

新航海技术对船舶避碰自动化的影响研究

汤斌

中海油田服务股份有限公司船舶事业部, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ETQM.2025110010

摘 要： 本文系统研究新航海技术对船舶避碰自动化的影响。通过梳理船舶避碰自动化发展历程，剖析物联网、大数据、人工智能等新航海技术的原理与特性，从检测感知、决策控制、系统交互及安全可靠性等维度，分析新航海技术对船舶避碰自动化的提升作用。结合实际应用案例评估技术效果，并针对面临的技术兼容性、数据安全、法规滞后等挑战提出发展建议，为推动船舶避碰自动化技术发展提供理论与实践参考。

关 键 词： 新航海技术；船舶避碰自动化；AIS；ECDIS；人工智能

Research on the Impact of New Navigation Technologies on Ship Collision Avoidance Automation

Tang Bin

Shipping Division, China Oilfield Services Limited, Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： This paper systematically investigates the impact of new navigation technologies on ship collision avoidance automation. By reviewing the development history of ship collision avoidance automation and analyzing the principles and characteristics of emerging navigation technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence (AI), it examines how these technologies enhance ship collision avoidance automation from dimensions including detection and perception, decision-making and control, system interaction, and safety and reliability. The paper evaluates the technical effectiveness through practical application cases and proposes development recommendations to address challenges such as technological compatibility, data security, and regulatory lag, providing theoretical and practical references for advancing the development of ship collision avoidance automation technology.

Keywords： new navigation technologies; ship collision avoidance automation; AIS; ECDIS; artificial intelligence

引言

随着全球航运业的快速发展，船舶航行密度不断增加，复杂的海上交通环境对船舶避碰安全提出了更高要求。传统的船舶避碰手段已难以满足现代航运的需求，船舶避碰自动化成为保障航行安全的关键发展方向。近年来，物联网、大数据、人工智能等新航海技术的兴起，为船舶避碰自动化带来了新的机遇与变革。深入研究新航海技术对船舶避碰自动化的影响，对于提升船舶航行安全水平、优化海上交通管理具有重要的现实意义。

一、船舶避碰自动化与新航海技术概述

（一）船舶避碰自动化发展历程

船舶避碰自动化的发展经历了多个阶段。在传统避碰阶段，主要依赖船员人工瞭望与简单助航设备，如望远镜、声号等。这种方式受人为主观因素影响大，在恶劣天气或复杂海况下，避碰效果有限。

进入自动化初步阶段，雷达、ARPA（自动雷达标绘仪）等技术开始广泛应用。雷达能够探测周围船舶的位置和运动状态，ARPA则可自动跟踪目标船舶，计算其航向、航速和CPA（最近会遇距离）、TCPA（到达最近会遇点的时间），为船员提供初步的避碰信息，显著提升了船舶避碰的自动化程度和准确性。

随着技术的不断进步，船舶避碰自动化迈入智能化发展阶段。多种先进技术深度融合的智能避碰系统逐渐出现，通过整合

多源信息，利用人工智能算法实现对目标的精准识别、避碰决策的智能生成，推动船舶避碰向高度自动化、智能化方向发展。

（二）新航海技术定义与范畴

新航海技术是基于物联网、大数据、人工智能等前沿技术发展而来的新型航海技术。其涵盖范围广泛，主要包括 AIS（船舶自动识别系统）、ECDIS（电子海图显示与信息系统）、智能传感器、AI算法、5G通信等技术。这些技术相互融合，为船舶航行提供更全面、精准的信息支持和决策辅助。

（三）船舶避碰自动化核心需求

船舶避碰自动化需满足多方面核心需求。在目标检测与跟踪方面，要求系统具备高准确性，能够及时、精准地发现并持续跟踪周围船舶及障碍物；避碰决策需具备实时性与合理性，在短时间内生成科学的避碰方案，避免碰撞风险；同时，系统的可靠性与交互性也至关重要，确保在各种复杂环境下稳定运行，并便于船员操作与信息交互^[1]。

二、新航海技术原理与特性分析

（一）AIS技术

AIS基于自组织时分多址（SOTDMA）技术实现船舶动态信息的自动广播与接收。每艘安装 AIS 设备的船舶，按照设定的时间周期，将自身船位、航速、航向、船舶识别码（MMSI）、船舶类型等信息编码成数据包，通过 VHF 频段发送出去。其他船舶和岸基接收端接收到数据包后，进行解码处理，即可实时获取周围船舶的动态信息，进而构建海上交通态势图。AIS 技术具有实时性强、广域覆盖的特点，能够实现全球范围内船舶信息的交互，且可同时处理大量船舶数据，为船舶避碰决策提供全面、准确的信息支持。

（二）ECDIS 技术

ECDIS 以数字化海图数据为基础，通过与 GPS、罗经、计程仪等设备集成，实时显示船舶位置与航行环境。系统具备海图自动更新功能，能够通过网络及时获取最新的航道、航标、水深、禁航区等信息，确保海图数据的准确性和时效性。在船舶避碰应用中，ECDIS 可根据船员设定的安全等深线、安全距离等参数，对潜在危险区域进行自动预警，并结合 AIS 和雷达数据，辅助船员进行航线规划和碰撞风险评估，有效提升航行安全性^[2]。

（三）智能传感器技术

智能传感器是船舶环境感知的关键设备，主要包括激光雷达、毫米波雷达和视觉传感器。激光雷达通过发射激光束并接收反射信号，能够实现对目标的三维建模和精确距离测量，检测距离可达 100–300m，角度分辨率高，能够精准识别目标的轮廓和形状。毫米波雷达利用毫米波频段的电磁波进行探测，具有较强的穿透性，在雨、雾、沙尘等恶劣天气条件下仍能稳定工作，检测距离为 50–200m。视觉传感器通过摄像头采集图像，借助计算机视觉算法实现目标识别，数据刷新率高，但受光照条件影响较大。不同类型的传感器特性互补，通过多传感器融合技术，可显著提升船舶对环境感知的准确性和可靠性。智能传感器性能参数对比如表 1 所示：

表 1 典型智能传感器性能参数对比

传感器类型	检测距离	角度分辨率	环境适应性	数据刷新率
激光雷达	100–300m	0.1° –1°	受雨雪影响	10–20Hz

毫米波雷达	50–200m	1° –5°	强	20–50Hz
视觉传感器	20–100m	取决于像素	光照敏感	30–60Hz

（四）AI 算法与机器学习技术

在船舶避碰领域，AI 算法发挥着核心作用。目标识别算法如 YOLO（You Only Look Once）、Faster R–CNN 等，通过深度学习模型训练，能够快速、准确地识别海上各类目标。这些算法可处理视觉传感器采集的图像数据，检测出小型船舶、浮标、漂浮物等目标，并标注其位置和类别^[3]。避碰决策方面，强化学习算法通过模拟大量的航行场景，让算法在与环境的交互中学习最优避碰策略。机器学习技术则利用历史航行数据和避碰案例，对算法参数进行持续优化，不断提升决策的准确性和适应性。

三、新航海技术对船舶避碰自动化的影响分析

（一）检测与感知能力提升

新航海技术通过多源信息融合，极大地增强了船舶的检测与感知能力。AIS 提供船舶的身份和动态信息，雷达和激光雷达实现目标的距离和方位测量，视觉传感器补充目标的外观特征，三者数据相互补充、融合，可构建出完整、精确的海上态势模型。AI 算法的应用进一步提升了目标识别精度，尤其在小目标和弱反射目标检测方面表现突出，有效减少了漏检和误判情况，为避碰决策提供了可靠的数据基础。

（二）决策与控制智能化

AI 算法的引入使船舶避碰决策实现了智能化。避碰系统能够在极短时间内，对当前航行环境进行全面分析，结合 COLREGS 规则和历史避碰经验，快速生成多个避让方案。通过对方案的安全性、经济性和可行性进行评估，系统可自动选择最优策略。在路径规划方面，系统可结合实时海况、交通流数据，动态调整航线，避免进入危险区域。部分先进的避碰系统还可通过船载执行机构自动执行避让动作，实现从目标检测到控制执行的全自动化闭环^[4]。

（三）系统交互与协同优化

新航海技术推动船舶避碰系统实现了船–船、船–岸之间的高效协同。AIS 技术支持船舶间避碰信息的实时共享，相邻船舶可及时获取对方的避让意图，避免行动冲突，提高协同避碰效率。5G 通信技术的应用实现了船–岸之间的高速数据传输，岸基控制中心能够远程监控船舶的航行状态，在复杂情况下为船舶提供辅助决策支持。此外，人机交互界面的优化设计，使船员能够更直观地获取系统信息，并快速对自动化决策进行干预，实现了人机之间的高效协同^[5]。

（四）安全可靠性增强

新航海技术通过冗余设计和智能诊断，提升了船舶避碰系统的安全可靠性。多传感器、多通信链路的冗余配置，确保在部分设备出现故障时，系统仍能正常运行。AI 技术可对传感器数据和系统状态进行实时分析，利用异常检测算法及时识别潜在故障，提前发出预警并启动故障隔离机制。同时，数据加密和访问控制技术的应用，有效保障了信息安全，防止数据篡改和非法入侵，进一步增强了系统的安全性。

四、新航海技术应用案例与效果评估

（一）案例选取与介绍

1. 某集装箱船智能避碰系统改造项目

某集装箱船在进行智能避碰系统改造时，集成了 AIS、毫米波雷达、视觉传感器和 AI 避碰算法。其中，AIS 用于获取周围船舶的动态信息；毫米波雷达在恶劣天气下实现目标的稳定探测；视觉传感器提供目标的外观细节；AI 避碰算法则对多源数据进行融合处理，并生成避碰决策。系统采用分层架构设计，底层传感器采集数据，经数据预处理层清洗和转换后，传输至 AI 算法决策层进行分析处理，最终将决策结果发送至执行层，通过驾驶台显示器向船员提示操作建议，必要时可自动控制船舶动力和转向系统执行避让动作^[6]。

2. 某邮轮新航海技术集成应用案例

某邮轮将 ECDIS 与 5G 通信技术深度结合，并引入机器学习算法优化航线规划和避碰决策。ECDIS 系统实时显示邮轮位置和航行环境，利用 5G 通信实现海图的实时更新和与岸基中心的数据交互。机器学习算法根据历史航行数据、海况信息和交通流数据，优化航线规划，降低燃油消耗^[7]。在避碰方面，系统综合 AIS、雷达等数据，通过 AI 算法进行碰撞风险评估，并生成避让方案，同时将相关信息实时反馈给船员和岸基监控中心。

（二）应用效果分析

1. 避碰响应时间对比

对改造前后的某集装箱船进行避碰响应时间测试。在模拟的多船会遇场景中，传统雷达-ARPA 系统从检测到目标到生成初步避碰建议，平均耗时约 3.2 秒；而集成新航海技术的智能避碰系统，凭借 AI 算法的快速数据处理能力，从目标检测到输出最优避碰方案，平均时间缩短至 0.8 秒。这一显著提升，使船舶在紧急情况下能够更早采取避让措施，有效增加了避碰操作的时间窗口^[8]。

2. 碰撞风险降低率评估

通过对某邮轮应用新航海技术前后的航行数据进行分析，在相同的航行里程和相似的交通环境下，应用前的一年中，该邮轮共发生 5 起接近碰撞事件（CPA 小于安全阈值）；应用新航海技术后的一年，接近碰撞事件减少至 1 起。基于历史数据和统计学方法估算，新航海技术的应用使该邮轮的碰撞风险降低幅度超过 80%。这主要得益于系统精准的目标识别、智能的避碰决策以及高效的船-船、船-岸协同能力。

3. 船员工作负荷变化评估

采用 NASA 任务负荷指数（NASA-TLX）对船员工作负荷进行量化评估。在传统避碰模式下，船员在复杂交通环境航行

时，平均 NASA-TLX 得分为 72 分，主要压力来自人工瞭望、数据计算和决策制定；应用新航海技术后，船员在同样环境下的平均 NASA-TLX 得分降至 45 分。自动化功能减少了人工瞭望和数据计算的工作量，使船员能够将更多精力投入到对系统状态的监控和复杂情况的处理上，工作负荷显著降低，工作效率和安全性得到有效提升。

五、新航海技术应用面临的挑战与发展建议

（一）面临挑战

技术兼容性问题是新航海技术应用的主要障碍之一。不同厂商生产的 AIS、传感器、避碰系统等设备，在数据接口和通信协议方面存在差异，导致系统集成难度大，难以实现设备之间的无缝协同工作。数据安全风险也不容忽视，随着船舶智能化程度的提高，船舶网络面临着信息泄露、网络攻击等威胁。一旦避碰数据被篡改或系统遭受恶意控制，将严重威胁船舶航行安全^[9]。此外，现行的船舶避碰规则主要基于人工操作和传统设备制定，对于新航海技术的应用规范、责任界定等方面存在明显滞后，无法为新技术的发展提供充分的法律保障。

（二）发展建议

为解决技术兼容性问题，应推动技术标准化进程。国际海事组织（IMO）等相关机构应牵头制定统一的数据接口标准和通信协议，规范设备制造商的生产标准，促进不同设备和系统之间的互联互通。在数据安全方面，需加强船舶网络安全防护体系建设，采用区块链、量子加密等先进技术，保障数据的完整性、保密性和可用性^[10]。同时，建立完善的网络安全监测和应急响应机制，及时发现和处理安全威胁。在法规政策层面，需修订 COLREGS 规则，明确智能避碰系统的应用条件、操作规范和责任划分，为新航海技术的应用和发展提供清晰的法律依据。

六、结束语

新航海技术凭借其创新性和先进性，从检测感知、决策控制、系统交互和安全可靠等多个维度，深刻改变了船舶避碰自动化的技术格局，显著提升了船舶航行的安全性和运营效率。尽管在应用过程中面临技术兼容、数据安全和法规滞后等挑战，但随着标准化建设的推进、安全技术的创新和法规政策的完善，新航海技术有望在船舶避碰领域发挥更大的作用，为全球海上交通的安全、高效发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 王海峰, 刘远洋. 智能航海技术在船舶避碰中的应用与发展 [J]. 中国航海, 2023, 46(02): 108-115.
- [2] 陈宇航, 张伟. AIS 技术在船舶协同避碰中的优化路径研究 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(18): 132-138.
- [3] 李建强, 王敏. 多传感器融合技术在船舶避碰系统中的性能优化 [J]. 船舶工程, 2021, 43(10): 98-104.
- [4] 赵晨阳, 孙明. 基于 AI 的船舶智能避碰决策系统设计与实现 [J]. 交通信息与安全, 2020, 38(06): 117-124.
- [5] 周远航, 吴昊. 船舶网络安全风险分析与防护策略研究 [J]. 航海技术, 2023, 58(05): 92-98.
- [6] 陈相照. 基于新航海技术的船舶避碰自动化功能与应用探析 [J]. 珠江水运, 2023, (11): 3-5.
- [7] 钮晓浩. 新航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 中国航务周刊, 2023, (21): 52-54.
- [8] 巫清华. 新航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 中国水运, 2021, (15): 77-79.
- [9] 高超. 新型航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 中国航务周刊, 2021, (13): 50-51.
- [10] 高启长. 新航海技术对船舶避碰自动化的影响 [J]. 船舶物资与市场, 2021, (02): 91-92.