

边地层的接触情况等有一些了解,但对覆盖层内部的一些结构比如夹层、透镜体等认识较为有限。钻探可以直接反映覆盖层的分层结构,但由于钻孔是离散的,对于覆盖层内部夹层这种横向变化速度较快的结构部分,很难全面准确地了解覆盖层的分布范围及其变动规律;高密度电法会根据不同的电阻率在在一定程度上判断覆盖层中各种电性层面,对覆盖层的分层结构也有一定的显示效果,只是对于像夹层这样薄的层分辨能力较弱;浅层地震折射波法则主要显示各层地层面的起伏状况,对覆盖层内部结构细部的探测能力较差。瑞雷波法对于浅层地层结构分层比较敏感,对浅部不同岩性层识别效果好,但无法有效识别探测区域深部的地层。天然源频率成像法能得到比较详细的地下地质结构图像,可以对覆盖层内的夹层、透镜体等不良地质体成像,可以清晰的展示出它们的空间位置。在覆盖层结构探测上,天然源频率成像法与高密度电法联用再结合钻探可以得到更加全面准确的覆盖层结构信息,地质测绘可以给整体结构提供一个大的背景。

3.3 岩土特性探测对比

钻探获取岩芯以后,通过室内的实验就可以确切地知道岩土的物理力学属性,密度、含水量、抗剪强度等,这是判定岩土特性的一种方法,然而岩芯样本是不是有代表性,或许会被取样的地方和数目所左右。原位测试就是在原位现场对岩土执行测试,能比较贴近事实地显示出岩土在原位时的力学情况,标准贯入试验可以快速地辨别土层的紧实情况,十字板剪切试验适合用来测定饱和软粘性土的抗剪强度,然而,每一个原位测试方式只是针对某一方面,同时测试的结果还受到所用仪器精确程度,操作是否规范等许多因素的影响。物探方法如高密度电法、瑞雷波法等,都可以通过与已知岩土特性相关来推测岩土特性,然而准确度相对小一些,受地质条件复杂程度影响较大。总体来说,钻探结合原位测试是比较可靠的方法获得岩土特性,而物探则可以作为一种补充手段,在大范围初步分析时或者寻找异常区域时使用,以提高勘察效率和准确性。实际上在工程当中,可以用物探方法在大范围内快速扫描,找出大概有异常的地方,再钻探、原位检测,得到更准确的岩土特性的信息,这样就可以利用各种方法的优势,避免单一种类方法的缺陷,为水库坝基设计和施工提供可靠的地质依据^[9]。

3.4 不良地质体探测对比

对于坝基覆盖层中的断层,溶洞,软弱夹层等不良地

质体,地质测绘通过地表迹象只能大致推测出不良地质体存在的可能性,但不能确定其存在位置及范围,而钻探遇到不良地质体时能直接揭露出来,但受限于钻孔数量存在漏判的可能性。高密度电法对低阻的软弱夹层、富水溶洞等有较好的响应,通过电阻率异常区可以推测出不良地质体的位置,然而对于规模较大的,电性差别不大的不良地质体探测效果较差。浅层地震折射波法遇到地质界面(断层)发生突变时,地震波在该界面处传播特征会发生变化,基于此点,可推断出不良地质体,对于规模较小或与附近地层速度相差不大的不良地质体,识别起来比较困难。瑞雷波法对于浅层的不均匀体有一定的探测能力,对于深层的不良地质体效果较差。天然源频率成像法通过仔细分析地震波,成像出不良地质体的形状和空间位置,在探测不良地质体方面有着一定的优势。在实际的勘察过程中,可以结合天然源频率成像法、高密度电法等物探方法进行全扫描,钻孔对有疑问的地方进行核查,达到探测不良地质的目的。

4 结论与展望

相关研究调查显示,各种水库坝基覆盖层地质勘察方法的探测准确度、适用范围以及成本收益存在很大差异。地质测绘与物探方法比较适合做大规模初步勘察,能很快得到宏观地质资料;钻探和原位测试在关键点的勘察中起主要作用,能给出确切数据。采用多种方法相结合的方式能消除一种方法的缺点,明显提高勘察的正确性。然而,现在的勘察技术在复杂地质情况下还是有难题,以后需加大多种方法融合的创新力度,开发智能化、精准度高的勘察手段,持续改进水库坝基覆盖层地质勘探水平,为水利工程创建牢固的地质资料根基。

参考文献

- [1] 宋华君,曹连朋,付大庆,等.勘察规范对我国中小型水库除险加固工程的影响[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S1):560-568.
- [2] 韦杨端.小型水库中高混凝土重力坝勘察及评价[J].人民珠江,2024,45(S1):265-270.
- [3] 李强.灌阳县东风水库穿坝涵管勘察技术方法分析[J].西部探矿工程,2024,36(06):4-8.
- [4] 高庆锋,高丽.李家梁水库渗漏地质原因分析[J].黑龙江水利科技,2023,51(10):70-72+108.
- [5] 陈涛.某水库重力坝坝基结构面勘察及评价[J].红水河,2023,42(04):101-105.

Design of dam safety monitoring platform based on GIS technology

Shanshan Huang Xianshu Cao

China Water Huaihe Planning and Design Research Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract

With the continuous expansion of dam construction scale, there is an increasing demand for refined and intelligent safety monitoring. Addressing issues in traditional monitoring systems such as data fragmentation, low analysis efficiency, and inadequate visualization, this paper proposes a GIS-based dam safety monitoring platform. The platform integrates multi-source heterogeneous data including engineering parameters, hydrological data, and deformation displacement through automated collection. Leveraging the SuperMap GIS engine, it achieves spatial integration and visual presentation of monitoring data, provides rich spatial query capabilities, overlay analysis, and real-time dynamic monitoring functions, and supports anomaly detection and alerting based on predefined warning rules. The platform establishes a digital application system integrating "one-map" management, real-time monitoring, early-warning analysis, and statistical reporting. Successful implementation in the Linhuigang Flood Control Project's main dam demonstrates that this platform significantly enhances spatial analysis capabilities, visualization quality, and risk warning efficiency. It serves as a crucial information technology support tool for multidimensional dynamic assessment and scientific decision-making regarding dam safety status, driving the digital transformation of water conservancy project safety management.

Keywords

dam safety monitoring; GIS; data integration; platform design

基于 GIS 技术的大坝安全监测平台设计

黄姗姗 曹先树

中水淮河规划设计研究有限公司, 中国·安徽 合肥 230000

摘要

随着大坝建设规模的不断扩大, 大坝安全监测的精细化、智能化需求日益迫切。针对传统监测系统数据分散、分析效率低、可视化不足等问题, 本文提出基于GIS技术构建大坝安全监测平台。平台整合自动化采集的工程、水文、变形位移等多源异构数据, 基于SuperMap GIS引擎, 实现了监测数据的空间位置集成与可视化表达; 提供丰富的空间查询、叠加分析及实时动态监测功能; 支持基于预警规则的异常状态定位与告警; 构建了集“一张图”管理、实时监测、预警分析、报表统计于一体的数字应用平台。平台在临淮岗洪水控制工程主坝中的成功应用表明, 该平台能够显著提升监测数据的空间分析能力、可视化水平和风险预警效率, 为大坝安全状态的多维动态评估和科学决策提供了重要的信息化支撑工具, 推动了水利工程安全管理的数字化转型。

关键词

大坝安全监测; GIS; 数据整合; 平台设计

1 引言

大坝安全监测是为了确保大坝的安全运行而进行的重要工作。通过安全监测, 可以及时获取关键数据, 分析大坝的运行状态, 为掌握大坝的工作形态、评价大坝安全状况、发现异常迹象提供依据。然而, 传统的大坝安全监测与管理普遍面临着严峻挑战: (1) 数据孤立与整合难: 监测数据通常由不同类型、不同厂家的分布式传感器子系统采集(如GNSS/全站仪系统、测斜仪系统、渗压计系统、水位计/雨

量计系统、视频监控系统等), 数据格式多样(文本、二进制、数据库、实时流)、存储分散、标准和坐标系不一, 形成大量“信息孤岛”, 难以实现综合性分析和多指标间的相关性挖掘; (2) 空间表达与可视化弱: 数据多以表单、图表等相对抽象形式展示, 缺乏与真实地理空间的紧密关联, 无法直观反映监测点在坝体结构中的具体位置、空间分布特征以及与周围地质、环境要素的关联, 影响管理人员对问题的空间感知和理解; (3) 分析维度单一与预警滞后: 传统数据分析多以单点时间序列为主, 缺乏对空间尺度的深入分析(如空间插值、缓冲区分析等), 对于空间关联异常、区域发展趋势识别不足。预警模型多限于简单的阈值报警, 缺乏基于空间分布形态演变和趋势预估的组合预警能力; (4) 协同效率

【作者简介】黄姗姗(1988-), 女, 中国安徽六安人, 硕士, 工程师, 从事水利信息化、GIS开发研究。

低下: 信息传达和任务协同往往依赖人工传递报告, 跨部门、多主体对同一工程状态信息的共享理解存在障碍。

2016年, 一篇论文探讨了将网络技术应用于大坝安全监测信息系统的重要性^[1]。该论文认为, 在信息化高速发展的现代社会, 网络技术在大坝安全监测信息系统中的应用是时代发展的趋势。2017年, 郭婷婷等人从开发和应用两个方面对水库大坝安全监测信息系统进行了分析^[2]。他们强调了监测水库大坝安全的重要性, 并为相关人员提供了参考。陈述平等人(2020)阐述了基于云架构的大坝运行安全监测系统的总体业务流程、云架构设计、数据流程和系统主要功能的实现^[3]。这种基于云架构的方法具有数据处理速度快、数据运用全面、资源节约经济的优势。基于BIM的大坝安全监测信息系统为大坝的安全监测提供了一种新的解决方案^[4]。通过利用BIM技术和现代软件开发技术, 该系统不仅解决了传统方法中存在的问题, 还提供了许多新的功能, 如三维模型可视化、数据查询和数据预测分析等, 为大坝的安全监测和管理提供了有力的工具。新型监测系统不断涌现, 不仅提高了监测的准确性和效率, 还为大坝的安全管理提供了新的思路和方法。

基于地理信息系统(GIS)的大坝安全监控是近年来的研究热点, 它是一种用于捕捉、存储、检索、分析和展示地理数据的技术。能够整合不同来源的地理数据, 对地理数据进行空间分析, 以挖掘地理数据之间的关联性和规律性。王馨颜等人(2019)从技术角度出发, 研究了地理信息系统空间多维数据的自动监测方法^[5], 它结合了GIS的空间数据处理能力与大坝安全监控的需求, 为大坝的实时监测、风险评估和预警提供了有效的技术支持。GIS技术不仅可以实现对大坝及其周边环境的三维可视化, 还可以对大量的空间数据进行动态管理和分析。该项技术既可以在基于C/S架构的监测系统中应用。也可以嵌入基于B/S架构的集成监测平台中, 为大坝的实时监测、风险评估和预警提供了强大的技术支持, 有助于提高大坝的安全性和稳定性。

2 监测数据整合

大坝的安全监测需要综合考虑地质构造、水文气象、地面位移、内部渗压等监测数据。这些数据来自不同的监测设备, 包括水文气象站、测斜仪、全站仪等。传统监测方法, 这些数据通常分散存储在不同的系统或者从外部服务中获取, 难以进行综合分析和利用。而通过GIS技术, 可以将这些多源数据进行整合, 构建大坝监测数据库。

地质构造数据是大坝安全监测的重要基础。地质勘察数据包括地质构造、地层变化、断裂带等地质信息, 这些信息对于评估大坝的稳定性和抗震性具有重要意义。通过GIS技术, 可以将地质勘察数据进行数字化处理, 并与其他监测数据进行空间关联分析, 从而发现可能存在的地质灾害隐患, 并快速的展示位置。

水文气象数据也是大坝安全监测的重要组成部分。水文气象站可以实时监测大坝周边的降雨量、水位、气温等气象要素, 通过GIS技术, 对接水文气象服务, 将水文气象数据空间化, 实现对不同站点的数据整合和分析, 为大坝的安全管理提供重要的数据支持。

坝体内部位移和表面位移监测数据是大坝安全监测的重要内容, 可以实时监测大坝内部及表面的位移情况。基于测点高程和渗压值(或换算水头), 利用GIS空间插值功能自动计算并动态生成当前时间的浸润线或等水头线图层, 清晰反映坝体/坝基中的地下水流场空间动态(趋势分析、与设计理论的对比、历史同比), 为大坝的安全评估提供重要依据。

3 平台架构设计

基于上述整合的监测数据, 设计了一套大坝安全监测平台。该平台包括数据采集、数据存储、数据处理和可视化展示等功能模块, 以满足平台实际的监测管理需求。

3.1 数据采集

数据采集是安全监测的基础, 其重要性不言而喻, 需要具备高精度、高稳定性和高可靠性等特点。各种硬件的传感器或监测设备安装在坝体的不同部位, 以确保能够全面、准确地监测各项数据, 如地质勘察、水文气象、地面位移、内部渗压等, 数据需要通过网络传输到监测平台, 因此需要考虑到数据传输的稳定性和实时性。同时, 这些数据具有不同的数据格式, 因此, 平台搭建过程需要进行数据接口的统一和标准化, 以确保数据的一致性和可靠性。

3.2 数据存储

对于大量的监测数据, 合理的存储结构和备份策略能够确保数据的完整性和安全性。平台采用成熟稳定的数据库系统进行数据存储, 并设计合理的存储结构和备份策略。

关系型数据库具有数据结构化、事务管理完整、数据一致性高等特点, 由于数据的多源性, 关系型数据库无法满足空间数据的管理和分析需求, 因此结合空间数据库来存储监测数据。空间数据库存储地理位置信息, 包括经纬度等地理坐标数据, 以及与之相关的监测数据。以此实现对主坝周边环境地理信息进行有效管理和分析。同时, 提供丰富的空间分析功能, 可进行地理位置的距离计算、空间关系分析等。

在数据存储结构方面, 平台设计合理的数据库表结构, 将不同类型的监测数据进行分类存储, 明确数据库表的字段定义和数据类型, 方便后续的数据查询和分析。设计适当的索引和约束, 提高数据的检索效率和完整性。同时, 针对历史数据和实时数据, 采取不同的存储策略, 历史数据进行归档存储, 实时数据保持高频率的更新, 确保数据的及时性和完整性。

针对数据的备份策略, 包括全量备份和增量备份, 以