

文章编号:1005-0523(1999)03-0018-05

隧道掘进通风机风量检测新方法的研究

胡桃元

(华东交通大学 土木工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:传统的隧道风机风量检测方法,测定周期长,技术要求高^[1]。依据流体运动的能量方程,导出的静压差测定风机风量的方法,可实现风量的快速测定^[2]。该方法已在实验室与传统方法进行对比试验^[3]。

关键词:隧道掘进;风机;风量检测法

中图分类号:TD 724.4;V 453.5

文献标识码:A

0 引言

目前,我国铁路隧道施工尤其是长距离隧道施工中存在的突出问题之一就是通风问题,由于爆破产生的大量炮烟及运输岩石的燃油车辆产生的尾气,严重污染了隧道内空气环境,使工人身体及劳动生产率受到影响,也严重威胁着施工安全^[4]。而通风量是影响隧道通风效果一个重要的参数,该参数也是衡量局部通风机技术和经济性能的重要指标^[5]。因此,如何准确地检测通风机风量,对隧道通风有重要意义^[6]。

1 隧道风机风量检测的传统方法

目前,常用的通风机风量检测方法有动压法和相对静压换算法^[7]。

1.1 动压法测风量

这是最常用、也是标准的局部通风机风量检测方法^[8]。该方法通过测定风机进口(或出口)风筒断面等面积环上各点动压,由下式计算风量

$$Q = S \cdot \frac{2}{\rho} \cdot \frac{\sum h_{vi}}{n} \quad (1)$$

式中: S 为测风断面面积, m^2 ; ρ 为空气密度; kg/m^3 ; $\sum h_{vi}$ 为测风断面上,按等面积环法布置的各测点动压的平方根之和, Pa ; n 为在测风断面上按等面积环布置的测点数^[9]。

动压法测风量的特点是:断面动压测量采用毕托管与压差计相配合,断面测点按等面积环布置^[10]。在施工现场测量时,由于客观条件限制,很难准确把握各测点位置及毕托管的方向,若测点位置不准或不能保证毕托管全压孔正对风流方向,则会产生较大测量误差^[11]。另外,测定前

收稿日期:1998-04-08;修订日期:1998-05-18

作者简介:胡桃元,1966年,江西贵溪人,华东交通大学副教授,工学硕士。

应在风筒测风断面处开凿便于毕托管插入的测量孔,测量结束时要及时封堵,否则会导致漏气^[13]因此,动压法测风量整个测定过程技术性强,操作复杂,费时费力^[13]

1.2 相对静压换算法测风量

在风机进风段的铁风筒上选取一测定断面,沿风筒壁面对称布置4个静压测孔,孔径一般取 $\varnothing 2.5\text{ mm}$,在小孔上沿垂直风筒壁面方向焊接4个长30 mm的金属管,然后用胶皮软管将其并联接到压差计上,测出该断面相对静压 h ,然后按事先标定好的断面相对静压 h 与风机风量 Q 的函数关系 $h-Q$ 曲线,直接查取风机风量^[13]这种方法相对简单,也有较高的精度,但是存在一个致命的缺陷,随着风机磨损,效率降低, $h-Q$ 曲线会发生变化,故每隔一定时期要重新标定 $h-Q$ 关系曲线,这在施工现场难以做到^[13]

因此,上述2种方法都不适合在隧道施工过程中对局部通风机风量的快速检测^[13]

2 风机风量的静压差测量法

所谓静压差法测风量就是在空气通过的风道收缩段上,通过测定2个不同断面间空气静压的差值,来求算通过的空气量^[13]

2.1 静压差法的理论基础

在轴流式风机入口端,为减少因风流断面突然收缩而在入口处产生的空气局部阻力损失,风机入口都安装有流线型的集流器^[13]理论研究表明:当集流器做成双曲线型或椭圆形,其入口局部阻力系数接近于零^[13]考虑到加工方便,一般轴流风机在出厂时其集流器均做成园弧形^[13]如图1所示,对于2收缩断面I-I、II-II,因为集流器为流线型,且两断面间距一般小于300 mm,故断面间阻力损失很小,可略去不计^[13]所以,根据两断面空气能量方程

$$P_I + \rho_1 V_1^2 / 2 = P_{II} + \rho_{II} V_{II}^2 / 2,$$

和空气流动连续性方程 $Q = V_I S_I = V_{II} S_{II}$,

且 $\rho_I \approx \rho_{II} = \rho$ 有

$$Q = S_I S_{II} \sqrt{2(P_I - P_{II}) / (\rho(S_I^2 - S_{II}^2))}, \quad (2)$$

式中: P_I 、 P_{II} 为I-I、II-II断面绝对静压,Pa; V_I 、 V_{II} 为I-I、II-II断面平均风速, m/s; ρ 为两断面间空气平均密度, kg/m^3 ; 对工程测量 $\rho \approx 1.2\text{ kg/m}^3$ ^[13]

设 ΔH 为两断面相对静压差,由于两断面处于相同标高处,即 $\Delta H = P_I - P_{II}$,故式(2)

$$Q = 1.291 S_I S_{II} \sqrt{\Delta H / (S_I^2 - S_{II}^2)}. \quad (3)$$

式中: S_I 、 S_{II} 是断面面积,不会变化^[13]故现场只要测出 ΔH ,便可知道风机风量^[13]

2.2 断面静压差 ΔH 的测量

为了准确测出两个断面上的静压,采用壁面取压方式,即在集流器外壳上,分别在I-I、II-II断面上均匀开6~8个静压孔(≥ 4 个),孔径一般为 $\varnothing 6 \sim 12\text{ mm}$,在静压孔上焊上长

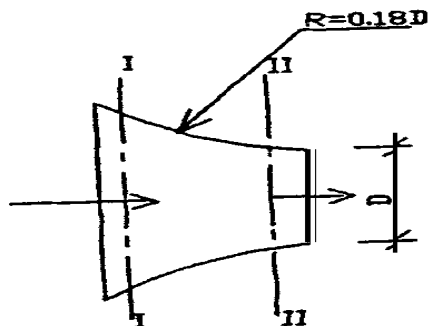


图1 风机入口集流器简图

30 mm 的紫铜管, 注意集流器内壁焊接处应光滑平整, 不得有毛刺, 否则易产生涡流^[13]。然后分别用胶皮管将两断面静压并联引出至微压计上, 测出两断面静压差 ΔH , 便可由 (3) 式求出局部风机风量^[13]。

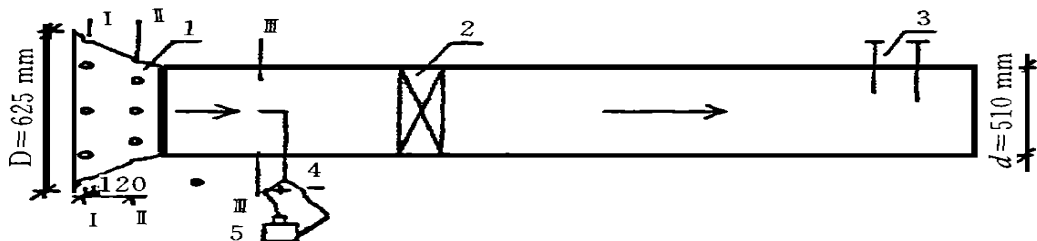
在选取测压测面时, 应尽量加大两断面面积差值, 由 (3) 式可知: 当风量 $Q \sim$ 定时, S_1/S_2 愈小, 则静压 ΔH 愈大, 故检测容易, 精度高, 一般要求: $S_2/S_1 \leq 0.75$ ^[13]。

由上分析知: 只要测出风机入口集流器两断面静压差, 便可根据两断面大小, 由式 (3) 求出风机风量, 这种风量检测方法, 称之为静压差法, 该方法与传统的风机动压法风量检测相比: 操作简便, 测点固定, 易于现场检测, 且有理论依据^[13]。但其检测精度能否满足工程应用的要求 (一般要求相对误差不大于 5%)? 为此, 必须进行试验研究^[13]。

3 试验研究

3.1 试验装置与测试方法

试验工作是在淮南工业学院通风实验室进行的, 试验风机为 JBT-51 型轴流式局部通风机, 功率 5.5 kW, 动压及静压差测定采用 YYT-200B 型单管微压计, 精度为 I 级, 最小分辨率为 0.98 Pa (即 0.1 mmH₂O), 试验装置如图 2 所示¹⁹。



1- 集流器 2- 风机 3- 调节阀 4- 毕托管 5- 微压计
I-I、II-II 断面 - 静压测量断面 III-III 断面 - 动压法测风断面

图 2 试验装置图

在图 2 中, I-I、II-II 断面上分别开有 8 个测压孔, 孔径 $\phi 6$ mm, 通过多孔并联连接, 用胶皮管引至微压计上, 测出静压差 ΔH , 连接方法见图 3^[13]。

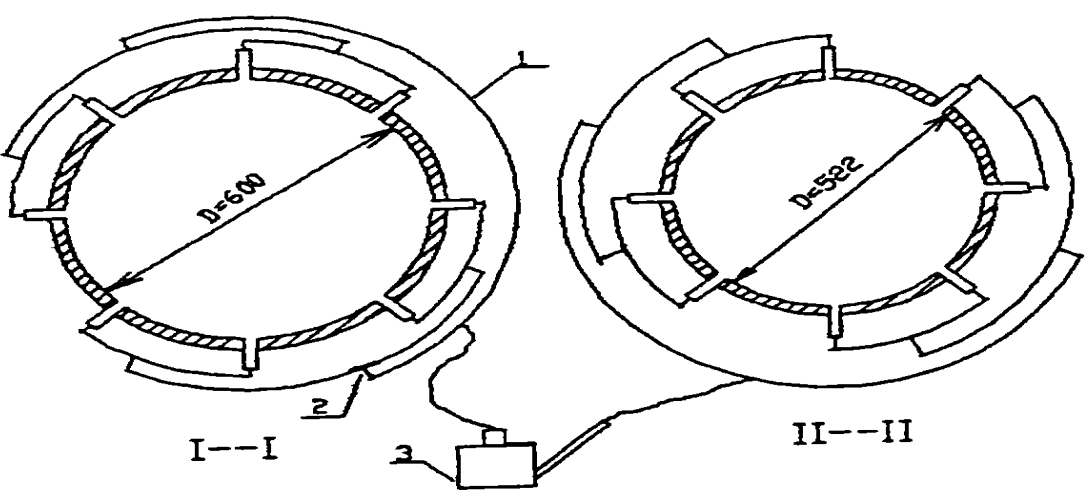
在图 2 中 III-III 断面上, 采用传统的动压法测风量, 即用毕托管微压计测出各测点动压 h_{vi} , 按式 (1) 计算风量, 测点采用等面积环布置法, 将 III-III 断面划为 6 个等面积环, 共布置了 12 个测点, 从风筒上部插入毕托管, 毕托管的插入深度由下式确定:

$$L_i = \frac{1}{2}D \pm D \sqrt{\frac{2i-1}{8n}} \quad (4)$$

式中: L_i 为从风筒壁面至第 i 个等面积环中心距离, mm; i 为从断面中心开始, 等面积环的编号 $i = 1 \sim 6$ 个^[13]。

3.2 试验数据及分析

本次试验在 III-III 断面采用动压法测出各点动压 h_{vi} , 并据此由 (1) 式求出风量 Q_0 , 同时



1- 胶皮管 2- 三通接头 3- 压差计

图 3 断面静压孔连接图

在 I - I , II - II 断面采用静压差法测出 ΔH ,并由式(3) 求出风量 Q' ;因为动压法测风是标准测风方法,故以 Q_0 为风机真实风量,求出静压差法测得风量的相对误差,以此作为判断该方法测量精度的依据⁽¹³⁾

通过调节阀门调节风机工况,共测了 5 个不同工况,测试结果及分析见下表(表1)

表 1 JBT - 51 型轴流式风机风量测试结果分析

工况	动压法测风量		静压差法测风量		$\delta = \frac{Q' - Q_0}{Q_0} \times 100\%$
	$\Sigma \frac{h_{vi}}{n}$	$Q_0 / m^3 \cdot s^{-1}$	$\Delta H / Pa$	$Q' / m^3 \cdot s^{-1}$	
1	12.21	3.220	58.8	3.241	0.65%
2	9.46	2.495	35.3	2.511	0.64%
3	8.20	2.163	26.5	2.176	0.60%
4	7.00	1.846	19.6	1.871	1.35%
5	4.47	1.179	7.84	1.184	0.43%

说明: $Q_0 = S_{III} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot \frac{\Sigma h_{vi}}{n}$; $Q' = 1.291 S_I S_{II} \cdot \frac{\Delta H}{(S_I^2 - S_{II}^2)}$; $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$; $S_I = 0.282 \text{ 74 m}^2$ ($\varnothing_I = 0.6 \text{ m}$) ; $S_{II} = 0.214 \text{ 0 m}^2$ ($\varnothing_{II} = 0.522 \text{ m}$) ; $S_{III} = 0.204 \text{ 28 m}^2$ ($\varnothing_{III} = 0.51 \text{ m}$)

从上表可看出:采用静压差法测风量的相对误差均小于 1.5% ,完全可以满足工程应用要求⁽¹³⁾所以,隧道掘进风机风量检测采用该方法是完全可行的⁽¹³⁾

4 结束语

笔者通过对隧道施工中采用的轴流式风机集流器入口空气流动规律的研究,提出了采用静压差法测其风量的计算公式⁽¹²⁾经实验证明,该方法是可行的⁽¹³⁾

局部通风机风量的静压差测试法的基本要点:
1) 在风机入口集流器上选择 2 个大小不同的静压测试断面,一般取 $S_{小} / S_{大} \leq 0.75$ ⁽¹³⁾

2) 在两个断面上分别设置 6~8 个静压测孔^[13]采用电钻在集流器外壳上开孔, 孔径 $\varnothing 6 \sim 8 \text{ mm}$, 然后焊上(或用环氧树脂粘上)紫铜管, 以便连接胶皮管, 引出静压, 注意: 静压孔连接处集流器内壁应光滑, 不得有毛刺或凸凹不平, 否则会产生涡流, 影响静压测量精度^[13]

3) 同一断面上各静压通过胶皮软管, 采用多孔并联方法引出^[13]研究表明, 多孔并联测出静压基本接近断面平均静压值^[13]

4) 用单管压差计现场检测两断面上的静压差 ΔH 就可由式(3) 计算出风机风量^[13]

由上可知, 1) ~ 3) 是风机安装运行前完成的工作, 现场只要检测静压差^[13]

风机风量的静压差测试方法还可用于施工工作面风筒出口风量的检测: 只要在普通风筒出口加接一段刚性锥形风筒, 在该锥形风筒上也设置二个静压测试断面, 这样就可准确检测风筒出口风量了; 同样该方法可用于工矿企业大型轴流式风机风量的检测^[13]

笔者提出的静压差风量测试方法, 其检测精度主要取决于静压差的检测精度, 静压差出现 1% 偏差引起的风量偏差为 0.5%^[13]目前, 现场的压差测量主要是采用单管倾斜压差计^[13]它是利用液面高度变化检测压差的^[13]由于液体的粘滞性, 观察人员的视觉误差, 仪器使用前的校准等对检测精度影响较大^[13]为此, 应采用高精度的压差传感器来感受压差的变化, 以提高精度^[13]

今后应在静压差法风量测试基础上进一步研制采用高精度压差传感器为基本感压元件、采用单片机作为微处理器的、能自动检测风机风量的便携式测试仪表, 该仪表应能适应不同类型风机, 具有较高精度, 能在现场条件下, 快速测定、直接显示出被测风量值^[13]

[参 考 文 献]

- [1] 张国枢. 矿井实用通风技术. 第 1 版[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 186~193 19.
- [2] 胡桃元等. 矿井主扇风量的静压差测量法及风量风压仪的研制[J]. 华东交通大学学报. 1997, 14(2): 21~27 19.
- [3] 周作元等. 温度与流体参数测量基础. 第 1 版[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986 19.

A New Method Measuring the Volume of Air Flow in Tunnel Driving's Fan

HU Tao-yuan

(College of Civil Engineering, East China Jiao tong University, Nanchang 330013 China)

Abstract: There exist long measure period and high technical requirement in the conventional measure method of Volume flux for the tunnel driving fan. While, a new method of Volume flux of the fan measured by the static differential pressure, which is derived from the energy equations of fluid motion, can realize an instant measurement for the flux. The contrast experience of comparison the new method with the conventional method has been made in the laboratory.

中国知网 <https://www.cnki.net>

Key Words: tunnel driving; fan; the method for measuring the Volume of air flow