

氧化铜矿选矿技术研究进展^{*}

蒋太国, 方建军^{*}, 张铁民, 毛莹博

(昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明, 650093)

摘要: 主要介绍了氧化铜矿物的类型及其可浮性, 简述了氧化铜矿的各种处理方法(包括浮选和化学选矿)及其优缺点, 指出了氧化铜矿选矿新技术的发展趋势。

关键词: 氧化铜矿; 浮选; 化学选矿

中图分类号: TD952.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2014)02-0049-05

DOI: 10.3969/j.issn.1001-0076.2014.02.012

Progress in Copper Oxide Ores Beneficiation Technology

JIANG Tai-guo, FANG Jian-jun, ZHANG Tie-ming, MAO Ying-bo

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

Abstract: Types of copper oxide mineral as well as their floatability were introduced in this paper. Sorts of methods for treatment of copper oxide ores, including flotation and chemical extraction, were briefed with their disadvantages and advantages. Finally, the development trend of new copper oxide ore beneficiation technology was predicted.

Key words: copper oxide ore; flotation; chemical extraction

我国氧化铜矿储量丰富, 是我国铜资源的重要组成部分。在铜矿资源中, 除大多数硫化铜矿床上部有氧化带外, 还有储量巨大的独立的氧化铜矿床, 在具有工业开采价值的铜矿石中, 氧化铜矿和混合铜矿约占我国铜资源的 25%。并且我国的铜资源呈现出四多四少的现状: 贫矿多, 富矿少; 共(伴)生矿床多, 单一矿床少; 中小型矿多, 大型特大型矿少; 难采难选矿多, 易采易选矿少^[1]。随着铜矿资源的不断开发利用, 易处理资源量不断减少, 难处理资源比例不断增大, 尤其是难处理氧化铜矿资源保有一定储量。然而, 难处理氧化铜矿一直存在资源宝贵却又难于加工利用的问题。因此, 开发氧化铜矿已

引起人们的高度重视, 特别是难处理氧化铜矿的开发利用已成为选矿工作者研究的重点。本文就难选氧化铜矿石的主要类型及其特点和新工艺研究应用等选矿技术进展进行论述。

1 氧化铜矿物的类型及其可浮性

氧化铜矿一般位于矿床上部的氧化带, 由于氧化带的物理化学条件极为复杂, 所以氧化铜矿的矿物组成、结构构造均较为复杂、嵌布粒度细、易泥化、表面亲水性较强。其可选性取决于铜矿物的种类、脉石矿物的组成、矿物与脉石的共生关系以及含泥量的多少等因素。根据其可浮性差异可以将氧化铜

* 收稿日期: 2014-03-18; 修回日期: 2014-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 51364017)

作者简介: 蒋太国(1989-), 男, 湖南邵阳市人, 在读硕士研究生, 主要从事浮选理论与工艺等方面的研究。

通讯作者: 方建军(1968-), 男, 四川岳池市人, 副教授, 主要从事资源综合利用及浮选理论与工艺等研究。

矿分为易选、中等可选和难选三类矿石。易选氧化铜矿一般是指容易进行硫化浮选的矿石,如孔雀石、蓝铜矿型等;难选氧化铜矿是指不易被硫化,难以直接硫化浮选的矿石,如硅孔雀石、赤铜矿、胆矾型等。现将具有工业利用价值的氧化铜矿物及可浮性概述如下:

(1)孔雀石:分子式为 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 含铜 57.5%, 属于相对易选的氧化铜矿, 一般采用硫化-黄药浮选法进行选别, 用硫化钠硫化时添加少量硫酸铵, 可起到促进硫化与稳定硫化膜的作用, 有时也用脂肪酸类及羟肟酸钠捕收剂等直接浮选^[2-4]。

(2)硅孔雀石:分子式为 $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 含铜 36.2%, 表面亲水性较强, 不易被硫化, 比较难选。用硫化-黄药浮选法进行选别时, 需严格控制其 pH 值以及良好的活化, 当 $\text{pH}=4$ 时, 加硫化氢、硫化钠和硫酸铵, 可将其部分硫化, 然后用高级黄药浮选。用油酸类捕收剂直接浮选时, 因其浮选性质与脉石相似, 很难有效分选^[3-5]。

(3)蓝铜矿:分子式为 $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 含铜 55.3%, 可浮性与孔雀石基本相同, 不同点在于用脂肪酸及其皂类浮选时, 比孔雀石的浮游性好; 硫化浮选时, 硫化时间较长^[3-4]。

(4)赤铜矿:分子式为 Cu_2O , 含铜 88.8%, 可浮性与孔雀石相近, 但以赤铜矿为主的氧化铜矿较少, 并且其性质变化很大, 处理此类矿石使用硫化法的效果比用脂肪酸好, 因为后者对脉石矿物的选择性差^[3-4]。

(5)黑铜矿:分子式为 CuO , 含铜 79.85%, 是赤铜矿进一步氧化的产物, 极不稳定, 很容易变成孔雀石和蓝铜矿等^[3-4]。

(6)胆矾:分子式为 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 含铜 31.8%, 可浮性很差, 属于可溶性矿物, 浮选时完全损失在尾矿中, 同时还会破坏浮选过程的选择性, 增加药剂的消耗量^[3-4]。

(7)水胆矾:分子式为 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, 含铜 56.2%, 是一种微溶于水的氧化铜矿物, 很难浮选, 一般都损失于尾矿中^[3-4]。

(8)氯铜矿:分子式为 $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, 含铜 59.5%, 属于可溶性矿物, 浮选时完全损失在尾矿中^[3-4]。

(9)假孔雀石:分子式为 $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$, 含铜 60.9%, 其化学性质与孔雀石相似, 可用脂肪酸

法直接浮选, 但不可用硫化-黄药浮选法回收^[6]。

2 氧化铜矿的处理方法

目前工业上处理氧化铜矿的方法主要有浮选法和化学选矿法, 但浮选法仍是处理氧化铜矿最主要也是技术最为成熟的一种方法。根据所加药剂的不同, 浮选法主要包括直接浮选法和硫化浮选法。

2.1 浮选法

2.1.1 直接浮选法

直接浮选法是最早应用于氧化铜矿的浮选方法, 仅适用于以孔雀石为主, 脉石矿物组成简单、性质不复杂的品位较高的氧化铜矿。该法的优点是具有较高的回收率, 缺点是选择性差。主要包括脂肪酸浮选法、胺类浮选法、螯合剂浮选法及螯合剂-中性油浮选法和其它直接浮选法。随着铜矿石品位越来越低, 矿石性质越来越复杂以及脉石矿物种类的限制, 直接浮选法的应用范围越来越窄, 因而很快被硫化浮选法所取代。到目前为止, 只有脂肪酸浮选法曾获得过较为广泛的工业应用。

(1) 脂肪酸浮选法

脂肪酸浮选法仅适用于以孔雀石和蓝铜矿为主, 组成简单, 品位较高, 含硅质脉石的氧化铜矿, 对含有较多的钙镁碳酸盐类脉石矿物及铁锰矿物的氧化铜矿, 其分选效果很差^[7]。脂肪酸浮选法的特点: (1) 捕收能力强, 选择性差; (2) 受温度的影响比较显著, 因为脂肪酸具有较高的凝固点尤其是高级脂肪酸, 在矿浆中难以分散和溶解; (3) 一般使用混合的脂肪酸, 单一类型的纯脂肪酸很少使用^[2]。脂肪酸浮选法是最早使用的浮选法, 在非洲已经大规模的使用了半个多世纪, 扎伊尔格尔矿山使用棕榈油和汽油浮选, 每年大约处理 500 万 t 氧化铜矿, 产出含铜 25% 的精矿^[8]。赵源^[9]等研究了脂肪酸在景谷、滇中和个旧氧化铜矿浮选试验, 但结果并不理想。

(2) 胺类浮选法

胺类浮选法也叫阳离子捕收剂浮选法。胺类捕收剂是氧化铜矿的有效捕收剂, 其优点是捕收能力较强, 特别是处理含孔雀石和蓝铜矿等矿物的氧化铜矿时, 具有浮选速度快, 回收率高的优点。缺点是受矿泥影响大, 选择性差, 价格较贵, 因此未能得到工业应用。而且胺类药剂对许多脉石矿物也具有捕

收作用,比如在处理氧化铜矿时,石英具有与硅孔雀石一样的浮选行为。因此,使用该法的关键是选择和具有高选择性的脉石抑制剂^[3]。

(3) 螯合剂浮选法及螯合剂-中性油浮选法

该法是采用某种螯合剂或者螯合剂-中性油作为捕收剂来处理氧化铜的浮选方法。螯合剂在浮选中应用主要有^[10]:①作为捕收剂使用;②作为活化剂使用;③螯合剂与中性油混用。同时螯合剂是具有环状结构的络合试剂,由于其结构的特殊性,具有选择性好,稳定性高,分选指标高,低消耗,适于处理难选氧化铜矿的优点。因此,有机螯合剂浮选在近年来受到广泛关注^[11]。作为捕收剂应用于氧化铜矿浮选研究和实践的螯合剂有30多种,但在浮选氧化铜矿中得到推广应用的只有少数几种,如氧肟酸类和咪唑类等。张文彬^[12]采用氧肟酸钠作捕收剂对东川氧化铜矿进行浮选研究,氧肟酸钠能明显提高铜的回收率。其中,采用氧肟酸钠作捕收剂浮选东风岭氧化铜矿,不仅提高了硫化铜和氧化铜的相回收率,还提高了浮选速率。胡显智^[13-14]等对羟(氧)肟酸(盐)浮选氧化铜矿进行了研究,并用量子化学分析了铜矿物的吸附体系。

(4) 其它直接浮选法

此外,直接浮选氧化铜矿的方法还有黄原酸盐浮选法、硫醇及多硫化合物浮选法、烷基磺酸钠和烷基硫酸钠浮选法等。试验研究表明黄原酸盐在一定程度上可以浮选含孔雀石、蓝铜矿等碳酸盐类氧化铜矿,如正戊基黄原酸钾是浮选孔雀石最有效的捕收剂,但必须在高用量的条件下才能获得比较完全的浮游;硫醇及多硫化合物多用于碳酸盐类氧化铜矿的浮选,但由于其具有很难闻的气味和毒性,长期以来未能得到工业应用^[2];韦华祖^[15]首次在实验室使用烷基硫酸盐、烷基磺酸盐对孔雀石进行浮选试验,试验结果表明这两种药剂对孔雀石都有很强的捕收作用。

2.1.2 硫化浮选法

硫化浮选法是目前处理氧化铜矿和混合铜矿的主要方法,主要包括直接硫化浮选法和水热硫化-温水浮选法等。与直接浮选法相比,硫化浮选法应用广泛,具有的优点有:①不受脉石矿物性质限制,无论是硅质还是钙镁质脉石都可采用;②主要药剂—硫化剂和黄药—来源广泛,成本较低^[2]。采用硫化浮选法的关键是硫化过程的好坏,因为硫化剂

既是氧化铜矿的有效活化剂,又是硫化铜矿或者被硫化过的氧化铜矿的抑制剂。为了防止或者减轻这种作用,生产上需严格控制硫化剂的用量,经常采用分批加药或其它方式来控制硫化剂的用量^[16]。

a 直接硫化浮选法

直接硫化浮选法:将磨细氧化铜矿矿浆先用硫化剂硫化后添加黄药类捕收剂进行捕收。目前,硫化剂有:硫化钠、硫氢化钠、硫化氢、硫化钙及硫化铵等,硫化钠较为常用。捕收剂有:乙基黄药及高级黄药、黑药、脂肪酸等,但较为常用的是高级黄药^[17]。武俊杰^[18]等针对云南某难选氧化铜矿进行了分段硫化试验研究,可获得铜精矿品位16.25%、回收率78.08%的浮选指标。

b 水热硫化浮选法

水热硫化浮选法实际上是直接硫化浮选法的一个发展。它是在直接浮选的基础上强化了矿石的预处理—预先硫化过程,并在温水中浮选。其作用机理为矿浆与硫磺粉混合(加入少量液氨作为添加剂),在温度180℃,压力0.6~1.0MPa条件下,元素硫发生歧化反应生成 S^{2-} 和 SO_4^{2-} ,使氧化铜颗粒表面或者整个颗粒内部发生硫化反应生成稳定易选的疏水性强的“人工硫化铜”。该法的优点是工艺简单,能保证较高的回收率,能有效克服细泥对浮选过程的危害。缺点是设备投资大,能耗大,限制了其发展和推广使用^[19-20]。陈继斌^[20]用水热硫化—温水浮选法处理我国几种类型的难选氧化铜矿,均获得相当显著的效果,与常规浮选法相比,铜的回收率提高了12.75%~54.54%,铜精矿品位提高了3.92%~43.92%。

2.2 化学选矿

对嵌布粒度细、低品位、含泥量大、高结合率和高氧化率的铜矿石用浮选法处理,难以实现铜的合理有效的回收。此时,可以采用浸出法或离析-浮选法进行处理,根据浸出剂的不同,浸出主要分为酸浸、氨浸和生物浸出。

2.2.1 酸浸法

酸浸一般以稀硫酸作为浸出剂,适用于浸出含酸性脉石矿物的氧化铜矿,如孔雀石、赤铜矿、黑铜矿等,常用于从含铜废石、表外矿以及残矿中提取铜。其优点是浸出率高,浸出剂价廉易得。缺点是不适宜处理含钙镁碳酸盐的铜矿石,浸出液中杂质

含量高,防酸设备基建投资较高^[21]。酸浸法按其浸出方式主要分为:搅拌浸出、槽浸、堆浸、坑浸及就地浸出。工业生产中从浸出液中提取铜的方法有浸出—沉淀—浮选法(LPF法)^[22]、浸出—沉淀—载体浮选法(LPCF法)^[23]和浸出—萃取—电积法^[24]等。项则传^[25]研究了永平难选氧化铜矿“堆浸—萃取—电积”工艺回收铜,取得了很好的效果。胡善友^[26]用稀硫酸浸出新疆两种不同性质的氧化铜矿,分别达到94%和85%的浸出率。徐慧等^[27]针对某铜矿山的低品位氧化铜矿进行了湿法回收铜的试验研究,在最佳工艺条件下浸出率达60%~75%。王中生^[28]根据宁夏某氧化铜矿的性质,提出了稀硫酸柱浸—置换生产工艺流程,在最佳工艺条件下浸出率达89.47%,置换率96.70%~99.27%。

2.2.2 氨浸法

氨浸一般以氨或氨与铵盐作为浸出剂,适用于浸出含钙镁碳酸盐类脉石矿物的氧化铜矿及含铁脉石矿物及硅质脉石矿物和含泥质较多的铜矿^[29]。可用于直接处理原矿、精矿、中矿及尾矿,也可以经过还原焙烧后在氨浸。其优点是试剂可以循环使用,并能保证很高的铜回收率,但氨浸工艺同时存在对设备要求高、污染环境及能耗高等缺点。氨浸过程可以分为三个阶段:①扩散控制阶段;②化学控制阶段;③扩散控制阶段^[30]。在氨浸工艺的基础上,近年来又开发出:原矿、中矿和尾矿加压氨浸工艺^[31],氨浸—硫化沉淀—浮选工艺^[32],精矿焙烧—氨浸电积工艺^[33],氨浸—萃取—电积工艺^[34],原矿常规浮选—精矿氨浸—萃取—电积—渣浮选工艺^[35],原矿常温常压氨浸—萃取—电积—渣浮选工艺^[36],常压活化氨浸工艺^[37]等。毛莹博^[38]等针对新疆滴水氧化铜矿石特性,进行氨浸试验研究,在最佳工艺条件下,铜的浸出率可达85%以上。王成彦^[39]针对高碱性脉石氧化铜矿,提出了低浓度氨堆浸的浸出—萃取—电积工艺,并进行了扩大试验研究,认为采用该工艺处理高碱性脉石低品位氧化铜矿是可行的。

2.2.3 生物浸出

生物浸出一般以微生物的代谢产物如硫酸高铁和硫酸作为浸出剂,被广泛用于生物浸出或生物氧化的细菌是氧化铁硫杆菌。生物浸出是利用细菌自身的氧化还原特性及代谢产物,比如有机酸、无机酸

和三价铁等使铜矿物的某些组分氧化或还原,进而使有用组分以可溶性或沉淀的形式与原物质分离,最终得到有用组分的过程。适用于处理硅酸盐型氧化铜矿,碳酸盐含量较小的硫化铜矿及氧化铜矿、贫矿、表外矿、废石、尾矿、铜炉渣和采空区及废石井中的残矿等^[40]。具有装备简单、流程短、建设和操作成本低、对环境友好及能利用低品位复杂难处理矿石等特点,已成为世界各国研究和应用的热点,并得到迅速发展。江西德兴铜矿采用细菌浸出技术处理废石和尾矿,已建成年产2 000 t阴极铜的试验工厂,1997年产出了A级铜标准的电铜。

2.2.4 离析—浮选法

离析—浮选法就是在已破碎到合适粒度的氧化铜矿石中加入少量的食盐和煤粉,然后在隔氧800℃的条件下进行焙烧,使矿石中的铜变成氯化铜挥发,或者直接在炭粒表面还原成金属铜或者铜的硫化物,然后用硫化化合物类捕收剂进行浮选。适用于处理含大量的硅孔雀石和赤铜矿以及大量矿泥的氧化铜矿和被氢氧化铁、铝硅酸锰所浸染过的铜矿物与结合铜含量高的氧化铜矿。其离析过程大致分为三个阶段:食盐的分解阶段;氯化亚铜的分解阶段;还原和离析作用阶段^[2]。它最大的优点是能有效处理那些不能用常规方法处理的氧化铜矿,并且在处理混合铜矿石,能综合金银等有价金属。但其具有焙烧成本高、烟尘损失严重、矿石中石灰石含量高时离析不完全以及只有处理较高品位的氧化铜矿时,才能获得较好的经济指标等缺点。因此还未能大规模的投入工业生产。陈连秀^[41]等针对新疆喀拉通克铜矿,采用离析—浮选法进行小型试验研究,铜品位可达22%~31%,回收率接近70%。

3 结语

在处理氧化铜矿时目前主要采用的是浮选法和化学选矿法。硫化浮选法是目前处理氧化铜矿和混合铜矿应用最广也最为普遍的方法,直接浮选法只能处理一些矿物组成简单、性质不复杂的品位较高的氧化铜矿,到目前为止只有肪酸浮选法曾获得过较为广泛的工业应用。而对于部分难以用浮选法处理的嵌布粒度细、低品位、含泥量大、高结合率和高氧化率的难选氧化铜矿只能采用化学选矿法加以利用,并成为开发难选氧化铜矿技术发展的重要方向。为加强资源综合利用,在难处理氧化铜矿资源的开

发利用过程中,化学选矿发挥着越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 周晓源,王卉. 制粒堆浸技术处理含泥铜矿[J]. 有色金属,2002,54(1):47-49.
- [2] 钱鑫,张文彬,邓彤等. 铜的选矿[M]. 冶金工业出版社. 北京,1982.
- [3] 刘殿文. 氧化铜矿浮选技术[M]. 冶金工业出版社,2009.
- [4] 张文彬. 氧化铜矿浮选研究与实践[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1991.
- [5] 武薇,童雄. 氧化铜矿的浮选及研究进展[J]. 矿冶,2011(6):5-9.
- [6] 范先锋. 假孔雀石、孔雀石与氧化铁矿物浮选分离及其机理的研究[D]. 北京:北京矿冶研究总院,1989.
- [7] 周晓东,王资. 氧化铜矿的浮选[J]. 云南冶金,1995(6):21-26.
- [8] Cuyper J D. 氧化铜矿的浮选[J]. 国外金属矿选矿,1978(8):1-8(2):36-43.
- [9] 赵援,余天桂,张叔培,等. 浮选新药剂D2及其在氧化铜矿石浮选中的应用[J]. 云南冶金,1987(4):25-28.
- [10] 文丰. 螯合剂在浮选中的应用[J]. 有色金属(选矿部分),1980(4):53-55
- [11] Somasundran P. 矿物选择性浮选螯合剂[J]. 国外金属矿选矿,1994(2):34-42.
- [12] 张文彬. 羟肟酸钠浮选氧化铜矿的研究[J],有色金属. 1974(3):41-45.
- [13] 胡显智,李士达. 羟(氧)肟酸(盐)浮选氧化铜矿研究[J]. 有色金属(选矿部分),1991(4):22-25.
- [14] 胡显智. 羟(氧)肟酸(盐)及其与铜矿物吸附体系的量子化学研究[J]. 有色金属,1997,49(4):24-28.
- [15] 韦华祖. 烷基含氧肟酸盐捕收剂浮选孔雀石的研究[J]. 有色金属(选矿部分). 1988(1):39-41.
- [16] 冷文华,卢毅屏,冯其明. 氧化铜矿浮选研究进展[J]. 江西有色金属,1999(6):15-19.
- [17] 赵涌泉. 氧化铜矿的处理[M]. 北京:冶金工业出版社,1982.
- [18] 武俊杰,戴惠新,高利坤,等. 某难选氧化铜矿的分段硫化浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用,2010(6):40-42.
- [19] 陈继斌. 水热硫化-温水浮选法处理氧化铜矿机理初探[J]. 有色金属(选矿部分)1985(1):2.
- [20] 王双才,李元坤,史光大,等. 氧化铜矿的处理工艺及其研究进展[J]. 矿产综合利用,2006(2):37-39,43,48.
- [21] R. B. Bhappu, C. K. Chase, 刘振中. 氧化铜矿处理的生产实践及其存在问题[J]. 国外金属矿选矿,1979(5):49-60.
- [22] 袁盛朝,戈保梁. 难选氧化铜矿浸出-置换-浮选试验研究[J]. 矿冶,2008,17(1):53-54.
- [23] 陈焕麟,等. 浸出-沉淀-载体浮选法研究[J]. 有色金属(季刊). 1981(1):51-53.
- [24] 郭亚惠. 铜湿法冶金现状及未来发展方向[J]. 中国有色冶金,2006(4):1-6,13.
- [25] 项则传. 难选氧化铜矿堆浸-萃取-电积提铜的研究和实践[J]. 有色金属(选矿部分),2004(4):1-3.
- [26] 胡善友. 新疆某氧化铜矿的酸浸提铜试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2004(6):18-20.
- [27] 徐慧,曹连喜. 低品位氧化铜矿湿法冶炼回收的前期基础研究[J]. 有色金属(矿山部分),2002(6):10-12.
- [28] 王中生. 宁夏某氧化铜矿柱浸-置换试验研究[J]. 矿产保护与利用,2003(1):38-40.
- [29] 杨新华. 探究氧化铜矿的回收[J]. 云南冶金,2003(12):13-15.
- [30] 李青三,刘日辉. 氨-氯化铵槽浸难处理氧化铜矿的机理及研究动力学[J]. 湿法冶金,1991(4):16-20.
- [31] 王荣生,张文彬,徐晓军. 东川汤丹难选氧化铜矿石的选冶处理方法的研究现状[J]. 国外金属矿选矿,1998(4):16-18.
- [32] 杨耀宗,等. 处理难选氧化铜矿石新工艺-氨浸硫化沉淀浮选法和水热硫化浮选法的研究[J]. 云南冶金,1989(1):18-20,46.
- [33] 张振键. 汤丹铜精矿焙烧-氨浸-萃取电积新工艺研究[J]. 有色金属:冶炼部分,1999(4):16-20.
- [34] 臧宏,温建康,陈勃伟,等. 高碱性低品位氧化铜矿氨浸-萃取-电积工业试验[J]. 金属矿山,2010(11):87-90,182.
- [35] 钱荣耀. 水热硫化法及氨浸硫化沉淀法处理氧化铜矿石过程中铜物相及矿相研究[J]. 云南冶金,1990(6):24-26.
- [36] 方建军,李艺芬,鲁相林,等. 低品位氧化铜矿石常温常压氨浸工艺影响因素研究与工业应用结果[J]. 矿冶工程,2008,28(3):81-83.
- [37] 尹才,蒋训雄,李新财. 用活化浸出工艺从低品位氧化铜矿中回收铜[J]. 有色金属,1996,48(2):54-60.
- [38] 毛莹博,方建军,文娅,等. 新疆滴水高氧化率泥质氧化铜矿氨浸试验研究[J]. 矿产保护与利用,2012(3):20-23.
- [39] 王成彦. 高碱性脉石低品位难处理氧化铜矿的开发利用-浸出工艺研究[J]. 矿冶,2001,10(4):49-53.
- [40] 温胜来. 低品位氧化铜矿选矿技术综述[J]. 现代矿业,2010,26(2):57-59.
- [41] 陈连秀,刘中华. 难选氧化铜矿离析-浮选试验研究[J]. 新疆有色金属,2003(1):15-17.