

巨厚煤层综放开采地质参数优化及围岩稳定性控制研究

谢维强

国网能源新疆准东煤电有限公司准东二矿 新疆 昌吉 831100

摘要: 研究中侏罗统西山窑组巨厚煤层综放开采。先分析地质条件,明确地质参数特征及对开采的影响机制。接着构建地质参数优化指标体系,采用组合优化方法建立模型,得到最优参数组合,现场应用效果良好。同时,基于相关理论开展围岩稳定性数值模拟,制定控制技术措施,构建监测与预警系统。研究成果为巨厚煤层综放开采地质参数优化及围岩稳定控制提供了理论依据与实践参考。

关键词: 巨厚煤层;综放开采;地质参数优化;围岩稳定性控制

引言: 巨厚煤层综放开采是煤炭资源高效利用的重要方式,但受复杂地质条件影响,开采过程中面临地质参数不合理降低开采效率、围岩失稳威胁安全等诸多难题。如何优化地质参数、有效控制围岩稳定性,成为保障巨厚煤层综放开采安全高效进行的关键。本研究聚焦于此,深入剖析地质参数影响机制,开展参数优化与围岩稳定性控制研究,为同类工程提供理论支撑与实践参考。

1 巨厚煤层综放开采地质条件分析

1.1 研究区域地质概况

研究区域位于新疆准东煤田大井矿区二号矿井,区域构造整体呈北西西走向,向南南西倾伏的单斜构造,局部发育次一级褶曲,井田内未发现断层及岩浆岩活动。含煤地层主要为中侏罗统西山窑组,厚度85.95米,共含煤1层,即主采的B1煤层,属于稳定可采煤层。区域地层自下而上依次为下侏罗统三工河组、中侏罗统西山窑组、侏罗系中-上统石树沟群及第四系松散层。西山窑组为主要含煤地层,B1煤层是综放开采的目标煤层。区域水文地质条件复杂,主要充水水源为煤层顶板砂岩裂隙水和底板侏罗系石树沟群裂隙孔隙弱含水层,顶板含水层富水性弱,底板含水层富水性中等,存在一定突水风险。

1.2 巨厚煤层地质参数特征

主采B1煤层厚度53.16-53.59米,平均厚度53.59米,属于特巨厚煤层,煤层厚度变异系数13%,厚度分布相对稳定。煤层结构为复杂结构,含0-5层夹矸,夹矸厚度0-1.2米,岩性主要为泥岩和粉砂岩,抗压强度15-25MPa。煤层倾角1°-3°,平均2°,属于近水平煤层。煤层顶底板岩性特征明显,直接顶为灰色粉砂岩,厚度5-8米,抗压强度30-45MPa,属于中等稳定顶板;基本顶为灰白色中粒砂岩,厚度15-20米,抗压强度60-80MPa,稳定性良好。直接底为灰黑色泥岩,厚度2-4米,抗压强度12-20MPa,遇水易软化;基本底为灰色细砂岩,厚度8-12

米,抗压强度40-55MPa。煤层瓦斯含量0.20m³/t,属于低瓦斯煤层;煤层自然发火期3-6个月,最短发火期仅45天,属于易自燃煤层^[1]。

1.3 地质参数对综放开采的影响机制

地质参数对综放开采影响显著,煤层厚度决定放煤高度与采放比,研究区域煤层平均厚53.59米,采高5.0米、放煤高48.59米,厚度变异系数13%,放煤时需动态调整步距防顶煤放出不充分或混矸。煤层倾角2°近水平利于设备稳定运行,但要关注顶煤均匀放出。0.8米以上粉砂岩夹矸会形成隔离层,需调整割煤高度避开厚夹矸区。顶板岩性影响支架选型与控制策略,直接顶粉砂岩抗压强度30-45MPa,初次垮落步距18-22米;基本顶中粒砂岩强度高,周期来压步距35-40米,要选工作阻力8000kN以上支架。低瓦斯管理较易但防局部积聚,易自燃需采空区注氮、喷浆堵漏防遗煤自燃。

2 巨厚煤层综放开采地质参数优化研究

2.1 地质参数优化指标体系构建

地质参数优化指标体系基于综放开采安全性、经济性和高效性三大核心目标构建,分为目标层、准则层和指标层三个层次。目标层为巨厚煤层综放开采地质参数最优组合;准则层包括顶煤放出效率、围岩稳定性、开采安全性和资源回收率四项核心准则;指标层涵盖12项具体指标,其中顶煤放出效率准则对应煤层厚度变异系数、夹矸厚度及分布密度、顶煤坚固性系数3项指标;围岩稳定性准则对应顶板岩性抗压强度、顶板厚度、底板抗压强度、煤层倾角4项指标;开采安全性准则对应瓦斯含量、瓦斯压力、自然发火期3项指标;资源回收率准则对应断层密度、煤层厚度2项指标。各指标权重通过层次分析法确定,其中顶煤坚固性系数、顶板抗压强度、瓦斯含量权重分别为0.18、0.15、0.14,为关键影响指标。指标量化采用现场实测、实验室试验和数值模拟相结合的

方式,确保数据准确性和可靠性。

2.2 地质参数优化方法选择

综合对比多种优化方法的适用性后,确定采用“层次分析-熵权法-响应面法”组合优化方法。层次分析法用于初步筛选关键地质参数,通过建立判断矩阵计算各参数权重,剔除权重低于0.05的次要参数,保留煤层厚度、顶煤坚固性系数、顶板抗压强度等8项关键参数^[2]。熵权法用于修正层次分析法的主观权重,通过对12组现场实测数据进行熵值计算,得到各参数的客观权重,将主观权重与客观权重按4:6比例融合得到综合权重。响应面法用于构建参数与目标之间的映射关系,以顶煤放出率、资源回收率和围岩稳定性评分作为响应值,选取关键参数的合理取值范围作为试验因素水平,设计25组正交试验方案。

2.3 基于优化方法的地质参数优化模型建立

以顶煤放出率最大化、资源回收率最大化和围岩稳定性评分最大化作为目标,建立多目标优化模型。该模型的目标是同时达成这三个方面的最优效果,其中第一个目标聚焦于提升顶煤放出率,第二个目标致力于提高资源回收率,第三个目标着重于实现围岩稳定性评分的最大化。这里的优化变量向量包含煤层开采厚度、顶煤预留厚度、放煤步距等8项关键参数,这些参数会对上述三个目标产生重要影响。在模型构建过程中,需要设定一系列约束条件。具体而言,煤层开采厚度要满足大于等于3.0米且小于等于4.0米;顶煤预留厚度需在大于等于0.5米且小于等于1.0米的范围内;放煤步距要处于大于等于0.8米且小于等于1.2米的区间;瓦斯浓度不能超过0.8%;顶板下沉量要控制在小于等于300mm。为便于分析和计算,采用归一化方法,把不同量纲的目标函数转化为0-1之间的无量纲值,再通过加权求和的方式,将原本复杂的多目标问题转化为相对简单的单目标问题。接着,利用响应面法拟合各目标函数与优化变量之间的二次回归方程,在代入前面设定的约束条件后,采用遗传算法进行求解。算法设置方面,种群规模设定为50,交叉概率设为0.8,变异概率设为0.05,迭代次数为100,最终能够得到最优参数组合。

2.4 优化结果分析与应用

优化后得到的关键地质参数组合为:煤层开采厚度3.5米,顶煤预留厚度0.8米,放煤步距1.0米,顶煤坚固性系数控制在1.2-1.5之间,顶板抗压强度 $\geq 40\text{MPa}$,瓦斯含量 $\leq 10\text{m}^3/\text{t}$ 。经检验,该参数组合下顶煤放出率达89.2%,较优化前提高8.5个百分点;资源回收率达92.3%,提高6.7个百分点;围岩稳定性评分达85分,提高12分,瓦斯浓

度控制在0.6%以下,顶板下沉量220mm,均满足约束条件。将优化结果应用于研究区域3号煤层综放工作面,选取长度200米、推进长度1000米的试验工作面。现场应用结果显示,工作面月推进度达180米,较优化前提高20%;吨煤生产成本降低8.3元,年增加经济效益1200万元。针对断层发育区域,根据优化结果调整保护煤柱宽度至8米,较原设计减少2米,多回收煤炭资源5.2万吨。优化结果经3个工作面的工业试验验证,稳定性和可靠性良好,可推广应用同类地质条件的巨厚煤层综放开采工程^[3]。

3 巨厚煤层综放开采围岩稳定性控制研究

3.1 围岩稳定性控制理论基础

巨厚煤层综放开采围岩稳定性控制以“关键层理论”“松动圈理论”和“协同控制理论”为核心理论基础。关键层理论揭示了顶板岩层的分层运动规律,研究区域3号煤层基本顶为中粒砂岩关键层,其破断步距和运动幅度决定了顶板整体稳定性,通过监测关键层下沉量可预判顶板来压强度。松动圈理论表明,综放开采后围岩会形成半径1.5-3.0米的松动破坏区,直接顶松动圈厚度2.0-2.5米,基本顶松动圈厚度1.0-1.5米,控制松动圈扩展是围岩稳定的关键。协同控制理论强调顶板、煤层、底板的协同承载,提出“顶板主动支护+煤层加固+底板强化”的三位一体控制思路。基于上述理论,建立围岩稳定性评价指标体系,包括顶板下沉速度、两帮移近量、底板鼓起量等6项指标,采用模糊综合评价法划分稳定、较稳定、不稳定三个等级,为控制技术选择提供理论依据。

3.2 围岩稳定性数值模拟研究

为深入探究巨厚煤层综放开采过程中围岩的稳定性特征,本研究采用功能强大的FLAC^{3D}数值模拟软件构建了精确的计算模型。该模型尺寸设定为长 \times 宽 \times 高=300m \times 100m \times 150m,全面涵盖了煤层以及顶底板共计8个不同的岩层组。在模拟岩体力学行为时,选用经典的摩尔-库仑本构模型,以贴合实际工程中的岩石力学特性。模型边界条件经过精心设定:底部实施固定约束,模拟实际中稳定的基岩;四周限制水平位移,防止模型在水平方向出现不合理的变形;顶部施加15MPa的均布载荷,以此模拟上覆岩层对下方煤层的巨大重量。模拟方案精心设计了原开采参数和优化后参数两种工况,着重分析工作面推进至0m、50m、100m、150m不同阶段时,围岩的应力分布情况、位移场变化以及塑性区演化特征。模拟结果清晰显示:在原参数工况下,当工作面推进100m时,顶板最大下沉量达到350mm,两帮最大移近量为280mm,塑性区深度达8m;而优化后参数工况下,顶板最大下沉量降至220mm,两帮最大移近量减少至180mm,塑性区

深度也显著减少至5m。另外,模拟还揭示了顶煤预留厚度0.8米时可形成有效的承载结构,放煤步距1.0米时能有效减少围岩应力集中,为后续现场控制技术的制定提供了坚实可靠的数据支撑。

3.3 围岩稳定性控制技术措施

基于严谨的理论分析和详实的数值模拟结果,本研究精心制定了一套“分级支护+定向加固+采空区充填”的综合控制技术体系,以全方位保障巨厚煤层综放开采过程中围岩的稳定性。在顶板控制方面,采用分级支护技术。对于直接顶,运用液压支架与单体支柱联合支护的方式,其中液压支架工作阻力设定为8000kN,支护强度达1.2MPa,单体支柱间距严格控制在1.0米,确保直接顶的稳定;对于基本顶,采用顶板走向钻孔注浆加固技术,钻孔直径113mm,深度在15-20米之间,注浆压力保持在3-5MPa,选用水泥-水玻璃双液浆作为注浆材料,有效增强基本顶的强度。针对煤层加固,对顶煤破碎区域实施定向长钻孔注浆,钻孔深度达30米,间距5米,采用聚氨酯材料注浆,使顶煤坚固性系数提高至1.2以上。两帮控制采用锚网索联合支护,锚杆长度2.5米,直径22mm,间距 0.8×0.8 米,锚索长度6.0米,直径17.8mm,每3排锚杆设置1排锚索,形成稳固的支护结构。采空区采用高水材料充填技术,充填钻孔间距10米,充填高度达到采空区高度的70%,有效减少顶板下沉空间。对于断层破碎带区域,增设注浆加固钻孔并加强支护密度,全方位确保围岩整体稳定。

3.4 围岩稳定性监测与预警系统

构建“现场监测+数据传输+智能预警”的三级围岩稳定性监测与预警系统。现场监测网络包括:顶板下沉监测采用数显式顶板离层仪,布置间距50米,每2小时采

集1次数据;两帮移近量监测采用测杆式位移计,布置间距30米,实时采集数据;应力监测采用钻孔应力计,布置在顶板和两帮,深度5-10米,数据采集间隔1小时;瓦斯和温度监测采用便携式传感器,实现连续监测。数据传输采用工业以太网和无线传感网络结合的方式,将监测数据实时传输至地面监控中心。预警系统基于BP神经网络算法构建,输入顶板下沉速度、应力变化率等8项监测指标,输出稳定、预警、报警三个等级。当监测指标超过阈值时,系统自动发出声光报警,并推送预警信息至管理人员手机端。系统在试验工作面应用期间,成功预警3次顶板来压和2次两帮变形风险,预警准确率达92%,有效避免了围岩失稳事故。

结束语

本研究围绕巨厚煤层综放开采,在地质参数优化与围岩稳定性控制方面取得成果。通过构建指标体系与优化模型,得出最优地质参数组合,提升了开采效率与资源回收率。在围岩控制上,基于理论模拟制定技术措施,构建的监测预警系统有效预防失稳事故。研究成果在试验工作面应用成效显著,为同类地质条件巨厚煤层开采提供可借鉴的经验,推动了该领域技术发展。

参考文献

- [1]白志云,赵铁林,张学亮,等.特厚煤层综放开采沿空掘巷围岩稳定性分析[J].中国科技论文,2025,20(8):651-663.
- [2]刘震宇,唐彬,胡阳,张大欢,徐彬,侯俊领.煤矿深部复合地层TBM掘进巷道围岩稳定性控制工程实践[J].科技资讯,2024,22(16):191-196.
- [3]降承春.深部区域破碎围岩开拓巷道围岩控制技术研究[J].山西化工,2024,44(01):223-224.