

H-ADCP 在高坝洲水文站的在线流量测验的应用研究

方祯

湖北省宜昌市水文水资源勘测局

DOI:10.32629/hwr.v3i10.2451

[摘要] 为解决复杂水流条件下的流量测验问题,近些年来,以水平式声学多普勒流速剖面仪(H-ADCP)为代表的新型仪器设备在水文测验中得到了广泛应用。以高坝洲水文站为代表,根据 H-ADCP 性能及水文测验断面的实际情况,有针对性地进行分析研究,解决 H-ADCP 仪器的安装、适时水位(Z~t)的自动测报与应用、水位(Z)与断面面积(A)的关系、断面平均流速($\bar{V}_{断面}$)与指标流速(u)的关系的率定、以及在线适时流量的取得等关键性技术问题。通过试验研究,较好地解决了应用 H-ADCP 实现高坝洲水文站的流量测验问题。

[关键词] H-ADCP; 复杂水流; 应用; 技术; 研究

1 测站基本情况

清江高坝洲水文站建于2000年,位于宜都市五眼泉乡毛家沱。流域面积15710km²,位于东经111° 21',北纬30° 24',距长江出口10km处,是清江流域的防汛总控制站兼清江高坝洲水利枢纽工程专用站,开展的经常性测验项目有水位、流量、降水、蒸发、水质监测等。担负着向中央、省、市、清江、三峡等防汛部门的报讯任务,为一类精度的重要站。

测验河段顺直长500m,河道为窄深式,高水河面宽达300余米,低水有死水,两岸为块石护坡,河床系沙卵石组成。基上220m建有清江高坝洲大桥,基上1800m处,建有高坝洲大坝,汛期经常受长江顶托影响。因为受长江回水顶托和电厂发电双重影响,使得水位流量关系变得极为复杂。

本站水位级的划分: 43.00m以下为低水,43.00m~48.00m为中水,48.00m以上为高水。实测最高水位50.47m,实测最大流量7840m³/s,实测最大流速3.82m/s

2 系统设计

系统总体架构见图2-1。遥测端主要有H-ADCP安装支架、H-ADCP仪器、避雷设备、供电系统、避雷系统、RTU、通信终端等设施。中心站主要由数据接收服务器、不间断电源、数据存储数据库、数据接收应用软件、流量计算软件、通信终端、避雷设备等。

为了便于数据的查询与备份,本系统中心站有2个,分别为高坝洲水文站及宜昌市水文局机关,数据采用一站双发的模式。

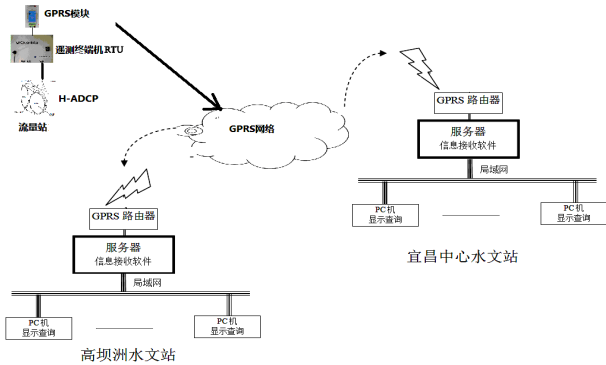


图2-1系统总体架构图

3 应用 H-ADCP 在线测流的基本原理

H-ADCP测流原理仍然基于流速面积法。流速面积法基于下式计算流量:

$$Q = \bar{V} \times A$$

式中: Q ——断面流量, m³/s。

\bar{V} ——断面平均流速, m/s。

A ——断面过水面积, m²。

是通过H-ADCP测量代表流层的流速(指标流速u),通过率定建立指标流速(u)与断面平均流速($\bar{V}_{断面}$)的相关关系,再借助相应水位下的断面面积(A),进而推算得到断面流量,从而实现流断面实时流量的过程。

4 H-ADCP 的选型

为了满足高坝洲水文站能对断面流速进行24小时连续在线监测,监测信息采用定时自报或召测方式,每日监测次数和工作方式可以本地设置也可以远程设置,每日自报次数可以按时段或时间方式设定;能根据实时采集流速、水位和水位~面积关系计算断面流量;以及存储3个月以上的数据;现地、远程数据下载、参数配置和设备故障、异常自动报警等整体功能的要求。

根据高坝洲水文站流量监测站技术设计和水文断面特性,采用H-ADCP是美国TRDI公司的ChannelMaster型水平式声学多普勒流速剖面仪(简称CM型H-ADCP),型号CM300,波束为2波束(±20度夹角),波束夹角为2.2°,单元数1~128个,内置存储器2M,电压10~18VDC,波特率300~11520bps,是当前在我国应用较为广泛的一种新型测流仪器,具有操作方便、快速高效、稳定可靠等优点。内置温度传感器,纵、横摇角度倾斜计,超声波水位计,ADCP换能器等多种传感器,可同时自动监测流速、流量、水位、水温等水文要素。



H-ADCP外形图

5 H-ADCP 的安装

H-ADCP的安装是整个应用过程的最为关键环节,H-ADCP的安装位置一旦确定下来,将尽量保持不变,也就是固定地对同一个流层(或垂线)进行

监测, 以保证其流量系列具有较好的一致性。基本原则是:

(1) 探头应安装混凝土支墩、桥墩或坚固的岩石上, 并需采取防冲水力计算, 防止仪器被水流冲走。

(2) 安装断面处河床断面应稳定, 冲淤变化应尽量小, 同时还要高于河底的淤积层, 避免主机遭受掩埋。

(3) H-ADCP的安装应使其中心轴线与测流断面平行。

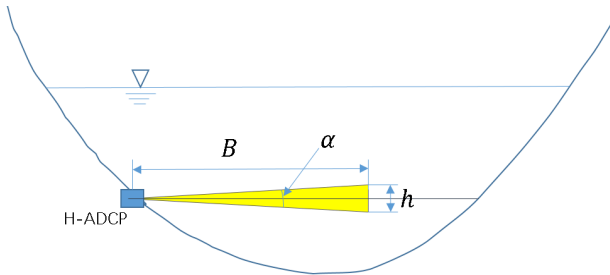
(4) 仪器便于提放与检修。

(5) 由于H-ADCP波束具有一定的带宽, 其波束发射时呈发散状态, 类似于手电筒, 因此应在H-ADCP探头上方和下方均要保证具有一定的有效水深, 避免波束传播过程中遇到水面或河底时受阻, 仪器安装的高度原则上宜集合大断面形态、水位变幅情况等因素, 通过分析确定。对水位变幅较大的测站, 建议在不同的水位变幅内分别设定安装位置。使其大致位于历年平均水深的40%~60%处, 且处于历史最枯水位或需测水位以下一定的距离。

(6) 在安装过程中, 应使Pitch和Roll尽量偏小, 最好接近于0, 以保证采集数据精度。(启动Win-HADCP软件(下文9中介绍), 即可查看H-ADCP安装位置的横摇(Roll)和纵摇(Pitch)参数。从而确定H-ADCP的合理安装位置)。

(7) 做好H-ADCP防雷实施, 避免雷击H-ADCP传感器, 影响测流系统正常工作。

此外, 在安装过程中应注意使两个声学传感器位于同一水平面上, 同时要注意主机底面必须垂直, 以保证声束为水平发射。



H-ADCP安装位置示意图

从图中可见, H-ADCP的理想安装位置为: H-ADCP水平中心线与水面及河底的距离均要大于h/2。h的计算公式如下:

$$h = 2B \tan \frac{\alpha}{2}$$

式中: h ——H-ADCP波束的发散宽度, m。

B ——H-ADCP水平测流剖面宽度, m。

alpha ——H-ADCP波束宽。

对于CM300型H-ADCP, alpha = 2.2。

通过分析, 仪器安装在基本水尺断面下游左岸约100m处, 安装高程为41.13m, 起点距为46.9m。固定安装在特制的纲架上。

H-ADCP采集参数设置: 采样间隔5min, 平均时段100s, 单元数128个, 单元尺寸1m, 盲区1m。

6 断面平均流速的推求(流速关系 \bar{V} 断面=f(u流层)的率定)

在仪器安装完成后, 进行 \bar{V} 断面=f(u流层)关系的率定工作。高坝洲水文站采用了LS25-1型流速仪和M9型走航式ADCP两种仪器。中低水位时布设15条垂线, 每条垂线均测相对水深0.2、0.8的测点流速, 走航式ADCP采用

2个测回平均值作为测次流量, 每测回误差均不超过5%, 共收集流量55次, 舍弃实测过程中由于电厂开关机突变引起流量误差超限和ADCP只有半测回的情况的16次, 实际用于分析的流量测次为39次。

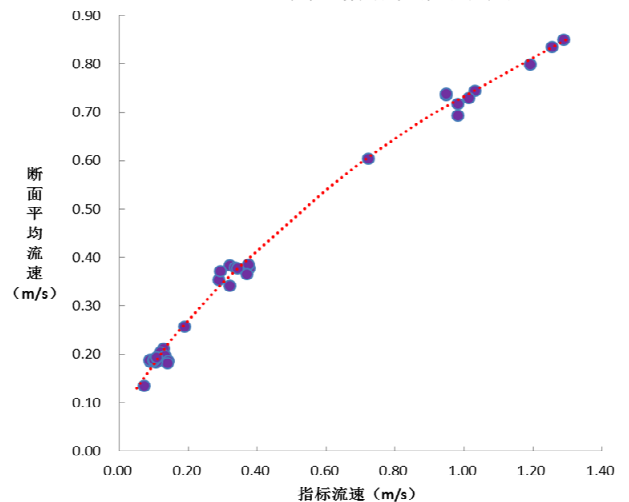
在比测过程中, 根据仪器回波信号衰减过程线分析, 选择第35单元格之前的单元格进行分析, 分别5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35; 5-15, 10-20, 15-25, 20-30, 25-35; 5-20, 10-25, 15-30, 20-35; 5-25, 10-30, 15-35; 5-30, 10-35; 5-35等不同长度的单元格进行分析, 其分析结果见下表:

不同单元格拟合分析对比表

单元格选择		拟合公式	R ²
5个单元格	指标流速(5-10)	y=-1.6658x ² +2.3647x-0.0831	R ² =0.9347
	指标流速(10-15)	y=-0.5514x ² +1.3219x+0.0326	R ² =0.941
	指标流速(15-20)	y=-0.4532x ² +1.1807x+0.0456	R ² =0.961
	指标流速(20-25)	y=-0.2934x ² +0.961x+0.092	R ² =0.9802
	指标流速(25-30)	y=-0.2632x ² +0.8852x+0.0937	R ² =0.9873
10个单元格	指标流速(30-35)	y=-0.2581x ² +0.9435x+0.084	R ² =0.9899
	指标流速(5-15)	y=-0.9503x ² +1.7496x-0.0179	R ² =0.9521
	指标流速(10-20)	y=-0.4916x ² +1.2421x+0.0395	R ² =0.9547
	指标流速(15-25)	y=-0.3784x ² +1.0738x+0.0678	R ² =0.9745
	指标流速(20-30)	y=-0.2903x ² +0.9431x+0.0866	R ² =0.9884
15个单元格	指标流速(25-35)	y=-0.2324x ² +0.8745x+0.0952	R ² =0.9933
	指标流速(5-20)	y=-0.6739x ² +1.4682x+0.0131	R ² =0.9604
	指标流速(10-25)	y=-0.4173x ² +1.1397x+0.0578	R ² =0.9686
	指标流速(15-30)	y=-0.3495x ² +1.0289x+0.0708	R ² =0.9834
15个单元格	指标流速(20-35)	y=-0.2537x ² +0.9126x+0.0903	R ² =0.9924
	指标流速(5-25)	y=-0.5221x ² +1.287x+0.0398	R ² =0.9703
	指标流速(10-30)	y=-0.3851x ² +1.0886x+0.0624	R ² =0.9782
25个单元格	指标流速(15-35)	y=-0.309x ² +0.9856x+0.0775	R ² =0.9886
	指标流速(5-30)	y=-0.4547x ² +1.1941x+0.05	R ² =0.9779
30个单元格	指标流速(10-35)	y=-0.3347x ² +1.0327x+0.0705	R ² =0.9847
	指标流速(5-35)	y=-0.3767x ² +1.1077x+0.0615	R ² =0.9839

从表中可以看出, 25-35单元格之间的指标流速与断面平均流速关系最为密切, 为0.9933。故选择25~35单元格指标流速与断面平均流速建立相关关系, 相关系数R²为0.9933, 单元格相关关系图见下图, 并对单元格指标流速与断面平均流速关系曲线进行三种检验。

25~35单元格相关关系图



25~35单元格指标流速与断面平均流速相关关系图

拟合一元二次线性相关关系为:

$$\bar{v} \text{ 断面} = -0.2324u_i^2 + 0.8745u_i + 0.0952$$

式中: \bar{v} 断面—为断面平均流速(m/s)

u_i —指标流速。单元格范围25~35(m/s)

7 水位过程(Z~t)的确定

水位过程(Z~t)的获取有3种方式,分别为利用高坝洲水文站基本水尺水位、H-ADCP内部声学水位及H-ADCP内部压力水位。若需利用H-ADCP内部声学水位或H-ADCP内部压力水位,则需精确标定H-ADCP的安装高程,以减少高程设置错位带来的系统误差。为了保证水位数据的连续性、统一性,本次直接采用高坝洲水文站基本水尺断面水位(已建成的水雨情自动测报系统)获得(该系统测报的水位通过校正可直接使用)。

8 Z~A关系的确定

由于测验断面的河床长期处在一个变化的过程中,高坝洲水文站在选取多普勒测流断面位置时,选用河床较为稳定的断面,这样可以保证Z~A关系较长时间基本不变(如果所选用的断面河床变动明显,可经常性进行大断面校测,确保Z~A关系线的时效性)。

Z~A关系线(或函数)的确定,理论上可采用以下三种方法来进行计算(或率定):

(1)函数率定法。根据的大断面测量成果,计算出不同水位的过水断面面积,再依据这些水位面积点进行回归分析,率定其回归方程 $A=f(Z)$ 。

(2)Z~A关系线节点插算法。先根据本时期的大断面测量成果,计算出不同水位Z的过水断面面积A,点绘Z~A关系图,并从中找出不同水位级下具有代表性的各个节点,建立Z~A关系线节点图,并输入到计算机软件中,往后任何水位的相应断面面积均由Z~A关系线节点数据进行直线内插计算而得。

(3)大断面面积计算程序法。直接根据本时期的大断面测量的成果数据,即起点距L~河底高程H,并以Z为形式参数,编写大断面面积计算程序(以函数格式编程),于是可以在任意时间就任何一个水位值Z,由程序计算出相应的过水断面面积A。

9 在线流量的生成

在高坝洲在线流量测验应用的流量在线监测软件主要包括两个:分别为Win-HADCP和长江水文技术研究所自主研发的CWRC-HADCP。Win-HADCP为厂商附送的数据采集软件,可完成H-ADCP采集参数设置、时间同步等基础性工作;CWRC-HADCP为中心站流量实时计算软件,主要完成流量的实时计算、各种特征值统计等高级功能。现分述如下:

(1)Win-HADCP软件。Win-HADCP为美国TRDI公司为H-ADCP开发的流量

在线数据采集、回放、处理软件。利用Win-HADCP可以进行H-ADCP安装姿态监视、实时数据采集、数据回放处理以及仪器运行参数设置等操作。

由于Win-HADCP为H-ADCP厂商开发的测流软件,故软件与仪器固件具有很高的兼容性,运行稳定可靠,界面美观,人性化。

(2)流量实时计算软件CWRC-HADCP。流量实时计算软件CWRC-HADCP用于完成流量实时计算,并将成果写入成果数据库。功能上包括平台配置、测站管理、流量计算及数据管理等4个模块,其逻辑结构见图9.2-1。平台配置模块完成系统设置、流量数据库连接参数设置;测站管理模块完成测站的增减、基本信息维护、水位获取参数设置、H-ADCP参数设置等;流量计算模块完成水位、流速采集数据的实时获取,指标流速法、数值积分法流量的自动计算与入库;数据管理模块完成数据查询、断面水力要素的计算等。

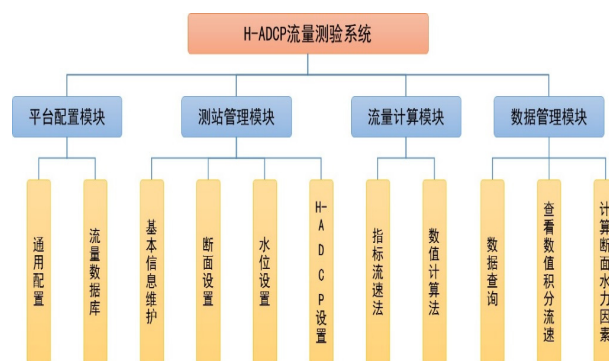


图9.2-1系统逻辑结构图

10 结语

通过H-ADCP在以高坝洲水文为代表的水文站的成功应用,科学有效地解决了复杂水流条件下的流量测验问题,为受人类活动和水利工程影响的河流(河道)的流量测验提供了典范,为水文的信息化和现代化的实现奠定了基础。

[参考文献]

- [1]姚章民.声学多普勒水流剖面仪在河流流量测量中的应用[J].人民珠江,2002(06):23-24+31.
- [2]刘洋,李伟,田长涛.ADCP河流流量测量应用实例分析[J].科技创新与应用,2018(13):170-171.
- [3]潘仁红.水平式ADCP在水文应用中的技术探讨[J].水利水文自动化,2005(04):45-47.