

JJF (浙)

浙江省地方计量技术规范

JJF (浙) ××××—2018

风量仪校准规范

Calibration Specification for Air Flowrate Meters

(报批稿)

2018-××-×× 发布

2018-××-×× 实施

浙江省质量技术监督局 发布

# 风量仪校准规范

Calibration Specification for Air  
Flowrate Meters

JJF(浙)XXXX—2018

本规范经浙江省质量技术监督局于 2018 年 XX 月 XX 日批准，并自 2018 年 XX 月 XX 日起施行。

归口单位：浙江省质量技术监督局

主要起草单位：杭州神州洁净空气检测有限公司  
中国计量大学

参加起草单位：杭州九源基因工程有限公司

本规范委托杭州神州洁净空气检测有限公司负责解释

**本规范主要起草人：**

姚蒙迪（杭州神州洁净空气检测有限公司）

赵伟国（中国计量大学）

王利超（杭州神州洁净空气检测有限公司）

**参加起草人：**

黄 鑫（杭州神州洁净空气检测有限公司）

胡京阳（杭州神州洁净空气检测有限公司）

管圣通（杭州神州洁净空气检测有限公司）

沈 航（杭州九源基因工程有限公司）

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语和计量单位 .....	( 1 )
3.1 术语 .....	( 1 )
3.2 计量单位 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
5 计量特性 .....	( 2 )
5.1 测量范围 .....	( 2 )
5.2 示值误差 .....	( 2 )
6 校准条件 .....	( 2 )
6.1 环境条件 .....	( 2 )
6.2 测量设备 .....	( 3 )
7 校准项目和校准方法 .....	( 3 )
7.1 校准项目 .....	( 4 )
7.2 校准方法 .....	( 4 )
8 校准结果表达 .....	( 4 )
9 复校时间间隔 .....	( 5 )
附录 A 风量仪校准证书内页参考格式 .....	( 6 )
附录 B 风量仪原始记录参考格式 .....	( 7 )
附录 C 标准风量值计算 .....	( 8 )
附录 D 测量结果不确定度评定示例 .....	( 11 )
附录 E 标准孔板参数 .....	( 18 )
附录 F 风量标准装置标准状态风量换算到实际工况的方法 .....	( 19 )

# 引 言

本规范按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的要求，结合我省风量仪及其风量标准装置的生产、使用和校准现状编制而成。

本规范所用术语，除了在本规范中定义外，均采用 JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1004《流量计量名词术语及定义》。

本规范附录中给出的测量结果不确定度评定示例依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》规定的方法进行。

本规范为首次制定。

# 风量仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于测量范围在（100~3500）m<sup>3</sup>/h的风量仪的校准。

## 2 引用文件

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，应注明最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 术语

JJF 1001 和 JJF 1004 界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

#### 3.1.1 风量 air flow

单位时间内气体的流通量，即管道、出风口或其他气体装置单位时间送出或吸入的空气总体积，用于表明通风设备或鼓风机的送风或排风能力。

#### 3.1.2 风量仪 air flowrate meter

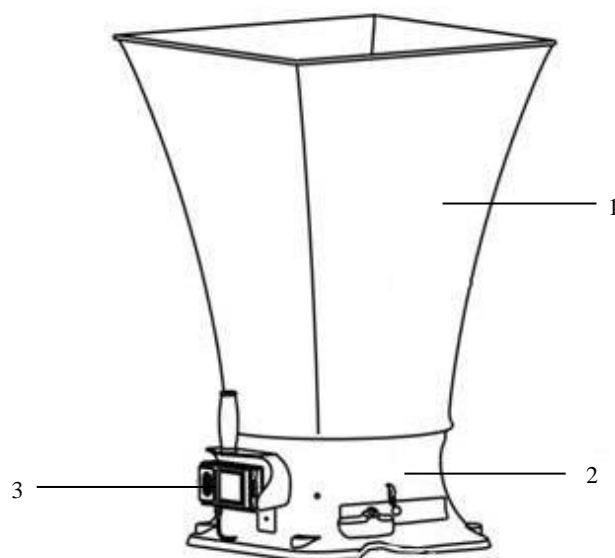
一种用来测量低压通风管道通往大气风口风量的仪器。

### 3.2 计量单位

风量使用的单位为立方米每小时，符号为 m<sup>3</sup>/h。

## 4 概述

风量仪主要由主机、测量底座和风罩三部分组成，如图 1 所示。



1—主机；2—测量底座；3—风罩

图 1 风量仪结构示意图

风量仪的主机由传感器和显示仪表组成，传感器安装于测量底座内，可采用皮托静压管或热敏风速探头。风罩的尺寸可根据待测风口尺寸选择不同规格。

风量仪的测量原理是通过传感器测得流过测量底座截面的空气流速，与底座截面积相乘，计算得到风量。风量仪广泛应用于暖通空调、净化技术及医药等行业通风管道气体流通量的测量。

## 5 计量特性

### 5.1 测量范围

### 5.2 示值误差

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

校准工作应在以下环境中进行：

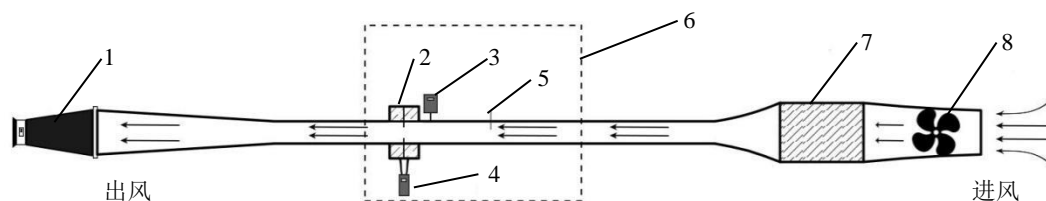
- 环境温度：(15~25) °C；
- 相对湿度：不大于 75%；
- 大气压力：(950~1060) hPa；
- 避免环境气流对风量仪形成明显干扰。

### 6.2 测量设备

校准风量仪所使用的测量设备为风量标准装置，主要设备组成见表 1。风量标准装置主要由风量测量装置、风量发生及控制装置和试验管道三部分构成，如

图 2 所示。

风量测量装置的测量标准器可选用差压式流量计（如标准孔板，附录 E 给出了一组典型参数）和速度式流量计（如气体涡轮流量计、气体超声波流量计）等标准流量计。



1—被检风量仪；2—标准流量计；3—绝压计；4—差压计（与标准孔板配套使用）；  
5—温度计；6—风量测量装置；7—整流器；8—风机

图 2 风量标准装置示意图

表 1 测量设备组成

分类	名称	测量范围	主要技术指标
测量标准器	标准流量计	(100~3500) m <sup>3</sup> /h	不确定度优于风量标准装置合成不确定度
配套设备	风管	/	节流装置的前后直管段需要保证节流装置前 10D 后 5D
	温度计	(0~50) °C	最大允许误差: ±0.20°C
	湿度计	(0~90) %RH	最大允许误差: ±5%RH
	绝压计	(87~110) kPa	0.1 级

风量标准装置的风量测量扩展不确定度应不大于被校风量仪最大允许误差绝对值的 1/3。风量发生及控制装置应能达到校准所需的风量，风量波动应不大于测量值的 1%。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

风量仪的校准项目为示值误差。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观检查

用目测的方法检查风量仪的外观，并记录风量仪的产品名称、型号、制造厂名（或厂标）、出厂编号、制造日期和主要技术指标。目测检查取压管上的取压



孔应清洁无堵塞，热敏探头等风量传感器应无污染，连接支架和支杆应无损，风罩应完整无损，与测量底座配合紧密。

检查供电电源应符合风量仪正常工作要求，风量仪通电后，操作面板按键应能正常工作，显示器能正常清晰地显示读数。

### 7.2.2 校准准备

a) 将待校风量仪进风口与风量标准装置出风口对接并确保气密性。

b) 将风量仪开机预热，查看仪器参数设置，确定其参数及测量模式等信息准确。

### 7.2.3 校准点选择

校准点一般在测量范围内均匀选择包括上限值和下限值在内的至少 5 个点。用户有要求时，可按用户要求选择校准点。

### 7.2.4 示值误差校准

a) 开启风量标准装置的电源，在无风状态下将风量标准装置置零。

b) 将风量标准装置的风量值调节到校准点上，实际风量与设定风量的偏差应不超过±5%。待风量稳定 2min 后，先读取风量标准装置的示值  $Q_{Si}$ ，再读取风量仪示值  $Q_i$ ，循环读取 6 组读数，并计算 6 组读数的平均值  $\bar{Q}_s$ 、 $\bar{Q}$ 。当测量模式为实际工况风量时， $\bar{Q}_s$  应换算到与  $\bar{Q}$  相同的状态。如果  $\bar{Q}_s$  为标准状态的值，应按照附录 F 的方法将标准状态换算到实际工况。

附录 C 给出了测量标准器采用标准孔板时的标准风量计算方法。

根据公式 (1) 计算示值误差。

$$\Delta Q = \bar{Q} - \bar{Q}_s \quad (1)$$

式中：

$\Delta Q$ —校准点风量示值误差，m<sup>3</sup>/h；

$\bar{Q}$ —校准点风量仪示值的算术平均值，m<sup>3</sup>/h；

$\bar{Q}_s$ —校准点风量标准装置示值的算术平均值，m<sup>3</sup>/h。

## 8 校准结果表达

经校准的风量仪发放校准证书，校准证书内页格式见附录 A。上述校准结果信息外，校准证书至少还应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及页码数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术方法的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准方法的偏离的说明；
- n) 校准证书或报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

## 9 复校时间间隔

风量仪的校准周期一般不超过 1 年。更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时，应重新校准。

## 附录 A

## 风量仪校准证书内页参考格式

证书编号:

校准的环境条件:

温度:\_\_\_\_\_℃; 相对湿度:\_\_\_\_\_%; 大气压力:\_\_\_\_\_hPa

校准结果:

校准点 (m <sup>3</sup> h)	标准风量值 (m <sup>3</sup> h)	被校仪器示值 (m <sup>3</sup> h)	示值误差 (m <sup>3</sup> h)	扩展不确定度 (k=2)(m <sup>3</sup> h)

## 附录 B

## 风量仪原始记录参考格式

委托方: \_\_\_\_\_ 地址: \_\_\_\_\_ 制造单位: \_\_\_\_\_

型号/规格: \_\_\_\_\_ 编号: \_\_\_\_\_ 量程: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/h 校准地点: \_\_\_\_\_

环境条件: 温度: \_\_\_\_\_ °C 相对湿度: \_\_\_\_\_ % 大气压: \_\_\_\_\_ hPa

本次校准使用的测量设备: \_\_\_\_\_

校准依据: \_\_\_\_\_

外观和功能键检查:  正常  有缺陷

校准点 (m <sup>3</sup> /h)	测量值 (m <sup>3</sup> /h)						平均值 (m <sup>3</sup> /h)	示值 误差 (m <sup>3</sup> /h)	测量不确定 度 $U(k=2)$ (m <sup>3</sup> /h)
	1	2	3	4	5	6			
测量标准									
被校仪器									
测量标准									
被校仪器									
测量标准									
被校仪器									
测量标准									
被校仪器									
测量标准									
被校仪器									

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 校准日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

## 附录 C

## 标准风量值计算

采用节流装置（标准孔板）和差压计构成的风量标准装置，标准风量可由公式（C.1）计算：

$$Q_s = \frac{C\varepsilon}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_1}} \cdot 3600 \quad (\text{C.1})$$

式中：

$Q_s$ —标准风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$C$ —孔板流出系数，无量纲；

$\varepsilon$ —孔板可膨胀系数，无量纲；

$\beta$ —孔板的直径比（由公式（C.2）给出）；

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (\text{C.2})$$

式中：

$d$ —孔板的开孔直径；

$D$ —管道内径。

$\Delta P$ —差压， $\text{Pa}$ ；

$\rho_1$ —气体在上游取压孔处的密度，由公式（C.3）给出， $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

$$\rho_1 = \frac{M_a P_1}{RT} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \frac{\varphi_0 P_{sv}}{P_1} \right] \quad (\text{C.3})$$

式中：

$P_1$ —气体在孔板上游处的绝对压强， $\text{Pa}$ ；

$M_a$ —干空气摩尔质量， $0.0289635\text{kg}/\text{mol}$ ；

$T$ —风量标准装置测量段温度， $\text{K}$ ；

$R$ —通用气体常数， $8.31441\text{J}/(\text{mol K})$ ；

$M_v$ —水蒸气摩尔质量， $0.018015\text{kg}/\text{mol}$ ；

$\varphi_0$ —风量标准装置测量段相对湿度， $\%$ ；

$P_{sv}$ —空气温度为  $T$  时的饱和水蒸气分压力，见表 C.1，Pa。

表 C.1 不同温度下干空气密度与饱和水蒸气分压力表

空气温度/°C	干空气密度/kg/m <sup>3</sup>	饱和水蒸气分压力/kPa
0	1.293	0.611
1	1.288	0.657
2	1.284	0.705
3	1.279	0.757
4	1.275	0.813
5	1.270	0.872
6	1.265	0.935
7	1.261	1.001
8	1.256	1.072
9	1.252	1.147
10	1.248	1.227
11	1.243	1.312
12	1.239	1.402
13	1.235	1.497
14	1.230	1.598
15	1.226	1.704
16	1.222	1.817
17	1.217	1.937
18	1.213	2.063
19	1.209	2.196
20	1.205	2.337
21	1.201	2.486
22	1.197	2.643
23	1.193	2.808
24	1.189	2.983
25	1.185	3.167
26	1.181	3.361
27	1.177	3.564
28	1.173	3.779

表 C.1 不同温度下干空气密度与饱和水蒸气分压力表（续）

空气温度/℃	干空气密度/kg/m <sup>3</sup>	饱和水蒸气分压力/kPa
29	1.169	4.005
30	1.165	4.243
31	1.161	4.492
32	1.157	4.755
33	1.154	5.030
34	1.150	5.320
35	1.146	5.623

注 1：干空气密度表引用自《化工工艺设计手册》第四版上册表 21-10 干空气和饱和水蒸气含量表。

注 2：饱和水蒸气分压表引用自 GB/T6999-2010《环境试验用相对湿度查算表》表 6 纯水平面饱和水气压表。

## 附录 D

## 测量结果不确定度评定示例

(采用标准孔板和差压计组成的标准风量装置)

## D.1 被测对象

以分辨力为  $1\text{m}^3/\text{h}$ 、测量范围为  $(100\sim 3500)\text{m}^3/\text{h}$  的风量仪为例, 选用开孔直径为  $190.077\text{mm}$  的标准孔板节流装置及差压计组成的风量测量装置作为测量标准, 评定风量仪在校准点  $1000\text{m}^3/\text{h}$  时示值误差的测量不确定度。

## D.2 测量方法

将风量标准装置与被检风量仪连接, 启动标准风量装置, 将风量值调节到校准点上, 待风量稳定  $2\text{min}$  后, 读取风量标准装置和被检风量仪的风量显示值, 取 6 次读数的算术平均值作为测量结果并计算示值误差。

## D.3 测量模型

$$\Delta Q = \bar{Q} - \bar{Q}_s \quad (\text{D.1})$$

式中:

$\Delta Q$ —被检风量仪的示值误差,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$\bar{Q}$ —校准点风量仪示值的算术平均值,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$\bar{Q}_s$ —校准点风量标准装置示值的算术平均值,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

按公式 (D.2) 计算标准风量:

$$Q_s = \frac{C\varepsilon}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_1}} \cdot 3600 = k_Q C\varepsilon \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_1}} \quad (\text{D.2})$$

式中:

$Q_s$ —标准风量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$C$ —孔板流出系数, 无量纲;

$\varepsilon$ —孔板可膨胀系数, 无量纲;

$\beta$ —孔板的直径比 (由公式 (D.3) 给出);

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (\text{D.3})$$

式中:

$d$ —孔板的开孔直径, 此处  $d=190.077\text{mm}$ ;



$D$ —管道内径, 此处  $D=300.000\text{mm}$ 。

$\Delta P$ —差压, Pa;

$\rho_1$ —气体在上游取压孔处的密度, 由公式 (D.6) 给出,  $\text{kg/m}^3$ 。

$k_Q$ —流量常数, 大小取决于所采用的风量标准装置, 由公式 (D.4) 给出,  $(\text{m}^2 \text{ s})/\text{h}$ 。

$$k_Q = \frac{d^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} 3600\sqrt{2} = 157.73 (\text{m}^2 \text{ s})/\text{h} \quad (\text{D.4})$$

#### D.4 方差与灵敏度系数

$$u_c = c_Q^2 u^2(\bar{Q}) + c_{Q_s}^2 u^2(\bar{Q}_s) \quad (\text{D.5})$$

式中:

灵敏系数:  $c_Q = \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q} = 1$ ;  $c_{Q_s} = \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_s} = -1$ 。

$u(\bar{Q})$ —被检仪器引入的标准不确定度;

$u(\bar{Q}_s)$ —标准装置引入的标准不确定度。

#### D.5 测量不确定度的来源

被检仪器引入的标准不确定度  $u(\bar{Q})$ :

- (1) 被检仪器的分辨力引入的标准不确定度  $u_1(\bar{Q})$ ;
- (2) 示值波动引入的标准不确定度  $u_2(\bar{Q})$ ;

标准装置引入的标准不确定度  $u(\bar{Q}_s)$ :

- (1) 孔板流出系数引入的相对标准不确定度  $u_r(C)$ ;
- (2) 膨胀系数引入的相对标准不确定度  $u_r(\varepsilon)$ ;
- (3) 数字差压计引入的相对标准不确定度  $u_r(\Delta P)$ ;
- (4) 气体密度引入的相对标准不确定度  $u_r(\rho_1)$ ;
- (5) 风量波动引入的相对标准不确定度  $u_r(w)$ 。

#### D.6 测量不确定度的评定

##### D.6.1 被检仪器引入的标准不确定度 $u(\bar{Q})$

D.6.1.1 被检仪器的分辨力引入的标准不确定度  $u_1(\bar{Q})$ 

被检风量仪的读数分辨力为  $1\text{m}^3/\text{h}$ ，半开区间为  $0.5\text{m}^3/\text{h}$ ，考虑为均匀分布计算：

$$u_1(\bar{Q}) = \frac{0.5\text{m}^3/\text{h}}{\sqrt{3}} = 0.29\text{m}^3/\text{h}$$

D.6.1.2 示值波动引入的标准不确定度  $u_2(\bar{Q})$ 

用 A 类标准不确定度评定。以校准点  $1000\text{m}^3/\text{h}$  为例，风量标准装置与被校风量仪连接，启动风量标准装置调整到校准点，待风量稳定  $2\text{min}$  后，读取风量标准装置和被校风量仪的风量显示值，共读取 10 组，测量值及计算结果见表 D.1。

表 D.1 测量及计算结果(单位： $\text{m}^3/\text{h}$ )

组数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准风量值 $Q_s$	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
被校风量仪 风量示值 $Q$	1010	1012	1015	1014	1010	1012	1012	1015	1013	1011
差值 $\Delta Q$	10	12	15	14	10	12	12	15	13	11
$\overline{\Delta Q} = 12.4\text{m}^3/\text{h}$										
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Q_i - \overline{\Delta Q})^2}{n-1}} = 1.84\text{m}^3/\text{h}$										

由实际校准过程中每次读数 6 次可得：

$$u_2(\bar{Q}) = \frac{1.84\text{m}^3/\text{h}}{\sqrt{6}} = 0.76\text{m}^3/\text{h}$$

D.6.1.3 被检仪器引入的标准不确定度  $u(\bar{Q})$  合成计算

分辨力引入的标准不确定度和示值波动引入的标准不确定度互相独立，互不相关，因此被检仪器的合成标准不确定度为：

$$u(\bar{Q}) = \sqrt{u_1^2(\bar{Q}) + u_2^2(\bar{Q})} = 0.82\text{m}^3/\text{h}$$

D.6.2 标准装置引入标准不确定度  $u(Q_s)$

D.6.2.1 孔板流出系数引入的相对标准不确定度  $u_r(C)$ 

对于标准孔板, 如果不考虑直径比  $\beta$ 、管道内径  $D$ 、雷诺数  $Re$  和相对粗糙度  $K/D$  其中,  $K$  为管道等效绝对粗糙度的不确定度的情况下, 流出系数  $C$  的相对标准不确定度:

当  $\beta \leq 0.60$  时,  $\delta C/C = 0.6\%$ ;

当  $0.60 < \beta \leq 0.75$  时,  $\delta C/C = \beta\%$ 。

实际测量中  $d = 0.190077\text{m}$ ,  $D = 0.300\text{m}$ , 由此  $\beta = 0.63359$

$$u_r(C) = 0.634\%$$

D.6.2.2 膨胀系数引入的相对标准不确定度  $u_r(\varepsilon)$ 

如果不考虑直径比  $\beta$ 、压力比  $\Delta P/P_1$  和等熵指数  $\kappa$  的不确定度, 则可膨胀系数的标准不确定度:

$$u_r(\varepsilon) = \frac{4\Delta P}{P_1} \%$$

实际测量的平均差压值为  $\Delta P = 121\text{Pa}$ ,  $P_1 = 102504\text{Pa}$ , 则  $u_r(\varepsilon) = 0.005\%$ 。

D.6.2.3 数字差压计引入的相对标准不确定度  $u_r(\Delta P)$ 

差压主要由数字差压计进行测量, 其准确度等级为 0.1 级, 考虑为均匀分布, 测量范围 (0~2000) Pa, 引入的相对标准不确定度:

$$u_r(\Delta P) = \frac{0.1\% \times 2000\text{Pa}}{\sqrt{3} \times 121\text{Pa}} = 0.955\%$$

D.6.2.4 气体密度引入的相对标准不确定度  $u_r(\rho_1)$ 

空气密度的计算公式:

$$\rho_1 = \frac{M_a P_1}{RT} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \frac{\varphi_o P_{sv}}{P_1} \right] \quad (\text{D.6})$$

式中:

$P_1$ —气体在孔板上游处的绝对压强, Pa;

$M_a$ —干空气摩尔质量, 0.0289635kg/mol;

$T$ —风量标准装置测量段温度, K;

$R$ —通用气体常数, 8.31441J/(mol K) ;

$M_v$ —水蒸气摩尔质量, 0.018015kg/mol;

$\varphi_o$ —风量标准装置测量段相对湿度, %;

$P_{sv}$ —空气温度为  $T$  时的饱和水蒸气分压力 (见表 C.1), Pa。

由上所述可得湿空气密度:

$$\rho_1 = 3.484 \times 10^{-3} \frac{P_1 - 0.378 \varphi_o P_{sv}}{T}$$

对湿空气密度的合成相对标准不确定度为:

$$u_r(\rho_1) = \sqrt{c_{r1}^2 u_r^2(P_1) + c_{r2}^2 u_r^2(T) + c_{r3}^2 u_r^2(\varphi_o)}$$

对湿空气密度的合成相对标准不确定度估计为矩形分布, 因此包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 实际测量得到管道内标准孔板气体平均压强  $P_1 = 102504 \text{ Pa}$ , 温度  $T = 293.15 \text{ K}$ , 该温度下饱和水蒸气分压力  $P_{sv} = 2337 \text{ Pa}$ , 湿度  $\varphi_o = 64.4\% \text{ RH}$ ; 同时已知气压计测量范围 (87~110) kPa, 0.1 级; 温度计测量范围 (0~50) °C,  $\pm 0.20 \text{ °C}$ ; 湿度计其最大允许误差满足相对湿度  $\pm 5\%$ 。

则各个灵敏度系数、相对标准不确定度分量为:

$$\begin{aligned} c_{r1} &= \frac{P_1}{\rho_1} \frac{\partial \rho_1}{\partial P_1} = \frac{P_1}{P_1 - 0.378 \varphi_o P_{sv}} = 1.006 & u_r(P_1) &= \frac{0.1\% \times 110000 \text{ Pa}}{\sqrt{3} \times 102504 \text{ Pa}} = 0.062\%; \\ c_{r2} &= \frac{T}{\rho_1} \frac{\partial \rho_1}{\partial T} = -1 & u_r(T) &= \frac{0.2}{\sqrt{3} \times 293.15} = 0.040\%; \\ c_{r3} &= \frac{\varphi_o}{\rho_1} \frac{\partial \rho_1}{\partial \varphi_o} = \frac{-0.378 \varphi_o P_{sv}}{P_1 - 0.378 \varphi_o P_{sv}} = -5.582 \times 10^{-3} & u_r(\varphi_o) &= \frac{5\%}{\sqrt{3} \times 64.4\%} = 4.5\%。 \end{aligned}$$

可得空气密度相对标准不确定度:

$$u_r(\rho_1) = \sqrt{c_{r1}^2 u_r^2(P_1) + c_{r2}^2 u_r^2(T) + c_{r3}^2 u_r^2(\varphi_o)} = 0.079\%$$

#### D.6.2.5 风量波动引入的相对标准不确定度为 $u_r(w)$

风量波动对校准结果的影响为 1%, 其半宽区间为 0.5%, 考虑为均匀分布, 引入的相对标准不确定度为:

$$u_r(w) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%$$

#### D.6.2.6 标准装置引入的标准不确定度 $u(\overline{Q_s})$ 合成计算

由于实测风量是通过间接测量得到的，差压计、标准孔板和用于测量流场温度、湿度和绝压的仪器测量不确定度都影响风量测量的结果，并且与风量波动引入的标准不确定度互相独立，互不相关。根据风量的公式：

$$Q_s = 157.73 \cdot C \varepsilon \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_1}}$$

风量公式为乘积形式，因此标准装置的合成相对标准不确定度为：

$$u_r(\bar{Q}_s) = \sqrt{u_r^2(C) + u_r^2(\varepsilon) + \frac{1}{4}u_r^2(\Delta P) + \frac{1}{4}u_r^2(\rho_1) + u_r^2(w)} = 0.847\%$$

在  $Q_s=1000\text{m}^3/\text{h}$  时，得到标准不确定度  $u(Q_s) = u_r(Q_s) \cdot Q_s = 8.47\text{m}^3/\text{h}$ 。

## D.7 合成标准不确定度

### D.7.1 标准不确定度分量一览表见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源 $u_x$		灵敏系数 $c$	$ c  u_x$	
被检仪器的标准 不确定度 $u(\bar{Q})$	被检仪器的分辨力引入 的标准不确定度 $u_1(\bar{Q})$	1	0.29m <sup>3</sup> /h	0.82m <sup>3</sup> /h
	示值波动引入的标准不 确定度 $u_2(\bar{Q})$		0.76m <sup>3</sup> /h	
标准装置引入的 标准不确定度 $u(\bar{Q}_s)$	孔板流出系数引入的相 对标准不确定度 $u_r(C)$	-1	0.634%	8.46m <sup>3</sup> /h
	膨胀系数引入的相对标 准不确定度 $u_r(\varepsilon)$		0.005%	
	数字微压计引入的相对 标准不确定度 $u_r(\Delta P)$		0.955%	
	气体密度引入的相对标 准不确定度 $u_r(\rho_1)$		0.079%	
	风量波动引入的相对标 准不确定度 $u_r(w)$		0.289%	

### D.7.2 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{c_Q^2 u^2(\bar{Q}) + c_{Q_s}^2 u^2(\bar{Q}_s)} = 8.50 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### D.8 扩展不确定度的计算

取包含因子  $k=2$ ，则在  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  的风量校准点时，扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 17 \text{ m}^3/\text{h} \quad (k=2)$$

## 附录 E

## 标准孔板参数

标准孔板设计应符合 GB/T2624.2-2006《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 2 部分：孔板》要求。表 E.1 为一组典型标准孔板参数。

表 E.1 典型标准孔板参数

管道直径 $D(\text{mm})$	开孔直径 $d(\text{mm})$	流出系数 $C$	风量范围 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
300	$32.197 \pm 0.020$	0.600469	20~100
300	$62.410 \pm 0.030$	0.600023	50~350
300	$132.956 \pm 0.070$	0.604158	250~1750
300	$190.041 \pm 0.100$	0.608030	550~3850
300	$224.999 \pm 0.110$	0.599965	550~4250

## 附录 F

## 风量标准装置标准状态风量换算到实际工况的方法

F.1 标准状况与实际工况的风量换算公式为：

$$Q_n = F \times Q_a$$

式中：

$Q_n$ —实际工况下的风量， $m^3/h$ ；

$Q_a$ —标准状态下的风量， $m^3/h$ ；

$F$ —修正系数。

注：此处标准状况定义为温度 20℃，大气压 1.013×105Pa。

F.2 标准流量计采用差压式流量计时修正系数  $F$  计算如下：

$$F = \sqrt{\frac{(273.15+t) \times 101.3}{293.15 \times (P_1 - 0.378 \varphi_o P_{sv})}}$$

式中：

$P_1$ —风量标准装置测量段大气压，kPa；

$\varphi_o$ —风量标准装置测量段相对湿度，%；

$P_{sv}$ —空气温度为  $t$ ℃时的饱和水蒸气分压力，kPa；

$t$ —风量标准装置测量段温度，℃。

F.3 标准流量计采用速度式流量计时修正系数  $F$  计算如下：

$$F = \frac{(273.15+t) \times 101.3}{293.15 \times (P_1 - 0.378 \varphi_o P_{sv})}$$

式中：

$P_1$ —风量标准装置测量段大气压，kPa；

$\varphi_o$ —风量标准装置测量段相对湿度，%；

$P_{sv}$ —空气温度为  $t$ ℃时的饱和水蒸气分压力，kPa；

$t$ —风量标准装置测量段温度，℃。