

# 煤矿井下液压支架寿命预测与维护策略优化研究

张伟

国能包头能源有限责任公司神鹿资产管理中心 内蒙古 包头 014060

**【摘要】**：煤矿井下液压支架的寿命受多方面因素的影响，主要包括使用条件、液压系统性能、矿井工作环境、设计与制造质量、操作与维护以及矿井的开采方式等。为了延长液压支架的使用寿命，需要在设计、材料选择、液压系统维护、工作环境控制和操作规范等方面采取有效的措施。本文结合煤矿井下液压支架寿命预测与维护策略优化进行分析，以供参考。

**【关键词】**：煤矿井下液压支架；寿命预测；维护策略优化

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.071

## 1 煤矿井下液压支架寿命影响因素

### 1.1 使用条件影响因素

液压支架的主要作用是支撑矿井的顶部，防止塌方。支架承受的载荷大小和变化对其寿命有重要影响。支架承载过重或承受频繁的负荷变化会导致液压系统和支架部件的磨损加剧，从而缩短使用寿命。矿井环境中可能出现的震动、冲击等因素对液压支架造成较大影响。频繁的振动和冲击可能导致支架结构损坏或液压系统泄漏，从而影响支架的使用寿命。液压系统的性能直接影响支架的可靠性。液压油的质量、油温、油量以及是否及时更换都会影响液压系统的工作效果。如果液压油不干净或油质不合格，容易导致液压泵和阀门的磨损，甚至引起系统故障。液压系统中的密封件容易因长时间的使用而发生老化、磨损或失效，从而导致液压系统的泄漏，进而影响支架的正常支撑功能，降低液压支架的使用寿命。

### 1.2 工作环境影响因素

煤矿井下环境温湿度较大，气候条件极端，尤其是低温、高湿、高粉尘等环境因素，会导致液压支架的部件加速老化或腐蚀。例如，潮湿和高温环境可能导致液压油的质量变差，密封件出现故障，支架部件生锈等。煤矿井下的粉尘较多，长期暴露在粉尘中，支架的运动部件和液压系统可能被粉尘侵蚀或堵塞，导致摩擦加剧、零部件磨损加速，影响支架的寿命。液压支架的设计是否合理，直接影响其承载能力、稳定性和耐久性。设计不合理可能导致支架易发生结构性损坏或液压系统失效，从而缩短其使用寿命。液压支架的材料选择及加工工艺也是影响寿命的关键因素。高强度、耐磨性好的材料有助于支架耐用性增强。同时，制造过程中加工精度的高低也直接影响支架的整体性能和寿命。

### 1.3 操作与维护影响因素

操作人员是否严格按照规范使用液压支架，会对其寿命产生重要影响。错误的操作方式（如过度调节、过载使用）会加速液压系统或支架结构的磨损。液压支架的定期维护和保养是延长其使用寿命的重要手段。包括及时检查和更换液压油、密封件和其他易损部件，清洁和润滑支架部件等。及时发现和排

除故障能够有效避免支架性能下降或故障发生。液压支架的工作频率和使用时长对其寿命有着直接影响。高频次、高强度的工作会加速支架的磨损和老化，降低其使用寿命。不同的煤矿开采方式对液压支架的要求不同。顶板压力较大的情况下，液压支架承受的压力较大，容易导致设备损坏，影响使用寿命。煤矿的开采强度、开采深度以及作业环境的复杂性也会对液压支架产生不同的负荷，从而影响其使用寿命。

## 2 煤矿井下液压支架寿命预测路径

### 2.1 数据采集与监测

首先，需对液压支架的工作状态进行实时监测，收集液压系统的相关参数（如压力、流量、温度等）、支架的负载状态、振动数据、温度变化、液压油质量等。使用传感器、数据记录设备等工具，进行持续的数据采集。同时监测矿井环境中的温度、湿度、气体浓度（如甲烷气体）、粉尘浓度等，这些因素会直接影响液压支架的工作条件。在顶梁、掩护梁安装应变片组，实时采集垂直支撑力（误差 $\pm 2\%FS$ ）及水平偏载系数，偏载 $> 15\%$ 时会导致底座变形速率增加2倍；通过三向加速度传感器（量程 $\pm 50g$ ）监测立柱伸缩、推移千斤顶动作时的振动频谱，10-50Hz频段振幅 $> 2g$ 的频次与较轴磨损程度显著相关；采用磁致伸缩位移传感器（分辨率0.1mm）记录立柱行程偏差，当累计偏差 $> 50mm$ 时，表明导向套磨损已影响支护精度。

### 2.2 故障模式识别与建模

对液压支架的常见故障模式进行分类，如密封件损坏、液压油泄漏、支架结构损坏、超载等。通过分析这些故障的发生规律，可以识别支架寿命衰减的模式。使用不同的建模方法，如统计分析方法、机器学习模型（如支持向量机、决策树、神经网络等）、寿命预测模型（如Weibull分布、指数分布、负指数分布等）对液压支架的寿命进行预测。模型可以基于历史数据，预测支架的剩余使用寿命。利用机器学习算法（如随机森林、神经网络、回归分析等）对收集到的数据进行训练，构建寿命预测模型。这些模型可以结合历史数据和实时监测数据，动态预测液压支架的剩余寿命。一些研究采用健康指数

(Health Index)的方法来表示支架的健康状态。通过对液压支架的不同特征进行加权,计算出一个综合健康指数,依据健康指数的变化趋势来预测支架的剩余寿命。

### 2.3 寿命预测与剩余寿命评估

在液压支架的维护和管理中,准确预测其剩余寿命是关键。通过结合传感器数据和预测模型,我们能够量化液压支架的剩余使用寿命,并采取适当的维护措施。这一过程通常基于概率分布模型,能够反映液压支架在不同工作条件下的寿命分布。利用实时监测数据,如液压系统的压力、温度、流量和负载等,结合已有的寿命预测模型,对液压支架的剩余寿命进行定量预测。如果预测结果表明剩余寿命低于预设的安全值,就应启动预防性维护措施,包括液压油的更换、密封件的更换和及时修复磨损部件。基于寿命预测的结果,制定合理的维护计划。例如,根据支架的实际使用情况调整液压油和密封件的更换周期,及时进行支架部件的修复,防止出现大规模故障。预测模型能够通过提前预警潜在的故障,避免突发故障的发生,减少生产停机时间。根据实际操作环境和运行数据的反馈,持续优化维护策略。例如,通过调整维护的频率和检查项目,使维护工作更加高效,并提高液压支架的使用寿命和工作效率。此外,结合动态预测结果,能够灵活调整支架的使用周期和维护频率,从而最大限度地提高设备的可靠性和安全性。

### 2.4 模型验证与反馈

为了确保寿命预测模型的准确性和可靠性,需要进行定期验证,并根据实际情况进行反馈优化。通过实际发生的故障事件对寿命预测模型进行验证,评估其预测能力。例如,当支架发生故障时,检查模型是否能够提前预测故障,并与实际故障发生的时间对比。这能帮助验证模型的准确性,并为进一步优化提供数据支持。随着更多的监测数据积累,实时更新寿命预测模型,并根据新的数据优化模型的参数。这种动态优化能够提高模型的精度,使其能够更准确地预测支架的使用寿命和故障风险。通过构建智能预警系统,自动化监测液压支架的健康状况,并基于预测结果提前预警故障的发生。这不仅能够及时通知操作人员或维护人员采取修复措施,还能减少人工错误,提升响应速度。结合人工智能技术,采用自动化设备进行故障检测和维修,减少人为错误的同时提升检测效率。通过人工智能算法,预测模型能够进一步优化,提供更精确的剩余寿命预测,帮助操作和维修团队快速响应,从而减少生产中断和设备故障。

## 3 煤矿井下液压支架寿命维护策略优化

### 3.1 基于数据驱动的预防性维护

在液压支架的关键部位安装多种传感器,实时监测液压系统的压力、流量、温度、负载等数据。传感器可以根据工作环境和支架的实际使用情况,收集详细的工作参数。这些数据通

过无线网络或其他传输方式实时传输到中央控制系统进行处理和分析。对液压支架的实时监控,能够有效捕捉到工作中的异常情况,并为进一步分析提供基础数据。通过长期积累实时监测数据,中央控制系统能够分析液压支架在不同工况下的运行状态,识别出潜在的故障风险点。例如,温度、压力和流量的异常变化往往意味着液压系统可能存在泄漏、磨损或者故障等问题。通过历史数据的积累,系统能够通过模式识别方法检测出设备的潜在故障并进行预测。利用数据分析,可以及早发现支架的故障趋势,为后续的维护提供可靠依据。为了综合评估液压支架的健康状况,可以建立健康指数模型。当健康指数低于预设的安全阈值时,系统会自动发出警告,提示操作人员及时采取修复或维护措施。随着数据积累的不断积累,可以使用机器学习、深度学习等算法进行数据分析,进一步提高预测准确性。这些算法通过分析历史运行数据,可以识别出潜在的故障模式,并基于当前监测数据推测出支架的剩余寿命。

### 3.2 定期维护与检修

液压支架的定期维护与检修对于确保其长期稳定运行至关重要。定期对关键部件进行检查和保养,可以防止潜在故障的发生,减少不必要的停机时间,并延长设备使用寿命。液压系统的主要组成部分,包括液压油、密封件、液压管路、阀门、泵站及支撑结构,都需要定期进行详细检查。每周采用离线实验室检测法测定乳化液浓度(精度 $\pm 0.05\%$ ),与在线监测数据比对校准,当浓度偏离3%-5%标准范围时,立即通过自动配比装置调整(补充乳化油或清水)。每月更换高精度过滤器(过滤精度 $5\mu\text{m}$ ),每季度对乳化液箱进行彻底清淤(清除底部沉渣及浮油),避免颗粒污染物( $\geq 10\mu\text{m}$ )进入立柱或千斤顶缸筒。某矿实践数据显示,坚持该维护标准可使液压阀卡堵故障率下降62%。

依据运行周期(每5000次循环)或监测数据(如乳化液泄漏量 $> 5\text{mL/h}$ ),提前更换立柱、千斤顶的U形圈(材质为聚氨酯耐油橡胶)和导向套密封件。更换前需用专用工具检测密封槽磨损量(允许偏差 $\leq 0.1\text{mm}$ ),避免因装配尺寸不符导致二次泄漏。对备用密封件实行“批次管理”,存储环境温度控制在 $5\text{-}30^\circ\text{C}$ ,湿度 $< 60\%$ ,保质期不超过12个月。密封件在液压支架中扮演着重要角色,它们防止液压油泄漏并保持系统压力稳定。随着时间和使用频率的增加,密封件容易老化或磨损,导致泄漏。定期检查密封件的状态,及时发现和更换磨损或老化的密封件,能够有效避免系统漏油,保障液压支架的工作效率。液压系统的管路、阀门和泵站也是支架稳定运行的关键部件,定期检查这些部分的密封性、连接性和工作状态,能够及早发现管道破损、阀门故障或泵站效率降低等问题。

### 3.3 基于条件的维护

除了传统的定期维护,基于液压支架的运行状况进行维护(即条件维护)也是一种高效的维护策略。这种方法依赖于实

时监测技术,以确保设备在最佳状态下运行,并能及时发现潜在故障,从而采取预防性修复措施。通过监测液压支架的振动情况,可以了解支架的机械结构是否存在异常(如裂纹、松动或磨损)。振动异常可能预示着支架内部结构的损坏或组件松动,及早发现这些问题可以防止更严重的机械故障。液压油的温度是液压系统运行状态的重要指标。过高的温度会导致液压油的性能下降,甚至造成油液的老化或变质。通过压力监测技术,能够快速发现压力异常并启动维修程序。结合历史数据分析和机器学习算法,可以对液压支架的运行状态进行深入分析,预测设备故障的概率,并提前预警。例如,利用振动信号和温度传感器数据,结合机器学习算法,能够预测支架的潜在故障,提前安排维修,避免因突发性故障导致停产或生产效率下降。

### 3.4 优化操作与使用管理

加强对操作人员的培训,确保其正确使用液压支架。错误的操作方式,如过载使用、频繁的高频率调整等,可能加速液压支架的损耗和故障。规范操作能够大大减少设备损坏。合理调控液压支架的使用负荷,避免超负荷运转。在煤矿井下作业时,应根据工作环境和实际需求,适当调整支架的支撑力度,减少不必要的机械冲击和压力变化。根据液压支架的使用频率合理安排使用周期,避免连续过度使用造成支架损坏。同时,可以适当安排休息时间,减少长时间高负荷工作的风险。为应对突发的设备故障,应制定液压支架的应急预案,包括备件储备、快速维修流程、故障诊断工具等。通过建立完善的备件库,

确保关键部件能够及时更换,减少设备停机时间。一旦液压支架发生故障,应尽快诊断并实施修复措施。例如,出现液压油泄漏或支架结构松动时,操作人员应立即采取措施,停止使用并通知维护人员进行处理。

### 3.5 智能化与自动化维护

采用智能化的液压支架,结合物联网技术,通过自动监测各项指标并调节支架的工作参数。智能液压支架可以在工作过程中根据负荷、温度、压力等实时变化进行自我调节,从而减轻过度磨损的风险。智能系统可以根据实时数据自动识别潜在故障并提供维修建议,甚至自动生成维修工单。操作人员可以依靠系统提示进行维护决策,减少人为失误。通过收集实际维护数据,建立反馈机制,对维护策略进行持续优化。将设备故障、维修过程、修复效果等信息反馈到系统中,及时调整预测模型和维护计划。定期评估液压支架的整体维护效果,包括维护频率、成本、故障率等指标。通过分析评估结果,优化维护策略,进一步提高设备的使用效率和寿命。

## 4 总结

煤矿井下液压支架的寿命维护策略优化应结合先进的技术手段,如实时监测、预测维护、智能化管理等,以延长液压支架的使用寿命、减少故障发生、降低维修成本并提高生产安全性。通过数据驱动的预测分析、定期和基于条件的维护、优化操作管理以及智能化维护手段,能够实现液压支架的高效、长效运行,确保矿井作业的安全性和稳定性。

### 参考文献:

- [1] 全封闭式液压元件自动清洗设备的设计.申树云.煤矿机械,2012(10).
- [2] 支架液压元件泄漏特性.崔德仁.煤炭科学技术,2000(07).
- [3] 掘进机液压元件检测、冲洗多功能装置的研发.王爱玲.机电产品开发与创新,2019(03).