

第22届国际矿物加工大会论文

在酸性介质中从含橄榄石和蛇纹石矿石中浮选铬铁矿

G·别拉尔迪斯科 等

摘 要 研究了橄榄石、蛇纹石和铬铁矿与溶液中经常存在的钙镁离子和浮选药剂(EDTA和油酸盐)之间的物理和化学作用。对采集自Kukes矿山的单矿物样品进行了电泳迁移率测量和微量浮选试验。用采集自Kukes、Bulquiza和Rizo矿山的不同类型的铬铁矿矿石进行了验证试验。试验结果表明,在pH 2.5和5.5时有或没有EDTA存在时用油酸盐作捕收剂浮选预先脱泥的矿石,可从蛇纹石和橄榄石中浮选分离出铬铁矿。浮选精矿 Cr_2O_3 品位为50%以上,其回收率超过65%。

关键词 铬铁矿 橄榄石 蛇纹石 浮选 EDTA 油酸盐钠概述

众所周知,一般根据有用矿物铬铁矿与脉石矿物的密度差别和电磁性质的不同来制定回收铬铁矿的不同选矿方法。在阿尔巴尼亚的Kuke Tropoi及Bulquiza地区和希腊Rizo地区发现了铬铁矿矿床,但是,用常规的重选和磁选方法很难处理它们。深部埋藏矿石的结构构造与地表矿石有很大的不同,在深部埋藏矿石中铬铁矿与脉石矿物之间的关系更为复杂。深部埋藏矿石具有细粒嵌布结构。它们需要细磨,这样一般会产生大量的细泥,因而引起矿石难选,降低铬的回收率。

1946年Havens首先制定了最常用的铬铁矿浮选法。该法在pH 1.5~5.5下用长链脂肪酸捕收剂浮选脱过泥的矿石。向矿浆中添加可溶的氟离子作为硅酸盐脉石矿物的抑制剂来提高铬铁矿浮选的选择性。用氢氟酸、氟化钠或硅氟化钠提供氟离子。在浮选过程中药剂用量一般为(g/t):脂肪酸 200~2000、可溶的氟离子 40~4000,硫酸 40~4400。从含25.2% Cr_2O_3 的矿石中获得含41.0% Cr_2O_3 和2.5% SiO_2 的铬精矿,其回收率为77%。

Havens以后又对此方法做了改进,以处理不脱泥的矿石。在该法中燃料油和氟离子与矿浆预先调浆,用长链脂肪酸与石油磺酸钠混合物作为铬铁矿的捕收剂。这些改进措施一般可以提高铬铁矿的回收率,但会降低精矿品位。另外一个方法是在pH 11.5时用长链脂肪酸捕收剂浮选未脱泥的矿石。用NaOH调节pH。用硅酸钠分散矿浆,用CMC作为硅酸盐脉石矿物抑制剂。药剂典型用量为(g/t):硅酸钠 1200,塔尔油 40~1200,CMC 100~200。从

含18.13% Cr_2O_3 和23.98% SiO_2 的矿石获得含52.16% Cr_2O_3 和3.72% SiO_2 的铬精矿, Cr_2O_3 回收率为77%。但是,这个应用脂肪酸的常规浮选方法有一些缺点,其中一个选择性比较低。

所有脂肪酸法都需要应用抑制硅酸盐矿物的抑制剂,如可溶的氟化物和淀粉来提高选择性。但是,环境不接受含有氟离子的化合物。另一个缺点是,控制浮选过程的脂肪酸捕收剂与硅酸盐脉石矿物抑制剂之间协同作用比较困难。

曾试图制定分选铬铁矿的一些选择性的方法,如胺浮选法。在该法中,先在pH 12附近用胺类捕收剂浮选处理含蛇纹石和橄榄石的铬铁矿石,以除去蛇纹石,再在pH 3时用胺类捕收剂浮选铬铁矿。在蛇纹石浮选时,胺的典型用量为270 g/t。从含36% Cr_2O_3 的矿石获得含45% Cr_2O_3 的铬精矿,其回收率为87%。最近提出了在pH 11下用水玻璃作调整剂浮选矿泥,流程包括一次粗选三次精选。用OMC-377(改性的脂肪酸)和SM15(磷酸二酯与烷基聚乙二醇酯混合物)作为捕收剂。但是,在橄榄石存在时铬铁矿精矿 Cr_2O_3 品位难以达到48%以上。

本工作的目的是制定选别不同类型含有橄榄石和蛇纹石的细粒(d_{50} 小于100 μm)铬铁矿矿石的不用预先处理的新方法。因为,新流程设计需要了解浮选药剂与矿物表面和相关离子之间的作用,所以首先根据矿物溶解度、表面电荷、单矿物浮选和矿石浮选试验来研究体系中矿物与药剂之间的物理化学关系。本研究提出在不同pH(11.5~2.5)下用油酸作捕收剂浮选铬矿石的结果。

1 试验的矿物和矿石

试验的矿石采自 Kukes Tropoi、Bulquiza 和 Rizo 矿区。前者产在 Tirana 超基性岩体的 Kukes 东南岩体。地质资料表明,含 18%~45% Cr_2O_3 矿石的计算储量为 3700 万 t,而当前的勘探储量为 2200 万 t。Rizo 矿床产在希腊 Vourinos 北部蛇绿岩含金属带中。Rizo 矿体赋存于该地区中部,其储量为 40 万 t。矿石质量差,铬铁矿含量为 5%~25%,由细粒低品位条纹状、浸染状和致密块状和鲕状矿石组成。

Bulquiza 矿石采自老重选厂和现在重选厂的尾矿库中。

铬铁矿是理论化学成分为 FeCr_2O_4 的黑色尖晶石。在天然的铬铁矿中, Fe^{2+} 一般被 Mg^{2+} 替代, Cr^{3+} 被 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 替代。三价 Cr、Al 和 Fe 与氧以八面体共价配位,而二价离子 Fe 和 Mg 与氧以四面体共价配位。橄榄石为斜方铁镁岛状硅酸盐,它是纯镁橄榄石(Mg_2SiO_4)和铁橄榄石(Fe_2SiO_4)的固溶体。蛇纹石是由橄榄石变化而得到的。它们属于具伪六面体、层状或纤维习性的单斜和斜方页硅酸盐。它们是橄榄石和辉石的伪晶形,有时为闪石晶体结构。蛇纹石的理论化学成分为 $\text{Mg}_3(\text{OH})_4(\text{Si}_2\text{O}_5)$ 。

试验所用矿样采集自 Kukes 矿床特征部位。它们经适当富集,以获得尽可能纯的铬铁矿、橄榄石和蛇纹石样品。用 ICP 光谱法和微探针定量分析每种矿样主要元素含量。

小型浮选试验所用铬铁矿矿石样品从以下地点获得。

1) Kukew 超基性岩体的 Kalimash 矿床。原矿化学分析结果(%):16.02 SiO_2 、29.23 Cr_2O_3 、3.15 Al_2O_3 、12.04 Fe_2O_3 、34.16 MgO 和 0.18 Na_2O 。岩相分析表明,最多的硅酸盐矿物是蛇纹石(约占 10%)和顽辉石(占 45%),其中铬铁矿含量为 44%。矿石中存在少量铁橄榄石(约 6%)及少量滑石和硫化矿物(镍黄铁矿),同时还有磁铁矿、绿泥石、自然铜和铂矿。在其粒度为 $-150\ \mu\text{m}$ 时铬铁矿基本完全单体解离。

2) Rizo 超基性岩体的 Rizo 矿床。原矿化学分析结果(%):8.68 Cr_2O_3 、9.33 Fe_2O_3 、2.48 Al_2O_3 、32.71 SiO_2 、38.36 MgO 。岩相分析表明,最多的硅酸盐矿物是蛇纹石(约占 30%)和橄榄石(占 42%),其中铬铁矿含量为 18%。矿石中存在少量辉石

(约 5%)和绿泥石(5%)。在其粒度为 $-150\ \mu\text{m}$ 时铬铁矿基本完全单体解离。

3) Bulquiza 老重选厂尾矿。尾矿化学分析结果(%):8.48 Cr_2O_3 、8.89 Fe_2O_3 、1.08 Al_2O_3 、和 27.94 SiO_2 。岩相分析表明,最多的硅酸盐矿物是镁橄榄石 $[(\text{Mg}_{0.54}\text{Fe}_{0.46})_2\text{SiO}_4]$ 和铁橄榄石 $[(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4]$,同时还有少量镁铬铁矿(MgCr_2O_4)和黄铜矿(CuFeS_2)。

4) 现在正生产的 Bulquiza 重选厂尾矿。尾矿化学分析结果(%):7.95 Cr_2O_3 、4.73 Fe_2O_3 、0.33 Al_2O_3 、31.08 SiO_2 和 34.98 MgO 。岩相分析表明,最多的硅酸盐矿物是含铬的斜绿泥石 $[(\text{MgCr})_6(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ 、镁橄榄石(Mg_2SiO_4)和利蛇纹石($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5$),还有少量含铝铬铁矿、赤铁矿(Fe_2O_3)、滑石和 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}$ 。

5) 现在正生产的 Bulquiza 重选厂精矿。精矿化学分析结果(%):34.92 Cr_2O_3 、2.24 Fe_2O_3 、0.21 Al_2O_3 、14.82 SiO_2 和 14.94 MgO 。岩相分析表明,最多的硅酸盐矿物是含铬的斜绿泥石 $[(\text{MgCr})_6(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ 、镁橄榄石(Mg_2SiO_4)和利蛇纹石($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5$),还有少量含铝铬铁矿和赤铁矿(Fe_2O_3)。

2 预先研究结果

用由 Kukes 矿床采集的铬铁矿、橄榄石和蛇纹石单矿物样进行了离子溶解度和 Zeta 电位测量。用 Kukes、Bulquiza 和 Rizo 矿床采集的矿石进行了实验室小型浮选试验。Belardi 等人已经叙述了试验详情。溶解度试验结果表明,在酸性范围上清液中离子的浓度比碱性范围要高。随着溶液 pH 降低,介质中的离子溶解量增多。

镁是铬铁矿样品中最常见的元素。在碱性介质中,随搅拌时间增长,上清液中的镁浓度从 $1 \cdot 10^{-6}$ 增至 $14 \cdot 10^{-6}$ 。其它元素的溶解度均不超过 $2 \cdot 10^{-6}$ 。在酸性介质中,镁的溶解度为 $60 \cdot 10^{-6}$ 。其它元素的溶解度为 $10 \cdot 10^{-6}$ 。

在碱性介质中橄榄石上清液中的离子浓度与铬铁矿上清液中离子浓度相近。溶解度最大的镁浓度为 $2 \cdot 10^{-6} \sim 17 \cdot 10^{-6}$ 。其它元素的溶解度低于 $2 \cdot 10^{-6}$ 。在酸性介质中,溶液中二价离子浓度有很大差别。镁为 $500 \cdot 10^{-6}$,钙为 $170 \cdot 10^{-6}$,而铁为 $100 \cdot 10^{-6}$ 。

蛇纹石的溶解度与橄榄石相近。在碱性介质中,上清液中镁的浓度为 $10 \cdot 10^{-6}$,而其它元素的浓

度均低于 $1 \cdot 10^{-6}$ 。在酸性介质中, 镁的溶解度再次增大, 其浓度在 $200 \cdot 10^{-6} \sim 500 \cdot 10^{-6}$ 之间。铁和钙的浓度分别为 $90 \cdot 10^{-6}$ 和 $40 \cdot 10^{-6}$ 。

在碱性介质中, 离子的溶解度随 pH 升高而降低, 这是由于部分离子与溶液中氢氧根离子形成沉淀。离子最大溶解浓度遵循金属氢氧化物的溶度积规律, 其值与 pH 值有关。

在钙、EDTA 和油酸钠存在时分别测定了铬铁矿、蛇纹石和橄榄石的电泳迁移率。

铬铁矿 Zeta 电位测定结果表明, 在酸性介质中铬铁矿表面荷正电, 在碱性介质中荷负电。其零电点为 pH 3.5。橄榄石和蛇纹石具有类似的动电行为。其零电点分别为 pH 4.2 和 pH 4.7。

显然, 在酸性 pH 范围, 表面电位随 pH 增大而降低是由于 H^+ 与 OH^- 离子平衡引起的。在碱性 pH 范围, Zeta 电位仅稍稍降低。在某些情况下, 特别是对于铬铁矿, 电位降低到最低点, 然后又升高。在碱性介质中, Zeta 电位随 pH 变化可解释为随 pH 降低, 阳离子从矿物表面溶解下来。矿物表面阳离子的溶解意味着表面正电荷损失。在碱性介质中阳离子溶解对表面正电荷多作贡献。溶解度试验结果表明, 在碱性介质中镁和钙的溶解度比酸性介质中低得多。

矿浆中脉石矿物溶解产生的较高浓度的阳离子对铬铁矿表面电荷影响很大。例如, 向矿浆中添加 $170 \cdot 10^{-6} Ca^{2+}$ 离子可明显使铬铁矿表面电荷向更少的负电荷方向偏移。这可能是由于钙离子在铬铁矿表面上富集引起的。油酸钠的存在使矿物的 Zeta 电位向更负的方向偏移, 这可能是由于油酸离子与矿物表面阳离子结合, 降低了矿物表面净电荷。添加 EDTA 降低了铬铁矿和脉石矿物的 Zeta 电位和零电点, 这可能是由于形成了 EDTA 络合物, 而提高了阳离子的溶解度。联合添加钙和油酸钠使 Zeta 电位改变, 可以认为是钙和油酸各自作用的迭加。但是, Ca^{2+} 离子作用控制着 Zeta 电位变化。EDTA 和油酸钠联合也使得 Zeta 电位变化。但是, 不能用它们各自作用来解释这种现象。

从 Zeta 电位测量结果可明显看出, 若根据捕收剂物理吸附来选择性分离铬铁矿与橄榄石和蛇纹石是很困难的。因为铬铁矿的零电点与脉石矿物的零电点没有很大的差别。在 pH 高于零电点时, 矿物表面净电荷为负, 阴离子捕收剂只能通过化学吸附才能吸附在矿物表面上。捕收剂的羧基团与矿物表

面上的阳离子之间的离子键合才可能形成。在阳离子与溶液中油酸阴离子形成沉淀时, 也可能有这种类型的键合存在。

在 Zeta 电位测定的基础上, 又用微量浮选试验设备研究了铬铁矿、橄榄石和蛇纹石的可浮性。在油酸钠和 EDTA 调整剂存在时进行了微量浮选试验, 接着又进行了捕收剂用量试验。

用单矿物样品进行微量浮选试验, 以确定选择性浮选矿物的最佳的物理和化学条件。试验结果表明, 在 pH 2.5 和 5.5 时用 10^{-2} mol/L 油酸钠和 10^{-4} mol/L EDTA 可将铬铁矿与橄榄石和蛇纹石分离开。浮选时的矿浆固体浓度为 33%, 故油酸钠和 EDTA 的用量分别为 112.8 和 58.4 g/t。在 pH 2.5 和 5.5 时, 油酸钠浓度在 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ mol/L 之间变化, 进行浮选试验。结果表明, 在 pH 2.5 时, 橄榄石和蛇纹石完全被抑制, 而在 pH 5.5 时, 在油酸钠浓度为 10^{-2} mol/L (5.63 kg/t) 时, 蛇纹石抑制效果比较明显。单矿物浮选动力学试验结果对比表明, 在 pH 2.5 和 5.5 时铬铁矿的浮选回收率相近, 在 pH 5.5 时蛇纹石的浮选回收率比 pH 2.5 时要低, 相反地, 在 pH 5.5 时橄榄石浮选回收率比 pH 2.5 时要高。

3 矿石浮选试验结果

3.1 Kukes 矿石浮选试验结果

在物理化学研究的基础上, 用铬铁矿矿石进行了实验室浮选试验, 以确定获得可销售的铬铁矿精矿可行性和确定浮选不同矿物组成的铬铁矿矿石浮选的化学和物理条件(药剂用量和浮选时间)。用富含橄榄石的 Kukes 矿石进行选矿试验。其流程如图 1 所示, 图中表示了每段所用的试验条件。选矿结果如表 1 所示。

1 kg 的 Kukes 原矿样在固液比 1:1 用不锈钢棒磨机磨至 d_{80} 粒度为 100 μm 。试验中所用药剂制备成 5% 浓度的水溶液。

在 2 大气压和固液比为 1:3 下用旋流器脱去 10 μm 矿泥。用 2.5 L 和 1.2 L 丹佛浮选机进行小型浮选试验。在 pH 2.5 附近进行粗选和精选。一次精选就可获得铬铁矿精矿。

粗选尾矿几乎由抛弃的蛇纹石和蛇纹石化的橄榄石组成。增加精选可以获得铬铁矿精矿。精选尾矿由抛弃的橄榄石组成。铬铁矿精矿 Cr_2O_3 品位为

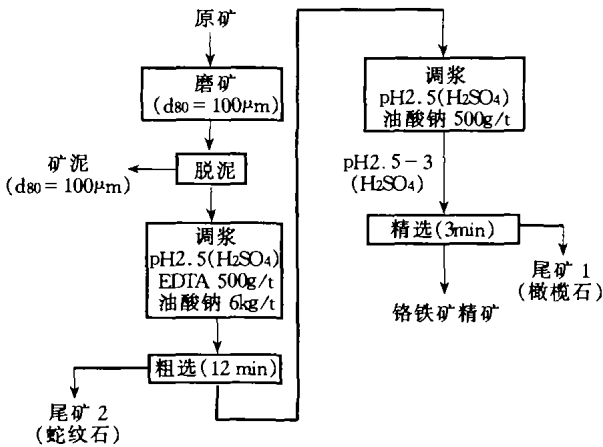


图1 Kukes 矿石选矿流程

52.5%，其回收率为80.13%。

3.2 Rizo 矿石浮选试验结果

Rizo 矿石 Cr₂O₃ 品位为 9%，蛇纹石含量比 Kukes 矿石高。在 pH 5.5 时粗选可抛弃蛇纹石，在 pH 2.5~3.0 精选可抛弃橄榄石。在这种情况下可从含 8.68% Cr₂O₃ 的原矿获得含 55.80% Cr₂O₃ 的铬铁矿精矿，其回收率为 74.84%。矿泥中铬铁矿的损失为 2%。选矿流程如图 2。选矿结果如表 2 所示。

3.3 Bulquiza 老尾矿浮选试验结果

用 Cr₂O₃ 品位为 8.48% 的 Bulquiza 老尾矿进行实验室浮选试验。试验结果表明，在自然 pH 值下粗选可除去蛇纹石，在 pH 2.5~3.0 精选可抛弃橄

表1 Kukes 矿石选矿结果

矿 石 名 称	产率 /%	含量/%					分布率/%				
		Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
精 矿	44.62	52.50	16.30	4.80	3.80	26.60	80.13	60.33	67.99	10.58	34.75
尾矿 1	13.15	26.40	12.72	2.99	17.80	39.60	11.88	13.87	12.48	14.61	15.24
尾矿 2	38.60	4.80	7.10	1.39	29.10	41.30	6.34	22.73	17.03	70.10	46.67
矿 泥	3.63	13.30	10.18	2.17	20.81	31.43	1.65	3.07	2.50	4.71	3.34
原 矿	100	29.23	12.04	3.15	16.02	34.16	100	100	100	100	100

表2 Rizo 矿石选矿结果

矿 石 名 称	产率 /%	含量/%					分布率/%				
		Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
精 矿	11.64	55.80	17.6	6.03	0.90	17.50	74.84	21.96	28.34	0.32	5.31
尾矿 4	2.96	11.44	11.3	1.60	25.30	45.40	3.77	3.46	1.85	2.21	3.38
尾矿 3	8.58	6.58	10.75	2.20	27.86	43.80	6.50	9.89	7.62	7.31	9.80
尾矿 2	28.60	1.80	8.90	1.60	31.89	43.95	5.93	27.29	18.48	27.88	32.76
尾矿 1	40.34	1.32	6.80	1.90	42.80	38.97	6.14	29.40	30.95	52.78	40.98
矿 泥	7.98	3.07	9.35	3.96	38.93	37.34	2.82	8.00	12.76	9.50	7.77
原 矿	100	8.68	9.33	2.48	32.71	38.36	100	100	100	100	100

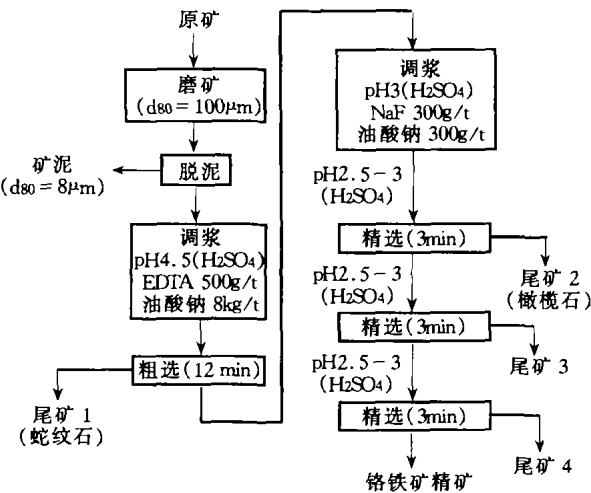


图2 Rizo 矿石选矿流程

榄石。在这种情况下可从含 8.48% Cr₂O₃ 的给矿获得含 51.5% Cr₂O₃ 的铬铁矿精矿，其回收率为 67%。矿泥中铬铁矿的损失为 11%。选矿流程如图 3、图 4 和图 5。选矿结果如表 3、表 4 和表 5 所示。

表3 用第一个选矿流程处理 Bulquiza 老尾矿的结果

产品名称	产率/%	Cr ₂ O ₃ 品位/%	Cr ₂ O ₃ 回收率/%
精 矿	7.36	51.5	62.43
中矿 2	7.47	2.61	2.70
中矿 1	23.61	8.15	26.62
矿泥 2	3.53	7.91	3.86
矿泥 1	10.60	5.88	8.61
尾 矿	47.43	0.88	5.77
给 矿	100	7.23	100

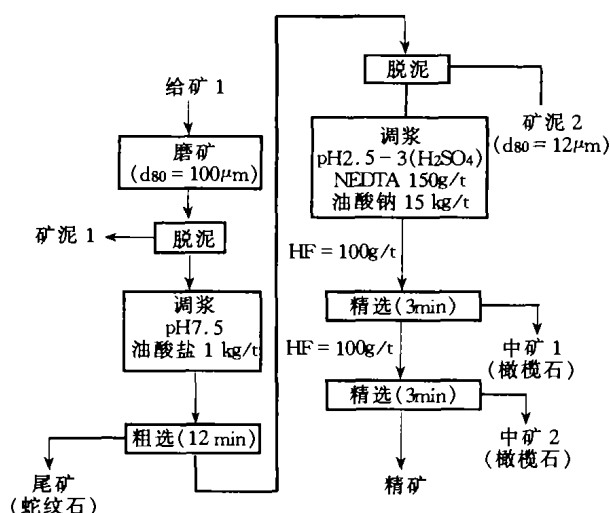


图3 处理 Bulquiza 老尾矿的第一个选矿流程

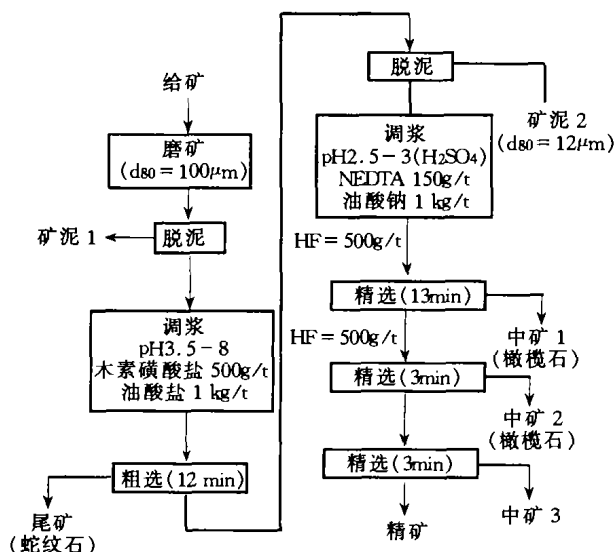


图4 处理 Bulquiza 老尾矿的第二个选矿流程

表4 用第二个选矿流程处理 Bulquiza 老尾矿的结果

产品名称	产率/%	Cr ₂ O ₃ 品位/%	Cr ₂ O ₃ 回收率/%
精矿	11.76	51.65	67.15
中矿3	2.98	17.99	5.93
中矿2	6.56	3.38	2.45
中矿1	12.83	9.51	13.49
矿泥2	1.16	7.91	1.01
矿泥1	14.56	5.18	9.47
尾矿	50.15	0.09	0.50
给矿	100	9.04	100

值得指出的是,在自然 pH 下预先混合浮选铬铁矿和橄榄石和除去蛇纹石可以降低下一段酸性浮选段硫酸和油酸盐捕收剂的用量。

为了提高精矿 Cr₂O₃ 品位,在这种情况下两段

脱泥是需要的。

表5 用第三个选矿流程处理 Bulquiza 老尾矿的结果

产品各称	产率/%	Cr ₂ O ₃ 品位/%	Cr ₂ O ₃ 回收率/%
精矿	5.79	51.6	71.36
中矿2	2.80		
中矿1	23.07	1.98	7.35
矿泥2	1.16	7.91	1.48
矿泥1	14.57	5.88	13.79
尾矿	52.61	0.71	6.01
给矿	100	6.21	100

3.4 Bulquiza 现有重选厂尾矿浮选试验结果

处理 Bulquiza 现有重选厂尾矿的流程如图 6 和图 7 所示。在每段中都应用了搅拌。选矿结果如表 6 和表 7 所示。

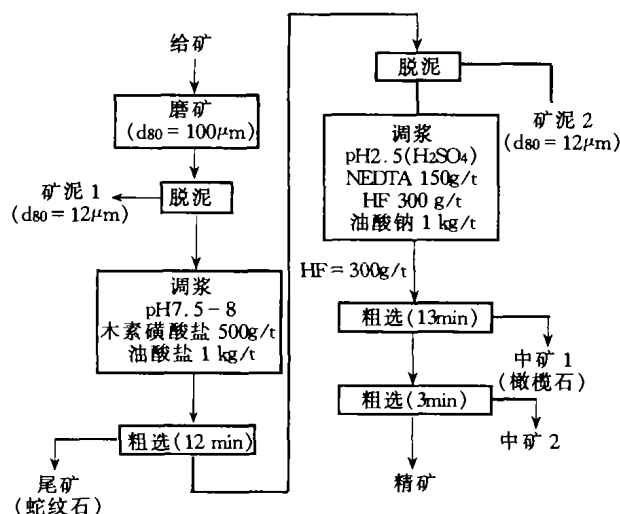


图5 处理 Bulquiza 老尾矿的第三个选矿流程

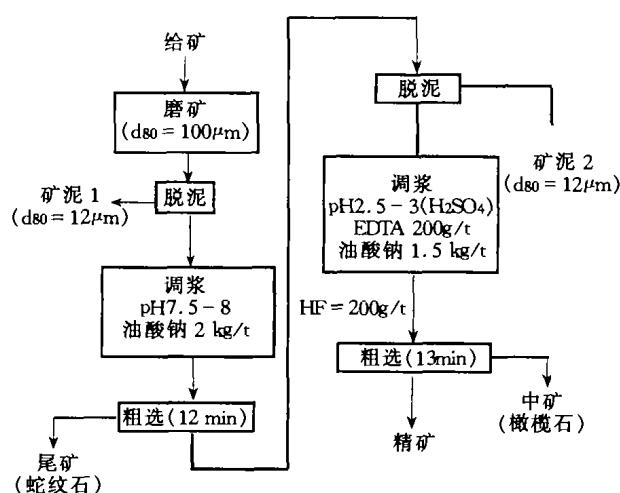


图6 处理 Bulquiza 现有重选厂尾矿的第一个选矿流程

在实验室中对 Cr₂O₃ 品位为 7.95% 的现有重选厂尾矿进行浮选,可以获得 Cr₂O₃ 品位足够高和回收率较高的铬铁矿精矿。

表 6 用第一个选矿流程处理 Bulquiza 现有重选厂尾矿的选矿结果

矿 石 名 称	产率 /%	含量/%					分布率/%				
		Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
精 矿	8.57	33.90	2.4	0.20	14.03	13.60	34.09	4.54	4.91	3.72	3.60
中 矿	25.52	10.56	4.50	0.25	31.51	33.13	31.63	25.32	18.28	24.86	26.14
矿泥 2	3.41	5.29	5.38	0.66	28.90	29.43	2.12	4.05	6.45	3.05	3.11
矿泥 1	8.95	4.53	5.85	0.77	31.55	33.03	4.76	11.54	19.74	8.73	9.14
尾 矿	53.55	4.36	4.62	0.33	36.04	35.03	27.40	54.55	50.62	59.65	58.01
给 矿	100	8.52	4.54	0.35	32.34	32.34	100	100	100	100	100

表 7 用第二个选矿流程处理 Bulquiza 现有重选厂尾矿的选矿结果

矿 石 名 称	产率 /%	含量/%					分布率/%				
		Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
精 矿	12.42	29.87	2.37	0.06	14.18	15.17	46.98	6.48	2.20	5.50	5.66
中矿 2	4.81	9.71	4.82	0.28	26.63	29.51	5.91	5.10	3.97	3.99	4.26
中矿 1	21.06	3.78	4.89	0.26	34.97	37.64	10.08	22.68	16.14	22.99	23.79
矿泥 2	2.75	5.11	5.43	0.64	32.45	32.36	1.78	3.29	5.19	2.79	2.67
矿泥 1	12.08	4.38	5.81	0.64	35.79	36.44	6.70	15.46	22.78	13.50	50.41
尾 矿	46.88	4.81	4.55	0.36	35.01	35.83	28.55	46.98	49.73	51.23	13.21
给 矿	100	7.90	4.54	0.34	32.04	33.32	100	100	100	100	100

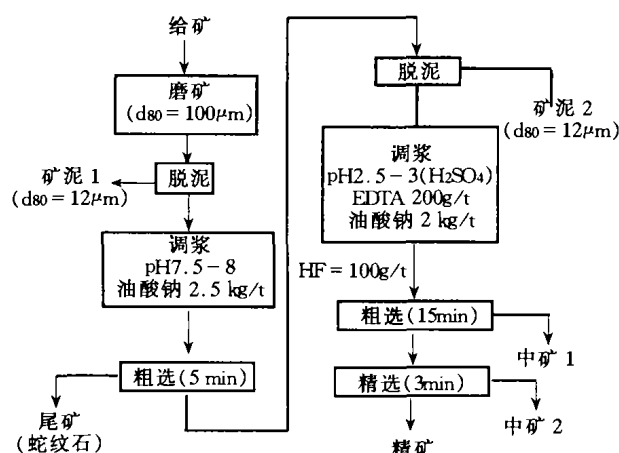


图 7 处理 Bulquiza 现有重选厂尾矿的第二个选矿流程

3.5 Bulquiza 现有重选厂精矿浮选试验结果

处理 Bulquiza 现有重选厂精矿的流程如图 8 所示,选矿结果如表 8 所示。

在实验室中对 Cr₂O₃ 品位为 34.92% 的现有重选厂精矿进行浮选,可以获得 Cr₂O₃ 品位和回收率足够高的铬铁矿精矿。

4 结 论

在碱性溶液中 (pH 11.5), 油酸盐不可能吸附在矿物表面铝、铁和铬质点处, 因为, 这些元素对氢氧根离子有比较强的亲合力, 它们可以形成中性的阴离子氢氧化物组分。但是, 矿物表面上的钙和镁

表 8 Bulquiza 现有重选厂精矿的选矿结果

矿 石 名 称	产率 /%	含量/%					分布率/%				
		Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
精 矿	47.49	49.57	0.48	0.14	4.02	1.69	71.22	10.61	26.58	13.51	5.93
中矿 2	14.50	39.25	1.90	0.25	10.92	11.89	17.21	12.81	14.48	11.20	12.72
中矿 1	34.69	9.06	4.29	0.36	28.77	29.56	9.51	69.26	49.92	70.60	75.70
矿泥	3.32	20.58	4.73	0.68	20.00	23.06	2.07	7.31	9.02	4.70	5.65
给 矿	100	33.06	2.15	0.25	14.14	13.55	100	100	100	100	100

是油酸盐吸附的质点, 因为它们对氢氧根离子亲合力低。不用调整剂时, 油酸盐在铬铁矿和脉石矿物表面上的吸附量相近, 所以, 此时分离它们是比较困难。

在 pH 2.5 附近, 所有矿物具有带正的表面电

荷。值得指出的是, 在酸性溶液中钙、镁、铁和铝离子浓度比碱性溶液中的要高。溶液中钙和镁离子的存在使得碱性介质中铬铁矿和脉石矿物负电位值减小, 但是, 对油酸盐的吸附影响很小, 因为, 大多数离子以油酸钙或油酸镁皂沉淀存在。

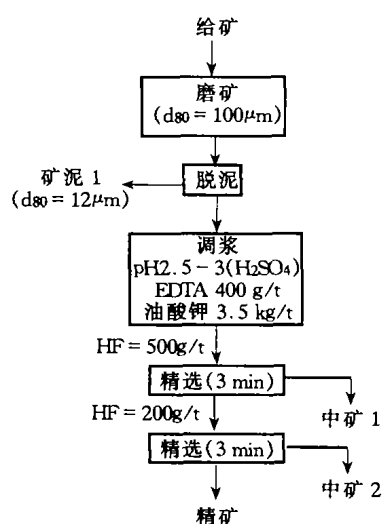


图8 处理 Bulquiza 现有重选厂精矿的选矿流程

在 pH 2.5 和 5.5 范围不用 HF 或 AlCl_3 调整剂,用 EDTA 和油酸盐捕收剂可从脱过泥的酸性矿浆中很容易浮选出铬铁矿。用分散剂木质素磺酸盐调整剂在自然 pH 下可分离出蛇纹石。不同矿物浮选动力学研究结果表明,在 pH 2.5 和 5.5 时铬铁矿的可浮性相近。pH 5.5 时的蛇纹石的可浮性比 pH 2.5 时的低,而 pH 5.5 时的橄榄石的可浮性比 pH 2.5 时的高。在酸性溶液中用油酸和 EDTA 处理过的橄榄石的 FTIR 光谱研究结果表明,在处理的样品上仍有大量油酸盐存在。捕收剂是以油酸盐形式存在,因为在红外光谱中发现了油酸峰。在光谱中未发现 EDTA 峰,所以,橄榄石的抑制似乎与亲水

的 EDTA 组分的吸附关系不大。

EDTA 抑制矿物的原因可能是表面阳离子的络合和溶解。因而,降低了捕收剂的吸附量,吸附量测量结果证实了这一点。在 pH 低于 4 时,EDTA 使橄榄石的可浮性明显降低,而铬铁矿可浮性仍相当高。因此,在酸性溶液中浮选分离铬铁矿与橄榄石时用 EDTA 作为抑制剂可以提高其选择性。

值得指出的是,在较高 pH (pH 5.5) 预先混合浮选铬铁矿和橄榄石除去蛇纹石可以降低下一酸性浮选段硫酸和油酸盐捕收剂的用量,同时获得高品位和高回收率的铬铁矿精矿。

用 Rizo 矿样证实了在 pH 5.5 时粗选除去蛇纹石的可行性。在这种情况下,在 pH 2.5~3.0 下精选除去橄榄石。此时可以获得 Cr_2O_3 品位为 55.80%,回收率为 74.84% 的铬铁矿精矿。

在自然 pH 下用 Bulquiza 尾矿进行粗选试验,证实了除去蛇纹石的可行性。在这种情况下,在 pH 2.5~3.0 下精选除去橄榄石。此时可以获得 Cr_2O_3 品位为 51%,回收率为 67% 的铬铁矿精矿,但是,为了获得好的浮选指标和降低捕收剂用量,需要两段脱泥。

为了稳定 pH 和提高分离效率,在精选段需要添加少量的 HF。在技术上证明了从现有 Bulquiza 重选厂精矿中获得高质量铬铁矿精矿的可行性。

(李长根;林 森)

(041002)

(上接第 20 页)

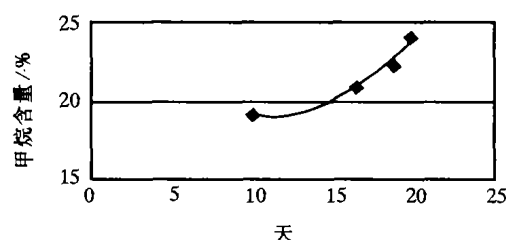


图8 排出气体的甲烷含量

反应进行 20 d 时,拍摄了一些菌粒产生的照片。背景格子尺寸为 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。

3 结论和未来的工作

经 20 d 作用后 UASB 菌粒获得很高的成粒率。初步试验表明,水平轴反应器成粒效果比竖直轴反应器要高。还需要做更多的研究工作,以优化菌粒

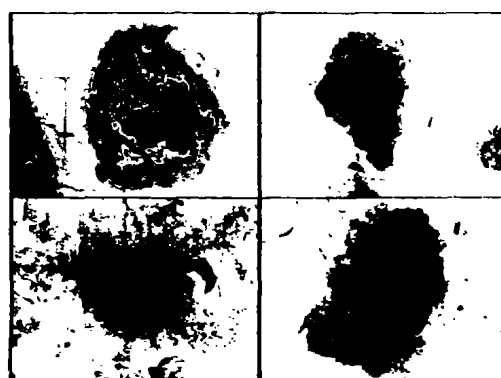


图9 产生的菌粒照片

的产量。需要确定最佳的摆动运动角度和最佳运动频率。根据滚瓶原理设计第三个反应器。经优化后将设计工业化处理能力的反应器。

(周廷熙;李长根)

(041003)