

# 方解石与硅灰石可浮性差异的机理研究

赵晨<sup>1</sup>, 印万忠<sup>2</sup>, 朱一民<sup>2</sup>, 王中明<sup>1</sup>, 肖巧斌<sup>1</sup>

1. 矿冶科技集团有限公司 选矿研究设计所, 北京 100160;

2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819

中图分类号: TD976+.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)04-0082-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.04.010

**摘要** 方解石与硅灰石常相互伴生, 因矿物晶格中都含有  $\text{Ca}^{2+}$  而具有一些相似的表面性质和溶解特性; 但是, 两种矿物所含阴离子基团的不同, 又使它们在浮选中表现出一定的差异性。本文以方解石和硅灰石为研究对象, 分别研究了十二胺和油酸钠对方解石和硅灰石浮选行为的影响; 通过 Zeta 电位分析和  $\log C - \text{pH}$  分析, 研究了不同 pH 值条件下方解石和硅灰石的表面荷电情况以及溶液中的优势组分情况; 通过 XPS 测试和 MS 模拟, 研究了方解石和硅灰石表面 Ca 质点密度和 Ca 不饱和键密度的情况。Zeta 电位分析和  $\log C - \text{pH}$  分析的结果表明, 由于定位离子的不同, 方解石比硅灰石带有更多的表面净剩正电荷; XPS 和 MS 模拟的研究结果则表明, 方解石比硅灰石具有更多的表面 Ca 质点密度和 Ca 不饱和键密度。

**关键词** 方解石; 硅灰石; 可浮性差异; 晶体化学

方解石的主要成分是  $\text{CaCO}_3$ , 为冶金、玻璃、水泥、橡胶等多种工业生产的重要原料。硅灰石的主要成分是  $\text{CaSiO}_3$ , 其主要用途是作为陶瓷工业的配料。此外, 硅灰石在塑料、橡胶、电焊和绝缘产品等领域也有着广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。自然界中, 方解石常与硅灰石及其他硅酸盐矿物共生<sup>[3]</sup>。方解石与硅灰石同属于含钙矿物, 因矿物晶格中都含有相同的  $\text{Ca}^{2+}$  而具有一些相似的表面特性及溶解特性<sup>[4]</sup>; 同时, 由于所含阴离子基团的不同, 又使两种矿物在浮选中表现出一定的差异性<sup>[5]</sup>。国内, 毛钜凡、程卫泉<sup>[3]</sup>研究了油酸钠作捕收剂时, 溶液中游离的金属阳离子对硅灰石浮选的影响, 发现  $\text{Ca}^{2+}$  的存在使硅灰石的可浮性发生了显著提高, 且在 pH 11.0 ~ 12.0 时, 硅灰石上浮量达到最大值。袁继祖<sup>[4]</sup>就阴离子捕收剂浮选分离方解石、硅灰石、长石、石英进行了探讨, 发现在弱酸性和弱碱性矿浆中, 十二胺硫酸钠和氧化石蜡皂均能捕收方解石, 而在上述条件下, 硅灰石、石英、长石均不浮。国外, Huang Fugen 和 R Sivamohan<sup>[6]</sup>针对粒度对方解石和硅灰石浮选分离的影响进行了研究。目前, 国内外专门研究方解石和硅灰石浮选分离的文献较少, 对于方解石和硅灰石可浮性差异产生的机理, 也缺乏较为系统的研究。

本文以十二胺与油酸钠作为捕收剂, 研究了方解

石与硅灰石的可浮性差异, 并通过 Zeta 电位分析和两种矿物饱和溶液中各溶解组分的  $\log C - \text{pH}$  分析, 研究了方解石与硅灰石在矿浆中的表面荷电情况; 通过 X 射线光电子能谱 (XPS) 分析和 MS 模拟, 分析了两种矿物表面 Ca 质点密度和 Ca 不饱和键密度的差异, 解释了两种矿物可浮性差异产生的晶体化学根源。

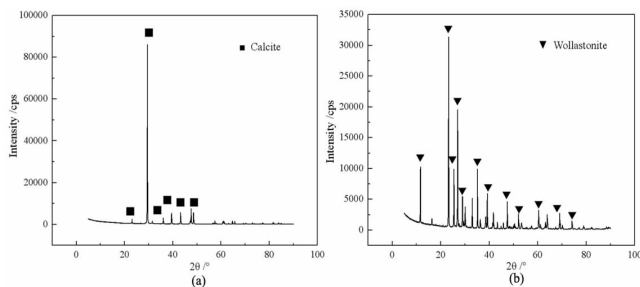


图1 方解石与硅灰石的 XRD 能谱图

Fig. 1 The X-ray diffraction pattern of calcite (a) and wollastonite (b)

## 1 试验

### 1.1 矿样

单矿物浮选试验所用方解石和硅灰石均为外购矿

石,经破碎、手选后得到纯度较高的矿样,其中有用矿物成分的含量均大于95%。两种单矿物的X射线衍射能谱(XRD)如图1所示。由图1可见,所制得方解石和硅灰石均为纯度较高的矿样,符合单矿物浮选的要求。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 单矿物浮选试验

浮选采用吉林探矿机械厂生产的XFG<sub>II</sub>型机械搅拌式挂槽浮选机,主机转速为1 800 r/min。每次试验取2 g矿样于30 mL浮选槽中,加25 mL去离子水,搅拌3 min后使用NaOH和HCl调节矿浆pH值,加入捕收剂浮选6 min。浮选结束后,将泡沫产品和槽内产物分别烘干称重,计算矿物的浮选回收率。

### 1.2.2 X射线衍射能谱分析(XRD)

X射线衍射分析采用荷兰PANalytical公司的X'Pert HighScore Plus分析仪于室温25℃下进行。扫描范围为5~9°,扫描速度为10°/min。制样时用玛瑙研钵将矿样研磨至5 μm以下,压片后进行测试得到矿物X射线衍射能谱。

### 1.2.3 Zeta 电位测试

Zeta电位测试采用英国Malvern公司的Nano-ZS90电位仪在室温25℃下进行。测试时先将0.02 g矿样磨细至-5 μm,加去离子水置于50 mL烧杯中,再加入浮选药剂搅拌3 min后,静置5~10 min,抽取上清液进行测试。须测3次取算术平均值。

### 1.2.4 X射线光电子能谱(XPS)分析

X射线光电子能谱测试在美国Thermo Scientific公司的ESCALAB 250XI型光电子能谱仪上进行。激发光源为MgKα,全谱扫描射线能量步长为0.5 eV,元素精细扫描能量步长为0.2 eV。测试时将样品在去离子水介质中调节pH值,按浮选顺序加药后搅拌过滤,自然风干后送检。

### 1.2.5 MS模拟

使用Materials Studio 8.0软件中基于密度泛函理论的CASTEP模块,在交换相关泛函为GGA-PBE<sup>[7]</sup>,截断能按计算精度选取为300.0 eV,布里渊区积分采用Monkhorst-Pack形式按精度取k点的方法<sup>[8]</sup>,赝势选取Ultrasoft,计算精度均设置为Medium,其他参数为默认参数,对方解石和硅灰石的晶体结构进行结构优化与能量计算,建立超晶胞和进行切表面计算,计算两

种矿物主要解离面上的Ca质点密度和Ca不饱和键密度。

## 2 结果与分析

### 2.1 单矿物浮选试验

#### 2.1.1 方解石和硅灰石的可浮性试验

十二胺与油酸钠用量分别为80 mg/L,且不添加其他任何调整剂的条件下,方解石与硅灰石的浮选回收率随pH值变化的情况分别如图2、图3所示。

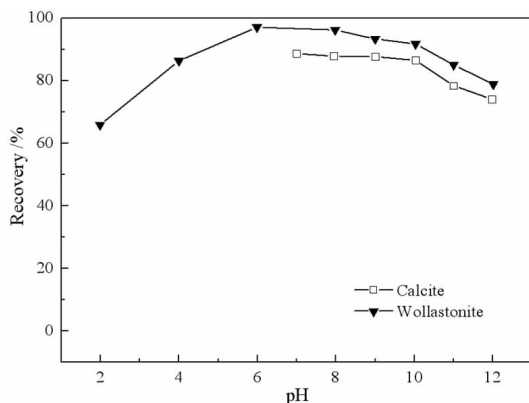


图2 十二胺作捕收剂时pH值对方解石与硅灰石浮选回收率的影响

Fig. 2 Effects of pH value on the recovery of calcite and wollastonite with the collector of lauryl amine

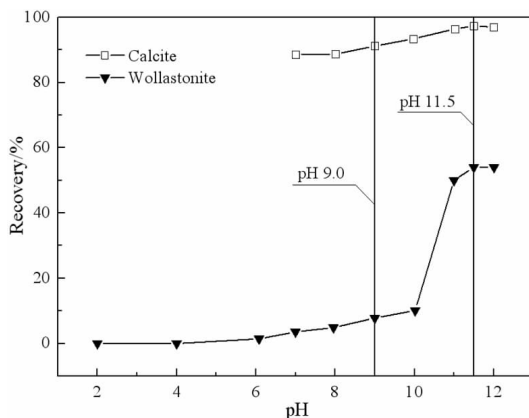


图3 油酸钠作捕收剂时pH值对方解石与硅灰石浮选回收率的影响

Fig. 3 Effects of pH value on the recovery of calcite and wollastonite with the collector of sodium oleate

为避免方解石在酸性条件下发生溶解,故选择pH 7.0~12.0的pH值范围对方解石进行可浮性研究。图2中,方解石在pH 7.0~12.0,硅灰石在pH 2.0~12.0的pH值范围内均具有较好的可浮性,且在碱性条件下,两者的可浮性接近。pH 7.0时,方解石获得

最大浮选回收率为 88.63%。此后,方解石的浮选回收率随着 pH 值的升高而略有下降。pH < 6.0 时,硅灰石的浮选回收率先随着 pH 值的增加而上升,而后,当 pH > 6.0 时,又随着 pH 值的升高而下降。硅灰石的浮选回收率在 pH 7.0 时达到最大值 97.05%。

由图 3 可见,在油酸钠作用下,方解石与硅灰石的浮选回收率均随着 pH 值的增加而上升。在 pH 7.0 - 12.0 的 pH 值范围内,方解石的可浮性均大于 90%,其最大浮选回收率为 97.39% (pH 11.5)。硅灰石在 pH < 10.0 时,浮选回收率随 pH 值的增加略有增加,但都低于 10%,但当处于较高 pH 值 (pH 10.0 ~ 12.0) 时,硅灰石的浮选回收率有了显著上升。硅灰石的最大浮选回收率发生在 pH 11.5 (54.03%)。pH 9.0 时,方解石与硅灰石的浮选回收率分别为 91.20% 和 7.78%,此时回收率差值最大,为 83.42%。

## 2.2 方解石与硅灰石可浮性差异的机理分析

### 2.2.1 Zeta 电位分析

纯水中方解石与硅灰石的 Zeta 电位如图 4 所示。图 4 中方解石的零电点为 pH 9.2, 即当 pH < 9.2 时,方解石表面净剩电荷为正;而当 pH > 9.2 时,方解石表面净剩电荷为负,但此时方解石的 Zeta 电位仍远高于硅灰石的 Zeta 电位。图 4 中硅灰石的零电点为 pH 1.3。在 pH 1.3 ~ 12.0 的 pH 值范围内,硅灰石表面净剩电荷为负。

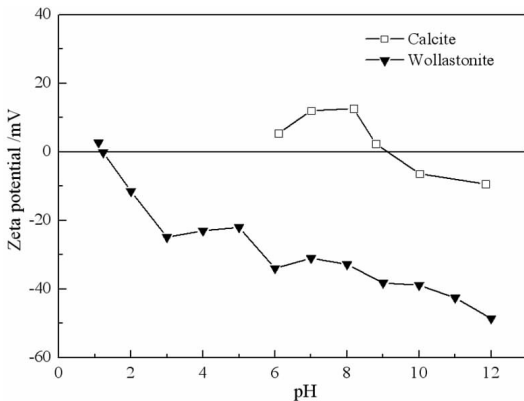


图 4 方解石与硅灰石的 Zeta 电位  
Fig. 4 LogC - pH graph of lauryl amine

为了更好地说明矿物的 Zeta 电位对于浮选的意义,以下结合不同 pH 值条件下浮选药剂的有效成分进行分析。长链脂肪胺、长链脂肪酸、磺酸盐和硫酸盐等长链表面活性浮选剂,由于药剂烃链较长,链间范氏力作用较强,可以发生疏水缔合作用,一定浓度下,会形成二聚物、离子-分子缔合物;较高的浓度下,则形

成半胶束或胶束<sup>[9]</sup>。根据十二胺和油酸钠在纯水溶液中的溶解平衡和疏水缔合平衡,绘制出 80 mg/L 十二胺与 80 mg/L 油酸钠溶液中各组分的 logC - pH 图分别如图 4、图 5 所示。

由图 5 可见,十二胺在 pH < 10.0 时,主要以 RNH<sub>3</sub><sup>+</sup>、RNH<sub>2</sub>·RNH<sub>3</sub><sup>+</sup> 等阳离子形式存在;pH ≥ 10.0 时,主要以 RNH<sub>2</sub> 分子的形式存在,但仍有 RNH<sub>3</sub><sup>+</sup> 存在。由图 6 可见,当 pH < 8.7 时,油酸钠以 HOI 分子和 OI<sup>-</sup>、(OI)<sub>2</sub><sup>2-</sup> 等阴离子形式存在;pH ≥ 8.7 时,以 OI<sup>-</sup>、H(OI)<sub>2</sub><sup>-</sup> 等阴离子形式存在。由于十二胺主要以阳离子的形式作用于矿物表面的负电区域<sup>[9, 10]</sup>,所以当十二胺与硅灰石发生作用时,硅灰石在 pH 2.0 ~ 12.0 的 pH 值范围内都具有较好的可浮性。反之,当油酸钠与硅灰石发生作用时,由于油酸钠主要是以化学吸附的形式作用于盐类矿物表面的阳离子区域<sup>[11]</sup>,故而油酸钠捕收剂时方解石的可浮性较好,而硅灰石的可浮性在较大的 pH 值范围内均较差。

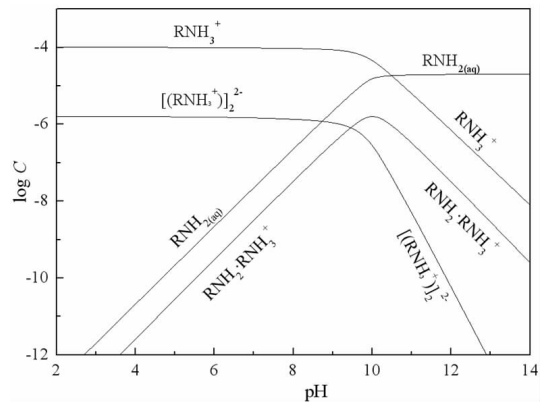


图 5 十二胺各组分的 logC - pH 图  
Fig. 5 LogC - pH graph of sodium oleate

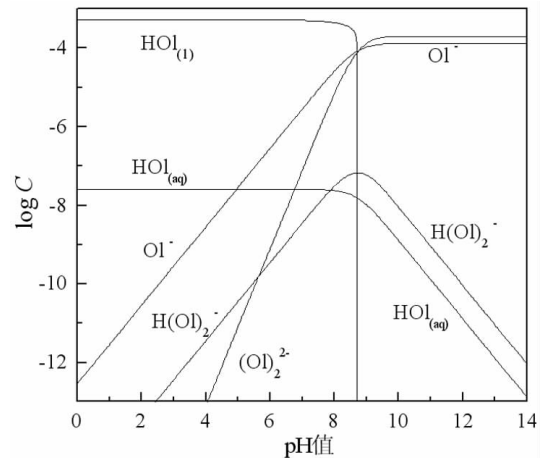


图 6 油酸钠各组分的 logC - pH 图  
Fig. 6 The logC - pH of sodium oleate

### 2.2.2 矿物溶解组分的 logC - pH 分析

在矿物的饱和溶液中,存在有较多的矿物溶解离子,对浮选过程产生较大的影响<sup>[9]</sup>。根据热力学数据,由矿物的化学计量式和各种平衡关系,可以计算矿物在水中各溶解组分的浓度,并由此绘出 logC - pH 图,研究矿物各溶解组分随溶液 pH 值变化的关系。方解石、硅灰石各溶解组分的 logC - pH 图分别如图 7、图 8 所示。

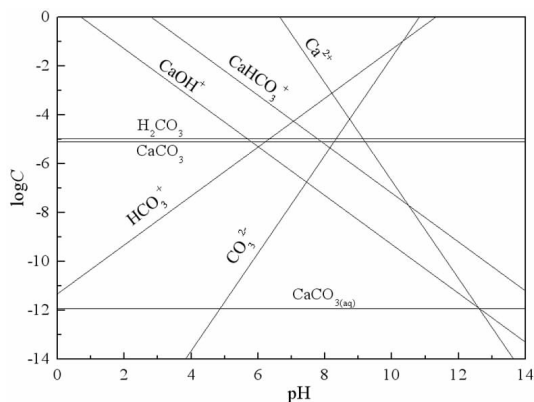


图 7 方解石溶解组分的 logC - pH 图  
Fig. 7 LogC - pH graph of dissolved components of calcite

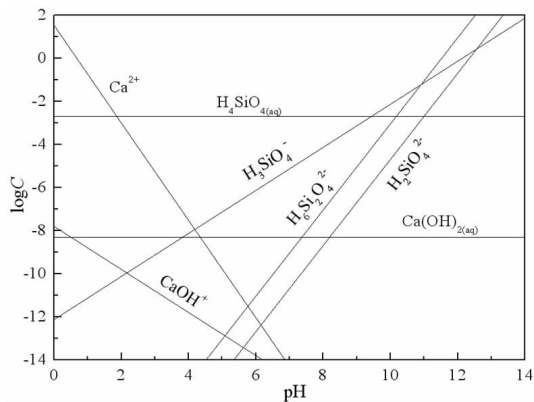


图 8 硅灰石溶解组分的 logC - pH 图  
Fig. 8 LogC - pH graph of dissolved components of wollastonite

由图 7 方解石在纯水中各溶解组分的 logC - pH 曲线可见,在低 pH 值下,方解石的饱和溶液中以 Ca 的各种水解阳离子为主,而在高 pH 值下,溶液中以  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  离子为主。在图 7 中,根据“等当点 (EP)”法<sup>[9]</sup>找出方解石的零电点,对应为方解石溶解组分中阳离子的正一价组分与阴离子的负一价组分浓度相等的 pH 值,即  $[\text{CaHCO}_3^+] = [\text{HCO}_3^-]$  时的 pH 值,图 7 中方解石的零电点为 pH 7.2。在  $\text{pH} < 7.2$  时,方解石表面的定位离子是  $\text{CaHCO}_3^+$  和  $\text{CaOH}^+$ ,而在方解石零电点 pH 7.2 附近,  $\text{CaOH}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$

是定位离子,高 pH 值下,  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  是可能的定位离子。

由图 8 硅灰石在纯水中各溶解组分的 logC - pH 曲线可见,  $\text{pH} < 7.0$  时,硅灰石的饱和溶液中以  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{CaOH}^+$  为主,而  $\text{pH} \geq 7.0$  时,溶液中以  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ 、 $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$  等阴离子为主。在图 8 中,根据“等当点 (EP)”法找出硅灰石的零电点为 pH 2.4。因此,在  $\text{pH} < 2.4$  时,硅灰石表面的定位离子是  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{CaOH}^+$ ,而在高 pH 值下,  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ 、 $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_4^{2-}$  是可能的定位离子。由于定位离子决定了矿物的表面电位<sup>[9, 12]</sup>,方解石和硅灰石饱和溶液中各组分的 logC - pH 图进一步说明了两种矿物表面荷电情况差异产生的原因。

### 2.2.3 XPS 分析

对 pH 9.0 和 pH 11.5 时的方解石和硅灰石进行 XPS 全谱扫描,两种矿物的 XPS 分析结果如表 1、表 2 所示。

表 1 方解石与硅灰石元素的相对含量

Table 1 Relative content of elements in calcite and wollastonite

Sample	pH	Relative content / %			
		Ca 2p <sub>2,3</sub>	O 1s	C 1s	Si 2p
CaCO <sub>3</sub>	pH = 9.0	15.54	39.67	18.89	—
	pH = 11.5	16.00	43.05	16.09	—
CaSiO <sub>3</sub>	pH = 9.0	11.34	46.45	—	18.69
	pH = 11.5	11.60	43.75	—	19.77

表 2 方解石与硅灰石元素的原子轨道结合能

Table 2 Binding energy of elements in calcite and wollastonite

Sample	pH	Binding energy / eV			
		Ca 2p <sub>2,3</sub>	O 1s	C 1s	Si 2p
CaCO <sub>3</sub>	pH = 9.0	346.59	531.17	286.54	—
	pH = 11.5	346.34	530.90	288.88	—
CaSiO <sub>3</sub>	pH = 9.0	346.92	531.89	—	101.96
	pH = 11.5	346.68	531.80	—	101.90

由表 1 方解石和硅灰石的元素相对含量可知, pH 9.0 和 pH 11.5 时,方解石表面的 Ca 元素相对含量均高于硅灰石表面的 Ca 元素相对含量,因而导致方解石比硅灰石表面具有更大的阳离子区域,从而使方解石在溶液中比硅灰石具有更高的 Zeta 电位,这与前面两种矿物的 Zeta 电位结果是一致的。

对比表 2 中两种 pH 值条件下 O、Ca 的结合能可以发现, pH 11.5 时,方解石和硅灰石中 O、Ca 的结合能均比 pH 9.0 时发生了偏移,这表明高 pH 值对两种

矿物的表面环境产生了较大的影响。对 pH 9.0 和 pH 11.5 时硅灰石表面 O 的精细谱进行分峰拟合,结果如图 7 所示。

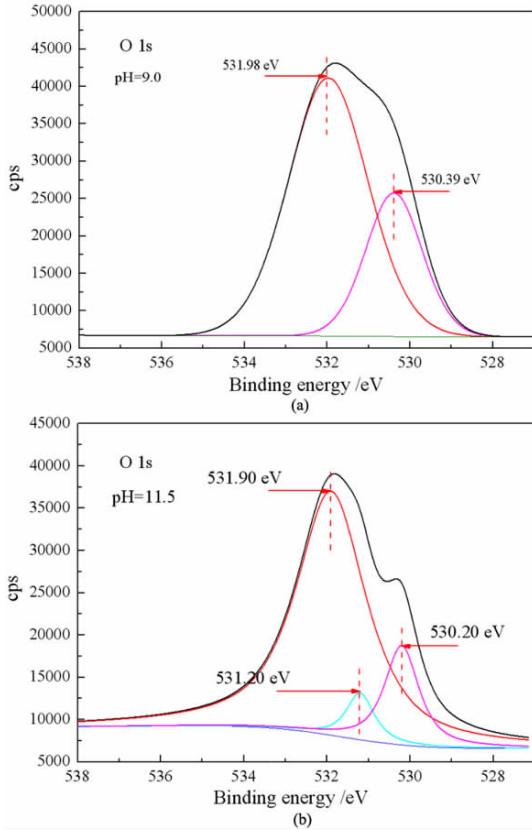


图 9 pH 9.0(a)和 pH 11.5(b)条件下硅灰石 O1s 元素的 XPS 能谱

Fig. 9 O1s XPS spectra of wollastonite with the pH of 9.0 (a) and 11.5 (b)

由图 9(a)可知, pH 9.0 时,结合能 530.39 eV 和 531.98 eV 位置处 O 元素的峰分别归属于硅灰石表面的 Ca-O<sup>-</sup> [15] 和 Si-O<sup>-</sup> [16, 17]。图 9(b)中, pH 11.5 时, Si-O<sup>-</sup> 和 Ca-O<sup>-</sup> 中 O 元素峰强度减弱,而在结合能 531.20 eV 位置出现归属于 Ca(OH)<sub>2</sub> 中的 Ca-O-H [18] 的新峰,说明此时在硅灰石表面有 Ca 的氢氧化物出现。对于硅灰石在 pH > 10.0 的高 pH 值范围回收率增高的现象,王淀佐等 [13] 对金属离子浮选石英的研究结果表明,高 pH 值下,金属离子通过生成氢氧化物沉淀和羟基络合物的方式,对阴离子捕收剂浮选石英具有很好的活化作用。同样,对于典型的硅酸盐矿物硅灰石,虽然高 pH 值条件下硅灰石表面净剩电荷为负,但溶液中游离的 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等离子却可以通过形成氢氧化物沉淀和羟基络合物的形式吸附在硅灰石表面,从而改善了油酸钠在硅灰石表面的吸附 [9, 14]。

### 2.2.4 MS 模拟与矿物晶体化学分析

选取方解石与硅灰石的常见解理面,方解石(104)面 [7, 19] 和硅灰石(102)面 [20, 21], 进行研究和计算。方解石和硅灰石主要解理面上的 Ca 质点情况如图 10 所示。

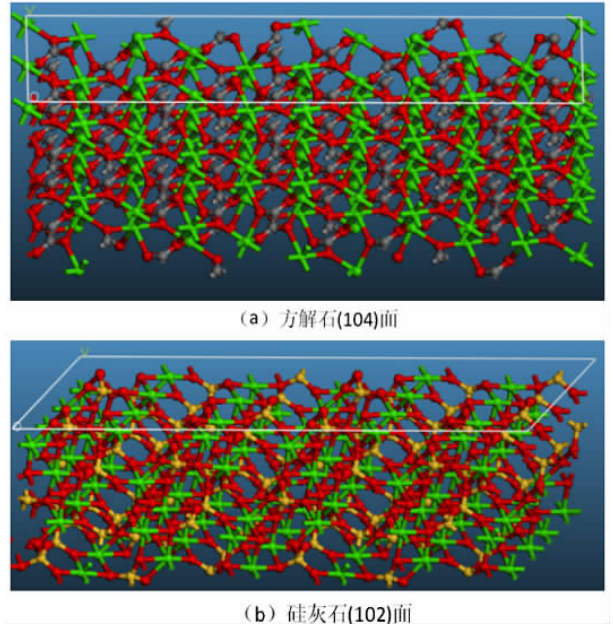


图 10 方解石(a)和硅灰石(b)主要解理面上的 Ca 质点情况

Fig. 10 View of one of the main cleavage planes of calcite (a) and wollastonite (b)

根据图 10 的模拟结果,对方解石和硅灰石表面 Ca 质点密度和 Ca 不饱和键密度的测算结果如表 3 所示。

表 3 方解石和硅灰石主要解理面上的 Ca 质点密度和 Ca 不饱和键密度

Table 3 Densities and unsaturated bonds of calcium on the main cleavage planes of calcite and wollastonite

Mineral	Cleavage plane	Chemical formula	Area /nm <sup>2</sup>	Number (Ca)	Density (Ca)/nm <sup>2</sup>	Number (u-Ca)	Density (u-Ca) /nm <sup>2</sup>
Calcite	(104)	Ca <sub>96</sub> C <sub>96</sub> O <sub>288</sub>	4.69	20	4.26	34	7.24
Wollastonite	(102)	Ca <sub>96</sub> Si <sub>96</sub> O <sub>288</sub>	5.58	16	2.87	16	2.87

由表 3 中方解石和硅灰石表面 Ca 质点和 Ca 不饱和键密度的测算结果可知,方解石主要解理面上 Ca 质点密度比硅灰石主要解理面上 Ca 质点密度大;而方解石表面 Ca 不饱和键的密度也比硅灰石表面 Ca 不饱和键的密度大,这与两种矿物的 XPS 检测结果是一致的。

当矿物与油酸钠发生接触时,方解石表面有着比硅灰石更多的作用活性位点和更多的反应不饱和键,从而使得油酸钠在方解石表面发生更大量的吸附。反之,具有较少表面Ca质点和Ca不饱和键的硅灰石在与油酸钠接触时,表面Ca质点更少,Ca不饱和键的数目也少,因而对油酸钠的吸附程度较小。

### 3 结论

(1)十二胺作捕收剂时,具有低Zeta电位的硅灰石的可浮性优于具有较高Zeta电位的方解石的可浮性;而油酸钠作为捕收剂时,具有较高Zeta电位的方解石的可浮性则优于低Zeta电位的硅灰石的可浮性。

(2)方解石和硅灰石的Zeta电位和矿物饱和溶液中各溶解组分的 $\log C - \text{pH}$ 分析表明, $\text{pH} 2.0 \sim 12.0$ 的 $\text{pH}$ 值范围内,方解石比硅灰石带有更多的表面净剩正电荷,而这是由矿物表面的定位离子所决定的。

(3)方解石和硅灰石的XPS测试结果表明,方解石比硅灰石表面具有更高的Ca质点密度。而在 $\text{pH} 11.5$ 时,硅灰石表面氢氧化物沉淀的出现,改善了油酸钠在硅灰石表面的吸附。

(4)使用MS模拟对方解石和硅灰石在其主要解离面上进行切表面计算,发现方解石(104)面上的Ca质点密度和Ca不饱和键密度均高于硅灰石(102)面上的Ca质点密度和Ca不饱和键密度,由此从晶体化学的角度解释了两种矿物可浮性差异产生的根源。

#### 参考文献:

[1] 王景阳,蒋志勇,童振声. 硅灰石中的硅灰石、方解石、白云石的物相分析法——钙量法[J]. 吉林地质,1982(1):65-73.  
 [2] 王秀文. 硅灰石与方解石、石英的浮选分离(摘要)[J]. 国外金属矿选矿,1986(9):26-27.  
 [3] 毛钜凡,程卫泉. 硅灰石与方解石的浮选分离研究[J]. 矿冶工程,1991,11(2):43-47.  
 [4] 袁继祖. 硅灰石与方解石、石英、长石浮选分离的探讨[C]. 苏州:中国硅酸盐协会,1988.

[5] 孙传尧,印万忠. 硅酸盐矿物浮选原理[M]. 北京:科学出版社,2001.  
 [6] HUANG FUGEN, R SIVAMOCHAN. Behaviour of different particle size fractions in the flotation of calcite from wollastonite and microcline[J]. Minerals Engineering, 1990, 3(3-4): 257-271.  
 [7] 高志勇. 三种含钙矿物晶体各向异性与浮选行为关系的基础研究[D]. 长沙:中南大学,2013.  
 [8] HJ MONKHORST, JD PARK. Special points for Brillouin - zone integrations[J]. Physical Review B, 1976, 13(12): 5188-5192.  
 [9] 王淀佐,胡岳华. 浮选溶液化学[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1988.  
 [10] 胡岳华,徐竟,罗超奇,等. 菱锌矿/方解石胺浮选溶液化学研究[J]. 中南工业大学学报,1995,26(5).  
 [11] 胡岳华,王淀佐. 脂肪酸钠浮选盐类矿物的作用机理研究[J]. 矿冶工程,1990(2):20-23.  
 [12] 赵古田. 固液界面双电层结构的理论与实验研究[D]. 长沙:中南大学,2014.  
 [13] 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.  
 [14] 王淀佐,胡岳华. 金属离子在氧化物矿物/水界面的吸附及浮选活化机理[J]. 中南矿冶学院学报,1987,18(5):501-508.  
 [15] TA CLARKE, EN RIZKALLA. X - ray photoelectron spectroscopy of some silicates[J]. Chemical Physics Letters, 1976, 37(3): 523-526.  
 [16] G HOLLINGER, FJ HIMPSEL. Probing the transition layer at the  $\text{SiO}_2$  - Si interface using core level photoemission[J]. Applied Physics Letters, 1984, 44(1): 93-95.  
 [17] ML MILLER, PW LINTON. X - ray photoelectron spectroscopy of thermally treated silica ( $\text{SiO}_2$ ) surfaces[J]. Analytical Chemistry, 1985, 57(12): 2314-2319.  
 [18] T SUGAMA, LE KUKACKA, N CARCIELLO, et al. Study of interactions at water - soluble polymer/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$  or gibbsite interfaces by XPS[J]. Cement and Concrete Research, 1989, 19(6): 857-867.  
 [19] 韩海生. 新型金属配合物捕收剂在钨矿浮选中的应用及其作用机理研究[D]. 长沙:中南大学,2017.  
 [20] 王力. 气流磨制备高长径比硅灰石的技术研究[D]. 沈阳:东北大学,2005.  
 [21] 杨怡,孙传敏,龚夏生. 硅灰石粉碎机理的研究[J]. 成都理工学院学报,1998,25(3):443-446.

# Study on the Mechanism of Floatability Differences between Calcite and Wollastonite

ZHAO Chen<sup>1\*</sup>, YIN Wanzhong<sup>2</sup>, ZHU Yimin<sup>2</sup>, WANG Zhongming<sup>1</sup>, XIAO Qiaobin<sup>1</sup>

1. Department of Mineral Processing, BGRIMM Technology Group, Beijing100160, China;

2. College of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China

**Abstract:** Calcite and wollastonite are often associated with each other in ore. For the same  $\text{Ca}^{2+}$  contained in the mineral lattices, some similar surface characteristics and dissolution characteristics are shown in the two minerals. But for the existence of the different anionic groups in their mineral lattices, some differences are shown in the flotations of the two minerals. In this paper, the floatability differences of calcite and wollastonite were studied by the single mineral test when lauryl amine and sodium oleate were used as collectors. The surface potentials and the chief components of calcite and wollastonite in solutions under different pH values were studied by zeta potential analysis and  $\log C - \text{pH}$  analysis of the two minerals. The density of calcium exposure and the density of unsaturated bonds of calcium on the surfaces of calcite and wollastonite were studied by XPS analysis and MS simulations. The results of zeta potential and  $\log C - \text{pH}$  analysis showed that the surface potentials of calcite were more than wollastonite due to the different locating ions of the two minerals; XPS and MS simulation results showed that calcite had more density of calcium exposure and the density of unsaturated bonds of calcium than wollastonite.

**Key words:** calcite; wollastonite; floatability differences; crystal chemistry

**引用格式:**赵晨,印万忠,朱一民,王中明,肖巧斌. 方解石与硅灰石可浮性差异的机理研究[J]. 矿产保护与利用,2020,40(4):82-88.

Zhao C, Yin WZ, Zhu YM, Wang ZM and Xiao QB. Study on the mechanism of floatability differences between calcite and wollastonite [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(4): 82-88.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)