

# 黄铜矿与方铅矿的生物诱导分选

P·帕萨等

**摘要** *Paenibacillus polymyxa* 菌细胞以及它们的代谢产物,例如蛋白质和胞外多糖,可以用来有效地分选黄铜矿中的方铅矿。黄铜矿和方铅矿与生物细胞作用后发生明显的絮凝,而使用生物蛋白质处理则只引起黄铜矿的选择性絮凝,使方铅矿分散。经过细胞、生物蛋白质或胞外多糖处理后,生物诱导选择性絮凝可以实现黄铜矿与方铅矿混合物的有效分离。采用生物蛋白质优先处理将强化方铅矿从黄铜矿中的浮选。论证了细菌细胞和生物试剂,例如蛋白质和多糖,在矿物加工中的作用。

**关键词** 细菌 絮凝 浮选 *P. polymyxa* 菌

## 概述

利用微生物和相关的胞外生物聚合体从方铅矿与闪锌矿或黄铁矿的二元混合物中选择性分离方铅矿已有文献报道。本研究所用 *Paenibacillus polymyxa* 菌(多黏芽胞杆菌,缩写为 *P. polymyxa* 菌)为革兰氏阳性细菌,嗜中性,周边生有鞭毛状异养生物,在许多矿床中生存。在 *P. polymyxa* 菌代谢的主要产物中除含有主要的生物聚合物,如胞外多糖和蛋白质之外,还含有有机酸,如草酸、甲酸和乙酸。

除要对用生物来源的聚合物微生物诱导分选黄铜矿和方铅矿进行研究外,了解生物体本身对分选过程的影响也是需要的。已对细菌特效的亲合力和生物聚合物对附着行为的调整进行了研究。然而,仍然需要了解在矿物和细菌界面上存在的生物聚合物以及其在附着过程中所起的作用。本文将确定黄铜矿和方铅矿对胞外生物聚合物,如胞外蛋白质(EBP)和胞外多糖(ECP)的亲合力。还研究了与可浮性相关的表面疏水性与生物药剂吸附的变化关系。

## 1 原料和试验方法

### 1.1 矿物

样品采集自印度 Indscrer Fabriks 的 Alminrock,通过手选得到的高纯度黄铜矿和方铅矿样品。利用化学分析、X 射线分析和矿物学分析来确定样品的纯度。黄铜矿和方铅矿样品纯度分别为 99.8% 和 99.7%。用瓷球磨机将上述样品细磨,再筛分成  $-105+74\ \mu\text{m}$  和  $-37\ \mu\text{m}$  粒级。 $-37\ \mu\text{m}$  粒级进一步球磨,通过沉降得到  $-5\ \mu\text{m}$  粒级。用

Malvern Zetasizer 粒度分析仪对样品进行粒度分析,其平均粒度为  $3\sim5\ \mu\text{m}$ 。该粒级用来进行吸附和絮凝试验。使用 BET 氮吸附法测定样品的比表面积。通过上述方法得到的黄铜矿的比表面积为  $1.93\ \text{m}^2/\text{g}$ 。方铅矿为  $1.939\ \text{m}^2/\text{g}$ 。 $-105+74\ \mu\text{m}$  粒级用来进行浮选研究。

### 1.2 细菌培养

本研究所用 *P. polymyxa* 菌株(编号为 NCIM2639)由印度国家化学实验室中的国家工业微生物标本室获得。在实验室使用 Bromfield 培养基进行培养。使用硝酸钾来维持离子强度,使用硝酸和氢氧化钾作为 pH 调整剂。试验中所有试剂均为分析纯级。试验中使用比电导率  $<1.5\ \mu\text{S}/\text{m}$  的二次蒸馏去离子水。将  $10\ \text{mL}$  纯的菌株注入 Bromfield 培养基进行培养。在  $30^\circ\text{C}$ 、转速  $340\ \text{r}/\text{min}$  的 Remi 培养箱中进行培养。使用 Systronics 数字 pH 计每  $30\ \text{min}$  检测一次 pH 的变化。

### 1.3 制备无细胞代谢产物

将在  $4^\circ\text{C}$  下生长完全的细菌( $48\ \text{h}$ )经 Sorvall RC-5B 型离心机( $10000\ \text{r}/\text{min}$ )离心  $15\ \text{min}$ 。倾析出上清液,用无菌的 Millipore 滤纸(孔径  $0.2\ \mu\text{m}$ )过滤除去所有不可溶物质,同时除去细菌细胞。细胞球使用二次蒸馏去离子水洗涤,然后再离心。上述过程重复两次,以得到纯净的细胞球。

### 1.4 从代谢产物中分离出蛋白质

经过  $48\ \text{h}$  培养,取  $1\ \text{L}$  *P. polymyxa* 菌培养液进行离心。上清液用 Millipore(孔径  $0.2\ \mu\text{m}$ )滤纸过滤。在  $4^\circ\text{C}$  恒定振荡下,缓慢加入分析纯超细颗粒状硫酸铵,浓度为  $90\%$  ( $600.16\ \text{g}/\text{L}$ )。溶液在  $4^\circ\text{C}$  下冷却  $12\ \text{h}$ 。蛋白质沉淀物溶解在  $1\ \text{mol}/\text{L}$  的

三羟甲基氨基甲烷盐酸盐缓冲剂溶液(pH 7)中。在4℃下渗析18 h。离心除去在渗析时产生的沉淀物。上清液冷冻,称重后在4℃下保存。

### 1.5 从代谢产物中分离出胞外多糖(ECP)

取1 L经48 h培养液离心除去细胞。含有ECP的上清液用无菌Millipore膜过滤。然后使用Virtis Freezemobile 12EL冷冻机在-80℃,真空下冻干至200 mL。在室温下将脱水的固体物质溶于10 mL蒸馏的millipore高纯水中,并冷却10℃以下。加入20 mL二次蒸馏的乙醇来沉淀ECP,并将它与其它含有细菌的上清液分离出。重复上述乙醇沉淀两到三次,从而进一步提纯多糖。该多糖溶液用二次蒸馏水透析。在透析之前,透析管在0.01 mol/L EDTA和2%的碳酸氢钠溶液中水浴沸腾10~15 min。透析之后,ECP在低温下(4℃)保藏。ECP的纯度采用苯酚-硫酸法测定。

### 1.6 吸附试验

将1 g矿物样品加入到放在250 mL Erlenmeyer烧瓶中的已知pH和EBP浓度的100 mL  $10^{-3}$  mol/L  $\text{KNO}_3$ 溶液中。在30℃和250 r/min下,使用Remi振荡器振荡15 min。平衡之后,再次测定矿浆的pH。然后在200 r/min下离心5 min,除去粘附有EBP的矿物颗粒。含有EBP的上清液用Whatman 42号滤纸进一步过滤,测定上清液中剩余的EBP浓度。采用类似的方法研究细菌细胞和ECP在矿物颗粒上的吸附行为。

### 1.7 絮凝研究

在絮凝研究中将1 g矿物样品分散于装在容积为100 mL的带有刻度的量筒中的100 mL二次蒸馏去离子水中。将盖好塞子的量筒上下倒置翻转10次,然后静置2 min。使用移液管将90 mL上清液移出放入烧杯中。过滤上清液,烘干和称重,得到固体颗粒分散的质量分数。以pH和时间为变量进行试验。将含有1 g的50 mL矿浆与50 mL蛋白质上清液或已知浓度的ECP加入100 mL带塞子的量筒中进行絮凝试验。在混合之前将矿浆和蛋白质的pH调整至同一数值。选择性絮凝试验用1:1重量百分数的方铅矿和黄铜矿的二元混合物中进行。含有0.5 g的50 mL添矿浆与50 mL添细菌上清液一起加入带有刻度的量筒中。混合之前,将矿浆和细胞上清液的调到相同的pH。将带塞子的量筒翻转10次,静置2 min(脱泥阶段)。分散和沉降产品进行ICP光谱分析,以得到每种矿物在两个产品中的质量分数。

### 1.8 微量浮选试验

在中性pH下,将1 g矿物与100 mL添含有已知浓度EBP、ECP或细菌细胞的二次蒸馏去离子水放在锥形烧瓶中混合。将烧瓶在250 r/min振荡器中孵化30 min。作用之后将上清液除去,分离得到矿物颗粒。沉在底部的矿物颗粒用Whatman42号滤纸过滤后用二次蒸馏去离子水洗涤,除去矿物表面上粘附的EBP、ECP或细胞。将调整后的矿物转移至改进过的哈里蒙德浮选管中。通40 mL添/min氮气浮选3 min。分离沉降的和浮出的部分,分别烘干并称重。以异丙基黄原酸钾(PIPX)作为捕收剂,以研究浮选行为。同时研究了捕收剂和细菌试剂的添加顺序对浮选的影响。将1 g粒度为-105+74  $\mu\text{m}$ 矿物(1:1重量比)悬浮到200 mL添溶液中。浮选之前,将矿物混合物与不同的细菌作用。用磁力搅拌器将矿物混合样品与已知pH的溶液混合15~20 min。然后进行浮选试验研究。浮出的矿物用ICP测定,然后计算回收率。

### 1.9 SEM分析

在10000 r/min下离心分离15 min后得到细菌细胞。将细胞球再次悬浮在二次蒸馏去离子水中。用通过氮气的水清洗矿物颗粒两次。将0.5 g矿物悬浮在50 mL添含有氮气的水中(NW)。将上述得到的矿物颗粒与已知数量的细胞相互作用。在锥形烧瓶中作用,然后转移至Eppendorf管中,在5000 r/min下离心分离。加入5%的戊二醛,刚好能够浸没矿物样品,在100 r/min下搅拌2 h。然后与0.5%戊二醛再搅拌2 h。再用35%的乙醇调节矿物样品。用微量移液管取出0.5 mL添,取一滴放到有盖的玻璃片上,在干燥器中干燥15 min,然后加一滴(50%)乙醇。干燥15 min。然后用70%和95%的乙醇重复上述过程。完全干燥后,用浓度依次为35%、50%、70%和95%的丙酮进行顺序干燥。将盖玻片保存在干燥器中,直到进行SEM测试(不应超过12 h)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 吸附研究

首先建立了细菌细胞、EBP和ECP在方铅矿和黄铜矿表面上的吸附行为与作用时间和pH的变化关系。结果如图1和2所示。图1为细菌细胞在黄铜矿和方铅矿上粘附的扫描电镜照片。由图可以看出,细菌细胞对两种矿物的亲合力均比较大。通过测定不同组分在矿物表面上吸附密度随时间的变化

得到了细菌细胞的吸附动力学曲线。在  $10^{-3}$  mol/L  $\text{KNO}_3$ , pH 6.5~7 下观察了吸附行为随时间的变化。在吸附之前,细胞浓度为  $4 \times 10^9$  个细胞/mL。图 2,a 表明,作用 15 min 后细菌细胞在黄铜矿上的吸附密度为  $1.5 \times 10^9$  个细胞/ $\text{m}^2$ ,而方铅矿上为  $1 \times 10^9$  个细胞/ $\text{m}^2$ 。这表明细菌细胞在矿物上的吸附并没有选择性。文献表明,细胞壁含有多糖和蛋白质。因此,在 EBP 初始浓度为 4 mg/g 矿物时研究了 EBP 的吸附行为。图 2,a 表明,作用 15 min 后 EBP 在黄铜矿上的吸附密度为 3 mg/ $\text{m}^2$ ,而方铅矿则低于 1 mg/ $\text{m}^2$ 。同样在 ECP 初始浓度为 10 mg/g 时,研究了 ECP 的吸附行为。图 2,a 表明,作用 15 min 后,超过 9 mg/ $\text{m}^2$  ECP 吸附在黄铜矿上,而在方铅矿上的吸附量低于 8 mg/ $\text{m}^2$ 。在与两种矿物作用 15 min 后,ECP 便在矿物表面上饱和。然而,EBP 和 ECP 在黄铜矿和方铅矿上的吸附量没有细菌细胞在这两种矿物表面上的吸附量那样大。

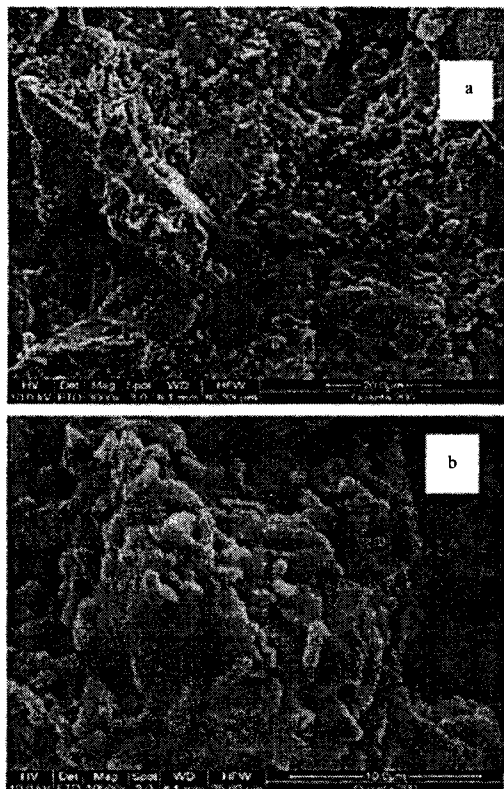


图 1 在黄铜矿(a)和方铅矿(b)上的  
*P. polymyxa* 菌细胞的 SEM 照片

图 2,b 为细菌细胞、EBP 和 ECP 在矿物上的吸附量随 pH 的变化。在所有 pH 下,细菌细胞在黄铜矿上的吸附密度都比在方铅矿上的大。在酸性范围内,黄铜矿上的吸附密度比方铅矿上的高。对于黄铜矿,随 pH 增加,细菌细胞吸附密度锐减。EBP

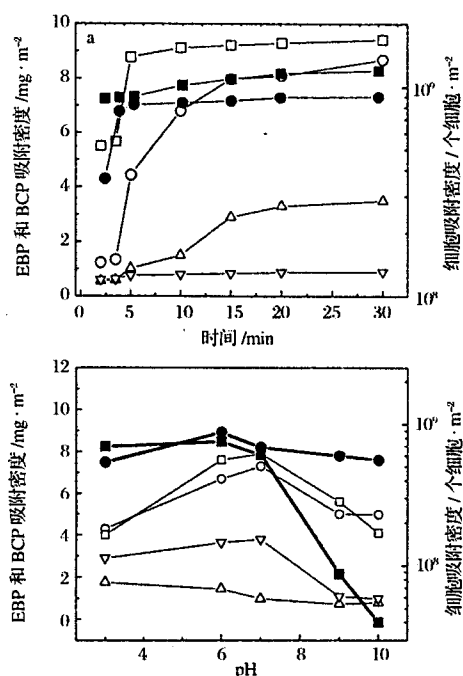


图 2 (a)在 pH 6.5~7 时,*P. polymyxa* 菌的细胞、ECP 和 EBP 在黄铜矿和方铅矿上的吸附密度随时间变化(pH 6.5~7)。(b) *P. polymyxa* 菌的细胞、ECP 和 EBP 在黄铜矿和方铅矿上的吸附密度随 pH 变化(作用 15 min)

■—细菌细胞+黄铜矿;●—细菌细胞+方铅矿;□—ECP+黄铜矿;○—ECP+方铅矿;△—EBP+黄铜矿;▽—EBP+方铅矿

在黄铜矿上的吸附密度在酸性 pH 范围内变化均匀,中性范围内为 3 mg/ $\text{m}^2$ ;而对于方铅矿,在整个 pH 范围内,吸附量比较均匀,最大吸附密度为 1 mg/ $\text{m}^2$ 。ECP 在黄铜矿上的吸附密度在 pH 为 3~8 时从 4 mg/ $\text{m}^2$  变化到 8 mg/ $\text{m}^2$ 。对于方铅矿也观察到类似的行为。ECP 在黄铜矿和方铅矿上在酸性 pH 范围内的吸附行为与碱性范围内的吸附行为类似。然而,EBP 在酸性和碱性 pH 范围内在黄铜矿上的吸附量比在方铅矿上的要大。

## 2.2 絮凝试验

确定了不同生物试剂和细菌细胞存在下,不同时间和 pH 时黄铜矿和方铅矿细粒的沉降行为。图 3 为黄铜矿和方铅矿随时间变化的沉降行为。图 3, a 表明在 pH 为 6.5~7 时,在作用 15 min 后,黄铜矿从没有细菌细胞时的沉降率 30% 增加至有细菌细胞时的 90%。细菌细胞壁含有多糖和蛋白质。因此,研究了在有 EBP 和 ECP 存在时矿物的絮凝率随作用时间的变化。在用 EBP 作用黄铜矿 15 min 时絮凝率为 95%;而有 ECP 存在时,则只有很少的黄铜矿发生絮凝。细菌细胞和 EBP 的作用促使大量的细粒黄铜矿絮凝,在只有 ECP 存在时,细粒黄铜矿的絮凝没有明显变化(图 3, b 和 c)。15

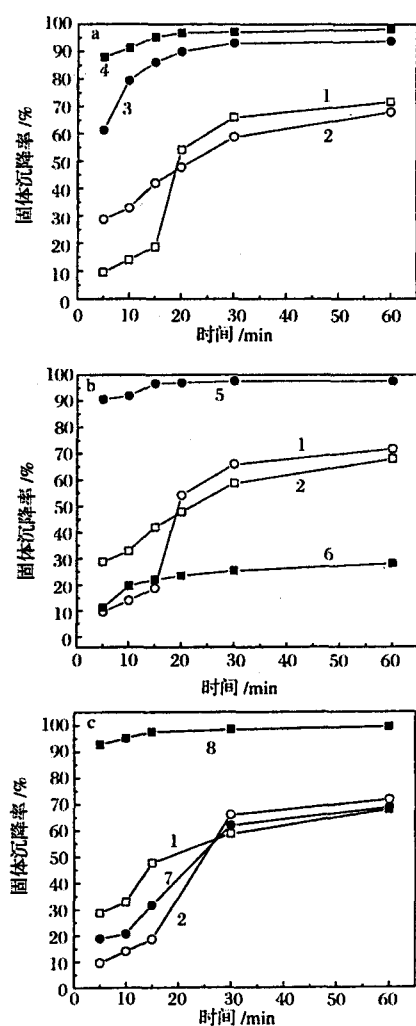


图3 黄铜矿和方铅矿在有细菌细胞(a)、EBP(b)和ECP(c)存在时的沉降率与沉降时间的关系

1—黄铜矿;2—方铅矿;3—黄铜矿+细菌细胞;4—方铅矿+细菌细胞;5—黄铜矿+EBP;6—方铅矿+EBP;7—黄铜矿+ECP;8—方铅矿+ECP

min 方铅矿的沉降率从没有细胞存在时的 35% 增加至有细胞存在时 90%。然而,在 EBP 时,15 min 方铅矿的沉降率降至 20% 以下,而不加任何药剂时的沉降率为 30%。方铅矿与 ECP 作用后 15 min 的絮凝率高于 90%,而没有任何试剂时絮凝率为 35%。细菌细胞和生物试剂的特效性归因于矿物与细菌细胞壁上的特效官能团。在分别测试黄铜矿和方铅矿絮凝效果时,每一种矿物都沉降 15 min。与 EBP 作用时,黄铜矿的沉降速率(15 min 内为 95%)比方铅矿高沉降率(15 min 内为 20%)高。与 ECP 相互作用后,约 30% 的黄铜矿和高于 90% 的方铅矿在 15 min 内发生沉降。矿物与细菌细胞、EBP 和 ECP 在不同 pH 下的沉降行为如图 4 所示。图 4, a 表明,在没有任何药剂时,90% 的黄铜矿在 pH 3 时沉降,而在 pH 9 时沉降率减少至 40%。在 pH 3~

9 且有细菌细胞和 EBP 存在时,大约 90% 的黄铜矿沉降。方铅矿在没有任何药剂和 pH 3 时的沉降率为 55%, pH 9 时沉降率为 35%。

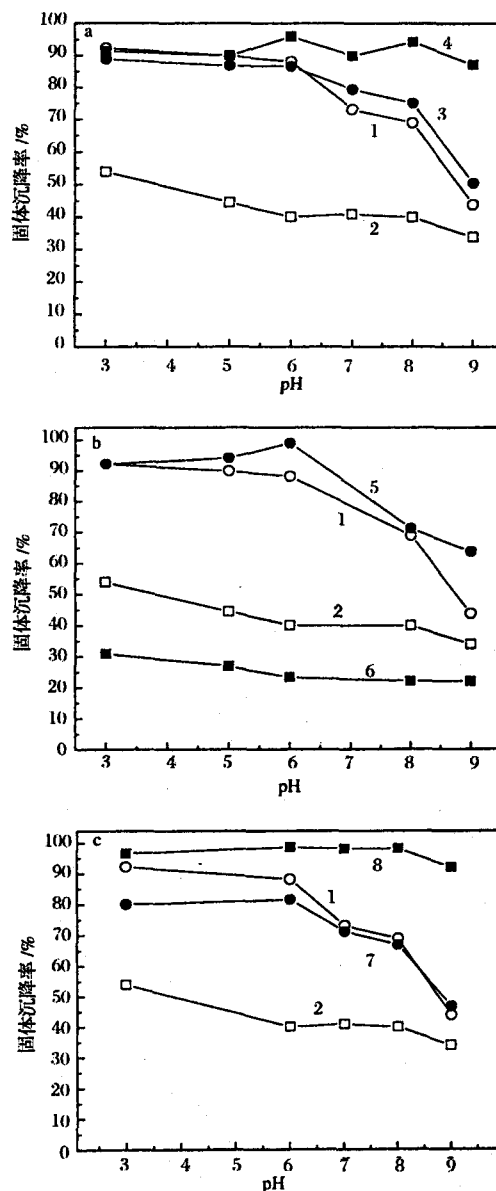


图4 黄铜矿和方铅矿在有细菌细胞(a)、EBP(b)和ECP(c)存在时的沉降率与 pH 的关系

1—黄铜矿;2—方铅矿;3—黄铜矿+细菌细胞;4—方铅矿+细菌细胞;5—黄铜矿+EBP;6—方铅矿+EBP;7—黄铜矿+ECP;8—方铅矿+ECP

然而,在有细菌细胞存在时,矿粒的沉降率增加。几乎 90% 的方铅矿在与细菌细胞作用后发生沉降。图 4, b 表明,在没有任何药剂和 pH 3 时黄铜矿的沉降率为 90%,而在 pH 9 时其沉降率下降至 40%。在有 EBP 存在和 pH 3 时,黄铜矿沉降率为 92%, pH 7 沉降率为 95%, pH 9 时沉降率降至 65%;而在没有任何药剂和 pH 3 时方铅矿的沉降率为

55%, pH 9 沉降率为 35%。然而, 方铅矿在 pH 3 范围沉降率为 30%, 在 pH 9 降至 20%。这表明方铅矿在有 EBP 时得到分散。图 4, c 表明, 在没有任何药剂存在和 pH 3 时黄铜矿的沉降率为 90%, pH 9 时沉降率降至 40%。然而, 有 ECP 存在时, 黄铜矿的沉降率很小, 这表明 ECP 没有大的影响。在没有任何药剂和 pH 3 时方铅矿的沉降率为 55%, pH 9 时沉降率降至 35%。然而, 在有 ECP 存在时, 方铅矿絮凝显著增加。在 pH 3~9 范围内 95% 以上方铅矿絮凝。

细菌细胞/生物试剂与矿物形成的絮团是三维圆盘。絮状物的 SEM 照片表明, 细菌细胞与矿物混合在一起, 并且相互包裹。早期研究结果表明, 细胞表面组织对不同矿物有特定的亲和力。因此, 细菌细胞壁作为矿物与细菌细胞的桥梁将它们连接为三维结构。SEM 絮团如图 5 和 6 所示。由细菌产生的生物试剂 (EBP) 同样也形成矿物絮团。

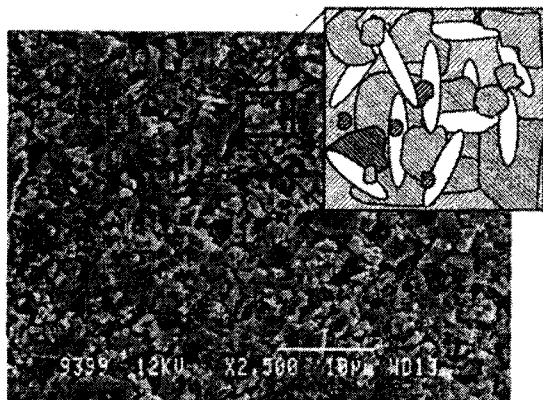


图 5 矿物与细菌细胞形成的絮团的 SEM 照片和示意图

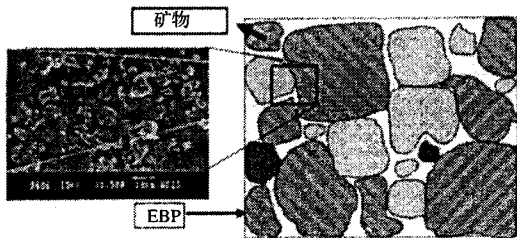


图 6 矿物与胞外产物形成的絮团的 SEM 照片和示意图

### 2.3 选择性絮凝研究

对用细菌细胞、EBP 和 ECP 从黄铜矿和方铅矿二元混合物中选择性分离方铅矿进行了试验。从表 1 结果可以看出, 在有细菌细胞存在时可以分离出 71.4% 的方铅矿, 在有 EBP 存在时, 可以分离出 92.3% 的方铅矿。在 pH 8.5~9 时, 有细菌细胞存在时可以分离出 70.2% 的方铅矿, 在有 EBP 存在时, 可分离出 89.7% 的方铅矿。

表 1 在有细菌细胞 ( $5 \times 10^8$  个细胞/mL) 和 *P. polymyxa* 菌的 EBP (50mg/g) 存在时, 从黄铜矿和方铅矿混合物 (质量比 1:1) 中选择性絮凝黄铜矿

脱泥段编号 (每段 3min)	不同 pH 时方铅矿去除(累积)/%			
	6.5~7		8.5~9	
	细胞	EBP	细胞	EBP
1	22.6	25.6	31.2	33.0
2	41.8	49.7	56.7	45.6
3	61.8	69.9	62.3	70.2
4	68.0	81.2	69.8	85.1
5	71.4	92.3	70.2	89.7

图 4, c 结果表明, ECP 并不能显著影响黄铜矿的沉降率。同样观察了在与 ECP 作用后从黄铜矿和方铅矿二元混合物中分离方铅矿的情况。表 2 表明, 在 pH 6.5~7 范围, 可分离出 87.2% 黄铜矿, 在 pH 8~8.5 范围可分离 81% 黄铜矿。

表 2 在有从 *P. polymyxa* 菌上清液中分离出的 ECP (100mg/g) 存在时, 从黄铜矿和方铅矿 (质量比 1:1) 混合物中选择性絮凝黄铜矿

脱泥段编号 (每段 2min)	不同 pH 时黄铜矿去除率(累积)/%	
	6.5~7	8~8.5
1	40.1	35.0
2	62.3	59.7
3	71.9	68.7
4	82.3	79.6
5	87.2	81.0

### 2.4 微量浮选试验

也研究了与细菌细胞、EBP 和 ECP 作用后的黄铜矿和方铅矿的浮选行为。确定了在有捕收剂, 例如 PIPX 存在时与 EBP 和 ECP 作用后的矿物浮选行为。从图 7 可以看出, 与细菌细胞、EBP 和 ECP 作用后, 黄铜矿的浮选回收率为 20%。然而, 与 EBP 作用后, 方铅矿表现出疏水行为。在 pH 3, 方铅矿的浮选回收率由 25% 增至与 EBP 作用后的 45%。在 pH 6 时浮选回收率为 65%, pH 9 降至 45%。然而, 与细菌细胞和 ECP 作用后, 方铅矿的回收率降低。

### 2.5 微量分离浮选试验

在研究过经不同生物试剂处理过的单矿物浮选行为之后, 又研究了用不同生物试剂从黄铜矿和方铅矿二元混合物中分离黄铜矿的可能性。为了提高分离效率, 添加异丙基黄原酸钾 (PIPX)。表 3 为采用细菌细胞、EBP 和 ECP 时, 选择性浮选分离试验结果。从表 3 可以看出, 与细菌细胞作用后, 经 PIPX ( $1 \times 10^{-3}$  mol/L) 调整后, 混合物中黄铜矿的回收率为 49.9%, 方铅矿的回收率为 44%。当 PIPX

浓度降至  $5 \times 10^{-4}$  mol/L 时,黄铜矿的回收率为 44.4%,方铅矿回收率为 37.2%。然而,当混合物先与 PIPX( $1 \times 10^{-3}$  mol/L)作用,然后再与细菌细胞作用,则黄铜矿的回收率为 48%,方铅矿的回收率为 47.9%。当 PIPX 浓度降至  $5 \times 10^{-4}$  mol/L 时,黄铜矿的回收率为 39.2%,方铅矿的回收率为 38.8%。当混合物先与 EBP 作用,然后与 PIPX( $5 \times 10^{-4}$  mol/L)调节,黄铜矿的回收率为 29.1%,方铅矿为 81.4%。然而,与 ECP 作用后,黄铜矿的浮选回收率为 49.6%,方铅矿回收率为 14.1%。

3 结 论

由本试验结果可得到如下主要结论

- 1) *Paenibacillus polymyxa* 菌细胞可以强烈地吸附在黄铜矿和方铅矿表面上。
- 2) 然而,细菌胞外产物,如生物蛋白质和外胞多糖,在黄铜矿上的吸附量高于方铅矿。
- 3) 与细菌作用后黄铜矿和方铅矿的絮凝程度增强。与生物蛋白质作用后促进黄铜矿絮凝,然而外胞多糖可增强方铅矿的絮凝。
- 4) 在 pH 高于 6 时,生物蛋白质增强方铅矿的浮选。

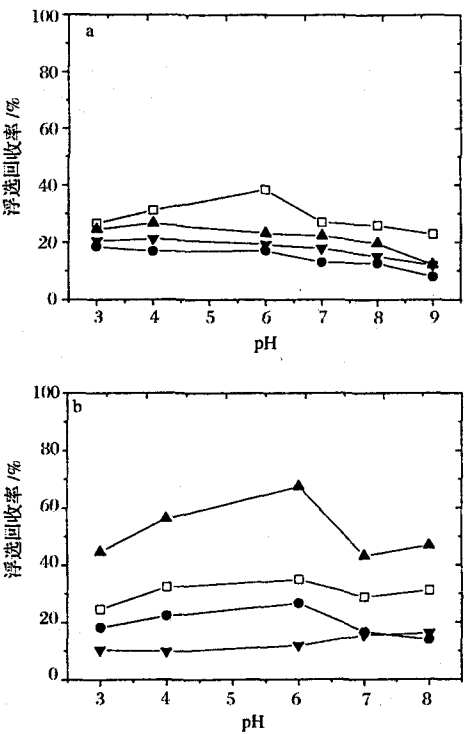


图 7 不同 pH 下,与细菌细胞、EBP 和 ECP 作用后的黄铜矿(a)和方铅矿(b)的浮选回收率  
□—不与药剂作用;●—与细菌细胞作用;  
▲—与 EBP 作用;▲—与 ECP 作用

表 3 在 pH 6~6.5,用 PIPX 为捕收剂,用细菌细胞、EBP 和 ECP 处理后,黄铜矿和方铅矿的分离浮选结果

试验条件	细胞/生物试剂浓度	PIPX 浓度 /mol · L <sup>-1</sup>	黄铜矿回收率/%	方铅矿回收率/%
先与细胞作用,然后用 PIPX 处理	2×10 <sup>9</sup> 个细胞/mL	1×10 <sup>-3</sup>	49.9	44
先与细胞作用,然后用 PIPX 处理		5×10 <sup>-4</sup>	44.4	37.2
先与 PIPX 作用,然后用细胞处理	2×10 <sup>9</sup> 细胞/mL	1×10 <sup>-3</sup>	48	47.9
先与 PIPX 作用,然后用细胞处理		5×10 <sup>-4</sup>	39.2	38.8
先与 EBP 作用,然后用 PIPX 处理	50mg/g	5×10 <sup>-4</sup>	29.1	81.4
先与 ECP 作用,然后用 PIPX 处理	100mg/g	5×10 <sup>-4</sup>	49.6	14.1

5)在自然 pH 下,通过控制生物蛋白质和外胞多糖的调节的生物诱导絮凝可以使方铅矿与黄铜矿有效地分离。相似地,先与生物蛋白质作用可以增

强方铅矿从黄铜矿中的选择性浮选。

(罗 伟;肖力子)  
(081004)

(上接第 45 页)

每盎司 889~1056 美元,2009 年介于 775~1250 美元,而分析师对 2009 年金价均值的预估为每盎司 930 美元。

预期黄金后市会继续自其他市场引发的疑虑中获益。金融市场的波动,日益浓重的通胀疑虑,

以及地缘政治局势,都将会为未来金价带来支撑。

不过,现货需求的降低,也是造成价格可能回落的原因之一。市场对美元明年可能走强的预测,也给黄金明年的涨势投下阴影。巴克莱资本分析师 Suki

Cooper 说:“价格较高波动性较大,以及经济成长放缓,均打压了黄金珠宝商的需求,尤其是对价格极度敏感的那些商人,如印度。”“而一旦价格开始稳定,那么预期买家会习惯这样的高价格,需求也会慢慢回升。”