

黄瑞成, 李灵凤, 赵海, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定超贫磁铁矿和磁性物中有益有害组分及可选性评价[J]. 岩矿测试, 2017, 36(1): 40-45.

HUANG Rui-cheng, LI Ling-feng, ZHAO Hai, et al. Determination of the Magnetic Material Composition in Ultra-low-grade Magnetite by ICP-OES and Washability Evaluation[J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(1): 40-45. [DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2017.01.006]

电感耦合等离子体发射光谱法测定超贫磁铁矿和磁性物中有益有害组分及可选性评价

黄瑞成¹, 李灵凤¹, 赵海^{1,2}, 刘芳¹, 魏灵巧¹, 罗磊¹

(1. 湖北省地质局第六地质大队, 湖北 孝感 432000;

2. 中国地质大学(武汉)材料与化学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 超贫磁铁矿是需要通过磁选富集后才能利用的铁矿石, 磁性物是其磁选后的主要产品, 磁性物中有益有害组分的含量是否满足规范要求是评价超贫磁铁矿可选性的前提, 然而尚未引起足够的重视。本文采用电磁分选仪对超贫磁铁矿进行磁选, 结合 ICP-OES 法对原矿和磁性物中有益有害组分(TFe、V₂O₅、TiO₂、P、Cu、Pb、Zn)进行了测定。结果表明, 对于含量明显低于规范要求的 V₂O₅、Cu、Pb、Zn, 磁选后其含量虽有变化, 但不影响冶炼及综合评价的结果; 对于 TFe、TiO₂、P, 磁选后其含量发生明显变化, 其中 TFe 由 14.23% ~ 16.60% 提高至 53.95% ~ 69.86%, TiO₂ 由 4.43% ~ 5.02% 降至 0.84% ~ 1.83%, P 由 0.11% ~ 0.30% 降至 0.027% ~ 0.048%, 已对冶炼及综合评价的结果产生了影响, 依据磁性物中 TFe、TiO₂、P 的含量更能切实反映超贫磁铁矿的可选性; 所用超贫磁铁矿易于选别, 通过单一弱磁选即可获得主要组分(TFe)及有害物质(P、Cu、Pb、Zn)满足炼铁用铁矿石工业要求的精矿; 大部分 TiO₂ 随弱磁选进入尾矿, 后期应注意对尾矿中的 TiO₂ 进行评价。该方法可快速获得超贫磁铁矿原矿及磁性物中有益有害组分的含量信息, 既能从冶炼角度初步评价超贫磁铁矿的可选性, 也可以确定后续综合利用研究的目标元素, 对于超贫磁铁矿资源的合理开发利用具有重要的现实意义。

关键词: 超贫磁铁矿; 磁性物; 有益有害组分; 可选性评价; 电感耦合等离子体发射光谱法

中图分类号: P578.12; O657.31 **文献标识码:** A

由于我国铁矿资源的特点和社会发展的需要, 已查明的铁矿资源难以满足需求, 在铁矿石价格持续走高和综合利用技术进步的带动下, 我国已经着手开发超贫磁铁矿^[1-3]。超贫磁铁矿是指达不到现行铁矿地质勘查规范边界品位(TFe < 20%)要求, 但其磁性铁边界品位达到 6%、工业品位达到 8% 以上, 在当前技术经济条件下, 通过选矿富集, 可以开发利用的含铁岩石的总称。超贫磁铁矿的开发利用能够有效缓解铁矿石后备资源的不足, 同时拓宽传统铁矿资源的概念, 对于认识、开发非传统矿产资源和增强我国能源与矿产资源的保障能力, 无论是在

理论还是在实践上都具有重要的意义^[4]。

现有的《铁、锰、铬矿地质勘查规范》(DZ/T0200—2002)、《矿产资源综合勘查评价规范》(GB/T25283—2010)和《超贫磁铁矿勘查技术规范》(DB13/T1349—2010)中规定超贫磁铁矿的基本分析项目为全铁和磁性铁, 组合分析项目通常为伴生的有益元素钒、钛及有害元素磷、铜、铅、锌, 以查明矿石中伴生有益和有害组分的含量及分布情况。在磁铁矿选矿前, 通常对原矿的化学组成、铁物相组成、矿物组成、矿物嵌布特征及解离特征等进行分析^[5-12], 以评价矿石的可选性, 却鲜有报道关注选矿后的磁性物中

收稿日期: 2016-01-13; 修回日期: 2016-12-24; 接受日期: 2017-01-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目——地质实验测试技术研发示范与应用(12120113014300, 12120113015800)

作者简介: 黄瑞成, 硕士, 助理工程师, 主要从事岩石矿物分析工作。E-mail: hailiehao@126.com。

有益和有害组分的含量是否满足规范要求。常用的可选性评价指标能够有效判定原矿石选别的难易程度,适用于可以直接开发利用的铁矿石,对于需要通过选矿富集后方可开发利用的超贫磁铁矿而言,必须准确测定其选矿产品磁性物中有益、有害组分的含量,才能更真实地反映超贫磁铁矿的可选性。

在铁矿石的标准分析方法中,通常是按元素开展独立检测,如全铁的测定采用重铬酸钾容量法(GB/T6730.70—2013),钒的测定采用火焰原子吸收光谱法(GB/T6730.58—2004)或硫酸亚铁铵滴定法(GB/T6730.32—2013),磷的测定采用钼蓝分光光度法(GB/T6730.18—2006),铜和锌的测定采用火焰原子吸收光谱法(GB/T6730.36—2016、GB/T6730.53—2004)等,其操作相对繁琐,分析周期较长,不适合开展大批量测试工作。电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)是地质样品中主、微量元素同时测定的重要技术,现已广泛应用于铁矿石的分析中^[13-16]。本文在对超贫磁铁矿样品进行常规分析基础上实现其可选性的快速评价,尝试采用电磁分选仪对超贫磁铁矿样品进行磁选分离,结合 ICP-OES 法测定原矿及磁性物中的全铁(TFe)、磁性铁(mFe)、TiO₂、V₂O₅、P、Cu、Pb、Zn 的含量,从磁性物能否满足冶炼要求的角度初步评价了超贫磁铁矿的可选性,为超贫磁铁矿资源的开发利用提供数据支撑。

1 实验部分

1.1 仪器及主要试剂

1.1.1 仪器及工作条件

Optima 2100DV 型电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 PerkinElmer 公司),仪器工作条件为:垂直观测高度 15 mm,蠕动泵速率 1.5 mL/min,射频功率 1300 W,冷却气流量 15 L/min,辅助气流量 0.2 L/min,雾化气流量 0.8 L/min,积分时间 10 s,冲洗时间 10 s,稳定时间 10 s,重复次数 3 次。

1.1.2 主要试剂

铁标准储备溶液(1000 μg/mL):准确称取 1.4297 g 已在 150℃ 烘干 2 h 的基准物质 Fe₂O₃,用 50% 盐酸溶解后移入 1000 mL 容量瓶中,用水定容至刻度。

磷标准储备溶液(100 μg/mL):准确称取已在 130℃ 干燥过的优级纯磷酸二氢钾 0.4394 g 溶于水,加入 10 mL 50% 的硫酸,用水定容至 1000 mL。

钒、铜、铅、锌标准储备溶液(100 μg/mL):购自

国家有色金属及电子材料分析测试中心。

王水:将 600 mL 浓盐酸与 200 mL 浓硝酸混合均匀,现配现用。50% 的盐酸:将浓盐酸与去离子水等体积混合,现配现用。盐酸、硝酸、氢氟酸、高氯酸。

除特别注明外试剂均为分析纯,水为现制去离子水。

1.2 实验方法

1.2.1 磁性物的分离

磁性物的分离方法见参考文献[17]。

1.2.2 样品分解及测定

准确称取 0.1000 g 样品于聚四氟乙烯坩埚中,加入 5 mL 王水、5 mL 氢氟酸、2 mL 高氯酸,加盖,置于已升温至 130℃ 的电热板上加热 2 h;取下盖子,升温至 230℃ 蒸至高氯酸烟冒尽;趁热加入 2 mL 50% 的盐酸提取,取下冷却,转移至 10 mL 比色管中,定容后摇匀,用以测定原矿及磁性物中的 V₂O₅、P、Cu、Zn 含量。

移取上述清液 1 mL 于 10 mL 比色管中,定容后摇匀,用以测定原矿中的 TFe、mFe、TiO₂ 及磁性物中的 TiO₂ 含量。

移取磁性物分解后的清液 1 mL 于 25 mL 比色管中,定容后摇匀,用以测定磁性物中的 TFe 含量。

2 结果与讨论

2.1 原矿中全铁及磁性铁的测定结果分析

按照 1.2 节实验方法测定了 5 个原矿样品中的全铁含量及磁性铁含量,从表 1 测定结果可以看出,尽管矿石品位较低,样品中的全铁含量仅在 14.23% ~ 16.60% 之间,但磁性铁的占有率较高,在 74.28% ~ 79.14% 之间,表明大部分的铁可以采用弱磁选工艺回收^[18],具有一定的开发利用价值。

表 1 原矿中全铁及磁性铁的分析结果

Table 1 Analytical results of total iron and magnetic iron in raw ores

样品编号	全铁含量 (%)	磁性铁含量 (%)	磁性铁占有率 (%)
1	14.74	11.63	78.92
2	14.38	10.87	75.61
3	14.23	10.57	74.28
4	16.09	12.64	78.54
5	16.60	13.14	79.14

2.2 原矿及磁性物中有益元素 TFe、V₂O₅ 和 TiO₂ 的测定结果分析

按照 1.2 节实验方法测定了 5 个原矿样品及其

磁性物中的 TFe、 V_2O_5 和 TiO_2 含量,从表 2 测定结果可以看出,与攀枝花钒钛磁铁矿类似^[9],铁、钒随选矿富集在精矿(磁性物)中,而钛主要富集在尾矿中。经磁选后的磁性物中,TFe 和 V_2O_5 的含量均有不同程度的提高,其中 TFe 的含量在 53.95% ~ 69.86% 之间,能够满足炼铁用铁矿石的工业要求(TFe 含量 $\geq 50\%$); V_2O_5 的含量在 0.052% ~ 0.083% 之间,仍无法达到伴生组分评价指标的要求; TiO_2 的含量明显降低,在 0.84% ~ 1.83% 之间,无法达到伴生组分评价指标的要求,表明大部分的 TiO_2 进入尾矿,这在后续的研究中值得注意。由此可见,测定磁性物中 TFe、 V_2O_5 和 TiO_2 的含量更能准确评价超贫磁铁矿的选矿效果及综合利用价值。

表 2 原矿及磁性物中 TFe、 V_2O_5 和 TiO_2 的分析结果对比

Table 2 Comparison of analytical results of TFe, V_2O_5 and TiO_2 in raw ore and magnetic substance

样品编号	TFe 含量(%)		V_2O_5 含量(%)		TiO_2 含量(%)	
	原矿	磁性物	原矿	磁性物	原矿	磁性物
1	14.74	62.52	0.051	0.065	5.02	1.45
2	14.38	63.59	0.042	0.052	4.43	1.44
3	14.23	53.95	0.054	0.058	4.94	1.83
4	16.09	66.34	0.052	0.064	4.98	1.04
5	16.60	69.86	0.065	0.083	4.95	0.84

2.3 原矿及磁性物中有害元素 P、Cu、Pb 和 Zn 的测定结果分析

按照 1.2 节实验方法测定了 5 个原矿样品及其磁性物中的 P、Cu、Pb 和 Zn 含量,从表 3 测定结果可以看出,除了 5 号原矿样品中 P 的含量偏高以外,其他样品均能满足炼铁用铁矿石的工业要求(P 含量 $\leq 0.25\%$, Cu 含量 $\leq 0.2\%$, Pb 含量 $\leq 0.1\%$, Zn 含量 $\leq 0.15\%$),而且原矿样品中 P 的含量无法满足伴生组分综合评价的要求(P_2O_5 含量为 1% ~ 2%,即 P 含量为 0.44% ~ 0.87%)。经磁选后的磁性物中,P 和 Zn 含量进一步降低,Cu 和 Pb 则有不同程度的富集,但均能满足炼铁用铁矿石的工业要求。因此,仅确定超贫磁铁矿原矿中 P、Cu、Pb 和 Zn 的含量并不足以全面指导冶炼生产工作,还需要测定磁性物中相应元素的含量^[19]。

2.4 对超贫磁铁矿可选性评价的建议

超贫磁铁矿属于需选铁矿石,原矿中有益有害组分的含量并不能代表铁精矿,因为用于冶炼的是选矿后的精矿,而且在选矿过程中样品中的有益有害组分会发生不同程度的变化^[20-21]。此外,依据

《矿产资源综合勘查评价规范》(GB/T25283—2010)的规定,对于在主矿产物中赋存的含量虽低于规范要求的伴生组分,若其可在主矿物的精矿及某一产品(尾矿)中富集且达到计价标准的,同样需要进行评价。

根据本方法,该类超贫磁铁矿易于选别,通过单一弱磁选即可获得品质较好的精矿,其中 TFe 含量为 53.95% ~ 69.86%, P、Cu、Pb、Zn 含量分别小于 0.048%、0.056%、0.0018%、0.0063%,均能满足炼铁用铁矿石的工业要求;精矿中伴生组分 V_2O_5 和 TiO_2 的综合利用价值较低,但原矿中 TiO_2 含量较高,而且大部分 TiO_2 在磁选时进入尾矿,在后续的研究中应注意对尾矿中的 TiO_2 进行评价。因此,对超贫磁铁矿原矿及磁性物中的有益有害组分进行分析,才能更真实地反映超贫磁铁矿是否满足冶炼及综合利用的要求,从而实现其可选性的有效评价。

表 3 原矿及磁性物中 P、Cu、Pb 和 Zn 的分析结果对比

Table 3 Comparison of analytical results of P, Cu, Pb and Zn in raw ore and magnetic substance

样品编号	P 含量(%)		Cu 含量(%)		Pb 含量(%)		Zn 含量(%)	
	原矿	磁性物	原矿	磁性物	原矿	磁性物	原矿	磁性物
1	0.19	0.036	0.019	0.037	0.0004	0.0016	0.0085	0.0051
2	0.11	0.027	0.0029	0.0056	0.0004	0.0016	0.010	0.0061
3	0.21	0.048	0.0056	0.010	0.0005	0.0014	0.0078	0.0042
4	0.15	0.032	0.020	0.036	0.0005	0.0018	0.010	0.0050
5	0.30	0.040	0.027	0.056	0.0003	0.0018	0.011	0.0063

3 结论

应用电磁分选仪,结合 ICP-OES 法,研究了超贫磁铁矿磁选前后有益有害组分含量的变化情况。结果表明,与原矿相比,磁性物中有益有害组分的含量已发生变化,尤其是 TFe、 TiO_2 和 P,其中 TFe 和 P 的含量已能够满足炼铁用铁矿石的工业要求,而 TiO_2 的含量已降至无法满足伴生组分评价指标的要求。本方法能够快速获得超贫磁铁矿及磁性物中有益有害组分的含量及其在选矿中的基本走向信息,为超贫磁铁矿的可选性评价提供了新的思路,对超贫磁铁矿资源综合利用具有一定的科学指导意义。

有必要指出的是,对于选矿后磁性物或尾矿中的含量符合要求的有益组分,其是否便于回收利用及选矿工艺的确定,仍需进一步开展相应的工艺矿物学研究,查明目标组分在磁性物或尾矿中的赋存状态及其分布规律,以更确切地评价超贫磁铁矿资源的综合利用价值。

4 参考文献

- [1] 谢承祥,张晓华,王少波,等. 承德市超贫(钒钛)磁铁矿特征[J]. 矿床地质,2006,25(增刊):487-490.
Xie C X, Zhang X H, Wang S B, et al. Characteristics of the extremely poor vanado-titanomagnetite deposit in Chengde City, Hebei Province [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(Supplement): 487-490.
- [2] 肖克炎, 姜德波, 阴江宁, 等. 中国铁矿资源潜力定量分析[J]. 地质通报, 2011, 30(5): 650-660.
Xiao K Y, Lou D B, Yin J N, et al. Quantified research on iron potential of China [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(5): 650-660.
- [3] 郝兴中, 祝德成, 王巧云, 等. 山东省单县地区铁矿成矿规律探讨[J]. 地质论评, 2015, 61(增刊): 818-819.
Hao X Z, Zhu D C, Wang Q Y, et al. Iron ore metallogenic regularities in Shanxian, Shandong Province [J]. Geological Review, 2015, 61(Supplement): 818-819.
- [4] 周红春, 刘传权, 李中明, 等. 河南嵩县南岭超贫磁铁矿的地质特征与找矿模式[J]. 现代地质, 2010, 24(1): 89-97.
Zhou H C, Liu C Q, Li Z M, et al. Geological characteristics and prospecting pattern of Nanling ultra poor magnetite in Songxian, Henan [J]. Geoscience, 2010, 24(1): 89-97.
- [5] 李亚娟. 本溪大连洲铁矿工艺矿物学及选矿方法研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2011.
Li Y J. Process mineralogy and beneficiation process of Dalianzhou iron ore in Benxi [D]. Shenyang: Northeastern University, 2011.
- [6] Nie Y M, Lu X L, Dai Q H, et al. Mineral processing experiment research of low grade magnetite [J]. Advanced Materials Research, 2013, 641-642: 448-451.
- [7] Luo J H, Qiu K H, Qiu Y C, et al. Studies of mineralogical characteristics on vanadium titanium magnetite in Hongge area, Panzhihua, Sichuan, China [J]. Advanced Materials Research, 2013, 813: 292-297.
- [8] 刘长森, 吴东印, 王守敬, 等. 云南安益钛磁铁矿选铁试验研究[J]. 中国矿业, 2014, 23(2): 119-121.
Liu C M, Wu D Y, Wang S J, et al. Experimental of recovering titanite magnetite from Anyi mine in Yunnan Province [J]. China Mining Magazine, 2014, 23(2): 119-121.
- [9] 罗金华. 红格钒钛磁铁矿主要元素在选矿中的分布[J]. 矿产综合利用, 2015(3): 55-58.
Luo J H. Distribution of main elements of Hongge vanadium titanomagnetite in mineral processing [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2015(3): 55-58.
- [10] 翟雪, 曹亦俊, 吴晓燕. 安徽某含硫磁铁矿的工艺矿物学试验研究[J]. 矿冶, 2015, 24(4): 84-88.
Zhai X, Cao Y J, Wu X Y. Process mineralogy study on a sulfur-bearing magnetite ore in Anhui [J]. Mining & Metallurgy, 2015, 24(4): 84-88.
- [11] Liu D, Li J L, Wen S M, et al. Beneficiation experiment study on iron ore in Yunnan Province [J]. Applied Mechanics & Materials, 2015, 737: 813-816.
- [12] Chokshi Y, Limaye M A, Dutta S K, et al. Mineralogical studies of low-grade iron ore from Jharkhand-Orissa Region, India [J]. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2016, 69(1): 151-155.
- [13] 张洋, 郑诗礼, 王晓辉, 等. ICP-AES法对铬铁矿中的多种元素进行定性与定量分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(1): 251-254.
Zhang Y, Zheng S L, Wang X H, et al. Qualitative and quantitative analysis of various elements in chromite ore by ICP-AES [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(1): 251-254.
- [14] 马生凤, 温宏利, 马新荣, 等. 四酸溶样-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定铁、铜、锌、铅等硫化物矿石中22个元素[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2011, 30(1): 65-72.
Ma S F, Wen H L, Ma X R, et al. Determination of 22 elements in iron, copper, zinc, and lead sulphide ores by ICP-AES with four acids digestion [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2011, 30(1): 65-72.
- [15] 孙喜顺, 王彦茹, 阎雪. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定钒钛铁精矿中的钒钛铝镁锰[J]. 冶金分析, 2011, 31(8): 79-82.
Sun X S, Wang Y R, Yan X. Determination of vanadium, titanium, aluminium, magnesium and manganese in vanadium-titanium-iron concentrate by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. Metallurgical Analysis, 2011, 31(8): 79-82.
- [16] 胡艳巧, 程文翠, 支云川, 等. 四酸溶矿-电感耦合等离子体发射光谱法测定铬铁矿中多种元素[J]. 分析实验室, 2016, 35(11): 1312-1316.
Hu Y Q, Cheng W C, Zhi Y C, et al. Simultaneous determination of 11 elements in chromites by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry with HCl-HNO₃-HF-HClO₄ digestion method [J]. Chinese Journal

- of Analysis Laboratory, 2016, 35(11): 1312 - 1316.
- [17] 黄瑞成, 肖洁, 魏灵巧, 等. 新型磁选装置的研制及其应用于分离超贫磁铁矿中的磁性铁[J]. 岩矿测试, 2015, 34(2): 213 - 217.
Huang R C, Xiao J, Wei L Q, et al. Development of a new magnetic separation device and its application in separation of magnetic iron in ultra-low-grade magnetite [J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34(2): 213 - 217.
- [18] 吕宪俊, 邱俊, 陈平, 等. 新疆某低品位铁矿石工艺矿物学研究[J]. 金属矿山, 2009(6): 99 - 116.
Lü X J, Qiu J, Chen P, et al. Investigation on the process mineralogy of a low grade iron ore from Xinjiang [J]. Metal Mine, 2009(6): 99 - 116.
- [19] 班俊生, 任金鑫, 刘桂珍, 等. 磁铁矿中磁性物成分的测定及可选性评价[J]. 岩矿测试, 2013, 32(3): 469 - 473.
- Ban J S, Ren J X, Liu G Z, et al. Determination of the magnetic material composition in magnetite ore and processability evaluation [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(3): 469 - 473.
- [20] 王斌. 安徽某高硫磁铁矿选矿试验[J]. 现代矿业, 2014, 30(9): 56 - 59.
Wang B. Beneficiation experiment on a high-sulphur magnetite ore in Anhui [J]. Modern Mining, 2014, 30(9): 56 - 59.
- [21] 靳建平, 李英, 吴天骄, 等. 陕西某含硫磁铁矿选矿试验[J]. 现代矿业, 2016, 32(1): 91 - 93.
Jin J P, Li Y, Wu T J, et al. Beneficiation experiment on a sulphur-bearing magnetite ore in Shanxi [J]. Modern Mining, 2016, 32(1): 91 - 93.

Determination of the Magnetic Material Composition in Ultra-low-grade Magnetite by ICP-OES and Washability Evaluation

HUANG Rui-cheng¹, LI Ling-feng¹, ZHAO Hai^{1,2}, LIU Fang¹, WEI Ling-qiao¹, LUO Lei¹

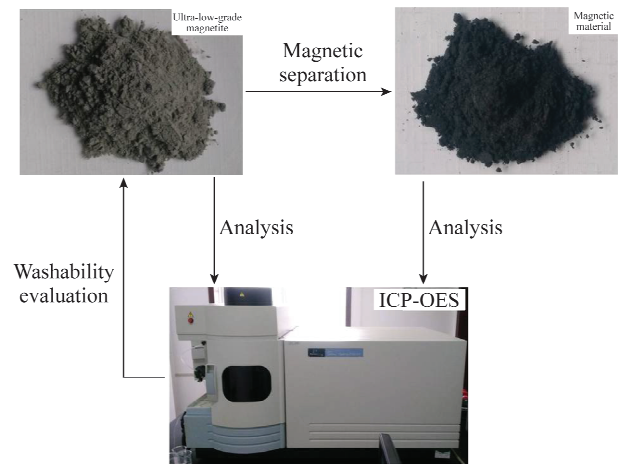
(1. The Sixth Geological Brigade of Hubei Geological Bureau, Xiaogan 432000, China;

2. Faculty of Materials Science and Chemistry, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Highlights:

- The washability evaluation of ultra-low-grade magnetite was performed based on concentration of useful and harmful compositions in raw ore and magnetic material.
- The concentrations were analyzed by using ICP-OES combined with electromagnetic separation device.
- The proposed method was more suitable for the washability evaluation of ultra-low-grade magnetite.

Abstract: Ultra-low-grade magnetite could be used after magnetic separation, resulting in magnetic material being the major product. The content of useful and harmful components in magnetic materials are ideal for the washability evaluation of ultra-low-grade magnetite. However, they have received little attention so far. In this study, electromagnetic separation and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) were used to determine the contents of useful and harmful compositions (TFe, V_2O_5 , TiO_2 , P, Cu, Pb, Zn) in raw ore and magnetic material. When the component (V_2O_5 , Cu, Pb, Zn) contents were far lower than the required contents of criterion, the contents of these elements after magnetic separation varied but did not affect the smelt and evaluation results. However, the contents of TFe, TiO_2 , and P changed obviously after magnetic separation. The TFe content increased from 14.23% – 16.60% to 53.95% – 69.86%, whereas the TiO_2 content decreased from 4.43% – 5.02% to 0.84% – 1.83%. The P content decreased from 0.11% – 0.30% to 0.027% – 0.048%, which affected the smelt and evaluation results (in Table 2). The concentrations of TFe, TiO_2 , and P can be used to reflect the smelt selection of ultra-low-grade magnetite. The concentrate is easily obtained by low intensity magnetic separation and the content of TFe, P, Cu, Pb, Zn meets requirements. Attention should be paid to the evaluation of TiO_2 in tailings since most TiO_2 is concentrated in the tailings. In conclusion, this is a feasible method to evaluate the washability and define the objective elements of utilization by using electromagnetic separation and ICP-OES. This method can not only evaluate the smelt possibility of ultra-low-grade magnetite but can also determine the elements to be used, making it meaningful to the comprehensive utilization of ultra-low-grade magnetite.



Key words: ultra-low-grade magnetite; magnetic material; useful and harmful compositions; washability evaluation; Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry