

铸铁锅炉扩缩通道内对流换热的实验研究

王铁庆 郑 瑛 (哈尔滨工业大学)
吴志刚 (哈尔滨市劳动局锅检所)
徐克勤 (哈尔滨小型锅炉厂)
邱富智 (哈尔滨铸造总厂)

〔摘要〕 在实验的基础上,得出了铸铁锅炉烟气流通道内对流换热系数随烟气流速、锅片厚度及进口段长度的变化规律,烟气流速 $W = 3 \sim 14 \text{ m/s}$,锅片厚度 $L = 150 \sim 220 \text{ mm}$ 。该实验结果同光管及前苏联在设计铸铁锅炉时所使用的公式作了比较,其实验结果适合于目前国内生产的多数铸铁锅炉,对铸铁锅炉的设计有指导意义。

关键词 扩缩通道 铸铁锅炉 对流换热 分类号 TK224

1 前言

铸铁锅炉在工业技术比较发达的国家得到了相当广泛的应用^{〔1〕},如前苏联、日本的铸铁锅炉占工业锅炉总容量的四分之一以上,法国、德国亦占有相当大的比重,而目前我国的铸铁锅炉年产总容量尚不到工业锅炉总数的1%。可见,铸铁锅炉在我国有着广阔的发展前景。

通过技术经济分析^{〔2〕}可知:铸铁锅炉和钢制锅炉相比,有许多突出的优点。如:从原材料生产(冶炼)开始的总能耗下降(30~40)%;物损减少10%;锅炉成本下降(30~50)%;使用寿命延长了3~4倍;运输、安装方便;金属回收率大等等。

2 铸铁锅炉对流受热面的 换热特性

锅片在铸造过程中,由于工艺上的要求,使得烟气流通道呈现为扩缩通道的形式(图1)。当流体在扩缩通道内沿流动方向流动时,其压力梯度的符号是可变的,在扩张段 $dp/dx > 0$,流体在正压力梯度的作用下流动,其压力增加,速度减小。当流体质点的动能不足以克服压力升高时,质点就可能沿相反方向运动产生旋涡。这样,一方面增强了流体的扰动,使边界层过早紊流化;另一方面,其旋涡也被带入下游,也将增大收缩段中流体的扰动,这两者都使流体与壁面间的传热得到强化。在收缩段 $dp/dx < 0$,流体在负压力梯度的作用下流动,其流速增加,从而强化传热。湍流流动时收缩段和扩张段的速度分布见图2。另外,由于铸铁表面粗糙度较大,这也在一定程度上使烟气在通道内流动时的对流换热得到强化。因此,烟气在铸铁锅炉扩缩通道内流动时的换热系数比烟气纵向冲刷光滑管

收稿日期 1992-10-08

本文联系人 王铁庆 58 副教授 150006 哈尔滨工业大学动力系

时大很多^(3,4)。在文献[5]中作者建议采用前苏联标准,但是,由于铸铁锅炉结构上的差异,用于我国铸铁锅炉的设计上时会产生很大的偏差。因此,烟气在铸铁锅炉扩缩通道内流动时的对流换热问题急待解决。本文以空气为工质,对目前我国铸铁锅炉中广泛采用的结构形式进行了实验研究,得出了空气在扩缩通道内流动的 Nu 数随烟气流速、锅片厚度及进口段长度的变化规律。并把结论同光滑管及前苏联标准中的公式进行了比较。

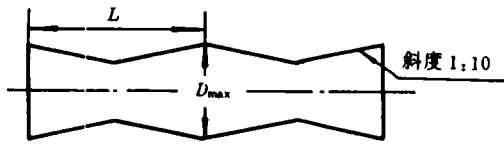


图 1 扩缩通道

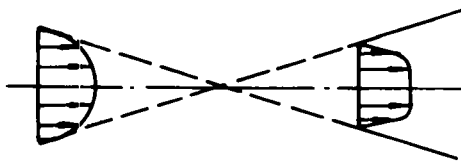


图 2 收缩段和扩张段的速度分布

3 实验装置和方法

实验装置如图 3 所示。引风机使室温下的空气经过空气加热器后由过渡段进入实验段,再经过涡轮流量计排往室外。在实验段,热空气放出的热量由通道外的冷却水吸收;进、出口的空气温度由 1/10 水银温度计测量;并沿空气的流动方向设有六个测点,用铠装的铜—康铜热电偶测量空气温度随长度的变化;在其外壁面;沿周向及轴向设有 10 个测点,用铜—康铜热电偶测量其壁面温度。空气流量由 LWQ-40 型涡轮转子流量计测

量;其流量由装在流量计之后的调节阀调节。

为检验实验装置的准确性,先用光管做了实验,并同 Dittus-Boelter 公式⁽⁶⁾ $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$ 作了比较,两者间的误差在 3.6% 以下,故可以认为实验装置的测试数据是足够精确的。

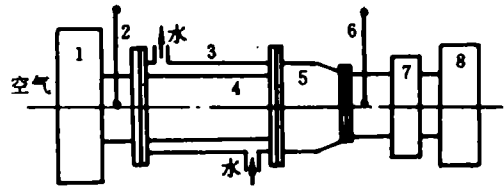


图 3 实验装置示意图

- 1. 空气加热器 2、6. 水银温度计 3. 水冷却外套
- 4. 实验段 5. 过渡段 7. 流量测量系统 8. 引风机

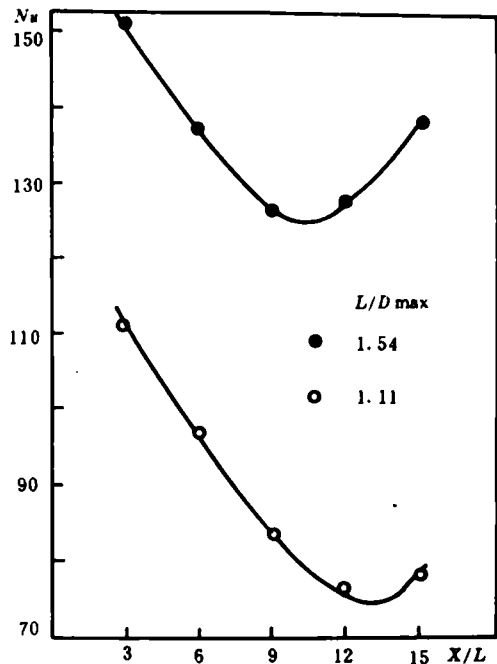


图 4 进口段的 Nu 数随长度的变化规律(烟气流速 $W = 12.3 \text{ m/s}$)

4 实验结果和分析

4.1 牛顿流体在通道内作湍流流动时,对各种边界条件,其热进口段长度一般为15—20倍水力直径^[7]。由于铸铁锅炉通常是由3—15片锅片组装而成,因此,烟气与通道壁面的对流换热通常处于热进口段的范围内。图4所示为进口段的 Nu 数随进口段长度的变化规律,图5所示是锅片数为12片时的 Nu 数随 Re 数的变化规律。可以看出:

4.1.1 牛顿流体在扩缩通道内作湍流流动时与其在光滑管中作湍流流动时的进口段 Nu 数随进口段长度的变化规律是相同的。

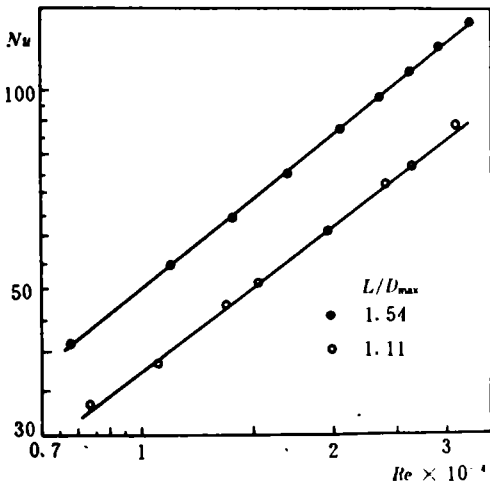


图5 Nu 数随 Re 数的变化规律 (锅片数为12)

4.1.2 当 $L/D_{max} = 1.54$ 时, Nu 数在9-12片之间存在最小值。当 $L/D_{max} = 1.11$ 时, Nu 数在12—15片之间存在最小值,比较两者的 X/D_{max} , 发现:当 Nu 数为最小值时, X/D_{max} 相等,当流体在扩缩通道内流动与壁面进行对流换热时,达到热稳定段的长度与锅片厚度

无关。

4.1.3 在相同 Re 数的情况下, Nu 数随锅片厚度 L 的增大而增加,并且随 Re 数的增加,其增大幅度变大。因此,从增强传热的角度考虑尽可能使用厚度较大的锅片。

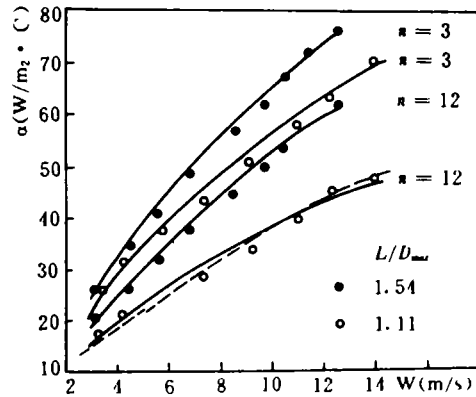


图6 换热系数随烟气流速变化规律
----- 为文献[5]中提供的曲线

4.2 图6所示为换热系数随烟气流速的变化规律,并同文献[5]中提供的公式进行比较。图7所示为扩缩通道与光管^[6]的进口段的 Nu 数随长度的变化规律。可以看出:

4.2.1 当 $L/D_{max} = 1.54$ 时,即在大厚度锅片的情况下,实验结果与文献[5]中提供的公式(即前苏联标准)相差极大,显然在这种情况下使用前苏联标准来对我国的铸铁锅炉进行热力计算必将产生很大的偏差。当 $L/D_{max} = 1.11$,即在小厚度锅片的情况下,锅片数 n 等于12、15时,实验结果与文献[5]中提供的公式相吻合,在其它情况下,亦有很大的偏差。可见,由于结构上的差异,前苏联标准在我国的应用具有很大的局限性。

4.2.2 在 Re 数相同,当量直径相同的情况下,扩缩通道与光管进口段的 Nu 数相差很

大,根本不能用烟气纵向冲刷光管的换热系数来对铸铁锅炉进行热力计算。

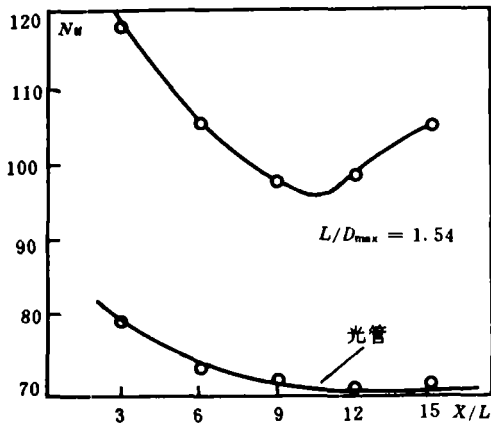


图7 扩缩通道与光管进口段的 Nu 数的比较曲线 ($W=9.61 \text{ m/s}$)

5 结论

流体在扩缩通道内湍流流动,与壁面进行对流换热时有以下特点:

1. 其换热系数与锅片厚度有密切的关系,锅片厚度增大,换热系数增大。
2. 其发展到热稳定段的长度与锅片厚度无关。
3. 由于结构上的差异,前苏联标准在我国的应用具有很大的局限性。
4. 换热系数与烟气纵向冲刷光管的换热系数相差很大。

参 考 文 献

- 1 机电部北京电工研究所锅炉研究部. 铸铁锅炉发展问题. 1990年9月
- 2 范北岩 等. 关于我国发展铸铁锅炉的技术经济分析. 工业锅炉. 1989. (3)
- 3 P. Souza Mendes, Sparrow E. M. J. Heat Transfer, 1984.106(55)
- 4 Bengt Sundén and Stefan Trollheden. Int. comm. Heat transfer, 1989, 16(215)
- 5 李之光 等. 铸铁锅炉设计问题. 工业锅炉. 1990. (1)
- 6 扬世格. 传热学. 高等教育出版社. 1988
- 7 James P. Hartnett and Milivoje Kostic. Adv. Heat transfer, 1989. 22(322)

本文作者不仅对铸铁锅炉的扩缩通道内对流换热的实验进行了研究,而且还对铸铁锅炉对流受热面进行了性能评价。为了便于读者了解此文,编辑部将该文以文摘形式刊出,以飨读者。

铸铁锅炉对流受热面的性能评价

本文在实验基础上,提出铸铁锅炉扩缩通道和光滑直管的传热量、泵功率、传热面积的比值随 Re 数、进口段长度及结构参数的变

化规律。并对铸铁锅炉对流受热面作出如下评价:

- 1 在等传热面积、等泵功率的情况下,扩缩

and naval boilers is also given. **Key words:** *Y-type oil burners, structural parameters, design and calculation*

- (308) **An Analysis of the Cause of Deformation Found on the High-Pressure Superheater Tubes of an American Double-S Heat Recovery Boiler** Zhang Bin (*Shenzhen Mawan Electric Power Co. Ltd.*)

This paper deals with the occurrence after a 4-month operation period of serious deformation on the high-pressure superheater tubes of a heat recovery boiler imported from the USA for use on a gas turbine. The cause of the deformation has been analysed with countermeasures recommended for its alleviation. **Key words:** *heat recovery boiler, deformation analysis*

- (312) **An Experimental Study of Convective Heat Transfer in a Converging-Diverging Duct of Cast Iron Sectional Boilers** Wang Xiqing, Zheng Ying (*Harbin Institute of Technology*); Wu Zhigang (*Boiler & pressure Vessel Inspection and Research Institute of Harbin Labor Bureau*); Xu Keqing (*Harbin Xiaoxing Boiler Works*). Qiu Fuzhi (*Harbin Foundry Works*)

Through experiments the authors have identified the relationship governing the variation of convective heat transfer coefficient in a converging-diverging duct of cast iron sectional boiler with the following parameters: flue gas flow velocity, boiler section thickness and inlet section length. The flue gas is evaluated to have a velocity ranging from 3 to 14 m/s with the section thickness $L = 150 \sim 220$ mm. The experimental results have been compared with those obtained for bare smooth pipes and also those obtained through the use of the formula adopted by soviet designers for cast iron sectional boilers. The said results are readily applicable to the majority of cast iron sectional boilers currently manufactured in China. **Key words:** *converging-diverging duct, cast iron sectional boiler, convective heat transfer*

- (317) **The Selection and Optimization of Parameters for an Overflow Ash Cooler Cooled by Both Water and Air** Zhao Guangbo, ZHU Qunyi, Ruan Genjian and Dai Jian (*Harbin Institute of Technology*)

With a minimum value of Q_k/Q_h being taken as an optimization objective the authors have set up an optimization calculation model for an overflow ash cooler cooled by both water and air. Coupled with practical examples a solution and calculation of the model is made with the help of a variable error and polyhedron computation method. **Key words:** *fluidized bed boiler, overflow ash, ash cooler, optimization*

- (322) **A Treatise on the Regeneration Corrosion of Sodium Ion Exchange Water Treatment and Its Practical Solution** Hua Xiaoning (*Kunming Design and Research Institute of Nonferrous Metals*)