

复合型顶板巷道快速掘进围岩变形规律及控制对策研究

耿周峰

陕西富源煤业有限责任公司 陕西 延安 727502

摘要:在复合型顶板巷道快速掘进工程中,围岩变形控制是关键难题。本文通过现场监测、数值模拟与理论分析相结合的方法,深入研究复合型顶板巷道围岩变形规律,剖析地质、工艺等因素对变形的影响。基于此,针对性提出支护结构优化、掘进工艺改进等控制对策,并构建动态支护、工艺协同及智能监测的技术体系,为保障巷道安全快速掘进提供理论与实践依据。

关键词:复合型顶板巷道;快速掘进;围岩变形规律;控制对策

1 复合型顶板巷道地质特征与掘进工艺分析

1.1 复合型顶板的地质特征

复合型顶板是一种特殊的地质结构,其显著特点在于顶板由多种岩性的岩层组合而成,通常表现为上部为强度较高的岩层,如砂岩、石灰岩,下部则是强度较低、稳定性差的岩层,像泥岩、页岩或煤线。这种岩性差异大的组合结构,导致顶板在力学性能上呈现出明显的非均质性。由于下部软弱岩层的强度低、变形量大,在巷道开挖后,极易发生塑性变形和破坏,进而引起上部坚硬岩层的局部悬空,破坏顶板的整体稳定性。从岩层的赋存状态来看,复合型顶板中各岩层的层理发育明显,层间结合力较弱。在地质应力作用下,岩层间容易产生相对滑动和离层现象。地下水的活动也会对复合型顶板产生较大影响,当巷道处于富水区域时,下部软弱岩层遇水后强度会进一步降低,加剧顶板的失稳风险。

1.2 快速掘进工艺与设备

随着采矿与隧道工程技术发展,复合型顶板巷道快速掘进工艺不断革新,常用工艺有悬臂式掘进机、连采机及综掘机配套锚杆钻车联合掘进工艺。悬臂式掘进机工艺灵活性强,可适应不同巷道形状与断面,通过截割头破碎岩石并运出,对复杂地质条件适应性佳,但遇硬岩时截割效率低、截割头磨损大^[1]。连采机掘进效率高,适用于煤层厚、顶板稳定巷道,能连续截割装载,配合运输设备快速出矸,不过在复合型顶板下作业对顶板扰动大,需加强支护。综掘机配套锚杆钻车联合掘进工艺实现掘进与支护平行作业,综掘机掘进,锚杆钻车及时支护,既保证速度又有效控制围岩变形,是重要发展方向。在设备方面,现代掘进设备智能化、自动化程度提升。新型悬臂式掘进机可自动调整截割参数,锚杆钻车实现自动化作业,带式转载机等新型运输设备也为快速掘进提供有力支撑。

1.3 掘进过程中围岩变形的影响因素

在复合型顶板巷道掘进过程中,围岩变形受到多种因素的综合影响。地质因素是影响围岩变形的基础条件,包括岩层的岩性、厚度、层理发育程度、地质构造等。岩性越软弱、层理越发育,围岩越容易变形;存在断层、褶皱等地质构造时,围岩的应力分布会发生改变,导致局部应力集中,加剧围岩变形。掘进工艺和施工方法对围岩变形也有着重要影响,掘进速度过快,会使围岩来不及适应应力的释放,导致变形量增大;支护不及时或支护强度不足,无法有效限制围岩的变形,同样会造成围岩失稳。地应力的大小和方向也是影响围岩变形的关键因素。在高地应力区域,巷道开挖后,围岩会承受较大的应力,容易发生挤压变形和破裂。水平应力对复合型顶板巷道的影响尤为显著,它会使顶板产生弯曲和剪切变形,导致顶板下沉、开裂。地下水的存在会降低围岩的强度,增加围岩的孔隙水压力,进一步加剧围岩变形。

2 复合型顶板巷道围岩变形规律研究

2.1 现场监测与数据分析

为了准确掌握复合型顶板巷道围岩变形规律,现场监测是必不可少的环节。现场监测通常采用多种监测手段相结合的方式,包括包括日常观测点、综合观测站和裂隙监测等。对巷道顶板下沉量、两帮收敛量等进行实时测量;综合观测站则利用顶板离层仪及锚杆、锚索端部载荷在线监测等,监测围岩内部应力的变化情况;裂隙监测通过观察围岩裂隙的发育情况。在实际工程中,通过在巷道不同位置布置监测点,获取大量的监测数据。对这些数据进行整理和分析,可以了解围岩变形的初始阶段、发展阶段和稳定阶段的变化特征。例如,在陕西富源煤业复合型顶板巷道监测中发现,巷道开挖后的变形与围岩开挖后空顶的距离、空顶的时间及锚杆、锚索支护质量、支护强度有密切的关联。通过对不同监

测点数据的对比分析,还可以发现围岩变形的围岩变形的规律,为后续支护设计和施工提供依据。

2.2 围岩变形时空演化规律

复合型顶板巷道围岩变形在时间和空间上都呈现出一定的演化规律。在时间上,围岩变形具有明显的时效性。巷道开挖后,围岩应力重新分布,变形迅速开始,在短时间内达到一个较高的变形速率。随着时间的推移,围岩逐渐趋于稳定,变形速率逐渐降低^[2]。但在一些特殊情况下,如受到采动影响、顶板淋水等环境因素影响,等,围岩变形可能会出现二次增长。在空间上,围岩变形呈现出非对称分布的特点。由于顶板岩性的差异和地应力的作用,巷道顶板中部的下沉量通常大于两帮,两帮的收敛量也存在差异。巷道掘进工作面附近围岩变形较大,随着远离掘进工作面,围岩变形逐渐减小。通过对围岩变形时空演化规律的研究,可以更好地把握围岩变形的特点,提前采取针对性的控制措施。

2.3 数值模拟与理论分析

数值模拟是研究复合型顶板巷道围岩变形规律的重要手段。利用FLAC3D数值模拟软件,建立巷道围岩的力学模型,模拟巷道开挖过程中围岩的应力、位移和破坏情况。通过改变模型的参数,如岩性、地应力、支护条件等,可以分析不同因素对围岩变形的影响。在理论分析方面,基于弹塑性力学、岩石力学等理论,建立复合型顶板巷道围岩变形的力学模型。通过理论推导,得出围岩变形的计算公式,分析围岩变形与岩性、地应力、支护参数等因素之间的关系。理论分析与数值模拟相结合,能够更深入地揭示围岩变形的内在机理,为围岩控制提供理论支持。

3 复合型顶板巷道围岩控制对策研究

3.1 支护结构优化设计

支护结构的优化设计是控制复合型顶板巷道围岩变形的关键。传统的支护方式如木支架、金属支架等,在复合型顶板巷道中往往难以满足支护要求。目前,锚杆-锚索联合支护、锚网喷支护等新型支护结构得到了广泛应用。锚杆-锚索联合支护通过锚杆将巷道浅层围岩与深部稳定岩体连接起来,形成组合梁或组合拱结构,提高围岩的自承能力;锚索则深入到更稳定的岩层中,提供强大的锚固力,控制顶板的下沉和离层。在设计锚杆-锚索支护参数时,需要综合考虑围岩岩性、地应力大小、巷道断面尺寸等因素,确定合理的锚杆长度、直径、间排距以及锚索的预紧力等参数。锚网喷支护是将锚杆、金属网和喷射混凝土相结合的支护方式。金属网能够防止围岩表面的碎石掉落,喷射混凝土可以封闭围岩表

面,防止风化和水侵蚀,同时与锚杆共同作用,提高围岩的整体性和稳定性。在实际应用中,根据围岩的具体情况,可以调整锚杆的布置方式、金属网的规格和喷射混凝土的厚度,以达到最佳的支护效果。

3.2 掘进工艺改进

改进掘进工艺是保障复合型顶板巷道施工安全、减少围岩扰动与变形的核心举措。在实际施工中,应优先选用对围岩扰动较小的掘进方式。以悬臂式掘进机为例,其截割作业需遵循科学的操作规范,依据顶板岩性变化及时及时调整截割空顶距及支护顺序及强度。在陕西富源煤业复合型顶板巷道施工时,由于前期未对截割后的空顶距进行管控,未对锚杆、锚索支护顺序以及支护强度进行明确要求,对巷道截割后的围岩整体性破坏较大,造成顶板下沉量明显,后通过对巷道截割后的空顶距及锚杆、锚索支护顺序、支护质量进行了明确要求,有效的降低了巷道围岩的破坏,大幅降低了围岩变形量^[3]。超前支护技术也发挥着重要作用,如采用超前锚杆在巷帮永久锚杆前对裸露后未能及时支护的巷帮进行临时支护,形成临时支护拱,有效提高了围岩的自稳能力,为后续掘进和永久支护创造了良好条件。

3.3 基于顶板离层仪在线监测系统的施工监测与预警

基于巷道顶板离层仪在线监测系统,可有效实现复合型顶板巷道围岩变形的实时监测与预警,为施工决策提供可靠依据。在巷道掘进过程中,按设计间距在顶板关键位置安装顶板离层仪,将其与数据传输模块相连,实现监测数据自动采集与实时上传。监测数据通过无线网络直接传输至地面监控中心电脑,减少人工频繁下井监测的工作量与人为误差,施工管理人员可随时通过电脑终端查看顶板离层位移变化曲线、累计位移量等关键数据。系统具备阈值预警功能,可根据巷道围岩稳定性、设计要求等设定预警值。当顶板离层位移速率或累计位移量超过设定阈值时,地面监控中心电脑即刻发出声光报警提示,并自动推送预警信息至相关管理人员手机端,确保施工人员第一时间掌握异常情况。收到预警后,技术人员可结合现场实际情况,及时调整支护参数,如加密锚杆锚索布置、增加喷射混凝土厚度等,有效控制围岩变形。通过对顶板离层仪长期监测数据的整理分析,能够总结不同施工阶段、不同地质条件下的围岩变形规律,为后续巷道支护设计优化、掘进工艺改进提供数据支撑,逐步形成适用于本单位复合型顶板巷道施工的监测预警与控制经验。

4 复合型顶板巷道快速掘进围岩控制技术体系优化

4.1 动态支护方案设计

复合型顶板巷道所处的地质环境复杂且多变,其围岩的物理力学性质、应力分布等会随着掘进进程不断改变,静态的支护方案犹如刻舟求剑,难以满足实际施工中的多样化需求。因此,设计一套科学合理的动态支护方案显得尤为关键。在巷道掘进过程中,要充分利用实时监测系统所获取的数据,对围岩的稳定性进行全面且精准的评估。通过安装在巷道内的各类传感器,实时收集围岩的位移、应力、变形速率等关键参数,并运用专业的数据分析软件对这些数据进行处理和分析。当监测数据显示围岩变形较小、稳定性较好时,可适当减少支护强度,例如适当增大锚杆的间排距、降低锚索的预紧力等,这样既能保证巷道的安全稳定,又能有效降低支护成本,提高经济效益。而当监测数据表明围岩变形较大、出现失稳迹象时,必须及时加强支护。可以增加锚杆锚索的数量,提高其预紧力,或者采用更强的支护材料和结构形式。同时,动态支护方案还应根据不同的掘进阶段和地质条件,灵活采用不同的支护组合。在地质条件较好的区域,可采用单一的锚杆支护;在地质条件复杂、顶板破碎的区域,则采用锚杆-锚索联合支护,甚至配合钢带、金属网等辅助支护材料,实现支护效果的最优化,确保巷道在掘进过程中的安全稳定。

4.2 掘进-支护工艺协同

实现掘进-支护工艺的协同作业,是提高复合型顶板巷道快速掘进效率和围岩控制效果的核心环节。在传统施工中,掘进和支护往往相互独立,存在作业时间不匹配、工序衔接不紧密等问题,导致施工效率低下,且围岩控制效果不佳。为了实现两者的协同作业,首先要合理安排掘进和支护的作业顺序和时间。在施工前,制定详细的施工计划,明确掘进和支护的作业时间节点,确保两者能够有序进行。例如,在采用掘锚一体机进行掘进支护时,要深入优化掘进机截割和支护液压臂的作业流程。掘进机截割作业完成后,支护液压臂应迅速跟进,及时进行支护操作^[4]。同时,要根据现场围岩条件,及时调整支护锚索、锚杆的顺序。在顶板较为破碎的区域,优先安装锚索,提供强大的锚固力,控制顶板的下

沉和离层;在顶板相对完整的区域,可先安装锚杆,快速形成初步支护。通过这种灵活的调整,使掘进和支护作业紧密配合,减少两者之间的相互干扰,提高掘进效率,同时保证围岩得到有效控制,确保巷道施工的安全和质量。

4.3 人员培训与管理优化

人员素质是保障复合型顶板巷道围岩控制技术有效实施的关键因素。针对复合型顶板巷道施工的复杂性,需加强对施工人员的专项培训。培训内容涵盖复合型顶板的地质特性分析、掘进设备的标准化操作规范、支护工艺的技术要点及应急处理措施等。例如,通过模拟巷道顶板突发离层、冒顶等场景,让施工人员掌握快速有效的应急支护方法,提升其应对突发状况的能力。同时,建立严格的考核机制,将理论知识测试与实操技能评估相结合,考核合格者方能上岗作业。此外,定期组织技术交流活 动,邀请行业专家分享先进的围岩控制经验和案例,促进施工人员对新技术、新工艺的学习与应用,从人力层面为复合型顶板巷道围岩控制提供坚实保障。

结束语

本文对复合型顶板巷道快速掘进围岩变形规律及控制对策的研究,有效提升了巷道掘进的安全性与效率。但研究仍存在局限性,如部分技术在复杂地质条件下的适应性需进一步验证。未来,应持续深化相关研究,结合新技术、新方法,完善围岩控制技术体系,推动复合型顶板巷道掘进技术的创新与发展。

参考文献

- [1]赵红涛,张红军,侯华营,等.煤巷掘锚护一体化快速掘进支护工艺设计与应用[J].能源与环保,2022,44(3):62-65.
- [2]康红普,姜鹏飞,高富强,等.掘进工作面围岩稳定性分析及快速成巷技术途径[J].煤炭学报,2021,46(7):2023-2045.
- [3]王刚,张伟,李明.煤矿弱黏结复合顶板巷道快速掘进技术研究[J].煤炭工程,2021,40(12):123-128.
- [4]刘强,张志刚,赵宇.基于弱黏结复合顶板的煤矿巷道快速掘进技术探讨[J].矿山机械,2020,37(4):1-5.