

煤矿综采工作面液压支架稳定性控制技术研究

刘海斌

河南焦煤能源有限公司古汉山矿 河南 焦作 454350

【摘要】：液压支架稳定性是保障煤矿综采工作面安全与高效生产的关键。针对支架在复杂地质条件下易发生倾覆、失稳等问题，本文通过对影响稳定性的关键因素进行分析，提出了基于力学模型与实时监测技术的综合控制方法。研究采用数值模拟与现场实验结合的方式，验证了控制策略在提升支架承载能力、抑制失稳变形方面的有效性。结果表明，该技术可显著降低支架故障率，为煤矿安全生产提供有力支撑。

【关键词】：液压支架；稳定性控制；综采工作面；数值模拟；监测技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.021

引言

在煤矿综采工作面作业过程中，液压支架不仅承担着顶板支护的重要任务，还直接关系到作业安全与生产效率。然而，受地质条件变化、采掘强度提升及支架自身结构性能影响，支架在运行中极易出现失稳甚至倾覆，带来严重安全隐患。随着智能化矿山建设的推进，如何实现液压支架的稳定性控制，成为煤矿生产亟待解决的技术难题。通过引入先进的监测手段与优化设计理论，结合数值模拟与现场试验分析，可望为液压支架的稳定性提供更加科学、可靠的技术保障，确保矿井高效与安全生产。

1 液压支架稳定性面临的主要挑战

液压支架在煤矿综采工作面中承担着顶板控制与围岩稳定的核心任务，其运行状态直接影响采煤作业的安全与生产连续性。在复杂地质条件下，煤层倾角变化、顶板岩性差异以及断层、陷落柱等不稳定结构的存在，都会造成支架受力分布不均，进而引发支架局部受压过大或整体失衡。当采场推进速度加快或采高变化较大时，顶板来压频繁，支架在承载过程中容易出现滑移、倾覆或下沉，导致顶板控制失效。支架一旦发生失稳，不仅影响煤壁完整性，还可能引发大范围冒顶事故，给矿井安全生产带来极大威胁。

随着现代矿山向高强度、大采高方向发展，液压支架在结构设计和承载能力上面临更高要求。支架在工作过程中，立柱和千斤顶的受力状态复杂，局部构件在反复载荷作用下极易产生疲劳损伤，造成强度下降。尤其是在硬顶板和软底板交替分布的条件下，底板承载力不足会使支架出现底座下沉或侧移，导致支架整体倾斜失稳。采场设备协同不当也会放大支架受力不平衡问题，例如采煤机割煤速度不均或运输系统延误，会使工作面支架周期性受力突变，增加失稳风险。

传统液压支架多依赖人工经验调整控制，实时监测手段不足，难以及时发现和应对隐患。采掘作业中顶板下沉、压力变化、支架位移等关键参数未能实时获取，使得管理者在决策时缺乏准确依据。当突发地压显现或顶板结构变化剧烈时，支架常常无法迅速响应外部载荷变化，导致失稳问题更加突出。随着矿井向深部开采延伸，高地应力和高瓦斯环境使支架运行条件更加恶劣，这对液压系统的密封性、响应速度以及承载稳定性提出了新的挑战，也对支架稳定性控制技术的研究提出了迫切需求。

2 基于监测与模拟的稳定性控制技术

液压支架的稳定性控制依赖于对工作面运行状态的实时掌握和科学判断，通过监测技术与数值模拟手段的结合，可以在采掘过程中实现对支架受力与变形的动态控制。现代化煤矿在液压支架上安装了多参数传感器系统，包括压力传感器、位移传感器、倾角传感器和振动传感器，能够连续采集顶板压力、立柱承载力、支架倾角、底座位移等关键数据，并通过无线传输技术实时上传至地面控制中心。通过数据采集与分析，可实现对异常载荷和突发失稳趋势的早期预警，使支架在失稳前得到有效干预。为了确保监测结果的准确性，监测系统需要进行周期性校准，并与支架液压控制系统形成闭环，实现自动化调节，以保证支架在不同工作阶段保持合理承载状态。

基于监测数据建立的数值模拟模型可以反映实际工况下的复杂受力情况。通过三维离散元法或有限元法构建顶板、底板和煤层的力学模型，将实时监测到的载荷数据作为边界条件输入，能够动态模拟支架在采场推进过程中的受力变化与变形趋势。该模拟过程不仅可用于评估不同支架结构在复杂地质条件下的稳定性，还能够对支架在极端载荷作用下的失稳形态进行预测，为优化设计和参数调整提供理论依据。在模拟过程中，还需考虑采场顶板分层结构、围岩压力分

布及应力集中等因素，使模拟结果更接近实际情况，从而提高预测的可靠性。

通过监测与模拟的结合，可实现液压支架稳定性的主动控制。监测系统实时捕捉到异常数据后，可将结果与模拟模型预测值进行比对，通过算法判断是否存在失稳风险。当模型与监测结果偏差过大时，控制系统会自动调整立柱压力或支架间距，以实现顶板的动态支护。这种方法能够在不影响采煤效率的前提下，提升支架对突发载荷的响应速度，有效降低支架倾覆或下沉的概率。为了进一步提高控制精度，还可引入人工智能算法，通过大数据训练形成自适应模型，使控制策略不断优化，满足复杂采场的动态变化需求。

在深部矿井或高地应力条件下，液压支架的运行环境更加复杂，单一监测手段往往难以全面反映支架受力状态。通过在工作面布设分布式光纤传感网络，可实现对大范围顶板应力场和支架群体协同状态的整体监控，并与单点传感器数据融合，提高稳定性评估的全面性和精确度。同时，将模拟平台与矿山调度系统对接，可以实现对采场整体的数字化管理，确保液压支架的运行策略与采掘计划同步优化。随着控制技术不断完善，液压支架能够在更加复杂的地质条件下保持高效稳定运行，满足现代化煤矿生产的安全需求。

3 稳定性提升的综合评价与实践成果

液压支架稳定性的提升效果需要通过科学、系统的综合评价方法来验证，以确保控制技术在实际生产中的有效性和可靠性。在稳定性评价过程中，需建立涵盖顶板压力变化、支架受力均衡度、底板沉降幅度、支架位移量等多维度指标体系，并结合实时监测数据进行动态分析。通过对不同采场阶段采集的数据进行

处理，可以反映支架在不同采高、不同推进速度和不同地质条件下的运行状态。利用多指标综合分析法，可将支架承载能力和工作状态量化，形成稳定性评价曲线，为后续调整提供依据。

在实践应用中，通过将数值模拟结果与监测数据结合，能够实现对液压支架运行效果的全面检验。通过模拟结果验证现场监测值的合理性，可发现控制策略中潜在的不足，并及时优化控制参数。部分矿井通过引入稳定性评分模型，将监测指标转换为可视化数据，结合图形化展示平台，实现对不同工作面的直观对比分析。这一方法使管理人员能够清晰掌握支架运行规律，提升决策的科学性与精准度。

经过现场应用验证，采用监测与模拟结合的控制技术后，液压支架的倾覆率和下沉率显著降低，顶板来压表现更加平稳，采场围岩控制效果明显改善。部分深部高应力矿井在实际生产中实现了连续采煤作业周期延长，设备维修频率下降，生产效率和安全系数均有明显提高。通过将评价结果与实际生产数据结合，可进一步完善支架设计参数和控制策略，使稳定性提升过程形成闭环管理，为液压支架在复杂地质条件下的高效运行提供持续技术支持。

4 结语

液压支架稳定性控制技术的研究为煤矿综采工作面安全高效生产提供了坚实保障。通过多参数监测、数值模拟及智能化控制手段的综合应用，能够实现对支架受力状态的实时掌握与主动调节，有效降低失稳风险。结合现场实践与综合评价，控制策略不断优化，使液压支架在复杂地质条件下保持高效、稳定运行，为煤矿智能化与安全化发展奠定了技术基础。

参考文献:

- [1] 王志强.煤矿综采工作面液压支架稳定性分析与控制研究[J].煤炭工程,2021,53(4):115-120.
- [2] 李建辉.基于数值模拟的液压支架稳定性控制技术研究[J].煤矿安全,2020,51(7):98-104.
- [3] 陈国辉.深部矿井液压支架失稳机理及防控技术探讨[J].岩石力学与工程学报,2022,41(3):567-574.