

水玻璃对菱锌矿与石英浮选分离的影响

张国范, 崔萌萌, 朱阳戈, 石 晴, 罗 娜

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 通过单矿物浮选试验、 ζ 电位、吸附量测定及扫描电镜研究水玻璃对 Ca^{2+} 存在体系下菱锌矿与石英浮选分离的机理。结果表明: pH 为 9.5~11 时, Ca^{2+} 可以显著活化石英的浮选, 并使水玻璃对菱锌矿的抑制作用增强, 严重影响二者的分离; 改变添加剂添加顺序, 在矿浆中优先加入水玻璃, 可以有效防止 Ca^{2+} 在矿物表面的吸附, 使捕收剂在矿物表面的吸附量差异增大, 从而消除 Ca^{2+} 对菱锌矿与石英浮选分离的影响。

关键词: 菱锌矿; 石英; 水玻璃; 浮选; Ca^{2+}

中图分类号: TD91

文献标志码: A

Effect of water glass on flotation separation of smithsonite and quartz

ZHANG Guo-fan, CUI Meng-meng, ZHU Yang-ge, SHI Qing, LUO Na

(School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The mechanism of flotation separation of water glass on smithsonite and quartz in presence of Ca^{2+} was investigated through flotation tests, Zeta potential measurements, adsorption measurements and SEM-EDAX. The results show that Ca^{2+} can remarkably activate the flotation performance of quartz in pH range of 9.5–11. Meanwhile, the inhibition of water glass on smithsonite is strengthened, which can seriously affect the separation of smithsonite and quartz. When the adding order of reagents is changed by setting water glass preferentially into the ore pulp, the adsorption of Ca^{2+} on the minerals surface can be hindered effectively, which increase the variance of adsorption capacity of sodium oleate on the minerals surface. Then, the effect of calcium ion on flotation of smithsonite and quartz can be eliminated.

Key words: smithsonite; quartz; water glass; flotation; Ca^{2+}

菱锌矿(ZnCO_3)是具有工业价值的主要氧化锌矿物之一。目前采用选矿方法主要为硫化浮选法, 大量研究表明, 硫化浮选法是氧化锌矿石浮选的有效方法^[1], 但是由于硫化法对矿泥和可溶性盐比较敏感, 需要预先脱泥, 过量硫化钠也会对矿物浮选造成影响, 且该方法不适用于处理存在硅酸盐和氧化铁类的矿石, 使得氧化锌矿高效浮选成为选矿领域的热门课题^[2-5]。因此, 采用另一种方法——脂肪酸法浮选菱锌矿同样具有重要的研究意义^[6]。脂肪酸类捕收剂可直接浮选

氧化锌, 也可用于反浮选^[7]除去碳酸盐、硫酸盐及铁质脉石。常见的脂肪酸捕收剂(油酸钠)的化学活性高、捕收能力强, 被广泛用于氧化矿的浮选。

石英是氧化锌矿中常见的脉石矿物。采用脂肪酸浮选纯净的石英时, 可浮性一般较差。但在一定的矿浆环境中, 石英容易受到金属离子的活化, 影响其与菱锌矿的浮选分离^[8-9]。在氧化锌矿石中, Ca^{2+} 是浮选矿浆中一种常见的溶解离子^[10-11], 它不仅能活化石英等硅酸盐矿物, 还可与脂肪酸捕收剂(油酸钠)发生反

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174229); 教育部博士点基金资助项目(20090162110053); 湖南省研究生科研创新基金资助项目(CX2011B121)

收稿日期: 2011-11-20; **修订日期:** 2012-02-28

通信作者: 张国范, 副教授, 博士; 电话: 0731-88830913; E-mail: zhangguofan2002@163.com

应,使石英可浮性显著增大,从而使得氧化锌矿与石英难以分离。石云良等^[12]研究发现,当矿浆中加入油酸钠的浓度是氯化钙浓度的两倍时,石英的浮选性最好,且认为 $\text{Ca}(\text{OOCR})_2$ 是使石英疏水的产物,且随着 $\text{Ca}(\text{OOCR})_2$ 量的增加,石英回收率也增加。陈荃等^[13]研究了金属离子对石英的活化规律,发现 Ca^{2+} 的离子电位较低,经多次洗涤后容易从石英表面解吸。王淀佐和胡岳华^[14]通过各种测试和计算结果表明,金属氢氧化物沉淀是金属离子在石英表面吸附的活性组分。张国范等^[15]在碳酸钠调浆体系下,通过溶液化学计算验证此体系中石英被活化是因为 CaCO_3 在石英表面沉积。可见, Ca^{2+} 对菱锌矿与石英的浮选分离具有显著的影响。

关于氧化锌矿中石英等硅酸盐脉石矿物的去除,有学者已用水玻璃等抑制剂对其抑制效果进行过研究。水玻璃可有效分散矿浆,又是石英等硅酸盐矿物的有效抑制剂。但由于它与矿物的浮选作用性质较为复杂,至今尚未完全清楚。关于水玻璃与矿物表面的作用机理,各国学者^[16-20]曾进行过很多研究,认为水玻璃溶液中起有效作用的是 HSiO_3^- 或胶体分散的硅酸。也有人认为 SiO_3^{2-} 或 HSiO_3^- 可在矿物表面与 Ca^{2+} 发生化学反应,生成硅酸钙沉淀,从而起到抑制作用^[21]。而在氧化锌矿的浮选过程中,发现水玻璃在强烈抑制石英的同时也会增强对菱锌矿的抑制,不仅降低了氧化锌矿的回收率,且浮选精矿中石英含量仍然较高,因此无法实现二者的分离。本文作者在考察 Ca^{2+} 对菱锌矿与石英可浮性影响的基础上,采用在矿浆中优先加入水玻璃来研究二者的浮选分离,并探讨水玻璃对 Ca^{2+} 活化矿物影响的消除机制,为实现高品位氧化锌矿的富集提供基础。

1 实验

1.1 原料与试剂

菱锌矿取自某氧化锌矿,块矿经手选后用瓷球磨细并筛分至粒径小于 $74\text{ }\mu\text{m}$,矿粒的比表面积为 $0.094\text{ }\text{m}^2/\text{g}$;石英取自长沙粉石场,样品经陶瓷磨机磨细并筛分至 $38\sim74\text{ }\mu\text{m}$,比表面积为 $0.023\text{ }\text{m}^2/\text{g}$,经盐酸浸泡后拿蒸馏水反复清洗至无 Cl^- 检出,烘干储于磨口瓶中备用。经分析,其纯度均在 95% 以上。表 1 所列为菱锌矿纯矿物样的化学多元素分析结果。

实验所用无水氯化钙为分析纯;油酸钠为化学纯;矿浆 pH 调整剂为盐酸和碳酸钠,均为分析纯;水玻璃为工业品,模数为 2.4;实验用水为一次蒸馏水。

表 1 菱锌矿纯矿物化学多元素分析结果

Table 1 Multi-element chemical analysis result of monomineral of smithsonite (mass fraction, %)

Zn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
50.65	0.12	0.89	0.015	0.1

1.2 浮选试验

浮选试验在容积为 40 mL 的 XFG 型挂槽浮选机上进行,浮选温度为 25 ℃。油酸钠作为捕收剂,氯化钙作为钙离子的来源。每次试验称取 2.0 g 矿样置于浮选槽内,加入适量蒸馏水。浮选试验采用两种不同浮选流程,流程 1 为先添加 Ca^{2+} 再添加水玻璃(见图 1),流程 2 为优先添加水玻璃再添加 Ca^{2+} (见图 2),将刮出的泡沫(精矿)干燥、称量、计算回收率。

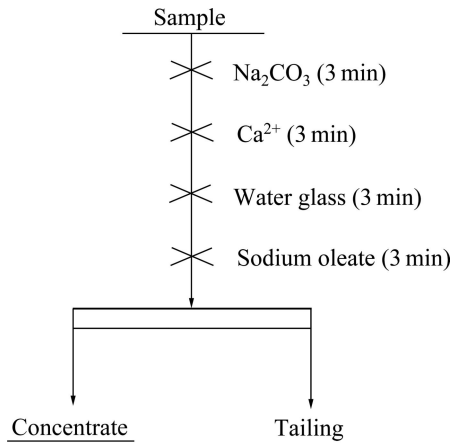


图 1 先加 Ca^{2+} 后加水玻璃的流程 1
Fig. 1 Flowsheet 1 of adding Ca^{2+} first and then water glass

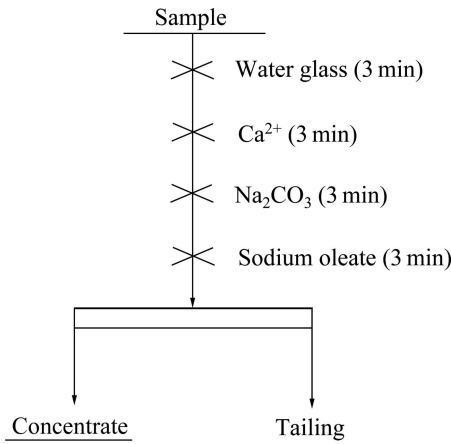


图 2 先加水玻璃后加 Ca^{2+} 的流程 2
Fig. 2 Flowsheet 2 of adding water glass first and then Ca^{2+}

1.3 吸附量测试

采用残余浓度法测定油酸钠在菱锌矿和石英表面

上的吸附量。油酸钠含量采用表面张力法,即根据油酸钠表面张力与浓度的对应关系得到,表面张力采用法国 GBX 公司生产的表面张力测试仪测定。首先按照单矿物浮选的加药顺序,在 30 mL 蒸馏水溶液中加入所需药剂,用测试仪测出不同油酸钠浓度下溶液的表面张力值,绘制油酸钠浓度与其表面张力关系的工作曲线;然后通过工作曲线将待测溶液测得的表面张力值转化为溶液中残余油酸钠的浓度值;最后计算出吸附在菱锌矿和石英表面油酸钠的含量。

待测溶液的制取:取 2.0 g 矿样于烧杯中,加入 40 mL 蒸馏水,在同一台相同转速的 XFG 型挂槽浮选机上进行搅拌,按单矿物浮选的加药顺序加药,调节矿浆 pH 值,将调好的矿浆静置 3 min,抽取其上清液注入离心管中,在 TDZ4 台式自动平衡离心机上离心 5 min,抽取其所得上清液即为所需待测溶液。

1.4 动电位测试

将粒径小于 75 μm 的单矿物用玛瑙研钵研磨至粒径小于 5 μm ,每次用分析天平分别称取 20 mg 矿样粉末放入烧杯中,配成适量浓度的矿浆,加入所需药剂,调节矿浆 pH 值,在磁力搅拌器上搅拌 5 min,超声波中超声搅拌 1 min、静置,然后吸取上层含微细粒悬浮液注入测试电泳管,在 Coulter Delsa 440SX 精密电位测定仪上进行测量。仪器所用频率为 500 Hz,持续时间 70 s,测量温度控制在 $(25.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。

1.5 扫描电镜测试分析

将菱锌矿用 400 目筛子进行湿筛,取筛上产品烘干。每次取 1.0 g 矿样至浮选槽中,加入适量蒸馏水,按浮选所需加药顺序进行搅拌加药,调整 pH 值,将所得产品用相同 pH 的蒸馏水反复过筛冲洗、过滤,在真空干燥箱中烘干,即得所需样品。使用 JSM-6360LV 型扫描电子显微镜测试仪对矿样进行观察分析。

2 结果与讨论

2.1 浮选试验

浮选试验首先考察了 Ca^{2+} 对菱锌矿和石英可浮性的影响,实验结果如图 3 所示。由图 3 可看出, Ca^{2+} 在 pH 为 9.5~11.0 时可以显著活化石英的浮选,在该 pH 范围内,菱锌矿与石英的可浮性相近,严重影响两者的浮选分离。

图 4 所示为 pH 值与菱锌矿和石英可浮性的关系。

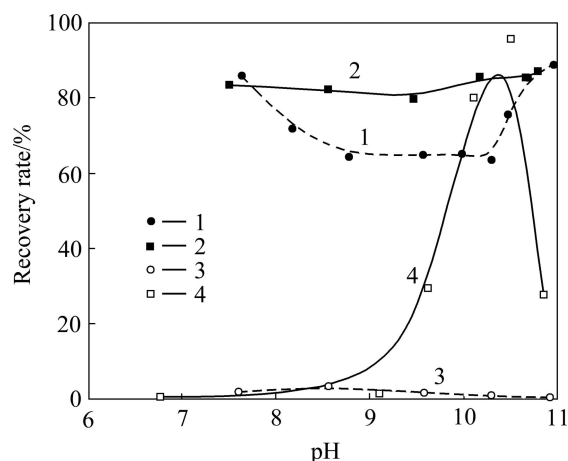


图 3 Ca^{2+} 用量为 4×10^{-3} mol/L 及油酸钠用量为 1.5×10^{-4} mol/L 时 pH 对矿物可浮性的影响

Fig. 3 Effect of pH on floatability of minerals at Ca^{2+} dosage of 4×10^{-3} mol/L and sodium oleate dosage of 1.5×10^{-4} mol/L: 1—Smithsonite; 2—Adding Ca^{2+} , smithsonite; 3—Quartz; 4—Adding Ca^{2+} , quartz

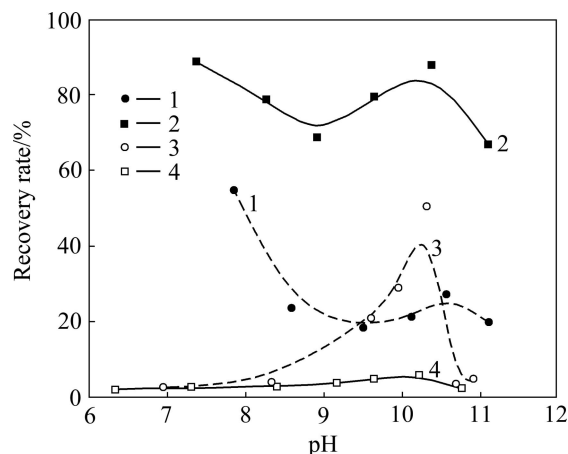


图 4 pH 对矿物可浮性的影响

Fig. 4 Effect of pH on floatability of minerals at Ca^{2+} dosage of 4×10^{-3} mol/L, water glass dosage of 20 mg/L and sodium oleate dosage of 1.5×10^{-4} mol/L: 1—Adding Ca^{2+} and water glass, smithsonite; 2—Adding water glass and Ca^{2+} , smithsonite; 3—Adding Ca^{2+} and water glass, quartz; 4—Adding water glass and Ca^{2+} , quartz

图 5 所示为水玻璃用量对矿物可浮性的影响。两图中虚线所示为按流程 1 所得水玻璃对两种矿物的可浮性影响,实线所示为按流程 2 所得水玻璃对两种矿物的可浮性影响。

由图 4 可知,先加 Ca^{2+} 再加水玻璃时,水玻璃对两种矿物均可产生强烈的抑制作用;而改变加药顺序,优先添加水玻璃,水玻璃对被 Ca^{2+} 活化后的石英仍有很好的抑制效果,但对菱锌矿的抑制减弱。而从图 5 可看出,先加 Ca^{2+} 再加水玻璃时,随着水玻璃用量的

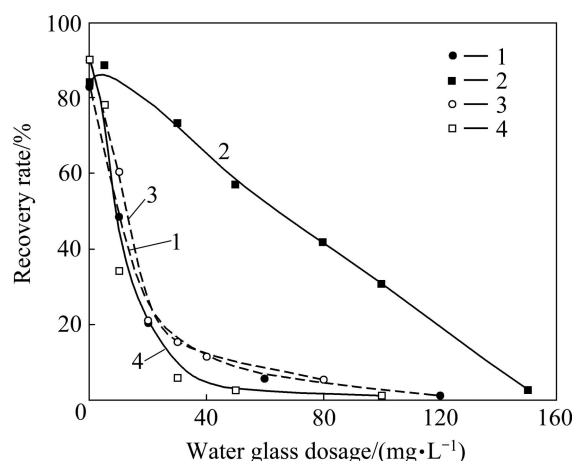


图5 Ca^{2+} 用量为 4×10^{-3} mol/L 和油酸钠用量为 1.5×10^{-4} mol/L 时水玻璃用量对矿物可浮性的影响

Fig. 5 Effect of water glass dosage on floatability of minerals at Ca^{2+} dosage of 4×10^{-3} mol/L and sodium oleate dosage of 1.5×10^{-4} mol/L: 1—Adding Ca^{2+} and water glass, smithsonite; 2—Adding water glass and Ca^{2+} , smithsonite; 3—Adding Ca^{2+} and water glass, quartz; 4—Adding water glass and Ca^{2+} , quartz

增加, 菱锌矿与石英的可浮性均急剧下降; 改变加药顺序, 在水玻璃用量为 20~100 mg/L 时, 二者的可浮性差异较大, 有利于实现二者的浮选分离。

2.2 水玻璃作用对矿物表面捕收剂吸附量的影响

图6所示为加入不同水玻璃用量时 Ca^{2+} 存在的矿浆中矿物表面的捕收剂吸附量。从图6可看出, 相比

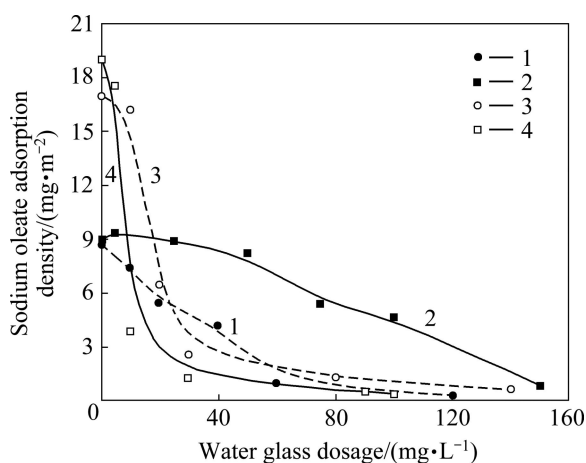


图6 Ca^{2+} 用量为 4×10^{-3} mol/L 和油酸钠用量为 1.5×10^{-4} mol/L 时水玻璃用量与矿物表面捕收剂吸附密度的关系

Fig. 6 Relationship between water glass dosage and sodium oleate adsorption density of mineral surface at Ca^{2+} dosage of 4×10^{-3} mol/L and sodium oleate dosage of 1.5×10^{-4} mol/L: 1—Adding Ca^{2+} and water glass, smithsonite; 2—Adding water glass and Ca^{2+} , smithsonite; 3—Adding Ca^{2+} and water glass, quartz; 4—Adding water glass and Ca^{2+} , quartz

两种加药顺序时石英表面捕收剂的吸附量没有显著变化, 表明两种情况下水玻璃的存在均可阻止捕收剂在石英表面的有效吸附; 菱锌矿在加 Ca^{2+} 再加水玻璃时, 油酸钠在矿物表面吸附量急剧下降, 表明水玻璃严重影响油酸钠的吸附; 改变加药顺序, 优先加入水玻璃时, 捕收剂在菱锌矿表面的吸附量降低缓慢, 说明优先添加水玻璃有利于增大捕收剂在菱锌矿与石英表面的吸附差异。

2.3 水玻璃作用对矿物表面电性的影响

为了研究水玻璃添加顺序对矿物抑制作用的影响, 考察了矿物表面的电性变化。图7所示为改变加药顺序添加各种药剂后矿物表面电性的变化, 其中药剂的添加与图4中浮选条件相同。从图7(a)中可看出, 在纯水中, 菱锌矿的零电点 pH 为 8 左右, 在 $\text{pH} < 8$ 时, 菱锌矿表面电位为正, 而图7(b)中, 石英在所考

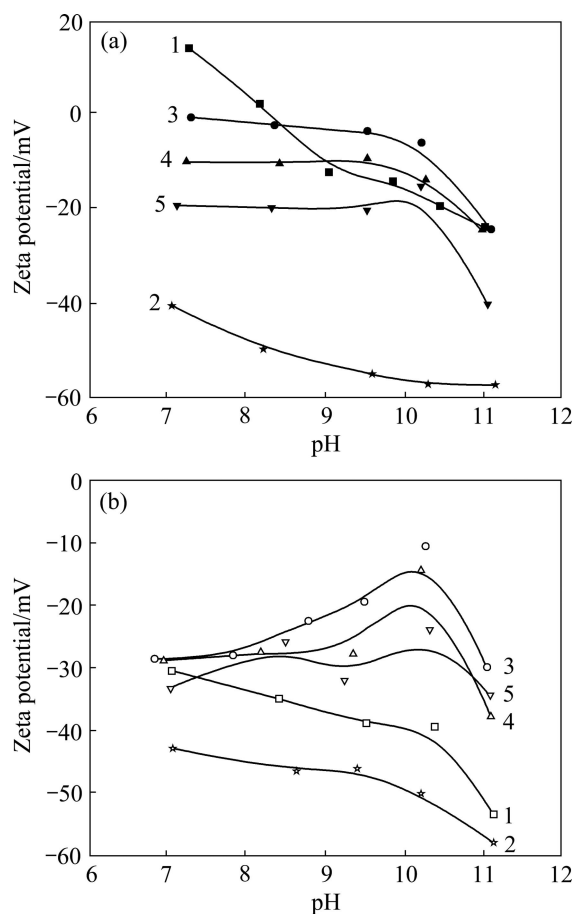


图7 添加水玻璃作用后矿物表面 ζ 电位与 pH 值的关系

Fig. 7 Relationship between pH value and Zeta potential of minerals after adding water glass: (a) Smithsonite; (b) Quartz; 1—Raw ore; 2—Adding water glass; 3—Adding Ca^{2+} ; 4—Adding water glass and Ca^{2+} ; 5—Adding water glass, Ca^{2+} and sodium oleate

察的 pH 范围内表面电性为负。加入水玻璃(图 7(a)和 (b)中的线 2)使菱锌矿和石英的表面电位均发生了较大的负移,表明水玻璃在两种矿物表面均发生了吸附;加入 Ca^{2+} (图 7(a)和(b)中的线 3)后,菱锌矿的表面电性在 $\text{pH}<8$ 时由正变为负,在 $\text{pH}>8$ 时其表面电性正移,石英表面电性也正移,说明钙离子也能吸附在两种矿物表面。

矿浆中先加水玻璃再加 Ca^{2+} ,与仅有 Ca^{2+} 存在时的菱锌矿表面电位相比,当 $\text{pH}<10.5$ 时,明显降低,石英的表面电位在 $\text{pH}>8$ 时也有明显降低。添加油酸钠后,菱锌矿的表面电性较添加油酸钠前平稳负移,可见此时菱锌矿表面仍能吸附油酸钠;而石英的表面电性较加入油酸钠之前变化不大,表明油酸钠在石英表面的吸附较不明显。

2.4 水玻璃作用前后矿物表面的 SEM-EDAX 分析

为讨论不同加药顺序对捕收剂在矿物表面的吸附差异的原因,采用 SEM-EDAX 测试对菱锌矿表面 Ca^{2+} 的存在状态进行了考察。实验所制备的两种样品加药

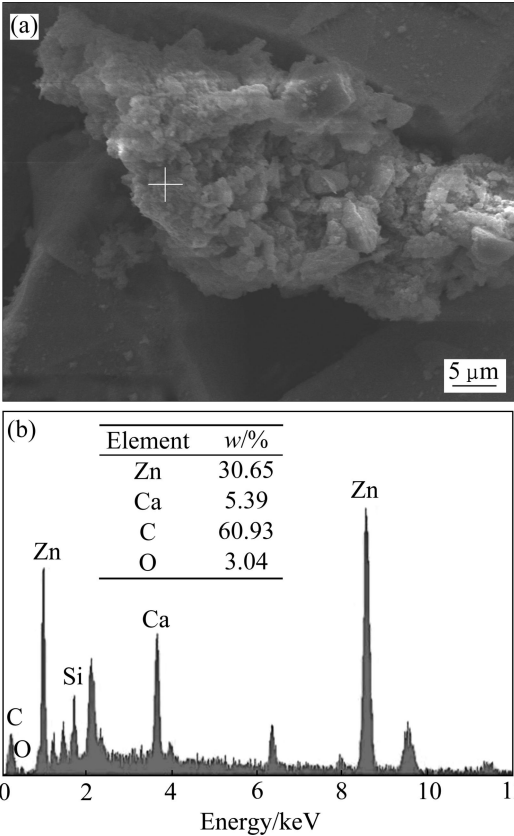


图 8 样品 A 的 SEM 像及 EDAX 谱
Fig. 8 SEM image and corresponding EDAX spectrum of sample A

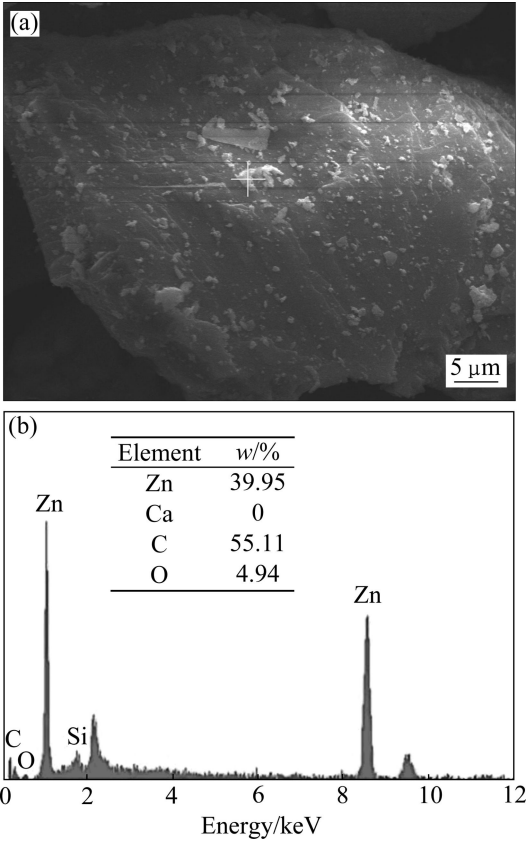


图 9 样品 B 的 SEM 像及 EDAX 谱
Fig.9 SEM image and corresponding EDAX spectrum of sample B

顺序如下: 样品 A, 菱锌矿+ Na_2CO_3 + Ca^{2+} +水玻璃; 样品 B, 菱锌矿+水玻璃+ Ca^{2+} + Na_2CO_3 。其结果如图 8、图 9。元素含量如表 2 所列。

表 2 扫描电镜元素含量

Sample	Mass fraction/%			
	Zn	Ca	C	O
A	30.65	5.39	60.93	3.04
B	39.95	0	55.11	4.94

结合表 2 中各个元素含量,由图 8 可看出样品 A(菱锌矿+ Na_2CO_3 + Ca^{2+} +水玻璃)菱锌矿表面存在 Ca^{2+} ,且谱图中显示有 Si 的存在,表明此时菱锌矿表面确实有硅酸钙生成并吸附在其表面,从而改变矿物表面电性使其亲水,使矿物受到强烈抑制,进一步验证了图 6 中吸附量曲线所得出的结论。由图 9 可看出,样品 B(菱锌矿+水玻璃+ Ca^{2+} + Na_2CO_3)菱锌矿表面不存在 Ca^{2+} ,表明优先加入的水玻璃可有效阻止 Ca^{2+} 在

菱锌矿表面的吸附。

3 结论

(1) 没有水玻璃加入时, Ca^{2+} 可显著活化石英的浮选, 使其与菱锌矿的可浮性相近, 对二者的分离造成困难; 水玻璃的加入在消除 Ca^{2+} 对石英活化的同时也会强烈抑制菱锌矿⁺。

(2) 改变加药顺序, 优先添加水玻璃再加入 Ca^{2+} , 水玻璃对油酸钠在菱锌矿表面的吸附量影响减弱, 从而降低水玻璃对菱锌矿的抑制作用。

(3) Ca^{2+} 存在时, 优先加入水玻璃有利于菱锌矿与石英的浮选分离, 这是因为水玻璃的优先加入可以有效防止 Ca^{2+} 在矿物表面的吸附。

参考文献:

- [1] 毛素荣, 杨晓军, 何剑, 张才学. 氧化锌矿浮选现状及研究进展[J]. 国外金属矿选矿, 2007(4): 4-6.
MAO Su-rong, YANG Xiao-jun, HE Jian, ZHANG Cai-xue. Present situation and progress in flotation study of zinc oxide[J]. Metallic Ore Dressing Abroad, 2007(4): 4-6.
- [2] EJTEMAEI M, IRANNAJAD M, GHARABAGHI M. Influence of important factors on flotation of zinc oxide mineral using cationic, anionic and mixed(cationic/anionic) collectors[J]. Minerals Engineering, 2011, 24(13): 1402-1408.
- [3] 雷力, 周兴龙, 文书明, 吴谊民, 季清武. 我国铅锌矿资源特点及开发利用现状[J]. 矿业快报, 2007(9): 1-4.
LEI Li, ZHOU Xing-long, WEN Shu-ming, WU Yi-min, JI Qing-wu. Characteristics and present situation of development and utilization of lead and zinc mineral resources in China[J]. Express Information of Mining Industry, 2007(9): 1-4.
- [4] 刘洋, 胡显智, 魏志聪. 氧化锌矿浮选药剂研究概况[J]. 矿产保护与利用, 2011(1): 51-55.
LIU Yang, HU Xian-zhi, WEI Zhi-cong. Overview of research on flotation reagents of zinc oxide ore[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2011(1): 51-55.
- [5] HOSSEINI S H, FORSSBERG E. Physicochemical studies of smithsonite flotation using mixed anionic/cationic collector[J]. Minerals Engineering, 2007, 20(6): 621-624.
- [6] IRANNAJAD M, EJTEMAEI M, GHARABAGHI M. The effect of reagents on selective flotation of smithsonite-calcite-quartz[J]. Minerals Engineering, 2009, 22(9/10): 766-771.
- [7] 王洪岭. 氧化锌矿浮选工艺及捕收剂研究现状[J]. 铜业工程, 2011(4): 12-16.
WANG Hong-ling. Current situation of study on flotation technology and collecting agent of oxidized zinc ore[J]. Copper Engineering, 2011(4): 12-16.
- [8] ELSALMAWY M S, NAKAHIRO Y, WAKAMATSU T. New reagents for flotation separation of feldspar from quartz[J]. International Journal of Mineral Processing, 1995, 3: 285-289.
- [9] 欧乐明, 曾维伟, 冯其明, 卢毅屏, 张国范. Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 对菱锌矿和石英浮选的影响及作用机理[J]. 有色金属:选矿部分, 2011(5): 53-57.
OU Le-ming, ZENG Wei-wei, FENG Qi-ming, LU Yi-ping, ZHANG Guo-fan. Influence and mechanism of zinc ion and copper ion on flotation of smithsonite and quartz[J]. Nonferrous Metals: Mineral Processing Parts, 2011(5): 53-57.
- [10] 胡岳华, 徐竞, 罗超奇, 袁诚. 菱锌矿/方解石胺浮选溶液化学研究[J]. 中南工业大学学报: 自然科学版, 1999, 26(5): 589-594.
HU Yue-hua, XU Jing, LUO Chao-qi, YUAN Cheng. Solution chemistry studies on dodecyl-amine flotation of smithsonite/calcite[J]. The Journal of Central South University of Technology: Natural Science, 1999, 26(5): 589-594.
- [11] 刘亚川, 龚煥高, 张克仁. 金属离子对浮选药剂作用的影响[J]. 金属矿山, 1994(2): 45-48.
LIU Ya-chuan, GONG Huan-gao, ZHANG Ke-ren. Effect of metal ions on the flotation reagent functions[J]. Metal Mine, 1994(2): 45-48.
- [12] 石良云, 邱冠周, 胡岳华, 陈淳. 石英浮选中的表面化学反应[J]. 矿冶工程, 2001, 21(3): 43-48.
SHI Liang-yun, QIU Guan-zhou, HU Yue-hua, CHEN Chun. Surface chemical reactions in oleate flotation of quartz[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2001, 21(3): 43-48.
- [13] 陈苾, 陈万雄, 孙中溪. 金属离子活化石英的判据及规律[J]. 金属矿山, 1982(6): 30-33.
CHEN Jin, CHEN Wan-xiong, SUN Zhong-xi. Criterion and law of quartz activated by metallic ions[J]. Metal Mine, 1982(6): 30-33.
- [14] 王淀佐, 胡岳华. 氢氧化物表面沉淀在石英浮选中的作用[J]. 中南矿冶学院学报, 1990, 21(6): 248-253.
WANG Dian-zuo, HU Yue-hua. The investigation of role of surface precipitation of meta hydroxide in flotation of quartz[J]. The Journal of Central South University of Technology, 1990, 21(6): 248-253.
- [15] 张国范, 汤佩徽, 朱阳戈, 丁鹏, 冯寅. 在 Ca^{2+} - Na_2CO_3 体系中磷灰石与石英浮选分离的溶液化学研究[J]. 化工矿物与加工, 2011(6): 1-4.
ZHANG Guo-fan, TANG Pei-hui, ZHU Yang-ge, DING Peng, FENG Yin. Solution chemistry study of flotation separation of apatite and quartz in Ca^{2+} - Na_2CO_3 system[J]. Industrial Minerals and Processing, 2011(6): 1-4.

- [16] 窦源东, 王 慧, 贾 珍, 程 泰. 低贫萤石矿酸化水玻璃浮选应用[J]. 现代矿业, 2009(12): 21-22.
DOU Yuan-dong, WANG Hui, JIA Zhen, CHENG Tai. Application of acidized water glass in flotation technology for treating lean fluorite ore[J]. Modern Mining, 2009(12): 21-22.
- [17] 张国范, 马军二, 朱阳戈, 冯其明, 王维清. 含硅抑制剂对钛辉石的抑制作用[J]. 中国有色金属学报, 2010, 20(12): 2419-2424.
ZHANG Guo-fan, MA Jun-er, ZHU Yang-ge, FENG Qi-ming, WANG Wei-qing. Depressant effect on titanite by silicon-containing depressants[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2010, 20(12): 2419-2424.
- [18] FUERSTENCE M C, GUTIERREZ G, ELGILLANI D A. The influence of sodium silicate in nonmetallic flotation systems[J]. Trans AIME, 1968, 241(3): 319-323.
- [19] 邓传宏, 马军二, 张国范, 冯其明, 朱阳戈. 水玻璃在钛铁矿浮选中的作用[J]. 中国有色金属学报, 2010, 20(3): 551-556.
DENG Chuan-hong, MA Jun-er, ZHANG Guo-fan, FENG Qi-ming, ZHU Yang-ge. Effect of water glass on flotation of ilmenite[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2010, 20(3): 551-556.
- [20] 蔡秉洋, 王 华, 王渝红, 张 鄞. 不同模数水玻璃在胶磷矿正反浮选的应用[J]. 云南化工, 2010, 37(1): 37-41.
CAI Bing-yang, WANG Hua, WANG Yu-hong, ZHANG Yin. Application of sodium silicate with different modulus in collophanite's direct-reverse flotation process[J]. Yunnan Chemical Technology, 2010, 37(1): 37-41.
- [21] 胡岳华, 徐 竞, 王淀佐. 水玻璃与磷灰石、方解石作用的溶液化学研究[J]. 矿冶工程, 1992, 12(2): 24-26.
HU Yue-hua, XU Jing, WANG Dian-zuo. Solution chemistry study of interaction of water glass with apatite and calcite[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 1992, 12(2): 24-26.

(编辑 龙怀中)