

石壕煤矿覆岩隔离注浆充填减沉技术研究与应用

张书勤

河南大有能源股份有限公司石壕煤矿, 河南 三门峡 472121

DOI:10.61369/ME.2025050024

摘要 : 本文针对石壕煤矿采掘接替脱节、12070工作面地质复杂及传统开采方案缺陷等问题, 开展覆岩隔离注浆充填减沉技术研究与应用。通过明确关键层破断步距计算、隔离煤柱作用机制及复合支撑体系构建的原理, 搭配注浆参数设计、钻孔布置、岩移监测等措施, 解决开采难题, 实现地表建(构)筑物保护、资源回收提升、开采安全保障及生态效益, 为同类“三下”采煤矿井提供参考。

关键词 : 石壕煤矿; 覆岩隔离注浆充填; 减沉技术; “三下”开采; 资源回收

Research and Application of Grouting Filling and Depressions Reduction Technology for Rock Cover Isolation in Shihao Coal Mine

Zhang Shuqin

Henan Dayou Energy Co., LTD. Shihao Coal Mine, Sanmenxia, Henan 472121

Abstract : This study investigates and applies rock-sealing grouting technology to mitigate subsidence in Shihao Coal Mine, addressing critical challenges including mining transition discontinuity, complex geological conditions in the 12070 working face, and deficiencies in conventional mining methods. By establishing key principles for determining critical strata fracture intervals, analyzing isolation pillar mechanisms, and constructing composite support systems, the research integrates grouting parameter design, optimized borehole layout, and rock displacement monitoring. These measures effectively resolve mining challenges while ensuring surface infrastructure protection, resource recovery efficiency, operational safety, and ecological benefits. The findings provide valuable references for similar underground coal mines with three types of underground structures (three-under) in China.

Keywords : Shihao coal mine; rock cover isolation grouting filling; sinkage reduction technology; "three underground" mining; resource recovery

引言

随着煤炭开采深度增加与“三下”开采需求凸显, 矿井在产量保障、地表建(构)筑物保护及生态环保间的矛盾愈发突出。石壕煤矿作为重要煤炭生产矿井, 受采掘接替紧张、复杂地质条件制约及传统开采方案缺陷影响, 现有开采模式难平衡资源开发与安全环保需求。针对12070工作面开采难题, 开展覆岩隔离注浆充填减沉技术研究与应用, 探索适配该矿地质条件的高效减沉路径, 为同类矿井“三下”开采问题解决提供实践参考。

一、石壕煤矿覆岩隔离注浆充填减沉技术现状问题

(一) 矿井采掘接替脱节倒逼技术应用

石壕煤矿14区补勘后无煤带扩大, 原煤含硫量约5%且煤层赋存不稳定, 仅余下山煤柱工作面2019年停采封闭, 致14区无法布置接替工作面。近五年矿井转至12区、13区回采, 当前13区上山仅13040工作面单面生产, 煤层呈串珠状鸡窝煤分布, 煤质难保障、商品煤产出率低, 直接影响产量达标^[1]。13区上山后续仅13100接替面(2024.03-2025.04), 下一接替为13区下山13290工作面(2027.03-2029.03), 矿井面临工作面脱节, 产量与效益

受影响, 需通过12区12070工作面合理开采缓解, 覆岩隔离注浆充填减沉技术成关键, 应用需求迫切。

(二) 12070工作面复杂地质条件增加技术实施难度

12070工作面施工范围附近发育3条正断层, f133断层曾影响12区上山皮带辅助运输巷掘进, F103、F109断层位于12121采空区附近, 虽预计对回采有一定影响, 但隐伏地质构造存在可能性未排除, 具体位置需进一步揭露。工作面北部、东部为采空区, 即便巷道与采空区保持最小35m间距, 仍可能改变覆岩应力分布与离层发育规律, 给注浆减沉带来不确定性。施工期间还可能促使采面顶板形成离层水, 处置不当会干扰注浆作业、埋下安全隐患。

患, 多重复杂地质条件叠加, 增加覆岩隔离注浆充填减沉技术实施难度。

(三) 传统开采方案缺陷凸显技术选择紧迫性

12070工作面对应地表的石壕村是历史名村, 河南省耕地管控亦严苛, 村庄搬迁面临用地手续繁琐、新址难选、工农协商不易等问题, 推进需投9270万元, 实际利润仅1126.46万元。充填开采需1.65亿元建矸石充填系统, 作业与开采相互干扰致产量下滑, 最终亏损5899.54万元。留设保护煤柱开采使采出量降至38万吨、压覆66万吨资源, 还引发地表沉陷、采掘接替中断10个月, 波及效益。传统方案不足凸显, 选择覆岩隔离注浆充填减沉技术紧迫性极强。

二、石壕煤矿覆岩隔离注浆充填减沉技术原理

(一) 基于关键层初次破断步距的工作面长度计算

覆岩离层注浆充填减沉技术中, 关键层是覆岩内控制岩层移动的坚硬岩层, 其初次破断步距直接决定工作面开采后覆岩离层的发育范围与稳定性, 也是计算工作面合理长度的核心依据。精准测算该步距可明确覆岩有效离层空间范围, 避免工作面过短致资源开采不充分, 或过长引发关键层过早破断、离层空间坍塌, 无法满足注浆需求^[3]。12070工作面应用中, 以此步距为基础, 结合煤层埋深220~352m、平均倾角9.5°等参数, 算出适配长度, 为注浆作业构建稳定离层环境, 保障减沉效果。

(二) 稳定隔离煤柱防离层区贯通的作用机制

稳定隔离煤柱在覆岩隔离注浆充填减沉技术中, 承担阻隔上下区段离层区贯通的关键职能, 依靠自身承载能力维系覆岩结构局部稳定。12070工作面北部、东部有采空区, 若不设隔离煤柱, 开采时上下区段离层空间易连通, 致注浆浆液流失, 无法在目标离层区形成有效填充体, 丧失支撑上覆岩层作用^[3]。该工作面隔离煤柱需足够宽度抗岩层压力防破坏, 且与采空区保持最小35m间距, 阻断采空区干扰, 确保离层空间独立封闭, 为浆液填充、形成稳定支撑提供前提。

(三) “关键层+注浆填充层+煤柱”复合支撑体系构建

“关键层+注浆填充层+煤柱”复合支撑体系构建, 依托各结构协同作用成为覆岩稳定与地表减沉核心。关键层作为覆岩坚硬岩层, 承载上覆大部岩层重量, 凭高强度维系覆岩不垮塌, 为离层空间形成与注浆提供稳定环境^[4]。注浆填充层经地面钻孔注入注采比0.4的粉煤灰浆液形成, 凝固后填离层空隙, 同时支撑关键层、挤压下部岩层阻下沉。稳定隔离煤柱横向分隔开采区段防离层贯通, 辅助承岩层压力, 三者共构立体支撑, 控覆岩移动保地表建(构)筑物安全。

三、石壕煤矿覆岩隔离注浆充填减沉技术措施

(一) 注浆参数设计与系统建设

12070工作面注浆参数紧扣开采需求设计: 采出量预计104万吨, 按注采比0.4算, 总注浆量(粉煤灰)约41.6万t, 设9个

注浆钻孔, 单孔约4.62万t。注浆压力依钻孔层位深度126~216m分阶段控制: 前期不低于1.3~2.3MPa保障浆液入层, 中期孔口压力大于0确保注浆量达标, 后期按地层自然压力1.4倍控制在1.8~3.2MPa提升密实度, 需据现场试验调整。注浆浓度50%~70%, 兼顾流动性与凝固效果^[5]。注浆系统建设匹配井下2500t/d产量, 地面注浆站日能力需1200~1500t, 含供料、搅拌等模块。电厂粉煤灰经罐车运至一级注浆站立罐, 经两级搅拌细化后, 由注浆泵加压送入管路, 通过钻孔注入离层空间, 配套管路、阀门等保障输送稳定连续。

(二) 注浆钻孔布置与保护煤柱留设

12070工作面注浆钻孔结合开采范围与地表建(构)筑物分布, 采用两排交错形式: 一排沿工作面南侧(临近石壕村)推进方向布设, 另一排设于推进方向地表最大下沉主断面附近, 间距85m、排距74m、交错错距15m, 可规避注浆盲区、提升充填效率。因地表为丘陵低山地貌, 钻孔深度126~216m不等, 总深度约1532m, 设计9个钻孔, 与单孔约4.62万t注浆量需求适配。保护煤柱留设经多方案对比: 20m需10个钻孔且9座民房达Ⅱ级损害, 50m虽控民房损害为Ⅰ级但减采出量, 最终确定留设30m。此宽度既保煤柱承载力防离层区贯通, 又维持104万吨采出量, 还控民房大部分损害为Ⅰ级(仅5座达Ⅱ级), 兼顾资源回收与地表保护^[6]。

(三) 地表岩移观测站布设与建(构)筑物监测

地表岩移观测站布设围绕12070工作面开采影响范围展开, 结合291m的平均开采深度, 将测点间距设定为20m, 除控制点外共埋设94个测点, 核心布设两条关键观测线。沿工作面倾斜方向布设一条780m长的观测线, 可布置40个测点, 沿推进方向布设一条1060m长的观测线, 可布置54个测点, 借两条观测线协同监测, 全面捕捉开采过程中地表移动变形规律^[7]。针对地表建(构)筑物监测, 石壕村区域额外布置专项测站, 沿贯穿村庄的南北道路布设800m长观测线、设41个测点, 在工作面开切眼附近村庄区域布设400m长观测线、设21个测点, 实时追踪道路及两侧民房移动变形情况。对受开采影响的3个养殖场与1个牛肉加工厂单独布设针对性测站, 动态监测厂房结构受采动影响的变化, 为井下开采调整与地面注浆参数优化提供实时数据支撑, 保障地表建(构)筑物安全见图1。



图1: 地表村庄及重要建(构)筑物测站布置示意图

四、石壕煤矿覆岩隔离注浆充填减沉技术实施效果

(一) 地表建(构)筑物损害等级有效控制

12070工作面对应地表石壕村区域,有242户住户、3个养殖场及1个牛肉加工厂。若不采取减沉措施,工作面正常采动预计会使约32座民房院落损害等级达IV级及以上,需拆除重建。采用覆岩隔离注浆充填减沉技术并留设30m保护煤柱后,通过地面钻孔注入粉煤灰浆液形成填充体,结合“关键层+注浆填充层+煤柱”复合支撑体系,有效控制了覆岩移动与地表沉陷。从预期效果来看,地表民房大部分损害等级被控制在I级,仅约5座达II级,完全规避了IV级及以上严重损害。同时,3个养殖场与1个牛肉加工厂的厂房结构稳定性得到保障,不会因采动出现影响正常使用的问题,避免了因建(构)筑物严重损坏引发的搬迁或大额维修补偿^[8]。

(二) 煤炭资源回收与经济效益实现

采用覆岩隔离注浆充填减沉技术并留设30m保护煤柱,12070工作面走向长215m、倾向长503m,煤层平均厚度4.8m,采出量预计达104万吨,对比留设保护煤柱开采方案38万吨的采出量,大幅减少66万吨煤炭资源压覆,显著提升资源回收率^[9]。经济效益层面,该工作面预计单位完全成本706.09元/吨,总完全成本51403.69万元,经洗选加工可产出精煤31.2万吨、煤泥及中煤41.6万吨,商品煤合计收入60688.14万元,扣除成本后利润9284.46万元。再减去覆岩离层注浆设备及工程投入的5858.48万元,实际仍可实现利润3425.98万元,远超村庄搬迁开采方案1126.46万元的实际利润,更规避充填开采方案5899.54万元的亏损,保障资源充分回收的同时为矿井创造稳定经济收益,缓解采掘接替脱节带来的效益压力见表1。

表1: 12070工作面覆岩离层注浆费用概算

序号	项目	单位	工程量	单价/元	总价/万元	备注
1	注浆孔打钻费用(钻孔9个,深度126~216m不等)	米	1532	1400	214.48	
2	材料供应(粉煤灰)	吨	416000	60	2496	根据市场情况据实结算
3	钻孔密封及孔口在线监测	个	9	50000	45	
4	注浆站建设(含设备)	个	1	2000000	200	据实结算
5	注浆费用	吨	416000	60	2496	
6	水电供应	项	1	750000	75	
7	工农关系协调费、房屋加固补偿、青苗补偿等	项	1	1200000	120	预计费用,由矿方协调、负责
8	地表沉降及建筑物测站建立与变形观测	项	1	800000	80	
9	工程设计费	项	1	1320000	132	
合计					5858.48	

(三) 安全开采保障与生态环保效益达成

在安全开采方面,覆岩隔离注浆充填减沉技术借助“关键层+注浆填充层+煤柱”复合支撑体系,有效管控12070工作面覆岩移动,避免采动引发的顶板垮塌、离层水突涌等隐患^[9]。同时,无需搬迁地表石壕村及周边养殖场、牛肉加工厂,消除了搬迁带来的工农矛盾与施工安全风险,保障了井下开采作业和地面人员生产生活的双重安全。生态环保层面,该技术以电厂粉煤灰为注浆原料,总注浆量约41.6万t,实现工业固废无害化处置与资源化利用,避免粉煤灰堆积占用土地、污染土壤及地下水。同时借由地表沉陷控制减少工作面上方耕地破坏,保护当地农业生产环境,避免传统开采可能诱发的山体滑坡、植被破坏等生态问题,

五、结语

石壕煤矿针对采掘接替脱节、12070工作面地质条件复杂及传统开采方案存在的缺陷等现实问题,系统研发并应用覆岩隔离注浆充填减沉技术。明确关键层破断步距计算、隔离煤柱作用机制及复合支撑体系构建的技术原理,搭配精准注浆参数设计、科学钻孔布置与岩移监测等配套措施,有效破解矿井开采难题。该技术实现地表建(构)筑物有效保护,提升煤炭资源回收效率与矿井经济效益,保障开采作业安全,达成工业固废资源化利用与生态环境保护的协同效果,为同类“三下”采煤矿井提供可借鉴的技术路径,助力煤炭资源开发与生态安全的协调发展。

参考文献

- [1]许家林,轩大洋,李建.覆岩隔离注浆充填技术实践与研究展望[J].中国煤炭,2024,50(06):74~80.
- [2]韩磊.覆岩离层注浆充填现状与展望[J].山西焦煤科技,2022,46(12):4~8.
- [3]轩大洋,许家林,王秉龙.覆岩隔离注浆充填绿色开采技术[J].煤炭学报,2022,47(12):4265~4277.
- [4]赵辉.覆岩离层注浆充填开采方案及应用分析[J].煤炭技术,2021,40(03):12~14.
- [5]马军.淮北矿区注浆充填开采地面沉降规律及分析研究[J].矿山测量,2020,48(02):23~26.
- [6]秦小云.寺河煤矿2305工作面覆岩离层注浆充填减沉技术研究[J].能源技术与管理,2020,45(06):72~73+150.
- [7]李涛.阳泉矿区铁路隧道下覆岩隔离注浆充填开采实践[J].煤矿安全,2020,51(02):155~158.
- [8]高美科.煤矿充填开采技术现状及未来发展探讨[J].能源与节能,2024,(06):1~5.
- [9]巩建雨.覆岩离层注浆充填分带模型及工程应用[J].陕西煤炭,2023,42(03):104~108+176.