

“空地潜一体化”技术在 巡堤查险中的应用

王 俊

(江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

摘要: 科学合理的监测方案是堤防安全巡视和隐患排查的重要保障, 常规监测方法受人力、物力、财力所限, 监测频次、监测指标、监测范围等常无法满足监测要求, 不能及时、准确掌握堤防运行状况。在总结国内外多类先进监测技术的基础上, 将卫星监测、无人机倾斜摄影、高精度 GNSS、探地雷达、水下多波束等多种监测手段整合, 构建用于堤防安全巡视的空地潜一体化监测系统。基于空地潜一体化监测系统提出了大范围岸段隐患排查, 局部岸段定量分析, 重点岸段视频监测的递进式巡堤方案, 研究成果可为我国河道沿线堤防的现代化及科学化管理提供参考依据。

关键词: 堤防安全; 监测体系; 空地潜一体化

中图分类号: TV867

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2021)08-0055-05

Application of "air – ground – submarine integration" technology in embankment inspection and risk investigation

WANG Jun

(Jiangsu Institute of Water Resources Research, Nanjing 210017, China)

Abstract: Scientific and reasonable monitoring scheme is an important guarantee for embankment safety inspection and hidden danger detection. Limited by manpower, material resources and financial resources, the monitoring frequency, monitoring index and monitoring range of conventional monitoring methods are often unable to meet the monitoring requirements and can not grasp the operation status of embankment timely and accurately. On the basis of summarizing many kinds of advanced monitoring technologies at home and abroad, several monitoring methods, such as satellite monitoring, UAV tilt photography, high – precision GNSS, ground penetrating radar, underwater multi – beam sonar system, etc., were integrated to build an air – ground – submarine integration monitoring system for the safety inspection of embankments. Based on the integrated monitoring system, a progressive dam patrol scheme was proposed, which included a large range of bank hidden trouble detection, quantitative analysis of local bank sections and video monitoring of key bank sections. The research results could provide a reference for the modernization and scientific management of embankments along the river in China.

Key words: embankment safety; monitoring system; air – ground – submarine integration

收稿日期: 2021-02-24

基金项目: 江苏省水利科技项目(2018005); 江苏省水利科技项目(2019001)

作者简介: 王俊(1971—), 男, 研究员级高级工程师, 博士, 主要从事水下探测技术的应用与研究。E-mail: 13805178417@qq.com

堤防是防洪减灾的主要水利工程措施,我国已建堤防超 30 万 km,大量堤段堤基条件和堤身质量较差,存在不同程度的安全隐患,较易发生崩岸、坍岸、渗漏、管涌等险情^[1]。因此,定期进行河道堤防巡视查险,有效监测堤防安全稳定,从而及时排查隐患十分必要。然而,利用常规的堤防巡视技术(如 GPS 监测法、大地精密测量法、三维激光扫描技术等),受人力、物力、财力等因素的限制,在巡视频次、巡视指标、巡视范围上,往往无法满足对沿岸堤防进行整体、有效、综合量化监测的要求,不能及时、准确地了解和掌握堤防的运行状况。因此,在现有技术背景下,亟需探索准确、高效、低成本的堤防巡视查险方案,从而实现河道堤防的动态监测、准确分析、科学预判,提前发现存在的险情,并将其消灭于隐患阶段。本文针对国内外多类先进的监测技术进行总结概述,在分析研究现状和存在问题的基础上提出用于堤防安全巡视查险的空地潜一体化监测系统,为我国河道沿线堤防的现代化及科学化管理提供参考依据。

1 堤防巡视监测新技术研究

近年来,越来越多的先进测绘技术应用于我国的水利工程建设中,为我国水利信息化发展提供了较为科学和直观的依据。其中,最具代表性的新型监测技术如星载合成孔径雷达干涉测量、无人机倾斜摄影、多波束测深、高精度 GNSS 测量等,在水利工程的施工、变形监测、运行管理等工作得到初步应用。

1.1 合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR)

大坝在施工和使用过程中,在内力及外力的影响下产生空间上的位移,一旦变形超过其所能承受的范围,就会有坍塌的危险^[2]。快速准确地获取变形数据是保障堤防安全所需解决的关键问题之一。现有巡视监测方法主要有全站仪^[3]、光纤应变^[4]、近景摄影测量^[5]、GPS^[6]、三维激光扫描^[7]等,上述巡视方法面临工作量大、安装使用不便、易受环境影响等不足。合成孔径雷达干涉测量利用微波合成孔径雷达图像(SAR)数据对地表重复观测形成的微波(1mm~1m)相位差计算地表形变,精度可以达到毫米级。同时,其具有抗干扰和非接触等优点,已在边坡、大坝等变形监测领域得到应用。国际上,意大利、德国、日本、西班牙、法国等国已经实现了国土全覆盖的 InSAR 动态监测^[8],欧盟正在开展全区域的监测。国内多所知名高校及相关研究

院所也开展了利用 InSAR 对水库、大坝、堤防等水利工程进行变形监测的研究,取得了一定的成效^[9-11]。随着卫星硬件的不断发展,重返周期会逐渐减小,空间分辨率也会越来越高,这为堤防大范围巡视查险提供更可靠的数据源。

1.2 无人机倾斜摄影技术(UVA)

倾斜摄影测量技术作为一项测绘遥感领域发展起来的高新技术,是通过建立多个传感器并利用垂直和倾斜的多个角度对地面情况进行拍摄,获得的三维数据可以真实地反映地物的本来面貌,客观再现了地物的外观、结构以及高度等属性,其不仅可用于制作实景三维模型,且可以输出 DSM、DOM、DLG 等数据成果^[12]。同时,倾斜摄影测量技术具有高精度、大范围等特点,可以在复杂场景下实现高性能数据测绘处理。这种技术在水土保持监测、河道监测与监管、防洪抗旱减灾、水利工程建设与管理等方面已得到广泛的应用。无人机倾斜摄影技术在水利工程中的应用具有其独特的优势^[13],在堤防巡视查险及建设管理过程中,利用无人机实现低空遥感测绘及检测,可以得到快速高效的精准信息,依靠其较强的机动性,高清的图像与 GPS 系统有效结合,能够提供更为科学的分析依据,实现水利堤防工程区域的快速调查,提高堤防安全巡视的可靠性。

1.3 高精度全球导航卫星系统(GNSS)

早在 20 世纪 90 年代,我国在长江三峡等大型水利水电工程中就应用 GPS 进行变形监测,后续在各类水库、大坝、堤防等变形监测中得到广泛应用,目前我国大多数研究都是基于 GPS 技术进行实际应用。自 1958 年美国研制 GPS 以来,GNSS 受到了世界广泛关注^[14],由于其全球覆盖的特性,成为各国研究的重点。近年来,随着我国北斗导航定位技术的投入使用及完善,极大弥补了 GPS 在截止高度角较大情况下无法固定的情况^[15]。GNSS 观测手段具有精度高、选点灵活方便、监测站之间无需通视、自动化程度高、具备全天候作业条件等优点^[16]。北斗/GPS/GLONASS/GALILEO 等相结合的多模组合监测技术将大大提升测量的精度,从而为局部岸段的巡视查险提供更加可靠的数据源。

1.4 多波束全覆盖扫测技术(MBSS)

堤防工程是我国大江大河防洪体系的重要组成部分,部分堤防由于河段地质条件差、河流动力较强,在季节性洪水过程中易出现堤脚淘刷、堤身失稳等安全问题。因此,为了维护堤防工程的安全

稳定,需对水下地形的变化进行不定期巡视监测。水下地形的获取主要利用单波束、多波束等水深测量设备获取水体覆盖的水底地形数据,并借助水深图、等深图等形式对其表达。多波束水下地形测量系统是由声学仪器、GPS、姿态及航艏数字传感器、计算机及配套软件组成的高技术测深设备。与传统单波束相比,多波束测深系统具有高分辨率、高精度和全覆盖的特点,同时具有精确、高效、快捷和直观等优势。多波束获取的测深数据是对水下地形的高分辨率采样,通常称为“水下地形点云”,其获取的数据不仅实现了水下地形的精细表达,且包含多类信息,可提高其评价的准确性^[17]。因此,在水利工程建设、水下地形测量、河势变化监测、水流场模拟等方面已得到了广泛的应用^[18-19]。

2 空地潜一体化堤防安全巡视体系

为了对整体堤岸的稳定性进行定期巡视查险,利用星载 InSAR、无人机倾斜摄影等现代化测量手段,不仅可以实现数据的定期更新,保证巡视成果的现势性,且其精度可达毫米级,为沿岸堤防的隐患排查提供了更为先进的方法。同时,顾及堤防的稳定性受多种因素的影响,通过单一巡视手段获取数据无法有效地评估,故在大范围巡视的基础上辅以陆域、水下等多种局部定量测量技术,以便全方位、多角度地进行堤防巡视查险,从而形成空、地、潜一体化堤防安全巡视体系。

(1)空域主要利用星载合成孔径雷达技术获取河道堤岸的多景干涉图,并进行多景干涉图的合成及精度控制,进行流域、区域空间尺度的远程巡视;利用低空倾斜摄影测量技术,开展对区域及局部尺度的堤岸相关监测指标的观测,同时配合地基手段完成精细尺度的监测目标动态跟踪,并进行应对突发事件的数据采集。

(2)陆域地表移动监测作为空基遥感监测的配合和补充手段,实现流域、区域、局部不同尺度的精准监测,主要用于对重点堤岸变化量的精确定量分析,典型的技术手段如北斗定位、地面 LiDAR 扫描、土体的深层位移及分层沉降、探地雷达等。

(3)水下地形十分复杂且无法直观查看,水域的监测数据主要利用多波束测深系统获取水下地形的全覆盖数据,并利用无人测量船、侧扫声呐获取浅水区域的地形数据,可用于河势及堤岸的侵蚀变化监测。

上述空、地、潜不同层次的观测数据互相补充

配合,并进行多源数据的校验和融合,形成了立体多维的综合堤防安全巡视体系,为堤岸演变分析提供数据支撑,并为隐患排查提供高精度的观测数据服务。空、地、潜一体化堤防巡视体系如图1所示。

3 基于空地潜一体化的多尺度巡堤方案

我国流域众多,整体岸线较长,利用传统的监测方案进行堤防巡视查险,不仅需要耗费大量的人力、物力、财力,且作业周期较长,效率低下。多尺度巡堤方案是在基于空、地、潜不同时空分辨率数据的基础上遵循“宏观-局部-细部”的递进式监测过程。首先,借助星载 InSAR 可进行堤防的大范围巡视,排查可能存在的安全隐患的区域,然后借助 GNSS、超低空无人机、高精度水准等的局部数据用于特定陆域的巡视及变化分析,同时借助超分辨率水下多波束测深数据用于局部岸段水下巡视探测,最后针对重点岸段采用高清视频进行实时监测。利用多尺度的巡堤方案,不仅可以降低堤防巡视的成本,有效地全局把握堤岸整体稳定状态,且能够快速排查出存在隐患的区域并及时进行处理。

3.1 堤防大范围巡视及隐患排查

为了实现大范围长线程堤岸的快速巡视查险,利用星载合成孔径雷达干涉测量获取整体岸线的 InSAR 全覆盖数据,通过 InSAR 时序分析监测岸线的整体稳定性变化。在一般情况下,InSAR 干涉图的空间覆盖为 $100\text{ km}^2 \times 100\text{ km}^2$,利用图幅之间的空间覆盖关系,通过多图幅的整体处理和精度控制,将时间覆盖相同的测量结果进行综合处理,实现岸线的整体快速获取及形变场稳定性分析,排查可能存在安全隐患的区域。

3.2 险工段及隐患段局部定量分析

在大范围堤岸隐患排查的基础上,借助超低空无人机及水下测深的局部数据进行险工段及隐患区域的局部巡视及变化分析,探查风险区域的影响因子。同时,利用高精度水准、GPS 组网观测、土体变形监测等更精确的测量方式确定其成因及可能的发展趋势。此外,针对隐患堤段的复杂内部结构,可采用探地雷达进行无伤探测。特别是在汛期人工巡堤查险时,探地雷达探测仍然是判识堤防是否存在洞穴或裂缝的较高效的方法之一。

3.3 重点岸段的高清视频监测

在隐患排查及高频次多尺度巡堤监测的基础上,还需针对重点岸段进行不间断的实时监控。近



图1 空、地、潜一体化堤防安全巡视体系

年来随着国内视频技术的迅速崛起^[20],基于高清视频的技术已初步在防汛、河务、水政、水文多个领域得到应用。高清视频监测方法,主要是通过对实时传输的视频进行预处理,实现对堤身裂缝及位移检测,根据检测出的裂缝及位移数据选择是否报警。如果利用高清摄像头对堤防建筑进行裂缝及位移识别,并结合大数据与机器学习设定阈值进行提前预警,将提高堤防抢险的反应速度,有利于及时有效地部署抢险工作,从而大大减少损失。

基于空地潜一体化的多尺度巡堤方案如图2所示。

4 结 语

本文从我国堤防巡视查险现状及实际管理需求出发,构建了集成多类新型巡堤技术的空、地、潜堤防安全巡视体系,并在此基础上提出多尺度巡堤方案。采用该巡堤方案不仅可以大幅降低人力、物力、财力的消耗,提高堤防巡视效率,而且能够宏观地掌握堤岸的现势情况,进而从局部或细部视角对特定区域进行量化监测分析,以便及时准确地探查崩岸险情,做到提前决策,及时应对,可以大幅减少此类灾情对人民群众生命财产安全的危害。所

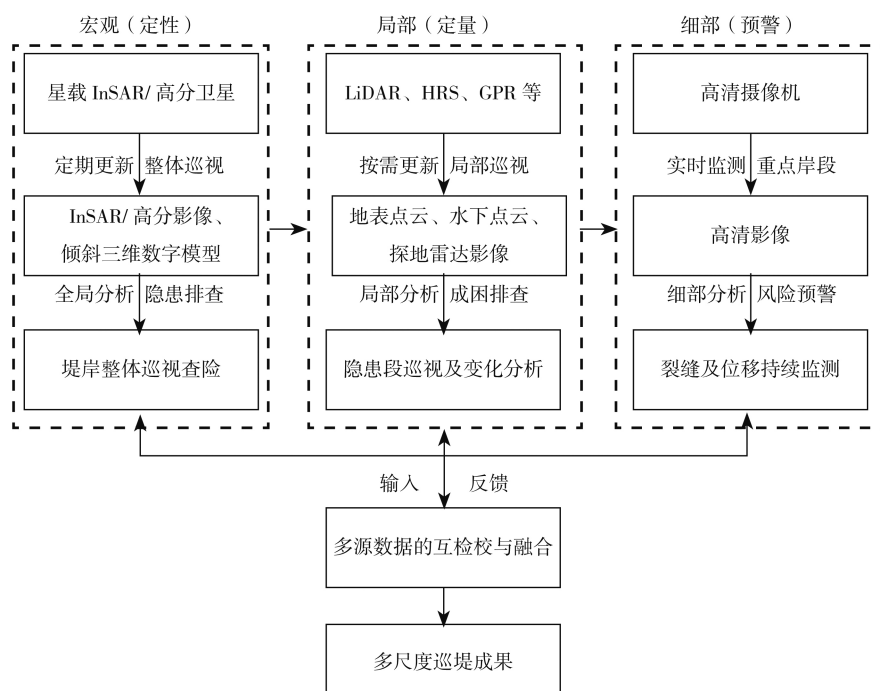


图2 基于空地潜一体化的多尺度巡堤方案

得成果提高了长岸线的现代化及科学化管理水平,也为防洪防汛工作提供了更加科学、合理的决策依据。

参考文献:

- [1] 刘洪一,黄志怀,邓恒,等.地基合成孔径雷达在堤防位移监测中的应用[J].人民珠江,2017,38(4):90-94.
- [2] 张思麒,王韬,何秀凤,等.一种微型地基干涉变形监测雷达[J].武汉大学学报(信息科学版),2020,45(11):1801-1808.
- [3] 郑建雷,黄杏.TS 60 全站仪在船闸高边坡水平位移监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2019,42(7):229-231.
- [4] 李飞,朱鸿鹄,张诚成,等.地基变形光纤光栅监测可行性的试验研究[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(1):204-211.
- [5] TASCI L. Deformation monitoring in steel arch bridges through close-range photogrammetry and the finite element method[J]. Experimental techniques. 2015, 39(3):3-10.
- [6] 熊春宝,路华丽,朱劲松,等.基于GPS-RTK和加速度计的桥梁动态变形监测试验[J].振动与冲击,2019,38(12):69-73.
- [7] YANG H, OMIDALIZARANDI M, XU X, et al. Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures[J]. Composite Structures,2017, 169:173-179.
- [8] RÖDELSPERGER S, LÄUFER G, GERSTENECKER C, et al. Monitoring of displacements with ground-based microwave interferometry: IBIS-S and IBIS-L[J]. Journal of Applied Geodesy, 2010, 4(1):41-54.
- [9] 宋翔,张运保,任梦龙.合成孔径雷达干涉测量小基线集(SBAS-InSAR)技术在南水北调双王城水库沉降监测中的应用[J].水利技术监督,2019(6):45-48.
- [10] 侯巍.基于InSAR技术的丹江口坝区地表形变监测研究[D].南京:河南大学,2019.
- [11] 冯东利,杨魁.基于InSAR技术的河道堤防工程沉降观测:以天津市环内海河干流河堤为例[J].北京工业职业技术学院学报,2019,18(2):122-125.
- [12] 王杰,孟高原.倾斜摄影测量在水利工程测绘中的应用[J].测绘通报,2019(6):160-162.
- [13] 相健华.基于倾斜摄影测量技术的资源调查技术研究[C]//建筑科技与管理学术交流会议论文集.北京:《建筑科技与管理》组委会,2018.
- [14] CLEMENTE C, SORAGHAN J J. GNSS-based passive bistatic radar for micro-Doppler analysis of helicopter rotor blades[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2014, 50(1):491-500.
- [15] 李中余,黄川,武俊杰,等.基于GNSS的无源雷达海面目标检测技术综述[J].雷达科学与技术,2020,18(4):404-416.
- [16] 张建坤,陈昌彦,王智,等.GNSS技术进行基坑水平位移监测的时段长度研究[J].测绘地理信息,2018,43(4):37-40.
- [17] 赵钢,徐毅,石银涛,等.点云几何特征在堤防抛石护岸工程中的应用研究[J].江苏水利,2020(6):1-5.
- [18] 韩贤权,黎建洲,刘源,等.多波束测深在濠头水电站下游冲坑测量中的应用[J].人民长江,2020,51(11):116-120.
- [19] 罗青,王茂枚,赵钢,等.两种主要测量手段在抛石护岸工程水下质量检测中的应用[J].水运工程,2020(1):1-5.
- [20] 秦文海,张建军.利用高清视频实现堤防安全监测的试验研究[J].电信快报,2019(9):18-22.