

文章编号:1001-4179(2015)21-0039-04

# H-ADCP 流量在线监测系统软件设计与实现

陈 卫, 周 波

(长江水利委员会水文局 长江水文技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**受水利工程的影响,天然河流水文测验条件发生了很大变化,采用传统的水文测验方法获取河流断面完整的水文要素变化过程,势必要加大测次、增加成本。由于H-ADCP无法利用RTU进行数据测报与远程控制,其推广应用受到限制。采用H-ADCP进行流量在线监测是解决水利工程影响下流量测验的重要途径之一。长江水利委员会水文局在深入研究H-ADCP所带软件的基础上,研发了通用的H-ADCP在线测流系统。系统开发实现了H-ADCP远程控制在线监测及数据传输,具有较好的应用前景。

**关键词:**H-ADCP; 流量在线监测; 指标流速法; 数值积分法; 水资源监控

中图法分类号: P332

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.21.009

随着大量水利工程的兴建,水文站测验河段的测验条件发生了明显的改变,尤其是水库等蓄水工程的水文调节对大坝上下游水文站的影响尤为显著。为了获得河流流量的变化过程,势必要增加测次,加大工作量及经济成本。在此背景下,亟需实行流量在线监测以解决受工程影响的流量监测问题。

目前,流量在线监测主要有流速面积法及水力学法。流速面积法又分为表面流速测量及剖面流速测量两类,水力学法又分为量水建筑物测流法、水工建筑物测流法及比降面积测流法。各种方法均有一定的适用条件。采用H-ADCP进行流量监测是现在常用的实现流量在线监测的方式之一。

目前,厂商提供的H-ADCP采集软件,仅能直接通过电缆与计算机有线通信,无法利用RTU进行数据测报远程控制,难以与系统中其他水雨传感器有效集成,导致目前行业中没有一个完整通用的系统解决方案,制约了H-ADCP在线测流系统的全面推广使用。在此背景下,长江委水文局深入研究了H-ADCP的RTU采集控制软件,并在此基础上开发了H-ADCP流量在线监测系统软件,实现了H-ADCP的远程控制、数据无线远程传输。该软件具有较好的可扩展性,针对不同厂商的传感器,只要掌握其数据通信协议便可将其集成在该软件中。

## 1 系统需求分析

### 1.1 功能需求

H-ADCP流量在线监测属于流速面积法,基于声学多普勒的原理进行流速监测。系统运行时,需满足如下功能。

- (1) 可任意添加、删减测站,同时完成多个水文站点的流量计算;
- (2) 可同时提供指标流速法、数值积分法两种流量计算成果;
- (3) 可采用H-ADCP内置水位、基本水尺水位计算断面面积;
- (4) 需将计算成果实时入库,并可自动完成水位、流量的月年均值及统计特征值计算。

### 1.2 可靠性需求

由于该系统软件需24 h不间断运行,因此必须要有较高的运行可靠性,应充分考虑各种干扰、通信故障、数据异常等因素,并加入稳健的容错机制,保证系统正常运行<sup>[1]</sup>。

### 1.3 接口需求

系统运行时,需将3个数据输入接口:①水位接口,用于计算测验河段瞬时水面比降;②H-ADCP实

收稿日期:2015-03-27

作者简介:陈 卫,男,高级工程师,主要从事水文自动测报技术研究及管理工作。E-mail:chenw@cjh.com.cn

测流速接口,用于计算断面平均流速;③ 断面水力要素接口,用于计算水力半径、过水面积等。

2 系统概要设计

以需求分析为基础进行概要设计,系统包括平台配置、测站管理、流量计算及数据管理 4 个模块,逻辑结构见图 1。平台配置模块完成系统设置、流量数据库连接参数设置;测站管理模块功能包括测站的增减、基本信息维护、水位获取参数设置、H-ADCP 参数设置等;流量计算模块功能包括水位、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;数据管理模块功能包括数据查询、断面水力要素的计算等。

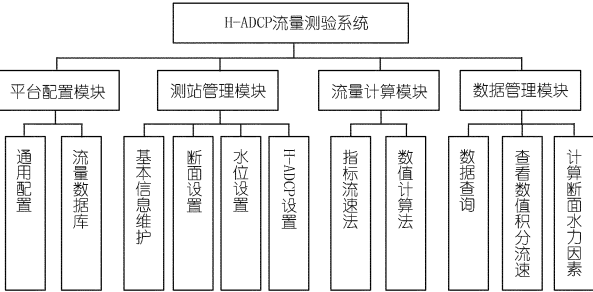


图 1 系统逻辑结构

3 系统功能设计

3.1 平台配置模块

平台配置模块功能包括通用设置、数据库连接参数设置等。在通用设置界面中,可设置分中心名称、系统扫描水位数据库时间间隔、主界面中显示数据个数等,见图 2;流量数据库连接参数界面中可设置数据连接参数,见图 3。



图 2 通用设置界面

3.2 测站管理模块

测站管理模块功能包括测站的添加、删除与修改,见图 4。

在此界面中,可进行水文站的增加、删除与修改,也可将某选定的水文站状态设置为有效或无效,水文

站仅在状态为有效时才进行流量的实时计算与入库。从功能上分,测站管理又可分为基本信息维护、水位设置、断面设置及 H-ADCP 设置等功能模块。



图 3 流量数据库连接参数设置界面



图 4 测站管理界面

3.2.1 测站基本信息维护

测站基本信息维护界面见图 5,在该界面中,可设置站码、站名、河流、经纬度及测站位置等信息。



图 5 测站基本信息维护界面

3.2.2 断面设置

H-ADCP 根据实时监测的水位,通过水位面积关系计算过水断面。因此,需设置测站的断面,见图 6。为了满足数值积分法的需要,还需设置岸边流速系数、岸边类型及垂线流速分布系数等参数。

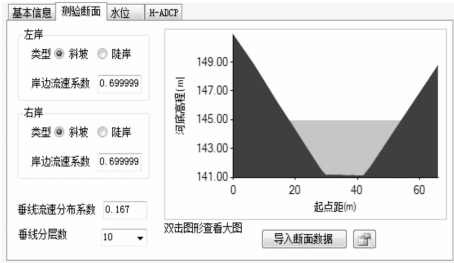


图 6 断面设置界面

### 3.2.3 水位设置

水位获取 3 种形式,分别为“利用 H-ADCP 内置水位”、“从文件获取”及“从数据库获取”,见图 7。“利用 H-ADCP 内置水位”是利用 H-ADCP 实测的超声波水位进行断面面积计算,后两类是利用基本水尺断面水位数据,建议采用后两种之一,以保证水位数据计算的一致性。

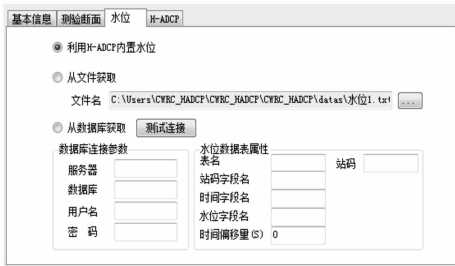


图 7 水位设置界面

### 3.2.4 H-ADCP 设置

H-ADCP 设置界面见图 8。在该界面中,可设置 H-ADCP 流速单元数、流速单元尺寸、指标流速选取范围、数据文件存放路径以及安装坐标参数。H-ADCP 的安装支持两种模式:一类为固定位置;另一类为动态位置。动态位置的获取通过文件的形式实时获取 H-ADCP 的安装坐标。



图 8 H-ADCP 设置界面

## 3.3 流量计算模块

该系统可同时提供指标流速法及数值积分法流量计算功能,运行界面见图 9。在该界面中,可实时显示断面最新水位、流量数值,水位、流量时间过程线,最高水位、最低水位、最大流量、最小流量、平均流量、总水量等水文特征值,H-ADCP 流速矢量分布图及回波强度分布图等成果,同时还可对监测的数据进行回放等。

(1) 指标流速法。指标流速法实质为流速面积法。H-ADCP 施测某一水深处的横向流速,选定部分单元格流速进行平均后(称为指标流速  $V_x$ ),与同步实测的断面平均流速  $V$  建立相关关系。利用此相关关系,将 H-ADCP 施测的指标流速转换为断面平均流速  $V$ ,结合利用水位推算的断面面积即可完成断面流

量的计算。指标流速法是一种通用的流量在线监测方法,其优点在于概念明确、精度较高,但需事先进行人工比测率定。

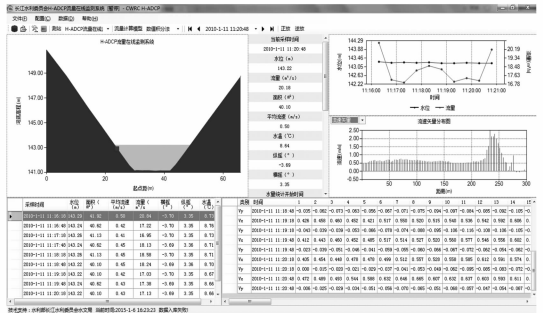


图 9 系统流量计算主界面

(2) 数值积分法。数值积分法的基本原理是通过实测过水断面各个微单元的流速,算出各微单元流量后,采用数值积分公式算出断面流量。对于通常仅固定测得一个横向剖面流速的测站,可利用明渠流速分布定律和 H-ADCP 实测流速数据推算过水断面上各个点的流速(即断面流速分布),然后对整个过水断面流速分布进行积分算出流量。流量计算公式为<sup>[2]</sup>

$$Q = \iint_A V_x(y, z) dx dy \quad (1)$$

式中,  $Q$  为断面流量;  $V_x(y, z)$  为垂直于过水断面的流速分量;  $x$  为纵向坐标(即水流方向);  $y$  为横向坐标;  $z$  为垂向坐标。  $z = 0$  为水位基准面。

假定  $V_x(y, z)$  符合如下幂函数分布

$$V_x(y, z) = \alpha(y)(z - z_b)^\beta \quad (2)$$

式中,  $z_b$  为渠底高程;  $\alpha(y)$  为流速分布系数;  $\beta$  为经验常数,与河床糙率、河流流态有关。

$\beta$  的率定方法为:在固定水深处用流速仪测速 100 s,并利用式(2)反推  $\beta$ ,不同水情下的比测数据应不少于 30 次,将各次计算的  $\beta$  进行平均作为最终采用值。如果测站无实测资料概化  $\beta$  值通常取 1/6。

$$\alpha(y) = \frac{V_x(y, Z_{\text{ADCP}})}{(Z_{\text{ADCP}} - Z_b)^\beta} \quad (3)$$

式中,  $Z_{\text{ADCP}}$  为 H-ADCP 安装高程;  $V_x(y, Z_{\text{ADCP}})$  为  $(y, Z_{\text{ADCP}})$  点处的 H-ADCP 实测单元流速分量。

该系统根据实时水位将过水断面划分成很多矩形断面(正方形网格),网格的边长可预先设定,通常为垂线水深的 1/10,通过式(2)计算网格流速,面积为正方形的面积,两者相乘即为网格(为断面)流量,最后将多个微断面流量进行累加即为断面总流量。该方法要求 H-ADCP 发射的波束应能横穿整个横断面。流量计算精度取决于流速分布系数和断面冲淤变化情况。如果 H-ADCP 安装有伺服系统,测得过水断面各个微单元的流速,可直接采用积分公式计算流量,无

需率定  $\beta$  值。

3.4 数据管理模块

数据管理模块功能包括数据查询、计算断面水力要素、查看数值积分流速分布。数据查询功能可完成选定站、选定时段的所有计算数据的查询,见图 10。断面水力因子界面可完成断面面积、平均水深、水力半径等计算,并可绘制各水力因子的相关图,见图 11。



图 10 数据查询界面

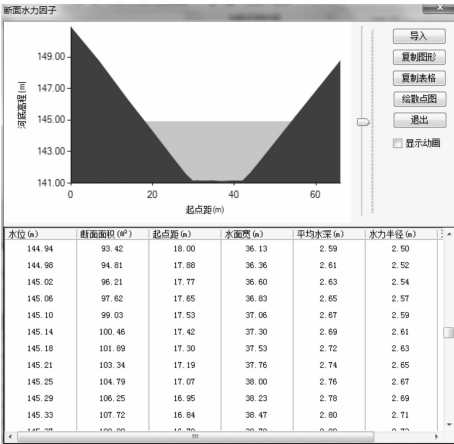


图 11 断面水力因子计算主界面

数值积分流速分布主界面可显示各微断面计算流量,见图 12。

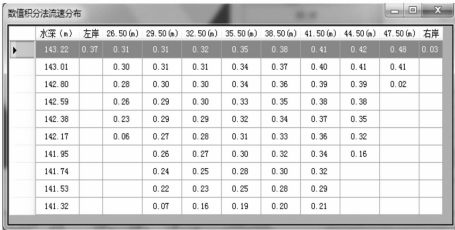


图 12 数值积分流速分布主界面

4 结论与展望

H-ADCP 流量在线监测系统具有经济、简便、安全、迅速等特点。长江委水文局根据《声学多普勒流速仪测流规范》(SL337-2006)的相关要求,在需求分析、概要设计的基础上,采用先进的软件开发技术研发了通用的 H-ADCP 流量在线监测系统。系统采用指标流速法、数值积分法实时计算流量,操作简单,可同时完成多个水文站的流量在线监测。对于渠道站取水量的实时监控,该方法具有更好的适应性,可很好地服务于最严格水资源管理。

参考文献:

[1] 周波,张国学,李雨.通用比降面积法流量测验系统软件设计与实现[C]//水利量测技术论文选集(第九集),郑州:黄河水利出版社,2014.

[2] 黄河宁.宽带声学多普勒技术用于灌区量水试验研究——固定式 H-ADCP 在线流量监测及其流量计算[J].中国农村水利水电,2007,(11):50.

(编辑:常汉生)

Design and realization of on-line H-ADCP discharge measurement software

CHEN Wei,ZHOU Bo

(Research Center of Changjiang Hydrology Technology, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** Influenced by water conservancy projects, the hydrological measurement condition in natural rivers changed greatly. To obtain the complete hydrological factor variation process would increase the measurement times and result in the increment of workload and cost. Using on-line H-ADCP discharge measurement software is an effective way to measure the discharge in the river channels influenced by water conservancy projects. However, the popularization and application of H-ADCP is limited because the RTU can not be used to conduct remote control and prediction. On the basis of the intensive research on H-ADCP software, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission developed a general on-line H-ADCP discharge measurement system, which realized the on-line and remote H-ADCP discharge measurement discharge and has a good application prospect.

**Key words:** H-ADCP; on-line discharge measurement; index flow velocity method; digital integration method; water resource monitoring