

## 闪锌矿抑制剂的作用机理及研究进展

薛晨, 魏志聪

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 锌矿资源是人类生产和社会发展必不可少的重要矿产资源, 其产品主要应用于冶金、钢铁、机械、电气、化工、军事和医药等不同领域。闪锌矿作为工业上提炼锌的最重要矿物原料, 逐渐受到人们的重视和青睐。在多金属硫化矿浮选分离过程中, 多数采用抑制锌矿物的选矿工艺, 因此, 研究闪锌矿的抑制剂及其作用机理对于提高选矿指标就具有重要意义。本文不但介绍了闪锌矿浮选中常用的石灰(CaO)、硫酸锌(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)、硫化钠、氰化物、硫酸锌+硫化钠、硫酸锌+氰化物、硫酸锌+碱(碳酸钠或石灰)等抑制剂, 还介绍了BD<sub>1</sub>、CCE等多种新型抑制剂, 并对锌矿物抑制剂的性能判据及作用机理进行了总结, 为今后的研究和开发提供了理论依据, 并认为研制新型高效的药剂仍是主要的研究方向。

**关键词:** 闪锌矿; 抑制剂; 作用机理; 进展

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.03.006

中图分类号: TD952.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)03-0038-06

我国锌矿资源储量丰富, 主要分布在西南地区和西北地区, 富矿及单一锌矿石较少, 锌品位在10%以上的矿石仅占总储量的15%。自然界中锌矿物种类繁多, 包括硫化矿、氧化矿和混合矿, 硫化矿主要有闪锌矿、铁闪锌矿、纤维锌矿三种形式, 氧化矿包括菱锌矿、异极矿及硅锌矿等, 其中闪锌矿占的比重较大而且工业应用价值高, 对闪锌矿的开发利用已越来越引起人们的高度关注。

闪锌矿具有银灰色金属光泽, 化学成分为ZnS, 含锌67.1%, 闪锌矿不仅是工业上提炼锌<sup>[2]</sup>的最重要矿物原料, 还是提取锰、镉、铟、铊等稀有元素的原料。在铅锌、铜铅锌、铅锌硫、铜铅锌硫等多金属硫化矿浮选分离过程中, 多数采用“抑锌硫、浮铜铅”的原则, 因此, 研究闪锌矿的抑制剂及其作用机理对于提高选矿指标就具有重要意义。

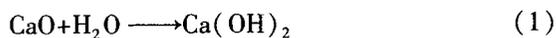
### 1 常规抑制剂

在硫化矿浮选中, 尤其是多金属矿浮选分离过

程中, 抑制剂的应用显得特别重要。抑制剂的作用机理<sup>[3]</sup>主要是: 在矿物表面形成亲水性薄膜; 溶解矿物表面活化膜; 消除活化离子。闪锌矿抑制剂种类繁多, 应用场合各异, 主要包括石灰、硫酸锌、硫化钠、氰化物、亚硫酸及其盐等。

#### 1.1 石灰

石灰(CaO)是最便宜而且最易得的碱, 在硫化矿优先浮选中常用作调整剂, 抑制黄铁矿的效果较好, 它也可用作闪锌矿的抑制剂, 抑制机理为:



石灰能有效地抑制闪锌矿, 主要由于石灰水解产生的Ca<sup>2+</sup>和CaOH<sup>+</sup>覆盖于闪锌矿表面形成亲水薄膜, 使其受到抑制。中南大学的孙伟等<sup>[4]</sup>采用C2 Soterware分子力场中的万能力场方法, 对闪锌矿表面的离子吸附进行了动力学模拟, 结果表明, 与OH<sup>-</sup>相比, CaOH<sup>+</sup>在闪锌矿表面的吸附能更负、吸附

收稿日期: 2016-04-19; 改回日期: 2016-07-13

作者简介: 薛晨(1994-), 男, 在读硕士, 主要研究方向为浮选理论与工艺。

通讯作者: 魏志聪(1981-), 男, 博士, 讲师, 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。

量更大,吸附在矿物表面的离子又与  $\text{OH}^-$  和硫化矿自身氧化产生的  $\text{SO}_4^{2-}$  等离子作用,形成不溶性亲水表面产物,从而降低闪锌矿可浮性。石灰用作抑制剂时,可与矿物一同加入磨机,增强石灰的抑制效果。郑伦等<sup>[5]</sup>对凡口铅锌矿进行选矿试验时,将石灰加入磨机,其研究发现,当石灰用量为 100 mg/L 时,闪锌矿的回收率仅为 20%,抑制效果明显。石灰用量大于 60 mg/L 时,可观察到闪锌矿的可浮性明显下降,这是因为随着石灰用量的提高,矿浆 pH 值会随之提高,导致了在闪锌矿表面吸附的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{CaOH}^+$  浓度的增加。

### 1.2 硫酸锌(皓矾)

在闪锌矿与其他硫化矿物浮选分离时,最常用的抑锌药剂就是硫酸锌( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ),但它必须在碱性环境中使用才有抑制作用,矿浆的 pH 愈高,则硫酸锌对闪锌矿的抑制作用愈强<sup>[6]</sup>。固体硫酸锌在碱性矿浆中水解生成  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,反应式如下:



生成的氢氧化锌胶体在矿浆中可以吸附部分铜离子,预防闪锌矿被活化。胶体溶解度很小,被吸附在闪锌矿矿物表面,同时还会排挤部分捕收剂(如黑药等)。氢氧化锌是两性化合物,在酸性矿浆中由于生成硫酸锌使其失去抑制作用;在强碱性矿浆中,氢氧化锌会发生下列反应:



氢氧化锌胶体在 pH 较高的矿浆中生成  $\text{HZnO}_2^-$  和  $\text{ZnO}_2^{2-}$ ,吸附在矿物表面,增强了闪锌矿表面的亲水性,使其受到抑制。李英霞<sup>[7]</sup>从某选钨锡的尾矿中回收铜锌,采用先浮铜后浮锌的优先浮选工艺。浮铜时用石灰作调整剂,Di 和丁基铵黑药作捕收剂,硫酸锌作锌矿物的抑制剂;浮锌时用硫酸铜作铁闪锌矿的活化剂,再添加丁黄作捕收剂,在给矿铜锌品位分别为 1.42%、2.78% 时,获得铜精矿品位 23.85%、回收率 90.02%,锌精矿品位 45.02%、回收率 85.18% 的指标,达到了预期试验效果。

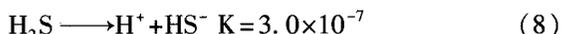
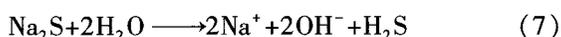
硫酸锌是应用最广泛的闪锌矿抑制剂,可在碱性矿浆中单独使用,还常配合其他药剂来强化对闪锌矿的抑制。

### 1.3 硫化钠

硫化钠( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )是弱酸强碱盐,易溶于水。硫化钠是有色金属氧化矿的活化剂,同时又对硫化矿物产生抑制作用<sup>[8]</sup>,它对硫化矿物的抑制强弱顺序为:

方铅矿>闪锌矿>黄铜矿>斑铜矿>铜蓝>黄铁矿>辉铜矿

硫化钠在水中容易发生水解反应:



朱玉霜<sup>[9]</sup>认为,硫化钠能抑制闪锌矿,主要是由于它水解产生的  $\text{HS}^-$  的作用。首先  $\text{HS}^-$  排挤掉矿物表面的部分黄药,同时又吸附在闪锌矿表面形成亲水性薄膜,从而有效地起到抑制作用,硫化钠的抑制作用还与  $\text{S}^{2-}$  离子有关。实验研究指出,在强碱性介质中闪锌矿表面有硫化锌沉淀生成。硫化钠过量时, $\text{S}^{2-}$  浓度增大有助于硫化锌的生成,生成的硫化物在过量的  $\text{S}^{2-}$  影响下,发生胶溶作用,增强了矿物表面的亲水性,从而起到抑制作用。孙水裕<sup>[10]</sup>等通过实验研究指出,硫化钠是通过降低矿浆电位来改变闪锌矿可浮性的。总之,硫化钠对闪锌矿的抑制机理应从多个方面综合考虑,通常情况下,硫化钠不单独使用抑制闪锌矿。

### 1.4 氰化物

在硫化矿浮选中,常用氰化物来抑制闪锌矿( $\text{ZnS}$ )、黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )和黄铜矿( $\text{CuFeS}_2$ )等硫化矿物<sup>[11]</sup>,对方铅矿则无影响,氰化物主要包括氰化钠( $\text{NaCN}$ )和氰化钾( $\text{KCN}$ ),工业上常将氰化物与硫酸锌混合使用。氰化钠和氰化钾都是弱酸强碱盐,在水中电离发生水解反应,使溶液呈碱性:



随着 pH 值升高,溶液中  $\text{CN}^-$  离子浓度增加,抑制效果增强。而在酸性介质中, $\text{CN}^-$  被强酸置换成  $\text{HCN}$  气体逸出,氰化氢气体毒性很大,应当避免,所以氰化物必须在碱性环境中使用。氰化物可与溶液中的  $\text{Cu}^{2+}$  反应生成亲水性的  $\text{Cu}(\text{CN})_2$  络合物沉淀,消除  $\text{Cu}^{2+}$  对闪锌矿的活化作用。 $\text{CN}^-$  继而与  $\text{ZnS}$  反应生成  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,而  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  在强碱性矿浆中不稳定易分解:



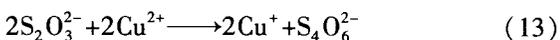
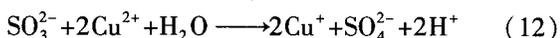
具有亲水性的  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  覆盖于闪锌矿表面,使矿物受到抑制。 $\text{CN}^-$  和黄药阴离子在矿物表面有竞争吸附的关系,若浮锌矿浆中有黄药残留,氰化物会首先溶去矿物表面黄原酸盐,然后再按上述原理抑制闪锌矿。

氰化物因其抑制硫化矿物的效果良好,过去铅锌分离大多采用氰化物工艺,但氰化物有剧毒,会影响身心健康,造成环境污染,并且氰化法不利于稀贵金属的回收<sup>[12]</sup>,近年来,为减少污染及确保工艺指标,低氰浮选及无氰浮选工艺成为主要研究方向。

### 1.5 亚硫酸(或 $\text{SO}_2$ )、亚硫酸盐和硫代硫酸盐

二氧化硫溶于水即成亚硫酸,亚硫酸是中等强度的酸,不稳定,易分解生成  $\text{HSO}_3^-$  和  $\text{SO}_3^{2-}$ ,在 pH 值为 7 时,  $\text{HSO}_3^-$  和  $\text{SO}_3^{2-}$  的浓度接近。松全元<sup>[13]</sup>认为二氧化硫及亚硫酸能抑制闪锌矿是因为  $\text{HSO}_3^-$  和  $\text{SO}_3^{2-}$  可以分解溶液中和矿物表面的黄药。二氧化硫法抑制闪锌矿,已在前苏联、日本和加拿大<sup>[14]</sup>等国应用。

亚硫酸、亚硫酸盐及硫代硫酸盐等都是强还原剂,美国学者 Gaudin<sup>[15]</sup>通过研究指出,  $\text{SO}_2$  能抑制闪锌矿,是由于矿浆中生成的亚硫酸可将  $\text{Cu}^{2+}$  还原成无活化作用的  $\text{Cu}^+$ ,反应式如下:



生成的亚铜化合物在溶液中很不稳定,它可与硫代硫酸根离子反应生成  $\text{Cu}_2(\text{S}_2\text{O}_3)^{2-}$  络合离子,或在平衡中生成单质铜沉淀。T·N·赫麦雷娃<sup>[16]</sup>的研究结果表明,亚硫酸盐是通过亚硫酸根离子分解闪锌矿表面的黄原酸铜和似硫化铜组分,使矿物表面氧化,促进氢氧化锌的形成,从而使活化后的闪锌矿受到抑制。亚硫酸及其盐的抑制机理较多,如有研究工作者认为,亚硫酸及其盐能选择性的吸附黄药,还可与重金属离子生成稳定络合离子,消除其活化作用,这方面的抑制机理还有待于我们进一步系统研究。在 pH 值为 4 左右,亚硫酸及其盐<sup>[17]</sup>对方铅矿有抑制作用,当 pH 值为 4.5 ~ 6 时,对闪锌矿的抑制作用强烈,所以要注意药剂的使用环境。

这类药剂的优点是毒性小,不溶解金、银,产生

的废水容易处理,并且被亚硫酸及其盐抑制过的闪锌矿比较容易被硫酸铜活化。缺点是抑制效果不够强烈,用量和使用条件要求比较严格。但总体来说,应提倡使用这类药剂来代替氰化物作闪锌矿的抑制剂。

## 2 组合抑制剂

闪锌矿的抑制剂主要有上述几种,它们的抑制效果顺序为:氰化物>硫酸锌>亚硫酸及其盐>硫化钠>石灰,在浮选分离过程中,除氰化物外,其它几种药剂单独使用时,抑制效果往往不太理想,生产实践中,经常使用两种或两种以上的组合药剂,按一定比例混合添加,可以发挥药剂间的协同效应,有效提高对闪锌矿的抑制效果。

### 2.1 硫酸锌+硫化钠法

硫化钠与铜离子生成硫化铜沉淀,可防止铜离子对闪锌矿的活化,当用量过大时则会抑制方铅矿,所以要注意硫化钠的用量。在硫酸锌的作用下,矿浆中生成极细粒的胶体硫化锌,硫化锌对被  $\text{Cu}^{2+}$  活化后的闪锌矿有良好的抑制作用<sup>[18]</sup>。硫酸锌与硫化钠组合的方法,常用于抑制矿石中含铜的闪锌矿及黄铁矿,冯其明等<sup>[19]</sup>针对经铜离子活化后的某铅锌硫混合精矿,采用部分混合浮选工艺,采用活性炭预先脱药、硫化钠和硫酸锌组合抑锌的药剂制度,实现了闪锌矿从铅锌硫混合精矿中的有效分离,为锌资源的综合利用与回收提供理论支持。

### 2.2 硫酸锌+亚硫酸钠法

在实际的浮选体系中,将硫酸锌与亚硫酸钠组合抑制闪锌矿的作用过程较为复杂,作用机理尚未被完全研究清楚。硫酸锌主要靠生成亲水的  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  来抑制闪锌矿,在  $4.28 < \text{pH} < 11.5$  的区域内,硫酸锌对闪锌矿的抑制效果较好,因为此时在溶液中还生成了新的组分  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$ ,它可增强  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  在弱酸性介质中的稳定性;在 pH 值 > 11.5 的高碱性介质中,闪锌矿会因自身的严重氧化而受到抑制<sup>[20]</sup>。加入亚硫酸钠后,  $\text{SO}_3^{2-}$  的氧化作用会增大溶液中  $\text{Zn}^+$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的浓度,同时也可提高  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  稳定存在的 pH 值上限。

程琍琍等<sup>[21]</sup>研究了组合抑制剂(硫酸锌+亚硫酸钠法)对闪锌矿抑制作用的电化学行为及机理,

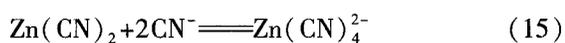
循环伏安测试结果表明, pH 值为 9.18 时, 有大量的  $Zn(OH)_2$  覆盖在闪锌矿表面, 此时组合抑制剂的抑制作用较为明显。罗朝艳<sup>[22]</sup>采用乙黄捕收铅矿物, 用硫酸锌+亚硫酸钠(摩尔比 2:1)组合药剂抑制锌, 在自然条件下即可实现铅锌的有效分离, 铁闪锌矿的上浮率仅为 9.12%, 取得了较好的浮选指标。文金磊<sup>[23]</sup>采用动电位测试等手段, 对某铅锌硫化矿矿物与药剂间的作用机理进行了研究。结果表明: 硫酸锌+亚硫酸钠+水玻璃的组合药剂对闪锌矿表面的丁基黄原酸解吸效果较好, 抑制效果较明显。

### 2.3 硫酸锌+氰化物法

两者多在 pH 值为 8~9 的环境中应用, 一般是硫酸锌用量较大, 而氰化物用量少, 两者混合比例约为氰化物:硫酸锌=1:2~5。硫酸锌水解生成的氢氧化锌胶体吸附在闪锌矿表面, 使其受到抑制, 硫酸锌还会与氰化物发生下述反应:



若氰化物过量, 还会继续反应生成  $Zn(CN)_4^{2-}$ :



氰化锌胶体和络合物都会吸附在矿物表面, 使闪锌矿亲水而受到抑制。当氰化物与硫酸锌同时存在时, 闪锌矿表面负电性增加, 在 pH 值为 8~9 时, 用氰化物与硫酸锌调浆, 抑制效果较好。硫酸锌与氰化物的组合药剂抑制效果较强, 主要应用于被重金属离子活化且可浮性较好的闪锌矿的抑制, 当然, 为确保指标良好, 保护环境, 提倡采用少氰浮选。

### 2.4 硫酸锌+碱(碳酸钠或石灰)法

该法又称胶体碳酸锌法, 将硫酸锌与碳酸钠或石灰组合使用, 可代替氰化物来抑制闪锌矿和黄铁矿, 通常将两种药剂直接加入磨机。在 pH 值为 8~9 时, 主要是闪锌矿表面形成的硫酸锌和氢氧化锌胶体起抑制作用; 当 pH 值较高时, 矿物表面会形成  $Zn_4(CO_3)(OH)_6 \cdot H_2O$  及类似的晶质衍生物抑制闪锌矿, 这类药剂组合用于抑制没有被活化的闪锌矿的场合较多。

福建某复杂多金属铅锌硫化矿<sup>[24]</sup>采用优先浮选流程, 在铅浮选循环中加入硫酸锌和少量石灰, 调浆至 pH 值为 12, 试验获得了铅精矿铅品位 42.13%、回收率 64.25%; 锌精矿锌品位 40.27%、回收率 61.07% 的良好指标。新疆阿勒泰市铁米尔

特铅锌矿<sup>[25]</sup>采用浮铅抑锌的优先浮选流程, 加入碳酸钠、硫酸锌各 1000 g/t, 在 pH=8.0 的情况下, 铅锌分选指标较好, 金银的回收率也较高。

### 2.5 非常规组合抑制剂

抑制闪锌矿的常规药剂组合除了上述的主要几种外, 还有硫酸锌与硫化钠组合、硫化钠+亚硫酸及其盐组合等, 近年来, 国内外一些选矿工作者采用非常规的药剂组合在一起抑制闪锌矿, 也取得了较好的抑制效果。Srdjan M 等<sup>[26]</sup>对加拿大 Noranda 矿山铜铅锌多金属矿进行浮选分离工艺研究时, 用黄药选出铜铅混合精矿后, 采用无水氨+氰化钠+二氧化硫组合药剂抑制锌矿物, 铜铅锌分选效果较好; 刘家祥<sup>[27]</sup>使用硫酸锌+连二亚硫酸钠的组合药剂抑制闪锌矿, 也实现了铅锌的有效分离; 日本和前苏联还使用过三价铁离子和过氧化氢来抑锌浮铅。

与单一抑制剂相比, 组合抑制剂的使用可以有效地提高精矿品位及回收率、降低选矿成本、减轻环境污染。因此, 组合抑制剂得到了越来越多的应用。

## 3 新型抑制剂

随着国民经济的发展, 矿产资源消耗速度急剧增加, 品位高的易选锌矿石越来越少, 我国的锌矿资源向着贫、细、杂方向发展, 选别作业也变得更加困难, 使用常规抑制剂在某些矿厂已经无法获得良好的选别指标, 因此研究开发新型抑制剂<sup>[28]</sup>, 对于矿产资源的综合利用和开发具有重要意义。张心平<sup>[29]</sup>采用代号为  $BD_1$  的新型药剂与硫酸锌组合抑制锌矿物, 高崇峰<sup>[30]</sup>采用石灰+ZL-01 的组合抑制剂, 都较好地解决难选铅锌矿的浮选分离问题; 云南文山某地铜锌矿<sup>[31]</sup>采用 CCE 组合抑制剂实现铜锌分离, 它络合了矿浆中的铜离子, 消除其活化作用而生成一层亲水性胶体膜, 在硫酸锌和亚硫酸钠的共同作用下, 将锌矿物很好地抑制。当铜精选作业添加 CCE 时, 铜尾矿锌品位和锌回收率分别提高 2.11 和 24.09 个百分点, 证明了在铜锌矿石分离中 CCE 组合抑制剂是锌矿物的优良抑制剂。

多金属硫化矿石浮选分离主要使用无机抑制剂<sup>[32]</sup>, 但在实际应用中, 无机抑制剂的使用存在很多问题, 如石灰用量大且不易控制, 氰化物有剧毒, 影响身心健康等。与无机抑制剂相比, 有机抑制剂

结构多样,不污染环境,并且可以按照需求进行官能团和分子量的设定,对于改善浮选指标具有重要意义,近年来得到很大的发展。美国的 N. J. Bolinam<sup>[33]</sup>指出,采用巯基捕收剂浮选方铅矿时,单宁可有效地抑制闪锌矿和碳酸盐脉石。龙秋容<sup>[34]</sup>通过研究发现,极性较弱的巯基能较好地抑制铁闪锌矿,分子结构中含有羟基的鞣酸和刚果红同样对铁闪锌矿具有抑制作用。广西大厂对其复杂铜锌矿石<sup>[35]</sup>进行铜铅分离时,采用小分子有机抑制剂 Yn 抑制闪锌矿,用接触角、动电位和红外光谱等测试手段测定表明,Yn 显著改变了闪锌矿表面的动电位。和常规组合抑制剂硫酸锌+亚硫酸钠相比,Yn 可使铜精矿中铜品位和回收率分别提高 4.59 和 8.83 个百分点、锌含量降低 2.61 个百分点。

#### 4 结 语

生产实践中,闪锌矿抑制剂的选择应根据矿石具体性质而定,对常规抑制剂及组合药剂的抑制机理应当继续深入研究,同时对新型抑制剂的研究开发及推广也要提上日程。随着矿产资源日趋复杂化,对闪锌矿的选别作业将变得更加困难,加强浮选过程中抑制剂的作用机理研究,对于降低选矿成本、提高资源综合利用率具有十分重要的意义,抑制剂的发展应以增强矿物分离效果和降低环境污染等方面为出发点:

(1)随着人们环保意识的不断增强,传统的氰化工艺将逐渐被舍弃,高效无毒低成本抑制剂的开发将是研究的热点。

(2)在某些复杂硫化矿及低品位锌矿物浮选中,常规的单一抑制剂显得无能为力,新型抑制剂与组合抑制剂的开发与应用将成为我们今后研究的重要方向。

(3)和无机抑制剂相比,有机抑制剂种类多、来源广,并可根据特定矿物体系来灵活设计药剂分子结构,因此,有机抑制剂的发展也将是我们今后研究的重点。

#### 参考文献:

- [1]周跃,周李蕾,周贺鹏,等.铁闪锌矿选矿技术的现状与进展[J].四川有色金属 2008(4):5-7,4.  
[2]Wang D Z. Flotation of Sulphide Minerals and Pulp Potential

[J]. 2008.

- [3]王伊杰,文书明,刘建,等.铅锌分离中锌矿物的抑制剂和活化剂及作用机理[J].矿冶,2013,21(4):21-25.  
[4]孙伟,胡岳华,邱冠周,等.闪锌矿(110)表面离子吸附的动力学模拟[J].中国有色金属学报,2002,12(1):187-190.  
[5]郑伦,张笃,刘运财,等.凡口矿高碱介质中闪锌矿浮选特性研究[J].矿冶工程,2005,25(3):37-40.  
[6]龚明光.泡沫浮选[M].北京:冶金工业出版社,2007.  
[7]Pak T H,Jo Y H. 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.  
[8]李英霞,王国生.从选钨锡尾矿中回收铜锌的研究[J].有色金属:选矿部分,2013(2):26-29.  
[9]朱玉霜.浮选药剂的化学原理[M].长沙:中南工业大学出版社,1996.  
[10]孙水裕,王淀佐.硫化钠作还原剂硫化矿物无捕收剂浮选规律及分离方案的设计[J].有色金属:选矿部分,1993(1):2-4,17.  
[11]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.  
[12]陈建明.车河选矿厂硫化矿铅铋锌硫无氰分离研究[D].长沙:中南大学,2004.  
[13]松全元.二氧化硫对闪锌矿可浮性影响的研究[J].国外金属矿选矿,1983(1):51-58.  
[14]李凤楼.国外铅锌选矿厂[M].北京:中国选矿科技情报网,1983.  
[15]Gaudin A M. Flotation[M]. McGraw-Hill,1957.  
[16]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):29-36,46.  
[17]Shen W Z, 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.  
[18]Gerson A R, Lange A G, Prince K E, et al. The mechanism of copper activation of sphalerite[J]. Applied surface science,1999,137(1):207-223.  
[19]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.  
[20]程琍琍,郑春到,李啊林,等.组合抑制剂在硫化矿浮选

- 过程中抑制闪锌矿的电化学机理[J]. 有色金属工程, 2014, 4(4): 50-53.
- [21] 程琍琍, 孙体昌. 高碱条件下的闪锌矿表面电化学反应机理及其浮选意义[J]. 中国矿业, 2011, 20(11): 94-97.
- [22] 罗朝艳. 脆硫锑铅矿与铁闪锌矿分选的无氰药剂研究[J]. 矿业研究与开发, 2010, 30(2): 58-61.
- [23] 文金磊. 难处理铅锌硫化矿选矿技术及其药剂作用机理研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2013.
- [24] 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, 41.
- [25] 陈维民, 闫新军. 铁米尔特铅锌矿矿石可选性试验[J]. 新疆有色金属, 2001, 24(4): 25-28.
- [26] Bulatovic S M. Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: Volume 1: flotation of sulfide ores [M]. Elsevier, 2007.
- [27] 刘家祥, 王冠甫. 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, 27(4): 457-460.
- [28] 胡熙庚. 有色金属硫化矿选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987. 202-203.
- [29] 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.
- [30] 高崇峰, 周源. 某难选铅锌矿石浮选分离新工艺试验研究[J]. 江西有色金属, 2003, 17(3): 24-27.
- [31] 李玉芬, 李民健. CCE组合抑制剂用于铜锌分离生产实践[J]. 云南冶金, 2002, 31(1): 12-14, 25.
- [32] 何名飞, 熊道陵, 陈玉平等. 一种新型有机抑制剂甘油基黄原酸钠对硫化矿抑制作用机理研究[J]. 矿冶工程, 2007, 27(3): 30-32, 36.
- [33] Bolin N J, Laskowski J S. Polysaccharides in flotation of sulphides [J]. Part II: Copperlead separation, 1991.
- [34] 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.
- [35] 贾辉, 卢毅屏, 钟宏, 等. 金属矿浮选有机抑制剂的研究进展[J]. 陕西化工, 2014, 43(2): 353-356, 362.

## Reaction Mechanism and Research Progress of Depressants in Sphalerite Flotation

Xue Chen, Wei Zhicong

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

**Abstract:** Zinc resources are indispensable mineral resources in production of human and development of society, which products are mainly used in different areas of metallurgy, steel, machinery, electrical, chemical, military and medicine. As the most important mineral raw materials of refined zinc in industry, sphalerite has gradually aroused people's attention. The mineral processing of depressing zinc mineral is often used in the process of polymetallic sulphide ore flotation separation. Therefore, research on the depressants of sphalerite and its mechanism has a great significance for the improvement of mineral processing index. The article not only introduces many conventional depressants namely lime (CaO), zinc sulfate ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), sodium sulfide, sodium sulfide, cyanide, zinc sulfate + sodium sulfide, zinc sulfate + sodium sulfide and zinc sulfate + cyanide alkali (sodium carbonate or lime), but also introduces a variety of new depressants such as  $BD_1$  and CCE. And the performance criterion and mechanism of zinc mineral depressants were summarized. It provided a theoretical basis for the future research and development of depressants. Besides, the paper points out that developing innovate efficient reagents is still the main research trend.

**Keywords:** Sphalerite; Depressant; Mechanism; Progress