

ZYJ7 电液转辙机典型故障成因分析与现场标准化检修实践研究

彭 晶

中国铁路哈尔滨局集团有限公司牡丹江电务段 黑龙江 牡丹江 157000

【摘 要】：ZYJ7 电液转辙机作为铁路信号系统关键执行设备，长期运行中易出现液压泄漏、动作迟滞及位置反馈偏差等故障，且现场维护方式不统一导致检修质量波动较大。针对设备典型故障，从液压系统、控制单元及机械传动环节开展成因解析，构建分模块标准化检修流程，优化检测手段与作业步骤，形成规范化现场维护体系。实践应用表明，故障定位效率与维修一致性显著提升，设备运行稳定性得到改善。

【关键词】：ZYJ7 电液转辙机；故障成因分析；标准化检修；现场维护；运行稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.001

引言

铁路信号系统中转辙设备承担轨道转换控制功能，其运行状态直接影响行车组织安全。ZYJ7 电液转辙机在长期高频切换条件下，内部液压传动与电控协同结构易产生性能衰减，部分故障呈现隐蔽性与重复性特征，增加现场判断难度。传统检修依赖经验判断，缺乏统一流程支撑，导致维修效果不稳定。围绕典型故障机理展开分析，并引入标准化作业路径，可为现场快速恢复设备状态提供技术依据。

1 设备运行特征与状态表现解析

1.1 结构组成与工作机制说明

ZYJ7 电液转辙机由电气控制单元、液压执行机构、油路调压系统及机械传动组件构成，形成电—液—机一体化联动结构。控制单元接收轨道电路指令后完成逻辑转换，驱动电磁换向阀改变油路流向，实现液压油在双向油缸内的定向推动。压力建立过程通过溢流阀与单向阀进行动态调节，确保输出推力稳定传递至动作杆系。机械部分通过锁闭机构与转换轨道连接，实现道岔尖轨位置切换及自锁保持，整体结构强调密封性、同步性与力矩稳定性，在连续高频动作条件下维持能量转换效率与位移精度。

1.2 运行过程关键节点表现

运行过程主要表现为信号接收、液压建压、执行推移及位置锁闭四个关键阶段。信号输入后控制回路完成状态判定并触发换向动作，油泵启动后油压迅速上升至设定区间，推动活塞杆形成直线推力输出^[1]。推进行程中阻力变化通过压力反馈实时修正，确保尖轨移动轨迹稳定贴合。终端位置到达后锁闭装置完成机械闭合并切断动力输出，系统进入保持状态。各节点之间存在严格时序关联，压力波动、响应延迟及位置偏差均会影响整体转换一致性，对动态稳定性要求较高。

1.3 故障初期征兆识别特征

早期异常多集中于压力建立速率变化、动作行程不连续及反馈信号漂移等方面。液压系统内部泄漏会导致压力上升缓慢

或维持不稳，执行过程中出现推力衰减现象。电气回路接点氧化或信号衰减会引起控制指令响应延迟，表现为动作启动不及时或中途停滞。机械磨损造成间隙扩大时，锁闭位置重复精度下降，产生轻微位移偏差。温度变化引起的油液黏度波动亦会影响传动效率，使动作节奏出现非均匀状态，这些变化共同构成故障演化前的关键识别特征。

2 失效诱因多维度拆解路径

2.1 液压系统压力异常来源分析

ZYJ7 电液转辙机液压系统压力异常主要来源于密封结构失效、油液品质劣化及压力调节元件响应偏移等多重因素。密封件在长期高频往复运动中出现微观磨损，导致内泄与外泄并存，使系统无法维持稳定建压状态。油液在温度循环与污染颗粒作用下黏度特性发生变化，流动阻力增大或衰减，直接影响压力传递效率。溢流阀与换向阀在长期冲击载荷作用下产生弹性疲劳，阀芯运动精度下降，使压力控制曲线偏离设定区间。管路内部存在气蚀现象时，会引起压力脉动与瞬时波动，导致执行机构输出力不连续，进而形成整体动力链不稳定状态。

2.2 电控信号传输偏差因素

电控信号传输偏差主要受线路阻抗变化、接点接触性能退化及电磁干扰耦合作用影响。信号线路在潮湿、振动及温差循环环境下，绝缘层性能逐渐下降，导致微弱漏电流产生，使逻辑电平发生漂移。继电接点在频繁通断过程中出现烧蚀与氧化层累积，接触电阻增大，引发信号延迟与脉冲畸变。外部强电设备运行产生的电磁场通过耦合方式进入控制回路，对低电压控制信号形成扰动，使动作指令产生误触发或丢失现象^[2]。控制模块内部元器件参数漂移亦会造成采样精度下降，使反馈信号与实际状态之间出现偏差累积。

2.3 机械磨损与间隙变化影响

机械磨损与间隙变化主要体现在传动副配合精度下降、滑动部件表面损伤及锁闭结构刚性衰减等方面。高频往复运动使齿轮啮合面与连杆铰接处产生渐进性磨损，接触面形态由均匀受力转变为局部集中受力状态，导致运动轨迹偏移。滑动导轨

在润滑不足或颗粒污染条件下出现划伤与点蚀,增加运行阻力并改变动力传递效率。锁闭机构在冲击载荷作用下产生结构微变形,使定位间隙扩大,影响终端位置重复精度。间隙累积效应进一步放大振动响应,使动作过程呈现非线性特征,削弱整体机构的稳定保持能力。

3 规范化检修体系构建方法

3.1 分模块检测流程设计

ZYJ7 电液转辙机检测流程采用系统分解思路,将设备划分为液压执行模块、电控逻辑模块与机械传动模块三大检测单元,通过分层递进方式实现状态精准识别。液压模块检测重点集中于压力建立曲线、保压稳定性及油路密封完整性,通过动态压力采样与泄漏率测定形成基础评价数据。电控模块检测围绕信号输入输出一致性、继电动作时序及回路电阻变化展开,通过多点采样实现逻辑链路完整性校核。机械模块检测则侧重于行程同步性、锁闭位置重复精度及传动阻力变化,通过位移传感与力矩反馈实现结构状态量化表达。三模块之间通过统一数据接口进行关联分析,构建跨系统故障映射关系,使异常定位从单点判断转向链路追踪。检测过程强调分阶段闭环控制,确保每一模块状态均可独立识别并可追溯,从而提升整体诊断的结构化与层级化能力。

3.2 关键参数校准步骤优化

关键参数校准体系围绕压力基准值、动作时间阈值及位移容差范围进行重构,通过多维度动态标定提升设备一致性控制能力。液压系统压力校准采用分段加载方式,对低压启动区间与高压保持区间分别进行曲线拟合,消除非线性波动影响,使输出压力更贴合设计曲线。动作时间参数校准引入分级触发机制,对启动延迟、行程推进及终端锁闭三个阶段分别进行时间窗口修正,减少累计误差对整体节拍的影响。位移参数校准通过高分辨率传感采样,对尖轨行程末端进行微区间修正,使重复定位误差控制在稳定区间内^[1]。校准过程引入环境变量补偿机制,对温度变化引起的油液黏度漂移与电气延迟偏移进行动态修正,使参数设定具备自适应特征。通过多参数联动修正方式,实现设备运行状态与标准基准之间的持续一致性匹配。

3.3 工具与检测手段统一配置

检测工具体系构建强调标准化、模块化与数据兼容性,围绕压力测量、信号分析及位移检测三类核心需求进行统一配置。压力检测设备采用高精度数字压力传感单元,并结合多通道采集模块,实现瞬时压力变化的连续记录与波形分析。电控检测工具采用多功能信号分析仪,对继电触点状态、电压波形及脉冲完整性进行同步采样,使电气状态呈现可视化特征。机械检测手段采用激光位移测量与动态力矩传感组合结构,对运动轨迹偏移与传动阻力变化进行高精度捕捉。所有检测工具通过统一数据协议进行接口标准化处理,实现不同检测维度数据

的融合计算与关联分析。工具配置强调现场适配能力与抗干扰性能,在复杂工况下保持稳定采样精度。通过检测手段统一化设计,使故障识别由经验驱动转向数据驱动结构,提高整体检修过程的可控性与一致性。

4 现场处置流程优化方案

4.1 故障快速定位方法路径

ZYJ7 电液转辙机故障快速定位采用多源信息融合与分层递进判断机制,通过电气信号、液压参数及机械响应三类数据同步采集形成初始判断基础。信号层通过动作指令与反馈回路的时序差异识别异常区段,定位电控链路是否存在中断或延迟。液压层依据压力上升速率、峰值稳定性及保压衰减曲线,对执行动力链是否完整进行判别,快速锁定泄漏、堵塞或阀体异常区域。机械层通过行程位移曲线与终端锁闭状态反馈,识别传动结构是否存在卡滞或间隙异常。三层数据通过关联比对形成故障特征矩阵,使异常点在不同维度之间形成交叉验证路径。定位过程中引入时间序列分析模型,对动作全过程进行分段解析,使故障发生节点前移识别成为可能,从而缩短判断路径并提升定位精度。

4.2 分级维修与更换策略实施

分级维修体系基于故障严重程度与影响范围构建三级响应结构,实现维修资源与处理深度的匹配配置。轻度异常主要集中于参数漂移与局部性能衰减,通过调整校准值、清洁接点及补充润滑实现功能恢复。中度故障涉及局部部件失效或性能明显下降,采取模块化拆解方式,对液压阀组、继电单元或传动副进行局部更换与修复处理,以恢复系统基本功能完整性^[4]。重度故障表现为多系统联动失效或结构性损伤,执行整体组件更换与系统重构策略,确保核心执行链路完整恢复。分级过程中引入状态评估量化指标体系,对压力稳定性、信号完整性及机械精度进行综合评分,从而确定维修等级。更换策略强调模块兼容性与标准化接口匹配,使不同批次设备能够实现快速替换与无缝对接,降低现场恢复时间并提升设备可用率。

4.3 检修作业标准步骤固化

检修作业标准化体系通过流程固化与操作节点规范实现全流程一致性控制,将现场检修划分为状态确认、过程执行及结果验证三个连续阶段。状态确认阶段对设备当前运行数据进行完整采集,形成基础诊断依据,并对异常特征进行初步归类。过程执行阶段依据故障类型调用对应作业模板,按照固定顺序完成拆检、清理、调整及装配操作,使各步骤之间形成强制衔接关系,避免操作跳跃导致二次偏差。结果验证阶段通过多参数复测方式对压力响应、动作时序及锁闭精度进行复核,确保恢复状态符合技术标准。整个流程通过标准化作业卡片与数据记录机制进行固化,使每一步操作均具备可追溯性与一致性控制能力。流程设计强调节拍统一与动作闭环,使检修行为从经

验依赖转向规则驱动，提高现场作业稳定性与重复可靠性。

5 工程应用效果反馈机制

5.1 故障响应时间改善表现

工程应用反馈机制通过对故障识别链路 with 处置流程的协同优化，使响应时间结构发生显著压缩。基于多源数据实时采集与快速比对机制，异常状态在初始阶段即可完成分类判定，减少人工逐级排查环节。液压、电控与机械三类信息同步进入诊断模型后，故障定位路径由串行判断转为并行解析，使关键异常节点提前暴露。标准化处置流程对操作顺序进行固化，使现场作业无需重复确认步骤即可进入处理阶段。数据回传机制对每一次动作进行时间戳记录，通过过程可视化实现响应节点优化。整体响应链条由感知、判断到执行形成闭环压缩结构，使故障处理周期明显缩短。

5.2 设备稳定运行能力提升

设备稳定运行能力提升主要体现在液压输出均匀性、电控信号一致性及机械动作重复精度三个维度的协同增强。优化后的压力调节机制减少瞬时波动幅度，使油路输出保持连续稳定状态，降低动作过程中的冲击变化。电控系统通过信号滤波与抗干扰处理，提高指令传输准确率，使动作触发与反馈之间保持一致节拍。机械结构通过间隙控制与磨损补偿调整，使传动

轨迹偏差得到有效抑制，提升锁闭位置稳定性^[9]。多系统联动状态在统一参数基准下运行，使各子系统之间耦合关系更加协调。长期运行过程中性能衰减趋势趋缓，设备在高频作业条件下仍能维持较高可靠性输出。

5.3 检修一致性与可靠性验证

检修一致性验证依托标准化作业流程与数据化记录体系，通过对多批次维修结果进行对比分析，实现操作结果稳定性评估。统一作业标准使拆装步骤、参数调整及检测方法保持一致性，减少人为差异带来的结果波动。可靠性验证通过压力恢复曲线、动作响应时间及锁闭精度等关键指标进行量化评估，形成可对比的数据区间。多次重复检修后的设备性能离散度明显降低，说明标准流程对维修质量具有稳定约束作用。数据追溯机制对每次检修过程进行全链条记录，使异常来源可定位至具体操作节点。通过持续验证与反馈修正，检修体系逐步形成稳定闭环结构，保障设备长期运行状态的一致性与可控性。

6 结语

ZYJ7 电液转辙机检修体系在故障识别、流程规范及参数控制等方面形成结构化优化路径，提升液压、电控与机械系统协同稳定性，强化现场快速响应能力与运行可靠性，推动检修作业由经验模式向标准化与数据化转变，为设备长期安全运行提供稳定支撑。

参考文献：

- [1] 付又新,张艳敏,王树新,等.ZYJ7 型电液转辙机故障处理手册[M].中国铁道出版社:2024.
- [2] 宋哲.一种可提高 ZYJ7 电液转辙机动接点更换效率装置的设计[J].中国机械,2023,(14):23-26.
- [3] 靳文军,郭斐.ZYJ7 型电液转辙机道岔逆序调整方式的研究[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(5):96-100.
- [4] 徐光顺.关于 ZYJ7 型电液转辙机质量控制方法的思考[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(9):107-111.
- [5] 陈泽涛,万燕英.ZYJ7 型电液转辙机单机双点牵引道岔控制电路分析[J].中国科技信息,2020,(23):56-57.