

Application of coal mine excavation support technology under complex geological conditions

Jiubin Hu Qiusheng Liu Jun Zhao

Yanzhou Coal Industry Co., Ltd. Xinglongzhuang Coal Mine, Jining, Shandong, 272102, China

Abstract

As China's core energy source, coal mining in complex geological conditions presents a critical challenge for ensuring safe production. This study first defines and categorizes complex geological conditions, along with the mechanical environments and geological mechanics characteristics during coal mining. Building on this foundation, it systematically examines support technologies and methods suitable for such conditions, including high-strength bolt-sling composite support systems, shotcrete applications, and fiber-reinforced materials. Through case studies of soft rock areas and gas-outburst-prone coal seams, the research evaluates these techniques' effectiveness and their comprehensive impacts on excavation efficiency and safety. The findings provide theoretical foundations and practical references for supporting coal mining operations under complex geological conditions, offering significant practical implications for enhancing both safety and productivity in coal mine production.

Keywords

Complex geological conditions; Coal mining; Support technology; Practical application; Safety and efficiency

复杂地质条件下煤矿掘进支护技术的应用

胡久彬 刘秋生 赵军

兖州煤业股份有限公司兴隆庄煤矿, 中国·山东 济宁 272102

摘要

煤炭作为我国核心能源, 复杂地质条件下的煤矿掘进支护是保障安全生产的关键难题。本文首先阐释了复杂地质条件的定义、分类及煤矿掘进中的力学环境与地质力学特性, 在此基础上, 系统研究了高强度锚杆与锚索复合支护、喷射混凝土及纤维增强材料应用等适用于复杂地质条件的支护技术及方法, 进而通过多个实践案例分析了这些技术在软岩地区、瓦斯突出煤层等场景的应用效果, 并评估了其掘进效率与安全性的综合影响。研究为复杂地质条件下煤矿掘进支护提供了理论支撑与实践参考, 对提升煤矿生产的安全性和效率具有重要现实意义。

关键词

复杂地质条件; 煤矿掘进; 支护技术; 实践应用; 安全效率

1 引言

我国煤炭能源占到我国整个能源比例的50%以上, 保证煤炭能源稳定供应就是我国能源的安全问题之一。复杂地质条件下掘进支护易失效(软岩、断层、高瓦斯等), 影响生产安全、生产效率, 国内外已有相关研究成果不多且适应性差、不够智能化, 为此本文针对其理论、技术和实践进行探讨和总结, 以便于为以后的高效安全开采做准备。

2 复杂地质条件下煤矿掘进支护的理论基础

2.1 复杂地质条件的定义及分类

复杂地质条件, 即在煤矿开采处因地质构造变动、岩石特性改变、水文地质作用等自然因素, 形成的对掘进施工

安全性与效率有明显限制的地质环境, 从构造特点可划分成断层破碎区域、褶皱较多地带、节理密集区域, 在此类区域中岩石整体完整性差易塌方且支护结构易失效; 按岩石性质不同区分有软岩地层、硬脆岩交替层次、含软弱夹层岩层, 软岩具强流变性且强度低, 硬脆岩因应力集中易忽然崩落; 依水文与动力方面现象而言包含高压富水区域、瓦斯易突出煤层、有冲击地压危险区域, 这些环境不仅使施工风险增大, 还对支护体系防渗透、抗爆炸等方面提出特殊要求。

2.2 煤矿掘进中的力学环境与地质力学特性

煤矿进行掘进作业期间, 所处力学环境系由地应力、岩体自身重量产生的应力、支护结构带来的应力三者共同作用构成的动态体系, 在原岩应力场中水平方向构造应力与垂直方向自重应力的比例关系, 对巷道周围岩石变形状态有直接影响, 水平方向应力一旦占主要地位便易出现巷道两侧向内挤压、顶板向下沉降之类的非对称破坏情况, 掘进面完成

【作者简介】胡久彬(1997-), 男, 中国山东济宁人, 本科, 助理工程师, 从事掘进支护研究。

开挖后形成二次应力场,该二次应力场会在巷道两侧及顶板部位产生应力集中区域,此区域应力峰值大小与岩体弹性模量及泊松比呈正相关联系,从地质力学特性角度看岩体完整性系数直接决定其自身承载能力,对于完整性系数小于0.5的破碎岩体需加强整体支护措施,岩石单轴抗压强度与抗拉强度存在极大差异(通常两者差距能达10至20倍),使得支护设计时需着重考虑抵抗剪切及拉伸破坏问题,岩体还存在时间效应(主要表现为长时间强度衰减及蠕变变形)要求支护体系具备持续进行应力补偿能力,以适应类似软岩等地质条件下出现的缓慢变形特征。

3 适用于复杂地质条件的煤矿掘进支护技术及方法

3.1 高强度锚杆与锚索复合支护技术

高强度锚杆和锚索复合支护这一技术,是借助多级受力的构造达成对围岩的强化加固,关键在于凭借锚杆径向约束功能及锚索深部锚固性能构建立体承载体系,锚杆选用左旋螺纹钢材料,并借助树脂药卷实现全长锚固,以在杆体和岩体间生成剪切摩擦作用力,有效抑制岩层层面滑移状况,锚索选取1×19股高强度低松弛钢绞线搭配多孔位锚固托盘跨越破碎地带锚固于稳定岩层,并通过施加预紧力将表层松散岩体压缩成承载拱,开展设计工作时需依照岩体单轴抗压强度相关数据,确定锚杆直径大小及间距、依据深部应力分布情况计算锚索长度及需施加预紧力,而且锚杆与锚索经钢带连接形成整体受力单元,以此有效控制高应力区域内岩体变形及可能出现的破坏情况。

3.2 喷射混凝土及纤维增强材料应用技术

喷射混凝土这一技术,运用转子式喷射机械将水泥、骨料、速凝剂依相应比例混合,靠压缩空气高速喷射到围岩表面造就出厚度在30到100毫米间紧密保护层,其开始凝固时间要把控在5到10分钟,以迅速封闭岩体,借助混凝土粘结与整体特性防止裂隙延展,纤维增强材料按体积掺量2%至5%均匀散布在混凝土中,如钢纤维凭较高弹性模量提升材料抗折强度,玄武岩纤维靠桥接作用延缓细微裂缝发展进程,聚丙烯纤维增强混凝土抗渗、抗冲击等性能,二材料具体配比应结合围岩含水比率调整水灰比,面对高裂隙岩体可添加硅灰改善界面过渡区域结构,确保喷射层与岩体协同变形能力。

3.3 主动支护与被动支护结合的支护体系设计

主动支护和被动支护相融合的体系设计依据荷载分级承受思路,主动支护靠锚杆预先施加的紧固力以及注浆加固举措,在围岩内部构建承载圈层,其中中空注浆锚杆具锚固与注浆双重效能可填充岩体裂隙进而增强岩体完整性,被动支护选U型钢支架搭配钢筋网组成结构,其支架相互搭接位置借螺栓连接方式能达成0至300毫米范围可收缩量,以适应围岩后续变形的情况,此体系设计应遵循“以主动支护

为主、被动支护为辅”准则,主动支护承担70%-80%初始荷载,被动支护作安全层面储备抵御残余变形,通过对刚度逐步变化设计防止两种支护形式间应力突然改变状况,在软岩巷道情境下可采用“锚杆+锚索+U型钢”三层组合结构形式。

4 复杂地质条件下煤矿掘进支护技术的实践应用

4.1 某矿软岩地区锚杆喷浆支护技术应用案例

软岩区域煤矿掘进工作,面临岩体强度不高易变形且遇水易软化等棘手状况,鉴于此,巷道支护需具备限制岩体变形、防止水分渗透及适应岩体流变性等多方面能力。锚杆喷浆支护技术作为处理软岩地质问题较可行办法,依靠锚杆锚固力量将松散岩体整合为整体,借助喷浆层封闭岩体表面,进而构建起可协同受力支护系统。具体使用该技术时,要依据软岩物理力学特征恰当挑选锚杆材质、长度、间距及喷浆材料比例搭配、厚度,以此保证支护结构能与岩体协同变形,使巷道长时间维持稳定状态。

某矿于软岩区域开展巷道掘进工作时,一开始采用的普通支护办法难以承受岩体不断变形,此时巷道顶底板及两侧帮壁呈现明显收缩情况,鉴于此状况技术队伍对锚杆喷浆支护方案重新规划。先对该区域软岩进行样本采集与分析以了解其在强度、含水率、膨胀特性等方面具体参数,接着选用高强度螺纹钢制成且长度依据岩体松动圈范围确定的锚杆,确保其能深入稳定岩层,安装时严格把控钻孔角度与深度,运用树脂药卷锚固,保障锚杆与岩体紧密相连并借助预紧力让岩体处于受压状态。

喷浆作业分两次开展,首次喷浆选用添加速凝剂的混凝土以快速封闭岩体表面,避免水分渗入致使岩体软化,待首次喷浆初步凝固后进行二次喷浆,增加喷浆层厚度并提升支护结构整体性能。在施工进程中要紧跟掘进工作面开展支护工作,尽量缩短岩体暴露时间,同时在巷道周边设定多个监测点,定时观察巷道变形状况并依据监测结果对支护参数适当调整。

4.2 瓦斯突出煤层动态支护技术实践分析

就瓦斯突出煤层的掘进支护工作而言,面临着瓦斯压力冲击与岩体应力动态改变的难题,相对固定的静态支护体系难以契合繁杂多变环境,而动态支护技术以实时监测为根本,依据瓦斯相关参数及岩体应力变动状况及时调整支护举措,运用主动管控与被动防护相结合的办法实现对巷道的高效支护,其关键在于构建一套敏感度高的监测系统,该系统能迅速察觉瓦斯突出前预兆及岩体变形种种迹象,还具备相应调节控制机制,如此,危险情况显现时便可及时强化支护力度预防事故发生。

在某瓦斯突出煤层开展掘进工作期间的矿井,应用了动态支护技术,该煤层瓦斯含量较高且地质构造复杂,致使

掘进进程中瓦斯压力大幅波动存在突出风险隐患,技术团队率先于掘进工作面及其周边区域,设置多个瓦斯传感器和应力传感器来对瓦斯浓度、压力、岩体应力变动情况实时监测,基于监测数据传至地面的控制系统能自行分析判断当下安全状况,在支护设计层面选取“锚杆+锚索+金属网+可缩性支架”组合方式,其中锚杆与锚索承担提供初始锚固力任务、金属网发挥防止岩体碎块脱落作用、可缩性支架在瓦斯压力冲击或岩体变形时,可产生一定程度收缩起到缓冲压力功效,一旦监测察觉瓦斯压力异常升高或岩体应力突变情形,控制系统即刻发出预警,现场工作人员随即及时采取增加锚索数量、调整可缩性支架受力状态等加强支护措施。

4.3 断层破碎带掘进面支护结构优化实施案例

断层破碎带中呈现破碎状态,而且裂隙十分发达还常伴有涌水状况的岩体,其自身稳定能力极为薄弱,致使在掘进期间特别容易出现坍塌事故。对断层破碎带掘进面的支护结构予以优化,以全面考虑岩体破碎程度、涌水情形以及应力分布等多方面因素,可运用超前加固、联合支护等措施,增强岩体整体性与承载能力。经过优化后应具备较强抗变形能力与防水性能,从而能有效抵御破碎岩体挤压以及水侵蚀作用的支护结构。

某矿在穿越一条断层破碎带时碰上严峻掘进难题,该破碎带内岩体高度破碎,裂隙中存有大量水体致掘进面频繁掉块及局部坍塌,起初采用的支护方案难以应对此复杂情形,经技术团队研究决定对支护结构予以优化。首要工作为实施超前地质探测,以弄清单层破碎带具体范围、岩体破碎程度、涌水点分布状况,随后制定出“超前注浆加固+联合支护”方案,即于掘进工作面前方开展注浆钻孔施工,朝破碎岩体注入水泥浆以填充裂隙、提升岩体粘结力与强度并封堵涌水通道。待注浆加固工作结束后选用“钢拱架+锚杆+锚索+喷射混凝土”联合支护方式,钢拱架选高强度型钢紧密排列增强对破碎岩体整体支撑能力,锚杆与锚索深入稳定岩层将钢拱架与深部岩体连接起传递荷载作用,喷射混凝土覆盖巷道表面封闭岩体,既能防止碎块掉落又可进一步阻挡水体。在整个施工过程中严格把控注浆压力及注浆量保障加固效果,安装钢拱架时保证其垂直度及连接牢固性,对于喷射混凝土着重关注其与钢拱架、锚杆等结合的紧密性。

4.4 智能传感技术在掘进支护安全监测中的应用

煤矿掘进支护的安全监测是保证生产安全的重要一环,传统依靠人工检测的方式会存在反应慢,精度低的问题,通过布置支护体系或者岩体内部的各个类型的传感器来采集

位移、应力、温度等相关的参数,再通过数据的采集传输以及分析预警系统实现对支护状态进行动态监测和预警的优势就是能够及时的发现支护结构出现的异变,并通过数据的真实可信为管理人员提供依据来进行支护结构的加固操作,避免安全事故的发生。

有一家规模较大煤矿在掘进支护安全监测工作中,引入该技术搭建起一套较完备监测系统,在巷道顶底板、两侧墙壁、支护结构重要位置安装多种不同传感器,这些传感器将采集的数据以无线传输形式实时传至地面监控中心,中心软件系统对数据处理分析构建支护状态评估模型,一旦监测数据超预先设定界限值系统便自动发出预警信号,在一次掘进作业中监控中心发现某段巷道位移传感器反馈数据呈异常增长,并结合应力传感器数据变化状况判断该区域支护结构或存在受力过大情形。

4.5 支护技术对提高掘进效率与安全性的综合效果评估

实施软岩地区合适锚杆喷浆支护,巷道更加稳固,不再出现因为过度变形的返工和修复现象,掘进可以不间断地进行,掘进速度比以前提高了;减少了因为巷道冒落所造成的安全事故;利用动态支护法应用瓦斯突出煤层,在实时的监控和监测过程中及时调整支护方法预防瓦斯突出事故的发生;对于断层破碎带优化支护结构,解决坍塌与涌水问题,让掘进工作能够顺利进展,并且缩短了这段时间内的掘进时间。

5 结语

本文梳理了复杂地质条件下煤矿掘进支护的理论知识,阐述了各种匹配支护技术的机理和运用思路,并运用实践案例论证了匹配支护技术的有效性,通过分析得出复合支护体系结合智能监测技术提高了复杂地质区掘进的安全性与生产效率。目前技术还不完全适合于极特殊地质条件,今后要重点加强多场耦合的基础理论研究,并使支护技术朝自适应化、智能化的方向继续发展,从而更好地服务煤炭资源的安全生产。

参考文献

- [1] 李志.复杂地质条件下的煤矿掘进支护技术应用解析[J].科技资讯,2014(11):2.
- [2] 宋建伟,李红勋.分析复杂地质条件下的煤矿掘进支护技术的应用[J].中小企业管理与科技,2013(4):2.
- [3] 杨伟春.复杂地质条件下煤矿掘进支护技术应用分析[J].能源与节能,2018(3):2.