

堤防工程自动化安全监测研究

徐 俊,翟 铎,朱如东,周艳先,王晓娟,李 益*

(南京市滁河河道管理处,江苏 南京 210044)

摘要:堤防安全监测是确保堤防安全运行的有效手段,传统的人工监测方式在观测精度及实时性等方面有待改进。基于堤防工程自动化安全监测,以马汊河堤防工程为例,在安全监测项目、设备选择、点位布设以及监测预警系统等方面开展研究,可为类似工程安全监测提供技术参考。

关键词:堤防;自动化;监测系统

中图分类号:TV871

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)02-0050-0004

Research on automatic safety monitoring of embankment engineering

XU JUN, ZHAI Duo, ZHU Rudong, ZHOU Yanxian, WANG Xiaojuan, LI Yi*

(Nanjing Chuhe River Management Office, Nanjing 210044, China)

Abstract: Embankment safety monitoring is an effective means to ensure the safe operation of embankments. The traditional manual monitoring method needs to be improved in observation accuracy and real-time performance. Based on the automatic safety monitoring of embankment engineering, taking Macha River embankment project as an example, the research on safety monitoring items, equipment selection, point layout and monitoring and early warning system is carried out, which can provide technical reference for similar engineering safety monitoring.

Key words: embankment; automate; monitoring system

堤防工程是保障沿河两岸人民群众生命财产安全、经济社会稳定发展的重要防洪屏障^[1]。我国堤防堤线长,工程类型多、分布广,运行条件差异大^[2]。为及时掌握堤防工程安全运行状态,及时应对因水压力等荷载对工程造成的不利影响,对堤防工程进行安全监测十分必要^[3]。相关学者针对堤防工程安全监测等方面开展了探索研究以及应用示范^[4-8]。现阶段,堤防工程安全监测普遍采用人工观测与堤防巡检相结合的工作方式,劳动强度较大,工作效率较低,实时性有待进一步增强。针对堤防

工程安全监测薄弱环节,本文以滁河流域马汊河堤防工程为研究对象,开展堤防工程位移与渗流自动化监测研究,构建安全监测系统,实现堤防工程安全运行实时、动态监测。

1 工程概况

滁河源于安徽省肥东县梁园丘陵山区,干流基本平行于长江,自西南向东北流经安徽省合肥市、巢湖市、滁州市和江苏省南京市,于南京市六合区大河口汇入长江。马汊河为滁河流域的分洪道,河

收稿日期:2023-11-07

基金项目:南京市水务科技项目(202203)

作者简介:徐俊(1980—),男,工程师,本科,主要从事水利工程管理工作。E-mail: 531829672@qq.com

通信作者:李益(1986—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利工程管理和安全评价工作。E-mail: yi_117@126.com

道全长 13.6 km,沿河分布 5 个街道以及南京江北新区新材料科技园,是保障沿河两岸安全的重要防洪屏障。根据两岸地形,马汉河分洪道分为上、中、下 3 段。上游段小头李至葛新桥,长约 6.18 km,堤防为 2 级;中游段葛新桥至湛水路桥,长约 6.06 km,为切岭段,河道两岸主要为丘陵岗地;下游段湛水路桥至入江口,长约 1.39 km,堤防为 2 级。

堤防工程管理部门在马汉河沿河共埋设观测工作基点 6 个,沉降位移观测桩 28 个,断面观测桩 30 个,定期对马汉河堤防垂直位移、过水断面、水下地形等进行人工测量,并对水位等工程运行情况进行统计分析。为全面排查堤防安全隐患,分别于 2011 年、2018 年、2022 年针对河道不同堤段开展了堤防隐患探查和安全评价,结果表明堤防总体情况较好,局部存在异常探测信号或渗水情况。

2 自动化监测设施

2.1 监测项目选择

堤防工程的主要特点是结构简单、承载能力强,堤坝问题主要表现为稳定破坏以及渗透破坏。通过自动化仪器监测堤防整体或局部的变形量,及时掌握其在特殊环境条件下的变形、渗流性态,及早发现堤防异常情况并进行预警预报尤为重要。依据《堤防工程安全监测技术规程》(SL/T794—2020)、《堤防工程设计规范》(GB50286—2013)、《土石坝安全监测技术规范》(SL551—2012)等相关要求,充分考虑堤防工程的特点,确定马汉河堤防工程的自动化监测以变形监测和渗流监测为主要内容。

2.2 监测设备及点位布设

2.2.1 设备供电及网络

马汉河河道管理范围较一般堤防大,上、下游段均为河道中心线两侧各 135 m,中游段为河道中心线两侧各 190 m。考虑自动化监测设施需沿河分散布设,因此除上游局部堤段外,中游段、下游右岸、上游段大部分堤段均无供电及有线网络接入的条件,需采用太阳能供电及无线网络传输。

2.2.2 设备兼顾灵敏度、耐久性、经济性

对于不同监测项目,传感器的种类、型号很多,监测方式各异,应从先进性、环境适应性、长期运行稳定性、价格等方面进行综合比选。不能盲目选用进口设备,也不能仅考虑价格因素而选用低端产品或老旧型号。

2.2.3 点位布设应有针对性

马汉河按地形地貌特点分为有堤段与切岭段 2 种情况。自动化监测设施作为现有观测方式的有效补充手段,不应盲目布设,而是应结合其特点及堤防安全管理需求,凸显其在汛期高水位、极端天气情况下的动态监测和预警作用,有针对性地进行布设。

2.3 监测设备选择

2.3.1 变形监测设备

土石坝自动监测设备通常采用测地型 GNSS 接收机,用于精密大地测量和精密工程测量,这类仪器主要采用载波相位观测值进行相对定位,定位精度高。按接收机的载波频率分为单频、双频及多频接收机,马汉河堤防变形自动监测选用 R51 一体机,对比其他 GNSS 接收机有如下特点:

(1)采用北斗二代与 GPS/GLONASS 三系统全频点 GNSS 模块,兼容伽利略卫星系统;

(2)MEMS 传感与 GNSS 结合(触发加报),支持 CORS 虚拟基站及 RTK,优化组合算法,剔除误报,支撑中长期预警与短临预警;

(3)高速数据存储,TF 卡可以无限扩展,可实现高速数据存储;

(4)具有正负极性反接保护,宽电压供电;

(5)支持远程诊断、远程设置,支持远程重启、远程注册,方便用户远程对系统进行维护操作,减少用户维护成本;

(6)低功耗设计,系统功耗约降低 30%,极大减小搭载的太阳能供电系统配比,降低供电系统成本;

(7)一体式设计,高度集成化,简化安装工艺。

2.3.2 渗流监测设备

堤坝渗流检测主要是指堤坝在上下游水位差的作用下产生的渗流场监测,包括渗流压力、渗流量和水质观测,其中渗流压力监测是堤防安全监测的重点和难点。

(1) 渗压计

常用渗压计有压阻式、差动电阻式、电感式和钢弦式等几种类型。近些年,国产钢弦式渗压计由于生产工艺、材料性能方面的提升,其质量和长期稳定性显著提升,已在国内外工程中大量使用。对比国内外使用量较大的渗压计类型,马汉河堤防渗流监测选用 SXX-35 型钢弦式渗压计作为监测设备。

(2) 渗流监测采集设备

采集设备应具有自检和远程诊断功能,优先采

用低功耗、高可靠性的设备。结合现场电力及通讯的接入条件,所选设备应具有多种电源和通信接口,采用太阳能或蓄电池不间断电源供电,并采用无线公网通信。应具有特殊工况和应急条件下,保证系统供电、通信和数据可靠性的具体措施。应具有可靠的防雷击、抗干扰能力以及防人为破坏的设计。

2.4 监测点位布设

根据马汉河不同河段地形地貌、工程特点、建设期记录、隐患探查数据分析,按具体情况综合分析考虑监测点位(断面)布设。一是上游堤防曾经出现过散浸或疑似散浸等隐患堤段,二是上游堤防穿堤建筑物结合部堤顶路出现过裂缝或边坡有轻微沉陷的堤段,三是历次工程建设期间出现过滑坡的堤段,四是日常巡查发现坡面经常性渗水的堤段,五是近期隐患探查存在异常的堤段。根据对上述点位现场调研情况及出险后的危害程度分析,考虑在上游堤防段优先布设监控点位,监控点位布设如图1所示。

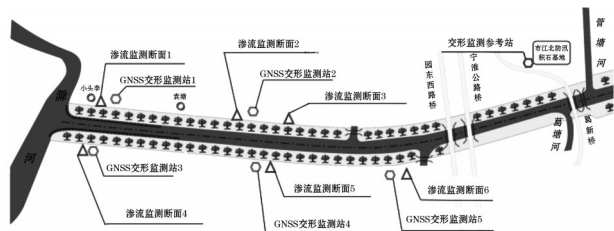


图1 自动化监控点位布设示意

2.4.1 变形监测点位

在上游5个泵站位置布设5个GNSS变形监测站和1个参考站。变形监测站分别位于左岸万庄泵站(K0+300 m)、大横沟泵站(K1+950 m)、右岸马汉河泵站(K0+150 m)、祝庄泵站(K1+980 m)、马汉河农场站(K3+410 m)。参考站位于葛塘积石基地院内。

2.4.2 渗流监测点位

在左岸K0+73 m、K1+736 m、K2+398 m及右岸K0+136.5 m、K2+166.6 m、K3+424 m布设6个渗流监测断面,每个断面布设3个监测点,分别位于堤坝迎水面(Up-1)、背水面(Up-2)及背水面坡脚(Up-3),渗流监测断面示意如图2所示。

3 自动化安全监测系统

将变形和渗流自动化监测纳入马汉河信息管

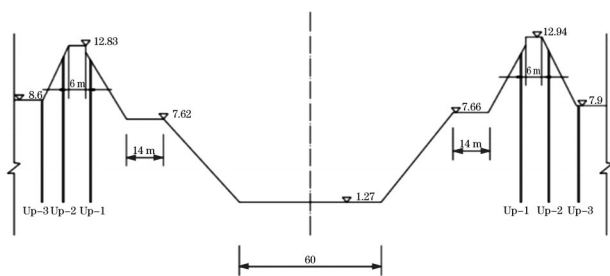


图2 渗流监测断面示意(单位:m)

理平台,开发包含基础数据一张图、堤防检查监测、运行管理、安全管理、视频监控、预报预警等模块功能的马汉河堤防巡检监测与防汛预警系统,建立统一的马汉河河道信息管理平台(如图3所示)。自动化监测模块包括监测站点、网络通信设备、网络安全设备、电源及防护设备、数据服务器、数据采集与解算软件等,系统示意如图4所示。系统采用分布式结构,每个测量断面设置1个监测站,在管理单位设置数据服务器及监测主站。马汉河堤防安全监测系统的监测模块主要由渗流监测和变形监测2个部分组成。



图3 马汉河信息管理平台界面

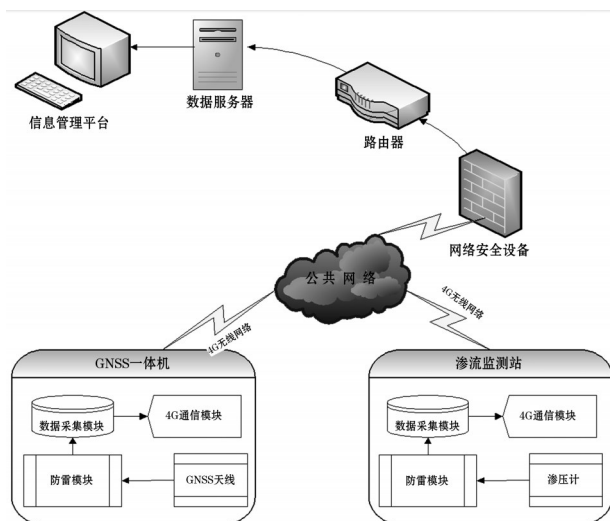


图4 马汉河堤防自动化安全监测系统

3.1 渗流监测模块

渗流监测模块由数据采集部分、供电部分、通信部分和数据接收软件等组成。数据采集部分用于采集堤坝测压管内水位数据,由振弦式渗压计、传感器防雷模块、数据采集模块等组成。供电部分用于数据采集模块、数据中心供电,由太阳能电池板、蓄电池、充电控制器、防雷设施组成。通信部分由4G数传模块组成,用于数据采集模块、控制中心之间的数据通信。采集的数据通过4G移动网络传输到管理单位,再通过UDP映射端口传输至采集软件数据库。通过对渗流数据的处理分析实现实时监测,2023年7月1日马汉河堤防左岸K1+736 m监测成果如图5所示。

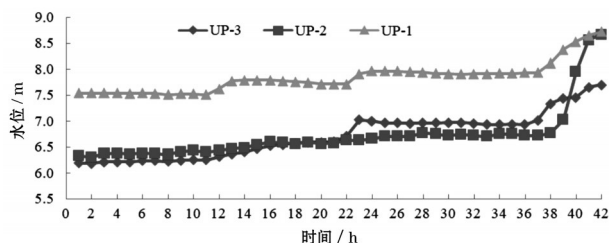


图5 马汉河堤防渗流监测成果

3.2 变形监测模块

GNSS变形监测模块由数据采集部分、控制中心部分、供电部分、通信部分和数据解算软件部分组成。数据采集部分主要由天线和接收机组成,用于采集GNSS原始数据,分为GNSS参考站和GNSS监测站。控制中心部分用于接收、存储、处理,分析参考站、监测站的GNSS数据,供电部分用于向参考站、监测站、数据中心供电,由太阳能电池板、蓄电池、充电控制器、防雷设施组成。通信部分用于参考站、监测站、控制中心之间的数据通信。由4G数传模块组成,采集的数据通过4G移动网络传输到管理单位,再通过TCP/IP映射端口传输至解算软件

数据库。通过对GNSS数据的处理分析实现实时监测,成果如图6所示。

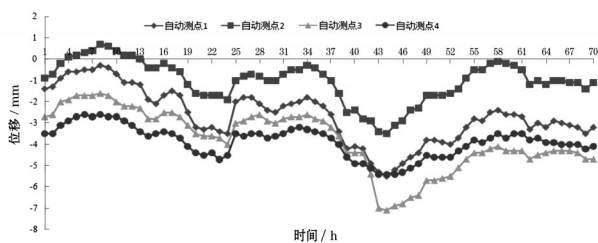


图6 马汉河堤防变形监测成果

利用智能化监测技术实现堤防工程的实时动态安全监测,能够解决传统人工监测方式强度大、效率低、实时性不强等问题,是保证堤防工程安全运行的重要手段,也是丰富堤防管理理念,提升安全保障水平及河道现代化管理水平的重要举措。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 2021年全国水利发展统计公报[M]. 北京:中国水利水电出版社,2022.
- [2] 张清明,王荆,汪自力,等. 我国典型堤防工程管理现状调查分析[J]. 中国水利,2020(10):36-38.
- [3] 顾伊娜,孙松,张德友. 堤防工程安全监测的必要性探析[J]. 江苏水利,2021(3):59-66.
- [4] 徐红,邓彬彬,徐奕正,等. 静态GPS在长江堤防监测分析中的应用[J]. 江苏水利,2021(10):49-51.
- [5] 苏怀智,周仁练. 土石堤坝渗漏病险探测模式和方法研究进展[J]. 水利水电科技进步,2022,42(1):1-10,39.
- [6] 丁忠明. 长江下游某堤防工程监测方案及成果分析[J]. 数字化用户,2022,28(51):112-114.
- [7] 涂善波,刘阳. 基于多源监测技术的穿黄隧道堤防安全影响评价[J]. 水科学与工程技术,2023(5):73-76.
- [8] 宋峰,江如春,傅政. 智能监测预警技术在堤防巡查中的应用[J]. 江苏水利,2023(1):65-68.