

# 煤矿掘进巷道支护技术的创新与实践

李 治

陕西华电榆横煤电有限责任公司 陕西 榆林 719000

**摘要：**本文阐述了煤矿掘进巷道支护技术现状，指出传统木、金属支架等支护方式存在诸多弊端。介绍了锚杆、注浆、联合等创新支护技术及其优势，并通过实例说明创新技术实践应用效果良好。同时，展望了支护技术发展趋势，包括智能化、新材料应用及多学科融合发展，为煤矿安全高效开采提供有力支撑。

**关键词：**煤矿掘进；巷道支护技术；创新；实践

引言：在煤炭资源开采不断向深部与复杂地质条件延伸的当下，煤矿掘进巷道支护技术的重要性愈发凸显。其不仅是保障煤矿安全生产的核心环节，更是影响开采效率与成本的关键因素。然而，传统支护技术已难以满足现代开采需求，创新支护技术应运而生且实践成效显著，同时未来发展趋势也呈现出智能化、新材料应用及多学科融合等多元特征，亟待深入探究。

## 1 煤矿掘进巷道支护技术现状

煤矿掘进巷道支护技术作为保障煤矿安全生产的核心环节，其发展水平对煤矿开采的效率与安全性起着决定性作用。然而，在过去较长一段时间里，我国煤矿掘进巷道支护技术主要依赖木支架和金属支架等传统方式，这些技术在实际应用中暴露出诸多弊端，已难以满足现代煤矿开采的需求。（1）木支架作为早期常用的支护方式，具有取材方便、安装简单的显著优势。在一些小型煤矿或特定条件下，木支架能够迅速搭建，为巷道提供基本的支撑。但木支架的局限性十分突出。其承载能力有限，难以承受较大的地压。在复杂地质条件下，如断层、破碎带等，木支架无法有效维持巷道的稳定性。而且，木材易受腐蚀，在潮湿的井下环境中，使用寿命大幅缩短。随着开采深度的增加和地质条件的日益复杂，木支架的支护效果愈发不理想，给煤矿生产带来了极大的安全隐患。例如，在一些深部开采的矿井中，木支架常常因承受不住巨大的压力而断裂，导致巷道顶板冒落、两帮片帮等事故频发，严重威胁着矿工的生命安全。（2）金属支架在一定程度上提升了支护强度，常见的有梯形金属支架和U型钢支架。梯形金属支架结构简单，能够提供一定的支护阻力；U型钢支架则具有较好的可缩性，能够适应一定的围岩变形。然而，金属支架也存在明显的缺陷。它们对巷道断面形状要求较高，在实际施工中，若巷道断面不规则，金属支架的安装和使用效果会大打折扣。更为关键的是，在高地应力环境下，

金属支架容易出现变形、折断等问题。高地应力会导致围岩产生较大的变形压力，金属支架在长期的压力作用下，其结构强度逐渐降低，最终无法有效支护巷道，导致支护效果不佳，增加了巷道维修和加固的成本。比如，在一些地质构造复杂的区域，金属支架常常因变形而无法正常使用，需要频繁进行更换和维修，不仅增加了企业的经济负担，还影响了煤矿的正常生产进度。

（3）除了木支架和金属支架自身的局限性外，传统支护技术还存在一个共性问题，即侧重于被动支护。被动支护是在巷道围岩已经发生变形后才发挥作用，无法主动控制围岩变形。而煤矿开采过程中，地质条件是不断变化的，如开采深度的增加、地质构造的变动等，都会导致围岩应力的重新分布和变形。传统被动支护技术难以适应这些变化，无法及时调整支护参数和支护方式，从而无法有效控制巷道围岩的变形和破坏<sup>[1]</sup>。（4）在实际生产中，由于传统支护技术的不足，煤矿掘进巷道常常出现变形、破坏等问题，严重影响了煤矿的正常生产。为了维持巷道的稳定性，煤矿企业不得不投入大量的人力、物力和财力进行维修和加固，增加了生产成本，降低了生产效率。例如，一些煤矿为了修复变形严重的巷道，不得不停止生产，组织大量人员进行维修作业，这不仅造成了煤炭产量的减少，还增加了企业的运营成本。

## 2 煤矿掘进巷道支护新技术

### 2.1 锚杆支护技术

锚杆支护是一种极具代表性的主动支护技术。其核心原理是通过锚杆将巷道围岩与深部稳定岩体连接起来，借助锚杆的锚固力，把不稳定的围岩锚固在稳定岩体之上，进而形成组合梁或压缩拱结构，显著提升围岩的自承能力。近年来，锚杆支护技术持续创新，高强高预应力锚杆和全长锚固锚杆等新型锚杆得到了广泛应用。高强高预应力锚杆具有显著优势，在巷道开挖后，它能够迅速施加较大的预应力。这一特性使得围岩在开

挖初期就受到有效的约束,及时抑制了围岩的变形,避免了因围岩变形过大而导致的巷道失稳问题。全长锚固锚杆则进一步优化了锚固效果,它能使锚杆与围岩充分接触,确保锚杆在整个长度范围内都能发挥锚固作用,从而增强了围岩的整体稳定性。这种全方位的锚固方式,使得围岩在受到外力作用时,能够更好地保持自身的结构完整性,提高了巷道的支护效果<sup>[2]</sup>。

## 2.2 注浆加固技术

注浆加固技术是通过向围岩裂隙中注入浆液,填充裂隙、胶结破碎岩体,从而改善围岩的力学性能,提高其整体性和强度。根据注浆材料的不同,该技术可分为水泥注浆和化学注浆等多种类型。水泥注浆材料来源广泛、成本较低,这使得它在较大裂隙的围岩加固中具有广泛的应用前景。水泥浆液能够有效地填充较大的裂隙,将破碎的岩体胶结在一起,提高围岩的整体强度。而化学注浆材料,如环氧树脂、聚氨酯等,则具有凝固速度快、粘结强度高的特点。在处理细小裂隙和破碎严重的围岩时,化学注浆材料能够迅速发挥作用,快速凝固并粘结周围的岩体,形成一个稳定的整体,有效防止围岩的进一步破碎和变形。注浆加固技术在软岩巷道和破碎围岩巷道支护中效果显著,能够显著提高围岩的承载能力,减少巷道的变形量,为巷道的长期稳定提供了可靠保障。

## 2.3 联合支护技术

联合支护技术是根据巷道具体的地质条件和开采要求,将多种支护方式有机结合,充分发挥各自的优势,形成更为有效的支护体系。锚杆-锚索联合支护是一种常见的联合支护方式。锚杆主要用于加固浅部围岩,它能够在巷道表面形成一个稳定的支护层,防止浅部围岩的剥落和变形。而锚索则深入深部稳定岩体,提供强大的悬吊力。通过锚杆和锚索的协同作用,可有效控制巷道顶板和两帮的变形,提高巷道的整体稳定性。锚杆-注浆联合支护也是一种有效的支护方式。先通过锚杆对围岩进行初步加固,使围岩在一定程度上保持稳定。然后,再利用注浆技术进一步改善围岩的性质,填充围岩中的裂隙和孔隙,提高围岩的强度和整体性。这种联合支护方式能够充分适应复杂多变的地质条件,为巷道提供可靠的支护保障。

## 3 煤矿掘进巷道支护创新技术应用

在煤矿开采作业中,深部巷道掘进工程常常面临复杂多变的地质条件挑战,其中松软破碎煤层的支护问题尤为突出。在某煤矿的深部巷道掘进工程中,就遭遇了此类棘手难题。该巷道原采用传统的梯形金属支架支护

方式,然而在实际应用中,这种传统支护方式在松软破碎煤层中的弊端尽显无遗。松软破碎的煤层使得围岩自身承载能力极低,而梯形金属支架虽在一定程度上能提供支撑,但面对较大的围岩压力时,显得力不从心。巷道开挖后,围岩在应力重新分布的作用下,极易发生变形。频繁出现的顶板下沉和两帮移近现象,不仅严重影响了巷道的正常使用,还对煤矿的安全生产构成了巨大威胁。为了维持巷道的稳定性,煤矿不得不投入大量的人力、物力进行维修加固工作。工人需要频繁进入巷道进行检查和修复,这不仅增加了劳动强度,还使得维护成本居高不下。高昂的维护成本严重压缩了煤矿的利润空间,同时频繁的维修作业也导致煤矿的生产效率大幅降低,经济效益受到严重影响<sup>[3]</sup>。

为了改变这一被动局面,该煤矿积极探索并采用了高强高预应力锚杆与注浆加固联合支护技术。这一创新支护技术的应用,为巷道支护带来了新的转机。(1)安装高强高预应力锚杆是联合支护技术的关键步骤之一。高强高预应力锚杆具有独特的性能优势,它能够在巷道开挖后迅速施加较大的预应力。这种预应力就像给围岩提前施加了一个“紧箍咒”,对围岩进行主动加固。通过锚杆强大的锚固力,将松软的围岩与深部稳定岩体紧密地连接起来。在围岩发生初期变形时,高强高预应力锚杆能够及时发挥作用,抑制变形的进一步发展,防止围岩进一步破碎和松动,从而有效地控制了巷道的初期变形。(2)随后进行的水泥注浆作业,是联合支护技术的另一重要环节。水泥浆液具有良好的流动性和胶结性,能够充分填充围岩中的裂隙。当水泥浆液注入围岩裂隙后,它会迅速凝固,将破碎的岩体胶结在一起,形成一个整体。这不仅提高了围岩的整体性,还增强了围岩的强度,使得围岩能够更好地承受上覆岩层的压力。

实践是检验真理的唯一标准。采用高强高预应力锚杆与注浆加固联合支护技术后,该煤矿的巷道支护效果得到了显著提升。巷道变形量明显减小,原本频繁出现的顶板下沉和两帮移近现象得到了有效控制,巷道的断面形状得到了较好的保持。同时,维护周期显著延长,维修加固的次数大幅减少,这不仅降低了工人的劳动强度,还有效保障了巷道的安全稳定。此外,由于维护成本的降低,煤矿的生产成本得到了有效控制,经济效益得到了显著提高。

## 4 煤矿掘进巷道支护技术发展趋势

### 4.1 智能化支护技术

随着人工智能、物联网等前沿技术的飞速进步,煤矿掘进巷道支护正逐步迈向智能化时代。智能锚杆、智

能锚索等先进设备应运而生，它们如同巷道支护的“智慧卫士”，能够实时、精准地监测支护结构的受力状态和围岩变形情况。这些设备内置了高精度的传感器，可敏锐捕捉支护结构在复杂地质环境下的细微变化，并将数据传输至智能控制系统。智能控制系统依据监测数据，运用先进的算法和模型，自动调整支护参数，实现支护的动态优化。例如，当监测到围岩压力增大时，系统可自动增加锚杆的预紧力或调整锚索的锚固长度，以增强支护效果。同时，智能化监测系统还具备强大的预警功能，能够提前发现巷道的潜在安全隐患，如围岩的异常变形、支护结构的局部失稳等，并及时发出警报，为安全生产提供了更为可靠的保障。智能化支护技术的应用，不仅提高了支护效率和质量，还减少了人工监测的工作量和误差，降低了劳动强度和安全风险。

#### 4.2 新材料的应用

等方面存在一定的局限性，难以满足复杂地质条件下的支护需求。而具有高强度、高韧性、耐腐蚀等优异性能的复合材料，为巷道支护带来了新的解决方案。这些复合材料采用先进的制备工艺，将不同性能的材料进行优化组合，形成了具有独特力学性能和化学稳定性的新型支护材料。例如，碳纤维增强复合材料具有极高的强度和模量，能够有效承受较大的围岩压力；玻璃纤维增强塑料则具有良好的耐腐蚀性和耐疲劳性，适用于潮湿、腐蚀严重的井下环境。此外，可降解注浆材料的应用也是新材料发展的一个亮点。这种材料在完成注浆加固任务后，能够在自然环境中逐渐降解，减少了对环境的污染，符合绿色开采的要求。新材料的应用将进一步提升巷道支护结构的使用寿命和可靠性，降低支护成本。

#### 4.3 多学科融合发展

煤矿掘进巷道支护技术的发展离不开多学科的交叉融合。地质学、力学、材料学、计算机科学等学科在巷道支护中发挥着各自的重要作用。地质学为巷道支护提供了基础的地质条件分析，帮助工程师了解巷道周围

岩体的分布、性质和构造，为支护设计提供依据；力学则用于研究巷道围岩的受力状态和变形破坏机理，为支护结构的强度和稳定性计算提供理论支持；材料学致力于研发新型支护材料，提高支护结构的性能；计算机科学则为智能化支护技术和监测系统的开发提供了技术手段。通过多学科的交叉融合，科研人员能够深入研究复杂地质条件下巷道围岩的变形破坏机理，优化支护设计，开发更先进的支护技术和设备。例如，利用计算机模拟技术对巷道支护过程进行数值模拟，预测支护效果，为支护参数的优化提供依据；结合地质雷达、三维激光扫描等先进技术，实现对巷道围岩的精准探测和分析。多学科融合将推动煤矿掘进巷道支护技术不断创新，为煤矿的安全高效开采提供有力支撑<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

综上所述，煤矿掘进巷道支护技术历经从传统到创新的跨越，已取得显著进展。高强高预应力锚杆、注浆加固及联合支护等创新技术有效解决了复杂地质条件下的支护难题，提升了支护效果与效率。智能化支护技术、新材料应用及多学科融合发展，为支护技术的未来指明了方向。这些趋势将推动支护技术不断革新，提高支护结构的可靠性、适应性与智能化水平，降低支护成本，为煤矿安全高效开采筑牢坚实根基，助力煤炭行业实现可持续发展。

#### 参考文献

- [1]王鹏.复杂地质条件下的煤矿巷道掘进支护技术研究[J].能源与节能,2025,(01):149-152.
- [2]刘泽群.掘进巷道支护方案优化研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(01):44-46.
- [3]焦渭涛,王震.煤矿掘进巷道柔性网支护的研究与实践[J].内蒙古煤炭经济,2024,(15):15-17.
- [4]张晗.煤矿掘进巷道复合顶板锚杆支护施工技术研究[J].中国新技术新产品,2024,(24):108-110.