

淠史杭灌区放水涵量测水工程自动化改造与实现

唐晓萌¹, 徐海峰^{2,3}, 丁霞⁴

(1.淠史杭灌区管理总局, 安徽 六安 237005; 2.水利部南京水利水文自动化研究所, 南京 210012; 3.水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心, 南京 210012; 4.垣宝建设工程集团有限公司, 江苏 淮安 223001)

摘 要: 提升淠史杭灌区渠道放水涵量测水自动化水平是实现灌区信息化的重要举措。为了从根本上改变落后的放水涵水量监测人工巡测方式, 本文通过对水工建筑物测流方法在放水涵量测水监测中应用的系统总结, 围绕放水涵水工建筑物基础条件、量测水自动化改造技术、工程实现、现场应用与验证等方面进行阐述, 研究设计对放水涵进行自动化改造, 替代传统人工进行水量监测, 取得了良好的应用效果, 优化了灌区水资源配置, 精准获取放水涵量测水数据, 能组网形成灌区量测水自动监测系统, 大幅提高了管理效率和水平, 为进一步推动灌区数字化建设提供重要支撑。

关 键 词: 灌区; 放水涵; 水工建筑物; 量测水; 自动监测

中图分类号: TV135.2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022524

唐晓萌, 徐海峰, 丁霞. 淠史杭灌区放水涵量测水工程自动化改造与实现[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 83-87.

TANG Xiaomeng, XUE Haifeng, DING Xia. Automation Transformation and Realization of Drainage Culvert Measurement Project in Pishihang Irrigation District[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 83-87.

0 引 言

水量计量是我国实施最严格水资源管理制度的重要内容, 是实现用水总量控制和用水效率控制的重要基础。淠史杭灌区“十四五”续建配套与现代化改造工程设计中涉及需改造的放水涵 1 400 余座。

《全国大中型灌区续建配套节水改造实施方案(2016—2020 年)》^[1]核定了全国大型灌区工程改造建设内容, 其中包含有测水设施, 量测水设施的建设将大幅度提高灌区感知系统中的灌溉水量基础信息采集和传输的时效性, 能为灌区水资源配置、管理和调度提供用水量数据依据。

灌区放水涵下游属于斗农渠道, 为了实现量水, 做过不少研究工作。内蒙古河套灌区在类似末级渠道量水技术应用使用了量水槽^[2], 土建等一次性投资费用较高, 也易被泥沙堵塞。太原理工大学研究了渠道板式流量量测装置, 利用了一种计算模型测流, 进行了试验研究^[3], 因不符合建筑物测流规范和未能自动遥测而不能进入工程应用。

安徽省淠史杭灌区放水涵量测水按因地制宜结

合工程实际的原则实施, 充分发挥灌区已建水利工程基础设施, 再加以技术改造, 在量测水点配置适用的传感器、自动化信息采集传输设备, 将现有的人工水量测验方式改造为自动化信息采集与水量计算, 符合规范, 并充分发挥出了已有水工建筑物的功效^[4]。

本文以淠史杭灌区渠道小型水工建筑物-放水涵为例, 研究实现其自动化量测水的技术方法。

1 放水涵水工建筑基础条件

1.1 放水涵基础现状

淠史杭灌区放水涵水工建筑物是干渠用水户最小与最基本的放水计量单元, 数量众多, 管理任务繁重, 自动化信息化程度低^[5]。因而列入本次灌区续建配套与节水改造量测水专项项目中。本次以淠史杭灌区淠河总干渠小型水工建筑物放水涵量测站点-旗杆冲放水涵(31+562)为例进行自动化量测水改造。

放水涵水工建筑物是干支渠农田灌溉用水的控制工程, 建有闸室与放水涵洞, 上游八字墙引水段引水入涵洞, 涵洞前端通过闸门开度控制引水流量, 下游则接续供水渠道通向农田各斗渠, 实现灌溉水量控制功能。旗杆冲放水涵(31+562)上游为

渭河总干渠, 闸室位于大堤迎水面内侧坡边, 无动力电源, 手动操作闸门启闭, 从上游总干渠引水, 通过 $\phi 300\text{ mm}$ 圆形穿堤涵管向下游输水, 下游为混凝土砌衬渠道, 接引渠段顺直, 符合水工建筑物量水特征。干渠其他放水涵工程状况类似旗杆冲放水涵。

1.2 放水涵现有量水方式

长期以来, 放水涵计量都是管理单位水管人员进行巡测, 人工测量上下游水位和闸门开度, 人工计算过闸水量, 是渭史杭灌区的传统生产运行模式, 已有多年的管理运行经验, 因人工管理受观测频率、天气情况和个人业务能力等因素影响, 量水数据无法及时上传进行统计处理, 迫切需要实施放水涵自动化量测水。

2 量测水自动化改造

将灌区放水涵量测水从目前的人工测流改造为自动化运行, 已有现实工程基础, 只要配置适用的量测水传感器, 加上远传通信, 就能实现自动化量测水。

2.1 技术改造原理

水工建筑物测流法主要利用现有的水工泄水建筑物, 通过实测水位、闸位等水文基础数据, 借助水力学公式推算流量的一种水力学测流方法^[6]。闸门关闭时, 上、下游有一定的位能差, 当闸门开启, 上游水流下泄, 位能转换成动能。水工建筑物实际测流时, 利用位能和动能相互转换但能量守恒的基本原理^[7]。这种能量转换和守恒定律可由式(1)表示为:

$$H_0 + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_w, \quad (1)$$

式中: H_0 、 H_1 分别为闸上、下游水头 (m); v_0 、 v_1 分别为闸上、下游断面平均流速 (m/s); α_0 、 α_1 分别为闸上、下游动能损失系数; h_w 为上下游水头损失。

放水涵量测水自动化改造依据的是《灌溉渠道系统量水规范》中的渠系建筑物量水规定方法。建筑物量水基于上述于能量转换和守恒原理, 在过闸水流约束条件较好的情形下, 能利用水力学公式计算过闸流量或按照各量水建筑物多年运行的经验计算公式(查算图表)进行, 对放水涵小断面、小流量, 水量量测是通过实测水头差、闸门开启高度等水力因素^[8], 其中流量系数可以经率定或由经验公式得到, 该方法实用简洁, 易于被水管人员接受。

具体的涵口流量计算按照《灌溉渠道系统量水规范》^[9]附录 D (规范性附录) 进行。其测流有 3 项

监测要素, 分别为上游水位值、下游水位值、(部分放水涵是自由出流流态不监测下游水位)、启闭闸闸位开度值共 3 个参数。

因此, 只要能够自动化监测上下游水位, 以及闸室闸门开度, 就可以利用数据采集传输终端进行采集和计算, 实现水工建筑物自动量水, 是本文实践目标, 即是将放水涵水工建筑物测流三要素从人工转为自动, 从而实现放水涵自动量测水。

2.2 技术方案设计

在放水涵上、下游配置智能化遥测水位计, 自动监测终端, 远程通讯模块和太阳能电池供电系统, 就组成了一个放水涵水工建筑物自动量测站。

典型结构及配置设计方案见图 1、图 2。

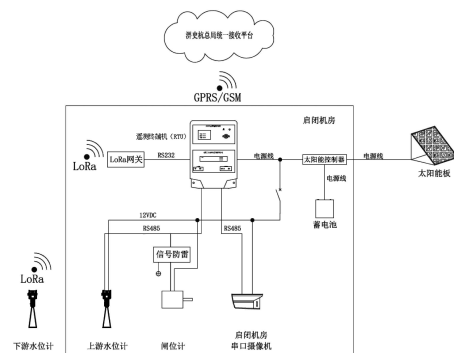


图 1 放水涵自动测流站结构图

Fig.1 Structure drawing of automatic flow measuring station in water release culvert works

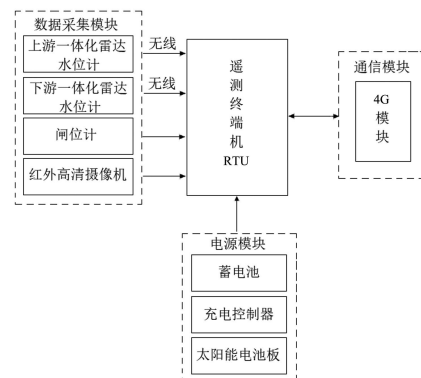


图 2 放水涵自动测流站设计

Fig.2 Design of automatic flow measuring station for water release culvert works

3 工程实现

3.1 监测点位选择与基础设施改造

为了获得准确的上下游水位, 要求水位监测点按照规范要求选定。

上游水位计不能设置在闸门前端, 按规范应设置在水位渐变段以上距离位置处。

放水涵水闸一般比较小, 可利用放水涵上游侧

翼墙垂直安装内径大于 100 mm PE 井管, 井管底部位置一般在翼墙底长的中点, 井管底部设弯头, 接水平 PE 管顺沿翼墙底端伸向上游 1.5 m 以上, 测得上游静态水位, 顶端安装一体化无线导波雷达水位计, 雷达水位计安装高度须高于最高水位 0.5 m 以上, 并采用非金属保护盒保护一体化雷达水位计。引管 PE 管固定方式根据现场情况决定。

考虑到安全管理与防盗, 也可以按照图 3, 将上游水位引入室内。

下游水位计点位须越过消力池长度的 3 倍以上, 设在下游顺直段水流平稳处^[5]。渠侧建设方形水位测井, 井底板低于渠底 200 mm, 近底部水平安放 $\phi 100$ mm 进水管同渠底持平。水位井高于堤顶约 0.5 m 左右, 井内顶端安装一体化无线雷达水位计 (图 3), 雷达水位计^[10]高度须高于最高水位 0.5 m 左右, 检查井由钢混结构组成, 采用非金属保护盖保护一体化雷达水位计, 尺寸误差符合行业规范^[11]要求。

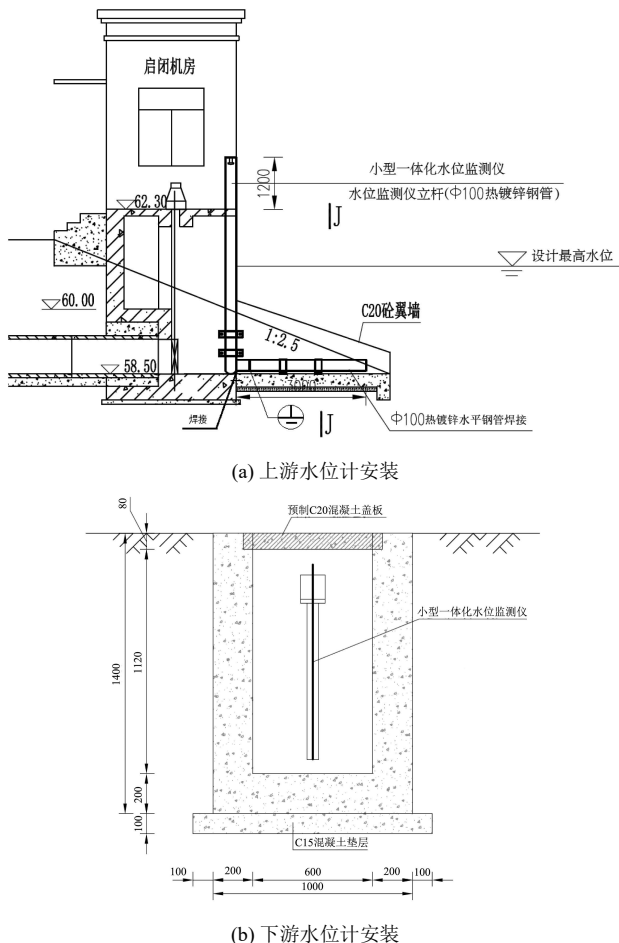


图 3 放水涵上下游水位监测基础设施

Fig.3 Water level monitoring infrastructure in the upper and lower reaches of water release culvert works

涵闸闸位计安装在闸室内, 传动方式根据闸门结构类型进行适配, 放水涵闸门为螺杆驱动传动形

式, 部分无螺杆驱动站点, 采用钢丝绳牵引闸位计驱动传动。

以上的上下游水位与放水涵闸门闸位计三参数在闸室 RTU 中进行统一采集, 并进行放水涵流量计算 (图 4)。



图 4 放水涵上下游量测水设施

Fig.4 Water measuring infrastructure in the upper and lower reaches of water release culvert works

3.2 自动监测传感器

3.2.1 上下游水位自动监测

采用微型一体化雷达水位计, 其特点是体积小, 易于在监测井内隐蔽安装。内置 LoRa 无线短传^[12], 同闸室数据终端 RTU 通信无须电缆连接, 施工简单。

水位传感器采用 60 G 的高精度雷达水位计实现毫米级别的测量精度。

特性指标测量范围为 0~5 m, 测量精度为 ± 3 mm, 盲区不大于 10 cm。

无线短传通信: 仪器内置 NB-IoT 模块或 LoRa 无线上传模块;

蓝牙功能: 内置低功耗蓝牙, 配合手机 APP 现场调参;

内置锂亚电池, 根据不同测量周期和上传间隔, 维持 3~6 a 使用时间; 欠压时人工更换。

3.2.2 涵闸闸位自动监测

采用闸位传感器, 用于采集闸门开启高度的变化, 闸门开启高度的变化表现为直线位移量的变化, 闸门开度通过各种连接机构转换为编码器的旋转运动, 即每有 1 个位移量变化, 就有 1 个与之相对应的编码数字量输出。实际测量时, 往往先将直线位移量的变化转换为轴的机械转角, 之后借助旋转编码器再把轴的机械转角转换为数字量输出, 以此满足监测终端对闸位开度数据的采集。闸位计对闸门开度数据的采集通过绝对式旋转编码器来实现, 编码器获得闸门所处的位置, 即闸门开度。

选用绝对值编码器完成闸位数据采集, 闸位计数据输出形式为并行 12bit 格雷码, 这种数据输出形

式虽然读取方便、操作简单,但容易造成 RTU 的 I/O 口资源浪费。为弥补传统闸位计不足,在编码器内部集成嵌入式技术把数字信号转换成 RS485 数字量。采集的数据通过串行通信口 RS485 传输给监测终端机。

放水涵闸位计^[13]可测开度范围为 0~1 m,精度 1 cm,工作温度范围为 (-20~+50)℃。

3.2.3 监测传输终端

采用通用化智能化数据采集传输终端机^[14],低功耗运行,监测与计算数据通过 4G 物联网无线方式发送信息,将实时数据信息传递到数据监控和管理中心,实现对远端数据的采集和对被监测设备的统一管理^[15]。

因渠道野外不具备市电条件,放水涵量测水监测传输终端采用太阳能供电运行。

4 现场应用与验证

4.1 现场建站

在安徽省淠史杭灌区续建配套与节水改造项目(2019—2020 年)量测水设施项目工程中开展放水涵水工建筑物测流实践。放水涵量测水监测站均处于干支渠渠道两侧,处于野外环境,没有商用电源。因此自动监测站采用太阳能和蓄电池组合供电方式作为放水涵水量自动监测能源供给。

4.2 量测水运行验证

放水涵量测水自动化改造实施后,管理单位考核运行,对监测数据进行比测,运行情况如下。

4.2.1 自动采集数据与人工现场观测计算数据比对

淠河总干渠放水涵实时运行观测数据(大巷放水涵)见表 1。该放水涵站自动采集数据与人工现场观测计算数据比对结果理想,目前已经采纳自动监测站系统监测数据。

表 1 自动采集与人工观测数据比对表(2021 年 8 月)

Table 1 Comparison table of automatic collection and manual observation data (August 2021)

测次	时间	上游水位/m		闸位开度/m		终端机瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	人工计算瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)
		自动	人工	自动	人工		
1	0825 8:00	49.96	49.96	0.21	0.21	0.291	0.292
2	0826 8:00	50.026	50.03	0.06	0.06	0.035	0.034
3	0827 8:00	49.927	49.93	0.26	0.26	0.363	0.369
4	0828 8:00	50.043	50.04	0.26	0.26	0.379	0.385

4.2.2 实时采集流量数据与渠道流速仪实测流量误差验证

对放水涵站闸门开度、断面、流速、实测流量、设备流量、相对误差等数据进行验证,数据结

果见表 2。该放水涵站自动采集流量数据与人工现场流速仪监测数据比对结果,相对误差小于 8%,符合灌区放水涵监测管理要求。

表 2 自动采集与人工采集相对误差记录表

Table 2 Automatic and manual acquisition relative error record table

序号	闸门开度/cm	断面			平均流速/(m·s ⁻¹)	实测流量/(m ³ ·s ⁻¹)	设备流量/(m ³ ·s ⁻¹)	相对误差/%
		水面宽/m	渠底宽/m	水深/m				
1	20	2.25	1.11	0.56	0.55	0.52	0.490	6
2	30	2.52	1.11	0.70	0.58	0.74	0.700	5
3	40	2.63	1.11	0.74	0.6	0.83	0.774	7

5 结 论

通过采用传统的水工建筑物水力学原理,对现有放水涵进行设计、改造,并进行工程实施,在不改变其基础设施条件下,仅增加智能水位传感器和通用自动监测终端,就实现了放水涵量测水自动化,形成了普遍的可推广复现的实用技术。

本技术的应用实施,改变了灌区传统的放水涵人工量水管理方式,在灌区率先实现了放水涵量测水自动化运行和信息化管理^[16]。为灌区全面提升感知能力、提高已有基础设施保障水平,开展放水涵

水工建筑物量测水自动化升级改造探索与实践工作,助力推进灌区高质量发展^[17],实现灌区数字化建设目标具有重要意义。

参考文献:

- [1] 国家发改委. 全国大中型灌区续建配套节水改造实施方案(2016—2020 年),发改农经〔2017〕889 号[R].
- [2] 张川. 内蒙古河套灌区末级渠道量水技术应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [3] 王军. 山西省标准化 U 型渠道流量量测装置测流性能及水力特性研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2018.

- [4] 刘平义, 南娜娜, 王吉星. 溧史杭灌区智能化量测水与农业节水示范区建设构想[J]. 水利信息化, 2019(4): 56-61.
- [5] 夏涛. 特大型灌区工程管理中存在的问题与对策[J]. 黑龙江水利科技, 2011(合刊), 231-232.
- [6] 水工建筑物与堰槽测流规范. SL 537—2011[S].
- [7] 楚恩国. 水工建筑物测流原理与应用[J]. 中国水运(学术版), 2007(9): 118-119.
- [8] 时兆中. 溧河总干渠全渠段量测水能力建设思考[J]. 中国水利, 2019(5): 1-3.
- [9] 灌溉渠道系统量水规范. GB/T 21303—2017[S].
- [10] 雷达水位计. T/CHES 45—2020[S].
- [11] 灌溉与排水工程施工质量评定规程. SL 703—2015[S].
- [12] ALOYS A, YI J, THOMAS C, et al. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things[J]. Sensors, 2016, 16(9): 1 466.
- [13] 闸位计. GB/T 30950—2014[S].
- [14] 水文自动测报系统设备遥测终端机. SL 180—2015[S].
- [15] 水文自动测报系统技术规范. GB/T 41368—2022[S].
- [16] 陈金水. 大型灌区信息化建设技术指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [17] 瞿大界. 安徽省溧史杭灌区推进现代化改造和高质量发展的探索与实践[J]. 中国水利, 2021(17): 41.

Automation Transformation and Realization of Drainage Culvert Measurement Project in Pishihang Irrigation District

TANG Xiaomeng¹, XUE Haifeng^{2,3}, DING Xia⁴

(1. General Administrative Office of Anhui Pi-Shi-Hang Irrigation District, Lu'an 237005, China;

2. Nanjing Research Institute of Hydrology and Water Conservation Automation, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China;

3. Hydrological Instruments & Geotechnical Instrumentation for Quality Supervision and Testing Center, the Ministry of Water

Resources, Nanjing 210012, China; 4. Yuanbao Construction Engineering Group Co., Ltd., Huaian 223001, China)

Abstract: Improving the automation level of channel drainage culvert measurement in Pishihang Irrigation district is an important measure to realize the informatization of irrigation district. In order to fundamentally change the backward manual patrol method of drainage culvert monitoring, this paper through the systematic summary of the application of flow measurement method of hydraulic structures in drainage culvert monitoring, elaborates on the aspects of basic conditions of hydraulic structures of drainage culvert, automatic transformation technology of measurement water, engineering realization, field application and verification, researches and designs the automatic transformation of drainage culvert to replace traditional manual monitoring of drainage. Good application effect has been achieved, water resource allocation in irrigation district has been optimized, water measurement data of drainage culvert can be accurately obtained, automatic monitoring system for measuring water in irrigation area can be formed by networking, which greatly improves management efficiency and level, and provides important support for further promoting digital construction of irrigation district.

Key words: irrigation district; drainage culvert; Hydraulic Construction; water measurement; automatic monitoring

责任编辑：赵宇龙