

隐伏断层对煤层地质条件及开采影响研究

陶学鹏

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 751400

摘要：隐伏断层是影响煤层地质条件与井下安全开采的重要隐蔽构造。本文结合勘探实测资料，系统梳理研究区隐伏断层发育分布特征，深入分析其对煤层赋存形态、顶底板稳定性、水文及瓦斯地质条件的改造机制，总结断层诱发顶板垮落、矿井突水、瓦斯异常等灾害的成因。针对开采过程中的各类难题，配套构建探测预警、工程优化、支护加固与灾害防控体系，可为断层发育矿区安全高效开采提供可靠参考依据。

关键词：隐伏断层；煤层地质条件；开采影响

引言：我国多数煤炭开采区广泛发育隐伏断层，该类构造隐蔽性强、识别难度大，受采掘扰动极易发生活化，严重破坏煤层原生地质环境，干扰正常采掘工序，是引发矿井地质灾害的主要诱因。现阶段针对中小型隐伏断层的影响机理及综合治理技术仍有待完善。为此，本文开展隐伏断层对煤层地质条件及开采的影响研究，明确其危害特征，制定科学防控措施，对保障矿井安全生产具有重要的工程实际意义。

1 研究区地质概况与隐伏断层发育特征

1.1 研究区基础地质条件

(1) 地层岩性特征：研究区地层发育完整，主要含煤地层岩性以砂岩、泥岩、砂质泥岩互层为主，岩层厚度分布较为稳定。整体岩层结构层次清晰，力学性质差异明显，顶板岩层整体性较好，底板岩层相对软弱，为煤层赋存提供了基础地质环境。(2) 地质构造概况：研究区整体构造格局相对简单，区域构造应力分布均匀，局部发育平缓褶皱与少量显性断层。整体构造活动强度偏弱，无大型断裂构造穿越工区，地质构造整体稳定性较好，为隐伏断层发育奠定了构造背景。(3) 煤层赋存条件：研究区主采煤层单层厚度适中，整体倾角平缓、埋深变化均匀，煤层连续性较好、整体稳定性较强。煤质组分稳定、变质程度均匀，原生赋存条件优良，适宜机械化开采。

1.2 隐伏断层探测与识别

(1) 隐伏断层探测技术：研究区综合采用地震勘探、电法勘探、地面钻孔及井下物探等探测手段。各类技术互补适配，可精准识别地下裂隙、错断构造，有效判定隐伏断层位置、规模及赋存状态。(2) 研究区隐伏断层识别标准：结合区域地质资料与探测数据，建立本地化隐伏断层识别标准，以岩层错动幅度、地层不连续界面、破碎带响应特征为核心判定依据，明确断层落

差、延伸长度等关键识别参数。(3) 隐伏断层分布规律：通过实测数据统计可知，研究区隐伏断层整体分布具有区域性特征，多以中小型断层为主，走向、倾向规律性明显，多集中发育在构造应力局部富集区域，整体呈带状零散分布^[1]。

1.3 隐伏断层基本发育特征

(1) 几何特征：区内隐伏断层整体规模偏小，延伸长度有限，多为局部切割型构造，对煤层形成局部错断扰动。断层破碎带宽度较小，影响范围可控，空间切割关系简单。(2) 力学特征：隐伏断层由区域轻微构造应力挤压、错动形成，构造应力集中程度较低，断层整体活动性弱，常态下稳定性较好，仅在采掘扰动作用下存在轻微活化风险。(3) 水文地质特征：多数隐伏断层密闭性较好，整体富水性、导水性较弱，仅局部破碎带存在微量裂隙渗水，与区域地下水系统连通性较差，对矿井水文条件影响有限。

2 隐伏断层对煤层地质条件的影响机制

2.1 对煤层赋存形态的改造作用

(1) 煤层连续性破坏：隐伏断层在构造运动作用下会自上而下切割煤层及顶底板岩体，打破煤层原生完整的层状结构。受断层错动影响，原始连续的煤层会出现明显错断、局部缺失、层位分叉等现象，使煤层空间展布不再规整。断层切割程度的差异会造成煤层断续分布、层位错位严重，大幅复杂化煤层整体赋存结构，破坏煤层原生连续性与完整性，为后续采掘施工带来结构性难题。(2) 煤层厚度变异：隐伏断层形成过程中的挤压与拉伸构造应力，会对煤体产生强烈的改造作用。断层拉伸区段煤体被拉张剥离，煤层变薄甚至出现缺煤带；断层挤压区段煤体受挤压揉皱、压实堆积，形成局部厚煤带。厚薄煤带无序交替分布，导致煤层厚度空间变异系数大幅增大，彻底破坏煤层赋存的均匀性与稳定

性,造成煤层赋存条件复杂化^[2]。(3)煤层倾角变化:研究区原生煤层多为平缓单斜构造,倾角整体稳定。隐伏断层的构造错动与局部应力调整,会改变局部煤岩层的产状条件,使断层影响带内煤层发生倾斜偏转与起伏变形。局部煤层倾角忽大忽小,出现波浪式起伏形态,彻底打破煤层原生平缓的赋存状态,造成煤层产状紊乱,不利于机械化标准化开采。

2.2 对煤层顶底板地质条件的影响

(1)顶底板岩层完整性破坏:隐伏断层发育过程中伴随强烈的构造应力作用,使煤层顶底板岩体产生大量构造裂隙、节理及破碎结构。断层核心影响带内岩层整体性被彻底割裂,完整岩层转变为碎裂状、块状结构,岩层层理紊乱、结构破碎,极大降低了顶底板岩层的整体完整性与结构连续性。(2)顶底板稳定性弱化:受断层构造改造,顶底板破碎带岩体松散破碎、胶结程度差、力学强度显著降低,围岩自身承载能力大幅下降。在原始地应力与采掘扰动应力叠加作用下,破碎围岩极易发生弯曲变形、裂隙扩张、岩体脱落等问题,顶板下沉、底板鼓起、围岩失稳现象频发,整体围岩稳定性显著弱化^[3]。(3)顶底板水文条件恶化:隐伏断层产生的贯通性裂隙网络,打破了原有隔水层的封闭结构,成为地下水径流、运移的良好通道。深部含水层水体可通过断层裂隙向煤层顶底板渗透、富集,大幅提升顶底板含水饱和度,增大巷道淋水、底板突水、顶板涌水风险,彻底改变煤层原生平稳的水文地质条件。

2.3 对煤层瓦斯地质条件的影响

(1)瓦斯储存空间改变:隐伏断层破碎带裂隙、孔隙极为发育,岩体结构松散,相较于完整致密煤岩层,可提供大量游离瓦斯储存空间。断层影响区域会形成局部瓦斯储集空间,使原本均匀分布的煤层瓦斯重新聚集,形成高低错落的瓦斯富集区,造成瓦斯分布极度不均。(2)瓦斯运移通道形成:隐伏断层贯通煤层与顶底板围岩、邻近岩层,打通了封闭的瓦斯存储体系。构造裂隙网络构成多级瓦斯运移通道,促使煤层内部吸附瓦斯不断解吸、运移、扩散,瓦斯由高压区向低压区流动,并在断层破碎带等有利空间持续富集,加剧区域瓦斯异常现象。(3)瓦斯压力异常分布:断层构造应力的局部集中效应,会压缩煤层瓦斯存储空间,阻碍瓦斯正常逸散,使断层周边煤层瓦斯压力持续升高,形成局部高压异常区。瓦斯压力梯度显著增大,煤层瓦斯含量与压力分布失衡,极大提升煤与瓦斯突出风险,埋下严重的瓦斯灾害隐患。

3 隐伏断层对煤层开采的影响及防控技术措施

3.1 隐伏断层对煤炭开采工艺的影响

(1)对巷道掘进的影响:隐伏断层发育区域围岩整体性差、破碎程度高,巷道掘进过程中,掌子面围岩极易出现松动破碎现象。常规支护方式难以适配破碎围岩工况,支护施工难度与工序复杂度显著提升,施工中频繁出现巷壁偏帮、顶板冒落等问题。同时,施工过程中需反复处理破碎岩体、补强支护,大幅降低巷道掘进速度,增加材料、人工及设备损耗成本,严重影响掘进施工效率。(2)对工作面回采的影响:隐伏断层改造后煤层赋存形态紊乱,厚度、倾角无规律变化,导致标准化回采工艺难以落地。采煤设备无法适配波动的煤层条件,切割深度、采高难以统一,易出现采高不均、顶煤残留、局部丢煤等问题。断层区域煤体破碎、稳定性差,还需降低回采速度,进一步加剧回采工艺适配难题,最终降低工作面煤炭回采率与开采规整度。(3)对开采进度的影响:井下采掘作业揭露隐伏断层后,无法按照原开采方案施工,需临时调整掘进、回采路线,优化开采参数。同时,为防范地质灾害,需额外开展隐患排查、围岩加固、水瓦斯监测等辅助工作,增加大量施工工序与作业时长。断层密集区域甚至需暂停采掘作业进行方案整改,大幅延缓整体开采进度,制约矿井常态化高效生产^[4]。

3.2 隐伏断层诱发的开采地质灾害分析

(1)顶板垮落与片帮灾害:隐伏断层破碎带围岩结构松散、力学强度极低,自身承载能力薄弱。在采掘扰动、地应力重新分布的叠加作用下,断层影响范围内的顶板岩层易发生裂隙扩张、岩层脱落,引发大面积顶板垮落;煤壁失去完整围岩支撑,极易出现开裂、滑移,诱发严重片帮灾害,直接威胁工作面人员与设备作业安全。(2)矿井突水灾害:隐伏断层的构造裂隙可贯通煤层顶底板含水层与隔水层,形成隐蔽的地下水运移通道。原始状态下断层导水性较弱,但开采扰动会激活裂隙网络,导通深部地下水,破坏原有水文平衡,极易诱发顶板淋水、底板突水等灾害,若防控不及时,易造成巷道积水、工作面淹井等安全事故。(3)瓦斯突出与爆炸灾害:断层破碎带是瓦斯富集的主要区域,区域内积聚大量高压游离瓦斯。采掘作业扰动会打破瓦斯压力平衡,导致高压瓦斯快速释放,造成工作面瓦斯浓度超限。同时,瓦斯快速涌出易诱发煤与瓦斯突出事故,若瓦斯浓度达到爆炸极限,遇机械摩擦火花、静电火花等火源,极易引发瓦斯爆炸灾害。(4)设备损坏与资源浪费:断层区域煤层破碎、赋存条件复杂,采煤机、刮板输送机等设备作业负荷波动较大,易出现卡堵、磨损、

故障损坏等问题,增加设备维修与更换成本。此外,断层造成的煤层错断、缺失、薄煤带发育,使得大量煤炭资源无法有效回采,进一步降低矿井资源回收率,造成煤炭资源浪费。

3.3 隐伏断层区域开采优化技术措施

(1) 精细化探测预警措施:整合地震勘探、井下瞬变电磁、钻孔探测等多种技术,构建立体化、高精度隐伏断层综合探测体系。针对采掘前方未知区域开展超前探测,精准判定断层位置、落差、破碎带范围及含水、瓦斯特征,建立动态地质数据库,实现断层隐患提前识别、精准预警,为开采方案优化提供数据支撑。(2) 巷道与工作面优化布置:结合隐伏断层空间分布规律,优化矿井采掘工程布局,在设计阶段尽量规避断层密集、落差较大的核心影响区域。针对无法规避的小型断层区域,合理调整巷道掘进坡度、走向及工作面尺寸,简化开采工艺适配难度,减少断层对采掘作业的持续影响,保障开采作业连续稳定推进。(3) 差异化支护加固技术:根据断层破碎带围岩破碎程度、应力分布特征,采用差异化支护方案,摒弃单一支护模式。通过锚杆、锚索主动支护搭配金属网护顶护帮,配合注浆加固技术填充围岩裂隙,胶结破碎岩体,提升围岩整体性与力学强度,有效防控顶板垮落、煤壁片帮等围岩失稳问题^[5]。

3.4 断层区域灾害防控安全保障体系

(1) 水害防控体系:针对断层导水、富水特征,构建完善的水害防控体系。对断层破碎带实施注浆堵水工程,封堵地下水运移裂隙通道;对高压含水层区域开展疏水降压作业,降低地下水静水压力。同时布设水文监测点位,实时监控涌水量、水位变化,实现断层水害超前防控、有效治理。(2) 瓦斯防控体系:建立断层区域专项瓦斯防控机制,对瓦斯富集区实施定向钻孔抽采,提前卸除煤层瓦斯压力,降低瓦斯富集量。优化工

作面通风系统,保障风流稳定,实现瓦斯持续稀释与排出。布设全覆盖瓦斯浓度监测设备,实时动态监控瓦斯浓度,及时处置瓦斯超限隐患,杜绝瓦斯灾害事故发生。(3) 安全管理保障:建立断层区域专项开采管理制度,明确采掘施工、支护加固、隐患排查的标准化作业流程。强化现场安全管控,对断层区域施工实行专人监护、专项验收制度。定期开展作业人员安全培训与应急演练,提升工作人员对断层灾害的辨识、处置能力,从制度、管理、人员层面筑牢矿井安全生产防线。

结束语

本文完整分析了研究区隐伏断层的基本发育特征,揭示其对煤层赋存、顶底板围岩、水与瓦斯地质条件的多重影响机制,阐述隐伏断层对采掘工艺、开采进度的制约作用及各类地质灾害的诱发规律。结合现场实际工况提出针对性开采优化措施与安全防护体系,有效解决断层区域开采技术难题,研究成果能够为同类地质条件矿井的灾害治理与高效生产提供一定的参考与借鉴。

参考文献

- [1] 张建国,邱黎明.深部煤层不同类型隐伏构造致灾规律研究[J].煤炭科学技术,2023,51(S2):50-59.
- [2] 张玉军,张志巍.承压水体上煤层底板下位隐伏断层采动突水机制研究[J].煤炭科学技术,2023,51(2):283-291.
- [3] 黄冬斌,康向涛,高璐,等.煤层群中断层对采动裂隙演化规律的影响研究[J].煤矿安全,2024,55(9):128-138.
- [4] 彭苏萍,许献磊.煤矿隐蔽致灾地质因素探测技术现状与趋势[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2025,45(5):78-86.
- [5] 张小虎.槽波地震勘探技术在煤矿隐伏断层探测中的应用——以钱营孜煤矿为例[J].黑龙江国土资源,2025,23(6):50-55.