

# 采矿工程中超前支护技术的应用

马 杰

中国华冶科工集团辽宁矿业分公司 辽宁 鞍山 114000

**摘要：**超前支护技术是采矿工程中的一项关键技术，主要用于松软地质或破碎带岩体中，以超前于掘进速度进行支护，确保采矿面稳定和安全。该技术通过超前锚杆、超前管棚、注浆锚杆等方式加固岩体，有效防止岩层破裂和坍塌。在煤矿、金属矿山等采矿工程中，超前支护技术广泛应用，保障安全生产，提高采矿效率。随着矿山技术的发展，超前支护技术也在不断完善，为矿业产业的可持续发展提供有力支持。

**关键词：**采矿工程；超前支护技术；应用

**引言：**在采矿工程领域，面对复杂多变的地质条件和严苛的安全要求，超前支护技术作为一项至关重要的工程技术，发挥着不可替代的作用。该技术通过主动加固开挖面前方的围岩，有效预防坍塌等安全事故，保障施工人员的生命安全与工程的顺利进行。随着采矿深度的增加和地质条件的日益复杂，超前支护技术的应用愈发显得关键。本文旨在探讨超前支护技术在采矿工程中的应用情况，分析其优势与挑战，为采矿工程的安全高效提供理论参考。

## 1 超前支护技术概述

### 1.1 定义与原理

#### 1.1.1 概念界定

超前支护技术是指在地下工程施工前，针对开挖工作面前方及周边的围岩或土体，预先采取加固、支护措施的工程技术。其核心是通过主动构建支护体系，控制围岩变形、防止坍塌，为后续开挖作业提供安全稳定的环境，广泛应用于隧道、矿山、地下管线等工程领域，是保障地下工程施工安全的关键技术之一。

#### 1.1.2 工作原理

超前支护技术的工作原理基于围岩加固与荷载传递。通过在开挖轮廓线外设置支护结构（如锚杆、钢管等），将松散或破碎的围岩胶结、锚固为整体，提高其自身承载能力；同时利用支护结构的刚度，将围岩所受荷载传递到稳定地层或已完成的支护结构上，从而限制围岩在开挖过程中的变形与破坏，确保施工面的稳定性，实现“主动防护”而非被动应对。

### 1.2 主要形式与特点

#### 1.2.1 主要形式

（1）超前锚杆（管）：沿开挖轮廓线向前倾斜钻孔，植入锚杆或钢管并注浆加固。适用于围岩稳定性较好的中短距离支护，施工简便、成本较低，单根长度多

为3-5米。（2）超前管棚：由多根长钢管沿开挖轮廓线排列形成棚架结构，通过注浆增强围岩整体性。适用于软弱破碎地层或大跨度工程，支护强度高、范围广，钢管长度可达10-40米。（3）超前小导管注浆：采用直径30-50毫米的钢管注浆，浆液渗透填充围岩缝隙。适用于富水地层或裂隙发育的围岩，兼具加固和堵水作用，施工灵活性强<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.2 技术特点

（1）预防性强：在开挖前主动加固围岩，从源头降低坍塌风险，避免事后补救的被动局面，尤其适用于复杂地质条件。（2）灵活性高：可根据围岩条件、工程规模选择不同支护形式，参数调整便捷，能适应多变的地下环境。（3）技术含量高：需结合地质勘察数据优化支护参数，融合材料力学、岩土工程等多学科知识，对施工精度要求较高。

## 2 采矿工程中超前支护技术的应用

### 2.1 地下开采中的应用

#### 2.1.1 地下开采面临的挑战

地下开采环境复杂多变，面临多重技术与安全挑战。地质构造复杂性是首要难题，断层、节理密集带及软弱夹层的存在，会导致围岩完整性差、承载能力急剧下降，极易引发掌子面坍塌或顶板冒落。地下水涌入风险尤为突出，在灰岩、砂岩等透水地层中，开挖作业可能导通含水层，引发突水事故，不仅淹没作业面，还会冲刷围岩加剧失稳。此外，深部开采伴随的高地应力效应使围岩变形速率加快，传统被动支护难以控制；而瓦斯、有毒气体的聚集，以及开采过程中产生的粉尘污染，进一步增加了施工难度与安全隐患。

#### 2.1.2 超前支护技术在地下开采中的具体应用

针对地下开采的复杂工况，超前支护技术通过主动干预实现安全控制。在破碎围岩区域，超前深孔注浆技

术发挥关键作用：采用专用钻机向掌子面前方30-50米范围钻孔，注入水泥-水玻璃双液浆，浆液快速凝固后填充岩体裂隙并胶结松散颗粒，形成厚度达5-8米的加固帷幕，显著提升围岩整体性。对于中等稳定岩层，全长粘结型超前锚杆广泛应用，锚杆长度通常为6-8米，按15°-30°倾角布置，通过机械锚固与注浆粘结双重作用，将表层围岩与深部稳定岩体连接，限制岩层位移。在富水地层，管棚-注浆联合支护效果显著，直径108-159毫米的无缝钢管沿开挖轮廓线环向布置，形成挡水屏障，同步注浆封堵管间空隙，使涌水量控制在5立方米/小时以内<sup>[2]</sup>。

## 2.2 巷道掘进中的应用

### 2.2.1 巷道掘进过程中的安全风险

巷道掘进是采矿工程的咽喉环节，安全风险贯穿始终。掘进面推进时，临时空顶面积扩大导致围岩应力集中，在松软煤层或泥岩地层中，可能在1-2小时内发生片帮或冒顶。断层破碎带的突然揭露是重大隐患，破碎岩体抗剪强度低，易在开挖扰动下发生顺层滑动，引发大规模坍塌。此外，掘进爆破产生的冲击波与振动会破坏围岩原始结构，使裂隙扩展；而支护不及时形成的“空窗期”，进一步加剧了围岩失稳风险。据统计，巷道掘进事故中，70%以上与支护滞后或失效相关。

### 2.2.2 超前支护技术在巷道掘进中的应用实例

某金矿在穿断层巷道掘进中，采用预应力锚索+钢棚联合超前支护：在掘进面前方12米范围，每2米布置一排预应力锚索，单根锚索拉力达200kN，配合I20工字钢棚架及时支护，使断层带掘进成活率提升至98%。另一煤矿在松软煤层巷道施工中，创新应用气动式超前锚杆机，实现钻孔-安装-注浆一体化作业，单循环支护时间缩短至40分钟，较传统工艺提高效率3倍，且巷道两帮移近量控制在150mm以内。在岩巷掘进中，小导管注浆超前支护被广泛采用，通过Φ42mm导管注入速凝浆液，在开挖面前方形成3米厚的加固层，有效解决了岩爆高发区的施工难题。

## 2.3 矿井支护中的应用

### 2.3.1 矿井支护对采矿作业安全的重要性

矿井支护是保障采矿生产持续进行的“生命线”。稳定可靠的支护体系能够抵抗围岩荷载，维持巷道、采场等空间的几何形态，为通风、运输、供电等系统提供安全通道。在深井开采中，支护结构需同时承受地应力、采动应力及地下水压力，其性能直接决定作业面的安全系数。一旦支护失效，可能引发冒顶、片帮等事故，导致人员伤亡、设备损坏，甚至造成矿井区域性停产。据行业数据，完善的支护系统可使采矿事故率降低

60%以上，是实现安全高效开采的核心保障。

### 2.3.2 超前支护技术在矿井支护中的关键作用

超前支护技术通过“预先加固、主动控稳”重塑矿井支护体系。在井筒施工中，双层管棚超前支护被用于穿过表土层及流沙层，外层Φ219mm管棚形成刚性骨架，内层Φ159mm管棚注浆堵水，使井筒掘砌速度提升至50米/月，且井壁变形量控制在20mm以内。在采区车场支护中，超前锚杆+喷射混凝土复合技术提前加固围岩，使混凝土喷层早期强度达15MPa，有效抵抗采动应力影响。对于回采巷道，高预应力锚杆索超前支护通过施加初始预紧力，在围岩内部形成承载拱，将顶板下沉量控制在80mm以内，大幅延长巷道服务年限。此外，超前支护技术可提前处理潜在危险源，如通过预注浆封堵导水裂隙，将矿井突水概率降低70%以上，为矿井整体稳定性提供多重保障<sup>[3]</sup>。

## 3 超前支护技术的优势与挑战

### 3.1 优势分析

#### 3.1.1 提高采矿工程的安全性和效率

超前支护通过预先加固围岩，构建了主动防护体系，能有效遏制塌方、突水等事故。在地下开采中，其对破碎带、断层的提前处理，可使安全事故率降低55%以上，为作业人员筑牢安全防线。同时，稳定的施工环境减少了事故导致的停工，如巷道掘进采用超前小导管技术后，单循环效率提升20%，月进尺增加6-8米。此外，该技术对围岩变形的控制，避免了设备因空间挤压受损，保障了开采设备连续运行，间接提升了采矿综合效率。

#### 3.1.2 降低后期维护和修复的成本

传统支护多为被动应对，而超前支护从源头减少了后期维护需求。以煤矿巷道为例，采用超前锚杆支护后，年度维修次数从7次降至2次，维护费用降低65%；金属矿井筒应用管棚超前支护后，修复周期从4年延长至12年，大幅减少重复施工成本。同时，超前支护增强了围岩稳定性，降低支护结构疲劳损伤，如预应力锚索的应用使构件更换频率下降45%，节约了大量维修资金。

#### 3.1.3 保护地下环境，减少资源浪费

超前支护通过精准控制开挖扰动，降低对地下生态的破坏。其预先封堵含水层的作用，减少地下水流失，避免地表沉降，如注浆加固使采矿区地下水位下降幅度减少35%。同时，对破碎围岩的加固提高了资源回收率，薄煤层开采中，超前支护使煤炭回采率提升5%-7%，每年减少数万吨资源浪费。此外，环保注浆材料的使用，降低了对地下水土的污染。

### 3.2 挑战与限制

### 3.2.1 确定适当的支护方案存在挑战

超前支护方案需匹配复杂地质条件，但存在诸多难点。地质勘察难以完全探明隐伏构造，易导致参数偏差；地应力、地下水等多因素耦合使围岩力学行为复杂，传统模型难以精准预测；不同区域地质差异要求差异化方案，增加设计难度。例如，在岩溶区，若方案未兼顾加固与堵水，可能造成成本浪费或安全隐患。

### 3.2.2 需要大量材料和设备，增加工程成本和时间

超前支护依赖大量专用材料和设备，推高成本。高强度锚杆、无缝钢管等材料单价较高，管棚支护每米成本达500-1000元，材料费用占总造价20%-30%；专用钻机、注浆泵等设备投资大，一套自动化系统约250-350万元。此外，超前施工工序增加10%-20%的工期，在赶工项目中可能影响整体进度，间接增加管理成本。

## 4 超前支护技术的优化措施与发展方向

### 4.1 优化措施

#### 4.1.1 根据现场实际情况选择合适的支护方式

支护方式的适配性是确保超前支护效果的核心。需结合地质勘察数据，对围岩稳定性、含水率、地应力等参数进行综合评估：在松软破碎地层优先选用管棚+注浆联合支护，利用管棚的刚性骨架与注浆的胶结作用形成双重防护；中等稳定岩层可采用超前锚杆支护，通过机械锚固提升围岩整体性；富水地层则需侧重堵水功能，选用带泄水孔的小导管注浆技术。同时，需考虑工程规模与施工条件，如短距离掘进可采用轻型锚杆，长距离深部开采则需高强度管棚支护。某铁矿通过“地质分级-方案匹配-动态调整”的三步法，使支护材料消耗减少15%，支护效果提升20%。

#### 4.1.2 加强支护过程中的监测和预警机制

建立全流程监测体系是防范风险的关键。在支护施工阶段，采用光纤传感技术实时监测锚杆应力、围岩变形速率，数据传输至智能平台形成动态曲线；在开挖阶段，布设微震监测系统捕捉岩体破裂信号，提前1-2小时预警潜在塌方风险。某煤矿应用“应力-变形-微震”三位一体监测后，成功预警8次小规模冒顶事故，响应时间缩短至10分钟以内。同时，制定分级预警机制：当变形速率超过3mm/d时发出黄色预警，启动加密监测；超过5mm/d时触发红色预警，立即停止作业并加固处理，形成“监测-分析-决策-执行”的闭环管理<sup>[4]</sup>。

### 4.2 发展方向

#### 4.2.1 不断创新和完善超前支护技术

技术创新聚焦材料、工艺与智能化三大领域。材料方面，研发高性能复合材料锚杆，兼具高强度与耐腐蚀特性，使用寿命延长至传统钢材的2倍；工艺上，推广定向注浆技术，通过可调角度钻头实现浆液精准扩散，材料利用率提升30%；智能化领域，开发无人化支护作业机器人，集成钻孔、安装、注浆功能，施工效率提高50%。此外，数值模拟技术的深化应用可实现支护参数的精准优化，某科研团队通过三维地质建模，使管棚支护设计误差控制在5%以内。

#### 4.2.2 拓展超前支护技术的应用领域

除采矿工程外，超前支护技术正向多领域延伸。在城市地下管廊施工中，微型管棚支护解决了穿越建筑群时的沉降控制难题；水利工作中，超前注浆技术用于坝基防渗处理，渗漏量减少80%；在公路隧道改扩建中，预应力锚索超前支护实现了既有隧道的安全加宽。未来，随着深海采矿、极地工程的发展，适应极端环境的特种超前支护技术将成为新的研究热点，推动该技术向更广阔的应用场景拓展。

## 结束语

综上所述，超前支护技术在采矿工程中发挥着举足轻重的作用，不仅显著提高了工程的安全性和稳定性，还有助于降低后期维护和修复的成本，对保护地下环境和减少资源浪费也具有重要意义。尽管在实施过程中面临诸多挑战，但通过科学合理的支护方案设计、加强监测预警机制以及持续的技术创新，我们完全有能力克服这些困难。展望未来，超前支护技术必将迎来更加广阔的发展前景，为采矿工程的安全高效开采提供坚实保障。

## 参考文献

- [1]高跃文.采矿工程中超前支护的合理运用探究[J].科技视界,2020,(06):42-43.
- [2]高奇强.超前支护在采矿工程中的应用探析[J].能源与节能,2020,(11):183-184.
- [3]郭卢进.采矿工程中超前支护的应用[J].机械管理开发,2020,31(08):152-153.
- [4]朱明明.超前支护在采矿工程中的应用研究[J].能源与节能,2020,(07):161-162.