



申请代码	E1202
接收部门	
收件日期	
接收编号	5237120677



国家自然科学基金 申 请 书

(2023 版)

资助类别：	面上项目		
亚类说明：			
附注说明：			
项目名称：	全时海况数据支持下的智能船舶不定期运输系统动态决策优化研究		
申 请 人：	孙卓	办公电话：	0411-84726756
依托单位：	大连海事大学		
通讯地址：	大连市凌海路1号		
邮政编码：	116026	单位电话：	0411-84724258
电子邮箱：	mixwind@gmail.com		

国家自然科学基金委员会



基本信息

申请人信息	姓名	孙卓	性别	男	出生年月	1979年12月	民族	汉族
	学位	博士	职称	教授				
	是否在站博士后	否		电子邮箱	mixwind@gmail.com			
	办公电话	0411-84726756		国别或地区	中国			
	申请人类别	依托单位全职						
	工作单位	大连海事大学/交通运输工程学院						
	主要研究领域							
依托单位信息	名称	大连海事大学						
	联系人	王欣	电子邮箱	dlhsdxsys@163.com				
	电话	0411-84724258	网站地址	www.dlmu.edu.cn				
合作研究单位信息	单位名称							
项目基本信息	项目名称	全时海况数据支持下的智能船舶不定期运输系统动态决策优化研究						
	英文名称	Optimizing Dynamic Decisions of Intelligent Ships in Tramp Shipping Based on Full-time Marine Condition Data						
	资助类别	面上项目				亚类说明		
	附注说明							
	申请代码	E1202. 交通规划与设计						
	研究期限	2024年01月01日 -- 2027年12月31日				研究方向：水路交通系统规划设计与运营		
	申请直接费用	67.7000万元						
中文关键词		水路交通运营与服务；航运网络规划；航运物流；决策优化；协同调度						
英文关键词		Water Transportation Operation and Service; Shipping Network Planning; Shipping Logistics; Decision-making Optimization; Cooperative Scheduling						



中文摘要	<p>不定期运输船舶在航行前需要规划航线和货物装卸，但多变的海洋水文气象会严重影响计划的执行，使得货主和航运公司蒙受损失。随着近年来气象监测预测技术、大数据云平台以及智能船舶的发展建设，如何在全时段海况数据支持下改进传统的航运计划，使其具有高柔性和快速响应性成为亟待解决的问题。本项目拟通过对全时段海况数据的分析以及不定期智能船舶的航行跟踪调研构建创新的动态航运决策优化框架，其中嵌套三类不同频次的滚动周期决策过程：在低频次中期决策中使用鲁棒优化以生成高容差可行计划方案集；在中频次短期决策中使用重调度优化以保证连续计划任务的高效执行和平滑接续；在高频次实时决策中使用机器学习方法来微调航速和航迹以降低能耗成本。另外本项目拟根据实际数据构建仿真平台来评估验证模型和算法的有效性，最后在智能船舶上进行实地测试，为航运企业提供相应决策支持的理论和应用工具。</p>
英文摘要	<p>Tramp ships need to plan routes and cargo loading and unloading before sailing, but the changeable marine hydrometeorology will seriously affect the plan's implementation, causing cargo owners and shipping companies losses. With the construction of intelligent ships and big maritime data in recent years, making traditional shipping plans highly robust and responsive has become an urgent problem. This project intends to construct a new dynamic shipping decision-making optimization framework through the navigation tracking survey of irregular intelligent ships and the analysis of full-time sea condition data, in which three types of rolling cycle decision-making processes with different frequencies are implemented: robust Optimization to generate high-tolerance feasible solution sets; use rescheduling optimization in short-term intermediate-frequency decision-making to ensure safe and efficient execution of current solutions; use machine learning methods in real-time high-frequency decision-making to fine-tune speed and trajectory to reduce energy costs. In addition, this project plans to build a simulation platform based on actual data to evaluate and verify the models and algorithms' effectiveness and conduct field tests on intelligent ships to provide shipping companies with theories and tools for decision-making support.</p>



科学问题属性

- ☐ “鼓励探索，突出原创”：科学问题源于科研人员的灵感和新思想，且具有鲜明的首创性特征，旨在通过自由探索产出从无到有的原创性成果。
- ☐ “聚焦前沿，独辟蹊径”：科学问题源于世界科技前沿的热点、难点和新兴领域，且具有鲜明的引领性或开创性特征，旨在通过独辟蹊径取得开拓性成果，引领或拓展科学前沿。
- ☒ “需求牵引，突破瓶颈”：科学问题源于国家重大需求和经济主战场，且具有鲜明的需求导向、问题导向和目标导向特征，旨在通过解决技术瓶颈背后的核心科学问题，促使基础研究成果走向应用。
- ☐ “共性导向，交叉融通”：科学问题源于多学科领域交叉的共性难题，具有鲜明的学科交叉特征，旨在通过交叉研究产出重大科学突破，促进分科知识融通发展为知识体系。

请阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）：

海运作为主要的货物运输方式是国家“一带一路”以及国际供应链保障战略中的重要组成部分。按运输组织方式又可以将海运分为固定路线和时间的班轮航运和相对灵活的不定期航运，后者约占海运总量的70%以上。不定期航运船舶在航行前需要对后续的航次进行航线和装卸货物规划（图1），但是由于海洋水文气象具有极强的随机性而且对船舶的航行带来诸多影响，因此提前做好的航运计划经常无法按照预期完成：例如潮汐的涨落会影响不同吃水的船舶的进出港口时间窗；海风、海浪、水温、盐度、洋流等会影响船舶的航迹和航速；台风、暴雨等极端天气会迫使船舶改变航线甚至中断原计划。这些意外情况使得货主和和航运公司在不断修改计划的同时蒙受巨大的损失。

近年来，随着海洋水文气象的监测、预测技术的发展，结合大数据云平台，监测的时空分辨率可达6分钟*1公里，预报准确率在24小时内可达92%，72小时达80%，7天在50%左右。另一方面，船舶的智能化建造如今已成为热点，我国搭载有最新的传感器、通信、网络技术的智能船舶从2016年开始建造，到今天在技术、规范等方面正逐步完善，在外部环境感知、自身状态监测、远程通讯导航等技术方面已处于实用阶段，然而对于不定期航运计划却仍在依靠经验半手工制定，在智能化方面鲜有进展，以往遇到的问题仍束手无策。在智能化的行业趋势下航运企业急需在柔性航线规划、快速调度响应、航行能效控制等问题的研究上有所突破。因此、本项目聚焦于如何在全时段海况数据支持下改进传统的不定期航运计划，运用鲁棒优化、重调度和机器学习等技术构建相应的理论并开发应用工具，通过前期实地调研和后期实地测试使项目落地，满足航运企业的需求。



主要参与者（注：主要参与者不包括项目申请人）

编号	姓名	出生年月	性别	职 称	学 位	工作单位	项目分工	办公电话	证件号码
1	李浩斌	1986-09-05	男	高级讲师	博士	新加坡国立大学	问题建模	18912966600	K*****B
2	唐春艳	1984-04-03	女	副教授	博士	大连海事大学	数据分析	0411-84724090	4*****4
3	郭姝娟	1983-07-28	女	副教授	博士	大连海事大学	算法设计	0411-84727960	2*****4

总人数统计（注：包括项目申请人、主要参与者及其他参与人员；勿重复计数）

总人数	高级职称	中级职称	初级职称	博士后	博士生	硕士生	本科生及其他学生	其他
9	3	1			2	3		



国家自然科学基金项目资金预算表

项目申请号：5237120677

项目负责人：孙卓

金额单位：万元

序号	科目名称	金额
1	一、项目直接费用合计	67.7000
2	1、设备费	4.5000
3	其中：设备购置费	4.5000
4	2、业务费	40.4000
5	3、劳务费	22.8000
6	二、其他来源资金	0.0000
7	三、合计	67.7000

注：请按照项目研究实际需要合理填写各科目预算金额。



预算说明书

(请按照《国家自然科学基金项目申请书预算表编制说明》等的有关要求,按照政策相符性、目标相关性和经济合理性原则,实事求是编制项目预算。填报时,直接费用应按设备费、业务费、劳务费三个类别填报,每个类别结合科研任务按支出用途进行说明。对单价 ≥ 50 万元的设备详细说明,对单价 < 50 万元的设备费用分类说明,对合作研究单位资质及资金外拨情况、自筹资金进行必要说明。)

(1) 设备费(4.5万元)

基于全时海况的船舶数据处理专用软件费: $1\text{套} \times 35000\text{元/套} = 3.5\text{万元}$;
更换数据采集与处理系统主机2台, $5000\text{元/台} \times 2 = 1.0\text{万元}$ 。

(2) 业务费(40.4万元)

材料费(5.5万元)

研究智能船舶传感器需要的低值元器件等, 预算4.5万元;
其他实验用耗材: $1\text{批} \times 10000\text{元/批} = 1.0\text{万元}$ 。

差旅费(12万元)

课题组成员到北京、上海、深圳、天津等港航企事业单位调研、参加讨论会等, 所产生的差旅费, 参照国家相关标准计算:
 $20\text{人次} \times 3000\text{元/人次} = 6\text{万元}$;
课题组成员参加国内学术交流, 产生差旅费, 参照国家相关标准计算:
 $5\text{人次/年} \times 4\text{年} \times 3000\text{元/人次} = 6\text{万元}$ 。

会议费(5.6万元)

用于在研究过程中组织开展学术研讨、咨询以及协调项目研究工作而发生的会议费用。其中, 计划组织5次小范围的学术研讨会, 1次稍大范围的学术交流会:
学术研讨会: $5\text{次} \times 20\text{人} \times 400\text{元/人} = 4\text{万元}$;
学术交流会: $1\text{次} \times 40\text{人} \times 400\text{元/人} = 1.6\text{万元}$ 。

出版/文献/信息传播/知识产权事务费(17.3万元)

论文版面费:
国内期刊论文: $2500\text{元/篇} \times 8\text{篇} = 2\text{万元}$;
国外期刊论文: $8000\text{元/篇} \times 10\text{篇} = 8\text{万元}$;
国际会议论文: $3000\text{元/篇} \times 5\text{篇} = 1.5\text{万元}$;
专著出版费, 1部, 约35万字, 4万元;
文献检索费: $100\text{篇} \times 30\text{元/篇} = 0.3\text{万元}$;
研究用航海图书资料等费: 1批, 1.5万元。

(3) 劳务费(22.8万元)

项目组拟聘用博士生开展建模、算法代码编写、论文的撰写等工作; 拟聘用硕士生开展数据分析、数据收集与处理、仿真代码编写等工作。劳务费预算如下:
数据分析与采集, $5\text{人} \times 500\text{元/月/人} \times 40\text{月} = 10\text{万元}$;
建模与算法求解, $4\text{人} \times 800\text{元/月/人} \times 40\text{月} = 12.8\text{万元}$ 。



报告正文

(一) 立项依据与研究内容 (建议 8000 字以下):

1. 项目的立项依据 (研究意义、国内外研究现状及发展动态分析, 需结合科学研究发展趋势来论述科学意义; 或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录);

1.1 项目背景及意义

海运作为主要的货物运输方式是国家“一带一路”以及国际供应链保障战略中的重要组成部分。按运输组织方式又可以将海运分为固定路线和时间的**班轮航运**和相对灵活的**不定期航运**, 后者约占海运总量的 70%以上^[1]。不定期航运船舶在航行前需要对后续的航次进行航线和装卸货物规划 (图 1), 但是由于**海洋水文气象具有极强的随机性**而且在诸多方面影响船舶航行, 因此提前做好的航运计划经常无法按照预期完成: 例如**潮汐的涨落**会影响不同吃水的船舶的**进出港口时间窗**; 海风、海浪、水温、盐度、洋流等会影响船舶的**航迹和航速**; 台风、暴雨等极端天气会迫使船舶改变航线甚至中断原计划。这些意外情况使得货主和航运公司在不断修改计划的同时蒙受巨大的损失。

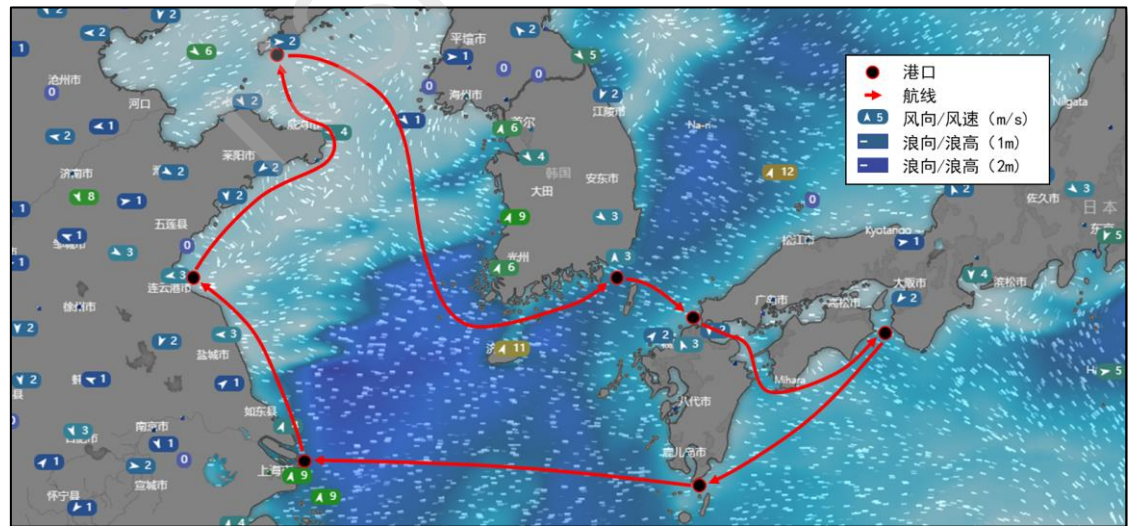


图 1. 不定期船舶航线规划实例及 24 小时风浪 (数据来源: shipdt.com, windy.com)

近年来, 随着**海洋水文气象**的监测、预报技术的发展, 结合**大数据云平台**, 监测的时空分辨率可达 6 分钟×1 公里^[2], 预报准确率在 24 小时内可达 92%, 72 小时达 80%, 7 天在 50%左右^[3]。另一方面, **船舶的智能化建造**如今已成为热点, 我国搭



载有最新的传感器、通信、网络技术的智能船舶从 2016 年开始建造，到今天在技术、规范等方面正逐步完善^[4]，在外部环境感知、自身状态监测、远程通讯导航等技术方面已处于实用阶段，然而对于不定期航运计划却仍在依靠经验半手工制定，在智能化方面鲜有进展，以往遇到的问题仍束手无策^[5]。这是由于不定期航运计划本身具有以下特点：

(1) **高度复杂**。不同货主需要将不同货物在不同的时间从不同的起始港运输到目的港，而航运公司需要计划航线安排各色船舶在不同港口装卸货物，既要满足船舶的容量限制，也要满足货主的船期要求并且要尽量节约成本。只考虑单船舶的航线规划可以归约为带时间窗的取送货问题 (Pickup and Delivery with Time Windows, PDPTW)，如果考虑多条船舶协作则还需要涉及需求分割和多船舶调度。此类问题在算法复杂度层面远超一般 NP-hard 问题，如果考虑非线性因素问题将更加复杂。

(2) **高度柔性**。由于海洋水文气象的多变，船舶在海上的航行具有巨大的不确定性，甚至在船舶入港后也会受到潮汐涨落的影响。这需要航运计划在制定初期就将这些不确定因素考虑进去，给船舶在各段航程的航行计划留有一定的缓冲区，这样即使原定计划在执行过程中受到突发情况的影响仍可以在后期进行调整以尽量恢复到正常。这种计划手段虽然可以在一定程度上规避风险但缓冲区的存在也会带来航行效率的降低和资源的浪费。因此，在柔性和效率之间需要进行权衡。

(3) **不间断连续性**。与班轮航运以 7 天为周期不同，不定期航运市场没有明显的周期需求规律，船舶为了节约闲置成本需要不间断连续的在市场上接受货主的订单，而每次的订单都不尽相同。因此，在有新订单被接受后，航运计划需要根据新订单做出调整，在原始模型的基础上从衔接的顺畅性角度重新建模。在航运市场供不应求的旺季，还可以从利润和可行性角度考虑订单的选择，使问题更加复杂。

从上述特点可以看出，不定期航运计划的高复杂度和难度使其在智能化方面困难重重，如何在全时段海况数据的支持下在柔性航线规划、快速调度响应、航行能效控制等问题的研究上有所突破成为航运企业以及学术层面亟待解决的问题。

本项目拟通过对全时段海况数据的分析以及不定期智能船舶的航行跟踪调研构建创新的动态航运决策优化框架，其中嵌套三类不同频次的滚动周期决策过程：在低频次中期决策中使用鲁棒优化以生成高容差可行计划方案集；在中频次短期决策中使用重调度优化以保证连续计划任务的高效执行和平滑接续；在高频次实时决



策中使用机器学习方法来微调航速和航迹以降低能耗成本。另外本项目拟根据实际数据构建仿真平台来评估验证模型和算法的有效性，最后在智能船舶上进行实地测试，为航运企业提供相应决策支持的理论和应用工具，对不定期航运研究体系的完善和服务我国政府及企业具有重要的科学意义：

(1) **理论意义**。通过对不定期航运的本底调查、航运企业的航运计划行为与机制等基础性问题，有机结合海洋水文气象监测预报、智能船舶环境感知与自身监控、柔性航线规划、快速调度响应、航运能效控制等集成性问题，采用合理的研究方法进行科学论证。能开拓不定期航运研究的新思路，丰富智能船舶动态决策的理论与方法，有助于完善智能航运研究体系与理论框架。

(2) **实践价值**。从我国航运企业助力智能化、无人化战略实施的途径出发，汇集相关领域研究的最新思想，加强对智能船舶硬件、软件的集成，构建不定期航运动态决策优化仿真，制定面向智能船舶智能化航行技术方案。助力我国政府部门及航运企业在新形势下整合技术资源上的战略决策，完成并发展“智能制造”的产业升级。

1.2 国内外研究现状分析

航运中的航线规划、任务调度、航速航迹优化等问题在学术界已有 30 多年的研究历史。最近 10 年，越来越多的研究集中在如何将海洋水文气象数据以及智能船舶应用到这些问题中。由于专注研究不定期航运的文献相对有限，因此以下的文献回顾将选取在方法论上与本项目相关的研究用以借鉴，从不定期航运航线规划、海洋水文气象对船舶航行影响以及智能船舶在航行中的应用三方面来回顾已有的研究。

1.2.1 不定期航运航线规划

相比固定周期和航线的班轮航运，不定期航运由于具有不确定性航线规划问题更为复杂，不定期航运航线规划问题可以看作是车辆路径问题（VRP）的带时间窗取送货问题（PDPTW），早期的研究中 Fagerholt 等(2010)已尝试使用这种建模方法来解决短期的路径与排班问题^[6]。Korsvik 等(2010)进一步将其描述为多车辆取送货问题（mPDPTW），采用三阶段的禁忌搜索进行求解^[7]，然后在此基础上又研究



了考虑更灵活的需求分解问题^[8]。类似的研究还有 Hemmati 等 (2014), 考虑了**异构船队、开放式车场、货物禁忌以及收益管理**等因素。设计了适应性大规模邻域搜索算法^[13]。Lin 等 (2011) 研究了不定期船舶分配、运费分配和船舶路径问题, 并开发了一种遗传算法^[10]。Stalhane (2012) 提出了**货物需求可拆分的航线规划 (PDPTWSL)**, 并**指出船舶路径问题的开放车场和连续不间断性**, 最后采用分支切割定价算法对问题进行求解^[12]。钱燕等 (2014) 建立了**带滚动窗口**的不定期多目标船舶调度优化模型 (SRPRW), 并制定了基于 SRPRW 模型的实时优化策略^[14]。Qiang 等 (2015) 研究了不定期船舶**路径与燃料装载联合优化**, 采用分支定价算法进行了求解^[15]。江振峰等 (2019) 研究了不定期船舶运输的**运输需求时空网络特征**, 优化了船舶承运的货物和**航次衔接**^[22]。Wu 等 (2021) 研究了在**签订租船契约**的情况下不定期散货船舶的运输与调度问题^[25]。

因为航速会极大的影响能耗, 因此有一部分研究聚焦于考虑航速的航线规划, 如 Norstad 等 (2011) 研究了有**速度优化**的不定期船路径和调度问题, 并提出了一个多起点局部搜索的启发式方法^[9]。Fukasawa 等 (2016) 在模型中考虑**船舶成本与航速的非线性关系**, 采用分支切割定价算法进行求解^[18]。相似的问题但 Wen 等 (2016) 在其所考虑的船舶同时仅允许装载一个订单的货物^[19]。Wen 等 (2017) 进一步考虑了允许多取多送的船舶, 且航速作为**连续决策变量**而非离散参数进行建模^[20]。Fan 等 (2019) 研究了考虑**碳排放与航速优化**问题, 在遗传算法中加入了模拟退火的 Metropolis 接受准则, 并在迭代中加入了变邻域搜索^[21]。陈翰林 (2020) 研究了**多船舶, 多港口, 多航线, 多货物** (包括合同货物和即期货物) 的不定期船舶调度问题, **解决了现实中存在的需求变动和可变航速问题**^[24]。范厚明等 (2021) 对不定期船调度与**航速联合优化**问题进行了研究, 利用模糊时间窗刻画货主满意度^[26]。Louzada 等 (2021) 利用**速度曲线**研究了不定期船舶航线和调度问题, 所建立模型中整合了以往遇到的大部分问题^[27]。

另外一些研究从不定期航运的不确定性入手开展研究, 如戴韬等 (2012) 考虑了**受天气影响**航行时间的不确定以及**码头可用性**导致的访问时间窗构建了单船舶旅行商问题^[11]。王文思 (2015) 研究了含**随机影响因素**的不定期船航线优化问题, 提出了一个智能的启发式算法 (算法中引入了虚拟船舶, 用来运输实际船舶所不能运输的货物)^[17]。丁一等 (2015) 研究了不定期船舶航线规划中的**软时间窗和随机航行时间**问题, 用线性近似的方法来消除不确定航行时间的影响^[16]。Li M 等 (2020) 通过一个**两阶段的随机规划模型**来评估北海航线对散货运输的影响^[23]。上述研究



中均对不定期航运中的航线规划问题进行了一定程度的简化，没有从综合海洋水文气象角度入手来研究规划的柔性或鲁棒性问题，并且忽略了航线规划在时间上的不间断连续性，这需要在初始航线规划的基础上不断的进行新线路的插入调整。

1.2.2 海洋水文气象对船舶航行影响

海运水文气象一直是船舶航行中影响能效、安全的最大不确定因素，但由于数据的缺乏，早期大多为定性研究，近10年随着海事大数据以及云平台的建设发展，设计各种定量模型成为研究的热点。在此类研究中最常见的是对船舶航速的优化，一是因为航速与能耗成本的关系巨大，另一个原因是航速的调整对计划的改变最小。柯姜岑等（2012）研究了并构建了雾天船舶通航的最优限速模型，得出不同能见度下船舶间的安全距离和控制的安全速度^[28]。Szelangiewicz等（2014）研究了考虑天气参数和航速特性的船舶基本尺寸与预期航速下降之间的关系，并提出了一种计算航速下降的新方法^[29]。魏照坤等（2016）研究了不同风、浪条件下各航段的最优航速和每条航线上船舶配备的最佳数目，建立了混合整型非线性（MINP）航速优化数学模型，对模型线性化后进行求解^[32]。Li等（2018）研究了油轮在不规则风浪影响下的航速优化问题，求解结果与正点恒速相比节油率可达1.07%^[38]。

在航速优化的基础上，另外一些研究对单条OD航线上的航迹进行了优化，如Kepaptsoglou等（2015）研究了同质集装箱船队的天气路径，考虑由于天气原因造成的行程时间不确定性建立相关随机模型^[30]。Bentin等（2016）考虑到风和波浪对船舶性能的影响，在数据模型的基础上嵌入分支和约束优化系统，可以在给定天气情况下找到最有效的航迹^[31]。张进峰等（2016）考虑了船舶在大风浪中的风增阻和波浪增阻及其引起的失速特征，仿真得出台风动态移动过程中的船舶避台航时最短航迹^[33]。Perera等（2017）介绍了在全球天气预报下航运中天气路径和船舶安全航行的路线建议^[34]。Sotnikova等（2017）集中讨论了海岸线和浅水区（静态）和危险天气条件（动态）约束下远洋船舶航行的最佳航迹问题^[35]。赵化川（2017）研究了基于实况气象的动态航迹规划，并分别运用“最省燃油航迹模型”和“航时最短航迹模型”进行了相关仿真分析^[36]。Li等（2017）考虑到航行时间和航行风险，提出了一种多目标船舶天气航迹问题的优化方法，并应用多目标进化算法NSGA-II（非支配排序遗传算法II）来获得帕累托最优航迹集^[37]。Krata等（2018）在研究中为了正确地模拟海洋气象滚转的自然周期，采用了一种利用等效稳心高



度的新方法纳入到船舶路径优化中^[39]。Ma 等（2020）研究了在 ECA 规定和天气条件下的航迹和航速问题，对此提出了一种改进的基于单元的方法进行求解^[40]。Gkerekos 等（2020）基于历史船舶性能和当前天气状况建立了一种优化船舶天气路径的框架^[41]。李明峰等（2020）研究了恶劣气象海况下的多变量多目标航迹优化问题，并设计强度帕累托多目标遗传进化算法进行有效求解^[42]。刘超（2020）、谢新连等（2021）研究了考虑海洋气象环境因素和不可航行区域下的航迹规划问题，并利用改进粒子群算法进行求解^{[43][47]}。Du 等（2021）综合天气、轮机、安全等因素的建立了以最小油耗、CO₂ 排放和 ETA 为目标函数的船舶航迹估计模型^[44]。赵巍（2021）研究了在各种天气和水文条件下内河及远洋船舶航行路径及航行安全问题，基于粒子群与遗传算法设计航迹规划仿真系统^[45]。吴恭兴等（2021）研究了躲避恶劣海况的智能船舶动态航迹规划问题，通过改进 A*算法的启发式算法求解^[46]。Xue 等（2021）以动态路径树为模型建立了恶劣天气下的船舶航迹优化问题^[48]。上述的研究中只考虑了单 OD 航线上的航速和航迹优化，从不定期航运的整体航线规划角度来看这些只是微调，在遇到恶劣水文气象的情况下不能从更高航线规划的层面来统筹考虑，进而做出更合理的决策。

1.2.3 智能船舶在航行中的应用

随着全球制造业智能化的发展，船舶智能化的相关概念从 2011 年开始被学术界和产业界广泛关注，专家学者一致认为智能船舶是未来船舶发展的必然趋势，具有广阔的应用需求和发展前景^[49]。2017 年我国研制的全球首艘智能船舶“大智”号成功交付^[50]，引发了研究智能船舶相关应用研究的热潮，Munim 等（2019）建议在不定期航运中首先尝试智能船舶^[54]。Ghaderi（2019）建议通过岸上控制中心（SCC）实现智能船舶的航线规划^[55]。韩晓宁等（2019）提出了智能船舶与智慧 VTS 结合实现综合航线规划的技术框架^[56]。

从具体的技术层面来看，一部分智慧船舶在航行中的应用集中在自身感知与检测、航速与油耗的优化上，如 Omer 等（2018）研究了智能船舶航行性能的检测问题，对此开发了基于装袋树、随机森林和 bootstrap 的船舶运行性能分析方法^[52]。Miyeon 等（2019）研究了基于人工神经网络（ANN）的主机油耗精确回归模型用以精确预测船舶油耗^[53]。Gkerekos 等（2019）提出了智能船舶基于数据驱动的多元回归线性回归（MLR）来预测燃油消耗的方法^[58]。Kim 等（2021）对现代智能船



舶提出了一种采用人工神经网络(ANN)或多元线性回归(MLR)方法预测燃油消耗的模型并进行了实地测试^[66]。Hu 等(2021)研究了基于智能船舶远洋集装箱船的油耗问题,采用超参数贝叶斯优化方法结合极随机树(ET)、随机森林(RF)、Xgboost(XGB)和多元线性回归(MLR)方法进行油耗预测^[68]。

另外一些研究从导航角度探讨了智能船舶在环境感知和远程控制的一些可能应用,如 Wang 等(2018)提出了一种智能船舶深度强化学习避障决策(DRLOAD)算法^[51]。Xue 等(2019)研究了用改进决策树解决模糊和不确定性下的智能船舶引航行为决策机制用于模拟引航人行为^[57]。Chen 等(2019)提出了一种基于 Q-learning 的船舶智能化路径规划与控制方法用于自驱动货船^[59]。龚铭凡等(2020)研究了智能船舶的路径规划问题,提出了以势场合力为启发信息的改进蚁群算法进行有效求解^[60]。薛一东(2020)从提出并阐述智能船舶引航的需求以及解决方法^[61]。Xiao 等(2020)基于 AIS 数据研究了船舶在不同情况下的自主独立决策,为智能船舶捕捉避碰操纵过程中行为的随机性^[62]。朱航标等(2021)针对智能船舶营运过程提出航行风险评价以及危险水域的海事安全监管^[63]。Martelli 等(2021)提出了智能船舶交通系统中人工智能工具、调度管理平台以及导航-控制整体框架^[64]。Zhou 等(2021)研究了大型智能船舶的风险规避和航路点控制协调系统,采用闭环增益整形算法(CGSA)对控制器进行改进,并考虑了 COLREGS 约束^[65]。陈鹏(2021)基于智能船舶传感数据以及 AIS 数据研究了支持向量机算法自动完成船舶避碰分类检测问题并建立了避碰知识库^[67]。徐海祥等(2022)研究了通过改进的 DeepSort 跟踪算法实现智能船舶周围多个船舶目标的实时跟踪^[69]。上述关于智能船舶的研究主要集中在能效控制、导航等方面,然而对于航运计划、船舶调度等中长期问题的智能化解决方面鲜有论述,这是由于问题的复杂性和学科交叉所引起。

1.3 现有研究小结

通过对以上三方面问题国内外研究现状的综合分析,可以归纳出以下特点:

(1) 研究对象趋于微观。随着技术的发展以及大数据的应用普及,一方面数据的精细化使得对原有问题的解决方案从微观角度进行优化在应用层面更容易实现和操作,例如航速、航迹和油耗的控制优化;另一方面数据的暴涨使得问题的复杂性也在成倍增加,在方法论层面没有突破的情况下原有问题变得更加难以解决,以此可以看到在柔性航线规划、快速调度响应层面鲜有研究出现。



(2) 解决方法趋于多元。由于学科的交叉融合以及工程信息化程度的提高,单一学科的解决方法越来越难在应用中达到满意,因此跨学科的方法成为趋势,例如上述研究中的对船舶航迹的优化就集合了导航、优化、控制等学科的方法论成果,为解决实际问题提供了可靠的技术支撑。不定期船舶的航运计划问题一直困扰着航运公司, 如何应用全时海况数据以及智能船舶技术, 以及如何应用运筹、信息、优化、控制等领域的方法论开展研究值得进一步探讨:

(1) 全时海况数据在不定期航运计划中的应用。现有的不定期航运计划在制定和执行的过程中如何引入全天候的海洋水文气象监测、预报数据以达到安全风险预警、柔性航线设计的目的, 亟待理论层面进行研究, 以及应用层面进行实际测试。

(2) 智能船舶在不定期航运中的动态决策优化技术。对于不定期航线的可行方案集 如何通过智能船舶的自身环境检测来进行调整; 在新订单到达、突发海情等事件发生时 如何能进行快速调度响应; 以及 如何结合能效控制来协同计划执行等问题也亟待解决。

综上所述,本项目拟在现有研究的基础上,通过多学科的交叉方法,从中短期角度对全时海况数据支持下的智能船舶不定期航运中动态决策调度问题进行研究,测试以及应用。

参考文献

- [1] UNCTAD. Review of Maritime Transportation 2021. New York and Geneva. <http://www.unctad.org/>. Accessed Jan 15, 2022.
- [2] 李帅,郭俊如,姜晓轶,白志鹏,宋军,王漪. 海洋水文气象多时空尺度资料来源分析[J]. 海洋通报,2020,39(01):24-39.
- [3] 陈起程. 海洋水文气象环境监测技术研究[J]. 环境与发展,2020,32(07):157+159. DOI:10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2020.07.093.
- [4] 严新平. 智能船舶的研究现状与发展趋势[J]. 交通与港航,2016,3(01):25-28. DOI:10.16487/j.cnki.issn2095-7491.2016.01.007.
- [5] 严新平,刘佳仑,张煜,李诗杰,王腾飞. 智能航运的研究现状与展望[J]. 现代交通与冶金材料,2022,2(01):7-18.
- [6] Fagerholt K , Christiansen M , Hvattum L M , et al. A decision support



- methodology for strategic planning in maritime transportation[J]. *Omega*, 2010, 38(6):465-474.
- [7] Korsvik, J. R., Fagerholt, et al. A tabu search heuristic for ship routing and scheduling[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2010.
- [8] Fagerholt K K. A tabu search heuristic for ship routing and scheduling with flexible cargo quantities[J]. *Journal of Heuristics*, 2010.
- [9] Norstad I, Fagerholt K, Laporte G. Tramp ship routing and scheduling with speed optimization[J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 2011, 19(5):853-865.
- [10] Lin D Y, Liu H Y. Combined ship allocation, routing and freight assignment in tramp shipping[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, 47(4): 414-431.
- [11] 戴韬, 杨稀麟, 等. 考虑时间窗与随机航行时间的船舶航线规划[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(25):5.
- [12] Stalhane M, Andersson H, Christiansen M, et al. A branch-price-and-cut method for a ship routing and scheduling problem with split loads[J]. *Computers & Operations Research*, 2012, 39(12):3361-3375.
- [13] Hemmati A, Hvattum L M, Fagerholt K, et al. Benchmark suite for industrial and tramp ship routing and scheduling problems[J]. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 2014, 52(1): 28-38.
- [14] 钱燕, 周良. 基于遗传算法的不定期船舶调度优化模型研究[J]. *计算机与数字工程*, 2014, 42(4):5.
- [15] Qiang M, Shuaian W, Chung-Yee L. A tailored branch-and-price approach for a joint tramp ship routing and bunkering problem[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2015, 72:1-19.
- [16] 丁一, 仲颖, 林国龙, 等. 软时间窗与随机航行时间的不定期船舶航线规划[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 49(3):5.
- [17] 王文思. 不定期船舶航线优化问题研究[D]. 大连海事大学, 2015.
- [18] Fukasawa R, He Q, Santos F, et al. A joint routing and speed optimization problem[J]. *Inform Journal on Computing*, 2016, 30(4).
- [19] Wen M, Ropke S, Petersen H L, et al. Full-shipload tramp ship routing and scheduling with variable speeds[J]. *Computers & Operations Research*, 2016, 70(Jun.):1-8.
- [20] Wen M, P Ac Ino D, Kontovas C A, et al. A multiple ship routing and speed optimization problem under time, cost and environmental objectives[J]. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 2017, 52(PT.A):303-321.
- [21] Fan H, Yu J, Liu X. Tramp ship routing and scheduling with speed optimization considering carbon emissions[J]. *Sustainability*, 2019, 11(22): 6367.
- [22] 江振峰, 陈东旭, 杨忠振, 等. 基于运输需求时/空特征的不定期船舶运输的调度优化



- [J]. 交通运输工程学报, 2019(3).
- [23]Li M, Fagerholt K, Schütz P. Analyzing the Impact of the Northern Sea Route on Tramp Ship Routing with Uncertain Cargo Availability[C]//International Conference on Computational Logistics. Springer, Cham, 2020: 68-83.
- [24]陈翰林. 基于需求变动与可变航速的不定期船舶调度研究[D]. 集美大学, 2020.
- [25]Wu L, Wang S, Laporte G. The Robust Bulk Ship Routing Problem with Batched Cargo Selection[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2021, 143: 124-159.
- [26]范厚明, 于佳琪, 马梦知, 等. 模糊时间窗下多船型不定期船调度与航速联合优化[J]. 上海交通大学学报, 2021.
- [27]Louzada L, Martinelli R, Abu-Marrul V. Solving a Real-Life Tramp Ship Routing and Scheduling Problem with Speed Profiles[C]//International Conference on Computational Logistics. Springer, Cham, 2021: 82-96.
- [28]柯姜岑, 甘露. 雾天船舶通航最优限速模型的研究与仿真[J]. 计算机仿真, 2012, 29(10):4.
- [29]Szelangiewicz T, Wisniewski B, Zelazny K. The Influence of Wind, Wave and Loading Condition on Total Resistance and Speed of the Vessel[J]. Polish Maritime Research, 2014, 21(3).
- [30]Kepaptsoglou K, Fountas G, Karlaftis M G. Weather impact on containership routing in closed seas: A chance-constraint optimization approach[J]. Transportation research, 2015, 55c(jun.):139-155.
- [31]Bentin M, Zastrau D, Schlaak M, et al. A New Routing Optimization Tool-influence of Wind and Waves on Fuel Consumption of Ships with and without Wind Assisted Ship Propulsion Systems[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14:153-162.
- [32]魏照坤, 谢新连, 魏明. 风浪影响下的集装箱班轮航速优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(3):7.
- [33]张进峰, 王晓鸥, 刘永森. 基于动态风浪环境的我国近海船舶避台航线优化[J]. 中国航海, 2016, 39(02):45-49.
- [34]Perera L P, Soares C G. Weather Routing and Safe Ship Handling in the Future of Shipping[J]. Ocean Engineering, 2017, 130(jan.15):684-695.
- [35]Sotnikova M V, Veremey E I, Korovkin M V. Transoceanic routes optimization using dynamic properties of ship and weather conditions[C]// Conference on Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics, 2017.



- [36]赵化川. 基于实况气象的动态航线规划方法设计[D]. 哈尔滨工程大学,2017.
- [37]Li X, Wang H, Qin W. Multi-objective optimization in ship weather routing[C]// IEEE. IEEE, 2017.
- [38]Li X, Sun B, Zhao Q, et al. Model of speed optimization of oil tanker with irregular winds and waves for given route[J]. Ocean Engineering, 2018, 164(SEP. 15):628-639.
- [39]Krata P, Szlapczynska J. Ship weather routing optimization with dynamic constraints based on reliable synchronous roll prediction[J]. Ocean Engineering, 2018, 150:124 - 137.
- [40]Ma D, Ma W, Jin S, et al. Method for simultaneously optimizing ship route and speed with emission control areas[J]. Ocean Engineering, 2020, 202:107170.
- [41]Gkerekos C, Lazakis I. A novel, data-driven heuristic framework for vessel weather routing[J]. Ocean Engineering, 2020, 197:106887.
- [42]李明峰, 王胜正, 谢宗轩. 恶劣气象海况下船舶航线的多变量多目标优化建模[J]. 中国航海, 2020, 43(2):7.
- [43]刘超. 考虑海洋气象环境影响的限航区航路规划[D]. 大连海事大学,2020.
- [44]Du W, Li Y, Zhang G, et al. Estimation of ship routes considering weather and constraints[J]. Ocean Engineering, 2021, 228(3):108695.
- [45]赵巍. 水文与气象条件下的船舶多目标航路规划研究[D]. 吉林大学,2021.
- [46]吴恭兴, 王凌超, 郑剑,等. 考虑复杂气象变化的智能船舶动态航线规划方法[J]. 上海海事大学学报, 2021, 42(1):7.
- [47]谢新连, 刘超, 魏照坤. 海洋气象环境影响下的复杂水域船舶路径规划[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2021, 40(2):8.
- [48]Xue H, Chai T. Path Optimization along Buoys Based on the Shortest Path Tree with Uncertain Atmospheric and Oceanographic Data[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2021, 2021(2):1-7.
- [49]严新平. 智能船舶的研究现状与发展趋势[J]. 交通与港航, 2016(1):23-26.
- [50]林一平. 以中国大智慧开启世界智能船舶新时代[J]. 交通与运输, 2018, 34(2):3.
- [51]Wang C, Zhang X, Cong L, et al. Research on intelligent collision avoidance decision-making of unmanned ship in unknown environments[J]. Evolving Systems, 2018.



- [52]Omer S, Emre A , Metin C. Use of tree based methods in ship performance monitoring under operating conditions[J]. Ocean Engineering, 2018, 166:S0029801818314446-.
- [53]Miyeon J, Noh Y, Shin Y, et, al. Prediction of ship fuel consumption by using an artificial neural network[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2019, 32.12: 5785-5796.
- [54]Munim Z H. Autonomous ships: a review, innovative applications and future maritime business models[J]. Supply Chain Forum, 2019, 20(4):266-279.
- [55]Ghaderi, H. Autonomous technologies in short sea shipping: trends, feasibility and implications. Transport Reviews, 2019, 39(1), 152-173.
- [56]韩晓宁, 张由余, 王君. 智慧船舶交通管理系统发展与应用[J]. 指挥信息系统与技术, 2019, 010(004):8-13,21.
- [57]Xue J, Wu C, Chen Z, et al. Modeling human-like decision-making for inbound smart ships based on fuzzy decision trees[J]. Expert Systems with Applications, 2019, 115: 172-188.
- [58]Gkerekos C, Lazakis I, Theotokatos G, et, al. Machine learning models for predicting ship main engine Fuel Oil Consumption: A comparative study[J]. Ocean Engineering, 2019, 188: 106282.
- [59]Chen C, Chen X Q, Ma F, et al. A knowledge-free path planning approach for smart ships based on reinforcement learning[J]. Ocean Engineering, 2019, 189:106299-.
- [60]龚铭凡, 徐海祥, 冯辉, 薛兴华. 基于改进蚁群算法的智能船舶路径规划[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2020, 44(6):5.
- [61]薛一东. 由船舶引航展望智能船舶发展[J]. 航海技术, 2020(5):4.
- [62]Xiao F, Ma Y. Artificial forces for virtual autonomous ships with encountering situations in restricted waters[J]. Maritime Policy & Management, 2020, 47.5: 687-702.
- [63]朱航标, 吴青, 杨满江, 等. 混有智能船舶水域的航行风险评价软件框架设计[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2021, 43(3):5.
- [64]Martelli M, Virdis A, Cotta A, et, al. An Outlook on the Future Marine Traffic Management System for Autonomous Ships[J]. IEEE Access, 2021, 3.



- [65]Zhou Z, Zhang J, Wang S. A Coordination System between Decision Making and Controlling for Autonomous Collision Avoidance of Large Intelligent Ships[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9.11: 1202.
- [66]Kim, Y. R., Jung M, et al. Development of a Fuel Consumption Prediction Model Based on Machine Learning Using Ship In-Service Data[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(2): 137
- [67]陈鹏. 基于 HSSVM 与卷积神经网络的船舶避碰知识库研究[D]. 大连海事大学, 2021.
- [68]Hu Z, Zhou T, Osman M T, et al. A Novel Hybrid Fuel Consumption Prediction Model for Ocean-Going Container Ships Based on Sensor Data[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(4):449.
- [69]徐海祥, 卜瑞波, 冯辉. 面向船舶智能航行的多目标实时跟踪方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(01): 138-143.



2. 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题（此部分为重点阐述内容）；

2.1 研究内容

本项目拟基于全时海况数据以及智能船舶来研究不定期航运计划的动态决策优化问题。与传统不定期航运计划不同的是，智能化船舶由于人工干预较少对于问题需要建立更加精细的数学模型，决策模块之间需要更加紧密的整合，需要设计更加高效的算法来求解，对不确定性事件及事故需要具有高度的鲁棒性。本项目研究的问题可以分为：

- (1) 如何构建柔性的航线规划模型并设计高效的求解算法？
- (2) 如何构建快速的调度响应模型并设计高效的求解算法？
- (3) 如何构建航行能耗的控制模型并设计高效的求解算法？

针对上述问题，本项目拟根据问题的依存关系角度对研究内容的分析、数学模型的构建、算法的设计、以及可行性验证方面开展研究。本项目的研究内容可以分为3个主要部分，各部分之间的相互关系如图2所示。下面对各部分内容进行详细的阐述。

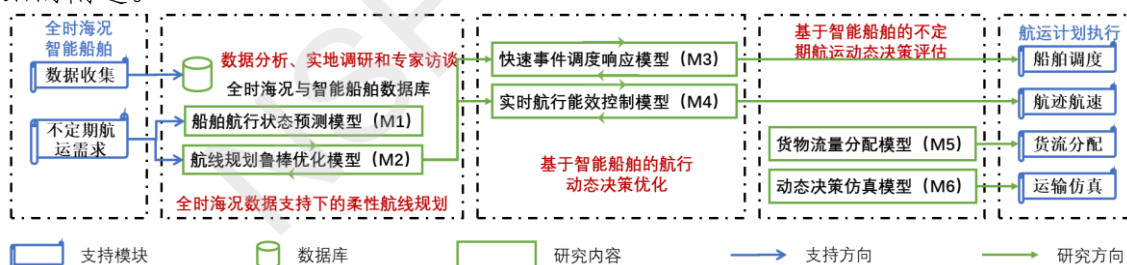


图2. 本课题的研究框架与研究内容

2.1.1 全时海况数据支持下的柔性航线规划

2.1.1.1 船舶航行状态预测模型（M1）

科学问题：基于海洋水文气象预报数据预测船舶航运的预期状态

研究思路：①收集分析海洋水文气象数据用来测算航行影响。收集各种海况下现有的航速、能效、姿态等数据以及事故风险数据，建立航行状态统计模型并通过现有数据标定模型中的参数。②收集不定期航运的需求分布数据并将其与海洋水文气象预报数据融合，测算港口之间航线的空间分布，利用航行状态统计模型来预



测不定期航运各航段的航行状态。③调查相关数据进行模型验证。

研究价值: 船舶航行状态预测模型 (M1) 可分析各港口之间可能出现的航行状态, 可最大限度的刻画航行状态随着海洋水文气象带来的动态变化。

2.1.1.2 航线规划鲁棒优化模型 (M2)

科学问题: 建立高容差的可行航线规划方案集

研究思路: ①收集采样不定期航运的历史航线规划数据。收集各个港口货物需求、航行距离、能耗成本等数据。根据航行的特性、货物种类、特性建立航线规划模型来对不定期航运计划建模并使用现有的数据标定模型中的参数。②将 M1 中的船舶航行状态预测值代入到模型中得到各航线的航行成本以及风险概率, 并根据敏感性分析以及鲁棒优化的阈值控制得到高容差的可行航线规划方案集。③调查相关数据进行模型验证。

研究价值: 航线规划鲁棒优化模型 (M2) 可以预先在不定期航运计划执行的过程中提供可替换方案, 有利于进一步对突发事件进行快速的调度响应。

2.1.2 基于智能船舶的航行动态决策优化

2.1.2.1 快速事件调度响应模型 (M3)

科学问题: 在智能船舶航行过程中快速处理突发情况

研究思路: ①分析历史突发事件的构成, 通过数据拟合新进订单和恶劣海况的随机分布函数。②理解并分析不定期航运的调度模式, 然后以 M2 求出的高容差可行航线方案集为基础应用重调度模型计算航行过程中的港口到达、离开以及货物装卸量, 定义事件响应概率并应用概率转移矩阵分析在航线网络中有潜力成为突发事件的节点。③调查相关数据进行模型验证。

研究价值: 快速事件调度响应模型 (M3) 解决了智能船舶航行中对突发事件的响应处理以及连续平滑决策问题, 为不定期航运不间断连续订单的处理以及恶劣海况的响应决策提供依据。

2.1.2.2 实时航行能效控制模型 (M4)

科学问题: 以最小成本为目标设计航速和航迹

研究思路: ①明确后续航程的具体调度计划 (M3) 以后, 围绕对目的港口、上



下游航程相对关系的分析确定货物运输的成本函数和时间限制，以最小能耗和运输风险为目标，以舵效、时间、功率为约束构建能效优化模型。②对 AIS 历史数据进行分析训练然后将航程海域空间离散网格化，结合全时海况数据构建航迹优化模型，再在此基础上确定航速和港口到达时间。③调查相关数据进行模型验证。

研究价值：实时航行能效控制模型（M4）可以解决不定期航运计划的成本优化，为航运企业降本增效前提下的智能决策提供依据。

2.1.3 基于智能船舶的不定期航运动态决策评估

2.1.3.1 货物流量分配模型（M5）

科学问题：在不定期航运计划中根据船舶调度计算货物路径和流量

研究思路：①快速事件调度响应模型（M3）加载到不定期航运执行计划中，根据港口访问顺序、船舶种类以及运输时间确定仓储和运输成本函数，以最小成本为目标，以容量、产品种类、流量平衡为约束构建多商品网络流模型。②调研不定期航运市场的物流需求并加载到港口节点上，重构航线网络以满足物流的需求，基于新的网络结构构建改进的多商品网络流模型。③调查相关数据进行模型验证。

研究价值：货物路径规划模型（M5）可以用来评估不定期航线网络的运输性能，从底层刻画了航运企业的业务流程以及航线规划的服务质量。

2.1.3.2 动态决策仿真模型（M6）

科学问题：需从动态性角度建立不定期航运决策的评估方案

研究思路：①首先了解不定期航运中各种相关活动的特性以及作用、智能船舶的航行、仓储和运输过程中各个部分的相应流程，然后根据不定期航运订单和全时海况的预测、预期的决策过程以及在其上的货物路径来设计基于离散事件的决策仿真模型。②在仿真模型上测试船舶航行过程中不同的中短期决策策略，通过对比仿真模型与真实航运的数据来确定仿真模型的有效性。③调查相关数据进行模型验证。

研究价值：动态决策仿真模型（M6）可以对基于智能船舶的不定期航运动态决策进行评估优化，对动态理解验证整个研究的可行性起到了关键作用。

2.2 研究目标



基于上述的背景和研究内容，本项目拟建立一套完整的智能船舶不定期航运动态决策优化技术框架，提升航运公司的决策技术水平，完善智能化航运的理论体系，增加我国海洋运输的全球竞争力。具体而言，本项目包含以下几个具体研究目标：

(1) 揭示在海洋水文气象影响下的不定期航线柔性规划的机理，高容差可行性航线的设计原则、方法；

(2) 理解不定期航运市场不间断连续订单以及突发海况事件的随机产生过程，揭示快速调度响应的机理以及具体处理方法；

(3) 建立基于不定期航运计划执行以及智能船舶自身监测系统的最优能效决策模型，提出最优航速和航迹的求解方法；

(4) 对全时海况数据支持下的智能船舶不定期航运中动态决策优化的可行性进行评估。

2.3 拟解决的关键科学问题

(1) 建立基于全时海况数据的航线规划鲁棒优化模型(M2)是关键科学问题一。在科学问题重要性上航线规划鲁棒优化模型(M2)是本项目的引领性问题。对于全时海况的数据挖掘是这个模型的基础，不同于确定性的航线规划模型，海洋水文气象的高度不确定性使得具有柔性的航线规划方案成为实际应用的关键，本项目拟采用鲁棒优化方法来探索对这一问题的刻画。此问题的求解结果，高容差的可行方案集，也会对后续的快速事件调度响应和实时航行能效控制决策提供支持。为智能船舶的动态决策优化带来了新思路，同时对模型的建立与求解提出了较大挑战。

(2) 建立基于不定期航运特性的快速事件调度响应模型(M3)是关键科学问题二。不定期航运中的新订单会不间断连续到达，再加上海洋水文气象的突发事件，使得船舶的调度无论在理论研究中还是在实际应用中都是难点。本项目通过对柔性航线规划的建模设计产生了高容差的可行方案集，在此基础上对突发事件的处理仍需要考虑对原始航运计划方案改动的后续连锁反应。在智能船舶的动态决



策框架中此模型以中高频率执行，此模型的求解效率影响到调度响应的时间，因此模型的求解算法也是需要关注的关键性问题。

(3) 建立基于智能船舶的实时航行能效控制模型(M3)是关键科学问题三。

从智能船舶建造之初能效优化一直是业界和学术界关注的重点，然而在本项目中此问题嵌套在不定期航运中动态决策优化的前两个中高频次决策中，属于实时决策过程。一方面此模型需要配合航线规划和船舶调度的结果，另一方面此模型也需要根据智能船舶自身监测的数据和海况数据在极短的时间内给出决策优化结果，因此在模型的结构设计和模型的算法设计上都有极高的效率要求，如何在时间和优化效果寻找平衡也是本项目拟开发的动态决策技术的关键性难点之一。

NSFC 2023



3. 拟采取的研究方案及可行性分析（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；

3.1 拟采取的研究方法及关键技术

针对上述提出的研究内容框架，项目课题组拟应用跨学科的方法，采用理论与实践相结合的方法，以全时海况数据为切入点，从低频-中频-高频滚动嵌套决策角度出发，提出不定期航运动态决策优化技术，并对决策优化的效果进行评估。具体来说，本项目主要应用下面几个研究方法和关键技术：

（1）全时海况数据支持下的不定期航运柔性航线规划技术

不定期航运的不确定性因素可以分为海洋水文气象事件和航运供应链事故，本项目主要对于海洋水文气象的预报数据进行分析，结合历史航行船舶航行状态运用统计学方法构建船舶航行状态预测模型（M1），运用拟合优度检验方法对模型进行检验，然后得出航行状态在可能航行区域的概率分布。再结合传统的不定期航线规划方法和鲁棒优化方法（Robust Optimization）构建航线规划鲁棒优化模型（M2）。在 M2 中可以根据 M1 的分析结果设置预计到达时间 ETA 为随机决策变量，运用鲁棒优化的方法对模型进行改进。例如船舶 v 的预计到达时间 ETA 可以表示为 A_v ， A_v 由于不确定性因素落在 $[A_v^L, A_v^L + A_v^A]$ 的区间上，其中 A_v^L 为最小名义上的到达时间值， $A_v^A \geq 0$ 为偏差，那么对于后续航运中所有跟船舶 v 相关的任务都会有一定的不确定性，任务 i 的完成时间也会落在 $[c_i^L, c_i^L + c_i^A]$ 的区间中， c_i^L 为任务最小名义完成时间， $c_i^A \geq 0$ 为偏差。在上述的航线规划中使用的流水作业建模方法的目标函数会有所变化：

$$\min c_{n+1}^L + \max_{P_w \subseteq P} \left\{ \sum_{p \in P_w} \sum_i c_i^A \delta_i^p \right\} \quad (1)$$

其中 c_{n+1}^L 为任务 $n+1$ 的最小名义完成时间， p 为一条流水作业路径， P 为所有流水作业路径集合， P_w 为流水作业路径中包含船舶 v 任务的子路径集合， δ_i^p 为 0/1 参数，表示节点 i 是否在 p 上。

可以看出目标函数（1）表示求最小化的最坏情况下的总完工时间。求解这个鲁棒优化模型可以将目标函数中的最大化问题对偶化，变形为一个确定性最小化问题，再结合到原问题中直接求解。其他因素的不确定情况在航线规划阶段或者实



时调度阶段都可以使用这种办法。对于比较复杂的鲁棒优化问题无法求出解析的最优解，可以采用**情景枚举（Scenario Enumeration）**方法，或者**蒙特卡洛仿真（Monte Carlo Simulation）**的方法，即通过对随机情景点的采样来找出最坏情况。

对于由不同类型船舶构成的**异质船队航线规划**问题，每种类型的船舶 θ 都有自己对应的船舶容量 C_θ 以及可能不尽相同的路径成本。可以建立基于**集分割（Set Partitioning）**的模型，通过精确算法可以比较容易地将问题的非标准变种考虑在内，其中货主 i 的需求 $d_i \in D$ 取决于服务该货主的船舶的类型。**因此，我们可以将船舶类型考虑在内并重新将原问题建模成确定性的异质船队问题。**假设 R^0 为所有的 OD 直达路径 r 的集合，那么鲁棒航线的集合可以做如下定义：

$$\mathcal{R} \equiv \left\{ r \in R^0 \mid \sum_{i \in r} d_i \leq C_\theta, \forall d_i \in \mathcal{D} \right\} \quad (2)$$

对于上述集分割模型可以采用**分支切割定价（Branch, cut and price）**算法进行求解，求解时需考虑如下方面：首先，船舶类型的集合要与船舶类型**对偶变量**的子集相对应；其次，船舶类型 θ 要符合**货主需求和船舶容量**限制条件；第三，对于所有的船舶类型，可用船舶数量限制要全局遵守。

对初始可行解的生成可以使用**迭代局部搜索（Iterated Local Search）**和**可变邻域搜索（Variable Neighborhood Search）**相结合的启发式算法（ILS-VNS）。该算法可以通过改变数据结构（允许更快的邻域解评估）进而**提高整个启发式算法流程速度**。该启发式算法每次迭代都包括两个阶段：**第一阶段**，随机生成一个**单路径解**并且不断对其进行优化直到获得局部最小路径成本为止；**第二阶段**，尝试对每一个找到的可行解进行**邻域优化**，之后对其进行 2-opt 的局部优化直到得到较优解为止。

对于**航运供应链突发事件**的处理方法与海洋水文气象事件不同，因为事故对系统的影响很大，所以要提前做出**预案**。例如航道或者运河出现拥堵风险，系统检测到这一事故后在 M1 模型中对该航道或者运河做**失效敏感性分析**，计算出**应急预案**并添加**虚拟任务**，最后综合前述得到 \mathcal{R} 得到**高容差的可行方案集 S** 。

（2）面向突发事件的智能船舶的快速调度响应技术

M2 模型生成高容差不定期航运航线可行方案集**需要根据实际的船舶航行情况**

不断的进行调整。在航行的中间如果有事件发生例如新的订单插入或者水文气象方面的事件则会使用**重调度（Rescheduling）**构建**快速事件调度响应模型（M3）**，假设 $S \in \mathcal{S}$ 为可行方案集中的一个调度方案， S_M 为主方案，令 x_{ij}^k 为 0/1 决策变量，表示第 k 个船舶在完成**任务 i** 是否接着做**任务 j** ，令 c_i 为**任务 i** 的完成时间， δ_i 为**任务 i** 的成本，设不定期航运总共有 n 任务，从任务 1 到任务 n ，构造虚拟任务 0 为所有任务的起点，虚拟任务 $n+1$ 为所有任务的终点，那么**重调度的目标**为找到一个**最佳可行方案 S^*** 使得完成**任务的总成本**之合加上所有在 S 中的任务**偏离主方案的代价 $U(S_M, S, i)$** 之合最小：

$$\min_{S \in \mathcal{S}} \left[\sum_{i=1}^n \delta_i + \sum_{i=1}^n U(S_M, S, i) \right] \quad (3)$$

由于所有任务的完成时间都会受到其**前溯任务**完成时间的限制，那么可以构造如下约束：

$$c_j - c_i + M(1 - x_{ij}^k) \geq p_j + t_j - t_i + s_{ij}, \forall i, j \in L, k \in K \quad (4)$$

其中 M 为足够大的数， p_j 为**任务 j** 的提货时间， t_j 为船舶完成**任务 j** 所需要的时间， t_i 为船舶完成**任务 i** 所需要的时间， s_{ij} 为船舶完成**任务 i** 后从其终点航行到**任务 j** 起点所需要的时间。 L 为装船任务集合（假设所有的任务都是**装船任务**）， K 为船舶集合。对不等式(4)稍作改动可以也可以包含**卸船任务**。

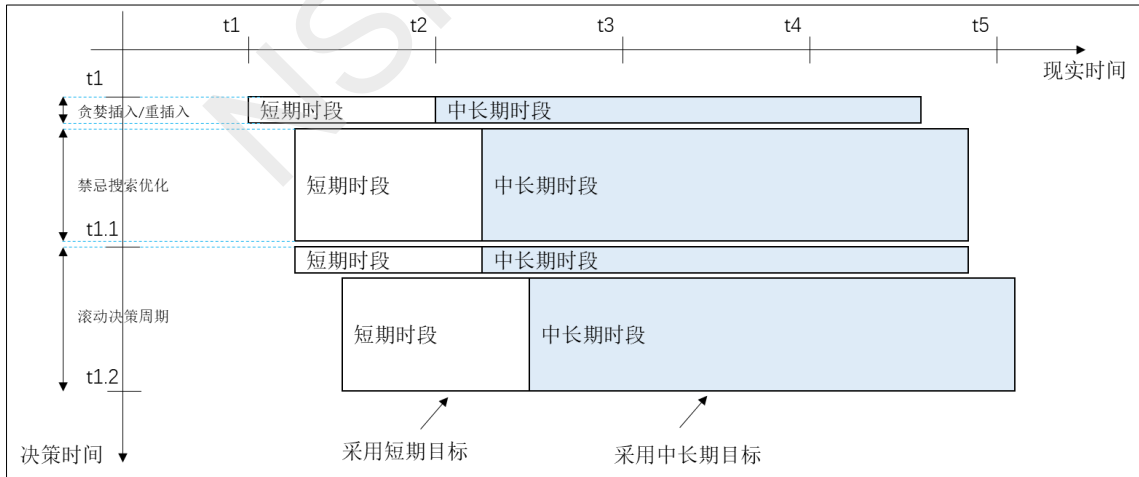


图 3. 两阶段启发式算法进行船舶动态调度滚动决策示意图

此船舶**重调度问题**的求解就是求解未来一段时间内的**预备解 x^*** 。假设静态问题 l 的最优解 x^* 是已知的，在时刻 t ，其静态部分静态问题 l_t 的解为 x_t^* 。对比 x_t^* 与 x^* 在 $[t_i, t_{i+1})$ ， $i \geq t$ 时段内的部分。如果 $[t_i, t_{i+1})$ 在近期未来，虽然由部分未知信息，但大部分路径已经知晓。相反，如果 $[t_i, t_{i+1})$ 在较远的未来，大部分信息是未知的，此时路径可调整的灵活性更为重要。所以对于**动态船舶重调度问题**而言目标应分



为两个时段考虑，短期时段内的目标是减少航行距离与航行成本即与静态优化问题目标相同，而中长期时段的目标是尽可能保证路径可以随未来信息变化而调整，可以体现为拥有更多的空闲时间等。求解动态船舶重调度问题的我们可以采用两阶段启发式算法进行滚动决策（图 3）：第一阶段为由贪婪插入与贪婪重插入组成的构造式启发算法，第二阶段为基于禁忌搜索的优化算法。

如果将多船舶的动态调度整合在一起，那么可以构建大规模的流水作业调度（Flowshop Scheduling）模型。可以将货物需求拆分由不同船舶协作完成。由于规模庞大本项目拟采用 Benders 分解将原问题分解为主问题和子问题，然后同时使用行列生成（Column-and-row Generation）算法来达到快速求解。

（3）航运大数据支持下的智能船舶实时能效控制优化技术

在具体不定期航线和调度计划确定以后在每一个航段还需要微调航速和航迹以规避风险、节约能源，整体框架如图 4 所示。本项目拟首先通过采集历史 AIS 数据以及历史燃油消耗数据进行分析，构建实时航行能效控制模型（M4），初期项目拟采用岭回归（Ridge Regression）和 LASSO 方法对燃油效率模型参数进行标定，鉴于燃油消耗受环境影响的高随机性，后期构建类深度信念网络（Deep Belief Network）的深度学习模型（Deep Learning，图 5），其中的隐藏层节点使用受限玻尔兹曼机（Restricted Boltzmann Machine）连接，使用贪婪算法（Greedy Algorithm）来训练网络使其达到收敛。

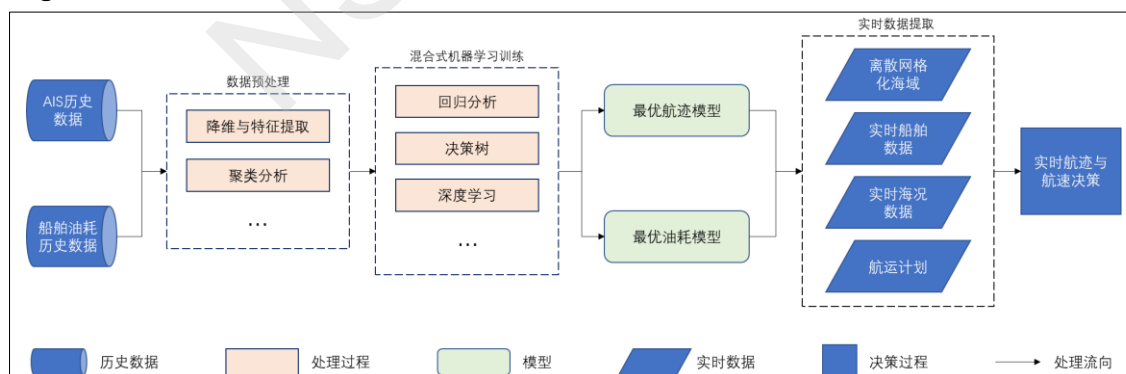


图 4. 智能船舶实时能效控制优化框架

航迹的调整分为两种情况，如果在当前航线计划不变的情况下根据当前航段的航迹的优化控制属于微调，如果当前航线由于突发事件发生变化，那么航迹需要做大幅度调整。航迹的调整须综合考虑水域的船舶信息、港口信息、气候、水文环境等多种因素。可以首先利用历史 AIS 数据进行在线训练和学习，例如使用 OPTICS 算法（Ordering Points to Identify the Clustering Structure）对相似航迹

的 AIS 数据进行降维、特征提取和聚类分析形成经验航迹集，然后采用网格化（Gridding）方式离散化海域空间并确定转向点，根据船舶自身状态连接转向点形成候选可行航迹集，对经验航迹集和候选的可行航迹集使用海况数据进行预测和评估从而确定最终的可执行航迹。

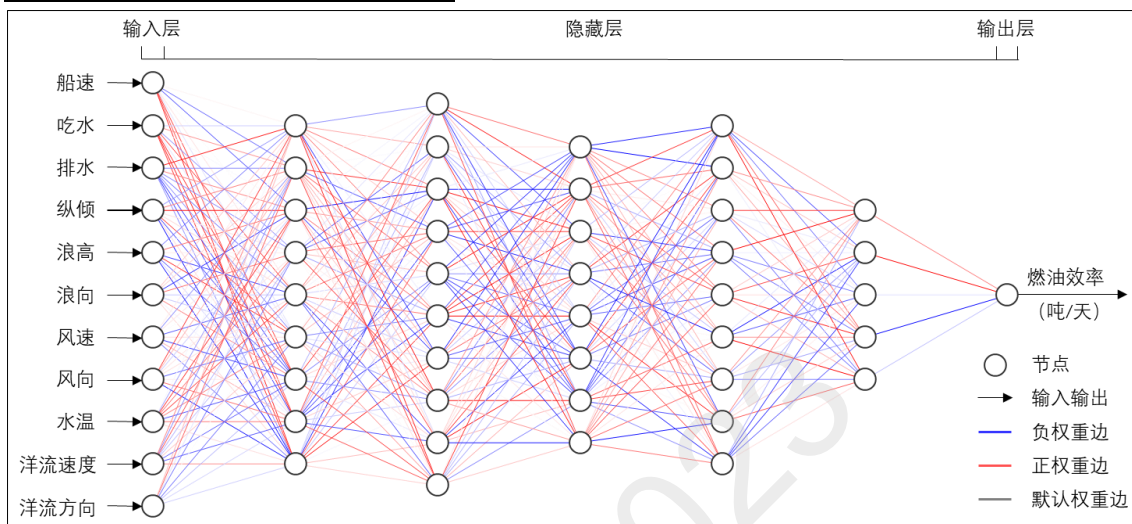


图 5. 船舶能效深度学习神经网络结构示意图

（4）基于智能船舶的不定期航运动态决策评估技术

基于 M3 和 M4 模型产生的结果对空间航线进行拓扑化（Topologizing），创建不定期航线网络，使用多商品网络流模型（Multicommodity Network Flow）构建货物流量分配模型（M5）并应用网络单纯形算法（Network Simplex Algorithm）求解。通过对结果的分析评估运力、运输成本和利润。为了进一步评估本项目提出的动态决策优化的实用性，最后拟使用离散事件仿真（Discrete Events Simulation）方法（图 6）来构建动态决策仿真模型（M6）。仿真平台拟采用自研软件 MicroCity（<https://microcity.github.io>，图 8）。其结果一方面用来检验提出的模型和算法是否有效并能适用于真实的不定期航运企业，另一方面仿真模型还可以用不同的随机数反复测试，例如随机突发事件的产生，将测试结果反馈给 M1-M5 模型，用以修正参数。

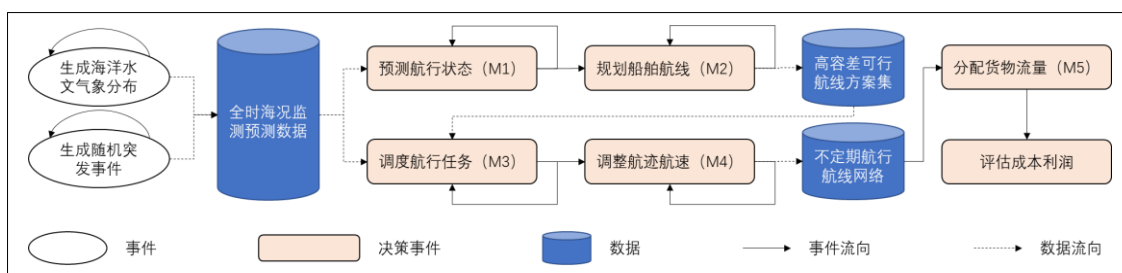
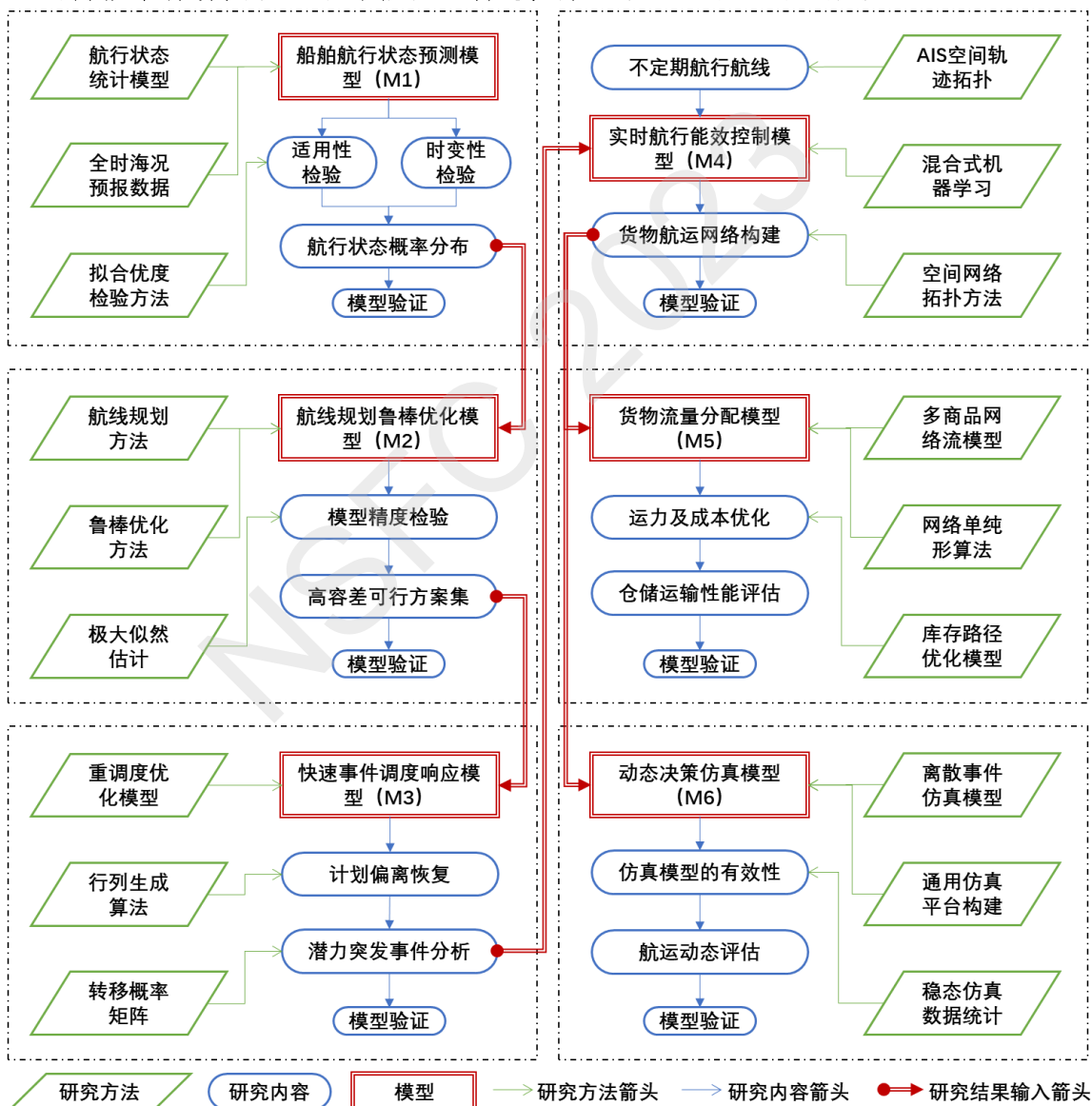


图 6. 离散事件仿真流程图



3.2 技术路线

本项目的研究路线包含跨学科的多个技术方法：应用数据挖掘的方法对全时海况数据以及船舶航行数据的分析；采用统计学和机器学习的方法评估海洋水文气象的风险和航行状态预测；使用鲁棒优化的方法处理柔性航线规划问题；设计重调度优化模型来解决快速调度响应问题；使用混合式机器学习来调整实时航行能效控制问题；使用多商品网络流模型来分析货物在不定期航运网络中的流量分配；使用离散事件仿真模型来评估验证动态决策的效果。技术路线图如下：



3.3 可行性分析

(1) 研究方向的可行性：项目组长期以来在港航领域积累了大量的行业和科



研经验，发现智能船舶虽然是近年来的研究热点，但是不定期航运的智能化问题研究不够深入，这是由于企业的研究能力有限，而学者对实际应用也缺乏经验。经过项目组多次论证，该研究方向从理论到应用均具备前期基础，并且具有一定的引领性。

(2) 研究方法的可行性：本项目研究方案中涉及的方法结合了运筹学、计算机、交通运输规划和交通控制中的方法并拟做出一定的创新。项目组成员近年来在相关模型算法层面做了大量的实践性的工作，在理论和应用层面均有一定的成果。本项目研究方法的提出经过了充分的前期工作准备，在以往经验的基础上从最简单的原型起步再逐步完善的方式使研究能顺利开展。

(3) 研究条件的可行性：项目组成员由青年老师和博硕士研究生以及未列出的企业工程技术人员组成，该团队在研究领域互有交叉，在交通运输、物流以及工业工程等领域均有涉猎，与大连港、中铁铁龙集装箱物流公司、中远集团、富兴海运、粤电航运、新加坡港务局、上海海事大学、北京交通大学、上海大学、新加坡国立大学、香港理工大学等保持了良好的科研合作关系。所在的学院以及学校有完善的基础设施和行业资源可以为本项目的顺利实施提供强有力的保障。

4. 本项目的特色与创新之处；

4.1 本项目特色

本项目在选题、研究方法和实施路线方面都有一定的特色：

(1) 研究视角的独特性和学科交叉

本项目以全时海况大数据的分析为基础，从智能船舶不定期航运计划角度来处理动态决策优化问题，结合了大数据、优化、运筹、信息等不同科学的方法来分析问题并设计研究方案。由于智能船舶与传统船舶在研究方法上有很大不同，可以借鉴的研究比较少，所以项目富有挑战性，但也具有一定的超前性和引领性，使其具有独特的研究价值。

(2) 通过自研软件解决实践-理论-实践的完整闭环

本项目的研究动机是为了解决航运业正在面临的实际应用问题，从中提炼出一般性的科学问题，再寻找合理的建模方式去刻画描述它，然后设计算法对模型求解，最后对算法编码，开发相应的模块并整合到具有自主知识产权的软件框架中，使得研究成果可以立即应用于实践，在满足企业和政府决策需要的同时也能实时



得到反馈进而对理论循环改进。

4.2 本项目创新之处

本项目属于应用基础研究，其创新之处在于以下两点：

(1) 以数据作为驱动定量研究海洋水文气象在不定期航运方面的实际影响

以往的研究对不定期航运中风险方面的模型量化不足，这是由于在数据层面的缺失导致。本项目拟从全时海况的大数据入手，根据预报以及船舶历史数据建立精确的船舶航行状态统计学模型，再根据不定期航运的路线特点建立鲁棒性的航线规划模型，通过设计算法求解出高容差的可选航线集。在后续的动态决策过程中对可选航线集进行进一步的筛选使用，充分利用大数据信息不断调整航行的方案为货主和航运公司提供高效的服务。

(2) 通过智能船舶的信息化特点为传统决策带来动态性特征

传统的不定期航运计划是在航行初期做出，任务之间预留了很大的缓冲空间，在船舶航行的过程一般不会修改，这会带来巨大的时间和成本浪费，也很难应对突发事件。本项目拟利用全时海况的大数据以及智能船舶的传感数据，在鲁棒航线规划的基础上，从可行航线集中动态的决策后续的任务调度以及航行的航速和航迹，使智能船舶能够充分利用自身优势在航行的过程中不断得到优化调整，也给相关决策者提供高效的助力工具。



5. 年度研究计划及预期研究结果（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）。

5.1 年度研究计划

年度		研究计划
2024 年	01 月-06 月	查阅相关文献并收集国内外相关的资料；同时对相关资料进行分类、整理和分析研究，为后续工作提供理论基础；制定数据收集计划，建立与不定期航运企业的交流沟通渠道，为后续的应用工作打下基础。
	07 月-12 月	搜集并分析海况、智能船舶和不定期航运数据，建立简单的船舶航运状态预测模型模型。撰写学术论文 1-2 篇，就研究相关内容参加国际会议 1 次。完善国内外研究工作及文献综述，细化研究内容与总体方案，收集其他相应数据。
	完善国内外研究工作及文献综述，细化研究内容与总体方案，收集相应数据，探索船舶航行状态预测模型以及相应算法，撰写学术论文 1-2 篇，参加国际会议 1 次，培养研究生 1 人。	
2025 年	01 月-06 月	在船舶航行状态预测的基础上尝试建立航线规划鲁棒优化模型，对模型进行求解并尝试校准模型的参数。
	07 月-12 月	基于航线规划鲁棒优化问题模型研究快速事件调度响应问题模型，撰写学术论文 1-2 篇，参加国际会议 1 次。
	建立柔性航线规划和船舶动态决策阶段的数学模型，求解模型并进行实证研究。发表论文 1-2 篇，参加会议 1 次，培养研究生 1 人。	
2026 年	01 月-06 月	在快速事件调度响应模型的基础上建立实时航行能效控制模型，对燃油的消耗和航迹进行优化。
	07 月-12 月	根据模型 M1-M4 生成不定期航运货物运输网络，在此网络中建立货物流量分配模型并设计算法。发表论文 2-3 篇，参加会议 1 次。
	完成智能船舶不定期航运动态决策的模型，设计求解算法。发表论文 2-3 篇，参加会议 1 次，培养研究生 1 人。	
2027 年	01 月-06 月	建立离散事件仿真模型，对模型和算法进行验证测试，在自研软件 MicroCity 中编程实现，并进行软件平台的开发测试工作，发表论文 2-3 篇。
	07 月-12 月	发布仿真平台，进行实地测试，完成研究过程汇总、撰写项目总报告和结题报告。
	完成发布仿真平台并实地测试，发表论文 2-3 篇，完成项目总结报告。	



5.2 成果形式及预期目标

本项目的研究成果以论文、研究报告和相应的软件等形式提供，主要有：

(1) 理论成果：揭示海洋水文气象影响不定期航运航线规划的机制；提出智能船舶不定期航运动态决策优化机理；基于航运计划改进船舶在海洋水文气象影响下的能效；形成《全时海况数据支持下的智能船舶不定期航运动态决策优化技术研究》的研究报告一份，丰富和补充智慧航运的理论体系，为不定期航运的动态决策方法在智能船舶实践中推广和应用提供理论支持。

(2) 应用成果：根据理论成果开发全时海况数据分析软件包、不定期航运动态决策优化软件包、不定期航运决策效率评估以及仿真软件包，在自研软件的基础上集成上述模块并在网上发布，对软件效果在航运企业进行实地测试，形成测试报告。

(3) 学术论文：围绕研究内容撰写学术论文，在国际学术会议以及国际国内核心学术期刊上发表论文 15 至 20 篇，其中争取在本学科领域顶级期刊发表论文 1-2 篇，SCI/SSCI 论文 5-10 篇（海洋工程、交通运输工程），国家自然科学基金委员会认定重要期刊或 EI 期刊 5-8 篇，国际权威学术会议论文 5-8 篇。

(4) 学术交流：组织小型学术研讨会 1-2 次，参加国际学术会议并交流研究成果 3-5 次。

(5) 人才培养：培养博士研究生 3 名，硕士研究生 3-7 名。



（二）研究基础与工作条件

1. 研究基础（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；

本项目组成员共有 9 人，包括项目申请人、3 名主要参与人、2 名博士研究生、3 名硕士研究生。项目申请人与主要合作者的研究基础和已取得的研究工作成绩如下：

孙卓，项目申请人，大连海事大学教授，博士生导师，兼任新加坡国立大学客座研究员、辽宁省“海智百人计划”专家及辽宁省协同创新中心首席科学家。2003 年在大连理工大学获土木工程与计算机双学士学位，2005 年在韩国东亚大学获水力学硕士学位，2008 年在日本名古屋大学获城市规划博士学位并从事博士后研究，2009-2013 年在新加坡国立大学任博士后研究员。2013 年加入本单位主要从事与航运规划、港口仿真相关的教学科研工作。

作为主持人带领团队曾承担 1 项国家社会科学基金项目、2 项国家自然科学基金项目、1 项教育部人文社科基金项目、1 项教育部教学改革项目、1 项辽宁省自然科学基金项目、1 项辽宁省社会科学规划基金项目、1 项大连市科技创新基金项目、1 项新加坡国家基金项目、2 项校级教学改革项目，参与多项国家自然科学基金、社会科学基金项目。

在交通运输、运筹管理、优化仿真等国内外知名期刊：《Transportation Research Part B》、《Transportation Science》、《Transportation Research Part E》、《European Journal of Operational Research》、《Transport Policy》、《Simulation》、《Advanced Engineering Informatics》、《运筹与管理》、《系统科学理论与实践》等发表 SCI/SSCI/CSSCI 论文 30 余篇。

通过校企合作、技术开发、技术咨询等形式将教学科研成果应用于人才培养以及企业的生产实践中，已为国内及本地多家企业实现了每年上千万的经济效益。历经 13 年持续研发免费开源的物流供应链空间规划仿真软件 MicroCity (<https://microcity.github.io>, 图 8)，填补了国际相关领域的空白，在本学科的教学科研方面得到广泛应用，并取得软件著作权 2 项。

曾获新加坡政府举办的《新一代集装箱港口设计挑战》金奖、阿里巴巴和美国 INFORMS 学会联合举办的《菜鸟网络全球算法大赛》季军；获得辽宁省自然科学学术成果奖二等奖 1 次；指导学生参加全国大学生交通科技大赛、全国物流设计大赛共获 4 个二等奖和 1 个一等奖；获得全国大学生物流仿真设计大赛优秀指导教师、辽宁省研究生教育教学成果特等奖和辽宁省普通高等教育（本科）教学成果一



等奖各 1 次、辽宁省优秀硕士学位论文指导教师荣誉称号。

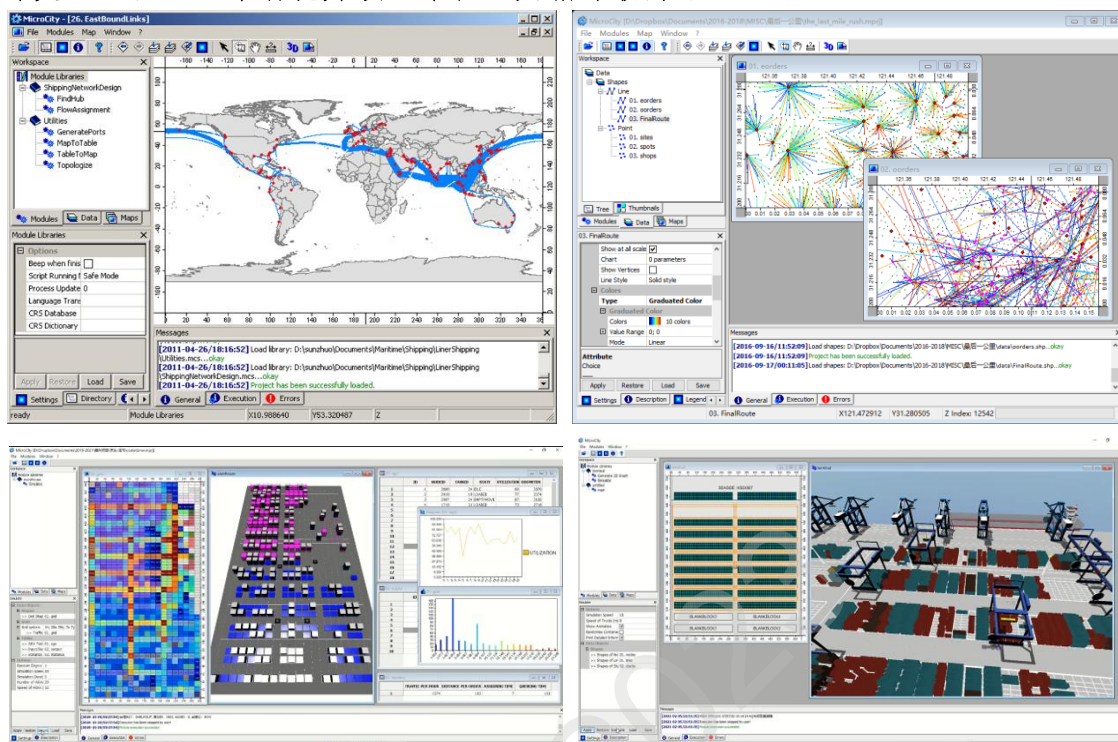


图 8: MicroCity 空间建模平台（左上：航运规划，右上：电商车辆路径规划，
左下：自动化仓库仿真，右下：自动化集装箱码头仿真）

项目申请人在与本项目相关的研究中积累的大量的行业经验，曾与航运企业 APL（当年世界航运公司排名第五）开展了枢纽港选址、航线规划、船舶调度等多方面的合作研究，主持并完成了新加坡自然科学研究项目“集装箱班轮全球运输网络设计”。提出了班轮航运规划理论并开发了通用软件，预计可以为 APL 每年节约上亿的营运费用。与富兴海运、粤电航运以及航运大数据平台船达通（shipdt.com）等国内航运企业开展了多项产学研合作，其中为粤电开发的“电煤航运决策系统”已为其每年节约上千万的运输费用。

项目第一参与人李浩斌，现为新加坡国立大学工业与系统工程管理系高级讲师，大连海事大学交通运输工程学院客座教授，李博士的研究重点包括离散事件仿真建模方法与随机仿真优化，以及其方法在下一代物流、海事港口、医疗以及智能制造方面的应用。李博士参与过 10 项由各类政府机构、企业和基金会资助的研究项目，自主开发出 O²DES.NET 面向对象的离散事件仿真建模及优化框架。该框架作为新加坡国立大学 C4NGP 及 C4NGL 的基础技术架构，服务于包括新加坡未来港口设计在内的多个重要项目，涉及项目经费超过两千万新加坡元（约合一亿元人民币）。有关其方法和应用成果的论述，李博士已在 EEE-TAC、ISE Transactions、



TRC、FSM、WSC、CASE 等行业内知名期刊和会议中发表研究论文 27 篇。

项目第二参与人唐春艳，现为交通运输工程学院副教授，硕士生导师，大连市高层次人才青年才俊。致力于交通运输系统分析及优化设计，主要包括：交通运输规划与管理、公共交通运营管理方法、智能交通服务设计等。主持国家自然科学基金委青年项目 1 项（2019-2021，结题），教育部人文社科基金 1 项（2023-2025，在研），辽宁省社科重点基金项目 1 项（2023-2024，在研），长安大学重点实验室开放基金项目 1 项（2022-2023，在研），中央高校基本业务经费项目多项（2018, 2019, 2020，结题），企业合作项目多项（结题）。参与英国劳氏船级社基金会：Optimising Operations and Management of Multi-Modal Urban Transport Systems for Environmental Improvement, 2013-2018。在《Transportation Research Part D》、《Transportmetrica A》、《International Journal of Sustainable Transportation》、《Transportation Research Record》、《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》、《Transport》、《Journal of Advanced Transportation》等知名期刊上发表论文 20 余篇。曾获第 13 届计算交通科学国际研讨会（IWCTS 2020）最佳论文奖。

项目第三参与人郭姝娟，现为交通运输工程学院副教授，硕士生导师，大连市高层次人才青年才俊。曾获国家留学基金委全额资助公派日本攻读博士学位。研究方向为生产调度优化，基于一带一路的高效物流组织与协调调度。主持国家自然科学基金 1 项，省自然科学基金 2 项，教育厅科研项目 1 项，中央高校基本科研业务经费 2 项。在《International journal of production research》、《Journal of Intelligent and Fuzzy Systems》、《Flexible Services and Manufacturing Journal》、《International Journal of Advanced Manufacturing Technology》、《计算机集成制造系统》等国内外期刊会议上发表 SCI/SSCI/EI 学术论文 10 余篇。是 SCI 杂志 International journal of production research; International journal of advanced manufacturing technology 的审稿人。申请人指导的研究生毕业论文“中欧班列海铁联运节点集装箱堆存容量与集结模式研究”，获 2021 年比利时安特卫普海事领域优秀论文奖。



2. 工作条件（包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决的途径，包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况）；

项目组所属团队拥有辽宁省协同创新中心重点实验室、中远海大航运大数据校企实验室和国际联合实验室（与英国伦敦帝国理工学院、新加坡国立大学联合筹建，致力于综合交通运输创新研究）。上述科研平台坚持“产学研”三位一体的宗旨为团队理论创新、企业实践、学术交流提供有力的支持。

项目组所属的学院学科优势显著，基础设施完备。实验室建设方面，学院拥有辽宁省物流航运管理系统工程省重点实验室、港口与物流管理实验室、信息管理与电子商务实验教学中心、交通运输管理实验教学中心等众多实验教学场所，为本项目提供运输管理模拟、货运业务集成与协同管理、区域经济系统模拟等方面的支持。对外合作方面，学院先后与新加坡国立大学、英国卡迪夫大学、香港理工大学、比利时安特卫普大学、荷兰鹿特丹大学、法国诺曼底高等商学院等院校建立长期广泛的合作关系，为本项目扩宽研究思路、提升科研成果的国际化水平提供了良好契机。



图 9. 大连海事大学的科研实习船育鲲轮和航海模拟器

项目组所依托的学校是国家“211”工程院校，也是交通运输部所属的唯一“港航研究”全国重点大学，是被国际海事组织认定的世界上少数几所“享有国际盛誉”的海事院校之一。学校设有航海模拟实验室（图 9 右）、轮机模拟实验室等 100 余个教学科研实验室，拥有 2 艘远洋教学实习船（图 9 左），在海上交通工程、港航经济、航运金融与保险、综合交通运输体系等方面具有雄厚的科研实力。学校图书馆目前拥有各类馆藏文献 200 余万册，已经订购各类电子资源平台 54 个，电子文献数据库总计 100 多个，拥有服务器、各种计算机终端和外部设备 400 余台，为团队成员开展科研活动提供智力支持。Science Direct、Engineering Village、SpringerLink、EBSCO、CNKI 等学术资源数据库，以及波罗的海国际航运公会数据



库 (BIMCO)、国际集装箱在线 (CI-Online)、Sea-web 数据库、航运智能情报网 (Clarkson SIN) 等港航专业数据库为项目成员检索信息、梳理文献, 撰写研究成果提供可靠充足的信息来源。

3. 正在承担的与本项目相关的科研项目情况 (申请人和主要参与者正在承担的与本项目相关的科研项目情况, 包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目, 要注明项目的资助机构、项目类别、批准号、项目名称、获资助金额、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等);

无

4. 完成国家自然科学基金项目情况 (对申请人负责的前一个已资助期满的科学基金项目 (项目名称及批准号) 完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该项目的研究工作总结摘要 (限 500 字) 和相关成果详细目录)。

申请人负责的前一个已结题项目是青年基金“基于北极新航线的集装箱枢纽港选址和班轮运输网络设计”(61304179, 2014. 1-2016. 12)。该项目主要完成了两个阶段的目标: (1) 构建了包含北极航线的全球水路物理网络, 并在物理网络上的对建立了基于马尔可夫转移概率矩阵的集装箱枢纽港选址模型并设计了算法进行求解; (2) 根据枢纽港的选址方案构建了轴辐式班轮运输网络设计模型并设计了高效的算法进行求解。后续研究主要集中在通过仿真来分析北极融冰对全球集装箱货流分配的影响、跨北极集装箱海铁联运的成本结构方面。

研究工作总结摘要: 北极航线的出现极大的缩短了世界各国的海上交通距离, 但是班轮航线网络的设计面临着巨大的挑战使得政府和航运企业对未来的海上运输难以做出有效决策。该项目通过对集装箱班轮公司的营运跟踪调查, 系统分析了班轮运输服务特性及其影响因素; 建立了以北极新航线为基础的全球水路物理网络, 在其基础上构建基于马尔可夫转移概率矩阵的潜在集装箱枢纽港选址模型; 进一步分析了水路物理网络上的集装箱流量和潜在的集装箱枢纽港构建轴辐式班轮运输网络设计模型并设计高效的启发式算法。整个模型的开发采用了具有自主知识产权的通用空间分析与仿真平台 MicroCity (<https://microcity.github.io>), 为我国政府、航运企业及集装箱港口的规划发展提供决策支持的理论和工具。

与本申请项目的关系: 该项目研究内容上属于班轮航运规划, 偏宏观规划研



究,而本项目聚焦于不定期航运的动态决策,偏技术应用研究。该项目在模型算法方面的研究成果可以作为本项目的研究基础。例如该项目提出了一种新颖的**基于流量分布求潜在枢纽港**的方法,里面涉及到**网络流问题**的研究,在本项目在估计货物流时也会应用到相关理论。在仿真平台方面该项目**构建了多智能体仿真平台**来评估**北极航线的开通影响**,在本项目中也需用到仿真,可以借鉴该项目的构建方法。另外**本项目也将延续使用在该项目改进完善的开源自研软件 MicroCity**,为学术界发展适用的教学科研软件做出贡献。

研究成果目录

截至目前,该项目已发表论文 28 篇,其中 SCI/SSCI 检索论文 19 篇、CSSCI 检索论文 4 篇;获得科研奖励 5 项;培养研究生 9 名。根据研究计划与完成工作,该项目已经完成预期目标。

期刊论文

- [1] 高远, 孙卓*, 王奇, 带有潮汐时间窗的支线船舶路径规划问题研究, *系统工程理论与实践*, 2022 年第 42 卷第 9 期 2496-2508 页 (CSSCI)
- [2] Peixiu Han, Zhuo SUN*, Zhongbo Liu, An inventory hub location model for multi-coal-fired coastal power plants: a case study in Guangdong district, *International Transactions in Operational Research*, <https://doi.org/10.1111/itor.13103>, 2022. (SCI Q2)
- [3] 张然, 孙卓*, 李一鸣, 高远, 北极东北航线通航对中欧贸易潜力的影响——基于空间可计算一般均衡模型的模拟分析, *国际经贸探索*, 2021 年第 9 期 21-34 页 (CSSCI)
- [4] 杨敏, 刘谊含, 熊俊, 孙卓, 狭水道船舶雾航交通流元胞自动机模型与仿真, *计算机仿真*, 已录用 (北大核心)
- [5] Ebenezer AFUM, Zhuo SUN*, Yaw AGYABENG-MENSAH, Charles BAAH, Lean Production Systems, Social Sustainability Performance and Green Competitiveness: The mediating roles of Green Technology Adoption and Green Product Innovation, *Journal of Engineering, Design and Technology*, <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2021-0099>, 2021.
- [6] Ebenezer AFUM, Yuan GAO, Yaw AGYABENG-MENSAH, Zhuo SUN*, Nexus between Lean Operations, Eco-Product Innovativeness, Social, Green and Business Performances:



- An empirical evidence from Ghanaian Manufacturing SMEs, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32, No. 8, pp. 1557-1577, 2021. (SCI Q1)
- [7] Ebenezer AFUM, Ran ZHANG, Yaw AGYABENG-MENSAH, Zhuo SUN*, Sustainability Excellence: the Interactions of Lean Production, Internal Green Practices and Green Product Innovation, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 12, No. 6, pp. 1089-1114, 2021. (SCI Q2)
- [8] Zhuo SUN, Peixiu HAN, Jiming LIU , Yi ZUO*, A New Location and Routing Model for Cross-docking of Fresh Produce, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, <https://doi.org/10.1142/S0217595920500554>, 2021. (SCI Q4)
- [9] 孙卓*, 李一鸣, 考虑多仓库的共享单车重新配置问题研究, *运筹与管理*, 2021 年第 1 期 121-129 页 (CSSCI)
- [10] 马向阳, 卢柄宜, 孙卓*, 排放限制政策下的中国至东南亚航线散货船调度研究, *中国航海*, 2020 年第 4 期 135-140 页 (北大核心)
- [11] Zhuo SUN*, Wei GAO, Bin LI, Longlong WANG, Locating Charging Stations for Electric Vehicles. *Transport Policy*, Vol. 98, pp. 48-54, 2020. (SSCI Q1)
- [12] Zhou SUN*, Ran ZHANG, Yuan GAO, Zhongxing TIAN, Yi ZUO, Hub Ports in Economic Shocks of the Melting Arctic. *Maritime Policy & Management*, <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1752948>. (SSCI Q2)
- [13] Ebenezer AFUM, Zhuo SUN, Reverse Logistics and Performance of Bottled and Sachet WaterManufacturing Firms in Ghana: The Intervening Role ofCompetitive Advantage, *IOSR Journal of Business and Management*, Vol. 21, No. 4, pp. 39-49, 2019.
- [14] Zhou SUN*, Ni YAN, Yining SUN, Haobin LI, Location-Routing Optimization with Split Demand for Customer Self-pickup via Data Analysis and Heuristics Search. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 36, No. 06, 1940013, 2019. (SCI Q4)
- [15] Zhuo SUN*, Yiming LI, Yi ZUO, Optimizing the Location of Virtual Stations in Free-Floating Bike-Sharing Systems with the User Demand during Morning and Evening Rush Hours. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2019, pp. 4308509(11pages), 2019. (SCI Q2)



- [16] Lu ZHEN, Shucheng YU, Shuaian WANG, Zhuo SUN, Scheduling quay cranes and yard trucks for unloading operations in container ports, *Annals of Operations Research*, Vol.273, pp.455-478, 2019. (SCI Q2)
- [17] 孙卓, 刘即明, 阎妮, 基于手机信令大数据的城市居民出行 OD 预测, *数学的实践与认识*, 2019 年第 11 期 68-77 页 (北大核心)
- [18] Jianfeng ZHENG, Jingwen QI, Zhuo SUN*, Feng LI, Community structure based global hub location problem in liner shipping, *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol. 118, pp. 1-19, 2018. (SCI Q1)
- [19] Zhuo SUN*, Shuang CONG, Junnan PAN, Jianfeng ZHENG, A study for bank effect on ship traffic in narrow water channels using cellular automata. *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 31, No.31, pp. 1750240 (9pages), 2017. (SCI Q4)
- [20] Zhuo SUN, Jianfeng ZHENG, Finding Potential Hub Locations for Liner Shipping, *Transportation Research Part B-Methodological*, Vol. 93, pp. 750-761, 2016. (SCI Q1)
- [21] Jianfeng ZHENG, Zhuo SUN*, Measuring the Perceived Container Leasing Prices in Liner Shipping Network Design with Empty Container Repositioning, *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol. 94, pp. 123-140, 2016. (SCI Q1)
- [22] 郑建风, 孙卓, 高薇, 李树彬, 匡海波, 能力限制条件下内河集装箱枢纽港选址问题研究: 以长江为例, *系统工程理论与实践*, 2016 年 第 5 期 1213-1220 页 (CSSCI)
- [23] Zhuo SUN, Zhonglong CHEN, Hongtao HU and Jianfeng ZHENG*, Ship interaction in narrow water channels: A two-lane cellular automata approach, *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol. 431, pp. 46-51, 2015. (SCI Q2)
- [24] Jianfeng ZHENG, Zhuo SUN* and Ziyou GAO, Empty container exchange among liner carriers, *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol. 83, pp. 158-169, 2015. (SCI Q1)
- [25] Jianfeng ZHENG, Qiang MENG and Zhuo SUN, Liner Hub-and-Spoke Shipping Network Design, *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol. 75, pp. 32-48, 2015. (SCI Q1)
- [26] Jianfeng ZHENG, Ziyou GAO, Dong YANG and Zhuo SUN, Network design and capacity



- exchange for liner alliances with fixed and variable container demands, *Transportation Science*, Vol. 49, No.4, pp. 886-899, 2015. (SCI Q2)
- [27] Jianfeng ZHENG, Qiang MENG and Zhuo SUN, Impact analysis of maritime cabotage legislations on liner hub-and-spoke shipping network design, *European Journal of Operational Research*, Vol.234, No.3, pp. 874-884, 2014. (SCI Q1)
- [28] Zhiyuan LIU, Qiang MENG, Shuaian WANG and Zhuo SUN, Global intermodal liner shipping network design, *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol. 61, pp. 28-39, 2014. (SCI Q1)

科研奖励

- [1] Informa 冬季仿真会议最佳海事系统论文奖, 2022.12, 获奖题目: A Collision-free Simulation Framework For Ascs In Automated Container Terminals
- [2] 辽宁省研究生教育教学成果特等奖, 2022.7, 获奖题目: 海洋强国战略下物流工程研究生“全程多维”实践教学模式构建与应用
- [3] 辽宁省普通高等教育(本科)教学成果一等奖, 2022.5, 获奖题目: 面向“一带一路”倡议的港航特色国际物流创新人才培养模式改革与实践
- [4] 大连市民主党派专题调研立项课题优秀成果三等奖, 2021.5, 获奖题目: 大连邮轮产业发展环境与优化对策研究
- [5] 辽宁省优秀硕士学位论文指导教师(大连海事大学优秀研究生导师), 2019.4
- [6] 辽宁省自然科学学术成果二等奖, 2017.7 获奖题目: Liner hub-and-spoke shipping network design
- [7] 菜鸟网络全球算法大赛季军, 香港科技大学, 2016.9, 大赛题目: 最后一公里急速配送
- [8] 辽宁省自然科学学术成果二等奖, 2016.7, 获奖题目: Network design and capacity exchange for liner alliances with fixed and variable container demands

(三) 其他需要说明的情况

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况(列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息, 并说明与本项目之间的区别与联系)。

申请人本年与韩国合作者还申请了国际(地区)合作与交流项目, 项目名称: 随



机分配策略下的自动化集装箱码头堆场作业管理研究，此项目研究自动化集装箱码头的调度问题并重点在合作交流层面，而本项目研究的是不定期船舶航运动态决策问题，研究的问题完全不同，开展研究的方式也不同，方法论层面用到的运筹学、优化等理论和方法在开展研究后可能有部分相近。

2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因。

无

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

无

4. 其他。

无



孙卓 简历

2023版

大连海事大学， 交通运输工程学院， 教授

教育经历：

- (1) 2006-04 至 2008-09，日本名古屋大学，城市规划，博士
- (2) 2003-09 至 2005-07，韩国东亚大学，水力学，硕士
- (3) 1999-09 至 2003-07，大连理工大学，软件工程，学士
- (4) 1998-09 至 2002-07，大连理工大学，土木工程，学士

博士后工作经历：

- (1) 2008-09 至 2009-01，日本名古屋大学
- (2) 2009-02 至 2011-01，新加坡国立大学海事研究中心
- (3) 2011-02 至 2013-02，新加坡国立大学海事研究中心

科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

- (1) 2013-03 至 大连海事大学，交通运输工程学院物流系，教授

曾使用其他证件信息：

无

近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

- (1) 国家自然科学基金委员会，国际(地区)合作与交流项目，72211540399，随机分配策略下的自动化集装箱码头堆场作业管理研究，2022-09-01 至 2024-08-31，15万元，在研，主持
- (2) 国家自然科学基金委员会，面上项目，71971036，基于关联网络的机器人移动货架系统储位分配优化方法，2020-01-01 至 2023-12-31，49万元，在研，参与
- (3) 国家自然科学基金委员会，重点项目，71831002，绿色港口与航运网络运营管理优化研究，2019-01-01 至 2023-12-31，240万元，在研，参与

近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

- (1) 中国国务院，国家社会科学基金，21BGJ073，基于“一带一路”多式联运网络的中国制造业全球供应链空间布局研究，2022-01 至今，20万元，主持
- (2) 中国教育部，产学研合作协同育人项目，202102160001，物流相关课程虚拟仿真实验平台建设，2021-09 至今，5万元，在研，主持
- (3) 国际海事大学联合会(IAMU)，IAMU研究项目，S0001558 - CNT10854，基于数据融合和机器学习的船舶能耗分析，2021-01 至今，50万元，在研，参与
- (4) 辽宁省科学技术厅，辽宁省自然科学基金，2020-HYLH-32，自动化集装箱码头作业管理研究，2021-01 至今，20万元，在研，主持
- (5) 大连市科技局，大连市科技创新基金，2020JJ26GX023，新一代集装箱港口仿真系统关键理论与应用，2020-01 至今，50万元，在研，主持
- (6) 辽宁省社会科学规划基金办公室，辽宁省社会科学规划基金，L19BGL011，辽宁省面向北极航线的班轮运输规划研究，2019-07 至今，1万元，在研，主持



(7) 中国教育部, 教育部人文社科基金(青年基金), 19YJC630151, 面向北极新航线的全球集装箱班轮运输规划研究, 2019-01 至 今, 8万元, 在研, 主持

(8) 大连口岸物流科技有限公司, 横向项目, 2020210202002767, 自动化集装箱码头仿真及堆场存取作业策略, 2020-07 至 2021-06, 10万元, 结题, 主持

(9) 辽宁省科学技术厅, 辽宁省自然科学基金, 201602074, 基于北极融冰仿真构建包含北极新航线的全球航运网络配流模型, 2016-07 至 2018-06, 10万元, 结题, 主持

代表性研究成果和学术奖励情况(填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名, 不再标注第一作者或通讯作者):

一、代表性论著(请在“申请书详情”界面, 点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文):

(1) Zhuo Sun; Jianfeng Zheng; Finding Potential Hub Locations for Liner Shipping, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, 93: 750-761 (期刊论文)

(2) Zhuo Sun; Wei Gao; Bin Li; Longlong Wang; Locating Charging Stations for Electric Vehicles, *Transport Policy*, 2020, 98(1): 48-54 (期刊论文)

(3) Zhuo Sun; Ran Zhang; Yuan Gao; Zhongxing Tian; Yi Zuo; Hub Ports in Economic Shocks of the Melting Arctic, *Maritime Policy and Management*, 2020, 1-24 (期刊论文)

(4) Sun, Zhuo; Han, Peixiu; Liu, Jiming; Zuo, Yi; A New Location and Routing Model for Cross-Docking of Fresh Produce, *Asia Pacific Journal of Operational Research*, 2021, 38(04): 0-2050055 (期刊论文)

(5) 高远; 孙卓; 王奇; 带有潮汐时间窗的支线船舶路径规划问题研究, *系统工程理论与实践*, 2022, 42(9): 2496-2508 (期刊论文)

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励:

(1) 开源空间规划建模工具MicroCity, <https://microcity.github.io> (其他重要研究成果)

(2) 孙卓(1/1); Informs冬季仿真会议最佳海事系统论文奖, Informs冬季仿真会议2022委员会, 其他, 国际学术奖, 2022(孙卓) (科研奖励)

(3) 孙卓(4/4); Network design and capacity exchange for liner alliances with fixed and variable container demands, 辽宁省科学技术厅, *自然科学*, 省部二等奖, 2016(郑建凤; 高自有; 杨东; 孙卓) (科研奖励)

(4) 孙卓(1/1); 国际海事竞赛“新一代集装箱港口设计挑战赛”金奖, 新加坡港务局, 其他, 国际学术奖, 2013(孙卓) (科研奖励)

(5) 孙卓(1/4); “最后一公里”菜鸟网络全球算法大赛季军, 阿里巴巴、香港科技大学、INFORMS学会, 其他, 国际学术奖, 2016(孙卓; 高远; 陈中龙; 王奇) (科研奖励)

(6) 孙卓(1/1); 辽宁省优秀硕士学位论文指导教师, 辽宁省教育厅, 其他, 其他, 2019(孙卓) (科研奖励)

(7) 孙卓(1/1); 全国大学生物流仿真设计大赛优秀指导教师, 中国物流生产力促进中心, 其他, 其他, 2019(孙卓) (科研奖励)

(8) 孙卓(8/10); 辽宁省研究生教育教学成果特等奖, 辽宁省教育厅, 其他, 其他, 2022(孙家庆; 计明军; 于少强; 杨华龙; 唐丽敏; 李振福; 张赫; 孙卓; 韩美玲; 祝慧灵) (科研奖励)

(9) 孙卓(6/12); 辽宁省普通高等教育(本科)教学成果一等奖, 辽宁省教育厅, 其他, 其他, 2022(杨华



龙；计明军；靳志宏；孙家庆；钟铭；**孙卓**；唐丽敏；刘翠莲；王清斌；李娜；刘进平；邢玉伟)
奖励)

(科研

NSFC 2023



李浩斌 简历

2023版

新加坡国立大学， 高级讲师

教育经历：

- (1) 2009-08 至 2014-02, 新加坡国立大学, 工业系统工程, 博士
- (2) 2005-07 至 2009-06, 新加坡国立大学, 物流系统工程, 学士

博士后工作经历：

- (1) 2013-10 至 2015-07, 新加坡国立大学

科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

- (1) 2020-05 至 今, 新加坡国立大学, 工程学院工业系统工程与管理系, 高级讲师
- (2) 2017-09 至 2020-05, 新加坡国立大学, 工程学院工业系统工程与管理系, 讲师
- (3) 2015-07 至 2017-09, 新加坡科技研究局(A*STAR), 计算机科学, 研究员

曾使用其他证件信息：

无

近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

无

近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

- (1) 新加坡海事研究机构 (SMI), 纵向项目, SMI-2022-SP-02, THE CENTRE OF EXCELLENCE IN MODELLING AND SIMULATION FOR NEXT GENERATION PORTS PHASE 2, 2023-01 至 2027-12, 5126.46万元, 在研, 主持
- (2) 新加坡海事研究机构 (SMI), 纵向项目, SMI-2021-MA-02, Development of a port index system for world-class smart, green and resilient container ports, 2021-10 至 2023-10, 227.73万元, 在研, 主持
- (3) 东方海皇航运研究基金 (NOLF), 横向项目, NOL19RP01, Research and development for container ship operations, 2020-09 至 2023-03, 170.29万元, 在研, 主持
- (4) 新加坡科技研究局 (A*STAR), 纵向项目, IAF-PP A1895a0, Digital Twin for next generation warehouse, 2018-09 至 2023-02, 4586.12万元, 结题, 主持
- (5) 新加坡海事研究机构 (SMI), 纵向项目, SMI, Center of Excellence in Modelling and Simulation for Next Generation Ports, 2018-01 至 2022-12, 6154.84万元, 结题, 参与
- (6) Huawei Technologies Co., Ltd., 横向项目, TC20210608007, Multi-fidelity discrete event simulation and optimization cooperation, 2021-09 至 2022-08, 111.11万元, 结题, 主持

代表性研究成果和学术奖励情况（填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名，不再标注第一作者或通讯作者）：

一、代表性论著（请在“申请书详情”界面，点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文）：

- (1) Haobin Li; Chenhao Zhou; Byung Kwon Lee; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew; Rick Siow Mong Goh ;



Capacity planning for mega container terminals with multi-objective and multi-fidelity simulation optimization, *IIE Transactions*, 2017, 49(9): 849-862 (期刊论文)

(2) Haobin Li; Giulia Pedrielli; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew ; Enhancement of supply chain resilience through inter-echelon information sharing, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2016, 29(2): 260-285 (期刊论文)

(3) Haobin Li; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew; Chun-Hung Chen ; GO-POLARS: a steerable stochastic search on the strength of hyperspherical coordinates, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2017, 62(12): 6458-6465 (期刊论文)

(4) Haobin Li; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew; Peter Lendermann ; MO-COMPASS: a fast convergent search algorithm for multi-objective discrete optimization via simulation, *IIE Transactions*, 2015, 47(11): 1153-1169 (期刊论文)

(5) Yaping Fu; Haobin Li; Min Huang; Hui Xiao ; Bi-objective modeling and optimization for stochastic two-stage open shop scheduling problems in the Sharing Economy, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021. 夏季 (期刊论文)

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励:

(1) Haobin Li (1/5); 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Award Finalists, IEEE, 其他, 其他, 2017(Haobin Li; Chenhao Zhou; Byung Kwon Lee; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew) (科研奖励)

(2) Haobin Li; Xinhua Cao; Ek Peng Chew; Kok Choon Tan; Kaustav Kundu; Hongdan Chen ; Hybrid Simulation Modeling Formalism via O2DES Framework for Mega Container Terminals, Winter Simulation Conference, Singapore, 2022-12-11至2022-12-14 (会议报告)

(3) Haobin Li; Xinhua Cao; Xiao Jin; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew ; Three Carriages Driving the Development of Intelligent Digital Twins-Simulation Plus Optimization and Learning, Winter Simulation Conference, Phoenix, AZ, 2021-12-13至2021-12-15 (会议报告)

(4) Haobin Li; Xinhua Cao; Pankaj Sharma; Loo Hay Lee; Ek Peng Chew ; Framework of O2DES.NET Digital Twins for Next Generation Ports and Warehouse Solutions, Winter Simulation Conference, Virtual, 2020-12-14至2020-12-18 (会议报告)



唐春艳 简历

2023版

大连海事大学， 交通运输工程学院， 副教授

教育经历：

- (1) 2011-09 至 2017-06， 大连理工大学， 管理科学与工程（交通系统工程）， 博士
- (2) 2015-09 至 2016-09， 新西兰奥克兰大学， 公共交通运营规划与管理， 其他
- (3) 2006-09 至 2010-07， 北京交通大学， 交通运输， 学士

博士后工作经历：

无

科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

- (1) 2019-07 至 今， 大连海事大学， 交通运输工程学院， 副教授
- (2) 2017-07 至 2019-07， 大连海事大学， 交通运输工程学院， 讲师

曾使用其他证件信息：

无

近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

- (1) 国家自然科学基金委员会， 面上项目， 71971035， 自动化集装箱码头堆存决策与机械调度的协同优化方法研究， 2020-01-01 至 2023-12-31， 48万元， 在研， 参与
- (2) 国家自然科学基金委员会， 青年科学基金项目， 71801027， 纯电动公交车的多运营策略时刻表和车辆调度整合优化， 2019-01-01 至 2021-12-31， 21万元， 结题， 主持

近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

- (1) 教育部人文社科， 青年基金， 22YJC630124， 多政策引导下的多能源常规公交车队协同配置管理模式研究， 2023-01 至 2025-12， 8万元， 在研， 主持
- (2) 辽宁省人文社科， 重点基金， L22AGL005， 公交企业数字化转型下的运力资源精细化配置管理方法研究， 2023-01 至 2024-12， 2万元， 在研， 主持
- (3) 教育部人文社科， 规划基金项目， 21YJA630048， 基于区块链的集装箱码头公路集疏运合作机制与运营模式研究， 2022-01 至 2024-10， 10万元， 在研， 参与

代表性研究成果和学术奖励情况（填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名， 不再标注第一作者或通讯作者）：

一、代表性论著（请在“申请书详情”界面， 点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文）：

- (1) Chunyan Tang; Avishai Ceder; Shengchuan Zhao; Ying-En Ge ; Vehicle Scheduling of Single-Line Bus Service Using Operational Strategies, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019, 20(3): 1149-1159 (期刊论文)
- (2) Chunyan Tang; Hudi Shi; Tao Liu ; Optimization of single-line electric bus scheduling with skip-stop operation, *Transportation Research Part D*, 2023, 117: 103652 (期刊论文)
- (3) Chunyan Tang; Avishai Ceder; Ying-En Ge; Tao Liu ; Optimal Operational Strategies for



Single Bus Lines Using Network-Based Method, *International Journal of Sustainable Transportation*, 2020, 15(5): 325-337 (期刊论文)

(4) Chunyan Tang; Xiaoyu Li; Avishai Ceder; Xiaokun Wang ; Public Transport Fleet Replacement Optimization Using Multi-Type Battery-Powered Electric Buses, *Transportation Research Record*, 2021, 2675: 1422-1431 (期刊论文)

(5) Chunyan Tang; He Xue; Avishai Ceder; Ying-En Ge ; Optimal variable vehicle scheduling strategy for a network of electric buses with fast opportunity charging, *Transportmetrica A: Transport Science*, 2023, 1 (期刊论文)

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励:

(1) Chunyan Tang(1/5); Optimal selection of vehicle types for an electric bus route with shifting departure times, The 13th International Workshop on Computational Transportation Science (CTS2022), 其他, 国际学术奖, 2022(Chunyan Tang; Ying-En Ge; He Xue; Avishai Ceder; Xiaokun Wang) (科研奖励)

(2) 唐春艳 ; 纯电动公交车辆运营调度优化方法, 第一届交通与运载工程学科青年学者论坛, 苏州, 2021-10-11至2021-10-13 (会议报告)

(3) 唐春艳 ; Optimal Operational Strategies for Multiple Bus Lines using smart phone data, 99th Transportation Research Board (TRB), 美国华盛顿, 2020-1-12至2020-1-16 (会议报告)



郭姝娟 简历

2023版

大连海事大学， 交通运输工程学院， 副教授

教育经历：

- (1) 2008-10 至 2012-03， 日本广岛大学， 复杂系统工程， 博士
- (2) 2006-09 至 2008-07， 大连海事大学， 物流管理与工程， 硕士
- (3) 2001-09 至 2005-07， 大连海事大学， 物流工程， 学士

博士后工作经历：

- (1) 2018-12 至 今， 在站， 大连海事大学

科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

- (1) 2021-08 至 今， 大连海事大学， 交通运输工程学院， 副教授
- (2) 2015-08 至 2021-07， 大连海事大学， 交通运输工程学院， 讲师
- (3) 2012-05 至 2015-07， 宁波大学， 海运学院， 讲师

曾使用其他证件信息：

无

近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

- (1) 国家自然科学基金委员会， 面上项目， 72172023， 基于数据驱动与在线预约的集装箱码头集卡运输组织精益化， 2022-01-01 至 2025-12-31， 48万元， 在研， 参与
- (2) 国家自然科学基金委员会， 面上项目， 72171033， 城市多方式交通动态演化机理与动态管理策略研究， 2022-01-01 至 2025-12-31， 49万元， 在研， 参与
- (3) 国家自然科学基金委员会， 面上项目， 72171032， 基于区块链的港口“集疏运”集卡调度与空箱配置的协同运作管理方法， 2022-01-01 至 2025-12-31， 48万元， 在研， 参与
- (4) 国家自然科学基金委员会， 面上项目， 71871038， 关联网络结构下考虑随机和动态风险特征的协同生产调度及鲁棒优化， 2019-01-01 至 2022-12-31， 48万元， 资助期满， 参与

近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

- (1) 国家社科基金， 一般项目， 21BGJ073， 基于“一带一路”多式联运网络的中国制造业全球供应链空间布局研究， 2021-09 至 2026-09， 20万元， 在研， 参与
- (2) 辽宁省社会科学规划基金项目， 重点项目， L22AGL004， 面向东北海陆大通道的大连物流枢纽建设对策研究， 2022-10 至 2024-09， 2万元， 在研， 主持
- (3) 辽宁省自然科学基金委员会， 面上项目， 20170540094， 基于工具可变性与三级存储的PCB组装吸嘴装载优化问题研究， 2017-05 至 2020-01， 5万元， 结题， 主持

代表性研究成果和学术奖励情况（填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名， 不再标注第一作者或通讯作者）：

一、代表性论著（请在“申请书详情”界面， 点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文）：



(1) Guo Shujuan; Geng Fei; Takahashi Katsuhiko; Wang Xiaohan; Jin Zhihong ; A MCVRP-based model for PCB assembly optimization on the beam-type placement machine, *International Journal of Production Research*, 2019, 57(18): 5874-5891 (期刊论文)

(2) 郭姝娟; 魏梓峰; 孙正宇; 李一义; 李纲 ; 疫情不同阶段西部陆海新通道市场分担率变化研究, *交通运输系统工程与信息*, 2023, 23(1): 305-313 (期刊论文)

(3) Guo Shujuan; Diao Cuijie; Li Gang; Wang Xiaohan; Zang Linlin; Jin Zhihong ; A Markov process model of sizing the capacity of the reserved storage yard in the intermodal container terminal, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2021, 41(4): 5173-5180 (期刊论文)

(4) Guo Shujuan; Takahashi Katsuhiko; Morikawa Katsumi; Jin Zhihong ; An integrated allocation method for the PCB assembly line balancing problem with nozzle changes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, 62(1-4): 351-369 (期刊论文)

(5) Guo Shujuan; Takahashi Katsuhiko; Morikawa Katsumi ; PCB assembly scheduling with alternative nozzle types for one component type, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2011, 23(3): 316-345 (期刊论文)

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励:

无



附件信息

序号	附件名称	备注	附件类型
1	Finding Potential Hub Locations for Liner Shipping		代表性论著
2	Locating Charging Stations for Electric Vehicles		代表性论著
3	Hub Ports in Economic Shocks of the Melting Arctic		代表性论著
4	A New Location and Routing Model for Cross-docking		代表性论著
5	带有潮汐时间窗的支线船舶路径规划问题研究		代表性论著

NSFC 2023



项目名称： 全时海况数据支持下的智能船舶不定期运输系统动态决策优化研究
资助类型： 面上项目
申请代码： E1202. 交通规划与设计

国家自然科学基金项目申请人和参与者承诺书

为了维护国家自然科学基金项目评审公平、公正，共同营造风清气正的科研生态，本人**在此郑重承诺**：严格遵守《中华人民共和国科学技术进步法》《国家自然科学基金条例》《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》以及科技部、自然科学基金委关于科研诚信建设有关规定和要求；申请材料信息真实准确，不含任何涉密信息或敏感信息，不含任何违反法律法规或违反科研伦理规范的内容；在国家自然科学基金项目申请、评审和执行全过程中，恪守职业规范和科学道德，遵守评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

- （一）抄袭、剽窃他人申请书、论文等科研成果或者伪造、篡改研究数据、研究结论；
- （二）购买、代写申请书；购买、代写、代投论文，虚构同行评议专家及评议意见；购买实验数据；
- （三）违反成果发表规范、署名规范、引用规范，擅自标注或虚假标注获得科技计划等资助；
- （四）在项目申请书中以高指标通过评审，在项目计划书中故意篡改降低相应指标；
- （五）以任何形式打听或散布尚未公布的评审专家名单及其他评审过程中的保密信息；
- （六）本人或委托他人通过各种方式和途径联系有关专家进行请托、游说、“打招呼”，违规到评审会议驻地窥探、游说、询问等干扰评审或可能影响评审公正性的行为；
- （七）向工作人员、评审专家等提供任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包，或提供宴请、旅游、娱乐健身等任何可能影响评审公正性的活动；
- （八）违反财经纪律和相关管理规定的行为；
- （九）其他弄虚作假行为。

如违背上述承诺，本人愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于撤销科学基金资助项目，追回项目资助经费，向社会通报违规情况，取消一定期限国家自然科学基金项目申请资格，记入科研诚信严重失信行为数据库以及接受相应的党纪政务处分等。

申请人签字：

编号	参与者姓名 / 工作单位名称（应与加盖公章一致） / 证件号码	签字
1	李浩斌 / 新加坡国立大学 / K*****B	
2	唐春艳 / 大连海事大学 / 4*****4	
3	郭姝娟 / 大连海事大学 / 2*****4	
4		
5		
6		
7		
8		
9		



项目名称： 全时海况数据支持下的智能船舶不定期运输系统动态决策优化研究
资助类型： 面上项目
申请代码： E1202. 交通规划与设计

国家自然科学基金项目申请单位承诺书

为了维护国家自然科学基金项目评审公平、公正，共同营造风清气正的科研生态，**本单位郑重承诺**：申请材料中不存在违背《中华人民共和国科学技术进步法》《国家自然科学基金条例》《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》以及科技部、自然科学基金委关于科研诚信建设有关规定和要求的情况；申请材料符合《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等有关法律法规和规章制度要求，不含任何涉密信息或敏感信息；申请材料不含任何违反法律法规或违反科研伦理规范的内容；申请人符合相应项目的申请资格；依托单位、合作研究单位、申请人及主要参与者不在限制申报、承担或参与财政性资金支持的科技活动的期限内；在项目申请和评审活动全过程中，遵守有关评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

（一）以任何形式打听或公布未公开的项目评审信息、评审专家信息及其他评审过程中的保密信息，干扰评审专家的评审工作；

（二）组织或协助申请人/参与者向工作人员、评审专家等给予任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包等；宴请工作人员、评审专家，或组织任何可能影响科学基金评审公正性的活动；

（三）支持、放任或对申请人/参与者抄袭、剽窃、重复申报、提供虚假信息（含身份和学术信息）等不当手段申报国家自然科学基金项目疏于管理；

（四）支持或协助申请人/参与者采取“打招呼”“围会”等方式影响科学基金项目评审；

（五）其他违反财经纪律和相关管理规定的行为。

如违背上述承诺，本单位愿接受自然科学基金委和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于停拨或核减经费、追回项目已拨经费、取消本单位一定期限国家自然科学基金项目申请资格、记入科研诚信严重失信行为数据库以及主要责任人接受相应党纪政务处分等。

依托单位公章：

日期： 年 月 日

合作研究单位公章：

日期： 年 月 日

合作研究单位公章：

日期： 年 月 日