

磁化对浮选药剂及浮选过程的影响

邱廷省^{1,2}, 崔立凤¹, 方夕辉¹

(1. 江西理工大学 资源与环境工程学院, 赣州 341000;

2. 北京科技大学 冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘要: 通过磁场对水及药剂溶液的磁化处理, 使得水及药剂溶液的光学、电学及其它性质发生变化, 研究磁化处理对药剂和矿物作用的影响, 以及对浮选过程的影响。测试分析结果表明: 水系磁化处理能够引起水及药剂溶液体系的吸光度、pH 值、溶氧量和电导率等性质的变化; 水和黄药溶液经磁处理后, 黄药的吸光度增加, 有利于化学反应的发生; 同时磁化处理增加了水和药剂溶液体系中的溶氧量, 促进黄药的氧化分解, 使电解质和自由移动的离子数目增多, 迁移率加大, 溶液的 pH 值和电导率升高等。而矿物浮选试验结果表明: 水系磁化处理对纯黄铜矿的浮选过程影响显著, 磁化水时随着磁场强度从 0 增加到 300 mT 时, 黄铜矿的回收率从 86.74% 提高到 90.19%, 而磁化丁基黄药时, 黄铜矿的回收率从 86.90% 提高到 90.44%。

关键词: 磁化; 黄药; 电导率; 吸光度; 浮选

中图分类号: TD 923

文献标识码: A

Effect of magnetization on flotation reagents and process

QIU Ting-sheng^{1,2}, CUI Li-feng¹, FANG Xi-hui¹

(1. Resources and Environment Engineering Institute, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Through studying the magnetization influence of water and reagents solutions, such as optics, electrics and other properties, the reaction of minerals with reagents and flotation process are influenced. The results show that the magnetized water and reagents solutions has a significant change in the nature, including absorbance, pH value, dissolved oxygen and conductivity. Once reagents are treated with magnetization, the absorbance will increase. It is helpful to chemical reaction. The dissolved oxygen increases after magnetization, so that mostly xanthate may be resolved into dixanthogen and electrolyte. There are more free movement ions, and their mobility increase. And pH value and conductivity increase. The flotation tests show that magnetized water have greatly influence on flotation process with chalcopyrite. When the magnetic field intensity increases from 0 to 300 mT, the recovery rate of chalcopyrite reaches 90.19% from 86.74% with magnetized mater, and when reagents is magnetized, the recovery rate of chalcopyrite reaches 90.44% from 86.90%.

Key words: magnetization; xanthate; conductivity; absorbance; flotation

磁处理是指利用磁场对非铁磁性流体作用, 使被使用物的性质产生某些所期望的变化, 从而改善生产

效益和使用效益的一种技术, 通常称之为磁处理技术, 也有人称为磁化技术或强磁技术^[1]。将磁处理技术应

用于浮选称之为磁化浮选。磁化浮选的方式主要有如下3种: 磁化浮选用水、药剂和矿浆溶液。

以前的选矿科研人员主要注重的是浮选的新药剂、新工艺和新设备的研究, 很少有人考虑浮选的用水和药剂溶液性质的变化对浮选的影响。近年来, 随着科学技术的蓬勃发展, 磁处理技术的应用研究得到逐步拓宽, 特别是在水处理方面取得很好的应用。如何将磁化效应和选矿技术结合起来提高选矿效果, 已逐渐引起了人们的兴趣。

浮选是在液、固和气三相体系中进行的。三相中任何一相性质的改变都将对浮选过程产生影响, 从而影响浮选效果。已有的研究表明^[2-4]: 水经过磁化处理后, 其润湿能力、表面张力、介电常数和溶解能力等一系列性质发生改变, 而矿物表面的润湿性、荷电性、对药剂的吸附能力、药剂和矿物的溶解度、粒子的分散和凝聚性与水的上述性质密切相关, 因此, 磁化处理对浮选过程也会产生影响。也有研究^[5-6]认为: 水经磁场作用后, 因水和空气中及水中溶解的 CO_2 等杂质而引起了化学反应动力学的变化, 还有可能引起水的结构发生变化。关于磁化矿浆和药剂, 边炳鑫等^[7-8]通过研究, 提出了磁化处理能引起浮选矿浆含氧量、pH 值、表面 Zeta 电位和润湿热的变化, 磁化处理浮选矿浆提高了煤的可浮性, 加大了煤与煤矸石、黄铁矿之间润湿性的差异, 有利于强化煤泥浮选脱硫降灰的效果。磁化处理起泡剂、捕收剂对煤和煤矸石的可浮性均有影响, 对煤的影响较煤矸石显著。同时, 还有不少学者也开展了对磁处理作用机理的深入研究, 研究的重点开始向有效利用磁场能量, 注重对磁场强化机理的研究方向发展。磁处理技术具有无毒、无污染的特点, 应用方便、投资少且容易屏蔽。由此可以预言, 对磁处理条件下浮选的深入研究将为简化浮选药剂配方、降低药剂用量, 提高复杂硫化矿浮选过程和分离过程的选择性提供新的有效方法, 并将逐步成为 21 世纪硫化矿浮选技术的竞争目标。但在现实中也有许多不理想的事实, 出现这种情况主要有如下几个原因。

1) 磁处理浮选机理的研究。在目前科研的基础上对磁处理运用于选矿工艺的不同效果, 还没有形成一套完整的、统一的、普遍适用的理论。缺乏理论基础, 将会影响这一技术在实际生产中应用和有效发展。

2) 磁处理浮选的影响因素及影响规律。磁处理技术应用于选矿的影响因素主要有磁场强度、磁场梯度、磁化时间、驰豫时间、介质流速、水中杂质、磁场化方式及磁场位型等。现在对这些因素的研究还没有找到它们真正的影响浮选和浸出的规律。这将不利于本

文作者选择合适的磁处理条件, 并将其应用于磁处理浮选中。

3) 磁处理浮选的工艺研究。由于磁处理浮选在现场推广和应用的情况很少, 这就使其工艺研究更加困难。

4) 磁化设备研究。磁化设备若缺乏可调磁化参数、性能不稳定、安装操作不方便等特点, 将会给磁处理技术在现场的应用带来很大的干扰。

因此, 探索磁处理的作用以及机理作用规律, 研究磁处理工艺与磁处理设备是所有选矿科研人员面临的日益紧迫的课题。本文作者在前人研究的基础上, 从磁化预处理对浮选药剂吸附量、电导率、pH 值、溶氧量等性质的影响。建立药剂性质变化与磁处理技术之间关系, 探寻磁化预处理浮选药剂后对药剂性质的改变及其作用机理。

1 实验

1.1 试样、药剂及仪器

试验研究所需药剂有丁基黄药、乙基黄药、乙醇和盐酸等, 试验用水均为去离子水。除丁基黄药和乙基黄药是工业纯以外, 其余药剂均为分析纯。试验所用黄铜矿矿样取自江西九江某厂的铜精矿, 经提纯除杂放入真空干燥器中干燥后, 干式筛分, 将粒径小于 0.1 mm 粉末存储在广口瓶中作为浮选试验用样。经化学分析, 化学计量式为 CuFeS_2 的黄铜矿矿样纯度为 90.96%。

浮选药剂溶液体系磁化设备采用自行设计的磁化装置及 Nd-Fe-B 磁铁, 其装置系统如图 1 所示。试验所用的主要分析、测试仪器有 UV-2100 型紫外可见分光光度计、DDS-11A 型数显电导率仪、pHS-3C 型 pH 计、SG-3-A 型数字特斯拉计、KQ-100DV 型数控超声波清洗器等。

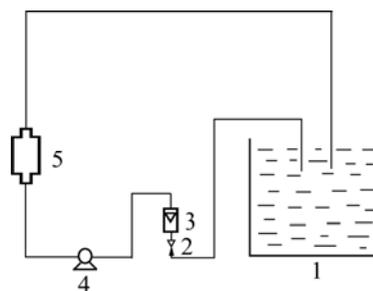


图 1 磁处理装置系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of magnetization equipment system: 1—Flume; 2—Saving flux valve; 3—Flux meter; 4—Pump; 5—Magnetization equipment

1.2 研究方法

1) 黄药溶液吸光度测试

根据试验要求对丁基黄药与乙基黄药溶液进行相应的磁化处理后,在 WFZUV-2100 型紫外可见分光光度计上进行吸光度测试试验,该光度计的波长范围为 200~1 000 nm,选择在分析波长 301 nm 下对黄药进行吸光度测试。

2) 电导率及 pH 值测试

使用 DDS-11A 型数显电导率仪和 pHS-3C 型酸度计,测定水、矿浆和药剂溶液在不同磁处理条件下的电导率和 pH 值的变化。

3) 纯矿物浮选试验

每次矿样质量为 5 g,加水 15 mL,用 KQ-100DV 型超声波清洗器清洗表面 10 min 后澄清,倒去上面悬浮液,根据实验要求对实验用水和黄药溶液进行相应的磁化预处理,再用水将矿样冲入 50 mL 挂槽式浮选机中,然后加入相应药剂调节矿浆。磁化时间 10 min,每次试验丁基黄药用量均为 58.03 $\mu\text{mol/L}$ 。浮选时间为 4 min,单矿物浮选判据如下:回收率 $R = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100\%$,式中 m_1 和 m_2 分别为泡沫产品和槽内产品质量。

2 结果与分析

2.1 磁化处理对浮选药剂吸光度的影响

2.1.1 磁化处理对不同浓度药剂吸光度的影响

在室温 28 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,将磁化和未磁化不同浓度的黄药分两组,磁处理组分药剂静置在 200 mT 的磁场中磁化 6 min,对照组不经磁场处理丁基黄药的测定结果如图 2 所示。乙基黄药的测定结果如图 3 所示。

由图 2 和 3 可知,磁化处理的丁基黄药和乙基黄药的吸光度均比未磁化药剂的吸光度有所提高。吸光度是用来衡量光被吸收程度的一个物理量,影响它的因素主要有溶剂、浓度和温度等。在实验过程中,溶液的浓度和温度恒定不变,也就是说磁处理技术使溶液中的溶剂发生了变化。对药剂溶液来说,黄药是黄原酸钠盐或钾盐,在水中的溶解度较大,且发生电离。黄原酸盐是弱酸盐,在水中易水解生成部分黄原酸,黄原酸在酸性介质中容易分解。黄药在水中电离、水解和分解的反应,可用下面的反应式表示^[9]:

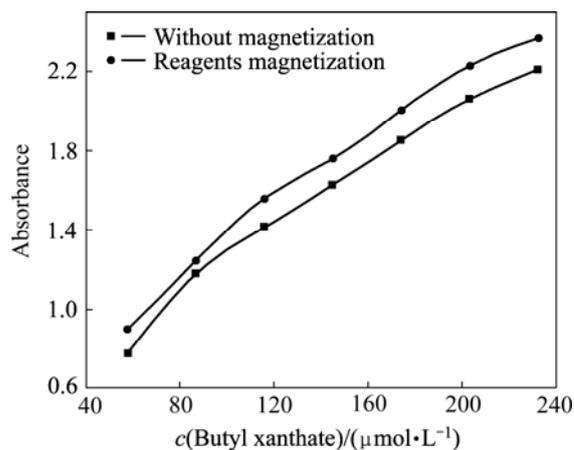


图 2 磁化对丁基黄药吸光度的影响

Fig.2 Effect of magnetization on absorbance of butyl xanthate

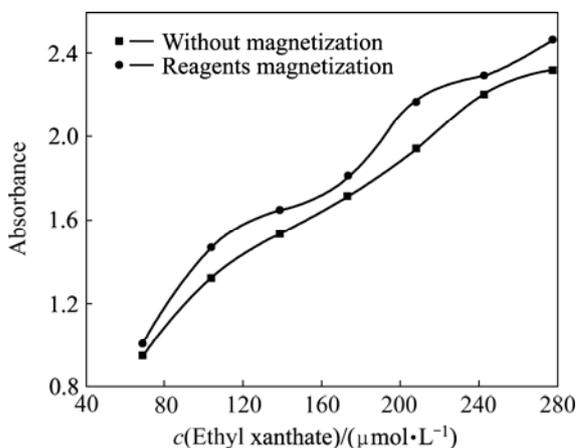
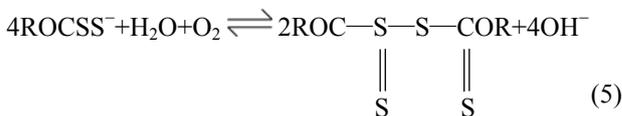


图 3 磁化对乙基黄药吸光度的影响

Fig.3 Effect of magnetization on absorbance of ethyl xanthate



当溶液中溶解氧达到一定量时,黄药会被氧化成双黄药:



本文作者在进行水及黄药溶液体系的磁处理作用机理研究时发现,磁处理能够增加水及黄药溶液体系中的溶解氧量,结合上述反应式可知,溶解氧的增加就促进了双黄药的生成。文献[5]的研究表明,深井水及其蒸馏水中往往含有 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 等离子,空气中又有 CO_2 存在,当井水及其蒸馏水在空气中经过磁处理时,下述化学反应发生动力学变化。



在某种磁处理条件下反应向左移动, 放出 CO_2 。同时见百熙^[10]曾研究过在水溶液中氧及二氧化碳或两者的混合物对黄药的分解动力学有影响, 特别是在有铁离子的溶液中, 通入 O_2 和 CO_2 能够加速黄药氧化成双黄药。由此可见, 溶液体系经过磁处理, O_2 及 CO_2 的含量增加, 有利于黄药的氧化, 很有可能分解为双黄药, 且随着氧化程度的加深, 溶液的 pH 值也有增加的。双黄药是非离子型的捕收剂, 基本上是不溶于水的油状液体, 所以丁基黄药和乙基黄药经磁处理后吸光度会有增加的趋势。双黄药和黄药相似^[11], 多作为硫化矿的捕收剂, 用来浮选方铅矿时, 捕收性能与黄药相似, 但铜铅分离时, 用双黄药作捕收剂的选择性比用黄药好, 特别是用双黄药浮选黄铜矿时, 选择性比黄药好, 因为它对黄铁矿的捕收性能较弱。由此看来, 黄药的磁化将有利于硫化矿的浮选。

2.1.2 磁场强度对浮选药剂吸光度的影响

在室温 28 °C 条件下, 分别取 6 组浓度为 116.077 $\mu\text{mol/L}$ 的丁基黄药和浓度为 138.696 $\mu\text{mol/L}$ 的乙基黄药, 静置于不同的磁场强度中, 磁化 6 min。测得丁基黄药和乙基黄药的吸光度随磁场强度的增加而变化的曲线如图 4 所示。

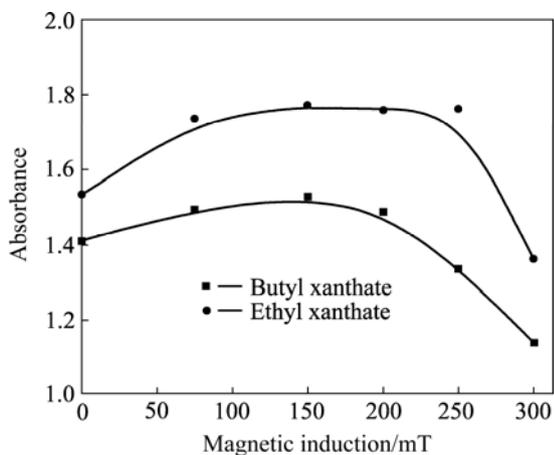


图 4 磁场强度对黄药吸光度的影响

Fig.4 Effect of magnetic induction on absorbance of xanthate

由图 4 可知, 随着磁场强度的增加, 丁基黄药和乙基黄药的吸光度开始均随其增加, 当磁场强度增加到 150~200 mT 的时候, 药剂的吸光度最大, 而后呈下降趋势。主要原因是随着磁场强度的增加, 溶液中不断的增加溶解氧, 促进了黄药的氧化分解, 生成双黄药, 致使吸光度增加; 而当磁感应强度增加到一定值时, 双黄药在溶液中的含量也达到一定值时, 式(5)的氧化反应向左边进行, 生成黄原酸根离子, 将有利于黄药的生成, 故吸光度降低。

2.1.3 磁化时间对浮选药剂吸光度的影响

在室温 28 °C 条件下, 分别取 6 组浓度为 116.077 $\mu\text{mol/L}$ 的丁基黄药和浓度为 138.696 $\mu\text{mol/L}$ 的乙基黄药, 静置于 200 mT 的磁场强度中, 考察磁化时间对药剂吸光度的影响。测得丁基黄药和乙基黄药的吸光度随磁化时间增加而变化的曲线如图 5 所示。

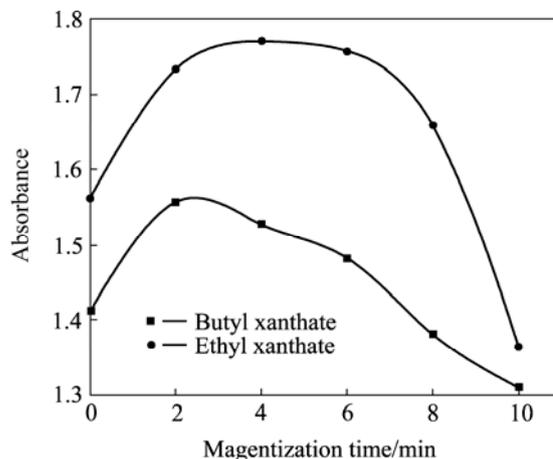


图 5 磁化时间对黄药吸光度的影响

Fig.5 Effect of magnetization time on absorbance of xanthate

从图 5 可知, 丁基黄药和乙基黄药最初吸光度都增加得很快, 随后缓慢变化, 最后直接呈下降趋势。这表明药剂的磁化效果与磁化时间有关, 且药剂磁化时间较短时将更有利于矿物的浮选。说明随着磁化时间的增加, 磁化效应也加大, 但随磁化时间达到一定时间后, 变化趋于平衡而后又有下降的趋势。主要原因是磁处理过程破坏了黄药溶液中原有的平衡, 超过一定时间后达到新的平衡点; 随着磁化时间的延长, 新的平衡又要向另一种平衡转换。显然这是一个动力学问题。在试验过程中, 黄药溶液经一定时间磁处理后, 黄药基本上被氧化为双黄药, 达到一个新的双黄药溶液体系的平衡点, 体系中的组成物质已发生改变, 故而影响黄药溶液的吸光度。

综合上述试验结果可以提出磁场显著地影响了黄药体系的吸光度。

2.2 磁化处理对水及药剂溶液电导率及 pH 值的影响

2.2.1 磁场强度对水和药剂溶液电导率及 pH 值的影响

将去离子水、丁基黄药和乙基黄药各分两组, 乙基黄药的浓度为 69.348 $\mu\text{mol/L}$, 丁基黄药的浓度为 58.038 $\mu\text{mol/L}$ 。一组是磁处理组分分别静置在 75、150、200、250 和 300 mT 的场强中磁化 6 min; 另一组是对照组不经磁场处理。电导率的测定结果如图 6 所示。pH 值的测定结果如图 7 所示。

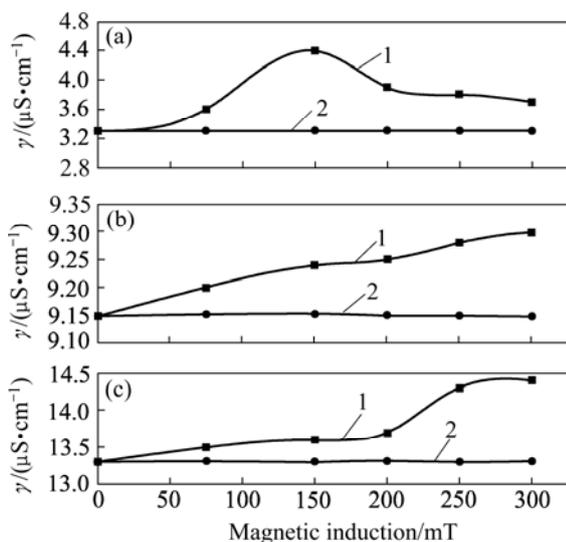


图6 磁场强度对浮选药剂溶液电导率的影响

Fig.6 Effect of magnetic induction on conductivity of flotation reagents (1—Solution treated by magnetic; 2—Solution untreated by magnetic): (a) Deionized water; (b) Ethyl xanthate; (C) Butyl xanthate

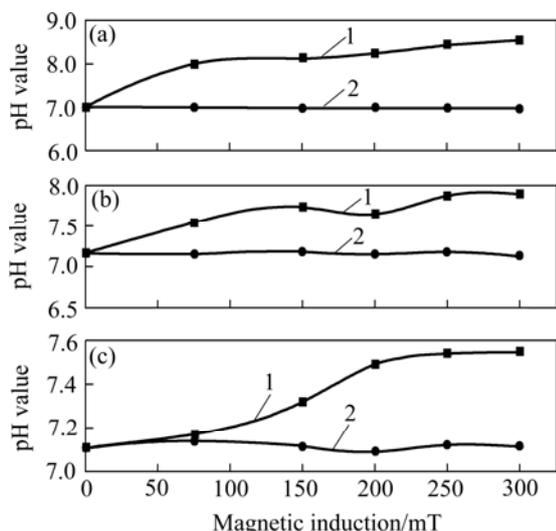


图7 磁场强度对浮选药剂溶液 pH 值的影响

Fig.7 Effect of magnetic induction on pH value of flotation reagents (1—Solution treated by magnetic; 2—Solution untreated by magnetic): (a) Deionized water; (b) Ethyl xanthate; (C) Butyl xanthate

由图6可知,随着磁场强度的增加,去离子水、乙基黄药和丁基黄药溶液的电导率均随之增加而后趋于平衡;去离子水的电导率呈现先增后减的趋势。溶液导电是因为自由移动的离子,离子浓度越高,所带电荷越多,导电性也就越强。磁化处理促进了黄原酸钠和黄原酸的电离,使溶液中自由离子的数目增加,

粒子的热运动加剧,故黄药的电导率上升,当溶液中含氧量达到一定程度时,黄药被化成双黄药,反应趋于平衡,溶液中的离子数目达到平衡,故溶液的电导率逐渐趋于稳定。去离子水的磁化也促进了水的电离,改变了溶液中的自由离子数目,从而导致水的电导率发生变化,朱元保等^[12]的研究认为,其他可能的原因是由于磁作用减小了离子间的引力,离子的活动能力增大,因而影响了体系的导电性。另外,文献[5]已表明,溶液体系经磁化处理后,能够改变其中 CO_2 的含量,从而改变了水溶液中的离子浓度,这也是影响电导率的又一原因。

由图7可知,随着磁场强度的增加,去离子水、丁基黄药和乙基黄药的pH值均有增加的趋势。主要原因是磁场促进了黄原酸钠的电离和黄原酸根的水解,致使pH值升高。黄药的氧化也会促进pH值的升高。关于磁化水的研究,李言涛和薛永金^[13-14]曾报道经磁化的自来水和蒸馏水的pH值均升高。庞小峰和邓波^[15]的研究也表明,水经磁化后,能产生明显的物理化学变化,水的电导率提高2%,pH值提高0.4~1.0,表面张力下降1%。其主要原因是根据Burto和Daly离子溶剂化的氢键理论模型,离子的溶剂化主要是由离子和极性溶剂分子间的氢键作用。当正负离子做相反方向旋转时,会将连接在它们之间的氢键扭断,使水的结构发生变化,从而改变了水的物化性质。

2.2.2 磁化时间对水及药剂溶液电导率及pH值的影响

将去离子水、丁基黄药和乙基黄药静置在200 mT的磁场中,考察磁化时间对水及药剂溶液的导电率、pH值及电位的影响。乙基黄药的浓度为 $69.348 \mu\text{mol/L}$,丁基黄药的浓度为 $58.038 \mu\text{mol/L}$ 。试验结果如图8和9所示。

由图8可知,随着磁化时间的增加,去离子水的电导率呈单调递增的趋势,丁基黄药和乙基黄药的电导率是先增后减的趋势。由图9可知,随着磁化时间的增加,去离子水的pH值呈单调递增的趋势,丁基黄药和乙基黄药的pH值先增后减的。说明磁化使黄药分解,但随着磁化时间的进一步加长,黄药基本上被氧化成双黄药,故最后电导率下降,pH值也趋于稳定。

2.3 水和药剂溶液磁化对矿物浮选过程的影响

为了验证磁化对浮选的影响,采用去离子水进行黄铜矿纯矿物的浮选实验,考察了水和药剂溶液磁化对硫化矿物浮选过程影响情况,试验结果如图10所示。

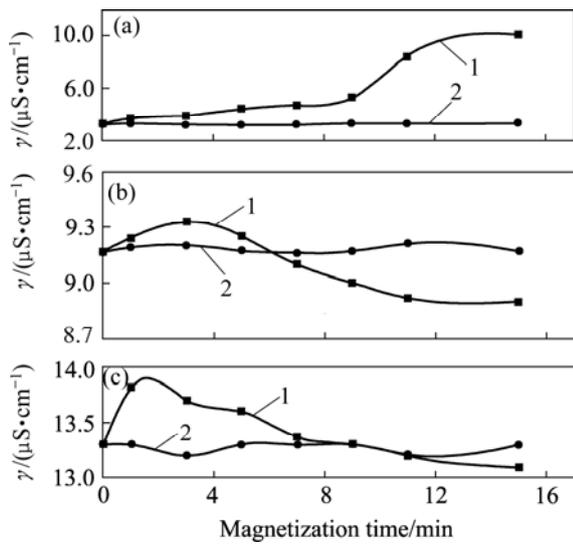


图 8 磁化时间对浮选药剂溶液电导率的影响
Fig.8 Effect of magnetization time on conductivity of flotation reagents (1—Solution treated by magnetic; 2—Solution untreated by magnetic): (a) Deionized water; (b) Ethyl xanthate; (C) Butyl xanthate

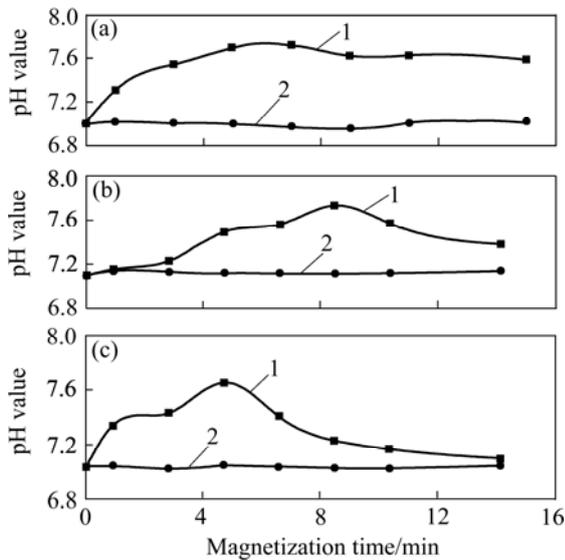


图 9 磁化时间对溶液 pH 值的影响
Fig.9 Effect of magnetization time on pH value of flotation reagents (1—Solution treated by magnetic; 2—Solution untreated by magnetic): (a) Deionized water; (b) Ethyl xanthate; (C) Butyl xanthate

由图 10 可见,用不同磁场强度处理的水和丁基黄药溶液对黄铜矿的影响不一样,且随着磁场强度的增加,在其余条件相同的情况下,磁化水时黄铜矿的回收率从未磁化时的 86.74%提升到 90.19%,而磁化丁基黄药时黄铜矿的回收率从未磁化的 86.90%提升到

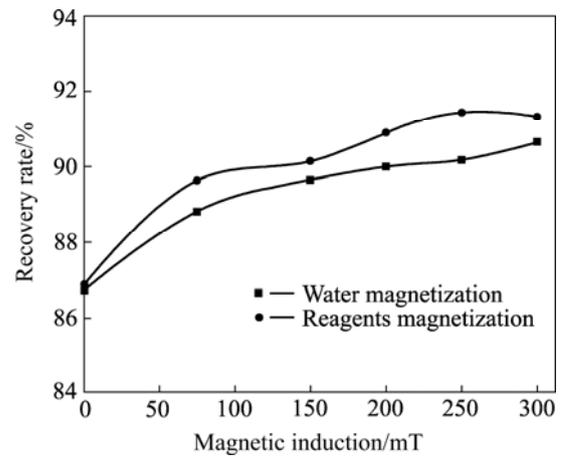


图 10 水和药剂溶液磁化对浮选过程的影响
Fig.10 Effect of magnetic induction with water and reagents on flotation process

90.44%。这些数据有力地证明磁化水和药剂有利于黄铜矿的上浮。

3 结论

- 1) 磁化处理能引起水和药剂溶液吸光度、电导率、pH 值的变化,磁化时间和磁场强度会对药剂溶液的性质产生影响。
- 2) 水和药剂溶液体系经磁化处理后,溶液中的溶氧量,促进黄药氧化分解,最终导致溶液的 pH 值和电导率升高。
- 3) 经不同磁场强度处理的水和丁基黄药溶液对黄铜矿上浮量的影响也不一样,且随着磁场强度的增加,在其余条件相同的情况下,磁化水时黄铜矿的回收率从未磁化时的 86.74%提升到 90.19%,而磁化丁基黄药时黄铜矿的回收率从未磁化的 86.90%提升到 90.44%。

REFERENCES

[1] 张 军, 李书光, 胡松青. 磁处理技术的应用与研究进展[J]. 青岛大学学报, 2002, 15(14): 71-74.
 ZHANG Jun, LI Shu-guang, HU Song-qing. Advanced research and application of magnetic treatment technology[J]. Journal of Qingdao University, 2002, 15(14): 71-74.

[2] 王信良, 徐国勇, 王岳兴, 周 钢, 凌锦良. 磁处理水引起水部分理化性质的变化[J]. 生物化学与生物物理进展, 1991, 18(3): 237-239.
 WANG Xin-liang, XU Guo-yong, WANG Yue-xing, ZHOU

- Gang, LING Jin-liang. Magnetic field can cause water physicochemical properties change[J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1991, 18(3): 237-239.
- [3] 张树三, 胡建华. 磁化水的表面张力[J]. 中国医学物理杂志, 1999, 16(3): 189-192.
ZHANG Shu-san, HU Jian-huan. Magnetized water's surface tension[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 1999, 16(3): 189-192.
- [4] Классен В И. 水系统的磁处理[M]. 王 鲁, 译. 北京: 宇航出版社, 1988: 35-42.
Классен В И. Magnetic treatment of water systems[M]. WANG Lu, transl. Beijing: Astronautics Press, 1988: 35-42.
- [5] 谢文惠, 黄玉惠. 磁场处理水溶液中的化学反应(I) [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 1987(6): 34-39.
XIE Wen-hui, HUANG Yu-hui. The chemical reaction in process of magnetizing aqueous solution (I) [J]. Acta Scientiarum Naturalium of Universitatis Pekinensis, 1987(6): 34-39.
- [6] 程 华. 磁化影响化学反应[J]. 化学通报, 1989(5): 35-38.
CHEN Hua. Magnetization on the effects of chemical reaction[J]. Chemistry Online, 1989(5): 35-38.
- [7] 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, 29(1): 97-100.
BIAN Bing-xin, CHEN Qing-ru, WEI Lu-bin. Study on flotation pulp's magnetization effect and mechanism[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(1): 97-100.
- [8] 边炳鑫, 陈清如, 韦鲁滨. 药剂磁化处理对煤泥浮选效果影响的研究[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(3): 343-346.
BIAN Bing-xin, CHEN Qing-ru, WEI Lu-bin. Research on coal slime flotation using magnetized agents[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(3): 343-346.
- [9] 朱玉霜. 浮选药剂的化学原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996: 13-17.
ZHU Yu-shuang. Chemistry principles of flotation reagents[M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996: 13-17.
- [10] 见百熙. 浮选药剂[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981: 17-21.
JIAN Bai-xi. Flotation reagents[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1981: 17-21.
- [11] 牛永红. 高梯度磁处理工业水技术实验研究[D]. 内蒙古: 内蒙古科技大学, 2006: 58-62.
NIU Yong-hong. Experimental study on the technology of high-gradient magnetic treatment industrial water[D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2006: 58-62.
- [12] 朱元保, 颜流水, 曹祉祥, 文陵飞, 陈宗璋. 磁化水的物理化学性能[J]. 湖南大学学报, 1999, 26(1): 21-25.
ZHU Yuan-bao, YAN Liu-shui, CAO Zhi-xiang, WEN Ling-fei, CHEN Zong-zhang. Physical and chemical properties of magnetized water[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences Edition, 1999, 26(1): 21-25.
- [13] 李言涛, 薛永金. 水系统的磁化处理技术及其应用[J]. 工业水处理, 2007, 27(11): 11-15.
LI Yan-tao, XUE Yong-jin. Magnetic treatment and its applications to water systems[J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(11): 11-15.
- [14] 王 鹏, 张尢玲, 张玉刚. 水的磁处理技术研究进展与应用[J]. 山西化工, 2006, 26(5): 50-52.
WANG Peng, ZHANG Ga-lin, ZHANG Yu-gang. Research progress and application of magnetic treatment technique of waste water[J]. Shanxi Chemical Industry, 2006, 26(5): 50-52.
- [15] 庞小峰, 邓 波. 在磁场作用下水的特性的变化和它的变化机理[J]. 原子与分子物理学报, 2007, 24(2): 281-290.
PANG Xiao-feng, DENG Bo. Changes of features of water under action of magnetic-field and its mechanism of change[J]. Journal of Atomic and Molecular Physics, 2007, 24(2): 281-290.

(编辑 李艳红)