

天津市地方计量技术规范

JJF(津)54—2021

液体流量计在线校准规范

Online Calibration Specification for Liquid Flow Meters

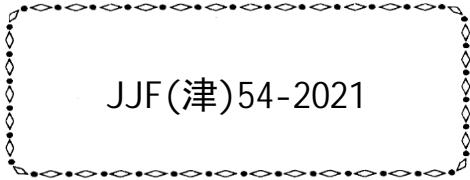
2021—05—19 发布

2021—06—20 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

液体流量计在线校准规范

Online Calibration Specification
for Liquid Flow Meters



JJF(津)54-2021

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

马云峰 (天津市计量监督检测科学研究院)

王锡钢 (天津市计量监督检测科学研究院)

于劲竹 (天津市计量监督检测科学研究院)

安海骄 (天津市计量监督检测科学研究院)

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
3.1 术语.....	(1)
3.2 计量单位.....	(1)
4 概述.....	(1)
4.1 分类.....	(2)
4.2 用途.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 标准器和配套设备.....	(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.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 校准记录参考格式.....	(6)
附录 B 校准证书(内页)参考格式.....	(8)
附录 C 不确定度评定示例.....	(9)

引 言

本规范根据液体流量计的使用和溯源现状，参考CJ/T 364-2011《管道式电磁流量计在线校准要求》和JJF（津）07-2018《外夹式超声波流量计校准规范》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

本校准规范仅适用于使用外夹式超声流量计在线校准封闭管道中满管流的且公称通径大于等于DN50液体流量计。口径DN (50~100) 的液体流量计, 校准时的实际流速应大于1m/s。口径大于DN100的液体流量计, 校准时的实际流速应大于0.5m/s。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJG 1030-2007 超声流量计

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

CJT 364 《管道式电磁流量计在线校准要求》

JJF (津) 07 《外夹式超声波流量计校准规范》

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)

校准人员携带实验室的测量设备到客户现场, 为确定测量仪器在线使用时所指示的量值与对应的由测量标准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, 并可将其转换为电信号的器件。[JJG1030-2007, 术语和定义 3.2]

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

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。[JJG1030-2007, 术语和定义 3.4]

3.1.4 标准管段 (standard pipeline)

与液体流量计相连接的、适合标准器安装的、尺寸已知且稳定的一段管道。

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

液体流量计按工作原理的不同可分为速度式流量计（电磁流量计、超声波流量计、涡轮流量计）、差压式流量计、容积式流量计、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	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
最大允许误差/%	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0	±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。

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)℃；

相对湿度：(15%~85%)RH；

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 标准器及配套设备

测量标准器及配套设备均应有有效的检定/校准证书。

6.2.1 标准器

标准器选用外夹式超声流量计。标准器测量范围应能覆盖被校流量计的流量范围。标准器的准确度等级应不低于0.5级。

6.2.2 配套设备

配套设备见表2。

表 2 配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	钢卷尺	II级或优于II级	测量试验管道外直径 (DN200 及以上) 以及换能器安装距离
2	游标卡尺	最大允许误差: $\pm 0.03\text{mm}$	测量试验管道外直径 (DN200 以下)
3	测厚仪	最大允许误差: $\pm 0.01\text{mm}$	测量试验管道壁厚

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

示值误差的校准。

7.2 校准方法

7.2.1 一般检查

7.2.1.1 被校流量计传感器与转换器外观应完好, 仪表工作正常。

7.2.1.2 机械振动和噪声应小到对流量计的影响可忽略不计, 测量位置的选取参考标准器说明书中相关要求。

7.2.1.3 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。

7.2.1.4 被校流量计与标准管段的测量区域应没有泄露且无旁通分支, 或存在旁通分支但阀门处于关闭状态。

7.2.1.5 标准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。

7.2.1.6 对于有衬里的标准管段, 应准确了解衬层厚度和材料类型。

7.2.2 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。

7.2.2.1 试验管路外径直接测量

用游标卡尺或钢卷尺在换能器拟安装位置附近测量 n 次 ($n \geq 3$) 外直径 D , 其平均值按式 (1) 计算。

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

7.2.2.2 试验管路壁厚测量

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 δ , 并按式 (2) 计算其平均值。

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

7.2.3 换能器的安装

7.2.3.1 根据被校流量计的口径选择适合的换能器和安装方法。

7.2.3.2 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。

7.2.3.3 清理拟安装换能器位置附近的管壁，将管壁上的油漆、铁锈、污垢等清理干净，露出管道材质。

7.2.3.4 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。

7.2.3.5 查看标准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。

7.2.4 校准点的选择及要求

测量前与客户协商校准点的选取，在条件允许的情况下，可选取0.5m/s、1m/s、2m/s和5m/s对应的流量点作为校准点。在条件不允许的情况下，将当前流量点作为校准点。

7.2.5 校准次数

被校流量计每个校准点至少校准6次。

7.2.6 校准操作

7.2.6.1 现场校准前应使用液体流量标准装置在相同的测量管径和近似瞬时流量（与现场校准时的被测流量不超过5%）下测量标准器的示值误差，通过修改仪表内的修正系数使标准器能满足测量要求。

7.2.6.2 瞬时流量测量

每次校准时，由两名校准人员同时读取并记录流量计和标准表的流量瞬时值。将标准器与被校流量计的阻尼系数调成一致，至少读取30组瞬时流量值，将5组瞬时流量的平均值记为1次瞬时流量值，读数间隔为10秒。

7.2.6.3 累积流量测量

每次校准时，由两名校准人员同时读取并记录流量计和标准表的流量累积值。校准时间应大于5min且累积流量值应大于被校准流量计流量显示示值分辨率的1000倍。

7.2.7 数据处理

流过流量计的实际体积流量按式（3）计算：

$$(Q_{\text{ref}})_{ij} = (Q_s)_{ij} [1 - \beta(\theta_s - \theta_m)] \cdot [1 + \kappa(p_s - p_m)]$$

$$\text{或} \quad (q_{\text{ref}})_{ij} = (q_s)_{ij} [1 - \beta(\theta_s - \theta_m)] \cdot [1 + \kappa(p_s - p_m)] \quad (3)$$

式中： $(Q_s)_{ij}$ ($(q_s)_{ij}$)—第 i 个校准点第 j 次试验时标准器测得的液体实际累计流量(瞬时流量)， m^3 (m^3/h)；

β —校准用液体在校准状态下的体膨胀系数， $(^\circ\text{C})^{-1}$ ；

θ_s , θ_m —分别为第*i*个校准点第*j*次试验时标准器和流量计处的液体温度, °C;

κ —校准用液体在校准状态下的压缩系数, Pa⁻¹;

p_s , p_m —分别为第*i*个校准点第*j*次试验时标准器和流量计处的液体压力, Pa。

当 θ_s 与 θ_m 之差小于5°C, 且 p_s 与 p_m 之差小于0.1MPa时, 式(3)可简化为式(4)的形式。

$$(Q_{\text{ref}})_{ij} = (Q_s)_{ij} \quad \text{或} \quad (q_{\text{ref}})_{ij} = (q_s)_{ij} \quad (4)$$

7.2.8 示值误差及重复性的计算

7.2.8.1 示值误差的计算

在第*i*个流量点, 第*j*次校准中, 流量计的相对示值误差按式(5)计算。

$$E_{ij} = \frac{Q_{ij} - (Q_{\text{ref}})_{ij}}{(Q_{\text{ref}})_{ij}} \times 100\% \quad \text{或} \quad E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_{\text{ref}})_{ij}}{(q_{\text{ref}})_{ij}} \times 100\% \quad (5)$$

在第*i*个流量点, 多次校准所测得的该点示值误差的平均值按式(6)计算:

$$E_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k E_{ij} \quad (6)$$

式中: E_i —第*i*个流量点示值误差的平均值;

k —重复测量次数。

7.2.8.2 重复性的计算

在第*i*个流量点, 示值误差 E_i 的重复性按式(7)计算:

$$(E_r)_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (E_{ij} - E_i)^2} \quad (7)$$

式中: $(E_r)_i$ —第*i*个流量点的重复性, %;

8 校准结果的表达

校准记录和校准证书格式见附录A和B。

不确定度评定实例见附录C。

9 复校时间间隔

被校流量计复校周期建议不超过1年。由于复校时间间隔的长短是由流量计的使用状况及其性能等诸多因素决定, 使用单位可根据流量计实际工况合理决定复校时间间隔。

附录 A

校准记录参考格式

送校单位_____ 器具名称_____

制造单位_____ 型号规格_____ 器具编号_____

环境温度_____℃ 相对湿度_____ %RH 校准地点_____

校准日期_____ 证书编号_____

校准员_____ 核验员_____

校准依据_____

校准所用的主要标准器:

名称_____ 型号_____

编号_____ 测量范围_____

准确度等级□/最大允许误差□/扩展不确定度□: _____

证书编号_____ 有效期限_____

测量管段与换能器信息:

管道材质_____ 管道内衬(厚度)_____

换能器安装方式_____

校准记录格式见表 A.1 和表 A.2

表 A.1 试验管道几何尺寸测量记录

测量次数 测量值 (mm)	1	2	3	平均值
外径 D				
壁厚 δ				

表 A.2 流量校准记录

校准点 m ³ /h	标准器 流量 (m ³ /h 或 m ³)	被校表 流量 (m ³ /h 或 m ³)	示值误差/%	平均误差/%	重复性 %	扩展不 确定度 %(k=2)

附录 B

校准证书（内页）参考格式

B.1 校准依据：

B.2 校准所用主要标准器

名称：

不确定度或准确度

有效期至：

B.3 环境和介质条件

环境温度：

大气压力：

相对湿度：

校准用介质：

介质温度：

介质压力：

B.4 校准用管道参数：

管道标称内径：

管道外径：

管道壁厚：

B.5 校准结果

校准结果格式见表 B.1.

表 B.1 示值误差校准结果

序号	校准流量点 (m ³ /h)	示值误差(%)	标准不确定度 (%)	相对扩展不确定度 U_r
1				
2				
3				

B.6 复校时间间隔建议： 年

附录 C

不确定度评定实例

C.1 概述

C.1.1 测量条件：测量介质为纯净水，环境温度 18.6℃，环境湿度 52%RH。

C.1.2 测量标准器：外夹式超声波流量计，准确度等级为 0.5 级。

C.1.3 测量辅助设备：5 米钢卷尺，准确度等级为 II 级；超声波测厚仪，最大允许误差 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

C.1.4 被校流量计：电磁流量计，口径 DN500。

C.1.5 测量记录

试验管道几何尺寸测量记录见表 C.1，流量计校准记录见表 C.2。

表 C.1 试验管道几何尺寸测量记录

测量次数 测量值 (mm)	1	2	3	平均值
外径 D	1602.1	1601.8	1601.2	1601.7
壁厚 δ	6.5	6.7	6.6	6.6

表 C.2 流量计校准记录

校准点 (m^3/h)	被测值 (m^3/h)	标准值 (m^3/h)	误差 (%)	重复性 (%)
2350	2358.46	2349.57	+0.38	0.08
	2362.49	2351.68	+0.46	
	2359.78	2350.14	+0.41	
	2364.78	2358.74	+0.23	
	2363.96	2356.58	+0.31	
	2361.79	2354.18	+0.32	

C.2 数学模型

对于单次测量，被校电磁流量计示值误差的计算公式为

$$E = \frac{q - q_s}{q_s} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中： E - 被校流量计相对示值误差

q - 被校流量计瞬时流量

q_s - 标准器瞬时流量

被校电磁流量计相对示值误差标准不确定度为:

$$u_r(E) = \sqrt{c_r^2(q)u_r^2(q) + c_r^2(q_s)u_r^2(q_s)} \quad (\text{C.2})$$

式中 $c_r(q)=1$, $c_r(q_s)=-1$ 。

C.3 不确定度来源

因现场无法测量标准器和被校流量计处的液体温度、压力值以及介质体积膨胀系数,且这些结果对测量结果的不确定度影响很小,本规范不考虑这些因素引入的不确定度。

C.3.1 被校电磁流量计测量重复性引入的相对标准不确定度

在校准时间内,连续测量6次,校准结果为见表C.2。被校电磁流量计测量重复性引入的相对标准不确定度如下所示。

$$u_r(q) = \frac{0.08}{\sqrt{6}} = 0.03\% \quad (\text{C.3})$$

C.3.2 标准器引入的相对标准不确定度

已知

$$q_s = \frac{\pi}{4} d^2 v \quad (\text{C.4})$$

式中: d - 被校流量计附近测量管道的内径

v - 标准器测得的管道内流体的流速

由公式C.5可得出,标准器瞬时流量的相对标准不确定度为

$$u_r(q_s) = \sqrt{u_r^2(v) + 4u_r^2(d)} \quad (\text{C.5})$$

C.3.2.1 标准器流量测量引入的相对标准不确定度

超声波流量计准确度等级为0.5级,均匀分布,引入的相对标准不确定度为:

$$u_r(v) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\% \quad (\text{C.6})$$

C.3.2.2 管道内径 d 测量引入的标准不确定度

C.3.2.2.1 管道外周长 C 引入的标准不确定度

管道外周长测量使用5米钢卷尺测量3次,测量结果见表C.1。采用极差法测量平均值的标准不确定度为:

$$u_A(C) = \frac{0.9}{1.69\sqrt{3}} = 0.31\text{mm} \quad (\text{C.7})$$

准确度等级为 II 级的 5 米钢卷尺最大允许示值误差为 $\pm 1.3\text{mm}$ ，均匀分布

$$u_B(C) = \frac{1.3}{\sqrt{3}} = 0.75\text{mm} \quad (\text{C.8})$$

则管道外周长的标准不确定度为

$$u(C) = 0.81\text{mm} \quad (\text{C.9})$$

C.3.2.2.2 管道壁厚 δ 引入的标准不确定度

管道壁厚采用分辨率为 0.1mm 的超声波测厚仪测量 3 次，测量结果见表 C.1。采用极差法，测量平均值的标准不确定度为

$$u_A(\delta) = \frac{0.2}{1.69\sqrt{3}} = 0.07\text{mm} \quad (\text{C.10})$$

分辨率为 0.1mm 的超声波测厚仪最大允许误差为 $\pm 0.1\text{mm}$

$$u_B(\delta) = \frac{1.0}{\sqrt{3}} = 0.06\text{mm} \quad (\text{C.11})$$

则管道壁厚的标准不确定度为

$$u(\delta) = 0.092\text{mm} \quad (\text{C.12})$$

已知

$$d = \frac{C}{\pi} - 2\delta \quad (\text{C.13})$$

则

$$u(d) = \sqrt{\frac{u^2(C)}{\pi^2} + 4u^2(\delta)} \quad (\text{C.14})$$

$$u_r(d) = \frac{u(d)}{d} = 0.064\% \quad (\text{C.15})$$

$$u_r(q_s) = \sqrt{(0.289\%)^2 + 4 \times (0.064\%)^2} = 0.32\%$$

C.3.3 合成标准不确定度

标准不确定度一览表见表 C.3。

表 C.3 标准不确定度一览表

标准不确定度来源	符号	相对标准不确定度
1 被校流量计测量重复性	$u_r(q)$	0.03%
2 标准器引入	$u_r(q_s)$	0.32%
2.1 管道内径	$u_r(\bar{d})$	0.06%
2.1.1 管道周长	$u(C)$	0.81mm
2.1.2 管道壁厚	$u(\delta)$	0.09mm
2.2 标准器流速	$u_r(v)$	0.29%

合成相对示值误差的标准不确定度 $u_c(E)$

$$u_c(E) = \sqrt{u_r^2(\bar{q}) + u_r^2(q_s)} = 0.32\% \quad (\text{C.17})$$

C.3.4 校准结果的扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则电磁流量计在线校准结果的相对扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_c(E) = 2 \times 0.32\% \approx 0.64\% \quad (\text{C.18})$$

C.3.5 校准结果

$$E = +0.35\% \quad U_r = 0.64\% \quad (k=2)$$

