固相萃取技术应用于环境水样中痕量氯酚化合物的液相/光谱法测定研究 李继东^{1,2}, 赵晓丽¹, 史亚丽¹, 蔡亚岐¹, 牟世芬¹, 江桂斌¹
(1. 中科院生态环境研究中心; 2. 北京有色金属研究总院)
9. 铅锌铁硫化矿磨矿过程中的矿浆电位研究 李文娟, 宋永胜 (北京有色金属研究总院)
10. KM3 热沉检漏技术 王 轩, 李凤玲, 任英杰, 王 燕, 韩京文 (北京有色金属研究总院)
11. 首钢烧结终点智能控制系统的应用 周 卫 (首钢自动化信息技术有限公司)
12. 六西格玛在提高烧结矿转鼓上的应用 曹 宇, 李文明, 韩 庆, 丁汝才 (首秦金属材料有限公司)
13. 铅阳极泥分银炉渣综合回收新工艺研究 李少龙 (中国恩菲工程技术有限公司)

三等奖

1. 浮选机不同配置方式在大返回量浮选流程中的能耗分析 董干国 (北京矿冶研究总院)
2. 一水硬铝石和含铝硅酸盐矿物在不同调整剂作用下的浮选行为研究 刘水红, 郑桂兵, 任爱军, 曾克文, 吴熙群 (北京矿冶研究总院)
3. 氧化铁皮用于烧结生产的应用研究 李建华, 成富全, 安乃鲜, 韩 庆, 丁汝才 (首秦金属材料有限公司)
4. 水夹点技术在炼钢厂的应用 张建红¹, 吴礼云², 刘正发³, 陈志新⁴, 徐 明³, 李蔚然¹
(1. 首钢技术研究院; 2. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司; 3. 首钢新钢有限责任公司 4. 北京首钢国际工程技术有限公司)
5. 首钢开平矫直船板切割变形和焊接变形的分析 阳代军¹, 马耀峰¹, 徐 彬² (1. 首钢技术研究院; 2. 首钢迁安钢铁有限责任公司)
6. 新型八辊轧机特点、发展及应用 江东海, 韩志勇, 韩培恋, 贾庆春, 刘, 鹏 (中冶京诚工程技术有限公司)
7. X80宽厚板的机械性能与组织形态 李少坡, 麻庆申, 李家鼎, 查春和, 丁文华 (首钢技术研究院)
8. 中 Ni 低剩磁软磁材料成分与工艺的研究 王克栋, 张 威, 纪金霞, 孙晓波 (北京北冶功能材料有限公司)
9. 2:17 型钕钴烧结磁钢的微磁结构研究 方以坤¹, 郭朝晖¹, 刘 涛¹, 李 卫¹, 韩宝善²
(1. 钢铁研究总院; 2. 中科院物理研究所磁学国家重点实验室)
10. 扩散工艺对铜合金粉末物理性能的影响 徐景杰¹, 汪礼敏^{1,2}, 王林山^{1,2}, 张景怀^{1,2}
(1. 北京有色金属研究总院; 2. 有研粉末新材料(北京)有限公司)

11. 高强度高塑性 TWIP 钢的研究 于建刚¹, 彭会芬² (1. 北京首钢机电有限公司; 2. 河北工业大学)
12. Effects of the substrate temperature and the annealing treatment on the microstructure and magnetic characteristics of TbDyFe films 杜兆富, 王 蕾, 赵栋梁 (钢铁研究总院)
13. Electronic structure and physical properties of stable and metastable phases in YN: Density-functional theory calculations 管鹏飞¹, 王崇愚^{1,2}, 于 涛² (1. 钢铁研究总院; 2. 清华大学)
14. Thermoelectric properties of c-axis oriented Ni-substituted NaCoO₂ thermoelectric oxide by the citric acid complex method 王 蕾, 王 鸣, 赵栋梁 (钢铁研究总院)
15. Ti50Ni43Cu7 合金在不同应力作用下的回复特性研究 李艳锋, 米绪军, 高宝东, 栗华鑫 (北京有色金属研究总院)
16. EBSD 分析技术及其在钢铁材料研究中的应用 王春芳, 时 捷, 王毛球, 惠卫军, 董 瀚 (钢铁研究总院)
17. 无钟布料模型焦炭坍塌数值模拟的研究与创新 马富涛 (首钢自动化信息技术公司自动化研究所)
18. 热风炉全自动控制在首钢迁钢二号高炉的应用 周检平 (北京首钢自动化信息技术有限公司)
19. 六辊 CVC 辊系辊间压力分布的研究 郭立伟, 陈 丹, 高 雷, 龚彩军 (北京首钢自动化信息技术有限公司)
20. 料层粉碎、多碎少磨与惯性圆锥破碎机 唐 威, 夏晓鸥, 罗秀建 (北京矿冶研究总院)
21. Atomistic simulation of fracture in Ni₃Al 谢红献¹, 王崇愚^{1,2}, 于 涛² (1. 钢铁研究总院; 2. 清华大学)
22. 聚氯乙烯与煤混合共热解过程中 HCl 析出特征 余广炜¹, 廖洪强¹, 蔡九菊² (1. 首钢环保产业事业部; 2. 东北大学国家环保生态工业重点实验室)
23. 电炉烟气余热回收中热管元件工作温度的研究 黄 伟, 李国盛, 吴仕明 (中冶京诚工程技术有限公司)
24. 粉煤灰吸附除磷的改性研究 苗文凭¹, 林 海², 卢晓君² (1. 中冶京诚工程技术有限公司; 2. 北京科技大学)
25. 电炉烟气余热回收装置的研发与工程实践 李国盛, 黄 伟, 杨明华, 吴仕明 (中冶京诚工程技术有限公司)

目 录

(上册)

矿冶工程

元江高镁红土镍矿矿物组成及浸出热力学分析(杨永强 王成彦 汤集刚 尹 飞 陈永强)	1
萃取剂对浸矿微生物种群的影响研究(陈勃伟 李文娟 刘兴宇 周桂英 温建康)	6
硫化钠分解彩铝铅矿热力学研究(马 飞 赵中伟 曹才放 张 刚 霍广生 李洪桂)	12
高海拔地区硫化铜矿生物浸出研究(武 彪 武名麟 李 岩 华金仓 罗已翀 温建康)	16
JJF-130 机械搅拌式浮选机动力学研究(陈 东)	21
触摸屏及 PLC 在乳胶装药车中的应用(臧怀壮)	24
浮选机不同配置方式在大返回量浮选流程中的能耗分析(董千国)	26
硫化铜矿酸性氧化浸出过程的电化行为(张 磊 王海北 徐志峰 蒋开喜)	31
铜硫分离尾矿中黄铁矿活化的研究(于传兵 王中明 吴熙群 凌石生)	35
磨矿浮选控制系统开发与应用(尚海洋)	38
一水硬铝石和含铝硅酸盐矿物在不同调整剂作用下的浮选行为研究(刘水红 郑桂兵 任爱军 曾克文 吴熙群)	42
基于霍克-布朗破坏准则的采场空区稳定性分析(解联库 杨小聪 刘庆林 郭利杰 杨天鸿)	46
惯性圆锥破碎机破碎超硬物料的应用研究(唐 威)	49
惯性圆锥破碎机在铀堆浸矿山的应用研究(唐 威 孙锡波 王 健)	54
低铝硅比铝土矿选矿试验研究(曾克文 刘俊星 周 凯 郑桂兵 张云海 任爱军 刘水红)	59
某钾盐矿磨矿粒度对浮选效果影响的试验研究(郭素红 刘 威)	64
节理煤岩巷道的损伤力学研究(王进学 沈 杰)	69
中条山侯马冶炼厂铜阳极泥处理工艺的改进与完善(董爱国 赵玉福 王魁斑 许 洁)	75
境外矿业开发风险及社区关系处理(马文军)	79

炼 铁

2008 年首秦烧结技术进步(成富全 曹 宇 韩 庆 丁汝才)	81
首秦 1#烧结机漏风治理(代炎华 成富全 马忠波 韩 庆 丁汝才)	85
氧化铁皮用于烧结生产的应用研究(李建华 成富全 安乃鲜 韩 庆 丁汝才)	89
首秦原燃料粒度对烧结的影响(徐建良 代炎华 成富全 韩 庆 丁汝才)	94
高碱度烧结矿在首钢生产应用研究(赵志星 潘 文 赵 勇)	97
烧结矿热风冷却实验室研究(潘 文 赵志星 季 斌)	101
高炉炉缸径向焦炭碱金属变化及其对焦炭性能影响的研究(马 丽 竺维春 张雪松)	105
迁钢 2 号高炉高风温技术研究(陈冠军 竺维春 胡雄光 蔡景春 倪 革 杨天钧)	110
迁钢高炉炉喉煤气流分布影响因素的探讨(张雪松 竺维春)	115
首钢 1 号高炉降料面停炉实践(马洪斌)	120
首钢 2 号高炉铜冷却壁使用的体会(马洪斌)	125

首钢高炉新喷吹煤种的研究应用(马 丽 竺维春 马泽军).....	129
首钢迁钢公司 2 号高炉近年来降焦实践(赵铁良).....	132
以含碳球团为原料的炼铁工艺(徐 萌 赵志星 赵民革 张卫东).....	136

炼 钢

重轨钢无铝脱氧工艺的研究(吴 伟 刘 浏).....	149
水夹点技术在炼钢厂的应用(张建红 吴礼云 刘正发 陈志新 徐 明 李蔚然).....	153
轴承钢铸坯凝固坯壳厚度变化及液相穴位置测定研究(王 坤 王立峰 张炯明 王 坚 周剑波 孙齐松 张慧峰)...	160
低碳钢中硫化铜的各种形态及其形成机理(刘中柱 桑原守 小林能直 长井寿).....	164
首钢第二炼钢厂 2#LF 炉精炼设备设计(王 玲 李 健 胡海霞 赵炳国).....	170
LF 炉精炼效果分析(杨伶俐 包燕平 刘建华).....	175
首钢迁钢公司超低碳钢冶炼技术的进展(朱国森 刘建辉 刘柏松 陈 斌 崔爱民).....	183
连铸工艺开发冷镢钢 ML08AI 生产实践(孔祥涛 王丽萍 李舒筋 陈明跃 王 莉 陈 红 龚 坚).....	187
双流板坯连铸中间包流动与温度耦合的数值模拟(赵方毅 王 颖 陈卫强 陈 杰).....	192
板坯连铸过程切割优化控制模型的研究(郭英敏 盘学军 薛颖健 陈来军).....	196
液芯大压下量技术在板坯连铸中的应用与研究(钟云涛).....	200

压力加工

首钢开平矫直船板切割变形和焊接变形的分析(阳代军 马耀峰 徐 彬).....	205
首钢低裂纹敏感性大线能量焊接钢板的焊接性能(金 茹 吴 斌 隋鹤龙 吕延春 章晓浒 路戴丁).....	211
以热滑伤为防治目标的轧制规程优化(吴安民 王 娜).....	219
冷连轧带钢厚度控制策略研究及发展趋势的探讨(郭 辉 王 玲).....	222
冷轧机支撑辊弯曲度校核(严洪凯 吴安民 成计民 黄 河).....	228
连续退火炉带钢加热数学模型研究(谢天华 张 爽).....	230
镀锌线光整机的张力控制(张贵强).....	234
1450 八辊五机架冷连轧机组的自动化控制系统(贾大朋 季安珊 沈志前 李鸿波).....	237
圆钢生产的防划伤措施(孙长城 梁 鸿).....	241
常用负荷平衡控制方案及实践(田淑杭 毛 伟 孙作生).....	245
气动板形仪动态标定及系统圆周误差鉴相补偿(刘 建 王益群 胡晓军 王 丹).....	248
新型八辊轧机特点、发展及应用(江东海 韩志勇 韩培恋 贾庆春 刘 鹏).....	254
纳米 BN 在冷轧板带钢乳化液中的应用研究(王一助 王士庭 朱广平 孙建林 黄 瑛).....	258
不锈钢冷轧润滑油应用现状及发展(熊孝经 孙建林 成晓举 朱广平).....	262
含铌中厚板钢表面裂纹分析与研究(高 雅 孙建林 黄 山).....	266
新型油基纳米粒子冷轧乳化液的研究探索(朱广平 王士庭 孙建林 王一助).....	270
板带钢热轧润滑机理研究(马艳丽 李宁廷 孙建林).....	273
润滑条件对板带钢热轧润滑剂性能的影响(李宁廷 马艳丽 孙建林).....	276
中厚板快速冷却过程中的温度均匀性控制(李国强 钱振声).....	280
大口径直缝埋弧焊管生产技术与装备的新进展(侯 帅 张海军 兰兴昌).....	283

基于数据挖掘的板材力学性能质量模型 (王丹民 王俊英)	288
中厚板轧后冷却冷速控制策略的分析 (温志强 王丹 李国强)	292
棒材轧制圆-椭圆-圆孔型中轧件面积计算模型 (姚俊 唐广波 刘正东 马宝国)	296
冷连轧中纠偏辊轴承座断裂分析 (吴安民 成计民 严洪凯 黄河)	300

材料研究

X80 宽厚板的机械性能与组织形态 (李少坡 麻庆申 李家鼎 查春和 丁文华)	303
正火可焊接细晶粒结构钢 S420NL 的开发 (吴斌 王彦锋 顾林豪 何元春)	307
高速重载齿轮的优化设计 (邓华容 李新林)	312
氢气还原氧化铁动力学的非等温热重方法研究 (庞建明 郭培民 赵沛 曹朝真)	315
Cr、Ni 元素对 Fe-Ni-Cr 系合金膨胀系数的影响 (方威)	320
Nb 元素对 Fe-Cr16 耐蚀软磁合金的影响研究 (陈岳 雷成辉)	323
Ni 含量对 1J77A 铁芯磁性能稳定性的影响 (纪金霞 王克栋 张威 孙晓波)	329
超低膨胀合金 S4J32A 等温马氏体相变 (张荣 高春红 宋东升 毕中南)	333
电磁铁用高饱和磁感应强度低剩磁软磁合金的研究 (雷成辉 陈岳 王兵)	338
机车电阻制动材料 Cr20Ni35 氧化特性的研究 (尹明贵 蔡凯洪)	342
精密合金冷轧钢带分层缺陷原因研究 (任福全 薛庆国 陈军 王静松)	347
漫谈经典金相在金属功能材料领域中的应用 (韩锋)	351
平均线膨胀系数检测有关问题研究 (李丽敏 李昕)	356
热处理工艺对 3J1 锻材力学性能的影响 (杨爱红 张晓义 柳海波)	359
中 Ni 低剩磁软磁材料成分与工艺的研究 (王克栋 张威 纪金霞 孙晓波)	364
晶粒尺寸对织构测试的影响与大晶粒薄带材样品的织构测试 (王颖 胡小军)	368
Pr ₂ Fe ₁₄ (C, B)/ α -(Fe, Co) 型纳米晶复合磁体的结构与磁性 (李安华 赖彬 王会杰 朱明刚 潘伟 李卫)	371
2:17 型钐钴烧结磁钢的微磁结构研究 (方以坤 郭朝晖 刘涛 李卫 韩宝善)	376
NdF ₃ -LiF-Nd ₂ O ₃ 熔盐体系中下阴极电解金属钕研究 (陈德宏 颜世宏 李宗安 王志强 庞思明 王祥生)	381
4 英寸 VGF GaAs 单晶生长的数值模拟与实验研究 (丁国强 苏小平 屠海令 张峰毅 涂凡)	385
ZnS 上金刚石膜的过渡层设计和附着力研究 (郝鹏 张树玉 黎建明 杨海 苏小平 余怀之)	391
均匀化处理和挤压对 Mg-Y-RE-Zr 合金组织性能的影响 (李永军 张奎 李兴刚 马鸣龙 张康)	396
低温回归再时效对 7B04-T651 铝合金厚板组织与性能的影响 (李志辉 熊柏青 张永安 朱宝宏 王锋 刘红伟)	402
Electronic Structure and Physical Properties of ScN in Pressure: Density-Functional Theory Calculations (GUAN Peng-Fei WANG Chong-Yu YU Tao)	408
ZnS 上 HfON 保护膜及增透膜系的制备和性能研究 (刘伟 张树玉 闫兰琴 黎建明 杨海 苏小平)	422
扩散工艺对铜合金粉末物理性能的影响 (徐景杰 汪礼敏 王林山 张景怀)	425
铸态 AZ31 镁合金的超塑性性能及流变应力 (黄木)	429
国外高速钢轧辊材料研究进展 (张西鹏 周守航)	433
双层舟二次还原铈钨粉末的工艺研究 (巫正瑜 彭鹰 李文岭 王芦燕)	437
化学气相沉积钨钨工艺研究 (王芦燕 马捷 常靖华 王从曾)	439
生态材料——多元复合稀土钨电极 (王芦燕 李炳山 彭鹰 王来运)	444
三元复合稀土钨电极烧结分层机理探讨 (刘山宇 苏学宽 杨建参 席晓丽 聂祚仁)	447

三元复合稀土钨电极烧结工艺研究(刘山宇 李炳山 彭 鹰 王芦燕 李曹兵 巫正瑜)	452
GH169 合金中液相变化(田玉亮 董建新 刘海飞 杨晓剑 许根国)	457
高强度高塑性 TWIP 钢的研究(于建刚 彭会芬)	462
17CrNiMo6 钢中板条马氏体的形态与晶体学分析(王春芳 王毛球 时 捷 惠卫军 董 瀚)	469
403Nb 钢再结晶动力学行为(王立民 宁小智 刘 宁 刘正东 杨 钢 张秀丽)	474
Inconel 690 镍基合金平衡相的热力学计算和实验分析(丰 涵 宋志刚 郑文杰 陈 斌 李祥民 郭志鹏)	480
超(超)临界火电机组汽轮机叶片用不锈钢耐热钢的现状与发展(孙永庆 刘振宝 梁剑雄 杨志勇)	485
低碳马氏体钢的微观组织表征及其对强度的影响(王春芳 王毛球 时 捷 惠卫军 董 瀚)	489
Effects of the Substrate Temperature and the Annealing Treatment on the Microstructure and Magnetic Characteristics of Tbdyfe Films (DU Zhao-fu WANG Lei ZHAO Dong-liang)	493
钕微合金化 N80 级无缝管成分和工艺优化的模拟研究(潘 涛 杨才福 刘国权 张传友 宗卫兵)	499
复合微合金化 HSLA 钢奥氏体相中碳氮化物析出热力学数值模拟 (唐广波 吴秀月 雍 兮 白埃民 刘正东 雍歧龙)	506
Electronic Structure and Physical Properties of Stable and Metastable Phases in YN: Density-Functional Theory Calculations (GUAN Peng-fei WANG Chong-yu YU Tao)	514
Fe 基非晶合金的恒导磁性能研究(郭世海 张羊换 王 煜 祁 焱 全白云 王新林)	521
含铌 HSLA 钢板带热连轧过程非均匀应变的数值研究(李 权 刘正东 唐广波 田志凌)	525
基于物元和可拓集合理论的燃气管道风险等级评定(孙永庆 张 峥 钟群鹏)	531
微观组织结构对铂钴永磁合金磁性能的影响(刘 涛 郭朝晖 李岫梅 李 卫)	535
我国商用飞机高强度不锈钢的现状与发展趋势(孙永庆 杨志勇 梁剑雄 宋为顺)	540
Electromagnetic Materials for Ultra-High Frequency Applications: Fe/SiO ₂ Composite Superfine Particles (TANG Bao-lin HE Jun WANG Xin-lin FENG Meng)	545
The Effect of Element Doping and Heat Treatment on the Impact Resistance of Nd-Fe-B Sintered Magnets (WANG Hui-jie LI An-hua GUO Yong-quan ZHU Ming-gang LI Wei)	548

元江高镁红土镍矿矿物组成及浸出热力学分析

杨永强, 王成彦, 汤集刚, 尹飞, 陈永强
(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

摘要: 采用显微镜观察、X射线衍射分析和扫描电镜能谱分析等手段研究元江高镁红土镍矿的矿物组成, 并对矿石中有价金属的浸出反应进行热力学分析。结果表明, 元江高镁红土镍矿是蛇纹岩风化形成的硅酸镍矿, 主要矿物组成为含镍蛇纹石、针铁矿、石英、磁铁矿以及少量的辉石、滑石和赤铁矿等, 各矿物间关系密切。元江高镁红土镍矿的浸出过程比较复杂, 矿石中主要矿物的浸出反应很容易进行, 并且有价金属浸出比较完全。
关键词: 冶金技术; 高镁红土镍矿; 矿物组成; 浸出热力学

发现于1957年的云南元江镍矿, 是我国的第二大镍矿。地质勘探资料表明, 品位0.8%以上的镍金属储量约为43万t, 其中品位1%以上的镍金属储量约22万t^[1]。多年来, 国内对该矿的开发利用进行过大量的试验研究, 但终因经济或技术原因, 一直未找到合理的工艺, 致使这一地区丰富的镍资源沉睡地下成为“呆矿”^[2-4]。

采用显微镜观察、X射线衍射分析和扫描电镜能谱分析等手段对元江高镁红土镍矿矿样进行了工艺矿物学研究, 并对矿石中有价金属的浸出反应进行了热力学分析, 论证了浸出反应的可行性, 为制定合理高效提取工艺方案提供理论依据。

1 工艺矿物学研究

1.1 矿石的组成

元江高镁红土镍矿是一个结合型氧化矿。镜下观察表明, 该矿床的矿化经过了母岩蛇纹石化和褐铁矿化两个过程, 使镍在硅酸盐矿物及褐铁矿中富集成矿。元江红土镍矿综合样的能谱分析结果见图1。

分析结果表明, 元江红土镍矿的化学组成相对简单, 主要含有硅、镁和铁等元素, 另含有少量的镍和铝。各元素及化合物的具体含量见表1。从表1可以看出, 元江红土镍矿含硅、镁高, 含铁少, 是典型的镁质硅酸镍矿。

作者简介: 杨永强 男 1982年2月 硕士
北京矿冶研究总院 Email:yyqbj@yahoo.com.cn
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50674014)
国家高技术发展研究计划项目(2006AA06Z131)
国家973计划项目(2007CB613505)

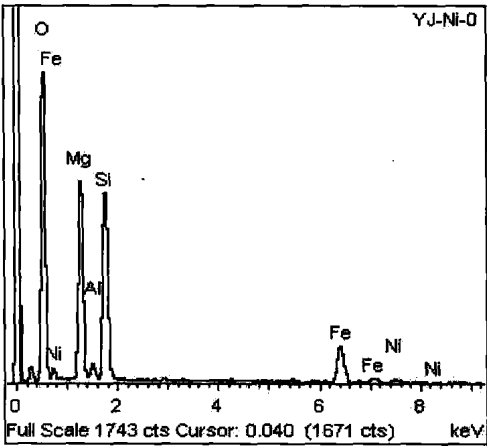


图1 元江红土镍矿综合样 X-光能谱图
Fig.1 X-ray spectroscopy of Yuanjiang laterite

表1 元江红土镍矿化学成分

Table 1 Chemical composition of Yuanjiang laterite minerals							
元素	Ni	Co	Cu	Fe	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量/%	0.95	0.021	0.018	9.99	0.89	38.60	2.59
元素	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO ₂	烧损
含量/%	0.056	29.30	0.01	0.04	0.032	0.12	11.50

1.2 主要矿物嵌布特征和含镍情况

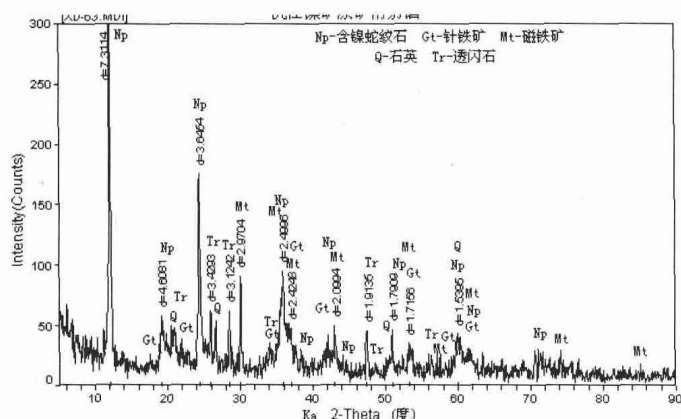


图2 元江红土镍矿综合样 X 射线衍射谱

Fig.2 X-ray diffraction pattern of Yuanjiang laterite

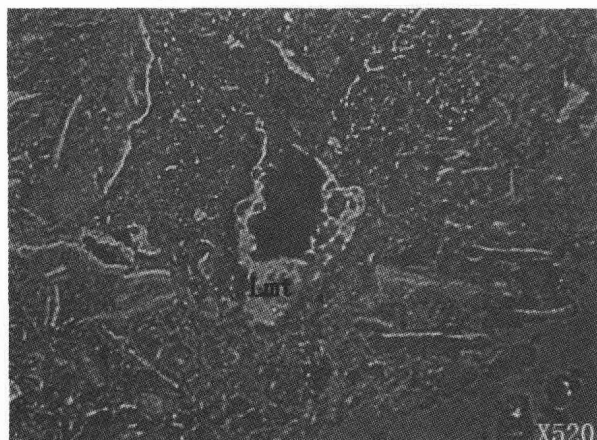


图3 褐铁矿(Lmt)嵌布于由蛇纹石(Gn)构成的基体中 X520

Fig.3 Limonite impregnated into Garnierite X520



图4 磁铁矿(Mt)和针铁矿(Gt)嵌布在蛇纹石(Gn)基体中 X520

Fig.4 Magnetite and Goethite impregnated into Garnierite X520

表2 元江红土镍矿中主要矿物的含量

Table 2 Mineral composition of Yuanjiang laterite

矿物	含镍蛇纹石	针铁矿	磁铁矿	石英	其他矿物*
相对含量/%	约 70	约 12	3.5	约 8	<7

*其他矿物包括透闪石、辉石、滑石、高岭石、铬尖晶石和赤铁矿。

图2是元江红土镍矿综合样的X射线衍射分析谱。元江红土镍矿主要由蛇纹石、针铁矿、磁铁矿、石英和透闪石等矿物组成。显微镜观察进一步证实,蛇纹石是构成元江红土镍矿矿石的最基础的矿物,其他矿物可视为浸染或充填于其裂隙中,如图3、图4所示。各矿物的相对含量见表2。

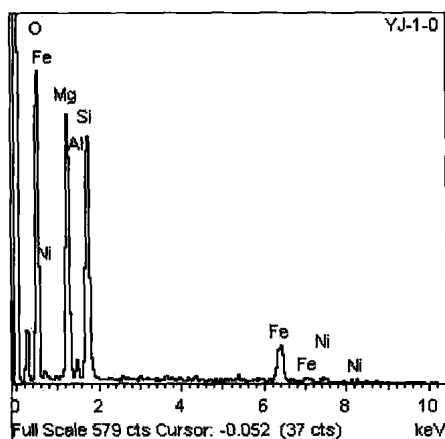
(1)蛇纹石。在矿石中其占有量在70%左右,主要含有Mg和Si,不定量的Fe、Al及少量Ni。通过图5的能谱分析可以看到其含Ni量与风化程度有关,即蛇纹石在风化较浅时,基本上由Mg, Si组成而Fe不富集, Ni较低。风化程度提高时,由于在风化带不稳定的部分物质如Si, Ca, Mg, Ni等将被溶出并渗滤到下部,于适当化学环境下沉淀在蛇纹岩裂隙中,部分Mg, Si, Ni结合形成镍蛇纹石或含Ni蛇纹石。由于它是矿石中的最主要矿物,故Ni的绝大部分分配在该相中。

(2)针铁矿。在元江镍矿矿石中,针铁矿是仅次于蛇纹石的主要矿物。针铁矿的形成与风化作用有关。在蛇纹石风化基础上形成的针铁矿本身总是含有Si, Al, Mg等杂质,又被称为褐铁矿。它或呈细脉状充填于裂隙中,或在蛇纹石中高度分散状浸染。从图6的能谱图可以看出,针铁矿中也含有不定量的Ni和存在着显著量的Si, Mg, Al等杂质。少量的Ni和硅酸盐残留物一同包裹在针铁矿中,如果要尽可能完全浸出矿石中的Ni,就必须考虑同时分解针铁矿。

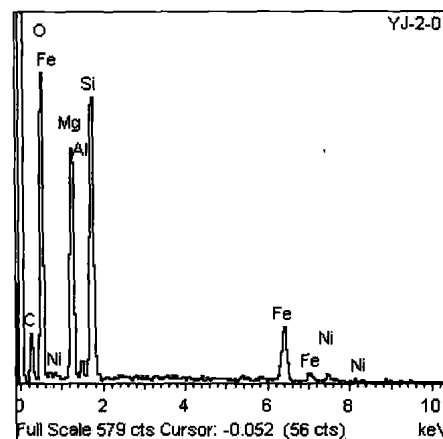
(3)磁铁矿。磁铁矿在矿石中主要呈两种形式嵌布。一是作为蛇纹石化过程中的析出产物于原橄榄石粒间呈细脉或坐点状分布,二是呈中、粗粒状嵌布于蛇纹石中。磁铁矿含少量Ni,其能谱如图7所示。

(4)石英。石英是蛇纹岩风化产物,不含Ni,粒度一般较小,系风化形成的硅质在裂隙中结晶形成的。

(5)其他矿物。见有少量赤铁矿呈细脉状或粒状,不含明显数量的Ni。见有极少量的硅酸盐矿物(辉石、透闪石、滑石和高岭石)存在,基本不含Ni。有约1.5%的铬尖晶石,不含Ni。这些矿物对Ni的提取冶金不会产生影响。



(a)-风化浅的蛇纹岩能谱(Mg 高, Fe 和 Ni 低)



(b)-风化深的蛇纹岩能谱(Mg 低, Fe 和 Ni 高)

图 5 风化程度不同的蛇纹石能谱

Fig.5 Spectroscopies of two different weathered serpentinite

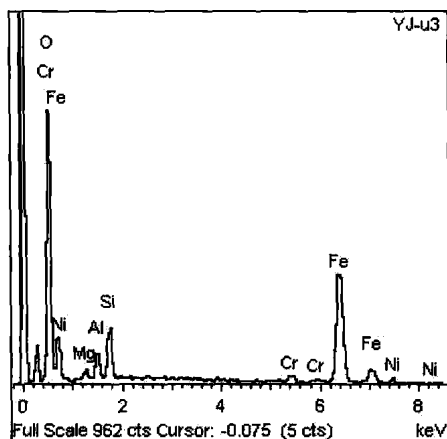


图 6 元江镍矿中针铁矿能谱

Fig.6 X-ray spectroscopy of Goethite in laterite

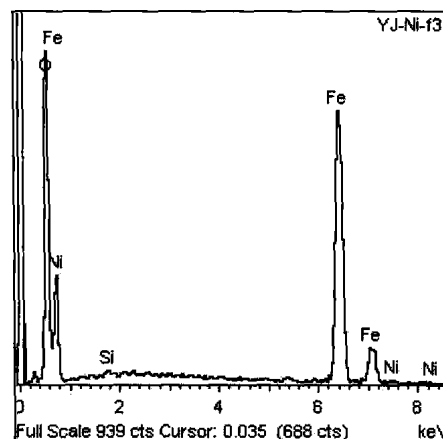


图 7 元江镍矿中磁铁矿能谱

Fig.7 X-ray spectroscopy of Magnetite in laterite

2 浸出过程的热力学分析

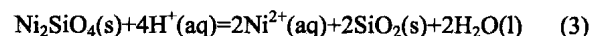
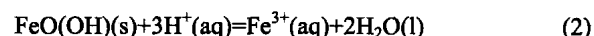
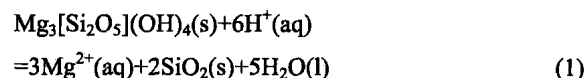
从热力学观点来看,元江高镁红土镍矿的浸出过程比较复杂。因为矿物中不仅含有硅酸盐矿如蛇纹石、透闪石以及少量的滑石、顽火辉石、高岭石等,还有氧化矿如针铁矿、磁铁矿、赤铁矿等,并且与之反应的介质溶液是一种强电解质溶液,从而形成了一个复杂的多相体系。只有当矿石中主要矿物完全溶解后,包裹和填充在其中的镍钴等有价金属才会暴露在介质中,才能被提取出来。

为了便于分析研究,先从简单的情况入手。假设元江红土矿石中只含有蛇纹石($\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$)、针铁矿($\text{FeO}(\text{OH})$)以及少量的硅酸镍(Ni_2SiO_4)三种矿物,可以借助于 $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$ 、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 和 Ni_2SiO_4 的热力学数据进行相关反应的计算。在这种前提下所做的热力学运算及分析,作

为定性的分析和定量的估算,对探讨高镁红土镍矿浸出过程来说有一定的参考价值,为制定合理高效的提取工艺方案提供理论依据。

2.1 浸出反应

蛇纹石、针铁矿和硅酸镍在酸性介质中的浸出反应方程式如式(1)~式(3)所示。



2.2 计算与分析

根据热力学原理^[5],对于一定温度下化学反应 $0 = \sum \nu_i B$,其标准摩尔反应吉布斯自由能变函数为

$\Delta_r G_m^\theta = \sum v_B \Delta_f G_m^\theta(B)$ ，标准平衡常数函数为 $\lg K^\theta = \frac{1}{R}(\Delta_r G_m^\theta / 2.303RT)$ ，反应商为 $J = \prod (C_B / C^\theta)^{\nu_B}$ 。其中：B-反应物或生成物； ν_B -化学计量数，反应物为“-”，生成物为“+”； $\Delta_f G_m^\theta$ -标准摩尔反应吉布斯自由能，单位 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ； $\Delta_f G_m^\theta$ -物质的标准摩尔吉布斯自由能，单位 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ； K^θ -标准平衡常数；R-气体常数， $8.314\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；J-反应商； C^θ 为标准浓度， $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ；T-绝对温度，单位K。

根据吉布斯自由能变判据，只要等温等压条件下， $\Delta_r G_m^\theta < 0$ ，即 $J_T < K_T^\theta$ ，反应在该压力和温度下就能够正向自发进行直至达到平衡($J_T = K_T^\theta$)。利用参与反应的各种物质热力学数据^[6-7]进行计算，结果列在表3至表5中。由计算结果可以看出，此三种矿物不同温度下溶解浸出反应的 $\Delta_r G_m^\theta$ 远小于0，由此计算出的 K^θ 都很大，说明浸出反应能够正向自发进行，并且进行的很完全。 K^θ 随着温度的升高而减小，说明浸出反应属于放热反应。由表中数据还可得知，相同条件下，蛇纹石比针铁矿和硅酸镍更容易发生浸溶反应。

试验过程中，溶液的终点pH始终保持在1.0以下，由此可假设反应结束后浸出体系中 H^+ 的浓度为 $1 \times 10^{-1} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (pH=1.0)，欲使 $J_{423} = K_{423}^\theta$ ，溶液中的 $\text{C}_{\text{Mg}}^{2+}$ ， $\text{C}_{\text{Fe}}^{3+}$ ， $\text{C}_{\text{Ni}}^{2+}$ 必须分别等于 2.80×10^6 ， 2.57×10^4 ， $1.20 \times 10^3 \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (T=423.15K，见表3至表5)。然而即使是元江红土镍矿中的Mg、Fe和Ni全部浸出，体系中的 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Ni^{2+} 也不可能达到如此高的浓度。这说明，从理论上讲，矿石中主要矿物的溶解浸出反应是很容易进行的，并且进行的比较完全。

3 结论

对元江高镁红土镍矿进行工艺矿物学研究和热力学计算分析表明，元江红土镍矿中的主要矿物均能很容易地浸溶，并且浸溶比较完全，赋存在不同矿物中的镍均能够提取出来。

表3 蛇纹石浸出反应热力学计算

Table 3 Thermodynamic calculation for leaching reaction of Garnierite

温度/K	$\Delta_r G_m^\theta / (\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$					$\Delta_r G_m^\theta / (\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	$\lg K_T^\theta$	$\text{C}_{\text{Mg}^{2+}}(\text{pH}=1)$
	$\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4(\text{s})$	$\text{H}^+(\text{aq})$	$\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$	$\text{SiO}_2(\text{s})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$			
323.15	-4436.170	6.640	-409.061	-924.133	-308.495	-221.594	35.81	8.71e^{+9}
348.15	-4442.554	6.795	-405.367	-925.308	-310.424	-217.053	32.56	7.13e^{+8}
373.15	-4449.500	6.707	-402.200	-926.572	-312.465	-212.811	29.79	8.51e^{+7}
398.15	-4461.148	6.372	-399.572	-927.920	-314.616	-204.720	26.85	8.91e^{+6}
423.15	-4464.943	5.795	-397.472	-929.354	-316.875	-205.326	25.34	2.80e^{+6}

表4 针铁矿浸出反应热力学计算

Table 4 Thermodynamic calculation for leaching reaction of Goethite

温度/K	$\Delta_r G_m^\theta / (\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$				$\Delta_r G_m^\theta / (\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	$\lg K_T^\theta$	$\text{C}_{\text{Fe}^{3+}}(\text{pH}=1)$
	$\text{FeO}(\text{OH})^*$	$\text{H}^+(\text{aq})$	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$			
323.15	-488.602	6.640	73.458	-308.495	-74.860	12.10	1.26e^{+9}
348.15	-488.602	6.795	81.818	-310.424	-70.805	10.62	4.17e^{+7}
373.15	-488.602	6.707	89.441	-312.465	-67.018	9.38	2.40e^{+6}
398.15	-488.602	6.372	96.328	-314.616	-63.426	8.32	2.10e^{+5}
423.15	-488.602	5.795	102.475	-316.875	-60.068	7.41	2.57e^{+4}

* 从文献中只查到 323.15K 时针铁矿的标准摩尔吉布斯自由能，由于不同温度下固体物质的标准摩尔吉布斯自由能相差不是太大，故不同温度下针铁矿的标准摩尔吉布斯自由能皆由 323.15K 时的代替。

表 5 硅酸镍浸出反应热力学计算

Table 5 Thermodynamic calculation for leaching reaction of nickel olivine

温度/K	$\Delta_r G_m^{\ominus} / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$					$\Delta_r G_m^{\ominus} / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$\log K_r^{\ominus}$	$C_{\text{Ni}^{2+}}(\text{pH}=1)$
	Ni ₂ SiO ₄ (s)	H ⁺ (aq)	Ni ²⁺ (aq)	SiO ₂ (s)	H ₂ O(l)			
323.15	-1465.80	6.640	0.929	-924.133	-308.495	-100.023	16.17	1.22e+6
348.15	-1469.06	6.795	4.414	-925.308	-310.424	-95.451	14.32	1.48e+5
373.15	-1472.60	6.707	7.372	-926.572	-312.465	-90.981	12.73	2.32e+4
398.15	-1476.42	6.372	9.811	-927.920	-314.616	-86.593	11.36	4.79e+3
423.15	-1480.50	5.795	11.726	-929.354	-316.875	-82.336	10.16	1.20e+3

参考文献:

- [1] 王成彦. 元江贫氧化镍矿处理工艺小型试验研究[K]. 北京: 北京矿冶研究总院, 1996: 1-30.
- [2] 王成彦. 元江贫氧化镍矿氯化离析焙砂的氨浸[J]. 有色金属(冶炼部分), 2001, (2): 12-14.
- [3] 王成彦, 江培海. 云南中低品位氧化镍矿及元江镍矿的合理开发利用[J]. 中国工程科学, 2005, 7 (增刊): 147-150.
- [4] 段希祥. 元江镍矿的开发方案探讨[J]. 中国矿业, 1999, 8 (6): 26-29.
- [5] 王正烈, 周亚平. 物理化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 136.
- [6] 杨显万. 高温水溶液热力学数据计算手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983: 249-560.
- [7] 林传仙, 白正华, 张哲儒. 矿物及有关化合物热力学数据手册[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 16-100.

Mineralogy and Leaching Thermodynamics of Mg-rich Laterite from Yuanjiang

YANG Yong-qiang, WANG Cheng-yan, TANG Ji-gang, YIN Fei, CHEN Yong-qiang
(Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing 100044, China)

Abstract: The mineral composition of the Mg-rich laterite from the Yuanjiang region, Yunnan of China, is investigated by means of microscopic examination、X-ray diffraction(XRD) and Scanning electron microscope(SEM) study. And the thermodynamics of leaching process is analyzed. The results show that the major minerals in the laterite are serpentine, goethite, quartz, magnetite and less of enstatite, talcum, kaolinite, hematite and so on. These minerals are closely related. The leaching reactions of the laterite would be thermodynamically easy and completed, even though the leaching process of the laterite is complicated.

Keywords: metallurgical technology; Mg-rich laterite; mineral composition; leaching thermodynamics

萃取剂对浸矿微生物种群的影响研究

陈勃伟, 李文娟, 刘兴宇, 周桂英, 温建康

(北京有色金属研究总院生物冶金国家工程实验室, 北京 100088)

摘要: 本文研究了不同萃取剂浓度对浸矿微生物生长和氧化活性的影响, 并利用 16S rDNA 克隆文库技术研究微生物种群的变化规律, 结果表明: 添加 0.5% 的萃取剂后, 溶液中的细菌数量有所减少, *At. ferrooxidans* 和 *A. organovorum* 所占比例增加, 而 *L. ferriphilum* 所占比例减少。当萃取剂浓度提高到 1% 时, 微生物的生长都被抑制。克隆文库分析表明, 培养液中的优势种群主要为 *At. ferrooxidans*、*A. organovorum* 和 *L. ferriphilum*, 对萃取剂的敏感度大小排序为: *L. ferriphilum* > *At. ferrooxidans* > *A. organovorum*。

关键词: 萃取剂; 浸矿微生物; 微生物种群; 克隆文库

1 前言

生物冶金技术由于其所具有的优点: 环境污染小、工艺简单、装备简单、投资小、成本低、污染轻、资源消耗量小以及能够处理低品位矿等诸多优点^[1], 而且也适合社会可持续发展的需求, 因此已成为金属提取的新领域。该技术可以回收的金属包括铜、镍、钴、锌、铀等。其中以硫化铜矿的生物堆浸应用最多, 目前已经在多个国家建立了生物堆浸提铜厂, 如智利、澳大利亚、美国、秘鲁、中国、缅甸、塞浦路斯等, 采用该技术生产的铜占世界铜生产总量的 25%^[2,3,4]。

工业生物堆浸—萃取—电积是一个循环封闭过程, 在萃取过程中萃取剂通过溶解、夹带等途径流失于萃余液, 而萃余液会返回堆场进行喷淋, 因此在这个循环过程中, 微生物就不可避免的会与萃取剂进行接触。萃取剂中的苯酚、壬基酚对浸矿微生物有毒害作用, 影响浸矿效率。邱冠周等的研究表明, 不仅萃取剂会抑制细菌的生长, 稀释剂煤油也有此影响。不同组成的有机相抑制能力由强到弱为 260 号工业煤油+1.5%Lix984N>260 号工业煤油>循环有机相>正辛烷>1.5%Lix984N>正辛烷^[5]。Watling 等研究了不同浓度萃取剂对 *Acidithiobacillus ferrooxidans*、*Sulfobacillus thermosulfidooxidans* 和 *Acidiphilium cryptum* 生长和活性的影响, 结果表明, 50mg/L 的萃取剂浓度就使 *S. thermosulfidooxidans* 的活性降低了 1/3, 250mg/L 的萃取剂浓度几乎完全抑制

了 *S. thermosulfidooxidans* 的生长, 但对 *At. ferrooxidans* 的影响较小, 而 *A. cryptum* 却能较好的生长^[6]。

本文研究了不同萃取剂浓度对浸矿微生物生长和氧化活性的影响, 并利用 16S rDNA 克隆文库技术研究了微生物种群的变化规律, 以便能找到优化浸矿过程的方法。

2 材料与方法

2.1 不同浓度萃取剂对浸矿微生物生长的影响

实验所用细菌是从紫金山铜矿生物堆浸矿堆中分离筛选出来的混合菌。在 250ml 锥形瓶中加入 180ml 的 9K 培养基和 20ml 的接种液, 然后加入 0.5% 和 1% 的萃取剂 ZJ988, 同时做对照实验。用稀硫酸调 pH 为 1.8, 分别在 33℃ 的摇床上培养, 摇床转速 160rpm, 每隔 24h 测定培养液中的细菌浓度、pH 和电位。每组做 2 个平行样。9K 培养基的组成如下 (L^{-1}): 3.0g $(NH_4)_2SO_4$, 0.1g KCl, 0.5g K_2HPO_4 , 0.5g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.01g $Ca(NO_3)_2$, 44.22g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 。

2.2 培养液总 DNA 的提取与纯化

参考 Oved 等的方法并进行了一些修改^[7], 具体步骤如下: 实验结束之后将各浓度萃取剂的最终培养液和接种液在 12000rpm 离心 2min。离心后的沉淀加入 1.5 mL 灭菌离心管, 用超纯水清洗两遍; 加入 1.0 mL pH8.0 TE 溶液, 100 μL 10%PVP, 100 μL 20%SDS, 465~600 μm 灭菌玻璃珠 0.6 g; 振荡器匀浆 5 min; 12000 rpm 离心 1 min, 上清转移至干净离心管, 加入 1/10 体积的 3M 冰冷乙醇钠, 冰上放置 10 min; 12000 rpm 离心 5 min, 上清转移至干净离心管, 加入 1 mL 冰冷异丙醇, 沉淀, 冰上放置 30 min; 12000 rpm 离心 10 min, 用 70%乙醇洗沉淀, 50 μL TE 溶解。粗提 DNA 采用 Wizard

作者简介: 陈勃伟 男 1984 年 3 月 硕士

北京有色金属研究总院生物冶金国家工程实验室工程师
主要从事矿物加工和生物冶金技术的研究