

煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析

文 / 郑 波 山东省泰安市宁阳县华丰煤矿
 闫喜生 山东省泰安市宁阳县华丰煤矿
 代 峰 山东省泰安市宁阳县华丰煤矿
 闫琪琪 山东省泰安市宁阳县华丰煤矿

摘要：针对煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术的应用，本文深入探讨了钻爆法和机械掘进技术的原理、特点及适用条件。文章详细分析了锚杆和锚索支护技术的作用机理及其在不同地质条件下的性能表现。进一步，文中讨论了巷道掘进与支护技术的协同应用，包括掘进工艺对围岩稳定性的影响及应对策略，以及支护技术在提高掘进效率方面的作用。通过案例分析，文章总结了复杂地质条件下巷道掘进与支护的成功经验，强调了地质勘探的重要性和综合施策的必要性。

关键词：煤炭采矿；巷道掘进；支护技术；技术应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.122

引言

随着煤炭开采深度的增加，巷道掘进与支护技术成为了确保矿山安全生产的关键环节。合理的巷道掘进与支护方案不仅能够提高矿产资源的回收率，还能有效控制工程成本和提升作业安全性。因此，研究和应用先进的巷道掘进与支护技术对于提升煤炭采矿行业的技术水平和经济效益具有重要意义。

一、煤炭采矿工程巷道掘进技术

（一）钻爆法掘进技术

1. 钻眼爆破原理与工艺流程

钻爆法掘进是利用炸药爆炸产生的能量破碎岩石，以形成巷道空间的传统方法。首先，由专业的钻孔施工人员使用凿岩机在岩石中按设计要求钻出炮孔，炮孔的深度、角度、间距等参数依据岩石性质、巷道断面形状和尺寸精确确定。例如，在坚硬岩石中，炮孔深度可能设计为3-4米，而在较软岩石中可适当增加至5米左右。完成钻孔后，进行装药、连线，将炸药雷管安置于炮孔内并连接起爆网络，然后撤离人员到安全地点引爆炸药。爆炸产生的冲击波和爆生气体共同作用使岩石破碎，爆破完成后进行通风、清理碎石、出渣等后续工序，如此循环推进巷道掘进^[1]。

2. 钻爆法在不同岩层条件中的应用特点

在坚硬岩石如花岗岩、闪长岩等地层中，钻爆法能有效破碎高强度岩石，但炸药单耗相对较高，钻孔难度较大，需要选用高硬度合金钻头并合理控制钻进参数。而在中硬岩石如石灰岩、砂岩地层，钻爆效果较为理想，可通过调整爆破参数如装药量、炮孔间距等优化破碎效果，提高进尺且降低炸药消耗。对于松软岩石如页岩、泥岩，钻爆法容易造成过度破碎和超挖现象，需要谨慎控制爆破能量，避免巷道围岩稳定性过度破坏。

（二）机械掘进技术

1. 悬臂式掘进机工作原理与适用范围

悬臂式掘进机依靠悬臂带动截割头旋转，截齿切入岩石实现破岩。其截割头通常呈圆形或半圆形，上面均匀布置截齿，工作时悬臂摆动将岩石从巷道工作面上剥落下来。这种掘进机适用于煤层及较软岩石巷道的掘进，如在煤巷掘进中，它能连续切割煤炭，形成平整的巷道轮廓。其优点是机身轻巧、移动灵活，截割效率高，可实现一次成巷，减少了辅助作业时间。例如在某煤矿煤巷掘进中，悬臂式掘进机平均月进尺可达200米以上，显著提高了开采速度。



图1：悬臂式掘进

2. 连续采煤机配套设备与工艺优势

连续采煤机一般与梭车、锚杆钻车等配套使用形成综合掘进机组。连续采煤机的切割滚筒具有强大的破煤能力，能快速将煤炭从煤层中采下并装入梭车运出。同时，锚杆钻车可紧跟其后及时进行巷道支护，有效控制顶板下沉和片帮。这种配套工艺的优势在于高度机械化和连续性作业，各设备之间协同作业紧密，减

少了设备调动和停机时间。例如在一些大型现代化煤矿，采用连续采煤机及其配套设备后，采掘工作面的工效大幅提高，资源回收率也得到提升，并且由于支护及时跟进，巷道的稳定性更好，安全事故发生率明显降低。

二、煤炭采矿业巷道支护技术

(一) 锚杆支护技术

1. 锚杆支护的作用机理与力学特性

锚杆支护是通过在巷道围岩中安装锚杆，将不稳定的岩层锚固在稳定的岩体上，增强围岩自身的承载能力和稳定性。当巷道开挖后，围岩发生变形产生位移，锚杆的杆体与锚固剂、围岩形成相互作用的力学体系。锚杆的锚固力主要来源于锚杆与围岩之间的粘结力、摩擦力以及锚杆自身的抗拉强度。例如，在砂岩巷道中安装树脂锚杆，树脂锚固剂凝固后将锚杆与砂岩紧密结合，当顶板岩石有下沉趋势时，锚杆承受拉力并通过与围岩的粘结力将力传递到稳定岩层中，阻止顶板进一步下沉，起到悬吊作用；同时，多个锚杆形成的群锚效应还能对围岩施加径向压力，使围岩处于三向受力状态，提高其抗剪强度，增强巷道的整体稳定性。

2. 不同类型锚杆的性能比较与选择依据

常见的锚杆类型有树脂锚杆、水泥锚杆、管缝锚杆等。树脂锚杆具有锚固力强、安装方便、固化速度快等优点，适用于各种岩层条件，尤其在动压巷道中能快速提供支护阻力。水泥锚杆则成本相对较低，但其锚固力增长较慢，一般适用于地压较小、围岩变形不严重的条件。管缝锚杆主要用于加固破碎岩层，其特殊的管缝结构在围岩变形时能产生膨胀挤压作用，增强对破碎岩石的约束效果。在选择锚杆类型时，需综合考虑巷道围岩性质、服务年限、地应力大小等因素。如在服务年限较长的主运输巷道且围岩为中硬岩石时，优先选择树脂锚杆以保证长期稳定的支护效果；而在临时性巷道或围岩较完整的情况下，可考虑成本较低的水泥锚杆^[2]。

(二) 锚索支护技术

1. 锚索的预应力施加与强化作用

锚索是一种高强度的预应力锚固装置，通常由钢绞线、锚具和注浆体组成。在安装时，通过对钢绞线施加张拉应力并锁定锚具，使锚索产生预应力。这种预应力能够主动对巷道围岩施加压力，限制围岩的变形和离层。例如，在受动压影响的巷道中，锚索的预应力可将破碎的顶板岩层紧紧挤压在一起，形成一个相对稳定的承压拱结构，有效防止顶板的大面积垮落。而且锚索的锚固深度较深，能够将浅部不稳定岩层与深部稳定岩体连接起来，将载荷传递到更深的稳定地层中，大大提高了巷道支护系统的整体承载能力。



图 2：锚索支护技术

2. 锚索支护设计与施工要点

锚索支护设计要根据巷道的跨度、高度、围岩地质条件等因素确定锚索的长度、直径、间距和预应力值等参数。一般来说，锚索长度应穿过潜在的滑动面或破碎带进入稳定岩层一定深度，对于大跨度巷道或高地应力区域，锚索长度可能需要达到 10-20 米甚至更长。锚索直径根据设计承载能力选择，常用的有 15.24 毫米、17.8 毫米等规格。在施工过程中，要确保钻孔的准确性，保证锚索能够顺利安装到预定位置；注浆要保证饱满充实，使钢绞线与孔壁充分粘结；张拉时要严格按照设计的预应力值进行操作，并采用合适的锁定装置确保锚索的预应力稳定持久。

表 1：不同工况下锚索设计参数对照表

巷道跨度 (米)	锚索长度 (米)	锚索直径 (毫米)	预应力值 (kN)	间距 (米)	地质条件
5-8	10-12	15.24	100-150	1.5	稳定岩层
8-12	12-15	15.24	150-200	1.2	中等稳定岩层
>12	15-20	17.8	200-300	1.0	复杂地质条件

三、巷道掘进与支护技术的协同应用

(一) 掘进工艺对支护的影响及应对策略

1. 钻爆法掘进对围岩的扰动与支护强化措施

钻爆法掘进过程中，炸药爆炸会产生强烈的震动和冲击波，对巷道围岩造成较大的扰动，导致围岩裂隙扩展、强度降低。为应对这种情况，在爆破前可对巷道周边一定

范围的围岩进行预注浆加固，填充岩石裂隙，提高围岩的整体性和强度。例如，在某煤矿的岩巷钻爆掘进中，提前对工作面前方 5-10 米的围岩进行注浆处理，爆破后发现顶板和两帮的破碎程度明显减轻，支护难度降低。同时，在爆破参数设计上，采用微差爆破技术，合理安排炮孔起爆顺序，使爆破能量均匀分布，减少对围岩的集中冲击。

表 2：钻爆法掘进围岩扰动与支护参数对照表

项目	参数	说明
预注浆范围（米）	工作面前方 5-10 米	注浆处理区域
微差爆破时间间隔（毫秒）	25-50	炮孔起爆时间差
注浆压力（兆帕）	2-4	注浆时的压力值
破碎程度降低比例（%）	30-50	相较未注浆情况
支护难度降低程度	中等	主观评估，反映支护作业的难易变化

2. 机械掘进速度与支护跟进的时间匹配

在机械掘进过程中，如悬臂式掘进机或连续采煤机掘进速度较快，必须确保支护能够及时跟进。否则，巷道暴露时间过长会导致围岩变形过大而失稳。为此，可优化掘进与支护的作业流程，采用平行作业或交叉作业方式。例如，在连续采煤机掘进的同时，安排多组锚杆钻车在后方一定距离处同步进行锚杆支护作业，使支护工作能够在巷道暴露后的最短时间内开始实施，有效控制围岩变形。同时，加强施工组织管理，提高各作业环节的衔接效率，保证掘进与支护的协调推进。

(二) 支护技术对掘进效率的促进作用

1. 良好的支护保障下的掘进参数优化

当巷道支护效果良好时，能够为掘进作业提供稳定的作业环境，从而可以优化掘进参数以提高掘进效率。例如，在锚杆支护可靠的情况下，可以适当增大钻爆法的循环进尺或提高机械掘进机的切割速度。在一些煤矿实践中，经过加强支护后，将钻爆法的循环进尺从原来的 1.5 米提高到 2 米，同时减少了超挖和欠挖现象，提高了爆破效率和成巷质量。

2. 支护可靠性对减少掘进事故的意义

支护的可靠性直接关系到掘进作业的安全性和连续性。可靠的支护系统能够有效预防顶板冒落、片帮等事故的发生，减少因事故导致的停机时间和维修工作量。例如，采用高质量的锚杆、锚索支护配合有效的监测手段后，某煤矿的巷道掘进过程中顶板事故率降低了 60% 以上，保证了掘进作业的顺利进行，大大提高了整体掘进效率和经济效益。

四、案例分析

(一) 某煤矿复杂地质条件下的巷道掘进与支护实践

某煤矿有一条运输大巷，其挖掘进程可谓困难重重。这条大巷需要穿越断层破碎带、高应力区以及松软煤层等复杂地质区域。在挖掘时，针对断层破碎带，施工队伍采用了超前管棚支护与锚杆、锚索联合支护的方式。先是精心施工超前管棚，将钢管准确插入破碎带前方的稳定岩层中，从而形成一个刚性支护棚架。有了这个稳固的棚架，巷道开挖工作得以安全进行，

随后再开展后续的锚杆、锚索支护作业。在高应力区，为应对较大的应力问题，一方面加密锚杆、锚索数量，增强支护强度；另一方面对巷道轮廓进行优化设计，采用圆形或椭圆形断面，有效减小应力集中。而在松软煤层区域，则采用短掘短支策略，每次进尺严格控制在 0.8 米以内，并及时进行永久支护，避免松软煤层因长时间暴露而出现塌陷等问题。通过这些具有针对性的掘进与支护措施相互配合，该煤矿成功穿越了复杂地质区域，切实保障了巷道的稳定性和使用功能^[3]。

(二) 经验总结与启示

此煤矿的实践充分显示出，在复杂地质条件下开展巷道掘进与支护工作，准确的地质勘探和分析是制定合理方案的重要依据。不同地质问题需采取相应技术手段，如断层破碎带的管棚与锚杆、锚索配合，高应力区的锚杆加密与巷道轮廓优化，松软煤层的短掘短支等，绝不能只依赖单一支护方式。同时，施工过程中的质量控制和安全管理必须贯穿始终。这为其他类似条件的煤矿提供了极具价值的经验借鉴，即要根据实际情况因地制宜、综合施策，如此才能确保巷道掘进与支护工程顺利完工且安全可靠。

结语

本文通过对煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术的综合分析，展示了不同技术的优势和适用条件，为煤矿巷道掘进与支护提供了理论指导和实践参考。文章强调了地质条件的适应性分析和施工过程中的质量控制，指出了综合施策是解决复杂地质条件下巷道掘进与支护问题的关键。未来，随着科技的进步和工程经验的积累，巷道掘进与支护技术将更加智能化、高效化，为煤炭采矿行业带来更大的发展动力。

参考文献

[1] 岑帅，盛鹏. 煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (24): 175-177.
 [2] 王冬冬，陶彦名，李刚，等. 煤矿采矿工程中巷道掘进和支护技术应用研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (23): 67-69.
 [3] 林涛，李长河，裴东伦. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (20): 175-177.