

# 极度嗜热菌 *Acidianus brierleyi* 浸出镍铜硫化矿精矿

赵月峰, 方兆珩

(中国科学院过程工程研究所, 北京 100080)

**摘要:** 考察了极度嗜热菌 *Acidianus brierleyi* 在摇瓶中浸出金川镍铜硫化矿的工艺条件及添加物对浸出过程的影响。结果表明, 初始 pH 1.2~1.6、细菌接种量 10%~20%、低矿浆浓度、细矿石粒度 ( $-48\ \mu\text{m}$ ) 有利于浸出过程的进行; 在  $68^\circ\text{C}$ 、初始 pH 1.6、接种量 10%、矿浆浓度 5% 条件下, 4.5 d 后镍和铜可分别浸出 99.78% 和 86.30%; 添加酵母 (0.005%~0.02%) 及硫酸铁 (1~5 g/L) 可强化镍和铜的浸出。

**关键词:** 极度嗜热菌; *Acidianus brierleyi*; 生物浸出; 镍铜硫化矿精矿; 浸出率

**中图分类号:** TF803.21    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1009-606X(2003)02-0161-04

## 1 前言

常温菌生物浸出技术已成功用于低品位矿中铜的回收, 而利用极度嗜热菌浸出镍、铜等金属硫化矿的研究报道尚少<sup>[1]</sup>。近来 Dew 等<sup>[2]</sup>用极度嗜热菌分别浸出镍黄铁矿精矿和黄铜矿精矿, 结果表明 4 d 后镍的浸出率达 98%, 23 d 后铜的浸出率为 96%。同常温菌浸出相比, 极度嗜热菌浸出速度快, 且对黄铜矿中铜的浸出率高, 因此作为一种潜在的有应用前景的工艺, 极度嗜热菌浸矿研究越来越受到重视<sup>[3]</sup>。本文以金川镍铜硫化矿精矿为目标矿物, 对比了极度嗜热菌、常温菌对矿物的浸出效果, 考察了极度嗜热菌浸出过程中的工艺条件及添加物对浸出过程的强化作用。

## 2 实验

所用矿样为金川镍铜硫化矿精矿, 主要矿物成份为含镍磁黄铁矿、镍黄铁矿及黄铜矿。矿物含镍 7.33%, 铜 3.68%。实验前矿样经烘干、细磨, 粒度范围为  $-200$  目 (合  $75\ \mu\text{m}$ ) 占 78.3%。

极度嗜热菌 *Acidianus brierleyi* (Ab) 购于德国菌种保藏中心, 氧化亚铁硫杆菌 *Thiobacillus ferrooxidans* (Tf), 由中国科学院微生物研究所提供。两株菌均置于 Leathen 培养基中培养。

所有浸出实验均在 250 ml 摇瓶中完成。将矿物置于摇瓶, 加入 Leathen 培养基 50 ml, 滴加 10 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  将矿物预浸 36 h, 然后将培养好的菌液接种到矿浆中, 向摇瓶中补加 Leathen 培养基, 保证接种菌液后溶液总量为 100 ml。滴加 10 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  调节溶液 pH 值后, 将摇瓶放入恒温水浴摇床中开始浸出。极度嗜热菌 Ab 浸出过程中摇床温度  $68^\circ\text{C}$ , 常温菌 Tf 浸出过程中摇床温度  $35^\circ\text{C}$ , 摇床转速 170 r/min。浸出过程中每隔 24 h 用 10 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  调节浸出液 pH 值至初始设定值。取样前滴加蒸馏水补充蒸发掉的水, 静置摇瓶至上层液澄清, 用移液管移取 1 ml 浸出液用于分析。浸出液中  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  浓度用原子吸收光谱法测定。

## 3 结果与讨论

### 3.1 极度嗜热菌和常温菌浸出镍铜硫化矿精矿比较

Ab 菌和 Tf 菌对镍铜硫化矿精矿的浸出率随时间的变化示于图 1。其中 Ab 菌浸矿条件 (温度参

照文献[5],其他条件均经过优化): $68^{\circ}\text{C}$ ,初始 pH 1.6,接种量 10%,矿浆浓度 5%;*Tf* 菌浸矿条件(条件参照文献[6]的优化结果): $35^{\circ}\text{C}$ ,初始 pH 2.0,接种量 10%,矿浆浓度 5%.由图 1 可见,*Tf* 菌浸出过程中铜浸出速度慢,且浸出率低,浸出 10 d 后铜溶出 30.95%;镍浸出速度高于铜,10 d 后溶出 71.32%.*Ab* 菌浸出实验中,镍和铜的浸出速度明显高于 *Tf* 菌组,浸出 4.5 d 后,镍和铜已接近完全浸出.可见,和常温菌 *Tf* 相比,极度嗜热菌 *Ab* 能够更有效地浸出金川镍铜硫化矿精矿.

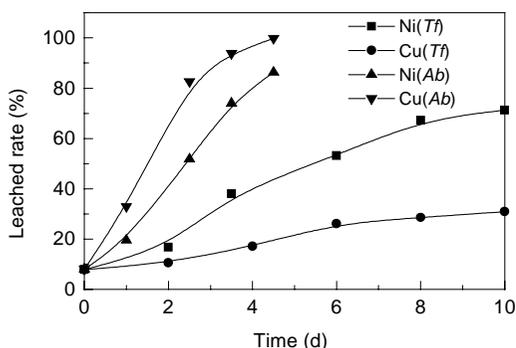


图 1 *Ab*, *Tf* 浸出镍铜硫化矿精矿时间曲线  
Fig.1 Comparison of leaching Ni-Cu sulfide concentrate with *Ab* and *Tf*

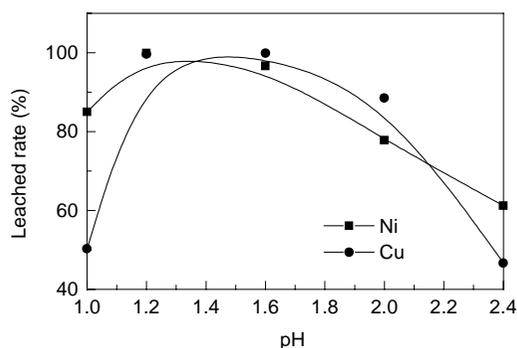


图 2 pH 值对 *Ab* 菌浸出镍和铜的影响  
Fig.2 Effect of pH on Ni and Cu leaching

### 3.2 初始 pH 值的影响

考察了初始 pH 值(1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4)对 *Ab* 菌浸出镍铜硫化矿的影响,如图 2 所示,浸出过程中每隔 24 h 用 10 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  调节浸出液 pH 至初始值,浸出时间 4.5 d.由图可见,在不同的初始 pH 值条件下,*Ab* 菌浸矿的效果明显不同.初始 pH 值为 1.2 和 1.6 时浸出效果较好,浸出 4.5 d 后镍和铜均接近完全浸出.过高的 pH 值(2.0, 2.4)或过低的 pH 值(1.0)导致菌的活性受抑制,不利于矿石中镍和铜的浸出.

### 3.3 接种量的影响

*Ab* 菌浸出过程中接种量对镍、铜浸出速度的影响示于表 1.接种菌液细胞浓度约  $1 \times 10^9$  个/ml,浸出时间 3 d.由表可以看出,镍、铜浸出速度随接种量的变化较小.浸出 3 d 后,接种量 10% 和 20% 时镍和铜浸出率稍高.在 1% 的接种量条件下,浸出初始阶段溶液中的菌数较少,因此 3 d 后镍和铜的浸出率略低;在接种量 30% 条件下,可能存在死亡的菌体细胞对细菌氧化活性的抑制作用,镍、铜浸出率同样略有降低.因此浸出过程接种量应控制在 10%~20% 左右为宜.

表 1 *Ab* 菌接种量对镍和铜浸出的影响

Table 1 Effect of inoculum <i>Ab</i> on Ni and Cu leaching (%)				
Inoculum	1	10	20	30
Ni leached	93.01	93.94	94.95	92.42
Cu leached	69.34	72.65	73.67	71.83

### 3.4 矿浆浓度和矿石粒度的影响

矿浆浓度对硫化矿中镍和铜浸出速度的影响见图 3.浸出条件: $68^{\circ}\text{C}$ ,接种量 10%.由图可见,低矿浆浓度有利于浸出过程的进行,矿浆浓度的增加使得细菌生长的停滞期增长,浸出过程速度减慢.矿浆浓度增至 20% 时,溶液中过高的剪切力使菌的生长完全受抑制,镍、铜浸出量很少.

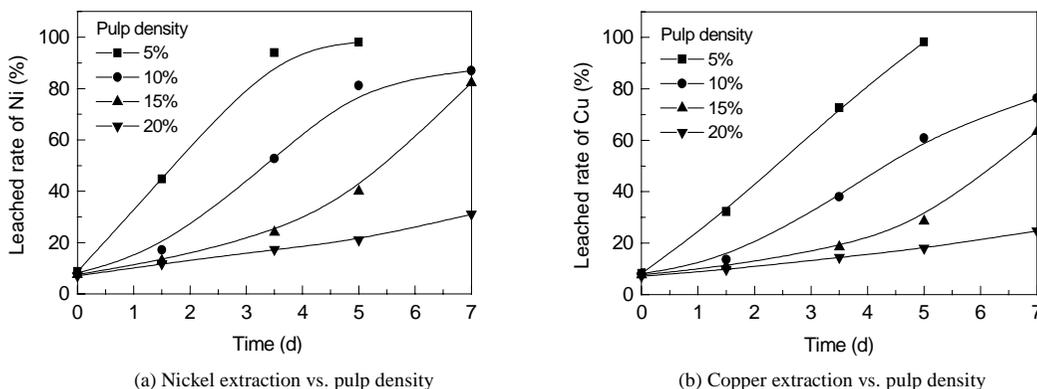


图3 矿浆浓度对镍和铜浸出的影响  
Fig.3 Effect of pulp density on Ni and Cu leaching

考察了矿石粒度对镍和铜浸出速度的影响。浸出条件:  $68^{\circ}\text{C}$ , 接种量 10%, 矿浆浓度 5%。不同粒度范围的矿样由-200 目占 79% 的矿样经细磨、筛分得到。图 4 列出了 4 种粒度的矿样在浸出 4.5 d 后, 镍和铜的浸出率。很明显在考察的粒径范围内, 颗粒粒径越小, Ni 和 Cu 浸出速率越大。

### 3.5 添加酵母的影响

极度嗜热菌 *Ab* 为自养菌, 但在异养的条件下可生长得更好。据文献报道, 在 *Ab* 浸出辉钼矿<sup>[4]</sup>及黄铁矿<sup>[5]</sup>过程中适量添加酵母可提高钼和铁的溶出速度。添加酵母对 *Ab* 菌浸出镍铜硫化矿精矿的影响见表 2。由表可见, 未添加酵母情况下, 浸出 4.5 d 后, 矿石中镍和铜浸出率分别为 86.3% 和 99.51%; 添加酵母 50 mg/L 时, 矿石中镍和铜浸出率分别为 89.03% 和 99.78%; 添加量为 200 mg/L 时, 镍、铜浸出率分别为 86.85% 和 99.78%, 可见适当的添加酵母(50~200 mg/L)可增加 *Ab* 菌的氧化活性, 提高镍铜硫化矿精矿中有价金属的浸出速率。

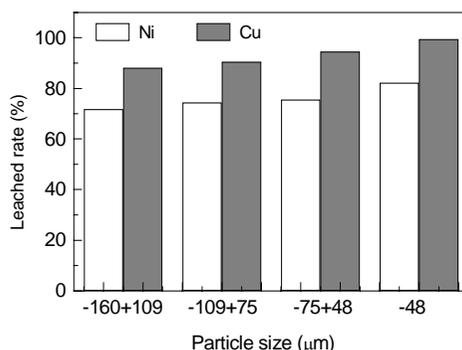


图4 矿石粒度对镍和铜浸出的影响  
Fig.4 Effect of particle size on Ni and Cu leaching

表 2 添加酵母对镍和铜浸出的影响

Table 2 Effect of addition of yeast on Ni and Cu leaching

Concentration of yeast (mg/L)	0	50	200	500
Ni leached (%)	99.51	99.78	99.78	95.71
Cu leached (%)	86.3	89.03	86.85	77.57

在酵母添加量 0.05% 组的实验中, 显微镜观察结果表明, 浸出过程中菌数量始终明显低于另 3 组, 说明培养基中过高的酵母浓度对菌的生长存在抑制作用, 浸出 4.5 d 后, 镍、铜的浸出率分别为 77.57% 和 95.71%, 也证明了过多添加酵母不利于细菌生长。

### 3.6 添加 $\text{Fe}^{3+}$ 的影响

考察了添加氧化剂  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  强化化学 *Ab* 菌浸出提高镍、铜浸出速度的可行性。由图 5 可见, 浸出 3.5 d 后, 未添加  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  时, 矿石中镍、铜浸出率分别为 74.02% 和 93.8%; 添加  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{Fe}^{3+}$

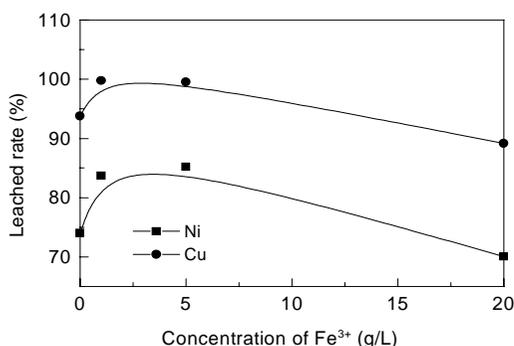


图5 添加  $\text{Fe}^{3+}$  对镍和铜浸出的影响  
Fig.5 Effect of addition of  $\text{Fe}^{3+}$  on Ni and Cu leaching

浓度 1 和 5 g/L 时, 镍的浸出率分别为 83.71% 和 85.21%, 铜的浸出率分别为 99.78% 和 99.51%, 可见, 添加  $\text{Fe}^{3+}$  (1~5 g/L) 可加快浸出速度, 原因是酸性条件下,  $\text{Fe}^{3+}$  自身可氧化部分矿物, 也可能  $\text{Fe}^{3+}$  的存在对菌的活性有一定促进作用. 在添加  $\text{Fe}^{3+}$  20 g/L 实验中, 镍、铜的浸出率较未添加组均有所降低, 原因可能为溶液中过高的三价铁浓度抑制菌的氧化活性, 也可能由于部分三价铁以黄铁矾钾形式沉积在矿物表面, 阻碍了矿石和浸出液的进一步接触.

## 4 结论

(1) 采用 *Tf* 菌浸出, 10 d 后镍和铜分别浸出 71.32% 和 30.95%; 采用 *Ab* 菌浸出 (68°C), 4.5 d 后镍和铜浸出率分别达 99.78% 和 86.30%. 同 *Tf* (35°C) 菌相比, *Ab* 菌能够更有效地浸出金川镍铜硫化矿精矿.

(2) 利用极度嗜热菌 *Acidianus brierleyi* 浸矿, 初始 pH 值对浸出过程影响较大, 应严格控制在 1.2~1.6; 接种量对浸出过程影响较小, 实验过程中采用 10%~20% 即可; 低矿浆浓度 (5%)、细矿物颗粒 (-48  $\mu\text{m}$ ) 有利于浸出进行; 适量添加酵母 (50~200 mg/L) 及  $\text{Fe}^{3+}$  (1~5 g/L) 可提高精矿中镍、铜的浸出速度.

### 参考文献:

- [1] Brierley J A, Brierley C L. Present and Future Commercial Application of Biohydrometallurgy [J]. Hydrometallurgy, 2001, 59: 233-239.
- [2] Dew D W, Van buuren C, Mewan K, et al. Bioleaching of Base Metal Sulphide Concentrates: A Comparison of Mesophile and Thermophile Bacterial Cultures [A]. Amils R, Ballester A. Biohydrometallurgy and the Environment Toward the Mining of the 21<sup>st</sup> Century, Process Metallurgy 9A [C]. Amsterdam: Elsevier, 1999. 229-238.
- [3] 雷云, 杨显万. 生物湿法冶金与西部矿产资源开发 [J]. 有色金属, 2000, 4: 100-104.
- [4] Brierley C L. Molybdenite-leaching: Use of a High-temperature Microbe [J]. J. Less-Common Met., 1974, 36: 234-247.
- [5] Konishi Y, Yoshida S, Asai S. Bioleaching of Pyrite by Acidophilic Thermophile *Acidianus brierleyi* [J]. Biotechnol. Bioeng., 1995, 48: 592-600.
- [6] 陈泉军, 方兆珩. 硫杆菌浸出低品位镍铜硫化矿 [J]. 过程工程学报, 2001, 1(1): 49-53.

## Bioleaching of Ni-Cu Sulfide with Acidophilic Thermophile *Acidianus brierleyi*

ZHAO Yue-feng, FANG Zhao-heng

(Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Bioleaching of Ni-Cu sulfide concentrate with *Acidianus brierleyi* was investigated in shake flasks. The results confirmed that the most favorable conditions for Ni and Cu simultaneous dissolution were pH 1.2~1.6, inoculum 10%~20%, lower pulp density and the particle size less than 48  $\mu\text{m}$ . Under the condition of 68°C, initial pH 1.6, inoculum 10%, pulp density 5%, Ni and Cu was leached 99.78% and 86.30% respectively after 4.5 d; the dissolution of Ni and Cu could be enhanced by the addition of 50~200 mg/L yeast extract and 1~5 g/L  $\text{Fe}^{3+}$ .

**Key words:** extremely thermophilic bacteria; *Acidianus brierleyi*; bioleaching; Ni-Cu sulfide concentrate; leached rate