

# 河流水位差计设计及其应用的可行性研究

卢玉成<sup>1,2</sup>

(1.江苏省淮河入海水道管理处, 江苏 淮安 223200; 2.江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

**摘要:** 水工建筑物或控制河段的上下游水位差是水流运动的决定性要素, 是流量推算中的最重要因子。在平原水网区, 水位差很小, 人工观测精度对其影响十分突出, 直接影响流量定线和流量推算的精度, 不能满足社会对水资源精细配置的需求。为提高水位差的测量精度, 设计了河流水位差计; 付之应用, 对水位差的测量, 无需进行水尺零点高程校正, 无需进行水位的对比观测, 而且能在任意数量级内提高水位差精度(根据精度选择探头), 所构成的误差只有很微小的仪器器差, 可满足流量定线与精确推流的目的。该系统还可以同时测记水位。河流水位差计设计简洁, 仪器生产难度小, 附属设施施工方便, 整体造价低廉, 具有良好的开发应用前景。

**关键词:** 水工建筑物; 河段控制; 小水位差; 河流水位差计; 任意量级精度

中图分类号: TV123

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)06-0029-06

## 1 高精度水位差测量是现实的必然要求

水位差是水流运动的决定因素, 以往它都是由上下游两组水位计算而得。因水尺零点高程的测量误差、水流的脉动影响、人工观测的视角误差等等, 导致误差累积, 使其精度降低。特别在平原水网区, 如江苏的太湖、白马湖、宝应湖、高邮湖以及里下河地区, 因水势平缓, 河道淤积, 水生植物茂盛, 使得大部分堰闸、涵洞、隧洞等水工建筑物在无闸门控制时约束水流能力降低; 又如沿江、淮沭新河水系各水利工程(含大型闸坝二河闸)在补水期间(堰流), 大部分处于高度淹没状态, 反映能量因子的上下游水位差很小, 由于目前水位观测精度较低(在 cm 级), 加之观测误差较大, 导致流量定线精度差, 流量推算误差大。从一些站点上下游水位差的多年资料窥见一斑: 阮桥闸堰流状态时水位差没有超过 0.03m, 大汕子闸堰流状态时水位差小于 0.08m, 南运西闸堰流状态时水位差小于 0.06m, 等等; 有的站在开闸的短时间内水位差很大, 往往在几十分钟内很快降到小水位差状态, 根本无法进行常规率定。

小水位差直接影响定线精度。以正常的测量资料定线, 很多站的随机不确定度很大, 根本不能满足对应的站类要求<sup>[1]</sup>。为了满足整编需要, 部分测点根据流量

改正水位(按规定自记水位无需改正, 为使测点靠线, 在自记水位允许误差内调整记录), 有些点据只能抛弃。

小水位差直接影响推流精度。以南运西闸为例, 按多年平均水位 5.95m 推算, 水位差为 0 时, 流量为 0, 水位差 1cm, 流量 35.0m<sup>3</sup>/s, 水位差 2cm, 流量 55.6m<sup>3</sup>/s, 水位差 3cm, 流量 68.2m<sup>3</sup>/s……, 推流时, 水位是以 cm 计, 水位差由水位计算而得, 很显然, 水位差按最小计量单位变化, 流量出现幅度很大的跳跃式变化, 这一现象直接原因是小水位差精度较低造成的。

水位观测允许误差对小水位差测站推流报汛影响更加突出。仍以南运西闸为例, 上下游水位差在 1cm 时, 流量 35.0m<sup>3</sup>/s, 由于风浪和通航等影响, 上游低记 1cm, 下游又高记 1cm, 本是正常现象, 但按照这样的水位编制水情电报, 流量变为-35.0m<sup>3</sup>/s, 明明是正向排水, 对外水情却成了反向引水。如果自记水位按允许 2cm 误差计算, 上下游可能出现最大 4cm 误差, 对于 10cm 以下小水位差测站, 推流误差之大是不可想象的。

为了解决小水位差时流量整编问题, 水文工作者想出很多办法。有的站, 按 mm 级观测水位, 水位标尺是 cm 级, 只能估读, 加之脉动影响, 精度虽有所提高, 但始终差强人意; 有的站, 在河道上游(或下游)长距离外增设辅助水位站, 需要增加人员设备, 又因河道水生

植物的影响,流量关系呈阶段性变化,率定的工作量很大;有的站干脆改用实测流量过程线法,其工作强度可想而知。有些水文工作者也曾想到将上下游引至一处<sup>[2]</sup>,但还是要靠人工比测,误差在所难免,不能彻底解决问题。

要解决小水位差测站的流量定线与流量推算的精度,满足水资源精细配置的要求,关键是在水工建筑物上下游或是在较短的(稳定的)河段内进行高精度的水位差测量和记录。要达到这个目的,用目前的手段和方法显然是不行的,必须另辟蹊径。

作者对河流水位差计的构想始于上世纪80年代初,当时本站区18个流量站有10个站因小水位差定线十分困难,由此产生直接测量水位差的想法。开始的模型是机械绕线式,但转动扭矩解决不了;后考虑用穿孔光电式,但轮盘移动中的供电及信号线路处理十分麻烦、且穿孔的精度较低,因此一直搁置;现在通过了解无线鼠标<sup>[3]</sup>功用,给水位差计的设计提供了条件。作者想通过《水文》将该设计方案传递给有关测站的水文工作者,希望能够解决实际问题。

作者设计的河流水位差计测量水位差能够达到毫米以下量级的测量精度,无需人工比测,无需精密水准校正,记录幅度大,记录周期长,是提高平原水网区水文站流量定线、整编、报讯精度的重要设备。

## 2 河流水位差计的设计

河流水位差计的设计分为仪器和配套设施两个部分。

### 2.1 仪器构成

#### 2.1.1 信息采集装置

信息采集就是将紧靠在一起的2个测井水位相差高度的采集和其中一组水位的采集。水位差测量的关键是信息采集探头,因2组水位都是动态变化,采集探头处在运动状态,经过分析,具有高精度、无外接电源和信号线路的无线光电鼠标<sup>[4]</sup>比较合适;其中一组水位采集,探头是静态,考虑到信号互不干扰问题,采用有线鼠标。探头与被采集物体间采用无接触方式<sup>[5]</sup>,间距在2mm为宜,这样整个系统不增加阻力,使浮子传动更加灵活。鼠标应用的是光电原理,因此被采集物体的表面必须用感光度较好的材质。为减少灰尘及昆虫的影响,在支架外加塑钢罩壳。具体见图1、图2。

信息采集装置结构简单,水位轮盘和浮子平衡锤采用定型产品,上游轮盘上的平衡件经过转动试验配置,下游辅盘及连通套管用轻质塑钢材料制作。无线水位差探头用无线光电鼠标将其外壳适当改造,便于装卸和电池更换,有线水位探头用有线光电鼠标作同样的外壳改造。组装该装置,很容易且费用很低。

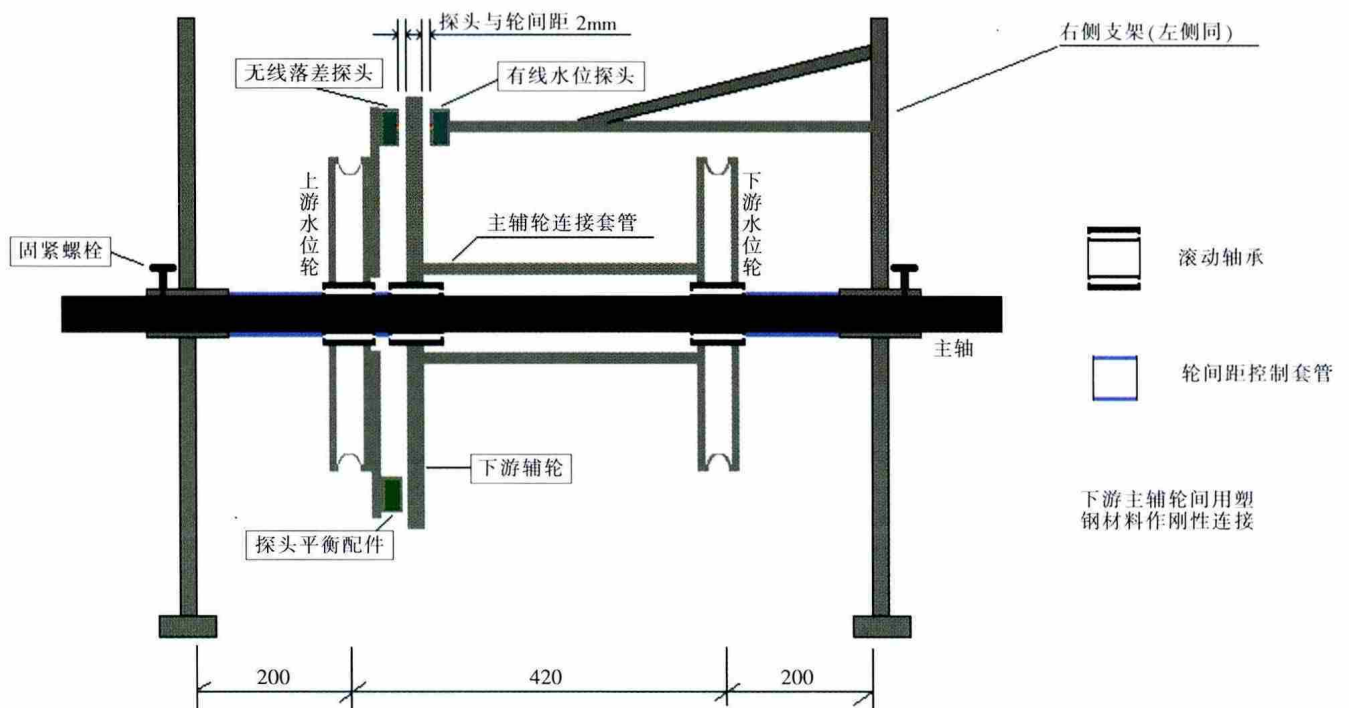


图1 河流水位差计信息采集总装图

Fig.1 The assembly drawing of the river stage difference recorder information collection

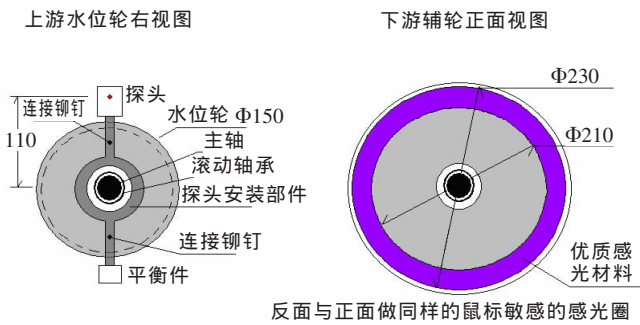


图 2 河流水位差计信息采集相关部件图  
Fig.2 The related components for the river stage difference recorder information collection

2.1.2 数据收储装置

数据接收装置可参照文献[4-5],采用单片机(需含计时器),也可以用便携式计算机改装。条件具备,可以将水位和水位差合并成一个装置,如图 3。否则也可以分成 2 个装置。一般情况下为保证测量和记录数据不中断,采用直流系统(电瓶和配套充电器)供电。

数据收储装置含硬件接口、修改设定功能、内置程序处理功能等。

(1)主要硬件接口:

① 信号接收单元 2(水位、水位差)个,专用指定的(蓝牙、鼠标)USB 接口;

② 液晶显示窗口;

③ 数据卡接口;

④ 计算机对联接口,用 USB 接口,并预留备用接口;

⑤ 网络接口;

⑥ 交、直流电源接口。

(2)连机设定:

用 USB 接口或用网络接口将数据收储装置与计算机连接,可以进行如下操作。

①重新设定或修改时间;

②水位、水位差探头测量系数单元数据设置(K1、K2);

③水位、水位差起始测量时刻和测量间隔时段设置(T1、TT1 和 T2、TT2);

④水位计数器、水位差计数器数值设置(S1、S2),如果是归零处理,则将其设置为 0;

⑤记录的数据文件下载(2 组)。

(3)内置程序功能:

①内置程序除人为中断外,应自行启动并连续工作。

②指定的数据单元 K1、K2、T1、TT1、T2、TT2 除人

为修改,永不改变和丢失。

③信号处理:因鼠标水平移动方向与轮盘相切,可以只设定接收水平移动信号,垂直移动信号可以不予考虑,这样处理比较简单。有线鼠标相对于下游辅盘顺时针每移动 1 个信号,S1 加 K1,逆时针移动 1 个信号,S1 减 K1;无线鼠标相对于下游辅盘顺时针每移动 1 个信号,S2 加 K2,逆时针移动 1 个信号,S2 减 K2。

④分别用固定的文件名记录水位和水位差,除专业人员外,文件和其内容不可删除。只要设备工作并满足测量时刻(T1 或 T2)和以测量时刻开始按固定时间间隔条件(TT1 或 TT2),即在文件的尾部写入数据。若有数据卡,逐时将数据文件写入数据卡,在没有网络连接时便于及时取走数据,利用计算机进行报文处理和资料整编。数据为二维结构,即时间、测量值。时间为年、月、日、时、分,各占 2 位;测量值为计数器(S1 或 S2)当时值。

例如水位记录:在 2013 年 1 月 1 日之前设定起始测量时间为 2013 年 1 月 1 日 0 时 0 分,测量间隔 10 分钟,记录的数据文件为:

1301010000,6.05 1301010010,6.00

1301010020,5.98 1301010030,5.97 ..... ,.....

水位差记录格式同水位,只是后面的数据单位为 mm。

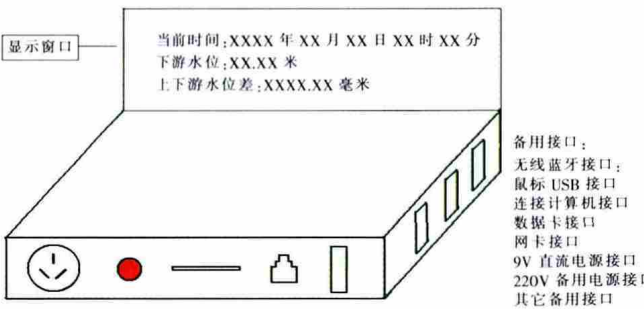


图 3 河流水位差计数据接收装置图

Fig.3 The data receiving device of the river stage difference recorder

2.2 配套设施

配套设施主要为水位井及引水管道、控制阀、工作井室和仪器房。

(1)水位井:上下游两个测井平行并列并紧靠在一起。测井材料:塑钢管,Φ400mm,壁厚 10mm。

(2)引水管:上下游引水口距仪器室距离大致相等,长度可根据地理条件或水工建筑物原先的水位观测点确定,一般在 100m 左右,即上下游各约 50m,引水管

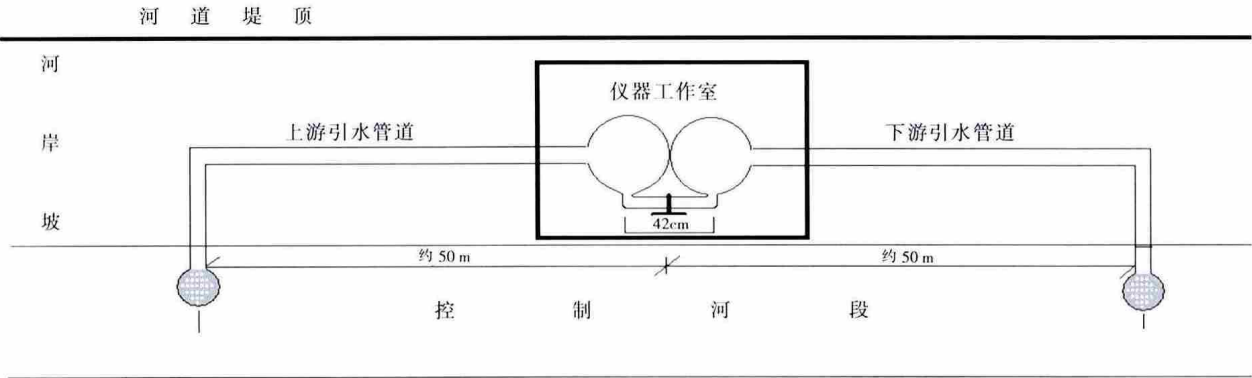


图 4 河流水位差计安装平面布设示意图

Fig.4 The plane layout of the river stage difference recorder installation

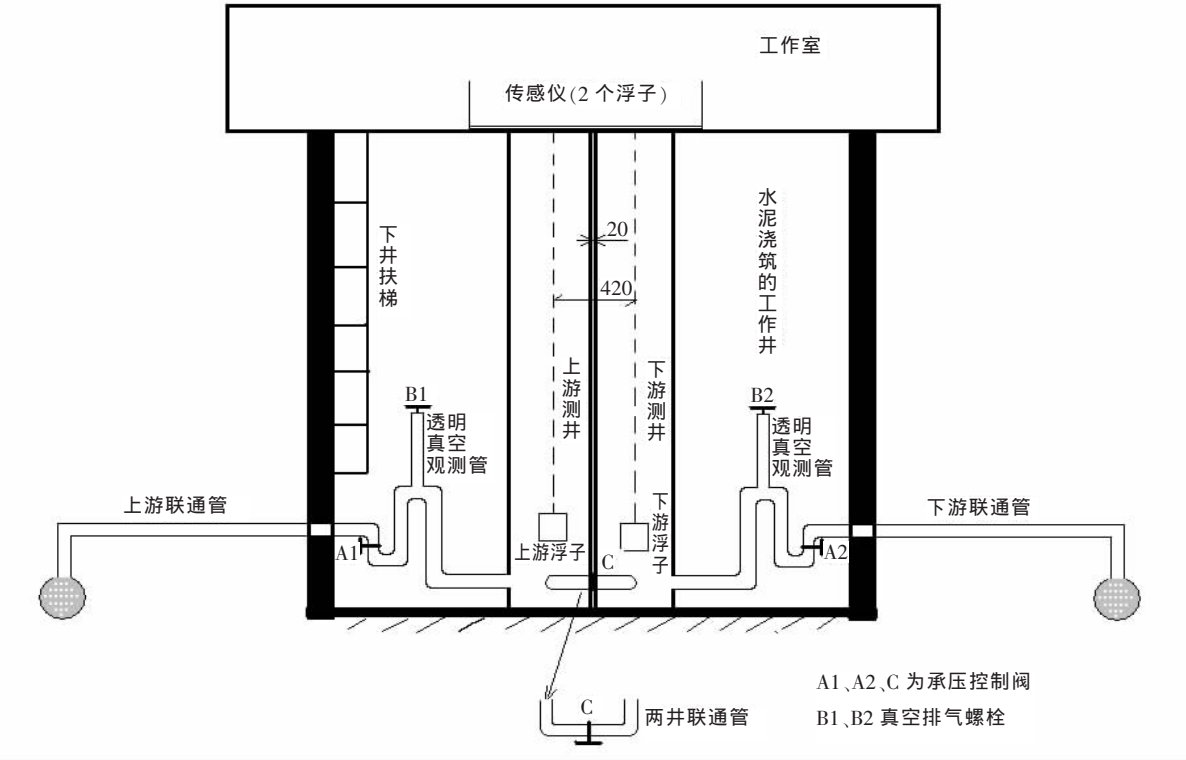


图 5 河流水位差计配套设施布设立面图

Fig.5 The layout of the river stage difference recorder facilities

用高强度塑胶管，根据测井直径选用引水管参数为： $\Phi 50\text{mm}$ ，壁厚 10mm，如果长度变化较大，可以根据实际计算选用。

引水管沿河岸采用地埋式，要求在冻土层以下，并使其高程尽量降低，目的是减少管内的真空度。在工作井内，真空弯道、真空观测管、真空排气螺栓 B1、B2 可按照适宜的高度安装；A1、A2 控制阀应设在正常运行水位以下，处于承压状态，减少漏气几率；在最低点处设两测井间联通管和控制阀 C。

引水管在河中的入口处焊接比其内径大一倍的塑

钢球，主要目的是减少堵塞和管口水流紊乱的影响。塑钢球表面打 5mm 直径的孔洞，防止大的杂物进入管内；小孔总面积要占其表面积的 25%，这样的面积比，能够使球外水流紊乱的情况下在球内不至于产生大的流动，达到静水设备的作用；塑钢球表面积是引水管截面积的 16 倍，则小孔总面积是其 4 倍，对管道引水不会产生影响。

引水管之间、引水管和测井之间均采用热熔焊接，避免漏气；透明真空观测管与引水管、排气螺栓盖帽之间采用高强胶粘合；排气螺栓加橡胶密封垫圈。



(3)工作井:应作防渗漏处理,井内保持通风干燥,设上下扶梯(或旋转楼梯),便于入内观测真空状况和控制阀操作。

(4)仪器房:可按水位自记台标准建设<sup>[6]</sup>。

整个配套设施依岸而建,无需围堰施工,工程量与一个自记台的造价相近。具体见图4和图5。

### 3 仪器校正与系统运行

#### 3.1 仪器校正

仪器生产完成以后,应进行校正。

水位探头测量系数( $K1$ )校正(以下游轮为例):将轮盘固定并做好标记,设置数据转换参数 $K1=1$ ,将水位计数器归零,将轮盘转动,精确移动线长为1m,记录水位计数器数据 $M$ ,则该探头的测量系数为:

$$K1 = \frac{1}{M} \quad (1)$$

将水位探头的数值转换单元 $K1$ 由1修正为(1)式的计算值,这样每个信号就表示实际移动距离 $K1(m)$ 了。

水位差探头测量系数( $K2$ )校正:将上下游轮盘分别固定,设置数据转换参数 $K2=1$ ,并将水位差计数器清零,然后转动上游轮盘(下游轮盘固定不动),移动精确长度为1m,记录水位差计数器数据 $N$ ,则水位差探头的测量系数为:

$$K2 = \frac{1000}{N} \quad (2)$$

将水位探头的数值转换单元 $K2$ 由1修正为(2)式的计算值,每个信号为表示实际移动距离为 $K2(mm)$ 了。

#### 3.2 系统运行

##### 3.2.1 管道排气

以自身系统完成排气的理论依据:设计单侧联通管内直径5cm,长65m,其容积 $0.13m^3$ ,以运行水位起算,只要至测井口有1.5m以上净高,按内直径40cm计算,其容积将超过 $0.19m^3$ ,远大于 $0.13m^3$ ,所以自身完全可以满足排水要求。

排气操作,以上游为例,关闭A1控制阀,打开B1排气螺栓,从上游测井井口向井内注水,当B1出水后,立即旋紧B1螺栓,继续向井内注水,直至井满,再打开A1阀门,这样上游测井和河道就联通了。下游按上游同样步骤进行。

##### 3.2.2 浮子安装

与数据接收装置中的数据接收计数器的设置相对应,下游浮子应放在右侧,水位探头在水位上升时相对于下游辅盘作顺时针移动,等于鼠标左移,计数为加

(同数据累加器一样,也可以反向设定)。上游浮子安装必须与下游浮子放在同一侧,这样才可以测量相对水位差。

##### 3.2.3 水位校正

用望远镜观测下游水尺读数并计算水位,将水位计数器设置为当前水位,以后显示的水位即为实时值。

##### 3.2.4 水位差计归零

在上下游水位系统正常运行的情况下,就可以进行水位差测量了,但水位差的初始值是多少不得而知,就需要对水位差计数器进行正确的标定。

我们知道,在同一水平面的情况下,水位差为零,本设计通过两测井的连通管和有关控制阀,创造同一水平面的条件,在同一水平面下使水位差计归零,这是高精度测量水位差的关键,也是本系统的关键点之一,具体归零操作如下:

关闭A1、A2控制阀,打开C控制阀,待水位差计数器数据不变化时将水位差计数器归零。同时立即关闭C控制阀,再逐步打开A1、A2控制阀,水位差计就正常工作了,记录的也是高精度数据。

通过以上操作,整个系统完成调试并正常运行。

### 4 鼠标应用问题及有关精度分析

#### 4.1 无线鼠标连续工作时间和信号遮挡问题

无线鼠标电池在计算机操作中理论上可以使用近1年,但在仪器中连续使用,就需要经常检查其工作是否正常。更换电池后,及时将水位差计归零处理(按照3.2的步骤,下同),防止换电期间因数据丢失导致水位差记录不准确。

无线鼠标的信号传输采用无线蓝牙,据有关资料,可以隔墙操作,因此一般不存在遮挡问题。如果实际运行时信号接收不好,可以将接收器的位置换到适直接收的位置,必要时还可以增设天线。

#### 4.2 水位和水位差的测记能力和精度分析

水位快速升降的影响分析:正常的水位升降幅度在10分钟内 $<2m$ ,即 $<0.0035m/s$ 。目前鼠标的FPS(帧/秒)已经达到6000,CMOS若为 $30 \times 30$ (即每帧像素点阵,有的为 $22 \times 22$ ),且CPI为1000(每英寸的像素点数),就水平方向移动而言,每英寸有33.33帧,0.0035m有4.6帧,即水位升降速率只有4.6帧/秒,远远小于6000帧/秒的扫描速度,因此,以水位的升降速率不可能影响信号采集,也就是说,不可能出现数据丢失现象。

水位和水位差的测记精度分析:与鼠标单位距离

传输信号密切相关,目前一般光电鼠标的CPI为1 000,即每英寸发送1 000个信号单位,每个信号是0.0254mm。由此可见,仪器的测量精度 $<0.03\text{mm}$ ,取精度 $0.1\text{mm}$ ,比原来的 $1\text{cm}$ 整整提高2个数量级。如果要获得更高精度,可以选择CPI更大的鼠标作为探头。

#### 4.3 水面比降

上下游距离按 $100\text{m}$ 计算,以此出现 $0.1\text{mm}$ 水位差时,河段的水面比降: $i=\frac{0.1}{100\times 10^3}=0.01\times 10^{-4}$

此相当于 $10\text{km}$ 河段测记 $1\text{cm}$ 水位差,这样的比降已经能够满足一般水量计量的精度要求了,但人工观测存在误差,水尺零点高程(长途水准测量)存在误差,并且由于河段很长,水流传播时间较长,同时并不同步,它的不确定度明显加大。而河流水位差计记录较短河长内2组水位,几乎同时同步,误差只有仪器的器差,小到可以忽略,其精度明显优于前者。

#### 4.4 流量精度

$$\text{根据曼宁公式} \quad Q=\frac{1}{n}AR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

在相同条件下,水位差精度提高2个数量级,流量精度就提高1个数量级。由于河流水位差计测量的水位差没有其它误差来源,用于流量定线和流量推算更加可靠。

### 5 应用河流水位差计的建议

因河流水位差计属于新开发的仪器设备,应用上没有先例,需要加强比测并做好比测资料的记录。

(1)水位记录虽然连续且无需换纸,但要求与自记水位计观测一样,每日进行2次水位比测;

(2)在1个月内进行一次探头测量系数的校正;

(3)正常情况下15天内进行水位差计归零操作;

(4)当水位起伏达 $1\text{m}$ 以上时,2转轮微小差别可能带来水位差计量误差,要进行水位差计归零操作;

(5)注意整个系统运行状况,如上下游虹吸是否正常,数据显示是否正常,时钟运行是否准确,文件储存、传输有无错误,并随时处理有关问题。

当比测资料积累一定的数量后,可以对以上比测要求进行分析优化,使河流水位差计完全符合实用的目的。

参考文献:

- [1] SL247—1999,水文资料整编规范[S]. (SL247—1999, Code for Hydrologic Data Compilation [S]. (in Chinese))
- [2] 陆文清,吴立新,卢玉成,等.介绍一种精确水位差测量装置[J].江苏水利,2008(10):30-30.(LU Wenqing,WU Lixin,LU Yucheng,et al. Introduces a kind of measuring device for stage difference [J]. Jiangsu Water Resources, 2008(10):30-30. (in Chinese))
- [3] 王璞.计算机组装与维护教程[M].西安:西北工业大学出版社,2007:99-103.(WANG Pu.Computer Assembly and Maintenance [M].Xi-an: Northwestern Polytechnical University Press,2007:99-103. (in Chinese))
- [4] 杨慧,鲍国华,鲍德松.光电鼠标在直线大位移测量中的应用[A].2007年全国高等学校物理基础课程教育学术研讨会论文集[C].北京:清华大学出版社,2007:259-261.(YANG Hui,BAO Guohua,BAO Desong. Photoelectric mouse in linear displacement measurement [A].2007 National Higher School Physical Foundation Curriculum Education Symposium [C].Beijing: Tsinghua University Press,2007:259-261. (in Chinese))
- [5] 张洪伟,姬升红,杨德清.光电鼠标芯片在无接触测距中的应用[J].中国电子商务,2009(8):89-89.(ZHANG Hongwei,JI Shenghong,YANG Deqing. Optical mouse chip application in non contact measurement [J].China Electronic Commerce,2009,(8):89-89.(in Chinese))
- [6] SL415—2007,水文基础设施及技术装备管理规范[S]. (SL415—2007, Hydrological Infrastructure and Technical Equipment Management Specification[S]. (in Chinese))

### Design of River Stage Difference Recorder and Its Application Feasibility

LU Yucheng<sup>1,2</sup>

(1. Huaihe Sea Outfall Waterway Administrative Office of Jiangsu Province, Huaian 223200, China;

2. Jiangsu Main Irrigation Canal Administrative Office, Huaian 223200, China)

**Abstract:** Hydraulic structure or channel control of upstream and downstream stage difference is the decisive factor of water movement, is the most important factor in calculation of water discharge. In the plain, the stage difference is very small, so that the observation accuracy directly affects the accuracy of discharge lining and calculation, which cannot meet the social demand for fine distribution of water resources. In order to improve the measuring precision of stage difference, the river stage difference recorder was designed. The application of the recorder need not zero elevation correction and comparative stage observation. And at any quantitative level, the stage difference accuracy can be increased.

**Key words:** hydraulic structure; reach control; low stage difference; river stage difference recorder; arbitrary order accuracy