

煤矿防治水工程中的水害预测与防治策略

王建平

河南大有能源股份有限公司新安煤矿, 中国·河南 洛阳 471800

摘要: 煤矿水害防治工程是保障矿井安全生产的重要措施。通过地质水文分析、电磁探测技术、数值模拟与风险评估等方法, 能够精准预测水害发生的区域和深度, 并采取有效的工程防治措施。地下水隔离墙、注浆封堵、排水系统建设等技术手段, 能够有效防止地下水流入采掘面, 减少水害事故发生的概率。在复杂地质条件下, 结合高精度的监测和预警系统, 提高了水害防控的科技水平。尽管防治措施投入较大, 但通过有效预防水害, 可以显著降低突水事故带来的经济损失。

关键词: 煤矿水害; 防治技术; 电磁探测

Water Hazard Prediction and Prevention Strategies in Coal Mine Water Control Engineering

Jianping Wang

Xin'an Coal Mine, Henan Dayou Energy Co., Ltd., Luoyang, Henan, 471800, China

Abstract: The prevention and control project of water hazards in coal mines is an important measure to ensure the safe production of mines. Through methods such as geological and hydrological analysis, electromagnetic detection technology, numerical simulation and risk assessment, the areas and depths where water hazards occur can be accurately predicted, and effective engineering prevention and control measures can be taken. Technical measures such as groundwater isolation walls, grouting sealing, and drainage system construction can effectively prevent groundwater from flowing into the mining face and reduce the probability of water damage accidents. Under complex geological conditions, combined with high-precision monitoring and early warning systems, the technological level of water hazard prevention and control has been improved. Although the investment in prevention and control measures is large, the economic losses caused by water inrush accidents can be significantly reduced through effective prevention of water hazards.

Keywords: coal mine water hazard; prevention and control techniques; electromagnetic detection

0 前言

煤矿水害问题是影响矿井安全生产的重大隐患之一, 尤其在复杂地质条件下, 水害的预测与防治变得尤为重要。煤矿水害的发生不仅威胁到矿工的生命安全, 还可能对矿井的生产环境和设施造成严重破坏。深入研究水害的预测技术及防治策略, 对于保障煤矿安全生产具有重要的现实意义。论文旨在分析煤矿防治水工程中的水害预测技术, 并提出有效的防治策略, 以期提高煤矿水害防控的科技水平和实际应用效果。

1 水害预测的关键技术

1.1 地质水文分析技术

地质水文分析技术是煤矿水害预测的基础, 主要通过对比矿区的地质、水文地质及水文条件进行系统研究, 识别地下水的分布及其与煤层的水力联系。通过详细的地质调查和水文资料收集, 结合水文地质模型, 能够准确预测水害发生的区域和深度。常用的技术包括钻探取样、地质剖面分析以及水文流量测定等。

在复杂地质条件下, 传统的水文地质分析方法往往无

法精确预测水害的发生, 因此需要结合先进的地球物理勘探技术, 如电磁探测法和瞬变电磁法, 以补充传统分析的不足。这些技术通过对地下水的电磁特征进行探测, 提供了更为精确的水害预测数据。使用电磁法在新安煤矿的勘探中, 结合区域构造和水文地质条件, 能够有效地圈定地下水分布的异常区域, 为水害预测提供强有力的支持。数值模拟技术也在水害预测中扮演着重要角色^[1]。通过建立矿区地下水文地质模型, 结合现场监测数据, 进行水害风险的定量分析, 为水害防治措施的制定提供科学依据。

1.2 电磁探测技术

电磁探测技术是煤矿水害预测中的重要手段, 广泛应用于地下水体及水文地质异常的快速识别。该技术主要通过地空电磁法(AEM)和瞬变电磁法(TEM)等方式, 通过测量地下物质的电磁响应特性, 推断地下水的分布、流动方向及含水层的厚度。

在煤矿水害预测中, 地空电磁法能有效识别地下水体的电阻率差异, 利用电性异常圈定可能存在水害的区域。在新安煤矿的研究中, 通过电磁法探测, 完成了 17 条测线, 2242 个测点的电阻率数据采集, 准确揭示了地下水流动路

径及含水层分布情况。该方法在复杂地质条件下,能够提供较为精确的地下水分布位置,为水害的早期预警提供有力支持。

瞬变电磁法是通过检测地下物质在电磁波作用下的响应,尤其适用于快速探测含水层的深度、厚度及渗透性。通过对地下不同层位的电性特征进行分析,结合历史数据和现场监测结果,电磁探测技术能够为煤矿水害的预测提供高精度、实时性的监测数据,并为矿井安全管理提供技术保障。

1.3 数值模拟与风险评估

数值模拟技术在煤矿水害预测中起着至关重要的作用,通过建立精确的水文地质模型,能够实现对煤矿区域水文环境的动态预测。数值模拟方法通常包括地下水流动模型、溶质迁移模型以及水文地质响应模拟等,广泛应用于煤矿水害的风险评估和防治策略制定。其主要目的是通过模拟不同条件下的地下水分布情况,预测水害发生的可能性和影响程度,从而为防治措施提供科学依据。

在煤矿水害的数值模拟中,常用的计算模型包括 MODFLOW、FEFLOW 等软件工具,这些模型能够模拟地下水流动、渗透特性以及水力响应等。通过这些软件对矿区进行数值建模,结合现场水文地质数据,如地下水位、渗透系数、岩性特征等,进行模拟计算^[2]。通过 MODFLOW 模型对新安煤矿矿区的地下水流动进行模拟,可以有效评估不同开采深度对地下水流动的影响,进一步分析采矿活动可能引发的水害风险。

数值模拟与风险评估相结合,能够实现对煤矿水害发生的定量分析。在风险评估过程中,模型不仅预测了水害发生的区域,还能够估算水灾发生的概率、可能涌水量和水灾的经济损失。通过对某矿区的水流动进行数值模拟,结合采掘过程中可能出现的水力扰动,评估了水灾发生的概率,并通过概率分析得出在不同工作面和深度的涌水量可能达到的最大值,进而为水害应急处理提供了明确的指导。数值模拟还与现场实时监测数据相结合,形成动态更新的水害预测系统。通过对实时地下水位变化的监测数据输入模型,可以实时调整风险评估结果,从而为矿井提供更为准确的预警信息。这种基于数值模拟的动态风险评估体系,有助于提前识别潜在水害,制定针对性的防治方案,最大限度地减少水害对煤矿生产安全的影响。

2 煤矿水害的防治措施

2.1 工程防治措施

煤矿水害的防治措施包括源头控制、工程防治和应急处置等多方面内容。在工程防治措施中,主要依赖于采取一系列结构性和工程性措施来阻止水害的发生和蔓延。这些措施包括地下水隔离、防水封堵、排水系统建设以及透水性控制等。地下水隔离是防治水害的基础性措施之一,常通过施工隔水墙、注浆封堵等方法实现。地下水隔离墙通常采用钢板桩、混凝土或其他防水材料构建,以有效阻隔水流与煤矿

工作面的直接接触。注浆封堵技术通过在矿井周围注入水泥浆、化学浆液等材料来封堵渗水通道,防止水体向采掘面渗透。新安煤矿在水害防治工程中,通过在矿井底板和采掘工作面之间建立地下水隔离层,降低了水源的渗入风险,确保了生产安全。

排水系统建设是水害防治的关键环节。煤矿的排水系统包括主排水道、井下排水管道及采掘面临时排水设施,旨在将渗入矿井的地下水及时排出,避免积水对矿井的危害。矿井排水系统通常采用泵站排水、重力流排水等方式。通过合理设计和优化排水管网系统,能够有效降低水害发生的概率。新安煤矿通过对排水管道系统的改造,提升了整体排水效率,确保了矿井在不同开采阶段的水流控制能力。

透水性控制也是煤矿水害防治中的重要措施。通过对煤层顶板和底板的透水性进行严格监测和控制,减少水源渗透。对于高透水性区域,通常采用封闭性较强的材料进行加固处理,阻止水流进入作业面^[3]。煤矿在开采过程中,特别是在复杂地质条件下,针对存在高渗透性的砂岩和煤层底板,采取了双重防护措施,如加密监测、调整开采方案等,确保矿井的防水能力。总之,工程防治措施通过多层次、全方位的技术手段,能够有效地遏制煤矿水害的发生和蔓延,保障矿井的生产安全。

2.2 监测与预警系统

监测与预警系统是煤矿水害防治的重要组成部分,旨在通过实时监测矿井内外的人文地质参数,及时发现潜在的水害风险,并根据数据变化及时发出预警信号,从而为水害防治措施提供决策支持。该系统通常包括地下水位监测、渗流压力监测、排水量监测等多个环节。地下水位监测是最基础也是最重要的监测手段之一。通过在矿井不同深度设置地下水位监测井,实时采集水位数据,能够准确反映地下水位的变化趋势。通过在新安煤矿采掘区及周边区域设置了多个水位监测点,能够及时识别地下水的升降变化,从而有效预测可能的水害风险。

渗流压力监测通过布设渗流压力传感器,实时测量矿井周围岩层的渗流压力变化。渗流压力的异常波动通常是水害发生的前兆,能够提供关于地下水流动状态的关键信息。通过该技术,矿井能够在水流异常的情况下,提前采取隔水墙加固、排水系统调度等防护措施。排水量监测系统能够精确测量矿井排水系统的排水能力,确保水害发生时,排水系统能够迅速排除积水。通过综合分析这些监测数据,结合历史数据进行趋势预测,矿井可以实现对水害风险的动态监控与早期预警,极大提高了防治效果和矿井安全性。综合使用这些监测手段并结合自动报警系统,可以在水害发生前发出预警,及时启动应急预案,最大限度地减少水害对矿井的影响。

2.3 水文地质调控

水文地质调控是煤矿水害防治中至关重要的技术手段,旨在通过科学合理的措施调节矿区的水文地质条件,控制地

下水流动及渗透特性，从源头上防止水害的发生。水文地质调控技术通常包括地下水流动调节、地层加固及水源封闭等方法。地下水流动调节是水文地质调控的核心。通过对地下水流向、流速和水位进行精准监测，结合水文地质模型进行流动分析，及时识别出潜在的渗水通道和水流路径。通过地空电磁法（AEM）和瞬变电磁法（TEM）等技术手段，实时监控地下水的流动情况，为调控措施提供科学依据。在新安煤矿，利用该技术成功发现了多个水源渗透通道，从而有效调整了采掘方案和水流控制策略，降低了水害风险。

地层加固技术通过在地下水充水层或渗水带进行加固处理，降低其渗透性，有效阻止水源的进入。常用的加固技术包括注浆加固、化学封堵和地下水隔离等。通过在矿井周边注入水泥浆和化学浆液，能够显著增强地层的抗渗性，防止地下水通过裂隙进入工作面。水源封闭技术主要是通过对高水压区域或高渗透性地层进行封闭处理，切断地下水与煤层之间的水力联系^[4]。此项技术通常结合地下水压调节和隔水层建设进行应用。在新安矿区的实际应用中，封闭措施大

幅度降低了水害的发生概率，有效保障了矿井的安全生产。

3 煤矿水害防治的实际应用问题

3.1 复杂地质条件的影响

复杂地质条件对煤矿水害防治工作带来显著挑战，尤其是在地下水流动和渗透性控制方面。煤矿所在区域的地质构造复杂、地层不均、断裂发育等因素，可能导致地下水异常流动，从而增加水害发生的风险。

矿区内的断层、褶皱、岩溶等地质构造常常成为地下水的渗流通道，水流通过这些裂隙和断层带进入采掘面，增加了水害的发生概率。在复杂地质条件下，传统的水文地质分析方法难以准确评估地下水的流动路径及水压变化，必须依赖高精度的探测技术如地空电磁法和核磁共振技术。

复杂地质条件还可能导致水文地质模型的局部失效，影响水害的预测精度。煤矿水害防治需要根据地质特征采取更加精细化的防治措施，如针对不同区域定制化的地下水隔离和加固措施，确保防治效果（见图1）。

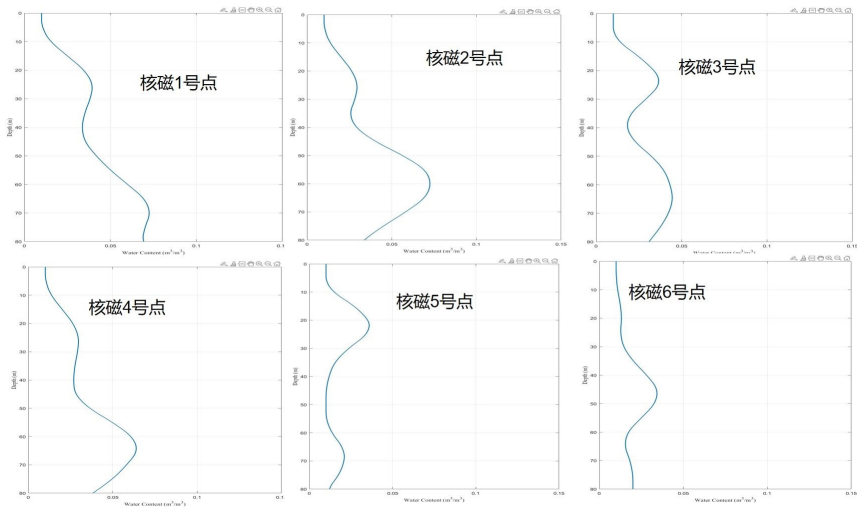


图 1 核磁共振地下水探测法点位反演图

3.2 防治技术的实际效果

防治技术的实际效果直接影响煤矿水害防治工作的成功与否。在煤矿水害防治中，采用的各类技术措施，如地下水隔离、注浆封堵、排水系统建设等，都取得了显著的实际效果。通过地下水隔离墙和注浆封堵等技术，成功减少了水流向采掘面的渗透，防止了地下水的异常涌入。以新安煤矿为例，采用了地空电磁法和瞬变电磁法探测技术，精准识别了潜在水害区域，并对高渗透性地层进行了封堵处理，从而大幅降低了水害发生的风险。

排水系统的建设和优化提高了矿井排水能力，有效减缓了水灾的蔓延。通过实时监测系统，矿井能够及时发现水害隐患，并启动应急预案，减少了突水事件的损失。综合来看，防治技术的应用提高了煤矿安全性和生产效率，减少了因水害引发的事故和经济损失（见图2）。

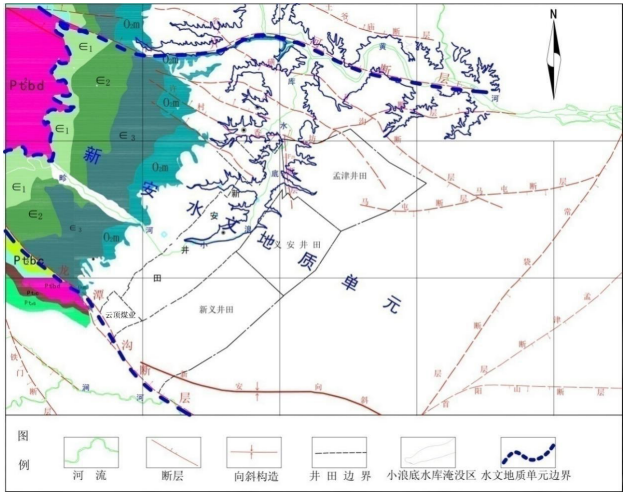


图 2 新安水文地质单元示意图

3.3 防治成本与经济效益分析

煤矿水害防治的成本主要包括技术设备投资、施工费用、监测系统建设及维护等方面。这些投入虽然短期内较大，但通过有效的防治措施，能够显著减少水害事故的发生，降低突水事故对矿井生产的影响，从而避免矿井停产、设备损毁和人员伤亡带来的巨大经济损失。以新安煤矿为例，通过建立高效的排水系统和水源隔离措施，不仅保障了矿井的持续生产，还有效延长了设备使用寿命，提高了矿井的整体经济效益^[5]。长远来看，水害防治的成本投入远低于水灾事故可能带来的直接和间接经济损失。

4 结语

煤矿水害防治是保障矿井安全生产的关键环节。通过采用地质水文分析、电磁探测技术、数值模拟及风险评估等先进手段，能够有效预测水害风险并采取相应的防治措施。

工程防治措施如地下水隔离、注浆封堵和排水系统建设，在复杂地质条件下同样能取得良好的效果。虽然防治成本较高，但从长期来看，合理的投入可显著降低水害引发的事故和经济损失，提升矿井的安全性和生产效益。

参考文献：

[1] 李德安.中国煤矿水害及防治对策探讨[J].煤田地质与勘探, 1997,25(A1):4.

[2] 曾一凡,于超,武强,等.煤矿防治水“三区”划分方法及其水害防治意义[J].煤炭学报,2024,49(8):3605-3618.

[3] 王强.矿井地测防治水预测预报技术分析及精准性提升对策研究[J].西部探矿工程,2024,36(4):81-83.

[4] 陈悦亨.帷幕截流疏干技术在煤矿水害防治中的应用[J].中国新技术新产品,2021(000-001).

[5] 胥澈.煤矿防治水技术措施研究[J].安防科技,2020(35):51.