



天津市地方计量技术规范

JJF(津)02—2018

差压平衡式气密检漏仪校准规范

Calibration Specification for Differential Pressure Balanced Air Leak Tester

2018-03-08 发布

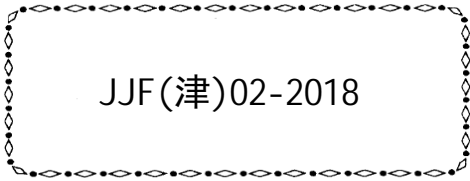
2018-06-01 实施

天津市市场和质量监督管理委员会 发布

差压平衡式气密检漏仪 校准规范

Calibration Specification for

Differential Pressure Balanced Air Leak Tester



JJF(津)02-2018

归口单位：天津市市场和质量监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

天津市欧陆测控技术有限公司

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

王锡钢 （天津市计量监督检测科学研究院）

安海骄 （天津市计量监督检测科学研究院）

甄 杨 （天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

郭知明 （天津市计量监督检测科学研究院）

崔 越 （天津市计量监督检测科学研究院）

赵 轶 （天津市计量监督检测科学研究院）

姚月进 （天津市欧陆测控技术有限公司）

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.....	(2)
4.1 工作原理.....	(2)
4.2 结构.....	(2)
4.3 用途.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其它设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 一般检查.....	(3)
7.2 校准项目.....	(3)
7.3 校准方法.....	(4)
8 校准结果的表达.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 校准记录的参考格式.....	(8)
附录 B 校准证书内页格式	(10)
附录 C 漏率测量不确定度示例	(11)
附录 D 测试压力测量不确定度示例	(14)
附录 E 平衡差压测量不确定度示例	(17)

引 言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1004-2011《流量计量名词术语及定义》JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

目前，差压平衡式气密检漏仪在我国已有众多用户，而国内目前尚无相应的计量技术规范，该仪器的量值溯源工作处于盲区。由于没有国家校准规范，各地在校准项目、校准方法及标准器的要求等方面不统一、不够规范和完善，为此制定本规范。

本规范为首次制定。

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(表压)为(0~50) kPa, 气体漏率为(1~10) atm.mL/min, 平衡差压(表压)为(0~2000) Pa的差压平衡式气密检漏仪(以下简称检漏仪)的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 25752-2010 差压式气密检漏仪

JJG 875-2005 数字压力计

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF1004-2011 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, 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 基准物master

和被测物的形状、材质及容积相同且其漏率和被测物相比可以忽略的参照物体。

3.1.2 漏率leakage rate

单位时间被测物内泄漏的体积值, 单位为atm.mL/min。

3.1.3 差压式气密检漏仪differential pressure air leak 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漏率大小的仪器或装置。

3.1.4 容积校正器 internal volume calibrator

通过精确、微小的容积变化量, 使检漏仪产生不同压力差的装置。

3.2 计量单位

3.2.1 体积单位: 毫升, 符号mL。

3.2.2 漏率单位: 标准大气压毫升每分钟(atm.mL/min)。

3.2.3 压力单位: 帕[斯卡], 符号Pa; 或千帕, 符号kPa。

3.2.4 温度单位：摄氏度，符号℃；或热力学温度，符号K。

4 概述

4.1 工作原理

检漏仪主要适用于在测试压力小于50kPa的密闭容器里的微小气体漏率的检测。检漏仪采用高精度的差压传感器，在基准物和被测物两端同时充入相同的压力，使差压传感器处于平衡的初始状态，仪器在依次进行的充气、平衡、检测等工作过程中，如果被测物有微小泄漏，则差压传感器能探测到基准物与被测物之间的压差，最终压差信号通过一定的数学模型计算出漏率，并进行显示。

4.2 结构

检漏仪由外壳、减压阀、测试压力传感器、加压排气阀、平衡阀、差压传感器、基准物阀、被测物阀、信号处理单元和显示器组成，检漏仪的结构如图1所示，灰色方框表示检漏仪外壳。

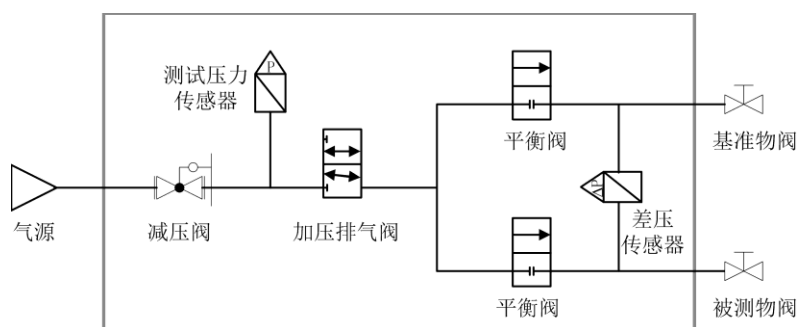


图1 检漏仪结构示意图

4.3 用途

差压式气密检漏仪主要用于燃气具、汽车、航天等行业的密封性测试。

5 计量特性

检漏仪的校准参数和对应技术指标如表1所示。

表1 检漏仪的校准参数及对应的技术指标

序号	项目	范围	最大允许误差
1	测试压力	(0~50) kPa	± 2% F. S
2	漏率	(1~10) atm. mL/min	± 10%
3	平衡差压	(0~2000) Pa	± 1% F. S

注：以上指标不适用于合格判据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境条件一般应满足：

环境温度：(15~30) °C

相对湿度：不大于85%

大气压力：(86~106) kPa

环境中无紊乱气流、紊乱热流、剧烈振动、强电场、强磁场。

6.2 测量标准及其它设备

校准时所需的标准仪器及设备见表2所示。

表2 校准用仪器设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途
1	数字压力计	压力范围：(0~60)kPa，准确度等级：0.5级	测量测试压力
2	皂膜流量计	最大允许误差：±1%	测量漏率
3	标准差压计	差压范围：(0~2500)Pa，最大允许误差：±0.2%	测量平衡差压

7 校准项目和校准方法

7.1 一般检查

7.1.1 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，不应有缺笔划等现象。

7.1.2 检漏仪应标有产品名称、型号、漏率范围（或平衡差压范围）、测试压力范围、制造厂名、出厂编号、制造年月等标识，并清晰可辨。

7.1.3 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的。

7.1.4 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。

7.1.5 对于以上外观或功能不全而影响正常校准的情况，可不进行下述校准项目。

7.2 校准项目

本规范校准项目包括测试压力、漏率和平衡差压的校准。若客户有要求时，可以根据客户的要求选择校准项目。

7.3 校准方法

7.3.1 测试压力的校准

首先将检漏仪放置在校准场所至少恒温1小时，按图2所示，将数字压力计连接至基准物阀处，打开基准物阀并关闭被测物阀，按产品说明书的要求进行通电预热。在被校仪器实际测试压力范围内均匀选取5个校准点，至少包括最大测试压力 p_{\max} 和最小测试压力 p_{\min} ，调节检漏仪测试压力使其达到各校准点，读取数字压力计示值，依次在五个校准点上进行一次上下行程的校准。

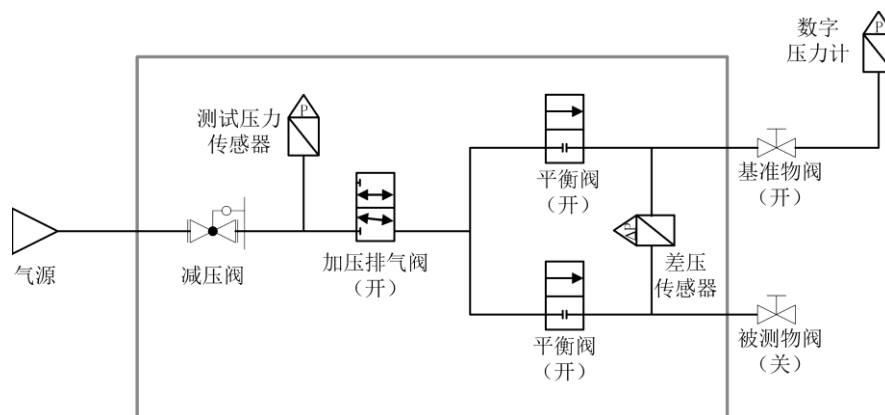


图2 检漏仪测试压力校准连接示意图

按式 (1) 计算每个校准点的数字压力计平均值。

$$\overline{p_{SN}} = \frac{p_{1升} + p_{1降} + p_{2升} + p_{2降}}{4} \quad (1)$$

式中：

$\overline{p_{SN}}$ ——数字压力计的压力平均值，kPa；

$p_{1升}$ 、 $p_{1降}$ 、 $p_{2升}$ 、 $p_{2降}$ ——分别为第1次升压、第1次降压、第2次升压、第2次降压的数字压力计显示值，kPa。

按式 (2) 计算测试压力的引用误差 δ_p ：

$$\delta_p = \frac{p_x - \overline{p_{SN}}}{p_{FS}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_p ——测试压力的引用误差，% F.S；

p_x ——被校检漏仪显示值，kPa；

p_{FS} ——被校检漏仪的满量程测试压力，kPa。

7.3.2 漏率的校准

首先将检漏仪放置在检验场所至少恒温1小时，按图3连接，打开被测物阀和基准物阀，并确保基准物阀侧的基准物与被测物阀侧的标准容积罐体的容积相同，按产品说明书的要求进行通电预热。按照表3设置检漏仪的各时间参数，启动检漏仪进行测试。在平衡差压量程范围内均匀选取3个校准点。使用与第一个校准点漏率相等的标准漏孔，并相应地将检漏仪压力调节至该标准漏孔的标称工作压力，读取流量计示值，同理，完成另外两个校准点的试验。每个校准点进行三次校准，每次测试需间隔5分钟，以确保气路恢复到原始温度及形变状态。

表3 检漏仪时间参数设定要求

参数名称	加压时间	平衡时间	检测时间
设定值 (s)	10	5	10

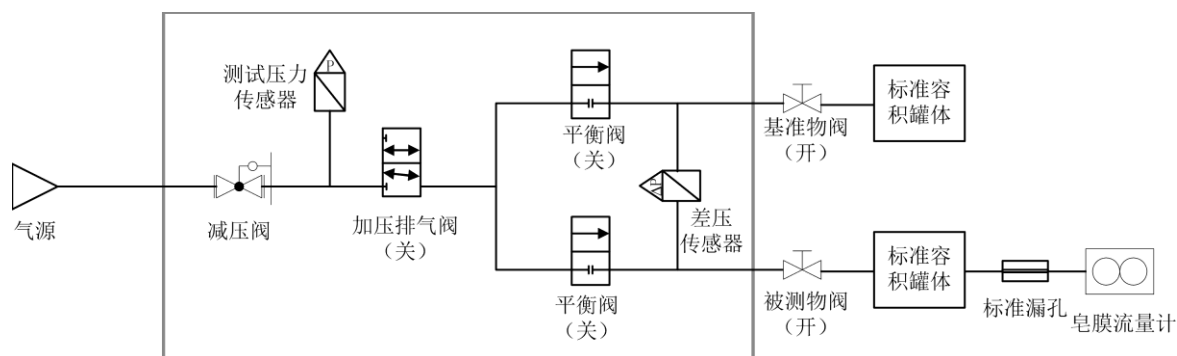


图3 检漏仪漏率校准连接示意图

按式 (3) 计算各校准点下，检漏仪显示漏率平均值。

$$\bar{q} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{3} \quad (3)$$

式中：

\bar{q} ——检漏仪显示漏率平均值，atm.mL/min；

q_1 、 q_2 、 q_3 ——第1次、第2次、第3次测试时检漏仪的漏率显示值，atm.mL/min。

按式 (4) 计算各校准点漏率误差 δ_q ：

$$\delta_q = \frac{\bar{q} - q_{SN}}{q_{SN}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

δ_q ——漏率误差，%；

q_{SN} ——皂膜流量计显示的漏率, atm.mL/min;

7.3.3 平衡差压的校准

将标准差压计、容积校正器与检漏仪基准物阀一侧连接,操作检漏仪将两个平衡阀关闭。按照平衡差压量程选择四个校准点: Δp_{\max} 、 $0.5\Delta p_{\max}$ 、 $0.25\Delta p_{\max}$ 、 $0.1\Delta p_{\max}$,使用容积校正器分别调整差压到各试验点,每点试验两次。再将标准差压计、容积校正器与检漏仪差压传感器另一侧连接,使用容积校正器分别调整差压到各试验点,每点试验两次。按照式(5)计算每个校准点的标准差压计示值的平均值。

$$\overline{\Delta p_{SN}} = \frac{\Delta p_{SN1} + \Delta p_{SN2}}{2} \quad (5)$$

式中:

$\overline{\Delta p_{SN}}$ ——标准差压计示值的平均值, Pa;

Δp_{SN1} 、 Δp_{SN2} ——分别为第1次、第2次试验标准差压计的示值, Pa。

按式(6)计算每个校准点的平衡差压的引用误差:

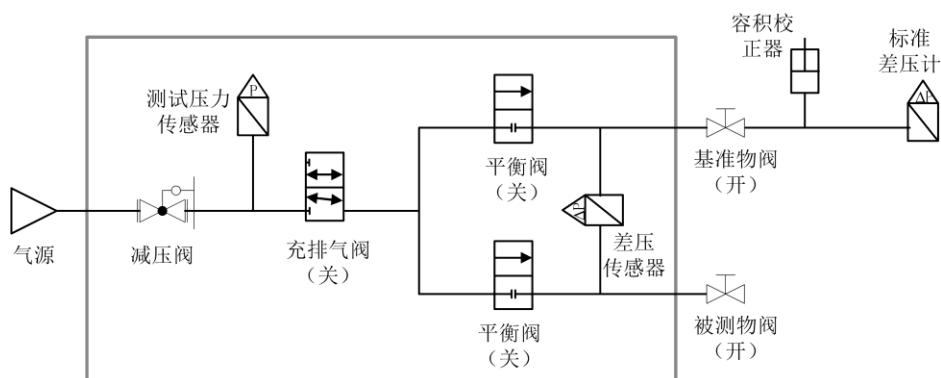


图4 检漏仪平衡差压校准连接示意图

$$\delta_{\Delta p} = \frac{\Delta p - \overline{\Delta p_{SN}}}{\Delta p_{FS}} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

$\delta_{\Delta p}$ ——平衡差压的引用误差, %;

Δp ——检漏仪差压传感器显示值, Pa;

$\overline{\Delta p_{SN}}$ ——标准差压计示值的平均值, Pa;

Δp_{FS} ——检漏仪差压传感器最大值, Pa。

8 校准结果的表达

原始记录和校准证书格式见附录A和附录B。

9 复校时间间隔

建议最长复校时间间隔不超过1年,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,送校单位可根据实际使用情况决定复校时间间隔。

附录A

校准记录的参考格式

委托单位: _____ 证书编号: _____
 客户地址: _____
 仪器名称: _____ 制造厂: _____
 型号/规格: _____ 编 号: _____
 实验室名称: _____ 实验室地点: _____
 技术依据: _____ 环境温度: _____ °C 相对湿度: _____ %
 测试压力范围: _____ 漏率范围: _____ 平衡差压范围: _____
 校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日 校准地点: _____

主要标准器名称	型号/规格	编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书号	有效期

校准结果

1、测试压力的校准

检漏仪 测试压 力示值 (kPa)	标准器示值 (kPa)				平均值 (kPa)	误差 (%)	扩展测量不 确定度, $k=2$
	第一次		第二次				
	升压	降压	升压	降压			

测试压力误差的测量不确定度的分析计算:

2、漏率的校准

测试压力 (kPa)	标准流量计示值 (atm. mL/min)	检漏仪示值 (atm. mL/min)				误差 (%)	扩展测量不 确定度, $k=2$
		第一次	第二次	第三次	平均值		

漏率误差的测量不确定度的分析与计算:

3、平衡差压的校准

检漏仪差压 传感器示值 (Pa)	测量 次数	标准差压计 显示值 (Pa)	标准差压计显示 平均值 (Pa)	误差 (%)	扩展测量不确定度, $k=2$
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				

平衡差压误差的测量不确定度的分析与计算:

校准员: _____ 核验员: _____

附录B

校准证书内页格式

校准结果

1. 测试压力

检漏仪示值 (kPa)	标准值 (kPa)	误差 (%)	扩展测量不确定度 $k=2$

2. 漏率

测试压力 (kPa)	漏率标准值 (atm. mL/min)	检漏仪示值 (atm. mL/min)	误差 (%)	扩展测量不确定度, $k=2$

3. 平衡差压

检漏仪差压传感器示值 (Pa)	标准差压计显示 (Pa)	误差 (%)	扩展测量不确定度 $k=2$

(以下空白)

附录C

漏率测量不确定度示例

C.1 概述

本次测量使用最大允许误差为 $\pm 1\%$ 的皂膜流量计，数字压力计为0.5级，测量对象为检漏仪在测试压力为1kPa，漏率为1.5 atm.mL/min时的示值误差。

C.2 数学模型及不确定度传播率

C.2.1 数学模型：

$$\delta_q = \frac{\bar{q} - q_{SN}}{q_{SN}} \times 100\% = \left(\frac{\bar{q}}{q_{SN}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ_q ——漏率误差，%；

\bar{q} ——检漏仪显示漏率平均值，atm.mL/min；

q_{SN} ——流量计漏率，atm.mL/min；

C.2.2 不确定度传播率：

不确定度传播率为：

$$u_{cr}^2(\delta_q) = c_1^2 u_r^2(\bar{q}) + c_2^2 u_r^2(q_{SN}) \quad (\text{C.2})$$

(C.2) 式中，灵敏系数 $c_1 = \frac{\partial \delta_q}{\partial \bar{q}} = 1$ $c_2 = \frac{\partial \delta_q}{\partial q_{SN}} = -1$

C.3 不确定度来源

C.3.1 检漏仪漏率示值引入的不确定度 $u_r(\bar{q})$ 由下列不确定度分量构成：

C.3.1.1 检漏仪漏率测量重复性引入的不确定度分量 u_{r11}

C.3.1.2 检漏仪漏率示值分辨率引入的不确定度分量 u_{r12}

C.3.2 标准流量测量引入的不确定度 $u_r(q_{SN})$

C.4 不确定度的评定

C.4.1 $u_r(\bar{q})$ 的计算

C.4.1.1 u_{r11} 的计算

在校准条件下，标准漏孔的标称工作压力，读取流量计示值，并在该校准点下进行

三次校准，数据如下：

测试值	q_1	q_2	q_3	\bar{q}
检漏仪漏率示值 (atm. mL/min)	1.468	1.487	1.529	1.4947

按照极差法计算检漏仪漏率示值的实验标准偏差 s ：

$$s = \frac{1.529 - 1.468}{2.06} = 0.02961 \text{ mL/min}$$

测标准数字压力计重复测量引入的A类标准不确定度为：

$$u_{r11} = \frac{s}{\sqrt{3}q} = \frac{0.0296}{\sqrt{3}q} = 1.14\%$$

C.4.1.2 u_{12} 的计算

检漏仪显示分辨率为0.001atm. mL/min，服从均匀分布，其半宽为0.0005atm. mL/min，包含因子为 $\sqrt{3}$ ：

$$u_{r12} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}q} = 0.02\%$$

u_{r11} 和 u_{r12} 相关，取大者： $u_r(\bar{q}) = 1.14\%$

C.4.2 $u_r(q_{SN})$ 的计算

C.4.2.1 $u_r(q_{SN})$ 的计算

流量计的最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，假设服从均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ：

$$u_r(q_{SN}) = 1\% / \sqrt{3} = 0.58\%$$

C.5 合成标准不确定度

C.5.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	相对标准不确定度值 (%)	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i$ (%)
$u_r(\bar{q})$	检漏仪示值引入的不确定度	1.14		
u_{r11}	检漏仪测量重复性引入的不确定度分量	1.14	1	1.14
u_{r12}	检漏仪分辨率引入的不确定度分量	0.02		
$u_r(q_{SN})$	标准流量测量引入的标准不确定度	0.58	-1	0.58

C.5.2 合成标准不确定度计算

$$u_{\text{cr}}(\delta_q) = \sqrt{u_r^2(\bar{q}) + u_r^2(q_{SN})} = 1.28\%$$

C.6 扩展不确定度评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U = 1.28\% \times 2 = 2.56\%$

附录D

测试压力测量不确定度示例

D.1 概述

本次测量标准使用的是准确度等级为0.5级、压力范围为(0~60) kPa的标准数字压力计,测量对象为满量程为20kPa的检漏仪在10kPa校准点的测试压力示值误差。在规范校准环境条件下,温度、湿度、磁场、电源变化等的影响可以忽略。

D.2 数学模型及不确定度传播率

D.2.1 数学模型

$$\delta_p = \frac{p_x - p_{SN}}{p_{FS}} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中:

δ_p ——测试压力误差, %;

p_x ——被校检漏仪显示值, kPa;

p_{FS} ——被校检漏仪的满量程测试压力, kPa。

D.2.2 不确定度传播率

由于压力满量程 p_{FS} 为常数,故不确定度传播率为:

$$u_c^2(\delta_p) = c_1^2 u^2(p_x) + c_2^2 u^2(p_{SN}) \quad (\text{D.2})$$

(D.2) 式中, 灵敏系数 $c_1 = \frac{\partial \delta_p}{\partial p_x} = \frac{1}{p_{FS}}$ $c_2 = \frac{\partial \delta_p}{\partial p_y} = -\frac{1}{p_{SN}}$

D.3 不确定度来源

D.3.1 检漏仪测试压力示值引入的不确定度 u_1 由下列不确定度分量构成

D.3.1.1 检漏仪测试压力分辨率引入的不确定度分量 u_{11}

D.3.2 标准数字压力计引入的不确定度 u_2

D.3.2.1 标准数字压力计准确度引入的不确定度分量 u_{21}

D.3.2.2 标准数字压力计重复测量引入的A类不确定度分量 u_{22}

D.4 不确定度的评定

D.4.1 u_1 的计算

D. 4. 1. 1 u_{11} 的计算

检漏仪显示分辨率为0.1kPa, 服从均匀分布, 其半宽0.05kPa, 包含因子为 $\sqrt{3}$:

$$u_{11} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0289\text{kPa}$$

因此, $u_1 = 0.0289\text{kPa}$ 。

D. 4. 2 u_2 的计算D. 4. 2. 1 u_{21} 的计算

标准数字压力计的准确度等级为0.5级, 压力范围为(0~60)kPa, 最大允许误差为 $\pm 0.3\text{kPa}$, 服从均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, $u_{21} = 0.3/\sqrt{3} = 0.174\text{kPa}$ 。

D. 4. 2. 2 u_{22} 的计算

在校准条件下, 调节检漏仪测试压力为10.0kPa, 在此校准点上进行两次上下行程的共4次测试, 读数如下:

测试值	$\rho_{1升}$	$\rho_{1降}$	$\rho_{2升}$	$\rho_{2降}$
数字压力计示值 (kPa)	9.95	10.00	9.91	10.10

按照极差法计算标准数字压力计测量值的实验标准偏差 s :

$$s = \frac{10.10 - 9.91}{2.06} = 0.092\text{kPa}$$

测标准数字压力计重复测量引入的A类标准不确定度为:

$$u_{22} = \frac{s}{\sqrt{4}} = \frac{0.092}{\sqrt{4}} = 0.0461\text{kPa}$$

因此, $u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = 0.18\text{kPa}$ 。

D. 5 合成标准不确定度

D. 5. 1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i$
u_1	检漏仪示值引入的不确定度	0.0289kPa	0.05kPa ⁻¹	0.001445
u_{11}	检漏仪分辨率引入的不确定度分量	0.0289kPa		

u_2	标准数字压力计引入的不确定度	0.18kPa		
u_{21}	标准数字压力计准确度引入的不确定度分量	0.174kPa	-0.05kPa ⁻¹	0.009
u_{22}	标准数字压力计测试压力测量重复性引入的不确定度分量	0.0461kPa		

D.5.2 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = \sqrt{\frac{0.0289^2}{20^2} + \frac{0.18^2}{20^2}} = 0.91\%$$

D.6 扩展不确定度评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U = 0.91 \times 2 = 1.82\%$

附录E

平衡差压测量不确定度示例

E.1 概述

本次测量标准使用的是准确度等级为0.2级、差压测量范围为(0~2500) Pa的标准差压计,测量对象为检漏仪满量程为1kPa的差压传感器在600Pa校准点下的示值误差。在规范校准环境条件下,温度、湿度、磁场、电源变化等的影响可以忽略。

E.2 数学模型及不确定度传播率

E.2.1 数学模型

$$\delta_{\Delta p} = \frac{\Delta p - \overline{\Delta p_{SN}}}{\Delta p_{FS}} \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

式中:

$\delta_{\Delta p}$ ——平衡差压误差, %;

Δp ——检漏仪差压传感器显示值, Pa;

$\overline{\Delta p_{SN}}$ ——标准差压计示值的平均值, Pa;

Δp_{FS} ——检漏仪差压传感器最大值, Pa。

E.2.2 不确定度传播率

因(1)式是线性数学模型,且各输入量相互独立无关,故不确定度传播率为:

$$u_c^2(\delta_{\Delta p}) = c_1^2 u^2(\Delta p) + c_2^2 u^2(\overline{\Delta p_{SN}}) \quad (\text{E.2})$$

(E.2)式中,灵敏系数 $c_1 = \frac{\partial \delta_{\Delta p}}{\partial \Delta p} = \frac{1}{\Delta p_{FS}}$ $c_2 = \frac{\partial \delta_{\Delta p}}{\partial \overline{\Delta p_{SN}}} = -\frac{1}{\Delta p_{FS}}$

E.3 不确定度来源

E.3.1 检漏仪差压传感器示值引入的不确定度 u_1 由下列不确定度分量构成

E.3.1.1 检漏仪差压传感器分辨率引入的不确定度分量 u_{11}

E.3.2 标准差压计引入的不确定度 u_2

E.3.2.1 标准差压计准确度引入的不确定度分量 u_{21}

E.3.2.2 检漏仪差压传感器重复测量引入的A类不确定度分量 u_{22}

E.4 不确定度的评定

E. 4.1 u_1 的计算E. 4.1.1 u_{11} 的计算

检漏仪平衡差压显示分辨率为0.1Pa, 服从均匀分布, 其半宽0.05Pa, 包含因子为 $\sqrt{3}$, $u_{11} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{Pa}$ 。因此, $u_1 = 0.029\text{Pa}$ 。

E. 4.2 u_2 的计算E. 4.2.1 u_{21} 的计算

标准差压计的准确度等级为0.2级, 测量范围为(0~2500)Pa, 最大允许误差为 $\pm 5\text{Pa}$, 服从均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, $u_{21} = 5/\sqrt{3} = 2.887\text{Pa}$ 。

E. 4.2.2 u_{22} 的计算

在校准条件下, 将标准差压计一端、容积校正器与检漏仪差压传感器一侧连接, 操作检漏仪将两个平衡阀关闭。调节容积校正器使检漏仪差压传感器显示为600.0Pa, 读取标准差压计示值, 进行2次测试, 读数如下:

测试值	p_{SN1}	p_{SN2}
标准差压计示值 (Pa)	596.2	598.5

按照极差法计算标准差压计测量值的实验标准偏差 s :

$$s = \frac{598.5 - 596.2}{1.13} = 2.035\text{Pa}$$

测标准数字压力计重复测量引入的A类标准不确定度为:

$$u_{22} = \frac{s}{\sqrt{2}} = \frac{2.035}{\sqrt{2}} = 1.439\text{Pa}$$

因此, $u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = 3.226\text{Pa}$ 。

E. 5 合成标准不确定度

E. 5.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i$
u_1	检漏仪示值引入的不确定度	0.029Pa	0.001 Pa^{-1}	0.000029
u_{11}	检漏仪分辨率引入的不确定度分量	0.029Pa		

u_2	标准差压计引入的不确定度	3.226Pa		
u_{21}	标准差压计准确度引入的不确定度分量	2.887Pa	-0.001 Pa ⁻¹	0.003226
u_{22}	标准差压计平衡差压测量重复性引入的不确定度分量	1.439Pa		

E.5.2 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = \sqrt{\frac{0.029^2}{1000^2} + \frac{3.22^2}{1000^2}} = 0.32\%$$

E.6 扩展不确定度评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U = 0.32\% \times 2 = 0.64\%$ 。