

辽宁翁泉沟硼铁矿的选矿工艺矿物学研究^①

瞿思思¹, 鄂继涛², 朱家祥¹, 张小龙², 冯威², 张浩², 靳跃栋²

(1.长沙矿冶研究院有限责任公司,湖南长沙410012; 2.辽宁首钢硼铁有限责任公司,辽宁丹东118000)

摘要:采用X射线衍射、镜下鉴定、扫描电镜、矿物参数自动分析系统、化学成分分析等研究了辽宁翁泉沟硼铁矿的化学成分、矿物组成及含量、主要矿物产出形式等,查明了各目的矿物之间的嵌布关系等特性,以及影响选矿效果的主要矿物学因素,并提出了相应的选矿方法。

关键词:工艺矿物学; 硼铁矿; 目的矿物; 综合利用; 铀矿; 硼镁石

中图分类号: P57

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2024.02.015

文章编号: 0253-6099(2024)02-0060-03

Process Mineralogy of Paigeite Ore from Wengquangou Mine in Liaoning Province

QU Sisi¹, E Jitao², ZHU Jiexiang¹, ZHANG Xiaolong², FENG Wei², ZHANG Hao², JIN Yuedong²

(1.Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co Ltd, Changsha 410012, Hunan, China; 2.Liaoning Shougang Boron Iron Co Ltd, Dandong 118000, Liaoning, China)

Abstract: By means of X-ray diffraction, optical microscopy, scanning electronic microscopy, mineral liberation analysis and chemical analysis, the paigetite ore from Wengquangou mine in Liaoning Province was studied in terms of its chemical component, mineral composition and content, and the occurrence state of main minerals. After main dissemination characteristics of target minerals and key factors in mineralogy influencing beneficiation performance were ascertained, some corresponding separation techniques were proposed.

Key words: process mineralogy; paigeite; target mineral; comprehensive utilization; uranium ore; ascharite

硼作为一种化工原料被广泛应用于冶金、化工、机械、农业和医药等领域^[1]。辽宁翁泉沟硼铁矿是我国特大沉积变质型铁矿床,也是亚洲第一大硼铁矿床,已探明储量2.8亿吨,其中B₂O₃储量2184万吨,占全国储量的58%,铁储量近1亿吨^[2-6]。经多年开采,虽生产工艺和技术指标稳定,但当前综合利用率低、尾矿排放量大。本文采用X射线衍射、化学成分分析、镜下鉴定、扫描电镜和矿物参数自动分析系统(MLA)^[7]等对辽宁翁泉沟硼铁矿进行了详细的工艺矿物学研究,并提出了相应的选矿方法,可为后续制定经济高效的选矿工艺流程、提高资源综合利用率提供理论依据。

1 化学成分及矿物组成

辽宁翁泉沟硼铁矿矿石化学多元素分析结果见表1,铁化学物相分析结果见表2。该矿TFe/FeO比

为1.92,碱性系数为0.99。由表1~2可知,矿石中可供选矿回收的主要组分是Fe和B₂O₃,MgO和U可作为综合回收的对象。赋存在磁铁矿中的铁占88.21%,这是选矿回收矿石中铁矿物时铁的理论回收率。区内矿石属于低磷高硫含硼的自熔原生磁铁矿矿石。

表1 矿石主要化学成分(质量分数) %

TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
26.71	13.93	23.32	5.22	22.54	21.69	0.12	1.98	0.84
BaO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P	S	C	U	烧失
0.013	0.09	0.77	0.70	0.041	1.06	0.59	0.006	6.14

经电子显微镜、XRD、扫描电镜和MLA(矿物参数自动分析技术)测定综合研究查明,矿石中铁矿物主要为磁铁矿,含少量镁菱铁矿;硼矿物以硼镁石为主,

① 收稿日期: 2023-10-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC1909802)

作者简介: 瞿思思(1986—),女,湖北监利人,硕士,高级工程师,主要研究方向为工艺矿物学。E-mail: horizoncc@vip.qq.com

其次是硼铁矿;铀矿物为晶质铀矿;金属硫化物包括磁黄铁矿和黄铁矿;非金属矿物含量较高的是蛇纹石,次为金云母、长石、石英、绿泥石、角闪石、辉石、白云石、方解石、白云母、黑云母和磷灰石。矿石中主要矿物含量见表3。

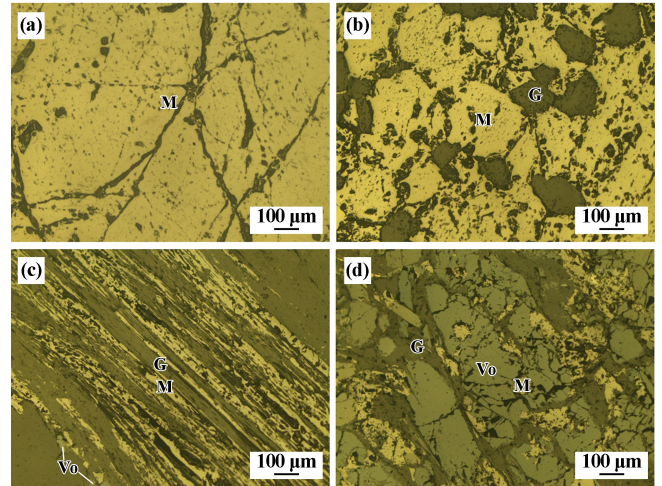
表2 矿石中铁化学物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
磁铁矿中铁	23.56	88.21
赤(褐)铁矿中铁	0.10	0.37
碳酸盐中铁	0.60	2.25
硫化物中铁	1.50	5.61
硅酸盐中铁	0.95	3.56
合计	26.71	100.00

表3 矿石中主要矿物含量(质量分数) %

磁铁矿	硼镁石	硼铁矿	磁黄铁矿	石英/长石	白云母/黑云母	蛇纹石	金云母
31.72	11.62	2.28	2.16	6.91	2.45	28.17	6.85
黄铁矿	菱铁矿	绿泥石	晶质铀矿	角闪石/辉石	白云石/方解石	磷灰石	其他
0.53	1.16	1.93	微量	2.47	1.24	0.23	0.28

量比大致为 20:65:10:5,其中第一种形式主要集中在少数矿粒中。归纳起来,矿石中磁铁矿嵌布特征为:粒度大多较为细小,形态极不规则,分散程度高,与硼镁石、硼铁矿和非金属矿物之间的镶嵌关系十分复杂,即使细磨亦很难完全形成单体,对铁精矿质量和硼矿物的回收均有较大的影响。



(a) 不规则团块状; (b) 半自形、微细粒状;
(c) 条带状、针线状; (d) 不规则细小粒状、微脉状

图1 磁铁矿形貌

2 重要矿物产出形式

2.1 磁铁矿

磁铁矿是选矿富集回收铁的主要目的矿物。它呈自形、半自形等轴粒状,部分为板片状或不规则状。根据形态、粒度大小和与其他矿物的镶嵌关系,可将矿石中磁铁矿的产出形式大致分为如下4种:①呈内部较为洁净、结构致密的不规则团块状集合体嵌布在非金属矿物中,部分可被晚期形成的细脉状非金属矿物穿插交代。②呈自形、半自形等轴粒状或不规则他形粒状以浸染状的形式与非金属矿物交生,部分与硼镁石的嵌连关系较为密切,浸染的密集程度可由稠密浸染状过渡为稀疏~星散浸染状。③呈浸染条带状或板片状沿非金属矿物粒间及解理充填,定向排列的特征较为明显,局部呈针线状、微脉状交代蛇纹石等非金属矿物。根据分布特点,推测这种形式的磁铁矿部分可能是含铁硅酸盐类矿物蚀变过程中铁质析出形成的产物。④呈不规则细小粒状或微脉状以星散浸染状的形式沿硼铁矿的粒间、边缘、裂隙或解理分布,构成网格状或斑点状交生关系,或以包裹镶嵌的形式充填分布在硼铁矿集合体中。如图1所示。

据粗略统计,上述4种产出形式的磁铁矿矿物含

2.2 硼镁石

硼镁石是选矿富集回收硼的主要目的矿物之一。根据晶体形态和与其他矿物的交生关系可将其分为两类:一是呈解理较为发育的柱粒状以浸染状形式与其他非金属矿物交生,但由于交代作用,绝大部分硼镁石被微脉状蛇纹石交代而呈网格状结构类型,使其粒度发生明显细化,硼镁石在镜下多表现为碎裂状或粒状;二是呈板片状或纤维状与磁铁矿紧密镶嵌,主要表现为硼镁石呈浸染状沿磁铁矿粒间或裂隙充填,或微细针柱状、不规则粒状磁铁矿呈浸染状分布在硼镁石集合体中,硼镁石晶粒边缘亦常见蛇纹石、硼铁矿充填分布。如图2所示。

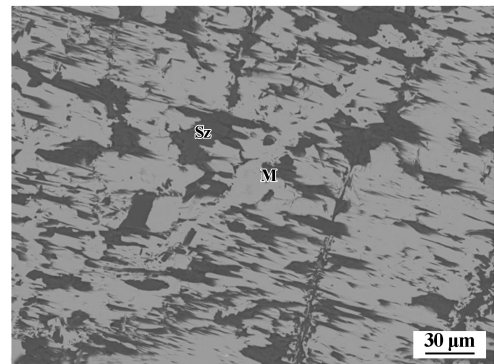


图2 硼镁石形貌

2.3 硼铁矿

硼铁矿也是选矿富集回收硼的主要目的矿物之一,是一种既含铁又含硼的有用矿物,呈自形、半自形长柱状、针状或粒状,主要以浸染状形式嵌布在非金属矿物中,部分粒度较粗的硼铁矿也常被网脉状非金属矿物沿其裂隙穿插交代,沿硼铁矿粒间、解理及裂隙常见磁铁矿呈不规则状、微脉状浸染交代,部分磁铁矿粒间、边缘或裂隙亦可见硼铁矿充填交代。

2.4 铀矿物

矿石中铀矿物主要为晶质铀矿,呈不规则粒状或微粒状,多沿磁铁矿、硼镁石、硼铁矿、蛇纹石边缘、粒间或裂隙充填,个别粗颗粒裂隙中可见磁铁矿呈细脉状充填分布,如图3所示。总的来说,矿石中晶质铀矿含量低、分散程度高、粒度细小,且与磁铁矿、硼镁石、硼铁矿和蛇纹石关系均较为紧密,预计选矿过程中部分将随其他目的矿物进入相应的精矿产品中。

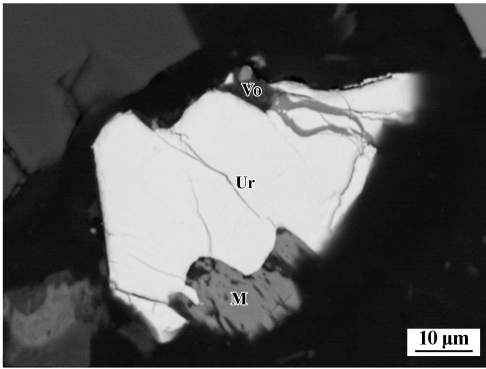


图3 晶质铀矿形貌

2.5 金属硫化物

矿石中金属硫化物包括磁黄铁矿和黄铁矿,以磁黄铁矿为主。其中黄铁矿多与磁铁矿、硼镁石紧密镶嵌。磁黄铁矿多为自形、半自形板片状,除浸染状形式嵌布在非金属矿物中,常呈不规则状集合体沿磁铁矿、硼镁石粒间及裂隙充填,但也常被不规则状磁铁矿充填交代,如图4所示。由于磁黄铁矿磁性较强,加之与部分磁铁矿、硼镁石嵌连关系密切,预计弱磁选过程中部分磁黄铁矿将随同磁铁矿一起进入铁精矿从而造成铁精矿中硫含量偏高。

2.6 蛇纹石

蛇纹石是选矿富集回收的主要目的矿物之一,它多为纤维状或鳞片状,集合体为网脉状或致密块状,局部偶见粒状橄榄石呈交代残余与其紧密镶嵌,常沿磁铁矿、硼镁石、硼铁矿等其他目的矿物粒间及裂隙充填,或与绿泥石、镁菱铁矿等紧密交生构成磁铁矿和硼矿物的嵌布基底。蛇纹石在磨矿过程中极易发生泥化,

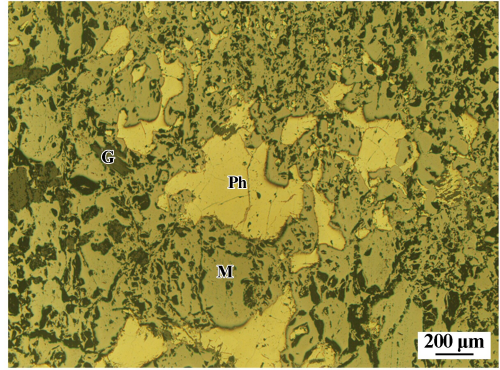


图4 金属硫化物形貌

对选别其他目的矿物将造成不利影响,需采用合适的磨矿工艺以避免过磨。

2.7 金云母

金云母也是选矿富集回收的主要目的矿物之一,它在透射光下显褐黄色,干涉色鲜艳,常为片状,多沿长石或蛇纹石粒间充填分布,沿部分金云母解理可见磁铁矿分布,与硼矿物和铀矿物的嵌连关系均不密切。

3 选矿方法初探

1) 辽宁翁泉沟硼铁矿矿物组成种类复杂,铁矿物主要赋存在磁铁矿中,硼主要赋存在硼镁石中、少量赋存于硼铁矿中,铀矿物为晶质铀矿,含镁矿物主要为蛇纹石、次为金云母,有害元素硫主要以磁黄铁矿和黄铁矿形式存在。矿石中磁铁矿粒度较细,且与其他目的矿物之间的镶嵌关系复杂,预计即使通过细磨也很难完全形成单体,建议采用阶段磨矿-阶段磁选流程对其进行选别。

2) 硼铁矿既含铁又含硼,若在选矿过程中随磁铁矿一起进入铁精矿,不仅使铁精矿中硼和镁含量偏高,也会影响硼和镁的回收率。要实现硼和铁有效分离,建议先对其进行焙烧活化,再进行选别。

3) 矿石中含镁矿物为硼镁石、蛇纹石和金云母。其中金云母虽与蛇纹石和磁铁矿均有嵌连,但与硼矿物嵌连关系不甚密切,且为层状结构,可采用擦磨处理工艺得到较好的云母精矿。硼镁石常被微脉状蛇纹石交代而呈碎裂状,二者紧密镶嵌构成极为复杂的交生关系,建议采用细磨-浮选工艺进行高效分离。

4) 晶质铀矿含量低、分散程度高、粒度细小,且与目的矿物关系均较为紧密,预计分选过程中部分将随其他各目的矿物进入相应的精矿产品中。根据铀矿密度大、粒度细小的特点,可在选别主要产品后的细粒矿中进行重选选铀。

(下转第70页)

处理量 13 t/h。适宜的螺旋溜槽工艺条件为:给矿浓度 25%~35%,处理量 0.60~1.20 t/(h·头)。所得工业分流试验工艺条件和试验数据可作为选厂工艺设计和生产调试依据。

3) 旋流器分级溢流产品采用筛分-螺旋溜槽抛废,在适宜的条件下,可抛掉产率 25.50%、钨品位 0.034%、钨损失率 2.99%的抛废产品。对抛废产品增加一次筛分脱除细粒级,可进一步降低抛废产品的钨品位,减少钨金属损失。

4) 筛分-螺旋溜槽抛废对后续浮选基本无影响,抛废精矿闭路浮选可得到产率 9.08%、 WO_3 品位 3.55%、 WO_3 回收率 90.78%的钨粗精矿。

参考文献:

[1] 邱显扬,董天颂. 现代钨矿选矿[M]. 北京:冶金工业出版社, 2012.

(上接第 62 页)

4 结 语

采用 X 射线衍射、镜下鉴定、扫描电镜、矿物参数自动分析系统、化学成分分析等对辽宁翁泉沟钨铁矿进行了详细的工艺矿物学研究,结果表明,该矿组成矿物繁多,赋存状态较为复杂,可供选矿回收的主要矿物为磁铁矿、硼镁石、硼铁矿、晶质铀矿、蛇纹石和金云母等,有害元素硫主要以磁黄铁矿和黄铁矿形式存在。对综合回收硼、铁、铀、镁等提出了相应的选矿建议。

参考文献:

[1] 代英秋,周弘强. 复杂共生硼镁铁矿矿化联产综合利用工艺研究[J]. 现代矿业, 2020(9):159-161.

(上接第 65 页)

- [3] 王忠红,李育彪,韩厚胜,等. 湖北某磷石膏工艺矿物学分析及提纯试验研究[J]. 非金属矿, 2023,46(6):57-60.
- [4] 卢维宏,王要芳,刘 娟,等. 磷石膏无害化改性及其在农田土壤改良中的应用研究进展[J]. 土壤, 2023,55(4):699-707.
- [5] 刘榴燕,凌 静,杨冬升,等. 磷石膏资源化利用研究进展及未来趋势的可视化分析[J]. 现代化工,2023,43(增刊2):6-11.
- [6] 白 平,胡峻崧,梁傲岚,等. 磷石膏综合利用及预处理方法综述[J]. 现代化工, 2023,43(增刊2):76-79.
- [7] 罗栋源,吴海霞,杨子杰,等. 磷石膏水洗液中磷、氟、有机物的去除[J]. 有色金属(冶炼部分), 2023(5):129-137.
- [8] 吴泳霖,张 伟,莫 波,等. 磷石膏热分解研究现状[J]. 硅酸盐

- [2] 李晓宇,叶蕴琪,张福良,等. 新时期我国钨矿资源现状及管理政策建议[J]. 现代矿业, 2018(12):17-20.
- [3] 周 峰,余 浔. 哈萨克斯坦某钨矿预选抛尾工艺设计研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(6):43-49.
- [4] 伍 琨,戚光荣. 江西某钨矿智能抛废工艺探索试验与生产应用[J]. 中国钨业, 2022,37(4):67-72.
- [5] 徐凤平,郭灵敏,王晴红,等. 新田岭钨矿 X 射线预选抛废研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(4):64-67.
- [6] 袁代军,郭江旭,曾志飞,等. 湖南某钨矿山中部采集样重介质抛废及白钨常温浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(1):59-62.
- [7] 刘 进,张发明,张红英,等. 某钨钼多金属矿高梯度磁选抛废新工艺试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(1):21-25.
- [8] 徐晓萍,王国生,高玉德,等. 江西某大型低品位白钨矿选矿试验研究[J]. 中国钨业, 2015,30(6):10-13.

引用本文:石志中,罗云波,何 军,等. 湖南某白钨矿分级-重选联合预抛及浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):66-70.

- [2] 王雅蓉,周乐光. 辽宁凤城翁泉沟东台子硼铁矿的工艺矿物学研究[J]. 有色矿冶, 1997(1):1-4.
- [3] 李治杭,韩跃新,高 鹏,等. 硼铁矿工艺矿物学研究[J]. 东北大学学报, 2016,37(2):258-262.
- [4] 张建良,蔡海涛. 低品位硼铁矿中硼的富集[J]. 北京科技大学学报, 2009,31(1):36-40.
- [5] 夏学惠,阎 飞,赵玉海,等. 辽东裂谷硼铁矿床地质及成矿作用[J]. 矿床地质, 2006,25(1):83-88.
- [6] 赵宇霆,李子颖,郭春影. 辽宁翁泉沟铁-硼-铀矿床成矿年代学研究[J]. 铀矿地质, 2021,37(3):434-445.
- [7] 张 晶,唐 鑫,吕向文,等. 基于 MLA 分析的某铜矿石选矿工艺初步研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(1):63-66.

引用本文:瞿思恩,鄂继涛,朱家祥,等. 辽宁翁泉沟硼铁矿的选矿工艺矿物学研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):60-62.

通报, 2022,41(9):3129-3137.

- [9] 郭永杰,李江丽,范培强,等. 云南某磷石膏分级浮选脱硅新工艺试验研究[J]. 非金属矿, 2022,45(4):53-56.
- [10] 梁洪超,谭明洋,李成琦. 磷石膏脱色增白技术研究进展[J]. 信息记录材料, 2022,23(4):43-45.
- [11] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. 磷石膏: GB/T 23456—2018[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.

引用本文:张革利,葛英勇,陆泽通,等. 湖北某磷石膏浮选提纯试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):63-65.