

水工环勘察设计中地下水动态监测技术创新与实践

杨越

山东省水工环地质工程有限公司, 中国·山东 济南 250014

摘要: 水工环勘察设计的保障工程建设安全、生态环境治理及水资源合理利用的核心基础工作, 而地下水动态监测作为水工环勘察设计的关键环节, 其监测数据的精准性、时效性直接决定勘察设计成果的科学性与可靠性。随着我国工程建设向复杂地质区域延伸及生态环保要求的不断提高, 传统地下水动态监测技术已难以满足高精度、广覆盖、智能化的监测需求。基于此本文为提升水工环勘察设计质量、推动行业技术升级提供参考。

关键词: 水工环勘察设计; 地下水动态监测; 技术创新; 传感器技术; 智能化管控

Technological Innovation and Practice in Groundwater Dynamic Monitoring for Hydrological and Environmental Survey and Design

Yang Yue

Shandong Hydrogeological, Engineering Geological and Environmental Geological Engineering Co., Ltd., China Shandong Jinan 250014

Abstract: Hydrological and environmental investigation and design serve as the core foundation for ensuring construction safety, ecological environmental management, and rational water resource utilization. As a critical component of these processes, groundwater dynamic monitoring—the precision and timeliness of its data directly determine the scientific validity and reliability of the resulting designs. With Chinese engineering projects expanding into complex geological regions and environmental protection requirements becoming increasingly stringent, traditional groundwater monitoring technologies can no longer meet the demands for high precision, extensive coverage, and intelligent monitoring. This paper aims to provide insights for enhancing the quality of hydrological and environmental investigation and design and advancing industry technological innovation.

Keywords: Hydraulic and environmental survey and design; Groundwater dynamic monitoring; Technological innovation; Sensor technology; Intelligent management and control

0 引言

地下水作为水资源的重要组成部分, 不仅是工农业生产及居民生活的核心水源, 还对区域地质稳定性、生态环境平衡具有关键调控作用。在水工环勘察设计工作中, 地下水动态监测旨在通过长期、系统地采集地下水水位、水质、水温、流速等核心参数, 揭示地下水的时空变化规律, 为工程选址、地基处理、水资源评价、地质灾害预警及生态环境保护等提供数据支撑。传统地下水动态监测技术以人工监测、有线传输及经验化数据分析为主, 存在监测效率低、数据滞后、覆盖范围有限、人工干预误差大等问题, 难以适应复杂地质条件下的勘察设计需求。在此背景下, 推动地下水动态监测技术的创新与应用, 成为提升水工环勘察设计水平、保障工程安全与生态安全的必然选择^[1]。本文立足水工环勘察设计的实际场景, 深入探讨地下水动态监测技术的创新方向与实践应用, 为行业技术发展提供借鉴。

1 水工环勘察设计中地下水动态监测技术现状

当前, 我国水工环勘察设计中应用的地下水动态监测技术可分为传统监测技术与现代监测技术两大类。传统监测技术以人工监测为核心, 配套使用测绳、测钟、玻璃温度计、水质采样瓶等简易设备, 通过定期现场采集数据并记录整理, 完成监测任务。此类技术具有设备成本低、操作简单的特点, 目前仍在部分小型工程或偏远区域的简易监测中应用。

随着信息技术的发展, 现代监测技术逐步在水工环勘察设计中推广应用, 主要包括自动化传感器监测、有线/无线数据传输及计算机辅助数据分析等。在水位监测方面, 投入式液位传感器、压力式水位计等设备实现了水位数据的自动采集; 在水质监测方面, 便携式水质检测仪、在线水质监测设备可实时检测 pH 值、溶解氧、电导率、重金属离子等参数; 在数据传输方面, GPRS、4G 等无线传输技术逐步替代传统的人工数据报送, 提升了数据传输效率。此外, 地

理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS) 等技术也开始与监测技术融合, 实现监测数据的空间可视化。

2 水工环勘察设计中地下水动态监测技术创新成果

2.1 高效数据传输技术创新

2.1.1 多网络融合传输技术

结合 GPRS、4G、5G、LoRa 等多种无线传输技术的优势, 构建多网络融合传输系统。在信号良好的区域, 采用 5G 技术实现大流量监测数据的高速传输; 在偏远山区、深部地下等信号薄弱区域, 采用 LoRa 技术的低功耗、远距离传输特性, 结合中继站实现数据的稳定传输; 在无地面网络覆盖的区域, 通过卫星通信技术保障数据传输的连续性。例如, 在青藏高原的水工环勘察中, 采用“LoRa+卫星通信”的融合传输方式, 实现了偏远区域地下水监测数据的实时传输。

2.1.2 光纤传输技术的优化应用

针对高精度监测数据的传输需求, 优化光纤传输技术, 实现监测数据的无损耗传输。光纤传输技术具有传输速率高、抗干扰能力强、传输距离远等优势, 适用于大型水利工程、地下综合管廊等对监测数据精度要求高的勘察项目。例如, 在城市地铁建设的地下水监测中, 采用光纤传输技术实现了水位、水质等数据的实时传输, 为基坑施工的动态管控提供了及时的数据支撑。

2.1.3 低功耗传输技术的创新

针对偏远区域监测设备的供电难题, 研发低功耗传输模块, 结合太阳能、风能等新能源供电技术, 实现监测设备的长期稳定运行。低功耗传输模块通过优化通信协议, 降低设备的能耗, 配合太阳能供电系统, 可实现无人值守情况下的连续监测, 大幅降低了监测成本与维护难度。

2.2 智能化数据分析技术创新

2.2.1 大数据分析平台的构建

整合不同监测点、不同时间段的地下水动态监测数据, 构建大数据分析平台。平台具备数据清洗、数据整合、数据可视化等功能, 可实现监测数据的多维度分析, 揭示地下水水位、水质的时空变化规律。例如, 通过平台分析不同季节、不同降雨条件下的地下水水位变化, 为水利工程的防洪调度、水资源配置提供数据支撑^[1]。

2.2.2 人工智能预测模型的应用

基于机器学习算法, 构建地下水动态预测模型, 实现对地下水水位、水质变化趋势的精准预测。通过输入历史监测数据、地质环境参数、气象数据等, 模型可自动学习

地下水动态变化的规律, 预测未来一段时间内的地下水状态。例如, 在地质灾害易发区域的水工环勘察中, 通过预测模型可提前预判地下水水位变化引发的滑坡、塌陷等地质灾害风险, 为工程选址与灾害防治提供决策依据。

2.2.3 监测数据与勘察设计的融合分析

将地下水动态监测数据与工程地质勘察数据、水文地质数据等进行融合, 通过三维地质建模技术, 构建地下水-地质环境-工程建设一体化模型。模型可直观展示地下水动态与工程结构、地质体的空间关系, 为工程地基处理、基坑支护设计等提供精准的技术参数。

2.3 一体化智能管控技术创新

2.3.1 多参数协同监测系统

整合水位、水质、水温、流速等多种监测参数, 构建多参数协同监测系统。系统可根据水工环勘察设计的需求, 灵活调整监测参数与监测频率, 实现不同场景下的精准监测。例如, 在地下工程施工勘察中, 针对基坑开挖过程中的地下水动态变化, 系统可自动提高监测频率, 实时捕捉水位变化, 为施工安全管控提供支撑。

2.3.2 设备状态智能监控与预警

通过在监测设备上安装状态监测传感器, 实时监控设备的运行状态 (如供电电压、信号强度、传感器性能等)。当设备出现故障或性能衰减时, 系统可自动发出预警信号, 通知工作人员及时进行维修, 保障监测工作的连续性。例如, 当传感器探头出现腐蚀、信号失真时, 系统可快速定位故障位置并发出预警, 避免因设备故障导致的监测数据缺失。

2.3.3 数据共享与协同管控平台

构建跨区域、跨部门的数据共享与协同管控平台, 打破监测数据的信息壁垒。不同勘察设计单位、水利部门、环保部门可通过平台共享监测数据, 实现对地下水动态的全域性管控。例如, 在流域水资源管理的水工环勘察设计中, 通过协同管控平台, 可整合流域内各监测点的地下水数据, 为流域水资源评价与优化配置提供全面的数据支撑。

3 地下水动态监测技术创新实践案例

某山区水利枢纽工程位于我国西南地区, 工程主要功能为防洪、灌溉及发电。该区域地质条件复杂, 以喀斯特地貌为主, 地下水系统发育, 存在溶洞、地下暗河等不良地质体。在工程勘察阶段, 需精准掌握地下水动态变化规律, 为坝体选址、地基处理及施工期地质灾害预警提供数据支撑。由于工程区域地处偏远山区, 地形崎岖, 传统监测技术难以实现连续、精准的监测。因此结合工程区

域的地质环境与勘察设计需求,构建“多网络融合传输+智能化数据分析+一体化管控”的地下水动态监测系统。该创新监测系统在工程勘察设计阶段运行6个月,实现了地下水动态的连续、精准监测,取得了良好的应用效果:一是监测精度与效率显著提升。光纤光栅水位传感器的监测数据误差控制在1mm以内,较传统监测设备精度提升40%以上;多功能水质传感器实现了多参数的同步监测,监测效率较传统人工监测提升5倍以上。系统共采集有效监测数据12万余条,为勘察设计提供了丰富、精准的数据支撑。二是数据传输可靠性大幅提高。多网络融合传输系统在复杂山区环境下的数据传输成功率达到98%以上,有效解决了传统传输技术在偏远区域的数据传输难题。监测数据实时传输至管控平台,实现了地下水动态的实时监控,为施工期的地质灾害预警提供了及时的数据支撑。三是数据分析与决策支撑能力增强。通过大数据分析平台,揭示了该区域地下水水位、水质的时空变化规律,明确了地下暗河的径流路径与补给关系。基于预测模型,成功预判了3次降雨过程引发的地下水水位大幅上升,提前发出预警信号,为基坑施工安全管控提供了决策依据。一体化管控平台实现了设备运行状态的实时监控,及时发现并处理设备故障5起,保障了监测工作的连续性。四是监测成本显著降低。采用太阳能供电与无人值守监测模式,大幅减少了人工巡检与维护的工作量,监测成本较传统人工监测降低60%以上。同时,数据共享机制的建立,实现了监测资源的高效利用,为后续工程运维提供了长期的监测数据支撑^[9]。

4 水工环勘察设计中地下水动态监测技术发展方向

结合当前技术创新成果与水工环勘察设计的发展需求,未来地下水动态监测技术将朝着高精度、智能化、全域化、绿色化的方向发展,具体发展方向如下:一是进一步提升传感器性能。研发超高精度、超耐高温高压、抗极端环境的传感器设备,适应深部地质勘察、极地地区水工环勘察等复杂场景的监测需求。推动传感器的微型化与集成化发展,实现多参数、高分辨率的同步监测,同时降低

设备的能耗与成本。二是构建全域性监测网络。依托5G、物联网、卫星遥感等技术,构建“天空地一体化”的地下水动态监测网络。整合地面监测点、空中遥感监测、卫星监测等多种监测手段,实现对地下水动态的全域性、立体化监测,为区域水资源管理与生态环境保护提供全面的数据支撑。三是深化人工智能与大数据技术的应用。构建更加精准的地下水动态预测模型,结合实时监测数据与地质环境、气象、人文活动等多维度数据,实现对地下水动态变化的精准预测与智能预警。推动监测数据与水工环勘察设计的深度融合,实现勘察设计的智能化决策。

5 结语

地下水动态监测技术是水工环勘察设计的核心技术支撑,其创新发展对提升勘察设计质量、保障工程安全与生态安全具有重要意义。当前,传统地下水动态监测技术已难以适应复杂地质环境与高精度勘察设计的需求,而高精度传感器技术、高效数据传输技术、智能化数据分析技术及一体化智能管控技术的创新应用,有效解决了传统技术存在的精度低、效率差、数据滞后等问题。未来,随着信息技术、人工智能技术的不断发展,地下水动态监测技术将朝着高精度、智能化、全域化、绿色化的方向迈进。通过进一步提升传感器性能、构建全域性监测网络、深化人工智能与大数据技术的应用、推动监测技术绿色化发展及完善技术标准与数据共享机制,将全面提升水工环勘察设计的智能化水平,为我国重大工程建设与生态文明建设提供更加有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 李明远,王军.水工环勘察中地下水动态监测技术的应用与创新[J].勘察科学技术,2022(4):36-40.
- [2] 王浩,张杰.大数据与人工智能在地下水动态预测中的应用[J].水利学报,2020,51(8):956-964.
- [3] 李丽,赵伟.多网络融合传输技术在偏远山区地下水监测中的应用[J].人民长江,2019,50(S1):189-191.

作者简介:杨越(1996.10-),男,汉族,助理工程师,本科,研究方向:水文与水资源工程,地质勘察设计等。