

# 采矿工程中超前支护技术的应用

刘 凯

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 在采矿工程中,超前支护技术通过提前加固掌子面前方松散或破碎岩体,有效防止围岩变形、塌方及冒顶事故,保障施工安全与效率。其核心方式包括超前锚杆、管棚注浆、水平旋喷桩及超前液压支架等,可适应不同地质条件。该技术广泛应用于巷道掘进、回采工作面及特殊地质带,结合智能化装备如超前支护机器人,显著提升支护效率,降低人工成本,推动矿业可持续发展。

**关键词:** 采矿工程;超前支护技术;应用

**引言:** 采矿工程作业环境复杂多变,围岩失稳、塌方冒顶等事故频发,严重威胁人员安全与生产效率。超前支护技术作为预防地质灾害的关键手段,通过提前对掌子面前方不稳定岩体进行加固,形成有效承载结构,可显著降低围岩变形风险。随着深部开采与复杂地质条件下的采矿需求增加,传统支护方式已难以满足安全要求,超前支护技术的创新应用成为保障采矿工程安全高效推进的核心方向。

## 1 采矿工程中超前支护技术基础理论

### 1.1 超前支护的核心概念

(1) 定义:超前支护是采矿工程中,在工作面开采或巷道掘进作业实施前,针对作业区域前方及周边围岩开展预先加固与防护的关键技术,是主动防控围岩失稳灾害的核心手段。(2) 作用机制:核心在于通过预先干预改善围岩原始应力分布状态,降低采动影响引发的应力集中程度;同时增强围岩自身承载能力,将松散或破碎的围岩转化为协同承载体系,最终实现对围岩早期变形和后期蠕变的有效控制,保障作业空间稳定。

### 1.2 技术分类与原理

(1) 被动支护技术:以承受围岩荷载为核心,不主动改变围岩应力状态。其中,超前锚杆/锚索通过锚固剂将锚杆与深部稳定围岩结合,借助锚固力限制围岩横向与纵向位移;金属支架(如U型钢支架)则通过自身结构强度被动承受顶板及侧壁的压力,抵御围岩变形挤压。(2) 主动支护技术:通过主动施加作用力改善围岩状态。注浆加固利用高压设备将化学或水泥基浆液注入围岩裂隙,浆液凝结后胶结破碎岩块,提升围岩完整性与强度;液压超前支护装置依靠高压液压缸输出支撑力,主动作用于顶板和围岩,提前平衡部分地应力。(3) 联合支护技术:融合被动与主动支护优势实现协同加固。锚注联合通过锚杆提供即时锚固约束,注浆进一步强化围岩整

体承载能力;支架-注浆复合则以支架承担短期荷载,注浆改性围岩实现长期稳定,适用于复杂破碎地质条件<sup>[1]</sup>。

### 1.3 关键技术参数

(1) 支护时机:核心参数为支护作业点与工作面的距离,需根据围岩稳定性等级确定,通常在工作面前方1-5m范围内实施,确保加固效果覆盖应力扰动核心区。(2) 支护强度与密度设计:需匹配围岩地应力大小,通过计算确定锚杆/锚索间距、排距及支架布设密度,保证支护体系总承载能力大于预测荷载。(3) 材料性能要求:锚杆需满足规定抗拉强度与屈服强度,注浆浆液需精准控制凝结时间(3-30min可调),确保快速形成支护强度,保障支护效果可靠性。

## 2 采矿工程中超前支护技术应用

### 2.1 巷道掘进超前支护

(1) 软岩巷道:软岩具有强度低、塑性变形大、遇水易软化崩解的特性,在掘进过程中极易出现顶板下沉、巷道收敛等问题,严重威胁施工安全。对此,超前支护以“提前约束、控制变形”为核心目标,常用超前锚杆支护技术。以某煤矿软岩巷道掘进工程为例,该巷道围岩以泥岩、页岩为主,抗压强度不足15MPa,掘进初期多次出现顶板局部垮落。施工团队采用 $\phi 22\text{mm}$ 高强度螺纹钢超前锚杆,锚杆长度4.5m,间距800mm $\times$ 800mm,在掘进工作面前方1.5m处布设,形成超前锚固拱。通过锚杆的锚固力将松散软岩与深部稳定围岩连接为整体,限制软岩的塑性变形,同时配合喷浆封闭围岩表面,防止遇水软化。应用后,巷道顶板下沉量控制在30mm以内,巷道收敛速率降低70%,确保了掘进作业的安全进行。(2) 破碎围岩:破碎围岩多分布于断层带、褶皱构造区,围岩裂隙发育、完整性极差,掘进过程中易发生大面积坍塌。针对此类地质条件,超前注浆加固技术是核心解决方案,通过高压注浆填充裂隙、胶结破碎岩块,

提升围岩整体承载能力。某金矿巷道掘进穿越F16断层带,该断层带宽3-5m,围岩以破碎砂岩、角砾岩为主,呈松散状,常规支护方式无法保障安全。施工中采用超前注浆加固技术,选用水泥-水玻璃双液浆,浆液凝结时间控制在3-5min,通过 $\Phi 42$ mm注浆管在工作面前方布设3排注浆孔,孔深6m,间距1.2m,注浆压力控制在2.5-3.0MPa。浆液在高压作用下渗透至围岩裂隙中,快速凝结后形成完整的注浆加固拱,将破碎围岩胶结为整体。加固后,围岩抗压强度提升至25MPa以上,掘进过程中未发生坍塌事故,有效保障了断层带巷道的顺利掘进<sup>[2]</sup>。

## 2.2 工作面回采超前支护

(1) 长壁工作面:长壁工作面回采范围广、推进速度快,超前支承压力影响范围大,对超前支护的稳定性和适应性要求极高。液压支架超前支护系统因具备主动支撑、强度可调、自动化程度高的优势,成为长壁工作面的主流超前支护方式。以某煤矿综采工作面回采工程为例,该工作面长度200m,开采厚度3.5m,采用综合机械化回采工艺。为应对超前支承压力影响,在工作面端头及超前20m范围内布设ZQL2 $\times$ 8000/22/45型液压超前支护支架,该支架采用双柱支撑结构,额定工作阻力8000kN,可实现自动移架、调平。支架通过主动施加支撑力平衡超前支承压力,限制顶板下沉和巷道收敛,同时端头支架与工作面液压支架协同配合,解决了端头三角区的支护薄弱问题。应用后,工作面超前支承压力影响区顶板下沉量控制在25mm以内,端头区域未发生漏顶事故,回采效率提升15%<sup>[3]</sup>。(2) 急倾斜煤层:急倾斜煤层(倾角大于45°)回采过程中,受重力作用影响,煤壁易发生片帮,同时顶板易出现滑落式垮落,给回采作业带来极大安全隐患。对此,超前锚杆布置是关键支护措施,通过锚杆的锚固力约束煤壁,防止片帮事故发生。某煤矿急倾斜煤层回采工作面,煤层倾角60°,煤质较松软,回采初期多次出现煤壁片帮,影响回采进度。施工团队优化超前锚杆布置方案,采用 $\phi 20$ mm全螺纹锚杆,长度3.5m,在煤壁前方1.0m处布设,沿煤层倾向间距700mm,走向间距800mm,锚杆与煤壁呈75°夹角布设,确保锚杆深入稳定煤体。同时,在锚杆端部加装托盘和螺母,增强锚固效果。应用后,煤壁片帮事故发生率降低90%,工作面回采连续性得到保障,回采作业安全性显著提升。

## 2.3 特殊地质条件应用

(1) 深部开采:随着采矿深度增加,围岩承受的地应力显著增大,易出现岩爆、大变形等灾害,超前支护需以“抗冲击、强承载”为核心。某煤矿千米深井巷道

掘进工程,开采深度1200m,围岩地应力达35MPa,存在强岩爆风险。施工中采用“超前锚杆+注浆加固+U型钢支架”联合超前支护方案:首先布设 $\phi 25$ mm高强度超前锚杆,形成初步锚固;随后采用超细水泥浆进行超前注浆,填充围岩深部裂隙,提升围岩完整性;最后在掘进后及时架设U型钢支架,形成被动承载结构。同时,在支架与围岩之间填充缓冲材料,吸收岩爆冲击能量。通过该联合支护方案,有效分散了高地应力,降低了岩爆风险,巷道变形量控制在40mm以内,保障了深部开采的安全进行<sup>[4]</sup>。(2) 瓦斯突出矿井:瓦斯突出矿井的采矿作业需同时应对围岩失稳和瓦斯突出双重风险,超前支护需实现“防突与支护一体化”。某瓦斯突出矿井掘进工程,煤层瓦斯含量12m<sup>3</sup>/t,瓦斯压力1.8MPa,具备强突出风险。施工中采用“超前钻孔卸压+注浆加固+锚网喷支护”一体化技术:首先在工作面前方布设超前卸压钻孔,释放煤层瓦斯压力,降低突出风险;随后采用低粘度、高渗透性的化学浆液进行超前注浆,一方面胶结破碎围岩,提升支护稳定性,另一方面封堵瓦斯渗流通道;最后进行锚网喷支护,形成完整的支护体系。该技术既解决了围岩支护问题,又有效控制了瓦斯突出风险,施工过程中瓦斯浓度始终控制在0.8%以下,未发生瓦斯突出事故,实现了瓦斯突出矿井的安全高效掘进。

## 3 采矿工程中超前支护技术优势与现存问题

### 3.1 主要优势

(1) 显著降低顶板事故率,提升作业安全性:采矿工程中顶板垮落、冒顶是最常见的恶性事故之一,超前支护通过在工作面开采或巷道掘进前加固围岩,提前构建稳定的承载体系,有效抵消超前支承压力对围岩的破坏作用。实践数据表明,应用超前支护技术的采矿工作面,顶板事故率平均降低60%以上,大幅减少了人员伤亡和设备损坏风险,为作业人员构建了安全的作业环境。(2) 减少围岩变形,延长巷道服务周期:巷道开挖后,围岩在应力作用下易发生变形收敛,严重时会导致巷道断面缩小、无法满足生产运输需求。超前支护通过改善围岩应力分布、增强围岩承载能力,可有效控制围岩早期变形和长期蠕变。例如,在软岩巷道中应用超前注浆+锚杆联合支护,巷道变形量可控制在允许范围以内,服务周期延长至原支护方式的2-3倍,减少了巷道修复维护成本<sup>[5]</sup>。(3) 适应复杂地质条件,提高开采效率:随着采矿深度增加和资源开发向复杂地质区域推进,断层带、破碎围岩、高地应力等复杂条件日益增多。超前支护技术可根据不同地质条件灵活调整方案,如破碎围岩采用注浆加固、急倾斜煤层采用超前锚杆支护等,有效突破

了复杂地质条件对开采作业的限制。同时,稳定的围岩环境避免了因地质灾害导致的施工中断,使采矿作业能够连续开展,开采效率平均提升15%-20%。

### 3.2 现存问题

(1) 成本较高:超前支护需使用高强度锚杆、专用注浆材料、液压支护设备等优质材料和设备,材料采购成本较高;同时,超前支护作业需在采矿主体作业前开展,增加了施工工序和施工周期,人工成本和设备租赁成本同步上升。以千米深井巷道支护为例,应用超前联合支护技术的成本较常规支护高出30%-50%,给矿山企业带来较大经济压力。(2) 技术适用性受限:现有超前支护技术对极端地质环境的适应性不足。在极软岩巷道中,围岩强度极低、塑性变形量大,常规超前锚杆、支架等支护方式易出现锚固失效、支架变形等问题,无法有效控制围岩变形;在高瓦斯突出矿井中,部分支护材料(如某些锚固剂)可能存在燃爆风险,且支护作业可能扰动煤体,诱发瓦斯突出,限制了超前支护技术的应用范围。(3) 施工工艺复杂,对工人技能要求高:超前支护技术多为联合支护方案,涉及锚杆布设、高压注浆、液压支架安装等多个工序,各工序之间衔接要求严格,施工工艺复杂。同时,施工过程中需根据围岩实时状态调整支护参数,如注浆压力、锚杆间距等,这就要求作业人员具备扎实的专业知识和丰富的实践经验。目前,部分矿山企业一线作业人员技能水平不足,易出现施工质量问题,影响支护效果。

### 3.3 优化策略

(1) 轻量化、模块化支护设备研发:聚焦成本控制和施工便捷性,研发轻量化、模块化的超前支护设备。采用高强度铝合金、复合材料等替代传统钢材,降低设备重量,减少运输和安装难度;将支护设备拆解为标准化模块,根据不同地质条件灵活组合,缩短设备调试和施工周期。例如,研发模块化超前液压支架,单模块重量较传统支架降低40%,安装效率提升50%,可有效降低施工成本。(2) 智能化监测系统集成:构建“支护-监测-调

控”一体化智能系统,在支护区域布设应力传感器、位移传感器、瓦斯传感器等设备,实时采集围岩应力、变形量、瓦斯浓度等数据,通过物联网传输至控制中心。利用大数据分析和人工智能算法对数据进行处理,判断围岩稳定性和支护效果,自动反馈调整支护参数,如注浆压力、支架支撑力等。同时,通过远程控制实现支护设备的自动化作业,降低对工人技能的依赖,提升施工质量和安全性。(3) 绿色材料应用:响应绿色矿山建设要求,推广应用环保型支护材料。研发可降解注浆材料,替代传统水泥浆和化学浆液,该材料在完成支护使命后可自然降解,避免对地下水和土壤造成污染;采用环保型锚固剂,选用无甲醛、无重金属的原材料,降低对作业环境和人员健康的危害。同时,优化材料配比,提升材料利用率,在保证支护性能的前提下,进一步降低材料成本。

### 结束语

采矿工程中,超前支护技术作为保障作业安全、提升开采效率的关键举措,其重要性不言而喻。通过科学运用超前锚杆、管棚注浆等多样化支护手段,有效应对了复杂地质条件下的围岩失稳难题。未来,随着智能化支护设备与新型材料的研发应用,超前支护将向更精准、高效、环保的方向发展,为深部矿产资源开发及采矿工程可持续发展筑牢安全根基,持续推动行业技术进步。

### 参考文献

- [1]高占龙.超前支护技术在采矿工程中的应用研究[J].能源与节能,2024(9):293-295.
- [2]叶林.采矿工程中超前支护的合理运用[J].当代化工研究,2024(20):99-100
- [3]韩永生.超前支护在采矿工程中的应用研究[J].世界有色金属,2021(6):35-36.
- [4]武哲曦.浅谈超前支护在采矿工程中的应用[J].矿业装备,2021(4):90-91.
- [5]王强.超前支护在采矿工程中的应用[J].中国金属通报,2024(4):45-47.