

# 航运安全保障智慧化管控模式发展研究 ——以上海市为例

徐亮<sup>1</sup>, 徐青<sup>1\*</sup>, 王欣安<sup>1</sup>, 王鸿东<sup>2</sup>, 刘希<sup>1</sup>, 查伊倩<sup>1</sup>

(1. 中国舰船研究设计中心上海分部, 上海 201108; 2. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200240)

**摘要:** 航运业是我国经济社会发展重要的基础产业, 航运安全保障体系高效运行是实现其健康可持续发展的关键; 立足智能化时代促进我国航运安全保障智慧化发展, 是实现体系结构优化调整的必由之路。着眼于我国航运智慧化管控模式的发展需求, 本文综述了国内外先进港口城市航运安全保障的现状和发展趋势; 厘清了数字孪生、大数据、智能船舶、无人船、船联网等新兴智能技术在我国航运安全保障中的应用方向; 以上海市为例, 分析了航运安全保障的总体态势, 提出了一体化的上海市航运安全保障智慧化管控创新模式和“五层两面”目标架构; 研究从加强顶层布局共建“基础底座”、强化共享协作“涉海一盘棋”、配套政策促进技术发展、建立新法规新机制等方面提出具体工程和政策发展建议, 以期智能技术与航运安全保障交叉研究、航运安全保障高水平发展提供借鉴。

**关键词:** 航运安全保障; 管控模式; 大数据; 数字孪生; 智能船舶; 船联网

**中图分类号:** F562.3   **文献标识码:** A

## Intelligent Governance Mode for Shipping Safety Assurance: Taking Shanghai as an Example

Xu Liang<sup>1</sup>, Xu Qing<sup>1\*</sup>, Wang Xin'an<sup>1</sup>, Wang Hongdong<sup>2</sup>, Liu Xi<sup>1</sup>, Zha Yiqian<sup>1</sup>

(1. Shanghai Division, China Ship Development and Design Center, Shanghai 201108, China; 2. School of Naval Architecture, Ocean & Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** The shipping industry is crucial for national economic and social development of China. The efficient operation of the shipping safety assurance system is key to the sustainable development of the shipping industry. Promoting the intelligent development of the industry is vital for the optimization and adjustment of the conventional shipping safety assurance system. Focusing on the demand of China for intelligent governance modes for shipping security assurance, this study reviews the current status and development trend of shipping security assurance in advanced port cities in China and abroad. It then clarifies the application directions of digital twins, big data, intelligent ships, unmanned ships, Internet of ships, and other emerging intelligent technologies to shipping security assurance. Using Shanghai as an example, we analyze the overall situation regarding shipping safety assurance of the city, and propose an integrated mode for intelligent governance and its target framework that consists of five layers (infrastructure, information perception, support service, smart service, and smart decision layers) and two aspects (regulations and standards as well as personnel system). Furthermore, several specific engineering and policy suggestions are proposed, including strengthening the overall layout to strengthen the infrastructure for intelligent development, enhancing collaboration among related apartments,

收稿日期: 2023-07-30; 修回日期: 2023-09-29

通讯作者: \*徐青, 中国舰船研究设计中心上海分部研究员, 中国工程院院士, 研究方向为船舶与海洋工程; E-mail: shbranch@whzyh.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“上海航运安全保障智慧化发展研究”(22692114400)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

formulating policies to support the development of intelligent technologies, and establishing new mechanisms. This study is expected to provide references for the interdisciplinary research on intelligent technologies and shipping safety assurance and for the high-quality development of shipping security assurance.

**Keywords:** shipping safety assurance; governance mode; big data; digital twin; intelligent ship; Internet of ships

## 一、前言

航运业是我国经济社会发展重要的基础产业。2020年,我国水路货运量达 $7.6 \times 10^9$  t,港口货物吞吐量达 $1.46 \times 10^{10}$  t,承运了我国90%以上的外贸货物,在集装箱、原油、矿石、粮食等物资运输中发挥了关键作用;预计2025年的水路货运量、港口货物吞吐量将分别达到 $8.5 \times 10^9$  t、 $1.64 \times 10^{10}$  t<sup>[1]</sup>。航运安全保障体系高效运行是实现我国航运业健康可持续发展的关键。交通运输部发布《全要素水上“大交管”建设工作方案》(2021年)<sup>[2]</sup>,明确提出全水域覆盖、全数据集成、全业务协同、全要素管理等目标,“多维感知、高效协同、智能处置、优质服务”的现代化、智能化水上交通动态管控新格局,从监管体系建设角度明确了我国航运安全保障体系的发展方向。《水运“十四五”发展规划》(2022年)<sup>[3]</sup>进一步提出,完善水运安全保障和应急救援体系,提升风险防控能力和应急保障水平,推进平安水运建设等重点任务。

上海市地处长江三角洲(长三角),背靠我国经济实力雄厚的长三角经济区和沿江经济带,位于长江内河水道与我国海岸线中心的战略交叉点;市域水系丰富,港口航运业发达,在我国航运体系中占据重要地位,是国家重点发展的国际航运中心<sup>[3]</sup>。以上海市为代表案例,开展航运安全保障发展研究具有突出价值。也要注意,上海市在航运业蓬勃发展的同时,因黄浦江、长江口等航道弯曲多、通航密度大,船舶碰撞、船体着火、油液泄漏等安全事故时有发生。根据上海港海事统计数据统计,2018年第一季度至2022年第三季度,上海港发生的水上交通事故达61件<sup>[4]</sup>,上海市航运安全保障的形势严峻。航运安全事故不仅造成居民生命财产和社会经济损失,也影响上海市的国际大都市、国际航运中心形象。

针对航运安全保障问题,一方面需要持续加强航运管理制度建设,提升船员操作技能,严控船舶年度检验质量,强化风险联防联控机制,完善监管

手段与设施<sup>[5]</sup>;另一方面应立足智能化发展背景,研究航运安全保障的新型解决方案,促进提质增效。已有研究提出了“陆海空天”一体化的水上交通运输安全保障体系<sup>[6,7]</sup>,强调信息感知、水域覆盖的全面性。当前,智慧航运领域的研究热点有自动化码头、智慧港口物流、智能集卡、智能船舶等单点散发技术,聚焦提升航运效率的目标<sup>[8-11]</sup>,而针对航运安全保障(如助航系统智能化等<sup>[12]</sup>)的智能技术应用研究、落地应用方案等较少,体系化更显不足。因此,探究航运安全保障智慧化管控新模式及其发展路径,对于实现我国航运安全保障智慧化发展具有迫切性。

本文重点梳理国内外航运安全保障智慧化发展的现状及趋势,厘清数字孪生、大数据、智能船舶、无人船、船联网等新兴智能技术在航运安全保障中的创新应用方向;以上海市为应用对象,构建一体化的航运安全保障智慧化管控创新模式与目标图像,进而提出我国航运安全保障的智慧化发展建议,以期促进我国航运业高质量发展。

## 二、航运安全保障的内涵及其智慧化发展现状

### (一) 航运安全保障的内涵

航运安全保障是指航运过程中各相关责任主体为避免由于人、环境及管理等因素的影响造成安全事故,基于提前制定好的安全保障政策和规则,维持航运任务始终处于安全状态,或对突发事故应急处理的安全维护机制。航运安全保障概念范畴可划分为安全运营、应急保障两个层面,以及通航航道、港口水域、港口陆域3个区段(见图1)。其中,通航航道根据船舶通航条件分为内河航道和近海航道;港口水域根据功能定位整合简化为包括锚地区域、进出港航道、港池区域等主要作业;港口陆域主要包括仓库与堆场、集疏运道路、码头和泊位区域等主要作业区段。

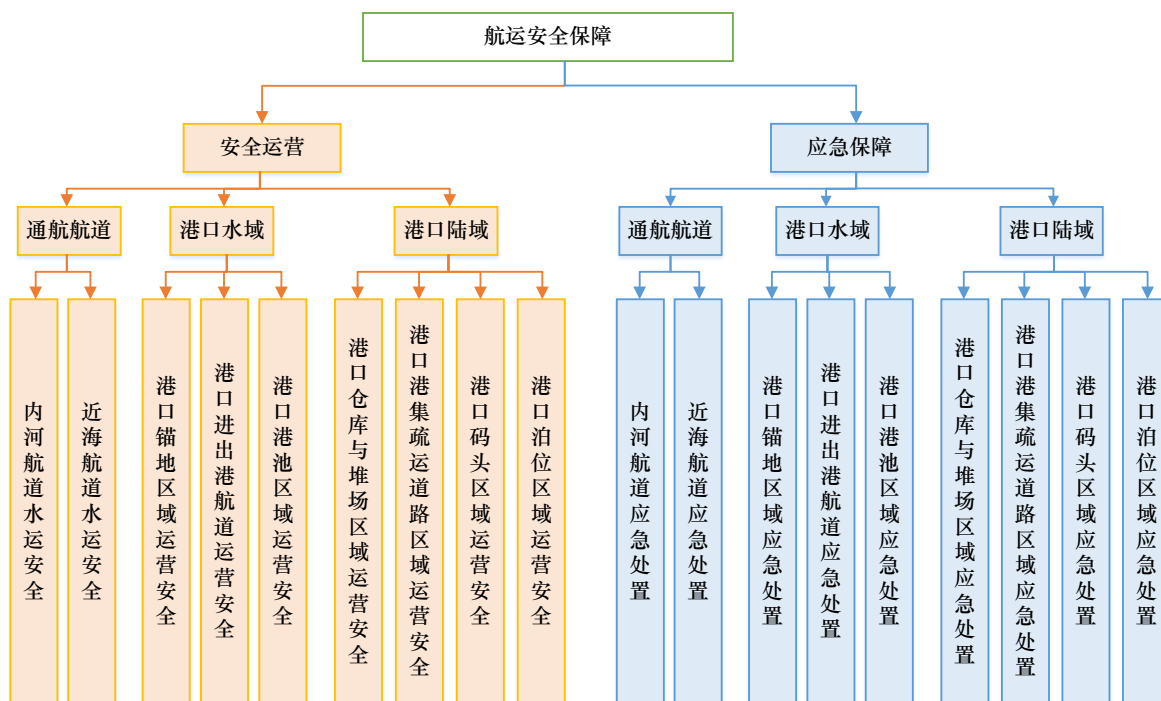


图1 航运安全保障的内涵

## （二）航运安全保障智慧化发展现状与趋势

### 1. 国外现状

欧盟为了应对跨国、跨区内河运输快速发展背景下的高密度航运安全运输问题，提出了构建统一的内河航运综合信息服务系统（RIS）<sup>[13]</sup>，该系统利用现代信息技术和通信技术，面向各级用户提供较为完善的航运综合信息服务、交通相关信息服务和运输相关信息服务，可以实现沿河各个国家之间的信息共享与安全协同。

欧洲海事安全局（EMSA）为提升航运安全保障广域感知能力，于2022年首次在北海区域应用无人机系统，监测人员安全、船舶安保、环境潜在有害影响的海上异常活动以及协助救援。

荷兰针对内河固定航线船只的安全经济航行问题，于2021年发布智能航运路线图，提出2030年实现第一代半自主船舶运营的目标，包括内河货船、内河渡船、近岸海船等，预期将有效减少人员配置和工作负荷，提升航行安全性。

英国港口为提升港口水域安全服务能力，大力发展大数据技术，采用增强的潮汐模式数据来改善成本高昂的港口疏浚过程，并应用数据挖掘算法确定对码头和港口的环境影响。英国还制定了《海事2050规划》，决心在智能航运技术的设计、制造、

应用方面达到世界领先地位，改变海事安全监管部门的运营方式，推动效能提升。

新加坡国际港务集团有限公司针对码头作业安全保障问题，在港口设备上安装传感器，采用影像分析和传感器来全天候监测装卸货物的搬运工在操作期间的安全问题，取得了良好效果。

### 2. 国内现状

天津市为提升码头运行效率、人员作业安全性，于2021年启动运营全球首个真正基于人工智能（AI）的智能水平运输管理系统——天津港北疆港区C段智能化集装箱码头<sup>[14]</sup>；实现了全球首个车路协同超L4级无人驾驶在港口规模化商用落地，全球首个真正意义上“第五代移动通信（5G）+北斗”融合创新的全天候、全工况、全场景泛在智能，全球首个实现绿电自发自用、自给自足，码头运营全过程零碳排放。

厦门市于2022年首次投放海上水中智能航标JH14，实现了近海航道多要素安全态势高效感知。此套装备除了提供传统的高精度定位、增强助航效能，还是一个海洋环境监测、海洋数据收集、海洋气象要素的收集分析载体，并可利用移动通信网络传输至岸基终端平台。

乌江流域为提升航运安全管理、应急指挥、平

安航行保障能力,在示范段初步建成安全保障辅助系统,通过部署于航道沿线和船舶上监测设备的实时信息采集和移动数据/北斗卫星互为备用的数据传输,形成水文和气象自动测报、船舶监管和面向社会公众服务的信息发布系统,实现全流域实时水文监测与预警、危化品船和客轮安全保障辅助决策。

### 3. 航运安全保障智慧化发展特点

当前航运安全保障领域智慧化发展呈现出以下特点。一是港口智能化码头技术率先快速发展。数字孪生、大数据、自动化、5G等技术得到快速落地运用,不仅有助于提升港口运营效率,还有助于保障陆域作业的安全。二是构建新一代航运基础设施能力得到重视。以“智慧航道”为代表的新概念已成为各国航运安全保障发展共识;同时,跨部门、跨地区的基础航运“数据孤岛”问题,逐步得到重视。三是航运安全保障监管智能化新手段不断涌现。传统船舶交通服务(VTS)、自动识别系统(AIS)、雷达、视频监控(CCTV)等传统监管能力的瓶颈日益凸显,无人机、一体化管控平台等新型智能化管控手段呈散点状逐步显现。四是提前规划自主/半自主等智能航运船舶应用前景与风险。目前世界各先进港口城市都已提前为未来航运业态变革积累技术基础和安全管理方案。

可以预见,在不久的将来,新一代航运安全保障智能化基础设施建设<sup>[5]</sup>将迎来蓬勃发展期,智能化技术将成为航运安全监管与应急保障提高效能的重要手段,航运将更加注重“安全、高效、绿色”一体化效能提升,智能航运船舶的快速落地将不断促进航运安全保障体系新变革。

## 三、先进智能化技术在航运安全保障中的应用方向探析

### (一) 数字孪生与大数据技术应用方向

#### 1. 技术概述

一般认为,数字孪生是对象或系统全生命周期的虚拟表示,并基于实时数据更新,使用模拟、机器学习和推理来帮助决策。大数据技术则提供强大的决策、洞察发现和流程优化能力,从海量、高增长率和多样化的大数据中挖掘有价值的信息资产。

#### 2. 在航运安全保障中的应用方向

**航道旁重点建筑安全感知。**针对内河桥梁等重点建筑物,采用智能感知技术,实时监测重点建筑物的结构状态;基于大数据分析算法,对结构倾斜、开裂、变形、沉降等长周期变化情况进行分析推演;利用数字孪生技术构建重点建筑物数字孪生体,实现可视化监管与风险预警,提升安全保障辅助决策效能。

**航道水下态势安全感知。**在重点复杂水域,布设水下摄像机、声呐等设备,实时感知航道水下安全态势;通过对图像、数据等多源大数据分析处理,对水下安全态势进行分析综合判断、风险评估、安全预警。

**航道污染感知与应急管理。**通过对航道周边的环境和水质进行采集数据、大数据实时分析和预测,并对这些风险进行评估和分析,提示污染程度预警,为相关部门提供决策支持。

**航运综合指挥调度。**通过实时监测航道交通、天气等情况,掌握船舶密度和拥堵情况,及时发现拥堵、安全隐患等问题;对船舶通行情况、港口货物装卸、泊位使用情况等大数据进行统计和分析,辅助制定航行政策和管理措施、优化航行计划编排,提高航道运营效率和管理水平。

**在航船舶安全监控与智能辅助决策。**岸端建立船舶数字孪生体,整合船舶、船队运营大数据进行实时分析和挖掘,实现对船舶运行状态、设备健康预警<sup>[6]</sup>、船员风险行为等的有效监控,提升岸基支持水平;基于多源传感器数据融合、大数据分析,还可针对重点失信船员、低工作年限船员、重点货物、危险货物、小渔船、失修船只等关键对象,评估其安全态势,并定期上报、主动监管。

**港口作业安全辅助。**通过港口设备运行数据,基于大数据分析、数字孪生技术,实现对港口机械的及时视情维护,以及作业实况全局掌握、设备状态可视化与风险预警<sup>[7]</sup>,及早发现安全风险。

### (二) 智能船舶、无人船舶技术应用方向

#### 1. 技术概述

根据中国船级社(CCS)智能船舶规范定义,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、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，以使船舶运输更加安全、更加环保、更加经济和更加高效<sup>[18]</sup>。

无人船舶是以无人在船操控为特征的船舶。无人船可替代人执行枯燥、危险、高负荷的任务，还可在大型船只无法有效操作的浅水区（河流和沿海地区）操作和部署，适应能力更强。

### 2. 在航运安全保障中的应用方向

辅助船只在狭窄航道安全通航<sup>[9,10]</sup>。研制船载辅助驾驶系统实时监测船只在狭窄航道中的位置、速度、姿态等信息，提供狭窄航道航行预警和操控优化建议；研制搭载自主导航与避障系统的智能船舶，安全通过狭窄航道；构建无人拖轮、无人艇集群等高度智能的新型辅助通航设施，为狭窄航道船只提供低成本、高效率、低风险的辅助通航。

辅助船只在繁忙码头航行与靠离泊。应用无人货船技术实现码头区域集装箱自主装卸，减少人为操作的风险；研制无人引航船为繁忙码头等限制水域提供引航、辅助靠离泊能力，减少操作、跌落、碰撞等人员失误。

常态化无人高效执法巡逻。建设无人海事执法船艇，实现海域巡逻、追踪和拦截非法渔船等；应用小型无人测量船，高频收集航道水上水下的水文、气象、地形、设施状态等信息，并通过大数据处理和分析，为涉海单位提供信息和决策支持。

应急消防、清污、救援。无人消防船可抵近监测火场周围的环境和勘查火情，并及时反馈到指挥中心，同时利用搭载的各种灭火设备抵近灭火；应用无人船艇搭载水上清理设施，按照预定任务，可实现长航时并对低成本的水域浮动障碍物、溢油污、漂浮危险品等进行高效安全清理；研制搭载救生设备、语音识别系统、无线定位系统等低成本专用无人救助船，实现分布式、饱和、智能的搜救、定位、救助等；同时，无人船只还可以作为应急救助的临时中继通信站，满足消防指挥中心、消防船队之间的通信和联络。

### （三）船联网技术应用方向

#### 1. 技术概述

“船联网”一般是指基于航运管理精细化、行业服务全面化的目的，以企业、船员、船舶、货

物、监管单位为对象，覆盖航道、船闸、桥梁、港口、码头、监管中心，融合卫星通信、物联网等核心技术，实现人船互联、船船互联、船货互联及船岸互联、一体监管的智能航运综合服务网络<sup>[19,20]</sup>。

#### 2. 在航运安全保障中的应用方向

港-路-水一体化航运管控网。通过“陆海空天”跨域感知，构建港-路-水一体化的航运信息服务网，具备航道浮标标识等智慧导/助航设施、船舶检验信息、船员信息、通航信息、燃料油供应信息、泊位调度信息、安全预警、应急力量、大雾大风海洋气象监测、维修保障资源信息、物流信息等全要素信息的一处接入、多处共享，并支持向涉海单位智能化、定制化推送。

航运应急保障服务网。打通涉海单位应急保障资源，接入社会救助资源，构建一体化应急保障快速协作服务网，在智能辅助决策支持下，实现对水上、码头突发事件的快速定位、高效部署、科学应对。

自动化码头物联网。跨系统连接船舶、港口间的实时信息，包括船舶航行计划、货物装卸情况等，支持船舶、物流调度的精度和效率；打通港口码头与公路、铁路、海关等的物流信息流动，为提升物流跨域衔接能力提供基础信息支撑。

多网融合与中继通信。运用网络集成技术，融合甚高频（VHF）、5G、卫通等多种通信资源，形成统一通信集成管理服务平台，对语音、视频、数据、文本等多种资源进行统一调度；应用海上数字广播（NAVDAT）、甚高频数据交换系统（VDES）等新型基于卫星、VHF的数据交换系统<sup>[7]</sup>，提升近海通信能力。

## 四、航运安全保障智慧化管控模式案例分析

### （一）上海市航运安全保障总体态势

上海港的水域面积为3620.2 km<sup>2</sup><sup>[21]</sup>，包括长江口和杭州湾北岸水域、黄浦江水域、洋山港区水域、长江口锚地水域、绿华山锚地水域及内河水域，航道众多；陆域面积为7.2 km<sup>2</sup>，由长江口南岸港区、杭州湾北岸港区、黄浦江港区、洋山深水港区组成。

整体来看，上海港航运安全保障在国内处于领先水平，但仍存在着明显短板，主要表现在：上海

港水系复杂、通航条件多变<sup>[5]</sup>，交通流密度受自然、社会因素影响大；水下、近海等监管手段不足，航运安全保障措施滞后明显；上海港区多，陆域码头、在航船舶等条件参差不齐，航运安全保障监管全覆盖存在一定困难；涉海监管单位多，业务体系错综交叉，加之，空-铁-路-江-河-海集疏运体系网络复杂，数据壁垒效应显著，易出现监管漏洞。

当前，在上海国际航运中心、交通强国等战略驱动下，上海港的航运安全保障已经获得高度重视；上海作为国内领先的新兴智能化技术、人才的聚集地，具备实践高水平、智慧化航运安全保障体系的有利基础条件。

## （二）上海市航运安全保障智慧化管控创新模式

本研究从创新基础设施、监管能力、应急处置能力、法规标准4个维度出发，将智慧化管控创新模式引入上海港航运安全保障领域，涵盖15项主要行动方向，以期实现全要素信息感知、处理、利用等环节的整合和协同，提高航运安全保障管理水平和效能，推动航运安全保障工作的智能化、数字化和网络化。

### 1. 建立较为完善的航运安全保障新型智能基础设施

推广应用智能船载系统、岸基支持系统，加快发展智能无人船舶。为已有船舶搭载智能辅助系统，建设岸基支持、新型智能船舶、无人船舶等新型航运运输装备，减少人员工作负荷、提高信息感知能力，同时，提升船舶自主能力，降低人为失误风险。

着手打造内河、近海智慧航道<sup>[12]</sup>。逐步建设内河航道、近海航道智能航标、智能岸壁、智能桥梁等导/助航设施，基于物联网、感知技术，形成立体感知、信息全面的智慧航道。

加快推广建设智能化港口。在洋山港、外高桥港先期经验的基础上，逐步推广至其他海港、内河码头等，增强港口码头作业自动化能力，提升港口码头作业效率，减少安全作业风险；提升泊位、锚地的信息化管理能力，为在航船舶、物流体系提供实时信息服务。

提升建设全域通信基础设施。积极推广应用北斗卫星导航通信技术，推进NAVDAT新型数据通

信、VDES新型卫星通信应用落地，开展水上移动或固定的卫通-地面通信中继站点。

### 2. 构建基于全要素大数据的航运安全保障一体化智能监管体系

构建跨系统、跨部门的涉海统一大数据库。建立跨系统、跨部门的全要素数据系统，包括船舶信息、航道信息、天气信息、海洋环境信息、卫星遥感、应急救助等多个方面的数据源，实时收集和整合各类数据，形成全面的航运安全保障数据库。

提供统一的航运安全保障服务开放接口。搭建航运安全保障信息服务、支撑服务、智慧服务发布-共享平台，基于接口标准、权限配置、有偿共享等模式，形成统一的航运安全保障服务开放接口，为涉海各单位提供基础支撑服务分析能力、智慧信息服务能力，提高基础服务复用共享水平。

构建全要素航运安全智能监管平台。面向一体化安全监管体系需求，融合现有监管系统，构建一体化全要素航运安全智能监管平台，集成各类信息感知模块、智慧服务模块。同时，针对海事、交通委、航道局、海关、港口管理公司等各涉海监管部门的业务范围，支持按需定制功能模块。

建设新型航运安全监管装备体系。建设大吨位海事巡逻船，确保监管全覆盖；打造无人巡逻机、无人测量船、无人执法艇等无人执法装备体系，提高执法效率，同步建设专用智能执法无人母船，强化无人搭载能力。

### 3. 形成协同高效的航运安全保障智能应急处置能力

建设统一应急保障通信服务能力。打通VHF、VSAT、VDES卫星通信、北斗、第四代移动通信（4G）/5G等多信道连通性，构建上海港全域覆盖的应急保障通信体系，提升水上遇险应急救助通信服务能力。

形成智能化的船舶维修保障快速响应机制。统筹港口码头、锚地、港口的船舶维修、保障、补给等资源，建设船舶维修保障快速响应体系，确保在航船舶实时掌握船舶维修、保障信息，实现提前定位故障、预约维保下单，尽可能减少船舶“带病行驶”风险。

构建一体化航运应急保障智能处置平台。联通涉海部门应急救助保障的人力、装备资源，设立一体化智能处置平台，辅助生成智能化的应急

方案，实现各类突发事件的处置流程、资源调配和指挥控制等快速调度。各涉海应急保障部门按照平台调度中心指示进行响应，实现协调有序、及时响应。

建设新型航运安全应急处置装备体系。建设大吨位海事救助船，提升远海、高海况、恶劣天气等场景下的可达性；打造无人消防船、无人清油船、无人危化品处置船等无人应急处置装备体系，提高救助效率，降低人员安全风险。

#### 4. 构建智慧航运时代监管法律标准、人才制度

完善智慧航运时代背景下的新型法律框架。制定与智慧航运相关的法律法规，探索各方责任和权益划分机制，促进监管法律体系与智慧航运发展相适应。制定智慧航运安全管理相关法规，包括网络安全、信息安全等方面，规范智能设备和系统的使用，加强安全防护。

制定和融入世界航运业典型要素标准体系。紧跟世界航运业典型要素标准体系发展，融入世界航运体系，制定中国标准。

培养“专精高优”、储备丰富的人才梯队。建立与智慧航运安全保障相关的教育培训体系，包括智能化技术、数据分析、信息安全等方面的培训课

程和认证机制，培养专业人才。鼓励不同领域的专业人才跨界合作与交流，促进人才跨学科的培养和发展。

### (三) 上海市航运安全保障智慧化发展思路

#### 1. 发展目标架构

基于前述上海市航运安全保障智慧化管控创新模式，按照“五层两面”构想上海市航运安全保障智慧化发展目标架构，如图2所示。

基础设施层：包括新型导/助航设施、岸基支持系统、海事各类监管设施、智能船/无人船、智能港口设施等，物联网、卫星等通信装备，以及打捞救助装备等，作为智慧化航运安全保障的硬件基础。

信息感知层：基于基础设施，分布式采集涉海各类信息，包括航道、船舶、交通流、物流、港口、救助资源等各类信息，提供统一的大数据信息接口。

支撑服务层：包括物流运行状态认知、港口运行认知、航道船舶认知、航行环境认知等各类基础态势认知模块，提供面向对象的通用化认知功能。

智慧服务层：包括智慧航道、智慧港口、智慧



图2 上海市一体化航运安全保障智慧化管控“五层两面”架构

海事、智慧船队、智慧码头、智慧通信等智慧服务，针对特定业务应用，构建友好交互、效能显著的智慧服务。

智慧决策层：包括全要素智能安全监管体系、敏捷智慧应急保障处置体系等，实现市域一体化管控服务平台、一体化协同管控机制两个层面的安全监控和应急保障管控。

法规标准方面：提早布局、加强顶层设计，建设适应智能、融入世界、中国引领的智能化时代航运安全保障法规标准。

人才制度方面：围绕复合型交叉学科人才需求，形成“专精高优”、储备丰富、梯队发展的人才培养制度。

## 2. 发展路线

瞄准“五层两面”智慧化发展目标架构，未来从上海港实际出发，建议按照“三步走”的路线推进实施。

到2027年（“十五五”中期），完成智慧化发展顶层布局，有序推进新型“基础底座”建设，打破涉海信息感知与共享瓶颈。在“涉海一盘棋”全局顶层布局指导下，有序分工合作开展新型、全面、智慧化基础设施建设，打通跨系统、跨领域壁垒，形成全市分布式涉海统一大数据库，为智慧化应用提升创造基础条件。

到2035年，集中攻关突破一批智能化支撑服务技术，初步形成航运安全保障智慧化服务与监管处置能力。可按照“技术研发有所分工、技术成果有偿共享”模式集中攻关突破支撑服务能力，并通过服务化共享，针对重点水域、航道、港口，初步建立面向各涉海单位应用的智慧服务与监管处置能力。

到2050年，基本建成全国乃至全球港口城市航运安全保障新体系。持续提升航运安全保障智慧化核心技术，打造“精准、高效、智能”航运安全保障示范港，同时，构建完善的智能航运安全保障标准体系、法规法律、人才制度，树立新标杆。

## 五、我国航运安全保障智慧化发展建议

### （一）引导共建新型智能化航运安全保障基础设施，打造“基础底座”感知环境

依托国家智库加强顶层布局，政策引导相关各方共建新型基础设施。加大政府投入出资建设智慧

导/助航设施、智慧航道电子图、智能监管处置装备等泛在连接、“空天陆海”一体化<sup>[9]</sup>的公共服务新型设施，制定分年度计划，持续投入升级改造。为船舶、码头、港口等落后基础设施改造升级提供配套减免、奖励政策支持，对于积极响应提升安全保障能力的个体或企业，给予税收减免鼓励；对于内河、近海个体渔船等弱势群体，予以政策补贴升级；对于不具备或拒绝整改的企业设施予以分阶段强制退出。通过逐步提升全国航运安全保障基础设施信息化水平，支撑形成智慧化管控“基础底座”感知硬件环境。

### （二）强化“涉海一盘棋”，统筹建立涉海跨系统分工共享协作机制

建议采取“政府引导、制度约束”的思路，梳理涉海相关单位的职责和义务，成立涉海单位分工协作平台，制定系统开放技术标准。按照“技术研发适当分工、技术成果有偿共享”模式，针对涉海业务需求，开展共性技术专项团队攻关、特有技术补贴支持及有偿共享，避免“重复造轮子”的同时，又能激发涉海单位技术共享意愿，实现资源投入和效用最大化，并形成数据、信息、技术、成果有偿共享机制，促进数据与技术服务资产可持续发展。同时，为促进“涉海一盘棋”统筹发展，可按照涉海业务需求，在适当机制约束下探索实施数据与基础服务接口强制公开制度。

### （三）配套政策制定，促进航运安全保障智能化技术研发分阶段、分成成熟度逐步推进

在智能技术应用于涉海业务方面，瞄准提升航运安全保障能力短板，注重分阶段、分成成熟度逐步推进，配套制定政策支持。建议“体系构建从上至下，技术研发从点到面”，对于航运安全保障智慧化发展体系问题，应加强顶层布局设计，提早、规范、开放，在统一体系框架内引导百花齐放、有序竞争，又避免重复建设、低端竞争；针对航运安全保障智慧化技术攻关，可优先发展技术成熟度相对较高的智能感知、增强感知、信息融合等信息感知技术，解决传统手段信息感知瓶颈问题；积极探索智能辅助决策类技术群、自主运行类技术群等，以点带面，成熟一批，试验一批；建立航运安全保障效能评价体系，纳入地方绩效，调动政府、企业、



科研机构和利益相关方的积极性；以上海港、青岛港、厦门港等区域为试点，逐步向全国推广。

#### (四) 建立航运安全保障智慧化发展新法规、新机制，为智慧化技术落地提供支撑

提早制定与航运安全保障智慧化发展相关的法律法规，如智能船舶安全航行法规、智慧港口/码头安全监管要素规范、智慧航道设计规范等，明确各方责任和权益，确保监管法律体系与航运安全保障智慧化发展相适应；设立航运安全保障智慧化相关专业，注重培养智能化、船舶、物流等复合型交叉学科人才；积极参与国际航运安全合作与交流，在学习和借鉴国际先进经验的同时，结合上海市成熟的先行先试案例实践，适时提出我国航运安全保障智慧化发展国际标准。

#### 利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

**Received date:** July 30, 2023; **Revised date:** September 29, 2023

**Corresponding author:** Xu Qing is a research fellow from Shanghai Division, China Ship Development and Design Center, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research filed is naval architecture and marine engineering. E-mail: shbranch@whzyh.cn

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Research on the Intelligent Development for Shanghai Shipping Security Assurance” (22692114400)

#### 参考文献

- [1] 交通运输部海事局. 水运“十四五”发展规划[Z]. 北京: 交通运输部海事局, 2022.  
Maritime Safety Administration of the People’s Republic of China. Development plan for water transportation in the 14th Five-Year Plan [Z]. Beijing: Maritime Safety Administration of the People’s Republic of China, 2021.
- [2] 交通运输部海事局. 交通运输部海事局关于印发《全要素水上“大交管”建设工作方案》的通知[Z]. 北京: 交通运输部海事局, 2021.  
Maritime Safety Administration of the People’s Republic of China. Announcement of the maritime safety administration of the People’s Republic of China on the issuance of the work plan for the construction of all elements of large traffic control [Z]. Beijing: Maritime Safety Administration of the People’s Republic of China, 2021.
- [3] 上海市人民政府. 上海市人民政府关于印发《上海国际航运中心建设“十四五”规划》的通知[Z]. 上海: 上海市人民政府, 2021.  
Shanghai Municipal People’s Government. Announcement of the shanghai municipal People’s Government on the issuance of the 14th Five-Year Plan for the construction of shanghai international shipping center [Z]. Shanghai: Shanghai Municipal People’s Government, 2021.
- [4] 中华人民共和国上海海事局. 海事统计数据 [EB/OL]. [2023-07-23]. <https://www.sh.msa.gov.cn/hstjsj/index.jhtml>.  
Shanghai Maritime Safety Administration of the People’s Republic of China. Maritime statistical data [EB/OL]. [2023-07-23]. <https://www.sh.msa.gov.cn/hstjsj/index.jhtml>.
- [5] 刘伟, 周国祥. 从上海 VTS 升级改造谈 VTS 未来发展趋势 [J]. 世界海运, 2021, 44(6): 30–35.  
Liu W, Zhou G X. Talking about the future development trend of VTS from the upgrade and transformation of VTS in Shanghai [J]. World Shipping, 2021, 44(6): 30–35.
- [6] 曹德胜. 关于“陆海空天”一体化水上交通运输安全保障体系构建的初步思考 [J]. 水上安全, 2022 (4): 1–7, 25.  
Cao D S. Preliminary thoughts on the construction of the land-sea-air-space integrated water transportation security system [J]. Maritime Safety, 2022 (4): 1–7, 25.
- [7] 许骥. 构建适应“陆海空天”一体化水上交通运输安全保障体系的智能航海保障体系的探索与实践 [J]. 中国海事, 2023 (3): 9–10.  
Xu Q. Exploration and practice of building an intelligent navigation service system that adapts to the integrated “land, sea, air and space” maritime transport safety support system [J]. China Maritime Safety, 2023 (3): 9–10.
- [8] 徐春. 推动智能船舶发展 构建安全水上交通环境 [J]. 中国海事, 2023 (1): 6–8.  
Xu C. Promote the development of intelligent ships and build a safe marine traffic environment [J]. China Maritime Safety, 2023 (1): 6–8.
- [9] 严新平, 李晨, 刘佳仑, 等. 新一代航运系统体系架构与关键技术研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(5): 22–29, 76.  
Yan X P, Li C, Liu J L, et al. Architecture and key technologies for new generation of waterborne transportation system [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(5): 22–29, 76.
- [10] 严新平, 刘佳仑, 张煜, 等. 智能航运的研究现状与展望 [J]. 现代交通与冶金材料, 2022, 2(1): 7–18.  
Yan X P, Liu J L, Zhang Y, et al. State-of-the-art and prospect of intelligent shipping [J]. Modern Transportation and Metallurgical Materials, 2022, 2(1): 7–18.
- [11] 曹菁菁, 雷阿会, 刘清, 等. 虚实融合驱动智慧港口发展研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 239–250.  
Cao J J, Lei A H, Liu Q, et al. Smart port development driven by virtual-real integration [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(3): 239–250.
- [12] 刘怀汉, 曾晖, 周俊安, 等. 内河航道助航系统智能化技术研究现状与展望 [J]. 水利水运工程学报, 2015 (6): 82–87.  
Liu H H, Zeng H, Zhou J A, et al. Present situation and prospect of intelligent navigation system technology for inland waterway [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015 (6): 82–87.
- [13] 罗本成, 解玉玲. 欧洲内河航运综合信息服务系统概述 [J]. 水运管理, 2007, 29(2): 37–39.  
Luo B C, Xie Y L. Overview of integrated information service system for inland river shipping in Europe [J]. Shipping Management, 2007, 29(2): 37–39.

- [14] 王荣波. 天津港建设世界一流智慧港口新路径 [J]. 施工企业管理, 2022 (8): 108–110.  
Wang R B. New path for Tianjin Port to build a world-class smart port [J]. Construction Enterprise Management, 2022 (8): 108–110.
- [15] 张意, 周然, 王壹省. 新时期水运基础设施科技创新 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2022.  
Zhang Y, Zhou R, Wang Y S. Scientific and technological innovation of water transport infrastructure in the new era [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2022.
- [16] 徐亮, 郭力峰, 钟琮玮, 等. 无人舰船机舱智能化技术应用探析 [J]. 中国舰船研究, 2022, 17(6): 15–21, 47.  
Xu L, Guo L F, Zhong C W, et al. Application research on intelligent technology of unmanned surface vessel engine room [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2022, 17(6): 15–21, 47.
- [17] Zhou C H, Xu J, Miller-Hooks E, et al. Analytics with digital-twinning: A decision support system for maintaining a resilient port [J]. Decision Support Systems, 2021, 143: 113496.
- [18] 中国船级社. 智能船舶规范 2023 [R]. 北京: 中国船级社, 2023.  
China Classification Society. Rules for intelligent ships 2023 [R]. Beijing: China Classification Society, 2023.
- [19] 石利勇, 彭中波, 谭建平, 等. 基于船联网的内河船舶信息服务技术研究 [J]. 船舶物资与市场, 2021 (1): 85–88.  
Shi L Y, Peng Z B, Tan J P, et al. Research on information service technology of inland river ships based on ship networking [J]. Marine Equipment/Materials & Marketing, 2021 (1): 85–88.
- [20] 王思佳. 船联网: 智慧航运底层逻辑 [J]. 中国船检, 2021 (4): 19–23.  
Wang S J. Ship networking: The underlying logic of smart shipping [J]. China Ship Survey, 2021 (4): 19–23.
- [21] 上海市港口管理局. 上海港口章程 [Z]. 上海: 上海市港口管理局, 2004.  
Shanghai Port Authority. Shanghai port charter [Z]. Shanghai: Shanghai Port Authority, 2004.