



# 《通风管道沿程阻力计算选用表》数据测试及分析

空军工程设计研究局 罗继杰<sup>☆</sup>

青岛理工大学 胡松涛

**摘要** 编制过程中,将原《全国通用通风管道计算表》中钢板风管、除尘风管、气密性风管的主要数据,经计算并测试校核后进行精简列入新编内容,同时增加了螺旋风管、水硬性无机玻璃钢风管、氯氧镁水泥风管、玻纤风管、酚醛风管、聚氨酯复合风管等的计算图表。误差分析表明,比摩阻的绝对误差为 0.067 Pa/m,相对误差为 2.54%。

**关键词** 非金属风管 多种风管类型 摩擦阻力 通风空调管道 计算图表

## Data test and analysis of the Calculating charts for frictional resistance of ventilation ducts

By Luo Jijie<sup>★</sup> and Hu Songtao

**Abstract** During recompiling process, main data as steel air ducts, dust removal air ducts, airtight air ducts in the original *National ventilating duct calculating chart* are included after calculation and verification by tests and simplification. Meanwhile, the calculation charts for spiral ducts, hydraulic inorganic glass reinforced plastic air ducts, magnesium oxychloride cement air ducts, glass-fiber air ducts, phenolic air ducts, polyurethane composite air ducts, etc are added. The error analysis shows that the absolute error of the specific frictional resistance is 0.067 Pa per meter, and the relative error is 2.54%.

**Keywords** non-metal air duct, multi-type air duct, frictional resistance, ventilation and air conditioning duct, calculation chart

★ Design Research Institute of Air Force Engineering, Beijing, China

①

### 0 引言

《全国通用通风管道计算表》出版至今已有 30 年,作为通风空调专业进行风管阻力计算的重要工具发挥了极大的作用。近些年来,随着暖通专业飞速发展,各种类型的风管特别是非金属风管不断出现并在工程中得到应用,但其摩擦阻力计算只能依靠不同厂家给出参考数据,或干脆由设计人员估算,由此带来了投资和能耗的增加,《全国通用通风管道计算表》已无法满足使用需求。为此,中国建筑标准设计研究院立项编制适用于多种风管类型的风管计算表——《通风管道沿程阻力计算选用表》,由空军工程设计研究局和中国建筑标准设计研究院组织相关单位进行编制。

#### 1 编制依据及方法

##### 1.1 编制依据(见文献[1-6])

##### 1.2 编制方法

《通风管道沿程阻力计算选用表》采用理论计算和实验测试二者结合的方式进行编制。

1) 风速  $v < 10$  m/s 时,因实验误差较大,因此按风管在不同管径、材质及不同风速下所处的阻力分区分别采用布拉修斯(Blasius)公式和柯氏(Colebrook)公式进行理论计算:

$$\text{湍流光滑区} \quad \lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (1)$$

$$\text{湍流过渡区} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{K}{3.71D_e} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (2)$$

式(1),(2)中  $\lambda$  为沿程阻力系数; $Re$  为雷诺数; $K$

①☆ 罗继杰,男,1951 年 11 月生,硕士研究生,教授级高级工程师,全国工程勘察设计大师

100071 北京市永定门外洋桥 12 号空军工程设计研究局

E-mail: luojijie001@sina.com

收稿日期:2009-03-27

修回日期:2009-11-30

为当量糙粒高度;  $D_e$  为管径。

2) 风速  $v > 10$  m/s 时, 经理论计算确定, 所有的风管在风速  $v = 10 \sim 30$  m/s 之间时, 其流态均处于湍流过渡区, 即符合柯氏公式的计算方法, 但理论计算与实验数据相差较大, 因此采用实验修正柯氏公式的计算方法, 并拟合出相应的曲线、公式。

具体方法是:

1) 采用物理方法测量钢板风管、螺旋风管及各类其他材质风管的当量粗糙高度。

2) 原钢板风管、除尘风管、气密性风管的技术数据, 经校核测试后精简列入新编内容。

3) 螺旋风管低风速 ( $v < 10$  m/s) 采用布拉修斯公式和柯氏公式进行理论计算, 高风速 ( $v > 10$  m/s) 采用实验数据拟合修正  $\lambda$  的计算公式 (柯氏公式)<sup>[7]</sup>, 并推导得到其余管径系列的图表。

4) 其他材质的风管按相同的当量糙粒高度分成几种系列, 分别计算编制。低风速 ( $v < 10$  m/s) 采用柯氏公式进行理论计算, 高风速 ( $v > 10$  m/s) 按不同当量粗糙高度系列分别测试, 即每个系列中抽选 6~7 个管径系列进行测试, 根据实验数据拟合修正  $\lambda$  的计算公式 (柯氏公式), 并推导得到其余管径系列的图表。这些风管材质包括: 水硬性无机玻璃钢风管、氯氧镁水泥风管、玻纤风管、酚醛风管、聚氨酯复合风管。

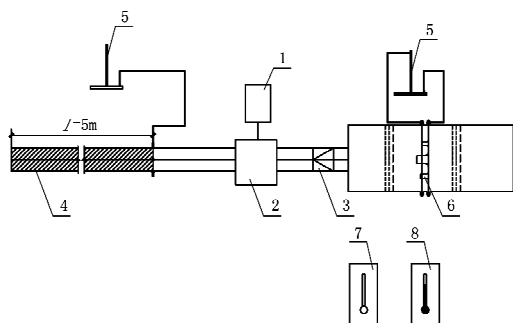
5) 大管径需内支撑的风管按内支撑系数列入柯氏公式修正计算。

## 2 测试装置与方法

风管沿程阻力测试所需的测试装置、测量仪器和测试方法均符合 JG/T 20—1999《空气分布器性能试验方法》的要求<sup>[8]</sup>。

### 2.1 测试装置及仪表

1) 测试装置如图 1 所示。



1 变频器 2 高压离心风机 3 大圆地方 4 测试风管  
5 倾斜式微压计 6 喷嘴 7 压计 8 温度计

图 1 测试装置示意图

2) 测试仪表: 德国 TYP655 型倾斜式微压计, 精度  $\pm 0.3$  Pa (误差  $\pm 0.5\%$ , 最小读数 0.3 Pa); 大气压计, 误差  $\pm 0.5$  hPa; 温度计, 误差  $\pm 0.3$  °C; 喷嘴, 直径误差  $\pm 0.05\%$ 。

### 2.2 测试方法

根据 GB 50243—2002《通风与空调工程施工质量验收规范》<sup>[2]</sup> 和 GB/T 1236—2000《工业通风机 用标准化风道进行性能试验》<sup>[9]</sup> 的规定<sup>[9]</sup>, 进行管道沿程阻力的测试。

#### 1) 沿程阻力的测试

被测风管长度宜为 10 m, 在测试风管的气流平稳段间选择两测点, 两测点间的距离按不同管径来确定, 宜为 6~8 m。为提高测量精度, 任一测点的压力值应为矩形管道四边压力的平均值。此时两测点之间的差值为该管段的沿程阻力, 即可求出管道的比摩阻。

#### 2) 风管平均流速及流量的测试

按 GB/T 1236—2000《工业通风机 用标准化风道进行性能试验》<sup>[9]</sup> 第 25.1~25.5 的规定要求进行测试。

测量风管按管径分成 3 个系列:

宽度  $< 500$  mm; 宽度 500~1 000 mm; 宽度  $> 1 000$  mm。

每系列选择 2~3 个管径进行测量, 并选择 1 个管径进行复核。

每种管径从 8~20 m/s 间选择 8 个风速, 进行测量, 并绘制曲线。

### 2.3 数据处理

流速: 1~30 m/s, 当量直径: 0.1~3.0 m, 流量范围: 50~179 200 m<sup>3</sup>/h。

选择 6~7 个系列的不同尺寸风管在不同流速下的单位长度摩擦阻力, 通过回归拟合, 获得适合该风管在不同雷诺数范围内的摩擦阻力计算公式, 并通过该公式绘制该风管在其他系列时的摩擦阻力曲线, 如图 2 所示。

在测试数据的基础上, 采用 3 种方案对风管比摩阻的计算公式进行了拟合。

方案 1, 利用最小二乘原理, 构造一个一元五次多项式去逼近真实值 (即当量直径和平均比摩阻修正系数  $Y$  的函数关系), 将  $(D_e, Y)$  进行曲线拟合, 并考虑了分段拟合。该方案通过提高修正系数一元多项式中的当量直径幂次来尽可能接近真实

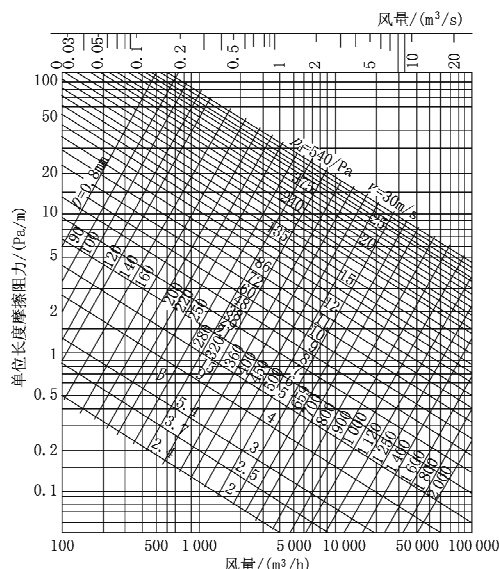


图2 某玻纤复合通风管道线算图

值,但结果并不理想,而且形式较为烦琐,不适合用于对各类型的风管的比摩阻进行修正。

方案2,利用最小二乘原理,构造一个二元线性多项式去逼近真实值(即当量直径、雷诺数和

平均比摩阻修正系数 $Z$ 的函数关系),将 $(D_e, Re, Z)$ 进行曲面拟合。该方案通过引入流体流动中的关于流态判别的重要因素(雷诺数)和当量直径,建立一个简单的二元一次多项式进行拟合,最大偏差为19.6%,但由于拟合公式是人为建立的,并不具有实际的物理意义。

方案3,从柯氏公式的原始推导过程入手,通过柯氏公式的机械结合的方法,分别对光滑区和粗糙区的修正系数和当量直径进行拟合,这样每种类型的风管具有特定的系数修正公式,具有实际的物理意义,虽然有个别偏差较大的现象,但笔者认为这与实验的现场情况有关。

经对比分析,确定采用方案3提供的方法进行比摩阻数据的公式拟合。

### 3 误差分析

依据 ANSI/ASHRAE 标准 120—1999<sup>[10]</sup>,对风量 1 060~3 530 m<sup>3</sup>/h 之间 8 种风量下的测试结果进行了误差分析。

测试及计算结果如表 1 所示。

表1 测试样本的计算结果

| 风量/(m <sup>3</sup> /h) | 密度 $\rho_s$ /(kg/m <sup>3</sup> ) | 风量 $Q_1$ /(L/s) | 风速 $v_1$ /(m/s) | 雷诺数 $Re_1$    | 动压 $p_d$ /Pa   | 管道比摩阻 $\Delta p_{f,1-2}$ /(Pa/m) |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------------------------|
| 1 060                  | 1.218 2                           | 294.444 4       | 6               | 100 423.646 8 | 21.937 216 30  | 2.64                             |
| 1 410                  | 1.218 3                           | 391.666 7       | 8               | 133 594.661 1 | 38.819 316 02  | 4.50                             |
| 1 770                  | 1.218 4                           | 491.666 7       | 10              | 167 723.334 0 | 61.179 569 51  | 6.82                             |
| 2 120                  | 1.218 6                           | 588.888 9       | 12              | 200 916.798 1 | 87.779 231 24  | 9.61                             |
| 2 470                  | 1.218 8                           | 686.111 1       | 14              | 234 125.700 8 | 119.175 150 00 | 12.95                            |
| 2 830                  | 1.219 0                           | 786.111 1       | 16              | 268 299.764 7 | 156.475 515 50 | 16.75                            |
| 3 180                  | 1.219 2                           | 883.333 3       | 18              | 301 538.731 1 | 197.610 440 70 | 20.55                            |
| 3 530                  | 1.219 5                           | 980.555 6       | 20              | 334 800.123 6 | 243.556 642 60 | 24.97                            |

对间接测量的误差传递进行分析,限于篇幅,下面仅列出误差分析的计算结果,详细信息可参见文献[10]。

表2 误差分析结果

| 风量/(m <sup>3</sup> /h) | $e_{\rho_s}$ /(kg/m <sup>3</sup> ) | $E_{m_s}/\%$ | $E_{Q_1}/\%$ | $E_{v_1}/\%$ | $E_{Re_1}/\%$ | $E_{p_d}/\%$ | $E_{\Delta p_{f,1-2}}/\%$ |
|------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------------------|
| 1 060                  | 0.003 079                          | 0.676 7      | 0.434 4      | 0.591 5      | 0.682 7       | 1.209 6      | 2.541 5                   |
| 1 410                  | 0.003 083                          | 0.665 9      | 0.428 6      | 0.587 2      | 0.679 0       | 1.201 2      | 1.751 3                   |
| 1 770                  | 0.003 088                          | 0.662 9      | 0.426 2      | 0.585 5      | 0.677 4       | 1.197 8      | 1.438 7                   |
| 2 120                  | 0.003 095                          | 0.661 9      | 0.425 8      | 0.585 2      | 0.677 2       | 1.197 2      | 1.298 7                   |
| 2 470                  | 0.003 102                          | 0.661 4      | 0.425 3      | 0.584 9      | 0.676 9       | 1.196 6      | 1.228 6                   |
| 2 830                  | 0.003 111                          | 0.661 3      | 0.424 9      | 0.584 5      | 0.676 6       | 1.195 9      | 1.192 7                   |
| 3 180                  | 0.003 093                          | 0.662 1      | 0.271 2      | 0.484 2      | 0.592 1       | 1.000 7      | 1.175 4                   |
| 3 530                  | 0.003 098                          | 0.661 7      | 0.270 7      | 0.484 0      | 0.591 8       | 1.000 2      | 1.163 2                   |

注:表中 $e$ 为绝对误差, $E$ 为相对误差,下标为对应的变量,含义与表1相同, $m_s$ 为质量流量。

总体而言,在所测的风量范围内,各变量的

相对误差随着风量的增加而减小。除风量 1 060 m<sup>3</sup>/h 以外,其余风量下比摩阻的相对误差均小于 2%。

### 4 结语

本计算图表将原有的钢板风管、除尘风管、气密性风管的主要数据,经计算并测试校核后精简列入新编内容。增加螺旋风管、水硬性无机玻璃钢风管、氯氧镁水泥风管、玻纤风管、酚醛风管、聚氨酯复合风管等风管的计算图表。误差分析表明,计算误差可以满足工程的使用要求。

### 参考文献:

- [1] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2004

(下转第 32 页)