

铁路电力箱式变电站运行维护难点与对策

皇甫晓婷

中国铁路郑州局集团有限公司新乡供电段 新乡 453000

【摘要】：铁路电力箱变是铁路供电系统核心设备，运行状态直接保障行车安全。沿线在用箱变多为传统非模块化结构，户外复杂工况下易出现各类运维问题。文章梳理现场运维两大核心难点，箱体密封防腐失效、凝露积水多发形成防护隐患，高低压一次设备排查繁琐、检修耗时造成作业短板。环境工况、设备结构、运维模式及人员因素都会影响运维质量。箱体防护升级、模块化改造、智能巡检、规范检修等优化方式，可改善现有运维问题，压缩故障处理时长，减少设备故障发生，为铁路箱变常态化运维提供有效技术与实践支撑。

【关键词】：铁路电力；箱变设备；运行维护；模块化改造；故障检修

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.016

引言

电力箱变是铁路供电网络重要终端设备，沿铁路全线布设，负责行车、信号及配套设施的供电保障，运行状态直接影响铁路运输安全。国内铁路途经山区、隧道、沿海等复杂地域，设备常年承受高湿、盐雾、温差变化与机械振动等恶劣环境影响。传统整体非模块化箱体，防护性能与运维条件存在先天不足。人工巡检、整机检修的作业方式效率有限，人员能力与备件管理的不足，会引发箱体腐蚀、电路异常等各类设备故障，故障复发、停电检修耗时久，影响铁路供电稳定性。本文结合铁路箱变运维现存问题及成因，制定对应优化方案，提升现场运维的规范程度与作业效率。

1 铁路电力箱变现场运行维护核心难点

1.1 户外箱体密封与防腐防护运维难点

铁路沿线露天箱变采用整体焊接箱体，未设置模块化防护，密封防腐运维存在缺陷。设备长期露天放置，紫外线老化密封条，顶盖防水破损导致雨水渗入，柜内积水、构件锈蚀，引发低压回路间歇性跳闸^[1]。箱体线缆孔由防火泥简易封堵，温差作用下材料开裂脱落，隧道湿气与沿海盐雾侵入柜内，加重设备锈蚀。人工巡检只能排查表面问题，内部凝露积水不易察觉，设备通常告警后才得以处理。箱体无断桥保温及双层密封构造，山区温差环境易产生凝露，加快元器件腐蚀老化。箱体故障需整体拆解检修，高空作业繁琐耗时，检测缺少统一标准，故障反复出现，户外防腐受天气限制，整体运维难度偏高。

1.2 高低压一次设备故障排查处置难点

传统箱变为一体集成结构，高低压设备及变压器整体固定，无独立拆分单元，设备排查与检修作业存在较大阻碍。高铁区间曾发生高压环网柜 SF6 气体泄漏故障，运维人员需拆卸顶盖、挪动低压柜体方可检测气密，故障定位耗时超四小时。

低压柜布线杂乱无分区，无独立功能模块，单回路元件故障需拆解整柜二次配线，大量线缆缺乏统一标识，人工核查易出现错检、漏检情况。变压器采用整体吊装固定，绕组绝缘受潮检修需大型设备，偏远区段不具备作业条件，仅靠应急电源保通，单次停电时长可达半日。设备缺少标准化检修模块，备件需整机储备，各批次设备尺寸、孔位存在差异，备件无法通用，进一步拉长检修停电时长（见图1）。

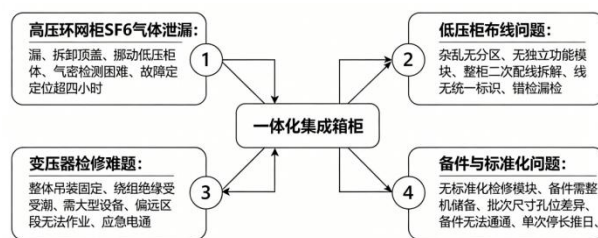


图1 一次设备故障排查处置难点

2 铁路箱变运维难点成因深度剖析

2.1 铁路沿线恶劣工况环境客观影响

铁路穿越山区、隧道、沿海等复杂地形，箱变每三公里布设一台，点位分散、交通不便，现场运维基础条件较差。隧道高湿积水、沿海盐雾会侵蚀设备外壳，高原及北方线路昼夜温差极大，恶劣环境破坏箱体密封、防腐涂层与绝缘结构，滋生渗漏、腐蚀、凝露等故障。检修工作多为露天作业，天气变化可直接中止施工。列车运行产生的振动易导致柜体螺栓、接线端子松动，高压设备电磁干扰会影响 RTU 弱电回路稳定运行。设备分散布局延长巡检周期，细小隐患得不到及时处理，最终演变为威胁铁路供电与行车安全的重大问题。

2.2 传统非模块化设备结构先天缺陷

传统箱变结构设计存在先天不足，箱体整体焊接成型，构

件无法单独拆分,局部密封破损或锈蚀只能整体拆解箱体,检修作业难度大幅提升。低压柜未按功能分区布设,元件集中安装、配线无序,单回路故障即需拆解整柜二次配线。二次线束依靠现场手工制作,无统一预留标准,线缆标识不完善,现场布线作业存在局限^[2]。高低压设备与变压器整体固定安装,故障部件无法单独更换,设备接口不统一,不同厂家设备结构无法互通,备件通用性较低。RTU与低压柜未做物理隔离,一二次线缆混杂布设,缺少电磁屏蔽设计,整体模块化程度不足,存在运维繁琐、检修周期较长的结构性问题。

2.3 传统运维作业模式与人员能力短板

箱变运维普遍采用传统人工现场作业,未形成模块化、智能运维体系,核心设备参数无法远程监测,设备隐患依靠人工经验判断,巡检质量与作业效率存在短板。运维人员技能划分模糊,多数仅掌握基础外观检查,对RTU维修、线束压接、模块拆装等专项工艺掌握不足,设备复杂故障需专人到场处理,人力调配效率不足。现场缺少专用检修工装与快速作业规范,设备拆解吊装流程繁琐。运维资料仅有纸质图纸,缺少三维结构与线束资料,故障排查进度受限。备件以整机储备为主,未实行模块化分类管理,仓储成本高、备件调取缓慢,各类运维条件难以适配现代检修要求。

3 铁路电力箱变运维优化解决对策

3.1 箱体结构防护升级与常态化巡检对策

推行箱变壳体模块化升级改造,拆分顶盖、框架、门板为独立更换单元,更换为人字顶保温顶盖与双层断桥密封门板,加装双U型密封胶条,设备整体防护等级可提升至IP54。柜体拼接位置采用螺栓锁接搭配防雨沿结构,线缆孔洞运用胶泥、密封胶、波纹管三重封堵工艺,阻断水汽与盐雾进入柜体的路径。结合线路工况落实差异化巡检模式,沿海区段定期开展密封状态、壳体锈蚀专项检测,山区隧道区段常态化监测柜

内温湿度数据,借助专用工装校验防水密封性能,搭建电子化隐患台账。柜体内部加装温湿度采集设备与防潮呼吸阀,可对凝露隐患实现远程预警管控。优化现场防腐修缮流程,提前完成防腐模块预制,现场仅开展组装作业,缩减露天施工时长。结构升级与精准巡检相互配合,可有效解决箱体防护类运维难题。

3.2 一次设备模块化预控检修优化对策

箱变设备可实施模块化拆分改造,高低压室与变压器室可改造为标准化独立功能单元,低压柜按工作类型划分进线、出线、控制等规范模块。设备整体在工厂完成预装配作业后运送至现场拼装,单回路出现异常时可直接替换对应功能模块,不用拆解整柜配线,检修效率能够提升七成以上^[3]。高压环网柜与变压器设置为独立吊装单元,统一设备底座安装孔位,故障设备可单独吊出更替,无需拆卸柜体其余结构。偏远作业区间可投入模块化应急设备,有效压缩停电时长。检修工作可依托模块化预检修体系开展,结合设备单元运行周期制定分级检修方案,常态化完成气密性检测、端子状态核查等基础工作。仓储管理模式同步优化,依照标准化单元分类储备备件,实现全线设备备件互通适配,搭配专属拆装工具解决狭小空间检测难题,简化一次设备故障处置流程。

4 结语

本文聚焦铁路箱变现场运维现存问题,归纳箱体防护、一次设备检修两大核心难题,总结环境工况、设备结构、运维体系关键诱因。箱体防腐密封升级、设备模块化改造、智能巡检监测搭建及规范检修与备件管理,可改善传统箱变故障多发、隐患难查、运维低效的问题。模块标准化与智能运维模式,可缩短检修时长、降低故障复发概率,适配铁路复杂工况长期运行条件。依托智能技术升级与全周期运维体系完善,可持续稳固铁路电力供电安全保障。

参考文献:

- [1] 李继军.铁路电力远动箱变监控系统的优化设计与应用[J].电子元器件与信息技术,2024,8(6):28-30.
- [2] 张自学,刘奎,乔会超,等.高速铁路电力远动箱变辅助系统研究[J].交通科技与管理,2024,5(11):5-8.
- [3] 张晓婷,赵玉华,杨大鹏,等.铁路电力远动箱式变电站模块化设计应用[J].今日制造与升级,2024,(2):27-30.