

矿建工程中巷道掘进锚杆支护技术

李 谦

河南锦源建设有限公司 河南 郑州 452370

摘 要：锚杆支护是矿建工程巷道掘进的核心支护技术，对保障巷道围岩稳定、提升施工安全具有重要意义。本文阐述锚杆支护的悬吊、组合梁、挤压加固拱三大核心原理，分析支护材料、锚固剂等关键技术要素，详解施工准备、核心工序及质量控制要点，结合技术优化方向与工程实例，探讨不同地质条件下的适配方案，验证技术优化的有效性，为矿建工程巷道掘进锚杆支护施工提供理论支撑与实践参考，助力实现施工安全、效率与经济性的统一。

关键词：矿建工程；巷道掘进；锚杆支护技术

引言：矿建工程巷道掘进过程中，围岩稳定性直接关系到施工安全与工程进度，软弱、破碎等复杂地质条件易引发顶板冒落、两帮鼓出等隐患，严重制约工程推进。锚杆支护因具有施工便捷、成本可控、支护效果可靠等优势，成为现代矿建巷道支护的主流方式。基于此，本文结合矿建工程实际，系统研究巷道掘进锚杆支护的核心理论、关键施工技术及优化路径，结合工程应用验证技术可行性，为解决实际施工中的支护难题提供技术支撑。

1 矿建工程巷道掘进锚杆支护核心理论与技术基础

1.1 锚杆支护的基本原理

(1) 悬吊作用原理：通过锚杆将巷道顶部软弱、易冒落的岩层悬吊至上部稳固岩体，利用锚杆的抗拉强度传递岩层载荷，阻止软弱顶板下沉、冒落，形成“悬吊-承载”体系，保障巷道顶板稳定。(2) 组合梁作用原理：针对层状岩层巷道，锚杆将各分层岩层紧密连接为一个整体，形成组合梁结构，改变岩层单独受力状态，利用岩层间的摩擦力提升整体抗弯、抗剪能力，减少岩层分层滑移。(3) 挤压加固拱作用原理：锚杆施加预应力后，在围岩内部形成环形挤压加固拱，使围岩产生塑性变形并相互挤压，提高围岩自身强度和整体性，依靠加固拱自身承载，实现“围岩自承”。

1.2 锚杆支护的核心技术要素

(1) 锚杆材料的技术要求与性能指标：须具备足够的抗拉强度、屈服强度和韧性，常用高强度螺纹钢锚杆，其性能需满足巷道支护载荷要求，同时具备良好的耐腐蚀、抗疲劳性能，确保长期支护稳定性，材料规格需与巷道地质条件、支护强度匹配。(2) 锚固剂的类型与适配技术要点：主要分为树脂锚固剂、水泥锚固剂等，树脂锚固剂黏结强度高、凝固速度快，适用于要求快速支护的巷道；水泥锚固剂成本低、适应性强，适用于围岩湿度较大的场景，需根据围岩性质、锚杆类型选择适配

的锚固剂，确保锚固效果。(3) 锚杆支护系统的组成及各部件技术功能：由锚杆、锚固剂、托盘、螺母等组成，锚杆承担主要载荷，锚固剂实现锚杆与围岩的牢固联结，托盘将锚杆预紧力传递至围岩表面，螺母用于施加和保持预紧力，各部件协同作用，形成完整的支护系统^[1]。

1.3 巷道掘进对锚杆支护的技术要求

(1) 不同地质条件下的支护技术适配要求：硬岩巷道需侧重提升支护强度，选用高强度锚杆和锚固剂；软岩巷道需注重围岩加固，采用加长锚固、联合支护等方式；破碎围岩巷道需缩短锚杆间距，增强支护密度，适配不同地质的载荷特点。(2) 掘进效率与支护强度的协同技术要求：支护施工需与掘进进度同步，优化支护工序，避免支护滞后影响掘进效率，同时不能因追求效率降低支护强度，需通过合理的支护参数设计，实现掘进与支护的协同推进。(3) 支护施工与巷道掘进的衔接技术要求：掘进后需及时进行临时支护，防止围岩暴露时间过长发生变形破坏，永久支护需与临时支护有效衔接，确保支护连续性，施工过程中需精准控制锚杆安装角度、深度和预紧力，保障支护质量与掘进衔接顺畅。

2 矿建工程巷道掘进锚杆支护关键施工技术

2.1 锚杆支护施工前期准备技术

(1) 巷道围岩地质勘察与参数检测技术：施工前需全面勘察巷道围岩的岩性、岩层产状、裂隙发育程度及地下水分布情况，采用钻孔取样、地质雷达探测等技术，精准获取围岩抗压强度、抗拉强度等核心参数。结合勘察结果划分围岩等级，为锚杆支护参数设计、施工工艺选择提供科学依据，避免因地质勘察不充分导致支护方案不合理、支护失效等问题。(2) 施工机具的选型、调试与布置技术：根据围岩地质条件和支护设计要求，选型适配的锚孔钻机、搅拌器、张拉设备等机具，确保钻机钻进效率、钻孔精度满足施工需求，张拉设备量程与锚杆

预紧力要求匹配。施工前对所有机具进行全面调试,检查设备运行稳定性、零部件完好性,及时排查故障;合理布置机具位置,优化作业空间,确保施工流程顺畅,减少工序衔接耗时。(3)施工材料的检验与预处理技术:对锚杆、锚固剂、托盘、螺母等施工材料进行严格检验,核查材料规格、性能指标是否符合设计标准,杜绝不合格材料进场。锚杆需进行除锈、防锈处理,去除表面氧化层和杂质;锚固剂需检查保质期、凝固时间等参数,存放于干燥、通风环境,防止受潮失效;托盘、螺母需核对尺寸,确保与锚杆适配,提前进行表面防腐处理,提升使用寿命^[2]。

2.2 核心施工工序技术要点

(1)锚孔钻进技术:严格按照支护设计确定孔位,采用标记定位法确保孔位偏差不超过规范要求;根据锚杆长度控制孔深,孔深需略大于锚杆长度,预留锚固剂填充空间,避免孔深不足影响锚固效果;孔径需与锚杆、锚固剂规格匹配,过大易导致锚固剂填充不密实,过小则无法顺利安装锚杆;钻进角度需符合设计要求,顶板锚杆一般垂直于顶板岩层,帮锚杆与巷道轮廓线呈一定夹角,确保锚杆受力合理。(2)锚杆安装与锚固剂灌注技术:锚孔钻进完成后,及时清理孔内岩粉和杂物,避免影响锚固剂粘结效果。按设计比例放置锚固剂,采用专用搅拌器将锚杆与锚固剂一同插入孔内,匀速搅拌,确保锚固剂均匀填充孔壁与锚杆之间的间隙,搅拌时间严格遵循锚固剂使用说明,防止搅拌不充分或过度搅拌影响凝固强度。搅拌完成后,保持锚杆位置固定,等待锚固剂固化,固化期间严禁晃动、碰撞锚杆,确保锚固质量^[3]。(3)预应力施加技术:锚固剂达到设计固化强度后,进行预应力施加作业。操作人员需熟悉张拉设备操作规程,先检查设备压力值是否正常,再将张拉套具与锚杆顶端连接牢固,匀速施加拉力,逐步达到设计预紧力。施加过程中实时监测压力值,避免预紧力不足导致支护失效,或预紧力过大造成锚杆断裂、围岩损伤,施加完成后锁定螺母,确保预应力保持稳定。

2.3 不同地质条件下的针对性施工技术

(1)软弱岩层巷道锚杆支护施工技术:软弱岩层强度低、遇水易软化、变形量大,施工中需缩短锚杆间距和排距,采用加长锚固方式,增强锚杆与围岩的联结强度;优先选用高强度锚杆和快硬树脂锚固剂,加快支护速度,减少围岩暴露时间;必要时配合喷浆支护,形成锚杆-喷浆联合支护体系,抑制围岩变形,防止巷道坍塌。(2)坚硬岩层巷道锚杆支护施工技术:坚硬岩层整体性好、强度高,但易产生裂隙,施工中可适当增大锚杆间

距,选用中等强度锚杆即可;锚孔钻进需选用适配的硬质钻头,控制钻进速度,避免钻孔偏斜;重点控制锚孔深度和角度,确保锚杆能深入稳固岩层,施加合理预紧力,防止岩层裂隙扩展,保障支护稳定性^[4]。(3)复杂地质巷道支护技术调整:破碎带围岩松散、稳定性极差,需采用加密锚杆、全长锚固方式,配合金属网支护,增强围岩整体性;施工中及时清理破碎岩块,必要时采用超前支护,防止塌孔。含水层巷道需先进行疏水、堵水处理,选用抗水型锚固剂,避免锚固剂遇水失效;锚杆和托盘需采用耐腐蚀材料,防止地下水腐蚀,确保支护长期有效。

2.4 施工质量控制技术

(1)各施工工序的质量检测指标与方法:锚孔施工后,采用卷尺、测角仪检测孔位、孔深、孔径和角度,不符合要求的需重新钻孔;锚杆安装后,检查锚杆安装垂直度、外露长度,采用拉拔试验检测锚固力,确保符合设计标准;预应力施加后,采用扭矩扳手检测预紧力,定期复核,确保预应力保持稳定。(2)常见施工质量问题的处理技术:出现塌孔时,若塌孔范围较小,可清理孔内塌落岩块后重新钻进;若塌孔严重,需采用套管护孔,待锚孔成型后拔出套管再安装锚杆。锚固不足时,需检查锚固剂质量和搅拌效果,若因锚固剂失效导致,需重新灌注锚固剂;若因搅拌不充分,需拆除锚杆,清理孔位后重新施工。(3)施工质量验收的技术标准与流程:验收需遵循矿建工程锚杆支护质量验收规范,分工序验收和整体验收。工序验收需在每道施工工序完成后进行,合格后方可进入下一道工序;整体验收需检查支护整体效果、锚杆锚固力、预紧力等指标,核查施工记录、材料检验报告等资料,验收合格后签署验收意见,不合格的需限期整改,直至符合标准^[5]。

3 矿建工程中巷道掘进锚杆支护技术优化与工程应用实例

3.1 锚杆支护技术优化方向与方法

(1)锚杆类型与参数的优化设计技术:结合巷道地质条件、围岩等级及支护需求,优化锚杆类型选择,软弱破碎围岩优先选用全长锚固式锚杆,坚硬岩层可选用端头锚固式锚杆,提升支护适配性。通过数值模拟、现场试验等方法,优化锚杆长度、直径、间距及排距等参数,避免参数过大造成材料浪费,或参数过小导致支护强度不足,实现支护效果与经济性的平衡。(2)预应力控制与锚固力提升优化技术:优化预应力施工工艺,采用分级张拉方式,避免一次性施加过大预应力造成锚杆断裂或围岩损伤,确保预应力均匀传递至围岩。改进锚

固剂配比与灌注工艺,选用高强度、高粘结性锚固剂,延长锚固长度,清理锚孔岩粉,提升锚固剂与锚杆、围岩的粘结强度,有效提升锚固力,保障支护稳定性。(3)顶板与两帮差异化支护优化技术:针对巷道顶板与两帮受力特点、围岩稳定性差异,采用差异化支护设计。顶板承受上部岩层载荷,选用高强度锚杆,加密布置,施加较高预紧力;两帮主要承受侧向压力,可选用适配强度锚杆,合理调整间距,必要时配合帮网支护,减少两帮鼓出变形,实现全方位、差异化的有效支护。

3.2 工程应用实例概况

(1)工程背景:某矿建项目为地下煤层开采工程,掘进巷道设计长度1200m,断面尺寸4.5m×3.8m,巷道穿越岩层以软弱泥质砂岩、砂质页岩为主,局部穿越破碎带,围岩稳定性较差,易出现顶板冒落、两帮鼓出等问题,地下水含量中等,对支护施工和稳定性提出较高要求。(2)锚杆支护技术方案设计与实施流程:结合工程地质条件,采用优化后的支护方案,选用高强度螺纹钢全长锚固锚杆,锚杆直径22mm、长度2.4m,间距800mm、排距900mm;选用抗水型树脂锚固剂,采用分级张拉工艺施加预紧力。实施流程为:巷道掘进→围岩地质复核→锚孔钻进与清理→锚固剂灌注与锚杆安装→分级预紧力施加→质量检测→进入下一道工序,确保施工有序推进。

3.3 应用效果检测与分析

(1)支护强度与围岩稳定性检测数据:通过现场拉拔试验检测,锚杆锚固力均达到180kN以上,符合设计要求;采用围岩收敛仪监测,巷道顶板下沉量控制在8mm以内,两帮鼓出量不超过5mm,围岩变形速率持续下降并趋于稳定,支护强度和围岩稳定性满足工程需求。(2)施工效率与经济性分析:优化后的支护方案简化了施工工序,

锚杆安装效率提升20%,巷道掘进与支护协同推进,整体施工进度加快15%。同时,优化参数后减少了锚杆、锚固剂等材料用量,材料成本降低12%,施工人工成本减少8%,实现了施工效率与经济性的双重提升。(3)技术应用中的问题与改进措施:应用中发现局部破碎带锚孔易塌孔、锚固剂固化速度受地下水影响略有延迟。针对该问题,改进措施为:破碎带采用套管护孔工艺,避免塌孔;调整锚固剂配比,加入抗水增强成分,加快固化速度;增加现场监测频次,及时调整支护参数,确保支护效果稳定可靠。

结束语

综上,矿建工程巷道掘进锚杆支护技术的合理应用的是保障工程安全高效推进的关键。本文全面梳理其核心理论、施工技术及优化方法,通过工程实例证实,优化后的支护方案可有效提升围岩稳定性、加快施工进度、降低成本。后续需结合复杂地质条件持续深化技术研究,完善参数设计与施工工艺,推动锚杆支护技术向智能化、高效化发展,为矿建工程高质量发展提供更坚实的技术保障。

参考文献

- [1]王佳佳.矿建工程巷道掘进锚杆支护技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,39(23):224-225.
- [2]张建廷.提升矿井巷道掘进速度的锚杆支护技术[J].机械管理开发,2022,37(7):111-113.
- [3]贾福亮.煤巷快速掘进中锚杆支护技术的研究[J].机械管理开发,2022,37(7):149-153.
- [4]黄修鹏.矿建工程中巷道掘进锚杆支护技术[J].世界有色金属,2022,6(13):43-45.
- [5]卢恒.煤矿掘进巷道锚杆支护方式的应用[J].现代工业经济和信息化,2022,12(6):153-159.