
中华人民共和国交通运输部部门计量检定规程

水运工程 超声波流速仪

编制说明

（征求意见稿）

计量检定规程编写组

2016 年 10 月

水运工程 超声波流速仪计量检定规程

编制说明

1. 工作简况

1.1. 任务来源

本检定规程已列入交通运输部 2015 年交通运输标准化计划（交科技发【2015】114 号），计划编号为 JJG 2015-8。

1.2. 编制过程

《水运工程 超声波流速仪》（JJG（交通）030-2004）公开发布并实施至今已有 12 年之久，根据该计量检定规程实施运行情况和工程检测技术的发展变化，原规程有必要进行修编，一些技术要求和技术指标以及检定程序、量值溯源要求、计算方法需要修改。依据交科技发【2015】114 号，于 2015 年 3 月成立了《水运工程 旋桨式流速仪》检定规程修编组。

本规程在修编过程中广泛收集了国内外旋桨式的研究单位、生产单位、使用单位，以及相关企业标准、行业标准、国家标准、国外标准以及行业内外相关计量检定规程与技术校准规范等有关资料，在此基础上依据 JJF 1002 -2010《国家计量检定规程编写规则》，根据我国目前的实际情况与特点，结合水运工程检测技术的实际需求对 JJG（交通）030-2004《水运工程 超声波流速仪》进行了修编。2016 年 9 月完成了 JJG（交通）030-XXXX《水运工程 超声波流速仪》征求意见稿。

2016 年 9 月 28 日，标准编写组在交通运输部天津水运工程科学研究院召开了“超声波流速仪咨询会”，全国港口标准化技术委员会检测设备工作组成员单位参加了会议，并对检定规程中量值溯源要求与方法提出了具体的建议。会后，规程编写组对会上专家提出的建议进行总结归纳，并根据修改意见完善征求意见稿。

1.3. 检定规程的主要起草人及其工作

本规程的起草单位为：交通运输部天津水运工程科学研究院；起草人为：高辉、赵晖、曹媛媛、李妍。高辉负责整个规程编制的协调工作与技术把关，和对技术参数和数据的验证；赵回负责确定超声波流速仪的技术参数、测试设备及其参数的确定和量值溯源路线；

曹媛媛、李妍负责超声波流速仪测试方法的确定，以及测试设备的验证。

2. 规程编制原则和主要内容

2.1. 规程编写原则

超声波流速仪检定规程在修订时，依据此类产品的国内生产水平，内容上以国内先进技术为依据，形式上按 JJF 1002 -2010《国家计量检定规程编写规则》的要求修编。

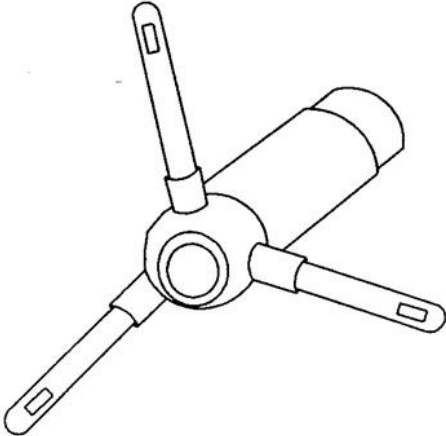
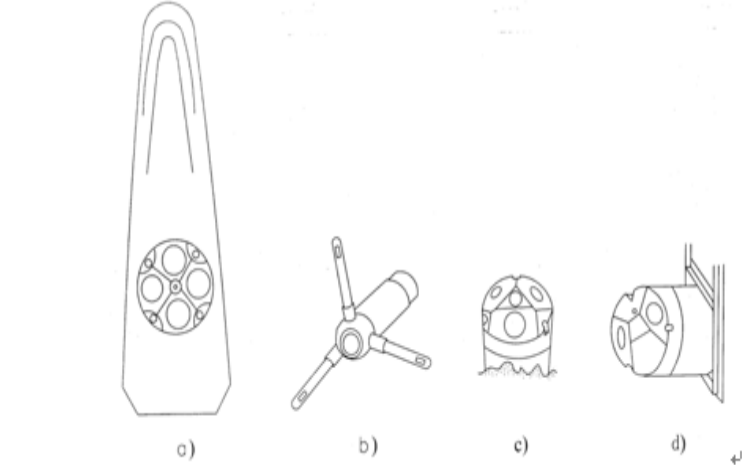
在对旋桨式流速仪检定规程修订的过程中，按以下的原则执行：

- 1) 仪器设备标准中技术指标，需要符合当前的技术水平，技术指标的确定需要符合当前厂家所能达到的技术水平；
- 2) 超声波流速仪规程中技术指标应该符合国家强制标准的需求，符合行业强制性施工标准和设计标准中对超声波流速仪需求；
- 3) 超声波流速仪中关于仪器设备量值溯源的内容，应当符合国家量值溯源体系的相应要求；
- 4) 超声波流速仪作为计量器具，检测方法需要参考相应计量器具的检定规程，以量值溯源链的完整以及数据的准确可靠。

2.2. 检定规程的主要内容

检定规程修编的主要内容，如表 1 所示。

表1 修编内容一览表

序号	JJG（交通）030-XXXX 修订征求意见稿	JJG（交通）030-2004 水运工程 超声波流速仪	依据
1	<p>4 概述</p> <p>超声波在介质中传播时，波源、接收探头、传播介质或散射物质的运动，都会使超声波的频率发生变化，当波源和接收探头位置固定时，频率的改变只与散射物质的运动有关。所以当超声波入射水中，水中存在着悬浮物、泥沙等不均体，将对声波产生不规则散射，散射声波的一部分被换能器接收所产生的多普勒频移可以推算出当前流速。</p> <p>超声波流速仪根据测流原理不同分为声学时差法流速仪、单点式声学多普勒流速仪（以下简称单点式流速仪）和声学多普勒流速剖面仪（ADCP）。本规程只针对单点式流速仪的检定。图1为最常用的单点式流速仪，该流速仪有三个信号接收端，中间为发射端，可以测三维单点流速。</p>  <p>图1 声学多普勒单点式流速仪传感器示意图</p>	<p>3 概述</p> <p>超声波流速仪是利用超声波传播特性与电子技术相结合施测流速的仪器。</p> <p>根据测流原理不同，超声波流速仪分为超声波时差法流速仪和超声波多普勒流速仪。超声波时差法流速仪是根据超声波在顺流和逆流中传播的时间差而实现测流的；超声波多普勒流速仪则是利用声学换能器所发射的声脉冲在随流运动的水体悬浮物中所产生的多普勒频移进行测流。</p> <p>超声波流速仪由水下传感器及水上显示记录器两大部分组成。时差法流速仪水下传感器结构比较简单，常见的几种多普勒流速仪水下传感器示于图1。</p> <p>它适用于江河、海洋、港口、航道、通航建筑等水运工程测量断面平均流速及点流速。</p>  <p>a) 点式多普勒流速剖面仪 b) 三维多普勒流速仪 c) 单点式多普勒流速剖面仪 d) 二维固定式多普勒流速剖面仪</p> <p>图1 多普勒超声波流速仪传感器示意图</p>	根据现阶段电子技术发展和市场状况。
2	<p>5 计量性能要求</p> <p>5.1 测量范围</p> <p>a) 流速：0.03 m/s~5m/s。</p> <p>b) 流向：0° ~360° 。</p>	<p>4 计量性能要求</p> <p>4.1 测量范围</p> <p>超声波时差法流速仪：0m/s~±3m/s，0m/s~±6m/s。</p> <p>超声波多普勒流速仪：0m/s~±6m/s，0m/s~±10m/s，0m/s~±15m/s。</p>	

	<p>5.2 准确度 a) 流速最大允许误差: $\pm (测量值 \times 0.5\% + 1) \text{ mm/s}$。 b) 流向最大允许误差: $\pm 1^\circ$。</p> <p>5.3 分辨力 不大于 0.1 cm/s。</p> <p>5.4 重复性 在测量范围内, 重复性误差不大于最大允许误差的0.3倍。</p>	<p>4.2 准确度 超声波时差法流速仪: 最大允许示值误差为3%。 超声波多普勒流速仪: 最大允许示值误差为 $0.5\% \pm 0.5 \text{ cm/s}$。</p> <p>4.3 分辨力 超声波时差法流速仪: 不大于 1 cm/s; 超声波多普勒流速仪: 不大于 0.1 cm/s。</p> <p>4.4 重复性 在同一水流条件下重复测量6次~10次, 重复性误差应不大于最大允许示值误差的0.3倍。</p>	
3	<p>6 通用技术要求</p> <p>6.1 外观质量 单点式流速仪表面涂层应牢固、均匀、不应有脱落、划伤、锈迹等缺陷, 用于连接仪器设备的电缆表层应完好, 不应有裂痕、破损等迹象。</p> <p>6.2 防护要求 单点式流速仪的水上设备应防潮、防尘、防盐雾。</p> <p>6.3 整机结构 单点式流速仪的整机结构应便于运输、安装、使用和维修。</p> <p>6.4 铭牌 单点式流速仪应有清晰的铭牌, 标有产品名称、型号、编号、出厂日期、生产单位。</p>	<p>5 通用技术要求</p> <p>5.1 外观质量 超声波流速仪表面的涂层应牢固、均匀, 不应有脱落、划伤、锈蚀等缺陷。</p> <p>5.2 防护措施 超声波流速仪的水上设备应具备防潮、防尘、防盐雾的措施。</p> <p>5.3 一般要求 仪器的各操作键及插接件应工作可靠、各种操作功能应运行正常。</p> <p>5.4 显示记录 显示记录仪器部分应清晰、完整, 并保持稳定。</p> <p>5.5 铭牌 超声波流速仪应有清晰的铭牌, 标有产品名称、型号、出厂日期、生产单位。</p>	
4	<p>7 计量器具控制 计量器具控制适用于首次检定、后续检定和使用中检查。</p> <p>7.1 检定条件</p> <p>7.1.1 检定环境条件 温度与湿度条件</p> <p>7.1.1.1 温度与湿度要求包括: a) 室温: $5^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$; b) 相对湿度: 不大于75%。</p> <p>7.1.1.2 供电电源 供电电源要求包括: a) 交流供电: 220V, 50Hz; 电压允许偏差为 $\pm 10\%$; b) 直流供电: 12V, 24V, 允许偏差为 $-15\% \sim +10\%$。</p>	<p>6 计量器具控制</p> <p>6.1 检定条件 检定环境条件 检定的环境条件如下: a) 室温: $5^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ (每小时温度变化应不大于 2°C); b) 相对湿度: 不大于75%; c) 检定过程中流速仪不应受到强磁场和强电场的干扰。</p> <p>检定设备</p> <p>6.1.2 检定设备</p> <p>6.1.2.1 检定水槽 a) 直线明槽 b) 水槽规格应满足表1要求</p>	

	<table><tr><th colspan="6">表2 检定项目</th></tr><tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">检定项目</th><th rowspan="2">检定方法</th><th colspan="3">检定类别</th></tr><tr><th>首次检定</th><th>后续检定</th><th>使用中检查</th></tr><tr><td>1</td><td>外观质量</td><td>7.3.1</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>2</td><td>测速范围、准确度、分辨力</td><td>7.3.2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>3</td><td>重复性</td><td>7.3.2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td colspan="6">注：“+”表示应检定。</td></tr></table>	表2 检定项目						序号	检定项目	检定方法	检定类别			首次检定	后续检定	使用中检查	1	外观质量	7.3.1	+	+	+	2	测速范围、准确度、分辨力	7.3.2	+	+	+	3	重复性	7.3.2	+	+	+	注：“+”表示应检定。						<table><tr><td>2</td><td>测速范围，准确度、分辨力</td><td>6.3.2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>3</td><td>重复性</td><td>6.3.4</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td colspan="6">注：“+”表示应检定，“-”表示可不检定</td></tr></table>	2	测速范围，准确度、分辨力	6.3.2	+	+	+	3	重复性	6.3.4	+	+	+	注：“+”表示应检定，“-”表示可不检定						试验要求。
表2 检定项目																																																												
序号	检定项目	检定方法	检定类别																																																									
			首次检定	后续检定	使用中检查																																																							
1	外观质量	7.3.1	+	+	+																																																							
2	测速范围、准确度、分辨力	7.3.2	+	+	+																																																							
3	重复性	7.3.2	+	+	+																																																							
注：“+”表示应检定。																																																												
2	测速范围，准确度、分辨力	6.3.2	+	+	+																																																							
3	重复性	6.3.4	+	+	+																																																							
注：“+”表示应检定，“-”表示可不检定																																																												
5	<p>7.3 检定方法</p> <p>7.3.1 外观质量</p> <p>采用目测和手检的方法进行，试验结果应符合6.1的规定。</p> <p>7.3.2 测速范围、准确度、分辨力</p> <p>7.3.2.1 将单点式流速仪的水下设备固定在检定车正下方，其入水深度应至少保证在0.5m处；</p> <p>7.3.2.2 检定应在静水中进行，为避免水面波动对检定结果影响，检定车应待水槽水面相对静止后再启动；</p> <p>7.3.2.3 接通电源使单点式流速仪处于工作状态；</p> <p>7.3.2.4 在流速水槽测量段内，放置数字频率计开关，启动检定车，待车速稳定后对给定的流速范围进行检定，流速测量范围的检定宜从低速向高速进行；</p> <p>7.3.2.5 流速检定车在被检设备量程范围内，均匀选择16个点的速度进行跑车，待检定车匀速行驶时，每个检定点应读取10次测量值取平均值。</p> <p>7.3.2.6 使用钢卷尺测量每个计时点至零点的距离L_i，使用计时器测量检定车通过相邻两个计时点的时间t_i，采用公式（1）、公式（2）计算测量段内的检定车速度标准值v_{ti}。</p> $v_{iB} = \frac{L_i - L_{i-1}}{t_i} \tag{1}$ $v_{ti} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{iB} \tag{2}$	<p>6.3 检定方法</p> <p>6.3.1 外观质量</p> <p>目视观察和手工操作。</p> <p>6.3.2 测速范围、准确度、分辨力</p> <p>6.3.2.1 将超声波流速仪换能器按要求的流向安放在检定车水下，其入水深度应保证在最高车速范围内传感器不会露出水面。</p> <p>6.3.2.2 检定应在静水中进行，为避免水面波动对检定结果影响，检定车应待水槽水面相对静止后再启动。</p> <p>6.3.2.3 检定步骤：</p> <p>a) 接通电源使超声波流速仪处于工作状态；</p> <p>b) 启动检定车，待车速稳定后再按照4.1给定的流速范围进行检定，流速范围的检定宜从低速向高速进行，在全量程范围内均布20个检定点，每个检定点读数10次取平均值，按附录B表的要求记录。</p> <p>6.3.2.4 各检定点的流速示值误差计算公式见附录A的A.2。在进行1.00m/s以下低流速检定时，对个别的粗大误差可以舍去，不参加算术平均值计算，一个检定点只能舍去一个读数。检定和计算结果应符合4.1和4.2的规定。</p> <p>6.3.3 重复性</p> <p>在超声波流速仪测量范围内选定某一车速，车速保持不变，用超声波流速仪连续测量10次，记录各次示值并计算10次的平均值及重复性误差，计算公式见附录A的A.3，按附录B表的要求记录，计算结果应符合4.4的规定。</p>																																																										

$$v_{iB} = \frac{L_i - L_{i-1}}{t_i} \quad (1)$$

$$v_{ti} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{iB} \quad (2)$$

<p>式中: L_i ——第<i>i</i>个计时点至零点的距离; L_{i-1} ——第<i>i-1</i>个计时点至零点的距离; t_i ——检定车通过第<i>i</i>段距离的时间, s; v_{iB} ——检定车第<i>i</i>段距离内的平均速度, m/s; v_{ti} ——检定车速度标准值, m/s; n ——检定车测量数据的个数。</p> <p>7.3.2.7 流速示值误差计算方法见公式(3)和公式(4)。在进行1.00m/s以下低流速检定时,对个别的粗大误差可以舍去,不参加算术平均值计算,一个检定只能舍去一个读数。检定和计算结果应符合5.1和5.2的规定。</p> $\Delta v_i = \bar{v}_i - v_{ti} \quad (3)$ $\delta_i = \frac{\Delta v_i}{v_{ti}} \times 100\% \quad (4)$ <p>式中: Δv_i —i检定点的流速示值绝对误差, 单位为米每秒 (m/s) ; \bar{v}_i — i 检定点流速读数的算术平均值, 单位为米每秒 (m/s) ; v_{ti} —i检定点的实际流速 (检定车速标准值) , 单位为米每秒 (m/s) ; δ_i —i检定点的流速示值相对误差。</p> <p>7.3.2.8 流向检定 通过专用流向测试设备, 分别调整单点式流速仪与检定车方向呈0°、30°、60°、90°、120°、150°、180°; 选择往返相同的检定车速、进行往返跑车; 记录单点式流速仪测量的流向; 分别对往返两个方向的流向测量值进行统计平均, 平均值与0°、30°、60°、90°、120°、150°、180° 比对, 结果应符合5.2要求。</p> <p>7.3.3 重复性 在单点式流速仪测量范围内选定某一车速, 车速保持不变, 用单点式流速仪连续测量10次, 求出测量数据标准差, 计算方法见公式(5)和公式(6), 应符合5.4规定。</p>		
--	--	--

	<div data-bbox="219 156 840 247" data-label="Equation-Block"> $\delta_R = \frac{(2 \sim 3)s}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad (5)$ </div> <div data-bbox="499 260 719 387" data-label="Equation-Block"> $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}}$ </div> <div data-bbox="230 395 268 422" data-label="Text"> <p>(6)</p> </div> <div data-bbox="219 430 539 475" data-label="Equation-Block"> $\bar{v} = v_1 + v_2 + \cdots + v_n / n$ </div> <div data-bbox="219 488 497 531" data-label="Text"> <p>式中: δ_R—重复性误差;</p> </div> <div data-bbox="219 544 683 587" data-label="Text"> <p>$Y_{F.S}$—仪器全量程, 单位为米每秒 (m/s) ;</p> </div> <div data-bbox="219 595 683 635" data-label="Text"> <p>S—重复性标准差, 单位为米每秒 (m/s) ;</p> </div> <div data-bbox="219 651 705 687" data-label="Text"> <p>v_i—任一次流速示值, 单位为米每秒 (m/s) ;</p> </div> <div data-bbox="219 691 799 740" data-label="Text"> <p>\bar{v}—n 次流速仪示值的平均值, 单位为米每秒 (m/s) ;</p> </div> <div data-bbox="219 758 459 798" data-label="Text"> <p>v_n—第 n 次流速示值;</p> </div> <div data-bbox="219 802 378 834" data-label="Text"> <p>n—测量次数。</p> </div>		
--	--	--	--

2.3. 技术参数来源

超声波流速仪是利用一个或者多个换能器通过在水中发出超声波，与被测水体发生多普勒频移的原理来测定流速的。JJG（交通）030-2004 水运工程 超声波流速仪 是 2004 年发布的检定规程，至今已运行十多年，伴随着电子技术的飞速发展以及行业需求，旧版的检定规程中所涉猎的产品类型大多已经不在应用于当前的水运工程建设，而国内普遍采用进口的超声波点式流速仪替代了传统的超声波流速仪。因此，结合市场的发展以及当前工程中的需求，我们应瞄准工程建设保有量巨大的点式流速仪作为本次超声波流速仪标准修订的主要对象，最为最新的产品，我们将以此修订检定规程并对其进行量值溯源。

由于国内并没有关于超声波点式流速仪的相关规程，编写组在参考 JJG（交通）030-2004 水运工程 超声波流速仪的同时，还参考学习了例如 GB/T 24558-2009 声学多普勒流速剖面仪等同样采用超声波原理制成的流速测量设备的技术标准，通过大量的试验和工程经验，对该产品的技术参数进行修订。

2.4. 计算公式来源

超声波流速仪的计算公式基本沿用 JJG（交通）030-2004 超声波流速仪检定规程中的计算公式。虽然如今应用在水运工程建设中的设备发生了变化，但是我们分析实验数据已经工程经验，最后依据 JJG（交通）030-2004 超声波流速仪检定规程，论证得出计算公式依然适用于当前单点式超声波流速仪试验。

2.5. 测试方法来源

超声波流速仪是常见的流速测量设备，其测试方法静水槽测试方法也是国内外各研究机构经过长时间的论证，另外考虑投资、运行维护成本以及对设备测试的准确度等各方面因素，最终成为国内外普遍公认的超声波流速仪测试方法。因此，编写组对于测试方法主要参考学习了有关于直线明槽流速检定与校准方面的国家标准，以及当前水运工程行业的试验条件，对测试方法进行修编。

在标准修订的过程中，在配套规程中提供了计量标准重复性、稳定性的考核数据，并提供了量值溯源图和测量不确定度的评定。

3. 社会效益预测

超声波流速仪是水运工程建设的基础部分，对工程质量起到至关重要的作用。修编后的检定规程颁布后，更贴近于工程需求，使得超声波流速仪实现规范化管理，满足了水运工程建设的量值溯源需求，带来了直接或间接的社会效益。

4. 采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

我国对超声波流速仪的管理，需要其符合我国的量传体系。该规程的制定与实施即为保证超声波流速仪的量值溯源，确保水运工程建设质量。

5. 与有关的现行法律、法规和标准的关系；

超声波流速仪的规程符合当前《中华人民共和国标准化法》，符合交通运输部对超声波流速仪标准与规程的管理办法。

6. 重大分歧意见的处理经过和依据

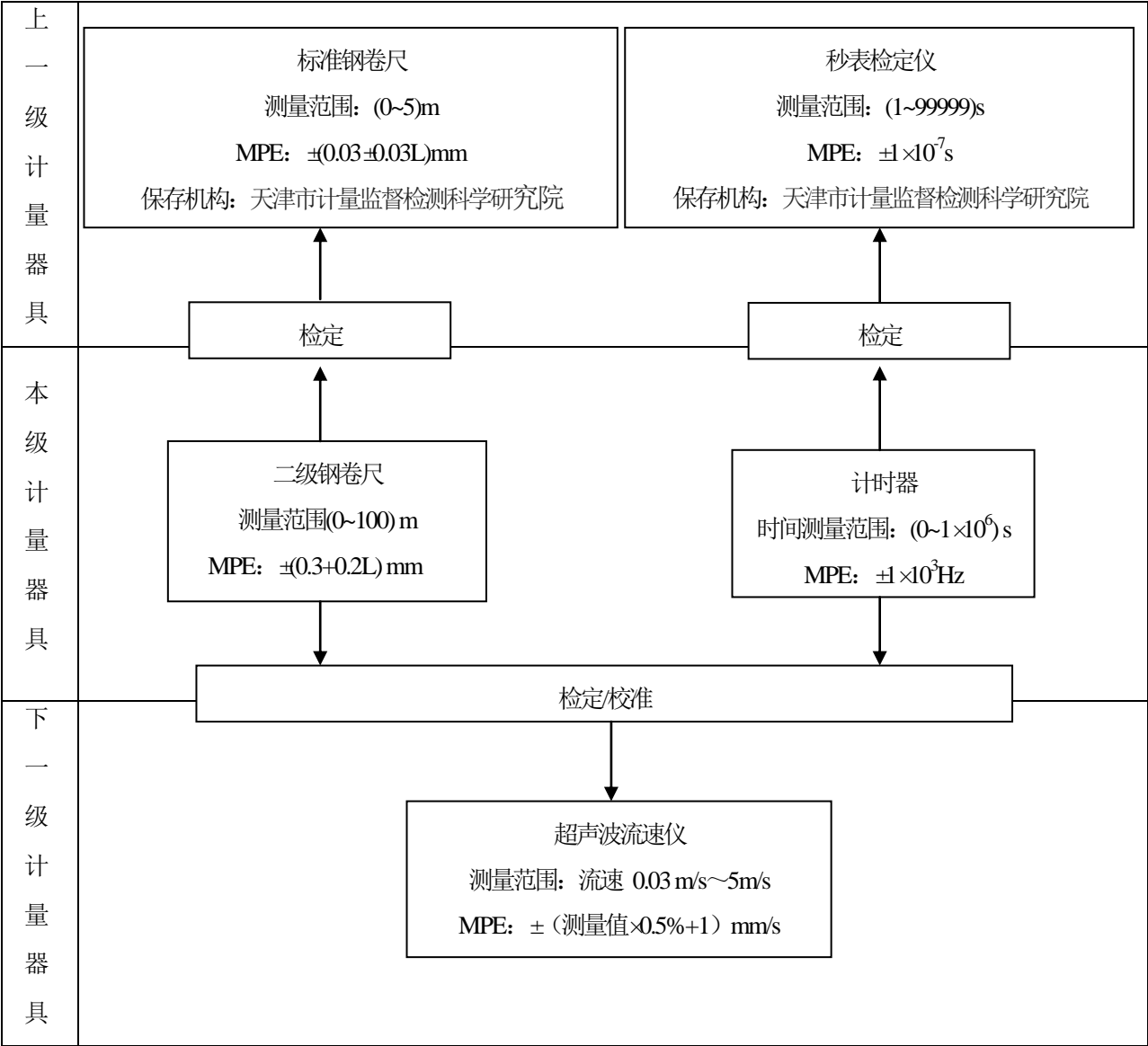
本检定规程在修订过程中，未出现重大分歧意见。

7. 其他予以说明的事项

无。

附录 1

超声波流速仪量值溯源与传递框图



附录 2

超声波流速仪速度大小测量不确定度的评定

(1) 数学模型

超声波流速仪计量标准流速测量误差数学模型为：

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{B-1})$$

式中： L ——超声波流速仪计量标准匀速运行的距离， m；

t ——超声波流速仪计量标准匀速运行的时间， s；

V ——超声波流速仪的计量标准速度测量值， m/s。

(2) 合成灵敏度系数

由于超声波流速仪计量标准流速测量误差数学模型中的 L 、 t 、 V 互不相关，故其合成方差为：

$$u_c^2(V) = c^2(L)u^2(L) + c^2(t)u^2(t) \quad (\text{B-2})$$

式中灵敏系数为：

$$c(L) = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial(L)} = \frac{1}{t}$$
$$c(t) = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial(t)} = \frac{L}{2t^2}$$

在实际进行测量不确定度评定的过程中，采用标准点进行测量不确定度的评定。采取的标准点为：流速 0.4m/s，长度 40m。在此条件下，运动的时间 t ，经计算为 100s。将这些结果带入灵敏度系数，则有：

$$c(L) = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial(L)} = \frac{1}{t} = \frac{1}{100}$$
$$c(t) = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial(t)} = \frac{L}{2t^2} = \frac{1}{500}$$

(3) 计算分量不确定度：

1) 超声波流速仪计量标准匀速运行的距离引入的测量不确定度分量 $u(L)$ ；

a) 二级钢卷尺带来的测量不确定度

对二级钢卷尺采用标准不确定度的 B 类评定方法，二级钢卷尺的最大允许误差为 $\pm (0.2L+0.3)$ mm（其中 L 的单位为 m），取标准点为 40m，估计其为均匀分布，则其不确定度 $u(L)_2$ 为：

$$u(L)_1 = \frac{8.3mm}{\sqrt{3}} = 4.79mm$$

b) 由于温度的变化给系统带来的不确定度 $u(L)_2$ 为：

$$u(L)_2 = 0.2mm$$

c) 钢卷尺与超声波流速仪安装平面的位置偏差带来的不确定度 $u(L)_3$ 为：

钢卷尺与超声波流速仪安装平面的位置偏差带会对实际测量距离产生影响，估计实际测量距离的误差为 10mm，按其均匀分布，引入的不确定度 $u(L)_3$ 为：

$$u(L)_3 = \frac{10mm}{\sqrt{3}} = 5.77mm$$

合成标准不确定度 $u(L)$ ：

$$u_c(L) = \sqrt{1^2 \times 4.79^2 + 1^2 \times 0.2^2 + 1^2 \times 5.77^2} = 7.5mm$$

2) 超声波流速仪计量标准匀速运行的时间引入的测量不确定度分量 $u(t)$ ；

1) 计时器自身带来的测量不确定度 $u(t)_1$

计时器的最大允许误差为 $\pm 1 \times 10^{-2}s$ ，采用测量不确定度的 B 类评定方式，估计其为均匀分布，则计时器自身带来的测量不确定度 $u(t)_1$ 为：

$$u(t)_1 = \frac{1 \times 10^{-2}s}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-3}s$$

2) 接触开关的相应时间带来的测量不确定度 $u(t)_2$

计时器在进行时间测量时，采用触碰接触开关的方式。为了提高时间测量的准确度，选择的响应时间小的接触开关，相应时间为 10ms。估计其为均匀分布，则带来的测量不确定度 $u(t)_2$ 为：

$$u(t)_2 = \frac{1 \times 10^{-2} \text{s}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-3} \text{s}$$

合成标准不确定度 $u(t)$:

$$u(t) = \sqrt{u(t)_1^2 + u(t)_2^2} = 8.1 \times 10^{-2} \text{s}$$

(4) 测量不确定度一览表:

表 B-1 流速测量不确定度一览表

相对不确定度分量	相对不确定度来源	相对不确定度	灵敏系数
$u(L)$	超声波流速仪计量标准匀速运行的距离引入的测量不确定度分量	7.5×10^{-2}	0.01
$u(t)$	超声波流速仪计量标准匀速运行的时间引入的测量不确定度分量	0.03	0.002

(5) 合成标准不确定度:

$$u_c(V) = \sqrt{c^2(L)u^2(L) + c^2(t)u^2(t)} = 7.7 \times 10^{-4} \text{m/s}$$

(6) 扩展不确定度:

取扩展因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u(V) = 1.5 \times 10^{-3} \text{m/s}$$