

JJF

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-202X

---

## 静水拖曳法水流速校准装置校准规范

Calibration Specification for Tow-tank  
Water Flow Velocity Facility

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

---

国家市场监督管理总局 发布

# 静水拖曳法水流速 校准装置校准规范

Calibration specification for  
tow-tank water flow velocity facility

---



归口单位：全国流量计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院  
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：

本规范委托全国流量计量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.....	2
1 范围.....	3
2 引用文件.....	3
3 术语与计量单位.....	3
3.1 术语.....	3
3.2 计量单位.....	4
4 概述.....	4
4.1 工作原理.....	4
4.2 基本组成.....	4
4.3 用途.....	5
5 计量特性.....	5
5.1 装置车速.....	5
5.2 水力螺距重复性.....	5
6 校准条件.....	5
6.1 环境条件一般要求.....	5
6.2 装置要求.....	5
6.3 校准用设备要求.....	6
6.4 量值核查.....	7
7 校准项目和校准方法.....	7
7.1 校准项目.....	7
7.2 校准方法.....	7
8 校准结果的表达.....	9
9 复校时间间隔.....	9
附录 A 静水等待时间测试记录表.....	10
附录 B 装置车速不确定度评定程序.....	11
B.1 原始法车速不确定度评定.....	11
B.2 标准表法车速不确定度评定.....	11
附录 C 校准证书数据页格式.....	13
C.1 校准条件.....	13
C.2 校准结果.....	13

## 引言

本规范参照国际标准 ISO 3455:2021 《水文测验—直线明槽中流速仪的校准》（Hydrometry – Calibration of current meters in straight open tanks）和国家标准 GB/T 21699-2008 《直线明槽中的转子式流速仪检定校准方法》，并结合国内静水拖曳法水流速校准装置的生产、使用和校准现状进行制订，主要技术指标与国际标准、国家标准相一致。

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

本规范为首次制订。

# 静水拖曳法水流速校准装置校准规范

## 1 范围

本规范适用于静水拖曳法水流速标准装置（以下简称为装置）的校准及量值核查。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 21699 直线明槽中的转子式流速仪检定-校准方法

GB 11826 转子式流速仪

ISO 3455 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 术语与计量单位

### 3.1 术语

#### 3.1.1 静水拖曳法（still-water towing method）

基于水槽内水体完全静止的假设，利用水槽上方的移动平台车（以下简称平台车）搭载流速仪进行直线运动，并以车速作为标准值对流速仪进行检测的一种方法。

#### 3.1.2 车速稳定段（stable section）

平台车进行直线运动时车速达到稳定并可用于流速仪检测的工作段。简称稳定段。

#### 3.1.3 水力螺距（hydraulic screw pitch）

静水拖曳试验中平台车车速与转子式流速仪转率的比值，表征的是转子每转一周所推进的距离。

#### 3.1.4 背景流速（background velocity）

由流速仪拖动等原因导致的干扰流速仪检测的水槽内部微弱流速。

#### 3.1.5 静水等待时间（stilling time）

流速仪静水拖曳试验后，背景流速影响降至可忽略、可开展下一次检测所需要的最短等待时间。

## 3.2 计量单位

主要量的计量单位和符号见表 1。

表 1 主要量的计量单位和符号

序号	量的名称	计量单位	计量单位符号
1	流速	米每秒；毫米每秒	m/s；mm/s
2	距离	米；毫米	m；mm
3	时间	时；分；秒；毫秒	h；min；s；ms
4	温度	摄氏度	°C

## 4 概述

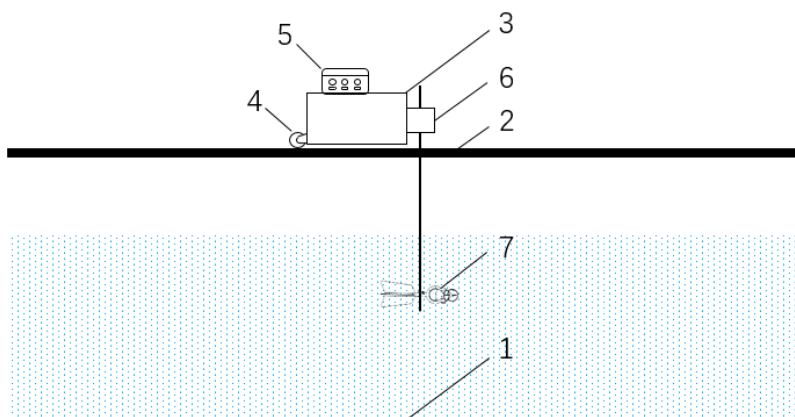
### 4.1 工作原理

基于水槽内水体完全静止的假设，利用水槽上方的平台车搭载流速仪进行直线运动，以车速作为标准值来评价流速仪的计量性能。

### 4.2 基本组成

装置基本组成示意图如图 1 所示，一般包括下列主要组成部分：

- 1) 水槽；
- 2) 轨道及驱动系统；
- 3) 平台车（含流速仪悬挂机构）；
- 4) 车速测量系统；
- 5) 流速仪信号采集系统；
- 6) 其他配套设备。



1—水槽；2—轨道及驱动系统；3—平台车；4—车速测量系统；  
5—流速仪信号采集系统；6—流速仪悬结构；7—流速仪

图 1 装置基本组成示意图

### 4.3 用途

装置用于各种水流速仪的校准与测试。

## 5 计量特性

### 5.1 装置车速

5.1.1 装置车速扩展不确定度。装置准确度等级如表 1 所示，车速扩展不确定度应满足表 1 中的要求。

5.1.2 装置车速稳定性。装置车速范围内，测次间车速稳定性应满足表 1 中的要求，1m 等距车速稳定性一般应不大于 1%。

表 1 装置准确度等级及技术要求

准确度等级	0.05 级	0.2 级	1.0 级
车速扩展不确定度	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.2\%$	$\leq 1.0\%$
测次间车速稳定性	$\leq 0.01\%$	$\leq 0.05\%$	/
水力螺距重复性	$\leq 0.1\%$	$\leq 0.5\%$	/

### 5.2 水力螺距重复性

转子式流速仪水力螺距校准结果的重复性。在 1m/s 和最大车速校准时，水力螺距重复性应满足表 1 中的要求。

注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件一般要求

- a) 气温：(0~40) °C；
- b) 水温：(5~35) °C。

### 6.2 装置技术要求

#### 6.2.1 水槽

6.2.1.1 水槽应为横截面均匀一致的直线静水槽，水槽深度和宽度均宜不小于 1m，水槽长度应能保证轨道长度要求。

6.2.1.2 水槽应定期补水并维持水体洁净。

#### 6.2.2 轨道及平台车



6.2.2.1 轨道应平直，轨道长度应保证车速稳定段长度不少于 2m，且最高车速下稳定段时间不少于 2s。

6.2.2.2 轨道底座应有调整机构。轨道调整完成后，轨道直线度应不大于 2mm/m，全线垂向变化宜不大于 10mm。

6.2.2.3 平台车驱动方式可采用拖曳式或自推进式。应通过伺服调整和传动调整，使装置工作在最佳车速稳定性状态。

6.2.2.4 流速仪悬挂机构应具有流速仪淹没深度调节功能，并确保流速仪夹持牢固；宜采用流线形截面的测杆；宜配备旋转平台实现流速仪水平偏角的调节。

### 6.2.3 测控系统

6.2.3.1 装置车速下限一般在 5mm/s~50mm/s 范围内，车速上限一般在 1m/s-10m/s 范围内，装置车速测量可采用原始法或标准表法。原始法直接测量间距和对应的时间间隔，两者之比为车速；分段间距宜不大于 1m。标准表法可采用测速轮、激光测速仪等作为标准表。0.05 级装置应采用原始法，宜具备热胀系数设置功能，用于修正间距随温度的变化；0.2 级装置宜采用原始法。

6.2.3.2 装置宜配备流速仪信号采集系统。对于转子式流速仪，信号采集应保证不丢脉冲，且转率扩展不确定度不大于 0.1%；对于电子式流速仪，宜配备模拟量输入和数字量输入接口。

6.2.3.3 装置调试完成后，应测试不同车速下的加减速距离，并作为稳定段判断依据输入测控系统。测试时的速度点应覆盖车速范围且一般不少于 5 个。

### 6.2.4 配套设备

6.2.4.1 装置应配备气温和水温测量仪表，测量范围与温度变化范围相匹配，最大允许误差一般不大于  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.4.2 装置宜配备水深测量仪表，最大允许误差一般不大于  $\pm 10\text{mm}$ 。

6.2.4.3 装置可配备背景流速监测系统，流速分辨力应不低于 1mm/s，用于评估并给出合理的静水等待时间。装置可配备消波装置，用于降低静水等待时间。

6.2.4.4 对于有声学多普勒流速仪检测功能的装置，应具有示踪粒子播撒功能，保证校准过程中流速仪信号质量始终维持在正常工作范围内。

## 6.3 校准用设备要求

### 6.3.1 车速校准用设备

具备有效量值溯源证书的车速测量设备，可为激光测速仪、测速轮等。应覆盖被测装置距离范围和车速范围，且有与被测装置适配的固定夹具。

### 6.3.2 计时器校准用设备

具备有效量值溯源证书的时间测量设备，可为标准时间间隔发生器、标准计时器等。应覆盖被测装置时间测量范围，且有与被测装置适配的脉冲接口。

### 6.3.3 距离校准用设备（仅当被检装置为原始法装置）

具备有效量值溯源证书的距离测量设备，可为激光干涉仪、激光跟踪仪、激光测距仪、游标卡尺等。

### 6.3.4 转子式流速仪

宜为水力螺距小于 200mm 的转子式流速仪，且在 0.05 级装置上 1m/s 校准时水力螺距重复性不大于 0.1%。

## 6.4 量值核查

装置宜配备核查用车速测量设备和转子式流速仪，用于车速量值核查和流速量值核查。建议至少每年进行一次量值核查。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目包括对装置的校准和量值核查，校准项目见表 2。

表 2 装置校准及量值核查校准项目一览表

项目	校准	量值核查
外观检查和资料审查	+	+
车速校准	+	+
车速稳定性校准	+	-
转率校准	+	-
转子式流速仪核查	+	+
静水等待时间测试	+	-
注：“+”表示需检测项目；“-”表示可不检测项目		

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观检查和资料审查

用目测及资料审查的方式检查装置，其中水槽尺寸、导轨直线度、平台车、测控系统、配套设备等应符合 6.2 中的要求。

#### 7.2.2 原始法装置车速校准

7.2.2.1 原始法装置车速校准应对距离和时间分别进行校准。

7.2.2.2 距离校准宜利用激光测距设备直接测量平台车的位移，也可利用游标卡尺等测量触发机构的间距。距离应逐段测量，且重复次数不少于3次。

7.2.2.3 时间校准可利用时间间隔发生器或标准计时器进行。前者无需启动平台车，直接将时间间隔发生器的脉冲输入装置计时器；后者应在平台车启动的条件下，将同步触发信号分别接入标准计时器和被测计时器。时间校准应覆盖装置用到的时间间隔测量范围，校准点数不少于5个，重复次数不少于3次。

7.2.2.4 距离校准和时间校准完成后，应利用车速测量设备对装置车速进行量值核查，核查点不少于3个，包含最大车速和最小车速点。

### 7.2.3 标准表法装置车速校准

7.2.3.1 校准表法装置应直接对车速进行校准，计算不同车速下的示值误差或修正系数。

7.2.3.2 车速校准可采用测速轮或激光测速仪等车速测量设备进行。校准点不少于5个，应包含最大车速和最小车速，重复次数不少于3次。

### 7.2.4 车速稳定性校准

7.2.4.1 车速稳定性校准应结合装置提供的加减速距离表进行，舍去加减速段、只取车速稳定段内的数据作为评价依据。车速稳定性校准点不少于5个，应包含最大车速和最小车速。

#### 7.2.4.2 测次间车速稳定性

记录同一车速下不同测次的稳定段内平均车速，重复次数不少于3次，取其标准差作为测次间车速稳定性。测次平均车速应在装置日常工作的稳定段距离条件下进行测量，取不同车速下的最大值作为测次间车速稳定性。

#### 7.2.4.3 1m等距车速稳定性

在车速稳定段内，每间隔1m记录一次平均车速，取其标准差作为该车速下的1m等距车速稳定性。取不同车速下的最大值作为1m等距车速稳定性。

7.2.4.4 原始法装置在车速校准后，宜利用自身测量的分段车速作为评价依据。标准表法装置宜采用车速校准用设备的车速数据作为评价依据。

### 7.2.5 转率校准

7.2.5.1 转率校准可利用时间间隔发生器进行，将时间间隔发生器的脉冲接入装置转率测量系统，测量不同转率下的示值误差或修正系数。

7.2.5.2 转率校准应覆盖装置车速范围对应的流速仪转率范围，校准时最大转数应不超过转子式流速仪在装置稳定段内的转数。校准点不少于5个，重复次数不少于3次。

7.2.5.3 对于原始法装置，如果车速计时和转率测量用同一套计时系统，可省略转率校准过程。

#### 7.2.6 转子式流速仪核查

装置应在正常静水等待时间条件下进行转子式流速仪水力螺距核查，至少包含 1m/s 车速和最高车速两个校准点，重复次数不少于 5 次，校准结果的重复性应满足 5.2 中的要求。

#### 7.2.7 静水等待时间测试

7.2.7.1 装置宜进行静水等待时间影响测试。如无此项测试，静水等待时间应参照 GB/T 21699 中要求定为 25min。

7.2.7.2 装置可采用转子式流速仪法确定静水等待时间，至少包含 1m/s 和最高流速两个校准点。记录 25min、10min、5min、2min、1min 等不同静水等待时间下的水力螺距均值和标准差，每组工况连重复次数不少于 10 次。数据记录表格式参见附录 A。

7.2.7.3 正常静水时间可根据装置不确定度水平确定，建议判据为：1) 水力螺距重复性满足 5.2 中的要求；2) 水力螺距均值与最长（25min）等待时间测量值之差的绝对值小于 0.2%。

## 8 校准结果的表达

校准试验完成后，按照本规范给出校准结果，开具相应的校准证书。

校准结果的不确定度评定程序见附录 B，校准证书数据页格式见附录 C。

## 9 复校时间间隔

装置的复校间隔可根据实际使用情况由委托方自主决定，建议复校间隔不超过 3 年，并建议至少每年对装置进行一次量值核查。复校时应提供前一周期内所有量值核查的试验记录。

## 附录 A 静水等待时间测试记录表

转子式流速仪型号：

编号：

流速点：1000mm/s

水温：

静水等待时间 (min)		25	10	5	2	1
水力 螺距 (mm)	测次 1					
	测次 2					
	测次 3					
	测次 4					
	测次 5					
	测次 6					
	测次 7					
	测次 8					
	测次 9					
	测次 10					
	均值					
	标准差					

测试开始时间：

结束时间：

测试员：

## 附录 B 装置车速不确定度评定程序

### B.1 原始法车速不确定度评定

原始法车速来自于距离和时间两个量值，不确定度评定可参照下表进行，各项相对不确定度乘以灵敏系数后，按照方和根的方式进行合成得到车速标准不确定度。

不确定度来源		量值 $X_i$	标准不确定度 $u(X_i)$	相对标准不确定度 $u_r(X_i)$	灵敏系数 $C_i$	对合成不确定度的贡献 $u_r(X_i) \cdot C_i$
距离 相关 项	距离测量仪器能力 mm				1	
	校准结果重复性 mm				1	
	热胀冷缩引入项 mm				1	
时间 相关 项	时间测量仪器能力 ms				1	
	校准结果重复性 ms				1	
	装置计时器分辨力 ms				1	
	触发同步性引入项 ms				1	
合成标准不确定度 $u_{c,r} =$ %						
合成扩展不确定度 $U_{c,r} =$ % ( $k = 2$ )						

评定过程具体说明如下：

(1) 从保守角度出发，距离量值应取最大车速下的稳定段长度，时间量值应取最大车速下稳定段需要的时间。

(2) 距离测量仪器能力和时间测量仪器能力两项，应引用各自的有效量值溯源证书中的数据。

(3) 距离热胀冷缩引入项，应考虑热胀系数的不确定度和装置工作温度范围综合评定。如有不同室温下的距离测量值，可用于实际计算热胀系数，并可进一步降低热胀系数的不确定度。

(4) 装置计时器分辨力为测控系统中的计时显示分辨力或计时器宣称的测量分辨力，两者取大者。

(5) 触发同步性引入项来自光电开关的动态响应时间，可引用其说明书中的数据。

### B.2 标准表法车速不确定度评定

标准表法装置直接利用标准测速仪进行车速校准，其不确定度来源主要包括标准测速仪自身的不确定度、校准结果引入的不确定度。

不确定度来源		量值 $X_i$	标准不确定度 $u(X_i)$	相对标准不确定度 $u_r(X_i)$	灵敏系数 $C_i$	对合成不确定度的贡献 $u_r(X_i) \cdot C_i$
1	车速测量仪器能力%				1	
2	校准结果重复性%				1	
3	校准结果线性度%				1	
合成标准不确定度 $u_{c,r} =$ %						
合成扩展不确定度 $U_{c,r} =$ % ( $k = 2$ )						

评定过程具体说明如下：

(1) 车速测量仪器能力引入项，应取装置车速范围内的相对标准不确定度最大者。

(2) 校准结果重复性引入项，应取装置车速范围内的相对标准不确定度最大者。

(3) 校准结果线性度引入项，从保守角度考虑，宜取不同车速下车速相对示值误差的绝对值最大者。

(4) 标准表法由于存在量值漂移问题，合成扩展不确定度不宜优于 0.2%。

## 附录 C 校准证书数据页格式

## C.1 校准条件

- (1) 水槽尺寸：
- (2) 车速范围：
- (3) 车速测量方法：
- (4) 环境温度范围：
- (5) 日常工作稳定段长度：
- (6) 日常工作静水等待时间：

## C.2 校准结果

- (1) 车速及转率校准结果（仅用于原始法装置）

从零位起算，触发间距依次为：

计时器修正系数：

车速扩展不确定度：

转率扩展不确定度：

- (2) 车速及转率校准结果（仅用于标准表法装置）

校准前车速修正系数：        校准时车速修正系数：

车速 (mm/s)	示值误差 (%)	重复性 (%)

车速扩展不确定度：

计时器修正系数：

转率扩展不确定度：

- (3) 车速稳定性

测次间车速稳定性：

1m 等距车速稳定性：

- (4) 转子式流速仪核查

车速 (mm/s)	静水等待时间 (min)	水力螺距均值 (mm)	水力螺距重复性 (%)