

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2021.05.006

新技术和新装备在南国铜业的应用及发展

袁剑平

(中国瑞林工程技术股份有限公司, 南昌 330038)

摘要:介绍了侧吹铜熔炼+顶吹铜吹炼、双向平行流电解、连续处理含砷污酸等多项国产原创技术及蒸汽和电力单轴联合拖动大功率电机、国产低温位热回收装置等新技术和装备在广西南国铜业有限责任公司一期项目中的应用及发展,并指出了新工艺及新装备对提升我国乃至世界铜冶炼技术水平有着重要意义。

关键词:铜;侧吹熔炼;顶吹吹炼;双向平行流电解;连续处理含砷污酸

中图分类号:TF811

文献标志码:B

文章编号:1007-7545(2021)05-0031-05

Application and Development of New Technology and New Equipment in Nanguo Copper Smelter

YUAN Jian-ping

(China Nerin Engineering Co., Ltd., Nanchang 330038, China)

Abstract: Application and development of many domestic original technologies such as side-blowing copper smelting, top-blowing copper converting, dual direction parallel electrolysis process, continuous treatment of arsenic-containing waste acid, and new equipment such as steam & electric combined drive high power motor with sole axis and domestic low temperature heat recovery system in first phase project of Guangxi Nanguo Copper Co., Ltd. were introduced. The significance of new technology and equipment to improve technological level of copper smelting in China and even in the world is put forward.

Key words: copper; side-blowing smelting; top-blowing converting; dual direction parallel electrolysis process; continuous treatment of arsenic-containing waste acid

随着阳谷祥光铜业有限公司、铜陵有色金属集团有限公司金冠铜业分公司等大规模“双闪”炼铜工厂的陆续建成与投产,标志着中国铜冶炼技术已经步入全球先进水平。在几年前,“双闪”工艺基本上是新建大规模铜冶炼厂的首选工艺,直到侧吹熔炼+顶吹吹炼这一具有中国自主知识产权的大规模铜冶炼工艺及其系列配套技术和装备的出现,并在广西南国铜业有限责任公司(以下简称南国铜业)新建 30 万 t 铜冶炼项目上得到成功应用^[1],才使中国

乃至未来世界大中型新建及改扩建铜冶炼厂有了可选择的更先进的中国炼铜技术和装备。

1 南国铜业一期项目建设情况简介

南国铜业成立于 2010 年 5 月,注册地位于广西崇左市广西中国—东盟青年产业园。南国铜业一期项目于 2013 年 9 月获国家环境保护部批复,采用侧吹熔炼+PS 转炉吹炼工艺,设计规模 15 万 t 阴极铜,但是随着技术的发展又改为侧吹熔炼+多喷枪

收稿日期:2020-11-25

作者简介:袁剑平(1972-),男,江西南昌人,教授级高级工程师

顶吹吹炼连续炼铜工艺,设计规模也从年产 15 万 t 上升到 30 万 t 铜,项目由中国瑞林工程技术股份有限公司负责总体设计。

南国铜业一期项目的设计和建设走自主创新和国产化的道路,目标是建成世界首座最大规模的、采用侧吹熔炼+顶吹吹炼的连续炼铜工厂,项目在设计过程中采用了多项原创性重大技术成果并获得重大技术突破,降低了投资及生产运行成本,使南国铜业成为更环保、节能、高效的现代化铜冶炼厂。

2 采用的新技术和新装备

本着自主创新和国产化的原则,本项目采用了多项在有色行业、全国乃至全球首次采用的新技术和新装备。

2.1 采用多项原创技术

1)世界上首次采用自主知识产权的侧吹熔炼+顶吹吹炼+回转式阳极炉三步连续炼铜工艺,且产能达到 30 万 t 铜

南国铜业一期设计时,当时并没有真正意义上的三步连续炼铜工艺,类似的有成熟应用的工艺是侧吹熔炼+造渣炉+顶吹吹炼,生产规模只有年产 14 万 t 铜,而且精炼采用的是落后的反射炉工艺,没有形成真正的三步连续炼铜。针对南国铜业工艺和规模的巨大改变,在没有大规模成熟生产应用经验的情况下,单系列熔炼系统将产能由 15 万 t 放大到 30 万 t 决非易事,熔炼、吹炼、精炼三段也不仅仅是采用溜槽连接即可完成连续炼铜,更重要的是三段冶炼工艺的衔接;物料、热量的平衡;三台炉子和厂房以及配套设施配置合理;安全、生产操作方便;与主工艺配套的各辅助设施采用的方案如何选择确定等等,这是一个全新的系统工程。经过反复研讨论证,解决了多个重大技术难题,在各方的共同努力

下,项目一次投产成功。

工程中采用的主要创新技术和装备有:

(1)对侧吹熔炼炉炉型做了重大创新。为了扩大规模,在确保热平衡和炉体结构稳定安全的基础上,确定采用背对背组合的侧吹炉炉体结构,一端出铜、一端出渣,从而打破了国内侧吹熔炼炉产能不超过 20 万 t 的上限。从小规模炉型变为大规模炉型,炉体结构变化见图 1。

(2)顶吹吹炼炉采用椭圆形结构,可减少熔体的冲刷及掉砖的情况,更好地延长炉寿。

(3)由于熔炼、吹炼、精炼三段采用溜槽连接,所以采用阶梯配置形式,见图 2。

2)世界上首次采用自主知识产权的双向平行流高电流密度铜电解工艺

中国瑞林联合杭州三耐环保科技有限公司、江西铜业集团股份有限公司贵溪冶炼厂、江西理工大学共同研发出双向平行流高电流密度铜电解工艺,并首次大规模成功应用于南国铜业一期项目中。双向平行流全新的铜电解液循环方式提供了优越的电解液流场条件,有效减少了浓差极化,保证了高电流密度条件下阴极铜质量。该工艺的主要优点是:

(1)在电流密度高达 $350 \sim 380 \text{ A/m}^2$ 的条件下能平稳产出高纯阴极铜。

(2)减少了铜电解过程银的损失率。

溶液自上而下流动,有利于阳极泥沉降,减少银离子在阴极上析出,阴极铜含银由传统的 $0.0008\% \sim 0.0012\%$ 降到 $0.0003\% \sim 0.0005\%$,减少银在阴极铜中的损失率达 50% 以上,增加了经济效益。美国已有研究机构进一步研究了双向平行流与 Mettop 工艺在动力学机理上的区别,认为双向平行流更顺应铜电解溶液流场,对促进铜离子向阴极迁移和阳极泥沉降有利。

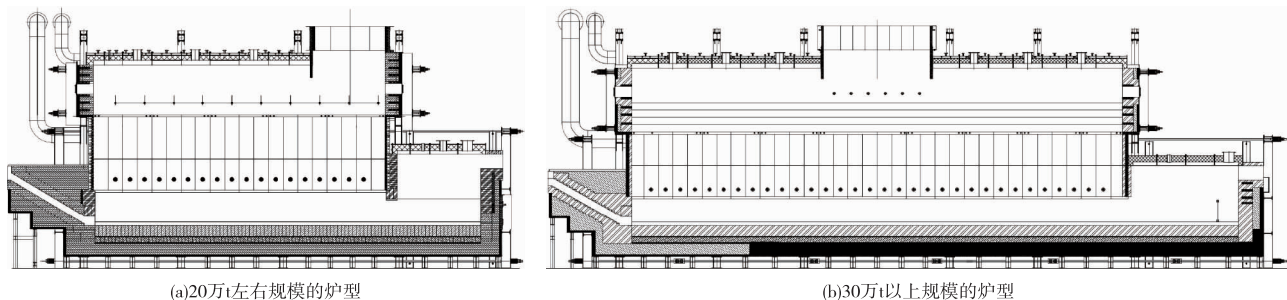


图 1 小规模侧吹炉炉到大规模炉型的变化

Fig. 1 Change from small scale to large scale of side-blowing furnace

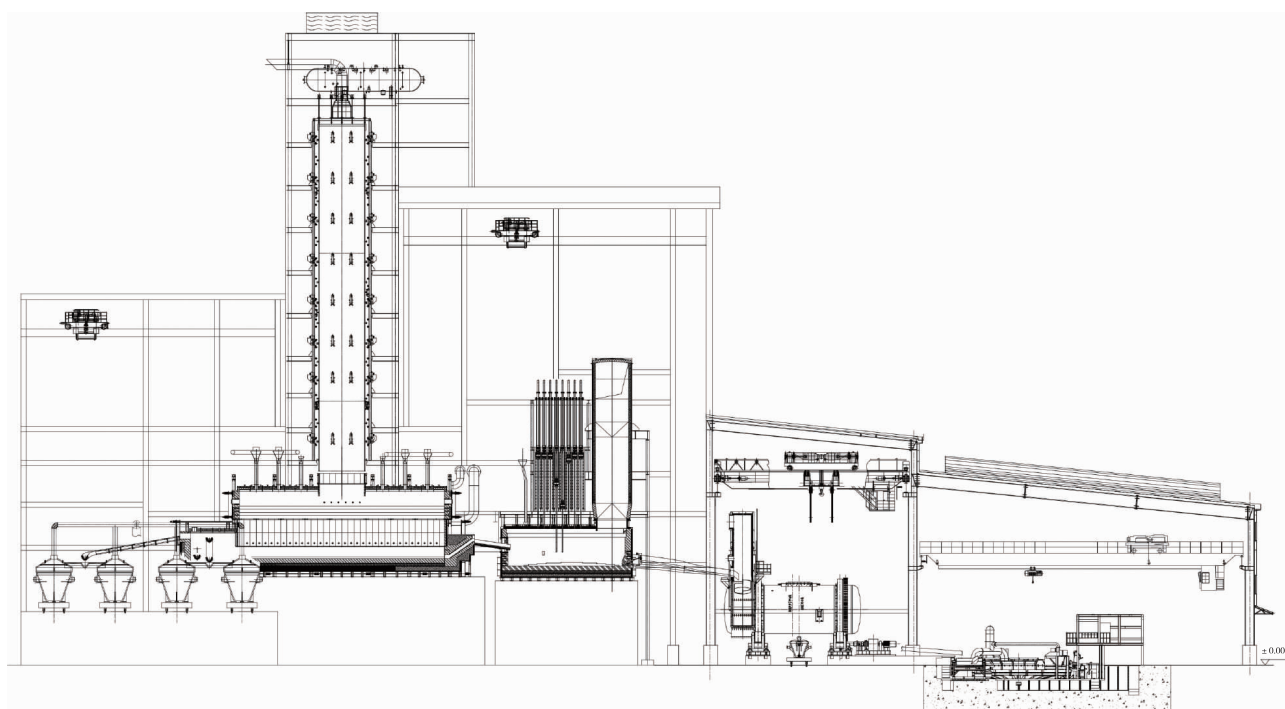


图2 熔炼、吹炼、精炼连续炼铜阶梯布置

Fig. 2 Ladder layout of continuous copper smelting, converting and refining

(3) 专用电解槽结构简约、定位精密、寿命长

专用树脂电解槽不但能满足强度和耐腐蚀等性能指标和特殊异形结构加工要求,而且溶液进出通道隐藏在电解槽侧壁内,不占用配置空间,同时喷嘴系统能够精密定位,保证了最佳流场条件。研发的新高效喷嘴不易堵塞、寿命长,整个专用装置维修少,降低了生产成本。

(4) 电解残极率和综合能耗低

通过集成了多回路导电系统,电解残极率由传统的14%~15%降到12%~14%,减少了返回熔炼处理的残极数量,减少铜的积压和残极重熔再浇铸的费用。采用高位槽直接供液,降低了供液泵的扬程,减少了动力消耗,综合能耗低。

(5) 提高铜电解的单位面积产能,大幅降低投资

采用高达 $350\sim 380\text{ A/m}^2$ 的电流密度,增加铜电解的单位面积产能20%以上,不但提高了电解生产效率,而且可减少20%的电解槽数量以及不锈钢阴极板和导电排等配套装置,缩短厂房长度,大幅降低投资,节约用地。

(6) 流动资金占用量少,经济效益好

减少电解槽数量意味着减少长年放置在电解槽内的铜阳极,包括残极率低,都体现了铜的积压量减少,加上阴极出槽周期可变为6 d,缩短了销售周期,占用流动资金少,经济效益好。从南国铜业近两年

生产实践看,综合经济效益提升了10%以上。

3) 世界上首次采用金属硫化物制取 H_2S 气体法连续处理含砷污酸工艺

铜冶炼过程中产生大量废酸,目前传统的方法存在不足:一是带入大量钠离子进入废水中,不能有效脱除,或脱除成本很高,产生大量的钠盐不利于循环利用;二是重金属脱除率低,生产不连续,设备规格大。

针对上述问题,在南国铜业一期项目上成功开发应用了金属硫化物制取 H_2S 气体法连续处理含砷污酸的新工艺,利用稀硫酸与金属硫化物反应制得 H_2S 作为硫化剂,并且开发了超混器 and 高效硫化反应器,解决了传统硫化法大量钠盐进入废水,废酸硫化处理不能连续化的弊病,提高了重金属离子的脱除率,为处理后液回用创造了条件。采用这一工艺的优点是:生产连续、高效、安全, H_2S 利用率高;设备规格小,投资省;脱除重金属元素效率高,根据生产实际数据,脱砷效率可高达99.99%。

硫化后液中污染物离子浓度对比结果见表1。采用金属硫化物制取 H_2S 气体法连续处理含砷污酸工艺在南国铜业一期的成功,为废酸的再利用、重金属的减量化和无害化处理开辟了新的道路。

表1 硫化后液中污染物离子浓度对比

Table 1 Comparison of pollutant ion concentration in vulcanized solution /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

离子种类	设计值	实际值	传统 Na_2S 法	国内其他厂 H_2S 法
As	20	<1	100	50
Cu	1	<0.5	5	1
Cr	0.5	<0.1	1	0.5

4)首次将国产“非平衡态 SO_2 高浓度转化”工艺与铜冶炼的侧吹熔炼+顶吹吹炼相结合

针对侧吹熔炼+顶吹吹炼烟气量连续且稳定、 SO_2 浓度高的特点,南国铜业项目首次将国产“非平衡态 SO_2 高浓度转化”工艺引入侧吹熔炼+顶吹吹炼工厂中。根据铜精矿成分、产能以及侧吹熔炼和顶吹吹炼的生产工艺特点,南国铜业一期硫酸系统规模达到 120 万 t/a,且净化、干吸和转化系统均为单套,是目前有色行业中单套规模最大的硫酸系统,此外进入转化系统的烟气 SO_2 浓度最高可达 16.75%,减少了稀释风量,转化系统的投资及运行成本较常规转化工艺节省 20%~30%。

5)首创含酸废水处理过程中 CO_2 的重复利用

目前有色冶炼企业产生的制酸废水,多数采用石膏中和工序进行处理,即先利用石灰石乳中和废酸制成石膏,去除大部分游离酸及氟离子,再利用石灰乳及铁盐去除废水中的重金属离子,此方法获得的中和后液需要全部回用,回用前需要采用碳酸钠法和二氧化碳法除去废水中的钙离子以降低废水硬度。而在生产石膏的过程中将产生大量的 CO_2 气体并直接排入大气,不仅无法利用,而且增加碳排放。

南国铜业一期项目中先利用石灰石乳对含有硫酸的废酸进行处理,去除大部分游离酸及氟离子,得到二氧化碳、石膏和反应后液,再利用石灰乳、铁盐与反应后液进行反应,去除反应后液中的硫酸钙和重金属离子,得到中和后液,接着将前面产生的二氧化碳作为除钙剂作用于中和后液,将中和后液中的钙离子以碳酸钙的形式除去,得到可回收利用或外排的过滤后液,且所得的碳酸钙可作为石灰石乳回用于石膏反应槽。

这一新工艺比现有工艺节省了除钙剂费用、节约了石膏中和工序的成本,且运行稳定,可节约 80%~85%的处理成本,同时每年可回收利用 450~500 t 的 CO_2 气体。此外,常规流程中的 CO_2 气体均为无组织排放,而采用此工艺后改为有组织排放,在同等规模下达到~22 000 t/a,为 CO_2 气体的回收

利用进行深加工创造了条件,具备一定的经济效益和环境效益。

2.2 新装备在项目中的应用

1)首次实现大流量高压头 SO_2 风机的国产化,打破国外公司在这一领域的长期垄断,促进国产装备制造制造业的发展。

南国铜业一期 SO_2 风机规格为 $Q=250\,000\text{ m}^3/\text{h}$ (标态)、 $P=60\text{ kPa}$,流量大、压头高。而长期以来,这种大流量高压头 SO_2 风机都是采用进口设备。近年来随着国内装备制造水平的提高,已经具备打破这一垄断的实力,与国内厂家密切合作,南国铜业一期项目采用单台国产 SO_2 风机配置和蒸汽拖动,实现了大流量高压头 SO_2 风机的国产化,投产以来运行平稳,打破国外公司在这一领域的长期垄断,促进国产装备制造制造业的发展,并为国内其它铜冶炼厂起了良好的借鉴作用。

2)首次在有行业使用国产低温位热回收设备,为今后这项技术及装备的国产化铺平了道路。

多年以来,国内各大铜冶炼厂一直没有放弃在干吸系统中使用低温位热回收设备,但由于技术掌握在国外厂商手中,引进费用高,使各大铜冶炼厂望而却步。

南国铜业一期采用的国产低温位热回收设备,不仅投资远低于进口设备,而且吨酸低压蒸汽产量达到 0.4~0.45 t,已经接近进口设备的指标。采用的国产低温位热回收设备充分回收了制酸系统的热能,产出蒸汽用于工厂其它设施,同时大大降低了循环冷却水的用量,经济效益显著。

3)首次在有行业采用两联动蒸汽拖动大功率电机技术

有色行业中采用蒸汽拖动的不在少数,但主要用于功率不是很大的设备(如功率小于 500 kW 的水泵)等的拖动,而且电机和汽轮机是分开的,各自独立工作。而南国铜业一期项目上采用的蒸汽拖动,是利用熔炼和吹炼锅炉产生的中压蒸汽拖动制氧站空压机(功率 16 000 kW)、利用硫酸转化和干吸产生的低压蒸汽拖动 SO_2 风机(功率 5 750 kW),汽轮机与电机采用同轴双驱动。同轴双驱动具有如下特点:设备自动化程度高、启停方便、调节性能好,当汽轮机功率不足时电机自动把不足的功率补齐。整个机组可以满足较复杂的蒸汽波动工况,且性能稳定。

除正常的生产生活用汽外,其余的蒸汽全部用于拖动,相对于常用的余热发电,减少了能源中间转

化环节,节能效果显著。

3 工厂主要能耗指标

工厂主要生产指标如表 2 所示。由于南国铜业一期项目采用了多项新工艺和新技术,以及对节能措施不懈的追求,工厂的各项能耗和环保指标都远远优于国家标准中的先进值。

表 2 主要生产指标
Table 2 Main production indexes

序号	名称	生产指标	国家标准先进值
1	每吨粗铜冶炼工艺综合能耗/kgce	92.41	≤150 ^[2]
2	每吨阳极铜工艺综合能耗/kgce	117.90	≤190 ^[3]
3	每吨铜电解精炼综合能耗/kgce	71.17	≤90 ^[3]
4	每吨铜冶炼工艺综合能耗/kgce	212.42	≤280 ^[3]
5	每吨硫酸工艺综合能耗/kgce	-54	≤-30 ^[3]
6	每吨酸电耗/kWh	42.68	≤100 ^[3]
7	硫的总捕集率/%	99.97	≥99 [*]

注: * 中华人民共和国工业和信息化部公告 2019 年第 35 号《铜冶炼行业规范条件》

4 结语

南国铜业一期项目的一次投产成功证明了大规模侧吹+顶吹炼铜技术的先进性,加上工厂其它系统集成诸多的新工艺、新技术和新装备,全流程技术更加优化和完美,使南国铜冶炼厂成为更环保、节能、高效的铜冶炼厂。南国铜业项目的建设对提升我国乃至世界铜冶炼技术水平有着积极意义。

参考文献

[1] 魏涛,马宝军,占焕武,等. 年产 30 万吨矿铜热态三连炉连续炼铜生产工艺[J]. 有色金属(冶炼部分),2021(1): 15-18.
WEI T, MA B J, ZHAN H W, et al. Production practice of continuous copper smelting in hot triple-furnace system with annual copper output of 300 kt[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2021(1): 15-18.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 21248—2014《铜冶炼企业单位产品能源消耗限额》[S]. 北京:中国标准出版社, 2014:3.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration. GB 21248—2014. The Norm of Energy Consumption Per Unit Product of Copper Metallurgical Enterprise[S]. Beijing:China Standard Press,2014:3.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 29141—2012《工业硫酸单位产品能源消耗限额》[S]. 北京:中国标准出版社, 2012:2.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration. GB 29141—2012. The Norm of Energy Consumption Per Unit Product of Sulfuric Acid for Industrial Use[S]. Beijing:China Standard Press,2012:2.