

“三软地层”超前探放水综合控制技术

赵晓波

山西锦兴能源有限公司肖家洼煤矿 山西 033600

【摘要】：三软地层普遍具备岩体强度偏低、结构松散、遇水易软化变形的地质特征，是矿山地下工程施工中极具风险性的复杂地层类型，其水文地质条件复杂多变，极易诱发突水、涌砂、围岩坍塌等安全隐患，严重威胁井下施工安全与工程建设进度。超前探放水是治理地层水害、防范地下工程水患事故的核心预防性技术，能够提前探明地层含水构造、疏放隐蔽积水、消除潜在水害风险。现阶段常规探放水技术适配性不足，难以应对三软地层围岩易坍塌、钻孔易缩径、孔道易堵塞等特殊工程问题，存在探测精度不足、放水效率偏低、风险防控不全面等诸多短板。本文以三软地层水害防控为核心研究方向，系统梳理三软地层的基本特性与工程施工难点，阐释超前探放水技术的基础原理与常用工艺方法，针对性设计适配三软地层的超前探放水综合控制技术体系，明确技术流程、施工工艺与风险防控要点，结合工程应用场景验证技术实效。工程应用结果表明，该综合控制技术能够有效解决三软地层探放水施工难题，精准探明地层含水异常区域，高效疏放地层积水，大幅降低突水涌砂事故发生概率，提升地下工程施工的安全性与稳定性，可为同类三软地层水害治理工程提供可靠的技术参考与实践借鉴。

【关键词】：三软地层；超前探放水；水害防控；围岩控制；综合施工技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.074

引言

在矿山地下工程建设与采掘生产过程中，三软地层分布广泛，此类地层围岩稳定性差、水文条件复杂，是引发井下突水、围岩失稳等安全事故的主要诱因，一直是地下工程水害治理与围岩控制的重点难点领域。伴随地下工程开采深度持续增加，地层地质条件愈发复杂，三软地层施工面临的水害风险与围岩变形问题愈发突出，传统单一的探放水技术难以适配复杂工况的防控需求，无法实现全方位、精细化的水害治理。超前探放水作为地下工程水害超前治理的关键技术，可从源头排查隐蔽水害隐患，规避突发水患事故。为解决三软地层探放水施工中钻孔易坍塌、放水不彻底、探测精准度不足等技术难题，提升水害综合防控能力，本文结合三软地层工程特性与施工痛点，整合探测、疏放、防控一体化技术思路，构建完善的超前探放水综合控制技术体系，通过理论分析与工程应用验证技术可行性，为三软地层安全施工筑牢技术保障。

1 “三软地层”特性及工程挑战

1.1 三软地层核心物理力学特性

三软地层主要指代煤层、顶板岩层与底板岩层均质地软弱的复合地层体系，是矿山工程中典型的复杂软弱地层，具备区别于普通岩层的特殊物理力学特性。该类地层岩体整体结构松散，节理裂隙发育充分，岩体完整性较差，天然抗压强度与抗拉强度偏低，承载能力较弱，在外力扰动与地下水作用下极易发生塑性

变形。同时，地层岩体多富含黏土类膨胀矿物，具备显著的水敏性特征，遇水后易出现软化、泥化、膨胀崩解等现象，岩体结构整体性快速丧失，进一步降低围岩稳定性。此外，三软地层流变特性显著，岩体变形具备持续性与滞后性，施工扰动后围岩变形会持续发展，极易出现巷道收敛、顶板下沉、底板鼓起等病害，给工程施工与后期支护带来极大难度^[1]。

1.2 三软地层水文地质隐患特征

三软地层复杂的岩体结构特性，造就了其特殊的水文地质条件，衍生出诸多隐蔽性水害隐患。地层内部裂隙网络交错分布，为地下水储存与运移提供了充足空间，形成大量不规则的储水构造，积水分布随机性强、隐蔽性高，难以通过常规勘察手段精准预判。同时，软弱岩体裂隙连通性不均，局部区域积水富集、水压集中，在施工扰动作用下，封闭积水极易突破岩体薄弱结构，引发突发涌水问题。相较于常规地层，三软地层地下水与围岩相互作用更为强烈，地下水持续浸润软化岩体，加剧围岩破碎程度，而岩体破碎变形又会进一步改变地下水运移路径，形成水岩耦合的恶性循环，持续放大工程风险，大幅提升水害防控的难度^[2]。

1.3 地层施工面临的核心工程挑战

基于特殊的力学特性与水文条件，三软地层地下工程施工面临多重技术难题与安全挑战。在探放水施工环节，软弱围岩无法维持钻孔孔道稳定性，极易出

现钻孔缩径、孔壁坍塌、堵孔等问题，导致探水施工中、放水通道失效，难以实现彻底疏放水。在采掘施工过程中，超前扰动会破坏原有地层应力平衡与水文平衡，诱发突水、涌砂、溃泥等灾害事故，不仅会延误施工进度，还会造成设备损毁、人员伤亡等安全事故。同时，地层围岩变形与灾害隐患相互叠加，常规支护与防水工艺适配性较差，难以兼顾围岩稳定控制与灾害综合治理，长期存在防控不彻底、治理易反复的问题，严重制约三软地层地下工程安全高效施工^[3]。

2 超前探放水技术原理与方法

2.1 超前探放水核心技术原理

超前探放水是遵循“先探后掘、有疑必探、先治后采”安全原则的预防性灾害治理技术，核心原理是在地下工程掘进施工前，通过超前探测手段探明工作面前方地层含水构造、积水范围、水压水量及裂隙发育情况，精准定位灾害隐患区域。基于探测获取的水文地质数据，针对性布置放水钻孔，通过人工疏导方式释放地层内部承压积水，降低地层水压、疏干隐蔽积水，消除承压水突涌动力，从源头规避突水涌砂风险。同时，探放水施工可同步疏干围岩裂隙积水，减弱地下水对软弱岩体的软化侵蚀作用，改善围岩力学性能，提升地层整体稳定性，为后续掘进施工创造安全稳定的地质条件^[4]。

2.2 主流超前探测技术及适配性

现阶段地下工程常用的超前探测技术主要分为物探探测与钻探探测两类，两类技术原理与应用优势各有不同，适配不同复杂程度的地层工况。物探技术依托地球物理探测原理，通过捕捉地层电性、波速等物理参数变化，快速扫描前方地层含水异常区域，具备探测范围广、效率高、无施工扰动的优势，可实现大范围水文隐患初步筛查，适合三软地层大面积含水区域预判。钻探探测通过超前钻孔直观探查地层实际情况，可精准获取地层水压、水量、岩体破碎程度等真实数据，探测精度更高，能够精准定位隐蔽储水构造，是验证物探异常、细化灾害隐患的核心手段。两类技术相互配合，可实现大范围筛查与精准定位的互补，有效弥补单一探测技术的局限性。

2.3 常规放水施工工艺与技术短板

常规超前放水施工以钻孔疏放为核心工艺，通过在工作面合理布置疏放钻孔，打通地层积水运移通道，实现承压水自然疏放，同时配套实时监测设备，动态把控放水过程水压、水量变化，判断疏放水效果。常规工艺在硬质、完整性较好的地层中应用效果良好，

但适配三软地层存在明显技术短板。三软地层围岩破碎软弱，常规钻孔施工易引发孔壁坍塌、缩径堵孔问题，导致放水通道堵塞，积水疏放不彻底；同时常规工艺未结合三软地层水岩耦合特性优化参数，钻孔布置、放水节奏缺乏针对性，难以适配复杂含水构造的疏放需求，且未配套完善的围岩防护措施，探放水施工过程中易诱发围岩失稳，无法实现灾害防控与围岩控制的协同治理^[5]。

3 综合控制技术设计与实施

3.1 综合技术体系整体设计

针对三软地层探放水施工的技术痛点，结合地层特性与常规技术短板，构建“超前精准探测、分级可控放水、围岩同步防护”一体化的超前探放水综合控制技术体系。技术体系以精准排查隐患、高效疏放积水、防控围岩失稳为核心目标，整合物探筛查、钻探验证、可控疏放、孔道防护、动态监测多重技术环节，打破单一探放水技术的局限性。通过多技术融合的方式，同步解决三软地层探测精准度不足、钻孔易损毁、放水不彻底、施工扰动大等问题，实现灾害隐患全方位治理与围岩稳定性有效控制，形成适配三软地层复杂工况的标准化施工技术流程。

3.2 关键施工工艺与参数优化

结合三软地层钻孔易坍塌、缩径的特点，优化探放水钻孔施工工艺与布置参数。在钻孔施工环节，采用套管护壁工艺，全程对钻孔孔道进行防护，避免软弱围岩坍塌堵孔，保障放水通道通畅；根据物探与钻探探明的含水分布特征，差异化布置钻孔疏密，对含水异常区域加密钻孔，无异常区域合理布设基础钻孔，兼顾施工效率与放水效果。在放水施工环节，采用分级可控放水模式，根据地层水压高低调整放水速率，避免瞬时水压骤降引发岩体结构失稳，同时优化钻孔倾角、终孔深度等核心参数，确保钻孔能够穿透主要含水裂隙层，实现积水全方位疏放，彻底消除隐蔽水害隐患。

3.3 全过程风险防控配套措施

为保障综合技术安全高效实施，配套建立全过程风险防控机制，实现施工全流程管控。施工前期，结合地层勘察数据与探测结果，精准研判灾害风险等级，制定针对性施工方案与应急处置预案。施工过程中，布设实时水文监测与围岩变形监测系统，动态采集水压、水量、围岩收敛变形等数据，实时掌握放水状态与围岩稳定情况，一旦出现异常立即调整施工参数、启动应急措施。施工后期，持续监测地层水文变化，

确认积水完全疏干、围岩稳定后,方可开展后续掘进施工,同时对废弃钻孔进行封闭处理,避免后期地下水回流复涌,构建全周期、闭环式的水害防控体系。

4 工程应用与效果分析

4.1 工程应用概况与施工部署

选取典型三软地层矿山井下采掘工作面作为工程应用场景,该区域地层岩体软弱破碎,裂隙发育密集,地下水富集,常规探放水施工多次出现钻孔坍塌、放水不彻底问题,水害隐患突出,严重影响施工安全。本次工程全面应用前文构建的超前探放水综合控制技术,严格按照精准探测、参数优化、可控疏放、动态防控的标准化流程施工,替代传统单一探放水工艺。施工过程中严格落实孔道护壁、分级放水、实时监测等核心工艺,结合现场水文地质条件动态优化施工细节,确保技术方案贴合现场工况,稳步推进探放水各项施工工作。

4.2 技术应用安全效果分析

工程应用结果表明,该综合控制技术有效解决了三软地层探放水施工的各类技术难题。护壁工艺彻底杜绝了钻孔缩径、坍塌堵孔问题,钻孔成孔率与放水通道通畅率大幅提升,为积水疏放提供了稳定保障。精准探测技术可全面覆盖工作面前方施工区域,精准识别各类隐蔽含水构造与积水隐患,无探测盲区与漏探问题。分级可控放水模式有效规避了瞬时放水引发的围岩扰动失稳问题,施工全过程未出现突水、涌砂、围岩坍塌等安全事故,地层水压稳步下降至安全阈值,围岩变形始终处于可控范围,大幅提升了三软地层井下施工的安全性与稳定性。

参考文献:

- [1] 鲁浪,汪锋,周景奎,刘明明,邹玉龙,祝伟豪.三软地层下连采连充工作面巷道支护优化研究[J].煤炭技术,2024,43(10):12-17.
- [2] 赵飞,关继超,韩璐,马延庆,李国勇,王泽唐.“三软地层”超前探放水综合控制技术[J].中国矿业,2024,33(S1):382-386.
- [3] 赵国宏,李奎水.“三软”地层井巷过渡段井壁治理技术研究[J].能源技术与管理,2023,48(02):139-141.
- [4] 王德超.三软地层综放工作面过老巷工艺技术[J].山东煤炭科技,2016,(06):1-2+4.
- [5] 魏培海,贾广兴,温店汉.三软地层快速延设中线的误差分析[J].山东煤炭科技,2006,(01):28-29.

4.3 技术综合效益与推广价值

相较于传统探放水技术,本次应用的综合控制技术综合效益显著。在安全效益层面,实现了水害隐患超前根治,从源头杜绝了三软地层水害安全事故,彻底解决了水害隐患反复出现的问题。在施工效益层面,减少了钻孔返工、事故停工等情况,大幅提升了探放水施工效率,有效保障了井下采掘施工进度。在技术效益层面,实现了探放水与围岩控制的协同治理,适配三软地层复杂水文与地质工况,弥补了传统技术的短板与不足。该技术体系流程规范、适配性强、安全性高,可广泛应用于各类三软地层地下工程水害治理,具备极高的工程推广价值与应用前景。

5 结语

三软地层特殊的物理力学特性与复杂的水文地质条件,使其成为地下工程水害防控的重点难点区域,传统单一的超前探放水技术难以适配其施工需求,无法实现安全高效的水害治理。本文通过系统分析三软地层的岩体特性、水文隐患与工程施工挑战,梳理了超前探放水技术的核心原理与常规工艺短板,针对性构建了集精准探测、参数优化、可控疏放、风险防控于一体的超前探放水综合控制技术体系。该技术体系有效解决了三软地层钻孔易损毁、放水不彻底、围岩易失稳等核心难题,通过工程应用验证,可显著提升水害防控效果,保障地下工程施工安全与施工效率。未来可结合不同区域三软地层的差异化地质特征,进一步优化技术参数与施工工艺,持续完善综合防控技术体系,为各类软弱地层水害治理与安全施工提供更完善的技术支撑。