



中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF(纺织) 109—2023

口罩呼吸阻力测试仪校准规范

Calibration Specification for Mask Breathing Resistance Testers

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

口罩呼吸阻力测试仪校准规范

Calibration Specification for

Mask Breathing Resistance Testers

JJF（纺织）109—2023

归口单位：中国纺织工业联合会

主要起草单位：浙江省计量科学研究院

浙江省轻工业质量检验研究院

江苏省特种安全防护产品质量监督检验中心

中纺标检验认证股份有限公司

国家纺织计量站上海分站

济宁市质量计量检验检测研究院

江西省检验检测认证总院纺织品检验检测院

张家港市检验检测中心

浙江三工匠仪器有限公司

泉州市美邦仪器有限公司

莱州元茂仪器有限公司

本规范委托全国纺织计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

胡朋兵（浙江省计量科学研究院）
叶翔宇（浙江省轻工业品质检验研究院）
顾海燕（江苏省特种安全防护产品质量监督检验中心）
潘孙强（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）
刘 坤（济宁市质量计量检验检测研究院）
邹昊宸（江西省检验检测认证总院纺织品检验检测院）
戚海洋（浙江省计量科学研究院）
吴慧雅（张家港市检验检测中心）
陈佳勇（国家纺织计量站上海分站）
徐华东（浙江三工匠仪器有限公司）
代志富（泉州市美邦仪器有限公司）
李春钢（莱州元茂仪器有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
5 校准条件	(2)
6 校准项目和校准方法	(2)
6.1 校准前准备	(2)
6.2 校准项目	(3)
6.3 校准方法	(3)
7 校准结果表达	(7)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 口罩呼吸阻力测试仪校准原始记录参考格式	(8)
附录 B 口罩呼吸阻力测试仪校准证书 (内页) 参考格式	(10)
附录 C 口罩呼吸阻力测试仪校准不确定度评定 (示例)	(11)

引 言

本规范依据 JJF 1071—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 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》规定的规则编制。

本规范参考了 GB 2626—2019《呼吸防护 自吸过滤式防颗粒物呼吸器》、GB/T 32610—2016《日常防护型口罩技术规范》和 GB/T 38880—2020《儿童口罩技术规范》相关内容制定。

本规范为首次制定。

口罩呼吸阻力测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于呼吸阻力在（-1000~1000）Pa 范围内的口罩呼吸阻力测试仪（以下简称“阻力仪”）的校准，其他原理相同、结构类似的检测仪器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

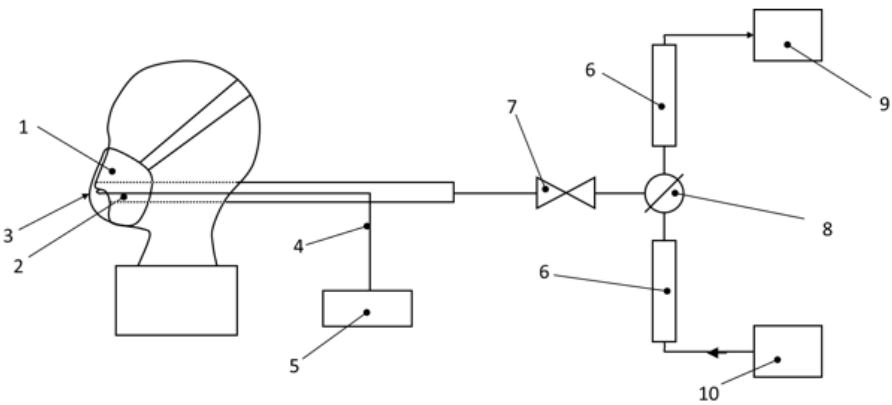
GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

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，其最新现行有效版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 概述

阻力仪用于模拟人戴口罩的实际情况下对口罩内外两侧的压力差（呼吸阻力）进行测量，主要由真空泵、压缩机、试验头模、呼吸管道、微压计、流量计、调节阀和切换阀等组成，见图 1。

工作原理：将被测口罩戴在试验头模上，以规定的气流流入和流出口罩，通过微压计对口罩内外两侧的压力差（呼吸阻力）进行测量。



- 说明：
- 1—— 被测口罩
 - 2—— 试验头模呼吸管道
 - 3—— 试验头模上装有检测口罩内部压力用的采样端口
 - 4—— 测压管
 - 5—— 微压计
 - 6—— 流量计

- 7—— 调节阀
 8—— 切换阀
 9—— 真空泵（用于吸气阻力检测）
 10—— 压缩机（用于呼气阻力检测）

图 1 阻力仪结构原理图

4 计量特性

- 4.1 流量相对示值误差：±3%；
 4.2 流量重复性：≤1%；
 4.3 压力示值误差：±5 Pa；
 4.4 压力回程误差：≤5 Pa。

注：以上指标不适用于仪器设备的合格性判定，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 温度：(23±5)℃。
 5.1.2 相对湿度：≤85%。
 5.1.3 校准应在稳固的水平台面上，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，无电磁干扰，无影响使用的震源。

5.2 测量标准及其他设备（见表 1）

表 1 测量标准及其他设备

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：(10~100) L/min 分辨力：0.01 L/min	MPE：±1%	1
2	数字压力计	测量范围：(-1000~1000) Pa 分辨力：0.1 Pa	0.05 级	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，测量范围覆盖被校阻力仪测量范围即可。

注 2：数字压力计为差压数字压力计。

注 3：压力发生器压力范围至少满足 (-1000~1000) Pa。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

- (1) 被校阻力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。
- (2) 被校阻力仪电源部分应安全可靠，机器应接地可靠。
- (3) 被校阻力仪应在校准环境下运行一段时间，达到稳定工作状态下可进行校准。
- (4) 被校阻力仪在运行过程中，应保持平稳，避免抖动、移位等情况出现。

6.2 校准项目

被校阻力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 阻力仪校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	流量相对示值误差	4.1	6.3.1
2	流量重复性	4.2	6.3.2
3	压力示值误差	4.3	6.3.3
4	压力回程误差	4.4	6.3.4

注：根据被校阻力仪的功能和客户要求选择校准项目。

6.3 校准方法

6.3.1 流量相对示值误差

流量校准点为 45 L/min 和 85 L/min，其他流量点可参照本校准方法进行校准。

6.3.1.1 吸气流量相对示值误差

将气体流量计与阻力仪呼吸管道相连，与阻力仪吸气流量计形成串联。对于流量可调的阻力仪，流量校准点为 45 L/min 和 85 L/min。对于流量固定的阻力仪，以该固定流量为流量校准点进行校准。开启阻力仪，设置为吸气阻力测试模式，启动测试，待被校阻力仪运行稳定后，同时记录气体流量计流量实测值和被校阻力仪流量示值，按公式

- (1) 计算该校准点的吸气流量相对示值误差。按照以上校准方法，重复测量 6 次，以
- 公式 (2) 计算吸气流量相对示值误差平均值作为测量结果。

$$E_{li} = \frac{q_{li} - (q_{ls})_i}{(q_{ls})_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{\sum_{i=1}^n E_{li}}{n} \quad (2)$$

式中:

- E_{1i} —— 第 i 次校准的吸气流量相对示值误差, 单位: %;
- q_{1i} —— 第 i 次校准的被校阻力仪吸气流量示值, 单位: L/min;
- $(q_{1s})_i$ —— 第 i 次校准的气体流量计流量实测值, 单位: L/min;
- E_1 —— 吸气流量相对示值误差平均值, 单位: %;
- n —— 重复测量的次数, $n=6$ 。

6.3.1.2 呼气流量相对示值误差

将气体流量计与阻力仪呼吸管道相连, 与阻力仪呼气流量计形成串联。流量校准点与吸气流量校准设置相同。开启阻力仪, 设置为呼气阻力测试模式, 启动测试, 待被校阻力仪运行稳定后, 同时记录气体流量计流量实测值和被校阻力仪流量示值。按公式(3)计算该校准点的呼气流量相对示值误差。按照以上校准方法, 重复测量 6 次, 以公式(4)计算呼气流量相对示值误差平均值作为测量结果。

$$E_{2i} = \frac{q_{2i} - (q_{2s})_i}{(q_{2s})_i} \times 100\% \quad (3)$$

$$E_2 = \frac{\sum_{i=1}^n E_{2i}}{n} \quad (4)$$

式中:

- E_{2i} —— 第 i 次校准的呼气流量相对示值误差, 单位: %;
- q_{2i} —— 第 i 次校准的被校阻力仪呼气流量示值, 单位: L/min;
- $(q_{2s})_i$ —— 第 i 次校准的气体流量计流量实测值, 单位: L/min;
- E_2 —— 呼气流量相对示值误差平均值, 单位: %;
- n —— 重复测量的次数, $n=6$ 。

6.3.2 流量重复性

流量校准点为 45 L/min 和 85 L/min, 其他流量点可参照本校准方法进行校准。

6.3.2.1 吸气流量重复性

利用吸气流量示值误差校准的数据, 按照公式(5)计算吸气流量实验标准偏差 s_{1r} ,

作为吸气流量重复性。

$$s_{1r} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{1i} - E_1)^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中:

- s_{1r} —— 吸气流量实验标准偏差/吸气流量重复性, 单位: %;
- E_{1i} —— 第 i 次校准的吸气流量相对示值误差, 单位: %;
- E_1 —— 吸气流量相对示值误差平均值, 单位: %;
- n —— 重复测量的次数, $n=6$ 。

6.3.2.2 呼气流量重复性

利用呼气流量示值误差校准的数据, 按照公式(6)计算呼气流量实验标准偏差 s_{2r} , 作为呼气流量重复性。

$$s_{2r} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{2i} - E_2)^2}{n-1}} \quad (6)$$

式中:

- s_{2r} —— 呼气流量实验标准偏差/呼气流量重复性, 单位: %;
- E_{2i} —— 第 i 次校准的呼气流量相对示值误差, 单位: %;
- E_2 —— 呼气流量相对示值误差平均值, 单位: %;
- n —— 重复测量的次数, $n=6$ 。

6.3.3 压力示值误差

呼气时的压力用正压表示, 吸气时的压力用负压表示。

6.3.3.1 正向压力示值误差

校准点的选择宜包含但不限于 0 Pa、100 Pa、200 Pa、300 Pa 和 400 Pa。将被校阻力仪微压计的口罩测压端、数字压力计高压端和压力发生器经过三通实现连接, 将被校阻力仪微压计大气端与数字压力计低压端经过三通实现连接, 接通大气。调节压力发生器, 将数字压力计实测值调整至各个校准点, 待压力显示稳定后记录被校阻力仪的压

力示值（呼气阻力）。同一校准点，正反行程各一次，取正反行程测量中被校阻力仪压力示值与校准点偏差绝对值较大的压力示值，按公式（7）计算各校准点的正向压力示值误差。

$$\Delta P_1 = P_{1R} - P_{1S} \quad (7)$$

式中：

ΔP_1 —— 正向压力示值误差，单位：Pa；

P_{1R} —— 在同一校准点，正反行程中被校阻力仪压力示值与校准点偏差绝对值较大的压力示值，单位：Pa；

P_{1S} —— 数字压力计压力实测值，单位：Pa。

6.3.3.2 负向压力示值误差

校准点的选择宜包含但不限于 0 Pa、-100 Pa、-200 Pa、-300 Pa 和 -400 Pa。将被校阻力仪微压计的口罩测压端、数字压力计高压端和压力发生器经过三通实现连接，将被校阻力仪微压计大气端与数字压力计低压端经过三通实现连接，接通大气。调节压力发生器，将数字压力计实测值调整至各个校准点，待压力显示稳定后记录被校阻力仪的压力示值（吸气阻力）。同一校准点，正反行程各一次，取正反行程测量中被校阻力仪压力示值与校准点偏差绝对值较大的压力示值，按公式（8）计算各校准点的负向压力示值误差。

$$\Delta P_2 = P_{2R} - P_{2S} \quad (8)$$

式中：

ΔP_2 —— 负向压力示值误差，单位：Pa；

P_{2R} —— 在同一校准点，正反行程中被校阻力仪压力示值与校准点偏差绝对值较大的压力示值，单位：Pa；

P_{2S} —— 数字压力计压力实测值，单位：Pa。

6.3.4 压力回程误差

压力回程误差可利用压力示值误差校准的数据进行计算。取同一校准点正、反行程压力示值之差的绝对值作为该校准点处被校阻力仪的压力回程误差。

7 校准结果表达

7.1 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，末位数修约到被校阻力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。

7.2 校准证书

经校准的阻力仪应出具校准证书，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。

7.3 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。

8 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

口罩呼吸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: _____
 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) 109-2023 口罩呼吸阻力测试仪校准规范

使用主要计量标准器具

标准器名称	型号	编号	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 吸气流量相对示值误差及重复性

流量校准点 (L/min)		测量次数						均值 (L/min)	相对示值 误差 (%)	重复性 (%)
		1	2	3	4	5	6			
45	气体流量计 实测值									
	被校阻力仪 流量示值									
85	气体流量计 实测值									
	被校阻力仪 流量示值									

2.2 呼气流量相对示值误差及重复性

流量校准点 (L/min)		测量次数						均值 (L/min)	相对示值 误差 (%)	重复性 (%)
		1	2	3	4	5	6			
45	气体流量计 实测值									
	被校阻力仪 流量示值									
85	气体流量计 实测值									
	被校阻力仪 流量示值									

2.3 正向压力示值误差及回程误差

数字压力计 实测值 (Pa)	被校阻力仪压力示值 (Pa)		正反行程中偏差绝对值 较大的压力示值 (Pa)	正向压力示 值误差 (Pa)	回 程 误 差 (Pa)
	正行程	反行程			

2.4 负向压力示值误差及回程误差

数字压力计 实测值 (Pa)	被校阻力仪压力示值 (Pa)		正反行程中偏差绝对值 较大的压力示值 (Pa)	负向压力示 值误差 (Pa)	回 程 误 差 (Pa)
	正行程	反行程			

校准单位：

校准员：

审核员：

附录 B

口罩呼吸阻力测试仪校准证书（内页）参考格式

校 准 结 果

证书编号：

原始记录编号：

第×页，共×页

校准项目	技术要求	校准结果	扩展不确定度 $U(k=2)$
吸气流量相对示值误差及重复性	①流量相对示值误差： $MPE: \pm 3\%$ ②流量重复性： $\leq 1.5\%$	校准点实测均值 (L/min): ① ; ②	
		校准点实测均值 (L/min): ① ; ②	
呼气流量相对示值误差及重复性		校准点实测均值 (L/min): ① ; ②	
		校准点实测均值 (L/min): ① ; ②	
正向压力示值误差及回程误差	①压力示值误差： $MPE: \pm 5 \text{ Pa}$ ②压力回程误差： $\leq 5 \text{ Pa}$	校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	
负向压力示值误差及回程误差		校准点实测值 (Pa): ① ; ②	

以下空白

附录 C

口罩呼吸阻力测试仪校准不确定度评定（示例）

C.1 吸气流量相对示值误差校准不确定度的评定

C.1.1 概述

以吸气流量 85 L/min 为例，用最大允许误差为 $\pm 1\%$ 、分辨力为 0.01 L/min 的气体流量计对阻力仪吸气流量进行校准，流量相对示值误差不高于 $\pm 3\%$ 。校准的实验操作：将气体流量计与阻力仪呼吸管道相连接，与阻力仪吸气流量计形成串联。对于流量可调的阻力仪，流量校准点调至 85 L/min。开启阻力仪，设置为吸气阻力工作模式，启动测试，待被校阻力仪运行稳定后，同时记录气体流量计实测值和被校阻力仪流量示值，按公式（C.1.1）计算流量相对示值误差。

C.1.2 测量模型

流量相对示值误差：

$$E = \frac{q - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (\text{C.1.1})$$

式中：

E —— 吸气流量相对示值误差，%；

q —— 被校阻力仪流量示值，L/min；

q_s —— 气体流量计流量实测值，L/min。

根据测量模型，标准不确定度分量间彼此独立、不相关，流量相对示值误差合成标准不确定度由公式（C.1.2）计算：

$$u_c^2 = u^2(E) = [c_1 u(q)]^2 + [c_2 u(q_s)]^2 \quad (\text{C.1.2})$$

式中，灵敏系数 $c_1 = \frac{\partial E}{\partial q} = \frac{1}{q_s}$ ， $c_2 = \frac{\partial E}{\partial q_s} = -\frac{q}{q_s^2}$ 。

C.1.3 输入量 q 标准不确定度来源分析

输入量 q 对应的标准不确定度 $u(q)$ 来源主要是测量重复性引入的标准不确

定度 $u_1(q)$ 和被校阻力仪流量分辨力引入的标准不确定度 $u_2(q)$ 。

C. 1. 3. 1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(q)$ 的评定

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 85 L/min，重复测量 10 次，得到一组测量结果，如表 C. 1. 1 所示。

表 C. 1. 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}	85.31	85.53	85.85	85.86	85.50	85.50	85.31	85.42	85.54	85.61	85.54
被校仪器流 量示值 q_i	86.32	86.69	87.33	87.37	86.21	86.22	86.22	86.30	86.52	86.52	86.57

被校阻力仪流量示值平均值 \bar{q} 为：

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{n} = 86.57 \text{ (L/min)}$$

单次测量结果的实验标准偏差 s 为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}} = 0.44 \text{ (L/min)}$$

实际校准时，在重复性条件下连续测量 6 次，以测量平均值作为测量结果，可得到标准不确定度为：

$$u_1(q) = \frac{s}{\sqrt{6}} = \frac{0.44}{\sqrt{6}} = 0.180 \text{ (L/min)}$$

C. 1. 3. 2 被校阻力仪流量分辨力引起的标准不确定度 $u_2(q)$ 的评定

被校阻力仪流量分辨力为 0.01 L/min，则区间半宽度 $a = \frac{0.01}{2} = 0.005 \text{ L/min}$ ，

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：

$$u_2(q) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ (L/min)}$$

当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定分量时，不考虑分辨力引入的标准不确定度分量；反之，应该用分辨力引入的标准不确定度

分量代替重复性引入的标准不确定度分量。因此,

$$u(q) = u_1(q) = 0.180 \text{ L/min}$$

C. 1. 4 输入量 q_s 标准不确定度来源分析

输入量 q_s 对应的标准不确定度 $u(q_s)$ 来源主要是气体流量计重复测量引入的标准不确定度 $u_1(q_s)$ 、气体流量计示值误差引入的标准不确定度 $u_2(q_s)$ 和气体流量计分辨力引入的标准不确定度 $u_3(q_s)$ 。

C. 1. 4. 1 气体流量计重复测量引入的标准不确定度 $u_1(q_s)$ 的评定

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. 1. 1 中的数据进行计算。

气体流量计流量实测值平均值 \bar{q}_s 为:

$$\bar{q}_s = \sum_{i=1}^n \frac{q_{si}}{n} = 85.54 \text{ (L/min)}$$

单次测量结果的实验标准偏差 s 为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{si} - \bar{q}_s)^2}{n-1}} = 0.191 \text{ (L/min)}$$

在实际校准时, 在重复性条件下连续测量 6 次 ($n=6$), 以其平均值作为测量结果, 可得标准不确定度为:

$$u_1(q_s) = \frac{0.191}{\sqrt{6}} = 0.078 \text{ (L/min)}$$

C. 1. 4. 2 气体流量计示值误差引起的标准不确定度 $u_2(q_s)$ 的评定

气体流量计最大允许误差为 $\pm 1\%$, 流量实测值 q_s 为 85.54 L/min, 因此, 最大允许误差为 ± 0.855 L/min, 区间半宽度 $a=0.855$ 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:

$$u_2(q_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.855}{\sqrt{3}} = 0.494 \text{ (L/min)}$$

C. 1. 4. 3 气体流量计分辨力引起的标准不确定度 $u_3(q_s)$ 的评定

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:

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

当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定分量时, 不考虑分辨力引入的标准不确定度分量, 因此,

$$u(q_s) = \sqrt{[u_1(q_s)]^2 + [u_2(q_s)]^2} = 0.500 \text{ (L/min)}$$

C. 1. 5 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度汇总如表 C. 1. 2 所示。

表 C. 1. 2 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数 (min/L)	标准不确定度 (L/min)
1	被校阻力仪测量重复性	$u_1(q)$	A	正态	$\frac{1}{q_s} = \frac{1}{85.54}$	0.180
2	被校阻力仪流量分辨力	$u_2(q)$	B	均匀	$\frac{1}{q_s} = \frac{1}{85.54}$	0.003
3	气体流量计测量重复性	$u_1(q_s)$	A	正态	$-\frac{q}{q_s^2} = -\frac{86.57}{85.54^2}$	0.078
4	气体流量计示值误差	$u_2(q_s)$	B	均匀	$-\frac{q}{q_s^2} = -\frac{86.57}{85.54^2}$	0.494
5	气体流量计分辨力	$u_3(q_s)$	B	均匀	$-\frac{q}{q_s^2} = -\frac{86.57}{85.54^2}$	0.003

C. 1. 6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{0.180}{85.54}\right)^2 + \left(-\frac{86.57 \times 0.500}{85.54^2}\right)^2} = 0.628\%$$

吸气流量相对示值误差合成不确定度:

$$u_c(E) = 0.628\%$$

C. 1. 7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，吸气流量相对示值误差校准结果扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_c(E) = 2 \times 0.628\% = 1.256\% \approx 1.3\%$$

C.1.8 测量结果不确定度的报告与表示

吸气流量相对示值误差校准结果的扩展不确定度为： $U_r = 1.3\%$ ， $k = 2$ 。

C.2 正向压力示值误差校准不确定度的评定

C.2.1 概述

以 300 Pa 正向压力校准为示例，用测量范围为(-1000~1000)Pa、分辨力为 0.1 Pa、最大允许示值误差为 $\pm 0.05\%$ 的数字压力计校准压力，压力示值误差不大于 ± 5 Pa。校准的实验操作：将被校阻力仪微压计的口罩测压端、数字压力计高压端和压力发生器经过三通实现连接，将被校阻力仪微压计的口罩测压端和数字压力计低压端经过三通实现连接，接通大气。调节压力发生器，将数字压力计实测值调整至 300 Pa，待工作稳定后，记录被校阻力仪的压力示值（呼气阻力）。同一校准点，正反行程各一次，取正反行程测量中被校阻力仪压力示值与校准点偏差绝对值较大的压力示值，按公式 (C.2.1) 计算各校准点处的压力示值误差。

C.2.2 测量模型

压力示值误差：

$$\Delta P = P_R - P_S \quad (\text{C.2.1})$$

式中：

ΔP —— 正向压力示值误差，单位：Pa；

P_R —— 在同一校准点，正反行程中被校阻力仪压力示值与校准点偏差绝对值较大的压力示值，单位：Pa；

P_S —— 数字压力计压力实测值，单位：Pa。

由于数字压力计与被校阻力仪彼此独立，互不相关，因此，压力示值误差校准不确定度可由式 (C.2.2) 计算：

$$u_c^2(\Delta P) = c_1^2 u^2(P_R) + c_2^2 u^2(P_S) \quad (\text{C.2.2})$$

灵敏系数: $c_1 = 1$, $c_2 = -1$ 。

C.2.3 输入量 P_R 标准不确定度来源分析

输入量 P_R 的标准不确定度 $u(P_R)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(P_R)$ 和被校阻力仪压力分辨力引起的标准不确定度 $u_2(P_R)$ 。

C.2.3.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(P_R)$ 的评定

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。

调节压力发生器, 将压力实测值调整至 300 Pa, 待测量稳定后, 记录被校阻力仪的压力示值 (呼气阻力)。在同一校准点处, 正反行程各 10 次, 得到一组测量数据, 如表 C.2.1 所示。

表 C.2.1 重复性测量数据

测量次数	压力示值 (Pa)		正反行程中偏差绝对值较大的压力示值 P_{Ri}	测量次数	压力示值 (Pa)		正反行程中偏差绝对值较大的压力示值 P_{Ri}
	正行程	反行程			正行程	反行程	
1	300.5	302.2	302.2	6	301.4	301.9	301.9
2	300.4	301.5	301.5	7	300.9	301.5	301.5
3	300.1	300.7	300.7	8	301.1	301.3	301.3
4	300.2	301.3	301.3	9	301.2	301.8	301.8
5	300.3	300.9	300.9	10	301.0	302.0	302.0

利用贝塞尔公式法, 计算压力示值偏差较大者 P_R 的实验标准偏差。

测量平均值 $\overline{P_R}$ 为:

$$\overline{P_R} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{Ri}}{n} = 301.51 \text{ (Pa)}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{Ri} - \overline{P_R})^2}{n-1}} = 0.48 \text{ (Pa)}$$

实际校准中, 正反行程测量一次 ($n=1$), 则测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(P_R) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.48 \text{ (Pa)}$$

C.2.3.2 被校阻力仪压力分辨力引起的标准不确定度 $u_2(P_R)$ 的评定

被校阻力仪压力分辨力为 0.1 Pa, 则区间半宽度 $a = \frac{0.1}{2} = 0.05$ Pa, 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:

$$u_2(P_R) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (Pa)}$$

当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定分量时, 不考虑分辨力引入的标准不确定度分量, 因此,

$$u(P_R) = u_1(P_R) = 0.48 \text{ (Pa)}$$

C. 2. 4 输入量 P_s 标准不确定度来源分析

输入量 P_s 对应的标准不确定度 $u(P_s)$ 来源主要是数字压力计重复测量引入的标准不确定度 $u_1(P_s)$ 、数字压力计示值误差引入的标准不确定度 $u_2(P_s)$ 和数字压力计分辨力引入的标准不确定度 $u_3(P_s)$ 。

C. 2. 4. 1 数字压力计重复测量引入的标准不确定度 $u_1(P_s)$ 的评定

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。调节压力发生器, 将压力实测值调整至 300 Pa, 待测量稳定后, 记录数字压力计压力实测值, 重复测量 10 次, 压力实测值为 300.0 Pa、300.1 Pa、300.0 Pa、300.0 Pa、299.9 Pa、300.0 Pa、299.9 Pa、300.0 Pa、300.0 Pa 和 300.0 Pa。

数字压力计压力实测值平均值 \bar{P}_s 为:

$$\bar{P}_s = \sum_{i=1}^n \frac{P_{si}}{n} = 299.99 \text{ (Pa)}$$

单次测量结果的实验标准偏差 s 为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{si} - \bar{P}_s)^2}{n-1}} = 0.06 \text{ (Pa)}$$

在实际校准时, 正反行程测量一次 ($n=1$), 则测量重复性引起的标准不确定度: $u_1(P_s) = 0.06 \text{ (Pa)}$

C.2.4.2 数字压力计示值误差引起的标准不确定度 $u_2(P_s)$ 的评定

数字压力计测量范围（-1000~1000）Pa，准确度等级为 0.05 级，则最大允许误差为 $\pm 2000 \times 0.05\% = \pm 1$ Pa，区间半宽度 $a=1$ Pa，按均匀分布计算，即包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此数字压力计示值误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(P_s) = \frac{a}{k} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ (Pa)}$$

C.2.4.3 数字压力计分辨力引起的标准不确定度 $u_3(P_s)$ 的评定

数字压力计分辨力为 0.1 Pa，则区间半宽度 $a = \frac{0.1}{2} = 0.05$ Pa，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：

$$u_3(P_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (Pa)}$$

当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定分量时，不考虑分辨力引入的标准不确定度分量，因此，

$$u(P_s) = \sqrt{[u_1(P_s)]^2 + [u_2(P_s)]^2} = 0.58 \text{ (Pa)}$$

C.2.5 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度汇总如表 C.2.2 所示。

表 C.2.2 标准不确定度分量汇总一览表

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)
1	被校阻力仪测量重复性	$u_1(P_R)$	A	正态	1	0.48
2	被校阻力仪压力分辨力	$u_2(P_R)$	B	均匀	1	0.03
3	数字压力计测量重复性	$u_1(P_s)$	A	正态	-1	0.06
4	数字压力计示值误差	$u_2(P_s)$	B	均匀	-1	0.58
5	数字压力计分辨力	$u_3(P_s)$	B	均匀	-1	0.03

C.2.6 合成标准不确定度

压力示值误差合成标准不确定度为

$$u_c(\Delta P) = \sqrt{u^2(P_R) + u^2(P_s)} = \sqrt{0.48^2 + 0.58^2} = 0.75 \text{ (Pa)}$$

C.2.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta P) = 2 \times 0.75 = 1.5 \text{ (Pa)}$$

C.2.8 测量结果不确定度的报告与表示

压力示值误差校准结果的扩展不确定度为： $U = 1.5 \text{ Pa}$ ， $k = 2$ 。
