

# **湖南省地方计量技术规范**

# **JJF（湘）××－202×**

# **高精度气体层流流量计**

**Portable Air Volume Measuring Equipment**

（征求意见稿）

202×-××-××发布 　202×-××-××实施

**湖南省市场监督管理局 发 布**

|  |  |
| --- | --- |
| 高精度气体层流流量计校准规范 **Calibration Specification for Portable**  **Air Volume Measuring Equipment** | JJF（湘）××－202× |

归 口 单 位：湖南省市场监督管理局

主要起草单位：湖南省计量检测研究院

参加起草单位：湖南省计量检测研究院

本规范委托湖南省计量检测研究院负责解释

本规范主要起草人：

徐旷宇（湖南省计量检测研究院）

朱 宁（湖南省计量检测研究院）

周 艳（湖南省计量检测研究院）

尹鑫昊（湖南省计量检测研究院）

参加起草人：

扶志勇（湖南省计量检测研究院）

冯得明（湖南省计量检测研究院）

陈炜骄（湖南省计量检测研究院）

李 宁（湖南省计量检测研究院）

目 录

|  |  |
| --- | --- |
| 引言………………………………………………………………………… | （II） |
| 1 范围……………………………………………………………………… | （1） |
| 2 引用文件………………………………………………………………… | （1） |
| 3 术语及定义……………………………………………………………… | （1） |
| 4 概述……………………………………………………………………… | （2） |
| 4.1 用途和结构…………………………………………………………… | （2） |
| 4.2 工作原理……………………………………………………………… | （2） |
| 5 计量特性………………………………………………………………… | （3） |
| 5.1 准确度等级和最大允许误差………………………………………… | （3） |
| 5.2 重复性………………………………………………………………… | （3） |
| 6 校准条件………………………………………………………………… | （3） |
| 6.1 环境条件……………………………………………………………… | （3） |
| 6.2 校准用介质…………………………………………………………… | （3） |
| 6.2 测量标准及其他设备………………………………………………… | （4） |
| 7校准项目和校准方法…………………………………………………… | （4） |
| 7.1 校准项目……………………………………………………………… | （4） |
| 7.2 校准方法……………………………………………………………… | （4） |
| 8 校准结果………………………………………………………………… | （6） |
| 9 复校时间间隔…………………………………………………………… | （7） |
| 附录A 空气密度计算公式（CIPM公式）………………………………… | （8） |
| 附录B 高精度气体层流流量计校准原始记录（式样）………………… | （10） |
| 附录C 校准证书校准结果内页（式样）………………………………… | （11） |
| 附录D 高精度气体层流流量计示值误差测量结果不确定度评定（示例） | （12） |

**引 言**

Ⅰ

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和JJF 1004-2004 《流量计量名词术语及定义》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范参照了JJG 736-2012《气体层流流量传感器检定规程》，并结合我国高精度气体层流流量计的生产、使用和校准现状进行制定。

本规范为首次发布。

Ⅱ

高精度气体层流流量计校准规范

1 范围

本规范主要适用于准确度等级为0.5级及以上的高精度气体层流流量计的校准；也适用于0.5级以下气体流量计的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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 1059.1-2012测量不确定度评定与表示

JJG 736-2012气体层流流量传感器

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 术语及定义

JJF 1001、JJF 1004和JJG 736界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 高精度气体层流流量计 High precision gas laminar flow meter

准确度等级为0.5级及以上的气体层流流量计。

3.2 流量调节装置 Flow regulating device

用于精确稳定控制校准过程中的流量大小，由大小不同的流量调节阀组合而成。

3.3 附加质量 Additional mass

pVTt装置中被校流量计与开关阀中间有一段管道，由于开始进气与结束进气时，这段管道内的空气状态不同，因此产生的附加质量。

3.4 附加时间差Additional time difference

装置运行时，由于被校流量计下游的开关阀打开、关闭动作与计时器计时的启、停动作不同步，使得所测流量与实际流量存在系统差，即附加时间差。

3.5 间歇读数法Intermittent reading method

校准过程中，流量稳定后每间隔10s读取被校流量计的瞬时流量示值。

4 概述

4.1 用途和结构

高精度气体层流流量计由传感器与微差压计配套组成，适用于空气等洁净气体流量的测量。

传感器一般由层流元件、传感器的本体和取压装置组成，必要时可安装整流器(见图1)。层流元件有用单管或多管层流管组成的，也有用可控直径的小球构成的多通道组成的。

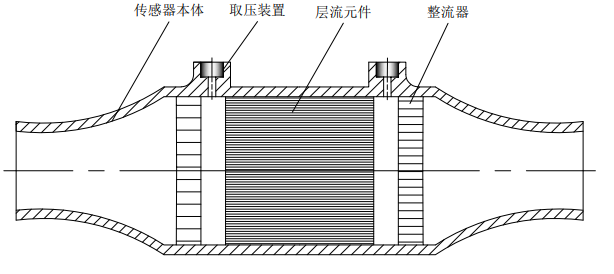


图1 带整流器的层流流量传感器结构示意图

4.2 工作原理

在流体力学中，一般把低速运动情况下的气体视为不可压缩流体。根据描述不可压缩牛顿流体在圆管内做层流运动的哈根-泊肃叶 (Hagen-Poiseuille) 定律，可知圆管内气体体积流量：

（1）

式中：

*q*v——管内气体体积流量， m³/s;

*d*——层流元件管路的等效内径，m;

*l* ——层流元件管路的等效长度，m;

*μ*——气体动力黏度， Pa·s;

△*p*——气体流经层流元件产生的静压力差，Pa。

由式(1)可知，通过测量流经传感器层流元件产生的差压△*p*和层流元件进口处气体绝对压力*p*m 、热力学温度*T*m，可确定管道内的实际体积流量或质量流量。

管内气体体积流量 *q*v可由公式(2)给出：

（2）

管内气体质量流量 *q*m可由公式(3)给出：

（3）

式中：

*K*₀—— 传感器系数， (m³/s) ·Pa-1;

*μ*m，*μ*N——工作条件和标准状态下气体动力黏度，Pa·s;

*q*m—— 管内气体质量流量，kg/s;

ρm—— 工作条件下气体的密度， kg/m³。

5 计量特性

5.1准确度等级和最大允许误差

流量计在规定范围内准确度等级和最大允许误差应符合表1的规定。

**表1** **准确度等级和最大允许误差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 准确度等级 | | 0.2 | 0.5 |
| 最大允许误差 | *q*t≤*q*≤*q*max | ±0.2% | ±0.5% |
| *q*min≤*q*＜*q*t | ±0.4% | ±1.0% |
| 注：分界流量*q*t对应的流量为0.2 *q*max。 | | | |

5.2重复性

流量计的重复性不得超过相应准确度等级中最大允许误差绝对值的1/3。

注：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

一般试验条件：

温度：(5～35)℃;

大气压力：(86～106) kPa;

相对湿度：不大于85%。

6.2 校准用介质

校准介质一般为空气，在每个流量点的每次校准过程中其温度变化应不超过0.5 ℃.

6.3 测量标准及其他设备

主标准器及其他设备均应有有效的检定/校准证书。

[6.3.1](file:///D:\Documents\WeChat%20Files\xukuangyu001\FileStorage\File\2024-01\7.1.3.1)主标准器

主标准器可用p.V.T.t法气体流量标准装置，其扩展不确定度 (*k*=2)或最大允许误差应不超过被检流量计最大允许误差的1/3。

装置应具有良好的密封性，一次校准过程中流量应稳定。

6.3.2 主标准器及其他设备的技术要求见表2

**表2** **主标准器及其他设备的技术要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 仪器设备 | 技术指标 |
| 1 | p.V.T.t法气体流量标准装置 | 装置的不确定度*U* =0.05%（*k*=2） |
| 2 | 流量调节装置 | 流量稳定度优于0.1% |

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

示值误差和重复性。

7.2 校准方法

7.2.1校准前的准备工作

流量计应按其使用说明书的要求安装在装置试验段上。如果使用说明书中没有规定，则流量计应安装在离任何上游扰动部件至少10倍标称通径和离下游扰动部件5倍标称通径的直管段中。图2为p.V.T.t法气体层流流量计的检定系统示意图。

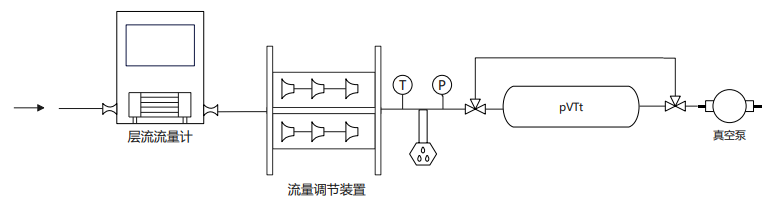


图2 p.V.T.t法气体层流流量计检定系统示意图

7.2.2示值误差

7.2.3.1 校准次数和流量点

流量计的校准应包含以下流量点：*q*max、0 .8 *q*max、0.6 *q*max 、0.4 *q*max、*q*t、*q*min。每个流量点的校准次数不少于3次。在校准过程中，每个流量点的每次实际流量与设定流量的偏差不应超过±5%。

7.2.3.2校准步骤

1)试验开始之前，流量计应在最大流量下预运行至少5 min，待流体温度、压力和流量稳定后进行校准。

2)每次校准记录进气前、后标准容器内的空气绝对压力*P*E、*P*F，和热力学温度*T*E、*T*F。

3)流量计采用间歇读数方法，一次校准过程中有效读数次数不得少于 10次，取其平均值作为该次校准的流量值。

4)带工业标准信号输出的流量计通过自动采集获取信号，转换为瞬时流量参与计算。

7.2.3.3示值误差计算

1)装置流量的计算

按式（4）计算装置的质量流量*q*m：

（4）

式中：*q*m——装置的质量流量，kg/s；

*V*N——标准容器的标准容积，m3；

*P*N——标准状态压力，*P*N = 101325Pa；

*T*N——标准状态温度，*T*N = 293.15K；

*Z*N——在标准状态（*P*N、*T*N）下的空气压缩系数；

*ρ*N——在标准状态（*P*N、*T*N）下的空气密度，kg/m3；

*P*E、*P*F——进气前、后标准容器内的空气绝对压力，Pa；

*T*E、*T*F——进气前、后标准容器内的热力学温度，K；

*Z*E、*Z*F——进气前、后标准容器内的空气压缩系数；

△*m*——附加质量，kg；

△*t*——开关阀造成的时间系统差，s；

*t*——进气时间，s；

*T*——标定时标准容器内气体平均温度，K (可取*T*E和*T*F的算术平均值) ；

*α*——标准容器材料的线膨胀系数，K-1。

按式（5）计算装置的体积流量*q*v：

（5）

式中：*q*v——装置的体积流量，m3/s；

*q*m——装置的质量流量，kg/s；

*ρ*a——湿空气密度，kg/m3（CIPM公式见附录A）。

2)流量计各流量点单次检测的相对示值误差按式（6）计算：

（6）

式中：*Eij*——第*i*检测点第*j*次检测被检测流量计的相对示值误差，%；

*qij*——第*i*检测点第*j*次检测时被检测流量计显示的瞬时流量值（或模拟输出对于的瞬时流量值，可为一次实验过程中多次读取的瞬时流量值的平均值），m3/h；

( *q*s ) *ij*——第*i*检测点第*j*次检测标准器换算到被检流量计处状态的瞬时流量值，m3/h。

流量计各流量点的相对示值误差按式（7）计算：

式中：*Ei*——第*i*检测点流量计相对示值误差，%；

*n*——第*i*检测点检测次数；

*Eij*——第*i*检测点第*j*次检测被检测流量计的相对示值误差，%；

7.2.4重复性

流量计各流量点的重复性按公式（8）计算：

式中：( *E*r )*i*——第*i*检测流量点的重复性，%；

8 校准结果

校准原始记录格式参照附录B。按本规范要求校准后的流量计出具校准证书，校准证书格式参照附录C，高精度气体层流流量计测量结果不确定度评定示例见附录D。

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。一般建议复校时间间隔不超过1年。

附录A

**空气密度计算公式（CIPM公式）**

A.1 CIPM湿空气密度公式

当空气处于下列条件

60 kPa≤*ρ* a≤110 kPa

15℃≤*θ* ≤27℃

时，密度计算公式为：

（A.1）

式中： *ρ* a ——湿空气密度，kg/m3；

*p*a ——大气压力，kPa；

*M*a——干空气的摩尔质量，若二氧化碳的摩尔分数=0.0004，则其值为28.96546 g/mol；

*Z* ——压缩系数，无量纲；

*R* ——摩尔气体常数，其值为8.314462618 J/(mol·K)；

*T*a——湿空气的热力学温度，K；

*x*v——水蒸气的摩尔分数，无量纲；

*M* v ——水的摩尔质量，其值为18.01528 g/mol。

将各常数带入到公式（A.1）中得到

（A.2）

A.1.1 水蒸气的摩尔分数计算公式：

（A.3）

式中：*h*r——用小数表示的相对湿度；

*f* (*p*a，*θ*a)——增强因子，无量纲；

*p*sv(*Ta*)——修正系数湿空气的饱和蒸气压，kPa。

A.1.1.1 增强因子计算公式：

（A.4）

式中：

*θ*a——湿空气的温度，℃；

*α* =1.00062， *β* =3.14×10 -5 1/kPa，*γ* =5.6×10 -7 1/℃2。

A.1.1.2 湿空气的饱和蒸气压计算公式：

（A.5）

式中：*A*a=1.2378847×10-5 1/K2，*B*a=-1.9121316×10-2 1/K，*C*a=33.93711047，*D*a=-6.3431645×103 K。

A.1.2 压缩系数计算公式：

（A.6）

式中：*a*5*=*1.58123×10-3 K/kPa，*a*6=-2.9331×10-5 1/kPa， *a*7=1.1043×10-7 1/K·kPa

*b*6=5.707×10-3 K/kPa， *b*7=-2.051×10-5 1/kPa， *c*6=1.9898×10-1 K/kPa， *c*7=-2.376×10-3 1/kPa， *d*5=1.83×10-5 K2/kPa2， *d*6=-0.765×10-2 K2/kPa2。

附录B

表B.1高精度气体层流流量计校准原始记录（式样）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 送检单位 | |  | | | | 证书单位 | |  | | |
| 器具名称 | |  | | | | 制造单位 | |  | | |
| 型号/规格 | |  | | | | 出厂编号 | |  | | |
| 流量范围 | |  | | | | 准确度等级 | |  | | |
| 出厂日期 | |  | | 校准依据 | |  | | | | |
| 环境条件 | | 温度 ℃；相对湿度 %； 大气压力 kPa | | | | | | | 校准介质 |  |
| 校准地点 | |  | | | | | | | | |
| 校准所使用的标准器具 | 名 称 | | 型号/规格 | | 出厂编号 | | 不确定度/准确度等级 | 溯源单位/证书编号 | | 有效期至 |
|  | |  | |  | |  |  | |  |
|  | |  | |  | |  |  | |  |
|  | |  | |  | |  |  | |  |
|  | |  | |  | |  |  | |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准  项目 | 校准结果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 示  值  误  差  、  重  复  性 | 校  准  点 | 标准  流量  ( ) | 进前罐压  kPa | 进前罐温  ℃ | 进后罐压  kPa | 进后罐温  ℃ | 进气时间  s | 被校流量计示值 | | | | | | | | | | 被校流量计示值平均值( ) | 示值  误差  (%) | 示值误差平均值(%) | 重复性(%) | 测量结果不确定度*U*(%)*k*=2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *q*max |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *0.8q*max |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *0.6q*max |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *0.4q*max |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*t |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *q*max |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

校准人员： 核验人员： 校准日期：

附录C

表C.1 校准证书校准结果内页（式样）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **校准项目** | **校准结果** | | | | |
| 示值误差、重复性 | 标准流量  ( ) | 被检流量计示值平均值( ) | 示值误差平均值  (%) | 重复性  (%) | 测量结果不确定度*U*(%)*k*=2 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

附**录D**

高精度气体层流流量计示值误差测量结果不确定度评定（示例）

按本规范的校准方法，将高精度气体层流流量计正确安装在p.V.T.t法气体流量标准装置试验段上，测量出进气前、后标准容器内的空气绝对压力和热力学温度，以及进气时间，计算出流过被测流量计的实际体积流量，并间歇性读取被校流量计示值不少于10次（取平均值），两者之间的相对误差，即为被校流量计的示值误差。

D.1被校气体层流流量计

以测量范围（4～40）L/min的气体层流流量计（0.5级）为例，对40L/min流量点进行测量结果不确定度评定。

D.2 标准器

p.V.T.t法气体流量标准装置，扩展不确定度0.05%（*k*=2）。

D.3 测量模型

流量计各流量点单次检测的相对示值误差按式（D.1）计算：

（D.1）

式中：*E*——被检测流量计的相对示值误差；

*q*——被检测流量计显示的瞬时流量值的平均示值（或模拟输出对于的瞬时流量值，可为一次实验过程中多次读取的瞬时流量值的平均值），m3/h；

*q*s ——标准器换算到被检流量计处状态的平均流量值，m3/h。

D.4合成标准不确定度（计算公式）

由式（D.1）得灵敏系数为：

，

示值误差*E*测量结果不确定度的来源主要有：

a）被校高精度气体层流流量计测量的不确定度分量；

b）标准器的不确定度分量。

*q*和*q*s的不确定度互不相关，因此：

 （D.2）

D.5 影响量（输入量）的标准不确定度评定

D.5.1被校高精度气体层流流量计测量的不确定度分量

被校高精度气体层流流量计测量的不确定度分量由被校流量计的示值误差重复性测量得到。

校准流量点40L/min时，在重复性条件下被校流量计连续测量5次，重复性用贝塞尔公式计算，数据如表D.1所示：

表D.1 校准示值误差及重复性

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 校准流量点（L/min） | 被检流量计示值  （L/min） | 标准体积流量  （L/min） | 示值误差  （%） | 平均值  （%） | 重复性  （%） |
| 1 | 40 | 38.3815 | 38.5457 | -0.43 | -0.50 | 0.04 |
| 2 | 38.3927 | 38.5802 | -0.49 |
| 3 | 38.3978 | 38.5897 | -0.50 |
| 4 | 38.3922 | 38.5940 | -0.52 |
| 5 | 38.3954 | 38.6036 | -0.54 |

重复性为0.04%，则高精度气体层流流量计示值误差重复性引入的不确定度分量为：



D.5.2标准器的不确定度分量

标准器引入的不确定度分量为p.V.T.t法气体流量标准装置本身引入的不确定度、空气密度引入的不确定和附加时间差的相对标准不确定度。

D.5.2.1 p.V.T.t法气体流量标准装置本身引入的不确定度

p.V.T.t法气体流量标准装置的扩展不确定度为0.05%，包含因子*k*=2，则装置本身引入的不确定度为：



D.5.2.2空气密度引入的不确定度

空气密度根据附录A给出的CIPM计算公式来计算湿空气密度，对装置的质量流量进行修正，综合考虑空气密度计算引入的不确定度为5×10-5，其值区间半宽为*a*=2.5×10-5，估计为均匀分布，*k*=，则

= 

D.5.2.3附加时间差的相对标准不确定度

pVTt装置检定流量计时，启始段及结束段的质量流量并不恒定，需要对测量时间进行修正，表D.1为修正后的示值误差，测量时间修正值的不确定度估计如下：



D.5.2.4标准器的不确定度分量合成计算



D.5.3合成不确定度的计算

校准结果的合成不确定度为被校高精度气体层流流量计测量的不确定度分量、标准器的不确定度分量的合成，他们互相独立，则



D.5.4 扩展不确定度的计算

取扩展因子*k*=2，得测量结果的扩展不确定度为：

*U=2* =2×= *k*=2