

绿水洞煤矿+150m 水平延深工程水害防治技术研究

马桂芳

四川川煤华荣能源有限责任公司绿水洞煤矿, 四川 广安 638600

[摘要]绿水洞煤矿+350m 主采水平资源趋于枯竭, 矿井向+150m 深部水平延深过程中面临岩溶裂隙水与采空区积水叠加的复合水害威胁。文中以水文地质调查、物探钻探验证、理论分析与现场工程实践相结合为研究路径, 系统揭示+150m 水平水文地质特征与水害致灾机理。研究表明, 该水平主要充水水源为二叠系茅口组岩溶裂隙水与上部+350m 水平采空区积水; 岩溶裂隙、断层破碎带及采动新生裂隙构成核心导水通道; 高水头压力与采掘扰动应力叠加为突水灾害核心动力。据此优化注浆材料分级配比, 创新三级压力阶梯注浆工艺, 构建“探-防-堵-疏-排”一体化水害防控技术体系, 形成适配急倾斜煤层深部开采的复合水害治理方案。工程实践证实, 该体系可有效治理岩溶裂隙高压突水隐患, 消除采空区积水致灾风险, 保障延深工程安全推进。研究成果可为同类复杂水文地质条件矿井深部水平水害防治提供科学参考与工程借鉴。

[关键词]矿井水平延深; 水害机理; 注浆工艺优化; 超前防治; 深部开采

DOI: 10.33142/ec.v9i10.20511

中图分类号: TD745

文献标识码: A

Research on Water Hazard Prevention and Control Technology for the +150m Horizontal Extension Project of Lushuidong Coal Mine

MA Guifang

Lushuidong Coal Mine of Sichuan Chuanmei Huarong Energy Co., Ltd., Guang'an, Sichuan, 638600, China

Abstract: The main mining horizontal resources at +350 m in Lushuidong Coal Mine are becoming depleted, and the mine is facing a composite water hazard threat of karst fissure water and goaf water accumulation during the process of extending to +150 m depth. The research path in the article combines hydrogeological investigation, geophysical drilling verification, theoretical analysis, and on-site engineering practice to systematically reveal the hydrogeological characteristics and water hazard mechanisms at the +150 m level. Research shows that the main water sources for this level are karst fissure water from the Maokou Formation of the Permian system and accumulated water from the upper +350 m horizontal goaf; Karst fissures, fault fracture zones, and newly formed mining induced fissures form the core water conducting channels; The superposition of high water head pressure and mining disturbance stress is the core driving force of sudden water disasters. Based on this, optimize the grading ratio of grouting materials, innovate the three-level pressure step grouting process, construct an integrated water hazard prevention and control technology system of "exploration - prevention - blocking - drainage - drainage", and form a composite water hazard control plan suitable for deep mining of steeply inclined coal seams. Engineering practice has proven that this system can effectively control the hidden danger of high-pressure water inrush in karst fissures, eliminate the risk of water accumulation in goaf and ensure the safe progress of the deepening project. The research results can provide scientific and engineering references for the prevention and control of deep horizontal water disasters in mines with similar complex hydrogeological conditions.

Keywords: horizontal extension of mines; water damage mechanism; optimization of grouting process; advanced prevention and control; deep mining

引言

煤炭深部开采是矿井资源接续与产能稳产的必然趋势。随着开采深度增加, 井下地应力与地下水头压力显著升高, 岩溶裂隙发育、采空区积水富集、构造破碎带水

等多重风险叠加, 致使深部矿井水害呈现隐蔽性强、突发性高、破坏力大等特征, 严重制约矿井安全生产与高效采掘。已有研究表明, 深部煤层底板突水机理较浅部更为复杂, 隔水层原生裂隙在高承压水与采动应力联合作用下更

易扩展贯通,形成突水通道。我国煤矿水害防治技术虽已形成相对成熟的综治体系,但面对深部开采“三高一扰动”条件,传统防治模式仍面临严峻挑战。

绿水洞煤矿历经长期规模化开采,+350m 主采水平可采储量基本枯竭,剩余边角煤柱难以实现集约化、规模化开采,矿井产能接续压力突出,亟需开展+150m 深部水平延深开拓工程,保障矿井可持续生产。矿井隶属四川煤华荣能源有限责任公司,矿区地处华蓥山构造带中段,区域地质构造复杂,褶皱、断层发育,碳酸盐岩地层广泛出露,岩溶水文地质条件复杂。+150m 水平主要开拓巷道布置于二叠系茅口组灰岩含水层内,该地层富水性不均一、隐伏岩溶水体发育,加之上部采空区积水持续威胁,深部采掘扰动极易诱发突水、淹巷等重大安全事故。为攻克深部延深工程水害防控技术难题,本文系统研究该水平水文地质条件、水害致灾机制及精准防控技术,集成优化形成成套治理技术体系,为矿井深部安全开采提供技术支撑。

1 矿井水文地质条件及水害特征

1.1 矿井概况

绿水洞煤矿位于四川省华蓥市天池镇,原生产主采水平为+350m。矿区地貌以构造剥蚀中高山为主,地形高差较大,地表水体发育较弱。受华蓥山构造带控制,矿区龙王洞背斜及次级构造密集分布,断层破碎带广泛发育,矿井充水水源类型多样,主要包括大气降水入渗补给、断层破碎带导水、采空区及老窑积水、岩溶裂隙水等。依据煤矿水文地质类型划分标准,该矿井整体属于复杂水文地质类型,井下水体分布杂乱、导水通道隐蔽,水害探查与治理难度较大。

1.2 深部水害主要威胁

矿井采掘工程向+150m 深部延深后,水文地质环境发生显著变化,水害致灾风险大幅提升。一是深部地下水头压力显著增大,井下隐伏溶腔、封闭裂隙多储存高压水体,巷道掘进揭露后易发生瞬时突水事故;二是巷道围岩茅口组灰岩岩溶发育极不均一,小型隐伏溶隙、储水空间分布无规律,常规探查手段难以精准识别,水害隐蔽性极强;三是上部+350m 水平 3231 工作面形成大面积采空区,留存积水总量约 845m³,采掘扰动诱发围岩裂隙贯通,导致上部积水向下渗流、溃入采掘空间。三重风险叠加,构成制约+150m 水平安全开拓核心技术难题。

2 水害形成机理及风险分级

2.1 水害致灾机理

基于地下水系统理论,结合现场探查、物探及钻探数据,明确+150m 水平水害遵循“水源-通道-动力”三要素

协同致灾机制。矿井主要充水水源分两类:二叠系茅口组(P₂m)岩溶裂隙水与+350m 水平采空区积水。其中,茅口组灰岩裂隙、管道发育,水体补给稳定、富水性强,为矿井主要原生充水水源;长兴组(P₃c)为强富水顶板地层,可通过构造裂隙间接向矿坑充水。

核心导水通道包含断层破碎带、原生岩溶裂隙及采掘扰动产生的新生覆岩裂隙。深部开采条件下,采掘作业打破原岩应力平衡后,裂隙持续扩展贯通,形成地下水快速运移通道。已有研究揭示,深部煤层底板隔水层原生裂隙在高承压水压裂扩容作用下更易扩展,原生裂隙与导水破坏带、承压水导升带相互导通时,有效隔水层厚度趋零,即造成突水事故。这一机理在绿水洞煤矿茅口组灰岩巷道中同样适用:采掘扰动与高水头压力协同作用,构成水体运移、突水灾害发生的动力条件。

值得关注的是,采掘耦合扰动下采空区顶板侧向渗流亦为重要致灾路径。研究表明,采掘活动引发顶板导水裂隙发育,采空区积水可经侧向通道渗流进入邻近采掘空间,形成持续性水害威胁。绿水洞煤矿 3231 采空区积水对+150m 水平的威胁,兼具垂向渗漏与侧向渗流双重特征,需采取针对性防控措施。

2.2 涌水风险分级标准

参照《煤矿防治水细则》相关标准,结合现场涌水量监测数据、突水征兆及灾害危害程度,将+150m 水平涌水风险划分为三个等级。低风险(I级):单孔涌水量小于 5m³/h,水量动态稳定,无淋水、底鼓等突水征兆,仅存在季节性小幅水量波动,对采掘施工基本无影响。中风险(II级):6h 内涌水量波动幅度超过 20%,单孔涌水量介于 5~30m³/h,巷道局部存在淋水、渗水现象,区域内发育隐伏导水通道,存在突水隐患。高风险(III级):单孔涌水量大于 30m³/h,出现涌水骤增、围岩底鼓、出水含砂等典型突水征兆,极易引发淹巷、设备损毁及人员伤亡事故,需立即停工撤人、开展专项治理。

3 深部水害综合防治技术体系

针对+150m 水平岩溶裂隙水、采空区积水叠加的复合水害特征,本文遵循“探查先行、精准研判、疏堵结合、全程防控”治理原则,整合超前探查、帷幕注浆、采空区疏排、排水保障等技术手段,构建“探-防-堵-疏-排”一体化水害防治技术体系。

3.1 超前探查技术优化

精准探查是水害防治的前提。当前煤矿水害探查技术呈现物探智能化、钻探精准化、多源信息融合化的发展态势。针对绿水洞煤矿巷道空间受限、电磁干扰强现场条件,

本文建立“物探普查+钻探验证+综合研判”标准化超前探查流程。

采用井下高密度电法开展全域扫描,识别岩层低阻异常区域,圈定裂隙发育、水体富集范围;配套实施超前探放水钻探工程,精准控制采掘工作面前方及周边水文地质情况。项目实施期间,累计完成超前物探 27 次,有效探测长度 4050m;施工探放水钻孔 108 个,总进尺 21381.1m。通过物探与钻探成果相互印证、综合分析,彻底查明采掘区域含水层空间分布、裂隙发育特征及水体赋存规律,为水害精准治理提供可靠数据支撑。

需指出,井下高密度电法存在探测数据多解性、受金属设备干扰等局限,后续将探索多源物探联合探测模式,提升异常体识别精度。

3.2 注浆堵水工艺创新优化

注浆堵水是治理岩溶裂隙突水的核心技术。已有工程实践表明,地面定向钻孔超前区域治理可实现含水层改造与突水系数显著下降;井下帷幕注浆则适用于巷道掘进前方的局部高压涌水治理。+150m 西专用回风上山掘进期间,揭露茅口组灰岩岩溶裂隙含水带,实测涌水量 $26\text{m}^3/\text{h}$ 、水压 0.2MPa ,巷道掘进被迫停工。针对该高压岩溶裂隙突水难题,优化传统帷幕注浆工艺,突破单一材料、单一压力、单孔注浆的传统模式。

注浆材料分级配比。采用“先双液、后单液”策略。优先注入水泥-水玻璃双液浆,利用其快速凝结、早期强度高特性,快速封堵大裂隙、溶洞空间,阻断水流冲刷;待双液浆初凝后,注入纯水泥浆液,填充细微裂隙,提升封堵密实度与岩体后期强度。该策略兼顾速凝封堵与深度充填双重功能,实现大小裂隙全方位封堵。

三级压力阶梯注浆工艺。设置 0.5MPa 低压扩散、 1.0MPa 中压充填、 5.0MPa 高压固结的梯度压力参数,逐级驱动浆液渗透至各级细微裂隙。在巷道前方 10m、20m、30m 位置布设三道立体注浆圈,多方位同步钻孔注浆,彻底消除注浆盲区。同时创新“一孔三用”功能设计,疏水钻孔可同步实现水压降压、裂隙探查、注浆效果检验,形成“施工-检验-补注”闭环管控体系。

3.3 采空区水害防控技术

采空区积水是矿井水害的重要来源之一。定向钻进技术在采空区积水超前疏放中已展现显著优势,可实现动水条件下的精准疏放。针对上部 3231 工作面采空积水隐患,采用“煤柱隔离+精准疏排”综合治理方案。

依据《煤矿防治水细则》经验公式计算,结合现场地质工况,在采掘区域与采空积水区之间留设 20m 防隔水

煤柱,划定缓采管控区域,从源头阻断积水下渗通道。同时,从 285 北运输大巷施工放水巷道及疏水钻孔,精准贯通采空积水最低赋存区域,构建永久性自排疏水通道,彻底消除 845m^3 采空积水对 +150m 水平采掘工程的安全威胁。

3.4 多级排水保障系统

结合深部下山、平巷不同掘进工况,搭建适配性多级排水保障系统。下山掘进采用阶梯式水仓布置与机械接力抽排模式,各级水仓配备备用水泵,保障突发涌水工况下排水连续性;平巷掘进采用水沟自流汇水+集中水仓机械抽排方式,将井下积水统一输送至 +350m 水平主排水系统。所有排水设备采用双电源双回路供电配置,有效规避供电中断导致排水失效风险。

4 工程应用效果分析

4.1 安全效果

一体化水害防治体系应用,彻底查明 +150m 水平深部水文地质条件,实现隐蔽水害风险可视化、可控化管控。通过精准注浆封堵、采空区积水疏排、超前探查防控等综合措施,成功治理高压岩溶裂隙突水隐患,消除构造导水、采空积水等多重安全风险。项目实施全程未发生水害相关安全事故,有效改善深部采掘作业环境,保障施工人员生命安全及矿井延深工程稳定推进。

4.2 经济效益

本次专项注浆治理成功挽救 171m 巷道工程,彻底规避巷道报废、重新掘进的重大工程损失与工期延误风险。按下山掘进综合单价 8000 元/m 测算,直接节约工程建设投资 136.8 万元。同时,注浆加固后巷道围岩整体性、稳定性大幅提升,有效降低后期巷道维护成本,保障矿井资源接续与产能稳定。

4.3 推广价值

本文研发的一体化防控体系,有效解决急倾斜煤层深部开采岩溶裂隙水与采空区积水叠加的复合水害治理难题。技术适配性强、治理效果可靠,研究成果完善复杂水文地质条件矿井深部水害治理技术方法,可为西南地区同类型煤矿深部水平延深工程水害防治提供工程参考。

5 结论与展望

5.1 主要结论

①绿水洞煤矿 +150m 水平水害为典型复合型深部水害,主要充水水源为茅口组岩溶裂隙水与上部采空区积水,岩溶裂隙、断层破碎带及采动裂隙为核心导水通道,高水头压力与采掘扰动协同作用为水害突发的关键诱因。

②优化形成的分级材料配比、阶梯压力注浆、立体多

孔布孔、疏堵协同集成注浆工艺,有效解决高压水环境下裂隙封堵不密实、浆液流失等技术难题,适配深部岩溶裂隙突水治理工况。

③构建的“探-防-堵-疏-排”全流程水害防控体系,可实现深部水害全方位精准管控,有效保障+150m 水平延深工程安全高效推进。

5.2 不足与展望

本次研究仍存在部分技术短板:井下高密度电法易受巷道金属设备、电磁环境干扰,探测数据存在小幅误差,异常区域解译存在多解性;深部俯孔钻探受设备性能、排渣条件限制,钻孔有效深度与探测精度仍有提升空间。

当前,煤矿水害防治技术正加速向智能化、透明化方向演进。“十四五”期间,随采/随掘地震探测、孔中物探、透明地质保障系统等技术取得显著进展;面向智能开采的矿井水灾智能化防控技术体系已初步构建,涵盖数据感知-模型构建-动态评价-综合治理-应急防控全流程闭环管理。后续研究将探索多源物探联合探测与智能解译算法,升级钻探装备与施工工艺,推进透明地质保障系统在绿水洞煤矿的适配应用,进一步提升深部水文地质探测精度与水害治理智能化水平,为矿井深部安全、绿色、高效开采提供技术保障。

[参考文献]

- [1]国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局.煤矿防治水细则[M].北京:煤炭工业出版社,2018.
- [2]赵庆彪.奥灰岩溶水害区域超前治理技术研究及应用[J].煤炭学报,2014,39(6):1112-1117.
- [3]郑士田.两淮煤田煤层底板灰岩水害区域超前探查治理技术[J].煤田地质与勘探,2018,46(4):142-146.
- [4]刘人太,李术才,张庆松,等.一种新型动水注浆材料的试验与应用研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(7):1454-1459.

[5]杨志斌,董书宁.压水试验定量评价注浆效果研究[J].煤炭学报,2018,43(7):2021-2028.

[6]张党育,蒋勤明,高春芳,等.华北型煤田底板岩溶水害区域治理关键技术研究进展[J].煤炭科学技术,2020,48(6):31-36.

[7]赵成喜.淮北矿区深部岩溶突水机理及治理模式[D].徐州:中国矿业大学,2015.

[8]石银斌,杨志斌,王海,等.富水松散地层煤矿斜井井筒渗漏水治理技术[J].煤矿安全,2023,54(5):121-126.

[9]赵伟,刘洲,王琦,等.陈四楼煤矿地面定向钻孔超前区域治理底板岩溶水害技术[J].西安科技大学学报,2024,44(1):84-93.

[10]刘志磊.定向钻进技术超前疏放采空区积水的研究与应用[J].煤炭与化工,2025,48(6):66-70.

[11]靳德武,乔伟,李鹏,等.煤矿防治水智能化技术与装备研究现状及展望[J].煤炭科学技术,2019,47(3):10-17.

[12]武强,朱慧聪,胡辰睿,等.我国煤层水害基本架构及发展情势[J].煤炭工程,2024,56(10):12-21.

[13]高耀全.基于多源数据信息融合的透明地质保障系统研发及应用——以唐家会煤矿为例[J].中国煤炭,2025,51(9):92-102.

[14]张磊,许博,刘斌,等.煤矿防治水智能化技术研究现状及展望[J].陕西煤炭,2022,41(6):224-226.

[15]严锦钢.煤矿水害治理中物探关键技术的应用[J].工程施工技术,2025,3(1):115-118.

[16]徐裴,白喜成,马伟,等.基于水文地质特征的矿井涌水量预测及水害防治措施研究[J].陕西煤炭,2025,44(1):64-68.

作者简介:马桂芳(1988—),男,四川隆昌人,助理工程师,现就职于四川川煤华荣能源有限责任公司,绿水洞煤矿从事地质测量技术工作。