

煤矿开采工程巷道掘进和支护技术研究

张江 张腾飞

新疆呼图壁县石梯子西沟煤炭有限责任公司 新疆 呼图壁县 831200

【摘要】煤炭是中国重要的能源支柱，直接影响国民经济的发展。随着机械化采煤技术的不断发展，采掘失衡的矛盾突出。近年来，大功率掘进设备的应用使得掘进速率和支护效率失衡的问题更加突出，而各环节协调运行是缓解矛盾最有效的手段。提高支护效率以及支护强度是协调掘支矛盾最直接的措施，本文针对支护强度无法满足掘进需求的问题，优化支护方案，提高了支护效率，解决了掘支矛盾，为相关研究提供了依据。

【关键词】支护；数值模拟；矿压监测

1. 工程概况

某煤矿掘进巷道为工作面回风巷，宽 5.2m，高 3.8m，掘进断面 19.76m²。掘进初期，巷道采用锚杆锚索配合钢筋网的方式进行联合支护，其中顶板采用直径 20mm、长度 3000mm 的左旋无纵筋螺纹钢锚杆支护，间距 800mm，排距 900mm，最小锚固力 90kN；顶板布置两根直径 17.8mm、长度 7200mm 的锚索，锚索间距 1600mm，排距 2700mm，同时配合钢筋网进行支护。帮部通过直径 20mm、长度 2000mm 的左旋螺纹钢锚杆进行支护，同时配合金属网进行支护。矿井采用 EBZ-200 型掘进机施工，掘进期间，支护时间长，且支护强度不能有效减小巷道围岩变形，支护方案不能维持巷道的稳定性，因此需对支护方案进行优化设计。

2. 支护方案的优化设计

2.1. 掘进速率影响因素分析

工程地质条件(断层以及煤层夹矸)是影响施工速率的主要因素，在工作面回风巷掘进过程中，原岩由三向平衡状态转变成双向受压状态，在拉应力、压应力和剪应力的共同作用下，促进了煤体内部裂隙的扩展发育，造成留设顶煤的强度低，加大了支护的难度。此外，煤层中夹有平均厚度为 0.8m 的夹矸，降低了掘进效率，而工作面内断层的存在促使掘进方向的改变。矿井采用“三八制”工作制度，1 掘 1 锚，每次掘进时间 50min，支护时间 82min，掘进与支护的不匹配亦是造成掘进效率低的原因。

2.2. 支护理论

巷道开挖后，原岩应力遭到破坏，原三向受力的稳定岩体变成不稳定的简支梁受力结构。受人工扰动的影响，顶部煤体裂隙发育明显，离层现象严重，导致顶煤无法作为直接承载体承担上覆岩层的重力。在煤层和岩层的交界处出现离层现象，离层处形成多个不整合面的梁体结构，较低的抗弯、抗压强度使得围岩在长时间应

力作用下发生塑性破坏，临近煤层的岩层失稳将继续导致上覆岩层失稳，如此循环往复，导致离层错动严重，岩层间的不协调变形加快了围岩的破坏，如果支护强度过低，围岩变形加剧，会影响掘进工作的正常进行。有效支护的目的是通过锚杆锚索的预紧力，促使破碎岩层和完整岩层形成一定厚度的锚固层，支护作用范围应该覆盖巷道掘进的影响范围，处于锚固区的多层岩体形成厚度连续、完整的简支梁结构。

2.3. 支护方案的优化

掘锚一体机对掘进、支护、运输等环节实现了高效融合和无缝切换，大大提升了回采巷道的作业效率，为煤矿井下综掘工作面的智能化、少人化提供了装备基础。基于上述讨论，采用掘锚一体机支护技术，降低了支护密度，增加了支护厚度，控制了巷道围岩变形。回采巷道掘锚一体机自动掘进控制方案采用分时启动、截割速度/行进速度自适应的控制策略，同时以煤岩硬度为参考，实现自动调节截割功率，自动掘进的目的。回采巷道掘锚一体机自动掘进控制流程如图所示，当实际工况满足自动掘进条件后，控制系统控制悬臂抬起并启动截割电机，控制整车沿综掘工作面行进并达到设计的截割煤层距离后，可能购置悬臂下摆完成自动截割过程。当悬臂达到设定角度后，自动掘进过程结束；否则重复上述过程直至悬臂下摆角达到设定角度。为优化掘锚一体机自动掘进控制方案，还需对截割电动机的功率曲线进行分析，并建立截割速度与煤岩硬度关联控制方案，建立悬臂摆角 PID 控制模型，增强自动掘进控制过程的实时性、跟随性，满足回采巷道的复杂工况要求。



图 1 回采巷道用掘锚一体机自动掘进控制流程

(a) 顶板支护。顶板采用直径为 22mm、长度为 2200mm 的左旋无纵筋螺纹钢锚杆进行支护，锚杆间距 1000mm，排距 1000mm。每根锚杆需配合使用 2 个树脂药卷，同时用拱形钢托盘配合钢筋网进行加强支护，顶部锚杆的锚固力大于 100kN。

(b) 巷道两帮支护。巷道两帮采用直径为 22mm、长度为 2000mm 的螺纹钢锚杆进行支护，锚杆间距 1000mm，排距 1000mm，每根锚杆配合使用 2 个树脂药卷，同时用拱形钢托盘配合金属菱形网(上帮)、高分子网(下帮)加强锚固力，帮部锚固力大于 70kN。

3.工业应用效果

3.1.施工工艺

根据优化后的支护设计方案对目标巷道进行支护。整个试验阶段，巷道每天平均进尺 17m，每月最大进尺量可达到 509m，原有支护方案下巷道每月最大进尺量达到 265m，可见新支护方案与掘进工艺完美契合，掘进进尺及支护效率相比提高了 92.08%。

3.2.矿压监测

在新支护施工 20m，40m 处分别布置 2 个测站，分别记为测站 1、测站 2，用于监测矿压规律。绘制得到图 2 所示的优化方案下巷道围岩变形监测曲线，测站 1 和测站 2 监测得到的顶板下沉量和两帮收敛量变化趋势一致，不同的是，测站 1 巷道整体变形量较小，两帮最大收敛量 23.12mm，顶板最大下沉量 18.06mm；测站 2 围岩变形整体较大，最大顶板下沉量 20.13mm，两帮收敛量 27.05mm。

绘制锚杆受力监测曲线，以顶板锚杆为例，锚杆锚固力大于 100kN，实际 2 个测站监测的锚杆最大载荷均小于 100kN，测站 1 锚杆最大载荷 77.51kN，测站 2 锚杆最大载荷 105.23kN，满足支护要求。综合分析矿压监测结果，在新支护方案下，巷道顶板下沉量以及两帮收敛量得到有效控制，虽然两帮收敛量大于顶板下沉量，但是围岩整体处于稳定阶段。锚杆载荷受力监测结果显示，锚杆最大载荷小于支护最低锚固力，新支护方案满足巷道掘进要求。

4.结语

如今，各大型煤企集团已广泛使用掘进系统开掘巷道，推动了矿井智能化建设的进程。掘进过程中采掘失衡、掘进矛盾问题日益突出，并未有系统的研究解决此方面的问题。文中提出了长锚固构建连续锚固层的支护技术，实现了支护强度的增加，支护费用的降低，并论证了方法的可靠性。实践证明了方法的可行性，缓解了掘进过程中的各项矛盾，为研究快速掘进奠定了基础。

【参考文献】

- [1]张忠国.煤巷掘进系统的发展趋势与关键技术[J].煤炭科学技术,2016,44(1):55-60.
- [2]韩阳红.煤矿巷道高效掘进技术分析[J].能源与节能,2022(8):125-127.
- [3]田明富.采矿工程巷道掘进技术与支护技术分析[J].西部探矿工程,2022,34(7):174-176.