# 硫化铅锌矿无氰浮选工艺流程及技术进展*

魏宗武[1]，陈建华[1]，艾光华[2]，王桂芳[1]
（1.广西大学资源与环境学院，530004；2.江西理工大学资源与环建学院，，341000）

**摘 要**：介绍了近年来硫化铅锌矿浮选的进展、硫化铅锌矿浮选工艺和无氰浮选药剂的现状及发展，并提出开发新型高效浮选药剂和浮选新工艺是硫化铅锌矿浮选研究的主要发展方向。

**关 键 词**：硫化铅锌矿；无氰抑制剂；浮选工艺；进展
**中图分类号**：TD952.2；TD952.3；TD923　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001－0076(2007)04－0039－06

## Development of Cyanide－free Flotation Flowsheet and Technology for Lead and Zinc Sulfide Ores

*WEI Zong－wu*，*CHEN Jian－hua*，*AI Guang－hua*，*et al.*
(The Resources and Environment Department，GXU，Nanning 530004，China)

**Abstract**：The authors discussed the recent developments of flotation for lead and zinc sulfide ores，the current status and development of the floatation technology and flotation reagent without cyanide. And they also put forward that study on new type and effective flotation reagent and new flotation technology were the main direction of development of flotation for lead and zinc sulfide ores.

**Key words**：lead and zinc sulfide ores；cyanide－free depressant；flotation technology；development

我国铅锌资源丰富，其中以锌为主的铅锌矿床和铜锌矿床较多，而铅为主的铅锌矿床较少，单铅矿床更少。以前铅锌分离大多采用氰化物工艺，虽然取得了不错的进展，但氰化物剧毒，因此，无氰工艺及无氰药剂成为当前的主要研究方向。

## 1 无氰浮选的工艺流程现状

采用无氰浮选工艺的选矿厂，一般采用直接优先浮选流程或等可浮流程。直接优先浮选有利于有用矿物之间以及有用矿物与脉石矿物之间的分离，一般来说可以获得高质量的精矿；等可浮浮选流程是在混合浮选流程和优先浮选流程的基础上发展起来的，克服了混合—分离和部分混合—分离浮选工艺“重拉、重压”的缺点，有利于实现无氰浮选，而且能适应矿石性质的变化。近几年来，国内外研究者对各种复杂难选的多金属硫化铅锌矿进行了大量的工艺研究和实践。水口山铅锌矿[1]采用铅—锌—硫等可浮浮选流程，增加了中矿再磨作业，在铅、锌、硫浮选分离作业中采用硫化钠、硫酸锌和硫代硫酸钠抑制锌矿物，用石灰抑制黄铁矿，用捕收剂 SN－9 浮选方铅矿，实现了无氰浮选工艺，不但铅、锌、硫浮选指标与原生产指标相比得到提高；金银回收率分别提高了 4.08% 和 0.87%。黄沙坪铅锌矿[2]矿石中硫化矿物呈中细粒不均匀嵌布，硫化矿物之间共生密切。采用等可浮浮选流程与组合药剂和改进磨矿制度等技术相配合，提高了技术经济指标，与原流程相比较，不但铅精矿、锌精矿品位提高，回收率均在 90% 以上，选矿药剂费用也大幅度降低。广西大厂[3]对 100 号矿体进行了浮选流程及工艺条件的探索研究，分别制定了“磁—浮—重”和“磁—重—

* 收稿日期：2006－12－29；修回日期：2007－04－21
作者简介：魏宗武(1974－)，男，教师，硕士，主要从事矿物资源的综合回收利用研究与教学工作。
万方数据

浮—重”两个原则流程，并将“磁—浮—重”流程应用于生产，实现了锡、铅、锌无氰浮选分离。霍锡晓[4]等采用二步分选工艺，不但解决了大厂锡石—多金属硫化矿多重浮选中相互影响的问题，同时提高了铅锌回收率。黄廷选[5]对云南马关铅锌多金属混合矿采用了硫化铅、硫化锌、氧化铅依次优先浮选，尾矿再重选氧化锌的工艺流程。成功分离了铅锌，获得较好的指标。高新章[6]等针对会理锌矿矿石嵌布关系复杂，研究采用了铅锌最佳可浮性分离工艺流程，使用选择性选铅捕收剂，粗精矿加矿泥分散剂脱泥，然后再磨，采用高浓度抑制剂，多次精选等技术措施，成功解决了该矿石的铅锌分离难题。刘如意[7]等就广西河池地区的低品位铅锌多金属硫化矿分选问题，研究了矿石中不同矿物的浮选特性，分选条件及药剂制度，提出了处理该类矿石的分选工艺，使精矿质量和回收率都有较大提高。

## 2 无氰浮选的理论研究

实践证明，无氰浮选欲取得任何实质性的进展，必须通过现代检测仪器的应用，深刻探讨浮选的基本原理。

### 2.1 检测仪器的应用

浮选工作者借助各种检测仪器的分析研究，获得了无氰浮选领域内的许多新信息和新成果，为无氰浮选理论上的进步奠定了基础。

表 1 无氰浮选主要检测仪器的使用情况

| 仪器名称 | 典型研究目的 | 研究的结果或结论 |
|---|---|---|
| 电子光谱仪 | 硫化矿物在浮选中的相互影响 | 分析矿物表面及所得的矿浆体系中反应动力学数据，提供硫酸铜对闪锌矿和黄铁矿的活化作用 |
| 动电位测试仪 | 有机抑制剂 β－巯基乙醇对闪锌矿的抑制作用 | 研究表明，β－巯基乙醇在闪锌矿－水界面上发生化学吸附，并对闪锌矿和黄铁矿的混合物中的闪锌矿能有效地抑制 |
| 分析电子光谱仪 | 硫化矿表面与药剂作用后反应物的化学状态 | 可确定硫化矿表面暴露于空气、氮气和水溶液之后的变化及其与抑制剂作用时反应物的化学状态 |
| 俄歇电子能谱 | 抑制剂与矿物表面的作用机理 | 鉴别固体表面的化学元素和原子的结合状态，揭示药剂与矿物的作用机理 |
| 分光光度计 | 二氧化硫对闪锌矿的抑制机理 | 揭示二氧化硫在硫化矿浮选中作闪锌矿抑制剂的抑制机理 |
| 红外线反射光谱仪 | pH 值对闪锌矿浮选抑制剂的抑制能力的影响 | 确定闪锌矿的最佳浮选 pH 值，并可观察到闪锌矿浮选受到抑制 |
| 紫外光谱仪 | 在有闪锌矿存在的条件下，亚硫酸盐抑制黄铁矿的机理 | 通过在不同 pH 值下亚硫酸盐和黄原酸盐反应，从而确定亚硫酸盐分解黄原酸盐的程度 |

### 2.2 基础理论的探讨

高涅夫和波格丹诺夫通过对微观结构的研究指出，锌酸钠之所以能作闪锌矿的抑制剂是因为结构上酷似氰络合物的锌酸盐络和物阴离子对锌矿物表面具有极大的亲和力。进一步研究发现锌酸根离子对闪锌矿的抑制机理基于如下事实：(1) 闪锌矿和锌酸根离子有相同的电子排列和相同的四面体结构；(2) 这两个四面中心都是由 Zn 原子占据，相邻单元(S 或 OH) 的键属于共价键型；(3) 两个四面体有相似的尺寸；(4) 锌酸根离子的四面体中 Zn 原子周围环抱氧原子，在闪锌矿中 Zn 周围环抱着硫。理论试验均表明，锌酸根离子只吸附在闪锌矿表面上，而不作用在其它矿物上的主要原因是电子排列和几何结构不相应之故。松原宽、四元毅弘[8]等人对方铅矿和黄铜矿的硫酸化反应进行的热力学考察表明：方铅矿的硫酸化反应极易发生，而黄铜矿即使加大硫酸浓度和升温却几乎不能进行，从而判定硫酸化处理 Cu－Pb 混合精矿，优先浮选分离方铅矿和黄铜矿是完全可能的。试验研究表明，方铅矿若用 17% 的硫酸，在 30℃ 下硫酸化处理 5 min 左右，几乎完全失去可浮性而被抑制，黄铜矿却显示良好的可浮性。电化学方法研究是无氰浮选领域中最活跃的基础研究方法之一。硫化矿电化学[9]调控浮选的根本特征是：通过电位 pH 调配、调节和控制导致硫化矿表面疏水和亲水的电化学反应，从而达到浮选与分离。浮选电化学[9]理论认为，氧化还原剂是通过调整矿浆电位在氧化或还原气氛下实现对硫化矿的抑制。对致密状重金属硫化矿的分选以硫氧化合物抑制硫化铁矿物的研究指出，与抑制效果密切相关的氧化还原电位，随溶液中相应的阴离子浓度的

万方数据

增加而提高,可写成如下关系式:

$$S_2O_3^{2-} + 5H_2O \rightleftharpoons 2SO_4^{2-} + 10H^+ - 8e$$

$$Eh = E^0 + 0.059/8\log[SO_4^{2-}/S_2O_3^{2-}] - 5/4pH$$

在矿浆中矿物受到短时间充电,且因氧化还原电势和液相离子成分得到调整,使矿粒表面发生吸附—解吸现象。研究表明,当矿粒脱离电极表面时,系统形成新的最小自由焓,因矿粒与电极短暂接触时产生强烈的电化学过程,导致其表面状态变化。

## 3　无氰浮选的工艺实践

无氰浮选是一种或多种非氰抑制剂与矿物作用,以改变矿物的表面性质而达到分选之目的。非氰抑制剂可分为无机和有机抑制剂两类。在具体使用时,既可以单独使用,也可以组合使用,因不同的选别对象、矿物组成、分选目的及工艺流程而异。

### 3.1　无机抑制剂的应用现状

在无机抑制剂的使用上,常将两种或数种共用,组成各种配方,以适应不同矿物的分选。

石灰是硫化矿浮选分离应用最广泛的 pH 调整剂及抑制剂。它具有强烈的吸水性,溶于水形成强碱性,提高矿浆 pH 值,其作用一方面是 $OH^-$ 的作用;另一方面是 $Ca^{2+}$ 的作用。黄铁矿与磁黄铁矿在碱性介质中矿物表面可以生成 $Fe(OH)_2$ 和 $Fe(OH)_3$ 亲水薄膜。当有黄药存在时黄药阴离子 $X^-$ 和 $OH^-$ 发生竞争吸附,$OH^-$ 还有排除黄药阴离子 $X^-$ 的能力,强化了抑制作用;$Ca^{2+}$ 可以在黄铁矿表面生成 $CaSO_4$ 难溶化合物,也可以起到抑制作用;石灰又是一种凝聚剂,能引起矿浆中微细矿粒的凝聚,当石灰用量适当时,泡沫有一定粘度且比较稳定。用量过大时,由于微细矿粒的凝聚,使泡沫发粘,甚至"跑槽"。实践中先将石灰配成石灰乳水溶液再加入浮选矿浆中。但在高碱介质中,石灰对矿石中的金、银等贵金属均有不同程度的抑制作用,使得贵金属得不到有效的回收利用。我国有色金属伴生金的储量占黄金总储量的 44.3%;伴生银的储量占银总储量的 66.8%[10],伴生银主要来自铅锌矿山,若能降低抑制黄铁矿时的石灰用量或者不使用石灰,则对于综合回收资源有重大意义。

W. Z. 申等[11]研究认为,在 pH 8.5 时添加亚硫酸钠后,立即添加黄药可改进闪锌矿与黄铁矿的浮选分离。邱廷省[12]等研究了硫代硫酸钠、氯化钙、硫酸锌以及它们之间的组合抑制剂对黄铁矿的可浮性的影响,并对其机理进行了分析,黄铁矿和黄铜矿的单矿物浮选试验研究表明,在一定的 pH 值条件下,$Na_2S_2O_3$、$CaCl_2$、$ZnSO_4$ 以及它们的相互组合均对黄铁矿有一定的抑制作用,其对黄铁矿的抑制作用强弱顺序为:$Na_2S_2O_3 + CaCl_2 > Na_2S_2O_3 > Na_2S_2O_3 + ZnSO_4$,而对黄铜矿的可浮性几乎没有影响,这样就可实现黄铜矿与黄铁矿的有效分离。药剂与矿物的作用机理研究结果表明,$Na_2S_2O_3$ 是一种强还原剂,它会还原矿浆中对黄铁矿有活化作用的 $Cu^{2+}$,降低 $Cu^{2+}$ 离子浓度。另外当它与 $CaCl_2$ 组合使用时,$Ca^{2+}$ 在黄铁矿表面吸附,阻止黄药在其表面的吸附和氧化,从而强化对黄铁矿的抑制。银山铅锌矿[13]利用等可浮流程,完全不用氰化物,用石灰与硫酸锌抑锌硫浮铅。罗仙平[14]等针对某铅锌硫化矿含有较多的铁闪锌矿,铅锌矿物共生关系密切的特点。采用碳酸钠作矿浆 pH 调整剂,控制矿浆 pH = 9 左右,YN + $ZnSO_4$ 组合药剂作锌矿物的抑制剂,SN - 9 为铅矿物的捕收剂,采用抑锌浮铅优先浮选流程,获得了较佳的选别指标。黄礼煌[15]等利用在磨矿机中加入少量石灰和 $K_{202}$ 抑制剂及少量混合捕收剂,分级机溢流中加少量混合捕收剂和起泡剂,实现铅锌硫有效分离。此外采用硫化钠、硫酸锌、亚硫酸钠组合抑制剂配方,在分离多金属硫化矿中铜、锌及硫替代氰化物法也能取得较好分离指标。在优先浮选 Pb - Zn 矿石中,以硫酸锌和亚硫酸钠作抑制剂对方铅矿和闪锌矿浮选中,当矿石中含有金银时可提高金银的回收率。日本某选厂用亚硫酸盐代替氰化物作抑制剂,在复杂硫化矿混合浮选中成效卓著。日本 12 个矿山的实践表明,$SO_2$ 对锌、铁等矿物抑制由强到弱的顺序为:黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿 > 黄铜矿。有研究提出以下三类矿石可用亚硫酸抑制:(1)铅锌硫化矿石,优先浮选时用以抑锌浮铅;(2)铜铅锌硫化矿石,在铜铅混合浮选时用以抑制闪锌矿、黄铁矿或将用来优先浮选,抑制铅锌矿物浮选铜矿;(3)铜锌硫化矿石,浮选铜矿物抑制闪锌矿与硫化铁矿物。文献指出[16],在闪锌矿或铁闪锌矿与其它矿物的分选中,对组合药剂的试验在电子显微镜下观察到锌矿物表面形成无定形物质最大可能是 $ZnCO_3$,因此认为利用 $ZnSO_4$ 和 $Na_2CO_3$ 作抑制剂可获得好的效果。国内的凡口铅锌矿就曾经利用

万方数据

该组合抑制剂代替氰化物抑锌浮铅,与使用氰化物所得 Pb – Zn 分离指标相近[17]。Bulatovic[18] 指出,硫化钠和亚硫酸钠作抑制剂取代氰化物多用于对磨矿时闪锌矿被预先活化的情况,对矿石中含有可溶性重金属离子的浮选有特效,其最大抑制作用为 pH 值控制在 9 ~ 11 之间;在黄铁矿中含细粒浸染的铜和锌块状硫化矿的分离中,用硫化钠和活性炭可抑制锌矿物;在铜 – 锌矿石抑锌浮铜工艺中,硫化钠和石灰加到磨矿机中,亚硫酸加入矿浆可获得好的回收率,此时 pH 值的控制是关键。抑制剂的混用不但可以提高精矿品位,往往也能提高回收率,这说明组合抑制剂在强化对脉石矿物抑制的同时,也消除了对所选矿物的某些抑制作用。

### 3.2 有机抑制剂的应用及进展

有机抑制剂具有较为复杂的结构,对矿物的选择性强。其抑制机理大致有:(1)在浮选矿浆中存在的一些难免离子及其它成分,会使矿物活化,从而破坏了各种矿物浮选的选择性,它有改变矿浆离子组成及去活作用。(2)使矿物表面亲水性增大,有机抑制剂分子中都带有多个极性基,其中包括对矿物的亲固基和其它亲水基,当一个(或几个)极性基与矿物表面作用使药剂亲固后,另一些亲水基使矿物表面呈较强的亲水性,降低可浮性。(3)使吸附于矿物表面的捕收剂解吸或防止捕收剂吸附。

有机抑制剂可分为两大类:分子量较大的聚合物抑制剂和小分子有机抑制剂。大分子有机抑制剂与小分子有机抑制剂相比,较长或较粗,有的分枝较多,大多是天然产物及其加工产品。孟书清等人[19] 研究表明,糊精对毒砂有较强的抑制作用,对方铅矿抑制作用则弱些;在高碱条件下,N. J. Bolin[20] 采用糊精作为方铅矿的抑制剂,实现了铜铅分离。在用巯基捕收剂浮选方铅矿时,单宁可抑制闪锌矿和碳酸盐脉石。在铜铅混合分离时,聚丙烯酸钠抑制方铅矿,不抑制黄铜矿。聚丙烯酸钠只能在碱性条件下实现铜铅分离,原因可能是酸性条件下 $Cu^{2+}$ 活化方铅矿,使聚丙烯酸钠失去对方铅矿的抑制作用,而在碱性条件下,由于 $OH^-$ 的存在使得 $Cu^{2+}$ 的活化作用减弱。腐殖酸钠近年来在硫化矿分选中得到较为广泛的研究和应用。杨文[21] 报道了腐殖酸钠用于铅锌分离、铜铅分离(抑铅)、锌硫分离(抑黄铁矿)等几个成功实例。黄文振[22] 采用腐殖酸钠和亚硫酸钠组合抑制剂,在低碱度条件下实现了广西某铅锌矿的铜铅分离,有利于后续的方铅矿浮选。凡口铅锌矿在铅精选中添加了少量腐殖酸钠提高了铅精矿品位。陈金中[23] 在中性介质中用腐殖酸钠配合氯化钙作抑制剂,成功地分选了经大量 $Cu^{2+}$ 活化并被丁基黄药捕收后的铁闪锌矿和磁黄铁矿混合物。R. Jin 和 S. Meng 等[24] 用羧甲基纤维素钠盐为抑制剂分离闪锌矿和方铅矿,发现对方铅矿的抑制性能随置换程度与羧甲基纤维素的聚合作用的增加以及搅拌速度的降低而增加;用 $Cu^{2+}$ 活化浮选闪锌矿时,CMC 可抑制方铅矿,实现铅锌分离。

小分子有机抑制剂对硫化矿的抑制作用好,选择性较强。在铜铅浮选中硫脲能确保抑制次生铜硫化物,以黑药作捕收剂,在 pH 8 左右加少量的硫脲能从复杂硫化矿中选择性地抑制硫化铜、锌及黄铁矿,对方铅矿的优先浮选比氰化浮选效果更好。Jennings 和 Rggha. Van[25] 研制的 β – 硫基乙醇(BME)在 pH 值为 5 ~ 11 的范围内,是被戊基黄药罩盖的闪锌矿颗粒的强抑制剂,而在戊基黄药浮选回路中是黄铜矿的弱抑制剂,故一直广为应用。A. V. Glembotsky 等[26] 研究表明:二甲基二硫代氨基甲酸酯(DMDC)对闪锌矿和黄铁矿具有较好的抑制性能,对方铅矿没有抑制作用,采用 DMDC 代替氰化物能实现铅 – 锌 – 银多金属矿石的浮选分离。有人研究[27] 开发出氨基膦酸类新型有机抑制剂,提出了三种新型有机抑制剂在黄铁矿和毒砂的单矿物和人工混合矿的浮选中,表现出较好的抑制性能和选择性,这三种化合物为:氨基三甲叉膦酸(NTP)、乙二胺四甲叉膦酸(EDTP)、乙二胺四甲叉膦酸盐(HDTP)。CTP 是一种新型高效黄铁矿有机抑制剂[28],在广泛的范围内 CTP 对黄铁矿具有良好的抑制作用,在碱性条件下 CTP 对黄铜矿和砷黄铁矿没有抑制作用。佛子冲选厂在选锌时采用糖蜜酒精废液代替氰化钠抑制黄铁矿效果良好。

在无氰浮选的研究中,采用组合抑制剂,将无机抑制剂组合或无机与有机抑制剂组合使用,发挥抑制剂之间的协同效应,为无氰浮选开辟了新前景。

## 4 其他研究进展

国内外研究了许多对铅、锌等硫化矿及金、银、铂等稀贵金属有选择性捕收作用的新型捕收剂。它们能选择性地捕收铅、锌硫化矿物,所以在一定程度

万方数据

上能够实现铅锌硫化矿的浮选分离。罗仙平[29]等提出,用以脂肪酸类为主的选锌混合捕收剂 LP—1 与 DS 组合,强化选锌作业的分散与抑制来分离富含铁的闪锌矿与黄铁矿的分离。结果表明,脂肪酸类为主的选锌混合捕收剂对铁闪锌矿具有较好的选择性和捕收能力,在锌的精选过程中添加少量 DS 有利于提高锌精矿质量。北京矿冶研究总院[30]研制的一种新型硫化矿捕收剂 BK－301,对铜、铅、锌硫化矿及伴生银的浮选研究表明,该药剂在低碱介质中捕收力适中,选择性好,可减少石灰用量,浮选指标也较好。栾和林[31]等研制的新型捕收剂 PAC 经研究表明,PAC 选择性好,尤其适用于低碱度介质条件下的多金属硫化矿的分离与回收,还可以减少抑制剂的用量。美国氢胺公司[32]研制了用二苯基二硫脲(DMF)或二甲基亚砜溶液作捕收剂浮选含 Pt、Au 及 Ag 的硫化矿,取得了良好的选别效果。王湘英[33]等利用 4 号油取代 2 号油浮选硫化铅锌矿也取得了与 2 号油相近的指标,同时 4 号油比 2 号油便宜得多。730 系列起泡剂[34]是昆明冶研新材料股份公司根据某铅锌矿石特性研制的新药剂。试验表明,在铅锌浮选中锌的回收率提高了2.35%,并提高铅精矿品位 5%。刘述忠[35]报道了新型起泡剂 730A 在某铅锌矿的浮选研究中,能提高 2% 的锌回收率,铅精矿的品位与回收率也略有提高。

在硫化矿浮选分离工艺中,无捕收剂浮选亦取得了一些进展。硫化矿无捕收剂浮选的主要影响因素是矿浆电位,此外 pH 值、磨矿条件、电位控制方式和起泡剂也有一定的影响。浮选电化学研究认为各种硫化矿物都只能在合适的矿浆电位区间浮选,通过控制一定的矿浆电位条件,达到矿物分离的目的。丁敦煌[36]等研究表明,在表面原生的条件下,方铅矿和闪锌矿不能在表面电位控制下无捕收剂浮选,黄铁矿在表面负电荷(低电位)下,可以无捕收剂浮选。澳大利亚的 Shannon[37]研究发现,在有方铅矿和一种金属络合离子存在时,可实现黄铁矿的无捕收剂浮选,他认为黄铁矿的无捕收剂浮选是来自方铅矿的表面氧化生成的硫的影响。优化浮选工艺流程是提高有用矿物回收率的重要方法之一。赵纯禄[38]等对锡铁山铅锌矿的工艺流程进行研究,改优先浮铅、锌硫混浮为铅、锌、硫依次优先浮选,用 25# 黑药和苯胺黑药组合使用浮铅,铅获得高品位和高回收率,锌浮选用柴油和丁黄药实现铁闪锌矿与黄铁矿的有效分离。王毓华[39]对某铜铅锌多金属硫化矿采用增加铅粗选作业槽及在某些作业处补加药剂,选硫系统中,采用重浮联合流程和黄铁矿活化剂 DZ－1,均得到很好的选别指标。王铁钢[40]对铅锌硫化矿,在锌硫混浮时增加一次扫选作业,使用混合用药制度,产品质量显著提高。银山铅锌矿[41]采用铜硫混合精矿与铜硫分离作业一次精选尾矿进入再磨的新工艺,有效提高了该矿铜硫系统的选别指标,铜、金、银的回收率分别提高了 3.2%、5.81%、5.91%。大量实践表明,浮选工艺的优化是离不开药剂的配合的,只有把药剂制度及浮选工艺有机地结合起来,才能实现各种矿物的有效分离,得到更高的浮选指标,提高矿山经济效益。

## 5　结 论

(1)无氰浮选是以非氰物质代替氰化物作抑制剂的选矿工艺。采用无氰浮选工艺的选厂,一般采用直接优先浮选流程或等可浮流程。虽然无氰抑制剂抑制性能弱于氰化物抑制剂,但如果辅之以与矿石性质相适应的流程结构,充分发挥其各自的优点,同样有利于有用矿物之间以及有用矿物与脉石矿物之间的分离,有利于实现无氰浮选。

(2)石灰是生产中最广泛的硫化矿浮选分离的 pH 调整剂及无机抑制剂。其作用一方面是 $OH^-$ 的作用;另一方面是 $Ca^{2+}$ 的作用。而有机抑制剂主要作用是改变矿浆离子组成及去活作用,使矿物表面亲水性增大,从而降低矿物的可浮性。同时使吸附于矿物表面的捕收剂解吸或防止捕收剂吸附。

(3)采用组合抑制剂的构思,将无机组合抑制剂或无机和有机抑制剂以某种比例组合使用,充分利用各自有效组分,克服或降低双方缺点所起作用,在无氰条件下实现对黄铁矿的抑制且不提高药剂成本,同时对现有工艺流程加以优化的条件下,能有效地实现铅锌分离。

参考文献:

[1] 聂世华,李绍元. 高浓度粗粒快速浮选生产实践[J]. 有色金属(选矿部分),2002,(4):5－8.
[2] 倪章元,曾建喜. 黄沙坪铅锌矿选矿工艺改造生产实践[J]. 矿产保护与利用,2003,(2):31－34.
[3] 吴伯增,黄根深,邬清平,等. 大厂 100 号矿体特富矿选矿优化流程的初步实践[J]. 矿冶,1996,(3):13－17.

万方数据

[4] 霍锡晓. 提高大厂锌精矿品位的研究及应用[J]. 国外金属矿选矿,1998,(4):19 – 21.
[5] 黄廷选. 铅锌混合矿浮—重工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分),1994,(3):10 – 12.
[6] 高新章,李凤楼,等. 会理锌矿铅锌分离研究[J]. 有色金属(选矿部分),1995,(4):21 – 25.
[7] 刘如意,周为吉,李高轩,等. 低品位锑铅锌多金属硫化矿选矿研究与生产实践[J]. 有色金属(选矿部分),1994,(6):1 – 6.
[8] 松原宽,四元毅弘,等. 用硫酸化 – 浮选法进行铜铅分离[J]. 国外金属矿选矿,1985,(7):14 – 18.
[9] 孙水裕,王淀佐,李柏淡. 硫化矿电化学调控浮选的行为及机理研究[A]. 第二届中国青年选矿学术会议论文集[C],1991. 12.
[10] 曾清华. 我国伴生金银选矿技术的新进展[J]. 矿产保护与利用. 1994,(6):22 – 25.
[11] WZ 申,等. 亚硫酸钠存在时闪锌矿和黄铁矿的浮选[J]. 国外金属矿选矿,2003,(11):23 – 27.
[12] 邱廷省,方夕辉,罗仙平,等. 组合药剂对铜硫矿石浮选性能的影响[J]. 南方冶金学院学报,2000,(4):260 – 262.
[13] 黄开国,王淀佐,等. 硫化铜矿石无捕收剂浮选研究概况(摘要)[J]. 国外金属矿选矿,1986,(9):15 – 18.
[14] 罗仙平,邱廷省,胡玖林,等. 某复杂硫化矿选矿工艺试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2003,(4):1 – 4.
[15] 黄礼煌,吴观寿,等. 乐昌铅锌矿铅锌硫浮选分离新工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分),2000,(2):1 – 4.
[16] 浦家杨. 浮选过程中闪锌矿的机理研究[J]. 国外金属矿选矿,1995,(5):33 – 34.
[17] 宣道中,刘侦德,戴晶平等. 凡口铅锌矿分选工艺发展三十年[J]. 有色金属,1998,(增刊):13 – 23.
[18] Bulatov 等. Complex Sulfides Processing of Ores, Conceutrates, and By – products[J]. 1985,102 – 133.
[19] 孟书清,等. 组合药剂抑制毒砂[J]. 有色金属(选矿部分),1987,(3):33 – 37.
[20] Bolin. N. J. and Laskowski. J. S. Polysaccharides in flotation of suffides. Part Ⅱ. Copper/Lead separation with dextrin and sodium hydroxide[J]. Int. J. Miner Process, 1991,(33):235 – 241.
[21] 杨文. 腐殖酸钠在有色金属硫化矿选矿中的应用[A]. 第一届选矿会议论文集[C].
[22] 黄文振. F – 2 组合药剂对铜铅分离浮选的研究[J]. 有色金属(选矿部分),1994,(6):26 – 40.
[23] 陈金中. [J]. 有色金属(选矿部分),1995. 3.
[24] R. Jin et. al. Flotation of Sphalerite from Galena with Sodium Carbowymeth – yl Cellulose as a Depressant[J]. Mineral and Metall Process,1987,(4):227 – 232.
[25] Jennings 等. Min. Annual Review[J],1987:209 – 236.
[26] A. V. Glembotsky et. al. [J]. Thesis of Mineral Processing of 19th internal congress,1995,1(3):205.
[27] Linqiang. Synthetics of small molecular weight organic depressants and de – pressions of pyrite and arsenopyrite using these depressant[J]. Journal of central – south Institute of Mining and Metallurgy,1991,22(3):3714 – 3716.
[28] 金华爱,彭志宏,曾美云,等. 用高分子有机抑制剂浮选分离黄铜矿和毒砂[J]. 有色金属(选矿部分),1990,(1):19 – 22.
[29] 罗仙平,严群,聂光华. 含铁闪锌矿的锌矿石选矿试验研究[J]. 四川有色色金属,2002,(3):37 – 39.
[30] 周秀英. 捕收剂 BK – 301 浮选硫化矿回收铜、锌及伴生银的研究[J]. 矿冶,1998,8(3):33 – 37.
[31] 栾和林. 新型捕收剂 PAC 系列产品的研制和应用[J]. 有色金属,1998,50(3):33 – 39.
[32] 周高云. 起泡剂 BK—206 在铅锌矿的应用研究,有色金属(选矿部分),2001,(4):32 – 35.
[33] 王湘英,顾愚. 复合新型起泡剂 – 4 号油[J]. 广东有色金属,1998,(3):25 – 28.
[34] 李晓阳,刘述忠,等. 730 第列起泡剂浮选应用研究[J]. 有色金属(选矿部分),2001,(4):26 – 28.
[35] 刘述忠,等. 新起泡剂 730A 在铅锌矿的浮选研究[J]. 有色矿冶,2002,(6):10 – 12.
[36] 丁敦煌,李天瑞. 硫化矿的表面结构和表面电荷与无捕收剂浮选[J]. 中国有色金属学报,1994,(9):36 – 40.
[37] Hannon. [J]. International Journal of Mineral Processing,1994,4:286 – 319.
[38] 赵纯禄,等. 铁闪锌矿与黄铁矿浮选分离工艺及工业实践[J]. 有色金属(选矿部分),1990,(4):9 – 12.
[39] 王毓华. 提高某铜铅锌多金属硫化矿选矿指标的研究[J]. 有色金属(选矿部分),1999,(3):10 – 17.
[40] 王铁钢. 铅锌流程技术改进与生产实践[J]. 有色金属(选矿部分),1996,(4):16 – 18.
[41] 夏青. 提高银山铅锌矿铜选矿指标的实践[J]. 有色金属(选矿部分),2001,(2):21 – 23.

万方数据