

# 煤矿液压支架立柱、千斤顶失效分析及解决方案

师亚杰

河南德伯特机电设备制造有限公司 河南 长葛 461500

**摘要:** 本文针对煤矿液压支架立柱、千斤顶失效问题展开分析。阐述了立柱的锈蚀与腐蚀、内部磨损与划痕等失效形式及成因,也分析了千斤顶导向套漏液、活塞杆弯曲等失效情况。探讨了失效的共性原因,如液压系统污染等。最后提出液压系统管理、设备维护与检修等解决方案与优化措施,以提升设备可靠性与安全性。

**关键词:** 煤矿液压支架; 立柱失效; 千斤顶失效; 解决方案; 优化措施

引言: 煤矿液压支架立柱与千斤顶作为关键支撑设备,其可靠性直接关乎煤矿开采安全与效率。然而,井下复杂恶劣的环境,如潮湿、腐蚀性介质、粉尘等,以及液压系统污染、操作维护不当等因素,导致立柱与千斤顶频繁出现失效问题。深入研究其失效形式、成因并探索解决方案,对保障煤矿安全生产具有重要意义。

## 1 煤矿立柱失效形式及成因分析

### 1.1 锈蚀与腐蚀

矿井环境潮湿,富含大量腐蚀性介质,对煤矿立柱的缸体和活塞杆持续产生威胁。矿井水与缸体、活塞杆表面频繁接触,发生化学反应生成锈迹。硫化氢、二氧化硫等腐蚀性气体溶解于矿井水,形成强腐蚀性溶液,不断侵蚀金属材质,使金属结构变得疏松。当井下湿度达到一定程度,这种侵蚀速度会明显加快,原本光滑的金属表面逐渐被锈斑覆盖,材质强度也随之降低。密封件随使用时长增加出现老化,弹性减弱,密封间隙变大。原本被隔绝在外的矿井水及腐蚀性介质得以渗入,与缸体、活塞杆内部金属接触,腐蚀从表面向内部蔓延,破坏立柱金属结构完整性,降低承载能力。在高温高湿的矿井深处,密封件老化进程更快,给腐蚀性介质的侵入创造更多机会。

### 1.2 内部磨损与划痕

液压油清洁度不足,混入灰尘、金属碎屑等颗粒杂质。这些硬质颗粒随液压油流动,在缸体与活塞、活塞杆相对运动时,摩擦金属表面<sup>[1]</sup>。在压力作用下,颗粒嵌入金属表层形成微小凹坑,随着设备运转,凹坑扩大连接,产生明显划痕与磨损区域。特别是在煤矿井下复杂的作业环境中,灰尘等杂质更容易进入液压系统,加剧磨损。液压系统压力不稳定,忽高忽低或超出设计承受范围,活塞与缸壁接触力大幅增加,润滑状态被破坏,金属表面直接接触,加剧磨损。压力波动使活塞与缸壁相对运动不稳定,局部摩擦加重,形成更严重划痕。当

系统压力短时间内剧烈变化,瞬间的高压力会对缸壁造成严重损伤,加速磨损进程。

### 1.3 密封失效

密封件多由橡胶等高分子材料制成,长期受温度、压力、化学物质影响,高分子链断裂,材料弹性丧失,无法紧密贴合密封表面,密封间隙增大,液压油易从间隙泄漏。在井下高温环境下,密封件的老化速度显著提升,弹性下降更为明显,密封性能也随之更快减弱。含有杂质的液压油通过密封件时,颗粒杂质刮擦密封件表面,破坏其光滑性与完整性,出现沟槽、破损,密封性能下降,导致密封失效,液压系统压力难维持,设备动作异常。当杂质颗粒较大时,一次通过就可能对密封件造成不可逆的破坏,极大缩短密封件使用寿命。其次,部分千斤顶受偏载力严重时,也会加速受力侧密封件的磨损,最终导致密封失效。

### 1.4 缸体变形与破裂

煤矿开采时,工作面顶板不平整、受力不均,立柱承受较大侧向力。侧向力使缸体承受非轴向应力,导致局部弯曲变形。长期作用下,缸体变形加剧,影响立柱伸缩与支撑功能。在一些顶板起伏较大的工作面,立柱所受侧向力持续处于较高水平,加速缸体变形。液压系统压力控制故障或过度负载,使系统压力超过缸体设计极限。缸体内部压力急剧增加,材料达到屈服强度后出现裂纹。压力持续作用,裂纹扩展,最终导致缸体破裂,液压油泄漏,立柱失去支撑作用,威胁煤矿开采安全与效率。当设备超负荷运行时,缸体内部压力短时间内骤升,很容易突破材料承受极限,引发缸体破裂。

## 2 煤矿千斤顶失效形式及成因分析

### 2.1 导向套漏液

导向套与活塞杆长期配合运动,在持续摩擦作用下,二者间隙逐渐增大。原本紧密贴合的密封结构出现缝隙,为液压油渗漏创造条件。煤矿井下环境充满大量悬浮粉

尘, 这些细小颗粒会随着液压系统循环进入导向套与活塞杆的间隙。颗粒在二者相对运动时如同研磨剂, 不断磨损密封件表面, 破坏密封结构完整性。矿井水质复杂, 含有的杂质和腐蚀性物质, 会加速密封件老化进程。密封件弹性下降、材质劣化后, 无法有效填补间隙, 致使液压油从导向套处渗出, 影响千斤顶正常工作。

## 2.2 活塞杆弯曲

偏载受力是活塞杆弯曲的主要诱因之一。在巷道支护等作业场景中, 若千斤顶承受的压力分布不均, 杆体各部分受力状态不同。部分区域承受过大应力, 超出材料屈服强度, 从而发生塑性变形。这种变形在持续受压下逐渐积累, 最终导致活塞杆弯曲<sup>[2]</sup>。井下作业环境存在诸多不确定因素, 落石撞击、设备碰撞等外力冲击频繁发生。瞬间的冲击力即便未直接破坏活塞杆结构, 也会在内部产生微裂纹。随着千斤顶反复使用, 这些微裂纹不断扩展, 削弱杆体强度, 直至发生弯曲, 使千斤顶失去正常支撑功能。

## 2.3 缸体爆裂

缸体爆裂多源于超压运行与材料疲劳。千斤顶长时间在超出额定压力的工况下工作, 缸体材料承受的应力超过其极限, 内部金属晶格结构逐渐被破坏。或者在频繁的压力波动下, 材料出现疲劳现象, 内部微观缺陷不断发展。另一方面, 缸体焊接质量对其可靠性影响重大。焊接过程中若存在气孔、未焊透等缺陷, 会在焊接部位形成应力集中区域。当液压系统压力发生变化时, 应力集中区域承受的应力远超其他部位, 成为缸体爆裂的起始点。一旦缸体爆裂, 高压液压油瞬间释放, 极易引发安全事故。

## 2.4 活塞密封失效

密封件老化与压缩变形是活塞密封失效的常见原因。密封件作为易损部件, 在长期使用过程中, 会因环境因素和机械作用出现老化现象。橡胶材质的密封件弹性降低、变硬变脆, 难以紧密贴合密封表面。在安装或运行过程中, 密封件若受力不均, 会发生压缩变形, 导致密封性能下降。液压油污染也会严重影响活塞密封效果。使用过程中, 液压油混入金属碎屑、泥沙等杂质, 这些污染物在活塞运动时会划伤密封面, 破坏密封件表面结构, 使得液压油从受损处泄漏, 致使活塞密封失效, 影响千斤顶工作性能。

# 3 失效的共性原因

## 3.1 液压系统污染

液压系统污染是导致失效的关键因素。乳化液作为液压系统的工作介质, 若过滤不彻底, 其中残留的杂

质、颗粒会随着液压循环进入系统各部件。这些杂质如同细小的利刃, 在千斤顶运行过程中, 不断刮擦密封件、磨损精密配合表面。井下环境恶劣, 大量粉尘悬浮在空气中, 在设备运行时, 粉尘极易通过各类缝隙侵入液压系统。它们与乳化液混合, 加速密封件老化, 堵塞液压管路, 降低液压油润滑性能, 进而引发导向套漏液、活塞密封失效等一系列问题。

## 3.2 操作与维护不当

操作与维护不当也是导致液压支架立柱与千斤顶频繁失效的重要原因。在实际生产作业中, 若操作人员同时执行多个动作, 容易造成液压系统流量分配失衡, 使千斤顶无法获得充足的液压力支持, 导致各部件在异常受力状态下持续运行, 从而加速机械磨损和结构损坏。当支架出现整卡现象时, 千斤顶承受的载荷远超其设计承载范围, 若未能及时发现并处理, 将直接导致活塞杆发生弯曲变形, 甚至断裂<sup>[3]</sup>。液压系统中的管路如果发生堵塞, 会导致局部压力骤然升高, 使得缸体长期处于高压状态, 增加爆裂风险。日常维护工作不到位, 如未按期检查关键部件、未及时更换老化密封件或清理系统杂质, 也会为设备埋下潜在故障隐患, 最终引发严重失效事故。

## 3.3 设计与制造缺陷

设计与制造缺陷从源头上影响着千斤顶的整体可靠性与稳定性。部分设备在设计阶段未能充分考虑井下复杂工况对材料性能和结构强度的要求, 导致密封材料选择不合理, 难以适应高温、潮湿及高腐蚀性环境。例如, 一些橡胶密封件在长时间使用后易出现老化、变硬、失去弹性等问题, 无法有效实现密封功能, 从而引发液压油泄漏。焊接工艺质量也直接影响缸体的强度和耐久性。若在焊接过程中存在气孔、未焊透、夹渣等缺陷, 会在焊接部位形成应力集中区域。当液压系统在运行中承受周期性压力波动时, 这些区域所承受的应力远高于其他部位, 极易成为缸体破裂的起始点, 严重影响设备的安全性和使用寿命。

## 3.4 环境因素

环境因素对千斤顶运行影响显著。矿井水成分复杂, 含有多种腐蚀性物质, 长期接触会腐蚀千斤顶金属部件, 削弱材料强度。即便有防护措施, 在长期潮湿环境下, 金属表面仍易生锈, 导致密封件与金属部件配合间隙变化, 引发漏液等问题。顶板压力波动频繁, 千斤顶在工作中承受的载荷不断变化, 这种交变应力会加速材料疲劳。当疲劳积累到一定程度, 即使在正常工作压力下, 活塞杆、缸体等部件也可能发生断裂、爆裂等失

效现象。

#### 4 解决方案与优化措施

##### 4.1 液压系统管理

液压系统清洁度直接影响千斤顶使用寿命。乳化液箱长期运行后箱壁会附着杂质、微生物，底部沉积泥沙与金属碎屑，需定期拆卸清洗。采用专用工具去除顽固污垢，避免使用尖锐器具损伤箱体。过滤装置在运行过程中，滤芯会拦截大量颗粒杂质，随着堵塞程度加剧，过滤效果显著下降。因此需按周期更换滤芯，选用高精度过滤元件，提升过滤效率。控制液压油清洁度要从源头抓起，在液压油加注前，严格检查油品质量，使用专用过滤设备进行二次过滤。建立油品定期抽检制度，一旦发现油品污染或性能下降，立即更换，防止污染物进入系统加剧密封件磨损、堵塞液压管路。

##### 4.2 设备维护与检修

设备维护检修需形成规范化制度。日检主要针对千斤顶外观、连接部位、密封处等易损点进行检查。观察活塞杆表面是否存在划痕、变形，检查导向套、活塞处有无漏液痕迹，记录各部件状态。周检则进一步深入，利用专业检测仪器测量活塞杆直线度、缸体压力等参数，对液压系统压力、流量进行测试，判断系统工作性能。中修周期需对千斤顶进行拆解，清理内部油污与杂质，检查密封件磨损情况，更换老化密封件。对缸体、活塞杆进行探伤检测，排查内部缺陷。大修时需对千斤顶进行全面性能试验，模拟实际工况加载测试，确保各项参数符合标准。建立详细的设备维护档案，记录每次检修内容、更换部件及检测数据，为后续维护提供参考依据。

##### 4.3 密封与材料优化

密封材料性能直接决定千斤顶密封效果。井下环境复杂，需选用耐腐蚀、耐高压、耐磨损的密封材料。针对矿井水腐蚀性强的特点，选择抗腐蚀橡胶材料，提高密封件在恶劣环境下的使用寿命。优化活塞杆与缸体间隙设计，通过精确计算与模拟分析，确定合理的配合间隙。间隙过小易导致摩擦阻力增大，加速磨损；间隙过大则易发生漏液。采用表面处理技术，提高活塞杆表面硬度与光洁度，减少与密封件的摩擦，降低密封件磨损速率。对缸体内壁进行精加工，保证内壁表面粗糙度，提升密封性能。在设计阶段应考虑不同工况下的热膨胀系数，预留合理补偿量，防止因温度变化影响密封效果。

##### 4.4 操作规范与培训

标准化操作流程是保障设备正常运行的基础。制定详细的千斤顶操作手册，明确操作步骤、注意事项及禁止行为。例如，规定千斤顶升降速度范围，避免快速升降造成液压冲击；规范支架支撑角度与位置，防止偏载受力。加强人员技能培训，通过理论授课与实际操作相结合的方式，让操作人员熟悉千斤顶结构原理、工作性能及常见故障表现<sup>[4]</sup>。定期开展培训考核，确保操作人员熟练掌握操作技能。同时强化安全教育，讲解设备故障可能引发的安全风险，提高操作人员安全意识，使其在操作过程中严格遵守规范，减少因操作不当导致的设备损坏。

##### 4.5 应急响应机制

建立完善的故障快速诊断与处理流程，能有效降低设备故障带来的损失。编制故障诊断手册，详细列举千斤顶各类故障现象及对应的排查步骤。当设备出现异常时，维修人员可依据手册快速定位故障点。配备专业的检测仪器，如液压系统检测仪、振动检测仪等，辅助故障诊断。储备应急维修工具与备件，包括常用密封件、滤芯、易损连接件等。设立专门的备件仓库，采用信息化管理系统，实时监控备件库存数量，及时补充短缺备件。制定应急维修预案，明确各部门职责与工作流程，一旦发生故障，维修人员能迅速响应，按照预案开展维修工作，缩短设备停机时间，保障煤矿生产正常进行。

#### 结束语

煤矿液压支架立柱与千斤顶的失效问题受多种因素影响，通过系统分析失效形式与成因，采取针对性解决方案，如加强液压系统管理、规范设备维护检修、优化密封与材料、制定操作规范与培训、建立应急响应机制等，可有效减少设备失效，提升其可靠性与使用寿命，保障煤矿开采安全高效进行。未来还需持续研究改进，以适应煤矿生产不断发展的需求。

#### 参考文献

- [1]谢鑫.液压支架系统泄漏类型及动态特性分析[J].凿岩机械气动工具,2025,51(01):1-3.
- [2]武炳楠.煤矿液压支架控制系统设计与应用研究[J].机械管理开发,2024,39(09):199-201.
- [3]王福海.煤矿综采工作面纯水液压技术装备研究与应用[J].煤矿机械,2025,46(02):114-118.
- [4]尹昌楠.液压支架立柱千斤顶维修及试验改进研究[J].工程技术研究,2023,8(23):116-118.