

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1986—2022

---

## 差压式气密检漏仪校准规范

Calibration Specification for differential pressure  
air leakage testers

2022-09-26 发布

2023-03-26 实施

---

国家市场监督管理总局 发布

# 差压式气密检漏仪校准规范

Calibration Specification for  
differential pressure air leakage testers

JJF 1986—2022



归口单位：全国压力计量技术委员会

主要起草单位：广东省计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：广州市番禺科腾工业有限公司

浙江省计量科学研究院

湖南省计量科学研究院

本规范委托全国压力计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

徐 标（广东省计量科学研究院）

杨 磊（广东省计量科学研究院）

郭贵法（广东省计量科学研究院）

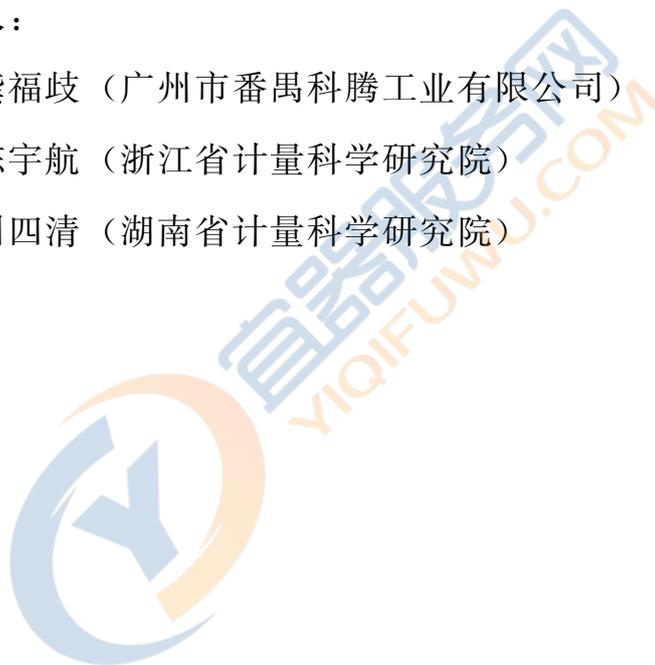
刘贝贝（上海市计量测试技术研究院）

**参加起草人：**

龚福歧（广州市番禺科腾工业有限公司）

陈宇航（浙江省计量科学研究院）

周四清（湖南省计量科学研究院）



## 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 测试压力示值误差 .....	( 2 )
5.2 差压示值误差 .....	( 2 )
5.3 泄漏率误差 .....	( 2 )
5.4 泄漏率重复性 .....	( 2 )
6 校准条件 .....	( 2 )
6.1 环境条件 .....	( 2 )
6.2 测量标准及其他设备 .....	( 2 )
7 校准项目和校准方法 .....	( 3 )
7.1 校准前检查 .....	( 3 )
7.2 校准方法 .....	( 3 )
8 校准结果 .....	( 5 )
9 复校时间间隔 .....	( 5 )
附录 A 差压式气密性检漏仪校准原始记录 .....	( 6 )
附录 B 校准证书内页格式 .....	( 7 )
附录 C 检漏仪测试压力示值误差的不确定度评定示例 .....	( 8 )
附录 D 检漏仪差压示值误差的不确定度评定示例 .....	( 11 )
附录 E 检漏仪泄漏率误差不确定度评定示例 .....	( 14 )

## 引 言

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》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范参考了 JJG 875—2019《数字压力计》和 GB/T 25752—2010《差压式气密检漏仪》的部分内容，参照了目前国内常用差压式气密检漏仪生产厂家的性能参数及其检测方法，并结合国内实际使用情况进行制定。

本规范为首次发布。



## 差压式气密检漏仪校准规范

### 1 范围

本规范适用于测试压力不超过 700 kPa、气体泄漏率为 (0~100) mL/min 或 1 min 内的压力下降为 (0~2 500) Pa 的差压式气密检漏仪的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 875—2019 数字压力计

GB/T 25752—2010 差压式气密检漏仪

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

### 3 术语和计量单位

#### 3.1 术语

##### 3.1.1 差压式气密检漏仪 differential pressure air leakage tester

以差压传感器为感压元件检测被测物和基准物之间压力差来确定被测物是否存在泄漏和泄漏率大小的仪器或装置。

[来源：GB/T 25752—2010，3.1]

##### 3.1.2 基准物 master

与被测物的形状、材质及容积相同且其泄漏率和被测物相比可以忽略的参照物体。

[来源：GB/T 25752—2010，3.2]

##### 3.1.3 泄漏率 leakage rate

在一定的压力下，单位时间被测物内腔的物质通过被测物腔体泄漏到外部的量。

#### 3.2 计量单位

压力计量单位为 Pa，泄漏率计量单位为 mL/min。

### 4 概述

差压式气密检漏仪（以下简称检漏仪）是基于压力敏感元件检测被测物和基准物之间压力差来确定被测物泄漏率的仪器或装置。检漏仪工作过程主要包含充气、平衡、检测、排气等几个阶段，每个阶段的工作时间可以根据实际情况设置。检漏仪工作介质主要包括空气、氮气等气体。

在充气阶段，检漏仪向基准物和被测件两端同时充入相同压力的气体，在平衡和检测阶段，检漏仪关闭加压阀，基准端和被测端隔断。如果被测件有泄漏，加在基准物和被测件之间的差压传感器能检测到基准物与被测件之间的压差，最终显示差压信号或通过一定的数学模型计算出泄漏率，并进行显示。检漏仪的工作原理如图 1 所示。

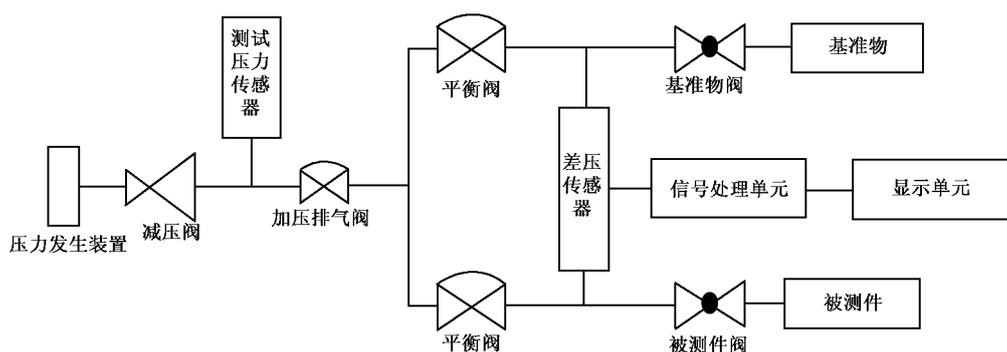


图1 检漏仪工作原理示意图

## 5 计量特性

### 5.1 测试压力示值误差

在测量范围内，测试压力示值误差不超过 $\pm 1.6\%FS$ 。

### 5.2 差压示值误差

在测量范围内，差压示值误差不超过 $\pm 1.0\%FS$ 。

### 5.3 泄漏率误差

在测量范围内，泄漏率误差不超过 $\pm 10\%$ 。

### 5.4 泄漏率重复性

泄漏率重复性不大于 $10\%$ 。

注：差压示值误差和泄漏率误差两项目可根据仪器的实际情况选做。

以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 温度： $(20\pm 5)^\circ C$ 。

6.1.2 相对湿度：不大于 $80\%$ 。

6.1.3 校准设备周围应无热源、强电磁场和放射性源等外界干扰，周围不应有明显的振动。

### 6.2 测量标准及其他设备

通常使用数字压力计和标准漏孔等装置作为校准检漏仪的测量标准。数字压力计作为标准器时，准确度等级应不低于 $0.05$ 级，且年稳定性必须合格。见表1。

表 1 测量标准

序号	测量标准名称	技术要求	用途	备注
1	数字压力计	测量范围：与被校测试压力范围相对应； 准确度等级：0.05 级，年稳定性合格的	用于测试压力示值误差的校准	也可使用满足要求的其他测量标准
2	用于差压测量的数字压力计	测量范围：与被校差压压力范围相对应； 准确度等级：0.05 级，年稳定性合格的	用于差压示值误差的校准	
3	标准漏孔或标准流量计	测量范围：与被校泄漏率范围相对应； 不确定度不大于 5% ( $k=2$ )	用于泄漏率误差的校准	
4	基准物	容积为 50 mL、100 mL 和 200 mL 的基准物各两个，误差不超过 $\pm 0.2\%$	用于泄漏率误差的校准	

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前检查

#### 7.1.1 外观

检漏仪应标有产品名称、型号、测试压力范围、工作电压、制造厂名或商标、出厂编号、制造年月等标识，并清晰可辨。检漏仪应有气源进气端、气源压力范围、基准端、检测端等明确标识。检漏仪的显示装置应无影响读数的划痕，显示数字应清晰鲜明、无重叠，仪表显示亮度均匀，不应有缺笔画等现象。

#### 7.1.2 功能检查

开机后，检漏仪的自检功能、加压保持动作、减压阀的调节性能、报警功能应保持良好。检漏仪上的开关、旋钮、功能键及连接件、接插件不应有松动现象，应能正常工作。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 测试压力示值误差

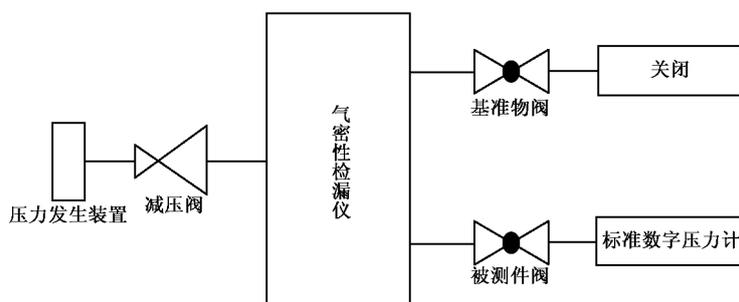


图 2 检漏仪测试压力校准连接图

按图 2 将压力标准器接在被测件阀输出端，并将基准物阀关闭，按产品说明书的要求进行通电预热。以仪器测试压力量程的 10%、50%、90% 作为测试压力的三个校准点，调节检漏仪测试压力使压力标准器示值达到各压力校准点，依次在三个校准点上进行测试。各试验点误差按式 (1) 计算。

$$\delta_{p_i} = p_i - p_{si} \quad (1)$$

式中：

$\delta_{p_i}$  ——第  $i$  个校准点压力示值误差，kPa；

$p_i$  ——第  $i$  个校准点测试压力示值，kPa；

$p_{si}$  ——第  $i$  个校准点压力标准器示值，kPa。

### 7.2.2 差压示值误差

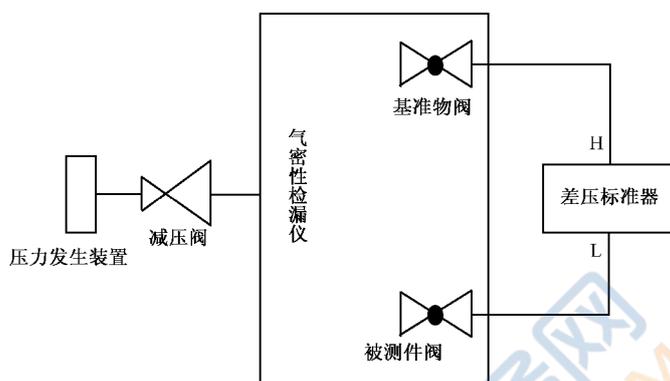


图3 检漏仪差压校准连接图

按图3将差压标准器的高压端与检漏仪的基准物端相连，低压端与检漏仪的被测物端相连，操作检漏仪将两个平衡阀关闭，按照差压传感器量程平均选取5个校准点，分别调整差压到每个校准点。各校准点差压误差按式(2)计算。

$$\delta_{\Delta p_i} = \Delta p_i - \Delta p_{si} \quad (2)$$

式中：

$\delta_{\Delta p_i}$  ——第  $i$  个校准点差压示值误差，Pa；

$\Delta p_i$  ——第  $i$  个校准点差压示值，Pa；

$\Delta p_{si}$  ——第  $i$  个校准点差压标准器示值，Pa。

### 7.2.3 泄漏率误差

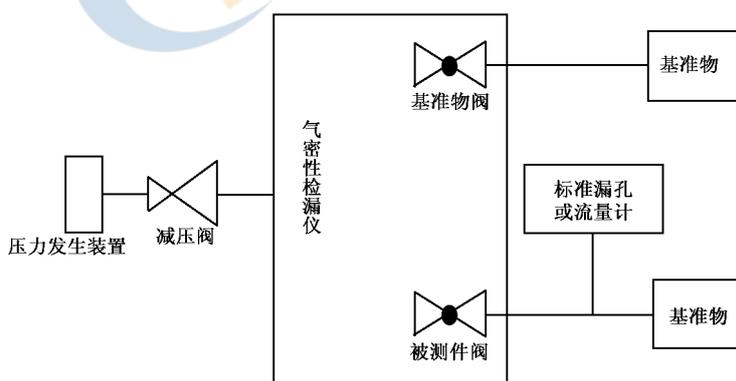


图4 检漏仪泄漏率校准连接图

按图4连接标准漏孔或流量计，根据被校检漏仪说明书，设定检漏仪测试容积（基准物容积+检漏仪内部容积），设定检漏仪测量单位为标准漏孔相同泄漏率单位，然后设定或调节到测试压力，启动检漏仪测试，记录检漏仪对应各个标准漏孔的泄漏率示值。

整个校准过程应在检漏仪泄漏率量程范围内均匀选取三个泄漏率测量点。每个泄漏率测量点在重复性条件下测试三次，可得到  $q_1$ 、 $q_2$  和  $q_3$  三个泄漏率值，取三个泄漏率的平均值作为该测量点的泄漏率  $\bar{q}$ 。该测量点的泄漏率误差  $\delta$  按式 (3) 计算。

$$\delta = \frac{\bar{q} - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\delta$ ——检漏仪泄漏率误差；

$\bar{q}$ ——检漏仪三次泄漏率示值的平均值；

$q_s$ ——标准泄漏率值。

#### 7.2.4 泄漏率重复性

根据 7.2.3 在重复性条件下测得的泄漏率  $q_1$ 、 $q_2$  和  $q_3$ ，由极差法（极差系数为 1.69）按式 (4) 计算泄漏率重复性  $\varphi$ 。

$$\varphi = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{1.69 \times q_s} \quad (4)$$

式中：

$\varphi$ ——检漏仪泄漏率重复性；

$q_{\max}$ —— $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$  三者中的最大值；

$q_{\min}$ —— $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$  三者中的最小值；

$q_s$ ——标准泄漏率值。

## 8 校准结果

经校准的差压式气密检漏仪应出具校准证书，校准证书内页见附录 B。

## 9 复校时间间隔

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。建议复校时间间隔为 1 年。

## 附录 A

## 差压式气密性检漏仪校准原始记录

委托单位：\_\_\_\_\_ 温度：\_\_\_\_\_ °C 相对湿度：\_\_\_\_\_ %

生产单位：\_\_\_\_\_ 仪器型号：\_\_\_\_\_ 仪器编号：\_\_\_\_\_

校准所用仪器设备：\_\_\_\_\_ 校准依据：\_\_\_\_\_ 校准地点：\_\_\_\_\_

校准记录编号：\_\_\_\_\_ 校准证书编号：\_\_\_\_\_

1. 测试压力示值最大误差：\_\_\_\_\_

标准器示值/kPa	检漏仪示值/kPa	示值误差 kPa	测量不确定度 ( $k=2$ )

2. 差压示值最大误差：\_\_\_\_\_

标准器示值/kPa	检漏仪示值/kPa	示值误差 kPa	测量不确定度 ( $k=2$ )

3. 泄漏率误差和泄漏率重复性

标准值 mL/min	检漏仪示值/(mL/min)				泄漏率 误差 %	测量不确定度 ( $k=2$ )	重复性
	1	2	3	平均值			

校准人员：\_\_\_\_\_ 核验人员：\_\_\_\_\_ 校准日期：\_\_\_\_\_

## 附录 B

## 校准证书内页格式

## 1. 测试压力示值误差

标准器示值/kPa	检漏仪示值/kPa	测量不确定度 $U(k=2)$
示值误差：		

## 2. 差压示值误差

标准值/Pa	检漏仪示值/Pa	测量不确定度 $U(k=2)$
示值误差：		

## 3. 泄漏率误差

标准值/(mL/min)	检漏仪示值/(mL/min)	相对测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$
泄漏率误差：		

## 4. 泄漏率重复性\_\_\_\_\_

(以下空白)

## 附录 C

## 检漏仪测试压力示值误差的不确定度评定示例

## C.1 测量模型

检漏仪在第  $i$  个校准点的测试压力示值误差按式 (C.1) 计算：

$$\delta_{pi} = p_i - p_{si} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\delta_{pi}$  ——第  $i$  个校准点测试压力示值误差，kPa；

$p_i$  ——第  $i$  个校准点检漏仪测试压力示值，kPa；

$p_{si}$  ——第  $i$  个校准点压力标准器示值，kPa。

各影响量的灵敏系数计算如下：

$$c(p_i) = \frac{\partial(\delta_{pi})}{\partial(p_i)} = 1$$

$$c(p_{si}) = \frac{\partial(\delta_{pi})}{\partial(p_{si})} = -1$$

## C.2 标准不确定度的评定

检漏仪在第  $i$  个校准点的测试压力示值误差  $\delta_{pi}$  的标准不确定度主要来源于该点测试压力示值的标准不确定度和压力标准器示值的标准不确定度，各不确定度不相关，则  $u_c(\delta_{pi})$  按式 (C.2) 计算：

$$u_c(\delta_{pi}) = \sqrt{c^2(p_i)u^2(p_i) + c^2(p_{si})u^2(p_{si})} = \sqrt{u^2(p_i) + u^2(p_{si})} \quad (\text{C.2})$$

式中：

$u_c(\delta_{pi})$  ——第  $i$  个校准点测试压力示值误差的标准不确定度；

$u(p_i)$  ——第  $i$  个校准点测试压力示值的标准不确定度；

$u(p_{si})$  ——第  $i$  个校准点压力标准器示值的标准不确定度。

C.2.1  $u(p_i)$ 

检漏仪测试压力示值的标准不确定度  $u(p_i)$  主要来源于两方面：一是被校检漏仪测试压力的测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(p_i)$ ，二是被校检漏仪测试压力的分辨力引入的标准不确定度  $u_2(p_i)$ 。

C.2.1.1 被校检漏仪测试压力的测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(p_i)$  的评定

重复性可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定，对一台差压式气密性检漏仪，在重复性条件下连续测量 3 个循环，获取数据见表 C.1。各校准点示值平均值的标准不确定度由式 (C.3) 计算，结果见表 C.2：

$$u_1(p_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^6 (p_{i,j} - \bar{p}_i)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{C.3})$$

式中：

$p_{i,j}$  ——第  $i$  个校准点的测试压力的第  $j$  个示值；

$\bar{p}_i$  ——第  $i$  个校准点测试压力的示值平均值；

$n$  ——测量次数，6。

表 C.1 重复性测量数据

标准值 kPa	正行程 kPa	反行程 kPa	正行程 kPa	反行程 kPa	正行程 kPa	反行程 kPa
20	20.3	20.3	20.4	20.3	20.3	20.4
100	100.5	100.4	100.5	100.4	100.5	100.5
200	200.5	200.5	200.6	200.6	200.5	200.6

表 C.2 各点标准不确定度

标准值/kPa	示值平均值/kPa	标准不确定度 $u_1(p_i)$ /kPa
20	20.33	0.021
100	100.47	0.021
200	200.55	0.022

### C.2.1.2 被校检漏仪测试压力的分辨力引入的标准不确定度 $u_2(p_i)$ 的评定

被校检漏仪测试压力的分辨力  $R$  为 0.1 kPa，由其所引入的标准不确定度  $u_2(p_i)$  采用 B 类评定方法评定，假设可能值在区间内为均匀分布，区间半宽为  $a = R/2$ ，查表得  $k = \sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的标准不确定度为

$$u_2(p_i) = \frac{a}{k} = \frac{R}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{0.1 \text{ kPa}}{2 \times \sqrt{3}} \approx 0.029 \text{ kPa}$$

### C.2.2 第 $i$ 个校准点压力标准器示值的标准不确定度 $u(p_{si})$

输入量  $p_{si}$  的标准不确定度来源于标准数字压力计的误差，按 B 类不确定度评定。标准数字压力计的示值最大允许误差为  $\pm \Delta$ ，则区间半宽为  $\Delta = 250 \text{ kPa} \times 0.05\% = 0.125 \text{ kPa}$ ，按均匀分布，其标准不确定度为

$$u(p_{si}) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.07 \text{ kPa}$$

### C.3 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 C.3。

表 C.3 不确定度分量表

标准不确定度符号		不确定度来源	灵敏系数	不确定度分量/kPa
$u(p_i)$	$u_1(p_i)$	重复性	1	0.022
	$u_2(p_i)$	分辨力	1	0.029
$u(p_{si})$		标准数字 压力计误差	-1	0.07

## C.4 合成标准不确定度

检漏仪在第  $i$  个校准点的测试压力示值误差  $\delta_{pi}$  的合成标准不确定度为

$$\begin{aligned} u_c(\delta_{pi}) &= \sqrt{u^2(p_i) + u^2(p_{si})} = \sqrt{u_1^2(p_i) + u_2^2(p_i) + u^2(p_{si})} \\ &= \sqrt{0.022^2 + 0.029^2 + 0.07^2} \text{ kPa} \approx 0.079 \text{ kPa} \end{aligned}$$

## C.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则检漏仪在第  $i$  个校准点的测试压力示值误差  $\delta_{pi}$  扩展不确定度为

$$U = 2 \times u_c(\delta_{pi}) = 0.2 \text{ kPa}$$



## 附录 D

## 检漏仪差压示值误差的不确定度评定示例

## D.1 测量模型

检漏仪在第  $i$  个校准点的差压示值误差按式 (D.1) 计算：

$$\delta_{\Delta p_i} = \Delta p_i - \Delta p_{si} \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\delta_{\Delta p_i}$  ——第  $i$  个校准点差压示值误差，Pa；

$\Delta p_i$  ——第  $i$  个校准点差压示值，Pa；

$\Delta p_{si}$  ——第  $i$  个校准点差压标准器示值，Pa。

各影响量的灵敏系数计算如下：

$$c(\Delta p_i) = \frac{\partial (\delta_{\Delta p_i})}{\partial (\Delta p_i)} = 1$$

$$c(\Delta p_{si}) = \frac{\partial (\delta_{\Delta p_i})}{\partial (\Delta p_{si})} = -1$$

## D.2 标准不确定度的评定

检漏仪在第  $i$  个校准点的差压示值误差的标准不确定度  $u(\delta_{\Delta p_i})$  主要来源于该点差压示值的标准不确定度和差压标准器示值的标准不确定度，各不确定度不相关，则  $u_c(\delta_{\Delta p_i})$  按式 (D.2) 计算：

$$u_c(\delta_{\Delta p_i}) = \sqrt{c^2(\Delta p_i)u^2(\Delta p_i) + c^2(\Delta p_{si})u^2(\Delta p_{si})} = \sqrt{u^2(\Delta p_i) + u^2(\Delta p_{si})} \quad (\text{D.2})$$

式中：

$u_c(\delta_{\Delta p_i})$  ——第  $i$  个校准点差压示值误差的标准不确定度；

$u(\Delta p_i)$  ——第  $i$  个校准点差压示值的标准不确定度；

$u(\Delta p_{si})$  ——第  $i$  个校准点差压标准器示值的标准不确定度。

D.2.1  $u(\Delta p_i)$ 

检漏仪差压示值的标准不确定度  $u(\Delta p_i)$  主要来源于两方面：一是被校检漏仪差压压力的测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\Delta p_i)$ ，二是被校检漏仪的差压分辨力引入的标准不确定度  $u_2(\Delta p_i)$ 。

D.2.1.1 被校检漏仪差压压力的测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\Delta p_i)$  的评定

重复性可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定，对一台差压式气密性检漏仪，在重复性条件下连续测量 3 个循环，获取数据见表 D.1。各校准点示值平均值的标准不确定度由式 (D.3) 计算，结果见表 D.2：

$$u_1(\Delta p_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^6 (\Delta p_{i,j} - \overline{\Delta p_i})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{D.3})$$

式中：

$\Delta p_{i,j}$  ——第  $i$  个校准点的差压压力的第  $j$  个示值；

$\overline{\Delta p}_i$  ——第  $i$  个校准点差压压力的示值平均值；

$n$  ——测量次数，6。

表 D.1 重复性测量数据

标准值/Pa	正行程/Pa	反行程/Pa	正行程/Pa	反行程/Pa	正行程/Pa	反行程/Pa
50	50	49	49	50	49	50
100	102	102	102	102	101	100
200	202	203	202	204	203	204
400	404	404	403	404	405	404
600	605	606	606	605	606	606

表 D.2 各点标准不确定度

标准值/Pa	示值平均值/Pa	标准不确定度 $u_1(\Delta p_i)$ /Pa
50	49.5	0.22
100	101.5	0.34
200	203	0.37
400	404	0.26
600	605.67	0.22

D.2.1.2 被校检漏仪的差压压力分辨力引入的标准不确定度  $u_2(\Delta p_i)$  的评定

被校检漏仪差压压力的分辨力  $R$  为 1 Pa，由其所引入的标准不确定度  $u_2(\Delta p_i)$  采用 B 类评定方法评定，假设可能值在区间内为均匀分布，区间半宽为  $a = R/2$ ，查表得  $k = \sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的标准不确定度为

$$u_2(\Delta p_i) = \frac{a}{k} = \frac{R}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{1 \text{ Pa}}{2 \times \sqrt{3}} \approx 0.29 \text{ Pa}$$

D.2.2 第  $i$  个校准点差压标准器示值的标准不确定度  $u(\Delta p_{si})$

输入量  $\Delta p_{si}$  的标准不确定度来源于标准数字压力计的误差，按 B 类不确定度评定。标准数字压力计的示值最大允许误差为  $\pm \Delta$ ，则区间半宽为  $\Delta = 5\,000 \text{ Pa} \times 0.05\% = 2.5 \text{ Pa}$ ，按均匀分布，其标准不确定度为

$$u(\Delta p_{si}) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 1.44 \text{ Pa}$$

D.3 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 D.3。

表 D.3 不确定度分量表

标准不确定度符号		不确定度来源	灵敏系数	不确定度分量/Pa
$u(\Delta p_i)$	$u_1(\Delta p_i)$	重复性	1	0.37
	$u_2(\Delta p_i)$	分辨力	1	0.29
$u(\Delta p_{si})$		标准数字压力计误差	-1	1.44

## D.4 合成标准不确定度

检漏仪在第  $i$  个校准点的差压示值误差  $\delta_{\Delta p_i}$  的合成标准不确定度为

$$\begin{aligned} u_c(\delta_{\Delta p_i}) &= \sqrt{u^2(\Delta p_i) + u^2(\Delta p_{si})} = \sqrt{u_1^2(\Delta p_i) + u_2^2(\Delta p_i) + u^2(\Delta p_{si})} \\ &= \sqrt{0.37^2 + 0.29^2 + 1.44^2} \text{ Pa} = 1.51 \text{ Pa} \end{aligned}$$

## D.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则检漏仪在第  $i$  个校准点的差压示值误差  $\delta_{\Delta p_i}$  扩展不确定度为

$$U = 2 \times u_c(\delta_{\Delta p_i}) = 3 \text{ Pa}$$

## 附录 E

## 检漏仪泄漏率误差 uncertainty 评定示例

## E.1 测量模型

检漏仪泄漏率误差的计算按式 (E.1) 计算:

$$\delta = \frac{\bar{q} - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

式中:

$\delta$  —— 检漏仪泄漏率误差;

$\bar{q}$  —— 检漏仪 3 次泄漏率示值的平均值, mL/min;

$q_s$  —— 标准泄漏率值, mL/min。

各影响量的灵敏系数计算如下:

$$c(\bar{q}) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(\bar{q})} = \frac{1}{q_s}$$

$$c(q_s) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(q_s)} = -\frac{\bar{q}}{q_s^2}$$

## E.2 标准不确定度的评定

检漏仪泄漏率误差  $\delta$  的标准不确定度  $u_r(\delta)$  主要来源于 3 次泄漏率示值平均值的标准不确定度和标准泄漏率值的标准不确定度, 各不确定度不相关, 则  $u_r(\delta)$  按式 (E.2) 计算:

$$u_r(\delta) = \sqrt{c^2(\bar{q})u^2(\bar{q}) + c^2(q_s)u^2(q_s)} \quad (\text{E.2})$$

式中:

$u_r(\delta)$  —— 泄漏率误差的标准不确定度;

$u(\bar{q})$  —— 3 次泄漏率示值平均值的标准不确定度;

$u(q_s)$  —— 标准泄漏率值的标准不确定度。

E.2.1  $u(\bar{q})$ 

检漏仪的泄漏率示值平均值的标准不确定度  $u(\bar{q})$  由以下分量组成:

$u_1(\bar{q})$  —— 检漏仪泄漏率示值重复测量引入的标准不确定度;

$u_2(\bar{q})$  —— 检漏仪泄漏率显示分辨力引入的标准不确定度;

$u_3(\bar{q})$  —— 检漏仪因内部泄漏造成的压力降引入的标准不确定度;

$u_4(\bar{q})$  —— 检漏仪测试容积引入的标准不确定度。

E.2.1.1  $u_1(\bar{q})$ 

按 A 类方法评定, 在重复性校准条件下, 将检漏仪连接上标准泄漏率为 2 mL/min 的标准漏孔, 进行 10 次测试, 读数见表 E.1。

表 E.1 重复性测量数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
泄漏率 示值 mL/min	1.998	1.997	1.999	1.996	1.996	1.997	1.998	1.999	1.997	1.998

检漏仪泄漏率单次测量的实验标准差  $s(\bar{q})$  由式 (E.3) 计算:

$$s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (q_i - \bar{q})^2}{n-1}} = 0.001\ 08\ \text{mL/min} \quad (\text{E.3})$$

式中:

$q_i$  ——第  $i$  次测试的泄漏率示值;

$\bar{q}$  ——10 次测量的泄漏率平均值;

$n$  ——测量次数, 10。

实际校准过程中, 泄漏率示值取 3 次测量数据的平均值, 则检漏仪泄漏率示值重复测量引入的标准不确定度由式 (E.4) 计算:

$$u_1(\bar{q}) = \frac{s(\bar{q})}{\sqrt{3}} = 0.000\ 62\ \text{mL/min} \quad (\text{E.4})$$

#### E.2.1.2 $u_2(\bar{q})$

检漏仪泄漏率显示分辨力为 0.01 mL/min, 按 B 类不确定度评定, 服从均匀分布, 其半宽为 0.005 mL/min, 包含因子为  $\sqrt{3}$ , 则

$$u_2(\bar{q}) = \frac{0.005\ \text{mL/min}}{\sqrt{3}} \approx 0.002\ 9\ \text{mL/min}$$

#### E.2.1.3 $u_3(\bar{q})$

本示例中的检漏仪因内部泄漏造成的压力降不超过  $\pm 5\ \text{Pa}$ , 按 B 类不确定度评定, 服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则压力降引入的压力标准不确定度为 2.9 Pa, 在温度一定的情况下, 考虑到检测时间确定为 1 min, 检漏仪测试容积为 100 mL, 大气压力为 100 kPa, 根据式 (E.5):

$$u_3(\bar{q}) = \frac{100\ \text{mL} \times 2.9\ \text{Pa}}{100\ 000\ \text{Pa} \times 1\ \text{min}} = 0.002\ 9\ \text{mL/min} \quad (\text{E.5})$$

#### E.2.1.4 $u_4(\bar{q})$

检漏仪测试容积为 100 mL, 其误差不超过  $\pm 0.2\%$  (即  $\pm 0.2\ \text{mL}$ ), 按 B 类不确定度评定, 服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则检漏仪测试容积引入的标准不确定度为 0.115 mL, 按整个测试过程中压力降为较大的 200 Pa 计算, 按式 (E.6):

$$u_4(\bar{q}) = \frac{0.115\ \text{mL} \times 200\ \text{Pa}}{100\ 000\ \text{Pa} \times 1\ \text{min}} = 0.000\ 23\ \text{mL/min} \quad (\text{E.6})$$

#### E.2.2 $u(q_s)$

标准漏孔泄漏率标称值为 2 mL/min, 其相对扩展不确定度不大于 5% ( $k=2$ ), 则

标准漏孔泄漏率的标准不确定度为：

$$u(q_s) = \frac{2 \text{ mL/min} \times 5\%}{2} = 0.05 \text{ mL/min}$$

### E.3 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 E.2。

表 E.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	灵敏系数	标准不确定度	相对标准不确定度
$u(\bar{q})$	$u_1(\bar{q})$	1/2	0.000 62 mL/min	0.21%
	$u_2(\bar{q})$		0.002 9 mL/min	
	$u_3(\bar{q})$		0.002 9 mL/min	
	$u_4(\bar{q})$		0.000 23 mL/min	
$u(q_s)$	标准漏孔泄漏率误差	-1/2	0.05 mL/min	2.5%

### E.4 相对合成标准不确定度

检漏仪泄漏率误差  $\delta$  的相对合成标准不确定度为：

$$u_{cr}(\delta) = \sqrt{c^2(\bar{q})u^2(\bar{q}) + c^2(q_s)u^2(q_s)} = 2.51\%$$

### E.5 相对扩展不确定度

取  $k=2$ ，则相对扩展不确定度为

$$U_{rel}(\delta) = 2 \times u_{cr}(\delta) = 5.1\%$$