

# 顶吹吹炼炉问题剖析与解决方案

袁精华

(中国瑞林工程技术股份有限公司,江西 南昌 330031)

**[摘要]** 某铜业公司是世界上首家采用侧吹+顶吹铜冶炼工艺单套产能在300 kt/a的铜冶炼企业,该企业使这种铜冶炼工艺达到了一个突破性的产能高度。侧吹炉生产总体上正常,但是顶吹炉在前期筑炉过程中出现了很大的缝隙,在后期生产过程中又出现了炉底检测温度过高、炉底工作层耐火砖漂浮的重大问题,本文对这些问题进行了深入的剖析,指出了顶吹炉在筑炉过程中出现很大缝隙的成因以及顶吹炉炉体结构、膨胀缝设置不合理导致炉底问题出现的根本原因,并对这些问题提出了针对性的解决方案。

**[关键词]** 顶吹炉;耐火砖;缝隙;炉体结构;膨胀缝;捣打料

**[中图分类号]** TF811 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)05-0067-04

**DOI:**10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.05.012

## 0 引言

闪速炉工艺及侧吹+顶吹工艺成为现阶段的主流铜冶炼工艺,闪速炉工艺因其规模大的优势在市场占有率上远超其它工艺<sup>[1]</sup>,而侧吹+顶吹工艺则因其对原料适应性强、流程短、投资少、生产成本低等优越性有后来者居上的趋势<sup>[2-3]</sup>。2013年,侧吹+顶吹工艺投产的产能仅为100 kt/a,远落后于闪速炉工艺产能的400 kt/a,当时,某铜业公司前期初步设计阶段采用侧吹熔炼炉和转炉吹炼的生产流程,设计规模为阴极铜200 kt/a。2016年,该铜业公司最终初步设计阶段采用侧吹+顶吹工艺,并把产能提升到300 kt/a,熔炼工序配置1台44.4 m<sup>2</sup>的侧吹熔炼炉,吹炼工序配置了1台55.45 m<sup>2</sup>顶吹吹炼炉。2017年,在施工图阶段,最终确定侧吹炉面积为50.4 m<sup>2</sup>、顶吹炉面积为65.7 m<sup>2</sup>,无论是侧吹炉还是顶吹吹炼炉都是当时世界上设计最大的,到目前为止,仍然是世界上投产最大的侧吹炉和顶吹吹炼炉。2016年,侧吹+顶吹工艺投产的产能仅为150 kt/a,把侧吹+顶吹工艺产能提升至300 kt/a,具有相当大的挑战。

**[收稿日期]** 2023-05-26

**[第一作者]** 袁精华(1968—),男,江西南昌人,教授级高级工程师,大学本科。

**[引用格式]** 袁精华.顶吹吹炼炉问题剖析与解决方案[J].有色设备,2023,37(5):67-70.

## 1 出现的问题

2018年,该铜业公司侧吹炉与顶吹吹炼炉开始进行施工安装,在砌筑时顶吹吹炼炉炉底在炉子长度方向的中心线位置出现了一条很大的缝隙,缝隙位于第一反拱工作层,是在两环耐火砖之间,长度几乎覆盖整个炉长,宽度约7~9 mm,最大处接近10 mm,缝隙最大宽度处位于吊装孔下部区域,缝隙情况如图1所示。投产后,侧吹炉运行总体上基本正常,除炉体出现一些膨胀问题外,没有出现较大的问题。但是,顶吹吹炼炉在投产初期位于炉子中心线第二反拱工作层下部的捣打料位置的炉底测温点显示温度除个别显示有问题外,大部分接近或者在900℃以上,后期有的测温点甚至接近1050℃,温度显示情况如图2所示,远高于600~700℃的正常值。在投产不到两年时间则出现炉底第一反拱工作层的大量耐火砖漂浮在炉渣上部的重大问题,这种炉底反拱工作层大量耐火砖漂浮的现象在铜冶炼历史上也是罕见的,如果处理得不果断、及时,则会造成炉子漏铜、跑铜的重大事故。鉴于此,顶吹吹炼炉不得不停产冷修,这也意味着炉子使用寿命大幅度缩短,不及正常使用寿命的一半。

## 2 问题剖析

### 2.1 缝隙

炉底缝隙产生需要具备产生的条件和诱因。顶



图1 炉底第一反拱工作层缝隙

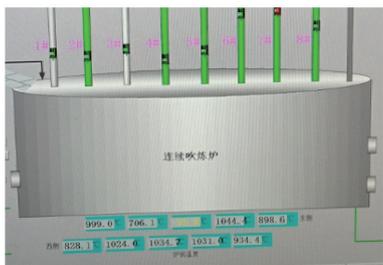
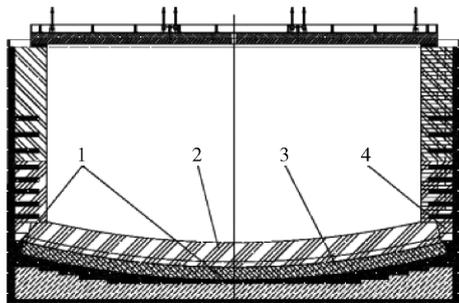


图2 炉底测点温度

吹吹炼炉宽度方向炉底第一反拱工作层的拱脚砖与炉壳两侧各有 100 mm 厚的捣打料,炉底第二反拱工作层没有设置拱脚砖,且与炉壳各有 200 mm 厚的捣打料,炉底第二反拱工作层下部采用捣打料制作成反拱形,最薄处也有 130 mm,也就是说炉底反拱耐火砖周围与下部存在大量的可压缩的捣打料,如图 3 所示,这么厚的捣打料要捣密实是不容易做到的,这就为炉底缝隙的产生具备了条件。炉底缝隙是在砌筑炉墙过程中产生的,此时炉墙砌筑的高度达到 700 mm 左右,炉底第一反拱工作层上堆满了从吊装孔吊下的一箱箱炉墙耐火砖,也就是说炉底承受了相当大的重力,这为炉底缝隙的产生具备了诱因,这点也可以从缝隙宽度大小分布得到验证,缝隙最宽的地方集中在吊装孔下部区域<sup>[4-5]</sup>。捣打料在重力作用下向两侧压缩和向下压缩沉降,向两侧压缩时炉底反拱工作层弦的宽度变大,向下压缩沉降时炉底工作层的反拱半径变大,也导致反拱工作层弦的宽度变大,显然,实际的弦宽度大于理论设计弦宽度,也就是说反拱工作层实际弧长大于理论长度,当然会导致缝隙产生<sup>[6]</sup>。

## 2.2 炉底测点温度高

位于炉子中心线第二反拱工作层下部的捣打料



1.捣打料;2.第一反拱工作层;3.第二反拱工作层;4.拱脚砖

图3 原设计耐火材料结构图

炉底测温点处的理论温度约 610 ℃,实际温度基本上在 900 ~ 1 040 ℃,实际温度比理论温度超过 290 ~ 430 ℃,温度高出如此之多,炉底必有粗铜渗入,而且可以确定粗铜渗入量不在少数。当时该铜业公司对前面提到的筑炉过程中出现的约 10 mm 的缝隙非常重视,邀请了三家设计院对出现的问题进行会诊,会议也决定采取补救措施,不知出于何种考虑,后来并没有实施。这就造成耐火砖受热膨胀后并没有把出现的缝隙完全闭合,因此,粗铜就会从没有闭合的膨胀缝渗入炉底。由于粗铜的热导热率为 134 W/(m·k<sup>-1</sup>),远高于 900 ℃ 镁铬砖的 1.65 W/(m·k<sup>-1</sup>),显然会导致炉底测温点的温度大大高出正常值<sup>[7]</sup>。

## 2.3 炉底耐火砖漂浮

正常情况下,即使粗铜的 7.9 t/m<sup>3</sup> 的比重远大于镁铬质耐火砖 3.2 t/m<sup>3</sup> 的比重而存在向上的浮力,炉底耐火砖也是不可能上浮的。因为炉底为反拱状,也就是说炉底耐火砖为楔形,即耐火砖为大小头形,且小头朝炉内,大头朝炉外。出现炉底工作层耐火砖漂浮可以判定炉底工作层反拱的整体性已经破坏,局部工作层耐火砖已经松动。松动的原因则是由于前面提到的粗铜渗入,渗入的粗铜达到炉底第一反拱工作层与第二反拱工作层之间,粗铜就会给炉底第一反拱工作层一个向上推举的力量,随着粗铜的渗入量增加,这种推举力越来越大,最终这种向上的推力与浮力的合力大于反拱向下的力量,耐火砖就会松动,直至耐火砖脱离反拱,进入粗铜层,最后进入炉渣层,因为炉渣比重为 3.5 m<sup>3</sup>,大于镁铬砖的比重 3.2 t/m<sup>3</sup>,于是耐火砖就会上升至炉渣表面形成炉底耐火砖漂浮现象<sup>[8]</sup>。

当然,粗铜渗入是造成炉底耐火砖漂浮的直接原因,究其本质原因有二个。

其一：炉体结构存在不合理。①炉体四周及炉底使用了大量的捣打料，而且厚度很厚，都在100 mm及以上，当然，原设计思路是防止高温熔体向炉外渗漏，起防渗作用，但是，捣打料施工需要遵循严格的规范，特别是工期紧的情况下，捣打料存在没有捣密实的不确定性，这样捣打料可压缩性就很大；②第二层工作层没有设置拱脚砖，该层稳定性较差，近而削弱了整个炉底反拱稳定性；③反拱设置不合理。炉底反拱不应像附图3一样伸入炉墙，因为反拱在炉墙下部就会对炉墙有一个很大的向上推力，单靠约3 000 mm高的炉墙耐火砖和铜水套的重量是不可能压住反拱的，这样就会破坏反拱的稳定性，给炉体带来风险。

其二：膨胀缝设置不恰当。砌筑说明指出宽度方向每六块砖1张3 mm膨胀纸，长度方向每三块砖1张2 mm膨胀纸，在考虑捣打料可压缩的情况下，炉体宽度方向设置膨胀量偏大，而膨胀量留设过大，会导致缝隙过大，继而造成粗铜渗入炉底<sup>[9]</sup>。

## 3 解决方案

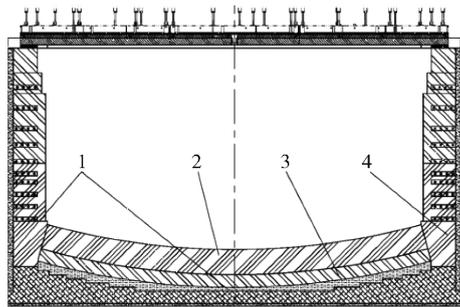
### 3.1 缝隙的处理

笔者当初也参加了问题的讨论，因为考虑到捣打料的可压缩性，经过核算原设计膨胀量留设过大，那么大的缝隙不可能通过耐火砖受热膨胀后闭合，笔者认为缝隙必须处理，并建议采取以下方式处理：1)采用200目以下的与耐火砖同材质的干粉填料进行填充并捣打密实；2)填充后表面采用钢板覆盖加以保护。如果当初通过这种方式处理，后续可以借用烘炉时机，让散状填料经高温烘烤后固化在原缝隙处，与耐火砖形成一个整体，可有效防止粗铜通过此缝隙向炉底渗入，进而避免炉底耐火砖漂浮的现象出现<sup>[10]</sup>。

### 3.2 炉体结构完善

事实上，炉体结构合理是炉子安全稳定运行的基础。通常情况下，无论是第一反拱工作层还是第二反拱工作层两侧都应设置拱脚砖，以保证反拱的稳定。拱脚砖与炉壳之间一般不宜设置可压缩材料，即使为了防渗，捣打料也不应设置过厚，一般控制在50~80 mm之间。为了防止反拱沉降，第二反拱工作层下部的捣打料也不宜过厚，宜控制在80 mm左右，并且，合理的炉底反拱设置不应在炉墙下部，而应在炉墙外侧，虽然这种结构的反拱对拱脚砖也会对炉墙

有一个向上的力，但这个力远小于把炉底反拱设置在炉墙下部的力，反拱大部分力通过反拱两侧的拱脚砖传递给强度非常高的炉体钢结构，这样就有利于反拱稳定可靠，新耐火材料结构图如图4所示<sup>[11]</sup>。



1. 捣打料；2. 第一反拱工作层；3. 第二反拱工作层；4. 拱脚砖

图4 新耐火材料结构图

### 3.3 膨胀缝设置

要保证炉体安全稳定地运行，除炉体结构要合理外，膨胀缝设置得恰当也是非常关键的，膨胀的设置需根据供应商耐火材料的膨胀系数，并结合砖缝和捣打料厚度以及整个炉体的结构形式采用集中和分散相结合的方式。

## 4 结语

侧吹+顶吹铜冶炼工艺因具有多方面的优势，特别是生产成本低，其在市场占有率会越来越高。随着这种工艺的单套设备处理能力的加大，其规模效益带来生产成本低的优势将更加显现。

### [参考文献]

- [1] 李卫民. 铜吹炼技术的进展[J]. 云南冶金, 2008(10): 24-28.
- [2] 罗银华, 王志超. 富邦富氧侧吹熔池炼铜炉生产实践[J]. 有色金属(冶炼部分), 2013(7): 19-22.
- [3] 欧志光. 富氧侧吹熔池熔炼处理低品位含铅物料问题分析及措施[J]. 湖南有色金属, 2017(12): 37-40.
- [4] 袁精华. 闪速吹炼炉炉体寿命大幅度提高的对策[J]. 有色设备, 2023, 37(3): 79-83.
- [5] 兰旭, 蔡兵. 云锡双顶吹铜冶炼工艺技术的应用[J]. 有色冶金设计与研究, 2014, 35(3): 21-23.
- [6] 刘京超. 多枪顶吹连续吹炼炉高浓度富氧炼铜生产工艺[J]. 山西冶金, 2022, 45(9): 107-108+129.
- [7] 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.
- [8] 袁精华. 150 m<sup>2</sup>大型沸腾焙烧炉设计回顾与展望[J]. 硫酸工业, 2021(4): 6-9.

[9] 袁精华. 侧吹炉的现状与展望[J]. 有色金属(冶炼部分), 2022(1): 31-35.

有色冶金设计与研究, 2015, 36(5): 18-21.

[11] 袁精华. 高强度冶炼闪速炉优化设计对策[J]. 中国有色冶金, 2021, 50(6): 39-43.

[10] 韩志. 双炉侧顶吹粗铜连续吹炼代替 PS 转炉吹炼[J].

## Analysis and Solution of Top Blowing Furnace

YUAN Jinghua

**Abstract:** A copper company is the first copper smelting enterprise in the world to adopt side-blowing + top-blowing copper smelting process with a single production capacity of 300 kt/a, which makes this copper smelting process reach a breakthrough production capacity height. The production of the side blowing furnace is generally normal, but the top blowing furnace has a big gap in the earlier construction process, in the later stage of production, there are some important problems such as too high temperature of furnace bottom and floating of refractory brick in working layer of furnace bottom, this paper points out the cause of the big gap in the process of building the top blowing furnace and the basic reason of the bottom problem caused by the unreasonable structure of the top blowing furnace body and the setting of the expansion gap, and put forward the solution to these problems.

**Key words:** top blowing furnace; refractory brick; gap; furnace body structure; expansion joint; tamping material

