

流速对水平式多普勒流速仪应用的影响

吴亚玲

长江水利委员会上游水文水资源勘测局, 重庆

收稿日期: 2022年10月28日; 录用日期: 2022年12月28日; 发布日期: 2023年2月9日

摘要

水平式多普勒流速仪(H-ADCP), 多用于中低水位的流量监测, 在实际应用中发现即使在含沙量不大而流速偏大的情况下, H-ADCP监测的流量与缆道流速仪的实测流量也存在一定的不相应, 流速会成为H-ADCP测量的重要影响因素。流速的变化对仪器的工作状态曲线虽无规律性改变, 但对收集数据的准确性有很大的影响, 从而影响资料的可靠性。需要通过多次与标准流量比测, 结合测站特性综合判定, 确定出洪水量级使用范围, 超出范围时应加强同步的比测分析。本文结合具体实例, 分别从含沙量与流速的不同组合, 分析含沙量、流速对H-ADCP的具体影响, 提高H-ADCP的应用水平。

关键词

多普勒流速仪, 流速, 含沙量

Influence of Velocity on the Horizontal Doppler Current Meter

Yaling Wu

Upstream Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Chongqing

Received: Oct. 28th, 2022; accepted: Dec. 28th, 2022; published: Feb. 9th, 2023

Abstract

The horizontal Acoustic Doppler Current Profiler (H-ADCP) is restricted by sediment concentration, and is mostly used for flow monitoring of low and middle water levels. It is found in practical application that even if the sediment concentration is small and the flow rate is too high, the flow monitored by H-ADCP does not correspond to the flow measured by the cableway current meter method to a certain extent, and the flow rate will become an important influencing factor for H-ADCP measurement. Although the change

作者简介: 吴亚玲(1990-), 女, 四川乐山, 大学本科, 中级工程师, 从事水文分析、水文测验技术研究工作, Email: 470349807@qq.com

of flow rate has no regular change to the working state curve of the instrument, it has a great impact on the accuracy of the collected data, thus affecting the reliability of the data. In practical application, it is necessary to determine the scope of use of flood magnitude through multiple comparisons with standard flow and comprehensive judgment based on the characteristics of the measuring station. If the scope is exceeded, synchronous comparison and analysis should be strengthened. This paper analyzes the specific impact of sediment concentration and flow velocity on H-ADCP from different combinations of sediment concentration and flow velocity with specific examples to improve the application level of H-ADCP.

Keywords

Doppler Current Meter, Flow Velocity, Sediment Concentration

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在水文行业中,声学多普勒流速仪(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)凭借其操作方便、快速高效、稳定可靠等多方面优点,已成为一种新型的重要设备。水平式 ADCP (Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler, H-ADCP)可以在线实时监测河流断面的流速过程,因此,适合在水流条件变化急剧复杂或受水利工程影响的水文站进行流量测验。由于高含沙量对 H-ADCP 的正常工作有巨大的影响,因此, H-ADCP 在应用时,需要确定仪器正常使用的含沙量范围。在分析含沙量范围时,发现流速也对 H-ADCP 的正常使用有一定的影响。

2. H-ADCP 测流原理及安装

ADCP 测速时,首先假定反射声波信号产生多普勒频移的水中悬浮物或者气泡是和水流等速运动的。同时,假定在距仪器一定距离内两波速相应测点处的流速大小方向也是相同的。ADCP 测速基于这两个假定[1]。工作时,探头安装在测流断面的水面下,按一定规则排列的四个声波换能器向水中发射脉冲声波,之后接收被水体中颗粒物散射回来的声波[2],根据速度矢量得到流速矢量,再根据断面面积,得到流量。

H-ADCP 属于 ADCP 的一种,它能进行实时在线监测,施测断面某一水层流速,建立流速相关关系,通过连续监测流速、水位,推算断面平均流速及过水断面面积,计算断面流量[3]。其系统主要由 Channel Master 300 kHz H-ADCP、计算机、Q-Monitor-H 流量通数据采集及回放软件、电源等组成[4]。

研究对象为重庆北碚水文站, H-ADCP 选择在基本水尺断面较为平缓的左岸安装,安装采用垂直钢结构支架,将该仪器固定在断面起点距 76.0 m 处,以避开水流紊流区域。仪器的垂直波束高程为 172.52 m,在历年最枯水位以下,高于河底淤积层,安装位置详见图 1。经过现场调整,仪器表面水平指向对岸,且与水流方向垂直,仪器倾斜传感器测量的纵、横摇角度确保在 1°以内。

3. 测站及比测概况

北碚水文站是嘉陵江流域出口控制站,地处 106°28'E, 29°49'N,集水面积: 156,736 km²,是国家基本水文站,为三江汇合后嘉陵江下段基本控制站。

该站测验河段顺直,两岸平缓而稳定,站址位于嘉陵江观音峡内,常年水位下,河宽一般约在 150~220 m。河床主要是基岩乱石组成,断面冲淤变化不大,测站控制条件较好。但是中低水时期经常受草街电站日调节下泄和三峡水库回水顶托的影响,水位流量关系较为紊乱,流量过程控制比较困难,适合进行在线流量监测;在

高水时期由于电站畅泄,北碚站水位流量变化过程为天然状态,水位流量关系线呈现变幅较窄的逆时针绳套。北碚站 2018 年水位关系图见图 2。

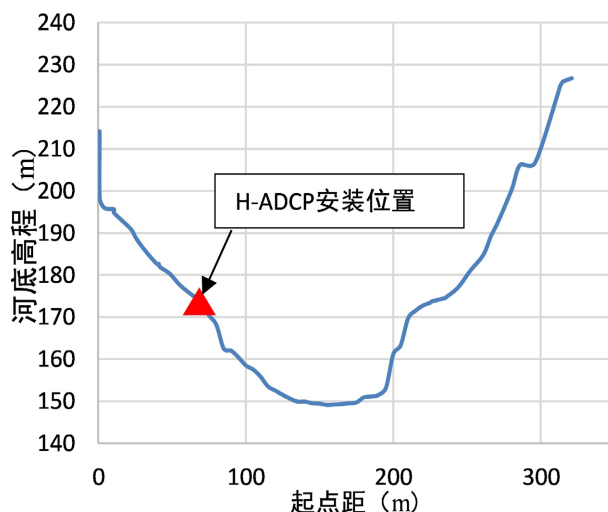


Figure 1. Schematic map of installation location of Horizontal ADCP at Beibei station

图 1. 北碚站 H-ADCP 安装位置示意图

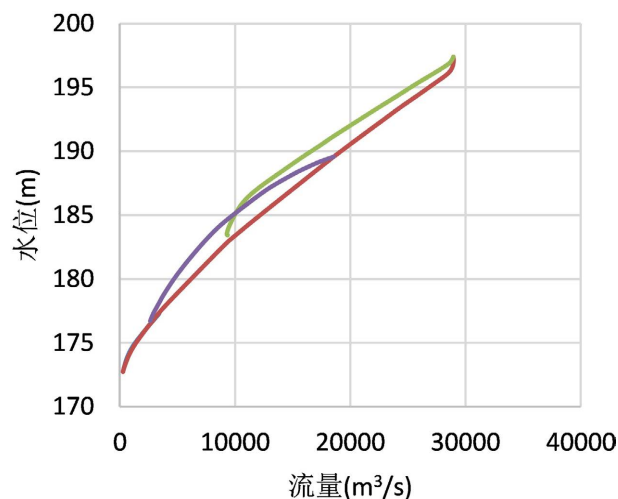


Figure 2. Water level and discharge diagram at Beibei station in 2018

图 2. 北碚站 2018 年水位流量关系图

H-ADCP 自 2010 年安装完成后,北碚水文站就连续多年和缆道流速仪的实测流量资料同步比测,但因 H-ADCP 与缆道流速仪的流量比测精度等原因而未投产。为优化人力资源配置,促进新仪器的应用,北碚站对近几年收集到的资料进行综合分析,资料收集期的流速仪实测流量变化范围达到 257~29,500 m^3/s ,施测流速范围为 0.11~3.78 m/s ,剔除 H-ADCP 在含沙量变大不能正常工作的情况,基本能覆盖北碚站中低水位的流速测量,通过同步的比测资料率定出公式和相关系数,再经过 2019 年的资料进行比测验证,误差合格后获批投产使用。

4. 比测期间水位、沙量涨落率分析

北碚水文站的汛期为每年的 5 月至 10 月,洪水一般呈暴涨暴落、历时短等特点,所以水位流量关系线为幅

度较窄的逆时针绳套。由于北碚水文站为涪江、渠江和嘉陵江三江汇合后的出口控制站，所以也会出现洪水久居不退或持续涨水的情况。如北碚站 2018 年水文要素过程线图，见图 3，该年洪水在历年洪水过程中表现为丰水年份，当年来水来沙主要集中在 6 至 7 月，全年最大实测流量达到 $29,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

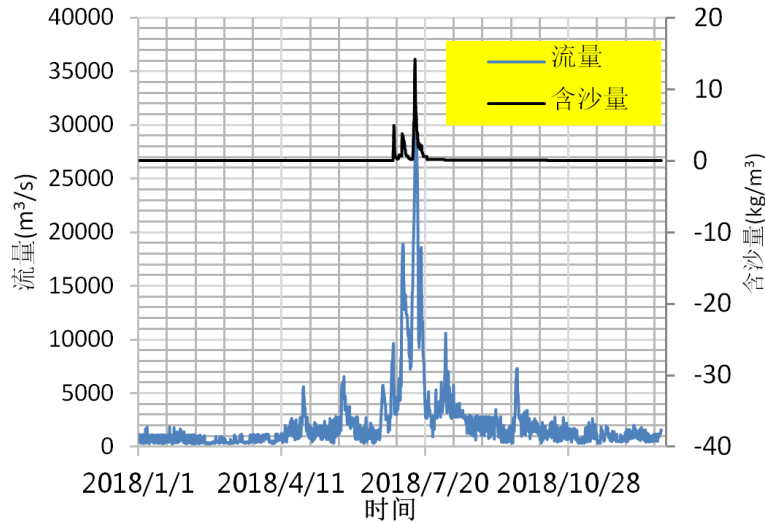


Figure 3. Instantaneous hydrographs of flood fluctuation in 2018

图 3. 2018 年洪水涨落瞬时水文要素过程线图

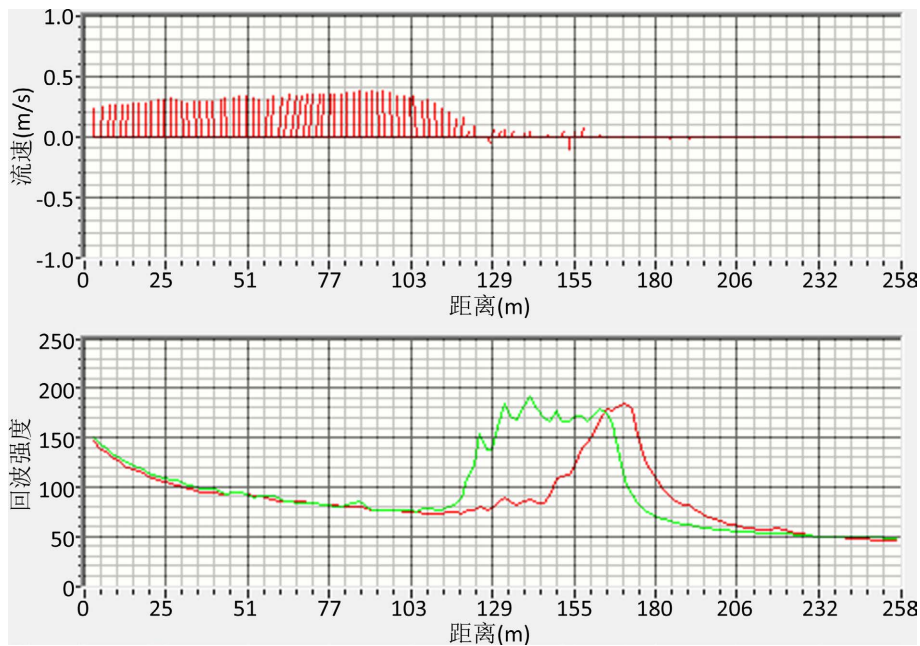


Figure 4. Playback diagram of H-ADCP

图 4. H-ADCP 正常状态图

4.1. 平水时 H-ADCP 正常工作状态

在平水时期，基于北碚站 H-ADCP 的历史比测数据，根据仪器回波强度和代表流速的状态，判断出工作状态是否正常。比测期间某一施测时间段 H-ADCP 的正常状态见上图 4，红绿线代表仪器两个探头的回波情况，回波强度匀速降低、无突跳波形，全断面距离约为 119 m，经换算，H-ADCP 施测最远起点距为 195 m，

且回波能打到右岸，形成突起边界；流速棒(图 4 中代表流速方向和大的柱状图)形态正常，流速方向基本统一，能反映全断面的流速范围和形态，此 H-ADCP 能覆盖测流断面中泓处的最大流速，因此，其工作状态正常。

4.2. 洪水时流速变化对 H-ADCP 影响分析

除仪器损坏外，一般情况下，H-ADCP 在中低水位均能正常工作，但洪水时受含沙量增大的影响，回波强度的测量范围会逐渐缩小，当缩小范围影响到选取的水平段距离附近时，H-ADCP 测得的流量会较实际流量偏小，并不能反映流量的真实过程。因此，需采用其它方式进行流量测验，比如采用缆道流速仪法。

2018 年北碚站在采用缆道流速仪和 H-ADCP 两种流量测验方式同步比测时发现，在含沙量相近情况下，不

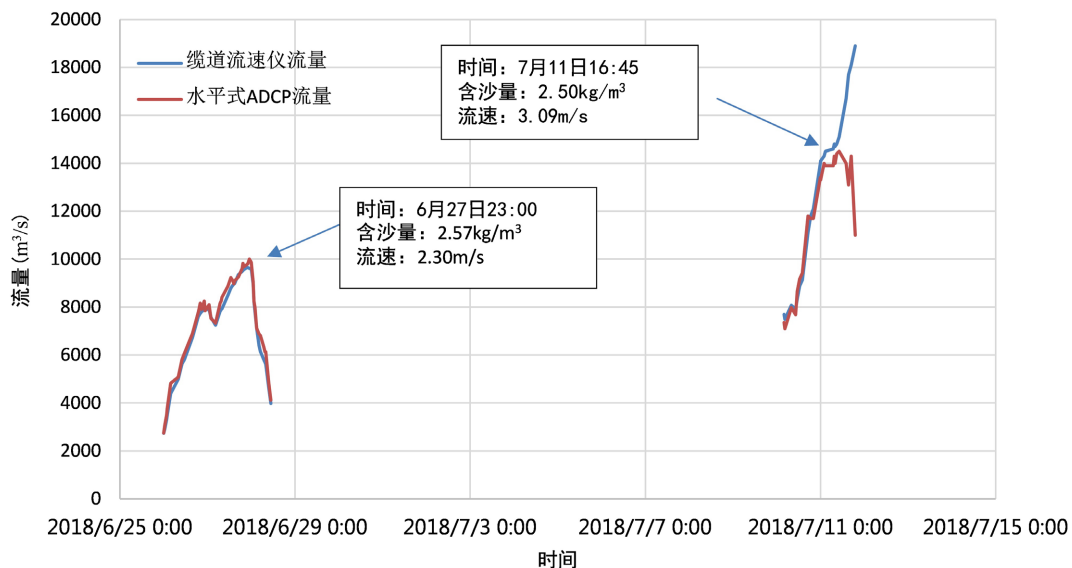


Figure 5. The effect of flow velocity on H-ADCP

图 5. 流速对 H-ADCP 影响对比图

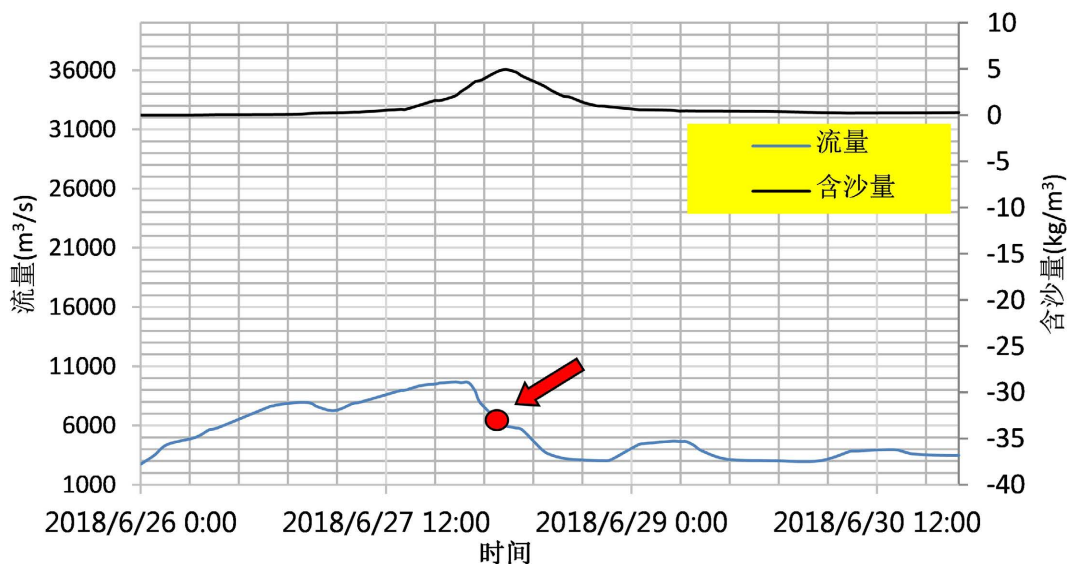


Figure 6. Cableway flow discharge and sediment concentration hydrographs in June 2018

图 6. 2018 年 6 月缆道水文要素过程线图及含沙量峰值时刻

同的流速也会使 H-ADCP 有不同的表现。如图 5 所示, 在 6 月 27 日 23 时和 7 月 11 日 16 时 45 分两个时间点附近, 含沙量均为 2.50 kg/m^3 左右, 但前一时间, 由于流速较小, H-ADCP 测得的数据与缆道所测数据较吻合, 后一时间点, 在流速上升到 3.09 m/s 后, H-ADCP 测得的数据与缆道所测数据已出现较大差异。

4.2.1. 流速较小情况下的 H-ADCP

2018 年 6 月 26 日 0 时, 北碚站汛期的洪水开始, 6 月 28 日 0 时 H-ADCP 代表流速棒开始紊乱, 洪水的最高水位 183.14 m , 最大实测流量 $8570 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大含沙量 4.91 kg/m^3 。水文要素过程线图及含沙量峰值时刻见图 6。

由行业经验可知, 一般含沙量超过 2 kg/m^3 后, H-ADCP 的工作状态曲线可能会不正常, 测量范围受到含沙量的影响会逐渐缩小, 使得所测流速偏小, 进而使流量偏小。

图 7 是北碚站 2018 年 6 月 28 日含沙量峰值时刻 H-ADCP 工作状态图, 因为涨水, 含沙量变大导致 H-ADCP 的回波强度曲线急速下降, 并且右岸突起的边界消失, 流速棒范围缩小, 测验范围缩短到 20 m 以内, 因此, 该时段 H-ADCP 工作状态不正常。

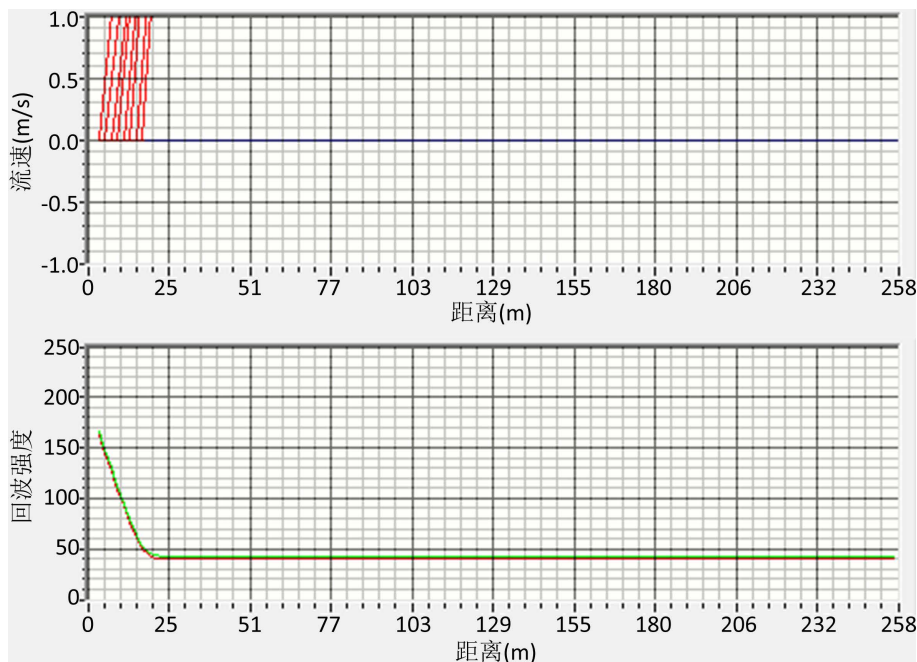


Figure 7. 2018-06-28 abnormal data status chart at the sediment concentration peak time on H-ADCP

图 7. 2018-06-28 含沙量峰值时刻 H-ADCP 数据状态图

将 6 月末缆道流速仪法的定线推流的流量和 H-ADCP 选取的代表流速按率定的关系推求的实时流量过程相对比, 见下图 8。

6 月末代表流速范围急剧缩小, 测量距离在 20 m 以内, 含沙量峰值达到 4.91 kg/m^3 , 含沙量超出 H-ADCP 的使用范围, 但基于相同的测验断面的两种流量测验方法: 缆道流速仪法定线推求的流量和 H-ADCP 实时的流量过程却比较一致。根本原因是流速的改变并不大, 实测最大平均流速只有 2.06 m/s 。

4.2.2. 流速较大情况下的 H-ADCP

7 月份出现三次较大涨水过程, 分别发生在 7 月上、中、下旬, 以中旬为最大, 含沙量变化也最大, 北碚站 7 月水文要素过程图详见图 9。

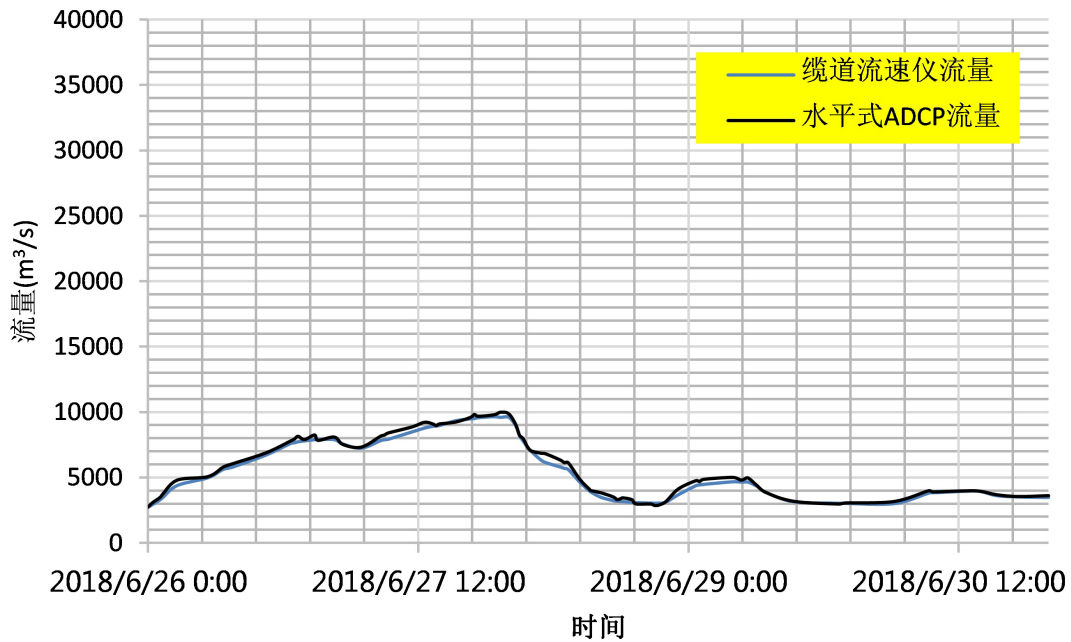


Figure 8. Comparison between cableway current meter flow and horizontal ADCP real-time flow process at the end of June 2018

图 8. 2018 年 6 月末缆道流速仪法流量和 H-ADCP 实时流量过程对比

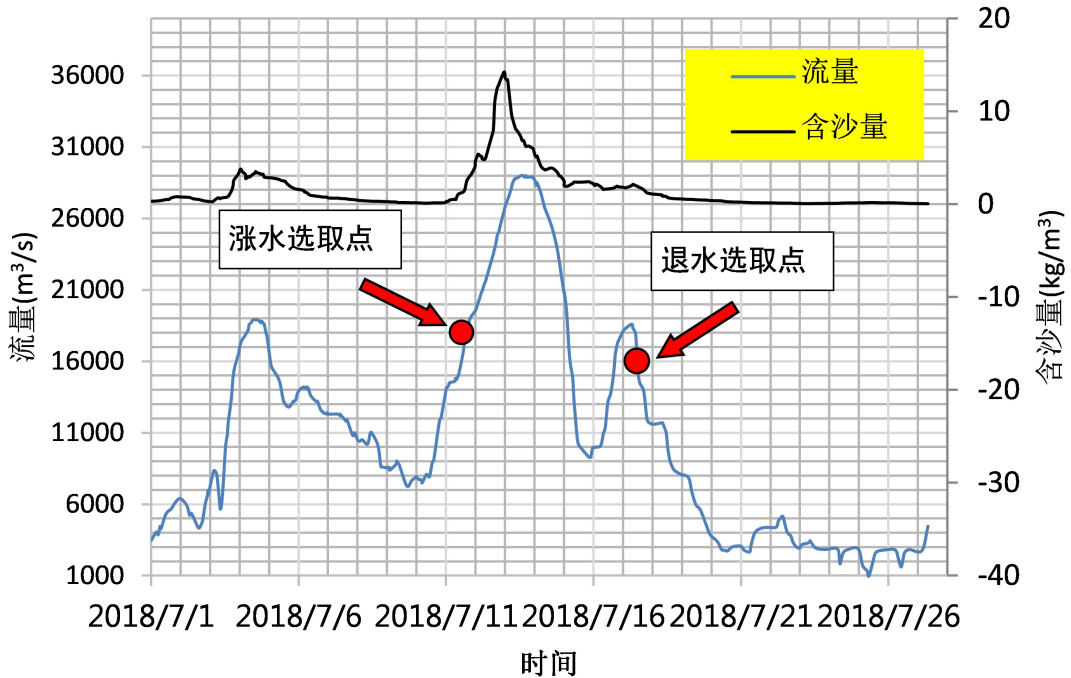


Figure 9. Hydrographic element cableway hydrograph of Beibei Station in July 2018

图 9. 北碚站 2018 年 7 月缆道水文要素过程线图

因 7 月中旬含沙量最大，所以选取 7 月中旬的涨水时期为研究对象，7 月 10 日 4 时涨水开始，涨水时段内最高水位 197.41 m，最大含沙量 14.2 kg/m^3 。

7 月 11 日 16 时(见图 9 涨水选取点)，H-ADCP 代表流速开始出现紊乱，其状态图见图 10。同时，H-ADCP 也出现回波强度曲线急速下降、右岸突起边界消失、流速棒范围缩小的情况。

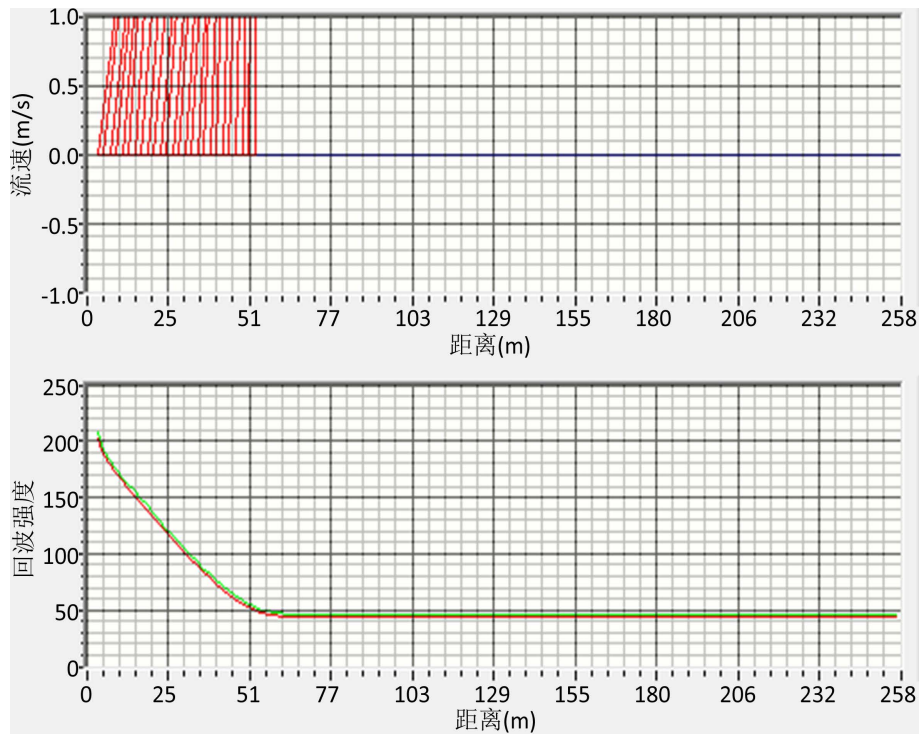


Figure 10. 2018-07-11 abnormal data status chart at a Time on H-ADCP

图 10. 2018-07-11 某时刻 H-ADCP 不正常数据状态图

将此时段缆道流速仪法的定线推流流量和 H-ADCP 选取的代表流速按率定的关系推求的实时流量过程相对比, 见下图 11。

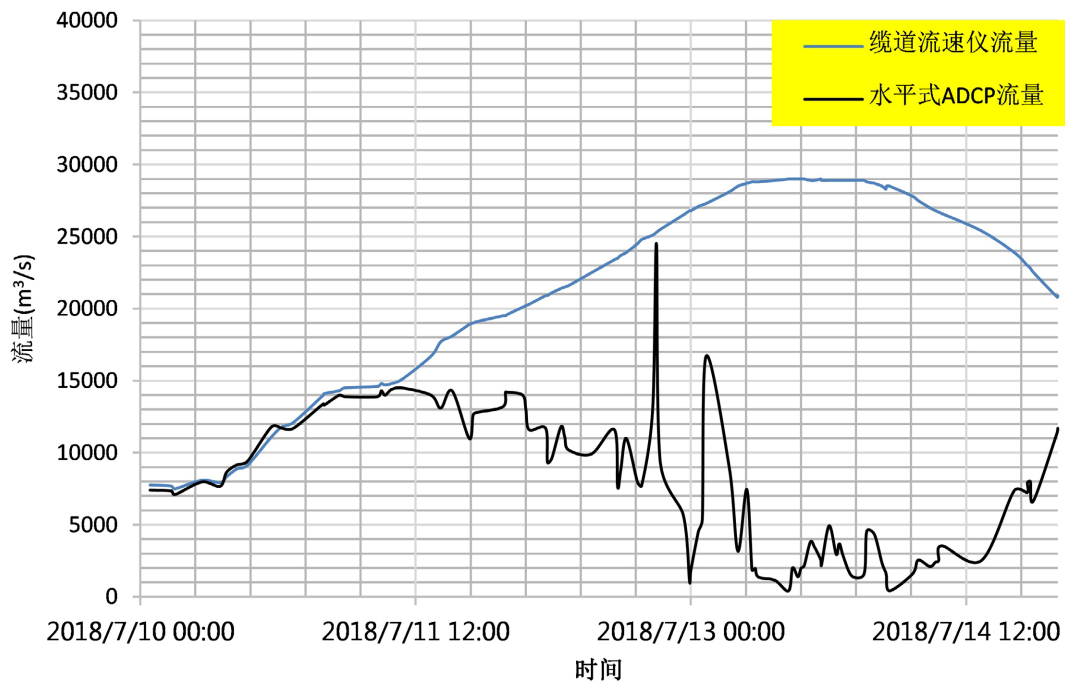


Figure 11. Comparison of cableway current meter flow and horizontal ADCP flow process in July 11~14, 2018

图 11. 2018 年 7 月 11~14 日缆道流速仪流量和 H-ADCP 实时流量过程对比

虽然此时段 H-ADCP 工作状态不正常,但是回波强度下降的速度和流速棒缩小的范围明显都比 6 月末涨水状况(图 7)要好,测量距离缩短在 51 m 内(6 月末为 20 m 内),因此, H-ADCP 工作状态不正常度要比 6 月末小,且这次含沙量在 1.98 kg/m^3 左右,亦较 6 月末(含沙量为 4.91 kg/m^3)低,而 6 月末的流量过程对比图能相吻合,推测这次流量过程对比图吻合度会更好。然而,根据实际对比图可知,7 月 11 日 H-ADCP 监测的流量和缆道流速仪法实测的流量,出现流量过程不相应,见图 11,根本原因是流速对 H-ADCP 的影响较大,这次实测平均流速在 3.00 m/s 。高于 6 月末的实测流速(2.06 m/s)。

退水时也有相似结论,7 月 15 日开始退水,本时段内最高水位 189.58 m ,最大含沙量 2.42 kg/m^3 。7 月 16 日 20 时(如图 9 退水选取点) H-ADCP 出现流速紊乱,将本时段缆道流速仪法推求的流量和 H-ADCP 选取的代表流速按率定的关系推求的实时流量过程相对比,见图 12。

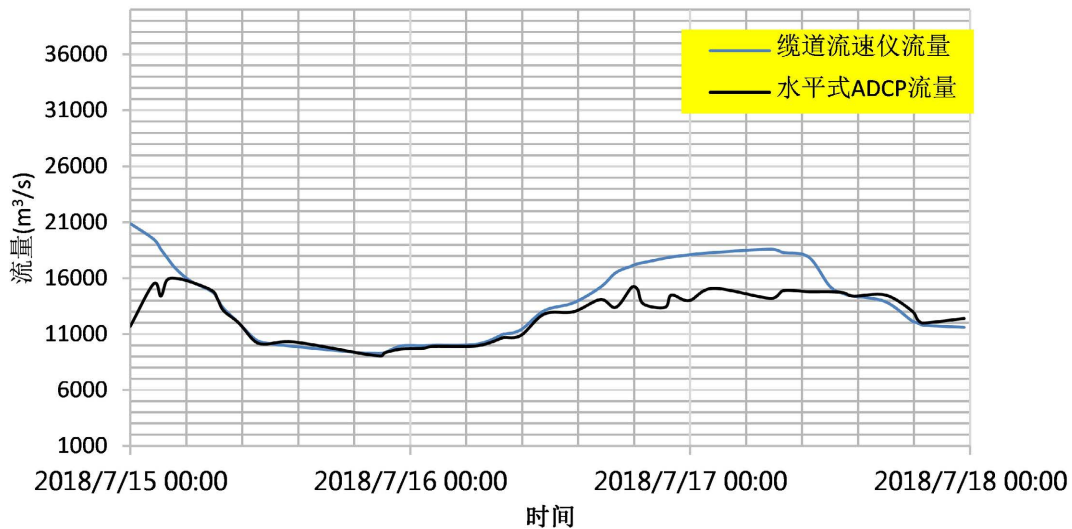


Figure 12. Comparison of cableway current meter flow and horizontal ADCP flow process in July 15~17, 2018

图 12. 2018 年 7 月 15~17 日缆道流速仪法流量和 H-ADCP 实时流量过程对比

7 月 15 日 5 时,尽管含沙量为较高的 2.1 kg/m^3 ,但缆道平均流速仅为 2.78 m/s ,可见退水后 H-ADCP 和缆道流速仪流量有一段是相应的;后期再涨水时,虽然含沙量只有 1.87 kg/m^3 左右,但由于对应的缆道平均流速在 3.09 m/s ,因此出现对比流量过程不相应;而再次退水时,含沙量回落到 1.80 kg/m^3 ,平均流速也降到 2.70 m/s ,H-ADCP 和缆道流速仪流量再次相应。

这次退水时期的 H-ADCP 范围明显好于 6 月末和 7 月中的两次涨水,对比缆道流速仪法流量出现不相应的情况却更早,说明 H-ADCP 的工作状态在一定的流速范围内不仅受到含沙量的影响,更会受到流速的影响,但流速的高低对 H-ADCP 的工作状态没有明显规律性的影响。

5. 结论

1) H-ADCP 工作状态不仅会受到含沙量的影响,还会明显受到流速高低的影响。北碚站的 H-ADCP 在流速较小时,含沙量达到 4.91 kg/m^3 ,收集的流量依然可以使用,而流速继续增大时,尽管含沙量不足 2 kg/m^3 ,收集到的流量资料却偏小很多。

2) H-ADCP 的回波强度和流速棒一般作为一项判断仪器是否正常工作的依据,但在流速不大的情况下,即使含沙量偏大,导致 H-ADCP 工作状态曲线不正常,但所收集的数据也具有一定的参考性。北碚站在流速 2.06 m/s 时,尽管含沙量达到了 4.91 kg/m^3 ,仪器工作测量范围缩小,但通过与缆道流量的同步分析,证明了 6 月 H-ADCP 资料可靠。当仪器工作状态不正常时,可以通过与缆道流速仪同步比测数据,综合判定后确定。后续,

测站在一定量级的洪水发生时,若无法使用缆道,的情况下,H-ADCP测得的数据具有一定的参考价值。

3) 平均流速在一定范围内,在流速较大的情况下,即使含沙量不大,H-ADCP的工作范围有所扩大,但所收集的数据也可能不具有参考性,从而影响资料的可靠性。北碚站7月的洪水,在含沙量都不高的情况下,涨水时平均流速达到3 m/s左右,H-ADCP数据与缆道数据不对应,使用时不建议通过某一项数据来判定数据的可靠性,要密切监控仪器情况,结合多方面的因素综合判定。

4) 同步比测时,最好选择不同洪水进行多次比测,得到多个H-ADCP的使用范围,通过水位、含沙量、流速的可靠性分析,确定H-ADCP大致的洪水量级使用范围,范围的选择应就低不就高,在超出范围时应加强同步比测分析。

参考文献

- [1] 朱晓原,张留柱,姚永熙.水文测验实用手册[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
ZHU Xiaoyuan, ZHANG Liuzhu and YAO Yongxi. Practical manual of hydrologic testing. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2013. (in Chinese)
- [2] 冯建军. ADCP原理及数据处理方法[J]. 港工技术, 2007(3): 53-55.
FENG Jianjun. ADCP principle and data processing method. Port Engineering Technology, 2007(3): 53-55. (in Chinese)
- [3] 王若晨,张国学,闫金波. 水利工程调度影响下流量在线监测技术应用研究[J]. 人民长江, 2014, 45(9): 51-54.
WANG Ruochen, ZHANG Guoxue and YAN Jinbo. Research on application of online flow monitoring technology under the influence of water conservancy project scheduling. Yangtze River, 2014, 45(9): 51-54. (in Chinese)
- [4] 田淳,刘少华. 声学多普勒测流原理及其应用[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003.
TIAN Chun, LIU Shaohua. Principle and application of acoustic Doppler flow measurement. Zhengzhou: Yellow River Water Resources Press, 2003. (in Chinese)