

JJF (皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 144—2023

DN50 以上口径水表在线校准规范

Online Calibration Specification of
Water meter with diameter above DN50

2023-01-09 发布

2023-03-01 实施

安徽省市场监督管理局 发布

DN50以上口径水表 在线校准规范

Online Calibration Specification of
Water meter with diameter above DN50



归口单位：安徽省流量计量技术委员会

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

参加起草单位：庐江县市场监督检验所

合肥供水集团有限公司

安徽翼迈科技股份有限公司

本规范委托安徽省流量计量技术委员会解释

本规范主要起草人:

袁利根 (安徽省计量科学研究院)

张向洲 (安徽省计量科学研究院)

段云成 (庐江县市场监督检验所)

参加起草人:

胡志鹏 (安徽省计量科学研究院)

胡 昕 (安徽省计量科学研究院)

夏 阳 (合肥供水集团有限公司)

郭春松 (安徽翼迈科技股份有限公司)

目 录

引言.....	III
1 适用范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 标准表.....	1
3.2 标准表法.....	1
3.3 标准管段.....	1
3.4 在线校准.....	2
4 概述.....	2
4.1 结构.....	2
4.2 工作原理.....	2
4.3 用途.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 示值误差.....	2
5.2 重复性.....	3
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 现场操作要求.....	3
6.3 标准器及配套设备.....	3
7 校准项目及方法.....	4
7.1 校准项目.....	4
7.2 校准方法.....	4
7.3 示值误差的计算.....	6
7.4 重复性的计算.....	7
7.5 校准结果的表达.....	7
7.6 复校时间间隔.....	8

附录 A 校准记录参考格式	8
附录 B 校准证书内页参考格式	10
附录 C DN50 以上口径水表示值误差 不确定度评定示例	11

引 言

大口径水表由于拆装成本高、难以停水施工等原因，传统的计量溯源方式在实际中存在诸多困难。现场校准是解决该类水表的量值溯源较为合适的方法。有必要针对此类水表及其应用场景制定专门的计量技术规范。

本校准规范的编制基于大口径水表使用及现场校准的主要技术条件，参考了 JJG 162-2019 《饮用冷水水表》、JJG 686-2015 《热水水表》、JJG 643-2003 《标准表法流量标准装置》、JJG 1030-2007 《超声流量计》、JJG 1033-2007 《电磁流量计》、JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、GB/T 28714-2012 《取水计量技术导则》、CJ/T 364-2011 《管道式电磁流量计在线校准要求》等文件。

本规范为首次发布。

DN50 以上口径水表在线校准规范

1 适用范围

本规范适用于口径大于 DN50、流速范围为 (0.1~10) m/s、满管介质的水表在线校准。其它测量水介质的流量计,也可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJG 162-2019 饮用冷水水表

JJG 643-2003 标准表法水流量标准装置

JJG 686-2015 热水水表

JJG 1030-2007 超声流量计

JJG 1033-2007 电磁流量计

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

JJF 1777-2019 饮用冷水水表型式评价大纲

GB/T 28714-2012 取水计量技术导则

CJ/T 364-2011 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(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语

JJF 1001、JJF 1004、JJF 1777 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 标准表 standard meter

本规范的标准表专指基于时差法原理,用于校准在线使用水表的外夹便携式超声波流量计。

3.2 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被校水表,比较两者的输出流量值,从而确定被校水表计量性能的校准方法。

3.3 标准管段 standard pipeline

是一段专门定制的串联在水表管道上的管段,其长度不小于被校水表公称通径的

1.5 倍。也可以是在水表管道上选定的流场条件和管道外形尺寸都能满足标准表要求的一段直管。

3.4 在线校准 online calibration

确定在线使用中的水表所指示的量值与对应的由标准表所复现的量值之间关系的一组操作。

4 概述

4.1 结构

水表一般是由测量传感器、计算器（含调整和修正装置）、指示装置、可选的辅助装置等主要部件组成的水体积测量仪表。水表的结构组成见图 1。

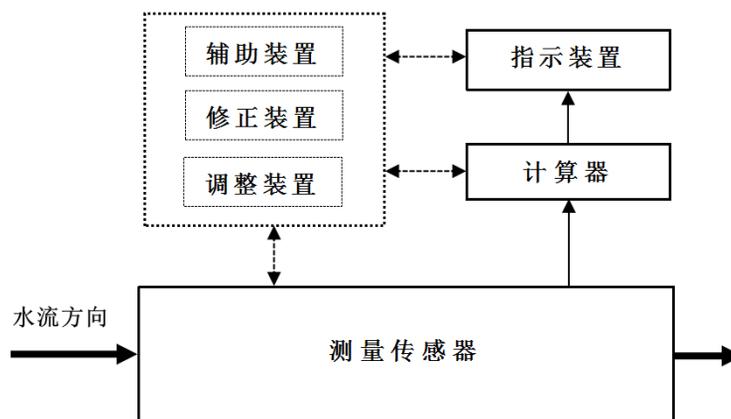


图 1 水表的结构组成

说明：实线部分表示基本结构组成，虚线部分表示可选结构组成。

4.2 工作原理

当水流经水表的测量传感器时，测量传感器通过物理效应感测水的流速或体积，并转换成机械传动或电子信号传送给计算器，计算器将接收到的信号进行转换和运算，得到水量测量结果并传送给指示装置显示。水表可以根据功能和性能需要加装辅助装置、修正装置和调整装置。

4.3 用途

水表在测量条件下，用于连续测量、记录和显示流经测量传感器的水体积。大口径水表大量应用于水利、水务、城镇供水等水资源输送领域。

5 计量特性

5.1 示值误差

水表在线的流量范围内，其最大允许误差见表 1。

表 1 水表的允许误差

流量	低区	高区
	$Q_1 \leq Q < Q_2$	$Q_2 \leq Q \leq Q_4$
最大允许误差	$\pm 5\%$	$\pm 3\%$

5.2 重复性:

水表的重复性应不超过最大允许误差绝对值的 1/2。

注: 5.1 和 5.2 项指标不用于合格判定依据, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $-10^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$;

相对湿度: 35%~95%, 带有电子装置水表应不超过93%;

大气压力: 86kPa~106kPa。

供电电源: $(220 \pm 22)\text{V}$ 。

6.1.2 校准场所应无明显的振动、噪声和外磁场干扰。

6.2 现场操作要求

6.2.1 场地满足安全操作要求。

6.2.2 液体应充满管道。

6.2.3 安装标准表的标准管段的要求

标准管段的位置应以上下游直管段长度尽量长的原则选定、应选择水平管道或上升满管管道作为标准管段的安装位置、标准管段位置应没有气泡集聚、最好是没有衬里的管段、标准管段的焊缝应避开标准表传感器的安装位置及声束反射位置、标准管段位置选择应尽量远离水泵、阀门、变径管、弯头、三通等常见阻力件。

6.3 标准器及配套设备

校准所使用的标准器及配套设备见表 2, 且应具有有效的检定/校准证书。

表 2 标准器及配套设备

序号	设备名称	测量范围	技术指标	用途
1	超声波流量计	$(0.1 \sim 10.0) \text{ m/s}$	最大允许误差不超过 $\pm 0.5\%$, 重复性优于 0.1%	流量校准
2	超声波测厚仪	$(0 \sim 50.0) \text{ mm}$	最大允许误差不超过 $\pm 0.1\text{mm}$	测管道壁厚

3	π 尺(或) 钢卷尺	DN (50~3000) mm 2m、5m、10m	最大允许误差不超过 $\pm 0.02\text{mm}$ I级	测管道外径
4	水平仪	0.5m、1m、2m、 5m	0.05mm/m	测量换能器水平
5	秒表	0~59min59s	最大允许误差不超过 $\pm 0.1\text{s}$	测时间

7 校准项目及方法

7.1 校准项目

示值误差和重复性。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备工作

7.2.1.1 现场检查水表应有铭牌，若带电子装置的水表还需检查参数设置是否正确。

7.2.1.2 观察并记录水表当前的工作流量（流速）。

7.2.1.3 将与水表口径、流量（流速）相近的标准表仪表系数置于标准表。

7.2.1.4 将标准表安装在被检水表的上游侧或下游侧，标准表安装应满足 JJG 1030 的安装要求。标准表法安装示意图见图 2：

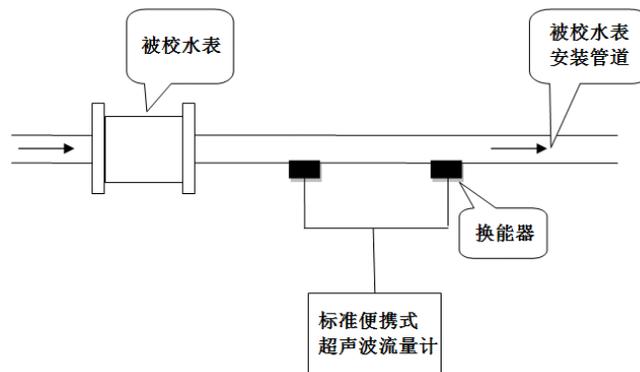


图 2 安装示意图

7.2.1.5 管径测量：使用 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 ($n \geq 4$) 外周长计算出外直径，取其平均值作为管道外直径 D 。

7.2.1.6 壁厚测量：确认被检水表安装管道使用材质后，调整好超声波测厚仪对应的声速，使用超声波测厚仪在换能器安装位置上的四个角和中间均匀布 5 个点，测量出 5 组壁厚，取其平均值作为管道壁厚 δ 。

7.2.1.7 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 。当管道外径 $D < 600\text{mm}$ 时，换能器的安装方法优先选择“V”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“Z”型(“对角”型)安装, 即两个换能器安装在管道两侧。

换能器“V”型、“Z”型安装示意图见图 3:

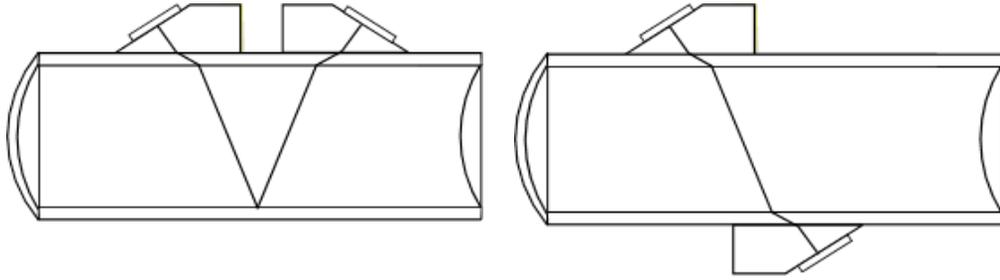


图 3 标准表换能器“V”型、“Z”型安装示意图

7.2.1.8 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。

7.2.1.9 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。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。

7.2.2 校准流量点

根据水表实际使用情况或用户的要求协商确定校准流量点, 流量点一般选择 1~3 个, 每个流量点一般至少校准三次, 现场无法调节流量时, 可采用在不同时间段校准的方法进行不同流量点的校准, 如水表现场流量值介于 $Q_2 \sim Q_3$ 之间且同实际工作的流量点相同或相近时, 可只校准此一个流量点。

7.2.3 示值误差的校准

7.2.3.1 瞬时流量法

水表具有瞬时量显示且瞬时量显示分辨率大于千分之一、现场流量波动小于 3% 时, 可采用瞬时流量法进行示值误差的校准。在标准表稳定 10min 后, 同时记录标准表与水表的瞬时流量值, 记录次数应满足 $n \geq 10$, 时间间隔应相对均匀。分别对标准表和水表的瞬时流量值取平均, 作为该点该次的瞬时流量示值。按式 (1) 进行计算瞬时流量的示值误差:

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

式中:

E_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校水表的相对示值误差, %;

q_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校水表显示的瞬时流量值, 可为一次校准过程中多次读取的瞬时流量值的平均, m^3/h ;

$(q_s)_{ij}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准器换算到水表处状态的瞬时流量示值, m^3/h 。

7.2.3.2 累积流量法

不满足瞬时流量法校准条件的, 均采用累积流量法进行示值误差的校准。在标准表稳定 10min 后, 同时读取标准表与被检水表的初始累积流量值, 经过一段时间的流量累积后再同时读取标准表与被校水表的终止累积流量值, 在一次校准中, 应保证由水表计数引入的不确定度对校准结果影响不超过最大允许误差的 1/10, 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 (2) 进行计算累积流量的示值误差:

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

式中:

E_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校水表的相对示值误差, %;

Q_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校水表显示的累积流量值, m^3 或 L;

$Q_{s(ij)}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准器换算到水表处状态的累积流量示值, m^3 或 L。

7.3 示值误差的计算

水表第 i 校准点的相对示值误差按照式 (3) 进行计算:

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

式中:

E_i ——水表第 i 校准点的相对示值误差, %;

E_{ij} ——水表第 i 点第 j 次校准时的相对示值误差, %。

7.4 重复性的计算

根据示值误差的校准结果，水表各校准点的重复性误差按照式（4）计算：

$$E_{r(i)} = \frac{E_{i\max} - E_{i\min}}{d_n} \quad (4)$$

式中：

$E_{r(i)}$ ——水表第 i 点校准点的重复性，%；

$E_{i\max}$ ——水表第 i 点校准点的最大示值误差，%；

$E_{i\min}$ ——水表第 i 点校准点的最小示值误差，%；

d_n ——极差系数，其值见表 3。

表 3 极差系数

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

7.5 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并至少包括以下信息：

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。

7.6 复校时间间隔

水表复校时间间隔建议不超过 2 年。

复校时间间隔的长短由水表的使用状况及其测量介质性能等因素决定，使用单位可根据水表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

累积流量法水表校准记录参考格式

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 _____ ℃ 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 m ³ /h	流量计示值			标准器示值 (□m ³ □L)	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 (%)	相对扩展 不确定度 (%) ($k=2$)
		初读数 (□m ³ □L)	终读数 (□m ³ □L)	差值 (□m ³ □L)							
1											
2											
3											
仪表系数	校准管道外径: $D_{外} =$ _____ mm、_____ mm、_____ mm、_____ mm、平均值: _____ mm。										
	管道壁厚: _____ mm、_____ mm、_____ mm、_____ mm、_____ mm、平均值: _____ mm。										
	安装方法: _____, 委托方地址: _____										

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

瞬时流量法水表校准记录参考格式

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 m ³ /h	水表示值 m ³ /h	标准表 示值 m ³ /h	示值 误差 E_{mi} (%)	示值误差 平均值 E_m (%)	重复性 E_{ri} (%)	A类 不确定 度 (%)	B类 不确定 度 (%)	相对扩展 不确定度 (%) ($k=2$)
1									
仪表系数 _____	校准管道外径: $D_{外} =$ _____ mm、_____ mm、_____ mm、_____ mm、平均值: _____ mm。								
	管道壁厚: _____ mm、_____ mm、_____ mm、_____ mm、_____ mm、平均值: _____ mm。								
	安装方法: _____, 委托方地址: _____								

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

附录 B

校准证书内页参考格式

校准结果/说明:

1. 校准介质:

2. 管道外径 (外周长): mm 壁厚: mm 安装方式:

3. 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			

附录 C

DN50 以上口径水表示值误差不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 测量依据：DN50 以上口径水表在线校准规范

C.1.2 测量标准：外夹式超声波流量计，0.5 级； π 尺，最大允许误差： $\pm 0.02\text{mm}$ ；超声波测厚仪，最大允许误差： $\pm 0.1\text{mm}$ ；秒表，最大允许误差： $\pm 0.1\text{s}$ 。

C.1.3 测量方法：以标准表（外夹式超声波流量计）为标准器，将标准表换能器安装在被校水表上游或下游标准直管段处，使水流在相同时间间隔内连续通过标准表和水表，比较两者的输出流量值，计算水表示值误差。

C.1.4 被校水表：超声波水表，口径 DN100，准确度等级 2 级。现场校准流量为 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，连续测量三次，测量时间间隔为 10min。

C.2 测量模型及灵敏系数

C.2.1 测量模型

对于单次测量，水表相对误差的测量模型如式(C.1)

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

式中：

E ——水表的示值误差，%；

Q ——水表示值，累积值： m^3 或 L；

Q_s ——标准表示值，累积值： m^3 或 L。

根据不确定度传播律，合成标准不确定度可按式 C.2 计算得到：

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

各输入量彼此独立不相关

$$u_c^2(E) = u_r^2(Q) + u_r^2(Q_s) \quad (\text{C.3})$$

C.2.2 灵敏系数

$$c(Q) = \frac{\partial E}{\partial Q} = \frac{1}{Q_s}, c(Q_s) = \frac{\partial E}{\partial Q_s} = -\frac{Q}{Q_s^2}, c_r(Q) = 1, c_r(Q_s) = -1 \quad (\text{C.4})$$

C.3 各输入量标准不确定度的评定

不确定度主要由标准表溯源、测量管道内径、测量时间引入的不确定度，被校表测量重复性引入的不确定度二大部分组成。

标准表超声波流量计的计算公式:

$$Q_s = \frac{K\pi d^2}{4\nu} \cdot t \quad (\text{C.5})$$

$$u_c^2(Q_s) = u_r^2(\nu) + u_r^2(d) + u_r^2(t) \quad (\text{C.6})$$

式中:

K ——流速分布修正系数;

ν ——声道上线平均流速, m/s;

d ——管道内径, m;

$u_r(\nu)$ ——标准表流速测量引入的影响相对量;

$u_r(d)$ ——管道内径测量引入的影响相对量;

$u_r(t)$ ——标准表检测时间引入的影响相对量。

C.3.1 标准器流速测量引入不确定度 $u_r(\nu)$

标准器超声波流量计准确度为0.5级, 根据JJG 1033-2007附录D要求, 在现场使用时, 由于安装使用条件的不满足, 应在实验室检定的基础上再增加一个不小于0.3%的附加安装误差, 因此流速测量不确定度为0.8%, 按均匀分布, 引入的相对标准不确定度为:

$$u_r(\nu) = \frac{0.8\%}{\sqrt{3}} = 0.46\%$$

C.3.2 管道内径 d 测量引入的标准不确定度 $u_r(d)$

管道内径测量不确定度主要由外径测量不确定度和壁厚测量不确定度两部分组成。

C.3.2.1 管道外径 D 测量引入的标准不确定度 $u(D)$

管道外径测量使用 $D=(50-300)\text{mm}$ 精密 π 尺, 测量 4 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:

$$u(D_1) = \frac{0.46}{2.06\sqrt{3}} = 0.129\text{mm}$$

π 尺的最大允许误差为 $\pm 0.05\text{mm}$, 按均匀分布, 引入的标准不确定度为:

$$u(D_2) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{mm}$$

则管道外径测量的标准不确定度为: $u(D) = \sqrt{u^2(D_1) + u^2(D_2)} = 0.132\text{mm}$

表C.1 试验管道几何尺寸测量记录

测量次数 测量值	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
壁厚 δ (mm)	5.1	5.2	5.2	5.1	5.3	5.2
周长 D (mm)	110.56	111.00	111.02	110.86	—	110.9

C.3.2.2 管道壁厚 δ 测量引入的标准不确定度 $u(\delta)$

管道壁厚采用最大允许误差 $\pm 0.1\text{mm}$ 的超声波测厚仪测量5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:

$$u(\delta_1) = \frac{0.2}{2.33\sqrt{3}} = 0.05\text{mm}$$

测厚仪的最大允许误差为 $\pm 0.1\text{mm}$,按均匀分布,引入的标准不确定度为:

$$u(\delta_2) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06\text{mm}$$

则管道壁厚测量的标准不确定度为:

$$u(\delta) = \sqrt{u^2(\delta_1) + u^2(\delta_2)} = 0.078\text{mm}$$

已知: $d = D - 2\delta$, 则:

$$u(d) = \sqrt{u^2(D) + 4u^2(\delta)} = \sqrt{0.132^2 + 4 \times 0.078^2} = 0.16\text{mm}$$

$$u_r(d) = \frac{u(d)}{d} \times 100\% = \frac{0.161}{100} \times 100\% = 0.16\%$$

C.3.2.3 测量时间引入不确定度 $u_r(t)$ C.3.2.3.1 标准器测量响应时间引入不确定度 $u(t_1)$

根据说明书此值在 $\pm 0.5\text{s}$,按均匀分布,引入的标准不确定度为:

$$u(t_1) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289\text{s}$$

C.3.2.3.2 标准表与被校水表不同步引入不确定度 $u(t_2)$

估计此值在 $\pm 1\text{s}$,按均匀分布,引入的标准不确定度为:

$$u(t_2) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577\text{s}$$

设定一次累积测量时间为10min,则测量时间引入相对标准不确定度 $u_r(t)$:

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2)} = \sqrt{0.289^2 + 0.577^2} = 0.65s$$

$$u_r(t) = \frac{u(t)}{t} \times 100\% = \frac{0.65}{600} \times 100\% = 0.11\%$$

C.3.2.4 被校水表引入不确定度 $u_r(Q)$

C.3.2.4.1 被校水表分辨力引入不确定度 $u(Q_1)$

被校水表的分辨率为 10L，引入的标准不确定度为：

$$u(Q_1) = 2.89\delta = 2.89L$$

现场校准流量为 100m³/h，测量时间为 10min 的累积量约 16666L，则：

$$u_r(Q_1) = \frac{2.89}{16666} \times 100\% = 0.017\%$$

C.3.2.4.2 标准表与被校水表测量重复性引入不确定度 $u(Q_2)$

现场校准流量为 100m³/h，连续测量三次，测量时间为 10min，三次测量结果得到的示值误差的重复性为 0.24%，引入的标准不确定度为：

$$u_r(Q_2) = \frac{0.24}{\sqrt{3}} = 0.14\%$$

因 $u_r(Q_1)$ 小于 $u_r(Q_2)$ ，则舍去分辨力引入的不确定度分量，取重复性分量。则：

$$u_r(Q) = u_r(Q_2) = 0.14\%$$

C.4 合成标准不确定度

C.4.1 标准不确定汇总表

表 D.4 标准不确定度汇总表

不确定度分量	标准不确定度分量来源	标准不确定度分量 $u_r(x_i)\%$	灵敏系数 $c_r \cdot (x_i)$
$u_r(v)$	标准表	0.46	-1
$u_r(d)$	管道内径测量	0.16	1
$u_r(t)$	时间测量	0.11	1
$u_r(Q)$	被校水表重复性	0.14	1

C.4.2 合成标准不确定度

$$u_c^2(E) = u_r^2(v) + u_r^2(d) + u_r^2(t) + u_r^2(Q)$$

$$u_c(E) = \sqrt{0.46^2 + 0.16^2 + 0.11^2 + 0.14^2} = 0.52\%$$

C.4.3 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则水表在线校准的扩展不确定度为：

$$U_r = k \cdot u_c(E) = 2 \times 0.52\% \approx 1.1\%$$
