



新疆维吾尔自治区地方计量技术规范

JJF (新) 133—2024

超声流速仪校准规范

Calibration Specification for Ultrasonic Current Meter

2024-12-31 发布

2025-6-30 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发布

超声流速仪校准规范

Calibration Specification for
Ultrasonic Current Meter

JJF（新）133—2024

归口单位：新疆维吾尔自治区市场监督管理局

主要起草单位：新疆维吾尔自治区计量测试研究院

（新疆维吾尔自治区水资源产业计量测试中心）

参加起草单位：陕西省计量科学研究院

新疆维吾尔自治区科技资源共享服务中心

本规范委托新疆维吾尔自治区流量容量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

邸 翔（新疆维吾尔自治区计量测试研究院/新疆维吾尔自治区水资源产业计量测试中心）

陶 梅（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

闫好奎（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

参加起草人：

车 阳（陕西省计量科学研究院）

李肖璇（新疆维吾尔自治区科技资源共享服务中心）

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 结构与组成.....	2
4.2 工作原理.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 流量测量性能.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 校准用设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果.....	6
8.1 校准记录.....	6
8.2 校准证书.....	6
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 超声流速仪校准原始记录.....	7
附录 B 校准报告的内容.....	9
附录 C 超声流速仪测量结果不确定度评定.....	11

引 言

JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制订的基础性系列规范。

本规范在参考了 JJG 1030-2007《超声流量计》、JJF1999-2022《转子式流速仪校准规范》、GB/T21699-2008《直线明槽中的转子式流速仪检定/校准方法》，结合各类流速仪的应用和实验室检测及校准现状制订。

本规范为首次发布。

超声流速仪校准规范

1 范围

本规范适用于以时差法为原理的超声流速仪（以下简称流速仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用以下文件：

JJG 1030-2007 超声流量计

JJF 1999-2022 转子式流速仪校准规范

GB/T21699-2008 直线明槽中的转子式流速仪检定/校准方法

ISO3455: 2007 水文测验 直线明槽中流速仪的校准 (Hydrometry-Calibration of current meters in straight open tanks)

凡是注明日期的引用文件，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（包括所有修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 超声流速仪 ultrasonic current meter

利用超声波在水流中的传播特性，用一组或多组超声换能器来测量单层或多层平均流速或某测点的瞬时及平均流速的仪器。

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。

3.1.3 时差法 time difference method

测量超声波顺流与逆流传播路径上耗时的差值来计算流体速率的方法。

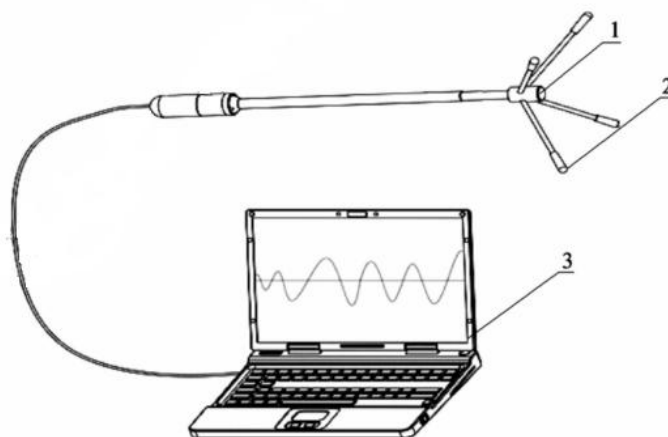
3.2 计量单位

流速单位：米每秒，符号 m/s。

4 概述

4.1 结构与组成

超声流速仪主要由发射换能器、接收换能器和计算机组成，结构示意图见图 1。



说明:

1——发射换能器;

3——计算机。

2——接收换能器;

图 1 超声流速仪结构示意图

4.2 工作原理

超声流速仪是采用时差法来测量流体流速的。时差法测流速的原理为：超声波顺向传播时，实际传播速度为声速与流速分量之和；逆向传播时，实际传播速度为声速与流速分量之差。于是在流道两侧两个固定点之间，声波顺水和逆水传播时间存在着时间差，根据时间差则可以测得水流速度。实际应用时，将超声换能器安装在流道两侧上下游处，时差法测流速示意图如图 2 所示。

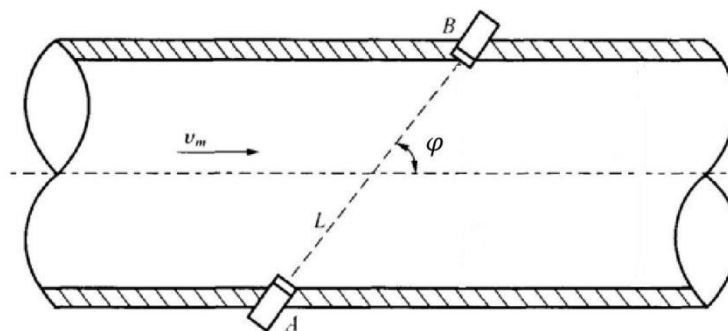


图 2 时差法测流速示意图

在图 2 中,在某一流道平面内 A 和 B 均为超声换能器构成一个测量声道。工作时,超声换能器 A 向换能器 B 发射超声波,测出顺流通过流道的传播时间 t_{AB} 。超声换能器 B 再向换能器 A 逆向发射超声波,测出逆流通过流道的传播时间 t_{BA} 。设水下声速为 C ,此水层的平均流速可用下式计算:

$$t_{AB} = \frac{L}{C + v_m \cos \varphi}, \quad t_{BA} = \frac{L}{C - v_m \cos \varphi}$$

$$\Delta t = t_{BA} - t_{AB} = \frac{L}{C - v_m \cos \varphi} - \frac{L}{C + v_m \cos \varphi} = \frac{2Lv_m \cos \varphi}{C^2 - v_m^2 \cos^2 \varphi} \quad (1)$$

式中： t_{BA} ——超声波在流体中逆流传播的时间；
 t_{AB} ——超声波在流体中顺流传播的时间；
 L ——声道长度；
 C ——声波在流体介质静止状态中传播的速度；
 v_m ——流体的轴向平均流速；
 φ ——声道角。

在水中声速远大于水流流速，故式（1）可化简为：

$$\Delta t \approx \frac{2Lv_m \cos \varphi}{C^2} \quad (2)$$

则某一声道的流速为：

$$v_m \approx \frac{C^2}{2L \cos \varphi} \Delta t \quad (3)$$

5 计量特性

5.1 流速示值误差

流速仪最大允许误差见表 1。

表 1 流速仪最大允许误差

流速测量范围	流速最大允许误差
$v \leq 0.5 \text{ m/s}$	$\pm (v \times 2.0\% + 0.01) \text{ m/s}$
$0.5 \text{ m/s} < v \leq 2 \text{ m/s}$	$\pm 2.0\%$
$2 \text{ m/s} < v \leq 6 \text{ m/s}$	$\pm 1.0\%$

5.2 重复性

流速仪的流速示值重复性不超过最大允许误差绝对值的 1/3。

注：以上指标不做合格判定依据，仅供校准及测量不确定度评定时参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度：（5~40）℃；

相对湿度：20%~90%；

大气压力：（86~106）kPa。

6.2 校准用介质

校准用介质一般采用无油污、无纤维、无导磁性颗粒、气泡及其他可见颗粒等物质的清洁水,水温 (5~30)°C。

6.3 校准用设备

6.3.1 校准原理

在横断面均匀一致的矩形直线明渠水槽中,直线行驶的检测车以某一稳定速度牵引流速仪,使固定安装在测杆上的流速仪在明渠水槽静水中行进,通过测定检测车的速度和流速仪流速,从而获得流速仪的相对误差。

流速仪校准时需要同时测量以下 3 个参数:

- a) 检测车行进距离 (指稳定速度段内);
- b) 时间 (含检测车行进时间和流速仪信号输出时间);
- c) 流速仪信号 (流速仪脉冲信号或瞬时流速)。

6.3.2 直线明渠水槽

水槽长度应不小于 40m,宽度应不小于 1.5m,深度应不小于 1.5m。

6.3.3 检测车及轨道系统

检测车可采用拖曳式和自推进式两种驱动方式,推荐使用自推进式检测车。车上装有电动驱动设备,经传动系统使检测车沿轨道运行,车上应有自动调速系统保证车速稳定。

检测车应在直线明渠水槽中水面上方的两条平行轨道上运行。轨道应保持清洁,无锈迹、油污等。在校准操作过程中,流速仪固定在检测车的测杆上并淹没在指定深度的水中,同时能够以恒定速度在轨道的测量段上平稳运行。

6.3.4 距离测量

目前测量距离常见使用激光测距仪,通过牵引车沿着轨道进行距离测量。

6.3.5 时间测量

常见的时间测量方法是用计时仪进行测量,它可以测量小车运行通过一定距离所用的时间,并与流速仪的信号进行关联。

6.3.6 流速仪信号测量

为了测量流速仪的信号,应在检测车上安装合适的记录装置。

a) 对于有脉冲输出的流速仪,可以使用计数装置对从流速仪接收的脉冲信号进行计数,从而得到流速。

b) 对于直显式流速仪，一般情况下可以直接采用视频采集的方式进行数据读取。

6.3.7 校准用设备明细表

流速仪校准用设备可参考表 2。

表 2 校准用设备参考表

序号	设备名称	技术要求	用途
1	直线明渠水槽	长度不低于 40 m、宽和深不低于 1.5 m。轨道准确度应不低于 GB/T21699-2008 中表 2 规定的二级要求	用于小车运行
2	激光测距仪	最大允许误差： $\pm 0.01\text{m}$	测量距离
3	计时仪	最大允许误差： $\pm 0.01\text{s}$	测量时间
4	温度计	分度值不大于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	测量水温
5	光学倾斜仪	最大允许误差不超过 $\pm 0.5^{\circ}$	测量流速仪安装的垂直偏角
6	测深钢卷尺	量程大于 3m，分度值 1mm	水深测量
7	湿度计	最大允许误差： $\pm 10\% \text{ RH}$	环境监测
8	气压表	最大允许误差： $\pm 0.25 \text{ kPa}$	环境监测
注：本参考表中直线明渠水槽装置中，小车采用自推进方式，设计最高速度为 5m/s。			

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 计量特性

流速仪的计量特性用相对示值误差和重复性表示。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

- 在流速仪浸没水中之前，应检查清洁、润滑和机械电子类部件的功能。
- 流速仪应按流速仪厂家的规定进行悬挂安装，且和流速仪工况状态保持一致。
- 将被校流速仪固定在测杆上，测杆固定在小车上，必须牢固可靠。流速仪入水时应缓慢进行，以免扰动水体。流速仪浸入液面深度应至少为 0.3m 或换能器长度的两倍（取两者中较大值）。
- 流速仪安装时，测杆应与水面垂直呈 90° ，偏角应不大于 3° 。

7.2.2 测量方法

7.2.2.1 流速点选取

依次选取 0.05m/s、0.3m/s、0.5m/s、1.0m/s、2.0m/s、3.0m/s、4.0m/s、5.0m/s 进行

检测,也可根据委托方要求增减流速校准点。一般情况下每个流速点测量不少于 5 次,且每次采集时间间隔不低于 1.0s。

7.2.2.2 静水时间

每次测量完成后需等待水静止后再进行下一次测量,一般情况下校准流速自低而高进行。水静止所需时间取决于明渠水槽的规格、上次校准速度、消波装置以及流速仪体积和测杆大小截面形状等,静水时间方案由校准实验室根据实际情况进行制定。

7.2.2.3 校准程序

- a) 流速仪安装完成后,设置检测车的车速,启动检测车使流速仪在静水中直线运动。
- b) 在检测车匀速阶段内,记录检测车的车速 V_i 。
- c) 流速仪数据测量,在检测车匀速阶段内,通过多次采集(一般不低于 5 次,且采集时间间隔不低于 1.0s),获得流速仪显示流速 v_1, v_2, \dots, v_j ($j \geq 5$)。
- d) 重复以上步骤进行下一个流速点的测量。

7.2.3 流量示值误差计算

流速仪各校准点的相对示值误差,计算公式见(4)。

$$\delta_i = \frac{\frac{\sum_{j=1}^n v_j}{n} - V_i}{V_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

δ_i — 某一流速点的相对误差, %;

n — 该流速点测量次数, $n \geq 5$;

v_j — 流速仪第 j 次测量的流速, m/s;

V_i — 该流速点的检测车车速, m/s。

7.2.4 重复性

重复性按照公式(5)计算:

$$E_i = \frac{s}{V_i} = \frac{1}{V_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}_i)^2}{n-1}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

E_i — 流速重复性, %;

s — 流速示值标准偏差, m/s;

V_i — 该流速点的检测车车速, m/s;

v_i — 流速仪第 i 次测量的流速, m/s;

\bar{v}_i — 该流速点算数平均值, m/s;

n — 测量次数。

8 校准结果

8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽地记载测量数据和计算结果, 记录格式见附录 A。

8.2 校准证书

校准证书由封面和校准数据组成, 经校准的超声流速仪应出具校准证书, 校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

不确定度评定方法可参考附录 C。

9 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、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议流速仪的复校时间间隔不超过 1 年。

附录 A

流速仪校准原始记录

委托单位:

出厂编号:

证书编号:

规格/型号:

生产厂家:

主要测量设备:

测量范围:

扩展不确定度:

设备编号:

证书编号:

有效期至:

校准依据:

JJF(新)18-2024 超声流速仪校准规范

环境温度:

环境湿度:

校准日期:

校 准:

核 验:

校准地点:

校准项目及结果

- 1、(1)校准介质: (2) 介质温度:
- 2、校准结果:

流速点 v_i (m/s)	流速仪显示值 v (m/s)						示值 误差 (%)	重复 性 (%)	扩展不 确定度 $U_{rel}, k=2$ (%)
	1	2	3	4	5	\bar{v}			

附录 B

校准报告的内容

B.1 校准报告至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 校准报告编号，页码及总页数的标识；
- e) 校准单位校准专用章；
- f) 委托单位的名称和联络信息；
- g) 被校计量器具的描述和明确标识：制造单位、名称、型号及出厂编号；
- h) 校准日期；
- i) 校准所依据的技术规范的名称及代号；
- j) 本次校准所用的主要计量标准器具（包括标准物质）的名称、测量范围、不确定度或准确度等级或最大允许误差、证书编号及有效期；
- k) 校准时的环境温度、相对湿度；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 校准人与核验人的签名；
- n) 校准报告批准人的签名与职务；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

B.2 校准报告（内页）格式

1、校准介质：

介质温度：

2、校准结果：

流速点 (m/s)	示值误差 (%)	重复性 (%)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$ (%)

校准内容结束

附录 C

超声流速仪测量结果不确定度评定

C.1 概述

C.1.1 测量依据：JJF（新）18—2024《超声流速仪校准规范》。

C.1.2 环境条件：温度（5~40）℃；湿度：（20~90）%RH、大气压（86~106）kPa。

C.1.3 测量标准：静水拖曳法流速标准装置，测量范围：（0.01~5.0）m/s，扩展不确定度： $U_{\text{rel}}=0.2\%$ ， $k=2$ 。

C.1.4 被测对象：超声流速仪，流速范围（0.05~5）m/s。

C.1.5 测量方法：

参照 JJF（新）18—2024《超声流速仪校准规范》7.2.2 和 7.2.3。

C.1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，一般可直接使用本不确定度评定结果。

C.2 测量模型

C.2.1 流量示值误差的测量模型：

$$\delta = \frac{v - v_s}{v_s} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中： δ — 流速仪的示值误差（%）；

v — 流速仪的示值（m/s）；

v_s — 标准装置的示值（m/s）。

C.2.2 灵敏系数

对上式中各参量求偏导，得到灵敏系数如下：

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial v} = \frac{1}{v_s} \quad (\text{C.2})$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial v_s} = -\frac{v}{v_s^2} \quad (\text{C.3})$$

在实际测量过程中， v 和 v_s 的值非常接近，即 $v \approx v_s$ ，则有：

$$c_1 = \frac{1}{v_s} \quad c_2 = -\frac{1}{v_s}$$

C.2.3 传播率公式

因为各输入量彼此独立不相关, 根据上述测量模型, 建立传播率公式:

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(v) + c_2^2 u^2(v_s)} = \frac{1}{v_s} \sqrt{u^2(v) + u^2(v_s)} \quad (\text{C.4})$$

$$u_{rc}(\delta) = \sqrt{u_r^2(v) + u_r^2(v_s)} \quad (\text{C.5})$$

C.3 全部输入量的标准不确定度评定

C.3.1 输入量 v 的标准不确定度 $u_r(v)$ 的评定

C.3.1.1 输入量 v 的标准不确定度 $u(v)$ 来源主要是超声波流速仪测量的重复性, 可以通过连续测量得到测量列 v_1 、 v_2 v_n 的方法计算得出, 采用 A 类方法进行评定。

在设定流速点条件下, 重复测量 10 次, 得到一组流速示值的测量列:

序号 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{v}
v_i (m/s)	1.005	1.010	1.007	1.003	1.001	1.004	1.008	1.012	1.004	1.014	1.0068

按照贝塞尔公式计算实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} = 0.0042 \text{ m/s}, (n=10) \quad (\text{C.6})$$

实际测量中取 5 次平均值作为测量结果, 因此测量重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u(v_i) = \frac{s}{\sqrt{5}} = \frac{0.0042}{\sqrt{5}} = 0.0019 \text{ m/s} \quad (\text{C.7})$$

C.3.1.2 输入量 v 的标准不确定度 $u(v)$ 来源还有试验人员在记录数据时产生的误差, 该流速仪分辨率为 0.001 m/s, 在实验过程中记录数据时会产生约 0.003 m/s 的波动, 按照均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$, 由此带来的不确定度分量为:

$$u(v_r) = \frac{0.003}{2\sqrt{3}} = 0.0009 \text{ m/s} \quad (\text{C.8})$$

所以输入量 v 的标准不确定度 $u_r(v)$ 为

$$u_r(v) = \frac{1}{v_s} \sqrt{u(v_i)^2 + u(v_r)^2} = \frac{\sqrt{0.0019^2 + 0.0009^2}}{1.0068} \times 100\% = 0.21\% \quad (\text{C.9})$$

C.3.2 输入量 v_s 的标准不确定度 $u_r(v_s)$ 的评定

C.3.2.1 输入量 v_s 的标准不确定度 $u_r(v_s)$ 主要来源于标准装置的不确定度, 采用 B 类方法评定。根据静水拖曳法流速标准装置的溯源结果, 扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.2\%$, $k=2$ 。标准不确定度分量为:

$$u_r(v_s) = U_r / 2 = 0.10\% \quad (\text{C.10})$$

C.3.3 标准相对不确定度分量汇总表

根据以上标准不确定度分量汇总见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 v_i	不确定度来源	标准不确定度值	概率分布
$u_r(v)$	被测超声波流速仪	0.21%	均匀分布
$u_r(v_s)$	标准装置	0.10%	正态分布

C.4 合成标准不确定度的评定

由公式 (C.5), 合成标准相对不确定度:

$$u_{rc}(v) = \sqrt{u_r(v)^2 + u_r(v_s)^2} = \sqrt{0.21\%^2 + 0.10\%^2} = 0.24\% \quad (\text{C.11})$$

C.5 扩展标准不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{rc}(v) = 2 \times 0.24\% = 0.48\% \quad (\text{C.12})$$

新疆维吾尔自治区
地方计量技术规范

超声流速仪校准规范

JJF（新）18—2024

新疆维吾尔自治区市场监督管理局发布

*

版权所有 不得翻印

*

880mm×1230mm 16 开本

2024 年 2 月第 1 版 2024 年 2 月第 1 次印刷

印数 1-100