

黑龙江省地下水资源动态监测体系构建与运行维护技术研究

徐磊^{1,2}, 赵剑^{1,2}, 那帅博宁^{1,2}, 王洋^{1,2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/ERA.2025090034

摘要 : 黑龙江省地下水资源动态监测体系构建与运行维护意义重大。构建时, 监测站点布局需综合地理地质条件, 优化站点分布; 选取水位、水质、水温为监测指标, 采用不同监测方式; 融合传统与新兴技术手段。运行维护涉及设备检修校准、数据传输存储、系统安全管理及应急处理。当前, 该体系面临资金不足、技术人才短缺、部门协调困难等问题, 可通过拓宽资金渠道、培养引进人才、建立跨部门协调机制等策略解决, 助力地下水资源科学管理与可持续利用。

关键词 : 黑龙江省; 地下水资源; 动态监测体系; 运行维护技术

Research on the Construction and Operation Maintenance Technology of Dynamic Monitoring System for Groundwater Resources in Heilongjiang Province

Xu Lei^{1,2}, Zhao Jian^{1,2}, Na Shuaiboning^{1,2}, Wang Yang^{1,2*}

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Black Soil Earth Critical Zone Field Scientific Observation and Research Station, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : The construction and operation maintenance of a dynamic monitoring system for groundwater resources in Heilongjiang Province are of great significance. During the construction process, the layout of monitoring stations should integrate geographical and geological conditions to optimize their distribution. Water level, water quality, and water temperature are selected as monitoring indicators, employing various monitoring methods and integrating traditional and emerging technological means. Operation and maintenance involve equipment inspection and calibration, data transmission and storage, system security management, and emergency response. Currently, the system faces challenges such as insufficient funding, a shortage of technical talent, and difficulties in departmental coordination. These issues can be addressed through strategies like expanding funding channels, cultivating and attracting talent, and establishing cross-departmental coordination mechanisms, thereby facilitating scientific management and sustainable utilization of groundwater resources.

Keywords : Heilongjiang Province; groundwater resources; dynamic monitoring system; operation and maintenance technology

引言

黑龙江省地处中国东北部松嫩平原和三江平原腹地, 地下水资源分布广、储量丰富, 主要分布于松嫩平原、三江平原及山区盆地, 以孔隙水为主。作为农业大省, 其农业、工业及城乡供水高度依赖地下水, 不合理开发引发水位下降、水质恶化等问题, 威胁资源可持续利用与生态安全。因此, 构建科学的地下水资源动态监测体系并加强技术研究意义重大, 可掌握动态规律, 为科学管理提供数据支撑。

一、黑龙江省地下水资源动态监测体系构建

(一) 监测站点布局

黑龙江省地理条件复杂, 地形涵盖山地、平原和丘陵, 地质

结构呈现显著空间异质性, 这种独特的地理地质背景深刻影响着地下水资源的分布与动态变化。因此, 在规划地下水监测站点布局时, 必须充分考量区域地理、地质及水文条件, 遵循全面性、代表性和经济性等基本原则^[1]。全面性原则要求监测站点覆盖全省

通讯作者: 王洋, 84914431@qq.com。

主要水文地质单元，实现对地下水系统的整体监控；代表性原则强调站点应能精准反映特定区域的水文地质特征，诸如不同含水层的分布与性质；经济性原则需在满足监测需求的前提下，合理优化资源配置，杜绝不必要的资源浪费，同时还应结合已有研究成果，综合确定监测点的空间分布与功能定位。

目前，黑龙江省虽已构建起较为完善的地下水监测站点网络，但现有站点分布存在不均衡现象。三江平原和松嫩平原等重点区域监测密度较高，而偏远地区站点数量不足，致使全省监测存在覆盖盲区。此外，部分站点受长期运行及环境因素影响，出现设备老化、数据传输不稳定等问题，严重影响监测数据的准确性与连续性。

（二）监测指标选取

地下水动态观察，乃水文地质勘查的关键所在。通过侦测地下水流变化，诸如水深、水质及流量数据，对地下水系统的活动状况能掌握即时。解析监测信息，能预测地下水深浅、水位趋势、季节性变异等。此信息能为地下水资源的合理运用，如寻水开采、供水，提供准则。水资源管理者，利用监测信息，能及时告知并对付地下水过度采掘、水质污染等，以保护地下资源的永续利用^[2]。

黑龙江省地下水资源监测体系以水位、水质、水温监测为核心，为科学管理提供支撑。水位监测作为资源量变化的晴雨表，通过人工与自动化设备结合，实时采集数据传输至数据中心，动态掌握补给排泄规律。监测频率依水文条件和需求调整，如灌溉期加密监测，确保精准评估储量变化。水质监测聚焦 pH 值、溶解氧、重金属等指标，采用实验室分析与便携式仪器快速检测，建立数据库追踪污染趋势，保障农业、工业及生活用水安全。水温监测同步开展，利用高精度传感器探查地下水循环与热交换，异常波动可预警热水资源分布或热污染问题，数据还用于校正其他指标误差。三者协同形成动态监测网络，为地下水资源保护与合理利用提供科学依据，护航区域可持续发展。

（三）监测技术手段

在黑龙江省地下水资源动态监测中，传统与新兴技术协同发展。传统人工监测（如测绳、水位计）凭借简便、低成本的优势，在偏远地区及应急场景中不可或缺，其获取的第一手数据为研究奠定基础，但监测频率低、时效性差、误差大限制了应用。新兴技术则突破局限，例如自动化设备实时采集并无线传输数据，提升效率与精度；遥感结合卫星与无人机，大范围获取地表信息；GIS 构建三维模型，实现可视化分析与预测，为科学管理提供支撑^[3]。

为优化技术融合，需制定互补策略：小范围精细监测采用传统方法，大范围宏观监控依赖新兴技术；例如农业灌溉区可结合人工与自动化设备，平衡时效性与成本。同时搭建统一数据平台，整合多源信息，形成全面准确的监测结果。这种融合既弥补单一技术缺陷，又为构建动态监测体系提供支撑，推动地下水资源管理向科学化、精细化发展。

二、黑龙江省地下水资源动态监测体系运行维护技术

（一）设备检修与校准

在黑龙江省地下水资源动态监测体系中，设备的稳定运行与

精准测量是获取可靠数据的核心保障，而检修计划制定和校准工作则是实现这一目标的重要环节。设备的稳定运行依赖于科学合理的检修计划，制订该计划时，需全面考量设备类型、使用频率及工作环境等因素。像传感器、数据采集器这类核心硬件设备，长期运行、恶劣天气、不当操作都可能影响其性能，导致数据异常或丢失^[4]。在黑龙江省寒冷地区，低温易损坏电子元件，潮湿气候又会引发电路短路；并且设备使用频率越高，老化速度越快，维护需求也越迫切。此外，监测站点所处地理位置和外部环境同样关键，偏远山区、沼泽地带交通不便、地形复杂，增加了设备维护难度，因此需提前规划检修时间和资源分配。

而校准工作则是保障监测数据准确性与一致性的必要手段。各类监测设备都需遵循标准化校准流程，该流程涵盖初步检查、参数调整、精度验证三个阶段。先对设备进行全面外观与功能检查，排查物理损坏和明显故障；再依据设备类型选择合适校准方法，如用标准溶液标定水质传感器，通过参考点测量修正水位计误差^[5]。校准过程严格遵循技术规范，详细记录操作步骤与结果，便于后续分析追溯。校准频率根据设备性能变化趋势和使用环境而定，高温高湿环境下的设备往往需要更频繁校准。校准完成后，还需进行实际运行测试，检验校准效果是否达标。

（二）数据传输与存储维护

在黑龙江省地下水资源动态监测体系中，数据传输保障与存储管理相辅相成，共同为监测数据的有效利用筑牢根基。数据传输的稳定性是监测体系发挥效能的关键，为此需综合运用多种技术手段确保数据实时、安全抵达中心服务器。通信网络的合理选择尤为重要，鉴于黑龙江省地域辽阔，部分区域信号覆盖不足，需因地制宜配置通信方案。在偏远农村、林区，卫星通信技术凭借其广域覆盖优势成为首选；而城市及周边地区，高速稳定的无线蜂窝网络（如 4G/5G）则能满足数据快速传输需求^[6]。为防范数据在传输途中被篡改或丢失，引入 AES 等数据加密算法对传输内容进行加密处理，同时设置冗余传输路径，当主通道出现故障时，备用通道自动启用，保障数据传输不间断。

数据存储管理同样不可或缺，其科学规划直接关系到数据的完整性、可用性与安全性。规划存储容量时，需充分考量监测指标种类、采样频率及预计存储年限等因素。水位、水质、水温等以时间序列记录的数据会随时间不断累积，必须预留充足空间防止数据溢出。为抵御硬件故障、意外情况导致的数据丢失风险，采用分布式存储架构，将数据同时存储于本地设备与云端服务器，实现双重保护。此外，定期对存储系统开展性能检测与优化，包括清理冗余文件、修复磁盘错误、更新存储软件等操作，提升数据检索和处理效率。

（三）监测系统安全管理

在黑龙江省地下水资源动态监测系统的稳定运行中，物理安全与网络安全防护缺一不可，共同构筑起抵御各类风险的坚固防线。由于黑龙江省地域广阔，监测站点分布广泛，部分位于偏远区域，监测设施极易面临盗窃、破坏等物理威胁，同时极端天气、特殊环境干扰也不容忽视；而随着信息技术深度应用，系统还面临黑客入侵、数据泄露等网络安全风险。为保障物理安全，在监测井周边安装防盗围栏与警示标志，威慑非法入侵行为；为关键设备配备防拆锁具和报警装置，实现异常情况及时预警^[7]。针对极端天气，通过增设防水罩、防风支架等措施加固设备，提升

抗灾能力。在靠近工业区、交通干线等特殊场景的监测点，充分考虑化学腐蚀、振动干扰等因素，采取针对性防护手段，减少外部因素对监测设备的干扰。

网络安全层面，针对常见的黑客入侵、数据泄露等威胁，构建多层次防护体系。在网络边界部署防火墙与入侵检测系统，有效过滤非法访问、识别潜在威胁；实施严格权限管理机制，限制用户对敏感数据的访问，防止信息滥用。定期更新系统补丁，采用 SSL/TLS 协议加密传输数据，抵御中间人攻击；对服务器存储数据进行脱敏处理，降低敏感信息泄漏风险。通过物理安全与网络安全防护措施协同发力，全方位保障监测系统稳定运行与数据真实可靠，为地下水资源动态监测工作筑牢安全基石。

（四）应急处理措施

在黑龙江省地下水资源动态监测体系运行中，设备故障与自然灾害的应急处理至关重要，需建立快速响应机制，监测数据异常时立即启动故障诊断，通过远程监控或现场勘查定位原因^[8]。简单故障如传感器失灵、电源中断可快速更换备用部件或重启设备；复杂故障则派遣专业技术人员维修。关键站点需配备完整备用设备并定期检查，确保紧急替换，维持监测连续性。同时记录故障成因、处理过程及改进方案，优化后续维护策略。

针对洪水、地震等灾害，选址时结合地质条件和历史灾害记录，避开低洼易涝区与断裂带，选择地势高、地基稳的位置。专项防护包括洪水区安装防水密封装置及防洪堤坝，强震区加固设备基础结构。与气象、地震部门合作搭建预警机制，提前部署应急工作，如暴雨前检查排水设施、地震预警后暂停高风险作业。通过设备故障应急与灾害应对的有机结合，形成预防、响应、总结的闭环管理，确保监测体系在复杂环境下持续高效运行，最大限度降低突发状况影响。

三、动态监测体系构建与运行维护面临的挑战及解决策略

（一）资金投入问题

构建与运行地下水资源动态监测体系需巨额资金，涉及监测站点布局、设备采购、数据传输系统建设及后期维护等。初期建设成本包括设备购置、安装调试及基建费用，后期需持续投入设备检修、数据采集传输和人员培训等。当前资金主要依赖政府财政和专项拨款，单一渠道难以满足长期需求，加之公益属性，社会资本参与不足，加剧资金压力。为破解困境，需拓宽融资渠道并提升效率：一是政策引导社会资本参与，采用 PPP 模式外包监

测任务；二是加强国际合作，争取国际组织或跨国项目资金，聚焦新兴技术应用；三是建立科学资金管理体系，细化预算并定期评估使用效果^[9]。

（二）技术人才短缺

构建与运行地下水资源动态监测体系需巨额资金，涉及监测站点布局、设备采购、数据传输系统建设及后期维护等。初期建设成本包括设备购置、安装调试及基建费用，后期需持续投入设备检修、数据采集传输和人员培训等。当前资金主要依赖政府财政和专项拨款，单一渠道难以满足长期需求，加之公益属性，社会资本参与不足，加剧资金压力。为破解困境，需拓宽融资渠道并提升效率：一是政策引导社会资本参与，采用 PPP 模式外包监测任务；二是加强国际合作，争取国际组织或跨国项目资金，聚焦新兴技术应用；三是建立科学资金管理体系，细化预算并定期评估使用效果。这些举措可缓解资金短缺，保障监测体系可持续发展。

（三）部门协调难题

地下水资源动态监测需水利、环保、地质调查等部门协同合作。由于职责划分不清和协调机制缺失，常出现职责交叉、数据重复采集或监测盲区等问题。例如，水利部门负责水位监测，环保部门侧重水质，地质部门关注资源分布，缺乏沟通易导致工作重叠或漏洞^[10]。为解决此问题，应建立高效跨部门协调机制：一是明确职责分工，划定责任边界，消除空白区域；二是搭建统一信息平台，实现数据实时共享，提升利用效率；三是成立跨部门协调小组，定期召开联席会议，共同商讨重大议题；四是通过立法固化协作规范，确保各部门依法履职。此举可优化协作效率，为动态监测体系提供制度保障，推动地下水资源保护的科学化实施。

四、结束语

黑龙江省地下水资源动态监测体系的构建与运行维护是保障地下水资源可持续利用的关键。在构建监测体系时，合理布局站点、选取合适指标并融合传统与新兴技术手段，能全面、准确获取地下水动态数据。运行维护技术的有效实施，确保了设备稳定运行、数据可靠传输存储及系统安全。针对面临的资金、人才、部门协调等挑战，采取相应解决策略，可推动监测体系持续发展，为地下水资源的科学管理与合理利用提供有力支撑，助力区域经济社会与生态环境协调发展。

参考文献

- [1] 陈雷, 冯晓琳. 国家地下水监测工程(黑龙江部分)2022年度运行维护与水质采样工作全面完成[J]. 黑龙江国土资源, 2022, (9): 9-9.
- [2] 赵楠. 水文地质调查在地下水资源评价中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版) 自然科学, 2024(4): 0081-0084.
- [3] 刘婷婷. 地下水管理现状与保护策略研究[J]. 科学与信息化, 2023, (7): 174-176.
- [4] 邱晨. 地下水资源管理与保护探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(3): 105-107.
- [5] 杨庆庆. 国家地下水监测工程(黑龙江部分)2021年运行维护与地下水水质采样工作顺利完成[J]. 黑龙江国土资源, 2021, (9): 18-18.
- [6] 无. 聚焦目标夯实基础全方位加强水资源刚性约束[J]. 河北水利, 2022, (9): 15-16.
- [7] 乌丽罕, 王铁. 三江平原地下水自动监测预警研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2021, 4(4): 136-138.
- [8] 王小亮, 戴长雷, 闻建伟, 王美玉, 王羽. 基于 K/M 检验的哈尔滨城区地下水埋深时间序列模型的构建[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(9): 85-88.
- [9] 王翠翠. 齐齐哈尔城区地下水动态监测综述[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(11): 79-82.
- [10] 刘启民. 地下水观测井水位自动化监测及优化措施研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(S01): 204-206.