

# 一体化智能遥测系统在闸站工程 测压管监测的实践应用

蒋 涛, 戴庆云, 王 磊

(江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210022)

**摘要:**运用测压管监测闸站工程压力是水管单位主要技术管理任务之一,国内以及省内水库、闸站管理单位已有应用遥测技术监测测压管水位,但大多精度不够或故障率较高。以秦淮新河水闸枢纽测压管遥测系统建设为实例,在选型时研究分析测压管管径、管质、温度场等要素,考虑水位计的功能、适应范围等因素,利用物联网技术,研发一体化智能遥测系统在闸站工程测压管监测系统,并通过实际比测,验证系统的可靠性,相关研究分析对同类型测压管监测系统建设具有参考作用。

**关键词:**测压管;遥测;数据传输;精度比测;闸站工程

中图分类号:TV123

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)11-0068-05

## Practical application of integrated intelligent telemetry system in the monitoring of piezometric tubes in sluice gate station

JIANG Tao, DAI Qingyun, WANG Lei

(Qinhuai River Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Nanjing 210022, China)

**Abstract:** It is one of the main technical management tasks of water pipe unit to monitor the engineering pressure of sluice gate stations by using piezometric tubes. There were some domestic and provincial reservoir and sluice gate station management units applying telemetry technology to monitor water level of piezometric tubes, but most of them were not accurate enough or have high failure rate. Taking the construction of piezometric tube telemetry system of the new Qinhuai River Water Conservancy Project as an example, the pipe diameter, pipe quality, temperature field and other factors of piezometric tubes were studied and analyzed when selecting the type, functions and scopes of the water level gauge and other factors were taken into account, and using the Internet of Things technology, an integrated intelligent telemetry system in the monitoring of piezometric tubes in sluice gate station were researched and developed, and verified the system reliability through actual comparison tests. Related research and analysis could have a reference for the construction of the same monitoring system of piezometric tube.

**Key words:** piezometric tube; remote sensing; data transmission; precision comparing measurement; sluice gate station

测压管又称竖管式孔隙水压力计,由奥地利土力学科学家阿瑟卡萨格兰德于1949年创用,20世纪60年代在国内大坝渗流监测中得以应用。为

此,原水电部于1965年颁布SDJ/SJ751-1965《水工建筑物测压管水位观测试行技术规范》,之后未见修订<sup>[1]</sup>。测压管引入我国后,主要以管中水位高

收稿日期:2020-09-10

作者简介:蒋涛(1982—)男,高级工程师,主要从事水利工程管理与安全生产工作。E-mail:76048045@qq.com

度来体现渗透压力大小,在水工建筑物原体监测中,测压管通常用于监测地下水位、堤坝浸润线、孔隙水压力、绕闸(站)坝渗流、坝基渗流压力、混凝土闸坝扬压力、隧洞涵洞的外水压力等,在土石坝渗流监测应用尤为较多,其结构简单,取材方便,技术要求不高,便于制造和安装且价格便宜,缺点是易受人为破坏、降水量影响,固体和沉淀物的淤积堵塞,长期监测费时费力,也存在滞后时间长<sup>[2]</sup>。

扬压力是影响水闸、泵站等水工建筑物抗滑稳定的重要因素。测压管是水闸、泵站常用的扬压力观测设备。2011年出台的江苏省地方标准《水利工程观测规程》<sup>[3]</sup>明确将水闸、泵站闸基扬压力和侧岸绕渗作为常规观测项目,新建投入使用后每月观测15~20次;运用3个月后,每月观测4~6次;运用5年以上且工程垂直位移和地基渗透压力分布均无异常情况下,可每月观测2~3次。在进行渗流观测时,同步观测上下游水位、降水、温度等相关数据。定期开展测压管水位观测和成果资料整编,分析水位变化趋势和主要影响因素,验证工程设计的准确性,是基层水管单位承担的主要技术管理任务之一<sup>[4]</sup>。

## 1 工程概况

秦淮新河水利枢纽位于南京市雨花台区天后村秦淮新河入江口处。该枢纽由1座大型节制闸、1座大型泵站和1座船闸(船闸目前由交通部门管理)共同组成,采用闸、站结合的布置形式。节制闸位于枢纽北侧,于1980年建成,2001年进行加固改造,设计泄洪流量为 $800\text{ m}^3/\text{s}$ ,校核流量为 $1\,100\text{ m}^3/\text{s}$ ,Ⅱ级水工建筑物,共12孔闸门,每孔净宽6 m。闸门为直升式平板门,分上、下扉门联动启闭。泵站位于枢纽南侧,于1982年建成,2002年进行加固改造,为双向灌排两用泵站,Ⅱ级水工建筑物,安装直径1.7 m双向卧式轴流泵5台套,总装机容量 $3\,150\text{ kW}$ ,正反向设计流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$ ,正向(灌溉)设计扬程2.5 m,反向(排涝)设计扬程2.0 m,平面“S”型流道。

按照江苏省水利厅下达的省属水利工程观测任务书要求,秦淮新河枢纽须定期开展渗流监测观测,枢纽5块闸底板共布设4组8个测压管(见图1),上游4个设置在工作便桥,下游4个设置在公路桥,共计8个测压管观测点,均为5.08 cm镀锌管,实际内径4 cm。测压管水位于工程建成后始测,采用人工万用表配合测绳实测,基本达到人员

固定、设备固定、测次固定、时间固定“四固定”。2016年,秦淮新河枢纽031、041号测压管因管内堵塞,重新埋置,并按规范要求进行了注水法灵敏度试验,目前4组测压管观测正常。

2017年,江苏省秦淮河水利工程管理处进行测压管水位自动监测系统设计和实施,对秦淮新河节制闸测压管加装一体化智能遥测系统,与上位机相连,完成对枢纽工程测压管水位的自动监测。改造后自动监测系统取代了原先的人工监测,有效保证了监测数据的准确性和完整性。通过此次改造,将新工艺、新技术真正用于工程日常管理之中,提高了枢纽工程的安全系数,保障了工程效益的充分发挥。

## 2 系统设计

### 2.1 系统、设备选型

传统测压管的测量方法有测深钟法、测钎法和电测水位计法。

(1)测深钟法。用柔性好、伸缩率低的绳索系于测深钟顶上,慢慢放入竖管内,空心圆柱体接触管内水面时即发生锤击面的响声,当即拉紧测绳,并重复几次,以测锤口刚接触水面为准,然后量读管口至管中水面的距离。测压管水位高程等于测压管管口高程减管口至测压管水面的距离。

(2)测钎法。用长1 m左右,直径为6.5 mm的圆钢,涂以白色粉末,估计测钎接触面后,立即提出,并量取管口到测钎浸水部分的长度。

(3)电测水位计法<sup>[5]</sup>。一般由提匣、吊索和测头三部分构成,提匣内装干电池、微安表(或其他指示器)和手摇滚筒。滚筒上缠电线(常兼作吊索),此种电线应力求柔软坚韧,不易受温度影响。吊索每隔1 m应有一长度标志,电线末端接测头。观测时,将测头徐徐放入管内,待指示器反应后,将吊索稍许上提,到指示器不起反应时再上下数次,趁指示器开始反应的瞬间,捏住吊索与管口相平处的吊索,量读管口至管中水面间的距离。测压管水位高程等于测压管管口高程减管口至管中水面间的距离再减测头入水所引起的水位壅高量。电测水位计可以采用万用表自制配合测绳进行观测,也可以采用厂家定制的如HY-SWJ-1电测水位计进行观测。

以上3种传统的测压管测量方法均存在测量数据精确性较差,耗费大量人力、物力和时间,对测量数据保存要求高,数据对比不直观等缺陷。

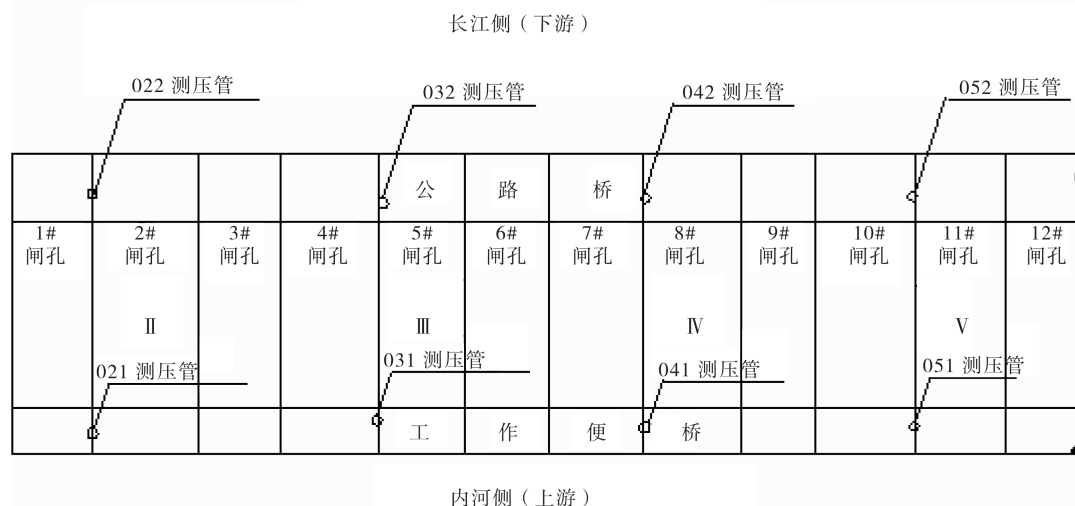


图1 秦淮新河水利枢纽测压管布置图

当前水利工程测压管自动监测应用较多且技术较为成熟的主要有浮子式水位计、超声波水位计和静压投入式水位计。

(1) 浮子式水位计的工作原理是利用浮子感应水位。浮子漂浮在水位测井内随水位升降。悬挂浮子的悬索绕过水位轮, 另一端悬挂一平衡锤, 自动控制悬索的位移, 在水位升降时悬索带动水位轮旋转, 从而将水位的升降转换为水位轮的旋转, 再传递给水位记录部分或编码输出。浮子式水位计精度高, 使用寿命长, 但考虑到测压管或观测井深度, 不适合超过 30 m 水深工况, 且浮子在测压管中与镀锌钢管管壁的灵敏度直接影响数据的准确性, 尤其是浮子直径一般为 3 cm, 测压管内径为 4 cm, 如果管壁粗糙(工程建造年份长可能有锈斑), 加上闸门启闭震动影响等因素, 那么数据难以保证准确可靠且校测工作量大, 浮子式水位计在三河闸等工程有运用, 在实际运用中自动化监测数据与人工测量数据误差率较大, 浮子灵敏度还不够<sup>[6]</sup>, 不具备在水闸工程中推广应用条件。

(2) 超声波水位计是以水体为超声波传播媒介, 测深时将超声波换能器放置于水下一定位置, 换能器到水底的深度可以根据超声波在水中的传播速度和超声波信号发射出去到接收回来的时间间隔计算。超声波水位计精度最高, 但是安装麻烦且受周围环境和测压管壁垂直度影响, 目前在国内使用较少。

(3) 静压投入式水位计虽然不受深度影响, 但存在零漂现象(零点漂移现象是指当放大电路输入信号为零时, 由于受温度变化或电源电压不稳等因

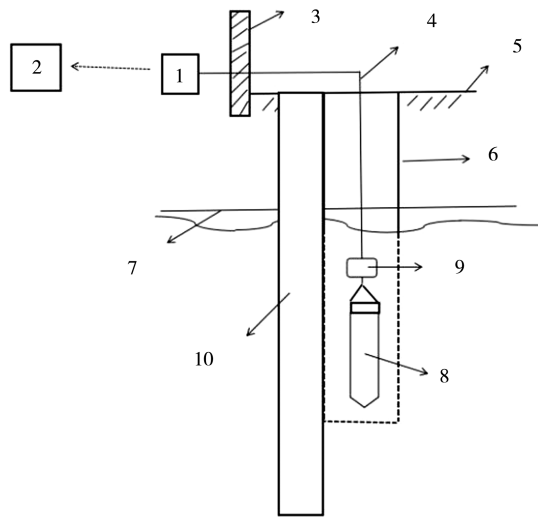
素的影响, 使静态工作点发生变化, 并被逐级放大和传输, 导致电路输出端电压偏离原固定值而上下漂动的现象), 受温度影响大, 目前市场上已有的静压投入式水位计采用数字化温补技术及非线性修正技术, 可最大限度解决零漂现象。

综合上述 3 种水位计的特点, 结合工程实际情况, 秦淮新河枢纽测压管水位自动化监测系统选用静压投入式水位计来监测水位, 将测量精度确保在  $\pm 0.2\% \text{ FS}$ 。

## 2.2 系统设计

秦淮新河枢纽测压管水位自动化监测系统主要采用一体化智能水位遥测终端和静压投入式水位计实现自动观测, 再以应用软件和综合数据库为支撑环境, 实现对各观测点远程数据定时测报、各种报表资料生成打印、现场及中心数据双重保存备份、历史数据查询、远程设备实时监控及中心指令控制等各项功能。该系统包括闸站监测站、智能遥测终端、自动化观测管理平台、工控计算机、管理计算机。其中闸站监测站包括测压管、避雷设备、静压投入式水位计、水位计通信线缆。智能遥测终端和静压投入式水位计之间设置有桥面栅栏, 智能遥测终端、桥面栅栏、自动化观测管理平台位于桥面的同一侧(见图 2), 智能遥测终端和自动化观测管理平台通过无线进行数据传输。测压管用水泥固定安装在桥支架上, 上端与桥面齐平, 下端位于水平面以下, 测压管内布置有水位计通信线缆, 且测压管内可进行人工测量以便对比数据。水位计通信线缆一端连接智能遥测终端, 另一端穿过测压管连接静压投入式水位计, 避雷设备通过电线连接在

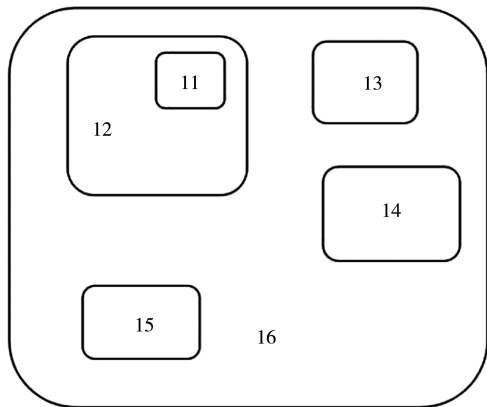
静压投入式水位计接入口处,工控计算机、管理计算机通过网络访问自动化观测管理平台。



1-智能遥测终端 2-自动化监测管理平台 3-桥面栅栏 4-水位计通信线缆 5-桥面 6-测压管 7-水平面 8-静压投入式水位计 9-避雷设备 10-桥支架

图 2 测压管自动化监测现场安装示意图

智能水位遥测终端的内部安装有 RTU、DTU、长效电池(自带的锂电池组可持续工作 5~10 年)、磁感应装置和天线(图 3)。DTU 通过卡槽安装在 RTU 上,长效电池通过电线连接 RTU,磁感应装置通过电线连接 RTU,天线通过线缆连接 DTU,智能水位遥测终端通过天线和自动化观测管理平台进行无线数据传输。

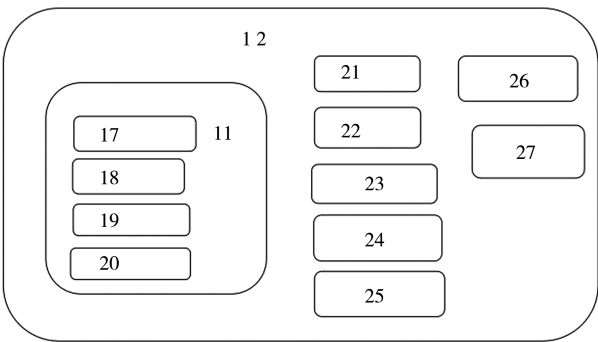


11-DTU 12-RTU 13-长效电池 14-磁感应装置  
15-天线 16-防水防盗盒

图 3 一体化智能遥测系统内部模块示意图

RTU 内部模块(图 4)包括 DTU、ARM 处理器、RTU 主板、数据采集元器件、数据存储元器件、接线端子座、电源控制开关、数据配置开关。DTU 包括 CDMA 模块、SIM 卡座、DTU 主板、天线延长线,CD-

MA 模块、SIM 卡座,天线延长线均焊接在 DTU 主板上,DTU 通过天线延长线连接天线,并且跟自动化观测管理平台进行无线数据传输。



11-DTU 12-RTU 17-CDMA 模块 18-SIM 卡座  
19-DTU 主板 20-天线延长线 21-ARM 处理器  
22-RTU 主板 23-数据采集元器件 24-数据存储元  
器件 25-接线端子座 26-电源控制开关 27-数据  
配置开关

图 4 一体化智能遥测系统 DTU/RTU 内部模块示意图

ARM 处理器、数据采集元器件、数据存储元器件、接线端子座、电源控制开关、数据配置开关均焊接在 RTU 主板上,RTU 通过接线端子座外接水位计通信线缆,再通过水位计通信线缆连接静压投入式水位计。

2.3 数据管理

测压管水位压力数据以数字信号形式传递到智能水位遥测终端,再传至移动通信服务中心,服务中心将数据传送至工程监控系统 GDMA 接受前置模块,再以应用软件和综合数据库为支撑环境,实现对各观测点远程数据定时测报。数据管理包括测压管基本资料管理,测压管实测数据管理和管道淤积、水位线等分析数据管理。观测后确定测值正确才能录入存入数据库,定期(每 3 个月)对数据库采用多个备份载体进行轮流备份。

该系统可以功能模块布设在管理处水利工程精细化管理系统内,与精细化系统数据无缝对接。其包含测量控制子模块、数据管理子模块、图形报表子模块 3 个子模块,可以分析指定桩号的测压管实测数据,提供测压管水位过程线、淤积高程线、逐年相关线、特定水位下的过程线等图表,可指定具体测点、日期进行相关的数据查询,并根据查询结果,在数据表格中体现出来(数据表格是将监测返回的数据以表格的形式予以反映,并以日期加以限制),还可指定具体日期或是具体时刻查看水位的趋势。

### 3 应用误差原因分析

秦淮新河水利枢纽测压管自动监测系统投入运行后,管理人员及时进行自动化和人工对比观测,发现部分监测数据数值普遍较人工测量数据数值要高,主要原因为:

(1) 静压投入式水位计的工作原理是通过测量水压来计算水深,再通过管口高程来推算测压管水位。测压管由闸地板引出,设计管底标高 0 m(吴淞高程),但测压管通过多年使用,管内可能会存在流沙、杂石等物质,其管底高程可能超过 0 m,通过实际测量发现管底高程均高出 0 m,故对静压投入式水位计测量成果进行调差计算,调差后精度满足要求。

(2) 051#和 052#测压管布置临近秦淮新河泵站侧,在初始测量时,上位机数据与实测数据相差 2 cm 左右,考虑测量时泵站处于运行期,泵站产生震动对测量有一定影响,实测 1 个月后,上位机数据与实测数据逐步统一,误差不超过 1 cm,数据趋于稳定。2019 年,管理人员定期实测进行对比,发现数据基本吻合,误差在规定允许范围内。

### 4 结 语

近年来,由于遥测系统具有全自动、低功耗、高精度、长周期和可升级等诸多优点,在水利工程上得到广泛应用,特别是江苏水文遥测系统相关技术已经相当成熟,省级以上报讯站全部实现水雨情自动报讯,相比之下,我省工程观测渗流监测的遥测系统应用还不够广,大量水利工程单位还采用原始的人工监测。该测压管水位自动化监测系统是首

次在国内闸站一体化工程测压管水位自动化观测系统中应用,一方面可以实时监测,自动传输数据,为工程渗流观测提供更多的决策参考数据;另一方面预留人工测量通道,最终实现水位的自动化监测与手工测量对比校核。此外,每个测压管监测点均安装了避雷设备,以减少雷击。但建成初期,要加强实测比对,通过实测校对测量精度,同时要分析不稳定因素存在的原因,消除不利因素才能确保自动监测精度。

该测压管水位自动化监测系统具有可升级性,未来可以升级研究,增加雨情水情数据采集,对自动采集观测数据的存储、分析、整理、加工会随着测压管观测资料采集自动化程度的提高同步进行,可在全省水利工程测压管观测工作中推广使用。

#### 参考文献:

- [1] 张国栋. 测压管在土石坝渗流监测中的适用性探讨[J]. 大坝与安全, 2008(4):26-33.
- [2] 潘锦江. 测压管在设计施工与观测管理中的若干问题探讨[J]. 水电自动化与大坝监测, 2002, 26(1):57-60.
- [3] 江苏省质量技术监督局. DB32/T 3259—2017 水闸工程管理规定[S]. 2017.
- [4] 张友明. 水闸底板测压管水位异常变化影响因素研究[J]. 江苏水利, 2019(11):62-66.
- [5] 韩勇, 成波, 曲树国. 日照水库大坝测压管水位自动化观测系统设计与应用[J]. 中国水能及电气化, 2015(8):53-56.
- [6] 候敏, 郭志毅, 钱宽. 简析浮子式水位计在三河闸测压管自动监测系统中应用[J]. 水利建设与管理, 2013(12):56-58.
- [11] 余琳, 郭万侦, 陈彦. 四川省水利水电工程移民养老保障与社会养老保险并轨初探[J]. 水力发电, 2017, 43(10):9-13.
- [12] 王丽娇, 余文学. 农村水利工程移民社会保障方案研究——以江苏省“里下河洼地治理工程”为例[J]. 社会保障研究, 2016, (5):73-81.
- [13] 黄健元, 潘付拿. 论被征地农民社会保障安置的局限与出路[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2014, 16(4):41-45.
- [14] 郑腾飞, 强茂山, 王佳宁, 等. 我国水库农村移民社会保障制度责任模型[J]. 中国农村水利水电, 2015, (4):171-175.

(上接第 63 页)