

港口业船舶优化调度模型设计

田雨

秦皇岛港股份有限公司, 河北 秦皇岛 066000

摘要： 文章聚焦港口业船舶优化调度模型设计, 运用文献资料研究、案例分析等方法, 优化港口船舶调度思路, 优化系统架构, 应用先进算法, 旨在提升港口船舶调度效率, 实现港口资源的优化配置, 增强港口在全球物流竞争中的竞争力。研究表明, 优化后的调度模型能够显著缩短船舶在港停留时间, 提高港口作业效率, 为港口的可持续发展提供有力支持。

关键词： 港口; 船舶调度; 模型设计; 算法应用

Design of Optimal Dispatching Model for Port Industry Ships

Tian Yu

Qinhuangdao Port Co., Ltd. Qinhuangdao, Hebei 066000

Abstract： The article focuses on the port ship optimization scheduling model design, using the literature research, case analysis, optimize the port ship scheduling ideas, optimize system architecture, applying advanced algorithm, aims to improve the port ship scheduling efficiency, realize the optimal configuration of port resources, enhance the competitiveness of port in the global logistics competition. The research shows that the optimized dispatching model can significantly shorten the port stay time, improve the port operation efficiency, and provide strong support for the sustainable development of the port.

Keywords： port; ship scheduling; model design; algorithm application

前言

港口作为货物运输的关键枢纽, 其运营效率直接影响着国际贸易的顺畅进行。船舶调度作为港口运营管理的核心环节, 合理的调度方案能够有效减少船舶在港等待时间, 提高泊位利用率, 降低物流成本, 增强港口的服务能力和竞争力。随着港口业务量的不断增长以及船舶类型和作业需求的日益多样化, 传统的船舶调度方式已难以满足现代港口高效运营的要求。

一、港口业船舶调度思路

(一) 做好进出港编组

船舶进出港编组是港口船舶调度的首要任务。通过对船舶的类型、尺寸、吃水深度、装卸货需求以及预计停留时间等因素进行综合分析, 将具有相似特征或互补作业需求的船舶进行合理编组。例如, 将前往同一目的地且装卸货时间相近的集装箱船编为一组, 这样可以统一安排引航服务, 减少引航资源的浪费, 提高引航效率^[1]。同时, 考虑到不同船舶的靠泊要求, 对于大型船舶和小型船舶进行分类编组, 避免大型船舶与小型船舶在进出港过程中相互干扰, 确保港口航道的安全和畅通。在实际操作中, 利用船舶自动识别系统 (AIS) 实时获取船舶动态信息, 结合港口的潮汐、水流等自然条件, 运用优化算法制定科学合理的进出港编组方案, 使船舶进出港的时间间隔和顺序得到优化, 从而提高港口的整体作业效率。

(二) 做好大型船舶优先调度

大型船舶由于其载货量大、运输成本相对较低, 在国际贸易中占据重要地位。然而, 大型船舶的靠泊和装卸作业对港口资源的占用时间较长, 对港口的设施和设备要求也更高。因此, 在船舶调度中, 应优先考虑大型船舶的作业需求。根据大型船舶到港时间、预计装卸货量以及所需的装卸设备类型等信息, 提前为其预留合适的泊位, 并协调好相关的装卸设备和人力资源。例如, 对于超大型集装箱船, 提前安排足够数量的岸边集装箱起重机进行装卸作业, 确保其能够快速、高效地完成装卸任务^[2]。同时, 在大型船舶作业过程中, 实时监控作业进度, 及时解决可能出现的问题, 避免因作业延误导致港口资源的浪费。通过优先调度大型船舶, 不仅可以提高大型船舶的运营效率, 还能充分发挥港口的规模经济效益, 提升港口在国际航运市场中的竞争力。

(三) 做好中小型船舶调度

中小型船舶在港口的运营中也扮演着重要角色, 它们具有灵

活性高、适应多种作业场景的特点。在调度中小型船舶时，应充分考虑其灵活性优势，根据港口的实时作业情况和资源利用状况，合理安排其作业任务。例如，在大型船舶作业间隙，利用中小型船舶进行一些零散货物的装卸或短距离的货物转运，提高港口资源的利用率^[9]。同时，对于一些紧急运输任务或对时间要求较高的货物，优先安排中小型船舶进行运输，以满足客户的特殊需求。

（四）做好船舶交叉问题的解决

在港口作业过程中，船舶之间的交叉作业问题时有发生，不同船舶在同一泊位或相邻泊位同时进行装卸作业，可能会导致作业设备和人员的冲突，影响作业效率。为了解决船舶交叉问题，首先需要建立详细的船舶作业计划和时间表，明确各船舶的作业顺序和时间安排。同时，利用先进的信息技术，如港口作业管理系统，实时监控船舶的作业进度和位置，及时发现潜在的交叉作业风险。当出现交叉作业冲突时，运用优化算法对作业计划进行调整，例如通过调整船舶的靠泊位置、作业顺序或作业时间，避免冲突的发生。

二、港口业船舶优化调度系统架构设计

（一）计划层

计划层是港口业船舶优化调度系统的核心组成部分，负责制定长期和短期的船舶调度计划^[4]。在长期计划方面，通过对历史船舶到港数据、货物运输需求以及港口发展规划等信息的分析，预测未来一段时间内港口的船舶流量和作业需求，为港口资源的配置提供宏观指导。例如，根据预测结果合理安排港口设施的建设与维护计划，确保港口具备足够的能力应对未来的业务增长。在短期计划方面，根据船舶的实时到港信息、货物装卸清单以及港口当前的资源状态，制定详细的船舶进出港计划、泊位分配计划和作业任务计划。计划层采用先进的运筹学模型和算法，如线性规划、整数规划等，对各种资源进行优化配置，以实现港口作业效率的最大化。同时，计划层还与港口的其他管理系统，如物流管理系统、财务管理系统等进行数据交互，确保调度计划与港口的整体运营策略相协调。

（二）调度层

调度层负责将计划层制定的调度计划付诸实施，并对船舶作业过程进行实时监控和调整。调度层通过与港口的各类设备控制系统，如引航系统、装卸设备控制系统等进行集成，实现对船舶和设备的远程控制和调度。在船舶作业过程中，调度层实时采集船舶的位置、作业进度、设备运行状态等信息，并将这些信息反馈给计划层^[4]。当出现实际作业情况与计划不符时，如船舶提前或延迟到港、设备故障等，调度层及时根据预设的规则和算法对调度计划进行调整，确保港口作业连续性和稳定性。例如，当某艘船舶因天气原因延迟到港时，调度层根据船舶的预计到达时间和港口当前的作业情况，重新调整泊位分配和作业顺序，避免对其他船舶的作业造成影响。调度层还具备应急处理功能，当遇到突发紧急情况，如火灾、地震等，能够迅速启动应急预案，保

障港口人员和财产的安全。

（三）丰富调度功能

1. 装卸工艺选择

装卸工艺是影响港口作业效率和成本的关键因素之一。港口业船舶优化调度系统应具备根据不同船舶类型、货物种类和港口设备条件选择最优装卸工艺的功能。系统通过建立装卸工艺数据库，存储各种常见的装卸工艺方案及其适用场景、作业效率、成本等信息^[5]。在制定作业计划时，根据船舶的装卸货清单和港口的设备资源情况，运用智能算法对不同装卸工艺方案进行评估和比较，选择最优的装卸工艺。例如，对于集装箱船，系统可以根据集装箱的数量、尺寸以及港口岸边集装箱起重机的数量和性能，选择最合适的装卸工艺，如单吊作业、双吊作业或多吊作业等，以提高装卸效率，降低作业成本。同时，系统还能够根据实际作业情况对装卸工艺进行动态调整，如在作业过程中发现设备故障或货物装卸难度增加时，及时切换到备用装卸工艺方案，确保作业的顺利进行。

2. 实时数据监控

实时数据监控是港口业船舶优化调度系统实现高效运行的重要保障。系统通过在港口的各个关键位置安装传感器和数据采集设备，如在泊位上安装激光测距仪、压力传感器，在装卸设备上安装运行状态监测传感器等，实时采集船舶的位置、靠泊状态、装卸设备的运行参数、货物装卸进度等信息^[6]。这些数据通过无线通信网络或有线网络传输到调度中心，经过数据处理和分析后，以直观的图表和界面形式展示给调度人员。调度人员可以通过实时数据监控系统，随时掌握港口作业的实时情况，及时发现问题并采取相应的措施进行处理。例如，当发现某台装卸设备的运行参数异常时，调度人员可以立即通知维修人员进行检修，避免设备故障对作业造成影响。同时，实时数据监控系统还能够对历史数据进行存储和分析，为港口的运营管理提供决策支持，如通过分析历史作业数据，找出影响港口作业效率的瓶颈环节，为优化港口作业流程提供依据^[7]。

三、港口业船舶优化调度算法应用

（一）选择算法的应用

选择算法在港口业船舶优化调度中起着关键作用，通过数学模型能完成最优或近似最优的方案比选。常用的选择算法包括轮盘赌选择法、锦标赛选择法等。

以轮盘赌选择法为例，设种群中有 n 个调度方案，每个方案 i 的适应度值为 f_i ，则方案 i 被选中的概率 P_i 计算公式为：

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j}$$

该方法根据每个调度方案的适应度值来确定其被选中的概率。适应度值越高的方案，被选中的概率越大。在实际应用中，首先需要根据港口船舶调度的具体目标和约束条件，建立适应度函数^[8]。例如，对于以最小化船舶在港停留时间为目标

的调度问题, 设共有 m 艘船舶, 每艘船舶在港停留时间为 t_k ($k=1, 2, \dots, m$), 则适应度函数 F 可以定义为:

$$F = \frac{1}{\sum_{k=1}^m t_k}$$

通过计算每个调度方案的适应度值, 按照轮盘赌选择法的规则进行选择, 将适应度值高的方案保留下来, 进入下一轮的优化过程。通过多次迭代选择, 逐步筛选出最优的调度方案。选择算法的应用能够在大量的可能调度方案中快速找到接近最优解的方案, 为港口船舶调度提供高效的决策支持^[9]。

(二) 交叉算法的应用

交叉算法是遗传算法等进化算法中的重要操作之一, 用于生成新的调度方案。在港口业船舶优化调度中, 交叉算法通过对两个或多个已有的调度方案 (称为父代方案) 进行基因交换, 产生新的调度方案 (称为子代方案)。

例如, 在基于染色体编码的船舶调度模型中, 染色体可以表示为船舶的进出港顺序、泊位分配方案等信息的编码串。假设两个父代染色体 $A=a_1a_2 \dots a_n$ 和 $B=b_1b_2 \dots b_n$, 随机选择一个交叉点 c ($1 < c < n$), 交叉操作后生成的两个子代染色体 A' 和 B' 为:

$$A' = a_1a_2 \dots a_cb_{c+1}b_{c+2} \dots b_n$$

$$B' = b_1b_2 \dots b_ca_{c+1}a_{c+2} \dots a_n$$

新生成的子代染色体继承了父代染色体的部分优良特性, 同时也引入了新的基因组合, 增加了调度方案的多样性。通过交叉算法, 可以在较短的时间内搜索到更广泛的解空间, 有可能找到比父代方案更优的调度方案。在实际应用中, 需要合理设置交叉概率 P_c , 以平衡算法的搜索能力和收敛速度。如果交叉概率设置

过高, 算法可能会过于随机, 导致难以收敛到最优解; 如果交叉概率设置过低, 算法的搜索能力会受到限制, 可能无法找到全局最优解^[10]。

(三) 变异算法的应用

变异算法是为了防止遗传算法等进化算法在搜索过程中陷入局部最优解而引入的一种操作。在港口业船舶优化调度中, 变异算法对已有的调度方案进行随机扰动, 以产生新的调度方案。例如, 在船舶的泊位分配方案中, 变异算法可以随机改变某艘船舶的泊位分配, 或者调整船舶的进出港顺序。变异算法的作用是在保持种群多样性的同时, 有可能使算法跳出局部最优解, 找到更优的全局最优解。变异概率是变异算法中的一个重要参数, 它决定了每个基因发生变异的可能性。如果变异概率设置过高, 算法会变得过于随机, 失去了进化算法的优势; 如果变异概率设置过低, 算法可能无法有效跳出局部最优解。在实际应用中, 需要根据具体的调度问题和算法性能, 通过实验或理论分析来确定合适的变异概率。通过选择算法、交叉算法和变异算法的协同应用, 能够在港口业船舶优化调度模型中实现高效的搜索和优化, 为港口提供更加科学、合理的船舶调度方案。

四、结语

通过对港口业船舶调度思路的深入分析, 构建了科学合理的船舶优化调度系统架构, 并应用先进的算法对船舶调度进行优化。实践证明, 优化后的船舶调度模型能够显著提高港口的作业效率, 降低船舶在港停留时间, 实现港口资源的优化配置。然而, 随着港口业务的不断发展和技术的不断进步, 港口业船舶调度仍面临着诸多挑战, 如应对日益复杂的船舶作业需求、适应智能化港口的发展趋势等。

参考文献

- [1] 钟振洋. 基于多目标遗传算法的港口船舶协同调度优化 [J]. 中国新技术新产品, 2024 (14): 87-89.
- [2] 许作恒. 复式航道条件下的港口船舶调度优化 [J]. 中国航海, 2023 (10): 48-50.
- [3] 王志强. 基于差分 NSGA-II 算法的港口船舶协同调度优化 [J]. 中国水运: 下半月, 2023 (12): 19-21.
- [4] 杜尊峰, 樊涛, 张庆巍. 基于不同动力集装箱船舶的支线运输综合调度优化 [J]. 中国航海, 2024 (1): 111-120.
- [5] 严静雨, 李俊, 张凯霞等. 集装箱多式联运枢纽港作业设备调度优化 [J]. 运筹与模糊学, 2023 (6): 7386-7396.
- [6] 李於彬. 基于模拟退火遗传算法的内河港口船舶进出港调度方法 [J]. 黑龙江交通科技, 2023 (6): 160-163.
- [7] 刘华琳, 王潇. 大宗散货码头智能化生产管控系统优化研究 [J]. 港口装卸, 2023 (1): 52-55.
- [8] 尤祺, 柳林燕, 汪惠芬. 均衡作业下的散货港口卸船设备协同调度研究 [J]. 机械设计与自动化, 2023 (1): 11-15.
- [9] 连月娇, 吕红霞. 考虑能耗的集装箱港口作业设备调度优化 [J]. 综合运输, 2023 (9): 70-74.
- [10] 白响恩, 李博翰, 徐笑锋. 基于 AIS 数据的航运物流港口调度优化研究 [J]. 包装工程, 2023 (5): 211-221.