

管束污染对增压锅炉性能参数的影响分析

贾汝彬, 王建志, 王永堂, 薛 伟

(中国船舶重工集团公司第七〇三研究所 黑龙江 哈尔滨 150078)

摘 要 《锅炉机组热力计算—标准方法》(1973 版) 中热有效系数的取值不适用于增压锅炉。根据增压锅炉试验数据确定了不同负荷下增压锅炉蒸发管束和过热器管束的热有效系数的取值。结果表明: 随负荷增加, 锅炉的蒸发管束及过热器管束热有效系数的变化呈减小趋势。管束积灰污染增加了管束的热阻, 减小了蒸发管束的热有效系数, 使锅炉的排烟温度及排烟损失上升、蒸汽产量下降及过热蒸汽温度上升。燃用低热值燃油使锅炉的过热蒸汽温度上升。

关 键 词 增压锅炉; 管束污染; 热有效系数; 过热蒸汽温度; 排烟温度; 排烟损失

中图分类号: TK212 文献标识码: A

引 言

增压锅炉由于炉膛容积热负荷高, 重量轻, 尺寸小, 启动快, 机动性好, 而成为船用锅炉的发展方向^[1]。我国设计生产的增压锅炉其试验数据均能达到设计指标, 整个装置的运行状况良好。本研究通过增压锅炉陆上综合试验研究热力计算中的关键参数管束热有效系数的变化规律, 以及通过对增压锅炉长期运行管束积灰受到污染后对热有效系数和锅炉性能参数的影响规律进行研究, 提出了锅炉内吹灰的方案来解决管束污染获得了良好的效果。本研究对提高增压锅炉的设计能力及安全稳定运行是十分必要的。

1 研究对象和计算分析方法

1.1 增压锅炉的工作原理

增压锅炉装置主要由增压锅炉和涡轮增压机组构成。增压锅炉的剖面图如图 1 所示。燃烧所需的空气经过涡轮增压机组的压气机压缩后大大提高了压力和温度, 经过锅炉空气夹层吸热后进入炉膛, 进入炉膛空气的温度可达 180℃, 压力可达 0.3 MPa, 与雾化燃油液滴混合后燃烧, 燃烧后的高温烟气先

与蒸发管束换热, 再与过热器及经济器换热, 最后推动烟气涡轮做功。涡轮增压机组具有鼓风机和空气预热器的双重作用。它吸收了锅炉排烟的部分能量, 降低了排烟温度, 从而提高了锅炉的效率。

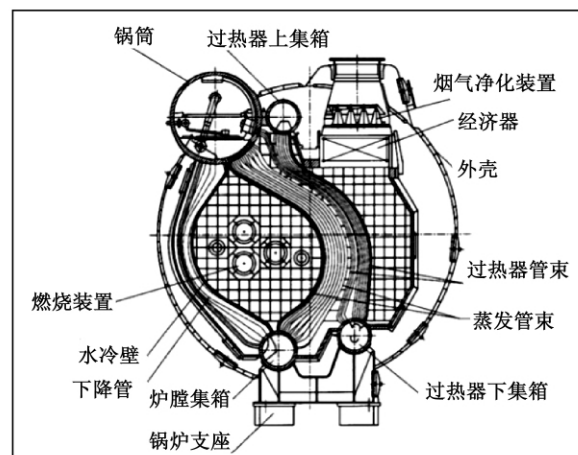


图 1 增压锅炉剖面图

Fig. 1 Sectional view of the supercharged boiler

1.2 增压锅炉的计算分析方法

本研究以文献 [2~4] 所提出的热力计算方法以及增压锅炉试验数据为基础, 对比分析增压锅炉在吹灰前后的性能参数, 进行增压锅炉装置的整体热力计算, 确定了增压锅炉在不同负荷下的各受热面管束的热有效系数的取值, 分析了锅炉管束污染系数对过热蒸汽温度、排烟温度、各受热面管束的热有效系数以及蒸汽产量的影响规律, 探讨了燃油热值对锅炉性能参数的影响。

2 计算与分析

2.1 增压锅炉综合试验

增压锅炉试验原理如图 2 所示。试验工况的参数选取在锅炉经过长期运行后其管束积灰受到污染, 在锅炉进行内吹灰前后的试验数据。增压锅炉

的内吹灰是指锅炉不是在正常的油风配比的运行工况点,而是在小油量大风量的条件下,利用炉内产生的高速低污染烟气冲刷管束使管束清洁的一种吹灰方式。本实验的内吹灰工况点为燃油量在 3 t/h,锅炉的燃烧空气量为 30 kg/s。在吹灰前后不同的锅炉稳定负荷下,通过测量进入增压锅炉经济器的给水温度、压力及流量,从锅筒抽取的饱和蒸汽的压力和流量,向外提供的过热蒸汽的温度、压力和流量,计算出增压锅炉管束的吸热量;通过测量进入增压锅炉炉膛的燃油流量、温度以及空气的流量、温度可以计算出高温高速烟气的流量及理论燃烧温度,同时通过测量经济器后的排烟温度可以得出增压锅炉烟气的放热量。对比增压锅炉高温烟气的放热量以及锅炉管束的吸热量就可以得到管束的传热系数、进而得到管束的热有效系数。

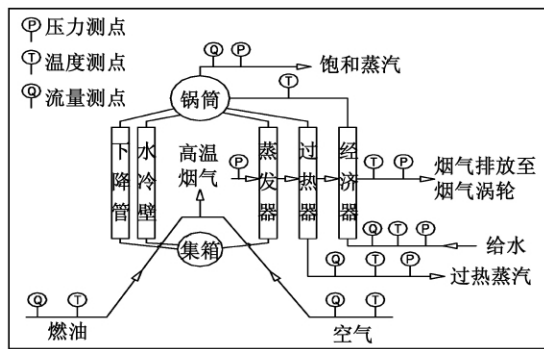


图 2 试验装置原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the test device

2.2 各受热面的热有效系数

热有效系数是反映锅炉受热面管束污染程度的参数。污染愈重,热有效系数愈小;污染愈轻,热有效系数愈大。热有效系数通过修正清洁管的传热系数来考虑管壁外表面积灰传热的影响。定义为污染管传热系数 K 与清洁管传热系数 K_0 之比^[5],即:

$$\theta = K/K_0 \tag{1}$$

图 3 为增压锅炉蒸发管束在不同负荷下吹灰前后的热有效系数的变化规律;图 4 为增压锅炉过热器管束在不同负荷下吹灰前后的热有效系数的变化规律。

从图 3 和图 4 可以看出,在吹灰后正常工作条件下,锅炉蒸发管束的热有效系数为 0.74~0.66,过热器的热有效系数为 0.76~0.68;随负荷增加,锅炉的蒸发管束及过热器管束热有效系数的变化呈减小趋势。分析原因认为当锅炉在低负荷时生成的烟量少,同时为保证低负荷的燃烧状态采用比较

大的空气过量系数,因此低负荷时烟气灰分的浓度低,污染小。随锅炉负荷的增加,燃烧空气的过量空气系数逐渐减少,因此随负荷的增加,蒸发管束与过热器的热有效系数随之减小。还可以看出,锅炉蒸发管束与过热器管束的热有效系数在吹灰前比吹灰后小,分析原因认为这是由于锅炉管束受热面在吹灰后热阻减少造成的。

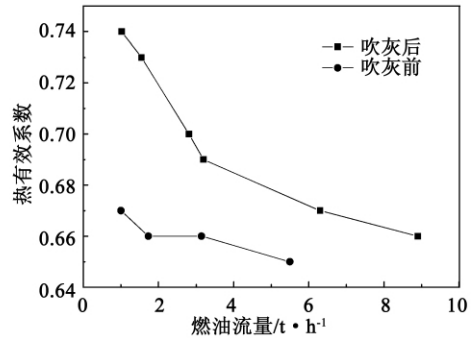


图 3 不同负荷下蒸发管束热有效系数
Fig. 3 Effective thermal coefficient of the vaporization tube bundle at various loads

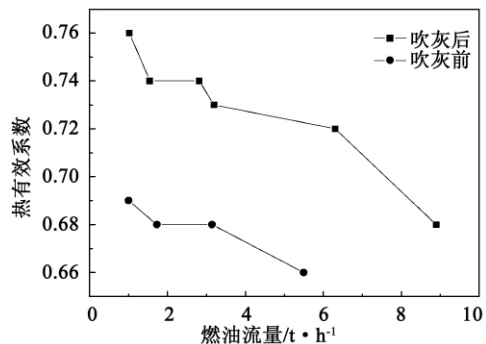


图 4 不同负荷下过热器管束热有效系数
Fig. 4 Effective thermal coefficient of the superheater tube bundle at various loads

2.3 管束污染对排烟温度的影响

图 5 为锅炉长时间运行后,不同负荷下其排烟温度在锅炉吹灰前后的变化。在各种负荷下,锅炉的排烟温度在吹灰前比吹灰后高 7~32℃。分析原因认为:锅炉在长时间运行后,增压锅炉各级管束壁面积灰严重,增加了锅炉的传热热阻,减小了锅炉的各受热面与烟气的换热量,因此锅炉的排烟温度上升,锅炉的热损失增加。

2.4 管束污染对过热蒸汽温度的影响

图 6 为增压锅炉长时间运行后,在各种负荷下其过热蒸汽温度在锅炉吹灰前后的变化。在各种负

荷下增压锅炉的过热蒸汽温度在吹灰前比吹灰后高 3~7℃。分析原因认为,当锅炉在长时间运行后,锅炉的各级管束壁面都存在积灰,增加了传热的热阻,但锅炉的前排管束的积灰比后排管束严重。由锅炉的结构特性可知,本增压锅炉属于对流式过热器锅炉,前排蒸发管束的吸热量减少的比例比后排的过热器管束的吸热量比例大。因此,锅炉蒸发管束的吸热量比过热器管束的吸热量减少得多,过热蒸汽温度增加。

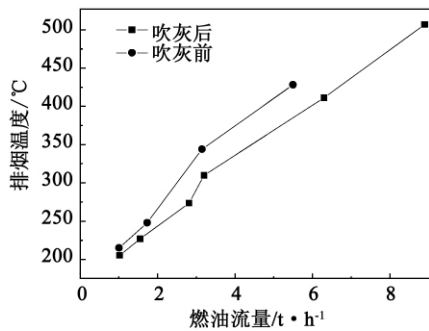


图5 不同负荷下增压锅炉的排烟温度
Fig. 5 Exhaust flue gas temperature of the supercharged boiler at various loads

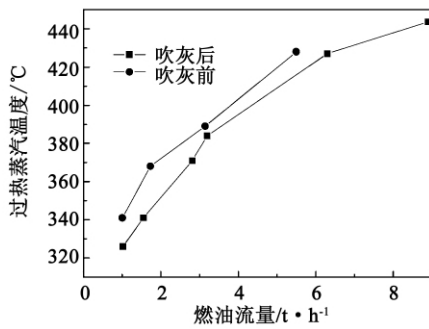


图6 不同负荷下增压锅炉的过热蒸汽温度
Fig. 6 Superheated steam temperature of the supercharged boiler at various loads

2.5 排烟损失的影响

图7为不同负荷下增压锅炉在吹灰前后的排烟损失的变化规律。由图可以看出,随着负荷的增加,无论锅炉吹灰前还是吹灰后,其排烟损失都随负荷的增加而增大,吹灰前比吹灰后的排烟损失约大1%~2%。分析原因认为:随着增压锅炉的负荷越大,排烟温度越高,排烟损失就越大;增压锅炉装置在进行吹灰后,其管束的污染下降,减小了锅炉管束的热阻,因此吹灰后的排烟损失下降。

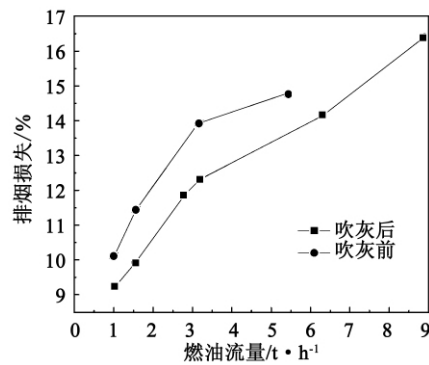


图7 不同负荷下增压锅炉的排烟损失
Fig. 7 Exhaust flue gas loss of the supercharged boiler at various loads

2.6 锅炉蒸汽产量变化

表1为增压锅炉长时间运行后,吹灰前后不同负荷下增压锅炉蒸汽产量的对比。从表中可以看出,在负荷接近的工况下,吹灰前的蒸汽产量比吹灰后的蒸汽产量要偏小一些。分析原因认为是由于锅炉管束的积灰,造成管束的热阻增大,传热系数减小,因此锅炉的蒸汽产量下降。

表1 增压锅炉蒸汽产量对比(t/h)

Tab. 1 Contrast of the steam production capacity of the supercharged boiler

吹灰后工况		吹灰前工况	
燃油流量	蒸汽产量	燃油流量	蒸汽产量
1.02	15.43	1	14.9
1.55	23.02	1.73	24.54
2.81	38.4	3.14	42.3
3.2	44.1	5.5	71.74
6.3	82.11		
8.9	108.76		

2.7 不同热值燃油对锅炉参数的影响

燃料物性参数影响增压锅炉的性能指标,在其他边界条件一致的情况下,分别进行了燃烧两种不同热值的燃油的锅炉性能试验,燃油热值如表2所示,所得锅炉蒸汽参数指标如图8所示。

表2 不同燃油的热值

Tab. 2 Heat values of various fuel oils

	1号燃油	2号燃油
净热值/kJ·kg ⁻¹	42 119	40 866

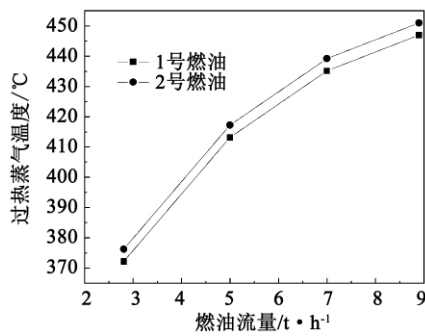


图8 增压锅炉燃用不同燃油的过热蒸汽温度

Fig. 8 Superheated steam temperature of the supercharged boiler by burning various fuel oils

从图8可以看出,在相同的锅炉负荷下,燃用热值较低的燃油的过热蒸汽温度比燃用热值较高的燃油的过热蒸汽温度高4~5℃之间。分析原因认为:当燃用热值较低的燃油时,在锅炉负荷量一定的条件下,所需的燃油耗量增加,当锅炉的进风量维持不变时,炉膛内的烟气产量增加,这样炉膛内的理论燃烧温度降低,与炉膛内的辐射换热热量减小,同时由于传热温差的减小,烟气与前接管束的换热量比例相应的降低。这样导致锅炉后部的受热面吸收的热量的比例增加,由于本锅炉采用外置式过热器,因此导致锅炉产出的过热蒸汽温度上升。此外,还由于低热值燃料往往含灰量较大,受热面污染较严重。

3 结论

(1) 增压锅炉炉膛采用增压燃烧,其管间烟速高,目前通用的73版热力计算标准所规定的热有效系数取值不适用,本研究通过试验方法确定增压锅炉蒸发管束的热有效系数为0.74~0.66,过热器的热有效系数为0.76~0.68;随负荷增加,锅炉的蒸发管束及过热器管束热有效系数的变化呈减小趋势。

(2) 管束积灰所造成的管壁污染,增加了管束的热阻,减小了增压锅炉蒸发管束和过热器管束的

热有效系数,使锅炉的排烟温度上升7~32℃,锅炉的排烟损失增加了1%。

(3) 由于锅炉的前接管束的污染比后排严重,本增压锅炉过热器为外置式布置,所以导致锅炉的产汽量下降,过热蒸汽温度增加3~7℃。

(4) 锅炉的燃料的热值直接影响锅炉的性能参数。在相同的负荷下,当燃用低热值燃油时,炉膛内的烟气量增大,降低了理论燃烧温度,直接改变了炉膛与锅炉管束的换热比例,导致锅炉过热蒸汽上升4~5℃。

参考文献:

- [1] 沈志刚, 邹积国, 姜任秋, 等. 增压锅炉机组重要热工参数的选择[J]. 热能动力工程, 2003, 18(1): 27-30.
SHEN Zhi-gang, ZOU Ji-guo, JIANG Ren-qiu, et al. Selection of major thermodynamic parameters for a supercharged boiler unit [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2003, 18(1): 27-30.
- [2] 李彦军, 姜任秋, 孙宝芝. 船用增压锅炉热力计算方法有关问题分析[J]. 热能动力工程, 2005, 20(1): 93-97.
LI Yan-jun, JIANG Ren-qiu, SUN Bao-zhi. A study of some issues related to the thermodynamic calculation of a supercharged marine boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2005, 20(1): 93-97.
- [3] 王建志, 吴少华, 季清洲. 船用增压锅炉热平衡计算[J]. 热能动力工程, 2006, 21(5): 470-472.
WANG Jian-zhi, WU Shao-hua, JI Qing-zhou. Heat balance calculation of a turbocharged marine boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2006, 21(5): 470-472.
- [4] 王永堂, 吴少华, 陈明, 等. 船用增压锅炉热平衡及热损失的计算方法[J]. 热能动力工程, 2011, 26(1): 94-96.
WANG Yong-tang, WU Shao-hua, CHEN Ming, et al. Method for calculating the heat balance and thermal loss of a marine turbocharged boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2011, 26(1): 94-96.
- [5] 车得福, 庄正宁, 李军, 等. 锅炉[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2008年.
CHE De-fu, ZHUANG Zheng-ning, LI Jun, et al. Boiler [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2008.

(陈滨 编辑)

欢迎订阅 2013 年《热能动力工程》

邮局代号: 23-158 单月 20 日出版

编辑部地址: 哈尔滨市香坊区公滨路 452 号 邮编: 150036

国内定价: 18 元/期 全年 6 期 108 元/年

study

管内段塞流传热模型及实验研究 = **Heat Transfer Model for and Experimental Study of an In-tube Slug Flow** [刊, 汉]/MA Yong-qian, SHAO Ru (Shengli Oil Field Well-drilling Technology Research Institute, Dongying, China, Post Code: 257017), WANG Zhi-yuan ((East China) College of Petroleum Engineering, China Petroleum University, Qingdao, China, Post Code: 266580), HE Pi-xiang (Oil Production Technology Research Institute, Dagang Oil Field Company, Dagang, China, Post Code: 300280) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(6) . - 676 ~ 679

In the light of the specific features of a slug flow, established was a heat transfer model for slug flows. The theoretical value of the average heat transfer coefficient calculated by using the model is in very good agreement with that of the test one with the error being within 10%. Compared with other models, the heat transfer model for slug flows is more close to the actual conditions. In addition, the authors have also analyzed the influence of the fluid and gas flow rate on the heat transfer coefficient. The heat transfer law test results show that the gas and fluid flow rate (speed) under a slug flow and the convection heat exchange coefficient assume a linear relationship and the fluid flow rate is regarded as the main factor influencing the heat transfer. **Key words:** slug flow, heat transfer model, fluid flow rate, gas flow rate

管束污染对增压锅炉性能参数的影响分析 = **Analysis of the Influence of the Contamination of the Tube Bundles on the Performance Parameters of a Supercharged Boiler** [刊, 汉]/JIA Ru-bin, WANG Jian-zhi, WANG Yong-tang, XUE Wei (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(6) . - 680 ~ 683

The value of the thermal effectiveness coefficient obtained by complying with “Thermodynamic calculation of boiler units—standard method” (1973 Edition) is not applicable for a supercharged boiler. The authors have determined the values of the thermal effectiveness coefficients of the vaporizer tube bundles and the superheater tube bundles of a supercharged boiler at various loads on the basis of the test data of the supercharged boiler. It has been found that with an increase of the load, both thermal effectiveness coefficients of the vaporizer tube bundles and superheater ones of the boiler assume a descending variation tendency. The contamination of the soot deposited on the tube bundles will increase the thermal resistance of the tube bundles and decrease the thermal effectiveness coefficient of the

vaporizer tube bundles forcing the exhaust flue gas temperature and loss of the boiler to go up, the steam production capacity to drop and the superheated steam temperature to rise. To burn fuel oil with a low heat value will make the superheated steam temperature of the boiler to go up. **Key words:** supercharged boiler, comprehensive test, thermal effectiveness coefficient, steam temperature, exhaust flue gas temperature, exhaust flue gas loss

蓄热式燃烧技术在冷凝式燃气锅炉上的应用 = Application of the Regenerative Combustion Technology in Condensing Type Gas-fired Boilers [刊, 汉]/ZHANG Xi-lai (Xi'an Thermotechnical Research Institute Co. Ltd., Xi'an, China, Post Code: 710032), JIN Shi-ping, HUANG Su-yi (National Key Laboratory on Coal Combustion, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074), GE Jing-peng (Jiangsu Yanxin Science and Technology Group, Jiangyin, China, Post Code: 214426) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(6). - 684 ~ 689

The flue gases of natural gas and other hydrocarbon fuels contain a great amount of steam after their combustion. To lower the temperature of the flue gases to any temperature below the condensation temperature of the steam can recover the latent heat of the steam during condensation and the thermal efficiency of a boiler can exceed 100% as calculated according to the low heating value. The heat balance calculation results show that it is possible to recover the latent heat for condensation of flue gases by using combustion-supporting air. However, the temperature of the flue gases at the inlet has an upper limit value. To use the heat accumulation type combustion technology for gas-fired boilers can lower the temperature of the flue gases below the condensation temperature. The shorter the direction change period, the higher the thermal efficiency. When the direction change period lasts 20 seconds, the thermal efficiency can be up to 106.7%. The staged combustion of air can make the NO_x emissions level reduced to around 46 mg/Nm^3 (6% O_2) and the fluid for condensing the flue gases can adsorb 14.3% of the NO_x in the flue gases.

Key words: regenerative combustion, condensing type boiler, condensing heat accumulation, low NO_2 combustion

叶片特性和中心风量对一种煤气燃烧器冷态流场的影响 = Influence of the Blade Characteristics and Central Air Quantity on the Cold-state Flow Field of a Coal-gas Burner [刊, 汉]/YAN Zhen, LI Kun, ZHANG Shi-hong, CHEN Han-ping (National Key Laboratory on Coal Combustion, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(6). - 690 ~ 694