

# 工程机械电气故障诊断技术及维修策略研究

王 珅, 刘旭鹏, 王嘉瑞

(烟台港股份有限公司联通国际件杂货码头分公司, 山东 烟台 264000)

**摘要** 工程机械电气控制系统是工程机械的核心组成部分, 其故障表现多样、结构复杂, 给工程机械电气故障诊断与维修带来巨大挑战。本文主要从工程机械电气故障维修实践出发, 分析电气系统中电源、控制、执行三大子系统的典型构成以及常见故障特征, 并重点剖析电气控制系统中启动异常、动作失灵、信号紊乱等故障问题。以此为基础, 深入分析经验判断、仪器检测、智能辅助的电气故障诊断方法适用场景以及操作要点, 旨在解决工程机械电气故障诊断与维修难题, 明确具体的诊断与维修工作策略, 为提高工程机械电气故障解决效率以提升运行效率和质量提供参考。

**关键词** 工程机械; 电气故障; 故障诊断; 故障分级

**中图分类号**: TH17

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.07.029

## 0 引言

目前, 工程机械电气系统已经融入动力控制、作业逻辑、安全连锁、信息交互等多项核心功能, 这使得工程机械设备整机的运行水平全面提升。工程机械电气系统主要由电源、控制器、传感器、执行器、线束网络等部分组成, 其在运行中存在电压等级多、信号类型杂、工作环境干扰强等特点。如果工程机械电气系统存在故障, 轻则造成设备停机, 重则引发严重安全事故。而工程机械电气系统维修人员在实际工作中面临故障定位难、修复周期长、同类问题反复发生等挑战, 需要结合具体故障问题选择科学合理的故障诊断方法以及维修策略。

## 1 工程机械电气系统结构特点

### 1.1 电源系统特点

工程机械电源系统以柴油发电机为主电源, 辅助使用蓄电池组保证其正常运行。电源系统的工作电压为 12 V 或 24 V 直流低压系统, 其作用是工程机械的控制、照明以及启动; 有些大型工程设备还配置 380 V/220 V 交流系统, 能够满足空调、电焊等辅助设备使用需求。工程机械的电源输出经过配电箱分配到各用电单元, 在系统内设置熔断器、继电器以及电源管理模块保证正常运行。同时, 工程机械的电源系统需要在发动机启停、负载突变等工况条件下保持电压稳定, 并且具备过压、欠压以及短路保护等多样化功能<sup>[1]</sup>。

### 1.2 控制系统特点

工程机械电气控制系统以可编程控制器或专用电子控制单元作为核心, 其需要接收来自操作手柄、传感器、开关等输入信号, 并且经过逻辑运算后输出指令驱动执行元件。控制系统信号主要为数字量、模拟量以及 CAN 总线通讯数据, 其控制逻辑嵌入到程序内实现动作互锁、顺序控制、故障报警等多样化功能。工程机械电气控制系统一般采用分布式架构设计方式, 其主控单元和远程 I/O 模块利用现场总线连接, 能够有效减少设备中线束数量。此外, 工程机械的控制柜安装在驾驶室或设备本体内, 其需要满足防尘、防震、宽温工作要求以降低故障率。

### 1.3 执行元件与线束网络特点

工程机械中电气系统执行元件包含电磁阀、比例阀、接触器、电机以及液压控制器, 其能够直接完成动作输出。电气系统执行元件工作状态受控于控制元件发出的电信号, 其运行时功率较大, 一般需要在中间继电器或功率放大模块中进行驱动。电气系统线束网络连接所有电气部件, 其采用多芯屏蔽电缆按功能分区布线, 并将线路布置在线槽或护套内。而电气系统中接插件需具备防水、防尘的特性, 尤其在长期运行过程中不会发生松动、氧化等缺陷。此外, 电气系统线束走向需避开高温、运动部件以及尖锐边缘, 但长期运行存在磨损、挤压、老化等问题。

**作者简介**: 王珅 (1985-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 工程技术。

## 2 工程机械常见电气故障类型

### 2.1 电源系统故障

工程机械电气故障中电源系统故障发生率较高,其主要表现形式为整机无电、启动困难或电压异常波动。电源故障发生原因如下:蓄电池亏电、极柱腐蚀、电极液干涸;发动机皮带断裂、调节器失效造成充电不足;配电箱内熔断器熔断、继电器触点烧蚀;电源线束磨损、搭铁或短路。工程机械电气系统处于低温条件下,蓄电池极易引发启动失败,而电压不稳定则会造成控制器复位或传感器误报<sup>[2]</sup>。

### 2.2 控制系统故障

控制系统故障多表现为动作失灵、逻辑混乱或显示屏报错。硬件方面包括控制器内部芯片损坏、I/O模块故障、CAN通信中断;软件方面涉及程序丢失、参数错乱或版本不匹配。传感器信号异常(如压力、角度、位置传感器漂移或断线)会向控制器输入错误信息,导致误动作。操作手柄电位器磨损造成信号跳变,引发执行机构抖动。线束破损导致信号串扰或短路,也会扰乱控制逻辑。此类故障往往伴随故障代码,但代码仅指示现象,需结合原理图深入分析根本原因。

### 2.3 执行元件故障

工程机械电气系统执行元件故障造成动作无法完成或性能下降,其表现形式如下:电磁阀线圈烧毁、阀芯卡滞造成液压回路不通;比例阀反馈信号丢失导致流量失控;接触器触点粘连或烧蚀引发电机无法正常启动;电机绕组短路或轴承损坏引发过热停转。工程机械电气系统执行元件运行环境恶劣,其在投入使用中受到高电压、大电流、机械冲击影响引发绝缘老化与连接松动。同时,有些电气故障存在渐进性,如磨损初期只表现为响应迟缓,后期则完全失效<sup>[3]</sup>。

## 3 电气故障诊断技术方法

### 3.1 传统诊断法

在工程机械电气故障诊断领域,传统诊断方法高度依赖维修人员经验积累与基础检测工具。在电机故障诊断过程中,维修人员与操作人员沟通了解故障现象、发生时机以及伴随声响气味,进而初步确定故障发生范围。而后维修人员目视查看线束是否破损、接插件是否松脱、元器件是否有烧焦痕迹,并且辅助使用万用表检测各关键点电压、电阻以及通电。此时检测通电状态下电源电压是否正常,信号线是否有预期电平;断电后检测线路通电以及对地绝缘状态。而在电气故障诊断中采用分段隔离法逐个断开负载或模块,以缩小故障检测区间。针对工程机械电气系统的动作

类故障,其采用手动触发继电器或短接控制信号方式检测执行元件是否存在故障。该检测方法具备适用广、成本低等特性,尤其针对复杂、间歇性故障诊断效率较低,对于维修人员的专业技能要求极高<sup>[4]</sup>。

### 3.2 仪器辅助诊断

工程机械电气故障诊断使用仪器辅助检测方式,其能够提高电气故障检测的精度以及效率。在电气故障检测中,使用示波器观测传感器或控制信号波形,能够精准识别噪声干扰、信号畸变或频率异常,其一般应用在模拟量与PWM信号分析时。CAN分析仪接入电气系统的总线读取通信报文,能够检查电气系统节点是否在线、数据是否更新、是否存在错误帧,进而快速确定网络层故障。绝缘电阻仪检测电气系统中高压线路或电机绕组绝缘,能够有效防止发生漏电风险。钳形电流表非接触测量电流大小,能够判定其负载是否过载或开路。故障诊断仪利用OBD接口读取控制器存储的故障码以及实时数据流(油门开度、液压压力、电机转速等),以辅助判断传感器或执行器的工作状态。使用前需熟悉仪器操作规范,选择合适量程与探头。测试时注意安全,避免短路或反接。仪器数据需结合系统原理解读,单一参数异常未必是故障根源。例如:某传感器信号漂移,可能是其自身损坏,也可能是供电不稳或参考地不良所致。仪器诊断应作为传统方法的补充,而非替代<sup>[5]</sup>。

### 3.3 智能诊断技术

工程机械电气故障采用智能诊断技术具备较高先进性,其利用数据驱动与算法模型进行电气系统故障的预测与识别。在工程机械电气系统中安装数据采集终端,能够及时获取设备运行中电压、电流、温度、振动、控制信号等多维参数以形成运行数据库。而在数据获取之后,利用机器学习算法对历史故障样本进行训练,从而构建故障分类模型。如果设备运行中新数据输入,则利用模型自动输出故障类型以及置信度。有些智能诊断技术采用深度学习处理时序信号,能够精准识别早期微弱异常。智能诊断技术应用中构建远程监控平台,其能够实现多台设备故障数据聚类分析以发现共性缺陷,并且结合数字孪生技术在虚拟模型内复现故障,以帮助维修人员制定适宜维修策略。该技术需大量高质量数据支撑,初期投入较高。模型需定期用新故障案例更新,避免过时。目前多用于高端或大型设备,对中小机型仍以规则库为主。实际应用中,智能系统通常给出预警与建议,最终判断仍需人工确认。其价值在于将被动维修转为主动干预,减少突发停机。

## 4 维修策略制定与实施

### 4.1 故障分级

工程机械电气故障诊断过程中,需结合电气故障对安全生产、成本影响程度划分为三级:一级故障指危及人身或设备安全的隐患,其主要为主电源短路、制动控制失效、高压漏电等类型,需要及时停机处理。二级故障造成工程机械功能丧失或效率严重下降(行走无动作、挖掘无力、关键传感器失效等),需要在当日或次日组织维修以防影响工期。三级故障指的是不影响工程机械作业的轻微异常(照明不亮、空调失灵、非关键报警等),将这些故障作为非计划性维护内容在定期保养时一并处理。工程机械电气故障分级标准需结合不同机型以及工况确定,并明确各类故障响应时限以及处置权限。

### 4.2 预防性维护措施

工程机械的预防性维护措施制定能够提前发现隐患,防止工程机械发生突发性故障。针对预防性维护策略制定定期检修计划,具体为下述内容:清洁控制柜内灰尘、紧固接线端子,并且检查电气系统线束固定是否牢固;检测工程机械蓄电池电压与内阻,清理极柱氧化物;校验传感器零点与量程保证信号传输准确;检查继电器、接触器触点磨损情况,如有必要进行设备更换;更换控制器软件至最新稳定版本。在工程机械维护过程中,针对季节转换或高负荷作业前组织专项维护,如雨季前检查全车绝缘、冬季前检查加热元件等。针对工程机械管理需建设设备健康档案,记录每次维护数据以及更换部件,并且分析工程机械电气系统的劣化趋势。

### 4.3 快速修复与备件管理策略

工程机械电气故障的快速修复需根据标准化流程进行,并且准备充足备件以提高检修效率。对于工程机械电气系统常见故障需要编制《电气故障应急处置卡》,其明确诊断步骤、所需工具以及替换件号,并且张贴在驾驶室或维修间。同时,针对工程机械电气故障维修,采用模块化更换方式将易损单元设计为快插式以便缩短拆装时间。建立两级备件库存:现场维修车携带高频消耗件(保险丝、继电器、传感器);项目部仓库储备核心组件(控制器、电机、阀组)。备件管理采用 ABC 分类法,A 类高价值关键件少量储备,B 类常用件适量储备,C 类低值易耗件批量采购。引入条码或 RFID 技术跟踪备件出入库与安装位置,实现全生命周期追溯。与供应商签订快速响应协议,对缺货件承诺 24~48 小时到货。修复后需进行功能测试与

参数校准,确保系统恢复正常。记录每次修复时间与成本,用于优化备件清单与维修方案。

### 4.4 安全操作规范与防二次损伤要点

工程机械电气维修需严格遵循安全规程,以免在维修过程中引发人员伤害及设备二次损坏。在工程机械电气系统检修前切断整机电源,拔下启动钥匙、断开蓄电池负极,并悬挂“禁止合闸”警示牌。而设备中高压系统需验电确认无电后再进行操作,并且维修过程使用绝缘工具、穿戴防护手套与眼镜。在机械检修时禁止带电插拔控制模块或传感器接插件,防止静电或浪涌击穿芯片。在工程机械电气系统测量时选择合适量程的测量工具,禁止电流档测电压。而在工程机械电气系统元件更换前,重点核对型号参数以及接线顺序,防止错装而引发严重故障。工程机械电气系统线束拆装前标记对应关系,防止恢复时存在接错现象。对于 CAN 总线等通信线路禁止随意剪切,必须使用专用接线端子压接。在工程机械电气系统维修结束后,检查是否遗留工具、短接线路或松动接头,并且每项操作有两人协同,一人操作、一人监护以达到安全性要求。

## 5 结束语

工程机械电气故障的特点是隐蔽性与多样性,采用单一诊断方法无法覆盖所有的故障情况。维修人员需采用经验判断、仪器检测、智能分析等手段形成互补诊断方式,并对工程机械电气故障进行合理分级,统筹安排预防性检查、快速修复以及安全操作方式,确保工程机械电气系统正常运行。此外,在信息时代背景下,想要更进一步提升工程机械电气故障的诊断效率,确保电气故障维修更加稳定,就要积极引入数字化、智能化等诊断技术,确保工程机械电气故障得到及时排除,以保证工程机械电气设备安全稳定地运行。

## 参考文献:

- [1] 毕延军.智能化技术在电气控制设置及电气故障诊断中的应用探讨[J].世界有色金属,2024(10):29-31.
- [2] 韩意.电力设备故障诊断与预测技术研究[J].家电维修,2024(08):98-100.
- [3] 陈刚.电气自动化设备故障诊断与预测维护技术发展探究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):93-95.
- [4] 袁瑞.智能化技术在电气工程故障中的诊断研究[J].塑料包装,2025,35(06):124-126.
- [5] 付天昊.电气工程中现代制造设备的维护与故障诊断[J].电气技术与经济,2025(08):140-144.