

# 余热回收对增压锅炉装置排烟阻力及性能的影响分析

高占洋, 王建志, 高世杰, 周亚洲

(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: 对余热回收条件下增压锅炉排烟阻力特性进行了计算分析, 结果表明, 对于原有排烟道较长的增压锅炉, 通过余热回收不但能够回收热量, 提高余热利用率, 还有可能改善排烟系统总阻力, 从而进一步改善增压锅炉性能。

关 键 词: 增压锅炉; 余热回收; 烟气阻力

中图分类号: TK229.1 文献标识码: A

## 引 言

增压锅炉是一种先进的船用锅炉技术, 以其先进的重量尺寸指标和良好的机动性指标, 在前苏联、美国、法国等国家早已得到了应用<sup>[1]</sup>。

由于涡轮增压机组利用烟气做功, 增压锅炉装置的排烟温度较高, 影响了锅炉装置的经济性。一般情况下增压锅炉装置排烟温度可以超过 400 °C, 如果能够实现余热的回收利用, 可以有效地提高能量利用率。

在增压锅炉装置尾部增设余热回收装置, 可以有效回收烟气余热, 但余热回收装置的引入, 又在烟道中增加了烟气阻力。排烟阻力对增压锅炉装置性能的影响较大, 本研究重点探讨余热回收对增压锅炉装置阻力及性能的影响。

## 1 增压锅炉烟道阻力分析

涡轮增压机组利用锅炉烟气做功, 排烟阻力对增压机组性能的影响较大, 烟气涡轮功率与烟气进出口压差相关。排烟阻力较小时, 进出口压差大, 涡轮做功能力强; 如果排烟阻力较大, 涡轮进出口压差减小, 涡轮做功能力降低。烟气能量不足时, 为了维持锅炉正常的空气需求量, 必须增加辅助汽轮机的功率输入, 从而消耗更多的蒸汽, 降低了增压锅炉装置的整体经济性。

排烟阻力包括沿程摩擦阻力和局部阻力两部

分<sup>[2]</sup>。沿程阻力和局部阻力可以分别表示为:

$$\Delta P_1 = \lambda \frac{l \rho w^2}{d} \quad (1)$$

$$\Delta P_2 = \xi \frac{\rho w^2}{2} \quad (2)$$

$$\Delta P_{\text{总}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 = \lambda \frac{l \rho w^2}{d} + \xi \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

式中:  $\Delta P_1$ —沿程摩擦阻力, Pa;  $\Delta P_2$ —局部阻力, kPa;  $\Delta P_{\text{总}}$ —总阻力, Pa;  $\lambda$ —烟道摩擦阻力系数;  $d$ —烟道当量直径;  $l$ —烟道长度;  $\xi$ —局部阻力系数;  $\rho$ —烟气密度;  $w$ —烟气流速。

从式中可以看出, 影响排烟阻力的因素主要有烟道结构、烟道长度、烟气流速和烟气特性等, 而烟气流速受温度影响较大。

某增压锅炉装置排烟烟道较长, 排烟阻力较大, 对其进行了计算分析。

使用条件: 烟气质量流量为  $Q = 42 \text{ kg/s}$ , 排气温度为  $T = 400 \text{ °C}$ , 烟道沿程阻力系数取  $\lambda = 0.02$ , 局部阻力系数  $\xi = 3.45$ , 烟道当量直径  $d = 1 \text{ m}$ 。在假定烟道绝热, 烟气流量不变的条件下, 计算获得烟气总阻力随烟道长度的变化曲线, 如图 1 所示。

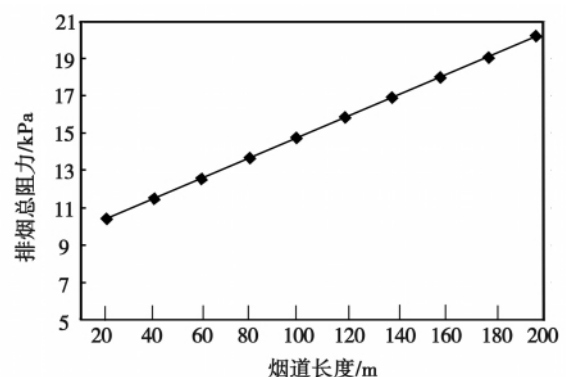


图 1 烟道长度对排烟阻力的影响

Fig. 1 Influence of the length of a flue gas duct on the exhaust gas resistance

收稿日期: 2013 - 03 - 12; 修订日期: 2013 - 04 - 28

作者简介: 高占洋 (1986 -), 男, 黑龙江哈尔滨人, 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所硕士研究生。

从图 1 中可以看出,烟气阻力随着烟道长度的增加而增大。

在烟道结构不变的条件下,改变烟气温度,计算获得了烟气温度对排烟阻力的影响规律,如图 2 所示。

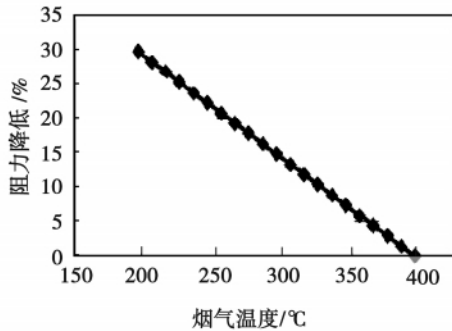


图 2 烟气温度对排烟阻力的影响

Fig. 2 Influence of the flue gas temperature on the exhaust gas resistance

从图 2 中可以看出,对于研究的对象,以 400 °C 时的阻力为基准,随着烟气温度的降低,阻力下降百分数越大,降至 200 °C 时,阻力也可以降低近 30%。

## 2 余热回收装置对增压锅炉排烟阻力的影响分析

余热锅炉的设置将带入新的局部阻力,但烟温的降低,又可以降低系统阻力,如何做到优化匹配,尽量不增加或少增加原有阻力是余热锅炉设置所必须考虑的因素之一。某增压锅炉原烟道排烟阻力 20 kPa,排烟温度 400 °C,增设的余热锅炉额定工况下阻力约 1.6 kPa,假定余热锅炉的总阻力系数不变,烟气流量、初温不变,分别计算了不同排烟管道长度、不同的排烟温度条件下,设置余热锅炉前后,烟气阻力的变化规律。

图 3 为排烟温度降至 240 °C 时,烟道阻力的变化规律;图 4 为排气温度降至 200 °C 时,烟道阻力的变化规律。从曲线图中可以看出,在增压锅炉排烟管道较短的情况下,设置余热锅炉会造成排烟阻力增加,随着排烟管道的增长,这种影响逐步降低。从图 3 可以看出,当烟道长度在约 80 m 的时候,出现了阻力平衡点,余热回收装置的阻力被抵消,当排烟管道更长时,接入余热回收装置反而降低了增压锅

炉排烟系统的总阻力。原有烟道越长,这种改善越明显。

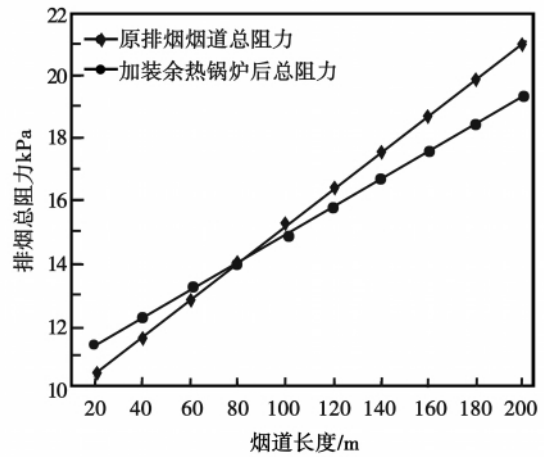


图 3 240 °C 排烟系统阻力对比

Fig. 3 Comparison with the resistance of the exhaust gas system at 240 °C

从图 4 可知,当排气温度降至 200 °C 时,阻力平衡点前移至 25 m 左右,且曲线的斜率增大,说明余热回收温度对降低系统排烟阻力的影响更加明显。

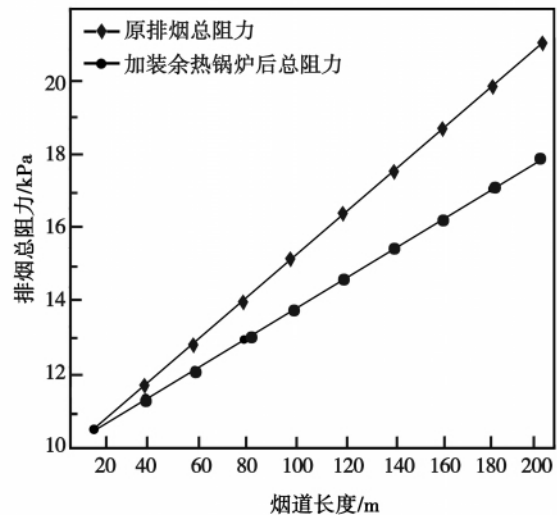


图 4 200 °C 排烟系统阻力对比

Fig. 4 Comparison with the resistance of the exhaust gas system at 200 °C

某增压锅炉原有排烟阻力为 15 kPa,排烟温度为 400 °C,排烟管道长度约 100 m。当接入余热回收装置将烟温降至 200 °C 时,排烟总阻力变为 13.5 kPa。由此可以看出,对于原有排烟阻力较大、烟道

较长的增压锅炉而言,进行余热回收,不但能够回收余热,同时还可以改善排烟阻力,降低涡轮增压机组自耗能,对提高锅炉装置整体经济性效果明显。

### 3 结 论

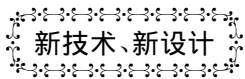
本研究以某增压锅炉装置为研究对象,计算研究了余热回收对增压锅炉装置排气阻力的影响规律。研究表明,设置某余热回收装置会增加烟气阻力,增加的阻力约占原总阻力的8%,但余热回收降低了烟气温度,当烟气温度降低至200℃时,可将烟气阻力降低约30%,去除余热回收装置带入的阻力外,还有约22%的阻力降低。对于不同阻力的排烟

系统,存在着阻力平衡点,排烟终温越低,系统排烟阻力降低越多,使装置效率进一步提高。

#### 参考文献:

- [1] 牛克华. 增压锅炉在舰船上的应用与发展[J]. 中国修船, 2007, 20(5): 17.  
NIU Ke-hua. Applications and development of supercharged boilers in warships[J]. China Ship Repairing, 2007, 20(5): 17.
- [2] 林宗虎, 徐通模. 实用锅炉手册第二版[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 653-654.  
LIN Zong-hu, XU Tong-mo. Practical boiler handbook. Second edition[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 653-654.

( 辉 编辑)



## 燃料电池驱动的船舶

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2012年11月刊报道,随着燃料价格升高和更加严格的排放规则,正在进一步的研究和开发可以减少排放和降低燃料耗量的燃料电池。这种努力就是利用燃料电池来驱动商船。

已经证明,燃料电池可成功地用于游艇、快艇和小型渡船。研究表明它也能够用于大型船舶。

和 Waertsila 共同努力, DNV(挪威船级社)将燃料电池动力装置安装在近海供应船 Viking Lady 上。330 kW MCFC(熔融碳酸盐燃料电池)是第一个被安装在商船上的大型燃料电池,并且 Viking Lady 是第一艘使用高温 MCFC 的船舶。

燃料电池烟囱和相关设备装在一个大集装箱内,变压器、变换器和直流总线位于另一个集装箱内。这些集装箱总重约为 100 t。

MCFC 可以使用各种燃料: 甲醇、乙醇、天然气、生物气体或氢。

(吉桂明 摘译)

Thermal Energy & Power. –2013 28(3) . –301 ~ 306

By using the equivalent heat drop method with the thermal efficiency of pipelines being taken into account, the authors have described the influence of steam-driven induced draft fans on the whole plant thermal efficiency from the viewpoint of the functions of the energy system. Induced draft fans are high power consumed auxiliary equipment items in power plants. To use steam to drive induced draft fans can effectively lower the plant service power rate and reduce the power supply coal consumption rate. In the range of engineering applications, the introduction of the exhaust steam discharged from small-sized steam turbines into deaerators can lead to a drop of the absolute internal efficiency of the steam turbines and at the same time, the additional steam goes in and out of the system, finally resulting in a drop of the efficiency of the pipelines. An analysis of the calculation results of the thermal cost-effectiveness of different steam source versions shows that the modification version No. 3 (the steam in the reheat steam section was chosen as the steam source) can make the power supply coal consumption rate to reach the minimum, thus being regarded as the optimum modification version. **Key words:** equivalent heat drop method, induced draft fan, steam-driven, energy system action principle, pipeline efficiency

余热回收对增压锅炉装置排烟阻力及性能的影响分析 = **Analysis of the Influence of the Waste Heat Recovery on the Exhaust Gas Resistance and Performance of a Supercharged Boiler** [刊, 汉] GAO Zhan-yang, WANG Jian-zhi, GAO Shi-jie, ZHOU Ya-zhou (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. –2013 28(3) . –307 ~ 309

Calculated and analyzed were the exhaust gas resistance characteristics of a supercharged boiler under the condition of the waste heat being recovered. It has been found that for the original supercharged boiler with a relatively long exhaust gas duct, by adopting a waste heat recovery system, not only the waste heat can be recovered and the waste heat utilization rate can be enhanced but also the total resistance of the exhaust gas system can be reduced, therefore, the performance of the boiler can be further improved. **Key words:** supercharged boiler, waste heat recovery, flue gas resistance

平朔煤和生物质混合焦的燃烧特性研究 = **Study of the Combustion Characteristics of the Blended Coke Produced by Using Pingshuo-originated Coal and Biomass** [刊, 汉] WANG Jian, ZHANG Shou-yu (Thermal Energy Engineering Research Institute, College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), FANG Yi-tian (Shanxi Coal and Chemistry Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Taiyuan, China, Post Code: 030001), LU Jun-fu (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal