

文丘利管内外流场的数值计算及实验研究

蔡继勇 陈昕宽 马金凤

(西安交通大学)

[摘要] 通过对文丘利管内外流场的数值计算,从理论上分析了文丘利管本身结构参数(收缩比 U ,收缩角 θ_1 ,扩张角 θ_2) 对其内部流场以及其本身对风道流场的影响,实验验证了影响性能的关键因素。计算结果和冷态模化实验结果吻合良好。

关键词 文氏管 数值计算 Simple算法 实验研究

中图法分类号 TH814.51

0 前言

文丘利管流量测量装置是用来测量锅炉燃烧空气量的重要装置之一^[1,2]。其本身结构的优化程度对于测量的精确性有极其重要的影响。应用于电站的风量测量装置,应满足对现场的条件要求少,有广泛的适用性、测量准确的条件。例如,对测量装置前压的直管段长度要求不严格,由测量装置本身对风道所造成的压力损失低,对风道流场影响较小。

文献[1]中,作者从文丘利管本身结构进行了优化研究,提出了文丘利管测量装置的优化结构的关键参数为: $U = 0.6$

$\theta_1 = 20^\circ, \theta_2 = 5^\circ$ 。本文用数值计算的方法来分析文献[1]中所提出的优化理论,并用冷态模化实验来进一步验证数值计算的结果。

1 流场计算

本章旨在应用 $k - \epsilon$ 二方程紊流模型^[3~7]对文丘利管内外流场进行数值计算,分析圆形风道内部及文丘利管内部速度场、压力场的变化规律。从理论上研究当文丘利管放入风道中对风道内部流体流动的影响,以及对测量结果的影响。

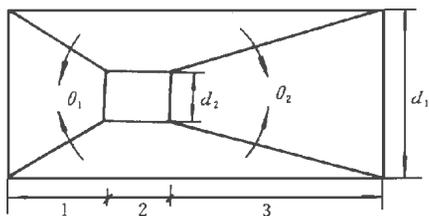


图 1 文丘利管结构

1. 收缩段 2. 喉部 3. 扩张段

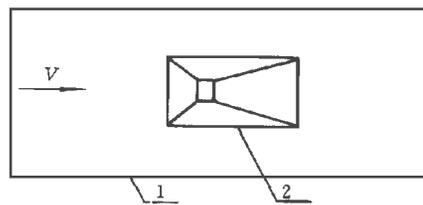


图 2 文丘利管在风道中的位置

1. 圆形风道 2. 文丘利管

收稿日期 1996-06-05 修改日期 1997-07-31

本文联系人 蔡继勇 男 1971年生 710049 西安交通大学 动力工程系 博士研究生

1.1 文丘利管结构及其在风道中的位置

文丘利管结构见图 1

文丘利管在圆形风道中的位置见图 2

1.2 控制方程及数值解法

首先假定风道中流体的流动为定常、二维不可压缩粘性流动,采用 $k - \epsilon$ 二方程模型,控制方程为:

$$\frac{\partial (d_{ij})}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (d_{ij} u_j)}{\partial x_i} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - d u' u' j \right) \quad (2)$$

$$d_{ij} \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[C_1 + \frac{1}{\epsilon_k} \right] \frac{\partial k}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - dX \quad (3)$$

$$d_{ij} \frac{\partial \epsilon_k}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[C_2 + \left(\frac{1}{\epsilon_k} \right) \frac{\partial X}{\partial x_k} \right] + \frac{c_1 X}{k} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - c_2 dX \quad (4)$$

上式中 $\epsilon_k = 1.0$ $\epsilon_x = 1.3$ $c_1 = 1.44$
 $c_2 = 1.92$

采用 Simple 算法求解^[3],进口速度给定,进口截面上 k 的值可取来流平均动能的一个百分数 0.5% ~ 1.5%。耗散率 X 可按 $X = c_d k^2 / l_t$ 计算,其中 c_d 按 $d u l_t = 100 \sim 1000$ 来确定 c_d 等于 0.09;出口条件按局部单向化处理;中心线是对称线,其上所有变量的法向导数为零;管内固体壁面上 $U_w = 0, V_w = 0$,扩散系统 Γ 为零;管外壁面采用壁面函数法^[3]。计算结果见图 3 4 5 6 7 8

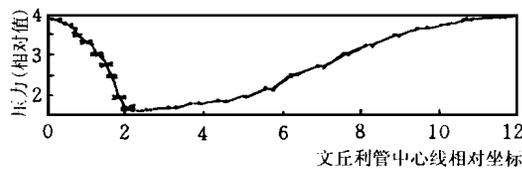


图 3 A型文丘利管压力沿中心线的变化规律

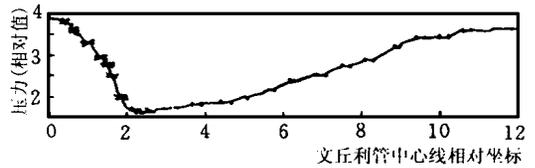


图 4 B型文丘利管压力沿中心线的变化规律

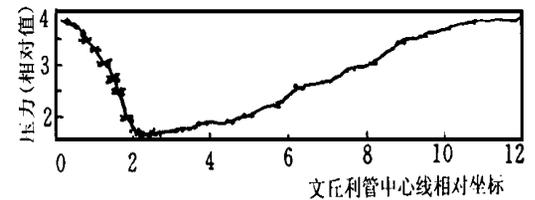


图 5 C型文丘利管压力沿中心线的变化规律

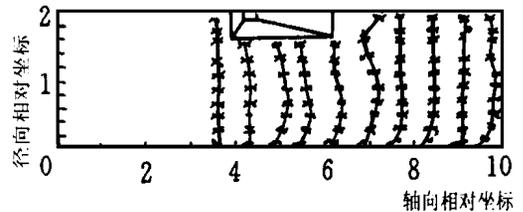


图 6 A型文丘利管外部流场速度分布规律

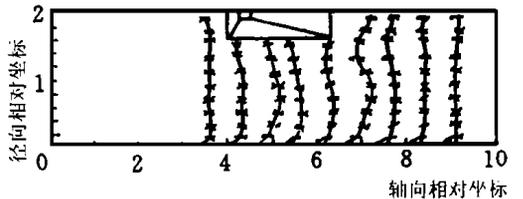


图 7 B型文丘利管外部流场速度分布规律

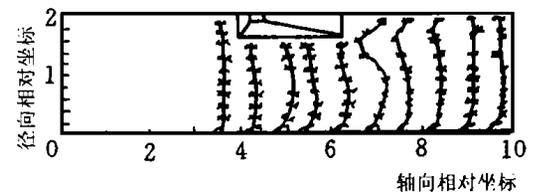


图 8 C型文丘利管外部流场速度分布规律

2 实验研究

2.1 实验系统

实验系统图参见图 9

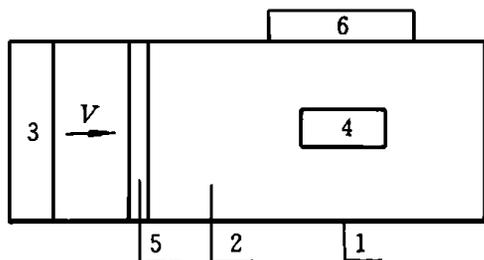


图 9

- 1. 测量装置输出压差部分
- 2. 测量风速部分
- 3. 实验用风机
- 4. 圆锥型文丘里管
- 5. 整流装置
- 6. 测量文丘里管前后的压力损失部分

2.2 实验内容

作者根据理论研究出的优化文丘里管结构参数制作了五种模型, 每种模型的结构参数见表 1 圆形风道直径为 0.6 m, 风道内风速 0~ 25 m/s

表 1

	U	θ_1	θ_2	d_1, mm	d_2, mm	l_1, mm	l_2, mm	l_3, mm	l_4, mm
A	0.6	20°	5°	40	18	62	18	251	
B	0.6	21°	6°	40	18	59	18	209	
C	0.6	22°	7.5°	40	18	56	18	167	
D	0.55	20°	5°	40	16	68	16	274	
E	0.65	20°	5°	40	20	57	20	229	

2.3 实验结果

首先通过实验研究可发现理论上优化设计的文丘里管结构参数条件下的模型 A 获得的压差最高, 较别的几组所得的数据更具有稳定性 灵敏度更高. 其次五组的实验数据发现, 压力损失不大, 最大时达到 19.6Pa; 实验结果见图 10 11 12 13.

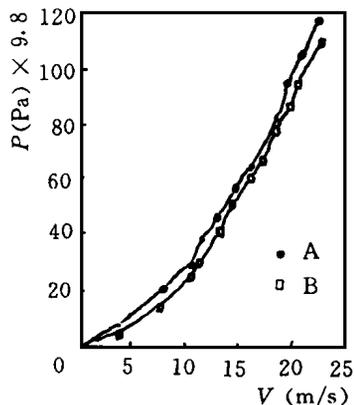


图 10 A B型压差—流速比较

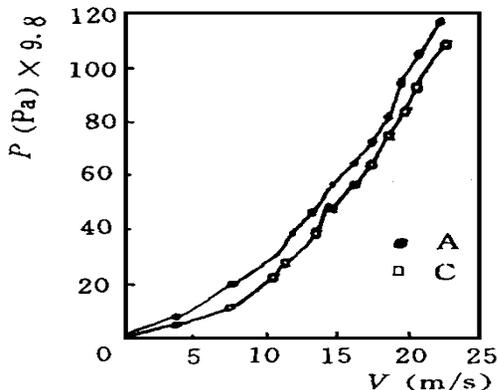


图 11 A C型压差—流速比较

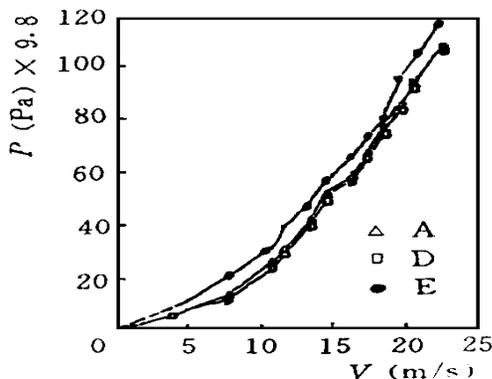


图 12 A D E型压差—流速比较

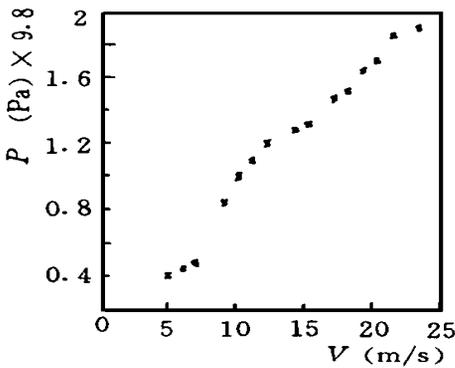


图 13 压力损失—流速图

3 讨 论

通过实验研究和数值计算可发现如下问题:

3.1 文丘利管本身结构的优劣程度,关键在于其扩张段、收缩段设计的优劣程度,而其关键因素又在于收缩比 U 、收缩角 θ_1 、扩张角 θ_2 的优劣程度

3.2 文丘利管的收缩段在于加速、降压,使喉部具有低于入口的静压值,而扩张段目的是减速、扩压,使流体能尽快在离开出口时恢复到原来入口的条件,减少动能损失。 U 、 θ_1 、 θ_2 的大小直接关系到上述结果的产生

3.3 实验研究证明了 A 型为最优结构,理论设计和数值计算结果吻合良好,从图 3-4-5 中可以看到 A 型模型扩张段出口时流体已恢复到入口时状态,而 B C 型并未使出口流体压力恢复到入口状态。

3.4 从数值计算中发现, A B C 型文丘利收缩段性能良好,流体达到喉部时压力可降到最低点,使从喉部取压时很稳定

3.5 从数值计算压力中心线分布图中同样可发现, A 型在收缩段时,压力在喉部时达到

最低点,而在扩张段压力又恢复到入口时的静压值,尽管 B C 型也达到,但其出口处压力却不能恢复到入口时值,加大了动能损失, D E 尽管出口段达到了入口时值,而在喉部不能达到最低点。

3.6 从文丘利管外部流场的计算图中可以看到, A D E 型对风道的影响较小,即流体从文丘利出来之后很快和风道中流体相渗,对其下游影响较小,而 B C 则影响较大。

4 结 论

通过数值计算发现其结果和实验研究符合良好。证明了对文丘利管结构优化结果 $U = 0.60$ 、 $\theta_1 = 20^\circ$ 、 $\theta_2 = 5^\circ$ 是合理的,可作为设计文丘利管的最优参数。

通过实验研究说明了 A 型文丘利管发生的压差为最大,压力损失小,测量数据稳定,灵敏度高,对风道的影响最小。

参考文献

- 1 蔡继勇. 复式文丘利管的优化设计. 东北电力学院硕士论文, 1995年
- 2 马金凤. 应用文丘利管进行大流量测量的研究. 东北电力学院硕士论文, 1996年
- 3 陶文铨编著. 数值传热学. 西安交通大学出版社, 1988年
- 4 费祥麟主编. 高等流体力学. 西安交通大学出版社, 1988年
- 5 王启杰编著. 对流传热传质分析. 西安交通大学出版社, 1991年
- 6 (美) S. V. 帕坦卡著. 传热和流体流动的数值方法. 安徽科学技术出版社, 1980年
- 7 陶文铨编著, 陈在康主审. 计算流体力学与传热学. 中国建筑工业出版社, 1991年

(复 编)

and pre-separation collectors on the role and performance of recirculation tubes. Key words: corner-tube boiler, recirculation tube, experimental study

文丘利管内外流场的数值计算及实验研究 = **Numerical Calculation and Experimental Study of Venturi Inner and Outer Tube Flow Fields** [刊, 中] / Cai Jiyong, Chen Tingkuan, et al (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1998, 13(2). -96~ 99

By way of a numerical calculation of Venturi inner and outer tube flow fields this paper makes a theoretical analysis of the effect of structural parameters of the Venturi tube on its inner flow field and air duct flow field. In addition, through tests key factors influencing the performance have been identified and verified. The calculation results agree well with the cold-state simulation test results. Key words: numerical calculation, simple algorithm, experimental study

多台汽水两用锅炉并联运行动态特性分析及数理模型研究 = **An Analysis of the Dynamic Characteristics and a Study of the Mathematical Model for Three Dual-Purpose Steam-Water Boilers in Parallel Operation** [刊, 中] / Wang Zhaojun, Wang Wenyu, Dong Shan (Harbin University of Architectural Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 100~ 103

Based on an in-depth analysis of the dynamic characteristics of three dual-purpose steam-water boilers in parallel operation the authors have set up for them a dynamic mathematical model. An exploratory study was conducted of the method for solving the model. The simulation computation results are found to be in good agreement with the test results, which attests to the correctness of the established model. The related research results can be helpful for the further popularization of dual-purpose steam-water boilers. Key words: dual-purpose steam-water boiler, water level fluctuation, pressure change rate

带有小螺旋角的内外螺旋翅片管高压加热器的工业试验 = **The Industrial Test of an Internal and External Spiral-Finned Tube High-Pressure Heater with a Small Spiral Angle** [刊, 中] / Liang Ping, Zhu Dongshang, et al (Southeastern University of Science & Technology), Ma Guangping, et al (Zhaoguan Power Station) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 104~ 107

The results of an on-site industrial test have shown that the use of internal and outer spiral-finned tubes (called IOSF tube for short) with a small spiral angle for power station high-pressure heaters can bring about a significant heat transfer intensification effect. With a measured total heat transfer factor being 1.43 times of that of a bare tube heater the resulting economy in heat exchanger heating surface can be as high as 30%. Its use under an equivalent heat exchange surface area may result in notable energy-savings. Key words: internal and outer spiral-finned tube, spiral-grooved tube, bare tube, intensified heat transfer, total heat transfer factor

一种应用于三联产系统的新型的物料回送阀的试验 = **A Test on a New Type of Raw Material Return Feed Valve for a Steam-Gas-Electricity Triple Production System** [刊, 中] / Zhang J., Cao Yuanquan, Qian Jianqing, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 108~ 111

A brief description is given of the characteristics of the test operation of a novel return feed valve in combination with the features of other raw material return feed valves. Discussed are