

管缝式锚杆在矿山井巷支护工程中的应用

罗太

云南迪庆有色金属有限责任公司, 云南 迪庆 674400

DOI:10.61369/ETQM.2026050018

摘 要 : 管缝式锚杆是典型的摩擦型支护结构, 结构简单实用、受力均衡、适应性较强, 在矿山井巷支护工程中的应用很广泛, 本文概述了管缝式锚杆结构、工作原理及施工应用, 分析其在不同围岩条件下的支护效果、应用优势, 结合现场施工工艺, 阐述钻孔、安装、注浆及质量控制等相关要点, 与此同时, 展望了材料性能、施工工艺以及监测技术的改进路径, 为复杂地质环境中的井巷支护设计及施工给予参考。

关 键 词 : 管缝式锚杆; 矿山井巷支护工程; 钻孔; 注浆; 质量控制

Application of Pipe-Seam Anchors in Mine Roadway Support Engineering

Luo Tai

Yunnan Diqing Nonferrous Metals Co., Ltd., Diqing, Yunnan 674400

Abstract : Pipe-seam anchors are a typical friction-type support structure known for their simple yet practical design, balanced force distribution, and strong adaptability, making them widely used in mine roadway support engineering. This paper provides an overview of the structure, working principle, and construction application of pipe-seam anchors, analyzing their support effectiveness and application advantages under different surrounding rock conditions. Combining field construction techniques, it elaborates on key aspects such as drilling, installation, grouting, and quality control. Additionally, it looks ahead to potential improvements in material properties, construction techniques, and monitoring technologies, offering references for the design and construction of roadway support in complex geological environments.

Keywords : pipe-seam anchor; mine roadway support engineering; drilling; grouting; quality control

矿山开采的深度逐渐加大, 且强度也越来越高, 井巷围岩地质日趋复杂, 高地应力、软岩、破碎围岩等情况层出不穷, 传统支护方式在安全性及经济性等方面出现诸多不足, 锚杆支护属于现代井巷支护体系的关键组成部分, 对控制围岩变形、促进巷道稳定性有着十分重要的作用, 管缝式锚杆凭借较强的变形协调能力以及环境适应性, 已经成为矿山井巷支护的核心技术手段, 系统归纳其技术特性, 对提升井巷支护水平具备现实意义。本文针对管缝式锚杆在矿山井巷支护工程中的应用进行研究分析, 探讨其实际应用。

一、管缝式锚杆技术概述

(一) 管缝式锚杆的结构

在管缝式锚杆结构中, 高强度钢管是管缝式锚杆的主体结构, 在管体的轴向方向上开设连续或间断缝隙, 进而形成摩擦型支护构件, 核心的构造设计是“管体+管缝”一体化, 处于自然状态下, 锚杆呈开缝的形态, 可起到弹性变形的作用, 在外力施加后, 会形成径向压缩、回弹, 该结构可让锚杆在安装时紧密贴合钻孔孔壁, 构建稳定径向压力, 进而提高锚固的可靠性, 与传统的机械胀壳式锚杆相比, 管缝式锚杆的构造更加简单, 有着良好的整体受力连续性, 在围岩复杂、节理裂隙发育明显的井巷工程中广泛应用^[1]。

(二) 管缝式锚杆的规格

基于矿山井巷支护工程, 在管缝式锚杆的规格参数确定上, 需结合巷道断面尺寸、围岩稳定等级及设计支护强度等因素进行

综合设计, 一般常用外径为33mm、36mm、42mm等规格, 壁厚从2.5mm到4.0mm, 保障具备一定的抗压及抗剪力, 锚杆长度一般设定在1.5~3.0m区间, 在围岩松动圈大、应力集中的巷道, 可以增加锚杆的长度, 提升其对深部稳定岩体的锚固效果, 材料一般采用Q235或Q345钢材, 这种钢材能够达到承载的相关要求, 具有较好的塑性及抗冲击特性, 符合井下施工环境要求。

(三) 管缝式锚杆的类型

以锚固方式及使用功能为基准进行分类, 管缝式锚杆主要分为普通摩擦型管缝锚杆、注浆型管缝锚杆及复合支护型管缝锚杆, 普通摩擦型锚杆通过与孔壁的摩擦力实现锚固作用, 适合中等稳定的围岩; 注浆型管缝锚杆比较特殊, 一般在安装后需要注浆, 使浆体填满孔隙、稳固围岩, 增进锚固力与耐久性, 适宜破碎岩层与软岩巷道; 复合支护型和锚索、钢筋网和喷射混凝土联合运用, 可以打造立体型支护格局, 在深部矿井以及高地应力巷道的应用效果较好。

二、管缝式锚杆技术工作原理

（一）锚固机制

管缝式锚杆的锚固主要是摩擦力驱动的，以结构弹性变形产生的径向压力作为辅助，在施工的过程中，把锚杆压入钻孔，管缝结构径向收缩后再回弹，促使锚杆外壁与孔壁紧密接触，形成稳定的摩擦阻力，这种锚固方式针对孔径变化的适应能力较好，即使钻孔存在偏差，也可保障锚固效果，减少支护发生失效的几率^[3]。

（二）受力特性

从受力角度进行分析，管缝式锚杆在围岩变形的过程中，与岩体协同承受力，其整体长度与孔壁接触后受力，可以杜绝局部应力集中现象，若围岩位移或应力重新分布，锚杆借由弹性变形汲取能量，减缓围岩的破坏，其柔性受力的特性使其在软岩或者破碎围岩当中维持良好的稳定性和适应性。

（三）与岩体的相互作用

管缝式锚杆凭借面接触和围岩形成整体受力体系，可以管控松动的岩体，实现围岩内部应力的传递，促进围岩形成自承式拱结构，在进行注浆期间，锚杆、浆体及岩体共同组成复合加固体，提高围岩的整体强度与抗剪能力，阻止巷道发生长期变形。

三、管缝式锚杆技术优势

管缝式锚杆全段受力，承载能力均匀分布，可以增强支护体系的整体承载能力，在工程中可发挥围岩本身的承载潜力，减小单根锚杆出现过载失效的风险，鉴于其变形协调能力佳，在围岩产生变形时，可连续性提供支护力，遏制顶板下沉、两帮收敛等变形现象，恰当布置锚杆参数可增强巷道稳定性，减少后期维护的开支，施工不需要复杂的张拉及锁定工序，对施工设备及人员的技术要求比较低，适合空间受限制、工期紧张的井巷项目，实用价值较高^[3]。

四、施工工艺与方法

（一）钻孔及安装工艺

1. 钻孔位置

确定钻孔的位置是管缝式锚杆发挥支护效果的关键，在现场施工期间，钻孔布置需严格依照支护设计图纸执行，禁止肆意变更，顶板钻孔沿巷道轴线进行对称排列，先把中轴及拱肩区域覆盖，增强顶板的稳定性；两帮钻孔关键布置在围岩破碎、节理裂隙发育或者出现剪切滑移趋势的部位。施工人员在钻孔之前，应先观察围岩，如果局部围岩破碎程度较大、有片帮或冒落的倾向，应按照设计允许的范围内，针对孔位加密或调整钻孔角度，让锚杆跨过松动圈进入完整的岩体，层状岩层、软硬交错围岩，钻孔方向应朝向稳定的岩层倾斜，增进锚固段的稳定性，减少锚杆顺着层面滑移的风险。

2. 孔径设计

孔径是决定管缝式锚杆锚固效果的关键参数，现场施工的钻

孔孔径要控制在设计规定的要求以内，钻孔孔径要小于锚杆管体的外径，保证锚杆在孔内有足够的摩擦力和承载力，从而提高锚固效果。在硬岩中，孔径的控制比较容易，软岩或者破碎围岩的孔壁容易出现扩孔或塌孔现象，应采用低冲击、慢进尺的钻进手段，必要时，可以进行分段钻孔，还应将孔道清理干净，孔道清理可借助压风或者水冲的途径，清理出孔内的岩粉碎屑，防止影响锚杆与孔壁间的接触，孔道清理未彻底，可能会造成锚杆锚固力不足，所以需要提起重视。

3. 安装步骤

管缝式锚杆安装应依照“对准—推进—检查”这一流程而开展，先把锚杆朝着钻孔轴线对准，保证轴线重合，防止出现偏斜；借助风镐、液压推进器等均衡施力，把锚杆慢慢压入孔中，防止猛力敲打造成管体变形与管缝闭合，在锚杆推进到设计既定的深度后，检查锚杆的外露长度，要保证无明显弯曲或者回弹，在注浆锚杆安装完成以后，应及时进行封孔，防止浆液流出，封孔可采用快凝水泥或者专用封孔剂等材料，封孔长度要求为200–300mm，保障注浆压力能够顺利的传递^[4]。

（二）锚杆注浆及固结方法

1. 水泥浆或化学浆料选择

依照围岩条件与支护目的选择合适的注浆材料，若井巷围岩完整且裂隙不发育，可选用普通水泥浆，其成本低，且易于施工，能够达到锚固要求，采用强度等级超过42.5的普通硅酸盐水泥制作水泥浆，水与水泥的比例控制在0.4–0.5之间，在保证流动性的同时，满足后期的强度需求，处于破碎围岩、断层破碎带或涌水大的区域，普通水泥浆的使用效果并不理想，可采用化学浆液进行施工，化学浆料的凝结速度很快、渗透效果较好，可以填补微小的裂隙、封堵水通路，但成本比较高、施工要求较为严格，现场需控制配置比例和使用量，防止浆液被浪费或固结不均等现象的发生。

2. 注浆压力与时间控制

注浆压力与时间在一定程度上影响着浆液的扩散和锚固效果，在现场施工当中，注浆压力应依据围岩的实际情况灵活调整，通常在0.5–1.5MPa区间内，针对软岩或破碎围岩，要实施低压慢注，防止引发围岩扰动；针对完整的岩层，应适当提高注浆压力，进而强化浆液的扩散，在开展注浆工作时，要重点观察孔口的返浆，返浆从稀疏到浓稠，最后逐渐稳定，此时则说明孔内已经被浆液填满，随后继续注浆1至2分钟，保障内部的空隙被填充，在注浆结束时，锚杆要静置一段时间，不要在浆体初凝前对其扰动或加载，如果没有控制好注浆时间和养护条件，则可能会导致锚杆早期失效^[5]。

（三）安装质量控制与检测

1. 锚杆拉拔试验

锚杆拉拔试验是审核管缝式锚杆施工质量的关键手段，其能直接且有效的检验施工质量，在施工现场，依照比例抽取已安装的锚杆进行试验，抽取量应至少占总量的1%–2%，先缓慢加载，然后再进行拉拔，在此期间记录拉力与位移的相关数据，如果锚杆未到设计拉拔力的指标，则会出现明显的位移现象，说明锚固

的效果欠佳，出现质量问题后，应及时分析原因，诸如孔径偏大、注浆不充足或者围岩情况变化等，制定整改方案，对同区域锚杆进行复查，防止局部问题扩大成系统风险^[6]。

2. 支护效果监测方法

为评价管缝式锚杆的支护效果，应与现场持续监测系统结合，一般情况下，运用巷道收敛监测、顶板下沉观测以及围岩裂隙巡查，定期对巷道断面进行测量，把握围岩变形趋势，为支护参数调整予以可靠的参考依据，如果条件允许，在关键位置设置锚杆应力计或位移监测点，长期跟进锚杆的受力情形，发现变形的速度异常加快或支护构件受力不正常等现象，应迅速采取加密锚杆、补做注浆或实施联合支护等手段，以保障井巷安全、稳固。

五、技术改进方向

随着矿山开采深度的不断增加，井巷围岩的情形愈发复杂，管缝式锚杆在实际运用期间，对承载能力、耐久性以及支护可靠性的要求不断增强，针对当前工程当中出现的材料适应性差、施工质量不稳定以及支护效果难以动态调控等问题，有必要从材料、施工工艺、监测手段这三个维度对管缝式锚杆技术进行针对性改良，以进一步增进其在工程应用方面的水平。

（一）材料优化

采用强度高、延性良好的低合金钢材，增强锚杆于高应力状态下的抗拉及抗剪能力，降低断裂几率。面对井下潮湿、腐蚀的环境，对锚杆表面实施防腐涂层或者镀层加工，减弱腐蚀对承载性能的负面效应，依照围岩稳定等级开发多规格、不同刚度的管

缝式锚杆产品，实现支护构件、围岩的匹配，增强支护效率^[7]。

（二）施工工艺改进

针对钻孔扩大、孔壁塌落等情况，应优化现有的钻进参数，采用低冲击、进尺稳定的钻孔手段，降低对围岩的干扰，推广针对锚杆安装的专用推进设备，防止冲击式安装对锚杆结构及孔壁稳定性产生影响，注浆工艺应根据围岩裂隙发育程度采用分段注浆或分级加压的方式，以促进浆液扩散与固结的效果，保证锚固段构建稳定的复合受力结构。

（三）监测技术

监测流程应由传统的事后检查向全程覆盖、动态跟踪转变，在关键部位布置锚杆应力计、巷道收敛监测点等，及时掌握锚杆的受力状态以及围岩变形情况，结合监测数据对支护参数及施工方案加以调整，防止局部支护出现失效局面，把监测结果上传到信息化管理平台，针对上传的数据进行分析，为类似地质情形下管缝式锚杆支护技术的优化提供相关依据^[8]。

六、结束语

综上所述，管缝式锚杆由于结构简单、施工简便、支护效果稳定，在矿山井巷支护工程中广泛应用。在施工期间，应恰当设计参数、规范施工工序、强化质量监督，可有效改善井巷围岩所承受的各种力，进而增强工程的安全性与耐久性，伴随材料技术和信息化监测手段的发展，在未来，管缝式锚杆支护技术将会在更为复杂的地质环境中应用，为矿山安全、高效开采给予可靠的技术支持。

参考文献

- [1] 李继超，唐迪. 多组微型桩群+锚杆等组合支护结构在富水山区道路应急抢险中的应用[J]. 四川地质学报，2025，45（04）：711-715.
- [2] 何廷全，郭鸿雁，江星宏，等. 高应力隧道预应力梯度增阻让压锚杆（索）支护性能试验研究[J]. 山东科技大学学报（自然科学版），2025，44（06）：17-28.
- [3] 黄迎军，董辉，祝志恒，等. 考虑裂隙产状的隧道系统锚杆非均匀支护分区优化[J]. 公路，2025，70（12）：421-426.
- [4] 耿长亮，耿川. 抗滑桩锚杆组合支护结构在水利工程边坡治理中的应用效果研究[J]. 现代工程科技，2025，4（21）：121-124.
- [5] 肖山. 预应力锚杆格构梁支护技术在市政道路高边坡中的应用[J]. 工程技术研究，2025，10（21）：91-93.
- [6] 乔彬彬，杨彬，刘嘉华，等. 基于GTS-NX的矿山井巷支护方式及参数模拟分析[J]. 新疆钢铁，2024，（04）：20-22.
- [7] 邓良，黄建君，周扩全，等. 某矿山断层附近采场地下开采对上覆岩层内井巷工程采动影响分析[J]. 中国矿业，2024，33（S1）：332-337+344.
- [8] 朱权洁，张震，梁娟，等. 矿山井巷掘进爆破参数优化设计及其三维可视化研究[J]. 金属矿山，2022，（07）：120-127.