

# 顶侧吹复合熔炼与顶吹吹炼连续炼铜生产实践

戴林冲<sup>1</sup>, 于跃<sup>1</sup>, 奚英洲<sup>1</sup>, 陆金忠<sup>2</sup>, 赵智达<sup>1</sup>, 王艳超<sup>3</sup>, 孙晓峰<sup>2</sup>

(1. 葫芦岛锌业股份有限公司, 辽宁 葫芦岛 125003; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038;  
3. 葫芦岛有色冶金设计院有限公司, 辽宁 葫芦岛 125003)

**[摘要]** 某冶炼厂将传统的澳斯麦特富氧顶吹熔池熔炼炉和P-S转炉升级改造为顶侧吹复合熔池熔炼炉和多枪顶吹炉,并取消了与澳斯麦特炉配套的沉降电炉,实现了传统冶炼工艺向绿色低碳短流程连续炼铜工艺的转变和升级。本文系统阐述了该工艺系统的运行情况和主要技术经济指标,详细介绍了开炉、停炉作业的生产操作要点,总结了泡沫渣控制、铜水套漏水、可燃气体爆炸等事故的预防措施。工艺改造后生产连续稳定,产出高品位铜铕和高品质粗铜,熔炼渣含铜量低于2%,阳极铜单位成本降低约330元。该工艺在节能环保、减少大气污染物排放和降低生产成本等方面优势显著。

**[关键词]** 双顶吹; 连续炼铜; 绿色低碳冶炼; 冶炼事故防治

**[中图分类号]** TF811 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-2423(2025)04-0080-04

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.04.012

## 0 引言

澳斯麦特炉富氧顶吹熔池熔炼技术(以下简称“澳炉熔炼”)在国内外的铜冶炼中占据重要的位置,是当今世界上采用较多的成熟炼铜技术。澳炉熔炼技术在冶炼强度和金属除杂等方面具有较强的优势,但是由于其生产过程中存在低空污染、换枪频繁、沉降电炉能耗较高等问题,该技术的应用和推广受到了制约。传统P-S转炉本身工艺的特殊性易导致低空污染、烟气二氧化硫浓度不稳定和环集烟气脱硫负荷高等缺陷<sup>[1]</sup>,所以现有采用澳炉熔炼和P-S转炉吹炼的铜冶炼厂都在寻求连续炼铜模式<sup>[2]</sup>。

近年来,双闪、双底吹、侧吹+顶吹等连续炼铜技术在国内先后成功应用并建成投产<sup>[3]</sup>。在此背景下,某冶炼厂采用1台多枪顶吹炉(以下简称“顶

吹炉”)替代4台P-S转炉,并将澳斯麦特炉改造成顶侧吹复合式熔池熔炼炉(以下简称“复合式熔炼炉”),通过增加侧吹枪和提高熔池熔炼强度的方式,稳定产出高品位铜铕。同时,取消了沉降电炉,实现了安全、连续、高效、清洁、稳定生产,为国内外采用同类冶炼工艺的铜冶炼企业升级改造提供了创新性技术途径<sup>[4]</sup>。

## 1 工艺概况

改造项目采用的工艺为复合式熔炼炉熔炼-顶吹炉吹炼-回转式阳极炉精炼工艺。混合铜精矿经制粒后与熔剂配料并加入复合式熔炼炉内,与鼓入炉内的富氧空气发生一系列化学反应,完成加热、脱水、分解、熔化、氧化、造铕和造渣等过程,产出的高品位铜铕通过流槽直接排入顶吹炉;熔炼渣经缓慢冷后送选矿处理。顶吹炉配入适量的石灰石和冷铜,并通过多支顶吹喷枪向炉内鼓入富氧空气,实现悬浮吹炼。粗铜通过打眼方式间断排放,并通过吊车转运加入阳极炉内产出阳极板。吹炼渣采用风淬方式得到粒化渣,作为冷料返回熔炼系统。

## 2 顶侧吹复合熔炼与顶吹吹炼连续炼铜的特点和优势

### 2.1 顶吹枪与侧吹枪联合使用

顶侧吹复合式熔池熔炼炉集成了澳斯麦特炉和侧吹炉的特点,设置一支可插拔的顶吹浸没式喷枪

**[收稿日期]** 2025-06-22

**[作者简介]** 戴林冲(1984—),男,辽宁凤城人,硕士,高级工程师,主要从事有色金属冶炼工作。

**[引用格式]** 戴林冲,于跃,奚英洲,等.顶侧吹复合熔炼与顶吹吹炼连续炼铜生产实践[J].绿色矿冶,2025,41(4):80-83.

DAI Linchong, YU Yue, XI Yingzhou, et al. Production practice of continuous copper smelting by top-side blown composite smelting and top blown smelting[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(4): 80-83.

和多支固定式的侧吹喷枪,通过顶枪向渣层集中供氧和燃料,通过侧吹枪辅助供氧。顶枪与传统的澳炉顶吹喷枪结构类似,仅枪头部分进行了优化和改进。侧枪沿炉体圆周均匀布置,与炉体中轴线成一定夹角向下倾斜,工作时浸没在渣层内。侧枪与炉子径向成一定夹角,旋流方向同顶枪气流旋转方向一致。顶枪和侧枪的联合使用,提高了搅拌强度,使反应区没有死角,反应更加充分均匀。与传统的澳斯麦特炉相比,熔池的传质和传热速率得到了改善,氧气的利用率得到提高,炉体熔炼强度得到提升<sup>[5]</sup>。改造后,富氧浓度从45%~50%提高至60%~65%,铜品位从50%~55%提升至68%~75%,产出高品位铜,并彻底解决了熔炼烟气处理系统中存在单质硫的问题<sup>[5]</sup>。

## 2.2 铜铈和炉渣炉内分离

通过提高操作液面和和和操作温度的方式,复合式熔炼炉在熔炼过程中可实现炉渣和铜铈有效分离。炉体设置两个排放口,一个用于连续排渣,一个用于连续排铜铈(图1)。改造后,操作温度从1200℃提高至1250℃,Fe/SiO<sub>2</sub>从1.1提高至1.4,熔炼渣含铜量小于2%。炉渣不需要经过沉降电炉进行沉降分离,直接送炉渣缓冷。因此,经过一段时间的生产过渡期,拆除了电炉,大幅降低了电耗。铜铈经短流槽直接排入顶吹炉,不但减少了熔体热量损失,而且减少了SO<sub>2</sub>的无组织逸散和低空污染,现场操作环境得到了极大改善。

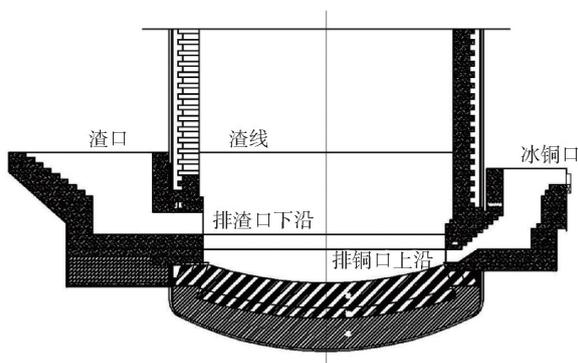


图1 复合式熔炼炉排放口示意图

## 2.3 顶吹炉连续吹炼

建设1台顶吹炉替代4台P-S转炉,大幅提高了吹炼效率。P-S转炉吹炼过程包括进料、造渣、排渣、出铜过程,因而摇炉频繁,吹炼烟气逸散严重,二次烟气收集困难,环保烟气量大,导致脱硫系统负荷高,脱硫费用高。且冶炼烟气浓度波动大,给制酸系统的稳定操作带来困难,烟气量大、浓度低导致制

酸成本也高。而顶吹炉连续进料、连续吹炼,冶炼烟气量和烟气SO<sub>2</sub>浓度波动小,可进行高浓度制酸,大幅降低脱硫和制酸成本。顶吹炉连续稳定地生产出品位不小于98.5%的粗铜,实现吹炼渣含铜量小于25%。

## 2.4 经济效益

1)复合式熔炼炉采用高富氧浓度和高铜品位的操作模式,熔炼反应热显著提高。粉煤节省量约1t/h,按年作业7920h计算,可节省粉煤7920t/a,粉煤(低位发热值约5000kcal/kg)价格按1000元/t计,则可节省成本792万元/a。燃料油消耗从500kg/h降至100kg/h,年节省燃料油3168t,燃油价格按3000元/t计,则可节省成本950.4万元/a。

2)取消1台沉降电炉和2台转炉鼓风机,节省电量3500kW·h/h,年作业7920h,则可节省电量2772万kW·h/a,电费按0.55元/kW·h计,年节省成本1386万元。

3)顶枪和侧枪联合使用,使氧利用率提高3%,纯氧节省量600Nm<sup>3</sup>/h,年节省纯氧量475.2万Nm<sup>3</sup>,纯氧价格按0.33元/Nm<sup>3</sup>计算,可节省成本156.8万元/a。

综上所述,采用双顶吹连续炼铜技术每年总成本可降低约3285.2万元,阳极铜加工成本降低约328.5元/t。节能降耗效果明显,经济效益显著。

## 2.5 环境效益

采用双顶吹连续炼铜技术年累计节省电量2772万kW·h,燃料油3168t,粉煤7920t,纯氧475.2万Nm<sup>3</sup>,纯氧耗电按0.6kW·h/Nm<sup>3</sup>计,电碳排放按0.997kgCO<sub>2</sub>/kW·h折算,燃油碳排放按3.06kgCO<sub>2</sub>/kg折算,粉煤碳排放按1.98kgCO<sub>2</sub>/kg折算,则每年合计可减少CO<sub>2</sub>排放量55855t。

环集烟气量减少100000m<sup>3</sup>/h,脱硫尾气在线排放指标按100mg/m<sup>3</sup>折算,年累计减少SO<sub>2</sub>排放量79.2t,硫酸利用率提高1%,折合每年增产4000t硫酸,减少SO<sub>2</sub>排放量2612t。

通过连续吹炼工艺的改造,冶炼系统的碳排放和SO<sub>2</sub>排放量均实现了有效的降低,减轻了对附近环境的污染,环境效益和社会效益显著。

## 3 操作实践及注意事项

### 3.1 开停炉操作实践

#### 3.1.1 开炉

复合式熔炼炉采用熔炼水淬渣造熔池,待顶枪平稳摆动时,表明熔池已经创建完成。连续加入铜

精矿进行正常的熔炼作业,先采用小料量速度 40 t/h 提高熔池液面高度,待渣口出熔体时,可以适当提高投料量。当铜铤面高于铜铤口上沿且低于排渣口下沿时,可进行排铜铤。在排铜铤时,必须将加料量提至 60 t/h 以上,维持铜铤熔体一定流量,确保铜铤熔体流动顺畅不断流,防止流槽持续粘接,产生堵塞。

严格要求铜铤品位不得低于 65%,不得高于 72%。待顶吹炉炉内熔体液面升至距离顶吹炉渣口下沿 200 mm 高时,顶吹炉才可以送风进行吹炼,根据烟气含氧量和温度情况控制吹炼富氧浓度。如果铜铤品位过低,吹炼初期放热量大,炉温过高,对炉体不利。由于顶枪是悬浮吹炼方式,当渣层过厚时,铜铤无法直接接触氧气,吹炼反应速度变慢,反应放热小,会出现凝炉现象。若出现上述情况,应停止送风吹炼并进行保温。加入热态铜铤置换炉渣,待渣层厚度小于 100 mm 时再继续送风吹炼。如果铜铤品位过高,吹炼放热量小于炉体散热,同样会造成温度低而凝炉。此时,应用燃气烧嘴补热,同时提高吹炼富氧浓度。

### 3.1.2 停炉

1) 停炉时间少于 24 h:将复合式熔炼炉顶枪拔出,每支侧枪鼓入少量风,保证枪口不堵即可。顶吹炉液面降到渣口下沿,渣层越薄越好,利用天然气或柴油烧嘴保温。

2) 停炉时间在 1~3 d:复合式熔炼炉利用底排口将液面降到侧风口以下,顶枪、侧枪停止供风。顶吹炉液面降到距离渣口下沿 150~250 mm,渣层越薄越好,利用天然气或柴油烧嘴保温。

3) 停炉时间在 3~20 d:复合式熔炼炉利用底排口将熔池排净,顶枪、侧枪停止供风。顶吹炉液面降到距离渣口下沿 250~350 mm,渣层越薄越好,适量加入小块煤,并利用天然气或柴油烧嘴保温。

4) 停炉时间在 20~30 d:复合式熔炼炉利用底排口将熔池排净,顶枪、侧枪停止供风。顶吹炉液面降到距离渣口下沿 300~450 mm,渣层越薄越好,适量加入小块煤,并利用天然气或柴油烧嘴保温。

5) 停炉时间超过 30 d:复合式熔炼炉利用底排口将熔池排净,顶枪、侧枪停止供风。顶吹炉现利用铜铤将炉内渣子排净,然后利用底排口将熔体全部排净。

## 3.2 事故防治措施

### 3.2.1 泡沫渣的防治

泡沫渣的主要成分是磁性铁( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ),其含量越高,熔体的熔点温度越高,熔体黏度增大,并导致

冶炼烟气不能及时地从熔体中溢出,从而产生泡沫渣<sup>[6]</sup>。生产过程中需要避免泡沫渣的产生,主措施包括:①将熔炼渣铁硅比控制在 1.3~1.5,有效降低熔体中磁性铁的含量;②熔池温度控制在 1250~1300℃,提高熔体的流动性,降低炉渣黏度,同时,配入一定比例的块煤,可有效抑制磁性铁的产生;③产生泡沫渣时,要降低供风量,提高块煤的加入量,不要降低铜精矿的投料量,因为铜精矿是最好的还原剂;④要尽量避免熔炼渣进入顶吹炉内,以免生成高熔点渣;⑤加强现场的巡检,防止石灰石加料口堵塞,避免渣反应因缺少氧化钙而产生泡沫渣;⑥如果顶吹炉停炉保温时间过长,炉内粗铜会被氧化成氧化铜。当大量氧化铜进入新铜铤时,会与铜铤中的硫化亚铜瞬间反应放热,产生大量二氧化硫烟气,导致炉内变成正压,烟气来不及溢出容易产生泡沫渣。如果遇到上述情况,可以先进 10 min 铜铤后,再进行送风吹炼,这种方法可以有效避免产生泡沫渣。

### 3.2.2 铜水套漏水爆炸事故的防治

熔池区域炉体结构从里向外依次是耐火砖、铜水套、钢壳。铜水套漏水通常包括两种情况:①耐火砖层脱落,高温熔体长时间直接接触铜水套时,会对铜水套产生高温化学侵蚀,导致铜水套漏水;②冷却水水质不好,易造成铜水套埋管堵塞,或者供水管路泄露,导致铜水套得不到及时冷却,从而被高温熔体所侵蚀熔化。

铜水套漏水可能引发极其严重的后果,必须格外重视。铜水套回水管路上必须安装测温和测流量仪表,并在控制系统中设置水温超温报警和断流报警。收到报警提示时,要引起警觉并进行排查,必要时需要停炉处理。此外,需要加强日常巡检,杜绝水套漏水事故的发生。

### 3.2.3 可燃气体防爆控制

#### 3.2.3.1 复合式熔炼炉可燃气体防爆控制

复合式熔炼炉冷态点火时由于炉温低、喷枪供风压力大,炉底先引燃的木材很容易被吹灭,此时喷枪提供的雾化油不易燃烧。如果喷枪在点火位置超过 3 min 没有引燃,就会产生大量可燃气体,此时决不能向炉内扔明火,否则会产生爆炸冲击力,供油时间越长,爆炸的威力越大。正确的操作方法是提枪断油,待炉内和锅炉等烟气管路内可燃气体被置换后,再重新下枪点火。

#### 3.2.3.2 顶吹炉可燃气体防爆控制

顶吹炉保温期间,天然气不完全燃烧会产生 CO

和 $H_2$ 气体,要严格控制顶吹炉保温烧嘴中天然气和压缩风的配比,入炉纯氧和入炉天然气流量比值不小于2,保证天然气完全燃烧。若保温期间需要往顶吹炉内加入块煤时,必须提高入炉氧气量,确保块煤完全燃烧,可以通过监测烟气含氧量来调节送氧量。同时炉内要保持微负压,以避免炉内可燃气体累积。

保温期间如果供氧系统突然跳闸或者炉前供风流量出现假值,导致炉内严重缺氧,短时间内负压系统会充满大量可燃气体,爆炸风险极高。为避免出现此情况,主控制室内应安装鼓风机跳闸报警和氧气断流报警设施,一旦发现报警提醒,应及时关闭炉前天然气快速切断阀门。此外,还应设置供风供氧系统与天然气管道切断阀之间的连锁控制,有效避免爆炸事故。

## 4 结束语

双顶吹连续炼铜工艺投运以来,取得了良好的

技术经济指标,厂内的环保情况得到了极大的改善。实践表明,双顶吹连续炼铜工艺在节能、环保、生产控制和生产成本上都具有明显优势,为国内外传统的澳斯麦特炉+P-S转炉工艺的升级、改造提供了新的解决方案。

### [参考文献]

- [1] 李锋. 铜硫化矿熔池冶炼技术的发展与展望[J]. 中国有色冶金, 2022, 51(4): 8-15.
- [2] 袁俊智,王新民. 华鼎铜业双底吹连续炼铜的生产实践[J]. 有色设备, 2017, 30(6): 34-37.
- [3] 陈晓军. 我国铜冶炼技术的进步及发展[J]. 世界有色金属, 2021(14): 15-16.
- [4] 陆金忠,孙晓峰,李海春. 顶侧复合连续炼铜系统开发之工艺流程再造[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(2): 1-5.
- [5] 赵璧,李汝云,任永专,等. 顶吹炉熔炼生产高品位冰铜探索及实践[J]. 中国金属通报, 2021(7): 19-20.
- [6] 任永专,赵璧,蕙军,等. 复杂铜精矿低温富氧熔炼渣型调控[J]. 有色金属工程, 2023, 13(2): 69-78.

# Production Practice of Continuous Copper Smelting by Top-Side Blown Composite Smelting and Top Blown Smelting

DAI Linchong<sup>1</sup>, YU Yue<sup>1</sup>, XI Yingzhou<sup>1</sup>, LU Jinzhong<sup>2</sup>, ZHAO Zhida<sup>1</sup>, WANG Yanchao<sup>3</sup>, SUN Xiaofeng<sup>2</sup>  
(1. Huludao Zinc Industry Co., Ltd., Huludao 125003, China; 2. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China; 3. Huludao Nonferrous Metallurgy Design Institute Co., Ltd., Huludao 125003, China)

**Abstract:** A smelter upgraded the traditional Ausmelt oxygen-enriched top blown bath smelting furnace and P-S converter into a top-side blown composite bath smelting furnace and a multi-gun top blown furnace, and cancelled the settlement electric furnace matching the Ausmelt furnace, realizing the transformation and upgrading of the traditional smelting process to the green low-carbon short-process continuous copper smelting process. This paper systematically expounded the operation of the process system and the main technical and economic indicators, introduced in detail the production operation points of the furnace opening and stopping operation, and summarized the prevention of accidents such as foam slag control, water leakage of water jacket and combustible gas explosion. After the process transformation, the production is continuous and stable, and high-grade copper matte and high-quality crude copper are stably produced. The copper content of the smelting slag is less than 2%, and the unit cost of anode copper is reduced by about 330 yuan. The process has significant advantages in energy saving and environmental protection, reducing air pollutant emissions and reducing production costs.

**Key words:** double top blown; continuous copper smelting; green low-carbon smelting; prevention and control of smelting accidents