

煤矿开采掘进中支护技术研究与应用

韩建国

内蒙古伊泰煤炭股份有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017100

[摘要]煤矿开采期间的掘进支护技术乃是保障井下作业安全且高效的极为关键的环节,本论文全面且细致地探讨了支护技术在煤矿掘进当中的实际应用状况以及后续的发展走向。通过对支护技术的基本原理以及发展历程展开剖析,着重对传统支护、现代主动支护还有复合支护等一系列常用的支护技术各自所具有的优点与存在的缺点加以比较,并且综合力学方面的分析以及材料性能的相关情况,阐明了支护参数的设计原则以及效果评估的具体方法。

[关键词]煤矿掘进; 支护技术; 力学分析; 参数设计; 智能化应用

DOI: 10.33142/ucp.v2i5.17939 中图分类号: TD4 文献标识码: A

Research and Application of Support Technology in Coal Mining Excavation

HAN Jianguo

Inner Mongolia Yitai Coal Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017100, China

Abstract: The excavation and support technology during coal mining is a crucial link in ensuring the safety and efficiency of underground operations. This paper comprehensively and meticulously explores the practical application status and future development trends of support technology in coal mining excavation. By analyzing the basic principles and development history of support technology, this paper focuses on comparing the advantages and disadvantages of a series of commonly used support technologies such as traditional support, modern active support, and composite support. Based on a comprehensive analysis of mechanics and material properties, the design principles of support parameters and specific methods for evaluating their effectiveness are elucidated.

Keywords: coal mining excavation; support technology; mechanical analysis; parameter design; intelligent application

引言

随着我国经济快速发展,能源消耗增加对煤炭资源的需求加大,矿井开采是整个煤炭供给环节的关键步骤。矿山开采过程中,如何保证掘进安全和效率成为最重要问题。矿井掘进过程中,传统的支护设备和技术无法应对大面积、高强度、高速度和深部的掘进条件,对研发和实施新的支护技术提出需求。新的支护技术主要通过加强顶板控制和侧壁支护,降低矿井压力,提高工作面稳定性,保障矿工安全。新的支护技术在实施过程中,应对环境因素进行考虑,使煤炭开采既能满足经济效益要求,又能达到环保标准,使煤炭开采持续、稳定进行。新的支护技术在提高矿山开采效率、降低落矿率、增强矿山开采稳定性及环境安全性等方面具有应用前景,有望为我国煤矿安全生产提供技术支撑。

1 煤矿掘进支护技术概述

1.1 支护技术的基本原理

支护技术于煤矿掘进当中,主要是凭借力学原理来维系巷道围岩的稳定状态,避免出现顶板垮塌以及侧壁发生变形等情况,其关键之处就在于借助外部结构去抵消地层所施加的压力,以此来保障掘进工作面拥有安全的空间。支护结构得依据岩体力学方面的特性来进行设计,

在设计的时候要充分考量围岩的应力分布状况以及变形规律,进而达成主动或者被动的支撑效果。煤矿支护所涉及的基本原理包含了材料力学、岩土工程学等诸多学科的交叉融合,这就要求支护系统在承受动态荷载期间,还能够保持长久的耐久性能。支护效果的实现是依靠结构与围岩之间相互作用来达成的,在此过程中,支护材料的强度以及韧性发挥着极为重要的决定性作用,唯有经过科学的计算并且通过实验加以验证之后,才能够实现理想的支持状态。

1.2 支护技术的发展历程

煤矿支护技术历经多年发展,从简单的木支撑慢慢演变成如今的现代复合系统,期间不断经历着创新与完善的进程。在早期的时候,支护所采用的主要是一些像木材或者砌石这类的传统材料,并且多是依靠被动支撑的方式来进行,不过这种方式的效率比较低下,而且适应性也很差。后来随着机械化开采变得越来越普遍,金属支架以及混凝土结构就被引入到支护当中来了,如此一来,支护的强度以及可靠性都得到了提升。到了二十世纪末,主动支护技术比如锚杆支护开始广泛地应用起来,凭借预应力以及组合设计等方面的优势,围岩的自承能力得以明显增强。近些年来,由于数字化监测以及智能

材料方面不断发展，又促使支护技术实现了又一次的飞跃，进而能够更好地适应复杂的地质条件^[1]。支护技术的这种演进情况，很好地体现了煤矿行业对于安全与效率这两方面的追求，今后还会持续朝着自动化以及环保化的方向去努力。

2 煤矿掘进常用支护技术分析

2.1 传统支护技术

传统支护技术主要涵盖木支柱、砌碹以及钢架支撑等方法，这些技术依靠的是被动受力机制，借助刚性结构来抵御围岩压力。木支柱由于取材较为容易并且成本较低，在早期的煤矿当中得到了广泛的应用，不过它的耐久性较差，并且容易受到潮湿环境的影响，使得支护的效果不够稳定。砌碹技术是利用混凝土或者石材来构建巷道衬砌，能够提供一定的承载能力，然而其施工周期较长且适应性存在局限，很难应对动态地层所发生的变化。钢架支撑是通过型钢或者管材来组成框架，增强了整体的稳定性，但是在复杂的地质环境下容易出现应力集中的问题。传统支护技术虽说操作起来比较简单，但是其效率以及安全性已经没有办法满足现代深部开采的需求，正在逐渐被更为先进的方法所取代。

2.2 现代主动支护技术

现代主动支护技术把锚杆支护以及喷射混凝土当作典型代表，着重借助预应力来主动把控围岩的变形情况，以此提升巷道自身的稳定能力。锚杆支护是凭借钢筋或者纤维材料嵌入到岩体当中，进而形成组合承重结构，其设计的时候需要全面考量锚固长度还有预应力值，从而达成最佳的支撑成效^[2]。喷射混凝土技术会把混凝土混合物以高速的方式喷涂到巷道的表面，快速地构建起防护层，能够有效地防范风化以及松动等情况出现。这些主动支护的方法不但施工起来比较简便，而且可以契合多变的地质状况，比如说在高应力的矿区里面，将锚杆和网片结合着使用，能够明显地降低顶板事故的发生概率。现代主动支护技术的推广运用依靠着材料科学以及机械工程方面的发展进步，它的高效特性让它成为了当下煤矿掘进当中的主流挑选对象。

2.3 复合支护技术

复合支护技术把传统和现代方法的优点都整合到了一起，借助多种支护元素相互配合产生的作用，让整体系统的可靠性以及适应性都得到了提升。就好比锚杆和钢架组合起来，在软岩巷道当中能够形成双重防护，可以有效地分散应力，并且能让服务寿命得以延长。复合支护通常还会引入注浆技术，通过填充岩体裂隙来增强围岩强度，其设计的时候需要依据地质勘探数据去优化各项参数的匹配情况。这种技术在实际应用当中，一方面提高了支护的效率，另一方面也降低了长期维护的成本，在深部开采以及

复杂断层区域的表现尤为出色。复合支护的发展很好地体现出了工程实践当中的创新思维，其成功实施离不开多学科的合作以及现场的监测，未来还有望进一步和智能材料融合起来，从而实现自适应控制。

3 支护技术的关键参数与设计方法

3.1 支护结构力学分析

支护结构的力学分析属于设计流程里的基础环节，这里面会应用到静力学以及动力学原理，其目的在于预测在外部荷载作用下可能出现的变形情况以及破坏模式。借助有限元模拟或者实验测试的方式，能够对支护组件处在不同应力状态时的性能加以评估，就好比锚杆所具备的拉拔力或者支架的屈曲临界值等。在开展力学分析的时候，得充分考虑到围岩和支护之间存在的相互作用，像接触面的摩擦状况以及能量耗散等情况，进而对结构布局予以优化。唯有全面且透彻地掌握力学方面的行为表现，才能够设计出那种既具备经济效益又能够保障安全性的支护系统，防止因为相关计算不够周全而引发的工程事故。这个分析的过程通常是要经过迭代计算并且结合实地验证的，如此才能保证理论模型和实际条件能够保持一致。

3.2 支护材料的选择与性能

支护材料的选择对技术的可行性以及耐久性有着决定性的影响，常用的材料有金属、混凝土还有聚合物等等，这些材料的性能必须要能够满足强度、韧性以及抗腐蚀等方面的要求。高强度钢材因为其承载能力十分出色，所以在锚杆以及支架的制造当中得到了广泛的运用，不过它的成本相对较高，并且还需要进行防锈方面的处理。混凝土材料在喷射支护方面表现得相当不错，可以通过添加各种添加剂来对其流动性以及早期强度加以改善，从而更好地适应快速施工的相关需求。像纤维增强塑料这类聚合物材料，则具备轻质以及耐腐蚀的优势，特别适合在潮湿的环境下使用。对于材料性能的评估，需要借助标准化的测试手段，像是拉伸试验以及疲劳分析等，以此来保证其在长时间使用过程当中的可靠性^[3]。合理地去选择材料，不但能够让支护效果得以提升，而且还可以使生命周期成本有所降低，这在技术设计当中是非常关键的一个考量因素。

3.3 支护参数设计原则

支护参数的设计应当秉持安全性与经济性相平衡的原则，这里面涉及支护密度、预应力以及结构尺寸等关键变量的确定事宜。在设计流程方面，起初要依据地质勘察所获取的数据来识别围岩的具体类别以及应力的分布情况，接着借助经验公式或者借助数值模拟的方式去计算出最为合理的参数。就好比锚杆间距而言，它是需要按照岩体强度的具体状况来进行相应调整的，要是调整得过于密集，那么就会使得成本有所增加；而要是调整得过于稀疏，

则很可能会致使支护出现失效的情况。再看预应力的设置，这就得充分考虑巷道的变形走势，在此过程中，要是设置得过高，那就会引发材料产生疲劳现象；要是设置得过低，那么就没办法有效地对围岩加以控制了。支护参数的设计还应当纳入动态调整的相关机制，依据监测所反馈回来的信息来实时地进行优化操作，以此确保它能够适应在开采进程当中所发生的种种变化。这些原则在实际应用的时候，要求设计者自身具备较为扎实的理论方面的知识以及丰富的实践方面的经验，从而促使支护系统可以实现高效的运行状态。

3.4 支护效果监测与评估

支护效果的监测以及评估，这无疑属于确保该项技术得以成功应用的关键环节。借助传感器还有数据采集系统，能够对巷道发生的变形情况以及支护所处的状态展开实时的跟踪。监测指标涵盖了位移、应力方面出现的变化以及材料遭受的损伤等等，而这些数据在后续可被用于对支护系统的稳定性以及剩余寿命加以评估。就好比说，顶板沉降方面的监测，是能够对潜在存在的垮落风险起到预警作用的；锚杆载荷测试，其主要功能在于验证锚杆的工作状态是否正常。在评估的过程中，需要把定量分析和专家的判断相互结合起来，以此来识别出可能出现的异常模式，并且要及时采取相应的补救举措。有效的监测，一方面提升了对事故进行预防的能力，另一方面也为技术的优化奠定了实实在在的证据基础，它已然成为了煤矿安全管理当中不可或缺的一个部分。伴随着物联网技术不断向前发展，实时监测系统正变得日益精准并且高效起来，进而有力地推动着支护管理朝着智能化的方向去实现转型。

4 支护技术的应用与发展趋势

4.1 不同地质条件下的支护技术应用

支护技术在不同地质条件下应用时，要依据岩性、水文以及构造特征来开展定制化设计工作。就好比在软岩巷道当中，把复合支护和注浆二者结合起来，如此便能够有效地对大变形加以控制。而在高应力矿区，像预应力锚索这类主动支护技术，能够在一定程度上缓解能量的积聚情况，进而防止出现冲击地压方面的事故。对于水文比较丰富的区域而言，则需要去选用防水材料，并且采取相应的排水措施，以此来避免支护结构因为受到侵蚀而出现失效的状况。支护技术在地质较为复杂的区域所进行的适应性应用，已经使得事故率有了颇为明显的降低趋势，不过其后续的推广工作依旧需要进一步强化针对技术方面的培训以及相关资源的投入力度。不同地质条件之下所存在的那些成功案例清楚地说明，灵活地去调整支护策略，这对于实现安全开采而言是极为关键的一个因素，所以在未来还需要继续着力于开发那些地质适应性较强的创新性

方案。

4.2 支护技术的优化与创新

支护技术在朝着提升效率以及可靠性的方面不断进行优化与创新。就好比说，通过对材料加以改性的方式，以此来强化支护组件所具有的耐久性，又或者引入模块化设计，进而让安装流程得以简化。其创新的方向涵盖了去开发那种能够自适应的支护系统，该系统可以依据实时监测所获取的数据去调整相应的参数，从而达成对地层变化做出动态响应的效果。在优化的过程里面，还得把环境因素纳入考量范围当中，像是采用可再生材料，以此来降低对生态环境所产生的影响，这种做法在部分示范矿区的应用已经取得了不错的成效。支护技术的创新并不是单纯依靠实验室里的研究就能够完成的，它更加需要和现场的实际操作紧密地结合起来，借助试点项目来验证新的方法到底是否具备可行性^[4]。这些所做的种种努力正在促使煤矿支护朝着更为高效且环保的方面不断发展，同时也为行业的可持续发展增添了源源不断的动力。

4.3 数字化与智能化支护技术

数字化以及智能化支护技术借助传感器、大数据还有人工智能达成精准把控，就好比智能锚杆能够实时传送应力方面的数据，进而给决策给予相应支撑。数字化平台把地质信息以及支护参数加以整合，凭借模拟预测来优化设计，以此削减试错所耗费的成本。智能化技术还涵盖自动化安装设备，该设备能提升施工的效率并且让人力风险得以降低，初步呈现出提升安全水准的潜力，不过其要普及开来依旧面临着成本以及技术方面的阻碍^[5]。数字化与智能化的发展态势已然成为支护技术在未来的核心趋向，需要强化跨领域的合作以便突破那些关键性难题，最终达成煤矿掘进的全方位升级。

5 结语

煤矿掘进里的支护技术研究以及应用属于一个涉及多个学科相互交叉的范畴，其发展对于保障井下作业的安全状况以及提高开采的效率而言是极为重要的。本文通过对支护技术的基本原理加以系统分析，同时对其常用的方法以及关键的参数予以深入剖析，着重指出了设计优化以及监测评估所具有的重要意义。在未来的发展进程中，支护技术将会朝着数字化以及智能化的方向不断迈进，这就需要进一步强化创新与实践相结合的做法，以此来有效应对复杂的地质方面的诸多挑战。只有持续不断地推进技术层面的革新举措，才能够达成煤矿行业实现高质量发展的目标，进而为能源的供应筑牢坚实稳固的支撑基础。

【参考文献】

[1]郭晓康.煤矿开采技术与掘进支护技术的探讨[J].内蒙

- 古煤炭经济,2024(22):23-25.
- [2]刘太坡.煤矿开采技术与掘进支护技术的探析[J].石化技术,2025,32(1):376-378.
- [3]史开泰.煤矿开采技术与掘进支护技术探析[J].现代盐化工,2025,52(3):92-94.
- [4]王琪,潘洪涛,司金帅.煤矿掘进支护技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(13):28-30.
- [5]邓建虎.复合支护在厚煤层掘进中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(14):117-119.
- 作者简介: 韩建国 (1984.5—), 男, 毕业院校: 河北工程大学, 所学专业: 采矿工程, 职务: 安全矿长, 职称级别: 中级工程师。