

# X 船装备应急抢修技术与快速响应机制研究

张 凯 初文麒

中国人民解放军 91697 部队 山东 青岛 266400

**摘 要:** 针对 X 船装备运行环境复杂、故障风险较高的现实, 聚焦当前应急抢修中技术手段单一、快速响应机制不完善等突出问题, 从专业保障视角出发, 优化核心装备应急抢修技术, 集成 3D 打印等先进手段, 构建三级应急响应组织体系与标准化流程, 并以典型案例加以验证。结果表明, 所提方法可有效提升抢修效率与响应速度, 缓解备件筹措困难、专业联动不畅等瓶颈, 为装备完好性与可靠性提供保障。

**关键词:** X 船装备; 应急抢修技术; 快速响应机制

**引言:** X 船装备是执行海上任务的核心基础, 其稳定性与可靠性直接决定任务执行效能。然而, X 船装备长期暴露于复杂海洋工况, 加之战备与训练任务的高强度负荷, 故障率居高不下。当前应急抢修仍较多依赖传统技术与流程, 快速响应机制不完善、专业联动不顺畅、现场修复手段有限、备件应急筹措困难等短板突出。因此, 从专业保障职责出发, 开展 X 船装备应急抢修技术与快速响应机制研究, 对攻克现有瓶颈、提升应急保障能力、确保装备随时处于良好战备状态具有重要现实意义。

## 1 X 船装备应急抢修现状及问题分析

### 1.1 X 船装备保障背景

X 船装备技术集成度高、精密零部件繁多, 长期受高湿、高盐、强震动及电磁干扰等恶劣环境侵蚀, 加之高频启停与工况切换, 极易引发电子元器件老化、接插件氧化松动、信号传输链路异常等共性故障<sup>[1]</sup>。近年来, 伴随旧型装备服役年限增加和新型装备列装, 装备故障报修量持续攀升, 抢修需求日益迫切, 对一线保障队伍故障快速定位、现场原位修复能力提出更高要求。

### 1.2 应急抢修技术现状及存在问题

当前 X 船装备应急抢修普遍采用板卡更换、模块替换、简易检测筛查等传统模式, 形成“故障上报—登船检测—备件更换—功能复测”的固定流程, 整体技术体系存在明显局限: 一是缺少适配精密电路板、微波射频组件、光学通道等核心部件的现场原位修复工艺; 二是抢修作业标准化程度低, 现场处置依赖个人经验, 多专业交叉作业协调不畅, 易产生作业冲突; 三是维修人员对新型智能化装备结构与故障机理掌握不充分; 四是备件储备布局不合理, 远洋航行中急需备件储备不足而低

频闲置备件大量积压, 供需错配突出。上述问题根源在于: 成套抢修工艺标准体系缺失、维修技术迭代滞后于装备更新、专项培训与实战演练频次不足、备件全生命周期动态管控机制不完善。

### 1.3 快速响应机制现状及存在问题

目前保障单位虽设有应急抢修分队, 搭建了故障接收、任务分派、现场处置基础流程, 但运行中仍存在突出问题: 一是应急响应启动滞后, 故障信息经多层级流转上报, 链条冗长, 易出现信息失真与时效损耗; 二是跨专业协同联动机制缺失, 复合型故障涉及多专业同步处置时, 缺少常态化远程会商渠道; 三是故障处置决策经验化, 未依托历史故障数据搭建辅助决策系统, 研判与方案制定效率偏低; 四是应急资源调度效率低, 专用工装与稀缺备件的定位调拨耗时较长。多重短板叠加直接拉长平均修复时间 (MTTR), 极端情况下易引发故障范围扩大, 影响装备完好率。

## 2 X 船装备应急抢修关键技术研究

### 2.1 抢修技术选型原则与适配性分析

选型遵循实用性、高效性、适配性三原则。实用性要求技术方案贴合 X 船装备的型号谱系、典型故障模式及海上实际作业工况; 高效性聚焦缩短现场抢修耗时, 最大限度降低故障对任务的干扰; 适配性要求设备与工艺可在 X 船狭小舱室、复杂电磁、船体晃动环境下稳定运行, 配套工具轻量化便携<sup>[2]</sup>。适配性方面, 针对不同装备系统差异化匹配抢修技术体系: 电气线路故障配套便携式高精度无损检测与恒温微型焊接工艺; 射频微波类故障配套快速模块置换与便携式现场校准技术; 指挥通信软件故障配套程序快速重载与参数一键恢复技术, 实现故障类型与修复技术的精准匹配。

## 2.2 核心应急抢修技术研发与优化

(1) 电子与通信装备修复技术。针对 PCB 电路板烧蚀、接插件氧化锈蚀、信号传输链路断路等高频故障,优化无损故障诊断技术,依托小型化检测终端快速锁定线路短路、断路点位;迭代微型贴片元件焊接工艺,配套便携恒温焊台与专用精细维修工装,实现舱内原位修复线路、更换贴片元器件;创新信号链路应急旁路技术,配套标准化应急转接模块,在部件无法即时修复时快速搭建临时传输通道,保障核心通信链路不间断。(2) 射频与微波组件修复技术。针对微波器件性能衰减、通道损毁故障,研发通道快速隔离与性能原位恢复技术,采用插拔式标准化替代模块对故障传输通道快速旁路置换;优化便携式现场频率校准方案,依托手持频谱仪加载预设标准参数模板,修复后可直接完成微波器件标定,降低对后方计量站点的依赖[3]。(3) 光电装备抢修技术。针对光学通道污染、瞄准基线偏移等典型故障,配套专用光学除尘、防氧化清洁耗材与防护膜片,实现甲板环境快速去污保养;优化瞄准线快速对齐工艺,依托便携式平行光管与自准直仪完成简易校准,快速恢复光电装备基础观瞄功能。

## 2.3 先进抢修技术的集成应用

(1) 便携式 3D 打印应急保障。将小型抗晃动 3D 打印设备纳入应急携行工具箱组,设备体积小、适应 X 船航行颠簸工况,可现场快速打印非金属结构件、接插件外壳、电缆固定卡扣等非标易损件,从源头缓解远洋任务中专用小型零件补给滞后的问题。(2) 移动式快速成型装备配套。研发可模块化拆装的小型成型修复装备,现场临时加工维修工装、设备防护盖板、定制信号转接基板,与 3D 打印技术优势互补,进一步提升非标零部件与临时工装的现场应急制备能力。(3) 故障诊断与趋势预警集成。依托远程支援系统,配套便携式状态监测与参数采集终端,构建智能化快速故障诊断模块,实时采集装备关键节点运行参数与信号特征,与历史故障数据库自动比对,实现典型故障快速定位与故障趋势提前预警,为应急抢修预留预判处置窗口<sup>[4]</sup>。(4) 抢修作业流程标准化。针对 X 船各分系统典型故障编制标准化抢修作业指导手册,明确故障诊断步骤、修复操作要点、舱内维修安全管控要求、配套工具耗材清单与人员分工协作规范,统一现场作业操作标准,规避不规范操作引发设备二次损伤。

## 2.4 抢修技术体系验证与迭代优化

选取本单位近两年度的 3~5 起代表性装备故障案例

(如通信系统信号中断、控制电路板损毁、天线伺服机构卡滞等),采用本文集成的成套抢修技术开展模拟回溯处置,验证各工艺与设备的实操有效性;同步对标同型 X 船公开抢修案例横向对比,确保技术体系适配各类海上任务场景。基于模拟验证与实装抢修实操反馈,梳理现有技术体系操作难点与修复成功率短板并针对性优化:针对处置成功率偏低的故障类型,简化检测流程、升级修复耗材;针对舱内操作不便的工艺环节,重组便携工具组、优化工序先后顺序,最终形成经实战场场景检验的成套应急抢修技术体系。

## 3 X 船装备应急快速响应机制构建

### 3.1 构建原则与目标

构建原则包括:快速性—压缩故障上报至现场处置全链条耗时;准确性—保障故障信息传递、研判分级与资源调度精准;协同性—打通多专业保障队伍与前后方支援力量联动渠道;科学性—依托故障数据库与智能辅助终端支撑决策;可操作性—组织架构与处置流程贴合保障队伍编制与现场条件,执行门槛低。核心目标是建成“故障信息实时直报、保障力量快速集结、故障研判科学精准、应急资源同步调拨、现场处置高效闭环”的全链条响应体系,持续压缩装备停机修复时长。

### 3.2 应急响应组织机构与职责划分

构建“应急指挥所—装备抢修分队—支援分队”三级响应体系。应急指挥所由保障单位领导、装备技术总负责人等组成,统筹重大故障研判、跨专业力量协调与整体任务调度;装备抢修分队由各专业技术骨干编组,负责登船开展故障排查、原位修复、抢修过程记录与处置进度实时反馈;支援分队由技术支援专家与器材管理人员组成,负责远程技术支持、应急备件出库与物资前出配送。职责划分上,应急指挥所统一下达抢修指令,协调现场与后方力量联动;抢修分队负责现场故障处置,实时同步抢修进展与困难;支援分队依托故障数据库提供远程技术支撑,快速完成备件出库与前送,保障一线队伍专注故障修复。内部联动方面,搭建加密专用通信群组与远程视频会商系统,遇复杂复合型故障可一键呼叫后方专家远程会诊;明确不同专业抢修分队协同接口流程,跨领域故障由应急指挥所统一调度相关专业力量同步处置<sup>[5]</sup>。

### 3.3 快速响应流程优化与标准化

(1) 故障接收与分级研判。升级故障上报通道,X 船操作人员通过专用装备维修申报系统直传故障参数与故障现象至后方保障单位;保障值班人员第一时间上报

应急指挥所,抢修分队接到信息后 15 分钟内完成故障初步研判,依据故障影响范围与任务紧急程度划分为一般、紧急、特急三个等级,同步启动对应等级应急处置预案。(2) 应急力量集结与智能决策。依据故障分级标准匹配对应抢修编组与携行物资清单;紧急、特急等级故障,抢修分队需 1 小时内完成人员集结、全套维修工具与备件箱组装载并登船处置。故障处置采用“历史故障数据库智能匹配+后方专家远程会商”双轨决策模式,快速输出标准化抢修实施方案。(3) 应急资源调度与现场处置。建立动态更新应急资源台账,实时更新备件库存储放位置、专用工装设备状态与维修人员在岗任务情况;应急响应启动后,器材组同步锁定所需备件,推行“备件先行出库、事后补办审批手续”的应急调拨机制。现场抢修严格依照标准化作业手册执行,每 30 分钟向应急指挥所同步处置进度与现存难点。(4) 响应终止与复盘改进。故障彻底排除、装备完成全功能复测并恢复正常工况后,由抢修分队负责人现场确认,上报应急指挥所审批后方可终止本次应急响应。抢修工作结束 72 小时内,分队提交完整复盘报告,梳理流程堵点与技术短板,报告内容纳入年度专项培训与应急预案修订核心依据。

### 3.4 响应机制保障体系

(1) 人员保障。常态化编组固定应急抢修分队,推行 AB 岗人员互补制度,避免人员缺位延误处置;每季度组织不少于 1 次实战化应急抢修综合演练,覆盖典型故障快速处置、抢修工具箱快速装载、夜间与船体晃动等复杂环境作业等核心科目,持续锤炼队伍实操处置能力。(2) 物资保障。优化 X 船应急备件仓储布局,遵循“高故障率易损件前置存放于任务 X 船与前沿保障站点、常规备件集中存储中心库房、特种稀缺备件按需跨区域调拨”分级储备思路;统一配置标准化便携抢修工具箱,集成检测仪器、微型焊接设备、便携式 3D 打印装置等全套设备,执行每周外观检查、每月通电功能测试制度,确保装备随时可投入使用。(3) 技术保障。

搭建 X 船装备全域故障数据库,归集历年故障案例、维修记录与设备标准运行参数;配套便携式维修管理终端与移动业务应用程序,抢修人员现场可一键检索同类故障成熟处置方案;同步与装备研制、生产单位建立长期远程技术支援合作机制,为重度疑难故障提供深度原厂技术支撑。(4) 制度保障。制定《装备应急抢修管理规范》,明确全流程响应时限、标准化操作细则、海上维修安全管控条例与考核问责实施办法;每半年开展一次响应机制运行成效全面评估,结合日常抢修实例与实战演练暴露问题动态优化处置流程与配套预案。

### 结束语

本文立足海上实战化装备保障需求,针对 X 船装备应急抢修存在的技术短板与响应机制不完善两大核心问题,区分系统优化应急抢修工艺,融合 3D 打印与智能故障诊断等新技术构建一体化抢修技术体系;搭建三级层级化应急响应组织架构,形成覆盖故障上报、研判、处置、复盘全链条的标准化作业流程。研究成果可显著提升抢修处置效率、压缩整体响应时长,有效缓解远洋备件筹措困难与多专业协同不畅等一线保障痛点,为常态化维持 X 船装备高完好率提供技术与制度保障。

### 参考文献

- [1] 董正琼,李晨阳,唐少康,等.基于多状态故障树的舰船装备可靠性分析方法[J].火力与指挥控制,2023,48(4):59-64.
- [2] 张涛,孙新岭,龙军,等.油料装备战场应急维修技术体系研究[J].后勤工程学院学报,2005(3):42-45.
- [3] 龚峰,范增,宋瑛,等.航空电子系统射频通道性能检测[J].兵器装备工程学报,2025,46(增刊 1):39-43.
- [4] 徐兆平,郭波.复杂装备故障预测方法研究综述[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2023,20(2):10-26.
- [5] 郭一鸣,曹军海,陈春良,等.战时装备维修保障力量抢修行动模型构建与求解[J].国防科技大学学报,2023,45(4):170-181.