

# 基于GIS的水利水电工程安全监测与预警系统

余彩虹

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 水利水电工程安全关乎运行稳定与周边安全,传统监测方式存在数据分散、空间关联不足等局限,难以满足精准预警需求。GIS技术为工程安全监测提供空间分析与可视化支撑,但监测数据与GIS融合应用仍面临技术适配难题。本文立足水利水电工程安全监测理论与GIS核心技术,构建基于GIS的安全监测与预警系统,优化数据融合、空间分析及预警模型等关键技术,为工程安全运维提供智能化决策支撑,提升安全管理水平。

**关键词:** GIS; 水利水电工程; 安全监测; 预警系统; 数据融合

引言: 水利水电工程作为重要基础设施,其运行安全受地形地质、水文气象等多因素影响,安全监测是保障工程稳定的关键。当前工程监测多依赖单一设备采集数据,存在数据整合难度大、空间信息缺失、预警响应滞后等问题,制约了安全管理的智能化发展。GIS技术具备强大的空间数据处理与可视化能力,为破解传统监测困境提供了有效路径。基于此,本文开展基于GIS的水利水电工程安全监测与预警系统相关研究,探索数据融合与系统构建技术,助力提升工程安全保障能力。

## 1 相关理论与技术基础

### 1.1 水利水电工程安全监测理论

水利水电工程安全监测理论以工程结构力学、岩土力学等学科为基础,核心在于通过系统性感知工程及周围环境的物理量变化,实现对工程安全状态的精准研判。该理论强调监测指标的科学与全面性,涵盖变形、应力应变、渗流、振动等关键参数,明确不同工程类型(如大坝、水电站厂房、渠道等)的监测重点与阈值标准。其核心逻辑是通过建立监测数据与工程安全状态的关联模型,捕捉异常变化趋势,为工程安全预警提供理论支撑,同时注重监测系统的动态优化,依据工程运行阶段的差异调整监测方案,确保监测数据的时效性与可靠性。

### 1.2 GIS核心技术

GIS(地理信息系统)核心技术是集地理数据采集、存储、管理、分析与可视化于一体的技术体系,关键技术包括空间数据模型构建、空间数据库管理、空间分析与空间可视化。空间数据模型可精准描述地理实体的空间位置、属性特征及相互关系,常见的有矢量模型与栅格模型;空间数据库管理技术实现对海量地理数据的高效组织与检索,保障数据的完整性与一致性;空间分析技术是GIS的核心优势,涵盖叠加分析、网络分析、缓冲

区分析等,能够挖掘地理数据背后的空间关联规律;空间可视化技术则通过地图、专题图等形式,将复杂的地理信息直观呈现,助力用户快速理解地理空间分布特征与变化规律<sup>[1]</sup>。

### 1.3 监测数据与GIS融合技术基础

监测数据与GIS融合技术基础以数据互通与协同分析为核心,重点解决监测数据的空间化处理与GIS平台的集成应用问题。该技术基础首先要求实现监测数据的标准化转换,将分散的监测点数据(含位置信息、监测数值、时间戳等)转化为GIS可识别的空间数据格式;其次构建监测数据与地理空间数据的关联映射机制,实现监测信息与工程周边地形、地质、水文等地理要素的精准匹配;同时依托GIS的空间分析能力,对融合后的监测数据进行多维度分析,如空间分布特征研判、时空变化趋势追踪等,最终通过GIS可视化平台实现监测数据与地理信息的一体化展示,为工程安全分析提供更全面的空间决策支持,其核心目标是发挥监测数据的时效性与GIS的空间分析优势,提升工程安全管理的智能化水平。

## 2 基于GIS的水利水电工程安全监测与预警系统需求分析

### 2.1 功能需求

具备GIS空间可视化功能,可精准叠加工程地形、构筑物、监测点位等空间数据,实现监测要素的空间定位与关联展示。支持多源监测数据的实时采集与汇聚,涵盖变形、渗流、应力应变、水文气象等核心监测指标。拥有数据处理与分析功能,可完成数据清洗、转换、统计分析 & 趋势研判,生成各类分析报表与曲线。具备分级预警功能,根据预设阈值自动触发不同等级预警,同步推送预警信息至相关终端。支持工程全生命周期监测数据的归档管理与历史回溯查询,为工程运维决策提供数据支撑。

## 2.2 性能需求

数据采集响应延迟不超过5秒,确保监测数据的实时性。系统并发访问支持不少于50个用户同时操作,无明显卡顿。GIS地图加载时间不超过3秒,空间查询与分析响应时间控制在2秒内。数据存储容量需满足至少10年连续监测数据的存储需求,且支持存储容量的扩展升级。系统运行稳定性要求年故障率低于0.5%,单次故障修复时间不超过30分钟。具备良好的兼容性,可适配主流操作系统与浏览器,支持与现有监测设备、数据平台的对接集成。

## 2.3 数据需求

空间数据包括工程区域1:500高精度地形地貌数据、构筑物设计施工图纸矢量数据、监测点位空间坐标数据、行政区划与水系分布数据等。监测数据涵盖变形监测(位移、沉降、倾斜)、渗流监测(渗流量、渗透压力)、应力应变监测(混凝土应力、钢筋应变)、水文气象(水位、降雨量、风速)等多类型数据,数据格式需支持标准化存储与转换。基础属性数据包括工程构筑物参数、监测设备型号与校准信息、监测点位属性等。需保障数据完整性,监测数据缺失率低于0.1%,同时具备数据备份与恢复功能,确保数据安全性与可靠性<sup>[2]</sup>。

## 3 基于GIS的水利水电工程安全监测与预警系统的总体设计及核心功能模块设计

### 3.1 安全监测与预警系统的总体设计

(1)设计目标:以GIS空间信息技术为核心支撑,实现水利水电工程全区域监测数据的一体化汇聚、可视化呈现及智能化预警,为工程安全运维提供精准、高效的决策依据,保障工程运行稳定性与安全性。(2)总体架构:采用“感知层-传输层-数据层-应用层”四层架构。感知层部署各类监测设备,采集变形、渗流、应力等核心安全指标;传输层通过无线与有线融合网络,实现监测数据的实时稳定传输;数据层构建含空间数据库与属性数据库的一体化数据中心,依托GIS技术完成数据关联与空间化处理;应用层基于GIS地图引擎,提供监测可视化、数据分析及预警推送等核心服务。(3)设计原则:遵循实用性原则,贴合工程监测实际需求优化功能配置;坚持可靠性原则,保障系统长期稳定运行与数据精准性;秉持扩展性原则,预留接口便于后续功能升级与监测范围拓展<sup>[3]</sup>。

### 3.2 安全监测与预警系统的核心功能模块设计

(1)数据采集与整合模块:该模块是系统数据支撑的核心,具备多源数据一体化采集与标准化整合能力。采集端支持对接传感器、无人机、移动监测设备等多元

终端,实现工程变形、渗流、水位、雨量等实时监测数据的自动采集,同时兼容历史监测数据、工程设计资料等非实时数据的批量导入。整合环节通过建立统一的数据编码规范与数据清洗规则,消除不同来源数据的格式差异与冗余信息,完成数据的校验、转换与融合,形成结构化、规范化的综合数据库,为后续功能模块提供高质量数据输入。(2)GIS空间数据管理模块:模块聚焦水利水电工程空间信息的一体化管理,依托GIS技术实现多类型空间数据的组织与维护。核心功能包括基础地理数据(地形、地貌、水系等)、工程专题数据(坝体、厂房、渠道等工程构件空间分布)、监测点空间数据的入库管理,支持空间数据的添加、删除、修改、查询等基础操作。同时具备空间数据拓扑关系构建与更新能力,确保空间数据与工程实体的精准对应,实现监测数据与空间位置的关联绑定,为空间分析与可视化展示提供空间基准支撑。(3)可视化展示模块:模块以GIS地图为载体,实现监测数据与空间信息的可视化呈现。支持多种可视化形式,包括工程区域三维场景建模、监测点空间分布图层展示、实时监测数据动态标注等,直观呈现工程整体布局与监测点位分布。同时具备数据趋势可视化功能,通过折线图、柱状图等图表形式展示监测数据的时间变化规律,支持用户通过图层控制、缩放、漫游等交互操作,按需查看不同区域、不同类型的监测数据与空间信息,实现监测数据与空间场景的联动查询,提升数据解读的直观性与效率。(4)GIS空间分析与风险识别模块:模块依托GIS空间分析能力实现工程安全风险的精准识别,集成多种空间分析算法。核心功能包括缓冲区分析、叠加分析、网络分析等基础空间分析,可实现监测点周边影响范围界定、工程构件与风险区域的空间关联分析等;同时融合工程安全评价模型,结合监测数据与空间信息开展综合风险分析,识别工程存在的安全隐患区域,判定风险等级,明确风险分布范围与影响程度,为安全预警提供风险识别依据<sup>[4]</sup>。(5)安全预警模块:模块是系统风险防控的关键,实现安全风险的自动判定与及时预警。通过预设多级预警阈值与预警规则,实时比对监测数据与阈值标准,结合GIS空间分析得出的风险识别结果,自动判定预警等级。当监测数据超出阈值或识别出高风险区域时,系统立即触发预警机制,通过短信、系统弹窗、声光报警等多种方式推送预警信息,同时在GIS地图上精准标注预警位置与预警等级,辅助工作人员快速定位风险点,为应急处置提供及时、精准的预警支撑。

## 4 基于GIS的水利水电工程安全监测与预警系统的

## 关键技术实现

### 4.1 多源监测数据与GIS的融合技术

多源监测数据与GIS的融合技术：核心是解决数据格式异构、时空基准不一问题。首先通过数据预处理模块完成多源数据标准化转换，解析传感器实时监测数据、历史统计数据等格式，剔除异常值、补全数据，统一时间戳格式与空间坐标体系；随后构建中间件融合接口，实现监测数据与GIS矢栅数据高效对接，借助空间索引技术建立关联映射，使监测数据精准挂载至GIS空间要素；同时引入数据缓存机制提升访问效率，保障GIS可视化界面实时呈现数据空间分布特征，为后续分析提供统一数据支撑。

### 4.2 基于GIS的空间分析算法实现

以空间关系挖掘为核心，重点突破空间叠加分析、网络分析、空间插值等关键算法的工程化应用。通过GIS平台空间分析接口封装自定义算法模块，针对不同需求优化逻辑，如叠加分析采用分层处理与拓扑检查提升精度效率，网络分析引入改进Dijkstra算法实现路径规划与资源调度；结合空间数据特性进行算法并行化优化，利用多线程处理大规模数据减少耗时；通过算法与GIS可视化协同，以专题图、统计图表直观呈现分析结果，实现空间分布规律与关联特征的深度挖掘。

### 4.3 安全预警模型的优化与实现

安全预警模型的优化与实现聚焦于提升预警的准确性与实时性。采用机器学习与统计分析相结合的方式优化模型结构，通过对历史监测数据的训练学习，挖掘安全风险与监测指标之间的内在关联，构建多维度的预警指标体系。引入权重动态调整机制，根据不同监测场景的特征实时优化指标权重，提升模型对复杂工况的适应性。在模型实现过程中，依托前面构建的多源数据融合平台，实现监测数据的实时输入与模型的在线推理，通过设定多级预警阈值，形成分级预警机制。同时搭建预警响应触发模块，当监测数据达到预警阈值时，自动触发预警信号，并通过GIS系统定位预警位置，生成预警信息推送至相关终端，确保预警信息能够快速传递<sup>[5]</sup>。

### 4.4 系统安全性与稳定性保障技术

系统安全性与稳定性保障技术从数据安全、运行安全与容错备份三个维度构建防护体系。在数据安全方面，采用数据加密技术对传输与存储过程中的数据进行加密处理，建立数据访问权限控制机制，防止数据泄露与非法篡改。在运行安全层面，引入进程监控与资源调度模块，实时监测系统进程状态与硬件资源占用情况，对异常进程进行自动终止与恢复，避免系统资源耗尽导致崩溃。同时设计容错机制，通过组件冗余部署与故障转移技术，确保单一组件故障不会影响整个系统的正常运行。建立完善的系统备份策略，定期对系统数据与配置信息进行备份，结合增量备份与全量备份相结合的方式，提升系统灾难恢复能力，保障系统长期稳定运行。

结束语：水利水电工程安全监测与预警的复杂性与系统性，要求我们构建多技术融合、全流程覆盖的一体化体系。从强化监测理论与GIS技术的深度耦合，到完善系统功能与性能的协同适配，再到保障数据融合的精准高效与预警响应的及时可靠，各环节需协同发力。建立技术研发、系统运维与工程管理多方联动的协同机制，是凝聚安全保障合力的关键。唯有构建这样贯穿工程全生命周期、技术与管理深度融合的安全防控生态，才能筑牢工程安全防线，为水利水电工程的稳定运行与长远发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]冯移旭.GIS技术在水利水电工程设计中的应用研究综述[J].砖瓦世界,2021(2):198-199.
- [2]周卷.GIS在水利工程变形监测中的应用探讨[J].门窗,2025(22):214-216.
- [3]刘忠金.水利水电工程中的大坝安全监测技术探究[J].江西建材,2021(1):70-70+72.
- [4]何兴刚.基于GIS的水利工程测绘实时数据采集与动态监测关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2025(6):195-198.
- [5]刘本宁,孙正明,阿拉坦,等.水利水电工程安全监测系统设计与实现[J].海河水利,2023(3):105-107.