

复杂地质条件下煤矿巷道掘进工艺优化研究

武孔超

镇雄县能源局, 云南 昭通 657200

DOI:10.61369/ETQM.2026050032

摘 要： 随着我国煤炭资源开采深度不断增加, 复杂地质条件下的煤矿巷道掘进难度持续加大, 传统掘进工艺已难以满足安全、高效、优质的生产需求。本文结合复杂地质条件的特点, 分析了巷道掘进工艺优化的现实意义, 系统探讨了地质构造、掘进工艺、装备性能及围岩支护等方面的主要影响因素, 提出了针对性的工艺优化方向, 包括地质超前探测、破岩掘进、围岩支护及施工组织管控等方面的改进措施, 最终得出相关结论, 为复杂地质条件下煤矿巷道掘进工艺优化提供理论参考和实践指导, 助力煤矿行业实现安全高效开采。

关 键 词： 复杂地质条件; 煤矿巷道; 掘进工艺; 优化研究; 围岩支护

Research on the Optimization of Coal Mine Roadway Excavation Technology under Complex Geological Conditions

Wu Kongchao

Zhenxiong County Energy Bureau, Zhaotong, Yunnan 657200

Abstract： As the depth of coal resource extraction in China continues to increase, the difficulty of excavating coal mine roadways under complex geological conditions has intensified, making it challenging for traditional excavation techniques to meet the demands for safe, efficient, and high-quality production. This paper, considering the characteristics of complex geological conditions, analyzes the practical significance of optimizing roadway excavation technology. It systematically explores the main influencing factors in terms of geological structure, excavation techniques, equipment performance, and surrounding rock support. Targeted optimization directions for excavation technology are proposed, including improvements in geological advance detection, rock breaking excavation, surrounding rock support, and construction organization management. Finally, relevant conclusions are drawn to provide theoretical references and practical guidance for optimizing coal mine roadway excavation technology under complex geological conditions, thereby facilitating safe and efficient mining in the coal industry.

Keywords： complex geological conditions; coal mine roadway; excavation technology; optimization research; surrounding rock support

引言

煤炭作为我国重要的基础能源, 在国民经济发展中占据重要地位。近年来, 浅部煤炭资源逐渐枯竭, 开采重心不断向深部转移, 巷道掘进面临的地质条件日益复杂, 诸如断层、破碎带、高应力、富水等复杂地质问题频发, 严重影响巷道掘进效率、成型质量和施工安全, 制约煤矿企业的可持续发展。传统巷道掘进工艺存在适配性差、效率偏低、安全隐患突出等问题, 难以适应复杂地质环境的施工需求。因此, 开展复杂地质条件下煤矿巷道掘进工艺优化研究, 破解掘进过程中的技术难题, 对于保障煤矿施工安全、提升掘进效率、降低生产成本具有重要的现实意义, 也为煤矿行业高质量发展提供有力支撑。

一、复杂地质条件下煤矿巷道掘进工艺优化的现实意义

(一) 保障煤矿井下安全高效生产的关键前提

在复杂地质条件的状况下, 煤矿巷道掘进期间容易出现诸如

顶板垮落、巷道变形、突水突泥等各类安全事故。这些事故不但对施工人员的生命安全构成威胁, 而且会致使掘进工期延误, 造成生产成本增加, 进而对煤矿井下生产的连续性与稳定性产生严重影响。工艺优化借助改进掘进方式、完善支护措施、提高装备性能, 能够切实规避复杂地质所带来的安全风险, 减少安全事故

的出现概率。经过优化的掘进工艺可以显著提高掘进效率，缩短巷道的施工周期，保证采掘衔接有条不紊地进行，保障煤矿井下生产活动得以高效进行。而且工艺优化能够降低施工过程里的人力与物力消耗，减少无效作业，进一步提高煤矿生产的整体效益，为煤矿井下安全高效生产给予坚实的技术保障，是煤矿企业达成安全生产、提高核心竞争力的关键前提条件。

（二）提升复杂地质条件下巷道成型质量的现实需要

巷道成型质量对于巷道的承载能力、稳定性、使用寿命有着直接的关联。在复杂地质状况下，诸如断层、破碎带这类地质构造，容易致使巷道掘进期间出现超挖、欠挖、巷道断面不规则等问题。这不但会对巷道的正常使用造成影响，还会使后期维修改造的成本增加，甚至可能引发安全隐患。掘进工艺优化借助精准控制掘进参数、改进破岩方式、强化围岩支护，能够切实减少超挖、欠挖现象，保证巷道断面尺寸契合设计要求，提高巷道成型精度。优化后的工艺能够有效控制巷道围岩变形，增强巷道的整体性与稳定性，防止巷道出现开裂、坍塌等问题，延长巷道使用寿命。提高巷道成型质量，既能够满足煤矿井下通风、运输、行人等各项生产需求，又能够降低后期维护成本，这是复杂地质条件下煤矿巷道掘进的实际需求。

二、复杂地质条件下煤矿巷道掘进的主要影响因素

（一）地质构造条件恶劣多变

地质构造条件对于煤矿巷道掘进而言有着至关重要的影响。处于复杂的地质环境当中，地质构造状况欠佳且变化不定，给巷道掘进工作带来了极大的难题。断层构造分布比较广泛，断层破碎带的岩体呈现出松散状态且胶结性不佳，在掘进之时容易出现顶板垮落、巷道片帮事故，断层还有可能致使地下水聚集，从而引发突水风险，进而加大掘进施工的难度。褶皱构造会致使岩体应力分布不均衡，在褶皱核部地区，岩体承受的压力较大且完整性较差，巷道掘进时容易出现围岩变形过度、支护失效的状况，而褶皱翼部或许存在岩体裂隙发育的现象，这就增加了顶板冒落的风险。除此之外，复杂地质条件下一般还有岩浆岩侵入、岩溶发育等问题，岩浆岩岩体坚硬，使得破岩难度增加，岩溶区域容易出现突水、突泥等地质灾害。地质构造复杂且多变，造成掘进工艺难以精准适配，施工时需要频繁地调整施工方案，这不但影响掘进效率而且还增加了施工安全风险。

（二）传统掘进工艺适配性差

当下，有部分煤矿企业还在使用传统的巷道掘进工艺，这种工艺在面对复杂地质条件的时候适配能力比较差，没办法满足施工的要求。传统掘进工艺大多采用单一的破岩方式，就像炮掘工艺，爆破参数设计得不合理，容易让破岩效果不好，出现超挖或者欠挖的情况，爆破产生的冲击波会破坏围岩稳定性，增加安全方面的隐患。在掘进工序衔接这方面，传统工艺存在工序繁杂、衔接不顺畅等问题，比如掘进和支护工序脱节，常常是先完成掘进然后再进行支护，致使围岩暴露时间过长，容易发生围岩变形、垮落。而且，传统掘进工艺对地质条件的适应能力较差，当

碰到断层、破碎带等复杂地质构造时，没办法及时调整掘进参数、工艺方式，还是沿用常规施工方法，导致掘进效率大幅降低，施工安全难以得到保障。同时，传统工艺对施工人员的操作依赖程度比较高，人为操作误差比较大，进一步影响掘进质量和效率，难以适应复杂地质条件下的掘进需求。

（三）掘进装备性能存在局限

掘进装备是巷道掘进的核心硬件支撑，其性能优劣直接影响掘进效率和质量，而当前部分煤矿使用的掘进装备在复杂地质条件下存在明显的性能局限。一方面，部分煤矿仍使用老旧的掘进设备，设备自动化程度低、运行稳定性差，在复杂地质环境下易出现故障，导致掘进工作中断，影响施工进度。例如，传统的掘进机破岩能力不足，面对坚硬岩体或破碎岩体时，破岩效率低下，且易出现卡机、磨损等问题。另一方面，现有掘进装备的适配性不足，缺乏针对复杂地质条件的专用装备，如在富水区域，普通掘进装备的防水性能较差，易出现设备进水故障；在高应力区域，装备的抗冲击能力不足，难以适应围岩的变形压力。此外，掘进装备的配套设施不完善，如除尘、支护配套设备性能落后，不仅影响施工人员的作业环境，还会制约掘进工艺的高效实施，无法充分发挥装备的掘进效能，难以满足复杂地质条件下巷道掘进的需求。

（四）围岩支护技术水平偏低

复杂地质条件下，巷道围岩稳定性差，对支护技术的要求较高，而当前部分煤矿的围岩支护技术水平偏低，难以有效保障巷道稳定性。首先，支护方案设计不合理，部分煤矿未结合具体的地质条件制定针对性的支护方案，而是采用统一的支护方式，导致支护强度与围岩压力不匹配，要么支护强度不足，无法控制围岩变形，要么支护过度，造成资源浪费。其次，支护材料性能不佳，部分煤矿使用的支护材料强度低、耐久性差，在复杂地质环境下易出现支护体断裂、失效等问题，无法发挥有效的支护作用。例如，传统的木支护、砌碹支护强度不足，在高应力、破碎围岩条件下易发生坍塌；部分锚杆、锚索的材质较差，易出现锈蚀、断裂，影响支护效果。

三、复杂地质条件下煤矿巷道掘进工艺优化方向

（一）改进地质超前探测工艺

地质超前探测对于在复杂地质条件下进行巷道掘进而言是非常重要的前提条件。通过对地质超前探测工艺加以改进，能够比较精准地把握掘进前方的地质状况，进而为掘进工艺的调整、施工方案的制定提供科学的依据。首先，要对探测技术的选型予以优化，结合具体的地质条件，运用多种探测技术相互结合的办法，像是地质雷达、瞬变电磁法、超前钻探等，以此弥补单一探测技术所存在的局限性，提高探测的精度。举例来说，在富水区域，可以运用瞬变电磁法精确地探测地下水的分布范围、水量，在断层、破碎带区域，则采用超前钻探来明确断层的位置、产状、破碎带的范围。其次，要改进探测参数的设计，依据掘进速度、地质的复杂程度，合理地确定探测深度、探测间距，保证探

测范围能够涵盖掘进前方的危险区域，提前察觉地质隐患。要建立探测数据实时分析机制，对探测得到的地质数据进行快速的处理与分析，并及时反馈给施工人员，从而为掘进工艺的调整提供及时且准确的依据。

（二）优化巷道掘进破岩工艺

破岩工艺于巷道掘进而言占据着核心位置，对其加以优化能够提高破岩效率，并且可以减少围岩遭受的破坏，进而适应复杂地质条件下的施工需求。首先需依照不同的地质条件来挑选适宜的破岩方式，以此取代传统单一的炮掘工艺。在坚硬岩体区域，运用综掘机与液压凿岩台车相结合这种破岩方式，从而提高破岩效率，在破碎岩体区域，采用控制爆破技术并对爆破参数予以优化，降低爆破冲击波给围岩带来的破坏，避免出现超挖或者欠挖的状况。其次要对破岩参数设计进行优化，结合岩体硬度、完整性这类地质指标，合理确定爆破炸药用量、炮孔间距、炮孔深度等参数，在确保破岩效果的同时，最大程度地保护围岩稳定性。对于综掘施工，要优化掘进机的截割速度、截割深度等参数，减少截割时对围岩造成的扰动。强化破岩过程中的现场管理，安排专业人员实时监测破岩效果，及时调整破岩参数、工艺方式，确保破岩工艺与地质条件精准适配，提高掘进效率、巷道成型质量。

（三）完善围岩协同支护工艺

复杂地质条件下围岩稳定性较差，完善围岩协同支护工艺并建立科学高效的支护模式，可有效控制围岩变形，保障巷道安全。支护方案设计要结合地质超前探测结果，依据不同地质区域的围岩压力、完整性等指标制定针对性支护方案，做到“一巷一策”。断层破碎带区域采用锚杆、锚索、金属网、喷射混凝土联合支护方式增强支护强度，高应力区域增加锚索长度和密度提高支护模式抗冲击能力。改进支护材料性能是提高支护效果的关键，选用高强度、高耐久性支护材料如高强度锚杆、锚索、耐腐蚀金属网等，可提高支护体承载能力和使用寿命。优化支护施工工序同样关键，推行掘进与支护平行作业，能缩短围岩暴露时间，减

少围岩变形，筑牢巷道安全防线。

（四）规范施工组织管控工艺

规范施工组织管控工艺，能够优化工序衔接、提升施工效率，确保掘进工艺优化措施的有效落地。完善施工组织方案是基础，需结合复杂地质条件和掘进工艺要求，合理规划施工工序，明确各工序的施工流程、作业标准和时间节点，避免工序脱节和无效作业，比如合理安排掘进、支护、运输等工序的衔接，实现平行作业与交叉作业的科学结合，切实提升施工效率。施工人员管理是关键，通过开展专业技能培训，可有效提升施工人员的操作水平和安全意识，规范其操作行为，减少人为操作误差对掘进质量和安全的不利影响。施工质量管控体系的建立不可或缺，明确质量管控节点后，安排专业人员对掘进参数、支护质量、巷道成型等进行全程监督检查，能及时发现并整改施工过程中的各类问题。优化施工资源配置同样重要，合理调配掘进装备、人力、材料等资源，确保资源供应充足，可避免因资源短缺影响施工进度，最终实现复杂地质条件下煤矿巷道掘进的精细化、规范化管控。

四、结论

复杂地质条件下，煤矿巷道掘进面临地质构造复杂、工艺适配性差、装备性能不足、支护技术偏低等诸多问题，严重制约煤矿安全高效生产和巷道成型质量。开展巷道掘进工艺优化研究，对保障煤矿井下安全、提升掘进效率、降低生产成本具有重要意义。本文通过分析主要影响因素，提出了改进地质超前探测、优化破岩工艺、完善围岩协同支护、规范施工组织管控等优化方向，能够有效提升掘进工艺对复杂地质条件的适配性，减少安全隐患，提升巷道掘进质量和效率。研究结果可为复杂地质条件下煤矿巷道掘进工艺优化提供理论参考和实践指导，助力煤矿行业实现安全、高效、可持续发展。

参考文献

- [1] 陈超. 煤矿巷道掘进存在的问题及解决对策分析 [J]. 煤炭新视界, 2025, (02): 289-291.
- [2] 张旭辉, 万继成, 杨文娟, 等. 煤矿巷道智能掘进技术进展、挑战与趋势 [J]. 煤炭科学技术, 2026, 54(01): 388-410.
- [3] 朱学锋, 张博艺, 赵程. 试论提升煤矿巷道掘进效率的措施 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (18): 13-15
- [4] 黄志忠. 复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (16): 181-183.
- [5] 刘琦. 煤矿巷道掘进中断层的识别方法分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (14): 14-16.