



中华人民共和国国家标准

GB/T 15335—2019
代替 GB/T 15335—2006

风筒漏风率和风阻的测定方法

Determination of leakage rate and specific resistance for air duct

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号、下标 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 符号 1

 3.3 下标 2

4 测定系统 2

 4.1 系统组成 2

 4.2 测量装置 2

 4.3 测量仪器 3

5 测定程序 4

 5.1 测定准备 4

 5.2 长度测量 4

 5.3 大气环境参数测量 4

 5.4 压力测量 4

6 测定结果的计算 5

 6.1 大气环境参数计算 5

 6.2 质量流量计算 5

 6.3 风筒漏风率计算 6

 6.4 风筒风阻计算 6

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 15335—2006《风筒漏风率和风阻的测定方法》。与 GB/T 15335—2006 相比,除编辑性修改外主要技术变化如下:

- “被测风筒长度应不少于 100 m”修改为“风筒前后端测风断面(文丘里喷嘴)间距不小于 100 m”(见 5.1.1,2006 年版的 5.3);
- “调节正压风筒 A 测量断面或负压风筒 B 测量断面的相对静压到(1 200~5 000)Pa”修改为“调节正压风筒 A 测量断面或负压风筒 B 测量断面的相对静压到 300 Pa~4 000 Pa”(见 5.1.5,2006 年版的 6.2);
- 删除了“用 90°弧进口喷嘴测量流量”(2006 年版的 7.2.1);
- 删除了“用锥形进口测量流量”(2006 年版的 7.2.2)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国煤炭工业协会提出并归口。

本标准起草单位:中煤科工集团重庆研究院有限公司、重庆安标检测研究院有限公司、安标国家矿用产品安全标志中心有限公司。

本标准主要起草人:周植鹏、李少辉、孔令刚、巨广刚、卢宁、王范树、李冰晶、杨华运、杨亮、王巍、黎攀、张绪雷、廉博、石发强。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 15335—1994、GB/T 15335—2006。

风筒漏风率和风阻的测定方法

1 范围

本标准规定了风筒漏风率和风阻的测定系统、测定程序和测定结果计算。
本标准适用于正压风筒和负压风筒漏风率和风阻的测量。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1236 工业通风机 用标准化风道性能试验

GB/T 2624.3 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第3部分:喷嘴和文丘里喷嘴

MT/T 222 煤矿用局部通风机 技术条件

3 术语和定义、符号、下标

3.1 术语和定义

GB/T 1236、GB/T 2624.3 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

百米[风筒]漏风率 leakage rate per 100 m of air duct
在规定的风压条件下,平均每百米正(负)压风筒漏流量占风筒进(出)口流量的百分数。

3.1.2

百米[风筒]风阻 specific resistance per 100 m of air duct
平均每百米风筒轴线方向上的摩擦风阻和接头风阻之和。

3.1.3

百米[风筒]标准风阻 reference specific resistance per 100 m of air duct
在空气密度为 1.2 kg/m³的条件下,平均每百米风筒轴线方向上的摩擦风阻和接头风阻之和。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

A_x ——测量断面 X 的面积, m²;

d_x ——喷嘴喉道 X 断面的内径, m;

D_x ——喷嘴上游段 X 断面的内径, m;

h ——测量断面 A、B 之间的风筒通风阻力, Pa;

h_u ——相对湿度, %;

- K ——测量断面 A、B 之间的风筒漏风率；
 K_{100} ——百米[风筒]漏风率；
 L_{AB} ——测量断面 A、B 之间的风筒长度，m；
 p_a ——风筒平均高度上的大气压力，Pa；
 p_X ——测量断面 X 上压力，Pa；
 p_{eX} ——测量断面 X 上的流体空间和时间的平均表压，Pa；
 p_{sat} ——饱和蒸汽压力，Pa；
 p_v ——水蒸气的分压，Pa；
 q_{mX} ——测量断面 X 的质量流量，kg/s；
 q_{vX} ——测量断面 X 的容积流量，m³/s；
 r_d ——流量计压比；
 R_{100} ——百米[风筒]风阻，N·s²/m⁸；
 R_{AB} ——风筒测量断面 A、B 间的风阻，N·s²/m⁸；
 R_s ——百米[风筒]标准风阻，N·s²/m⁸；
 R_w ——湿空气或气体的气体常数，J/(kg·K)；
 t_d ——干球温度计温度，℃；
 t_w ——湿球温度计温度，℃；
 t_X ——测量断面 X 的温度，℃；
 V_{mX} ——截面 X 上的气体平均速度，m/s；
 α ——管路内流量计的流量系数；
 β ——喷嘴内径与风管上游段直径之比 d/D ；
 Δp_X ——测量断面 X 的差压，Pa；
 Δq_m ——风筒漏流量，kg/s；
 ϵ ——膨胀系数；
 θ_X ——测量断面 X 的静态温度，K；
 κ ——等熵指数，对于大气 $\kappa=1.4$ ；
 ρ_X ——测量断面 X 的气体平均密度，kg/m³。

3.3 下标

下列下标适用于本文件。

- 6-X ——文丘里喷嘴进风侧测量断面编号；
 8-X ——文丘里喷嘴喉道测量断面编号；
 A ——风筒进风侧测量断面编号；
 B ——风筒出风侧测量断面编号。

4 测定系统

4.1 系统组成

测定系统由测量装置、测量仪器组成。

4.2 测量装置

4.2.1 测量装置组成

测量装置由局部通风机、测试风道组成。测试风道布置如图 1、图 2 所示。

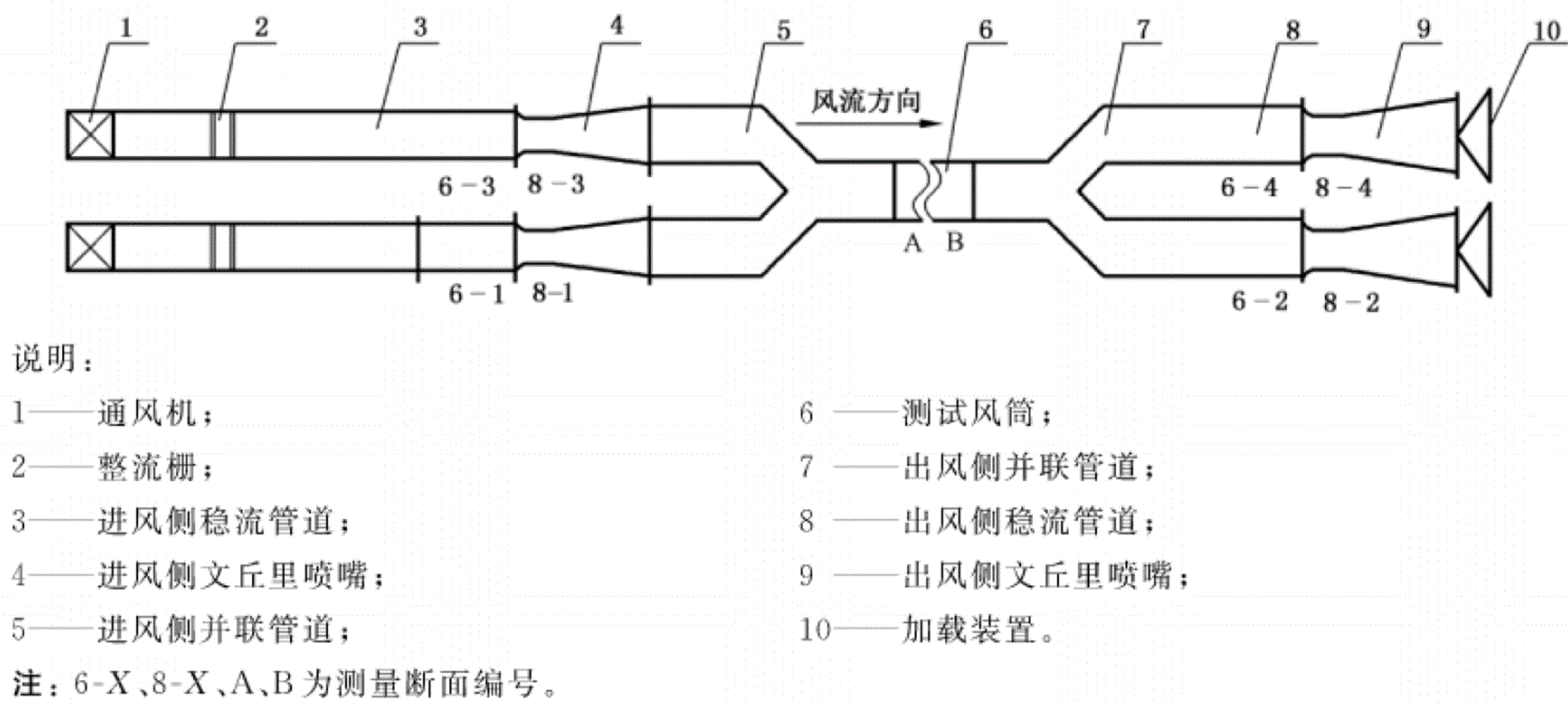


图 1 正压风筒测量装置示意图(文丘里喷嘴并联时)

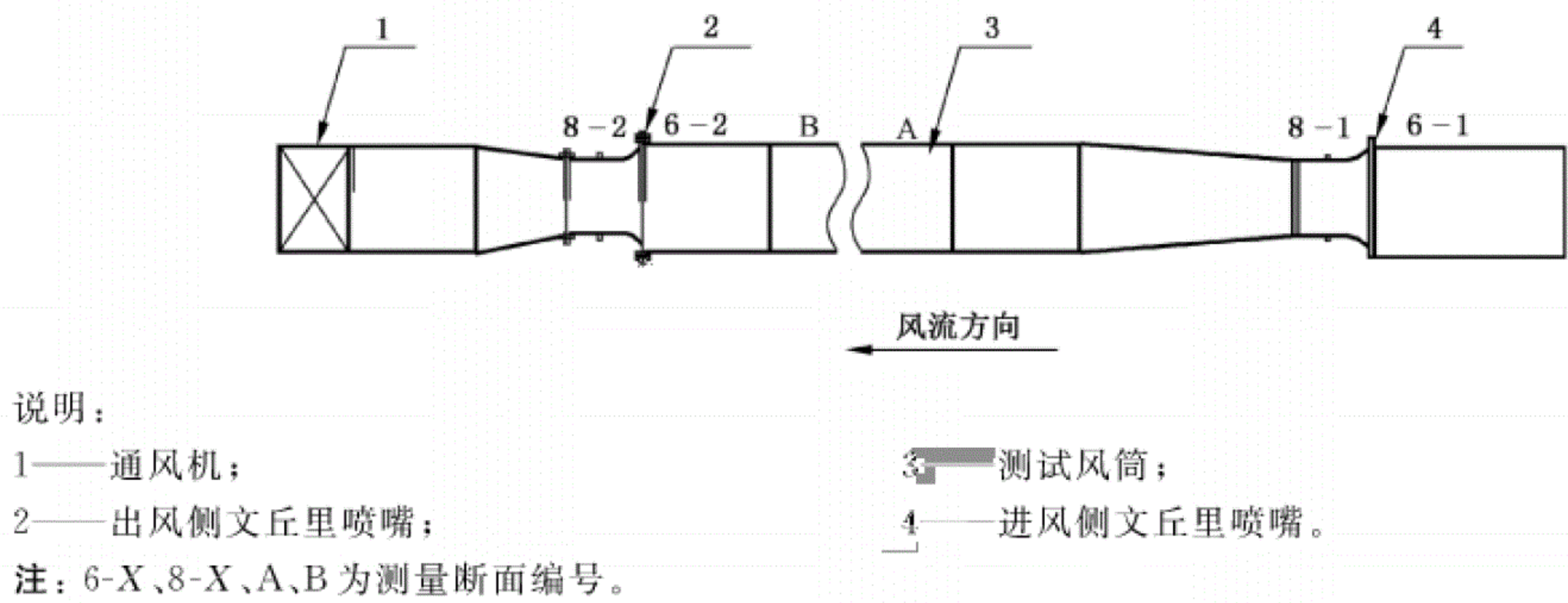


图 2 负压风筒测量装置示意图(单文丘里喷嘴时)

4.2.2 局部通风机

轴流式局部通风机应符合 MT/T 222 的要求,且能提供足够的风流和风压。

4.2.3 测试风道

- 4.2.3.1 测试风道采用圆形管道,当测量段的直径与被测风筒的直径不一致时,允许采用过渡段。
- 4.2.3.2 整流器应符合 GB/T 1236 的规定。
- 4.2.3.3 文丘里喷嘴及前后段安装尺寸应符合 GB/T 2624.3 的规定。流量较大时,可采用文丘里喷嘴并联的方式增加风流通通过喉径的面积。

4.2.4 测量断面的确定

- 4.2.4.1 在被测风筒上风流稳定段,选取距离不少于 50 m 的 A、B 两个断面,作为风阻测量的测量断面,其中 A 断面为进风侧的测量断面,B 断面为出风侧的测量断面。
- 4.2.4.2 以文丘里喷嘴所在的断面作为流量测量的断面。其中 6-X 断面为文丘里喷嘴的进风侧的测量断面,8-X 断面为文丘里喷嘴出风侧的测量断面。

4.3 测量仪器

主要测量仪器应符合表 1 的规定。

表 1 主要测量仪器的要求

仪器名称	测量范围	准确度
压力计	0 Pa~10 000 Pa	不低于 1.0 级
气压计	80 000 Pa~106 000 Pa	±200 Pa
干球温度计	0 ℃~50 ℃	±0.3 ℃
湿球温度计	0 ℃~50 ℃	±0.3 ℃
湿度计	相对湿度:0~100%	相对湿度:±3%

5 测定程序

5.1 测定准备

- 5.1.1 测试风道各组件之间、测试风道与通风机之间应连接、密封良好。被测风筒安装到测试装置上后,风筒前后端测风断面(文丘里喷嘴)间距不小于 100 m。风筒应平直地安装在测量系统上,连接处不得有泄漏,风筒轴线应与风道轴线保持一致。
- 5.1.2 检查连接仪器的测压管路、接头等连接部位有无堵塞或泄漏。
- 5.1.3 在进行连续观察之前,应在最大流量时对同一测量断面 4 个测孔的压力进行单独测量检查。当平均表压 p_{ex} 不大于 1 000 Pa 时,4 个测孔读数中的任何一个读数偏差应不超出平均数的±5%;当平均表压 p_{ex} 大于 1 000 Pa 时,4 个测孔读数中的任何一个读数偏差应不超出平均数的±2%。如果不符合上述条件,则应检查测孔、压力计接头、测压管路、检测设备等,排除缺陷,直到符合上述条件才能进行测量。
- 5.1.4 启动通风机,试运转应不少于 5 min。
- 5.1.5 根据风筒直径,调节正压风筒 A 测量断面或负压风筒 B 测量断面的相对静压到 300 Pa~4 000 Pa。

5.2 长度测量

- 5.2.1 测量被测风筒按 4.2.4.1 确定的 A、B 两个测量断面的距离 L_{AB} 。
- 5.2.2 测量被测风筒的长度 L 。

5.3 大气环境参数测量

- 5.3.1 在测试系统中心高上测量环境大气压力 p_a 。
- 5.3.2 测量测试环境温度、湿球温度或空气相对湿度,测量各测量断面的温度、湿球温度或空气相对湿度。

5.4 压力测量

- 5.4.1 将皮托管垂直于风流方向插入被测风筒按 4.2.4.1 确定的 A、B 两个测量断面,并将压力计通过测压管路与皮托管静压口连接,分别测量断面 A、B 处的相对静压 p_{eA} 、 p_{eB} 。
- 5.4.2 分别测量文丘里喷嘴进风侧的压力 p_{e6-X} 、出风侧的压力 p_{e8-X} ,按式(1)计算差压 Δp_{8-X} 。也可采用差压计直接测得 Δp_{8-X} 。

$$\Delta p_{8-X} = p_{e6-X} - p_{e8-X}$$

.....(1)

6 测定结果的计算

6.1 大气环境参数计算

6.1.1 气体常数计算

试验环境中的湿空气的气体常数按式(2)进行计算:

$$R_w = \frac{287}{1 - 0.378 p_v / p_a} \quad \dots\dots\dots (2)$$

6.1.2 蒸汽压力计算

6.1.2.1 在通风机进口采用干、湿球湿度计测量空气湿度时,蒸汽分压 p_v 按式(3)进行计算。当湿球温度 t_w 不小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $A_w = 6.66 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; 当湿球温度 t_w 小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $A_w = 5.94 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。当湿球温度 t_w 不大于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,湿球温度 t_w 下的饱和蒸汽压力值 $(p_{\text{sat}})_{t_w}$ 按式(4)计算。当湿球温度 t_w 大于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,湿球温度 t_w 下的饱和蒸汽压力 $(p_{\text{sat}})_{t_w}$ 按式(5)计算:

$$p_v = (p_{\text{sat}})_{t_w} - p_a A_w (t_d - t_w) (1 + 0.001\,15 t_w) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(p_{\text{sat}})_{t_w} = e^{\left(\frac{17.438 t_w}{239.78 + t_w} + 6.414\,7\right)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$(p_{\text{sat}})_{t_w} = 610.8 + 44.442 t_w + 1.413\,3 t_w^2 + 0.027\,68 t_w^3 + 2.556\,67 \times 10^{-4} t_w^4 + 2.891\,66 \times 10^{-6} t_w^5 \quad \dots\dots\dots (5)$$

6.1.2.2 直接测量空气相对湿度 h_u 时,水蒸气分压 p_v 按式(6)进行计算。干球温度 t_d 下的饱和蒸汽压力 $(p_{\text{sat}})_{t_d}$ 按式(7)进行计算:

$$p_v = h_u (p_{\text{sat}})_{t_d} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(p_{\text{sat}})_{t_d} = e^{\left(\frac{17.438 t_d}{239.78 + t_d} + 6.414\,7\right)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

6.2 质量流量计算

6.2.1 各测量断面压力按式(8)进行计算:

$$p_{6-X} = p_{e6-X} + p_a \quad \dots\dots\dots (8)$$

6.2.2 压比 r_d 按式(9)进行计算:

$$r_d = 1 - \frac{\Delta p_X}{p_{6-X}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

6.2.3 膨胀系数 ϵ 按式(10)进行计算:

$$\epsilon = \left[\frac{\kappa r_d^{2/\kappa}}{\kappa - 1} \cdot \frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 r_d^{2/\kappa}} \cdot \frac{1 - r_d^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{1 - r_d} \right]^{0.5} \quad \dots\dots\dots (10)$$

6.2.4 流量系数 α 按式(11)进行计算:

$$\alpha = \frac{0.985\,8 - 0.196 \beta^{4.5}}{\sqrt{1.0 - \beta^4}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

6.2.5 测量断面 6-X 的静态温度 θ_{6-X} 按式(12)进行计算,式中 $c_p = 1\,008$,测量断面 6-X 的截面积按式(13)进行计算,测量断面 6-X 的空气密度按式(14)进行计算:

$$\theta_{6-X} = t_6 + 273.15 - \frac{q_{m6-X}^2}{2 A_{6-X}^2 \rho_{6-X}^2 c_p} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$A_{6-X} = \frac{\pi D_{6-X}^2}{4} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\rho_{6-X} = \frac{p_{6-X}}{R_w \theta_{6-X}} \dots\dots\dots (14)$$

6.2.6 测量断面 6-X 风流的质量流量按式(15)进行计算:

$$q_{m6-X} = \alpha \epsilon \pi \frac{d_{8-X}^2}{4} \sqrt{2\rho_{6-X} \Delta p_X} \dots\dots\dots (15)$$

6.2.7 分别测出每个文丘里喷嘴的流量。若有并联管路,分别将进风侧和出风侧计算结果相加,得到进风侧风流的质量流量 $q_{m进}$ 和出风侧风流的质量流量 $q_{m出}$ 。

6.3 风筒漏风率计算

6.3.1 风筒漏风量按式(16)进行计算:

$$\Delta q_m = |q_{m进} - q_{m出}| \dots\dots\dots (16)$$

6.3.2 正压风筒漏风率按式(17)进行计算:

$$K = \frac{\Delta q_m}{q_{m进}} \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

6.3.3 负压风筒漏风率按式(18)进行计算:

$$K = \frac{\Delta q_m}{q_{m出}} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

6.3.4 百米[风筒]漏风率按式(19)进行计算。百米[风筒]漏风率测量不少于 3 次,取其算术平均值为结果值:

$$K_{100} = \frac{100K}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (19)$$

6.4 风筒风阻计算

6.4.1 风筒测量断面 A、B 之间的通风阻力按式(20)进行计算:

$$h = \Delta p_{AB} + \left(\frac{\rho v_{mA}^2}{2} - \frac{\rho v_{mB}^2}{2} \right) = \Delta p_{AB} + \left[\frac{1}{2\rho_A} \left(\frac{q_{mA}}{A_A} \right)^2 - \frac{1}{2\rho_B} \left(\frac{q_{mB}}{A_B} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (20)$$

式中:

Δp_{AB} ——测量断面 A、B 之间的静压差,单位为帕斯卡(Pa);

ρ_A 、 ρ_B ——测量断面的空气密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

v_{mA} 、 v_{mB} ——测量断面 A 处和 B 处的平均风速,单位为米每秒(m/s)。

测量断面 A、B 的截面积 A_A 、 A_B 分别按式(21)、式(22)进行计算:

$$A_A = \frac{\pi D_A^2}{4} \dots\dots\dots (21)$$

$$A_B = \frac{\pi D_B^2}{4} \dots\dots\dots (22)$$

测量断面 A 空气密度 ρ_A 按式(23)进行计算:

$$\rho_A = \frac{p_A}{R_w \theta_A} \dots\dots\dots (23)$$

测量断面 A 的静态温度 θ_A 按式(24)进行计算。其中 $c_p = 1\,008$ 。

$$\theta_A = t + 273.15 - \frac{q_{m进}^2}{2A_A^2 \rho_A^2 c_p} \dots\dots\dots (24)$$

测量断面 B 空气密度 ρ_B 按式(25)进行计算:

$$\rho_B = \frac{p_B}{R_w \theta_B} \dots\dots\dots (25)$$

测量断面 B 的静态温度 θ_B 按式(26)进行计算。其中 $c_p=1\ 008$ 。

$$\theta_B=t+273.15-\frac{q_{m出}^2}{2A_B^2\rho_B^2c_p} \dots\dots\dots(26)$$

6.4.2 风筒测量断面间的风阻按式(27)进行计算：

$$R_{AB}=\frac{h}{q_{VA}q_{VB}} \dots\dots\dots(27)$$

测量断面 A、B 风流的容积流量 q_{VA} 、 q_{VB} 分别按式(28)、式(29)进行计算：

$$q_{VA}=\frac{q_{m进}}{\rho_A} \dots\dots\dots(28)$$

$$q_{VB}=\frac{q_{m出}}{\rho_B} \dots\dots\dots(29)$$

6.4.3 百米[风筒]风阻按式(30)进行计算。百米[风筒]风阻各参数测量不少于 3 次，取其算术平均值为结果值。

$$R_{100}=\frac{100R_{AB}}{L_{AB}} \dots\dots\dots(30)$$

6.4.4 百米[风筒]标准风阻按式(31)进行计算：

$$R_s=\frac{1.20R_{100}}{\rho_A+\rho_B}\times 2 \dots\dots\dots(31)$$
