

闪速吹炼炉炉体寿命大幅度提高的对策

袁精华

(中国瑞林工程技术股份有限公司, 江西 南昌 330031)

[摘要] 本文阐述了大幅度提高闪速吹炼炉炉体寿命的对策。论述了炉体设计需要突破现有的思路, 采用高出拱脚砖的高铜液面的设计和操作新理念, 反应塔、沉淀池、上升烟道各部分采用合适的结构, 沉淀池垂直铜水套内侧堆焊层采用抗冲刷和抗渣侵蚀性能更好的合金, 并适当加厚, 所有直接接触烟气或熔体的铜水套内侧应设计成利于挂渣的凸凹形, 选择容易挂渣的铁酸钙渣型, 并对铜水套漏水情况进行有效地监控, 可使闪速吹炼炉炉体使用寿命由目前的 4 年左右大幅度地提高到 8~10 年以上, 并可为每个公司每年创造近 1 590 万元的利润, 如果国内的闪速吹炼炉都采用该技术, 则每年为国内创造 7 950 万元的收入。

[关键词] 理念; 炉体结构; 铜水套; 渣型; 炉体寿命

[中图分类号] TF811; TF806.2

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2023)03-0079-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.03.015

0 前言

PS 转炉吹炼工艺经过一百多年的发展^[1-2], 是一种成熟可靠的工艺, 而且转炉炉体寿命已达到 300 炉, 操作也实现了机械化和自动化, 事实上, 依然是世界范围内采用的主流的铜钼吹炼工艺。但尽管使用了炉口冒烟的捕集和厂房集烟的技术, 仍然不能完全消除炉口 SO₂ 烟气泄漏对于环境造成的低空污染, 对于环保要求越来越严格的国家来说无疑堵塞了其发展空间, 并且又具有炉口漏风、烟气波动大, 高温熔体需要吊运等缺点。因此, 特别需要一种新工艺能克服 PS 转炉吹炼工艺存在的不足, 闪速吹炼工艺顺应了时代发展的需要, 解决了 PS 转炉吹炼工艺存在的上述问题。世界第一台闪速吹炼炉 1995 年 7 月在美国尤他冶炼厂投产, 世界第二台也是中国第一台闪速吹炼炉于 2007 年 9 月在祥光铜业投产^[3], 2013 年 1 月金冠铜业闪速吹炼炉也投产, 2013 年 11 月广西金川公司和 2018 年 7 月中铝东南铜业的闪速吹炼炉相继投产, 目前大冶有色项目正在建设中。闪速吹炼炉经过 20 多年的发展, 特

别是近 10 年的发展, 已具有自动化程度高、运行成本低、烟气中二氧化硫浓度高而且稳定、处理能力大、环保好、工艺技术先进等优点, 具有很好的推广应用价值, 特别适合于大型铜冶炼厂和对环保要求严格的国家。但是, 闪速吹炼炉相比 PS 转炉吹炼, 因其只设置 1 台对应闪速熔炼炉, 一般运行 4 年左右就需要停炉冷修, 冷修时间接近 45 天, 影响冶炼厂的生产 and 效益。按照平均每天约 254 万元的利润来测算, 由于冷修停产就少创造了 11 430 万元的收入, 再加上 1 300 万元的冷修费用, 总共 12 730 万元, 分摊到 8 年, 则每年少了 1 590 万元。如果闪速吹炼炉的冷修周期与闪速熔炼炉的同步, 即闪速吹炼炉的炉体寿命大幅度提高到闪速熔炼炉的 8~10 年, 可每年创造 1 590 万元的利润, 闪速吹炼炉的技术优势会进一步突显, 也可更好地应对来自侧吹+顶吹冶炼带来的挑战。闪速吹炼炉炉体寿命要在目前的基础上大幅度提高一倍以上, 难度当然很大。但如果突破现有思路, 采用新的理念、适合的炉体结构、改进的冷却元件、规范的操作和有效的监控等对策是可以期待的。

[收稿日期] 2023-02-26

[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. 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.

1 理念

我国闪速吹炼炉铜液面控制高度除一座闪速吹炼炉外基本采用较低的铜液面, 即把最高铜液面限制在炉底拱脚砖的顶面以下, 不让铜液面高出拱脚

砖的顶面,如图 1 所示。采用这种铜液面高度是因为垂直水套内侧炉墙的耐火砖几个月就会被侵蚀掉,不让粗铜接触垂直铜水套,避免同质熔损的现象发生而损坏铜水套。而拱脚砖及其附近的炉底耐火砖较厚,可以硬扛到 4 年左右的冷修期。但是,由于采用低铜液面,特别是在放铜操作后,炉渣会大面积接触拱脚砖及炉底工作层,而炉渣对耐火砖的侵蚀很强,运行 4 年后耐火砖只剩 1/3 高度,如图 2 所示,如果继续硬扛会造成炉穿的风险。实际上炉底拱脚砖及其附近的炉底耐火砖的使用寿命是目前制约闪速吹炼炉炉体寿命的两大瓶颈之一。大幅度提高炉体寿命需要树立新的理念,让拱脚砖及炉底的耐火砖像闪速熔炼炉一样成为永久层。需要采用高铜液面操作^[4-5],即最低铜液面需要控制在拱脚砖顶面之上,不让渣线下移到拱脚砖,完全杜绝炉渣接触拱脚砖及其附近的炉底耐火砖。由于粗铜不侵蚀耐火砖,拱脚砖及炉底的耐火砖超长的使用寿命就得以保证。

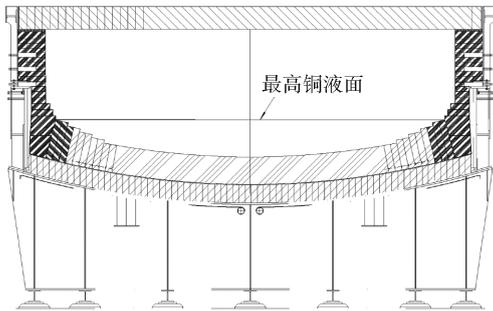


图 1 沉淀池最高铜液面



图 2 运行四年后拱脚砖及炉底反拱砖侵蚀情况

2 炉体结构

纵观闪速炉本体的发展史,实际是沿着不断加强水冷保护的路线进行的。因此,闪速炉铜水套也就越用越多,而耐火材料则越用越少,造成这种现象的原因是产量的不断提高和冶炼强度不断加大。如

果没有冷却保护,没有任何耐火材料能够长时间承受高温烟气冲刷或炉渣侵蚀。所以,闪速吹炼炉在炉体结构设计时,自然需要重点考虑水冷结构,以应对不同的工作环境,确保炉子运行的安全和达到预期的使用寿命。

2.1 反应塔

金冠铜业闪速吹炉运行第一个周期之后对反应塔检查结果是:反应塔最下部锯齿形水套的耐火砖已全部不存在,其表面附有一层炉渣,下部水平水套之间的耐火砖损耗超过一半,炉顶高度为 375 mm 的耐火砖仅剩 100 mm 左右,其它部位耐火砖损耗不严重。在停炉前最下部的 40 块水平铜水套中的 6 块水套漏水^[6],拆除后发现水套漏水处是在水套底面中间部位,也就是支撑钢板内边缘和水套底面接触的位置,如图 3 箭头所示。6 块水套损坏的形状均为圆弧槽形,如图 4 所示。这么圆滑规整的损耗不像是低温腐蚀,即使投产前钢板与水套有缝隙,也会被炉渣堵住,不可能吸进冷空气,所以此处温度较高,也就不可能形成低温腐蚀。水平铜水套损坏的原因可能是锯齿形铜水套最上部齿与水平铜水套之间的耐火材料冲刷掉之后,水平铜水套的底面就暴露在烟气中,带熔体的高温高速气流在钢板处卷吸回旋,久而久之,形成圆弧槽形的损耗。因此,反应塔筒体耐火砖与铜水套损坏可以归于主要是由于冲刷造成的,而耐火砖耐冲刷性能较差,基于此,反应塔中部和下部,宜设计成能适应挂渣的带凹槽的全水套结构,并且热面堆焊一层耐磨耐热合金,不设置耐火材料,靠挂渣工作,反应塔顶也可设计成这种结构,只不过筒体为立式,而顶部为卧式。采用这种结构,反应塔 10 年以上的使用寿命应该不成问题。

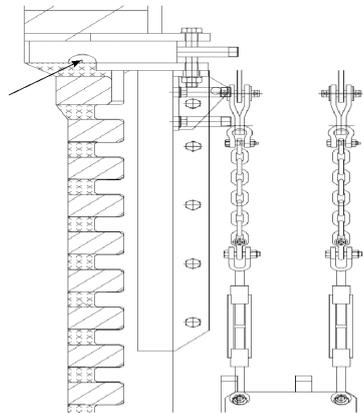


图 3 水平铜水套损耗位置



图4 反应塔水平水套损耗情况

2.2 沉淀池

如果采用上述提到的新理念,炉底拱脚砖区域的耐火砖使用寿命有保障,那么制约整个闪速炉炉体寿命达到8~10年以上的另一关键部位就是与炉渣接触的区域。目前的设计是与熔体接触的是耐火砖,工作层砖外侧是铜水套。铜水套有两种形式:一



图5 沉淀池垂直水套搭接形式

沉淀池粗铜口的结构虽不是制约炉体寿命的瓶颈,但应引起足够的重视,曾有公司在烧粗铜口时发生“跑铜”事故。目前在内侧保护水套与耐火砖之间增设了钢板,目的是防止烧穿铜水套。但是为了延长粗铜口的使用寿命,可适当加大内侧保护水套和外侧面板水套的水路内径,加厚耐火砖的厚度,在保证安全操作的前提下尽量加大粗铜口直径。这样,一方面可增大粗铜的流量从而减少烧粗铜口的次数,另一方面耐火砖厚度的增加有助于延长耐火砖使用寿命。面板水套嵌入的深度适当加长,防止氧枪对内侧保护水套及耐火砖的烧损。从而,保证出铜口内侧保护铜水套及耐火砖在冷修之前无需检修,只需检修外侧面板水套及其嵌砖。

2.3 上升烟道

上升烟道耐火砖损耗较严重的地方是连接部及顶部烟气出口区,这些部位是烟气冲刷最为严重的地方,目前是锯齿形水套镶砖结构,因为这些部位热态下无法更换。因此,为了实现8~10年以上的炉体使用寿命,结构形式应设计成易于挂渣的纯铜水套形式。其他部位仍可采用水平铜水套与耐火砖在高度上交替的组合方式。

种是靠耐火砖的一面镶钢板,另一种是靠耐火砖一面堆焊。从实际情况来看,耐火砖+铜水套的结构不太合适,因为耐火砖寿命不足半年,有的不足3个月,与目前4年的炉体寿命相比,相距甚远,几乎可以忽略耐火砖的作用。而且,耐火砖用最高档进口砖,一种很大的浪费。既然耐火砖很快就会消耗掉,那么,就应设计成垂直铜水套直接接触炉渣的结构,让铜水套挂渣工作。垂直铜水套设计成子母扣搭接的形式,并考虑方便今后的检修无需拆除整面墙而可以单独拆卸,如图5所示。反应塔下三面沉淀池侧墙气流区及沉淀池顶三角区目前是采用锯齿形水套镶砖结构,这种结构不影响冷修周期,但为了不浪费耐火材料的投资和减少或不需要检修,可做成纯水套结构。虽然其他部位的气流区侧墙及池顶工作环境较好,也可采用此种结构,即使使用十年沉淀池可不用检修或减少检修范围,将大幅度地减少冷修投资和缩短冷修工期。

出烟口下部的进出口角度应尽量加大,防止结渣形成大块掉落砸坏锅炉。

由于上升烟道烟气容易漏出形成酸性环境,在顶部的材质为普通碳钢的吊钩及吊杆容易腐蚀,会造成吊挂砖或吊挂水套掉入炉内。因此,吊钩及吊杆材质应采用防腐材料。

3 冷却元件

随着冷却元件用量的增加,特别是铜水套完全取代耐火材料的部位,对铜水套的可靠性提出了更高的要求,铜水套需根据使用部位的工作环境而有针对性地采用不同形式的铜水套,以满足8~10年以上的炉体使用寿命的要求。

在所有区域的铜水套中,吹炼炉炉墙中下部垂直铜水套是整台炉子最为关键的部分,工作环境最为苛刻,其内侧的上部接触高温烟气,中部接触炉渣和粗铜,下部接触拱脚砖和炉底砖。这就要求该铜水套上部经受高温高速带熔体的烟气冲刷,中部接触炉渣部位需要抗炉渣侵蚀,中部接触粗铜的部位需防止同质熔损,下部表面需平整以保证与耐火砖完全贴合,加强对拱脚砖及炉底砖的冷却保护。实

实际上,由于渣面会上、下波动,铜水套内侧上部既要耐冲刷,又要耐炉渣侵蚀;同样,由于炉渣与粗铜界面实际上也是波动的,铜水套内侧中部既要耐炉渣侵蚀,又要防止粗铜的同质熔损。综合上述因素,垂直铜水套内侧中、上部需要有一层耐冲刷、耐炉渣侵蚀又不能为粗铜置换的合金层。根据金属活动顺序表可知,绝大多数金属都比铜的活动性强,只有少数如钐、汞、银、钡、铂、金比铜的活动性弱。因此,铜水套内侧的合金层只需避开这些少数金属就不会粗铜置换,所以,重点考查其耐冲刷、耐炉渣侵蚀性。目前,采用的材质为耐热耐磨合金,从每年损耗约 0.3~0.7 mm 的速度来看,达到 8~10 年以上的使用寿命还存不足。为了提升其耐磨和抗侵蚀性能,可采用更高一级的合金,为了进一步延长铜水套的使用寿命,可对 5 mm 的合金层适当加厚。合金层附在垂直铜水套内侧有压制和堆焊两种方式。进口铜水套一般采用前一种,这种方式不太合适,因为铜及钢板的导热性及膨胀系数不一样,铜水套与钢板之间很容易脱离,脱离的钢板得不到冷却,在高温下很快就会损坏,进而铜水套直接接触熔体,无法达到预期的使用寿命,现在基本不采用这种方式。堆焊是铜材与不锈钢相互熔合,不易脱离,可满足使用要求,目前均采用这种方式。

其它区域的铜水套如反应塔、沉淀池烟气区和顶部以及上升烟道连接部及出口侧顶部均可采用堆焊耐热耐磨合金的铜水套。

由于采用的是尽量不用耐火材料的铜水套结构,因此铜水套与目前使用的形式不同之处在于:不接触耐火砖的内侧应设计成凹凸形以利于挂渣。

4 操作

选择一种合适的渣型无论对炉况控制还是对炉体使用寿命来说都是至关重要的。目前采用的渣型是铁酸钙渣^[7-10],因为铁酸钙渣比硅酸铁渣溶解 Fe_3O_4 能力更强,炉渣中含有的 Fe_3O_4 量就比较多,而 Fe_3O_4 是挂渣的主要成分。这样,炉子内衬上就容易形成挂渣层,可对耐火砖或铜水套加以保护。而且,铁酸钙渣容易进行放渣操作,炉渣及粗铜的目标温度都较低,炉渣含铜和粗铜含硫都较低。毫无疑问,对于本文主张尽量不用耐火材料的炉子结构,更应采用铁酸钙渣。两种渣型对比如表 1 所示。

目前放铜是采用间断操作,间断操作需要频繁

开堵口,这对出铜口的使用寿命极为不利。如果操作不当,不光会损坏耐火砖,而且会烧损水套,甚至造成事故。因此,对于处理矿铜 400 kt/a 阴极铜的“双闪”工艺,粗铜产量在 50 t/h 以上,宜尽量采用连续放铜,可极大地减少烧铜口操作,延长放铜口的使用寿命。

表 1 两种渣型对比表

渣型	硅酸铁渣	铁酸钙渣
1 300 °C 以下对 Fe_3O_4 溶解能力	弱,有 Fe_3O_4 析出	强
粘度	高	低
排渣	难	易
对炉衬的侵蚀性	强	弱
熔炼温度	高	低
渣含铜	高	低
粗铜含硫	高	低

5 监控

由于耐火材料用量的减少,取而代之的是铜水套使用的增加。因此,应加大对铜水套漏水现象的严密监控,防止发生重大生产安全事故。为此,不只对铜水套出水温度检测和超温报警,还需对铜水套每一回路的进水流量和出水流量进行检测,并将进水流量与出水流量的差值同设定值对比,如超过限定值则报警并切断该冷却元件回路的进水,防止大量的水漏入炉内,确保炉子的安全可靠。

6 结语

总之,炉体设计需要突破现有的思路,采用高出拱脚砖的高铜液面新的设计和操作理念,反应塔、沉淀池、上升烟道各部分采用适合的结构,沉淀池垂直铜水套内侧堆焊层采用抗冲刷和抗渣侵蚀性能更好的合金,并适当加厚,所有直接接触烟气或熔体的铜水套内侧应设计成利于挂渣的凸凹形,选择容易挂渣的铁酸钙渣型,并对铜水套漏水情况进行有效的监控,通过以上对策,闪速吹炼炉炉体使用寿命大幅度地提高到 8~10 年以上是完全可行的,并为每个公司创造近 1 590 万元/年,如果国内的闪速吹炼炉都采用该技术^[11],则每年为国内创造 7 950 万元收入。

[参考文献]

- [1] 周俊. 铜冶炼工艺技术的进展与我国铜冶炼厂的技术升级[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019(8): 1-10.
- [2] 唐尊球. 论我国铜吹炼技术发展方向[J]. 中国有色冶金, 2002(06): 6-7+18.
- [3] 周松林. 低碳铜冶炼工艺技术研究与应用[J]. 中国有色冶金, 2010, 39(04): 1-4.
- [4] 刘平, 郭万书, 张更生, 等. 广西金川公司“双闪”冶炼工艺投产五周年技术评述[J]. 中国有色冶金, 2019, 48(01): 1-7.
- [5] 万爱东, 郭万书, 张更生, 等. 广西金川公司闪速吹炼炉特点及生产运行实践[J]. 有色设备, 2017(01): 52-57.
- [6] 臧轲轲. 金冠铜业闪速吹炼炉冷修炉体改造[J]. 有色金属(冶炼部分), 2018(2): 26-30.
- [7] 杨辉. 铜闪速吹炼渣型的控制实践[J]. 有色金属(冶炼部分), 2020(2): 65-68.
- [8] 马奇, 刘庆国, 葛哲令, 等. 闪速吹炼技术的实践与改进[J]. 中国有色冶金, 2010, 39(04): 9-12.
- [9] 刘卫东. 闪速吹炼的生产实践[J]. 有色金属(冶炼部分), 2011(2): 12-15.
- [10] 孟凡伟. 金冠铜业闪速吹炼试生产实践[J]. 有色冶金设计与研究, 2015, 36(5): 25-29.
- [11] 中国瑞林工程技术股份有限公司, 一种闪速吹炼炉: 中国, CN 217230889 U[P]. 2022-08-19[2023-1-25].

The Solution of Increasing the Life of Flash Converting Furnace

YUAN Jing-hua

Abstract: In this paper, the solution of greatly improving the life of flash converting furnace is described. The design of furnace body needs to break through the existing ideas, adopt the new idea of design and operation of high copper liquid level with high arch foot brick, adopt suitable structure of reaction shaft, settler and uptake shaft, adopt better alloy of anti-scour and anti-slag erosion resistance in the inner surfacing layer of vertical copper water jacket of settler, and thicken properly, all copper water jacket with direct contact with flue gas or melt should be designed into convex concave shape of slag hanging slag, select calcium ferrite slag type with easy slag hanging slag, and effectively monitor the leakage of copper water jacket, which can greatly increase the life of flash converting furnace from about 4 years to 8-10 years, And can create nearly 15.9 million yuan for each company every year, if the domestic flash converting furnace adopts this technology, it will create 79.5 million yuan of income for the country every year.

Key words: Idea; Furnace structure; Copper water jacket; Slag type; Furnace life

