

矿建工程软岩巷道变形控制措施

陈发志

云南茗尚建筑工程有限公司 云南 昆明 650000

摘要: 在矿建工程中,软岩巷道变形控制至关重要。本文从巷道设计阶段优化断面形式、合理布置巷道、科学选择埋深与层位;施工阶段选好工法、控制顺序、把握节奏、减少扰动;支护阶段选对材料、优化结构、把控质量、应用联合支护;维护阶段加强巡检监测、及时处理隐患、落实长期维护等方面,系统阐述了软岩巷道变形控制措施,为保障巷道长期稳定运行提供全面指导。

关键词: 矿建工程;软岩巷道;变形控制;支护技术;维护措施

引言:矿建工程里,软岩巷道因自身特性,在复杂地质与开采条件下极易变形,严重影响巷道安全与使用。软岩具有低强度、高流变性、遇水易软化膨胀等特点,使得巷道变形控制难度大。一旦变形失控,不仅会造成巷道维护成本增加,还可能引发安全事故,威胁人员生命与设备安全。因此,全面且系统地探讨软岩巷道变形控制措施,对保障矿建工程顺利进行、提升巷道稳定性与安全性具有重大意义。

1 巷道设计阶段变形控制措施

1.1 巷道断面形式优化

巷道断面形式选择需结合软岩围岩应力分布特点与巷道使用功能,通过优化断面形状降低围岩应力集中,减少变形风险。不同断面形式对软岩巷道围岩变形影响存在显著差异,矩形、梯形断面易产生应力集中现象,导致巷道两帮与顶板变形量增大,而圆形、直墙半圆拱形等断面能更均匀地传递围岩应力,有效降低局部应力集中程度。优化过程中需兼顾巷道施工便利性与变形控制需求,优先选用能适应软岩蠕变特性的断面形式,合理调整断面尺寸,避免断面过大导致围岩稳定性下降^[1]。同时结合软岩膨胀特性,预留合理的变形空间,缓解软岩膨胀对巷道结构产生的挤压作用,提升巷道抗变形能力。

1.2 巷道布置合理性控制

巷道布置合理性直接影响软岩巷道围岩受力状态与变形发展趋势,需结合矿区地层分布、岩性特征与开采规划统筹规划。布置过程中需避开地质构造复杂区域与岩性软弱地段,减少断层、裂隙等地质缺陷对巷道稳定性的影响。合理规划巷道走向,使巷道轴线尽量与岩层层面、节理裂隙走向保持合理夹角,降低岩层层面滑移引发的巷道变形。优化巷道间距与布置密度,避免相邻巷道施工与使用过程中产生应力叠加效应,导致围岩应力集中加剧,进而引发巷道变形。通过科学布置巷道,

实现围岩应力的合理分布,减少外部因素对巷道变形的诱发作用,为巷道长期稳定奠定基础。

1.3 巷道埋深与层位选择

巷道埋深与层位选择需基于软岩地层工程地质特征与力学性质,结合开采深度变化规律统筹确定。随着开采深度增加,巷道围岩应力与变形量会明显增大,矿压显现更为强烈,软岩蠕变特性也更为显著,因此需结合软岩强度与抗变形能力,合理确定巷道埋深,避免埋深过大导致围岩应力超过软岩承载极限。层位选择需优先考虑岩性坚硬、胶结程度好、结构致密且膨胀性较弱的岩层,避开泥岩、炭质页岩等易软化、膨胀的软弱岩层。不同岩性段的工程地质特征存在差异,需通过分析各岩层物理力学参数,选择稳定性较好的岩层作为巷道布置层位,同时避开含水层附近区域,减少地下水对软岩的软化作用,从层位选择层面降低巷道变形风险。

2 巷道施工阶段变形控制措施

2.1 施工工法选择与优化

施工工法选择需贴合软岩物理力学性质、巷道断面尺寸及施工条件,优先选用对围岩扰动小、支护及时的工法。软岩巷道施工需避免采用大断面一次开挖工法,此类工法易导致围岩应力瞬间释放,引发巷道大面积变形。优化施工工法需聚焦减少围岩扰动、加快支护衔接,根据软岩蠕变特性与矿压发展规律,调整工法参数,提升工法适配性。针对不同岩性的软岩地层,优化开挖与支护工艺细节,采用分层开挖、分层支护的核心思路,降低单次开挖对围岩的破坏,同时结合软岩遇水软化特性,融入防排水工艺,减少地下水对施工工法实施效果的影响,提升施工工法对变形控制的支撑作用。

2.2 施工顺序控制

施工顺序合理性直接影响围岩应力分布与变形发展,需结合巷道布置与软岩地质特征统筹规划。施工顺

序规划需遵循“由浅入深、由稳到险”的原则，优先施工围岩稳定性较好的区段，再逐步推进至地质条件复杂、软岩特性突出的区段。开挖作业需配合支护作业有序推进，避免开挖后长时间暴露围岩，减少软岩风化、软化时间。优化施工顺序需注重各工序衔接，合理安排开挖、支护、防排水等工序的先后顺序，避免工序交叉干扰导致施工扰动加剧。通过规范施工顺序，实现围岩应力的平稳释放，减少施工过程中各类因素对巷道变形的诱发作用，保障巷道施工过程中的结构稳定。

2.3 施工速度与节奏把控

施工速度与节奏把控需结合软岩蠕变特性与支护强度，避免盲目加快施工进度导致变形失控。软岩巷道施工需控制开挖进尺与支护间隔，开挖速度过快会导致围岩来不及完成应力调整，支护不及时会加剧软岩风化与蠕变变形^[2]。合理把控施工节奏，需根据软岩力学参数与矿压显现情况，调整开挖与支护的时间间隔，确保支护作业能及时跟进开挖作业，抑制围岩变形发展。同时控制施工各环节的作业速度，避免施工机械作业速度过快产生额外扰动，开挖、支护等作业需平稳推进，兼顾施工效率与变形控制需求，实现施工进度与变形控制的动态平衡。

2.4 施工扰动控制

施工扰动是诱发软岩巷道变形的关键因素，需从作业方式、机械操作等方面全面控制。开挖作业中需优化爆破参数，减少爆破冲击波对围岩的破坏，采用控制爆破技术，降低爆破扰动强度，避免软岩结构因爆破冲击发生崩解、软化。施工机械作业需规范操作，避免机械碰撞巷道围岩，减少机械扰动对围岩稳定性的影响。同时控制施工过程中的围岩暴露时间，开挖后及时进行临时支护，缩短软岩与空气、地下水的接触时间，减少软岩风化、软化程度。通过全方位控制施工扰动，降低施工对围岩应力平衡的破坏，抑制软岩变形发展，为巷道施工安全提供保障。

3 巷道支护阶段变形控制措施

3.1 支护材料选择

支护材料选择需贴合软岩巷道变形特征与支护承载需求，优先选用强度高、韧性好、抗蠕变能力强且适配软岩膨胀特性的材料。软岩巷道支护需避免选用脆性大、抗变形能力弱的材料，此类材料易在软岩挤压作用下发生断裂，丧失支护功能。材料选择需结合巷道埋深、围岩应力大小及软岩风化程度，兼顾材料力学性能与经济性，确保材料能承受软岩长期蠕变压力与膨胀作用力。锚杆、锚索材料需选用高强度合金钢材，提升支

护承载能力与抗疲劳性能；喷混凝土材料需优化配比，掺入适量外加剂提升抗渗性与抗裂性，减少软岩遇水软化对支护材料的侵蚀，确保支护材料能长期发挥支护作用，为变形控制提供基础支撑。

3.2 支护结构设计与优化

支护结构设计需结合软岩巷道断面形式、围岩应力分布及变形规律，构建适配软岩蠕变特性的支护结构体系。设计过程需摒弃传统刚性支护理念，注重支护结构的柔性与可变形性，使支护结构能适应软岩变形，通过自身变形释放围岩应力，避免支护结构因受力过大发生破坏。优化支护结构参数，合理确定锚杆、锚索的布置间距、长度与预应力，一般锚杆间距控制在0.8-1.2m，锚索间距控制在1.5-2.5m，锚杆长度为巷道宽度的0.5-0.8倍，锚索长度为巷道宽度的1-1.5倍，预应力控制在50-100kN为宜，确保支护结构能均匀传递围岩应力，形成整体支护效应。针对软岩膨胀特性，优化喷层厚度与支护结构衔接方式，喷层厚度一般控制在100-150mm，减少支护结构与围岩之间的空隙，提升支护结构与围岩的贴合度，增强支护结构对软岩膨胀变形的约束能力，实现支护结构与围岩的协同变形、协同承载。

3.3 支护施工质量控制

支护施工质量是保障支护效果、控制巷道变形的关键，需从施工工艺、操作规范等方面进行全方位管控。锚杆安装需确保锚固深度达标，锚固剂搅拌均匀，提升锚杆与围岩的粘结强度，避免锚杆出现松动、脱落现象。喷混凝土施工需控制喷射压力与喷射速度，确保喷层厚度均匀、表面平整，避免出现蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷，提升喷层与围岩的结合力。锚索安装需精准控制预应力大小，避免预应力过高导致锚索断裂，或预应力过低无法发挥支护作用^[3]。施工过程中需加强各工序质量检查，及时发现并整改施工过程中出现的质量问题，确保支护施工每一道工序都符合学术规范与设计的要求，为支护系统发挥变形控制作用提供保障。

3.4 联合支护技术应用

联合支护技术通过整合不同支护形式的优势，构建全方位、多层次的支护体系，能有效应对软岩巷道复杂变形问题。单一支护形式难以满足软岩巷道长期变形控制需求，需结合软岩地质条件与变形特征，合理组合锚杆、锚索、喷混凝土、金属支架等支护形式，发挥各类支护形式的协同作用。锚杆与锚索组合可提升支护结构的承载能力，抑制围岩整体变形；喷混凝土可封闭围岩表面，减少软岩风化与遇水软化，同时增强围岩整体性；金属支架可提升支护结构的抗变形能力，适应软岩

长期蠕变变形。应用过程中需优化联合支护组合方式,根据软岩变形发展规律调整支护参数,确保联合支护体系能实时适配围岩变形需求,有效遏制软岩巷道变形,保障巷道长期稳定运行。

4 巷道维护阶段变形控制措施

4.1 日常巡检与监测

日常巡检与监测是及时捕捉巷道变形隐患、掌握变形发展态势的基础,需建立规范化、常态化的巡检监测机制,实现巷道全断面、全长度及周边围岩的全覆盖监测。巡检工作需聚焦巷道支护结构完整性、围岩表面完整状态、巷道断面尺寸动态变化、防排水设施运行情况等关键内容,采用人工巡检与仪器监测互补的方式,提升巡检精准度与全面性,避免遗漏潜在隐患^[4]。监测工作需结合软岩蠕变特性,科学选取监测指标,重点监测巷道顶底板移近量、两帮收敛量、支护结构应力变化及围岩位移速率等核心参数,合理设置固定监测点位与监测频次,定期采集、整理监测数据,建立完整规范的监测台账。通过对监测数据的系统分析与趋势研判,精准掌握巷道变形发展规律,提前预判变形隐患发展趋势,为后续维护处置工作提供可靠的数据支撑,从源头避免隐患扩大引发巷道失稳。

4.2 变形隐患及时处理

变形隐患及时处理是遏制巷道变形加剧的关键,需建立隐患排查、评估、处置的闭环管理机制,发现隐患后快速响应、科学处置。针对巡检监测中发现的支护结构松动、围岩局部崩解、巷道断面变形超标等隐患,需结合隐患严重程度与软岩变形特征,制定针对性处置方案。处置过程需优先采用便捷、高效的处置方式,对松动的支护结构进行补强加固,对崩解围岩进行封闭处理,对变形超标区段进行整形修复。处置作业需规范操作流程,注重处置质量,避免处置过程中产生额外扰动,确保隐患彻底消除,防止变形进一步发展,保障巷

道结构稳定性。

4.3 长期维护措施

长期维护措施需结合软岩长期蠕变特性与巷道服役需求,构建长效维护体系,实现变形控制的持续性。需定期对支护结构进行全面检查与维护,对老化、破损的支护材料进行更换,对松动的锚杆、锚索进行复紧,确保支护系统持续发挥承载作用^[5]。针对软岩遇水软化特性,加强巷道防排水系统维护,及时清理排水通道,修复破损的防排水设施,减少地下水对围岩与支护结构的侵蚀,抑制软岩软化与膨胀变形。同时根据巷道变形监测数据与服役年限,动态调整维护策略,优化维护参数,定期对巷道进行全面检修,主动预防变形隐患,实现巷道变形的长期有效控制,保障巷道长期安全服役。

结束语

软岩巷道变形控制贯穿矿建工程全周期,涉及设计、施工、支护、维护等多个环节。通过在设计阶段优化各项参数,施工阶段合理选择工法与把控节奏,支护阶段选用适配材料与构建联合支护体系,维护阶段加强巡检与落实长效维护,能有效控制软岩巷道变形。只有各环节紧密配合、协同作用,才能切实保障软岩巷道长期稳定运行,为矿建工程的高效开展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]王凯,张岂豪,卢周周,等.临涣煤矿深部软岩巷道围岩支护技术优化[J].科学技术与工程,2026,26(2):534-543.
- [2]秦旭东.矿井建设中软岩巷道掘进施工技术分析[J].矿业装备,2024(5):117-119.
- [3]陈路敏.矿井建设中软岩巷道掘进施工技术研究[J].矿业装备,2024(3):107-109.
- [4]张鹏飞.矿井建设中软岩巷道掘进施工技术[J].矿业装备,2023(7):16-18.
- [5]齐炎,饶运章,刘亮,等.某铜矿软岩巷道地压监测与破坏规律研究[J].现代矿业,2026,42(3):54-60.