

## 转炉氧枪喷头的优化改进方案探究

杨宏宇<sup>1</sup>, 周晓雷<sup>2\*</sup>

1 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650000

2 昆明理工大学复杂铁资源洁净冶金重点实验室, 云南 昆明 650000

**[摘要]**文中通过对转炉氧枪喷头的各项参数进行总结分析, 主要介绍了氧枪喷头马赫数, 喷头倾角和喷头孔数的参数优化及选择, 并分析了参数改动前后氧枪性能和转炉吹炼效果的影响。结果表明喷头的马赫数, 喷头倾角和喷头孔数等参数对转炉吹炼过程中的熔池冲击面积, 冲击深度以及金属液除碳磷, 渣化过程有重要影响, 引起氧枪喷头性能差异的主要原因是马赫数低时氧气射流对熔池的冲击深度不足; 喷头倾角较小时, 氧气射流覆盖的熔池范围较小, 冲击面积小; 而喷头孔数少时, 氧气射流之间的相互吸引也会导致冲击深度和冲击面积的减少。氧枪喷头的优化可以显著提高生产效率, 降低能耗。并结合水钢二炼钢厂和河钢唐钢中厚板公司的氧枪优化方案分析, 对转炉氧枪的改进给出建议, 对于转炉吹炼过程提升效率和减少能耗, 延长氧枪寿命具有重要参考价值。  
**[关键词]**转炉氧枪; 氧枪优化; 转炉吹炼; 喷头

DOI: 10.33142/aem.v2i8.2812

中图分类号: TF748.21

文献标识码: A

## Optimization and Improvement of Oxygen Lance Nozzle for Converter

YANG Hongyu<sup>1</sup>, ZHOU Xiaolei<sup>2\*</sup>

1 Institute of Metallurgy and Energy Engineering of Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650000, China

2 Key Laboratory of Clean Metallurgy of Complex Iron Resources, Kunming University of Science and Technology, Yunnan, 650000, China

**Abstract:** Through the summary and analysis of various parameters of converter oxygen lance nozzle, this paper mainly introduces the parameter optimization and selection of oxygen lance nozzle Mach number, nozzle inclination angle and nozzle hole number, and analyzes the influence of oxygen lance performance and converter blowing effect before and after parameter modification. The results show that the Mach number, nozzle angle and nozzle hole number have an important influence on the impact area, impact depth, carbon and phosphorus removal and slagging process of molten metal during converter blowing. The main reason for the performance difference of oxygen lance nozzle is that the impact depth of oxygen jet on the molten pool is insufficient when the Mach number is low; when the nozzle angle is small, the molten pool covered by oxygen jet is small. When the nozzle hole number is small, the mutual attraction between oxygen jets will also reduce the impact depth and impact area. The optimization of oxygen lance nozzle can significantly improve production efficiency and reduce energy consumption. Based on the analysis of the optimization scheme of oxygen lance in Shuigang No.2 Steelmaking Plant and Tangshan Iron and Steel Co., Ltd., suggestions on the improvement of converter oxygen lance are given, which has important reference value for improving converter blowing process efficiency, reducing energy consumption and prolonging oxygen lance life.

**Keywords:** converter oxygen lance; oxygen lance optimization; converter blowing; nozzle

### 引言

氧枪是转炉炼钢过程中最重要的供氧设备, 高压氧气通过氧枪输送到金属熔池中, 为金属液的除碳, 除磷, 除杂反应提供氧气。喷头是氧枪的核心部件, 喷头的各项参数直接决定了氧枪的性能, 从而影响金属液除杂的效果, 影响金属液的品味。氧枪粘渣, 氧枪粘钢, 喷头侵蚀严重是转炉氧枪存在的主要问题, 这些问题会导致除杂效果不佳, 氧枪能耗大, 使用寿命低, 对氧枪喷头的优化, 可以大大提高氧枪性能, 提升除杂效果。本文主要对氧枪的马赫数, 喷头倾角, 氧枪枪位等进行探究, 尝试找出氧枪喷头的优化方案。

### 1 马赫数的选定

马赫数的选择, 直接决定了氧气射流的流速和衰减速率, 从而影响着熔池的冲击深度和化渣、吹炼效果。

喷口的马赫数需要一个合适的数值。马赫数过低时, 氧流速度和氧压偏低, 这使得熔池的搅拌作用不足, 氧气利用率低, 炉渣 Fe 含量较高, 会发生喷溅, 在低马赫状态下, 若想增强搅拌效果和冲击深度, 就需要降低氧枪枪位硬吹, 此时, 氧枪就要承受更高的热负荷, 从而氧枪寿命降低。马赫数过高时, 对氧压机的功率, 供氧系统的管道、阀门、仪表的工作条件更为苛刻。且也会出现喷溅现象, 对炉衬和炉底的破坏更大。

现在转炉炼钢喷孔出口马赫数一般在 1.8-2.4 之间, 其中 80%以上在 1.9-2.0 之间。国外大中型转炉喷孔出口马赫

数一般在 1.99~2.32 间, 平均为 2.14; 国内大中型转炉喷孔出口马赫数一般在 1.86~2.16 间, 平均为 1.99<sup>[1]</sup>。

## 2 喷孔倾角和喷头孔数的选择

喷口倾角需要一个合适的范围, 过大的倾角会导致高压氧气射流对熔池的冲击深度不足, 而过小的倾角则会导致冲击面积过小<sup>[2]</sup>, 影响转炉吹炼和化渣效果, 选择合适的喷孔倾角和喷头孔数可显著改善氧枪性能和吹炼效果<sup>[4]</sup>。

氧枪将高压氧气喷入熔池中后, 会在一定的冲击面积内形成一定的冲击深度。在保持合适的冲击深度下, 增大冲击面积, 可以增强对杂质和磷的脱除效果和化渣效果, 减少混匀时间<sup>[5]</sup>, 降低氧枪能耗, 从而改善氧枪性能。

喷孔倾角也影响着氧气与金属液的混匀时间。以攀钢西昌钢钒 200t 提钒复吹转炉为例<sup>[5]</sup>, 随着喷孔夹角的降低, 熔池混匀时间先减小再增大, 如图 1 所示, 熔池混匀时间在喷孔夹角为 12° 时取得最小值。

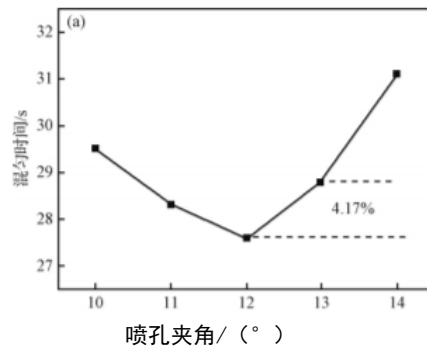


图 1 喷孔夹角对混匀时间的影响

如表 1 所示, 喷口倾角和喷头孔数的参数也是一一对应的, 喷口倾角和喷头孔数之间的关系对射流有较大影响, 喷头孔数较少时, 氧枪喷出的氧气射流之间较为靠近, 每股射流之间会受到相互的吸引作用, 向中间偏移, 使射流的中心速度衰减, 收束后的射流导致冲击面积减小, 而中心速度的衰减导致冲击深度减小。因此, 对于不同的喷头孔数, 要选择合适的喷孔倾角来减小、消除氧枪射流之间的吸引作用。对与四孔喷头来说, 能保证倾角 $>10.6^\circ$ , 就能满足射流不交汇的要求<sup>[6]</sup>。图 2, 图 3 是两种四孔和五孔的喷头结构。

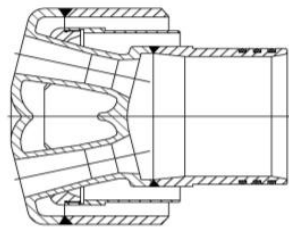


图 2 多孔均布式喷头<sup>[7]</sup>

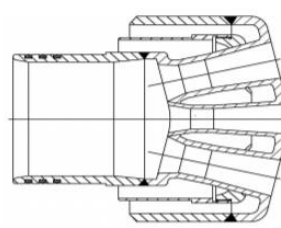


图 3 多孔均布+中心喷孔喷头<sup>[7]</sup>

表 1 喷头喷孔数和对应夹角关系<sup>[2]</sup>

喷头孔数	喷孔夹角 / (°)
3	9~11
4	10~13
5	13~15
>5	15~17

## 3 优化结果

结合水钢二炼钢厂 100t 转炉的优化结果<sup>[8]</sup>来看, 与原氧枪相比, 新氧枪增大了马赫数和喷孔夹角, 然后调整了喉口直径和出口直径使之匹配, 如表 2 所示。从结果来看 (表 3), 新氧枪的各项性能均优于优化前的氧枪。主要体现在吨钢耗氧量显著降低, 供氧时间缩短和钢铁料消耗降低, 一倒合格率大幅提升。这是由于马赫数提高后, 氧气射流的冲击深度加深, 熔池的搅拌作用增强, 而喷孔夹角的增大使冲击面积增大, 两者的共同作用使转炉的生产效率提高, 生产节奏加快。同时, 更大的冲击面积使得氧枪的化渣能力增强, 使前期的脱磷效果更好。冶炼过程平稳进行, 很少有溅射现象发生, 因此减少了钢铁料的消耗。

氧枪寿命方面,因为增大了马赫数,使氧枪的枪位更高,氧枪受到的热负荷降低,减少了氧枪粘渣,粘钢现象,新氧枪的平均寿命在 200 炉以上,比原氧枪的 160 炉有了很大提高。

表 2 优化前后喷头参数对比表

参数	马赫数	喷孔夹角 (°)	氧压 MPa	喉口直径 mm	出口直径 mm
优化前	1.9	12.5	0.8	36	46.5
优化后	2.1	13	0.8	36.8	47.8

表 3 优化前后氧枪冶炼效果对比表

技术指标	吨钢氧耗 $\text{m}^3/\text{t}$	钢铁料消耗 $\text{Kg/t}$	供氧时间 min	供氧强度 $\text{m}^3/(\text{t}\cdot\text{min})$	一倒合格率 %
原氧枪	58.94	1087	14.7	3.99	67
新氧枪	54.22	1074	13.5	4.02	82.4

河钢唐钢中厚板公司 120t 转炉<sup>[1]</sup>选用了 5 孔氧枪来替换原来的 4 孔氧枪,结果如表 4 所示,新氧枪增加了中间的 1 孔,使得在马赫数稍有降低的情况下,供氧强度依然显著增大,使得吹炼时间缩短,生产效率提高,增加了 1 个喷孔后,可以抑制氧枪正下方负压区的产生,减河钢唐钢中厚板公司小射流之间的吸引作用,且冲击面积也增大,促进了熔池的化渣及脱碳反应,通过匹配合适的枪位可以在延长氧枪寿命的同时增加钢渣界面的富氧能力,从另一方面促进化渣。

表 4 新 5 孔氧枪和原 4 孔氧枪冶炼效果对比表

技术指标	吨钢氧耗 $\text{m}^3/\text{t}$	钢铁料消耗 $\text{Kg/t}$	供氧时间 min	一倒合格率 %
原氧枪	58.92	1087.6	12.5	82.4
新氧枪	54.36	1072.3	10.3	98.7

王兴<sup>[9]</sup>的研究中发现,调整氧枪枪位和喷头倾角后的氧枪较之前相比,供氧时间平均缩短 100.8s,耗氧量降低 1.81 $\text{m}^3/\text{t}$ ,在减少能耗的同时提高了吹氧效率。

#### 4 结论

通过对转炉氧枪的马赫数,喷头倾角和喷头孔数进行优化调整,并选择与之匹配的喉口直径和出口直径,可以显著提升氧枪的性能,对熔池的冲击深度,冲击面积,搅拌作用均有很大提升效果,这也使得熔池的化渣能力和脱碳脱磷能力得到提升<sup>[10]</sup>,在此影响下,转炉冶炼的吨钢氧耗降低,供氧时间缩短,一倒合格率大幅增加。改进后氧枪的平稳运行,也使得熔池的溅射现象减少,氧枪粘渣,粘钢现象减少,氧枪使用寿命大大延长。

#### [参考文献]

- [1]李雷.120t 转炉氧枪喷头的设计和优化[J].中国金属通报,2019(09):100-101.
  - [2]刁望才,韩春鹏,田野.转炉氧枪喷头的设计与应用[J].山东工业技术,2017(08):1-2.
  - [3]张燕超,张彩军,王博,周泉林.高马赫数氧枪枪位对 100t 转炉自动炼钢熔池流速的影响[J].炼钢,2019,35(02):1-10.
  - [4]姜迪刚.120 吨转炉氧枪喷头工艺参数优化[J].福建冶金,2020,49(05):18-20.
  - [5]周振宇,唐萍,周遵传,侯自兵,文光华.200t 提钒复吹转炉氧枪喷头优化[J].钢铁,2019,54(09):50-56.
  - [6]段秋萍.120 吨转炉氧枪设备本体安全参数优化和应用改进[J].江西冶金,2019,39(04):35-37.
  - [7]冯超.炼钢与连铸[C].中国:中国金属学会,2019.
  - [8]王磊,朱荣,刘福海,魏鑫燕,刘刚,刘立德,杨昌涛.100t 转炉氧枪喷头的设计与优化[J].冶金能源,2012,31(01):12-13.
  - [9]王兴.100t 转炉氧枪工艺优化[D].辽宁:辽宁科技大学,2017.
  - [10]魏鑫燕,朱荣,刘立德,张东升,杨昌涛,刘福海.100t 转炉氧枪的优化设计[J].冶金设备,2011,6(04):14-17.
- 作者简介:杨宏宇(2000-)男,云南玉溪,本科学历,昆明理工大学冶金与能源工程学院。