

煤矿采矿工程巷道支护技术的应用

王俊 李陈亮

山西襄矿晋平煤业有限公司 山西长治 046203

【摘要】巷道作为煤矿采矿工程的核心通道，承担着煤炭运输、人员通行、设备输送与通风供氧的关键功能，其稳定性直接决定采矿作业的安全性与效率。受井下复杂地质条件与开采扰动影响，巷道开挖后易出现围岩变形、顶板垮塌、帮部片帮等问题，需通过科学的支护技术控制围岩位移，保障巷道长期稳定。本文主要就煤矿采矿工程巷道支护技术的应用进行分析，以供参考。

【关键词】煤矿采矿工程；巷道；支护

Application of Tunnel Support Technology in Coal Mining Engineering by

Wang Jun Li Chenliang

Shanxi Xiangkuang Jinping Coal Industry Co., Ltd. Changzhi City, Shanxi Province 046203

【Abstract】 As the core passage in coal mining operations, tunnels serve critical functions including coal transportation, personnel movement, equipment delivery, and ventilation/oxygen supply. Their stability directly determines the safety and efficiency of mining activities. Due to complex underground geological conditions and mining disturbances, tunnels are prone to issues such as surrounding rock deformation, roof collapse, and side wall caving after excavation. Scientific support technologies are essential to control surrounding rock displacement and ensure long-term tunnel stability. This paper analyzes the application of tunnel support technology in coal mining engineering for reference.

【Key words】 coal mine mining engineering; roadway; support

引言

在煤矿采矿工程中，巷道开挖会打破原有的围岩应力平衡，导致周边岩体产生应力重分布，若不及时采取支护措施，围岩在自重与地应力作用下会逐渐发生变形、破坏，甚至引发顶板垮塌、巷道堵塞等安全事故，不仅影响采矿作业正常开展，还会威胁作业人员生命安全。随着煤矿开采深度不断增加，井下地应力显著增大，地质条件愈发复杂，巷道支护面临的挑战也随之加剧。同时，推动支护技术与智能化、新材料技术的融合，研发更适应复杂工况的新型支护技术，对煤矿采矿工程的可持续发展具有重要意义。

1 煤矿采矿工程巷道支护技术应用的影响因素

1.1 巷道围岩强度

高强度、完整性好的围岩自稳能力强，虽然掘进阻力大，但变形小、支护难度低。而低强度、破碎软弱的围岩虽然易于掘进，但自稳能力差，极易发生片帮、垮塌等事故，支护困难。因此，围岩强度直接决定了巷道的稳定状态和支护难易程度。当巷道穿过不同强度地层时，围岩性质的急剧变化会导致应力集中，诱发局部破坏，威胁巷道安全。如硬岩与

软岩交界处，硬岩挤压软岩，极易形成挤压破碎带，引发冒顶、底鼓等问题。软弱夹层也易在上下硬岩的挤压下发生挤出变形，导致巷道变形加剧。

1.2 地质环境复杂性

煤矿巷道往往处于复杂多变的地质环境中，构造运动、岩层变形、地下水活动等都会对掘进支护造成严重干扰。在构造复杂区域方面，断层、褶皱等区域地应力异常，围岩破碎，岩体结构面发育，极易诱发垮塌、片帮、冒顶等事故，威胁作业安全。在特殊地质条件方面，岩溶发育区溶洞密集，围岩极不稳定，掘进困难，支护效果难以保证。含水地层在地压与水压双重作用下，涌水涌砂问题突出，巷道稳定性差，施工难度大。在采动影响方面，采空区遗留巷道周边应力重分布，采动影响显著，极易发生顶板坠落、两帮挤压变形，危及巷道使用安全。这些复杂地质因素相互交织，叠加影响，给巷道掘进支护带来众多不确定性因素，极大增加了事故风险。

1.3 地应力分布

随着开采深度增加，深部矿井普遍面临高地应力问题。垂直应力导致顶板下沉、底板隆起，水平应力造成两帮变形、片帮坍塌。应力集中区岩体破碎，极易发生冒顶、底鼓等动力灾害。尤其在软弱围岩中，高地应力更易引发围岩蠕变和

应力—渗流耦合作用,加剧变形破坏,威胁巷道安全。大断面巷道、交岔口等位置应力集中更为严重,塑性区范围扩大,支护难度剧增。此外,开采诱发应力、残采应力、构造应力的叠加扰动,进一步恶化了巷道应力环境,动态变化的复杂高应力环境是深部巷道失稳的根源所在。

2 煤矿采矿工程巷道支护技术的应用

2.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术是巷道掘进中常用的支护技术。锚杆支护的优势在于施工便捷、成本较低、对巷道断面占用小,能充分利用围岩自承能力,适用于稳定、较稳定及中等稳定围岩的巷道,如回采巷道、准备巷道的顶板与帮部支护。但在软岩、破碎围岩或高应力围岩中,单独使用锚杆支护易出现支护强度不足,需与其他支护技术联合使用。为进一步增强支护效果,可将锚杆支护技术与其他支护技术结合应用。例如,将锚杆支护技术与注浆加固技术结合应用,可实现巷道结构修复,避免注浆过程中造成围岩局部应力增大而出现裂缝问题。当巷道围岩已经出现裂缝后,可利用锚杆支护技术进行修补,避免裂缝扩大,同时避免掉矸对巷道掘进的影响。巷道掘进作业中,可能出现巷道底鼓问题,影响掘进推进与巷道使用。出现巷道底鼓问题后,需将凸起部分的土铲起,但反复铲土效率较低,且不能从根本上解决巷道底鼓问题。应采用锚杆支护技术,使巷道底板拉紧,减少巷道底鼓问题。

2.2 锚索支护技术

锚索支护是在锚杆支护基础上发展的强化支护技术,其原理是利用高强度锚索将巷道顶板或帮部的深部围岩与更远处的稳定岩层锚固在一起,通过施加较大的预紧力与拉力,控制深部围岩的位移与应力集中,适用于中等稳定、不稳定围岩或高应力巷道。

锚索支护的应用要点包括:一是锚索类型与规格选择,根据支护深度与荷载要求选择锚索直径、长度与强度等级,在受水影响的环境中选用镀锌锚索或防腐锚索,防止锚索锈蚀;二是锚索参数设计,锚索间距通常大于锚杆间距,排距与锚杆排距一致,锚索预紧力需根据围岩应力计算确定,张拉时需采用专用张拉设备,确保预紧力均匀施加;三是锚固与锁定工艺,锚索锚固可采用树脂锚固或水泥注浆锚固,锚固完成后需及时锁定,锁定装置需具备足够的承载能力,防止锚索松脱。锚索支护的优势在于支护深度大、拉力强,能有效控制深部围岩变形与高应力,常用于巷道顶板的强化支护,或与锚杆联合使用形成“锚杆控浅部、锚索控深部”的支护体系。但锚索支护施工相对复杂,成本较高,对施工设备与技术要求较高,且锚索张拉后对巷道顶板的扰动较大,需在施工过程中加强监测。

2.3 棚式支护技术

棚式支护技术在实际应用中具有整体成本低、稳定性好、使用便捷等优势。在煤矿采矿工程巷道掘进及支护过程中,支护技术应用需充分结合工程特点,采用合适的巷道棚式支护方案。(1)巷道围岩整体状态非常稳定,巷道顶板、底板移近率都较低时,对巷道支护强度要求较小,可利用刚性锚杆支护等技术,且锚杆分布间距为1m。(2)巷道围岩状态稳定,巷道顶板、底板移近率在5%~10%时,需利用刚性锚杆支护技术或设置刚性金属支架,分布间距为0.8m。(3)巷道围岩状态较为稳定,巷道顶板、底板移近率在10%~20%时,巷道支护方式应为拱形可伸缩支架等,间距为0.6~0.8m。(4)巷道围岩状态不稳定,顶底板移近率达到25%~35%时,支护方式仍为拱形可伸缩支架等,但需对相关结构进行加强处理。(5)围岩状态十分不稳定,移近率已大于35%时,应利用封闭可伸缩支架或拱形可伸缩支架完成支护。

2.4 液压支架技术

液压支架技术在煤矿采矿工程巷道掘进及支护中具有一定的应用价值,液压支架具有支撑巷道顶板的作用,灵活性较高,支架高度及角度可通过液压力调整,可应用于多种地质条件下的巷道掘进及支护。液压支架组成部分较为简单,主要包括液压支架体、液压缸及液压泵,在巷道掘进过程中,可通过液压支架提升巷道围岩整体稳定性,使其为巷道顶板、煤墙提供支撑力,避免在掘进过程中出现巷道塌陷等问题。液压支架能提供的支护力较强,应用价值高,可有效提升煤矿采矿工程中巷道掘进安全性与稳定性。液压支架技术正在不断发展,已与智能化技术、自动化技术实现了初步结合,有助于减轻巷道掘进及支护过程中技术人员的负担。

2.5 智能化支护技术

随着智能化技术在煤矿的应用,智能化支护技术逐渐成为巷道支护的新方向,其原理是通过融合传感器技术、物联网技术、大数据分析技术,实现支护参数的精准设计、支护施工的智能监控与支护效果的动态调整,提升支护的科学性与效率。一是智能设计,利用地质力学分析软件与大数据平台,输入巷道地质参数、开采参数,通过算法自动优化支护方案,避免传统经验设计的主观性与局限性;二是智能施工监控,在支护施工设备上安装传感器,实时采集施工参数,通过物联网传输至地面监控中心,若施工参数偏离设计值,自动报警并提示调整,确保施工质量;三是智能监测与动态调整,在巷道周边布置应力传感器、位移传感器,实时采集围岩应力、位移数据,通过大数据算法分析数据变化趋势,预判围岩变形风险。当监测数据显示围岩变形接近允许限值或支护结构受力异常时,系统自动生成调整建议,如补充锚索支护、增加注浆量,或远程控制可调式支护设备调整支护

参数,实现支护效果的动态优化。

智能化支护技术还可与煤矿井下智能开采系统联动,根据工作面推进速度、开采扰动范围,提前调整巷道支护方案。例如,当工作面即将推进至巷道某一区域时,智能系统可根据开采扰动模拟结果,提前对该区域巷道进行强化支护,避免开采扰动导致围岩失稳。此外,通过构建支护效果数据库,记录不同地质条件、不同支护方案下的巷道稳定情况,为后续类似工况的支护方案设计提供数据支撑,持续优化支护技术参数。智能化支护技术的优势在于提升支护设计的精准性、施工质量的可控性与支护效果的及时性,减少人工干预,降低作业人员劳动强度与安全风险。但该技术对硬件设备与软件系统的可靠性要求较高,且前期投入成本较大,目前主要在大型现代化煤矿中试点应用,未来随着技术成熟与成本降低,将逐步推广至更多煤矿。

3 巷道支护技术的发展趋势

3.1 新材料技术融合

新材料技术的发展将为巷道支护提供更优质的支护材料,提升支护结构的强度、耐久性与适应性。一方面,研发高强度、轻量化的支护材料,如碳纤维锚杆、玻璃纤维锚索,此类材料具有抗拉强度高、重量轻、耐腐蚀的特点,能适应高应力、高腐蚀的井下环境,同时降低运输与安装难度;另一方面,开发柔性支护材料,如高弹性喷射混凝土、可变形金属网,此类材料能适应围岩的一定变形,避免因刚性过大导致支护结构开裂,尤其适用于软岩巷道与受开采扰动影响的巷道。此外,智能材料的应用将成为重要方向,如形状记忆合金锚杆、自修复注浆材料。形状记忆合金锚杆在受到围岩压力作用发生变形后,可通过加热恢复原有形状,持续为围岩提供预紧力;自修复注浆材料在浆液凝固后,若因围岩变形出现微小裂隙,材料自身可发生化学反应填充裂隙,确保加固效果长期稳定。

3.2 支护与环保协同

随着煤矿绿色开采理念的深入,巷道支护技术将更加注重与环保的协同,减少支护过程对环境的影响。一方面,推

广可回收支护材料,如可回收锚杆、可重复利用 U 型钢支架,在巷道服务期满后,通过专用设备回收支护材料,减少井下固体废弃物堆积,降低资源浪费;另一方面,研发环保型支护材料,如以工业固废为原料的注浆材料、喷射混凝土,实现废弃物资源化利用,减少水泥等传统材料的使用,降低碳排放。同时,支护技术将与井下生态保护结合,如在巷道支护过程中采用环保型防腐涂料,减少涂料对井下水质与空气的污染;在软岩巷道支护中采用绿色注浆工艺,避免化学浆液对地下水的污染,推动煤矿巷道支护向绿色、低碳方向发展。

3.3 全生命周期支护管理

未来巷道支护将从“施工阶段支护”向“全生命周期管理”转变,涵盖巷道设计、施工、运维、报废全流程,确保巷道在整个服务期内持续稳定。在设计阶段,结合巷道服务年限与地质条件,制定长期支护规划,选择具有长期抗变形能力的支护技术;在施工阶段,严格控制施工质量,建立施工质量追溯体系,确保支护结构符合设计要求;在运维阶段,通过智能化监测系统实时监控巷道状态,定期开展支护结构检修,及时处理支护失效问题;在报废阶段,制定科学的支护材料回收与巷道封堵方案,避免废弃巷道对周边开采区域造成安全隐患。全生命周期支护管理需借助信息化技术,构建巷道支护全流程数据库,整合设计、施工、运维数据,通过大数据分析实现支护方案优化与风险预判,提升巷道支护的系统性与科学性。

结束语

巷道支护是保障煤矿安全高效生产的关键环节,其技术水平的高低直接影响矿井经济效益与职工生命安全。新时期煤炭工业高质量发展要求巷道掘进支护必须向着智能化、无人化、绿色化方向迈进。这就需要立足掘进支护基础理论,加强关键技术装备研发,大力推广成熟适用的新工艺、新材料、新设备,并积极探索人工智能、大数据等现代信息技术与巷道掘进支护的深度融合,不断提升煤矿巷道智能化施工水平。

参考文献

- [1]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.
- [2]张晓刚.煤矿采矿工程巷道支护技术的应用研究[J].自动化应用,2024,65(10):140-142.
- [3]曹晓明.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,2024,(09):103-105.
- [4]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.
- [5]李志光.浅析煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用[J].能源与节能,2023,(08):139-141.
- [6]丰宏伟.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术探析[J].矿业装备,2023,(08):90-92.