

煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术分析

晋建杰

陕西燎原煤业有限责任公司，陕西渭南 715412

DOI: 10.61369/SSSD.2025070012

摘要：煤炭作为我国主体能源，在能源消费结构中长期占据主导地位。而随着浅部煤炭资源逐渐枯竭，矿井开采深度如今正在以每年10~15米的速度向深部延伸。目前，已有多个矿区开采深度超过1000米。巷道作为煤矿地下开采的关键通道，其掘进效率直接影响矿井产能释放，至于巷道的稳定性，则关乎矿工生命安全。为此，本文主要针对煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术展开了相关分析与研究，旨在借此来为煤矿生产效率和安全的提高提供一定思路。

关键词：煤炭采矿工程；巷道掘进；支护技术

Analysis of Roadway Excavation and Supporting Technology in Coal Mining Engineering

Jin Jianjie

Shaanxi Liaoyuan Coal Industry Co., Ltd., Weinan, Shaanxi 715412

Abstract : Coal, as the main energy source in China, has long occupied a dominant position in the energy consumption structure. With the gradual depletion of shallow coal resources, the mining depth of mines is now extending to the deep at a rate of 10–15 meters per year. At present, the mining depth of many mining areas has exceeded 1000 meters. Roadways, as key passages for underground coal mining, their excavation efficiency directly affects the release of mine production capacity, and the stability of roadways is related to the safety of miners' lives. For this reason, this paper mainly carries out relevant analysis and research on roadway excavation and supporting technology in coal mining engineering, aiming to provide certain ideas for improving coal mine production efficiency and safety.

Keywords : coal mining engineering; roadway excavation; supporting technology

在煤炭采矿工程中，巷道掘进和支护技术是保障煤矿安全高效生产的核心环节。其中，煤矿巷道主要为材料的运输、通风以及煤矿作业人员的行进等提供服务，其掘进质量和支护质量对煤矿作业的安全生产具有重要影响^[1]。近年来，随着煤矿开采深度越来越大，开采工程的地形条件越来越复杂，人们对于煤矿的巷道掘进和支护技术提出了更高的新要求。因此，加强对煤矿开采工程中的煤巷掘进和支护技术的分析十分重要。

一、煤炭采矿工程巷道掘进技术分析

巷道掘进是煤炭开采过程中的关键环节，主要是为了后续的煤炭运输、通风以及作业人员的安全通行提供良好的通道环境。

(一) 巷道掘进的主要方法

巷道掘进方法根据地质条件、施工要求和设备配置可以分为以下几种：一是钻爆法是传统的掘进方式，主要通过钻孔装药爆破破碎岩体，适用于坚硬岩层，具有成本低、适应性强等特点，但存在爆破震动大、安全性差等问题^[2]。二是机械掘进法，主要包括综掘机和掘锚一体机作业。综掘机通过截割头破碎煤岩，配套转载运输系统实现连续出渣，月进尺可达600米以上^[3]。掘锚一体机集成切割与支护功能，实现掘支平行作业，减少空顶时间。三

是水力掘进法，主要利用高压水射流冲蚀煤体，粉尘少，且冲击地压风险低，适用于松软的煤层。四是定向钻进技术，适用于长距离巷道施工，主要通过导向钻具精确控制轨迹。五是冻结法或注浆法，适用于特殊地质条件下的煤矿开采。冻结法通过制冷设备形成冻结壁支护围岩；注浆法将水泥浆液注入裂隙岩体提高稳定性。

(二) 巷道掘进的设备与技术

巷道掘进设备主要包括钻爆法设备和机械化掘进设备两大类，具体分析如下：第一，钻爆法设备涵盖凿岩机、装药设备、起爆器材等，其中气腿式凿岩机在硬岩巷道中应用广泛，液压凿岩机具有更高效率和更低噪音^[4]。装药设备采用装药器实现机械化装药，提高装药密度和均匀性。起爆器材包括电雷管、导爆索

等，毫秒延期雷管能实现精确分段爆破。第二，机械化掘进设备分为悬臂式掘进机、全断面掘进机和连续采煤机。EBZ 系列悬臂式掘进机适用于煤巷和半煤岩巷，切割功率 160~320kW，最大定位截割硬度达 80MPa^[5]。全断面掘进机主要应用于岩石巷道，直径范围 3~8 米，推进速度可达 20~30mm/min。连续采煤机在房柱式开采中的效率比较突出，小时生产能力超过 20 吨。设备的选型需要综合考虑地质条件、巷道断面和施工要求。在 f=4~6 的中硬岩层中，优先选择重型悬臂式掘进机；当巷道坡度超过 15° 时，则需要配备防滑装置。设备配套强调系统匹配性，运输系统能力应大于掘进机生产能力 20%，避免生产瓶颈^[6]。

巷道掘进技术包括定向控制技术和高效破岩技术。激光指向仪配合全站仪实现巷道中线精确控制，误差控制在 ±50mm 以内。高压水射流辅助破岩技术能够有效降低截齿磨损 30%，粉尘浓度减少 60%。通风除尘技术也是掘进作业的一项关键配套技术。长压短抽式通风系统风量需达到 300~500m³/min，配合湿式除尘器使工作面粉尘浓度降至 10mg/m³ 以下^[7]。泡沫除尘技术通过发泡剂产生泡沫覆盖截割区域，除尘效率超过 80%。

二、煤炭采矿工程巷道支护技术分析

(一) 巷道支护的主要方法

根据支护原理和材料特性，巷道支护方法可以分为被动支护和主动支护两大类。被动支护主要依靠支护结构自身强度抵抗围岩变形，包括木支架、金属支架和混凝土砌碹等形式^[8]。其中，木支架采用松木或杉木制作梯形棚架，适用于服务年限短的临时巷道，但抗压强度低且易腐朽。金属支架由 U 型钢或工字钢焊接成型，承载能力达 200~300kN/ 架，在中等稳定岩层中应用广泛。混凝土砌碹通过现浇或预制块体构筑封闭拱形结构，支护厚度通常为 300~500mm，能够承受 0.3MPa 以上的围岩压力。而主动支护则主要通过改善围岩力学状态实现加固效果，包括锚杆支护、喷射混凝土、注浆加固等技术^[9]。具体来看，树脂锚杆系统由 Φ20~22mm 螺纹钢杆体、树脂药卷和钢带组成，安装后形成 1.5~2.5m 的加固圈，锚固力可达 80~120kN。喷射混凝土采用 C20~C25 强度等级，配合钢筋网或钢纤维使用，喷层厚度 80~150mm 可有效控制浅层围岩剥落^[10]。注浆加固通过钻孔注入水泥-水玻璃双液浆，浆液扩散半径 1.5~3m，能使破碎岩体单轴抗压强度提高 50%~80%。

除了以上两种技术以外，还有组合支护技术，典型代表为锚网喷联合支护。该技术先在岩面布置间距 0.8~1.2m 的锚杆群，挂设 Φ6~8mm 钢筋网片，最后喷射 60~100mm 混凝土层，形成三位一体支护体系^[11]。现场监测数据显示，这种组合方式可使巷道收敛量减少 40%~60%。对于深部高应力巷道，采用锚索束支护配合可缩性支架，预应力锚索长度可达 8~15m，与 U 型钢支架形成协同承载结构，能够有效控制千米深井巷道的剧烈变形。此外，在面对特殊地质条件时，所采用的煤矿工程巷道支护方法则需要针对性设计。例如，遇软弱破碎带时采用超前管棚支护，Φ89~108mm 钢管以 15°~30° 仰角打入掘进

面前方，管棚长度 20~30m 配合注浆形成预加固拱^[12]。针对膨胀性围岩，采用可缩式液压支架配合柔性衬垫，允许巷道发生 30~50mm 的收敛变形以释放地应力。在冲击地压危险区域，安装液压吸能支架和阻尼锚杆，通过塑性变形吸收 80kJ 以上的冲击能量。

(二) 巷道支护的材料与设备

巷道支护材料的选择直接影响支护效果和工程安全性。传统支护材料包括木材、钢材和混凝土。木材支护具有成本低、加工方便的特点，但强度不足且易腐朽，适用于临时支护或低应力巷道。钢材支护主要采用工字钢、U 型钢等型钢，具有高强度、可重复使用的优势，但成本较高且易受腐蚀。混凝土支护分为现浇混凝土和预制混凝土块，现浇混凝土整体性好但施工周期长，预制混凝土块安装快捷但接缝处易产生应力集中。而在新时代背景下，新型支护材料不断涌现并且得到了广泛应用。例如，玻璃钢锚杆重量轻、抗腐蚀，适用于高湿度环境；纤维增强复合材料支护具有高强度、耐腐蚀的优势，但成本较高限制了其广泛应用；化学注浆材料通过渗透加固围岩，适用于破碎带加固，但存在环境污染风险^[13]。

巷道支护设备根据支护方法不同而有所差异。锚杆支护设备包括锚杆钻机、注浆泵和搅拌机。锚杆钻机分为气动式和液压式，气动式适用于软岩层，液压式适用于硬岩层^[14]。注浆泵需要满足高压、大流量的要求，确保注浆质量。搅拌机必须保证浆液均匀性，避免堵管现象。设备的选型通常需要考虑巷道断面尺寸、围岩条件和施工环境等多个方面的因素。例如，大断面巷道需要大功率设备，软弱围岩需要低扰动设备，而高瓦斯环境则需要防爆设备。

三、煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术的发展趋势

就煤炭采矿工程巷道掘进工艺的发展趋势来说，实现智能化掘进是重要趋势之一。在施工过程中，作业人员通过利用人工智能、互联网、大数据等新技术手段，可以实现远程操控、自动导向、自动切割，不仅可以让掘进作业更加高效、更加精准，而且还可以降低人力资源的投入，减少作业人员安全风险的出现。而针对煤炭采矿工程巷道支护技术的未来发展，则必须要研发和应用新型的支护材料，比如可以运用质量较高且具有较好抗压强度、持久性、适用范围更广泛的锚杆、锚索、喷射混凝土等新型材料。与此同时，还可以研究和制造智能化的煤炭采矿工程巷道支护设备和响应的监测系统，借此来实现对支护过程生产参数的实时监测和动态化调整，从而提高支护的效果、保障支护的安全^[15]。

除此之外，在绿色可持续发展的今天，煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术的未来发展必然也要遵循“绿色化”的原则。例如，在施工过程中，作业人员应更多考虑对生态的影响，可以采用无噪音、无粉尘的掘进技术与手段，从而降低其对周边环境的影响。至于支护材料的选择，应首选环保型、可重复利用型的支护材料，从而借此来降低资源耗能、减少废弃物的排放。

四、结语

总而言之，煤炭作为我国主要能源资源，在国民经济建设中发挥着重要作用。巷道掘进和支护技术是实现煤炭开采工程必不可少的工序，直接影响煤矿工作效率和矿产安全生产。在具体施

工中，相关作业人员需要根据巷道岩层特点、开采形式以及开采的要求等来合理选取掘进与支护方式，从而为煤炭开采工作奠定坚实的安全基础。在未来，需要加大对技术创新的研发投入力度，不断促进巷道掘进与支护技术进一步升级发展。

参考文献

- [1] 钻强, 李志强. 探究煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术措施 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (07): 31–33.
- [2] 王鑫. 煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术措施研究 [J]. 当代化工研究, 2025, (07): 137–139.
- [3] 王金涛. 采矿工程巷道掘进与支护技术的应用分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (06): 118–120.
- [4] 李晓龙. 煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术的应用 [J]. 矿业装备, 2024, (12): 67–69.
- [5] 孔磊, 宋士涛. 煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术应用 [J]. 科技资讯, 2024, 22 (20): 212–215.
- [6] 李旭, 郭猛. 煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (19): 127–129.
- [7] 张大宁, 李传国. 煤矿采矿工程中巷道掘进与支护技术应用研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (12): 157–159.
- [8] 杨德海. 采矿工程巷道掘进与支护技术应用的深度剖析 [J]. 世界有色金属, 2024, (12): 80–82.
- [9] 姜鹏涛. 煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术的应用探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (10): 162–164.
- [10] 钱永寿. 浅析煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (01): 101–102.
- [11] 崔琳. 煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术措施研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (24): 37–39.
- [12] 吴杰. 煤矿采矿工程中巷道掘进与支护技术应用研究 [J]. 能源与节能, 2023, (09): 142–144.
- [13] 郭晓辉. 煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术措施研究 [J]. 当代化工研究, 2022, (07): 108–110.
- [14] 张仲威. 煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术的应用分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (02): 36–38.
- [15] 李鹏. 煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术的运用分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41 (24): 145–146.