

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2216—2025

电磁流量计在线校准规范

Online Calibration Specification for Electromagnetic Flowmeters

2025-03-27 发布

2025-09-27 实施

国家市场监督管理总局 发布

电磁流量计在线校准规范

Online Calibration Specification for

Electromagnetic Flowmeters

JJF 2216—2025

归口单位：全国流量计量技术委员会液体流量分技术委员会

主要起草单位：国家水大流量计量站

河南省计量测试科学研究院

重庆市计量质量检测研究院

参加起草单位：北京市计量检测科学研究院

开封仪表有限公司

深圳拓安信物联股份有限公司

本规范委托全国流量计量技术委员会液体流量分技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

苗豫生（国家水大流量计量站）

崔耀华（河南省计量测试科学研究院）

张 松（重庆市计量质量检测研究院）

参加起草人：

周 齐（北京市计量检测科学研究院）

靳文哲（开封仪表有限公司）

李金聚（国家水大流量计量站）

詹益鸿（深圳拓安信物联股份有限公司）

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)
5.1 在线示值相对误差和重复性	(2)
5.2 在线修正系数	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 标准表和其安装管段要求	(2)
6.3 测量标准器及配套设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 在线校准记录参考格式	(7)
附录 B 校准证书 (测量结果) 参考格式	(9)
附录 C 流量计在线校准结果不确定度的评定方法与示例	(10)
附录 D 标准表的选择和校准方法	(17)
附录 E 标准表安装管段位置选定	(18)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、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。本规范参考了JJG 643—2024《标准表法流量标准装置检定规程》对测量标准计量性能的要求，并结合我国电磁流量计及便携式超声流量计的技术水平和使用现状编制而成。

本规范为首次发布。

电磁流量计在线校准规范

1 范围

本规范适用于在工作现场对安装在封闭管道上的电磁流量计进行的在线校准。
其他用于水计量的流量计进行在线校准时，亦可参考本规范。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 643—2024 标准表法流量标准装置检定规程

JJG 1030 超声流量计检定规程

JJG 1033 电磁流量计检定规程

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 标准表 master meter

基于时差法原理的便携外夹式超声流量计。

3.1.2 标准表安装管段 pipeline section for installing master meter

与被校准流量计安装管道串联，适合标准表安装，且材质、内径、壁厚等参数已知的一段直管。

注：建议专门配置一段长度为 1.5 倍公称直径的不锈钢管短管串联在管道上作为标准表安装管段。

3.1.3 标准表法 master 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被校准流量计，比较两者的输出流量值，从而确定被校准流量计计量性能的方法。

3.1.4 在线校准 online calibration

在流量计工作现场，确定使用中的流量计在线示值误差的一组操作。

3.1.5 在线示值相对误差 online indicating relative error

在流量计现场安装使用环境在线测得的被校准流量计示值相对误差。

3.2 计量单位

瞬时流量：立方米每时，符号 m^3/h 。

累积流量：立方米，符号 m^3 。

压力：千帕或兆帕，符号 kPa 或 MPa。

温度：摄氏度，符号 $^{\circ}\text{C}$ 。

时间：时、分、秒，符号 h、min、s。

4 概述

4.1 工作原理

在密闭管道中，设置一个与流动方向相垂直的磁场，通过测量导电液体在磁场中的流动所产生的感应电动势计算出流量。

4.2 结构

电磁流量计（以下简称流量计）由一次装置（传感器）与二次装置（转换器）组成。按一次装置和二次装置的组合形式，流量计可分为一体型和分体型。

4.3 用途

流量计主要用于测量导电液体的瞬时流量和累积流量。

5 计量特性

5.1 在线示值相对误差和重复性

注：在线示值相对误差仅在与校准时安装使用状态相同的条件下适用。

5.2 在线修正系数

注：是否对流量计示值进行修正由流量计使用者确定。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准环境条件一般应满足：

相对温度：（-5~35）℃；

相对湿度：（35%~95%）；

相对压力：（86~106）kPa。

6.1.2 测量点管道内流体应是单相满管流。

6.1.3 场地和电源满足安全操作要求。

6.1.4 外界磁场对标准表和被校准流量计的影响可忽略。

6.1.5 振动和噪声对标准表和被校准流量计的影响可忽略。

6.2 标准表和其安装管段要求

6.2.1 标准表的选择和校准方法详见附录 D。

6.2.2 标准表安装管段的位置选定方法详见附录 E。

6.2.3 利用现场管道作为标准表安装管段时，要现场实测管道直径或周长及其壁厚。

6.2.4 优先选择不带衬里的管道作为标准管段。无法避开时，衬里材质与厚度应已知。

6.3 测量标准器及配套设备

测量标准器及配套计量器具技术指标表见表 1。

表 1 测量标准器及配套计量器具技术指标表

序号	标准器名称	测量范围	技术指标	备注
1	标准表	DN50.0~DN3 600	$U_{\text{rel}} \leq 0.5\% (k=2)$	按流量点
2	测厚仪	(0~50) mm	$\pm 0.1 \text{ mm}$	超声式
3	卷尺	2 m; 5 m; 10 m	I 级	亦可用卡尺或 π 尺
4	秒表	(1~3 600) s	$\pm 0.5 \text{ s/d}$	机械/电子
5	温度计	(-10~50) °C	二等	形式不限

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

流量计在线示值相对误差校准和重复性以及在线修正系数计算。

7.2 校准方法

7.2.1 校准准备

7.2.1.1 现场检查并记录被校准流量计内置的流量计特征系数。

7.2.1.2 观察并记录被校准流量计的当前流量示值，并换算出当前流速。

7.2.1.3 将与被校准流量计的公称直径相同且流速最接近的标准表仪表系数置入标准表。

7.2.1.4 测量并记录环境参数。

7.2.2 标准表安装

7.2.2.1 测量管道参数

首先参照附录 E 选定标准表的安装位置，通常要在管道中心轴线以上 45° 夹角范围内确定换能器安装区域。

用卷尺或 π 尺或卡尺分别在标准表两只换能器安装距离内等间隔测量 3 个~6 个管道周长或外径（用测得周长计算外径），取平均值作为管道外径 D 。

清理换能器安装区域的管壁，将管壁上的油漆、铁锈、污垢等清除干净，露出管道原材料，打磨光滑，清理面积约是换能器工作面积的 1.5 倍。在打磨好的区域内按 X 型均布选取 5 个点，用测厚仪测量 5 个壁厚值，取平均值作为管道壁厚 δ 。用各测量结果计算出管道内径 d 。

7.2.2.2 换能器的安装

换能器的安装推荐采用 V 法。将管道各参数输入标准表，得出标准表换能器安装距离 L ，在管道上确定各换能器的位置，做好标记。

先将换能器工作面均匀涂抹耦合剂，并将换能器安装于管道外壁，使其发射面与管壁紧密接触。换能器之间的距离要与 L 一致。

用紧固件将换能器固定在管道上，将换能器信号电缆连接到标准表上，按标准表说明书的要求将信号调试到最佳状态，不得为保证信号强度而改变安装距离 L ，校准开始前再次确认并记录安装距离 L 。

换能器安装示意图见图 1。

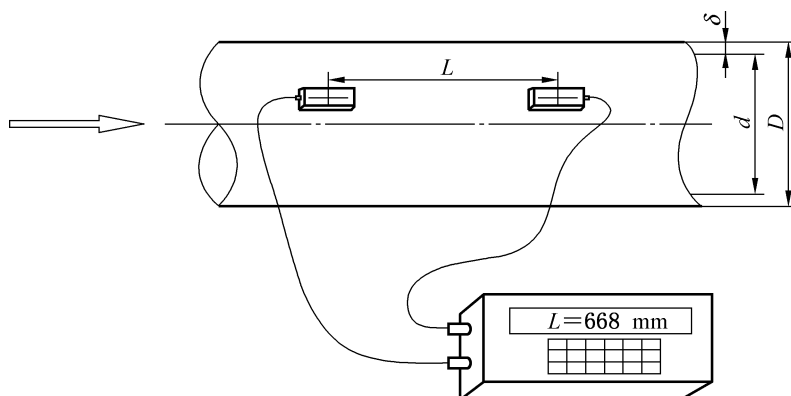


图 1 换能器安装示意图

7.2.3 校准流量点

根据现场实际情况与客户协商确定校准流量点，一般选择 1 个～3 个流量点，每个流量点一般校准 3 次。

现场无法调节流量时，可分时段对各流量点进行校准。

7.2.4 流量计在线示值相对误差

标准表和被校准流量计示值保留四位有效数字。现场流量波动较大或被校准流量计流量示值分辨力低时一般采用累积流量法。可采用同步拍照系统代替人工读数。

7.2.4.1 累积流量法

同步读取并记录被校准流量计和标准表的起始流量示值，至少 30 min 后再同时读取并记录被校准流量计和标准表的终止流量示值，用各自终始之差作为该次测量的被校准流量计示值和标准表示值。

7.2.4.2 瞬时流量法

同步读取并记录被校准流量计和标准表的流量示值，每次至少读取 30 个瞬时流量数值，总用时不低于 30 min。在做平均值计算时允许按规则剔除读数粗大误差，分别计算出平均值作为本次测量的被校准流量计示值和标准表示值。

7.2.4.3 计算平均值

测量完成后分别计算标准表和被校准流量计的算术平均值作为该流量点的标准表示值和被校准流量计示值。

7.2.5 校准结果计算

7.2.5.1 流量计在线示值相对误差

累积流量法各流量点各次测量的在线示值相对误差按式 (1) 计算：

$$E_{ij} = \frac{Q_{ij} - (Q_s)_{ij}}{(Q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

E_{ij} ——第 i 流量点第 j 次测量的在线示值相对误差；

Q_{ij} ——被校表第 i 流量点第 j 次测量的累积仪表示值， m^3 ；

$(Q_s)_{ij}$ ——标准表第 i 流量点第 j 次测量的累积仪表示值， m^3 。

瞬时流量法各流量点各次测量的在线示值相对误差按式 (2) 计算：

$$E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_s)_{ij}}{(q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

E_{ij} ——第 i 流量点第 j 次测量的在线示值相对误差；

q_{ij} ——被校表第 i 流量点第 j 次测量的瞬时仪表示值， m^3/h ；

$(q_s)_{ij}$ ——标准表第 i 流量点第 j 次测量的瞬时仪表示值， m^3/h 。

流量计各流量点的在线示值相对误差 E_i 按式 (3) 计算：

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad (3)$$

式中：

E_i ——第 i 流量点被校流量计的在线示值相对误差；

n ——第 i 流量点校准次数。

7.2.5.2 流量计重复性

流量计每个流量点的重复性按式 (4) 计算：

$$(E_r)_i = \frac{(E_{ij})_{\max} - (E_{ij})_{\min}}{C_n} \quad (4)$$

式中：

$(E_r)_i$ ——第 i 流量点的重复性。

C_n ——极差法系数， $n=3$ 时 $C_n=1.69$ 。

取各流量点重复性的最大值作为该被校准流量计的重复性 E_r 。

7.2.5.3 计算各流量点的扩展不确定度

不确定度计算示例详见附录 C。

各流量点的扩展不确定度优选具体算法，因流量计使用现场差异性很大，以下述 3 类基本工况条件可在分析测量不确定度时参考。

当现场标准表安装位置非常理想，且配有专用标准管段时，测量扩展不确定度约在 0.50% 左右。

当利用现场管道作为标准表安装管段，前后直管段满足表 E.1 要求，管内无衬里，内壁锈蚀不严重，测量扩展不确定度约在 2.0% 左右。

当利用现场管道作为标准表安装管段，前后直管段不满足表 E.1 要求，管内有衬里或内壁锈蚀严重，测量扩展不确定度约在 5.0% 左右。

取各流量点扩展不确定度的最大值作为该被校准流量计的扩展不确定度。

7.2.5.4 计算流量计在线修正系数

各流量点的在线修正系数按式 (5) 计算：

$$K_i = K_0 \frac{(Q_s)_i}{Q_i} \quad (5)$$

式中：

K_i ——第 i 流量点新在线修正系数；

K_0 ——流量计在用修正系数；

Q_i ——第 i 流量点流量计的平均流量， m^3 或 m^3/h ；

$(Q_s)_i$ ——第 i 校准点标准表的平均流量， m^3 或 m^3/h 。

当校准点数大于 1 时，各流量点平均在线修正系数 K 按式 (6) 计算：

$$K = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_i \quad (6)$$

式中：

m ——流量点数。

当在线示值误差平均值不超过流量计准确度等级时，则 $K = K_0$ 。

注：

- 1 在线修正系数仅适用于其特定的安装场景。
- 2 内部结算的流量计，在线修正系数的使用由流量计用户决定。
- 3 贸易结算的流量计，在线修正系数的使用由贸易双方共同协商决定。

8 校准结果表达

在线校准记录和校准证书（测量结果）格式参见附录 A 和附录 B。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔是由被校准流量计的使用状况等诸多因素决定的，故被校准流量计使用单位可自主决定。建议复校间隔不大于流量计的检定周期。

附录 A

在线校准记录参考格式

被校准 流量计	名称		型 号		编 号	
	制造单位		准确度：	级	规 格	mm
	仪表系数		流量范围			
委托单位			地 址			
标准表	证书号		型号		编 号	
	换能器型号		编 号		安装方式	法
标准管段	管道内径	mm	管道壁厚	mm	管道材质	
	衬里材质		衬里厚度	mm	所测介质	
环境条件	介质温度	℃	环境温度	℃	大气压力	kPa
校准依据						
流量点	标准表示值	流量计示值	在线示值 相对误差	在线示值 相对误差 均值	重复性	扩展不 确定度
	m ³ /h 或 m ³	m ³ /h 或 m ³	%	%	%	k = 2
安装位置 详细描述				在线修正系数 K =		
校准员： 核验员： 校准日期： 年 月 日						

现场瞬时流量记录表											
流量点：		(m ³ /h)		被校准流量计 ☒				标准表 ☒			
序号	30 次瞬时值										平均值
校准员：		核验员：		校准日期：		年		月		日	

附录 B

校准证书（测量结果）参考格式

1. 校准结果

序号	标准表示值 m ³ /h	在线示值 相对误差 %	重复性 %	扩展 不确定度
1				
2				
3				

2. 流量计校准结果的扩展不确定度 $U_r =$ ($k=2$)

3. 在线修正系数 K

4. 附注

标准管段内径 壁厚

附录 C

流量计在线校准结果不确定度的评定方法与示例

C.1 测量模型

流量计在线校准的示值相对误差 E 按式 (C.1) 计算, 标准表示值 Q_s 、管道内径 D 按式 (C.2)、式 (C.3) 计算:

$$E_i = \frac{Q - Q_s}{Q_s} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

$$Q_s = \frac{v}{K} \cdot A = \frac{v}{K} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{C.2})$$

$$D = \frac{L}{\pi} - 2\delta \quad (\text{C.3})$$

式中:

E_i ——第 i 校准点的示值相对误差;

Q ——第 i 校准点流量计示值 (瞬时值或累积值), m^3/h 或 m^3 ;

Q_s ——第 i 校准点标准表示值 (瞬时值或累积值), m^3/h 或 m^3 ;

v ——声道上线平均流速, m/s ;

K ——流速分布修正系数;

A ——管道截面积, m^2 ;

D ——管道内径, m ;

L ——管道周长, m ;

δ ——管道壁厚, m 。

各输入量的不确定度彼此不相关时, 合成标准不确定度按式 (C.4) 计算:

$$u_c^2(E) = c_1^2 u^2(Q) + c_2^2 u^2(Q_s) \quad (\text{C.4})$$

C.2 灵敏系数

Q 的灵敏系数见式 (C.5):

$$c_1 = \frac{\partial E}{\partial Q} = \frac{1}{Q_s} \quad (\text{C.5})$$

Q_s 的灵敏系数见式 (C.6):

$$c_2 = \frac{\partial E}{\partial Q_s} = -\frac{1}{Q_s} \quad (\text{C.6})$$

C.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源于被测流量计示值引入的不确定度和标准表引入的不确定度, 其中被测流量计示值引入的不确定度主要分量是测量重复性及被测流量计分辨率, 标准表引入的不确定度分量包括标准表示值及管道截面积测量。

C.4 校准结果不确定评定示例

根据标准表的现场安装情况, 选取两个场景进行不确定度分析, 分别为在现场原有

管道安装标准表及在现场标准管段安装标准表，具体分析过程如下。

C.4.1 在现场原有管道安装标准表进行校准

利用现场原有管道作为标准表安装的标准管段，管道前后直管段长度满足要求，管道无衬里。

C.4.1.1 校准条件

C.4.1.1.1 被校准流量计

公称直径：DN1 000，流量点：3 000 m³/h。

C.4.1.1.2 标准表

由标准表溯源证书得到标准表在该口径下的扩展不确定度为 0.50% ($k=2$)。

C.4.1.1.3 管道截面面积测量

通过测量管道周长及壁厚计算管道截面积，管道周长测量使用 I 级钢卷尺，壁厚测量采用测厚仪，扩展不确定度为 0.1 mm ($k=2$)。

C.4.1.2 不确定度分量评定

C.4.1.2.1 被测流量计示值的标准不确定度分量 $u(Q)$

在流量点为 3 000 m³/h 下，重复测量 3 次，示值误差分别为 1.50%、0.86%、1.65%，采用极差法计算，极差系数取 1.69，则由测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(Q)$ 为：

$$u_1(Q) = \frac{1.65\% - 0.86\%}{1.69} Q \approx 0.467\% Q$$

现场测量被测流量计分辨力引入的不确定度远远小于测量重复性引入的不确定度分量，因此被测流量计示值的标准不确定度分量 $u(Q)$ 为：

$$u(Q) = 0.467\% Q$$

C.4.1.2.2 标准表示值的标准不确定度分量 $u(Q_s)$

$u(Q_s)$ 主要由管道流速测量引入的不确定度分量 $u(v)$ 和管道截面积测量引入的不确定度分量 $u(A)$ 组成。

1) 管道流速测量引入的不确定度分量 $u(v)$

标准表溯源证书在该口径下流速测量的扩展不确定度为 0.50% ($k=2$)，则由标准表溯源引入的不确定度 $u_1(v)$ ：

$$u_1(v) = \frac{0.50\%}{2} v = 0.25\% v$$

现场管道安装工况对流速测量的影响引入的不确定度 $u_2(v)$ 预估为：

$$u_2(v) = 0.50\% v$$

标准表现场流速偏离溯源证书流速点引入的不确定度分量 $u_3(v)$ 预估为：

$$u_3(v) = 0.25\% v$$

管道流速测量引入的不确定度分量 $u(v)$ 为：

$$\begin{aligned} u(v) &= \sqrt{[u_1(v)]^2 + [u_2(v)]^2 + [u_3(v)]^2} \\ &= \sqrt{(0.25\%)^2 + (0.50\%)^2 + (0.25\%)^2} v \approx 0.612\% v \end{aligned}$$

2) 管道截面积测量引入的不确定度分量 $u(A)$

根据管道截面积计算公式，管道截面积测量引入的不确定度分量是由管道内径测量引入，包括管道周长测量引入的不确定度及壁厚测量引入的不确定度。

管道周长用I级钢卷尺测得，最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.1 \text{ mm} + 10^{-4}L$ （其中 L 为四舍五入后的整数米，被测长度小于 1 m 时为 1），测量 3 次，周长分别为 3 148.2 mm、3 145.6 mm、3 144.5 mm，平均值为 $L = 3 146.1 \text{ mm}$ ，内径 $D = 1 001.3 \text{ mm}$ 。

测量重复性引入的不确定度 $u_1(L)$ 为（极差法，极差系数 1.69）：

$$u_1(L) = \frac{3 148.2 \text{ mm} - 3 144.5 \text{ mm}}{1.69} \approx 2.189 \text{ mm}$$

钢卷尺标准器最大允许误差为 $\pm 0.415 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则钢卷尺标准器引入的不确定度 $u_2(L)$ 为：

$$u_2(L) = \frac{0.415 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.240 \text{ mm}$$

现场管道对周长测量影响的误差预估不超过 10 mm，按均匀分布，则现场管道对周长测量影响引入的不确定度 $u_3(L)$ 为：

$$u_3(L) = \frac{10 \text{ mm}}{2\sqrt{3}} \approx 2.887 \text{ mm}$$

管道周长测量引入的不确定度 $u(L)$ 为：

$$\begin{aligned} u(L) &= \sqrt{[u_1(L)]^2 + [u_2(L)]^2 + [u_3(L)]^2} \\ &= \sqrt{2.189^2 + 0.240^2 + 2.887^2} \text{ mm} \approx 3.631 \text{ mm} \end{aligned}$$

壁厚测量 5 次，分别为 15.3 mm、15.5 mm、15.1 mm、15.2 mm、15.3 mm，平均值为 15.3 mm。

测量重复性引入的不确定度 $u_1(\delta)$ 为（极差法，极差系数 2.33）：

$$u_1(\delta) = \frac{15.5 \text{ mm} - 15.1 \text{ mm}}{2.33} \approx 0.172 \text{ mm}$$

从测厚仪溯源证书可获得测厚仪扩展不确定度为 0.10 mm ($k=2$)，则测厚仪标准器引入的不确定度 $u_2(\delta)$ 为：

$$u_2(\delta) = \frac{0.10 \text{ mm}}{2} = 0.05 \text{ mm}$$

现场管道对壁厚测量影响的误差预估不超过 1.5 mm，按均匀分布，则现场管道对壁厚测量影响引入的不确定度 $u_3(\delta)$ 为：

$$u_3(\delta) = \frac{1.5 \text{ mm}}{2\sqrt{3}} \approx 0.433 \text{ mm}$$

管道壁厚测量引入的不确定度 $u(\delta)$ 为：

$$\begin{aligned} u(\delta) &= \sqrt{[u_1(\delta)]^2 + [u_2(\delta)]^2 + [u_3(\delta)]^2} \\ &= \sqrt{0.172^2 + 0.05^2 + 0.433^2} \text{ mm} \approx 0.469 \text{ mm} \end{aligned}$$

因此内径测量引入的不确定度 $u(D)$ 为：

$$\begin{aligned}
u(D) &= \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial L}\right)^2 u(L)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial \delta}\right)^2 u(\delta)^2} = \sqrt{\left(\frac{u(L)}{\pi}\right)^2 + [-2 \cdot u(\delta)]^2} \\
&= \sqrt{\frac{3.631^2}{\pi^2} + 4 \times 0.469^2} \text{ mm} \approx 1.488 \text{ mm}
\end{aligned}$$

管道测量截面面积引入的不确定度分量 $u(A)$ 为：

$$u(A) = \left(\frac{\partial A}{\partial D}\right) \cdot u(D) = \frac{\pi}{2} D \cdot u(D)$$

DN 1000 管道标准表示值引入的不确定度分量 $u(Q_s)$ 为：

$$\begin{aligned}
u(Q_s) &= \sqrt{\left(\frac{\partial Q_s}{\partial v}\right)^2 \cdot u(v)^2 + \left(\frac{\partial Q_s}{\partial A}\right)^2 \cdot u(A)^2} = \sqrt{\left(\frac{A}{K}\right)^2 \cdot u(v)^2 + \left(\frac{v}{K}\right)^2 \cdot u(A)^2} \\
&= \sqrt{\left(\frac{A}{K}\right)^2 \cdot (0.612\% \cdot v)^2 + \left(\frac{v}{K}\right)^2 \cdot A^2 \frac{\left[\frac{\pi}{2} D \cdot u(D)\right]^2}{A^2}} \\
&= \sqrt{(Q_s)^2 (0.612\%)^2 + (Q_s)^2 \frac{\left[\frac{\pi}{2} D \cdot u(D)\right]^2}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2}} \\
&= \sqrt{(0.612\%)^2 + \frac{[2 \cdot u(D)]^2}{D^2}} Q_s = \sqrt{(0.612\%)^2 + \frac{(2 \times 1.488)^2}{1\,001.3^2}} Q_s \\
&\approx 0.680\% Q_s
\end{aligned}$$

C.4.1.3 合成标准不确定度

C.4.1.3.1 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度一览表

序号	符号	标准不确定度来源	标准不确定度/(m ³ /h)	灵敏系数/(m ³ /h) ⁻¹
1	$u(Q)$	被测流量计示值引入的不确定度分量	$0.467\% Q$	$\frac{1}{Q_s}$
2	$u(Q_s)$	标准表示值引入的不确定度分量	$0.680\% Q_s$	$-\frac{Q}{Q_s^2}$
注：合成标准不确定度： $u_c(E) = 0.82\%$ ，扩展不确定度： $U_r = 1.6\% (k=2)$ 。				

C.4.1.3.2 合成标准不确定度 $u_c(E)$

测量过程中一般认为 $Q \approx Q_s$ ，合成标准不确定度 $u_c(E)$ 为：

$$\begin{aligned}
u_c(E) &= \sqrt{c_1^2 u^2(Q) + c_2^2 u^2(Q_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{Q_s}\right)^2 \cdot (0.467\% Q)^2 + \left(-\frac{Q}{Q_s^2}\right)^2 \cdot (0.680\% Q_s)^2} \\
&= \sqrt{(0.467\%)^2 + (0.680\%)^2} \approx 0.82\%
\end{aligned}$$

C.4.1.4 校准结果的扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则流量计在线校准结果的扩展不确定度 $U(E)$ 为：

$$U(E) = k \times u_c(E) = 2 \times 0.82\% \approx 1.6\%$$

C.4.2 在现场标准管段上安装标准表进行校准

在前后直管段满足要求的位置装有一个专门用于标准表安装的不锈钢标准管段，管段尺寸清晰，无衬里。

C.4.2.1 校准条件

C.4.2.1.1 被校准流量计

公称直径：DN 1000，流量点：3 000 m³/h。

C.4.2.1.2 标准表

由标准表溯源证书得到标准表在该口径下的扩展不确定度为 0.50% ($k=2$)。

C.4.2.1.3 管道截面积测量

通过测量管道周长及壁厚计算管道截面积，管道周长测量使用 I 级钢卷尺，壁厚测量采用测厚仪，扩展不确定度为 0.1 mm ($k=2$)。

C.4.2.2 不确定度分量评定

C.4.2.2.1 被测流量计示值的标准不确定度分量 $u(Q)$

在流量点为 3 000 m³/h 下，重复测量 3 次，示值误差分别为 1.45%、1.70%、1.55%，采用极差法计算，极差系数取 1.69，则由测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(Q)$ 为：

$$u_1(Q) = \frac{1.70\% - 1.45\%}{1.69} Q \approx 0.148\% Q$$

现场测量被测流量计分辨力引入的不确定度远远小于测量重复性引入的不确定度分量，因此被测流量计示值的标准不确定度分量 $u(Q)$ 为：

$$u(Q) = 0.148\% Q$$

C.4.2.2.2 标准表示值的标准不确定度分量 $u(Q_s)$

$u(Q_s)$ 主要由管道流速测量引入的不确定度分量 $u(v)$ 和管道截面积测量引入的不确定度分量 $u(A)$ 组成。

1) 管道流速测量引入的不确定度分量 $u(v)$

标准表溯源证书在该口径下流速测量的扩展不确定度为 0.50% ($k=2$)，则由标准表溯源引入的不确定度 $u_1(v)$ 为：

$$u_1(v) = \frac{0.50\%}{2} v = 0.25\% v$$

标准表现场流速偏离溯源证书流速点引入的不确定度分量 $u_2(v)$ 预估为：

$$u_2(v) = 0.25\% v$$

管道流速测量引入的不确定度分量 $u(v)$ 为：

$$u(v) = \sqrt{[u_1(v)]^2 + [u_2(v)]^2} = \sqrt{(0.25\%)^2 + (0.25\%)^2} v \approx 0.354\% v$$

2) 管道截面积测量引入的不确定度分量 $u(A)$

根据管道截面积计算公式，管道截面积测量引入的不确定度分量是由管道内径测量

引入，包括管道周长测量引入的不确定度及壁厚测量引入的不确定度。

管道周长用Ⅰ级钢卷尺测得，最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.1 \text{ mm} + 10^{-4} L$ （其中 L 为四舍五入后的整数米，被测长度小于 1 m 时为 1），测量 3 次，周长分别为 3 145.2 mm、3 144.9 mm、3 145.5 mm，平均值为 $L = 3 145.2 \text{ mm}$ ，内径 $D = 1 001.0 \text{ mm}$ 。

测量重复性引入的不确定度 $u_1(L)$ 为（极差法，极差系数 1.69）：

$$u_1(L) = \frac{3 145.5 \text{ mm} - 3 144.9 \text{ mm}}{1.69} \approx 0.355 \text{ mm}$$

钢卷尺标准器的最大允许误差误差为 $\pm 0.415 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则钢卷尺标准器引入的不确定度 $u_2(L)$ 为：

$$u_2(L) = \frac{0.415 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.240 \text{ mm}$$

管道周长测量引入的不确定度 $u(L)$ 为：

$$u(L) = \sqrt{[u_1(L)]^2 + [u_2(L)]^2} = \sqrt{0.355^2 + 0.240^2} \text{ mm} \approx 0.429 \text{ mm}$$

壁厚测量 5 次，分别为 15.1 mm、15.2 mm、15.1 mm、15.2 mm、15.1 mm，平均值为 15.1 mm。

测量重复性引入的不确定度 $u_1(\delta)$ 为（极差法，极差系数 2.33）：

$$u_1(\delta) = \frac{15.2 \text{ mm} - 15.1 \text{ mm}}{2.33} \approx 0.043 \text{ mm}$$

从测厚仪溯源证书可获得测厚仪扩展不确定度为 0.10 mm ($k=2$)，则测厚仪标准器引入的不确定度 $u_2(\delta)$ 为：

$$u_2(\delta) = \frac{0.10 \text{ mm}}{2} = 0.05 \text{ mm}$$

管道壁厚测量引入的不确定度 $u(\delta)$ 为：

$$u(\delta) = \sqrt{[u_1(\delta)]^2 + [u_2(\delta)]^2} = \sqrt{0.043^2 + 0.05^2} \text{ mm} \approx 0.066 \text{ mm}$$

内径测量引入的不确定度 $u(D)$ 为：

$$\begin{aligned} u(D) &= \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial L}\right)^2 u^2(L) + \left(\frac{\partial D}{\partial \delta}\right)^2 u^2(\delta)} = \sqrt{\left[\frac{u(L)}{\pi}\right]^2 + [-2 \cdot u(\delta)]^2} \\ &= \sqrt{\frac{0.429^2}{\pi^2} + 4 \times 0.066^2} \text{ mm} \approx 0.190 \text{ mm} \end{aligned}$$

管道测量截面积引入的不确定度分量 $u(A)$ 为：

$$u(A) = \left(\frac{\partial A}{\partial D}\right) u(D) = \frac{\pi}{2} D \cdot u(D)$$

DN1 000 管道标准表示值引入的不确定度分量 $u(Q_s)$ 为：

$$\begin{aligned}
u(Q_s) &= \sqrt{\left(\frac{\partial Q_s}{\partial v}\right)^2 u^2(v) + \left(\frac{\partial Q_s}{\partial A}\right)^2 u^2(A)} = \sqrt{\left(\frac{A}{K}\right)^2 u^2(v) + \left(\frac{v}{K}\right)^2 u^2(A)} \\
&= \sqrt{\left(\frac{A}{K}\right)^2 (0.354\% \cdot v)^2 + \left(\frac{v}{K}\right)^2 A^2 \frac{\left[\frac{\pi}{2} D \cdot u(D)\right]^2}{A^2}} \\
&= \sqrt{Q_s^2 \cdot (0.354\%)^2 + Q_s^2 \frac{\left[\frac{\pi}{2} D \cdot u(D)\right]^2}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2}} \\
&= \sqrt{(0.354\%)^2 + \frac{[2 \cdot u(D)]^2}{D^2}} Q_s \\
&= \sqrt{(0.354\%)^2 + \frac{(2 \times 0.190)^2}{1\,001.0^2}} Q_s \\
&\approx 0.356\% Q_s
\end{aligned}$$

C.4.2.3 合成标准不确定度

C.4.2.3.1 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度一览表

序号	符号	标准不确定度来源	标准不确定度/(m ³ /h)	灵敏系数/(m ³ /h) ⁻¹
1	$u(Q)$	被测流量计示值引入的不确定度分量	$0.148\%Q$	$\frac{1}{Q_s}$
2	$u(Q_s)$	标准表示值引入的不确定度分量	$0.356\%Q_s$	$-\frac{Q}{Q_s^2}$
注：合成标准不确定度： $u_c(E)=0.39\%$ ，扩展不确定度： $U_r=0.78\%$ ($k=2$)。				

C.4.2.3.2 合成标准不确定度 $u_c(E)$

测量过程中一般认为 $Q \approx Q_s$ ，合成标准不确定度 $u_c(E)$ 为：

$$\begin{aligned}
u_c(E) &= \sqrt{c_1^2 u^2(Q) + c_2^2 u^2(Q_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{Q_s}\right)^2 \cdot (0.148\%Q)^2 + \left(-\frac{Q}{Q_s^2}\right)^2 \cdot (0.356\%Q_s)^2} \\
&= \sqrt{(0.148\%)^2 + (0.356\%)^2} \approx 0.39\%
\end{aligned}$$

C.4.2.4 校准结果的扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则流量计在线校准结果的扩展不确定度 $U(E)$ 为：

$$U(E) = k \times u_c(E) = 2 \times 0.39\% = 0.78\%$$

附录 D

标准表的选择和校准方法

D.1 标准表的选择

标准表应按定流量点使用的方法在水流量标准装置上校准，水流量标准装置的准确度应优于 0.2 级。

重复性和修正系数稳定性满足如下要求的便携外夹式超声流量计可作为在线校准的标准表使用。

标准表在标准装置上零点漂移过大且不能消除的不得作为标准表使用。

标准表校准时其使用范围线性度超过 1.0% 不得作为标准表使用。

D.1.1 重复性

选择一个常用的管道口径进行重复性试验，试验一般选择 0.5 m/s、1.0 m/s、1.5 m/s、2.0 m/s 4 个流量点，亦可根据现场实际需要增加流速点，各流速点重复测试 3 次。

按公式 (3) 计算各流量点重复性，其值不得超过 0.15%。

D.1.2 修正系数稳定性

重复性满足要求的标准表，初次使用的第一年至少要进行两次修正系数稳定性试验，相邻两次试验的同流速点的修正系数变化量不得超过 $\pm 0.25\%$ 。在后续的标准表校准时要关注同口径同流速点修正、系数变化量超过 $\pm 0.25\%$ 时，应缩短标准表复校间隔。

D.2 标准表的校准

D.2.1 标准表采用定口径、定流速的方法进行校准，初次使用的标准表校准口径应包括其应用口径范围的上下限，日常的校准口径按使用情况确定。

D.2.2 标准表的校准口径与现场被校准流量计的公称直径应相同，当两个口径相差大于 10% 时，应考虑其对不确定度造成的影响。

D.2.3 标准表校准流速点一般为：0.5 m/s、1.0 m/s、1.5 m/s、2.0 m/s，可根据现场实际需要增加或删减校准流速点。

D.2.4 标准表的各校准点标准不确定度应满足表 1 的要求。各校准点标准不确定度计算公式见式 (D.1)：

$$u_{cri} = \sqrt{u^2(Q_s) + E_{ri}^2} \quad (D.1)$$

式中：

u_{cri} ——各校准点相对合成标准不确定度；

$u(Q_s)$ ——流量标准装置的不确定度；

E_{ri} ——该流量点的重复性。

附录 E

标准表安装管段位置选定

E.1 标准表安装管段

E.1.1 可专门制做一段不锈钢短管作为标准表安装管段，串联在流量计管道上，其长度为流量计管道公称直径的 1.5 倍。

E.1.2 标准表安装管段也可是在流量计管道上选定的流场条件和管道外形尺寸均能满足标准表要求的一段直管。

E.2 标准表安装管段位置的选定

E.2.1 标准表安装管段的位置应以前后直管段长度尽量长的原则选定。

E.2.2 一般选择水平管道或上升管道作为标准表安装管段的安装位置。

E.2.3 标准表安装管段位置应选择没有气泡集聚的位置。

E.2.4 标准表安装管段位置尽可能选在没有衬里的管段。

E.2.5 标准表安装管段位置不应受到电磁和振动干扰。

E.2.6 标准表换能器的安装位置及反射位置应避开管道焊缝。

E.2.7 常见阻力件前后直管段推荐长度要求见表 E.1。

表 E.1 常见阻力件最短（前后）直管段长度要求表

序号	阻力件类型	前直管段	后直管段
1	阀门	15D	(5~10)D
2	变径管	20D	(5~10)D
3	弯头	30D	(5~10)D
4	三通	50D	(5~10)D
5	水泵	60D	(5~10)D

E.2.8 当现场条件无法满足标准表安装条件时，在线校准的不确定度将大幅度增加，校准机构需向客户说明情况，校准结果仅供参考，并在校准证书附注现场情况，常见情况见表 E.2。

表 E.2 现场情况案例表

序号	现场情况案例
1	标准表安装位置管道内壁有衬里，且厚度不确定
2	标准表安装管道内壁积垢严重，厚度不明
3	测量介质杂质和气泡明显影响标准表信号稳定性
4	标准表信号强度达不到标准表说明书所要求的范围
5	标准表校准公称直径和流速与现场管道差别大于 10%



购买者：中国计量科学研究院
时 间：2025-04-21
定 价：49元



中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
电 磁 流 量 计 在 线 校 准 规 范
JJF 2216—2025

国家市场监督管理总局发布

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址: www.spc.net.cn

服务热线: 400-168-0010

2025年3月第1版

*

书号: 155066 · J-4492

版权专有 侵权必究