

# 转炉氧枪插入孔氮气密封改造及应用

周雅平<sup>1</sup>, 赵小龙<sup>1</sup>, 项晓梅<sup>1</sup>, 海英<sup>2</sup>

1. 内蒙古包钢集团设计研究院(有限公司), 内蒙古包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂, 内蒙古包头 014010)

**摘要:** 文章针对转炉气化冷却烟道氧枪口氮气密封经常出现烟气外溢、火焰上窜等现象, 采用无限空间淹没紊流射流理论及双孔射流的振荡主频特性试验对氧枪插入孔密封装置进行了重新设计。新氮封装置采用腔体密封设计, 氮封座上设双排斜孔, 结合理论计算, 合理设计孔径及斜孔角度。新氮封装置应用于包钢炼钢厂新1#转炉, 应用过程中减少了氧枪口吹炼过程中的“冒烟”现象, 减少了操作人员清理和更换氮封帽频次, 提高了煤气的回收量。工程应用表明改造后的密封装置具有设计合理、设备简单、运行安全等优点。

**关键词:** 转炉; 氧枪氮封; 氮气

中图分类号: TF341.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)01-0079-05

## Transformation and Applications of Nitrogen Sealing for Patchhole of Oxygen Lance of Converter

Zhou Ya-ping<sup>1</sup>, Zhao Xiao-long<sup>1</sup>, Xiang Xiao-mei<sup>1</sup>, Hai Ying<sup>2</sup>

1. Inner Mongolia Baotou Steel Group Design & Research Institute (Co., Ltd.), Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this paper, the sealing device for patchhole of oxygen lance is redesigned based on the infinite space submerged turbulent jet theory and characteristic test of dominant frequency of oscillation for double-hole jet aiming at such phenomena as spill over of flue gas and flare-up often occurred at nitrogen sealing at oxygen lance of gasification cooling flue for converter. The new nitrogen sealing device adopts the design of seal chamber and double row of inclined holes are set on nitrogen seal seat as well as the aperture and angle of inclined hole are reasonably designed combining with theoretical calculations. It is applied on new 1# converter of Steel-making Plant of Baotou Steel, in which the phenomenon of “smoking” in process of converting at oxygen lance as well as the frequency of cleaning and changing nitrogen seal cap for operators are reduced so that recovery amount of coal gas is improved. The engineering applications show that the modified sealing device is with such advantages as reasonable design, simple equipment and safe operations.

**Key words:** converter; nitrogen sealing of oxygen lance; nitrogen

在全球二氧化碳排放对环境的影响日益严重的情况下, 钢铁行业是火电行业之外的碳排放第二大户,

是我国做好“碳达峰、碳中和”未来减排改造的首选目标。提高转炉煤气回收量,利用转炉烟气高温显热,回收蒸气,可提高转炉负能炼钢水平,一定程度帮助钢铁企业降低成本,提高能源利用率,实现节能减排。转炉在吹炼过程中产生炉气,炉气中含有大量CO等有毒气体,尤其在吹炼中期,炉气中CO含量达到85%~90%的最高值<sup>[1]</sup>,因此,在转炉吹炼过程中必须对氧枪口进行气封,以确保有毒气体没有外溢或只有微量外溢,提高煤气回收量,同时也起到防止火焰上窜的作用<sup>[2]</sup>。

包钢炼钢厂按照国家及钢铁行业提出的“碳达峰、碳中和”发展要求,以及自治区提出的“能耗双控”的背景,在2023年对现有转炉进行扩容改造,新1#转炉工程容量由原来80t扩容改造为100t。原转炉采用氮气密封塞通气密封,因密封塞氮气孔堵塞、氮封座挂渣等原因,实际生产中存在烟气外溢、火焰上窜、煤气回收率低等现象,密封不良严重时,火焰可上窜到30m以上,对氧枪升降小车轨道、循环水金属软管、供气软管等都造成了影响。

为了解决烟气外溢、火焰上窜等问题,重新设计了氧枪插入孔氮封装置,新设计氮封装置可以避免因氮气孔堵塞、氮封座挂渣等问题造成氮封失效、氮封不严的情况,在新1#转炉投产后运行良好,一定程度上解决了烟气外溢问题。

## 1 原有氮封装置与改造型氮封装置对比

在炼钢生产过程中,如果氮封装置密封效果不

好,高温烟气会从氧气插入孔窜出,窜出的火苗会点燃高跨可燃物,甚至烧坏升降小车设备,特别是高温烟气中的煤气大量逸出,对氧枪清渣人员带来严重的安全隐患。

原氮封装置主要分为两部分,氮封座设置在氧枪插入孔水套上方,外侧设有进气入口管道法兰,内侧设有6排氮封气孔,与氮封塞配合<sup>[3]</sup>;氧枪上带有的氮封塞上设有与氮封座配合的氮封气孔,当氧枪下枪吹炼时,氮封塞与塞座配合,进行密封,在氮封塞处形成气体封堵,减少煤气外溢。原氮封装置结构如图1所示。

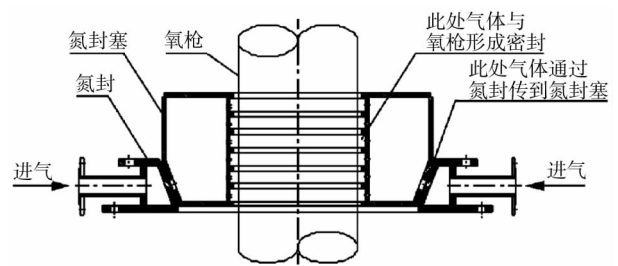


图1 原氮封装置结构示意图

改造型氮封装置为腔体密封形式,氮封塞仅起到“封帽”作用。外侧设有进气入口管道法兰,主要密封装置设置在氮封座上,在氮封座内形成腔体,内侧设有2排吹气孔,气孔为斜孔,与氧枪成一定角度,可在氧枪吹炼时形成一层气膜,隔绝火焰。改造型氮封装置结构如图2所示。

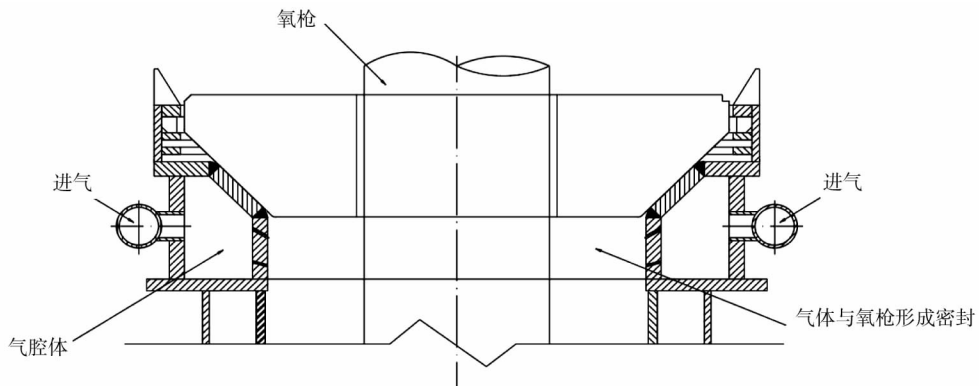


图2 改造型氮封装置结构示意图

## 2 改造型氮封装置设计思路

### 2.1 结构形式简述

改造型氮封装置结构包括氮封塞支撑座、密封腔和氮封塞。氮封塞支撑座由筋板、钢板、外围板、底座上盖板、氮封底座内侧孔板等构成,氮封底座内

侧孔板、底座连接板、氮封底座外侧板共同构成密封腔体。腔体内的氮气由双层氮气孔吹出,孔板成斜角,射流气体压力可达到 0.6 MPa,并形成气封面,有效阻止烟道有毒气体及火焰外溢;密封腔与外部氮气管相连,腔体氮气进口在腔体的对称位置各设置一处,可使氮气以射流状态进入腔内。氮封塞为迷宫环结构,套在氧枪上,由上盖板、侧板构成,密封塞四周封闭结构与密封腔对接,起到密封作用。改进型氮封装置平面结构如图 3 所示,氮封孔结构布置如图 4 所示。

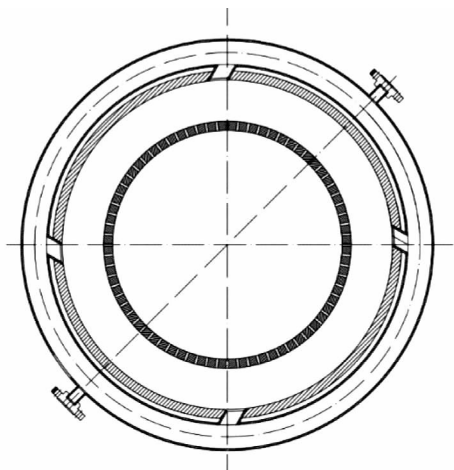


图3 改进型氮封装置平面示意图

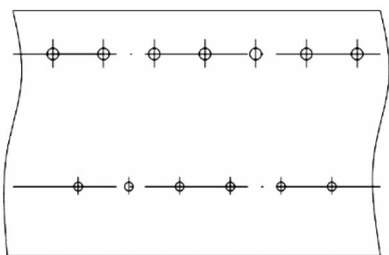


图4 改进型氮封装置氮气孔分布图

## 2.2 密封腔体单排孔分布设计

考虑到氮气从腔体内侧孔板射流时,流动空间很大,基本不受周围壁的影响,氮气进口压力达到 0.6 MPa,气体淹没射流的流态属于紊流,本次密封腔体孔分布设计依托无限空间淹没紊流射流理论进行计算<sup>[4]</sup>。射流的动量交换和卷吸作用是从外向内逐渐发展的,在距喷口断面距离较小的范围内,射流中心的气体还没来得及与周围气体相互作用,仍保持原喷口流速,这样会产生射流核心,核心区域边

界正好在氧枪外壁,这样气封形成的气封面是稳定的。

腔体内侧孔板与氧枪外径安全距离设计直接影响氮封装置内孔板的开孔大小、斜孔角度,也会对氮气气封面直接产生影响。故根据氧枪直径,确定腔体内侧孔板与氧枪外径的安全距离,进而计算出孔直径、斜孔角度、孔到氧枪外边界辐射范围。改进型氮封装置腔体射流各尺寸参数如图 5 所示。

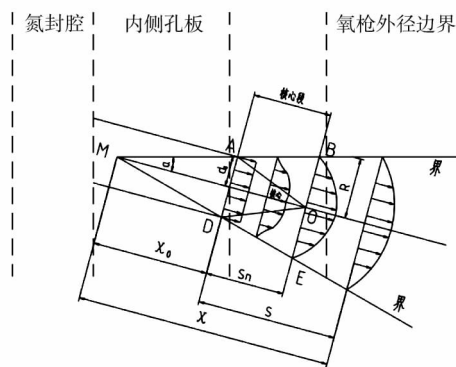


图5 改进型氮封装置射流参数

### 2.2.1 孔直径

依据:

$$S_n = 0.671 \frac{d_0}{a} \quad (1)$$

式中: $S_n$  为核心段长度,腔体内侧与氧枪外径安全距离,m,已知数  $S_n = m$ ;  $a$  为紊流系数,已知数,常数; $d_0$  为孔直径。

$$\text{可得出 } d_0 = \frac{am}{0.671}。$$

### 2.2.2 斜孔角度

依据:

$$\tan \alpha = \frac{R}{X} = 3.4a \quad (2)$$

式中: $\alpha$  为斜孔角度; $R$ 、 $X$  为斜孔射流长度及对应长度下的扩散半径( $R$ 、 $X$  为图 5 中数),已知数; $a$  为紊流系数,已知数,常数。

$$\text{可得出 } a = \arctan(3.4\alpha)。$$

### 2.2.3 氧枪边界处扩散段直径( $D$ )

依据:

$$\frac{D}{d_0} = 6.8 \left( \frac{as}{d_0} + 0.147 \right) \quad (3)$$

式中: $d_0$  为孔直径; $a$  为紊流系数; $s$  为孔出口至氧枪边界距离,n;已知数  $s = n$ ;  $D$  为氧枪边界处扩散段

直径。

由式(3)可得: $D = 6.8a(n + 0.22 \text{ m})$ 。

### 2.2.4 内侧孔板环孔数量( $x$ )

依据:

$$x = 2\arcsin \frac{D}{2R} \quad (4)$$

式中: $D$ 为氧枪边界处扩散段直径; $R$ 氧枪半径,本次选用 $\Phi 245 \text{ mm}$ 氧枪。

可计算得出 $x$ 。

### 2.3 密封腔体孔层数设计

氮封装置腔体内侧双层或多层孔板设计,能更好的对转炉烟气起到密封作用,可以最小程度减少氮封“死区”,从而保证炼钢的正常生产。

#### 2.3.1 层数( $y$ )理论计算

依据:

$$y = \frac{\pi R_{\text{板}}^2 \frac{1}{2} (R_{\text{板}} - R)^2 x}{S} \quad (5)$$

式中: $R$ 为氧枪半径; $R_{\text{板}}$ 为腔体孔板半径; $S$ 为另外层数的面积,算法同第一层; $x$ 为内侧孔板环孔数量。

可得出 $y$ 。

#### 2.3.2 试验验证

采用密封腔内侧双层孔设计,以高压气体双孔射流震荡频率<sup>[5]</sup>试验数据为依据,结合 Zhao 等<sup>[6]</sup>针对蒸气双孔射流的振荡主频特性试验,分析孔间距和数量对振荡主频的影响,得出孔间距和数量对振荡主频的影响如图6所示。

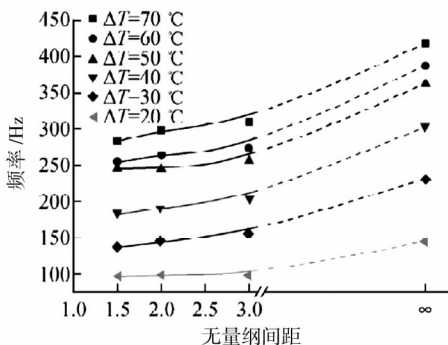


图6 蒸气振荡主频随孔间距的变化

密封腔使用的介质气体为氮气,氮气较蒸气更加稳定,工况下主频随孔间距的增加而增加,随孔数的增加而减小。结合氧枪边界处扩散段直径( $D$ )

辐射边界范围及内腔直段高度影响,选用双层孔分布设计。上述得出试验结果与理论计算结果一致。

## 3 应用效果

在炼钢生产过程中,散装料下料系统和吹炼过程中均会产生大量的粉尘,原有氮封装置因设计不合理,经常堵塞,需要操作人员经常清理或更换氮封帽。炼钢厂新1<sup>#</sup>转炉高跨作业空间狭小,一定程度增加了工人作业强度,并因高温烟气中的煤气大量溢出,对氧枪清渣人员带来严重的安全隐患。新改进氮封装置实际生产过程中运行良好,有效地阻止了氧气插入孔窜出的火苗,一定程度保护了升降氧枪小车设备安全,并降低了氮气消耗,提高了煤气的回收量。另外氮气装置密封效果不好,会导致大量烟气从气化冷却烟道中溢出,造成煤气回收量降低,并增加厂房内三次除尘负担,对炼钢厂实现节能减排增加了一定的难度。

改造前氮气消耗量为 $282.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,改造后氮气消耗量为 $135.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,年节约氮气为 $546\ 685 \text{ m}^3$ 。使用原氮封装置氮封帽更换频繁,改造后年节约氮封帽配件约25个。

## 4 结束语

本次改造后的氧枪氮封装置成功应用于包钢炼钢厂新1<sup>#</sup>转炉。改进型氮封装置投资小,易于实施,其结构合理,密封效果明显提高。降低了氮封环与氧枪的间隙,有效控制有害气体及粉尘溢出对环境的污染,防止现场工作人员煤气中毒,提高了煤气回收量,避免了能源浪费。目前,改造后氧枪氮封装置使用正常、稳定,经济效益明显。即便氮封塞与底座无法密封,也能起到氮封作用。

## 参考文献

- [1] 徐国义,牛兴明,魏春新,等. 转炉煤气回收量低的原因及解决措施[J]. 鞍钢技术,2013(2):46-49.
- [2] 蔡志鹏,赵荣久,杨文远,等. 炼钢用氧技术讲义[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [3] 杨丹丹. 炼钢转炉氮气节能技术的开发与应用[J]. 冶金与材料,2018,38(5):40-41.
- [4] 张艳宇,刘红侠,袁涛. 流体力学泵与风机[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2022.
- [5] 尹威凯,欧阳勇,崔旭阳,等. 高压气体双孔浸

没射流振荡频率特性研究[J]. 原子能科学技术, 2024, 58(2): 357-364.

[6] Zhao Q, Chen W, Wang L, et al. Experimental Investigation on Pressure Oscillations of

Steam Jet Condensation Through Multi-holes [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2019, 132: 662-670.

## 信息

# 包钢股份高强热轧出口钢轨再获新突破

近日,包钢股份成功批量生产美标 325HB 等级高强热轧出口钢轨,标志着包钢钢轨在国际高端市场推广应用中再次取得重大突破,实现国内首发。

此次订购钢轨的海外用户对产品质量指标有着严格要求,且在生产时委派第三方机构进行全程监造,检验频数增加 2 倍以上。为满足海外用户各项需求,技术中心科研人员接到订单后,快速展开调研,依托前期扎实的技术储备,经过几轮次中试试验后,制定出钢轨成分体系和生产工艺。为确保轧制顺利,在工业调试中围绕高纯净度冶炼、高精度万能轧制、轧后控冷等多项关键技术开展系统研究。最终,在各单位通力合作下,两个月内实现了从研发到批量生产,如期完成目前国内出口等级最高的 325HB 热轧钢轨供货任务,钢轨各项性能均超用户技术需求预期,且一次合格率达到 100%。

包钢(集团)公司作为我国钢轨主要生产基地之一,多年来积极响应国家铁路发展战略,结合“一带一路”等项目建设,先后成功开发了 260HB 至 370HB 等级的铁标、欧标、美标等多个钢轨品种,目前已出口数十个国家和地区。此次 325HB 等级高强热轧钢轨的成功批量生产,是继 2023 年出口美标 LH380HB 级别热处理钢轨后的再一次突破,增强了企业在钢轨行业的市场竞争力,扩大了海外钢轨市场占有率,全面提升“包钢钢轨”品牌影响力,为“重振雄风、做强包钢”贡献新的力量。

——《包钢日报》