

# 三连炉连续炼铜工艺生产实践

徐 风

(烟台国润铜业有限公司, 山东 烟台 264002)

[摘 要] 结合生产实践,重点对烟台三连炉连续炼铜工艺炉型结构特点、工艺技术指标、工艺控制等进行了阐述,介绍三连炉连续炼铜工艺与传统炼铜工艺的区别。该工艺真正实现了连续炼铜,具有炉型结构更合理、生产指标更优化、一次性投资更低、智能化程度更高、安全环保效果更好等特点。

[关键词] 连续炼铜; 炉型结构; 富氧侧吹炉; 多枪顶吹连续吹炼炉; 工艺技术指标; 工艺控制

[中图分类号] TF811 [文献标志码] B [文章编号] 1008-5122(2022)02-0045-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.02.011

## 0 前言

近年来,铜冶炼技术不断创新,节能、环保、高效已成为各大铜冶炼厂的主旋律。在此背景下,2016年10月,烟台国润铜业有限公司(以下简称“烟台国润”)与中国恩菲工程技术有限公司合作,建成了“富氧侧吹熔炼炉-多枪顶吹连续吹炼炉-固定式反射炉”连续炼铜工艺,三台炉依次由高到低排布,各炉之间通过流槽连接,实现了连续送风、连续炼铜,是一种具有自主知识产权的创新工艺<sup>[1]</sup>。

本文主要对烟台国润连续炼铜工艺的炉型结构和工业生产实践进行了阐述,指出了其先进性以及与传统炼铜工艺的区别,以期为今后铜冶炼生产技术的发展提供参考。

## 1 连续炼铜工艺流程

如图1所示,富氧空气从侧吹炉两侧风眼鼓入炉内,精矿、块煤、熔剂和返渣等按一定比例混合均匀,经计量皮带从炉顶加料口入炉,产出的侧吹渣经流槽连续流入渣包,由火车倒运至选矿回收再利用;高品位热铜锍经流槽连续流入多枪顶吹炉,冷料和熔剂经计量皮带从多枪顶吹连续吹炼炉炉顶加料口入炉,富氧空气从炉顶氧枪鼓入炉内完成吹炼反应。

产出的顶吹渣返回侧吹炉,粗铜经流槽连续进入固定式反射炉。熔炼和吹炼过程产生的烟气经余热锅炉、电收尘处理后送至制酸系统;烟尘收集后返回富氧侧吹炉。固定式反射炉采用稀氧燃烧技术,产出的阳极板送电解精炼;烟尘经布袋收尘后返回侧吹炉;除还原期外,其余烟气均进入制酸系统。

## 2 连续炼铜工艺炉型

### 2.1 富氧侧吹熔炼炉

烟台富氧侧吹熔炼炉为固定式长方形炉型,炉子主体结构由基础、炉底、炉缸、炉墙、炉顶、铜锍井、渣井及外围钢结构等部分组成(图1)。炉体长9600 mm,宽2500 mm,高7000 mm,炉墙厚度710 mm。炉顶采用不定型浇注料浇注而成,并设有加料口,加料口与上升烟道之间设置二次风口。炉子两端分别设有铜锍井和渣井,铜锍井通过砖砌流槽与多枪顶吹连续吹炼炉连接。

#### 2.1.1 炉型结构调整

##### 2.1.1.1 风眼角度的调整

侧吹炉熔炼以渣作为氧传递的载体,目前行业内绝大多数侧吹炉送风角度为 $0^\circ$ ,富氧空气完全送入渣层,然而随着铜锍品位的提高,渣的氧化程度加大,不利于炉温、铜锍品位、煤率、渣含铜量等指标的整体控制。

经过充分论证,烟台国润进行富氧侧吹炉设计时对风眼角度进行调整( $6^\circ$ ),在实际生产中通过摸索风压,使富氧空气部分送入铜锍层,在降低渣氧化程度的同时仍能确保渣和铜的有效分离,为提高铜锍品位、降低煤率和渣含铜量创造条件。从实际生

[收稿日期] 2021-11-28

[作者简介] 徐风(1987—),男,江西南昌人,硕士,冶金工程师,从事有色冶炼技术管理工作。

[引用格式] 徐风.三连炉连续炼铜工艺生产实践[J].有色冶金节能,2022,38(2):45-48.

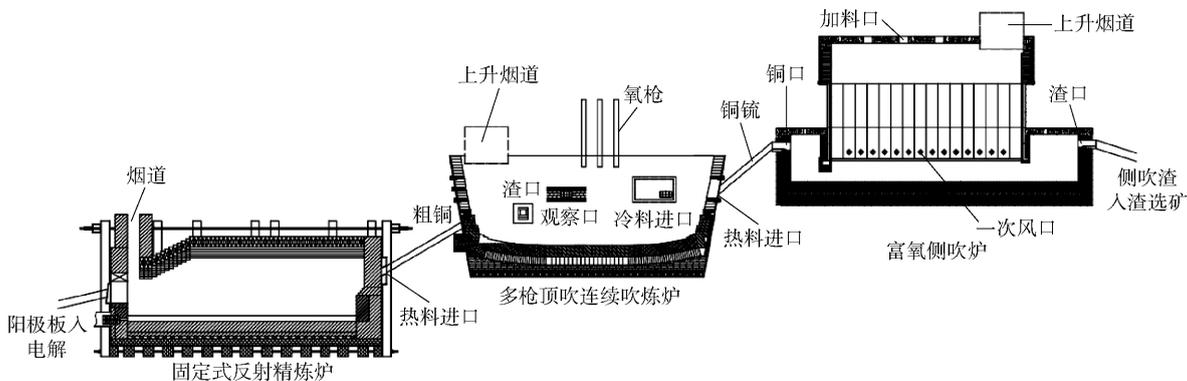


图1 烟台三连炉连续炼铜工艺示意图

产运行看,铜铈品位能够稳定控制在70%以上。

### 2.1.1.2 二次风口位置的调整

普通侧吹炉二次风口设置在端墙,容易产生如下问题:

1) 熔融或半熔融颗粒在侧吹炉内上升和下落过程中容易在端墙二次风口处形成粘结,使二次风送风强度无法保证,部分单体硫进入制酸系统堵塞间冷器。

2) 二次风口炉结掉落炉内,会降低熔池温度,带来堆料风险;若炉结过大,下落炉内会堵塞熔体通道,严重时无法进行生产。

3) 人工清理二次风口的频率高,劳动强度大。

考虑以上因素,烟台国润进行富氧侧吹炉设计时,将二次风口位置由端墙改为炉顶加料口和上升烟道之间,同时设置观察口和清理口。从实际运行看,二次风口基本不用清理,送风稳定,制酸系统无波动。

### 2.1.1.3 水套内衬采用不定型浇注料

富氧侧吹炉风眼立水套和斜水套采用内衬不定

型浇注料,具有如下优点<sup>[2]</sup>:

1) 相比传统侧吹炉,烟台国润的富氧侧吹炉开炉方式多样化,既可选择烧油热开,也可选择固态冷启。同时对突发事件的处理更加简便,可以直接烧油提温。

2) 铜水套内始终有一层稳定的衬体层,相比于传统铜水套的直接挂渣形式,该设计保温效果更好,炉子热损失更少,水套更安全。

3) 因为有内衬存在,铜水套冷却强度要求降低,因而铜水套内的循环水量减少,进出水温差小,冷却水带走的热量少,炉子热利用率高。

4) 由于铜水套的冷却作用,不定型浇注料浇注料表面也能形成挂渣,对提高炉龄起到积极作用。

### 2.1.2 生产实践

#### 2.1.2.1 工艺技术指标

富氧侧吹炉指标见表1。

从表1数据可以看出,在三连炉整体工艺配置下,富氧侧吹炉是最为高效的熔炼手段,原因如下:

表1 富氧侧吹炉指标

项目	一次风氧 气浓度/%	一次风 压/kPa	铜铈品 位/%	渣含铜 量/%	铁硅 比	煤率/ %	原料 S/Cu	烟尘率/ %	渣温/ ℃	铜铈温 度/℃	出渣及放 铜铈方式
指标	85	120	72~75	0.80~1.20	1.70~1.80	1.5~2.0	1.0~1.15	0.8~1.0	1300~1350	1250~1270	连续

1) 一次精矿投入率高。富氧侧吹炉渣含铜量仅为0.8%~1.2%(高铜铈品位前提下且未经贫化),远低于行业水平,由此选矿产出的精矿量少,加之烟尘率低,多枪顶吹炉产生的顶吹渣铁钙比达到3以上,富氧侧吹炉整体返料量少,一次精矿投入比例高。

2) 熔炼强度高。85%的富氧浓度达到同类炉型的最高水平,即使在铜冶炼领域也属较高水平,连续稳定的高炉温(1300~1350℃)、高铜铈品位

(72%~75%)操作已经突破了人们对传统熔池熔炼的认识框架。

3) 真正意义上的连续、稳定作业。从反应角度看,富氧侧吹炉内发生连续的造铜和造渣反应;从形式上看,侧吹渣和铜铈均为24h连续排出,由此形成的稳定液面层(总液面和各相液面)为稳定实际操作及提高工艺指标提供了有利条件。

4) 炉寿命和安全性具有绝对优势。目前烟台富氧侧吹炉炉龄已有2年,停炉后对炉体进行观察,

炉内衬砖基本未腐蚀,炉体各部位没有明显薄弱点,保守估计炉龄为4~5年。

### 2.1.2.2 工艺控制

烟台国润的富氧侧吹炉以“高炉温-高铜品位-动态液面测量及观测”的三位一体控制为现场操作把控原则:高铜品位是连续吹炼的基础;高炉温是达到高铜品位的主要手段;动态液面测量及观测是对炉内泡沫层的监控,是在高炉温、高脱硫率、高铜品位条件下确保炉体安全的必要手段;以上述工作为前提,加强炉内液面管控、根据炉况调整煤率和渣型等工作。

## 2.2 多枪顶吹连续吹炼炉

多枪顶吹连续吹炼炉为斜竖式炉型,炉子主体结构由基础、炉底、炉墙、炉顶及外围钢结构等部分组成(图1)。炉体高度3600 mm,渣线区长8000 mm,宽5000 mm。炉顶由吊挂砖砌筑而成,设置量料口、加料口、氧枪系统以及冷料投入系统。

表2 多枪顶吹连续吹炼炉指标

项目	氧气浓度/%	风压/kPa	渣含铜量/%	粗铜含铜量/%	粗铜含硫量/%	铁钙比	烟尘率/%	渣温/℃	粗铜温度/℃	进料方式
数值	21~40	100	15~18	98.5~99.5	0.3(指标可控,最低可达0.04)	3.0~4.0	1	1250~1270	1220~1230	连续

1)占地及投资小。产能12万t/a的多枪顶吹连续吹炼炉,占地面积为 $12 \times 8.2 = 98.4 \text{ m}^2$ ,包括钢筋混凝土基础、钢结构、耐火材料、铜水套、弹簧、炉顶捣打料、氧枪装置以及仪控系统,总投资不超过1600万元。

同时,由于多枪顶吹连续吹炼炉氧气浓度高、漏风率低,同等产能的风机风量低、烟气量小,风机成本、余热回收、收尘及制酸设施投资也大幅降低。

2)工艺匹配性好。一台富氧侧吹炉仅需配备一台多枪顶吹连续吹炼炉即可达到产能要求。同时,多枪顶吹炉炉龄已达2年,预计可进一步提高至4~5年,与富氧侧吹炉同时检修,整体工艺稳定性好、连续性强<sup>[3]</sup>。

3)单炉处理能力高。多枪顶吹连续吹炼炉实现了富氧操作及冷料连续投入,单炉处理能力高,继续提高氧气浓度,可进一步实现大型化生产。

4)连续作业。多枪顶吹连续吹炼炉采用连续进料、连续送风的多氧枪非浸没式操作,换枪仅需5 min,换枪过程不影响正常生产(开5备1),作业效率高,职工劳动强度低。

### 2.2.1 炉型结构特点

1)炉身整体采用弹性钢结构,在预防炉体膨胀方面,采用先进的涡卷弹簧装置,能够定量控制炉体受力,确保炉体安全。

2)渣线以下采用铜钢复合水套和耐火材料配合使用,炉体安全有保障。

3)配备炉底冷却系统,能够有效控制炉底温度,延长炉寿命。

4)烟道采用条形水套与衬砖配合使用,能够有效应对高炉温、高烟气温度的腐蚀。

5)氧枪装置为自主设计,整体采用硬连接,虽无金属软管,但气密性好,漏风率低。

6)自主设计的冷料加入系统,能够实现连续自动加入残极等冷料。

### 2.2.2 生产实践

#### 2.2.2.1 工艺技术指标

多枪顶吹连续吹炼炉指标见表2。

5)优越的环保性。多枪顶吹连续吹炼炉为固定式炉型,炉体与烟道完全密封,加之其连续操作的特性,烟气成分波动小,制酸生产稳定;粗铜经短流槽直接进入精炼炉,无钢包倒运过程,流槽密闭保温及环集处理难度小;受铜品位影响,多枪顶吹连续吹炼炉产出渣量小,一个班控制在1包,可待逸散烟气收集完毕后再进行渣包倒运。因此,多枪顶吹炉现场环境好,基本没有烟气逸散<sup>[4]</sup>。

6)渣型高,渣含铜量低,粗铜质量高。多枪顶吹连续吹炼炉采用富氧吹炼,为抑制渣过氧化,采用铁钙渣系,目前铁钙比已成功突破3。与传统转炉的渣相比,多枪顶吹连续吹炼炉的渣流动性更好、渣量更小,渣温较铁渣没有明显升高;同时,多枪顶吹连续吹炼炉采用低风压、薄渣层操作,反应强度高,能够形成稳定的反应区和沉淀区,粗铜主品位稳定在99%左右,含硫量可低至0.1%以下,在高铁钙比的前提下,渣含铜量不足20%。

#### 2.2.2.2 工艺控制

以精准控制负荷、确保炉内完全“两相操作”(只有粗铜层和渣层)为前提;以稳定总液面和粗铜

面为操作基础;以控制温度(粗铜 1 220 ~ 1 230 ℃,渣温 1 250 ~ 1 270 ℃)和渣型(铁钙比 2.5 ~ 3.0)为炉体安全基础;以产出合格低硫( $\leq 0.3\%$ )粗铜为目标;以强调顶吹炉“自平衡”(冷料操作)为应对异常炉况和突发情况的手段。

### 2.3 固定式反射精炼炉

采用固定式阳极炉与富氧侧吹炉、多枪顶吹连续吹炼炉配合使用,炉体成本低,操作成熟。固定式阳极炉采用全热态进料,生产连续性高;使用稀氧燃烧技术,烟气量少,吨铜加工费降低 50%。除还原期外,所有烟气进入制酸系统,环保效果好。

## 3 三连炉生产实践效果

烟台三连炉连续炼铜工艺经过多年的运行,生产稳定,各项指标均达到行业先进水平。

1) 年产 12 万 t 的三连炉工艺配置紧凑,整体厂房占地仅为 3 028 m<sup>2</sup>,炉体投资小,相关配套设备少、投资小,例如行车,整个工艺仅配置两台行车即可。

2) 多枪顶吹连续吹炼炉烟气稳定,制酸投资小。不同于传统的 P-S 转炉,多枪连续顶吹炉为 24 h 连续反应,烟气稳定,有效降低了吹炼炉烟气量;整个改造项目总投资仅 3 亿元(含冶炼、制氧、制酸、选矿及相关附属设施)。

3) 经济指标优势明显,在使用传统固定式反射炉的情况下,对于 12 万 t/a 的规模,从精矿至阳极板的完全加工费可低至 1 400 元/t<sub>铜</sub>(含人工、折旧),粗铜综合能耗低于 100 kgce/t,精矿至电铜的铜金属回收率可达 99%。

4) 智能化,数据化操作,实现了真正意义上的

连续炼铜。三台炉通过流槽连接,工艺连续性好,对操作经验依赖小,人员配置少。

5) 环保效果好,三台炉子均为固定式密闭炉型,密封效果好,烟气逸散少,环保烟气量少于 15 万 m<sup>3</sup>/h。炉子间通过流槽连接,便于烟气收集,减少了钢包倒运带来的烟气逸散<sup>[5]</sup>。

## 4 结束语

烟台国润三连炉连续炼铜工艺经过多年的生产运行,相比传统炼铜工艺,真正实现了全过程连续炼铜,具有炉型结构更合理、生产指标更优化、一次性投资更低、智能化程度更高、安全环保效果更好等优点,可为今后铜冶炼生产技术的发展提供参考。

### [参考文献]

- [1] 李建辉,葛晓鸣,柳庆康.富氧侧吹熔炼-多枪顶吹连续吹炼-火法阳极精炼热态三连炉连续炼铜技术的开发、工业化应用及发展方向[J].有色设备,2021,35(3):64-67,75.
- [2] 尤廷晏,邵振华,徐风.富氧侧吹炉铜水套的优化配置及应用实践[J].中国有色冶金,2014,43(6):42-46.
- [3] 袁精华.侧吹顶吹一体化连续炼铜炉的设计与实践探讨[J].有色金属(冶炼部分),2021(7):12-15.
- [4] 杜龙,刘旸,张小明.富氧侧吹熔炼和连续吹炼工艺的环保优势[J].有色冶金设计与研究,2020,41(1):19-21.
- [5] 葛晓鸣,孙子虎,刘建萍,等.连续炼铜环集烟气处理系统升级改造生产实践[J].中国有色冶金,2021,50(1):57-61.

## Production Practice of Continuous Copper Smelting Using Three Furnaces

XU Feng

**Abstract:** Based on production practice, this paper expounded structural features of furnace profile, process technical indicators and process control of the continuous copper smelting practice using three furnaces in Yantai, China, and point out the difference between this process and the traditional copper smelting process. This process truly accomplishes continuous copper smelting, featuring more reasonable furnace profile and structure, optimized production indicators, lower one-off costs, higher degree of intelligence, greater safety and environmental protection.

**Key words:** continuous copper smelting; furnace profile and structure; oxygen-enriched side-blowing furnace; multi-lance top-blowing continuous converting furnace; process technical indicators; process control