

面向复杂地质条件的煤矿采煤掘进支护技术分析

秦利明

(中国华能华亭煤业集团大柳煤矿公司, 甘肃 平凉 744201)

摘要 我国煤炭资源开采逐渐向深部以及地质构造复杂的区域深入, 煤层的赋存条件逐渐复杂, 对采煤掘进工作产生严重的安全威胁。由于复杂的地质条件会对煤矿采煤掘进产生影响, 因此需要采用锚杆支护技术、喷射混凝土支护技术、复合支护技术等掘进支护技术, 保证煤矿采煤过程更加安全。本文通过案例分析, 提出掘进支护的优化方案, 以期为保障复杂地质条件的煤矿采煤安全提供有益参考。

关键词 复杂地质条件; 煤矿采煤; 掘进支护技术

中图分类号: TD82

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.24.041

0 引言

在煤矿采煤过程中, 断层带、裂隙发育区等复杂的地质构造, 会使围岩自稳能力显著降低, 同时也会存在富水层、溶洞等复杂的水文地质, 影响了支护结构的耐久性能。根据复杂地质条件, 采用掘进支护技术, 通过优化支护效果, 可以有效降低冒顶、片帮事故的发生率, 同时也能抑制采动应力诱发的冲击地压连锁反应, 在保证采煤安全的同时, 也能实现煤炭资源的深度开发。基于此, 探讨复杂地质条件的煤矿采煤掘进支护技术具有重要的现实意义。

1 复杂地质条件对煤矿采煤掘进产生的影响

1.1 复杂的地质构造

在复杂地质条件下进行煤矿采煤掘进, 由于地质构造复杂, 而且相互作用, 对采煤掘进作业造成严重的影响, 降低了采煤的效果。一般复杂的地质构造主要包括褶皱、断层、陷落柱等类型, 它们呈现出密集分布的现象, 而且相互叠加, 显著增加了煤炭开采的难度。同时, 褶皱还会导致煤层产状出现剧烈的变化, 使其走向和倾角都极不稳定, 从而影响了煤炭采掘作业的连续性, 并降低了采煤的安全性^[1]。对于断层这一地质构造来说, 其不仅会破坏煤层自身的完整性, 还会诱发巷道顶板垮塌、瓦斯突出等重大的安全隐患。尤其是在断层带的附近, 围岩经常会出现破碎且裂隙发育等现象, 这些复杂的现象都会增加采煤掘进支护难度。此外, 复杂的地质构造还会造成煤层厚度出现剧烈的波动。在掘进的过程中, 会遭遇煤层急剧变薄甚至是完全消失等紧急情况, 这样就会导致作业人员频繁地调整掘进的方向以及采煤掘进的工艺参数, 严

重影响了采煤施工的效率。同时, 褶皱和断层等复杂地质构造也会严重干扰矿井通风系统的布置, 使得矿井内的通风效果大幅下降, 进而增加了瓦斯聚集和火灾等隐患, 进一步威胁了采煤掘进的安全性, 影响煤矿开采的效率及安全性。

1.2 围岩稳定性较差

在复杂地质条件下, 煤矿采煤掘进作业也存在围岩稳定性差的问题。由于围岩是由泥岩、页岩等软弱的岩层所构成, 这类岩石不仅强度比较低, 而且还存在着遇水软化、膨胀等特性, 在风化的作用下, 围岩的承载能力也会进一步降低。在巷道掘进的过程中, 这类不稳定的围岩就会容易出现塑性变形, 甚至发生突发性垮塌等安全危害, 给掘进支护工作和日常的安全维护带来了较大的压力。尤其是复杂的地质构造, 往往会导致围岩应力场呈现出非均匀分布的特征, 在某些区域中还会出现显著的应力集中等现象, 这种局部的高应力状态, 则会加速围岩自身的破坏进程, 导致围岩稳定性大幅下降。围岩应力分布不均, 会导致工程人员无法准确地预测出围岩变形的实际趋势, 这会给后续围岩稳定性控制工作增加难度, 也会影响煤矿采煤掘进工作的有序、安全开展。

1.3 地应力变化大

地壳中的原始应力场在复杂地质环境中, 往往会呈现显著的空间变异等特征。这种天然应力分布的状态及其动态变化, 会对煤层及其围岩系统的稳定性产生决定性的影响。在煤矿采煤掘进的过程中, 当工作面推进到高应力异常区域的时候, 往往会诱发剧烈的矿山压力显现现象, 导致巷道顶板快速地下沉, 底板

也呈现出显著的隆起现象,巷道侧帮则出现了严重的内挤,这些变形现象一旦严重,就会引发整体性巷道失稳的情况,导致采煤掘进工作更加危险^[2]。更为关键的是,一旦地应力场出现非均匀分布现象,就会显著改变支护体系的受力状态,如果在设计支护方案时,没有充分考虑应力重分布的效应,则会导致支护结构承载能力不足,进而丧失对围岩的有效控制,围岩会出现塌陷等现象,导致煤矿开采发生生产安全事故。

2 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术要点

在复杂的地质构造、围岩的条件下,煤矿采煤掘进效率大幅下降,降低了采煤的安全性,需要采用科学合理的支护技术,通过锚杆、混凝土等支护技术,提升煤矿采煤掘进效果,增加采煤作业的安全性。

2.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术主要是通过锚固系统,将围岩与支护体系形成协同承载结构,保证加固效果得到提升。锚杆支护技术主要是由锚杆体、锚固介质以及承压组件构成,并通过钻孔安装、注浆锚固等工艺,实现对巷道的充分支护。该技术适用于一些软弱的岩层或者是层状岩体等复杂地质条件,实现围岩加固的效果。锚杆支护技术的核心优势是施工更加便捷,支护安全可靠、高效且经济。

在锚杆支护技术实施过程中,要进行科学的选型,规范施工的流程,需要依据巷道围岩的特性以及地质条件,合理地确定锚杆的具体型号及技术的参数。锚杆在具体支护中,能显著抑制巷道变形情况,有效提升围岩的整体性以及承载性能,同时大幅度减少后期维护的次数。在具体实施中,必须严格控制锚杆的预应力以及锚固强度,保证锚固系统能够具备足够的抗拉性能。此外,还需要结合煤矿的实际地质特征以及具体开采要求,科学设计锚杆的排布方式以及间距参数。在一些岩体破碎带或极软弱的地层,锚固支护技术需要与其他的支护技术结合使用,其支护效果才能得到显著提升。

2.2 喷射混凝土支护技术

喷射混凝土支护技术是煤矿巷道支护中的一项重要工艺,适用于围岩风化严重的地质条件中。此支护技术主要是通过高压喷射混凝土的方式,形成连续的

支护层,能显著地增强巷道自身的稳定性,还能有效控制围岩变形现象,为后续的采煤掘进作业提供更加可靠的安全保障^[3]。在具体支护实施过程中,必须结合巷道围岩的特性以及采煤掘进的需求,配置合理的混凝土,优化喷射混凝土的厚度以及配筋方式,以充分地发挥其支护效能。同时,需要严格把控材料质量以及施工工艺标准,保证支护结构能够达到预期的效果。

2.3 复合支护技术

除了使用锚杆支护以及喷射混凝土支护技术以外,还可以采用复合支护技术,主要是煤矿巷道掘进过程中,通过协同运用多种支护手段,科学地配置不同支护方式形式,来维持围岩的稳定性。在面对复杂多变的地质环境时,单一的支护形式已经无法达到理想的支护效果,需要采用集成化的支护方案。组合支护技术主要分为锚杆与锚索协同支护、锚杆与金属网联合支护、锚杆与喷射混凝土组合支护等类型。这些组合方案能充分地发挥出各类支护的技术优势,并实现对煤矿巷道围岩的多层次控制,提升支护效果。以锚杆、锚索协同支护为例,它既保留了锚杆自身局部锚固的特性,又兼具了锚索整体悬吊的功能,能够构建出更稳固的支护网络。采用混合的支护方法,能够让支护效果更加显著,适应多种复杂的地质条件,为煤矿安全生产提供可靠的保障。

3 采煤掘进支护技术应用案例分析

3.1 案例概述

以某矿区1号井为例,其东部运输中巷的断层间接底板施工中,地质勘察显示了该区域底板主要是由含砾粉砂岩、砂质泥岩等地质所构成,局部区域还含有厚度为10 m的泥岩和炭质泥岩层,地质条件复杂。而且部分区段的岩层厚度具有明显的差异,有的厚度已经超过10 m,有的厚度则不足2 m。从岩体力学的特性进行分析,这类岩层的结构相对软弱,其抗压强度和刚度也比较低,会出现底板破碎失稳等现象,其具体参数详见表1^[4]。

从表1的数据中可以发现,矿区1号井内由岩层构成的巷道底板存在显著的结构缺陷,在掘进扰动的作用下,容易出现岩体破裂、局部垮落等现象,降低了围岩的稳定性,给巷道支护带来严峻的挑战。

表1 底板岩石物理性能参数

底板	名称	取样深度 (m)	物理实验 (%)			力学实验 (MPa)		
			固定性	吸水率	饱和吸水率	抗压强度	抗拉强度	抗剪强度
直接底板	粗砂岩	441.17 ~ 455.98	—	5.12	5.51	18.64	—	1.38
间接底板	粉砂岩	472.47 ~ 491.82	1.28	0.57	0.81	38.94	1.97	8.42

3.2 支护技术的优化方案

根据上述案例的分析，需要采用采煤掘进支护技术，保证巷道底板得到有效防治，提升采煤的安全性。在设计的过程中，应详细地分析诱发底板灾害的各类因素，尤其是针对含膨胀性矿物的底板岩层，需要重

点考虑矿区内水文地质情况，确定水文地质构造是否正常。目前，已经建立了煤矿开采地质信息管理系统，具体如图 1 所示^[5]。

在进行地质勘察后发现，由于地下水侵蚀，导致岩体膨胀问题，需要铺设防水材料，以有效阻断水分

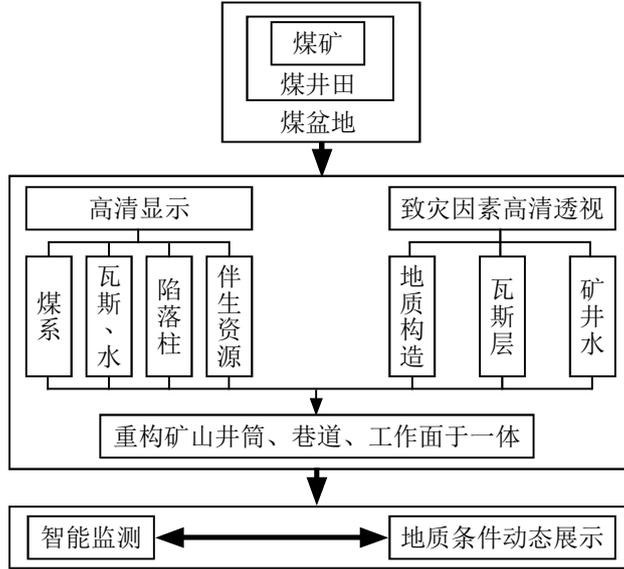


图 1 煤矿开采地质信息管理系统示意图

渗透到巷道中，保证采煤更安全。同时，还要开展底角锚杆支护、帮角加固等支护技术，有效增强底板的结构强度，形成立体的防护体系。结合该矿区 1 号井巷道的实际情况，一方面需要在巷道底部增设补强锚杆，另一方面则要在底板铺设专业的隔水层。这一综合的治理方法，既能抑制岩体膨胀变形等现象，又能提升围岩整体的稳定性。

当掘进工作面穿越断层破碎带的时候，可以采用复合支护技术，保证采煤施工更加安全^[6]。针对 1 号井的断层地质条件，可以采用“注浆+管棚”的组合支护技术。主要是在距离断层前缘 28 m 的位置，布设双模管棚系统，并选用直径为 31 mm 的钢管，按照 170 mm 的间距，呈长短交替的形式进行排列，通过这种差异化的布置，实现围岩压力的梯度转移。在管棚就位后，就要实施精准的注浆加固，通过岩体参数，计算出实际的注浆量以及工作压力，使浆液能够充分地渗透在破碎岩体当中，形成复合的承载体。同时也要采用“注浆加固+壁后充填”的二次支护技术，主要是通过 1.5×1.4 m 的矩阵来布置注浆管，实现分层注浆的效果。在注浆前，需进行深度不小于 1 m 的清孔作业，保证后续注浆更高效。对于高落差的断层带，则可以增设 U 型钢拱架，并与锚杆组成临时支护体系，加强顶板的支护，以维持围岩结构的整体性，最终实现了巷道支护的优化。

4 结束语

在复杂地质条件下，对煤矿采煤掘进支护技术进行优化分析，明晰各类支护技术的技术特点、应用场景，可以有效延长巷道服务周期，提升采煤作业的安全性，降低采煤的成本。在掘进支护过程中，主要是采用锚杆支护、喷射混凝土支护以及复合支护等技术，通过合理选择应用不同的支护技术，保证掘进支护效果得到优化，提升煤炭的回采率，促进煤矿企业可持续发展。

参考文献：

- [1] 吴磊. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(03):114-116.
- [2] 王超, 苏超, 宋廷德. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(19):49-51.
- [3] 李鑫. 关于复杂地质条件下的煤矿掘进支护技术及其运用探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(21):178-180.
- [4] 侯静涛. 复杂地质条件下煤矿掘进支护技术的应用探析[J]. 西部探矿工程, 2024, 36(07):107-109.
- [5] 陶彦名, 杨宏宇, 王冬冬, 等. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术探究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(24):40-42.
- [6] 张有福. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术[J]. 矿业装备, 2024(08):88-90.