

迎接铜工业挑战

——低成本处理硫化铜精矿途径的思考

朱祖泽

(昆明理工大学, 昆明 650093)

[摘要] 对过去10年来铜冶炼的技术进步和铜价格的变化作出的简要回顾指出, 未来铜市场的竞争是取决于冶炼技术的生产成本的竞争。坚持自我研究开发和引进相结合才能保证我国铜工业健康稳定发展, 并能应付国际竞争。评述了现在强氧化—PS转炉吹炼—火法精炼—电解流程的不足; 分析了火湿法联合流程的可能性及依据; 新的火湿法联合流程将有更强的竞争优势。

[关键词] 未来铜工业; 硫化铜精矿; 低成本处理

1 引言

在20世纪结束的时候, 展望未来铜工业的发展, 给铜的冶炼技术改进提出了十分艰巨的任务。未来铜市场的竞争是低成本的竞争, 低成本的竞争就是先进技术的较量。三年前, 西方国家电铜的平均成本为80美分/磅, 但到1998年, 平均降低了6美分, 最低的降到了61美分^[1]。如此大幅度地下降, 一方面是由于现代强氧化熔炼技术的发展, 单位生产率增加, 加工费减少, 强氧化熔炼已经能够使从铜精矿到电铜的加工费减少到15美分/磅; 另一方面是由于从低品位氧化矿生产的铜数量增加, 堆浸—萃取—电积的成本最低到了25美分/磅。必竟, 氧化矿资源是有限的, 未来金属铜的主要原料仍然要依靠硫化矿。硫化矿处理技术的进步基本上决定着铜市场的竞争胜负。20世纪末10年来, 全球铜工业在致力于硫化矿的无污染和低成本工艺的研究与发展上, 取得了比任何时候都大的成就。无论是闪速熔炼或熔池熔炼, 在向高强度、高的硫利用率和尽可能低的加工费等目标努力, 已经获得了商业生产的效益。最典型的例子应该是继美国犹他肯尼可特冶炼厂技术改造采用奥托昆普闪速吹炼后, 澳大利亚奥林匹克丹墨用闪速炉吹炼并直

接生产阳极板。表面看来, 熔融态的冰铜被水碎冷却、磨细和干燥后送入闪速炉是不合常理的。但是, 事实上, 从全厂的综合费用核算发现, 由于富氧连续吹炼, 烟气量减少和稳定, 从而节省了烟气处理和制酸系统的投资与操作费用, 使粗铜的加工费减低了10%~15%^[2]。对硫化矿的湿法处理, 除了继续在研究细菌浸出外, 加拿大(原舍利特) Dynatec公司已为西班牙设计了处理辉铜矿的高压湿法炼铜厂, 声称两三年后, 黄铜矿的高压方法将进入工业试验。在常温常压浸出方法中, 澳大利亚英泰克的盐酸体系试验结果令人鼓舞。

国内的大型炼铜厂中, 有三家已经完成了技术改造, 用闪速炉、诺兰达炉和艾萨炉取代了原来的鼓风炉和反射炉。一家在70年代引进闪速炉的基础上以最新式的单孔中央喷嘴进行改造扩建; 还有一个工厂拟以原有的矿热电炉和引进的艾萨炉配套, 扩大规模。他们都是把提高冰铜品位, 增加单位生产率, 减少运行费用, 提高硫的利用率, 以适应日益严格的环保要求作为出发点, 并取得了一定的或较好的效益; 但从长远来说, 如果没有自己的研究与发展技术储备作为基础, 要具备较强的竞争实力是很困难的。目前, 还有6家仍然在用密闭鼓风炉熔炼的落后方法。国内硫化矿冶炼的加工费都

超过国外平均水平 50% 以上, 生产成本甚至高达 84 美分/磅, 只有当每吨铜价高于人民币 15 400 元时, 才不亏损。专家们对 1999 年 LME 三月期全年平均估价为 1 580 美元/t^[2], 即人民币 13 114 元/t。很明显, 再维持陈旧的工艺, 企业是无法生存的。

我国的铜氧化矿资源非常有限, 与得天独厚的美国和智利不能相比。今后一段较长的时期内, 这些国家的氧化矿堆浸—萃取—电积工艺产出的铜量还会有一定的增长, 生产成本低至 25~35 美分/t。我国目前有希望的大型氧化铜矿为西藏玉龙, 地处交通困难, 地理、气候和社会经济条件相当差的地区, 很难在较短时间内进行大规模的开发。我国今后的铜生产主要依赖于包括进口矿在内的硫化矿处理, 如何寻求低成本的处理途径是一个极其重要的紧迫任务。

2 未来铜冶炼低成本的新途径

2.1 用新工艺进行技术改造的方针

用无污染的生产工艺改造我国的铜工业, 重点和主要目标还在于那些尚未进行技术改造的中小型炼铜厂。

改革开放以来, 引进国外成套技术与装备是技术改造的普遍做法。它显示出见效快、比较稳妥和成功机会大的优点。然而, 需要的资金很大, 超过国内费用的好几倍。尤其在铜价长期低落的情况下, 资金的筹措较困难。前期准备的时间也不算短, 少则一两年, 多的用了三年五载。后期的消化工作也很费时, 甚至拖上一两年才基本正常。引进的技术也未必是最先进和最有竞争力的。因此, 单纯地依靠引进是不适宜的。以科技进步推动企业发展做得好的我国三大资源综合利用基地——金川、攀枝花和包头为例, 应该说, 在很大程度上是有 60、70 年代自己研制与开发的技术储备作为基础。面对未来入关后参与国际竞争的大环境, 以及并非太平的十分复杂的国际政治形势, 一味依赖引进的作法是难以维持我国的铜工业健康稳定的发展的。还应该看到, 我国的铜资源分布广而散, 品位低, 中小厂矿多, 企业负担重, 劳动生产率低, 就业形势严峻, 总不能像国外工厂那样, 较容易地关闭了事。根本解决问题的出路, 应该是努力研究开发适用的新工艺去改造落后的工厂。需要强调的是, 近几年来, 国内的研究与开发, 在困难的条件下, 也

获得了肯定的成绩。如水口山炼铜法, 已经进入了准工业生产的阶段; 金川与俄罗斯合作进行的氧气顶吹自热熔炼工业试验, 在俄方撤走后经过自己的工作取得了完全成功, 以致俄方要派约 30 人来金川实习。但是, 由于种种非技术的原因, 这些成果并未引起足够的重视。如果不坚持自主开发、创新, 急功近利地依赖于引进, 我国铜工业根本就难以应付低成本生产的挑战。

2.2 现代火法流程的评价

现代炼铜的第一步强氧化熔炼, 以它高效节能、加工费低和较完善的二氧化硫烟气利用赢得了在硫化矿处理中的稳固地位。然而纵观火法全流程, 也存在如下的难以克服的缺点:

1) 强氧化熔炼 尤其在生产高品位冰铜时, 高氧势炉渣含铜高, 必须要进行贫化处理。选矿贫化对含铜氧化物高的炉渣效果不好, 多数采用电炉贫化。在电炉贫化时, 每回收 1t 铜的电耗高达 3 670~8 000 kW·h (吨熔渣电耗为 55~120 kW·h), 为闪速炉或熔池炉的 3~10 倍。换言之, 虽然熔炼过程可以实现自热, 但炉渣处理却花去了其 3~10 倍的能耗。

强氧化熔炼炉渣尽管采取了贫化处理, 但回收率不高 (选矿法和电炉法均不超过 86%), 使熔炼回收率最多为 96.5%, 一般为 95%。假如提高 1% 的回收率, 对于年产 20 万 t 的工厂来说, 即增加约 2000 t 的铜量; 同时, 金属回收率的提高还会使资金的占用率减少。总的结果将使加工费减少人民币 150~180 元/t。

2) 吹炼工序 由于转炉的烟气量和二氧化硫浓度呈周期性的变化, 因而使废热锅炉、电收尘和制酸系统的投资与操作费用增加, 闪速吹炼就是对这一缺点作出的改进。但是, 闪速吹炼的多道工序物料准备和复杂的炉子设备也仍然需要较大的费用。间歇性转炉和阳极炉的生产费用约占全流程加工费的 30%~40%。此外, 炉口与烟罩的粘结物、包皮的处理, 炉衬的维护与更换, 以及转炉与前后工序的配合调度等, 远比湿法车间作业复杂。

3) 阳极炉火法精炼 无论是使用反射炉或现代的回转炉以及倾动式炉, 氧化与还原作业的传热和传质过程速度都比熔炼和吹炼慢。从熔融体脱除杂质不如从水溶液那样彻底和方便, 这一直是火法精炼存在的问题。

4) 投资及运行费用高 在火法炼铜中, 需要

高大的厂房、大型吊车、熔体包、车间环境排尘、通风和降温等设施和设备，它们的投资和运行费用是笔不小的数目。如国内某闪速炉熔炼车间，非直接熔炼电耗达到450~500 kW·h/t。

2.3 火湿法联合流程的可行性依据

新的火湿法流程是保留了强氧化熔炼工序，从高位冰铜开始进行湿法处理。熔炼过程已经将全部的脉石分离，多半的铁已进入炉渣，70%~80%的硫制成了硫酸，并把几乎全部的贵金属富集于冰铜，冰铜中的铜铁比由精矿的0.8~1提高到3以上，冰铜的矿物组成已由精矿的黄铜矿改变为容易浸出的辉铜矿。在炉渣中，铜的存在形态也变成容易溶解的氧化物、硫化亚铜。熔炼烟尘中的三氧化二铁为铜的浸溶创造了条件。在技术创新时代，矿物资源利用程度的最大化和废弃物的最小化是必须解决的问题，充分利用有色金属矿中的铁已经提到日程上来了。由于炉渣中的铁呈硅酸盐以及熔融态

的还原动力学条件很差，用火法回收炉渣的铁在经济上比湿法昂贵得多。

3 新的火湿法联合工艺

基于对强氧化熔炼—吹炼—火精炼—电解传统工艺的加工费构成和流程评价，提出了以火湿法联合流程来实现铜生产的低成本。用最佳的湿法工艺接续已存在的强氧化熔炼，从适应市场需求的铜、有价金属、铁和硫产品形式出发，决定湿法流程的衔接。联合流程的方法有：高位低铁冰铜的隔膜电解、常压酸浸等；用浸溶—萃取从炉渣中回收铜，这相当于低品位矿的处理，所产硫酸铜则根据需要并入主系统或产出单独产品。强化熔炼产出的硫酸为湿法过程提供了溶剂，降低了硫酸对市场的依赖性。

表1列出了联合法与传统法的对比。

表1 火湿联合流程的成本估算及与其他方法的对比

比较内容	英泰克氯化浸出	高压浸出	熔炼—吹炼—电解	细菌浸出	火湿联合
处理原料	精矿	精矿	精矿	矿石	精矿→高硫
主要矿物组成	黄铜矿	辉铜矿	黄铜矿	黄铜矿	黄铜矿→辉铜矿
Cu/Fe	0.8~1	0.8~1	0.8~1	0.8~1	0.8~1→3~4
对脉石要求	碱性脉石低	碱性脉石低		碱性脉石低	无
贵金属回收	良好	良好	良好	困难	良好
铁回收	能够		困难	很困难	容易
硫回收形态	元素硫	元素硫	硫酸		硫酸、元素硫
加工费/美分·磅 ⁻¹	8.6	30~40	15~20		12.96
投资/美元·t ⁻¹	1 400	2 000	3 000~4 000		2 485

* 表中除联合法的估算外，数据均来自于文献[3]；

** 联合法的估算是以从精矿到电铜总的加工费和投资费中熔炼工序所占的比例及湿费用为参考估计出的

初步估计火湿联合流程的加工费约13美分/磅铜。这样，综合成本能达到73~74美分/磅铜以下。即使铜价降到人民币14 000元/t（美元对人民币汇率取1:8.3），也略有盈利，经得住市场的跌落，可基本改变我国铜企业长期以来只有依靠市场价格高升才能有效益的状况。

4 结论

未来我国铜工业的发展，应该坚持引进与自我研究与开发相结合的方针。不能亦步亦趋地跟踪国

外技术进展，要有适合我国的技术改造方向和途径。对冶炼技术进步的思考不仅仅是局限于单工序环节，而应该全方位地审视每一个可以努力的局部。基于对传统流程的加工费分析，提出了火湿联合流程，将具有更强竞争力的优势。

参考文献

- [1] Newman C J. Kennecot Utah Copper Smelter Modernization [M], 1996
- [2] 王中奎. 有色金属工业, 1999, (2)
- [3] 吴利生. 有色冶炼, 1999, 28 (2)

Meeting Future Challenge in Copper Industry ——Considerations on Treatment of Copper Sulfide Concentrate at Low Cost

Zhu Zuze

(*Kunming University of Science & Technology, Kunming 650093, China*)

[**Abstract**] A brief review of the advance of copper smelting technology and the price fluctuations of copper products indicate that the competition of copper market depends upon the production cost relying on metallurgy technology. In order to ensure the smooth development of the copper industry in China and win competition in the world, we must persist in domestic r & D and incorporation with foreign technology for copper smelting. This paper commentes on the deficiencies of intensified oxidizing-PS convetring-pyrorefining-electrolysis processes and analyzes the feasibility and basises of combined pyrometallurgical and hydrometallurgical method. The new combined process route will be more advantageous in future competition.

[**Key words**] Copper industry; copper sulfide concentrate; low cost

我国大洋多金属结核矿海上 加工研究处于国际领先水平

大洋深海海底金属矿床是地球上尚未开发利用的最大金属矿床之一，其最具开发利用前景的是多金属结核矿，可供开采的量高达 2×10^{10} t 左右，其中含 Mn 63×10^8 t, Ni 2.9×10^8 t, Co 6×10^7 t, 是一种多金属的复杂氧化矿石，难于用现有的选矿工艺富集。

由于我国属深海采矿先驱投资者之一，取得了北太平洋 C-C 区 15×10^4 km² 的开采权，并自 1983 年以来开展了大量的有关调研。为探索多金属结核矿石海上就地冶炼加工的可行性，中国大洋协会委托北京矿冶

研究总院和长沙矿冶研究院进行研究，并于 1999 年取得阶段性研究成果。

上述两个单位开展了年处理干结核矿 100 万 t 和回收 Ni、Co、Cu、Mn 的海上加工工艺流程研究。根据对工艺流程、设备、环保及产品成本的大量研究结果表明，大洋多金属结核的冶炼作业以部分在海上、部分在陆地的方案较为经济、可行。该课题研究富于前瞻性和创新性，使我国大洋多金属结核矿就地加工的研究处于国际领先水平。

(辛泰阮)