

辐射管对火筒温度均匀性的影响

吕浩¹, 单天禹², 廖晓炜³, 徐洪涛¹

(1. 上海理工大学能源与动力工程学院, 上海 200093; 2. 黑龙江八一农垦大学信息技术学院, 黑龙江 大庆 163319;
3. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘要: 为了研究火筒加热炉内置辐射管及其燃烧功率对火筒温度均匀性的影响, 采用强制鼓风式燃烧器对火筒加热炉内置辐射管前后火筒温度变化进行试验测试。以大庆油田加热炉为试验对象, 对比同一功率下安装辐射管前后火筒的温度变化, 以及安装辐射管后不同功率下火筒的温度变化。对比结果显示: 燃烧功率为 400 kW 和 700 kW 时, 加装辐射管后, 火筒最大温差分别降为原来的 49% 和 48%, 火筒温度明显均匀, 大大减少了烧损的可能性, 且随着功率的增大, 火筒壁温随之增大, 温度分布趋势不变。

关键词: 火筒式加热炉; 辐射管; 试验测试; 温度均匀性
中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.04.030

引言

加热炉按其结构形式分为火筒式加热炉、管式加热炉、水套加热炉和相变加热炉。其中火筒式加热炉因结构简单, 耗材少, 一次性投资成本低而被油田广泛采用。但火筒式加热炉最大隐患就是火筒(加热炉内壁)直接与火焰接触, 长期的高温接触容易造成火筒热负荷不均匀, 火筒上高热负荷区产生鼓包变形, 随着变形的进一步加大, 可能导致火筒产生裂纹及穿孔, 甚至造成重大火灾事故, 给油田生产运行带来了极大的安全隐患和经济损失。

辐射管是利用辐射传热进行加热的装置, 辐射管分为燃气加热辐射管和电加热辐射管, 其中燃气加热辐射管热效率比电加热辐射管高一倍, 是未来辐射管的发展趋势。由于辐射换热温度均匀性更好, 因此本研究将辐射管应用于火筒式加热炉并研究其热工特性。

国内外虽然对加热炉和辐射管都有较多的研究^[1-15], 但利用辐射管对油田加热炉改造的研究较少。哈尔滨工业大学金宏达和刘国伟在模化试验台

上对加热炉安装辐射管后的热工特性进行了研究^[16-18], 发现安装辐射管后有效地解决了加热炉放热集中、火筒局部热负荷温度过高的现象。但试验中采用缩小比例模型, 且对燃烧器做了简化。本研究以大庆油田加热炉为试验测试对象, 研究用辐射管对大庆油田加热炉进行技术改造的可行性。试验采用强制鼓风式燃烧器, 借助上海焱晶燃烧设备检测有限公司的试验测试平台, 分析火筒内置辐射管对炉壁温度均匀性的影响, 研究安装辐射管后能否改善因加热负荷不均导致的烧损问题, 对大庆油田用火筒式加热炉实际运行有着重要指导意义。

1 试验仪器与方法

1.1 主要仪器与设备

本次试验采用 HQ05 强制鼓风式燃烧器, 燃烧器如图 1 所示, 高速燃气自阀组流经旋流片冲入火焰筒, 鼓风机提供燃烧所需空气, 空气经过多孔圆盘被分成很多小股, 从而与燃气充分接触。强制鼓风式燃烧器受外界环境影响较小, 且由于其燃烧稳定, 安全系数高等优点越来越受重视。本次试验测试系统由燃烧器、辐射管和加热炉 3 部分构成, 加热炉总长 8 000 mm, 内径 800 mm, 壁厚 4 mm, 材质为锅炉用钢板, 外部水冷, 同时配套引风机等附属设备。辐射管总长 4 000 mm, 前端至 3 500 mm 处为标准圆环形。其内径 500 mm, 壁厚 4 mm, 材质为 1Cr18Ni9Ti。后端为 500 mm 扩口结构, 最大内径 550 mm。燃料经燃烧器喷出后在辐射管内燃烧, 辐射管通过辐射换热的方式加热火筒, 高温烟气经过尾部出口排出。

收稿日期: 2015-02-03; 修订日期: 2015-04-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51276117); 质检公益性行业科研专项(201310163)

作者简介: 吕浩(1988-), 男, 河南永城人, 上海理工大学硕士研究生。

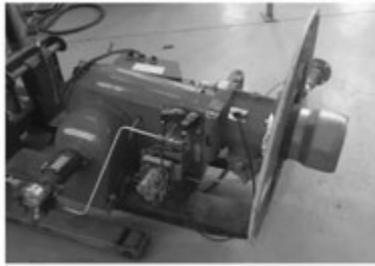


图 1 测试用 HQ05 燃烧器图片

Fig. 1 Picture of the burner HQ05 used in the test



图 3 现场试验测试照片

Fig. 3 Picture of the on-site test



图 2 测试用辐射管图片

Fig. 2 Picture of the radiant tube used in the test

1.2 试验燃料与测试仪器

试验采用甲烷浓度分数为 94% 的天然气,天然气高位热值为 40.24 MJ/Nm³,低位热值为 36.27 MJ/Nm³,燃气压力为 0.106 MPa,加热炉内压力为微负压 -10 Pa。加热炉前段循环水流量 20.09 t/h,加热炉后段循环水流量 71.02 t/h。试验测试用仪器如表 1 所示。

表 1 试验测试用仪表

Tab. 1 Instruments used in the test

仪器仪表	数量	规格型号	量程	精度 / %	主要用途
热电偶	54	K 型、E 型	0 - 1 300 °C	±0.75	测量火筒和辐射管壁面温度
数字显示表	2	TM - 902C	-50 - 1 300 °C	±0.5	显示热电偶测量温度
气体流量计	1	IRM - AG650	6 - 1 000 m ³ / h	±0.5	监测燃气流量
压力表	2	Y - 60	0 - 0.16 MPa	±2.5	监测燃气压力
超声波流量计	1	FSC S10C1	±0.3 - ±32 m/s	±1	监测循环水流量
可燃气体检测仪	2	XP - 3140	0 - 100 vol%	±5	监测可燃气体浓度

1.3 测试方法

1.3.1 测点布置

测点布置如图 4 所示,辐射管和火筒采用点接触方式布置温度测点,延长度方向布置 9 个温度测点组,每组有 3 个温度测点,分别为上部测点、中部测点和下部测点。

1.3.2 不同燃烧功率下未安装辐射管时壁温测试

测试开始前首先检查测温仪表和循环水流量显示是否正常,并利用可燃气体检测仪监测天然气是否泄漏。在天然气无泄漏以及循环水流量正常的情况下,启动燃烧器,观察测温仪表温度,确保测温仪表温度显示正常后,缓慢调节燃烧器功率至 400 kW,待测温仪表温度基本不再变化时,开始保存测温仪表温度记录。当测温仪表各个参数记录完毕且读数不再变化时缓慢增加燃烧器功率至 700 kW,重

复测量火筒和辐射管温度。

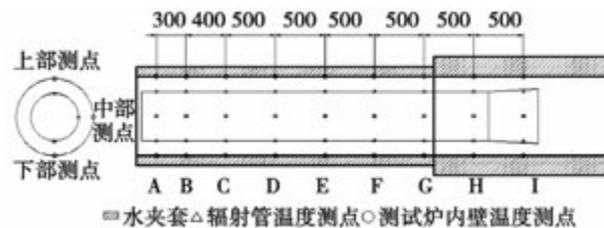


图 4 测试系统温度测点布置示意图 (mm)

Fig. 4 Schematic diagram of the measuring points arrangement (mm)

1.3.3 不同燃烧功率下安装辐射管后壁温测试

未安装辐射管时,完成对燃烧功率为 700 kW 的壁温测试后,通风吹扫 5 min,确保加热炉内无可燃气体残留。待燃烧器以及加热炉完全冷却后,拆

下燃烧器,利用叉车设备安装辐射管,调整辐射管距离加热炉入口端为 5 cm。辐射管安装完成后将火筒和辐射管上的热电偶接线,并检查仪表是否正常工作,在各个仪表正常工作的前提下安装强制鼓风机式燃烧器,调节循环水流量与未安装辐射管时一致,并利用可燃气体检测仪检测天然气是否泄漏,天然气无泄漏时,启动燃烧器,重复测量 400 kW 和 700 kW 时火筒和辐射管温度。测试完成后,保存试验数据,熄火冷却试验装置。

2 结果分析

2.1 不同功率下安装辐射管前后温度分布

未安装辐射管时,火焰火筒的传热方式有对流传热和辐射传热,其中对流占主导作用,由于火焰的不稳定性,直接的对流传热使得各个温度测点的温度相差较大,安装辐射管后,火筒温度测点的受热方式主要是依靠辐射管的辐射换热。

图 5 为燃烧功率 400 kW 时安装辐射管前后火筒上部、中部和下部温度变化以及辐射管的温度分布曲线。值得注意的是,安装辐射管后火筒上部监测点 H 和 I 的温度急剧增高,这是由于高温烟气冲出辐射管后,由于辐射管与环形空间内的压差,高温烟气会有一部分倒流入环形空间内,火筒的传热方式由辐射传热转变为直接的对流换热,所以 H 点和 I 点温度更高。在实际的油田生产中,火筒在 4 m 处高温烟气即向上排出,不会有大量回流的现象,故上部测点 H 点和 I 点的温度变化本次试验中不予讨论。燃烧功率 400 kW 时,安装辐射管前,火筒温度变化较大,上部、中部、下部的最高温度点分别距加热炉入口端 1 900 mm(E 点)、2 400 mm(F 点)和 1 400 mm(D 点)。火筒最高温度为 224 °C,最低温度仅为 60 °C,最大温差 164 °C。安装辐射管后火筒最高温度 128 °C,最低温度约为 48 °C,最大温差 80 °C,安装辐射管后最大温差降为原来的 49%,最高壁温降为原来的 57%。即火筒内置辐射管使得火筒整体温度分布更加均匀,火筒上沿长度方向的热偏差明显减小。同时可以看出,辐射管上温度分布基本呈现出上部温度较高,中部下部温度较低

氧化温度 870 °C,即安装辐射管后加热炉可以长期运行。

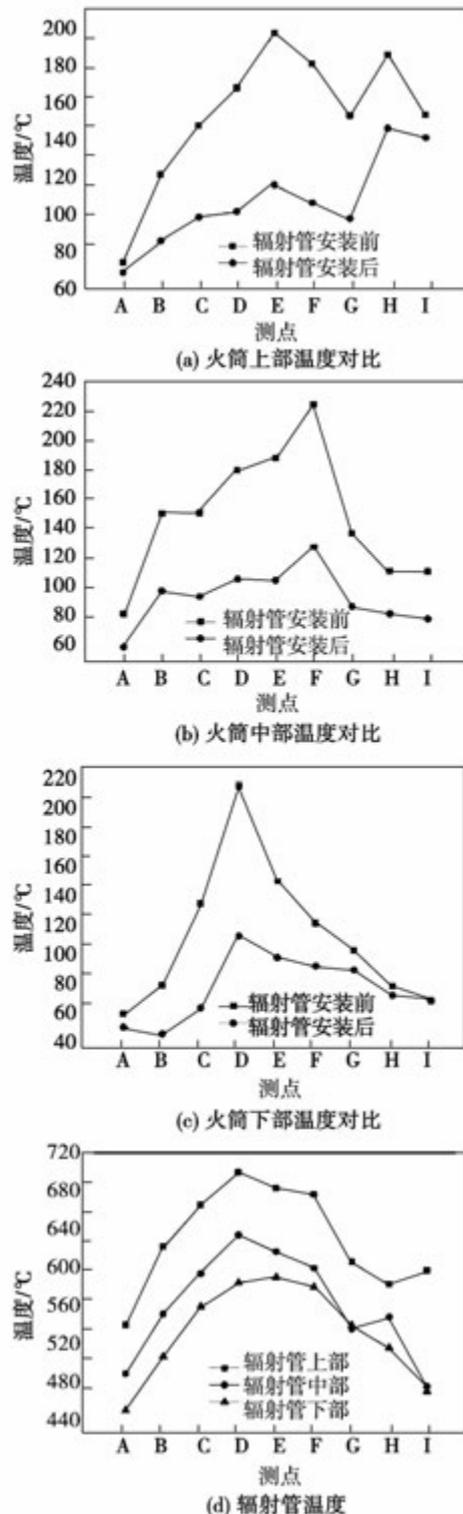
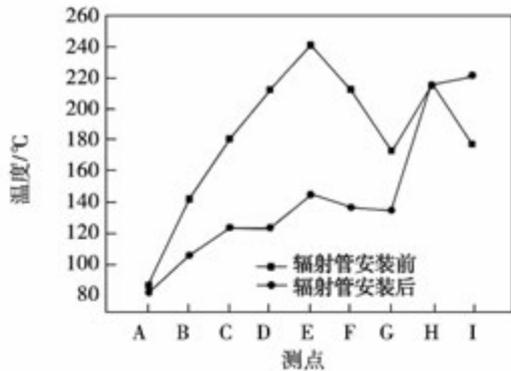
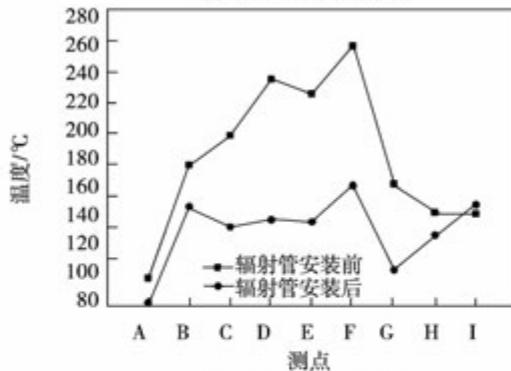


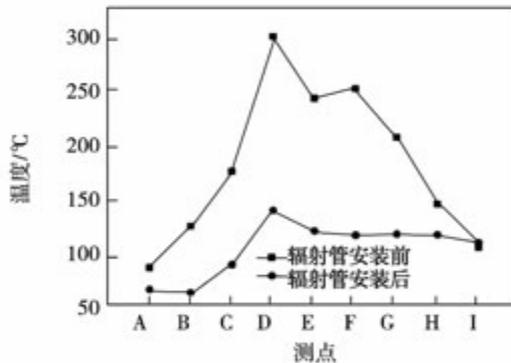
图 5 燃烧功率为 400 kW 时各测点温度
Fig. 5 Temperature of the measuring points at 400 kW



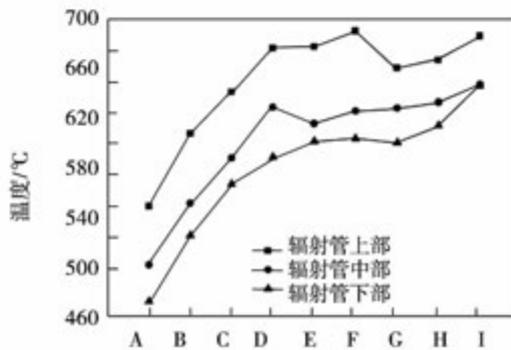
(a) 火筒上部温度对比



(b) 火筒中部温度对比



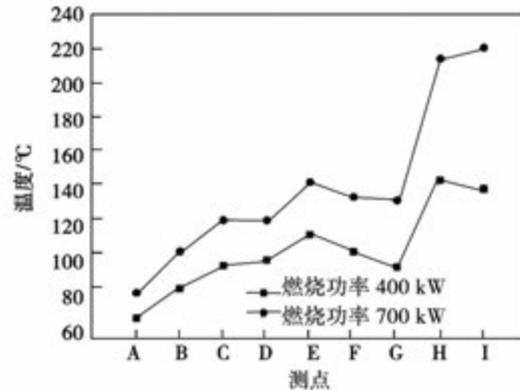
(c) 火筒下部温度对比



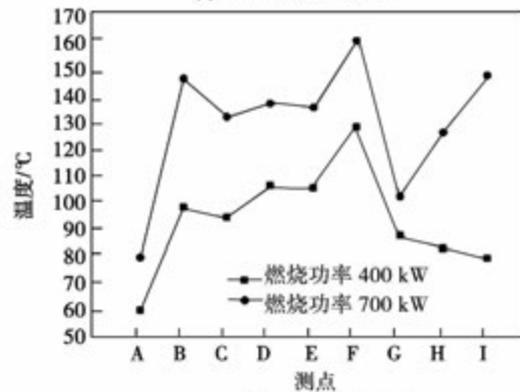
(d) 辐射管温度

图 6 燃烧功率为 700 kW 时各测点温度

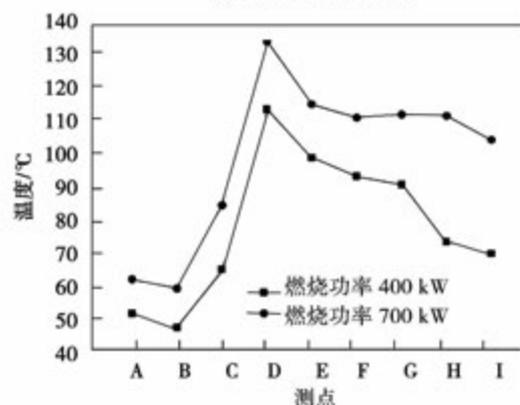
Fig. 6 Temperature of the measuring points at 700 kW



(a) 火筒上部温度对比



(b) 火筒中部温度对比



(c) 火筒下部温度对比

图 7 安装辐射管后不同燃烧功率时火筒温度对比

Fig. 7 Temperature comparison of measuring points at different powers after installing a radiant tube

图 6 为燃烧功率为 700 kW 时火筒及辐射管的温度。燃烧功率为 700 kW 时,壁温分布规律与 400 kW 基本相同。忽略由于高温烟气冲刷对上部温度测点 H 点、I 点的影响,火筒上部温度最高点为 E 点,中部为 F 点,下部为 D 点。安装辐射管后整

体温度变化较之前明显均匀,测点温度变化趋势与未安装辐射管时趋势大体一致。测点 A - G 中,安装辐射管后上部温度测点 E 从 240 °C 下降到 145 °C,中部 F 点从 258 °C 下降到 160 °C,下部 D 点从 291 °C 下降到 134 °C,此时火筒最高壁温(160 °C)为原来的 55%(291 °C)。安装辐射管前火筒最低温度 81 °C,最大温差 210 °C,安装辐射管后最低温度 59 °C,最大温差 101 °C,最大温差变为原来的 48%。最高壁温和最大温差的降低说明了火筒内置辐射管有效地降低了火筒上热负荷过度集中的现象,从而有效地避免了烧损。辐射管最高温度 692 °C,远低于 1Cr18Ni9Ti 氧化温度,辐射管可以长期运行。

2.2 安装辐射管后功率对壁温分布的影响

由图 7 可以看出,随着功率的增大,火筒温度升高两个燃烧功率下的温度分布趋势仍基本一致。火筒上部温度测点 E 为火焰中心区域,H 点、I 点温度由于高温烟气的冲刷而明显高于其它测点。中部测点峰值出现在 F 点,下部测点温度峰值出现在 D 点,中部、下部 H 点和 I 点并没有像上部测点一样出现温度峰值,这是因为高温烟气密度较小,贴着辐射管顶部流动,中下部并没有明显冲刷现象。

3 结 论

(1) 安装辐射管使加热炉内壁最高温度明显降低,燃烧功率为 400 kW 和 700 kW 时最高壁温分别降为原来的 57% 和 55%,最大温差分别降为原来的 49% 和 48%。炉内壁的壁温均匀性有显著改善,有效解决了火筒局部烧损问题。同时,辐射管最高温度低于材质氧化温度,辐射管可以长期运行。

(2) 安装辐射管后,随着功率的增大,测试炉内壁壁温增大,但是总体趋势几乎不变,火筒温度均匀性仍然保持较好,即安装辐射管后温度均匀性不因功率的改变而受影响。

参考文献:

[1] 马卫国,孙洪钰,冯定. 油田加热炉技术现状与发展方向[J]. 石油机械,2006,34(10):70-71.
MA Wei-guo,SUN Hong-yu,FENG Ding. Current situation and de-

velopment of the oil field heating furnace [J]. China Petroleum Machinery,2006,34(10),70-71.

- [2] 高相斌,刘晓燕,宫克勤,等. 应用于油田加热炉的热管性能模拟试验研究[J]. 应用能源技术,2000(2):6-7.
GAO Xiang-bin,LIU Xiao-yan,GONG Ke-qin. The research of the heating pipe performance applied in oil field heating furnace through a model experiment [J]. Application of Energy Technology,2000(2):6-7.
- [3] 司马英杰. 油田加热炉几何结构的优化[D]. 大庆:东北石油大学,2013.
SIMA Ying-jie. Optimization of the geometric structure of the oil field heating furnace [D]. Daqing: Northeast Petroleum University,2013.
- [4] 杨秀丽. 超声波防垢技术在油田加热炉上的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2012(01):57.
YANG Xiu-li, The application of Ultrasonic antiscaling technology in oil field heating furnace [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality,2012(01):57.
- [5] 冀红. 加热炉炉管防烧损技术研究[J]. 中国设备工程,2006(08):39-40.
JI Hong. The research of loss prevention of the tube of the heating furnace [J]. China Plant Engineering,2006(08):39-40.
- [6] 周宗宝,景深,李国放,等. 脉动燃烧技术在油田加热炉上的应用研究[J]. 油气田地面工程,2003,22(01):61-62.
ZHOU Zong-bao,JING Shen,LI Guo-fang, et al. The application of pulse combustion technology in oil field heating furnace [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering,2003,22(01),61-62.
- [7] Candel S,Durox D,Schuller T. Progress and challenges in swirling flame dynamics [J]. Comptes rendus mécanique,2012,340:758-768.
- [8] Temik P. Planar sudden symmetric expansion flows and bifurcation phenomena of purely viscous shear-thinning fluids [J]. Journal of non-newtonian fluid mechanics,2009,157:15-25.
- [9] YAN F, Lee P S, Chua B W, Investigation on the influence of edge effect on flow and temperature uniformities in cylindrical oblique-finned minichannel array [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer,2014,70:651-663.
- [10] WANG P, XIE C-F, XU S-M. Application of energy-saving technology on furnaces of oil refining units [J]. 2012,12:387-393.
- [11] YANG W-P,ZHANG J. Simulation of swirling turbulent combustion in the TECFLAM combustor [J]. Computers & Chemical Engineering,2008,32(10),2280-2289.
- [12] LUO R,ZHANG Y-F,LI N. Experimental study on flow and combustion characteristic of a novel swirling burner based on dual

register structure for pulverized coal combustion [J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2014, 54: 136 - 150.

[13] 汪建新, 胡依景, 吴启明. 加热炉辐射管的技术进化路线分析 [J]. *金属热处理*, 2014, 39(10): 137 - 140.
WANG Jian-xin, HU Yi-jing, WU Qi-ming. The analysis of technology evolution route of radiation tube of a heating furnace [J]. *Heat Treatment of Metals*, 2014, 39(10): 137 - 140.

[14] 韩小良. 辐射管搪烧炉热工性能分析 [J]. *玻璃与搪瓷*, 1999, 27(6): 49 - 68.
HAN Xiao-liang. The analysis of thermal performance of the enamelling furnace with a radiation tube [J]. *Glass & Enamel*, 1999, 27(6): 49 - 68.

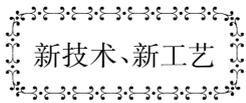
[15] 涂卫国, 冯俊小, 余凯. 辐射管加热技术综述 [J]. *工业炉*, 2007, 29(3): 15 - 18.
TU Wei-guo, FENG Jun-xiao, YU Kai. The summarize of the heating technology of radiant tube [J]. *Industrial Furnace*, 2007, 29(3): 15 - 18.

[16] 金宏达, 刘国伟, 董 芑. 开式直筒辐射管燃气燃烧器的优化设计 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, 42(5): 763 - 765.
JIN Hong-da, LIU Guo-wei, DONG Peng. The optimization design of the open and straight radiant tube with a gas burner [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2010, 42(5): 763 - 765.

[17] 刘国伟. 引射式辐射管燃气燃烧器结构参数的设计理论与实验 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
LIU Guo-wei. The design of the structural parameters of theory and experiment of the ejector type of gas burners built a radiant tube [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.

[18] 金宏达. 引射式辐射管燃气燃烧器热工特性的试验研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
JIN Hong-da. Experimental study of thermal performance of the ejector type of gas burners built a radiant tube [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.

(丛敏编辑)



Siemens 又销售了 3 台 SGT6 - 8000H 燃气轮机

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.04.031

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2014 年 1 - 2 月刊报道, Siemens 将供应 1 台 SGT6 - 8000H 燃气轮机、1 台 SST6 - 5000 汽轮机、1 台氢冷的 SGen6 - 2000H 发电机和 1 台 Benson 式余热锅炉, 用于在菲律宾正在被建造的圣加夫列尔联合循环电站。

Siemens 也将供应 2 个整套的动力岛, 每个岛由 1 台 SGT6 - 8000H 燃气轮机、1 台 SST6 - 5000 汽轮机、1 台氢冷的 STen6 - 2000H 发电机和 1 台余热锅炉组成, 用于在美国宾夕法尼亚帕特里奥特的 829 MW 联合循环电站。

基于功率为 274 MW、效率为 40.0% 的 SGT6 - 8000H 组成的 SCC6 - 8000HHIS 联合循环技术规范 and 额定性能:

推出年份	装置净输出功率/kW	热耗率 kJ/kWh	装置净效率/%	燃气轮机功率/kW	汽轮机功率/kW	燃气轮机数量和型号	说明
2010	410 000	60.0	6 000	274 000	135 000	1 台 SGT6 - 8000H	三压, 再热, 型号中的 IS 是指单轴

(吉桂明 摘译)

fit, the boiler can burn high-volatile bituminous coals with the normal operational parameters. The NO_x emission decreased by 60% with about $210 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ at full load, and the boiler efficiency increased by 1% than before. **Key words:** lean-coal boiler, low nitrogen combustion retrofit, coal adaptability

辐射管对火筒温度均匀性的影响 = **Effects of Temperature Uniformity of Radiant Tube on Firebox** [刊, 汉] LV hao, XU Hong-tao(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) , Shan Tian-yu (Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, China, Post Code: 163319) , LIAO Xiao-wei, (China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing, China, Post Code: 100013) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4) . -611 -616

In order to study the effect of the radiant tube and the influence of combustion power on temperature uniformity of the firebox, an experiment was set up with a forced air blast burner to obtain the temperature variation of the firebox before and after installing a radiant tube in the heater. Based on the Heater in Daqing Oilfield, this experiment was carried out by comparing the temperature variations before and after the radiant tube installation and at different powers. Results illustrate that after installing the radiant tube, the highest temperature difference of the firebox will drop to 49% at 400 kW and 48 % at 700 kW respectively. And the temperature uniformity of the firebox is obviously better than before, which decreased the risk of burning loss of the firebox greatly. The temperature of the fire-box increases with the increasing powers, and the distribution trend of the temperature is consistent. **Key words:** : fire tube type heater, radiant tube, experimental test, temperature uniformity

双轴跟踪槽式太阳能集热器实验研究 = **An Experimental Study on A Two-axis Sun-track Parabolic Trough Collector** [刊, 汉] QIAN Yu, ZHU Yue-zhao, WANG Yin-feng, CHEN Hai-jun(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing, China, Post Code: 211816) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4) . -617 -622

A two-axis sun-track PTC (parabolic trough collector) with a concentration ratio of 24 was set up, which integrated a two-axis sun-track PTC with domestic parabolic trough receiver. Thermal performance of this PTC was experimentally tested at different heat transfer fluid flow rates. In advance, the Normalized efficiency and energy efficiency were analyzed. The results show that, thermal efficiency of this two-axis tracking collector is 40% ~ 80%; and the thermal efficiency decreases slightly with the increase of flow rate. In addition, the linear of normalized efficiency is