

· 矿石加工技术 ·

## 新疆某红柱石矿石选矿试验研究

张一敏 肖志东 杨大兵

(武汉冶金科技大学)

**摘要** 对新疆某红柱石矿采用“螺旋溜槽—摇床脱泥、磁选除铁钛,二粗五精浮选”工艺,可获得高质量红柱石精矿,此外,还探讨了浮选抑制剂、捕收剂的作用机理。

**关键词** 红柱石 分选流程 抑制剂 去活作用 捕收剂 吸附

### 1 引言

红柱石在高温下可分解成莫来石和游离的 $\text{SiO}_2$ 这一重要热变性能使其成为耐火材料工业中重要的矿物原料之一。随着世界钢铁工业的不断发展,预计未来十年内红柱石耐火材料年需求量将以10%的速度递增。因此,重视研究红柱石的开发与利用具有十分重要的经济意义。

新疆某红柱石矿是新疆晨光集团公司所属的一处大型原生红柱石矿山,矿石质量较好,极具开发利用价值。其矿石特点是:矿石基岩与红柱石晶体致密共生,两者硬度及脆性差异甚小,破碎分离时易产生共碎现象。该矿难以象处理风化红柱石矿石那样,经擦洗、选择性破碎等作业获得粗粒级红柱石精矿。

因此,确定合理的选别工艺流程,研究最佳分选条件及药剂制度,是解决这类红柱石矿石分选的关键。本文着重研究了浮选过程中的主要影响因素以及浮选药剂(抑制剂HDF、捕收剂石油磺酸钠等)的作用机理。

### 2 矿石性质

矿石中主要有用矿物为红柱石,主要脉石矿物为石英、黑云母、铁铝榴石,次要矿物为白云母、绢云母、碳质、绿泥石、钛铁矿、斜长石及少量金红石、磁铁矿等。红柱石以变斑

晶结构为主,少数为黑云母变斑晶,红柱石多以单个晶体颗粒存在,呈不均匀嵌布于基质中,与主要脉石矿物的嵌镶关系有两种形式:毗连嵌镶与裹嵌镶。红柱石横断面为正方形或菱形,有黑十字包体,其黑十字宽度一般为 $0.5\sim 1.0\text{mm}$ ,占整个晶体的 $1/5\sim 1/10$ , $\{110\}$ 解理中等。红柱石横断面在 $5\sim 15\text{mm}$ 左右,纵断面一般为 $20\sim 40\text{mm}$ 。此外,由于还存在分散包裹体,其包裹物粒度较细(一般 $< 0.08\text{mm}$ ),不易单体解离,因而在一定程度上将影响选别回收率。

该矿含红柱石15.00%,矿石化学分析为: $\text{Al}_2\text{O}_3$ 23.05%, $\text{SiO}_2$ 58.60%, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 7.29%, $\text{TiO}_2$ 1.12%, $\text{K}_2\text{O}$ 0.05%, $\text{Na}_2\text{O}$ 0.85%,灼失3.40%。

试验研究用矿样粒度 $0\sim 35\text{mm}$ ,经颚式破碎机、对辊机破碎至 $-2\text{mm}$ 。

### 3 试验研究结果与讨论

#### 3.1 分选方案的选择与确定

红柱石矿石的选矿工艺常取决于红柱石及其共生矿物的物理性质:基岩的脆性及晶体与基岩之间的自然解离度;红柱石与基岩之间的相对密度及硬度差别;红柱石与含铁矿物之间的比磁化系数,以及红柱石与其他非目的矿物间的可浮性差异等。本研究矿样中基岩与红柱石晶体紧密共生,两者硬度、脆

性差异极小,同时考虑到原矿中脉石矿物及铁钛矿物含量极高,故采用“螺旋溜槽—摇床脱泥、碳富集,强磁预先除铁钛,浮选最终获得精矿”的重—磁—浮联合流程。其具体工艺过程为:矿石经一段磨矿至 $-0.074\text{mm}$ 占65%,以 $\varnothing 400$ 螺旋溜槽两次脱泥、碳后入 $1600\times 700$ 矿泥摇床来再次脱泥,然后进入XCSQ-50 $\times 70$ 湿式强磁选机磁选(场强 $800\sim 1000\text{kA/m}$ )排除铁钛,非磁性产品加硫酸经搅拌处理(使矿浆 $\text{pH}\leq 3.5$ )进入浮选(两次选五次精选)获得合格的红柱石精矿。

### 3.2 流程结构分析

通常情况下,红柱石选别流程中的强磁选往往是作为排除最终浮选精矿中铁钛矿物的最后一道分选工序而被置于全流程的尾部,这样可大大减轻磁选机的处理负荷,磁选效果较好。但当原矿中含铁钛矿物较高时,这种流程结构形式就会显示出较大的不足之处。原因在于,当原矿中铁钛矿物含量较高时,产生的大量游离金属离子将大大活化石英及云母类矿物,使得浮选过程恶化,影响最终浮选结果。研究表明,将强磁选置于浮选之前比置于全流程尾部,最终红柱石精矿回收率可提高3%~5%,铁钛含量下降20%~30%,且浮选过程稳定,完全消除了金属离子进入浮选过程带来的不利影响。此外,本次研究还证实,采用螺旋溜槽可取代通常处理含碳量较大的红柱石矿石时所需的反浮选脱碳工艺,有效排除泥碳物质的干扰,其脱除碳质的效果两者一致,且由于螺旋溜槽的脱泥作用和小螺距时的初步富集作用以及自身低动力消耗、稳定易操作等优点,使得采用螺旋溜槽明显优于反浮选脱碳工艺。

### 3.3 浮选过程研究与讨论

针对矿石性质及特点,浮选过程中采用加硫酸搅拌处理调整 $\text{pH}\leq 3.5$ ,并以HDF与 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 按1:2混合(1200g/t)为抑制剂,以石油磺酸钠与QWS以4:1混合(1400g/t)作为捕收剂,粗选入选矿浆浓度控

制在18%~22%。浮选试验结果表明,经两次粗选和五次精选最终可获得: $\text{Al}_2\text{O}_3\geq 58\%$ ,红柱石 $>94\%$ , $\text{SiO}_2<38\%$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3<1\%$ , $\text{TiO}_2<0.5\%$ , $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 微量,精矿平均粒度 $>0.3\text{mm}$ ,产率 $>10\%$ ,回收率 $>63\%$ 的合格高级别红柱石精矿。为进一步查明浮选过程中主要因素的影响及有关药剂的浮选行为和作用机理,证实实际矿石分选工艺及药剂制度的正确性,进行了以下相应的研究工作。

3.3.1 矿浆pH对矿物可浮性的影响 以石油磺酸钠为捕收剂研究红柱石、石英、黑云母和石榴石等纯矿物的可浮性以及和pH的关系表明,在一定酸性条件下,石油磺酸钠可有效浮选红柱石,其用量为 $1\text{mg/g}$ (见图1)。浮选最佳值约在 $\text{pH}=3$ 处,当 $\text{pH}>7$ 时,红柱石可浮性急剧下降。这可认为是 $\text{OH}^-$ 排除矿物表面吸附的捕收剂所致。

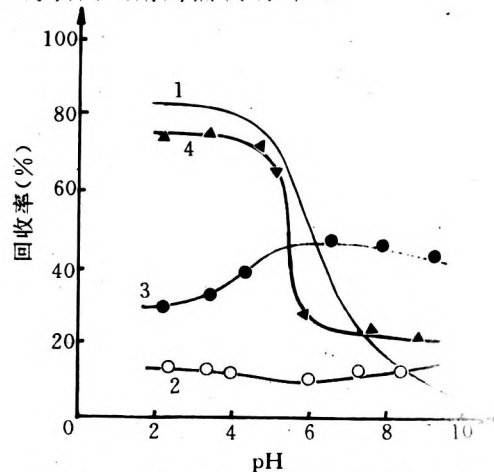


图1 矿浆pH对矿物可浮性的影响

1-红柱石;2-石英;3-黑云母;4-石榴石。

石英在同等条件下,其浮选效果比红柱石要差得多,其可浮性不以pH值的改变而改变。黑云母的可浮性与pH值之间具有较为复杂的关系。由图1可明显看出,其最佳回收率在pH中性时不超过45%,而在酸性或碱性条件下回收率均下降,石榴石的可浮性和与pH的关系同红柱石相近,酸性条件下,其可浮性稍差于红柱石,碱性时可浮性大于

红柱石。

由此可知,通过改变 pH 完全可以从石英、黑云母中分选出红柱石, pH=3.5 时分选效果最佳。但由于石英、黑云母易受金属离子的活化作用以及黑云母具有一定的天然可浮性,故须采用抑制剂加以控制。石榴石则因与红柱石可浮性接近,而须在进入浮选前以强磁选排除之。

3.3.2 抑制剂 HDF 与 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 组合使用下对红柱石及其伴生矿物浮选结果的影响以及 HDF 的作用机理 在捕收剂用量为 1mg/g, 矿浆 pH 为 3.5 时,单独使用抑制剂 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 效果不佳。当采用 HDF 与 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 以 1:2 比例组合使用时,则明显改善了红柱石与石英、黑云母和石榴石的分选。由图 2 可知,在上述药剂配比下,随着组合用量的增加,红柱石、石英、黑云母及石榴石的可浮性均受到抑制,当组合用量大于 0.2mg/g 时,红柱石和石榴石回收率下降幅度较大,而石英和黑云母的回收率下降不大。因此,HDF : Na<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub> 组合用量应控制在 0.2mg/g 范围内。

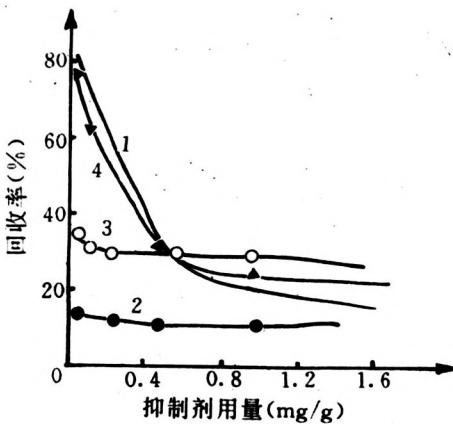


图 2 HDF : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (1 : 2) 组合用量对矿物可浮性的影响

1-红柱石;2-石英;3-黑云母;4-石榴石。

上述试验结果证实,HDF 的存在对于石英、黑云母等有害杂质具有强烈的抑制作用。深入研究表明,HDF 的抑制能力在于其去活作用,即取代进入浮选系统的 Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup> 离

子并为之形成化合物。这一点可以在有各种金属阳离子存在的条件下,通过研究抑制剂 HDF 对红柱石及其伴生矿物可浮性的影响得到进一步证实。在含 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup> 均为 10mg/l 的蒸馏水中,用石油磺酸钠(用量 1mg/g)作为捕收剂(pH=3.5),考察 HDF 对它们可浮性的影响,结果见图 3。

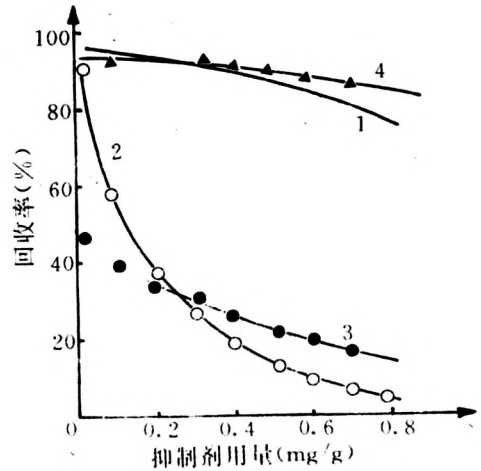


图 3 存在各种金属离子时,抑制剂 HDF 对矿物可浮性的影响

1-红柱石;2-石英;3-黑云母;4-石榴石。

图 3 可明显看出,在有各种金属离子存在的条件下,HDF 对红柱石和石榴石均有一定的抑制能力,且抑制剂用量越大,抑制能力越强。当用量达 0.4mg/g 时,HDF 能大幅度消除各种离子对石英及黑云母的活化。比较图 2、图 3 可得出,在矿浆中无金属离子存在时,石油磺酸钠在酸性矿浆(pH=3.5)中的选择性是好的,但当浮选矿浆中存在各种金属离子时,石英、黑云母被活化,上浮率增加,捕收剂选择性下降,此时,添加 HDF,石英、黑云母的可浮性显著下降,从而证实了 HDF 的抑制能力在于其优良的去活作用。HDF 的这一特性,使得它在与 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 以适当配比(1:2)组合使用时,就能够有效地将红柱石从石英、黑云母等杂质中分离出来。另一方面,HDF 与 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 组合使用,实际上也是一个强化提高 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 抑制能力的过程。

3.3.3 石油磺酸钠与红柱石及其伴生矿物的相互作用机理 磺酸盐与矿物的作用机理,长期以来存在多种不同观点,且缺乏一致看法。多数认为,该类捕收剂所带离子受库仑力的作用被吸附向双电层而发生物理吸附。也有人认为,磺酸盐的吸附形式是其同矿物晶格的表面阳离子相互发生的化学吸附。

通常情况下,物理吸附是可逆的,它吸附不牢易解吸,而化学吸附不易解吸,因此,通过解吸试验即可基本确定阴离子捕吸剂磺酸盐在红柱石及其伴生矿物表面上的吸附形式。取 pH=3.5(此时红柱石浮游率最大)进行清洗试验,试验时捕收剂石油磺酸钠原始浓度为 2mg/g,每次清洗加水 80ml,搅拌 30s,各矿物解吸试验结果见图 4。各矿物的可浮性是由化学和物理固着的磺酸盐的吸附量决定的。

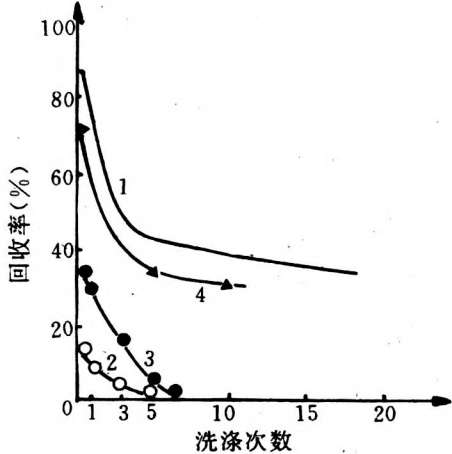


图 4 洗涤对矿物可浮性的影响

1-红柱石;2-石英;3-黑云母;4-石榴石。

由图 4 可以看出,洗涤时由于物理吸附的磺酸盐的解吸而使红柱石回收率由 87% 降至 40% 左右,而石英、黑云母几乎不浮,可见磺酸盐在石英、黑云母上的固着强度不大,其吸附可认为是库仑力和碳氢基的缔合作用的物理吸附,也不排除有低强度的化学键合吸附。而石榴石的吸附形式则与红柱石极为相似。

此外,从解吸前后矿物 ζ 电位的变化(结

果见表 1)也可看出,pH=3.5 时,红柱石清洗后 ζ 电位有所下降,但不能回到在水溶液中的原值,说明吸附在红柱石表面的石油磺酸钠仅有小部分被清洗掉,石油磺酸钠吸附牢固,主要是化学吸附。而石英、黑云母清洗后能使 ζ 电位基本回复原值,说明吸附在其表面的捕收剂易解吸,大部分能被清洗掉,主要应是物理吸附。而石榴石的清洗情况与红柱石相似,主要是化学吸附。

表 1 清洗前后 ζ 电位测试结果(mV)

矿物	在水溶液中	与 2mg/g 石油磺酸钠作用后	
		不清洗	清洗
红柱石	+16.57	-18.59	-7.29
石英	-34.33	-45.23	-36.38
黑云母	-15.41	-31.20	-17.65
石榴石	+6.17	-13.26	-4.78

实际矿石试验中以石油磺酸钠配入增效剂 QWS(两者比例 4:1)用作混合捕收剂,分选效果极佳,可使红柱石精矿回收率达 63%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 58%,且泡沫矿化良好,浮选过程稳定。

### 4 结论

(1)根据新疆红柱石矿的特点,可采取重一磁一浮工艺流程实现有效分选。

(2)在酸性条件下(pH=3.5),以 1:2 组合使用 HDF 和 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>,实际矿石浮选中两者组合用量为 1200g/t 时,可明显改善红柱石与石英、黑云母等的分选效果。进一步研究表明,HDF 的去活作用,即取代浮选系统中 Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup> 离子并与之形成化合物这一行为,是其具有明显抑制作用的主要原因。

(3)吸附试验一系列研究工作得出,石油磺酸钠是红柱石的优良捕收剂,其在红柱石表面的固着是物理和化学吸附并存,且以化学吸附为主。

(作者简介:张一敏,武汉冶金科技大学资源系副教授,选矿工程教研室、冶金辅料研究室主任;中国耐火粘土专业协会常务理事。)

(收稿日期:1996-03-04)