

# 煤矿采矿工程中巷道掘进和支护技术应用研究

刘 凯

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 随着煤炭产业持续发展推进,煤矿采矿工程中,巷道掘进与支护技术至关重要。本文聚焦煤矿采矿工程,深入探讨巷道掘进和支护技术应用。详细阐述了机械挖掘、爆破掘进、掘锚一体化、水力破碎、TBM等巷道掘进技术,以及锚杆、钢梁、液压支架、喷射混凝土、锚索、高强等巷道支护技术。进一步分析了巷道掘进与支护技术的协同应用,包括地质条件与工艺匹配、掘进与支护平行作业、智能化监测与动态调整等方面。旨在为煤矿采矿工程中巷道的高效、安全掘进与支护提供理论依据与实践参考,提升煤矿开采的整体效益与安全性。

**关键词:** 煤矿采矿工程;巷道掘进技术;巷道支护技术;协同应用

引言:煤炭作为我国重要的能源,在能源结构中占据关键地位。煤矿采矿工程的高效、安全开展,对保障能源供应意义重大。在煤矿开采过程中,巷道掘进与支护是核心环节。巷道掘进为煤炭开采开辟通道,其效率直接影响开采进度;而巷道支护则保障巷道稳定,关乎井下作业人员安全与设备正常运转。随着煤矿开采深度与难度的增加,对巷道掘进和支护技术提出了更高要求。因此,深入研究巷道掘进和支护技术及其协同应用,成为当前煤矿采矿工程领域亟待解决的重要课题。

## 1 煤矿采矿工程的概述

煤矿采矿工程是一项综合性强、复杂程度高的系统工程,旨在从地下或露天矿床中安全、高效地开采出煤炭资源,以满足社会经济发展对能源的巨大需求。从开采方式来看,主要分为地下开采和露天开采。地下开采需挖掘一系列巷道,构建复杂的井下作业空间,通过采煤工作面将煤炭采出并运输至地面;露天开采则是剥离覆盖在煤层上的岩石及土层,直接开采煤炭,适用于煤层埋藏较浅的矿区。煤矿采矿工程涉及多个专业领域,涵盖地质勘探、矿山设计、采掘机械、通风安全、运输提升等。地质勘探为矿山设计提供基础数据,精准确定煤层赋存状况;矿山设计依据地质条件合理规划开采布局;采掘机械实现煤炭的高效开采与巷道掘进;通风安全保障井下空气质量,预防瓦斯等灾害;运输提升则将煤炭从井下运至地面。随着科技不断进步,煤矿采矿工程正朝着智能化、绿色化方向发展。智能化开采技术逐步应用,实现生产过程的自动化与远程操控;绿色开采理念深入人心,注重减少对环境影响,实现资源的高效利用与可持续发展,以适应新时代对能源开采的要求<sup>[1]</sup>。

## 2 煤矿采矿工程巷道掘进技术

### 2.1 机械挖掘技术

机械挖掘技术是煤矿巷道掘进的核心手段,以悬臂式掘进机为代表,通过切割头旋转破碎煤岩,配合装载机构实现连续作业。该技术具备高效、安全的特点,适用于煤层硬度适中、顶板稳定的巷道。现代悬臂式掘进机集成液压系统与电控系统,可实现切割头摆动、伸缩及行走机构精准控制,适应不同断面需求。配套转载机与输送机形成连续运输体系,减少人工干预,提升掘进效率。此外,机械挖掘技术对瓦斯、煤尘的防控能力较强,通过封闭式切割与喷雾降尘系统,可有效降低作业环境风险,符合煤矿安全生产规范。

### 2.2 爆破掘进技术

爆破掘进技术通过炸药能量破碎岩体,适用于坚硬岩层或复杂地质条件下的巷道开挖。其核心包括掏槽爆破、光面爆破等工艺:掏槽爆破通过特定炮孔布置形成初始自由面,为后续爆破创造条件;光面爆破则通过精确控制周边眼间距与装药量,实现巷道轮廓平整,减少超欠挖。爆破参数需根据岩性、断面尺寸动态调整,如楔形掏槽适用于中硬以上岩层,直眼掏槽则适应小断面作业。现代爆破技术结合毫秒延期雷管与数码电子雷管,实现多段起爆精准控制,提升爆破效率的同时降低振动影响,保障巷道稳定性。

### 2.3 掘锚一体化技术

掘锚一体化技术将掘进与支护工序深度融合,通过集成切割、装运、锚固功能的专用设备,实现“边掘边锚”的平行作业。该技术突破传统掘进与支护交替作业的模式,大幅缩短循环时间,提升掘进效率。其核心设备掘锚一体机配备可伸缩切割臂与自动锚杆钻机,可在掘进过程中同步完成顶板与侧帮支护,减少空顶时间,降低冒顶风险。此外,掘锚一体化技术对巷道断面适应性较强,尤其适用于大断面、长距离巷道快速掘进,是

现代化煤矿高效开采的关键技术之一<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 水力破碎技术

水力破碎技术利用高压水射流直接破碎煤岩，具有无火花、低粉尘、环境友好等优势，适用于不稳定煤层、急倾斜煤层及瓦斯突出矿井。该技术通过液控水枪或高压水炮实现远程操作，作业人员可远离危险区域，提升安全性。水力破碎过程中，煤岩在水流冲击下解体，形成煤泥混合物，经排水系统处理后实现资源回收。其配套煤泥水处理技术采用斜管沉淀与高效絮凝剂，可实现井下闭路循环用水，减少环境污染。水力破碎技术对设备密封性与供水压力要求较高，需配套专用泵站与管路系统，但整体经济性与环保效益显著。

#### 2.5 TBM技术

TBM（全断面隧道掘进机）技术通过旋转刀盘与推进系统实现岩层全断面一次性开挖，具备掘进速度快、成型质量高、自动化程度强等特点。其核心部件刀盘配备滚刀，可破碎各类硬岩，配套排渣系统与支护装置形成连续作业流程。TBM技术分为敞开式与护盾式两类：敞开式适用于稳定岩层，通过锚杆支护保障安全；护盾式则适应软弱破碎地层，依托临时支护与超前注浆控制围岩变形。现代TBM集成导航定位、地质探测与远程监控系统，可实时调整掘进参数，提升施工精度。该技术对设备选型与地质条件匹配性要求较高，但长期来看可显著降低综合成本，是深部矿井与复杂地质条件下巷道掘进的首选方案。

### 3 煤矿采矿工程中巷道支护技术

#### 3.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术是煤矿巷道支护的核心手段，通过锚杆将不稳定岩层与稳定岩层连接，形成承载结构以抵抗围岩变形。其原理基于悬吊、组合梁及挤压加固理论：悬吊作用将顶板危岩悬吊于稳定岩层；组合梁理论通过锚杆将多层岩层组合为整体，提升承载能力；挤压加固则利用锚杆预紧力形成压缩拱，增强围岩自稳性。现代锚杆支护采用高强度螺纹钢锚杆，配合树脂锚固剂实现快速固化，锚固力可达200kN以上。配套金属网或塑料网可防止岩块掉落，提升支护整体性。此外，可伸缩锚杆与让压锚杆的应用，有效适应围岩变形，避免因应力集中导致支护失效。锚杆支护施工简便、成本低，适用于煤巷、半煤岩巷及岩巷，尤其适合顶板相对稳定的巷道，是煤矿支护体系的基础技术。

#### 3.2 钢梁支护技术

钢梁支护技术以工字钢、U型钢等金属梁为核心，通过架设钢梁形成人工承载结构，支撑巷道顶板及侧帮。

其优势在于承载能力强、适应性强，尤其适用于顶板破碎、断层带等复杂地质条件。工字钢梁通常与木垛、单体液压支柱配合使用，形成“钢梁+木垛”或“钢梁+支柱”的复合支护体系，增强局部稳定性；U型钢梁则通过可缩性设计，允许巷道围岩一定程度的变形，避免因应力集中导致钢梁断裂。钢梁支护施工需严格控制作梁间距与搭接长度，确保整体结构稳定性<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 液压支架支护技术

液压支架支护技术通过高压乳化液驱动液压缸，实现支架的升降、移动及支护强度调整，是综采工作面的核心支护设备。其工作原理基于“支护-移架-推溜”循环：支架升起支撑顶板，推移输送机后，支架前移完成循环。液压支架分为支撑式、掩护式及支撑掩护式三类：支撑式支架适用于顶板坚硬、直接顶完整的巷道；掩护式支架通过掩护梁隔离采空区，适应顶板破碎条件；支撑掩护式则结合两者优势，应用范围最广。现代液压支架集成电液控制系统，可实现远程操作与自动跟机，支护强度可达1000kN/架以上，有效控制顶板下沉量。此外，支架配备侧护板、防倒防滑装置及喷雾降尘系统，提升安全性与作业环境质量。

#### 3.4 喷射混凝土支护技术

喷射混凝土支护技术通过高压风或泵送将混凝土混合料喷射至巷道表面，形成薄层支护结构，兼具支护与封闭围岩的双重功能。其作用机理包括：混凝土层与围岩形成联合承载体，提升整体强度；封闭围岩表面防止风化与水化侵蚀；填充岩体裂隙，减少应力集中。喷射混凝土采用干喷、湿喷及潮喷工艺：干喷工艺设备简单但粉尘大；湿喷工艺通过搅拌机预先混合，质量稳定且粉尘低；潮喷工艺则介于两者之间，兼顾效率与环保。现代喷射混凝土添加速凝剂与纤维增强材料，速凝剂可在3-5分钟内使混凝土初凝，纤维则提升抗拉强度与抗裂性能。喷射混凝土支护适用于服务年限较短、围岩相对稳定的巷道，尤其适合曲线巷道与异形断面，是煤矿快速支护与临时支护的重要手段。

#### 3.5 锚索支护技术

锚索支护技术通过高强度钢绞线锚入深部稳定岩层，形成远端锚固的主动支护体系，适用于大断面巷道、交岔点及软岩巷道等高应力环境。其核心原理为：钢绞线预紧力通过锚具传递至围岩，形成压缩拱，将浅部应力转移至深部稳定岩层，从而控制巷道变形。锚索长度通常为5-15米，锚固力可达500kN以上，远超普通锚杆。施工时需严格控制钻孔角度、深度及锚固剂填充量，确保锚索与围岩协同受力。现代锚索支护采用可回

收锚索与让压锚索：可回收锚索通过机械装置实现钢绞线回收，降低材料成本；让压锚索则通过让压管释放部分变形能，避免因围岩变形过大导致锚索断裂。锚索支护常与锚杆、金属网联合使用，形成“锚杆+锚索+网”的复合支护体系，显著提升巷道稳定性，是深部矿井与复杂地质条件下巷道支护的关键技术<sup>[4]</sup>。

#### 4 煤矿采矿工程中巷道掘进与支护技术的协同应用

##### 4.1 地质条件与工艺匹配

地质条件是巷道掘进与支护技术协同应用的基础前提。不同地质特征需针对性选择工艺组合：在坚硬稳定岩层中，可采用爆破掘进或TBM技术，利用岩体自身强度减少支护密度，仅需锚杆与喷射混凝土进行基础加固；软岩或破碎带则需优先选用掘锚一体化技术，通过“边掘边锚”快速封闭围岩，防止风化剥落，并配套锚索与钢梁形成复合支护体系，增强整体稳定性。高瓦斯矿井需避免爆破火花，可选用水力破碎技术，同时采用液压支架的密闭支护结构，减少瓦斯积聚风险。此外，地质勘探数据需实时融入施工系统，动态调整掘进参数（如切割深度、爆破孔网参数）与支护强度（如锚杆间距、混凝土厚度），确保工艺与地质条件高度适配，避免因地质突变导致支护失效或掘进效率下降。

##### 4.2 掘进与支护平行作业

平行作业通过工序重组实现掘进与支护的时空协同，显著提升施工效率。掘锚一体化设备将切割、装运与锚固功能集成于一体，使掘进与支护由传统串行模式转为并行作业，循环时间缩短30%-50%。对于大断面巷道，可采用分层掘进与分层支护策略：上层掘进后立即进行顶板锚杆支护，下层掘进时同步完成侧帮支护，减少空顶时间，降低冒顶风险。液压支架的快速移架功能可与采煤机割煤同步推进，实现“掘支运”一体化连续作业。平行作业需严格管控工序衔接，通过设备自动化控制与人员协同训练，确保掘进与支护无缝对接，避免因工序干扰导致效率损失或安全隐患，同时需配套临时支护装置应对局部失稳问题。

##### 4.3 智能化监测与动态调整

智能化监测系统通过传感器网络实时采集巷道位移、应力、瓦斯浓度等关键参数，为动态调整提供数据支撑。激光位移计与应变计可连续监测顶板下沉量与围岩变形速率，当变形超过预警值时，系统自动触发锚杆预紧力补偿或锚索补强；红外光谱仪与气体传感器可识别煤层氧化迹象与瓦斯异常，联动通风系统调整风量。基于大数据的支护设计平台可模拟不同地质条件下的支护效果，优化参数配置，例如在深部矿井中根据地压监测数据动态调整锚索长度与间距。智能化调整需配套快速响应机制，如液压支架的电液控制系统可在10秒内完成支护强度调整，锚杆钻机可自动切换钻孔参数，确保巷道稳定性与施工安全，实现掘进与支护技术的精准协同<sup>[5]</sup>。

##### 结束语

在煤矿采矿工程中，巷道掘进与支护技术的协同应用是保障安全生产、提升开采效率的核心环节。通过地质条件精准匹配工艺、掘进与支护平行作业优化流程、智能化监测实现动态调整，三者形成技术闭环，有效解决了复杂地质条件下巷道稳定性控制难题。未来，随着装备智能化水平提升与新材料研发应用，掘进与支护技术将向“高效-精准-绿色”方向深化发展，进一步降低劳动强度、减少资源损耗，为煤矿深部开采与智能化矿山建设提供关键技术支撑，推动行业向安全、可持续方向转型升级。

##### 参考文献

- [1]张建新.煤矿井下巷道掘进顶板支护技术分析[J].能源与节能,2022(12):134-135.
- [2]梁小龙.掘进巷道支护优化设计及实践分析[J].能源与节能,2022(12):187-188.
- [3]李治军.煤矿巷道掘进和支护技术的质量探讨[J].江西化工,2022(06):215-216.
- [4]崔鹏飞.煤矿掘进巷道锚杆支护方式的应用与分析[J].山西化工,2022,39(06):97-98.
- [5]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,2022,39(23):224-225.