

应用先进技术改造传统炼铜产业

孔繁义

(云南铜业股份有限公司, 昆明 650102)

[摘要] 云南冶炼厂(云南铜业股份有限公司)是20世纪60年代初建成的铜精矿电炉熔炼企业。投产以来,存在着能源消耗大,SO₂利用率低,环境污染较严重,生产成本高等问题;近20年来,通过持续不断地技术改造和技术创新,特别是采用先进的富氧顶吹熔池熔炼技术取代电炉熔炼工艺,将使传统的炼铜产业获得迅速的提升。预计到2002年,不但在生产规模上成为全国三大铜生产企业之一,而且三废排放将完全达标,实现清洁生产,粗铜电耗可望由2314 kW·h/t降至1542 kW·h/t,生产成本会有明显下降,总体实力可进入世界铜工业20强之列。

[关键词] 铜工业;电炉熔炼;技术改造;富氧顶吹熔池熔炼

云南铜业股份有限公司是原云南冶炼厂的生产主体部分改制上市新成立的股份制公司,系云南省的高新技术企业之一。2000年,公司电铜产量为 15×10^4 t,是我国目前三大铜生产企业之一。

云南冶炼厂是以铜精矿矿热电炉熔炼为主工艺的炼铜厂,于1960年10月建成投产(产出冰铜)。1964年生产出粗铜,1967年生产出电解铜。由于历史条件的限制,造成云冶国家基建费用投入少,工艺技术落后,产品成本高,能源消耗大,三废污染严重。投产22年后,电铜年产量仅为 5×10^4 t,仍未达到工厂原设计 6×10^4 t的水平。

改革开放以来,认真贯彻落实邓小平“科学技术是第一生产力”的指示精神,把科学技术进步作为公司生存和发展的必由之路。加大技术改造步伐,应用先进技术改造传统炼铜产业,开创了科技兴厂、生产技术迅速进步的新局面,彻底改变了公司的落后面貌。

1 采用先进技术改造传统炼铜产业

从1980年到1999年底,云铜股份公司走自我生存自我发展的道路,全部使用自筹资金,采用先

进技术进行改造,先后完成了技改项目230项。其中, 100×10^4 元以上的重点技改项目有50项。重中之重是对公司的炼铜工艺及设备进行有计划的大规模技术改造,并有以下几个特点:

1.1 自筹技改资金

从1960年建厂到1979年,国家的基本建设投资为 1.3737×10^8 元。1980年以后,国家停止对公司基本建设的投入,公司的技改资金全部为自筹,自筹的更新改造资金比例达83.63%。目前,全国铜行业“三强”即江西铜业公司、铜陵有色金属公司和云铜股份公司中,云铜股份公司自筹资金比例最高^[1]。

1.2 采用新工艺,突出治理环境污染

公司在对传统炼铜产业进行改造过程中,不是单纯在原工艺和设备基础上增容和扩大产能,而是特别重视采用新工艺、新技术,以信息技术提升和改造传统炼铜产业,有力地促进了全公司的科学技术进步,大大加快了对传统产业的改造步伐,从而取得较好的技术经济效果。

炼铜产业对环境的污染既是公害,又是一个必须解决的重大课题。因此,在技改工作中,以治理

环境污染为重点目标。在1980—1999年的技改工作中,我们共投入 3.39×10^8 元资金治理污染(占同期技改投资的48.3%),完成了以治理烟气和废水为主要内容的40多项重点环保项目。目前,公司的环境污染状况已有很大改观。

1.3 实施步骤

在对炼铜工艺和流程的具体改造中,采用“先易后难”的原则实施。1980—1990年,重点对备料工序和电解工序进行工艺和设备改造,实施“外围先行”;1990—1996年,对吹炼和火法精炼系统进行改造,达到“重点突破”;1997年开始,对电炉熔炼工艺进行彻底改造,进入“核心攻坚”,从而达到用先进的适用技术改造传统炼铜产业的最终目标。

2 已取得的主要技术改造成果

云铜股份公司的铜生产流程为制粒—干燥—电炉熔炼—转炉吹炼—反射炉精炼—电解精炼。电炉熔炼是核心工序,在公司的电解铜生产工艺中具有举足轻重的作用。而其它工序各具特色。从1980年到1999年,公司对炼铜系统投入了大量的财力和物力,实施了150多项工艺和设备改造,主要项目有:

2.1 采用鼓风烧结新工艺

1960—1964年,公司采用 $2.2 \text{ m} \times 18 \text{ m}$ 的顺流式回转窑干燥铜精矿,产出干粉矿供电炉熔炼,工艺很落后。1964年起,采用 18 m^2 的吸风式烧结机生产粒料(同时配置2台 $\phi 3.2 \text{ m}$ 的制粒机),生产情况显著好转,各项技术经济指标明显提高。1970年,新建1台 53 m^2 的吸风烧结机,干燥工艺日趋完善,干燥工序及电炉熔炼的各项技术经济指标进一步提高。

1980年以后, 53 m^2 吸风烧结工艺逐渐暴露出一些生产和技术问题,主要是:

烟气量大($25 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 左右),烟气中 SO_2 浓度低(0.3%~0.8%),由此造成排烟系统漏风量大,大量低浓度烟气的无组织排放,严重地污染了环境,也对职工的身体健康造成损害;

有20%左右的S被脱除,由于烟气浓度低不能制酸,只有经过电收尘器后由120 m高的烟囱排入大气,对大气的污染逐年加重,并制约了硫利用率的提高。每年少产硫酸数万吨,既浪费了硫资源,也使公司经济效益受到影响;

由于烟气量大,有一部份烟气不能进入收尘器,加上电收尘器设备不很完善,电收尘效率低(1985年仅为90.92%),造成铜的工序直收率低(1985年为96.27%);

烧结机的单位热量消耗高,煤耗量大,烧结过程中产生的化学反应热得不到有效利用,吨干料耗标煤28.45 kg。

基于以上情况,改造吸风烧结工艺势在必行。通过论证和比较,确定采用鼓风烧结新工艺。

鼓风烧结在国内外炼铜产业中未见采用。由于公司对此新工艺进行了充分的论证,并做到精心组织、精心设计、精心施工,在新建的 70 m^2 鼓风烧结机于1991年投产后获得成功,并达到如下的预期目标:

a. 原工序的硫损失率(排入大气)为20%左右,采用新工艺后已降至5.48%,烟气对环境的污染大大减轻,并有效杜绝了烟气的低空无组织排放,对职工身体的危害显著减轻。

b. 烟气量大幅度减少至 $5 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$,烟气 SO_2 浓度达到2%~2.5%,与电炉或转炉烟气混合后可以制酸,为对硫的利用率从1985年的51.81%提高到2000年的86.10%创造了有利条件。

c. 经核算,2000年此工序烟气生产的硫酸约 $4.5 \times 10^4 \text{ t}$,增加销售收入达 1400×10^4 元左右,利润约 350×10^4 元。

d. 由于烧结过程产生的化学反应热能利用较充分,在烧结温度和脱硫率变化不大的情况下,干燥每吨精矿耗标煤由1985年的28.45 kg,降至5 kg(2000年),年节标煤近万吨。

2.2 电炉变压器的技术改造

针对电炉生产中电耗高,冰铜产量低,炉底过热,放铜后堵眼困难等情况,公司组织冶炼和电气专业的科技人员联合攻关。大量的数据表明,由于电炉的工作电压太低,不能适应所熔炼的高电阻炉料。经对电炉变压器的改造,使工作端的电压升高了1倍,从而为熔炼每吨干燥炉料的电耗由20世纪60年代初的 $700 \sim 800 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 降到目前的 $430 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 奠定了基础。

2.3 电炉电极密封装置的研制与应用

由于电极与炉顶电极孔之间有一圆环间隙,当炉内气压呈正压时就会从该处往外冒烟气,恶化工作环境和工人健康;炉内气体为负压时又使冷空气

漏入炉内，增大了烟气量，增加了收尘和排烟负担，并造成 SO_2 浓度降低不能制酸。我们组织科技人员对此开展技术改造，研制成功电极密封装置，使电炉烟气既不往外泄冒，冷空气也不漏至炉内，烟气量减少一半以上， SO_2 浓度由原来 2% 提高到目前的 5% 左右，并能顺利制酸，取得了重大的经济效益和环保效益，获得了部级科技进步二等奖。

2.4 同位素技术的运用

90 年代，采用同位素技术对电炉炉墙进行监测，生产过程中用灵敏的小型仪器监测同位素的衰变情况，可随时掌握炉墙镁砖的侵蚀程度，有利于科学地安排电炉的停炉检修时间，保证了电炉生产的均衡、协调和安全，延长了炉寿，减少了耐火材料的使用量和单耗。

2.5 转炉的富氧吹炼新工艺

铜转炉的富氧吹炼具有炉时短，生产能力高，处理冷料量大及烟气量少， SO_2 浓度高，有利于采用双转双吸工艺制酸等优点。1995 年，公司投资近 5000×10^4 元，建成一座 $6\,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 的制氧站，在 4 座 60 t 的大型转炉上实现了含氧 25% 左右的富氧吹炼，转炉的各项技术经济指标得到了明显提高。

2.6 转炉安装自行设计的汽化烟罩

公司转炉原来用的是水套烟罩，水的用量和浪费都很大，而且烟罩容易被烟气腐蚀损坏，影响转炉的正常生产。后将水套烟罩改为汽化烟罩，回收烟气余热生产蒸汽。经过不断改型和完善，自行设计的汽化烟罩取得了结构科学合理，寿命长，安全可靠，使用效果好的成效。计量仪表显示，2000 年共回收余热 45 907 GJ，烟气余热回收率达到 30%，从而使吹炼工序的热效率达到 62.16%，高于有色金属行业制定的特等转炉工序热效率 55% 的行业标准。

2.7 精炼反射炉采用木炭粉还原

由于云南省的实际情况，铜的火法精炼难以采用重油还原，只能因地制宜地选择合适的还原剂。曾用插木还原，木材消耗量大，成本高，费时间，并且还原也不彻底。经过不断地摸索和实践，改用药剂车间生产二硫化碳用剩的碎木炭磨细后吹入铜液进行还原，还原反应速度快，节省了时间，提高了炉子的生产能力，减轻了劳动强度，成本也大大下降，并能可靠保证阳极铜质量；目前已试验成功

了以煤为基的冶金用炭粉代替以木材为原料的木炭粉，有望较大幅度地减少木材消耗。此项新的还原工艺，在国内属于首创。

2.8 火法精炼推行浅氧化工艺

在总结多年生产实践的基础上，提出了铜的火法精炼浅氧化理论。其主要论点是：

a. 在不加熔剂造渣时，铜的火法精炼主要是脱除少量的硫，其它杂质在氧化时除去甚少。

b. 在氧化阶段不必使熔体达到氧化亚铜的饱和状态，应全面考虑热力学和动力学因素，结合生产条件和实际需要，控制合理的含氧量（云铜股份公司火法精炼氧化结束时铜液含氧量控制在 0.3% ~ 0.5% 为宜）。

c. 多年来有关铜精炼的理论认为，还原作业前必须将硫彻底脱除，否则 SO_2 将产生还原硫化反应，生成硫化亚铜沾污铜液。多年的生产实践证明，这个论点是不全面的。因为，还原作业前期 SO_2 被还原的可能性极小，只要氧化结束时铜液中含硫在 0.008% 以下，通过还原就可降至 0.0025% ~ 0.0045%，低于阳极铜含硫质量标准（含硫 0.01%）。

d. 为避免精炼反射炉吹风氧化脱硫时的烧粉煤过程，减轻还原作业负担，上一工序的转炉吹炼以获得中泡铜为宜（即含氧 0.2% ~ 0.3%）。

精炼工序采用浅氧化作业，在保证阳极铜质量合格的前提下，操作炉时大为缩短，生产效率迅速提高，并节约了大量的能源。

2.9 精炼反射炉的节能技术改造

精炼反射炉设计时是以劣质煤为燃料的，投产后有相当长时间生产状况很差，并造成全厂生产上的极大被动。主要表现为炉时长，炉床生产能力低，冶炼直收率及炉子热效率低，能耗高，生产环境恶劣。

为了改善精炼作业，对精炼反射炉进行了一系列的技术改造：炉子容量与结构的改造；水平烟道的改造；用本厂浇铸的铜模代替外购钢模；改明口出铜为暗口出铜；改造粉煤喷嘴的结构和燃烧角度；提高炉子的浇铸系统机械化水平；完善计量仪器 and 仪表等。

通过改造，加上本公司设计的汽化烟道及浅氧化工艺的成功应用，使公司的炉子热效率由 23% 左右提高到 38.58%，超过有色金属行业制定的 35% 的特等炉窑标准；工序系统总热利用率达到

51.84%，单位热耗为 1.90×10^6 kJ/t，也低于一级热耗的 2.0×10^6 kJ/t 行业标准。2000年，精炼反射炉标煤耗为 40 kg/t，单位产品工艺能耗（扣除余热回收量后）仅为 30 kg/t，均低于日本、美国和加拿大烧重油炉子的能耗水平。

2.10 电解液净化新工艺

原电解液净化一直采用传统的流程，即电解液加铜料中和—结晶生产硫酸铜—母液脱砷、铈电解—电解后液直火浓缩生产硫酸镍—黑酸返回铜电解系统，工艺落后，达不到有效脱除杂质的目的。经工艺改造，取消中和工序，直接用电解液产出合格的硫酸铜；采用连续电解脱砷、铈方式，使脱砷效率由 $0.06 \text{ g/A}\cdot\text{h}$ 提高 1 倍多，并有效地抑制了剧毒气体 H_3As 的产生；采用冷冻结晶硫酸镍的新工艺代替直火浓缩，强化了结晶过程；净化处理后的返回液经过板框压滤机过滤，然后再进入电解液循环系统，保证了电解铜质量的稳定提高。

2.11 电解生产实现电脑监控和系统信息管理

由于采用了信息技术使铜电解生产的各主要参数，如电解液成分、温度、循环量、蒸汽压力、蒸汽量、电流密度、极距等处于最佳的工艺条件之下；同时实现了铜电解始极片加工半自动化技术。

2.12 铜阳极泥新工艺的开发

处理铜阳极泥是铜冶炼工艺不可缺少的重要环节。我公司当时采用的是传统工艺。这一传统工艺流程有很多缺陷：流程长，稀贵金属回收率低，成本高，物料消耗高，流程中有大量有害气体产生，劳动条件差，硒、碲、铂、钯等伴生稀贵金属综合回收和利用率低。后来，我们与昆明贵金属研究所联合，共同研究和开发了国内首创的铜阳极泥选冶联合流程（图1），成功地用于生产并先后获省部级科技进步一等奖 1 项，三等奖 2 项。

2.13 炼铜全流程各工序 DCS 系统的开拓与应用

在应用自动化技术、计算机技术、光电子技术和信息技术改造传统炼铜工艺方面取，初步实现了主要炼铜工序的 DCS 系统，加快了用高新技术改造传统产业的步伐。

3 技术改造后的效果

多年来，通过持续不断地技术改造和创新，使公司的主要产品产量稳定增长（表1）。

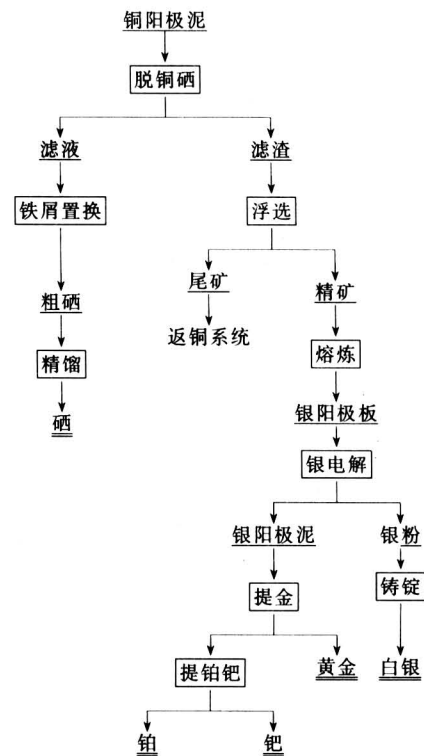


图1 铜阳极泥选冶联合流程

Fig. 1 Flowsheet for the treatment of copper anode slime

表1 主要产品产量增长情况表

Table 1 The growth of the output of major products

项目	1978年	1990年	1995年	2000年	2000年比1978年增长
电解铜 / 10^4 t	3.14	7.015 2	9.012 3	15.000 6	3.78 倍
硫酸* / 10^4 t	3.34	12.641 5	15.153	30.478 7	8.125 倍
铜线杆 / 10^4 t	无	1.500 7	3.019 3	4.730 8	—
黄金 / kg	21	1 705.935 1	637.4	2 601.98	122.9 倍
白银 / t	7.09	66.541	77.096	152.606	20.52 倍

* 折合成 100% 计

3.1 产品质量居国内先进水平

3.1.1 电解铜 铜含量大于 99.95%，Pb、Zn、As、S、Fe、Ni、Bi、Sb 等 18 个杂质元素总含量在 $(28 \sim 35) \times 10^{-6}$ ，低于伦敦金属交易所高纯阴极铜杂质含量控制在 65×10^{-6} 的标准，1998年3月已完成伦敦金属交易所的注册工作。曾先后获得 2 次部优、3 次省优产品称号，获国家银质奖，1993 年评为全国用户满意产品，1994 年评为“中国名牌产品”称号，在国内市场上很畅销。

3.1.2 黄金与白银 黄金的金含量达到

99.99%以上，先后3次获省优产品称号和部优产品荣誉；白银的银含量也超过99.99%，3次获省优，2次获部优。

3.1.3 铜线杆和硫酸 也是部优及省优产品，在市场上也很畅销。全公司优质品产值率为98.5%以上。公司在1994年被评为全国质量效益型先进企业，1997年荣获52家全国用户满意企业之一，也是中国有色总公司中唯一获此殊荣的企业。

3.2 大大减轻了环境污染

近20年来，共投入 3.39×10^8 元进行环境治理，重点放在烟气和废水的治理方面，实现了40多项重大的环保技改项目，取得了突出的成绩：

2000年全公司所产的 30.4787×10^4 t硫酸，全部是回收冶炼烟气中的 SO_2 生产出来的，全年硫的总利用率达到86.1%，增加工业总产值约 1×10^8 元，利润约 2500×10^4 元，也大大减轻了烟气对环境造成的污染。

公司2000年电解铜产量比1985年增加了1.5倍，但废水外排量仅为1985年的40%，而且所排的废水全部经过处理，水质符合《污水综合排放标准》二级新扩建标准：pH 6~9，Cu 1 mg/L，As 0.5 mg/L，F 15 mg/L，Cd 0.1 mg/L，Pb 1 mg/L，Zn 5 mg/L，是1999年云南省为“昆明世博园”开幕而开展的保护滇池“零点行动”中首批环保符合要求的大型企业之一，也是2000年底云南省环境保护达标并且合格的企业之一。

投资 1275×10^4 元，于1993年底完成了废水达标截流工程，把处理合格的工业废水通过长达33.1 km的管道，排至滇池水系外的螳螂川，成为昆明地区首家对滇池无污染的大型企业。

近几年来，每年有 $(13 \sim 15) \times 10^4$ t的电炉渣用于水泥和建筑行业，占电炉渣总量的60%以上。这既减少了电炉渣堆放占用场地，又给公司增加了经济效益。

3.2 经济效益显著提高

1999年公司的人均利税等经济效益指标名列国内同行业前茅（表2）。

3.4 成为云南省的高新技术企业

由于公司在应用先进技术改造传统炼铜产业领域取得的显著成绩，1997年11月17日顺利通过了云南省科委“高新技术企业”的认定，享受国家“免二减三”的优惠税收政策。1998—2000年共获得减免 1.1×10^8 元的所得税优惠。

表2 经济增长情况^[1]

Table 2 The growth of economic results

项目	1978年	1990年	1995年	2000年	2000年比1978年增长
销售收入/ 10^4 元	18 600	78 393	170 040	253 747	12.64倍
利税总额/ 10^4 元	1 661	12 746	19 022	24 749	13.90倍
人均利税/ 10^4 元·(人·年) ⁻¹	0.523	2.964	5.41	8.99	16.19倍
劳动生产率/ 10^4 元·(人·年) ⁻¹	5.885 8	18.231	31.48	91.24	14.5倍

4 正在实施的技术改造

最近几年，公司的技术改造工作已进入攻坚阶段，即采用当前世界上最先进的冶炼工艺之一（富氧顶吹熔池熔炼工艺）取代电炉熔炼工艺，并完成相应的配套改造工程，使公司的生产工艺和技术装备赶上世界先进水平。

淘汰电炉生产工艺已势在必行，原因如下：

4.1 铜精矿和炉渣成分有了变化

本公司是我国大型铜冶炼企业中唯一采用电炉流程熔炼冰铜的冶炼企业。这是基于在工厂设计阶段，云南省的铜精矿含CaO、MgO分别高达17.1%及9.8%，属于特殊的难熔白云石类铜矿，熔炼产出的炉渣CaO + MgO含量高达37%。因此，唯一的只能采用矿热电炉来熔炼。

近20年，精矿的难熔成分大幅度下降，CaO + MgO总量仅为设计时的1/5，而Fe、S、Cu等成分却显著上升，Fe、S为设计数据的4倍左右。

由于铜精矿成分的变化，电炉渣成分也发生了相应的变化（表3）。原料和熔炼炉渣成分的巨大变化，为择高效、节能的先进工艺取代现有的电炉冶炼流程具备了客观的基本条件。

4.2 电炉冶炼对环境的污染较为严重

电炉冶炼工艺流程长，精矿中硫的脱除较为分散，技术上烧结工序低硫烟气的完全利用很困难，难以有效控制和治理 SO_2 烟气对环境的污染。另外，工作场所的粉尘含量也较高，劳动条件差。采用先进冶炼工艺，硫可以集中在一个主要的冶金炉内脱除，流程缩短， SO_2 的泄漏将会降低，总利用率能达到95%以上。这既可以利用硫资源多生产

硫酸,又能减少 SO₂ 和粉尘对环境的污染,从而达到越来越严格的环保要求。

表3 电炉熔炼的炉渣组成变化情况

Table 3 Composition variation of electric furnace smelting slag

成分 / %	Cu	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaO + MgO
设计数据	0.50	35.00	15.00	23.50	13.50	5.50	37.00
1962年	0.52	41.20	17.97	22.69	14.31	6.91	37.00
1970年	0.40	38.62	26.46	12.70	6.59	5.24	19.29
1980年	0.39	39.04	33.42	8.95	7.11	5.66	16.06
1985年	0.36	38.92	40.24	6.11	4.03	4.80	10.14
1990年	0.40	39.47	38.77	4.84	3.44	4.31	8.28
1995年	0.42	38.99	40.25	4.96	2.83	4.19	7.79

4.3 不能充分地利用熔炼时的反应热

本公司铜冶炼系统外供热量仅占冶炼过程所需总热量的 52.58%,其余 47.42% 的热量靠化学反应提供。因此,如何科学而又充分地利用冶炼过程中产生的化学反应热是减少能源消耗的重要方向。

矿热电炉不适宜熔炼潮料,因此干燥烧结工序必不可少。烧结工序热平衡测试数据表明,每烧结 1 t 干燥料需耗热 1.99×10^6 kJ,但有 60% 的热量靠化学反应热供给,只有 40% 靠煤的燃烧提供。如果采用一种新的先进冶炼工艺,使其烧结与熔炼在一个冶金炉内完成,就可以有效利用化学反应热,降低冶炼过程外供能源消耗。

炉料干燥烧结后平均温度为 680℃,用几条刮板机送至 130 m 以远的电炉时,温度降至 180℃ 左右,大部分的物理热白白损失,也增大了电炉的电耗(相当于每吨料增加 110 kW·h 电耗量)。

矿热电炉熔炼 1 t 干燥炉料所需的总热量为 $(3.1 \sim 3.3) \times 10^6$ kJ。如果化学反应热能被有效利用,熔炼所需的电耗则低。1987 年电炉炉料电耗为 397 kW·h/t,经热平衡测试计算,电能供热占 45.71%,化学反应热占 28%,转炉渣显热等占 26.29%,为历史最好水平。最近,电炉炉料电耗逐年增加,1998 年为 423 kW·h/t,1999 年为 446 kW·h/t,2000 年升至 468 kW·h/t,说明近几年电炉熔炼化学反应热未被较好地充分利用。1999 年公司的单位粗铜电耗为 2 044 kW·h/t,高出国内平均电耗的 1 倍以上(国内平均为 982.83 kW·h/t)。由此可见,电炉熔炼实际上已成为能耗高,能源浪费大的落后工艺。

烧结和电炉均不适宜安装余热回收装置,大量的烟气余热无法有效利用。

4.4 电炉熔炼成本高,经济效益差

电费在主导产品电解铜的生产成本中占电解铜加工费的 60% 左右,由于这一因素的制约,导致公司每吨电解铜的成本比国内大多数企业高,从而大大影响了公司的经济效益。

用电作炼铜能源经济上极不合算。按目前云南省的实际情况,电价为 0.35 元/kW·h,煤及加工至粉煤的总费用为 250 元/t,要得到 1 GJ 的外供热量,电费需 97.3 元,而煤费只需 10 元。由此可见,改用煤作为新的冶金炉燃料已迫在眉睫。

由于投产 40 年各方面的客观情况发生变化,电炉工艺已不能适应目前和今后生产发展和经济效益的需要,并且随着时间的推移和各种客观因素的进一步变化,电炉必将成为公司生存和发展的巨大包袱。基于这样的认识,我们下决心对电炉工艺进行改造,寻找技术先进、高效率、高冶炼强度、节约能源、环境保护好和经济效益佳的新冶炼工艺来取代现有的电炉生产流程。

4.5 选择新工艺的原则

必须是当前世界上最为先进的冶炼工艺,而且技术要成熟,要有国内外大型炼铜企业在生产上的成功实践;

必须能很好地解决环保问题,改造成功后要确保公司硫的捕集率在 96% 以上;

能源消耗应达到目前的国际先进水平,结合云南省实际,燃料应以煤为主;

应该是装备先进,机械化、自动化程度高,技术经济指标先进和劳动生产率高的强化冶炼工艺;

为减少投资和取得最好的经济效益,新工艺要最大可能地利用公司现有的厂房和主要设备,不影响或尽可能少影响生产的继续进行。

4.6 新工艺的确定

除传统的炼铜工艺外,目前国内外新的炼铜工艺主要有熔池熔炼和闪速熔炼两大类。

通过对当前世界上 11 种炼铜新工艺的分析比较,初选出富氧顶吹熔池熔炼、诺兰达法和闪速熔炼 3 种作为比选新工艺。

根据这 3 种新工艺的主要特点和主要技术指标等 47 项具体参数进行分析和对比,又进行了多个经济指标的计算和分析对比,并组成专家组赴澳大利亚芒特艾萨冶炼厂和美国塞浦路斯炼铜厂进行

实地考察。最后，确定采用富氧顶吹熔池熔炼的艾萨工艺，作为取代电炉熔炼的最佳方案。

富氧顶吹熔池熔炼法系顶吹浸没喷枪熔炼，由澳大利亚芒特艾萨控股有限公司（MIM）和奥斯麦特公司（Ausmelt）开发，技术专利也由这2家公司持有。1992年澳大利亚芒特艾萨冶炼厂和美国迈阿密塞普路斯炼铜厂2座年产 18×10^4 t的艾萨炉成功地投入生产，1996年和1997年，又有印度的斯特莱特冶炼厂和比利时的霍波肯冶炼厂相继投产。

富氧顶吹熔池熔炼的工艺流程为：铜精矿、熔剂与碎煤经制粒后（含水分9%左右）从炉顶加入，富氧空气通过顶部插入的浸没式喷枪喷入熔池。为了便于控制工艺过程温度，也通过喷枪送入一定量的重油或天然气。烟气经冷却烟道、余热锅炉降温后进入电收尘器。含 SO_2 烟气除尘后送硫酸厂。富氧顶吹熔池熔炼产出的炉渣和冰铜流入沉降分离炉。分离后冰铜送转炉吹炼，炉渣水碎后送到渣场丢弃。富氧顶吹熔池熔炼法的主要优点是：

熔炼炉结构简单，体积小，投资费用较低；

炉体上不设风口结构，靠顶部插入的喷枪供风，喷枪能更换，操作方便；

对炉料要求不严，炉料含水分可高达9%，对粒度要求也不高，可加入一部分碎煤作为燃料；

富氧浓度可在一定范围内调整，提高富氧浓度时可使产量增加；

公司用1台电炉稍加改造便可用作熔池熔炼炉的沉淀贫化炉，在现有的电炉附近可以配置富氧顶吹熔池熔炼炉和余热锅炉、电收尘器等设施，改造工作量较小；

炉子密封好，烟气量较小， SO_2 浓度较高，混入贫化电炉等低浓度烟气后仍可采用两转两吸制酸工艺，使硫的利用率达到95%，制酸尾气也完全可以达到国家规定的排放标准；

由于烟量少，漏风量也少，比诺兰达炉约少 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ ，将现有三套制酸系统作适当改造即可处理全公司的制酸烟气，不必再新建制酸设施。

当然，富氧顶吹熔池熔炼法与其它新工艺比较，某些方面也有不足之处。如与奥托昆普闪速炉相比，炉龄一般只有12个月左右，而闪速炉可达到几年；富氧顶吹熔池熔炼目前使用富氧浓度在50%以下（争取下一步到60%），而闪速炉革新

工艺可以使用更高的富氧浓度，以减少辅助燃料消耗；若使用富氧顶吹熔池熔炼炉，计算需要加入碎煤33 280 t/a，占铜精矿量的5.63%，这样多的碎煤加入炉子是否能适应，需要验证；必要时需要补加少量重油作调节炉温之用，以保证顺利生产。

4.7 改造的主要内容

以富氧顶吹熔池熔炼（艾萨炉）取代电炉熔炼为核心的技改方案经国家批准后，目前正进入紧张的实施过程中。

公司的铜冶炼系统环境保护与节能降耗技术改造工程以改善环保、节约能源、降低成本、提高经济效益为目的。项目的主要内容为：

新建一座内径4.4 m、高13.0 m，以煤为燃料的艾萨炉，取代现有的 3.6×10^4 kVA的1号矿热电炉，直接熔炼含水9%的铜精矿，富氧空气含 O_2 48%左右；

将原有的2号电炉（ 3×10^4 kVA）进行改造，供艾萨炉产出的融熔体沉清分离及炉渣贫化之用，并产出60%含铜冰铜；

在艾萨炉炉顶安装余热锅炉，生产蒸汽供铜电解工序使用；

新建一座 $1.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 的制氧站，供艾萨炉熔炼用氧需要；

对吹炼转炉进行相应改造，将现有的4台 $3.66 \text{ m} \times 8.10 \text{ m}$ （60 t）转炉改造为 $4.0 \text{ m} \times 11.7 \text{ m}$ （100 t），并开发转炉吹炼DCS系统，使转炉操作标准化；

将现有的3台150 t固定式火法精炼反射炉改造为 $4.57 \text{ m} \times 10.668 \text{ m}$ 的回转式精炼炉（350 t），仍以粉煤为燃料，木炭粉为还原剂；

为适应艾萨炉产出烟气 SO_2 为9%的制酸，将现有的硫酸Ⅲ系列相应改造为两转两吸工艺，增加硫酸的产量，减少大气污染；

其它辅助系统的配套改造。

这些改造项目的设计主要由北京有色冶金设计研究总院、南昌有色冶金设计研究院、昆明有色冶金设计研究院和本公司的设计研究中心分别承担。全部改造计划于2002年底完成。其中，核心部分（艾萨炉及配套的2号电炉、余热锅炉等）可望在2001年下半年竣工，争取从明年起正式取代1号电炉承担生产任务。

此项国家重点技改工程总投资约为 7×10^8 元，全部由我公司自筹解决。

4.8 改造后的预期效果

待2002年底技改工程完工后,可以实现以下的预期目标。

a. 充分利用了现有的厂房及其它设施,且工艺简化,粗铜生产能力有所提高,达到 12.5×10^4 t/a;硫酸产能增加,达到 40×10^4 t/a。

b. 改造后废渣和废水全部达标排放,烟气得到充分利用,硫捕集率达到96%以上,排放尾气粉尘量低于 960 mg/m^3 ,生产水的重复利用率为90%,从而实现公司三废完全达标排放,取得新的环保效益和社会效益。

c. 改造后粗铜工艺能耗(标煤)由 934 kg/t 降至 653 kg/t ;粗铜电耗可由 $2314 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 降到 $1542 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$,电耗的大幅度下降为公司持续发展创造了有利条件。

d. 改造后以煤代电作为燃料,降低了电解铜的生产成本,增加了公司的经济效益。

e. 由于艾萨炉有效地回收了烟气余热生产蒸汽,再加上改造后的吹炼转炉和回转式精炼炉的余热回收设备,所产出的蒸汽完全可满足全公司铜电解、其它生产和生活用汽,可以停止使用现有2台 10 t/h 的燃煤生产锅炉和2台 2 t/h 的生活锅炉,能源节约更加显著。

f. 由于在改造中大量采用目前最新的高新技

术(自动控制技术、计算机技术等)和引进国外先进的装备和仪表、仪器,炼铜工艺的自动化和机械化水平将会得到很大的提高。

g. 由于采用强化冶炼新工艺,劳动生产率显著提高,加之改造后增产不增人,生产成本明显下降,公司有望取得更好的经济效益。

5 结语

近20年,虽然我们锲而不舍并持之以恒地抓了适用先进技术改造传统炼铜产业的工作,取得了显著的成绩,但与国外先进的炼铜大公司仍有许多差距。因此,我们只有在今后的工作中加大技改力度,增加资金投入,抓紧技术创新,利用西部大开发的有利机遇,加快发展步伐。

按照公司的“十五”发展计划,在2005年,力争电解铜产量达到 25×10^4 t,硫酸产量为 55×10^4 t,铜的深加工产品 10×10^4 t,工业总产值(现价) 50×10^8 元,总体实力进入世界铜工业前20强的位置,确保国内铜企业的三强地位,为大做强云铜股份公司而努力。

参考文献

- [1] 中国有色金属工业年鉴编辑委员会. 中国有色金属工业1999年年鉴[M]. 北京: 国家有色金属工业局, 2000

Upgrading Traditional Copper Industry With Advanced Technology

Kong Fanyi

(Yunnan Copper Co., Ltd., Kunming 650102, China)

[Abstract] Yunnan Smelter (Yunnan copper Co., Ltd.), built in early 1960s, is mainly engaged in smelting of copper concentrate with electric furnace. There had been problems since putting into operation, such as high energy consumption, poor utilization of SO_2 , serious environmental pollution and high operating cost. By persistent technical upgrading and innovation in the past two decades, especially the introduction of the advanced oxygen-enriched top-blown bath smelting to replace the electric furnace smelting, the enterprise has been enhanced rapidly. It is expected that by 2002 the smelter will become one of China's three major copper enterprises, and may rank among the top twenty copper producers in the world. By that time the "three waste" disposal will meet the environment requirements, hence clean production will be realized in the plant, and electric power consumption for blister copper will drop from 2314 kWh/t to 1542 kWh/t and, accordingly, the operating cost will be lowered greatly.

[Key words] copper industry; electric furnace smelting; technical upgrading; oxygen-enriched top-blown bath smelting