

Research on ship electronic and electrical automation technology and safety control

Xinhui Liu

Jiangsu Yuanwang Instrument Group Co., Ltd., Taizhou, Jiangsu, 225300, China

Abstract

This paper focuses on the ship electronic and electrical automation technology and safety control. The paper first expounds the composition of modern ship electronic and electrical automation system, including navigation and communication, power management and safety monitoring, and each part realizes efficient operation with unique technology. The common safety problems of ship electronic and electrical automation system are analyzed, which are mainly manifested as electromagnetic interference, software real-time task abnormality, hidden power supply and network communication risk.

Keywords

ship; automation system; safety control; electronic and electrical

船舶电子电气自动化技术与安全控制研究

刘新辉

江苏远望仪器集团有限公司, 中国 · 江苏 泰州 225300

摘 要

本文围绕船舶电子电气自动化技术与安全控制进行了深入研究。文章首先详细阐述了现代船舶电子电气自动化系统的构成, 其中包括导航与通信、动力管理、安全监控三大核心部分, 各部分凭借独特技术实现高效运行。随即剖析了船舶电子电气自动化系统的常见安全问题, 集中表现为电磁干扰、软件实时任务异常、电源隐患及网络通信风险。在此基础上针对性地提出安全控制策略, 包含防电磁干扰的多种技术、容错与冗余设计的多层次架构、增强RTOS安全性的系列措施以及构建多场景应急预案, 本文研究旨在全方位保障船舶电子电气自动化系统稳定可靠, 助力船舶安全航行。

关键词

船舶; 自动化系统; 安全控制; 电子电气

1 引言

现如今, 航运业蓬勃发展, 船舶电子电气自动化技术愈发完善, 为船舶运营带来诸多便利。船舶电子电气自动化系统集成导航、动力、监控等关键功能, 为船舶运行提供了良好的支持。然而, 复杂的海洋环境、密集的设备布局以及日益复杂的软件系统, 均给船舶带来了新的安全挑战。电磁干扰、软件漏洞、电源故障等问题, 严重威胁着船舶航行的稳定与安全。因此, 深入探究船舶电子电气自动化系统的安全控制策略, 迫在眉睫。

2 船舶电子电气自动化系统的基本构成

现代船舶电子电气自动化系统主要包括以下三个核心组成部分, 分别为导航与通信系统、动力管理系统、安全监控系统, 这三个部分数据交互和控制协同, 形成有机整体。

2.1 导航与通信系统

船舶导航与通信系统, 发挥着“感知与交互中枢”作用, 该系统能够集成多源信息, 实现船舶定位、航线规划及船岸交互。此系统的运行, 依赖于多传感器融合导航和船岸一体化通信网络。多传感器融合导航整合了 GPS / 北斗定位、惯性导航、雷达、自动识别系统等有关设备, 通过卡尔曼滤波算法实现厘米级定位精度, 使船舶能够在复杂海况下规避障碍物。船舶在极地航行时, 可通过多传感器融合导航的声呐与雷达数据, 提前预警冰山。船岸一体化通信网络是依托卫星通信与 5G 海事专网所构建起来的高可靠性的通信链路, 该通信网络能够支持实时数据传输, 传输速率较高。在实际应用场景中, 操作人员可通过远程船舶监控系统, 实时获取船舶位置、能耗、货物状态等相关参数, 船岸一体化通信网络的故障响应时间迅速^[1]。

2.2 动力管理系统

动力管理系统是船舶的“能量心脏”, 它通过电力推进技术与智能电网, 以此实现船舶能源高效利用。电力推进

【作者简介】刘新辉 (1985-), 男, 中国江苏泰州人, 本科, 工程师, 从事船舶电气及自动化研究。

技术运行需要采用电推吊舱直接驱动,替代传统柴油机驱动,同时搭配中压变频器,实现无级调速,相较于传统柴油机驱动,电力推进技术的应用能够有效节省能源,同时还能够降低噪音,减低碳排放量。智能电网控制则是基于模型预测控制算法动态分配能量,以此来实时优化发电机运行台数,合理进行负荷分配。智能电网控制能够使发电机效率维持适宜范围,同时通过支持锂电池与柴油机的混合动力协同,以此满足多种不同工况下船舶能效需求。

2.3 安全监控系统

安全监控系统类似于船舶的“防护网”,它是通过物联网技术实现对全船设备状态的可视化监控与应急联动。全船设备感知网络中部署了多个智能传感器,以此实现全方位的数据采集,经边缘计算预处理后,将数据上传至中央服务器,以此实现对机舱、货舱等关键区域运行状态的实时监控。应急联动与预警机制集成了火警探测、舱室环境监测与设备故障诊断等诸多功能,在检测到诸如CO浓度超标、主机超速等异常情况时,该机制会自动触发通风、停机等操作,并向船员发送分级报警,以此实现对安全危险情况的及时响应^[2]。

3 船舶电子电气自动化系统常见的安全问题

3.1 电磁干扰引发设备异常与数据失真

船舶机舱、配电室等相关区域均设置了发电机、电动机、变频器等强电设备,这些设备的启停、负载变化,可能会产生高频电磁噪声,再通过传导或辐射方式干扰弱电控制系统,并进一步引发信号传输失真、设备误动作、电源污染等一系列问题。信号传输失真是指,再传统铜缆传输控制信号时,很容易受电磁耦合影响而出现误码率升高的情况,导航设备的定位精度会受影响而下降,甚至还会出现数据丢包等问题,最终导致控制指令中断。设备误动作是指继电器、接触器等开关器件通断时,会产生电弧干扰,可能触发PLC模块输入端口误判,或者会造成导致传感器输出异常的情况。电源污染则是指主电网瞬态电压波动通过电源线传导至自动化设备,从而导致隔离变压器滤波不彻底,并进一步引发设备重启、程序跑飞等诸多问题^[3]。

3.2 软件实时任务抢占与响应延迟

软件系统愈发复杂,与此同时,其面临的安全风险众多,最为突出的问题即实时任务抢占与响应延迟的问题,部分非实时任务占用过多CPU资源,导致发动机调速等实时任务的响应时间下降,并进一步引发了转速波动。多核处理器任务迁移产生的上下文切换延迟,还可能造成舵机转向精度下降。

3.3 电源系统失效与电源质量问题

电源是系统运行的基础,但面临着失效的风险。全船失电事故便是其中十分典型的危险类型之一。当主发电机故障、配电板短路导致蓄电池储能系统单独供电时,若应急发电机启动失败,30秒内将无法恢复供电,这便会导致导航

设备、通信系统的失效,导致船舶丧失对外联络与避碰能力。电源质量问题是指应急发电机合闸时电压波动,可能损坏敏感电子设备,比如PLC模块电源模块烧毁,而非关键负载恢复顺序出现错误,可能会出现优先启动厨房设备而非消防泵的情况,最终导致应急供电过载跳闸。

3.4 网络与通信安全问题

工业网络互联的背景下,船舶电子电气自动化系统面临着网络攻击与数据窃取的风险。外部通信层若未加密,可能遭受DDoS攻击,造成带宽拥塞,或被植入恶意软件篡改控制指令。控制层专用协议未认证,攻击者可通过端口扫描注入异常功能码,引发设备误动作。通信链路失效的问题较为突出。光纤断裂、交换机故障可能导致控制层网络瘫痪,船舶舵机、主机将无法接收远程指令,若未及时切换至串口通信模式,还可能导致船舶丧失动力或转向能力。如果VLAN隔离失效,病毒可能会横向扩散,导致多设备同时掉线。

4 船舶电子电气自动化技术的安全控制

4.1 防电磁干扰

电磁干扰是船舶电子系统安全运行的潜在威胁之一,尤其是在船舶机舱等高密度的设备区域,因强电设备和弱电控制系统同时存在,此时很容易因电磁耦合而引发误动作,或是导致数据丢失等问题。对于电磁干扰问题,现代船舶会通过防电磁干扰技术来加以应对。第一,独立电源隔离技术。独立电源隔离技术的基本原理是通过单独隔开变压器的方式,为自动化设备提供独立电源,借助于磁屏蔽和滤波电路,以此实现隔离高频干扰信号的目的。隔离变压器能够过滤电源线中因开关操作所产生的瞬态电压波动,将自动化设备与主电网的电磁耦合强度进行合理控制^[4]。第二,光纤传输介质替代。该技术是通过光纤替代传统铜缆来传输控制信号,通过利用光信号抗电磁干扰特性,将通信误码率进行合理控制。该技术还能够同时支持千兆级数据传输带宽,以此减小系统数据延迟的问题。第三,RC吸收装置优化。继电器、接触器等开关器件可能会产生电弧干扰,对此,可以采用RC吸收回路来瞬态电压尖峰。在船舶电力推进系统的逆变器输出端加装RC装置,以此来降低电磁辐射强度,降低误触发概率。

4.2 容错与冗余设计

船舶电子电气自动化系统的运行,对可靠性要求极高,只有通过多层次冗余架构,才能够保证相关关键功能能够在发生故障时持续运行。第一,硬件冗余架构。对主控站、PLC等关键设备采用双机热备设计,主备系统要保证能够实时同步数据,所设置的切换时间要尽量控制在5秒以内。一般冗余控制器会设置在动力管理系统之中,当主控制器受浪涌影响而出现电压失效的情况时,随即便会启用备用控制器,由备用控制器接管控制权,以免船舶出现动力中断的问题。

题。船舶驾驶室和船舶机舱控制室设计要互为备份,可通过双操作台实现“一机双控”,通过这种设置来合理控制单点失效风险。第二,软件容错算法。软件容错算法是指基于模糊逻辑和神经网络的自适应算法,此算法会在传感器失效时切换至历史数据模式。当船舶的压力传感器等发生故障时,船舶监测系统会通过软件容错算法自动调用前10分钟的平均数据,以此确保船舶货舱的压力保持稳定。第三,模块化分布式控制。该技术会将全船系统分解为独立的子模块,比如推进模块、电力监控模块等,各子网通过数据采集层和控制层的双层总线架构实现互联。这样做,能够将船舶系统的子模块独立起来,一旦单一模块故障,也仅会影响局部功能,以此提升船舶系统的整体可用性。

4.3 增强实时操作系统的安全性

船舶电子电气自动化系统中,RTOS安全性直接影响关键控制任务可靠性。相关人员需针对混合任务场景,构建分层隔离、资源可控的安全架构,保障实时任务确定性响应。首先,技术人员可采用微内核架构或容器化技术实现任务空间隔离,实时任务运行于特权内核空间,通过专属CPU时间片与内存配额保障优先级,对非实时任务,则应在用户空间通过消息队列通信,避免抢占资源。应基于速率单调调度或最早截止时间优先算法动态分配资源,确保发动机调速等核心任务响应时间 $\leq 5\text{ms}$ 。可引入AUTOSAR内存保护单元构建分区隔离,固定任务内存块并禁止跨区访问,硬件级阻断缓冲区溢出风险。针对多核架构,应通过核亲和性绑定技术固定实时任务至特定CPU核心,降低切换延迟。设计阶段需要进行故障注入测试,验证非实时负载下实时任务响应波动 $\leq \pm 10\%$,满足IMO功能安全标准。

4.4 构建多场景应急预案

相关单位针对船舶自动化系统可能面临的典型故障场景,必须尽快制定出《自动化系统失效应急预案》,针对不同的场景,设计涵盖“风险预判—分级响应—容错恢复”等各流程的处理方案。第一,全船失电应急处置,需要设置电源快速恢复机制,当主配电板电压监测模块检测到三相电压均低于额定值且持续超过5秒时,触发以下操作:其一,0~10秒。蓄电池储能系统自动投入,优先为应急照明、驾驶室通信设备及导航设备供电,确保船舶的基础航行与救生功能;其二,10~30秒。应急发电机启动装置收到失电信号后,通过压缩空气或液压马达快速点火,30秒内达到额定

转速并合闸供电;其三,30~300秒。按负载优先级恢复供电,即从导航设备到舵机系统,再到消防泵,最后至于非关键负载,确保5分钟内能够完成导航雷达、GPS等设备的重启与数据同步。同时还要进行人工干预,在值班人员确认失电后,需在2分钟内携带便携式故障诊断仪到达应急发电机房,检查燃油阀状态、启动电池电压,若EG启动失败,需要手动切换至第二台备用发电机,同时通过VHF向附近船舶及海事局报告情况。第二,网络瘫痪应急处置。一方面,通信链路无缝切换。当工业防火墙检测到控制层网络流量连续10秒为零时,则自动触发以下切换。其中硬件层舵机、主机等关键设备切换至独立的RS-485串口通信总线。操作层驾驶室本地操作台激活手动控制模式,舵机控制手柄直接输出模拟信号至电液伺服阀,主机转速通过物理旋钮调节,避免依赖网络传输。另一方面,数据同步与权限管控。在网络恢复后,系统应验证设备身份,先同步转速、舵角等关键控制参数,再分批恢复历史日志与监控数据,以免流量突增导致二次故障。在人员手动操作期间,所有指令需驾驶员操作、轮机员复核,还要进行纸质日志记录,记录操作时间、参数变更值等,确保各项数据可追溯。

5 结语

船舶电子电气自动化系统的安全稳定运行,是保证船舶安全航行的基础。本文通过对其基本构成的了解,对各部分的关键作用进行详细阐述。针对当前船舶电子电气自动化系统的安全问题,文章提出了精准有效的安全控制策略,希望能够为业内人士提供些许参考。未来,随着科学技术的进一步发展,船舶电子电气自动化技术不断革新的同时,安全控制措施也需与时俱进,持续优化完善。

参考文献

- [1] 熊亭超,周卫平,李可,张鹏飞.船舶轮机设计中自动化与智能化技术的应用探讨[J].珠江水运,2025,(02):105-107.
- [2] 缪海波,周园园.船舶电气自动化技术应用及发展趋势[J].船舶物资与市场,2024,32(12):75-77.
- [3] 王荣杰,徐昕辉,陈虹宇,陈丽勤.面向智能航运:船舶电子电气工程知识体系建构[J].航海教育研究,2024,41(04):57-63.
- [4] 王双飞,王辉,刘昊原,王东月.智慧航运发展背景下船舶电子电气人才培养问题及优化路径分析[J].中国水运,2024,(19):39-41.