



中华人民共和国工业和信息化部  
纺织计量技术规范

JJF(纺织) 110—2023

通气阻力测试仪校准规范

Calibration Specification for Airflow Resistance Testers

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 通气阻力测试仪校准规范

Calibration Specification for  
Airflow Resistance Testers

JJF（纺织） 110—2023

归口单位：中国纺织工业联合会

主要起草单位：浙江省轻工业品质检验研究院

浙江省计量科学研究院

中纺标检验认证股份有限公司

江西省检验检测认证总院纺织品检验检测院

国家纺织计量站上海分站

江苏省纺织产品质量监督检验研究院

温州方圆仪器有限公司

本规范委托全国纺织计量技术委员会负责解释

**本规范起草人：**

叶翔宇（浙江省轻工业品质质量检验研究院）

胡朋兵（浙江省计量科学研究院）

张彤（江苏省纺织产品质量监督检验研究院）

胡有杰（浙江省轻工业品质质量检验研究院）

潘孙强（浙江省计量科学研究院）

王涛（江西省检验检测认证总院纺织品检验检测院）

刘素梅（浙江省计量科学研究院）

王金平（中纺标检验认证股份有限公司）

严杰（国家纺织计量站上海分站）

徐华东（温州方圆仪器有限公司）

# 目录

引言.....（Ⅱ）

1 范围.....（1）

2 引用文件.....（1）

3 术语.....（1）

4 概述.....（1）

5 计量特性.....（2）

6 校准条件.....（2）

7 校准项目和校准方法.....（3）

7.1 校准前准备.....（3）

7.2 校准项目.....（3）

7.3 校准方法.....（3）

8 校准结果表达.....（5）

9 复校时间间隔.....（5）

附录A通气阻力测试仪校准原始记录参考格式.....(6)

附录B 通气阻力测试仪校准证书(内页)参考格式.....(8)

附录C 通气阻力测试仪测量不确定度评定示例.....(9)

# 引 言

本规范是以 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范技术指标参考了 YY0469—2011《医用外科口罩》和 YY/T0969—2013《一次性使用医用口罩》。

本规范为首次发布。

# 通气阻力测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于通气阻力测试仪以及口罩气流压力差测试仪、口罩气体交换压力测试仪和口罩气体交换压力差测试仪的校准,其他原理相同、结构类似仪器的校准可参照本规范执行。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

GB/T8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

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,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

## 3 术语

### 3.1 通气阻力 (airflow resistance)

口罩在规定面积和规定流量下的阻力,用每平方厘米面积的压力差值表示。通气阻力计算公式如下:

$$M = \frac{\Delta P}{S}$$

式中:

$M$  —— 通气阻力,单位:  $\text{Pa}/\text{cm}^2$ ;

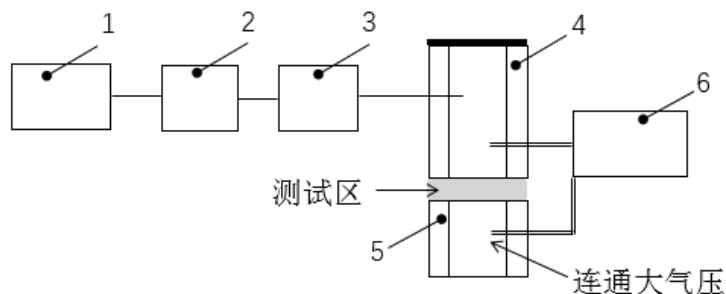
$\Delta P$  —— 口罩两侧压力差,单位:  $\text{Pa}$ ;

$S$  —— 样品测试区面积,  $S = 4.9 \text{ cm}^2$ 。

## 4 概述

通气阻力测试仪用于测量口罩两侧进行气体交换的通气阻力,主要由气压发生装置、流量调节阀、气体流量计、试样夹具和差压计等部件组成,见图 1。

工作原理：使用试样夹具夹持测试样品，以恒定气体流量通过规定面积测试样品，使用压差计测量并显示测试样品两侧差力压，或者使用压差计测量测试样品两侧压力差后并与样品测试区面积相比，计算并显示测试样品通气阻力，以此来衡量口罩两侧气体交换的通气阻力性能。



说明：

- 1——气压发生装置
- 2 ——流量调节阀
- 3——气体流量计
- 4 ——试样夹具（上夹持器）
- 5——试样夹具（下夹持器）
- 6 ——差压计

图 1 通气阻力测试仪结构示意图

## 5 计量特性

- 5.1 上/下夹持器内径：（ $25.0 \pm 0.2$ ）mm；
- 5.2 气体流量：（ $8 \pm 0.2$ ）L/min；
- 5.3 压力差示值误差： $\pm 5$ Pa；
- 5.4 通气阻力示值误差： $\pm 1$  Pa/cm<sup>2</sup>。

注：以上指标不适用于仪器设备的合格性判定，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

- 6.1.1 温度：（ $23 \pm 5$ ）℃。
- 6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。
- 6.1.3 其他条件：通气阻力测试仪安装于稳固的水平基础上，周围环境应无气压及温湿度急剧变化，无腐蚀性介质，无气流干扰，无影响使用的震源。

### 6.2 标准器及配套设备

标准器及配套设备见表 1。

表 1 主要标准器及配套设备

序号	标准器名称	测量范围、分度值或分辨力	准确度等级/最大允许误差/不确定度	数量
1	气体流量计	测量范围: (5~10) L/min 分辨力: 0.01 L/min	MPE: $\pm 0.5\%$	1
2	差压 数字压力计	测量范围: (-1000~1000) Pa 分辨力: 0.1 Pa	0.05 级	1
3	卡尺	测量范围: (0~150) mm 分度值: 0.02 mm	MPE: $\pm 0.03$ mm	1
注 1: 主要测量标准及设备可选用本表所列, 也可选用其他引入的测量不确定度 $U(k=2)$ 不大于被校量的最大允许误差 1/3 的测量设备。				

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前准备

7.1.1 通气阻力测试仪应在适当部位装有铭牌, 铭牌上需标明型号、制造厂、设备编号等信息。

7.1.2 通气阻力测试仪电源部分应安全可靠, 机器应接地可靠。

7.1.3 各管路连接和控制阀门状态应正常, 无漏气; 夹持器动作顺畅无卡滞, 上下夹持面平整、夹持可靠, 无漏气。

7.1.4 上、下夹持器圆筒应对齐, 不应有偏离。

7.1.5 通气阻力测试仪在运行过程中, 整机应保持平稳, 不应有抖动、移位等强烈震动现象。

### 7.2 校准项目

通气阻力测试仪校准项目对应本规范计量特性条款和校准方法条款见表 2。

表 2 通气阻力测试仪校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	上/下夹持器内径	5.1	7.3.1
2	气体流量	5.2	7.3.2
3	压力差示值误差	5.3	7.3.3
3	通气阻力示值误差	5.4	7.3.4
注: 根据被校准通气阻力测试仪的功能和客户要求选择校准项目。			

### 7.3 校准方法



### 7.3.1 上/下夹持器内径

在试样夹具上/下夹持器圆筒上任取两个相互垂直的校准点,用卡尺直接测量上/下夹持器圆筒两个校准点内侧之间最大距离,两个校准点测量结果的算术平均值为上/下夹持器内径;校准点不变,重复测量3次,取其算术平均值作为试样夹具上/下夹持器内径测量结果。

### 7.3.2 气体流量

将气体流量计与夹持器连接气管相连接,与被校仪器气体流量计形成串联。流量校准点为8L/min。启动测试,待被校仪器运行稳定后,同时记录气体流量计实测值和被校仪器流量示值,重复测量3次,取其算术平均值作为测量结果,根据公式(1)计算气体流量示值误差 $\Delta q$ 。

$$\Delta q = \overline{q_m} - \overline{q_s} \quad (1)$$

式中:

$\Delta q$  —— 气体流量示值误差,单位:L/min;

$\overline{q_m}$  —— 被校仪器流量示值3次测量算术平均值,单位:L/min;

$\overline{q_s}$  —— 气体流量计流量实测值3次测量算术平均值,单位:L/min。

### 7.3.3 压力差示值误差

压力差校准点的选择宜包含但不限于100Pa、200Pa、300Pa、400Pa和500Pa。

将被校仪器差压计测压端与差压数字压力计(以下简称差压计)高压端并联后与上夹持器测压端连接,被校仪器差压计大气端与差压计低压端连通大气。在上、下夹持器之间夹持测试样品进行测试,通过选择不同测试样品调节差压计实测值至压力差校准点附近,稳定后同时记录被校仪器压力差示值和差压计实测值。按上述方法,重复测量3次,取其算术平均值作为测量结果,根据公式(2)计算压力差示值误差 $\delta P$ 。

$$\delta P = \overline{\Delta P_m} - \overline{\Delta P_s} \quad (2)$$

式中:

$\delta P$  —— 压力差示值误差,单位:Pa;

$\overline{\Delta P_m}$  —— 被校仪器压力差示值3次测量算术平均值,单位:Pa;

$\overline{\Delta P_s}$  —— 差压计实测值3次测量算术平均值,单位:Pa。

### 7.3.4 通气阻力示值误差

按 7.3.3 校准方法同时记录被校仪器通气阻力示值和差压计实测值,重复测量 3 次,根据公式 (3) 计算通气阻力示值误差  $\delta M$ 。

$$\delta M = \overline{M_m} - \frac{\overline{\Delta P_s}}{S} \quad (3)$$

式中:

$\delta M$  —— 通气阻力示值误差, 单位: Pa/cm<sup>2</sup>;

$\overline{M_m}$  —— 被校仪器通气阻力示值 3 次测量算术平均值, 单位: Pa/cm<sup>2</sup>;

$\overline{\Delta P_s}$  —— 差压计实测值 3 次测量算术平均值, 单位: Pa;

$S$  —— 样品测试区面积,  $S = 4.9 \text{ cm}^2$ 。

## 8 校准结果表达

### 8.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果。数据修约按 GB/T 8170 执行,末位数修约到被校通气阻力测试仪各参数最大允许误差绝对值的 1/10 位。推荐的校准记录格式见附录 A。

### 8.2 校准证书

经校准的通气阻力测试仪应出具校准证书,校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求,推荐的校准证书内页格式见附录 B。

### 8.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目测量结果的扩展不确定度,评定示例见附录 C。

## 9 复校时间间隔

在定期进行期间核查的条件下,建议复校时间间隔一般不超过 1 年。

注: 由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的,因此,送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 通气阻力测试仪校准原始记录参考格式

委托方： 设备编号： 原始记录号：  
 型号规格： 产品编号： 出厂日期： 发证编号：  
 制造厂： 温度： ℃湿度： %RH  
 校准日期： 年 月 日 校准地点：  
 校准依据：JJF（纺织）110—2023 通气阻力测试仪校准规范  
 使用主要计量标准器具

标准器名称	测量范围	证书号	有效期	准确度等级/最大允许误差/不确定度

一、校准前准备： ☐ 工作正常 ☐ 工作不正常，不正常情况：

二、计量特性校准：

## 2.1 上/下夹持器内径

## (1) 上夹持器内径

测量次数	上夹持器内径校准点		上夹持器内径 (mm)	上夹持器内径平均值 (mm)	扩展不确定度 $U(k=2)$
	第 1 校准点	第 2 校准点			
1					
2					
3					

## (2) 下夹持器内径

测量次数	下夹持器内径校准点		下夹持器内径 (mm)	下夹持器内径平均值 (mm)	扩展不确定度 $U(k=2)$
	第 1 校准点	第 2 校准点			
1					
2					
3					

## 2.2 流量示值误差

流量校准点 8 L/min	测量次数			平均值 (L/min)	示值误差 (L/min)	扩展不确定度 $U(k=2)$
	1	2	3			
气体流量计实测值						
被校仪器流量示值						

## 2.3 压力差示值误差

差压计实测值 (Pa)			被校仪器压力差示值 (Pa)			差压计实测值 平均值 (Pa)	压力差示值 平均值 (Pa)	压力差 示值误差 (Pa)	扩展不确定度 $U(k=2)$
1	2	3	1	2	3				


## 2.4 通气阻力示值误差

差压计实测值 (Pa)			通气阻力示值 (Pa/cm <sup>2</sup> )			通气阻力标准 值 (Pa/cm <sup>2</sup> )	通气阻力示 值平均值 (Pa/cm <sup>2</sup> )	通气阻力示值 误差 (Pa/cm <sup>2</sup> )	扩展不确定 度 $U(k=2)$
1	2	3	1	2	3				

校准单位:

校准员:

审核员:

附录 B

通气阻力测试仪校准证书（内页）参考格式

校 准 结 果

证书编号：XXXXXXXX      原始记录编号：XXXXXXXX      第×页，共×页

校准项目	技术要求	校准结果	扩展不确定度 $U(k=2)$
上夹持器内径	$(25\pm0.2)\text{ mm}$		
下夹持器内径			
气体流量	$(8\pm0.2)\text{ L/min}$	流量示值： 示值误差：	
压力差示值误差	MPE：±5 Pa	校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
通气阻力示值误差	MPE：±1 Pa/cm <sup>2</sup>	校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	
		校准点： 示值误差：	

以下空白

## 附录 C

## 通气阻力测试仪测量不确定度评定示例

## C.1 上夹持器内径测量不确定度评定

## C.1.1 概述

用测量范围 (0~200) mm、分度值 0.02 mm、最大允许误差  $\pm 0.03$  mm 卡尺直接测量试样夹具上/下夹持器内径, 上/下夹持器内径为  $(25 \pm 0.2)$  mm。以上夹持器内径校准为示例。在试样夹具上夹持器圆筒上任取两个相互垂直的校准点, 用卡尺直接测量试样夹具圆筒两个校准点内侧之间最大距离, 两个校准点测量结果的算术平均值为上夹持器内径; 校准点不变, 重复测量 3 次, 取其算术平均值作为上夹持器内径测量结果。

## C.1.2 测量模型

$$L = \overline{L_s} \quad (\text{C.1.1})$$

式中:

$L$  —— 上夹持器内径, 单位: mm;

$\overline{L_s}$  —— 上夹持器圆筒上任意两个相互垂直校准点内侧之间最大距离的平均值, 单位: mm。

根据测量模型, 由于卡尺与通气阻力测试仪彼此独立, 互不相关, 因此, 上夹持器内径的标准不确定度由公式 (C.1.2) 计算:

$$u(L) = u(\overline{L_s}) \quad (\text{C.1.2})$$

## C.1.3 上夹持器内径测量不确定度来源

C.1.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{L_s})$ 

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。

用卡尺直接测量试样夹具上夹持器圆筒上任意两个相互垂直校准点内侧之间最大距离, 计算其算术平均值作为上夹持器内径; 重复测量 10 次, 得到一组数据 (单位: mm): 25.10、25.14、25.12、25.10、25.12、25.12、25.14、25.14、25.12、25.10。

测量平均值  $\overline{L_s}$  为:

$$\overline{L_s} = \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}}{n} = 25.12 \quad (\text{mm})$$

单次测量结果的实验标准偏差  $s$  为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{si} - \bar{L}_s)^2}{n-1}} = 0.016 \text{ (mm)}$$

在实际校准时,在重复性条件下连续测量 3 次 ( $n=3$ ),以 3 次上夹持器内径的测量算术平均值为测量结果,可得标准不确定度为:  $u_1(\bar{L}_s) = \frac{0.016}{\sqrt{3}} = 0.009 \text{ (mm)}$ 。

#### C.1.3.2 由卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\bar{L}_s)$

卡尺分度值为 0.02 mm,引起的标准不确定度属均匀分布,可采用 B 类方法评定。区间半宽度  $a=0.01\text{mm}$ ,假设在区间内服从均匀分布,包含因子  $k=\sqrt{3}$ ,则引入的标准不确定度  $u_2(\bar{L}_s)$  为:

$$u_2(\bar{L}_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ (mm)}$$

#### C.1.3.3 由卡尺示值误差引入的不确定度的分量 $u_3(\bar{L}_s)$

卡尺最大允许误差为  $\pm 0.03\text{mm}$ ,区间半宽度  $a=0.03\text{mm}$ ,认为在区间内服从均匀分布,包含因子  $k=\sqrt{3}$ ,故引入的不确定度为:

$$u_3(\bar{L}_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ (mm)}$$

由于在测量不确定度评定中,当重复性引入的标准不确定度分量大于被校仪器的分辨力引入的不确定度分量时,可以不考虑分辨力所引入的不确定度分量,故:

$$u(\bar{L}_s) = \sqrt{u_1(\bar{L}_s)^2 + u_3(\bar{L}_s)^2} = \sqrt{0.009^2 + 0.017^2} = 0.019 \text{ (mm)}$$

#### C.1.4 标准不确定度分量一览表

各分量的标准不确定度汇总如表 C.1.1 所示。

表 C.1.1 标准不确定度分量一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度 (mm)	备注
1	上夹持器内径测量重复性	$u_1(\bar{L}_s)$	A	正态	1	0.009	
2	上夹持器内径测量时卡尺分辨力	$u_2(\bar{L}_s)$	B	均匀	1	0.006	忽略
3	上夹持器内径测量时卡尺示值误差	$u_3(\bar{L}_s)$	B	均匀	1	0.017	

## C.1.5 上夹持器内径合成不确定度评定

$$u(L) = u(L_s) = 0.019 \text{ (mm)}$$

## C.1.6 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u(L) = 2 \times 0.019 \approx 0.04 \text{ (mm)}$$

## C.1.7 上夹持器内径测量结果不确定度的报告与表示

上夹持器内径测量的扩展不确定度为： $U = 0.04 \text{ mm}$ ， $k=2$ 。

## C.2 通气阻力测试仪流量示值误差测量不确定度评定

## C.2.1 概述

使用测量范围 (0.5~50) L/min、最大允许误差为  $\pm 0.5\%$ 、分辨力为 0.01 L/min 的气体流量计对被校仪器的气体流量进行校准，气体流量为  $(8 \pm 0.2) \text{ L/min}$ 。校准方法：将气体流量计与上夹持器连接气管相连接，与被校仪器气体流量计形成串联。流量校准点为 8 L/min。将流量设置为 8 L/min，启动测试，待被校仪器运行稳定后，同时记录气体流量计流量实测值和被校仪器流量示值，重复测量 3 次，根据公式 (C.2.1) 计算校准点的流量示值误差。

## C.2.2 测量模型

流量示值误差  $\Delta q$ ：

$$\Delta q = \overline{q_m} - \overline{q_s} \quad (\text{C.2.1})$$

式中：

$\overline{q_m}$  —— 被校仪器流量示值 3 次测量算术平均值，单位 L/min；

$\overline{q_s}$  —— 气体流量计流量实测值 3 次测量算术平均值，单位 L/min。

根据测量模型，标准不确定度分量间彼此独立、不相关，流量示值误差合成标准不确定度由公式 (C.2.2) 计算：

$$u_c^2 = u^2(\Delta q) = \left[ c_1 u(\overline{q_m}) \right]^2 + \left[ c_2 u(\overline{q_s}) \right]^2 \quad (\text{C.2.2})$$

式中，灵敏系数  $c_1 = \frac{\partial \Delta q}{\partial q_m} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta q}{\partial q_s} = -1$ 。

## C.2.3 流量示值误差标准不确定度来源



C.2.3.1 由被校仪器引入的标准不确定度  $u(\overline{q_m})$

C.2.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{q_m})$

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。

校准点为 8L/min, 重复测量 10 次, 得到一组测量结果, 如表 C.2.1 所示:

表 C.2.1 被校仪器流量重复性数据

流量 (L/min)	测量次数										平均值 (L/min)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
气体流量计实测值 $q_{si}$	8.04	8.01	8.02	8.03	8.04	8.02	8.01	8.03	8.02	8.02	8.02
被校仪器流量示值 $q_{mi}$	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

被校仪器流量示值平均值  $\overline{q_m}$  为:

$$\overline{q_m} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{mi}}{n} = 8.0 \text{ (L/min)}$$

单次测量结果的实验标准偏差  $s$  为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{mi} - \overline{q_m})^2}{n-1}} = 0 \text{ (L/min)}$$

因此, 测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u_1(\overline{q_m}) = 0 \text{ (L/min)}$$

C.2.3.1.2 被校仪器分辨力引入的标准不确定度  $u_2(\overline{q_m})$

被校仪器数显分度值为 0.1 L/min, 区间半宽度  $a = 0.05$  L/min, 假设在区间内服从均匀分布, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则引入的标准不确定度为:

$$u_2(\overline{q_m}) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.028 \text{ (L/min)}$$

因此,  $u(\overline{q_m}) = u_2(\overline{q_m}) = 0.028 \text{ (L/min)}$

C.2.3.2 由气体流量计引入的标准不确定度  $u(\overline{q_s})$

C.2.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{q_s})$

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。采用表 C.2.1 中的数据进行计算。

气体流量计流量实测值平均值 $\overline{q_s}$ 为:

$$\overline{q_s} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{si}}{n} = 8.02 \text{ (L/min)}$$

单次测量结果的实验标准偏差 $s$ 为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{si} - \overline{q_s})^2}{n-1}} = 0.011 \text{ (L/min)}$$

在实际校准时, 在重复性条件下连续测量 3 次( $n=3$ ), 以 3 次测量的算术平均值为测量结果, 可得标准不确定度为:

$$u_1(\overline{q_s}) = \frac{0.011}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ (L/min)}$$

#### C. 2. 3. 2. 2 气体流量计示值误差引入的标准不确定度 $u_2(\overline{q_s})$

气体流量计最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ , 流量实测值 $q_s$ 为 8.02 L/min, 最大允许误差为 $\pm 0.040$  L/min, 区间半宽度 $a=0.040$  L/min, 按均匀分布计算, 即包含因子 $k=\sqrt{3}$ , 故引入的标准不确定度为:

$$u_2(\overline{q_s}) = \frac{a}{k} = \frac{0.040}{\sqrt{3}} = 0.023 \text{ (L/min)}$$

#### C. 2. 3. 2. 3 气体流量计分辨力引入的标准不确定度 $u_3(\overline{q_s})$

气体流量计分辨力为 0.01 L/min, 则区间半宽度 $a = \frac{0.01}{2} = 0.005$  L/min, 假设为均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$ , 故由分辨力引起的不确定度为:

$$u_3(\overline{q_s}) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ (L/min)}$$

由于分辨力引入的标准不确定度小于测量重复性引入的标准不确定度, 因此, 忽略分辨力引入的标准不确定度。

$$u(\overline{q_s}) = \sqrt{[u_1(\overline{q_s})]^2 + [u_2(\overline{q_s})]^2} = 0.047 \text{ (L/min)}$$

#### C. 2. 3. 3 标准不确定度分量汇总

由于被校仪器与气体流量计彼此独立, 互不相关, 标准不确定度 $u(\overline{q_m})$ 和 $u(\overline{q_s})$ 也相互独立, 各分量的标准不确定度汇总如表 C. 2. 2 所示。

表 C.2.2 标准不确定度分量一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度 (L/min)	备注
1	被校仪器测量重复性	$u_1(\overline{q_m})$	A	正态	1	0	
2	被校仪器分辨力	$u_2(\overline{q_m})$	B	均匀	1	0.028	
3	气体流量计重复性	$u_1(\overline{q_s})$	A	正态	-1	0.006	
4	气体流量计示值误差	$u_2(\overline{q_s})$	B	均匀	-1	0.023	
5	气体流量计分辨力	$u_3(\overline{q_s})$	B	均匀	-1	0.003	忽略

## C.2.4 流量示值误差合成标准不确定度评定

$$u_c(\Delta q) = \sqrt{\left[u(\overline{q_m})\right]^2 + \left[-u(\overline{q_s})\right]^2} = \sqrt{(0.028)^2 + (-0.024)^2} = 0.037 \text{ (L/min)}$$

## C.2.5 扩展不确定度评定

取包含因子  $k=2$ ，所以： $U = k \times u_c(\Delta q) \approx 0.07 \text{ (L/min)}$

## C.2.6 流量示值误差测量不确定度报告与表示

流量示值误差的扩展不确定度  $U = 0.07 \text{ L/min}$ ， $k = 2$ 。

## C.3 压力差示值误差测量不确定度评定

## C.3.1 概述

用测量范围为  $(-1000 \sim 1000) \text{ Pa}$ 、准确度等级为 0.05 级、分辨力为 0.1Pa 的差压数字压力计（以下简称差压计）对被校仪器的压力差进行校准。以压力差校准点 200 Pa 左右为示例。将被校仪器差压计测压端与差压计高压端并联后与上夹持器测压端连接，被校仪器差压计大气端与差压计低压端连通大气。在上、下夹持器之间夹持测试样品进行测试，通过选择不同的测试样品将差压计实测值调节至压力差校准点附近，测量稳定后同时记录被校仪器压力差示值和差压计实测值。按上述方法，重复测量 3 次，取其算术平均值作为测量结果，根据公式 (C.3.1) 计算压力差示值误差。

## C.3.2 测量模型

压力差示值误差：

$$\delta P = \overline{\Delta P_m} - \overline{\Delta P_s} \quad (\text{C. 3. 1})$$

式中:

$\delta P$  —— 压力差示值误差, 单位: Pa;

$\overline{\Delta P_m}$  —— 被校仪器压力差示值 3 次测量算术平均值, 单位: Pa;

$\overline{\Delta P_s}$  —— 差压计实测值 3 次测量算术平均值, 单位: Pa。

根据测量模型, 标准不确定度分量间彼此独立、不相关, 压力差示值误差合成标准不确定度由公式 (C. 3. 2) 计算:

$$u_c^2(\delta P) = u^2(\overline{\Delta P_m}) + u^2(\overline{\Delta P_s}) \quad (\text{C. 3. 2})$$

其中, 灵敏系数:  $c_1 = 1$ ,  $c_2 = -1$ 。

### C. 3. 3 压力差示值误差标准不确定度来源

#### C. 3. 3. 1 由被校仪器引入的标准不确定度 $u(\overline{\Delta P_m})$

##### C. 3. 3. 1. 1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{\Delta P_m})$

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。

压力校准点为 200Pa, 在重复性条件下测量 10 次, 得到一组测量结果, 测量数据详见下表 C. 3. 1。

表 C. 3. 1 被校仪器压力测量重复性数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值	标准偏差
压力示值 $\Delta P_{mi}$ (Pa)	220	219	220	219	219	220	220	220	220	219	219.7	0.516

被校仪器压力差示值平均值  $\overline{\Delta P_m}$  为:

$$\overline{\Delta P_m} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_{mi}}{n} = 219.6 \quad (\text{Pa})$$

单次测量结果的实验标准偏差  $s$  为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{mi} - \overline{\Delta P_m})^2}{n-1}} = 0.516 \quad (\text{Pa})$$

在实际校准时, 在重复性条件下连续测量 3 次 ( $n=3$ ), 以 3 次测量的算术平均值为测量结果, 可得标准不确定度为:

$$u_1(\overline{\Delta P_m}) = \frac{0.483}{\sqrt{3}} = 0.298 \quad (\text{Pa})$$

C.3.3.1.2 压力差分辨力引入的标准不确定度  $u_2(\overline{\Delta P_m})$ 

被校仪器压力差数显分度值为 1 Pa, 采用 B 类方法评定, 其区间半宽度  $a = 0.5$  Pa, 假设服从均匀分布, 即包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则引入的标准不确定度为:

$$u_2(\overline{\Delta P_m}) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ (Pa)}$$

由于  $u_2(\overline{\Delta P_m})$  小于  $u_1(\overline{\Delta P_m})$ , 只考虑测量重复性引入的标准不确定度, 所以:

$$u(\overline{\Delta P_m}) = u_1(\overline{\Delta P_m}) = 0.298 \text{ (Pa)}$$

C.3.3.2 由差压计引入的标准不确定度  $u(\overline{\Delta P_s})$ C.3.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{\Delta P_s})$ 

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。差压计实测值稳定至 200 Pa 附近, 记录差压计实测值, 重复测量 10 次, 压力差实测值为 220.2 Pa、220.1 Pa、220.0 Pa、220.5 Pa、220.3 Pa、220.0 Pa、220.0 Pa、220.1 Pa、220.6 Pa 和 220.5 Pa。

差压计实测值测量平均值  $\overline{\Delta P_s}$  为:

$$\overline{\Delta P_s} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_{si}}{n} = 220.23 \text{ (Pa)}$$

单次测量结果的实验标准偏差  $s$  为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{si} - \overline{\Delta P_s})^2}{n-1}} = 0.231 \text{ (Pa)}$$

在实际校准时, 在重复性条件下连续测量 3 次 ( $n=3$ ), 以 3 次测量的算术平均值为测量结果, 则测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(\overline{\Delta P_s}) = \frac{0.231}{\sqrt{3}} = 0.133 \text{ (Pa)}$$

C.3.3.2.2 差压计示值误差引入的标准不确定度  $u_2(\overline{\Delta P_s})$ 

差压计测量范围 (-1000~1000) Pa, 准确度等级 0.05 级, 分辨力 0.1Pa。因此, 差压计最大允许误差为  $\pm 1000 \times 0.05\% = \pm 0.5$  Pa, 区间半宽度  $a = 0.5$  Pa, 认为在区间内服从均匀分布, 即包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 故引入的标准不确定度为:

$$u_2(\overline{\Delta P_s}) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ (Pa)}$$

### C.3.3.2.2 差压计分辨力引入的标准不确定度 $u_3(\overline{\Delta P_s})$

差压计分辨力为 0.1Pa, 则区间半宽度  $a = \frac{0.1}{2} = 0.05 \text{ Pa}$ , 假设服从均匀分布, 包含

因子  $k = \sqrt{3}$ , 故由分辨力引入的不确定度为:

$$u_3(\overline{\Delta P_s}) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ (Pa)}$$

由于  $u_1(\overline{\Delta P_s})$  大于  $u_3(\overline{\Delta P_s})$ , 只考虑重复性测量引入的标准不确定度, 因此, 差压计引入的标准不确定度  $u(\overline{\Delta P_s})$ :

$$u(\overline{\Delta P_s}) = \sqrt{[u_1(\overline{\Delta P_s})]^2 + [u_2(\overline{\Delta P_s})]^2} = \sqrt{0.133^2 + 0.289^2} = 0.318 \text{ (Pa)}$$

### C.3.3.3 标准不确定度分量一览表

各分量的标准不确定度汇总如表 C.3.2 所示。

表 C.3.2 标准不确定度分量一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度 (Pa)	备注
1	被校仪器测量重复性	$u_1(\overline{\Delta P_m})$	A	正态	1	0.298	
2	被校仪器压力差示值分辨力	$u_2(\overline{\Delta P_m})$	B	均匀	1	0.289	忽略
3	差压计重复性	$u_1(\overline{\Delta P_s})$	A	正态	-1	0.133	
4	差压计示值误差	$u_2(\overline{\Delta P_s})$	B	均匀	-1	0.289	
5	差压计分辨力	$u_3(\overline{\Delta P_s})$	B	均匀	-1	0.029	忽略

### C.3.4 压力差示值误差合成不确定度评定

$$u_c(\delta P) = \sqrt{[u(\overline{\Delta P_m})]^2 + [-u(\overline{\Delta P_s})]^2} = \sqrt{0.298^2 + 0.318^2} = 0.436 \text{ (Pa)}$$

### C.3.5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ , 扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\delta P) = 2 \times 0.436 \approx 0.9 \text{ (Pa)}$$

### C.3.6 压力差示值误差测量不确定度报告与表示

压力差示值误差的扩展不确定度  $U = 0.9 \text{ Pa}$ ,  $k = 2$ 。

## C.4 通气阻力示值误差测量不确定度评定

### C.4.1 概述

用测量范围为  $(-1000 \sim 1000) \text{ Pa}$ 、分辨力为  $0.1 \text{ Pa}$ 、准确度等级为 0.05 级的差压计对被校仪器通气阻力进行校准。按 C.3.1 校准方法同时记录被校仪器通气阻力示值和差压计实测值, 重复测量 3 次, 根据公式 (C.4.1) 计算通气阻力示值误差  $\delta M$ 。

### C.4.2 测量模型

通气阻力示值误差:

$$\delta M = \overline{M_m} - \frac{\overline{\Delta P_s}}{S} \quad (\text{C.4.1})$$

式中:

$\delta M$  —— 通气阻力示值误差, 单位:  $\text{Pa}/\text{cm}^2$ ;

$\overline{M_m}$  —— 被校仪器通气阻力示值 3 次测量算术平均值, 单位:  $\text{Pa}/\text{cm}^2$ ;

$\overline{\Delta P_s}$  —— 差压计实测值 3 次测量算术平均值, 单位:  $\text{Pa}$ ;

$S$  —— 样品测试区面积,  $S = 4.9 \text{ cm}^2$ 。

根据测量模型, 标准不确定度分量间彼此独立、不相关, 通气阻力示值误差合成标准不确定度由公式 (C.4.2) 计算:

$$u_c^2(\delta M) = u^2(\overline{M_m}) + u^2(\overline{\Delta P_s}) \quad (\text{C.4.2})$$

其中, 灵敏系数:  $c_1 = 1$ ,  $c_2 = -1/S$ 。

### C.4.3 通气阻力示值误差标准不确定度来源

#### C.4.3.1 由被校仪器引入的标准不确定度 $u(\overline{M_m})$

##### C.4.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{M_m})$

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。

在重复性条件下测量 10 次, 得到一组测量结果详见下表 C.4.1。

表 C.4.1 被校仪器通气阻力测量重复性数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值	标准偏差
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	------

通气阻力 示值 $M_{mi}$ (Pa/cm <sup>2</sup> )	44.7	44.7	44.6	44.8	44.7	44.6	44.6	44.6	44.6	44.7	44.66	0.070
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

被校仪器通气阻力示值平均值  $\overline{M_m}$  为:

$$\overline{M_m} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{mi}}{n} = 44.66 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

单次测量结果的实验标准偏差  $s$  为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{mi} - \overline{M_m})^2}{n-1}} = 0.07 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

在实际校准时, 在重复性条件下连续测量 3 次 ( $n=3$ ), 以 3 次测量的算术平均值为测量结果, 可得标准不确定度为:

$$u_1(\overline{M_m}) = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

#### C. 4. 3. 1. 2 通气阻力示值分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\overline{M_m})$

被校仪器通气阻力数显分度值为 0.1 Pa/cm<sup>2</sup>, 采用 B 类方法评定, 其区间半宽度  $a=0.05 \text{ Pa/cm}^2$ , 假设服从均匀分布, 即包含因子  $k=\sqrt{3}$ , 则引入的标准不确定度为:

$$u_2(\overline{M_m}) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

由于  $u_2(\overline{M_m})$  小于  $u_1(\overline{M_m})$ , 只考虑测量重复性引入的标准不确定度, 所以:

$$u(\overline{M_m}) = u_1(\overline{M_m}) = 0.04 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

#### C. 4. 3. 2 由差压计引入的标准不确定度 $u(\overline{\Delta P_s})$

直接使用 C. 3. 3. 2 评定结果, 差压计引入的标准不确定度为  $u(\overline{\Delta P_s}) = 0.318 \text{ Pa}$ , 其中, 差压计测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{\Delta P_s}) = 0.133 \text{ Pa}$ , 差压计示值误差引入的标准不确定度  $u_2(\overline{\Delta P_s}) = 0.289 \text{ Pa}$  以及差压计分辨力引入的标准不确定度  $u_3(\overline{\Delta P_s}) = 0.029 \text{ Pa}$ 。

#### C. 4. 3. 3 标准不确定度分量一览表

各分量的标准不确定度汇总如表 C. 4. 2 所示。

表 C. 4. 2 标准不确定度分量一览表



序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度	备注
1	被校仪器通气阻力测量重复性	$u_1(\overline{M_m})$	A	正态	1	0.04 Pa/cm <sup>2</sup>	
2	被校仪器通气阻力示值分辨力	$u_2(\overline{M_m})$	B	均匀	1	0.03 Pa/cm <sup>2</sup>	忽略
3	差压计重复性	$u_1(\overline{\Delta P_s})$	A	正态	$-\frac{1}{S} = -\frac{1}{4.9} \text{cm}^{-2}$	0.133Pa	
4	差压计示值误差	$u_2(\overline{\Delta P_s})$	B	均匀	$-\frac{1}{S} = -\frac{1}{4.9} \text{cm}^{-2}$	0.289 Pa	
5	差压计分辨力	$u_3(\overline{\Delta P_s})$	B	均匀	$-\frac{1}{S} = -\frac{1}{4.9} \text{cm}^{-2}$	0.029 Pa	忽略

## C.4.4 通气阻力示值误差合成不确定度评定

$$u_c(\delta M) = \sqrt{\left[u(\overline{M_m})\right]^2 + \left[-\frac{1}{S}u(\overline{\Delta P_s})\right]^2} = \sqrt{0.04^2 + \left(-\frac{0.318}{4.9}\right)^2} = 0.076 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

## C.4.5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\delta M) = 2 \times 0.076 \approx 0.2 \text{ (Pa/cm}^2\text{)}$$

## C.4.6 通气阻力示值误差测量不确定度报告与表示

通气阻力示值误差的扩展不确定度  $U = 0.2 \text{ Pa/cm}^2$ ， $k=2$ 。