

引用格式: 徐亮, 郭力峰, 钟琮玮, 等. 无人舰船机舱智能化技术应用探析 [J]. 中国舰船研究, 2022, 17(6): 15–21, 47.
XU L, GUO L F, ZHONG C W, et al. Application research on intelligent technology of unmanned surface vessel engine room[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2022, 17(6): 15–21, 47.

无人舰船机舱智能化技术应用探析



扫码阅读全文

徐亮*, 郭力峰, 钟琮玮, 钱勤标
中国舰船研究设计中心, 上海 201108

摘 要:全自主无人舰船正在受到越来越多的关注, 机舱智能化技术是无人舰船长航程全自主运维的基础, 是实现其任务使命的重要保障。首先综述国内外机舱智能化技术的发展现状, 然后, 从无人舰船机舱智能化的任务需求出发, 分析机舱智能化应用管控的对象范围, 并归纳出机舱智能化 5 个方面的能力目标图像。进而, 基于“应用–控制–现场”分级, 提出机舱智能化技术应用总体架构和系统组成, 以及实现机舱智能化的技术途径。最后, 对未来无人舰船的机舱智能化技术发展重点进行讨论。提出的目标图像和应用方案, 对无人舰船机舱智能化技术应用总体研究和机舱智能化技术发展具有一定参考意义。

关键词:无人船; 智能机舱; 概念设计; 技术应用
中图分类号: U662.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.19693/j.issn.1673-3185.02602

Application research on intelligent technology of unmanned surface vessel engine room

XU Liang*, GUO Lifeng, ZHONG Congwei, QIAN Qinbiao

Shanghai Division, China Ship Development and Design Center, Shanghai 201108, China

Abstract: Autonomous unmanned surface vessels (USVs) are drawing increasing attention. The intelligent technology of the engine room is the basis of USVs that feature long voyage course and fully autonomous operation, and it ensures that the goals of the USV can be achieved. First, this paper reviews the development status at home and abroad. The scope of the intelligent objectives of the engine room is then proposed, and five ability target images of engine room intelligent technology are identified. Next, the Application-Control-Onsite technology application solution, components and path are presented. Finally, several development key points of engine room intelligent technology are discussed. This work can provide valuable references for the general technological R&D of USVs.

Key words: unmanned surface vessel (USV); intelligent engine room; conceptual design; technology application

0 引 言

近年来, 随着人工智能、云计算、大数据等技术的快速发展, 舰船领域正在经历从电气化、信息化到智能化的代际跨越, 舰船智能化无疑将是海上战场水面作战平台提升作战效能的必经之路。无人舰船因其低成本、高效能的优势, 正在被逐步纳入各军事强国的装备智能化发展计划。

机舱承担着平台运动控制与执行的重要任务, 是无人舰船遂行各类任务的基础。相较于小型无人艇, 中大型无人舰船机舱内部设备众多、系统复杂, 且单舰价值高、任务周期长、任务类型多样, 其机舱的智能化、自主化、高可靠性显得更为重要, 直接关乎着舰船平台航行任务和作战任务目标的达成。因此, 开展无人舰船机舱智能化技术应用研究十分必要。

收稿日期: 2021-11-22 修回日期: 2022-03-26 网络首发时间: 2022-11-25 11:37
基金项目: 中国船舶集团有限公司自立科技研发专项资助项目(202104Z)
作者简介: 徐亮, 男, 1988 年生, 博士, 高级工程师
郭力峰, 男, 1986 年生, 硕士, 工程师
钟琮玮, 男, 1984 年生, 博士, 高级工程师
钱勤标, 男, 1982 年生, 硕士, 高级工程师

*通信作者: 徐亮

当前,围绕机舱的智能化探索,世界各国已开展了大量研究。同时,借助船员的人机协同,已成功实现机舱智能化相关部分技术的落地应用。

2016年,韩国现代重工与埃森哲公司合作推出的 OceanLink 智能船舶系统^[1],构建了收集分析利用船舶大数据的环境,并运用大数据为用户提供全价值链船舶运营优化服务。2018年,韩国大宇造船牵头建立了智能船舶 4.0 服务基础设施,构建了基于云计算、物联网等技术实时收集数据并基于数据分析管理船舶的架构体系,对船舶进行高效的诊断和维护保养^[2]。日本船级社成立了海事业大数据中心,与 IBM 公司开发了相关软件,该软件能收集机舱的实时数据并进行分析,从而提供设备优化和维修等建议^[1]。罗尔斯-罗伊斯(Rolls-Royce)公司从 2005 年开始从事船舶智能技术的前期开发,2008 年发布了设备健康管理(EHM)^[3]产品,通过 EHM 可以与船舶设备以及船岸的通信基础设施整合,实现无缝显示,并为船舶装备提供操作和维护建议,提高装备和设备的可用性、减少停机时间、延长维护间隔,目前该技术仍在不断升级完善。

国外柴油机厂商配套开发了多种机舱设备状态智能监测诊断系统,例如 MAN Diesel&Turbo 公司的 COCOS-EDS, Wartsila 公司的 MAPEX 等^[4]。

国内学者针对机舱动力系统的智能化诊断进行了大量研究。例如,王瑞涵等^[5]提出了一种结合流形学习和孤立森林算法的船舶机舱设备状态监测方法,可以在仅利用正常工况数据集的情况下,训练并构建多个子森林检测器,用于实现对柴油机等目标设备的故障监测。蒋佳炜等^[6]将船舶动力装置的智能故障诊断分为数据信号获取、数据特征提取、故障识别与预测 3 个关键环节,提出了应以实现船舶动力装置的视情维修与健康管理的目标,建立基于云平台的数据监测系统及数据库并开展监测数据挖掘。刘国强等^[7]以船舶主机的燃油系统为研究对象,提出了一种基于粗糙集理论和优化有向无环图-支持向量机(DAG-SVM)的故障诊断方法,能够对船舶主机故障进行有效的诊断决策。黄嵘等^[8]结合智能船舶规范,研究了当前智能船舶对于主发电机组柴油机、电力驱动系统、推进系统的功能需求,提出了智能船舶的动力系统的发展趋势,对智能船舶动力系统的选配、设计起到指导性作用。

中国船级社在《智能船舶规范(2020)》^[9]中对智能机舱(附加标志 M, Mx)进行了定义,指出智能机舱的功能要求包括:能够实现对主推进相关的设备与系统的状态监测、健康评估、运维决

策、视情维护;能够实现主推进装置的驾驶室遥控,以及周期无人值班^[10]。该规范自发布以来,已指导国内多艘船舶取得了智能机舱附加标志 M。例如,依托于“智能船舶 1.0 研发专项”的 2 艘 40 万吨矿砂船、2 艘 30.8 万吨智能原油船,电力推进船舶“雪龙 2 号”极地科考破冰船,国内吨位最大、最新海事执法船“海巡 09”等,促进了国内机舱智能化技术的发展。

此外,中国船级社还发布了自主货物运输船舶、无人水面艇的检验指南^[11-12],这些文件的发布,对无人船舶的轮机、电气装置等的安全配置设计提出了相应要求和指导,对无人舰船的机舱智能化设计也具有一定的借鉴意义,但总体上仍重点关注机舱主要设备的状态监测与健康诊断等。

可以看出,目前的机舱智能化技术研究主要围绕船舶机舱典型设备的状态监测、健康评估、面向维护的辅助决策和周期无人值班等方面^[13-14]开展,机舱智能管控对象范围和功能仍相对有限,难以直接迁移应用并全面支撑无人舰船长航时、全自主的航行与作战任务需要。

为此,以美国为代表的军事强国率先开展了包括机舱智能化在内的无人舰船智能自主技术的试验验证。例如,美军 140 t 级“海上猎手”中型无人水面艇(MUSV),可实现约 60 天的自主航行^[15],机舱系统与设备的可靠性要求极高。2020 年以来,美海军“幽灵舰队霸主”计划中 2 艘由商用补给船改装的大型无人水面舰(LUSV)“游骑兵”号和“游牧者”号,先后进行了超过 7 000 n mile 的长距离长航时自主航行试验^[16],验证了包括机舱在内的全舰设备的自主运行,取得了良好效果。

在上述背景下,本文将针对无人舰船机舱智能化任务需求,设计无人舰船机舱智能化的概念图像,提出机舱智能化技术应用总体方案和技术实现思路,并对未来机舱智能化技术的发展重点进行展望。

1 无人舰船机舱智能化概念设计

1.1 机舱智能化管控对象范围

无人舰船离港在航期间,除少量的人工远程干预外,将长时间处于无人值守状态,机舱设备的运行应能够适应无人舰船预置静默、低噪反潜、高速机动、正面对抗等多种作战样式的动态需求,能够实现基于多任务的能源高效自主调度、设备自主运行等。同时,还应能够实现对机舱设备运行状态的全面自主感知,当设备发生或即将发生故障等异常时,应能够自主识别诊断,

并能够对故障及时采取自主重构恢复或降级运行等处置措施, 保证机舱设备最大限度的连续、可靠工作。一旦出现机舱火灾、浸水等舱室损害, 还应能够实现无人状态下一定程度的自主损管。

这些任务的实现必然要求机舱智能化, 能对机舱相关的关键系统与设备、以及机舱自身损害状态进行综合管控。

基于上述任务需求分析, 机舱智能化综合管控的关键对象至少应包括 5 类:

- 1) 动力系统。包括原动机及其附属设备、轴系、齿轮箱、调距桨、推进器、控制动力源等。对于电力推进船舶, 还应包括发电机、变频器、推进电机等; 当配有侧推进器时, 还应包括侧推进系统及其附属设备。
- 2) 操纵系统。包括舵机装置、液压系统等。
- 3) 电力系统。包括柴油发电机组、主配电板、配电柜、蓄电池、充放电系统、不间断电源、主干电缆等。
- 4) 管网系统。包括燃油管路、滑油管路、海水管路、淡水管路、通风管路等管系, 泵、电动机、阀门等。
- 5) 其他系统。包括视频监视系统、结构监测设备、灭火系统、消防泵系统、遥控门系统等。

1.2 机舱智能化能力目标图像

基于无人舰船长航程、长航时、多任务、高自持的使用需求特点, 本研究从设备集成、系统设计、态势感知、自主运维、远程控制等 5 个层面, 提出无人舰船机舱智能化能力目标图像(图 1)。



图 1 机舱智能化能力目标图像
Fig. 1 Ability target image of intelligent engine room

1) 高可靠、高集成度、高智能化的机舱设备。
目前, 机舱系统及设备自带传感器的数量和种类较少, 能够获得的状态量十分有限。因此, 只能依靠外置加装的接触式或非接触式的传感设备来实现更多维度的状态感知, 如针对油液质量

监测加装的油液分析装置。但是, 一方面, 后期加装传感器往往存在兼容性差、部署繁琐等问题, 另一方面, 在恶劣的机舱环境条件下, 外置加装的传感器性能易退化, 直接影响状态监测的准确性。此外, 传统机舱设备的设计是面向有人舰船的, 结构松散、自动化程度低、控制精度差, 沿用此类机舱设备还面临着无人化和智能化接口改造困难、代价过高的问题。因此, 必须针对高可靠、高自持、强交互需求的无人舰船, 开展设备级优化设计, 使其具备高度集成、优化封装以及智能交互的特点, 即通过提高集成度提升设备可靠性、优化封装降低接口复杂度、智能交互实现设备自我感知和自主智能控制。

2) 高可靠、基于冗余/简化的机舱系统重构设计。
机舱设备众多、类型多样、环境复杂, 对于有人舰船, 通常设置专门岗位负责在舰维护与舰员级修复。对于无人舰船, 虽然服务于舰员生活的机舱设备会大幅减少, 但对系统可靠性要求变得更高。为此, 必须统筹考虑对机舱内动力系统、电力系统、管网系统等开展冗余、简化等总体重构设计。例如, 缩短功能实现通路, 增加功能冗余旁路, 控制动力源电气化等, 减少故障概率, 增加恢复路径, 提升机舱的本质可靠性, 在故障发生时快速实现自我保护与自主隔离, 将功能损失降至最小限度。

3) 全面、准确的机舱整体运行态势智能感知能力。

无人舰船必须具备完善的态势感知能力, 以便全舰任务控制系统及时、准确掌握机舱运行状况。通过设备主动上报、外置监测等手段, 对关键设备、系统、舱室自身状态等进行基本物理特征监测, 例如振动参数、热力参数、声学参数、火灾探测信息、图像信息、管路泄漏等。基于机舱运行过程产生的监测数据, 结合舰船航行等数据, 机舱智能大脑(可部署于全舰任务控制系统的计算决策中心)通过数学机理模型、时域频域分析、专家系统、关联融合分析、故障模式识别、深度学习、支持向量机等多种算法分析^[6], 进行数据预处理、特征提取, 自主对机舱运行状态进行态势融合评估, 对重要设备运行趋势进行潜在故障预判, 对已发生故障进行诊断定位, 实现机舱设备、系统、舱室综合的态势自主感知和认知分析。

4) 自主、协调的机舱系统自主运维能力。
《智能船舶规范(2020)》^[9]中, 智能机舱对设备运行的要求是达到 AUT-0, 即实现周期无人值守, 同时单点故障应不影响功能实现。然而, 对于无人舰船机舱, 机舱智能化的自主运维有着更

高的要求。首先,机舱内关键系统及设备应具备较为完备的自动控制能力。例如,主机及其辅助系统等重要设备在无人干预下,能够自动启动、停机;机舱温度根据工作状态自动调节,消防喷淋装置顺序启停控制等。其次,机舱智能大脑应具备任务规划能力,能够根据任务切换、航姿调整等不同目标要求,执行机舱系统的任务规划,生成各类设备的控制指令,自动实现对机舱内设备的综合调度控制,保证机舱系统自主、协调地运行。当有故障发生或预判故障即将发生时,机舱智能大脑应具备应急处理自主决策能力,能够根据预设策略库、决策树求解等方式,自主对故障节点进行重启、隔离或降额恢复,最大程度确保任务的连续性。

同时,为了安全性考虑,机舱系统还应具备独立的应急控制系统,紧急情况下,可由全舰任务控制系统、岸基控制站等直接下达控制指令。

5) 及时、有效的机舱自主损害管制能力。

在无人舰船的航行与作战任务中,机舱可能存在突发的消防、浸水等损害风险,因此,机舱的自主损害管制,是无人舰船机舱智能化的重要能力。一旦机舱态势感知系统根据图像、烟温火警、舱室温度、浸水报警等多维损管监测信息融合判断得出正在面临损害态势时,机舱智能大脑能够立即进行损管决策,生成损管方案,并驱动机舱内灭火系统、消防泵、舱底水、防火门、水密门等装置,协调完成自主损害管制,及时管控损害恶化态势。

6) 实时、可靠的人机跨域协同管控能力。

无人舰船离港在航期间,岸基、指挥舰等远程控制站应能够通过外部通信系统实时、可靠地掌握其动态,下达任务指令,以及必要时进行远程干预,实现跨域的人机协同管控。

对于重要的机舱监测数据和态势感知结果,应能够安全、可信地发送至岸基控制站,供岸基控制站人员实时评估;同时,还可在靠港后由岸基人员对储存的机舱历史数据进行二次离线深度分析。控制站具备最高控制权限,可根据任务需要等,可靠、及时地对无人舰船任务控制系统下达特定任务,由舰载机舱智能大脑据此进行机舱任务规划,完成协调控制;必要时,控制站也可直接对关键设备和系统进行人工远程操作。

另外,控制站还应具备良好的、可靠的人机交互能力,例如构建基于机舱数字孪生技术的机舱可视化管控平台等。

2 无人舰船机舱智能化方案

基于上述无人舰船机舱智能化概念图像设计,开展机舱智能化方案分析。

2.1 机舱智能化总体架构

机舱智能化的总体架构设计应结合无人舰船全舰任务控制系统的架构统筹考虑,本研究按照“功能软件化、硬件标准化、控制网络化、决策集中化”的设计思想,提出无人舰船机舱智能化总体架构,如图 2 所示。

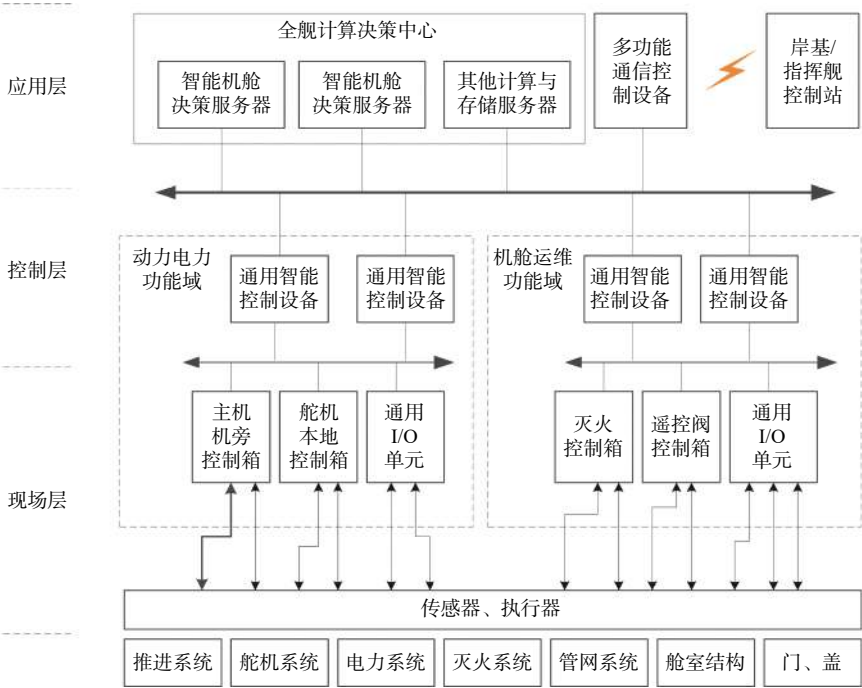


图 2 机舱智能化总体架构

Fig. 2 General architecture of intelligent engine room

总体架构分为应用层、控制层、现场层。应用层的主要表现形式为: 部署在全舰计算决策中心的机舱决策服务器和岸基/指挥舰控制站, 负责基于运行状态数据的融合分析, 实现机舱态势自主感知; 按照上级任务指令, 实现机舱级的任务规划与自主决策; 通过综合通信系统, 实现人机协同交互。控制层的主要表现形式为: 面向管控对象的通用智能控制设备, 负责按照应用层的任务规划与决策指令, 完成机舱各系统的自动可靠运行。现场层的主要表现形式为: 各类传感器、执行器、控制箱等负责对机舱系统和设备的综合监测、管控执行等现场任务。

应用层与控制层之间通过高速工业以太网实现互联互通, 控制层与现场层之间通过现场总线实现设备间实时数据交互, 本舰与远程站通过卫通、超短波等方式实现无线通信。全舰任务控制系统统筹构建船域和跨域通信网络, 负责实现本舰内部、本舰与控制站的数据实时共享和通信安全管理。

为实现机舱自主控制与自主运维功能的相对独立, 本文提出将智能机舱划分为动力电力功能域、机舱运维功能域。其中, 动力电力功能域负责主机及其辅助系统、电力系统、操舵系统的安保与控制, 是智能机舱的最核心功能, 同时也是全舰航行控制的重要组成部分; 机舱运维功能域主要负责主机及其辅助系统、电力系统、操舵系统等重要设备的状态监测, 以及机舱遥控门、灭火系统、管网系统中泵、阀、风机等监测和控制, 是全舰保障的重要组成部分。

动力电力功能域和机舱运维功能域的控制层互相隔离、应用层互相联通, 既保证了各自的功能独立和安全可靠, 又保证了跨功能域之间的信息共享和任务协同。

2.2 机舱智能化系统组成

同样地, 在组成上, 机舱智能化应按照全舰任务控制系统的规划进行统筹设计, 以便实现全舰软硬件的标准化、模块化。在机舱管控对象的基础设备之上, 构建机舱智能化管控系统, 组成设备包括 5 个类别:

1) 感知设备。

感知设备包括用于监测管控对象的热力学参数、运动学参数、流体力学等物理量的各类传感器和监测装置, 分为接触式和非接触式, 是状态感知的底层监测设备。

2) 现场执行机构。

现场执行机构是机舱智能化广义上的底层执

行设备, 负责实现设备级的闭环控制、逻辑控制, 以及基于电能、液压的动作执行, 包括设备机旁控制设备, 如主机及其辅助系统、齿轮箱、舵装置、柴油发电机组等设备的本地控制箱; 为实现自动控制专门配置的控制箱, 如遥控门、灭火系统、阀门、风机、泵组等设备的电气控制箱; 以及末端执行器, 如电动阀、电液阀等。

3) 通用 I/O 设备。

通用 I/O 设备主要适用于对不同通信接口的直驱设备、传感器、控制设备等的接入, 具备适配模拟量硬线、开关量硬线、串口、现场总线、以太网等多种通信接口需求。通用 I/O 设备为现场层设备的接入提供自定义接入功能。

4) 通用智能控制设备。

通用智能控制设备是实现机舱智能管控的核心设备, 采用通用化、智能化设计, 可动态加载不同的控制软件, 分别实现电站控制、主推进控制、操舵控制、航行控制、运维控制等不同功能。通用智能控制设备为冗余配置, 在单个通用智能控制设备失效时可由冗余设备动态无扰接管, 实现控制层的可靠运行。

5) 智能机舱决策服务器。

智能机舱决策服务器是实现机舱智能化的中枢大脑, 按照无人舰船全舰任务控制系统要求统一部署在全舰计算决策中心, 优先选用全舰服务器集群资源管理方式部署。内部部署机舱态势智能感知软件、机舱任务规划软件、机舱自主管控决策软件等机舱智能化软件, 分别实现机舱设备运行和机舱整体态势的智能感知和状态评估, 支持全舰任务实现的机舱级任务规划, 以及面向自主运维和自主损管的自主管控决策。

需要补充的是, 除充分考虑各组成设备的冗余、简化、集成外, 还应进一步提升组成设备自身耐用性、可靠性、环境适应性, 确保无人舰船机舱设备的自主管控可靠、长效。

2.3 机舱智能化的技术应用实现

1) 基于“智能设备+智能化分析模型”的自主感知。

对于主机及其辅助设备、齿轮箱、主配电板、轴系、机舱配电柜、操舵装置等机舱主要设备, 采用集成化、智能化设计, 各主要部件预置各类传感器(或预留传感器安装接口), 例如活塞冷却液温度、气缸套温度、柴油机振动、配电板电流、电压、液位等。同时, 监测信息发送至机旁自动控制箱, 预留监测、控制等对外通信接口。必要时, 也可通过外置加装感知设备等方式, 实现

对设备及系统的状态监测。

对于机舱结构振动、浸水、消防、管网等自身状态,采用分布式布置传感器方式实现状态感知。

需要说明的是,机舱设备配置传感器的数量、类别优化设计,应遵循“离港期间可能影响设备/系统功能实现的状态感知”这一原则,既确保能够准确、完整、高效反映其状态,又不必过多配置非必要传感器,应结合周期性靠港检修保养,释放舰船自身资源,简化设备组成,提升功能可靠性。

智能机舱决策服务器部署机舱态势智能感知软件,预置各类管控对象的基于机理模型、频谱分析、专家系统、趋势分析、关联分析、人工神经网络等的多源数据融合模型、设备健康评估模型、故障预判模型、故障模式识别模型、系统运行态势模型、机舱损管态势模型和融合评估算法等,深度利用实时状态监测信息,实现对机舱整体态势的综合评估。

2) 基于“设备/系统优化设计+智能任务规划与决策”的自主运维。

开展机舱系统重构设计,对于重要的设备、服务管路、电力回路、控制设备等采用冗余旁路设计增加备份路径,并通过简化设计等完善设备自身可靠性能,提升系统可靠性,为执行基于故障隔离/恢复的自主运行提供条件,例如,增加舵机控制通道冗余度、改变电站主配电板的拓扑形式、增设油水管路的冗余旁路、动力系统全电化等。

智能机舱决策服务器部署机舱任务规划软件和机舱自主管控决策软件,根据机舱整体态势的感知与评估结果,以及航行控制系统或控制站分发的任务,以及基于专家系统、随机森林、深度学习、强化学习等预设算法,进行机舱级任务规划,制定相应自主管控决策策略(例如负载重启、故障隔离、综合调度、程序控制等),完成相应的指令分发,并由动力电力功能域、机舱运维功能域内的通用智能控制设备控制执行,最终完成基于任务变化的自主调度、基于故障隔离/恢复的动态自主重构、基于航行浮态的水油自动调驳、基于实时评估的自主损害管制等自主运行和维护。

3) 基于“智能设备+协调控制”的智能控制。

机舱主要设备采用智能化、自动化设计,自带控制接口,具备对外通信能力,也可通过起动机、接触器、控制箱等集中控制设备的方式,实现机舱设备的联锁、程序自动控制等。例如,主机采用集成设计,支持全自动控制起停;配电板重要负载开关支持自动控制开闸、合闸;水密门专设控制箱等。

通用智能控制设备接受智能机舱决策服务器的任务决策指令或直接接受控制站远程管控指令,完成对机舱设备的协调控制,同时控制参数应具备模型漂移自适应的智能调节能力。

另外,还应设计应急操控机制,机舱重要设备留有应急操纵接口,在机舱智能系统自主运行故障时,可以通过远程控制站应急控制,例如并车、停车、遥切、开关阀等。

4) 基于“数字孪生+舰站协同”的远程管控。

远程控制站设置在岸基或指挥舰,实时接收无人舰船回传的机舱各类运行态势信息,利用数字孪生技术搭建“数字无人舰船”平台,基于运行数据和模型,实现人在旁路的实时远程监控与必要的干预,既可以实现实时的运行故障预报、辅助故障诊断等,也可以在无人舰船靠港检修期间,深度分析导入的离线数据,辅助制定视情维修的检修、维护方案。

无人舰船船域网络连接多功能通信控制设备,可自适应地通过卫通、北斗、超短波等多条外通设备链路,将数据自动回传至控制站。控制站具备最高的优先权,操作员可通过人工决策制定任务计划,对无人舰船运行进行干预和直接控制,实现舰站间任务协同。

3 机舱智能化技术发展展望

目前,机舱智能化技术研究主要面向人机协同、故障诊断与辅助维护,针对动力系统、电力系统等重要机舱设备,提出多种基于规则和基于数据的故障诊断和辅助决策的方法,例如深度学习、决策树、专家系统、改进支持向量机等,但是还存在着明显不足,例如针对自主决策和自主运维技术的研究较少、故障诊断和辅助决策技术侧重设备级且缺乏测试标准、机舱智能化管控范围有限等。目前的机舱智能化技术水平难以支撑实现无人舰船长航时、全自主的目标。

根据本文提出的无人舰船机舱智能化目标图像和技术应用实现途径,未来还应重点在以下3个方面开展机舱智能化技术研究。

1) 面向无人自主的机舱设备与系统优化设计技术。无人舰船的机舱智能化管控,必须从底层设备与系统进行重构。面向无人自主,对机舱智能化所有管控对象进行自动化集成改造。通过开展机舱设备智能化设计,将智能控制算法、信息处理算法、协议转换接口等集成在设备端,使设备本身具备自我感知、自动控制、自我冗余能力。同时,对机舱内系统进行简化,剔除非必要

中间环节,减少转换层级;通过冗余设计,增加功能旁路,提供自我愈合途径,提升本质可靠度,为开展自主运行维护奠定良好的控制基础。

2) 多任务下机舱系统自主运维技术。目前的智能机舱技术更关注设备级的故障诊断与辅助维护,而缺少对多种任务下机舱内系统级可用度的智能管控技术研究,在不影响系统任务可用度的条件下无人舰船应允许设备单点故障发生,具备一定的容错性。应进一步研究机舱任务自主规划技术,利用专家系统、决策树等方法,自主规划与全舰任务相适应的机舱设备操作决策指令,例如负载重启、综合调度、程序控制等。进一步研究基于任务切换的自主调度策略、基于航行浮态的水油自动调驳策略、基于故障隔离/恢复的动态自主重构决策等自主运维技术,共同支撑无人舰船机舱实现自主运维。

3) 智能机舱测试验证技术。针对有人船舶,借助经验丰富船员的人机协同,已经在实船上实现了智能机舱系统辅助下的健康评估、故障诊断技术的示范应用验证。但对于无人舰船,机舱智能化技术必须经过充分的测试验证,为此,需要研究智能机舱系统全面、综合的测试验证体系,制定态势感知、自主运行、自主维护、自主损管等若干测试项目、数据集和指标,并形成虚拟仿真、实船验证等测试验证方法,支撑无人舰船机舱智能化技术应用落地。

4 结 语

无人水面舰船已经成为世界各军事强国提升未来海战场作战效能的重要战略支点,其机舱的智能化设计将是提升无人舰船可靠性和可用度的重要内容。本文从设备集成、系统设计、态势感知、自主运维、远程控制等 5 个方面入手,提出了无人舰船机舱智能化能力目标图像和技术应用的架构、系统组成、技术途径,并展望了未来实现全自主、高可靠无人机舱尚需重点突破的若干技术,通过本文研究论述以期对无人舰船机舱智能化的技术发展起到一定促进作用。

参考文献:

[1] 刘微,尚家发.智能船舶发展现状及我国发展策略研究[J].舰船科学技术,2017,39(11):189-193.
LIU W, SHANG J F. The study of the development of intelligent ships and China's development strategy[J]. Ship Science and Technology, 2017, 39(11): 189-193 (in Chinese).

[2] 中国船检.韩国智能船舶发展路径[EB/OL].(2021-04-07)[2021-12-25]. https://www.sohu.com/a/459435123_120056227.
Register of Shipping of PRC. Development path of intelligent ships in ROK[EB/OL]. (2021-04-07)[2021-12-25]. https://www.sohu.com/a/459435123_120056227 (in Chinese).

[3] 船舶经济贸易.罗罗绘就船舶智能管理版图[EB/OL].(2018-02-27)[2021-12-25]. http://www.eworldship.com/html/2018/Manufacturer_0227/136800.html.
Ship Economy Trade. The intelligent management map of ship of Rolls Royce[EB/OL]. (2018-02-27)[2021-12-25]. http://www.eworldship.com/html/2018/Manufacturer_0227/136800.html (in Chinese).

[4] 余永华,杨建国,胡闹.智能机舱关键部件状态监测诊断技术研究[J].船舶,2018,29(增刊1):98-105.
YU Y H, YANG J G, HU N. Research on condition monitoring and diagnosis technologies of key components in intelligent engine room[J]. Ship & Boat, 2018, 29(Supp 1): 98-105 (in Chinese).

[5] 王瑞涵,陈辉,管聪.基于机器学习的船舶机舱设备状态监测方法[J].中国舰船研究,2021,16(1):158-167.
WANG R H, CHEN H, GUAN C. Condition monitoring method for marine engine room equipment based on machine learning[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2021, 16(1): 158-167 (in Chinese).

[6] 蒋佳炜,胡以怀,方云虎,等.船舶动力装置智能故障诊断技术的应用与展望[J].中国舰船研究,2020,15(1):56-67.
JIANG J W, HU Y H, FANG Y H, et al. Application and prospects of intelligent fault diagnosis technology for marine power system[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2020, 15(1): 56-67 (in Chinese).

[7] 刘国强,林叶锦,张志政,等.基于粗糙集和优化 DAG-SVM 的船舶主机故障诊断方法[J].中国舰船研究,2020,15(1):68-73.
LIU G Q, LIN Y J, ZHANG Z Z, et al. Main marine engine fault diagnosis method based on rough set theory and optimized DAG-SVM[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2020, 15(1): 68-73 (in Chinese).

[8] 黄嵘,祖成弟,刘志兵.满足智能船舶的动力系统发展浅析[J].船舶,2018,29(增刊1):106-110.
HUANG R, ZU C D, LIU Z B. Prospect of power system for intelligent ship[J]. Ship & Boat, 2018, 29(Supp 1): 106-110 (in Chinese).

[9] 中国船级社.智能船舶规范(2020)[S].北京:中国船级社,2020.
China Classification Society. Rules for intelligent ships 2020[S]. Beijing: China Classification Society, 2020 (in Chinese).