

峡江水文站缆道雷达波比测分析报告

周洲, 王文艺, 朱小琪

赣江中游水文水资源监测中心, 江西 吉安 343000

摘要: 峡江水文站开展了缆道雷达波测速系统与流速仪的比测分析, 验证了缆道雷达波测速系统的精度和稳定性。试验结果表明, 缆道雷达波测速系统在中高水位级可作为常规测流仪器使用, 测验结果精度高, 数据稳定。同时, 提出了设备优化和功能改进的建议, 以提高操作便利性和数据处理效率。

关键词: 峡江水文站; 缆道雷达波测速系统; 流速仪; 比测分析; 水文测验

Analysis Report on the Comparison of Cableway Radar Wave Measurement at Xiajiang Hydrological Station

Zhou Zhou, Wang Wenyi, Zhu Xiaoqi

Hydrology and Water Resources Monitoring Center in the Middle Reaches of the Ganjiang River, Ji'an, Jiangxi 343000

Abstract: Xiajiang Hydrological Station conducted a comparative analysis between the cableway radar wave velocity measurement system and the flow velocity meter, verifying the accuracy and stability of the cableway radar wave velocity measurement system. The experimental results show that the cableway radar wave velocity measurement system can be used as a conventional flow measurement instrument at medium and high water levels, with high accuracy and stable data. At the same time, suggestions for equipment optimization and functional improvement are proposed to enhance operational convenience and data processing efficiency.

Keywords: Xiajiang Hydrological Station; cableway radar wave velocity measurement system; flow velocity meter; comparative measurement analysis; hydrological test

前言

为推进水文测验技术的进步, 提高水文信息采集的时效性, 进一步增强水资源开发及管理能力, 加大水环境监测与保护力度, 全面服务于经济社会和防汛抗旱减灾。2023年2月, 赣江中游中心为我大队配备了一台铅鱼缆道雷达波测速系统(简称“缆道雷达波”)。

为探求其适用性, 按照《河流流量测验规范》(GB 50179-2015)要求, 峡江水文站进行了缆道雷达波与缆道流速仪法定点流速比测试验。

一、编制依据

- 《水位观测标准》(GB/T 50138-2010)
- 《河流流量测验规范》(GB 50179-2015)
- 《声学多普勒流量测验规范》(TCHES 61-2021)
- 《水文资料整编规范》(SL 247-2020)

二、测站基本情况

(一) 测站概况

峡江水文站是长江流域赣江中游的主要控制站, 位于峡江县巴邱镇, 东经115° 09', 北纬27° 33', 流域面积62724km², 距河口174km, 属国家重要水文站。1957年1月设站, 1976年1月基本水尺断面下迁1076m, 更名为峡江(二)水文站。本站流量测验精度为一类站, 泥沙测验精度为二类。主要测验项目有: 水位、流量、悬移质输沙率、水温、降水量、水质。

(二) 测验河段情况

测验河段顺直长约800m, 河槽呈U型, 中高水位主槽宽约400m。河床由岩石、卵石、粗沙、细沙组成, 左岸为居民住房和菜地, 右岸为高山、岩石陡岸, 生长树木、杂草。基本水尺断面上游约4km处有峡江水利枢纽工程, 每天都有蓄放水过程, 对水位影响极大, 增加了流量测验的难度; 下游约770m处左岸有航运拦水坝, 下游约1km处有一大沙洲, 将水流分为两股, 下游约3km处有峡江赣江大桥, 下游53km处有新干航电枢纽。

(三) 断面稳定情况

2020年, 峡江水文站进行了一次大断面稳定性分析(分析情况见《峡江水文站测验方式方法分析报告》)。分析结论为: 峡江站大断面总体属于不经常性冲淤, 基本以局部冲淤为主, 位置在50m~240m之间, 除大水前后冲淤严重外, 年际之间面积变幅均在3%~6%之间。水位在40.00m以下面积相对偏差大于6%, 断面属不稳定; 水位在40.00以上面积相对偏差在3%~6%之间, 断面较稳定。

点绘2020年至2024年断面图(图1),从历年断面图中可以看出主槽位置基本上位于中泓。右岸河床以岩石、卵石为断面基本没有变化,低水流速较小;左岸河床有粗沙、细沙组成,受断面冲淤影响水下部分变化较大,流速大。



图1 峡江水文站大断面图

(四) 影响因素分析

本站洪水来源主要受上游万安水电站、泰和石虎塘航电枢纽、峡江水利枢纽调节以及暴雨影响,洪峰持续时间有时长达3~4天。较大洪水过程一般持续3~5天。受断面冲淤和洪水涨落影响,历年水位流量关系为临时曲线和绳套曲线,2021年开始受上游峡江水利枢纽、下游新干航电枢纽调节影响,无法进行定线推流,2021年至2023年表内流量采用实时在线流量监测数据、连实测流量过程线法推求。

(五) 测验方法现状

本站流量测验方法为:水位在33.40m~43.50m范围内采用浮标 ADCP 监测数据进行整编,在高、中、低水位级采用流速仪或走航式 ADCP 各施测3~5次流量对浮标 ADCP 监测数据进行校对,并进行分析评定。在线设备出现故障及时加密测次,当校核流量与关系式计算流量发生较大偏离时,要及时对关系式进行重新分析,验证关系的稳定性。

三、试验目的与内容

(一) 试验目的

峡江水文站位于赣江中游,上游4km处有峡江水利枢纽,下游53km处有新干航电枢纽。本站主要受上游峡江水利枢纽发电蓄水影响,水位易发生明显变化,水位陡涨陡落,为更能快速准确测验数据,对流量测验工作提出了更高的要求。

通过开展缆道雷达波与流速仪比测分析,达到以下目的。

- ① 检验不同测验环境下缆道雷达波测验精度,缩短测流时间,发挥新仪器设备的作用。
- ② 检验缆道雷达波的稳定性。通过实测比较分析,在满足规范要求下,可作为常规测流仪器使用,进行流量测验。
- ③ 保障水上作业安全性。减少仪器受漂浮物和水流冲击影响与人员在水上作业发生的安全事故。

(二) 技术路线与内容

为探索在赣江不同水力条件和水流特性下,缆道雷达波在峡江水文站的精度可靠性、环境适用性和运行稳定性,主要技术路线和内容为:

1. 流速仪相对位置流速分析

① 收集流速仪相对位置0.0与0.6流速比测资料。② 比测资料数据分析处理。③ 对流速仪相对位置流速测验成果精度进行分析评定。

2. 缆道雷达波与流速仪流速比测分析

① 缆道雷达波数据处理。② 收集缆道雷达波与流速仪比测资

料。③ 对缆道雷达波测验成果精度进行分析评定。④ 对缆道雷达波稳定性和适用性进行评估。⑤ 综合提出缆道雷达波在峡江水文站的可靠性、适用性和稳定性。⑥ 针对存在的问题提出解决方案。⑦ 根据分析成果提出峡江水文站流量测验指标任务。

四、仪器设备情况

比测试验仪器设备主要有:缆道雷达波、缆道和旋浆式流速仪、笔记本电脑。

(一) 缆道雷达波仪器简介

缆道雷达波测速主要是应用多普勒原理,通过铅鱼缆道控制系统将设备运送到指定的垂线位置。雷达测速控制器可根据测速垂线起点距位置、当前水位等数据完成对当前测速垂线上方的水面流速的实测,系统控制器收到雷达测速控制器发送的实测水面流速后,通过无线电台将现场预设的水位数据一并发送给流量计算终端从而实时的计算出当前流量。

仪器配置:主机+无线电台+天线+安装支架+配套专用的自动化接收处理软件。

(二) 流速仪简介

本站使用的是LS25-3A型流速仪。

工作原理:当水流作用于仪器感应部分——旋浆时,旋浆即产生回转运动,水流速度越快,旋浆转速也越快。它们之间存在一定的函数关系,此关系是通过水槽检定而得出的。实验表明:起转速度 V_0 到临界速度 V_k 之间,函数呈曲线形式,而临界流速 V_k 以上则为一线性关系。

五、流速仪相对位置流速分析

为验证流速仪相对位置流速的关系,采用流速仪相对位置0.6与0.0流速并对数据进行分析点绘相关图,即可得到流速仪相对位置0.6与0.0流速之间的关系。

(一) 资料样本

本次分析样本共收集流速仪相对位置0.6与0.0流速资料共31次,本流速资料采用全断面流速方法收集资料。样本系列流速范围在0.60~2.50(m/s)之间。

(二) 流速仪

相对位置0.6与0.0流速分析根据31次比测样本资料,建立垂线流速 $V_{0.6} \sim V_{0.0}$ 关系图,进行流速数据分析,最优关系式为: $V_{0.6} = 0.8943(V_{0.0})$ $R^2 = 0.9909$,函数关系良好。

$V_{0.6} \sim V_{0.0}$ 关系图,见图2。

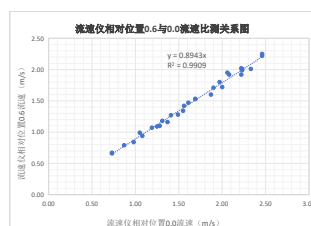


图2 峡江站流速仪法 $V_{0.6} \sim V_{0.0}$ 关系图

(四) 关系式验证

将 $V_{0.0}$ 与线上流速数据进行系统误差、标准差、随机不确定

度及三个检验，三检计算成果表见表6.2。计算公式如下：

①系统误差： $P = \frac{1}{n} \sum P_i$ ；

②标准差： $S_e = \left[\frac{1}{n-2} \sum \left(\frac{V_i - V_{ei}}{V_{ei}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ (式中： V_i — 缆道雷达波流速 V_{ei} — 线上流速)；

③随机不确定度： $2 S_e$ 。

系统误差 (%)	0.19	<1%	合理
标准差 (%)	3.07		合理
随机不确定度 (%)	6.14	<8%	合理
符号检验 u=	1.08	<1.15	合理
适线检验 u=	-0.18	<1.28	合理
偏离数值检验 t=	0.35	<1.34	合理

通过计算，系统误差为0.19%，标准差为3.07%，随机不确定度为6.14%。

根据《水文资料整编规范》(SL247-2020)规定，一类精度站单一线三检的总随机不确定度 $\pm 8\%$ ，系统误差在 $\pm 1\%$ 内。本次流速仪相对位置比测经过换算后 ($V_{0.0} = 0.8943 * V_{0.0}$)，三检均能满足要求，比测关系稳定，故本次分析的关系式可靠，能满足规范要求。

(五) 比测分析结论

①峡江水文站流速仪实测流速原始分析资料准确、可靠，垂线平均流速与水面流速关系式为 $V_{流速仪0.0} = 0.8943 * V_{缆道雷达波}$ 。

②通过对流速仪表面流速与垂线平均实测流速进行误差分析，系统误差、随机不确定度以及单次测验精度误差符合规范要求。水面系数可应用于实际工作中。

六、缆道雷达波与流速仪比测实验分析

为验证缆道雷达波测验精度，点绘缆道雷达波与流速仪同步测点流速关系图，即可得到缆道雷达波与流速仪测点流速之间的关系。

(一) 资料样本

本次分析样本共收集缆道雷达波与流速仪实测流速资料共58次。比测时，在水位平缓期，先采用转子式流速仪固定在铅鱼下端，进行垂线0.0法逐一测量，再将雷达波流速仪固定在缆道铅鱼上进行表面流速测定。样本系列流速范围在1.00 ~ 2.40 (m/s) 之间，水位在中、高水位级。

(二) 缆道雷达波与流速仪相对位置0.0流速分析

根据58次比测样本资料，建立测点流速 $V_{流速仪0.0} \sim V_{缆道雷达波}$ 关系图，进行流速数据进行分析，最优关系式为：

$V_{流速仪0.0} = 0.9764 * V_{缆道雷达波}$ $R^2 = 0.9596$ ，函数关系良好。

$V_{流速仪0.0} \sim V_{缆道雷达波}$ 关系图，见图3。

(四) 关系式验证

将 $V_{缆道雷达波}$ 与线上查算流速数据进行系统误差、标准差、随机不确定度及三个检验，三检计算表见表7.2。计算公式如下：

系统误差 (%)	0.27	<1%	合理
标准差 (%)	3.98		合理

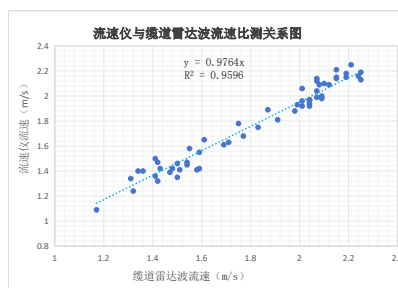


图3: $V_{流速仪0.0} \sim V_{缆道雷达波}$ 关系图

系统误差 (%)	0.27	<1%	合理
随机不确定度 (%)	7.96	<8%	合理
符号检验 u=	1.05	<1.15	合理
适线检验 u=	0.00	<1.28	合理
偏离数值检验 t=	0.52	<1.34	合理

通过以上公式计算，系统误差为0.27%，相对标准差为3.98%，随机不确定度为7.96%。

根据《水文资料整编规范》(SL247-2020)规定，一类精度站单一线三检的总随机不确定度 $\pm 8\%$ ，系统误差在 $\pm 1\%$ 内。本次缆道雷达波经过比测分析后关系式 $V_{流速仪0.0} = 0.9764 * V_{缆道雷达波}$ 合理，三检均能满足要求，比测关系稳定，故本次相关关系式可靠。

(五) 比测分析结论

①缆道雷达波与流速仪实测流速原始分析资料准确、可靠，比测结果为 $V_{流速仪0.0} = 0.9764 * V_{缆道雷达波}$ 。

②峡江水文站对缆道雷达波与流速仪实测流速误差分析，系统误差、随机不确定度以及单次测验精度误差符合规范要求。可作为常规测验测流速，保障水上作业安全性。

③综合上述分析得出结论，缆道雷达波可以在峡江水文站中高水位级作常规仪器使用。

七、存在问题和建议

设备与配套软件安装上比较复杂，操作界面不直观，数据后期处理功能不方便，还需与厂家跟进改进各项功能。

八、结论与建议

(一) 结论

通过分析，由缆道雷达波测流系统测得流速经过 $V_{流速仪0.0} = 0.9764 * V_{缆道雷达波}$ 换算后，在根据本站0.0水面系数分析值为0.89进行换算，得到垂线平均流速： $V_{流速仪} = 0.8686 * V_{缆道雷达波}$ 在本站进行应用。缆道雷达波可以在峡江水文站中高水位级作常规仪器使用，缆道雷达波可在强降雨期间正常使用，无法在风速和风浪大的条件下测验。

(二) 建议

缆道雷达波适用于流量测验、测验结果精度高，数据稳定，性能良好，但是设备与配套软件安装上还需进行优化。缆道雷达波测流在测验质量核定指标里可作为峡江站常规测验方案。