

火法炼铜技术综述

陈淑萍¹, 伍赠玲¹, 蓝碧波¹, 郭其章²

(1. 紫金矿冶设计研究院, 福建 上杭 364200; 2. 紫金矿业集团股份有限公司, 福建 上杭 364200)

摘 要: 目前火法熔炼技术发展迅速并得到广泛的应用, 在铜工业生产中已明确提出“清洁生产”的目标。环境意识要求清洁的生产工艺, 即工艺过程中极少排放废物, 对火法炼铜技术的进一步完善提出了更高的要求。本文叙述了目前世界火法炼铜的主要工艺、工业生产实例及进展情况, 对现代铜冶金新方法 - 闪速熔炼、熔池熔炼以及其它熔炼技术作了较为详细的介绍, 并指出了铜火法冶炼存在的问题及今后的主要技术发展方向。

关键词: 火法炼铜; 闪速熔炼; 熔池熔炼

中图分类号: TF111.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3842(2010)04 - 0044 - 06

Summarize on the Technology of Copper Pyrometallurgy

CHEN Shu - ping¹, WU Zeng - ling¹, LAN Bi - bo¹, GUO Qi - zhang²

(1. Zijin Research Institute of Mining and Metallurgy, Shanghang, Fujian, China 364200;

2. Zijin Mining Group Co., Ltd, Shanghang, Fujian, China 364200)

Abstract: At present, technology of copper pyrometallurgy is developed rapidly and widely used in copper industry which point out "Clean Production". The environment consciousness require clean production process, it means few waste material was discharged during the process. Higher requirements are needed for perfecting copper pyrimetallurgy. In this article, the main process and production example and progress of copper pyrometallurgy are summarized, the new copper metallurgy technologies - flash smelting, bath smelting and others are introduced in detail. Some problems of copper pyrometallurgy and main technical developing direction for future are pointed out as well.

Key words: copper pyrometallurgy; flash smelting; bath smelting

目前世界上从硫化矿中提取铜, 85% ~ 90% 是采用火法冶炼, 因为该法与湿法冶炼相比, 无论是原料的适应性, 还是在生产规模、贵、稀金属富集回收方面都有明显的优势。因此为了降低能耗, 减少火法炼铜的环境污染, 闪速熔炼、熔池熔炼以及其它熔炼技术都在不断改进和发展。

1 火法炼铜主要工艺

火法炼铜主要包括^[1]: (1) 铜精矿的造钼熔炼; (2) 铜钼吹炼成粗铜; (3) 粗铜火法精炼; (4) 阳极铜电解精炼。经冶炼产出最终产品 - 电解铜 (阴极铜)。

目前世界铜冶炼厂使用的主要熔炼工艺为闪速熔炼和熔池熔炼。在熔池熔炼工艺中, 精矿被抛到熔体的表面或者被喷入熔体内, 通常向熔池中喷入

氧气和氮气使熔池发生剧烈搅拌, 精矿颗粒被液体包围迅速融化, 因此, 吹炼反应能够产生维持熔炼作业所需的大部分热量, 使含有氧气的气泡和包裹硫化铜/铁的溶液发生质量传递。而闪速熔炼中的干精矿是散布在氧气和氮气的气流中的, 精矿中所含的硫和铁发生燃烧, 在熔融颗粒进入反应空间时即产生熔炼和吹炼。当这些颗粒与熔池融为一体时, 有些反应还会继续进行, 但大部分是在飞行过程中发生的。

吹炼工艺目前仍以 P - S 转炉为主, 90 年代后连续吹炼技术成功商业化应用, 吹炼工艺实现了质的飞跃。1995 年闪速吹炼问世并成功应用于美国肯尼柯特冶炼厂, 将闪速炼铜整体工艺 (闪速熔炼 + 闪速吹炼) 硫的回收率由 95% 提高到 99.9% 以上, 其基本流程是各种精矿在闪速炉熔炼产出冰铜, 然后将冰铜水淬, 磨粉并干燥, 再在另一规格

收稿日期: 2010 - 07 - 23

作者简介: 陈淑萍 (1965 -), 女, 陕西富平人, 高级工程师, 本科, 学士学位, 主要从事黄金和其它有色金属冶炼生产与研究, E - mail: shupingchen 2001@ yahoo. com. cn

较小的闪速炉中用富氧空气吹炼成粗铜, 产出的粗铜通过溜槽加至阳极炉。闪速吹炼具有生产能力大、工艺技术先进、成熟可靠、环保好、自动化程度高、运行费用低、烟气量小、二氧化硫浓度高且稳定等优点, 具有良好的推广应用价值, 尤其适合于新建大型铜冶炼厂和对环保要求非常严格的炼铜厂改造。

粗铜火法精炼以回转炉精炼为主, 由于传统固定式精炼炉主要依靠人工操作、劳动强度大、环保效果差、易跑铜、难控制, 已逐步被机械化程度高、炉体密闭易操作的回转式阳极炉所替代。

表1 世界各国火法冶炼工艺处理铜精矿生产实例^[1-3]

国家	企业名	铜精矿主要化学成份	年产量 /kt·a ⁻¹	工艺方法及主要参数
加拿大	铜崖 Inco	Cu 29% ; Fe 32% ; S 34% ; SiO ₂ 2%	135	INCO 氧气闪速熔炼, 炉规格 宽×长×高 5.5×22×5m
加拿大	霍恩冶炼厂 Horne Smelter	Cu 21.9% ; Fe 30.30% ; S 33.10% ; SiO ₂ 4.40% ; Pb 2.00% ; Zn 2.70%	200	诺兰达炼铜法, 反应炉 Ø5.20×21.3 m, 熔体温度 1250℃
美国	圣曼纽尔 SanManuel	Cu 28.35% ; Fe 28.46% ; S 33.61% ; SiO ₂ 5.96%	340	奥托昆普闪速熔炼技术, 反应塔内径 5.97m, 铜液温度 1232℃
澳大利亚	芒特艾萨 Mount Iso	Cu 24.50% ; Fe 25.70% ; S 27.60% ; SiO ₂ 16.10%	250	艾萨熔炼法, 艾萨炉内径 3.66m, 高 14.54m
俄罗斯	诺里尔斯克冶炼厂 NorilskSmelter	Cu 21.5% ; Fe 39.5% ; S 33.5% ; CaO 0.6% ; SiO ₂ 0.7%	400	瓦纽科夫炼铜法, 瓦纽科夫炉, 床能率 60t/(m ² ·d); 熔体温度 1300℃
中国	江铜集团 贵溪冶炼厂	Cu 21% ~22% ; Fe 28% ~29% ; S 32% ~33% ; Pb + Zn <0.5% ; Zn 0.6% ~1.2% ; As 0.25% ; SiO ₂ 6% ~6.5%	900	奥托昆普闪速熔炼法, 反应塔内径 6.8m, 铜液温度 1210℃, 转炉规格 Ø4.0×11.7m, 精炼回转炉 240t, 规格 Ø3.90×9.20m, 铜液温度 1300℃, 铜阳极板 1000×960×45mm
	云铜铜业股份有限公司(云南冶炼厂)	Cu 21.9% ; Fe 21.1% ; S 14.8% ; SiO ₂ 18.1%	250	电炉熔炼法改为艾萨熔炼法, 云铜艾萨熔炼炉为圆筒型内衬耐火材料的炉子, 内径 4.4m, 高 14.7m, 转炉规格 Ø4.0×11.7m, 精炼反射炉 4.57×10.69m (350t), 铜液温度 1180℃
	白银有色金属集团公司铜冶炼厂	Cu 18% ~21% ; Fe 26% ~28% ; S >26% ; Pb + Zn <2.0% ; CaO 3% ~6% ; As 0.33% ; SiO ₂ 8% ~11% ; H ₂ O 5% ~8%	80	白银炼铜法, 白银炉床能率 33t/(m ² ·d); 熔体温度 1100℃, 转炉规格 Ø3.66×7.10m, 精炼反射炉 120t, 铜液温度 1200℃, 铜阳极板 850×810×35 mm
	阳谷祥光铜业有限公司	Cu 26% ~32% ; S 28% ~32%	400	双闪技术, 闪速熔炼炉规格, Ø6.3×7.0m, 池中心距 17.6m, 熔体温度 1250℃, 闪速吹炼炉规格 Ø4.3×6.0m, 精炼阳极炉规格 4.88×14.63m, 铜液温度 1250℃
	大冶有色金属公司冶炼厂	Cu 18.74% ; Fe 26.51% ; S 27.58% ; Pb 0.22% ; As 0.4% ; SiO ₂ 9.77%	150	反射炉改为诺兰达炉熔炼, 炉壳内尺寸 Ø4.7×18m, 熔体温度 1250℃, 转炉规格 Ø3.66×6.70m, 精炼回转炉 140t, 规格 Ø3.60×8.00m, 铜液温度 1280℃

电解精炼工艺主要分为传统始极片工艺和不锈钢永久性阴极工艺, 永久阴极电解工艺是当前电解工艺的发展趋势。主要是因不锈钢阴极法采用不锈钢板做成阴极代替铜始极片, 阴极铜产品再从不锈钢阴极上剥取, 不锈钢阴极再返回电解槽中继续使用。该方法无始极片生产系统, 简化了生产过程。且由于不锈钢阴极平直, 生产过程中短路现象少, 不但提高了产品质量, 而且可使用较高的电流密度和较小的极距。

表1列出了世界各国工厂采用火法冶炼工艺处理铜精矿的生产实例。

对上述工艺的生产厂家所用矿石成分及工艺方法比较可知,铜精矿火法冶炼工艺流程的选择,与精矿成分、工厂规模和当地具体条件等因素有关。一般而言,如果建厂规模大、原料成分稳定,选用闪速炉熔炼较为有利,目前国内外闪速炉炼铜厂规模已达到 20~90 万 t/a。中等规模的冶炼厂适应采用三菱法、诺兰达法、澳斯麦特/艾萨法等。目前国内外一般规模为 10~20 万 t/a,除三菱法外,一般对原料要求不严格。年产粗铜 10 万 t 以下的,多采用瓦纽科夫法、白银法、澳斯麦特/艾萨法等。

2 国内外火法炼铜进展及发展趋势^[4-7]

2.1 熔池熔炼

2.1.1 诺兰达连续炼铜法

诺兰达法于 1967 年在加拿大首次获得专利,是历经 30 余年发展起来的自热熔炼技术。世界上第一个连续熔炼和吹炼的反应炉于 1973 年在霍恩冶炼厂投产,经过多次工艺改造,目前采用富氧熔炼,日处理精矿达 2000t 以上,该法很适于使用氧气。在所有炼铜方法中,诺兰达法能耗低,并随着富氧浓度的增加而减少,且对原料适应性强,既可处理高硫铜精矿,也可处理低硫含铜物料。同时具有高的床能力,流程简单,不需要复杂的备料过程,炉料不需要深度干燥,操作简单,容易掌握。

美国肯尼科特矿物公司犹他冶炼厂于 1977 年引进该技术并安装了三台反应炉取代了反射炉;1989 年,霍恩冶炼厂关闭反射炉,诺兰达反应炉成为霍恩冶炼厂唯一的熔炼设备。1991 年澳大利亚南方铜冶炼厂用诺兰达法改造投产。另外,澳大利亚肯布拉港铜冶炼厂(PKC)是改建的铜熔炼和精炼厂,1998~2000 年改建,诺兰达炉加长了 2m,阴极铜生产能力 2002 年初达到 12 万 t/a。

诺兰达炼铜炉既可以直接生产粗铜,也可以生产高品位冰铜。直接生产粗铜存在粗铜质量较差、硫及稀散元素等杂质含量较高、渣含铜高、炉子寿命短(约 100d)等不足。而生产高品位冰铜炉子寿命较长(超过 1 年)。但是,当铜精矿中某些有害元素含量很低时,特别是 Sb 和 Bi,可利用诺兰达炼铜炉产出用于电解的合格阳极铜。

2.1.2 瓦纽科夫法

瓦纽科夫熔炼法是前苏联发明和发展的一种富氧侧吹熔池熔炼法,是由莫斯科钢铁学院的瓦纽科

夫教授于 1949 年创造出的熔池熔炼技术,于 1979 年,在诺里尔斯克建造一台 20m² 工业试验炉,1982 年投产,床能力 75~100t/m²·日,采用富氧浓度为 68%~70%,烟气 SO₂ 浓度达 40%,烟尘率降低 80%~90%,标准燃料单耗比反射炉熔炼低 71%~75%,粗铜成本下降 2.4%。目前,前苏联共有六台工业生产炉。

瓦纽科夫法具有原料适应性强,备料简单,节能,技术成熟可靠,烟气二氧化硫浓度高,环保,贵金属回收率高,投资少等特点。因此引起冶金工作者的注意,目前正在分析研究这种工艺的一些可能和有前景的应用方向。为了进一步完善和扩大熔池熔炼技术及其使用范围,正在积极推广应用到其他有色金属生产、炉渣贫化及化工部门的硫酸生产中。

2.1.3 澳斯麦特熔炼法/艾萨熔炼法

澳斯麦特熔炼法/艾萨熔炼法是 20 世纪 70 年代由澳大利亚联邦科学工业研究组织矿业工业部 J. M. Floyd 博士领导的研究小组发明的。随后芒特·艾萨矿物控股有限公司(简称 MIM)和澳大利亚国家科学院(简称 CSIRO)在 20 世纪 80 年代联合开发了艾萨熔炼法,MIM 于 1987 年在铜冶炼厂建起了一座示范工厂,1996 年 MIM 开发了 Enterprise 和 Erment Henry 矿,铜精矿产量增加,于是决定扩建铜冶炼厂,1997 年经两次提高给料率和提高氧浓度试验,现熔炼能力已扩建到 250kt/a 铜。斯特莱特工业公司其第一台艾萨熔炼炉于 1996 年在印度 Tamil Nadu 的 Tuticorin 新建冶炼厂投产,现在铜的年产量超过 150kt。莫帕尼铜矿(MCM)于 2006 年在赞比亚的 Mufulira 铜冶炼厂投入使用一台年处理精矿 850kt 的艾萨熔炼炉。南秘鲁铜业公司(SPCC)于 2006 年在秘鲁的 Ilo 铜冶炼厂也使用一台新的年处理 1200kt 精矿的艾萨熔炼炉。

澳斯麦特熔炼法/艾萨铜法具有熔炼强度高,生产能力大;工艺流程短,结构简单,占地面积小;投资少,一般只有相同规模闪速熔炼炉的 60%~70%左右;原料适应性较强,精矿不需干燥;可用廉价的煤作为燃料直接随炉料入炉,能耗较低;炉子密封性好,烟气较稳定,SO₂ 浓度高;采用顶吹喷枪,操作简便;整个冶金过程计算机控制,金属回收率高等优点。但由于喷枪使用 12~15d 要更换其不锈钢管头,所以喷枪寿命还有待进一步提高。在炼铜技术中,艾萨熔炼法的特点符合现代有色金属冶炼简单、高效的发展方向,具有广阔的发展前景,逐步得到了

有色金属领域的广泛认可。

2.2 闪速熔炼法

闪速熔炼是50年代冶金领域崛起的一项强化熔炼新技术,自从1949年第一座芬兰奥托昆普闪速炉诞生和1953年加拿大国际镍公司因科闪速炉投产至今,闪速熔炼经历了60年的历程,得到了很大的发展。

20世纪70年代,日本对闪速炉技术所作的改革及当时5座闪速炉的兴建,对把闪速熔炼技术推向世界起到了重要作用。另外,美国马格马铜厂于1988年建了外径为6.48m,高为6.68m闪速炉,沉淀池(长×宽×高)为 $L_{内}$ 23.99m/ $L_{外}$ 25.20m,中间有一个特殊加料喷咀,日处理铜精矿3700多t,年产粗铜30万t,是目前世界闪速炉之王。1995年4月,美国Kennocott公司Utah冶炼厂又建成更大规模的闪速炉,日处理铜精矿3000t以上。同时还建成世界上第一台闪速吹炼炉,与之配套处理闪速熔炼炉产出并经水淬与磨碎的冰铜。

与传统炼铜方法相比,闪速炼铜具有生产能力大,燃料消耗少,热利用高,硫利用高,环保好,容易实现自动化等优点,但也存在炉渣需处理及烟尘率高的问题。

闪速炼铜的发展趋势主要有四方面:(1)富氧浓度的提高。从20世纪70年代起奥托昆普炼铜闪速炉就采用富氧熔炼,而且所用富氧的氧气浓度逐步提高,有的已达到90%;富氧熔炼不仅提高了炉子的生产能力,而且使用高浓度富氧可以使反应塔达到自热熔炼。(2)大型化和计算机控制。大型闪速炉每天处理铜精矿在2500t以上,不少闪速炉采用计算机在线控制铜铈品位、铜铈温度和炉渣的铁硅比,以实施优化生产。(3)简化流程、提高对原料适应性。在闪速炉沉淀池插电极或增设电热贫化区,把炉渣贫化作业合并到闪速炉内完成;这种闪速炉既简化了生产流程,又可处理含难熔物料较多的原料。(4)提高铜铈品位、实现直接炼铜。奥托昆普炼铜闪速炉铜铈品位已从20世纪70年代的45%~50%提高到20世纪80年代的50%~65%。在波兰的格沃古夫炼铜厂和澳大利亚的奥林匹克坝冶炼厂采用闪速炉熔炼低铁高品位铜精矿直接生产粗铜。

2.3 国外其它熔炼方法

三菱连续炼铜法是日本三菱金属公司于20世纪60年代开发的,1974年在直岛冶炼厂一台旧反

射炉基础上建立一套月产粗铜4000t的三菱法工业设备。1991年直岛冶炼厂完成技术改造,生产能力达到年产铜23万t。韩国的翁山、印度尼西亚的Gresik和澳大利亚的Kembla港炼铜厂都采用三菱法工艺,并于1998年建成投产。

三菱法的技术发展趋势是逐渐提高喷枪鼓风中的富氧浓度,使熔炼过程达到自热的程度;应用更有效的冷却方式,进一步提高炉子了的使用寿命。该法的特点是投资低,约相当反射炉的60%,操作简单,炉寿命长,无出渣出铜操作,无需吊罐,电子计算机自动控制,可产冰铜品位65%,弃渣含铜0.5%。

2.4 国内炼铜研究进展

为提高中国铜冶炼技术装备水平,治理污染、降低能耗,提高经济规模,自20世纪80年代以来,贵冶、铜陵、云铜、大冶、中条山等主要大型铜冶炼企业加大了技术改造力度,先后引进了闪速熔炼、诺兰达熔炼、澳斯麦特顶吹熔炼、艾萨顶吹熔炼等一批具有当今世界先进水平的铜冶炼工艺技术和装备,提升了中国铜冶炼整体水平。

白银法是具有中国特色的熔池熔炼法。1976年白银公司建成44m²白银炉,日处理精矿达400t,经过几年连续生产,证明新的炼铜法熔炼强度大,燃料消耗低,烟气SO₂浓度高,综合利用好等优点,故于1980年下半年,用100m²白银炉取代了210m²反射炉。1991年白银炉进行了富氧自热熔炼工业试验,并取得了成功,白银炉床能率达到33t/m²·日,出炉SO₂浓度提高到17%,铜熔炼回收率达到了97.82%。

为了使白银法从整体技术上赶上当今国际炼铜技术的先进水平,需要进一步强化熔炼,提高生产能力;提高鼓风强度,增加鼓风量,提高富氧浓度;进一步强化炉体的冷却,以此提高炉寿命,提高熔炼强度和炉温;降低渣含铜,提高铜实收率。

山东阳谷祥光铜业有限公司^[4]是我国新建大型现代化有色金属冶炼企业,建设规模年产40万t阴极铜。采用的工艺流程为仓式配料-铜精矿蒸汽干燥-闪速熔炼(余热回收)-闪速熔炼渣选矿-闪速吹炼(余热回收)-永久不锈钢阴极电解-卡尔多炉回收贵金属-烟气动力波洗涤-两转两吸制酸(中温余热回收)工艺。祥光工艺的突出特点是节能、环保、高效,其成功应用标志着我国铜冶炼行业正在走向绿色环保,在带动行业技术进步方面有着重要的意义。

3 铜火法冶炼存在的问题及今后的主要技术发展方向

3.1 国外先进炼铜技术尚需完善

近 20 年来,我国虽引进了国际上一些先进的炼铜新工艺,如闪速熔炼法、艾萨法、澳斯麦特和诺兰达等,但通过多年的实践,这些先进技术尚有不足之处。

3.1.1 双闪速炉熔炼法

投资大,专利费昂贵,铜精矿和熔剂要先进行磨细和深度干燥,需消耗部分能源。熔炉产出的铜铈需要水淬再干燥细磨,工序繁杂。每道工序均难以保证 100% 回收率,总会产生机械损失;热态高温铜铈水淬物理热几乎全部损失,水淬后再干燥,再消耗热能也不尽合理。铜铈水淬需要大量的水冲,增加成本。破碎、干燥要增加人力和动力的消耗,烟尘率高,这些都是多年来该工艺没有得到大量推广的重要原因。

3.1.2 艾萨法和澳斯麦特法

顶吹都要建立高层厂房,噪音大、顶吹的氧枪 12m 长,使用周期短,一般 3~7d 要更换一次,消耗大、劳动条件差、操作不方便。用电炉做贫化炉,电的能耗较高,渣含铜难以降到 0.6% 以下。

3.1.3 三菱法

四个炉子(熔炼炉、贫化电炉、吹炼炉、阳极炉)自流配置,第一道工序的熔炼炉需要配置在较高的楼层位置,建筑成本相对较高,炉渣采用电炉贫化,弃渣含铜量达 0.6%~0.7%,远远高于我国多数大型铜矿开采的矿石平均品位,资源没有得到充分的利用。系统控制非常严格,只要某一个环节出问题就无法正常生产。

3.1.4 诺兰达连续吹炼法

诺兰达连续吹炼法因采用侧吹,需要人工打风眼,劳动强度大,噪音较大,操作条件不好,冶炼环境较差,如果掌握不好容易引起喷炉事故。

3.2 新型铜连续冶炼技术的开发

半个多世纪以来,世界铜冶炼技术发生了重大变化,出现了闪速熔炼、诺兰达、艾萨/澳斯麦特法等优秀的新工艺,但过程还都是分“熔炼-吹炼”2 个阶段,并在 2 个独立的炉子中进行。基本流程是:

铜精矿 → 熔炼 → 冰铜 → 吹炼 → 粗铜

由于过程不连续,造成了流程长、能耗高、投资大等一系列问题。

特别是常用的吹炼设备 PS 转炉,由于它作业的周期性和回转式操作,不可避免的存在以下 3 个问题:

- (1) SO₂ 泄漏,低空污染严重;
- (2) 烟气大幅度波动;
- (3) 设备投资高。

为此,淘汰已有 100 多年历史的 PS 转炉,连续冶炼是铜冶炼近年发展趋势。目前,世界上 Cu-Ni 冶金的主要方法是闪速熔炼和熔池熔炼。闪速熔炼等“空间过程”的优点是充分利用了铜精矿本身具备的巨大比表面积,能够在较低的送风压力下(20kPa),迅速的完成硫和铁的氧化,因此,效率高且节能,最适合用于“造渣过程”。它的缺点是:缺乏最后造铜阶段的良好交互反应条件。而“熔池熔炼”则由于能够为熔融铜硫化物与铜氧化物组成的熔体创造极为良好的交互反应条件,因此最适合用于“造铜过程”。但由于它要求高压风机(200 kPa),因此不宜用于承担大量、长时间的硫和铁氧化“造渣过程”。

基于集成“空间过程”和“熔池过程”优点的思想,创造出一个能“取长补短”的短流程连续冶炼新工艺,是我国铜冶炼企业实现节能减排的必然选择和技术研究方向。

3.3 炉渣的综合回收利用技术

浮选柱技术在浮选领域已逐渐推广,特别适于细粒级的浮选,对提高精矿品位尤显突出。炉渣选矿必须细磨,在粗选和精选作业中,采用了浮选柱,而扫选作业为确保回收率,仍采用浮选机。这样,精矿品位在保证回收率不变的前提下从通常的 Cu24%~25% 提高到 28%。我国大型火法铜冶炼企业,产生大量的冶炼炉渣的堆存对环境带来很大压力,同时未能回收其中的有价元素,造成了资源的浪费。如何将渣中所含有价元素提取回收利用,以及对炉渣提铜尾矿的综合利用,已成为火法铜冶炼企业发展循环经济的主要研究方向。

3.4 铜火法精炼阳极炉工艺完善技术

铜火法精炼设计的精炼阳极炉目前仍采用传统的氧化还原法,因氧化还原是两个相对独立的作业过程,存在作业时间长、生产率低、能耗高、黑烟污染严重等问题。按照节能环保、清洁生产、资源综合利用、循环经济的理念,精炼阳极炉将成为需要完善并

解决的问题。

3.5 钡元素的综合回收技术研究

尽管我国各冶炼企业在火法炼铜过程中对绝大多数有价元素进行了回收,但对钡元素的缺乏综合回收研究,需要进行相关方面的技术研发。

3.6 高砷铜精矿的处理技术

随着矿产资源的日益枯竭,难处理铜精矿特别是高砷铜精矿在火法冶炼技术方面的开发利用研究显得越来越重要,虽然美国的孟山都动力波洗涤技术取得了较好的应用效果,但对砷含量达0.5%的铜精矿,其应用受到一定的限制,为此迫切需要开发适合处理高砷铜精矿的火法冶炼技术。

3.7 冶炼厂含砷废水治理技术

采用动力波洗涤技术减少了砷对制酸工艺的影响,但含砷废水必须进行无害化治理,以符合国家有关标准,实现零排放。

4 结语

综上所述,闪速熔炼技术因具有生产能力大、工艺技术先进、成熟可靠、环保好、自动化程度高、运行费用低、SO₂浓度高等优点,可能成为未来炼铜发展的方向。而诺兰达连续炼铜法具有原料适应性强,能熔炼任何数量的废杂铜和返料,且该法的一个潜

在优势是能够直接生产出铜,而不需要转炉,适用于矿产资源较紧缺、再生资源丰富、工厂面积不大的铜冶炼厂改扩建。

但不管采用何种火法炼铜技术,仍需不断加大高效、节能、低污染的铜冶金工艺的研发力度,目前急需解决的的问题主要有(1)火法冶炼设备的进一步完善;(2)创造出短流程连续冶炼新工艺;(3)废水、废渣的综合回收利用技术;(4)高砷铜精矿处理技术。上面这些技术的开发应用必将推动铜火法冶炼生产和技术的更进一步发展。

REFERENCES

- [1] 北京有色冶金设计研究总院等编. 重有色金属冶炼设计手册·铜镍卷[M]. 北京:冶金工业出版社,1996:1-2.
- [2] 陈国发,等. 重金属冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
- [3] 朱祖泽,贺家齐. 现代铜冶金学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 全国重有色金属冶炼含砷危废处理及资源化综合利用研讨会论文集[C]. 北京:中国有色金属学会重冶金委会,2008:12-20.
- [5] 肖纯. 铜造硫熔炼工艺的选择及发展方向[J]. 铜业工程, 2006,(4):32-35.
- [6] 周松林. 祥光“双闪”铜冶炼工艺及生产实践[J]. 有色金属(冶炼部分),2009,(2):11-15.
- [7] 周松林. 闪速熔炼-清洁高效的炼铜工艺[J]. 中国工程科学,2001,(10):86-89.

(上接第31页)

4 结论

作为目前国内生产规模最大的地下铁矿山,大红山铁矿经过4年的基建施工建设,在昆钢集团、大红山铁矿、监理、施工企业的共同努力下,其主要井巷工程按期于2002年建设完成,井巷优秀率达70%,说明采取的上述井巷工程质量控制措施和方

法是有有效的,对其他地下矿山井巷工程建设具有借鉴意义。

REFERENCES

- [1] 王建群. 强化质量管理,建设现代矿井. 煤炭科技,2008,3.
- [2] GBJ213-90, 矿山井巷工程施工及验收规范.
- [3] YSJ 413-1993, 有色金属矿山井巷工程施工及验收规范(附条文说明).
- [4] YBJ218-89, 冶金矿山井巷工程质量检验评定标准.