

聚合射流氧枪射流特性的实验研究

吕国成¹ 刘坤² 包丽明¹

(1 吉林电子信息职业技术学院冶金学院, 吉林 132021; 2 辽宁科技大学材料与冶金学院, 鞍山 114044)

摘要 利用带有中心主孔的 Laval 喷管和 16 个副孔的聚合射流氧枪喷头的氧枪射流检测系统研究氧枪射流中心速度的衰减规律, 测试常温氦气代替高温燃烧的保护气体作为伴流而产生的聚合射流, 以及高温以主孔通空气, 两副孔分别通入氧气和丙烷来产生保护气体模拟的聚合射流。结果表明, 聚合射流特性优于传统射流特性, 常温下随氦气入口压力增加, 中心射流的轴向衰减变缓, 获得比传统超音速射流更长的超声速区域; 高温下通过调节燃气和氧气流量可改变环状火焰长度, 同时可以根据生产实际情况变化主射流长度, 满足冶炼工艺要求。

关键词 聚合射流 氧枪 特性 模拟 测试

Experiment Study on Characteristics of Coherent Jet Oxygen Lance

Lü Guocheng¹, Liu Kun² and Bao Liming¹

(1 Metallurgical Institute, Jilin Professional Technology College of Electronic Information, Jilin 132021; 2 School of Material and Metallurgy, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114044)

Abstract A oxygen lance jet examination system with coherent jet oxygen lance Laval nozzle containing central main hole and 16 auxiliary holes is used to study the oxygen jet central velocity weakening rule, measure the coherent jet produced with accompanying flow of helium at ambient temperature to replace shielding gas burning at high temperature and the coherent jet simulated by flowing air in main hole and flowing shielding gas produced from oxygen and propane in both side auxiliary holes at high temperature. Results show that the characteristics of coherent jet are better than that of traditional jet, at ambient temperature with increasing the pressure of entrance helium the axial weakening of central jet is slowing to get longer length of supersonic jet region than that of traditional jet; at high temperature the length of circle flame can be changed by adjusting burning gas and oxygen flow rate while according to melting real condition it is available to change the length of main jet and meet the requirement of melting process.

Material Index Coherent Jet, Oxygen Lance, Characteristic, Simulation, Measuring

实际的氧气炼钢过程, 由于受高温和恶劣环境的限制, 一般很难直接进行实验和测试。通常利用相似原理和模型实验研究的方法来取得可靠信息和数据作近似的分析和论证。本文利用氧枪射流检测系统, 对压缩空气模拟的聚合射流进行了实验测试。

氧枪检测系统主要组成部分为: 空气压缩及输气管路; 氧枪射流喷射装置; 测点定位装置; 氧枪射流信号采集和数据处理等。其中喷射装置和测点定位装置由 PLC(程序逻辑控制器) 模块进行远控, 数据采集和数据处理软件为重新设计模块。

1 氧枪射流特性的冷态(常温)研究

本实验所采用的聚合射流氧枪喷头(图1)的中心主孔为拉瓦尔喷管, 副孔分别为 $\Phi 4$ mm 和 $\Phi 5$ mm 的圆孔共 16 个, 均匀分布; $\Phi 22$ mm 孔的螺纹和检测系统的气流出口配套。

1.1 传统氧枪射流中心线速度的衰减规律

实验中只开启氧枪的中心主孔, 采用的气体为压缩空气, 氧枪的操作压力为 $0.80 \text{ MPa}^{[1]}$, 实验过程

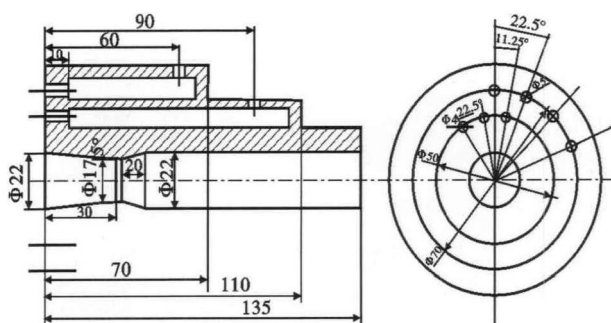


图1 聚合射流氧枪喷头结构示意图

Fig. 1 Schematics of structure of coherent jet oxygen lance nozzle

中射流采集装置压力传感器(探针)安放在坐标定位系统上, 由于实验设备本身的限制, 选取 20 倍的出口直径为测量的第 1 点, 然后使坐标定位系统匀速沿着射流的中心线向后移动, 间隔一定时间测得一个数据, 把所有数据绘制成曲线如图 2(a) 所示。

从图 2(a) 可以看出, 因为沿程射流总的动量保持不变, 由于射流的抽引作用不断将周围环境介质混入射流湍流混合区, 而使射流总的质量流量随下

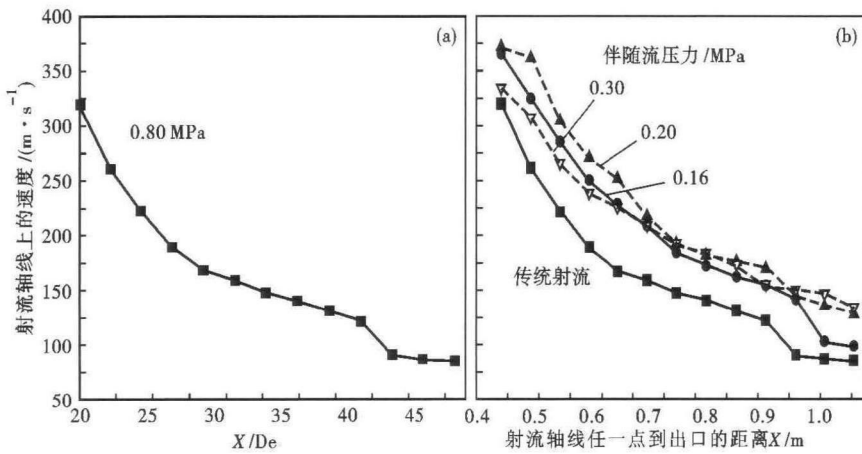


图 2 (a) 传统超音速射流中心线速度衰减图; X -射流轴线任一点到出口的距离; De -氧枪喷头出口直径; (b) 传统射流与聚合射流的实验结果比较

Fig. 2 (a) Velocity weakening curve along central line of traditional supersonic jet, X -distance from any point at jet axial line to layout, De -diameter of layout of oxygen lance nozzle; (b) Comparison of velocity between traditional jet and coherent jet

游距离的增加而逐渐增加,从而使射流的轴线速度呈逐渐减小趋势。随着检测距离的增大,出口距离在 20~25 倍时射流轴线上的速度衰减速度比较快,此位置对熔池作用处于不稳定状态,保证不了冶炼工艺要求。而出口距离在 25~40 倍之间轴线上的速度衰减速度处于平缓,但是在 40 倍以后由于能量和周围介质的阻力导致速度衰减加快。因此,25~40 倍的出口距离是氧枪枪位的最佳距离段。

1.2 聚合(伴随)射流氧枪的冷态实验测试

聚合射流的原理^[2]是中心主射流的周围有高温低密度的燃气流保护,使射流的衰减减慢,用来达到实际冶炼的要求。本实验采用低密度氮气来代替保护燃气进行冷态实验,以达到聚合的效果。

实验中氧枪中心主孔压缩空气处于设计工况^[3-7],操作压力为 0.80 MPa,实验环境为常温常压下的室内,第 1 副孔氮气伴随流压力分别为 0.16、0.20、0.30 MPa,实验过程先开启副孔调节到所需压力后开启中心主孔,等压力达到 0.80 MPa 时开始测量,测量过程与上一节实验相同。

从图 2(b)可以看出,由于低密度氮气伴随流的保护作用使中心主射流的速度沿程衰减减缓,在同一位置上提高了中心射流的速度。当伴随流压力由 0.16 MPa 增加到 0.20 MPa 时,中心

射流的衰减得到了进一步的减缓。说明随着氮气伴随流的压力增加,射流的聚合效果更好。但伴随流压力为 0.30 MPa 时,其中心轴线上的速度波动较大,曲线的下降不是很平稳。相关计算得出,压力为 0.212 MPa 时刚好在出口处达到音速,若入口压力再增大,则剩余压力在出口后继续膨胀,导致压力的过膨胀现象,从而使射流出口以后的流动不稳定,这就是伴随流压力为 0.30 MPa 时曲线波动的原因。

2 聚合射流特性的热态(高温)实验研究

2.1 聚合射流氧枪热态实验过程

(1) 开启燃气阀门(主要成分为丙烷,热值 $\geq 20\,000\text{ kcal/m}^3$),压力调为 0.12 MPa。然后点火,由于主孔和副孔氧气阀门没有开启,所形成的射流速度较小,燃气只能与空气中的氧气进行燃烧,其燃烧火焰呈现紊乱形状且比较柔软,火焰颜色为红黄色(图 3a)。

(2) 开启纯氧气阀门,氧气压力逐渐增大至 0.80 MPa,此时燃料只与包围的纯氧进行燃烧,由于氧气

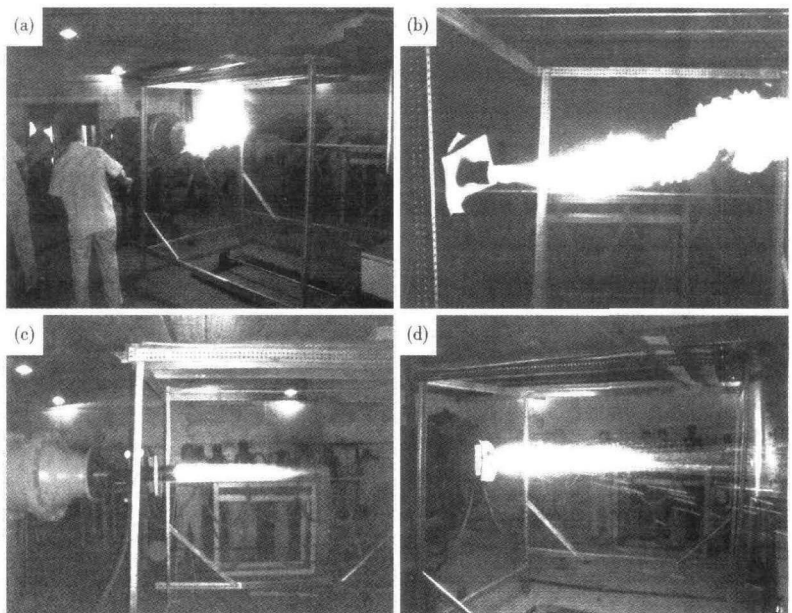


图 3 聚合射流氧枪实验过程:(a) 开启燃气阀门;(b) 开启氧气阀门;(c) 开启主孔压缩空气阀门;(d) 燃气压力大于 0.20 MPa

Fig. 3 Experimental procedure of coherent jet oxygen lance: (a) opening fuel gas valve; (b) opening oxygen valve; (c) opening compression air valve of main hole; (d) fuel gas pressure up to more than 0.20 MPa

孔的压力逐渐增大,氧气的出口速度和流量也随之增大,所以燃烧比较充分,其燃烧火焰形状由紊乱而变为火炬状,且火焰的长度由长变短,火焰的颜色由黄白色变为蓝白色(图3b)。

(3)开启主孔压缩空气阀门,并调节压力达到0.80 MPa。此时将燃气流压力由0.12 MPa逐渐增加,由于中心主射流的速度和燃气流的速度均在增加,使射流的衰减变慢,能保持很长的出口直径,类似于激光束射向空气中,火焰的长度略有增长(图3c)。

(4)当燃气压力增至0.20 MPa以上时,由于所用燃气热值很高,副氧孔纯氧流量已经达不到使其完全燃烧的程度,火焰周围开始冒火星,火焰颜色呈红黄色(图3d)。

(5)此时将燃气压力由0.20 MPa逐渐减至0.12 MPa时,观察火焰又重新凝聚成像激光束一样的蓝色火焰,且火焰长度不断缩短重复图3(c)和图3(b)过程直至最后火焰消失至喷头出口处。此时顺次关闭燃气阀门、副氧阀门及主孔压缩空气阀门。

(6)当主孔压缩空气压力设置较高如高于1.0 MPa时,周围的环状火焰立即消失。即发生了脱火现象。

2.2 聚合射流氧枪热态实验分析与实际应用探讨

由纯氧和丙烷燃烧产生的环状火焰特性分析得出,若要产生稳定而又能使火焰长度可调的保护伴随射流,需要主孔气体与副孔燃气、副孔氧气在流量和操作压力上要有适宜的搭配,操作压力不能波动太大。同时,根据燃气种类不同,其热值也各不相同,为保证燃料完全燃烧副孔燃气、氧气在流量上要搭配一致。否则不仅造成能源的浪费,还达不到冶炼所要求的聚合效果。

超音速聚合射流氧枪用于电弧炉,目的是将分散布置的碳粉喷枪、氧气喷枪、氧燃烧嘴与二次燃烧喷嘴集中到一起,具有烧嘴、氧枪和二次燃烧装置3种功能于一体,减少电弧炉附属设备,不需将任何枪移进或移出炉内,只需按动按钮,就可用每个喷射器进行加热、吹氧脱碳、二次燃烧操作。当废钢装入后,喷射器就转入烧嘴模式并开始用烧嘴火焰加热废钢并帮助熔化。在开始预热废钢时使用旺火,到后期的废钢熔化时使用穿透性火焰,如实验步骤(1)和(2)。一旦废钢熔化,就自动转化为氧枪脱碳模式,进行脱碳反应,同时在这一模式过程的一些点上,二次燃烧反应也发生,因为每个喷嘴可以独立地向熔池上方喷吹二次氧,既可以在废钢熔化期,也可以在氧化期带有泡沫渣的熔池上方喷吹,可根据实

际情况随意调节喷吹强度和射流火焰的长度,如实验步骤(3)所述。由于二次燃烧带来了冶炼所需要的物理热,从而可以节省电能。

电弧炉炼钢中,聚合射流省去了喷射操作装置,代替一套集成系统用于熔炉控制和吹氧,同时控制脱碳、二次燃烧。系统中还包含了吹碳喷嘴。炉门紧闭降低了能源的消耗,减少了空气的进入,提高了操作的安全性。应用这项技术加强了熔池搅拌强度,促进了钢-渣反应,有效地提高了氧气利用率,降低了冶炼成本。由于穿透能力增强,枪位可适当提高到炉壁上,以延长喷枪的使用寿命。通过调整喷头的工艺参数来控制聚合射流核心区长度、射流扩散和衰减速度,可解决一系列的炉门氧枪和烧嘴的使用问题。

3 结论

(1)传统超音速单孔氧枪射流在距离出口25~40倍之间轴线上的速度衰减速度处于平缓,是实际冶炼中作为氧枪枪位调节的最佳距离。

(2)随氩气入口压力增加,中心射流轴向衰减变得缓慢,获得了比传统超音速射流更长的超音速区域。

(3)通过调节燃气和氧气流量可以改变环状火焰长度,而主射流的长度可以根据生产实际发生变化来满足不同的冶炼工艺要求。

参考文献

- [1] 吕国成,刘坤.氧枪喷头 Laval 喷管内流场的数值模拟[J].特殊钢,2009,30(3):4-6.
- [2] 程长建,沈明刚,苏在静.聚合射流氧枪技术的特点及其应用[J].炼钢,2002,18(5):47-49.
- [3] 刘坤.超音速聚合射流氧枪射流行为特征的数学物理模拟研究[D].沈阳:东北大学,2008.
- [4] 王保国,刘淑艳,黄伟光.气体动力学[M].北京:北京理工大学出版社,2005.
- [5] 蔡志鹏,梁云,张春霞.化工冶金模型实验研究及其测试技术[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- [6] Zhang Chunxia. Study on the Characteristics of Velocity Distribution Along the Centerline of a Multijet Oxygen Lance[J]. Engineering Chemistry & Metallurgy, 1994(8):196-200.
- [7] Bingyuan. Study on Aerodynamic Characters of Oxygen Lance for Converter[A]. 7th National Steelmaking Symposium[C]. Steelmaking Association of the Chinese Society for Metals, 1995:132-138.

吕国成(1982-),男,硕士(辽宁科技大学),讲师,2006年辽宁科技大学(本科)毕业,钢铁冶金传输研究。

E-mail:lv-guocheng@163.com

收稿日期:2014-02-15