

铁路通信电源系统故障特征与维护对策

魏 亮

中国铁路济南局集团有限公司济南通信段 山东 济南 250000

【摘要】：铁路通信电源系统是铁路通信网络稳定运行的核心支撑，其故障会直接影响铁路运输安全与效率，明确故障特征并制定科学维护对策是保障系统可靠运行的关键。系统故障呈现多样性、关联性 & 隐蔽性特征，主要表现为 UPS 异常告警、直流电源中断、电源模块过热、电压波动超标等，多由设备老化、环境干扰、维护不当及负载异常等因素引发。针对上述特征，需构建全流程维护体系，通过构建智能化监控系统实现故障实时预警，定期开展设备巡检与参数校准，优化电源配置并强化应急处置能力，加强维护人员专业培训，以此降低故障发生率，缩短故障处置时间，保障铁路通信电源系统持续、稳定、安全运行，为铁路通信业务有序开展提供坚实保障。

【关键词】：铁路通信电源系统；故障特征；维护对策；UPS 设备；电源模块

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.046

引用

铁路通信系统是保障铁路运输调度、行车安全及旅客服务的关键枢纽，而通信电源系统作为其能量供给核心，直接决定通信网络的稳定性与连续性。随着铁路运输向高速化、智能化升级，通信设备负载日益复杂，电源系统故障引发的通信中断风险大幅提升，不仅影响运输效率，更可能埋下安全隐患。明确系统故障特征、完善维护体系已成为当前铁路通信保障工作的迫切需求，基于此，结合现有实践，深入分析故障表现与成因，探索科学高效的维护路径，为铁路通信电源系统安全稳定运行提供支撑。

1 铁路通信电源系统故障特征及成因分析

1.1 故障的多样性特征及成因

铁路通信电源系统故障的多样性体现在故障表现形式、发生部位及影响范围的差异化，其成因与系统组成复杂性、设备运行环境多样性密切相关^[1]。系统涵盖 UPS 电源、直流配电屏、蓄电池组、电源模块等多个核心部件，不同部件的故障表现存在显著差异，既可能出现 UPS 设备无法正常逆变、输出电压异常的问题，也可能发生蓄电池鼓包、漏液导致的供电中断，还可能出现配电屏接线松动引发的接触不良、信号干扰等现象。这种多样性的形成，一方面是由于不同部件的工作原理、材质特性存在差异，受损耗的方式和速度各不相同，例如蓄电池主要受充放电循环影响，而电源模块则易受电压冲击、散热条件影响；另一方面，铁路通信电源系统需适配不同区域、不同类型的通信设备，负载需求的差异导致系统运行参数需灵活调整，一旦参数匹配不当，就可能引发各类针对性故障，同时户外、隧道、车站等不同安装环境的温湿度、粉尘、电磁干扰等条件差异，也会加剧故障表现的多样性。

1.2 故障的关联性特征及成因

铁路通信电源系统各部件之间通过电路、信号链路紧密连接，形成相互依存的运行体系，故障呈现明显的关联性，即某

一部件的故障若未及时处置，会快速传导至其他部件，引发连锁反应^[2]。例如，蓄电池组出现容量衰减或单体损坏时，会导致直流电源输出电压不稳定，进而影响 UPS 电源的逆变效率，使 UPS 频繁出现告警，严重时会导致 UPS 切换至旁路供电，若旁路供电线路存在隐患，会进一步引发整个通信电源系统的瘫痪。故障关联性的核心成因在于系统的整体性设计，各部件的运行状态相互影响、相互制约，某一环节出现短板就会打破系统的平衡运行状态。此外，系统布线不合理、接口接触不良等问题，会加剧故障的传导速度，部分设备老化后未及时更换，其性能下降会间接增加其他正常部件的运行负荷，长期超负荷运行会导致相关部件相继出现故障，形成恶性循环，扩大故障影响范围。

1.3 故障的隐蔽性特征及成因

铁路通信电源系统的故障隐蔽性主要表现为部分故障初期无明显外在告警信号，难以通过常规巡检及时发现，往往在故障扩大、影响通信业务后才被察觉，给故障处置带来较大难度。这种隐蔽性主要源于两个方面，一是部分核心部件的内部损耗无法通过肉眼直接观察，例如蓄电池内部极板硫化、电源模块内部电容老化等，初期不会影响系统正常供电，仅表现为性能轻微下降，常规巡检难以捕捉到异常；二是系统运行过程中，部分故障受环境因素、负载波动等影响，呈现间歇性发作特征，例如在高温、低温等极端环境下，故障才会显现，正常环境下则恢复正常，导致故障排查时难以复现故障现象，增加了定位故障根源的难度。同时，部分故障的外在表现与其他故障相似，例如电压波动既可能由电源模块故障引发，也可能由负载异常导致，若未进行专业检测，易出现误判，进一步掩盖故障本质，延误故障处置时机。

1.4 故障的突发性特征及成因

铁路通信电源系统故障的突发性表现为部分故障无明显前兆，在短时间内突然发生，直接导致系统供电中断或性能大

幅下降,对铁路通信业务造成突发影响。突发性故障的成因主要包括外部环境突变、设备突发损坏及人为操作失误等。外部环境方面,雷电、暴雨、台风等极端天气可能导致供电线路雷击、短路,进而引发电源系统故障;电网电压突然骤升、骤降,也会瞬间损坏电源模块、UPS等核心设备。设备自身方面,部分关键部件因材质缺陷、制造工艺问题,在长期运行中可能出现突发损坏,例如UPS逆变器突发故障、蓄电池突发漏液等,这类故障难以提前预判^[3]。此外,系统维护过程中的操作不当,例如误碰接线端子、误设置运行参数等,会直接引发故障突发,同时部分设备长期处于高负荷运行状态,未得到有效休息和维护,也会导致部件突发性能崩溃,引发电源系统故障。

2 应对铁路通信电源系统故障的针对性维护对策

2.1 针对故障多样性的分类维护对策

针对铁路通信电源系统故障的多样性特征,需结合不同故障类型、不同部件特性,实施分类化维护,实现精准防控。结合系统各核心部件的故障表现与损耗规律,建立分类维护台账,对UPS电源、蓄电池组、直流配电屏、电源模块等部件分别制定专属维护标准。对于UPS电源,重点关注逆变模块、旁路线路的运行状态,定期清理设备内部灰尘,检查散热风扇运行情况,避免因散热不良引发逆变异常,同时定期检测输出电压、频率等参数,确保与通信设备负载需求匹配。对于蓄电池组,重点做好充放电管理,避免过度充放电导致极板硫化、鼓包,定期检查蓄电池外观有无漏液、破损,及时更换性能衰减的单体电池,确保电池组整体容量稳定。对于配电屏和电源模块,定期检查接线端子紧固情况,排查接触不良隐患,清理接线处粉尘,避免电磁干扰引发信号异常,同时根据不同安装环境的差异,优化设备防护措施,户外设备重点做好防雨、防尘、防雷防护,隧道内设备重点控制温湿度,从源头减少各类差异化故障的发生。

2.2 针对故障关联性的联动防控对策

应对故障关联性引发的连锁反应,需构建全系统联动防控体系,打破单一部件维护的局限,实现各环节的协同管控。建立部件联动监测机制,将UPS电源、蓄电池组、电源模块等核心部件的运行数据进行整合,实现一处异常、全域预警,当某一部件出现性能下降或故障前兆时,及时排查关联部件的运行状态,提前采取防控措施,避免故障传导扩散。优化系统布线设计,规范接口连接标准,减少因布线不合理、接口接触不良导致的故障传导,定期对线路进行巡检,排查线路老化、破损等隐患,及时更换受损线路,确保电路、信号链路的畅通。建立故障处置联动机制,明确各类故障的处置流程和责任分工,当发生故障时,同步排查关联部件的影响,统筹开展处置工作,避免单一处置导致故障反复或扩大,同时加强维护环节的协同配合,实现巡检、检测、维修、更换等工作的无缝衔接,形成

全流程联动防控格局,打破故障传导的恶性循环。

2.3 针对故障隐蔽性的精准排查对策

破解故障隐蔽性带来的排查难题,需结合隐蔽性故障的形成特点,构建“日常巡检+专业检测+智能预警”的三级排查体系,实现故障早发现、早定位、早处置。日常巡检中,除常规外观检查外,重点关注设备运行的细微异常,如设备运行噪声、温度变化、指示灯状态等,通过感官判断捕捉隐蔽故障前兆,同时记录设备运行参数的细微波动,建立参数变化台账,通过对比分析发现潜在故障。引入专业检测设备,定期对核心部件进行深度检测,如采用专业仪器检测蓄电池内部极板状态、电源模块内部电容性能,排查肉眼无法观察的内部损耗,精准定位故障根源^[4]。构建智能化预警系统,整合设备运行数据,设置异常参数阈值,当设备运行参数超出阈值或出现异常波动时,自动发出预警信号,同时结合历史故障数据,通过数据分析预判隐蔽故障的发生趋势,提前采取针对性防控措施,减少隐蔽故障扩大引发的通信中断风险,降低故障排查难度。

2.4 针对故障突发性的应急处置对策

应对故障突发性特征,需完善应急处置体系,提升快速响应和应急处置能力,最大限度降低突发故障的影响。制定完善的应急处置预案,针对雷电、电网波动、设备突发损坏等不同类型的突发故障,明确处置流程、技术措施和应急物资,确保突发故障发生时能够快速启动预案,有序开展处置工作。配备充足的应急物资,包括备用UPS电源、蓄电池、电源模块、接线端子等,定期检查应急物资的完好性,确保能够及时替换故障部件,缩短故障处置时间。加强应急演练,模拟各类突发故障场景,提升故障处置人员的应急操作能力,熟练掌握故障排查、部件更换、系统恢复等关键流程,确保突发故障发生时能够快速响应、高效处置。同时,优化电网接入方式,配备防雷、防电压波动设备,减少外部环境突变引发的突发故障,定期对设备进行负荷检测,避免设备长期高负荷运行,从源头降低设备突发损坏的概率,提升系统应对突发故障的韧性。

3 铁路通信电源系统维护工作的实践总结

3.1 维护工作的实践成效总结

铁路通信电源系统维护工作的实践开展,有效破解了各类故障防控难题,逐步降低了故障发生频次,提升了系统运行的稳定性与可靠性,为铁路通信业务的有序开展提供了坚实保障。通过分类维护、联动防控、精准排查及应急处置等对策的落地实施,故障多样性引发的差异化问题得到有效管控,不同部件的故障发生率均有明显下降,UPS电源、蓄电池组等核心部件的运行寿命得到延长,各类隐蔽性故障能够提前发现、及时处置,避免了故障扩大引发的通信中断。联动防控体系的构建,有效遏制了故障关联性带来的连锁反应,减少了故障传导扩散的概率,打破了故障引发的恶性循环,系统整体运行稳定

性显著提升。精准排查与应急处置能力的提升，有效应对了故障隐蔽性与突发性带来的挑战，故障处置时间大幅缩短，突发故障造成的影响得到有效控制，最大限度地降低了对铁路运输调度、行车安全及旅客服务的干扰，切实发挥了维护工作的防控效能，验证了各项维护对策的科学性与可行性。

3.2 维护工作中的核心实践要点总结

维护工作的有序推进，需牢牢把握核心实践要点，依托标准化流程与精细化操作，确保维护工作落地见效，避免形式化维护。在分类维护实践中，核心要点在于结合各部件特性制定专属维护标准，建立完善的维护台账，实现维护工作的可追溯、可核查，同时根据设备运行状态与环境变化，动态优化维护标准，确保维护措施与故障防控需求精准匹配^[5]。联动防控实践中，核心是搭建全系统联动监测机制，实现各部件运行数据的整合共享，强化维护各环节的协同配合，避免单一部件维护与系统整体维护脱节。精准排查实践中，关键在于构建“日常巡检+专业检测+智能预警”的三级体系，注重细微异常的捕捉与分析，借助专业设备实现隐蔽故障的精准定位，避免误判与漏判。

3.3 维护工作中存在的实践问题总结

在铁路通信电源系统维护工作的实践推进中，尽管取得了显著成效，但仍存在部分亟待解决的问题，影响维护工作的进一步提升。维护体系的精细化程度仍有不足，部分区域的维护工作存在同质化现象，未充分结合当地环境特点、设备运行现状优化维护措施，导致部分维护工作针对性不强，难以彻底解决区域特异性故障。智能维护技术的应用不够全面，部分偏远区域的通信电源系统仍依赖传统人工巡检，智能化预警设备配备不足，隐蔽性故障的排查效率仍有待提升。维护资源配置不够均衡，部分重点车站的维护设备、物资配备充足，而偏远站

点的维护资源相对匮乏，导致维护工作推进不均衡，难以实现全区域、全设备的精准维护。

3.4 维护工作的优化改进方向总结

结合维护工作的实践成效与现存问题，需明确优化改进方向，持续完善维护体系，提升维护工作的科学性与长效性。需进一步深化分类维护，结合不同区域、不同设备的运行特点，细化维护标准，避免同质化维护，增强维护措施的针对性与可操作性。加大智能维护技术的应用力度，逐步实现偏远区域、核心部件的智能化监测，搭建全覆盖的智能预警平台，整合设备运行数据，通过数据分析实现故障精准预判与高效排查，提升维护工作的智能化水平。优化维护资源配置，统筹调配维护设备、物资与人力，向偏远站点倾斜，确保全区域维护工作均衡推进，避免维护资源分配不均导致的故障防控漏洞。完善维护流程管理，加强各环节的衔接配合，建立故障处置后的复盘机制，总结故障成因与处置经验，优化维护对策。

4 结语

铁路通信电源系统的稳定运行是铁路通信网络安全、高效运转的核心保障，其故障特征具有多样性、关联性、隐蔽性和突发性，成因与设备自身、环境因素、维护操作等密切相关。通过针对性构建分类维护、联动防控、精准排查、应急处置等对策，有效破解了故障防控难题，提升了系统运行可靠性，积累了丰富的实践经验，同时也明确了维护工作中存在的精细化不足、智能技术应用不全面等问题。基于现有实践成效与现存短板，需持续深化维护体系优化，细化维护标准，加大智能技术应用力度，均衡配置维护资源，完善流程衔接，推动维护工作向精准化、智能化、长效化转型。依托技术升级与管理优化，不断提升系统故障防控能力，持续保障铁路通信电源系统稳定运行，为铁路运输高质量发展筑牢通信保障根基。

参考文献：

- [1] 殷博,李凌志.磷酸铁锂电池在铁路 48 V 通信电源中的应用分析[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(04):64-70.
- [2] DLZT-1 型铁路通信信号智能磷酸铁锂后备电源系统[J].哈尔滨铁道科技,2024,(04):32.
- [3] 赵丽琴,李国庆,李秀聪.铁路智能信号电源系统监测单元研究[J].设备管理与维修,2024,(04):99-102.
- [4] 周明,张硕,詹秀峰,等.高速铁路通信基站一体化电源系统方案研究[J].铁道建筑技术,2022,(12):178-182.
- [5] 王国丽.铁路通信电源系统设计常见问题及对策分析[J].运输经理世界,2022,(21):153-155.