

# 能坡法流量实时在线自动监测系统在沈丘水文站的应用

韩新庆

(河南省周口水文水资源勘测局,河南 周口 466000)

**摘要:**能坡法流量实时在线自动监测系统结合计算机处理、网络数据传输等先进技术,可以将常规的水文要素监测方式转变为信息采集、存贮、传输运用为一体的自动化、数字化过程。通过该系统在沈丘水文站的应用,与流速仪法测流进行对比分析,从而验证了能坡法流量实时在线自动监测系统的可靠性与合理性。

**关键词:**能坡法;模型;应用;对比分析

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)01-0079-04

## 1 沈丘水文站基本情况

沈丘水文站属国家基本水文站,位于河南省周口市沈丘县城关镇李坟村,设立于1951年4月,集水面积3094km<sup>2</sup>。该站是豫、皖两省重要省界站,淮河一级支流沙河河支流泉河控制站,流域省界水资源水量监测是流域水资源管理的重点项目之一,是流域两省级行政区水量分配、取水总量控制管理的重要依据。流量常规测验方式为自动缆道流速仪法测流,站上游240m为泉河控制闸,受闸门启闭影响,水位涨落和流量关系比较紊乱,为满足水文测验要求,测流次数比较多。

随着经济和社会的发展,跨地区、跨省界的水资源管理任务越来越多,现有水文监测方式已远不能满足水文信息化的要求,针对目前现状,采用流量自动监测技术,可以实现水量监测现代化、自动化,为水资源管理提供现代化的保障。

2015年7月,能坡法流量实时在线自动监测系统正式投入使用,该系统由流速信息采集、流量计算、数据处理转发以及基于数据库在线流量查询系统组成。通过运行系统软件,可以完成信息采集、计算、存储、转发、展示、数据维护、数据分析计算等一系列功能。系统建设结合计算机处理、网络数据传输等先进技术,将常规的水文要素监测方式转变为信息采集、存贮、传输运用的自动化、数字化的过程。测站端计算机运行流量计算程序和数据传输软件,通过实时水位和流速计算出

流量,上传至信息中心服务器;信息中心服务器接收并入库,再以网页形式,为用户提供数据查询、维护、分析等服务。

## 2 能坡法流量实时在线自动监测系统简介

### 2.1 系统原理

能坡法是以曼宁公式为基础,借助水力学实验方法,从矩形、三角形断面入手,寻求垂线流速与断面平均流速的关系,建立与曼宁公式具有相同结构形式的垂线流速公式,并以二条实测垂线流速为已知条件反求能坡(水流能量坡度)参数,代替曼宁公式中比降与糙率的比值关系,从而使成果精度显著提高,并借助等效流量原理,解决多种非恒定、非均匀流条件下流量计量问题。

系统运用横断面垂线平均流速分布模型,即:对于一已知断面,当测速垂线*i*的位置确定后,其他任意垂线*m*某时刻的垂线平均流速与该垂线的垂线影响系数成正比,与该垂线水深的 $2/3$ 次方成正比,与测速垂线该时刻的动力因子成正比。用一条测速垂线即可进行流量推算,如果有两条测速垂线,可取一条测速用于计算,另一处测速垂线用于误差评定,以增加计算精度。

### 2.2 系统工作流程

系统采用浮子式自记水位计和平面阵列型多普勒流速剖面仪(FlowScout2000型),实时监测垂线平均

流速,并通过实时水位和能坡法流量计算模型,实现流量实时在线监测。流速仪传感器、配套仪表、水位传感器及系统软件为常上电值守工作体制。系统工作流程见图1。

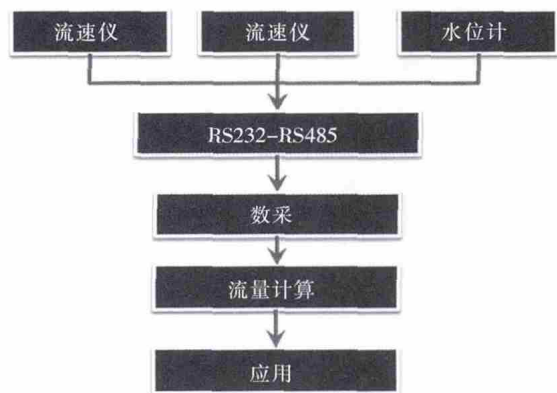


图1 系统工作流程图

Fig.1 The system work flow

系统数据采集,包括2个流速、1个水位。流速数据采集点有2个,当流速仪根据设定的数据采集频率采集到数据后,自动存储,通过RS232转RS485的方法进行数据传输。水位数据通过RS485-RS232的形式进行数据接收。水位数据的采集时间间隔为5min。流量计算部分将采集到的流速、水位数据经过处理后保存到数据库,并根据数据库中的水位、流速及预先录入的断面等信息,流量模型每5min进行一次流量计算,将计算的流量数据保存在数据库中,通过编写相应的网页程序,读取服务器中的数据实现数据发布,同时可以显示每5min一次实时的水位、流量过程线图,各用户可通过网页查看实时水位流量信息。

### 2.3 断面流量计算

在已知大断面的情况下,只要测量出测速垂线的垂线平均流速,即可计算出断面上任一条垂线流速,进而推算断面流量。当测速垂线*i*的平均流速 $\bar{v}_i$ 已知时,则对任意一条垂线*m*,其垂线平均流速可用下式计算:

$$\bar{v}_m = k_c \cdot k_v \cdot h_m^{2/3} \quad (1)$$

式中: $k_c$ 为垂线影响系数,与河底的质地、形状及能坡不均匀分布有关; $k_v$ 为动力因子,是垂线产生流速的动力因素,与垂线平均流速、水深有关; $h_m$ 为垂线*m*处的水深。

据式(1),利用水位、测速垂线起点距及该垂线平均流速,借用大断面,可以计算出断面上任一垂线的水深及平均流速,进而计算垂线间的部分流量,各部分流

量累加后为断面流量,从而可以构造基于横断面垂线平均流速分布的流量计算模型见图2。

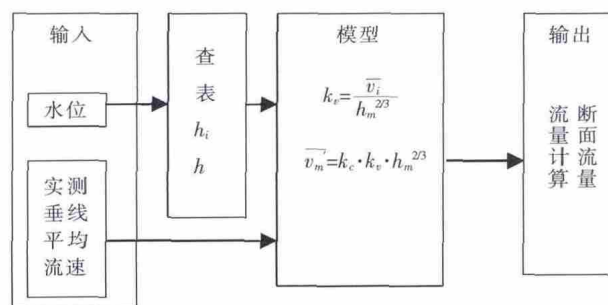


图2 横断面垂线平均流速分布模型

Fig.2 The cross-sectional average vertical velocity distribution model

系统模型采用概化的垂线影响系数,因此在应用时可能与实际情况有所差别。 $k_c$ 值是结合测验断面,河底的质地、形状及能坡分布情况,通过最小目标函数搜索误差最小数值而得,对于复杂的测验河段,应对垂线影响系数进行水位分级,不同级别的水位,使用不同的垂线影响系数,以提高测验精度。

图3为经过率定后的沈丘站垂线影响系数,该系数是在中低水情况下,经过实际测量分析计算后确定,除起点距42m和181m处由于河床变化造成系数偏差,其余垂线影响系数 $k_c$ 均在0.98以上,为方便计算,正常情况下 $k_c$ 取值为1,其流量计算误差很小。

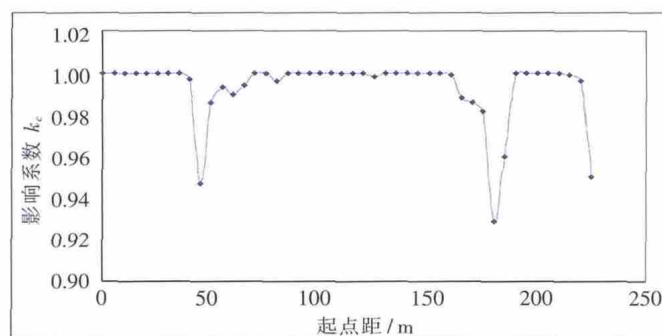


图3 沈丘站能坡法测流垂线影响系数 $k_c$ 率定图

Fig.3 The vertical flow influence coefficient  $k_c$  calibration of the energy grade method for the Shenqiu station

## 3 测量成果检验

### 3.1 测验断面基本情况

沈丘水文站河道系人工开挖,测验河段顺直无浅滩、回流、串沟等现象。两岸为粘土组成,右岸稍有冲刷,左岸有淤积,基本断面上游240m处有拦河闸1座,下游300m处有弯道,其基本断面分布见图4。

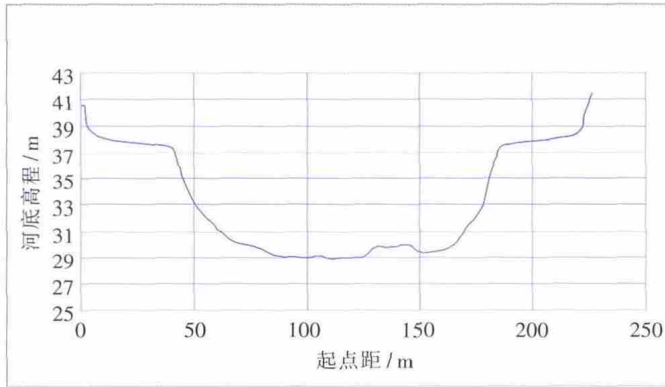


图4 沈丘站大断面图

Fig.4 The large section of the Shenqiu station

在基本断面起点距 90m、150m 处分别设置多普勒流速剖面仪(FlowScout2000 型),实时监测垂线平均流速,以 0.1m 为各垂线间隔,计算横断面上各垂线平均流速,通过实时水位和能坡法流量计算模型,推算断面流量,实现流量实时在线监测。

### 3.2 测量成果比较

为检验能坡法在沈丘水文站的流量测验精度,摘取了 2015 年 5~8 月份共 22 次实测流量资料进行对比分析,见表 1。

表中流速仪法测流采用一点法(测速点为相对水深 0.6m),能坡法测流摘取成果与流速仪法测流时段相应,且在同一水位级情况下,将两种流量监测成果进行比较,其结果见图 5。

### 3.3 分析

通过对实测流量资料进行对比分析(见表 2)可以看出,以流速仪法测流成果为标准,能坡法测流误差在

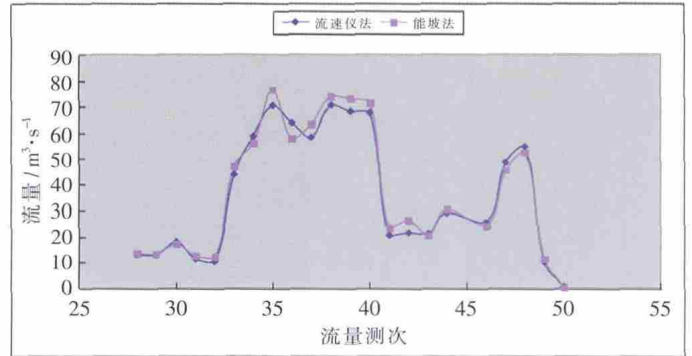


图5 沈丘水文站实测流量过程线

Fig.5 The observed flow at the Shenqiu station

表2 实测流量误差统计

Table 2 The statistics of the measured flow error

站名	总测次	≤5%	≤10%	>10%	合格率	仪器误差
沈丘站	22	55%	82%	18%	95%	4.50%

5%以内的占 55%,误差在 10%以内的占 82%,误差大于 10%的有 4 次,其中第 42 测次是因为仪器误差造成能坡法测量数值过大,总体来看,测流成果比较合理,误差在可以接受的范围。目前,由于能坡法测流还在试验阶段,还没有能坡法测流的规范,能坡法在沈丘站的应用时间较短,资料分析所采用的样本数量较少,因此,对监测资料的分析整理,以致将两者形成一个换算模式还需要一个过程,需要更进一步的分析和研究,进一步对系统进行改善,以便使测量数据更加准确。

低水时因受部分闸门开启及围堰残余影响,断面流态为非稳定流,流速分布比较散乱,如测次 42 流速分布,造成推算流量偏差较大。建议清除围堰残余,闸

表1 流速仪法与能坡法测流成果对照表

Table1 Comparison of flow measurement between the current meter method and energy grade method

测次	测流日期	相应水位 / m	实测流量 / m³·s⁻¹		测次	测流日期	相应水位 / m	实测流量 / m³·s⁻¹	
			流速仪法	能坡法				流速仪法	能坡法
28	5月9日	31.83	12.6	13.2	39	7月1日	31.97	67.9	72.6
29	5月11日	31.89	12.5	12.9	40	7月2日	31.8	67.3	71
30	5月14日	32.2	17.8	17	41	7月2日	31.45	20.3	23.1
31	5月20日	32.44	10.9	12	42	7月3日	31.7	21.3	26.1
32	5月24日	32.21	9.91	11.7	43	7月4日	32.16	20.9	20.2
33	6月3日	32.18	43.3	46.7	44	7月5日	32.31	28.7	30
34	6月21日	32.11	58.6	55.8	45	7月8日	31.79	25.2	24
35	6月26日	32.06	70	76.2	46	7月9日	31.97	48.1	45
36	6月27日	32.35	63.6	57.6	47	7月11日	31.89	54.4	52
37	6月27日	32.26	58.1	63.1	48	7月12日	31.27	9.73	10.8
38	6月30日	32.01	70.2	73.5	49	8月17日	31.46	0	0

门开启时应所有闸门都开到同一开高, 会避免这种现象发生, 测次 42 流速分布图见图 6。

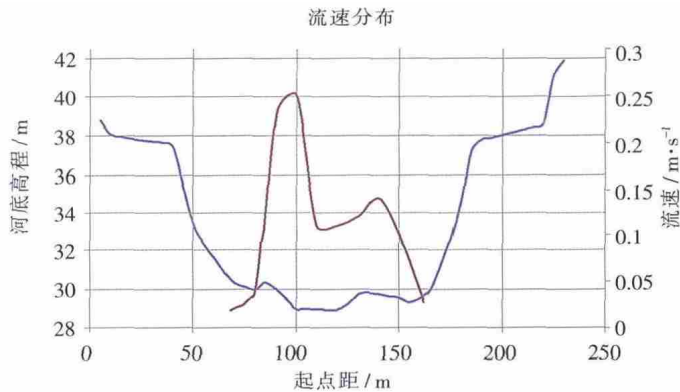


图 6 测次 42 流速分布图

Fig.6 The velocity distribution of the 42nd measurement

由于流速仪测流历时比较长, 是一个时段内部分流量的积分过程, 而能坡法计算的是瞬时流量, 受流速脉动的影响, 瞬时流量变化比较大, 造成瞬时流量与流速仪法测得结果不会完全重合, 缆道测流采用一点法, 精度相对较低, 可以采用多点法施测。总体来说, 能坡法测流精度可以满足规范要求。但是, 由于受不确定因素影响, 测量结果会存在一定的波动, 其稳定性不如流速仪法测流, 不过作为实时自动监测应用, 其方便性、

可靠性、记录资料的完整性及远程传输等优点, 提高了工作效率和水文信息化水平。

#### 4 结语

能坡法流量实时在线自动监测系统实现了流量测验的实时自动监测、远程监视及网络共享等。基于能坡的垂线平均流速分布模型以过水断面为基础, 通过一条或两条测速垂线, 借用大断面, 可快速、精确地计算出断面流量。由于只测 1~2 条垂线平均流速, 大大地缩短了测流历时, 在陡涨陡落的中小河流抢测洪峰时, 测验精度会高于常测法, 适合在大洪水期间报讯、水文巡测、水文应急测验、水资源监测等场合使用。

#### 参考文献:

- [1] 田淳, 刘少华. 声学多谱测流原理及其应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003. (TIAN Chun, LIU Shaohua. Acoustic Doppler Flow Principle and Its Application [M]. Zhengzhou: Yellow River Press, 2003. (in Chinese))
- [2] 颜开. 用曼宁公式计算均质边壁河道中垂线平均流速问题初探[J]. 水文, 1993, (2):29-35. (YAN Kai. Discussion on using Manning formula to calculate vertical mean flow velocity in homogeneous side wall channel [J]. Journal of China Hydrology, 1993, (2):29-35. (in Chinese))

### Application of Real-time Flow Monitoring System with Energy Grade Method at Shenqiu Station

HAN Xinqing

(Zhoukou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Henan Province, Zhoukou 466000, China)

**Abstract:** The real-time flow monitoring system with energy grade method combined with the advanced technology such as computer processing and network data transmission, can change the traditional hydrological elements monitoring methods into the digital process of information collection, storage and transferring. The system was used at the Shenqiu Station. The measured results were compared with those from current meter method, so as to verify the reliability and rationality.

**Key words:** energy grade method; model; application; comparative analysis

(上接第 38 页) Analysis method. The relative anomaly characterization of drought indicators was employed to identify the drought process by Run theory. Run theory was applied to probabilistically describe the frequency characteristics of drought, eventually to achieve a comprehensive analysis for the drought frequency. Then, the area above the Youxiqiao Hydrometry Station in Nanpanjiang upstream was selected as a pilot to calculate the drought return period using the presented theories and methods and contrast to the return period of single drought index. The results show that the constructed comprehensive drought index using the Principal Component Analysis method is reasonable and feasible.

**Key words:** drought index; principal component analysis; drought identifying; return period