

煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用

苏鹏

兖矿能源集团股份有限公司东滩煤矿, 中国·山东 济宁 273500

摘要: 巷道掘进及支护为煤炭采矿工程地下作业中重要的工序, 关系到煤矿开采安全、稳定、高效。伴随煤炭开采深度不断加深, 井下地质工况愈加复杂, 传统的施工技术与之不相适应的问题也逐渐暴露出来。改善掘进与支护技术体系, 消除现场施工中的隐患, 可减小巷道坍塌、围岩变形等安全问题, 提高巷道的成型质量与寿命, 有利于煤炭行业的安全、绿色、高效规模化开采, 为矿山井下施工标准化、智能化发展提供保障。

关键词: 煤炭采矿工程; 巷道掘进; 支护技术; 井下施工

Application of Tunnel Excavation and Support Technology in Coal Mining Engineering

Su Peng

Yankuang Energy Group Co., Ltd. Dongtan Coal Mine, China Shandong Jining 273500

Abstract: Tunnel excavation and support are critical processes in underground coal mining operations, directly affecting the safety, stability, and efficiency of coal extraction. As mining depths continue to increase, underground geological conditions become increasingly complex, gradually exposing inadequacies in traditional construction techniques. Improving the excavation and support technology system and eliminating potential hazards during on-site operations can reduce safety risks such as tunnel collapse and surrounding rock deformation, enhance tunnel formation quality and service life, and promote safe, green, and efficient large-scale coal production. This advancement also supports the standardization and intelligent development of underground mining operations.

Keywords: Coal mining engineering; Tunnel excavation; Support technology; Underground construction

0 引言

煤炭是我国的主要能源之一, 安全高效地开采煤炭对于保证能源供应、稳定工业发展具有重要意义。巷道施工是煤炭开采的基础工序, 掘进与支护技术应用水平, 决定井下作业环境的安全以及矿山开采效率。当前, 复杂的多变的井下地质条件对巷道施工技术、工艺标准、施工控制带来更高要求。规范各类掘进、支护技术的使用, 解决施工适配性、协同性等存在的问题, 是提高煤矿井下施工质量、防范安全风险、推动煤炭开采产业转型升级的重要途径。

1 煤炭采矿工程巷道掘进技术应用

1.1 钻爆掘进技术

钻爆掘进技术是煤炭采矿工程中应用最广的传统掘进技术, 适合于大部分中小型矿井和地质条件复杂、机械设备无法进场的巷道施工。该技术的主要原理就是采用钻孔、装药、爆破的方法破碎巷道围岩, 然后用配套的运输设备清理碎石, 逐渐完成巷道开挖施工。技术应用时, 施工人员要依照巷道断面尺寸, 围岩硬度, 地质构造等要素, 准

确找到钻孔间的距离, 钻孔的深浅, 炸药的数量, 从而保证爆破作业的规范和安全。合理的爆破参数可以达到围岩均匀破碎的目的, 减小巷道周边原生岩体的破坏, 保证巷道基础结构的完整性。复杂地质巷道施工时, 它具有灵活度高、施工费用低、适用范围广的特点, 可以处理断层、褶皱这类特殊的地质构造掘进任务。

1.2 综合机械化掘进技术

综合机械化掘进技术是现代化煤炭采矿工程的主要施工技术, 依靠掘进机、刮板输送机、皮带运输机、除尘设备等一系列机械设备, 完成巷道掘进、出渣、支护一体化连续作业。该技术适合于地质条件好、围岩坚硬、巷道断面规整的中大型矿井施工。机械化掘进设备可以准确控制掘进速度和巷道成型精度, 有效地避免了人工钻孔爆破造成的施工误差, 保证巷道断面平整、尺寸规范。整套施工设备具有很强的联动性, 可以大大缩短施工工序间的间隔时间, 提高巷道掘进施工效率, 满足现代化煤矿高强度开采施工的要求。与传统的钻爆技术相比, 该技术施工粉尘少、围岩扰动小, 可以较好地保护巷道原生岩体结构, 为

后续的支护施工创造良好的条件。

1.3 盾构掘进技术

盾构掘进技术属于高端智能化掘进技术,主要用在深层大断面巷道、高水压、高地压等极端复杂的地质条件下煤炭巷道施工中。该技术利用盾构机的刀盘旋转切削围岩,同时进行巷道开挖、渣土输送、管片拼装等施工工序,实现全机械化、封闭式掘进作业。盾构机具有较好的围岩防护性能,在掘进过程中可以及时对巷道周边岩体进行支撑,防止围岩变形、坍塌,从根本上提高深层巷道施工的安全性。该技术自动化程度高,施工过程中受到外界地质环境的影响小,巷道成型质量极高,施工精度和稳定性远超传统的掘进技术。封闭式施工模式可以完全隔绝井下瓦斯、粉尘、积水等危险因素,大大改善了井下施工环境。

2 煤炭采矿工程巷道支护技术应用

2.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术是目前煤炭巷道施工中应用最广的、最基本的一种支护技术,结构简单、施工方便、成本低、适应性强等特点。该技术施工原理就是将锚杆锚固在巷道围岩岩体内部,依靠锚杆的抗拉、抗剪性能,把松散的围岩岩体和深层稳固岩体结合在一起,形成整体承载结构,限制围岩位移和变形。锚杆支护可以主动给围岩施加支护作用力,改变围岩的应力分布状态,提高围岩自身的承载能力及稳定性。施工时技术人员要按照巷道围岩厚度、破碎状况、地压大小来决定锚杆的材质、长度、间距以及锚固深度,严格控制钻孔、清孔、锚固、张拉等施工工序的质量。该技术适用于围岩结构稳定、地压小的常规巷道支护施工,可以单独使用,也可以和其他支护技术结合使用,适应大多数普通采矿巷道的防护要求,是煤炭巷道支护体系的主要技术。

2.2 锚索支护技术

锚索支护技术是锚杆支护技术的升级版,在高压、围岩破碎严重、巷道跨度大等复杂施工条件下得到了较多的应用。锚索具有长度大、抗拉强度高、锚固深度大等特点,可以穿过浅层破碎围岩,深入到地下深层稳定岩层,利用预应力张拉形成高强度支护体系,抵御深层地压造成的围岩变形、垮落风险。此技术能精确分散巷道围岩的集中应力,削减深层岩体的压力,明显加强巷道支护的总体稳定情况和承载力。锚索支护施工工序和锚杆支护大体相同,只是张拉力、锚固精度控制得更严格一些,在施工过程中要精确控制预应力参数,防止张拉过头或者张拉不足影响支护效果。在深层煤矿巷道、断层破碎带巷道、大断

面运输巷道施工时,锚索支护技术应用效果明显,可以较好地解决常规支护技术承载力不足的问题,保证复杂地质巷道长期使用安全。

2.3 棚式支护技术

棚式支护技术属于被动支护技术,是传统巷道支护的主要技术之一,主要分为工字钢棚支护、U型钢棚支护等。利用金属支架结构直接支撑巷道顶部、两侧的围岩,依靠支架自身的强度来抵抗围岩的压力,避免巷道坍塌变形。U型钢棚支护具有可缩性,可以适应围岩缓慢变形的工况,在地压动态变化的巷道中优势明显,可以有效地缓冲岩体压力,防止支护结构被压损破坏。工字钢棚支护结构刚度大、成型规整,适合地压稳定、围岩变形量小的巷道施工。棚式支护技术施工操作简便、成型快,对施工人员的技术要求不高,在老旧矿井改造、临时巷道支护、地质极不稳定巷道施工中应用较多。但是该技术属于被动支护,不能主动改善围岩应力状态,只能依靠外部支架来承担压力,支护整体稳定性较低,长期使用容易造成支架变形、偏移等问题,一般用于短期支护作业或者与锚杆锚索组合支护使用。

2.4 混凝土喷射支护技术

混凝土喷射支护技术又叫喷浆支护,是巷道表层防护的重要支护技术,常和锚杆、锚索支护组合使用,形成联合支护体系。该技术是利用喷射设备把配比合格的混凝土浆液高速喷射到巷道围岩表面,浆液迅速凝固成致密的混凝土防护层。防护层可以紧贴在围岩表面,封闭围岩裂隙,隔绝井下空气和水分对岩体的风化侵蚀,防止围岩松动剥落。混凝土层可以均匀地将围岩压力传递出去,配合内部的锚杆、锚索结构形成一个整体的支护体系,大大提高巷道的整体稳定性。施工过程中要严格控制混凝土原材料配比、喷射厚度、喷射速度,保证混凝土层平整密实、无空鼓、无开裂。该技术适合于围岩裂隙发育、表层松散、易风化巷道施工,可以弥补单一支护技术的防护不足,提高巷道支护的整体性、耐久性,延长巷道使用寿命。

3 煤炭巷道掘进与支护施工现存问题

3.1 技术适配性把控不足

煤炭矿区各个开采区的地质情况千差万别,围岩硬度、地压大小、岩体完整性等都存在差别。部分施工队伍在巷道施工时没有事先做足地质勘查工作,对于现场的地质参数了解不充分。技术选型环节存在盲目性,直接套用固定的掘进、支护施工方案,不考虑现场实际情况来改变技术参数和施工工艺。在简单的地质条件下过度使用高端

复杂的施工技术会造成施工成本的增加,而复杂的地质条件下采用常规的施工技术又不能保证支护的安全性,容易造成巷道成型不好、围岩变形超限等质量问题,从而影响到整个施工质量及施工安全。

3.2 施工工艺落实不规范

掘进、支护施工工序规范性影响施工质量,目前部分煤矿井下施工存在工艺落实不到位的情况。掘进施工中钻孔参数、爆破药量、掘进速度控制不准,会造成围岩过度破碎,破坏巷道原生结构。支护施工时锚杆锚索钻孔深度不够,锚固剂填塞不密实,预应力张拉参数偏移,混凝土喷射厚度不均,配比有误等情况时有发生。各种不规范施工行为都会直接影响到支护结构的承载能力以及稳定性,造成巷道后期出现开裂、变形、坍塌等安全隐患,缩短巷道使用年限。

3.3 掘进支护协同性较差

巷道掘进与支护为连续性的施工工序,二者施工衔接的效率影响到整个施工进度及质量。目前大部分煤矿的施工存在着掘进和支护工序脱节的现象,部分施工队伍为了加快掘进速度,一次掘进的距离过长,没有及时跟进支护作业。巷道围岩长时间处在无防护暴露的状态下,受到地压的作用以及井下环境的影响,很容易出现松散、变形、裂隙扩张等状况。后续支护施工要处理破坏围岩,不但会加大施工工作量和施工成本,还会大大降低支护结构的稳定性,不能保证巷道施工安全。

3.4 设备与技术更新滞后

随着煤炭开采深度的不断加深,井下施工工况越来越恶劣,对掘进支护设备以及施工技术的要求也越来越高。部分中小型煤矿由于资金、技术、理念等方面的限制,仍然使用着老旧的掘进设备以及传统的施工工艺,设备老化、性能不达标的情况比较严重。老旧设备掘进精度低、稳定性差,不能满足深层复杂巷道施工的要求,施工效率低、安全隐患多。智能化、自动化掘进支护技术的普及率不高,施工智能化水平低,不能对巷道施工进行精确化的、标准化的控制,从而影响煤矿施工质量与安全水平的提高。

4 煤炭巷道掘进与支护技术优化对策

4.1 强化前期地质勘察,精准适配施工技术

施工单位要重视巷道施工前期的地质勘察工作,使用专业的勘察设备对施工区域的围岩结构、地压数值、裂隙分布、水文条件进行全方位的检测,准确获取各种地质参数。根据勘察数据制定出不同的掘进、支护施工方案,杜绝通用化、模板化施工模式。地质条件稳定、浅层巷道采

用综合机械化掘进技术和常规锚杆支护体系相结合的方式施工,提高施工效率和降低成本。对于围岩破碎、地压大、深部巷道采用盾构掘进技术,配合锚索、混凝土喷射联合支护体系来保证施工的安全性。复杂断层区可采用钻爆掘进加棚式支护的临时施工方案,按工况变化调节技术种类,使技术同地质状况达成精准匹配。

4.2 规范施工工艺,严控施工质量

施工单位要创建标准化施工控制体系,确定掘进、支护各个工序的施工标准和操作规程,加强全过程的质量控制。掘进施工时根据地质参数来确定钻孔深度、间距和爆破药量,精确控制掘进速度,减小对围岩的扰动破坏。支护施工时,对锚杆、锚索钻孔、锚固、张拉工序进行规范,逐项核对施工参数,保证锚固饱满、张拉合格。严格控制混凝土原材料配比及喷射施工工序,使支护层厚度一致、结构密实。安排专业的质检人员对施工全过程进行监督,及时发现并纠正不符合规范的施工行为,从工序源头保证巷道施工质量,提高支护结构稳定性。

4.3 优化施工流程,提升工序协同性

根据巷道施工规范以及现场工况,合理安排掘进与支护施工工序,缩短工序间的时间间隔,达到掘进和支护一体化衔接的目的。根据围岩稳定性合理控制单次掘进距离,围岩稳定性差的区域采用短掘短支施工方式,掘进作业结束后立即跟进支护施工,最大限度地缩短围岩暴露时间。改善施工人员的分工及设备的调配工作,保证掘进设备、支护设备、运输设备能够互相配合,不产生施工上的空缺现象。建立工序交接检查制度,上一道工序验收合格后方可进行下一道施工内容,在提高施工进度的同时保证巷道围岩一直处在稳定的防护状态。

4.4 更新施工设备,推广智能化技术

施工单位要加大设备更新换代的投入,淘汰落后、老旧的掘进支护设备,引进精度高、性能好的机械化、智能化施工设备。全面推广综合机械化掘进成套设备,大型深层矿区逐步推广盾构掘进设备和智能张拉支护设备,提高施工机械化水平。积极采用智能化监测技术,对巷道围岩变形、地压变化、支护结构受力情况等实施实时动态监测,提前发现安全隐患。依靠智能化技术对施工参数进行精准控制,减少人工操作误差,使巷道掘进和支护施工向着标准化、智能化、高效化的方向发展,从而提高煤矿井下施工的安全性、经济性。

5 结语

巷道掘进和支护技术的科学使用、不断改进是现代煤

炭采矿工程高质量发展的主要依靠。针对施工技术适配性不足、工艺不规范、工序不协调、设备技术落后等各方面问题，从整体上提高井下巷道施工的安全性和稳定性。持续结合地质工况改进技术方案、规范施工流程、推行智能设备工艺，可以有效地弥补传统施工的不足，降低矿山开采的安全风险，提高煤炭开采的综合效益，为煤炭行业的长效稳健、智能化发展奠定良好的施工技术基础。

参考文献：

[1] 薛瑶. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(17):160-162.

[2] 赵连欢. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(12):136-138.

[3] 姜鹏涛. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(10):162-164.

[4] 闫伟. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术分析[J]. 低碳世界, 2024,14(2):49-51.

[5] 刘建伟, 曹振江. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(19):178-180.

作者简介：苏鹏（1994.08-），男，汉族，河北衡水，本科，助理工程师，研究方向：煤炭掘进。