

黑山铁矿选铁工艺中的矿物基因特性分析

李金龙¹, 李明彦¹, 赵礼兵², 王鑫瑀¹, 曹鹏飞¹, 张迪²

(1. 河北钢铁集团矿业有限公司, 河北 唐山 063700;
2. 华北理工大学, 河北 唐山 063210)

摘要: 这是一篇矿业工程领域的论文。黑山铁矿主要矿物为钒钛磁铁矿、钛磁铁矿, 因受制于矿石性质的影响, 该类型矿床铁精矿品位普遍偏低, 且富含钛、硅、镁等元素, 限制了该类矿床资源的开发效益, 若能在选矿过程中进一步提高铁精矿品位, 将有助于提高矿山效益、降低铁精矿的冶炼成本。本文采用光学显微镜、矿物解离分析仪 (MLA)、化学分析等方法, 对该类型铁矿石进行了系统地研究。通过对样品中矿物组成、成分分析以及杂质矿物的种类、粒度、解离特征等方面的研究, 查明了影响该类型铁精矿品质的矿物学因素。

关键词: 矿业工程; 钛磁铁矿; 矿物组成; 成分分析; 矿物学因素

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.06.030

中图分类号: TD91 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 06-0197-05

黑山铁矿是我国北方重要的“大庙式”岩浆型铁矿床, 钛磁铁矿是承德地区主要的含铁矿物之一, 钛磁铁矿性质的特殊基因特性, 对分选指标具有重要影响^[1-5]。本文仅就钛磁铁矿的矿石矿物组成、矿物特征及其对选矿指标的影响进行阐述, 为该类型铁矿的选别工艺流程优化提供了依

据, 这也对该类型矿石的矿石质量评价及选矿工艺的制订具有重要意义。

1 矿样性质分析

原矿光谱分析结果见表1, 铁物相分析见表2。

表1 原矿光谱分析结果/%
Table 1 Spectrum analysis results of raw ore

Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	S	Ni	Mn	K ₂ O	Na ₂ O	Co	Zn
25.35	24.67	11.9	9.2	8.87	6.91	3.86	1.14	0.42	0.35	0.31	0.26	0.08	0.06	0.02

表2 矿样铁物相分析
Table 2 Iron phase analysis of ore sample

名称	磁性铁矿物中铁	赤褐铁矿中铁	碳酸铁矿物中铁	硅酸铁矿物中铁	硫化铁矿物中铁	全铁
含量/%	18.02	1.38	0.35	5.24	0.36	25.35
分布率/%	71.08	5.44	1.38	20.67	1.42	100.00

2 选铁实验

2.1 原矿磨矿细度与产品精矿关系

磨矿有利于矿物的单体解离, 对提高选矿指

标起着关键性作用^[6-10]。铁、钛品位随磨矿细度的变化见图1、2。

收稿日期: 2022-03-03

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (E2013209320)

作者简介: 李金龙 (1984-), 男, 高级工程师, 研究方向为工艺矿物学。

通信作者: 李明彦 (1979-), 男, 高级工程师, 研究方向为采矿工程。

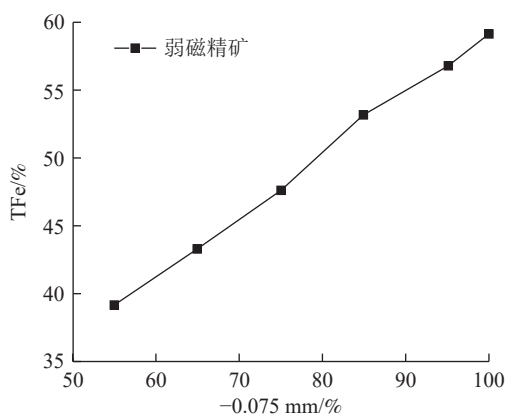
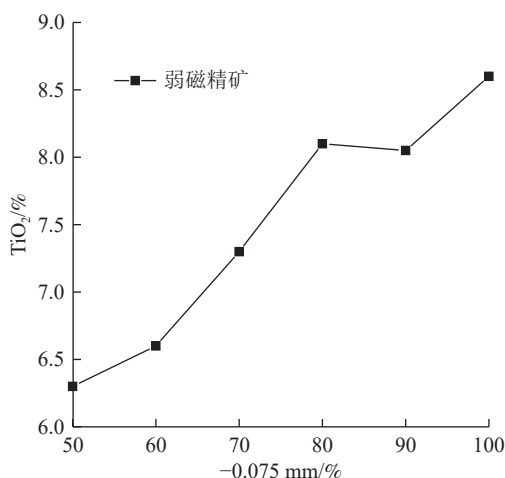


图1 磨矿时间和精矿全铁品位关系

Fig.1 Relationship between grinding time and total iron grade of concentrate

图2 磨矿时间和精矿 TiO₂ 品位关系Fig.2 Relationship between grinding time and TiO₂ concentrate grade

由图1、2可知,随着磨矿细度的增加,弱磁精矿品位随之增加。在磨矿细度为-0.075 mm 95%时,精矿 TFe 为 59.88%,精矿 TiO₂ 品位为 8.40%。

对矿石中磁铁矿、钛磁铁矿进行粒度测定,结果见表3。

表3 矿物粒度分析结果

名称	+0.075 mm	-0.075+0.053 mm	-0.053+0.037 mm	-0.037 mm
磁铁矿	含量/%	5.65	8.12	21.87
	累计	5.65	13.77	35.64
钛磁铁矿	含量/%	6.28	4.14	21.64
	累计	6.28	10.42	32.06

从表3中可以看出,大部分磁铁矿颗粒分布在-0.075 mm 粒级中,在-0.037 mm 粒级中的分布率为 64.36%,可见磁铁矿的粒度较细小。大部分钛磁铁矿颗粒分布在-0.075 mm 粒级中,其中在-0.037 mm 粒级中的分布率为 67.94%,可见钛磁铁矿粒度较细小。

2.2 粗磨精矿杂质分析

对-0.075 mm 95% 粗磨铁精矿进行了杂质元素面扫见图3。

扫描结果可以看出,粗精矿还含有一定量的含镁、铝、和硅元素的杂质矿物元素。

为了降低精矿中钛含量,提高精矿质量,也对精矿进行了再磨实验,查验再磨降低精矿中钛含量的可行性。

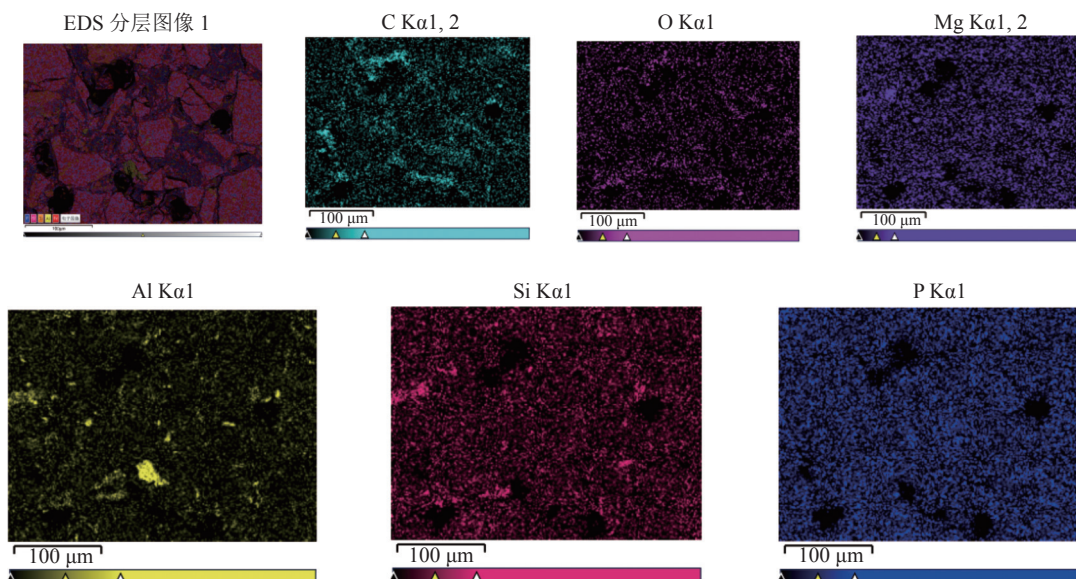


图3 粗磨精矿元素面扫

Fig.3 Elemental surface sweep of rough grinding concentrate

由图4和图5可知，随着磨矿细度的增加，弱磁精矿品位随之增加，在-0.037 mm磨矿细度含量为95%时，精矿全铁品位为64.90%，精矿TiO₂品位为5.50%，说明再磨可以提高精矿品位，同时降低二氧化钛含量。

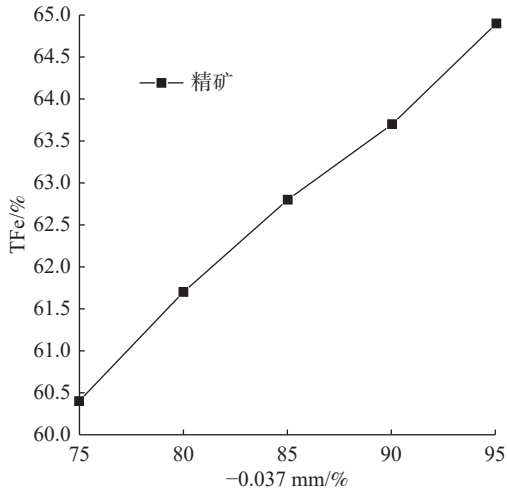


图4 再磨时间和精矿全铁品位关系
Fig.4 Relationship between regrinding time and total iron grade of concentrate

2.3 再磨铁精矿扫描电镜分析

从图6可以看出，钛元素主要以微细粒尖晶

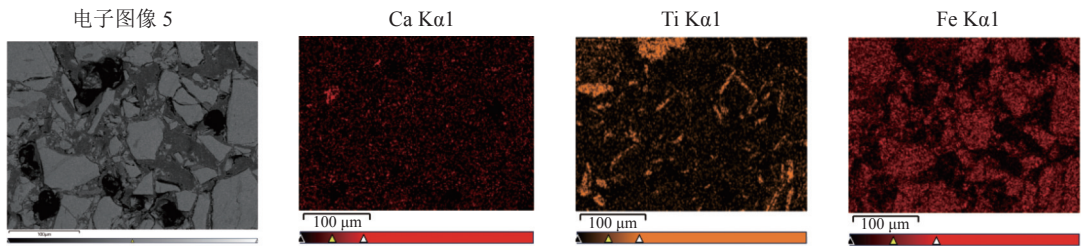


图6 再磨铁精矿元素面扫
Fig.6 Elemental surface sweep of reground iron concentrate

表4 矿物组成和相对含量/%
Table 4 Mineral composition and relative content

磁铁矿	钛磁铁矿	赤铁矿	钛赤铁矿	褐铁矿	黄铁矿	非金属矿物	合计
72.62	17.60	3.50	0.84	0.03	微量	5.41	100.00

2.4.2 铁精矿粒度分析

由表5可知，大部分磁铁矿颗粒分布在-0.075 mm 粒级中，在-0.037 mm 粒级中的分布率为64.36%，可见磁铁矿的粒度较细小。大部分钛磁铁矿颗粒分布在-0.075 mm 粒级中，其中在-0.037 mm 粒级中的分布率为67.94%，可见钛磁铁矿粒度较细小。磁铁矿与钛磁铁矿结合的生体多为毗连型，磁铁矿与非金属矿物结合的生体主要

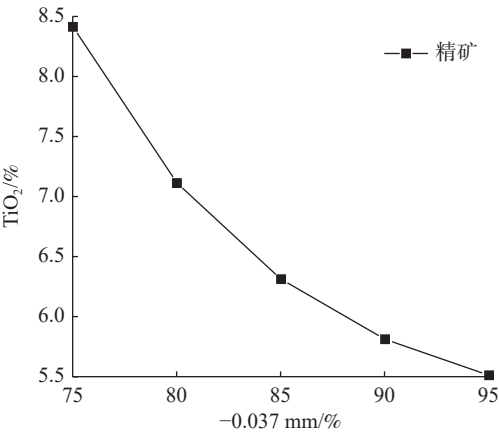


图5 再磨时间和磁选 TiO₂ 产品指标关系
Fig.5 Relationship between regrinding time and magnetic separation TiO₂ product indexes

状赋存在铁矿物里。

2.4 实验产品分析

2.4.1 铁精矿矿物组成及粒度特性

通过对铁精粉的光学显微镜鉴定及矿物量统计(表4)查明，铁精粉中金属矿物主要为磁铁矿和钛磁铁矿，含量分别为72.62%和17.60%，其次为赤铁矿和钛赤铁矿，含量分别为3.50%和0.84%，另有少量的褐铁矿，其余为非金属矿物，含量为5.41%。

为包裹型，少量反包裹型，钛磁铁矿与非金属矿物结合的生体主要为毗连型和包裹型。

2.4.3 铁精矿解离度分析

由表6可见，磁铁矿的单体解离度高，为95.25%，磁铁矿的生体主要为磁铁矿与钛磁铁矿结合形成的生体，其次为磁铁矿与非金属矿物结合形成的生体。钛磁铁矿的单体解离度较高，为90.45%，钛磁铁矿的生体主要为钛磁铁

矿与非金属矿物结合的连生体,其次为与磁铁矿结合的连生体。

表5 磁铁矿、钛磁铁矿粒度统计
Table 5 Particle size statistics of magnetite and titanomagnetite

名称	+0.075 mm	-0.075+0.053 mm	-0.053+0.037 mm	-0.037 mm
磁铁矿	含量/% 5.65	8.12	21.64	67.94
累计 含量/%	5.65	13.77	35.64	100.00
钛磁铁矿	含量/% 6.28	4.14	21.64	67.94
累计 含量/%	6.28	10.42	32.06	100.00

表6 磁铁矿和钛磁铁矿解离情况考查结果
Table 6 Test results of the dissociation of magnetite and titanomagnetite

磁铁矿 嵌布关系	含量/%	钛磁铁矿 嵌布关系	含量/%
磁铁矿	95.25	钛磁铁矿	90.45
磁铁矿-非金属矿物	1.15	钛磁铁矿-非金属矿物	6.05
磁铁矿-钛磁铁矿	3.15	钛磁铁矿-磁铁矿	2.75
磁铁矿-赤铁矿	0.15	钛磁铁矿-磁铁矿- 非金属矿物	0.75
磁铁矿-钛磁铁矿- 非金属矿物	0.30		
合计	100.00	合计	100.00

3 结 论

(1) 再磨铁精矿中铁的含量仅为 64.90%,而钛的平均含量可达 5.50%,这部分钛元素无法通过物理选矿的方式进行脱除,从而限制了最终铁精矿品位的提高。此外,磁铁矿中普遍含有微细的钛铁矿和镁铝尖晶石片晶,在常规磨矿条件下难以实现单体解离,在磁选过程中会进入铁精矿中,进而影响精矿中铁品位和钛含量。

(2) 除磁铁矿、钛铁矿(片晶)和钛铁尖晶石(片晶)以外的主要为硅酸盐矿物,脱除这部分矿物是提升品质的关键所在。

(3) 精矿再磨可以提高磁铁矿、钛铁矿、脉石的单体解离度,可进一步通过选矿的方法对这些矿物进行脱除。

参考文献:

- [1] 肖仪武. 钒钛磁铁矿矿石基因特性及其对选铁的影响[J]. 矿产综合利用, 2021(5):198-201.
- XIAO Y W. Ore genetic characteristics of vanadium-titanium magnetite and its influence for mineral processing[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):198-201.

[2] 孙传尧,周俊武,贾木欣,等. 基因矿物加工工程研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2018(1):1-7.

SUN C Y, ZHOU J W, JIA M X, et al. Research on genetic mineral processing engineering[J]. Non-ferrous Metals(Mineral Processing Section), 2018(1):1-7.

[3] 薛忠言,曾令熙,刘应冬. 太和钒钛磁铁矿中硫化物的工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2019(3):78-81.

XUE Z Y, ZENG L X, LIU Y D. Process mineralogy of the sulfide in the taihe vanadium titanomagnetite[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):78-81.

[4] 李磊,金建文,肖仪武,等. 影响攀西某磁铁矿精矿品质的矿物学因素分析[J]. 矿产综合利用, 2021(4):193-196.

LI L, JIN J W, XIAO Y W, et al. Researches of mineralogical factors affecting the quality of a magnetite concentrate in panxi area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):193-196.

[5] 洪秋阳,李美荣,李波,等. 国外某难选冶钒钛铁矿石工艺矿物学特征[J]. 矿产综合利用, 2020(6): 48-55.

HONG Q Y, LI M R, LI B, et al. Process mineralogical characteristics of a foreign refractory vanadium-titanium iron ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6): 48-55.

[6] 陈福林,杨晓军,蔡先炎,等. 攀西地区白马辉长岩型超低品位钒钛磁铁矿选铁实验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):26-30.

CHEN F L, YANG X J, CAI X Y, et al. Experimental study on iron separation of baima gabbro-type ultra-low-grade vanadium-titanomagnetite in Panxi Area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6):26-30.

[7] 惠博,杨耀辉. 攀西红格矿区橄辉岩型钒钛磁铁矿矿石性质研究及对选矿工艺的影响[J]. 矿产综合利用, 2020(4):126-129.

HUI B, YANG Y H. Properties of olive-pyroxene vanadium-titanium magnetite ore in Hongge mining area of Panxi research and influence on mineral processing technology[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(4):126-129.

[8] 杨耀辉,惠博,严伟平,等. 攀西微细粒钛铁矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2020(3):131-135.

YANG Y H, HUI B, YAN W P, et al. Research on process mineralogy of fine ilmenite in Panxi area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(3):131-135.

[9] 陈超,张裕书,李潇雨,等. 钛磁铁矿选矿技术研究进展[J]. 矿产综合利用, 2021(3):99-105.

CHEN C, ZHANG Y S, LI X Y, et al. Research progress in titanium-magnetite beneficiation technology[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(3):99-105.

[10] 肖颖,管川,徐晓霞. 钒钛磁铁矿铁钛物相关联分析方法[J]. 矿产综合利用, 2019(4):98-102.

XIAO Y, GUAN C, XU X X. Determination method of iron and titanium phases for vanadium titanium magnetite[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(4):98-102.

Analysis of Mineral Gene Characteristics in Iron Separation Process of Heishan Iron Mine

Li Jinlong¹, Li Mingyan¹, Zhao Libing², Wang Xinyu¹, Cao Pengfei¹, Zhang Di²

(1.Hebei Iron & Steel Group Mining Co., Tangshan, Hebei, China; 2.North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: This is an essay in the field of mining engineering. The main minerals of Heishan iron mine are vanadium titanomagnetite and titanomagnetite. Due to the influence of ore properties, the grade of iron concentrate in this type of deposit is generally low and rich in titanium, silicon, magnesium and other elements, which limits the development benefits of this kind of deposit resources. If the grade of iron concentrate can be further improved in the beneficiation process, it will help to improve the mine benefits and reduce the smelting cost of iron concentrate. This paper systematically studies this type of iron ore by means of optical microscope, mineral dissociation analyzer (MLA) and chemical analysis. This type of iron ore was systematically studied by means of optical microscope, mineral dissociation analyzer (MLA) and chemical analysis.

Keywords: Mining engineering; Titanomagnetite; Mineral composition; Component analysis; Mineralogical factors

(上接第 186 页)

[5] 王锦鸿. 湿法系统除氯工艺技术研究及应用[J]. 湖南有色金属, 2013, 29(5):37-40.

WANG J H. Dechlorination technology research and application in wet system[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2013, 29(5):37-40.

[6] 郑莉莉. 脱氯技术在湿法炼锌流程的研究和应用[J]. 世界有色金属, 2017(16): 23-24.

ZHENG L L. Research and application of dechlorination

technology in the process of hydrometallurgical zinc smelting[J]. World Nonferrous Metals, 2017(16): 23-24.

[7] 郭亚丹, 喻文超, 陈锦全, 等. 电催化氧化法处理湿法炼锌污酸废水中的氯[J]. 有色金属 (冶炼部分), 2017(12):57-62.

GUO Y D, YU W C, CHEN J Q, et al. Treatment of chlorine in sewage acid wastewater from hydro-zinc smelting by electrocatalytic oxidation[J]. Non-ferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2017(12):57-62.

Experimental Removal of Chlorine from Hydro-Zinc Smelting System

Xu Dongxia¹, Pan Wei², Zhang Shiqiang³, Li Yang⁴

(1.Yangzhou Petrochemical Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, China; 2.Wuhan GLT Energy and Environment Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, China; 3.Guizhou Institute of Metallurgy and Chemical Engineering, Guiyang, Guizhou, China; 4.Zijin Mining & Metallurgy Design and Research Institute, Longyan, Fujian, China)

Abstract: This is an essay in the field of metallurgical engineering. In the hydro-zinc smelting system, the large amount of chloride ions seriously restricts the normal production. In this essay, a new type of X agent is used for the dechlorination test. Neutral leaching solution was used as the research object to explore the influence of X agent addition, neutral leaching solution temperature, pH value, reaction time, and impurities F^- and Mg^{2+} on the chlorine removal rate. The test results show that when the dosage of X agent is 8 times, the reaction time is 60 min, the reaction temperature is 60 °C, and the pH value is less than 5.5, X agent has the relatively highest rate of chlorine removal, about 85%; among them, F^- no obvious effect on the chlorine removal rate; when the Mg^{2+} concentration exceeds 16 g/L, the chlorine removal rate of the X agent drops slightly.

Keywords: Metallurgical engineering; Zinc hydrometallurgy; Chlorine removal; Dechlorination agent