

矿井液压支架立柱及千斤顶的故障原因及防治措施分析

尹昌楠

(山东能源装备集团液压科技有限公司, 山东 济南 271100)

摘 要 本研究针对矿井液压支架立柱及千斤顶在煤矿开采过程中的失效问题进行深入分析, 重点识别了立柱的锈蚀、缸体磨损及活塞密封老化, 以及千斤顶的导向套漏液、活塞杆弯曲等常见故障类型, 并通过对设备结构和工作环境的剖析, 明确了影响液压系统可靠性的关键因素, 进一步提出了通过合理选择密封材料、控制乳化液质量、优化机械间隙及改进焊接质量等防治措施, 以提高液压支架的稳定性和安全性, 为矿井支护系统的安全高效运行提供理论依据与技术支持。

关键词 液压支架立柱; 千斤顶; 故障分析; 矿井安全

中图分类号: TD5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.01.021

0 引言

矿井液压支架是煤矿开采中不可或缺的重要设备, 其主要功能包括支撑采煤工作面、控制顶板稳定以及推动采煤机的正常运作。液压支架立柱和千斤顶是支架系统的关键动力元件, 其性能直接决定了支架的承载能力和工作稳定性。在实际应用中, 复杂的矿井环境和腐蚀性介质的长期影响, 常导致液压支架立柱及千斤顶的锈蚀、磨损及密封老化等失效问题, 影响设备可靠性及矿井安全^[1]。本研究旨在深入分析这些故障的成因, 并提出改进措施, 增强液压支架系统的稳定性和可靠性, 保障煤矿安全高效运行。

1 液压支架立柱及千斤顶的基本结构及工作原理

1.1 液压支架立柱的组成与作用

液压支架立柱是煤矿开采工作面中用于支撑和稳定顶板的核心组件, 其性能对支架的整体稳定性和承载能力具有决定性影响。立柱的主要组成部分包括缸体组件、活柱组件、导向套、密封件以及加长杆组件等。缸体是液压立柱的基础部件, 位于立柱最外层, 负责承受工作面的压力; 活柱组件则通过内活柱和外活柱的协调工作, 实现支架高度的灵活调节, 通常采用单伸缩或双伸缩的设计, 以适应不同的作业需求和矿压环境。导向套的主要功能是保证活柱在伸缩过程中的运动稳定, 避免因运动轨迹偏移而造成缸壁磨损或其他机械故障^[2]。立柱的作用不仅是承受来自顶板的垂直压力, 还需对支架整体的稳定性提供可靠的支撑, 以防止工作面在开采过程中因矿压变动而发生塌

陷。因此, 立柱的设计需要充分考虑其在多种复杂环境中的承载性能, 包括高温、高湿及高压等因素。此外, 为了应对矿井水中的腐蚀性介质, 缸体表面通常采用耐腐蚀材料或涂层, 以延长设备的使用寿命。

1.2 千斤顶的结构与功能

千斤顶是液压支架系统中负责推移和调整支架位置的重要元件, 其结构和性能在支架系统的灵活性和稳定性中起着重要作用。千斤顶的主要结构包括缸体、活塞、活塞杆、导向套、支撑环及密封件等, 其工作原理是利用液压油在缸体内的流动来产生推力或拉力, 从而实现支架的移动和状态调整。根据具体应用的不同, 千斤顶可以分为柱塞式和活塞式两种类型, 柱塞式千斤顶的结构相对简单, 适用于较小的负载场景, 而活塞式千斤顶则由于其较大的推力和精确的控制能力, 被广泛应用于需要精确控制支架位置的场景^[3]。

千斤顶在采煤工作面中的主要功能包括调整支架的前后位置, 确保支架能够紧跟采煤机的推进, 从而维持工作面的连续支护; 此外, 千斤顶也可以用于支架的状态调整, 以应对顶板压力的变化及工作面地质条件的变化。千斤顶的导向套和支撑环在推移过程中起到稳定活塞杆的作用, 防止其因偏载而发生弯曲或变形, 而千斤顶的密封件则保证了液压系统的封闭性, 防止液压油泄漏对推移过程的影响。

在实际应用中, 千斤顶需要承受较为复杂的外部环境, 例如工作面的岩石碎屑和矿井水中的腐蚀性介质等, 这些因素可能导致千斤顶的缸体和活塞表面发生磨损或锈蚀。因此, 提升千斤顶的耐腐蚀能力以及

密封件的耐久性,对确保其在高压环境下的长期稳定运行至关重要。此外,合理的液压油选择和系统压力控制能够有效减少千斤顶的失效风险,保障液压支架整体的工作效能。

2 液压支架立柱及千斤顶的主要故障类型

2.1 液压支架失效的原因分析

液压支架立柱在矿井开采过程中容易受到各种因素的影响而发生失效,这些失效对矿井的安全性和生产效率构成了严重威胁,其主要失效形式可以归结为锈蚀问题、内部划痕与缸体磨损以及活塞密封老化。

1. 锈蚀问题。液压支架立柱的锈蚀问题主要是由于长期暴露在矿井环境中受到含腐蚀性介质(如氯离子和硫酸根离子等)影响所导致。矿井水中的腐蚀性物质会对液压缸体的金属表面产生腐蚀作用,尤其是在相对湿度较高和井下温度波动较大的情况下,这种腐蚀效应会显著加剧^[4]。锈蚀不仅降低了缸体的机械强度,使其无法有效支撑顶板压力,还可能引起液压油的泄漏,进而影响整个支架系统的稳定性。立柱一旦被锈蚀,其表面会逐渐变得粗糙,内部结构强度也会减弱,从而导致活塞杆的运动出现卡滞现象,直接影响立柱的升降能力和支架的支撑性能。此外,腐蚀物质在缸体内积聚将进一步恶化液压油的质量,形成恶性循环,最终导致液压系统整体性能下降。

2. 内部划痕和缸体磨损。液压支架立柱在运行过程中,内部缸壁与活塞杆之间的相对运动会引起磨损,而磨损的程度主要取决于液压油的清洁度和系统的压力状况。当液压油中含有机械杂质或颗粒物时,杂质会对缸壁产生研磨效应,导致内部出现划痕;机械杂质的来源通常包括乳化液过滤不彻底、井下环境污染等。一旦内部产生划痕,缸体的密封性就会受到影响,导致液压油的泄漏,进而使立柱在承受负荷时无法提供足够的支撑力^[5]。磨损还会使缸体壁厚变薄,在高压环境下更容易发生变形甚至裂缝。这种问题不仅降低了液压支架的稳定性,还可能导致顶板支护不力,增加顶板坍塌的风险。此外,缸体的偏载现象也是引发内部磨损的重要因素。当液压支架在倾斜面工作时,立柱的受力状态不均,活塞杆与缸壁的接触部位会承受更大的摩擦力,从而加剧磨损。

3. 活塞密封老化。随着液压支架使用时间的增加,密封件的材料会因长期受到高压、温度变化和化学腐蚀而逐渐老化。老化的密封件在压力作用下容易出现弹性不足、压缩变形等现象,导致液压油渗漏,这种情况会直接影响立柱的支撑性能,使其在需要长时间保持支撑力时出现下沉或失稳。此外,液压油本身的

质量也会对密封件的寿命产生显著影响,如果油液中含有腐蚀性物质或杂质,这些物质会对密封材料造成化学腐蚀或物理磨损,从而加速密封件的老化。密封件失效不仅导致油液泄漏,增加维护频次和费用,还会使支架在顶板压力作用下无法正常保持支撑,严重威胁矿工的安全。

2.2 千斤顶的常见失效形式

千斤顶作为液压支架系统中的重要调节部件,在推移、支护过程中容易受到外界环境和系统内部因素的影响而失效,常见的失效形式包括导向套漏液和活塞杆弯曲以及缸体爆裂等。

1. 导向套漏液。在长期的工作环境中,导向套容易受到井下腐蚀性水质、灰尘颗粒的影响而逐渐磨损或老化,这种磨损会导致导向套与活塞杆之间的配合间隙增大,最终引起液压油从导向套处泄漏。此外,活塞杆的弯曲变形也是引发导向套漏液的重要原因。当活塞杆因偏载或外力作用发生弯曲时,其与导向套之间的接触会变得不均匀,导致局部区域的摩擦加剧,并且无法有效维持液压油的密封性,最终造成油液泄漏^[6]。导向套漏液直接影响千斤顶的工作效率,使其在推移支架时无法提供足够的动力,增加了操作难度并可能导致作业延误。

2. 活塞杆弯曲和缸体爆裂。活塞杆的弯曲和缸体爆裂是千斤顶失效中较为严重的情况,这些失效通常伴随着严重的后果,对液压支架系统的整体稳定性构成威胁。活塞杆弯曲多由偏载、外力冲击等引起,在作业中,千斤顶如果受力不均,或外界负载超出其设计承载能力,活塞杆就可能发生永久性弯曲。弯曲的活塞杆会导致千斤顶推力不足,难以保证支架在采煤工作面上的移动要求,并可能引发导向套的加速磨损。而缸体爆裂则多由于系统压力过高或缸体材料疲劳所致。安全阀失效时,系统内的液压油压力可能会超出缸体的设计承载极限,使缸体发生局部或整体破裂,导致液压油快速泄漏并使支架失去支撑功能。此外,缸体在长期高压作业过程中,内壁可能会因腐蚀或磨损变薄,这也增加了其爆裂的风险。缸体爆裂不仅会导致千斤顶功能丧失,影响液压支架的移动和状态调整,还会对现场操作人员的安全构成直接威胁,因此需要特别重视这些部件的定期检测和保养。

3 液压支架故障的防治措施

3.1 提高液压密封性的方法

1. 合理选择密封材料。密封件作为液压系统中防止液压油泄漏的关键部件,其材料选择直接决定了密封的有效性和耐久性,在复杂的矿井环境中,密封件

不仅要具备较好的耐压性能, 还需能够抵抗高温、高湿度及腐蚀性介质的影响。针对液压支架的工作环境, 推荐使用高韧性和耐腐蚀的橡胶或合成材料密封件, 这些材料在长时间的使用过程中能够保持其弹性, 确保系统的密封效果。此外, 还应根据工作压力的不同, 合理选择密封件的形状和结构, 例如采用 V 型密封圈可以在高压情况下提供更高的密封效果。密封件的选择不仅要考虑材料本身的性能, 还需要结合设备运行的实际条件, 如频繁的启动和停止、突然的压力波动等, 确保密封件能在不同工作状态下维持良好的密封效果。

2. 乳化液质量的控制。乳化液在液压系统中起到润滑、散热及防腐的作用, 其质量直接影响到密封件的工作寿命及液压系统的运行稳定性, 乳化液中的水质应严格经过净化处理, 确保杂质含量在可接受的范围内, 以避免乳化液中颗粒物对密封件的磨损。此外, 乳化液的浓度应保持在 3% 以上, 以提供足够的润滑性和防腐能力。针对矿井环境中常见的腐蚀性介质, 推荐引入反渗透净化设备对矿井水进行处理, 以降低水中的氯离子和硫酸根离子浓度, 减少腐蚀性对液压系统的影响。同时, 需建立乳化液的定期更换制度, 以防止乳化液因长时间使用而性能下降, 从而影响密封效果。

3.2 设备结构改进与设计优化

1. 配件机械间隙的优化设计。液压支架立柱及千斤顶的缸体与活塞杆之间的机械间隙对系统的密封性能及工作稳定性有着直接影响, 过大的间隙会导致液压油泄漏, 降低系统效率; 而过小的间隙则会增加摩擦力, 导致配件过快磨损。因此, 需要对配件间隙进行精确控制, 使其既能保持良好的密封性, 又不会因为摩擦力过大而影响设备寿命。在设计中, 需根据不同的工作压力条件及温度变化范围, 选择适宜的机械间隙值, 并结合有限元分析工具, 对设备在实际运行中的受力状态进行模拟, 以确保间隙的合理性。

2. 提高焊接质量。由于支架在矿井中需承受频繁的顶板压力变化, 焊接部位往往是应力集中区域, 若焊接质量不佳, 极易发生裂纹扩展, 最终导致支架结构失效, 为提高焊接质量, 需采用优质的焊接材料, 并在焊接前对连接部位进行严格清理, 以避免杂质残留影响焊接效果。此外, 焊接后的部件需进行热处理, 以消除内部的焊接应力, 并通过无损检测手段对焊缝进行检测, 确保其质量符合设计要求。提升焊接质量, 不仅可以提高液压支架的承载能力, 还能有效减少因结构失效而导致的安全隐患。

3.3 日常维护措施的实施

1. 高新检测技术的应用。在液压系统中, 可以通

过引入传感器及在线监测系统, 对关键参数(如液压油压力、温度、密封件状态等)进行实时监测。这些传感器能够快速感知系统内的异常变化, 并通过预警系统提醒操作人员采取必要的维护措施。振动监测、热成像等技术同样可以用于设备的运行状态评估, 通过检测机械部件的振动频率或温度分布, 判断是否存在早期失效迹象。

2. 定期维护与更换。液压支架的稳定运行依赖于定期的维护和易损件的及时更换, 高压过滤器和密封件是液压系统中容易出现磨损的部件, 若不及时维护, 会直接影响液压油的清洁度及系统的密封效果。建立设备维护档案, 对每个部件的使用情况进行记录和跟踪, 根据磨损程度确定更换周期, 可以有效提高设备的使用寿命。在实际应用中, 建议每隔一段时间对系统的液压油进行取样检测, 以判断其是否存在污染或性能下降的情况, 并根据检测结果决定是否更换油液。同时, 对缸体、活塞杆及导向套等关键部件进行定期检查, 确保其表面无严重磨损或腐蚀痕迹。通过科学的维护管理, 能够有效减少液压支架的突发性故障, 提升系统的整体工作效率与安全性。

4 结束语

本研究系统分析了矿井液压支架立柱及千斤顶的常见故障及其成因, 发现锈蚀、缸体磨损和密封件老化等问题显著影响支架的稳定性和安全性, 并提出针对性防治措施, 包括合理选择密封材料、优化乳化液质量及设备结构设计等方法, 以提升液压系统的可靠性和运行效率。通过改进密封性、优化结构设计和实施科学维护, 能够有效降低支架失效风险, 延长设备寿命, 保障矿井开采过程中的安全与高效, 为后续支护技术的发展提供了实用的理论参考。

参考文献:

- [1] 成锐. 矿用液压支架常见故障及维修养护策略[J]. 山西冶金, 2021, 44(06): 285-286.
- [2] 王凯茜. 矿山机械液压支架存在的故障及改进措施[J]. 机械管理开发, 2022, 37(01): 285-286.
- [3] 康迎春, 马强. 液压支架实验室测试质量状况及故障分析[J]. 煤矿机电, 2022, 43(03): 72-76.
- [4] 姜元元. ZY3000 型液压支架液压系统故障诊断及维修[J]. 矿业装备, 2022(05): 244-245.
- [5] 刘从朋. 矿井液压支架立柱及千斤顶的故障原因分析及防治措施[J]. 机械管理开发, 2022, 37(12): 339-340.
- [6] 陈永生. 液压支架防滑与防倒措施研究[J]. 能源与节能, 2024(02): 301-304.