

# 复杂多金属硫化矿浮选新技术研究现状

鲁军, 孔晓薇

(紫金矿冶设计研究院, 福建 上杭 364200)

**摘要:**介绍了复杂多金属硫化矿浮选新技术研究现状,并对电化学浮选、细粒浮选、磁力浮选、生物浮选等新工艺和新技术进行了讨论和分析,指出开发高效浮选新技术仍是多金属共生硫化矿选矿研究的重点和发展方向。

**关键词:**多金属硫化矿; 浮选; 新技术

**中图分类号:**TD952 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2010)03-0023-04

## 1 前言

在多金属硫化矿中,由于某些矿物浮游性质十分接近,矿物嵌布极细,结构复杂,氧化严重,含泥量多等,造成回收利用困难。且随着矿产资源的不断开采利用,有限的矿物资源变得越来越贫乏,矿产资源向贫、细、杂、难的特点不断发展,使用常规的药剂和选矿工艺难以得到较好的选别指标<sup>[1]</sup>。多年来,国内外选矿工作者对多金属硫化矿分离进行了大量的研究,在浮选新技术方面取得了许多新的研究成果。本文即以单一工艺方法为脉络介绍了复杂多金属硫化矿浮选新技术研究的现状。

## 2 复杂多金属硫化矿浮选新技术研究现状

### 2.1 电化学处理浮选工艺

#### 2.1.1 电化学调控浮选

电化学调控浮选技术,包括外加电场浮选、调整矿浆电位浮选和原生电位浮选几种工艺<sup>[2]</sup>。芬兰的 Leppinen Jo J<sup>[3]</sup>等研究了从复杂硫化矿中分选铜和锌的电化学控制。结果表明,对于铜的浮选,最佳电位应控制在 +50 ~ +150mV;而对锌的浮选,最佳电位应控制在 -150mV 的低电位。维提 V<sup>[4]</sup>等人提出了一种使用浮选气体(空气、氮气等)的方

法控制电位浮选(添加化学调控剂)。对铜铅锌复杂多金属硫化矿,可在整个浮选阶段使电位保持恒定,比不控制电位时,提高了铜矿物浮选的选择性。帕那亚托夫 V 等试图不用抑制剂,直接在浮选槽中应用电化学处理的方法实现铜锌分离,电极材料的选择是根据要抑制的矿物的电物理特性确定的。首先,控制黄铁矿的表面电位来抑制黄铁矿,然后通过改变矿物表面的功函数而抑制闪锌矿。电化学处理矿物的导电类型 n - 型半导体或 p - 型半导体而定。研究表明,所提出的电化学处理技术可成功地应用于铜锌矿石和精矿的分离,该工艺用于土耳其的 Cayli 铜矿,得到的铜精矿含锌小于 2%,而该厂常规浮选的铜精矿中锌含量为 4.6%。俄罗斯乌拉尔铜锌选厂在浮选机安装电化学装置。工业试验表明,在铜锌硫混合浮选回路中应用该装置可以强化浮选,当阳极极化矿浆电位为 +1.0 ~ +2.0V 时,能显著提高铜、锌、硫的回收率<sup>[5]</sup>。芬兰奥兰昆普公司研制的 OK - PCF 电位监控系统可直接控制浮选过程中矿物的电化学电位。它不仅考虑了矿物表面的疏水性,而且还考虑了矿浆中一系列化学因素和物理因素对矿物表面和浮选过程的影响,为正确控制浮选过程提供了科学、简便的方法。该系统已在 Vihanti 铜铅锌矿和 Pyhazalmi 铜铅锌黄铁矿矿山应用。据报道,自采用 OK - PCF 法电位控制以来,利润

收稿日期:2009-09-30

作者简介:鲁军(1974 -),男,工程师,硕士,主要从事选矿工艺技术研究。

提高了 10%~20%，而且捕收剂和石灰用量减少了 2/3<sup>[6]</sup>。某铜铅锌多金属硫化矿铜铅矿物嵌布粒度微细，分离难度大，锌矿物以铁闪锌矿为主，现场仅生产铅精矿和锌精矿且选别指标差。为此，针对矿石性质，采用铜铅混浮—铜铅分离—混浮尾矿抑硫浮锌电位调控浮选工艺，通过控制矿浆电位，混浮粗精矿再磨，选择高效捕收剂、活化剂、抑制剂等措施，使铜铅矿物与锌硫矿物、铜矿物与铅矿物、铁闪锌矿与磁黄铁矿得到了较好的分选。闭路试验获得含铜 18.13%、铜回收率 55.41% 的铜精矿，含铅 50.20%、铅回收率 83.29% 的铅精矿和含锌 49.75%、锌回收率 86.17% 的锌精矿，与现场相比，不仅回收了铜矿物，而且铅、锌精矿质量与回收率都得到了大幅度提高<sup>[7]</sup>。对于硫化铅锌矿，电位控制浮选是值得普遍推广的。可以预见，随着硫化矿浮选电化学理论及工艺研究的深入发展和完善，必将产生硫化矿浮选及分离工艺重大变革。

### 2.1.2 闪速浮选

闪速浮选是以我国中南大学为主开发的一项浮选新技术，其基本思路源自浮选电化学原理：不同的硫化矿物在不同酸碱度的矿浆中与浮选药剂作用后，其可浮性有所差异，并且这种差异值随着矿浆 pH 值的变化而变化。该技术首先通过试验确定目的分选矿物出现最大可浮性差异的 pH 值，然后调整矿浆的 pH 值快速地实现目的矿物的分离，实现短流程作业，体现早收、多收、快收的原则，提高资源的综合利用效率和效益。闪速浮选新技术与传统浮选技术比较，其工艺的主要技术特点有：(1) 利用 pH 值、矿浆电位、浮选药剂的联合作用机理，在高碱条件下实现目的分选矿物颗粒的分离；(2) 与传统的高碱电位调控流程有所区别，一是强化了快选作业，及时获得了高质量的浮选精矿，而较难浮的目的矿物颗粒，在后续流程中产出，精矿有 2 个出口；(3) 选别药剂制度不同。云南蒙自白牛厂银多金属矿采用分段高碱闪速浮选新工艺，以改善铅、锌、银、铜等金属的综合选别效果。该工艺在白牛厂选矿厂应用后，与原工艺相比，生产指标显著提高，铅精矿含锌降到 4.2%，铅精矿品位提高 9.95%，回收率提高 1.5%，锌精矿品位提高 1.88%，锌的回收率提高 6.63%，达到铅精矿降锌和提高精矿质量和回收率的目的，且药剂耗量大幅度降低，分选流程简化，取得了显著的经济效益<sup>[8]</sup>。

## 2.2 细粒浮选工艺

### 2.2.1 絮团浮选

絮团浮选时首先将待浮矿粒进行选择性地团聚，以改善细粒矿物的浮选性能，然后对形成絮团的细矿粒进行常规的浮选。絮团浮选法的核心是待浮选细矿粒的选择性疏水絮凝。它包括分散、选择性疏水化和疏水絮团的形成。除天然疏水性矿物外，一般都是通过捕收剂吸附在待浮选的矿粒上使矿粒选择性疏水化。通过机械搅拌，向疏水的矿粒输入动能，克服能垒，从而形成疏水絮团。疏水絮凝主要决定于矿粒的疏水程度，添加非极性油或疏水的粗颗粒通常可大大增强疏水絮凝作用。墨西哥 Rey de Plata 矿石（金属硫化矿）絮团浮选研究结果表明，由 PAX 和动量输入引起的絮凝，可大幅度提高细粒方铅矿和闪锌矿的可浮性。Rey de Plata 矿石絮团浮选表明，絮团浮选不仅可以回收细粒有用矿粒，降低有用矿物在尾矿中的损失，而且可以通过加速有用矿物的浮选速度，大幅度提高精选分离效率<sup>[9]</sup>。絮团浮选是从细粒浸染矿石中回收方铅矿和闪锌矿的有效方法。

### 2.2.2 载体浮选

载体浮选是在常规浮选设备条件下，利用浮选体系中同类矿粒的粗粒效应与载体作用，实现细粒矿物的浮选回收。载体浮选技术解决了复杂铅锌硫化矿细泥、锡石细泥和细粒硫化—氧化混合矿、细粒硫化铜矿和细粒钛铁矿的浮选分离的难题，使得矿物浮选分离的选择性提高。该技术具有流程简单、药剂用量少、分选指标高、稳定性高的特点。中南大学研制的粗粒载体铜铅锌锡矿细粒浮选新技术，针对我国在开采矿石方面现有的浮选技术回收微细粒矿物效果差，贫、细、杂矿产资源流失严重的问题，在传统的浮选工艺中进行了“药剂调节”和“粒度调节”两大方面的理论及新工艺研究<sup>[10]</sup>。由中南大学、深圳中金岭南股份有限公司凡口铅锌矿开发的新技术——利用浮选体系中同类矿粒的粗粒效应与载体作用，在常规粗粒（-0.074mm）浮选设备条件下，实现了细粒矿石的浮选回收，在国内外首次将该技术用于工业生产。针对硫化铅锌矿，以原矿作为粗粒载体加入至矿泥系统的技术方案，与矿泥单独浮选相比，提高铅回收率 6.0%、锌 12.0% 以上；针对细粒锡石矿石，采用凝聚—载体浮选技术，与常规浮选相比，提高锡金属回收率 6.0% 以上；针对硫化

氧化混合铜矿,利用硫化矿粗精矿的粗粒效应,用粗粒硫化矿回收细粒氧化矿,同时将硫化矿精矿与氧化矿精矿合并,解决了浓密机溢流中金属损失难题;加入一段粗粒单体铜矿物精矿作为载体,形成“铜矿石优先-载体浮选工艺”。针对-0.019mm 钛铁矿,采用选择性疏水聚团浮选技术和粗颗粒载体浮选技术,提高了细粒钛铁矿的浮选效果<sup>[10]</sup>。

### 2.3 磁处理浮选工艺

采用综合力场选矿是目前综合回收资源的趋势之一,磁处理浮选是磁力作用于浮选用水、矿浆或药剂,改善浮选指标的一种新方法。我国江西理工大学选矿研究室邱廷省、付丽珠<sup>[11]</sup>教授等对白钨矿、硫化铜矿、萤石矿及金矿等进行了磁处理浮选试验,结果表明,磁处理通常能提高有用矿物回收率3%~8%,提高品位2%~4%,且药剂用量能节省10%~20%。理论研究结果表明,磁处理能改变水系(矿浆、水、药剂)溶液的物化性质,改变药剂与矿物表面作用的选择性,增大捕收剂在矿物表面的吸附量,从而提高浮选指标。

### 2.4 生物浮选工艺

生物选矿方法是近年来兴起的一种新的选矿方法,它具有分选效果好,工艺简单,生产成本较低,不污染环境等许多优点。生物选矿是通过矿石与微生物作用,从矿石中选择性地除去非目的矿物组分,从而使有用矿物富集。国外的一些研究表明,用不同的硫化矿物驯服培养出的菌株对各种硫化矿物可浮性的影响存在着较大的差别,这样就可按照需求,人工培养出选择性很好的生物抑制剂,这样的菌株对于多金属复合矿的分离有很大的潜力<sup>[12]</sup>。生物浮选技术目前研究较多的有以下五方面:(1)用细菌改变某些矿物的表面性质(特别是润湿性),增加矿物间可浮性的差异;(2)生物浮选在煤炭脱硫上的应用研究;(3)生物絮凝法在选矿上的应用研究;(4)微生物用作其他浮选药剂;(5)用微生物及其代谢产物处理传统浮选药剂,提高药剂的功。微生物与矿物相互作用将对选矿产生以下结果:(1)微生物附着在矿物基质上,形成生物膜;(2)发生生物催化氧化、还原、络合和沉淀反应;(3)细菌细胞和代谢物与矿石基质中的不同矿物组分作用,改变它们的性质。Marshall<sup>[13]</sup>为了说明细菌作用产生的这种表面化学变化的意义,用与硫氧化硫杆菌作用前后的方铅矿和闪锌矿单矿物进行浮选试验。与细菌

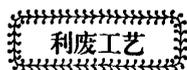
作用后,方铅矿的浮选回收率大幅度降低,从没有细菌时的100%降至生物处理后的10%,而无论是否有浮选药剂存在时,生物处理均能促进闪锌矿浮选。从所获得的结果可作出以下结论:方铅矿与细胞作用2h后几乎被抑制,而闪锌矿完全浮起。与其作用产物(硫酸盐和氢氧化物)性质相一致,细胞在方铅矿和闪锌矿上的吸附量有很大的不同,这是方铅矿和闪锌矿与细胞作用后浮选行为相反的主要原因,这与Yell等人利用氧化亚铁硫杆菌生物处理闪锌矿和方铅矿时对其可浮性的影响是类似的。用方铅矿和闪锌矿人工混合样(1:1)进行选择性的絮凝试验,所获得的结果也证实了在选矿过程中微生物对氧化矿物和硫化矿物表面性质变化的作用。亦有试验证实自营养细菌(硫氧化硫杆菌)可诱导闪锌矿的浮选,抑制方铅矿。目前通过许多基础性和应用研究工作,已经发现和培养出适合工业条件下应用的作用力强、选择性好、成本低的高效低耗菌,为微生物选矿的工业应用展示了美好的前景。

## 3 结 语

对多金属复杂硫化矿浮选的研究历来是选矿工作者关注的课题,目前在浮选工艺技术方面的研究已取得了较好的进展,并在生产中取得了显著的经济效益。可以说,在有色金属硫化矿资源日益趋于枯竭的今天,加强浮选理论的研究、开发出高效的浮选新工艺新技术仍是多金属共生硫化矿选矿研究的重点和发展方向。

### 参考文献:

- [1]李东,尹艳芬,方夕辉. 有色金属硫化矿选矿技术现状[J]. 四川有色金属,2007(12):13~14.
- [2]王淀佐. 浮选理论的新进展[M]. 北京:科学技术出版社,1992.
- [3]Oleppinen J. Effect of electrochemical control on selective flotation of copper and zinc from complex ores[J]. Minerals Engineering,1997(1):39~51.
- [4]Vhintikka v. Potential control in the flotation of sulphide minerals and precious metals[J]. Minerals Engineering, 1995(10):23~29.
- [5]R. woods. 硫化矿浮选电化学[J]. 国外金属选矿,1993(4):1~28.
- [6]Hx. Wang et al. Journal of Electroanalytical chemistry[J]. Minerals Engineering,1995(2):13~19.
- [7]罗仙平,王淀佐,孙体昌. 某铜铅锌多金属硫化矿电位调



# 粉煤灰负载阳离子吸附处理印染废水的试验研究

牟淑杰

(辽宁石油化工大学职业技术学院, 辽宁 抚顺 113001)

**摘要:**采用聚二甲基丙烯基氯化铵(PDMAAC)和阳离子型聚季铵盐两种有机高分子聚合物对粉煤灰进行改性,考察了药剂投量、pH、吸附时间对印染废水处理效果的影响。结果表明:复合絮凝剂对染料废水有较好的脱色效果,当复合絮凝剂投加浓度为12g/L、吸附时间为55min、pH=9、反应温度为20℃时,印染废水的脱色率可达98%左右。

**关键词:**改性粉煤灰; PDMAAC; 脱色; 印染废水

**中图分类号:**X703.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2010)03-0026-04

印染行业是工业废水的排放大户,据不完全统计,我国每年印染废水的排放量约在6.5亿t以上。印染废水主要是棉、毛、麻、丝、化纤等材料在预处理、染色、印花和整理等过程中排出的废水。印染废水中的污染物主要以胶体或半溶解态存在,且粒径很小,难以分离。同时,它还具有颜色深、COD值较

高、组成复杂、分布面广等特点。目前常用的处理方法有化学沉淀法、生物法和吸附法等。近年来,化纤织物的发展和印染后整理技术的进步使PVA浆料、新型助剂等难生化降解有机物大量进入印染废水,给处理增加了难度。针对印染废水色度高、成分复杂、可生化性差的特点以及采用单一絮凝剂(如铝

控浮选试验研究[J]. 金属矿山, 2006(6): 30~34.

[8] 邓传宏. 铅锌浮选新技术在白牛厂银多金属矿的应用[J]. 有色金属设计, 2006(2): 13~21.

[9] S. 松, 崔红山. 细粒方铅矿和闪锌矿的絮团浮选[J]. 国外金属矿选矿, 2001(4): 6~11.

[10] 有色工业协会科技部. 铜铅锡矿细粒浮选新技术的工业应用[J]. 有色金属工业, 2004(5): 55~56.

[11] 付丽珠, 邱廷省, 许孙曲. 磁浮力场中矿物的浮选机理研究[J]. 南方冶金学院学报, 1998(2): 96~100.

[12] 蒋鸿辉, 王琨. 生物选矿的应用现状及发展方向[J]. 中国矿业, 2005(9): 76~78.

[13] 王军, 钟康年. 细菌对硫化矿可浮性的影响[J]. 国外金属矿选矿, 1996(5): 4~10.

## Research Status of New Flotation Technologies for Treating Complex Polymetallic Sulphide Ores

LU Jun, KONG Xiao-wei

(Zijin Design and Research Institute of Mining and Metallurgy, Shanghang, Fujian, China)

**Abstract:** The current research situation of flotation technologies for separating complex polymetallic sulphide ores was introduced in this article. The electro-chemical flotation, fine-grained flotation, bioflotation and the flotation in magnetic field were discussed and analyzed in more detail. It is pointed out that the development of new-type high-effective flotation technologies will be the highlights of further research work on flotation of complex multi-metallic sulphide ores and developing direction.

**Key words:** Polymetallic sulphide ore; Flotation; New technology

收稿日期: 2009-10-28

作者简介: 牟淑杰(1975-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事自动化专业的教学与研究工作。