

煤矿采矿工程中巷道掘进和支护技术的应用

夏瑞泽

内蒙古蒙东能源有限公司敏东一矿

DOI:10.32629/gmsm.v9i3.2495

[摘要] 煤炭是我国能源体系中的主体能源,巷道掘进与支护作为煤矿地下开采的核心前置工程,其技术应用水平直接决定矿井采掘接替效率与安全生产底线。本文基于煤矿巷道工程的核心功能定位与工程约束条件,系统梳理了煤矿巷道工程的核心地质与开采约束条件,结合煤矿开采深部化、复杂化的发展趋势,针对性提出了技术高质量应用的优化路径,旨在为煤矿巷道工程的技术选型、现场施工与质量管控提供理论参考与实践借鉴,助力提升巷道工程的安全保障能力与施工效率。

[关键词] 煤矿采矿工程; 巷道掘进; 巷道支护

中图分类号: TD82 文献标识码: A

Application of Roadway Excavation and Support Technology in Coal Mining Engineering

Ruize Xia

Mindong No.1 Coal Mine, Inner Mongolia Mengdong Energy Co., Ltd.

[Abstract] Coal serves as the principal energy source in China's energy system. As the core pre-construction work of underground coal mining, roadway excavation and support exert a direct influence on the continuity of mining and tunneling operations as well as the bottom line of mine safety production. Based on the core functional orientation and engineering constraints of coal mine roadway engineering, this paper systematically sorts out key geological and mining constraints of roadway projects. In response to the deepening and increasingly complicated trends of coal mining, it puts forward targeted optimization routes for high-quality technical application. It intends to offer theoretical references and practical experience for technical selection, on-site construction and quality control of coal mine roadway engineering, and help improve safety guarantee capacity and construction efficiency of roadway projects.

[Key words] coal mining engineering; roadway excavation; roadway support

引言

我国“富煤、贫油、少气”的能源资源禀赋,决定了煤炭在一次能源消费结构中的主体地位长期不会改变,煤炭行业的安全高质量发展是保障国家能源安全的核心基石。随着煤矿行业的快速发展,采矿工程作业质量受到了更多的关注。对于煤矿采矿工程项目而言,巷道掘进和支护技术的处理效果直接决定了后续作业的稳定性的。

巷道掘进技术在煤矿开采工程中十分关键,直接影响施工进度和矿井安全。近年来,我国煤矿开采深度持续增加,多数矿井进入深部开采阶段,巷道工程面临高地应力、高瓦斯、高地温、强采动的“三高一强”复杂地质环境,围岩大变形、破碎失稳、冲击风险等问题愈发突出,对巷道掘进与支护技术提出了更高的要求。与此同时,我国煤矿行业普遍存在采掘失衡的行业痛点,多数矿井的巷道掘进效率无法匹配回采工作面的推进速度,不仅制约了矿井生产能力的释放,还因采掘接续紧张导致巷道支

护与施工质量管控不到位,埋下了严重的安全隐患。

基于此,本文围绕煤矿巷道掘进与支护技术的工程应用展开系统研究,厘清技术体系的核心逻辑与适用边界,梳理行业应用中的共性问题,探索技术高质量应用的优化路径,对推动煤矿巷道工程的规范化、科学化发展,保障煤矿安全生产,缓解行业采掘失衡矛盾,具有重要的理论价值与现实指导意义。

1 煤矿巷道工程的核心地质与开采约束条件

1.1 围岩岩性与岩体结构

完整坚硬的岩体自承能力较强,相应的掘进与支护难度相对较低;而软弱、破碎且节理发育的岩体,自稳性能较差,掘进过程中极易发生冒顶、片帮事故,这就对支护体系的强度及支护及时性提出了极高要求。地应力条件随开采深度增加呈现显著变化,原岩应力水平会随之大幅升高,尤其是构造应力集中区域,巷道围岩易产生大变形、持续流变等现象,这已成为深部巷道支护面临的核心难题。水文地质条件的影响同样不可忽视,巷道周

边的含水层、岩溶水及断层导水带,不仅会使围岩遇水软化、强度大幅下降,还可能引发突水事故,因此对掘进过程中的超前探测工作及支护结构的防水性能,均提出了特殊要求。在瓦斯地质条件方面,高瓦斯及煤与瓦斯突出矿井的巷道掘进,必须严格遵循瓦斯防治相关规定,掘进工艺、通风系统、爆破作业等环节均需受到严格约束,技术选型过程中需优先满足瓦斯防控的安全要求^[1]。

1.2 采动应力的影响

回采巷道在其服务周期内,会持续承受工作面回采产生的支承压,这种采动应力会使围岩应力状态发生显著改变,进而加剧围岩的变形与破坏,因此回采巷道的支护设计,必须充分考虑采动影响的时效性,确保支护体系能够适应采动应力的作用。巷道布置与使用要求也会对支护技术选型产生重要约束,近距离煤层群开采、大断面巷道、巷道交岔点等特殊场景,易出现应力叠加、应力集中等问题,显著增加支护难度。

2 巷道掘进技术的工程应用关键控制要点

2.1 围岩扰动的精细化控制

巷道掘进本质上是对原岩应力状态的二次扰动,扰动程度直接影响围岩自承能力的发挥,进而决定后续支护工程的难度与效果。针对不同掘进技术的工艺特点,需采取差异化的扰动控制措施:钻爆法掘进需重点优化爆破参数,推广光面爆破、预裂爆破工艺,通过严格控制周边眼间距、装药量及起爆顺序,最大限度降低爆破作业对周边围岩的损伤,同时严格控制超挖、欠挖量,确保巷道成型质量符合设计标准;综合机械化掘进需结合围岩岩性与硬度,合理调整掘进机截割速度、截割深度及截割路径,避免过度破碎围岩,减少截割作业对顶板及两帮围岩的扰动,保护围岩原生结构完整性;TBM掘进技术则需根据围岩破岩特性,优化刀盘转速、掘进推力等核心参数,减少对围岩的挤压与损伤,充分保留围岩自身的自承能力^[2]。

2.2 施工全过程安全管控

掘进工作面作为煤矿安全风险的集中区域,瓦斯超限、透水、顶板垮落是其面临的三大核心安全隐患,需建立全流程管控机制,落实各项防控措施。超前地质探测是风险防控的前置环节,需采用地震波、电磁波等高精度探测技术,提前探明掘进工作面前方地质构造、含水层、瓦斯异常区等情况,针对性制定防控方案,坚决杜绝冒险掘进行为。瓦斯防治需严格执行行业相关规定,完善掘进工作面通风系统,确保工作面风量充足,实现瓦斯浓度实时监测、动态管控,高瓦斯矿井需严格禁止违规爆破作业,防范瓦斯爆炸风险。顶板管控需强化临时支护体系建设,严格执行严禁空顶作业的规定,在破碎围岩等复杂条件下,必须采取超前支护措施,保障掘进工作面顶板临时稳定,有效防范冒顶、片帮等安全事故发生^[3]。

2.3 掘进效率的均衡化管控

掘进效率的提升并非追求单循环作业速度的最大化,而是实现全周期连续均衡作业,确保掘进进度与回采工作面推进速度相匹配。工序衔接优化是提升效率的核心抓手,需结合不同掘

进技术的工艺特点,制定科学合理的循环作业流程,推动破岩、出渣、支护等工序平行开展,最大限度缩短工序等待时间,例如综掘工作面可实现截割出渣与锚固支护同步作业,钻爆法工作面需实现钻孔、出渣、支护工序的无缝衔接。设备全周期运维管理同样不可或缺,需建立掘进设备日常检修、定期保养制度,及时排查并消除设备故障隐患,减少非计划停机时间,保障掘进作业的连续性。此外,需科学规划掘进接续计划,避免因采掘接续紧张导致抢工期、轻质量、忽安全的问题,确保掘进作业均衡有序推进,为矿井生产能力释放提供保障^[4]。

3 煤矿采矿工程中巷道掘进和支护技术的应用策略

3.1 推动掘进与支护一体化协同技术升级

掘进与支护协同性不足是当前煤矿巷道工程实施中的突出短板,直接影响掘进效率与支护质量,破解这一问题的关键在于推进掘锚一体化技术的研发与工程应用,通过设计、工序、装备三个维度的协同发力,从根本上解决掘进与支护脱节的行业痛点。

3.1.1 掘锚一体化装备的升级与推广

结合煤矿不同地质条件与巷道类型的实际需求,应重点研发适配煤巷、半煤岩巷及硬岩巷道的系列化掘锚一体机,优化设备截割与锚固系统的结构布局,实现掘进、锚固与支护工序的同步开展,真正落实“掘支同步、随掘随支”的作业理念,从装备层面打通掘进与支护的工序壁垒。同时,需同步优化掘进工作面前方临时支护装备,研发高强度、自动化超前临时支护系统,确保掘进工作面顶板得到及时支护,杜绝空顶作业现象,有效控制围岩早期变形,保护围岩原生自承能力,为后续永久支护施工创造良好条件。

3.1.2 协同施工工艺的优化

针对不同掘进技术的工艺特点,需制定与之配套的协同施工程序,推动各工序的无缝衔接与平行作业,减少工序等待时间。对于钻爆法掘进,应优化爆破循环参数设计,实现爆破出渣与支护施工的平行作业,缩短单循环作业时长;同时推广光面爆破技术,最大限度降低爆破作业对围岩的扰动,为支护施工提供稳定的围岩条件。对于综合机械化掘进工作面,需优化截割、出渣与锚固工序的配合模式,推动截割作业与锚固支护同步推进,切实提升掘进效率,缓解矿井采掘接替紧张问题。

3.1.3 协同设计体系的建立

在巷道工程设计阶段,需将掘进工艺对围岩的扰动影响纳入支护设计的核心考量范围,结合掘进方式、掘进参数及围岩扰动范围,科学优化支护参数、支护时机与支护方式,实现掘进扰动控制与支护围岩控制的协同匹配。在施工过程中,需根据掘进作业揭露的实际地质条件,同步调整掘进工艺与支护方案,形成设计与施工的动态协同机制,确保支护体系与现场实际地质条件、施工工况精准适配,充分发挥支护体系的围岩控制效能。

3.2 强化复杂地质条件下的围岩控制技术创新

随着煤矿开采向深部延伸,巷道工程面临的地质条件愈发复杂,深部高应力、软岩、破碎围岩、冲击地压等特殊场景对围

岩控制技术提出了更高要求。解决复杂地质条件下技术适配性不足的问题,需聚焦各类特殊工程场景,强化技术创新与工程适配性研究,构建针对性的围岩控制技术解决方案。

3.2.1完善复杂地质条件下的围岩分级与支护设计体系

需建立涵盖地应力水平、围岩岩性、岩体结构、地质构造及采动影响的多因素围岩分级方法,针对不同分级的复杂围岩,制定对应的支护技术体系、参数设计规范及施工工艺要求,改变当前复杂条件巷道支护设计依赖经验判断的现状,推动支护设计向科学化、规范化转型。同时,需加强超前地质探测技术的推广应用,采用高精度超前探测设备与技术,提前探明掘进工作面前方的地质构造、异常区域等情况,提前制定针对性防控措施,规避地质突变引发的工程安全事故。

3.2.2专项围岩控制技术的研发与应用

针对深部高应力软岩巷道,需研发高预应力、高强度、大延伸率的锚杆锚索支护材料,结合围岩注浆加固技术,通过注浆作业将破碎围岩胶结为整体,改善围岩力学性能,再配合高强度锚索支护实现对围岩的主动控制,构建“注浆加固+主动支护”的联合控制体系,有效抑制围岩流变变形。针对断层破碎带、陷落柱等破碎围岩巷道,应推广应用超前支护技术,通过超前小导管注浆、管棚支护等方式,在掘进前对前方围岩进行预加固,提升围岩自稳能力,同时配合短进尺、弱扰动的掘进工艺,保障破碎围岩巷道的安全掘进。

3.3完善工程全流程质量管控与标准化体系

巷道掘进与支护的工程质量直接决定巷道全生命周期的安全稳定性,当前我国部分矿井尤其是中小型矿井,在工程全流程质量管控与标准化建设方面存在明显不足,导致“设计达标、施工失效”的现象较为普遍。

3.3.1完善全流程质量管控与标准化体系

需规范支护设计的审核与动态优化流程,提升设计的科学性与适配性。建立巷道支护设计专家审核制度,针对复杂地质条件下的巷道支护设计,组织采矿、地质、支护等领域的专家开展专项审核,及时发现并修正设计中的不合理之处,避免设计缺陷。同时,建立基于现场监测数据的动态设计优化机制,要求矿井完善围岩监测系统,通过监测数据实时评估支护效果,根据围岩变形与支护结构受力变化,动态调整支护参数,实现支护设计的闭环优化。

3.3.2强化施工过程的全流程质量管控

制定完善的掘进与支护施工标准化作业流程,明确各工序的施工要求与质量标准,加强对作业人员的专业培训与技术交底,提升作业人员的专业技能与质量意识,规范作业行为。同时,建立施工现场全过程质量监督机制,对锚杆角度、锚固长度、预应力等关键施工参数进行实时监测,严格执行质量验收标准,对不合格工程坚决要求返工,从根本上杜绝施工质量不达标问题。

3.3.3完善行业标准化体系建设

加快制定针对深部软岩、冲击地压、破碎围岩等复杂条件的巷道掘进与支护专项技术规范,进一步完善相关设计标准、施工标准与质量验收标准,为现场工程应用提供科学的规范指导。同时,加大行业标准的执行与监管力度,推动各类矿井严格落实标准规范,实现巷道掘进与支护工程的标准化、规范化施工,全面提升巷道工程质量水平。

4 结语

总而言之,煤矿采矿工程中,巷道掘进和支护作业非常关键,施工部门应结合实际作业需求和设计标准开展具体工作,巷道掘进与支护技术的创新发展,需立足现场工程实际需求,以围岩稳定控制为核心导向,推动技术应用与具体工程场景精准对接。未来,应进一步深化产学研用协同创新机制,加速核心技术与装备的迭代升级,健全行业标准化体系及全流程质量管控机制,持续提升巷道工程的安全保障水平与施工效率,为煤矿安全高效开采筑牢基础,为煤炭行业高质量发展提供有力支撑。

[参考文献]

- [1] 谭强,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和支护技术措施研究[J].当代化工研究,2025,(07):137-139.
- [3] 贾传宝.煤矿采矿中巷道掘进和支护技术[J].内蒙古煤炭经济,2024,(21):19-21.
- [4] 史荣平,李正虎.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术探析[J].内蒙古煤炭经济,2024,(21):64-66.

作者简介:

夏瑞泽(1988--),男,内蒙古人,职称:中级工程师,大学本科,从事工作:内蒙古蒙东能源有限公司-敏东一矿。