地下水动态监测在矿井防治水中的应用

尹　敏

晋能控股煤业集团有限公司四台矿　山西　大同　037000

摘　要： 地下水动态监测通过布设监测网络、选取关键指标、构建运行系统，实现对矿井及周边地下水变化的长期连续监测。其核心作用在于捕捉地下水异常信号，为水害隐患预判、充水水源识别、防治措施优化、水害预警预报及治理效果评估提供科学支撑，有效防范矿井水害风险，规范防治水工作流程，保障矿井安全生产，构建闭环防控体系。

关键词： 地下水动态监测；矿井防治水；充水规律；水害预警；监测系统

引言： 矿井水害是威胁矿山安全生产的主要隐患之一，其发生与地下水动态变化密切相关，精准掌握地下水变化规律是防治水工作的关键。当前矿井防治水工作中，需破解隐患隐蔽、水源难识别、预警不及时等问题。基于此，地下水动态监测作为核心技术手段，通过系统观测与科学分析，可精准捕捉地下水变化特征，为后续防治水各项工作提供支撑，下文将详细阐述其内涵、系统构建及具体应用。

1 地下水动态监测的核心内涵与监测指标

地下水动态监测是通过布设专业监测网络，利用各类技术设备，对矿井及周边地下水的水位、水量、水质、水温等指标开展长期、连续、系统的观测、记录与分析，以此掌握地下水动态变化规律、补给径流特征及与矿井开采活动的相互影响。其核心在于精准捕捉地下水动态波动，识别异常信号，为矿井防治水提供数据与科学依据。监测指标选取需贴合防治水实际需求，覆盖关键维度：水位为核心基础指标，反映地下水富集程度与压力变化，异常升降预示充水水源或导水通道变化；水量指标体现补给与排泄能力，精准判定充水规模；水质指标可区分地下水类型，识别含水层水力联系，助力充水水源判断；水温指标辅助判断补给来源，区分浅层与深层岩溶水，提升水害隐患识别精准度。各类指标协同监测，构建完整体系，为矿井防治水提供全面、精准的技术支撑[1]。

2 矿井地下水动态监测系统的构建与运行

2.1 监测网络布设

监测网络的合理布设是保障监测效果的基础，需全面覆盖矿井充水水源、导水通道、可能发生水害的危险区域及周边影响范围，结合地下水补给、径流、排泄规律科学布设监测点。布设前需全面收集矿区水文地质图、井上下对照图、矿井充水性图及以往气象、水文资料，明确含水层分布、断层破碎带位置、岩溶发育区等关键区域。遵循“重点突出、全面覆盖”原则，在主要含水层、涌水点、地表水体周边、断层破碎带等关键区域加密监测点，在补给区、径流区、排泄区合理布设监测线，沿地下水流向布置观测线，排泄点周边布设至少两条互相垂直的观测线。同时充分利用现有观测点，新增点位弥补不足，覆盖水文地质条件发生重大变化的范围和规划接续的采掘区域，形成“点、线、面”相结合的全方位监测网络。

2.2 监测设备选型

监测设备选型需紧密结合监测指标、矿区复杂环境及监测精度要求，优先选用稳定性强、精度高、抗干扰能力强、适配矿井环境的专业化设备，确保监测数据的准确性与连续性。水位监测主要选用智能水位仪、压力传感器，智能水位仪可实现自动监测与数据记录，配合水敏传感器避免水位波动导致的伪数据；压力传感器通过测量静水压力反演水位深度，结合温度补偿算法提升数据可靠性。水量监测选用电磁流量计、超声波流量计，适配不同管径、流量范围，实现实时监测与数据传输。水质监测选用水质在线监测仪，重点监测 pH 值、矿化度、离子含量等指标，实现实时监测与异常预警。水温监测选用高精度温度传感器，辅助判断地下水补给来源。同时选用具备自动采集、存储、传输功能的设备，减少人工干预，部分长期观测点需安装联网监测系统，实现观测指标与矿井涌水量同步观测。

2.3 数据传输与处理

数据传输与处理是监测系统运行的核心环节，核心

目标是实现监测数据的快速传输、精准处理与有效应用。采用有线与无线相结合的传输方式，井下监测点优先选用有线传输，避免无线信号受井下复杂环境干扰；地面监测点采用无线传输，提升传输灵活性与便捷性，构建“监测点-数据采集终端-监控中心”三级传输体系，确保数据实时、准确传至监控中心。数据处理遵循“去伪存真、精准分析”原则，对原始数据进行筛选、整理与校正，剔除异常、干扰数据，通过专业软件统计分析，提取地下水动态变化特征、趋势及异常信号，将原始数据转化为实用信息，为水害预警与防治措施制定提供支撑，同时及时整理观测成果录入水文地质信息管理系统，疑点或异常及时复测纠正[2]。

2.4 系统运行维护

监测系统的稳定运行离不开完善的运行维护机制，需建立专业化维护团队，制定常态化维护方案，定期对监测设备、传输线路、数据处理系统进行检查、维护与校准。定期清洁、检修监测设备，更换老化、损坏部件，确保设备正常运行、监测精度达标，观测所用仪器仪表需定期计量检定；定期排查传输线路，及时处理破损、接触不良等问题，保障数据传输畅通；定期升级维护数据处理系统，优化算法提升处理效率。建立监测数据台账，对数据进行长期存储与管理，规范填写、整理原始记录并长期保存。加强监测人员专业培训，提升其操作水平与应急处置能力，同时采取有效保护措施，防范外界因素干扰，确保系统稳定高效运行，充分发挥其在矿井防治水中的支撑作用。

3 地下水动态监测在矿井防治水中的具体应用

3.1 水害隐患预判

水害隐患预判是矿井防治水工作的前提，其核心是通过分析地下水动态变化特征，识别水害隐患的隐蔽性、潜在性，提前预判水害发生的可能性与危害程度。地下水动态监测通过长期、连续的观测，捕捉地下水水位、水量、水质、水温的变化规律，结合矿区水文地质条件，分析各类指标的异常波动与水害隐患的关联关系。当监测数据出现异常，如地下水水位突然升降、水量急剧增加、水质发生明显变化、水温出现异常波动时，往往预示着存在水害隐患，可能是导水通道导通、充水水源补给增强或含水层之间发生水力联系等导致。通过对异常数据的深入分析，可精准判断水害隐患的位置、类型及潜在危害，如断层破碎带导通引发的突水隐患、岩溶发育区的涌水隐患等，提前预判水害发生的可能性，为矿井水害隐患排查与治理提供精准导向。同时，通过对地下水动态变化趋势的分析，可预判水害隐患的发展变化规律，提前采取防控措施，防范水害隐患进一步发展扩大，从源头降低水害发生的概率，为矿井安全生产筑牢第一道防线[3]。

3.2 充水水源识别

充水水源识别是矿井防治水工作的核心环节，只有精准识别充水水源的类型、来源及补给强度，才能制定针对性的防控措施，有效防范水害风险。地下水动态监测通过对地下水水质、水温、水位等指标的系统监测，结合不同类型含水层的水文地质特征，实现对充水水源的精准识别。不同类型的地下水，其水质、水温、水位变化特征存在明显差异，如浅层孔隙水水质较好、矿化度较低、水温受地表环境影响较大，深层岩溶水水质较差、矿化度较高、水温相对稳定且高于浅层地下水，老空水则具有特定的水质指标，可通过水质分析进行区分。通过监测地下水的水质指标，可判断地下水的类型，进而识别充水水源的来源；通过监测水温变化，可辅助判断充水水源是浅层地下水还是深层岩溶水；通过监测水位变化，可分析充水水源的补给强度与径流特征。同时，结合监测数据的变化规律，可分析不同含水层之间的水力联系，判断充水水源是否存在多源补给情况，精准掌握充水水源的分布范围与补给规律，为针对性制定防治措施提供科学依据，避免因充水水源识别不准确导致防治措施失效，引发水害事故。

3.3 防治措施优化

地下水动态监测为矿井防治措施的优化提供了精准的数据支撑，通过分析监测数据，可评估现有防治措施的实施效果，发现防治工作中的不足，进而优化防治方案，提升防治效果。在矿井防治水工作中，常用的防治措施包括疏水降压、注浆堵水、帷幕截水等，各类措施的实施效果均与地下水动态变化密切相关。通过地下水动态监测，可实时掌握防治措施实施过程中地下水水位、水量、水质等指标的变化情况，评估防治措施的有效性，如疏水降压措施实施后，监测地下水水位是否达到预期降压目标，水量是否趋于稳定，进而判断疏水系统的合理性；注浆堵水措施实施后，监测地下水水位是否回升、水量是否减少，判断注浆堵水的效果，识别未堵死的导水通道。同时，通过对监测数据的深入分析，可优化防治措施的参数的布设方案，如优化疏水钻孔的布设位置、数量及深度，确保疏水降压效果；优化注浆材料的配比与注浆压力，提升注浆堵水的质量；优化帷幕截水的范围与深度，增强帷幕的截水效果。此外，结合地下水动态变化规律，可根据矿井开采进度与水文地质条件的变化，及时调整防治措施，确保防治措施始

终贴合实际需求，提升矿井防治水工作的针对性与有效性，降低防治成本，提高防治效率[4]。

3.4 水害预警预报

水害预警预报是矿井防治水工作的关键环节，其核心是通过捕捉地下水动态异常信号，提前发出预警信息，为应急处置争取时间，避免水害事故发生或减少事故损失。地下水动态监测系统通过实时采集地下水水位、水量、水质、水温等指标数据，结合预设的预警阈值，对监测数据进行实时分析，当监测指标超过预警阈值或出现异常波动时，系统自动发出预警信号，提醒相关人员及时采取应急处置措施。预警阈值的设定需结合矿区水文地质条件、水害隐患分布特点及以往监测数据，根据不同区域、不同类型水害隐患的风险等级，设定不同的预警阈值，确保预警的准确性与针对性。同时，通过对监测数据的趋势分析，可实现水害的提前预报，预测地下水动态变化的趋势，预判水害发生的时间、位置及危害程度，为应急处置方案的制定提供科学依据。水害预警预报系统可实现预警信息的快速传递，通过声光报警、短信通知等方式，将预警信息传递至相关管理人员与现场作业人员，确保相关人员及时掌握预警信息，采取停产撤人、加强监测、启动应急处置预案等措施，有效防范水害事故的发生，最大限度减少人员伤亡与财产损失。此外，监测系统可摒弃简单阈值报警逻辑，引入时序数据分析模型，对连续采集的数据进行平滑去噪、趋势提取与突变点识别，提升预警响应速度与准确性。

3.5 治理效果评估

治理效果评估是矿井防治水工作的重要环节，其核心是通过监测地下水动态变化，评估水害治理工作的效果，判断治理工作是否达到预期目标，为后续防治工作提供参考。地下水动态监测通过对治理前后地下水水位、水量、水质、水温等指标的对比分析，评估治理措施的实施效果，如对突水隐患治理后，监测地下水水位是否恢复稳定、水量是否降至安全范围、水质是否恢复正常，判断治理工作是否有效；对疏水降压、注浆堵水等措施实施后，监测相关指标的变化情况，评估措施的治理效果。同时，通过长期监测，跟踪地下水动态变化趋势，判断水害隐患是否彻底消除，是否存在反弹风险，如治理后地下水水位是否出现异常升降、水量是否出现异常波动，若出现异常，及时分析原因，采取补充治理措施，确保水害隐患彻底消除。此外，通过治理效果评估，可总结治理工作中的经验与不足，优化后续防治水工作方案，提升防治水工作水平，形成“监测-治理-评估-优化”的闭环管理模式，持续提升矿井水害防控能力。同时，监测数据可作为后续矿区水文地质研究、防治水技术优化的基础资料，为矿井长期安全生产提供支撑，也为同类矿区防治水工作提供参考借鉴[5]。

结束语：地下水动态监测在矿井防治水中发挥着不可替代的支撑作用，从监测系统的科学构建，到在水害隐患预判、水源识别、措施优化等方面的具体应用，形成了完整的技术应用体系。其不仅能精准捕捉地下水异常、防范水害风险，还能通过治理效果评估优化防控方案，构建闭环管理模式。强化地下水动态监测的应用，可持续提升矿井水害防控能力，为矿山长期安全生产提供坚实保障。

参考文献

[1] 王成. 矿井水文地质条件综合探测及防治水技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济,2025(14):181-183.

[2] 魏永东, 魏永龙. 矿井水文动态监测系统在泉兴公司防治水中的应用 [J]. 山东煤炭科技,2021,39(8):214-215.

[3] 孔德玺. 地下水动态监测系统对煤矿防治水建设的分析与实践思考 [J]. 内蒙古煤炭经济,2023(11):130-132.

[4] 孟迁. 地下水动态监测系统对煤矿防治水建设研究 [J]. 中国科技纵横,2024(14):108-110.

[5] 赵森. 冲击地压矿井微震监测技术在防治水中的应用研究 [J]. 煤炭与化工,2022,45(1):42-46.