

铜锌矿物分离中闪锌矿抑制剂的作用机理研究进展*

王衡嵩, 魏志聪, 曾明, 彭蓉, 薛晨

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:在铜锌矿物分选中, 大多采用抑制锌矿物浮选铜矿物的工艺, 因此对闪锌矿抑制剂及其作用机理研究, 对于提高铜锌矿浮选指标具有非常重要的意义。本文对铜锌矿物浮选分离困难的原因进行了分析, 介绍了几种常用的无机抑制剂、有机抑制剂和组合抑制剂的作用机理及应用实践, 并指出了研制高效、廉价、环保、无毒抑制剂是未来铜锌分离抑制剂研究发展的方向。

关键词:铜锌分离; 无机抑制剂; 有机抑制剂; 组合抑制剂

中图分类号: TD952.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)02-0124-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.02.019

Research Progress on the Mechanism of Sphalerite Inhibitors in the Separation of Copper and Zinc Minerals

WANG Hengsong, WEI Zhicong, ZENG Ming, PENG Rong, XUE Chen

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

Abstract: In the separation of copper and zinc minerals, the process of preferential flotation of copper minerals by inhibiting zinc minerals is mostly adopted. Therefore, the study of sphalerite inhibitor and its mechanism is of great significance to improve the flotation index of copper-zinc sulphide ores. In this paper, the reasons for the difficulty in flotation separation of copper and zinc minerals were analyzed. The mechanism and application practice of several common inorganic, organic and combined inhibitors were introduced. This article also pointed out that high efficiency, low cost, environmental protection and non-toxic will be the direction of the separation inhibitors between copper and zinc in the future.

Key words: separation of copper and zinc; inorganic inhibitor; organic inhibitors; combined inhibitor

我国拥有丰富的铜锌矿产资源, 但是铜锌矿物的浮选分离一直是当今选矿界一大难题^[1]。我国的铜锌矿石大多为细粒的浸染状矿石, 铜锌精矿中铜锌矿物互含非常严重, 被铜离子活化过的闪锌矿, 很难被有效地抑制^[2-4]。一直以来, 国内外学者围绕铜锌矿物分离做了大量的研究工作, 目前, 研究铜锌浮选分离的工作主要集中在铜锌浮选分离的理论研究、新型高效环保无毒浮选药剂的研发以及对现有的浮选分离工艺的优化等方面^[5-6]。其中新型高效的闪锌矿抑制剂的研发一直是铜锌浮选分离工作

的重中之重。近年来, 诸多新的组合抑制剂和新型抑制剂的研发, 为开发新的铜锌分离方案提供了更多的选择。

1 铜锌矿物分离困难的原因和解决措施

1.1 铜锌矿物分离困难的原因

(1) 铜锌矿物致密共生, 难以单体解离, 造成分离困难。即便磨矿细度达到了单体解离的条件, 由

* 收稿日期: 2018-11-28

作者简介: 王衡嵩(1993-), 男, 硕士, 主要研究方向为浮选理论与工艺。

通信作者: 魏志聪(1981-), 男, 博士, 主要研究方向为浮选理论与工艺、资源综合利用, E-mail: 13577100486@126.com。

于过磨导致矿粒很细,浮游速率会大幅降低,铜矿物等颗粒更容易溶解产生难免离子进入矿浆,矿浆中铜离子会活化闪锌矿,使得闪锌矿表面与黄铜矿表面具有相似的可浮性,导致铜锌分离困难^[7-9]。

(2) 矿石可浮性存在着交错差异^[10]。对于复杂铜锌矿石而言,在铜矿物中同时存在着可浮性较好和可浮性较差的铜矿物,锌矿物中也存在,这种可浮性的交错现象,这是造成铜锌分离困难的一个重要因素。

(3) 铜锌混合矿石中经常含有大量黄铁矿、磁黄铁矿和矿泥,也是一个影响铜锌矿物分离的重要因素。

1.2 改善铜锌矿物分离的措施

(1) 添加沉淀剂、脱药剂(硫化钠)和吸附剂(阳离子交换树脂)来沉淀或吸附矿浆中的难免离子(铜、铅、银等离子),减少其对闪锌矿的活化^[7-8]。

(2) 添加合适的抑制剂增大闪锌矿与铜矿物可浮性的差异,使铜锌矿物更加容易分离。

(3) 铜锌混合精矿分离之前进行脱药,脱除闪锌矿表面上的捕收剂或者其对应的金属黄原酸盐,以利于后续浮选分离。

由此可知,抑制剂的研究与开发是铜锌矿物分离的重中之重,因此本文着重从闪锌矿抑制剂角度来进行介绍。

2 无机抑制剂

常见的锌抑制剂分为无机抑制剂和有机抑制剂两种,而无机抑制剂又分为无氰抑制剂和有氰抑制剂两种。

2.1 无氰抑制剂

常见的铜锌矿物分离的无氰抑制剂主要有硫酸锌、石灰、碳酸钠、硫化钠、亚硫酸、亚硫酸盐和硫代硫酸盐等,这些抑制剂在组合使用时能对闪锌矿产生较好的抑制效果^[11-12]。

2.1.1 硫酸锌与无机碱类二元组合抑制剂

硫酸锌只有在碱性环境下才能对闪锌矿产生抑制作用,而且随着碱性的增强,抑制作用也越来越明显,因此生产中常使用无机碱类配合硫酸锌加强对闪锌矿抑制^[13]。常用的无机碱类有氢氧化钠、石灰、碳酸钠和硫化钠等。

(1) 硫酸锌与氢氧化钠组合

有人用硫酸锌与氢氧化钠反应得到 $[Zn(OH)_6]^{4-}$ 离子来抑制闪锌矿,虽然这种阴离子只有在 $pH = 11.6$ 的强碱性环境中才能稳定存在,但是其对于闪锌矿有很好的抑制作用;此外,硫酸锌与氢氧化钠反应生成的锌酸根 $[Zn(OH)_4]^{2-}$ 和 $[Zn(OH)_3]^-$ 也是闪锌矿的有效抑制剂,并且锌酸盐对含有次生铜矿物的铜锌矿石也有很好的分选效果^[14]。锌酸盐阴离子的抑制原理是防止活化:一是使矿浆中溶解的铜离子固定下来;二是在闪锌矿表面吸附而阻止铜离子吸附活化闪锌矿,但是它没有去活化的能力。

在早期选厂中,我国多宝山的铜锌矿石曾经采用锌酸盐法进行了一系列实验室试验最终获得的铜精矿和锌精矿品位分别为25%和49%、铜和锌回收率分别为94%和71%的优良指标。

(2) 硫酸锌与石灰组合

石灰溶于水产生的 Ca^{2+} 和 $CaOH^+$ 离子能够在闪锌矿表面形成亲水性薄膜,增强闪锌矿表面亲水性;石灰也能为硫酸锌提供碱性环境,二者组合使用时能产生锌酸盐阴离子,使闪锌矿受到抑制^[15]。

陈军等在处理福建某高硫低品位复杂硫化铅锌矿时,在磨矿时加入石灰和少量的硫酸锌,浮选时,将 pH 值调到12,小型闭路实验获得了含铅1.07%、锌品位40.27%、锌回收率61.07%的锌精矿^[16]。

(3) 硫酸锌与碳酸钠组合

碳酸钠溶于水后产生的 Na^+ 、 CO_3^{2-} 和 OH^- ,会与硫酸锌发生反应生成氢氧化锌、碳酸锌、碱式碳酸锌和大量锌酸根离子,这些物质都可以增加闪锌矿的亲水性,使其受到抑制^[17]。

韦晶晶在处理广西某铅锌矿重选尾矿铅锌含量过高问题时,将碳酸钠与硫酸锌配制成混合溶液然后添加以抑制闪锌矿,最终成功的将尾矿中铅品位由2.60%降低到1.40%,锌品位由16.10%降低到9.14%^[18]。

(4) 硫酸锌与硫化钠组合

硫化钠能够脱除闪锌矿表面上的黄原酸锌薄膜以及铜离子活化膜,并能沉淀矿浆中的铜离子,防止其对闪锌矿的活化;硫化钠与硫酸锌会反应生成对闪锌矿有强烈抑制作用的硫化锌胶粒,这些胶粒在锌矿表面选择性地吸附,增大其表面亲水性,使锌矿物受到抑制^[19-20]。

冯其明等在对云南某氧化铅锌矿的混合精矿脱

药后,用硫化钠+硫酸锌作为组合抑制剂抑制闪锌矿,最终闭路试验获得了锌品位为36.04%、回收率为89.44%的锌精矿^[21]。

2.1.2 硫氧化合物与硫酸锌二元组合抑制剂

(1) 亚硫酸(钠)与硫酸锌组合

亚硫酸单独使用时对闪锌矿有一定的抑制作用,此法在欧美国家有一定的应用,但由于其单独使用会产生大量有毒的SO₂气体,而其盐则可以很好地避免这种状况,因此经常使用亚硫酸(钠)与硫酸锌组合来抑制闪锌矿。

亚硫酸(钠)和硫酸锌组合抑制闪锌矿机理如下:(1)亚硫酸(钠)溶于水中会生成亚硫酸根,并与Cu²⁺生成亚硫酸铜络合物,将Cu²⁺还原为Cu⁺,消除Cu²⁺对闪锌矿的活化^[22];(2)在磨机中加入亚硫酸(钠),能防止矿物表层氧化,清洗已被污染的矿物表面,去除铁质污染^[23];(3)亚硫酸根可以选择性地阻止捕收剂吸附,还可以解吸捕收剂;(4)亚硫酸(钠)和硫酸锌组合使用时生成亚硫酸锌吸附在闪锌矿表面,增强其亲水性。

朱加乾等在处理某高硫铅锌多金属矿时,采用硫酸锌和亚硫酸钠抑制闪锌矿,最终获得了含锌4.30%、铅品位57.57%的铅精矿,含铅0.43%、锌品位46.44%的锌精矿^[24]。

(2) 亚硫酸氢钠与硫酸锌组合

T·N·赫麦雷娃发现,亚硫酸根能快速去除闪锌矿表面上的铜离子活化膜,使用亚硫酸氢钠时,闪锌矿表面的捕收剂浓度降低速度更快^[25]。亚硫酸氢钠与硫酸锌组合能加强对闪锌矿的抑制,其抑制原理与亚硫酸钠和硫酸锌组合抑制原理相似。

肖骏等在处理凡口铅锌矿时,在浮选中添加亚硫酸氢钠和硫酸锌抑制闪锌矿,闭路试验最终获得了含铅1.72%、锌品位52.51%的锌精矿,同时将铅精矿中的锌品位降到了4.66%^[26]。

(3) 连二亚硫酸钠与硫酸锌组合

连二亚硫酸钠(Na₂S₂O₄)本身具有强还原性,在有氧条件下会与水发生反应生成亚硫酸氢钠和硫酸氢钠,生产实践中连二亚硫酸钠不单独使用,而是配合硫酸锌来加强对闪锌矿的抑制。

此组合抑制原理如下:(1)连二亚硫酸钠在碱性环境中可以将少量Cu²⁺直接还原为铜单质,当矿

浆中铜离子数量较多时,可将Cu²⁺还原为不具备活化闪锌矿能力的Cu⁺;(2)连二亚硫酸钠溶于水生成的亚硫酸根和亚硫酸氢根具有脱药和还原Cu²⁺的能力;(3)连二亚硫酸钠和硫酸锌组合也能生成亚硫酸锌,进而抑制闪锌矿。

刘家祥等在处理陕西凤县某铅锌硫化矿中矿时,使用连二亚硫酸钠与硫酸锌来抑制闪锌矿,闭路试验获得了含铅0.93%、锌品位61.84%的锌精矿^[27]。

(4) 焦亚硫酸钠与硫酸锌组合

焦亚硫酸钠能替代亚硫酸盐与硫酸锌组合抑制闪锌矿,是因为焦亚硫酸钠溶于水也能形成亚硫酸根和亚硫酸氢根,再与酸反应放出具有还原性的SO₂气体,焦亚硫酸钠与硫酸锌也能反应生成亚硫酸锌抑制闪锌矿。

陈建明试验发现,在硫酸锌和焦亚硫酸钠质量比1:1组合使用,以苯胺黑药为捕收剂,将铁闪锌矿回收率由61.4%降至9.5%^[28]。

(5) 硫代硫酸钠与硫酸锌组合

硫代硫酸钠溶解于水中生成硫代硫酸根,能与矿浆中的铜离子发生络合反应,生成硫代硫酸铜,会沉淀矿浆中的Cu²⁺;而硫酸锌在碱性矿浆中生成氢氧化锌胶体和锌酸盐也能对闪锌矿和铁闪锌矿产生抑制。

高起鹏等在处理黑龙江黑河市某铜锌矿时,选用硫酸锌和硫代硫酸钠组合抑制闪锌矿,闭路试验获得的铜精矿铜品位为24.26%、铜回收率高达91.44%,锌精矿锌品位为51.15%、锌回收率73.31%的优良指标^[29]。

2.1.3 多元组合抑制剂

于雪等曾针对某铜锌矿石进行了小型分离试验。向磨矿机中加入硫化钠和石灰来调整pH值,消除矿浆中的Cu²⁺,在后续的浮选过程中,使用亚硫酸钠与硫酸锌加强对闪锌矿和铁闪锌矿的抑制,采用部分优先—混合浮选工艺,获得两种铜精矿:铜精矿1和2的品位分别为25.48%和22.86%,铜回收率达到了77.07%,成功地分离了该铜锌矿^[30]。

金婷婷等在处理新疆某铜铅锌多金属矿时,铜粗选中加入硫化钠降低精矿铅锌互含,然后加入硫酸锌和亚硫酸钠抑制闪锌矿,最终得到了含铜20.56%、回收率86%的铜粗精矿和含锌46.73%、回收率87.45%的锌粗精矿^[31]。

夏亮等在处理安徽某硫化铅锌矿时加入石灰与

硫化钠调节 pH 值,消除矿浆中 Cu^{2+} ,并清洗矿物表面,再加入硫酸锌和亚硫酸钠抑制闪锌矿,在浮选时加入碳酸钠和水玻璃分散矿泥,闭路试验获得了铜和锌品位分别为 24.8% 和 45.48%,回收率分别为 80.81% 和 87.16% 的铜精矿和锌精矿^[32]。

2.2 有氰抑制剂

2.2.1 含氰化物的组合抑制剂

氰化物不仅是闪锌矿的有效抑制剂,同时也能抑制黄铁矿、黄铜矿,但氰化物一般不单独使用,常与硫酸锌组合来增强对闪锌矿的抑制^[33]。氰化钠与硫酸锌组合抑制机理如下:

(1) 氰化物可以脱除闪锌矿表面的黄原酸盐薄膜和铜离子薄膜;(2) 氰化物还可以与矿浆中的铜离子生成难溶的 $\text{Cu}(\text{CN})_2$ 沉淀,当矿浆中 CN^- 过量时, $\text{Cu}_2(\text{CN})_2$ 沉淀会发生溶解,与矿浆中更多的 CN^- 发生络合反应,重新生成更加稳定的 $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$ 离子;(3) 氰化钠与硫酸锌联合使用能生成氰化锌胶体沉淀,选择性地吸附在闪锌矿表面,对闪锌矿有较强的抑制作用。

张成强等在解决河南某新建铜锌硫化矿选矿厂铜锌分离难题时,采用硫酸锌与少量氰化钠组合,成功地将铜精矿中的锌含量由原来的 20.70% 降到 5.78%^[34]。

由于氰化物有剧毒,浮选尾矿很难得到有效处理,直接排放会造成环境污染,而且矿石中的金银等贵金属很容易溶解在氰化物中损失,并且氰化物在处理含有次生铜矿物的复杂铜锌时,效果很不理想,所以现在铜锌矿物分选已不采用。

2.2.3 含铁氰化物的组合抑制剂

铁氰化钾($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$),是一种氧化剂,郭崇武等研究发现,铁氰化钾可以与锌离子生成对闪锌矿有抑制作用的铁氰化锌沉淀^[35-37]。

薛晨研究发现,铁氰化钾单独使用时,随其用量增加,闪锌矿的回收率急剧下降,当铁氰化钾用量达到 1.8×10^{-5} mol/L 时,可以将闪锌矿回收率从 57.16% 降至 6.05%。此外,还对铁氰化钾与亚硫酸钠、铁氰化钾与硫酸锌、铁氰化钾、硫酸锌与碳酸钠等组合进行试验。研究发现:铁氰化钾与这几种抑制剂均能产生正协同效应,组合效果远大于这几种药剂单独作用时对闪锌矿的抑制效果。其中铁氰化钾 + 硫酸锌 + 碳酸钠组合抑制剂效果最好,可以

将闪锌矿的回收率从 57.16% 降低至 4.13%,此组合抑制闪锌矿原理如下:铁氰化钾与硫酸锌反应生成铁氰化锌沉淀,吸附在闪锌矿和铁闪锌矿表面上,增强其亲水性;铁氰化钾对被铜和铅等难免离子活化的闪锌矿有很好的去活化作用,可以脱除铜、铅等离子活化薄膜,还能阻止这些离子在闪锌矿表面上的吸附。

3 有机抑制剂

随着我国铜锌矿产资源向着贫、细、杂发展,分选作业越来越困难,采用常规的无机抑制剂在一些选厂无法得到良好的浮选指标。由于无机抑制剂用量大、不易控制,因此在开发新型抑制剂时,有机抑制剂因其环保效果好,且种类繁多、结构多样、用量小、易控制而逐渐受到重视。

3.1 单一有机抑制剂

常见的铜锌分离的单一有机抑制剂有鞣酸、刚果红、巯基乙酸、巯基乙醇、D1 和 Yn 等。

3.1.1 鞣酸、刚果红

龙秋荣等研究发现,极性基为羟基的鞣酸和极性基为氨基和磺酸基的刚果红都对闪锌矿有明显的抑制效果,但是只含有这些官能团较多的小分子烃类有机抑制剂则没有抑制闪锌矿的能力,而刚果红和鞣酸含有苯环、氨基和磺酸基,可增强分子极性,它们更容易在具有电化学活性的闪锌矿表层发生吸附,从而起到抑制作用^[38]。

试验发现,鞣酸在用量小于 600 g/t 时对闪锌矿有明显的抑制作用可将闪锌矿回收率降低到 41% 左右。刚果红对铁闪锌矿有强烈的抑制作用,在用量为 1 600 g/t 时,铁闪锌矿回收率在 3% 左右,几乎完全被抑制。

3.1.2 巯基乙酸和巯基乙醇

刘润清等发现,巯基乙酸和巯基乙醇可以选择性抑制硫化矿,巯基乙酸在 pH 值 6~8 之间时,对磁黄铁矿和闪锌矿有明显的抑制效果,但是对于被铜离子活化的闪锌矿抑制效果不明显。巯基乙醇在 pH 值 6~8 之间时,对磁黄铁矿没有抑制作用但是对铁闪锌矿抑制效果比较好^[39]。这主要是因为巯基化合物在铁闪锌矿表面与黄药产生竞争吸附,巯基化合物本身具有亲水基团,使铁闪锌矿表面亲水而被抑制。

试验发现,在 pH 值 6~8 时巯基乙酸能将铁闪锌矿回收率稳定在 16% 左右,而巯基乙醇在 pH = 8 时可以将铁闪锌矿回收率降低至 19%,此时对黄铁矿没有抑制作用。

3.1.3 D1 抑制剂

D1 ($\text{RCH}_2\text{SCSSNa}$) 是一种有机金属盐类,可由 ClCH_2R 、 Na_2S 和 CS_2 在实验室合成得到。接触角检测发现,D1 抑制剂可以明显减小锌矿物表面的接触角,增大锌矿物表面的亲水性,使其受到抑制。

王阳等在处理广西某铅锌硫化矿时,用 D1 来抑制闪锌矿,闭路试验成功地将铅精矿中的锌品位降低到 4.79%,锌精矿的回收率降低至 3.59%^[40]。

3.1.4 Y_n 抑制剂

Y_n 是一种液体状的小分子抑制剂,属于硫代类化合物。严伟平等在处理某铜锌矿石部分可溶引起铜离子活化闪锌矿问题时,采用这种新型抑制剂 Y_n 抑制锌矿物,闭路试验最终获得了铜品位 23.15%、铜回收率 77.61% 的良好指标,同时也将铜精矿含锌品位降低到了 5.61%^[41]。

3.2 有机抑制剂与无机抑制剂组合

生产中发现,单一无机抑制剂在处理某些复杂铜锌矿时效果不理想,而有机抑制剂因为其成本较高,且单独作用效果不理想,因此经常联合采用无机抑制剂有机抑制剂。

3.2.1 Z-206 与硫酸锌组合

Z-206 是由一种小分子有机物和一种无机盐类按一定比例组合形成的,其与硫酸锌组合使用时,能对闪锌矿产生较好的抑制作用。

这种组合抑制闪锌矿的机理如下:(1) Z-206 能去除闪锌矿表层的铜离子活化膜;(2) 它还能与矿浆中的铜离子发生络合反应,使其沉淀;(3) Z-206 能在锌矿物表面与锌离子反应生成一种亲水络合物,阻止矿浆中铜离子在闪锌矿表面吸附;(4) 硫酸锌在碱性环境中也能抑制闪锌矿。

汤小军等为了解决雅安某铜矿铜锌矿物分离难题,使用 Z-206 与硫酸锌组合抑制剂,小型闭路试验获得了铜精矿铜品位 21.17%、铜回收率 90.22%、含锌 4.32% 的良好指标^[42]。

3.2.2 DT 与硫酸锌组合

DT 是一种有机抑制剂,它可以通过与矿浆中的

铜离子结合,消除矿浆中铜离子对闪锌矿的活化作用,从而选择性地抑制闪锌矿,大幅度降低铜精矿中的锌含量,有效地分离铜锌矿物。

卢琳和伦绍雄等在广西某选矿厂铜锌混合精矿分离时,采用抑制剂 DT 和硫酸锌组合抑制剂进行实验室闭路试验。该混合精矿铜品位只有 12.48%、锌品位 12.75%,试验最终得到了铜精矿铜品位 21.75%、铜回收率 68.54% 的良好结果,并且将锌品位降至 6.88%^[43]。

3.2.3 YK-5 与硫酸锌组合

YK-5 由湖南有色金属研究院研制,其主要成分为羧甲基纤维素和巯基乙醇混合物,为小分子有机抑制剂。郭玉武等在解决吉林省某铜锌选矿厂铜精矿中含锌很高的问题时,采用 YK-5 与硫酸锌组合来抑制闪锌矿,最终获得的铜精矿含铜 27.82%、回收率高达 93.38%,并且成功地将铜精矿中锌含量降低了 5.64%^[44]。

3.2.4 DMDC、亚硫酸钠与硫酸锌组合

二甲基二硫代氨基甲酸钠又名福美钠、DMDC 和 SDD,是闪锌矿、黄铁矿和磁黄铁矿的有效抑制剂^[45]。罗德强等发现 DMDC 对介质 pH 值十分敏感,在酸性环境中可以脱除闪锌矿表面上的铜离子活化膜;在碱性环境中可以占据闪锌矿表面的活化位点,并且与丁基黄药产生竞争吸附,这是因为 DMDC 在闪锌矿表面上的吸附能大于丁基黄药,能够减少丁基黄药在被铜离子活化的闪锌矿表面的吸附^[46]。在 pH = 10 的条件下,能够将闪锌矿回收率降低至 16.59%,并且铜回收率达到 81.64%。

DMDC 还能与亚硫酸钠和硫酸锌组合使用,三者具有正协同作用,能对闪锌矿产生很好的抑制作用。于雪等在处理某铅锌多金属矿过程中,采用 DMDC、亚硫酸钠和硫酸锌来抑制闪锌矿、黄铁矿和磁黄铁矿,试验发现,添加少量 DMDC 即可大幅度增强亚硫酸钠和硫酸锌对被活化的闪锌矿的抑制作用^[47]。

3.2.5 焦磷酸钠与柠檬酸钠组合

焦磷酸钠单独使用时对被难免离子活化的闪锌矿有较强的去活化作用,与柠檬酸组合使用时对二价的金属离子有较强的络合作用,此组合抑制闪锌矿机理如下:

(1) 焦磷酸钠可以去除闪锌矿表面上的难免离

子活化膜,还能溶解闪锌矿表面与捕收剂作用的活性质点;(2)焦磷酸钠和柠檬酸可以与闪锌矿表面锌离子反应生成亲水膜吸附在闪锌矿表面,增强其亲水性;(3)焦磷酸钠和柠檬酸钠能增强矿物的静电斥力来稳定矿浆悬浮颗粒,在浮选作业中充当抑制剂和分散剂。

李建民等在对某复杂多金属矿铅锌分离时,采用焦磷酸钠与柠檬酸钠作为抑制剂,闭路试验获得了铅品位60.34%的铅精矿、锌品位47.86%的锌精矿,且回收率分别达到81.31%和93.11%的优良指标^[48]。

4 结 语

随着我国铜锌矿产资源日益复杂化,铜锌矿物分离也越发困难,因此加强浮选过程中锌矿物抑制剂抑制机理的研究,对于提高选矿经济效益和资源综合利用效率,降低浮选成本,具有十分重要的意义。抑制剂的研发应该遵循高效、环保的理念。

(1)随着人们对环保理念的理解越发深入,氰化工艺逐渐被选矿厂摒弃,开发原料来源广泛、环保无毒、成本低廉且高效,对于矿石性质变化适应能力强的高效抑制剂,是未来一个很重要的研究方向。

(2)现阶段单一抑制剂在处理复杂铜锌矿时表现并不理想,组合抑制剂已经成为铜锌矿物浮选用药的主流趋势,因此对于组合药剂之间的新的组合方案和作用机理的研究将是今后的重点。

(3)有机抑制剂结构多样、种类繁多、来源广泛且环保无污染,因此其开发利用也将是我们今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 李俊旺,张红华,洪建华. 铜锌硫化矿浮选分离研究进展[J]. 铜业工程,2016(4):56-58.
- [2] 谢海云,吴继宗,田小松,等. 铜-锌-硫混合粗精矿的选择性浮选分离[J]. 矿物学报,2019(1):1-7.
- [3] Khmeleva TN, Chapelet JK. Depression mechanisms of sodium bisulphite in the xanthate-induced flotation of copper activated sphalerite[J]. International journal of mineral processing, 2006, 79(1):61-75.
- [4] Khmeleva TN, Skinner W, Beattie DA. Depressing mechanisms of sodium bisulphite in the collectorless flotation of copper-activated sphalerite[J]. International journal of mineral processing, 2005, 76(1):43-53.
- [5] 刘凤霞. 铜锌分离工艺技术研究进展[J]. 世界有色金属,2018(10):41-42.
- [6] 樊建云. 铜锌分离浮选工艺试验研究[J]. 有色矿冶,2010,26(4):28-30.
- [7] Finkelstein NP. The activation of sulphide minerals for flotation: a review[J]. International journal of mineral processing, 1997, 52(2-3):81-120.
- [8] Kinal J, Greet C, Goode I. Effect of grinding media on zinc depression in a lead cleaner circuit[J]. Minerals engineering, 2009, 22(9):759-765.
- [9] Tarasov AV, Bocharov VA. Technology for separation of non-ferrous metal minerals with similar physical and chemical properties[J]. Developments in mineral processing, 2000, 13:1-6.
- [10] 于雪. 铜锌硫化矿难以分离的可能原因及解决途径[J]. 国外金属矿选矿,2004,41(9):4-8.
- [11] Shen WZ, Fornasiero D, Ralston J. Flotation of sphalerite and pyrite in the presence of sodium sulfite[J]. International journal of mineral processing, 2001, 63(1):17-28.
- [12] 曾桂忠,张才学. 组合抑制剂在铜锌浮选分离中的试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2013(2):71-73.
- [13] Pak TH, Jo YH. Flotation and surface modification characteristics of galena, sphalerite and pyrite in collecting-depressing-reactivating system[J]. Journal of central south university, 2012, 19(6):1702-1710.
- [14] 高森,隆胜,尚殿英. 锌酸盐对闪锌矿的抑制作用[J]. 金属材料与冶金工程,1977(2):55-59.
- [15] 薛晨,魏志聪. 闪锌矿抑制剂的作用机理及研究进展[J]. 矿产综合利用,2017(3):38-43.
- [16] 陈军,刘苗华,肖金雄,等. 福建某高硫、低品位复杂多金属矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程,2012,32(2):34-38.
- [17] 焦芬. 复杂铜锌硫化矿浮选分离的基础研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [18] 韦晶晶. 碳酸钠、硫酸锌混合溶液在铅锌分离浮选中的研究与应用[J]. 南方国土资源,2004(11):106-107.
- [19] Gerson AR, Lange AG, Prince KE, et al. The mechanism of copper activation of sphalerite[J]. Applied surface science, 1999, 137(1-4):207-223.
- [20] 肖金雄. 基于铅锌矿物分选的非氰药剂作用机理研究[D]. 赣州:江西理工大学,2009.
- [21] 冯其明,周荣. 经铜离子活化后的某铅锌硫混合精矿中闪锌矿的浮选分离研究[J]. 矿冶工程,2011,31(5):32-34.
- [22] 王聘仪. 亚硫酸及其盐在浮选过程中作用机理的探讨

- [J]. 精细化工中间体, 1981(2): 57-59.
- [23] 辽宁省冶金研究所. 亚硫酸法分选铜锌矿石的研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 1976(9): 35-39.
- [24] 朱加乾, 黄丽亚, 陈波. 某高硫铅锌多金属矿选矿工艺试验[J]. 现代矿业, 2018, 34(9): 1-5.
- [25] T·N·赫麦雷娃, 李长根, 崔洪山. 在被铜活化的闪锌矿黄药诱导浮选中亚硫酸氢钠的抑制作用机理[J]. 国外金属矿选矿, 2007, 44(1): 29-36.
- [26] 肖骏, 陈代雄, 杨建文, 等. 凡口铅锌矿铅锌硫混合精矿分离试验研究[J]. 有色金属科学与工程, 2015, 6(2): 104-110.
- [27] 刘家祥, 王冠甫, 张治元. 硫化铅锌中矿分离工艺的研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 1995(4): 457-460.
- [28] 陈建明. 大厂矿区多金属硫化矿浮选分离与铁闪锌矿生物浸出研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [29] 高起鹏, 孟宪瑜, 秦贵杰. 某铜锌硫多金属矿石选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2003(5): 15-17.
- [30] 于雪, 马广清. 矽卡岩型复杂铜锌硫化矿分离的浮选研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2003(6): 10-13.
- [31] 金婷婷, 李俊平. 新疆某铅铜锌多金属硫化矿分离试验研究[J]. 世界有色金属, 2017(15): 218-218.
- [32] 夏亮, 杜淑华, 廖力. 安徽某硫化铜锌矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2017(9): 101-105.
- [33] Zhang Y, Fang T, Yu X. Adsorption of zinc and cyanide from cyanide effluents on anionic ion-exchange resin[J]. Chemical research in Chinese universities, 2013, 29(1): 144-149.
- [34] 张成强, 李洪潮, 郝小非. 某难选铜锌硫化矿浮选分离工艺优化研究与实践[J]. 矿产保护与利用, 2014(3): 23-26.
- [35] Rastogi P K, Ganesan V, Gupta R, et al. Potassium ferricyanide-incorporated branched polyethylenimine as a potential scaffold for electrocatalytic reduction and amperometric sensing of nitrite[J]. Journal of applied electrochemistry, 2016(1): 1-10.
- [36] Lin C T, Luna M D G D, Gotostos M J N, et al. Effects of doping amounts of potassium ferricyanide with titanium dioxide and calcination durations on visible-light degradation of pharmaceuticals[J]. Environmental science & pollution research international, 2016, 23(22): 22721-22733.
- [37] 郭崇武, 李建强. 采用铁氰化钾去除酸性镀锌液中的铁杂质[J]. 电镀与精饰, 2011, 33(4): 26-28.
- [38] 龙秋容, 陈建华, 李玉琼, 等. 铅锌浮选分离有机抑制剂的研究[J]. 金属矿山, 2009(3): 54-58.
- [39] 刘润清, 孙伟, 胡岳华, 等. 巯基类小分子有机抑制剂对复杂硫化矿物浮选行为的抑制机理[J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(4): 746-751.
- [40] 王阳. 新型有机抑制剂的研发及其在铅锌分离中的应用[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [41] 严伟平, 陈晓青, 杨进忠, 等. 某新型抑制剂在铜锌分离中的试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(4): 84-87, 92.
- [42] 汤小军, 邱廷省, 陈金花, 等. Z-206组合抑制剂用于铜锌分离浮选试验研究[J]. 四川有色金属, 2008(4): 19-22.
- [43] 卢琳, 伦绍雄. 铜锌混合精矿分离组合抑制剂试验研究[J]. 矿产综合利用, 2017(2): 40-43.
- [44] 郭玉武. 提高吉林某铜锌硫化矿选矿指标的试验研究[J]. 矿冶工程, 2016, 36(4): 53-56.
- [45] 朱一民, 周菁. 2017年浮选药剂的进展[J]. 矿产综合利用, 2018(3): 1-10.
- [46] 罗德强, 刘建, 王瑜, 等. 有机抑制剂SDD与BX在铜活化闪锌矿表面的竞争吸附机制[J]. 北京科技大学学报, 2018(5): 540-547.
- [47] 于雪, 陈新林, 孟宪瑜. 提高某铅锌矿浮选回收率试验研究及实践[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(3): 16-22.
- [48] 李健民, 宋凯伟, 章晓林, 等. 组合抑制剂柠檬酸钠和焦磷酸钠在某铅锌矿分离浮选中的作用[J]. 过程工程学报, 2017, 17(3): 500-505.

引用格式: 王衡嵩, 魏志聪, 曾明, 等. 铜锌矿物分离中闪锌矿抑制剂的作用机理研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(2): 124-130.

WANG Hengsong, WEI Zhicong, ZENG Ming, et al. Research progress on the mechanism of sphalerite inhibitors in the separation of copper and zinc minerals[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(2): 124-130.