

## 海水替代淡水浮选鳞片石墨可行性研究

阳黎<sup>1,2</sup>, 种娜<sup>1,2</sup>, 王宁<sup>1,2</sup>, 夏艳晴<sup>1,2,3</sup>

(1. 嘉华特种水泥股份有限公司, 四川 乐山 614003; 2. 中国建材集团有限公司, 北京 100036; 3. 西南科技大学, 四川 绵阳 621010)

**摘要:** 这是一篇矿物加工工程领域的论文。本文通过石墨纯矿物浮选实验来探索海水中主要离子对石墨浮选的影响, 实验结果表明: 海水中五种主要金属离子对石墨浮选都有一定的促进作用, 作用强度  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+} > Sr^{2+}$ , 仅有 F 与  $SO_4^{2-}$  两种阴离子对石墨浮选有影响, 其中  $SO_4^{2-}$  抑制作用较强, F 抑制作用微弱, 可忽略不计。

**关键词:** 矿物加工工程; 海水; 浮选; 纯矿物; 石墨

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.04.020

中图分类号: TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 04-0134-05

**引用格式:** 阳黎, 种娜, 王宁, 等. 海水替代淡水浮选鳞片石墨可行性研究[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(4): 134-138+144.

YANG Li, ZHONG Na, WANG Ning, et al. Feasibility study on flotation of flake graphite by seawater instead of freshwater[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(4): 134-138+144.

石墨作为当今世界战略级别的重要资源, 在工业生产生活中有着举足轻重的地位<sup>[1-2]</sup>。现在常用的石墨选矿技术为通过破碎磨矿后添加煤油和 2#油, 通过阶段磨矿浮选得到品位为 90%~97% 的石墨精矿<sup>[3-5]</sup>。水作为石墨浮选的重要介质, 水质的好坏往往起到了对浮选效果的好坏起到了至关重要的作用。通常情况下, 河水、地下水就能满足一般石墨选矿厂的水质要求<sup>[6]</sup>。因而一般选厂都是直接用河水及地下水用于浮选, 但是浮选过程中对淡水资源的需求量非常大, 通常 1 t 原矿完成整个浮选过程需要 10 t 左右的淡水, 且能够循环利用的淡水仅占 40% 左右<sup>[7-9]</sup>, 淡水资源的缺乏成为了限制部分地区石墨浮选的主要因素之一<sup>[10]</sup>。海水作为一种取之不尽的水资源, 如果能引用到鳞片石墨浮选中, 将能有效缓解水资源的限制。本文主要研究海水中离子对鳞片石墨浮选的影响, 为进一步研究海水浮选鳞片石墨打下基础。

## 1 实验

### 1.1 原料

石墨纯矿物: 使用的是石墨原矿经提纯后得到的单矿物, 其粒级为 -0.045 mm, 用标准筛筛分出 -0.045+0.037 mm 的样品用于实验。然后将分级得到的产品进行脱药处理 (用稀 HCl 酸洗)。紧接着将处理过的试样放进 60 °C 烘箱中低温烘干后装入磨口瓶中保存备用。

### 1.2 实验试剂和设备

实验所用主要仪器和设备有标准筛、分析天平、单槽浮选机、pH 计、接触角测量仪等, 主要药剂有氯化锶、氯化钠、氯化钙、氯化镁、氯化钾、溴化钠、碳酸氢钠、硼酸、硫酸钠等 (均为分析纯)。

### 1.3 实验研究和测试方法

取制备的纯矿物加入单槽浮选机, 接着添加去离子水至浮选刻度线, 打开浮选机混合均匀后

收稿日期: 2022-09-15

作者简介: 阳黎 (1995-), 男, 工程师, 主要从事无机非金属材料研究。

通信作者: 夏艳晴 (1987-), 女, 博士, 工程师, 主要从事无机非金属材料研究。

继续添加不同浓度实验需要探索影响的无机盐溶液后再混合均匀，接着添加煤油再混合均匀，再加入2#油混合均匀，接着充气刮泡，回收浮选得到的精矿尾矿。石墨纯矿物的实验方法见图1。

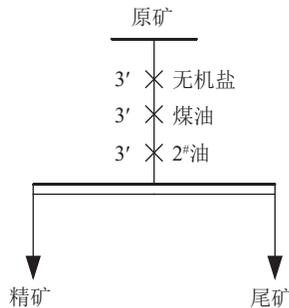


图1 纯矿物实验流程

Fig.1 Test flow of pure minerals

实验采用JC2000C1接触角测量仪测量在不同无机盐离子及捕收剂（煤油）作用下矿物表面接触角的变化。将待测试样块置于平板上，用微型注射器向待测样品薄片上滴一滴待测液体，然后用CCD摄像头捕捉测试图像后用软件计算待测液体与试样的接触角，每个实验点的数据均为5次测量通过误差分析舍去无效数据后计算得到的平均值。

## 2 结果与讨论

海水中有很多无机盐离子，直接用于浮选，对浮选结果有很大的影响。各种离子浓度在0~0.42 mol/L之间不等，为了方便实验结果的对比，统一选用0.02 mol/L的中间浓度进行实验。在药剂制度为：煤油 280 g/t（捕收剂），2#油 133 g/t（起泡剂），pH值=8（纯矿物实验皆在此药剂制度下进行）情况下，对海水和淡水对石墨浮选的影响进行探索，海水浮选石墨矿回收率为72.23%，淡水浮选石墨矿的回收率为69.12%。

浮选过程中，海水中的每一种离子及其浓度对石墨浮选行为都具有一定程度的影响，为考查不同离子对石墨浮选的影响，实验分别选用了NaCl、NaF、NaBr、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaBO<sub>3</sub>对阴离子作用进行讨论，选用NaCl、KCl、MgCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub>、SrCl<sub>2</sub>对阳离子作用进行讨论。通过改变无机盐的浓度进行单矿物浮选实验，确定各种无机盐离子对石墨浮选的活化作用，以及不同种类的离子对石墨选别过程活化影响的差异。

### 2.1 阴离子实验

为考查阴离子的不同是否会有不同的影响作

用，在添加相同阳离子种类及相同阳离子浓度情况下引入阴离子。由于海水pH值在8左右，实验所有pH值定在8。实验条件：改变阴离子种类及浓度为淡水、NaCl 0.02 mol/L、NaHCO<sub>3</sub> 0.02 mol/L、NaBr 0.02 mol/L、NaF 0.02 mol/L、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.01 mol/L、NaBO<sub>3</sub> 0.02 mol/L，实验结果见表1。

表1 相同浓度不同种类阴离子影响探索结果

Table 1 Results of exploring the effects of different species of anions at the same concentration

药剂	淡水	NaCl	NaF	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaBO <sub>3</sub>	NaBr
回收率/%	69.12	79.24	75.46	80.07	72.51	79.93	80.07

对结果进行分析，NaCl、NaHCO<sub>3</sub>、NaBO<sub>3</sub>、NaBr结果基本一致，说明Cl<sup>-</sup>、BO<sub>3</sub><sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>对石墨浮选结果没有明显影响，而NaCl与淡水相比对石墨浮选结果有明显的促进效果，说明Na<sup>+</sup>在选别过程里有促进效果。而NaF与Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>与NaCl在实验中相比，表现出明显的抑制作用，说明SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>与F<sup>-</sup>在浮选中有很强的抑制作用，然后就单独对F<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>这两种离子做浓度条件实验。

#### 2.1.1 氟离子浓度实验

实验选用NaF作为F<sup>-</sup>引入药剂，但是由于Na<sup>+</sup>在浮选过程中有很强活化作用，为了保持活化作用不变，实验保持引入Na<sup>+</sup>浓度不变，改变Cl<sup>-</sup>和F<sup>-</sup>的配比，探索F<sup>-</sup>浓度的影响。实验条件：变化阴离子F<sup>-</sup>与Cl<sup>-</sup>浓度为NaCl 0.02 mol/L；NaCl 0.015 mol/L、NaF 0.005 mol/L；NaCl 0.010 mol/L、NaF 0.010 mol/L；NaCl 0.005 mol/L、NaF 0.015 mol/L；NaF 0.02 mol/L，实验结果见图2。

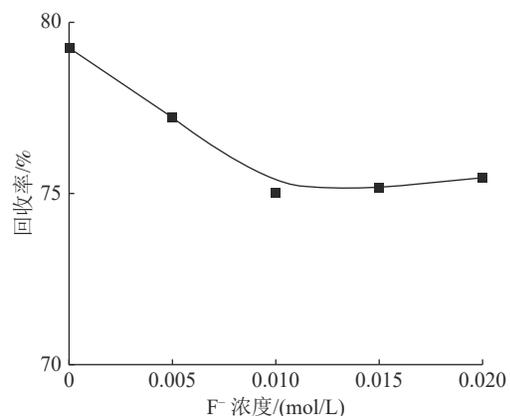


图2 氟离子浓度探索实验结果

Fig.2 Test results of fluoride ion concentration exploration

由图2可知，F<sup>-</sup>用量的增加造成了石墨精矿回收率降低，说明抑制效果增强。当不添加F<sup>-</sup>时，

浮选的回收率有 79.24%，当 F 浓度达到 0.01 mol/L 后回收率基本保持稳定不再降低，石墨精矿的回收率达到 75.05%。由实验结果可知 F 的引入，在一定程度上抑制了石墨的浮选。

### 2.1.2 硫酸根浓度实验

实验选用 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>引入药剂，但是由于 Na<sup>+</sup>在浮选过程中有很强活化作用，为了保持活化作用不变，实验保持引入 Na<sup>+</sup>浓度不变，改变 Cl<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的配比，探索 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度的影响。实验条件：变化阴离子 Cl<sup>-</sup>与 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度为 NaCl 0.02 mol/L；NaCl 0.015 mol/L、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.002 5 mol/L；NaCl 0.010 mol/L、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.005 mol/L；NaCl 0.005 mol/L、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.007 5 mol/L；Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.01 mol/L，实验结果见图 3。

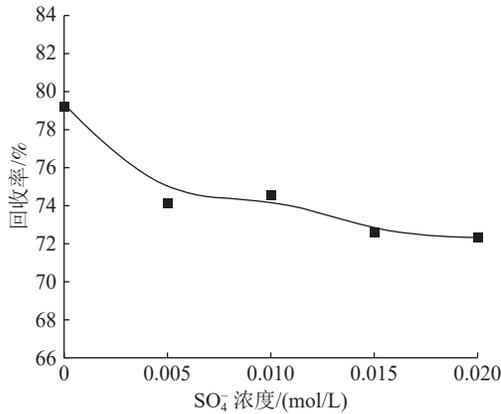


图 3 硫酸根浓度探索实验结果

Fig.3 Test results of sulfate concentration exploration

由图 3 可知，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>用量的增加造成石墨精矿回收率减少，说明抑制作用增强。当不引入 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>时，回石墨收率有 79.24%，当 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度在 0~0.005 mol/L 的范围变化时，石墨精矿回收率下降趋势很快，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度大于 0.005 mol/L 且继续增大时石墨回收率继续减少，但趋势趋于平缓，在 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>为 0.01 mol/L 石墨精矿的回收率减少到 72.51%。由实验结果可知 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的引入，在一定程度上抑制了石墨的浮选。

## 2.2 阳离子实验

为考查海水中不同种类相同浓度无机阳离子对石墨选别过程的作用效果，在同种及同浓度阴离子情况下引入无机阳离子。由于海水 pH 值在 8 左右，实验所有 pH 值定在 8。实验条件：变化阴离子种类及浓度为淡水、NaCl 0.02 mol/L、KCl 0.02 mol/L、CaCl<sub>2</sub> 0.02 mol/L、SrCl<sub>2</sub> 0.02 mol/L、MgCl<sub>2</sub> 0.02 mol/L，实验结果见表 2。

表 2 不同种类相同阳离子对石墨选别作用情况  
Table 2 Effect of different types of identical cations on graphite sorting

药剂	淡水	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	SrCl <sub>2</sub>
回收率/%	69.12	79.24	76.97	79.56	81.27	76.42

从实验结果可知，在 Cl<sup>-</sup>作为阴离子在浮选过程中不起作用，仅阳离子对石墨浮选结果有影响，可以得出五种阳离子对石墨选别都有一定程度的促进效果，但每种离子的促进程度又各不相同，以 Ca<sup>2+</sup>促进效果最强，下面单独对每种无机阳离子进行浓度实验。

### 2.2.1 钠离子浓度实验

实验选用 NaCl 作为 Na<sup>+</sup>引入药剂，Cl<sup>-</sup>在浮选中对石墨浮选没有明显影响，可以忽略 Cl<sup>-</sup>的作用。仅考虑阳离子 Na<sup>+</sup>浓度即可。实验条件：改变 NaCl 浓度为 NaCl 0 mol/L；NaCl 0.005 mol/L；NaCl 0.01 mol/L；NaCl 0.015 mol/L；NaCl 0.02 mol/L，实验结果见图 4。

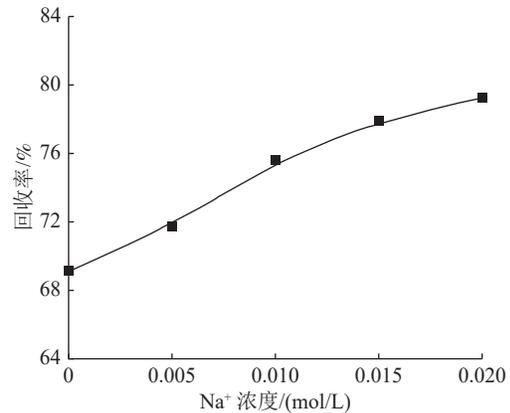


图 4 不同钠离子浓度对石墨选别影响程度

Fig.4 Degree of effect of different sodium ion concentration on graphite sorting

由图 4 可知，Na<sup>+</sup>用量的增多造成石墨回收率升高，活化作用增强。当不添加 Na<sup>+</sup>时，石墨回收率仅有 69.12%，当 Na<sup>+</sup>浓度在 0~0.01 mol/L 的范围变化时回收率升高速度很快，当 Na<sup>+</sup>的浓度大于 0.01 mol/L 后，石墨精矿回收率的上升速率降低，当 Na<sup>+</sup>浓度为 0.02 mol/L 石墨精矿的回收率为 79.24%。由实验结果可知，Na<sup>+</sup>的引入在一定程度上活化了石墨的选别。

### 2.2.2 钾离子浓度实验

实验选用 KCl 作为 K<sup>+</sup>引入药剂，Cl<sup>-</sup>在浮选中对石墨浮选没有明显影响，可以忽略 Cl<sup>-</sup>的作用。仅考虑阳离子 K<sup>+</sup>浓度即可。实验条件：改变

KCl 浓度为 KCl 0 mol/L; KCl 0.005 mol/L; KCl 0.01 mol/L; KCl 0.015 mol/L; KCl 0.02 mol/L, 实验结果见图 5。

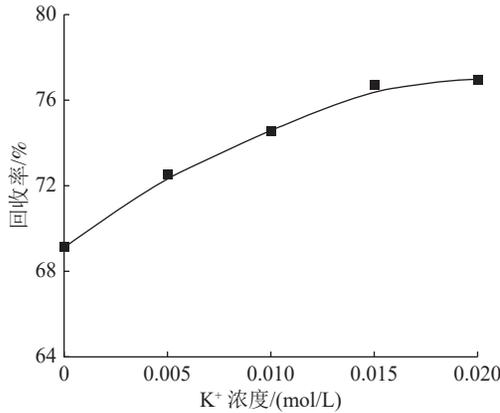


图 5 钾离子浓度探索实验结果

Fig.5 Test results of potassium ion concentration exploration

由图 5 可知, K<sup>+</sup>用量的增多造成石墨回收率升高, 活化作用增强。当不添加 K<sup>+</sup>时, 石墨回收率仅有 69.12%, 当 K<sup>+</sup>浓度在 0~0.015 mol/L 的范围变化时, 回收率升高速度很快, 当 K<sup>+</sup>的浓度大于 0.015 mol/L 后, 石墨精矿回收率的上升速率降低, 当 K<sup>+</sup>浓度为 0.02 mol/L 石墨精矿的回收率为 76.97%。由实验结果可知 K<sup>+</sup>的引入在一定程度上活化了石墨的选别。

### 2.2.3 镁离子浓度实验

实验选用 MgCl<sub>2</sub> 作为 Mg<sup>2+</sup>引入药剂, Cl<sup>-</sup>在浮选中对石墨浮选没有明显影响, 可以忽略 Cl<sup>-</sup>的作用。仅考虑阳离子 Mg<sup>2+</sup>浓度即可。实验条件: 改变 MgCl<sub>2</sub> 浓度为 MgCl<sub>2</sub> 0 mol/L; MgCl<sub>2</sub> 0.005 mol/L; MgCl<sub>2</sub> 0.01 mol/L; MgCl<sub>2</sub> 0.015 mol/L; MgCl<sub>2</sub> 0.02 mol/L, 实验结果见图 6。

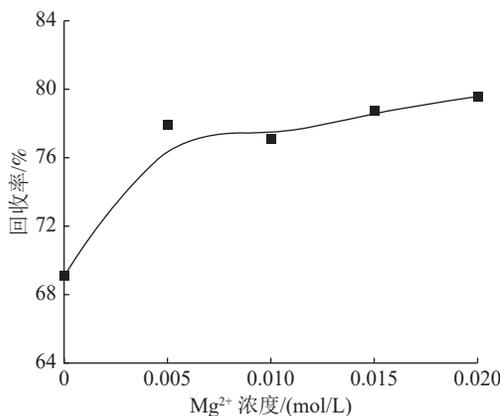


图 6 镁离子浓度探索实验结果

Fig.6 Test results of magnesium ion concentration exploration

由图 6 可知, Mg<sup>2+</sup>用量的增多造成石墨回收率升高, 活化作用增强。当不添加 Mg<sup>2+</sup>时, 石墨回收率仅有 69.12%, 当 Mg<sup>2+</sup>浓度在 0~0.005 mol/L 的范围变化时回收率升高速度很快, 当 Mg<sup>2+</sup>的浓度大于 0.005 mol/L 后, 石墨精矿回收率的上升速率降低, 当 Mg<sup>2+</sup>浓度为 0.02 mol/L 石墨精矿的回收率为 79.56%。由实验结果可知, Mg<sup>2+</sup>的引入在一定程度上活化了石墨的选别。

### 2.2.4 钙离子浓度实验

实验选用 CaCl<sub>2</sub> 作为 Ca<sup>2+</sup>引入药剂, Cl<sup>-</sup>在浮选中对石墨浮选没有明显影响, 可以忽略 Cl<sup>-</sup>的作用。仅考虑阳离子 Ca<sup>2+</sup>浓度即可。实验条件: 改变 CaCl<sub>2</sub> 浓度为 CaCl<sub>2</sub> 0 mol/L; CaCl<sub>2</sub> 0.005 mol/L; CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol/L; CaCl<sub>2</sub> 0.015 mol/L; CaCl<sub>2</sub> 0.02 mol/L, 实验结果见图 7。

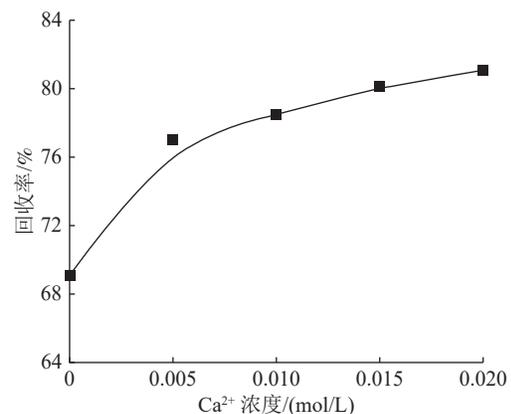


图 7 钙离子浓度探索实验结果

Fig.7 Test results of calcium ion concentration exploration

由图 7 可知, Ca<sup>2+</sup>用量的增多造成石墨回收率升高, 活化作用增强。当不添加 Ca<sup>2+</sup>时, 石墨回收率仅有 69.12%, 当 Ca<sup>2+</sup>浓度在 0~0.005 mol/L 的范围变化时回收率升高速度很快, 当 Ca<sup>2+</sup>的浓度大于 0.005 mol/L 后, 石墨精矿回收率的上升速率降低, 当 Ca<sup>2+</sup>浓度为 0.02 mol/L 石墨精矿的回收率为 81.27%。由实验结果可知 Ca<sup>2+</sup>的引入在一定程度上活化了石墨的选别。

### 2.2.5 锶离子浓度实验

实验选用 SrCl<sub>2</sub> 作为 Sr<sup>2+</sup>引入药剂, Cl<sup>-</sup>在浮选中对石墨浮选没有明显影响, 可以忽略 Cl<sup>-</sup>的作用。仅考虑阳离子 Sr<sup>2+</sup>浓度即可。实验条件: 改变 SrCl<sub>2</sub> 浓度为 SrCl<sub>2</sub> 0 mol/L; SrCl<sub>2</sub> 0.005 mol/L; SrCl<sub>2</sub> 0.01 mol/L; SrCl<sub>2</sub> 0.015 mol/L; SrCl<sub>2</sub> 0.02 mol/L, 实验结果见图 8。

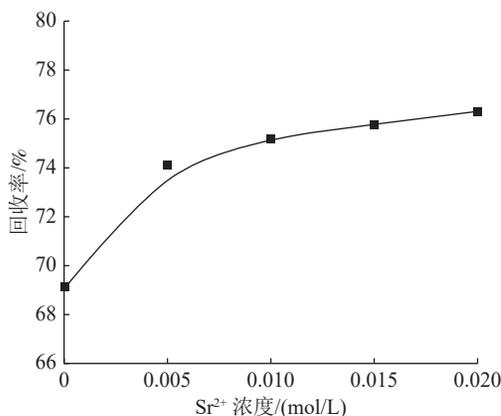


图 8 锶离子浓度探索实验结果

Fig.8 Test results of strontium ion concentration exploration

由图 8 可知，Sr<sup>2+</sup>用量的增多造成石墨回收率升高，活化作用增强。当不添加 Sr<sup>2+</sup>时，石墨回收率仅有 69.12%，当 Sr<sup>2+</sup>浓度在 0~0.005 mol/L 的范围变化时回收率升高速度很快，当 Sr<sup>2+</sup>的浓度大于 0.005 mol/L 后，石墨精矿回收率的上升速率降低，当 Sr<sup>2+</sup>浓度为 0.02 mol/L 石墨精矿的回收率为 76.42%。由实验结果可知 Sr<sup>2+</sup>的引入在一定程度上活化了石墨的选别。

### 2.3 接触角测试

由表 3 可知，NaCl、KCl、MgCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub>、SrCl<sub>2</sub> 五种无机盐都可以不同程度的增大石墨表面接触角，增强石墨表面的疏水性。在无机盐浓度为 0 时，即石墨片在去离子水中的接触角为 42.5°，随着无机盐浓度的增大，石墨表面的接触角也在跟着增大，当无机盐浓度为 0.02 mol/L 时，五种无机盐溶液中石墨片的接触角分别为 44.0°、44.5°、45.5°、47.0°、46.0°。在以上五种盐溶液的浓度相同时，它们促进石墨疏水性的能力为：CaCl<sub>2</sub>>SrCl<sub>2</sub>>MgCl<sub>2</sub>>KCl>NaCl。而 NaF 与 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的接触角基本上和 NaCl 一样，说明只有 Na<sup>+</sup> 影响接触角，而 F<sup>-</sup> 与 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的存在，不会有什么影响。

## 3 结论

(1) 海水中 Cl<sup>-</sup>、BO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup> 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 等阴离子对石墨浮选没有明显影响，仅 F<sup>-</sup> 离子与 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子对石墨浮选有很强抑制作用，但是 F<sup>-</sup> 在海水中的含量基本上可以忽略不计，因此海水中的阴离子仅有 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 对石墨浮选有抑制作用，其余阴离子对石墨浮选没有明显影响。当添加 0.01 mol/L

表 3 淡水及各种离子作用下石墨片的接触角/(°)  
Table 3 Contact angles of graphite flakes in the presence of fresh water and various ions

种类	不同浓度接触角		
	0/(mol/L)	0.01/(mol/L)	0.02/(mol/L)
NaCl	42.5	43.5	44.0
KCl	42.5	43.5	44.5
MgCl <sub>2</sub>	42.5	44.5	45.5
CaCl <sub>2</sub>	42.5	45.0	47.0
SrCl <sub>2</sub>	42.5	44.5	46.0
NaF	42.5	43.0	43.5
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	42.5	43.0	43.5

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 时浮选回收率仅为 72.51%。

(2) 海水中的五种主要阳离子对石墨浮选都存在一定程度的活化作用，且都是随着浓度的升高，活化作用也越强。在几种金属离子浓度都在 0.02 mol/L，其活化能力大小为：Ca<sup>2+</sup>>Mg<sup>2+</sup>>Na<sup>+</sup>>K<sup>+</sup>>Sr<sup>2+</sup>，在添加 0.02 mol/L CaCl<sub>2</sub> 后，石墨精矿的回收率可达 81.27%。

### 参考文献：

[1] 全忠蕴, 刘磊, 袁致涛. 鸡西地区晶质石墨保护大鳞片新工艺技术研究[J]. 矿产综合利用, 2021(6):53-58.  
TONG Z Y, LIU L, YUAN Z T. Study on new technology of crystalline graphite to protect large flake in Jixi Area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(6):53-58.

[2] 骆任, 陈代熊, 赵玉卿. 氯化钠改善微晶石墨浮选指标的选矿实验[J]. 矿产综合利用, 2022(3):163-166.  
LUO R, CHEN D X, ZHAO Y Q. Experimental study on improving flotation index of microcrystalline graphite by sodium chloride[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(3):163-166.

[3] 李向益. 含隐晶质细鳞片石墨选矿试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.  
LI X Y. Experimental study on beneficiation of cryptocrystalline fine flake graphite [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013.

[4] 周绍奇, 伏少鹏, 卜祥宁, 等. 超声乳化煤油乳滴尺寸对泡沫性质及隐晶质石墨浮选的影响[J]. 矿产综合利用, 2020(2):182-187.  
ZHOU S Q, FU S P, BO X N, et al. Effect of droplet size of ultrasonic emulsification kerosene emulsion on foam properties and the flotation of ccryptocrystalline graphite[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(2):182-187.

(下转第 144 页)

ingot casting process. The output gold ingot is sold outside, and the total recovery rate of gold dressing and metallurgy is about 90%. At present, with the deepening of mining depth, the ore properties change, the amount of oxidized ore gradually decreases, and the amount of primary ore gradually increases, resulting in excessive ore treatment in flotation system and insufficient ore treatment in leaching system, affecting the economic benefits of enterprises. Therefore, the enterprise considers adding the primary ore that cannot be treated by the flotation system to the existing oxidized ore all slime cyanidation leaching system to increase the gold ingot output and economic benefits of the enterprise. In order to enable the existing full slime cyanidation leaching system to leach the primary ore, based on the field investigation, the grinding fineness, reagent dosage and dissolved oxygen condition tests were carried out for the primary ore, and the alkali leaching pretreatment test and mixed oxidation ore leaching test were carried out in combination with the actual production. Based on these test and research results, specific rectification requirements and measures are put forward for the production site.

**Keywords:** Metallurgical engineering; Primary ore; Oxidized ore; Full slime cyanidation leaching; Alkali leaching

(上接第 138 页)

[5] 李亚, 初静波, 王英凯, 等. 黑龙江某晶质石墨风化石样分选实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2021(3):39-42.

LI Y, CHU J B, WANG Y K, et al. Experimental study on separation of weathering flake graphite ore in Heilongjiang province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(3):39-42.

[6] 陆燕海, 谢培轩, 忻良, 等. 人工海水制剂-海水晶[J]. *化学教育*, 2008, 29(4):1-2.

LU Y H, XIE P X, XIN L, et al. Artificial seawater preparation-sea crystal[J]. *Chemical Education*, 2008, 29(4):1-2.

[7] 赵红星, 王闻, 单文姬, 等. 浮选废水循环利用工艺研究[J]. *有色金属设计*, 2021, 48(1):31-34.

ZHAO H X, WANG W, SHAN W Y, et al. Research on recycling process of flotation wastewater[J]. *Nonferrous Metal Design*, 2021, 48(1):31-34.

[8] 周李蕾. 选矿厂废水的清洁生产技术研究——以四川某铅锌矿选矿厂为例[J]. *四川有色金属*. 2020(4): 50-55.

ZHOU L L. Research on cleaner production technology of wastewater in ore dressing plant--taking a lead-zinc ore dressing plant in Sichuan as an example[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*. 2020(4): 50-55.

[9] 赵连兵, 先永骏, 文书明, 等. 铅锌选矿废水净化处理研究概述[J]. *矿产综合利用*, 2022(3):100-106.

ZHAO L B, XIAN Y J, WEN S M, et al. Brief introduction of lead and zinc beneficiation wastewater treatment[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2022(3):100-106.

[10] 张瑾. 非洲水问题及其治理[J]. *现代国际关系*, 2018(12):52-58.

ZHANG J. Africa's water problems and its governance[J]. *Modern International Relations*, 2018(12):52-58.

## Feasibility Study on Flotation of Flake Graphite by Seawater Instead of Freshwater

YANG Li<sup>1,2</sup>, ZHONG Na<sup>1,2</sup>, WANG Ning<sup>1,2</sup>, XIA Yanqing<sup>1,2,3</sup>

(1. Jiahua Specialty Cement Co., Ltd., Leshan 614003, Sichuan, China; 2. China National Building Materials Group Corporation, Beijing 100036, China; 3. Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

**Abstract:** This is an article in the field of mineral processing engineering. In this article, the effect of main ions in seawater on graphite flotation is explored by flotation test of graphite pure minerals. The results show that five main metal ions in seawater can promote graphite flotation to a certain extent, with the action intensity of  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Sr}^{2+}$ . Only  $\text{F}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  anions have an influence on graphite flotation, in which  $\text{SO}_4^{2-}$  has a strong inhibiting effect, and  $\text{F}^-$  is relatively weak, which almost can be negligible.

**Keywords:** Mineral processing engineering; Seawater; Flotation; Pure minerals; Graphite