

船舶电气设备故障处理对策与维护措施

贾建卫

中国船舶集团有限公司第七一三研究所 河南 郑州 450052

摘要: 随着船舶电气系统复杂性的提升,其故障率显著增加,直接影响航行安全与经济效益。船舶电气设备故障类型涵盖短路/断路、绝缘老化、控制元件失效及电源波动等,成因包括设备老化、设计缺陷、维护不足及恶劣环境侵蚀。为应对此类问题,需构建预防性维护体系,结合现代技术实现故障预测与分级处理,同时强化人员培训与应急管理,以降低故障停机时间,提升船舶运行可靠性。

关键词: 船舶; 电气设备; 故障处理对策; 维护措施

引言: 在现代航运业中,船舶电气设备作为保障航行安全、提升作业效率的核心系统,其稳定性至关重要。然而,受海洋环境、设备老化及操作维护等多重因素影响,船舶电气设备故障频发,轻则导致设备停运,重则引发安全事故。因此,科学制定故障处理对策与维护措施,成为提升船舶运行可靠性、降低运营风险的关键。本文从故障类型分析入手,探讨针对性处理策略,并提出系统化维护方案,以期船舶电气系统管理提供参考。

1 船舶电气设备常见故障类型及成因分析

1.1 船舶电气设备分类与功能概述

船舶电气设备是保障船舶航行、作业与安全的核心系统,主要分为三大类。主配电系统作为电力中枢,负责电能的产生、分配与监控,为全船所有用电设备提供稳定电源;电力推进系统通过电机驱动螺旋桨,实现船舶的航行控制,具备高效节能、操控灵活的优势;导航通信设备包括GPS导航仪、雷达、VHF对讲机等,是保障船舶定位精准、通信顺畅的关键设备,直接关系到航行安全。此外,还涵盖照明、泵浦、冷藏等辅助电气设备,共同构成船舶完整的电气体系。

1.2 典型故障类型

(1) 短路/断路故障: 短路多由线路绝缘破损、接线错误导致,表现为电流骤增、设备过热甚至起火;断路则因导线断裂、接头松动等引发,导致设备断电停运,严重影响系统正常运行。(2) 绝缘老化与接地故障: 长期使用后绝缘材料性能衰退,或受环境侵蚀出现破损,易引发接地故障,可能导致设备误动作、电源系统保护跳闸,甚至威胁人员安全。(3) 控制元件失效: 继电器、传感器等控制元件长期承受电负荷与环境应力,易出现触点烧蚀、信号失真或完全失效,导致控制系统指令无法准确执行,设备启停、调速等功能异常。(4) 电源系统波动: 受发电机工况不稳定、负荷突变等影响,易出现

电压不稳、频率异常,导致精密设备(如导航仪)精度下降、电子元件损坏,影响全船电力供应可靠性。(5) 环境因素导致的故障: 船舶航行环境复杂,潮湿、振动、盐雾腐蚀等易破坏设备绝缘、侵蚀金属部件,导致线路短路、元件接触不良,尤其在海洋高盐雾环境中,设备损耗速度显著加快。

1.3 故障成因分析

(1) 设备老化与磨损: 船舶电气设备长期处于连续运行状态,核心部件随使用年限增长出现自然老化,机械触点、导线等因反复摩擦、电蚀产生磨损,性能逐渐下降,最终引发故障。(2) 设计缺陷或安装不当: 部分设备存在设计不合理,如散热结构缺陷、防护等级不足;安装过程中接线不规范、固定不牢固,或设备布局未考虑环境影响,为后续故障埋下隐患。(3) 维护不足或操作失误: 日常维护缺失,未及时清理设备灰尘、检查绝缘状态、更换老化部件;操作人员未按规程操作,如违规启停设备、超负荷用电,导致设备承受异常应力而故障。(4) 外部恶劣环境影响: 海洋环境中的盐雾、潮湿易引发金属腐蚀和绝缘损坏,船舶航行中的剧烈振动导致部件松动、线路脱落,极端气象条件还可能对露天电气设备造成直接损坏,这些外部因素均是故障的重要诱因^[1]。

2 船舶电气设备故障处理对策

2.1 故障诊断方法

(1) 传统方法: 观察法是故障诊断的基础手段,通过视觉检查设备外观是否存在破损、烧蚀、接线松动等异常,借助听觉判断电机、继电器等元件运行时是否有异响,结合嗅觉排查是否存在绝缘老化烧焦的异味。仪表检测法则是精准定位故障的关键,利用万用表测量电压、电流、电阻等参数,通过兆欧表检测设备绝缘性能,依据参数偏离正常范围的情况锁定故障部位,该方法操作简便、成本较低,是船舶日常故障排查的常用方式。(2)

现代技术：红外热成像技术可实现非接触式故障检测，通过捕捉设备表面的温度分布图像，快速识别因接触不良、过载等导致的局部过热区域，提前发现潜在故障隐患。振动分析技术主要应用于旋转电气设备，通过传感器采集设备振动信号，分析信号频率和幅值特征，判断轴承磨损、转子不平衡等故障类型及严重程度。在线监测系统则能实时采集主配电系统、推进系统等关键设备的运行数据，通过数据传输与分析实现故障的实时报警和趋势预判，大幅提升故障诊断的及时性和准确性^[2]。（3）人工智能应用：基于大数据的故障预测模型是近年来船舶电气故障诊断的新兴方向。通过收集船舶电气设备长期运行的历史数据、故障记录等信息，利用人工智能算法进行数据挖掘和模型训练，构建故障预测模型。该模型可根据设备实时运行数据，精准预测可能发生的故障类型、部位及时间，实现从“事后维修”向“事前预警”的转变，有效降低故障停机时间，提升船舶航行安全性和经济性。

2.2 故障分级处理策略

（1）紧急故障的应急处理流程：首先启动应急电源系统，保障导航、通信、应急照明等关键设备供电，确保船舶航行姿态稳定。立即组织人员排查故障原因，重点检查主发电机、主开关、配电屏等核心设备，若为简单故障（如开关跳闸），及时复位并恢复供电；若故障复杂，需隔离故障部位，防止故障扩大。同时向船舶指挥中心和相关部门汇报情况，必要时请求外部支援，待故障排除后，逐步恢复正常供电系统运行，并对故障原因进行复盘分析，完善预防措施^[3]。（2）一般故障的标准化维修流程：首先对故障进行登记，详细记录故障现象、发生时间、设备型号等信息。依据故障诊断结果制定维修方案，明确维修步骤、所需工具和备件。按照维修方案实施维修操作，维修过程中严格遵守安全操作规程，确保维修质量。维修完成后，对设备进行试运行测试，检查设备运行参数是否恢复正常。最后整理维修记录，更新设备维护档案，总结故障规律，为后续设备维护和故障预防提供参考依据。

3 船舶电气设备维护措施

3.1 预防性维护体系构建

（1）定期巡检与状态监测：建立全周期巡检机制，明确巡检频次、范围及标准，重点监测设备运行中的温度、湿度、绝缘电阻等关键参数。日常巡检采用便携式仪表实时采集数据，每周对主配电屏、推进电机等核心设备进行全面检测，每月开展全船电气系统绝缘电阻测试，避免绝缘老化引发接地或短路故障。同时搭建状态监测数据台账，通过对比历史数据与标准阈值，精准识

别参数异常趋势，提前预判潜在故障隐患，为维护决策提供数据支撑。针对海洋航行的特殊环境，在潮湿、盐雾浓度高的区域增设监测点位，强化环境参数与设备状态的联动监测。（2）关键设备冗余设计：对保障船舶安全航行的核心电气设备实施冗余配置，降低单点故障导致的系统瘫痪风险。在电源系统中配置双电源切换装置，当主电源出现故障时，备用电源可在毫秒级完成自动切换，确保导航、通信、应急照明等关键负载持续供电；在推进控制系统中设置冗余控制器，通过双机热备模式实现故障自动切换，保障船舶动力输出稳定；对重要传感器、执行元件采用并联冗余设计，提升控制系统的可靠性。同时定期对冗余设备进行切换测试，验证切换逻辑的准确性和设备运行的稳定性，确保冗余功能在故障时有效发挥作用^[4]。

3.2 维护技术优化

（1）清洁与防腐处理：针对海洋盐雾、潮湿环境的腐蚀特性，制定专项清洁与防腐维护方案。每月对露天电气设备、接线端子等进行高压淡水冲洗，去除表面盐霜和灰尘，晾干后涂抹专用防腐涂层；对配电柜体、设备外壳的密封件进行定期检查更换，防止盐雾和湿气侵入内部；在电气柜内放置干燥剂，控制柜内湿度在60%以下。每季度对金属接线端子、紧固件进行除锈处理，采用热镀锌或不锈钢材质替换易腐蚀部件，从材料和工艺层面提升设备的防腐能力。（2）紧固与润滑保养：船舶航行中的持续振动易导致电气设备接线松动、机械部件磨损，需强化紧固与润滑维护。每月对所有电气接线端子、螺栓进行紧固检查，采用力矩扳手确保紧固力矩符合标准，防止因接触不良产生局部过热；对电机轴承、传动机构等旋转部件，每半年进行一次润滑保养，根据设备工况选用耐高低温、抗腐蚀的专用润滑剂，避免润滑失效导致部件卡滞或磨损加剧。同时在振动剧烈的设备底部加装减震垫，减少振动对设备连接部位和内部元件的影响。（3）电气元件更换周期管理：依据设备说明书、运行经验及行业标准，制定电气元件分级更换周期表。对继电器、接触器等高频动作元件，设定1-2年的更换周期；对传感器、熔断器等易损耗元件，根据监测数据和运行工况灵活调整更换频次；对主变压器、发电机等大型关键设备的核心部件，实行寿命预测管理，结合状态监测数据评估老化程度，在达到临界状态前完成更换。建立元件更换台账，详细记录更换时间、型号规格及更换原因，实现全生命周期追溯，避免超期服役元件引发系统故障。

3.3 智能化维护技术应用

(1) 物联网 (IoT) 在设备监控中的应用: 构建船舶电气设备物联网监控系统, 在主配电系统、推进系统、导航设备等关键部位部署智能传感器, 实时采集电压、电流、温度、振动、绝缘电阻等运行数据。通过船载通信模块将数据传输至岸基监控中心和船载终端, 实现设备状态的远程实时监控与本地可视化展示。系统具备异常数据自动报警功能, 当参数超出阈值时, 通过声光报警、短信通知等方式提醒维护人员及时处理。借助物联网技术打破传统人工巡检的时空限制, 提升监控的全面性和实时性, 降低维护人员的工作强度^[5]。(2) 预测性维护 (PdM) 与数字孪生技术: 基于物联网采集的海量运行数据, 构建预测性维护模型, 利用机器学习算法挖掘数据关联规律, 精准预测设备故障发生的时间、部位及类型, 将传统“计划维修”升级为“按需维修”, 大幅降低非计划停机时间和维护成本。引入数字孪生技术, 构建船舶电气系统的虚拟孪生体, 实现物理设备与虚拟模型的实时数据映射, 通过模拟设备在不同工况下的运行状态, 优化维护策略。利用数字孪生模型开展虚拟维修演练, 提前发现维护过程中可能存在的问题, 提升维修效率和安全性。

3.4 人员培训与管理

(1) 维护人员技能认证体系: 建立完善的维护人员技能认证机制, 明确各岗位技能要求和认证标准。要求维护人员必须通过专业技能培训和考核, 取得相应的资格证书后方可上岗, 认证内容涵盖电气设备原理、故障诊断技术、维护操作规范等核心模块。定期组织技能升级培训, 针对智能化维护技术、新型设备操作等内容开展专项培训, 提升维护人员对新技术、新设备的掌握能力。建立技能等级评定与薪酬激励挂钩机制, 鼓励维护人员主动提升专业技能水平。(2) 故障处理流程标准化

培训: 制定全船统一的电气故障处理标准流程, 明确故障上报、诊断、维修、验收等各环节的操作规范和责任分工。定期组织维护人员开展标准化流程培训, 通过理论讲解、案例分析、实操演练等方式, 确保维护人员熟练掌握不同类型故障的处理流程和操作要点。模拟紧急故障和一般故障场景开展实战演练, 提升维护人员在复杂情况下的应急处置能力和团队协作能力。建立培训档案, 记录维护人员的培训内容、考核结果及演练表现, 定期复盘培训效果, 持续优化培训方案。

结束语

船舶电气设备故障处理与维护是保障船舶安全航行与高效运营的重要基石。通过系统分析故障成因、实施分级处理策略、构建预防性维护体系, 并融合智能化监测技术, 可有效降低设备故障率、延长使用寿命。同时, 强化人员技能培训与标准化管理, 能够进一步提升故障响应速度与维护质量。未来, 随着技术不断进步, 船舶电气维护将向智能化、精准化方向发展, 为航运业的安全与可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]陈晓红,陈伟.船舶电气设备故障诊断与预防维护探讨[J].船舶工程,2020,42(S1):241-244.
- [2]叶萍.船舶电气接地故障的查找及防治探究[J].化工中间体,2020(21):161-162.
- [3]王强,刘海涛.基于人工智能的船舶电气设备故障诊断技术研究[J].中国航海,2021,44(3):137-141.
- [4]严帅.船舶电气设备故障的处理与防治方法[J].船舶物资与市场,2023,31(03):99-101.
- [5]赵海.船舶电气设备故障的处理与防治方法[J].中国水运(下半月),2022,22(11):40-41.