****

**中华人民共和国国家计量技术规范**

 **JJF ××××—××××**

皂膜流量计校准规范

**Calibration Specification for**

**Soap Film Flow Meter**

**（ 征求意见稿\*\*年\*\*月\*\*日）**

**××××-××-××发布 ××××-××-××实施**

**国家市场监督管理总局** 发 布

皂膜流量计校准规范

JJF XXX－20XX

代替 JJG 586－2006

电子皂膜和皂膜气体流量标准装置部分

 **Calibration Specification for**

 **Soap Film Flow Meter**

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

1 范围 1

2 引用文献 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

4.1 皂膜流量计的测量原理 1

4.2 皂膜流量计的用途 2

4.3 皂膜流量计的结构 2

5 计量特性 3

5.1 准确度等级 3

5.2 重复性 3

6 校准条件 3

6.1 环境条件 3

6.3 主标准器及配套设备 4

7 校准项目和校准方法 5

7.1 校准项目 5

7.2 校准方法 5

8 校准结果表达 10

9 复校时间间隔 10

附录A校准记录参考格式 11

附录 B校准证书（内页）参考格式 15

附录 C 不确定度评定示例 16

引 言

本规范以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》为主要基础性依据，结合我国皂膜流量计和皂膜式气体流量装置的现状进行编制。

与JJG 586—2006《皂膜流量计》检定规程相比，本规范仅涉及利用流量法对电子皂膜流量计和皂膜式气体流量标准装置进行校准。本次修订除了编辑性修改之外，主要技术变化如下：

——根据皂膜气体流量标准装置的应用范围和特点，本次修订规定了按流量修正因子校准皂膜装置的示值误差的方法；

——根据电子皂膜流量计的应用范围和特点，本次修订规定了按照瞬时流量校准电子皂膜的示值误差的方法；

本规范部分替代JJG 586—2006《皂膜流量计》。

皂膜流量计校准规范

# 1 范围

本规范适用于电子皂膜流量计和皂膜式气体流量标准装置的校准。

# 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

JJF 1059 测量不确定评定与表示

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 术语和计量单位

# 3.1 术语

3.1.1 皂膜流量计（soap-film flow meter）

通过记录皂膜经过皂膜管内一段体积的时间来计算气体流量的一种测量仪器，包括直读式皂膜流量计、电子皂膜流量计和皂膜式气体流量标准装置。

3.1.2 电子皂膜流量计（electronic soap-film flow meter）

皂膜管上安装一对（或多对）传感器进行电子计数容量的皂膜流量计为电子皂膜流量计。

# 3.2 计量单位

3.2.1容积单位：立方米，符号m3；或升，符号L；或毫升，符号mL。

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

# 4 概述

# 4.1 皂膜流量计的测量原理

由稳定气源流出的气体通过流量调节阀，调到所需流量后，由皂膜管下端的进气口进入皂膜管，起泡部件产生皂膜，由进入气体介质推动皂膜沿着皂膜管匀速上升。当皂膜升到皂膜管下刻线时，计时器开始计时，当皂膜升到皂膜管上刻线时，计时器停止计时，由测得的时间和皂膜管两刻线间的容积即可计算出流过流量计的瞬时流量，显示仪表直接显示出瞬时流量。

# 4.2 皂膜流量计的用途

用于测量微小气体流量的计量器具。

# 4.3 皂膜流量计的结构

电子皂膜流量计（下称电子皂膜）是一根带有刻度的皂膜管，皂膜管下面有一个进气口，皂膜管的最下端有起泡部件，内装有皂液，皂膜管的外壁上安装有光电传感器并配有显示仪表。

皂膜式气体流量标准装置（下称皂膜装置）主要由稳定的气源、流量调节阀、皂膜流量计及温度压力等配套设备组成，典型的皂膜流量计结构如图1和2所示。



图1 电子皂膜示意图



图2 皂膜装置示意图

# 5 计量特性

# 5.1 示值误差

皂膜流量计的准确度等级及对应的最大允许误差与校准过程中压力波动应符合表1的技术要求。

1. 皂膜流量计准确度等级和技术要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 准确度等级 | 最大允许误差 | 压力波动Pa |
| 1 | 0.5 | ±0.5% | ≤20 |
| 2 | 1.0 | ±1.0% | ≤100 |
| 3 | 1.5 | ±1.5% | ≤100 |
| 4 | 2.0 | ±2.0% | ≤100 |
| 注：保留准确度等级是为了延续传统习惯，不作为合格性判定依据。 |

# 5.2 重复性

皂膜流量计重复性应不超过相应最大允许误差绝对值的1/2。

# 6 校准条件

# 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（20±2）℃，校准过程中温度波动不大于1℃。

6.1.2 相对湿度：30%～85%。

6.1.3 大气压力：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。

6.1.5 皂膜流量计被校准流量点单次测量的过程中，准确度等级为0.5级的气源压力波动要小于20Pa，准确度等级1.0级及以下的气源压力波动要小于100Pa。

6.2 校准用介质

6.2.1 流量法校准皂膜流量计容积

电子皂膜流量计和标准装置的校准用介质为洁净空气，也可选用与实流气体的密度、粘度等物理性质相接近的其它气体，在一次校准过程中要求气温、室温变化小于0.5℃。

6.2.2 皂膜液

皂膜液的主要成分为非离子表面活性剂。皂膜液与水溶解后在（20±5）℃温度内应不分层，不凝固、不浑浊。皂膜液可采用洗洁精或其他容积与水配置。

# 6.3 主标准器及配套设备

主标准器及配套设备均应有有效的检定/校准证书，要求见表2。

1. 主标准器和配套设备表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 设备名称 | 技术要求 | 用途 |
| 主标准器 | 气体流量标准装置 | 流量范围满足校准对象要求，且*U*rel优于被校对象的1/2。 | 用于流量法校准皂膜流量计 |
| 配套设备 | 温度计 | (0～50)℃，分度值0.2℃ | 测量校准用气体介质的温度 |
| 压力计 | (0～1000)Pa，2.5级 | 测量校准用气体介质的压力 |
| 压力计 | (0～5000)Pa，2.5级 | 用于气密性检测 |
| 温湿度计 | （0～100）%RH，最大允许误差±5%RH | 测量环境的温度和湿度 |

# 7 校准项目和校准方法

# 7.1 校准项目

 校准项目包括皂膜流量计示值误差和重复性。

# 7.2 校准方法

7.2.1校准前的准备

（1）密封性检测

在气密性检查时，将被校皂膜流量计接入校准管路系统，气口缓慢增加试验压力至3kPa，稳定3min，压力在15秒内变化要小于75Pa。以相同的方式检查其它测压孔。皂膜装置配套的专用外接被校流量计管路可与皂膜装置连接整机密封试验。

1. 压力波动检测

在试验管道上安装一台数字压力计，将气源阀门开启至被校准仪器的最大气体流量，待气体流量示值稳定后，观察数字压力计，记下校准过程中压力的最大变化为该标准装置的压力波动。压力波动应符合表1的要求。

1. 设备恒温和皂膜管的浸润

被校表一般应在校准条件下放置4小时以上，以保证流量计稳定到校准环境温度后方可开始校准。皂膜管的内表面应保持湿润均匀，在边缘的液面不应引起折皱变形。

* + 1. 按流量修正因子校准皂膜装置的示值误差

该方法用于准确度等级为0.5级的皂膜装置的校准。

（1） 预运行

被校皂膜装置校准前应在0.7$q\_{max}$ ~ $q\_{max}$流量下运行至少5min，使皂膜管充分浸润，皂液和介质温度达到平衡。

（2） 校准流量点

按用户要求流量点校准，当用户无要求时选取$（0.95\~1）q\_{max}$、$（0.85\~0.95）q\_{max}$、$（0.65\~0.75）q\_{max}$、$（0.45\~0.55）q\_{max}$、$（0.15\~0.25）q\_{max}$和$（1\~1.05）q\_{min}$五个流量点校准。

（3） 校准次数

每个流量点至少校准6次，$q\_{min}$点校准次数可适当减少。

（4） 校准操作

在校准中，记录通过气体流量标准装置处的气体压力、温度，通过被校皂膜装置的气体压力、温度。在一次校准结束时，应记录通过气体流量标准装置的气体体积、被校对象的示值及当地大气压力。

（5） 数据处理

a）流量修正因子和示值误差测量

对被校皂膜装置，每一流量点单次校准的流量修正因子*k*ij计算公式为

 (4)

式中：

$q\_{s}$——气体流量标准装置测得的流量值，mL/min或L/min；

$q\_{V}$——被校准皂膜流量计的显示值，mL/min或L/min；

$T\_{s}$，$T\_{m}$——气体流量标准装置和被校准皂膜计处的气体热力学温度，K；

 $p\_{s}$，$p\_{m}$——气体流量标准装置和被校准皂膜流量计处的气体绝对压力，Pa；

$p\_{Hsmax}$，$p\_{Hmmax}$——气体流量标准装置和被校准皂膜流量计处的饱和蒸汽压，Pa；

$Z\_{s}$，$Z\_{m}$——气体流量标准装置处和被校准皂膜流量计处的气体压缩因子，因压力较小，二者均为1，后续省略。

校准流量点的平均流量修正因子*k*i，按下式计算：

 (5)

式中：

*ki*——第*i*流量点修正因子的平均值；

*n*——校准次数。

被校皂膜装置流量修正因子按下式计算：

 (6)

式中：

*k*——平均流量修正因子；

(*ki*)max——各流量点的平均流量修正因子*ki*中最大值；

(*ki*)min——各流量点的平均流量修正因子*ki*中最小值。

示值误差计算公式为

 (7)

b ）重复性计算

流量计各流量点的重复性按下式计算：

 (8)

式中：

(*ER*)*i*——第*i*校准点的重复性；

(*kij*)max——校准流量点中流量修正因子*kij*中最大值；

(*kij*)min——校准流量点中流量修正因子*kij*中最小值；

*dn*——极差系数。

（5） 容积值修正

修正后的容积值*V*ref，用下式计算：

 (9)

式中：

*V*ref——新置入被校准皂膜装置内修正后的容积值，mL或L；

*Vc*——被校准皂膜装置内原置入的容积值，mL或L；

*k*——被校准皂膜装置的流量修正因子。

7.2.3按照瞬时流量校准电子皂膜的示值误差

该方法用于准确度等级低于0.5级电子皂膜流量计的校准。

（1） 预运行

被校电子皂膜校准前应在0.7$q\_{max}$ ~ $q\_{max}$流量下运行至少5min，使皂膜管充分浸润，皂液和介质温度达到平衡。

（2） 校准流量点及次数

按用户要求流量点校准，当用户无要求时选取$（0.95\~1）q\_{max}$、$（0.45\~0.55）q\_{max}$和$（1\~1.05）q\_{min}$三个流量点校准，每个流量点至少校准2次。

（3） 校准操作

在校准中，记录通过标准器处的气体压力、温度，通过被校电子皂膜的气体压力、温度。在一次校准结束时，应记录通过标准器的气体体积、被校电子皂膜的示值及当地大气压力。

（3） 数据处理

a） 示值误差计算

电子皂膜在i流量点的示值误差按公式（10）计算：

$E\_{i}=\frac{q\_{i}-(q\_{ref})\_{i}}{(q\_{ref})\_{i}}×100\%$ (10)

式中：

$E\_{i}$——电子皂膜在i校准流量点的示值误差；

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

$(q\_{ref})\_{i}$——第*i*校准流量点流过气体流量标准装置的瞬时流量实际值，mL/min。

 （11）

式中：

*qref——*校准时流过被校电子皂膜的瞬时流量实际值，L/min；

*qs——*标准器的瞬时流量值，L/min；

*Ts——*标准器内的气体热力学温度，K；

*Tm——*被校电子皂膜处的气体热力学温度，K；

*Ps——*标准器内的气体绝对压力，Pa；

*Pm——*被校电子皂膜处的气体绝对压力，Pa；

$p\_{Hsmax}$，$p\_{Hmmax}$——气体流量标准装置和被校准皂膜流量计处的饱和蒸汽压，Pa。

b） 皂膜流量计在*i*流量点的重复性按公式（12）计算：

$u\_{i}\left(E\right)=\frac{E\_{max}-E\_{min}}{d\_{n}}$ （12）

式中：

$u\_{i}\left(E\right)$——在*i*校准流量点皂膜流量计的重复性；

$E\_{max}$——示值误差的最大值；

$E\_{min}$——示值误差的最小值；

$d\_{n}$——极差系数。

# 8 校准结果表达

校准完成后，按照本规范给出校准结果，开具相应的校准证书，校准原始记录见附录A，校准证书格式见附录B，校准结果的不确定度评定详见附录C。

# 9 复校时间间隔

电子皂膜的复校时间间隔建议为2年，皂膜装置的复校时间间隔建议为1年，或根据客户要求及仪器使用频率确定复校时间。

# 附录A

校准记录参考格式

流量法校准流量修正因子原始记录



流量法校准示值误差原始记录

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 证书编号 |  | 校准日期 |  |
| 送检单位 |  | 制造单位 |  |
| 仪器型号 |  | 仪器编号 |  |
| 流量范围 |  | 校准员 |  |
| 核验员 |  | / |  |
| 一、标准器信息 |
| 名 称 |  | 编 号 |  |
| 测量范围 |  | 准确度等级 |  |
| 证书编号 |  | 有效期 |  |
| 二、校准依据 |
|  |
| 三、校准环境条件 |
| 室 温 |  | 相对湿度 |  | 大气压 |  |
| 四、校准数据 |
| 外观检查 |  | 密封性检查 |  | 校准介质 |  |
| 校准点 | 标准装置 | 被校仪器 | 示值误差（%） | 容积修正值（mL） | 重复性（%） |
| 温度（℃） | 压力（Pa） | 流量（mL/min） | 温度（℃） | 压力（Pa） | 流量（mL/min） |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 校准结果的最大扩展不确定度为：*U* = %， *k* = 。 |

# 附录 B

校准证书（内页）参考格式

1．环境条件

2．校准结果

3．复校时间间隔建议：2年

# 附录 C 不确定度评定示例

C.1 按流量修正因子校准皂膜装置的示值误差不确定度评定示例

C1.1 概述

C1.1.1 被校仪表

名称：皂膜式气体流量标准装置。

准确度等级：0.5级

流量范围：（330～2000）mL/min

皂膜管容积：993.0070mL

C1.1.2 标准器

名称：活塞式气体流量标准装置

扩展不确定度：0.16%（k=2）

流量范围：20mL/min-20L/min

C1.1.3 配套校准用设备

湿度计：测量范围0~100%RH，±5RH；

数字压力计：测量范围（0～700）kPa，准确度等级0.01级；

温度变送器：测量范围（0～30）℃，扩展不确定度*U*=0.06℃（*k*=2）；

大气压力计：测量范围（0～130）kPa，准确度等级0.01级。

C1.1.4 测量结果

测得有关参数见表C.1；

校准流量点（mL/min）：2000，1600，1200，800，330。

表C.1 校准数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 一、环境条件 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |  |
| 大气压力 | 100.029 | kPa | 大气温度 | 20.42 | ℃ | 大气湿度 | 60.6 | %RH | 　 |
| 二、测量数据 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |  |
| 外观检查 | 合格 | 密封性检查 | 合格 | 检定介质 | 空气 | 　 | 　 | 　 |
| 检测点(mL/min) | 标准器 | 被检表 | 修正因子 | 修正因子平均值 | 重复性（%） | 线性误差 |
| 压力（kPa） | 温度（℃） | 流量(mL/min) | 压力（kPa） | 温度（℃） | 流量(mL/min) |
| 2000 | 100.782  | 19.09  | 2039.371  | 101.873  | 19.08  | 2018.9  | 0.9994  | 0.9994  | 0.03% | 0.07% |
| 100.771  | 19.06  | 2039.310  | 101.894  | 19.03  | 2018.9  | 0.9991  |
| 100.795  | 19.10  | 2039.308  | 101.864  | 19.05  | 2018.8  | 0.9995  |
| 100.822  | 19.12  | 2039.306  | 101.907  | 19.07  | 2018.8  | 0.9994  |
| 100.695  | 19.10  | 2041.488  | 101.905  | 19.11  | 2018.8  | 0.9994  |
| 100.703  | 19.13  | 2042.409  | 101.899  | 19.09  | 2018.8  | 0.9998  |
| 1600 | 101.528  | 18.64  | 1634.232  | 101.512  | 18.89  | 1637.7  | 0.9990  | 0.9989  | 0.02% |
| 101.523  | 18.68  | 1634.176  | 101.470  | 18.83  | 1637.7  | 0.9991  |
| 101.509  | 18.62  | 1634.111  | 101.558  | 18.93  | 1637.7  | 0.9986  |
| 101.514  | 18.63  | 1634.044  | 101.466  | 18.85  | 1637.6  | 0.9992  |
| 101.528  | 18.65  | 1634.637  | 101.544  | 18.92  | 1637.6  | 0.9991  |
| 101.517  | 18.66  | 1634.272  | 101.547  | 18.91  | 1637.6  | 0.9987  |
| 1200 | 100.750  | 19.03  | 1226.690  | 101.391  | 19.05  | 1220.4  | 0.9990  | 0.9990  | 0.04% |
| 100.759  | 19.04  | 1226.634  | 101.371  | 19.02  | 1220.7  | 0.9989  |
| 100.724  | 19.05  | 1226.631  | 101.357  | 19.09  | 1220.2  | 0.9993  |
| 100.776  | 19.05  | 1226.609  | 101.382  | 19.10  | 1220.1  | 0.9997  |
| 100.671  | 19.06  | 1225.514  | 101.427  | 19.09  | 1218.4  | 0.9986  |
| 100.651  | 19.05  | 1225.324  | 101.401  | 19.09  | 1218.3  | 0.9986  |
| 800 | 101.984  | 18.55  | 818.916  | 101.052  | 19.25  | 830.0  | 0.9983  | 0.9986  | 0.02% |
| 102.050  | 18.52  | 818.650  | 101.050  | 19.28  | 830.0  | 0.9989  |
| 101.973  | 18.50  | 818.690  | 101.003  | 19.26  | 829.9  | 0.9987  |
| 102.029  | 18.54  | 818.279  | 101.005  | 19.23  | 829.8  | 0.9986  |
| 101.937  | 18.56  | 817.814  | 101.066  | 19.26  | 828.2  | 0.9985  |
| 101.922  | 18.58  | 817.877  | 101.071  | 19.26  | 828.1  | 0.9984  |
| 330 | 100.673  | 18.97  | 336.899  | 100.977  | 18.99  | 336.7  | 0.9979  | 0.9980  | 0.03% |
| 100.612  | 18.96  | 336.858  | 100.953  | 18.98  | 336.4  | 0.9982  |
| 100.641  | 18.97  | 336.796  | 100.957  | 18.97  | 336.6  | 0.9977  |
| 100.636  | 19.01  | 336.760  | 100.951  | 19.00  | 336.5  | 0.9977  |
| 101.939  | 19.00  | 341.104  | 101.010  | 19.04  | 344.9  | 0.9985  |
| 101.938  | 19.00  | 341.097  | 101.003  | 18.99  | 345.0  | 0.9980  |

注：校准流量点为用户要求校准流量点。

C1.2 测量模型

C1.2.1 计算公式

校准环境满足6.1.1的要求，校准过程中从被校皂膜流量装置至流量标准装置管路中的气体温度、压力会有一定的变化，因此需进行温度、压力补偿。由于气体处在常温常压下，可应用理想气体状态方程进行体积换算。根据修正因子的定义，被校准皂膜流量装置修正因子计算的数学公式为（C1）：

  (C1)

式中：

$k\_{ij}$—被校准皂膜流量装置修正因子；

$q\_{s}$—标准器测得的流量值，mL/min或L/min；

$q\_{V}$—被校准流量计的指示值，mL/min或L/min；

$T\_{s}$，$T\_{m}$--流量标准装置和被校准皂膜装置处的气体热力学温度，K；

 $p\_{s}$，$p\_{m}$--流量标准装置和被校准皂膜装置处的气体绝对压力，Pa；

$φ\_{s}$，$φ\_{m}$--流量标准装置和被校准皂膜装置处的气体相对湿度，%RH；

$p\_{Hs}$，$p\_{Hm}$—流量标准装置和被校皂膜装置处的饱和蒸汽压，Pa；

$Z\_{s}$，$Z\_{m}$--流量标准装置处和被校准皂膜装置处的气体压缩因子。

校准时，储气罐中干燥空气，经被校皂膜流量装置及干燥管后流入流量标准装置。干燥气体进入皂膜流量装置后可视为湿度100%的气体，流入流量标准装置的气体经干燥又变为干燥空气，湿度为0，可忽略饱和蒸气压的影响。因此上式可简化为：

 (C2)

C1.2.2 相对灵敏系数

由式（C2）可得

$$u\_{r}^{2}\left(k\right)=c\_{r}^{2}(q\_{v})u\_{r}^{2}\left(q\_{v}\right)+c\_{r}^{2}(q\_{s})u\_{r}^{2}\left(q\_{s}\right)+c\_{r}^{2}(p\_{s})u\_{r}^{2}\left(p\_{s}\right)+c\_{r}^{2}(p\_{m})u\_{r}^{2}\left(p\_{m}\right)+c\_{r}^{2}(Z\_{m})u\_{r}^{2}\left(Z\_{m}\right)$$

$$+c\_{r}^{2}(p\_{Hm})u\_{r}^{2}\left(p\_{Hm}\right)+c\_{r}^{2}(T\_{s})u\_{r}^{2}\left(T\_{s}\right)+c\_{r}^{2}(T\_{m})u\_{r}^{2}\left(T\_{m}\right)+c\_{r}^{2}(Z\_{s})u\_{r}^{2}\left(Z\_{s}\right)$$

其中相对灵敏系数：$c\_{r}\left(q\_{s}\right)=1$，$c\_{r}\left(q\_{v}\right)=-1$，$c\_{r}\left(p\_{s}\right)=1$，$c\_{r}\left(p\_{m}\right)=-1$，$c\_{r}\left(Z\_{m}\right)=1$，$c\_{r}\left(p\_{Hm}\right)=1$，$c\_{r}\left(T\_{s}\right)=-1$，$c\_{r}\left(T\_{m}\right)=1$，$c\_{r}\left(Z\_{s}\right)=-1$。

即

$$u\_{r}^{2}\left(k\right)=u\_{r}^{2}\left(q\_{v}\right)+u\_{r}^{2}\left(q\_{s}\right)+u\_{r}^{2}\left(p\_{s}\right)+u\_{r}^{2}\left(p\_{m}\right)+u\_{r}^{2}\left(Z\_{m}\right)+u\_{r}^{2}\left(p\_{Hm}\right)+u\_{r}^{2}\left(T\_{s}\right)+u\_{r}^{2}\left(T\_{m}\right)+u\_{r}^{2}\left(Z\_{s}\right)$$

C1.3 不确定度分量

由式（C2）可见，皂膜流量装置的不确定度来源主要有：

1. 流量标准装置的不确定度$u\_{r}\left(q\_{s}\right)$；
2. 被校皂膜流量装置重复性测量得到的示值的标准不确定度及修正因子的标准不确定度分量$u\_{r}\left(q\_{v}\right)$；
3. 流量标准装置内压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$；
4. 被校皂膜流量装置处压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$；
5. 流量标准装置处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$；
6. 被校皂膜流量装置处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$；
7. 被校皂膜流量装置处饱和蒸汽压的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{Hm}\right)$；
8. 流量标准装置处的气体压缩因子$u\_{r}\left(Z\_{s}\right)$；
9. 被校准皂膜装置处的气体压缩因子$u\_{r}\left(Z\_{m}\right)$。

C1.4 不确定度评定

C1.4.1 流量标准装置的不确定度$u\_{r}\left(q\_{s}\right)$

被动活塞式气体流量标准装置的扩展不确定度为0.16%，包含因子*k*=2，则其相对标准不确定度为：

$$u\_{r}\left(q\_{s}\right)=\frac{0.16\%}{2}=0.080\%$$

C1.4.2 被校皂膜流量装置重复测量得到的修正因子的标准不确定度分量$u\_{r}\left(q\_{m}\right)$

根据表C1，被校皂膜流量装置重复测量得到的修正因子的标准不确定度分量为：



C1.4.3 流量标准装置内压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$

流量标准装置处的绝对压力$p\_{s}$是数字压力计测量流体介质的表压力$p\_{sm}$与当地大气压力$p\_{A}$之和。

引起压力测量不确定度的因素是测量上述两类压力的数字压力计的不确定度。

测量流体介质的数字压力计最大量程为700kPa，准确度等级为0.01级，因此，装置测量流体介质压力最大误差为±70Pa，假设服从均匀分布，则：

$$p\_{sm}=\frac{70}{\sqrt{3}}=40.42 Pa$$

测量当地大气压的数字压力计最大量程为130kPa，准确度等级为0.01级，因此，装置测量当地大气压最大误差为±13Pa，假设服从均匀分布，则：

$$p\_{A}=\frac{13}{\sqrt{3}}=7.51 Pa$$

因此，装置压力测量的标准不确定分量为

$$u\_{C}\left(p\_{s}\right)=\sqrt{u^{2}\left(p\_{sm}\right)+u^{2}\left(p\_{A}\right)}=41.11 Pa$$

根据表C1，流量标准装置的最小绝对压力100612Pa，因此，标准器内绝对压力测量的相对不确定度分量为

$$u\_{r}\left(p\_{s}\right)=\frac{41.11}{100612}×100\%=0.041\%$$

C1.4.4 被校皂膜流量装置处压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$

该处测量仪器和不确定度评定与标准装置处压力测量相同，标准不确定度为：41.11Pa。

被校准皂膜流量装置处最小绝对压力为100953Pa，故其压力测量引入的相对不确定度分量为

$$u\_{r}\left(p\_{s}\right)=\frac{41.11}{100953}×100\%=0.041\%$$

C1.4.5 流量标准装置处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$

采用的铂电阻和温度巡检仪进行温度测量，测量扩展不确定度为*U*=0.06℃（*k*=2），标准装置处的最低温度为18.50℃，则标准装置内介质温度测量引入的标准不确定度为：

$$u\_{r}\left(T\_{s}\right)=\frac{0.06}{2×（273.15+18.50）}×100\%=0.010\%$$

C1.4.6 被校皂膜流量装置处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$

采用的铂电阻和温度巡检仪进行温度测量，测量扩展不确定度为*U*=0.06℃（*k*=2），被校皂膜流量装置处的最低温度为18.83℃，则被校皂膜流量装置处温度测量的标准不确定度分量为

$$u\_{r}\left(T\_{m}\right)=\frac{0.06}{2×（273.15+18.83）}×100\%=0.010\%$$

C1.4.7 被校皂膜流量装置处饱和蒸气压测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{Hm}\right)$

本校准规范采用 $p\_{Hm}= 6. 0 × 10^{8}e^{k}$ 计算饱和蒸气压，其中

。

该公式引自韩翠芳的《利用多次回归拟合水的饱和蒸汽压与温度的关系表达式》。在0～200℃范围内，由此数据拟合的数据与实际数据最大误差为0.08%。假设服从均匀分布，则被校皂膜流量装置处饱和蒸气压测量的不确定度分量为



C1.4.8流量标准装置处的气体压缩因子$u\_{r}\left(Z\_{s}\right)$

Z的允许误差为0.01%，按矩形分布考虑，则



C1.4.9被校准皂膜装置处的气体压缩因子$u\_{r}\left(Z\_{m}\right)$

Z的允许误差为0.01%，按矩形分布考虑，则



C1.5 合成标准不确定度

C1.5.1 相对标准不确定度分量一览表（表C2）

表C2 标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 符号 | 不确定度分量来源 | 输入量的标准不确定度分量% | 相对灵敏系数 | 相对标准不确定度分量% |
| 1 | $$u\_{r}\left(q\_{s}\right)$$ | 流量标准装置的不确定度 | 0.080 | 1 | 0.080 |
| 2 | $$u\_{r}\left(q\_{v}\right)$$ | 被校皂膜流量装置重复性测量得到的示值的标准不确定度及修正因子的标准不确定度分量 | 0.016 | -1 | 0.016 |
| 3 | $$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$$ | 流量标准装置内压力测量的不确定度分量 | 0.041 | 1 | 0.041 |
| 4 | $$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$$ | 被校皂膜流量装置处压力测量的不确定度分量 | 0.041 | -1 | 0.041 |
| 5 | $$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$$ | 流量标准装置处温度测量的不确定度分量 | 0.010 | -1 | 0.010 |
| 6 | $$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$$ | 被校皂膜流量装置处温度测量的不确定度分量 | 0.010 | 1 | 0.010 |
| 7 | $$u\_{r}\left(p\_{Hm}\right)$$ | 被校皂膜流量装置处湿度测量的不确定度分量 | 0.046 | 1 | 0.046 |
| 8 | $$u\_{r}\left(Z\_{s}\right)$$ | 流量标准装置处气体压缩因子测量的不确定度分量 | 0.006 | -1 | 0.006 |
| 9 | $$u\_{r}\left(Z\_{m}\right)$$ | 被校皂膜流量装置处气体压缩因子测量的不确定度分量 | 0.006 | 1 | 0.006 |
| 合成标准不确定度$u\_{r}(k)$ | 0.111 |

C1.5.2 计算合成标准不确定度$u\_{r}(k)$

标准不确定度各分量相互独立，则$k$的合成标准不确定度$u\_{r}(k)$为

$$u\_{r}\left(k\right)=0.111\%$$

C1.6 计算扩展不确定度

取包含因子$k=2$，扩展不确定度为

$$U\_{r}=2×0.111\%=0.23\%$$

C2 流量法电子皂膜流量计示值误差不确定度评定示例

C2.1 概述

C2.1.1 被校仪表

名称：电子皂膜流量计。

准确度等级：1.0级

流量范围：（50~3000）mL/min

皂膜管容积：22.150mL

C2.1.2 标准器

名称：活塞式气体流量标准装置

扩展不确定度：0.16%（k=2）

流量范围：20mL/min-20L/min

C2.1.3 配套设备

表C3 配套设备

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 测量范围 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 数字压力计 | (0~700)kPa | 0.01级 | 测量标准表和被校表处气体温度 |
| 2 | 多通道数字测温仪 | （0~30）℃ | *U*=0.04℃（*k*=2） | 测量标准表和被校表处气体压力 |
| 3 | 压力变送器 | （80~120）kPa | 0.1级 | 测量环境压力 |

C2.1.4 测量结果

测得有关参数见表C4；

校准流量点（mL/min）：3000、1500、50

表C4 校准数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检测点(mL/min) | 标准装置 | 被检皂膜流量计 | 示值误差 (%) | 平均误差 (%) | 重复性 (%) |
| 压力 (kPa) | 温度 (℃) | 标准流量值(mL/min) | 平均值(mL/min) | 压力 (kPa) | 温度 (℃) | 指示流量值(mL/min) | 平均值(mL/min) |
| 1 | 3000 | 101.765 | 20.00 | 2997.3  | 2997.3  | 101.763 | 20.03 | 2973.9  | 2977.3  | -0.78  | -0.67  | 0.13  |
| 101.765 | 20.02 | 2997.3  | 101.764 | 20.04 | 2977.3  | -0.67  |
| 101.766 | 20.02 | 2997.3  | 101.759 | 20.04 | 2980.6  | -0.56  |
| 2 | 1500 | 101.769 | 20.02 | 1498.4 | 1498.4  | 101.759 | 20.01 | 1495.1 | 1494.9  | -0.22  | -0.23  | 0.06  |
| 101.769 | 20.00 | 1498.4 | 101.760 | 20.03 | 1494.1 | -0.29  |
| 101.769 | 20.01 | 1498.4 | 101.761 | 20.02 | 1495.5 | -0.19  |
| 3 | 50 | 101.770 | 20.03 | 50.1 | 50.1  | 101.767 | 20.01 | 49.8 | 49.7  | -0.60  | -0.73  | 0.12  |
| 101.772 | 20.01 | 50.1 | 101.768 | 20.00 | 49.7 | -0.80  |
| 101.770 | 20.03 | 50.1 | 103.767 | 20.00 | 49.7 | -0.80  |

注：校准流量点为用户定点使用流量点。

C2.2 测量模型

C2.2.1 计算公式

 （C3）

 （C4）

式中：

*E——*被校皂膜流量计的瞬时流量相对示值误差，%；

*qref——*校准时流过皂膜流量计的瞬时流量实际值，L/min；

*q——*被校皂膜流量计的瞬时流量值，L/min。

*qs——*标准器的瞬时流量值，L/min；

*Ts——*标准器内的气体热力学温度，K；

*Tm——*被校皂膜流量计处的气体热力学温度，K；

*Ps——*标准器内的气体绝对压力，Pa；

*Pm——*被校皂膜流量计处的气体绝对压力，Pa。

C2.2.2 相对灵敏系数

由以上数学模型可知，示值误差 *E* 的不确定度传播律为

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

其中相对灵敏系数：$c\_{r}\left(q\_{s}\right)=-1$，$c\_{r}\left(q\right)=1$，$c\_{r}\left(p\_{s}\right)=-1$，$c\_{r}\left(p\_{m}\right)=1$，$c\_{r}\left(T\_{s}\right)=1$，$c\_{r}\left(T\_{m}\right)=-1$。

C2.3 不确定度分量

由式（C1、C2）可见，皂膜流量计的不确定度来源主要有：

1. 流量标准器的不确定度分量$u\_{r}\left(q\_{s}\right)$；
2. 被校皂膜流量计重复性测量得到的示值的标准不确定度分量$u\_{r}\left(q\right)$；
3. 流量标准器内压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$；
4. 被校皂膜流量计处压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$；
5. 流量标准器处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$；

被校皂膜流量装置处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$；

C2.4 不确定度评定

C2.4.1 流量标准器的不确定度$u\_{r}\left(q\_{s}\right)$

被动活塞式气体流量标准装置的扩展不确定度为0.16%，包含因子*k*=2，则其相对标准不确定度为：

$$u\_{r}\left(q\_{s}\right)=\frac{0.16\%}{2}=0.080\%$$

C2.4.2 被校电子皂膜流量计重复测量得到的示值误差的标准不确定度$u\_{r}\left(q\right)$

根据表C4，取重复性最大值3000mL/min流量点作为代表进行评定，所以示值误差的相对标准不确定度分量为：

$$u\_{r}\left(q\right)=\frac{0.13\%}{\sqrt{3}}=0.075\%$$

C2.4.3 流量标准器处压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$

流量标准器处的绝对压力$p\_{s}$是数字压力计测量流体介质的表压力$p\_{sm}$与当地大气压力$p\_{A}$之和。

引起压力测量不确定度的因素是测量上述两类压力的数字压力计的不确定度。

测量流体介质的数字压力计最大量程为700kPa，准确度等级为0.01级，因此，标准器测量流体介质压力最大误差为±70Pa，假设服从均匀分布，则：

$$p\_{sm}=\frac{700000×0.0001}{\sqrt{3}}=40.4 Pa$$

测量当地大气压的数字压力计最大量程为120kPa，准确度等级为0.1级，因此，标准器测量当地大气压最大误差为±120Pa，假设服从均匀分布，则：

$$p\_{A}=\frac{120000×0.001}{\sqrt{3}}=69.3 Pa$$

因此，标准器压力测量的标准不确定分量为

$$u\_{C}\left(p\_{s}\right)=\sqrt{u^{2}\left(p\_{sm}\right)+u^{2}\left(p\_{A}\right)}=80.2 Pa$$

在3000mL/min流量点，流量标准器的绝对压力为101765Pa，因此，标准器处绝对压力测量的相对不确定度分量为

$$u\_{r}\left(p\_{s}\right)=\frac{80.2}{101765}×100\%=0.079\%$$

C2.4.4 被校皂膜流量计处压力测量的不确定度分量$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$

该处测量仪器和不确定度评定与标准器处压力测量相同，标准不确定度为：80.2Pa。

被校准皂膜流量计处绝对压力为101762Pa，故其压力测量引入的相对不确定度分量为

$$u\_{r}\left(p\_{s}\right)=\frac{80.2}{101762}×100\%=0.079\%$$

C2.4.5 流量标准器处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$

采用的多通道温度测量仪进行温度测量，最大允许误差为0.04℃，假设服从均匀分布，标准器处介质温度测量引入的标准不确定度为：

$$u\_{r}\left(T\_{s}\right)=\frac{0.04}{293.16×\sqrt{3}}=0.008\%$$

C2.4.6 被校皂膜流量计处温度测量的不确定度分量$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$

被校皂膜流量计处温度测量的标准不确定度分量为

$$u\_{r}\left(T\_{m}\right)=\frac{0.04}{293.52×\sqrt{3}}=0.008\%$$

C2.4.7 被校皂膜流量计温差、光电安装位置等各分量引入的不确定度分量$u\_{r}\left(F\right)$

a）温差$u\_{y}$引入的不确定度分量

1.0级电子皂膜流量计在一次校准过程中气体温度最大允许变化为1.0℃（表2）规定，而在温度测量中可能带来的最大不确定性为0.5℃，假设服从均匀分布，则

$$u\_{y}=\frac{0.5}{293.85×\sqrt{3}}×100\%=0.098\%$$

b）光电安装位置引入的不确定度分量

光电传感器安装采用目测法进行安装，安装固定过程中引入的不确定度假设服从均匀分布，则

$$u\_{y}=\frac{0.05\%}{\sqrt{3}}=0.029\%$$

说明：光电传感器安装位置引入标准不确定度，根据实验数据而得。

$$u\_{r}\left(F\right)=\sqrt{0.098\%^{2}+0.029\%^{2}}=0.11\%$$

C2.5 合成标准不确定度

C2.5.1 相对标准不确定度分量一览表（表C5）

表C5标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 符号 | 不确定度分量来源 | 输入量的标准不确定度分量% | 相对灵敏系数 | 相对标准不确定度分量% |
| 1 | $$u\_{r}\left(q\_{s}\right)$$ | 流量标准器的不确定度 | 0.080 | -1 | 0.080 |
| 2 | $$u\_{r}\left(q\right)$$ | 被校电子皂膜流量计重复性测量得到的示值的标准不确定度及修正因子的标准不确定度分量 | 0.075 | 1 | 0.075 |
| 3 | $$u\_{r}\left(p\_{s}\right)$$ | 流量标准器处压力测量的不确定度分量 | 0.079 | -1 | 0.079 |
| 4 | $$u\_{r}\left(p\_{m}\right)$$ | 被校电子皂膜流量计处压力测量的不确定度分量 | 0.079 | 1 | 0.079 |
| 5 | $$u\_{r}\left(T\_{s}\right)$$ | 流量标准器处温度测量的不确定度分量 | 0.008 | 1 | 0.008 |
| 6 | $$u\_{r}\left(T\_{m}\right)$$ | 被校电子皂膜流量计处温度测量的不确定度分量 | 0.008 | -1 | 0.008 |
| 7 | $$u\_{r}\left(F\right)$$ | 被校电子皂膜流量计温差、光电安装位置等各分量引入的不确定度分量 | 0.11 | 1 | 0.11 |
| 合成标准不确定度$u\_{r}(E)$ | 0.44 |

C2.5.2 计算合成标准不确定度$u\_{r}(E)$

标准不确定度各分量相互独立，则$k$的合成标准不确定度$u\_{r}(k)$为

$$u\_{r}\left(E\right)=0.44\%$$

C2.6 计算扩展不确定度

取包含因子$k=2$，扩展不确定度为

$U\_{r}=2×0.44\%=0.88\%$