

中华人民共和国国家计量技术规范

 JJF××××-20××

气体采样类仪器检定装置校准规范

Calibration Specification for

Verification Devices with Gas Sampling Instruments

（征求意见稿）

xxxx - xx - xx发布 xxxx– xx - xx 实施

国家市场监督管理总局 发 布

JJF XXXX-20××

气体采样类仪器

检定装置校准规范

Calibration Specification for

Verification Devices with Gas Sampling Instruments

　　归口单位：全国流量计量技术委员会

　　主要起草单位：

　　参加起草单位：

本规范委托全国流量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

[引 言 II](#_Toc145594798)

[1 范围 1](#_Toc145594799)

[2 引用文件 1](#_Toc145594800)

[3 术语和定义 1](#_Toc145594801)

[3.1 术语 1](#_Toc145594802)

[3.2 计量单位 2](#_Toc145594803)

[4 概述 2](#_Toc145594804)

[4.1 压力模块工作原理 2](#_Toc145594805)

[4.2 流量模块工作原理 2](#_Toc145594806)

[4.3 组成 5](#_Toc145594807)

[4.4 用途 5](#_Toc145594808)

[5 计量特性 5](#_Toc145594809)

[5.1 流量示值误差 5](#_Toc145594810)

[5.2 流量重复性 6](#_Toc145594811)

[5.3 压力示值误差(如适用) 6](#_Toc145594812)

[6 校准条件 6](#_Toc145594813)

[6.1 环境条件 6](#_Toc145594814)

[6.2 校准介质 6](#_Toc145594815)

[6.3 测量标准及配套计量设备 6](#_Toc145594816)

[7 校准项目和校准方法 7](#_Toc145594817)

[7.1 校准项目 7](#_Toc145594818)

[7.2 校准方法 7](#_Toc145594819)

[8 校准结果表达 11](#_Toc145594820)

[9 复校时间间隔 11](#_Toc145594821)

[附录A 原始记录 12](#_Toc145594822)

[附录B 流量示值误差不确定度评定示例 18](#_Toc145594823)

[附录C 压力示值误差不确定度评定示例 26](#_Toc145594824)

[附录D 校准证书内页信息 30](#_Toc145594825)

引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1004《流量计量名词术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF 1059.1—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文件。

本规范参照JJG 633—2005《气体容积式流量计》、JJG 586—2006《皂膜流量计》、JJG 640—2016《差压式流量计》、JJF 2033—2023《孔口流量计》，并结合我国气体采样类仪器检定装置的技术水平及行业现状编制而成。

本规范为首次发布。

气体采样类仪器检定装置校准规范

1 范围

本规范适用于气体采样类仪器检定装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 586 皂膜流量计

JJG 633 气体容积式流量计

JJG 640—2016 差压式流量计

JJG 875—2019 数字压力计

JJF 2033—2023 孔口流量计

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

JJF 1008 压力计量名词术语及定义

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

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 术语和定义

3.1 术语

JJF 1001、JJF 1004、JJF 1008界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1.1 气体采样类仪器检定装置 Verification device for gas sampling instruments

集成流量模块、压力模块，通过微电脑主机显示流量值、表压值、差压值，实现对气体采样类仪器的流量、压力等多参数检定校准的综合标准装置。以下简称“检定装置”。

3.1.2 微小流量段 Micro-flow section

 测量范围一般为但不限于（20～200）mL/min。一般用于吸附管法环境空气挥发性有机物（VOCs）采样器等的检定校准。

3.1.3 小流量段 Small flow section

测量范围一般为但不限于（100～6000）mL/min。一般用于大气采样器、烟气采样器等的检定校准。

3.1.4 中流量段 Mid-flow section

测量范围一般为但不限于（5～250）L/min。一般用于粉尘采样器、烟尘采样器、空气微生物采样器、中流量总悬浮颗粒物采样器、环境空气挥发性有机物采样器等的检定校准。

3.1.5 大流量段 Large flow sectio

测量范围一般为但不限于（800～1200）L/min。一般用于大流量总悬浮颗粒物采样器等的检定校准。

3.1.6 差压 [力] differential pressure

任意两个相关压力之差，测量范围一般为但不限于（-2500～2500）Pa，一般用于烟尘采样器的动压力的检定校准。

3.1.7 表压 [力] gauge pressure

以大气压力为参考点，大于或小于大气压力的压力，测量范围一般为但不限于（-60～60）kPa，一般用于烟尘采样器的静压力和流量计前压力的检定校准。

3.2 计量单位

3.2.1 体积单位：毫升，符号mL；升，符号L；或立方米，符号m3。

3.2.2 流量单位：毫升每分钟，符号mL/min；升每分钟，符号L/min；立方米每分钟，符号m3/min或立方米每小时，符号m3/h。

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℃，或开 [尔文]，符号K。

3.2.5 时间单位：小时，符号h；分钟，符号min；秒，符号s。

4 概述

4.1 压力模块工作原理

检定装置中压力模块包括表压力和差压力，其工作原理为：当被测压力经传压介质作用于压力传感器上，压力传感器输出相应的电信号或数字信号，经信号处理单元处理后在显示单元直接用数字显示出被测压力的量值。

4.2 流量模块工作原理

检定装置中流量模块包括电子皂膜测量模块、容积测量模块、差压测量模块、孔口测量模块等其中一种或几种组合，其工作原理为：微电脑主机通过采集流量、温度及压力传感器（如适用）信号，通过计算得到工况状态下和标况状态下标准流量值，从而实现流量参数的校准。根据使用的不同流量模块，其工作原理分别简述如下：

4.2.1 电子皂膜模块工作原理

气体通过流量调节阀，调到所需流量后，由皂膜通过上下限传感器的时间和容积即可计算出流过流量计的瞬时流量，并通过显示仪表直接显示。

$q\_{V}=\frac{V\_{c}}{t}$ （1）

式中：

$q\_{V}$——在*i*校准流量点流过电子皂膜模块的瞬时流量示值，mL/min或L/min；

$V\_{c}$——被校电子皂膜模块内原置入的容积值，mL或L；

*t* ——校准时流过电子皂膜模块的时间，s。

4.2.2 容积模块工作原理

当流体流过气体容积模块时，内部机械运动件在流体动力作用下，把流量分割成单个已知回转体积的气室，并进行重复不断地充满和排空，通过电子测量技术记录其循环次数，得到流体的累积流量，根据相应的测量时间得到瞬时流量，通过装置显示部分显示出来。

设已知回转体积为$V\_{c}$，则在相应的测量时间*t*内，通过气体容积模块的气体流量为：

 $q\_{V}=\frac{nV\_{c}}{t}$ （2）

式中：

$q\_{V}$——通过容积模块的气体流量，L/min；

$n$——容积模块中的气室个数。

4.2.3 差压模块工作原理

差压部分是以伯努利方程和流动连续性方程为依据。当被测介质流经差压件时，在其两侧产生差压，由差压与流量的关系，通过测量差压确定流体的流量。

$q\_{V}=C∙E∙ε∙\frac{π}{4}∙d^{2}∙\sqrt{\frac{2∙Δp}{ρ\_{1}}}$ （3）

式中：

$q\_{V}$*——*通过差压模块的气体体积流量，L/min；

*C——*流出系数，实际流量与理论流量的比值，无量纲；

*E——*渐进速度系数，$E=\frac{1}{\sqrt{1-β^{4}}}$，直径比$β=\frac{d}{D}$，无量纲；

*d——*工作条件下，节流件孔径（或喉部直径），mm；

*D——*工作条件下，上游管道内径。mm；

$ε$*——*气体的可膨胀性系数，与雷诺数无关，/℃；

$Δp$*——*节流件取压处的静压差，Pa；

$ρ\_{1}$*——*节流件上游流体密度，kg/m3。

设$K\_{x}$*=*$\sqrt{2}C∙E∙ε∙\frac{π}{4}∙d^{2}$，则公式（3）可记为：$q\_{V}=K\_{x}×\sqrt{\frac{Δp}{ρ\_{1}}}$。

流量与差压的开方呈线性关系，$K\_{x}$为差压模块的流量计系数，用于修正差压模块测量误差。

4.2.4 孔口模块工作原理

以伯努利方程和流动连续性方程为依据，当被测气体流经节流件时，其下游的压力产生变化，与大气压产生差压，根据差压、流体密度等，得到气体的体积流量。

$q\_{V}=Kε\frac{πd^{2}}{4}\sqrt{\frac{2Δp}{ρ}}$ （4）

式中：

$q\_{V}$——流量计瞬时体积流量，m3/h；

$ε$——可膨胀系数；

*K*——流量系数；

$d$——节流件的开孔直径，mm；

△*p*——孔口前后差压值，Pa；

*ρ*——在上游侧压力截面处的流体密度，kg/m3。

设$K\_{x}$*=*$Kε\frac{\sqrt{2}πd^{2}}{4\sqrt{ρ}}$，则公式（4）可记为：$q\_{V}=K\_{x}×\sqrt{∆p}$。

孔口模块常用模型公式：$q\_{V}=K\_{x}×\sqrt{∆p}$和$q\_{V}=K\_{x}×\sqrt{∆p}+b$。流量与差压的开方呈线性关系，$K\_{x}$和*b*为孔口模块的流量计系数，用于修正孔口模块测量误差（*b*通常用于流量计校零）。

4.3 组成

检定装置由流量模块、压力模块、微处理器和显示器等组成，绝压传感器和温度传感器为选配件，绝压传感器用于测量环境大气压，温度传感器用于测量环境温度。其中压力模块包括差压传感器和表压传感器；流量模块包括电子皂膜测量模块、容积测量模块、差压测量模块、孔口测量模块等其中一种或几种组合，其中电子皂膜测量模块包括皂膜管、起泡部件、光电传感器等；容积测量模块包括腔体、光电计数器等；差压测量模块包括节流件、取压孔和差压传感器等；孔口测量模块包括节流件、取压孔、后端直管段和差压传感器等组成。

典型组成结构见下图。



图1 检定装置典型组成结构图

4.4 用途

检定装置主要用作大气采样器、烟气采样器、粉尘采样器、烟尘采样器、空气微生物采样器、环境空气挥发性有机物采样器、总悬浮颗粒物采样器等气体采样类仪器的检定和校准。

5 计量特性

5.1 流量示值误差

检定装置瞬时流量最大允许误差：±1.0%。

5.2 流量重复性

检定装置流量重复性不得超过最大允许误差绝对值的1/3。

5.3 压力示值误差(如适用)

检定装置表压最大允许误差：±0.5%FS；

检定装置差压最大允许误差：±1.3Pa。

注：以上指标不适用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：15℃~25℃；

6.1.2 相对湿度：40%~70%；

6.1.3 大气压：一般为（86～106）kPa；

6.1.4 无明显的电磁干扰、无明显的机械振动。

6.2 校准介质

校准介质应为洁净空气。

6.3 测量标准及配套计量设备

测量标准及配套计量设备均应有有效的检定/校准证书。

6.3.1 测量标准

压力测量标准可选用气体活塞式压力计、数字压力计 (0.05 级及以上，年稳定性合格的)或者补偿式微压计，校准时，压力标准器的测量范围应大于或等于被校检定装置的压力测量范围，压力标准器的最大允许误差绝对值应不大于被校检定装置最大允许误差绝对值的1/4。

流量测量标准可选用临界流喷嘴气体流量标准装置、标准表法气体流量标准装置、皂膜气体流量标准装置等，其流量范围应与被校检定装置的流量范围相适应，装置扩展不确定度应不大于被校检定装置流量最大允许误差绝对值的1/3。

6.3.2 配套计量设备

配套计量设备应满足表1要求。

表1 配套计量设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 温度测量仪表 | MPE：±0.2℃ | 测量标准器处气体温度和检定装置处气体温度、环境温度 |
| 2 | 气压计 | MPE：±250Pa | 测量大气压力 |
| 3 | 湿度计 | MPE：±5%RH | 测量环境湿度 |
| 4 | 压力测量仪表 | 不低于0.1级 | 测量标准器处气体压力和检定装置处气体压力 |

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

表2 校准项目一览表

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 校准项目 |
| 1 | 压力示值误差 |
| 2 | 流量示值误差 |
| 3 | 流量重复性 |

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的检查

检查检定装置的铭牌或产品标识，应有产品名称、型号/规格、测量范围、准确度等级或最大允许误差、出厂编号、制造商名称或商标等信息。装置显示的符号和标识应清晰、完整。

流量模块测量部分进气口、出气口应有明显标识。压力模块的测量部分压力输入端口处应有高压（+）和低压（—）的标志。

7.2.2 校准前的准备

标准装置和被校检定装置为达到热平衡，须确保检定装置与实验室的温度一致方可进行校准。

7.2.3 压力示值误差

7.2.3.1 校准操作

被校检定装置差压校准操作如图2所示，在压力发生器的压力输出端接一个三通，其一端接压力标准器，另一端接被校检定装置的差压“+”端，将被校检定装置的差压传感器和压力标准器进行同步校零。校零完毕后，在测量范围内均匀选择包括零点在内的不少于5个校准点，调节压力发生器的输出压力至校准点，稳定后分别读取压力标准器和被校检定装置的压力示值。正反行程各进行一次，取每个校准点压力示值的平均值作为该点校准结果。



图2 压力示值误差校准示意图

用上述同样方法对被校检定装置的表压进行校准。

7.2.3.2 数据处理

根据公式（5）计算压力示值误差，取计算结果中最大的误差作为被校检定装置的压力示值误差。

$∆p=p-p\_{s}$ （5）

式中：

*Δp*——压力示值误差，Pa或kPa；

*p*——被校检定装置压力示值平均值，Pa或kPa；

*p*s——压力标准器示值，Pa或kPa。

7.2.3.3 压力模块设置系数修正

若压力模块示值误差超过最大允许误差的要求，可根据产品说明书或相关技术规范进行调校。

7.2.4 流量示值误差

7.2.4.1 安装

检定装置的各部分的安装应符合使用说明书的要求，根据流量模块原理不同选择相对应的标准装置，当标准装置为正压时，被校检定装置进气端连接正压标准装置出气口，出气端连接调节阀后直通大气；当标准装置为负压时，被校检定装置出气端连接负压标准装置进气口，进气端直通大气。检定装置各部件不得漏气，且与试验管路的连接在校准压力下应无泄露。检定装置各部件与试验管路的连接管的公称直径应与连接头保持一致。孔口部分应确保同轴安装；孔口部分的取压管应与检定装置的差压“—”端相连；取压孔公称直径保持一致，不得凸入流体管道中，不得缠绕。

7.2.4.2 校零

未通气前，对检定装置进行校零，确保零流量状态下流量显示为零。

7.2.4.3 设置环境温度和大气压

未配置绝压传感器或温度传感器的检定装置，手动输入环境大气压或环境温度，已配置的检定装置无需手动设置。将检定装置的温度感应探头和标准温度计、标准气压表置于同一环境中15min后，观察检定装置的温度显示值、标准温度计的显示值，检定装置的大气压显示值和标准气压表的显示值。若温度的差值大于1℃，大气压的差值大于300Pa，需要对检定装置的环境温度和大气压进行修正。

7.2.4.4 校准流量点及次数

在各流量段的测量范围内，电子皂膜模块选择$q\_{max}$、$0.5q\_{max}$、$q\_{min}$；容积模块选择$q\_{max}$、$0.2q\_{max}$、$q\_{min}$；差压模块选择$q\_{max}$、0.75$q\_{max}、0.5q\_{max}、0.25q\_{max}$、$q\_{min}$；孔口模块选择$q\_{max}$、$q\_{0}$（常用流量）、$q\_{min}$。校准时可根据用户需求添加、删除或修改校准流量点。每一流量点至少校准3次。

7.2.4.5 校准操作

调节流量至校准流量点，使其不超过设定流量的±5%，且不超出各流量段的测量范围，运行稳定后开始校准。

启动检定装置，调节流量到待校准流量点，稳定后，读取标准装置的流量值。在校准中，记录通过标准装置和检定装置处的气体压力、温度。检定装置处气体压力取大气压，检定装置处的温度取环境温度。单次校准过程中，环境温度的变化应不超过0.5℃。

检定装置瞬时流量的读取采用间歇读数方法，一次校准过程中有效读数次数不得少于6次，取其平均值作为该次校准的瞬时流量值。若检定装置可直接显示单次校准时间段内平均瞬时流量，则可取其作为该点单次校准瞬时流量值。

7.2.4.6 数据处理

按公式（6）将标准器的瞬时流量换算到被校检定装置处状态下：

$q\_{s}=\frac{T\_{m}}{T\_{s}}×\frac{p\_{s}}{p\_{m}}×q\_{s0}$ （6）

式中：

$q\_{s}$———标准器换算到被校检定装置处状态的瞬时流量值，mL/min，L/min或m3/min；

$q\_{s0}$———标准器的瞬时流量值，mL/min，L/min或m3/min；

$ T\_{s}$———标准器处的热力学温度，K；

$T\_{m}$———被校检定装置处的热力学温度，K；

$p\_{s}$———标准器处的绝对压力，kPa；

$p\_{m}$———被校检定装置处的绝对压力，kPa。

7.2.4.7 示值误差及重复性计算

各流量点的示值误差为多次独立测量误差的算术平均值，单次的示值误差按公式（7）计算：

$E\_{ij}=\frac{\left(q\_{m}\right)\_{ij}-\left(q\_{s}\right)\_{ij}}{\left(q\_{s}\right)\_{ij}}×100\%$ （7）

式中：

$E\_{ij}$ ———第*i*校准点第*j*次校准时被校检定装置流量的相对示值误差，%；

$\left(q\_{m}\right)\_{ij}$———第*i*校准点第*j*次校准时被校检定装置的平均瞬时流量，mL/min，L/min或m3/min；

$\left(q\_{s}\right)\_{ij}$———第*i*校准点第*j*次校准时标准器换算到被校检定装置处状态的瞬时流量值，mL/min，L/min或m3/min。

每个流量点的平均示值误差按公式（8）计算：

$E\_{i}=\frac{1}{n}\sum\_{j=1}^{n}E\_{ij}$ （8）

式中：

$E\_{i}$—第*i*个流量点的平均示值误差，%；

*n*———第*i*个流量点的校准次数。

每个流量点的重复性按公式（9）计算：

$E\_{ri}=\left[\frac{1}{(n-1)}\sum\_{j=1}^{n}\left(E\_{ij}-E\_{i}\right)^{2}\right]^{\frac{1}{2}}$ （9）

式中：

$E\_{ri}$———第*i*个流量点的重复性，%。

7.2.4.8 流量模块设置系数修正

如检定装置各流量模块的系数需修正，应采用以下方法：

当检定装置在各流量模块内仅有一个流量设置系数，可在各流量模块内选取0.5*q*max或*q*0进行校准，系数修正时通常按公式（10）进行（实际以检定装置说明书为准）。

$K\_{x}=\frac{q\_{s}}{q\_{m}}×K\_{x}'$ （10）

式中：

$q\_{s}$———标准器换算到被校检定装置处状态的瞬时流量值；

$q\_{m}$———被校检定装置的瞬时流量值；

$K\_{x}'$———校准前流量模块设置系数；

$K\_{x}$———校准后流量模块设置系数。

当检定装置在各流量模块内被校流量点均有对应的流量设置系数，需按公式（10）对每个流量点进行流量设置系数修正。

流量模块设置系数修正后，需按7.2.4.5～7.2.4.7再次进行校准，并将新的示值误差和重复性作为校准结果。

8 校准结果表达

校准完成后按照本规范给出校准结果，出具相应的校准证书。

校准原始记录内页信息见附录A。

流量模块示值误差不确定度评估方法见附录B。

压力模块示值误差不确定度评估方法见附录C。

校准证书内页信息见附录D。

9 复校时间间隔

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，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 原始记录

气体采样类仪器检定装置校准记录

1. 仪器信息

委托单位\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_器具名称\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_制造单位\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_型号规格\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

出厂编号\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_流量范围\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_校准证书号\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. 校准条件

环境温度\_\_\_\_ \_\_\_\_℃ 大气压力\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_kPa 相对湿度\_\_\_ \_\_\_\_% 介质\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 校准地点\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_

校准依据\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. 标准器信息

标准设备名称\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_型号\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_编号\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_流量范围\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

准确度等级/不确定度\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_证书号\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_有效期至\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. 校准结果

校准前检查：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

压力示值误差：

（1）差压： 压力范围：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 压力标准器示值（Pa） | 被校检定装置压力值(Pa) | 示值误差（Pa) | 扩展不确定度(%) *U*(*k*=2) |
| 上行程 | 下行程 | 压力示值平均值 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

（2）表压： 压力范围：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 压力标准器示值（kPa） | 被校检定装置压力值(kPa) | 示值误差（%) | 扩展不确定度(%) *U*(*k*=2) |
| 上行程 | 下行程 | 压力示值平均值 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

流量示值误差：

（1）微小流量段：

校准前流量设置系数：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_ 流量范围：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量点 | 校准次数 | 被校检定装置 | 标准器 | 示值误差*Eij*(%) | 平均示值误差*Ei*(%） | 重复性*E*r(%) | 扩展不确定度(%) *U*(*k*=2) | 校准后流量设置系数 |
| 温度*T*m(℃) | 压力*p*m(kPa) | 瞬时流量*q*m( ) | 温度*T*s(℃) | 压力*p*s(kPa) | 累积流量*V*s( ) | 时间*t*s(s) | 瞬时流量*q*s( ) |
| *q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.5*q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*min | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

（2）小流量段：

校准前流量设置系数：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 流量范围：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量点 | 校准次数 | 被校检定装置 | 标准器 | 示值误差*Eij*(%) | 平均示值误差*Ei*(%） | 重复性*E*r(%) | 扩展不确定度(%) *U*(*k*=2) | 校准后流量设置系数 |
| 温度*T*m(℃) | 压力*p*m(kPa) | 瞬时流量*q*m( ) | 温度*T*s(℃) | 压力*p*s(kPa) | 累积流量*V*s( ) | 时间*t*s(s) | 瞬时流量*q*s( ) |
| *q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.2*q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*min | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

（3）中流量段：校准前流量设置系数：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 流量范围：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量点 | 校准次数 | 被校检定装置 | 标准器 | 示值误差*Eij*(%) | 平均示值误差*Ei*(%） | 重复性*E*r(%) | 扩展不确定度(%) *U*(*k*=2) | 校准后流量设置系数 |
| 温度*T*m(℃) | 压力*p*m(kPa) | 瞬时流量*q*m( ) | 温度*T*s(℃) | 压力*p*s(kPa) | 累积流量*V*s( ) | 时间*t*s(s) | 瞬时流量*q*s( ) |
| *q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.75*q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.5*q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.25*q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*min | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

（4）大流量段：

校准前流量设置系数：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 流量范围：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量点 | 校准次数 | 被校检定装置 | 标准器 | 示值误差*Eij*(%) | 平均示值误差*Ei*(%） | 重复性*E*r(%) | 扩展不确定度(%) *U*(*k*=2) | 校准后流量设置系数 |
| 温度*T*m(℃) | 压力*p*m(kPa) | 瞬时流量*q*m( ) | 温度*T*s(℃) | 压力*p*s(kPa) | 累积流量*V*s( ) | 时间*t*s(s) | 瞬时流量*q*s( ) |
| *q*max | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*0 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*min | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

校验员：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 核验员：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 校准日期：\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

附录B 流量示值误差不确定度评定示例

B.1 概述

选取一台便携式气体、粉尘、烟尘采样仪综合校准装置，测量范围如下:小流量段：(100～5000)mL/min（皂膜模块）；中流量段：(5～80)L/min（容积模块）、(80～120)L/min（孔口模块）；大流量段：(800～1200)L/min（孔口模块）。根据本规范的校准方法, 以2500 mL/min、16L/min、1050 L/min校准点为例，对装置的流量示值误差进行校准。

B.2 测量标准及配套设备

表B.1 标准器及配套设备（皂膜模块）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 设备名称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 |
| 标准器 | 活塞式气体流量标准装置 | （0.01～10）L/min | *U*r=0.1%（*k*=2） |
| 配套设备 | 温度变送器 | （0～50）℃ | *U*=0.1K，*k*=2 |
| 温度计 | （0～50）℃ | *U*=0.2K，*k*=2 |
| 空盒气压表 | （86～106）kPa | MPE：±250Pa |
| 绝压变送器 | （0～200）kPa | 0.1级 |

表B.2 标准器及配套设备（容积模块）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 设备名称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 |
| 标准器 | 钟罩气体流量标准装置 | （0.01～6）m3/h | 0.2级 |
| 配套设备 | 温度变送器 | （0～50）℃ | *U*=0.2K，*k*=2 |
| 温度计 | （0～50）℃ | *U*=0.2K，*k*=2 |
| 空盒气压表 | （86～106）kPa | MPE：±250Pa |
| 绝压变送器 | （0～200）kPa | 0.1级 |

表B.3 标准器及配套设备（孔口模块）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 设备名称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 |
| 标准器 | 标准表法气体流量标准装置 | （0.4～25）m3/h | *U*r=0.32%（*k*=2） |
| 配套设备 | 温度变送器 | （0～50）℃ | *U*=0.2K，*k*=2 |
| 温度计 | （0～50）℃ | *U*=0.2K，*k*=2 |
| 空盒气压表 | （86～106）kPa | MPE：±250Pa |
| 绝压变送器 | （0～200）kPa | 0.1级 |

B.3 数学模型

流量示值误差的计算公式如下：

$E=\frac{q\_{m}-q\_{s}}{q\_{s}}×100\%$ （B.1）

*E* ———流量相对示值误差，%；

$q\_{s}$———标准装置换算到被校检定装置处的流量值，mL/min，L/min或m3/min；

$q\_{m}$———被校检定装置显示的瞬时流量值，mL/min，L/min或m3/min；

其中：

$q\_{s}=\frac{T\_{m}}{T\_{s}}×\frac{p\_{s}}{p\_{m}}×q\_{s0}$ （B.2）

式中：

$q\_{s0}$———标准装置处的流量值，mL/min，L/min或m3/min；

$T\_{s}$———标准装置处的绝对温度，K；

$T\_{m}$———被校检定装置处的绝对温度，K；

$p\_{s}$———标准装置处的绝对压力，Pa；

$p\_{m}$———被校检定装置处的绝对压力，Pa。

B.4 不确定度传播率

对（B.1）式求合成标准不确定度：

$u\_{c}(E)=\sqrt{[c\_{q\_{m}}×u(q\_{m})]^{2}+[c\_{q\_{s}}×u(q\_{s})]^{2}}$ （B.3）

$c\_{q\_{m}}=\frac{∂E}{∂q\_{m}}=\frac{1}{q\_{s}} c\_{q\_{s}}=\frac{∂E}{∂q\_{s}}=-\frac{q\_{m}}{q\_{s}^{2}}$ （B.4）

$$u\_{c}\left(E\right)=\sqrt{\left[\frac{1}{q\_{s}}×u\left(q\_{m}\right)\right]^{2}+\left[-\frac{q\_{m}}{q\_{s}^{2}}×u\left(q\_{s}\right)\right]^{2}}$$

$$=\sqrt{\left[\frac{q\_{m}}{q\_{s}}×\frac{u\left(q\_{m}\right)}{q\_{m}}\right]^{2}+\left[-\frac{q\_{m}}{q\_{s}}×\frac{u\left(q\_{s}\right)}{q\_{s}}\right]^{2}}$$

$$=\sqrt{\left[\left(E+1\right)×\frac{u\left(q\_{m}\right)}{q\_{m}}\right]^{2}+\left[-\left(E+1\right)×\frac{u\left(q\_{s}\right)}{q\_{s}}\right]^{2}}$$

$=(E+1)\sqrt{u\_{r}^{2}\left(q\_{m}\right)+u\_{r}^{2}\left(q\_{s}\right)}$ （B.5）

（B.2）式为乘除关系，各输入量间不相关，即用$u\_{r}\left(q\_{s0}\right)、u\_{r}\left(p\_{m}\right)$、$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$、$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$、$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$分别表示$q\_{s0}$、*p*m、*T*m、*p*s、*T*s的相对标准不确定度。

因此用相对不确定度计算其相对合成标准不确定度：

$u\_{r}\left（q\_{s}\right）=\sqrt{u\_{r}^{2}\left（q\_{s0}\right）+u\_{r}^{2}\left（p\_{s}\right）+u\_{r}^{2}\left（T\_{m}\right）+u\_{r}^{2}\left（p\_{m}\right）+u\_{r}^{2}\left（T\_{s}\right）}$ （B.6）

由（B.5）和（B.6）式得到：

$u\_{c}\left(E\right)=(E+1)\sqrt{u\_{r}^{2}\left(q\_{m}\right)+u\_{r}^{2}\left（q\_{s0}\right）+u\_{r}^{2}\left（p\_{s}\right）+u\_{r}^{2}\left（T\_{m}\right）+u\_{r}^{2}\left（p\_{m}\right）+u\_{r}^{2}\left（T\_{s}\right）}$（B.7）

B.5 不确定度评定

B.5.1 测量重复性引入的标准不确定度$u\_{r}\left(q\_{m}\right)$

测量重复性引入的标准不确定度按A类不确定度评定。对被校检定装置孔口模块常用流量点$q\_{0}$（1050L/min）进行6次相同条件下的测量，测得6次的示值误差$E\_{q1}$到$E\_{q6}$见表B.4。使用下式进行重复性计算：

表B.4 测得6次的示值误差

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 示值误差（%） | 0.46 | 0.59 | 0.42 | 0.52 | 0.66 | 0.36 |

$E\_{ri}=\left[\frac{1}{（n-1）}\sum\_{j=1}^{n}(E\_{ij}-E\_{i})^{2}\right]^{\frac{1}{2}}$=0.12% （B.8）

实际测量是在重复连续测量3次的算术平均值为测量结果，则由被校流量计测量重复性引入的标准不确定度为：

$u\_{r1}\left(q\_{m}\right)=\frac{E\_{ri}}{\sqrt{3 }}$ =0.069% （B.9）

因为被校检定装置在该点的分辨力为1L/min，由分辨力引入的不确定度分量为：

$u\_{r2}\left(q\_{m}\right)=\frac{1}{\sqrt{3 }×1050}=0.0550\%$ （B.10）

被校检定装置瞬时流量*q*0引入的不确定度来源于*q*0的重复性*s*，同时被校检定装置的分辨力会对*q*0的重复性构成影响，因此取*q*0的重复性和检定装置分辨力引入的不确定度两者最大值作为被校检定装置的瞬时流量*q*0的不确定度。因为重复性引入的不确定度分量大于检定装置自身分辨力引入的不确定度分量，因此：

$u\_{r}\left(q\_{m}\right)=u\_{r1}\left(q\_{m}\right)=0.069\%$ （B.11）

按照同样的方法得到校准流量点16L/min（容积模块）时，测量重复性引入的标准不确定度为0.069%；校准流量点2500mL/min时（皂膜模块），测量重复性引入的标准不确定度为0.058%，如表B.5所示：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | 重复性(%) | 重复性引入的不确定度(%) | 分辨力 | 分辨力引入的不确定度(%) | *u*r(*q*m) |
| 小流量段 | 2500mL/min | 0.10 | 0.058 | 0.1mL/min | 0.0023 | 0.058% |
| 中流量段 | 16L/min | 0.12 | 0.069 | 0.01L/min | 0.0361 | 0.069% |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.12 | 0.069 | 1 L/min | 0.0550 | 0.069% |

表B.5 测量重复性引入的标准不确定度

B.5.2 标准装置引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(q\_{s0}\right)$

孔口模块测量所用的标准表法气体流量标准装置引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(q\_{s0}\right)$，按B类不确定度评定。由校准证书得到，标准表法气体流量标准装置的相对扩展不确定度*U*r=0.32%（*k*=2），其引入的相对标准不确定度为：

$u\_{r}\left(q\_{s0}\right)=U\_{r}/k$=0.16% （B.12）

按照同样的方法得到皂膜模块测量所用的活塞式气体流量标准装置、容积模块测量所用的钟罩气体流量标准装置引入的相对标准不确定度分别为0.05%、0.12%，如表B.6所示：

表B.6 标准装置引入的标准不确定度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | 采用标准器 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | $u\_{r}\left(q\_{s0}\right)$ |
| 小流量段 | 2500mL/min | 活塞式气体流量标准装置 | *U*r=0.1%，*k*=2 | 0.05% |
| 中流量段 | 16L/min | 钟罩式气体流量标准装置 | 0.2级 | 0.12% |
| 大流量段 | 1052L/min | 标准表法气体流量标准装置 | *U*r=0.32%，*k*=2 | 0.16% |

B.5.3 被校检定装置处压力测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$

被校检定装置处压力测量引入的相对标准不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$，采用B 类的方法进行评定。此时的压力即为大气压力，由空盒气压表测得。根据空盒气压表证书得到最大允许误差$E\_{pm}$为±250Pa，按均匀分布，校准时大气压力$p\_{m}$为100.2kPa，其引入的相对标准不确定度为：

$u\_{r}\left(p\_{m}\right)=\frac{E\_{pm}}{\sqrt{3}p\_{m}}=\frac{0.25}{\sqrt{3}×100.2}=$ 0.14% （B.13）

由于被校检定装置处压力测量时气体压力均取大气压，故被校检定装置处压力测量引入的标准不确定度分量如表B.7所示：

表B.7 被校检定装置处压力测量引入的标准不确定度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | $u\_{r}\left(p\_{m}\right)$ |
| 小流量段 | 2500mL/min | 0.14% |
| 中流量段 | 16L/min | 0.14% |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.14% |

B.5.4 被校检定装置处温度测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$

被校检定装置处温度测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$，采用B类的方法进行评定。此时的温度即为环境温度，根据温度计的校准证书给出流量计处温度测量仪表的扩展不确定度为*Ut*m*=*0.2K（*k*=2），校准时流量计处温度*t*m为23.9℃，其引入的标准不确定度为：

 $u\_{r}\left(T\_{m}\right)$=$\frac{U\_{tm}}{\left(273.15+t\_{m}\right)×2}×100\%$=0.03% （B.14）

由于被校检定装置处温度测量时气体温度均取环境温度，故被校检定装置处温度测量引入的标准不确定度分量如表B.8所示：

表B.8 被校检定装置处温度测量引入的标准不确定度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | $u\_{r}\left(p\_{m}\right)$ |
| 小流量段 | 2500mL/min | 0.03% |
| 中流量段 | 16L/min | 0.03% |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.03% |

B.5.5 标准装置处压力测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$

标准装置处压力测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$，采用B 类的方法进行评定。由压力传感器的检定证书得到标准装置处的压力传感器的最大允许误差$E\_{ps}$为±0.1%FS，满量程$p\_{FS}$为200kPa，在实际工作压力$p\_{s}$为100.5 kPa下，该点的相对示值误差为0.20%，按均匀分布，其引入的相对标准不确定度为：

 $u\_{r}\left(p\_{s}\right)=\frac{p\_{FS}×E\_{ps}}{p\_{s}\sqrt{3}}$ =0.115% （B.15）

按照同样的方法得到校准流量点16L/min（容积模块）时和校准流量点2500mL/min时（皂膜模块）标准装置处压力测量引入的标准不确定度均为0.115%，如表B.9所示：

表B.9 标准装置处压力测量引入的标准不确定度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | $u\_{r}\left(p\_{m}\right)$ |
| 小流量段 | 2500mL/min | 0.115% |
| 中流量段 | 16L/min | 0.115%  |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.115%  |

B.5.6 标准装置处温度测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$

标准装置处温度测量引入的标准不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$，采用B 类的方法进行评定。根据温度变送器校准证书给出标准装置处温度变送器的扩展不确定度为*Uts=*0.2 K（*k*=2），校准时标准装置处温度$t\_{s}$为24.8℃, 按正态分布，其引入的标准不确定度为：

$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$=$\frac{U\_{ts}}{\left(273.15+t\_{s}\right)×2}×100\%$=0.034% （B.16）

按照同样的方法得到校准流量点16L/min（容积模块）时和校准流量点2500mL/min时（皂膜模块）标准装置处温度测量引入的标准不确定度均为0.034%、0.017%，如表B.9所示：

表B.10 标准装置处温度测量引入的标准不确定度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | $u\_{r}\left(p\_{m}\right)$ |
| 小流量段 | 2500mL/min | 0.017% |
| 中流量段 | 16L/min | 0.034%  |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.034%  |

B.6 合成标准不确定度

合成标准不确定度按公式（B.17）计算，可得到校准流量点为1052L/min时，

$u\_{c}\left(E\right)=\left(E+1\right)\sqrt{u\_{r}^{2}\left(q\_{m}\right)+u\_{r}^{2}\left（q\_{s0}\right）+u\_{r}^{2}\left（p\_{s}\right）+u\_{r}^{2}\left（T\_{m}\right）+u\_{r}^{2}\left（p\_{m}\right）+u\_{r}^{2}\left（T\_{s}\right）}$

 $= 0.251\%$ （B.17）

按照同样的方法得到校准流量点为16L/min和校准流量点为2500mL/min时的合成标准不确定度，标准不确定度分量和合成标准不确定度一览表如表B.11:

表B.11 标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量段 | 流量点 | $$u\_{r}\left(q\_{m}\right)$$(%) | $$u\_{r}\left(q\_{s0}\right)$$(%) | $$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$$(%) | $$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$$(%) | $$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$$(%) | $$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$$(%) | 合成标准不确定度(%) |
| 小流量段流量段 | 2500mL/min | 0.058 | 0.05 | 0.14 | 0.03 | 0.115 | 0.017 | 0.200 |
| 中流量段 | 16L/min | 0.069 | 0.12 | 0.14 | 0.03 | 0.115 | 0.034 | 0.232 |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.069 | 0.16 | 0.14 | 0.03 | 0.115 | 0.034 | 0.257 |

B.7 扩展不确定度

取*k*=2，在校准流量点为1052L/min，装置流量示值误差的扩展不确定度：*U*rel=*ku*c=0.51%，*k*=2。

按照同样的方法得到校准流量点为16L/min和2500mL/min时，装置流量示值误差的扩展不确定度分别为0.47%、0.40%（*k*=2）。

B.8 校准结果

 装置流量校准结果如表B.12所示：

B.12 校准结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 流量段 | 校准流量点 | 示值误差(%) | 扩展不确定度(%)（*k*=2） |
| 小流量段 | 2500mL/min | 0.10% | 0.40% |
| 中流量段 | 16L/min | 0.12% | 0.47% |
| 大流量段 | 1052L/min | 0.50% | 0.51% |

附录C 压力示值误差不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 被校检定装置

名称：气体、粉尘、烟尘采样仪综合校准装置

最大允许误差：±1.0%

测量范围：（1）差压：(-2500～2500)Pa；

（2）表压：(-60～60)kPa。

本次不确定度评定示例以差压传感器为例。

C.1.2 环境条件

温度：（19.8～20.2）0C ；相对湿度：（47～51）%。

C.1.3 测量标准

一等补偿式微压计；

测量范围：（-1500～1500）Pa ，MPE：±0.4Pa；

（-2500～-1500）Pa ，（1500～2500）Pa ，MPE：±0.5Pa。

C.1.4 传压介质

洁净空气。

C.2 测量方法

将一等补偿式微压计和被校检定装置放置于实验室环境中2h以上，同时将被校检定装置开机预热2h以上。尽量使被校检定装置与一等补偿式微压计放在同一水平面上。

测量前，将被校检定装置处于压力测量模式，对被校检定装置进行清零，用导管将一等补偿式微压计的负压接嘴和正压接嘴分别与检定装置的低压端（-）和高压端（+）相连通。根据校准点值，结合补偿式微压计工作介质的密度和测量地点的重力加速度，确定各检定点所对应相应的高度值。正行程（升压）检定时，依次调整补偿式微压计的高度，使用微压压力泵进行压力调整，使补偿式微压计输出0 Pa，1000Pa，2500Pa的标准压力值，待压力稳定后，读取检定装置的示值。再依次逐点进行反行程检定，直至零位。再将一等补偿式微压计的正压接嘴和负压接嘴分别与检定装置的低压端（-）和高压端（+）相连通，按照上述方法对-1000Pa，-2500Pa进行校准。

C.3 测量模型

$∆p=p-p\_{s}$ （C.1）

式中：

*Δp*——压力示值误差，Pa或kPa；

*p*——被校检定装置压力示值平均值，Pa或kPa；

*p*s——压力标准器示值，Pa或kPa。

补偿式微压计的标准压力值和检定装置压力模块的示值误差两个量互不相关，由公式（C.1）可以得到不确定度传播律：

（C.2）

其中灵敏系数，。

C.4 标准不确定度的评定

在检定过程中，由于补偿式微压计是在严格的检定环境条件下进行使用，其水的密度、当地的重力加速度引入的不确定度与最大允许误差是同一效应引入的不确定度，因此，只考虑一等补偿式微压计的最大允许误差。

被校检定装置的测量重复性是测量不确定度另一个主要来源，分辨力和测量重复性有属于同一效应引入的不确定度，取二者的较大者。

C.5.1 被校检定装置示值引入的不确定度*u*(*p*)

a）检定装置测量重复性引入的不确定度*u* (*p*1)；

采用A类方法评估方法，在名义值-2500Pa、-1000Pa、0Pa、1000Pa、2500Pa处各做6次测量，并计算平均值，数据见表C.1。

 C.1 重复性测量记录 单位：Pa

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 名义值 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 平均值 | 实验标准偏差*s*(*p*) |
| -2500 | -2500.24 | -2500.22 | -2500.17 | -2500.18 | -2500.19 | -2500.26 | -2500.21 | 0.036 |
| -1000 | -1000.11 | -1000.10 | -1000.09 | -1000.14 | -1000.10 | -1000.08 | -1000.10 | 0.021 |
| 0 | -0.06 | -0.10 | -0.08 | -0.12 | -0.04 | -0.04 | -0.07 | 0.033 |
| 1000 | 1000.01 | 999.98 | 999.96 | 999.99 | 1000.02 | 1000.03 | 1000.00 | 0.026 |
| 2500 | 2499.99 | 2499.93 | 2499.91 | 2499.95 | 2499.94 | 2499.98 | 2499.95 | 0.030 |

根据贝塞尔（C.3）计算各点的实验标准偏差*s*(*pi*)，数据见表C.1。

 = （C.3）

在实际测量过程中示值误差由单次测量得到，则每个测量点由重复性引入的标准不确定度：



b）检定装置的分辨力引入的不确定度*u* (*p*2)；

该检定装置的分辨力的为0.01Pa，区间半宽a=0.005Pa，假设服从均匀分布，取，检定装置的分辨力引入的不确定度：



由于*u* (*p*1)均大于*u* (*p*2)，取其中较大者，因此*u*(*p*)= *u*(*p*1)。

C.5.2 一等补偿式微压计最大允许误差引入的标准不确定度*u*(*p*s)

一等补偿式微压计在测量范围（-1500～1500）Pa 的最大允许误差MPE：±0.4Pa；（-2500～-1500）Pa 和（1500～2500）Pa的最大允许误差MPE：±0.5Pa，假设最大允许误差服从均匀分布，取。两部分的区间半宽分别为*a*=0.4 Pa和*a*=0.5 Pa，按照（C.4）计算，两部分的不确定度分别为*u*(*p*s)=0.23Pa和*u*(*p*s)=0.29Pa。

（C.4）

C.6 标准不确定度分量汇总表

各点的标准不确定度分量汇总见表C.2。

C.2 标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度 | 不确定度来源 | 标准不确定度值 | 灵敏系数 | ⏐ *c*i ⏐ |
| *u*(*p*) | 检定装置测量重复性（或分辨力） | 各点的单次测量实验标准偏差*s*(*pi*) | 1 | *s*(*pi*) |
| *u*(*p*s) | 一等补偿式微压计最大允许误差 | （-1500～1500）Pa 区间为0.23Pa | -1 | 0.23Pa |
| （-2500～-1500）Pa 和（1500～2500）Pa区间为0.29Pa | 0.29Pa |

C.7 合成标准不确定度*u*c(δ)

因检定装置测量重复性和一等补偿式微压计最大允许误差两个量互不相关，所以根据（C.5）计算各测量点合成标准不确定度，计算结果见表C.3。

 （C.5）

C.3 各测量点合成标准不确定度 单位：Pa

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | -2500 | -1000 | 0 | 1000 | 2500 |
| *u*(*p*) | 0.036 | 0.021 | 0.033 | 0.026 | 0.030 |
| *u*(*p*s) | 0.29 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.29 |
| *u*c(*Δp*) | 0.29 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.29 |

C.8 扩展不确定度*U*

取*k*＝2，根据（C.6）计算各测量点扩展标准不确定度，计算结果见表C.4。

*U*＝*k*×*u*c(*δ*) （C.6）

C.4 各测量点扩展不确定度 单位：Pa

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | -2500 | -1000 | 0 | 1000 | 2500 |
| *U*（*k*＝2） | 0.58 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.58 |

附录D 校准证书内页信息

校准证书内页格式

|  |
| --- |
| 证书编号：xxxxxxxxxxxx |
| 环境条件及地点 |
| 温度 | ℃ | 校准地点 |  |
| 相对湿度 | ％ | 大气压力 | kPa | 校准介质 |  |
| 主标准器 |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 |
|  |  |  |
| 型号规格 | 编号 | 证书号 | 有效期 |
|  |  |  |  |
| 校准依据 |
| JJF XXX-20XX |
| 校准结果-压力示值误差 |
| （1）差压：压力范围为 |
| 标准压力值(Pa) | 被校检定装置压力值(Pa) | 示值误差（Pa） | 扩展不确定度*U*(*k*=2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| （2）表压：压力范围为 |
| 标准压力值(kPa) | 被校检定装置压力值(kPa) | 示值误差（ % ） | 扩展不确定度*U*(*k*=2) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 校准结果-流量示值误差 |
| （1）微小流量段：流量范围为 |
| 被校检定装置瞬时流量值（ ） | 标准瞬时流量值（ ） | 示值误差（%） | 重复性（%） | 扩展不确定度*U*(*k*=2) | 校准后流量计系数 | 校准前流量计系数 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| （2）小流量段：流量范围为 |
| 被校检定装置瞬时流量值（ ） | 标准瞬时流量值（ ） | 示值误差（%） | 重复性（%） | 扩展不确定度*U*(*k*=2) | 校准后流量计系数 | 校准前流量计系数 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| （3）中流量段：流量范围为 |
| 被校检定装置瞬时流量值（ ） | 标准瞬时流量值（ ） | 示值误差（%） | 重复性（%） | 扩展不确定度*U*(*k*=2) | 校准后流量计系数 | 校准前流量计系数 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| （4）大流量段：流量范围为 |
| 被校检定装置瞬时流量值（ ） | 标准瞬时流量值（ ） | 示值误差（%） | 重复性（%） | 扩展不确定度*U*(*k*=2) | 校准后流量计系数 | 校准前流量计系数 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

下次送校请带此证书。

————————