

铜冶炼渣浮选回收铜的研究现状

王 鹏,高利坤,董 方,陈 龙,马方通

(复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室,昆明理工大学国土资源工程学院,云南 昆明 650093)

摘要:我国铜冶炼企业每年产生了大量的铜冶炼渣,其中含有大量的有价元素,如金、银、铜、钴、镍等,具有巨大的经济价值。如何经济环保地综合回收这部分有价元素不仅能为企业带来巨大的经济价值,更重要的是能解决铜渣大量堆存的问题。本文综述了目前铜冶炼渣浮选回收铜的研究进展,并在此基础上提出一些想法,为今后的铜渣综合回收提供了参考。

关键词:铜渣;半自磨;快速浮选;闪速浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.01.004

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)01-0016-05

根据调查,中国的铜储量为0.3亿t,约为世界总储量的4.35%,由于人口基数大,人均储量不及世界平均水平的24%,原生铜矿资源量较世界其他国家紧缺^[1]。然而我国炼铜工业每年产生了数量巨大的高含铜渣,据统计我国每年的铜冶炼产生铜渣为1000万t以上,仅在2013年我国产生的铜炉渣量就达到了1370万t,而且铜渣中Cu、Co、Ni等金属含量丰富,综合回收这些有价金属将为企业带来巨大的利益^[2-3]。大部分的冶炼渣堆存在渣场,仅有极少部分得到综合回收利用,堆存的冶炼渣不仅占用了大量的土地资源,渣中所含的有毒、重金属元素将对环境造成巨大的污染,同时也浪费了其中的大量资源^[4-5]。

从铜渣中浮选回收铜组分比较困难,很大程度上是由于其冷却过程中铜颗粒结晶得不到聚集长大,被其他矿物包裹形成包裹体,且各种矿物共生关系复杂造成的^[6]。本文对氧化铅锌矿选矿技术研究现状及进展进行综述。

1 铜渣性质

铜渣是一种“人工矿石”,其物理组成、理化性质、矿物之间的共生关系和矿物之间的嵌布粒度粗细与冶炼设备、技术条件以及冷却方式等因素有关,所以炉渣性质一般不稳定^[7]。铜渣通常呈黑色致密块状、性脆、易碎难磨是其主要性质。渣中铜主要

的有用矿物是硫化铜矿,其次还有少量的氧化态的铜矿和金属态的冰铜,由于结晶较快,铜渣所包含的大部分铜颗粒呈现微细分散的胶体状态;铁主要以铁橄榄石($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)形态和磁铁矿(Fe_3O_4)的形式存在;硅在形成炉渣时大部分将成硅酸盐的形式存在,渣中主要的脉石矿物为石英和硅酸盐类矿物,在冶炼过程中形成了少量的粘土矿,在渣中含硅量较高时,会产生无序排列的玻璃体,此玻璃体会对结晶过程中铜颗粒的聚集长大造成不利影响;渣中还含有镁、铝、钙等元素,主要以氧化钙、氧化镁、三氧化二铝的形式存在,这些氧化物同样对渣中铜颗粒结晶长大有着不利影响^[8-9]。除此之外,渣中还含有金银等贵金属元素和钴、镍、钨等有价金属元素。

根据炉渣的不同的冷却方式,铜渣可分为缓冷渣和水淬渣。影响炉渣浮选的因素有很多,如冶炼工艺、设备、炉渣的冷却方式及原矿性质等。在上述几种因素中,铜渣的冷却方式对炉渣的结晶过程和铜组分颗粒的聚集长大有着决定性的影响,而且会影响铜炉渣的结晶粒度和各种矿物之间的共生关系^[10]。渣中铜在自然缓慢冷却时结晶很快,如果采用水淬冷却方式,高温的铜渣冷却速度更快,会形成非晶质结构,同时也会阻碍铜矿物颗粒的析出和聚集长大,铜颗粒嵌布在呈树状或针状的其他矿物中。所以采用水淬冷却的铜渣即使细磨也很难使大部分铜颗粒同脉石解离,这使得铜渣难以磨矿后用浮选

收稿日期:2015-12-11

基金项目:贵州省科技计划(黔科合GZ字[2014]3014)

作者简介:王鹏(1993-),男,在读硕士研究生,主要从事选矿工艺方面的研究。

通讯作者:高利坤(1973-),男,副教授,博士研究生,主要研究方向为磁电选矿理论与工艺。

方法回收^[11]。而采用缓冷却的渣,渣包对铜渣进行保温缓冷,铜渣冷却速度相对慢了许多,这有利于析出的铜细颗粒在漫长的缓冷过程中借助扩散作用和凝结作用聚集长大。对铜渣的冷却过程进行研究发现,冷却的速度越缓慢,结晶粒度就越粗。如果冷却速度足够缓慢,铜渣熔体的初析微晶就能通过溶解—沉淀形式缓慢成长,缓慢成长的结果是形成结晶良好的自形晶和半自形晶,借扩散和迁移作用,此两类铜晶体微粒将成长为独立的晶像,易于磨矿工序的单体解离和浮选过程的药剂作用。但是缓冷工艺冷却的渣中铜颗粒矿物也非常细,需磨到 50 μm 以下,才能和别的矿物分离^[12]。

2 铜渣的碎磨

铜渣具有结晶粒度小,嵌布粒度细和矿石共生关系复杂的特点,因此铜渣的碎磨相对于普通的矿石来说更为复杂,也是铜渣浮选的一个重难点。铜渣嵌布粒度细,渣中的铜与铁及其他矿物共伴生,需充分细磨才能达到单体解离,但是铜渣密度和硬度都比普通矿石大,其难磨度是其他硫化铜矿物的 1.5 倍左右^[13-14]。一般来说,常规磨矿流程并不能满足浮选作业的要求。

与传统的破碎+磨矿流程相比,半自磨具备处理量大,工作稳定性高,占场地小,耗能少,流程简单等优点^[16]。在处理好此工艺流程中球磨机与半自磨机匹配问题的基础上,再对半自磨的磨矿作业进行优化。如半自磨机长径比,给排矿粒度等,并且拟定合适的磨机钢球充填率及磨矿作业浓度。半自磨工艺在处理铜渣时将具有较大的优势。如长径比是影响半自磨机工作的重要因素之一,磨机长径比小,虽然能将易碎的渣块破碎成小块,但是由于磨机较短,小于格子孔的小块很快就会排出去,而后续球磨作业由于给矿粒度大,其功耗将增加,造成了半自磨功耗低,球磨能耗高。选择合适长径比将大大减小铜渣碎磨作业的能耗;半自磨的工作参数也将影响磨矿作业的效果,应在生产中及时调整合适的磨矿浓度,返砂量和给矿粒度等半自磨工艺参数,合适的工作条件将解决常规碎磨很难适应铜渣物料性质波动的问题,大大的提高磨矿处理量^[14-16]。

高压辊磨是一种新型的碎磨设备,常用于铜渣浮选中的磨矿过程,可对铜渣进行挤压破碎。通过挤压作用可使颗粒内部产生大量裂隙、塌散、疏松等缺陷,一次破碎就能使粒度大大降低,降低了碎磨流程的能耗。而且产生的裂隙、疏松缺陷能改变铜渣

的可磨性,更重要的是能是被包裹的铜颗粒通过后续的磨矿作用暴露出来,与捕收剂的作用也将增大。可浮性大大改善。随着铜渣选别规模的不断扩大、高压辊磨技术的推广和此技术对铜渣性质的适应性,高压辊磨将来将对铜渣碎磨发挥巨大的作用^[17]。

矿山自动化是未来选矿厂发展的趋势,选矿厂是一个由单一生产工序链接而成的工艺过程,对每个单一单元和单元衔接处进行优化控制和自动化生产,将为选矿厂带来巨大的经济效益。对于半自磨工艺来说,其对磨矿的要求十分敏感,磨矿工作不稳定,为了确保磨矿工作的平稳,必须及时获取磨机操作信息,并根据磨矿条件的波动来调整磨矿过程的工艺参数^[18]。因此,对于铜渣的半自磨技术来说,自动化控制也同为重要。中国瑞林工程技术有限公司开发出了半自磨自动化 DCS 控制系统。该系统采用电子皮带秤获取返砂量信号,将其送入 DCS 系统后,返砂量减去给渣量后得出新的流量。DCS 输出控制信号到磨矿震动给料机的变频调速器,然后给料机调整新的磨矿给矿量;而半自磨机的给水量则通过电磁流量计、DCS 系统的 PID 回路和给水调节阀构成水量控制系统。通过自动化控制,使给矿量和磨矿浓度趋于稳定^[19]。目前国内渣选厂基本都采用实验的方法,要通过长期、大量的实验和生产实践才能寻找出可行的生产参数。这种方法不仅耗费了大量的人力物力,而且短期内无法投入生产,并且铜渣性质的不稳定性还导致了在投入生产后还是需要各种生产上的工艺进行调整,十分不便。因此采用计算机模拟软件控制,通过数学算法将每种因素的影响程度设置逻辑关系,以此来研究、预测磨矿的最佳工作条件,最终提高磨矿工作效率。目前选矿界公认的碎磨模拟软件为澳大利亚 JKSimMet 公司的 JKSimMet,在采集选厂长期的工业数据的基础上,对这些碎磨过程进行大量的数值分析,可以对所有的碎磨流程开展数值建模。利用此 JKSimMet 模拟软件发明了 SMCC Test 算法至今已完成 20000 余份 SMCC Test 报告,并且已为全球百余家矿山完成磨机设计选型。除此之外还有法国地矿研究局(BRGM)开发的选矿工艺软件 U SIM PAC 也能用于碎磨流程的模拟设计。自动化将推动铜渣的碎磨的革命性发展,产生巨大的经济效益^[20-21]。

3 铜渣的浮选

目前,铜渣处理方法方式主要有浮选、火法贫

化、湿法浸出三大类。浮选用于回收渣中的铜组分;火法贫化是采用贫化炉使渣中铜转入铜铈中,从而降低渣的铜品位而达到回收的目的;湿法浸出可以综合回收渣中的有价金属元素,如铜、钴、镍等。

3.1 缓冷渣浮选的工艺

目前对于缓冷渣浮选的理论研究和实践生产已经取得了很大的进展,因此对于渣中铜的回收应首先考虑浮选法。在总结铜渣的性质和前人大量的实验研究和实践生产的基础上,缓冷渣浮选工艺可以总结为一下几个要点:(1)快速浮选;(2)闪速浮选;(3)高浓度浮选^[22]。

缓冷工艺下,部分铜矿物颗粒较粗,一段磨矿后便达到了单体解离,回收这部分粗粒显得十分重要。快速浮选用于处理磨矿溢流产品,将已达到浮选捕收作用的矿物立即浮选产出,避免了粗颗粒的再磨,既降低了磨矿的功耗,同时也避免了易于捕收剂作用的矿物表面受到污染,提高了铜的总体回收率,降低了选矿成本;同时,快速浮选作用的是粗颗粒矿物,所以精矿过滤后的含水量也会降低。

逢伟波^[23]对祥光铜业渣选厂的铜渣进行了浮选工艺试验,此渣为闪速炉熔炼渣通过缓冷后得到,渣中含铜少,主要以铈夹渣存在,在延长了缓冷时间至 10 h 后,铜颗粒得到聚集长大,如果采用常规磨浮工艺,则这部分铜颗粒将会在磨矿分级流程中循环积累,因此最终采用了快速浮选工艺流程,碎磨工艺为粗磨+半自磨,旋流器溢流进行快速浮选。快速浮选尾矿经过一粗二扫三精流程得到最终铜精矿和尾矿。产出的铜精矿品位约为 26%,回收率 80%,获得了较好的技术指标。张国^[24]对北方铜业垣曲冶炼厂冶炼铜渣进行了选矿试验,该渣数量大,含铜高回收价值大。式样中含有大量的金属铜,数量大而堪布粒度粗,但是硫化矿堪布粒度细且不均匀,如果将金属铜磨至硫化铜达到单体解离的粒度,不仅会造成过磨而是磨机功耗增加,而且使得易于浮选的金铜因过磨受到污染,所以决定采用两段磨矿,一段快速浮选,二段分布浮选工艺,以 Z-200 为捕收剂,2#油为起泡剂,在一段快速浮选浓度为 55%,二段矿浆浓度为 35% 的条件下得到品位 28.93%,回收率 93.69% 的合格铜精矿。

快速浮选用于处理磨浮流程中的溢流,溢流中的粗铜颗粒得到浮选产出,但是仍会有部分比重较大的颗粒进入返砂中在磨浮回路中循环,因过磨成为细泥而损失掉,而且过磨会造成选矿成本的增加和矿物表面的污染。闪速浮选工艺就是针对这部分

快速浮选不能处理的重颗粒开发的新工艺。这种工艺的优点在于^[25]:

(1)已达到浮选要求的大比重高品位铜颗粒得到回收,避免因过磨造成的功耗增加和矿物表面的污染;溢流已经将大部分细泥带走,所以闪速浮选处理的矿浆含泥量将大大的降低,避免了细泥产生的不利条件;铜组分的可浮性与其他矿物如铁橄榄石的差异大,能直接得到高品位精矿。

(2)直接从磨矿分级回路中得到约占总回收率 20%~30% 的合格精矿,减少了后续浮选作业的处理量;大比重、品位高矿粒得到浮出,后面的选别作业给矿性质趋于平稳,易于调整浮选作业的各种工艺参数。同时后续浮选的粒度分布变窄,减小了浮选时间,从而减少了浮选机数量,减少了投资成本。

闪速浮选工艺可用于减少过粉碎和避免矿物表面受污染,因此,用于处理贵重金属的选别时效果很好,特别是矿石中含金银铂等重矿物时效果很好。近年来,闪速浮选运用于金银等贵重金属的选别取得了较大的成功。鉴于这种工艺有明显的优势,在未来的炉渣浮选也是值得探索的一个方向,特别是在确定合适的闪速浮选入选粒度、高效可行的磨矿机和高效的浮选药剂值得深入研究。由于此工艺能避免再磨、提高回收率,因此在铜渣浮选的应用将给企业带来巨大的经济效益。

需要注意的是,不管是闪速浮选还是快速浮选,都是用来处理一段磨矿后中的粗颗粒高品位矿粒,所以一般浮选浓度难以承载这部分粗重颗粒上浮。借用重介质选矿的原理可知,需采用高浓度的浮选矿浆浓度,使得这部分比重大的矿物容易上浮,减少浮选药剂用量。

3.2 水淬渣浮选的工艺

水淬冷却使得水淬渣中铜颗粒结晶来不及聚集长大,各种矿物共伴生关系复杂,若将渣一次磨到充分单体解离,则会产生过磨作用,不仅增加能耗还会污染铜矿物表面,使回收率下降;若磨矿细度不够,则被包裹的那部分铜颗粒的不到回收,也会使回收率下降。采用阶段磨矿阶段选别能解决这个问题。胡根华^[26]对某铜冶炼渣进行了阶段磨矿阶段浮选实验研究,考察了磨矿细度、磨矿段数、中矿再磨对浮选的影响。最终得到了品位 19.53%,回收率 29.98% 的铜精矿。韩伟等^[27]对云南某冶炼厂的铜水淬渣进行实验研究,针对水淬渣嵌布粒度细,矿物组成和嵌布关系复杂的特点,采用阶段磨矿阶段浮选的方法进行回收,最终得到了品位

14.33%,回收率48.80%的精矿。

目前对水淬渣浮选的研究很少,就是因为铜颗粒粒度过细、难磨、难浮而造成的回收率低,目前回收率只能达到40%~50%。如何提高渣中铜粒的粒度,使铜渣中的铜富集长大,再使用浮选回收也是目前值得探索的方向。研究表明:随着冶炼作业的进行,铜硫品位变高,与此同时渣中 Fe_3O_4 的含量也随之增加,造成了炉渣平衡的氧分压也随之升高,维持饱和的 Fe_3O_4 平衡温度大约需要1350℃,当炉内温度降低时,渣中的 Fe_3O_4 就会沉析出来,致使渣粘度显著上升,体系反应产生的气体将很难排出,造成炉渣发泡,这使得渣中夹带的冰铜颗粒微细分散,这分散的微粒被渣中其他成分包裹,形成细粒包裹体。细粒包裹体的形成使得磨矿很难将铜组分充分单体解离,而且可浮性很好的铜颗粒由于细粒包裹体的原因很难以与捕收剂作用,致使磨选难度很大。如何消除 Fe_3O_4 对铜渣粒度的影响进而提高回收率是目前对水淬渣进行浮选回收所需解决的问题^[28-30]。将来可以从两个方面着手:一是贫化降低铜品位、使冰铜富集沉降后进行浮选回收;二是直接浮选,浮选尾矿焙烧后浸出提铜。

对水淬渣进行贫化,其原理是将水淬渣转入冶炼设备内,向内加入还原性的物质如粉煤或者天然气等,还原性物质与磁性氧化铁反应使其含量降低,炉内用作还原剂的硫分也可以降低冶炼渣中的铜含量。因此国内外有些学者也在铜渣贫化过程中同时加入粉煤和黄铁矿。粉煤可以使磁性氧化铁含量减少,从而降低渣粘度,使铜组分富集长大和沉降析出;黄铁矿的作用是 FeS_2 分解产生的 FeS 与渣中的磁性氧化铁、二氧化硅生成 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 。同时氧化铜与 FeS 反应生成 Cu_2S 。使得磁性氧化铁含量降低的同时也让氧化态的铜进入冰铜中^[31-32]。黄自立^[33]等人采用高温贫化浮选对水淬渣进行回收,在贫化的过程中同时加入了粉煤和硫化剂黄铁矿。贫化温度为1350℃、黄铁矿含量为5%、还原剂与硫化剂之比为1:4、贫化后以5 K/min的缓冷速率冷却,再以浮选回收。在此条件下获得的精矿品位为5.85%左右,回收率达78%。

针对铜渣中铜粒子细粒嵌布,半生共生关系复杂的特点,也可以先用浮选回收渣中颗粒较大,选择性较好的铜颗粒。对浮选后尾矿中剩下的细粒的铜颗粒在进行焙烧浸出以提取渣中的铜,此外焙烧浸出还可以同时提取有价金属元素,如钴、镍等。G·布罗特等^[34]对土耳其Kure地区堆存的铜渣进行了

铜的浮选研究,渣中的硫化矿物的最大粒度为50-60 μm ,有一部分的铜以硅酸盐和铁酸盐的形式产出,因此,使用浮选法处理此类矿石时受到了限制。实验最终确定了浮选—黄铁矿焙烧法从渣中回收有价金属元素,铜渣浮选铜后的精矿品位为10.7%,回收率为76.6%,另外浮选尾矿还有大量的钴,因此对浮选尾矿进行在处理很有必要。浮选尾矿经过焙烧后用硫酸浸出。浸出液铜溶解率为31%,钴溶解率为87%。并且焙烧的烟尘可以用来制硫酸,浸出后的尾渣铁品位很高,可以作为炼钢的原料。此法不仅可以提高铜回收率,还可以同步经济的提取有价金属元素。从多方面降低了成本,实现了零尾渣,无烟尘污染的环保目标。

4 结 语

(1)铜冶炼渣成份复杂,各种矿物在冶炼过程中形成复杂的共伴生关系,特别是铜颗粒在冷却过程中结晶粒度小,容易被其他组分包裹,导致了渣中铜难以充分解离后影响浮选回收。针对铜颗粒粒度细的特点,目前浮选要掌握的要点有:半自磨、高浓度浮选、快速浮选、闪速浮选、阶段磨矿阶段选别。

(2)快速浮选和闪速浮选是铜渣有效的浮选方法,在节能和提高回收率上还有很大的空间,将来的研究可以在此方向努力;浮选法获得的精矿品位不高,特别是水淬渣的浮选回收率低下,且只能回收渣中铜组分,可加强冶金与浮选的联系。一是还原贫化后浮选可获得较高回收率;二是浮选后的尾矿进行浸出,可综合回收渣中有价金属,如钴、镍、金、银等。

(2)铜渣冷却结晶过程中的热力学和动力学的研究很少,铜渣综合回收研究的深度受到很大影响。应该加强这方面的研究,深入了解渣的组成及性质,为综合回收提供理论基础。

参考文献:

- [1]顾晓薇,胥孝川,王青,等.世界铜资源格局[J].金属矿山,2015(3):8-13.
- [2]shen H T, Forssberg E, An overview of recovery of metals from slag[J]. Waste Management, 2003, 23(10):933.
- [3]Zhang Y, Man R L, Ni W D, et al. Selective leaching of base metals from copper smelter slag[J]. Hydrometallurgy, 2010, 103(1-4):25.
- [4]Base A V. Effect of ultrasound on the dissolution of copper from copper converter slag by acid leaching[J]. Ultrasonics Sono chemistry, 2007, 16(4):790.
- [5]朱祖泽,贺家齐.现代铜冶金学[M].北京:科学出版社, 2003.75.

- [6]周占兴,周春芳.铜渣的新型资源化处理工艺[J].冶金设备,2015(1):51-54,24.
- [7]崔麦英,黄瑞强.大冶有色奥斯麦特炉渣选矿工艺流程探讨[J].有色冶金设计与研究,2014(6).
- [8]李磊,王华,胡建杭,等.铜渣综合利用现状[J].冶金能源,2009(28):44-48.
- [9]张海鑫.浅谈铜冶炼渣缓冷工艺[J]-中国有色冶金,2013(3):32-33,37.
- [10]王珩.炼铜转炉渣中铜铁的选矿研究[J].有色矿山,2003,32(4):19-23.
- [11]黄自力,李密,肖晶晶,等.从炼铜水淬渣中浮选回收铜的试验研究[J].矿冶工程,2008,28(5):40-43.
- [12]王红梅,刘四清,刘文彪,等.国内外铜炉渣选矿及提取技术综述[J].铜业工程,2006(4):19-22,86.
- [13]陈名洁.国内铜炉渣选矿现状及工艺流程设计探讨[J].有色冶金节能,2013(2):46-49,54.
- [14]田峰,张锦柱,师伟红等.炼铜炉渣浮选铜研究与实践进展[J].矿业快报,2006(12):17-19,30.
- [15]杨峰.半自磨技术在炉渣选矿中的应用研究[J].铜业工程,2006(1):19-22.
- [16]徐伟,吴照银,唐新民,半自磨加球磨改造方案的研究[J].冶金设备,2007(4):38-41,5.
- [17]王国红.贵溪冶炼厂渣选系统达产达标技术研究[J].矿冶,2008,17(2):30-33.
- [18]刘国林.半自磨机在炉渣选矿中的能耗研究[J].有色冶金设计与研究,2014,35(6):22-24.
- [19]葛新建,曹月林.低品位铁矿石高压辊磨技术的研究及应用[C].金属矿山,2009:86-92.
- [20]秦虎,刘志红,黄宋魏.碎矿磨矿及浮选自动化发展趋势[J].云南冶金,2010,39(3):13-16.
- [21]胡国军.铜冶炼炉渣选矿自动化技术的现状[J].有色冶金设计与研究,2014,35(6):51-53.
- [22]朱海峰.铜炉渣矿物学特性及浮选基础研究[D].长沙:中南大学,2014.
- [23]逢伟波.祥光铜业闪速熔炼炉渣选矿生产实践与改进[J].有色冶金设计与研究,2014,35(6):35-37.
- [24]张国.铜冶炼渣浮选回收铜的试验研究[J].新疆有色金属,2015(6):80-81,83.
- [25]王海瑞.闪速浮选工艺及其利用[C].//1998 第五届全国粉体工程学术会议论文集,1998:276-279
- [26]胡根华.某铜冶炼水淬炉渣选矿工艺试验[J].现代矿业,2014(11):103-105.
- [27]韩伟,秦庆伟.从炼铜炉渣中提取铜铁的研究[J].矿冶,2009,18(2):9-12
- [28]Mungall J E, Su S. Interfacial tension between magmatic sulfide and silicate liquids: constraints on kinetics of sulfide liquation and sulfide migration through silicate rocks[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 234(1): 135-149.
- [29]Eric R H. slag properties and design issues pertinent to matte smelting electric furnaces[J]. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004, 104(9): 499-510.
- [30]ZHANG Huai-wei, SUN Fei, SHI Xiao-yan, et al. The Viscous and Conductivity Behavior of Melts Containing Iron Oxide in the FeO-SiO₂-CaO-Cu₂O System for copper Smelting Slags[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2012, 43(5): 1046-1053.
- [31]O Herreros, J Vinals. leaching of sulfide copper ore in a NaCl-H₂SO₄-O₂ media with acid pretreatment [J]. Hydrometallurgy, 2007, 7(11): 1-9.
- [32]Zivkovic Z, Mitevska N, Mihajlovic Ivan. The influence of the silicate slag composition on copper losses during smelting of the sulfide concentrates[J]. Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy, 2009, 45(1): 23-34.
- [33]黄自立,李倩,李密,等.高温贫化-浮选法从炼铜水淬渣中回收铜[J].2009,(2):37-39.
- [34]G·布罗特.应用浮选-黄铁矿焙烧法从铜渣中回收有价金属[J].国外金属矿选矿,2009,46(1):86-90.

Status of Copper Recovery from Copper Smelting Slag by Flotation

Wang Peng, Gao Likun, Dong Fang, Chen Long, Ma Fangtong

(State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China;)

Abstract: Copper smelting enterprises in China have produced a lot of copper smelting slag every year, which contains a lot of valuable elements, such as gold, silver, copper, cobalt, nickel, etc. It has great economic value. Comprehensive recovery of these valuable elements in economic and environmental way by flotation can not only bring huge economic value for the enterprise, but also solve the problem of the stockpiling of copper slag. This paper summarizes the research progress of copper recovery from smelting slag by flotation and puts forward to some ideas on this basis, which provides a reference for the comprehensive recovery of copper slag.

Keywords: Copper slag; SAG flow; Fast Flotation; Flash Flotation