

# 煤矿巷道锚杆支护布置技术探究

杨永峰

神华新街能源有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:** 锚杆支护是煤矿巷道围岩控制的核心技术,其布置科学性直接决定巷道稳定性与开采安全性。本文阐述了锚杆支护作用机理、材料特性及围岩地质特征,分析地质、巷道、开采、材料四大影响因素,重点探究支护核心参数设计与不同类型巷道布置技术,明确施工工艺与质量控制要点。研究表明,针对性优化支护参数、适配巷道类型选择布置方案,可有效提升支护可靠性。本文研究成果可为煤矿巷道锚杆支护布置的工程实践提供理论支撑与实操参考。

**关键词:** 煤矿巷道; 锚杆支护; 设计参数; 布置技术

**引言:** 随着煤矿开采深度不断增加,巷道围岩受力愈发复杂,软岩、厚煤层等复杂条件巷道增多,锚杆支护布置不合理导致的片帮、冒顶等事故频发,严重影响开采效率与施工安全。锚杆支护因结构简单、经济性好、支护效果显著,广泛应用于煤矿巷道工程,但不同工况下布置技术的适配性仍存在不足。基于此,本文结合神华新街能源有限责任公司实际工程背景,系统探究煤矿巷道锚杆支护布置相关理论、影响因素、设计技术及质量控制,旨在优化布置方案,提升支护稳定性,保障煤矿安全高效开采。

## 1 煤矿巷道锚杆支护相关基础理论

### 1.1 锚杆支护的作用机理

锚杆支护是煤矿巷道围岩控制的核心技术,核心是通过锚杆联结巷道周边松动围岩与深部稳定岩体,传递应力、约束变形,实现“围岩自承”。其主要作用机理包括三点:悬吊作用将顶板软弱岩层悬吊于上部稳定岩层,防止脱落;组合梁作用将顶板多层薄岩层联结为整体梁,提升抗弯抗剪能力;挤压加固作用通过锚杆预紧力形成挤压应力区,增强围岩整体性与承载力,三者协同保障围岩稳定。

### 1.2 锚杆支护的核心材料特性

支护材料性能直接决定支护效果,核心材料为锚杆杆体、锚固剂和托盘。杆体多采用高强度螺纹钢,需具备足够抗拉、屈服强度和韧性,适配井下复杂受力环境;锚固剂以树脂型、水泥型为主,要求粘结强度高、凝固快,确保杆体与围岩牢固联结;托盘需承载性好、适配性强,均匀传递预紧力,避免局部应力集中,三者匹配是支护可靠运行的基础。

### 1.3 煤矿巷道围岩的工程地质特征

围岩工程地质特征是锚杆支护设计布置的重要依据,主要体现在三方面:围岩强度分为硬岩、中硬岩、软岩,

软岩易变形、强度低,对支护要求更高;岩体完整性受节理裂隙发育影响,裂隙会降低整体性,需通过合理布置弥补;地下水会软化围岩、降低粘结强度,需选用耐水型锚固材料和针对性方案。明确这些特征,可为支护参数设计、布置优化提供支撑,避免支护失效<sup>[1]</sup>。

## 2 煤矿巷道锚杆支护布置的影响因素

煤矿巷道锚杆支护布置的科学性直接决定支护效果与巷道稳定性,其影响因素主要围绕地质、巷道、开采、材料四大核心维度,各因素相互关联、协同影响布置方案设计,具体如下:(1)围岩地质条件。这是首要核心因素,主要体现在围岩强度、岩体完整性和水文地质条件。硬岩巷道围岩承载力强,可适当加大锚杆间距;软岩易变形、强度低,需缩小间距、加长锚杆。岩体节理裂隙发育会破坏整体性,需调整锚杆方向与密度;地下水会软化围岩、降低锚固力,需优化锚固方式并选用耐水材料。(2)巷道断面参数。断面形状、尺寸直接影响应力分布,矩形断面顶板应力集中,需强化顶板支护;拱形断面应力均匀,可优化锚杆间距与排距。大断面巷道围岩变形大,需加密锚杆、提升预紧力;小断面可简化布置,兼顾支护效果与经济性。(3)开采扰动影响。开采产生的围岩扰动会改变巷道受力,回采工作面附近巷道受扰动剧烈,需加密锚杆、增强支护强度;远离回采区域的巷道扰动小,可采用常规布置,同时需考量开采进度与扰动频率,避免支护与扰动不协调。(4)支护材料性能。锚杆杆体强度、锚固剂粘结力等决定布置参数上限,高强度材料可适配大间距、长锚杆布置;性能较差的材料需加密布置,确保锚杆有效传递应力、约束围岩变形,保障支护目标实现<sup>[2]</sup>。

## 3 煤矿巷道锚杆支护布置设计与技术

### 3.1 煤矿巷道锚杆支护布置的核心参数设计

#### 3.1.1 锚杆长度参数的确定与优化

锚杆长度是控制支护深度和围岩松动范围的核心,需以围岩松动圈厚度为依据,结合围岩强度动态优化。现场常用声波探测法测定松动圈厚度,锚杆有效长度需超出松动圈0.5-1.0m,确保深入稳定岩体。硬岩巷道(松动圈 $< 1.5\text{m}$ )选用1.8-2.2m锚杆;中硬岩(1.5-3.0m)选用2.2-2.8m;软岩( $> 3.0\text{m}$ )选用2.8-3.5m,必要时搭配锚索协同支护。同时兼顾施工便利性,避免杆体过长弯曲、过短支护失效。

### 3.1.2 锚杆间距与排距的合理布置

锚杆间距与排距需保证围岩应力均匀分布、无支护盲区,遵循“强围岩宽间距、弱围岩密间距”原则,结合锚杆参数和围岩强度确定。通常控制在0.8-1.5m,间距与排距比值为1.0-1.2。硬岩巷道采用1.2-1.5m,中硬岩1.0-1.2m,软岩0.8-1.0m,必要时加密至0.6-0.8m。需规避间距过大导致应力集中、过小增加成本的问题,通过数值模拟和现场试验确定最优组合。

### 3.1.3 锚杆直径与锚固方式的选择

锚杆直径决定其抗拉抗剪能力,结合长度、围岩受力和材料性能选择,现场常用16-22mm锚杆,18-22mm应用最广。短锚杆( $\leq 2.2\text{m}$ )选16-18mm,中长锚杆(2.2-2.8m)选18-20mm,长锚杆( $\geq 2.8\text{m}$ )选20-22mm。锚固方式分端部和全长锚固:端部锚固施工高效,适用于硬岩、中硬岩;全长锚固粘结均匀、稳定性强,适用于软岩及复杂地质,现场优先选用全长锚固。

### 3.1.4 锚杆预紧力的设计与控制

预紧力是实现主动支护的关键,可抑制围岩裂隙扩展,需结合锚杆直径、锚固方式等参数设计,控制在锚杆屈服强度的30%-50%。18mm锚杆预紧力80-120kN,20mm为100-150kN,22mm为120-180kN。现场采用扭矩扳手统一紧固,确保预紧力达标,避免受力不均,定期复检补拧松动锚杆,保障支护效果持续稳定<sup>[9]</sup>。

## 3.2 不同类型煤矿巷道的锚杆支护布置技术

### 3.2.1 回采巷道锚杆支护布置方案

回采巷道是煤矿开采的核心通道,主要用于工作面回采时的通风、运输及人员通行,其特点是受采动扰动影响剧烈,围岩变形量大,且巷道服务年限较短(通常为1-3年),支护布置需兼顾稳定性与经济性。回采巷道多采用矩形或梯形断面,断面尺寸根据运输设备型号确定,通常宽4.0-5.0m、高2.8-3.5m。锚杆支护布置需强化顶板与两帮支护,顶板采用全长锚固锚杆,长度选用2.2-2.8m,直径18-20mm,间距与排距1.0-1.2m;两帮采用端部锚固锚杆,长度1.8-2.2m,直径16-18mm,间距与排距1.0-1.2m,两帮下部锚杆可适当向下倾斜10-15°,增强对

帮部下部围岩的约束。同时,回采巷道靠近工作面一侧,受采动扰动最剧烈,需在工作面推进方向前方10-15m范围内,加密锚杆布置,搭配金属网片与钢带,形成联合支护结构,抑制围岩剧烈变形,防止巷道片帮、冒顶事故发生。

### 3.2.2 掘进巷道锚杆支护布置方案

掘进巷道是煤矿开采的先行通道,其特点是施工进度快、围岩稳定性差,受掘进扰动影响明显,且需兼顾后续回采、运输等工序的需求,支护布置需注重及时性与可靠性。掘进巷道断面多为拱形(半圆拱、三心拱),拱形断面应力分布均匀,能有效分散围岩压力,减少应力集中,断面尺寸根据掘进设备与通风要求确定,通常宽3.5-4.5m、高2.5-3.2m。锚杆支护布置需遵循“及时支护、分层支护”的原则,掘进工作面推进后,立即对巷道顶板及两帮进行临时支护,采用短锚杆(1.8-2.2m)快速锚固,控制围岩初期变形;临时支护完成后,进行永久支护,顶板采用全长锚固锚杆,长度2.2-2.5m,直径18mm,间距与排距1.0-1.2m,锚杆方向垂直于顶板岩层;两帮采用全长锚固锚杆,长度2.0-2.2m,直径18mm,间距与排距1.0-1.2m,两帮锚杆可根据岩层倾角适当倾斜,与岩层面呈75-85°夹角,增强锚固效果。同时,掘进巷道交叉口、转弯处等应力集中部位,需加密锚杆布置,搭配锚索与钢带,提升支护强度,避免支护失效。

### 3.2.3 厚煤层巷道锚杆支护布置方案

厚煤层(煤层厚度 $\geq 3.5\text{m}$ )巷道的特点是断面尺寸大、围岩压力大,煤层强度低、易破碎,且受采动扰动影响更剧烈,巷道变形量大,支护布置需注重高强度、整体性与稳定性。厚煤层巷道多采用矩形或大断面拱形,断面宽5.0-6.0m、高3.5-4.5m,部分巷道需兼顾分层开采需求,断面尺寸可适当扩大。锚杆支护布置需采用“高强度锚杆+锚索+金属网片+钢带”的联合支护模式,提升支护结构的承载能力与整体性。顶板采用高强度全长锚固锚杆,长度2.8-3.2m,直径20-22mm,间距与排距0.8-1.0m,每间隔2-3排锚杆布置一组锚索(长度6.0-8.0m),锚索间距2.0-2.5m,增强顶板支护强度;两帮采用高强度全长锚固锚杆,长度2.5-2.8m,直径20mm,间距与排距0.8-1.0m,两帮铺设金属网片,网片搭接宽度不小于100mm,用锚杆固定,防止帮部煤层破碎脱落;巷道底板若为软岩或破碎岩层,需增设底板锚杆,长度2.0-2.2m,直径20mm,间距与排距1.0-1.2m,抑制底板鼓起变形,实现“顶、帮、底”三位一体支护,保障厚煤层巷道长期稳定。

### 3.2.4 软岩巷道锚杆支护布置方案

软岩巷道是煤矿支护难度最大的巷道类型,其特点是围岩强度低(单轴抗压强度 $< 30\text{MPa}$ )、遇水软化、塑性变形大,围岩松动圈厚度大,受扰动后易出现大变形、片帮、冒顶等事故,支护布置需遵循“强支护、密布置、全锚固、协同支护”的原则。软岩巷道多采用拱形断面,减少应力集中,断面尺寸根据实际需求确定,通常宽3.5-4.5m、高2.5-3.2m。锚杆支护布置需选用长锚杆、高密度、高强度的组合方案,顶板采用全长锚固锚杆,长度3.0-3.5m,直径20-22mm,间距与排距0.6-0.8m,每间隔1-2排锚杆布置一组锚索,锚索间距1.5-2.0m,形成高强度顶板支护体系;两帮采用全长锚固锚杆,长度2.8-3.2m,直径20-22mm,间距与排距0.6-0.8m,两帮锚杆倾斜15-20°,深入帮部稳定岩体,同时铺设双层金属网片与钢带,增强帮部支护的整体性;锚固方式优先选用树脂全长锚固,搭配水泥锚固剂辅助加固,提升锚杆与软岩的粘结强度;对于遇水软化的软岩巷道,需提前做好防水、疏水处理,选用防水型锚固材料,同时优化锚杆布置密度,抑制围岩遇水膨胀变形。软岩巷道需加强现场监测,根据围岩变形数据,及时调整锚杆预紧力与布置方案,实现动态支护,确保巷道长期稳定<sup>[4]</sup>。

#### 4 煤矿巷道锚杆支护布置的施工工艺与质量控制

煤矿巷道锚杆支护布置的施工工艺规范性和质量管控,需严格遵循“先控后支、精准施工、全程管控”的原则,结合现场工况落实各环节要求,具体如下:(1)核心施工工艺。施工需按规范流程推进,先对巷道开挖断面进行清理,清除浮矸、危岩,确保围岩表面平整,为锚杆安装奠定基础;随后精准放线定位,根据设计参数标记锚杆孔位,误差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 内;采用锚杆钻机钻孔,钻孔深度、角度需符合设计要求,钻孔完成后清理孔内岩粉,避免影响锚固效果;植入锚杆并注入锚固剂,确保锚

固剂填充饱满,待锚固剂达到设计强度后,安装托盘并紧固锚杆,施加设计预紧力,完成单根锚杆施工,整体遵循“清理—放线—钻孔—清孔—锚固—安装—紧固”的流程。(2)施工质量控制。重点把控三大关键环节:一是材料质量控制,进场的锚杆杆体、锚固剂、托盘等需检验合格,杜绝不合格材料投入使用;二是施工工序控制,严格核查钻孔深度、角度、孔位偏差,锚固剂搅拌、注入符合规范,预紧力达标;三是现场检测控制,定期对锚杆锚固力、预紧力进行抽样检测,对不合格锚杆及时补打、补拧,同时监测巷道围岩变形,根据数据调整施工参数,全程做好施工记录,确保质量可追溯,避免因施工或质量问题导致支护失效<sup>[5]</sup>。

结束语:本文围绕煤矿巷道锚杆支护布置技术展开全面探究,结合工程实际,从基础理论、影响因素、设计技术、施工质量控制四个核心层面,明确了不同工况下锚杆支护布置的关键要点与优化思路,解决了不同类型巷道布置适配性、参数设计合理性等核心问题。通过科学设计支护参数、规范施工工艺、强化质量管控,可有效提升锚杆支护效果,规避支护失效风险。

#### 参考文献:

- [1]余鹏祥.锚杆支护技术在煤矿掘进巷道中的应用[J].凿岩机械气动工具,2025,51(4):148-150.
- [2]江兆伟.煤矿巷道锚杆分次支护技术应用研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(6):121-123.
- [3]张秦瑞,童及桁,许猛堂.煤矿巷道锚杆支护技术参数优化[J].能源新观察,2025(8):49-51.
- [4]米将.煤矿巷道掘进中的锚杆支护技术研究[J].煤炭新视界,2025(1):317-318.
- [5]卢清,张振朋.锚杆支护技术在煤矿掘进巷道中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(14):126-128.