

恶劣工况下船舶综合通讯系统功放单元的自检技术研究

王勇

嘉兴市科讯电子有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i4.8869

[摘要] 针对船舶在高盐雾、强振动、宽温变等恶劣工况下综合通讯系统功放单元易故障、检测精度低、预警能力弱等问题，本文聚焦恶劣工况下船舶综合通讯系统功放单元自检技术展开研究。通过整合物联网传感、信号处理、边缘计算、故障诊断等技术，构建适配恶劣工况的功放单元一体化自检架构，设计多维度故障检测与验证机制，实现功放单元状态参数的实时采集、精准判别与可信验证。

[关键词] 恶劣工况；船舶综合通讯；功放单元；自检技术；故障诊断

Research on Self-Inspection Technology for Power Amplifier Units in Marine Integrated Communication Systems Under Adverse Operating Conditions

Wang Yong,

Jiaxing Kexun Electronics Co., Ltd.

[Abstract] Addressing issues such as frequent failures, low detection accuracy, and weak early-warning capabilities in power amplifier units of marine integrated communication systems under harsh conditions—including high salt spray, intense vibrations, and wide temperature variations—this paper focuses on developing self-inspection technologies for these units. By integrating IoT sensing, signal processing, edge computing, and fault diagnosis technologies, an integrated self-inspection architecture tailored for extreme operating environments is established. A multi-dimensional fault detection and verification mechanism is designed to enable real-time acquisition, precise identification, and reliable validation of power amplifier unit status parameters.

[Key words] Adverse operating conditions; Integrated ship communications; Power amplifier unit; Self-test technology; Fault diagnosis

船舶综合通讯系统作为保障远洋航行、应急指挥、船岸协同的核心装备，其功放单元承担信号放大与功率输出关键功能，运行状态直接关系船舶通讯可靠性与航行安全。当前，船舶功放单元在高盐雾腐蚀、机械强振动、温湿度剧烈变化等恶劣工况下，易出现功率衰减、失真超标、散热异常、电路老化等隐性故障，传统人工检测与离线校验存在响应滞后、漏检率高、工况适配性差等突出问题^[1]。在此背景下，研发恶劣工况下船舶功放单元一体化自检技术，构建实时在线、精准可靠、抗干扰强的自检体系，成为提升船舶通讯系统稳定性、保障远洋作业安全的关键路径，具有重要的工程价值与应用意义。

1 船舶功放单元自检技术的核心内涵与构建基础

1.1 恶劣工况下自检技术内涵

恶劣工况下船舶功放单元自检技术是依托工业级传感与智能算法，将功放单元的电气参数、环境参数、运行状态进行一体化采集、分析与判别，实现全工作周期状态实时监控、故障自动识别、异常快速预警的新型智能检测模式。其核心要义在于突破传统检测依赖人工、脱离工况、单点校验的局限，构建“采集—判别—分析—预警—验证”闭环自检体系，使功放单元在高盐雾、强振动、宽温变环境下保持稳定自检能力，提升船舶综合通讯系统的抗恶劣工况能力与运维智能化水平。与传统功放检测相比，本技术更强调工况适应性、检测实时性、故障精准性，能够实现功放单元全生命周期状态动态监控与隐

患提前处置。

1.2 自检系统构建技术基础

船舶功放单元自检系统的创建需多领域技术支撑，工业级物联网传感、数字信号处理、边缘计算、智能故障诊断、加密校验是主要支撑技术。工业级物联网传感技术依靠耐高温、抗盐雾、抗振动传感器对功放输出功率、增益、失真度、电压、电流、温度、振动等关键参数实施实时采集，为自检系统提供精准、稳定的基础数据，是自检技术的前提和根基。数字信号处理技术可对功放运行产生的海量信号进行滤波、降噪、特征提取，消除恶劣工况下的噪声干扰，提升状态判别精度。边缘计算技术在船端本地实现数据快速处理与故障实时判别，降低船岸传输延迟，保障自检响应及时性。智能故障诊断技术通过模型训练与特征匹配，实现故障类型自动识别、定位与等级评估。加密校验技术保证自检数据真实完整、不可篡改，为故障追溯与验证提供技术保障^[2-3]。

2 船舶功放单元一体化自检系统整体架构设计

2.1 系统架构设计原则

功放单元自检系统架构设计需遵循工况适配性、实时性、可靠性、安全性、可扩展性五个原则。工况适配性原则即系统硬件与算法需适配高盐雾、强振动、宽温变等恶劣工况，保证检测设备稳定运行与数据准确。实时性原则要求系统实现状态参数毫秒级采集、故障秒级判别，异常情况立即预警。可靠性原则指系统采用冗余设计与抗干扰算法，避免工况干扰导致误判、漏判。安全性原则建立完备的数据安全防护体系，保证自检数据采集、传输、存储全过程安全，防止数据泄露、篡改、丢失。可扩展性原则保证系统随船舶通讯设备升级、工况场景拓展，灵活增加检测模块与诊断规则，适配不同型号功放与多类型船舶需求^[4]。

2.2 系统整体架构组成

基于上述设计原则，本文构建的功放单元一体化自检系统采用分层架构设计，自上而下分为感知层、传输层、数据层、边缘计算层、应用层，各层相互支撑、协同运作，形成完整的自检体系。感知层作为系统的数据采集终端，主要由抗恶劣工况功率传感器、失真度传感器、温度传感器、振动传感器、电压电流采集模块等设备组成，负责对功放单元运行参数、环境参数、电气指标进行实时采集，将物理状态转化为可处理数字信息，为系统运行提供基础数据支撑。传输层承担数据传输核心功能，通过车载局域网、工业总线、无线自组网等通信技术，将感知层采集的数据实时、稳定、抗干扰传输至数据层，解决

恶劣工况下数据传输中断、延迟、丢包等问题^[5]。

数据层是系统的核心数据存储与处理中心，主要对传输层数据进行存储、清洗、降噪、标准化处理。该层采用船载分布式存储与本地加密存储相结合方式，保证海量自检数据高效存储、快速调用，保证数据真实不可篡改。数据层统一数据格式与采集规则，解决不同传感器、不同功放型号的数据异构问题，实现数据互联互通。边缘计算层是数据层与应用层的纽带，集成实时计算、特征提取、故障判别、模型推理、数据校验等核心功能模块，为应用层提供智能决策支撑。该层依靠轻量化故障诊断算法对数据层实时数据深度分析，快速输出状态评估与故障结果，无需依赖岸基服务器，保障船端独立自检能力。

2.3 系统核心功能模块设计

状态实时监测模块属于系统核心应用模块之一，主要对功放单元全运行状态智能化监控。该模块实时采集输出功率、增益、失真度、温度、电压、电流、振动等参数，对功放运行环境与工作状态动态监控，当参数超预设阈值时，自动分级发出预警信号，提醒船员及时处置，保证功放稳定运行。该模块还具备参数曲线显示、历史状态查询、阈值自定义设置等功能，实现功放状态可视化管理。

故障智能诊断模块主要针对功放单元故障自动识别与定位，融合信号特征分析与机器学习模型，对功率异常、失真超标、过热、过流、短路、器件老化等典型故障精准判别。系统可实时判定故障类型、故障位置、故障等级，给出处置建议，避免故障扩大导致通讯中断。故障判别过程消除工况噪声干扰，降低恶劣环境下误判率。

自检结果验证模块是功放自检可信性的核心载体，利用加密签名与哈希校验技术，把自检数据、故障记录、状态曲线全过程记录存储，形成不可篡改的自检档案。船员、设备厂商、船级社可通过本地查询或船岸同步方式，快速核验自检结果真实性，实现状态可查、故障可追、责任可究。运维管理模块对自检数据统计分析，生成健康评估报告、维护周期建议、备件更换提醒，实现功放单元预防性维护，降低全生命周期运维成本，提升船舶通讯系统可用性。

3 恶劣工况下功放单元全流程自检验证技术研究

3.1 全流程自检验证核心目标与要求

功放单元全流程自检验证核心目的是实现恶劣工况下功放单元从开机、运行、停机到维护全生命周期可自检、可验证，保障船舶通讯系统稳定可靠，明确故障责任与维护依据，提高船舶电子设备规范化运维水平。其主要要求有三个方面，即检

测全面性, 功放单元电气指标、环境参数、器件状态、输出性能各环节信息准确采集与判别; 验证精准性, 用抗干扰算法与加密技术验证自检数据真实、完整、有效, 防止工况干扰与数据篡改; 响应高效性, 实现状态实时判别、故障快速预警、问题及时定位, 降低通讯中断风险, 保障航行安全。

3.2 全流程自检数据采集技术

自检数据精准采集是实现全流程自检验证的基础, 本文结合船舶恶劣工况特点, 采用多传感器融合+抗干扰采集方式, 确保自检数据全面性与准确性。在开机自检环节, 通过电压电流传感器与初始化检测模块, 采集功放启动参数、电路通断、模块状态, 完成开机基础自检。在运行环节, 利用抗盐雾、抗振动传感器实时采集输出功率、增益、失真度、谐波、温度、散热、振动等参数, 全程记录运行状态, 保证运行中可连续自检。

在环境监测环节, 采用工业级温湿度、盐雾、振动传感器, 同步采集舱内环境数据, 用于工况补偿与故障误判排除。在停机/维护环节, 使用手持终端或本地接口记录维护时间、更换器件、调试参数, 形成完整自检与维护档案。同时为保证采集数据准确, 采用实时滤波与异常值剔除技术, 消除恶劣工况下的信号干扰, 保证自检数据可靠可用。系统搭载滑动平均滤波与中值滤波组合算法, 对高频随机噪声与周期性干扰进行分段抑制, 结合卡尔曼滤波实现动态工况下的信号最优估计, 有效降低振动、温漂与电磁干扰带来的数据偏移。基于 3σ 准则与箱线图联合判别法构建异常值识别模型, 实时监测采集序列的离散程度, 对超出置信区间的突变数据进行标记、剔除与插值补全, 配合硬件差分放大与光电隔离电路形成软硬协同抗干扰机制, 可在强噪声、宽温变、高冲击等复杂工况下保持数据采集精度与稳定性, 为设备状态评估与故障诊断提供高质量数据源。

3.3 自检信息传输与存储验证技术

自检信息传输与存储验证是保证自检结果真实、完整的重要环节。在信息传输过程中使用船端加密传输与抗干扰编码技术, 对自检数据端到端加密, 防止数据在传输中被干扰、泄露、篡改。同时利用船载局域网低延迟、高稳定特点, 保证自检数据实时传输, 避免延迟导致预警滞后。在信息存储上采用本地加密存储+船岸同步备份相结合方式, 建立可信自检信息存储体系。本地存储保证船端断网下仍可独立自检与查询, 船岸同步实现数据长期存档, 避免信息丢失。

为保证自检信息真实完整, 设计多维验证机制。一方面, 用设备签名与时间戳技术对各环节自检数据签名确认, 保证数

据来源真实, 每一次自检与维护均可追溯责任主体。另一方面, 用哈希算法对自检数据加密, 生成唯一哈希值存入本地安全芯片, 验证时比对哈希值即可判断数据是否被篡改, 保证信息完整。另外建立自检交叉验证机制, 对不同传感器、不同采集周期的数据比对校验, 结合工况补偿算法修正偏差, 提高自检结果准确性与可信度。

4 结论

本文主要研究恶劣工况下船舶综合通讯系统功放单元自检技术, 得出如下结论:

(1) 船舶功放单元一体化自检系统利用工业级传感、信号处理、边缘计算、故障诊断等技术, 采用分层架构设计, 可实现功放单元全生命周期状态实时监控、故障自动判别、异常快速预警, 适配高盐雾、强振动、宽温变等恶劣工况。系统包含感知层、传输层、数据层、边缘计算层、应用层, 具有状态监测、故障诊断、自检验证、运维管理等功能, 可满足船舶通讯设备运维实际需求。

(2) 采用多传感器融合数据采集、抗干扰传输与可信存储技术、多维度验证机制, 实现恶劣工况下功放单元运行状态可监测、故障可诊断、结果可验证, 保证自检数据真实、完整、精准。

(3) 一体化自检系统与全流程验证技术融合, 可显著提升船舶功放单元可靠性, 降低故障发生率与运维成本, 保障船舶综合通讯系统稳定运行, 推动船舶电子设备向智能化、预防性、轻量化运维方向发展, 为船舶安全航行与远洋作业提供技术支撑和理论参照。

[参考文献]

- [1]王连佳,何金平,王炳轩,等.小型 LNG 船通讯系统方案设计[J].船电技术,2021,41(11):61-64.
- [2]张树君,王辉山,肖健,等.地震应急通讯技术在台湾海峡西部地壳深部结构探测中的应用[J].国际地震动态,2018,(02):26-31.
- [3]肖健,周施文,张树君,等.光纤技术在震源船通讯传输中的应用[J].黑龙江科技信息,2017,(07):109.
- [4]徐钧,蒋子峰.大型船舶电力监控系统层次化设计[J].机电设备,2013,30(03):55-58.
- [5]江立军.船舶综合监控系统通讯网络的可靠性设计[J].机电工程技术,2010,39(04):62-64+113.

作者简介:王勇,出生年月:1983年3月,男,汉族,籍贯:浙江嘉兴,学历:本科,职称:中级工程师,研究方向:信息工程。