

铸铁锅炉扩缩通道 流动与换热实验结果分析

王铄庆 张洪军 (哈尔滨工业大学)

吴志刚 邱亦农 (哈尔滨市劳动局锅检所)

姚广玉 邱富智 (哈尔滨铸造总厂)

[摘要]在总结实验成果基础上,提出了烟气在铸铁锅炉扩缩通道中的流动阻力系数和对流换热系数的实验关联式,给出了公式的适用范围。同时在实验数据基础上还对扩缩通道的强化换热性能进行了计算分析,得出了最优扩缩角度。

关键词 铸铁锅炉 扩缩通道 流动阻力 对流换热 强化换热

分类号 TK229.6 TK224.12

0 前言

近几年来,铸铁锅炉行业在我国发展很快,但是我国至今还没有正式批准的铸铁锅炉技术条件和设计标准。目前,铸铁锅炉设计中的强度、热力计算等问题主要参考美国 and 原苏联的一些规范、标准。由于结构上的差别,这些规范、标准不能完全适合我国情况^[1]。为了尽快改变这种局面,一些科研部门和铸铁锅炉生产厂家纷纷投入人力、物力进行研究,取得了一些成果。

我国铸铁锅炉烟气对流换热部分为扩缩通道的形式,见图 1。影响扩缩通道流阻及换热性能的两个主要结构参数是扩缩周期长度(即锅片厚度) L_c 与最大截面当量直径 D_{max} 之比(L_c/D_{max})和扩缩角度 θ ^[2]。本文在总结实验结果的基础上,提出了扩缩通道摩擦阻力系数和对流换热系数的实验关联式,并对扩缩通道的强化换热性能进行了初步分析。

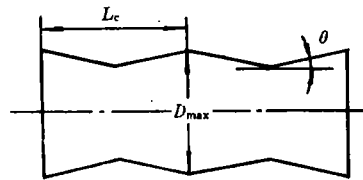


图 1 扩缩通道

1 实验数据整理及结果

在研究各种通道内流动与传热特性时,要采用几个无量纲相似准则,计算这些准则数时要用到定性尺寸和定性温度。对于扩缩通道,其截面为非圆截面,并且截面大小沿轴向是变化的,因此,定性尺寸可以有多种选择的方法^[2,5]。这里定义当量直径 D_e 为扩缩通

收稿日期 1994-10-31

本文联系人 王铄庆 男 60 副教授 150001 哈尔滨工业大学动力系

道最大截面的水力当量直径,即:

$$D_e = 4A/U \tag{1}$$

式中 A —扩缩通道最大截面面积 m^2

U —扩缩通道最大截面处的湿周界长度, m 。

这样,由 D_e 计算出的 Re 数与 θ 无关,整理流阻与换热的实验关联式时,扩缩角度的影响只体现在有关 θ 项上。因此,这种取法是合理的,也是实用的。定性温度取主流温度 t_t 和壁温 t_w 的平均值^[6]。

1.1 流动阻力系数

相似模化分析结果表明,影响扩缩通道摩擦阻力系数 f 的参数有 L_c/D_{max} 、 Re 和 θ ,而对于入口段,还包括 X/L_c 。写成函数关系,充分发展段:

$$f = F_1(Re, L_c/D_{max}, \theta) \tag{2a}$$

入口段:

$$f = F_2(Re, L_c/D_{max}, \theta, X/L_c) \tag{2b}$$

由流体力学可知,管内流动阻力

$$\Delta P = f \frac{L}{D_e} \frac{1}{2} \rho u^2 \tag{3a}$$

那么

$$f = \frac{2\Delta P D_e}{L \rho u^2} \tag{3b}$$

式中 L —计算区域长度, m ;

D_e —当量直径, m

ρ —空气的密度, kg/m^3

ΔP —压力损失, Pa 。

在实验关联式的回归过程中还遇到一个问题—— Re 的影响,实验数据的初步整理结果表明,当 $Re > 30\ 000$ 时,流动进入自模区。为了使关联式更加准确和使用方便,自模区和非自模区将分开整理。

通过多元线性回归分析,最后得到扩缩通道内烟气流动阻力系数的实验关联式:

$Re < 30\ 000$:

$$f = 0.011 Re^{-0.307} \left(\frac{L_c}{D_{max}}\right)^{2.084} \theta^{2.138} A$$

$Re \geq 30\ 000$:

$$f = 0.000\ 56 \left(\frac{L_c}{D_{max}}\right)^{2.073} \theta^{2.15} A \tag{4}$$

入口段修正系数 $A = 1 + m(X/L_c)^n$, 其中,

$m = 0.69, n = -0.927$ 。

实验范围:

$Re = 8\ 000 \sim 45\ 000$,

$L_c/D_{max} = 1.11 \sim 1.54$,

$\theta = 6.34 \sim 11.31^\circ$,

$X/L_c = 3 \sim 18$

1.2 对流换热系数

通过相似模化分析可知,影响扩缩通道内对流换热的主要参数有 Re 、 L_c/D_{max} 、 θ 、 X/L_c 和普朗特数 Pr 。本实验中无法在足够广泛范围内变动 Pr ,以建立依赖于 Pr 的函数关系。但是,大量的对流换热实验表明,实验结果通常可表示成 $Nu Pr^{-0.4} = F(Re, \dots)$ 的形式^[7]。

Nu 数的定义式为:

$$Nu = \alpha D_e / \lambda \tag{5}$$

其中

$$\alpha = Q / F \Delta t_m \tag{6}$$

式中 λ —空气导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$;

F —换热面积, m^2 ;

Δt_m —平均温压, $\Delta t_m = t_t - t_w$ $^\circ C$;

Q —换热量, W ;

多元线性回归分析的结果为

$$Nu = 0.028\ 7 Re^{0.64} \left(\frac{L_c}{D_{max}}\right)^{0.767} \theta^{0.801} Pr^{0.4} A \tag{7}$$

入口段修正项中系数 $A = 1 + m(X/L_c)^n$,

其中, $m = 0.49, n = -0.85$ 。

实验范围:

$Re = 8\ 000 \sim 45\ 000$,

$L_c/D_{max} = 1.11 \sim 1.54$,

$$\theta = 6.34 \sim 11.31^\circ,$$

$$X/L_c = 3 \sim 18$$

由式(7)和(5)便可计算烟气在扩缩通道中流动的对流换热系数 α 。

2 强化换热性能分析

对于扩缩通道流动与换热的研究,一方面我们要从中得了烟气在扩缩通道中流动时摩擦系数和换热系数的计算公式,另一方面还要通过对其强化换热性能的研究,为扩缩通道的优化设计提供依据。由于优化目标不同时,对扩缩道的特性要求也不一样,故对扩缩通道进行综合性能分析是个很复杂的问题^[8]。这里,仅针对扩缩角度对扩缩通道强化换热性能的影响做一初步分析。

为了正确比较各种扩缩角度下扩缩通道的流阻和换热性能,定义当量直径 D^* , D^* 为与扩缩通道换热面积相同的圆管直径(长度相等)。

$$D^* = \frac{U - L_c \cdot \operatorname{tg}\theta}{\pi \cos\theta} \quad (8)$$

式中 U —最大截面处周长 m

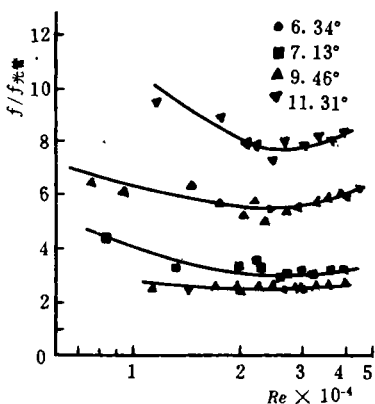


图 2 等传热面积,等空气流量扩缩通道同光滑圆管摩擦系数的比值关系
($L_c/D_{\max} = 1.25$)

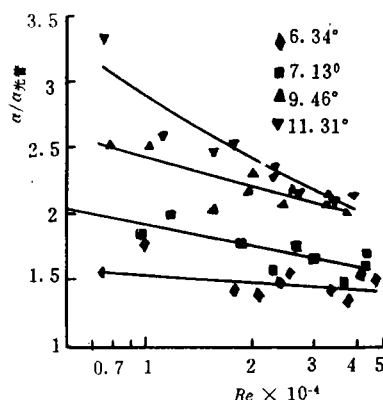


图 3 等传热面积,等空气流量扩缩通道同光滑圆管换热系数的比值关系
($L_c/D_{\max} = 1.25$)

图 2、图 3 为传热面积相等,空气流量相等情况下扩缩通道流动阻力系数和对流换热系数同光滑圆管的比值关系。图中曲线表明,扩缩角度对摩擦系数 f 和换热系数 α 都有很大影响,随扩缩角度增大 f 和 α 都有很大增长,因此,单纯考虑摩擦阻力或换热系数都不能正确反映扩缩通道的性能优劣。为此,给出两个约束条件:(1) 传热面积相等(2) 泵功率相等。在这两个约束条件下把各种角度扩缩通道的换热系数同光滑圆管进行比较。注意到按 D^* 进行数据整理时,条件(1)自然满足。泵功率 PP 与流量 Q 及压力降 ΔP

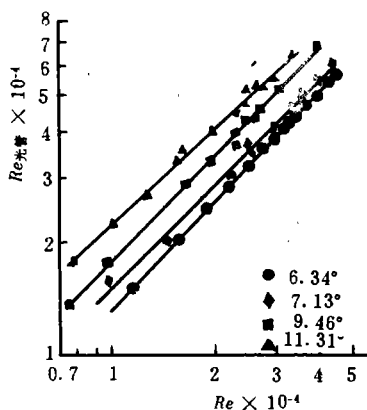


图 4 式(11)的计算结果

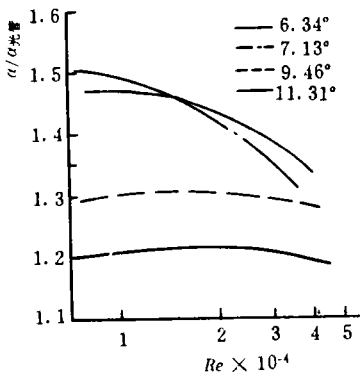


图 5 等传热面积,等泵功率条件下扩缩通道与光滑圆管换热系数之比
($L_c/D_{max} = 1.25$)

成正比,即:

$$PP = Q \Delta P \tag{9}$$

容易得到等泵功率的约束方程为:

$$f Re^3 = (f Re^3)_{光滑圆管} \tag{10}$$

其中 $f_{光滑圆管}$ 可由 Blasius 方程

$f = 0.3164/Re^{1/4}$ 得到^[5],于是式(10)变为:

$$Re_{光滑圆管} = (3.161 f Re^3)^{4/11} \tag{11}$$

式(11)给出了等泵功率条件下扩缩通道 Re 数与光管 Re 数的关系,图 4 为式(11)的计算结果。根据 Re 数可由 Dittus-Boelter 公式 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$ 得到相应 Nu 数^[6]。图 5 显示了等泵功率条件下充分发展段扩缩通道换热 Nu 数同光滑圆管 Nu 数的比值关系, θ 从 6.34° 到 11.31° ,这一比值在 $1.2 - 1.6$ 之间变化。上面图 3 显示 θ 越大 Nu 数越大,但是,在等泵功率条件下 $\theta = 11.31^\circ$ 时强化换热性能

却没有达到最优,这是因为 θ 大于 9.46° 时,摩擦系数增加很快,从而导致强化换热性能下降。 $\theta = 9.46^\circ$ 时,扩缩通道强化传热性能达到最优。

4 结束语

通过以上数据整理和分析过程可知,对于铸铁锅炉扩缩通道内烟气流动阻力系数和对流换热系数的计算可采用式(4)和(5)、(7)。综合性能分析结果表明,扩缩通道确实能起到强化换热的作用。对于 $L_c/D_{max} = 1.25$ 的情况,等泵功率、等传热面积条件下,扩缩角度 $\theta = 9.46^\circ$ 时扩缩通道强化换热性能达到最优。

参 考 文 献

- 1 李之光等,铸铁锅炉设计问题,工业锅炉,1990,(1)
- 2 P. Souza Mendes, Sparrow E M, J. Heat Transfer, 1984,106(55)
- 3 王铎庆,郑瑛等,铸铁锅炉扩缩通道内烟气阻力的试验研究,热能动力工程,1993,(5)
- 4 王铎庆,郑瑛等,铸铁锅炉扩缩通道内对流换热的实验研究,热能动力工程,1993,(6)
- 5 陈卓如,金朝铭,工程流体力学,哈尔滨工业大学出版社,1987
- 6 杨世铭,传热学,高等教育出版社,1989
- 7 [美]凯斯 W M,克拉福特 M E,对流传热与传质,科学出版社,1986
- 8 Webb R L, Int. J. Heat and Mass transfer, 1981,24(4)

欢 迎 刊 登 广 告 !

(Guangzhou Energy Resources Research Institute of Chinese Academy of Sciences) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -222~226

Conventional heat exchangers of convective heat transfer for the recovery of diesel exhaust heat suffer from easily fouled heating surfaces and a low heat transfer factor. These defects can be overcome by the use of a fluidized bed heat exchanger. The experimental study conducted on a 30 kw diesel engine has produced satisfactory results, providing helpful design parameters for industrial applications. **Key words:** fluidized bed, convective heat transfer, waste heat utilization, diesel exhausts

铸铁锅炉扩缩通道流动与换热实验结果分析=Analysis of a Cast-iron Boiler Divergent-convergent Channel Flow and Heat Exchange Test Results [刊,中]/Wang Xiqing, Zhang Hongjun (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -227~230

Based on the summing-up of experimental results the authors have proposed an experimental correlation formula for the gas flow resistance and convection heat exchange factor in a cast-iron boiler divergent-convergent channel with the applicable range of the formula being specified. In addition, an optimum divergent-convergent angle was obtained as a result of computation and analysis of the said channel intensified heat exchange performance on the basis of the experimental data. **Key words:** cast-iron boiler, divergent-convergent channel, flow resistance, convection heat exchange, intensified heat exchange

150 W 准分子激光器横流风机研究设计=Study and Design of a Transverse Flow Fan for a 150 W Quasi-molecular Laser Device [刊,中]/Li Yantao (Harbin 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -231~236

Described in the present paper is the type selection, aerodynamic and structural design, and circulation gas cooling of a transverse flow fan for a 150 W quasi-molecular laser device. Through a full-scale product operation and measurement it has been proved that the transverse flow fan has the advantage of obtaining directly a flat-shape high-speed uniform flow field. Based on an accurate and reliable computation the fan features a construction compactness and rational design. **Key words:** transverse flow ventilator, calculation, design

板式换热器在供热系统中的应用=Application of Plate Heat Exchangers in a Heat Supply System [刊,中]/Liu Rui ren (Harbin Commercial Architectural Design Institute), Zhao Xinhong (Harbin Architectural Engineering Design Center) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -237~240