

【综合评述】

## 氧化锌矿浮选药剂研究概况<sup>\*</sup>

刘洋, 胡显智, 魏志聪

(昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明, 650093)

**摘要:**从捕收剂、调整剂、起泡剂等方面总结了近年来国内外氧化锌矿浮选药剂的研究进展, 强调了氧化锌浮选捕收剂的重要性。

**关键词:**氧化锌矿; 浮选; 捕收剂; 活化剂; 抑制剂

中图分类号: TD923<sup>\*</sup>.1; TD952.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2011)01-0051-05

### Overview of Research on Flotation Reagents of Zinc Oxide Ore

LIU Yang, HU Xian-zhi, WEI Zhi-cong

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China)

**Abstract:** This paper summarized the current research situation of reagents for flotation of zinc oxide ores such as collectors, activators, depressants, frothers and so on. The importance of collectors for flotation of zinc oxide ore was emphasized.

**Key words:** zinc oxide ores; flotation; collectors; activators; depressants

我国氧化锌矿的资源储量十分丰富, 主要分布在云南、贵州、甘肃等省, 尤其云南省储量较大, 如兰坪铅锌矿是我国仅有的储量在1 000万吨以上的巨型矿床<sup>[1]</sup>, 但其储量的1/3为氧化矿。同时我国锌矿资源的开发也面临两大问题, 一是目前我国自产的锌精矿无法满足需求, 每年需要大量进口锌精矿; 二是我国绝大部分探明的硫化矿已经或正在开发利用, 后备资源极其缺乏, 因而对难选氧化锌矿产资源的开发迫在眉睫<sup>[2]</sup>。浮选法是处理氧化锌矿的一种重要方法。常规的浮选方法主要是硫化后用伯胺类捕收剂捕收, 但是由于氧化锌矿一般是铅锌共生矿, 其矿物种类繁多, 相互掺杂伴生, 嵌布粒度比较细, 泥化严重, 可溶性盐含量高, 因而常规浮选难度较大。因此, 对氧化锌矿浮选的研究, 尤其对浮选药剂的研究应用直接关系到复杂氧化锌矿资源能否有效开发利用。

## 1 捕收剂的研究

胺类和黄药是目前浮选氧化锌矿使用较为普遍的两类捕收剂, 对于矿物硫化处理后再与这两类捕收剂作用的试验条件和作用机理已经进行了相当多的研究。除了这两类药剂, 国内外学者对其它类型捕收剂也进行了研究。

### 1.1 胺类捕收剂

目前浮选氧化锌矿较为常用的捕收剂是十二胺、十八胺以及混合胺。广西泗顶铅锌矿用混合胺作氧化锌的捕收剂应用于生产中, 氧化锌精矿含锌28%~36%, 锌回收率提高了8%, 每年多回收锌金属800余吨<sup>[3]</sup>。癸二胺下脚料是一些化工厂用蓖麻油作原料生产尼龙1010时产出的一种下脚废料, 其主要成分是癸二胺, 用它代替混合胺浮选澜沧、奕良

\* 收稿日期: 2010-07-20; 修回日期: 2010-09-08

作者简介: 刘洋(1986-), 女, 湖南常德人, 在读硕士研究生, 主要从事湿法冶金及浮选工艺研究。

等地的氧化锌矿,获得了良好的结果<sup>[4]</sup>。Irannajad, M 等<sup>[5]</sup>用胺类捕收剂浮选菱锌矿,比较了 C 脂肪胺、T 脂肪胺、SA 醚胺、TA 醚胺对菱锌矿浮选效果的影响。试验结果表明,在矿浆 pH = 11、硫化钠用量 500 g/t、脂肪胺 C 的用量为 400 g/t 时,可获得 92% 的高回收率。

## 1.2 羟肟酸类捕收剂

朱建光等<sup>[6]</sup>研制了由苯基异羟肟酸组成的浮选捕收剂。试验结果表明,苯基异羟肟酸对菱锌矿的浮选比水杨醛肟更有效。何晓娟等<sup>[7]</sup>应用辛基羟肟酸(盐)浮选氧化锌矿的试验表明,该药剂不仅能选别菱锌矿,而且可以选别硫化—胺法不能选别的铁菱锌矿,这对改善氧化锌矿的可浮性具有重大意义。赵景云等<sup>[8]</sup>介绍了用水杨羟肟酸作捕收剂浮选菱锌矿的情况。研究了水杨羟肟酸在菱锌矿和硫酸铅表面的作用机理,认为主要是发生了化学吸附,矿物表面的金属离子与水杨羟肟酸生成螯合物。

朱建光等<sup>[9]</sup>还报道了用铜铁灵浮选菱锌矿的研究。用铜铁灵作捕收剂浮选菱锌矿、方解石、石英单矿物和混合矿,得到了较好的结果。同时研究了铜铁灵浮选菱锌矿的作用机理,结果表明,铜铁灵与菱锌矿表面发生化学吸附。4R-X 系列捕收剂<sup>[10]</sup>对异极矿有较好的捕收能力。

## 1.3 烷烃类捕收剂

Krompiec, S 等<sup>[11]</sup>研究了 1-硝基烷烃对闪锌矿和菱锌矿的浮选捕收性能。当 R 为甲基、乙基或丙基时,  $[RCH_2NO_2]^- Na^+$  的捕收力弱,而当 R 分别为  $C_4H_9$ 、 $C_5H_{11}$ 、 $C_6H_{13}$ 、 $C_8H_{17}$  和  $C_{10}H_{21}$  时,其捕收力强。当 R 为  $C_8H_{17}$  时,闪锌矿和菱锌矿分选效率最高。

## 1.4 有机磷类捕收剂

杨晓铃等<sup>[12]</sup>合成了 4 种二烷基硫代磷酸铵系列捕收剂,通式为  $(RO)_2P(S)ONH_4$ ,式中 R 分别为  $C_2H_5$ 、 $C_4H_9$ 、 $C_6H_{13}$  和  $CH_2=CH-CH_2$ ,对孔雀石、菱锌矿等单矿物进行浮选试验。结果表明,二烷基硫代磷酸铵对非硫化矿物有良好的捕收作用,且具有一定的选择性,对软酸性矿物,如孔雀石、菱锌矿等作用能力更强。该系列捕收剂的非极性基链中碳原子总数应在 10 个以上,即取代基 R 采用己基、庚基较为适宜。

## 1.5 新型高效捕收剂

CSFA 捕收剂<sup>[13]</sup>是一种复合捕收剂,它对氧化锌矿物(水锌矿)有较好的选择性和捕收能力,当 CSFA 用量为 20 g/t 与丁基黄药 20 g/t 混合使用时,即使不先用硫化钠硫化进行浮选,精矿中氧化锌和总锌回收率分别可达到 79.46% 和 86.75%;另外,CSFA 与丁基黄药对水锌矿的浮选有一定的协同效应。研究指出,CSFA 在水锌矿表面发生了化学吸附,而在方解石、石英等脉石表面为物理吸附。

云南某氧化率在 98% 以上的氧化锌矿石成分复杂,主要以菱锌矿和异极矿为主。李江涛等<sup>[14]</sup>针对该矿石开发了新型捕收剂 L-06,该捕收剂捕收性能强,浮选速度快,并具有一定的起泡性,从而可以减少或替代起泡剂,经闭路试验所得精矿品位超过 25%,回收率达到 78%。邱允武等<sup>[15]</sup>用一种新型螯合捕收剂 E-5 浮选氧化锌,该药剂与传统胺类捕收剂相比,具有价格低廉、药耗低、捕收力强、选择性好、使用方便等优点。试验表明,采用该药剂浮选氧化锌时,组合调整剂“硫化钠—碳酸钠”既能活化氧化锌,又能抑制有害离子的影响;E-5 与生产上常用的胺类捕收剂相比较,在锌精矿品位相当或提高的条件下,锌回收率可提高 4% 左右。罗仙平等<sup>[16]</sup>用一种以十二胺为主要药剂复配成的新型高效捕收剂 ZP-05 对会理锌矿选矿尾矿中的氧化锌矿物进行了浮选回收试验。最终获得锌品位为 36.04%、锌回收率为 57.58% 的氧化锌精矿。王仁东等<sup>[17]</sup>采用新型捕收剂 Pr2000 浮选云南某难选氧化锌矿,采用不脱泥浮选可以得到锌精矿品位 31.19%、回收率 90.76% 的指标,且 150 t/d 的不脱泥浮选氧化锌工业试验也获得了成功。

## 1.6 其它类型捕收剂

Barbaro, M 等<sup>[18]</sup>比较了巯基苯并噻唑(MBT)和氨基苯硫酚(ATP)的捕收性能。结果表明,ATP 对锌的选择性更好。在用 ATP 作捕收剂浮选锌矿时,当 Zn/Pb 比为 5.5 时,锌的回收率可达 83.6%。意大利研究者发现用巯基苯并噻唑及苯胺硫酚作捕收剂,不用硫化可直接浮出氧化铅矿物;美国研究者使用巯基羧酸酯作捕收剂;日本研究者用氧化乙烯缩合烷基苯酚类、高级脂肪醇类以及脂肪酸类制备的浮选药剂,可以不脱泥而直接浮选氧化锌矿物<sup>[19]</sup>。

## 2 调整剂的研究

### 2.1 硫化剂

常用的硫化剂有  $\text{Na}_2\text{S}$  和  $\text{NaHS}$ , 它们具有相似的效果, 二者常常混用,  $\text{NaHS}$  受钙盐的影响较小。据报道<sup>[4]</sup>, 几种硫化剂作用能力的顺序为:  $\text{K}_2\text{S} > \text{Na}_2\text{S} > \text{BaS} > \text{CaS}$ , 而以  $\text{Na}_2\text{S}$  与  $\text{K}_2\text{S}$  混用效果较好。

Marabini, A. M 等<sup>[20]</sup>研究了  $\text{Na}_2\text{S}$ 、乙基黄药和十二胺酸盐与菱锌矿的相互作用。结果表明,  $\text{Na}_2\text{S}$  使矿物表面的化学组分转变成  $\text{ZnS}$ , 并增加氢氧化物的形成, 菱锌矿被硫化。胺与硫化和未硫化状态下的菱锌矿相互作用形成锌-胺络合物, 并使反应物变得疏水。

胡岳华等<sup>[21]</sup>进行了孔雀石与菱锌矿的浮选溶液化学研究。结果表明,  $\text{HS}^-$  是硫化孔雀石和菱锌矿的主要组分。  $\text{HS}^-$  与孔雀石或菱锌矿反应的最低(最负)自由能是在  $\text{pH} = 7 \sim 9$  的范围内, 此时最适合硫化和黄药浮选。

### 2.2 活化剂

硫化钠也可作为氧化锌浮选的活化剂。它解离出硫离子与氧化锌矿物发生反应形成硫化膜, 其硫离子固着在矿物表面的锌原子上, 于是表面被硫化<sup>[2]</sup>, 从而使氧化锌矿得到浮选。

Szczypta, J<sup>[22]</sup>用  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{S}^{2-}$  作活化剂, 用乙基黄药作捕收剂, 对合成的碱性和中性碳酸锌进行了浮选试验研究。结果表明, 合成菱锌矿在小于  $60 \mu\text{m}$  的粒级获得了最高的可浮性。

张覃等<sup>[23]</sup>用硫酸铵作活化剂, 在自然  $\text{pH}$  值条件下, 兰坪水锌矿、青山氧化锌矿物和赫章氧化锌矿物的上浮率均随硫酸铵用量的增加而增大, 当添加  $5000 \text{ mg/L}$  硫酸铵时, 青山氧化锌矿物的上浮率达  $82.43\%$ , 兰坪水锌矿为  $57.85\%$ , 赫章氧化锌矿物仅为  $45.0\%$ 。显然, 对于这三种不同产地的氧化锌矿石, 由于其矿石组成和成矿条件等因素的不同, 致使硫酸铵对黄药活化程度产生差异。

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  亦可作活化剂, 谭欣等<sup>[24]</sup>在浮选含方解石、白云石、石英、褐铁矿等脉石矿物的氧化锌矿时, 以  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  作活化剂, 用 CF 为新型捕收剂, 可较好地浮选菱锌矿。

文书明等<sup>[25]</sup>对异极矿纯矿物进行了单泡浮选试验研究, 讨论了甲基、乙基、丁基二硫代碳酸盐对

异极矿胺法浮选的影响, 证明甲基、乙基、丁基二硫代碳酸盐对异极矿胺法浮选可产生显著的活化作用。

羊依金等<sup>[26]</sup>研究了用二甲酚橙活化异极矿的浮选。结果表明, 二甲酚橙活化异极矿是由于它对异极矿表面锌离子的微溶解作用, 促进了十二胺多层吸附的形成。用二甲酚橙活化的异极矿能与脉石矿物很好地分离。他们<sup>[27]</sup>还研究了用羟肟酸活化异极矿的浮选。研究表明, 羟肟酸能活化异极矿是由于它能在异极矿表面生成疏水性螯合物, 促进了十二胺的共吸附。实际矿石的浮选试验表明, 用羟肟酸作活化剂, 十二胺和硫化钠的用量可以降低  $50\%$ 。方启学<sup>[28]</sup>研究了有机活化剂在菱锌矿浮选过程中的活化作用及机理。试验证明, 乙二胺对菱锌矿具有强活化作用。

应用有机螯合剂活化异极矿的研究证实<sup>[29]</sup>, 水杨醛肟、 $\alpha$ -安息香肟、邻氨基苯甲酸、8-羟基喹啉对异极矿的浮选均具有明显的活化作用。经上述有机螯合剂活化后, 异极矿的胺法浮选可在中性至弱碱性介质中进行。用有机螯合剂活化可提高异极矿与脉石矿物分选的选择性, 并可降低胺用量。进一步的试验表明<sup>[30]</sup>, 经水杨醛肟活化的菱锌矿、异极矿单矿物, 用高级黄药(仲辛基黄药)就能浮选。菱锌矿浮选的  $\text{pH}$  范围较宽,  $\text{pH} = 6 \sim 9$  范围内均能浮选。但适于异极矿浮选的  $\text{pH}$  范围很窄, 大致为  $\text{pH} = 7.5 \sim 8$  之间。冷娥的试验研究还表明<sup>[31]</sup>, 以胺为捕收剂时, 水杨醛肟和邻氨基苯甲酸在  $\text{pH} = 7.5 \sim 9$  范围内,  $\alpha$ -安息香肟在  $\text{pH} = 7.5 \sim 9$  范围内对异极矿有明显的活化作用。

### 2.3 抑制剂

A. M 马拉比克等人<sup>[4]</sup>研究了抑制剂对锌品位为  $16.96\%$  的细粒嵌布氧化锌矿石浮选的影响。研究表明, 对脉石选择性最强的抑制剂是三聚磷酸盐、聚羧酸、甲碳酸酯瓜胶和乙羟基淀粉。

汪兆龙<sup>[32]</sup>使用纯矿物单泡浮选方法, 研究了十余种抑制剂对菱锌矿可浮性的影响和对脉石矿物的抑制能力。结果表明, 胺法浮选菱锌矿时, 木素磺酸钙是对常见的主要脉石矿物方解石、石英选择性较强的抑制剂。

张心平等<sup>[33]</sup>研制的  $\text{BD}_1$ 、 $\text{BD}_2$  等抑制剂对脉石也有很好的选择性, 使用  $\text{BD}_2$  和六偏磷酸钠作抑制

剂取得了更明显的效果。它们不仅能抑制褐铁矿、方解石及石英等脉石矿物,而且能提高氧化锌矿物的浮游率。BD<sub>2</sub> 用量为 100 g/t 时,碳酸锌矿物的浮选效率从 64.81% 提高到 72.29%, 锌粗选作业回收率达 84.81%, 粗精矿锌品位达 30.50%。

陈志文<sup>[34]</sup>对贵州某含铁泥化氧化锌矿进行浮选试验研究,考察了水玻璃与淀粉对脉石矿物的抑制作用,得出水玻璃与淀粉质量比为 10:1,抑制剂水玻璃和淀粉的总用量为 700 g/t 时,抑制效果最好。邱允武等<sup>[15]</sup>用碳酸钠与硫化钠进行了优化组合,可以更有效地抑制 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等有害离子的影响,从而提高活化效果。

## 2.4 絮凝/分散剂

### 2.4.1 絮凝剂

Bertini, V 等<sup>[35]</sup>进行了用于菱锌矿分散体选择性絮凝的带官能团的苯磺酰单体、聚合物和共聚物的合成。制备了四种含甘氨酸或喹啉残余物的乙烯基苯磺酰单体,且基本上是与含空间位阻的氨基的单体共聚的,获得了可用于与超细菱锌矿分散体选择性相互作用的药剂。

杨敖等<sup>[4]</sup>研究了 17 种不同离子型的聚丙烯酰胺系列产品选择性絮凝兰坪水锌矿的可能性。结果表明,阴离子絮凝剂 2PAM309(水解聚丙烯酰胺)是水锌矿—石英的最佳絮凝剂,同时添加六偏磷酸钠、三聚磷酸钠和 EDTA 可消除高价金属离子对石英的活化。

石道民等<sup>[36]</sup>研究了细粒(-20 μm)菱锌矿、石英及其混合矿的分散、絮凝行为,考察了该混合矿絮凝分离趋势。结果表明,菱锌矿在絮凝剂 ABO 用量为 2 mg/L 时,几乎全部回收,石英在任何剂量的絮凝剂条件下,均显示分散性能,从而使菱锌矿和石英得到较好的分离。

### 2.4.2 分散剂

Quaresima, S 等<sup>[37]</sup>研究了在乙二醇异丁烯酸乙撑二氧苯甲酸盐(EGMEDB)与丙烯酸(BE-39, EGMEDB 20%; BE-44, EGMEDB 10%)和异丁烯酸(BE-48, EGMEDB 10%)共聚物存在下,对锌矿细粒的絮凝/分散作用。试验结果表明,在高 pH 时,共聚物对矿石的分散能力增大;在低 pH 时,共聚物对矿石的分散能力降低。

Navidi, A. H 等<sup>[38]</sup>指出六偏磷酸钠作为分散剂

的机理可能是在碱性条件下,六偏磷酸钠以负离子形式存在,吸附在矿物表面,能增加矿物表面的负电性,使矿物与荷负电的其它矿物在静电斥力作用下相互分离,同时促使胺在矿物表面的吸附,同时六偏磷酸钠还能与矿浆中的金属离子络合,生成亲水络合物,对含这种金属离子的矿物产生抑制作用。但若用量过高,在矿物表面吸附的大量六偏磷酸阴离子,则会阻碍捕收离子的吸附,从而抑制浮选。

## 3 起泡剂的研究

对于起泡剂的研究工作相对较少,国内选锌厂所用的起泡剂大部分是松醇油。朱建光等<sup>[39]</sup>介绍了 RB 起泡剂在桃林铅锌矿选矿厂浮选作业中的使用情况。生产实践结果表明,RB 起泡剂完全可以代替松醇油,并且用量仅为松醇油的 2/3,锌精矿含铅显著降低,锌精矿级别可提高 2 级,经济效益颇为显著。复合新型起泡剂——4 号油<sup>[40]</sup>是棕黄色油状液体,流动性好,无特殊刺激气味,具有多个表面活性功能团。它能够代替松醇油使用,选矿效果与松醇油相近,且原料来源广泛,价格相对低廉。矿友——321 起泡剂<sup>[41]</sup>的主要成分是多醇类,该药剂在浮选铅锌矿和铜矿时,性能达到或优于松醇油的浮选指标,价格比松醇油每吨低 1 000 元,可为选矿厂带来一定的经济效益。

## 4 结语

国内外对于氧化锌矿石浮选的药剂研究大多集中在新型高效捕收剂、活化剂的研发和应用研究方面,特别是对捕收剂的研究更多,对抑制剂和起泡剂的研究较少,这也反映了氧化锌矿石浮选药剂研究的方向。但是由于氧化锌矿石大多成分复杂、氧化率高、含泥多等,导致了其选矿难度大,选矿回收率低,许多成果也因为技术或经济上的原因未能普遍投入工业生产,尚未带来直接的经济效益。因此,加强细粒氧化锌矿浮选理论及硫化过程强化作用与机理研究,开发高效的新药及组合药剂,对于降低氧化锌矿石的选矿成本、提高资源综合利用率具有十分重要的意义。

### 参考文献:

- [1] 毛素荣,杨晓军,何剑,等. 氧化锌矿浮选现状及研究进展[J]. 国外金属选矿,2007,44(4):4-6.

- [2] 巫奎东,于润存. 氧化锌浮选研究进展[J]. 采矿技术, 2008(6):96-98.
- [3] 段秀梅,罗琳. 氧化锌矿浮选研究现状评述[J]. 矿冶, 2000,9(4):47-51.
- [4] 杨放,石道民. 氧化铅锌矿的浮选[M]. 昆明:云南科技出版社,1996.
- [5] M. Irannajad. The effect of reagents on selective flotation of smithsonite - calcite - quartz[J]. Minerals Engineering, 2009,22(9-10):766-771.
- [6] 朱建光,伍喜庆. 同分异构原理在合成氧化矿捕收剂中的应用[J]. 有色金属,1990,42(3):32-38.
- [7] 何晓娟,宫中桂. 螯合型捕收剂—辛基羟肟酸浮选氧化锌矿机理的研究[J]. 广东有色金属学报,1991,1(1):1-6.
- [8] 赵景云,朱建光. 水杨羟肟酸浮选菱锌矿和硫酸铅试验[J]. 有色金属,1991,43(4):27-32.
- [9] 朱建光,赵景云. 铜铁灵浮选硫酸铅和菱锌矿研究[J]. 中南矿冶学院学报,1991,22(5):522-528.
- [10] 朱玉霜. 4R-X系列捕收剂浮选氧化锌矿石试验[J]. 湖南有色金属,1991(1):14-19.
- [11] 谭欣,李长根. 国内外氧化铅锌矿浮选研究进展(I)[J]. 国外金属矿选矿,2000,37(3):7-14.
- [12] 杨晓铃,王淀佐. 二烷基硫化磷铵的捕收性能[J]. 山东冶金,1997,19(4):32-34.
- [13] 刘开宇,张平民. CSFA对锌氧化矿物的捕收性能及其机理研究[J]. 矿冶工程,2001,10(1):31-35.
- [14] 李江涛,刘全军,库建刚,等. 某氧化锌矿浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2007(2):23-25.
- [15] 邱允武,周怡玫,汤小军,等. 新型螯合捕收剂E-5浮选氧化锌的研究[J]. 有色金属,2007(4):43-46.
- [16] 罗仙平,严志明,陈华强. 会理锌矿尾矿中氧化锌的综合回收[J]. 金属矿山,2007(8):86-89.
- [17] 王仁东,杨小峰,邓毅,等. 氧化锌矿全泥浮选新药剂工业试验研究[J]. 有色金属,2008(3):46-48.
- [18] M. Barbaro. Comparison of Pb-Zn selective collectors using statistical methods[J]. Minerals Engineering, 1999, 12(4):355-366.
- [19] 孙传尧. 当代世界的矿物加工技术与装备—第十届选矿年评[M]. 北京:北京科学出版社,2006.
- [20] Marabini A M. 氧化铅锌矿的浮选[J]. 国外金属矿选矿,1990,5(7):1-11.
- [21] 胡岳华,王淀佐. 孔雀石/菱锌矿浮选溶液化学研究[J]. 有色金属,1996,48(2):40-44.
- [22] Szczyba. J. Flotation of synthetic zinc carbonate using potassium ethylxanthate - Reply[J]. Mineral Processing, 1985,14(1):79-81.
- [23] 张覃,唐云. 氧化锌矿石活化浮选行为的观察[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版),1998,27(2):89-91.
- [24] 谭欣,李长根. 氧化铅锌矿物和含钙、镁、铁、硅矿物分离新方法—CF法研究[J]. 矿冶,2002,11(2):20-25.
- [25] 文书明,张文彬. 二硫化碳酸盐活化异极矿的浮选试验研究[J]. 云南冶金,1995,24(3):18-20.
- [26] 羊依金,刘邦瑞. 用二甲酚橙活化异极矿浮选的研究[J]. 云南冶金:科学技术版,1992,21(2):35-38.
- [27] 羊依金,刘邦瑞. 羟肟酸活化异极矿浮选的研究[J]. 有色金属(选矿部分),1992(2):5-8.
- [28] 方启学. 西部氧化铅锌资源提取基本思路探讨[J]. 矿冶,2002,11(B07),50-54.
- [29] 吴卫国,孙传尧,朱永楷. 五种有机螯合剂活化菱锌矿作用机理研究[J]. 矿冶,2007,16(1):16-21.
- [30] 汪伦,冷娥. 用水杨羟肟作活化剂,黄药作捕收剂浮选氧化锌矿的研究[J]. 昆明工学院学报,1991,16(4):31-34.
- [31] 冷娥,汪伦,刘邦瑞. 应用有机螯合剂活化异极矿的研究[J]. 有色金属,1991,43(1):44-49.
- [32] 汪兆龙. 某含大量易浮石英的氧化锌矿石的浮选[J]. 云南冶金,1995,24(2):26-30.
- [33] 张心平. 氧化铅锌矿石浮选新药剂的应用研究[J]. 矿冶,1996,5(3):40-45.
- [34] 陈志文. 贵州某含铁泥化氧化锌矿的浮选试验研究[J]. 矿冶工程,2008,28(5):51-53.
- [35] V. Bertini. Synthesis of functionalized benzenesulphonyl monomers, polymers and copolymers designed for the selective flocculation of aqueous smithsonite dispersions[J]. European Polymer Journal, 1992,28(10):1225-1229.
- [36] 石道民,杨放,周平. 硫化矿和菱锌矿选择性絮凝的研究[J]. 昆明工学院学报,1994,19(3):1-6.
- [37] S. Quaresima. Behavior of colloidal suspensions of zinc carbonate in the presence of copolymers designed for selective flocculation[J]. 1991,144(1):159-164.
- [38] Navidi A. H. Separation of oxidized zinc minerals from tailings: Influence of flotation reagents[J]. Minerals Engineering, 2008,21(12-14):967-972.
- [39] 朱建光,李琮华. RB起泡剂在桃林铅锌矿的应用[J]. 有色金属(选矿部分),1994(2):29-32.
- [40] 王湘英,顾愚. 复合新型起泡剂—4号油[J]. 广东有色金属,1998(3):54-57.
- [41] 吕金铃,马广清,杨元章,等. 矿友—321新型起泡剂的开发应用[J]. 有色金属(选矿部分),1999,11(6):19-21,25.