

水利工程智能化监测技术的发展与应用

林海

山东大禹水务建设集团有限公司, 山东 济南 250000

[摘要]伴随着数字孪生、人工智能、物联网等新技术的快速发展,水利工程监测也发生了由传统的手工观测到智能化、自动化的巨大转变,在此基础上本文对水利工程智能化监测技术的重要性作了论述,在此基础上对传感器技术、遥感技术和无人机技术这三方面的原理及特点作了介绍,在此基础上对其在及时报警、结构健康监测、水资源调配以及生态维护等方面的应用进行了说明并对其未来的发展趋势进行了预测,研究结果表明智能化监测技术已经成为提高水利工程建设管理水平、保证水利设施的安全稳定运行、实现水资源可持续利用的重要依靠。

[关键词]智能化监测;水利工程;技术发展;技术应用

DOI: 10.33142/hst.v9i2.19164

中图分类号:

文献标识码: A

Development and Application of Intelligent Monitoring Technology for Water Conservancy Engineering

LIN Hai

Shandong Dayu Water Construction Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

Abstract: With the rapid development of new technologies such as digital twins, artificial intelligence, and the Internet of Things, the monitoring of water conservancy projects has undergone a huge transformation from traditional manual observation to intelligence and automation. Based on this, this article discusses the importance of intelligent monitoring technology in water conservancy projects. On this basis, the principles and characteristics of sensor technology, remote sensing technology, and unmanned aerial vehicle technology are introduced. On this basis, their applications in timely alarm, structural health monitoring, water resource allocation, and ecological maintenance are explained, and their future development trends are predicted. The research results show that intelligent monitoring technology has become an important reliance for improving the management level of water conservancy project construction, ensuring the safe and stable operation of water conservancy facilities, and achieving sustainable utilization of water resources.

Keywords: intelligent monitoring; water conservancy engineering; technological development; technology application

水利工程建设是整个国民经济的基础性工程,在防洪抗旱救灾、调节水资源方面都起到了非常重要的作用,我国具有全世界最庞大的水利工程网络系统,各式各样的水库、堤坝、拦河闸等设施数以万计、遍布全国各地。传统水利的观测主要是依靠人力巡逻以及周期性的观测,但存在滞后性强、监测范围小的问题,不能适应新时期的水利精细化管理的要求。智能化观测技术随之产生,借助新型传感器、空间遥感探测、机器学习等信息技术,能够做到全方位、全天候的实时监测和预警,保障水利工程的安全运行及合理分配,给水利工作带来了极大的便利和支持。

1 水利工程智能化监测技术的重要性

1.1 提升水利工程的管理效率

智能监测技术和传统的管理方式有着本质的区别,使

水利管理工作由原来的人防转变为技防,由过去的间歇性巡视变成全天候实时监控,传统的模式下管理者必须要到现场去获取数据,浪费了大量的人力物力,而智能监测就是利用各类传感器及终端设备对工程进行监测并将数据自动上传到云平台进行分析处理,管理者不用亲临现场就可以知道工程运行情况。截止目前我国已经建立了包括31颗遥感卫星、100多个雷达、4800多架无人机、13.3万个地面水文报汛站、30多万个工程安全监测点的大规模“天空地水工”一体化监测感知体系。这套感知架构把大量的实时信息持续不断的导入到管理系统中来,承载了预报、预警、预演、预案等四预能力,让水利工程管理由事后被动应对变为事前主动防范,管理水平实现跃迁式跨越。

表 1 主要智能化监测技术对比

技术类型	主要监测对象	技术优势	局限性	典型应用场景
传感器技术	位移、渗流、应力、温度、水位、流量	精度高、实时性强、可埋设安装、长期连续监测	布设范围有限、后期维护成本高、易受环境腐蚀	大坝内部变形、坝基渗压监测、混凝土应力应变、河道水位流量
遥感技术	地表形变、水域面积、库岸稳定、植被覆盖	覆盖面广、不受地形限制、可回溯历史数据、非接触测量	易受天气影响、时间分辨率较低、精度受分辨率限制	库区滑坡隐患识别、水域面积动态变化、流域下垫面调查
无人机技术	坝体表面裂缝、河道漂浮物、施工进度、地形地貌	机动灵活、分辨率高、可快速获取三维模型、搭载多种载荷	受空域和天气限制、续航时间短、数据处理量大	工程区域地形图测绘、洪涝灾害应急查勘、库区巡查

1.2 保障水利工程的安全稳定

安全是水利工程的底线,我国许多水利工程都是上世纪中期修建起来的,在那个时代由于技术水平有限所以当时的建造质量并不是很高,再加上长时间运行之后出现的各种老化病害越来越多,给工程的安全带来了很大的隐患。智能化监测技术赋予了工程安全保障一双“透视眼”以及一个“预警器”,在坝体内埋设各种传感器,可以随时观测到工程结构的变化情况,通过北斗卫星 GNSS 表面位移观测可以准确知道大坝的位移变化规律,一旦发生事故可以实时拍摄视频并自动发出报警短信,工作人员马上赶到现场核实情况,从而形成一套完整的闭环机制^[1]。这样的全天候、360° 无死角的安全隐患监控预警系统可以将危险源消灭在苗头阶段,为工程建设安全风险控制提供可靠参考依据。

1.3 促进水资源的可持续利用

水资源匮乏是各国都存在的难题,中国的淡水资源人均不足世界的四分之一,智能监控技术给水资源精细管理提供技术支持,在供水方面可以随时了解供水管道状况;在用水方面,结合农作物的需水量模型,对灌溉进行精确监控;在调水方面,通过数字孪生技术对不同的调度方式下水量水质做出仿真反应,辅助调整措施选择。全国各大江大河流域的洪水预见期由三天变成了十天,为战胜珠江流域北江 1915 年来的最大洪水、海河“23·7”的流域性特大洪水等提供了有利条件。通过对精确预报以及合理调度一方面可以保证防洪的安全性,在此基础上又可以在保证安全的同时尽可能的利用好雨水资源,做到合理开发并利用雨洪资源,实现对水资源的有效保护及长期利用。

2 水利工程智能化监测技术的组成

水利智能监测技术已经构建了“天地空水工”三位一体的技术框架,其中传感器、遥感及无人机三种技术是其主要内容,三种技术优势互补,相互结合形成一个立体的监测系统,如表 1 所示。

2.1 传感器技术

传感器技术是水利工程建设智能化监控的基础,在水利工程中负责收集第一手检测信息。水利工程建设所使用的传感器类型多样,分为变形传感器、渗水传感器、环境量传感器及应力应变传感器等。近年来传感器的研究朝着微型化、智能化、联网化的方向发展,面对传统检测方法参数量大,运算繁琐,准确性差等问题,浙江镜岭水库自主研发了磁栅式应力计,可对混凝土的应力进行即时准确地测量。为了解决大坝内在观测设备失灵不可更换的问题,发明了一种基于应变-应力转换的大坝全生命周期结构状态长期感知方法,在其内在观测设备失灵的情况下仍然可以通过应变监测来精确地反演得出坝体的实际应力情况^[2]。应用光纤传感技术也是很大的进步,光纤光栅传感器具备较强的抗电磁干扰能力、良好的防腐蚀性能以及可以实现对大坝这样的长距离物体进行分布式测量的特点,十分适用于对大坝结构进行长期健康的检测。

2.2 遥感技术

遥感技术应用的是卫星或者飞机搭载的探测器获取地物信息,在远距离获得地球表面相关图像的一种技术手段,它具有的特点是:覆盖面积大、时效性强、能够克服地表障碍等优点。应用于水利工程主要是库区地质灾害识别、流域下垫面变化监测、水体面积计算、地表形变反演等领域。光学遥感可以得到高清晰度的照片进行识别库岸滑坡、崩塌等地质灾害体;雷达遥感可以实现毫米级精度地表沉降监测以及坝体变形监控,不受气候的影响。伴随着我国“水利一号”卫星星座成功组网,遥感影像分辨率不断提高,为水利工程智能化监测提供了更多更好的资源支持。

2.3 无人机技术

无人机技术是地面传感器系统同卫星遥感系统之间的有力补充,在近来水利工程的应用当中也发挥着越来越大的作用。相较于人工巡检而言,无人机体体积小、便于起飞降落、分辨率高、可以携带各种探测仪器设备的特点使

其非常适合复杂地形条件下进行快速巡查及紧急监测；对于日常巡检工作来说，无人机可以通过预定路线自主飞行，以携带的高分辨率数码相机以及热红外成像仪、激光扫描等器材捕捉到大坝表面开裂、漏水、滑移等病害情况；而在突发状况下，无人机能够迅速到达人力所不能及的地方，将第一线的情况反馈回来帮助我们做出正确的防汛指挥判断。倾斜摄影测量系统还可以利用无人机迅速建立工程现场的三维实景模型以供数字孪生平台进行高精度的空间地理信息的数据支撑。

3 水利工程智能化监测技术的应用

3.1 实时监测与预警系统

动态监控、预报是最基本也是最普遍的应用，该系统在施工现场部署了多种类型的监测仪以及传感设备，可以对水位、降雨量、渗漏压力、位移等各种影响工程安全的重要因素进行实时监测并经由有线或者无线方式上传到中心站，中心站基于预设的数值界限及智能分析程序做出判断，在发生报警时迅速启动报警机制，报警信号通过 app 推送、短信发送、喇叭广播等形式最短时间内传达给相关防汛责任人、基层干部、危险区域人群，以便及时组织撤离、开展救援等工作。青山嘴水库利用“一屏统览”矩阵平台，雨情、工情等相关信息毫秒级获取，防汛调度预案编制速度提高 80%；今年汛期提前 24 小时发出超标洪水险情预报报警，合理安排泄库，成功错峰削峰拦蓄洪水 1932 万方，避免下游损失上千万。

3.2 工程结构健康监测

工程结构健康监测是对大坝、堤防、水闸等水工建筑物进行专项监测，用于评价结构的状态、查找存在的隐患以及判断结构的发展方向。而健康监测系统主要包括传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据分析与评判子系统。通过对其数据的深层次解析并运用结构力学模型及人工神经网络技术就可以对结构中损伤部位及其损伤的程

度进行判断，预估出结构未来的发展方向从而为制定合理的维修加固措施提供参考依据。楚雄州青山嘴水库大坝安全智能监测系统增加 81 套渗流探测、位移检测及 AI 视觉识别装置等，实现监测无死角，预警灵敏度提高到 95% 以上，做到早排查、早处理的安全防护机制，有效地保证了下游 50 万人民生命安全及财产安全。

3.3 水资源管理与调度优化

智能化监测手段对水利设施科学调配及精细化管理提供决策依据，在水源、输水、供水、用水等环节上建立完善的监测系统，及时了解地区水资源现状以及用水情况，配合来水预测与需水预测分析，改善水库群联合调度的方式方法，达到合理调配水资源的目的。数字孪生西辽河可实时收集 17000 多个测雨、测地表、测地下水、测取用水等监测点相关的信息并滚动模拟河道水流传递时长、组合流量、演变过程等信息，调整水库蓄水、雨洪、外调水、再生水等调度方式，取得最理想的调度效果^[3]。对于农灌来说，智能化的检测系统配合作物缺水模型以及土壤湿度的检测，做到科学补水，按量供水，极大的提高了灌溉用水的有效利用率。

3.4 生态环境监测与保护

水利工程建设以及营运对河流生态环境的影响也是很大的，而生态环境监测也成为水利工程监测的一个重要方面，在此方面利用到智能监测技术主要有生态输水监测、水质监测、鱼类溯河洄游通道监测、库区消落带生态修复等，其中在线水质监测站可以实时了解水库及其上下游河段的水质情况；用鱼道监测系统来观测并统计过闸鱼类种类及数量；遥感影像对库区植被覆盖率以及消落带变化进行跟踪测量等，这样对于水利工程的生态影响评估，制定更加合理的生态保护措施，进行生态修复都具有一定的参考作用，使得水利建设和生态环境治理相得益彰。

表 2 智能化监测技术在不同应用场景中的核心功能

应用领域	主要监测指标/手段	核心功能描述	预期效益
实时监测与预警	水位、雨量、渗压、GNSS 位移、视频监控	数据自动采集、阈值超限触发报警、多级联动推送、辅助防汛调度	加强应急响应能力，减少洪水漫坝等事故的发生，保护好下游人民群众的生命安全和财产安全
工程结构健康监测	光纤应变计、裂缝计、测斜仪、位移监测器	评估大坝等建筑物运行性态，诊断结构损伤，预测性能演化趋势	延长工程使用寿命，指导维修加固，保障长期运行安全
水资源管理与调度	流量计、水质传感器、遥感蒸发量、土壤墒情	优化水库群联合调度，实现水资源精细配置，支撑抗旱保供	提高水资源利用效率，保障城乡供水安全，促进水资源可持续利用
生态环境监测	多光谱影像、水文水质站网、鱼道监测系统	监测河道生态流量、评估水利工程生态影响、跟踪生物多样性变化	维护河流健康生命，促进人水和谐，支撑绿色水电建设

4 水利工程智能化监测技术的发展

目前工程水利智能监控技术朝着更加全面、深入以及智慧发展的趋势快速前进着,在我国水电站大坝安全监管方面智能化、智慧化的应用尚属于初期,业内各企业单位针对水电站大坝智能运维管理已进行了大量的研究工作,并已经构建了水电站大坝智能运维管理体系框架结构。未来可以从以下几点进行关注:一、全方位感知体系的发展协同化,“天地空水工”一体化感知体系会逐步健全,各种感知方式相互之间协作能力逐渐提高。卫星遥感提供宏观视域背景,无人机进行高效细致侦察,地面端传感及智能机器人开展精准定点检测,各种方式互相验证互相印证,构成全方位立体式全天时感知系统;二是大数据处理的智能化和深层次化^[4]。在人工智能背景下,对水电站大坝的安全监测数据分析将由传统的统计比较发展到机器学习、知识图谱等更为复杂的智能化分析技术。通过对统计学分析的方法、神经网络算法、机器学习技术、知识图谱的应用以及 AI 巨量模型的研究来论述水坝安全监测的智能化分析研究现状与发展前景。AI 大模型或将能够从大规模监测数据中自动筛选出特征并挖掘出规律以及做出趋势判断,从而给工程的安全评价、排程调度带来更智慧的支持;三数字化孪生广泛应用及发展。数字化孪生技术通过对物理工程进行数字化仿真来建立物理环境与信息系统的联动反馈体系。智能监测系统对数字化孪生物给予即时的信息输入,同时数字化孪生物又作为智能监测系统所获得的数据解析依据。数字孪生体的仿真精度将随着 BIM、GIS 等技术的推进不断提升,其演绎预测的能力也将

越发强大。

5 结语

智慧水利系统的重要组成是水利工程智能监控技术,对水利工程管理及运行产生着巨大影响,由传感器、遥感、无人机等智能技术的应用发展,以及“四预”功能、数字孪生、AI 分析等智慧应用,使智能监测技术有力地推动了水利工程的安全防范和管理水平的进步,以及合理调配使用水资源。目前我国已经构建起大范围的、天地水工一体式的监控感知网络,在一些大型水利工程上得到了广泛应用。展望未来,在人工智能、数字孪生等一系列新兴科技融合发展的背景下,水利工程建设智能化监测将会朝着更加精确化、智能化以及一体化的趋势不断发展,对促进我国水利事业高质量发展及现代化进程起到更大的作用。

[参考文献]

- [1]杨云辉.水利工程智能化监测技术的发展与应用[J].农业灾害研究,2025,15(7):211-213.
- [2]张海亮,施春华,赵珂.智能化监测系统在水利工程中的应用与发展[J].科技创新与应用,2026(2):169-172.
- [3]刘辉.智能化技术在水利工程建设中的应用与发展趋势[J].水上安全,2025(22):70-72.
- [4]郑文燕.基于智能化监测的水利工程质量检测与评估方法研究[J].水上安全,2025(16):55-57.

作者简介:林海(1985.11—),毕业院校:山东农业大学,所学专业:水利水电,当前就职单位:山东大禹水务建设集团有限公司,职务:助理工程师,职称级别:初级。