

河北省地方计量技术规范

JJF(冀) 196—2021

DN1000~DN2000 液体超声流量计 在线校准规范

Calibration Specification for

DN1000~DN2000 Online Liquid Ultrasonic Flowmeter

2021-09-13 发布

2021-12-01 实施

河北省市场监督管理局 发布

DN1000~DN2000 液体
超声流量计在线校准规范

JJF (冀) 196—2021

Calibration Specification for
DN1000~DN2000 Online Liquid Ultrasonic Flowmeter

归口单位：河北省市场监督管理局

起草单位：河北省计量监督检测研究院

河北省计量检测技术中心

本规范由起草单位负责解释

本规范主要起草人：

李志丰（河北省计量监督检测研究院）

高 明（河北省计量监督检测研究院）

田 超（河北省计量检测技术中心）

参加起草人：

武 磊（河北省计量监督检测研究院）

范玉涛（河北省计量检测技术中心）

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 结构和用途.....	(3)
5 计量特性.....	(3)
5.1 超声流量计计量性能指标.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 超声流量计现场安装条件要求.....	(3)
6.3 标准器现场安装条件要求.....	(4)
6.4 使用的标准器及配套设备.....	(4)
6.5 校准介质.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准项目.....	(5)
7.2 校准方法.....	(5)
8 校准结果.....	(7)
8.1 校准结果的内容.....	(7)
8.2 相对示值误差.....	(7)
8.3 重复性.....	(7)
8.4 流量计系数修正.....	(8)
8.5 最大允许误差限.....	(8)
9 校准结果表达.....	(8)
10 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 校准原始记录参考格式.....	(9)
附录 B 校准证书(内页)参考格式.....	(10)
附录 C 超声流量计在线校准结果的不确定度评定(示例).....	(11)
附录 D 校准数据的验证.....	(14)

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的规定，结合国内大口径接触式超声流量计的在线校准现状，参考 JJG1030-2007《超声流量计》检定规程和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等进行制定。

本规范所用术语，除在本规范中专门定义的外，均采用 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1004-2004《流量计量名词术语及定义》。

本规范是首次制定。

DN1000~DN2000 液体超声流量计在线校准规范

1 范围

本规范适用于以时间差法为原理的口径为 DN1000~DN2000, 安装于封闭管道条件下、液体介质、流速在(0.3~5)m/s 的超声流量计, 采用在线测量标准在线实流的校准。

本规范不适用于非接触外夹式超声流量计。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJG 1030 超声流量计

JJF 1004-2004 流量计量名词术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1358-2012 非实流法校准 DN1000~DN15000 液体超声流量计校准规范

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 在线实流校准 Online Practical calibration

在超声流量计在线条件下的一组操作, 确定由测量标准测量的量值与超声流量计测得量值之间的关系, 用此信息确定与示值测量结果间的关系, 这里测量标准提供的量值与超声流量计显示示值都具有测量不确定度。

3.1.2 流量计系数 meter factor

对超声流量计进行实流校准, 并按测量结果对超声流量计示值进行修正的系数。

3.2 计量单位

体积单位: 立方米, 符号 m^3 。

流量单位: 立方米每小时, 符号 m^3/h 。

压力单位: 千帕或兆帕, 符号 kPa 或 MPa。

温度单位: 摄氏度, 符号 $^{\circ}C$ 。

时间单位: 小时, 符号 h; 分钟, 符号 min; 秒, 符号 s。

4 概述

4.1 工作原理

超声波在流动的液体中传播时，可以载上液体流速的信息，通过接收穿过液体的超声波有关信息就可以检测出液体的速度。超声流量计对信号的发生、传播及检测有各种不同的方法，构成了依赖不同原理的超声波流量计，大致可分为传播速度差法（时差法、相位差法、频差法）、多普勒法、波束偏移法、噪声法、旋涡法、相关法、流速—液面法。时差法：利用超声波在液体中的传播特性测量流量，测量其顺流传播时间和逆流传播时间的差值，从而计算出液体流动的线平均速度。

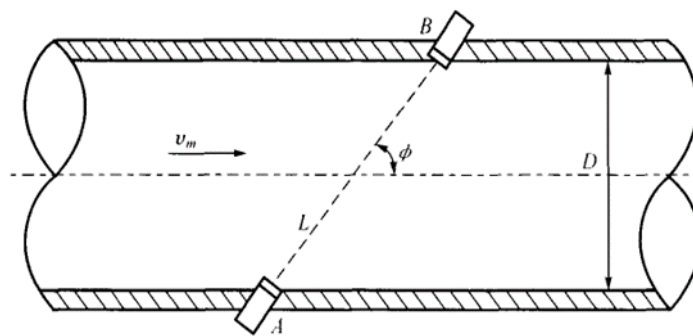


图1 通用示意图

通常认为声波在液体中的实际传播速度是由介质静止状态下声波的传播速度 (c_f) 和液体轴向平均流速 (v_m) 在声波传播方向上的分量组成。按图1所示，顺流和逆流传播时间与各量之间的关系是：

$$t_{down} = t_{AB} = \frac{L}{(c_f + v_m \cos \phi)} \quad t_{up} = t_{BA} = \frac{L}{(c_f - v_m \cos \phi)} \quad (1)$$

式中：

t_{up} ——超声波在液体中逆流传播的时间；

t_{down} ——超声波在液体中顺流传播的时间；

L ——声道长度；

c_f ——超声波在液体中传播的速度；

v_m ——液体的轴向平均流速；

ϕ ——声道角。

可利用式(1)的两个公式得出液体流速的表达式：

$$v_m = \frac{L}{2 \cos \phi} \left(\frac{1}{t_{\text{down}}} - \frac{1}{t_{\text{up}}} \right) \quad (2)$$

也可以用相似的方法获得声波的传播速度:

$$c_f = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_{\text{down}}} + \frac{1}{t_{\text{up}}} \right) \quad (3)$$

将测得的多个声道的液体流速 $v_i, i=1, 2, \dots, k$; 利用数学的函数关系联合起来, 可得到管道平均流速的估计值 \bar{v} , 乘以过流面积 A , 即可得到体积流量 q_v ,

$$q_v = A\bar{v} \quad (4)$$

其中:

$$\bar{v} = f(v_1, \dots, v_k) \quad (5)$$

式中:

k ——声道数。

4.2 结构和用途

流量计主要由流量计表体、超声换能器及其安装部件、信号处理单元和(或)流量计算机组成。对于现场接触式流量计, 安装换能器的管道可做表体使用, 接触式流量计的换能器直接与被测流体接触。流量计算机是一种显示、记录方式作为计量、控制等主要目的使用, 其余显示、记录应作为监视等非主要用途使用。

5 计量特性

5.1 超声流量计计量性能指标

表 1 超声流量计计量性能指标

最大允许误差限	±0.5%	±1.0%	±1.5%	±2.0%	±4.0%	±5.0%
重复性限	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.8%	1.0%
流速范围	(0.3~5)m/s					

注: 以上指标不作为合格性判据, 仅为使用中所参考。

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: (-5~45) °C; 相对湿度: 15%~85%; 大气压力: (86~106) kPa。

6.1.2 外界磁场应小到对流量计的影响可忽略不计。

6.1.3 机械振动环境和噪声应小到对流量计的影响可忽略不计。

6.2 超声流量计现场安装条件要求

6.2.1 前后直管段长度满足使用要求。

6.2.2 流量计与安装管段同心。

6.2.3 管道截面参数确定，参数设置正确。

6.3 标准器现场安装条件要求

6.3.1 根据现场条件，合理的选择标准器的类型。标准器能正常工作，不影响超声流量计正常工作。

6.3.2 标准器需要的前后直管段长度满足使用要求。

6.3.3 与超声流量计之间为同一段管路，不应存在分流，二者安装距离以测量时不互相干扰为宜。

6.3.4 液体应充满管路。

6.3.5 标准器测量数据和安装条件等信息设置应与实际的管路材质等信息一致，包括内衬、材料、管壁厚度等。

6.4 使用的标准器及配套设备

6.4.1 标准器及配套设备均应有有效的检定或校准证书，测量流量的标准器应定期与水流标准装置进行比对，做稳定性试验和期间核查，应进行相同管径或相似流量的检定或校准，其安装、使用应符合相应检定规程、技术规范或使用说明书的要求。

6.4.2 标准器

流量标准装置整体测量结果的扩展不确定度/准确度等级/最大允许误差一般应不大于超声流量计最大允许误差绝对值的1/3。标准器的测量范围应覆盖被校准流量计的正常工作范围，一般情况下采用满足计量性能的插入式流量计（超声流量计、电磁流量计等）或外夹式超声流量计及可移动式流量标准装置。

测厚仪、温度计、钢卷尺等配套标准设备的计量性能不降低标准器测量参数的计量性能，测量误差对校准结果造成的影响分别应在超声流量计最大允许误差的1/5以内且满足使用要求。

6.5 校准介质

6.5.1 介质温度：（0~100）℃。

6.5.2 单相流体，要求流体充满管路，其流动应无旋涡。

6.5.3 液体应无可见颗粒、纤维等物质。液体在管道系统和超声流量计内任一点上的压力应高于其饱和蒸气压，对于易气化的液体，流量计的下游应有一定的背压，在每个流量点的校准过程中，液体温度变化应不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

流量计系数、示值误差、重复性、线性度、测量结果不确定度。

7.2 校准方法

7.2.1 标准器现场安装位置确定

首先根据超声流量计现场安装技术要求进行检查，检查结果应符合 6.2 条的要求，否则不满足校准条件。流量标准装置的标准器一般安装在超声流量计上游直管侧或下游直管侧，具体安装条件可根据标准器的使用要求和现场条件进行调整（一般上游直管段大于 10D；下游直管段大于 5D；当上游有泵、阀门等阻件时，直管段长度至少还要延长 3 倍~5 倍）。标准器的安装应科学合理，在线校准安装示意图如图 2 所示。

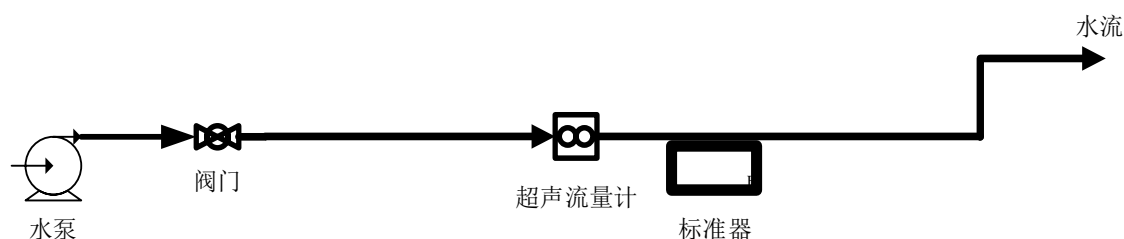


图 2 在线校准安装示意图

确保超声流量计与标准器周围环境没有强磁、强振动及噪声影响。观察标准器和超声流量计运行是否正常。

7.2.2 标准器在线安装地点的选取应符合 6.3 条的要求，选取现场安装标准器的合适地点。

7.2.3 根据选取的标准器类型按 7.2.4 条~7.2.7 条正确安装标准器，必要时带压打孔安装。

7.2.4 管径测量

用量具分别在换能器安装位置附近的同一截面上大致等角分布测量 n 次外直径，或测量 n 次外周长推算出外直径，其平均值 D 按式 (1) 计算。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (6)$$

式中:

n —— 测量次数, $n \geq 4$;

D_i —— 第 i 次测得的管道外直径或推算出的外直径。

7.2.5 壁厚测量

在换能器安装位置均布 5 个点, 使用测厚仪测量管道壁厚, 并取其平均值。

7.2.6 其他参数的确定

对无法测量的参数, 如管道材质、衬里材料、厚度等, 根据技术资料现场查明确认。

7.2.7 标准器的安装

a) 若标准器为外夹式超声流量计, 根据换能器的数目分为单声道流量计、多声道流量计。换能器安装方式通常有 Z 法、V 法。对现场管路进行处理, 使其达到测量条件要求; 对测量需要的参数数据进行测量, 将以上测得管道参数输入超声流量计计算机内, 可得出换能器安装距离 L 。清理已定安装位置的管壁, 将管壁上的污垢清除干净, 根据安装距离进行准确安装, 安装好后对安装结果进行评估, 复核安装参数。

b) 若标准器为插入式流量计, 应在保障安全的前提下选择合适的位置进行带压打孔作业, 插入流量计传感器的安装数据应准确, 安装的标准器应不影响超声流量计的正常工作。

c) 若标准器为移动式流量标准装置, 对于要求计量准确度高且闭环工作的管路, 可以优先选择使用移动式流量标准装置法 (质量法或容积法), 配备相应的软管, 安装后应保证无泄漏。

7.2.8 正确设置标准器参数, 使标准器正常工作。

7.2.9 校准流量点的选择及校准次数

首先应对超声流量计的零点进行检查, 确定超声流量计零点无偏差后, 根据现场情况确定校准流量点, 由于现场不能在根据超声流量计的流量范围自由调控流量点, 一般选取现场可调流量点的上、下限进行校准, 每个流量点校准次数一般不少于 3 次。

可采用累积流量或瞬时流量两种方法进行校准。超声流量计应在可达到的最大校准流量的 70%~100% 范围内运行, 至少 5min, 等液体温度、压力和流量稳定后方可进行正式校准。采用瞬时流量时, 则至少分别读取 20 个数值, 读数间隔不小于 10s, 取其平均值。瞬时流量标准值为标准装置在校准时间范围内所读取全部数据的平均值。采用累积流量校准时, 应同步采集对超声流量计与标准器的起始值、终止值, 累积值则应保证大于最小读数

的 1000 倍且不少于校准流量下 5 分钟对应的体积，超声流量计如果显示分辨力不足，则应按使用说明书进行调整，使其有足够显示位数。

7.2.10 标准器示值的修正

对于需要修正标准器示值的情况，应对根据标准器校准过程中采集到平均瞬时流量或累积流量进行修正，修正系数可从标准器有效期内的证书上获得。

7.2.11 超声流量计如果具有流量计系数，现场可以根据校准结果对计算机内的流量计系数进行调整，调整后需再次校准，并计算新的示值误差和重复性作为校准结果。

8 校准结果

8.1 校准结果应给出相对示值误差、重复性、流量计系数修正及校准结果的扩展不确定度。

8.2 相对示值误差

(1) 超声流量计单次校准的相对示值误差为

$$E_{ij} = \frac{Q_{ij} - (Q_s)_{ij}}{(Q_s)_{ij}} \times 100\% \quad \text{或} \quad E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_s)_{ij}}{(q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

E_{ij} ——第 i 检定点第 j 次校准时超声流量计的相对示值误差，%；

Q_{ij} ——第 i 检定点第 j 次校准时超声流量计的累积流量值， m^3 ；

$(Q_s)_{ij}$ ——第 i 检定点第 j 次校准时标准器换算到流量计状态的累积流量值， m^3 ；

q_{ij} ——第 i 检定点第 j 次校准时超声流量计的瞬时流量值，可为一次检定过程中多次读取的瞬时流量值的平均， m^3/h ；

$(q_s)_{ij}$ ——第 i 检定点第 j 次校准时标准器换算到流量计状态的瞬时流量值， m^3/h 。

(2) 流量计第 i 校准点相对示值误差按式 (3) 计算：

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad (8)$$

式中：

E_i ——超声流量计第 i 校准点的相对示值误差，%；

n ——第 i 校准点校准次数。

(3) 超声流量计的相对示值误差为：

$$E = \pm |E_i|_{\max} \quad (9)$$

式中：

$|E_i|_{\max}$ ——超声流量计各校准点相对示值误差中最大值。

8.3 重复性

当每个流量点重复校准 n 次时, 该流量点的重复性按下式评定:

$$(E_r)_i = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (E_{ij} - E_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中:

$(E_r)_i$ ——第 i 个校准点的重复性, %;

超声流量计的重复性为:

$$E_r = [(E_r)_i]_{\max} \quad (11)$$

E_r ——流量计的重复性。

8.4 流量计系数修正

超声流量计经校准后可按合适的方法对流量计进行系数修正, 新流量计系数置入流量计后, 应在校准的流量范围内选取至少 1 个流量点进行测试以确认其修正效果, 并计算流量计系数调整量 $(F-F_0)/F_0$ 及 F/F_0 。然后将旧流量计系数 F_0 、新流量计系数 F 和流量计系数调整量写在校准证书中。

8.5 最大允许误差限

根据需要可按 5.1 给出最大允许误差限。

9 校准结果表达

超声流量计校准完成后, 根据校准原始记录出具校准证书, 并给出校准结果的不确定度报告。

校准原始记录和校准证书格式见附录 A 和附录 B, 不确定度评定示例见附录 C。

10 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定, 因此, 申请校准的单位可根据实际使用要求、质量管理保障程度等合理决定复校时间间隔, 一般建议不超过 1 年。更换重要部件、维修、重新安装或对仪器性能有怀疑时, 应随时申请校准。

附录 A

校准原始记录参考格式

委托单位: _____ 单位地址: _____ 联系人及电话: _____

超声流量计名称: _____ 制造厂: _____
 仪器型号: _____ 出厂编号: _____
 其他信息: _____

标准器	名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源证书号	有效期至

主要配套设备	名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源证书编号	有效期至	上级溯源机构名称

环境温度: _____ °C 湿度: _____ %RH

A.1 校准结果: _____ 校准依据: _____

校准流量点 m ³ /h	超声流量计示值流量 m ³ /h	标准器示值流量 m ³ /h	修正后标准器流量 m ³ /h	相对示值误差 (%)	流量计系数调整量	重复性 (%)	相对示值误差的不确定度 $U_r(k=2)$

A.2 超声流量计机内参数: _____

A.3 超声流量计安装说明: 声路 _____ 探头安装方式 _____ 其他 _____

A.4 标准器安装说明: _____

校准员: _____

核验员: _____

校准日期: _____

附录 B

校准证书 (内页) 参考格式

校准流量点 m^3/h	相对示值误差 (%)	重复性 (%)	相对示值误差的不 确定度 U_r (%) $k=2$

注:

- 1、校准方式:
- 2、校准介质:
- 3、超声流量计机内参数:
- 4、最大允许误差限:

附录 C

超声流量计在线校准结果的不确定度评定 (示例)

概述

校准方法：《DN1000~DN2000 液体超声流量计在线校准规范》。

标准器：标准表法水流量标准装置。

适用被校准对象：口径为 DN1000~DN2000，封闭管道条件下、液体介质、流速在 (0.3~5)m/s 的超声流量计。

C.1 数学模型

$$E = \frac{Q - Q_s}{Q_s} \times 100\% = \left(\frac{Q}{Q_s} - 1 \right) \times 100\%$$

式中：

E —相对示值误差，%；

Q —被校超声流量计测得的累积流量， m^3 ；

Q_s —标准器测得的累积流量， m^3 ；

C.2 不确定度传播律

从数学模型可知，流量测量误差不确定度与以下主要因素有关：超声流量计测得的累积流量、标准器测量的累积流量。

不确定度传播律： $u_c^2(E) \approx c^2(Q)u^2(Q) + c^2(Q_s)u^2(Q_s)$

式中：

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

输入量彼此独立不相关，则 $u_c^2(E) \approx u_r^2(Q) + u_r^2(Q_s)$ 。

C.3 输入量的标准不确定度评定

不确定度分量包括标准器流量测量准确度引入的不确定度，超声流量计示值分辨力引入的不确定度，示值误差重复性引入的不确定度，管道参数测量引入的不确定度等。

C.3.1 标准器流量测量准确度引入的相对标准不确定度分量

例如，标准器的准确度等级为 0.5 级， $U_r = 0.5\%$ ， $k=2$ 则

$$u_r(Q_s) = \frac{0.5\%}{2} = 0.25\%$$

C.3.2 累积流量分辨力引入的相对标准不确定度分量

C.3.2.1 标准器示值分辨力引入的不确定度

例如, 标准器示值累积流量分辨力为 0.01m^3 , 单次累积流量采集值为 100m^3 , 则 $u_r(\delta_1) = 0.0029\%$

C.3.2.2 超声流量计示值分辨力引入的不确定度

例如, 被校准的超声流量计示值累积流量分辨力为 0.1m^3 , 单次累积流量采集值为 100m^3 , 则 $u_r(\delta_2) = 0.029\%$

累积流量示值分辨力引入的相对标准不确定度分量, 则 $u_r(\delta) = 0.029\%$

C.3.3 校准结果相对示值误差重复性引入的相对标准不确定度分量

例如, 现场校准连续分别采集累积流量 6 次, 6 次校准结果得到的相对示值误差重复性为 0.25% , 则 $u_r(rep) = 0.1\%$

C.3.4 管道参数测量引入的不确定度

管道内直径测量由周长测量及壁厚测量得到。

$$D = \frac{L}{\pi} - 2e$$

式中:

D —管道内径, mm;

L —管道周长, mm;

e —壁厚, mm。

C.3.4.1 测量管道外周长 L 引入的不确定度

例如, 测量 DN1000 管径管路时, 管路外周长约为 $L=3209\text{mm}$ 。

1、根据证书, 测尺的误差限为 $\Delta L = \pm 0.5\text{mm}$, 则 $u(\Delta) = 0.25\text{mm}$

2、测量测尺分辨力 0.5mm , 均匀分布, 则 $u(\delta) = 0.144\text{mm}$

3、管道油漆层厚度、焊缝不平整、以及测尺反向测量等因素引入的不确定度最大不超过 2mm , 均匀分布, 则 $u(x) = 1.155\text{mm}$

外周长测量引入的不确定度 $u(L) = 1.19\text{mm}$ $c(L) = 0.3$

C.3.4.2 管道壁厚测量引入的不确定度

壁厚测量引入的不确定度, 从测厚仪检定或校准证书可获得测厚仪在测量范围内的最

大允许误差为 0.1mm, 均匀分布: $u(e) = 0.058\text{mm}$ $c(e) = -1$

管道参数测量引入的相对标准不确定度分量为: $u_r(D) = 0.039\%$

C.3.5 介质温度引入的不确定度

根据证书, 测温仪的误差限为 $\Delta T = \pm 0.1^\circ\text{C}$, 则 $u(\Delta T) = 0.05^\circ\text{C}$ 。超声波在 $(0 \sim 50)^\circ\text{C}$ 水中传播速度约为 $(1400 \sim 1550) \text{m/s}$; 测温仪误差引入的不确定度约为 0.015%, 可以忽略不计。

C.4 相对合成标准不确定度的评定

C.4.1 各输入量相对标准不确定度估算结果汇总表

序号	不确定度来源	输入量的相对标准不确定度 $u_r(x_i)$	相对灵敏系数 $c_r(x_i)$	$c_r(x_i)u_r(x_i)$ %
1	标准器准确度	0.25	-1	-0.25
2	累积流量分辨力	0.029	1	0.029
3	示值误差重复性	0.1	1	0.1
4	管道参数	0.039	-1	0.039

C.4.2 相对合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关, 所以相对合成标准不确定度可按下式得到:

$$u_{cr}(E) = 0.27\%$$

C.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则相对扩展不确定度为:

$$U_r = 2 \times 0.27\% = 0.54\%$$

附录 D (推荐性附录)

校准数据的验证

校准数据处理完成后, 根据数据结果对校准过程进行可靠性评价, 建议根据现场条件选用互证式标准或非互证式标准进行验证, 适于采用互证式标准的校准可采用多点位、多声道和变换测量方法等进行验证。
