

磁化处理影响浮选的机理及其在浮选中的应用

李凤久, 孔亚然, 贾清梅, 李国峰

(华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山 063210)

摘要: 简述了磁化处理的发展历程, 阐述了磁化处理对浮选水系性质的影响规律及其机理, 列举了磁化处理后在金属矿、非金属矿、煤等不同物料浮选中应用的研究结果, 总结分析发现磁化处理后在浮选中应用具有简化工艺流程、优化分选指标、减少药剂消耗等优势。磁化处理影响浮选的机理尚不明确, 磁化处理影响浮选的因素及影响规律、设备和工艺也有待进一步研究。理论分析、计算机模拟、实验和先进的检测方法相结合, 对磁化处理后应用于浮选的机理、影响因素及影响规律、工艺及设备进行深入研究是今后的发展趋势。

关键词: 磁化处理; 浮选; 影响机理; 应用现状; 发展趋势

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.03.019

中图分类号: TD98 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 03-0120-07

磁化处理是指为改变物质的某些物理化学性质而将其置于磁场中磁化的技术, 也称磁处理技术。磁化处理对浮选、重选、化学浸出均有影响。磁化处理后在浮选中应用具有简化工艺流程, 减少药剂消耗, 分选指标好等优势。为促进磁化处理后在浮选中应用, 本文从磁化处理的发展历程, 磁化处理后对浮选水系的影响机理, 磁化处理后在浮选中的应用现状等方面总结了国内外磁化处理后的相关研究成果。

1 磁化处理的发展历程

磁化处理后最先应用于医学, 北宋《圣济总录》中就有磁石炼水治小儿惊痫的记载。20 世纪初, G.Durville 在他的著作中提到磁化水可以治愈伤口和溃疡。1945 年比利时工程师 T. Vermeriven 发现磁化处理后水可以减少锅垢的产生。此方法操作简单, 不产生化学污染, 因此很快应用于实践, 但并未引起太多关注。直到 20 世纪 60 年代初, 前

苏联研究人员提出磁化处理后可能改变水系统的物理化学性质, 而水系物理化学性质的改变可以对农业、建筑、冶金等许多行业产生影响, 因此, 磁化处理后引起广泛关注并迅速发展。20 世纪 90 年代, 磁化处理后在石油工业大规模应用, 效果良好。21 世纪以来, 磁化处理后在矿物加工领域也越来越被注重, 对磁化后的研究逐渐向如何有效利用磁场能和磁场如何强化选矿机理发展^[1-2]。

2 磁化处理后对浮选水系性质影响的机理研究

国内外大量学者研究了磁化处理后对浮选水系的物理化学性质的影响, 结果表明, 水系经磁化处理后会产生一系列物理化学性质的变化, 如 pH 值、吸光度、电导率、粘度、表面张力、溶氧量等。

2.1 表面张力

水系的表面张力与矿物的可浮性密切相关。水系的表面张力改变, 润湿功和黏着功都会改变,

收稿日期: 2020-11-02

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目 (E2018209096; E2018209089)

作者简介: 李凤久 (1977-), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为微细粒铁矿选矿技术。

矿物间的可浮性差异发生改变。邱廷省等人^[3]磁化处理黄铜矿与黄铁矿分选的抑制剂,实验结果表明,磁化处理能够增大溶液的表面张力和矿物的润湿性,且磁化处理增强抑制剂对黄铁矿的作用,降低黄药对黄铁矿的作用,从而使黄铜矿、黄铁矿的疏水性差异扩大,浮选效果增强。宛鹤等^[4]将磁化处理作为一种高效、低成本、创新、环保的乳化方法,用于改善NHO(非极性烃油)在低温辉钼矿浮选中的浮选性能,实验结果表明,与未磁化煤油(UMK)相比,在298 K温度下,磁化煤油(MK)的较佳用量可降低11%,在278 K时,MK的浮选回收率比UMK高3%。表面张力测量结果表明,随着磁场强度的增加,MK的表面张力呈周期性上升,并且在每个周期内都有一个较大的表面张力。

2.2 电导率

电导率可以衡量溶液传导电流能力的大小。溶液的电导性取决于自由移动的离子浓度和离子携带的电荷数。离子携带的电荷越多,自由移动的离子浓度越高,溶液的电导性越强。药剂的吸附程度一般会受到矿物表面电性的影响。表面电位是指荷电的固体颗粒表面与浮选溶液之间的电位差。邱廷省等人^[5]发现水系磁化处理会影响水及药剂的电导率。磁化处理增加了水和药剂溶液体系中的溶解氧量,促进黄药氧化分解,电解质增多,自由移动的离子数目增多,迁移率加大,使溶液的电导率升高,药剂与矿物表面的吸附作用增强。与常规浮选相比,磁化处理浮选用水时黄铜矿的回收率提高3.45%,磁化处理丁基黄药时黄铜矿的回收率提高3.54%。

2.3 溶解度

磁化处理影响气体和药剂在水中的溶解度,从而影响矿物的浮选。周文波等^[6]发现磁化处理影响油酸钠在水溶液中的化学平衡反应,使得溶

液中油酸根阴离子浓度增加,有利于与方解石、萤石表面 Ca^{2+} 结合,与常规浮选相比,方解石回收率提高19.77%,萤石回收率提高12.81%。方夕辉等^[7]研究了磁化处理对硫化铜矿浮选的影响。斑岩型原生硫化铜矿的回收率提高了5%~6%,高硫次生硫化铜矿的回收率提高了2%~3%。作者认为磁化处理增加了矿浆的溶解氧量,使矿物表面生成更多的疏水物质,还增加了浮选药剂的离解度和分散度,因而提高了铜的回收率。

近年来国内外学者对磁化处理应用于浮选的机理进行了大量研究。主要有以下几种推断^[2]:洛仑兹力作用、极化作用、磁滞效应、磁力矩重新取向、氢键变形及活化能改变。但由于磁化处理的理论与实验室研究的不完善性,长期以来,国内外对磁化处理的机理研究依旧处在论证和假设不断交替的阶段,尚未形成一套完整的磁化处理理论体系。

3 磁化处理在浮选中的应用实例

我国矿产资源总量丰富,在全球矿业界具有举足轻重的地位^[8]。而我国矿产资源又少富矿多贫矿,少单一矿多伴生矿,少易选矿多难选矿。随着我国矿产资源贫、细、杂的特点的日益加剧,传统的重、磁、浮及联合选矿流程已不能满足选矿行业的需求,一些学者研究了磁化处理对浮选的影响。

3.1 在金属矿浮选中的应用

3.1.1 在铁矿浮选中的应用

磁化处理在浮选中应用对选别流程的缩短,选别指标的提高效果十分明显。T.雅尔辛等人^[9]发现磁浮联合选矿流程中四段选别才能达到的指标,磁化处理应用于浮选一段选别就可以达到,大大简化了选矿工艺流程,降低了选矿成本。夏建勤^[10]发现某磁铁矿用常规浮选法经一次粗选、两次精选、两次扫选精矿品位和回收率分别是

64.70%、71.77%，同样的选别次数，常规磁选法品位和回收率分别是 59.30%，90.49%。而磁化处理应用于浮选一次即可得到品位 71.31%，回收率 96.63% 的磁铁精矿。

磁化处理可以增强药剂的选择性和作用程度，减少药剂消耗。A. 洛佩斯瓦尔迪维索 (A. López-Valdivieso) 等^[11]发现在没有淀粉、糊精、CMC 等有机抑制剂的情况下，采用胺类捕收剂浮选 TFe 品位 65.1% 的铁精矿（主要为磁铁矿），均匀外加弱磁场可以显著抑制磁铁矿的浮选。在磁场作用下，磁铁矿颗粒聚集成大的链状和柱状，迅速沉降到沉淀池底部。磁铁矿吸附胺并变得疏水，这导致气泡附着到磁铁矿团聚体上。磁铁矿团聚体中的气泡由于磁铁矿团聚体的质量较大而不能漂浮，因此它们作为尾矿排出。外加均匀磁场为不使用抑制剂浮选生产铁精矿提供了可能。由于这些抑制剂抑制石英和含硅矿物的浮选，如果在反浮选过程中不使用抑制剂，这些矿物的浮选回收率会提高。这将获得更高质量的铁精矿。

磁化处理在浮选柱中的应用也获得了良好指标。廖寅飞等^[12]研究脉冲磁场对磁铁矿浮选柱反浮选的作用，实验结果表明，磁化处理应用于浮选比常规浮选指标好，磁化处理时脉冲磁场磁化比恒定磁场磁化选别指标好。脉冲磁场使铁精矿的回收率提高了 1.12%，品位提高了 4.22%。比林奇 (Mustafa Birinci) 等^[13]采用磁性微浮选柱，研究了外加磁场对磁铁矿中石英阳离子浮选的影响。由于外加磁场的优点是抑制磁铁矿的选择性强。高选择性是由于磁场只影响磁铁矿颗粒，而石英颗粒不受磁场的影响场。因此在磁场存在下，分选效率显著提高。

磁化处理对细粒矿物的浮选尤为有利。S. 阿瓦尔等^[14]发现磁化处理应用于磁铁矿的浮选可以有效减少细粒磁铁矿的损失。向军等^[15]发现磁化

处理有利于微细粒赤铁矿的浮选。李艾强等^[16]研究磁化处理如何影响赤铁矿的絮凝，发现磁化处理可以加强赤铁矿颗粒间的絮凝作用。卢毅屏等^[17]发现磁化处理可以增大弱磁性软锰矿的表观粒度，有利于细粒级软锰矿的浮选。

3.1.2 在硫化矿浮选中的应用

有色金属矿的主要来源是硫化矿，全球 90% 以上的硫化矿通过浮选进行回收，为适应资源供不应求的现状，提高资源利用率，国内外学者在常规浮选工艺的基础上，开发出沉淀浮选、泡沫分离浮选、离子浮选、电化学调控浮选、絮团浮选、闪速浮选、重力浮选、生物浮选等众多新型的浮选工艺技术^[18]。近年来，国内外许多学者研究了磁化处理在硫化矿浮选中的应用见表。磁化处理应用于硫化矿的浮选，可以提高矿浆溶氧量，促进矿物氧化；改变水系的电导率、表面张力等。进而影响矿物与药剂的作用效果，优化浮选过程，节省药剂，提高精矿品位和回收率。

3.1.3 在其他金属矿浮选中的应用

表 1 磁化处理在硫化矿浮选中的应用实例
Table 1 Application examples of magnetization treatment in sulfide ore flotation

参考文献	磁化方式	结论和优势
汤丹选矿厂 ^[19]	磁化浮选用水	铜精矿回收率提高 3% 左右
科瓦舍夫 ^[20]	磁化浮选用水	铜精矿回收率提高
切尔里赫 ^[21]	磁化浮选用水	增大矿物表面的疏水性，优化浮选过程，铜精矿回收率提高 7%
王秋风 ^[19]	磁化浮选药剂	有利于硫化铅锌矿的浮选，浮选回收率提高
邱廷省 ^[22]	磁化浮选药剂	铜精矿回收率提高
方夕辉 ^[7]	磁化浮选药剂 / 水 / 矿浆	铜精矿回收率提高 2% ~ 6%；磁化药剂效果更佳，磁化矿浆和磁化浮选用水稍差
崔立凤 ^[23]	磁化浮选药剂 / 水 / 矿浆	对铜硫实际矿石，强化浮选过程，铜硫分离效果更好，相互夹杂更少，回收率提高；磁化药剂效果最佳；对纯矿物，提高回收率，减少药剂用量

邓湘湘等^[24]发现在白钨矿的浮选中,磁化处理浮选用水与常规浮选相比,药剂与矿物的作用效果增强,捕收剂和调整剂用量减少,且提高了分选指标。陈向等^[25]发现浮选江西某含黑钨细泥较多的钨矿时,磁化处理浮选用水和常规浮选相比,药剂用量更少,且黑钨精矿品位提高了6.87%,回收率提高了7.19%。磁化处理应用于选矿作业不仅有利于选别,对后续废水处理也有益无害。张春菊等^[26]磁化处理白钨选矿废水,结果表明,磁化处理能改变选矿废水中重金属离子的物理化学性质,易于形成碳酸盐、硝酸盐等难溶盐沉淀,增强絮凝效果,使废水澄清净化。何廷树等^[27]将经磁化处理的煤油用于钼浮选作业中,精矿品位提高0.5%,钼回收率提高2.53%。陈向等人^[28]发现浮选江西某细粒钽铌尾矿的重选粗精矿时,磁化处理浮选用水与常规浮选相比药剂用量更少,且Ta₂O₅精矿品位提高1.88%,回收率提高2.75%;Nb₂O₅精矿品位提高1.58%,回收率提高2.96%。刘孔达等^[29]研究了磁化处理水系(药剂、矿浆、水)对诸暨黄金公司的金矿浮选的影响。实验结果表明,磁化处理应用于浮选与常规浮选相比,金精矿品位提高10.24 g/t,回收率提高7.92%,尾矿品位降低0.76 g/t。为验证实验结果是否由误差引起,他们还研究了磁化处理对氰化浸出金精矿的影响来确定实验的准确性。发现在较佳实验条件下,磁化处理浸出与常规浸出相比,金精矿浸出率提高12.26%。这也验证了磁化处理确实有利于金矿的选别,并非实验误差引起的。虽然原理尚不清楚,但实际应用却可以获得良好指标。邱廷省等^[2]发现对某含金银多金属氧化矿,在金银精矿品位基本保持不变的情况下,磁化处理应用于浮选与常规浮选相比,金的回收率可提高5%,银的回收率可提高2%。

3.2 在非金属矿浮选中的应用

周文波等^[30]发现磁化处理水可以提高萤石的

回收率。廖德华等^[31]采用强磁对浮选用水进行磁化处理,发现磁化处理可以增强捕收剂和抑制剂对矿物的作用效果,减少药剂用量,同时可以提高萤石精矿的品位和回收率,获得品位97.31%的酸级萤石精矿。朱巨建等^[32]磁化处理浮选用水,发现磁化处理增加了水分子的平均动能,削弱了水分子之间的力的作用,降低了石英对H⁺吸附的位阻效应,从而降低了石英上浮率和Ca²⁺对石英的活化能力,有利于赤铁矿和石英的分离。邱廷省等^[33]发现磁化处理水系(药剂、矿浆)可以提高萤石的回收率,降低萤石精矿的硅含量,减少药剂消耗,简化精选工艺流程,并获得氟化钙含量高于99%的酸级萤石精矿。李青青^[34]发现磁化处理显著提高了萤石的回收率,且发现磁化方式以磁化处理药剂为佳,磁化处理水次之,磁化处理矿浆再次之。

3.3 在选煤中的应用

吴树明^[35]磁化处理浮选用水,增大了煤的接触角,提高了煤的表面疏水性,有利于药剂在煤表面的吸附,精煤产率从33.5%提高到34.6%,煤的浮选效果增强。李海鹏^[21]磁化处理煤泥捕收剂,发现磁化处理可以降低药剂的粘度和表面张力,增大分散度,加快扩散速度,从而提高精煤产率和可燃体回收率,捕收效果增强。低阶煤因为表面存在大量的亲水官能团而可浮性较差,郑长龙等^[36]研究了在不同磁化时间和磁场强度下磁化处理仲辛醇对低阶煤浮选性能的影响。发现用经磁化处理的仲辛醇作起泡剂可以使精煤产率提高3.91%,而精煤灰分变化不大。且发现随着磁化时间和磁场强度的增加煤浆界面张力降低,煤浆界面张力的降低有利于煤的浮选,因此磁化处理仲辛醇有利于煤的浮选。刘佳^[37]磁化处理浮选煤浆,发现磁化处理可以提高精煤产率,在合适的磁场强度下,精煤产率可提高2.80%。宋志伟等^[38]磁化处理浮选煤浆,发现磁化处理有利于高硫煤

的脱硫降灰,与常规浮选法相比脱硫率提高 7%。边炳鑫等人^[39]磁化处理浮选煤浆,发现磁化处理可以提高煤的可浮性,有利于煤泥的脱硫降灰。

3.4 磁化处理应用于浮选的优势

综合以上磁化处理的应用实例,说明磁化处理在浮选中应用有着良好的发展前景。磁化处理在浮选中的应用不同于常规的磁浮联合选矿流程,其仍遵循浮选的基本原理。磁化处理使水系的物理化学性质发生改变从而影响浮选的速度、药剂用量、处理量、精矿质量和回收率等。磁化处理在浮选中应用具有以下优点:一是磁化处理在浮选中应用可以提高精矿质量和数量,以更短的工艺流程获得更好的分选指标。二是磁化处理强化了药剂与目的矿物的作用,可以加快选别速度。三是磁化处理可以增强药剂的选择性和作用程度,减少药剂消耗,相对于常规浮选不需要外加药剂,无额外污染。且有研究表明,磁化处理可以有效处理选矿废水中的重金属离子,使废水澄清净化,因此,磁化处理应用于浮选与常规浮选相比,有利于浮选废水的处理,污染更低。磁化处理在浮选中应用有利于我国矿产资源的综合利用和有效回收,前景良好。

4 结语与展望

虽然国内外已有大量学者在研究磁化处理对浮选的影响,然而磁化处理影响浮选的机理尚不明确,磁化处理影响浮选的因素及影响规律、设备和工艺也有待进一步研究。因此,理论分析、计算机模拟、实验和先进的检测方法互相结合研究磁化处理影响浮选的机理、影响因素及影响规律、工艺及设备将是今后的研究趋势。磁化处理应用于浮选在矿产资源数量日益减少、质量日益下降的今天将具有强大的生命力,其应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 朱巨建,李晓安,陈炳辰. 磁化处理技术的发展及其在矿物浮选中的应用[J]. 国外金属矿山, 1997(3): 52-56.
- [2] 邱廷省,崔立凤,方夕辉. 磁化处理技术在矿物加工中的应用研究进展[J]. 金属矿山, 2008(12): 1-4.
- [3] 邱廷省,尹艳芬,方夕辉,等. 磁化处理对抑制黄铁矿的影响及其机理探讨[J]. 矿产综合利用, 2001(6): 5-7.
- [4] QIU T S, YIN Y F, FANG X H, et al. Effects of Magnetization Treatment on Pyrite Depression and Its Mechanism Probing[J]. Mineral Resources, 2001(6): 5-7.
- [5] WAN H, QU J P, LI H, et al. A novel method for improving low-temperature flotation performance of nonpolar oil in the molybdenite flotation[J]. Minerals, 2019, 9(10).
- [6] 邱廷省,崔立凤,方夕辉. 磁化对浮选药剂及浮选过程的影响[J]. 中国有色金属学报, 2009, 19(7): 1338-1344.
- [7] QIU T S, CUI L F, FANG X H. Effect of magnetization on flotation reagents and process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2009, 19(7): 1338-1344.
- [8] 周文波,李赛,陶黎明,等. 磁化对油酸钠溶液物化性质和矿物浮选的影响[J]. 金属矿山, 2020(4): 93-98.
- [9] ZHOU W B, LI S, TAO L M, et al. Effect of magnetization on physicochemical properties of sodium oleate solution[J]. Metal Mine, 2020(4): 93-98.
- [10] 方夕辉,邱廷省. 磁化处理对铜硫矿石浮选行为影响的研究[J]. 矿业快报, 2007(12): 23-25.
- [11] FANG X H, QIU T S. Study on effect of magnetic treatment on flotation behavior of copper-sulphide ores[J]. Express Information of Mining Industry, 2007(12): 23-25.
- [12] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告 2019[R]. 北京:地质出版社, 2019.
- [13] Ministry of Natural Resources of People's Republic of China. China Mineral Resources 2019[R]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.
- [14] T. 雅尔辛,王卫星. 铁矿石磁浮选新技术[J]. 国外金属矿选矿, 1994(3): 1-8.
- [15] T. YALCIN, WANG W X. New technology of iron ore

- magnetic flotation[J]. *Metallic Ore Dressing Abroad*, 1994(3): 1-8.
- [10] 夏建勤. 磁浮选的发展和实验室评价 [J]. *国外金属矿选矿*, 1993(7):23-27.
- XIA J Q. Development and laboratory evaluation of magnetic flotation[J]. *Metallic Ore Dressing Abroad*, 1993(7):23-27.
- [11] A. López-Valdivieso, M. A. Corona-Arroyo, A. Encinas-Oropesa, et al. Inhibiting the amine flotation of magnetite through aggregation with uniform low magnetic fields and no chemical depressants[J]. *Minerals Engineering*, 2018, 119.
- [12] LIAO Y F, MA Z L, CAO Y J. Improving reverse flotation of magnetite ore using pulse magnetic field[J]. *Minerals Engineering*, 2019, 138.
- [13] Mustafa Birinci, Jan D. Miller, Musa Sankaya, et al. The effect of an external magnetic field on cationic flotation of quartz from magnetite[J]. *Minerals Engineering*, 2010, 23(10).
- [14] S. Ersayin, I. et al. Magnetic field application in cationic silica flotation of magnetic taconite concentrates[J]. *Mining Metallurgy & Exploration*, 2002.
- [15] 向军, 周文波, 熊玮, 等. 磁化处理对微细粒赤铁矿浮选的影响与机理研究 [J]. *金属矿山*, 2020 (8): 76-82.
- XIANG J, ZHOU W B, XIONG W, et al. Study on the effect and mechanism of magnetization on fine grain hematite flotation[J]. *Metal Mine*, 2020 (8):76-82.
- [16] 李艾强, 周文波, 李青青, 等. 磁化处理对微细粒赤铁矿絮凝的影响 [J]. *矿产保护与利用*, 2018(1): 84-90.
- LI A Q, ZHOU W B, LI Q Q, et al. Effect of magnetization treatment on flocculation of fine grained hematite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2018(1): 84-90.
- [17] 卢毅屏, 吕海峰, 冯其明, 等. 外磁场对细粒软锰矿浮选的影响 [J]. *有色金属 (选矿部分)*, 2012(5): 53-56.
- LU Y P, LV H F, FENG Q M, et al. The effect of external magnetic field on fine pyrolusite particles flotation[J]. *Nonferrous Metals(Mineral Processing Section)*, 2012(5): 53-56.
- [18] 袁露. 新型硫化矿捕收剂的合成及其浮选性能研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- YUAN L. Synthesis of novel collectors for sulfide ores and research on their flotation properties[D]. *Central South University, Changsha*, 2012.
- [19] 王秋风, 黄开国. 磁化对浮选的影响 [J]. *国外金属矿选矿*, 1996 (8): 10-16.
- WANG Q F, HUANG K G. Effect of magnetization on Flotation[J]. *Metallic Ore Dressing Abroad*, 1996, (8): 10-16.
- [20] Corachev, Kiryak. Effect of a magnetic field on water and aqueous during the flotation of copper-containing ores[J]. *Rudodobiv mef.* 1970, 25(2): 12-15.
- [21] 李海鹏. 药剂磁化处理对煤泥浮选效果的影响 [D]. 太原: 太原理工大学, 2019.
- LI H P. Effect of magnetized reagents on coal flotation[D]. *Taiyuan University of Technology*, 2019.
- [22] 邱廷省, 尹艳芬, 崔立凤, 等. 磁化浮选铜冶炼废渣中铜及其他有价金属的研究 [J]. *矿冶工程*, 2009, 29(1): 34-36.
- QIU T S, YIN Y F CUI L F, et al. Magnetic flotation of copper and other valuable metals from copper smelting waste residue[J]. *Mining And metallurgical engineering*, 2009, 29(1): 34-36.
- [23] 崔立凤. 磁场条件下硫化铜矿浮选电化学过程及机理研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2009.
- CUI L F. Study on electrochemical process and mechanism of copper sulfide flotation under magnetic field[D]. *Jiangxi University of Technology*, 2009.
- [24] 邓湘湘, 廖德华. 某难选白钨矿磁化浮选工艺研究 [J]. *矿业研究与开发*, 2015, 35(12): 55-59.
- DENG X X, LIAO D H. Study on magnetic flotation technique of a refractory scheelite[J]. *Mining Research and Development*, 2015, 35(12): 55-59.
- [25] 陈向, 廖德华. 某难选黑钨矿磁化浮选研究 [J]. *有色金属 (选矿部分)*, 2020 (3): 47-51.
- CHEN X, LIAO D H. Study on magnetized flotation of a refractory wolframite[J]. *Nonferrous Metals(Mineral Processing Section)*, 2020, (3): 47-51.
- [26] 张春菊, 邱仙辉, 邱廷省. 白钨选矿废水磁预处理技术效果评价与分析 [J]. *矿产保护与利用*, 2017(1): 51-54.
- ZHANG C J, QIU X H, QIU T S. Effect evaluation and analysis of magnetic pretreatment process on scheelite wastewater[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2017(1): 51-54.
- [27] 何廷树, 石旭, 李慧, 等. 磁化改性煤油对洛阳某钼矿石低温浮选指标的影响 [J]. *金属矿山*, 2017(6): 99-103.
- HE T S, SHI X, LI H, et al. Influence of magnetized kerosene on flotation index of molybdenum ore from Luoyang at low temperature[J]. *Metal Mine*, 2017(6): 99-103.
- [28] 陈向, 廖德华. 磁处理对细粒钽铌尾矿浮选试验影响 [J]. *矿产综合利用*, 2020 (4):1-9.
- CHEN X, LIAO D H. Effect of magnetic treatment on flotation test of fine tantalum niobium tailings[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020 (4):1-9.
- [29] 刘孔达, 楼建成, 杨建国, 等. 磁处理技术的应用研究 - 提高金矿浮选和氰化的指标 [J]. *黄金*, 1992(1): 39-42.

- Liu K D, Lou J C, Yang J G, et al. Study and application of magnetic treatment technique-enhancement of gold ore flotation and cyanidation index[J]. Gold, 1992(1): 39-42.
- [30] 周文波, 李青青, 向军, 等. 磁化水对萤石浮选的影响机理研究 [J]. 非金属矿, 2018, 41(5): 57-59.
- ZHOU E B, LI Q Q, XIANG J, et al. Study on the influence mechanism of magnetized water on fluorite flotation[J]. Non-Metallic Mines, 2018, 41(5): 57-59.
- [31] 廖德华, 陈向. 从某钨矿尾矿中磁化浮选萤石实验 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2017(3): 40-44.
- LIAO D H, CHEN X. Study on magnetization treatment flotation technique of fluorite from tungsten tailings[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2017(3): 40-44.
- [32] 朱巨建, 李晓安, 陈炳辰. 水的磁化处理对石英的可浮性影响及其机理研究 [J]. 鞍山科技大学学报, 2003(3): 161-163.
- ZHU J J, LI X A, CHEN B C. Influence of water magnetization on floatability of quartz and its mechanism[J]. Journal of Anshan University of Science and Technology, 2003, (3): 161-163.
- [33] 邱廷省, 付丽珠. 萤石磁处理浮选工艺研究 [J]. 南方冶金学院学报, 1997(4): 255-258.
- QIU T S, FU L Z. Study on magnetization treatment flotation technique of fluorite[J]. Journal of Southern Institute of Metallurgy, 1997(4): 255-258.
- [34] 李青青. 磁化处理对萤石浮选的影响机理研究 [D]. 武汉科技大学, 2019.
- LI Q Q. Study on the mechanism of magnetization treatment on fluorite flotation[D]. Wuhan University of science and technology, 2019.
- [35] 吴树明. 磁化对弱粘煤浮选过程的影响 [J]. 选煤技术, 2018 (3): 17-19.
- WU S M. Effect of magnetization on process of flotation of weakly-coking coal[J]. Coal Preparation Technology, 2018, (3): 17-19.
- [36] Changlong Zheng, Haijun Zhang, Yi Ru. Effects of magnetized 2-octanol on low-rank coal flotation[J]. Taylor & Francis, 2017, 39(12).
- [37] 刘佳. 磁处理技术对氧化煤浮选效果的影响研究 [J]. 选煤技术, 2017(1): 14-16.
- LIU J. The technique of magnetic processing of pulp and its effect on oxidized coal flotation performance[J]. Coal Preparation Technology, 2017(1): 14-16.
- [38] 宋志伟, 陈玉平, 张鸿波. 我国煤炭脱硫技术现状及展望 [J]. 国外金属矿选矿, 2000(1): 6-8.
- SONG Z W, CHEN Y P, ZHANG H B. Present situation and Prospect of coal desulfurization technology in China[J]. Metallic Ore Dressing Abroad, 2000(1): 6-8.
- [39] 边炳鑫, 陈清如, 韦鲁滨. 浮选矿浆的磁化处理效应和机理研究 [J]. 煤炭学报, 2004 (1): 97-100.
- BIAN B X, CHEN Q R, WEI L B. Study on flotation pulp's magnetization effect and mechanism[J]. Journal of China Coal Society, 2004, (1): 97-100.

Mechanism of Magnetization Effect on Flotation and Its Application in Flotation

Li Fengjiu, Kong Yaran, Jia Qingmei, Li Guofeng

(College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: The development process of magnetization treatment is briefly described. The influence law and mechanism of magnetization treatment on flotation water system properties are described. The research results of magnetization treatment applied in flotation of metal ore, non-metallic ore and coal are listed. It is found that the application of magnetization treatment in flotation has the advantages of simplifying process flow, optimizing separation index and reducing reagent consumption. The mechanism of magnetization effect on flotation is not clear, and the factors, influencing rules, equipment and technology of magnetization treatment affecting flotation need to be further studied. Combining theoretical analysis, computer simulation, experiment and advanced detection methods, the mechanism, influencing factors, influencing rules, process and equipment of magnetization treatment applied to flotation are the development trend in the future.

Keywords: Magnetization treatment; Flotation; influence mechanism; Application status; Development trend