

45-48

流速仪运动方程主参数 K 值的一点检定法

杨汉塘

(南京水利水文自动化研究所 南京 210012)

p335.1

摘要 流速仪比测和检定是国内外水文测验界长期未能完满解决的问题。本文提出直线明槽检定流速仪运动方程主参数 K 值的一点检定法。检定时只用一较低速度级,静水参比工作条件好,成果可靠,方法简捷,适用于流速仪检修检定,也可用于野外比测检定。

关键词 水文测验, 流速仪, 一点检定法, 水力螺距, 静水条件

1 一点检定法原理

1.1 流速仪运动方程

我国流速仪检定系按 SD145-85“直线明槽中转式流速仪的检定”(参照采用 ISO3455)进行的。检定原理是基于物体相对运动,即流速仪固定在检定车测杆上,以一系列恒稳的速度 v' ,与静止水体作相对运动,同时检测与其相应的一系列仪器输出量 n 。通过数据处理建立流速仪运动方程

$$v = Kn + C \quad (1)$$

式中 v 为速度标准输入量,设 $v' = v$; K 为水力螺距,是表征流速仪性能的主参数; C 为摩阻系数,表征仪器内摩阻特性。

1.2 K 值

计算 K 值采用平均值法。将测试点 N 分高、低速两组,两组的点各具有点系中心,通过两个点系中心连线,即为最佳拟合直线。斜率 K 按下述方法求得。

低速段 $N/2$ 个测试点的点系中心坐标:

$$\left. \begin{aligned} \bar{v}_1 &= \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N/2} v_i \\ \bar{n}_1 &= \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N/2} n_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

高速段 $N/2$ 个测试点的点系中心坐标:

$$\left. \begin{aligned} \bar{v}_2 &= \frac{2}{N} \sum_{i=N/2+1}^N v_i \\ \bar{n}_2 &= \frac{2}{N} \sum_{i=N/2+1}^N n_i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

通过两个点系中心 $(\bar{v}_1, \bar{n}_1)$ 和 $(\bar{v}_2, \bar{n}_2)$ 的直线斜率 K 为

$$K = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{\bar{n}_2 - \bar{n}_1} \quad (4)$$

我国水文测站用的 LS25-1 型常规流速仪,从 1957 年投产至今,累计总量有 8 万多架。逐年生产和检修的仪器,其检定资料有 20 多万架次。对大量资料的统计、分析表明,仪器性能稳定,方程(1)线性度良好,其使用上限为 5 m/s,实测为 15 m/s。目前我国流速仪及其检定设备的性能、精度和生产中的工艺规程、质保体系等都远比 50 年代有很大的进展。因此,检修仪器的线性度无须再重复检定验证。

直线方程上任一点斜率 $K = \Delta v / \Delta n$ 为一常数。令 $n_1 = 0, v_1 = C$,另优选一最佳测试点 (v_2, n_2) ,为提高检定精度,可增加测点数目 N ,代入公式(4),得

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{v_2 - C}{n_2} \quad (5)$$

对流速仪及其检测设备的性能综合测试

分析表明, $v_2 = 0.7 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 速度范围为佳, 它超越了仪器的摩阻区, 检定车进入车速平稳级, 且检定速度低, 波浪小, 静水参比工作条件好。

1.3 C 值^[1]

机械式转子流速仪支承系统的摩阻特性是仪器低速性能的一个重要指标, LS25-1 型旋桨流速仪的内摩阻主要取决于轴承摩阻力矩。该仪器配用精密仪表微轴承 D6025M, 它通常用于航空、航天领域, 性能优, 精度高, 质量好, 力矩小 ($0.6 \sim 1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}$), 完全可满足该产品摩阻特性标准化的要求。

C 值的量值很小, 对水体波动等外来因素的干扰很敏感。在同一检定条件下, 同一时间内, 对内摩阻力矩不变的同一仪器, 重复检定 5 架次, 每次 C 值均会不同, 最大偏差可达 70%, 然而其均值接近标准值 0.007 m/s 。C 值表征仪器内摩阻, 反映低速性能, 同时, 亦是 K 值准确度的一个判别数。当 C 值偏大时, 表明 K 值偏小; 反之, C 值偏小, 则 K 值偏大。因此, 我国流速仪检定对 C 值变幅控制甚严。从国外进口的同类流速仪, 如俄罗斯 Ж-3 型、德国 C-31 型、日本 SW15 型和美国 F-Price AA 型等, C 值都超出我国标准, 甚至为不符合物理意义的负值。因此, 从仪器工作机理和统计学理论出发, 采用大量资料的统计均值作为标准值, 同时用力矩仪检测流速仪的内摩阻特性, 这样将更为科学、准确、可靠。

2 一点法检定精度

2.1 检定中的参比工作条件^[2]

严格控制仪器检定中的参比工作条件是确保仪器检定精度的重要前提。流速仪检定的主要参比工作条件是静水。ISO3455 规定, 每次测试行车前, 水槽水面应保持相对平静, 当车速为 $0.5, 2.5 \text{ m/s}$ 时, 静水时间建议为 10, 15, 25 min。我国例行检定中, 只有一个夜

晚和午休的自然静水时间, 主要用来检定低速段。中、高速检定则是按预定的速度级序列, 逐级加速, 往返行车, 并无静水时间。因标准规定的静水指标不太严谨, 检定中又缺少检测、控制手段, 因此, 检定成果随机误差可能较大。

2.2 标准输入量

流速仪检定是确定转速和流速各个值处于稳态时的输出-输入关系, 属于静态检定。在检定中, 标准输入量 v 必须是一个稳态不变的常量。对于直线明槽静水检定法, 必要而充分的条件是: 检定车速度恒稳; 水体静止。为提高检定精度, 人们总是注重前者, 而忽视后者。实际上, 检定中仪器与静水作相对运动时, 将能量频频地施加于水体, 激起波浪, 经四周槽壁反射, 并多次叠加, 工况十分复杂。水槽特性不同, 其反射效应亦异。根据反作用定理, 检定中, 水体不断地将部分能量 $\pm \Delta v$ 反馈给仪器。因此, v' 不等于 v , 而是 $v = v' \pm \Delta v$ 。当 (一些) 高速测试点输入量 $v_2 = v'_2 + \Delta v$ 时, 输出量 $n_2 = n'_2 + \Delta n$, 点系中心 $(\bar{v}_2, \bar{n}_2)$ 将偏离直线右侧, 使直线斜率 K 减少, 截距 C 增大; 而当 $v_2 = v'_2 - \Delta v$ 时, $n_2 = n'_2 - \Delta n$, 情况正好相反。低速测试点对水体波动等外界干扰因素的影响更为敏感, 情况更为复杂, 其分析原理同上。由于标准输入量 v 并非恒稳的常量, 它掺入了一微小的随机增量 $\pm \Delta v$, 因此, 重复检定多次, 其成果不尽相同, 甚至超标。为此, SD145-85 标准规定: 对 K, C 值变幅, 计算资料允许剔除 20% 粗大误差点。超限的产品, 需重新检定。据南京水利电力仪表厂 (三级精度水槽) 和重庆水文仪器厂 (一级精度水槽) 统计, 超限产品数量分别为 10%~20% 和 5%~10%。这就是统计学上的两类误检产品之一, 即将合格产品误检出限, 这类产品可及时发现, 并重检、纠正。另一类误检是将不合格产品误检入限, 它难以发现, 数量难估。这也是目前流速仪常规检定法

存在的问题。

2.3 标准仪器

按 SD145-85 标准要求,我们在重庆水文仪器厂一级精度大型标准水槽上进行验证检定。槽体的长 $\times$ 宽 $\times$ 深为 $200\text{m}\times 5\text{m}\times 3.32\text{m}$ 。为减少随机误差的产生,检定时应特别注意静水参比工作条件并增大测量样本容量。每架仪器检定的测试点数目增多,速度级分布加密,并重复检定多次(标准规定为 3 架次,本检定定为 22~55 架次),以均值作为基准公式,可信度高。

2.4 一点法检定验证

利用黄河水利委员会和南京水文仪器厂的检定槽分别对一点法检定进行了验证,结果令人满意。

a. 黄河水利委员会检定槽为一级精度大水槽($250\text{m}\times 5\text{m}\times 3.4\text{m}$)。以车速 $v'=0.9988\text{ m/s}$ 为标准输入量,对 7 架 LS25-1 型仪器用一点法检定、验证。每架仪器各检定 18~30 个测试点,7 架仪器检定成果与基准值比较,偏差(绝对值)平均为 0.26%。150 个测试点一点法计算的 K 值全部符合标准。与标准仪器相比,一点检定法具有相当高的精度和稳定性。

b. 南京水文仪器厂检定槽为三级精度小水槽($100\text{m}\times 2\text{m}\times 1.5\text{m}$)。检定时以某架标准仪器输出转速 n 计算的速度作为标准输入量 v ,其平均值 $\bar{v}=0.8364\text{ m/s}$ 。每检定一架仪器,检定车往返行驶一趟,共检测 6 个测试点,按一点法计算 K 值,与基准值比较,全部符合精度要求。偏差(绝对值)平均为 0.31%,最大为 0.86%。

用常规法对那架标准仪器重复检定 3 架次,其偏差平均为 0.51%。可见,三级精度小水槽,用标准仪器输出计算的速度作为标准输入量,一点法检定成果也令人满意,甚至不低于常规检定法。

c. 利用那架标准仪器在全国各地 14 个

水槽及俄罗斯国立水文研究所水槽的常规检定资料,摘取其中 1.0m/s 速度级测试点,用一点法公式计算 K 值,然后与基准值比较,结果全部符合标准要求。检定槽的精度等级、槽体大小、静水参比工作条件、检定规程及水槽特性等虽不同,但都能适用,并能得到满意的成果。

另外,重庆水文仪器厂(150 架仪器)和黄委会(424 架)的批量检定资料,按上述方法计算 K 值,与常规法检定成果比较,也全部符合要求。

2.5 一点法验证结果分析

a. 标准输入量偏差。为分析检定误差,这里假设用标准仪器输出 n 计算的速度 v 为实际标准输入量,它与上述标准规定的理论标准输入量——检定车速 v' 之间的偏差为标准输入量偏差。对上述检定结果综合分析可知,标准输入量偏差:最大约 1.1%,平均约 0.4%,偏差的量值与检定槽的精度、特性、槽壁反射效应等因素有关,是随机量。这些偏差是在较好的条件下产生的。随着标准输入量的增大,静水参比工作条件变差,偏差将加大,其组合结果更趋复杂。

b. 检定误差。流速仪检定误差:企业、检修、国家标准分别为 1.0%,1.5%,1.8%。上述一点法验证检定误差全部达到企业标准。

在 $v\leq 0.3\text{ m/s}$ 低速部分,公式中 C 值的权相对加大,从宏观来看,采用标准值将具有较高的测量精确度。

c. 可靠性。以上参加验证检定的 15 个检定槽的检定成果全部满足要求。在 150 个测试点中, K 值偏差小于 1.0% 的有 136 个,占 90.7%;偏差为 1.1%~1.2% 的有 11 个,占 7.3%;偏差为 1.6%~1.8% 的只有 3 个,其值小,频率低,对成果的计算影响不大。故可认为一点法检定成果无粗大误差,可靠性高。

3 流速仪野外比测检定验证

按野外比测检定要求,用 20 架标准仪器在长江和南、北方的中小河流共 9 个水文测站进行比测检定,共 74 架次,2 220 测次。成果表明:①检定成果全部符合技术指标;②比测检定的水流条件容易满足要求,评估参数、考核指标明确,比测检定成果可靠;③方法简便,操作方便,计算简单。

另外,我所受水利部水文司委托拟制了《野外流速仪比测检定规则》(草案),经福建、江西、浙江、四川、广东等省水文总站所属测站实地验证,尽管时值枯水季节,水流条件较差,且标准仪器和计数设备等普遍为临时代用,比测检定中,难免存在较大的随机误差。然而,通过 43 架仪器共 1 290 个测次资料的计算,比测检定成果全部达标。

随着《野外流速仪比测检定规则》不断地得到验证、改进和完善,一点检定法将作为水文测站解决流速仪野外比测检定的一种简捷而有效途径。

4 结束语

5.1 流速仪低速性能和直线方程线性稳定,

v 轴上截距 C 为常数,可根据仪器和检定槽特性,优选一最佳速度(0.7~1.0 m/s)进行检定,确定斜率 K 。此法简单易行,效果良好。

5.2 全国各水槽精度等级、槽体大小、水槽特性、槽壁效应等各不相同,而一点检定法均能适用,并可获得满意的成果,检定精度和重复性均不低于常规检定法。

5.3 一点法检定速度较低,水体波动和能量交换小,静水参比工作条件较好,随机误差小,从而可避免粗大误差和两类误检,检定成果可靠。

5.4 目前流速仪检定中的实际标准输入量并非稳态常量,这是检定误差的主要来源。应研究对静水程度和标准输入量实施动态检测和严格控制,以确保仪器检定精度和可靠性。

参考文献

- 1 杨汉塘. LS25-1 型旋桨流速仪低速性能分析. 气象水文海洋仪器, 1988, 15(1): 1~6
- 2 杨汉塘. 旋桨流速仪在紊流中的动态特性. 水文, 1990, 59(5): 33~37

(收稿日期: 1995-02-25)

《人民长江》征订启事

《人民长江》于 1955 年创刊,是水利部长江水利委员会主办的水利水电技术综合性月刊,1992 年被选入《中文核心期刊》。主要内容:报道长江水利水电建设成就,总结交流先进技术,传播国外水电建设经验,介绍高新科技动态。主要栏目设有水文、地质、勘测、科研、规划、设计、施工、基础处理、机电、水资源保护、水利经济、水政管理、泥沙研究、河道整治、农田水利、水土保持、水库移民、工程监理、安全监测、运行管理、三峡工程研讨、问题讨论、出国考察、国外科技、三峡工程建设动

态及简讯等。内容丰富、信息量大、实用性强。

本刊每月 20 日在武汉出版,16 开本、64 页。国内统一刊号 CN42-1202/TV,国际标准刊号 ISSN 1001-4179,全国各地邮局均可订阅,国外由中国国际贸易总公司发行(北京 399 信箱)。1996 年征订工作即将开始,请欲订阅本刊的读者就近到当地邮局办理订阅手续,每册(1996 年)定价 2.00 元,全年定价 24.00 元。联系地址:武汉市解放大道 1155 号《人民长江》编辑部。邮政编码:430010。电话:(027)2828680。