

# “交通强国”战略下智慧港口自动系泊系统推广路径与政策建议

张琳琳<sup>1</sup>, 刘明远<sup>1</sup>, 陈昌毅<sup>1</sup>, 黄家根<sup>2</sup>, 王喜龙<sup>3</sup>

<sup>1</sup>军事交通运输研究所, 天津

<sup>2</sup>31653部队, 福建 漳州

<sup>3</sup>海军装备部, 天津

收稿日期: 2025年8月12日; 录用日期: 2025年9月5日; 发布日期: 2025年9月15日

## 摘要

本论文基于我国智慧港口建设需求, 系统分析自动系泊系统应用现状与瓶颈, 构建“技术-产业-政策”三维度协同推广框架。技术维度提出分阶段性能优化方案, 产业维度设计试点示范与产业链协同机制, 政策维度建立多主体治理模式, 提出涵盖财政支持、标准建设、税收激励和人才培养的精准施策四维行动方案, 为自动系泊系统规模化应用提供实施路径。

## 关键词

交通强国, 智慧港口, 自动系泊系统, 传感器技术

# Research on Promotion Path and Policy Suggestions for Smart Port Automatic Mooring System under the “Transportation Power” Strategy

Linlin Zhang<sup>1</sup>, Mingyuan Liu<sup>1</sup>, Changyi Chen<sup>1</sup>, Jiagen Huang<sup>2</sup>, Xilong Wang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Military Transportation, Tianjin

<sup>2</sup>Unit 31653, Zhangzhou Fujian

<sup>3</sup>Naval Equipment Department, Tianjin

Received: Aug. 12<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 5<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 15<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Based on the requirements for smart port construction in China, this study systematically analyzes

文章引用: 张琳琳, 刘明远, 陈昌毅, 黄家根, 王喜龙. “交通强国”战略下智慧港口自动系泊系统推广路径与政策建议[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(5): 774-780. DOI: 10.12677/jsta.2025.135075

the application status of automatic mooring systems and constructs a three-dimensional collaborative promotion framework integrating technology, industry, and policy. In the technological dimension, it proposes a phased performance optimization plan; in the industrial dimension, designs pilot demonstration mechanisms and industry chain collaboration strategies; and in the policy dimension, establishes a multi-stakeholder governance model. The research further presents a differentiated policy portfolio encompassing fiscal/tax incentives, standard formulation, and regulatory improvement, thereby providing an implementation pathway for the large-scale application of automatic mooring systems.

## Keywords

Transportation Powerhouse, Smart Port, Automated Mooring System, Sensor Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国供给侧结构性改革的持续推进以及交通强国顶层战略的出台，以安全便捷、智慧绿色、经济高效、支撑有力、世界先进为特征的智慧型港口将成为我国港口升级改造的重点和发展方向[1]。《交通强国建设纲要》提出的港口自动化目标正面临实践深化挑战[2] [3]。据《2023 中国港口发展报告》[4]显示，我国主要港口船舶平均待泊时长逾 24 小时，年系泊事故发生率长期维持在 3.2%水平，由此引发的直接经济损失累计达 12 亿元/年，“装卸效率跃进、系泊能力滞后”的转型困境凸显。

自动系泊技术通过作业增效(鹿特丹港年吞吐量提升 20%)、成本降低(材料损耗减少 75%)、绿色转型(新加坡港年减排 12 万吨)三重价值重构，正在重塑全球港口运营体系。全球已有 50 余个港口部署自动系泊系统，荷兰鹿特丹港和新加坡港等先进港口已率先实现了该技术的规模化应用，荷兰鹿特丹港实现船舶靠泊时间缩短 40%、作业事故率下降 62%的突破性进展。国内自动系泊技术虽取得实验室突破，但关键技术指标较国际先进水平存在 23%~35%的差距，工程化应用仍面临产业化迟滞，与国际领先港口存在 5~8 年的产业化差距。当前发展阻滞主要源于三大结构性矛盾：政策引导的协同性不足、技术标准的体系性缺失、市场主体的参与度低迷。

国内学界现有研究多聚焦于技术本身的研究与试验，对技术扩散机制和政策适配性研究存在显著空白。首先，现有文献多集中于技术本身的研究与试验，而对于如何将其从试点阶段推广至大规模商业化应用缺乏系统性探讨。其次，在政策层面，尽管《交通强国建设纲要》等文件提出了港口自动化的总体目标，但针对自动系泊系统的具体扶持政策尚未出台，特别是在财政支持、标准制定和税收优惠等方面的政策设计尚属空白。此外，现有研究对于自动系泊系统与智慧港口其他子系统的协同效应关注较少，未能充分揭示其在整体港口智能化转型中的潜力。本文提出“技术 - 产业 - 政策”协同推广路径，并针对上述研究空白提出具体的政策建议，以期自动系泊系统在我国的大规模推广提供理论支持与实践指导。

## 2. 自动系泊系统应用现状与瓶颈分析

### 2.1. 国际应用案例

自动系泊系统作为智慧港口建设的重要组成部分，在国际上已取得显著的应用成果。荷兰鹿特丹港和新加坡港等国际知名港口在自动系泊系统的规模化应用方面处于领先地位，其成功经验为我国提供了

重要参考。以鹿特丹港为例，该港口采用全自动化码头技术和远程控制起重机，大力提升港口运营效率和智能化水平。此外，欧盟为支持港口减排目标的实现，出台了专项补贴政策，对采用自动系泊系统的港口企业提供资金支持，这一政策模式有效推动了技术的普及与优化。新加坡港则通过构建智能化的港口管理系统，将自动系泊系统与大数据、物联网等深度融合，形成了高效且环保的运营模式。这些国际案例表明，政策支持与技术创新的协同作用是推动自动系泊系统规模化应用的关键因素。

## 2.2. 国内试点现状

国内自动系泊系统的试点工作已逐步展开，但整体仍处于初步探索阶段。近年来，部分大型港口如上海港、青岛港等开始尝试自动系泊系统的应用，并取得了一定成效。例如，上海港在某集装箱码头开展了基于磁力吸附原理的无缆系泊试验项目，通过实际运行数据显示，该项目在减少船舶待泊时间和降低能耗方面表现出明显优势。然而，由于技术成熟度不足以及相关配套设施尚不完善，国内试点项目的规模较小且覆盖范围有限。此外，不同港口之间的试点进展存在较大差异，部分港口因缺乏政策支持和技術储备而难以持续推进试点工作。总体来看，国内自动系泊系统的试点应用虽具备一定基础，但仍需进一步加强技术研发与示范推广。

## 2.3. 核心瓶颈分析

自动系泊系统在国内外的应用前景广阔，但其在推广过程中面临诸多核心瓶颈，主要包括技术短板、产业化障碍以及制度壁垒三个方面。

### 2.3.1. 技术瓶颈

自动系泊系统国内规模化推广面临的核心技术瓶颈，集中体现在以下三个方面。

一是核心传感器定位精度不足。当前核心传感器动态定位精度普遍  $\leq 30\text{ cm}$ ，低于国际海事组织(IMO)在 MSC.1/Circ.1618 通函中建议的  $\leq 15\text{ cm}$  精度要求。根据国内某大型港口实测报告，在模拟复杂靠泊场景(如横流、涌浪)下，无缆系泊系统的动态位置保持误差仅可达  $\pm 0.5\text{ 米}$ [4]，难以满足大型船舶安全靠泊的严苛要求。

二是复杂海况适应性有限。现有系统仅在蒲氏风级  $\leq 6$  级、有义波高  $H_s \leq 2$  米相对平稳海况下能维持稳定工作。在遭遇强风( $\geq 7$  级)、大浪( $H_s > 2$  米)、暴雨或浓雾等极端环境时，核心传感器的性能将急剧衰减，导致系统定位精度恶化、控制指令延迟甚至失效，故障发生率显著提升，严重限制了系统在全天候条件下的可靠运行能力。

三是应急响应机制不完善。当遭遇传感器突发性失效、动力异常中断或船舶意外大幅度漂移等紧急状况时，系统缺乏快速、自主的故障诊断与安全恢复机制。冗余备份不足和决策逻辑的智能化水平有限，导致系统难以及时触发有效应对措施(如自动切换备用模式、发出精确警报、执行安全脱离)，显著增加了港口作业的安全风险系数。

综上所述，核心传感器精度不足是导致系统在复杂环境下可靠性下降的根源性问题，而复杂海况适应性差和应急机制薄弱是直接表现与后果。这些相互关联的技术短板，不仅严重制约了自动系泊技术的实际应用效能，更对港口运营安全构成潜在威胁。因此，突破高精度、高可靠、高海况的核心传感器技术，并构建基于多源传感器数据的智能化监控与应急体系，提高系统的可靠性和适应性，是提升自动系泊系统整体性能和推广适用性的关键所在。

### 2.3.2. 产业化障碍

自动系泊系统的产业化进程面临国产化率低和产业链协同不足的双重阻碍。一方面，核心传感器等关键部件高度依赖进口，核心部件国产化率不足 40%，导致技术成本居高不下，严重制约了其市场竞争

力。例如，目前应用于自动系泊系统的精密定位传感器主要依赖德国、日本等国家的进口产品，国产替代品的性能尚无法满足实际需求。另一方面，产业链上下游企业之间的协作机制尚未建立，导致技术研发与产业化应用之间存在脱节现象。这种协同不足的局面进一步延缓了自动系泊系统的市场化步伐，亟需通过政策引导和行业协作加以改善。

### 2.3.3. 制度壁垒

现行《港口安全操作规程》等规章制度对自动系泊系统的应用形成了显著限制，成为其推广过程中的重要制度壁垒。当前，我国港口安全管理体系主要基于传统缆绳系泊模式制定，对于无缆系泊这种新兴技术缺乏明确的操作规范和安全标准。例如，《港口安全操作规程》中关于船舶靠泊的相关规定并未充分考虑自动系泊系统的特点，导致其在实际应用中面临合规性挑战。此外，缺乏针对性的技术标准和法规支持也使得港口企业在采用自动系泊系统时面临较高的法律风险。因此，修订和完善现有规章制度，为自动系泊系统提供必要的政策保障，是推动其广泛应用的重要前提。

## 3. 自动系泊系统推广路径设计

### 3.1. 分阶段技术优化路径

针对自动系泊系统推广面临的核心技术瓶颈，特别是高精度传感器定位、环境适应性及国产化问题，需科学合理地制定分阶段、可落地的技术优化路径。

一是短期目标(1~2年)是突破动态高精度定位瓶颈，显著提升系统基础可靠性。核心任务是将系统动态定位精度提升至 $\leq 15\text{ cm}$  (满足IMO MSC.1/Circ.1618要求)，并在蒲氏风级 $\leq 6$ 级( $H_s \leq 2$ 米)海况下实现稳定保持(误差 $\pm 0.3\text{ m}$ )。关键技术突破包括多源高精度传感器融合定位、多源异构传感器时空同步与数据融合算法等，有效抑制单一传感器误差，实现厘米级动态定位。

二是中期目标(3~5年)是攻克恶劣环境适应性难题，实现全天候可靠运行。核心任务是显著提升系统在恶劣气象海况(蒲氏风级7~8级， $H_s$ 约2~4米，雨/雾干扰)下的鲁棒性与可用性，定位精度衰减控制在 $\leq 25\text{ cm}$ ，系统可用率 $\geq 95\%$ 。关键技术突破包括传感器抗干扰与环境适应性提升、传感器冗余配置策略、智能化预警系统、智能预警与自适应应急响应等，确保关键感知功能在部分传感器失效时的连续性，构建基于多源传感器数据流的实时状态监测与风险评估模型。

三是长期目标(5年以上)是实现核心技术自主可控，构建完整产业生态。核心任务是实现自动系泊系统核心传感器及控制系统的全面国产化与工程化，国产化率 $\geq 85\%$ ，技术指标达到国际领先水平，形成具备全球竞争力的产业链。关键技术突破包括高性能核心传感器自主研发、系统级优化与智能化升级，突破国产高精度“卡脖子”环节，结合数字孪生技术构建虚拟调试与预测性维护平台，探索AI驱动的自主决策与协同控制。

### 3.2. 试点工程与市场培育

选择具备一定智慧化基础的港口作为试点，是推动自动系泊系统市场化应用的重要步骤。例如，可以选择上海港、青岛港等已初步实现自动化作业的港口进行首批试点。试点工程的实施步骤可分为三个阶段：第一阶段为技术验证，主要任务是完成设备安装与调试，并进行小规模试运行；第二阶段为性能评估，通过对运行数据的采集与分析，全面评估技术在实际应用场景中的表现；第三阶段为示范推广，将成功经验复制到其他港区，形成可推广的技术方案。

试点工程的预期目标包括显著降低船舶待泊时间、减少因传统系统缆绳操作引发的事故障率，以及验证自动系泊系统在节能减排方面的优势。根据《2023年中国港口发展报告》中的数据，传统缆绳方式导致的船舶待泊时间平均占总停留时间的20%以上，而自动系泊系统有望将其降低至10%以下。此外，通过试

点工程还可以有效培育市场，提高行业对自动系泊系统的认可度。例如，可通过举办技术研讨会、发布应用案例白皮书等形式，向潜在用户展示技术的实际效果与经济效益。

为了确保试点工程的顺利实施，还需建立完善的市场培育机制。一方面，政府可通过财政补贴与税收优惠政策激励港口企业参与试点；另一方面，行业协会应积极组织经验交流活动，促进技术知识的传播与共享。同时，媒体宣传也扮演着重要角色，通过报道试点成果，可以进一步增强社会公众对自动系泊系统的认知与接受度。

### 3.3. 产业链协同机制

构建政府、企业、科研机构等多主体协同机制，是自动系泊系统快速推广的关键保障。政府在技术研发与推广应用中应发挥主导作用，通过制定战略规划、提供政策支持以及协调资源配置，为技术发展创造良好的外部环境。例如，《交通强国建设纲要》[2][3]明确提出要促进大数据、人工智能等新技术与交通运输行业的深度融合，这为自动系泊系统的推广提供了政策依据。此外，政府还应牵头制定技术标准与法规，消除现行《港口安全操作规程》对无缆技术的限制，为其规模化应用扫清制度障碍。

企业在技术推广过程中则承担着技术创新与市场开拓的核心职责。港口企业应加大研发投入，积极参与试点工程建设，并通过与科研机构合作，共同攻克技术难题。例如，国内某大型港口集团已与多家高校签署合作协议，联合开发适用于本土环境的无缆系泊解决方案。与此同时，企业还需注重品牌建设与市场推广，通过展示技术应用成效吸引更多客户关注。

科研机构在协同机制中主要负责基础研究与技术开发工作。例如，交通运输部天津水运工程科学研究院正在开展关于港航科技自立自强的专项研究[5]，旨在提升自动系泊系统的原始创新能力。此外，科研机构还应加强与企业的合作，推动科技成果的快速转化。通过建立产学研联盟，各方可以共享资源、优势互补，从而加速技术从实验室走向实际应用场景。

综上所述，多主体协同机制的有效运行需要各参与方明确自身职责并加强协作。只有形成合力，组建“产学研用”创新联合体，才能克服技术推广过程中面临的各种挑战，最终实现自动系泊系统在我国智慧港口中的广泛应用。

## 4. 精准施策四维行动方案

### 4.1. 财政支持

财政支持对于促进自动系泊系统在我国港口广泛应用至关重要。从可行性角度分析，财政支持工具的设立具有较强的可操作性。一方面，我国近年来在智慧交通领域的财政投入持续增加，为自动系泊系统的支持奠定了基础；另一方面，欧盟等国际经验表明，通过财政补贴和专项资金支持，可以有效推动绿色港口技术的应用与发展。从预期效果分析，财政支持将显著提升自动系泊系统的研发效率和市场渗透率，同时带动相关产业链的发展，为实现交通强国战略目标提供有力支撑。

首先，设立专项资金是推动技术研发和产业化的关键举措之一。通过国家或地方财政拨款设立专项基金，重点支持自动系泊系统的研发、试点工程及市场培育项目，可显著提升企业的参与积极性。《交通强国建设纲要》中明确提出要加大对智慧港口相关技术创新的支持力度，为设立专项资金提供了政策依据。此外，提供财政补贴也是激励企业投入技术研发和应用的有效手段。根据《水运“十四五”发展规划》[6]，财政补贴不仅能够缓解企业在技术研发阶段的资金短缺问题，还能加速技术的市场化进程。

具体行动方案可包括：由交通运输部和财政部联合设立专项基金，对于采用自动系泊系统的港口企业，可按照其技术投入比例给予一定比例的财政补贴；对港口企业设备折旧进行补贴，以降低企业的初期成本压力，力争 5 年内实现试点企业覆盖率达 100%；建议实施阶梯式补贴政策：基础型传感器补贴

20% (成本降低至进口件 85%), 高性能型补贴 35% (成本对标进口件), 实现 3 年内核心部件国产化率  $\geq 60\%$ , 定位精度  $\leq 15\text{ cm}$  达标率 100%; 建立恶劣海况测试基地(如青岛/厦门), 实现抗风等级  $\geq 9$  级等。

## 4.2. 标准建设

自动系泊系统的推广应用离不开标准建设与法规保障。当前, 我国现行《港口安全操作规程》等法规对自动系泊系统的应用存在一定的限制, 亟需进行修订和完善。

首先, 建议分阶段推进标准体系建设, 包括《港口自动系泊系统技术要求》《自动系泊系统动态定位技术规范》《港口无缆系泊作业规程》《极端工况应急操作指南》等相关行业标准, 明确其技术规格、操作流程及安全规范, 以确保技术的可靠性和安全性。建议参考荷兰鹿特丹港的成功经验, 其在自动系泊系统应用过程中制定了详细的技术标准, 并将其纳入港口运营管理法规中。其次, 需要对现行港口安全操作规程进行修订, 逐步放宽对自动系泊系统的限制, 为其规模化应用创造良好的制度环境。此外, 建议建立自动系泊系统认证机制, 由权威机构对技术进行评估和认证, 确保其符合国家和行业标准。这一措施不仅有助于提高技术的市场认可度, 还能为港口企业提供明确的技术指导。通过标准与法规的建立, 可以为自动系泊系统的推广应用提供坚实的制度保障, 同时推动我国港口向智能化、绿色化方向转型。

## 4.3. 税收激励

为了进一步提高港口企业采用自动系泊系统的积极性, 建议将税收优惠与碳交易相结合, 形成双重激励机制, 不仅能够激励企业主动采用自动系泊系统, 还能推动港口行业的绿色转型, 助力实现“双碳”目标。我国已初步建立了全国碳交易市场, 为港口企业参与碳交易提供了平台支持。该政策将显著提升自动系泊系统的市场竞争力, 同时促进港口企业在节能减排方面的技术创新和管理优化。

首先, 对采用自动系泊系统实现节能减排的港口企业给予税收减免, 具体措施包括减免企业所得税、增值税等直接税种, 以及降低进口设备关税等间接税负。试验数据和国外港口实际应用效果均表明, 自动系泊系统相较于传统缆绳系泊可显著减少能源消耗和碳排放, 这为其与碳交易政策挂钩提供了科学依据。其次, 允许采用自动系泊系统的企业在碳交易市场中获得收益, 通过出售节能量或碳减排量获取额外经济回报, 从而进一步降低企业的运营成本。此外, 税务局和地方财政联动, 采取多措并举提升技术转化率, 如研发费用加计扣除比例提至 200%, 首批应用企业免征 3 年港口建设费, 技术转让所得税减免 50%等, 实现年技术转化率提升 40%的目标。

## 4.4. 人才培养

自动系泊系统的推广与应用离不开高素质专业人才的支持, 因此加强相关领域的人才培养至关重要。首先, 建议在高校和职业院校设置自动系泊系统相关专业课程, 培养具备跨学科知识背景的复合型人才。例如, 可以结合物联网、自动化控制、港口工程等学科内容, 设计系统化的课程体系, 以满足行业对技术人才的需求[7]。其次, 开展职业培训是提升现有从业人员技能水平的有效途径。通过组织专题讲座、实操训练等形式, 帮助港口企业员工掌握自动系泊系统的操作与维护技能, 从而提高技术的实际应用效果。

此外, 建议建立产学研合作机制, 促进高校、科研机构与港口企业之间的深度合作。通过联合开展科研项目、共建实验室等方式, 不仅可以加速技术研发成果的转化, 还能为人才培养提供实践平台。通过上述措施, 可以为自动系泊系统的推广提供坚实的人才支撑, 同时推动我国港口行业整体技术水平的提升。

## 5. 结论与展望

### 5.1. 结论

自动系泊系统作为智慧港口建设的重要组成部分，其推广和应用对于提升我国港口智能化水平、实现交通强国战略目标具有重要意义。通过本文的研究，可以明确“关键技术国产化 + 政策精准扶持”的双轮驱动路径是自动系泊系统在我国成功推广的核心策略。在技术层面，国产化不仅是解决当前技术短板的关键，也是确保长期技术自主可控的必然选择。通过分阶段的技术优化路径设计，短期内可聚焦于定位精度的提升，中期则需增强恶劣天气适应性，长期目标则是实现核心技术的全面国产化，从而降低对进口设备的依赖并提高系统的可靠性。与此同时，政策精准扶持为技术推广提供了强有力的保障。财政支持工具如专项资金和补贴能够激励企业加大研发投入；标准与法规的突破则为技术应用扫清了制度障碍；税收优惠与碳交易挂钩的政策进一步提升了企业采用该技术的积极性；而人才培养配套的完善则为技术推广奠定了坚实的人才基础。这种双轮驱动模式不仅能够有效应对当前自动系泊系统推广中的瓶颈问题，还为我国智慧港口建设提供了可复制、可推广的经验。

### 5.2. 展望

随着我国港口智能化发展的不断深入，自动系泊系统有望与 5G、北斗导航等前沿技术深度融合[8][9]，形成更加高效、绿色、智能的港口运营模式。一方面，5G 通信技术的高速率、低延迟特性将为无缆系泊系统提供更为精准的数据传输支持，从而显著提升系统的实时监控能力和自动化操作水平。另一方面，北斗导航系统的全面应用将进一步强化自动系泊系统的定位精度和可靠性，尤其是在复杂气象条件下，其抗干扰能力强的特点将发挥重要作用。此外，随着区块链技术在港口物流领域的逐步推广，自动系泊系统还可以与之结合，构建更加透明、安全的港口作业流程。未来，自动系泊系统将在智慧港口建设中扮演更加重要的角色，成为推动港口高质量发展的重要引擎。其广泛应用将不仅提升港口运营效率，还将助力我国在全球港口竞争中占据更有利的地位，为交通强国战略的实施注入新的动力。

## 参考文献

- [1] 张胜泉, 李红亮. 交通强国战略下智慧港口指标体系构建研究[J]. 交通企业管理, 2020, 35(5): 6-9.
- [2] 交通运输部关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见[J]. 中国水运, 2024(3): 27-29.
- [3] 严俊. 提升我国港口数字化发展水平思考[J]. 交通企业管理, 2023, 38(4): 3-5.
- [4] 张德文. 我国港口领域团体标准发展现状分析[J]. 港口科技, 2022, (5): 1-12.
- [5] 郑霖, 周然, 张意, 王壹省. 关于科技自立自强背景下港航科技创新的思考[J]. 交通运输部管理干部学院学报, 2021, 31(3): 31-34.
- [6] “十四五”交通领域科技创新规划[J]. 中国科技奖励, 2022(4): 27-34.
- [7] 徐鲁强. “十四五”时期我国港口企业科技研发能力提升策略[J]. 港口科技, 2021(6): 33-36.
- [8] 刘永旺, 张晓丽, 骆名壮, 孙悦, 孙硕. 数字化打造港口发展新引擎[J]. 中国电信业, 2024(6): 29-33.
- [9] 赵光辉. 数字经济赋能智慧交通构建的路径探讨[J]. 企业经济, 2022, 41(10): 5-15.