

# 5G 技术在水利枢纽库坝安全智能巡检中的应用研究

王婵婵, 刘 辉

(山东省宁阳县水利工程公司, 山东 泰安 271400)

**摘要** 5G技术是基于新一代移动通信网络而提出的, 其具有高速率、大连接、低时延和高带宽等特性, 可有效满足人们对于高质量数据传输及实时交互业务的需求。在此背景下, 水利枢纽库坝安全智能巡检系统应运而生, 该系统对水库大坝运行状态进行远程监测与评估, 为库区防汛工作提供了重要支撑。然而, 由于水利工程自身特点导致其存在一定的安全隐患, 如坝体渗漏问题。基于此, 本文针对当前水利行业应用较为广泛且效果较好的无人机倾斜摄影测量技术展开研究, 并将其引入水利枢纽库坝区面裂缝检测中, 以期为同行业人员提供借鉴。

**关键词** 5G技术; 水利枢纽库坝安全智能巡检; 全生命周期监测; 双光热成像设备

**中图分类号**: TN92; TV6

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)10-0028-03

5G技术因其高速率、低时延和广连接等优势, 在各行各业中得到广泛应用。在水利枢纽库坝安全巡检方面, 传统的人工巡检模式逐渐暴露出效率低、风险高、数据采集不全面等问题, 亟需创新技术的引入。5G技术的引入为智能巡检提供了新的解决方案, 通过其高效的数据传输和实时通信能力, 实现对库坝运行状况的实时监控与智能分析。此外, 结合5G技术的无人机、智能机器人等设备, 可对库坝进行全方位、多维度的巡检, 提升巡检的精确性与可靠性, 探索5G技术在水利枢纽库坝安全智能巡检中的应用, 有助于提升巡检效率, 保障水利工程安全运行。

## 1 水利枢纽库坝安全智能巡检

水利枢纽库坝安全智能巡检是结合现代科技与传统水利工程的重要应用, 利用先进的传感器技术、无人机、人工智能、物联网等手段, 实现对库坝设施的全方位、实时监控和巡检<sup>[1]</sup>。

水利枢纽库坝安全智能巡检依赖于多种传感器的集成应用, 传感器能检测坝体的位移、变形、渗流压力等关键参数, 实时收集并传输数据, 通过上述数据, 可有效掌握库坝的运行状态, 及时发现和预防潜在的安全隐患。此外, 传感器网络还与气象数据、流域水文数据等外部信息相结合, 形成综合分析模型, 进一步提升巡检的精度和可靠性。

无人机技术也被应用到水利枢纽库坝智能巡检中, 无人机能灵活飞行于库坝的各个角落, 获取人力难以

触及的区域图像和数据, 该方式不仅提高了巡检的覆盖面, 还显著降低了人工巡检的风险<sup>[2]</sup>。同时, 通过对无人机拍摄的数据进行处理与分析, 可实现对库坝外观的自动识别与异常检测, 进一步增强巡检的智能化水平。人工智能在水利枢纽库坝安全巡检中的应用, 主要体现在数据分析与决策支持上, 通过机器学习算法, 对传感器和无人机采集的大量数据进行分析, 可自动识别出异常模式, 并进行风险预警。基于大数据分析的智能化巡检模式, 能极大地提高巡检的效率和准确性, 减少人为判断的主观性与误差, 还可根据历史数据和运行模式, 进行库坝安全性的预测性维护, 提前采取措施, 防止事故发生。

## 2 5G技术在水利枢纽库坝安全智能巡检中应用的意义

### 2.1 提升巡检效率与准确性

5G技术在水利枢纽库坝安全智能巡检中的应用, 极大程度上提升了巡检效率和数据采集的准确性, 传统的库坝巡检往往依赖于人工操作, 存在时间长、覆盖面有限、数据采集不完全等问题。而5G技术的高速传输能力使得无人机、机器人等智能设备可实时传输高清图像和传感器数据, 大幅缩短巡检时间, 并覆盖到人工难以到达的区域, 高效的数据传输和处理能力, 有助于发现库坝的潜在隐患, 并通过大数据分析技术, 对历史数据进行比对和分析, 从而及时预警可能出现的结构性问题。此外, 5G网络的低延时特点, 使得巡

检设备能实现即时响应和远程操控,进一步增强了巡检过程中的灵活性和可靠性。

## 2.2 增强数据分析与决策支持

在水利枢纽库坝的安全监控中,数据的及时性与准确性十分关键,5G 技术的引入,为大数据和人工智能技术的应用提供了强大的支持。通过 5G 网络的高带宽和低延时特性,巡检设备可实时传输大量高精度的传感器数据、图像和视频,为后台系统提供详尽的分析素材。基于这些数据,人工智能算法能快速识别库坝的微小变化,如裂缝扩展、水位波动等,并与历史数据进行比对,生成精准的风险评估报告,基于大数据分析的智能决策支持,提高了巡检的科学性,帮助管理者制定更加合理的维护和修缮计划,预防潜在风险的发生,确保库坝的长期安全运行。

## 2.3 实现全生命周期监测与智能管理

5G 技术在水利枢纽库坝巡检中的应用,还为库坝的全生命周期管理提供了有力支持,传统巡检方式难以实现对库坝结构全生命周期的持续监测,而 5G 网络的覆盖和数据传输能力,使得库坝的各类传感器、监测设备能够实现长期、连续的数据收集和传输<sup>[3]</sup>。将这些数据集成到统一的管理平台上,便于技术人员实时监控库坝的运行状态,并通过智能算法分析库坝在不同生命周期阶段的结构变化和运行特征。全生命周期的监测和管理可为库坝的维护和保养提供科学依据,延长库坝的使用寿命,降低长期运营成本,实现水利枢纽库坝管理的智能化和精细化。

## 3 5G 技术在水利枢纽库坝安全智能巡检中的应用

### 3.1 5G 结合无人机作为巡检工具和通信渠道

在水利枢纽库坝安全智能巡检中,5G 技术与无人机的结合应用策略主要涉及以下几个方面:网络架构的优化、无人机系统的配置、数据链的管理以及巡检流程的智能化控制,通过综合应用,有助于实现水利枢纽库坝巡检的高效性、实时性和全面性。

在网络架构的优化方面,5G 网络的建设是整个巡检系统的基础,5G 网络具备大带宽(峰值速率可达 10G bps 以上)、低时延(1 ms 以内)和高可靠性(99.9999%)的特性,无人机在执行巡检任务时,可实现高速数据传输和实时通信。为确保在复杂地形和恶劣气候条件下仍能保持稳定的通信链路,应对巡检区域的 5G 基站布局进行精细化设计,通常,5G 基站的覆盖半径在 500 m 至 1 km 之间,因此,在水利枢纽库坝区域,基站的密度和分布需考虑库坝的地形特征和巡检范围,确保无

盲区覆盖,同时,利用 5G 的网络切片技术,为无人机巡检任务分配独立的网络资源,保证巡检数据传输的优先级和稳定性。

在无人机系统的配置上,无人机的硬件和软件都需要根据巡检任务的需求进行优化,硬件方面,无人机应搭载高清摄像头、红外成像设备、激光雷达等多种传感器,确保其能全面获取库坝的结构状态数据。由于传感器生成的数据量庞大,尤其是在高清图像和视频数据传输过程中,5G 网络的高带宽特性使其能支持实时的数据上传,避免数据堆积。无人机的飞行控制系统也要与 5G 网络深度集成,利用 5G 的低时延优势,实现精确的远程控制和飞行路径优化。飞行控制算法通过边缘计算节点进行实时优化,确保无人机能够根据实时环境变化自动调整飞行路径和巡检策略,进一步提高巡检的智能化水平。

在数据链的管理方面,5G 技术赋能的数据链管理主要体现在数据传输速度的提升上,包括数据存储、处理和分析的全流程优化,无人机巡检过程中生成的海量数据,可通过 5G 网络实时传输至云端或边缘计算节点。在巡检过程中,数据首先要在边缘计算节点进行初步处理,对图像数据进行预处理和筛选,将重要的巡检结果和异常情况优先上传至中央指挥系统,边缘计算节点则应具备较高的计算能力,在毫秒级别内完成数据的初步分析,从进行更深度的数据处理之前,提供实时的反馈和报警机制<sup>[4]</sup>。对于大范围的巡检任务,5G 网络还支持多无人机协同作业,通过分布式数据链管理系统,保证各个无人机之间的数据同步和任务协调,避免重复巡检和漏检。

在巡检流程的智能化控制方面,基于 5G 和无人机技术的水利枢纽库坝巡检系统可实现从任务规划、执行到数据分析的全流程智能化,巡检任务的规划由智能调度系统完成,调度系统基于库坝的结构模型和历史巡检数据,结合实时气象条件,自动生成最优巡检路径和任务分配方案。在巡检过程中,5G 网络的高效通信能力使得无人机与指挥中心之间的互动更加紧密,指挥中心应根据无人机反馈的实时数据,动态调整巡检任务,例如:在发现异常情况时,指挥中心要及时下达命令,要求无人机对特定区域进行更详细的检查或更换传感器模式,任务执行完毕后,巡检数据需要快速回传给数据中心并保存,以提高巡检效率。

### 3.2 利用 5G 轮式/挂轨式巡检机器人,提升巡检质量,降低事故率

在水利枢纽库坝的巡检中,巡检机器人需对大坝

结构、库区水文数据、设备运行状态等进行全面监测,采用多传感器数据采集策略,通过高清摄像头(分辨率高达4K)、红外成像仪(灵敏度达到 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、激光雷达(精度达毫米级)和温湿度检测仪(精度 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ )等设备,获取丰富的监测数据。高清摄像头可捕捉大坝表面的细微裂缝;红外成像仪则能检测温度异常区域;激光雷达用于构建三维模型检测形变;温湿度检测仪则监测环境参数变化,数据的采集频率可根据监测需求设置为实时或定时采集,每分钟采集一次或更高频率。巡检过程中,基于5G网络的低延时特性,机器人可实时响应环境变化,比如,当激光雷达检测到库坝表面异常形变时,机器人会自动调整摄像头焦距至高分辨率模式,以获取更详细的影像数据。

由于水利枢纽库坝的巡检涉及大量高分辨率图像和视频数据,对网络带宽要求极高,5G网络提供高达10 Gbps的带宽,确保海量数据的实时传输,低至1 ms的延时特性,使数据能及时传输至云端进行处理和分析,尤其在突发事件中,这种即时性可提高响应效率。为减少核心网络负载和降低数据处理延迟,应采用边缘计算方法,例如,当温度传感器检测超过安全阈值(如超过设定的 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),边缘计算装置可立即标记异常,并将异常数据优先传输,显著降低了延迟,确保关键信息的优先处理。

利用人工智能算法和大数据分析,巡检系统可实时进行异常检测与趋势预测,基于深度学习的图像识别算法可自动检测裂纹、锈蚀等表面异常,并通过历史数据进行比对分析,预测可能的发展趋势,例如,通过监测大坝表面裂纹的发展速率,结合历史监测数据,预测裂纹扩展的时间和可能的结构风险点。此外,将激光雷达获取的形变数据与红外成像温度数据结合,精准定位热应力集中区域,有助于指导水库运行管理部门开展针对性维修措施,提升水利工程管理水平。

### 3.3 利用双光热成像设备,检查堤坝表面

5G技术的高速率确保双光热成像设备可高效传输数据,相较于传统网络,5G网络的数据传输速率可达每秒10 Gbps,远高于4G网络的极限,高速率使得设备能够实时传输大容量的高清可见光影像和精确的红外温度数据,为工程师提供了准确的堤坝表面状态信息,如微小裂缝和渗漏点的识别及温度异常区域的监测。

5G技术的低时延特性尤为重要,尤其是在紧急情况下的响应速度,传统网络的高时延(通常超过50 ms)会导致数据传输和处理的延迟,而5G网络将时延缩短

至极低水平(通常不超过1 ms),使得监控中心能够几乎实时地接收并处理来自多个双光热成像设备的数据。快速响应能力在发现异常温度变化或结构性问题时尤为重要,能迅速发出警报并采取必要的应急措施,极大地降低了突发安全事件的风险<sup>[5]</sup>。

此外,5G技术以其强大的大连接能力,为多个双光热成像设备的同步在线运行提供了坚实的技术支持,相比传统网络,5G网络具备更高的传输速率,还拥有更低的时延和更大的容量,使得其能同时连接数百甚至上千个设备。在水利工程中,堤坝的安全性直接关系到下游区域的安全和人民的生命财产保障,因此,对堤坝表面应进行多点、多角度的全方位监测,通过部署多个双光热成像设备,实时获取堤坝表面的温度、湿度等多维数据,捕捉到堤坝的微小变化,如裂缝的出现、土壤湿度的异常升高等,从而及时预警可能的安全隐患。通过多设备联合工作,监控中心能综合分析来自不同设备的数据,建立更加全面和精确的堤坝表面状态模型,高精度的监测系统可迅速识别出潜在的危险区域,并及时采取措施进行加固或维修,从而有效防范灾害的发生。

## 4 结束语

5G技术凭借其高速率、低延时和大连接等优势,为库坝巡检中的实时监控、数据传输和远程控制提供了技术支撑,有效提升了巡检系统的响应速度和数据处理能力。此外,5G技术的应用还增强了智能巡检系统的稳定性和可靠性,为库坝安全管理提供了更加高效的解决方案,未来,随着5G技术的进一步发展和成熟,其在水利工程中的应用前景广阔,有望推动库坝管理的智能化进程,提高水利设施的安全管理水平。

## 参考文献:

- [1] 高聪旭.叶榭塘水利枢纽智慧船闸管理系统设计[J].江淮水利科技,2024(03):48-51.
- [2] 张勇,宋倍,强君,等.数字孪生奴尔水利枢纽工程建设构想[J].水利信息化,2024(03):8-12,17.
- [3] 吴鼎,刘浩杰,梁建波.数字孪生兴隆水利枢纽建设方案探索[J].水利技术监督,2024(06):35-38,57.
- [4] 张明.基于无人机技术的下坂地水库智能巡检方案分析[J].水利技术监督,2024(06):250-253.
- [5] 华骏,薛井俊,袁志波.江都水利枢纽泵站智能预测预警系统的构建思路[J].江苏水利,2022(11):37-40,45.