

高速公路电气设备运行维护与故障预防研究

罗国机

广东 佛山 528226

DOI:10.61369/EPTSM.2025080003

摘 要： 本文介绍了高速公路电气设备，包括其构成、运行特殊性、面临的威胁、故障因素等。阐述了预防性试验体系、红外热成像等技术应用，强调构建维护体系、实时监控系统、智能诊断技术的重要性，还提及全生命周期管理及未来发展方向。

关 键 词： 高速公路；电气设备；维护管理

Research on Operation and Maintenance of High-speed Railway Electrical Equipment and Fault Prevention

Luo Guoji

Foshan, Guangdong 528226

Abstract： This article introduces the electrical equipment of expressways, including its composition, operational characteristics, threats, and fault factors. It discusses the application of preventive testing systems and infrared thermal imaging technology, emphasizing the importance of establishing maintenance systems, real-time monitoring systems, and intelligent diagnostic technologies. The article also touches on full lifecycle management and future development directions.

Keywords： expressway; electrical equipment; maintenance management

引言

随着交通运输行业的快速发展，高速公路的安全与畅通愈发重要。2019年颁布的《交通强国建设纲要》强调了提升交通基础设施质量和安全水平的重要性。高速公路电气设备作为保障高速公路正常运营的关键部分，其供电系统、照明设备和监控系统等协同工作。然而，这些设备面临着雷击、温湿度异常等自然威胁，以及操作不规范、维护方案不当等人为因素的影响。因此，构建完善的预防性维护体系、采用先进的诊断技术以及建立综合预警指标体系等对保障设备稳定运行至关重要，这也是符合政策导向，提升高速公路基础设施质量和安全水平的必然要求。

一、高速公路电气设备运行特征分析

（一）主要电气设备构成及功能

高速公路电气设备主要包括供电系统、照明设备和监控系统。供电系统为其他设备提供稳定电力，其构成有变电站、配电室等，变电站将高压电转换为合适电压，配电室负责分配电能^[1]。照明设备保障高速公路在不同时段的可视性，分为路灯、隧道灯等，路灯沿道路设置提供基本照明，隧道灯则根据隧道环境特殊设计，满足安全通行需求。监控系统用于实时监测高速公路状况，由摄像头、传感器等组成，摄像头采集图像信息，传感器检测交通流量、气象等数据，各部分协同工作，实现对高速公路的全面监控，为交通管理提供依据。

（二）设备运行特殊性研究

高速公路电气设备运行具有诸多特殊性。其采用24小时不间断运行模式，这对设备的稳定性和可靠性要求极高，任何短暂

的故障都可能影响高速公路的正常运营^[2]。设备地理分布具有广域性特点，覆盖范围大，这增加了维护的难度和成本，需要更高效的维护管理策略。同时，电气设备需具备一定的极端天气承受能力，如高温、低温、暴雨、大风等天气条件下仍能正常运行。这些特性对设备维护提出了特殊要求，例如需要建立实时监测系统，及时发现潜在故障；加强维护人员的培训，提高其应对复杂情况的能力；优化备件管理，确保在设备出现故障能快速更换备件等。

二、典型故障类型及成因研究

（一）自然因素引发故障

雷击是高速公路电气设备面临的重要自然威胁之一。雷击产生的过电压可能会击穿电气设备的绝缘层，导致绝缘老化加速，甚至直接造成短路故障，影响设备正常运行^[3]。温湿度异常也会

带来诸多问题，过高的温度可能使设备散热困难，加速元件老化，降低绝缘性能；过低的温度则可能使一些材料变脆，影响机械性能。湿度异常，尤其是湿度过高时，容易在设备表面形成凝露，这会降低绝缘电阻，引发漏电、短路等故障。此外，在寒冷地区，凝露可能结冰，体积膨胀对设备造成物理损坏，进一步影响其正常运行^[9]。

（二）人为因素导致故障

操作流程不规范是导致电气设备故障的重要人为因素之一。例如，在接触器操作过程中，如果操作人员未按照标准流程进行合闸与分闸操作，可能会导致接触器触头磨损加剧，进而引发烧毁故障^[4]。维护方案不当也会对设备产生不良影响。不合理的维护周期设定，可能使设备长期处于缺乏维护的状态，积累的灰尘、湿气等可能会影响继保装置的性能，导致误动作。同时，维护人员如果缺乏专业知识和技能，在对设备进行维护时可能无法准确判断设备的运行状况，不能及时发现潜在问题并采取有效措施，从而增加设备故障发生的概率。

三、设备检测与故障诊断技术

（一）传统检测方法应用

1. 预防性试验体系

高速公路电气设备的预防性试验体系至关重要。应建立包含接地电阻测试、绝缘电阻检测、开关机械特性试验等项目的预防性试验规程^[9]。接地电阻测试可确保设备接地良好，避免因接地不良引发安全事故。绝缘电阻检测能及时发现设备绝缘性能的下降，预防绝缘击穿故障。开关机械特性试验对于保证开关的正常操作和可靠性具有关键作用。通过这些试验项目的综合实施，可以全面了解设备的运行状况，提前发现潜在故障隐患，为设备的安全稳定运行提供有力保障，降低故障发生的概率，提高高速公路电气系统的可靠性和稳定性。

2. 红外热成像诊断技术

红外热成像诊断技术在高速公路电气设备维护中具有重要应用。通过对电缆接头、配电柜母线排等关键部位进行检测，可实现温升异常预警诊断。该技术基于物体的红外辐射特性，能够非接触式地获取设备表面的温度分布情况⁶。当设备出现故障或异常时，往往伴随着温度的变化，红外热成像技术能够敏锐地捕捉到这些温度差异，从而为维护人员提供直观的故障信息。这有助于及时发现潜在的安全隐患，避免故障进一步扩大，保障高速公路电气设备的稳定运行。

（二）智能诊断技术发展

1. 物联网远程监测系统

构建基于无线传感网络的设备状态实时监控系統，实现电流、电压等运行参数的云端传输与分析。通过在电气设备上安装无线传感器节点，可实时采集设备的运行数据，如电流强度、电压大小等关键参数^[7]。这些传感器节点将采集到的数据通过无线通信方式传输到汇聚节点，再由汇聚节点将数据发送到云端服务器。在云端，利用数据分析算法对传输来的大量数据进行处理和

分析，从而实现对设备运行状态的实时监测和评估。通过这种方式，可以及时发现设备潜在的故障隐患，为故障预防和维护决策提供有力支持。

2. 大数据故障预测模型

随着信息技术的发展，智能诊断技术在设备故障预测中得到了广泛应用。其中，利用机器学习算法对设备历史运行数据进行分析是关键步骤。通过挖掘数据中的特征，能够发现设备运行状态的变化规律^[8]。在此基础上，建立设备劣化趋势预测模型。该模型可以根据历史数据预测设备未来的运行状态，提前发现潜在故障。例如，对于高速公路电气设备，可通过分析其长期运行的电压、电流等数据，构建合适的预测模型。这样，在设备出现严重故障之前，能够及时采取维护措施，提高设备的可靠性和运行效率，降低维护成本。

四、设备维护与故障预防策略

（一）预防性维护体系构建

1. 标准化维护流程设计

高速公路电气设备预防性维护体系的构建需建立标准化维护流程。应制定包含设备清洁、紧固检查、润滑保养等内容的周期性维护作业标准。设备清洁可去除灰尘、杂物等，防止其影响设备散热及电气性能^[9]。紧固检查能确保设备各部件连接牢固，避免因松动引发接触不良等故障。润滑保养则有助于减少设备部件间的摩擦，延长设备使用寿命。通过周期性地执行这些维护作业标准，可使设备处于良好运行状态，有效预防故障发生，提高高速公路电气设备的可靠性和稳定性。

2. 状态检修模式应用

结合设备实时监测数据实施精准检修，可有效优化传统计划检修的资源分配效率。通过对电气设备运行状态的实时监测，获取各类数据参数，如温度、电压、电流等，这些数据能够反映设备的实际运行状况^[10]。基于数据分析结果，可以精准判断设备是否存在潜在故障以及故障的可能位置和严重程度。对于存在潜在问题的设备及时安排检修，避免故障进一步发展，同时避免对无故障设备进行不必要的检修，从而合理分配检修资源，提高检修工作的针对性和有效性，保障高速公路电气设备的稳定运行。

（二）智能预警系统开发

1. 多源信息融合预警机制

高速公路电气设备运行维护与故障预防需构建综合预警指标体系。集成环境参数，如温度、湿度、气压等，设备工况包括运行时长、负载率等，以及历史数据，涵盖以往故障记录、维修情况等多维度信息。通过对这些信息的综合分析，确定不同指标的权重和阈值。利用数据分析技术挖掘信息间的关联，当指标超出阈值时及时触发预警。例如，环境温度过高且设备负载率持续上升，可能预示设备即将出现故障。这样的多源信息融合预警机制可提高预警的准确性和及时性，为设备维护和故障预防提供有力支持。

2. 应急联动处置方案

建立包含自动隔离、备用切换、维修调度的多级故障处置预

案库是应急联动处置的关键。当电气设备发生故障时，自动隔离系统能迅速将故障部分与正常运行部分隔开，防止故障扩散。备用切换机制确保在主设备故障时，备用设备能无缝接入，维持系统正常运行。同时，维修调度系统根据故障的严重程度和类型，合理安排维修人员和维修时间，提高维修效率。通过这三级预案的协同作用，能够在最短时间内恢复设备运行，减少故障对高速公路运营的影响，保障高速公路的安全与畅通。

（三）全生命周期管理策略

1. 设备选型优化策略

高速公路电气设备的全生命周期管理策略至关重要。从设备选型开始，就应考虑其在高速公路环境中的适用性。基于运行环境特点，提出高防护等级设备选型标准和技术规范。选型时需综合考虑设备的可靠性、耐用性以及复杂环境的适应性。对于设备的维护，应建立完善的维护计划，定期检查设备的运行状态，及时发现潜在问题并进行修复。同时，要注重故障预防，通过数据分析和经验总结，识别可能导致故障的因素，并采取相应的预防措施。例如，针对高速公路上的灰尘、湿度、温度变化等因素，选择具有相应防护能力的设备，并加强对设备的防潮、防尘、散热等方面的维护。通过全生命周期管理策略、设备选型优化以及有效的维护和故障预防措施，提高高速公路电气设备的运行可靠性和稳定性。

2. 退役评估与更新机制

设备全生命周期管理需涵盖退役评估与更新机制。应建立设

备性能衰退评估模型，综合考虑设备的运行时间、故障频率、维修成本等多方面因素，准确评估设备的性能衰退程度。基于此模型，结合经济寿命周期理论，制定合理的设备更新规划。在经济寿命周期内，当设备性能衰退到一定程度，维修成本过高且影响设备整体运行效率时，应及时进行更新。同时，更新规划要考虑技术进步和设备升级换代的因素，确保更新后的设备能更好地满足高速公路电气设备运行的需求，提高运行可靠性和效率，降低故障发生的可能性。

五、总结

高速公路电气设备的维护管理至关重要。通过对其关键技术体系的系统总结，明确了维护工作的核心要点。预防性维护策略具有重要应用价值，能有效减少故障发生，提高设备运行效率。未来发展方向应聚焦于设备智能化运维平台建设，利用先进技术实现对设备的实时监测与精准维护；同时注重新材料应用可靠性研究，以提升设备性能。建立设备全生命周期健康管理体系更是重中之重，它能全面掌握设备状态，从设备采购、安装、运行到报废的各个阶段进行有效管理，确保高速公路电气设备稳定运行，保障路网安全。

参考文献

- [1]王季峥. 电气设备红外图像故障区域分割与诊断研究 [D]. 山东理工大学, 2021.
- [2]吕晓弯. 高速公路立交区域主要运行风险仿真分析及预防研究 [D]. 重庆交通大学, 2022.
- [3]叶富根. 面向红外图像的电气设备热故障诊断研究 [D]. 华东交通大学, 2023.
- [4]王雅雯. 融合非平衡故障文本与监测数据样本集的电气设备故障诊断研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
- [5]曾紫祺. 融合目标检测与高效异步联邦学习的电气设备故障在线监测技术研究 [D]. 华东交通大学, 2023.
- [6]吴伟. 电气设备的运行与维护及管理研究探析 [J]. 科技创新导报, 2022, 19(23): 64-66.
- [7]陈锐. 电气设备运行与维护管理措施的探析 [J]. 电力设备管理, 2022(15): 336-338.
- [8]庞志华. 电气设备故障诊断及维护管理探讨 [J]. 中国金属通报, 2022(15): 141-143.
- [9]彭正宙. 浅谈排涝泵站电气设备运行与维护管理 [J]. 农业科技与信息, 2021(14): 117-118.
- [10]龚翔. 燃机电厂电气设备的安全运行与维护管理 [J]. 电力系统装备, 2021(15): 134-135.