

260 t 转炉用新型双结构氧枪的工业实验

刘广强¹ 朱国强² 张国新³ 刘坤³ 李绘祥³

(1 辽宁科技大学土木工程学院, 鞍山 114051; 2 鞍钢股份有限公司炼钢总厂四分厂, 鞍山 114021;

3 辽宁科技大学材料与冶金学院, 鞍山 114051)

摘要 以鞍钢 260 t 顶吹炼钢转炉为研究对象, 进行新型双结构氧枪的冶炼工业实验。分析讨论了具有代表性连续 6 炉的关键冶炼参数, 并将结果与传统结构氧枪喷头进行比较。结果表明, 当新型双结构氧枪采用大小孔分别为 12°、17° 倾斜角度且大孔流量占比 60% 设计, 在预处理铁水成分以及出钢成分相同的情况下进行同一钢种的冶炼, 其平均吹氧时间比目前的氧枪缩短近 1 min; 吨钢的钢铁料消耗降低了 20.3 kg; 平均供氧强度提高了 0.23 m³/(t·min)。

关键词 双结构氧枪 260 t 转炉 吹炼时间 供氧强度 钢铁料消耗

Industrial Experiment of New Type Double-Structure Oxygen Lance for 260 t Converter

Liu Guangqiang¹, Zhu Guoqiang², Zhang Guoxin³, Liu Kun³ and Li Huixiang³

(1 School of Civil Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051;

2 The Fourth Branch of the Steelmaking Plant, Anshan Iron and Steel Group Coporation, Anshan 114021;

3 School of Materials and Metallurgy, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051)

Abstract The 260 ton top blown converter in Anshan Iron and Steel Group Coporation is taken as the research object to carry out new double-structure oxygen lance melting commercial test. The key metallurgical parameters of six typical continuous heats are analyzed and discussed, and the results are compared with those of traditional oxygen lance nozzle. Results show that the inclination angles of the big and small nozzles for the new double-parameter oxygen lance are designed as 12° and 17° respectively, and the flow rate of the big nozzles accounts for 60%, the average oxygen blowing time of the new oxygen lance is approximately 1 min shorter than that of the current oxygen lance when the composition of molten iron, tapping composition and smelting steel are the same. The iron and steel charge consumption per ton of steel decrease by 20.3 kg, and the average oxygen supply intensity increases by 0.23 m³/(t·min).

Material Index Double-Structure Oxygen Lance, 260 t Converter, Blowing Time, Oxygen Supply Strength, Steel Consumption

1 新型双结构氧枪结构特征

顶吹转炉(BOF)炼钢通常采用多孔氧枪来输送超音速射流气体,其中高压氧气通过多孔氧枪的拉伐尔喷嘴被有效地转化为超音速射流,从而为熔池中的熔融钢液提供所需氧气^[1]。金属冶炼过程中所涉及的吹炼时间、耗氧量、供氧强度、金属收得率、钢铁消耗量、渣耗、脱磷率等一系列的关键评价指标与射流的行为密切相关^[2]。而氧枪的结构设计和冶炼操作直接决定了射流的动力学并最终影响了BOF炼钢的效率和稳定性^[3]改变传统氧枪结构以达到优化射流行为从而改善炼钢过程变得日益困难,究其原因传统氧枪结构的单一性^[4]。如图1(a,b)所示,传统氧枪喷头的结构特点在于其各喷

嘴尺寸和形状相同,并且围绕氧枪轴线均匀分布。因此在确定的转炉容量下,如改变设计只能单纯改变喷嘴倾角以及喷嘴数量。在过去的几十年中,这些传统喷枪被进行了广泛研究,相关参数的设计也被严格限定^[5-6]。

对比传统氧枪、双结构氧枪的特点在于其存在两组不同结构喷头,如图1(c)所示。大喷嘴环绕在枪头顶面的内部,小喷嘴则环绕在枪头顶面的外部。大喷嘴的倾斜角比小喷嘴的倾斜角小3°~5°。此外,大喷嘴中心轴线与氧枪中心轴线的距离和小喷嘴中心轴线与氧枪中心轴线的距离不同。这种特点决定了其具有更丰富的设计变量。杨文远等人基于水模型的研究表明,双结构氧枪在提高冶炼性能和

通讯作者:刘坤,教授,博士生导师,辽宁科技大学材料与冶金学院。

E-mail:liukun0206@sina.com

氧枪喷头使用寿命方面具有很大优越性和潜在应用价值^[4]。

本研究的目的是通过工业实验,探索双结构氧枪的冶炼效果。并将关键冶炼指标与传统喷头的进行比较。以期双结构氧枪喷头的工业应用提供依据。

2 工业实验

2.1 新型结构氧枪设计加工

本次工业实验选取的氧枪喷头的结构尺寸具体见表 1。该喷头在中钢集团鞍山热能研究院氧枪厂加工,为提高喷头的实验寿命,以纯紫铜为材质,加工工艺采用锻造工艺。具体喷头形状如图 2 所示。

2.2 实验方案

为验证新型双结构喷头的冶金效果,将喷头应用于鞍钢炼钢总厂四分厂 A 转炉 260 t,并将冶炼效果与目前的传统 5 孔氧枪的冶炼效果进行对比。实验期间生产钢种 ABTA21 (QB)。铁水装入量 230 ~ 255 t;废钢装入量 25 ~ 50 t;总装入量控制在 (280 ± 5) t。石灰加入总量的 80% ~ 100% 在开吹 6 min 内加入;石灰石在开吹 3 min 之内全部加入;轻烧镁球在兑铁结束之后开吹前一次性加入,保证终点渣中 MgO 在 8% ~ 12%;使用烧结矿的炉次在前 3 min 内全部加完;铁碳球、菱镁石加入量不大于 1.0 t/批。

总管氧压 ≥ 1.4 MPa,工作氧压 0.9 ~ 1.1 MPa。供氧流量为 48 000 ~ 53 000 m³/h,最大供氧流量不超过 53 000 m³/h。考虑新结构氧枪的特点,开吹枪位适当提高至 2.8 ~ 3.2 m;过程枪位在 2.4 ~ 2.8 m 变化;拉碳枪位 2.1 ~ 2.4 m,实际依据现场有浮动。

实验用炉龄为 4000 炉。实验用铁水成分见表 2。记录并分析同一钢种具有代表性的连续 6 炉数据,并取平均值作为最终结果。分析对象包括:成分分析、吹炼过程氧枪操作、吹氧时间、耗氧和供氧强度、钢铁消耗量、渣耗等技术指标。为保证实验的合理性,所选用的预处理铁水成分稳定,并且新、旧氧枪所用铁水成分的平均值差别不大。

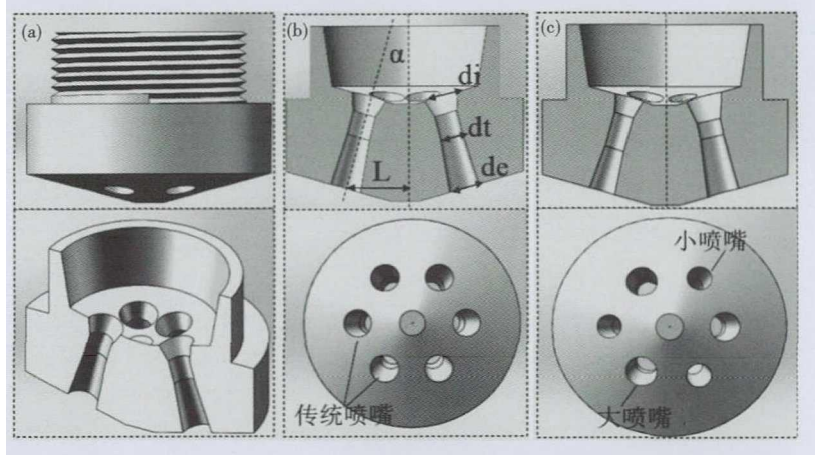


图 1 传统氧枪喷头(a)(b)和新型双结构氧枪喷头(c)的结构图

Fig.1 Structural diagrams of normal oxygen lance (a)(b) and new double oxygen structure lance (c)

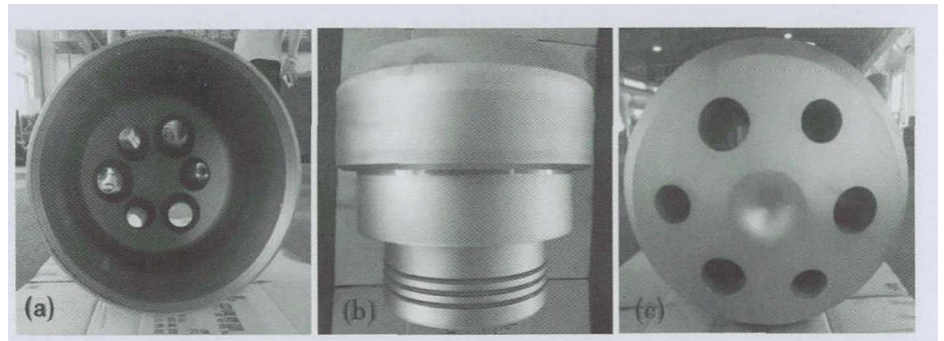


图 2 鞍钢 260 t 转炉用新型双结构喷头:(a)- 喷头进气面;(b)- 喷头侧面;(c)- 喷头出气面
Fig.2 New double-structure oxygen lance for 260 t converter at Anshan Iron and Steel Group Coporation:(a)- nozzle inlet;(b)- nozzle side;(c)- nozzle outlet

表 1 260 t 转炉用普通喷嘴和双结构喷嘴的几何参数
Table 1 Geometrical parameters of normal nozzles and double structure nozzles for 260 t converter

几何参数	普通氧枪 喷嘴	双结构氧枪	
		大喷嘴	小喷嘴
流量比 / %	-	60	40
喷嘴进口直径(di) / mm	60	70	50
喷嘴喉口直径(dt) / mm	41.7	45.7	37.6
喷嘴出口直径(de) / mm	55.6	60.9	49.7
喷嘴倾角(α) / °	14	12	17
喷嘴轴线与氧枪轴线间距(L) / mm	110	110	120

表 2 传统氧枪和新型氧枪预处理铁水成分对比 / %
Table 2 Compositional comparison between hot metal with normal and new oxygen lance / %

编号	传统氧枪用铁水成分					新型结构氧枪用铁水成分				
	C	Si	Mn	P	S	C	Si	Mn	P	S
1	4.40	0.58	0.13	0.06	0.003	4.40	0.60	0.14	0.071	0.015
2	4.49	0.40	0.12	0.06	0.002	4.40	0.40	0.08	0.056	0.037
3	3.92	0.48	0.13	0.07	0.005	4.57	0.40	0.14	0.078	0.018
4	4.55	0.51	0.10	0.07	0.020	4.52	0.47	0.14	0.058	0.016
5	4.60	0.47	0.13	0.07	0.024	4.49	0.40	0.13	0.061	0.018
6	4.68	0.52	0.12	0.08	0.021	4.20	0.28	0.08	0.054	0.038
均值	4.44	0.49	0.12	0.07	0.013	4.41	0.42	0.12	0.063	0.025

3 结果与讨论

3.1 出钢成分

冶炼过程与出钢成分密切相关,钢液的温度以及成分达到所炼钢种的要求不同都会对冶炼过程产生不同影响,由于本实验冶炼钢种相同,因此在出钢成分上差别不大,表3统计了传统氧枪和新型结构氧枪冶炼6炉ABTA21(QB)钢出钢成分的平均值,结果显示两种不同氧枪对出钢成分的控制是相近的。

3.2 吹氧时间

吹氧时间与射流冲击熔池的冲击坑形态密切相关,为了最大限度的缩短吹炼时间,就需要合理的冲击坑形态。一般来说,较深的冲击坑深度和较大冲击直径可以改善冲击区的精炼条件。而冲击坑的形状和尺寸取决于氧枪喷头出口处的马赫数、喷头出口间距,喷头倾角和喷头流量等一系列的设计参数^[7]。

图3对比传统氧枪和新型结构氧枪,在相同枪位和流量下,新型氧枪的平均吹氧时间为14.6 min,与传统氧枪的15.52 min相比,吹氧时间缩短近1 min。分析原因在于新型氧枪喷头采用了小流量大倾角外布置、大流量小倾角内布置方案,这种变角度氧枪倾角相差较大的特点决定其射流分布范围较大,射流流股的独立性好。随着流股融合距离的增加,流股的衰减速度变慢,从而形成的冲击坑面积增大,这对于前期的快速化渣具有积极的效果,从而缩

表3 传统氧枪和新型氧枪出钢成分均值/%

Table 3 Composition of tapping steel with normal and new oxygen lance / %

氧枪类型	C	Si	Mn	P	S
传统氧枪	0.048	0.004 1	0.099 6	0.023 3	0.012 5
新型结构氧枪	0.046	0.003 2	0.093 9	0.013 9	0.011 6

短化渣时间。从之前的水模实验也证明了在设计流量下,对比传统喷头,新型喷头的结构特性使得其不同枪高下的冲击坑直径平均增加了22%^[4]。

3.3 钢铁料消耗

钢铁料消耗是钢铁冶炼过程中一个重要的经济技术指标,占转炉生产成本的80%~85%。降低钢铁料消耗是目前各钢铁企业降低成本的一个主要手段。钢铁料消耗不仅能反映企业的炼钢技术水平,也反映其相应的管理水平,对企业的成本控制具有重要意义^[8]。

图4对比了传统氧枪和新型结构氧枪在相同冶炼条件下的钢铁料消耗。结果发现,传统结构氧枪的平均钢铁料消耗为1 109.3 kg/t,而新型结构氧枪的平均钢铁料消耗为1 089.0 kg/t,吨钢的钢铁料消耗降低了20.3 kg。这与新型结构氧枪优良的化渣效果是密不可分的。此外,新型结构氧枪还可减小喷溅从而降低钢铁料消耗指标。杨文远等在进行射流对熔池穿透深度的研究中也证实了当喷孔交错布置时,射流对转炉熔池有较好的穿透深度,同时具有化渣良好和喷溅减少的优势^[5]。

3.4 供氧强度与氧耗

供氧强度是指在炼钢过程中单位时间对转炉熔池中每吨钢水的供氧量。提高大型转炉的供氧强度能够有效提高转炉效率。而合理的氧枪设计以及正确的氧枪操作规程是提高供氧强度的有效措施。图5对比了传统氧枪和新型结构氧枪在相同冶炼条件下的供氧强度。结果发现,新型结构氧枪的平均供氧强度为3.19 m³/(t·min),比目前使用的传统氧枪的供氧强度2.96 m³/(t·min)提高了0.23 m³/(t·min)。这主要得益于新型结构氧枪良好的射流特性及其与熔池作用的吹炼时间的缩短。此外,新型结构氧枪

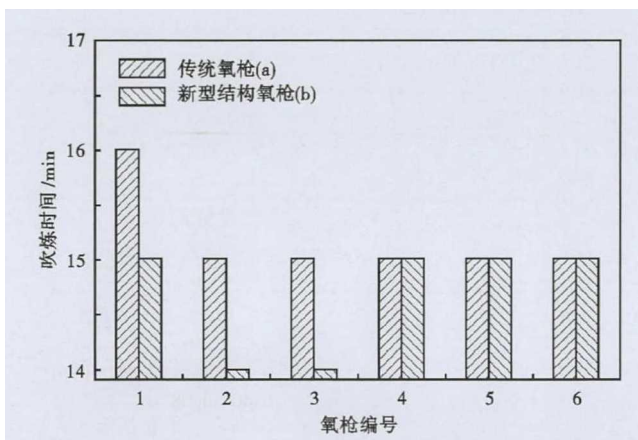


图3 传统氧枪(a)和新型氧枪(b)吹炼时间对比

Fig. 3 Comparison between blowing time with normal (a) and new (b) oxygen lance

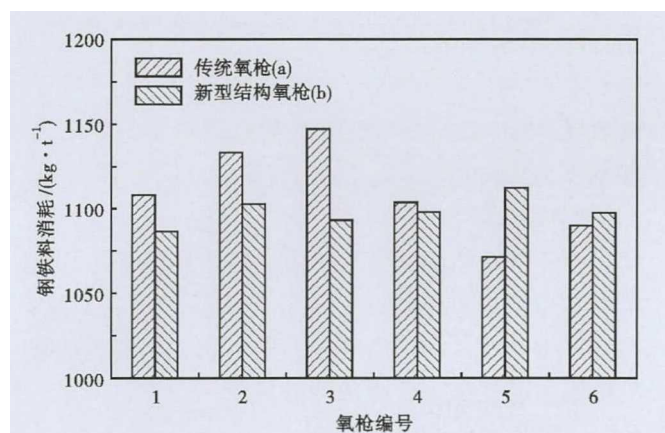


图4 传统氧枪(a)和新型氧枪(b)钢铁料消耗对比

Fig. 4 Comparison between ferrous charges consumption with normal (a) and new (b) oxygen lance

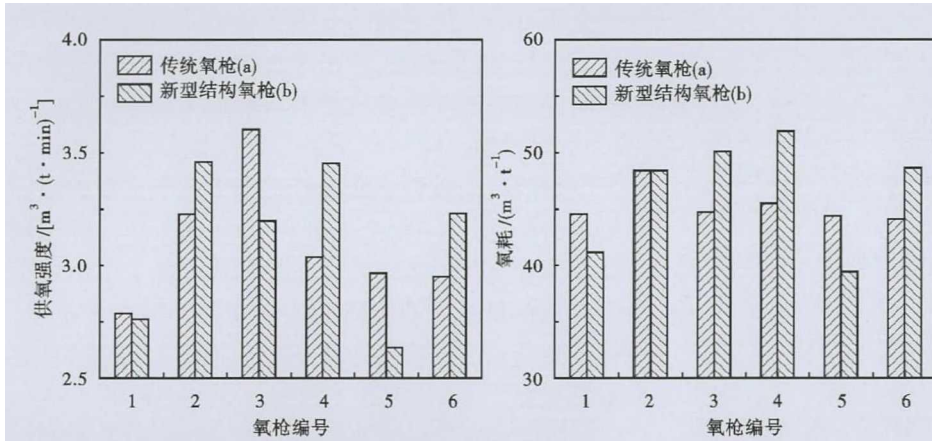


图 5 传统氧枪 (a) 和新型氧枪 (b) 供氧强度 (左) 与氧耗 (右)

Fig. 5 Oxygen supply intensity (left), oxygen consumption (right) with normal (a) and new (b) oxygen lance

表 5 传统和新型氧枪渣耗与终渣成分

Table 5 Slag consumption and final slag composition with normal and new oxygen lance

氧枪	渣耗/ t	终渣成分 / %							
		CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	S	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
传统	50.4	45.85	16.74	20.18	8.73	1.74	0.038	1.9	1.9
新型	52.6	46.39	16.01	18.95	9.7	1.94	0.026	1.44	1.58

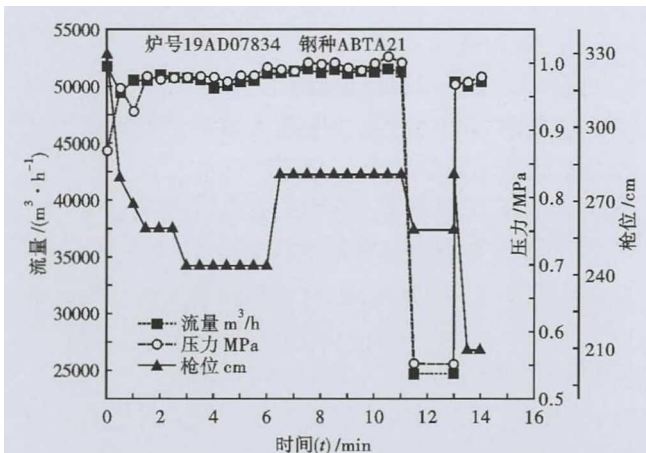


图 6 新型氧枪氧气流量、氧压以及枪位操作

Fig. 6 Oxygen flow rate, oxygen pressure and lance position operation of new oxygen lance

的氧耗为 $41.42 \text{ m}^3/\text{t}$, 比传统氧枪氧耗 $44.67 \text{ m}^3/\text{t}$ 减小 $3.25 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

3.5 渣耗与终渣成分

以 6 炉终渣的均值为对象。表 5 对比了传统氧枪与新型结构氧枪的终渣成分与渣量。可以发现, 两杆氧枪的渣量和终渣成分差别不大。这表明新型氧枪不会改变炼钢过程的耗渣量。

3.6 流量、氧压和枪位操作

图 6 表示新型结构氧枪实验过程中的流量、氧压以及枪位的变化规律。图 6 中可发现新型氧枪在

吹炼过程中采用恒流量变枪位的吹氧方式, 实验过程中流量在 $51000 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右变化, 压力恒定在 0.95 MPa 左右。整个吹炼过程的枪位采用的是高-低-高-低-高-低的六段式操作方式, 枪位操作规范。前期化渣时间在 $3 \sim 4 \text{ min}$, 中期造渣、脱 P, 脱 C 在 $5 \sim 6 \text{ min}$, 后期的继续脱碳在 $5 \sim 6 \text{ min}$, 拉碳枪位控制在 2.1 m 左右。

4 结论

(1) 260 t 转炉在预处理

铁水成分以及出钢成分相同的情况下进行同一钢种的冶炼, 新型结构氧枪的平均吹氧时间比传统氧枪缩短近 1 min 。吨钢的钢铁料消耗降低了 20.3 kg 。平均供氧强度提高了 $0.23 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ 。

(2) 新型结构氧枪冶炼中的渣耗与终渣成分与传统氧枪的差别不大。

(3) 新型结构氧枪吹炼前期化渣时间在 $3 \sim 4 \text{ min}$, 中期造渣、脱 P, 脱 C 在 $5 \sim 6 \text{ min}$, 后期的继续脱碳在 $5 \sim 6 \text{ min}$, 拉碳枪位在 2.1 m 左右。

国家重点研发项目 (2017YFC0805100) 和辽宁省科技厅重点项目 (2018307003) 资助

参考文献

- [1] 张燕超, 张彩军, 朱立光. 高供氧压力下高马赫数氧枪数值模拟 [J]. 钢铁, 2019, 54(5): 32-38.
- [2] 马恩祥, 杨文远. 120 吨复吹转炉双流道氧枪 (半模) 实验研究 [J]. 钢铁, 1990, 25(9): 17-21, 30.
- [3] 王文静, 赵宏欣, 潘贻芳, 等. 氧枪喷头射流的数值模拟 [J]. 钢铁研究学报, 2010, 22(5): 7-10.
- [4] 杨文远, 吕英华, 胡砚斌, 等. 氧射流对熔池穿透深度的研究 [J]. 中国冶金, 2013, 23(11): 21-26.
- [5] 杨文远, 冯超, 王明林, 等. 大型转炉高供氧强度吹炼的水模实验 [J]. 钢铁研究学报, 2017, 29(10): 807-815.
- [6] 路文刚, 吕明, 潘宏涛. 脱磷专用转炉的氧枪设计及研究 [J]. 钢铁, 2014, 49(5): 36-41.
- [7] 包丽明, 刘坤, 吕国成. 180 t 转炉聚合射流流场的水力学模型的实验研究 [J]. 特殊钢, 2014, 35(3): 11-14.
- [8] 高攀, 刘坤, 冯亮花. 氧枪喷头内部流场的仿真研究 [J]. 辽宁科技大学学报, 2012, 35(4): 433-437.

刘广强 (1987-), 男, 博士生 (辽宁科技大学), 讲师, 2010 年德州学院 (本科) 毕业, 冶金能源高效利用研究。

E-mail: lgqiang0305@sina.com

收稿日期: 2019-12-11