

JJF (皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 73—2019

电磁流量计在线校准规范

Online Calibration Specification for Electromagnetic Flowmeter

2019-01-30 发布

2019-03-15 实施

安徽省市场监督管理局 发布

电磁流量计在线校准规范
Online Calibration Specification for
Electromagnetic Flowmeter

JJF (皖) 73-2019

归口单位：安徽省市场监督管理局

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

参加起草单位：安徽国祯环保节能科技股份有限公司

本规范委托安徽省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

胡 昕（安徽省计量科学研究院）

吴安平（安徽省计量科学研究院）

袁利根（安徽省计量科学研究院）

参加起草人：

史昊然（安徽国祯环保节能科技股份有限公司）

胡志鹏（安徽省计量科学研究院）

王 涛（安徽省计量科学研究院）

目 录

1	范围.....	1
2	引用文件.....	1
3	术语.....	1
3.1	电磁流量计 ELECTROMAGNETIC FLOWMETER.....	1
3.2	流量计特征系数 METER CHARACTERISTIC COEFFICIENT.....	1
3.3	传感器 SENSOR.....	1
3.4	转换器 CONVERTER.....	2
3.5	标准金属量器 STANDARD METAL MEASURE.....	2
3.6	标准表 STANDARD METER.....	2
3.7	标准表法 STANDARD METER METHOD.....	2
3.8	零点漂移 ZERO DRIFT.....	2
4	概述.....	2
4.1	工作原理.....	2
4.2	结构.....	3
4.3	用途.....	3
5	计量性能要求.....	3
5.1	示值误差.....	3
5.2	重复性误差.....	3
5.3	电磁流量计的零点漂移.....	4
6	校准条件.....	4
6.1	环境条件.....	4
6.2	电磁流量计安装及管道要求.....	4
6.3	校准用主要设备.....	4
7	校准方法和校准项目.....	5
7.1	零点检查.....	5
7.2	容积法.....	6
7.3	质量法.....	8
7.4	标准表法.....	10
7.5	示值误差的选取.....	12

7.6 流量计的调整.....	13
7.7 示值误差校准方法选取原则.....	13
7.8 重复性误差的计算.....	14
7.9 校准项目.....	14
8 校准结果的表达.....	14
9 复校时间间隔.....	15
附录 A.....	16
附录 B.....	21
附录 C.....	22
附录 D.....	23

电磁流量计在线校准规范

1 范围

本规范规定了管道式电磁流量计以及插入式电磁流量计（简称电磁流量计）在线校准的术语和定义、概述、技术要求及技术方法。

本规范适用于口径为 DN（10~3000）mm、流速范围为（0.1~10）m/s、满管介质的电磁流量计的在线校准。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》

JJF 1004-2004 《流量计量名次术语及定义》

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》

JJG 1033-2007 《电磁流量计》

JJG 259-2005 《标准金属量器》

HJ/T 367-2007 《环境保护产品技术要求 电磁管道流量计》

CJ/T 364-2011 《管道式电磁流量计在线校准要求》

GB 17167-2006 《用能单位能源计量器具配备与管理通则》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本规程。

3 术语

3.1 电磁流量计 electromagnetic flowmeter

利用导电流体在磁场中流动所产生的感应电动势来推算并显示流量的流量计。电磁流量计包括一个传感器和一个或多个转换器或流量系统组成。

3.2 流量计特征系数 meter characteristic coefficient

可通过修改其值而改变流量计的计量性能的参数。

3.3 传感器 sensor

用于产生与流量成比例的信号。传感器主要包括下列单元：

- 一段流过被测导电液体的测量管，其内表面通常是电绝缘的；
- 一对或多对径向对置的电极，用于测量由导电液体流动所产生的信号；

—— 在测量管中产生磁场的电磁体。

3.4 转换器 converter

将从传感器中取出的感应电动势转换成与流量成正比的标准输出信号的电路装置。

3.5 标准金属量器 standard metal measure

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标准计量器具。

3.6 标准表 standard meter

基于时差法原理、用于校准电磁流量计的外夹式超声波流量计。

3.7 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电磁流量计，比较两者的输出流量值，从而确定电磁流量计与标准表所复现的流量值之间的关系。

3.8 零点漂移 zero drift

当电磁流量计安装管道中流通的导电介质流速为零时，由于受外界环境影响导致电磁流量计的静态工作状态发生变化，流量计实际显示流量偏离零值而上下漂动的现象。

4 概述

4.1 工作原理

电磁流量计的工作原理是利用法拉弟电磁感应定律。在封闭管道中，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运动所产生的感应电动势推算出流量。

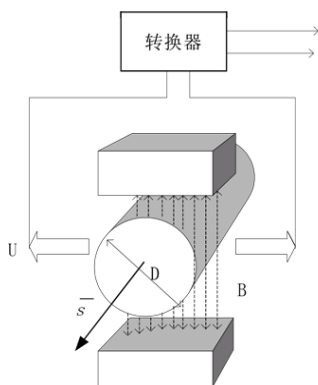


图 1 电磁流量计的基本原理示意图

电磁流量计流量 Q_v 与各量之间的关系是:

$$\bar{S} = \frac{U}{K \cdot B \cdot D} \quad (1)$$

$$Q_v = \frac{\bar{S} \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad (2)$$

式中:

\bar{S} —— 导电介质的平均流速, m/s;

D —— 管道内直径, m;

U —— 感应电动势, V;

B —— 磁感应强度, T;

K —— 传感器的特征系数。

根据式 (1) 和式 (2) 得出导电介质平均流量 Q_v 的表达式:

$$Q_v = \frac{U \cdot \pi \cdot D}{4 \cdot K \cdot B} \quad (3)$$

4.2 结构

电磁流量计由一个传感器以及一个或多个转换器组成, 按传感器和转换器的组合型式可将电磁流量计分为分体型和一体型。

4.3 用途

电磁流量计主要用于测量导电液体的瞬时流量以及累积流量。

5 计量性能要求

5.1 示值误差

电磁流量计在规定的流量范围内, 其最大允许误差见下表。

表 1 电磁流量计最大允许误差表

安装管道内径	最大允许误差
$\leq 250\text{mm}$	$\pm 2.5\%$
$> 250\text{mm}$	$\pm 1.5\%$

5.2 重复性误差

电磁流量计的重复性误差应不超过最大允许误差限绝对值的 1/2。

5.3 电磁流量计的零点漂移

电磁流量计的零点漂移应不超过最大允许误差的绝对值。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度：(0~50)℃；

6.1.2 相对湿度：(35~95)%；

6.2 电磁流量计安装及管道要求

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、称重法进行校准的电磁流量计，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 管道材质可以是金属、塑料、陶瓷、玻璃等满足超声波流量计适用的材质。

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 校准用主要设备

在线校准使用的主要设备均应具有有效的溯源证书。

6.3.1 标准表

标准表名称：（便携式）超声波流量计，允许多种型号换能器组合以满足不同管径要求。

适用管径 DN：（10~3000）mm

流速范围：（0.1~10.0）m/s

准确度等级：0.5 级

6.3.2 超声波测厚仪

测量范围：（1.5~200.0）mm

扩展不确定度： $U=0.1\text{mm}$ ， $k=2$

6.3.3 钢卷尺

测量范围：（0~10）m

准确度等级：II 级

6.3.4 标准金属量器组

测量范围：（1~1000）L

准确度等级：三等

6.3.5 精密 π 尺

测量范围：DN（50~3000）mm

扩展不确定度： $U=0.1\text{mm}$ ， $k=2$

6.3.6 电子秤/电子天平

测量范围：（0.1~50）kg

准确度等级：III 级

6.3.7 密度计组

测量范围：（0.60~1.70） $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$

准确度等级：二等

6.3.8 水银温度计

测量范围：（0~50） $^{\circ}\text{C}$

最大允许误差： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

7 校准方法和校准项目

7.1 零点检查

在对电磁流量计的示值误差及重复性误差进行校准前，应先进行零点检查。

7.1.1 具备停流条件的管道，检查流量计的零点流量。若电磁流量计零点流量不为零时，应进入电磁流量计设置功能对其进行调零。

7.1.2 不具备静态零点检查设定条件时，校准前可对被检表进行动态零点检查设置。断开传感器励磁线圈和转换器之间的电缆连接，保持电极信号线的电缆连接，检查后通电预热 15min 以上。将转换器中的参数设置恢复到正常工作状态，持续观测 15min，每 5min 记录转换器的瞬时流量显示值 Q_{oi} 。取绝对值最大的值与电磁流量计量程相比较，得到零点漂移 Δ_{Qo} 。此零点漂移值应满足本规范 5.3 条的要求。零点漂移按下式计算：

$$\Delta_{Qo} = \frac{(Q_{oi})_{\max}}{Q_g} \times 100\% \quad (4)$$

式中： Q_g ——满量程流量值。

7.2 容积法

容积法适用于瞬时流量不大于 $50\text{m}^3/\text{h}$ 的电磁流量计在线校准。

7.2.1 校准方法

7.2.1.1 标准量器的选择应满足校准流量下不少于 1 分钟的体积值，将合适的标准金属量器可靠放置在工作现场，调整水平。连接方法见图 2：

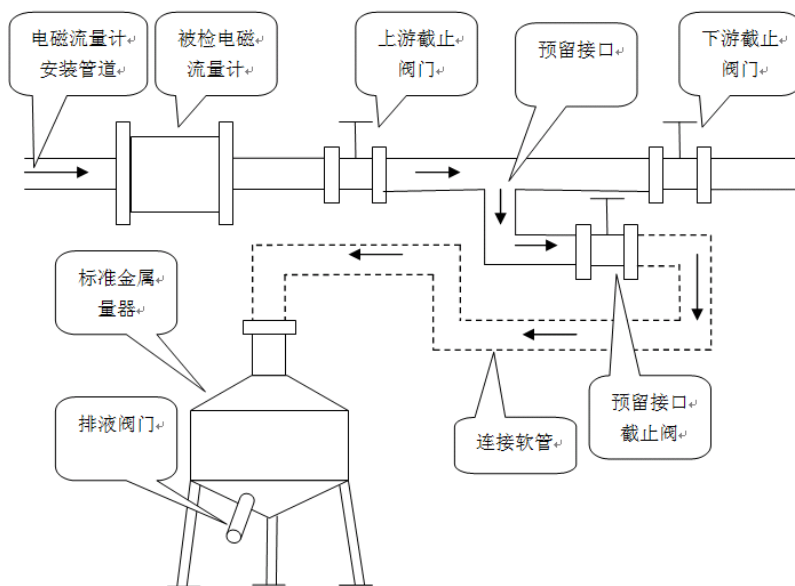


图 2 容积法工作原理图

7.2.1.2 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。

7.2.1.3 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。

7.2.1.4 打开电磁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。

7.2.1.5 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。

7.2.1.6 记录电磁流量计累积流量初始读数 V_1 并打开上游截止阀，同时开始计时。注液期间读取 i 次 ($i \geq 10$) 电磁流量计瞬时流量值 q_i 并记录，间隔时间应均匀，取平均值作为电磁流量计的平均瞬时流量 q 。待液位到达标准金属量器计量颈读数范围内，及时关闭进液阀停止计时，记录校准时间 t ，读取电磁流量计终止读数 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内介质的体积 $V_{\text{示}}$ ，并测量介质温度 T ，则：

电磁流量计的累积流量体积为 $V = V_2 - V_1$ ，瞬时流量为 q ；

实际累积流量 $V_s = V_{\text{示}} [1 + \beta_s (T - 20)]$ ，其中 β_s 为标准金属量器体膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

实际瞬时流量： $q_s = \frac{V_s}{t}$ 。

7.2.1.7 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。

7.2.1.8 重复 7.1.1.5~7.1.1.7，进行三次校准，取三次校准示值误差的平均值作为电磁流量计该流量点下的平均示值误差 E 。

7.2.1.9 通过调节上游截止阀，选取其它流量点，重复 7.1.4~7.1.7，直到完成全部校准。全部校准通常选取 1~3 个流量点。

7.2.2 示值误差的校准

7.2.2.1 瞬时流量的示值误差按照下式计算：

$$E = \frac{q - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (5)$$

7.2.2.2 累积流量的示值误差按照下式计算:

$$E = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (6)$$

7.3 质量法

质量法适用于瞬时流量不大于 5m³/h 的电磁流量计在线校准。

7.3.1 校准方法

7.3.1.1 将合适的电子秤或电子天平可靠放置在工作现场，调整水平。电子秤应放置在房间内或其他空气流动较慢区域，以减少由空气流动导致电子秤示值变动所带来的误差。称重法电磁流量计在线校准连接方法见图 3:

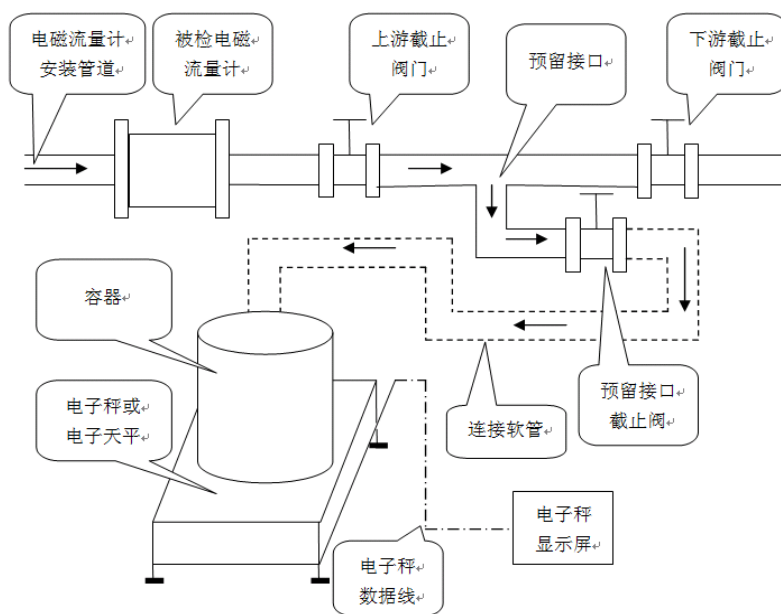


图3 称重法工作原理图

7.3.1.2 使用下游截止阀分离下游管线，以此阀作为容器注液阀，或者关闭下游截止阀，使用预留接口截止阀作为容器注液阀。

7.2.1.3 利用软管连接容器注液阀，连接管路不得有渗漏、滴液等现象。

7.2.1.4 将连接软管放置容器内加以固定，在注液过程中不得出现连接软管脱离、介质喷溅等现象。打开电磁流量计上游截止阀及容器注液阀，调整好流量，将容器注满介质，充分润湿其内表面，关闭上游截止阀。将连接软管内残余介质注入容器内，在滴流状态下等待 2min。

7.2.1.5 以最大排放量方式将容器内介质排空，并在滴流状态下等待 2min。

7.2.1.6 将容器放置在电子秤中间位置，将电子秤上示值清零。

7.2.1.7 记录电磁流量计累积流量初始读数 V_1 并打开上游截止阀,同时开始计时。注液期间读取 i 次($i \geq 10$)电磁流量计瞬时流量值 q_i 并记录,间隔时间应均匀,取平均值作为电磁流量计的平均瞬时流量 q 。待液位到达标准金属量器计量颈读数范围内,及时关闭进水阀停止计时,记录校准时间 t ,读取电磁流量计终止读数 V_2 。将连接软管内残余的介质注入容器内,在滴流状态下等待2min,读取电子秤示值 m ,计算得出标准金属量器内介质的体积 $V_{\text{示}}$,并测量介质密度 ρ ,同时考虑到密度为 ρ_n 的空气浮力影响,则:

电磁流量计的累积流量体积为 $V = V_1 - V_2$,瞬时流量为 q ;

$$\text{实际累积流量 } V_s = \frac{m}{\rho - \rho_n};$$

$$\text{实际瞬时流量: } q_s = \frac{V_s}{t}。$$

7.2.1.8 以最大排放量方式将容器内介质排空,并在滴流状态下等待2min,完成一次校准。

7.2.1.9 重复7.2.1.6~7.2.1.8,进行三次校准,取三次校准示值误差的平均值作为电磁流量计该流量点下的平均示值误差 E 。

7.2.1.10 通过调节上游截止阀,选取其它流量点,重复7.2.1.4~7.2.1.8,直到完成全部校准。全部校准通常选取1~3个流量点。

7.2.2 示值误差的校准

7.2.2.1 瞬时流量的示值误差按照下式计算:

$$E = \frac{q - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (7)$$

7.2.2.2 累积流量的示值误差按照下式计算:

$$E = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (8)$$

7.4 标准表法

7.4.1 将标准表安装在被检电磁流量计的上游侧或下游侧。注意避开可能产生不满管、电磁干扰、外部管壁锈蚀严重以及管道内部可能有结垢的位置。标准表安装处前后直管段应符合生产厂家的安装使用要求。如厂家没有规定,则应安装在离任何上游扰动部件至少 5 倍公称通径 (5DN) 和离任何下游扰动部件 3 倍公称通径 (3DN) 的直管段中。

标准表法工作原理见图 4:

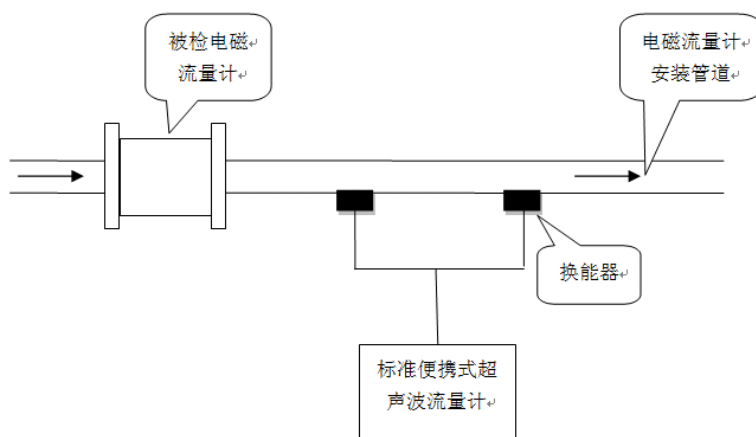


图 4 标准表法工作原理图

7.4.2 管径测量: 使用精密 π 尺在标准表安装位置附近同一截面上等角分布测量 n 次外直径 ($n \geq 4$), 或使用钢卷尺测量 n 次外周长推算出外直径, 取其平均值作为管道外直径 D 。

7.4.3 壁厚测量: 确认电磁流量计安装管道使用材质后, 调整好超声波测厚仪对应的声波频率, 使用超声波测厚仪在标准表安装位置均匀布 5 个点, 测量出 5 组壁厚, 取其平均值作为管道壁厚 δ 。由于部分种类管道的材质, 导致超声波测厚仪无法测量管道壁厚时, 应查阅相关技术资料, 对管道壁厚进行确认。

7.4.4 根据相关资料确认管道内介质种类、介质温度、管道是否有内衬、衬里材料、衬里厚度以及管道内表面粗糙度等。

7.4.5 将以上相关参数输入标准表内, 选择相应的换能器安装方法, 得出标准表两个换能器安装距离 L 。换能器的安装方法优先选择“V”型或“W”型, 即两个换能器安装在管道同侧。当管道外径 $D \geq 600\text{mm}$ 时, 优先选择“对角”型安装, 即两个换能器安装在管道两侧。

7.4.6 在换能器安装管道上划线定位，并用水平尺测量保证两个换能器安装在同一平面上，每个换能器的中心线应与管道轴线平行；也可使用坐标纸剪成宽为L的长条，围在管壁上，使纸长等于周长，然后对折，定出换能器的位置。

7.4.7 清理已定安装位置附近的管壁（比换能器约大一倍的面积），将管壁上的油漆、铁锈、污垢等清理后，露出管道材质，打磨光滑。

7.4.8 在换能器表面均匀涂抹耦合剂，用磁铁或者链条将两个换能器可靠的安装在管壁固定位置上（也可使用标准表厂家说明书里推荐的其他方法执行），使换能器发射面与管壁紧密接触，其间不得有缝隙。

换能器“V”型、“W”型安装示意图见图5：

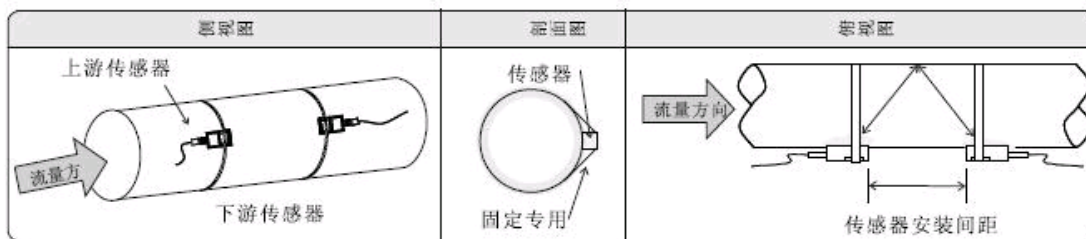


图5 标准表换能器“V”型、“W”型安装示意图

换能器“对角”型、“Z”型安装示意图见图6：

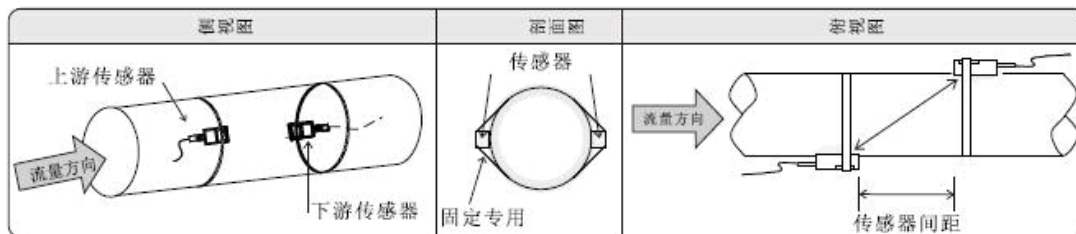


图6 标准表换能器“对角”型、“Z”型安装示意图

7.4.9 示值误差的校准

7.4.9.1 累积流量法

在标准表稳定 10min 后，同时读取标准表与电磁流量计的初始累积流量示值 V_{sa} 与 V_{ma} ，经过一段时间的流量累积后再同时读取标准表与电磁流量计的终止累积流量示值 V_{sb} 与 V_{mb} ，时间间隔应不小于 10min，作为第 i 流量点下的一次示值误差校准，单流量点校准次数 j 应不少于 3 次。按式（9）进行计算累计流量的示值误差：

$$E_{v(ij)} = \frac{V_{m(ij)} - V_{s(ij)}}{V_{s(ij)}} \times 100\% \quad (9)$$

$$V_{s(ij)} = V_{sb(ij)} - V_{sa(ij)} \quad (10)$$

$$V_{m(ij)} = V_{mb(ij)} - V_{ma(ij)} \quad (11)$$

式中: $E_{v(ij)}$ —— 被检流量计第 i 点第 j 次累积流量示值误差, (%) ;

$V_{s(ij)}$ —— 标准流量计第 i 点第 j 次累积流量示值, (m^3) ;

$V_{m(ij)}$ —— 被检流量计第 i 点第 j 次累积流量示值, (m^3) ;

$V_{sa(ij)}$ —— 标准流量计第 i 点第 j 次初始累积流量值, (m^3) ;

$V_{sb(ij)}$ —— 标准流量计第 i 点第 j 次终止累积流量值, (m^3) ;

$V_{ma(ij)}$ —— 被检流量计第 i 点第 j 次初始累积流量值, (m^3) ;

$V_{mb(ij)}$ —— 被检流量计第 i 点第 j 次终止累积流量值, (m^3) ;

通过调整截止阀或调整管路压力来调节流量大小, 选取 (1~3) 个流量点进行校准, 所选取的流量点应包含电磁流量计在正常使用状态下的流量。

7.4.9.2 瞬时流量法

在标准表稳定 10min 后, 同时记录一段时间内标准表与电磁流量计的瞬时流量, 记录次数应满足 $n \geq 10$, 时间间隔应相对均匀。分别对标准表和电磁流量计的瞬时流量值取平均, 作为该点该次的瞬时流量示值。按式 (12) 进行计算瞬时流量的示值误差:

$$E_{q(ij)} = \frac{q_{m(ij)} - q_{s(ij)}}{q_{s(ij)}} \times 100\% \quad (12)$$

$$q_{(ij)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_{(ijk)} \quad (13)$$

式中: $E_{q(ij)}$ —— 被检流量计第 i 点第 j 次瞬时流量示值误差, (%) ;

$q_{s(ij)}$ —— 标准流量计第 i 点第 j 次瞬时流量示值, (m^3/h) ;

$q_{m(ij)}$ —— 被检流量计第 i 点第 j 次瞬时流量示值, (m^3/h) ;

$q_{(ijk)}$ —— 第 i 点第 j 次第 k 个记录的瞬时流量值, (m^3/h) ;

7.5 示值误差的选取

流量计第 i 点示值误差的选取按照式 (14) 进行计算:

$$E_{(i)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{(ij)} \quad (14)$$

式中： $E_{(i)}$ ——流量计第*i*点示值误差，（%）；

$E_{(ij)}$ ——流量计第*i*点第*j*次示值误差，（%）；

7.6 流量计的调整

当电磁流量计的示值误差超过 5.1 条所规定的误差限时，应对流量计特征系数进行调整，调整后重复 7.1 或 7.2，确定示值误差满足 5.1 条规定。

7.6.1 流量计仪表系数与流量计流量值成正比时，示值误差的调整：

示值误差的调整按照式（15）计算流量计新特征系数 K ，并置入流量显示仪中：

$$K = (1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{(i)}) \times K_0 \quad (15)$$

式中： K ——流量计新特征系数， L^{-1} ；

K_0 ——流量计原特征系数， L^{-1} ；

$E_{(i)}$ ——流量计第*i*点示值误差，（%）；

7.6.2 流量计仪表系数与流量计流量值成反比时，示值误差的调整：

示值误差的调整按照式（16）计算流量计新特征系数 K ，并置入流量显示仪中：

$$K = (1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{(i)}) \times K_0 \quad (16)$$

式中： K ——流量计新特征系数， L^{-1} ；

K_0 ——流量计原特征系数， L^{-1} ；

$E_{(i)}$ ——流量计第*i*点示值误差，（%）；

7.7 示值误差校准方法选取原则

两种示值误差校准方法优先选取对累积流量的示值误差进行校准。当电磁流量计的瞬时流量过小，引起累积流量读数末位变动一个单位需 5min 以上，且瞬时流量波动小于流量计基本误差限的绝对值时，可采用对瞬时流量的示值误差进行校准。

7.8 重复性误差的计算

根据示值误差的校准结果，流量计的重复性误差按照式（17）计算：

$$E_{r(i)} = \frac{[E_{(i)}]_{\max} - [E_{(i)}]_{\min}}{d_n} \quad (17)$$

式中： $E_{r(i)}$ —— 被检流量计第*i*点重复性误差，（%）；

$[E_{(i)}]_{\max}$ —— 被检流量计第*i*点最大示值误差，（%）；

$[E_{(i)}]_{\min}$ —— 被检流量计第*i*点最小示值误差，（%）；

d_n —— 极差系数，其值见表 2；

表 2 d_n 数值表

测量次数 (n)	3	4	5	6	7	8	9	10
极差系数 d_n	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

7.9 校准项目

电磁流量计在线校准的项目为示值误差、重复性误差、零点漂移，共三项。

8 校准结果的表达

校准结果应该在校准证书或校准报告上反映。

校准证书或校准报告至少包括以下信息：

标题，如“校准证书”或“校准报告”；

实验室名称；

进行校准的地点；

校准证书或校准报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

送校单位和地址；

送校对象的描述和明确标识；

校准日期，需要时应说明送校日期；

如果与校准结果的有效性和应用有关时，应该对抽样程序进行说明；

校准所依据的技术规范；

校准所使用的测量标准的溯源性及有效性说明；

校准环境的描述；

校准结果及测量不确定度的说明；

校准证书或校准报告签发人的有效标识以及签发日期；

校准结果仅对被校对象有效的声明；

9 复校时间间隔

电磁流量计在线校准的复校时间间隔由被校单位根据实际使用情况确定，建议不超过 1 年。

附录 A

测量结果的不确定度评定

由于电磁流量计的累积流量为瞬时流量乘以采样时间，现在实际校准中，被检流量计和标准表的采样时间相同，因此两种校准方法的不确定度可以用同一种方法进行评定。

A.1 标准表法（使用钢卷尺测量外周长计算得到外直径）

A.1.1 测量模型

$$E_Q = \frac{Q_m - Q_s}{Q_s} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

$$Q_s = v_s \times S = v_s \times \pi \times r^2 = v_s \times \pi \times \left[\left(\frac{C}{2\pi} \right) - \delta \right]^2 \quad (\text{A.2})$$

$$E_Q = \left[\frac{Q_m}{v_s \times \left(\frac{C^2}{4\pi} - C \cdot \delta + \pi \cdot \delta^2 \right)} - 1 \right] \times 100\% \quad (\text{A.3})$$

式中： E_Q ——被校流量计示值误差，（%）；

Q_m ——被校流量计显示流量，（ m^3/h ）；

Q_s ——标准流量计显示流量，（ m^3/h ）；

v_s ——表准流量计所测出的流速，（ m/s ）；

S ——被校流量计安装管道截面积，（ m^2 ）；

r ——被校流量计安装管道内半径，（ m ）；

C ——被校流量计安装管道外周长，（ m ）；

δ ——被校流量计安装管道壁厚，（ m ）。

各输入量彼此独立不相关，合成标准不确定度可按公式（A.4）计算得到：

$$u_r(E_Q) = \left\{ [c_1 \cdot u_1(Q_m)]^2 + [c_2 \cdot u_2(v_s)]^2 + [c_3 \cdot u_3(C)]^2 + [c_4 \cdot u_4(\delta)]^2 + [c_5 \cdot u_5(\pi)]^2 \right\}^{0.5} \quad (\text{A.4})$$

A.1.2 灵敏系数

Q_m 的灵敏系数见式（A.5）：

$$c_1 = \frac{\partial E_Q}{\partial Q_m} = \frac{1}{v_s \times \left(\frac{C^2}{4\pi} - C \cdot \delta + \pi \cdot \delta^2 \right)} \quad (\text{A.5})$$

v_s 的灵敏系数见式 (A.6) :

$$c_2 = \frac{\partial E_Q}{\partial v_s} = -\frac{Q_m}{\frac{C^2}{4\pi} - C \cdot \delta + \pi \cdot \delta^2} \quad (\text{A.6})$$

C 的灵敏系数见式 (A.7) :

$$c_3 = \frac{\partial E_Q}{\partial C} = \frac{Q_m(C - \delta)}{v_s \left(\frac{C^2}{4\pi} - C \cdot \delta + \pi \cdot \delta^2 \right)^2} \quad (\text{A.7})$$

δ 的灵敏系数见式 (A.8) :

$$c_4 = \frac{\partial E_Q}{\partial \delta} = \frac{Q_m(2\pi - C)}{v_s \left(\frac{C^2}{4\pi} - C \cdot \delta + \pi \cdot \delta^2 \right)^2} \quad (\text{A.8})$$

π 的灵敏系数见式 (A.9) :

$$c_4 = \frac{\partial E_Q}{\partial \pi} = \frac{Q_m \left(\delta^2 - \frac{C^2}{4} \right)}{v_s \left(\frac{C^2}{4\pi} - C \cdot \delta + \pi \cdot \delta^2 \right)^2} \quad (\text{A.9})$$

注： 1.根据钢卷尺检定证书可得，钢卷尺的最大允许误差为±0.5mm，对于 DN100mm 口径以上流量计， $u_r(C)$ 可忽略不计；

2.根据测量管道壁厚的超声波测厚仪校准证书可得，超声波测厚仪的测量误差为 0.1mm，对于 DN50mm 口径以上流量计， $u_r(\delta)$ 可忽略不计；

3.圆周率取舍为小数点后第 7 位， $u_r(\pi)$ 可忽略不计；

A.2 标准表法（使用精密 π 尺直接测量外直径）

A.2.1 测量模型

若使用精密 π 尺直接测量管道外直径时，测量模型如式 (A.10) :

$$E_Q = \left[\frac{Q_m}{v_s \times \pi \times (D^2 - 2D \cdot \delta + \delta^2)} - 1 \right] \times 100\% \quad (\text{A.10})$$

式中： D —— 被校流量计管道外径，（m）。

各输入量彼此独立不相关, 合成标准不确定度可按公式 (A.6) 计算得到:

$$u_r(E_Q) = \left\{ [c_1 \cdot u_1(Q_m)]^2 + [c_2 \cdot u_2(v_s)]^2 + [c_3 \cdot u_3(D)]^2 + [c_4 \cdot u_4(\pi)]^2 \right\}^{0.5} \quad (\text{A.11})$$

A.2.2 灵敏系数

Q_m 的灵敏系数见式 (A.12):

$$c_1 = \frac{\partial E_Q}{\partial Q_m} = \frac{1}{v_s \times \pi \times (D^2 - 2\delta \cdot D + \delta^2)} \quad (\text{A.12})$$

v_s 的灵敏系数见式 (A.13):

$$c_2 = \frac{\partial E_Q}{\partial v_s} = -\frac{Q_m}{\pi \times (D^2 - 2\delta \cdot D + \delta^2)} \quad (\text{A.13})$$

D 的灵敏系数见式 (A.14):

$$c_3 = \frac{\partial E_Q}{\partial D} = \frac{2 \cdot Q_m \cdot (D - \delta)}{v_s \times \pi \times (D^2 - 2\delta \cdot D + \delta^2)^2} \quad (\text{A.14})$$

π 的灵敏系数见式 (A.15):

$$c_4 = \frac{\partial E_Q}{\partial \pi} = -\frac{Q_m}{v_s \times (D^2 - 2\delta \cdot D + \delta^2)} \quad (\text{A.15})$$

注: 1. 根据精密 π 尺校准定证书可得, 钢卷尺测量不确定度为 $U=0.1\text{mm}$, $k=2$, 对于 DN50mm 口径以上流量计, $u_r(D)$ 可忽略不计;

2. 圆周率取舍为小数点后第 7 位, $u_r(\pi)$ 可忽略不计;

A.3 容量法

A.3.1 测量模型

$$E_V = \frac{V_m - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (\text{A.16})$$

$$V_s = V_{\text{示}} [1 + \beta_s (T - 20)] \quad (\text{A.17})$$

$$E_V = \left(\frac{V_m}{V_{\text{示}} [1 + \beta_s (T - 20)]} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{A.18})$$

式中: V_m —— 被校流量计显示累积流量, (m^3);

$V_{\text{示}}$ —— 标准金属量器测得介质体积, (m^3);

V_s —— 实际累积流量, (m^3);

β_s —— 标准金属量器体膨胀系数, ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

T —— 介质温度, ($^{\circ}\text{C}$)。

各输入量彼此独立不相关, 合成标准不确定度可按公式 (A.19) 计算得到:

$$u_r(E_V) = \left\{ [c_1 \cdot u_1(V_m)]^2 + [c_2 \cdot u_2(V_{\text{示}})]^2 + [c_3 \cdot u_3(\beta_s)]^2 + [c_4 \cdot u_4(T)]^2 \right\}^{0.5} \quad (\text{A.19})$$

A.3.2 灵敏系数

V_m 的灵敏系数见式 (A.20):

$$c_1 = \frac{\partial E_V}{\partial V_m} = \frac{1}{V_{\text{示}} [1 + \beta_s (T - 20)]} \quad (\text{A.20})$$

$V_{\text{示}}$ 的灵敏系数见式 (A.21):

$$c_2 = \frac{\partial E_V}{\partial V_{\text{示}}} = -\frac{V_m}{[1 + \beta_s (T - 20)]} \quad (\text{A.21})$$

β_s 的灵敏系数见式 (A.22):

$$c_3 = \frac{\partial E_V}{\partial \beta_s} = \frac{V_m \cdot (T - 20)}{V_{\text{示}} \cdot [1 + \beta_s (T - 20)]^2} \quad (\text{A.22})$$

T 的灵敏系数见式 (A.23):

$$c_4 = \frac{\partial E_V}{\partial T} = \frac{V_m \cdot \beta_s}{V_{\text{示}} \cdot [1 + \beta_s (T - 20)]^2} \quad (\text{A.23})$$

A.4 质量法

A.4.1 测量模型

$$E_V = \frac{V_m - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (\text{A.24})$$

$$V_s = \frac{m}{\rho - \rho_n} \quad (\text{A.25})$$

$$E_V = \left(\frac{V_m \cdot (\rho - \rho_n)}{m} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{A.26})$$

式中: V_m —— 被校流量计显示累积流量, (m^3);

m —— 电子秤测得介质质量, (kg);

V_s —— 实际累积流量, (m^3);

ρ —— 介质密度, (kg/m^3);

ρ_n —— 空气密度, (kg/m^3)。

各输入量彼此独立不相关, 合成标准不确定度可按公式 (A.19) 计算得到:

$$u_r(E_V) = \left\{ [c_1 \cdot u_1(V_m)]^2 + [c_2 \cdot u_2(m)]^2 + [c_3 \cdot u_3(\rho)]^2 + [c_4 \cdot u_4(\rho_n)]^2 \right\}^{0.5} \quad (\text{A.27})$$

A.4.2 灵敏系数

V_m 的灵敏系数见式 (A.28) :

$$c_1 = \frac{\partial E_V}{\partial V_m} = \frac{\rho - \rho_n}{m} \quad (\text{A.28})$$

m 的灵敏系数见式 (A.29) :

$$c_2 = \frac{\partial E_V}{\partial m} = -V_m \cdot (\rho - \rho_n) \quad (\text{A.29})$$

ρ 的灵敏系数见式 (A.30) :

$$c_2 = \frac{\partial E_V}{\partial \rho} = \frac{V_m}{m} \quad (\text{A.30})$$

ρ_n 的灵敏系数见式 (A.31) :

$$c_2 = \frac{\partial E_V}{\partial \rho_n} = -\frac{V_m}{m} \quad (\text{A.31})$$

A.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U_{rel} = k u_r(E_Q), k = 2 \quad (\text{A.32})$$

附录 B

原始记录格式 (累积流量)

证书编号: _____

第_____页 共_____页

委托单位: _____ 制造厂: _____

仪器名称: _____ 规格型号: _____ 出厂编号: _____ 介质: _____

流量范围: _____ 环境温度 _____ °C 相对湿度 _____ % 依据: _____

主标准器名称	规格型号	出厂编号	准确度等级	有效期

序号	校准流量 ()	流量计示值			标准器 示值 ()	误差 E_{mi} (%)	基本 误差 $E_m(\%)$	重复 性 E_{ri} (%)	A 类 不确 定度 (%)	B 类 不确 定度 (%)	扩展 不确 定度 (%) ($k=2$)
		初读数 ()	终读数 ()	差值 ()							
1											
2											
3											
备注	校准管道外径 $D_{外} =$ _____ mm 管道壁厚 _____ mm 安装方法: _____										
	原仪表特征系数 $K_0 =$ _____ 现仪表特征系数 $K =$ _____ 流量计零点漂移 $\Delta_{Q_0} =$ _____										
	委托方地址: _____										

校准: _____ 核验: _____ 日期: _____ 年 月 日 地点: _____

附录 C

原始记录格式 (瞬时流量)

证书编号: _____

第_____页 共_____页

委托单位: _____ 制造厂: _____

仪器名称: _____ 规格型号: _____ 出厂编号: _____ 介质: _____

流量范围: _____ 环境温度 _____ °C 相对湿度 _____ % 依据: _____

主标准器名称	规格型号	出厂编号	准确度等级	有效期

序号	校准流量 ()	流量计示值 ()	标准体积/质量 ()	测量时间 ()	标准流量 ()	误差 $E_{mi}(\%)$	基本误差 $E_m(\%)$	重复性 $E_{ri}(\%)$	A类不确定度 (%)	B类不确定度 (%)	扩展不确定度 (%) ($k=2$)
1											
2											
3											
备注	校准管道外径 $D_{外} =$ _____ mm 管道壁厚 _____ mm 安装方法: _____										
	原仪表特征系数 $K_0 =$ _____ 现仪表特征系数 $K =$ _____ 流量计零点漂移 $\Delta_{Q_0} =$ _____										
	委托方地址: _____										

校准: _____ 核验: _____ 日期: _____ 年 月 日 地点: _____

附录 D

校准证书内页格式

校准结果/说明:

1. 校准介质:
2. 管道外径: mm 壁厚: mm 安装方式:
3. 原仪表系数: 现仪表系数:
4. 流量计零点漂移:
5. 校准结果:

序号	校准流量点 (m ³ /h)	平均相对误差 (%)	示值误差的测量不确定度 U_{rel} (%), $k=2$
1			
2			
3			

