

煤矿复杂地质条件下过断层技术

郝壮壮

乌海市裕隆利胜矿业有限公司 内蒙古 乌海 016000

摘 要: 断层是煤矿井下采掘中难以避免的常见地质构造, 破碎带岩体完整性差、应力分布失衡, 容易诱发顶板沉降、围岩剥落等问题, 直接影响井下作业安全与推进效率。本文结合复杂地质条件下断层的发育特征与施工难点, 梳理超前探测、围岩加固、采掘优化、裂隙防控四类核心技术, 为矿井断层穿越施工提供实践参考。

关键词: 煤矿; 复杂地质条件; 过断层技术

引言

煤炭资源开采深度不断增加, 井下地质条件愈发复杂, 断层构造在绝大多数采掘工作面都有不同程度的发育。断层破碎带岩体结构松散、承载能力偏弱, 受开挖扰动后极易出现围岩失稳、裂隙渗水等状况, 不仅拖慢采掘作业节奏, 还会大幅提升现场安全管控难度。常规施工与支护手段适配性有限, 针对断层区段优化施工技术, 是保障矿井平稳生产的重要前提。

1 煤矿复杂地质条件下过断层技术概述

地下煤炭开采作业会频繁受到各类地质构造的干扰, 约 65% 的采掘工作面会受断层构造不同程度影响, 它也是影响矿井正常生产的主要地质因素。复杂地层内部的断层区域岩体完整性不足, 岩层组合杂乱, 整体结构松散, 原有地层应力分布格局会随之发生改变, 围岩整体承载能力显著下降。采掘工程推进至断层发育区段时, 松散破碎的岩体极易引发顶板失稳、巷壁脱落等现场问题, 造成井下施工条件恶化, 作业推进节奏受阻。对复杂地质环境下的断层穿越施工开展技术优化与工艺改进, 可针对性匹配特殊地层的开采工况, 有效改善断层区段围岩的受力条件, 维持井下作业空间的整体稳定性。断层穿越施工质量直接关系矿井采掘工作的平稳性, 施工手段的科学程度对现场作业成效有着直接影响。常规开采及支护手段通用性有限, 难以应对复杂断层带来的多变施工条件, 无法有效适配特殊构造区段的作业标准。现场技术改良主要围绕前期地质探测、岩体加固处理、采掘工艺调整、裂隙治理防护等关键环节展开, 逐步优化完善适配复杂断层地层的施工体系^[1]。各类针对性施工技术的落地运用, 可有效削弱不良地质构造对煤炭开采的负面影响, 提升井下围岩的稳固效果, 保障矿井采掘工作平稳有序开展。

2 复杂地质条件下断层特征及施工影响

2.1 断层发育基本特征

岩层在漫长构造应力持续作用下发生断裂错动, 由此生成断层构造, 构造作用力的作用形式存在区别, 也使得断层展现出各不相同的类别属性, 岩层发生相对错动的实际走向, 是界定断层类型的核心判断依据。断层中部普遍发育规模不一的破碎条带, 原本整体性完好的围岩经过挤压碾磨之后转变为松散碎屑填充物, 岩层原有连续结构被完全割裂, 自身承载性能较完整岩层衰减 40%-60%。主断层面周边还会萌生大量次生细微裂隙, 相互交织形成贯通性裂隙系统, 持续拓展地层内部软弱构造的分布范围。断层在空间延伸形态上具备较强多变性, 走向与倾角参数会随着延展路径不断产生变化, 部分区段还存在数条次级小断层相互交织穿插的情况, 整体构造复杂程度随之上升。原始地层内部应力分布状态在断层边界位置出现重新调整, 应力集聚现象大多集中分布于断层上下盘围岩之中, 整体受力排布表现出不均衡的空间特点。这类结构特质造成断层区段成为地层力学性能最为薄弱的区域, 也是采掘线路向前推进阶段需要提前辨识、针对性处理的典型不良地质构造。

2.2 断层围岩变形特点

受长期地质构造运动的持续改造, 断层周边岩体原生结构形态发生显著改变, 其力学性能与稳定状态和完整原生岩层存在明显差异。断层破碎带内岩体结构松散细碎, 颗粒间胶结联结程度偏弱, 自身抗变形承载基础薄弱, 开挖施工带来的动力扰动极易诱发局部掉块片帮问题, 采掘作业形成的力学干扰会打破地层原有应力平衡, 驱动岩体产生持续性位移与变形。围岩变形发展呈现出清晰的阶段性规律, 前期以微裂隙逐步扩展、结构面小幅滑移为主, 整体变形速率相对平缓, 当采掘工作

面推进至距断层 20-30m 范围时,岩体变形速率会持续加快。断层上下两盘岩体的应力响应特征存在差异,两侧变形幅度与位移方向各不相同,极易引发巷道结构出现非对称变形现象。地层水体的渗流作用会持续劣化岩体结构强度,可使岩体整体强度下降 20%-35%,推动软弱结构面发生持续滑移错动,进一步扩大围岩变形的波及范围^[2]。岩体变形的差异化特征加大了断层区段的围岩管控难度,也对井下过断层施工的支护形式与现场管控标准提出了更高适配要求。

2.3 过断层施工核心难点

矿井巷道穿越断层区段的施工过程存在诸多技术阻碍,现场作业的稳定把控难度显著高于普通煤层开采工序,整体施工风险提升约 40%。断层影响范围内的岩体结构松散杂乱,岩层胶结程度较差,采掘设备扰动与岩层开挖会直接打破岩体原有平衡状态,诱发顶板松动滑移、巷帮剥落等现象。地层构造发育并无固定规律,大量隐蔽裂隙和小型断裂穿插分布于岩体内部,前期探测仅能覆盖约 80% 的显性构造特征,无法完全覆盖所有细微构造特征,导致施工部署难以完全贴合现场真实地质条件,易出现支护参数与现场实际工况不匹配的问题。松散岩体承载能力波动幅度较大,传统支护结构的适配效果有限,受力不均衡问题较为突出,无法持续保障巷道空间的整体稳固性。裂隙渗水会持续侵蚀岩体结构,不断降低岩层自身强度,提升围岩失稳坍塌的潜在风险。地质条件的动态多变性让固定的施工流程无法适用现场工况,作业模式需要实时灵活调整,对现场施工技术把控与动态调控水平有着较高的要求。

2.4 断层对采掘作业的影响

矿井采掘工作面靠近构造破碎区域后,煤层原生赋存结构将出现显著变化,整体岩层的连续延展特性遭到破坏,固定的采掘作业方式无法适配现场施工条件。构造变动使地层内部应力格局产生重新排布,开挖扰动作用会推动应力在破碎岩体边缘聚集,诱发岩层错动和结构位移,干扰井下作业空间的整体稳定性。破碎区域岩体自身承载基础薄弱,开挖施工会持续扩张内部裂隙结构,提升顶板沉降和巷帮形变的发生概率,通常会使工作面掘进速度下降 30%-50%,制约采掘作业的推进效率。构造裂隙的贯通特性会改变局部地层介质的储存在与运移条件,提升井下工况的复杂程度,增加现场施工管控难度,也会相应拉长作业衔接周期、抬高生产组织成本与安全防控投入力度。施工环节需要结合现场构造变化灵活调整采掘参数与支护布置体系,固化的作业工序难以适配多变的地质工况^[3]。构造带来的地层扰动作用

会持续作用于穿越施工全流程,直接左右井下采掘工作的开展质量,是矿井井下开采作业中必须重点把控的地质影响条件。

3 煤矿复杂地质条件下过断层核心施工技术

3.1 断层超前探测技术

井下复杂地质构造区域的施工作业,高度依赖前期地质辨识工作提供可靠依据。地层内部隐藏的断裂构造与次生裂隙分布杂乱,极易造成现场施工判断出现偏差,提前落实精细化探测工作可最大程度弱化未知地质条件带来的施工干扰。现代矿井地质探查工作整合多样化的探测方式,通过捕捉地层物理属性的变化特征,完成地下构造位置界定与形态判定,清晰掌握工作面前方岩层组合状态与构造发育情况。各类探测方式适配不同的地层环境,可精准识别隐蔽构造分布区域、破碎岩体发育规模以及岩层错动特征,较传统单一探测方式识别精度提升约 25%,改善其精准度有限的问题。多层级的探查模式可全方位排查掘进前方地质条件,梳理断层构造的空间延伸特征与围岩结构变化规律,精准划定构造破碎区域的影响边界。探测所得的地质资料可为现场施工方案调整、支护结构布设以及采掘作业调控提供有效参考,减少岩层失稳、地层介质异常变化等不良作业情况的出现。优化复合型探测手段的应用方式,提升复杂地层构造识别精度,可有效强化断层穿越施工的前置预判水平,保障井下采掘作业平稳有序开展。

3.2 断层围岩加固支护技术

断层构造影响范围内的岩体整体性遭到破坏,自身承载储备大幅下降,采掘施工带来的岩体扰动会持续诱发岩层松动与位移现象,做好围岩加固与支护处置,是保障巷道作业空间稳定的关键技术环节。现场支护处置依托复合型防护思路开展岩层改造,通过多元施工手段优化破碎地层的结构形态,强化围岩整体承载水平与抗扰动能力。锚固类支护构件可对浅表松散岩层形成约束作用,实现浅层破碎岩体与深部稳定岩层的有机结合,有效限制内部裂隙扩张与岩层相对滑移。防护类支护结构能够适配地层应力动态调整过程,持续承接围岩形变产生的荷载作用,避免巷道整体结构出现失稳破损。面对含水破碎等恶劣地层环境,注浆加固手段可以充实岩体内部空洞缝隙,胶结零散破碎岩块,可使破碎岩体整体承载能力提升 40% 左右,重新构建破碎岩层的整体力学结构。复合型支护模式能够弥补单一支护形式的适配缺陷,贴合断层区域围岩受力复杂、形变多变的地层特点^[4]。合理搭配各类支护工艺并规范现场施工标准,可有效约束围岩形变发展,保障断层穿越施工全程的巷道稳

定性,为井下采掘工作平稳推进提供可靠的结构支撑。

3.3 过断层采掘工艺优化

煤层受构造运动影响产生断裂错动后,原始赋存结构会出现大幅改变,常规采掘作业流程适配性大幅下降,无法适应构造区域复杂多变的岩体条件。对现场采掘工艺进行个性化调整与优化改造,是提升断层区段施工质量的关键举措。构造区段作业需要摒弃固化的截割思路,依据现场岩体破碎程度与构造空间形态灵活调整掘进路径,贴合岩层界面起伏变化的实际工况。对于岩体硬度较高、破碎程度密集的施工区段,可提前开展岩体预处理工作,削弱岩层整体结构强度,减轻采掘设备作业荷载,弱化开挖行为对周边围岩的扰动影响。通过动态调整工作面作业高度、掘进方位以及设备摆放状态,缩减多余破岩工序,保障采掘作业持续稳定开展。施工过程可依据地质差异划分作业区段,区分完整岩层与构造破碎带的作业标准,适度放缓核心构造区域的掘进速度,控制在正常速度的 50%-60%,规避快速开挖带来的围岩结构失稳隐患。动态调整各施工工序的衔接模式,协调采掘、支护与排矸作业的配合节奏,可有效降低施工扰动对围岩结构的损伤,提升复杂地质条件下断层穿越施工的整体适配性。

3.4 断层裂隙防控技术

断层带内部普遍存在大量交错发育的裂隙体系,这类结构缺陷会大幅削弱岩层的完整状态,让井下施工环境出现明显劣化。采掘开挖带来的动力干扰会和原生构造应力相互叠加,促使岩体内部细微裂隙不断延伸、贯通,逐步形成连续的渗透与应力传递路径,围岩整体稳定性能随之持续下降。对构造裂隙开展主动管控与治理,是完善断层区域围岩治理体系的重要组成部分。现场裂隙治理作业以空隙充填和结构固化为核心技术思

路,利用改性注浆介质对岩体内部空隙及裂隙通道进行充实封堵,实现松散岩块的整体胶结,重塑破碎岩层的力学结构形态。裂隙封堵治理可有效阻隔地层水体的渗透扩散,减弱水体侵蚀对岩体结构的弱化作用,限制裂隙持续发育延展。现场治理方式可结合裂隙发育疏密程度、空间分布特征以及含水条件灵活调整,对构造复杂区域开展精细化充填固化,保证岩体孔隙充填的饱满度与均匀性,整体充填密实度可达 80% 左右^[5]。系统化的裂隙治理模式能够有效阻隔地层介质无序运移,稳步提升断层区段岩体的结构完整性与抗干扰性能,与支护加固、采掘优化工艺相互协同,全面改善复杂构造区域的井下作业条件,保障开采施工全过程的地层结构稳态。

结束语:未来,煤矿开采面对的地质条件会愈发复杂,过断层施工技术也需向着精准研判、智能适配的方向不断优化迭代。搭配使用新型探测装备与改性注浆材料,可逐步提高断层构造识别准确度与围岩加固成效,通过动态调控机制适配现场多变的地质工况。多项技术联动完善施工体系,能更有效化解复杂地质带来的施工难题,为矿井安全高效开采筑牢坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 尹天威. 复杂地质条件下煤矿掘进巷道过断层破碎带支护技术研究 [J]. 能源与节能, 2026(6): 244-246+250.
- [2] 陈良武, 苗峥, 万磊, 等. 复杂地质条件下煤矿巷道支护与 TBM 快速掘进技术研究 [J]. 建筑机械化, 2026, 47(4): 64-69.
- [3] 管国辉, 王连营, 唐留民. 复杂地质条件下煤矿掘进支护技术的应用研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2026(4): 169-171.
- [4] 姚旭. 复杂地质条件下煤矿高效掘进技术的应用与实践 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2026(2): 166-168.
- [5] 陈阳, 王凯, 党浩楠. 复杂地质条件下煤矿巷道高效支护技术优化 [J]. 能源新观察, 2026(3): 102-103.