

李庄站 H-ADCP 比测分析

代飞 王伟 何奇 孔令兮
长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局
DOI:10.12238/hwr.v5i5.3820

[摘要] 旨在进行比测试验,得出李庄站流量在线监测最优方案。采用H-ADCP测量代表流层的流速,选取回波信号稳定的流速单元段,计算指标流速^[1],推算出断面流量。达到流量实施在线监测目的。经分析:含沙量<2kg,水位在260–266m区间,可在线监测。

[关键词] 试验; 指标流速; H-ADCP; 断面流量; 在线监测

中图分类号: P332.4 文献标识码: A

Comparison and analysis of H-ADCP in Lizhuang station

Fei Dai Wei Wang Qi He Lingxi Kong

Bureau of hydrology and water resources survey of the upper reaches of the Yangtze River

[Abstract] This paper aims to carry out the comparison test and obtain the optimal scheme of online flow monitoring in Lizhuang station. H-ADCP was used to measure the velocity of the representative flow layer, and the velocity unit section with stable echo signal was selected to calculate the index velocity and calculate the sectional flow rate. To achieve the purpose of online monitoring of traffic. After analysis: sediment concentration <2kg, water level in the range of 260–266m, can be monitored online.

[Key words] test; Index velocity; H-ADCP; Sectional flow; On-line monitoring

引言

李庄站是长江上游干流控制站,为掌握上游金沙江、岷江、横江汇合后的水情变化规律及河流水文特性的测站。H-ADCP是近年来逐渐兴起的一种测流仪器,能够根据代表流层的流速推算出整个断面流量,是一种由点到面的测流方式。李庄站进行比测试验,能够实时掌握该断面的流速流量过程,对国家水文防汛工作具有重大现实意义。

1 李庄站概况

李庄站是国家基本水文站,位于金沙江、岷江汇合下游约19km处,位置,东经:104°48′,北纬:28°49′,集水面积639227km²。本站水位流量关系为稳定的单一曲线,个别年份受上游来水涨落影响出现绳套趋势,带幅较窄,满足定线精度要求,见图1。

测验河段位于四川省宜宾市李庄镇豆芽码头,河床由基岩乱世构成,断面冲淤变化不大,较稳定,测站控制条件较好,

见图2。

2 李庄站H-ADCP安装及比测

ADCP作为一种新型测流仪器,按照测流方式可分为走航式和水平式(H-ADCP)两种,其中走航式ADCP可以直接测出流量,而H-ADCP是通过测量代表流层^[2]的流速,从而推算断面流量。对比这两种仪器类型,H-ADCP操作更简便,而且可以实现在线实时监测河流断面的流速流量过程,且拥有不扰动流场、测速范围大等优点。诸于以上考虑,李庄站使用H-ADCP进行监测。

2.1 H-ADCP比测试验内容、方法

2.1.1 参数设置

单元尺寸: 2m。

单元个数: 80, 覆盖水面宽度的1/3。

采样间隔: 5分钟

平均时段: 5分钟

盐度: 0ppt

2.1.2 试验内容及方法

①设置仪器参数后,结合自动采

集和实时采集两种记录方法,收集资料。

②H-ADCP安装调试完成后开始采集,主要收集中、高水流量的资料;

③回放处理并分析收集的数据,与实测流速或整编后的相应流速确定指标流速关系。

④备份、保存并归档所以原始数据。

2.2 仪器安装

H-ADCP的安装应满足以下四个原则:

①高度位于历年最高~最低水位变幅内,所测水平层的流速代表性较强;

②高于历史最枯水位约3m,有一定距离;

③固定位置高于河底淤积层,避免主机被掩埋或受杂物遮挡;

④仪器水平指向对岸,与水流方向垂直,仪器倾斜传感器的纵、横摇摆角在1°以内。

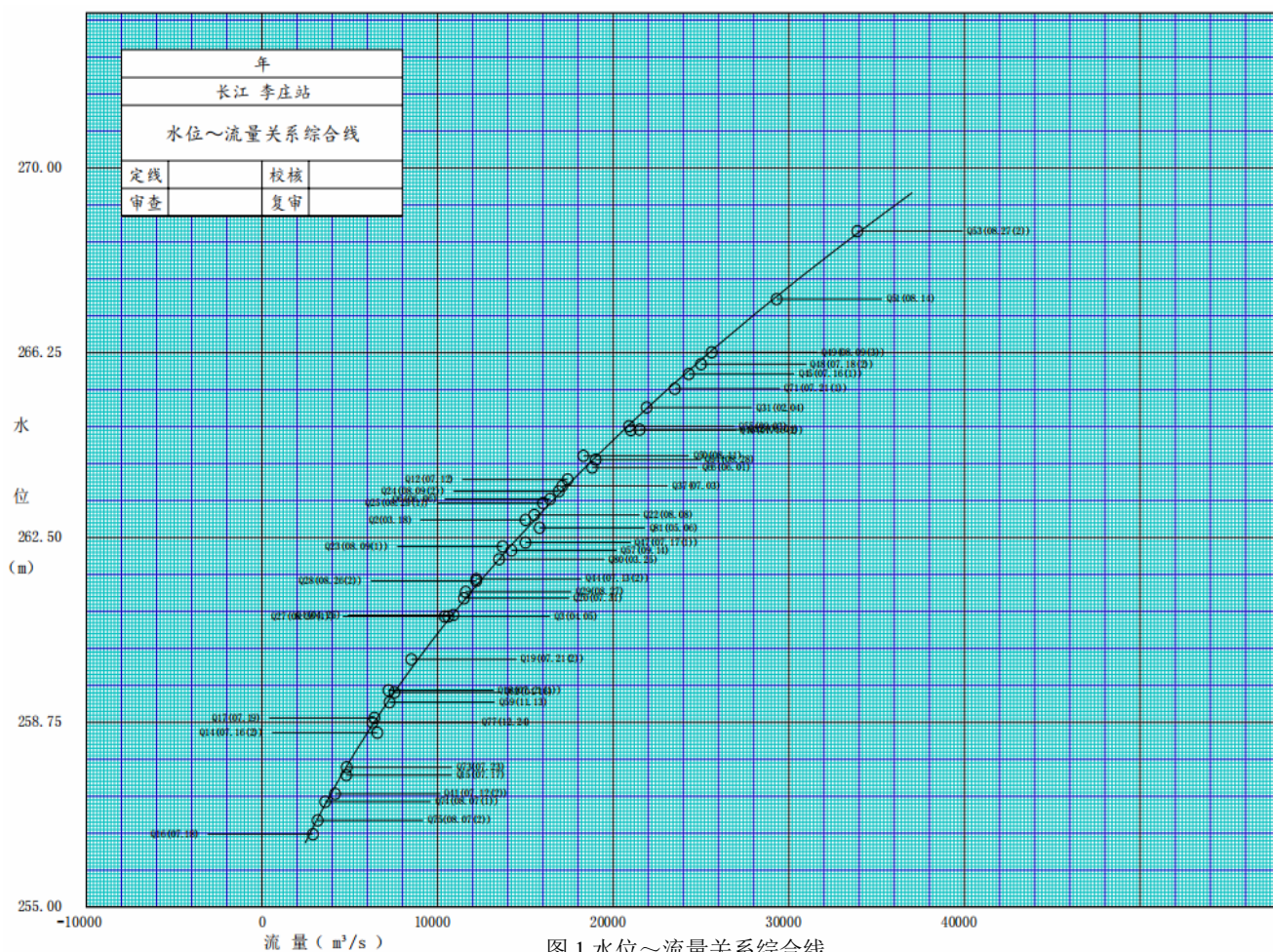


图 1 水位~流量关系综合线

李庄站2019年与2020年大断面对比图

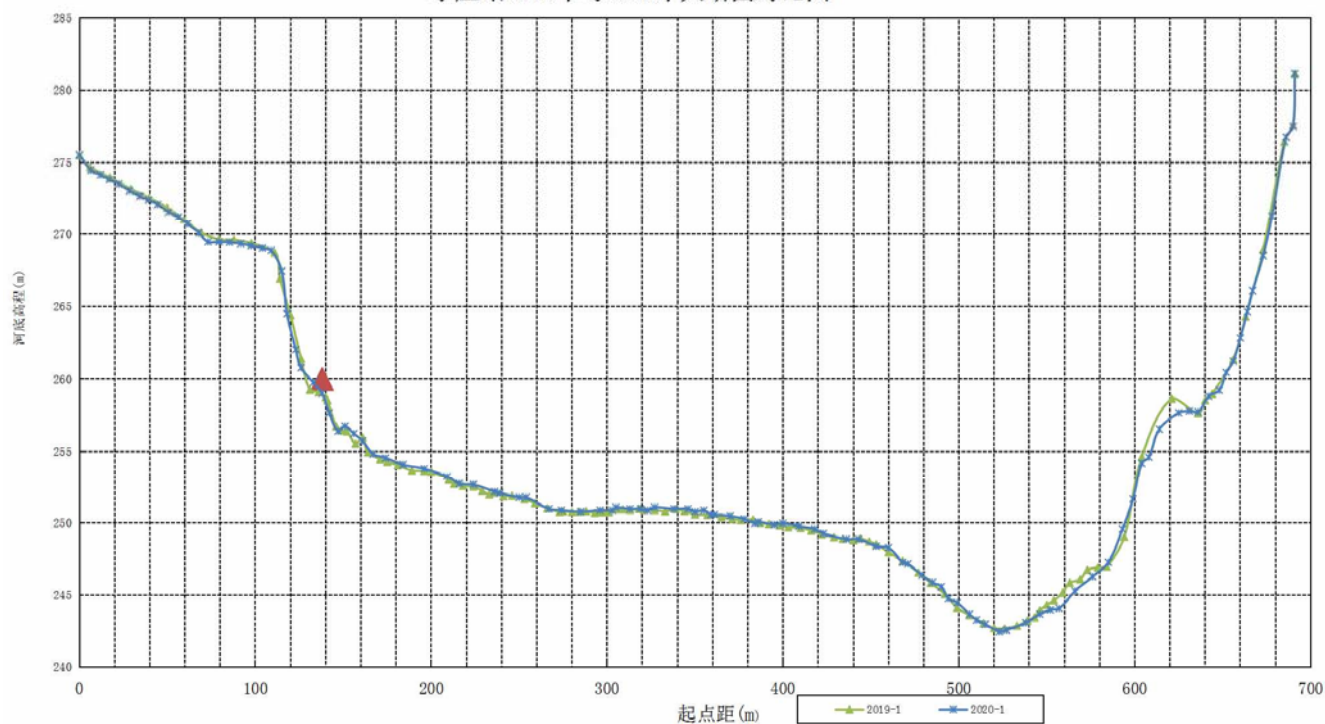


图 2 断面示意图及仪器安装位置

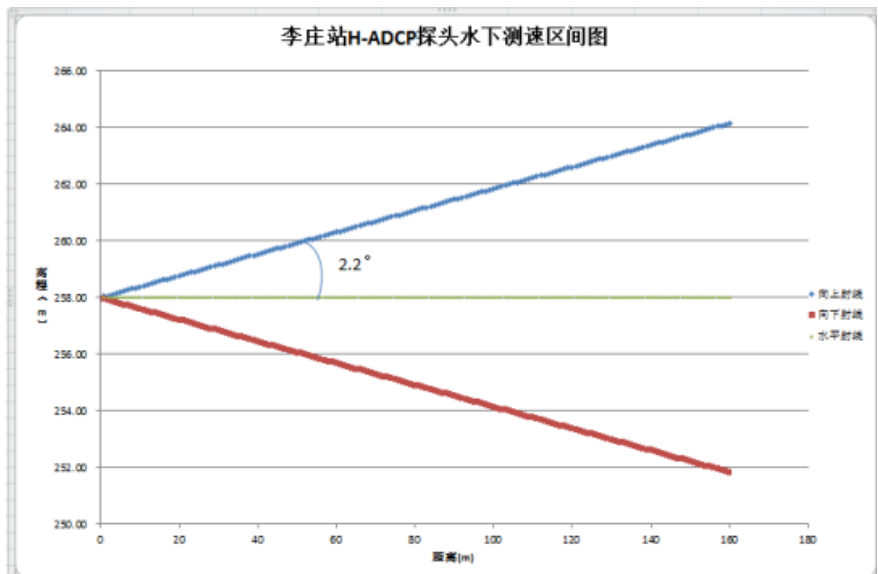


图3 H-ADCP 探头测速区间图

李庄站的测验水位级为260~266m,理论上每隔2m一个单元格,可测指标流速段为80个单元格(160m)。但受含沙量影响,实际测验选用3~15单元格作为指标流速段。

经过对比分析仪器安装方案并结合李庄站实际地理位置和水流特点,在基本水尺断面右岸采用垂直钢结构支架安装仪器探头,位于基本水尺断面直立式水尺P10水尺桩下游约4.0m处,起点距为140m,仪器的垂直波束的高程为258m,见图3。

3 H-ADCP流量推算原理

常用的流量计算方法有两种:指标流速法和数值法。两者各有优劣,但结合李庄站实际水流特性,采用的是指标流速法,且本文重点分析走航式ADCP流速与水平ADCP指标流速法的概念关系。

3.1 指标流速法的原理

指标流速法的实质是通过局部流速推算总体流速,基本方法是建立断面平均流速和指标流速之间的关系。在李庄站测验中,选取某一水层处的某一线段内平均流速即可,不需要整个河宽范围内的水平线平均流速。流量计算基本公式为:

$$Q=AV$$

其中,V:断面平均流速;A:断面过水面积对于某一断面,过水断面面积为水位的函数,即 $A=f(H)$,其中,H:水位。

3.2 指标流速的率定

指标流速的率定即建立指标流速与断面平均流速之间的关系,通常需要两个步骤:

Step1: 采样

包括流量和指标流速采样,需要用到的仪器有H-ADCP、流速仪或走航式ADCP和超声波,样本需涵盖不同水位、不同流量级,同时指标流速需选取不同单元范围、代表层面不同级。

Step2: 回归分析

常用流速回归方程^[3]主要有四种,见表1。利用这几种方程分别进行回归分析,比较分析结果,确定最佳方程以及指标流速单元范围。

表1 常用的流速回归方程

回归方程名称	函数关系
一元线性	$V = b_1 + b_2 V_I$
一元二次	$V = b_1 + b_2 V_I + b_3 V_I^2$
一元三次	$V = b_1 + b_2 V_I + b_3 V_I^2 + b_4 V_I^3$
幂函数	$V = b_1 V_I^{b_2}$

注:表中 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 为回归系数。

4 李庄站H-ADCP比测试验成果分析

4.1 率定特征值统计

采用2019~2020年资料进行比测分析,并对指标流速段进行选择,剔除坏值,综合统计如下:

率定时间:2019年05月20日~2020年08月08日。

测次:2019年H-ADCP比测27次;2020年H-ADCP比测36次。

流量变幅:9450~24400(m³/s)。

4.2 指标流速率定

4.2.1 指标流速段的选取

对3~15单元段进行试测,发现此单元段回波信号稳定,流速变化较小,同时,结合断面资料,对李庄站的VSL流速的水平段进行初步选取。

4.2.2 比测资料确定

根据选取的流速单元段,收集63次比测资料分别进行指标流速计算。经分析发现,16~40(32~80m)指标流速段内,指标流速出现不规则的跳动,回波强度骤然变大,流速棒呈现紊乱现象,同时H-ADCP回放数据中流速、回波强度也出现紊乱现象。为减少误差,选取回波强度稳定,流速棒均匀的3~15(6~30m)的指标流速段进行分析^[4]。

4.2.3 指标流速关系的率定

结合63组数据,采用H-ADCP的指标流速 V_{sl} 与常规流速仪的流速 V_s ,按照一元线性回归、一元二次回归、一元三次回归、幂函数四种回归方程进行计算,对比得出最佳方案。

①一元线性回归方程方案

一元线性回归方程为: $V_s = b_1 + b_2 V_{sl}$

V_{sl} : H-ADCP的流速不同单元段平均流速(下同)。

V_s : 走航式ADCP实测流量查算H-ADCP测流断面平均流速(下同)。

根据63组数据,分别率定 V_{sl} (3~5)、 V_{sl} (3~7)、 V_{sl} (3~10)、 V_{sl} (3~12)、 V_{sl} (3~15)、 V_{sl} (6~7)、 V_{sl} (6~10)、 V_{sl} (6~12)、 V_{sl} (6~15)等指标流速段的关系。

分析得出9组指标流速段中, V_{sl} (6~10)流速段的相关性最好,为0.9751; V_{sl} (6~10) $V_s = 1.0981V_{sl}(6~10) + 0.5511$ 。

②一元二次回归方程方案

一元二次方程可以优化拟合关系,解决部分离散现象,方程为: $V_s = b_1 + b_2 V_{sl} + b_3 V_{sl}^2$ 。

表2 H-ADCP不同方程误差统计

一元线性回归方程				一元二次回归方程				一元三次回归方程				幂函数方程			
系统误差%	标准差%	样本最大误差%	误差大于5%个数	系统误差%	标准差%	样本最大误差%	大于5%误差个数	系统误差%	标准差%	样本最大误差%	大于5%误差个数	系统误差%	标准差%	样本最大误差%	大于5%误差个数
0.02	2.12	4.70	0	0.00	1.80	4.14	0	-0.01	1.81	4.41	0	0.02	2.27	5.21	1

与一元一次方程方案相同,结合63组数据对9个流速段分别进行率定。分析得出一元二次回归方程中, $V_{s1}(6-10)$ 相关性最好,为0.9803; $V_{s1}(6-10)V_s=0.2805V_{s1}(6-10)^2+0.1304V_{s1}(6-10)+1.3577$

③一元三次回归方程方案

与一元二次方程相比,一元三次方程可以进一步优化拟合关系,解决离散点子的误差,因此建立一元三次回归方程为: $V_s=b_1+b_2V_{s1}+b_3V_{s1}^2+b_4V_{s1}^3$ 。

结合63组数据对9个流速段分别进行率定。

分析得出,在一元三次回归方程方案中, $V_{s1}(6-10)$ 相关性最好,为0.9806, $V_{s1}(6-10)V_s=-0.2246V_{s1}(6-10)^3+1.4345V_{s1}(6-10)^2-1.8048V_{s1}(6-10)+2.4143$ 。

④幂函数回归方程方案

幂函数可以很好地处理较为离散流速相关点子,从而具有较好的拟合效果,因此建立幂函数回归方程为: $V_s=b_1V_{s1}^{b_2}$,结合63组数据对9个流速段分别进行率定。

分析得出,幂函数回归方程中, $V_{s1}(6-10)$ 相关性最好,为0.9735; $V_{s1}(6-10)V_s=1.6279V_{s1}(6-10)^{0.7531}$ 。

4.3指标速率方案综合分析、评定

综合分析上述四种回归方程方案,发现指标流速与断面平均流速关系最优的流速段为 $V_{s1}(6-10)$ 。根据指标流速计算断面平均流速与流量,进行误差分析统计并归类总结,结果见表2:

综上所述,结合相关性分析,相关性最好的为一元二次回归方程,相关系数为0.9803。

由上述严格的样本数据分析论证,表明李庄站H-ADCP指标流速来代表断面平均流速是可行的。在通过上述分析论证基础上,结合李庄站的水流特性^[5],一般选取分析方案中最合理的且量程相对较近的方案中的最优回归方程作为率定

结果。

因此,在李庄站H-ADCP指标流速具有可行的基础上,经过各种不同方案不同指标流速的严格选择比较,结合上述分析,李庄站最优测定方案: $V_s=0.2805V_{s1}(6-10)^2+0.1304V_{s1}(6-10)+1.3577$,相关系数达到0.9803。

4.4径流量分析

比测期间,H-ADCP会受到数据存储、高含沙水量、断电等因素的影响,导致部分时段数据中断,因此选取收集到包含走航式ADCP连续施测时段内的各时段H-ADCP资料,按照时间累计计算该时段内的径流量。在起始阶段,先采用 $V_{s1}(6-10)$ 指标流速方程计算出各时段的指标流速,从而得到H-ADCP相应流量。

H-ADCP的采集时间设置为5分钟一组,按照流量过程线法整编^[6]并计算得到相应各时段内的H-ADCP径流量,与同时段内常规走航式ADCP测流的资料用传统整编方法计算的部分月份径流量进行比较发现,H-ADCP日均流量与日均流量总的相对平均系统误差为1.32%,因此符合要求。

4.5指标流速与走航式ADCP流速分析验证

结合上述四种回归方程的误差分析,一元二次 $V_{s1}(6-10)$ 指标流速,系统误差:0.00%,标准差:1.80%;与79次走航式ADCP流速进行验证,随机抽取了16次资料作为分析验证数据,其余63次资料用来分析指标流速与断面平均流速的关系。

分析可得,H-ADCP水位在260~266m,最优方案为 $V_{s1}(6-10)$ 指标流速的代表性最好。说明H-ADCP采用 $V_{s1}(6-10)$ 指标流速用于断面流量推算是最佳方案具有合理性、实用性、可靠性。

5 结论

(1)采用H-ADCP对李庄站进行比测试验,安装、操作得当,参数设置合理,数据稳定可靠,具有较强的代表性,可用于分析研究。

(2)选取9个指标流速段,回波信号稳定,与断面平均流速相关性较强,因此采用H-ADCP指标流速法测流具有代表性和可操作性。

(3)结合精度误差分析、径流量分析。李庄站可采用指标流速段 $V_{s1}(6-10)$,的指标流速推算断面流量,实现流量在线监测。

[参考文献]

[1]张娜,王进,蒋波.三堆子水文站H-ADCP比测试验研究[J].东北水利水电,2013,31(02):32-35+72.

[2]中华人民共和国水利部公告[J].中华人民共和国国务院公报,2016,0(34):55-76.

[3]张红卫,惠建新,张永兵,等.H-ADCP回归方程拟合及应用系统的研究[J].计算机技术与发展,2015,(9):194-198.

[4]潘仁红.水平式ADCP在水文应用中的技术探讨[J].水利水电自动化,2005,(4):45-47.

[5]中华人民共和国水利部令第48号[J].中华人民共和国国务院公报,2017,(18):46-48.

[6]中华人民共和国国家发展和改革委员会中华人民共和国水利部国家质量监督检验检疫总局令[J].浙江节能,2017,(3):47-50.

作者简介:

代飞(1984--),男,汉族,安徽省蚌埠市人,本科,工程师,研究方向:水文测报技术研究。

王伟(1984--),男,汉族,湖北省监利县人,大专,工程师,研究方向:水文测报技术研究。

何奇(1996--),男,汉族,湖北省黄冈市人,本科,助理工程师,研究方向:水文测报技术研究。

孔令兮(1995--),男,汉族,湖北省武汉市人,大专,助理工程师,研究方向:水文测报技术研究。