



智能船舶系统研究现状及发展趋势

许维明¹ 瞿荣泽¹ 薛国良¹ 徐敏义² 祝 晓¹ 刘志坚² 张奇奇²

(1. 大连中远海运川崎船舶工程有限公司 大连 116052 ; 2. 大连海事大学 轮机工程学院 大连 116026)

摘 要：随着智能化时代的到来，世界船舶工业和航运业逐渐聚焦于智能船舶，而智能船舶系统的研究则成为其关注热点之一。文章介绍了智能船舶和智能船舶系统，梳理智能船舶系统国内外的发展现状，总结国内外智能船舶系统的发展特点，展望智能船舶系统的发展趋势，并提出后期应通过国家智能船舶重点项目的引导，加快关键核心技术和重点系统设备的研发，有序推进各船型智能船舶系统发展。

关键词：智能船舶；智能船舶系统；网络安全；船岸通讯系统；发展概况；发展趋势

中图分类号：U675.7 **文献标志码：**A **DOI：**10.19423/j.cnki.31-1561/u.2023.04.046

State-of-the-Art and Development Trend of Intelligent Ship System

XU Weiming¹ QU Rongze¹ XUE Guoliang¹ XU Minyi²

ZHU Xiao¹ LIU Zhijian² ZHANG Qiqi²

(1. Dalian COSCO KHI Ship Engineering Co., Ltd., Dalian 116052, China;

2. Marine Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: With the arrival of the intelligent era, the world shipbuilding industry and shipping industry are gradually focusing on intelligent ships, and the research of intelligent ship system has become one of the hot issues. This paper introduces the intelligent ship and the intelligent ship system, reviews the state-of-the-art and the development characteristics of the intelligent ship system both home and abroad, and prospects the development trend of the ship intelligent system. It is proposed to accelerate the research and development of the critical technologies and key system equipment through the guidance of national key projects for intelligent ships, orderly promoting the development of the intelligent ship system for various ship types.

Keywords: intelligent ship; intelligent ship system; network security; ship shore communication system; development overview; development trend

0 引 言

自美国 2012 年提出“工业互联网”概念、德国 2013 年推出“工业 4.0”项目、我国 2015 年提出“中国制造 2025”战略以来，高端制造业已成为世界科技革命和产业变革的新高地^[1-2]。其中，

海洋工程装备及高技术船舶相关技术的研究在“中国制造 2025”强国战略中被列为十大领域之一，对智能船舶的发展而言也是难得的历史机遇。

众所周知，在传统交通工具领域，船舶智能化起步并不晚，早期也积累了一些较为成熟的技术（如无人机舱和自动化驾驶技术等），但近 20 年来智能

收稿日期：2022-09-13；修回日期：2022-09-24

基金项目：大连市重点研发项目“20.8 万吨智能环保型散货轮整体设计建造”（2020YF14GX001）

作者简介：许维明（1967-），男，本科，高级工程师。研究方向：船舶与海洋工程。

瞿荣泽（1969-），男，本科，正高级工程师。研究方向：船舶与海洋工程。

薛国良（1963-），男，本科，高级工程师。研究方向：船舶与海洋工程。

徐敏义（1984-），男，博士，教授。研究方向：海洋智能装备。

祝 晓（1984-），男，硕士，工程师。研究方向：船舶与海洋工程。

刘志坚（1986-），男，硕士，副教授。研究方向：海洋智能装备。

张奇奇（1996-），男，硕士，助理工程师。研究方向：海洋智能装备。



船舶技术发展却较为缓慢。这主要是由于船舶本身的标准化程度低、配套设备品种繁多、数字化水平参差不齐等因素，导致船舶数据收集水平低下，难以形成标准的数据分析方法和理论。此外，高额的通讯带宽和网络安全建设投入，也影响了船东投资智能船舶发展的积极性。

世界航运业复苏缓慢、智能船舶研究的高投入和当前全球相对稀缺的卫星宽带资源等因素限制了初期智能船舶的发展。然而，随着智能船舶技术被普遍视为下一代船舶工业技术革命，世界主要造船国家开始发力，大力投入智能船舶研究。同时，随着近年来低轨宽带卫星的发射和运营，在未来将为海洋船舶提供速率更高、资费更低、时延更少和全球无缝隙覆盖的卫星宽带互联网服务，大规模的云计算服务有望在未来的智能船舶系统上实现^[3]。

纵观近年来智能船舶系统发展，船舶智能化设备不断丰富，智能系统配套软件逐渐完善，产学研合作力度加大，互联网通信领域企业跨界合作，都是智能船舶研究进入快速发展时期的福音。

1 智能船舶发展概况

国际海事组织（international maritime organization, IMO）于2006年5月通过了E-Navigation相关工作项目，E-Navigation成为最早期的智能船舶概念，即利用电子信息技术协调船岸通信和导航信息，实现船舶、船岸和岸端之间信息互通，促进海洋环境保护和船舶高效安全航行。^[4]智能船舶被IMO、国际标准化组织（international organization for standardization, ISO）等列为重要议题，国际船舶和航运业势必向船舶智能化方向发展，世界各大船级社也针对智能船舶发布了相关规范和指南文件，见表1。

为加快建设海洋强国、制造强国、交通强国的战略目标，我国大力发展智能船舶技术，推动船舶工业高质量发展。2017年，工业与信息化部设立了高技术船舶科研专项“智能船舶1.0”；2018年，工业与信息化部、交通运输部与国防科工局联合编制了《智能船舶发展行动计划（2019—2021年）》；2019年，交通运输部等七部门联合印发了《智能

航运发展指导意见》。

表1 各大船级社智能船舶相关规范文件

船级社名称	发布时间	规范文件
中国船级社	2015年12月	《智能船舶规范》（2015）
	2016年11月	《船舶能效设计指数（EEDI）验证指南》
	2017年7月	《船舶网络系统要求及安全评估指南》
	2017年11月	《船舶智能机舱检验指南》
	2018年4月	《智能集成平台检验指南》
	2018年8月	《自主货物运输船舶指南》； 《船舶智能能效管理检验指南》； 《船舶（油船）智能货物管理检验指南》
	2019年4月	《混合动力船舶检验指南》
	2019年10月	《纯电池动力船舶检验指南》
	2019年12月	《智能船舶规范》（2020）
	2020年1月	《海事网络风险评估与管理指南》； 《船舶网络系统要求及安全评估指南》
英国劳氏船级社	2016年7月	《智能船舶入级指南》
	2017年2月	《LR无人驾驶船舶系统规则》
挪威船级社	2018年11月	《智能船舶描述性符号入级指南》
日本船级社	2018年6月	《无人船概念设计指南》
	2019年6月	《软件安全准则》
	2020年2月	《自主操作/无人驾驶船舶指南》
	2020年8月	《数字智能船舶指南》
美国船级社	2019年5月	《船舶和近海装置智能功能指南》

2 智能船舶系统

2.1 概述

智能船舶的智能化水平集中体现在船舶已配置的智能系统。智能船舶系统涵盖了当前智能船舶的基础共性技术和关键核心技术，也是对船舶总体、



动力、感知、通信、控制和人工智能等多学科交叉的集成创新能力展示。^[6]

在中国船级社发布的相关指南中，将智能船舶系统功能分为 8 个部分，分别为智能航行、智能船体、智能机舱、智能能效管理、智能货物管理、智能集成平台、远程控制和自主操作，这些功能逐渐发展形成相应的子系统。但由于不同类型船舶营运任务不同，所需要的智能系统功能也会有较大差异。以大型海洋运输船舶为例，这类船舶主要有液化天然气船、大型油轮、大型散货船和集装箱船等类型，共性特点主要表现为：船舶及货物附加值高、船舶吨位大、事故导致的后果或危害较大，并且这类船短期内对远程控制和自主操作功能的需求并不强烈。尽管如此，各类型船舶对智能船舶系统功能依然具有普遍共性需求，主要包括智能航行系统、智能机舱系统、智能能效系统和智能集成平台系统。

2.2 智能船舶系统设备

在构建智能船舶系统总体方案之前，首先要根

据船舶实际运营任务需求来配置各智能系统，结合船舶结构、机械设备布局、智能设备配置、船员操作规范和习惯等因素明确各智能系统的设备。

智能集成平台系统的主要设备有集成平台交换机、通信网关、服务器、防火墙、多计算机切换器和综合显示工作站等；智能机舱系统主要设备包括机舱状态监测系统软件、设备运行维护软件、机舱主要机械设备传感器、轴系振动数据采集箱和轴系油液监测箱等；智能能效系统主要设备包括智能能效服务器、报警监控系统、通导、液位遥测、配电板、流量计和轴功率仪等；智能航行系统主要设备包括防火墙、不间断电源、气象工控机、通导交换机、航路服务器、航路系统交换机、视频图形阵列（video graphios array, VGA）发送器/接收器、图像采集卡、图像服务器、DC 12 V 和 24 V 电源、航行系统相关传感器和显示器等。

智能船舶系统设备的安装应在满足船舶电气设备安装规范的前提下，根据各智能系统的技术要求合理调整船舶结构并优化设备布置。某智能船舶系统主要设备布置信息见表 2。

表 2 智能船舶系统主要设备布置信息

智能系统	设 备	安装位置	备 注
集成平台系统	集成平台系统机柜 1	航行设备间	包含服务器、防火墙、交换机等
	综合显示工作站	驾驶室、集控室	—
	集成平台系统机柜 2	集控室	包含交换机、通讯网关等
智能能效系统	智能能效服务器	集成平台系统机柜 1	包含智能能效软件
智能机舱系统	智能机舱设备	集成平台系统机柜 2、机舱	包含智能机舱软件、传感器等
智能航行系统	智能航行设备	罗经甲板、驾驶室	包含传感器、交换机、工作站等
	智能航行系统机柜	航行设备间	包含服务器、工作站、交换机等

2.3 智能船舶系统网络拓扑图

智能船舶项目根据不同船型和营运任务可以设计出不同的智能船舶系统，其智能系统设备及其布置、供电方式、通信协议和接口并不唯一^[7]。智能系统设备与实船设备关联集成，构建了各智能功能系统和集成平台系统，形成了智能船舶系统总体方案。智能船舶系统网络拓扑图如下页图 1 所示。

智能航行系统是智能船舶系统的关键核心技术，融合了先进的传感和感知技术，配置气导、通导等智能导航设备，通过采集分析船舶航行环境、船舶状态、设备状态等数据信息，实现航线与航速的设计和优化、开阔水域自主航行、辅助避碰决策等功能。智能航行系统一定程度上降低了船员的误操作和海损事故的发生率，提高了船舶航行的安全性。

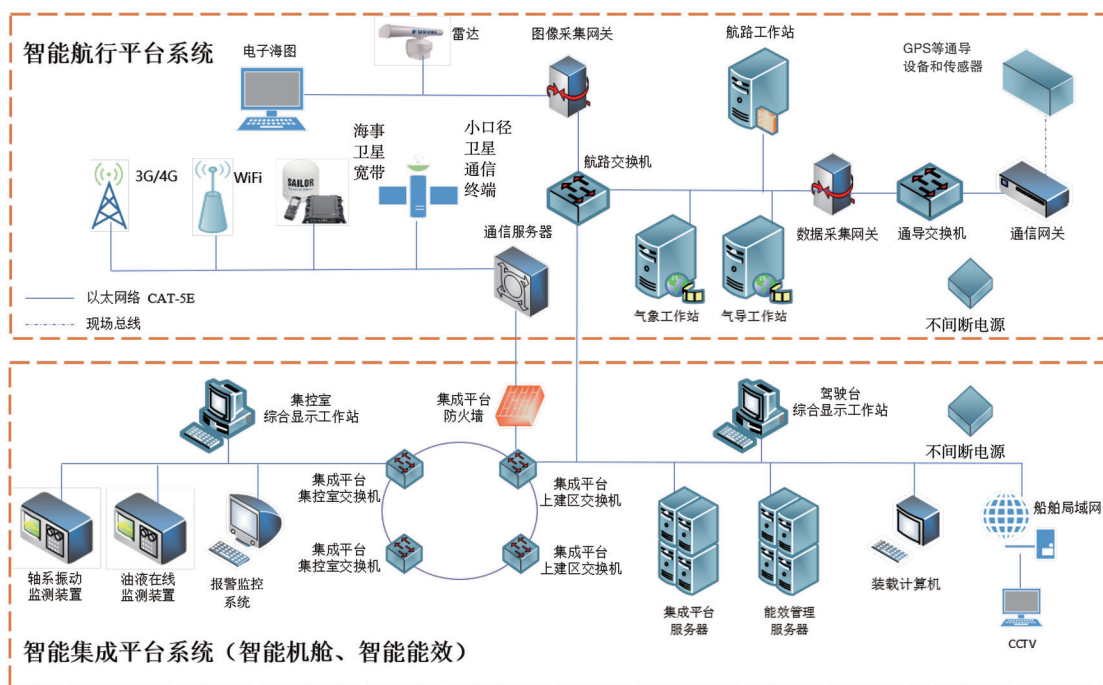


图 1 智能船舶系统网络拓扑图

智能集成平台系统是智能船舶系统方案的框架基础，综合了智能系统集成、平台管理和船岸同步子模块等功能，实现船舶信息管理、智能航行、智能能效和智能机舱等功能系统的数据采集、存储、整合、交互、共享和展现。集成平台系统数据接口方案完整，具备开放性，可扩展新的智能系统并与岸端保持良好的数据交互。

智能机舱系统是智能集成平台系统上的重要功能应用，不仅可以监测机舱主推进相关设备与系统的状态，还提供船舶设备优化使用、科学维护、全寿命周期管理等方面辅助决策支持。该系统基于机舱主要设备状态监测数据和集成平台整合的船舶设备运行数据，通过分析评估机舱各设备与系统的运行情况及健康状况，提出针对性的合理建议和预见性诊断，降低了机舱设备突发故障的几率和维护成本。

智能能效系统集成在智能集成平台系统上，是一个营运经济性管理系统。智能能效管理可基于船舶航行状态信息和营运能耗的监测数据，对船舶装载状态、出行计划、能源使用状况等进行分析评估，提供能效/能耗评估报告、航线/航速优化、纵倾

和配载优化等辅助决策支持。该系统为船员和船东提供了船舶能效监测、分析、评估、报告、报警与决策建议等服务,使船舶运营管理更高效、经济且环保。

3 智能船舶系统国内外研究现状

智能船舶系统属于大型综合动态系统,融合了人工智能和现代信息技术等新技术,具有较好的安全性、环保性和经济性等特点^[6]。以下仅从智能航行系统、智能机舱系统、智能能效系统和智能集成平台系统等方面简述国内外研究现状。

3.1 国外研究现状

全球智能船舶研制和智能船舶系统开发呈现快速发展的整体趋势。然而,由于国际各方的关注重点和技术优势存在差异,各国智能船舶系统研究方向和路径不尽相同。中国、韩国、日本等亚洲国家的智能船舶系统研究注重船舶整体智能化水平的提升,在大型远洋船舶上已安装使用了初期的智能系统;英国、挪威、芬兰、丹麦等欧洲国家及罗尔





斯·罗伊斯公司（下文简称“罗罗公司”）等企业选择由“局部智能”向“全局智能”的过渡方式，首先在小型船舶如拖船、渡轮上开展智能船舶技术研发和系统应用^[8]。

3.1.1 智能航行系统

国际海事组织于 2017 年新增“自主无人船舶”议题，并于 2019 年以通函方式批准了《水面自主船舶试航暂行指南》。目前，由于国际法律公约限制和智能航行技术适用性，国外智能航行系统的研究大多倾向于在小型船舶上开展船舶态势感知、远程遥控驾驶、自主航线优化和开阔水域的辅助避碰等技术研究。

2017 年，罗罗公司与全球拖船运营商 Svitzer 合作，在丹麦哥本哈根港成功展示了拖船远程遥控系统。船长 28 m 的 Svitzer Hermod 号拖船安全地执行了停靠、解锁、360° 旋转等操控动作，全程由船长在 Svitzer 总部基地进行遥控，遥控操作中心重新定义了船舶的控制方式。

2017 年，挪威 YARA 公司和 Kongsberg 公司合作建造了首艘自动驾驶电动集装箱船——YARA Birkeland 号。该船可通过全球定位系统、雷达、摄像机和传感器等设备实现了在航道中自动避让功能，而配套的自动停泊系统则可以完成自主船舶停泊和起航。其船体已于 2020 年 2 月下水，但由于新冠疫情和全球前景变化，而后暂停了进一步开发。

2018 年，罗罗公司和芬兰国有渡轮运营商 Finferries 在芬兰图尔库市南部的群岛成功展示了世界首艘全自动渡船——Falco 号汽车渡船。该船长 53.8 m，既可完全自主运行，也能通过指挥中心远程控制。同年，芬兰瓦锡兰集团成功试验了船舶自动靠泊系统，在挪威海事局的见证下，船长 85 m 的 Folgefonn 号渡船自主操作，实现了 3 个港口航线的不间断运营。这是此类尺寸船舶首次尝试在完全无人操作模式下实现岸到岸的全面自动化航行。

3.1.2 智能机舱系统

国外智能机舱系统主要由全球著名的柴油机厂商配套开发，机舱综合状态监测诊断系统是其研

发的重点，目前市场上已有多种成熟的机舱状态监测诊断系统。^[9]

MAN Diesel & Turbo 公司早期开发了计算机控制故障监测系统。该系统能够实现对柴油机运行状态参数的连续监测，记录并存储各时段数据，比较当前状态参数和诊断数据库故障参数，生成故障诊断报告和建议维护措施，其维护保养应用程序会列出维修计划表和备件库存明细表。此外，该系统的趋势分析功能促进了柴油机的预防性维护，降低了突发性故障风险。芬兰瓦锡兰公司开发的 MAPEX 状态监测诊断系统可通过对柴油机状态参数的实时监测，实现柴油机活塞环磨损趋势预测、气缸内燃烧状态评估和柴油机轴系健康情况分析。德国 LEMAG 公司的柴油机在线监测系统、EUB 研究所的故障诊断系统以及挪威 Kongsberg 公司和美国 KYMA 公司的发动机状态监测系统，均已应用于实船。

2010 年，韩国现代重工启动“智能船舶 1.0”计划，开发了基于有线/无线船舶综合管理网通讯技术的船舶主机远程监控系统。该系统借助信息与通信技术优化了 460 多种设备部件的综合管理，其远程技术不仅实现了对船舶设备运行状态的实时监控，还促进了远程维修技术应用。^[10]

3.1.3 智能能效系统

智能能效管理系统是“智能船舶”和“绿色船舶”的重点研究技术之一，国外船舶能效管理系统研究起步较早，已有多种能效监控系统投入使用，市场占有率较高。^[11]

2009 年，德国劳氏船级社旗下海事咨询公司 Future Ship 开发了“ECO-Assistant”船舶能效软件系统。该系统可通过船舶营运参数（如航速、排水量和水深等）计算出特定船舶的最佳纵倾角度，进而降低燃油消耗和二氧化碳排放量，最多可提升 6% 效率，并且投资回收期仅几个月。2011 年，韩国三星重工开发了船舶能效管理系统（ship energy efficiency management system, SEEMS），可利用数据采集技术、远距离数据传输技术、数据库和计算机软件等技术提高能效管理系统的集成度和

智能化水平,至少可节省15%的能耗^[11]。冰岛Marorka公司开发的船舶能效管理系统能够通过监控船舶性能参数,综合分析船舶运行数据、航次计划和能效评估等信息,形成高精度的航线优化和纵倾优化方案,其精密的计算模式和可靠的系统表现广受好评。

罗罗公司开发的智能能效管理系统可利用大数据和人工智能算法等技术降低船舶能源消耗和营运成本,此外还可分析评估机舱设备运行状态,提供维护管理的辅助决策建议,大大提高了船舶能效监测和设备维护的智能化水平。

3.1.4 智能集成平台系统

国外自20世纪80年代就开始研究船舶数字化平台管理系统,已开发出综合平台管理系统^[12]。目前国际主要船舶自动化设备供应商(如ABB、SAM、Kongsberg等公司)的综合平台管理系统都较为成熟,且已占据大部分市场份额^[13-16]。

SAM公司的综合平台管理系统是开放式的体系,在船舶网络框架下,各设备依据不同功能被分类集成成为相应的系统。综合平台管理系统遵循统一的操作和设计方式,使用通用的硬件平台,提供良好的人机交互界面,降低了设备安装维护难度、备件数量和人员培训成本,从而实现降本增效。Kongsberg公司的综合平台管理系统通过冗余的大通信宽带网络系统集成船舶导航、动态定位、舵系操纵、推进控制、机舱自动化和安全管理等独立子系统,采取分布式控制策略和通用的通信协议,实现了各子系统间的数据信息交互,具有较强的逻辑性,便于船员管理。

2012年,日本相关单位启动了“智能船舶应用平台”项目研究。该项目研发了1套智能信息与控制系统,通过集成主机遥控、压载水管理、船舶电力管理、电子海图等传统船载监控系统,借助远程数据传输和存储技术,搭建了服务于各应用系统的统一数据交互平台,实现了智能航行、智能机舱、智能能效和远程维护管理等功能。目前,该平台系统已在渡船和油船上实际应用^[17]。

3.2 国内研究现状

3.2.1 智能航行系统

智能航行系统是我国智能船舶亟需突破的关键核心技术之一,国内围绕智能航行系统开展了智能航行技术、远程遥控驾驶技术、自主航行避碰技术等研究。

武汉理工大学科研团队开创了“航行脑”智能航行系统,设计构造了1套模仿“人脑”工作模式的“人工智脑”系统。该系统被设计成3个相互关联的工作空间模块,即“感知空间”、“认知空间”和“决策执行空间”。3个模块相互协作,实现了船舶智能航行的“感知、认知、决策与控制”全过程^[18]。

2018年,基于“航行脑”概念的“船岸协同安全辅助驾驶系统”被部署于南京板桥汽渡。该系统对渡区的船舶和水域进行全局监控,有效提升了气渡船水域的航行安全性^[19]。

2019年,武汉理工大学首次实现了8500 km洲际远程驾控试验,在荷兰瓦赫宁根远程操控了在中国武汉汤逊湖内进行试验的自航模型船。

2019年5月,全球首艘智能集装箱船荷花号交付运营。荷花号的智能船舶系统是由上海船舶运输科学研究所联合中国船级社等单位自主研制,其智能航行系统可通过感知航行态势,智能切换船岸通信路由,构建船岸协同的航路选择模式,实现船舶航行风险、时效、成本和能耗的综合优化,保障航行安全。

同年6月,我国首艘满足IMO海上自主水面船舶要求的自主航行试验船——智腾号顺利完成了自主航行和自主避碰试验,其自主智能航行系统由中国船舶集团有限公司第七〇四研究所研发。该系统集成了智能态势感知系统、自主航行决策系统和自动驾驶控制系统,具备自主航行、自动避碰、自主靠离泊和远程遥控等功能,未来将应用于小型自主航行集装箱船。

3.2.2 智能机舱系统

中国船级社《智能船舶规范》第4章给出了智能机舱的定义和一般要求。我国在智能机舱方面已





进行了大量基础性研究,但国内开发智能机舱设备与系统的厂家并不多,成熟应用的相对较少。

国内,上海三进科技发展有限公司基于控制器局域网(controller area network, CAN)总线技术,开发了CJB 3100系列监测报警系统。比太系统工程有限公司联合华东船舶工业学院,研发了船舶自动化监控系统和Seainfo软件系统^[20]。武汉理工大学提出了船用发动机综合状态诊断系统,该系统包含多个子系统,对主/辅发动机转速、气缸压力、轴系振动、轴功率、机舱设备热力参数、船舶油耗和航速等运行参数进行综合诊断和评估。该状态诊断系统综合应用多种诊断方法,实现对整个机舱的智能监控^[21]。王延涛等^[22]提出1种新的智能机舱监测报警系统,该系统利用总线式分布结构设计,提高了系统各模块的自制权。与传统报警系统相比,新系统结构更简单灵活,危险信号响应迅速,报警信息反馈及时,具备很强的可靠性。孟庆宝^[23]研发的舰船智能机舱系统可通过CAN总线和以太网技术实现机舱监控数据的传输与共享,运用模块化技术提高了舰船智能机舱系统的维护效率。

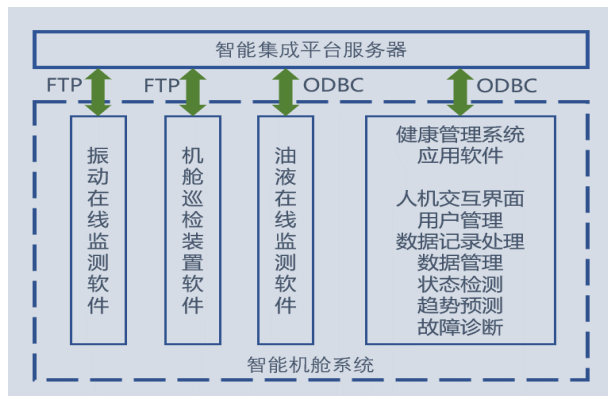
目前,国内已有大型运输船舶配置新型智能机舱系统。以某大型智能散货船为例,通过运用数据采集及测量技术、状态分析及预测技术等关键技术,实现了基于热工参数及振动的故障分析和关键状态趋势预测,搭建了机舱设备状态监测及健康管理系统架构。该智能机舱系统如图2所示。

3.2.3 智能能效系统

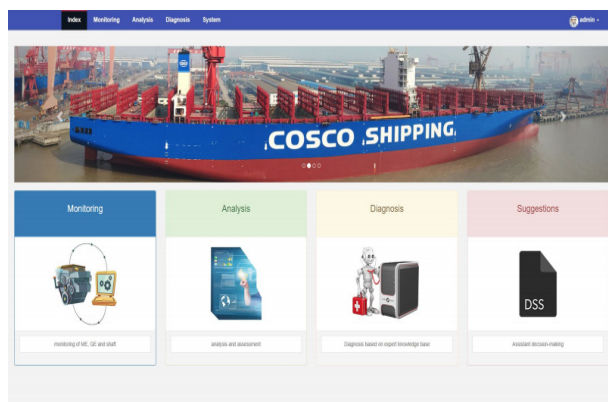
中国船级社发布的《智能船舶规范》和《智能船舶能效管理检验指南》对我国船舶智能能效优化提出明确要求^[24]。目前国内的船舶能效监控系统研发已取得一些进展,但智能能效控制系统技术研究仍处于起步阶段,智能能效管理系统仍需不断更新和完善。

国内,中远集装箱运输有限公司与上海海事大学合作开发了船舶燃油监控系统。该系统可监测燃油消耗情况、分析油耗异常原因、提供能效优化方

案,有效实现了船舶营运过程中的降本增效和节能环保^[25]。



(a) 智能机舱软件架构



(b) 智能机舱平台界面



(c) 智能机舱平台状态

图2 智能机舱系统图

中国船级社联合大连海事大学等科研单位先后研发了多款船舶能效系统,并基于船舶能效数据库、应用系统软件和船载数据采集与管理软件开发了营运船舶能效管理和计算软件系统。船舶

能效在线智能管理系统利用大数据和人工智能算法等技术, 可提供船舶能效综合智能优化方案^[26]。武汉理工大学开发了船舶能效与通航环境数据监测系统, 此系统可对船舶主机转速、转矩、油耗、轴功率、船舶对水/对地航速、风速风向与航道水深等船舶姿态、能耗和通航环境数据进行实时的采集与监控^[27]。

沪东中华造船(集团)有限公司为中远海运集团设计建造了首艘获得 CCS 认证的智能能效管理船舶——中远海运乞力马扎罗号。该船的智能能效系统不仅能监测船舶能耗水平, 还能为船员和船东提供能效优化辅助决策^[28]。

3.2.4 智能集成平台系统

中国船级社《智能船舶规范》曾给出了智能集成平台系统层次划分和总体结构, 见图 3。

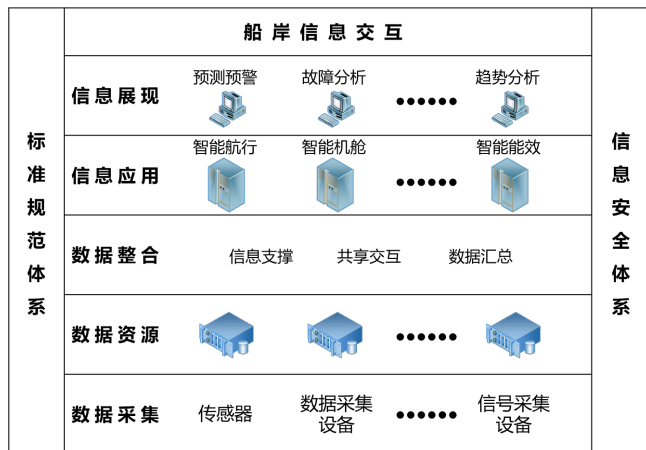


图3 智能集成平台系统总体结构

目前, 我国的船舶智能集成平台系统研制还在起步阶段, 且主要应用于国内自主研发的智能船舶。

国内, 常熟瑞特电气股份有限公司开发了智能船舶集成信息平台。该平台统一了船舶各智能系统数据的信息模型, 实现了系统数据的可靠交互和信息可视化^[29]。中国船舶及海洋工程设计研究院为我国极地科考船研发并加装了智能机舱集成平台系统。该集成平台系统项目的实施, 使我国极地科考破冰船迈入世界先进行列^[30]。

2018年8月, 工信部高技术船舶科研专项“智能船舶 1.0”的专项智能系统联合调试顺利结束,

总体联调测试了各应用功能, 确定了各智能系统的交互方案, 为智能系统装船奠定了基础。同年, 全球首艘 30 万 t 智能超大型油轮凯征轮及其姊妹船新海辽轮、全球首艘 40 万 t 智能超大型矿砂船明远轮及其姊妹船明卓轮成功交付。这 4 艘智能示范船应用“平台+应用”的设计理念, 搭建了智能综合网络信息平台, 显著提高运营能效和管理水平, 同时获得了中国船级社和挪威船级社的智能船舶符号认证^[31-32]。2019 年, 荷花号智能集装箱船应用“1+N”智能体系框架, 搭建了汇集智能机舱、智能航行和智能能效等功能系统的集成平台, 使船舶更“聪明”, 营运更高效, 航行更安全。2022 年 3 月, 搭载了增强视觉辅助航行和 3D 影像智能辅助靠泊功能的山东新时代轮交付, 并具备远程监测、远程运维和远程管控 3 个维度的船岸交互服务能力。

4 智能船舶系统发展趋势

IMO 在海上安全委员会 (marine safety committee, MSC) 第 99 届会议上, 正式宣布将研究并制定相关公约规范解决海上水面自动船舶 (maritime autonomous surface ship, MASS) 的安全、环保等一系列问题。此后, MASS 成为每届 MSC 会议的热点议题。2022 年 4 月, MSC 第 105 届会议制定了为 MASS 开发 IMO 规则的工作计划。将先以非强制性原则制定规则, 预计在 2024 年下半年通过。在此基础上, 制定强制性规则, 预计在 2028 年生效。由此可见, 智能船将迎来加速发展阶段。结合国内外发展现状分析, 智能船舶系统将向新型智能系统、智能系统网络安全、船岸通讯系统升级、智能船舶测试验证技术等方面发展。

4.1 新型智能系统

随着现代信息技术和人工智能等技术在智能船舶领域的不断发展与应用, 船舶智能感知系统、智能航行系统、网络与通信系统等关键智能技术将迎来突破性进展。不同类型船舶根据其执行任务不同, 可细分出各自的智能系统发展路线, 产生专业化、定制化的新型智能系统, 船舶设备智能化水平、





设备集成化、船岸协同交互程度将进一步提高。

在当前航运市场低迷、船舶运力过剩和节能减排限制等现实条件下,发展智能船舶、绿色船舶、新能源船舶,提高船舶营运效率,降低船舶排放,减少因人员失误导致的事故,保障船舶航行安全,开发配套的新型智能任务系统,是世界各大航运公司未来发展的重点转移方向。未来智能船舶在感知、认知、决策、控制和执行等功能模块将会诞生船用智能机器人、远程驾驶控制系统、自动靠离泊系统、自主避碰系统、船岸协同系统、船舶排放监控系统 and 货物智能管理系统(装卸货)等新型智能系统。

4.2 智能系统网络安全

随着船舶网络化程度逐渐提高,船舶网络安全开始面临威胁^[33-34],船舶智能系统网络安全已引起国际海事领域的密切关注。国际船级社协会将船舶网络安全监管作为未来主要工作之一,波罗的海航运工会于2016年发布了第1版《船舶网络安全指南》,国际海事组织先后批准通过了《海事网络风险管理指南》和《安全管理体系中的海事网络风险管理》,中国船级社编写了2020年生效的《海事网络风险评估与管理指南》(2019)。

目前,我国智能船舶发展的重点任务主要包括提升智能船舶网络和信息安全防护能力,智能船舶系统要求实现船舶的网络与链路安全、系统硬件与软件安全、船舶数据安全。2019年全球首艘大型集装箱智能船舶荷花号获得中国船级社颁发的全球首张智能船舶网络安全证书。

4.3 船岸通讯系统升级

智能船舶系统的进一步发展需要宽带互联网平台支持的大规模云计算服务,需要占据一定的卫星宽带资源。2017年,我国首颗高通量通信卫星成功发射,实现了大陆东部附近水域航行船舶的低资费卫星宽带服务。预计未来10~15年,智能船舶能够得到高速率、低费率和低延迟的卫星宽带服务^[35]。

智能船舶需要包含船舶、港口物流及船队调度管理的船岸一体综合服务,船岸通讯系统是其核

心,海事卫星通信技术的发展将促使船岸通讯系统升级,确保智能船舶船岸通讯系统在高通量、低时延条件下的可靠性。

4.4 智能船舶测试验证技术

世界主要航运国家和各大船级社都在积极探索智能船舶功能测试技术、测试标准体系和分类等级划分。目前已有多个国家建立了智能船舶水上实验场,但智能船舶功能测试的验证方法、测试标准、操作规范和海况场景等都在探索阶段^[36]。

2016年,挪威设立了全球首个智能船舶海上试验区(Trondheimsfjorden 试验场),其位于挪威特隆赫姆峡湾区,目前已有多家高校和公司在此开展无人驾驶技术的测试。2017年,芬兰建立了全球首个对外开放的海上无人船测试场(Jaakonmeri 测试场),其所在海域和航道环境复杂,可以实现多场景的试验,有利于进行船舶自动驾驶技术测试。2018年,比利时向公众开放了智能航行测试场,该试验场以莱茵河航行管理委员会制定的智能船舶等级分类规范标准进行测试。

2018年,珠海开始建设亚洲首个无人船试验场,并取得了中国船级社首张测试场服务供应方认可证书;随后,国内在山东日照、青岛和广东湛江等地,相继建设了多个智能船舶海上试验场。

目前,国内外智能船舶海上试验场大多针对小型无人船进行智能航行系统能力的测试,对大型船舶智能航行系统外的智能能效系统、智能货物系统、智能机舱状态监测系统以及船岸信息一体化系统等智能系统的海上试验验证还没有建立相应的评价标准和测试体系。

5 结 语

目前,世界范围的智能船舶研究仍在探索和发展,船舶智能系统总体设计尚不完善,智能船舶关键核心技术还未突破,智能船舶功能验证和评价标准体系仍在探索,智能船舶相关国际公约法规尚处于起步阶段。当前,我国智能船舶发展适逢机遇也

面临挑战, 因此应根据智能航行技术的需要, 积极开展智能船舶系统网络安全、船岸通讯系统升级和智能船舶测试验证技术的研究, 同时开展各类新型智能系统攻关。

展望我国智能船舶发展, 还需通过国家智能船舶重点项目的引导, 加快关键核心技术和重点系统设备的研发, 加速智能船舶技术、新一代信息技术和人工智能技术的融合, 为各类型船舶量身定制智能化发展策略, 有序推进各船型智能船舶系统发展, 努力提升智能船舶的相关性能。

参考文献

- [1] 孙燕妮, 白晓军.《中国制造 2025》——中国特色的强国战略[J]. 智能制造, 2020(10): 43-45.
- [2] 严新平. 智能船舶的研究现状与发展趋势[J]. 交通与港航, 2016(1): 25-28.
- [3] 封波. 智能船舶发展战略规划研究[J]. 船舶工程, 2020(3): 1-8.
- [4] 陈琳, 杨龙霞. 世界主要造船国家智能船舶发展现状[J]. 船舶标准化工程师, 2019(4): 10-14.
- [5] 中国船级社. 智能船舶规范[S]. 北京: 中国船级社, 2020.
- [6] 工业和信息化部, 交通运输部, 国防科工局. 智能船舶发展行动计划(2019-2021年)[R]. 2018.
- [7] 李安戈, 张金梁, 崔颖, 等. 智能船舶系统总体技术方案应用设计研究[J]. 船舶标准化与质量, 2020(2): 57-61.
- [8] 廖旋, 许锋. 智能船舶发展现状及趋势[J]. 船舶物资与市场, 2020(7): 1-2.
- [9] 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(增刊1): 98-105.
- [10] 曹博, 谭松, 王庚. 日韩造船业智能化之路[J]. 船舶物资与市场, 2016(4): 9-12.
- [11] WANG K, YUAN Y P, YAN X P, et al. Design of ship energy efficiency monitoring and control system considering environmental factors [C] // Proceedings of 2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), Wuhan, China. IEEE, 2015.
- [12] 郑荣才, 陶婷华, 黄巍, 等. 船舶综合平台管理系统研究[C] // 第十六届中国科协年会一分8绿色造船与安全航运论坛论文集, 昆明, 2014: 7.
- [13] 孙亮清. 船舶集成平台管理系统的研究与嵌入式 CAN/Ethernet 网关的实现[D]. 上海: 上海海事大学, 2004.
- [14] 郭蒙. 海洋工程船综合平台管理系统研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [15] SAM. NACOS-5th Generation Integrated navigation and Command Systems [R]. 2007.
- [16] Kongsberg Maritime. Integrated vessel management solutions for cruise liners [R]. 2007.
- [17] 曾晓光. 日本造船的智能化突围[J]. 中国船检, 2018(7): 36-37, 107.
- [18] 严新平, 吴超, 马枫. 面向智能航行的货船“航行脑”概念设计[J]. 中国航海, 2017(4): 95-98, 136.
- [19] 严新平, 刘佳仑, 范爱龙, 等. 智能船舶技术发展趋势简述[J]. 船舶工程, 2020(3): 15-20.
- [20] 龚玉林. 船舶机舱监测报警系统的软件设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
- [21] 余永华, 杨建国. 船舶柴油机监测诊断技术研究及其应用[J]. 柴油机, 2013(2): 1-6.
- [22] 王延涛, 祁贝贝. 船舶机舱监测的智能报警系统[J]. 舰船科学技术, 2019(12): 187-189.
- [23] 孟庆宝. 高度智能化的舰船机舱系统设计[J]. 舰船科学技术, 2017(14): 130-132.
- [24] 中国船级社. 船舶智能能效管理检验指南[S/OL]. (2018-09-01)[2020-03-12]. <http://www.ccs.org.cn>.
- [25] 蔡德清, 张燃, 郑士君, 等. 中远集运船舶燃油监控系统[J]. 航海技术, 2008(5): 57-59.
- [26] 王凯, 胡唯唯, 黄连忠, 等. 船舶智能能效优化关键技术研究现状与展望[J]. 中国舰船研究 2021(1): 181-192.
- [27] 尹奇志, 赵光普. 船舶能效数据清洗方法研究[J]. 交通信息与安全, 2017(3): 68-73.
- [28] 吴军, 万晓跃, 孙永刚, 等. 在船舶“智能能效”设计时应关注的几个要点[J]. 船舶, 2018(增刊1): 42-51.
- [29] 龚瑞良, 夏虹, 张健, 等. 面向智能船舶的集成信息平台设计[J]. 船舶, 2018(增刊1): 59-64.
- [30] 庞宇, 赵凡琪, 吴骏. 智能船舶集成平台的研究与设计[J]. 船舶, 2019(5): 105-115.
- [31] 沈则瑾. 中国研制的全球第一艘智能船舶“大智号”交付使用[J]. 广东交通, 2018(2): 44.
- [32] 朱兵, 翁爽. DNV GL 智能船舶入级指南要点[J]. 船舶设计通讯, 2019(2): 16-20.
- [33] 吴笑风, 许攸. 海上网络安全: 航运与船舶工业的跨界挑战[J]. 中国船检, 2017(7): 42-44.
- [34] 张立强, 陈青松, 陈志懿, 等. 网络安全等级保护在船舶领域的应用探索[C] // 2018 第七届全国安全等级保护技术大会论文集, 西安, 2018: 237-242.
- [35] 封波. 高通量卫星时代的船舶卫星宽带接入方案探讨[J]. 航海技术, 2019(6): 22-25.
- [36] 许凯玮, 张海华, 颜开, 等. 智能船舶海上试验场建设现状及发展趋势[J]. 舰船科学技术, 2020(15): 1-6.

