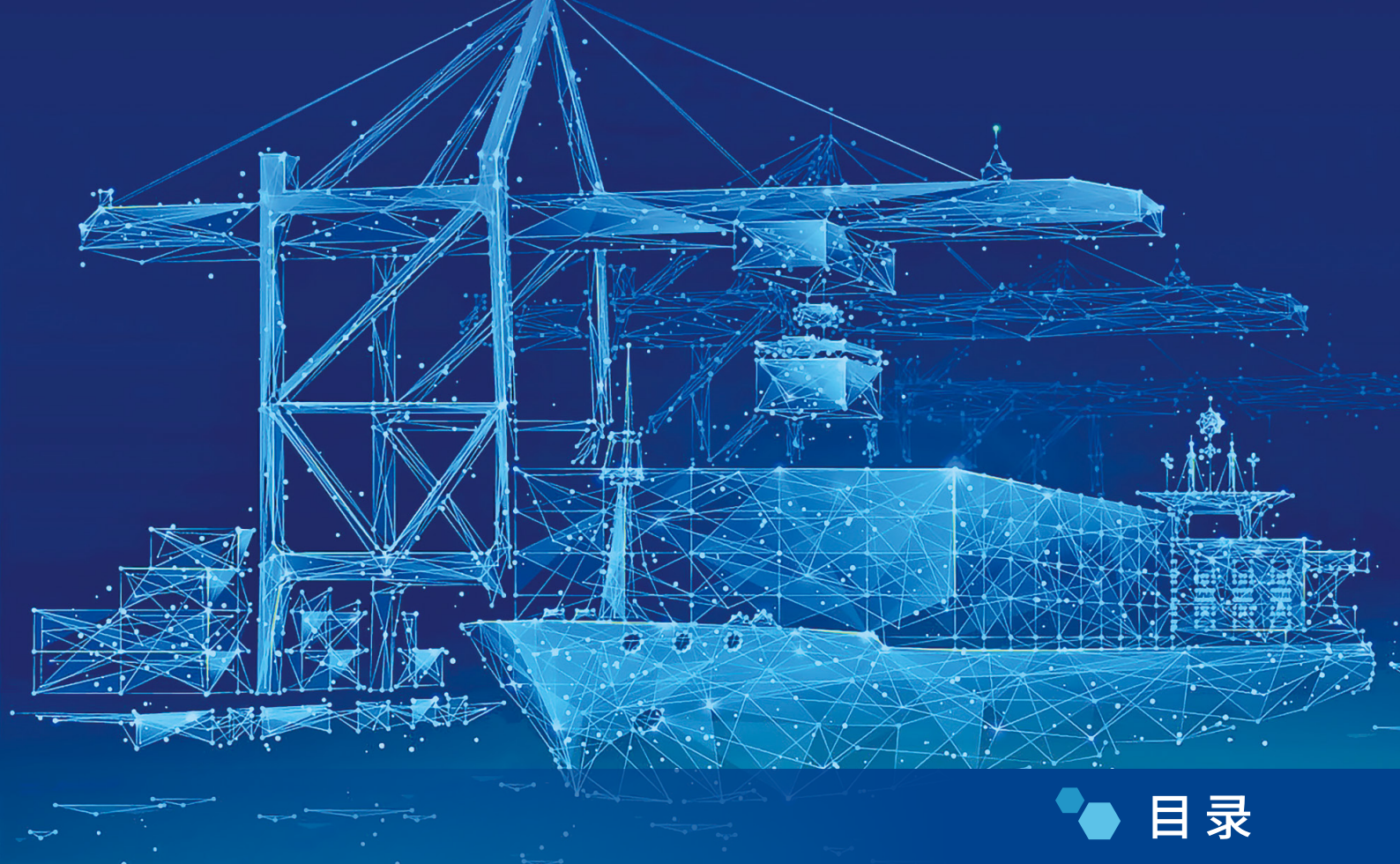




智能船舶发展展望 2022



目录

一 智能船舶研究风起潮涌	2		
(一) 公约规范标准构建初具雏形	3		
(二) 基础和工程并重的国际研究路径	4		
(三) 1+N架构引导下的国内实践探索	6		
二 智能化关键技术相辅相成	8		
(一) 共性技术奠定发展基础	9		
物联网技术	9		
信息融合技术	9		
人工智能技术	9		
数据管理技术	10		
互操作技术	10		
船舶通信技术	10		
数字化技术	11		
基于模型的系统工程技术	11		
仿真模拟技术	12		
人机交互技术	12		
(二) 专有技术实现发展突破	13		
航线规划技术	13		
		自主避碰技术	13
		自动靠离泊技术	14
		远程控制技术	14
		船岸协同技术	14
		视情维护技术	15
		智能船体技术	15
		智能能效技术	16
		(三) 安全技术守护发展前行	16
		风险管理	16
		测试验证	17
		网络安全	18
		应急响应	18
		三 智能船舶发展未来可期	19
		(一) 法规标准引领发展之路	19
		(二) 数据驱动运营优化之路	20
		(三) 智能航行人机共融之路	22
		(四) 测试验证虚实融合之路	23
		(五) 船舶网络韧性防护之路	24
		(六) 行业生态纵横协同之路	25



智能船舶研究风起潮涌

目前，全球2/3以上的国际贸易货运量、中国约90%的进出口货运量都是通过海上运输完成，海洋运输对世界的改变是巨大的。海运联通世界，推动海运装备技术创新，意义重大。近年来，在物联网、大数据、人工智能(AI)等新科技浪潮的推动下，以数字化为基础、自主化为目标的渐进式船舶智能化已成为船舶工业发展的新趋势、新热点，世界主要造船和航运国家纷纷加大了智能船舶研发与应用的投入力度。

习近平总书记在第二届联合国全球可持续交通大会发言时指出：“当今世界正在经历新一轮科技革命和产业变革，数字经济、人工智能等新技术、新业态已成为实现经济社会发展的强大技术支撑。要大力发展智慧交通和智慧物流，推动大数据、互联网、人工智能、区块链等新技术与交通行业深度融合，使人享其行、物畅其流。”发展智能船舶是建设智慧交通的内在要求，我国对船舶智能化给予了高度关注。2018年，工业和信息化部等三部委联合印发了《智能船舶发展行动计划》，大力推动协同创新，积极探索产业新业态和新模式，支撑智能航运建设，促进船舶工业高质量发展。2019

年，交通运输部等七部委联合发布《智能航运发展指导意见》，明确将于2050年形成高质量智能航运体系。2022年，工业和信息化部等五部委联合印发《关于加快内河船舶绿色智能发展的实施意见》提出了加快推进智能技术研发应用、提升绿色智能船舶产业水平、建立健全绿色智能船舶产业生态等项重点任务。

船舶智能化是一项复杂的系统工程，其发展是一个循序渐进的过程。随着智能船舶技术的研究与探索，船舶的智能功能从局部应用向全船应用拓展，智能水平由辅助决策向自主操作发展。智能功能的引入将提高船舶运营安全、优化操作、降本增效、节能减排、降低船员工作强度、提高船舶运营的透明度，提升船舶安全性、经济性、环保性，助力航运业可持续发展。

现有海事公约规范体系是以船长和船员在船为前提制定的，公约规则、规范标准体系对智能船舶技术发展的顺应性变革，将改变船长和船员的法律地位及其法律责任，促进未来国际航运业的发展与重构，并深刻改变航运这一传统行业。国际海事组织(IMO)、国际标准化组织(ISO)等国

尽管船舶智能化已经进入持续探索发展阶段，但相关技术方案尚未成熟、工程实践尚欠广泛应用，关于智能船舶的定义、术语、分级分类、技术架构尚未统一。中国船级社(CCS)发布的《智能船舶规范》将智能船舶定义为：利用传感器、通信、物联网、互联网等技术手段，自动感知和获得船舶自身、海洋环境、物流、港口等方面的信息和数据，并基于计算机技术、自动控制技术和大数据处理和分析技术，在船舶航行、管理、维护保养、货物运输等方面实现智能化运行的船舶，以使船舶更加安全、更加环保、更加经济和更加高效。IMO将其称为海上自主水面船舶(Maritime Autonomous Surface Ships, MASS)，系指在不同程度上可以独立于人员干预运行的船舶。

际组织对其高度关注并列为重要议题。国际主要船级社积极开展研究先后发布相关规范或指导性文件。

（一）公约规范标准构建初具雏形

为适应船舶智能化的发展，IMO、船级社、标准化组织等机构积极探索，将智能船舶列为重要议题，逐步推出导则、规范及标准。

IMO自第98届海上安全委员会(MSC 98)启动MASS公约规则研究相关工作，目标是将处于不同自主化水平的船舶纳入IMO的监管框架中。目前已经完成了公约法规梳理，发布了《海上自主水面船舶试验临时导则》。MSC 105启动了制定MASS规

则的讨论。世界主要航运国家海事主管当局也在法律法规方面进行了积极的探索。欧洲部分国家和地区对区域性法规的制定进行了尝试。我国交通运输部海事局起草了《船舶自主航行试验技术与检验暂行规则》并对外征求意见，旨在明确船舶开展自主航行相关试验的技术和检验要求。

2015年，CCS发布了全球首部智能船舶规范，该规范构建了“一个平台+N个智能应用”的智能船舶技术架构，包含智能航行、智能船体、智能机舱、智能能效管理、智能货物管理和智能集成平台六大功能。英国劳氏船级社(LR)、日本船级社(NK)、挪威船级社(DNV)等船级社陆续发布了智能船舶相关的规范或指南。这些文件规范和支撑了智能船舶的发展。



国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)等机构大力推进智能船舶相关标准制定工作。ISO围绕自主船舶系统相关术语及数据、网络安全、通信协议等开展标准制定。IEC在智能船舶领域的标准化工作聚焦海事导航与无线电通信设备和系统的

性能要求。我国工信部主导起草了《智能船舶标准体系建设指南》，构建了涵盖智能船舶术语定义、基础共性与关键技术应用、智能船舶设计、智能船载系统及设备、智能船舶测试与验证、岸基服务、运营管理等方面的标准体系。

类别	标准项目
一般性指南 & 功能要求类标准	ISO 23860 MASS 自主船舶系统术语 ISO 16425 船载设备和系统通信网络布线指南 ISO 23806 网络安全
技术方案类标准	ISO 19847 用于现场数据共享的船舶数据服务器 ISO 19848 船载机械设备的标准数据
设备与应用类标准	ISO 21745 船舶电子记录——技术规范和操作要求 ISO 24060 船舶软件操作日志系统——船上设备的软件维护 ISO 28005-1 供应链用安全管理系统——电子出港证(EPC)第1部分:消息结构 ISO 28005-2 供应链用安全管理系统——电子出港证(EPC)第2部分:核心数据元素 ISO 28005-3 供应链用安全管理系统——电子出港证(EPC)第3部分:管理和操作数据 GB/T 41892-2022 智能船舶机械设备信息集成编码指南
海上导航与无线电通信设备及系统	IEC 61108 系列 全球卫星导航系统(GNSS)相关标准(包括GPS、GLONASS、伽利略卫星导航系统、北斗卫星导航系统等) IEC 61996 系列 船载航行数据记录仪(VDR) IEC 61162 系列 海事导航与无线电通信设备和系统 数字接口 IEC61993 系列 自动识别系统 IEC 62388 系列 船载雷达 IEC 61907 系列 GMDSS 全球海上遇险与安全系统相关标准 IEC 61924 综合导航系统 IEC 61203 航速与距离测量设备——性能要求 IEC 61174 电子海图显示与信息系统 IEC 62616 船桥航行值班警报系统 IEC 63154 网络安全一般要求、试验方法和要求的试验结果

(二) 基础和工程并重的国际研究路径

欧美、日韩等国家和地区基于良好的工业和软件基础，在智能船舶的基础研究及工程应用两方面开展了大量工作。

基础研究方面，以AAWA、Autoship、MUNIN

等项目为代表，以验证自主航行的可行性为目的，研究了智能船舶所需的技术概念、信息通信技术架构、机械设备智能化、运行测试验证以及相关立法、合作程序、商业合同、影响分析等，为智能船舶解决方案制定规范和初步设计方案。

工程应用方面，挪威“Yara Birkeland”船

船、日本“MEGURI 2040”自主船舶示范联合技术开发计划等项目虽然采用的技术存在差别，但总体旨在保证船舶安全性、环保性与经济性的同时，实现自主航行、遥控操作、自主靠离泊、自

主装卸货等功能，以解决劳动力短缺和海员职业吸引力不足等社会问题，减少船舶因人为错误而造成的海上事故。

国家 / 组织	项目名称	时间	主要内容	
欧盟	Horizon Europe	NOVIMAR	2017	发展小型化的无人驾驶船舶，减少海上配员和优化船舶航线。
		AUTOSHIP	2019	开发一种新的水上运输概念，包括一艘领航船和一系列载人数低、数字连接的跟随船。
		MOSES	2020	利用自主航行的支线集装箱船舶减少大型集装箱船舶的进港时间和频率，在海上实现货物的过驳作业，实现效率的提升。
		AEGIS	2020	设计欧洲下一代可持续和高度竞争的水路运输系统。
	MUNIN		2012	建立有关商业无人船舶的技术概念，同时对其在技术、经济和法律法规上的可行性进行有效评估。
芬兰	SVAN		2018	建立一艘可自主航行的渡轮，实现了自主航行和远程驾驶。
	AAWA		2015	探究实现自主航行技术应用所需解决的经济、社会、法律、监管和技术问题，并为下一代高级船舶解决方案制定规范和初步设计方案。
挪威	ReVolt		2014	研究自主航行概念，打造一艘 100TEU 的电池供能概念船。
	Yara Birkeland		2017	打造一艘 120 TEU 型的集装箱船，实现远程控制和自主航行功能。
美国	Mayflower Autonomous Ship		2020	建造一艘以太阳光和风能为动力，完全自主航行的智能船舶。
日本	智能船舶应用平台		2014	建立船舶设备数据的标准化方法，并制定国际标准。
	自主船舶框架概念设计		2020	澄清了包括系统概念，风险评估和备份系统在内的基本要素，获得日本船级社对概念设计的认证。
	“MEGURI2040”自主船舶示范联合技术开发计划		2020	按计划化成功测试全部六个不同船型、不同条件的实船，为实现无人船商业化的目标迈出重要一步。
韩国	智能船舶 1.0, 2.0		2010	借助信息通信技术，实现船端与岸端的信息融合。
	自主水面船 (KASS Project)		2020	突破智能航行、机械自动化、测试验证、规范标准等技术，实现远程驾驶。
俄罗斯	开展 MASS 试验		2020	开展多艘船舶的智能航行系统海上自主航行试验测试。

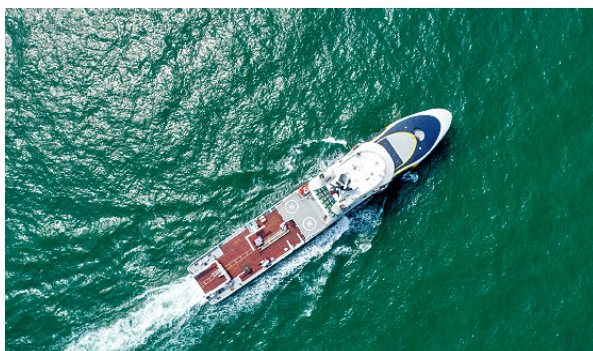
（三）1+N架构引导下的国内实践探索

“一个平台+N个智能应用”的构架以数据为基础，以集成平台支撑智能应用为技术路径，通过采集/获取、存储、整合、处理、交互、共享与展现船舶数据，实现船舶航行规划、设备健康评估与视情维护、能效管理、货物管理、船体维护保养、船体监测等辅助决策应用，为船舶智能能力的提升及智能应用的拓展奠定基础。具备辅助决策能力的智能应用在散货船、油船、集装箱三大主流船型得到了广泛应用，并拓展到极地科考船、疏浚工

程船、汽车运输船、拖轮等船型。截至2022年10月，累计已有86艘船舶获得CCS智能船舶附加标志，共26型智能产品获得CCS产品型式认可。

在多船型围绕辅助决策积极开展工程实践的基础上，“智飞”号和“珠海云”号为代表的船舶以实现远程操作和自主航行为目标，围绕航行态势感知认知、航线规划、自主避碰和远程控制等关键技术开展系列研究攻关。经过风险评估、审图、产品认可、建造检验以及虚实结合的综合测试验证，“珠海云”号科考船获得了CCS开阔水域自主航行和远程控制的附加标志。

交船时间	船名	船型	智能功能
2017.12.21	GREAT INTELLIGENCE	散货船	3.8万载重吨散货船，是全球首艘智能商船，开创了全新的设计、建造、运营理念，突破了全船数据安全共享、自主船舶健康评估、智能辅助决策、船岸一体数据分级等方面的核心关键技术。
2018.11.28	PACIFIC VISION	矿砂船	40万载重吨矿砂船，围绕共性技术、关键系统和示范应用三大课题，通过智能系统的网络平台和信息平台，实现了辅助自动驾驶、能效管理、设备运维、船岸一体通信、货物液化监测等五大智能模块功能。
2019.05.08	COSCO SHIPPING LOTUS	集装箱船	13800TEU集装箱船，具有智能机舱、智能能效、智能航行等功能，面对船舶远航出现的复杂海况与气候变化，具备智能应对能力和打通航运企业上下游的数据链路。
2019.06.22	NEW JOURNEY	油轮	30万载重吨油船，实现了船舶航行辅助自动驾驶、智能液货管理、综合能效管理、设备运行维护、船岸一体通信五大功能。
2022.03.03	SHANDONG NEW ERA	散货船	21万载重吨散货船，具有增强视觉辅助航行功能、3D影像智能辅助靠泊功能，实现了锚机的远程操控，具备远程监测、远程运维和远程管控三个维度的船岸交互服务能力。
2022.4.22	智飞	集装箱	300TEU集装箱船，具有远程遥控和无人自主航行能力。
2022.10.31	珠海云	科考船	智能型科考母船，第一艘获得CCS开阔水域自主航行和远程控制智能附加标志的船舶。



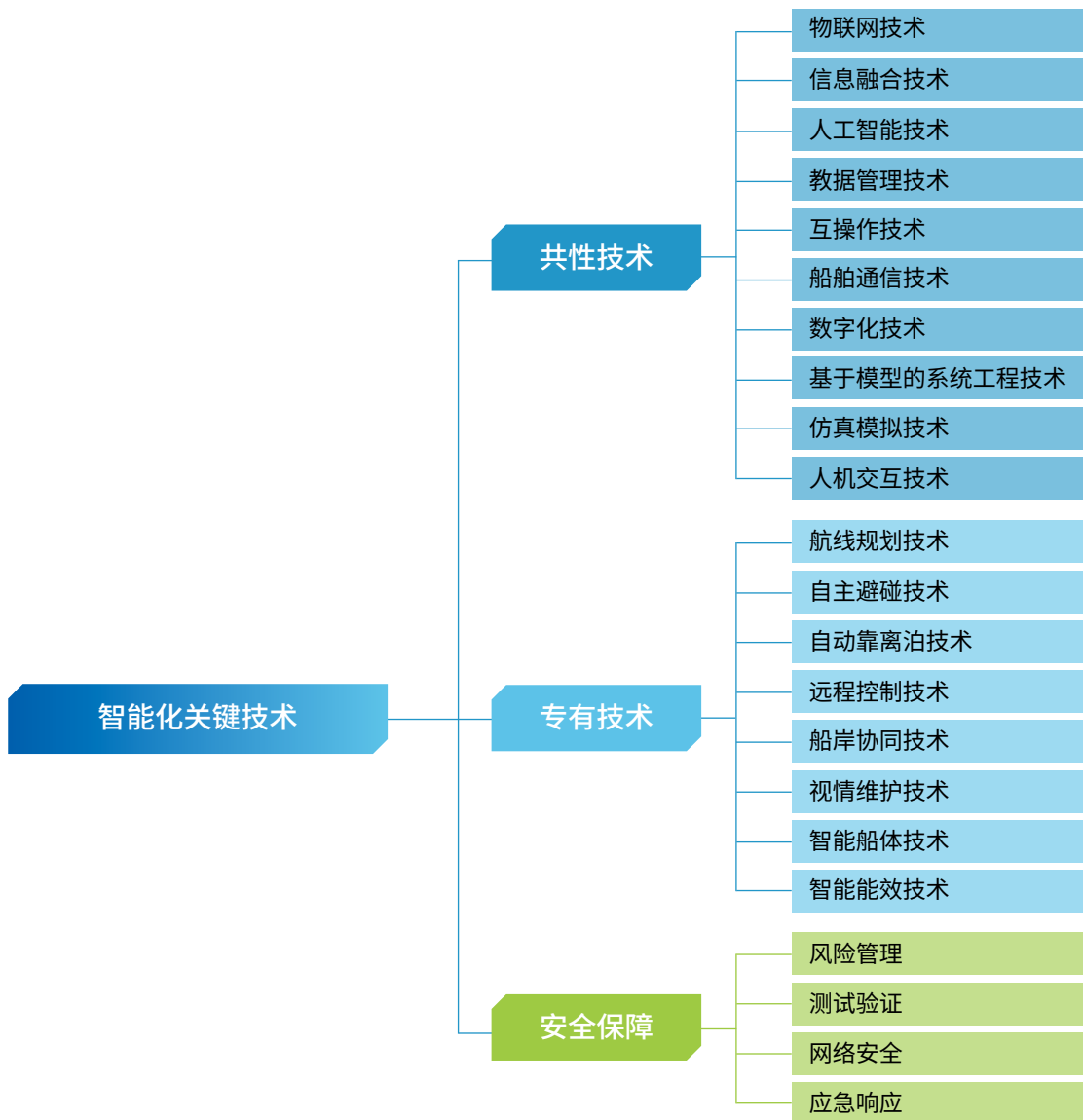


智能化关键技术相辅相成

《智能船舶发展行动计划》指出智能船舶的发展应突破基础共性技术和关键核心技术，提升船舶总体、动力、感知、通信、控制、人工智能等多学科交叉的集成创新能力，提升网络和信息安全防护能力，加强测试与验证能力建设。《智能航运发展指导意见》指出智能船舶还应研究风险防控技术和风险监测预警方法，探索智能船舶故障和突发事件

的应急处置，加强网络安全风险分析。

智能船舶的发展以共性技术为基础，突破智能船舶在自主航行、能效监测与优化控制、货物状态监控与优化配载、船体及设备系统全生命周期状态监控等应用场景下关键技术的应用，并以风险管理、测试验证、网络安全和应急响应等技术作为支撑保障。



（一）共性技术奠定发展基础

物联网技术

物联网技术系指通过采集所需的多维度有效信息，按约定的协议通过网络接入来实现各设备及各系统之间的互联互通。船舶作为物联网向海上延伸的载体，可以将物联网技术广泛应用在船舶自身及其周围环境的各种信息数据的获取，以实现航行规划、货物状态监测、设备维护保养和船体结构监测等功能，是构建智能应用及集成平台的基础技术。

基于物联网技术组建船舶传感网，可实现网络资源的自适应分配，从而加快数据的交互。此外，借助边缘计算，物联网可在采集终端或靠近采集终端实现数据的部分预处理，为船舶远距离传输时延、异构信息汇聚、数据安全及可靠性等问题提供新的解决途径。

信息融合技术

信息融合技术旨在有效利用不同层次、不同特征的信息资源，经过检测、关联、相关、估计和组合等多层次、多方面的处理，达到数据、特征及决

议等融合，在时间和空间上获得某些指标的优异表现，并形成对目标某种属性的整体描述。

以航行态势感知为例，随不同距离、不同机理的自动识别系统(AIS)、航海雷达、激光雷达、毫米波雷达、可见光传感器、红外传感器等感知设备在智能船舶上的装配，设备信息融合成为了弥补他们的缺点并结合各自的优势、提高目标的感知能力的必要途径，其中AIS和雷达、视觉和雷达、激光雷达和视觉的融合方面研究更为广泛，利用轨迹关联、航迹融合算法，构建统一的信息模型以处理和融合多源异构数据。同时，不局限于自身感知设备，利用多种来源数据的数据分析技术也逐渐被关注，新的数据融合理论、基于神经网络等的新算法被融入，极大促进了信息融合技术的发展。

人工智能技术

智能船舶涉及的人工智能技术种类多、范围广，既有基于经验演绎也有基于数据驱动的智能技术，随着机器学习、深度学习等人工智能算法在船舶行业的拓展应用，如图像识别、移动目标跟踪、定位、实时环境建模、动态路径规划、路径跟踪控制在智能航行系统的感知、决策及控制过程得到了



实践，状态检测及故障诊断技术应用于车载系统及设备的视情维护等场景。

人工智能在船舶上的应用尚处于起步阶段，在船体、机舱、能效、货物等领域具有广泛应用的潜力。由于人工智能在船舶应用中的算法可解释性及安全性的研究尚有欠缺，标准和规范的空白亟待填补，基于数据驱动的算法缺乏高价值数据支撑，算力作为支撑船端人工智能运行的核心驱动力，在船舶多样化的智能功能需求也略显不足。未来，通过试验扩展数据、小样本机器学习改善船舶典型数据不足，通过边缘计算、云计算等新的模式有效补充船舶算力，诸如此类将成为人工智能在船舶智能系统应用的重点研究方向。

数据管理技术

数据管理技术面向数据需求及数据应用，从数据标准、数据架构、主数据、数据指标、数据质量，元数据等维度，对数据进行全生命周期管理，智能功能的实现高度依赖于船舶自身应用和运行生产的数据，船舶数据管理将影响相关系统功能的可靠性，甚至影响船舶的控制与决策，危及船舶安全。船舶数据管理的目标是通过全生命周期管理船舶数据，实现智能船舶系统互联互通，数据共享共用，最大化利用船舶数据资产，为船舶智能化、数字化技术的应用奠定基础。

船舶数据管理可通过本地软件、云解决方案以及混合模型等不同的平台实现数据收集、存储、管理和分析，广泛服务于研发、制造、管理等领域。当前船舶数据管理主要面临着数据类型复杂、数据分散、数据知识面广、数据质量参差不齐等问题和挑战。随着数据管理技术的快速发展，越来越多的人工智能、量子计算、云存储、区块链、大数据等

技术应用于船舶，数据增强分析、数据交换、交互式数据展示等正成为数据管理的趋势。

互操作技术

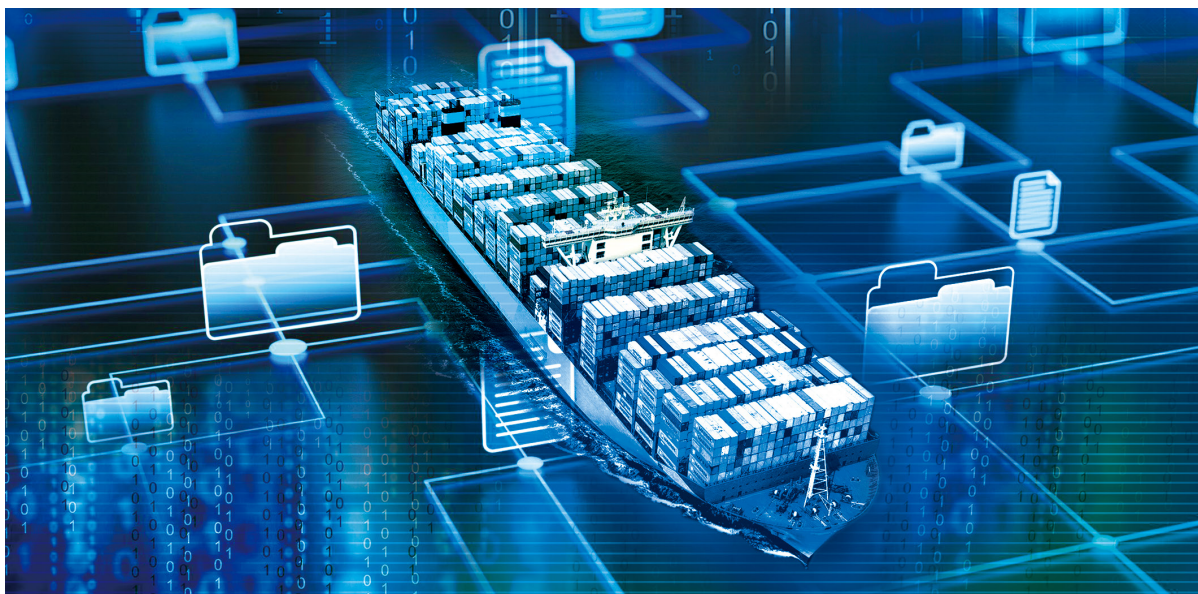
互操作技术可以使分布式的自主化系统及设备通过信息交换、数据通信、模拟交互等方式实现异地协同工作，智能船舶是一种典型的分布式复杂系统，其自主化功能的实现需要部分系统及设备，甚至是全船系统及设备的协同工作，互操作是实现船舶自主功能的关键技术。船舶系统的互操作包括硬件、网络、操作系统、数据库、用户软件等不同层次的互操作，需要考虑应用场景、操作系统、数据模型、信息安全、系统架构等要素。

现阶段，智能船舶的互操作主要利用传统船舶通信技术标准与新制订的通信及数据交换标准实现数据互操作。随着船舶自主化技术的不断进步，未来还需在模型交换、大数据交互等方面开展新型互操作技术研究和技术标准的制订。

船舶通信技术

船舶通信主要包括船内、船船以及船岸通信。借助4G/5G、甚高频（VHF）、卫星等无线通信技术实现车载感知设备、通信设备、导航系统与岸上基站、导航系统、船舶助航设备之间的信息和数据交换。

随着4G/5G、WiFi、新一代卫星等新手段与传统海洋无线电通信网络的融合，船舶通信发生了变革。实时音视频的采集实现了船舶远程监控，射频识别（RFID）支持资产的全生命周期管理，包括货物、机械部件的跟踪等。船上的物理测量将被远程监测所取代，船舶的监管和执法将在不登船的情



况下远程实现。船舶管理和自主运营的实时决策将变得可行。紧急疏散将以更迅速、更透明的方式进行。同时，也将提高船舶之间、船岸之间的人际沟通质量，以及改善船员的福利。

数字化技术

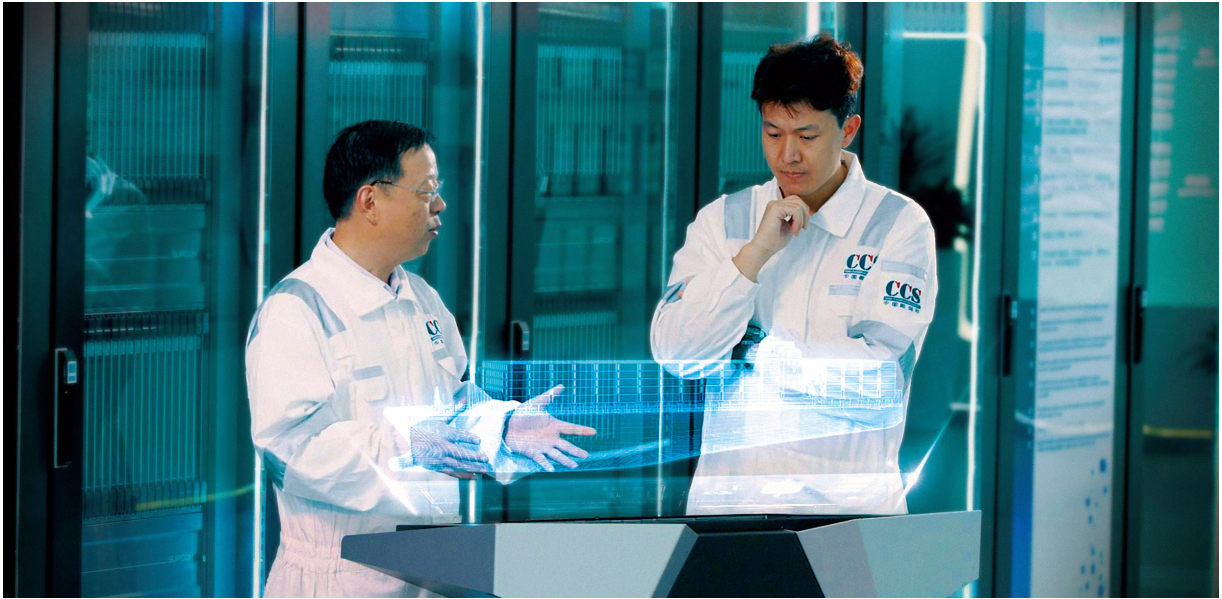
数字化是指将许多复杂多变的信息转变为可以度量的数字、数据，再以这些数字、数据建立适当的数字化模型。数字化技术涉及非常广泛，涉及通信、网络、云计算、智能化、自动化、安全、传感器、计算等技术，该技术在船舶行业的应用将推动从船舶信息到船舶业务流程乃至船舶行业生态的数字化转型。数字化转型已在各行业之间达成共识，国内外多数企业也在探寻数字化转型的方法和路径。当前数字化研发技术多、路径复杂、落地方案难度大，数字化基础设施尚待完善，技术应用带来的收益不易度量，因此，对于智能船舶，航运公司、船厂、设计院所、产品供应商等应携手共同推动数字化技术的研发，探索数字化与船舶传统业

务结合的新道路，构建完整的船舶智能系统研发生态，实现船舶智能系统的互联互通，最终建立支撑智能船舶研发的数字化平台。

基于模型的系统工程技术

基于模型的系统工程(MBSE)作为一种基于模型的综合化方法，主要通过形式化的建模方法和标准化的建模语言构建包括需求模型、架构模型、仿真模型等在内的一系列模型，实现从需求到软硬件架构的层层分解和分配，其贯穿于全生命周期的系统模型既解决了项目经验积累和复用的问题，也通过多视角的系统顶层需求建模与系统架构建模，为复杂系统或体系的向下分解与及时验证提供了模型依据。随着船舶装备对体系化流程方法的需要、软件代码的指数级增长，传统的基于文档的管理方法逐渐难以应对，MBSE等基于模型的方法成为解决这些问题的有效手段。

MBSE在国外造船强国应用较早且取得了良好的实践效果，如美国洛马公司潜艇设计团队在全



新潜艇电子系统设计中，将原来的文档全部转换为系统模型，模型化描述的方式解决了复杂系统工程变更管理不易开展的问题；国内对MBSE的研发仍处于起步阶段，在船型、动力系统等局部设计上有所研究，MBSE中的系统模型尚需与船舶行业具体领域技术结合、根据领域特点进行适应性研究，同时还需在支撑工具及模型标准化等方面开展研究。

仿真模拟技术

船舶仿真模拟技术，包括对船体结构、动力系统、电力系统、运动响应等建立相应的物理场模型或系统模型，并进行模仿实际对象运行过程的计算。船舶系统复杂性提升、管理极限等因素导致的成本激增阻碍了船舶的迭代发展，仿真模拟作为一种数字空间试验手段，能够有效降低产品的测试成本，为产品的改进提供依据。

船舶系统的CAE仿真模拟技术目前已服务于船舶多系统设计、优化、验证等多个阶段，成为产品

方案迭代、建造加工、性能验证等过程中不可或缺的手段。而当前的仿真技术主要面临准确度不足、多领域融合不足、使用门槛高等挑战，一些解决方案也被研究和尝试。在船舶领域，多系统联合仿真平台被建立并尝试将不同学科、不同开发方、不同开发工具所建立的模型进行联合计算，半实物仿真通过将物理实物加入计算环境为提供结果准确程度、扩大验证范围，同时，针对特定领域的自主化专业仿真工具开发、专业团队的培养也促进了仿真技术的发展。

人机交互技术

IMO认为，人的因素是一个复杂的多维问题，影响着海上安全、安保和海洋环境保护。为了以安全、可靠和无害环境的方式进行MASS操作，应以适当的方式处理人的因素，尤其需要对监控基础设施和人机界面给予更多的关注，友好的人机交互界面，因为MASS良好运行的关键要素之一，就是以人为本的设计以及人类操作与自动化操作

之间的协调。

通常讲的人机交互技术是指通过计算机输入、输出设备，以有效的方式实现人与计算机对话的技术。由于智能技术的应用，船舶操控系统中输入与输出的数据量和种类都会出现大幅增长，传统船舶的人机交互界面将无法承载更多的信息交互，如何能够高效地对数据信息进行处理和筛选，以供船舶操作人员参考，将成为智能船舶设计与制造中必须考虑的一个因素。船舶操控系统人机交互的友好性决定了操作人员获取信息的效率，因此，我们认为未来船舶操控系统的人机交互应充分考虑操作者在不同的操作场景下的使用需求，通过更直观的视、听、触交互的传达方式，从而使数据信息更为高效地呈现与流转，对于友好性的提升方式包括但不限于加强用户的熟练程度、增加人机界面交互的效率、提高人机交互的直观性以及提高人机和场景间的匹配度。

（二）专有技术实现发展突破

航线规划技术

全局航线规划技术是指船舶根据静态海图要素、气象海况要素、船舶条件与操纵性能、航次任务、实时海洋交通数据信息、航行水域交通控制信息等，实施船舶航行路径与航速计划，以优化航线，达到安全高效、绿色环保的方法。常用的规划算法包括Dijkstra、A*算法、遗传算法、蚁群算法、模拟退火算法、粒子群算法等算法及其改进算法或算法组合。

由于全局航线规划目标约束的多样性，如何摆脱单一目标或少量目标组合的局限性，进行多参数、多影响因子全局综合航线规划是当前阶段船

舶航线规划技术研究中需要解决的关键问题之一。此外，由于海洋和大气过程本质上的随机性，造成海洋气象预报的不确定性，导致无法保证航线规划及优化结果可靠性的问题。当前解决该问题的一种思路是在航线规划及优化模型的构建中引入不确定项，结合鲁棒优化、人工智能推理等方法实现参数估计和补偿。

自主避碰技术

自主避碰技术是指船舶航行于开阔水域、复杂水域、狭水道等不同的水域时，根据自然环境条件、目标船舶、碍航物及本船操纵性能的实时动态信息进行感知融合、态势认知，并进行实时合规、可行的避碰决策，以减少、避免海事事故的发生。

当前阶段应用最多、使用最广的为基于法规、规则的开阔水域避碰避障技术，其原理是将规则要求转化为计算公式与算法逻辑，在特定水域内，实现特定功能的船舶自主避碰。而随着信息感知系统的不断发展、船舶操纵系统自动化水平不断提高，航行数据积累逐步完善，面向船舶的操纵性能以及船舶与其他交通参与者的交互，专家系统、模糊控制、强化学习、证据理论、前景理论等多种理论方法的融合将逐步应用到避障决策分析及优化方法中，并成为当前的技术发展路线关键点。基于机器学习的方法将大量训练数据转化为模型，并在避碰过程中使用模型优化路径规划及避碰策略，旨在使避碰决策的推理能力和求解能力更强，同时也让决策系统具备更强的自适应能力。技术路线的演进反映了多源传感信息融合以及基于深度学习、神经网络等机器学习技术的深度引入逐渐成为自主航行决策技术的研发趋势。



自动靠离泊技术

船舶自动靠离泊系指在无人或大部分时段无人干预下，完成船舶的掉头、转向、横移、停船等操作。船舶靠离泊安全风险高、操作难度大，70%的船舶事故与驾驶人员在靠离泊过程中的不良操作有关。船舶自动靠离泊作业需要不断感知本船及周围环境信息，进行数据存储及交换，实现信息的同步，自动做出航迹、航向与航速等规划决策。

目前，自动靠离泊研究集成了多种技术的协同发展，包括低速运动建模技术、低频运动控制技术、船岸协同感知技术、智能无缆系泊技术等，技术开发难度极大。国内在自动靠离泊技术方面的大部分研究尚处于理论研究阶段，开展了以小型渡轮、拖轮、试验船、训练船等为载体的应用探索与功能测试，实船验证将是下一步研究要点。

远程控制技术

远程控制技术系指在异地通过网络对远端的设备进行操作的技术。远程控制是船舶的一种操作模式，在此模式下，远程操作人员能够基于影响驾驶决策的信息发布遥控指令。船舶远程控制站的目标是通过接收船舶的状态信息、环境信

息，以及海图、气象、港口等第三方支持信息，对船舶实施从泊位到泊位的监测和控制。远程控制可以为自主船舶提供航行支持信息并完成泊位和货物等的调度，给予自主船舶超越单船感知的调度能力。远程控制在船舶驾驶中的应用，不仅可以保障船舶的安全性和可靠性，推进船舶的全自主化发展进程，克服海员短缺的影响，还可以使未来的航运更加环保和经济。

当前，智能航行领域的远程控制崭露头角。对于近岸小型船舶的远程控制，主要通过专网点对点的通信方式，获取感知信息并分析，在岸基操控主推进器、舵、侧推器等执行机构，对船舶进行在线的实时控制。对于大型船舶的远程控制，需要运用高速以太网、信息压缩等技术，优化时延、丢包等问题；再加强构建非线性运动模型的精确性，研究船舶在各种工况和环境因素下的运动响应，并累加在船舶六自由度运动模型中；最后，使用现代控制理论，采用滑模控制、模糊控制、神经网络等智能算法，以补偿环境干扰，解决运动控制大惯性、长时滞和高非线性的难度。

船岸协同技术

船岸协同系指面向船端、岸基实时和动态调配的信息交互需求，实现船岸系统功能的合理划分、

协同操控及信息资源在船岸之间的优化分配与平衡。目前主要可实现远程监控及远程运维。

船岸协同首先需要解决两方面问题：一是船岸协同信息交互的标准化，确定标准的数据存储和交换格式，提供异构数据的数据交换能力，如XML、JSON等；二是由于不同智能水平的船舶在靠离泊、进出港、会遇、开阔水域等不同协同场景下，参与协同的要素可能发生变化，信息交互的方式、紧迫程度也不同，需要厘清船-岸协同、船-船协同的各场景下的协同要素、协同行为、协同内容，以及协同方式。在此基础上，结合卷积神经网络、深度学习等人工智能算法，研究并建立船舶环境感知模型、船舶运动模型，在同步船端数据后，及时更新模型，可在岸端实现船舶状态的感知认知和决策控制；此外，随着云计算的发展、卫星通信与5G的兼容，将可实现云岸船协同，并结合5G，优化现有船岸协同的通信架构，缩短网络信息传输路径，降低通信时延，提高协同处理效率和能力。

视情维护技术

视情维护(CBM)技术系指通过对设备工作状态和工作环境的实时监测，借助人工智能等先进的计算方法，诊断和预测设备未来的有效工作周期，合理安排设备未来的维修调度时间。CBM根据设备的实际运行状态确定设备的最佳维护时间，降低设备全生命周期费用，增加设备的稳定性。在船舶应用中，船载系统日趋复杂，为掌握船舶健康状态，应开展各设备与关键零部件状态的监测与故障诊断技术研究，最终提供视情维护决策。其中故障诊断主要经历了三个阶段，依次为油液检测故障诊断、振动监测故障诊断、综合考虑多源数据的故障诊断预

测与视情维护保养，随着数据的积累，更多的数据分析手段如基于神经网络的健康状态预测、基于时序数据分析的设备寿命预测等技术被投入使用，其理念也从损坏后维修的事后方式发展为预测故障出现、评估健康状态的事前方式，可以有效预防潜在风险以及节约维护成本。

未来随着船舶智能化的发展，船舶可靠性的提高不仅需要提升船舶设备可靠性，还需要了解设备的失效规律并依据实时状态进行精准、恰当的设备维修。因此，将基于实时监测数据的故障诊断与视情维护应用于船舶设备，及时发现问题并采取适当措施，已成为当前技术发展的必然趋势。

智能船体技术

智能船体技术包括基于3D模型的船体维护保养、船体监测及辅助决策等两大主要功能。基于3D模型的船体维护保养系指基于充分描述实际结构的船体三维模型，建立船体数据库并制定船体结构定期检查保养计划，指导船员开展船体结构日常检查及维护保养，该技术可充分保障船体维护保养及辅助决策的精细度和准确度，为船舶营运阶段的船体维护保养、结构换新提供决策支持。船体监测及辅助决策系指通过数字化技术采集与船体状态相关的船体结构应力、船舶运动状态、船舶装载以及海况、航向、航速等数据，通过数据分析，监测航行、装卸货和压载水交换过程中的船体强度和船舶稳性状态，发现异常状态并提供辅助决策建议。

基于3D模型的船体维护保养已经得到较多船舶的应用，但也仍存在部分局限性，主要包括两个方面：一是无法有效利用船舶设计方建立的详细设计和生产设计几何模型、有限元网格模型，致使建

模周期长、成本高；二是船体结构定期检查保养计划的实施，以及对评估涂层状况、腐蚀状况、结构缺陷等船体结构状况相关数据的采集，大多依靠船员以人工方式采集，这导致了采集工作量大、效率低、准确性。

船体监测及辅助决策已经在船舶领域得到广泛应用，技术成熟度较高，进一步深化该技术的应用需关注以下几个方面：一是在基于监测数据开展结构强度评估时，传感器可靠性及安装工艺、滤波去噪方法、数据分析处理能力等限制了船体监测及辅助决策系统提供的分析结果和辅助决策结论的受信程度；二是未将结构应力监测、环境载荷、货物载荷等数据建立实时的映射关系，从而无法基于监测数据及有限元技术、逆有限元技术准确评估全船船体结构强度；三是通过监测船体结构应力，开展船体总纵强度、局部强度和疲劳强度分析，并不能全面的评估船体结构状况。

未来智能船体技术的发展，将体现在以下几方面：

1. 继续简化船体三维结构模型建模要求，提高建模效率和模型重复利用率；
2. 充分发挥无人机/机器人等新型设备、图像识别等人工智能技术的优势，提高船体结构数据采集的自动化程度、数据分析的智能化程度；
3. 提高传感器可靠性、优化安装工艺及数据分析处理方法的基础上，将结构应力监测、环境载荷、货物载荷等数据建立实时的映射关系，并基于监测数据及有限元技术、逆有限元技术准确评估全船船体结构强度；
4. 构建包含船体状况全要素的数字孪生，包括结构强度、涂层状况、腐蚀状况、结构缺陷等关键要素，全面准确的评估船体健康状况并提供辅助决策。

智能能效技术

智能能效技术系指通过信息感知、数据采集和船岸通信技术，在线监测、评估船舶能效状况，根据航次计划、船舶状态、能耗信息，结合航线特点、燃料消耗、成本效益等，提供基于不同目标的智能优化方案，适时给出浮态、航速、转速等方面的优化控制方案，为船舶能效管理提供决策支持，有效解决了传统能效技术功能孤立单一、技术关联性差、减排力度有限等问题。

船舶能效管理涉及船舶技术状况、航速优化、气象导航、浮态优化、能源管理、船队管理、货物操作和人员操作等诸多因素，数字技术与其深度融合，可有效提升能源与资源的使用效率，实现生产效率与降碳效率的双提升。

随着国际海事组织航运温室气体减排战略目标、国家“双碳”战略的有序推进，船舶节能减排压力与难度将逐步加大，智能能效技术正由单一优化技术向功能智能化、管理集约化的全船综合能效智能优化决策方向发展。从仅服务于船舶运营管理的能效数据库，到单一能效优化功能软件，再到智能化能效综合管理系统发展。可以预见，智能能效技术作为船舶智能管控的重要组成部分，将融于船舶整体智能系统，促进船舶智能技术大一统发展。

（三）安全技术守护发展前行

风险管理

风险管理系指通过指导和控制组织的协调活动，处理不确定性对目标的影响。通过风险管理，可有效控制船舶智能化发展进程中新技术或设计



带来的风险，力求在与现有要求具有同等安全水平下得到最优化的设计方案和最合理（费效比）的安全保护，从而支撑和促进船舶智能化、数字化技术发展。IMO根据对具有新颖性、复杂性和独特性的船舶的风险分析方法，制定了若干文书和通知（如MSC.1/Circ.1002、MSC.1/Circ.1212和MSC.1/Circ.1455等），以确保该类船舶与传统船舶相比，能够保持同等的安全水平。

对于新颖技术或设计在智能船舶设计与建造中应用，可在遵守规则、指南和现有行业标准的基础上，通过适当的工程评估、直接评估与风险评估等结合实现风险管理，为其提供有效安全保障。工程评估方面，通过对使用新技术的系统的设计图纸、适用范围、参考实例等进行审查，对系统功能和模型进行测试，以确保系统的功能和性能符合预期；直接评估方面，可采用白盒和黑盒方法，利用训练数据和测试数据，分析系统本身的行为风险；风险评估方面，采用FMEA、STPA等常用风险识别和风险评价方法对系统进行风险识别和评估，并采取风险缓解措施，降低或消除不可接受的风险项。除了传统风险识别和风险评价方法，在船舶的数字

化的基础上，更为客观的数字化风险识别和风险评价方法逐渐得到了应用，相关风险数据库逐步完善，有效的降低了人的主观因素影响。

测试验证

测试验证系指通过人工或者自动的手段对被测对象进行检测的活动，目的在于发现被测对象是否实现预期需求，或明确实际结果与预期结果之间的差异。在新器件、数字化设备、智能系统以及智能船舶的研制过程中，随着新技术应用带来的不确定性、不稳定性和不适应性，产品的功能/性能及安全性、可靠性、经济性、环保性已成为行业管控重点，关注上述需求的测试验证逐渐成为了智能船舶领域的研究重点。

为克服物理试验的高成本、高风险、测试场景受限等难题，针对可重复、高精度和多批次测试需求，数字化精确映射、机理与数据混合驱动建模、测试场景解耦与重构、分布式协同测试等虚拟测试技术被关注并开展研究；同时，完善仿真测试、模型测试及海上试验船测试及两者的深度融合，打通

从陆上实验室到海上试验船的关键环节，同步完善标准体系，建立的测试规程、系统接口、评价指标等船舶智能系统及产品标准化要求，也是测试验证的重要发展方向。

网络安全

网络安全系指网络系统的硬件、软件及其系统中的数据受到保护，网络通信受到保护，不因偶然的或者恶意的原因而遭受到破坏、更改、泄露，系统连续可靠正常地运行。随着船舶智能化、数字化、网络化水平的不断提升，船舶越来越多地处于“在线”状态，也使其遭受网络安全威胁的风险逐渐加大，网络安全成为影响船舶安全的重要因素。

船舶面临着来自多方面的网络安全威胁，如程序中的操作错误、软件缺陷、未经授权访问的系统入侵、管理公司对船舶网络未能采用有效的风险控制程序等。根据调查显示，智能船舶易受网络风险攻击的系统包括船桥系统、货物操作和管理系统、推进和机械设备管理以及动力控制系统、访问控制系统、乘客服务和管理系统、乘客公共网络管理

及船员保障系统、通信系统等。针对上述新风险，业界应逐步重视提高船员及相关人员的网络安全意识，采用技术与管理结合的方式构建船舶网络安全体系，注重船载系统及设备与全船网络安全防护相结合，从标识认证、使用控制、事件响应、数据安全、资源可用性等方面提升船载系统的安全防护能力，以船舶网络资产为核心，从船舶网络架构、网络访问控制、边界防护、网络监测、事件响应及恢复等方面提升船舶网络安全防御能力。

应急响应

应急响应通常是指组织为了应对突发或重大事件的发生所做的准备，以及在事件发生后所采取的措施。海上航行的船舶存在孤立性和高危险性的特点，涉及海上人命安全和环境保护，一旦发生事故，可能导致人员遇险、船舶灭失、溢油等风险，在紧急情况发生后应具备一定的应急处置能力。

当处于自主航行或遥控航行状态的船舶遭遇超越系统设计的正常工作范围的危险情况时，例如环境变化、设备故障、网络攻击等，应有响应计划要求值班船员或系统自动执行回退到最低风险状态的操作，保证安全航行的最小功能条件。船舶与岸基系统的功能应考虑应急处置要求，包括图像声音信号处理、通信能力、系统冗余、船舶状态分析、自动应急操作以及响应程序等。





智能船舶发展未来可期

智能船舶发展具有阶段化与体系化特征，需要设计顶层架构，解构技术体系，进而开展循序渐进的技术研发。智能船舶发展可以分为互联互通、辅助决策、远程控制、自主操作等阶段。互联互通、辅助决策是智能船舶的初级阶段，基于系统集成与数据共享实现对船舶的远程监控与优化运营，数据标准以及数据挖掘利用是重要的关键技术。远程控制与自主操作是智能船舶的高级阶段，可实现船舶从少人操作到无人操作的技术革新，自主航行技术和机器设备可靠性提高是需要重点突破的方向。

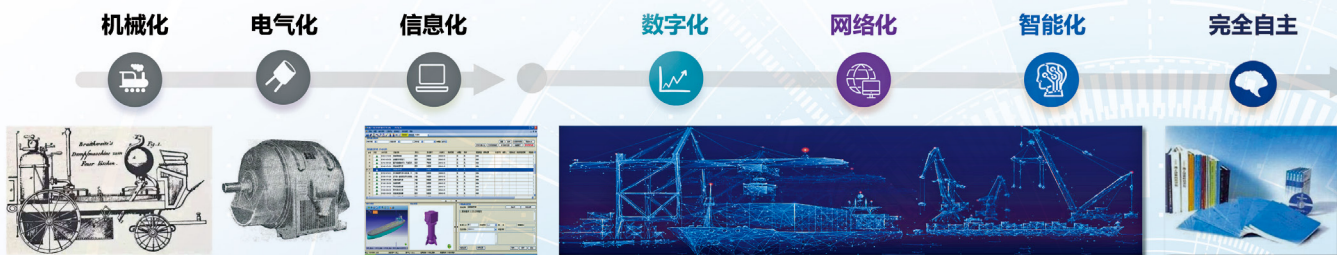
本部分将围绕智能船舶发展不同阶段的关键技术、绿色智能船舶技术、智能船舶技术保障与行业生态条件等领域发展进行展望。建议率先开展小型船舶及特定航线上应用自主航行技术。对于大型船舶，受限于政策法规、技术成熟度及安全保障体系，建议短期应重点围绕辅助决策、感知增强、视情维护、开阔水域自主航行的等方面的应用开展探索。最终随着科技技术的发展，借助岸基支持中心，船舶能在复杂环境条件下自动避碰，实现智能航行的最终目标——完全自主航行。

（一）法规标准引领发展之路

智能船舶技术应用，特别是遥控操作、自动驾驶颠覆了船舶驾驶模式，与之配套法律法规制修定是智能船舶发展过程中需要解决的问题。

IMO即将于2025年出台的基于目标的MASS规则，对未来船舶智能化发展将产生重大影响，如何突破传统有人在船的设置，实现MASS的高度自主化及无人在船的特性，我们认为，法规的制定需要与时俱进，并以整体性的方式构建，兼顾优先解决事项，明确责任与义务、可追溯性以及数据治理等问题。

智能船舶的发展将促进船舶规范正从源于经验的传统规范体系，转为基于安全理论、风险分析、试验研究的目标型规范体系，规范适用对象也从船体结构、机器设备延伸至数据、算法、软件、通信等领域。随着智能船舶技术路径的逐渐明确，规范要求将不再仅仅局限于船舶智能化发展的目标要求，规范中相关技术要求也将不断得到完善和充实。



智能船舶术语定义、分级分类、数据信息、系统集成、基础共性与关键技术应用、智能船载系统及设备技术要求、智能船舶测试与验证、岸基服务、运营管理等方面的国际、国内标准将陆续出台，有效支撑智能船舶技术的发展。

（二）数据驱动运营优化之路

随着船舶智能化程度逐渐提高，高精度传感器的广泛应用为船舶带来了持续、稳定、可靠的数据收集手段，使船舶具备感知内外环境获取数据的能力，如何在保障数据安全、数据质量的前提下高效利用这些数据财富、挖掘其内在价值，并使之达到最佳经济效益成为了业界的内在需求。

区别于传统的基于经验、事故案例分析的传统优化模式，船舶智能化的本质优势是在不断优化过程中主动寻求最优方案，通过使用机器学习



或算法增强数据处理、分析能力，对船舶自身状态数据以及外部环境数据进行挖掘分析，基于安全可靠、节能环保、经济高效等多目标，融合物流、港口、航保、运价、油价等多因素，根据船舶性能、工况任务以及外界因素的变化，在航线自主规划、设备健康诊断、能效监测与优化控制、温室气体减排、货物状态监控与优化配载、船体及设备系统全生命周期状态监控与管理等方面，为船舶运营提供最优方案。

数据是船舶智能化发展的核心基础。在当前船舶设备及系统、港口、气象、海事等各领域数字化转型过程中船舶采集的数据规模和类型显著增加，信息价值逐步凸显，船舶航线优化、设备维护保养及远程运维、能效控制与减排、船舶营运管理等均依赖各领域数据的采集和集成，以提供更加智能化的服务。但当前采集的数据格式不兼容、数据质量不高、数据信息稀疏、数据存储及传输过程中的安全性和可靠性难以保证，导致依赖数据的智能化应用的可靠性和可信性不高。

为此，我们认为应高度关注数据管理，研究数据管理技术，确保数据采集、传输、存储、集成和应用全过程的安全、高效。主要包括：

- 推进船舶及相关产业数据标准制定及应用，研究建立完善的数据共享机制；
- 结合船舶的运营特点以及业务场景需求，综合考虑数据规模、数据时效性、数据形态等因素，实施数据分类分级，提高数据质量，确保其满足智能化应用的需求；
- 利用密码技术确保数据在传输、存储过程中的完整性、真实性、可用性和机密性，为数据信息的深度挖掘和使用奠定可信基础。

智能算法近年来高速发展，复杂程度日渐提升，并带来广泛影响，同时，算法的可靠性问题、安全性问题也成为重要议题。如何提升算法的质量日益得到重视，一些行业和团体陆续颁布了相关标准，人工智能算法率先提出了一些通用性的技术要求，也提供一些普适性的质量保障和测试方法。在智能船舶领域，对智能算法的安全性更加敏感，在建立智能功能测试验证体系的同时，还需要进一步完善算法设计、开发、部署等全生命周期的监管制度，完善算法透明度和问责机制。

复杂算法的可解释性不足导致人们对算法偏向的疑虑难以消除，这种偏向不止带来社会性问题，也导致AI决策的不准确甚至错误，目前，以提高算法透明度为重点，意识到算法偏见的存在、使用更多方法对算法决策进行解释、使用更严格的方法进行测试且定期测试是当前智能船舶应对算法的有效方法。

人工智能与专家的组合可能是一个有效的折中解决方案，以智能算法在小范围内的优势简化工作流程、提高工作效率，同时以专家经验为导向，监督智能算法的表现、及时进行算法调整或关停算法程序，降低人工智能风险。

船舶检验利用新技术、新装备，可提高检验数字化、智能化程度，提升检验效率、降低检验成本，将成为未来发展方向。随着以人工智能等技术为核心的新技术的创新优化，以无人机、机器人、在线监测设备等为代表的新型船舶检验装备的研发应用，基于数据驱动的智能检验模式将会成为未来船舶检验的发展方向。

- 船舶检验将从以经验驱动到现场检验模式向以数据驱动的远程检验模式转变，将从定期检验向视情检验转变，将从检验具体设备向验证数据和算法转变。

- 通过无人机、机器人等设备，提高检验数据采集的自动化程度；基于大数据技术，提升船体结构腐蚀状况评估的数字化程度；基于图像识别技术，提升船体涂层状况评估与结构缺陷识别的智能化程度。

- 基于船体三维模型，构建包含船舶稳性、结构强度、涂层状况、腐蚀状况、结构缺陷等全要素的船体数字孪生，全面准确的评估船体健康状况并提供辅助决策。



（三）智能航行人机共融之路

船舶智能化功能包括航行、机舱、船体、货物、能效等，作业场景包括开阔水域航行、狭窄水道航行、起抛锚作业、装卸货作业、靠离泊作业等。综合考虑不同的营运需求、技术实现路径和经济成本，不同的智能功能和场景需要匹配不同的自主化水平。自主航行技术研发是当下和未来的主攻方向，自主航行是一个循序渐进的发展过程：辅助决策——自主控制、减少配员——无人操作、人在

船上——人在岸上、全程监视——必要时干预等。

人工智能在任务单一、需求明确、应用边界清晰、领域知识丰富、建模相对简单的特定领域容易取得突破。利用人工智能技术实现船舶在开阔水域或特定航线、特定货物等特定场景下有条件的自主航行，是未来切实可行的发展道路。建议率先开展小型船舶及特定航线上自主航行技术应用。对于大型船舶，受限于政策法规、技术成熟度及安全保障体系，建议短期重点围绕辅助决策、感知增强、视情维护、开阔水域自主航行等方面的应用开展探索。

智能船舶面向降低船员劳动强度、减少运营成本、提高设备可靠性等需求，应进一步加强船舶智能化感知、认知、决策、控制系统建设，以新技术为驱动力重点开展以下几方面的研究：

- 将船舶单项感知能力的提升与感知融合技术发展并重，融合专家经验与数据分析方法提升感知融合水平，进一步增强船舶对自身状态及环境的认知能力；
- 充分利用各来源信息，着力提升全局航线规划的可靠性，同时深入研究避碰规则及良好船艺的量化技术，提升船舶航行决策的安全性及可靠性；
- 优化多船型、多航态、复杂环境下船舶操纵性精准建模和预报，结合现代化控制技术，提升复杂环境下船舶自主控制精度；
- 注重船舶设备的健康管理及视情维护，充分利用实时设备监测信息，构建基于数据的维护系统，提高维护管理的有效性和智能性、全时段跟踪分析设备状态，保障机器设备的可靠性。

人的因素与人机交互

一方面，由于智能技术的应用，船舶操作系统中输入与输出的数据量和种类都会出现大幅增长，传统船舶的人机界面将无法承载更多的信息交互，如何能够高效地对数据信息进行处理和筛选，以供船舶操作人员参考，将成为智能船舶设计于制造中必须考虑的一个因素。另一方面，船舶操作系统人机界面的友好性决定了操作人员获得数据信息的效率，因此我们认为，未来船舶操作系统的人机界面应充分考虑不同的操作场景在操作者的不同使用需求，通过更直观的视频、音频、触摸互操作的传达方式，以高效为导向地将数据信息更多元化呈现。友好性优化平衡包括但不限于加强用户的熟练程度、增加人机界面交互的效率、提高人机交互的直观性以及提高人机和场景间的匹配度。

重视可靠性

船舶智能化发展涉及动力、推进、控制、机械、电气等多个复杂系统，需要可靠的软硬件系统作为支撑，软硬件可靠性对于智能化的实现至关重要。船舶智能应用可靠性涉及智能应用、适用场景、时间、规定功能和能力等多个因素，其验证是通过智能应用的运转或模拟智能应用的进行试验，对试验获得的各种数据进行统计、推断，得到相应的可靠性指标参数，进一步判断能否达到规定的要求。智能应用的可靠性需要从科研、设计、试验、研制、实施直到使用和维护等方面进行研究和评估。

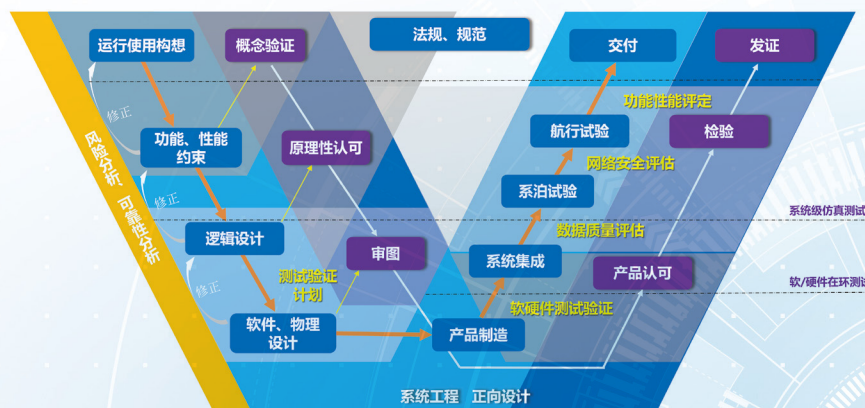
(四) 测试验证虚实融合之路

人工智能技术给智能船舶发展带来了无限机遇，但是其算法的难以解释、系统应用环境复杂多样、组成复杂系统各子系统的耦合影响，以及系统/设备的网络安全等，使得智能船舶在实际应用中面临新的未知风险。基于功能验证的传统测试方式面临着测试边界条件难以构建、过程安全风险大、成本高的问题，无法确保智能船舶的安全性和可靠性。

虚实融合的测试技术充分融合虚拟仿真与物理测试各自优势的方法，以虚拟船舶、虚拟航行环境、模型船/实船、实际航行环境等形成测试体系的关键要素，运用虚拟仿真技术，通过建立真实世

界与虚拟世界的信息关联，以虚船虚景、实船虚景、实船实景为测试方法，从功能、性能的测试角度出发，最终建立虚实融合的智能船舶测试体系。目前，以虚拟仿真为初试、模型测试为中试和实船验证为终试的闭环的智能船舶综合测试验证方法体系已在业界基本达成了共识，这也促进智能船舶的认证体系发生了根本性变革。

智能船舶将在设计过程中利用虚拟仿真验证技术评价设计方案的功能完备与安全，在优选设计方案后通过模型实验评估实船应用的可行性，最后通过实船试航实验完成综合测试评价，实现测试验证体系实施的成本、效率与风险控制的平衡控制，测试验证工作也将从功能实现完备性的验证扩展到系统鲁棒性、可靠性验证。



网络安全是保证智能船舶数据及通信安全性的基础。其测试内容一般包括安全漏洞扫描、渗透测试、负载测试、压力测试和性能测试，通过模拟船舶网络及通信环境，建立网络虚拟靶场，结合船舶真实历史数据及虚拟数据，对船舶系统及设备的网络安全进行测试，同时采集系统及设备的日志及流量等数据，基于恰当的网络攻击模型进行多源数据分析，评估系统及设备是否符合预期的网络安全要求。

算法是保证智能船舶航行策略和航行行为安全性的核心。通过模型在环、软件在环测试，利用大规模数据集对感知、决策、控制等核心算法模型进行反复回归验证，通过完善的算法评价体系精确评估算法达到预期功能并达到合理性、安全性、稳定性及可解释性等要求，使算法失效风险及后果控制在可容忍的水平。

（五）船舶网络韧性防护之路

随着船舶智能化发展，船舶在线监控、远程控制能力不断增强，将扩大船舶的网络威胁攻击面，船舶网络安全将成为影响船舶智能化持续安全可靠发展的重要因素，从卫星通信、船舶网络架构、边界防护到船员网络安全意识等都将成为影响船舶网络安全的脆弱性，为提升船舶网络应对网络事件的韧性，IMO, IACS, ISO/IEC等国际组织积极开展相关研究。其中，IACS关于船舶网络韧性相关的统一要求文件E26和E27，将于2024年1月1日生效，在此后签订建造合同的入级船舶须满足相关要求。

提升智能船舶信息网络安全，是强化智能船舶检验与测试技术创新，保障智能船舶技术产品优质、安全发展的必经之路。船舶网络安全贯穿船舶全生命周期，应以识别、保护、检测、响应及恢复为手段，不断提升船舶网络韧性：

1. 船舶及系统设计阶段，应充分考虑船舶网络安全的问题，参考行业最佳实践，遵循相关规范及技术要求，根据安全目标和需求，确立网络安全策略；如根据船舶及系统的智能化程度不

同，以及系统安全要求的差异，合理划分安全区域，采取不同的安全防护措施，提高安全性的同时，可以提高经济性和适用性；

2. 船舶网络安全管理层面，管理公司或航运企业应完善船舶安全管理系统，纳入船舶网络风险管理，定期对船舶网络安全进行风险评估，确保网络安全风险处于可接受范围；同时，重视船舶网络安全运维，定期对船舶系统、数据库、应用等进行安全加固，对关键节点设备、网络安全设备进行配置核查，以应对动态变化安全威胁，保证安全架构持续有效，另外还应定期开展船员及相关人员的船舶



网络安全意识、应急处置技能等的培训，提升人员网络事件处置能力；

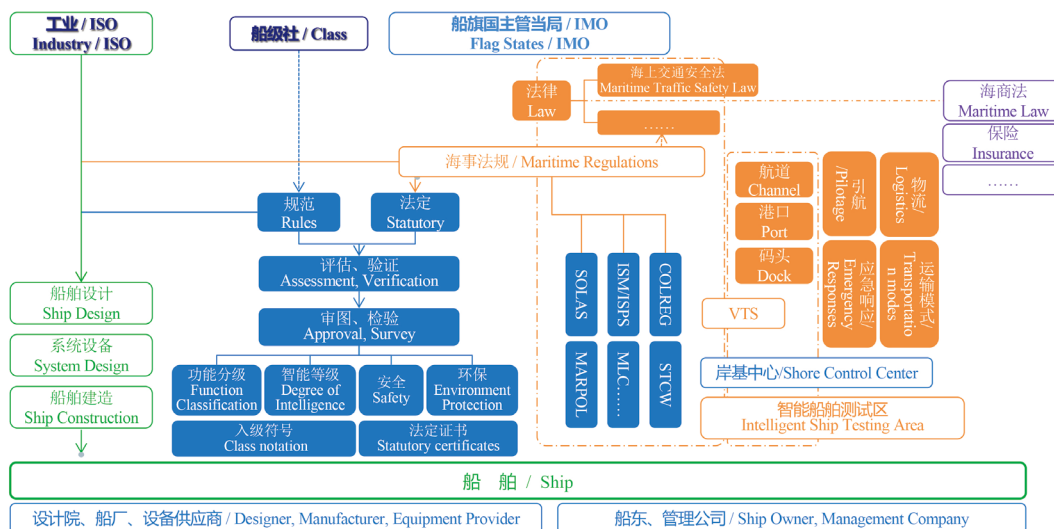
3. 船舶网络安全技术应用层面，充分利用现代化信息技术对船舶网络安全进行监测、感知、预警以及应急响应；根据船舶网络拓扑结构，部署功能一体化的安全设备，采集船舶各网络区域的流量和日志信息，结合网络攻击模型、预设规则、网络威胁情报，进行数据关联、分类、聚类分析，发现潜在的入侵和高隐蔽性攻击，回溯攻击历史，预测安全事件，提供处置决策建议，接入岸端综合分析平台，全方位感知网络安全态势，也为进一步联合防火墙等安全设备实现安全联动，提高应急处置能力提供了平台；

4. 对于智能化程度高，网络部署复杂的船舶，还应结合船舶网络拓扑建立密码管理系统及加密机制，采用具备足够加密强度的加密算法，或加密专用设备，以确保身份认证安全，以及数据和通信的机密性、完整性。如采用专用密码机生成和管理密钥，实现智能机舱、智能航行等系统的关键数据的加密；采用专用安全设备对船岸等场景的通信协议进行加密和封装，实现更加安全可靠的通信。

(六) 行业生态横纵协同之路

船舶智能化以船舶为载体，具备跨行业跨部门多领域多学科交叉的特点，以数据为纽带，纵向贯穿船舶工业上下游产业链，形成科研、设计、建造、运营、检验等相融合的产业协同发展新业态；横向连接行业生态价值链，包括如智能船舶、智能港口、智能物流、智能监管等领域。智能船舶融入横向价值链信息，扩大智能系统的优化决策能力，将成为一个研发重点。打造航运上下游横纵联合的行业生态，也是智能船舶技术发展必须的环境与条件。

船舶智能化发展应以创新驱动为引领，大力推动数字化、智能化等新技术的广泛应用，提升与港口、航保、监管、检验、保险等方面智能发展的兼容性、协调性和开放性，促进技术融合、产业融合，进一步的深化智能船舶技术体系，构建数据共享共用机制，充分挖掘数据价值，加大对工业软件的研发力度，从研发支撑、工具软件、数据收集、模型开发等多个方面，打造产业协同的研发生态，促进智能船舶技术的高速发展，形成可扩展、可复制的技术成果，支撑船舶智能化技术高质量发展。





中国船级社

地址：北京市东直门南大街9号船检大厦

电话：+86 10 58112538

传真：+86 10 58112837

网址：www.ccs.org.cn

2022.11

