

含硼铁精矿工艺矿物学研究

高 鹏¹, 余建文¹, 韩跃新¹, 周满庚²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 中国地质科学院 矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 采用传统工艺矿物学研究方法, 结合 X 射线衍射、化学分析、MLA 等分析手段对含硼铁精矿的化学组成、矿物组成、矿物嵌布特征进行了详细研究。结果表明: 含硼铁精矿中的硼、铁分别主要赋存于硼镁石及磁铁矿中; 主要脉石矿物为蛇纹石、云母及碳酸盐矿物; 矿石中矿物连晶复杂、共生关系密切, 磁铁矿、硼镁石、硼镁铁矿紧密共生, 与蛇纹石、云母等密切连生, 多呈犬牙交错状或不规则状接触; 此研究结果对含硼铁精矿的合理综合利用具有一定的指导意义。

关 键 词: 含硼铁精矿; 矿物学; 矿物组成; 嵌布特征; 综合利用

中图分类号: TD 912 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2015)04-0581-04

Mineralogical Study of Boron-Bearing Iron Concentrate Ore

GAO Peng¹, YU Jian-wen¹, HAN Yue-xin¹, ZHOU Man-geng²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610041, China. Corresponding author: YU Jian-wen, E-mail: happy_yujianwen@163.com)

Abstract: The chemical composition, mineral composition, dissemination characteristics of the minerals were detailedly investigated by traditional process mineralogy method and XRD, MLA automatic detection, chemical analysis, etc. The results showed that boron and iron respectively occur in the main form of szaibelyite and magnetite, and the primary gangue minerals are serpentine, mica and carbonate minerals. Crystal stock of minerals is complex and intergrowth relation of minerals is close, the magnetite, szaibelyite and ludwigite are closely symbiotic, they are usually associated with serpentine, and mica closely in the shape of sawtooth or irregular. The results may provide the basis for the rational comprehensive utilization of the boron-bearing iron concentrate.

Key words: boron-bearing iron concentrate; mineralogy; mineral composition; dissemination characteristics; comprehensive utilization

我国硼矿资源主要有硼镁石矿和硼铁矿, 由于可直接利用的硼镁石矿已近枯竭, 开发复杂的硼铁矿资源已迫在眉睫^[1-3]。辽宁翁泉沟硼铁矿石是我国特大型硼资源基地, 已探明储量 2.8 亿 t, 其中 B_2O_3 储量为 2 184 万 t, 占全国总储量的 58% 左右, 铁储量近亿吨, 是硼、铁共生的特大型沉积变质再造型硼矿床^[4-7]。硼铁矿中矿物种类多, 结构复杂, 硼和铁均属贫矿, 矿物属细粒不均匀嵌布, 共生关系密切, 用选矿技术方法只能实现硼、铁的初步分离, 得到含 4.0% ~ 5.0%

B_2O_3 铁精矿及硼精矿^[8-11]。

在选矿工艺实现硼铁矿中硼、铁初步分离的基础上, 含硼铁精矿中硼、铁二次分离成为硼铁矿开发利用的关键技术瓶颈。其中含硼铁精矿的工艺矿物学特性是决定其经济利用程度最基本、最重要的依据, 只有查明含硼铁精矿中硼元素的赋存状态、嵌布特征等特性, 才能合理制定其综合利用技术路线。为此本文采用显微镜、X 射线衍射、MLA 等分析手段对含硼铁精矿的工艺矿物学特性进行了详细的研究。本研究采用的样品由辽

收稿日期: 2014-04-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51204033); 教育部新教师专项科研基金资助项目(20120042120051)。

作者简介: 高 鹏(1982-), 男, 山东梁山人, 东北大学讲师, 博士; 韩跃新(1961-), 男, 内蒙古赤峰人, 东北大学教授, 博士生导师。

宁首钢硼铁有限责任公司提供.

矿物的质量分数仅为 1.00%.

1 矿石的物质组成

1.1 矿石的化学成分

含硼铁精矿化学多元素分析结果表明,含硼铁精矿的成分(质量分数,%)为 TFe 55.55, FeO 25.67, B_2O_3 4.99, SiO_2 3.60, Al_2O_3 0.33, CaO 0.10, MgO 10.10, P 0.007, S 1.44. 由此可知,该矿石中主要杂质硅、镁、硫的质量分数较高,表明矿石中含有一定量的石英、镁硅酸盐、碳酸盐及铁硫化物.

铁、硼是该矿石中最主要的元素,也是回收的对象. 因此为了确定铁、硼的赋存状态,分别对铁、硼进行了化学物相分析. 结果表明矿石中的铁主要以磁铁矿的形式存在,所占比例为总铁的 95.19%,部分以铁的硫化物形式存在,所占比例为 4.24%,少量赋存于硼镁铁矿中,所占比例为 0.57%;矿石中硼主要赋存于硼镁石中,所占比例为 95.86%,其余以硼镁铁矿的形式存在.

1.2 矿石的矿物组成

对含硼铁精矿矿石进行了 X 射线衍射分析,结果如图 1 所示. 从图 1 可知,该矿石中主要矿物为磁铁矿、硼镁石、硼镁铁矿、蛇纹石和磁黄铁矿,其他矿物由于含量较少在 XRD 图谱中无法显示. 采用尼康偏光显微镜和图像分析仪,结合人工测定矿物含量的方法(面测法)^[12-13],对矿石中的主要组成矿物进行测量,再结合其化学元素分析结果计算不同矿物的质量分数. 结果表明该矿石中磁铁矿、硼镁石及硼镁铁等有用矿物质量分数分别为 74.30%, 11.20% 及 1.10%;硫化矿、蛇纹石、菱镁矿及云母等脉石矿物质量分数分别为 4.50%, 4.20%, 2.50% 及 1.20%,其中碳酸盐

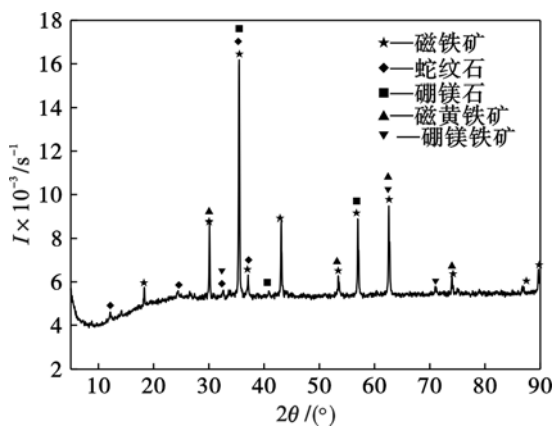


图 1 矿石的 XRD 分析图谱

Fig. 1 XRD pattern of ore

2 矿石中有用矿物的嵌布特征

2.1 矿石粒度分布特征

挑选具有代表性的矿样,采用振动水筛法对矿石的粒度及其分布情况进行了分析. 结果表明,粒度介于 150 ~ 100, 100 ~ 74, 74 ~ 45, 45 ~ 37, -37 μm 以下粒级的矿石质量分数分别为 8.38%, 2.70%, 35.00%, 8.45% 及 45.47%. 可知,该含硼铁精矿中 0.074 mm 以下矿石质量分数近 90%,粒度较细.

2.2 矿物单体解离度及连生关系

为了解含硼铁精矿矿石中矿物单体解离度及连生关系,采用反光显微镜测定法结合矿物自动分析(mineral liberation analyser, MLA)技术对矿石中主要有用矿物的单体解离度进行了系统的测定. 单体解离度测定结果表明,该含硼铁精矿中磁铁矿单体解离度较高,达 89.59%,主要与蛇纹石连生;硼镁石、硼镁铁矿单体解离度较低,分别仅为 35.63%, 28.43%,主要与蛇纹石、磁铁矿连生.

图 2 为矿物的 MLA 照片,表明硼镁石与磁铁矿镶嵌关系复杂,部分硼镁石以毗邻型与磁铁矿连生,也有部分硼镁石以微包体形式嵌镶于磁铁矿中,这也是含硼磁铁矿用传统选矿方法难以实现分离的根本原因.

2.3 主要矿物产出特征

1) 磁铁矿. 磁铁矿化学成分为 Fe_3O_4 , 矿物理论成分为 31.03% FeO, 68.97% Fe_2O_3 , 属等轴晶系,具强磁性,是矿石中的主要金属氧化物,常呈自形—半自形晶的粒状集合体. 单体粒度小的仅为 2 ~ 5 μm (主要为硼镁铁矿后期分解蚀变所成细粒、网脉状磁铁矿),大的可达 106 μm (原生粒状磁铁矿),多数在 63 ~ 90 μm 之间. 在矿石中与其共生关系最密切的矿物是硼镁石、蛇纹石及硼镁铁矿(图 2a),主要以毗邻型、壳层型及包裹型与硼镁石、蛇纹石等矿物紧密共生. 细粒磁铁矿与硼镁石紧密相嵌在一起形成集合体,与蛇纹石、硼镁铁矿形成复杂的共生关系且浸染粒度细,相互之间的连晶复杂,单体解离困难.

2) 硼镁石. 硼镁石化学成分为 $Mg_2[B_2O_4(OH)](OH)$, 其中含 47.92% MgO, 41.38% B_2O_3 , 10.70% H_2O , 有时 Mg 被 Mn 或 Fe 所替代,为单斜晶系,晶体呈纤维状、柱状与板状. 它是矿石中含量仅次于磁铁矿的重要含硼矿物. 硼镁石多以微晶粒状集合体与磁铁矿紧密共生,微晶

粒状硼镁石的粒度多以 $<10\ \mu\text{m}$ 的集合体与磁铁矿和其他矿物以岛弧状、树枝状、细脉状紧密嵌布

在一起(图2a~图2d).

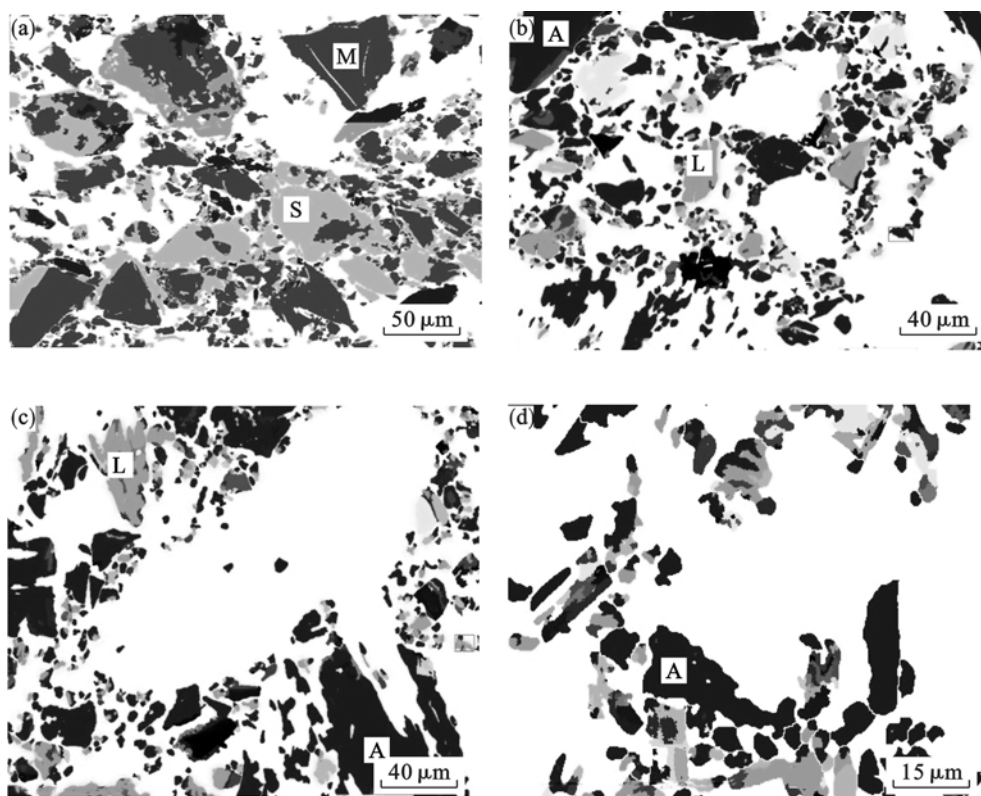


图2 含硼铁精矿 MLA 图片

Fig. 2 MLA images of boron-bearing iron concentrate

M—磁铁矿; A—硼镁石; L—硼镁铁矿; S—蛇纹石.

3) 硼镁铁矿. 硼镁铁矿化学成分为 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Fe}(\text{BO}_3)_2\text{O}_2$, 其中含 41.29% MgO , 40.88% Fe_2O_3 , 17.83% B_2O_3 , 为斜方晶系, 晶体呈针状, 常为放射状、块状和柱状集合体, 并具磁性. 矿石中含量较少的含硼矿物之一, 以自形晶—它形晶粒状集合体与磁铁矿、硼镁石复杂共生在一起(图2a~图2d), 粒度在 $38\sim 5\ \mu\text{m}$ 之间.

4) 蛇纹石. 蛇纹石化学成分为 $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, 其中含 43.6% MgO , 43.6% SiO_2 , 13.1% H_2O , 是一种含水的富镁硅酸盐矿物; 是矿石中主要的脉石矿物, 以细粒、微细粒与磁铁矿和硼镁石紧密共生(图2a和图2d).

2.4 主要有用矿物嵌布工艺粒度

1) 磁铁矿的工艺粒度. 工艺粒度介于 $22\sim 106\ \mu\text{m}$ 的磁铁矿, 主要来自于原生块状或粒状磁铁矿; 而由硼镁铁后期分解蚀变所成细粒、网状状磁铁矿, 其工艺粒度与单晶粒度相近, 多在 $10\ \mu\text{m}$ 以下(图3).

2) 硼镁石的工艺粒度. 工艺粒度大于 $38\ \mu\text{m}$ 的硼镁石, 主要以板状或柱状分散于磁铁矿、蛇纹石中; 在粒状磁铁矿或蛇纹石中, 呈弥散状分布的

硼镁石, 粒度大多小于 $22\ \mu\text{m}$ (图4).

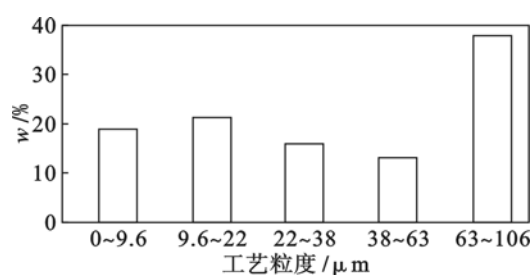


图3 磁铁矿工艺粒度分布直方图

Fig. 3 Histogram of magnetite particle size distribution

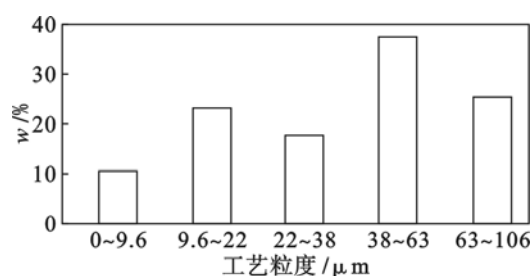


图4 硼镁石工艺粒度分布直方图

Fig. 4 Histogram of ascharite particle size distribution

3) 硼镁铁矿的工艺粒度. 硼镁铁矿较磁铁矿、硼镁石分布粒度细, $9.6\ \mu\text{m}$ 以下占 77.58%, 以微细

粒状集合体与磁铁矿、硼镁石复杂共生在一起(图5)。

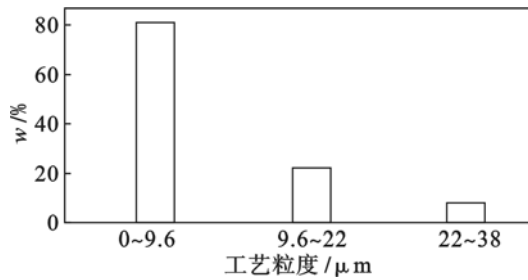


图5 硼镁铁矿工艺粒度分布直方图

Fig. 5 Histogram of ludwigite particle size distribution

3 结 论

1) 该含硼铁精矿矿石中,主要铁、硼矿物由磁铁矿、硼镁石、硼镁铁矿组成,其他还有硫化物、菱镁矿、蛇纹石、云母和碳酸盐矿物;铁精矿品位低的原因是因为精矿中磁铁矿的矿物量只有74.3%,与一般铁精矿中主要铁矿物达90%左右有较大差距,其非铁矿物中硼镁石达11.2%。

2) 磁铁矿的单体解离度为89.59%,主要和蛇纹石连生;硼镁石的单体解离度为35.63%,主要和蛇纹石、磁铁矿连生。含硼铁精矿的细度74 μm 以下达89.92%,再细磨硼镁石单体解离难度较大。

3) 该矿石工艺矿物学研究结果决定了采用传统处理方法难以实现硼、铁矿物的有效分离,应采用合理的选冶联合加工工艺路线,实现矿石中硼、铁的综合回收利用。

参考文献:

- [1] 王裕民,刘素兰,张显鹏,等. 硼铁矿资源综合利用[J]. 矿业快报,2000(10):58-61.
(Wang Yu-min, Liu Su-lan, Zhang Xian-peng, et al. The comprehensive utilization of ludwigite resources[J]. *Express Information of Mining Industry*, 2000(10):58-61.)
- [2] 赵庆杰,何长清,高明辉. 硼铁矿综合利用:硼精矿活化及含硼铁精矿改善烧结球团性能的机理[J]. 华东冶金学院学报,1997,14(3):262-263.
(Zhao Qing-jie, He Chang-qing, Gao Ming-hui. Reasonable utilization of boronic magnetite ore[J]. *Journal of East China University of Metallurgy*, 1997,14(3):262-263.)
- [3] 张继宇,程巨,李宗林,等. 硼铁矿闪速焙烧新工艺研究[J]. 无机盐工业,2009,41(3):42-43.
(Zhang Ji-yu, Cheng Ju, Li Zong-lin, et al. An new technology for flash-calcining paigeite[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2009,41(3):42-43.)
- [4] 刘然,薛向欣,姜涛,等. 硼铁矿综合利用概况与展望[J]. 矿产综合利用,2006(2):33-37.
(Liu Ran, Xue Xiang-xin, Jiang Tao, et al. Comprehensive utilization of ludwigite and its prospect[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2006(2):33-37.)
- [5] 曹钊,曹永丹,桂富. 硼铁矿资源开发利用研究现状及进展[J]. 矿产综合利用,2013(2):17-19.
(Cao Zhao, Cao Yong-dan, Gui Fu. Research status and progress of the exploitation and utilization of paigeite ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2013(2):17-19.)
- [6] 李艳军,高太,韩跃新. 硼铁矿工艺矿物学研究[J]. 有色矿冶,2006,22(6):14-16.
(Li Yan-jun, Gao Tai, Han Yue-xin. Research on processing mineralogy of paigeite[J]. *Non-ferrous Mining and Metallurgy*, 2006,22(6):14-16.)
- [7] 吕秉玲. 翁泉沟硼铁矿的综合利用[J]. 无机盐工业,2005,37(4):38-39.
(Lyu Bing-ling. The comprehensive utilization of ascharite-magnetite mixed mineral at Wengquan'gou[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2005,37(4):38-39.)
- [8] 王广,王静松,丁银贵,等. 转底炉珠铁工艺处理硼铁精矿初探[J]. 金属矿山,2011(8):76-77.
(Wang Guang, Wang Jing-song, Ding Yin-gui, et al. Exploration to treat boron-bearing iron concentrate based on RHF iron bead technology[J]. *Metal Mine*, 2011(8):76-77.)
- [9] 张金华,王耀. 硼铁矿综合利用选矿试验研究[J]. 金属矿山,2009(11):212-216.
(Zhang Jin-hua, Wang Yao. Dressing test research of comprehensive utilizing ludwigite[J]. *Metal Mine*, 2009(11):212-216.)
- [10] 张丽清,刘素兰,朱建新,等. 硼铁矿资源综合利用研究现状与进展[J]. 矿产综合利用,2000(3):34-36.
(Zhang Li-qing, Liu Su-lan, Zhu Jian-xin, et al. On the comprehensive utilization of ludwigite resources[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2000(3):34-36.)
- [11] 李艳军,韩跃新. 硼铁矿选矿分离研究新进展[J]. 金属矿山,2005(8):161-163.
(Li Yan-jun, Han Yue-xin. New process of paigeite concentration and separation research[J]. *Metal Mine*, 2005(8):161-163.)
- [12] 周乐光. 工艺矿物学[M]. 北京:冶金工业出版社,2002:163-164.
(Zhou Le-guang. Process mineralogy[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002:163-164.)
- [13] 李光辉,邹斌,张元波,等. 转炉钢渣工艺矿物学及其综合利用技术[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(6):2065-2071.
(Li Guang-hui, Wu Bin, Zhang Yuan-bo, et al. Mineralogical characteristics and comprehensive utilization of converter steel slag[J]. *Journal of Central South University: Natural Science*, 2010,41(6):2065-2071.)