



中华人民共和国工业和信息化部 有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）00X—20XX

液体流量计在线校准规范

Calibration Specification for On-line Liquid Flowmeters
(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

液体流量计在线校准规范

Calibration Specification for
On-line Liquid Flowmeters

JJF（有色金属）XXX—XXXX

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西南铝业（集团）有限责任公司

江西铜业股份有限公司

中色正锐（山东）铜业有限公司

浙江华友钴业股份有限公司

国标（北京）检验认证有限公司

东北轻合金有限责任公司

宝钛集团有限公司

中国船舶集团有限公司第七二五研究所

陕西有色榆林新材料集团有限责任公司

广船国际有限公司

西安汉唐分析检测有限公司

大冶有色金属集团控股有限公司

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

包超强（西南铝业（集团）有限责任公司）

张国栋（西南铝业（集团）有限责任公司）

任全山（西南铝业（集团）有限责任公司）

肖 轲（江西铜业股份有限公司）

王 磊（中色正锐（山东）铜业有限公司）

李 艳（浙江华友钴业股份有限公司）

李 成（国标（北京）检验认证有限公司）

周桂平（东北轻合金有限责任公司）

赵 洁（宝钛集团有限公司）

曹梦圆（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）

席 洋（陕西有色榆林新材料集团有限责任公司）

戴 文（西南铝业（集团）有限责任公司）

蔡文科（广船国际有限公司）

余泽利（西安汉唐分析检测有限公司）

李 智（大冶有色金属集团控股有限公司）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
4.1 累积流量示值误差.....	(2)
4.2 瞬时流量示值误差.....	(2)
4.3 瞬时流量重复性.....	(2)
4.4 瞬时流量变送输出误差.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 液体介质条件.....	(2)
5.3 流量计安装条件.....	(2)
5.4 测量标准.....	(3)
5.5 其他条件.....	(3)
6 校准项目和校准方法.....	(4)
6.1 校准项目.....	(4)
6.2 校准方法.....	(4)
7 校准结果表达.....	(9)
8 复校时间间隔.....	(10)
附录 A 外夹装超声波流量计的超声波传感器安装方式.....	(11)
附录 B 液体流量计在线校准原始记录参考格式.....	(14)
附录 C 液体流量计在线校准证书内页参考格式.....	(16)
附录 D 液体流量计在线校准瞬时流量变送输出误差的测量不确定度评定示例.....	(17)

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》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范参考了JJG 1030《超声流量计》、JJG 1037《涡轮流量计》和JJG 1033《电磁流量计》的技术内容。

本规范为首次发布。

液体流量计在线校准规范

1 范围

本规范适用于工业现场封闭管道上的非贸易结算类液体流量计（以下简称流量计）的在线校准，适用介质包括水、油品、化学溶液等不含其他固体杂质及气泡的单相洁净液体和污水、泥浆等含有杂质的液体，管道公称直径范围在DN50~DN1000，介质流速不低于0.1m/s，管道材质有碳钢、铸铁、塑料等材料。

本规范不适用于套管或多层管道及多普勒法超声波流量计在线校准。

2 引用文件

本规范无引用文件。

3 概述

液体流量计是用于测量水、油品、化学溶液等液体介质瞬时流量或累计流量的一种测量设备。流量计通过流量传感器将流经流量计的液体流量信号转换为脉冲信号、模拟信号或数字信号，通过计算装置进行流量计算，再由显示装置进行流量显示，广泛用于能源计量、工艺控制、环保监测等领域。流量计按工作原理分为速度式流量计、差压式流量计、容积式流量计等。流量计结构型式包括一体式、分体式、插入式、管段式、外夹式等。流量计主要由表体、显示装置、计算装置、流量传感器等组成，其通用结构示意图见图1。

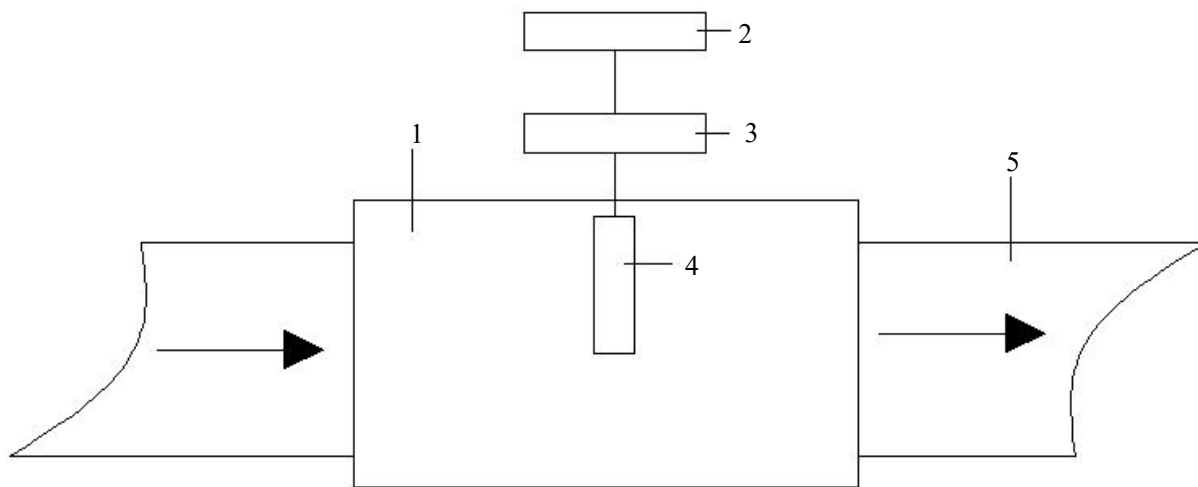


图1 流量计通用结构示意图

1-表体；2-显示装置；3-计算装置；4-流量传感器；5-封闭管道

4 计量特性

4.1 累积流量示值误差

累积流量示值误差以相对误差表示，计量特性见表1。

4.2 瞬时流量示值误差

瞬时流量示值误差以相对误差表示，计量特性见表1。

表 1 流量计流量示值误差计量特性

序号	校准项目		不同准确度等级流量计的示值误差			
			1.0级	1.5级	2.0级	2.5级
1	累积流量示值误差	$q_{\min} \leq q < q_t$	$\pm 3.0\%$	$\pm 3.0\%$	$\pm 4.0\%$	$\pm 5.0\%$
		$q_t \leq q \leq q_{\max}$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.0\%$	$\pm 2.5\%$
2	瞬时流量示值误差	$q_{\min} \leq q < q_t$	$\pm 3.0\%$	$\pm 3.0\%$	$\pm 4.0\%$	$\pm 5.0\%$
		$q_t \leq q \leq q_{\max}$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.0\%$	$\pm 2.5\%$

注：流量计瞬时流量 q 中的最小流量 $q_{\min}$ 、分界流量 q_t 、最大流量 $q_{\max}$ 在流量计说明书或铭牌上有说明或标注。若流量计说明书及铭牌上无分界流量 q_t 标识，可近似取 $1/3q_{\max}$ 作为分界流量点进行评估，并在校准证书中明确。

4.3 瞬时流量重复性

瞬时流量重复性不超过瞬时流量示值误差最大允许误差绝对值的1/3。

4.4 瞬时流量变送输出误差

瞬时流量变送输出误差最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ 。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：（-5~45）℃。

5.1.2 相对湿度：不大于 95%。

5.1.3 大气压力：（86~106）kPa。

5.1.4 工作环境中应无影响流量计正常工作的电磁场、机械振动和噪声。

5.2 液体介质条件

5.2.1 被校流量计及标准流量计校准点管道内应充满管道液体，无漩涡。

5.2.2 校准过程中，液体流量应稳定，液体压力、温度无明显变化。

5.2.3 液体介质中气泡含量应不大于3%，其他固体杂质含量应不大于5mg/m³。

5.3 流量计安装条件

5.3.1 被校流量计和标准流量计安装点位的上游 10 倍管道公称直径 (10DN) 内和下游 5 倍管道公称直径 (5DN) 内, 管道内应无弯头、变径、阀门、泵等扰流部件。若不满足, 被校流量计校准结果不用于准确度等级的判断。

5.3.2 被校流量计和标准流量计应安装在相同管径上, 在无干扰的情况下, 两个流量计间距应尽量短。被校流量计使用管道公称直径与标准流量计校准管道公称直径之比应在 (0.5~2) 之间。若不满足, 被校流量计累积流量和瞬时流量示值误差的最大允许误差增加 $\pm 0.5\%$ 的相对附加误差, 且该附加误差不用于被校流量计准确度等级的性能判定。

5.3.3 被校流量计安装点位和标准流量计校准点位管道内壁应无积垢、凹痕等情况, 管道衬里材质和厚度应可知。若不满足, 被校流量计累积流量和瞬时流量示值误差的最大允许误差增加 $\pm 0.5\%$ 的相对附加误差, 且该附加误差不用于被校流量计准确度等级的性能判定。

5.4 测量标准

校准所用测量标准的技术要求见表2。

表 2 测量标准的技术要求

序号	测量标准	技术要求	用途
1	标准流量计	$U_{rel} \leq 0.5\%, k=2$	校准液体流量, 可以是外夹装超声波流量计、电磁流量计等
2	钢卷尺	不低于 I 级	校准管道周长、直径和标准流量计传感器安装距离, 也可用满足要求的 π 尺、卡尺等
3	超声测厚仪	最大允许误差: $\pm 0.1\text{mm}$	校准管道壁厚
4	秒表	时间间隔 1h 的最大允许误差: $\pm 0.1\text{s}$	校准累积时间
5	数字多用表	直流电流测量范围: (4~20) mA, 直流电压测量范围: (0~10) V, 最大允许误差: $\pm 0.05\%$	校准流量计变送输出的标准电信号, 也可用其他满足要求的电流表或电压表

5.5 其他条件

5.5.1 铭牌和标识: 流量计应有流向标识, 铭牌上应有清晰可见的测量范围、管道通径、准确度等级、分界流量、耐压等级、厂商信息。

5.5.2 外观和密封性：流量计外观结构应完好，无影响准确性的锈蚀和损伤情况，显示部分完整清晰。流量计表体各接口、法兰应无泄漏。

5.5.3 功能参数：除机械式流量计，流量计界面菜单应有密码保护功能，参数不被随意更改。流量计功能菜单中管径、壁厚、流量系数、介质、管道材料等参数应与工况实际相一致。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目有累积流量示值误差、瞬时流量示值误差、瞬时流量重复性和瞬时流量变送输出误差。

根据实际使用情况或客户要求，当流量计主要用于累积流量测量时，可只进行累积流量示值误差的校准，不进行瞬时流量示值误差、瞬时流量重复性和瞬时流量变送输出误差的校准；当流量计主要用于瞬时流量测量时，可不进行累积流量示值误差的校准。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

校准前，应与客户就标准流量计安装点位、介质流动方向、流量校准点、流量调节运行情况等进行沟通确认。根据流量计说明书或客户提供文件和信息检查被校流量计运行情况，与工况实际不符的功能参数应进行修改，并记录各参数值。按照本规范 5.3 的规定，检查并记录好相应情况。

6.2.2 校准点选择和稳定

根据现场实际情况与客户协商选取流量校准点，一般选取 3 个点，包含常用流量点、以分界流量为界限的低流量点或高流量点。标准流量计安装后，通过调节泵频率或阀门开度来平稳调整流量至流量校准点附近。当标准流量计瞬时流量在 1min 内的最大流量和最小流量之差小于选取流量校准点的 5%时，视为流量稳定，稳定时间应不少于 5min。若现场无法调节流量，可根据客户情况分时段对各流量校准点进行校准。当校准过程中突然出现流量波动，应重新进行流量稳定控制后再校准。

6.2.3 标准流量计选择和安装

6.2.3.1 标准流量计选择

对于水、油品、化学溶液等不含其他固体杂质及气泡的单相洁净液体，优先选用外夹装超声波流量计作为标准流量计。对于污水、泥浆等含有一定杂质的液体，流量计现

场管道具有旁通切换和标准流量计预装管段等条件的，一般选用电磁流量计作为标准流量计。对于有特殊性质的液体介质，根据被校流量计要求，选用适宜的标准流量计。

6.2.3.2 外夹装超声波流量计的参数测量及安装

6.2.3.2.1 管道外径测量

测量前，清理外夹装超声波流量计传感器（以下简称传感器）安装位置区域的管壁，将管壁上的铁锈、防腐层等清除干净。用钢卷尺在传感器安装位置附近测量管道外径或周长（用测得周长计算外径），在不同点位进行 3 次测量，取平均值作为管道外径测量值。

6.2.3.3.2 管道壁厚测量

测量前，清理传感器安装位置区域的管壁，将管壁上的油漆、铁锈、防腐层等清除干净，并打磨光滑，露出管道本身材质。管壁打磨区域面积一般是传感器工作面积的 1.5 倍，便于调试信号时调整传感器位置。在两个打磨区域内分别分散选择 3 个测量点，用超声测厚仪测量管道壁厚，取平均值作为管道壁厚测量值。

6.2.3.2.3 外夹装超声波流量计传感器安装

传感器的安装方式按照超声波在管道内的传播路径，可分为 V 法、Z 法、W 法、N 法等，校准时应根据标准流量计说明书要求，结合现场安装条件，选择合适的方法，详见附录 A。将外夹装超声波流量计安装位置的管道外径、管道壁厚、管道材质、衬里材料及厚度、传感器型号、介质类型、传感器安装方式等参数信息输入其主机菜单中，自动计算得出传感器安装距离，并做好记录。

传感器一般安装在管道水平截面上，若因现场安装条件限制，为避免管道顶部气泡对传感器信号的影响，可在管道水平轴线 $\pm 45^\circ$ 夹角范围内确定安装位置，并保证两个传感器在同一横截平面。在传感器工作面均匀涂抹耦合剂，根据介质流动方向和安装距离安装传感器，使其信号发射面和接收面与管壁紧密接触，接触面耦合剂中不应留有气泡和杂质。观察外夹装超声波流量计的声波信号质量和强度，微调两个超声波传感器位置直至声波信号质量和强度值大于外夹装超声波流量计规定值，并固定超声波传感器。外夹装超声波流量计安装俯视图（Z 法）见图 2，外夹装超声波流量计安装侧视图（Z 法）见图 3。

6.2.3.3 电磁流量计安装

打开被校流量计旁通管道的阀门，使液体流量可从旁通流过，待压力稳定后，关闭被校流量计前、后两端的阀门，通过排污阀或泄压阀排空被校流量计主管道液体。在电

磁流量计预装管段处拆卸预装管段或阀门，并按说明书要求安装电磁流量计。电磁流量计安装示意图如图4。其他类型的管段式或插入式标准流量计，按照上述方式参照其说明书要求进行安装。

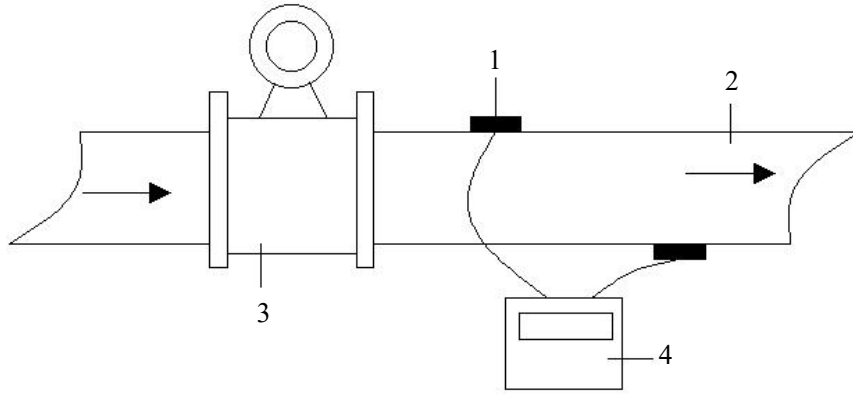


图2 外夹装超声波流量计安装俯视图（Z法）

1-超声波传感器；2-封闭管道；3-被校流量计；4-外夹装超声波流量计

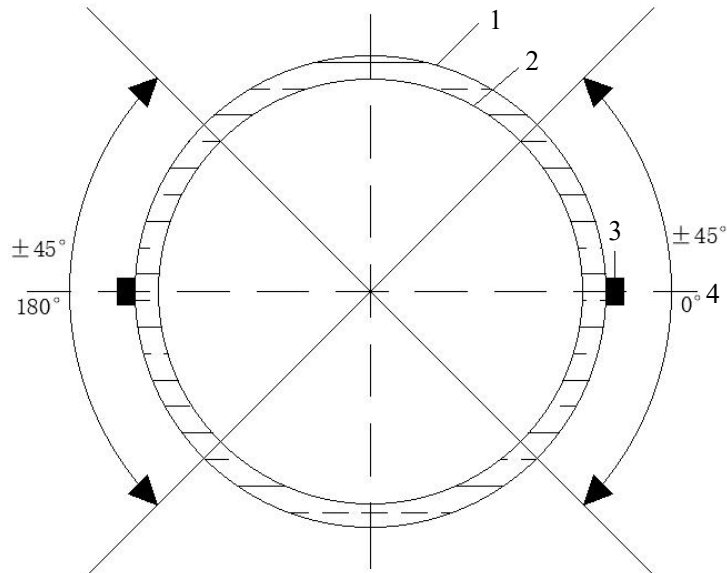


图3 外夹装超声波流量计安装侧视图（Z法）

1-管道外壁；2-管道内壁；3-超声波传感器；4-管道水平轴线

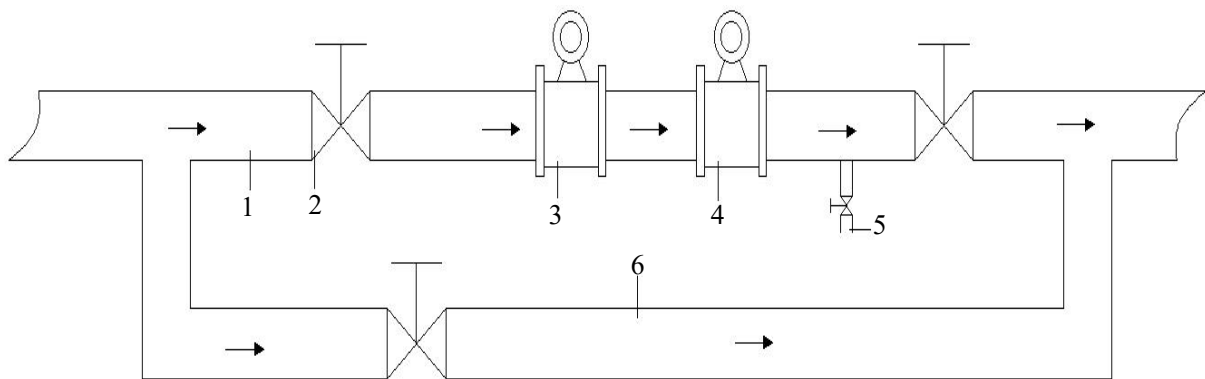


图4 电磁流量计安装示意图

1-流量计主管道；2-阀门；3-被校流量计；

4-电磁流量计（预装管段或阀门）；5-排污阀或泄压阀；6-流量计旁通管道

6.2.4 累积流量示值误差校准

被校流量计和标准流量计在 6.2.2 规定的流量校准点稳定状态下，同时读取被校流量计和标准流量计的起始累积流量示值，并启动秒表，经过至少 30min 后同时读取被校流量计和标准流量计的终止累积流量示值，并停止秒表，记录被校流量计和标准流量计累积流量示值。重复该步骤进行下一个流量校准点的校准。被校流量计累积流量示值误差计算见公式（1）、公式（2）和公式（3）。

$$V_{m(i)} = V_{mb(i)} - V_{ma(i)} \quad (1)$$

$$V_{s(i)} = V_{sb(i)} - V_{sa(i)} \quad (2)$$

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

式中：

$V_{m(i)}$ ——被校流量计第*i*流量校准点的累积流量示值， m^3 ；

$V_{mb(i)}$ ——被校流量计第*i*流量校准点的终止累积流量示值， m^3 ；

$V_{ma(i)}$ ——被校流量计第*i*流量校准点的起始累积流量示值， m^3 ；

$V_{s(i)}$ ——标准流量计第*i*流量校准点的标准累积流量示值， m^3 ；

$V_{sb(i)}$ ——标准流量计第*i*流量校准点的终止累积流量示值， m^3 ；

$V_{sa(i)}$ ——标准流量计第*i*流量校准点的起始累积流量示值， m^3 ；

$E_{V(i)}$ ——被校流量计第*i*流量校准点的累积流量示值误差；

i ——校准点，*i*=1、2、3。

6.2.5 瞬时流量示值误差校准

在某一流量校准点的累计流量示值误差校准时间段内，选择前、中、后10min的3个时间段内的任一时间点，同时读取并记录3次标准流量计和被校流量计的瞬时流量示值。被校流量计瞬时流量示值误差计算见公式（4）。

$$E_{q(ij)} = \frac{q_{m(ij)} - q_{s(ij)}}{q_{s(ij)}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$E_{q(ij)}$ ——被校流量计第*i*流量点第*j*次校准的瞬时流量示值误差;

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

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

i ——校准点, $i=1、2、3$;

j ——校准次数, $j=1、2、3$ 。

取绝对值最大的瞬时流量示值误差作为被校流量计该流量校准点的瞬时流量示值误差。

当累积或瞬时流量示值误差校准结果不满足表1要求时, 能够调整流量系数的被校流量计, 可根据调整前的校准结果进行流量系数调整, 调整后需再次进行校准, 并记录流量系数调整情况。在整个校准过程中, 被校流量计的流量系数一般只允许调整1-2次。

6.2.6 瞬时流量重复性校准

根据被校流量计瞬时流量示值误差校准过程中的数据, 被校流量计第*i*流量点的瞬时流量重复性计算见公式(5)。

$$E_{r(i)} = \frac{|q_{m(i)\max} - q_{m(i)\min}|}{C_n \times \bar{q}_{m(i)}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$E_{r(i)}$ ——被校流量计第*i*流量点的瞬时流量重复性;

$q_{m(i)\max}$ ——被校流量计第*i*流量点的瞬时流量示值最大值, m^3/h ;

$q_{m(i)\min}$ ——被校流量计第*i*流量点的瞬时流量示值最小值, m^3/h ;

$\bar{q}_{m(i)}$ ——被校流量计第*i*流量点的瞬时流量示值平均值, m^3/h ;

C_n ——极差系数, $C_3=1.69$;

i ——校准点数, $i=1、2、3$ 。

6.2.7 瞬时流量变送输出误差校准

按被校流量计说明书接线, 确认被校流量计变送输出流量范围、变送输出信号范围等参数。在某一流量校准点的累计流量示值误差校准时间段内, 选择前、中、后 10min 的 3 个时间段内的任一时间点, 同时读取并记录 3 次瞬时流量示值和数字多用表上被校

流量计变送输出的电流或电压值。被校流量计的瞬时流量变送输出误差计算见公式(6)和公式(7)。

$$A_{s(ij)} = \frac{A_R}{q_R} \cdot q_{(ij)} + a \quad (6)$$

$$A_{(ij)} = \frac{A_{m(ij)} - A_{s(ij)}}{q_R} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

$A_{s(ij)}$ ——被校流量计第*i*流量点第*j*次校准的变送输出理论值, mA或V;

A_R ——被校流量计变送输出信号的量程, mA或V;

q_R ——被校流量计变送输出瞬时流量的量程, m³/h;

$q_{(ij)}$ ——被校流量计第*i*流量点第*j*次校准的瞬时流量示值, m³/h;

a ——被校流量计变送输出信号范围的最小值, mA或V

$A_{(ij)}$ ——被校流量计第*i*流量点第*j*次校准的变送输出误差;

$A_{m(ij)}$ ——被校流量计第*i*流量点第*j*次校准的变送输出示值, mA或V;

i ——校准点数, $i=1、2、3$;

j ——校准次数, $j=1、2、3$ 。

取绝对值最大的变送输出理论值作为被校流量计该流量校准点的瞬时流量变送输出误差。

7 校准结果表达

经校准的流量计出具校准证书, 校准证书至少应包括以下信息:

a) 标题: “校准证书”;

b) 实验室的名称和地址;

c) 实施校准活动的地点, 包括客户设施、实验室固定设施以外的地点;

d) 证书的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;

e) 客户的名称和联络信息;

f) 被校对象的描述和明确标识;

g) 进行校准活动的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期和证书发布日期;

h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;

- i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明(给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值), 并包含被校流量计在线校准管道参数和流量系数调整的内容;
 - l) 对校准规范偏离的说明;
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识, 以及签发日期;
- n) 校准人和核验人签名;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经校准实验室书面批准, 不得部分复制校准证书的声明。

校准原始记录参考格式见附录B, 校准证书内页参考格式见附录C。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔参照各类流量计国家检定规程或校准规范的规定执行, 流量计安装使用现场条件恶劣的, 可缩短复校时间间隔。客户可根据使用情况和重要性自主决定复校时间间隔, 在使用过程中经过流量系数调整、修理、更换重要部件的流量计需要重新校准。

附录 A

外夹装超声波流量计的超声波传感器安装方式

A.1 超声波传感器安装方式选择

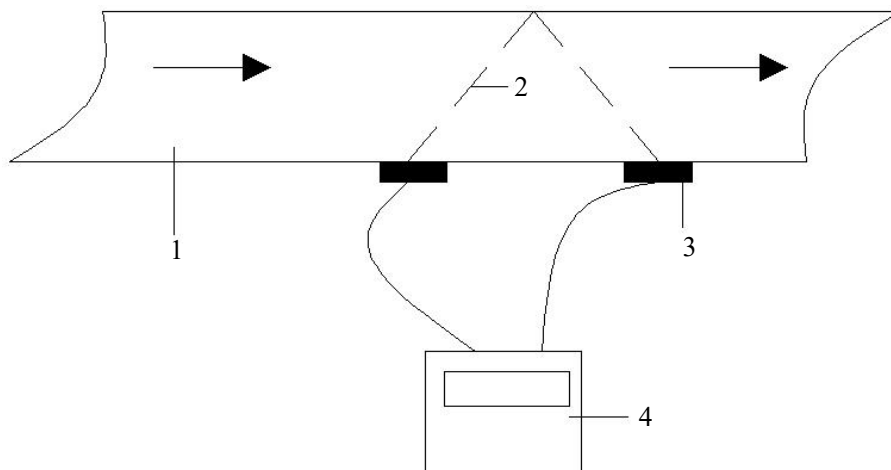
外夹装超声波流量计的超声波传感器（以下简称传感器）的安装方式按照超声波在管道内的传播路径，可分为V法、Z法、W法和N法。

外夹装超声波流量计校准管径在DN200以上或管道材质为铸铁时，应优先选用Z法。外夹装超声波流量计校准管径在DN100-DN200范围，传感器安装方式应优先选用V法，当传感器无信号或信号质量差时，改用Z法。外夹装超声波流量计校准管径在DN100以下，应优先选用W法和N法。当外夹装超声波流量计现场管道条件影响传感器安装时，在保证传感器信号质量的前提下，可根据情况在V法和Z法之间进行优先选择，当V法和Z法都不能正常使用时，再选择W法和N法。

A.2 V法

V法是将传感器反射式安装，使两个传感器的信号通道呈“V”字形。V法由于安装方便，测量准确，在实际校准中较为常用。

安装时，两个传感器水平对齐在管道同一侧，使传感器中心线与管道水平轴线水平，安装示意图见图A.1。



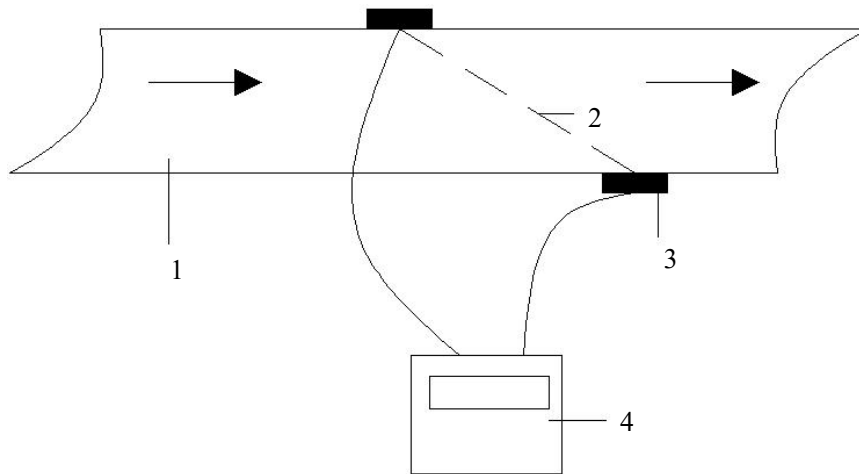
图A.1 传感器V法安装示意图

1-封闭管道；2-超声波传感器信号通道；3-超声波传感器；4-外夹装超声波流量计

A.3 Z法

Z 法是将传感器对射式安装，使两个传感器的信号通道呈“Z”字形。当管道内壁结垢太厚或衬里太厚等，导致 V 法安装得到的传感器信号弱，使外夹装超声波流量计无法正常工作时，可选用 Z 法安装。Z 法由于超声波在管道中进行单声程直接传输，信号衰减减小。

安装时，两个传感器水平对齐在管道两侧，使传感器中心线与管道水平轴线水平，安装示意图见图 A.2。



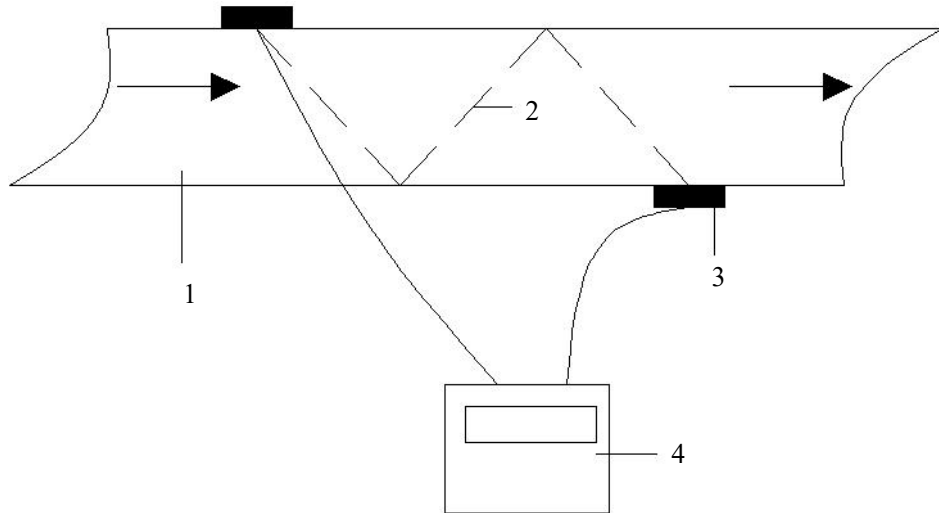
图A.2 传感器Z法安装示意图

1-封闭管道；2-超声波传感器信号通道；3-超声波传感器；4-外夹装超声波流量计

A.4 N法

N 法与 Z 类似，是将传感器对射式安装，使两个传感器的信号通道呈“N”字形。使用 N 法安装时，超声波束在管道中反射两次穿过流体三次（称为三声程），适用于测量小管径管道。当 V 法和 Z 法都无法正常使用时，可选择该方法。

安装时，两个传感器水平对齐在管道两侧，使传感器中心线与管道水平轴线水平。N 法的特点是在 Z 法的基础上，通过延长超声波传输距离来提高小管径测量精度。传感器 N 法安装示意图见图 A.3。



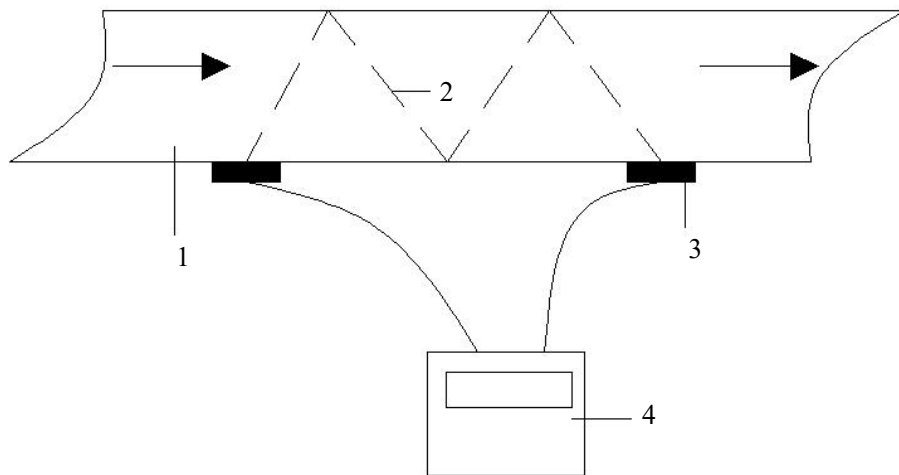
图A.3 传感器N法安装示意图

1-封闭管道；2-超声波传感器信号通道；3-超声波传感器；4-外夹装超声波流量计

A.5 W法

W法与V法类似，是将传感器反射式安装，使两个传感器的信号通道呈“W”字形。V法和Z法都不能正常使用时，才选择该方法。使用W法安装时，超声波束在管内反射三次，穿过流体四次（称为四声程）。

W法安装时，两个传感器水平对齐在管道同一侧，使传感器中心线与管道水平轴线水平。W法的特点是在V法的基础上，通过延长超声波传输距离来提高小管径测量精度。传感器W法安装示意图见图A.4。



图A.4 传感器W法安装示意图

1-封闭管道；2-超声波传感器信号通道；3-超声波传感器；4-外夹装超声波流量计

附录 B

液体流量计在线校准原始记录参考格式

记录编号				证书编号					
送校单位				制造厂					
仪器名称		规格型号		仪器编号					
校准地点		环境温度	℃	环境湿度	%RH				
校准依据									
校准用主要测量标准									
名称	型号规格	技术指标	仪器编号	证书编号	有效期				
被校流量计和标准流量计安装参数									
1 管道尺寸									
项目	测量示值				平均值				
管道外径									
管道壁厚									
2 功能参数									
项目	管道外径	管道壁厚	探头型号	安装距离	流量系数	其他			
标准流量计									
被校流量计									
校准条件									
外观与密封性：_____ 铭牌和标识：_____ 液体介质：_____ 现场安装情况：_____									
校准项目									
1 累积流量示值误差									
校准点	时间	标准流量计			被校流量计			示值误差	扩展不确定度
		初始值	累计值	示值	初始值	累计值	示值		

2 瞬时流量示值误差和瞬时流量重复性									
校准点	标准流量计示值		被校流量计示值	示值平均值	重复性	示值误差	扩展不确定度		

3 瞬时流量变送输出误差				
校准点	被校流量计示值	理论输出示值	变送输出示值	变送输出误差

附录 C

液体流量计在线校准证书内页参考格式

校准结果			
1 累积流量示值误差			
校准点	累积流量示值误差	扩展不确定度	
2 瞬时流量示值误差和瞬时流量重复性			
校准点	瞬时流量示值误差	瞬时流量示值误差的扩展不确定度	瞬时流量重复性
3 瞬时流量变送输出误差			
校准点	瞬时流量变送输出误差	扩展不确定度	

附录 D

液体流量计在线校准瞬时流量变送输出误差的测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 校准依据

本规范。

D.1.2 测量标准

测量标准的技术指标见表D.1。

表 D.1 测量标准技术指标

序号	测量标准或设备	主要技术指标
1	便携式超声波流量计	$U_{\text{rel}}=0.5\%$, $k=2$
2	数字多用表	直流电流测量范围: (4~20) mA, 分辨力: 0.001mA, 最大允许误差: $\pm 0.05\%$

D.1.3 被校对象

被校准流量计为测量范围 (0~1000) m³/h, 准确度等级1.5级的电磁流量计, 对应变送输出信号为 (4~20) mA。

D.1.4 校准方法

按照本规范6.2.7的规定进行校准, 本示例仅以500m³/h流量校准点对应理论电流输出值12mA进行说明, 其他校准点可参照本示例。

D.2 测量模型

流量计变送输出示值误差校准采用直接测量方法, 其相对误差测量模型见公式 (D.1), 流量计变送输出理论示值按公式 (D.2) 计算。

$$A = \frac{A_m - A_s}{A_R} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

$$A_s = \frac{A_R}{q_R} \cdot q + a \quad (\text{D.2})$$

把公式 (D.1) 和 (D.2) 合并为最终的测量模型, 见公式 (D.3)。

$$A = \frac{A_m}{A_R} - \frac{q}{q_R} - \frac{a}{A_R} \quad (\text{D.3})$$

式中:

A ——被校流量计的变送输出误差;

A_m ——被校流量计的变送输出示值, mA;

A_s ——被校流量计变送输出理论值, mA;

A_R ——被校流量计变送输出信号的量程, mA;

q_R ——被校流量计变送输出瞬时流量的量程, m^3/h ;

q ——被校流量计的瞬时流量示值, m^3/h ;

a ——被校流量计变送输出信号范围的最小值, mA。

本次不确定度评定过程中, $A_R=16\text{mA}$, $q_R=1000\text{m}^3/\text{h}$, $a=4\text{mA}$ 。

由测量模型可知, 灵敏系数 c_1 按公式(D.4)计算, 灵敏系数 c_2 按公式(D.5)计算。

$$c_1 = \frac{\partial A}{\partial A_m} = \frac{1}{A_R} \quad (\text{D.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial A}{\partial q} = -\frac{1}{q_R} \quad (\text{D.5})$$

D.3 测量不确定度来源分析

测量不确定度来源主要有:

(1)被校流量计变送输出示值引入的不确定度 u_1 : 测量重复性引入的不确定度 u_{11} , 数字多用表分辨力引入的不确定度 u_{12} 和数字多用表准确度引入的不确定度 u_{13} 。

(2)被校流量计瞬时流量示值引入的不确定度 u_2 : 测量重复性引入的不确定度 u_{21} , 被校流量计分辨力引入的不确定度 u_{22} 。

D.4 测量不确定度评定

D.4.1 被校流量计变送输出示值引入的不确定度 u_1

D.4.1.1 测量重复性引入的不确定度 u_{11}

对一台测量范围（0~1000）m³/h 的流量计，在 500m³/h 流量点重复测量 10 次，并记录被校流量计变送输出示值，结果见表 D.2。

表 D.2 测量重复性结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$q/(\text{m}^3/\text{h})$	500.7	501.3	500.2	500.9	500.5	501.5	501.0	499.2	499.7	499.5
$A_m/(\text{mA})$	12.016	12.031	12.027	12.024	12.005	12.028	12.038	12.018	11.998	11.985

示值误差的算术平均值为：

$$\overline{A_m} = 12.017\text{mA}$$

单次实验标准差为：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_{mi} - \overline{A_m})^2} = 0.017\text{mA}$$

由于实际校准过程中取 3 次测量结果的最大值作为校准结果，取 $n=1$ ，则测量重复性引入的不确定度 u_{11} 为：

$$u_{11} = s = 0.017\text{mA}$$

D.4.1.2 数字多用表分辨力引入的不确定度 u_{12}

数字多用表的分辨力为 0.001mA，区间半宽 $a=r/2=0.0005\text{mA}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则数字多用表分辨力引入的不确定度 u_{12} 为：

$$u_{12} = \frac{a}{k} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.00029\text{mA}$$

重复性引入的不确定度分量与数字多用表分辨力引入的不确定度分量，两者取大值。

D.4.1.3 数字多用表准确度引入的不确定度 u_{13}

数字多用表的最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，则其区间半宽为 $a=12.017 \times 0.05\% = 0.006\text{mA}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则数字多用表准确度引入的不确定度 u_{13} 为：

$$u_{21} = \frac{a}{k} = \frac{12.017 \times 0.05\%}{\sqrt{3}} = 0.0035 \text{ mA}$$

则被校流量计变送输出示值引入的不确定度为：

$$u_1 = \sqrt{u_{11}^2 + u_{13}^2} = \sqrt{0.017^2 + 0.0035^2} = 0.018 \text{ mA}$$

D.4.2 被校流量计瞬时流量示值引入的不确定度 u_2

D.4.2.1 测量重复性引入的不确定度 u_{21}

根据表 D.2 的数据，瞬时流量的算术平均值为：

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i = 500.45 \text{ m}^3/\text{h}$$

单次实验标准差为：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} = 0.78 \text{ m}^3/\text{h}$$

由于实际校准过程中取 3 次测量结果的最大值作为校准结果，即 $n=1$ ，则测量重复性引入的不确定度为：

$$u_{21} = s = 0.78 \text{ m}^3/\text{h}$$

D.4.2.2 被校流量计分辨力引入的不确定度 u_{22}

被校流量计瞬时流量的分辨力为 $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，区间半宽 $a=r/2=0.05 \text{ m}^3/\text{h}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则由被校流量计分辨力引入的不确定度 u_{22} 为：

$$u_{22} = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ m}^3/\text{h}$$

重复性引入的不确定度分量与被校流量计分辨力引入的不确定度分量，两者取大值。

$$u_2 = u_{21} = 0.78 \text{ m}^3/\text{h}$$

D.5 合成标准不确定度 u_c 的计算

合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2} = 0.14\%$$

D.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，示值误差测量结果扩展不确定度为：

$$U_{rel} = k \cdot u_c = 2 \times 0.14\% = 0.28\%$$