

文丘里定风量阀的实验研究

王非, 孙孝花, 翁文兵

(上海理工大学环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要:通过对文丘里定风量阀阀芯所受的绕流阻力进行理论研究,发现绕流阻力系数是描述文丘里定风量阀阀芯在运行过程中所受绕流阻力的关键因素,进而设计了实验装置,对绕流阻力系数进行实验研究。通过对不同阀体收缩角度、不同阀芯位置的绕流阻力及绕流阻力系数的实验研究,得出了如下结论:绕流阻力系数与当量直径呈良好的幂函数关系;绕流阻力系数随当量直径的增大而减小,且随着收缩角的增大,绕流阻力系数的变化幅度增大,并且在同一位置不同风量下绕流阻力系数基本保持不变。

关键词:文丘里定风量阀;绕流阻力系数;当量直径;阀体收缩角度;阀芯位置

中图分类号:TV131.34

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2015)06-0163-04

Research on constant air volume valve of Venturi

WANG Fei, SUN Xiaohua, WENG Wenbing

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

Abstract: By studying the flow resistance of valve core of Venturi constant air volume, the paper discovered that the flow resistance coefficient is the key factor to describe the flow resistance in the operation process of the venturi constant air volume valve core. Therefore, the paper designed the experiment device so as to study the flow resistance coefficient. Through studying the flow resistance and the flow resistance coefficient with different body contraction angles or different valve core positions, it obtained the following conclusions that the flow resistance coefficient and the equivalent diameter express a good power function; the flow resistance coefficient decreases with the increase of equivalent diameter, and the variation extent of flow resistance coefficient increases with the increase of various shrinkage angle. The flow resistance coefficient basically keeps constant under different air volumes of the same position.

Key words: Venturi constant air volume valve; flow resistance coefficient; equivalent diameter; valve constraction angle; valve core position

定风量阀可以控制空气的流量^[1-2]。由于这种特性,在工程中定风量阀常应用于定风量控制系统和室压控制系统中。目前我国对文丘里定风量阀的研究较少,天津大学的尹桂娟^[3]做了定风量阀相关问题的研究;上海理工大学的邹志军等^[4]做了喷管式定风量阀体受力特性实验的研究。本文研究的文丘里定风量阀,是喷管式定风量的一种形式。本文在邓玉海等^[5]关于绕流阻力量纲分析研究的基础上,进行了绕流阻力系数与当量直径关系的实验研究。根据文丘里阀的理论特性搭建了性能试验台,主要研究了3种不同收缩角的文丘里定风量阀绕流

阻力系数与当量直径的关系,通过实验研究和理论分析得出相应的结论。

1 影响绕流阻力系数的因素

通过对影响文丘里定风量阀绕流阻力系数的因素进行量纲分析^[5-6]可知:

$$C_{D(x)} = C_D(Re_{eq}, K, D_{eq}, A) \quad (1)$$

式中: Re_{eq} 为雷诺数; K 为系数; D_{eq} 为当量直径; A 为阀芯迎风面积。

由于本文是对同一阀芯在不同收缩角文丘里阀的性能进行研究,且因 K 为系数,故排除 A 、 K 的影

收稿日期:2015-07-25; 修回日期:2015-10-15

基金项目:上海市产学研合作年度计划项目(沪CXY-2013-49); 沪江基金(D14003)

作者简介:王非(1982-),男,河南新乡人,硕士,实验师,主要从事建筑自动化方向的研究。

通讯作者:孙孝花(1990-),女,山东日照人,在读研究生,研究方向:建筑自动化。

响。又因同一流体雷诺数受来流风速和当量直径两个变量的影响,分析较复杂,本文研究的是当量直径对绕流阻力系数的影响。

2 研究定风量阀的理论基础

2.1 物理模型

如图1,入口圆筒段和出口圆筒段的直径 $D = 200$ mm,长度均为 $L = 100$ mm;喉部直径为 $d = 141.42$ mm,长度为 $l = 141.42$ mm,渐扩角 $\beta^{[7-8]}$ 取经典文丘里固定角度为 21° ,渐缩角取 $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 60^\circ$ 三种情况进行研究。

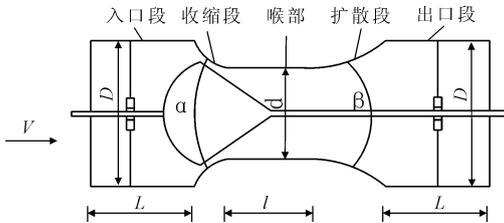


图1 文丘里定风量阀的物理模型

2.2 阀芯受力分析

文丘里定风量阀采用水平形式安装在风管系统中,空气从阀芯绕流而过,阀芯主要受两个力作用(忽略阀体机械部件间的摩擦力):来流对阀芯的作用力——绕流阻力(F_D);弹簧对阀芯的作用力——弹簧弹力(F_S)。当阀芯位置静止时,两个力大小相等,方向相反(如图2所示),所以:

$$F_D = F_S \quad (2)$$

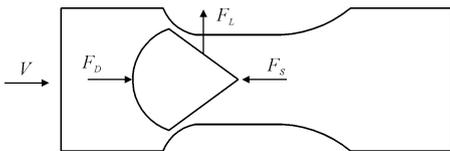


图2 文丘里定风量阀的阀芯受力简图

2.2.1 弹簧对阀芯的作用力 弹簧对阀芯的作用力可以表述如下:

$$F_S = f(\Delta x) \quad (3)$$

式中: F_S 为弹簧对阀芯的作用力,N; Δx 为弹簧的

形变长度,m。

2.2.2 来流对阀芯的作用力 来流对阀芯的作用力为绕流阻力问题。在分析阀芯绕流运动中,来流作用于阀芯的力被分为相互垂直的两个分量(如图2所示):一个是与来流方向垂直的力,叫升力 F_L ;另一个是与来流方向平行的力,叫阻力(F_D)。因阀芯为轴对称物体,故所受升力为零。

2.3 数学模型

2.3.1 绕流阻力系数 由绕流阻力公式 $F_D = C_D \times \frac{1}{2} \rho u^2 A_f^{[10]}$,可得绕流阻力系数表述如下:

$$C_D = F_D / (\frac{1}{2} \rho u^2 A_f) \quad (4)$$

式中: C_D 为绕流阻力系数; F_D 为阀芯所受绕流阻力,N; ρ 为来流气体密度, kg/m^3 ; u 为未受干扰时的来流速度, m/s ; A_f 为阀芯的迎流面积, m^2 。

2.3.2 当量直径 根据当量直径 D_e 计算公式,非圆管的水力半径 R 等同于圆管的水力半径 $d/4$,则:

$$D_e = 4R = 4A/X \quad (5)$$

式中: D_e 为当量直径,m; A 为过流断面面积, m^2 ; X 为湿周,m。

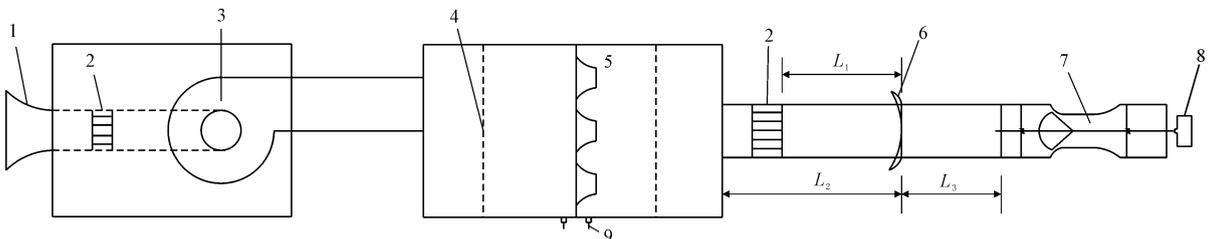
将垂直于来流气体的收缩段阀体与阀芯之间的过流断面,作为计算当量直径的对象,由当量直径定义,求出当量直径为:

$$D_e = 2(R - r - x \tan \alpha/2) \quad (6)$$

式中: D_e 为当量直径,mm; R 为阀壳入口段半径,mm; x 为阀芯位置,mm; α 为阀壳收缩段收缩角,rad; r 为阀芯迎风截面半径,mm。

3 定风量阀性能检测系统介绍

本文主要通过参照我国的机械行业标准《风量调节阀》和ASHRAE标准《Methods of testing air terminal units》等来设计和搭建自动式定风量阀性能实验台。根据研究需要,本实验台由如下两个功能测试系统组成:流量特性测试系统和阀芯绕流阻力测试系统。图3为测试系统简图 $^{[12]}$:



$$L_1 = 300 \text{ mm}, L_2 = 400 \text{ mm}, L_3 = 300 \text{ mm}$$

1. 空气入口管; 2. 格栅; 3. 送风机; 4. 整流板; 5. 喷嘴; 6. 静压环; 7. 被测阀体; 8. 压力传感器; 9. 压力测孔)

图3 测试系统简图

3.1 流量特性测试系统介绍

流量特性测试系统组成:风机送风段、压差测试段、风量测量段、连接各功能段的风管以及控制系统等。送风段风机采用变频离心风机,能够提供5 000 m³/h的最大风量和1 500 Pa的最大机外余压。为保证流量稳定,使进口气流波动减小,气流组织更加均匀,在风机入口处加装格栅和空气进口管。风量测量段采用标准喷嘴型空气流量测试装置。测量流量时,风室中单个喷嘴的风量可以由式(7)得出^[13]:

$$Q_i = 3600CA \sqrt{2\Delta P' / \rho} \quad (7)$$

式中: Q_i 为喷嘴的空气流量, m³/h; C 为喷嘴流量系数(相应于雷诺数的流量系数参见文献[13]); A 为喷嘴的喉部面积, m²; $\Delta P'$ 为喷嘴前后静压差, Pa; ρ 为喷嘴喉部空气密度(与此时喷嘴喉部进口静压有关), kg/m³。

通过文丘里定风量阀各喷嘴的实际风量可按如下公式计算得到:

$$Q = \sum Q_i \quad (8)$$

式中: Q 为风阀流过的空气总流量, m³/h。

3.2 绕流阻力测试系统介绍

为了准确得知阀芯实际位置,设计阀芯内未装弹簧的文丘里定风量阀,将阀芯固定于阀杆上,使阀芯和阀杆的相对位置不变。则可由测量到的阀杆初始位置和阀杆位移来确定阀芯位置。通过实验可以得到阀芯的绕流阻力值。

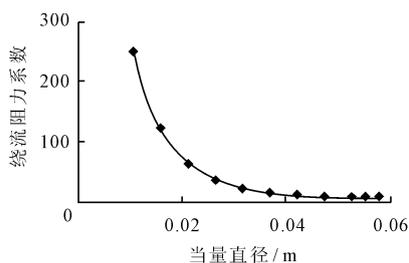


图4 15°收缩角绕流阻力系数与当量直径的关系

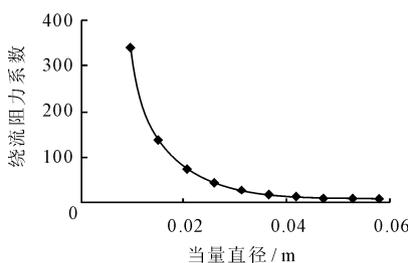


图5 30°收缩角绕流阻力系数与当量直径的关系

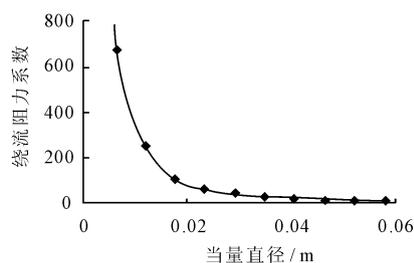


图6 60°收缩角绕流阻力系数与当量直径的关系

经拟合可知,绕流阻力系数与当量直径呈良好的幂函数关系。关系如下:15°收缩段文丘里阀: $C_D = 0.012D_e^{-2.191}$; 30°收缩段文丘里阀: $C_D = 0.018D_e^{-2.135}$; 60°收缩段文丘里阀: $C_D = 0.049D_e^{-1.894}$ 。

4.2.2 验证绕流阻力系数与当量直径的关系 为验证上述拟合的绕流阻力系数随当量直径的变化关系,本文在定风量500 m³/h的条件下对不同收缩角绕流阻力随当量直径变化的实验值与拟合值进行对比分析。

绕流阻力测试系统仪器包括压力传感器、信号放大器、宇电 AI-702 型显示仪、24V 直流电源。绕流阻力通过固定于阀芯的阀杆传递到传感器,传感器固定在阀杆的正前方,使阀杆的前方末端垂直于压力传感器的受力面。通过压力传感器测得绕流阻力,并将测试结果显示在数显仪表上。

4 实验及数据分析

4.1 实验方法

(1)首先预估每一工况下通过阀体的风量,选择与相应风量相适应的喷嘴组合;

(2)开启变频风机,由小至大逐渐调节风机频率,使其达到阀体要求的设定值,且风量与喷嘴前后压差在合理范围内。所需工作压力范围为25~1000 Pa;

(3)当实验工况稳定、仪表波动较小时,记录风室静压、喷嘴前后压差、风阀工作压力和绕流阻力的读数。

4.2 实验数据分析

4.2.1 绕流阻力系数与当量直径的关系 对同一位置不同风量下的所有绕流阻力系数取其平均值得到不同收缩角的绕流阻力系数随当量直径的变化关系如图4~6所示。由图4~6可知,在不同收缩角度下绕流阻力系数随当量直径的变化关系相似,绕流阻力系数随着当量直径的增大而减小,即随着阀芯位移的增大而增大;此外,随着收缩角度的增大,绕流阻力系数的变化幅度也随之增大。

由图7~9可知,实验测得的绕流阻力与经拟合公式计算得到的绕流阻力值相近,且变化趋势相同,因而经过验证可知,拟合得到的绕流阻力系数随当量直径的变化关系是正确的。

4.2.3 同一位置不同风量的绕流阻力系数 由绕流阻力系数的拟合公式可知,15°和30°收缩角所对应的公式相似,而60°收缩角的相差有点大,故此处不再对60°收缩角的绕流阻力系数做进一步研究。

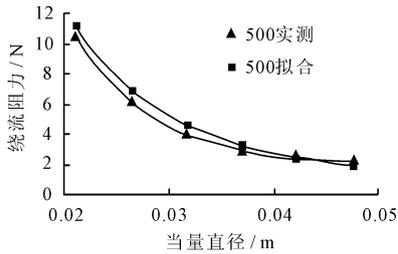


图7 15°收缩角绕流阻力随当量直径的变化

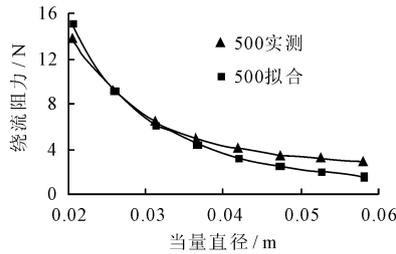


图8 30°收缩角绕流阻力随当量直径的变化

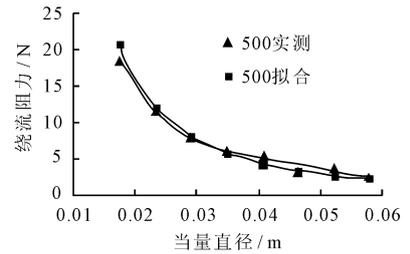


图9 60°收缩角绕流阻力随当量直径的变化

为了验证同一位置不同风量条件下绕流阻力系数与风量的大小无关而只与阀芯所处的位置即当量直径有关,本文选取了15°和30°收缩角所对应阀芯位置为20 mm处风量在500~1700 m³/h范围内的10组绕流阻力系数的数据进行分析,见图10、11。

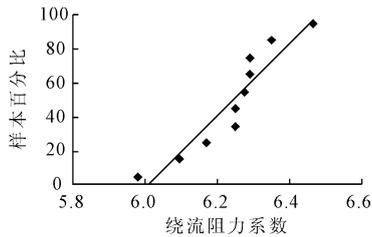


图10 15°收缩角绕流阻力系数正态概率图

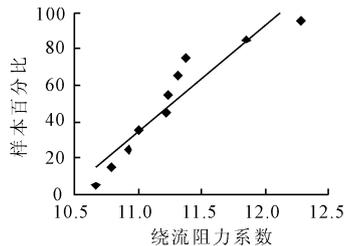


图11 30°收缩角绕流阻力系数正态概率图

由图10、11可知,在同一位置不同风量下绕流阻力系数随风量的变化波动很小,数值分布集中,呈现良好的正态概率图(图中纵坐标为相应正态分布函数值百分比)。因而可得绕流阻力系数与风量无关而与阀芯所处位置即当量直径有关。即绕流阻力系数随着当量直径的增大而减小。

5 结语

(1)在不同收缩角情况下绕流阻力系数与当量直径的变化关系相似,绕流阻力系数随着当量直径的增大而减小,即随着阀芯位移的增大而增大;此外,随着收缩角度的增大,绕流阻力系数的变化幅度也随之增大。

(2)绕流阻力系数与当量直径呈现良好的幂函数关系。经验证可知,实验测得的绕流阻力与经过

绕流阻力系数拟合公式计算得到的绕流阻力值接近,进而可得绕流阻力系数随当量直径变化关系的正确性。

(3)在同一位置不同风量下绕流阻力系数随风量的变化波动很小,数值分布集中,呈现良好的正态概率图。因而可得绕流阻力系数与风量无关而与阀芯所处位置即当量直径有关。

参考文献:

- [1] 安瑞普,侯建军. 定风量阀在通风空调系统中的应用[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报,2006,5(S1):117-118.
- [2] 庞桂明. 定风量阀在建筑空调各系统中的应用浅析[J]. 黑龙江科技息,2009(18):302.
- [3] 尹桂娟. 定风量阀国产化相关问题研究[D]. 天津大学,2010:2-4.
- [4] 邹志军,李寅勋,黄晨,等. 喷管式定风量阀体受力特性实验[J]. 暖通空调,2014,4(10):107-110.
- [5] 邓玉海,童小川,寿旭日. 文丘里型末端变风量阀弹簧设计探讨[J]. 船工程,1999(2):48-49+4.
- [6] 邓玉海,童小川,寿旭日. 文丘里型末端变风量阀的设计研究[J]. 机电设备,1999(1):25-29.
- [7] 孙艳琦,牛全文. 文丘里管结构参数对其水利性能的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(2):211-218.
- [8] Hojat Ghassemi, Hamidreza Farshi Fasih. Application of small size cavitating venturi as flow controller and flow meter[J]. Flow Measurement and Instrumentation,2011,22(5):406-412.
- [9] 龙天渝,蔡增基. 流体力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004:237-237.
- [10] 龙天渝,蔡增基. 流体力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004:234-236.
- [11] 刘鹤年. 流体力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004:113.
- [12] 邹志军,王重超,黄晨. 喷管式压力无关型定风量阀的性能试验研究[J]. 暖通空调,2012,42(2):101-104.
- [13] 梁国伟,蔡武昌. 流量测量技术及仪表[M]. 北京:机械工业出版社,2002:34-39.