

# 煤矿软岩巷道掘进支护参数对围岩稳定性的影响

崔源

河南焦煤能源有限公司古汉山矿 河南 焦作 454350

**【摘要】**：煤矿软岩巷道在掘进过程中因围岩力学性质差、结构松散，极易发生变形破坏，严重威胁生产安全。支护参数的合理选择与优化对围岩稳定性至关重要。本文以煤矿软岩巷道为研究对象，系统分析掘进过程中围岩受力特征，探讨支护参数与围岩变形间的耦合关系。研究表明，锚杆长度、锚索间距及预应力水平等参数对围岩稳定性影响显著。通过数值模拟与现场实测结合，提出了优化支护参数的技术方案，为煤矿软岩巷道安全掘进提供理论参考与实践依据。

**【关键词】**：煤矿软岩巷道；掘进支护参数；围岩稳定性；数值模拟；参数优化

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.005

## 引言

煤矿软岩巷道在深部开采条件下，因围岩节理裂隙发育及力学性质弱化，易出现围岩大变形、支护失效等问题，直接影响掘进效率与生产安全。随着开采深度不断增加，传统支护设计难以满足复杂地质条件下的稳定性要求，迫切需要深入研究支护参数对围岩稳定性的影响规律。近年来，数值模拟与现场监测技术的发展为该问题的量化分析提供了可能。通过揭示支护参数与围岩响应的内在联系，可为软岩巷道支护体系的优化设计提供坚实基础，提升煤矿掘进的安全性与经济性。

## 1 软岩巷道围岩失稳特征与支护挑战

软岩巷道在煤矿开采过程中，由于岩层力学性质较差，节理裂隙发育且结构松散，围岩在应力集中作用下极易发生蠕变、塑性流动和剪切破坏。深部开采条件下，原岩应力水平升高，掘进扰动使得应力重新分布，形成明显的塑性区和破碎区，围岩结构迅速弱化，导致巷道发生顶板下沉、两帮收敛和底鼓等大变形现象。此类变形具有持续性和累积性，随着时间推移，支护结构承受的荷载不断增加，若支护强度不足或受力不均，易出现锚杆断裂、锚索松脱、金属网鼓胀等问题，使围岩控制失效，甚至引发大面积坍塌，严重威胁掘进作业的安全与效率。

在复杂地质条件下，围岩稳定性受岩性结构面、地下水渗透、采动影响等多重因素耦合作用，巷道周边岩体表现出非线性、各向异性及显著的时间效应。传统单一刚性支护形式难以适应软岩围岩长期变形需求，造成初期支护与后期变形不匹配的矛盾，进而引发二次破坏。随着煤矿开采深度的增加，地应力和温度共同作用，围岩变形趋势更为复杂，掘进扰动区范围不断扩大，支护体系的设计面临更高要求。现场观

测表明，围岩在初期扰动后短时间内产生急剧变形，随后进入缓慢蠕变阶段，若未及时调整支护参数，围岩破坏将进一步发展，形成大规模失稳区，对通风、运输及生产组织造成不利影响。因此，在掘进过程中需要结合围岩分级、力学参数和实时监测数据，科学识别失稳特征，并根据变形规律合理设计支护方案，以有效应对软岩巷道所面临的复杂挑战。

## 2 支护参数对围岩稳定性的作用机制分析

支护参数在软岩巷道围岩控制过程中具有决定性影响，其变化直接作用于围岩应力分布与变形规律。软岩围岩在掘进扰动后处于应力重新分配状态，若初期支护参数设置不合理，易导致塑性区扩展，围岩破碎加剧，使得围岩—支护体系难以形成有效的承载结构。锚杆长度、间距及预紧力水平是最为关键的控制因素。锚杆长度不足会导致锚固端未能穿越松散破碎带，无法形成稳定的支撑拱架，导致表层岩体持续剥落；当锚杆间距过大时，围岩内部会产生应力集中，局部无有效支撑，形成薄弱区，引起顶板悬露及两帮坍塌；预紧力不足则会降低锚固效果，使围岩与支护之间失去良性耦合作用，预紧力过大又可能产生二次裂隙，削弱围岩整体强度，因此合理的初撑力对稳定性至关重要。

锚索作为深部加固构件，其长度和布置方式对控制深部岩体位移具有显著作用。软岩巷道常伴随深部大范围的塑性变形，若锚索未能锚固到稳定岩层，将失去约束核心围岩的作用，造成深部岩体持续移动，进而牵引浅部岩体破坏。锚索角度与方向调整可改变应力传递路径，实现对顶板和帮部的联合加固，从而形成承载拱结构，提高围岩整体性和承载力。锚杆与锚索组合使用时，能够构建立体支护体系，使浅部和深部共同承担围岩荷载，形成相互协调的力学平衡状态，这一体系依赖于各参数间的匹配性与协调性。

喷射混凝土厚度与强度等级同样影响围岩的初期稳定控制。喷层厚度不足无法形成连续的保护壳,导致围岩表面暴露在空气与地下水中,加速风化软化及裂隙扩展;厚度过大则会增加自重和成本,并可能因收缩开裂造成失效。钢架间距与规格对围岩初期变形约束起到调节作用,当间距设计不合理或刚度不足时,钢架无法及时承载初始围岩压力,导致围岩在短时间内产生过量变形,削弱后期加固效果。

在围岩—支护体系中,参数变化会改变围岩的受力状态与变形模式。数值模拟研究表明,支护参数调整可通过影响塑性区范围和应力传递路径来实现围岩变形的有效控制。当锚杆预应力与锚索布置达到最佳匹配时,围岩内部应力集中得到缓解,塑性区逐渐收缩并向深部转移,围岩由被动支护转变为主动约束状态。若各参数设计失衡,则围岩可能形成二次破坏区,导致支护结构与围岩分离,出现顶板下沉和帮部坍塌的恶性循环。通过现场监测数据与理论分析的结合,可确定不同阶段围岩对支护参数的敏感性,从而为后续优化提供科学依据,使软岩巷道实现长期稳定控制。

### 3 支护参数优化与稳定性提升的综合方案

支护参数优化的过程应结合围岩分级评价、数值模拟计算及现场监测反馈,通过多维度分析确定最合理的支护设计方案。软岩巷道在掘进过程中围岩性质差异明显,不同部位的力学表现具有非均质性和时效性,因此支护参数需根据地质条件和应力环境进行动态调整。通过岩芯取样与室内试验可获得围岩强度指标、弹塑性特征及结构面分布情况,再结合三维数值模拟软件对巷道开挖过程进行模拟,预测塑性区范围及应力集中区域。将模拟结果与监测数据比对,能够判断支护体系的承载效果,从而提出具有针对性的优化措施,使锚杆、锚索、钢架及喷射混凝土形成协调

一致的力学体系。

在支护参数优化过程中,锚杆与锚索的协同设计尤为重要。锚杆长度应穿越破碎带并延伸至稳定围岩区域,确保形成坚固的锚固端,并通过合理布置间距避免局部应力集中。预紧力的设定需根据围岩压力与塑性区深度确定,达到既能有效压实松散岩体,又不引起二次裂隙的效果。锚索作为深部加固措施,其布置方向需兼顾顶板与两帮的稳定性,通过空间交叉分布形成三维受力网络,提高整体围岩承载能力。钢架和喷射混凝土应在初期变形高峰前完成施工,喷层厚度与钢架刚度保持匹配,以便及时封闭围岩表面,限制初期变形发展。

实时监测与反馈控制是支护优化的核心环节。通过布设多点位移计、锚杆应力计和收敛仪,动态获取巷道围岩的变形及受力信息,根据监测结果调整锚杆预紧力或增加补强措施。对变形速率较大的区域,可采取分阶段预紧或二次加固方式,确保支护系统与围岩共同发挥作用。对于深部塑性变形明显的巷道,应采用高强度锚索与钢纤维喷射混凝土组合,以增强围岩整体刚度。综合利用理论计算、数值模拟与现场数据,可建立软岩巷道支护参数优化模型,为不同地质条件下的巷道提供科学化设计依据,实现围岩长期稳定控制与掘进效率的提升。

### 4 结语

煤矿软岩巷道在掘进过程中,围岩失稳问题复杂且危险性高,支护参数设计的科学性直接影响巷道的安全与稳定。通过对围岩失稳特征的分析,明确了支护参数在力学平衡中的关键作用,并提出基于数值模拟与现场监测的优化方案。研究结果为软岩巷道长期稳定控制提供技术支撑,也为煤矿深部安全高效掘进提供了理论依据与实践指导价值。

### 参考文献:

- [1] 王志强.煤矿软岩巷道大变形机理及控制技术研究[J].煤炭学报,2021,46(3):845-853.
- [2] 刘海峰.软岩巷道围岩控制理论与支护技术优化[J].岩石力学与工程学报,2020,39(12):2350-2360.
- [3] 陈建国.深部软岩巷道锚固参数设计与变形控制研究[J].煤炭科学技术,2022,50(8):132-140.