

河道堤防工程安全隐患识别及智能运维体系构建

卢明谦

江苏省苏州市常熟市河道管理处 江苏 苏州 215500

摘要: 本文聚焦河道堤防工程安全隐患识别与智能运维体系构建。先阐述堤身结构、堤岸及基础、附属设施等隐患类型及特征,介绍传统与现代识别方法并构建综合识别体系。接着说明智能运维体系设计原则、整体架构及各层级功能定位。最后探讨物联网、大数据与人工智能、数字孪生等关键技术 在运维体系中的应用,旨在提升堤防工程安全保障与管理水平。

关键词: 河道堤防工程;安全隐患识别;智能运维;体系构建

1 河道堤防工程安全隐患类型及特征

1.1 堤身结构类隐患

堤身结构是河道堤防工程抵御洪水冲击的主体部分,其隐患类型多样且特征明显。常见隐患之一为裂缝,裂缝的产生可能是由于堤身填筑材料不均匀、压实度不足、地基不均匀沉降等原因导致。裂缝的走向多样,有纵向裂缝、横向裂缝和斜向裂缝等。纵向裂缝一般平行于堤轴线方向,多因堤身两侧土压力不平衡或堤基软弱引起;横向裂缝垂直于堤轴线,常与堤身干缩或地基不均匀沉降有关;斜向裂缝则是上述两种因素共同作用的结果。裂缝的存在会削弱堤身的整体性和强度,为洪水渗透提供通道,严重时可能导致堤身滑坡或溃决。堤身孔洞也是较为严重的隐患,可能是在施工过程中遗留的空洞,也可能是后期动物打洞、侵蚀等因素形成^[1]。孔洞会破坏堤身的密实性,降低其抗渗能力和稳定性。当洪水水位上升时,水流可能通过孔洞渗透,引发堤身内部水土流失,进一步扩大孔洞规模,形成恶性循环。堤身填筑材料的质量问题也不容忽视,如果填筑材料含泥量过高、级配不良或存在杂质,会降低堤身的压实度和抗剪强度,影响堤身的稳定性。在长期的水流冲刷和浸泡作用下,这类堤身容易出现局部塌陷、滑坡等现象。

1.2 堤岸及基础类隐患

堤岸崩塌是常见的隐患之一,主要发生在水流冲刷严重、地质条件较差的河段。水流对堤岸的冲刷作用会逐渐侵蚀堤岸土体,使堤岸坡度变陡,当土体所受的剪切力超过其抗剪强度时,就会发生崩塌。堤岸崩塌不仅会直接威胁堤防安全,还可能改变河道水流形态,加剧对其他堤段的冲刷。基础沉降是另一种重要隐患,多由于堤基土质软弱、承载力不足或地基处理不当引起。不均匀沉降会导致堤身出现裂缝、倾斜甚至断裂,严重

影响堤防的整体稳定性。特别是在软土地基上修建的堤防工程,如果地基处理不到位,在堤身自重和水压力的作用下,容易发生较大的沉降变形。堤岸及基础还可能受到地下水的侵蚀和破坏,地下水的流动会带走堤基土体中的细颗粒,导致土体孔隙增大、强度降低,形成管涌、流土等渗透破坏现象。管涌是指在一定水力梯度下,土体中的细颗粒通过粗颗粒间的孔隙被水流带走,形成管状通道;流土则是指土体在水流作用下整体被冲动,失去稳定性。这两种渗透破坏都会对堤岸及基础造成严重威胁。

1.3 附属设施类隐患

河道堤防工程的附属设施包括排水设施、护坡护岸设施、观测设施等,这些设施对于保障堤防工程的正常运行和安全起着重要作用。排水设施的隐患主要表现为排水不畅或损坏,可能是由于排水管道堵塞、排水沟淤积、排水井破损等原因导致。排水不畅会使堤身内部积水,增加土体的含水量,降低其抗剪强度,从而影响堤身的稳定性。护坡护岸设施的损坏也是常见问题,如护坡石松动、脱落,混凝土护面板裂缝、破碎等。这些损坏会削弱护坡护岸设施对堤岸的保护作用,使堤岸更容易受到水流冲刷和风浪侵蚀。特别是在洪水期间,损坏的护坡护岸设施可能无法承受水流的强大冲击力,导致堤岸崩塌。观测设施的隐患则主要体现在数据不准确或无法正常工作方面。水位观测设施、沉降观测设施等如果安装不正确、维护不及时,可能会导致观测数据出现偏差,无法真实反映堤防工程的运行状况。这不仅会影响对堤防安全状况的准确判断,还可能延误隐患的处理时机,给工程安全带来潜在风险。

2 河道堤防工程安全隐患识别方法

2.1 传统识别方法

传统的河道堤防工程安全隐患识别方法主要包括人

工巡查、地质勘探和物理试验等。人工巡查是最基本的方法,通过巡查人员定期对堤防工程进行实地检查,观察堤身、堤岸及附属设施的外观变化,如裂缝、塌陷、渗漏等情况。这种方法简单易行,能够及时发现一些明显的隐患,但受巡查人员的经验和主观因素影响较大,且对于一些隐蔽的隐患难以发现。地质勘探是通过钻探、坑探等手段获取堤基土层的物理力学性质指标,了解堤基的地质结构和承载能力。地质勘探可以为堤防工程的设计、施工和隐患评估提供重要的基础资料,但勘探工作成本较高、周期较长,且只能获取有限点位的地质信息,难以全面反映整个堤防工程的地质情况^[2]。物理试验主要是对堤身填筑材料和堤基土样进行室内试验,测定其密度、含水量、抗剪强度等物理力学参数。通过物理试验可以评估堤身和堤基的稳定性,但试验结果受到取样代表性、试验条件等因素的影响,存在一定的局限性。

2.2 现代技术识别方法

随着科技的不断进步,现代技术在河道堤防工程安全隐患识别中得到了广泛应用。遥感技术可以通过卫星或飞机搭载的传感器获取堤防工程区域的大范围影像信息,利用多光谱、高光谱等技术手段分析堤身、堤岸的变化情况,如植被覆盖变化、土体含水量变化等,从而识别潜在的隐患。遥感技术具有覆盖范围广、信息获取快等优点,能够及时发现大面积的堤防异常情况。地球物理勘探方法包括电阻率法、探地雷达法、地震勘探法等,这些方法通过测量堤身和堤基的物理场特征,如电阻率、电磁波传播速度等,推断地下土体的结构和性质,识别存在的隐患。地球物理勘探方法具有无损、快速、高效等特点,能够探测到一些隐蔽的隐患,如地下孔洞、裂缝等。无人机技术结合高清摄像和三维建模技术,可以对堤防工程进行精细化巡查和监测。无人机可以快速获取堤防的高分辨率影像和三维模型,通过对比不同时期的影像和模型,分析堤身、堤岸的变形情况,及时发现隐患。无人机技术具有灵活性强、分辨率高、成本低等优势,能够弥补人工巡查的不足。

2.3 综合识别体系构建

为了更准确、全面地识别河道堤防工程的安全隐患,需要构建综合识别体系。综合识别体系应整合传统识别方法和现代技术识别方法,充分发挥各自的优势。首先,利用人工巡查和地质勘探等传统方法进行初步的隐患排查,确定重点监测区域。然后,运用遥感、地球物理勘探、无人机等现代技术对重点区域进行详细探测和分析,获取更精确的隐患信息。同时,建立隐患识别

数据库,将各种识别方法获取的数据进行整合和管理,通过数据挖掘和分析技术,挖掘数据背后的潜在规律,提高隐患识别的准确性和可靠性。另外,还应建立专家评估机制,邀请相关领域的专家对识别结果进行评估和论证,为隐患处理提供科学依据。综合识别体系的构建能够实现多方法、多层次、全方位的隐患识别,有效提高河道堤防工程的安全保障水平。

3 河道堤防工程智能运维体系整体架构

3.1 体系设计原则

河道堤防工程智能运维体系的设计应遵循以下原则。一是可靠性原则,确保体系在各种复杂环境下能够稳定运行,准确获取和处理堤防工程的信息,为运维决策提供可靠支持。二是实时性原则,能够实时监测堤防工程的运行状态,及时发现安全隐患并发出预警,以便及时采取措施进行处理。三是集成性原则,将各种监测技术、信息技术和管理技术进行集成,实现数据的共享和协同工作,提高运维效率。四是开放性原则,体系应具有良好的开放性,能够方便地与其他相关系统进行对接和集成,实现信息的互联互通。五是经济性原则,在满足运维需求的前提下,合理控制体系的建设和运行成本,提高经济效益。

3.2 整体架构组成

河道堤防工程智能运维体系整体架构主要包括感知层、网络层、平台层和应用层。感知层是体系的基础,由各种传感器和监测设备组成,如水位传感器、雨量传感器、位移传感器、渗压传感器等,用于实时采集堤防工程的各类信息,如水位、雨量、堤身位移、渗流压力等。网络层负责将感知层采集到的数据传输到平台层,采用有线通信和无线通信相结合的方式,如光纤通信、4G/5G通信、ZigBee通信等,确保数据传输的稳定性和可靠性^[3]。平台层是体系的核心,包括数据存储与管理平台、数据分析与处理平台和决策支持平台。数据存储与管理平台负责对采集到的海量数据进行存储和管理,建立数据库和数据仓库;数据分析与处理平台运用大数据、人工智能等技术对数据进行深度分析和挖掘,提取有价值的信息;决策支持平台根据分析结果为运维人员提供决策建议,如隐患处理方案、运维调度计划等。应用层是体系与用户交互的界面,包括运维管理终端、移动应用终端等,运维人员可以通过这些终端实时查看堤防工程的运行状态、接收预警信息、进行运维操作等。

3.3 各层级功能定位

感知层的功能是实时、准确地采集堤防工程的各类物理量信息,为整个体系提供基础数据支持。各种传感

器应根据堤防工程的特点和监测需求进行合理布局,确保能够全面、准确地反映工程的运行状态。网络层的主要功能是实现数据的可靠传输,将感知层采集到的数据快速、准确地传输到平台层。网络层应具备高带宽、低延迟、高可靠性等特点,以适应大量数据的传输需求。平台层是体系的智能中枢,负责对采集到的数据进行存储、管理和分析处理。数据存储与管理平台要保证数据的安全性和完整性,方便数据的查询和检索;数据分析与处理平台要运用先进的技术手段挖掘数据背后的潜在规律,为运维决策提供科学依据;决策支持平台要根据分析结果生成合理的决策建议,指导运维人员开展工作。应用层是体系的服务窗口,为运维人员提供便捷的操作界面和丰富的应用功能。运维人员可以通过应用层实时掌握堤防工程的运行情况,及时处理安全隐患,实现智能化、精细化的运维管理。

4 智能运维体系关键技术应用

4.1 物联网技术

物联网技术在河道堤防工程智能运维体系中起着关键作用。通过在堤防工程上部署大量的传感器和智能设备,利用物联网技术将这些设备连接成一个庞大的网络,实现设备之间的互联互通和信息共享。传感器可以实时采集堤防工程的各种信息,如水位、雨量、堤身位移、渗流压力等,并将这些信息通过无线通信模块传输到物联网平台。物联网平台对采集到的数据进行集中管理和分析,实现对堤防工程的实时监测和预警。当监测数据超过预设阈值时,平台能够及时发出预警信息,通知运维人员采取相应措施。物联网技术还可以实现对智能设备的远程控制和管理,如远程调节水位监测设备的采样频率、远程控制排水设施的启闭等,提高运维效率和管理智能化水平。

4.2 大数据与人工智能技术

大数据技术为河道堤防工程智能运维提供了强大的数据支持。堤防工程在运行过程中会产生大量的数据,包括监测数据、运维记录、气象数据等。大数据技术可以对这些海量数据进行存储、管理和分析,挖掘数据背后的潜在规律和价值信息。通过对历史数据的分析,可以建立堤防工程的安全评估模型,预测工程的安全状况和发展趋势,为运维决策提供科学依据。人工智能技术如机器学习、深度学习等在堤防工程隐患识别和预测方

面具有显著优势。利用机器学习算法对大量的堤防工程数据进行训练,可以建立隐患识别模型,自动识别堤身裂缝、堤岸崩塌等隐患。深度学习算法则可以处理复杂的图像和视频数据,实现对堤防工程的实时视觉监测,提高隐患识别的准确性和效率。人工智能技术还可以用于预测堤防工程在极端天气条件下的安全状况,提前采取防范措施,降低灾害风险。

4.3 数字孪生技术

数字孪生技术通过创建堤防工程的虚拟模型,将物理实体与虚拟模型进行实时映射和交互,实现对堤防工程的全生命周期管理和智能化运维。首先,利用三维建模技术构建堤防工程的精确数字模型,包括堤身、堤岸、附属设施等各个部分。然后,将实时采集到的监测数据与数字模型进行融合,使虚拟模型能够实时反映物理实体的运行状态^[4]。通过数字孪生模型,运维人员可以在虚拟环境中对堤防工程进行模拟分析,如洪水演进模拟、结构应力分析等,评估工程在不同工况下的安全性能。同时数字孪生技术还可以实现对堤防工程的可视化运维管理,运维人员可以通过虚拟模型直观地查看工程的运行状态、隐患位置等信息,制定科学合理的运维方案。另外,数字孪生模型还可以为堤防工程的设计、施工和改造提供参考依据,优化工程设计方案,提高工程质量和安全性。

结束语

河道堤防工程关乎防洪安全与人民生命财产。构建智能运维体系是保障其安全运行的关键。通过综合识别隐患,运用物联网、大数据等先进技术,实现实时监测、精准预警与科学决策。未来,需持续优化体系,提升技术融合度,加强人才培养,以适应不断变化的防洪形势,让堤防工程成为守护江河安澜的坚固防线。

参考文献

- [1] 廖后洋.河道堤防除险加固工程的安全管理对策分析[J].水上安全,2025(6):112-114.
- [2] 卢大林.关于河道堤防除险加固工程的安全管理[J].建筑工程技术与设计,2020(36):3862-3863.
- [3] 苏赢峰.河道堤防加固治理工程建设与管理[J].数字农业与智能农机,2022(15):30-32.
- [4] 张汉英.关于河道堤防除险加固工程的安全管理[J].科海故事博览,2022(31):91-93.