

**中华人民共和国地方技术规范**

JJFXXXX－2023

电波（雷达）流速仪校准规范

**Calibration specification for microwave(radar)**

**current meter**

(征求意见稿)

2023⎯××⎯××发布 2023⎯××⎯××实施

**国家市场监督管理总局**发布

电波（雷达）流速仪校准规范

**Calibration specification for microwave(radar) current meter**

JJFxxx – 2023

归 口 单 位 ：全国能源资源计量技术委员会水资源计量分技术委员会

主要起草单位：山东省水文计量检定中心

山东省水文中心

水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心

参加起草单位：中国计量科学研究院

山东省计量科学研究院

河海大学智能感知技术创新研究院

上海航征仪器设备有限公司

本规范委托全国能源资源计量技术委员会水资源计量分技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

**参加起草人：**

目 录

[引言 I](#_Toc130063448)

[1范围 1](#_Toc130063449)

[2引用文件 1](#_Toc130063450)

[3术语和计量单位 1](#_Toc130063451)

[3.1术语 1](#_Toc130063452)

[3.2 计量单位 1](#_Toc130063453)

[4 概述 1](#_Toc130063454)

[4.3主要类型 2](#_Toc130063455)

[5计量特性 2](#_Toc130063456)

[5.1 外观及标识 2](#_Toc130063457)

[6校准条件 3](#_Toc130063458)

[6.1环境条件 3](#_Toc130063459)

[6.2标准器及其他设备 3](#_Toc130063460)

[7校准项目和校准方法 3](#_Toc130063461)

[7.1校准项目 3](#_Toc130063462)

[7.2校准方法 3](#_Toc130063463)

[7.2.4 流速仪的系数修正 6](#_Toc130063470)

[8校准结果表达 6](#_Toc130063471)

[9复校时间间隔 6](#_Toc130063472)

[附录A证书格式（参考） 7](#_Toc130063473)

[附录B原始记录格式（参考） 9](#_Toc130063474)

[附录C测量结果不确定度评定示例（参考） 10](#_Toc130063475)

# 引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》编制。

本规范系首次编制。

电波（雷达）流速仪校准规范

# 1范围

本规范适用于电波（雷达）流速仪（以下简称流速仪）的校准。

# 2引用文件

T/CHES 31-2019电波（雷达）流速仪

GB/T 19677-2005 水文仪器术语及符号

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（包括所有修改单），适用于本规范。

# 3术语和计量单位

## 3.1术语

3.1.1天线波束轴 antenna beam axis

由天线发出波束，其最大辐射强度所形成的轴线，亦称波束中心轴

[来源：T/CHES 31-2019，3.1]

3.1.2波束俯仰角 pitch angle of beam

流速仪的天线波束轴与水平面的夹角

[来源：T/CHES 31-2019，3.2]

3.1.3波束水平角 horizontal angle of beam

流速仪的天线波束轴在水平面上的投影与水流方向的夹角

[来源：T/CHES 31-2019，3.3]

3.1.3水面流速 surface velocity

水流表面水质点在单位时间内所移动的距离。

[来源：GB/T 19677-2005，3.4.4]

## 3.2 计量单位

3.2.1流速，米每秒，符号为m/s。

# 4 概述

4.1工作原理

流速仪上的波束发射装置以与水体表面形成一定夹角发射微波能量束，能量束到达水体表面并发生反射，流速仪的接收装置收到反射的能量信号，采集并处理信号的频率变化量，依据频率变化与流速的关系，得出水面的流速。



图1仰俯角示意图

4.2结构组成

电波（雷达）流速仪主要由包括[发射装置](https://baike.so.com/doc/6977301-7200001.html%22%20%5Ct%20%22https%3A//baike.so.com/doc/_blank)、接收装置、天线、数据采集和处理单元、数据显示单元以及电源等部分组成。

数据采集和

处理单元

电源、固定支架等

发射装置

接收装置

数据显示单元

天线

图3结构组成框图

## 4.3主要类型

按照结构形式，可分为便携式测流枪和固定安装式测流传感器。便携式测流枪将数据显示单元与其他部分集成于一体，用于水面流速的应急测量，可直接显示流速。固定安装式测流传感器往往安装于桥面或立杆，配合断面数据和软件算法，测量断面流量。

# 5计量特性

## 5.1 外观及标识

电波流速仪不应有镀层或漆层脱落、锈蚀、划伤、毛刺、锐角等痕迹。文字应鲜明、清晰，若有显示屏，则显示亮度均匀，户外太阳光下可清晰显示内容。

5.2流速最大允许误差

当流速小于等于0.5m/s时（流速低区），最大允许误差±0.05m/s；当流速大于0.5m/s时（流速高区），最大允许误差±5%。

注：以上指标不作为合格性判别，仅供参考。

# 6校准条件

## 6.1环境条件

6.1.1温度：20℃±15℃；

6.1.2相对湿度：应不大于95%；

6.1.3校准过程中流速仪不应受到强磁场和强电场的干扰。

## 6.2标准器及其他设备

宜采用静水拖曳法水流速校准装置，主标准器及其他设备应具有检定/校准证书。

# 7校准项目和校准方法

## 7.1校准项目

表1校准项目

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 校准项目 |
| 1 | 外观及标识 |
| 2 | 流速示值误差 |
| 3 | 流速重复性 |

## 7.2校准方法

7.2.1外观及标识

采用目测和手检的方法。

7.2.2校准前准备工作

（1）对被校对象进行必要的检查，确保能正常工作。

（2）校准开始前允许对仪器进行调整，校准过程中不允许再作任何调整。

7.2.3流速点选择

（1）校准的流速范围宜根据客户需求确定，最小校准速度*v*min应不小于仪器宣称的测量下限；当装置最大校准流速不能达到客户要求的上限时，*v*max可取装置的最大流速。

（2）校准的流速点一般应包含下列流速点：*v*min、*v*max、0.5m/s，流速校准点总数不少于5个，0.5m/s以下至少应包含1个，0.5m/s以上应不少于3个。

（3）校准过程中，每个流速点的标准流速测量结果与设定流速的偏差应不超过5%或不超过±0.01m/s。

（4）每个流速点的校准次数应不少于3次。

7.2.4数据记录

（1）每个流速点的校准过程中，通常经历加速、稳定速度和减速3个阶段，单次校准记录稳定速度运行范围内的平均值。

（2）当记录被校仪器实时输出结果时，每个测量过程中记录的瞬时示值应不少于10个，当被校仪器测量间隔较长时，可通过增加测次以满足上述要求；当记录被校仪器输出结果为一段时间平均值时，每个测量过记录的时间应不短于10s。当被校仪器测量间隔较长时，可通过增加测次以满足上述要求。

7.2.5校准程序

（1）将被校仪器需固定安装在拖车上，使流速仪水平方向与拖曳方向平行，调整俯仰角以保证电波流速仪的信号能够满足测量需求，确保在校准过程中仰俯角不发生改变，测量后记录流速仪的俯仰角。

（2）依次按照校准流速点开展实验，每次达到稳定速度时启动流速仪记录，并同步记录车速。

（3）以稳定段内车速平均值作为本次测试的标准值，以稳定段内被校流速仪读数的平均值作为本次测试的仪器示值，标准值与被校流速仪示值的记录是同步进行的。

7.2.6示值误差

（1）流速仪单次校准的相对示值误差：

流量计单次校准的示值为

 

式中，*eij*——第*i*校准速度点第*j*次校准时被校流速仪的示值误差，mm/s；

*vij*——第*i*校准速度点第*j*次校准时被校流速仪显示的结果，可为一次校准过程中连续读取瞬时值的平均值，或仪器内部统计一段时间的平均值，mm/s；

(*vs*)*ij*——第*i*校准速度点第*j*次校准时车速测量装置记录的速度标准值，mm/s。

流速仪单次校准的相对示值误为

 

式中，*Eij*——第*i*校准速度点第*j*次校准时被校流速仪的相对示值误差，%。

（2）流速仪各校准点示值误差：

各校准点示值误差为

 

式中，*ei*——流速仪第*i*校准速度点的示值误差，mm/s；

*n*——第*i*点校准的重复次数。

 

式中，*Ei*——流速仪第*i*校准速度点的相对示值误差，%。

7.2.6 重复性

各流速校准点重复性的绝对值按下列公式计算：

 

式中，(*s*)*i*——流速仪各校准点重复性的绝对值，mm/s。

各流速校准点重复性的相对值按下列公式计算：

 

式中，(*S*)*i*——流速仪各校准点重复性的相对值，%。

流速仪低区的重复性为

 

流速仪高区的重复性为

 

# 7.2.4 流速仪的系数修正

对于可修正系数的流速仪，可按合适的方法对系数进行修正，其校准结果的不确定度应采用修正后的结果。

校准结果的示值误差（1）~（4）按照置入修正系数后示值进行计算。

置入系数后，应在0.5m/s以下和以上分别至少选择1个流速点进行复测，以确认修正后示值误差水平不超过不确定度的计算结果。

将旧的系数、新的修正系数写在校准报告中。

# 8校准结果

校准证书和原始数据记录格式参照附录A和附录B。按本规范要求校准后的电波流速仪出具校准证书，电波流速仪的不确定度评定示例见附录C。

# 9复校时间间隔

对流速高区不确定度要求优于3%的，建议复校间隔不超过一年；对流速高区不确定度要求大于3%的，复校周期可以延长至两年。

注：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，因此送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

# 附录A证书格式（参考）

XXX实验室

**校准证书**

Calibration Certificate

证书编号：校字第 号

 Certificate No.

委托单位：

client

单位地址：

Address

仪器名称：

Name of Instrument

型号/规格：

Type/Specification

仪器号码：

Serial No.

制造单位：

Manufacturer

校准依据：

Calibration Regulation

批准人： 职务：

Approved by Functions

（校准专用章）

(stamp)

核验员：

Checked by

校准员：

Calibrated by

校准日期： 年 月 日

Date of Calibration Year Month Day

第1页 共2页

Page 1 of 2

计量检定机构授权证书号（Authorization Certificate No.）： 电话（Tel）：

地址（Address）： 邮编（Post Code）：

传真（Fax）： 电子邮件(Email)：

证书编号：校字第 号

 Certificate No.

|  |
| --- |
| 校准所使用的主要标准器（或标准装置）Main standards(standard device)of measurement used in the calibration |
| 名称Name | 测量范围Measuring range | 不确定度或准确度等级或最大允许误差Uncertainty or accuracy class or maximum permissible error | 证书号Certificate No. | 证书有效期至Valid until |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 本次校准所使用的主要标准器（或标准装置）均溯源至国家计量基准。Main standards(standard device)of measurement used in the calibration are traced to National Measurement Standard. |
| 校准的环境条件及地点Environmental condition and location for the calibration |
| 地点Location |  | 温度Temperature | ℃ | 湿度Humidity | %RH | 水温Water emperature | ℃ |

**校准结果**

Results of Calibration

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准流速(mm/s) | 示值误差(mm/s) | 相对示值误差 | 扩展不确定度(*k*=2) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

流速仪在流速低区的扩展不确定度为 ，在流速高区的扩展不确定度为 。

\*未经本单位书面批准，不得部分复印此证书。

# 附录B原始记录格式（参考）

校准原始记录

委托单位： 单位地址：

联系电话： 证书编号：

仪器名称： 型号/规格： 仪器编号：

制造单位： 校准依据：

校准所使用的主要标准器（或标准装置）： ，均溯源至国家计量基准。

校准地点： 温度： ℃ 湿度： %RH

校准时间： 校准员： 核验员：

表一：外观及标识校准记录表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 检测情况 |
| 1 | 电波流速仪外观不应有镀层或漆层脱落、锈蚀、划伤、毛刺、锐角等痕迹 |  |
| 2 | 标识文字应鲜明、清晰，若有显示屏，则显示亮度均匀，户外太阳光下可清晰显示内容 |  |

表二：流速校准结果原始数据记录表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准流速(mm/s) | 示值(mm/s) | 单次校准示值误差 | 流速点示值误差 | 重复性 |
| (mm/s) | 相对误差 | (mm/s) | 相对误差 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

校准时的俯仰角： (°)

俯仰角偏差： (°)

被校流速仪的分辨力： (mm/s)

# 附录C测量结果不确定度评定示例（参考）

C.1 电波流速仪测量结果不确定度评定示例

采用静水拖曳法水流速校准装置，依据本规范所述校准方法对电波流速仪实施校准实验，并计算校准结果的不确定度。

校准的流速点分为低区和高区，低区范围内选择0.1m/s、0.3m/s、0.5m/s共3个流速点，高区范围内选择了0.7m/s、1.0m/s、1.5m/s、2.0m/s共4个流速点，每个流速点重复测试3次。

示例静水拖曳法水流速校准装置的拖车车速不确定度为0.3%(*k*=2)。

示例被校电波流速仪的分辨力为0.01m/s，无系数修正功能。

C.2 校准的原始数据

校准结果的示值误差和重复性计算参照本规范式(1)~式(6)进行计算，计算结果如表C.1所示。

**表C.1 校准结果的示值误差和重复性**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准流速(mm/s) | 流速仪示值(mm/s) | 单次校准示值误差 | 流速点示值误差 | 重复性 |
| (mm/s) | 相对误差 | (mm/s) | 相对误差 |
| 1 | 100.10  | 80  | -20.1  | -20.1% | -15.9  | -15.9% | 5.9mm/s |
| 100.10  | 91  | -9.1  | -9.1% |
| 100.10  | 82  | -18.4  | -18.4% |
| 2  | 300.20  | 280  | -19.9  | -6.6% | -29.9  | -9.9% | 9.9mm/s |
| 300.20  | 270  | -30.0  | -10.0% |
| 300.19  | 261  | -39.7  | -13.2% |
| 3  | 500.36  | 492  | -8.0  | -1.6% | -0.4  | -0.1% | 24.5mm/s |
| 500.34  | 480  | -20.3  | -4.1% |
| 500.34  | 527  | 27.0  | 5.4% |
| 4  | 700.50  | 685  | -15.5  | -2.2% | -18.7  | -2.7% | 1.4% |
| 700.50  | 671  | -30.0  | -4.3% |
| 700.49  | 690  | -10.5  | -1.5% |
| 5  | 1000.64  | 982  | -18.6  | -1.9% | -2.9  | -0.3% | 2.1% |
| 1000.65  | 1021  | 20.7  | 2.1% |
| 1000.64  | 990  | -10.6  | -1.1% |
| 6  | 1500.97  | 1510  | 9.0  | 0.6% | 13.4  | 0.9% | 0.9% |
| 1500.97  | 1503  | 2.0  | 0.1% |
| 1500.97  | 1530  | 29.0  | 1.9% |
| 7  | 2001.44  | 2046  | 44.6  | 2.2% | 0.9  | 0.0% | 1.9% |
| 2001.44  | 1971  | -30.4  | -1.5% |
| 2001.45  | 1990  | -11.4  | -0.6% |

校准时的俯仰角： 45 (°)

俯仰角偏差： 0.2 (°)

被校流速仪的分辨力： 10 (mm/s)

C.3、不确定度来源和不确定度分量评定

C 3.1 车速引入的相对标准不确定度*uv*

依据静水拖曳法水流速校准装置的校准证书，其拖车车速不确定度为0.3%(*k*=2)，则车速在低区引入的标准不确定度为：

 

车速在高区引入的相对标准不确定度为：

 

C 3.2 被校电波流速仪测量重复性引入的相对标准不确定度*ur*

校准结果重复性引入的不确定度根据流速点分区，低区由测量重复性引入的不确定度可以表示为：

 

高区由测量重复性引入的相对标准不确定度可以表示为：

 

C 3.3 被校电波流速仪测量线性度引入的标准不确定度*ul*

校准结果线性度引入的不确定度根据流速点分区，并根据平均分布假设对线性偏差引入的不确定度进行评估。低区校准结果线性度引入的标准不确定度采用绝对值的描述方法，计算公式表示为：

 

高区校准结果线性度引入的标准不确定度采用相对值的描述方法，计算公式表示为：

 

C 3.4 角度偏差引入的相对标准不确定度*uθ*

拖车局部运行方向与水平面形成一定夹角，导致电波流速仪测量的俯仰角与电波和水体表面之间的夹角存在一定偏差，假设这种由角度偏差引入的不确定度符合平均分布，其在低区引入的标准不确定度可以表示为：

 

式中，*θ*——流速仪测量的俯仰角，°。

Δ*θ*——流速仪测量的俯仰角与电波和水体表面之间的夹角的偏差，°。

*vb*为高低区的分界流速，500mm/s。

其在高区引入的相对标准不确定度可以表示为：

 

C 3.5 被校电波流速仪分辨力引入的相对标准不确定度*up*

流速仪的分辨力依据显示精度的半宽，根据平均分布假设计算分辨力引入的不确定度，则在低区范围分辨力引入的标准不确定度为：

 

高区范围分辨力引入的相对标准不确定度为：

 

式中，**——流速仪分辨力引入的不确定度，mm/s；

*p*——流速仪的分辨力，mm/s。

C 3.6 合成标准不确定度

流速校准结果的不确定度包括：拖车车速、校准结果的重复性、角度偏差和被校流速仪的分辨力

 

流速校准结果的不确定度的分区表示方式包括：拖车车速、校准结果的重复性、校准结果的线性度、角度偏差和被校流速仪的分辨力，低速范围内校准结果的标准不确定度可以表示为：

 

高速范围内校准结果的标准不确定度可以表示为：

 

C 3.7 扩展不确定度

取扩展因子*k*=2，则流速仪校准结果的扩展不确定度如表C3.2所示。

**表C.2 校准结果**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准流速(mm/s) | 示值误差(mm/s) | 相对误差 | 合成标准不确定度 | 扩展不确定度(*k*=2) |
| 100.10 | -15.9 | -15.9% | 6.7 mm/s | 13 mm/s |
| 300.20 | -29.9 | -9.9% | 10 mm/s | 21 mm/s |
| 500.35 | -0.4 | -0.1% | 25 mm/s | 49 mm/s |
| 700.49 | -18.7 | -2.7% | 1.5% | 3.0% |
| 1000.64 | -2.9 | -0.3% | 2.1% | 4.3% |
| 1500.97 | 13.4 | 0.9% | 1.0% | 2.1% |
| 2001.44 | 0.9 | 0.0% | 2.0% | 4.0% |

流速仪在流速低区的扩展不确定度为49mm/s(*k*=2)，在流速高区的扩展不确定度为5.3%(*k*=2)。