

JJF

贵州省地方计量技术规范

JJF (黔) XX-2024

液体流量计在线校准规范

Online Calibration Specification for Liquid Flowmeters

(征求意见稿)

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

贵州省市场监督管理局

发布

液体流量计在线校准规范

JJF(黔)XX-2024

Online Calibration Specification for Liquid
Flowmeters

归口单位：贵州省市场监督管理局

主要起草单位：贵州省计量测试院

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

参加起草单位：XXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

本规范委托贵州省计量测试院负责解释

本规范主要起草人：

X X X

X X X

X X X

参与起草人：

X X X

X X X

X X X

目录

引言	1
1 范围	2
2 引用文件	2
3 术语和定义	2
4 概述	3
5 计量特性	3
6 校准条件	3
7 校准项目和校准方法	5
8 校准结果的表达	11
9 复校时间间隔	12
附录 A 测量结果的不确定度评定	13
附录 B 校准原始记录参考格式	19
附录 C 校准证书内页参考格式	22

引 言

使用中的部分液体流量计由于拆卸困难、不可停运等原因,很难拆下来送检,而且由于很大一部分大口径液体流量计由于现场安装使用不规范,给流量计量带来的附加误差也无法通过送实验室检定获得,而在线校准是解决这些难题的一种方案。

本规范根据国内液体流量计的在线校准现状,参照 JJG 443-2015 《燃油加压机》、JJG 667-2010 《液体容积式流量计》、JJG 1030-2007 《超声流量计》、JJG 1037-2008 《涡轮流量计》、JJG 1033-2007 《电磁流量计》和 CJ/T364-2011 《管道式电磁流量计在线校准要求》进行制定,主要技术指标也参照执行。

本规范所用术语,除在本规范中专门定义的外,均采用 JJF1001 《通用计量术语及定义》和 JJF1004 《流量计量名词术语及定义》。

本规范是首次制定。

液体流量计在线校准规范

1 范围

本校准规范适用于封闭管道安装的满管流液体流量计的在线校准。本规范所适用的液体流量计指介质为液体且校准时流速超过 0.5m/s 的电磁流量计、超声流量计、涡轮流量计、涡街流量计、旋进漩涡流量计、差压式流量计、液体容积式流量计、科里奥利质量流量计。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 443-2015 《燃油加油机》

JJG 667-2010 《液体容积式流量计》

JJG 1030-2007 《超声流量计》

JJG 1037-2008 《涡轮流量计》

JJG 1033-2007 《电磁流量计》

CJT 364 《管道式电磁流量计在线校准要求》

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(包含所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和定义

3.1 术语

3.1.1 在线校准(online calibration)

为确定测量仪器在实际工作条件下使用时显示的量值与对应的测量所复现

的量值之间关系的一组操作。

3.1.2 超声换能器(ultrasonic transducer)

在电信号作用下可产生声波输出, 并将声波信号转换为电信号的器件

3.1.3 外夹式超声流量计(clamp-on ultrasonic meters)

将换能器固定在流体管道外, 声波传播的路径透过流体管道壁的流量计。

3.1.4 标准管段(standard pipeline)

与液体流量计相连接的、适合器安装的、尺寸已知且稳定的一段管道。

3.1.5 标准金属量器 (standard metal tank)

按规定的结构, 用金属 (不锈钢、碳素钢等) 制成的, 具有确定的容积, 可作为容量量值传递的计量器具。

3.1.6 计量颈 (measuring neck)

金属量器颈部的圆筒体部分。

3.1.7 标准表 (standard meter)

本规范所指的标准表, 是指基于时差法原理、用于校准液体流量计的外夹式超声波流量计。

3.1.8 标准表法 (standard meter method)

以标准表为标准器, 使流体在相同时间间隔内连续通过标准表和液体流量计, 比较两者的输出流量值, 从而确定液体流量计与标准表所复现的流量值之间的关系。

3.2 计量单位

3.2.1 体积单位:立方米, 符号 m^3 ;或升, 符号 L。

3.2.2 瞬时流量单位:立方米每小时, 符号 m^3/h ;或升每分钟, 符号 L/min。

3.2.3 流速单位:米每秒,符号 m/s。

4 概述

4.1 分类

用于测量液体流量的流量计统称为液体流量计,按照工作原理的不同可分为电磁流量计、超声流量计、涡轮流量计、涡街流量计、差压式流量计、液体容积式流量计、科里奥利质量流量计等。

4.2 用途

液体流量计主要用于测量流体的体积流量,广泛应用于石油、化工、冶金、食品、制药、造纸以及环保、市政管理、水利建设等领域。

5 计量特性

5.1 示值误差

液体流量计在规定的流量范围内准确度等级、最大允许误差见表 1。

表 1 液体流量计准确度等级及最大允许误差

准确度等级	0.2	0.25	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
最大允许误差	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.0\%$	$\pm 2.5\%$

5.2 重复性

液体流量计的重复性应不超过其本身准确度等级的 1/3。

5.3 零点漂移

液体流量计的零点漂移应不超过最大允许误差。

注:以上指标不用于合格判据,仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 大气环境条件一般应满足

环境温度:(5~35)°C

相对湿度:(15%~85%);

大气压力:(86~106)kPa。

6.1.2 在校准过程中液体中应不夹杂气体。

6.1.3 校准用液体应始终充满试验管道。

6.2 流量计安装条件

6.2.1 校准中液体应始终充满试验管道，且为单相稳定无旋涡流动。

6.2.2 按流量计使用说明书的要求确定流量计上、下游侧的直管段长度。

如使用说明书中没有规定,则流量计传感器应安装在离任何上游扰动部件至少 10 倍公称通径(10DN)和离任何下游扰动部件 5 倍公称通径(5DN)的直管段中。

当上游直管段长度不够时,可以安装流动调整器;安装后其直管段长度应达到流量调整器说明书要求。

流量计上、下游的直管段内壁应清洁、无明显凹痕、积垢和起皮等现象。在制造厂没有具体规定的情况下,流量计上、下游的直管段的管道内径与流量计测量管径的偏差应小于 3%。

6.2.3 流量计前端或后端应有一段裸露直管段以供标准表进行安装,建议该直管段长度不小于流量计安装管道的公称通径。

6.2.4 对于使用容积法进行校准的流量计,在流量计安装管道后端应有旁通管路或其他可用于收集管道中介质的接口。

6.2.5 管道材质应满足超声波流量计的适用条件，可以是金属、塑料、陶瓷、玻璃等材质。

6.2.6 流量计的安装应避免安装应力、机械振动、外界磁场等对流量计性能的影响。

6.2.7 当校准需要且现场条件满足时，可以关闭流量计上游和下游阀门，保持管道内充满介质并保持静止状态，此时设定流量计静态置零，提高低流量测量的准确度。

6.3 主标准器及配套设备

主标准器及配套设备均应有效溯源，采用不同校准方法时配备不同的设备，具体配置见表 2。

表 2 主标准器和配套设备

校准方法	设备名称		测量参数	计量性能要求
标准表法	外夹式超声流量计	主标准器	介质流速	优于或等于 0.5 级，换能器型号能贴合流量计管径，流速范围能覆盖现场校准点。
	π 尺	配套设备	管道直径	扩展不确定度 $\leq 0.1\text{mm}(k=2)$ 。测量范围能包含流量计所在管段的外直径。与钢卷尺选择其中一样。
	钢卷尺		管道直径	优于或等于 II 级。测量范围能包含流量计所在管段的外周长。与 π 尺选择其中一样。
	测厚仪		管道壁厚	扩展不确定度 $\leq 0.1\text{mm}(k=2)$ 。
	秒表		累积时间	分辨力不低于 0.1s。
容积法	标准金属量器	主标准器	介质体积	二等及以上，容积应大于校准流量点 1 分钟的流出体积，同时大于流量计最小分度值的 200 倍。

	温度计	配套设备	介质温度	测量范围包含 (-25 ~ +55) °C, 最小分辨力 0.2°C。
--	-----	------	------	---------------------------------------

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

示值误差、重复性和零点漂移。

7.2 校准方法

7.2.1 零点漂移

在对流量计示值误差和重复性进行校准前, 应先进行零点漂移检查, 在完全停止介质流动时, 检查流量计的零点流量。若零点流量不为零, 应进入流量计设置功能对其调零。在现场没有停流条件时, 应按照流量计说明书指定的方法进行动态检查零点流量。零点漂移按下式计算:

$$\Delta_0 = \frac{q_0}{q_z}$$

式中: Δ_0 ——被校流量计零点漂移

q_0 ——零点流量时被校流量计瞬时流量示值, m^3/h ;

q_z ——被校流量计满量程流量, m^3/h ;

液体流量计的零点漂移应满足 5.3 节的要求。

7.2.2 示值误差和重复性

可采用标准表法或容积法对液体流量计的示值误差和重复性进行在线校准。

7.2.2.1 标准表法

可以使用外夹式超声波流量计作为标准表, 对液体流量计进行在线校准。标准表法工作原理见图 1 所示。

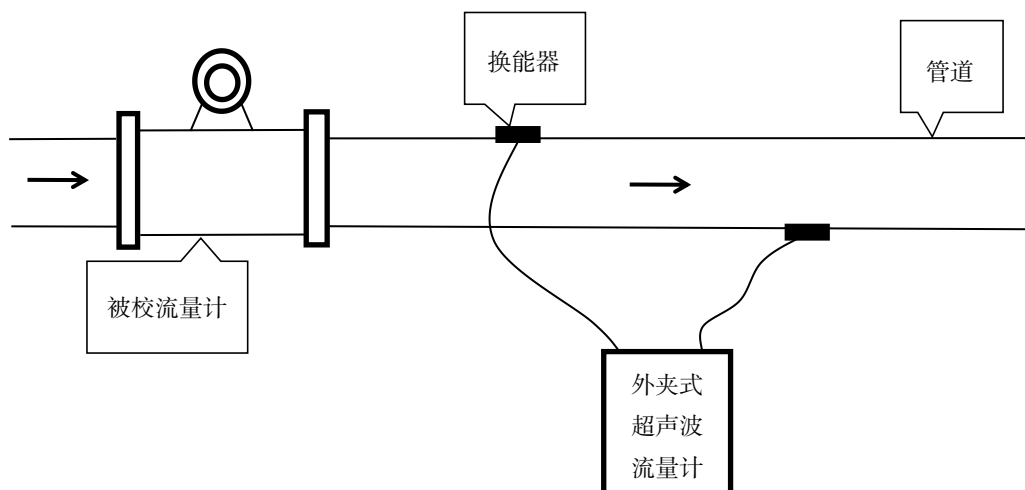


图 1 标准表法原理图

7.2.2.1.1 校准前检查

被校流量计传感器与转换器外观应完好，仪表工作正常。被校流量计接地应按说明书要求操作，校准用液体应与传感器同电位。管段与被校流量计应直接串联，前后直管段长度能够保证超声波流量计准确计量的要求。对于有衬里的管段，应准确了解衬层厚度和材料类型。

7.2.2.1.2 试验管路的几何尺寸测量

测量几何尺寸前应将管壁上的污垢、铁锈等清理干净，露出管道材质。

测量管道外直径，在换能器拟安装位置附近用π尺测量 n 次 ($n \geq 3$) 外直径，取平均值作为外直径 D 的测量值，即：

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (1)$$

式中 D_i —— 第 i 次测量的管道外直径，mm；

n —— 外直径测量次数。

测量管道壁厚，在换能器拟安装位置附近分散选择 m 个测量点 ($m \geq 3$)，使用测厚仪测量管道壁厚，取平均值作为管道壁厚 δ 的测量值，即：

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{m} \quad (2)$$

式中 δ_i ——第 i 次测量的管道壁厚, mm;

m ——壁厚测量次数。

7.2.2.1.3 换能器的安装

换能器安装在液体流量计上游或下游直管侧(上游直管段一般大于 10D;下游直管段一般大于 5D),当上游有泵、阀门等阻件时,直管段长度至少还要延长 3D~5D,当安装位置不满足直管段要求时,须在校准报告中注明。注意避开可能产生不满管、电磁干扰或外部管径锈蚀严重的位置。

换能器的安装方式通常有 Z 法、V 法、X 法、W 法等,校准时应根据现场条件结合超声波流量计使用说明书选择最合适的安装方法。将试验管道几何尺寸、介质、换能器型号等参数置入超声波流量计主机,得出换能器安装距离 L,并标记安装位置。清理拟安装换能器位置附近的管壁,将管壁上的油漆、铁锈、污垢等清除干净,露出管道材质。在换能器表面均匀涂以耦合剂,根据介质流动方向和换能器上、下游标志安装换能器,使其发射面和接收面与管壁紧密接触。查看器的信号状态指示参数,保证相关参数处于说明书中给出的允许范围内并尽量接近最佳指标。

7.2.2.1.4 校准点

校准前与流量计用户协商选取校准点,按照现场实际情况选取 1 到 3 个校准点。校准点应包含常用流量点,并且不能超过流量计流量范围。通过调整泵功率或截止阀开度来调节流量点。

7.2.2.1.5 示值误差与重复性

安装好标准表后,开始调整管道流量到指定校准流量点。校准每个流量点前,应先等待流量计流量稳定在该流量点,当标准表显示流量在 1min 之内的最大流量和最小流量之差小于 5%时视为流量稳定,稳定时间不得少于 10min。

示值误差和重复性的校准方法可选择累积流量法或瞬时流量法其中一种,应优先选用累积流量法校准。当流量点瞬时流量较小,引起累积流量读数末位变化一个单位需要 2min 以上,且瞬时流量波动小于流量计基本误差限的绝对值时,可采用瞬时流量法进行校准。

(1) 累积流量法

在标准表稳定 10min 后,同时读取流量计和标准表的初始累积流量值,经过一段时间后再同时读取流量计和标准表的终止累积流量值,单次累积流量应保证大于被校流量计最小读数的 1000 倍,且累积时间应不小于 10min。单个流量点校准次数 j 应不小于 3 次。按公式 (3) 计算单次校准累积流量的示值误差:

$$E_{V(ij)} = \frac{V_{m(ij)} - V_{s(ij)}}{V_{s(ij)}} \times 100\% \quad (3)$$

$$V_{s(ij)} = V_{sb(ij)} - V_{sa(ij)} \quad (4)$$

$$V_{m(ij)} = V_{mb(ij)} - V_{ma(ij)} \quad (5)$$

式中: $E_{V(ij)}$ ——被校流量计第 i 流量点第 j 次校准累积流量示值误差, %;

$V_{m(ij)}$ ——被校流量计第 i 流量点第 j 次校准累积流量示值, m^3 ;

$V_{s(ij)}$ ——第 i 流量点第 j 次校准实际累积流量示值, m^3 ;

$V_{ma(ij)}$ ——被校流量计第 i 流量点第 j 次校准初始累积流量值, m^3 ;

$V_{mb(ij)}$ ——被校流量计第 i 流量点第 j 次校准终止累积流量值, m^3 ;

$V_{sa(ij)}$ ——标准表第 i 流量点第 j 次校准初始累积流量值, m^3 ;

$V_{sb(ij)}$ ——标准表第 i 流量点第 j 次校准终止累积流量值, m^3 ;

按公式 (6) 计算第 i 流量点的累积流量的示值误差:

$$E_{V(i)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{V(ij)} \quad (6)$$

式中: $E_{V(i)}$ ——被检流量计第 i 流量点累积流量示值误差, %

按公式 (7) 计算第 i 流量点的重复性:

$$E_{r(i)} = \frac{|E_{V(i)\max} - E_{V(i)\min}|}{C} \times 100\% \quad (7)$$

式中: $E_{V(i)\max}$ ——被校流量计第 i 流量点多次测得示值误差的最大值, %;

$E_{V(i)\min}$ ——被校流量计第 i 流量点多次测得示值误差的最小值, %;

C ——极差系数, 测量次数为 3 时 C 取 1.69。

(2) 瞬时流量法

在标准表稳定 10min 后, 在一段时间内多次同时记录标准表和被校流量计的瞬时流量, 记录次数应满足 $n \geq 10$, 读取时间间隔应不低于 10s。单次测量瞬时流量的示值误差按公式 (8) 计算:

$$E_{q(ij)} = \frac{q_{m(ij)} - q_{s(ij)}}{q_{s(ij)}} \times 100\% \quad (8)$$

式中: $E_{q(ij)}$ ——被校流量计第 i 流量点第 j 次校准瞬时流量示值误差, %;

$q_{m(ij)}$ ——被校流量计第 i 流量点第 j 次校准瞬时流量示值, m^3/h ;

$q_{s(ij)}$ ——标准表第 i 流量点第 j 次校准瞬时流量示值, m^3/h ;

按公式 (9) 计算第 i 流量点的累积流量的示值误差 $E_{q(i)}$:

$$E_{q(i)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{q(ij)} \quad (9)$$

按公式 (10) 计算第 i 流量点的重复性 $E_{r(i)}$:

$$E_{r(i)} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (E_{q(ij)} - E_{q(i)})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (10)$$

7.2.2.2 容积法

容积法是采用标准金属量器作为主标准器来在线校准液体流量计的方法,适用于校准流量点不大于 60m³/h 的液体流量计。

7.2.2.2.1 校准方法

7.2.2.2.1.1 将标准金属量器放置在坚硬的平地上(若量器安放在运载汽车上或其他支架上,则必须保证检定时无任何晃动),并使量器良好接地,调整量器至水平。

7.2.2.2.1.2 使用下游截止阀分离下游管线,以此阀作为标准金属量器注液阀,或者关闭下游截止阀,使用预留接口截止阀作为标准金属量器注液阀。利用软管将标准金属量器注液阀连接至标准金属量器入口处,连接管路不得有渗漏、滴液等现象。连接方法如图 2 所示。

7.2.2.2.1.3 打开被校流量计上游截止阀及标准金属量器注液阀,调整好流量,将标准金属量器注满介质,充分润湿其内表面,关闭上游截止阀。将连接软管内残余的介质注入标准金属量器内,在滴流状态下等待 2min。

7.2.2.2.1.4 打开标准金属量器放液阀门,以最大排放量方式将标准金属量器内介质排空,并在滴流状态下等待 2min,关好放液阀门。

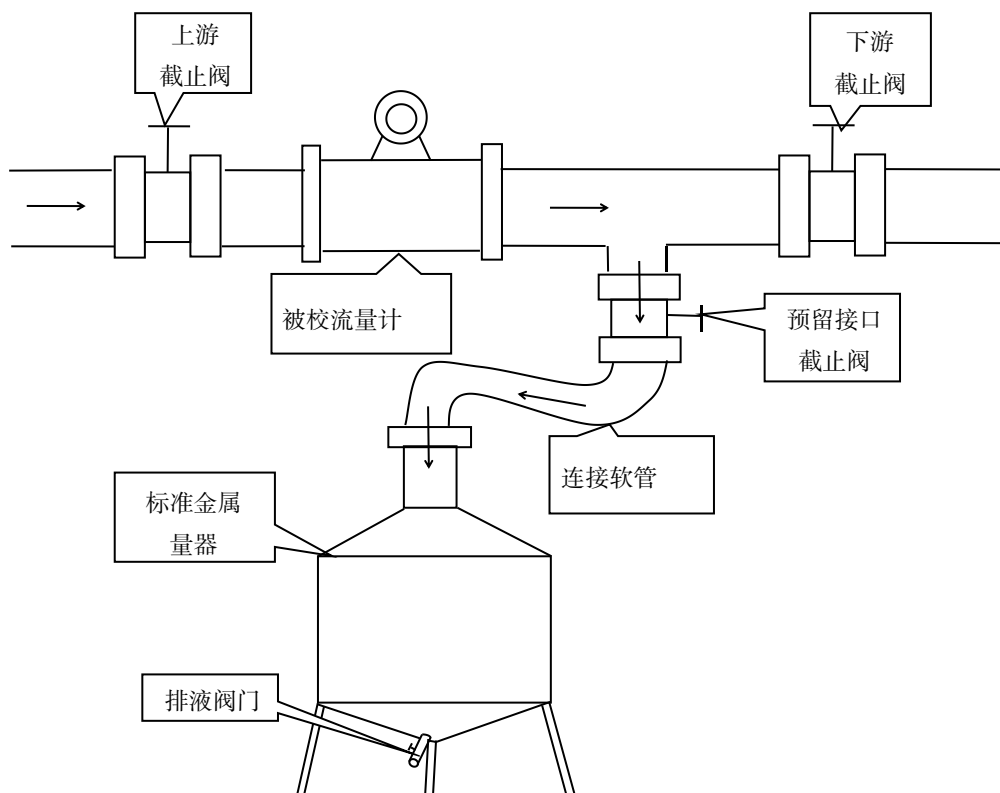


图 2 容积法工作原理图

7.2.2.2.1.2 使用下游截止阀分离下游管线，以此阀作为标准金属量器注液阀，或者关闭下游截止阀，使用预留接口截止阀作为标准金属量器注液阀。利用软管将标准金属量器注液阀连接至标准金属量器入口处，连接管路不得有渗漏、滴液等现象。连接方法如图 2 所示。

7.2.2.2.1.3 打开被校流量计上游截止阀及标准金属量器注液阀，调整好流量，将标准金属量器注满介质，充分润湿其内表面，关闭上游截止阀。将连接软管内残余的介质注入标准金属量器内，在滴流状态下等待 2min。

7.2.2.2.1.4 打开标准金属量器放液阀门，以最大排放量方式将标准金属量器内介质排空，并在滴流状态下等待 2min，关好放液阀门。

7.2.2.2.1.5 记录被校流量计累积流量初始读数 V_1 并打开上游截止阀，调节到指定校准流量点，向量器内注入介质，同时开始计时。待液位到达标准金属量器计量颈读数范围内，及时关闭进液阀，并同时停止计时，读取累积时间 t 和流量

计终止读数 V_2 。将连接软管内残余介质注入标准金属量器内，在滴流状态下等待 2min, 读取标准金属量器液位高度 h ，计算得出标准金属量器在 20°C 下标准容积 V_B ，将温度计测量端放入量器中部位位置测量介质温度 T ，则：

被校流量计的累积流量示值为 $V_m = V_2 - V_1$ ；

实际累积流量 $V_S = V_B [1 + \beta_S (T - 20)]$ ，其中 β_S 为标准金属量器体膨胀系数，量器为不锈钢时 $\beta_S = 50 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ 。

单次校准的平均流量为：

$$q_s = \frac{V_s}{t} \quad (11)$$

采用容积法时，只能采用累积流量法计算示值误差，单次测量的示值误差为：

$$E_{ij} = \frac{V_m - V_S}{V_S} \times 100\% \quad (12)$$

7.2.2.2.1.6 打开标准金属量器放液阀门，以最大排放量方式将标准金属量器内介质排空，并在滴流状态下等待 2min，关好放液阀门，完成一次校准。

7.2.2.2.1.7 重复 7.2.2.2.1.4 至 7.2.2.2.1.6，进行三次校准，取三次校准示值误差的平均值作为该流量点的示值误差，即 $E_{(i)}$ ：

$$E_{(i)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{q(i,j)} \quad (13)$$

第 i 流量点的重复性 E_{ri} 按公式 (14) 计算：

$$E_{ri} = \frac{|E_{imax} - E_{imin}|}{C} \times 100\% \quad (14)$$

式中： E_{imax} ——被校流量计第 i 流量点多次测得示值误差的最大值，%；

E_{imin} ——被校流量计第 i 流量点多次测得示值误差的最小值，%；

C ——极差系数，测量次数为 3 时 C 取 1.69。

7.2.2.2.1.9 通过调节上游阀门开度或泵功率切换至其他流量点，重复

7.2.2.2.1.4 至 7.2.2.2.1.6, 直到完成全部校准。通常按照现场实际情况选取 1 到 3 个校准点。校准点应包含常用流量点, 并且不能超过流量计流量范围。

8 校准结果的表达

经校准的液体流量计出具校准证书, 校准证书应给出各校准项目的校准结果和测得值的扩展不确定度。

9 复校时间间隔

被校流量计复校周期建议不超过 2 年。

附录 A 测量结果的不确定度评定

A.1 标准表法按累积流量计算示值误差的不确定度评定

A.1.1 数学模型

采用累积流量法时，液体流量计示值误差按 A.1 式计算

$$E = \frac{V_m - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

V_m ——被校流量计显示累积流量， m^3 ；

V_s ——实际累积流量， m^3 ；

则根据不确定度传播率，有

$$u_c^2(E) = C_1^2 u^2(V_m) + C_2^2 u^2(V_s) \quad (\text{A.2})$$

其中：

$$C_1 = 1/V_s$$

$$C_2 = -V_m/V_s^2$$

A.1.2 被校流量计显示累积流量 V_m 的不确定度 $u(V_m)$

采用累积流量法时，被校流量计显示累积流量 V_m 由 A.3 式得到：

$$V_m = V_{mb} - V_{ma} \quad (\text{A.3})$$

式中： V_{ma} ——被校流量计初始累积流量值， m^3 ；

V_{mb} ——被校流量计终止累积流量值， m^3 。

V_{ma} 和 V_{mb} 由检校人员直接读数得到，包含人员读数引入的不确定度，可分别用 B 类方法估计。同时 V_m 本身包含重复性引入的不确定度。因此 V_m 的不确定度可按 A4 计算：

$$u^2(V_m) = u_b^2(V_{ma}) + u_b^2(V_{mb}) + (E_r \times V_s)^2 \quad (\text{A.4})$$

式中 E_r 为示值重复性，按公式(7)计算。

A.1.3 实际流量 V_s 的不确定度 $u(V_s)$

采用外夹式超声波流量计作为标准表时，实际流量按 A.5 式计算：

$$V_s = c \times \frac{\pi}{4} \times (D - 2\delta)^2 \times t \quad (\text{A.5})$$

式中： c ——标准表测得流速，m/s；

D —— π 尺测得被校流量计安装管道外直径，m；

δ ——测厚仪测得被校流量计安装管道壁厚，m；

t ——累积时间，s

则由不确定度传播率，有：

$$\frac{u^2(V_s)}{V_s^2} = u_r^2(c) + u_r^2(\pi) + 4u_r^2(D - 2\delta) + u_r^2(t) + u_r^2(\Delta t) \quad (\text{A.6})$$

其中 $u_r(c)$ 为流速测量的相对不确定度，由超声波流量计的证书查算得。

$u_r(\pi)$ 为 π 的取值舍入产生的相对不确定度，当 π 取小数点后7位以上时， $u_r(\pi)$ 可忽略不计。

$u_r(D - 2\delta)$ 为管道内直径的相对不确定度，按 A.7 式计算：

$$u_r(D - 2\delta) = \frac{\sqrt{u^2(D) + 4u^2(\delta)}}{D - 2\delta} \quad (\text{A.7})$$

$u_r(D - 2\delta)$ 包含管道外直径测得值 D 的不确定度 $u(D)$ 和管道壁厚测得值 δ 的不确定度 $u(\delta)$ ，后两者的不确定度既包含标准器（ π 尺和测厚仪）引入的不确定度，也包含各自测量重复性引入的不确定度，两方面相互独立。

$u_r(t)$ 为累积时间的相对不确定度，按 B 类方法估计。

$u_r(\Delta t)$ 为被校流量计和标准表同时读数的时间差引入的不确定度，按照实际同步情况进行估计。

例如，两名校准人员在距离 5m 以内通过同步口令同时拍照方式读取被校流量计示值和标准表值时， Δt 的区间半宽应不小于 0.4s，可按均匀分布或正态分布估计。采用同步相机等设备可显著降低 Δt 的不确定度。

A.1.4 不确定度的合成

按 A.4 式算出被校流量计显示累积流量的不确定度 $u(V_m)$ ，按 A.6 式算出实际流量 V_s 的不确定度 $u(V_s)$ ，然后按 A.2 式合成示值误差的不确定度 $u_c(E)$ 。

A.2 标准表法按瞬时流量计算示值误差的不确定度评定

A.2.1 数学模型

采用瞬时流量法时，液体流量计示值误差按 A.8 式计算

$$E = \frac{q_m - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (\text{A.8})$$

式中：

q_m ——被校流量计显示瞬时流量， m^3/h ；

q_s ——实际瞬时流量， m^3/h 。

则根据不确定度传播率，有

$$u_c^2(E) = C_1^2 u^2(q_m) + C_2^2 u^2(q_s) \quad (\text{A.9})$$

其中：

$$\text{或 } C_1 = 1/q_s$$

$$C_2 = -q_m/q_s^2$$

A.2.2 被校流量计显示瞬时流量 q_m 的不确定度 $u(q_m)$

采用瞬时流量法时，被校流量计显示瞬时流量由检校人员直接读数得到，包含人员读数引入的不确定度，可用 B 类方法估计。同时 q_m 本身包含重复性引入的不确定度。因此 q_m 的不确定度可按 A5 计算：

$$u^2(q_m) = u_b^2(q_m) + (E_r \times q_s)^2 \quad (\text{A.10})$$

式中 E_r 为示值误差重复性，按公式 (10) 计算。

A.2.3 实际流量 q_s 的不确定度 $u(q_s)$

采用外夹式超声波流量计作为标准表时，实际流量按 A.11 式计算：

$$q_s = c \times \frac{\pi}{4} \times (D - 2\delta)^2 \times 3600 \quad (\text{A.11})$$

式中： c ——标准表测得流速，m/s；

D —— π 尺测得被校流量计安装管道外直径，m；

δ ——测厚仪测得被校流量计安装管道壁厚，m；

则由不确定度传播率，有：

$$\frac{u^2(q_s)}{q_s} = u_r^2(c) + u_r^2(\pi) + 4u_r^2(D - 2\delta) + u_r^2(\Delta t) \quad (\text{A.12})$$

其中 $u_r(c)$ 为流速测量的相对不确定度，由超声波流量计的证书查算得。

$u_r(\pi)$ 为 π 的取值舍入产生的相对不确定度，当 π 取小数点后 7 位以上时，

$u_r(\pi)$ 可忽略不计。

$u_r(D - 2\delta)$ 为管道内直径的相对不确定度，按 A.13 式计算：

$$u_r(D - 2\delta) = \frac{\sqrt{u^2(D) + 4u^2(\delta)}}{D - 2\delta} \quad (\text{A.13})$$

$u_r(D - 2\delta)$ 包含管道外直径测得值 D 的不确定度 $u(D)$ 和管道壁厚测得值 δ 的不确定度 $u(\delta)$ ，后两者的不确定度既包含标准器（ π 尺和测厚仪）引入的不

确定度，也包含各自测量重复性引入的不确定度，两方面相互独立。

$u_r(\Delta t)$ 为被校流量计和标准表同时读数的时间差引入的不确定度，按照实际同步情况进行估计。

A.2.4 不确定度的合成

按 A.10 式算出被校流量计显示瞬时流量 q_m 的不确定度 $u(q_m)$ ，按 A.12 式算出实际流量 q_s 的不确定度 $u(q_s)$ ，然后按 A.9 式合成示值误差的不确定度 $u_c(E)$ 。

A.3 容积法示值误差测得值的不确定度评定

A.3.1 数学模型

采用容积法时，液体流量计示值误差按 A.14 式计算

$$E = \frac{V_m - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (\text{A.14})$$

式中：

V_m ——被校流量计显示累积流量， m^3 ；

V_s ——实际累积流量， m^3 ；

则根据不确定度传播率，有

$$u_c^2(E) = C_1^2 u^2(V_m) + C_2^2 u^2(V_s) \quad (\text{A.15})$$

其中：

$$C_1 = 1/V_s$$

$$C_2 = -V_m/V_s^2$$

A.3.2 被校流量计显示累积流量 V_m 的不确定度 $u(V_m)$

采用容积法时，被校流量计显示累积流量 V_m 由 A3 式得到：

$$V_m = V_{mb} - V_{ma} \quad (\text{A.16})$$

式中： V_{ma} ——被校流量计初始累积流量值， m^3 ；

V_{mb} ——被校流量计终止累积流量值， m^3 。

V_{ma} 和 V_{mb} 由检校人员直接读数得到，包含人员读数引入的不确定度，可分别用 B 类方法估计。同时 V_m 本身包含重复性引入的不确定度。因此 V_m 的不确定度可按 A4 计算：

$$u^2(V_m) = u_a^2(V_{ma}) + u_b^2(V_{mb}) + (E_r \times V_s)^2 \quad (\text{A.17})$$

式中 E_r 为示值重复性，按公式（7）计算。

A.3.3 实际流量 V_s 的不确定度 $u(V_s)$

采用容积法时，实际累积流量 V_s 按 A11 式计算：

$$V_s = V_B[1 + \beta_S(T - 20)] \quad (\text{A.18})$$

式中： V_B ——标准金属量器在 20°C 下标准容积， m^3 ；

β_S ——标准金属量器体膨胀系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ 。不锈钢取 $50 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$

T ——量器内介质温度测得值， $^\circ\text{C}$ ；

则由不确定度传播率，有

$$u^2(V_s) = C_1^2 u^2(V_B) + C_2^2 u^2(T) + C_3^2 u^2(\beta_S) \quad (\text{A.19})$$

其中：

$$C_1 = 1 + \beta_S(T - 20) \quad C_2 = V_B \beta_S \quad C_3 = V_B(T - 20)$$

$u(V_B)$ 为金属量器测得标准容积的不确定度，由标准金属量器等级按 B 类方法算出。

$u(T)$ 为介质温度测得值的不确定度,既包含测量用温度计本身的不确定度,也包含介质在量器内温度分布不均匀产生的不确定度,后者应根据实际温度测量情况估计。必要时可采取保温措施减少温度分布不均匀产生的不确定度。

$u(\beta_S)$ 为标准金属量器体膨胀系数的不确定度,可根据最后一位有效位数按B类方法估计不确定度。

A.3.4 不确定度的合成

按 A.17 式算出被校流量计显示累积流量的不确定度 $u(V_m)$,按 A.19 式算出实际流量 V_s 的不确定度 $u(V_s)$,然后按 A.15 式合成示值误差的不确定度 $u_c(E)$ 。

A.4 测量结果的表达

对每一个流量点都应给出示值误差测得知和扩展不确定度。按 A.13 式算出示值误差的合成不确定度 $u_c(E)$ 后,取包含因子 $k=2$,并按 A13 式算出示值误差测得值的扩展不确定度 $U(E)$:

$$U(E) = k \times u_c(E), k = 2 \quad (\text{A13})$$

附录 B 校准原始记录参考格式

液体流量计在线校准原始记录 (标准表-累积流量法)

登记号:

委托单位: 制造厂商:

器具名称: 规格型号: 出厂编号:

器具种类: 流量范围: 校准介质:

校准依据:

主标准器信息:

标准器名称: 规格型号: 出厂编号:

准确度等级: 证书编号: 有效期至:

环境温度: ℃相对湿度: %校准地点:

管道外直径: 管道壁厚: 安装方法:

零点漂移: 仪表系数: 介质密度: (仅针对质量流量计)

校准 流量	流量计示值 ()			实际值 ()	单次测量 示值误差 (%)	示值误差 (%)	重复性 (%)	扩展不 确定度 (%) ($k=2$)
	初值	终值	差值					

--	--	--	--	--	--	--	--	--

校准：核验：

校准时间：年月日

第页 共页

液体流量计在线校准原始记录 (标准表-瞬时流量法)

登记号：

委托单位：制造厂商：

器具名称：规格型号：出厂编号：

器具种类：流量范围：校准介质：

校准依据：

主标准器信息：

标准器名称：规格型号：出厂编号：

准确度等级：证书编号：有效期至：

液体流量计在线校准原始记录 (标准表-瞬时流量法)

登记号:

委托单位: 制造厂商:

器具名称: 规格型号: 出厂编号:

器具种类: 流量范围: 校准介质:

校准依据:

量器标称容积对应液位高度: 量器颈分度值:									
零点漂移: 仪表系数: 介质密度: (仅针对质量流量计)									
校准流量 ()									
流量 计 示 值	初值								
	终值								
	差值								
液位高度 (mm)									
介质温度 (°C)									
实际值 ()									
单次测量示 值误差 (%)									
示值误差 (%)									
重复性 (%)									
扩展不确定 度 ($k=2$)									

主标准器信息:

标准器名称: 规格型号: 出厂编号:

准确度等级: 证书编号: 有效期至:

环境温度: °C 相对湿度: _____ % 校准地点:

校准：核验：

校准时间：年月日

第页 共页

附录 C 校准证书内页参考格式

1、校准介质：

2、校准方法：

3、管道外径： 壁厚： 安装方式：

4、仪表系数：

5、零点漂移：

6、校准结果：

校准流量 ()	示值误差 (%)	重复性 (%)	示值误差的扩展不 确定度 ($k=2$)

——以下空白——