

松散含水层下采煤水害防控关键技术

常 健

国家能源集团准东煤电公司 新疆 昌吉 831100

摘 要: 本文聚焦松散含水层下采煤水害防控关键技术。先研究松散含水层水文地质特征, 涵盖分布、参数及水力联系; 接着分析水害形成机理, 包括岩层破坏规律、导水裂隙带特征、力学机制与诱发因素; 然后阐述防控关键技术, 如水害预测预报、防水隔离、疏水降压及应急救援技术。通过多技术综合运用, 可提前预警水害、有效隔离水源、降低水压, 并在事故发生时迅速救援与修复, 为松散含水层下采煤水害防控提供全面且科学的理论依据与实践指导。

关键词: 松散含水层; 采煤水害; 防控技术

引言: 煤炭作为我国重要的能源支柱, 其安全高效开采对国家能源安全与经济发展意义重大。然而, 在松散含水层下采煤时, 因水文地质条件复杂, 水害问题频发, 严重威胁采煤安全与生产效率, 还可能造成水资源浪费与生态破坏。深入探究松散含水层下采煤水害防控关键技术, 成为保障煤炭行业可持续发展的迫切需求。本文聚焦于此展开系统研究, 以期提供科学有效的防控思路与方法。

1 松散含水层水文地质特征研究

1.1 松散含水层的分布与结构特征

松散含水层主要分布于沉积盆地、河谷平原及冲洪积扇等区域, 其空间分布受古地理环境和构造运动共同控制。在垂直方向上, 松散含水层呈现明显的分层结构, 自上而下通常可划分为潜水含水层和承压含水层, 潜水含水层直接接受大气降水和地表水体补给, 与地表联系紧密; 承压含水层则被稳定隔水层包裹, 水头压力随埋藏深度增加而升高。含水层岩性以砂层、砂砾石层为主, 颗粒分选性和磨圆度受沉积环境影响较大, 河流相沉积的含水层颗粒较粗, 孔隙发育良好, 而湖相沉积的含水层颗粒较细, 含泥量较高, 孔隙连通性较差^[1]。含水层厚度分布不均, 在冲洪积扇轴部厚度可达数十米, 向边缘逐渐变薄至数米。松散含水层内部常发育透镜状隔水层, 将含水层分割为多个独立或半独立的水文地质单元, 影响地下水的运移路径。

1.2 含水层的水文地质参数测定

含水层的水文地质参数包括渗透系数、导水系数、储水系数、给水度等, 这些参数是水文地质计算和工程设计的核心依据。渗透系数测定常用抽水试验法, 通过在钻孔中进行稳定流或非稳定流抽水, 观测不同时刻的涌水量和水位降深数据, 采用泰斯公式或裘布依公式计算得出。对于颗粒较细的含水层, 可采用室内渗透试验辅

助验证, 通过采集原状土样, 在渗透仪中模拟实际水力条件测定渗透系数。导水系数通过渗透系数与含水层有效厚度的乘积计算获得, 直接反映含水层的导水能力。储水系数和给水度采用水位恢复试验测定, 通过分析抽水停止后水位恢复过程, 结合相关公式计算参数值。在测定过程中, 需严格控制试验条件, 确保观测数据的准确性, 同时考虑岩性非均质性对参数的影响, 通过多组试验数据对比分析, 确定不同区域的参数分布特征, 为后续研究提供可靠的参数支撑。

1.3 含水层与其他地质体的水力联系

松散含水层与其他地质体的水力联系, 直接影响地下水系统的补给、径流、排泄条件, 主要体现在与下伏基岩含水层、地表水体及隔水层的相互作用上。它与下伏基岩含水层主要通过基岩风化带联系, 若风化带厚且裂隙发育好, 地下水可顺其渗入基岩含水层, 形成统一地下水系统; 若基岩顶面有完整、隔水性好的隔水层, 两者水力联系微弱, 各自成独立含水单元。与地表水体联系互补: 丰水期, 地表水体水位高于含水层, 水体向含水层渗透补给地下水; 枯水期, 含水层水位高于地表水体, 地下水补给地表水体, 维持其生态平衡。与隔水层联系取决于隔水性强弱: 隔水层有裂隙或天窗等薄弱环节, 不同含水层会发生越流补给; 完整隔水层则能有效阻隔水力联系。为准确判断其水力联系强度和方向, 可采用水化学分析、水位动态观测、示踪试验等方法, 为地下水资源管理和合理利用提供可靠依据。

2 松散含水层下采煤水害形成机理分析

2.1 采煤对上覆岩层的破坏规律

在采煤作业进程中, 伴随工作面持续向前推进, 采空区上方的岩层失去了原本的支撑体系。在自身重力的作用以及上覆岩层所施加的巨大压力共同影响下, 这些岩层开始出现变形和破坏现象, 且其破坏规律呈现出极

为显著的分带特征。自下而上依次会形成冒落带、裂隙带和弯曲下沉带,这便是典型的“三带”特征。冒落带处于采空区的正上方位置,此处的岩层会发生整体性的垮落,垮落下来的岩块大小参差不齐,其孔隙率和渗透性大幅攀升,进而形成导水通道^[2]。裂隙带位于冒落带的上方,该区域的岩层虽未出现整体垮落,但会产生大量竖向和横向的裂隙,这些裂隙相互连通交织,形成复杂的裂隙网络,具备导水能力。弯曲下沉带在裂隙带的上方,这里的岩层仅仅发生弯曲变形,并未产生贯通性的裂隙,依然保持着较好的隔水性。岩层破坏的高度与采高、煤层倾角、岩层力学性质以及埋深等因素紧密相关,采高越大、岩层强度越低,破坏高度也就越大。通过相似材料模拟试验和现场钻孔观测能够发现,当采空区面积达到一定规模之后,岩层破坏会逐渐趋于稳定,形成稳定的“三带”结构,这一规律是预测导水裂隙带发育高度的关键依据。

2.2 导水裂隙带的发育特征

导水裂隙带作为松散含水层下采煤时水害发生的关键通道,其发育特征涵盖多个方面,主要包括发育高度、范围、裂隙密度以及连通性等。发育高度受到采高、岩层组合以及开采方法等多种因素的综合影响。在中厚煤层开采过程中,导水裂隙带高度通常为采高的10~20倍;而在厚煤层开采时,其高度可达采高的25~30倍。裂隙带在平面上呈现出椭圆形分布态势,在工作面推进方向上的发育范围要大于倾向方向,在边界处裂隙密度会逐渐降低。裂隙发育具有鲜明的方向性,竖向裂隙主要分布在采空区边缘,横向裂隙则在采空区中部相对较为发育,二者相互交织,形成立体的导水网络。裂隙的连通性与岩层的岩性密切相关,像砂岩等刚性岩层容易产生贯通性的裂隙,而泥岩等塑性岩层的裂隙则容易闭合,连通性较差。在松散含水层下进行开采时,如果导水裂隙带发育至含水层底部,就会直接沟通含水层与采空区,为地下水的突入提供通道。通过钻孔窥视和物探技术观测发现,导水裂隙带发育存在滞后性,在工作面推进后的一段时间内才会达到最大高度。

2.3 水害形成的力学机制

松散含水层下采煤水害形成的力学机制,本质上是岩层应力变化与水压力共同作用所导致的结果。在采煤作业开展之前,岩层处于一种应力平衡的状态。然而,随着工作面的不断推进,采空区上方的岩层应力会重新进行分布,进而形成应力降低区、应力集中区和原始应力区。在应力集中区,岩层所承受的压力超过了其自身的抗压强度,从而产生裂隙,并且这些裂隙会不断扩展延

伸;在应力降低区,岩层会发生冒落现象,形成大量的孔隙。当导水裂隙带发育至松散含水层时,含水层中的地下水在水头压力的作用下,会迅速涌入裂隙和采空区。与此同时,地下水的渗入会降低岩层的内摩擦角和黏聚力,进一步加剧岩层的破坏程度,形成“应力破坏-导水-水致破坏”的恶性循环。当涌入采空区的水量超过了排水能力时,就会引发水害事故。其破坏程度与水头压力的大小、岩层力学性质的好坏以及裂隙发育程度的高低都有着直接的关系。

2.4 水害形成的诱发因素分析

松散含水层下采煤水害的形成受多种诱发因素影响,主要包括地质因素、开采因素和水文因素。地质因素中,含水层富水性是关键,富水性强的含水层能提供充足的水源,增加水害发生风险;断层、裂隙等地质构造会加强含水层与采空区的水力联系,成为地下水突入的快捷通道。开采因素方面,开采速度过快会导致岩层应力来不及释放,加剧岩层破坏,使导水裂隙带发育高度增加;采高过大则会直接提高冒落带和裂隙带的发育高度,增加沟通含水层的概率;开采顺序不合理会导致应力叠加,引发岩层大规模破坏^[3]。水文因素中,大气降水和地表水体补给会提高含水层水位和水头压力,增加地下水突入的动力;含水层与地表水体的连通性强时,地表水体可通过含水层持续补给采空区,扩大水害规模。前期地质勘察不充分,未准确掌握含水层分布和构造特征,也会导致水害防控措施不到位,诱发水害事故。

3 松散含水层下采煤水害防控关键技术

3.1 水害预测预报技术

水害预测预报技术作为防控水害的先决条件,涵盖地质勘察、物探探测和动态监测三大核心类别。地质勘察借助钻探、坑探等传统手段,深入探究松散含水层的分布范围、厚度、岩性以及富水性等关键信息,同时精准查清断层、裂隙等构造的具体位置与导水性,为后续预测预报工作筑牢基础地质资料根基。物探技术运用地震勘探、电法勘探和瞬变电磁法等先进手段,对采场上方岩层破坏情况和含水层分布展开无损探测。其中,瞬变电磁法凭借其独特优势,能有效识别导水裂隙带的发育高度与范围;电法勘探则可清晰区分富水区和贫水区。动态监测技术通过在含水层和采空区合理设置水位观测孔、压力传感器和流量监测装置,实时且精准地监测含水层水位变化、采空区涌水量以及岩层位移情况。结合丰富的地质资料和实时监测数据,采用数值模拟方法构建地下水运移模型,进而预测不同开采条件下的水害风险等级和具体发生位置。通过“勘察-探测-监测-模拟”

的一体化预测预报体系,能够提前实现水害的早期预警,为科学制定防控措施提供坚实可靠的依据。

3.2 防水隔离技术

防水隔离技术旨在通过构建人工隔离屏障,有效阻止松散含水层地下水进入采空区,主要包含注浆加固技术和防水煤柱留设技术。注浆加固技术是在导水裂隙带发育至含水层之前,向岩层裂隙中注入水泥浆、化学浆液等材料,待浆液凝固后形成完整且致密的隔水层,从而阻断导水通道。依据注浆目的的差异,可分为采前预注浆、采中注浆和采后注浆。采前预注浆主要针对煤层顶板岩层进行加固,提升其抗破坏能力;采中注浆着重对新发育的裂隙进行及时封堵;采后注浆则对采空区进行全面充填,减少积水空间。防水煤柱留设技术是在含水层与采场之间留设一定宽度的煤柱,凭借煤柱的抗压强度抵抗水压力,阻止地下水渗入。煤柱宽度的确定需综合考量含水层水头压力、煤柱强度及采深等因素,对于断层等构造带,必须扩大煤柱留设范围,以确保良好的隔离效果。将这两种技术有机结合使用,能够形成多重防水隔离体系,显著提高防控的可靠性。

3.3 疏水降压技术

疏水降压技术通过降低松散含水层的水位和水头压力,有效减少地下水突入采空区的动力,主要分为地面疏水和井下疏水两种方式。地面疏水是在含水层上方施工疏水钻孔,钻孔穿透含水层直至隔水层,随后安装水泵抽取含水层中的地下水,将水位降至安全水位以下。该方式适用于含水层埋藏较浅、富水性强的区域,具有疏干范围大、效果稳定等显著特点。井下疏水则是在井下巷道或采场中施工疏水钻孔,直接抽取采空区积水和含水层地下水,可根据实际涌水情况灵活调整抽水参数。对于存在断层等构造的区域,可在构造带附近施工专门的疏水钻孔,有针对性地降低构造带附近的水压力。在疏水过程中,需实时密切监测含水层水位变化,避免过度疏水引发地面沉降等环境问题。同时,将疏干的地下水进行净化处理后回收利用,实现水资源的合理循环利用,提高资源利用效率。

3.4 应急救援技术

应急救援技术是应对突发水害事故的关键支撑,主要涵盖排水抢险、人员救援和巷道修复三大技术体系。排水抢险技术配备大功率排水泵、排水管等先进设备,在水害发生后迅速搭建临时排水系统,加大排水力度,有效控制水位上升速度。对于大规模突水情况,可采用“多级排水”模式,通过多个排水点分级减压,大幅提高排水效率^[4]。人员救援技术包括应急避难硐室和救援通道建设。避难硐室内配备充足的氧气、食品、通讯设备等物资,为被困人员提供必要的临时生存空间;救援通道采用钻孔或巷道掘进的方式,快速打通通往被困区域的通道,实现人员救援。巷道修复技术在水害得到控制后,对被水淹没的巷道进行全面清淤、加固处理,采用注浆加固和锚杆支护等科学方法恢复巷道的稳定性和通行能力。建立完善的应急响应机制,定期开展应急演练,不断提高救援队伍的快速反应能力和协同作战能力,确保在突发水害事故中能够迅速、有效地开展救援工作。

结束语

松散含水层下采煤水害防控意义重大且任务艰巨。本文围绕其展开研究,从水文地质特征剖析到水害形成机理探究,再到关键防控技术阐述,构建了较为系统的防控体系。然而,实际采煤环境复杂多变,水害防控仍面临诸多挑战。未来需不断优化现有技术,加强多学科交叉融合,探索更精准高效的防控手段。同时,强化现场实践应用与反馈,持续提升防控能力,保障采煤安全与水资源合理利用,推动煤炭行业可持续发展。

参考文献

- [1]余学义,毛旭魏,郭文彬.孟巴矿厚松散含水层下协调保水开采模式[J].煤炭学报,2019,44(3):739-746.
- [2]陈建伟.松散弱含水层下开采防砂煤柱留设研究[J].煤炭科技,2024,45(5):39-43.
- [3]汪鑫,王伟中,饶传,等.基于数值模拟的松散层下采煤水砂突涌预测研究[J].煤矿现代化,2023,32(6):39-42,47.
- [4]孟凡星,梁建,张禹泽.淮北采煤塌陷蓄水區地下水流场分布特征分析[J].江淮水利科技,2023(6):36-43.