

Domestic Verification of Subhigh Speed Burner with High Energy Efficiency and Low Emission

Quan Shen, Guojie Li, Zhibin Sun

Baosteel Engineering Technology Group Co., Ltd., Shanghai
Email: shenquan135@126.com

Received: Nov. 4th, 2019; accepted: Nov. 18th, 2019; published: Nov. 25th, 2019

Abstract

In this paper, the performances of high energy efficiency and low emission sub-high speed burners in the process of localization are verified. The experimental results show that the localized sub-high speed burners fully meet the design requirements, and the energy efficiency/emission index is not lower than that of imported products.

Keywords

High Energy Efficiency, Low Emission, Stable Combustion

高能效低排放亚高速烧嘴的国产化验证

沈 权, 李国杰, 孙志斌

宝钢工程技术集团有限公司, 上海
Email: shenquan135@126.com

收稿日期: 2019年11月4日; 录用日期: 2019年11月18日; 发布日期: 2019年11月25日

摘 要

本文针对高能效、低排放亚高速烧嘴国产化过程中的烧嘴性能进行了验证, 经实验验证, 国产化的亚高速烧嘴完全满足设计要求、能效/排放指标均不低于进口产品。

关键词

高能效, 低排放, 燃烧稳定



1. 概述

说明：IHVB——亚高速烧嘴；

烧嘴是退火炉的核心热工设备，其性能指标直接影响到带钢的加热质量和燃控系统的配置。目前某钢厂准备对其使用的亚高速烧嘴进行国产化改造，以适应当前烧嘴功率的提升要求。

原亚高速烧嘴[1]使用介质为天然气，热值 36,290 kJ/Nm³。要求新的 IHVB 型烧嘴在性能上不低于原烧嘴。新开发的国产化烧嘴与原机组烧嘴备件，均在宝钢热工设备实验(标定)中心进行了对比测试，试验结果表明：新开发的 IHVB 型烧嘴的各项性能指标持平或略好于原机组进口烧嘴。

2. 产品描述

2.1. 烧嘴概述

亚高速烧嘴烧嘴自身带有一个燃烧室，在燃烧室内完全燃烧 85%以上，高温燃气从收敛口靠气体燃烧膨胀压力以高速喷出[2]，其喷出速度为 60~90 m/s。

亚高速烧嘴的特点主要是：

- 调节比大——可达 1:10；
- 换热效率高——对加热工件的对流换热效率是普通烧嘴的几倍；
- 节能——由于换热效率高，降低了排烟温度，减少了热损失；
- 提高炉内温度均匀性，缩短加热均温时间——由于高速烧嘴喷出的高温炙热气流的卷吸和搅拌作用，使炉内温度场分布更均匀，温度差降低，从而缩短了工件均热时间，提高了生产效率；
- 烧嘴头选用耐高温材料，具有使用寿命长，无铁锈等优点；
- 采用自动点火及检测功能的烧嘴，与自动点火器及检测控制器配用可实现窑炉温度自控和熄火报警[3]。

2.2. 实验烧嘴参数

本次研发的 IHVB 型烧嘴，具体见表 1：

Table 1. Basic parameter table of experimental burner

表 1. 实验烧嘴基本参数表

项目	参数	单位	项目	参数	单位
烧嘴名称	IHVB 型烧嘴		介质低位热值	36290	kJ/Nm ³
烧嘴类型	明火烧嘴		火焰检测方式	电离	
烧嘴型号	IHVB-290		额定功率	290	kW
燃烧介质	天然气		工艺炉温	1200~1300	℃
点火	点火电极		额定空燃比	1:1.15	

2.3. 实验烧嘴的结构

1) IHVB 型亚高速烧嘴结构

IHVB 型亚高速烧嘴分为空气入口、燃气入口、点火电极、烧嘴喷口、烧嘴壳体、烧嘴砖，空气和燃气在烧嘴砖内的燃烧室处混合燃烧，再从喷口高速喷出加热工件。外形图见图 1：



Figure 1. IHVB subhigh speed burner solid chart
图 1. IHVB 型亚高速烧嘴实体图

2.4. 实验烧嘴的应用

亚高速烧嘴作为明火烧嘴的一种，适用于明火加热的工业炉。

适用行业：冶金、化工、陶瓷、玻璃、耐火材料、建材、造纸、医药等。

适用窑型：隧道窑、辊道窑、加热炉、淬火炉、退火炉、热风炉、锅炉等工业窑炉。

3. 实验条件概述

3.1. 介质条件

实验用能介为宝钢管道天然气，与烧嘴设计要求一致，热值 36,290 KJ/Nm³，成分见表 2。

Table 2. Natural gas composition and calorific value

表 2. 天然气成分及热值

N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	H ₂ S	热值
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	KJ/Nm ³
0.7	98.1	0.58	0.58	0.51	0.04	0.01	0.01	0.04	0.01	36290

不同烧嘴功率下的天然气配比及空气量，按照空燃比 1:1.15 计算空气量(烟气成分中含氧约 3%)，见表 3：

Table 3. Mixed gas volume corresponding to different power

表 3. 不同功率对应的混合气体量

实验用气	热值 KJ/Nm ³	混合比例	不同烧嘴功率(%)对应的气体量(Nm ³)									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
天然气	36290	100%	2.9	5.8	8.7	11.6	14.5	17.4	20.3	23.2	26.1	29
空气量		10.89	31.58	63.16	94.74	126.32	157.91	189.49	221.07	252.65	284.23	315.81

3.2. 实验炉条件与生产符合性

IHVB 型烧嘴在实验炉上的安装见图 2：

IHVB 型烧嘴在实验时安装在辐射管实验炉上，安装方式与实际生产时相同，烟气通过炉子末端烟管排放至炉外。



Figure 2. Installation diagram of IHVB burner

图 2. IHVB 型烧嘴安装图

实验炉结构和被标定设备安装:

辐射管实验炉设有燃气供配气系统、助燃风系统、排烟系统、冷却风系统等配套设施。辐射管实验炉炉体外形尺寸约为:长 × 宽 × 高——3.1 × 1.5 × 2.2 m, 沿炉长方向上两侧分别设置冷却风管, 风管上带阀门, 可根据实验需要进行任意拆卸与组合。炉子本体不设置排烟口, 烟气通过烧嘴的排烟管与烟道连接进行排烟。炉子一侧设置炉门, 可以在需要时打开炉门进行操作。

炉子端部设置有可活动调节的烧嘴安装基板, 用于安装各种规格的辐射管烧嘴。

3.3. 实验系统原理图

实验系统原理图, 见图 3:

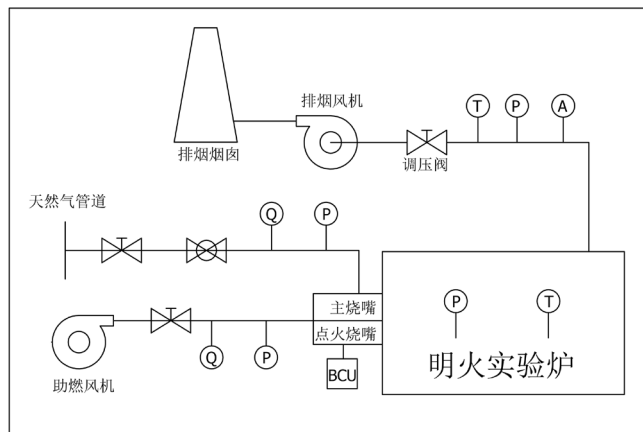


Figure 3. The schematic diagram of IHVB burner experimental system

图 3. IHVB 型烧嘴实验系统原理图

IHVB 型烧嘴实验系统由供气系统(空气 + 煤气)、烧嘴及控制系统(含 BCU)、辐射管试验炉及温度检测系统和烟气排放及检测系统组成。煤气系统取自××钢铁厂煤气主管道、经减压阀减压后到实验室。进入实验室的煤气管道布设压力、流量检测装置。空气系统由离心式助燃风机(含变频器)、压力、流量检测装置及相关管道阀门组成。煤气、空气管道将实验所需气体送到烧嘴附件, 按照实验要求采用软管连接到烧嘴接口。烧嘴燃烧(点火 + 信号)由一台 BCU 控制及采集。辐射管炉内按照等距离布置热电偶检测烧嘴工作时的温度场分布。烟气排放及检测系统由排烟风机、温度、压力、流量检测及相关管道(阀门)组成。烟气排放系统根据辐射管炉压力需求、排烟压力、排烟温度实时控制。

3.4. 烧嘴安装

烧嘴安装现场图，见图 4:



Figure 4. Pictures of IHVB type burner after installation

图 4. IHVB 型烧嘴安装后的图片

3.5. 炉温检测方案

IHVB 型烧嘴需要在辐射管炉上设置间隔相同的热电偶网络，通过热电偶检测确定火焰燃烧分布，作为判断烧嘴性能的指标之一。烧嘴实验炉炉内热电偶布置图，见图 5:

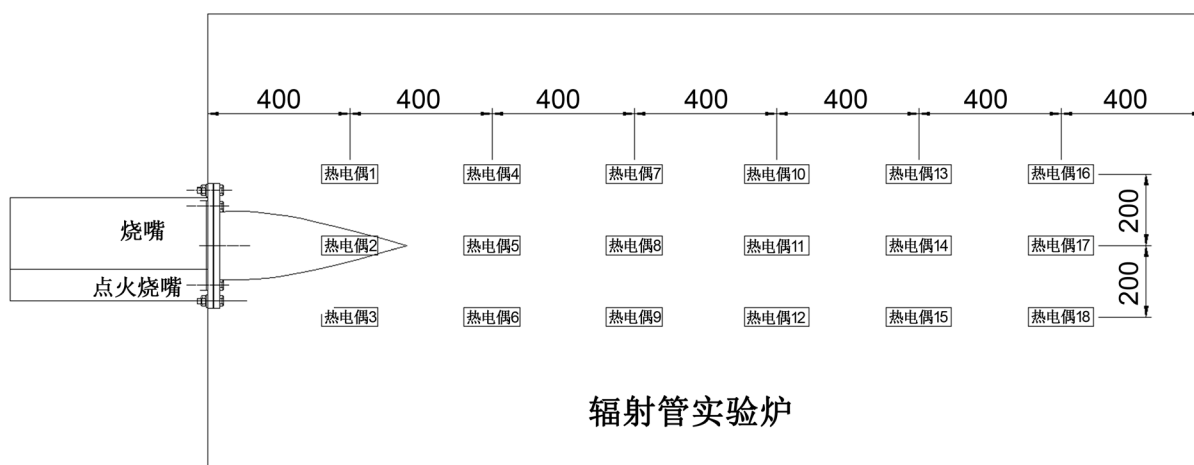


Figure 5. Thermocouple layout in burner experimental furnace

图 5. 烧嘴实验炉内热电偶布置图

此次辐射管炉内将炉子中心的一支热电偶作为炉温检测热电偶。

3.6. 测试仪表

试验所采用的测试仪表见表 4。

4. 实验过程简述

4.1. 实验过程

1) 点火烧嘴及点火枪的点火性能测试。先测试打火性能，然后按照 10% 功率供空气，测试点火情况，依次提供不同的供风量，进行点火测试。

Table 4. Test items and test instruments used**表 4.** 试验项目及采用的测试仪表

测试项目	被测介质(或测量部位)	采用的仪器仪表	测量精度	测量范围
流量	天然气	气体涡轮流量计 rotork QWLJ 型	0.5%	0~50 Nm ³
	助燃空气	气体涡轮流量计 rotork QWLJ 型	0.5%	
压力	烧嘴前空气管道	德图 TESTO 510 差压仪	±2%	0~20,000 Pa
	烧嘴前天然气管道	德图 TESTO 510 差压仪		0~20,000 Pa
温度	辐射管壁温、炉温	WRK 型热电偶		0℃~1300℃
	排烟温度	WRK 型热电偶		0℃~1300℃
	空气、天然气	热电阻	±1℃	0℃~800℃
	环境温度	温度表		0℃~50℃
成分	烟气中 CO、O ₂ 、NO _x 等	MRU 烟气分析仪		
	天然气	数据来自宝钢能环部		

2) 在敞开炉膛的状态下测试烧嘴在不同功率下的火焰燃烧情况。从 10% 功率开始至 100% 功率, 依次调节供风量、煤气量, 能介流量稳定在要求的范围内及火焰稳定后, 记录嘴前空煤气压力, 对火焰形状进行摄像。

注意事项:

- 测试过程中及时调整排烟风机的抽风量, 防止明火炉大量热烟气外溢。
- 空煤气流量调节值在流量稳定后, 与设定值偏差应小于±2%。
- 火焰形状的拍摄要在关键部位进行定格拍摄不小于 5 秒, 以保证清晰度, 关键部位包括: 喷口、火焰长度、火焰宽度等[4]。
- 对火焰异常现象进行定格拍摄, 如脱火现象、回火现象、喘振现象、发飘发散现象等。
- 嘴前压力的测量, 通过调节助燃风机的频率和管路旁通阀, 使嘴前压力波动在±2% 以内, 读数取波动值峰值和谷值的平均值。
- 注意观察炉内温控网热电偶的温度值, 当超过 1300 度时, 及时关闭煤气(燃气), 助燃风不停, 并加大助燃风量, 待平均炉温低于 500 度时, 再继续实验进程。
- 实验过程, 专人观察着火情况(炉温 < 1000 度时), 发现熄火, 立即告知实验操作人员关闭煤气切断阀。

3) 在封闭炉膛的状态下测试烧嘴在不同功率下的温度场及烟气成分。从 10% 功率开始至 100% 功率, 依次调节供风量、煤气量, 能介流量稳定在要求的范围内及火焰稳定后, 记录嘴前空煤气压力, 根据工艺需要记录其他参数值。

4.2. 实验阶段

第一阶段(原机组烧嘴):

- 1) 打开助燃风机和排烟风机;
- 2) 通过 BCU 烧嘴点火, 反复进行三次, 全部成功后进行下一步;
- 3) 点火成功后, 将烧嘴功率选定在 100%, 稳定后进行各项内容测试及记录;
- 4) 依次进行 60%、80%、120%、40% 负荷实验, 40% 正常后进行 30%、20%、10% 负荷实验。

热负荷往上调试模式: 先调空气, 空气调到位后再调整煤气。

热负荷往下调试模式: 先调煤气, 煤气调到位后再调整空气。

煤气调试过程中先调整高炉煤气流量,待煤气流量到位后再调整焦炉煤气流量(可根据实际情况变化)。

第二阶段(新开发 IHVB 烧嘴):

更换烧嘴为 IHVB 型烧嘴重复进行上述实验。

5. 测定数据

1) 烧嘴前空煤气压力

在炉温 1280℃~1300℃范围内测定烧嘴不同功率下的空气和煤气流量,以及对应的嘴前压力数据,获得 P-V 曲线见图 6、图 7:

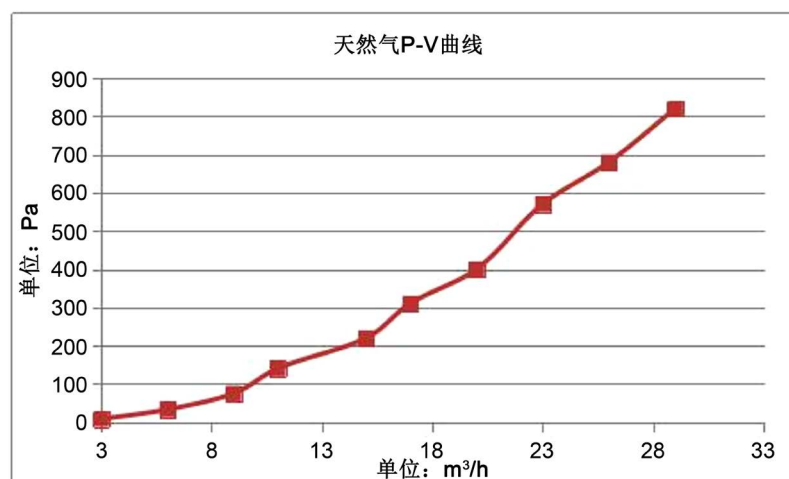


Figure 6. Natural gas P-V curve of IHVB-290 burner

图 6. IHVB-290 烧嘴天然气 P-V 曲线

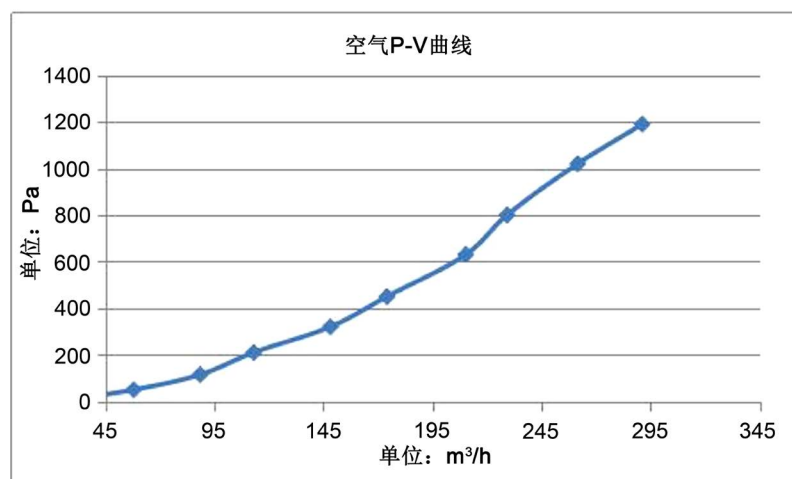


Figure 7. IHVB-290 burner air P-V curve

图 7. IHVB-290 烧嘴空气 P-V 曲线

2) 烟气排放指标

烟气排放指标主要是指烟气成分的测量,包括 O_2 、 CO 、 CO_2 、 NO 、 NO_x 、 SO_2 等成分。在烧嘴标定中,记录额定功率下的排烟成分和不同烧嘴功率时(如功率在 60%, 80%, 100% 和 120% 等)的排烟成分。烟气成分测量时,需保证实验炉为微正压,在 0~20 Pa 之间。IHVB-290 烧嘴的烟气成分(NO_x)见图 8。

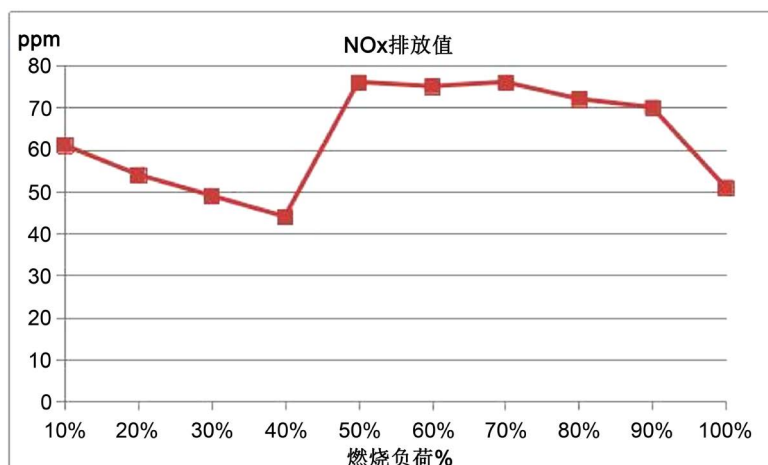


Figure 8. IHVB-290 burner flue gas composition (NO_x) curve

图 8. IHVB-290 烧嘴烟气成分(NO_x)曲线

3) 火焰温度分布

通过不同烧嘴功率下烧嘴中心火焰温度的曲线记录, 可以获得烧嘴的燃烧状况。不同功率下的火焰温度分布见图 9:

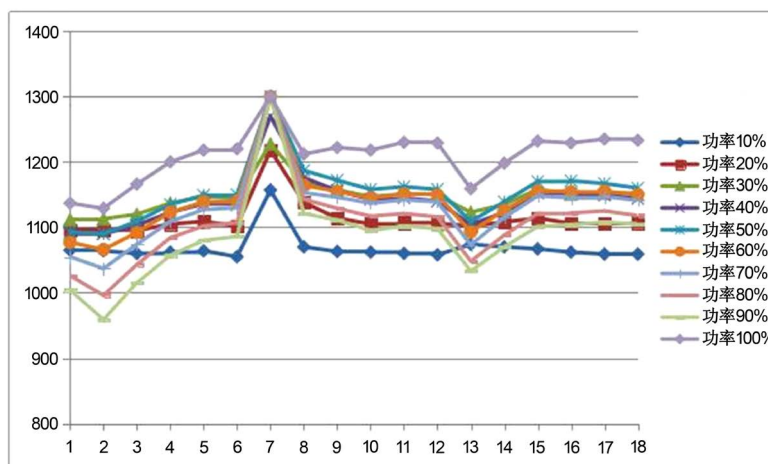


Figure 9. Flame temperature distribution curves at different power levels

图 9. 不同功率下的火焰温度分布曲线

6. 产品性能评估与分析

6.1. 烧嘴点火性能

本次实验的亚高速烧嘴不带点火枪, 采用天然气作为烧嘴燃烧介质, 直接离子棒点火, 经过几种负荷的点火测试, 两种类型的烧嘴均能正常点火, 表明烧嘴点火稳定可靠。

6.2. 燃烧稳定性及调节比

本次实验两种类型的烧嘴经测试, 在输出额定功率的 30% 以下, 爆鸣声较大, 无明显火焰, 在输出功率 80% 以上点火容易, 爆鸣声也较小, 建议点火时空燃比调节至额定功率附近。

此外, 经测试, 烧嘴在燃烧功率 60%~100% 之间, 均燃烧正常, 无脱火、回火现象, 燃烧火焰稳定。

6.3. P-V 曲线

空气、煤气流量特性(P-V 曲线)能够直观的表达空气、煤气流量与压力的关系,是烧嘴选型及现场调试的重要依据。

同等条件下测试的流量和嘴前压力等数据进行比较,获得如下曲线。详见图 10:

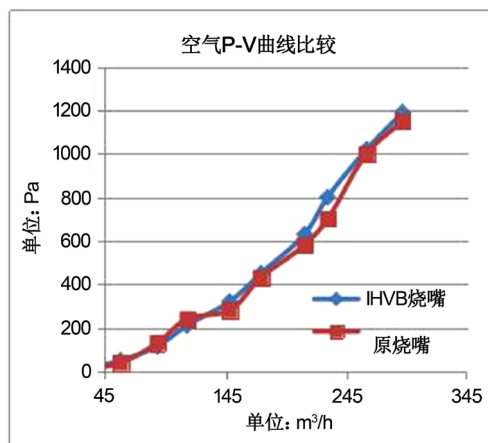


Figure 10. Comparison of P-V curves between original unit burner and IHVB burner
图 10. 原机组烧嘴和 IHVB 烧嘴 P-V 曲线对比

分析:从以上各图和数据可以看出,两种烧嘴的 P-V 曲线趋势一致,研制样机在相同流量下需要的空气和燃气嘴前压力与在用烧嘴相比基本接近。

6.4. 烟气成分分析

试验对烧嘴功率在的烟气成分进行检测,见下表。在同等条件下(10%~100%的工况下)测试的烟气成分数据进行比较,获得如下分析结论。

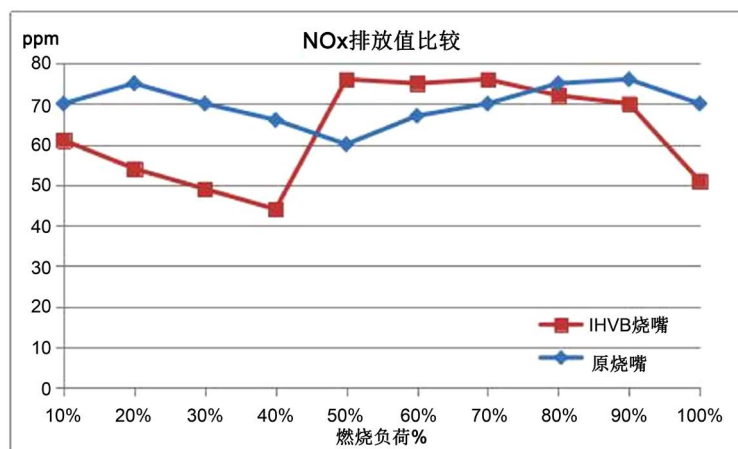
按照加热炉排放标准转化各成分排放量,以 8%的氧含量为基准,单位转换为 mg/m^3 ,将烟气成分进行转化[5]数据见表 5。

Table 5. IHVB-290 flue gas compositions converted in accordance with environmental emission standards
表 5. IHVB-290 按照环保排放标准转换后的烟气成分

工况说明	炉温 $^{\circ}\text{C}$	IHVB-290 研制样机烟气成分						
		O_2 %	CO mg/m^3	CO_2 %	NO mg/m^3	NO_x mg/m^3	SO_2 mg/m^3	H_2 %
功率 10%	1157	11.84	14	4.4	98	153	10	0
功率 20%	1218	8.45	11	6.6	63	99	8	0
功率 30%	1228	6.22	13	7.8	49	75	6	0
功率 40%	1270	5.98	2	8.4	43	68	0	0
功率 50%	1300	2.43	13	10	60	94	8	0
功率 60%	1300	1.89	17	10.4	58	90	7	0
功率 70%	1300	0.36	11	11.4	54	84	6	0
功率 80%	1300	0.7	15	11.6	52	81	6	0
功率 90%	1300	0.12	11	11.7	49	76	5	0
功率 100%	1300	0.23	13	11.5	36	57	5	0

按照标准氧含量 9% 折算后的烟气成分中 NO_x 的趋势见下图。

不同工况对烟气中 NO_x 的影响见图 11:



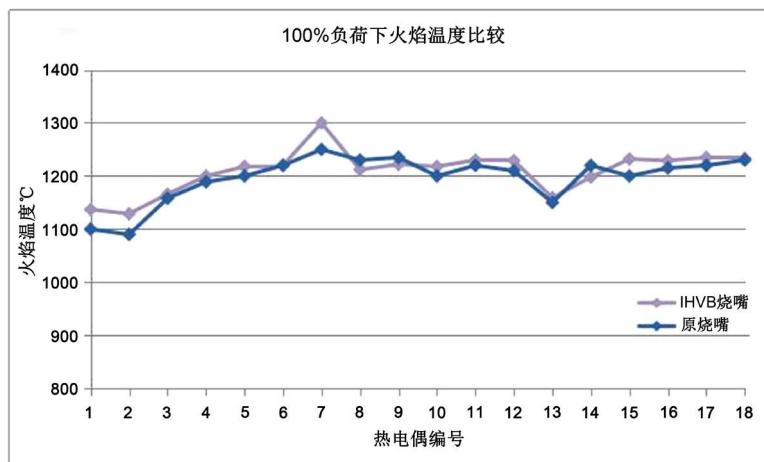
注: 图中原烧嘴——在用烧嘴, IHVB 烧嘴——研制样机。

Figure 11. Trends of influence of different operating conditions on NO_x in flue gas
图 11. 不同工况对烟气中 NO_x 的影响趋势

分析: 通过曲线对比可以看出, 在用烧嘴的 NO_x 排放与研制样机的 NO_x 排放指标近似, 并且均符合国家排放标准(200 mg/m^3)。两种烧嘴的 NO_x 排放均随着炉温的升高逐渐增加; 此外, SO_2 排放也远低于国家及上海市标准(100 mg/m^3)。

6.5. 辐射管管壁温度或火焰中心温度分析

不同炉温、不同功率下两种烧嘴的中心火焰温度分布, 见图 12:



注: 图中原烧嘴——在用烧嘴, IHVB 烧嘴——研制样机。

Figure 12. Distribution of central flame temperature of two kinds of burners at different furnace temperature and different power

图 12. 在不同炉温、不同功率下两种烧嘴的中心火焰温度分布

分析: 从上一章烧嘴的测试数据结合两种烧嘴的比较数据可以看出, 两种烧嘴火焰中心温度基本相同, 在用烧嘴的火焰中心最高温度 1300°C , 比研制样机的最高温度高出约 50°C 。

7. 结论

从上述测试数据对比分析看,国产化试制的烧嘴样机各项主要技术指标(调节比、燃烧稳定性、PV性能曲线、温度均匀性、NO_x排放指标等)基本与原进口烧嘴相当或稍许略优,从烧嘴在线实际使用情况以及新旧烧嘴的各项性能参数实验对比综合来看,本次试制产品完全可以满足机组的工艺需要,烧嘴各核心部件材质的合理设计选用、甄选经验丰富质量可靠的制造供货商,完全可以满足该机组对烧嘴的国内设计与供货要求。

参考文献

- [1] 张文学, 韩开文, 等. MYS型煤气亚高速烧嘴的开发和研制[J]. 工业炉, 1989(4): 16-19.
- [2] 晁德明, 吴兆伟. 加热炉燃烧器优化[J]. 莱钢科技, 2002(F6): 61-62.
- [3] 雍占锋, 宋方真. W型火焰锅炉燃烧检测与优化研究[J]. 化学工程与装备, 2018(9): 217-218.
- [4] 牛福河. 炉内火焰监测的现状及其发展方向[J]. 工业炉, 1990(1): 39-43.
- [5] 刘相亭, 石鑫. 冶炼烟气成分的气相色谱测定[J]. 有色金属(冶炼部分), 1992(1): 47-48.