

大断面煤巷锚杆锚索联合支护技术应用研究

于波

甘肃万胜矿业有限公司 甘肃 庆阳 745000

摘要: 大断面煤巷围岩特性复杂, 支护难度大。本文阐述了锚杆锚索联合支护技术作用机理, 包括锚杆局部支护、锚索深部锚固、二者协同互补及对围岩应力的调控。详细介绍了大断面煤巷锚杆锚索联合支护参数设计, 涵盖锚杆、锚索参数, 支护间距以及支护结构配套设计。通过合理设计支护参数与配套结构, 能充分发挥锚杆锚索联合支护优势, 有效控制围岩变形, 提升巷道稳定性, 保障煤矿安全生产, 为类似工程提供参考。

关键词: 大断面煤巷; 锚杆锚索; 联合支护; 围岩稳定; 施工工艺

引言: 在煤矿开采中, 大断面煤巷的应用日益广泛, 然而其围岩特性复杂, 支护难度大。大断面煤巷围岩主要由煤层及顶底板软质岩层构成, 强度低、裂隙发育, 开挖后应力重新分布, 易出现应力集中, 导致围岩变形失稳。传统支护方式难以满足需求, 锚杆锚索联合支护技术凭借其独特优势成为关键手段。该技术通过锚杆的局部支护、锚索的深部锚固以及二者协同互补, 有效调控围岩应力, 提升围岩稳定性。深入研究大断面煤巷锚杆锚索联合支护技术, 合理设计支护参数与配套结构, 对保障煤矿安全生产、提高开采效率具有重要意义。

1 大断面煤巷围岩特性与支护难点

大断面煤巷的支护成效与对围岩特性的精准把握息息相关。其围岩特性集中体现在岩体物理力学性质和围岩应力状态两方面, 受断面特征影响, 形成了独特的支护难点。(1) 从岩体物理力学性质来看, 大断面煤巷围岩主要由煤层以及煤层顶底板岩层构成。煤层本身强度较低, 内部裂隙极为发育, 在遇水的情况下极易发生软化现象, 这会显著降低其承载能力。顶底板岩层多为砂质泥岩、泥岩等软质岩层, 这类岩体完整性欠佳, 抗压和抗剪强度都处于较低水平, 难以有效承受巷道开挖后所产生的应力荷载。当大断面巷道完成开挖后, 围岩暴露面积大幅增加, 岩体的卸荷效应变得十分明显。在此过程中, 围岩内部原本存在的裂隙会进一步扩展, 岩体的整体性持续降低, 进而极易引发片帮、冒顶等失稳状况, 对巷道的安全稳定构成严重威胁。(2) 在应力状态方面, 大断面煤巷开挖这一行为会打破原有的应力平衡, 导致围岩应力重新分布。此时, 巷道周边会出现显著的应力集中区域, 其应力集中系数远远高于普通断面巷道。而且, 应力分布极不均匀, 巷道顶部和两帮的应力集中现象尤为突出, 这无疑会进一步加剧围岩的变形与失稳进程。此外, 大断面巷道具有较大的跨度, 这使得围岩的

自我承载能力相对较弱, 对支护结构提出了更高的承载要求。倘若支护结构的强度和刚度无法满足实际需求, 或者支护参数设计不合理, 就极易导致支护结构失效, 最终引发巷道失稳事故, 严重影响煤矿的正常生产和作业人员的生命安全^[1]。

2 锚杆锚索联合支护技术作用机理

2.1 锚杆的局部支护作用

锚杆支护是利用钻机将特定规格的锚杆植入围岩内部, 以此实现对巷道周边浅层围岩的有效控制。在植入过程中, 锚杆与围岩之间会形成摩擦力和粘结力, 再加上锚杆自身具备的抗拉强度, 三者共同作用, 对浅层围岩产生约束效应。这种约束作用能够切实抑制围岩的横向变形与纵向位移。在巷道开挖后, 围岩内部原本存在一些微小裂隙, 在应力作用下这些裂隙有进一步扩展的趋势, 而锚杆的存在可有效阻止裂隙的这种扩展行为。同时, 锚杆能将松散的围岩颗粒相互胶结, 使它们形成一个有机的整体, 进而构建起局部的支护承载结构, 显著提高浅层围岩的承载能力。此外, 锚杆还具备应力传递与平衡功能。它可以将围岩所承受的应力传递至锚杆杆体, 依靠锚杆的抗拉作用来平衡围岩应力状态, 降低围岩的塑性变形程度。通过这种方式, 锚杆为后续的锚索支护创造了稳定的基础条件, 确保锚索能够更好地发挥其支护效能, 共同保障巷道的稳定与安全^[2]。

2.2 锚索的深部锚固作用

锚索在支护体系中具有独特的深部锚固功能, 其锚固深度显著大于锚杆。施工时, 将锚索一端精准植入巷道深部的稳定岩层, 此稳定岩层具备良好的力学性能, 能为锚索提供可靠的锚固基础; 另一端则借助托盘、锚具与巷道表面的支护结构紧密连接, 形成一个完整的应力传递系统。凭借自身高抗拉强度, 锚索能够把巷道周边因开挖而产生的应力有效传递至深部稳定岩层, 实现

应力的分散与转移,大幅降低巷道周边的应力集中程度,减少围岩因应力集中而发生破坏的可能性。同时,锚索对深部围岩产生牵拉约束作用,有力抑制深部围岩的变形,弥补锚杆锚固深度有限的不足,与锚杆支护相互配合、相得益彰,全面提升支护结构的整体承载能力。另外,对于巷道顶部围岩,锚索可发挥悬吊作用,承担顶部围岩的部分自重,防止其因自重作用而发生冒顶事故,保障巷道的安全稳定。

2.3 锚杆与锚索的协同互补作用

在大断面煤巷的联合支护体系中,锚杆与锚索并非独立运作,而是形成了一个协同互补、紧密协作的有机整体,共同保障巷道的稳定。锚杆主要聚焦于对浅层围岩变形的控制。它借助与围岩之间产生的摩擦力、粘结力等作用力,将原本松散的浅层围岩紧密胶结,构建成一个相对稳定的局部支护结构。这一结构能有效防止浅层围岩出现松散、脱落等不良状况,为巷道浅部区域提供坚实的支撑,维持巷道浅部的形态稳定。锚索则着重承担约束深部围岩变形的重任。凭借自身较高的抗拉强度,锚索能够将巷道周边的应力有效传递至深部稳定岩层,实现应力的分散与平衡,进而降低巷道周边的应力集中程度,减少深部围岩发生塑性变形的可能性。浅层锚杆为锚索提供了稳固的锚固基础,确保锚索可以充分发挥其深部锚固的作用;而深部锚索则为锚杆提供了有力的支撑,增强了锚杆的支护效果。二者相互配合,形成了“浅层约束、深部锚固”的分级支护模式,从不同深度层次对巷道整体变形进行有效控制,显著提升围岩的整体稳定性。此外,通过科学合理地搭配支护参数,联合支护体系能使受力分布更加均匀,避免单一支护因受力集中而失效。

2.4 联合支护对围岩应力的调控作用

大断面煤巷进行开挖作业后,其内部原有的围岩应力平衡体系被彻底打破,围岩应力随即开始重新分布。在这一重新分布的过程中,应力会在巷道周边特定区域形成集中现象,这些应力集中区域的存在,对巷道的稳定性构成了极为严重的威胁,可能引发巷道变形、破裂等一系列问题。锚杆锚索联合支护凭借自身独特的承载特性,能够对围岩应力进行有效调控。在增强围岩自身性能方面,锚杆与锚索的锚固作用至关重要。它们通过自身的锚固力,将原本松散的围岩颗粒相互连接、紧密胶结在一起,极大地增强了围岩的整体性。围岩整体性提升后,其自我承载能力也显著增强,能够主动承担一部分原本由支护结构承受的应力,从而有效减轻了支护结构所承受的荷载,降低了支护结构损坏的风险。在应力

转移方面,锚索的深部锚固优势得到了充分发挥。锚索能够深入深部稳定岩层,将巷道周边原本集中的应力,高效且稳定地转移至深部稳定岩层。这一过程使得巷道周边的应力集中系数明显降低,应力分布更加均匀合理,有效减少了围岩因应力集中而产生的塑性变形,为巷道的长期稳定提供了坚实可靠的保障^[3]。

3 大断面煤巷锚杆锚索联合支护参数设计

3.1 锚杆参数设计

锚杆参数涵盖锚杆直径、长度、锚固方式以及抗拉强度等多个关键方面,其合理设计对大断面煤巷支护效果至关重要。(1)在锚杆直径选择上,需充分考虑大断面煤巷围岩的强度与应力状况。通常情况下,选用 $\Phi 20$ – $\Phi 24$ mm的高强度螺纹钢锚杆较为适宜,此类锚杆抗拉强度不低于335MPa,能够满足支护结构对承载能力的要求。(2)锚杆长度需依据围岩松散层厚度来确定。一般而言,锚杆长度设定在2.0–2.5m,这样可保证锚杆深入稳定岩层,实现有效的锚固。若围岩裂隙发育、岩体松散,则应适当增加锚杆长度,以增强锚固效果。(3)锚固方式采用全长锚固,选用高强度树脂锚固剂。要严格控制锚固剂的凝固时间,确保其处于合理范围,使锚杆能迅速与围岩粘结,形成稳定且有效的锚固力。此外,锚杆的锚固力应根据围岩应力进行精确计算,一般要求不低于100kN,以此保证锚杆能够有效约束围岩变形,维持巷道的稳定。

3.2 锚索参数设计

锚索参数包含锚索直径、长度、锚固深度以及预紧力等关键要素,其科学合理设计对大断面煤巷锚杆锚索联合支护效果起着决定性作用。(1)锚索直径的确定需紧密围绕支护承载需求。通常选用 $\Phi 15.24$ – $\Phi 18.9$ mm的高强度钢绞线,这类钢绞线抗拉强度不低于1860MPa,能够为锚索提供充足的承载能力,以应对大断面煤巷复杂的围岩应力环境。(2)锚索长度的设定要综合考虑巷道埋深以及围岩稳定岩层的位置。一般情况下,锚索长度取6–10m,其中锚固段长度不低于2.5m。这样的设计可保证锚索深入深部稳定岩层,实现有效的深部锚固,充分发挥锚索在深部围岩控制方面的优势。(3)预紧力是锚索支护中极为关键的参数。预紧力不足,锚索便无法有效约束围岩变形;而预紧力过大,则可能造成锚索杆体断裂或者围岩损伤。因此,预紧力一般控制在锚索破断拉力的30%–50%,同时要结合围岩应力大小进行灵活调整,确保锚索能够高效传递应力,有效抑制围岩变形,保障巷道的长期稳定^[4]。

3.3 支护间距设计

效能。设计时需综合考量围岩力学性质、地应力分布特征及支护构件力学性能,确保支护结构在巷道周边形成连续、均匀的承载体系,避免因间距设置不当导致局部应力集中或支护盲区。锚杆间距通常控制在0.8-1.2m范围内,优先采用矩形或梅花形布置方案。矩形布置适用于均质围岩条件,可实现支护力的规则传递;梅花形布置则更适应非均质围岩,通过交错排列增强对裂隙发育区域的约束效果。该间距范围可确保浅层围岩(0-3m深度)形成有效的压缩拱结构,限制岩体错动与离层发展。锚索间距设定为1.5-2.0m,需与锚杆布置形成时空协同效应。通过交替布置或分层安装方式,构建“浅层-深层”双重支护体系,其中锚索重点控制3m以上深部围岩的塑性区扩展,与锚杆形成的浅层支护带形成力学耦合。锚杆与锚索的纵向间距应保持在1.0-1.5m,该参数通过数值模拟与现场监测优化确定,可有效协调不同深度支护构件的变形协调性,避免因刚度差异导致界面处出现应力突变。实际施工中需实施动态调整策略:在断层带、软弱夹层等应力异常区,将顶部锚杆间距加密至0.6-0.8m,两帮锚索间距缩短至1.2-1.5m;在完整砂岩段等稳定区域,可适当放宽至规范上限值,在保证支护安全度的前提下优化材料消耗与施工周期。

3.4 支护结构配套设计

在大断面煤巷锚杆锚索联合支护体系中,托盘、锚具等构件的合理选型与参数设计是保障支护结构完整性与可靠性的核心环节。托盘作为锚固力传递的关键部件,需采用高强度钢板(屈服强度不低于355MPa)制作,其厚度应严格控制在10mm以上,以确保在复杂应力环境下具备足够的抗变形能力。托盘尺寸需根据锚杆与锚索的直径进行精准匹配,通常外径应大于锚杆/锚索直径10-15mm,保证与杆体紧密贴合,避免因接触面不平整导致锚固力传递不均。若托盘与杆体间隙过大,局部

应力集中将引发围岩剪切破坏,显著降低支护效能。锚具的承载能力需与锚索规格严格对应,其极限破断力应不低于锚索公称破断拉力的1.2倍,确保在深部高应力条件下实现可靠锚固。锚具内缩量应控制在5mm以内,以减少预应力损失。巷道表面辅助支护方面,金属网宜采用直径6mm以上的高强度钢丝焊接而成,网孔尺寸不超过100mm×100mm,有效约束围岩表层松散颗粒。喷射混凝土需采用C20及以上强度等级,厚度控制在100-150mm,通过分层喷射工艺保证密实度,形成与围岩、锚杆锚索协同受力的复合支护结构,显著提升巷道整体抗变形能力。

结束语

大断面煤巷锚杆锚索联合支护技术是一项系统且复杂的工程。从对围岩特性的精准把握,到联合支护技术作用机理的深入剖析,再到支护参数与配套结构的科学设计,每个环节都紧密相连、相互影响。合理运用该技术,能有效应对大断面煤巷支护难题,保障巷道安全稳定。然而,煤矿地质条件复杂多变,实际施工中需根据具体情况灵活调整支护参数与方案。未来,应持续深入研究,不断优化技术,提高支护效果与效率,推动煤矿开采技术向更高水平发展,为煤炭行业的可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]武润虎.大断面沿空煤巷锚索桁架非对称支护技术研究[J].山东煤炭科技,2023,41(9):11-13,20.
- [2]张智明.大断面煤巷锚杆支护设计研究[J].机械管理开发,2022,37(5):39-41.
- [3]丁魏,王帅锋,张鑫.煤巷掘进围岩控制支护技术研究[J].中国煤炭,2023,49(z2):171-176.
- [4]刘杰.大断面松软煤巷关键控制技术研究[J].煤,2022,31(3):76-80.