

机械设备液压分级维保制度构建与故障快速抢修流程研究

张 伟 程广立

安阳钢铁集团股份有限公司 运输作业部一原料作业区 河南 安阳 455000

摘 要: 液压系统在堆取料机等装备中应用广泛,其可靠性直接影响作业效率与安全。堆取料机悬臂俯仰机构液压系统肩负悬臂升降与负载保持功能,一旦故障将导致停机甚至倾覆。本文针对液压系统故障突发性强、排查难度大等问题,构建“三级预防、二级响应、一级应急”分级维保制度框架,明确各级维保周期、内容、责任主体及考核标准,并设计涵盖故障报修、快速诊断、精准维修、验收恢复的快速抢修流程,提出状态监测、标准化作业与技能培训相结合的配套体系,为液压系统科学管理提供制度设计与实践指引。

关键词: 液压系统; 分级维保; 故障抢修; 状态监测; 标准化作业

引言: 液压系统已成为堆取料机等装备的核心传动单元,其故障约占设备总故障的30%~40%,且排查难度大、耗时长。堆取料机悬臂俯仰机构通过液压缸驱动悬臂升降,需在任意位置可靠锁定以抵御风载和物料冲击,一旦液压系统失压、平衡阀失效或俯仰缸内泄漏,将导致悬臂坠落或失控,引发重大事故。当前多数企业的维护仍为被动维修,缺乏系统化分级维保,抢修流程不规范。本文以堆取料机悬臂俯仰机构液压系统为切入点,构建分级维保制度与快速抢修流程,为液压系统规范化管理提供参考。

1 液压系统故障特征与维护管理现状分析

1.1 液压系统典型故障模式与规律

液压系统故障按发生机理可分为突发性和渐进性两类。以堆取料机悬臂俯仰机构为例,突发性故障主要表现为俯仰缸活塞杆断裂、高压胶管爆裂、平衡阀阀芯卡死等,后果是悬臂瞬间失压快速下坠,极易砸毁下部设备甚至导致整机倾覆,属于矿山企业最高等级安全风险。渐进性故障表现为俯仰缸内泄漏增大、系统压力下降、悬臂升降速度减慢、自动飘移下坠等,若早期发现并干预可有效避免故障升级。从部位分布看,俯仰缸及密封故障约占20%~25%,平衡阀及液压阀约占25%~30%,管路及接头约占15%~20%,液压泵约占20%~25%。约70%~80%的故障与油液污染相关,不同阶段要求维保策略有所侧重。

1.2 液压系统故障排查难点分析

液压系统故障排查难度远高于机械传动系统,核心在于动力在封闭油路中传递,同一故障现象可能对应多种原因。以堆取料机悬臂俯仰机构“悬臂举升无力”为例,可能原因包括液压泵供油压力不足、溢流阀调压失灵、俯仰缸活塞密封严重内泄、平衡阀背压过高或先

导油路堵塞、管路压损过大等五种以上因素,需逐一排查。若伴有“停机后缓慢下降”,则指向平衡阀锁紧失效与俯仰缸内泄漏的复合故障,排查顺序和隔离方法需严格执行逻辑判断。此外,故障排查严重依赖流量计、压力测试仪等专用检测仪器,多数企业现场配置有限,进一步制约排查效率^[1]。

1.3 现行维保模式的主要问题

当前堆取料机悬臂俯仰机构液压系统维保管理存在四个突出问题。其一,维保制度层级单一,未能根据高风险等级实施差异化维护,关键锁紧元件维护不足。其二,预防维护与抢修脱节,俯仰缸微量内泄、平衡阀压力波动等早期隐患未能反馈到抢修经验库,抢修暴露的原因也未反向优化维保计划。其三,抢修流程缺乏标准化,俯仰缸拆装顺序、平衡阀调压方法等关键工序凭经验操作,维修质量波动大、重复故障频发。其四,备件管理与维保需求不匹配,俯仰缸密封件、平衡阀维修包、高压胶管总成等关键备件储备不足或型号不对,导致抢修等待时间过长。

2 液压系统分级维保制度构建

2.1 分级维保制度设计原则

分级维保制度的设计应遵循四项基本原则。一是风险分级原则——根据堆取料机悬臂俯仰机构故障对整机安全、生产效率和维修成本的影响程度,将其列为最高维护等级(A级),实施最高频次、最严格标准的差异化维保策略。二是预防为主原则——将维护重心从事后维修向事前预防转移,通过定期检查、状态检测和趋势分析,在俯仰机构液压系统故障发生前识别风险并采取干预措施。三是标准化原则——各级维保的周期、内容、方法和记录格式均应统一规范,形成可执行、可检查、可考核的标准化作业文件。四是持续改进原则——建立

俯仰机构液压系统维保数据的统计分析机制,定期评估维保效果,不断优化维保计划和作业标准,形成“计划—执行—检查—改进”的闭环管理循环^[2]。

2.2 三级预防性维保体系设计

三级预防性维保体系按维护深度和周期不同,划分为日常维保、一级维保和二级维保三个层级。针对堆取料机悬臂俯仰机构液压系统,日常维保由操作人员每班执行,内容为作业前检查液压油箱油位、油温、系统压力及俯仰缸活塞杆表面有无划痕,运行中观察悬臂升降动作有无爬行、抖动、异响,作业后检查平衡阀组及管路接头有无渗漏,记录悬臂停机后漂移量。一级维保由专职维护人员每月执行,内容包括更换或过滤液压油、清洗或更换滤芯、检测俯仰系统最高工作压力及平衡阀设定压力、进行俯仰缸动作速度测试和保压试验(判定内泄漏量),核心目标是维持俯仰系统基本性能在正常范围内。二级维保由专业维修团队每年执行,内容包括全面拆解清洗俯仰缸(更换密封件、检查缸筒内壁和活塞杆磨损)、检测液压泵容积效率、校验平衡阀和安全阀调定压力、更换老化软管总成,核心目标是将悬臂俯仰液压系统技术状态恢复至接近新机水平。

2.3 二级响应与一级应急机制

在三级预防维保基础上,针对堆取料机悬臂俯仰机构液压系统突发故障设置二级响应和一级应急机制。二级响应针对一般性故障如平衡阀压力波动、管路轻微渗漏、俯仰缸动作略微迟缓等,目标为2小时内完成排查、8小时内完成修复,由当班维修班组负责。一级应急针对重大突发故障,涵盖俯仰缸活塞杆断裂、主供油管路爆裂、平衡阀阀芯卡死导致悬臂无法锁定等会引发悬臂坠落的高危故障类型,目标为30分钟内启动预案、2小时内完成故障定位、12小时内完成抢修恢复生产,由跨专业应急小组负责,企业分管领导现场指挥。需预先配置应急物资包(俯仰缸全套密封件、平衡阀维修包、高压胶管总成、快换接头等),实行专人管理、月度检查和消耗后8小时内补充制度。

2.4 维保责任体系与考核评价

维保责任体系应建立“操作层—维护层—管理层”三级责任主体:操作层对日常维保(油位检查、漂移量记录、异常报告)负直接责任;维护层对一二级维保实施质量负技术责任;管理层对制度运行负管理责任。考核指标应包含维保计划完成率($\geq 95\%$)、俯仰液压系统故障率(较上年下降 $\geq 10\%$)、平均故障修复时间(逐年缩短 $\geq 5\%$)、悬臂俯仰机构可用率($\geq 98\%$)等核心指标,考核结果与岗位绩效挂钩,形成正向激励

与刚性约束并重的管理导向。

3 液压系统故障快速抢修流程设计

3.1 故障快速抢修流程总体架构

快速抢修流程按“接报—诊断—维修—验收”四阶段闭环运行。以堆取料机悬臂俯仰机构突发无法起臂为例:第一阶段为故障接报——操作人员发现悬臂无法正常升起后15分钟内完成现象描述(是否伴随异响、压力表读数、油温、是否有漏油点),提交抢修申请,调度中心30分钟内研判等级并启动对应响应。第二阶段为快速诊断——维修人员通过原理图分析和仪器检测锁定故障点(目标时限:一般故障2小时、复杂故障4小时)。第三阶段为精准维修——按作业指导书实施修复(如更换俯仰缸密封件或平衡阀),完成后进行悬臂空载和负载升降试验及保压测试,目标时限6~8小时。第四阶段为验收——由设备管理人员联合验收,确认悬臂升降平稳、锁定可靠、无渗漏,24小时内完成抢修记录和故障分析报告归档。

3.2 故障快速诊断方法

推荐快速诊断“三步定位法”:第一步为现象确认与参数采集——记录俯仰系统压力、俯仰缸动作时间、悬臂漂移量、油温等数据;第二步为逻辑推断与可能原因排序——以“无法起臂”为例,建立可能原因清单:液压泵供油不足→主溢流阀调压过低→平衡阀先导压力异常→俯仰缸内泄漏过大→管路压损过大,按“先外部后内部、先简单后复杂”排序;第三步为验证性检测与定位确认——依次进行泵出口压力测试、阀组压力检测、俯仰缸内泄漏测试,逐步排除直至锁定故障根源。为实现标准化诊断,应针对堆取料机悬臂俯仰机构典型故障模式(无法起臂、无法下降、停机后飘移、升降爬行、异常噪音)分别编制“故障树分析”手册,供维修人员对照使用^[3]。

3.3 标准化维修作业流程

针对堆取料机悬臂俯仰机构液压系统常见故障类型,编制标准化维修作业指导书。以“俯仰缸密封更换”为例,指导书应包含:适用故障现象(举升无力、停机后漂移超限、外泄漏明显)、工具与专用工装清单(缸筒专用扳手、导向套拆卸工具、密封压入导套)、备件型号(全套密封件型号规格)、拆解顺序与方法(先释放系统压力→拆除油管并封口防污→固定悬臂安全支撑→拆卸缸头→抽出活塞杆→清除旧密封→清洗检查各件)、关键部位检测标准(缸筒内壁粗糙度、活塞杆镀铬层完好度)、装配技术要求(密封件安装方向、活塞杆拧紧扭矩、导向套紧固扭矩)、调试步骤与验收

标准（排气操作、三次空载全行程、负载保压30分钟降压值）、安全注意事项（悬臂支撑锁定措施）。维修人员须严格遵守指导书规定的工艺参数和操作顺序，不得凭经验随意变更。

3.4 抢修效率保障措施

备件供应方面，针对堆取料机悬臂俯仰机构关键元件建立“安全库存”管理制度：平衡阀维修包、俯仰缸密封件、高压胶管总成按设备数量的1.5倍建立最低库存，进口或长周期元件与供应商签订紧急供货协议，确保24小时内响应。技术资料方面，现场配备悬臂俯仰机构液压原理图、元件样本和维修手册，电子版实现移动终端查询。通讯调度方面，建立抢修指挥通讯系统，实现故障信息、抢修进度和资源需求实时传递，避免信息不畅造成的等待延误。

4 配套实施保障体系

4.1 状态监测与预警机制

针对堆取料机悬臂俯仰机构液压系统，应建立基于关键参数监测的健康状态评估与预警体系。主要监测参数包括：液压油温度，正常范围 $35\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，超过 60°C 需预警；俯仰系统工作压力，设定值 $\pm 5\%$ 为正常，超出 $\pm 10\%$ 需预警；回油滤芯压差，达到 0.35MPa 需更换；油液清洁度按NAS等级定期检测。针对俯仰缸及平衡阀组，增设俯仰缸内泄漏量检测，通过保压试验测定单位时间压降作为判定密封状态的核心指标；平衡阀设定压力每季度校验，确保锁定可靠性；管路及接头渗漏实施目视检查。基于监测数据设置三级预警阈值：黄色预警为参数偏离但可控，需加强观察；橙色预警为参数持续劣化接近临界值，需安排计划性停机检修；红色预警为已达临界值或已出现明显异常，需立即停机抢修。

4.2 技术培训与能力建设

应建立分层次、分岗位的液压系统技术培训体系。操作层培训侧重于液压基本原理、日常检查方法、异常识别和故障报告规范，目标使操作人员具备基本状态判断能力，能在故障初期准确描述现象。维护层培训侧重于液压元件拆装维修、故障诊断方法、检测仪器使用和维修工艺标准，目标使维护人员具备独立完成一二级维保和一般抢修的能力。管理层培训侧重于液压系统可靠

性管理、维保制度设计和数据分析方法，目标使管理人员具备科学决策能力。培训应采用理论授课与实操训练相结合，定期组织故障模拟演练和技能竞赛检验效果^[4]。每年度对维保和抢修人员进行技能考核，对不达标者安排补训或调整岗位，确保人员能力持续满足要求。

4.3 信息化平台支撑

信息化平台是实现分级维保与快速抢修高效协同的重要支撑工具，应具备五大核心功能模块：设备档案管理模块记录每台设备的技术参数、维保历史和故障记录；维保计划管理模块自动生成各级维保任务并推送至责任人，跟踪进度与完成情况；故障抢修管理模块实现报修、派发、进度跟踪和验收归档的全流程线上闭环管理；备件管理模块实时反映库存状态，在维保或抢修时自动提示备件需求；数据分析模块对维保记录、故障数据和维修成本进行统计分析可视化呈现。信息化平台可实现维保和抢修全过程的可视化、可追溯和可分析，有效克服传统纸质管理的信息孤岛和效率瓶颈，为持续改进提供数据支撑。

结束语

本文以堆取料机悬臂俯仰机构液压系统为切入点，构建了“三级预防、二级响应、一级应急”分级维保制度与“接报—诊断—维修—验收”四阶段快速抢修流程，通过状态监测数据共享与备件统一管理形成运维管理完整闭环。该制度设计将维护工作按深度和周期合理分层，实现维护资源精准配置，为缩短故障停机提供了流程保障。建议企业同步推进信息化平台建设与人员技能培养，使制度创新与技术手段互为支撑，持续提升液压系统管理水平，为同类设备维保提供可复制的实践路径。

参考文献

- [1] 邢伟志.设备设计制造中的钢厂液压机械控制系统的应用[J].冶金与材料, 2026,46(3):121-123.
- [2] 宁润山.液压系统在冶金机械设备中的检修与维护[J].世界有色金属, 2025, (11):10-12.
- [3] 吕高年.港口机械设备管理制度现状分析与建议[J].车时代, 2021, (1): 210-210.
- [4] 赵浩洋,黄连忠,马冉祺,等.风翼液压系统故障诊断方法综述[J].机床与液压,2023,51(2):193-204.