

项目委托



报告发行



智能航运中国：要素与路径

Smart Shipping China

Elements & Pathways

2023 年 12 月

项目团队

首席研究员

吴桂涛（大连海事大学）

特约撰稿人

邢 辉（大连海事大学）

江 东（中国船级社）

吕红光（大连海事大学）

主要贡献者

王宝军（大连海事大学）

赵俊豪（大连海事大学）

段尊雷（大连海事大学）

王新宇（中国船级社）

陈 洋（信德海事）

外部评阅人

孙 武（中国船级社）

任旭东（DNV 中国）

张新宇（大连海事大学）

陈树伟（信德海事）

致 谢

本报告系 2023 年大连海事大学本科教育教学改革研究定向项目“智能航运技术需求与人才培养路径研究”的阶段性成果，得到了中央高校基本科研业务费专项资金资助(3132023627)以及交通运输行业重点科技项目清单项目“新时代航运人才知识体系构建研究”(2022-MS7-203)和教育部新文科研究与改革实践项目“高素质复合型国际化海事人才培养创新与实践”(2021110031)支持。本报告的发布得到了信德海事的大力支持，同时报告大量引用了相关企业、机构或组织的报告和图表内容，项目团队向相关单位和个人表示衷心感谢！

联系我们

邢辉

大连海事大学 1999 楼 309 室

大连市凌海路 1 号，116026

xingcage@dlnu.edu.cn

<http://www.dlnu.edu.cn/>

江东

西盛街 28 号第一大道 24 层

烟台市芝罘区，264000

djiang@ccs.org.cn

<https://www.ccs.org.cn/>

免责声明

本报告所述观点仅系项目团队的研究成果，不代表项目团队成员所在单位大连海事大学、中国船级社和信德海事技术服务（大连）有限公司（本报告中简称“信德海事”）的立场和观点。项目团队已尽可能地确保报告所引用数据和信息的准确性，但不为因数据和信息应用所导致的任何后果承担责任。

本报告所引用的信息和材料不在任何程度和方面表达或暗示项目团队成员以及其所在单位对任何国家、地域、城市或地区的法律地位或合法性，以及其版图及边界划分的立场和观点。

2023 年 12 月

©大连海事大学，保留一切权利！

序 言

随着信息与通信技术、物联网、人工智能等技术的发展，人类社会的生产生活方式已经发生显著改变。在此背景之下，船舶自动化、智能化、无人化和自主化也成为当前及未来较长一段时间内最重要的研究热点和发展特征之一。与之相伴随的，以智能船舶为核心的智能航运，也将全面重塑航运业态。

智能航运对于改善船员工作生活条件、避免人为失误、减少船舶排放、降低船舶营运成本等方面能明显发挥作用。可以预期，智能航运领域的技术、标准、人才、装备和产业，必将成为各主要航运国家、城市和企业竞争的焦点。因此，船舶与航运的数字化、智能化转型，既是促进供应链产业链安全稳定的重要保障，也是建设造船强国和航运强国的必由之路，同时还是实现船舶和航运业高质量发展的重要抓手。

大连海事大学研究团队在中国船级社智能航运技术专家的指导下，适时撰写了《智能航运中国：要素与路径》报告，旨在全面综述全球范围内智能航运领域近十年的发展成果，深刻认识智能航运技术需求与人才培养路径，同时为我国智能航运技术体系顶层设计和研发路线规划提供有价值的参考。期待您的积极反馈！



孙玉清
大连海事大学

目 录

1 引言	1
2 国际/区域组织的响应与行动	9
2.1 国际海事组织	9
2.2 欧盟	13
2.3 莱茵河航行中央委员会	39
3 主权国家/地区的研发与应用	43
3.1 挪威	43
3.2 比利时	51
3.3 荷兰	53
3.4 俄罗斯	57
3.5 韩国	60
3.6 日本	73
3.7 中国	86
3.8 其他国家或地区	101
4 行业组织/机构的愿景与雄心	106
4.1 船级社	106
4.2 自主海上生态系统联盟（One Sea）	121
4.3 Rolls-Royce 公司	123
4.4 小结	125

5 传统航运的要素解构	128
5.1 多维视角下的船舶	129
5.2 货物	133
5.3 港口	141
5.4 环境	141
5.5 人员	142
6 智能航运的功能需求	144
6.1 智能航运要素解构	144
6.2 智能航运背景下的人才需求	151
7 促进中国智能航运高质量发展的对策建议	162
缩略词和术语	166
参考文献	170
附录 A	171
附录 B	174

1 引言

1. 船舶无人化和自主化

在船舶设备与系统已经达到较高自动化程度的基础上，近年来，随着信息与通信技术、物联网技术、人工智能技术的快速发展，中小型无人船艇、中大型智能船舶的发展在技术上已经具备可能性，并日益受到学术界和工业界的关注，多个国家和行业实体也积极参与相关技术开发和应用示范。对于中小型船艇，无人化是主要特征；而对于中大型船舶尤其是商船而言，现阶段主要强调的还是自动化、智能化，预期未来也存在无人化、自主化的潜力和可能。通常来讲，智能化、自主化的海上系统依据其类型、应用以及自动化、自主化或无人化程度，通常有多种不同的名称，如图 1-1 所示。

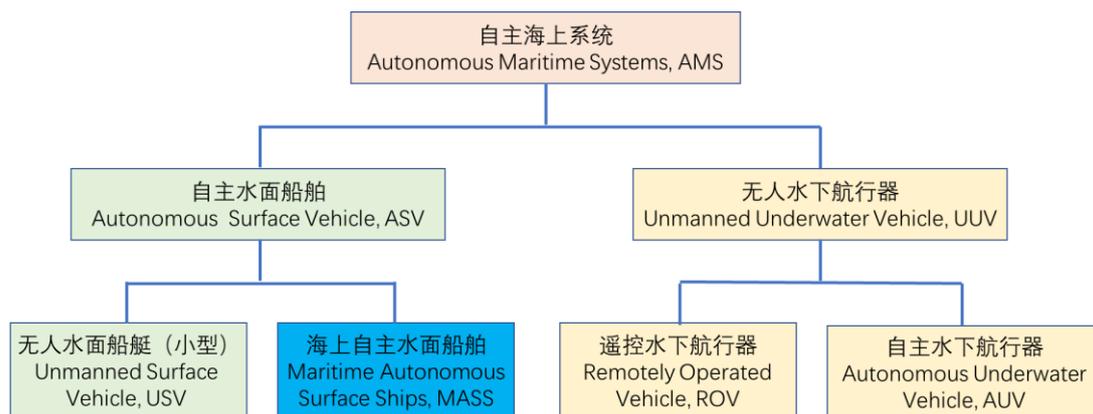


图 1-1 自主海上系统的类型

进入 21 世纪，国防、军工领域的小型无人水面艇（Unmanned Surface Vehicle, USV）、无人水下航行器（Unmanned Underwater Vehicle, UUV）得到快速发展，民用领域的产品和应用也快速跟进。自 2001 年美国正式启动“Spartan Scout”无人水面艇的研制工作以来，以色列、意大利、英国、法国、德国、日本、中国等政府机构或企业均研发了多个型号和系列的 USV 或 UUV，具有模块化、可重构、多任务、远程控制/自主航行等功能，适用于水面作战、巡逻搜救、航道测量等军用或民用任务。综合国内外研发现状，目前无人船艇研究涉及关键技术主要包括：航线自动生成与路径规划技术，包括基于电子海图的航线自动生成与路径规划技术

以及基于轨迹分析的航线自动生成与路径规划技术；通信技术，涉及无线电通信、光学通信、水声通信等方面；自主决策与避障技术；水面物标探测与目标自动识别技术。未来，大型船艇的无人化以及自动目标识别、自动避碰、自动部署、自动修复等高度自主化将成为主要的发展趋势。

II. 智能航运研发与商业化

航运承担了 80% 以上的国际贸易运输任务，是一种最经济、最高效的大宗货物运输方式，为世界经济繁荣和人类文明进步作出了卓著贡献。船舶设备及系统的自动化为改善船员工作和生活条件、减少船舶配员、节省营运成本发挥了积极作用，在航运智能化发展的大背景下，船舶的智能化、自主化、无人化也成为重要的趋势之一。

而智能航运的发展也主要是围绕智能船舶展开的，据欧盟 (European Union, EU) 资助的 AUTOSHIP 项目团队 2023 年 3 月发布的研究成果¹，从 2010 年开始，由欧盟委员会 (European Commission, EC) 或其他欧洲国家实体资助的至少 108 个研发项目专注于海上运输或海上物流业务的自主航运情景。在这些项目中，42 个属于欧盟委员会资助的各种项目，投入经费约 2.07 亿欧元；40 个由挪威资助，投入经费约 3800 万欧元；许多其他项目由不同的欧洲国家资助，投入经费约 2700 万欧元。项目牵头单位 PNO Consultants 构建的研发项目网络图谱显示，目标略有不同但具有协同作用的子生态系统包括：

- ✧ 相关组织和机构主要致力于开发电子航海软件、电子基础设施或其他实现自主航行的信息通信技术。
- ✧ 相关组织和机构主要致力于通过网络和接口智能化来实现自主海上航行。
- ✧ 相关组织和机构主要致力于内河水路交通的自动化和数字化，且主要来自德国和比利时。
- ✧ 相关组织和机构主要致力于通过港口数字化和自动化发展自主货运，通过整个供应链发展智能物流。
- ✧ 相关组织和机构是开发自主导航的关键参与者 (SINTEF、Kongsberg Maritime AS、NTNU、DNV、Zeabuz、Massterly、Maritime Robotics、

¹ <https://www.autoship-project.eu/wp-content/uploads/2023/03/AUTOSHIP-Ebook.pdf>.

Norwegian Maritime Administration 和 Norwegian Coastal Administration 等), 主要致力于开发真正的自主船舶和自主导航应用展示, 且主要来自挪威和芬兰。

此外, 当前全球范围内商业化的项目或智能航运领域的科技初创企业也如大量涌现, 如图 1-2 和图 1-3 所示。就项目技术成熟度而言, 包括: 研发或台架测试阶段; 原型样机开发阶段; 大规模推广应用阶段。就项目目标而言, 包括: 岸基控制中心; 避碰软件等关键共性技术开发; 内河自主航行; 海上自主航行。而这些初创企业的业务领域涵盖: 远程监测和控制系统; 态势感知和避碰系统; 自主航行系统; 自主靠离泊; 设计、原型应用和验证; 以及其他的海事技术领域。

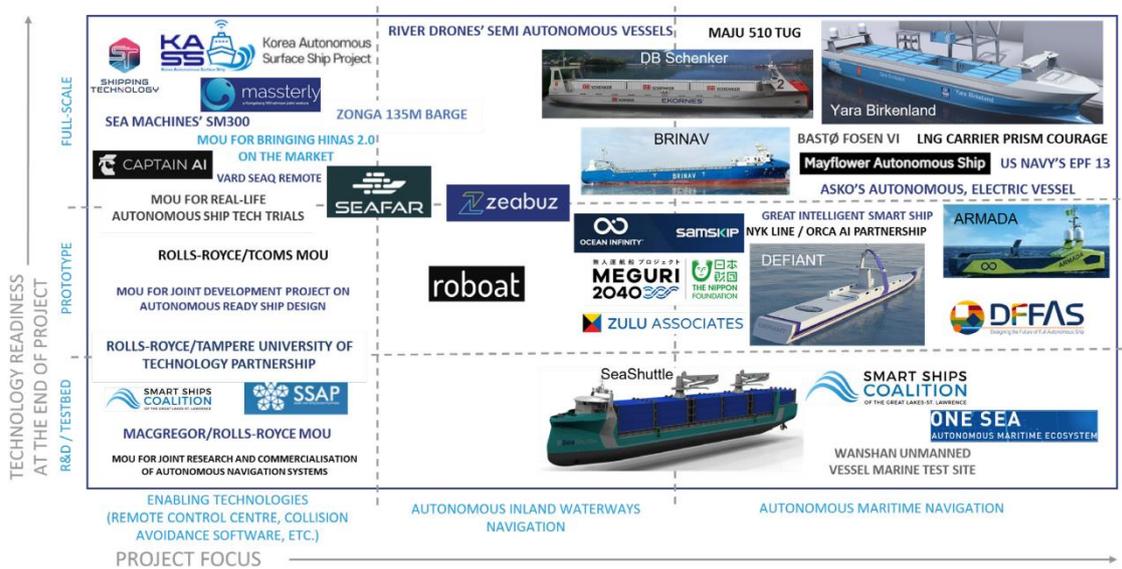


图 1-2 智能航运相关的商业项目图谱¹

¹ <https://www.autoship-project.eu/>.



图 1-3 智能航运相关的初创企业生态系统¹

III. 为什么要发展智能航运

自主或智能本身不是追求的目标，但它可以以不同的方式解决航运业面临的挑战、支持航运业可持续发展。从定性的角度分析，下面几点是重要的考量²：

- ✧ 对于近海航运，主要的成本驱动因素是船员和港口人工装卸，通过引入自主航行和自动装卸货可以显著降低这些成本。
- ✧ 对于具有辅助决策功能的智能船舶，航线优化、航速优化、纵倾优化等智能能效管理技术能显著提高船舶营运能效、减少排放，是实现航运碳中和的重要措施之一；此外，智能航行、智能船体、智能机舱、智能货物管理等辅助决策功能对于改善船员工作条件、降低船员劳动强度、提升船舶安全性和可靠性等也是重要的手段之一。
- ✧ 对于遥控无人或完全自主的船舶，因为不需要船员生活区、船员安全设备、空调、伙食冷藏装置、卫生系统或驾驶台，可以以较低的投资成本建造。这可以优化船体设计，更多的盈利载重量和载货空间（Payload），并实现最小的单位运输功耗和降低航运排放。更经济、高效、低排放的水路

¹ <https://www.autoship-project.eu/>.

² <https://www.massterly.com/what-we-do>.

运输,将进一步增加将运输从公路转移到水路的吸引力,因此也将进一步降低运输排放。

- ✧ 因为在船船员可能会减少或完全由岸基控制中心操作员取代,而岸基人员可以同时监控多艘船舶,因此,完全自主和自动化的船舶提供了较低的运营成本。
- ✧ 统计表明 75%的海事事故是由疲劳和注意力不足等人为失误引起的,因此,自动驾驶船舶具有显著的安全效益。此外,即使海事事故数量没有减少,因为没有船员伤亡,也就变相的提高了安全性。
- ✧ 如果没有船员在船,自动驾驶船舶可以更容易地使用降速运行以节省燃料。运营成本降低和没有船员在船,进一步增加了运营时间、持续时间、区域和航行速度方面的灵活性。
- ✧ 小型船舶在经济上可能具有可行,从而可以增加船队中船舶的数量,以提高灵活性。如果个别船舶无法使用,对船队运力的影响较小,从而提高了韧性和恢复能力。此外,小型船舶发生事故或事件的后果将不那么严重(可以作为对照的,如“Ever Given”轮在 Suez 运河的搁浅事故)。
- ✧ 自主船舶往往设计有最少的旋转部件,其推进可能由电池驱动或由低碳/零碳气体燃料发动机或燃料电池驱动,这意味着自主船舶对大气和海洋的排放将为零或较低。

智能船舶,在英文语境中存在 smart ship、intelligent ship、connected ship、autonomous ship 等多种表达¹²³,关于其发展阶段、智能水平划分目前也还没有形

¹ “自主 (Autonomous)”和“无人 (Unmanned)”这两个术语在不同的文本中使用,有时是指同一件事,有时在不同文本中各自具有不同的含义。术语使用时可考虑遵循以下原则:

- ✧ “自主”意味着船舶可以执行一系列预设的操作,船员无需干预或可减少注意力,但这并不意味着没有人在场,主要涉及的是系统和人员之间任务划分的问题。
- ✧ “无人”是指驾驶台或机舱/集控室没有人执行或监督操作,船员可能仍然在船上;无人也可指船舶、设备或系统由岸基远程操作,船上没有船员。

² “船舶 (Ship)”被定义为具有自己的推进和转向系统的载运工具 (Vehicle),用于执行商业上的货物或客运输,并受民用监管框架的约束,通常意味着较大的尺寸和一旦发生事故时产生较大的损失。军用和研究船 (Vessel) 通常不属于这一定义范围。

³ 概念术语辨析:

- ✧ “自主船舶 (Autonomous ship)”是指具有一定程度的自动化和自治能力的船舶。
- ✧ “自动化 (Automation)”通常是计算机化的过程,使船舶能够在没有人控制的情况下进行某些操作。

成普遍的共识。但针对与智能船舶、智能航运相关的关键核心技术、创新运行模式、航运人才培养进行前瞻性的探索和梳理，对于促进航运健康、快速、可持续发展，具有重要的现实意义。

IV. 智能航运发展对海事专业人才培养带来的挑战

据世界海事大学（World Maritime University, WMU）2023年7月发布的研究报告，自动化和智能化对未来海事专业技能、适任能力和职业机会的影响是显著的，如图1-4所示。图1-4也表明，数字化、自动化和智能化并不是仅有的技术趋势，绿色低碳也是目前需要并行发展的重要技术趋势之一。关于这一点，美国船级社（American Bureau of Shipping, ABS）在其《TECHNOLOGY TRENDS-Exploring the Future of Maritime Innovation》报告中也有阐述，如图1-5所示。

可以预期，智能船舶的研发和应用必将对全球造船业和航运业带来深刻变革，也必将对未来高等航海教育和航运人才培养产生重大影响。也就是说，是随着船舶的智能化、无人化、自主化发展，船员、海事院校、行业企业均可能将面临颠覆性的变革。令人欣慰的是，业内专家的普遍共识是：“随着智能船舶的发展，传统的航海类人才需求会减少，但航海类职业不会消失，而是会‘转变’，船岸交互的纵深发展将改变未来航海类人才的岗位职责和工作方式。”

基于此，全面梳理和分解传统航运的构成要素和运行模式、传统船舶的设备系统和作业工况、传统船员的职能要求和工作方式，进而对智能船舶的发展阶段以及对应的关键技术需求、人员适任要求进行分析、预测和评判，最终形成科学合理的智能航运发展路径、关键技术和设备开发指南以及航运人才知识图谱，就成为本报告的价值所在。

✧ “自主性（Autonomy）”是将高级的自动化应用于船舶的结果，使其实现某种形式的自治，即可以在不咨询人的情况下在替代策略之间进行选择。自动化与自主性是不同的概念，例如：传统的自动舵虽然是自动的，而且可能相当先进，但它没有自主性，而是要将始终遵循给定的航线。

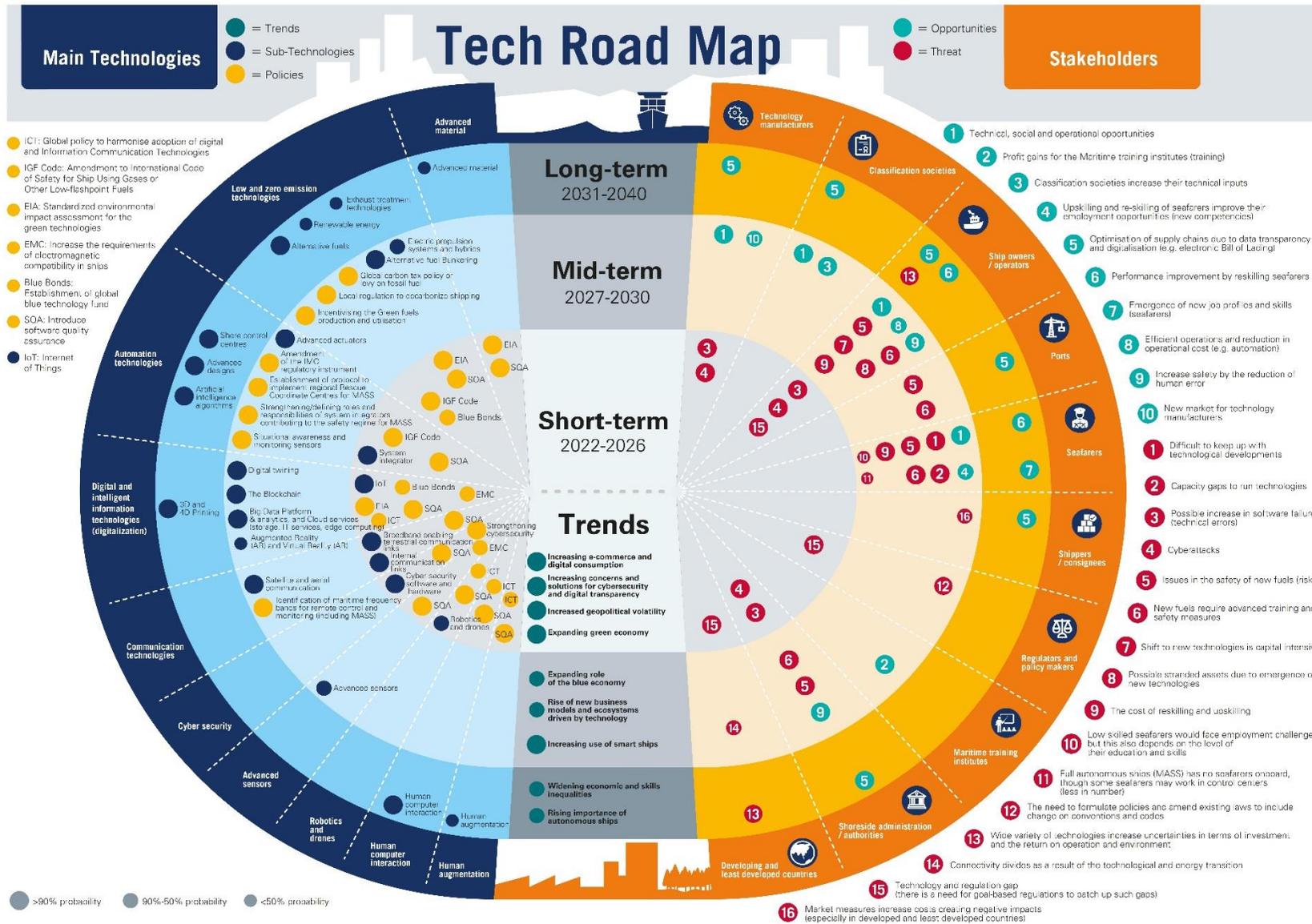


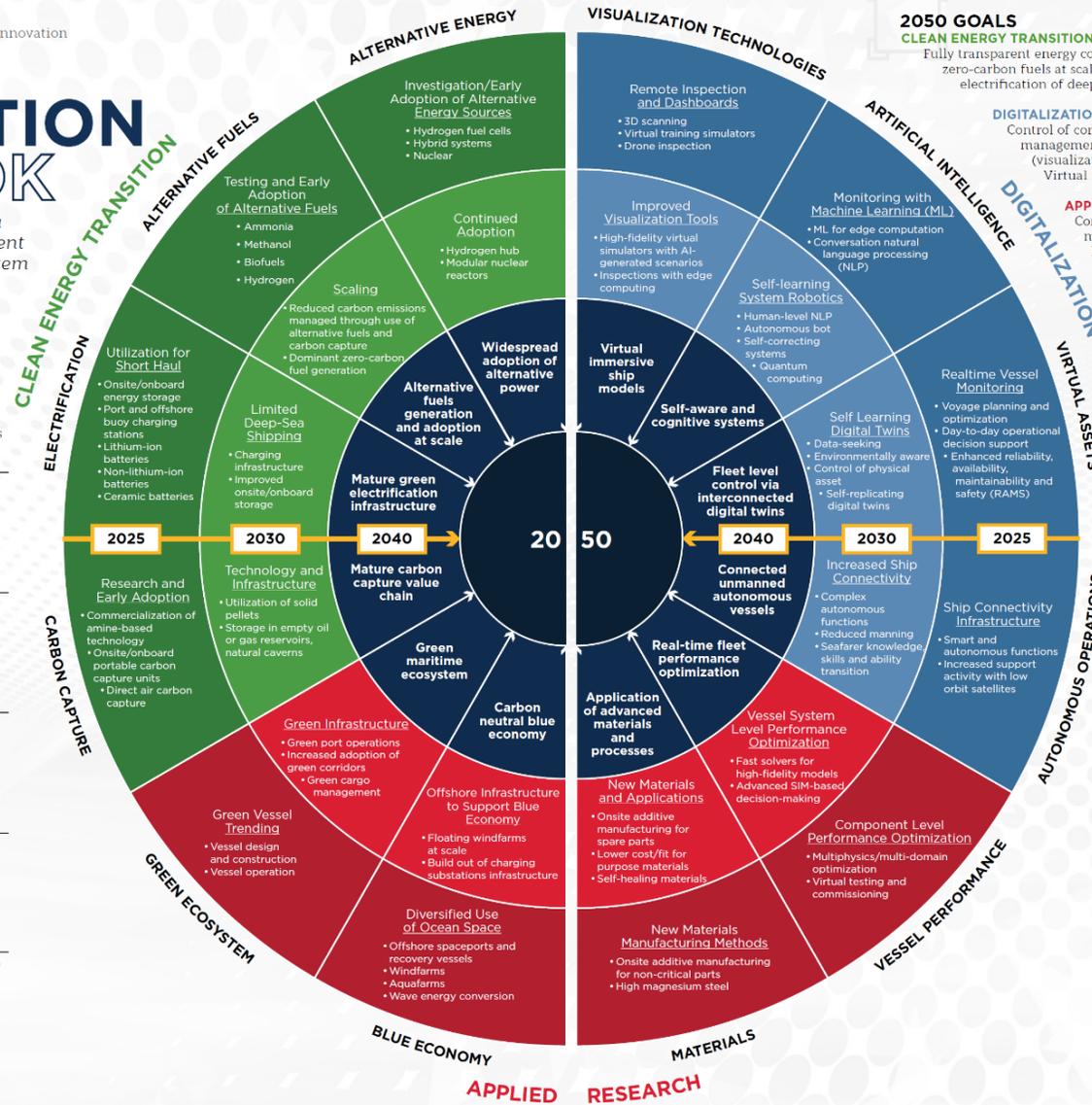
图 1-4 船舶技术路线图及对未来工作的影响¹

¹ World Maritime University (WМУ). Transport 2040_Impact of Technology on Seafarers - The Future of Work. Malm ö 2023. https://commons.wmu.se/lib_reports/78/.

INNOVATION OUTLOOK

Sustaining Innovation for a Net-Zero Carbon Environment Enabled by a Digital Ecosystem

- ALTERNATIVE ENERGY | Widespread Adoption of Alternative Power**
 - Increased prevalence of hydrogen fuel cells, hybrid systems and nuclear energy
 - Improved efficient power generation technology from alternative energy sources
 - Safe and sustainable byproduct waste management
- ALTERNATIVE FUELS | Alternative Fuels Generation and Adoption at Scale**
 - Global adoption of low- and zero-carbon fuels
 - Scaled up zero-carbon fuel generation and distribution
 - New efficient zero-carbon fuel engines
- ELECTRIFICATION | Mature Green Electrification Infrastructure**
 - Expansion of electrification infrastructure
 - Improved storage for short haul and deep-sea use
 - Enlargement of distribution substation network
- CARBON CAPTURE | Mature Carbon Capture Value Chain**
 - Global adoption of carbon capture technologies
 - Increased reach of carbon capture transport network
 - Expansion of storage infrastructure
- GREEN ECOSYSTEM | Green Maritime Ecosystem**
 - Green trending for manufacturers, shipyards and ports
 - Certified green ships and operators
 - Green labeled ship cargo
- BLUE ECONOMY | Carbon Neutral Blue Economy**
 - Increased installation of blue technologies: space ports, aquafarms and wave energy generators
 - Continued development of offshore charging substations infrastructure
 - Floating offshore windfarms at scale



2050 GOALS CLEAN ENERGY TRANSITION

Fully transparent energy consumption and carbon footprint • Adoption of zero-carbon fuels at scale • Full electrification of inland, short haul • Partial electrification of deep-sea shipping • Mature carbon capture value chain

DIGITALIZATION

Control of connected vessels at fleet via digital twins • Data management • Connected system models • Virtual/real tie ins (visualization technologies) • AI-enabled self-correcting systems • Virtual immersive ship models

APPLIED RESEARCH

Complex integrated energy management systems • New materials and processes • Improved ship connectivity • Increased application of autonomous functions • Real time performance optimization • Fully integrated green ecosystem • Expanded blue economy

VISUALIZATION TECHNOLOGIES |

Virtual Immersive Ship Models
 • Global adoption of augmented and virtual reality inspection tools
 • Personnel training through immersive simulators
 • Remote control through visualization technologies

ARTIFICIAL INTELLIGENCE | Self-aware and Correcting Systems
 • Technological advancements and adoption of self-diagnostics and self-repair
 • Global application of quantum computing
 • Increased presence of autonomous bots

VIRTUAL ASSETS | Fleet Level Control via Digital Twins
 • Transition to fleet level virtual asset
 • Global adoption of model-based systems engineering standards
 • Improved cloud and edge computing

AUTONOMOUS OPERATIONS | Connected Unmanned Autonomous Vessels
 • Increased use of autonomous functions
 • Real-time decision support through advanced SIM-based analysis
 • Diversification of seafarer knowledge, skills and ability
 • Enhanced broadband coverage, speed and cybersecurity
 • Increased complexity of autonomous functions

VESSEL PERFORMANCE | Real Time Fleet Performance Optimization
 • Wide-spread adoption of energy saving devices to maximize vessel performance
 • Enhanced high fidelity performance optimization at the vessel system level
 • High fidelity analysis enabled by generative design

MATERIALS | Application of Advanced Materials and Processes
 • Application of onboard additive manufacturing for repair and part replacement
 • Serialized additive manufacturing through blockchain
 • Adoption of lower cost/ft for purpose materials
 • New self-healing materials

图 1-5 海事技术趋势¹

¹ American Bureau of Shipping (ABS). Technology Trends-Exploring the Future of Maritime Innovation. <https://ww2.eagle.org/en/publication-flip/technology-trends.html>.

2 国际/区域组织的响应与行动

2.1 国际海事组织

在 2017 年 6 月 7-16 日召开的国际海事组织(International Maritime Organization, IMO) 海上安全委员会 (Maritime Safety Committee, MSC) 第 98 次会议上, 针对相关提案建议开展监管范围界定工作 (Regulatory Scoping Exercise, RSE) 以确定如何在 IMO 文书中引入海上自主水面船舶 (Maritime Autonomous Surface Ships, MASS) 的安全、保安和环境友好的操作, MSC 同意将“海上自主水面船舶(MASS) 应用的监管范围界定工作”纳入其 2018-2019 双年度产出。

在 2018 年 5 月 16-25 日召开的 MSC 第 99 次会议上¹, IMO 首次采取行动解决智能船舶问题, 开始针对 MASS 的 RSE 开发工作框架。MSC 第 99 次会议将 MASS 的自主程度定义和划分为 4 个等级: 1—具有自动化过程和决策支持的船舶; 2—有船员在船的远程控制船舶; 3—没有船员在船的远程控制船舶; 4—完全自主船舶。同时, IMO 强调了智能船舶可以在单个航程期间以一个或多个自主程度运行。IMO 的船舶自主程度 (Degree of Autonomy, DoA) 划分如图 2-1 所示, 并成为海事行业针对智能船舶开展相关研究的主要依据和准则, 影响广泛。

2021 年 5 月 5-14 日召开的 MSC 第 103 次会议批准了“海上自主水面船舶应用的监管范围界定工作的产出 Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)”, 并以 MSC.1/Circ.1638 号通函发布², 明晰“船长”、“船员”或“负责人员”(master, crew or responsible person) 等词的含义被确定为高度优先事项, 尤其是针对自主程度 3 和 4 的 MASS; 其他的还包括远程控制中心 (Remote control station/centre)、远程操作船员 (Remote operator as seafarer) 和专业术语 (Terminology)。

¹ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx>

² <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/MASSRSE2021.aspx>

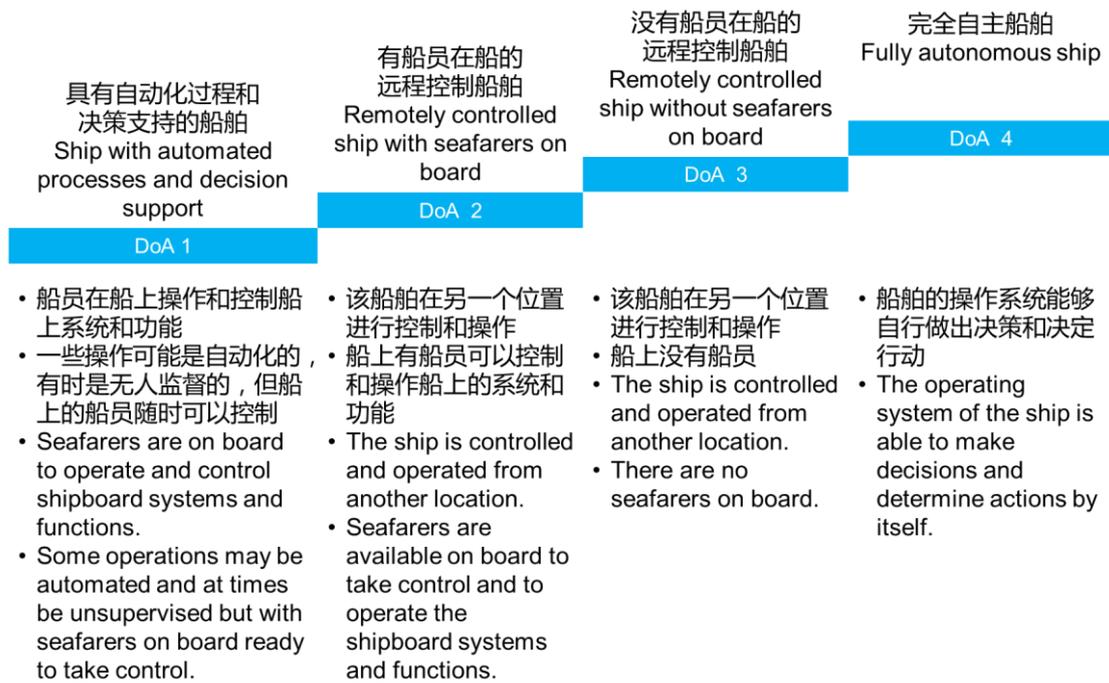


图 2-1 IMO 的船舶自主程度划分

针对难以在多个 IMO 文书中建立统一的解决方法，通过一个新的文书（例如，MASS Code）来全面解决所存在的差距成为最适当方法。针对 IMO 现有文书与 MASS 操作之间存在的冲突和不匹配，MASS 应用的 RSE 产出确定的 IMO 现有文书修正工作优先级列表如表 2-1 所示。

表 2-1 IMO 现有文书修正优先级

High-priority	Medium-priority	Low-priority
SOLAS chapters II-1, II-2, III, IV, V, VI, VII, IX, XI-1 and XI-2	SOLAS chapter XII	SOLAS chapter XIII
COLREG	CSS Code	SOLAS chapter XIV
STCW Convention and Code	Casualty Investigation Code	CSC Code
STCW-F Convention	III Code	ESP Code
1966 LL Convention and 1988 Protocol thereto	Grain Code	RO Code
1979 SAR Convention	INF Code	FTP Code
FSS Code	2008 Intact Stability Code	Polar Code
IMSBC Code	Standards for owners' inspection and maintenance of bulk carrier hatch covers	LSA Code
IMDG Code		ISM Code

TONNAGE 1969		ISPS Code
IBC Code		Standards for the evaluation of scantlings of the transverse watertight vertically corrugated bulkhead between the two foremost cargo holds and for the evaluation of allowable hold loading of the foremost cargo hold
IGC Code		Standards and criteria for side structure of bulk carriers of single-side skin construction

紧随完成了关于 MASS 的 RSE 之后，2022 年 11 月 2-11 日召开的 MSC 第 106 次会议设立了 MASS 联合工作组（Joint Working Group, JWG）负责 MASS 规则（MASS Code）的起草工作，并拟定了 MASS 规则的框架，预计 2025 年通过该规则并于 2028 年 1 月 1 日开始生效¹。

MASS JWG 作为海上安全委员会（Maritime Safety committee, MSC）、法律委员会（Legal Committee, LEG）和便利海上运输委员会（Facilitation Committee, FAL）共同设立的协调机制，每年将召开 2 次会议，旨在审议解决 MASS 相关的共性问题，为三个委员会下 MASS 文书和措施制定提供建议。2023 年 4 月 17-21 日，MASS JWG 第 2 次会议采用线上线下相结合的方式召开，重点围绕 MASS 船长、远程操作中心、远程操作员等基础问题进行讨论并达成初步的原则性共识。

（1）MASS 船长

会议就 MASS 船长的定义、角色、职责、适任要求等具体问题开展讨论。会议认为，一是无论 MASS 处于何种自主化水平或采用何种操作模式，都应当配备一名自然人担任船长并对该船负责，且该船长在必要时能够介入船舶控制。MASS 船长并非一定在船，取决于船舶使用的技术以及人员在船情况；二是在特定条件下，一名船长可以负责多条 MASS，同时也不排除特定条件下，存在一个航次内由一名船长接替另一名船长的可能性，但在任一给定时间点，只能有一名船长对该 MASS 负责，相关委员会应当具体讨论并界定该类特定条件；三是 MASS 船长以及船员的适任要求应当以 STCW 公约和规则为基础，同时有必要增加其他相关要求或对

¹ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-106.aspx>.

STCW 公约进行修订。MASS 船长是否适用海事劳工公约（Maritime Labour Convention, MLC）的问题则应当交由国际劳工组织审议。会议并未对 MASS 船长应当承担的职责进行深入讨论，而是邀请秘书处梳理形成 IMO 文书和联合国海洋法公约（United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS）下的船长职责清单，供下一届会议讨论。会议还初步讨论了当有船员在船时船长是否必须在船的问题，但并未达成一致，而是建议由 MSC 在制定 MASS CODE 时进一步考虑。

（2）远程操作中心

会议就远程操作中心的术语、角色、要求等具体问题开展讨论。会议同意，一是使用“远程操作中心”（Remote Operations Centre, ROC）这一术语，并将其定义为：能够在 MASS 船舶之外操作该船舶部分或全部功能的处所；二是在特定条件下，远程操作中心的一名人员（即 MASS 船长）可同时对多条 MASS 负责，同时不排除特定条件下，存在一个航次内有多个远程操作中心对一条 MASS 负责的可能性，但在任一给定时间点，只能有一个远程操作中心对该 MASS 负责，相关委员会应当具体讨论并界定该类特定条件；三是远程操作中心需要满足的要求应当由 MSC 在制定 MASS 规则（MASS Code）时考虑。会议认识到，当远程操作中心位于 MASS 船旗国以外的位置时，将带来管辖权上的挑战，有必要由相关委员会进一步考虑法律和技术上可行的解决措施。

（3）远程操作员

会议就远程操作员的定义、职责、适任要求等具体问题开展讨论。会议同意，一是将远程操作员界定为：在远程操作中心内受雇或参与操作部分或全部 MASS 功能的具有资质的人员；二是关于远程操作员的适任要求应当由 MSC 在制定 MASS Code 时考虑；三是关于远程操作员是否适用于 MLC 的问题应当交由国际劳工组织审议；四是关于远程操作员是否应当被视为 MASS 船员的一部分，应当在相关委员会予以考虑。

（4）其他共性问题

会议对 MASS 这一术语进行了讨论，认为现阶段不宜增加关于“系统”的内容，同意继续保持 MASS 术语的现有用法和含义。此外，根据委员会立法范围结果报

告和 FAL 第 47 届会议审议结果，证书及其他文件、信息共享、连通性、网络安全等共性问题被纳入 JWG 工作计划。

2.2 欧盟

I. MUNIN 项目

在海事领域的创新发展方面，欧盟（European Union, EU）近年来一直是先锋。2012 年 9 月，欧盟委员会（European Commission, EC）根据其第 7 框架计划——交通运输（7th Framework Programme-TRANSPORT）¹，作为主要资助方投入 290 万欧元立项资助了“基于网络智能实现海上无人航行”（Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks, MUNIN）项目²，引领了智能航运研究与应用的潮流。MUNIN 项目由来自德国、挪威、瑞典、冰岛、爱尔兰的 8 家学术机构和工业实体组成的联合体承担³，项目研究周期为 2012 年 09 月至 2015 年 08 月，总经费达 380 万欧元。

MUNIN 项目旨在开发和验证自主船舶的概念——主要由船上自动决策系统引导但由岸上控制站的远程操作员控制的船舶。该项目的主要研究内容包括⁴：

- ✧ 开发实现自主和无人船舶所需的技术概念；
- ✧ 制定关键的整合机制，包括信息和通信技术架构和协同程序规范，以确保技术无缝运行，从而安全高效地实施自主；
- ✧ 通过在一系列场景和关键情况下的运行测试来验证概念；
- ✧ 立法监管和商业合同该如何改变以允许自主和无人船舶；
- ✧ 提供深入的经济、安全和法律评估，明确对欧洲航运竞争力和安全的影响；
- ✧ 展示相关概念如何带来直接利益，例如：由于较少的意外技术问题而减少

¹ <https://trimis.ec.europa.eu/programme/transport-including-aeronautics-horizontal-activities-implementation-transport-programme>.

² <https://trimis.ec.europa.eu/project/maritime-unmanned-navigation-through-intelligence-networks>.

³ Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services CML (Fraunhofer CML), Norwegian Marine Technology Research Institute (MARINTEK), Chalmers University of Technology, Hochschule Wismar, Aptomar AS, MarineSoft, Marorka ehf, University College Cork.

⁴ <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/munins-objectives/>.

了租赁中断；在短期内无需使自主船舶成为必要，而可为现有船舶提供效率、安全性和可持续性优势。

MUNIN 项目由 10 个工作包组成，其中包含多个任务，工作包的结构如图 2-2 所示¹。MUNIN 项目只设想智能船舶在深远海航行期间自主操作，而不是在拥挤的水域或进出港期间，在这期间的这些任务仍将由船上的船员执行，其设想运行模式如图 2-3 所示²。

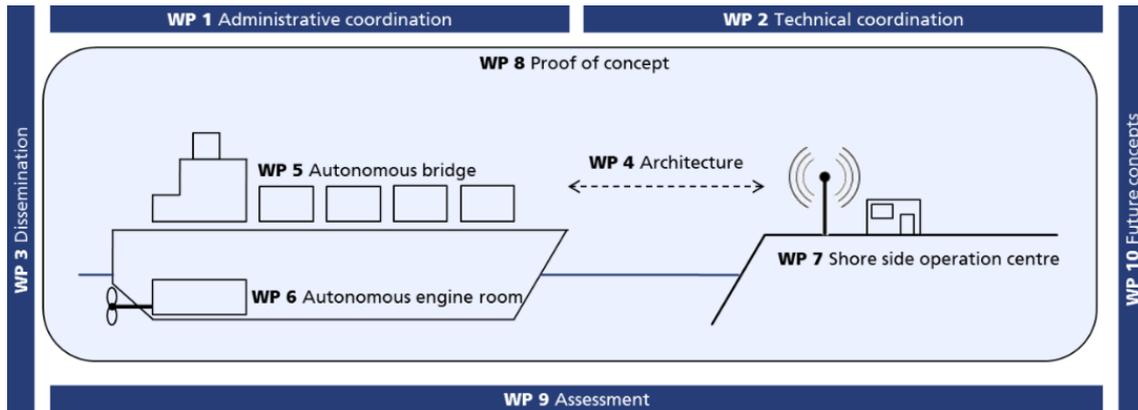


图 2-2 MUNIN 项目任务包

¹ <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/munins-methodology/>.

² <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/munin-results-2/>.

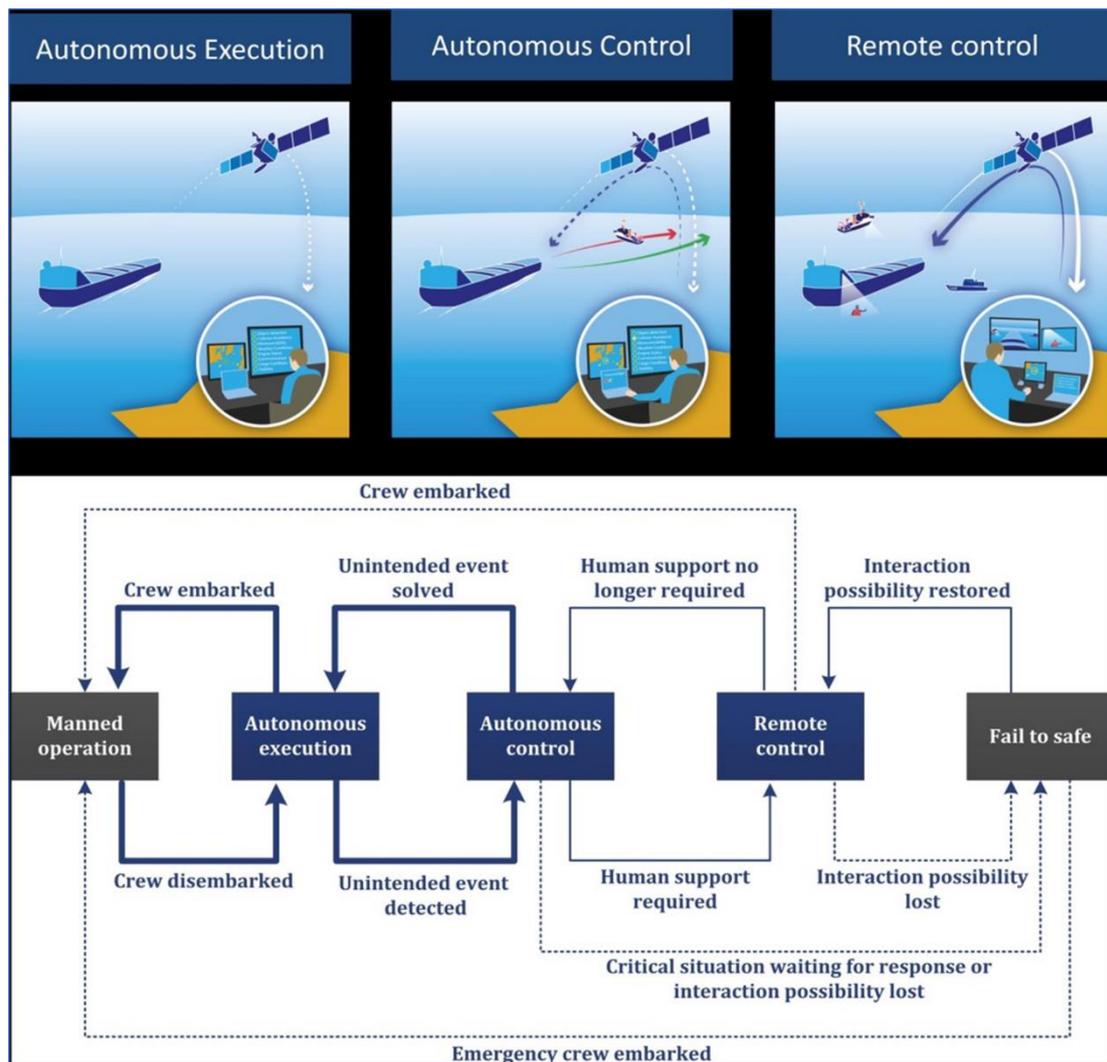


图 2-3 MUNIN 设想的运行模式

全球范围内某些地区的卫星带宽有限，通信成本高，使得简单的远程控制解决方案缺乏吸引力。因此，MUNIN 提出了一个概念，即船舶由船上的控制系统自主操作，但监测和控制功能由岸基控制中心（Shore Control Centre, SCC）的操作员执行，其系统和模块架构如图 2-4 所示¹。因此，MUNIN 定义了以下系统和实体：

¹ <http://www.unmanned-ship.org/munin/news-information/downloads-information-material/munin-deliverables/>.

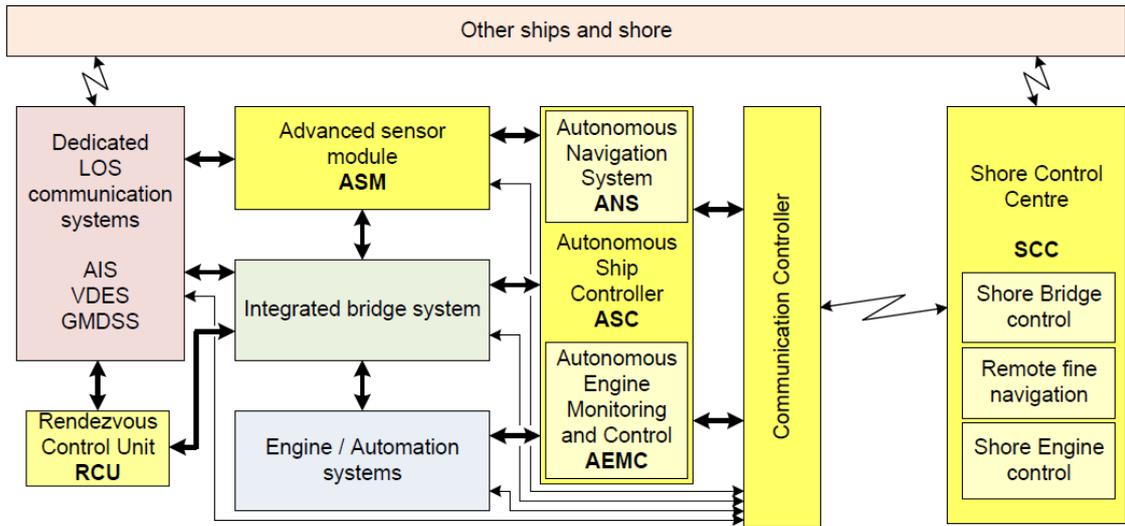


图 2-4 自主船舶系统和模块

- ✧ 先进传感器模块 (Advanced Sensor Module, ASM)，通过不断融合现有导航系统 (如 Automatic Radar Plotting Aid (ARPA) 和 Automatic Identification System (AIS)) 的传感器数据，并结合现代可见光和红外摄像机，负责船上的瞭望任务；
- ✧ 自主航行系统 (Autonomous Navigation System, ANS)，如图 2-5 所示，遵循预先定义的航行计划，但具有一定的自由度，可以根据法规和良好的航海技术自主调整航线，例如，由于出现避碰需求或重大天气变化；

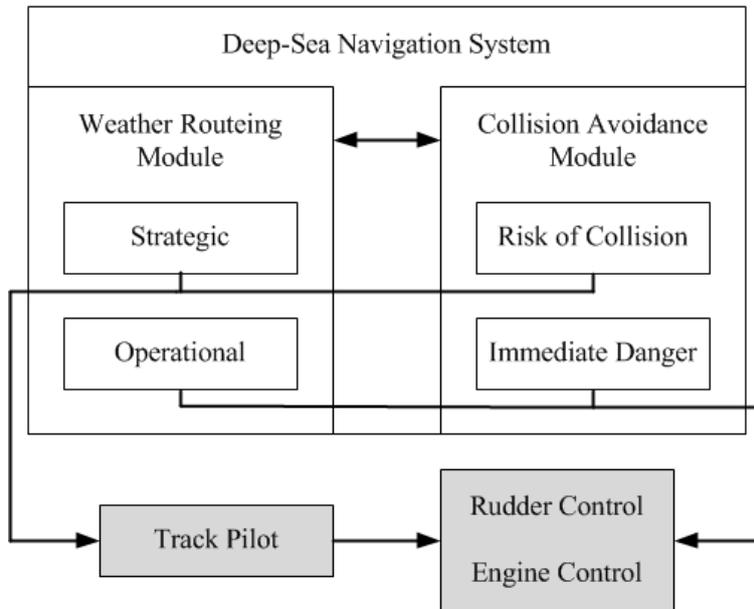


图 2-5 自主航行系统 (ANS) 架构

- ✧ 自主发动机和监控系统（Autonomous Engine and Monitoring Control System, AEMC），它丰富了船舶发动机的自动化系统，具有一定的故障预测功能，同时保持最佳效率；此外，该系统还负责额外安装的喷水推进装置，该装置充当一定的方向舵和推进冗余；
- ✧ 岸基控制中心（SCC），在将自主操作的船舶从船员手中接管后，有经验的操作员和工程师在该中心对船舶进行持续监测和控制。

岸基控制中心（SCC）包括某些职位：

- ✧ SCC 操作员（SCC Operator），通过多屏桌面站同时监控多艘自主船舶的操作，并通过发出高级别命令来控制船舶，例如，更新航行计划或自主系统的操作范围；
- ✧ SCC 工程师（SCC Engineer），在出现技术问题时协助 SCC 操作员，并负责基于视情维修系统的船舶维修计划，确保设备和系统在下一个自主航行航次中具有足够的可靠性；
- ✧ SCC 应急团队（SCC Situation Room Team），在某些情况下通过自主船舶驾驶台的岸基孪生系统接管该船并直接远程控制，包括远程操纵支持系统（Remote Manoeuvring Support System），该系统可确保在远程直接控制中保持适当的态势感知，而不用考虑船员和船舶的物理距离。

MUNIN 项目设想以散货船“Automat Seaways”轮作为试验船¹。在自主系统测试过程中，该轮装载 3.5 万吨纸浆从瑞典 Gothenburg 出发，开往南非 Cape Town。引航员以及来自当地进出港服务公司的 2 名驾驶员登上驾驶台，在狭窄的港池中操纵 200 米长的船舶。进入海上航行后，引航员将红色手柄从“Manned Bridge”转至“Autonomous Control/Remote Bridge”位置，然后和 2 名驾驶员下到甲板，并从引水梯下到引航艇上。与此同时，位于西班牙 Vigo 的 SCC 船长 Felipe Rodrigues 已经从印度 Bangalore 的 SCC 处接管了 8 艘自主船舶的控制，与他的 2 名驾驶员一起监视这 8 艘船的情况。“Automat Seaways”轮从瑞典 Gothenburg 离港以及 3 名引航员下船的过程都在 Rodrigues 船长的近距离监视之中。但“Automat Seaways”轮目前并不是完全无人的，机舱有一个 3 人的维修团队正在给副机做维修保养，

¹ <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/munin-journey/>.

他们将在船上多待 2 天，在船经过 Dover 海峡时由一个服务船将他们接走。此后，在到达南非海岸之前，“Automat Seaways”轮将完成近一个月的无人自主航行。

期间，为了避让一艘渔船（当时有雷达警报但无 AIS 目标），Rodrigues 船长带领一名驾驶员进入了看起来非常像船舶驾驶台的态势控制室（Situation Room），其实质是一个全任务驾驶台模拟器：集成驾驶台控制台包含两个雷达、ECDIS 和一个指挥显示器的常规设置；驾驶台窗外有一个几米高的 270 度弧形大屏幕，在该屏幕上可以显示该中心获得许可的所有水域和海岸的 3D 视景；红外和可见光摄像机的链接图像也可以插入屏幕上，位置与安装在“Automat Seaways”轮驾驶台上方桅杆上的陀螺稳定摄像机的运动同步；驾驶台后面是控制台和模拟机舱，以及机舱的闭路电视摄像机。

II. NOVIMAR 项目

2017 年 6 月至 2021 年 6 月，欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union’s Horizon 2020 research and innovation program）¹通过其 EU Horizon 2020: Smart, Green and Integrated Transport（H2020-EU.3.4.）专项，立项资助了“新型内河与海上运输概念”项目（NOVel Inland water transport and MARitime transport concepts, NOVIMAR）²。在 NOVIMAR 愿景中，近海、海-河和内陆水道上的水上运输作业可以由“船舶列队”（Vessel Trains）的模式执行，此类模式由一艘主船和多艘从船组成，由主船远程控制从船，从而减少船员，如图 2-6 所示。

¹ Horizon 2020 was the EU's research and innovation funding programme from 2014-2020 with a budget of nearly €80 billion. The Horizon 2020 programme has been succeeded by Horizon Europe, which is the EU's key research and innovation funding programme until 2027 and with a budget of €95.5 billion.

² <https://novimar.eu/>.



图 2-6 NOVIMAR 概念¹

项目由荷兰海事技术基金（Netherlands Maritime Technology Foundation, NMT）担任协调单位，研究联合体包括来自 9 个国家的物流、工业、公共服务、学术研究等领域的 22 家机构，如图 2-7 所示。NOVIMAR 包含 7 个工作包：运输系统；影响评估；航行与控制；货物系统和船舶设计；安全和人员技能问题；推广和市场准入；以及项目管理。

III. ETN-SAS 项目

2018 年 11 月至 2023 年 04 月，欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union's Horizon 2020 research and innovation program）通过其 H2020-EU.1.3.1. - Fostering new skills by means of excellent initial training of researchers 专项，投入 411 万欧元立项资助了“为了更安全自主系统的欧洲培训网络”项目（European Training Network for Safer Autonomous Systems, ETN-SAS），项目研究团队和工作包分别如图 2-8 和图 2-9 所示。

¹ <https://novimar.eu/>.



图 2-7 NOVIMAR 项目参与单位

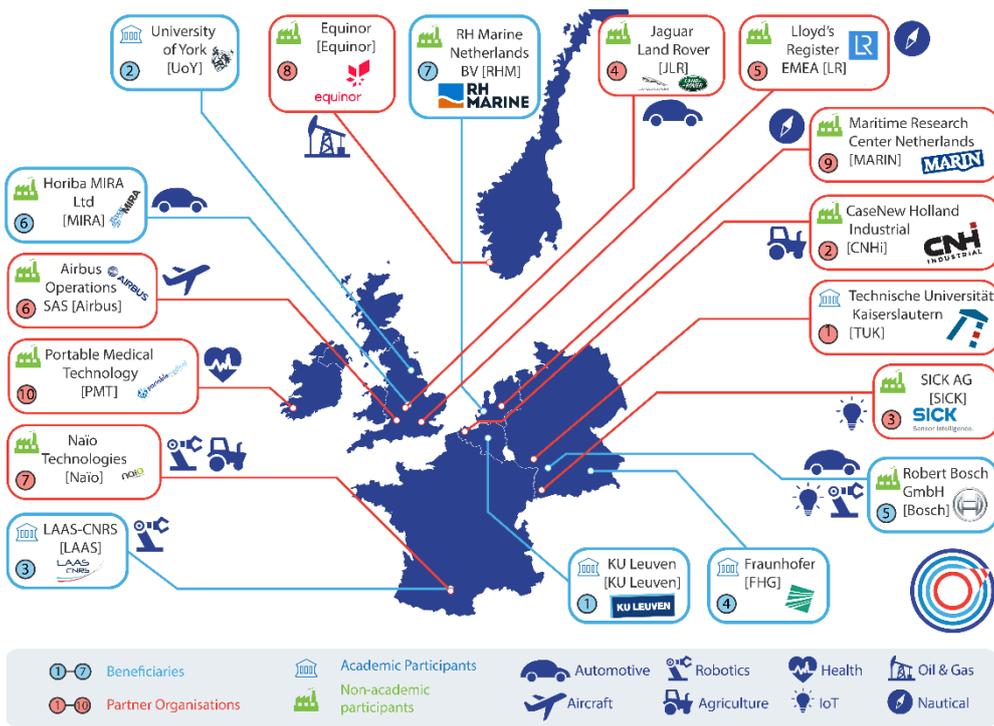


图 2-8 ETN-SAS 项目参与单位

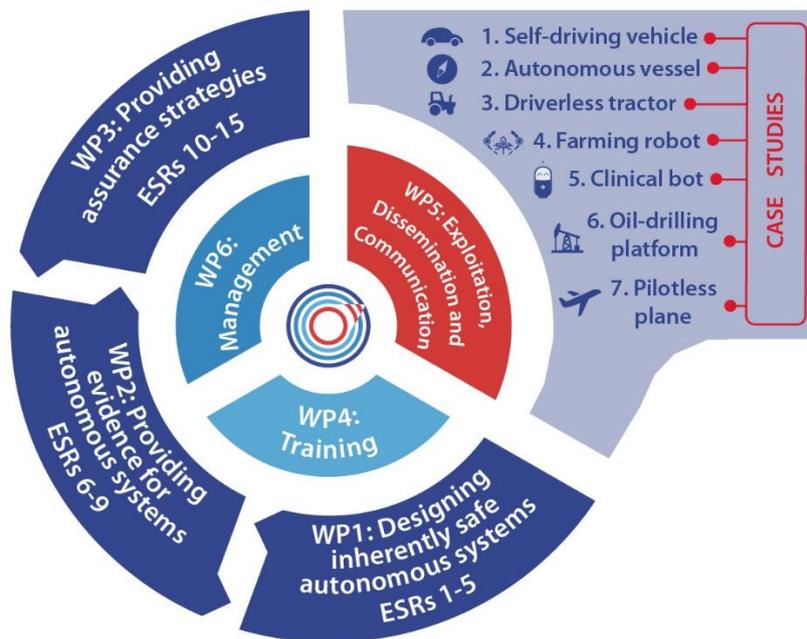


图 2-9 ETN-SAS 项目工作包

ETN-SAS 项目的背景是：自主系统为人类提供了巨大的机会，比如将人们从平凡的任务中解放出来，执行危险的程序，并通常给他们更多的时间来享受喜欢做的事情；然而，人们对许多形式的自动驾驶系统缺乏信任，部分原因是人性使然，

但主要是因为这些系统尚未证明其安全性，只有让这些系统更安全，人们才能期待它们被广泛接受。ETN-SAS 项目旨在通过使自主系统更安全来让人们信任这些系统，为了实现这一目标并培养一批高技能、负责任的未来创新者，项目将召集 15 名起步阶段的研究人员（Early-Stage Researchers, ESRs），研究新形式的系统安全工程、可靠性工程、容错和失效安全的硬件/软件设计、基于模型的安全分析、安全保障案例开发、网络安全以及法律和道德等议题。ETN-SAS 项目与欧盟的高度优先领域密切一致，解决了许多 EU Horizon 2020 主题，例如工业领导力（先进制造和加工）、社会挑战（智能、绿色和综合运输；安全、清洁和高效的能源）和卓越科学。

IV. AUTOSHIP 项目

2019 年 06 月至 2022 年 11 月，欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union’s Horizon 2020 research and innovation program）通过其 EU Horizon 2020: Smart, Green and Integrated Transport（H2020-EU.3.4.）专项，作为主要资助方投入逾 2000 万欧元立项资助了“欧洲水域自主航运倡议”项目（Autonomous Shipping Initiative for European Waters, AUTOSHIP），旨在加速欧盟向下一代自主船舶的转型。AUTOSHIP 项目由牵头单位意大利 Ciaotech S.r.l.和另外 11 家合作单位组成的联合体（如表 2-2 所示）共同承担¹，总经费达 2950 万欧元²。

表 2-2 AUTOSHIP 项目承担单位

序号	单位名称	所在国家	EU 经费/€
1	Ciaotech S.r.l. (PNO Group)	Italy	511 875
2	Kongsberg Maritime Cm AS	Norway	8 946 844
3	Kongsberg Digital AS	Norway	3 202 273
4	Kongsberg Maritime AS	Norway	2 731 610
5	Kongsberg Norcontrol AS	Norway	789 425
6	Sintef Ocean AS	Norway	1 550 000
7	Eidsvaag AS	Norway	438 729

¹ <https://www.autoship-project.eu/consortium/>.

² <https://trimis.ec.europa.eu/project/autonomous-shipping-initiative-european-waters>.

8	Bureau Veritas	France	177 625
9	Blue Line Logistics	Belgium	731 010
10	De Vlaamse Waterweg NV	Belgium	135 625
11	Upm-Kymmene Oyj	Finland	924 619
12	University of Strathclyde	United Kingdom	894 094

AUTOSHIP 项目直指过去几十年里低成本的亚洲造船市场，将围绕两个欧盟工业市场和领先的技术提供商，如 Rolls Royce 和 Kongsberg，构建一个更强大的欧洲集群，能够在未来十年推动价值数十亿欧元的市场，为欧洲带来新的高技能工作和更安全、更环保的交通运输。

AUTOSHIP 项目将建造和运营 2 艘遥控和自主船舶，以及其所需要的岸基控制中心和运营基础设施，达到并超过 7 级技术成熟度水平（Technology Readiness Level, TRL7）。测试将在两次试点示范活动期间进行，如图 2-10 所示，以解决从波罗的海走廊到欧盟主要海港和腹地的货物流动问题，这是欧盟水上运输市场需求不断增长的最相关领域。该技术包将包括全自主导航、自我诊断、预测和操作调度，以及实现显著的网络安全水平的通信技术，并将船舶集成到升级的电子基础设施中。与此同时，将为整个自主船舶社区开发用于设计、模拟和成本分析的数字工具和方法。AUTOSHIP 项目的雄心是在 5 年内将这项技术推向市场，推动海洋和洲际无人驾驶航运。



图 2-10 AUTOSHIP 应用场景¹

AUTOSHIP 项目由 9 个工作包组成，其中包含多个任务，工作包的结构如图 2-11 所示²。AUTOSHIP 项目只设想智能船舶在深远海航行期间自主操作，而不是

¹ <https://www.autoship-project.eu/>.

² <https://www.autoship-project.eu/the-project/>.

在拥挤的水域或进出港期间，在这期间的这些任务仍将由船上的船员执行，其设想运行模式如图所示。

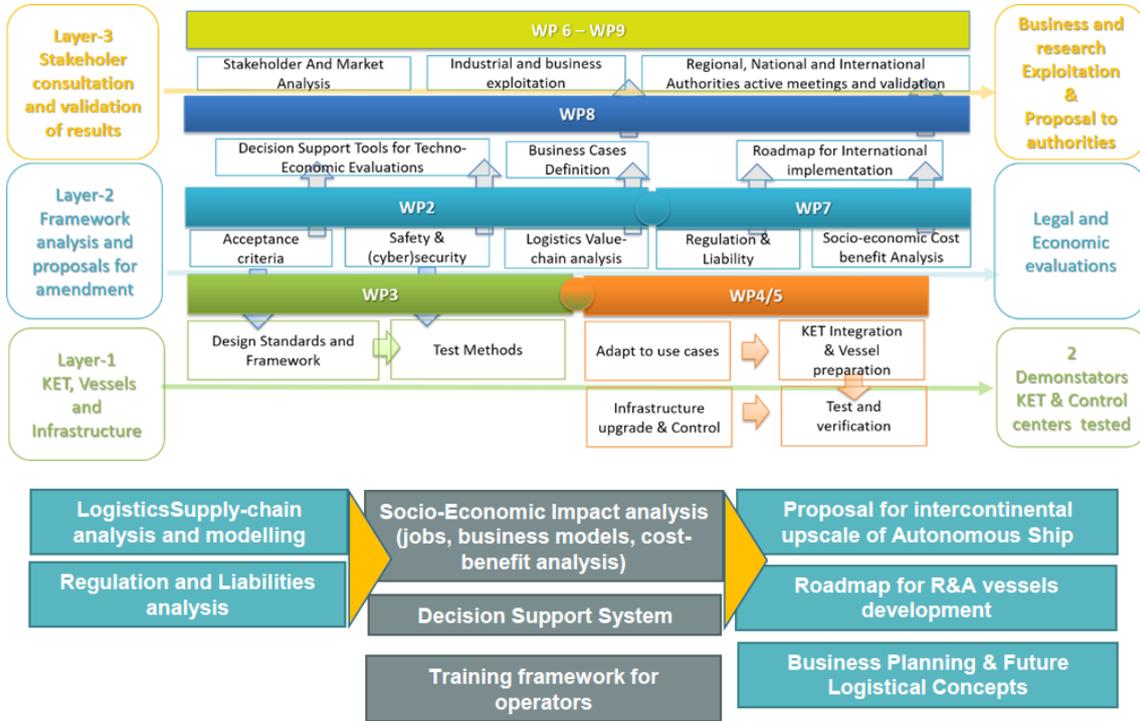


图 2-11 AUTOSHIP 项目研究方法 (R&A=Remote&Autonomous)¹

AUTOSHIP 基于如图 2-12 所示的数字环境，将验证船上的遥控和自主技术以及其岸基控制中心，并为从港口基础设施到物流运营商的整个价值链提供附加值。其中工作包 2 (Work Package, WP2) 的主题是演示关键核心技术 (Key Enabling Technologies, KET)，这一整套 KET 将用于船舶自主操作，并使两个应用示范案例都达到完全自主水平 (SAE AL5)。AUTOSHIP 将通过利用额外的先进传感器技术、传感器融合和分析来推进态势感知技术。通过使用额外的传感器和相关技术，还可以增强岸基控制中心操作员的态势感知。这些技术包将根据由全面的网络安全屏障相互关联的 5 个关键部分进行开发、整合和部署：

- ✧ 新型智能感知系统和人工智能船长；
- ✧ 新型智能资产管理以及高级仿真和数据分析；
- ✧ 新型数字孪生和人工智能轮机长；

¹ <https://www.autoship-project.eu/>.

- ◇ 与陆上物流系统完全集成；
- ◇ 新岸基控制中心、通信和连接。

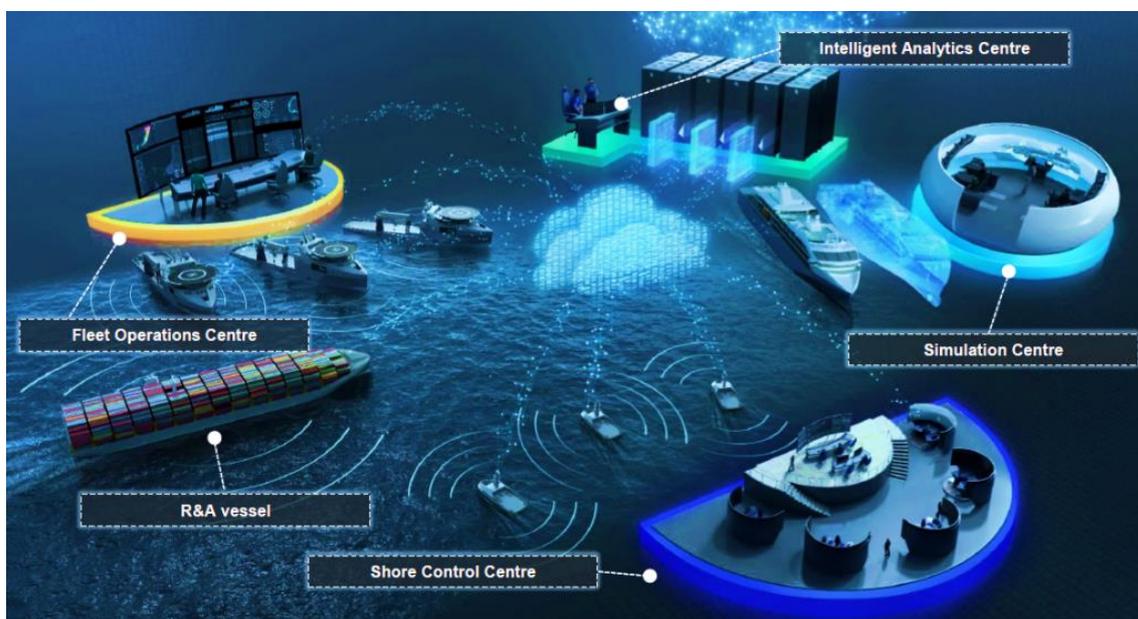


图 2-12 AUTOSHIP 数字环境

一整套 KET 将包括船上自主机械和自主航行系统，关键功能的开发将远远超出当前的可用性需求，而重点关注实现自动化飞跃的主要挑战：

- ◇ 航行、意识和控制挑战；
- ◇ 传感器、检测、预测性维修和安全挑战
- ◇ 与岸上基础设施的连接和通信。

KET 还将包括数据分析和模拟中心的集成，目的是分别开发和优化人工智能解决方案（如机器学习算法、健康和能源管理解决方案）和数字孪生模拟模型。所有系统将集成到一个或多个数字平台中。该平台提供了对高级数据分析及机器学习工具和方法的访问，这些工具和方法可供构建的应用程序使用。KOGNIFAI Edge 网关和全球安全网络（Global Secure Network, GSN）将用于安全地将传感器数据传输到陆地。

AUTOSHIP 还将部署 SINTF 的 SEATONOMY 方法，该方法将技术设计、运营、法规和成本效益联系起来，从而在设计阶段考虑业务改进的接受度和潜力。在测试和模拟中，将充分考虑包括船舶运营和货物物流在内的价值链方法，因为合作伙伴将共同努力完成影响评估，该评估将考虑船员、船舶运营商、运营和物流的接

受度需求以及工作岗位和经济的變化。這將有助於定義新的培訓協議、技能需求以及開發新的商業模式和案例。

AUTOSHIP 將在歐洲中北部的重要地區測試 2 艘示範船舶，如圖 2-13 所示。這些地區需要儘早採用自主船舶以加快從公路向更環保、更安全的水上交通的轉變。該項目將結合兩種高潛力的市場應用以增加 5 年之後的影響力，從而支持歐洲海港與工業中心或最終用戶之間的整個貨物運輸供應鏈。



圖 2-13 AUTOSHIP 用於測試的船舶和航線¹

內河水路（Inland Water Way）測試將集中在比利時 Blue Line Logistics 旗下 Zulu Associates 的一艘雙體船“Zulu 04”上，這是一艘托盤穿梭駁船（Pallet Shuttle Barge, PSB），在歐盟主要港口安特衛普（Antwerp）周圍的 Flemish 地區運營，通過托盤、大包裝袋（又稱散裝）、吊鉤提升或滾動集裝箱運輸貨物。

¹ <https://www.autoship-project.eu/>.

近海航运（Short Sea Shipping）测试选择的是挪威 EIDSVAAG AS 旗下的杂货船“Eidsvaag Pioneer”轮，装备远程控制操作和自主航行系统。该轮把 Skretting 和 Cargill 工厂的鱼饲料运输到挪威海岸的渔场，载重吨位为 1462DWT，长度为 74.7m，应用示范的航行路线将在丹麦的 Hirtshals 和挪威的 Kristiansand 之间延伸。该轮将被用于测试和进一步开发有关完全自主航行系统、智能轮机系统以及自主诊断、预测和操作调度的关键技术；此外，该轮也将被用于测试和持续开发能够显著提升网络安全性的通信技术，以及整合船舶到升级的电子基础设施中的技术。

V. PREParE SHIPS 项目

2019 年 12 月至 2022 年 5 月，欧盟空间计划局（European Union Agency for the Space Programme, EUSPA（European Union Agency for the Space Programme）通过欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union’s Horizon 2020 research and innovation program）的空间数据利用专项（H2020-EU.2.1.6.3. - Enabling exploitation of space data），投入 300 万欧元立项资助了“基于欧洲全球导航卫星系统的船舶预测定位”项目（PREdicted Positioning based on Europe global navigation satellite system for SHIPS, PREParE SHIPS）¹²。PREParE SHIPS 项目通过开发和演示不同传感器和信号源的数据融合来创建智能定位解决方案，以实现强有力的、有韧性的导航应用，其想法是：基于 Europe GNSS（Global Navigation Satellite System）、数据和机器学习进行精确定位的船舶应该能够预测附近船舶的未来位置，除了降低碰撞风险外，这还意味着以更节能的方式操纵船舶从而减少航运对环境的影响。项目研究联合体包括德国 ANAVS（Advanced Navigation Solutions, ANavS）、瑞典测绘、地籍和土地登记局（Lantm äteriet）、瑞典 RISE 研究院、瑞典 SAAB、瑞典 Stena Line、挪威 TELKO 等。

VI. AEGIS 项目

2020 年 06 月至 2023 年 05 月，欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union’s Horizon 2020 research and innovation program）通过其 H2020-EU.3.4. - SOCIETAL CHALLENGES - Smart, Green And Integrated Transport 专项，投入 750

¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/870239>.

² <https://prepare-ships.eu/>.

万欧元立项资助了“迈向下一代可持续水上交通运输的先进、高效和绿色多式联运系统”项目（Advanced efficient and green intermodal systems-Towards the next generation of sustainable waterborne transport systems, AEGIS）¹²。项目由挪威 SINTEF Ocean 牵头，联合丹麦 DFDS、挪威 NCL（North Sea Container Line AS）、德国 ISE、丹麦技术大学（Technical University of Denmark, DTU）、丹麦奥尔堡大学（Aalborg University, AAU）、芬兰 MacGregor、芬兰 Kalmar、挪威 Grieg Connect、挪威特隆赫姆港务局（Trondheim Port Authority）、丹麦奥尔堡港（Port of Aalborg）、丹麦沃丁堡港（Vordingborg Port）共 12 家研究团队共同承担。项目开展的 3 个应用示范案例如图 2-14、图 2-15 和图 2-16 所示。

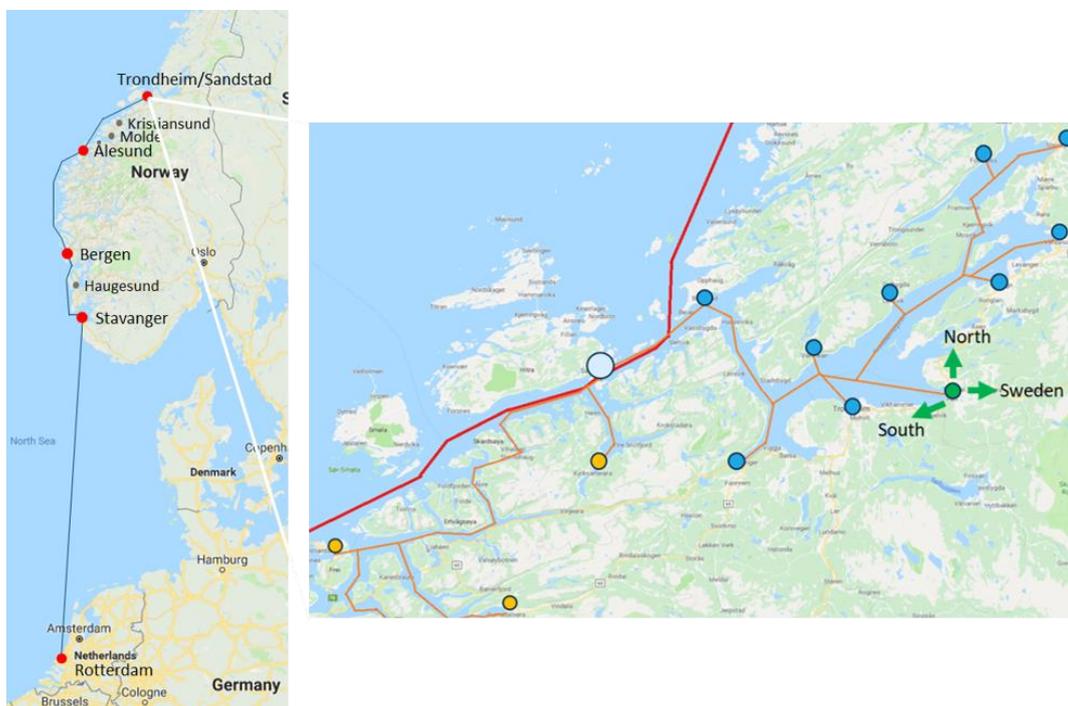


图 2-14 案例 A：近海运输³

¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/859992>.

² <https://aegis.autonomous-ship.org/>.

³ 荷兰 Rotterdam 与北欧小港之间的 LO-LO(Lift-On/Lift-Off)运输。



图 2-15 案例 B: 近海-内河运输¹



图 2-16 案例 C: 海陆多式联运²

¹ 荷兰 Rotterdam 与比利时 Ghent 和 Zeebrugge 之间的 RO-RO(Roll-On/Roll-Off)运输。

² 丹麦 Aalborg 与 Vordingborg 之间基于自动化的车-船多式联运。

案例 C 是关于丹麦 Aalborg 与 Vordingborg 之间基于自动化的车-船多式联运的研究¹，识别出在技术上存在的差距主要表现在：

- ✧ Gaps in digitalisation (automation).
 - Gaps in communication.
 - Gaps in standardization.
- ✧ Gaps in cargo handling.
- ✧ Gaps in infrastructural support for new vessel types and energy supply.

VII. MARINA 项目

2021 年 01 月至 2023 年 06 月，欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union's Horizon 2020 research and innovation program）通过其 H2020-EU.3. - PRIORITY 'Societal challenges 和 H2020-EU.2.1. - INDUSTRIAL LEADERSHIP - Leadership in enabling and industrial technologies 专项，投入 290 万欧元立项资助了“用于高速船舶避碰和船舶交通管理的海上激光”项目（Maritime LAseR for collisIon avoidance in high speed shippinG and vessel traffic mAnagement, MARINA）²³，项目总经费达 414 万欧元。MARINA 项目研究团队由塞浦路斯 O.M. Offshore Monitoring Limited 牵头，其他成员包括英国 G.M.S. Global Maritime Services Limited、安圭拉 LADAR Limited、挪威 Hjelmstad AS 以及法国 Grand Large Yachting SAS。

MARINA 项目使用独特、新颖的 LADAR 系统开发了一种创新的解决方案。新型传感器的实时处理结合基于机器学习技术的、先进的目标检测和分类算法，可以检测和分类船舶前方 2 海里范围内的海洋表层目标。LADAR 的障碍物探测能力将使船舶运营商能够高效、安全地操作船舶，降低与其他船舶、浮木、哺乳动物或落水的集装箱碰撞的风险。MARINA 项目团队是一个强大而互补的联合体，所有合作伙伴都在之前的研发项目中进行了广泛的合作。该项目的目的是将 LADAR 系统推进到 TRL8，然后在实际操作中使产品达到 TRL9，并最终支持商业可行性。

¹ Advanced, Efficient and Green Intermodal Systems(AEGIS). Technology gaps and regulatory challenges in Danish case studies. Deliverable D10.4-Version Final, 2022-11-30.

<https://aegis.autonomous-ship.org/resources/reports-and-articles/>.

² <https://cordis.europa.eu/project/id/955768>.

³ <https://etn-autobarge.eu/>.

VIII. ETN-AUTOBarge 项目

2021 年 10 月至 2025 年 09 月，欧盟地平线 2020 研究与创新计划（European Union's Horizon 2020 research and innovation program）通过其 H2020-EU.1.3.1. - Fostering new skills by means of excellent initial training of researchers 专项，投入 409 万欧元立项资助了“自主驳船用于智能内河航运的欧洲培训与研究网络”项目（European training and research network on Autonomous Barges for Smart Inland Shipping, ETN-AUTOBarge）¹²，项目研究团队和工作包分别如图 2-17 和图 2-18 所示。

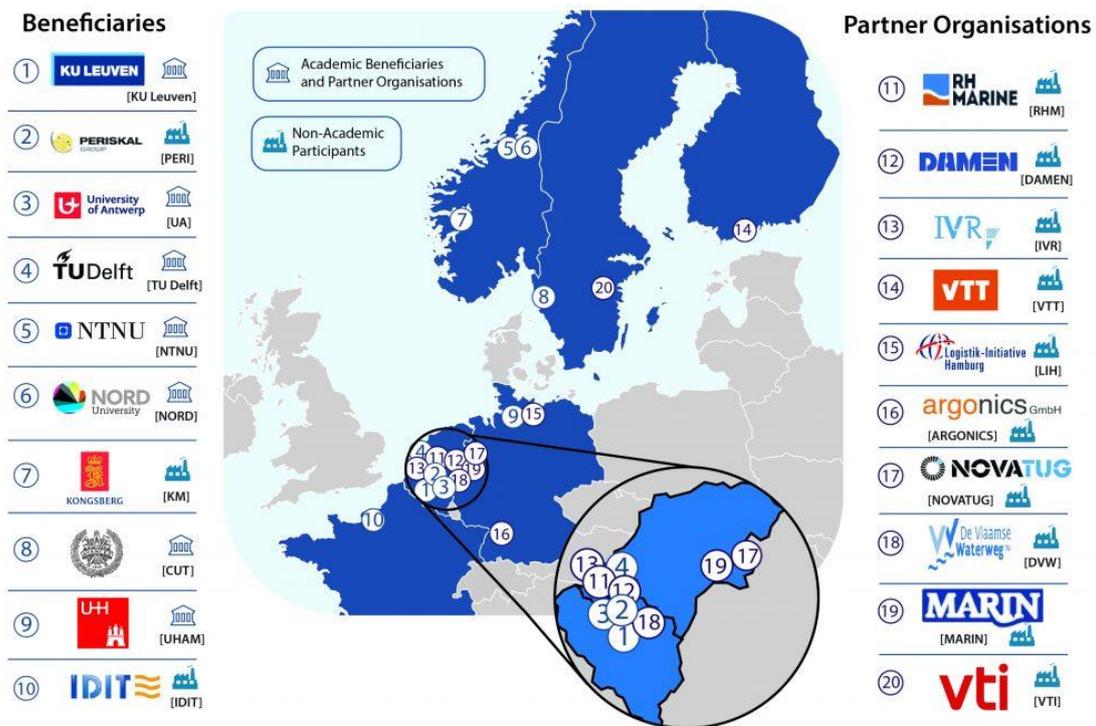


图 2-17 AUTOBarge 项目参与单位

¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/955768>.

² <https://etn-autobarge.eu/>.

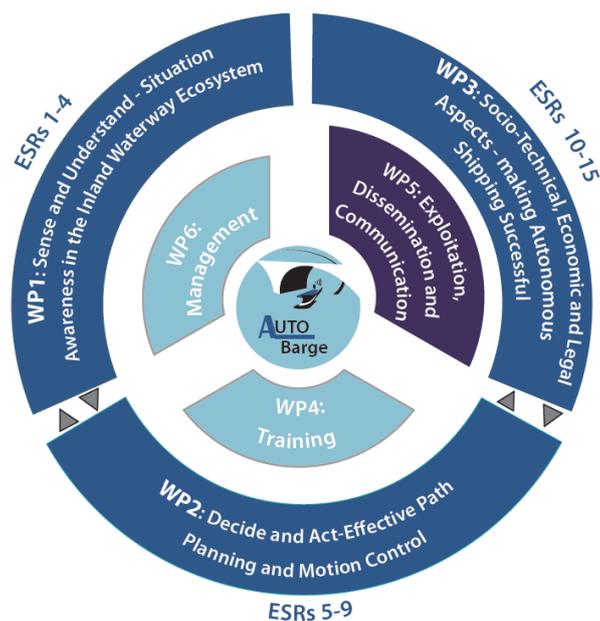


图 2-18 AUTOBarge 项目工作包

IX. 欧洲海事安全局 SAFEMASS 项目

欧洲海事安全局（European Maritime Safety Agency, EMSA）¹，通过参与与 MASS 相关的 MSC 会议，在该主题上向欧盟委员会（European Commission, EC）提供了支持，并向 RSE 提供了意见。此外，在船舶交通管理信息系统（Vessel Traffic Management Information Systems, VTMISS）方面，该机构还在数字海事系统和服务管理高级别指导小组内积极主动，并为无人驾驶船舶试验指南做出了重大贡献。

2019 年 7 月至 2020 年 3 月，EMSA 委托挪威船级社（DNV GL，现 Det Norske Veritas(DNV)）开展了 SAFEMASS（Study of the risks and regulatory issues of specific cases of MASS）项目²，旨在确定船舶实施不同自主程度所带来的新风险和监管缺口，以便向 EU 成员国、EC 以及 IMO 提供有意义的输入。SAFEMASS 项目确立的自主航行系统框架如图 2-19 所示。

¹ <https://www.emsa.europa.eu/mass.html>.

² <https://www.emsa.europa.eu/mass/safemass.html>.

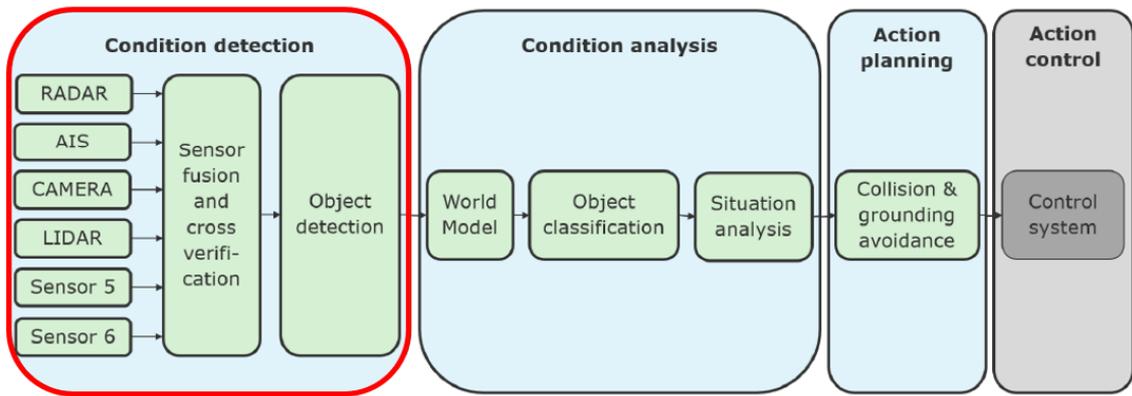


图 2-19 SAFEMASS 项目自主航行系统框架

SAFEMASS 研究报告包括 Part 1 和 Part 2 两部分。Part 1 部分针对设计在 A3-B1 自主和控制水平下运行的三种不同类型船舶在较低配员水平和较长时间驾驶台无人航行时出现的相关新风险。Part 2 部分针对设计在 A2-B0 自主和控制水平下远程操作的三种类似类型无人船舶出现的相关新风险。两部分都包括危害识别 (Hazard Identification, HAZID)、故障树分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 以及一组推荐的风险控制选项 (Risk Control Options, RCO) 和风险控制措施 (Risk Control Measures, RCM); Part 1 部分还包括与 A3-B1 类别相关的监管挑战的评审。其中, A3-B1、A2-B0 两种自主和控制水平是根据 Australia, Denmark, Finland, France 和 Turkey 等国提交给 IMO 的 MSC 100/5/6 提案划分的自主水平定义的, 该提案划分的自主水平如图 2-20 所示。

			No qualified operators on board but qualified operators available at a remote location	Qualified operators on board
Levels of autonomy	A0	Manual Manual operation and control of ship systems and functions, including basic individual system level automation for simple tasks and functions.		A0-B1
	A1	Delegated Permission is required for the execution of functions, decisions and actions; the operator can override the system at any stage.	A1-B0	A1-B1
	A2	Supervised The qualified operator is always informed of all decisions taken by the system. Permission of the qualified operator is not required for the ship system to execute functions, decisions and actions; the qualified operator can override the system at any stage.	A2-B0	A2-B1
	A3	Autonomous The qualified operator is informed by the system in case of emergency or when ship systems are outside of defined parameters. Permission of the qualified operator is not required for the ship system to execute functions, decisions and actions; the qualified operator can override the ship system when outside of defined parameters. Provided the boundaries of the ship system are not exceeded, "human control" becomes "human supervision".	A3-B0	A3-B1

图 2-20 MSC 100/5/6 提案划分的自主和控制水平

X. 欧洲海事安全局 RBAT 项目

在 SAFEMASS 研究结果的基础上，2020 年 8 月至今，EMSA 委托开展了关于 MASS 的另一个项目是基于风险的评估工具 (Risk Based Assessment Tool, RBAT) 的功能性研究¹，旨在为新的 MASS 概念开发一个风险评估框架，同样也是委托给 DNV 研究的。

RBAT 方法由五个主要部分组成，总体上与 IMO 综合安全评估 (Formal Safety Assessment, FSA) 有近似的框架：

- ◇ 描述自动化 (和远程控制) 的使用 (Describe use of automation (and remote control))
- ◇ 进行危害分析 (perform hazard analysis)

¹ <https://www.emsa.europa.eu/mass/rbat.html>.

- ◇ 进行缓解措施分析（perform mitigation analysis）
- ◇ 进行风险评估（perform risk evaluation）
- ◇ 提出风险控制方案（address risk control）

XI. 欧洲航天局项目

欧洲航天局¹（European Space Agency, ESA）也积极探索如何利用空间技术驱动自主和遥控船舶发展。

大多数事故是在港口周围繁忙的水域进行关键机动操纵时发生的。因此，港口通常需要人工引航，尽管引航员对当地水道有着广泛的了解，而且他们通常也都是专业的船舶操纵员，但他们每天必须处理大量的工作负荷，再加上越来越多的不可预见的情况，可能会导致额外的压力，有时还会导致决策失误。为此，2017年，在ESA的通用研究计划（General Studies Programme, GSP）框架下，一项名为“利用全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite Systems, GNSS）和大数据技术提高海上关键作业的安全性”（Using GNSS and Big Data Techniques to improve safety in critical maritime operations）的研究活动已经启动²，以解决海上和河流交通的安全问题。船舶位置和预计路径的详细信息是确保安全通过当地水道的关键。这需要引航员的广泛知识，以及同一区域内所有船舶之间的信息交流。大量可用的船舶自动识别系统（Automated Identification System, AIS）和GNSS数据来支持该项目，通过将海事行业和船舶制造商的知识与AIS、GNSS数据相结合，将有可能确定可供测试的认证路径并显示在船舶的电子海图显示和信息系统（Electronic Chart Display and Information System, EDCIS）上，如图2-21所示。该系统将通过向船舶

¹ 欧盟空间计划（European Union Space Programme）是欧洲航天局（European Space Agency, ESA, <https://www.esa.int/>）于2021年6月22日启动的以欧盟27个成员国和英国为目标，用于其卫星导航、地球观测、空间态势感知和安全通信等领域的发展投资计划。ESA为该计划设立有欧盟空间计划局（European Union Agency for the Space Programme, EUSPA, https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/euspa_en）用于衔接该计划发展。EUSPA manages public interests related to the European Global Navigation Satellite System (GNSS) programmes EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) and Galileo, the Earth observation (EO) programme Copernicus, and the European Union Governmental Satellite Communications (GOVSATCOM) programme.

²

https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Making_way_for_autonomous_ships.

导航系统提供一条经过认证的路径来进行测试，该认证路径是通过先前对类似船舶在相同环境条件下（如气象、海况和潮汐水平）所遵循的路径观测所获得的。

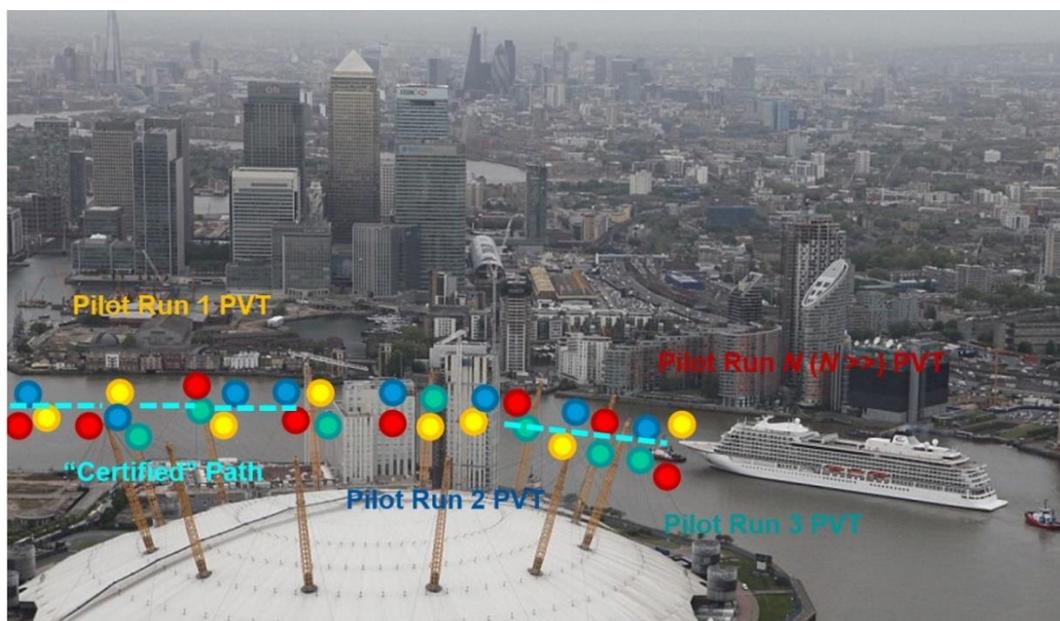


图 2-21 船舶 EDCIS 上显示的认证路径

此外，ESA 与 Rolls-Royce 于 2017 年签署了意向备忘录¹，基于其 Space 4.0 和 Satellite for 5G (S45G) 合作开发和验证新的船岸集成的陆基和卫星系统解决方案，这种统一的空间和地面服务将推动商业自主船舶的运营，并推动未来商业海运船舶、货物物流和智能港口的创新，如图 2-22 所示。

1

https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Space_technology_to_drive_autonomous_ships.



图 2-22 5G 卫星信息图

与此同时，ESA “Discovery & Preparation 计划”支持学术界和工业界对新概念的研究，其中一些研究着眼于增强现有的卫星导航系统，以实现自主航运。具体包括：

- ✧ 一项研究任务基于应用程序的快速响应时间和快速重建区域图像的能力，可以实现对出发点的例行监测和船舶在海上的重新定位，以及跟踪船舶和监测可疑活动（如非法贩毒和海盗活动），有助于实现自主性。
- ✧ 另一项研究任务利用 ESA 的 Galileo 和 EGNOS 系统来计算船舶的新路线，旨在创建一个系统来监测港口和其他拥挤水域的所有船舶，以避免碰撞。
- ✧ 第三项研究探讨了卫星数据如何填补避碰系统的空白，以补充陆基传感器并确保全球覆盖。

2019 年，ESA “Discovery & Preparation 计划”启动了开放空间创新平台（Open Space Innovation Platform, OSIP），呼吁人们提出利用太空实现自主航运的想法。基于这一呼吁，多项研究、早期技术开发活动以及博士/博士后项目已经启动。此外，ESA 与 One Sea 签署了一份意向备忘录，涉及共享资源、专业知识和设施，以促进天基应用的发展，从而分析、实现和实施海事数字化和自主性。

2020 年，ESA 导航理事会正在监督两项旨在加强自主航运的活动¹：一个是聚焦船载定位、导航和授时（Position, Navigation and Timing, PNT）接收器，专家团队正在研究人工智能和机器学习，建造自主 PNT 接收器原型机，并探索如何利用当前和未来的欧洲 GNSS 来实现这些目标²；另一项活动是开发用于验证和测试自主航运技术和概念的基础设施和方法，这将确保高水平的保安、安全和可操作性，以建立自主航运的可信度。

ESA 还资助了爱沙尼亚和芬兰组织实施的一项计划——“用于船舶自主导航的人工智能/机器学习传感器融合”（Artificial Intelligence / Machine Learning Sensor Fusion for Autonomous Vessel Navigation, Maritime AI-NAV），该计划旨在确保使用不同传感器、机器学习和人工智能的组合实现船舶更安全的自主导航。该项目将结合视觉图像、环境录音、雷达、激光雷达、卫星导航和船舶应答器的数据，自动识别物体，并提高态势感知能力。在芬兰地理空间研究所（Finnish Geospatial Research Institute, FGI）的监督下，Tallink 航运公司运行于芬兰 Helsinki 和爱沙尼亚 Tallinn 之间繁忙海域的一艘 212.2 米长的客滚渡轮“Megastar”号安装了数据收集设备，并开展测试，如图 2-23 所示。

1

https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Sustainable_shipping_for_a_sustainable_planet.

² 设计和监督伽利略卫星导航系统的多位专家正在支持欧洲尖端公司开发新的导航技术和服 务，其结果是 ESA 发起了导航创新和支持计划（Navigation Innovation and Support Programme, NAVISP），已支持了 200 多个项目。



图 2-23 Tallink 客滚渡轮“Megastar”号数据收集测试¹

2.3 莱茵河航行中央委员会

正式成立于 1815 年的莱茵河航行中央委员会（Central Commission for the Navigation of the Rhine, CCNR）是一个承担莱茵河航行监管职责的国际组织，现有德国、比利时、法国、荷兰和瑞士等 5 个成员国，另与 11 个观察员国以及 EU、UN-ECE、UNEP 等国际组织保持着良好的合作关系²。CCNR 的两个核心目标是：促进莱茵河与欧洲内陆航运的繁荣；确保航行及其环境的高安全标准。

2018 年 12 月，CCNR 发布了国际上第一个关于内河航行自动化水平（Levels of automation）的定义，其将内河航行自动化水平划分为 6 个等级³：

✧ 0-无自动化，由船长执行全部动态航行任务，即便有警告或干预系统（无

¹ 关键技术：卫星导航、多源数据融合！

² <https://www.ccr-zkr.org/10000000-en.html>.

³ <https://www.ccr-zkr.org/files/documents/cpresse/cp20181219en.pdf>.

远程控制);

- ◇ 1-操舵辅助,根据航行环境由操舵自动化系统为船长执行动态航行任务提供操舵辅助,如转速调节、航迹跟踪(无远程控制);
- ◇ 2-部分自动化,根据航行环境由航行自动化系统(含操舵自动化和推进自动化)为船长执行动态航行任务提供操舵和推进辅助(根据实际情况,可以设置远程控制,对船舶配员及其适任标准有影响);
- ◇ 3-有条件的自动化,航行自动化系统持续地执行所有动态航行任务(包括避碰),船长在接收到干预请求或系统发生故障时做出响应(根据实际情况,可以设置远程控制,对船舶配员及其适任标准有影响);
- ◇ 4-高度自动化,航行自动化系统持续地执行所有动态航行任务和后备性能,船长无需响应干预请求(根据实际情况,可以设置远程控制,对船舶配员及其适任标准有影响);
- ◇ 5-自主化(完全自动化),航行自动化系统持续且无条件地执行所有动态航行任务和后备性能,船长无需响应干预请求(根据实际情况,可以设置远程控制,对船舶配员及其适任标准有影响)。

CCNR 于 2022 年发布了略作修改的最新版本定义和解释文件¹,具体定义和划分标准如图 2-24 所示。

同时,CCNR 也指出,船舶的远程控制和监测与船舶的自动化水平无关。自主化(完全自动化)意味着“航行自动化系统对所有动态航行任务和后备性能具有持续的、无条件的功能,而无需期望船长对干预请求做出回应”。远程控制意味着航行决策由船舶外部的人员或机器做出。换句话讲,“远程控制”被理解为从岸基或从船舶以外的其他地方执行部分或全部所需航行任务的一种手段(例如,船舶指令、对航行环境的监测和响应以及动态航行任务的后备性能)。从技术角度看,这些远程执行的任务可以由人员或机器执行。因此,即使远程控制与船舶两者相连,远程控制本身也不是自主化的。

¹ https://www.ccr-zkr.org/files/documents/AutomatisationNav/DefinitionAutomatisation_en.pdf.

因此，远程控制和自动化是两个不同的概念，即使它们可能使用部分相同的技术和设备。根据自动化水平，船上安装的自动化系统允许控制方向舵或推进系统，此操作是通过电子指令的方式进行的。

- ◇ 此指令可以在本地发出，也可以远程发出。
- ◇ 此指令既可以来自人员，也可以来自机器。

	Level of automation ¹	Designation	Craft command (steering, propulsion, wheelhouse, etc.)	Monitoring of and responding to navigational environment	Fallback performance of dynamic navigation tasks
BOATMASTER PERFORMS PART OR ALL OF THE DYNAMIC NAVIGATION TASKS	0	NO AUTOMATION the full-time performance by the boatmaster of all aspects of the dynamic navigation tasks, even when supported by warning or intervention systems			
	1	STEERING ASSISTANCE the context-specific performance by a <u>steering automation system</u> using certain information about the navigational environment and with the expectation that the boatmaster performs all remaining aspects of the dynamic navigation tasks			
	2	PARTIAL AUTOMATION the context-specific performance by a navigation automation system of both <u>steering and propulsion</u> using certain information about the navigational environment and with the expectation that the boatmaster performs all remaining aspects of the dynamic navigation tasks			
SYSTEM PERFORMS THE ENTIRE DYNAMIC NAVIGATION TASKS (WHEN ENGAGED)	3	CONDITIONAL AUTOMATION the <u>sustained</u> context-specific performance by a navigation automation system of all dynamic navigation tasks, <u>including collision avoidance</u> , with the expectation that the boatmaster will be receptive to requests to intervene and to system failures and will respond appropriately			
	4	HIGH AUTOMATION the sustained context-specific performance and <u>fallback performance</u> by a navigation automation system of all dynamic navigation tasks, <u>without expecting a boatmaster responding to a request to intervene</u> ²			
	5	AUTONOMOUS = FULL AUTOMATION the sustained and <u>unconditional</u> performance and fallback performance by a navigation automation system of all dynamic navigation tasks, without expecting a boatmaster responding to a request to intervene			

图 2-24 CCNR 内河航行自动化水平¹

因此，远程控制和自动化需要相同的功能特征，以将远程人员或机器发出的指令转换为方向舵和/或推进系统上的有形动作。

在发生故障的情况下，远程控制和自动化这两个概念之间也有联系。事实上，如果远程控制被中断，可能会有一些规定，使船舶能够到达安全位置而不会对其他船舶造成危险，或者能够安全地固定，而不会给其他船舶带来过度的不便。实现这种状态有几种解决方案：

- ◇ 船舶上有人员具备执行这项任务所需的技能。

¹ 注：1-不同级别的自动化可以使用远程控制，但主管当局可能会规定不同的条件，以确保同等的水平；2-“自动化水平 4-高度自动化”引入了两种不同的功能——无需人工干预的“正常”操作能力和全面的后备性能，可以设想两个次级级别。

✧ 船舶具有一定的自动化水平，能够独立安全地到达安全位置，或者能够在通信中断的情况下自动抛锚。

另外一种解决方案是有一个额外的、完全冗余的远程控制系统。因此，如果主远程控制不再运行，则可以使用替代技术手段激活另一个备用的远程控制系统。

在远程控制和自动化之间缺乏明显联系的情况下，需要额外的条件才能实现远程控制（具体取决于自动化水平），如图 2-25 所示。当船舶的自动化水平不足以确保在远程控制发生故障时实现对船舶的安全控制，这些条件应保证安全航行。例如，远程操作的船舶还应配备必要的设备，使船上的船长能够立即接管控制船舶。

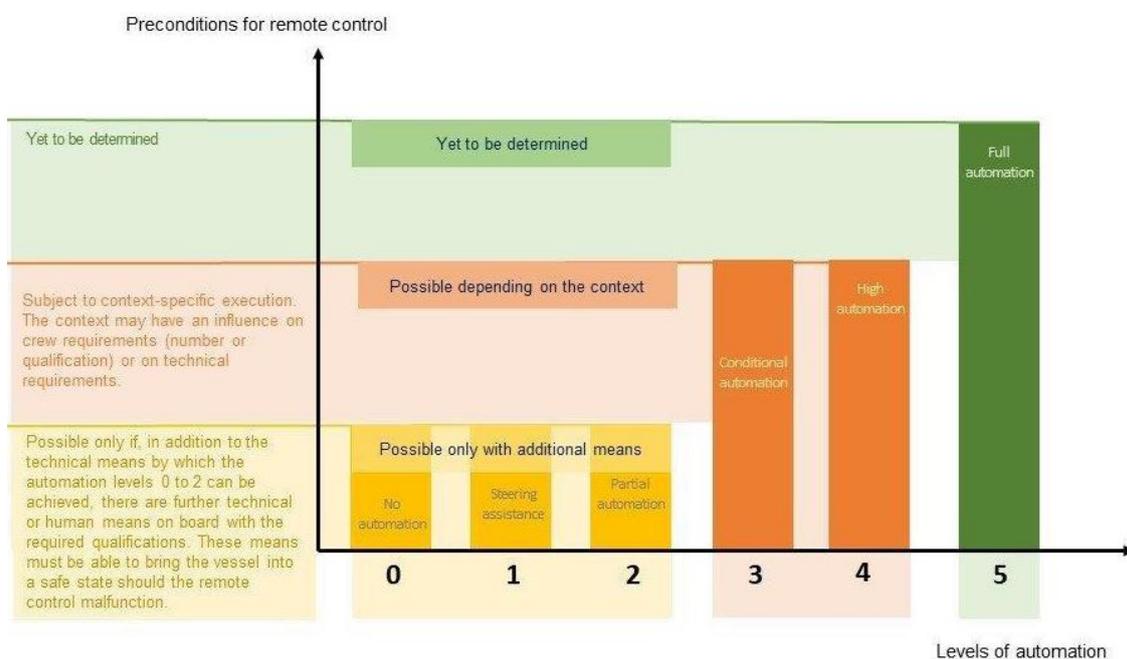


图 2-25 不同自动化水平下远程控制的额外预设条件

3 主权国家/地区的研发与应用

3.1 挪威

挪威历来重视海洋海事产业的发展¹。2014年，挪威《研究与高等教育长期计划（2015-2024）》（Long-term plan for research and higher education 2015–2024）将海洋确定为六个优先领域之一。2017年，挪威政府发布了《2017 Ocean Strategy: New Growth, Proud History》，强调了促进海洋产业之间知识和技术转让的重要性，并表示“海事知识对海洋食品产业的发展、油气行业的变革以及海洋技术的开发和利用至关重要”²。2017年的产业政策白皮书——《更绿色、更智能、更具创新性的产业》（A Greener, Smarter and More Innovative Industry），将海事产业确定为挪威三大重要的海洋产业之一。

I. MAROFF programme

为了实现挪威政府《2015 Maritime Strategy: Maritime Opportunities – Blue Growth for a Green Future》设定的目标，挪威研究委员（Research Council of Norway, RCN）针对海事和近岸工业及其研究伙伴出台了“海事活动与近岸操作创新计划”（The Innovation Programme for Maritime Activities and Offshore Operations, MAROFF）。MAROFF计划主要资助两种类型的项目：工业部门创新项目（Innovation Projects for the Industrial Sector）和行业知识建设项目（Knowledge-building Projects for Industry）。同时，MAROFF计划重点资助在以下优先领域创造新的能力和创新的研究活动：

- ✧ 海洋产业的机遇（Opportunities in ocean industries）；
- ✧ 自主和遥控船舶（Autonomous and remote-controlled vessels）；
- ✧ 海事行业的数字化转型（Digital transformation of the maritime industry）；
- ✧ 促进更环保的海事活动（Promoting greener maritime activities）；

¹ <https://www.forskningradet.no/contentassets/5179c59c58294219b2aed2fcfa2973c7/maroff-work-programme-2017-2-opdatert-2019.pdf>.

² Maritime knowledge is vital to the development of the seafood industry, changes in the petroleum sector, and the development and utilisation of technology in the ocean.

- ◇ 海上安全与保安 (Safety and security at sea);
- ◇ 北极和北部地区 (The Arctic and northern areas)。

II. NTNU

2015 年 8 月至 2019 年 7 月, 挪威科技大学 (Norwegian University of Science and Technology, NTNU) 牵头承担了挪威研究委员 (Research Council of Norway, RCN)、DNV GL、KONGSBERG、Maritime Robotics 等部门或企业基于 MAROFF 资助计划支持的行业知识建设项目——自主水面船舶的传感器融合与避碰 (Sensor fusion and collision avoidance for autonomous surface vehicles, 简称 AUTOSEA)¹。Autosea 项目是挪威第一个利用传感器融合解决自主船舶避碰问题的学术研究项目, 在这个项目之后, 又出现了几个关于自主船舶技术的研究项目, 其中包括 NTNU Digital Transformation initiative 立项的“城市水路全电动自主客运渡轮开发项目” (Autonomous all-electric passenger ferries for urban water transport, 简称 Autoferry)²。

III. NFAS

2016 年 10 月 4 日, 由挪威海事局 (Norwegian Maritime Administration)、挪威海岸管理局 (Norwegian Coastal Administration)、挪威工业联合会 (Federation of Norwegian Industries) 和 MARINTEK (现 SINTEF Ocean) 等机构发起的挪威自主船舶论坛 (Norwegian Forum for Autonomous Ships, NFAS) 正式成立。NFAS 是一个面向对自主船舶感兴趣的个人或挪威境内设立的组织开放的利益团体, 秘书处设在位于挪威特隆赫姆 (Trondheim) 的 SINTEF Ocean 公司。

2017 年 10 月 10 日, NFAS 在经其批准的第一个公开版本《自主商船定义》 (Definitions for Autonomous Merchant Ships) 中³, 考虑到大多数船舶动力装置的自动化和周期性无人值班机舱已较早实现, 而主要根据驾驶台的自动化水平将海上自主水面船舶 (MASS) 划分为 4 种类型:

- ◇ 自主辅助驾驶台 (Autonomy Assisted Bridge, AAB) / 持续有人驾驶台

¹ <https://www.ntnu.edu/autosea/about>.

² <https://www.ntnu.edu/autoferry>.

³ https://nfas.autonomous-ship.org/resources_page/documents/.

(Continuously manned bridge) —— 驾驶台始终有人值守，船员可以立即干预正在进行的功能，这通常不需要任何特殊的监管措施，除非有新出台的驾驶台新功能的性能标准。

- ✧ 周期无人驾驶台 (Periodically Unmanned Bridge, PUB) —— 船舶可以在有限的时间内 (例如在公海和良好的天气下) 在没有驾驶台船员值守的情况下运行，船员在船上，如果出现问题可以呼叫至驾驶台。
- ✧ 周期无人驾驶船舶 (Periodically Unmanned Ship, PUS) —— 船舶可以长时间 (例如在大洋航行期间) 在没有驾驶台船员值守的情况下运行。在进出港阶段岸基团队登船或护航船舶抵达以控制船舶。监管框架可能与 CUS 相同。
- ✧ 持续无人驾驶船舶 (Continuously Unmanned Ship, CUS) —— 船舶被设计为在任何时候驾驶台都可以无人操作，除非是在特别紧急的情况下。这意味着船上没有人被授权控制驾驶台，否则，该船舶将被归类为 PUB。船上可能仍然有人，例如乘客或维修人员。

与此同时，NFAS 又将船舶的操作自主水平划分为 4 个等级：

- ✧ 决策支持 (Decision support)：这与当今和未来的先进船型相对应，具有相对先进的防撞雷达 (Automatic Radar Plotting Aid, ARPA)、电子海图系统 (Electronic Chart Display and Information System, ECDIS) 和常见的自动化系统 (例如自动舵)，船员仍然直接指挥船舶操作，并持续监督所有操作，这一级别通常对应于“无自主性”。
- ✧ 自动化 (Automatic)：船舶具有更先进的自动化系统，可以在无需人员干预的情况下完成某些要求较高的操作 (例如动态定位或自动靠离泊)，操作遵循预先编程的程序，如果发生任何意外事件或操作完成时将请求人员干预，岸基控制中心 (Shore Control Centre, SCC) 或驾驶台人员随时可以进行干预，并在需要时激活远程或直接控制。
- ✧ 受限自主 (Constrained autonomous)：船舶在大多数情况下都可以全自动运行，并有预定义的方案选择用于解决常见问题 (例如避碰)，对可用于解决问题的选项进行了限制 (例如与计划航线或抵港时间的最大偏差)；

如果在限制范围内问题无法解决，它将呼叫人工操作员进行干预；SCC 或驾驶台人员持续监督操作，并在系统要求时立即接管控制，否则，系统将有望自行安全运行。

- ✧ 完全自主 (Fully autonomous): 船舶自行处理所有情况，这意味着根本不会有 SCC 或驾驶台人员，这对于较短距离和较为受控环境中的操作来说可能是一个现实的替代方案；然而，在未来较短的时间内，这是一种不太可能的情况，因为这意味着船舶系统的复杂性非常高，相应系统故障和损失的风险也很高。

在上述基础上，依据不同类型自主船舶的驾驶台配员水平和操作自主水平，NFAS 将船舶自主程度划分为直接控制（无自主）、远程控制、自动化驾驶台、自动化船舶、受限自主、完全自主等 6 个类型，如图 3-1 所示，分别面向有人驾驶台和无人驾驶台。

	有人驾驶台 Manned bridge	无人驾驶台- 船员在船 Unmanned bridge - crew onboard	无人驾驶台- 没有船员在船 Unmanned bridge - no crew onboard
决策支持 Decision support	直接控制 (无自主) Direct control No autonomy	远程控制 Remote control	远程控制 Remote control
自动化 Automatic	自动化驾驶台 Automatic bridge	自动化船舶 Automatic ship	自动化船舶 Automatic ship
受限自主 Constrained autonomous	-	受限自主 Constrained autonomous	受限自主 Constrained autonomous
完全自主 Fully autonomous	-	-	完全自主 Fully autonomous

图 3-1 NFAS 划分的船舶自主程度

对于持续有人的驾驶台，定义了 2 种可能的自主类型：

- ✧ 直接控制——驾驶台人员持续控制操作，尽管可能会使用简单的自动化功能（例如自动驾驶或高级决策支持功能）；严格地说，这不是一种自主类型，但为了完整性，它被包含在分类法中。
- ✧ 自动化驾驶台——驾驶台系统控制着船舶，驾驶台人员持续监控情况，并可以随时进行干预；自动化水平可能很高，但船上人员随时准备进行干预。

对于完全无人或周期性无人驾驶系统，有 4 种自主类型（但船舶在驾驶台没有人的情况下必须能够可靠运行）：

- ✧ 远程控制——与直接控制相同，但此处 SCC 控制着船舶；这也并不是一种真正的自主，但由于通信链路通常无法 100% 可靠，在大多数情况下船舶将需要在通信失败时自动启动后备程序。
- ✧ 自动化船舶——与自动化驾驶台相同，但由 SCC 监督。
- ✧ 受限自主——由 SCC 监督。
- ✧ 完全自主——不受 SCC 监督；这种类型的自主性通常很难实现，也意味着船东对其营运的控制较少；一般来说，批准这种类型的船舶需要对法规进行重大修改。

IV. Yara Birkeland

2017 年 5 月 9 日，挪威化肥巨头雅苒国际集团(Yara International)与 Kongsberg 宣布合作建造世界上第一艘全电力推进、自主航行的集装箱船——“雅苒·伯克兰”轮(Yara Birkeland)，如图 3-2，成为挪威自主航运领域的一个关键里程碑¹。Yara Birkeland 计划将在雅苒国际位于挪威东南部的生产设施与 Brevik 和 Larvik 港口之间航行，最初将作为一艘载人船只运行，2019 年转向远程操作，预计从 2020 年实现完全自主营运。此后，挪威 Marin Teknikk 开始该轮的设计，2017 年 9 月 28 日，基于 Yara Birkeland 的最终设计制作的 6 米长、2.4 吨重的模型在 SINTEF Ocean 位于 Trondheim 的水池开始测试，如图 3-3。与此同时，挪威气候与环境部所属的 ENOVA 决定为该项目提供 1.336 亿挪威克朗的资金支持²。

¹ <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2017/final-design-of-yara-birkeland-revealed--model-commences-testing-at-sintef/>.

² <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/zero-emission-logistical-solution/>.



图 3-2 世界首艘全电力推进、自主航行集装箱船——Yara Birkeland

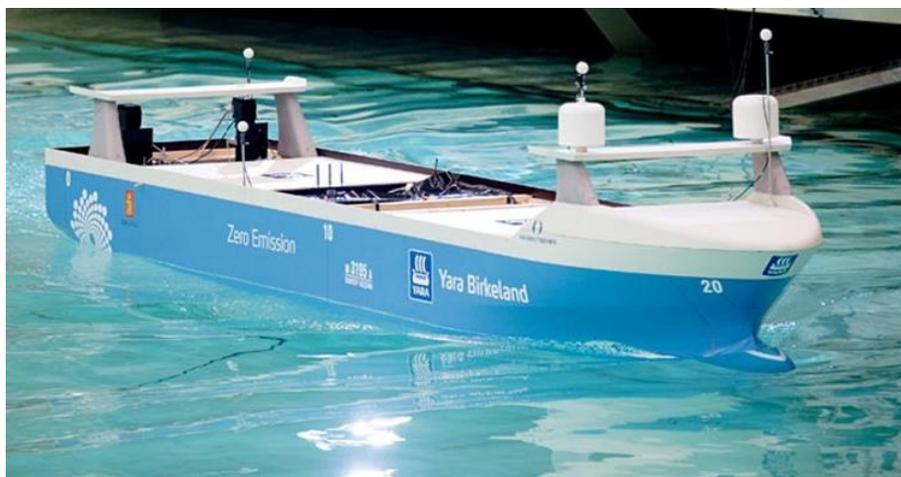


图 3-3 Yara Birkeland 的模型测试

2018年8月15日，Yara International 与挪威造船厂 VARD 签署了价值 2.5 亿挪威克朗的建造合同，VARD 将于 2020 年初完成 Yara Birkeland 的交付¹。2021 年 11 月 19 日，Yara Birkeland 在挪威 Oslo 开始首航，后于 2022 年 4 月在挪威 Porsgrunn 投入商业运营。该轮使用纯电动和无人驾驶技术，在保证船舶节能减排的同时，利用安装于船舶的全球定位系统、激光雷达、AIS、摄像机和传感器等部件，实现自动装货和离泊、在航道中的自主航行和避碰、到达终点时的自动靠泊和卸货。Yara Birkeland 基本信息和参数如表 3-1 所示。

¹ <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-selects-norwegian-shipbuilder-ward-for-zero-emission-vessel-yara-birkeland/>.

表 3-1 Yara Birkeland 基本参数¹

项目	参数	备注
总长, m	80	-
型宽, m	15	-
型深, m	12	-
满载吃水, m	6	-
经济航速, knots	6-7	-
最大航速, knots	15	-
载货量, TEU	120	-
载重吨, DWT	3,200	-
Azipull 吊舱推进器, kW	900×2	Rolls-Royce 公司
隧道式首侧推器, kW	700×2	Brunvoll 公司
电池容量, MWh	6.8	瑞士 Leclanché 公司
自动系泊系统		芬兰 Macgregor 公司
货物自动装卸解决方案		芬兰 Kalmar 公司

V. 其他研发和应用活动

2018 年 4 月, Wilhelmsen 和 Kongsberg 宣布合资建立全球首家无人船航运公司——Massterly, 计划通过该公司为 Yara Birkeland 等自主船舶提供完整的价值链服务, 涵盖设计、开发、控制系统、物流服务和船舶运营²。Massterly 于 2018 年 8 月正式投入运营, 并在挪威 Lysaker 建立了远程操作中心(Remote Operations Centre, ROC)。目前, Massterly 除了监测和运营 Yara Birkeland 外, 另外还包括挪威零售商 ASKO 的两艘电池动力、未来将自主航行于挪威 Moss 和 Horten 之间的滚装船

¹ <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>.

² <https://www.wilhelmsen.com/media-news-and-events/press-releases/2018/wilhelmsen-and-kongsberg-establish-worlds-first-autonomous-shipping-company/>.

¹²，如图 3-4。ASKO 的两艘船也都是电池动力零排放船舶，用于替代卡车运输来减少 CO₂ 排放，也通过 ENOVA 拨款获得了 1.19 亿挪威克朗公共资金的支持³。



图 3-4 ASKO 电池动力自主航行滚装船

2022 年 6 月，ENOVA 还提供了 1.5 亿挪威克朗的资金用于支持荷兰多式联运物流企业 Samskip 和总部位于美国休斯敦的海洋机器人技术提供商 Ocean Infinity 的 2 艘 500TEU 氢动力（3.2MW 燃料电池）、远程控制和自主就绪的集装箱船舶的建造，如图 3-5，计划 2025 年之前交付，建成后将用于挪威 Oslo 峡湾和荷兰 Rotterdam 之间的近海短途运营⁴。

2022 年 5 月，DB Schenker, Ekornes, Naval Dynamics, Kongsberg Maritime AS 和 Massterly 签订了一艘短海集装箱船的预研合同，将用于货主 Ekornes 的供应链运输，并采用 NDS AutoBarge 设计——与 ASKO 相同的设计⁵，如图 3-6 所示。

¹ <https://www.massterly.com/news-1>.

² ASKO 的两艘滚装船——MS Marit 和 MS Therese，由挪威 Naval Dynamics 设计，2022 年 9 月从印度国有 Cochin Shipyard 交付，将于 2022 年第 4 季度开始运行。在从 Massterly 远程操作中心进行监控和彻底无人之前，Kongsberg 的自主操作技术和功能将在 2 年内进行彻底测试，船上的船员将逐步减少。

³ <https://asko.no/nyhetsarkiv/asko-maritime-skal-sorge-for-6.000-farre-tunge-kjoretoy-gjennom-horten-sentrum/>.

⁴ <https://www.samskip.com/news/samskip-and-ocean-infinity-secure-funds-to-drive-forward-hydrogen-fuelled-seashuttle-container-ship/>.

⁵ <https://www.mtlogistikk.no/autonomi-db-schenker-ekornes/autonomt-skip-mellom-sykkylven-og-alesund/660006>.



图 3-5 Samskip 500TEU 氢动力和远程控制的集装箱船



图 3-6 Ekornes 短海集装箱船

3.2 比利时

I. Seafar NV

位于比利时 Antwerp 的技术和服务公司 Seafar NV 在半自主和无人驾驶内陆/沿海航运的最新技术开发和运营整合方面处于领先地位¹²。自 2019 年 10 月开始，

Lengde: 49,90 m

Bredde: 9,60 m

Design: Naval Dynamics AS

Kapasitet: 9/18 40' ISO containere (300t)

Batteri: 600/1200 kWh

Rekkevidde ved 10 knop: 20Nm/40Nm

¹ <https://seafar.eu/news/>.

² 基于人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 的自主航行: 使用 Seafar 的 AI 算法, 船舶使用导航模型和船舶模型来预测未来的行为, 并通过最优化的轨迹避免不安全的情况。Seafar 使用多种类型的外部感知传感器, 将其 AI 算法用于传感器融合, 以建立准确的场景模型。场景存储在一个数据库中, 任何进入该地区的自主船只都可以访问和改进该数据库。

该公司已经开展了大量船舶遥控/自主航行测试。通过其在 **Antwerp** 的岸基控制中心 (**Shore Control Center, SCC**)，已经控制着 10 艘船实现了半自主航行——每个船长在 **SCC** 同时指挥 3 艘船，这些船可能在不同的运河和河流上航行，只有少数船员会在船上进行维护、停靠、装卸作业，一旦出现紧急情况，驾驶台上的舵手也可以临时控制船只。**Seafar** 还正在 **Namur** 和 **Dordrecht** 规划类似的 **SCC**。此外，**Seafar** 还与荷兰电气与自动化技术提供商 **Alewijnse** 展开合作，采取措施开发创新系统，以与船上的电气设备相连，从而能够直接从 **SCC** 进行远程维护和其他干预。

II. Zulu Associates

Zulu Associates 是近海和内河船舶物流供应链创新中的积极发起人、开发商和运营商，其目标是通过自主操作和替代推进，使商业船舶能够在内陆水道、短海和沿海航线上实现零排放运营¹。作为欧盟 **AUTOSHIP** 项目的合作伙伴，承担了其穿梭驳船自主航行测试。此后，**Zulu Associates** 进一步开发新型自主驳船，充分利用新设计（更小、更灵活、更绿色），同时探索新的商业模式，以降低零排放推进的额外成本。该系列中的第一艘是 **X-Barge**，一艘 **CEMT 4** 级驳船，其目的是证明这种类型的船舶可以实现 2023 年在莱茵河上的自主运营，并获得永久性无人商业运营许可。

III. DEME

2020 年 10 月，**DEME** 在 **Scheldt** 河上开始了垃圾自动收集测试，其中的移动设施包括一个智能检测系统、一艘可以自主导航的工作船（“**Marine Litter Hunter**”号）和一个充电点²。**Marine Litter Hunter** 是一艘自主航行的工作船，它拦截垃圾并将其收集到集装箱中。船上固定式起重机由操作员使用虚拟现实和 3D 视觉技术远程操作。当集装箱装满时，工作船会自动将其带到停靠站，在那里由码头上的转移起重机卸载。**Marine Litter Hunter** 是完全碳中性的，并在对接站自主停泊充电。测

基于机器学习 (**Machine learning**) 的障碍物识别与分类：激光雷达 (**LiDAR**)、雷达和摄像机等环境传感器产生用于障碍物识别和分类的数据。训练船舶从物体及其环境中学习只是机器学习的开始。**Seafar** 的研究将结合场景建模和对象学习，在船舶之间传递信息，从而改善船舶行为和协作。

¹ <https://www.zulu-associates.com/>.

² <https://www.deme-group.com/news/deme-deploys-autonomous-plastic-collector-river-scheldt>.

试前期有船员在船，自 2021 年 3 月以来，该船已转向无人操作，在出现问题时可自行采取某些行动；如果出现不可预见的问题，岸基人员可以在必要时提供帮助。

3.3 荷兰

I. 智能航运计划 (Smart Shipping Programme, SMASH)

造船业和航运业正在迅速创新，推动这一趋势的因素是传感器、连接性和数据融合的进步。这些趋势导致了越来越多的自动化和数字化，尤其是在航运领域。荷兰基础设施和水资源管理部 (Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management) 认为这一趋势在政策目标方面有很大潜力，因此希望为其发展提供便利。为此，智能航运计划 (Smart Shipping Programme, SMASH) 于 2017 年成立，旨在促进智能航运领域的创新¹。其目标是使广泛的自动化运输成为可能。这提供了获得经验的机会，这些经验可用于开发一个框架，在该框架内，智能航运也可在荷兰和国际水域长期进行结构性使用。除了荷兰基础设施和水资源管理部外，荷兰水运局 (Rijkswaterstaat)²、荷兰海岸警卫队 (Dutch Coast Guard) 及人类环境和运输监察局 (Human Environment and Transport Inspectorate) 也是智能航运计划的一部分。

该计划通过以下方式促进该部门的竞争力、安全性和可持续性：

- ✧ 研发：为创新提供清晰的方向；
- ✧ 法律：在现有法律框架内提供立法和法规，并在必要时修订立法和法规以使创新在成功实验后能够实施；
- ✧ 基础设施：准备物理环境；
- ✧ 政府：准备履行航道管理者、执法者、检查员和许可证颁发机构的职责。

SMASH! 是智能航运的缩写：海上、港口和内陆水道的高度自动化航行；SMASH! 也是荷兰智能航运论坛 (Netherlands Forum for Smart Shipping)，它将荷兰海事部门聚集在一起，实施智能航运和加强荷兰的国际竞争力³。在荷兰，许多组织和公司正在致力于智能航运和自动驾驶领域的发展。目前，这些举措非常分散。

¹ <https://www.rijkswaterstaat.nl/en>.

² Rijkswaterstaat 隶属于荷兰基础设施和水资源管理部 (Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management)，负责荷兰主要基础设施的设计、施工、管理和维护。

³ <https://smashnederland.nl/en/>.

通过在全国范围内开展合作，区域举措可以相互联系，产生更大的影响。建立国际联系也更容易。SMASH!将公司、政府和科研机构聚集在一起。2021年11月3日，在荷兰鹿特丹举行的欧洲港口贸易博览会（Europort）上，SMASH!推出了智能航运数字路线图，从应用案例和发展领域（如图3-7所示）两个方面阐述了面向2030的智能航运图景¹。



(a) 应用案例



(b) 发展领域

图 3-7 SMASH!智能航运路线图

¹ 该路线图可通过 <https://www.smashroadmap.com/> 网站以数字方式获取。

II. Shipping Technology 公司

Shipping Technology 开发自主航运和应用程序，利用（现有）航海设备收集船上数据并建立预测模型，实现基于人工智能的自动导航、陆上和海上海事管理，从 I 级到 V 级逐步发展自主航运，ST Brain 是实现这些应用程序的基础产品，如图 3-8，其自动化和安全系统减少了工作量，提高了安全性，降低了燃料消耗，并便于客户更有效地使用其船队和航道。

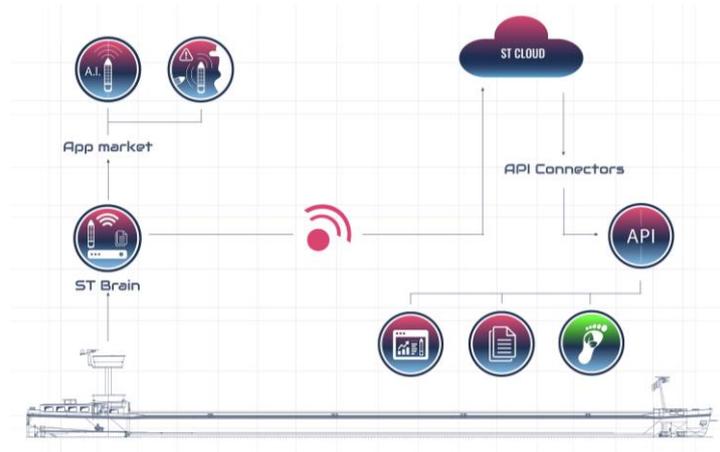


图 3-8 基于 ST Brain 的智能船舶架构¹

III. Captain AI 公司

科技初创公司 Captain AI 公司位于欧洲最大、最繁忙的港口——Rotterdam 港，旨在使用高保真模拟、先进传感器和最先进的深度学习技术开发安全、完全自主的航运解决方案²。Captain AI 的主要产品包括 Autopilot、Atlantis、Route Planner API、Fleet Viewer、Deep Learning Radar Detection API、Ship Detector API、AIS Prediction API 等。Captain AI 使用来自 Vstep 的高保真模拟器 Nautis，来测试和验证其软件代码，然后再在现实世界中进行测试，这使得快速迭代成为可能，同时节省了排放、燃料成本和其他资源。Captain AI 使用最新的 AI 神经网络模型进行物体检测、图像分类和实例分割，以创建全面的态势感知，通过构建一个全自动数据收集和标记

¹ ST Brain-基础产品，收集所有相关航海设备的数据，并将其安全存储在云环境中；App Market-人工智能应用程序处理收集的数据，提高安全性，降低成本，更可持续地工作，通过第三方连接将具有更多可能性；API Connectors-将船队数据与现有的内部或外部管理软件系统连接并组合，以提升性能；Carbon Footprint-跟踪所有排放，并通过 ST 仪表盘展示 CO₂ 和 NO_x 排放。

² <https://www.captainai.com/>.

流程，便于对船舶的行为和其他因素做出可靠的预测。为了实现 3D 场景、绘图和传感器数据的可视化，Captain AI 构建了可扩展云基础设施解决方案 ATLANTIS，通过在云中处理数 TB（Terabytes）的数据来生成最佳实时路径。只有在最佳安全性、冗余性和安保性是主要关注点的情况下，才能实现自主运输，Captain AI 正与 Rotterdam 港务管理局和 Rijkswaterstaat 密切合作，以最高的安保和安全标准开展工作。与此同时，Captain AI 使用雷达、摄像头、全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、声纳和 AIS 等传感器套件，为其传感器融合算法提供多种输入，并定期在欧洲最繁忙的 Rotterdam 港对 Kotug International 的“RT Borkum”号拖轮、Watertaxi Rotterdam 的“Watertaxi 14”号水上巴士以及 Rotterdam 港务管理局的“RPA3”号等三艘船舶进行软件测试。

IV. Kotug International 公司

2018 年 6 月 26 日，海事服务提供商 Kotug International 展示了第一艘遥控拖轮的长距离航行¹。船东 Rotortug 提供的 RT Borkun 号拖轮在荷兰 Rotterdam 航行，而其控制则是由在法国 Marseill 的 ITS 展会（International Tug, Salvage & OSV Convention and Exhibition）进行的。Kotug 的一名船长在 Marseill 通过远程互联网线路和摄像机图像接管了拖船控制权。本次遥控展示的主要参与方如表 3-2 所示。

表 3-2 RT Borkun 号拖轮遥控展示参与方

机构	职能
KOTUG	项目管理
Alpatron	控制台的摄像头可视化和系统集成
KPN	为稳定的 4G 互联网连接提供数据 sim 卡
M2M Blue	通过 VPN 隧道实现稳定的数据连接（4G 和 LAN 连接相结合）
OnBoard	操舵和发动机控制信号与互联网协议的转换
Rotortug	RT Borkum 的所有者
Veth	操舵和发动机控制系统的本地控制与远程控制切换

¹ <https://www.kotug.com/news/kotug-demonstrates-remote-controlled-tugboat-sailing-over-a-long-distance-2/>.

2020年9月21日，Kotug International、Rotortug 和 Captain AI 在荷兰智能航运论坛（Netherlands Forum for Smart Shipping）的智能航运活动上，利用“RT Borkum”轮在世界上第一次展示了在没有人干预的情况下航行于最优化路线，成为迈向完全自主和可持续航运道路上的一个重要里程碑¹。为了尽可能有效地定义这条最优化路线，Captain AI 的 Route Planner 和 Autopilot 软件与 Kotug Optiport 调度规划软件相连，能够基于 AIS 数据和人工智能实时优化路线规划。

3.4 俄罗斯

在俄罗斯联邦工业和贸易部（Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation）支持以及联邦运输部（Ministry of Transport of the Russian Federation）、俄罗斯船级社（Russian Maritime Register of Shipping, RS）参与下，由俄罗斯海事行业协会（MARINET）旗下的几家技术和航运公司在 2019 年启动了自主和遥控航行试验项目（Autonomous and Remote Navigation Trial Project, ARNTP）²。以 2021 年 1 月前为俄罗斯和遵循俄罗斯路线的航运公司运行自主航行船舶建立技术和法律条件为目标，项目开发的自主航行系统安装于不同船种的 3 艘船上进行了成功的测试、验证和运行，如图 3-9 所示；同时，通过变更《俄罗斯联邦商船法》条文、在一些联邦法律引入自主船舶概念和相关要求，解决了不与 IMO 现行文书相冲突的联邦立法问题。



(a) SCF 公司 Mikhail Ulyanov

¹ <https://www.kotug.com/news/kotug-rotortug-captain-ai-take-important-step-towards-fully-autonomous-sailing-2/>.

² <https://marinet.org/category/projects/>.



(b) Pola Group 公司 Pola Anfisa



(c) Rosmorport 公司 Rabochaya

图 3-9 参与 ARNTP 项目的 3 艘船舶¹

为了实现这一目标，ARNTP 开发了该项目的两条轨道：

- ◇ 技术：在实际条件下开发和测试一套标准技术系统，实现自主导航，适用于任何现有的商业船只。
- ◇ 法律：根据现行常规法规和安全要求，制定在现行海事法中采用自主导航的立法。

在 ARNTP 中，新系统在不同地区和条件下的几种不同船只上进行实际商业运营测试。项目并不会停止船舶的运营，也不会安排专门的试验航行——而是在他们的日常运营中实施自主导航。遵循严格的功能方法，解决方案的系统架构包括：

- ◇ 自主导航系统（Autonomous Navigation System, ANS），包括：
 - 用于导航数据集成的传感器融合模块（SFM）；
 - 扩展 ECDIS 功能模块（R-ECDIS）；
 - 自动防撞和操纵模块（ACAM）；

¹ <https://marinet.org/autonomous-and-remote-navigation-trial-project-arntp/#more-983>.

- ◇ 协调运动控制系统 (Coordinated Motion Control System, CMCS);
- ◇ 环境监测系统 (ESS), 实现自动光学分析和识别;
- ◇ 扩展到现有车载技术监控系统 (R-SUTS), 包括:
 - 内部 CCTV 子系统;
- ◇ 远程控制中心 (Remote Control Centre, RCC), 包括与 ANS、CMCS (带操纵杆系统)、ESS、R-SUTS、内部 CCTV、船舶无线电和消息系统以及本地数据日志系统 (DLS) 的接口, 以及与船上船员的视频会议 (通过 Bridge Advisor);
- ◇ 驾驶台顾问-船载人机界面, 类似于 RCC 与 ANS、ESS、R-SUTS、内部 CCTV 和 RCC 的视频会议的界面;
- ◇ 模式切换, 由船上船员在手动和自主导航模式之间切换;
- ◇ 通信系统 (用于船载 BTP 系统和 RCC 之间的数据交换);
- ◇ 用于 BTP 系统配置、监控、维护和故障排除的 Configuration Manager;
- ◇ 与船上现有常规系统的接口。

ARNTP 项目下的立法变化也在根据技术发展和认可实施, 并根据当前的国际法规“按原样”采用自主导航:

- ◇ 在《商船法》(Merchant Shipping Code) 和个别联邦法律层面的国家立法中引入概念性条款——由联邦法律实施“关于对《俄罗斯联邦商船法典》的修改和俄罗斯联邦关于使用自主船舶的法律安排的某些立法”¹;
- ◇ 在 2025 年之前的“过渡”期间, 对俄罗斯联邦旗下的 MASS 作业进行监管, 规定了国旗管理部门组织此类作业的要求——由“关于提供俄罗斯联邦国旗下海上自主水面舰艇试运行”²的政府法令实施;
- ◇ 联邦海事和河流运输局 (Federal Agency for Maritime and River Transport, FAMRT) 和 RS 层面的自主航行程序和方式的技术法规——由“俄籍

¹ On introduction of changes to the Merchant Shipping Code of the Russian Federation and certain legislative acts of the Russian Federation concerning legal arrangements which arise of the use of autonomous ships.

² On provision of trial operation of maritime autonomous surface ships under the flag of the Russian Federation.

MASS 试航遵守 COLREG -72 要求的建议案”¹和“RS 关于海上自主水面船舶（MASS）分类的指南”²实施。

2020 年 2-3 月，俄罗斯向 IMO 提交了相关研究成果。2020 年 8 月 1 日，RS 《海上自主和遥控水面船舶（MASS）入级规则》正式生效。后又于 2022 年 9 月 27 日发布了更新的版本³。

3.5 韩国

韩国三大船企——HD 现代（原现代重工）、三星重工、韩华海洋（原大宇造船）从 2010 年初开始设立自主航行技术开发组织，在“自主航行解决方案”和“船舶建造”两个领域进行了研发工作。截至 2022 年，三大船企均在目前运行的船舶上应用了自主航行解决方案，并在实际航行中进行了实证测试，取得了成功的结果。在此基础上，三大船企将在 2023 年加快推进补充研究及实证测试，到 2024 年完成完全自主航行或无人航行系统初期版本的开发及构建，在没有船员登船的情况下实现船舶的自主航行，并在通过海上实证测试后达到商用化水平。也就是说，韩国三大船企计划最快于 2024 年推出拥有自主知识产权的完全自主航行船舶，这比韩国政府 2021 年提出的“2030 年之后实现自主航行船舶完全自主航行”目标至少提前 6 年。在航运业进入智能船舶时代，针对未来全球“无人船”建造市场，韩国造船业已经领先一步。

I. KASS 项目

2019 年 11 月，韩国企划财政部（Ministry of Strategy and Finance）通过了韩国自主水面船研究项目（Korea Autonomous Surface Ship Project, KASS）的初步可行性研究，计划投资 1603 亿韩元（约合 1.333 亿美元，包括私营部门的投资），开展自主船核心技术开发，并分阶段示范为其商业化奠定基础，项目周期为 2020-

¹ Recommendations of FAMRT for the applying COLREG-72 requirements for the trial operation of MASS under the flag of Russian Federation.

² Guidelines of RS on the classification of maritime autonomous surface ships (MASS).

³ Russian Maritime Register of Shipping(RS). Regulations for Classification of Maritime Autonomous and Remotely Controlled Surface Ships (MASS). <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=4CC632B3-2754-4685-A7BB-F1784810ECD9&f=>.

2025 年（2020-2023 为系统开发与集成；2024-2025 为应用示范）¹，项目参与单位包括航运和造船两个行业的数十家单位²。

KASS 项目办公室组织架构如图 3-10 所示。由韩国产业技术评价研究院(KEIT)和韩国海洋科学技术振兴院（Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion, KIMST）共同监督管理，设置提供决策与建议的文职委员会和总秘书处进行项目研究管理和预算管理，通过贸易工业和能源部（Ministry of Trade, Industry and Energy, MTIE）支持造船方面相关技术研究，海洋与渔业部（Ministry of Ocean and Fisheries, MOF）支持航运方面相关技术研究，相互合作、整合资源，以实现项目工作的推进。

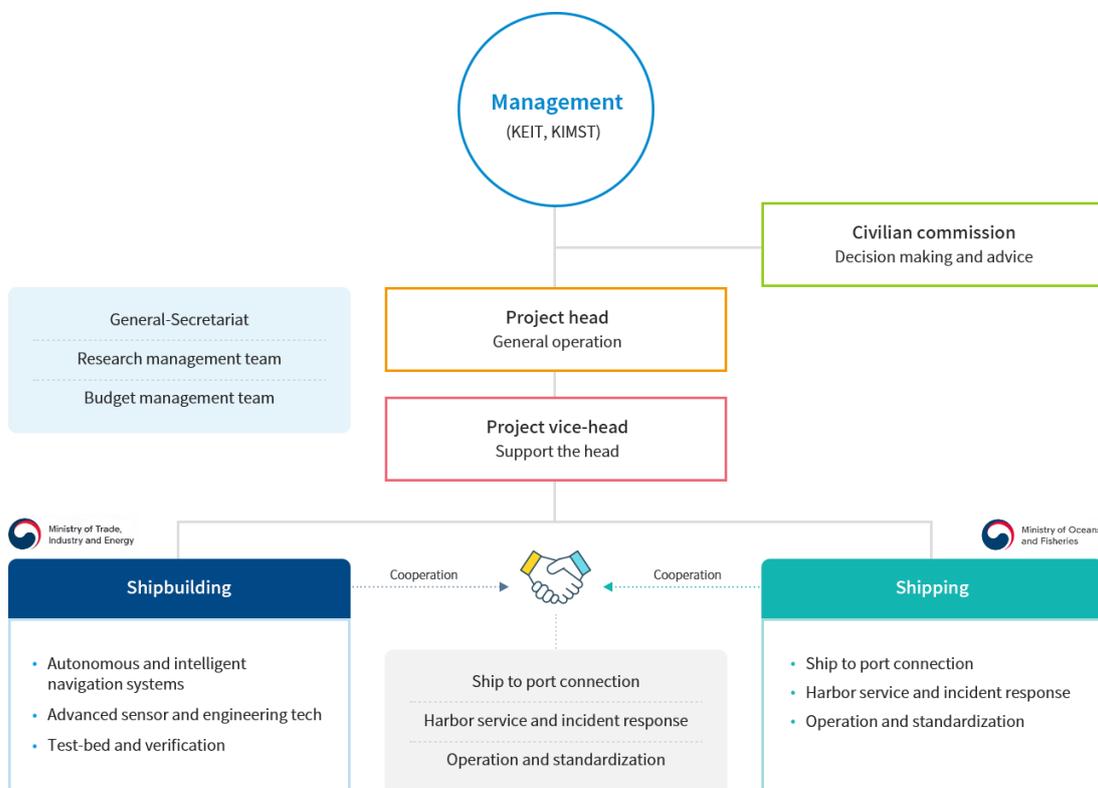


图 3-10 KASS 项目办公室组织架构³

KASS 项目拟突破的自主船舶核心技术如图 3-11 所示，核心技术的关联关系如图 3-12 所示。

◇ 智能航行系统（含 3 个子项目：具备路径规划功能的自主航行系统研发；

¹ <https://kassproject.org/>.

² <https://kassproject.org/en/info/group.php>.

³ <https://kassproject.org/en/info/organization.php>.

预防碰撞和事故的态势感知系统研发；自主航行与机舱控制集成平台和数字船桥研发)；

✧ 机械自动化系统 (含 2 个子项目：自主船舶机械系统性能监测、故障预测与诊断技术研发，即视情维修<Condition Based Maintenance, CBM>；集成管控节能系统研发)；

✧ 测试演示中心和示范技术 (含 5 个子项目：自主船舶智能系统验证与确认技术研究；自主船舶智能系统验证与确认技术研究；新一代船-船-岸数字通信技术研究；MASS 赛博安全技术研究；MASS 岸基远程控制系统研发)；

✧ 操作技术和标准化 (含 3 个子项目：自主船舶事故响应系统和可靠性评估；自主航行系统远程管理和安全操控技术研究；自主船舶标准化技术研究)。

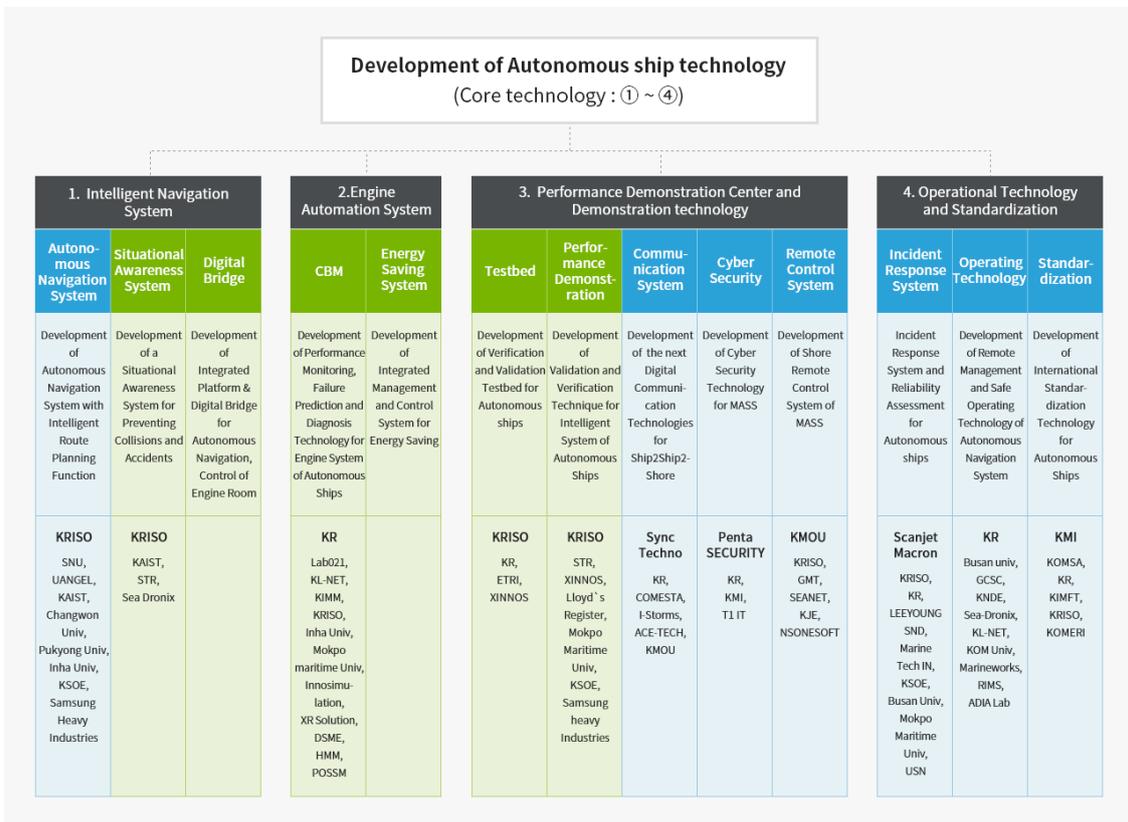


图 3-11 KASS 项目拟突破的自主船舶核心技术¹²

¹ <https://kassproject.org/en/info/projectdetail.php>.

² MTIE 支持的造船方面相关技术研究 (绿色底纹) 由韩国船舶与海工装备研究所 (KRISO) 牵头, MOF 支持的航运方面相关技术研究 (蓝色底纹) 由韩国船级社 (Korean Register, KR) 牵头。

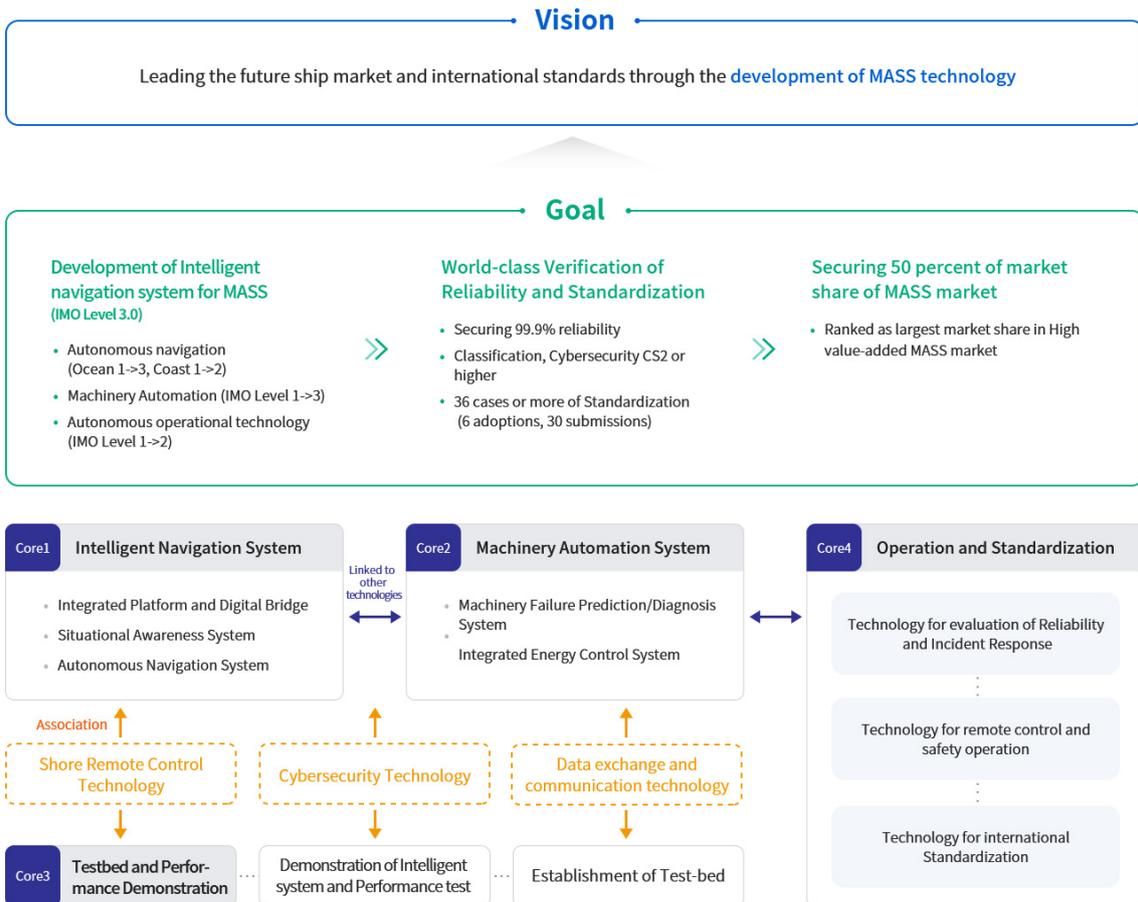


图 3-12 核心技术的关联关系¹

KASS 项目拟实现的商业化目标是：中等尺度商船的 MASS 开展国际航行（远洋航行达到 IMO DoA3；沿海航行达到 IMO DoA 2）。其愿景是通过研究 MASS 技术引领未来船舶市场和国际标准，实现流程主要可以分为三个步骤：一是 MASS 智能航行系统研发，包括自主航行、机械自动化与自主操作技术；二是世界级可靠性与标准化验证，确保系统高可靠性、赛博安全与标准采用；三是制定合理有效的商业化模式，最终确保在高附加值 MASS 市场占有最大市场份额。

数据通信平台的搭建主要包括船载设备与系统数据通信和岸基系统数据通信，如图 3-13 所示。船载设备与系统数据通信主要包括船载传感器数据（导航和无线电通信系统、船舶信息与交通流、操作系统、主机辅机、传感器数据等）、数字船桥与集成平台以及船岸数据通信与赛博安全三方面技术需求。其中数字船桥与集成平台对船舶的损害控制、自主引擎、智能航行和态势感知等关键功能进行综合规

¹ <https://kassproject.org/en/info/association.php>.

划与调节；船岸数据通信与赛博安全的主要目的则是保障通信能力并提供安全防护。岸基系统数据通信主要包括岸基驾控中心的数字孪生船桥系统和大数据平台，数字孪生船桥系统可以通过仿真的手段测试智能航行系统并可对船舶实现岸基驾控；大数据平台则负责存储的各种船岸数据信息，并通过数据挖掘与分析，不断优化各系统综合规划能力。

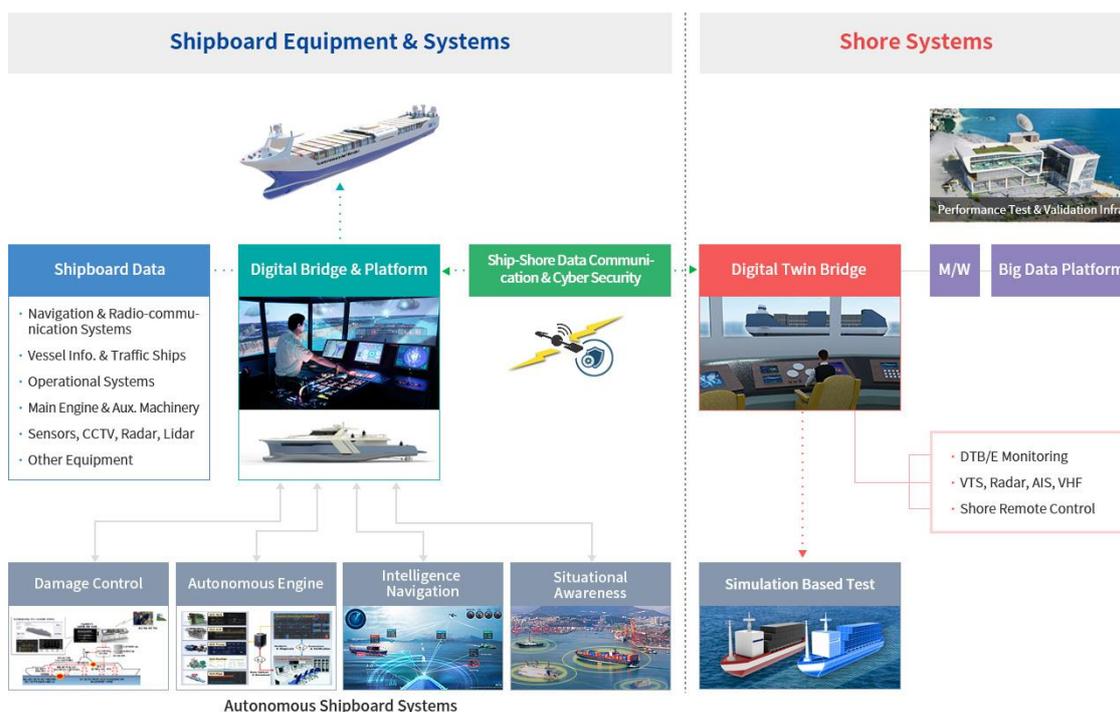


图 3-13 数据通信平台¹

II. HD 现代 (HD Hyundai)

2017 年，HD 现代 (HD Hyundai) ——原韩国现代重工集团 (Hyundai Heavy Industries, HHI) ，子公司 Hyundai Global Service 开发了集成智能船舶解决方案 (Integrated Smartship Solution, ISS) ，这是一种用于船舶的物联网 (Internet of Things, IoT) 平台，可以提供高效的能源管理解决方案并找到最佳航行路线。2021 年 6 月，HHI 通过其 2020 年 12 月新成立的自主航行解决方案初创子公司 Avikus²，对一艘完全自主的 12 座游轮进行了试运行，该游轮穿过 10km 长的浦项运河，如图 3-14 所示，展示了从出发、航行到返回和停靠的所有阶段的完全自主航行。该游轮配备了 Avikus 基于 ISS 系统开发的现代智能航行辅助系统 (Hyundai Intelligent

¹ <https://kassproject.org/en/info/communication.php>.

² Avikus was launched in December 2020 as the first in-house venture of Hyundai Heavy Industries.

Navigation Assistant System, HiNAS), 使船舶能够基于增强现实 (Augmented Reality, AR) 和智能靠离泊辅助系统 (Hyundai Intelligent Berthing Assistant System, HiBAS) 自动识别目标和路线, 以警告碰撞风险。此外, 通过结合使用激光雷达 (Light Detection and Ranging, LiDAR) 和特殊相机, 该船能够探测和绕航障碍物及其他意外情况。该游轮通过 5G 网络从岸基控制中心操作, 由于网络的低延迟, 岸基控制中心操作员能够监控船上的实时传感器数据, 并获得 360° 视频图像。



图 3-14 HiNAS 测试

2022 年 1 月, Avikus 与美国船级社 (ABS) 签署了一份谅解备忘录, 以获得实施自主船舶技术的原理性认可 (Approval in Principle, AiP)。

2022 年 5 月 1 日至 6 月 2 日, 安装有 Avikus 的 HiNAS 2.0 系统的 18 万立方米超大型 LNG 运输船 “Prism Courage” 轮, 从墨西哥湾沿岸出发, 经巴拿马运河, 最终抵达韩国忠清南道的 Boryeong 液化天然气接收站, 历时 33 天, 全程约 20,000km, 其中约一半航程使用自主航行技术, 实现了世界上第一次使用自主航行技术的跨洋航行。这次航行是在 ABS 和韩国船级社 (Korean Register, KR) 的实时监控下进行的, Avikus 计划在获得 ABS 的认证后, 在年内将 HiNAS 2.0 商业化。

2022 年 8 月 26 日, HHI、Avikus、KR 和利比里亚船级社 (Liberian Registry, LISCR) 签署谅解备忘录¹, 旨在合作将 HiNAS 2.0 商业化。Avikus 的 HiNAS 2.0 具备 Level 2 自主水平, 能够自主控制航速、避免碰撞并降低油耗, 将安装在 23 艘液化天然气运输船和集装箱船上, 由两家韩国航运公司——SK Shipping 和 Sinokor Merchant Marine 运营。2023 年 1 月, Avikus 的自主航行系统 “HiNas Control 2.0”

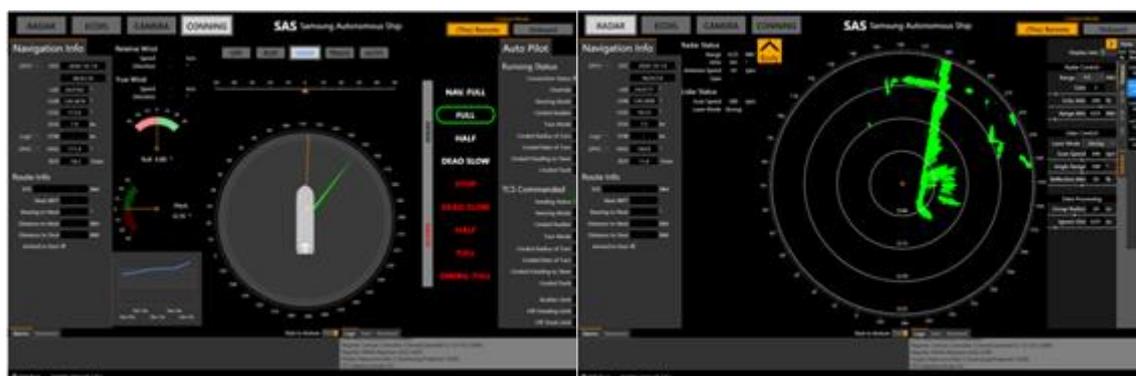
¹ <https://www.offshore-energy.biz/hhi-and-partners-ink-mou-to-bring-autonomous-ship-navigation-to-market/>.

通过了 KR 和利比里亚海事局 (LiMA) 的原理性认可 (AiP), 并在 2023 年 6 月获得了 KR 颁发的新技术合格性评价 (NTQ) 证书。

2023 年 10 月 12 日, KR 表示, PAN Ocean 旗下 32.5 万吨超大型矿砂船 (VLOC) “Sea Shanghai”号已安装了 Avikus 开发的自主航行系统 “HiNas Control”, 并在完成了自主航行驾驶辅助系统永久安装所需的检查后开始运营。此前, KR、Avikus、PAN Ocean 为了稳定应用 “HiNas Control”, 共同进行了试运行, 并开展了多种测试。包括该型自主航行系统的关键功能, 如航线规划、路径跟踪、速度监测、避碰以及产品安全功能检测, “Sea Shanghai”号均成功通过了所有测试。

III. 三星重工 (Samsung Heavy Industries, SHI)

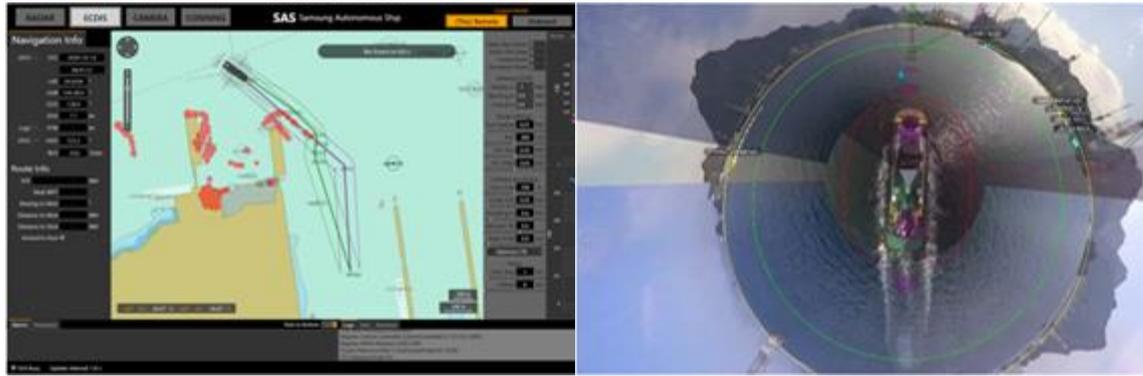
三星重工 (Samsung Heavy Industries, SHI) 自主研发了远程自主航行系统 (Samsung Autonomous Ship, SAS), SAS 包括 ECDIS, Conning, Radar, Vision 和 Video Call 共 5 个子系统¹, 如图 3-15 所示。SAS 可以实时分析安装在船舶上的雷达、全球定位系统 (GPS)、船舶自动识别系统 (AIS) 等通信导航设备的信号, 并识别周围船舶及障碍物。SAS 可根据船舶航行特点, 对船舶碰撞危险度 (Collision Risk Index, CRI) 进行评估, 找出最佳避碰路径, 并通过推进及转向装置自动控制, 使船舶可以独自安全航行至目的地。此外, 通过应用全球首次适用于实船的船用 360° 全景式监控影像系统 (Around View) 和 LTE/5G 移动通信技术等, 可以在远处的岸基控制中心直接俯瞰船舶的影像, 对船舶实施远程控制。



(a) Conning

(b) Radar with Furuno's SDK

¹ http://www.samsungshi.com/Eng/Product/solution_prd02.aspx.



(c) ECDIS with Collision Avoidance

(d) Around View

图 3-15 Samsung SAS 自主航行系统

2020 年 10 月，SHI 在一艘长 38 米的 300 吨级拖轮“SAMSUNG T-8”轮搭载了 SAS 系统，如图 3-16，并在其巨济造船厂附近海域成功进行了远程自主航行测试，这是韩国造船业界首次进行远程自主航行实船海上测试，SHI 也由此成为世界上首家拥有大型船舶远程自主航行技术的造船企业。

“SAMSUNG T-8”拖轮在试运行的过程中，在没有船员介入的情况下，航行至约 10km 外的目的地后安全返航，同时还展示了在航行中自行躲避 1km 半径内出现的其他船舶及障碍物的避碰技术。在该船自主航行的同时，位于大田的三星重工船舶海洋研究中心内的岸基控制中心，通过在船上安装的高性能摄像头将影像传回大屏幕，采用增强现实（AR）技术影像实时监控船舶的运行状态，对造船厂周边海域环境及障碍物进行了确认。

2021 年 2 月，SHI 与木浦海洋大学签订了智能自主航行船舶研发及实船海上测试的合作协议，通过分析此前积累的庞大自主航行数据，与木浦海洋大学的船舶最佳避碰航线研究及模拟课题等结合，在木浦-济州的实习航线上的部分区间，对木浦海洋大学 9200 吨级大型实习船“世界路”号自主航行技术成功进行了实船海上测试验证。2021 年 9 月，三星重工联合木浦海洋大学，在位于韩国西南端的新安郡可居岛附近海域，将船舶相互认知并自动避碰技术应用于均搭载了 SAS 并对向行驶的“世界路”号和“SAMSUNG T-8”号，成功进行了避碰实证测试。

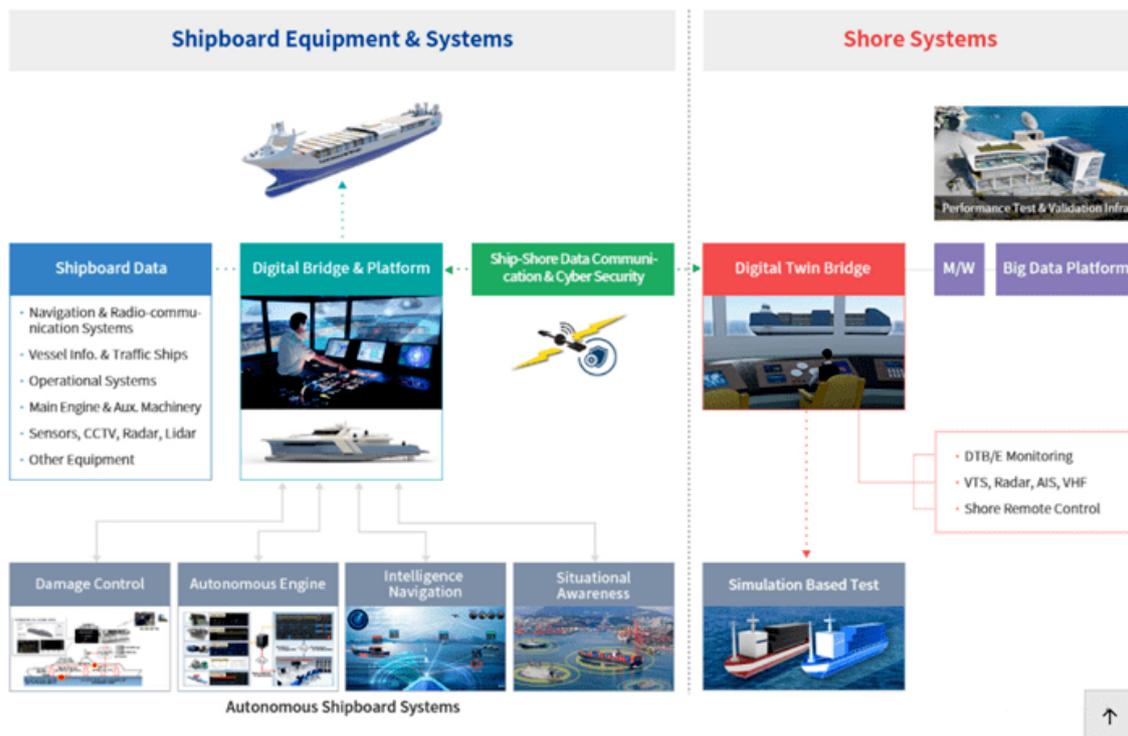


图 3-16 “SAMSUNG T-8”轮自主航行测试

2022 年 11 月，搭载 SAS 的“世界路”号（Segye-ro）实习船完成了在韩国西海海域连接南海和东海的岛屿沿岸进行海上实证测试¹，这也是韩国首次在海复杂环境下的自主航行船舶实证测试。“世界路”号从全罗南道木浦西海沿岸起航，沿途经过韩国南海的离於岛和济州岛以及韩国东海的“独岛”，在约 950 公里的范围内进行了自主航行实证测试。在自主航行过程中，“世界路”号 29 次成功避开了与其他船舶相遇的碰撞危险，保持了安全航行。特别是在经过海上作业活跃的离於岛附近时，在从“世界路”号的船头和右舷前方同时接近的多艘渔船发生复合碰撞危险的情况下，SAS 自主航行系统在实时感知后作出了认知计算和避碰决策，每 5 秒就提示一次正确、安全的回避路径，证明了其性能的优秀。

2023 年 6 月 8 日，SAS 系统的 Autonomous Navigation System 和 SVESSEL Communications System 两项软件功能获得了劳氏船级社（Lloyd’s Register, LR）颁发的原理性认可（AiP）²。SAS Autonomous Navigation System 由 Integrated Bridge

¹

http://www.samsungshi.com/Eng/Pr/news_view.aspx?Page=1&Seq=1212&mac=028f104bf48184581098cb853130b577.

² <https://www.lr.org/en/about-us/press-room/press-release/lr-aip-for-shi-sas-and-svessel/>.

System, Situational Awareness Tools 和 SHI's Anti-Collision Decision-Making System 组成, 将其集成到现有航行设备, 将有助于减少人为失误。2023 年 6 月 26 日, SHI 一艘新建的搭载有 SAS 系统的 15,000TEU 集装箱船从韩国巨济造船厂 (Geoje Shipyard) 出发开始航行, 经过济州岛于 7 月 1 日抵达中国台湾高雄港, 航程全长约 1500 公里, 准确识别了船舶航行中半径 50 公里以内的船舶、浮游物等 9000 个以上的障碍物, 在该船 90 次与海上船舶相遇的情况下安全地引导了避碰路线, 成功完成了自主航行技术的全球航线实证测试¹。这是全球造船业界首次在大型集装箱船上进行的自主航行技术全球航线实证测试。

除 SAS 外, SHI 开发的数字化解决方案还包括 SVISION 和 SVESSEL。SVISION 为船舶 360°视频监控系統, 如图 3-17 所示, 能够实现实时远程监控船舶近距离的周围环境, 而现有的监控系统 (如雷达和 AIS) 无法实现这一点。通过增强现实 (AR) 表达相机图像组合和各种导航信息, 船员可以直观地识别危险并立即采取行动。

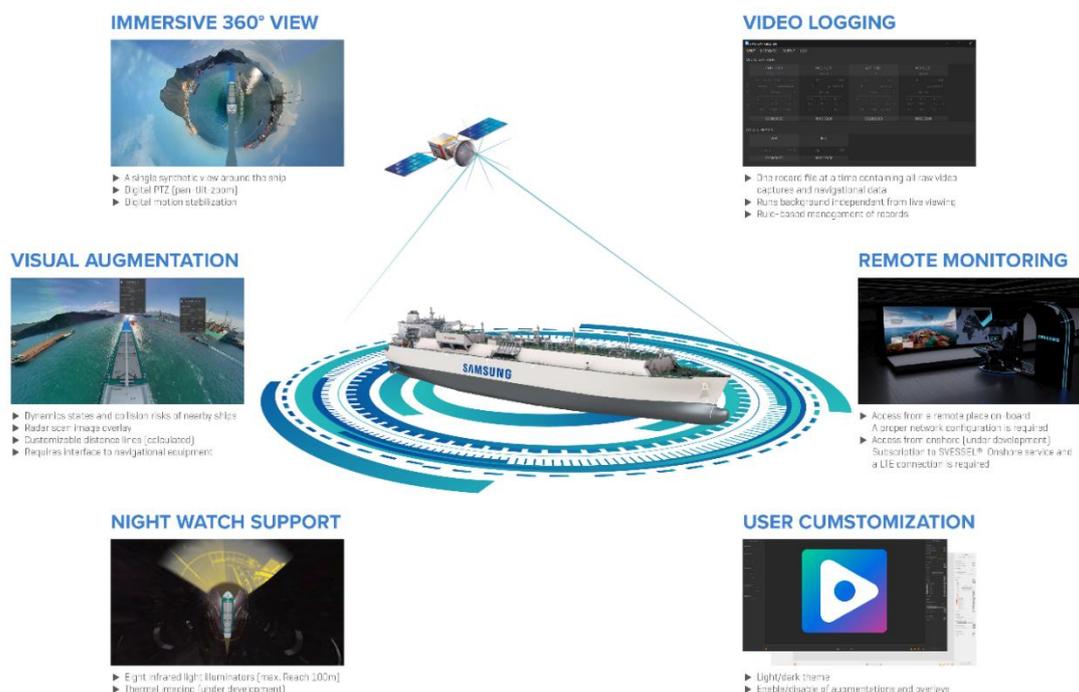


图 3-17 SVISION 视频监控系統²

¹

http://www.samsungshi.com/Eng/Pr/news_view.aspx?Page=1&Seq=1251&mac=27d1e824924c07cfb767eb51ca5dc770.

² http://www.samsungshi.com/Eng/Images/contents/SVISION_leaflet.pdf.

SVISION 系统具备的功能包括：

- ◇ 实时视频监控；
- ◇ 管理视频记录和自动生成；
- ◇ 根据亮度自动切换正常/红外模式；
- ◇ 感应/警告附近的危险障碍物；
- ◇ 提供与 AIS 相关的详细信息。

SVESSEL 为智能船舶整体解决方案，专注于船舶及其应用程序的完全数字化，以实现高效安全的航行。**SVESSEL** 根据数字时代的理念和技术，利用建造规范、图纸和测试报告，将船舶重建为数字孪生体，**SVESSEL** 带来的数字化转型将引领船舶与海洋工程行业革命性的变革。

SVESSEL 功能包括：

- ◇ 监测能源、燃料消耗和船舶状态：FOC, Emission, Energy efficiency, Machinery system, Cargo；
- ◇ 通过优化的解决方案降低运营成本：Trim, Route & Speed optimization；
- ◇ 加强航次安全管理：Motion risk assessment, VISION, Collision risk assessment；
- ◇ 提供自动化和环境友好的报告：Daily report, EU-MRV & IMO-DCS report；
- ◇ 网络安全数据通信：Class society approval for Smart ship cyber security；
- ◇ 实现岸基监控和远程访问：Fleet management, Smart warranty service, FOC comparison etc。

SVESSEL 系统包括 Onboard、BIG (onBoard Intergrated Gateway)、Onshore 三部分，如图 3-18 所示。

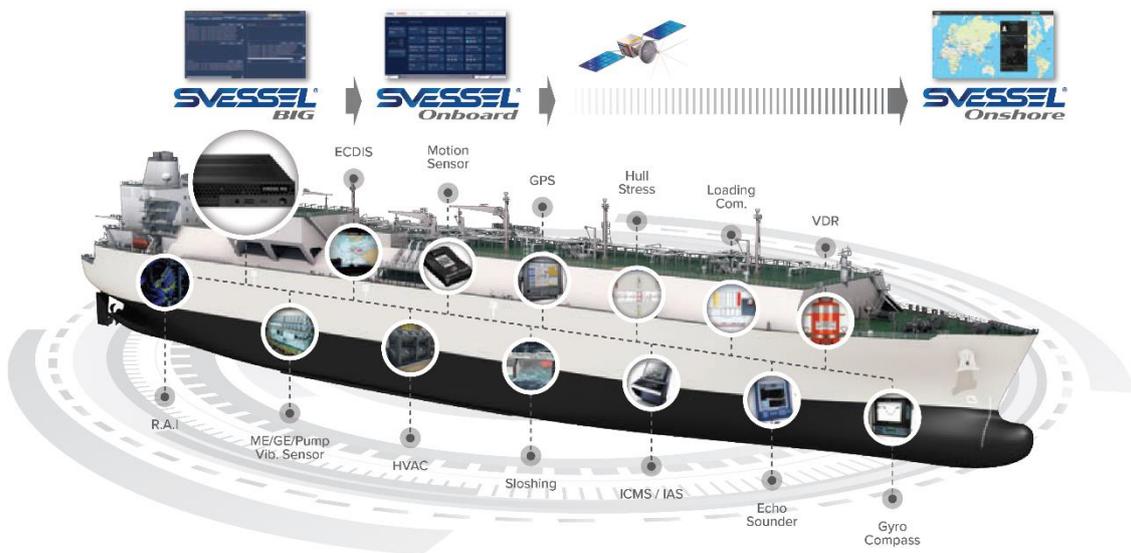


图 3-18 SVESSEL 为智能船舶整体解决方案¹

SVESSEL Onboard 为船舶提供智能、经济、安全的解决方案，功能包括：

- ✧ 规划：Trim Optimization, Route Optimization;
- ✧ 监控：Overview, Fuel / Emission, Route Monitoring, Real-Time Trend, SPA, SPMS, Motion, HSMS, Vision, LNG Solution, Slushing, CBM (Condition Based Maintenance);
- ✧ 报告：EU MRV / IMO DCS, IMO CII, Daily Report, eLogbook。

SVESSEL BIG 为船载集成网关（onBoard Intergrated Gateway），可以与船上的所有仪器设备接口，并通过全面的通信协议收集和存储各种数据，如图 3-19 所示。拥有网络安全技术的 BIG 不仅可以向陆上数据中心提供各种类型的数据，也可以随时向船上解决方案提供商和第三方公司提供各种数据，其功能包括：

- ✧ 基础设施平台：建立硬件基础设施，接收和发送来自船上各种设备的数据；
- ✧ 数据管理：存储和管理从各种船舶和设备接收的标准化数据；
- ✧ 数据收集：通过船舶多个系统的通信协议进行可靠、安全的数据收集；
- ✧ 数据传输：为 SVESSEL Onboard 提供所需的数据，传输 SVESSEL Onshore 和第三方公司的数据。

¹ <http://www.samsungshi.com/Eng/Images/contents/SVESSEL.pdf>.

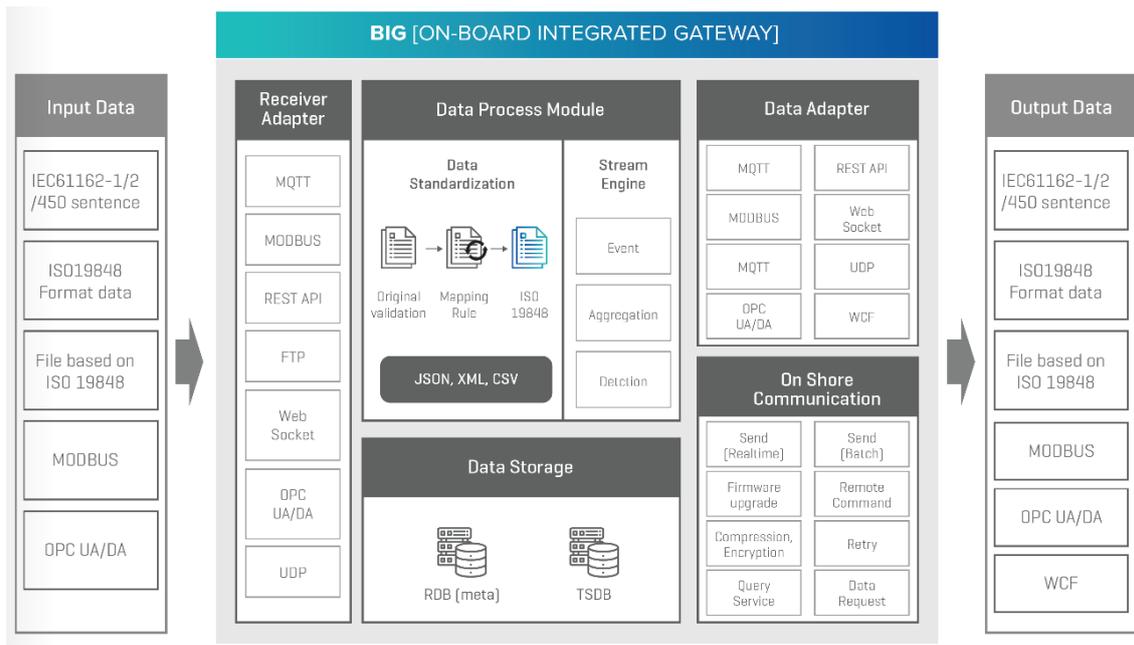


图 3-19 SVESSEL BIG 船载集成网关¹

SVESSEL Onshore 提供分析性解决方案，具体包括：

- ✧ 船队管理：KPI visualization (Safety, Performance, etc.), Vessel & Fleet status monitoring/tracking, Cyber secured cloud-based operation guide service, Dashboard Intelligence;
- ✧ 保修服务：Digitalized claim report generating, Claim management & Delivery order tracking。

IV. 韩华海洋 (Hanwha Ocean)

2022 年 11 月 16-17 日，大宇造船海洋 (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, DSME)²研发的首艘自主航行试验船 “DAN-V”号在西海成功完成了自主航行的海上试验³，确保了英国劳氏船级社 (LR) 船舶自主航行标准 AL3 (决策和行动在人的监督下进行) 水平的技术能力。2023 年，韩华海洋将把新研发的自主航行技术运用到实船上进行验证，并计划在 2024 年确保完全自主航行技术的

¹ <http://www.samsungshi.com/Eng/Images/contents/SVESSEL.pdf>.

² 2023 年 5 月 23 日，大宇造船海洋 (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, DSME) 公司名称正式变更为韩华海洋 (Hanwha Ocean)，标志着韩国三大船企之一的大宇造船正式退出历史舞台，并作为韩国军工巨头韩华集团旗下造船子公司韩华海洋开启新征程。

³ <https://finance.sina.com.cn/money/forex/datafx/2022-11-23/doc-imqqsmrp7261514.shtml>.

推出。相比于 HD 现代的 HiNAS 系统和三星重工的 SAS 系统，韩华海洋的自主航行系统的开发和商业化进展相对滞后。

3.6 日本

1. 日本邮船 (NYK)

2019 年 9 月 14-20 日，日本邮船 (Nippon Yusen Kabushiki Kaisha, NYK) 以其运营的一艘 70,826 总吨的大型 PCTC——“Iris Leader” 轮为试验平台，根据 IMO 海上自主水面船舶 (MASS) 试验临时指南进行了世界上首次 MASS 试验¹，如图 3-20 所示，以实现其有人自主船舶的目标，从而实现更安全的操作和减少船员工作量。

NYK 的目标是有人驾驶的自主船舶，通过利用先进技术和岸基的远程支持——SSR (Sherpa System for Real ship, SSR) 航行系统，如图 3-21 所示，来辅助船舶操作并提高安全性。



图 3-20 世界首次 MASS 试航

¹ https://www.nyk.com/english/news/2019/20190930_01.html.

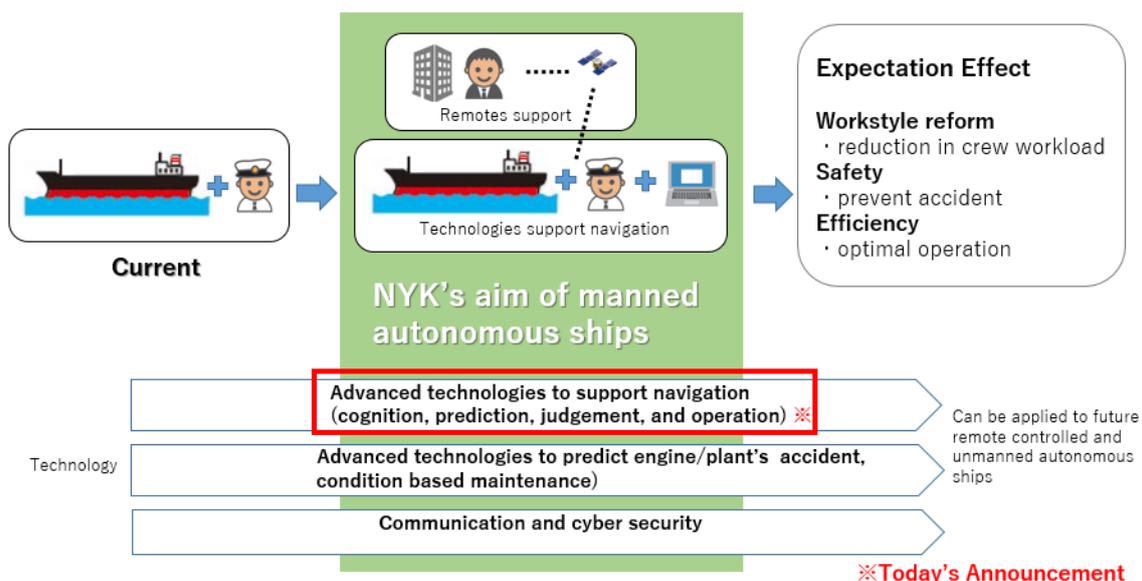


图 3-21 SSR 航行系统

II. DFFAS 联合体

设计自主航运的未来 (Designing the Future of Full Autonomous Ship, DFFAS)，是由日本海洋科学株式会社 (Japan Marine Science Inc., JMS) 牵头、22 家日本国内公司成立的联合体¹，旨在开发和示范无人海上自主水面船舶所需的综合系统功能，包括紧急情况下的远程操作、靠离泊自动化、根据批准的航线计划和执行计划进行操作，以及从船队运行中心监控支持功能 (包括船岸数据通信系统)²。DFAAS 的目标是成功进行世界首次无人海上自主水面船舶示范试验，以推进无人海上自主水面船舶到 2025 年的实际应用。DFFAS 联合体也在 MEGURI 2040 项目下参与

¹ 联合体 1，成员包括：Japan Marine Science Inc.；以及 Bemac Corporation, Eizo Corporation, Furuno Electric Co., Ltd., Honda Heavy Industries Co., Ltd., Ikous Corporation, Japan Hamworthy, Co. Ltd., Japan Marine United Corporation, Japan Radio Co., Ltd., Kinkai Yusen Kaisha Ltd., Mitsubishi Research Institute, Inc., Mitsui Sumitomo Insurance Company, Ltd., Miura Co., Ltd., MTI Ltd., Nabtesco Corporation, Nihon Shipyard Co., Ltd., Nippon Yusen Kabushiki Kaisha, NTT Communications Corporation, NTT Corporation, NTT Docomo, Inc., NX Shipping Co., Ltd., Pluszero Co., Ltd., Sanwa Dock Co., Ltd., Sky Perfect JSAT Corporation, Sunflame Corp., Suzuyo Marine Co., Ltd., Tokio Marine & Nichido Fire Insurance Co., Ltd., Tokyo Keiki Inc., Weathernews Inc., and YDK Technologies Co., Ltd.

² https://www.nyk.com/english/news/2021/20210902_02.html.

无人船舶示范联合技术开发计划（Joint Technological Development Programme for the Demonstration of Unmanned Ships）¹²³。

2023 年 7 月开始的 MEGURI 2040 项目第二阶段，DFFAS 联合体扩容为 DFFAS+（Designing the Future of Fully Autonomous Ships Plus consortium），成员达到 51 家⁴。

III. MEGURI 2040 项目

日本正经历人口萎缩和老龄化，人力资源短缺在各个领域均已出现，沿海航运也不例外。据统计，日本超过一半的沿海运输船舶船员年龄在 50 岁以上，这正成为一个重大问题；此外，日本有约 400 个有人居住的近海岛屿，其中许多岛屿每天只有早晚两班渡轮到访，维护这些近岸航线已成为这些居民日常生活中的一个关键问题。为此，2020 年 2 月，日本财团（The Nippon Foundation）发起了 MEGURI 2040 完全自主船舶项目（The Nippon Foundation MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program）⁵，成立了 5 个联合体，如图 3-22 所示。日本财团在 2021 财年（2021 年 4 月至 2022 年 3 月）为该项目提供了总额 34 亿日元（约合 2.24 亿元人民币）的资金。MEGURI 2040 项目汇集航运、造船、船舶设备制造商、电信、气象信息、船舶保险等 40 余家日本企业在大型渡轮、集装箱船、客船等不同船型领域开展自

¹ 一项补贴计划，旨在进一步培育无人海上自主水面舰艇领域的技术发展势头，促进日本物流、经济和社会基础设施的变革，并通过国内沿海船舶在世界上首次无人自主操作试验的成功，支持这类技术发展。

² https://www.nyk.com/english/news/2022/20220303_02.html

³ <https://www.nippon-foundation.or.jp/en/news/articles/2022/20220602-74388.html>

⁴ 参与 DFFAS+ 项目的单位包括：Japan Marine Science Inc. (project leader); Akasaka Diesels Limited; IKOUS Corporation; Imoto Lines,Ltd.; Weathernews Inc.; Uyeno Transtech Ltd; EIZO Corporation; SK Winch Co., Ltd.; MTI Co., Ltd.; NX Shipping Co., Ltd.; NTT Communications Corporation; Kawasaki Kisen Kaisha, Ltd.; Kawasaki Kinkai Kisen Kaisha, Ltd.; Kanda Dockyard Co., Ltd.; Kyokuyo Shipyard Corporation; Kinkai Yusen Kaisha Ltd.; Kokusai Ryobi Ferry Co., Ltd.; Sunflame Co., Ltd.; Sanwa Dock Co., Ltd.; JRCS Co. Ltd.; Japan Hamworthy Co., Ltd.; Japan Marine United Corporation; Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.; SKY Perfect JSAT Corporation.; Suzuyo Marine Co., Ltd.; Space Compass Corporation; Terasaki Electric Co., Ltd.; Tokio Marine & Nichido Fire Insurance Co., Ltd.; Tokyo Keiki Inc.; TST Corporation.; Mirai R&D (Research & Development); Nakashima Propeller Co., Ltd.; Nabtesco Corporation; Nihon Shipyard Co., Ltd.; Japan Radio Co., Ltd.; NYK Line; The Hanshin Diesel Works, Ltd.; BEMAC Corporation; pluszero, Inc.; Fujiwara Shipbuilding Co. Ltd.; Furuno Electric Co., Ltd.; Honda Motor Co., Ltd.; Honda Heavy Industries Co., Ltd.; Marindows Inc.; Marubeni Corporation; Miura Co., Ltd.; Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.; Mitsui Sumitomo Insurance Company, Limited; Mitsubishi Research Institute, Inc.; Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd.; YDK Technologies Co.,Ltd.

⁵ <https://www.nippon-foundation.or.jp/en/what/projects/meguri2040>.

主船舶技术开发，旨在将完全自主航运作为解决这些社会问题的方式之一。与此同时，统计表明 70%-80% 的海上事故是由人为失误导致的，自主航运将成为减少事故的重要手段之一。

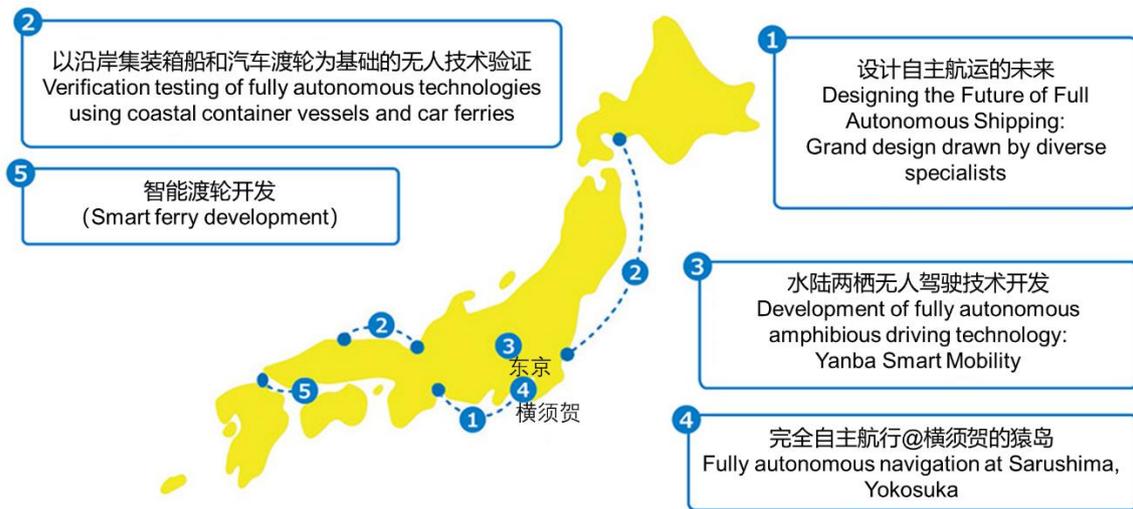


图 3-22 MEGURI 2040 项目的 5 个联合体

MEGURI 2040 项目的目标是到 2025 年切实实施完全自主航行，到 2040 年使完全自主航行占到日本沿海航运的 50%。所开展的示范试验具有以下具体目标，也有望振兴和提高日本航运业及相关行业的竞争力：

- ✧ 提升相关行业的技术能力（包括通过其他领域的参与）；
- ✧ 在建立完全自主航行国际标准方面发挥主导作用；
- ✧ 为完全自主航行创造更大的安全感和社会接受度（包括让儿童有未来在海事行业工作的梦想）。

2022 年 1 月至 3 月，“MEGURI 2040”项目的 5 个联合体完成了全部 6 个船型不同条件的实船测试，为日本在 2025 年实现自主船舶的商业化目标迈出了重要一步。

示范测试 I:

2022 年 1 月 11 日，完全自主航行项目联合体¹在神奈川县横须贺市附近三笠栈桥-猿岛之间 1.7km 航线上（航程约 10 分钟）成功测试了一艘完全自主航行的小

¹ 联合体 4，成员包括：Marubeni Corporation (leader)；三井 E&S 造船（Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.）；Tryangle Inc.；神奈川县的横须贺市（Yokosuka City, Kanagawa Prefecture）。

型旅游船“Sea Friend Zero”轮，如图 3-23 所示。这是世界上首次成功演示小型旅游船的完全自主导航，这项技术的应用有望使小型船舶用于支持近海岛屿居民的日常生活，缓解日本沿岸船舶运营商的短缺。

该旅游船配备了各种传感器，包括三个使用图像分析检测小船的摄像头、一个全球导航卫星系统和一个自动识别系统。使用传感器数据检测其他船只或障碍物的系统会处理这些信息，并将其发送给完全自主的航行系统，该系统会自动绕过障碍物进行航行，还可以处理靠泊和离泊，控制室中的油门杆可以自动进行重复的增量移动。



(a) “Sea Friend Zero” 轮



(b) 控制室中的油门杆



(c) 探测障碍物的摄像机

图 3-23 完全自主航行@横须贺的猿岛

示范测试 II:

2022 年 1 月 17 日，智能渡轮项目联合体¹在北九州市的新门司（Shinmoji, Kitakyushu City）到伊予海（Iyonada Sea）240km 路线上，成功完成了世界上第一艘大型汽车渡轮——“Soleil”轮（船长 222m）的完全自主航行系统的示范测试，耗时约 7 小时。该系统通过转弯和倒车运动实现了在港口的自主靠泊和离泊，并实现了高达 26 节的高速航行。先进的全自主操作系统采用了包括使用红外摄像头检测障碍物的传感器、远程发动机监控系统和复杂的网络安全系统等新技术，如图 3-24 所示，朝着更安全、更高效的沿海航运迈出了重要一步。

新建造的“Soleil”轮于 2021 年 7 月 1 日开始在船员的陪伴下航行，为开发完全自主的船舶航行系统收集数据。三菱造船有限公司（Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd.）在开发能够实现自动化和节省船员劳动力的航行支持系统方面具有丰富的经验，负责整个系统的集成；新日本轮渡有限公司（Shin Nihonkai Ferry Co., Ltd.）负责调试船舶的系统要求并进行演示测试。

¹ 联合体 5，成员包括：三菱重工（Mitsubishi Heavy Industries, MHI）集团公司所属三菱造船有限公司（Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd.）；新日本轮渡有限公司（Shin Nihonkai Ferry Co., Ltd.）。



(a) “Soleil”轮



(b) 自动靠泊/离泊系统监视（左）和航行监视（右）



(c) 红外摄像机探测障碍物和其他船舶

图 3-24 “Soleil”轮的示范测试

示范测试 III:

2022 年 1 月 24 日至 25 日，集装箱船“Mikage”轮（总吨 749）从福井县的敦贺（Tsuruga, Fukui Prefecture）航行了 270km 到达鸟取县的境港（Sakaiminato, Tottori Prefecture）¹。这是全球范围内现役集装箱船首次使用完全自主航行，该测试还标志着无人机首次用于系泊作业。为该项目开发的完全自主航行系统、无人机辅助系泊操作以及用于岸基监测的增强现实（AR）航行系统，如图 3-25 所示，预计将有助于提高船舶安全并减少船员工作量。

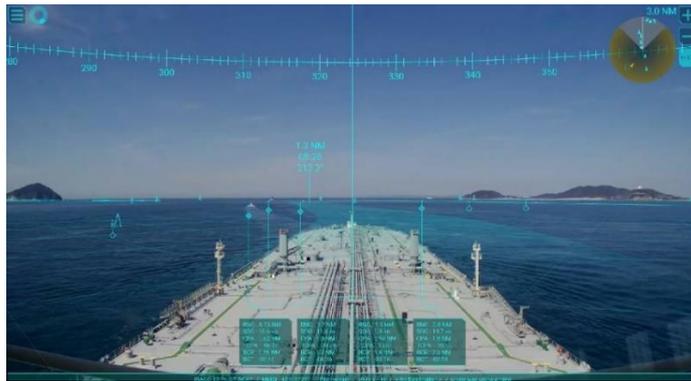


(a) “Mikage”轮



(b) 无人机用于系泊作业

¹ 联合体 2——以沿岸集装箱船和汽车渡轮为基础的无人技术验证，成员包括：Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (leader); A.L.I. Technologies Inc.; Furuno Electric Co., Ltd.; Imoto Corporation; Imoto Lines, Ltd.; Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.; MOL Ferry Co., Ltd.; MOL Marine & Engineering Co., Ltd.



(c) 船端/岸基监控屏幕上显示的 AR 航行系统

图 3-25 “Mikage”轮的示范测试

示范测试 IV:

2022 年 2 月 6 日至 7 日，大型汽车渡轮“Sunflower Shiretoko”轮（船长 190m，总吨 11,410）在大约 18 个小时内航行了 750km，从北海道的苫小牧市（Tomakomai, Hokkaido）到茨城县的大洗町（Oarai, Ibaraki Prefecture），这标志着世界上在距离和时间上最长的完全自主航行得以成功演示¹。为该项目开发的技术包括一个自动靠泊和离泊系统以及一个用于岸基监测的 AR 航行系统，如图 3-26 所示，这将有助于提高安全性并减少船员的工作量。



(a) “Sunflower Shiretoko”轮

¹ 联合体 2——以沿岸集装箱船和汽车渡轮为基础的无人技术验证，成员包括：Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (leader); A.L.I. Technologies Inc.; Furuno Electric Co., Ltd.; Imoto Corporation; Imoto Lines, Ltd.; Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.; MOL Ferry Co., Ltd.; MOL Marine & Engineering Co., Ltd.



(b) 船端/岸基监控屏幕上显示的 AR 航行系统

图 3-26 “Sunflower Shiretoko”轮的示范测试

示范测试 V:

2022 年 2 月 26 日至 3 月 1 日，设计自主航运的未来（Designing the Future of Full Autonomous Ship, DFFAS）联合体¹，使用集装箱船“SUZAKU”轮（船长 95 米，总吨 749）成功地在东京湾（Tokyo Bay）和伊势湾（Ise Bay）之间进行了 790km 往返示范测试，如图 3-27 所示，首次展示了在拥挤海域²作业的集装箱船使用全面的完全自主航行系统，包括设在千叶县（Chiba）的船队运营中心（Fleet Operation Center, FOC）的远程控制和岸基支持。



(a) “SUZAKU”轮

¹ 联合体 1，成员包括：Japan Marine Science Inc.；以及 Bemac Corporation, Eizo Corporation, Furuno Electric Co., Ltd., Honda Heavy Industries Co., Ltd., Ikous Corporation, Japan Hamworthy, Co. Ltd., Japan Marine United Corporation, Japan Radio Co., Ltd., Kinkai Yusen Kaisha Ltd., Mitsubishi Research Institute, Inc., Mitsui Sumitomo Insurance Company, Ltd., Miura Co., Ltd., MTI Ltd., Nabtesco Corporation, Nihon Shipyard Co., Ltd., Nippon Yusen Kabushiki Kaisha, NTT Communications Corporation, NTT Corporation, NTT Docomo, Inc., NX Shipping Co., Ltd., Pluszero Co., Ltd., Sanwa Dock Co., Ltd., Sky Perfect JSAT Corporation, Sunflame Corp., Suzuyo Marine Co., Ltd., Tokio Marine & Nichido Fire Insurance Co., Ltd., Tokyo Keiki Inc., Weathernews Inc., and YDK Technologies Co., Ltd.

² 每天大约有 500 艘船舶通过东京湾。



(b) “SUZAKU” 轮驾驶室——手柄下的开关将控制权转移到 FOC



(c) 千叶县 FOC 的远程控制

图 3-27 DFFAS 示范测试

以全面实施为目标，DFFAS 联合体开发了一个全面的完全自主航行系统，如图 3-28 所示，从设计阶段就进行了反复的风险评估。该系统有三个主要组成部分：

- (1) 控制船舶自主功能的船端航行系统；
- (2) 从岸上监测和支持船舶的岸基系统，包括远程处理功能；
- (3) 能够实现船-岸之间稳定通信的信息和通信系统。

岸基 FOC 允许在海上完全自主航行，同时从岸基跟踪船员通常执行的功能，包括监测天气、海况、交通流量和船舶设备。紧急情况下，系统可以从 FOC 切换到远程操作，确保整个系统安全和稳定。

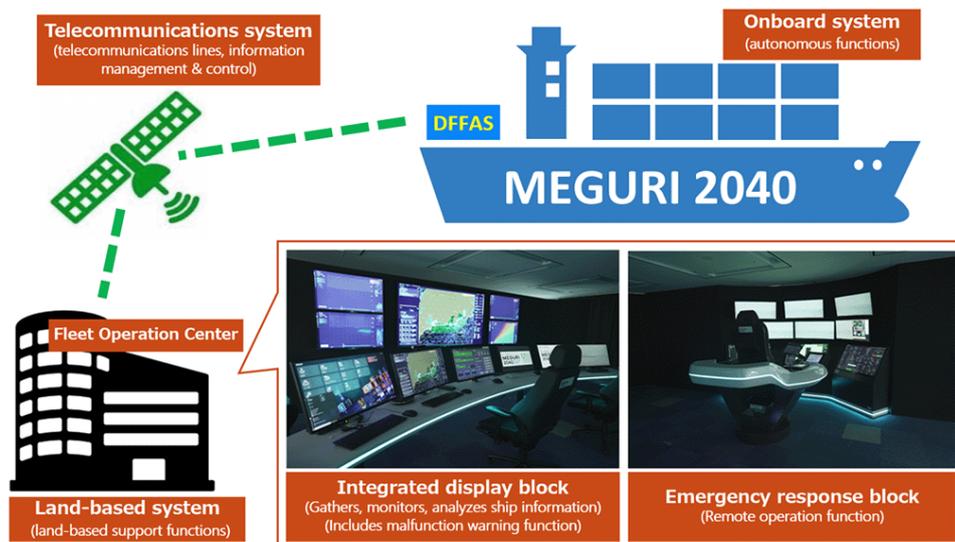


图 3-28 DFFAS 完全自主航行系统概览

示范测试 VI:

2022 年 3 月 14 日，水陆两栖无人驾驶技术开发联合体¹在群马县（Gunma Prefecture）的 Yanba 成功进行了世界上第一次完全自主水陆两栖船（船长 11.83 米，总吨 11）的演示试验，如图 3-29 所示，该船航行了大约 2km，历时约 30min。为了沿着计划路线高精度航行，自主航行系统使用准天顶卫星和光纤陀螺仪作为位置校正传感器，还配备了可见光摄像机、激光雷达（Light Detection And Ranging, LIDAR）以及使用水下声波的声纳等多个传感器，用于自动探测和避开障碍物。定位信息和来自这些传感器的信息被输入到 Autoware 系统²，该系统旨在同时控制船舶和陆地车辆的手柄和操纵杆，实现船舶和车辆操作之间的平稳、自动切换。

¹ 联合体 3，成员包括：ITbook Holdings Co., Ltd. (leader); ABIT Corporation; Japan Amphibious Vehicle Association; Naganohara Town (Gunma Prefecture); Saitama Institute of Technology。

² 一种改进的船舶自动化操作系统，并应用人工智能学习来实现自动化导航技术。



图 3-29 水陆两栖车船的示范测试

截止 2022 年，MEGURI 2040 项目第一阶段已针对自主船舶开展了 6 次较为深入的试验，涵盖自主避碰、自动靠离泊、自主导航、岸基控制中心（Shore Control Centre, SCC）应急监测与运营、路径跟踪等内容，完成了六项探索性自主航行实验，验证了自主靠离泊、自主避碰、目标视觉图像处理等关键技术长航程中应用的可行性。这是全世界涵盖船种最多的自主航行研发项目，创造了多项世界之最。

IV. MEGURI 2040 项目第二阶段

以第一阶段取得的进展为基础，MEGURI2040 项目在 2023 年 7 月进入第二阶段，计划 2025 年前完成标准规范和成果推广应用等多项任务。在第二阶段，由 51 家日本公司组成的 DFFAS+（Designing the Future of Fully Autonomous Ships Plus）联盟将在日本财团的监督下携手完成四項工作，包括示范测试、已开发技术的标准化、强化开发过程基础设施和社会应用¹。作为 MEGURI2040 第二阶段项目的一部分，2023 年 11 月，日本川崎汽船（Kawasaki Kinkai Kisen, K LINE）宣布，成功完成了滚装船自主航行系统的海上实证试验。此次参与试验的是 K LINE 子公司川崎近海汽船运营的 11413 总吨大型滚装船“Hokuren Maru No.2”号。在安装了自主航行系统，该船在现有的日立港与钏路港之间约 1600 公里的往返航线上进行了概念验证（PoC），从 2023 年 10 月 1 日起完成了三个航次。经验证，在沿海航行中自主航行系统的识别、分析和决策都执行得非常准确。在实验航线上，自主航行系统在维持船员正常航行任务的同时进行导航，在需要避让的情况下，自主航行系统提

¹ https://www.nyk.com/english/news/2023/20230721_1.html.

出避让路线并控制转向，以安全避让其他船只。在设定为操作设计领域（ODD）的海域，自主航行系统的平均系统运行率达到约 96%。K LINE 在 MEGURI2040 项目第二阶段主导了船载自主航行系统（目标探测、规划和驱动）改装的海上实证试验，与子公司川崎近海汽船、日本无线和 YDK Technologies 合作开发自主航行系统。接下来，K LINE 将利用海上实证试验获得的数据，结合其在安全运营方面的专业知识，进一步改进自主航行系统。

3.7 中国

1. 国家战略规划

2017 年 7 月 8 日，中国政府国务院发布了关于《新一代人工智能发展规划》的通知（国发〔2017〕35 号）¹，提出了抢抓人工智能发展的重大战略机遇，构筑中国人工智能发展的先发优势，加快建设创新型国家和世界科技强国。

2018 年 12 月，工业和信息化部、交通运输部、国防科工局等三部委联合编制了《智能船舶发展行动计划（2019-2021 年）》（工信部联装〔2018〕288 号）²，就大力发展智能船舶，提出了“经过三年努力，形成我国智能船舶发展顶层规划，初步建立智能船舶规范标准体系，突破航行态势智能感知、自动靠离泊等核心技术，完成相关重点智能设备系统研制，实现远程遥控、自主航行等功能的典型场景试点示范，扩大典型智能船舶“一个平台+N 个智能应用”的示范推广，初步形成智能船舶虚实结合、岸海一体的综合测试与验证能力，保持我国智能船舶发展与世界先进水平同步”的行动目标，并明确了九大重点任务，如图 3-30 所示。

¹ http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.

²

https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/zbgy/art/2020/art_acda17196a0846539786203a6b448847.html.

https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcjd/art/2020/art_0971aa560a67445ebf138e077acf57e7.html.



图 3-30 智能船舶发展行动计划（2019-2021 年）的重点任务

为深入落实国务院《新一代人工智能发展规划》精神，加快现代信息、人工智能等高新技术与航运要素的深度融合，培育和发展智能航运新业态，2019 年 5 月 9 日，交通运输部、中央网信办、国家发展改革委、教育部、科技部、工业和信息化部、财政部等七部委联合印发了《智能航运发展指导意见》（交海发〔2019〕66 号）¹，指出了智能航运包括五方面基本要素（如图 3-31 所示）²，提出了智能航运

¹ https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/haishi/202006/t20200630_3319468.html.

https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-11/19/content_5456289.htm.

² 智能航运是传统航运要素与现代信息、通信、传感和人工智能等高新技术深度融合形成的现代航运新业态，包括智能船舶、智能港口、智能航行保障、智能航运服务和智能航运监管五方面基本要素。

发展四阶段目标（如图 3-32 所示）¹和十大重点任务（如图 3-33 所示）²，成为未来 30 年智能航运高质量创新发展的纲领性文件。

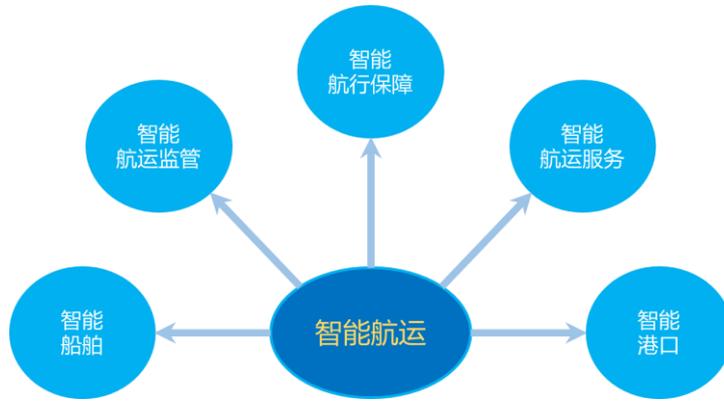


图 3-31 智能航运五方面基本要素

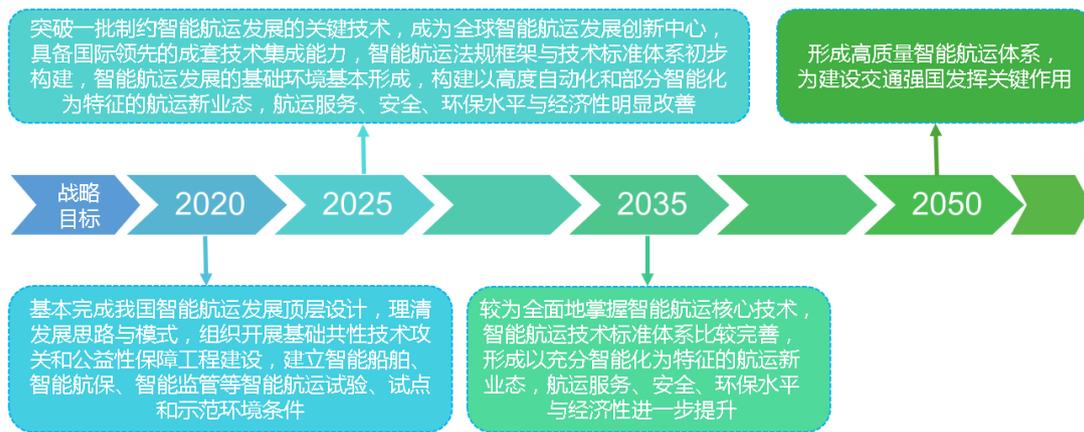


图 3-32 中国智能航运发展的四阶段目标

¹ 到 2020 年年底，中国将基本完成智能航运发展顶层设计；到 2025 年，突破一批制约智能航运发展的关键技术，成为全球智能航运发展创新中心；到 2035 年，较为全面地掌握智能航运核心技术，智能航运技术标准体系比较完善；到 2050 年，形成高质量智能航运体系，为建设交通强国发挥关键作用。

² 加强顶层设计和系统谋划；提升港口码头和航运基础设施的信息化智能化水平；推进智能船舶技术应用；加强智能航运技术创新；加快船舶智能航行保障体系建设；提升港口及其重大装备和智能航运仪器、设备、系统的设计与建（制）造能力；培育智能航运服务新业务新模式；防范智能航运安全风险；加强智能航运法规标准与监管机制建设；加强智能航运人才培养。



图 3-33 中国智能航运发展的十大重点任务

2019年7月，交通运输部发布了《数字交通发展规划纲要》（交规划发〔2019〕89号）¹，提出“促进先进信息技术与交通运输深度融合，以‘数据链’为主线，构建数字化的采集体系、网络化的传输体系和智能化的应用体系，加快交通运输信息化向数字化、网络化、智能化发展，为交通强国建设提供支撑”，预示着中国正在加快规划部署智能航运未来发展。

II. 重点重大项目

为落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》、《“十三五”国家科技创新规划》以及《“十三五”交通领域科技创新专项规划》等提出的任务，推动交通运输科技进步和加快形成安全、便捷、高效、绿色的现代综合交通运输体系，“十三五”国家重点研发计划于2018年启动实施了“综合交通运输与智能交通”重点专项²。2020年，“十四五”国家重点研发计划又进一步启动实施了“交通载运装备与智能交通技术”重点专项。

“综合交通运输与智能交通”重点专项总体目标是：解决我国综合交通运输系统存在的运行监管能力弱、多方式协同运行效率低、运输安全主动防控能力差、集成服务不足等突出问题，重点突破综合交通运输基础科学难题和重大共性关键技术，开展典型应用示范。大幅增强综合交通运输协同运行和智能监管能力，全面提升我国综合交通运输的综合化、智能化水平和服务品质。到2022年，形成新一代

¹ https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/28/content_5415971.htm.

² <https://www.htrdc.com/gjszx/znjt/index.shtml>.

综合交通运输与智能交通技术体系，为实施国家重大发展战略，提供高效、可持续的综合交通运输系统支撑。本专项遵循“基础研究、重大共性关键技术、典型应用示范”的全链条创新设计、一体化组织实施原则，按照交通基础设施智能化、载运工具智能协同、交通运行监管与协调、大型交通枢纽协同运行、多方式综合运输一体化、综合运输安全风险防控与应急救援等 6 个创新链（技术方向），共部署 15 个重点研究任务。专项实施周期为 5 年（2018-2022 年）。

在智能航运领域，国家重点研发计划目前已立项支持的重点研究项目包括：

（1）基于船岸协同的船舶智能航行与控制关键技术研究

2019 年 3 月，科技部批准立项了我国智能航运领域首个国家级项目——国家重点研发计划“综合交通运输与智能交通”重点专项项目“基于船岸协同的船舶智能航行与控制关键技术研究”¹，由交通运输部水运科学研究院牵头，联合大连海事大学、武汉理工大学、中国船级社等 20 家单位共同承担。2019 年 12 月 12 日，随着智慧航海（青岛）科技有限公司与青岛造船厂有限公司签订建造合同，项目科研成果集中应用示范船——300 TEU 级智能集装箱船“智飞”号正式启动。2021 年 9 月 14 日，“智飞”号在青岛女岛海区顺利开展海上测试²，如图 3-34 所示。



图 3-34 “智飞”号

¹ <https://fuwu.most.gov.cn/html/jgcx/jhxmgs/20190318/3104.html>.

² <http://www.brinav.com/pages/News/NewsDetails.aspx?ID=2024>.

2022年4月22日，“智飞”号在青岛港正式交付和投入运营¹。该轮在青岛港至日照港航线开展集装箱货物过驳营运，如图3-35所示，航线内包含亚洲首个真正意义上的全自动化集装箱码头——青岛前湾港区集装箱码头，探索船舶智能航行与全自动化无人码头的全过程深度融合应用。截止2023年6月，“智飞”号累计运箱量逾80,000TEU，累计航程25,000海里，累计航时超过3000小时，其中辅助驾驶航程超过20,000海里，遥控驾驶/自主航行累计里程超过1200海里，自主决策生成建议超过80万次，遥控/自动靠离泊400余次²。

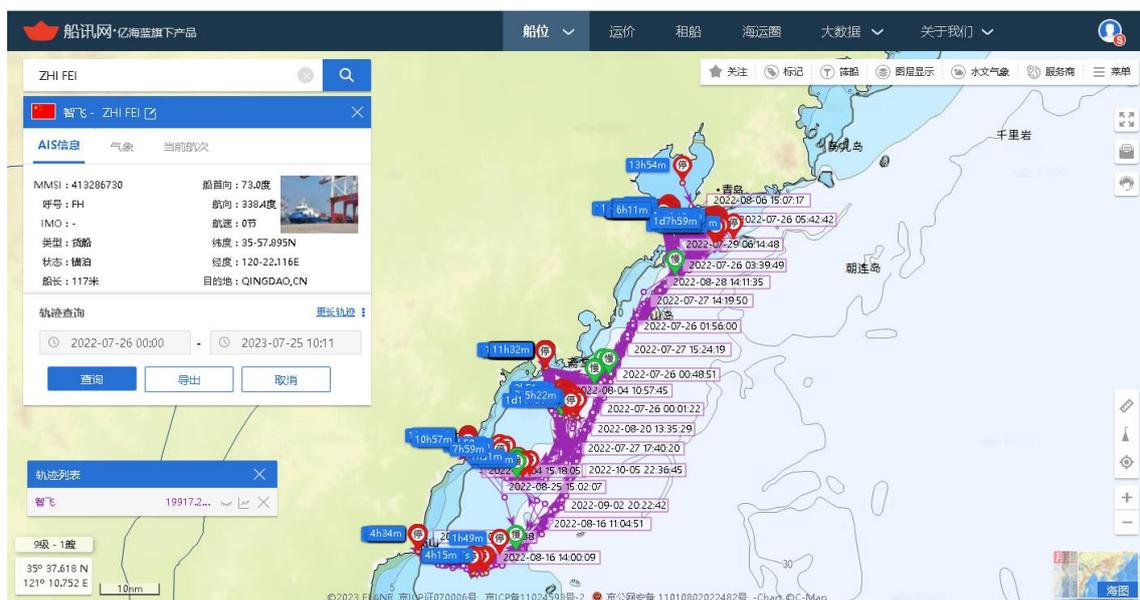


图 3-35 2022 年 7 月至 2023 年 7 月“智飞”号营运轨迹

“智飞”号的实践应用，使我国成为第一批开发应用综合性船舶自主航行系统的国家和最早自主研发设计建造自主船舶的国家之一。该船对辅助航行、循迹航行、远程驾驶、自动靠离泊和遥控靠离泊技术都进行了有效测试和验证，并通过测试数据持续优化自身技术和保持技术先进性。“智飞”号应用的关键技术包括：基于物联网和多传感器信息融合的全船感知技术；基于大数据、云计算及智能信息处理的航行决策控制技术；基于船岸联网、边缘计算的船岸一体化智能信息服务技术。该

¹ “智飞”号是我国首艘具有智能航行能力的集装箱运输商船，总长约110m，型宽约15m，型深10m，设计航速为12kn。该船将安装我国自主研发的智能航行系统，具有人工驾驶、远程遥控驾驶和无人自主航行三种驾驶模式，能够实现航行环境智能感知认知、自主循迹、航线自主规划、智能避碰、自动靠离泊和远程遥控驾驶。通过包括5G等多网多模通信系统，该轮可以与港口、航运、海事、航保等岸基生产、服务、调度控制、监管等机构、设施实现协同。

² <https://mp.weixin.qq.com/s/a1S62jRoLEL115ONNWUJqA>.

系统能够在离泊、出港、航线优化、锚泊、进港、靠泊的全部过程中实现智能控制。与此同时，国家重点研发计划“基于船岸协同的船舶智能航行与控制关键技术研究”重点专项项目取得的重要成果包括：船舶智能航行协同理论和船舶智能航行与控制系统构建指南；沿海船舶智能航行关键技术与系统；内河船舶智能航行关键技术与系统；智能航行支持保障技术与系统；船舶智能航行技术测试与评价体系¹²。

(2) 大连海事大学“智能研究与实训两用船”

2019年7月，大连海事大学“智能研究与实训两用船”建造项目建议书获国家发展改革委批复。2020年6月，该船建造项目可行性研究报告亦获发展改革委批复。2021年11月，交通运输部正式批复了大连海事大学“智能研究与实训两用船”建造项目初步设计。2023年5月18日，该船在大连中远海运重工有限公司启动建造，建造工程概算为12743万元³。2023年12月25日，该船正式下水，预计2024年6月交付运营。

如图3-36所示，该船采用吊舱全电力推进方式，设计航区为无限航区，设计排水量1420吨，设计总长69.83米，型宽10.9米，型深5.0米，吃水3.5米，设计航速18.0节，服务航速17.5节，续航力2500海里，自持力6天。针对智能船舶研究与海上实训的需求，综合考虑了耐波性、稳性、总纵强度和经济性方面的因素，该船配置了智能航行、智能运维、智能能效管理、智能船体、信息集成等平台 and 先进的智能教学设备，以及先进的船舶智能系统和智能实训系统，满足智能船舶研究与教学实训需求，建成后具备在有人条件下实现自主航行的能力，智能化水平达到国际先进。



图 3-36 大连海事大学智能研究与实训两用船效果图

¹ <https://www.wti.ac.cn/wti/xwdt/5794.jhtml>.

² <http://www.zgsyb.com/news.html?aid=621417>.

³ <https://news.dlmu.edu.cn/info/1021/42197.htm>.

(3) 基于大数据驱动的超大型集装箱码头智能化作业管控技术

2019年12月，科技部批准立项了国家重点研发计划“网络协同制造和智能工厂”重点专项项目“基于大数据驱动的超大型集装箱码头智能化作业管控技术”¹，由上海国际港务（集团）股份有限公司（上港集团）牵头，联合上海交通大学、同济大学、复旦大学、西安交通大学、上海海事大学、上海海勃物流软件有限公司、青岛港国际股份有限公司、青岛港前湾集装箱码头有限责任公司、中京复电（上海）电子科技有限公司等9家单位共同承担。

该项目将围绕超大型集装箱码头作业协同优化与智能决策方法这一重要科学问题，聚焦作业协同智能规划、大数据分析与应用服务、智能管控系统等三方面关键技术，采用“理论模型研究-关键技术突破-支撑系统开发-系统集成应用”的技术路线，开展业务驱动的超大型集装箱码头智能化作业规划与决策技术、云-端融合的超大型集装箱码头作业大数据应用技术、基于多维度全流程仿真的超大型集装箱码头数字孪生系统、基于新一代通讯技术的远程可视化实时在线运维管理系统、基于全域融合架构的超大型自动化集装箱码头智能操作系统五项研究工作，为后续建设安全可靠、智能高效的自动化码头提供核心技术支撑。

(4) 多式联运智能集成技术与装备开发

2020年10月，由大连海事大学牵头承担的国家重点研发计划“综合交通运输与智能交通”重点专项“多式联运智能集成技术与装备开发”项目启动暨实施方案论证会在大连海事大学顺利召开²³。

该项目的实施将针对水路、公路、铁路、航空等多种运输方式之间资源信息不共享、联运组织效率低、方式衔接不畅通等多式联运痛点问题，从顶层设计支撑“一单到底，一个承运人”模式下多方协同、信息互通、智能转运的多式联运规则、装备系统设计标准和服务规范，打破不同类型运输方式之间的信息壁垒，实现信息共享。项目将同时研制具有自主知识产权的多式联运智能运载单元与自动化接卸转运智能装备，并依托国家多式联运示范工程，建成适应多模态多式联运场景的智能

¹ <https://www.163.com/dy/article/FKT0TQ150519CUIJ.html>.

² https://www.most.gov.cn/dfkj/ln/zxdt/202011/t20201127_169782.html.

³ <http://bdmt.cicts-dmu.com/?news/191>.

调度管理集成应用系统，编制完成多式联运相关技术标准，推动我国多式联运行业发展与国际接轨。

(5) 大型集装箱港口智能绿色交通系统关键技术与示范

2021年12月，科技部批准立项了“十三五”国家重点研发计划“综合交通运输与智能交通”重点专项定向项目“大型集装箱港口智能绿色交通系统关键技术与示范”¹²，由上海国际港务（集团）股份有限公司（上港集团）牵头，联合交通运输部公路科学研究院、清华大学、同济大学、武汉理工大学、北京邮电大学、上海汽车集团股份有限公司（上汽集团）、中国移动通信集团上海有限公司、上海海勃物流软件有限公司、上海港复兴船务有限公司等9家单位共同承担。

该项目旨在实现大型集装箱港口交通系统多种载运工具，全时、全域、全流程智能绿色协同运营。项目将创新港口交通系统智能绿色交互技术模式及构型，构建数字化基础设施，突破成套共性关键技术，研发一体化智能管控平台，重塑智能绿色交通技术体系，实现港口智能、绿色、高效运行。

(6) 水运交通载运装备综合实验与系统试验验证技术

2023年5月，科技部批准立项了“十四五”国家重点研发计划“交通载运装备与智能交通技术”重点专项定向项目“水运交通载运装备综合实验与系统试验验证技术”，由中国船级社作为牵头单位，联合交通运输部水运科学研究所、武汉大学、北京数码易知科技发展有限责任公司等8家单位共同承担。主要面向船舶智能、绿色、安全试验验证需求，开展顶层架构及体系研究，攻克船舶综合实验与系统试验验证关键技术，提升我国船舶综合实验与系统试验验证能力，服务“交通强国”等国家战略。

¹ 2020年11月2日，科技部发布了国家重点研发计划“综合交通运输与智能交通”重点专项2020年度立项项目6项，包括机场飞行区设施智能监测与互联、智能新能源汽车车载控制基础软硬件系统关键技术研究、路车智能融合控制与安全保障关键技术及应用、自主式交通复杂系统体系架构研究、基于城市高强度出行的道路空间组织关键技术、新能源汽车运行安全性能检验技术与装备研究（2020YFB1600100~2020YFB1600600），本年度未设立智能航运领域的项目。

http://www.360doc.com/content/20/1223/14/628497_953037442.shtml.

http://zhongsuoip.cn/sce_ninfo.aspx?id=39838.

2

<http://www.portcontainer.com/newsAction.do?command=viewData&categoryId=8a9287fa300b0b0001300b59245f0013&dataId=e563d28481c6a29f0181d1ff822f000f>.

III. 行业自愿行动/应用示范

(1) 无人货物运输船开发联盟

2017年6月28日，国内首个无人船联盟“无人货物运输船开发联盟”（Unmanned Cargo Ship Development Alliance）正式成立，包括海航科技集团（HNA Technology & Logistics Group）、中国船级社、美国船级社、中国舰船研究设计中心（China Ship Development and Design Center）、沪东中华造船集团有限公司（Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co., Ltd.）、中国船舶及海洋工程设计院（708所，708 Research Institute of China State Shipbuilding Corporation (CSSC)）、罗尔斯-罗伊斯船舶（Rolls-Royce Marine）、上海船用柴油机研究所（711所，711 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation (CSIC)）、瓦锡兰中国有限公司（Wärtsilä China）等9家创始成员单位¹，此后又进一步新增加了7家联盟成员：ABB（中国）有限公司、北京中美隆英风险管理咨询有限公司、南京中船绿洲机器有限公司、上海航天测控通信研究所、施耐德电气（中国）有限公司、上海德瑞斯华海船用设备有限公司、交通运输部水运科学研究院²。

(2) 无人船舶系统及设备关键技术交通运输行业重点实验室

2017年7月6日，由中国船舶工业集团公司、大连海事大学、中国船级社、交通运输部水运科学研究院共建的“无人船技术与系统联合重点实验室”正式揭牌³。同年12月14日，在实验室四家共建单位的基础上，大连海事大学邀请中国远洋海运集团有限公司、中国交通通信信息中心共同参与，成立“无人驾驶船舶技术与系统协同创新研究院”，通过汇集各方优势资源，努力促进相关核心关键技术的突破与应用⁴。2020年2月，交通运输部印发《关于公布无人船舶系统及设备关键技术交通运输行业重点实验室认定结果的通知》（交科技函〔2020〕83号），由大连海事大学牵头联合中国船级社、交通运输部水运科学研究院共同组建的“无人船舶系统及设备关键技术交通运输行业重点实验室”（以下简称“无人船行业重点实验室”）获得认定，成为无人船舶领域首个行业重点科研平台⁵。

¹ https://www.sohu.com/a/153227962_693763.

² https://www.sohu.com/a/205604902_775378.

³ <https://news.dlmu.edu.cn/info/1021/4058.htm>.

⁴ <https://news.dlmu.edu.cn/info/1002/5216.htm>.

⁵ <https://news.dlmu.edu.cn/info/1021/13335.htm>.

(3) 珠海万山无人船海上测试场

2017年12月，珠海市政府、中国船级社、武汉理工大学和珠海云洲智能科技有限公司四方共同签署了合作备忘录，在珠海万山打造亚洲首个无人船海上测试场¹。2018年12月，中国船级社为万山无人船海上测试场颁发了测试场服务供应方认可证书，标志着该测试场正式启用。万山海上测试场由南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）牵头建设，并获批广东省自然资源厅广东省海洋经济发展（海洋六大产业）专项，可满足无人船相关专业测试、检验与认证服务的发展需求。

珠海万山无人船海上测试场位于万山群岛，如图3-37所示，是全球最大、亚洲首个无人船海上测试场，测试场北区海域21.6平方公里、南区海域750平方公里，测试基地小万山岛面积5.7平方公里，是以无人船艇为核心的综合性海上测试场，除了面向无人船艇、自主船舶，还可以满足通信导航、声学设备、两栖装备等各类海洋装备和仪器的测试需要。



图 3-37 万山无人船海上测试场²

万山海上测试场已先后保障了大规模无人艇集群试验、无人移动地磁日变站系统试验、水面无人化卫星定标试验、无人艇重磁测量试验、空天地海岛礁一体化测量试验等，并取得一系列重大测试成果。着眼未来，万山海上测试场将有效促进无人船行业发展，有利于无人船逐步取代部分常态化观测、监测、支持技术，实施

¹ <http://aoc.ouc.edu.cn/81/75/c9828a229749/pagem.psp>.

² <http://www.yunzhou-tech.com/info/13953.html>.

更为先进的海洋调测、海洋工程，不仅对节约人工成本、提高安全性方面具有颠覆传统作业模式的革新意义，更对“海洋强国”战略具有深远意义。

(4) 全球首艘智能无人系统母船“珠海云”号

2021年7月20日，隶属于南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）（简称“南方海洋实验室”）的全球首艘智能无人系统科考母船“珠海云”号开工建造，该船由中国船舶集团旗下701所总承包，中国船舶集团704所提供自主航行系统、推进系统、科考支撑装备、空调系统等一系列装备，黄埔文冲建造¹。2022年5月18日，“珠海云”号在广州下水²。2023年1月12日，“珠海云”号在圆满完成各项海试目标任务后，顺利入泊母港——珠海高栏港三一重工2号码头，如图3-38所示，标志着“珠海云”号正式交付使用。



图 3-38 “珠海云”号³

“珠海云”号是南方海洋实验室“智能敏捷海洋立体观测系统”（ISOOS）的水面支持平台，其宽敞的甲板可搭载数十台配置不同观测仪器的空、海、潜无人系统装备，能在目标海区批量化布放，并进行面向任务的自适应组网，实现对特定目标的立体动态观测。此后，“珠海云”号将在国家重大科技专项的支持下不断完善相关配套，边建设边使用，执行海洋测绘、海洋观测、海上巡检及部分调查取样等综合性海洋调查任务。

¹ <http://www.cssc.net.cn/n5/n21/c20611/content.html>.

² http://www.zhuhai-hitech.gov.cn/gxxw/mtkt/content/post_3477758.html.

³ <https://www.sml-zhuhai.cn/info/161.html>.

“珠海云”号总长 88.5 米，型宽 14.0 米，型深 6.1 米，设计吃水 3.7 米，设计排水量约 2000 吨，最大航速 18 节，经济航速 13 节，入级 CCS，拥有“i-Ship(No, R1, M, I)”智能船级符号，所配备的重要设备国产化率高，动力系统、推进系统、智能系统、调查作业支持系统等均为中国制造，核心技术自主可控。

“珠海云”号在硬件上配备了雷达、船舶自动识别系统（由 VHF 通信机、GPS 定位仪与船载显示器及传感器等相连接的通信控制器组成，能自动交换船位、航速、航向、船名、呼号等信息）、视觉传感器等传感设备实时感知航行时的内外环境。在软件上，“珠海云”号基于传感器信息反馈的自注意力机制船舶目标识别方法，并通过现有主流算法和人工势场法在航线智能优化方面的优势，设计出海上船舶航线智能化算法。

“珠海云”号具备自动避障、规划路径自主操作、自主航行性能，在海洋变幻莫测的自然环境下准确预测看似毫无规则的动作路径，分析并选择最佳航路。此外，“珠海云”还配备有船舶远程遥控驾驶系统，主要由岸端信息遥测系统、岸端远程操控系统和船端遥控指令响应系统构成，如图 3-39 所示，驾驶员可在岸基实时遥控船舶，或在运控中心提前设定艏向、航速、航迹点等，为“珠海云”提前规划出一条安全航路。

“智能敏捷海洋立体观测系统”项目由南方海洋实验室和云洲智能共同参与，以机动化智慧母船为载体，通过空、海、潜无人平台的跨域协同组网，实现对目标区域的快速、同步、立体观测，如图 3-40 所示，是一种全新的海洋观测模式，具有重要的科学意义和广阔的应用前景。

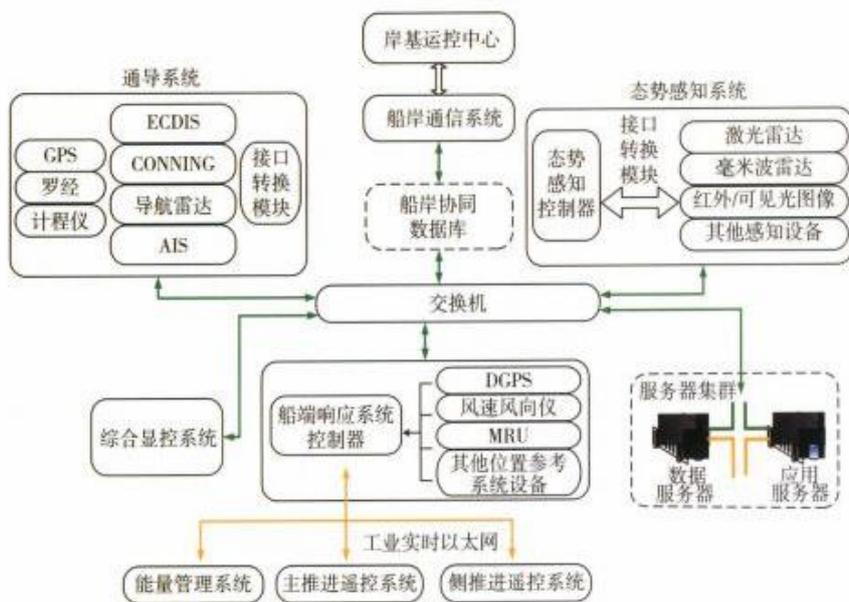


图 3-39 “珠海云”号无人驾驶系统示意图

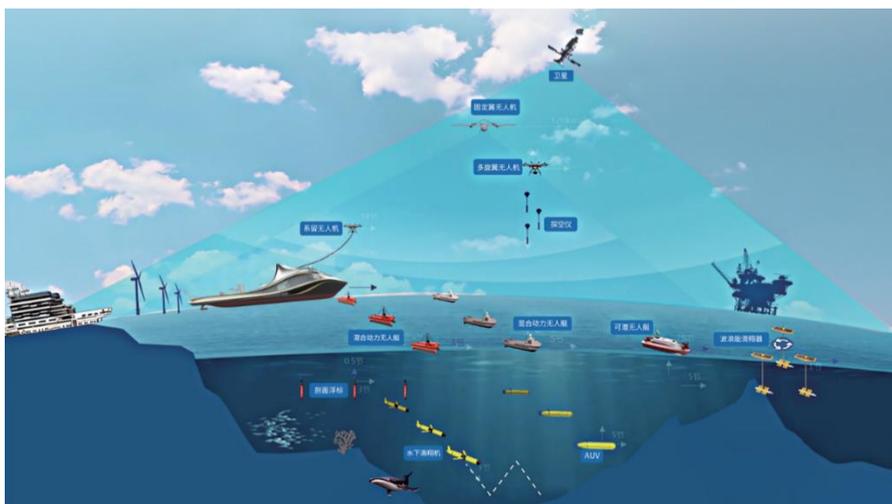


图 3-40 智能敏捷海洋立体观测系统¹

(5) 中国首艘数字孪生智能试验船“海豚1”号

2023年6月30日，蓬莱中柏京鲁船业公司为青岛哈船智控科技有限责任公司建造的科研辅助船“海豚1”号（如图3-41）交付，首航从蓬莱驶往青岛，沿途开展船舶智能设备性能验证、环境感知、障碍避碰及航路重规划、数字孪生系统虚实同步交互等多项实验²。“海豚1”号是在工信部、科技部和青岛西海岸新区、古镇口核心区等相关科研项目支持下，由哈尔滨工程大学智能科学与工程学院科研团

¹ <http://www.yunzhou-tech.com/info/13953.html>.

² <http://www.xinhuanet.com/tech/20230703/95c38294b33346ff8d75e0bd99d258d9/c.html>.

队联合校外多家业内优势单位和校内多个涉船海学院自主研发，船长 25 米，排水量 100 吨，安装了哈工程研发团队最新研制的我国首套全景式 128 线/2 海里激光雷达、360 度全景红外视觉系统、360 度高视距全景可见光视觉系统、声号自主识别等多套智能感知设备，可在 2 海里距离内精确探测水面以上 0.5 米微小目标，并集成船载固态雷达、海浪监测设备等通导设备，打造了船舶航行态势智能感知系统，实现了船舶总体、动力、电力、推进、导航、操控、感知等一体化系统的智能化水平提升。该船是我国首艘数字孪生智能科研试验船，创造了多源信息融合协同探测、智能感知及环境重构、船舶与海洋环境数字孪生三个方面国内第一，可实现全天候、全方位为船舶提供航行环境的三维重构信息，保证该船在雨天、雾天、黑夜等不利条件下航行时仍能耳聪目明、乘风破浪。



图 3-41 “海豚 1”号

该船还装备了哈工程研发的我国第一套船舶动力定位（DP）系统，可以让船在 4-5 级海况下纹丝不动地定在波涛汹涌的大海中完成相关作业任务；还装备了哈工程研发的我国第一套光纤惯导系统、北斗船用导航系统、水下超短基线定位系统，为水下无人潜器提供水下和水面导航定位。“海豚 1”既可远程操控驾驶，又可实现无人驾驶自主航行。该船装备了我国第一套船舶数字孪生系统，首次建立了船舶数字建模、模型迭代进化、虚实实时交互、在线离线共生、船岸镜像等船舶数字孪生技术体系，操作人员在千里之外的哈尔滨智能船远程操控中心可对其进行远程操控，并实时精准为船舶发动机、推进系统、导航系统等各“器官”进行健康体检¹。

¹ <https://mp.weixin.qq.com/s/Jp7mAkDjLZv8eyM93E95-A>.

3.8 其他国家或地区

I. 丹麦

丹麦海事局（Danish Maritime Authority, DMA）在其 2017 年提交给 IMO 的有关监管障碍的分析报告中，将船舶的自主水平划分为 M、R、RU 和 A 共 4 个等级，并详细阐述了在不同自主水平下船舶操作员的角色内容，见表 3-3。该标准在一定程度上参考了 LR 自主水平划分标准，其中，A 级与 AL6 级均表明系统已经具备自主决策、行动和对周围船舶交通行为进行预测的能力，如果系统出现故障或提示人为干预，则由岸基控制人员参与决策。

表 3-3 DMA 的船舶自主水平划分标准

自主等级	描述
M	具有自动化过程和决策支持的人工航行
R	有船员在船的远程控制船舶
RU	无船员在船的远程控制船舶
A	完全自主船舶

II. 芬兰

2015 年 6 月，芬兰国家技术创新局（Finnish Funding Agency for Technology and Innovation, Tekes）资助了一个 660 万欧元的自主船舶项目——高级自主水上应用开发计划（Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative, AAWA），是智能船舶研发领域最重要的旗舰项目之一。AAWA 项目由 Rolls-Royce 公司牵头，其他承担单位包括 Tampere University of Technology、VTT Technical Research Centre of Finland Ltd、Åbo Akademi University、Aalto University、University of Turku 等芬兰国内顶尖的学术机构，以及 NAPA、Deltamarin、DNV GL（现 DNV）、Inmarsat 等海事领域领先的行业实体。该项目汇集了来自高等院校、船舶设计单位、设备制造商和船级社的专家学者，旨在探讨实现自主船舶所需解决的经济、社会、法律、监管和技术等因素¹。

¹ <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2015/pr-02-07-15-rolls-royce-to-lead-autonomous-ship-research-project.aspx>.

芬兰自主海洋运输生态系统 DIMECC (Digital, Internet, Materials & Engineering Co-Creation Ltd., DIMECC) 成立于 2008 年, 旨在成为领先的数字化转型协作创新平台。DIMECC 是一家开放式公司, 由制造和技术领域的领先公司以及研究机构所有¹。DIMECC 实现了共享创建新业务的风险、收益和成本所需的协作创新。在公司中, 客户创造新的方法和工具来发展未来的业务, 并利用这些服务来增加他们可支配的资源、专业知识和力量。DIMECC, 旨在协助公司进行战略研究和开发新技术。自 2016 年以来, 数字化的推广和利用以及新业务的创建发挥了关键作用。如今, DIMECC 是一个开放的协作平台, 有助于形成新的商业生态系统以及公司的技术和商业更新和增长。共同创造和基本的公司价值观- 在一个新的商业模式不尊重组织边界的世界里, 越来越需要效率、透明度和对知识的尊重。

III. 英国

2014 年 9 月, 由英国政府出资成立了海上自主系统监管工作组 (UK Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group, MASRWG), 该工作组的主要职责在于识别和确认现行 IMO 监管体系中与海上自主系统运行有关的问题, 并提出相应的解决方法。2017 年 11 月, MASRWG 首次发布《自主船舶行业行为守则和实践规范》, 旨在为 24 m 以下的自主和半自主船舶的设计、建造和安全操作提供实用指南, 同时制定更详细的自主船舶监管框架。随后, 在 2018 年 11 月、2019 年 11 月、2020 年 12 月和 2021 年 11 月, MASRWG 相继发布了新的版本。在其 2021 年第 5 版中, MASRWG 从控制水平的角度将自主船舶的自主水平分为 0~5 共 6 个等级, 见表 3-4。

表 3-4 MASRWG 的船舶自主水平划分标准²

控制水平	名称	描述
0	配员 Crewed	MASS 由船上人员控制 MASS is controlled by operators aboard
1	操作 Operated	操作人员控制所有认知功能

¹ <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2016/14-11-2016-rr-and-vtt-technical-research-centre.aspx>.

² MARITIME UK. Maritime Autonomous Ship Systems (MASS) UK Industry Conduct Principles and Code of Practice. A Voluntary Code Version 5, November 2021.

		Under Operated control all cognitive functionality is within the human operator. The operator has direct contact with the MASS over e.g., continuous radio (R/C) and/or cable (e.g., tethered UUVs and ROVs). The operator makes all decisions, directs and controls all vehicle and mission functions.
2	引导 Directed	系统提供行动建议，操作人员决策 Under Directed control some degree of reasoning and ability to respond is implemented into the MASS. It may sense the environment, report its state and suggest one or several actions. It may also suggest possible actions to the operator, such as e.g. prompting the operator for information or decisions. However, the authority to make decisions is with the operator. The MASS will act only if commanded and/or permitted to do so.
3	授权 Delegated	系统被授权执行某些功能 The MASS is now authorised to execute some functions. It may sense environment, report its state and define actions and report its intention. The operator has the option to object to (veto) intentions declared by the MASS during a certain time, after which the MASS will act. The initiative emanates from the MASS and decision-making is shared between the operator and the MASS.
4	监控 Monitored	系统决策和行动，操作人员对事件进行监控 The MASS will sense environment and report its state. The MASS defines actions, decides, acts and reports its action. The operator may monitor the events.
5	自主 Autonomous	系统自主决策和行动，无需通知操作人员 The MASS will sense environment, define possible actions, decide and act. The Crewless Vessel is afforded a maximum degree of independence and self-determination within the context of the system capabilities and limitations. Autonomous functions are invoked by the on-board systems at occasions decided by the same, without notifying any external units or operators.

2021年6月15日，作为“Mayflower”号400周年纪念活动的一部分，非盈利组织 ProMare 和 IBM 公司等合作研发的“Mayflower Autonomous Ship”号（MAS400）从英国 Plymouth 港出发，开始了历史性的跨大西洋航行，前往美国 Plymouth 港。如图 3-42 所示，该轮长 15m，宽 6.2m，采用太阳能光伏-磷酸锂离子电池混合动力系统，配置 2 台 20kW 推进电机，最大航速 10 节，没有船员在船，设置了 6 个人工智能（Artificial Intelligence, AI）摄像头、50 多个传感器，使用 IBM 公司的自动化、AI 和计算技术来评估其状态、环境和任务，并决定在海上的下一步行动。经历三天 450 海里的航行后，由于混合动力推进系统出现故障，任务暂

停，返回基地维修和改进¹。2022年4月27日，MAS400再次开始了跨大西洋之旅。2022年6月5日，MAS400抵达北美，持续40天的航行中在海上征服了约3500英里的无人驾驶里程。

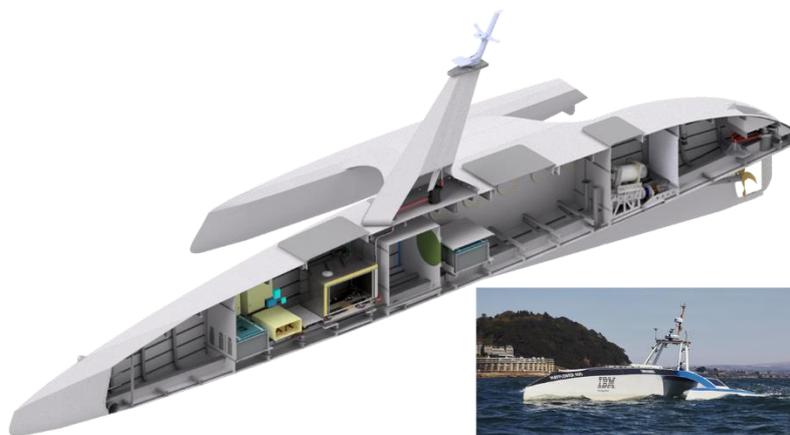


图 3-42 Mayflower Autonomous Ship

IV. 美国

2020年11月，总部位于美国休斯敦的海洋机器人技术提供商 Ocean Infinity，与总部位于意大利的 Fincantieri 公司挪威子公司 VARD 签订了 8 艘 78 米长的、远程操控、多功能平台的设计和建造合同，其功能包括岸基遥控、船员减少或无需船员操作以及使用替代燃料——绿色氨等，计划加入 Ocean Infinity 的海洋机器人公司 Armada 的无人船船队。这些多功能平台的具体建造由越南 Vard Vung Tau 船厂承担，其中第一艘于 2022 年 11 月 19 日在越南开始处女航，于 2023 年 1 月抵达挪威 VARD Sjøviknes。2022 年 2 月，Ocean Infinity 又在 VARD 追加了 6 艘 85m 多功能平台供应船的设计建造合同，这使其成为全球最大的无人船船队——总数达 23 艘²。

2022 年 8 月，FOSS 拖轮公司一艘 90 吨的“Rachael Allen”轮（如图 3-43）的自主航行系统设计获得了 ABS 的 AiP³，该拖轮安装有美国波士顿 Sea Machines

¹ <https://newsroom.ibm.com/Mayflower-Autonomous-Ship-Transatlantic-Mission-Overview-and-Status-Update>.

² <https://www.vard.com/articles/vard-secures-contract-for-a-series-of-six-multi-purpose-offshore-vessels-for-ocean-infinity>.

³ https://gcaptain.com/foss-tug-fitted-with-autonomous-system-receives-abs-approval-in-principle/?fbclid=IwAR0vnLghizmSIW1NmjGaVJ6977NUm8Ey80UEfkRo9Rz8_X7df6W6V2j4vTk.

Robotics 公司 SM300 自动驾驶系统。该拖轮将首先利用 SM300 系统进行常规运输和备用操作，然后从岸基控制中心进行远程驾驶试验。SM300 系统的自主性是通过与 Kongsberg-MTU 推进控制系统建立接口实现的。



图 3-43 “Rachael Allen” 轮

4 行业组织/机构的愿景与雄心

4.1 船级社

1. 劳氏船级社 (LR)

2016年2月,劳氏船级社(Lloyd's Register, LR)发布了第一份关于智能船舶的指南——“在航运中部署信息与通信技术: LR的保证方法(Deploying Information and Communications Technology in Shipping – Lloyd's Register's Approach to Assurance)”。该指南确定了构成智能船舶的要素,以及为确保网络技术不会带来安全风险而需要开展的活动,有效地为海事行业提供了了解数字技术影响的路线图¹。随后,LR发布的新版《ShipRight程序指南》(Lloyd's Register Cyber Enabled Ships – Draft ShipRight Procedure)定义了船舶设计和操作的自主水平(Autonomy Levels, AL),该指南描述了AL1-AL6的自主水平等级,这是全球权威机构首次对船舶的自主水平进行等级划分²。2017年2月,ShipRight附加设计程序《无人船舶系统规范》(LR Code for Unmanned Marine Systems)描述了经修改的自主水平定义³,如表4-1所示。

¹ <https://www.lr.org/en/about-us/press-room/press-release/early-adopters-and-innovators-in-connected-assets-on-ships/>.

² <https://www.lr.org/en/about-us/press-room/press-release/lr-defines-autonomy-levels-for-ship-design-and-operation/>.

³ https://maritime.lr.org/1/941163/2021-12-08/2ppjj/941163/1643138830cVnG5jS9/LR_Code_for_Unmanned_Marine_Systems__February_2017__2_.pdf?_gl=1*qe62wt*_ga*MTQ3NTk3NzM3NC4xNjY4MDY0NDg3*_ga_BTRFH3E7GD*MTY4ODAwMDI0Ny4xLjEuMTY4ODAwNDEwOS4wLjAuMA..

表 4-1 LR 船舶自主水平等级

自主水平	名称	描述
AL 0	手动 Manual	无自主功能，所有行动和决策人工执行（注：系统或许有自主水平，但人员实时在环控制所有行动） No autonomous function. All action and decision-making performed manually (n.b. systems may have level of autonomy, with Human in/ on the loop.), i.e. human controls all actions.
AL 1	船上决策支持 On-board Decision Support	操作人员采取所有行动，但决策支持工具可以提供选项或以其他方式影响所选择的行动，数据由船上系统提供 All actions taken by human Operator, but decision support tool can present options or otherwise influence the actions chosen. Data is provided by systems on board.
AL 2	船岸决策支持 On & Off-board Decision Support	操作人员采取所有行动，但决策支持工具可以提供选项或以其他方式影响所选择的行动，数据可以由船载或非船载系统提供 All actions taken by human Operator, but decision support tool can present options or otherwise influence the actions chosen. Data may be provided by systems on or off-board.
AL 3	人员实时在环 'Active' Human in the loop	决策和行动在人员监督下执行，数据可以由船载或非船载系统提供 Decisions and actions are performed with human supervision. Data may be provided by systems on or off-board.
AL 4	人员非实时在环操作/监督 Human on the loop, Operator/ Supervisory	决策和行动在人员监督下自主执行，操作人员对重大决策的实施有干预和越控的权限 Decisions and actions are performed autonomously with human supervision. High impact decisions are implemented in a way to give human Operators the opportunity to intercede and over-ride.
AL 5	完全自主 Fully autonomous	很少有人监督操作，决策完全由系统做出和执行 Rarely supervised operation where decisions are entirely made and actioned by the system.
AL 6	完全自主 Fully autonomous	无人监督操作，任务期间的决策完全由系统做出和执行 Unsupervised operation where decisions are entirely made and actioned by the system during the mission.

II. 法国船级社 (BV)

2017 年 12 月, 法国船级社 (Bureau Veritas, BV) 发布了《自主航运指南》(Guidelines for Autonomous Shipping), 对可用于提高自主船舶 ($GT \geq 500$, 不包括小型船舶、无人水面艇等) 运输自主能力的设计或系统操作提出了相应的建议, 并提出了 0~4 共 5 个等级的自主水平 (Level of Autonomy) 划分标准。其中, 0 级为常规船舶, 1 级为智能船舶, 2~4 级为自主船舶¹。

2019 年 10 月, BV 发布了更新的《自主航运指南》(Guidelines for Autonomous Shipping, Guidance Note NI 641 DT R01 E)², 将指南的应用范围扩大到了配备自动化系统的船舶及相关的远程控制中心 (RCC)。然而, 该版指南使用术语“自动化程度 (Degree of Automation)”描述从人到系统的决策等级, 而非使用上一版指南中的术语“自主水平 (Level of Autonomy)”表述³。

2019 年版《自主航运指南》自动化程度的定义强调在系统的各种功能中区分人的角色和系统的角色。基于人类信息处理的“信息获取 (information acquisition) → 信息分析 (information analysis) → 决策与行动选择 (decision and action selection) → 行动执行 (action implementation)”四阶段模型, 人的功能可以转换为等效的系统功能。这四个功能可以为自动化系统可以支持人类的任务类型提供初始分类: 对于高度自动化, 系统错误的影响将是主要的; 而对于低自动化程度, 人为错误的影响是主要的。2019 年版《自主航运指南》对每一个自动化系统的自动化程度的描述如表 4-2 所示。此外, 根据人员参与程度以及控制位置的不同, 针对每一个自动化系统, 该指南描述的控制水平 (Degrees of Control) 等级如表 4-3 所示。

2022 年 7 月, BV 发布了《无人水面艇》(Unmanned Surface Vessels (USV), NR681 R00) 认证和入级规范⁴, 适用于 $GT < 500$ 的钢、铝或复合材料的小型无人水面船舶。

¹ 周翔宇, 杨雪, 费珊珊. 船舶自主化与自主水平划分标准评述. 世界海运. 2022, 45(09): 1-10.

² https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI_2019-10.pdf.

³ 遵照 SAE J3016 SEP2016 - Surface Vehicle Recommended Practice - Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles 的建议, 2019 年版《自主航运指南》尽可能避免使用“自主” (autonomy) 一词来描述系统的自动化程度, “自主的” (autonomous) 仅用于最高等级的自动化程度 (A4)。

⁴ 规范 (Rules) 和规范说明 (Rule Notes, NR) 给出了 BV 用于认证和入级的要求; 指南说明 (Guidance Notes, NI) 提供了有关海上装置、设备和系统的具体信息和技术建议。

表 4-2 BV 船舶自动化程度等级 (Degree of automation)

Degree of automation		Manned	Definition	Information Acquisition	Information Analysis	Authority to make decisions	Action initiated by
A0	人工操作 Human operated	Yes	- Automated or manual operations are under human control. - Human makes all decisions and controls all functions.	System Human	Human	Human	Human
A1	人工引导 Human directed	Yes/No	- Decision support: system suggests actions. - Human makes decisions and actions.	System	System Human	Human	Human
A2	人工授权 Human delegated	Yes/No	- System invokes functions. - Human must confirm decisions. - Human can reject decisions.	System	System	Human	System
A3	人工监督 Human supervised	Yes/No	- System invokes functions without waiting for human reaction. - System is not expecting confirmation. - Human is always informed of the decisions and actions.	System	System	System	System
A4	完全自动化 Full automation	Yes/No	- System invokes functions without informing the human, except in case of emergency. - System is not expecting confirmation. - Human is informed only in case of emergency.	System	System	System	System

表 4-3 BV 控制水平等级 (Degrees of control)

Degree of control		Human presence	Location of control station	
Direct control (DC)	DC0	No direct control	No crew available to monitor and control the system, nor to take control in case of warning or alert.	(1)
	DC1	Available direct control	Crew available aboard, ready to take control in case of warning or alert. But they may be not at the control station.	Aboard
	DC2	Discontinuous direct control	Monitoring and control may be discontinuous during a short period. Crew always available at the control station, ready to take control.	Aboard
	DC3	Full direct control	System is actively monitored and controlled at any time.	Aboard
Remote control (RC)	RC0	No remote control	No operator available to monitor and control remotely the system, nor to take control in case of warning or alert.	(1)
	RC1	Available remote control	Operators available in the RCC, ready to take control in case of warning or alert. But they may be not at the remote control station.	RCC
	RC2	Discontinuous remote control	Remote monitoring and control may be discontinuous during a short period. Operators always available at the remote control station, ready to take control.	RCC
	RC3	Full remote control	System is actively monitored and controlled remotely at any time.	RCC
(1)-there may not be any integrated control station; RCC-Remote Control Centre.				

Source: Bureau Veritas (BV). Guidelines for Autonomous Shipping. Guidance Note NI 641 DT R01 E, October 2019.

https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI_2019-10.pdf.

III. 挪威船级社 (DNV)

DNV 发起或参与了船舶自动化和自主控制领域的多个项目，如 ReVolt 项目、Rolls-Royce 领导的 AAWA 项目、挪威科技大学 (Norwegian University of Science and Technology, NTNU) 领导的 Autosea 项目等。其中的 ReVolt 项目是由 DNV GL 于 2014 年发起的自主航行概念研究项目。“ReVolt”号是 100TEU 型概念船，使用 3000kWh 的电池动力，航速为 6knots，续航里程为 100 海里。“ReVolt”号有多种优势：由电池提供能量，需维护零部件数量减少；平均航速低，节省燃料消耗；船上无需船员，降低人为因素导致的事故发生率。按试验测算，如果该船服务期限为 30 年，则其生命周期内可节约 3400 万美元成本。NTNU 的研究人员使用 DNV 的 1:20 比例实验模型来研究先进的控制系统和导航软件如何控制无人驾驶船舶，如图 4-1 所示。传感器技术、数据分析和通信带宽的进步正在从根本上改变航运的工作方式，且随着营运数字化，航运变得更加自动化¹²。



图 4-1 ReVolt 实验模型

2018 年 9 月，DNV GL (现 DNV) 发布了《自主与遥控操作船舶入级指南》(DNVGL-CG-0264, Edition September 2018)，旨在为在自主船舶和/或遥控操作船舶中应用新技术提供指导，从而确保其能够达到与常规船舶相当或更高的安全水平。2021 年 9 月，DNV 发布了修订版《自主与遥控操作船舶入级指南》(Class Guideline: Autonomous and remotely operated ships, DNV-CG-0264, Edition September 2021)。对于船舶自主水平等级，DNV 与其他船级社的划分原则不同，在该入级指南中，DNV 将自主或遥控操作视为实现某些功能和任务的手段，基于功能所使用环境的不同，从而确定相应的自主水平。例如，其航行功能 (navigation function)

¹ <https://www.dnv.com/maritime/autonomous-remotely-operated-ships/research-activities.html>.

² http://www.ship.sh/news_detail.php?nid=13714.

的自主水平、工程功能（vessel engineering function）的自动化水平划分标准分别如表 4-4、表 4-5 所示。

如果目前在船上执行的任务被取消（即实现自动化）或由远程控制中心（RCC）的操作员执行，那么，对于没有人员在船的远程控制船舶，必须能够实现同等或更高层次的可用性和安全性。此外，重要的船舶功能通常应设置容错或冗余，以补偿没有船员在船进行人工处理的故障和事故。对于自主或远程控制船舶，假设轮机值班均在远程进行，则船舶的工程功能需要一定程度的自动化，以帮助 RCC 中的操作员。DNV《自主与遥控操作船舶入级指南》依据自动化和船上人员提供支持的程度，定义了两个主要的自动化类别——自动支持（Automatic Support, AS）和自动操作（Automatic Operation, AO），如表 4-5 所示，旨在区分需要人员积极参与的任务和由自动化系统自动执行的任务。

表 4-4 DNV 对航行功能的自主水平划分

自主水平 Autonomy level	描述 Description
M	手动操作功能 Manually operated function.
DS	系统决策支持功能 System decision supported function.
DSE	具有有条件系统执行能力的系统决策支持功能（人员在环，系统执行前需要人员确认） System decision supported function with conditional system execution capabilities (human in the loop, required acknowledgement by human before execution).
SC	自控功能（系统执行操作，但人员可以越控操作），有时被称为“人在环外” Self controlled function (the system will execute the operation, but the human is able to override the action. Sometimes referred to as 'human on the loop'.
A	自主功能（系统执行功能，通常在功能层面人员没有进行干预的可能性） Autonomous function (the system will execute the function, normally without the possibility for a human to intervene on the functional level).

表 4-5 DNV 对船舶工程功能的自动化水平划分

自动化水平 Level of automation	描述 Description
---------------------------------	-------------------

<p>自动支持 Automatic Support (AS)</p>	<p>船舶功能的操作由自动化系统和人员相结合来实现。自动化系统可以部分或全部执行数据采集、解释和决策。这一模式是决策支持所有近似名称的统称，其中自动支持功能可能需要补充的人的感知、解释或决策，并且行动也不是自动实现的。</p> <p>Operation of the vessel function by automation systems and personnel in combination. Automation system(s) may partly or fully perform data acquisition, interpretation and decision. This mode is a collective term for all variants of decision support where the automatic support function may need complementary human sensing, interpretation or decision-making and where the action is not automatically effectuated.</p>
<p>自动操作 Automatic Operation (AO)</p>	<p>船舶功能的操作由自动化系统来实现，无需人员干预。船上安全系统自动处理不必要和意外的事件和情况（超出操作设计领域），以确保船舶保持安全状态，人员将监督操作并可能进行干预</p> <p>Operation of the vessel function by automation system(s) without need for intervention by personnel. Unwanted and unexpected events and situations (outside operational design domain) are automatically handled by on-board safety system(s) to ensure the ship will remain in a safe state (within the last resort MRCs). Personnel will supervise the operation and may intervene.</p>

对于航行而言，某项功能可能具备不同程度的自主水平，因此有必要对自主水平进一步细分。对于一项功能的控制通常可以分解为四个要素：状态感知(Detection) → 状态分析(Analysis) → 行动规划(Planning) → 行动执行(Action)。将功能的控制分解为四个要素通常适用于任何功能，但尤其适用于如图 4-2 所示航行功能。

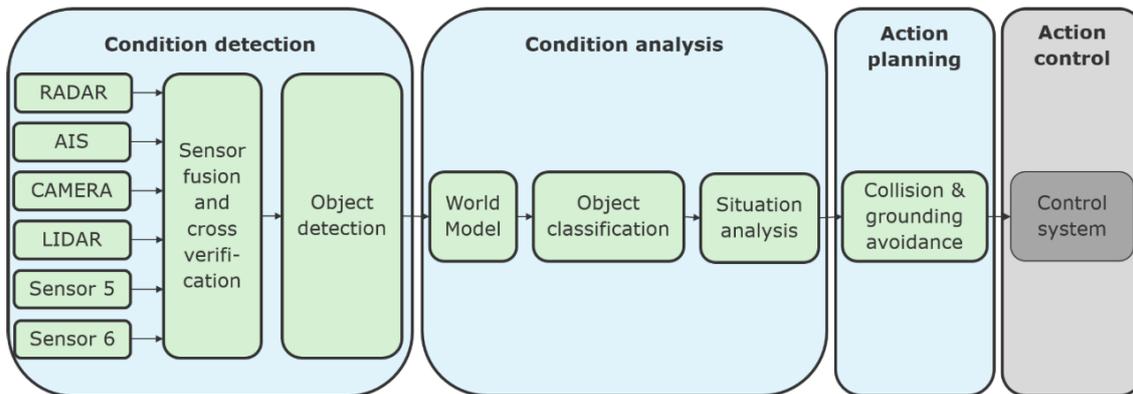


图 4-2 航行功能的控制¹

如图 4-3 所示，每一项功能的四个要素都可以由人员 (human)、系统 (machine/system) 或其组合来执行。但首要的原则是，针对一个要素组合而成的人/机能力应与传统能力相同或更好，以便达到同等或更好的安全水平。

¹ Source: DNV. Autonomous and remotely operated ships. Class Guideline: DNV-CG-0264, Edition September 2021.

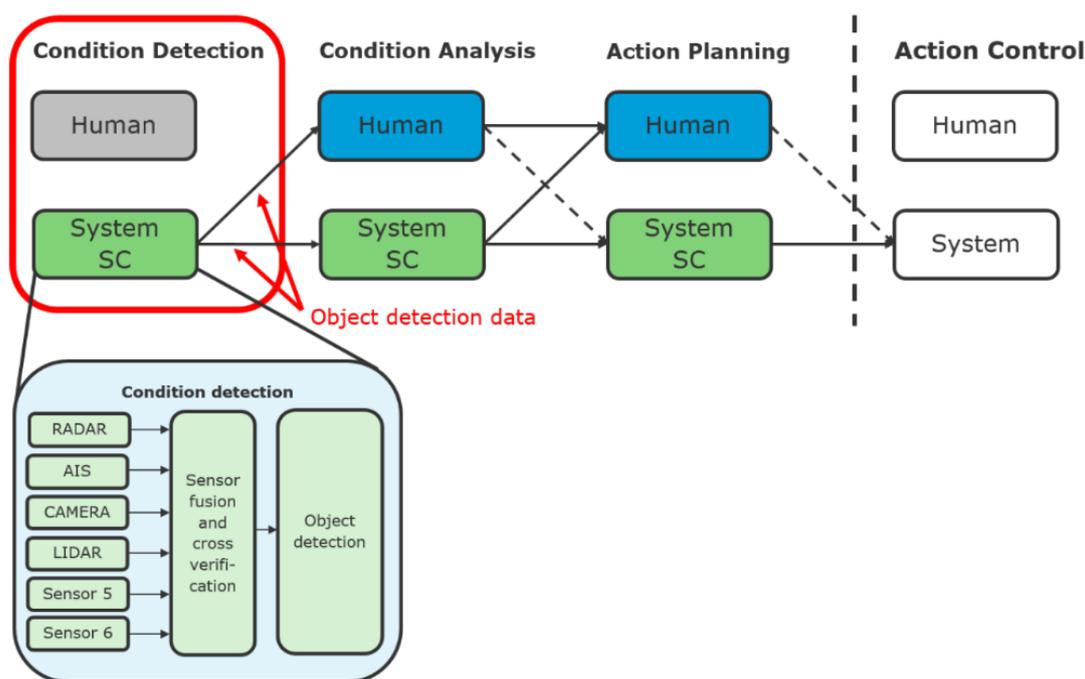


图 4-3 某项功能的控制示例——基于系统的状态感知

IV. 美国船级社 (ABS)

2018 年 11 月，美国船级社 (American Bureau of Shipping, ABS) 发布了《智能功能实施指导说明》¹。2021 年 7 月、2022 年 2 月和 2022 年 8 月，ABS 又相继发布了《自主和远程控制功能指南》(Guide for Autonomous and Remote Control Functions)、《自主船舶白皮书》²和《自主和远程控制功能要求》³，为自主船舶制定了一个基于目标的设计和运营框架，以支持安全创新和自主化技术的应用。在《自主和远程控制功能要求》中，ABS 基于数据处理、决策和执行过程中的人机交互水平将自主水平划分为 3 个等级⁴，操作监督水平划分 6 个类型，见表 4-6、表 4-7，并认为自主船舶发展要经历智能、半自主直至全自主。

¹ American Bureau of Shipping(ABS). Guidance Notes on Smart Function Implementation. <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/304-gn-smartfunctionimplementation-2018/smart-functions-gn-nov18.pdf>.

² American Bureau of Shipping(ABS). Whitepaper on Autonomous Vessels. February 2022. <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/whitepapers/autonomous-vessels-whitepaper-22031.pdf>.

³ American Bureau of Shipping(ABS). Requirements for Autonomous and Remote Control Functions. https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/323_gn_autonomous_2022/323-autonomous-reqts-aug22.pdf.

⁴ The Smart-to-Autonomy levels are defined as

智能-自主级别（Smart-to-Autonomy levels）定义为：

- ◇ 智能（Smart）：人员功能的系统增强。系统提供被动决策支持，例如以健康或性能异常检测、诊断、预测、决策/行动替代方案和/或建议的形式。
- ◇ 半自主性（Semi-Autonomy）：系统功能的人员增强。系统运行建立在一个智能的基础上，由系统和人员的决策、行动相结合来管理。
- ◇ 完全自主（Full Autonomy）：系统功能无需人员参与。系统自主决策和采取行动。人员仅执行监督功能，并有能力干预和越控系统所做的操作。

要求参与水平（Required Attention level）定义为：

- ◇ 持续监督：在整个功能运行过程中，需要操作员进行持续（不间断）监督。
- ◇ 定期监督：在功能运行的整个过程中，需要操作员每隔一段时间进行监督。间隔的长度和确保操作员监督的方式应由船舶操作员确定，并记录在操作概念文件（Concept of Operations document, CONOPS）中。
- ◇ 根据需要（根据系统通知或操作模式）：在功能的整个操作过程中，仅需要操作员根据需要进行监督。这可能取决于系统通知，或者仅适用于某些操作模式。细节由船舶操作员确定，并记录在 CONOPS 中。

船级符号或附加标志中所示的功能类别（Function Category）包括但不限于以下设备、系统或操作：

- ◇ 海上航行（Navigation, NAV）；
- ◇ 机动操纵（Maneuvering, MNV）；
- ◇ 靠/离泊（Mooring / Unmooring, MOR）；
- ◇ 进/出坞（Docking/Undocking, DOC）；

i) Smart: System augmentation of human functions. The system provides passive decision support, such as in the form of health or performance anomaly detection, diagnostics, prognostics, decision/action alternatives, and/or recommendations.

ii) Semi-Autonomy: Human augmentation of system functions. System operation builds upon a smart foundation and is governed by a combination of system and human decisions and actions.

iii) Full Autonomy: No human involvement in system functions. The system makes decisions and takes actions autonomously. Humans perform a supervisory function solely, and have capability to intervene and override actions made by the system.

- ◇ 推进系统 (Propulsion, PRP);
- ◇ 辅助机械 (Auxiliary, AUX);
- ◇ 环境保护 (Environmental Protection, ENV);
- ◇ 货物处理 (Cargo Handling, CGH);
- ◇ 压载 (Ballast and Trim, BAL);
- ◇ 工业过程 (Industrial Processes, IND)。

表 4-6 ABS 船舶自主水平 (Autonomy Levels) 划分

Autonomy Levels		Integration and Application to Decision Loop				Typical available notations/ Operations Supervision level
		Monitoring	Analysis	Decision	Action	
1	Smart	System	System	Human	Human	SMART
2	Semi-Autonomous	System	System	System/ Human	System/ Human	AUTONOMOUS (function category, OP2/OP1/RO2/RO1)
3	Autonomous	System	System	System	System	AUTONOMOUS (function category, OP3/RO3)

表 4-7 ABS 操作监督水平 (Operations Supervision Levels) 划分

Operator Location	Required Attention Level	Operations Supervision Level
Onboard vessel	Continuous supervision	OP1
Onboard vessel	Periodic supervision	OP2
Onboard vessel	As needed basis (System notification or operational mode)	OP3
Remote location	Continuous supervision	RO1
Remote location	Periodic supervision	RO2
Remote location	As needed basis (System notification or operational mode)	RO3

V. 俄罗斯船级社 (RS)

2020年6月,俄罗斯船级社(Russian Maritime Register of Shipping, RS)发布《海上自主和遥控水面船舶(MASS)入级规则》¹,并于2022年1月和9月进行了修订。该规则明确了自主船舶设计和建造过程中的技术监管要求,同时,对自主船舶进行了分类以表示在开阔水域和受限空间(受限水域、停泊区和港内)中移动时控制船舶的能力,并引入自主等级符号,见表4-8。在对自主船舶进行分类时,将使用两个符号分别表示自主船舶在开阔水域和受限空间的控制能力。例如,AC-MC表示船舶在开阔水域可自主控制,但在受限水域和港口入口处移动时需要手动控制;RC_{MC}-MC_{DS}表示船舶在开阔水域时可进行远程控制(具有手动控制覆盖能力),但在受限水域和港口入口处时仅能进行手动控制(具有决策支持)。

表 4-8 RS 船舶自主水平划分标准

MASS categories	Descriptions	Remarks
MC	Manual control	person on board
MC _{DS}	Manual control with decision support	person on board
RC _{MC}	Remote control with manual control override capability	person on board
RC	Remote control	no person on board
AC	Autonomous control	no person on board

VI. 韩国船级社 (KR)

2018年12月,韩国船级社(Korean Register, KR)发布《自主船舶指南》²,并于2020年7月进行了修订,旨在通过风险评估确保自主船舶或自主操作所需的系统和功能的安全性和可靠性。在该指南中,KR根据船舶的数据获取、决策和执行功能对船舶的自主水平进行划分,分为AL1~AL5共5个等级,见表4-9。当处

¹ Russian Maritime Register of Shipping(RS). Regulations for Classification of Maritime Autonomous and Remotely Controlled Surface Ships (MASS). <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules&d=4CC632B3-2754-4685-A7BB-F1784810ECD9&f=>.

² Korean Register (KR). Guidance for Autonomous Ships. https://www.krs.co.kr/eng/BBS/BF_View.aspx?MRID=535&AddPara=10749.

于 AL5 时，包括数据获取/分析、决策、行动在内的所有功能均由系统执行，系统可对异常操作场景（系统故障等）做出响应，操作员仅在紧急情况时进行监控。

表 4-9 KR 的船舶自主水平（Level of autonomy）等级划分标准

Level of autonomy	Data acquisition/analysis	Decision-making	Action
AL 1	System / Operator	Operator	Operator
AL 2	System ⁽¹⁾	Operator (System) ⁽¹⁾	Operator
AL 3	System	System (Operator) ⁽²⁾	System
AL 4	System	System ⁽³⁾	System ⁽³⁾
AL 5	System	System	System

Notes:
 (1) The system supports decision-making.
 (2) Operator confirmation of decision-making is required.
 (3) Operators are constantly monitored for decision-making and action.

VII. 日本船级社 (ClassNK)

2020 年 1 月，日本船级社（Nippon Kaiji Kyokai, ClassNK）发布《船舶自动化/自主操作指南》1.0 版本，其认为自主船舶的发展方向大致可分为两种：一是以减少船员数量为目的，对无人驾驶船舶和短途小型船舶进行设计和开发；二是针对船上任务的部分自动化或远程支持进行设计和开发。在该指南中，并未直接对船舶的自主水平进行等级划分，而是从系统的设计开发、安装和操作的角对自动化操作系统（Automated Operation Systems, AOS）和远程操作系统（Remote Operation Systems, ROS）进行分类，总体上将自动化类别划分成 3 类，见表 4-10。

表 4-10 ClassNK 对船舶自动化的分类

类别	描述
0	人类执行所有子任务
I	计算机系统执行部分决策子任务
II	计算机系统执行全部子任务

VIII. 中国船级社 (CCS)

2015年12月,中国船级社(China Classification Society, CCS)在全球范围内首次发布了《智能船舶规范 2015》¹,提出了智能船舶规范体系由智能航行、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组成。智能化程度上,分别从船舶数据感知、分析、评估、诊断、预测、决策支持、自主响应实施等方面,对应不同的智能功能提出了相应要求。

2018年10月,CCS发布了《自主货物运输船舶指南》²,旨在为自主货物运输船舶的设计和建造提供依据。该指南以不低于 SOLAS、MARPOL、COLREG72 和 STCW 等国际公约的总体安全和环保水平为原则,以风险分析为基础,以涵盖实现船上无人的远程控制和完全自主运行的技术要求为目的,采用目标型标准(Goal-based Standards, GBS)方法,提出自主货物运输船舶各系统的目标、功能要求、规定要求以及检验与试验要求,主要包括:场景感知、航行控制、轮机装置、系泊与锚泊、电气装置、通信与信号设备、船体构造与安全、消防、环境保护、船舶保安、远程控制中心、网络安全等。在该指南中,CCS 采用了 IMO 对自主船舶的定义来界定自主货物运输船舶,即“在不同程度上可以独立于人员干预运行的船舶”。在此基础上,CCS 直接采用了 IMO 对于船舶自主水平的 4 级划分,并强调该指南主要用于涵盖自主水平为第 3 等级和第 4 等级的船舶技术要求。

在前述两份规范/指南的基础上,CCS 又相继发布《智能船舶规范》2020 版³、2023 版⁴和 2024 版⁵。据 CCS 最新版本的《智能船舶规范 2024》,其界定的智能船舶系指利用传感器、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。智能船舶的功能按照由局部应用到全船应用、由辅助决策到完全自主的方向发展,其功能

¹ <https://www.ccs.org.cn/ccswz/articleDetail?id=201900001000006099>.

² <https://www.ccs.org.cn/ccswz/articleDetail?id=201900001000008786>.

³ <https://www.ccs.org.cn/ccswz/articleDetail?id=201900001000009739>.

⁴ <https://www.ccs.org.cn/ccswz/articleDetail?id=202303061016018608>.

⁵ <https://www.ccs.org.cn/ccswz/articleDetail?id=202312061041161178>.

一般分为智能航行、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。CCS 关于智能船舶的界定如图 4-4 所示。

智能功能 Nx/Hx/Mx/Ex/Cx/I	远程控制		自主操作		
	R1	R2	A1	A2	A3
<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 船舶主要功能由远程控制站控制操作，船上船员对船舶状态进行监视，在应急情况或必要时接管船舶的操作，根据设计确定的船舶运行场景，对非远程控制的系统和设备进行操作 	<ul style="list-style-type: none"> • 船舶由远程控制，船上无船员 	<ul style="list-style-type: none"> • 船舶从锚地到锚地能实现自主操作，并由远程控制监视，必要时远程控制站可对船舶实施远程控制 • 船舶进出港和靠泊时由船员和/或引水员操作 	<ul style="list-style-type: none"> • 船舶从锚地到锚地能实现自主操作，并由远程控制监视，必要时远程控制站可对船舶实施远程控制 • 船舶进出港和靠泊时由远程控制站操作 	<ul style="list-style-type: none"> • 船舶从泊位到泊位能实现自主操作，并由远程控制监视，必要时远程控制站可对船舶实施远程控制

图 4-4 CCS 智能船舶界定

4.2 自主海上生态系统联盟（One Sea）

自主海上生态系统联盟（One Sea: Autonomous maritime ecosystem）成立于 2016 年，是一个由自主海上运输系统制造商、集成商和运营商组成的国际联盟，旨在引领到 2025 年实现自主海上生态系统的运行¹。在该系统中合作的公司和组织是各自领域的先驱，确保了一个经过充分研究、测试和强有力的自主海上网络。One Sea 目前的成员包括 ABB（电气和自动化产品）、Kongsberg（高科技系统设备和解决方案提供商）、Wärtsilä（智能海上生态系统提供商）、Cargotec（货物处理解决方案，业务领域包括 Kalmar、Hiab 和 MacGregor）、DIMECC（以突破为导向的协作创新生态系统）、Finnpilot Pilotage（引航服务）、Fintraffic Vessel Traffic Services Ltd（海上交通服务）、Avikus（自主航行系统）、Groke Technologies（智能决策服务）、Haltian（物联网技术服务）、Orca AI（智能航行解决方案）、Sea Machines Robotics（自主控制和智能航行系统）、TietoEVRY（软件和服务）、Monohakobi Technology Institute（NYK 下属技术开发子公司）。

¹ <https://one-sea.org/>.

2021年6月，One Sea发布了《自主船舶与海上安全》（Autonomous Ships and Safety at Sea）白皮书¹。

2022年3月，One Sea发布了《自主船舶：规则制定的职权范围》（Autonomous Ships: Terms of Reference for Rule Development）白皮书²，旨在为开发和实施自主船舶的国际监管框架提供一条前进路线。该白皮书参考汽车工程师协会（Society of Automotive Engineers, SAE）关于汽车自动化水平（SAE Levels of Automation）的定义，将船舶自动化水平划分为0~5共6个等级，如图4-5所示³。同时，该白皮书强调，船舶自动化水平的划分不应与人员所处的位置和船舶配员水平混淆，应根据人员的关注度和参与度的需求来定义。

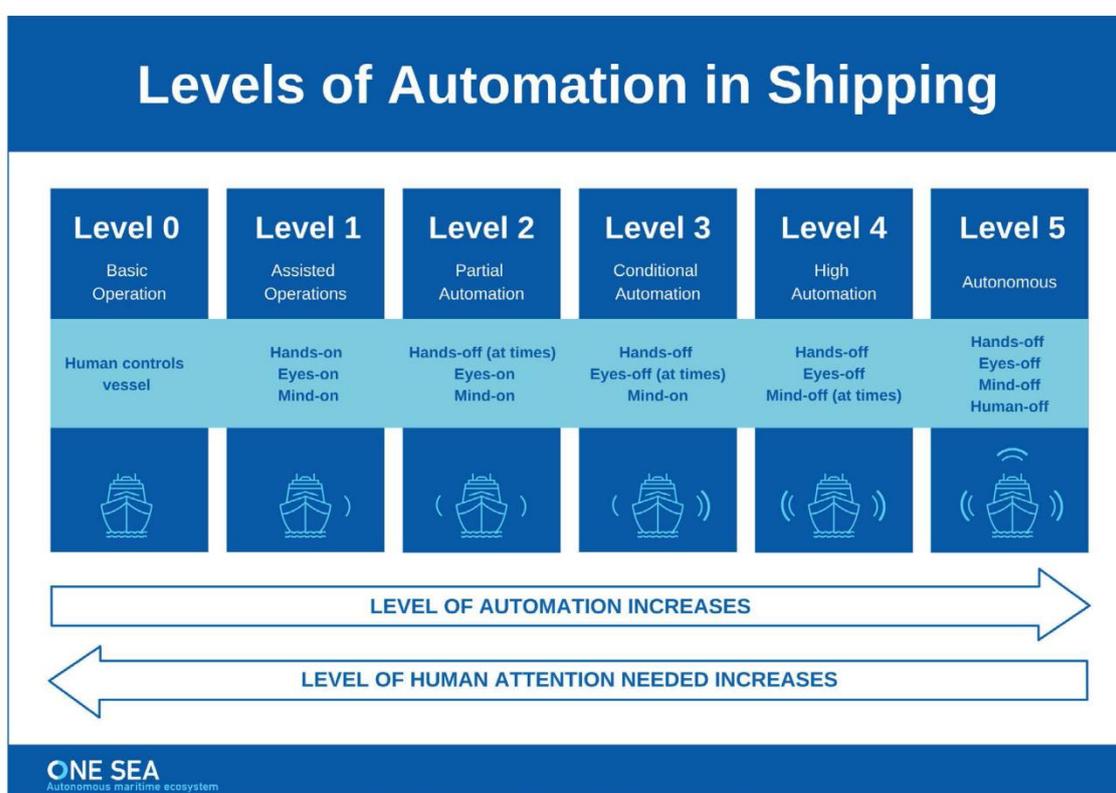


图 4-5 One Sea 船舶自动化水平划分标准

¹ <https://www.one-sea.org/documents/>.

² <https://www.one-sea.org/documents/>.

³ https://one-sea.org/sdm_downloads/one-sea-white-paper-autonomous-ships-terms-of-reference-for-rule-development/.

4.3 Rolls-Royce 公司

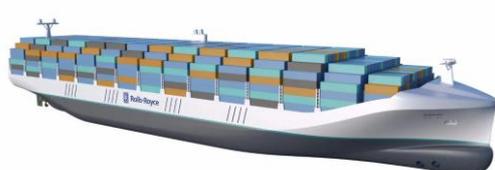
2015 年 6 月至 2017 年底，Rolls-Royce 公司牵头承担了芬兰国家技术创新局资助的 AAWA 项目（Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative）¹。基于该项目的阶段性成果，2016 年 6 月 21 日，在荷兰 Amsterdam 首次举行的 Autonomous Ship Technology Symposium 上，Rolls-Royce 发布了多个类型智能船舶的概念图²，如图 4-6 所示，并同步发布了一份关于遥控和自主航运未来愿景的白皮书——《Remote and Autonomous Ship: The next steps》³。



(a) 智能干散货船



(b) 智能 LNG 运输船



(c) 智能集装箱船



(d) 智能船将没有甲板桅屋



(e) 智能船岸基控制中心



(f) 智能船将要求实时宽带通信

¹ <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2015/pr-02-07-15-rolls-royce-to-lead-autonomous-ship-research-project.aspx>.

² <https://newatlas.com/rolls-royce-robotic-ship-decade/43976/>.

³ <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2016/21-06-2016-rr-publishes-vision-of-the-future-of-remote-and-autonomous-shipping.aspx>.



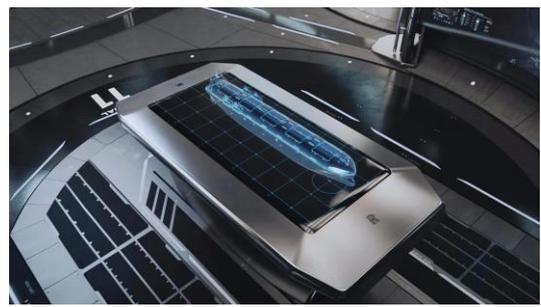
(g) 智能船将要求详细的航线规划



(h) SCC 操作员远程控制船舶



(i) SCC 工程师远程处理技术问题



(j) 岸基 3D 孪生系统

图 4-6 Rolls-Royce 智能船舶概念效果¹

此后，Rolls-Royce 与 Finferries、ESL Shipping Oy 等公司合作开展了测试验证²。Finferries 的一艘运营于芬兰 Korpo 和 Houtskär 之间的双头渡轮“Stella”号（总长 64.4m，型宽 12.7m），如图 4-7 所示。协助该项目在多种运行和气候条件下对传感器阵列进行了一系列测试；ESL Shipping Oy 的一艘干散货船协助该项目探索了远程和自主船舶对近海货运行业的影响。



图 4-7 Finferries 渡轮“Stella”号

¹ Source: Rolls-Royce.

² <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2016/pr-12-04-2016-aawa-project-introduces-projects-first-commercial-operators.aspx>.

AAWA 研究项目完成后，为促进其成果落地，Rolls-Royce 与 Finferries 联合发起了 SVAN 项目。SVAN 项目的试验船是 1993 年投入运营的车客渡船“Falco”号（总长 53.8 米，艏艉同型）。2018 年底，Rolls-Royce 与 Finferries 在芬兰图尔库市以南群岛展示了全球首艘无人驾驶渡轮：“Falco”号船在帕尔加斯与瑙沃之间完成了无人驾驶航行，并在遥控操作下顺利返航。Finferries 岸上遥控操作中心设在距芬兰图尔库市中心 50 公里处，船长在此监控船舶的无人驾驶航行，并在必要时进行人工控制。根据资料，“Falco”号船通过采用传感器融合和人工智能技术来探测物体和避免冲撞，利用自动导航系统实现自动靠离泊。在正式展示前，Rolls-Royce 已经对“Falco”号船的试航进行了约 400 小时的监控。无疑，在自主航行研究中，Rolls-Royce 是先驱，其研发的集成控制系统已经颠覆传统，且借力谷歌的云机器学习引擎训练智能感知系统，通过英特尔芯片处理自主航行系统中的数据。

4.4 小结

各船级社均对船舶自主水平进行了划分。关于智能船舶发展等级/类型的划分，所依据的标准总体上可分为 4 种主要类别：（i）基于框架的船舶自主水平划分标准，以 IMO、CCS、RS 的 4 级自主水平划分标准为代表；（ii）基于功能或操作的船舶自主水平划分标准，以 LR、DNV、KR、NFAS 等机构的划分标准为代表；（iii）基于智能到自主的船舶自主水平划分标准，以 ABS 的划分标准为代表；（iv）基于自动化到自主的船舶自主水平划分标准，以 BV、ClassNK、CCNR、One Sea 等机构的划分标准为代表¹。其中，IMO 的 4 级框架性标准已被业界所普遍接受；但基于功能或操作的船舶自主水平划分标准，以特定的功能或操作（如数据获取和分析、制定决策、采取行动等阶段）为对象，在各阶段详细描述不同自主等级下系统和人类的任务或职责，以及不同特定情景下人机交互的内容和形式，实际应用价值更高、实践性更强。

此外，汽车行业的实践也可作为参照。汽车驾驶自动化是全球汽车技术及产业的重要发展趋势，在为人们提供更加安全、舒适以及顺畅的出行方式与物流解决方案的同时，不断与人工智能、信息通信、智慧城市与交通等技术深度融合，正在重

¹周翔宇,杨雪,费珊珊.船舶自主化与自主水平划分标准评述.世界海运.2022,45(09):1-10.

塑汽车及相关产业的生态体系和价值链体系。近年来，国际及主要汽车产业国家和地区的标准法规组织广泛开展汽车驾驶自动化分级的研究。

美国高速公路安全管理局（NHTSA）在 2013 年率先提出将汽车驾驶自动化分为无自动化、特定功能自动化、组合功能自动化、有条件自动化和完全自动化共 5 个等级；德国联邦交通研究所（BAST）根据研究，将汽车驾驶自动化分为仅驾驶员、辅助驾驶、部分自动驾驶、高度自动驾驶以及完全自动驾驶共 5 个等级；国际汽车工程师学会（SAE-International）发布的 SAE J3016 标准提出了 0-5 级分类法，将汽车驾驶自动化分为从无驾驶自动化（0 级）直至完全驾驶自动化（5 级）在内的 6 个等级；国际标准化组织（ISO）与 SAE 组成国际标准联合起草组，制定了 ISO 22736《道路机动车辆驾驶自动化系统相关术语的分级和定义》¹，并于 2021 年发布²；联合国世界车辆法规协调论坛（UN/WP.29）于 2019 年专门就驾驶自动化分级的法规制定原则展开讨论，确定了区分驾驶辅助和自动驾驶制定相关国际技术法规的方案。其中，SAE J3016 是国际上影响最大、应用最广泛的分级标准。

在政策和市场的双擎牵引下，我国汽车驾驶自动化技术发展迅速，产业模式正在示范应用中不断走向成熟，企业的产品量产计划全面提上日程。2017 年，由工业和信息化部提出，汽标委智能网联汽车分标委组织行业骨干单位启动了国家标准的研制工作。2021 年 08 月 20 日，国家标准《汽车驾驶自动化分级》（GB/T 40429-2021）由中华人民共和国国家市场监督管理总局、中华人民共和国国家标准化管理委员会发布。2022 年 03 月 01 日，国家标准《汽车驾驶自动化分级》（GB/T 40429-2021）实施。

根据该国家标准，未来汽车的自动驾驶等级基于以下 6 个要素进行划分：

- ◇ 驾驶自动化系统是否持续执行动态驾驶任务中的目标和事件探测与相应；
- ◇ 驾驶自动化系统是否持续执行动态驾驶任务中的车辆横向或纵向运动控制；
- ◇ 驾驶自动化系统是否同时持续执行动态驾驶任务中的车辆横向和纵向运动控制；

¹ ISO/SAE PAS 22736:2021 Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles.

² <https://www.iso.org/standard/73766.html>.

- ◇ 驾驶自动化系统是否持续执行全部动态驾驶任务；
- ◇ 驾驶自动化系统是否自动执行最小风险策略；
- ◇ 驾驶自动化系统是否存在设计运行范围限制。

基于这 6 个要素，国家标准将驾驶自动化系统划分为 0 级（应急辅助）、1 级（部分驾驶辅助）、2 级（组合驾驶辅助）、3 级（有条件自动驾驶）、4 级（高度自动驾驶）、5 级（完全自动驾驶）共 6 个等级。不同等级的自动驾驶系统，在用户角色和驾驶自动化系统角色这两大方面，存在着明显的要求和差异。自动驾驶等级根据不同程度，从零到完全自动化，共分为六个等级，如图 4-8 所示。

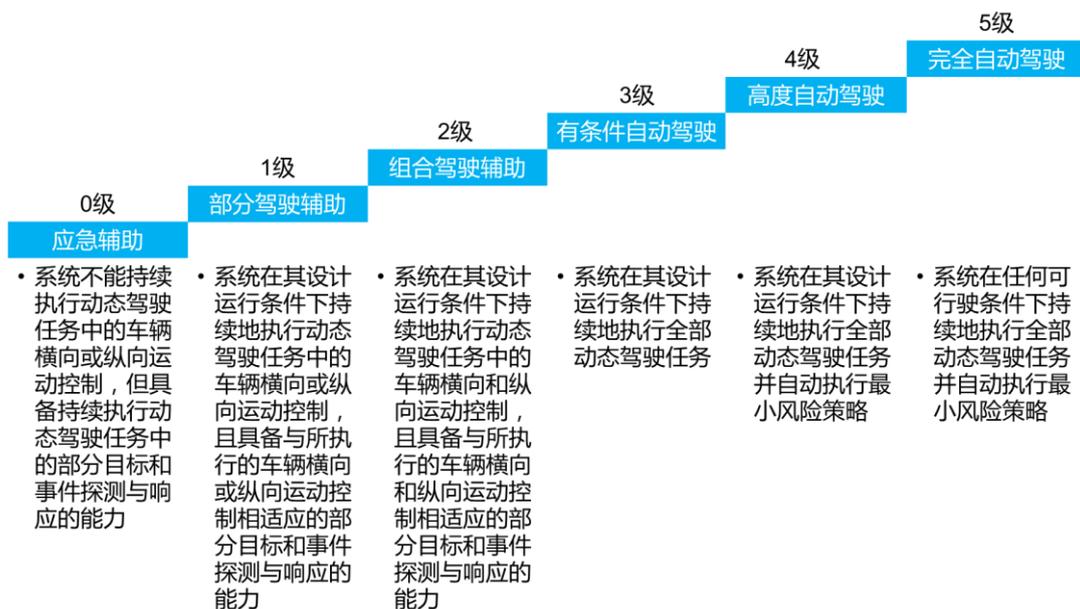


图 4-8 汽车驾驶自动化分级

5 传统航运的要素解构

航运（Shipping）是交通运输方式的一种，其本质是利用船舶这一载运工具通过水路将人或货物从一个地方运送到另一个地方。这其中涉及的人员、设备、系统、消耗品、管理、服务及其关系如图 5-1 所示。因此，航运是以船舶（Ship）为核心，并通过其与人员（此处仅限船舶操作人员——船员）、货物（含乘客）、港口、环境 4 个要素的互动，依托航运监管、航运保障和航运服务，依据特定的逻辑和时空关系形成的链式关系形态，如图 5-2 所示。

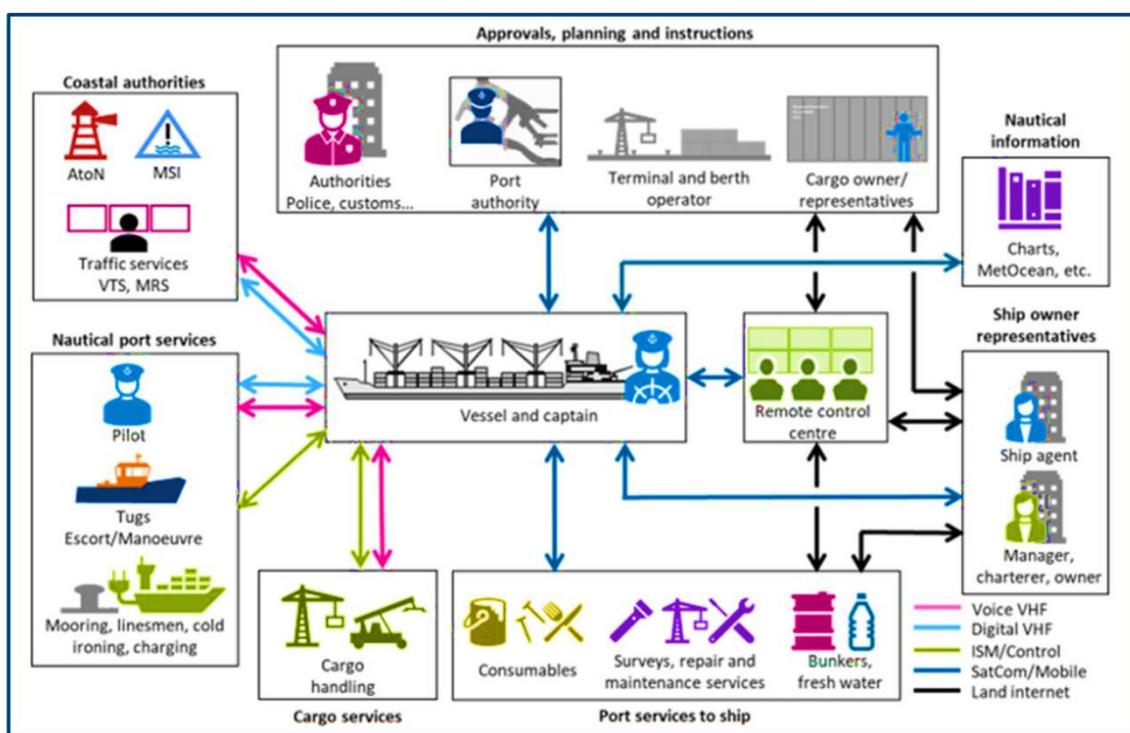


图 5-1 航运系统组成¹

¹ Advanced, Efficient and Green Intermodal Systems(AEGIS). Resilience in automated transport systems. Deliverable D2.5-Version Final, 2022-11-30. <http://aegis.autonomous-ship.org/>.

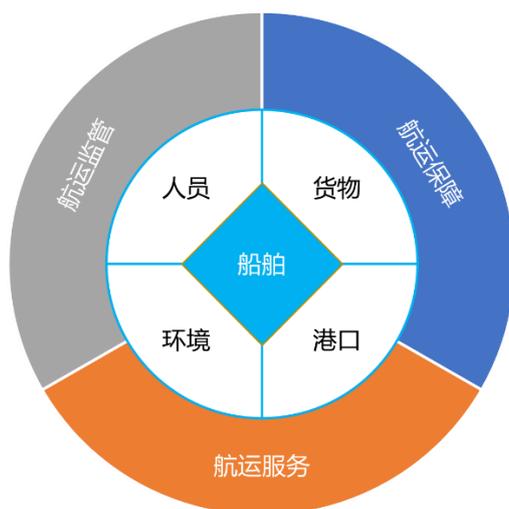


图 5-2 传统航运要素的关联关系

5.1 多维视角下的船舶

1. 船舶类型

船舶有不同的分类方法，通常按用途分为军用船舶和民用船舶。就民用商船而言，通常又进一步按用途细分为货运船舶、客运船舶、工程船、工作船、休闲游艇等类型，如图 5-3 所示。船舶智能化发展，必然绕不开按船舶类型分门别类、有序推进的发展思路，浮在表面的泛泛而谈毫无意义。本报告主要针对货运船舶进行解构和分析，并不否认其他类型船舶有更易于、更快速实现智能化和自主化的可能性。想当然地认为，功能和工作场景比较单一的小型休闲游艇更易于实现智能化和无人化，但其不是本报告讨论的重点。

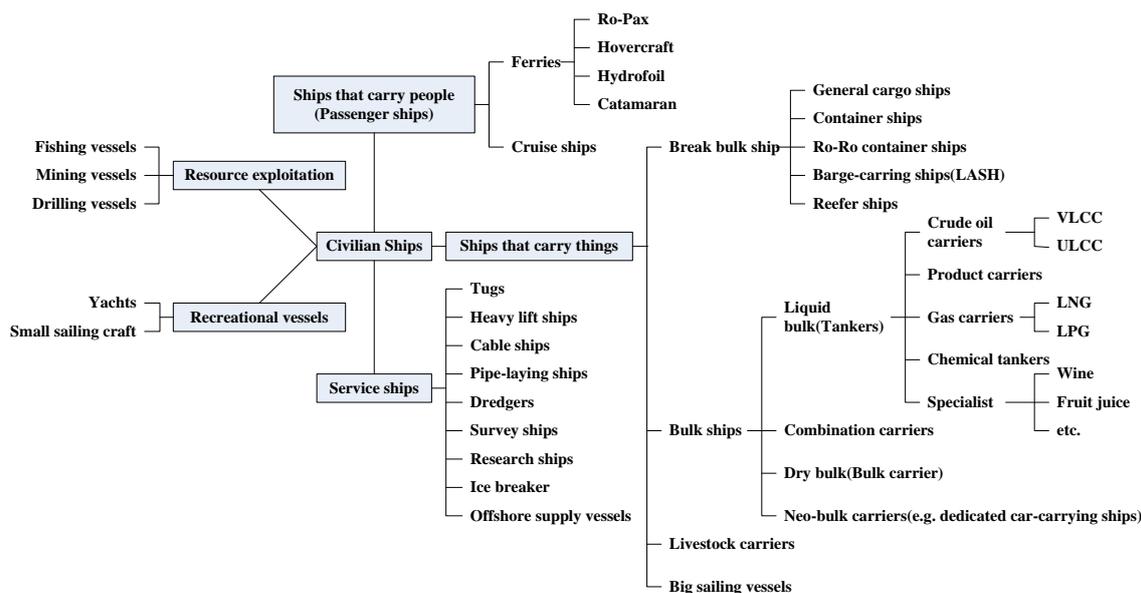


图 5-3 船舶类型

II. 船舶生命周期阶段

船舶是一种工程创造物，因此也具有工程创造物的从摇篮到坟墓的生命周期阶段：研发(Conceiving)、设计(Designing)、建造(Implementing)、运行(Operating)和拆解(Recycling)，如图 5-4 所示。



图 5-4 船舶生命周期阶段

III. 船舶运行工况

无论是船舶设计阶段的热源系统、电源系统设计选型，还是排放量化、风险评估等多个主题下的学术研究，货运船舶的正常运行通常划分为海上航行、进出港、

装卸货、停泊(含锚泊和靠离泊)等4个工况;而对于应急运行而言,可划分碰撞、搁浅、火灾、进水、溢油、人员落水等情况,如图5-5所示。



图 5-5 船舶运行工况

IV. 船上例行作业

船舶在不同的运行工况下,诸多例行的操作和作业工况(如图5-6所示)将决定人员的职能定位和智能化的发展需求。



图 5-6 船舶例行作业¹

¹ Advanced, Efficient and Green Intermodal Systems(AEGIS). Resilience in automated transport systems. Deliverable D2.5-Version Final, 2022-11-30. <http://aegis.autonomous-ship.org/>.

V. 船体与设备

智能航运发展最关键的是船舶相关装备和设备的智能化和自主化，并协助人员的减少或实现遥控操作。根据设备的功能、所处的位置等元素进行划分，全船总体结构与设备可分解为包括船体与结构、驾驶台设备、上层建筑舾装设备、轮机和电气设备、甲板机械等，如图 5-7 所示。



图 5-7 船体与设备总览

5.2 货物

航运的本质是以船舶为载运工具，通过水路将运输对象——货物安全、优质、快速、经济地从始发港运达目的港的行为。对于无货物运输的船舶，关于货物操作与管理的功能需求对于船舶智能化、自主化而言可忽略。本节仅针对有货物（含乘客）运输需求的船舶。

1. 货物类型与形态

研究各类货物的形态和特性对货物在整个运输过程中各个环节的安全操作和有效管理不可或缺。根据货物的形态和特性，货物通常分为散装固体货物、散装液体货物、集装箱、件杂货、滚装货物、乘客等，如图 5-8 所示。

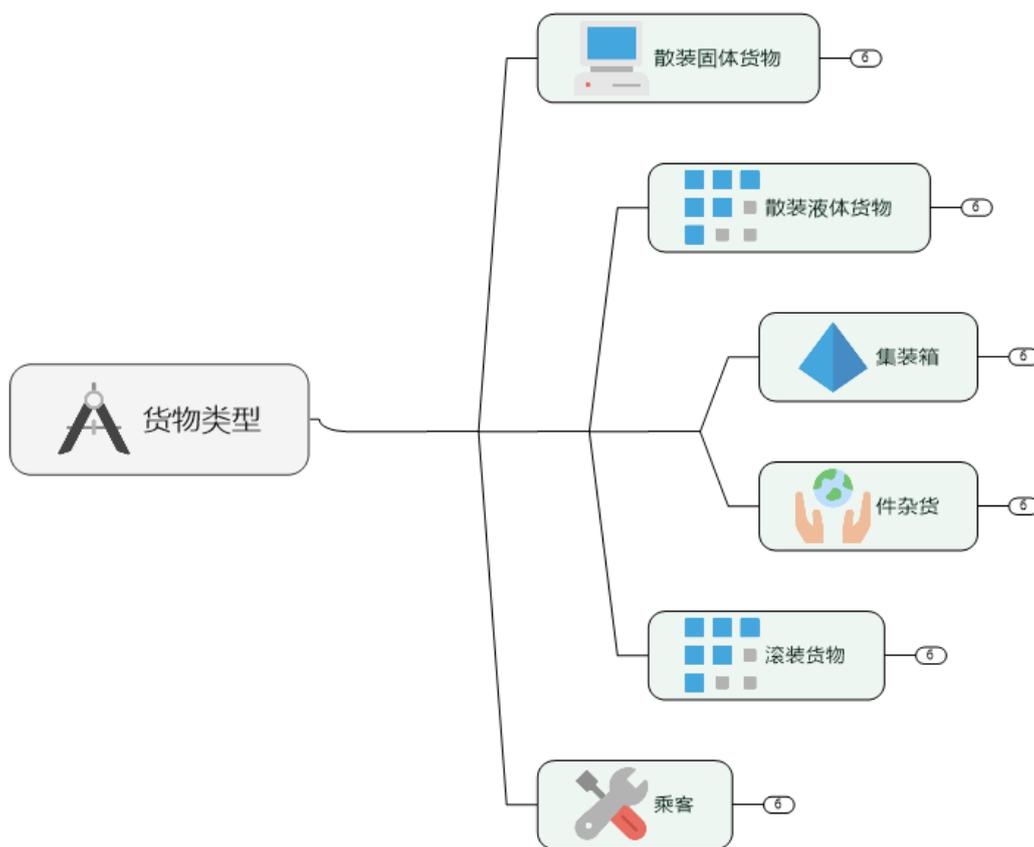


图 5-8 货物类型

(1) 散装固体货物

散装固体货物包括煤炭、矿石、水泥、化肥、谷物、木材等各种散装货物，这些货物在运输过程中需要遵守一系列的规则 and 标准，如《国际海运固体散装货物规则》(International Maritime Solid Bulk Cargoes Code, IMSBC)¹²³、《国际散装谷物安全运输规则》(International Code for the Safe Carriage of Grain in Bulk, Grain Code)

¹ <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/CargoesInBulk-default.aspx>.

² [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.393\(95\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.393(95).pdf).

³ <https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/gjhzs/202006/P020200623763251332153.pdf>.

¹，以确保货物的安全和运输的顺利进行。散装固体货物装载前要进行充分的检查和准备工作，货物的质量、数量、包装、标记等都要符合国家和行业标准要求；同时，货物的装载设备、运输工具也需要进行检查和维护，确保其符合安全要求；货物装载应该均匀分布，避免出现过重或过轻的情况；货物卸载按顺序进行，避免出现货物的倾斜或移动；运输过程中需要进行定期的检查和维护，以确保货物的安全和运输的顺利进行。

近年来，存在较高运输安全风险的是易流态化散装固体货物。易流态化散装固体货物，是指含有部分细颗粒和一定量水分的，当水分含量超过适运水分极限时会流态化的散装固体货物，主要包括铁精矿、铜精矿、高岭土、红土镍矿和其他具有类似物理性质的货物。运输易流态化散装固体货物常见的安全风险点包括：装卸货物与申报不符导致货物装卸条件不符合规定，导致运输过程中发生危险；作业码头资质不满足装卸货物要求导致事故发生；货物含水量超过适运水分极限，导致运输过程中发生危险；货物积载、隔离、平舱不符合要求导致运输过程中发生危险；恶劣天气（雨雪）情况导致易流态固散货物含水率超标，导致运输过程中发生危险；污水管系、探测管系以及其它管系未处于良好状态导致运输过程中发生危险；人员防护措施和设备仪器配备不到位导致人员伤亡；未做到对货物作业全过程连续不断监控，致使货物未按规定装卸产生危险；货舱舱盖不水密导致货舱进水发生危险；易流态化散装固体货物物理货机构资质不符合规定导致货物装载不合要求，导致装卸或运输过程中发生危险。

（2）散装液体货物

散装液体货物包括原油及其产品、散装液体化学品、散装液化气等。

原油及其产品具有挥发性、易燃性、爆炸性、易感静电性、粘结性、毒害性、涨缩性、污染性等特性，储存、运输、装卸存在较大的风险性，须有专门的设备设施。原油及其产品包括原油和成品油两大类，后者包括燃料油类、润滑油类、化工用料类和建筑材料类共 4 大类。

散装液体化学品是指温度为 37.8℃，其蒸汽压不超过 0.28MPa 的液体石油化工品和人工合成化学品，并经过对火灾危险性、健康危险性、水危险性、空气污染

¹ <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Grain-Code.aspx>.

危险性和反应危险性评价列入《国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则》（The International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk, IBC Code）¹²第 17 章的液体物质和按有毒液体物质的分类准则进行污染危害评估列入《MARPOL 公约》附则II中的物质，根据货物种类可分为石油化工产品和非石油化工产品。

散装液体化学品的特性包括：密度范围大，有的比水轻、有的比水重；蒸气的相对密度大；粘度大，流动性差，装卸时需加热；腐蚀性强；毒性大；易燃；反应性；自身反应性；蒸气压高，沸点低；热敏感性；对杂质极其敏感；对海洋的污染性。散装液体化学品货物运输和装卸作业前，船岸之间应做好联络沟通，交换信息资料，船方在抵港前应将有有关事项通知港方，港方应将泊位水深、港口气象资料、待装货物、卸货港接收设施等详细情况通告船方。装货前对货舱做好清舱准备，并根据船岸安全检查表进行检查和做好准备；船舶航行中应定期检查货物的温度、液舱空档的压力控制情况；卸货需在检查确认货物取样无任何异常后方可进行。装卸货、航行中的管理、洗舱、排气、船舶及设备维修等，都必须严格遵守有关的安全操作规定。对于散装有毒液体物质，应防止其对水和空气的污染，对某些蒸气毒性很大的物质，船、岸必须设置蒸气回收处理装置。

散装液化气是指在常温下是气体，经降温或在临界温度以下被压缩成液体的物质。《国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则》（The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, IGC Code）³⁴将液化气定义为在温度为 37.8°C，其蒸汽压大于 0.28MPa 的液体及理化性质与这些液化气体相近的货品。散装液化气通常包括 LNG、LPG、液化化学品气等。散装液化气的特性包括：液化和气化；外观和气味；比重和相对密度；水溶性和水合物；自身聚合反应；与空气反应；化学相容性；与材料及其他物质的相容性；与水

¹ <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IBC-Code.aspx>.

²

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.225\(64\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.225(64).pdf).

³ <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGC-Code.aspx>.

⁴

https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/publications/Documents/Supplements/English/IGC_2003sup.pdf.

反应及其腐蚀性、易燃性、毒性等。货物装卸前应制定装卸计划，做好货舱气体环境控制；航行中，应对船舱空间的气体进行不断的检测，万一货舱发生轻微泄漏，应利用排气装置使气体的浓度控制在爆炸下限以下。

（3）集装箱

集装箱，是能装载包装或无包装货进行运输，并便于用机械设备进行装卸搬运的一种成组工具。集装箱最大的成功在于其产品的标准化以及由此建立的一整套运输体系。能够让一个载重几十吨的庞然大物实现标准化，并且以此为基础逐步实现全球范围内的船舶、港口、航线、公路、中转站、桥梁、隧道、多式联运相配套的物流系统。

集装箱运输是国际贸易货物多式联运过程中的重要运输方式。由于集装箱运输具有标准化高、密封性好，破损率低、集约化、规模化、班轮化、成本低、质量好等优点，大大提高了货物运输的安全和效率。目前，国际上负责制定货运集装箱标准的国际组织包括国际海事组织（IMO）、国际标准化组织（ISO）等。其中 IMO 主要通过其下设的货物和集装箱运输分委会（CCC 分委会）制定船载集装箱相关安全操作规范，并以 IMO 文书的形式发布。ISO 的货运集装箱标准则由 ISO/TC104 国际集装箱标准化技术委员会负责，标准包括工业标准、运输标准和基础标准三大类。国际标准化组织 ISO/TC104 技术委员会自 1961 年成立以来，对集装箱国际标准作过多次补充、增减和修改，现行的国际标准为第 1 系列共 13 种，其宽度均一样（2438mm）、长度有四种（12192mm、9125mm、6058mm、2991mm）、高度有三种（2896mm、2591mm、2438mm）。国际上通常使用的干货柜有：外尺寸为 20 英尺*8 英尺*8 英尺 6 吋，简称 20 尺货柜；外尺寸为 40 英尺*8 英尺*8 英尺 6 吋，简称 40 尺货柜；外尺寸为 40 英尺*8 英尺*9 英尺 6 吋，简称 40 尺高柜。

（4）件杂货

件杂货又叫件杂货物，简称件货或者杂货，是可以以件计量的货物，英文叫 **general cargo**，也就是普通货物。件杂货物又可以分为包装货和裸装货，包装货就是可以用包、袋、箱等包装起来运输的货物，裸装货就是没有包装或者无法包装的货物。具体举例：钢材及钢材制品，铁及铁制品，各种纸类，棉花，天然橡胶，皮

革制品，服装制品，塑料制品，袋装水泥，袋装化肥，袋装粮食，机械设备，交通工具，文具，日用品，木材及木材制品，玻璃及玻璃制品，工艺品等等。

相比普通散货，件杂货运输的货物对象尺寸和重量比较超常规，无法用集装箱的方式运输，常用3万吨左右的小船进行运输。随着物流方式的发展，件杂货物流方式正朝着散装化、集装化方向发展。对颗粒状（或粉末状）货物，去掉包装，采用裸露方式进行物流；将成组运输单元扩大，采用标准容器进行物流。然而由于发展的不平衡，仍有大量物流形式采用传统的件杂货方式。

在船舶装卸作业方面，要充分利用船舶舱容、货物重量，且不能超载，因此在装卸中应该轻重货物合理搭配；保持船体稳定性和前后吃水的平衡；保证船体强度的安全（不能集中受载）；避免货物挤压损坏和相互污染，为此，应该重货在下，轻货在上。

（5）滚装货物

滚装运输是指使用滚装船连车带货一起装运的一种海上运输方式。运输对象主要为集装箱及其他成组货物，一般以挂车或卡车装运，上船后，转到多层甲板多个货物舱位，挂车和卡车也随货一并船运，不再倒载。滚装船货物装卸不是从甲板上的货舱口垂直的吊进吊出，而是通过船舶首、尾或两舷的开口以及搭到码头上的跳板，用拖车或叉式装卸车把集装箱或货物连同带轮子的底盘，从船舱至码头的一种船舶。滚装船的主要优点是：不需要起货设备，货物在港口不需要转载就可以直接拖运至收货地点，缩短货物周转的时间，减少货损。

广义上的滚装运输是以货物滚装装卸方式为识别点，与之相关的运输方式称之为滚装运输。狭义上的、行业实践中的滚装运输，可以定义为：主要是以滚装船运输为主的水路运输方式。全国科学技术名词审定委员会将滚装运输解释为：将装有集装箱的货车、或装有货物的带轮的托盘、或各种机动车作为货运单元，牵引进船舶的货舱后，进行货物运输的一种运输方式。我国交通主管部门颁布的《水路货物滚装运输规则》将水路货物滚装运输定义为：以一台不论是否装载旅客或货物的机动车辆或移动机械作为一个运输单元，由托运人或其雇佣人员驾驶直接驶上、驶离船舶进行的水路运输。

滚装运输一般包含了三类要素：滚装运输的对象——滚装货物（RoRo Cargo）；滚装运输的运输工具——滚装船舶（RoRo Ship）；滚装运输中货物装卸的节点——滚装码头（RoRo Terminal）。包括乘用车、商用车在内的商品汽车是滚装运输中主要货物种类；此外，滚装货物还包括了农用机械、工程机械和无动力设备等。随着科技进步和造船工业的发展，运输滚装货物的船舶也越来越专业化、大型化，滚装船舶的种类也越来越多。在滚装货物运输船舶中，除传统的巡航渡船、货船和驳船外，出现了装卸效率高、安全性强的汽车运输船（pure car carrier, PCC; pure car/truck carrier, PCTC）、客运滚装船（roll on/roll off passenger, RoPax）、集装箱滚装船（container and RORO ship, CONRO）、滚上吊下船（roll-on lift-off ship, ROLO）等各类滚装船。在滚装货物和滚装船舶多样化发展的背景下，高效的专业化滚装码头应运而生。除客滚码头有接待乘客的设施外，专业化的货物运输滚装码头根据运输对象的不同，其码头设施和堆场也各具特色。滚装码头堆场可以堆存汽车、集装箱和机械等货物。

（6）乘客

客船，是指专门用于运送旅客及其所携带的行李和邮件的船舶。通常多为定期定线航行，故亦称“班轮”。根据《国际海上人命安全公约》的规定，凡载客超过12人者均应视为客船。客船的特点是：具有多层甲板的上层建筑，用于布置旅客舱室；设有较完善的餐厅和卫生娱乐设施；具有较好的抗沉性，一般为“二舱不沉制”或“三舱不沉制”；配备有足够的救生、消防设施；航速较快和功率储备较大。随着远程航空运输的发展，客船逐渐转为短途运输和旅游服务。

II. 货物操作与管理

货物的水上物流过程包括港口终端的货物集疏运与仓储、货物装卸、水上运输等环节，而其水上运输环节又可细分为货物受载、配载、装载、积载、运载、卸载等，相应的货物操作与管理主要包括货物集疏运、配积载、装载、运载和卸载，如图 5-9 所示。

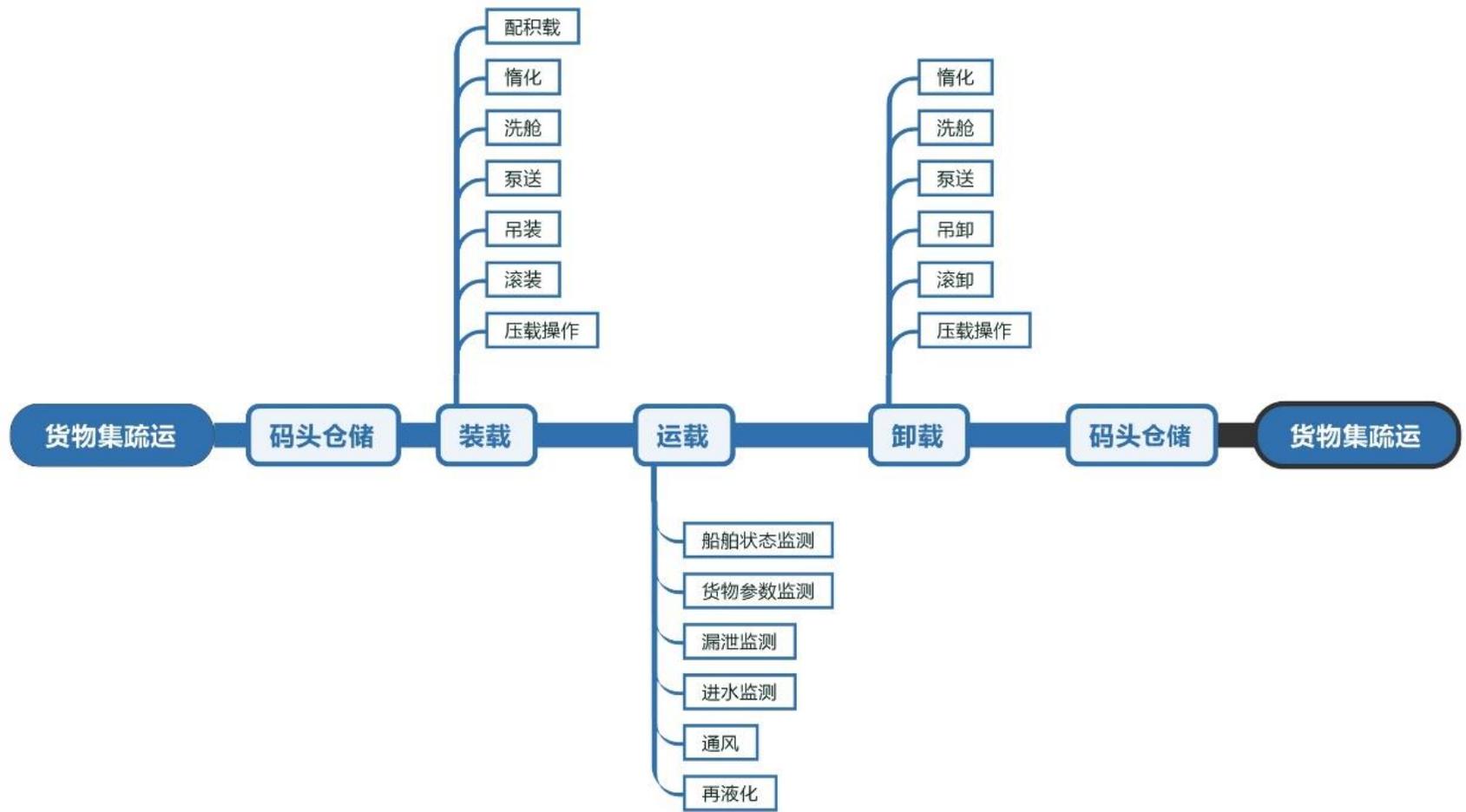


图 5-9 货物操作与管理

5.3 港口

在水路运输体系中，港口是海陆交界面，是航运网络的关键节点，如图 5-10 所示。其功能体现在服务船舶、人员和货物，是船舶的中继站、人员的集散地、货物的接驳终端，具体包括货物集疏运、货物仓储、货物装载与接卸、泊位供应、锚地供应、燃料加注、淡水供应、物资供应、污油水接卸、垃圾接卸、人员轮换等。智慧港口要实现的功能包括闸口管理、堆场管理、集装箱管理、装卸管理、引航调度、物流实时跟踪、智能仓储、港内综合管理等。

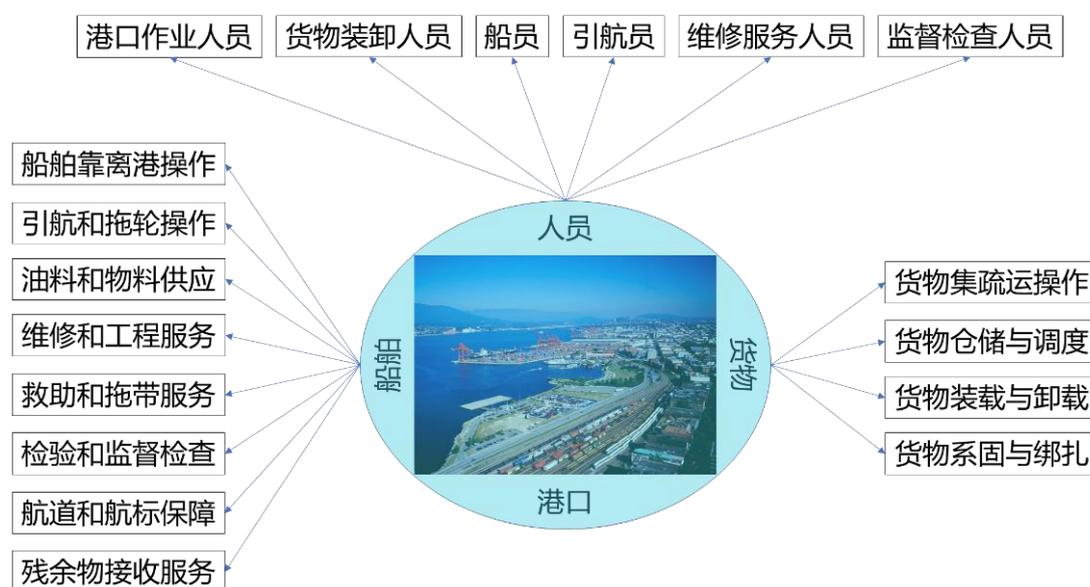


图 5-10 港口的功能构成

5.4 环境

环境条件主要包括气象环境、水文环境和通航环境，直接影响船舶的营运安全性、可靠性、经济性等。

1. 气象环境

气象环境包括风速、风向、温度、湿度、海面能见度等。风速仪、风向仪、温度传感器、湿度传感器能够实时感受气象环境条件；海面能见度不良条件下，雷达、罗经、ECDIS 等现代化的导航仪器能显著发挥作用。现阶段，通过气象预报已经

能够达到对极端恶劣气象条件的规避；同时，气象导航还成为了船舶节能减排的重要措施之一。

II. 水文环境

水文环境包括流速、流向、波高/浪高/涌高、平均周期、水温、冰情、固定障碍物、运动物标、潮汐、水深。

III. 航道类型

航道类型包括开敞水域、进出港航道、船闸、运河、拥挤水域、作业区域。

5.5 人员

此处人员系指与船舶操作、管理、维护直接相关的人员，就其类型而言，主要包括船员、岸基操作人员、引航员、维修保养人员、货物装卸人员等。根据《海员培训、发证与值班标准国际公约》（**International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW**）及其历次修正案，尤其是 **STCW** 规则马尼拉修正案，船员的适任标准被划分为 7 大职能模块，如图 5-11 所示。

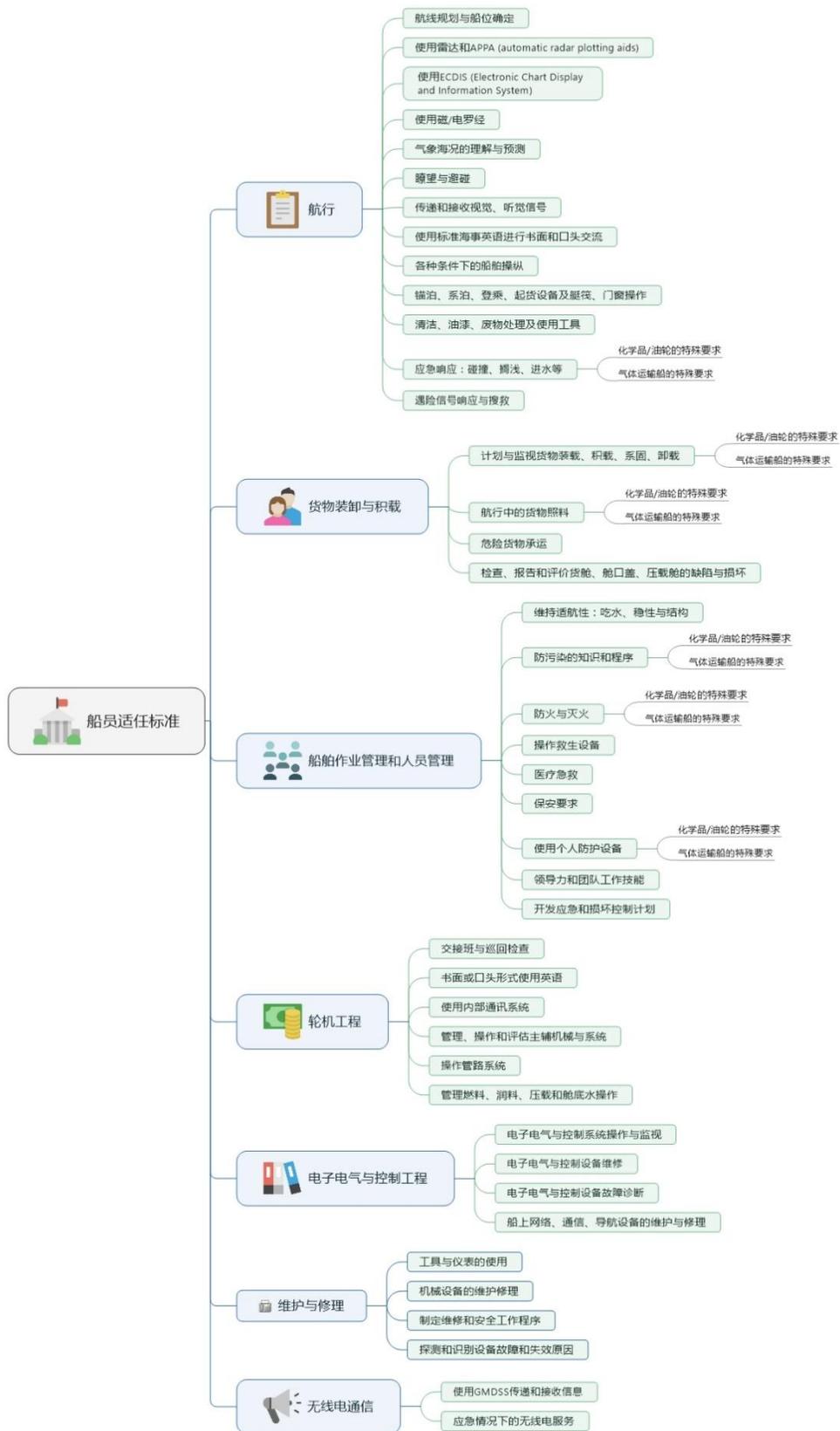
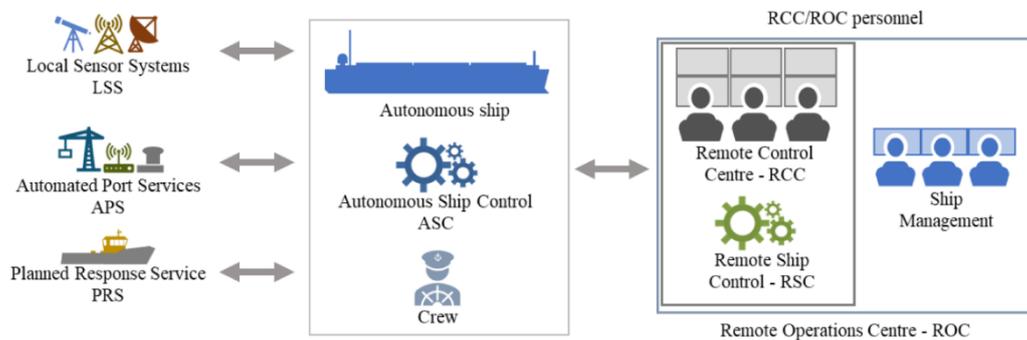


图 5-11 人员职能要求

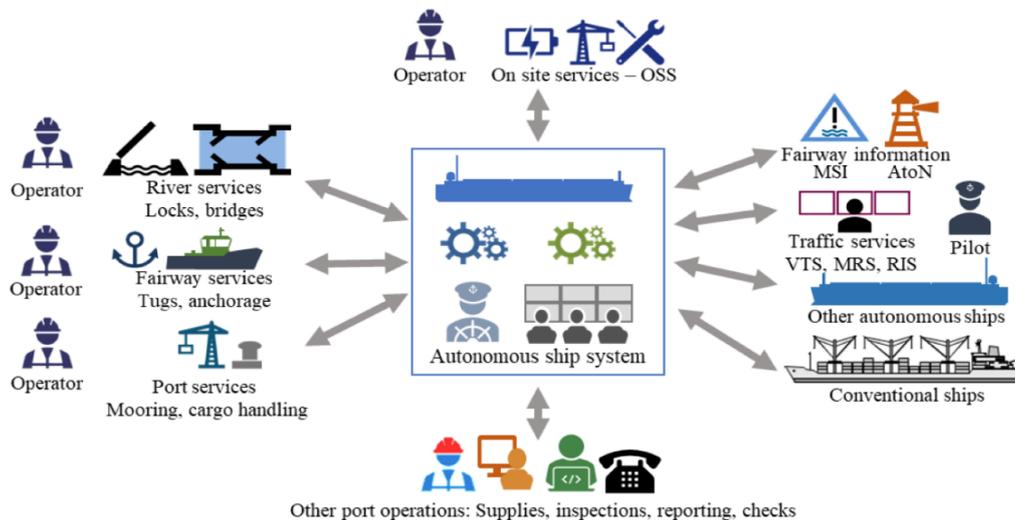
6 智能航运的功能需求

6.1 智能航运要素解构

自主船舶系统的一些常见组件如图 6-1(a)所示，其中箭头表示通信链路；一些被认为是自主船舶系统之外的组件如图 6-1(b)所示，作为系统的环境和背景。在设计阶段，系统内部和外部的定义是一个相对有点主观的决定问题。通常，在控制策略中有更紧密关系的组件将集成在系统中，实际的系统可能并不包含所有组件，可能也有一些其他组件包括在系统中。



(a) 自主船舶系统的组件



(b) 自主船舶系统的物理背景

图 6-1 智能航运系统¹²

¹ Rødseth Ø. J., Faivre J., Hjørungnes S.R., Andersen P., Bolbot V., Pauwelyn A.S., Wenersberg L.A.L. AUTOSHIP deliverable D3.1: Autonomous ship design standards. Revision 1.0, June 2020.

² <https://aegis.autonomous-ship.org/resources/reports-and-articles/>.

自传统航运过渡到智能航运，需要处理的一个核心问题是人员与系统的关系，这意味着新的角色的引入，如图 6-2 所示。

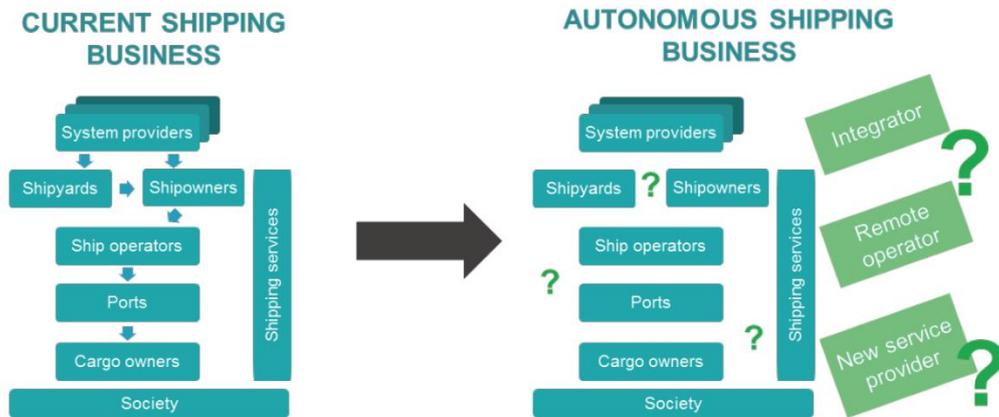


图 6-2 智能航运中的角色重构¹

基于传统航运的要素解构，这里提出智能航运的要素及其关联关系如图 6-3 所示。在以船舶为核心，并通过其与人员、货物（含乘客）、港口、环境 4 个要素的互动，依托航运监管、航运保障和航运服务，形成的链式关系形态基础上，智能航运发展还更多的依赖技术、装备（设备与系统）、（基础）设施和模式的创新与突破。这里主要针对新增加的这四个要素进行阐述。

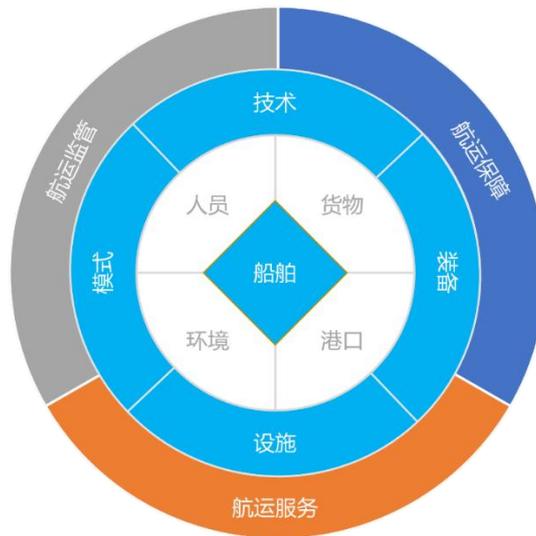


图 6-3 智能航运要素的关联关系

¹ Source: Rolls-Royce. Remote and Autonomous Ship: The next steps. AAWA Position Paper, London, UK (2016). <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2016/21-06-2016-rr-publishes-vision-of-the-future-of-remote-and-autonomous-shipping.aspx>.

I. 技术

一项功能可以由不同程度的自主权所涵盖，在处理人员与系统的关系问题时，以下的方法可用于阐明功能的哪一部分将由人员解决，哪些将由系统解决。无论是甲板部的航行或轮机部的工程问题，如图 6-4 所示，功能的控制可以分为四个主要部分：

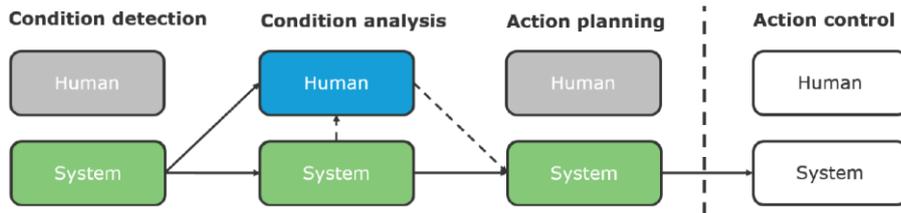


图 6-4 功能的控制——人员/系统的角色¹

- ◇ 状态检测（数据采集）：获取与功能控制相关的信息，该信息可以基于传感器和/或人员感知。
- ◇ 状态分析（数据分析）：将获取的信息解释为与功能控制相关的情境理解。
- ◇ 行动规划（决策）：确定所需的控制参数变化，以便将功能性能保持在适用的范围内。
- ◇ 行动控制（执行）：通常通过经由控制系统操作的执行器来实现控制参数的计划变化。

相关文献也将自主系统划分为感知（信息层）、决策（决策层）和执行（控制层）三个层面²。因此，对于智能航运系统而言，所涉及的技术也正在于前端的传感器、数据采集和融合，自主系统内部的分析、决策和执行，后端的通信和网络安全，以及系统集成、数字孪生、测试验证等领域³。

II. 装备

面向智能航运的船舶设备、系统等装备配套的发展，可以从两个思路着手：一方面是对现有船舶设备、系统考虑如何智能化发展；另一方面是从总体的功能需求

¹ DNV. Autonomous and remotely operated ships. Class Guideline: DNV-CG-0264, Edition September 2021.

² 马勇, 王雯琦, 严新平. 面向新一代航运系统的船舶智能航行技术研究进展. 中国科学: 技术科学, 2023, 53:1-12.

³ 中国智能船舶创新联盟. 智能船舶发展白皮书——远洋船舶篇（2023）.

入手构思设备、系统的发展。结合 IMO 界定的四个类型的船舶自主运行模式，本报告以典型船舶设备、系统为研究对象，对其在不同运行模式下的开发需求进行了梳理，结果如附录 A；同时基于 STCW 公约关于船舶人员职能和适任的界定，从系统代替人员的角度，也对系统开发需求进行了初步梳理，结果如附录 B。

对于自主与遥控操作船舶，其功能焦点在于，应采用基于风险的方法，并以运营为重点，以实现同等的安全水平，设计方法应具体解决实现这一目标所需的自动化基础设施的所有功能。其中一些功能是传统的船舶功能，另一些则与自动和远程操作有关。自动/遥控基础设施的关键功能包括但不限于（可能会根据船只类型、自主性和远程操作的预期水平进行扩展）¹：

- ◇ 航行和操纵（navigation and maneuvering）
- ◇ 远程控制和监督（remote control and supervision）
- ◇ 通信（communication）
- ◇ 稳性与水密完整性（stability and watertight integrity）
- ◇ 消防安全（fire safety）
- ◇ 救生（life saving appliances and equipment）
- ◇ 保安（security）
- ◇ 货物装卸（cargo handling）
- ◇ 系泊（mooring）
- ◇ 锚泊（anchoring）
- ◇ 推进（propulsion）
- ◇ 转向（steering）
- ◇ 电源（electrical power supply）
- ◇ 控制和监测（control and monitoring）
- ◇ 压载（ballasting）
- ◇ 泄放和舱底泵送（drainage and bilge pumping）
- ◇ 维护与修理（maintenance and repair）
- ◇ 搜寻与救助（search and rescue）

¹ DNV. Class Guideline: Autonomous and remotely operated ships, DNV-CG-0264, Edition September 2021.

◇ 应急响应 (emergency response)

上面列出的功能是高度抽象的，通常希望仅使这些功能的一部分远程控制或自主。然后需要对功能进行进一步分析，以确定应为自动、自主、远程控制或手动的不同部件。功能的详细说明需要在操作方面的分析过程中进行，其中单独的任务和子功能可被确定为自动或远程执行。

设备与系统的开发可能是高度集成的，在附录 B 中，关于遥控无人智能船舶的功能要求，初步设想可能至少需要 9 大集成性的系统，包括：

- ◇ 自主航行系统，功能可能包括船舶定位、测定和修正罗经差、雷达导航、ECDIS 导航、航行值班、预报天气和海洋水文状况、操舵、驾驶台资源管理、在各种条件下操纵和操作船舶；
- ◇ 遥控或自主靠离泊、锚泊和系泊系统；
- ◇ 信息与通信系统，功能包括使用英语、发出和接收视觉或听觉信息、搜寻和救助、应急反应，使用 GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) 的子系统及设备发出和接收信息，在紧急情况下提供无线电服务；
- ◇ 遥控或自主的货物处理系统，包括监控装货、积载、系固、航行中货物照管和卸载，危险货物运输等；
- ◇ 船舶稳性监测系统，包括检查、报告并评估货舱、舱口盖和压载舱的缺陷和损坏情况，监测水密完整性，控制吃水差、稳性和强度，保持船舶的适航性等；
- ◇ 自动消防系统，包括船上防火、控制火灾和灭火；
- ◇ 推进控制系统，包括主推进装置及附属设备和系统的操纵、监控、性能评估及安全维护；
- ◇ 辅助机械的控制系统，包括辅助机械的操纵、监控、性能评估及安全维护，发电机和配电系统的操作；
- ◇ 计划维修保养系统，包含备件物料和机务管理系统。

以自主航行系统为例，其集成性如图 6-5 所示。而自主航行系统，其输出又与推进系统和操舵系统直接相连，如图 6-6 所示。

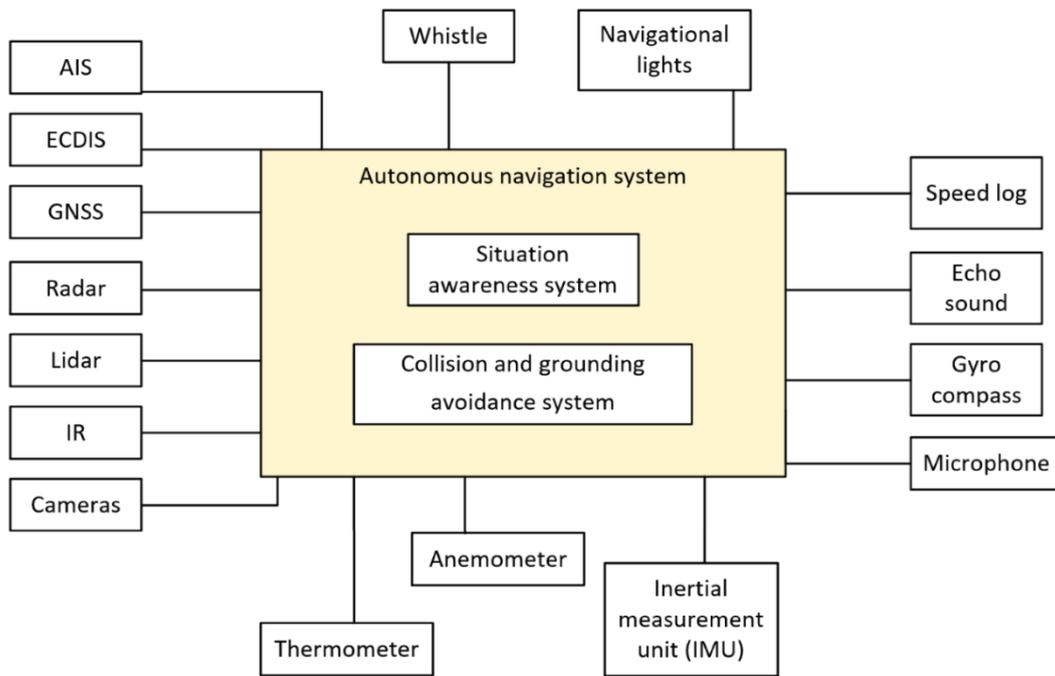


图 6-5 与自主航行系统相关的硬件设备¹

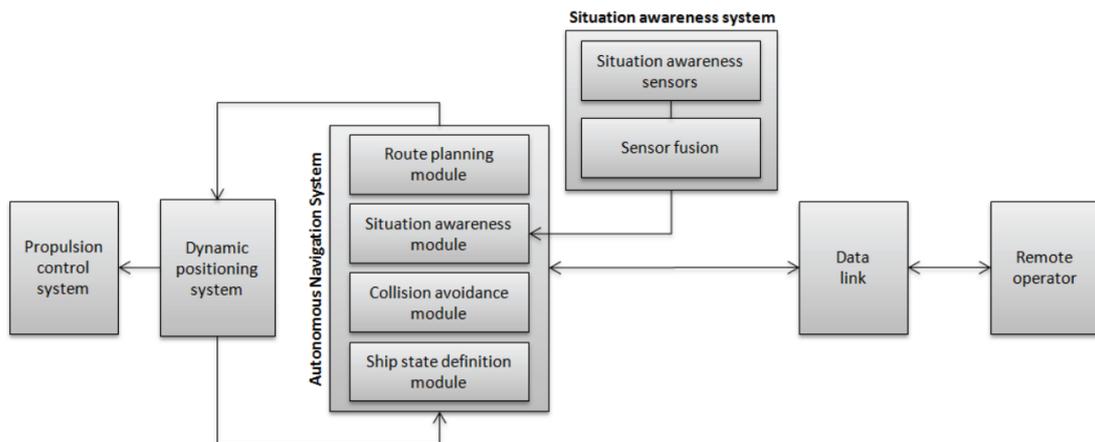


图 6-6 自主航行系统架构²

相对于传统船舶，智能船舶真正能减少甚至删除的设备和系统包括锅炉系统（考虑替代燃料应用）以及生活区、HVAC 系统（空调和通风系统）、伙食冷藏装置、生活污水处理装置、救生装置等与人员生活和生命安全直接相关的系统和设备。

¹ Rolls-Royce. Remote and Autonomous Ship: The next steps. AAWA Position Paper, London, UK (2016).

² Rolls-Royce. Remote and Autonomous Ship: The next steps. AAWA Position Paper, London, UK (2016).

III. 基础设施

智能航运发展所依托的基础设施，包括但不限于：

- ◇ 远程操作中心（ROC）
- ◇ 天基&岸基通信系统
- ◇ 航道与码头
- ◇ 测试场
- ◇ 规范和标准体系
- ◇ 第三方服务体系

IV. 模式

智能航运背景下，船舶营运和操作模式预期会发生变化，基于报告撰写人不成熟的设想，以下情景可能会出现：

- ◇ 对于不同类型、不同吨级、不同航区的船舶，有别于传统上统一由船员进行操作管理和维修保养的人工操作船舶，可能会出现人工操作船舶、智能系统辅助决策船舶、ROC 遥控有人在船船舶、ROC 遥控无人在船船舶、无人在船自主船舶等多种类型的船舶共存的局面。
- ◇ 对于传统船舶海上巡航、降速运行、机动操纵、靠离泊、货物装卸等运行阶段主要由在船船员完成的模式，可能会转变为部分运行阶段变为自主运行、遥控操作、系统辅助决策运行，船员可能全程在船或仅部分阶段在船，或者部分运行阶段由 ROC 操作员或第三方服务商完成。也就是说，报告撰写人鼓励船舶入级或授予附加标志时，针对不同运行阶段、针对不同设备系统增加灵活性。
- ◇ 对于全船船员操作管理一艘传统船舶的模式，可能转变为由在船船员团队、ROC 管理团队、岸基第三方服务团队根据一定的分工协同操作管理一艘智能船舶。
- ◇ 对于全船船员操作管理一艘传统船舶的模式，可能转变为 ROC 管理团队同时操纵管理多艘智能船舶的情景。此时 ROC 管理团队可能既不属于船东公司，也不属于船舶管理公司，而也是一种第三方服务团队。

6.2 智能航运背景下的人才需求

1. 海事专业人才

诚如“1 引言”部分所提及的，数字化、智能化和绿色低碳是当前和未来海事行业最重要的发展特征，同时伴随智能系统的替代和运行模式的改变，以及叠加人的全面发展和生涯发展的内在诉求，传统的在船工作的航海类人才需求会减少，部分人员和职能将发生转移和转化，所以本报告拟采用国际海事大学联合会（International Association of Maritime Universities, IAMU）所使用的海事专业人才（Global Maritime Professional, GMP）的概念¹来代替传统的航海类人才的概念，以明示这种未来的变化。

如前所述，智能航运背景下，船舶的操作管理和维护保养可能将由在船船员团队、ROC 管理团队、岸基第三方服务团队根据一定的分工协同完成，如图 6-7 所示。报告撰写人认为，未来基于 STCW 公约和规则以及 MASS 规则纳入船员管理的人员也将包括这三类人员，同时 ROC 管理公司和岸基第三方服务公司也应基于 ISM 规则建立安全管理体系。

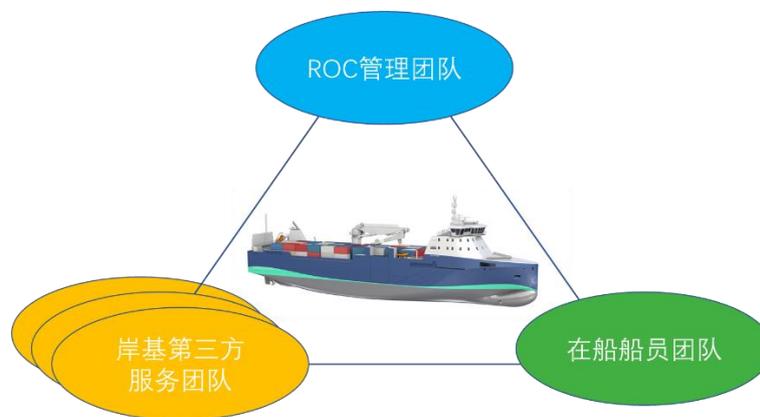


图 6-6 海事专业人才

（1）在船船员团队

即便对于具备遥控无人和完全自主两种功能的船舶，报告撰写人认为，在船船员团队依然应该予以保留。无论考虑技术层面的安全可靠或应急，还是考虑为 ROC 管理团队和岸基第三方服务团队提供有海上实践经验的专业技术人才，亦或是在

¹ <https://iamu-edu.org/gmp/>.

哲学层面考虑人类应该保有“Go to Sea”的渴望和能力，在船船员团队均有其不可替代的价值。当然，发展智能船舶，内在的驱动因素之一是减少船舶配员。那么，由于在船船员团队人数的减少，履行航行、轮机工程、电子电气与控制工程职能的船员虽然有其技术专长，但更多的还是倾向于发展成为传统所谓“驾机合一”的人才。参照附录 B，报告撰写人武断地认为，对于远洋航行，6人（含船长、航行工程师、实习航行工程师、管理级轮机工程师、操作级轮机工程师、实习轮机工程师），可能是智能船舶配员的下限，这既考虑发生重大险情的应急反应需要，也考虑在船船员团队社交和心理健康的需要。当然，具体配员多少，也受船舶类型、大小和航区等因素的影响。此时，传统的驾驶员、轮机员配员显著减少；支持级船员承担的值班职责完全由系统替代、日常维修保养职能完全转移到岸基第三方服务团队；传统的事务部岗位预期将彻底消失，在船船员团队自行承担厨师、服务员职责，航空食品、预制菜等概念或许将进入智能船舶领域。

（2）ROC 管理团队

基于近年来的技术进步（特别是在自动化、传感器技术、数字化、数据通信和决策算法领域），MASS 的引入越来越现实。但是，即使越来越多的功能被自动化接管或支持，人工操作员仍将发挥重要作用。操作员职能的这种变化意味着 MASS 操作员将需要获得不同的能力，并且必须根据即将到来的任务的要求进行培训。研究的主要重点在于调查未来 MASS 操作员的任务、功能和所需的能力。ROC 船长和操作员均是船员，这基本已成为国际海事行业的共识，但可能与传统的船员有不同的适任要求。DNV 《Competence of remote control centre operators》¹、EMSA 委托开展的研究项目《Identification of Competences for MASS Operators in Remote Operation Centres (CMOROC)》²³在这方面已经发布了有价值的研究成果或标准。ROC 管理团队包括船长或船队总监、远程操作员（管理级）、远程操作员（操作级）、轮机工程师（管理级）、轮机工程师（操作级）、电气或系统工程师等是基

¹ DNV. Competence of remote control centre operators. DNV-ST-0324, Edition August 2021.

² European Maritime Safety Agency (EMSA). Identification of Competences for MASS Operators in Remote Operation Centres. Final Report commissioned by the EMSA under framework contract 2022/EMSA/OP/24/2021, October 26, 2023.

³ <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5089-cmoroc-mass.html>.

本配置，但主要以操作、状态监测和故障诊断等职能为主，较少涉及现场维修保养职能。

(3) 岸基第三方服务团队

岸基第三方服务团队承担的职能可能包括货物装卸与配积载、进出港引航、船体及设备维修保养、应急和损害控制或处置紧急情况、医疗急救咨询服务等。对于岸基第三方服务团队，像履行货物装卸与配积载、进出港引航、船体及设备维修保养、应急和损害控制或处置紧急情况等职能的负责人，建议也应纳入具有适任证书船员资格管理，而其他人员可仅要求具有合格证书船员资格。尽量减少船舶配员，但岸基第三方服务团队也应同步壮大，全球化的关键节点港口的布局也应顶层设计、提早规划。

II. 知识、技能与适任

根据附录 B 基于 STCW 公约和规则的初步梳理，智能船舶在船船员团队、ROC 管理团队以及岸基第三方服务团队的人员职能和适任要求如表 6-1、表 6-2 和表 6-3 所示¹。当然，智能、低碳航运背景下，人员适任要求中关于知识、技能与适任尤其要额外强调计算机和信息学相关的内容，如信息与通信技术、自动化、数字化、大数据、人工智能、云计算、网络安全和决策支持系统等内容，以及环境保护、气候变化、去碳化、替代能源与燃料、海事行业的性别平等和体面工作等可持续性议题。后续，基于 Bloom 教学目标分类学，对在船船员团队、ROC 管理团队以及岸基第三方服务团队的人员根据责任级别，设定具体的教学目标，进行课程开发和教学大纲制定，就成为需要业界尽快解决的问题，以便指导智能航运背景下的海事专业人才培养。

¹ 注：ROC-Remote Operation Center; TPC-Third party contractors; N/A-不适用。

表 6-1 在船船员团队的人员职能和适任要求

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
Functions 职能 I: 航行				
制订航次计划	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
船舶定位	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
测定和修正罗经差	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
雷达导航	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
ECDIS 导航	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
航行值班	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
预报天气和海洋水文状况	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
操舵	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
驾驶室资源管理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
在各种条件下操纵和操作船舶	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
靠离泊、锚泊和系泊	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
使用英语	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
发出和接收视觉、听觉信息	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
搜寻和救助	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
应急响应	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
Functions 职能 II: 货物装卸和积载				
监控装货、积载、系固、航行中货物照管和卸载	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
检查、报告并评估货舱、舱口盖和压载舱的缺陷和损坏情况	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
危险货物运输	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
Functions 职能 III: 无线电通信				
使用 GMDSS 的子系统及设备发出和接收信息	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
在紧急情况下提供无线电服务	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
Functions 职能 IV: 船舶作业管理和人员管理				

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
控制吃水差、稳性和强度，保持船舶的适航性	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
监督和控制对法定要求的遵守	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
确保遵守防污染要求	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
甲板设备和机械的安全操作	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
物料管理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
应用职业健康和安全生产预防措施	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
人员和船舶的安全	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
保持船舶、船员和旅客的安全、保安及救生、消防和其他安全系统的工作状态	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
船上防火、控制火灾和灭火	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
操作救生设备	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
制订应急和损害控制计划并处置紧急情况	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
领导力、管理技能和团队工作技能的运用	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
船上医疗急救	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
Functions 职能 V: 轮机工程				
主推进装置和辅助机械的操纵、监控、性能评估及安全维护	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
发电机和配电系统的操作	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
燃油、润滑油和压载水的操作管理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
燃油系统、滑油系统、压载水系统和其他泵系以及相关控制系统的操作	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
轮机值班	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
操作应急设备	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
加装燃油和驳油作业	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
以书面和口语形式使用英语	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
使用内部通信系统	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
Functions 职能 VI: 电气、电子和控制工程				
电气、电子控制设备的操作管理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
电气电子控制设备的故障诊断	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
操作电气、电子和控制系统	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
对电气、电子和控制系统的运行监控	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
操作船上计算机及计算机网络系统	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
Functions 职能 VII: 维护和修理				
维护和修理程序的管理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
探测和识别机器故障原因并消除故障	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
使用船上加工和修理工具及测量仪表	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
船上机械和设备的维护与修理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
电气和电子设备的维护与修理	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A
维护和修理主推进装置、辅助机械、驾驶室航行设备、船舶通信系统、甲板机械、装卸货设备以及生活设备的自动、控制和安全系统	Human-on-Board	Human-on-Board	N/A	N/A

表 6-2 ROC 管理团队的人员职能和适任要求

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
Functions 职能 I: 航行				
制订航次计划	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
船舶定位	N/A	N/A	N/A	N/A
测定和修正罗经差	N/A	N/A	N/A	N/A
雷达导航	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
ECDIS 导航	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
航行值班	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
预报天气和海洋水文状况	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
操舵	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
驾驶台资源管理	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
在各种条件下操纵和操作船舶	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
靠离泊、锚泊和系泊	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
使用英语	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
发出和接收视觉、听觉信息	N/A	N/A	N/A	N/A
搜寻和救助	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
应急响应	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
Functions 职能 II: 货物装卸和积载				
监控装货、积载、系固、航行中货物照管和卸载	N/A	N/A	N/A	N/A
检查、报告并评估货舱、舱口盖和压载舱的缺陷和损坏情况	N/A	N/A	N/A	N/A
危险货物运输	N/A	N/A	N/A	N/A
Functions 职能 III: 无线电通信				
使用 GMDSS 的子系统及设备发出和接收信息	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
在紧急情况下提供无线电服务	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
Functions 职能 IV: 船舶作业管理和人员管理				
控制吃水差、稳性和强度, 保持船舶的适航性	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
监督和控制对法定要求的遵守	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
确保遵守防污染要求	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
甲板设备和机械的安全操作	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
物料管理	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
应用职业健康和预防安全措施	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
人员和船舶的安全	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
保持船舶、船员和旅客的安全、保安及救生、消防和其他安全系统的工作状态	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
船上防火、控制火灾和灭火	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
操作救生设备	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
制订应急和损害控制计划并处置紧急情况	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
领导力、管理技能和团队工作技能的运用	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
船上医疗急救	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
Functions 职能 V: 轮机工程				
主推进装置和辅助机械的操纵、监控、性能评估及安全维护	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
发电机和配电系统的操作	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
燃油、润滑油和压载水的操作管理	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
燃油系统、滑油系统、压载水系统和其他泵系以及相关控制系统的操作	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
轮机值班	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
操作应急设备	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
加装燃油和驳油作业	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
以书面和口语形式使用英语	N/A	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC
使用内部通信系统	N/A	N/A	N/A	N/A
Functions 职能 VI: 电气、电子和控制工程				
电气、电子控制设备的操作管理	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
电气电子控制设备的故障诊断	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
操作电气、电子和控制系统	N/A	Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
对电气、电子和控制系统的运行监控	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
操作船上计算机及计算机网络系统	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
Functions 职能 VII: 维护和修理				
维护和修理程序的管理	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
探测和识别机器故障原因并消除故障	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
使用船上加工和修理工具及测量仪表	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
船上机械和设备的维护与修理	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
电气和电子设备的维护与修理	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC
维护和修理主推进装置、辅助机械、 驾驶室航行设备、船舶通信系统、甲 板机械、装卸货设备以及生活设备的 自动、控制和安全系统	N/A	Human-in- ROC	Human-in- ROC	Human-in- ROC

表 6-3 岸基第三方服务团队的人员职能和适任要求

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
Functions 职能 I: 航行				
制订航次计划	N/A	N/A	N/A	N/A
船舶定位	N/A	N/A	N/A	N/A
测定和修正罗经差	N/A	N/A	N/A	N/A
雷达导航	N/A	N/A	N/A	N/A
ECDIS 导航	N/A	N/A	N/A	N/A
航行值班	N/A	N/A	N/A	N/A
预报天气和海洋水文状况	N/A	N/A	N/A	N/A
操舵	N/A	N/A	N/A	N/A
驾驶台资源管理	N/A	N/A	N/A	N/A
在各种条件下操纵和操作船舶	N/A	N/A	N/A	N/A
靠离泊、锚泊和系泊	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
使用英语	N/A	N/A	N/A	N/A
发出和接收视觉、听觉信息	N/A	N/A	N/A	N/A
搜寻和救助	N/A	N/A	N/A	N/A
应急响应	N/A	N/A	N/A	N/A
Functions 职能 II: 货物装卸和积载				
监控装货、积载、系固、航行中货物照管和卸载	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC	Human-of-TPC
检查、报告并评估货舱、舱口盖和压载舱的缺陷和损坏情况	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC	Human-of-TPC
危险货物运输	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC	Human-of-TPC
Functions 职能 III: 无线电通信				
使用 GMDSS 的子系统和设备发出和接收信息	N/A	N/A	N/A	N/A
在紧急情况下提供无线电服务	N/A	N/A	N/A	N/A
Functions 职能 IV: 船舶作业管理和人员管理				
控制吃水差、稳性和强度, 保持船舶的适航性	N/A	N/A	N/A	N/A
监督和控制对法定要求的遵守	N/A	N/A	N/A	N/A
确保遵守防污染要求	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
甲板设备和机械的安全操作	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
物料管理	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
应用职业健康和安全预防措施	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
人员和船舶的安全	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
保持船舶、船员和旅客的安全、保安及救生、消防和其他安全系统的工作状态	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC

Competence 适任	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
船上防火、控制火灾和灭火	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
操作救生设备	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
制订应急和损害控制计划并处置紧急情况	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
领导力、管理技能和团队工作技能的运用	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
船上医疗急救	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
Functions 职能 V: 轮机工程				
主推进装置和辅助机械的操纵、监控、性能评估及安全维护	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
发电机和配电系统的操作	N/A	N/A	N/A	N/A
燃油、润滑油和压载水的操作管理	N/A	N/A	N/A	N/A
燃油系统、滑油系统、压载水系统和其他泵系以及相关控制系统的操作	N/A	N/A	N/A	N/A
轮机值班	N/A	N/A	N/A	N/A
操作应急设备	N/A	N/A	N/A	N/A
加装燃油和驳油作业	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
以书面和口语形式使用英语	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
使用内部通信系统	N/A	N/A	N/A	N/A
Functions 职能 VI: 电气、电子和控制工程				
电气、电子控制设备的操作管理	N/A	N/A	N/A	N/A
电气电子控制设备的故障诊断	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
操作电气、电子和控制系统	N/A	N/A	N/A	N/A
对电气、电子和控制系统的运行监控	N/A	N/A	N/A	N/A
操作船上计算机及计算机网络系统	N/A	N/A	N/A	N/A
Functions 职能 VII: 维护和修理				
维护和修理程序的管理	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
探测和识别机器故障原因并消除故障	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
使用船上加工和修理工具及测量仪表	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
船上机械和设备的维护与修理	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
电气和电子设备的维护与修理	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC
维护和修理主推进装置、辅助机械、驾驶台航行设备、船舶通信系统、甲板机械、装卸货设备以及生活设备的自动、控制和安全系统	N/A	N/A	Human-of-TPC	Human-of-TPC

7 促进中国智能航运高质量发展的对策建议

I. 深刻认识关于 MASS 的概念

关于 MASS，各国家、国际组织及主要船级社均给出了各自不同的自主水平等级划分标准。但现在，IMO 给出的辅助决策、遥控有人、遥控无人、完全自主四级标准因其结构简洁性、逻辑自洽性被业界所普遍接受，能形成共识是促进行业进步的重要一步。更进一步地，IMO 四级标准，既不是四个等级（彼此没有水平高低之分），也不是四个阶段（彼此没有时间先后之别），某种程度上甚至也不是智能船舶的四个类型（虽然未来可能存在这四种类型的智能船舶）。报告撰写人更倾向于在现阶段将其认同为四种模式，即同一艘船舶，不同的设备或系统可能具有这四种模式中的一种或几种（通过船级符号或附加标志体现）；同一艘船舶的某一个航次，在海上巡航、进出港、靠离泊等不同航行阶段可能按这四种模式中的一种运行；即便具有遥控无人、完全自主功能或模式的 MASS，也并不意味着就是没有船员在船。前些年智能船舶概念刚开始兴起的时候，业内或社会公众更多的是以无人船的概念在用，目前还是有必要纠正一下。MASS 应用，无人不是目的，顺应技术发展潮流和社会发展大势、促进安全、减少配员、提升效益才是！

II. 加大政府的战略规划和政策引导

以 AUTOSHIP 项目为例，欧盟及各成员国在智能航运领域持续发力，直指过去几十年里低成本的亚洲造船市场，并围绕 Rolls Royce、Kongsberg 等位于欧盟区内的、世界领先的技术提供商，着力打造一大批初创企业，旨在构建一个更强大的欧洲产业集群，为欧洲带来新的高技能工作和工业市场。反观占据世界造船市场份额近 90% 的中、日、韩三国，智能航运领域的技术和产品开发主要是企业主导的，而政府在本领域的战略规划、政策引导和投资力度明显是弱于欧盟的。因此，东亚三国，尤其是中国，完善政府的战略规划和政策引导，加大资金投入，对于巩固未来自主航运时代我国船舶工业的市场竞争力和技术领导力，就显得尤为迫切。

III. 促进技术、模式、监管的协同创新

传统航运的构成要素包括船舶、港口、货物、环境、人员以及航运监管、航运保障和航运服务，报告撰写人构建的智能航运模型中又进一步增加了技术、装备、设施和模式等构成要素。中国智能船舶创新联盟发布的《智能船舶发展白皮书-远洋船舶篇（2023）》，识别出了我国智能船舶发展尚需突破的自主化、数字化和基础支撑三大类十二小类关键技术。这些技术突破是迫在眉睫的，但技术不是万能的，也不一定就是效益最优、推广最快的解决方案。通过模式创新，例如本报告中一直强调的发展第三方服务，也许将有助于技术的推广应用和迭代升级；或者，对于内河航运而言，发展航道的通信导航基础设施建设，而不是单纯的提升船舶的智能化和自主化水平，也许也是一种发展思路；或者，欧盟 NOVIMAR 项目提出船舶编队，有人主船遥控多艘无人从船的模式；或者，当通信带宽受限时，以高可靠的自主运行技术完全代替依赖于通信技术的远程操作，以模式创新替代了通信技术的瓶颈。此外，传统的航运监管可能会阻碍行业技术或模式的创新，监管的僵化、过度或缺失都是不利于智能航运高速、高质量发展的。发展基于风险的航运监管，促进技术、模式、监管的协同创新也是很有必要的。

IV. 强调政-产-学-研机构的协同发力

欧盟根据其第 7 框架计划、Horizon 2020 研究与创新计划等，资助并引导了 MUNIN、NOVIMAR、AUTOSHIP、PREParE SHIPS、AEGIS 等一批智能航运领域的重大项目。每个项目均吸纳了 10 余家欧盟境内的企业、高校和研究机构的参与，既进一步强化了 Rolls Royce、Kongsberg 等传统企业的技术领导力，同时也孵化和培育了一大批初创企业。此外，挪威 NFAS、荷兰 SMASH、芬兰 One Sea、俄罗斯 ARNTP、韩国 KASS、日本 DFFAS、日本 MEGURI 2040 等项目或联合体，均是政-产-学-研机构协同发力的典范，并实质性取得了诸多重大研发和示范成果，并在 IMO、ISO 等机制下均是提案或标准的主要提供方。在全球智能航运领域，来自中国的比较有影响力的联合体或有标志性产出的项目还比较缺乏。“无人货物运输船开发联盟”作为产学研合作的载体起步较早，但其运行机制、协作机制并不清晰，截止目前并没有形成有价值的实质产出。深入研究挪威 NFAS、日本 MEGURI 2040 等项目或联合体的运行机制，建立实质运行、凝心聚力的政-产-学-研联盟，促进政

策、资金、技术、人才、产业形成强有力的协同效应，是目前中国船舶和航运业界需要思考的问题。

V. 促进设备/系统的集成化和标准化

传统船舶的航行、推进、供电、供热等功能实现依赖于多个设备和系统的支持与协同。例如，支持航行的设备和系统包括雷达、罗经、ECDIS、测深仪、计程仪、自动舵等；实现推进功能的设备和系统包括主机、轴系、螺旋桨、燃油系统、滑油系统、冷却水系统、压缩空气系统等；与电源相关的设备和系统包括柴油原动机、发电机、电网、电缆线、配电板和配电箱、用电负载等；与热源相关的设备和系统包括锅炉、燃油系统、空气系统、控制系统、给水系统、蒸汽和凝水系统等。传统船舶上这些设备和系统是相互独立的，依赖于船员按一定的程序或先后顺序进行操作。智能船舶背景下，各设备、传感器、软硬件系统等进行有效集成，确保它们协同工作，对于遥控、无人、自主等功能的实现至关重要。目前应用示范的智能船舶，智能化思路主要还是在原有设备和系统基础上升级改造以实现遥控、自主等功能，创新性的系统架构，更多的实现“一键操作”功能，促进各系统真正融合成为一体化智能系统，或许才是智能船舶设备和系统研发的关键。此外，设备、系统甚至港口航道等基础设施的标准化，零部件硬件接口、软件协议的标准化，对于在船船员团队、ROC 管理团队、岸基第三方服务团队有效操作、维修和管理智能船舶是不可或缺的。

VI. 加大项目或研究产出的宣传推广

欧盟、韩国、日本等在智能航运领域的联盟、项目，均建立了专门的英文网站，推广联盟活动，发布项目阶段性的产出或最终的研究报告。中国无论是政府资助的重点重大研发计划项目，亦或是产学研联合体，还没有这样的要求，也没有这样的做法。最终的结果是，既不利于研究成果的共享共促和全行业的共同进步，也没有形成实质性的全球影响力。因此建议，仿照欧盟的做法，对于政府资助的重点项目，建立项目网站、发布项目研究成果是项目执行和结题的基本要求。对于确有技术或商业保密需要的核心成果，设定获取的权限或范围是可以理解的，但一般性的产出至少在中文语境下开放共享还是有必要的。

VII. 以智能航运知识图谱引导人才培养

技术和产业的发展，归根结底是由人才的发展主导的。传统的航海类人才在数字化与信息化素养、思维和能力方面是有明显缺失的，而智能航运的横空出世，在能源动力、机械、电子电气和控制、管理等基础上拓展了一个全新的、相对陌生的知识领域。知识图谱（Knowledge Graph, KG）以可视化的方式展现知识关系网络，挖掘、分析、构建、绘制和显示知识及它们之间的相互联系，是认知和人工智能领域重要的研究方向，近年来也成为教育领域学科专业知识体系构建、教材和课程建设的重要手段。智能航运背景下的人才培养，前期的基础工程是以结构化的形式（即知识图谱）描述智能航运领域所包含的知识点之间的关系，从而有针对性的建设专业、开设课程和开发教材。

缩略词和术语

AAWA: Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative	高级自主水上应用开发计划项目
ABS: American Bureau of Shipping	美国船级社
AEGIS: Advanced efficient and green intermodal systems-Towards the next generation of sustainable waterborne transport systems	迈向下一代可持续水上交通运输的先进、高效和绿色多式联运系统项目
AI: Artificial Intelligence	人工智能
AiP: Approval in Principle	原理性认可
AIS: Automatic Identification System	船舶自动识别系统
ANS: Autonomous Navigation System	自主航行系统
AR: Augmented Reality	增强现实
ARNTP: Autonomous and Remote Navigation Trial Project	自主和遥控航行试验项目
ARPA: Automatic Radar Plotting Aid	自动雷达标绘仪
AUTOSEA: Sensor Fusion and Collision Avoidance for Autonomous Surface Vehicles	自主水面船舶的传感器融合与避碰项目
AUTOSHIP: Autonomous Shipping Initiative for European Waters	欧洲水域自主航运倡议项目
AUV: Autonomous Underwater Vehicle	自主水下航行器
BV: Bureau Veritas	法国船级社
CBM: Condition Based Maintenance	视情维修
CCNR: Central Commission for the Navigation of the Rhine	莱茵河航行中央委员会
CCS: China Classification Society	中国船级社
ClassNK: Nippon Kaiji Kyokai	日本船级社
COLREG: International Regulations for Preventing Collisions	国际海上避碰规则
CONOPS: Concept of Operations	操作概念
CSSC: China State Shipbuilding Corporation	中国船舶集团
DFFAS: Designing the Future of Full Autonomous Ship	设计自主航运的未来联盟
DFFAS+: Designing the Future of Fully Autonomous Ships Plus	设计自主航运的未来联盟+
DMA: Danish Maritime Authority	丹麦海事局
DNV: Det Norske Veritas	挪威船级社（原 DNV GL）
DoA: Degree of Autonomy	自主程度
DSME: Daewoo Shipbuilding&Marine Engineering	大宇造船海洋公司（现韩华海洋， Hanwha Ocean）

DTU: Technical University of Denmark	丹麦技术大学
EC: European Commission	欧盟委员会
ECDIS: Electronic Chart Display and Information System	电子海图显示与信息系统
EMSA: European Maritime Safety Agency	欧洲海事安全局
ESA: European Space Agency	欧洲航天局
ETN-AUTOBarge: European training and research network on Autonomous Barges for Smart Inland Shipping	自主驳船用于智能内河航运的欧洲培训与研究网络项目
ETN-SAS: European Training Network for Safer Autonomous Systems	为了更安全自主系统的欧洲培训网络项目
EU: European Union	欧盟
EUSPA: European Union Agency for the Space Programme	欧盟空间计划局
FAL: Facilitation Committee	IMO 便利海上运输委员会
FAMRT: Federal Agency for Maritime and River Transport	俄罗斯联邦海事和河流运输局
FMEA: Failure Mode and Effect Analysis	故障模式和影响分析方法
FOC: Fleet Operation Center	船队运营中心
FSA: Formal Safety Assessment	综合安全评估方法
FTA: Fault Tree Analysis	故障树分析方法
GBS: Goal-based Standards	目标型标准
GMDSS: Global Maritime Distress and Safety System	全球海上遇险与安全系统
GMP: Global Maritime Professional	海事专业人才
GNSS: Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
GPS: Global Positioning System	全球定位系统
Grain Code: International Code for the Safe Carriage of Grain in Bulk	国际散装谷物安全运输规则
HAZID: Hazard Identification	危害识别方法
HAZOP: Hazard and Operability Study	危险与可操作性分析方法
HHI: Hyundai Heavy Industries	现代重工（现 HD 现代）
HiNAS: Hyundai Intelligent Navigation Assistant System	现代智能航行辅助系统
HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning	供热通风与空气调节
IAMU: International Association of Maritime Universities	国际海事大学联合会
IBC Code: The International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk	国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则
IGC Code: The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk	国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则
IMO: International Maritime Organization	国际海事组织
IMSBC: International Maritime Solid Bulk Cargoes Code	国际海运固体散装货物规则
IoT: Internet of Things	物联网

ISM Code: The International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention	国际船舶安全营运和防止污染管理规则
ISO: International Organization for Standardization	国际标准化组织
JMS: Japan Marine Science Inc.	日本海洋科学株式会社
JWG: Joint Working Group	MASS 联合工作组
K LINE: Kawasaki Kinkai Kisen	川崎汽船
KASS: Korea Autonomous Surface Ship Project	韩国自主水面船研究项目
KET: Key Enabling Technologies	关键核心技术
KG: Knowledge Graph	知识图谱
KIMST: Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion	韩国海洋科学技术振兴院
KR: Korean Register	韩国船级社
LEG: Legal Committee	IMO 法律委员会
LiDAR: Light Detection and Ranging	激光雷达
LR: Lloyd's Register	劳氏船级社
MARINA: Maritime LAseR for collision avoidance in high speed shipping and vessel traffic management	用于高速船舶避碰和船舶交通管理的海上激光项目
MARINET	俄罗斯海事行业协会
MARINTEK: Norwegian Marine Technology Research Institute	挪威船舶技术研究院（现 Sintef Ocean）
MAROFF: Innovation Programme for Maritime Activities and Offshore Operations	海事活动与近岸操作创新计划
MARPOL: International Convention For The Prevention of Pollution From Ships	国际防止船舶造成污染公约
MASRWG: UK Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group	英国海上自主系统监管工作组
MASS: Maritime Autonomous Surface Ships	海上自主水面船舶
MEGURI 2040: Nippon Foundation MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program	日本财团（The Nippon Foundation）完全自主船舶项目
MHI: Mitsubishi Heavy Industries	三菱重工
MLC: Maritime Labour Convention	海事劳工公约
MSC: Maritime Safety Committee	IMO 海上安全委员会
MUNIN: Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks	基于网络智能实现海上无人航行项目
N/A: Not applicable	不适用
NFAS: Norwegian Forum for Autonomous Ships	挪威自主船舶论坛
NMT: Netherlands Maritime Technology Foundation	荷兰海事技术基金
NOVIMAR: NOVel Inland water transport and MARitime transport concepts	新型内河与海上运输概念项目
NTNU: Norwegian University of Science and Technology	挪威科技大学

NYK: Nippon Yusen Kabushiki Kaisha	日本邮船株式会社
One Sea: Autonomous maritime ecosystem	自主海上生态系统联盟
PCTC: Pure Car and Truck Carrier	汽车滚装运输船
PNT: Position, Navigation and Timing	定位、导航和授时
PREParE SHIPS: PREdicted Positioning based on Europe global navigation satellite system for SHIPS	基于欧洲全球导航卫星系统的船舶 预测定位项目
RBAT: Risk Based Assessment Tool	基于风险的评估工具项目
RCC: Remote Control Centre	远程控制中心
RINA: Registro Italiano Navale	意大利船级社
ROC: Remote Operations Centre	远程操作中心
RO-RO: Roll-On/Roll-Off	滚装船
ROV: Remotely Operated Vehicle	遥控水下航行器
RS: Russian Maritime Register of Shipping	俄罗斯船级社
RSE: Regulatory Scoping Exercise	监管范围界定工作
SAE: Society of Automotive Engineers	汽车工程师协会
SAFEMASS: Study of the Risks and Regulatory Issues of Specific Cases of MASS	MASS 风险和监管议题研究项目
SCC: Shore Control Centre	岸基控制中心
SDARI: Shanghai Merchant Ship Design & Research Institute	上海船舶研究设计院
SHI: Samsung Heavy Industries	三星重工
SMASH: Smart Shipping Programme	荷兰智能航运计划
SOLAS: International Convention for Safety of Life at Sea	国际海上人命安全公约
STCW: International Convention on Standards of Training, Certification, and Watchkeeping for Seafarers	海员培训、发证和值班标准国际 公约
Tekes: Finnish Funding Agency for Technology and Innovation	芬兰国家技术创新局
TRL: Technology Readiness Level	技术成熟度水平
UNCLOS: United Nations Convention on the Law of the Sea	联合国海洋法公约
USV: Unmanned Surface Vehicle	无人水面艇
UUV: Unmanned Underwater Vehicle	无人水下航行器
VHF: Very high frequency	甚高频
VLOC: Very Large Ore Carrier	超大型矿砂船
WMU: World Maritime University	世界海事大学

参考文献

- [1] 邢辉.面向智能船舶的航海类新工科人才培养刍议.高等工程教育研究,2017(06): 33-38.
- [2] 吕红光,尹勇,曹玉墀.智能船舶背景下复合型航海人才培养.航海教育研究, 2017,34(04): 10-15.
- [3] 段尊雷,李玉衡.智能船舶风险分析和对策.中国海事,2019,(12):15-17.
- [4] 周翔宇,杨雪,费珊珊.船舶自主化与自主水平划分标准评述.世界海运,2022,45(09):1-10.
- [5] 周翔宇,吴兆麟,王凤武,刘正江.自主船舶的定义及其自主水平的界定.交通运输工程学报, 2019,19(06): 149-162.
- [6] 吴兆麟.无人驾驶船舶发展与航海教育对策.中国航海,2017,40(04): 99-103.
- [7] 孙旭,蔡玉良.船舶技术:从自动化到自主化.中国船检, 2020,5:46-48.
- [8] 高宗江,张英俊,孙培廷,李文华.无人驾驶船舶研究综述.大连海事大学学报,2017,43(02): 1-7.
- [9] 严新平.智能船舶的研究现状与发展趋势.交通与港航, 2016,3(01): 25-28.
- [10] 严新平,柳晨光.智能航运系统的发展现状与趋势.智能系统学报,2016,11(06): 807-817.
- [11] 柳晨光,初秀民,谢朔,严新平.船舶智能化研究现状与展望.船舶工程,2016,38(03): 77-84+92.
- [12] 马勇,王雯琦,严新平.面向新一代航运系统的船舶智能航行技术研究进展.中国科学:技术科学,2023, 53:1-12.
- [13] 吴青,王乐,刘佳仑.自主水面货船研究现状与展望.智能系统学报,2019,14(01): 57-70.
- [14] 王鸿东,张子祥,易宏.无人货船研发现状及待解决的问题.舰船科学技术,2018,40(11): 1-5+12.
- [15] 许凯玮,张海华,颜开,朱亚洲,刘家瑞.智能船舶海上试验场建设现状及发展趋势.舰船科学技术,2020,42(15): 1-6.

附录 A

基于传统船舶设备/系统分析的智能船舶装备开发需求¹

设备/系统	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
航行 Navigation				
AIS	N/A	N/A	N/A	N/A
GPS	N/A	N/A	N/A	N/A
航行数据记录仪 VDR	N/A	N/A	N/A	N/A
电子海图 ECDIS	√	√	√	√
雷达	√	√	√	√
电罗经	√	√	√	√
磁罗经	N/A	N/A	N/A	N/A
航向记录仪	N/A	N/A	N/A	N/A
测深仪	N/A	N/A	N/A	N/A
计程仪	N/A	N/A	N/A	N/A
驾驶台航行值班报警系统	√	√	√	√
自动操舵仪	√	√	√	√
通信 Communication				
无线电应急示位标	N/A	N/A	N/A	N/A
双向 VHF	N/A	N/A	N/A	N/A
雷达应答器 (SART)	N/A	N/A	N/A	N/A
甚高频 DSC	N/A	N/A	N/A	N/A
中高频组合电台	N/A	N/A	N/A	N/A
卫通 C 站	N/A	N/A	N/A	N/A
卫通 FBB 站	N/A	N/A	N/A	N/A
铱星电话	N/A	N/A	N/A	N/A
NAVTEX 接收机	√	√	√	√
气象传真机	√	√	√	√
甲板机械 Deck Machinery				
锚机	N/A	√	√	√
绞缆机	N/A	√	√	√
起货机	N/A	√	√	√
舷梯升降机	N/A	√	√	√
滚装舷门、尾门尾跳	N/A	√	√	√
伙食吊	N/A	√	√	√
液位遥测系统	N/A	√	√	√
机舱通风系统	N/A	√	√	√
货舱通风系统	N/A	√	√	√
全船杂用空气系统	N/A	√	√	√
气笛	N/A	√	√	√
厨房用具	N/A	N/A	×	×

¹ 注：√-需开发船端或岸基智能化的设备或系统；×-设备系统在该运行模式下可删除；N/A-不适用，维持现状。

设备/系统	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
应急拖带装置 (ETA)	N/A	√	√	√
原油洗舱	N/A	√	√	√
货舱舱底水排海油分浓度监测装置 ODME	N/A	√	√	√
轮机工程 - 推进 Marine Engineering				
主机	√	√	√	√
主机附属设备	√	√	√	√
中间轴及其轴承	√	√	√	√
螺旋桨、尾轴及其轴承	√	√	√	√
轮机工程 - 辅助机械 Marine Engineering				
海底阀、通海阀、海底门滤器				
燃油加装与驳运系统	√	√	√	√
燃油净化系统	√	√	√	√
燃油供给系统	√	√	√	√
曲轴箱油润滑系统	√	√	√	√
曲轴箱油净化系统	√	√	√	√
气缸油系统	√	√	√	√
冷却水系统	√	√	√	√
压缩空气系统	√	√	√	√
空压机	√	√	√	√
造水机	√	√	√	√
燃油分油机	√	√	√	√
滑油分油机	√	√	√	√
舵机及其系统	√	√	√	√
HVAC 系统-制冷	N/A	N/A	×	×
HVAC 系统-取暖	N/A	N/A	×	×
伙食冷藏装置	N/A	N/A	×	×
机舱行车	N/A	N/A	N/A	N/A
机舱水密门	√	√	√	√
机舱防火门、百叶窗、天窗、应急防火风闸、速闭阀、风油应急切断装置	√	√	√	√
机舱应急逃生通道	N/A	N/A	N/A	N/A
机舱应急吸入阀	√	√	√	√
机加工工具	N/A	N/A	N/A	N/A
仪表、量具、通用工具	N/A	N/A	N/A	N/A
防污染器材	N/A	N/A	N/A	N/A
艏侧推	√	√	√	√
调距桨	√	√	√	√
减摇鳍	√	√	×	×
电梯及其附属设备	N/A	N/A	×	×
舱室建筑-舾装件	N/A	N/A	N/A	N/A
舱室建筑-工作间	N/A	N/A	N/A	N/A
舱室建筑-设备间	N/A	N/A	N/A	N/A
副机及附属设备	√	√	√	√
副机附属系统	√	√	√	√
应急发电机	√	√	√	√
燃油锅炉	√	√	√	√
废气锅炉	√	√	√	√
惰气发生器	√	√	√	√

设备/系统	智能船舶运行模式			
	IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
货油泵	√	√	√	√
日用海水系统	√	√	×	×
日用淡水系统	√	√	×	×
消防、救生与防污染 Fire Safety, Life Saving and Pollution Prevention				
生活污水处理装置	√	√	×	×
焚烧炉	√	√	×	×
舱底水系统	√	√	√	√
油水分离器	√	√	√	√
压载水系统	√	√	√	√
压载水处理装置	√	√	√	√
消防水系统	√	√	√	√
机舱水雾灭火系统	√	√	√	√
生活区水雾灭火系统	√	√	√	√
二氧化碳灭火系统	√	√	√	√
救生艇	N/A	N/A	×	×
救助艇	N/A	N/A	N/A	N/A
救生筏	N/A	N/A	N/A	N/A
电子电气与控制工程 Electronic, Electrical and Control System				
主发电机、轴带发电机、应急发电机、蓄电池	√	√	√	√
主配电板、应急配电板、分电箱	N/A	N/A	N/A	N/A
输电线路	N/A	N/A	N/A	N/A
电气设备（电动机、控制器、传感器、报警器、变压器、照明用具、开关插座）	N/A	N/A	N/A	N/A
内部通信系统	√	√	√	√
自动化及遥控系统	√	√	√	√

附录 B

基于 STCW 职能要求的人员/系统功能分析¹

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
Functions 职能 I: 航行					
制订航次计划	DD 管理级	Human-on-Board	Human-on-Board or Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
船舶定位	DD 管理级 DD 操作级	Human-on-Board	System & Human-on-Board	System ^①	System
测定和修正罗经差	DD 管理级 DD 操作级	Human-on-Board	System & Human-on-Board	System ^①	System
雷达导航	DD 管理级 DD 操作级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^① or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
ECDIS 导航	DD 管理级 DD 操作级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^① or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
航行值班	DD 管理级 DD 操作级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^① or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
预报天气和海洋水文状况	DD 管理级 DD 操作级	System & Human-on-Board	System & Human-on-Board &	System ^① & Human-in-ROC	System & Human-in-ROC

¹ 注: DD-Deck Department; ED-Engine Department; ETO-Electro-Technical Officer; ETR-Electro-Technical Rating; ROC-Remote Operation Center; TPC-Third party contractors.

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
			Human-in-ROC		
操舵	DD 操作级 DD 支持级 AB DD 支持级 OS	System or Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^① or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
驾驶台资源管理	DD 操作级	Human-on-Board	Human-on-Board & Human-in-ROC	Human-in-ROC	Human-in-ROC
在各种条件下操纵和操作船舶	DD 管理级 DD 操作级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^① or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
靠离泊、锚泊和系泊	DD 支持级	Human-on-Board	System & Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^② or Human-in-ROC or Human-of-TPC	System or Human-in-ROC or Human-of-TPC
使用英语	DD 操作级	Human-on-Board	Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^③ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
发出和接收视觉、听觉信息	DD 操作级 DD 支持级 OS	Human-on-Board	Human-on-Board	System ^③	System
搜寻和救助	DD 管理级 DD 操作级	Human-on-Board	Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^③ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
应急响应	DD 管理级 DD 操作级 DD 支持级 OS	Human-on-Board	Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^③ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
Functions 职能 II: 货物装卸和积载					
监控装货、积载、系固、航行中	DD 管理级 DD 操作级 DD 支持级	System & Human-on-Board	System & Human-on-Board	System ^④ & Human-of-TPC	System & Human-of-TPC

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
货物照管和 卸载			& Human-of- TPC		
检查、报告 并评估货 舱、舱口盖 和压载舱的 缺陷和损坏 情况	DD 管理级 DD 操作级	Human-on- Board	System & Human-on- Board & Human-of- TPC	System⑤ & Human-of- TPC	System & Human-of- TPC
危险货物运 输	DD 管理级	System & Human-on- Board	System & Human-on- Board & Human-of- TPC	System④ & Human-of- TPC	System & Human-of- TPC
Functions 职能 III: 无线电通信					
使用 GMDSS 的子系统 和设备发出 和接收信 息	DD 操作级	System & Human-on- Board	System & Human-on- Board	System③ or Human-in- ROC	System or Human-in- ROC
在紧急情 况下提供 无线电服 务	DD 操作级	System & Human-on- Board	System & Human-on- Board	System③ or Human-in- ROC	System or Human-in- ROC
Functions 职能 IV: 船舶作业管理和人员管理					
控制吃水 差、稳性和 强度, 保持 船舶的适 航性	DD 管理级 ED 管理级 DD 操作级 ED 操作级	System & Human-on- Board	System & Human-on- Board & Human-in- ROC	System⑤ & Human-in- ROC	System & Human-in- ROC
监督和控 制对法定 要求的遵 守	DD 管理级 ED 管理级 DD 操作级 ED 操作级	System & Human-on- Board	System & Human-on- Board & Human-in- ROC	System & Human-in- ROC	System & Human-in- ROC
确保遵守 防污染要 求	DD 操作级 ED 操作级 ED 操作级 ETO DD 支持级 ED 支持级	System & Human-on- Board	System & Human-on- Board & Human-in- ROC	System & Human-in- ROC & Human-of- TPC	System & Human-in- ROC & Human-of- TPC

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
甲板设备和机械的安全操作	DD 支持级	Human-on-Board	System & Human-on-Board & Human-in-ROC	System ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ & Human-in-ROC & Human-of-TPC	System & Human-in-ROC & Human-of-TPC
物料管理	ED 支持级	Human-on-Board	Human-on-Board & Human-in-ROC	Human-in-ROC & Human-of-TPC	Human-in-ROC & Human-of-TPC
应用职业健康和安全防护措施	DD 支持级 ED 支持级 ED 支持级 ETR	Human-on-Board	Human-on-Board & Human-in-ROC	Human-in-ROC & Human-of-TPC	Human-in-ROC & Human-of-TPC
人员和船舶的安全	DD 操作级 ED 操作级 ED 操作级 ETO	Human-on-Board	System & Human-on-Board & Human-in-ROC	System ⁽⁵⁾ & Human-in-ROC & Human-of-TPC	System & Human-in-ROC & Human-of-TPC
保持船舶、船员和旅客的安全、保安及救生、消防和其他安全系统的工作状态	DD 管理级 ED 管理级	Human-on-Board	System & Human-on-Board & Human-in-ROC	System ⁽⁵⁾ & Human-in-ROC & Human-of-TPC	System & Human-in-ROC & Human-of-TPC
船上防火、控制火灾和灭火	DD 操作级 ED 操作级 ED 操作级 ETO	Human-on-Board	System & Human-on-Board & Human-in-ROC	System ⁽⁶⁾ & Human-in-ROC & Human-of-TPC	System & Human-in-ROC & Human-of-TPC
操作救生设备	DD 操作级 ED 操作级 ED 操作级 ETO DD 支持级	Human-on-Board	System & Human-on-Board & Human-in-ROC	System ⁽⁶⁾ & Human-in-ROC & Human-of-TPC	System & Human-in-ROC & Human-of-TPC
制订应急和损害控制计划并处置紧急情况	DD 管理级 ED 管理级	Human-on-Board	System & Human-on-Board &	System ⁽⁷⁾ & Human-in-ROC &	System & Human-in-ROC &

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
			Human-in-ROC	Human-of-TPC	Human-of-TPC
领导力、管理技能和团队工作技能的运用	DD 管理级 ED 管理级 DD 操作级 ED 操作级 ED 操作级 ETO	Human-on-Board	Human-on-Board & Human-in-ROC	Human-in-ROC & Human-of-TPC	Human-in-ROC & Human-of-TPC
船上医疗急救	DD 管理级 DD 操作级 ED 操作级 ED 操作级 ETO	Human-on-Board	Human-on-Board & Human-in-ROC	Human-in-ROC & Human-of-TPC	Human-in-ROC & Human-of-TPC
Functions 职能 V: 轮机工程					
主推进装置和辅助机械的操纵、监控、性能评估及安全维护	ED 管理级 ED 操作级 ED 操作级 ETO ED 支持级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System ^⑦ or Human-in-ROC or Human-of-TPC	System or Human-in-ROC or Human-of-TPC
发电机和配电系统的操作	ED 操作级 ETO	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board	System ^⑧ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
燃油、润滑油和压载水的操作管理	ED 管理级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board	System ⁽⁸⁾ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
燃油系统、滑油系统、压载水系统和其他泵系以及相关控制系统的操作	ED 操作级 ED 支持级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board	System ^⑦ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
轮机值班	ED 操作级 ED 支持级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board	System ^⑦ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
操作应急设备	ED 支持级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board	System or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
加装燃油和驳油作业	ED 支持级	Human-on-Board	System or Human-on-Board	System ⁽⁸⁾ or Human-in-ROC or Human-of-TPC	System or Human-in-ROC or Human-of-TPC

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
以书面和口语形式使用英语	ED 操作级 ED 操作级 ETO	Human-on-Board	Human-on-Board	Human-in-ROC or Human-of-TPC	Human-in-ROC or Human-of-TPC
使用内部通信系统	ED 操作级 ED 操作级 ETO	Human-on-Board	System or Human-on-Board	System③	System
Functions 职能 VI: 电气、电子和控制工程					
电气、电子控制设备的操作管理	ED 管理级 ED 操作级 ETR ED 支持级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System⑧ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
电气电子控制设备的故障诊断	ED 管理级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System⑨ or Human-in-ROC or Human-of-TPC	System or Human-in-ROC or Human-of-TPC
操作电气、电子和控制系统的	ED 操作级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System⑧ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
对电气、电子和控制系统的运行监控	ED 操作级 ETO ED 操作级 ETR	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System⑧ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
操作船上计算机及计算机网络系统	ED 操作级 ETO	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board or Human-in-ROC	System⑧ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC
Functions 职能 VII: 维护和修理					
维护和修理程序的管理	ED 管理级	System & Human-on-Board	System or Human-on-Board	System⑨ or Human-in-ROC	System or Human-in-ROC

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
			or Human-in- ROC	or Human-of- TPC	or Human-of- TPC
探测和识别 机器故障原 因并消除故 障	ED 管理级	System & Human-on- Board	System or Human-on- Board or Human-in- ROC	System ^⑨ or Human-in- ROC or Human-of- TPC	System or Human-in- ROC or Human-of- TPC
使用船上加 工和修理工 具及测量仪 表	ED 操作级 ED 操作级 ETR	Human-on- Board	Human-on- Board or Human-in- ROC	Human-in- ROC or Human-of- TPC	Human-in- ROC or Human-of- TPC
船上机械和 设备的维护 与修理	ED 操作级 ED 支持级 DD 支持级	System & Human-on- Board	System or Human-on- Board or Human-in- ROC	System ^⑨ or Human-in- ROC or Human-of- TPC	System or Human-in- ROC or Human-of- TPC
电气和电子 设备的维护 与修理	ED 操作级 ED 操作级 ETO	System & Human-on- Board	System or Human-on- Board or Human-in- ROC	System ^⑨ or Human-in- ROC or Human-of- TPC	System or Human-in- ROC or Human-of- TPC
维护和修理 主推进装置 和辅助机械 的自动和控 制系统	ED 操作级 ETO	System & Human-on- Board	System or Human-on- Board or Human-in- ROC	System ^⑨ or Human-in- ROC or Human-of- TPC	System or Human-in- ROC or Human-of- TPC
维护和修理 驾驶台航行 设备和船舶 通信系统	ED 操作级 ETO	System & Human-on- Board	System or Human-on- Board or Human-in- ROC	System ^⑨ or Human-in- ROC or Human-of- TPC	System or Human-in- ROC or Human-of- TPC
维护和修理 甲板机械和 装卸货设备 的电气、电 子和控制系 统	ED 操作级 ETO	System & Human-on- Board	System or Human-on- Board or Human-in- ROC	System ^⑨ or Human-in- ROC or Human-of- TPC	System or Human-in- ROC or Human-of- TPC
维护和修理 生活设备的	ED 操作级 ETO	System &	System or	System ^⑨ or	System or

Competence 适任	Levels of responsibility 责任级别	智能船舶运行模式			
		IMO DoA 1	IMO DoA 2	IMO DoA 3	IMO DoA 4
控制和安全 系统		Human-on- Board	Human-on- Board or Human-in- ROC	Human-in- ROC or Human-of- TPC	Human-in- ROC or Human-of- TPC