

跨海轮渡运输的列车分解及舱内车组布局优化

林柏梁

(北京交通大学交通运输学院, 北京 100044)

摘要: 解决跨海轮渡运输中列车需要解体为符合渡轮股道参数的车组而产生的调车作业优化问题, 提出了一种轮渡运输中列车在铁路渡轮站待渡场的分解优化策略; 介绍了不同于普通车站的铁路渡轮站基本结构和作业模式, 以及列车分解为车组至船舱合理布局的具体调车作业流程; 构建了以最小化分解过程中的调车作业实际操作次数为目标的 0-1 整数规划模型, 确定列车中各个车辆分配至待渡场的具体股道的去向, 并考虑对应渡轮股道承重、换算长度、重量平衡等约束条件, 以提升渡轮水上航行的安全系数。该优化方法在压缩列车在站分解作业时间的同时, 确保了渡轮航行的安全性, 有助于提升跨海轮渡系统的整体运营效率。

关键词: 铁路运输; 列车分解; 0-1 规划; 跨海轮渡; 调车作业; 运输优化

中图分类号: U292

Optimization of train decomposition and train set layout in hold for cross-sea ferry transportation

LIN Boliang

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: To solve the optimization problem of shunting operation caused by the need to decompose trains into train sets that meet the parameters of ferry tracks in cross-sea ferry transportation, a train decomposition optimization strategy for ferry transportation at the waiting yard of railway ferry station was proposed. This strategy introduced the basic structure and operation modes of railway ferry stations, which differ from ordinary stations, and detailed the specific shunting operations and processes involved in decomposing trains into train sets for optimal layout within the ferry hold. A 0-1 integer programming model was developed with the objective of minimizing the actual number of shunting operations during the decomposition process. The model determined the allocation of each car in the train to specific ferry tracks, considering constraints such as the load-bearing capacity of the ferry tracks, the equivalent length of cars, and the weight balance of the ferry. These constraints were incorporated to improve the safety coefficient of ferry navigation. This optimization method reduces the station operation time of the train while ensuring the safety of ferry navigation and helps to improve the overall operational efficiency of the cross-sea ferry system.

Keywords: railway transportation; train decomposition; 0-1 programming; cross-sea ferry; shunting operation; transportation optimization

0 引言

跨海铁路轮渡运输是铁水联运方式中的一种独特运输形式, 广泛存在于世界各地, 广义上也包括跨江、跨河、跨湖泊的渡轮航线。在此过程中, 铁路线路在跨越水域障碍时, 将铁

作者简介: 林柏梁 (1961—), 男, 浙江龙游人, 北京交通大学教授、博导, 从事交通运输系统优化相关研究. E-mail: bllin@bjtu.edu.cn

路列车解体后送上带有股道的渡轮并航行至另一港口，在车辆下船组合后继续运行，实现列车的跨水运输。铁路轮渡能够使不便于建设桥梁或隧道的铁路网络实现接轨，其独特优势在于通过车船直接衔接，能够避免传统海铁联运中繁琐的装卸过程，简化了操作流程并提高了物流转运的速度。然而，尽管轮渡在操作简便性和转运速度上具有显著优势，但在实际运营过程中仍存在许多亟待优化的难题，制约了运输能效的充分发挥。特别是列车在渡轮站的分解作业过程，涉及到列车在站的调车组织和后续船舱车组布局，若效率不高将导致列车在渡轮站的滞留时间增加，进而影响到后续运输计划的执行。渡轮站码头是完成船舶与列车间装卸工作的主要场所和关键节点^[1]，因此优化列车在站分解作业环节，有助于压缩海铁衔接成本并增加线路吞吐能力，并进一步发挥跨海铁路轮渡在现代物流体系中的作用。

提升运营效率是发挥轮渡运输优势的关键。王俊峰^[2]分析了铁路轮渡的基本功能、集成目标和原则，提出了加强铁路轮渡系统综合能力的若干措施。Xie^[3]指出铁路轮渡运输的瓶颈在于水铁连接环节，并给出海陆一体化运输系统模型。跨海轮渡系统在不同地理特征下展现出多样化的运输需求，进而要求制定相应的运输组织方式，相关研究也可以借鉴海铁联运方面的成果^[4]。Kazymyrenko^[5]等的研究表明可以通过提高将车辆装载到渡轮上的组织工作水平来减少在港花费时间，但仅从定性角度开展论证而未使用定量分析方法。许多研究也分析了不同背景下铁路轮渡运输组织状况。于天峰^[6]、谢紫尧等^[7]分别以烟大和粤海轮渡为例，从调车作业和渡轮开行方案等方面，提出了运输组织优化方法。Lee^[8]等以仁川-烟台跨海铁路轮渡系统为例，引入列车滚装渡轮模式并提出降低门到门运输成本方法，Choi^[9]等则从托运人对中韩班列轮渡的选择意愿角度开展了研究，而 Lian 等^[10]则强调了中韩之间集装箱铁路轮渡相较于传统海铁联运在时间和成本上具备的优势，并建立最大化联运系统运输利润的双层规划模型。对于跨海轮渡运营经济性，Egorov 等^[11]考虑到波罗的海地区的冰情和生态要求，提出一种液化天然气铁路渡轮并开展技术经济分析。Kholin^[12]在考虑轮渡服务特点的基础上，从距离、旅行时间和货物运输量三个方面分别对现有的铁路轮渡服务和计划建设的铁路项目进行经济性分析。杨东^[13]、荣会声和刘慧征^[14]分别以烟大铁路轮渡为例，基于当前市场环境对其经济效益开展研究。

关于铁路渡轮载荷和船舱布局平衡性等运输安全的问题是另一个研究重点，如李可佳等^[15]以粤海铁路轮渡货物运输情况为基础，构建铁路轮渡货物运输稳定性模型，测试在临界封港海况下航行，轮渡的技术参数及铁路货车所装载的货物参数；Lovska 等^[16]针对集装箱列车在铁路轮渡运输时的稳定性问题，在不同渡轮加速度和不同波浪与航向的角度情况下进行分析。Fomin 等^[17]提出一种铁路轮渡运输下客车车体承载结构动态载荷建模方式，随后对罐车承载结构也开展了类似的研究^[18]，以保障水上运输过程中的列车车体强度。为保障船舶横向平衡，陆松等^[19]考虑了恶劣海况对铁路轮渡海上运输的安全性影响，并通过仿真实验进行研究。包括横倾角在内的船舶稳性条件，也是在船舶配载决策问题较常考虑的因素，在文献^[20]中做了较详细的概述，不过大多在集装箱船舶装箱排序等问题中出现^[21-23]，而对于滚装船舶特别是铁路滚装船的车组布局配载研究则鲜有见到。

跨海铁路轮渡运输的重点在于车船的有效衔接,在铁路列车上下船的作业过程中涉及到摘挂列车的调车作业。渡轮站调车作业与普通车站的调车作业计划有部分相似,均涉及列车分解和股道分配决策过程,但往往以平面调车为主。既有研究中,Boysen 等^[24]对调车场和调车作业问题开展了系统性的分类,并指出调车作业的通用方法为将进站列车分为尽可能少的车组,并开发了精确和启发式方法进行相关问题求解^[25]。Adlbrecht 等^[26]基于采用调车机车而不是反复溜放的方法进行编组,以调车机车总走行距离最小为优化目标构建混合整数规划模型,由此找到调车机车完成编组作业的最优路线。张博健等^[27]在考虑调车钩数最优的前提下,提出以减少调移车辆数为目标的摘挂列车调车作业计划编制方法,并设计基于消逆规则的启发式算法进行求解。施俊庆等^[28]基于强化学习技术和 Q 学习算法,以最小化调车程为目标提出一种调车作业计划优化方法,以提高车站调车作业计划编制的智能化决策水平。Dick^[29]研究了货物列车时刻表和船期灵活性的匹配关系对调车场的效率和容量的影响。Bruck 等^[30]通过构建整数线性规划模型设计了一种集装箱多式联运码头铁路车站中的调车作业优化方法,该方法综合了列车分解和组成、股道选择以及负载规划,即,根据码头堆放的集装箱的位置和种类分配车组,与渡轮股道分配车组具有类似的思想。

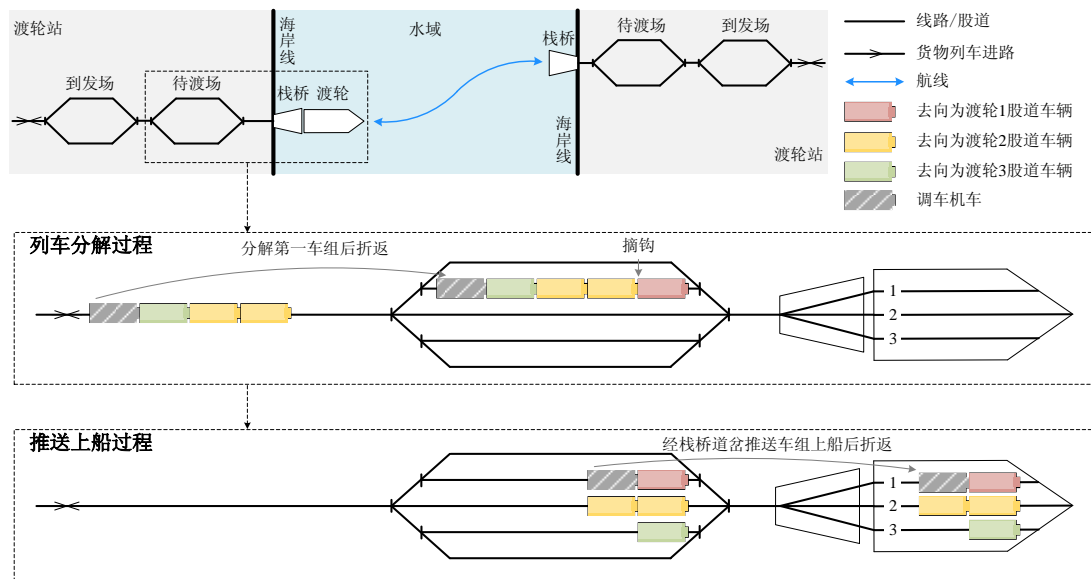
关于跨海铁路轮渡的既有研究,广泛涵盖运营现状、安全性分析与经济性评估等问题,但大多从宏观角度分析,对列车在渡轮站上下船过程产生的分解需求的类似问题在查新之后未发现。大量关于运输安全的研究则集中在渡轮船体或列车车身的承载结构方面,而对于如何在渡轮长度和载重受限条件下完成车组在船舱中的合理布局以确保渡轮平衡稳定也较少涉及。考虑到列车车辆的换长和载重各不相同,在调车场完成以上车辆分配问题是目前列车轮渡的主要优化难点。

故本研究通过数学建模方法,针对跨海轮渡中列车的分解操作及渡轮内车组布局进行系统优化,探讨影响其效率的各种因素和实际约束。下文内容中,第 1 节介绍了跨海轮渡列车分解至上船的具体流程和调车作业问题的产生场景;第 2 节构建了一种基于 0-1 规划的列车分解和舱内车组布局优化模型,该模型旨在最小化调车作业次数,并且考虑渡船参数等约束条件;第 3 节为结论部分。

1 跨海铁路轮渡调车问题描述

跨海轮渡调车作业涉及到两岸渡轮站,不同于普通铁路货运车站,每个渡轮站除到发场以外,还配备了待渡场。如图 1 所示,铁路滚装渡轮内部包含若干股道以供存放车组,由于渡轮的承重能力和空间限制,需要列车在上船前完成分解,依据渡轮股道的数量形成适配渡轮长度和载重的多个车组后,进入待渡场股道停放。通常,把一节车辆分解到待渡场指定股道,需要进行平面调车作业。由于列车分解作业量一般不大,轮渡站很少配置驼峰,一般采用推送调车法。推送调车法解体车列时的调车程共有两个,即空调车程与牵出调车程(组成一个挂车钩)、推送调车程与折返调车程(组成一个摘车钩),更为安全但也存在效率不高的劣势。故在港作业时间中,占比较大的即为这部分调车作业时间。在渡轮与栈桥完成接轨

后,各车组将通过栈桥上的道岔,再经由调车机车推送上渡轮的指定股道。车组被推送上渡轮后由车钩拉牵加固和千斤顶支撑后,渡轮开始跨水运输并将车辆运送至对岸港站。到达对岸渡轮站后,车组从渡轮上卸下并根据需要重新组合成完整的列车。



115

图 1 跨海铁路轮渡及调车和上船作业流程

Fig.1 Flowchart of cross-sea railway ferry shunting and onboarding operations

若渡轮站接入的列车,其中每车的重量与程度相等(例如,整列煤炭列车等),即可直接按顺序分解成组而无需进行调整。但是,如果是一列杂货列车,不同车辆的重量和长度各不相同,在轮渡承载能力限制下,有时候需要多次调车进行车辆的排列组合,以将船舱中每个车组的重量和长度限制在渡轮参数规定的范围内。即,从航行安全的角度考虑,需要考虑各个车组间的重量差值,以满足左右侧股道的配重平衡的要求。因此,如何在右侧股道

的质量与换长约束下,尽可能地减少调车作业次数,就成为一个复杂的组合优化问题。这也是压缩车流在港作业时间的重要手段之一。图 1 给出了一个有 N^{Car} 节车辆的货物列车在上船前的优化分解作业流程。若按照渡轮的股道的数量将列车分解为 3 个车组,那么最少需要提车 2 次,而最多则需作业 $N^{\text{Car}} - 1$ 次。以图 1 中给出的前 4 节车辆的分解方式为例,若对每节车辆都进行一次提车作业,则需要作业 3 次。但是,若优化后的分解策略选择将 2 车和 3 车推送至同一条股道(如黄色框所示),则可以减少调车钩次数,只需要在第 1 车和第 3 车之后进行 2 次提车作业,进而产生时间上的节省。

120

125

2 基于 0-1 规划的跨海铁路轮渡调车作业优化模型

130

根据上一节的问题分析,不难发现,跨海轮渡运输的列车分解策略的主要困难是在渡轮股道长度限制的情况,需要平衡左右侧股道车组的重量,以使得渡轮在水上航行不会因偏载而降低抗风浪的安全系数。

令一列列车的编成辆数为 N^{Ca} , 记该列车中的所有车辆集合为 S^{Ca} , 有

$S^{\text{Car}} = \{1, 2, \dots, N^{\text{Car}}\}$ (这里规定远离推送调车机车的车位为 1 号车)。记渡轮上的股道集合为 S^{Track} , 显然, 若渡轮仅有 1 条股道, 则无需任何调车作业, 则在列车直接推进船舱即可。不过通常的铁路轮渡船只, 均有多条停车股道。因此, 不失一般性, 本文模型设定的渡轮股道数量至少为两条, 即 $N^{\text{Track}} \geq 2$ 的情景。

2.1 目标函数

若需要将列车中相邻的两节车辆分解到渡轮的不同股道上时, 则需要进行一次调车作业。采用推送调车法的调车作业每进行一次分解需用两个调车程, 且主要为加速-定速-制动型的调车程, 消耗的调车时间较长。因此, 优化列车分解策略最主要的是确定哪些车分解到哪些待渡场股道中, 以最小化调车钩次数。引入 0-1 决策变量 x_{ij} , 其含义为若列车中的第 i 节车辆被分解到轮渡船上的 j 号股道则取 1, 否则取 0。这样, 跨海轮渡运输的列车分解最优化目标函数可表述为:

$$\min Z = N^{\text{Car}} - 1 - \sum_{i \in S^{\text{Car}} \setminus \{N^{\text{Car}}\}} \sum_{j \in S^{\text{Track}}} x_{ij} x_{i+1, j} \quad (1)$$

式中的求和项为所有可能的不分解车辆组合。也就是说, 如果相邻两辆车分配到同一条渡轮股道, 则可以节省一次分解调车作业。若不存在这样的组合, 也就是说, 若所有相邻车辆都没有分配到同一股道上, 则求和项为 0, 则车列需要分解 $N^{\text{Car}} - 1$ 次。故公式 (1) 的实际意义为列车在渡轮站分解时需要的调车次数。考虑到 N^{Car} 为常数, 常数项 $N^{\text{Car}} - 1$ 可以忽略, 并不影响决策变量的优化。该项使得模型的应用更加注重于实际操作的改进, 而非单纯的数值计算。这样, 目标函数也可以直接简化为:

$$\max Z = \sum_{i \in S^{\text{Car}} \setminus \{N^{\text{Car}}\}} \sum_{j \in S^{\text{Track}}} x_{ij} x_{i+1, j} \quad (2)$$

2.2 约束条件

(1) 股道承重约束

股道承重约束确保分配到每条股道的车组总重量不超过该股道的最大承载能力, 数学表达式为:

$$\sum_{i \in S^{\text{Car}}} w_i x_{ij} - W_j \leq 0, \quad \forall j \in S^{\text{Track}} \quad (3)$$

式中: w_i 为列车中第 i 节车辆的重量 (自重加载重); W_j 为渡轮 j 号股道能停放的车组最大重量。

(2) 股道换长约束

股道长度约束是确保分配到每条股道的车组总换长不超过该股道的设计换长, 表达为:

$$\sum_{i \in S^{\text{Car}}} l_i x_{ij} - L_j \leq 0, \quad \forall j \in S^{\text{Track}} \quad (4)$$

式中: l_i 为列车中第 i 节车辆的换算长度; L_j 为渡轮 j 号股道能停放的车组最大换算长度。

(3) 渡轮重量平衡约束

引入重量平衡约束, 以确保渡轮左右两侧股道的重量分配尽可能均衡, 不应超过预设的阈值, 以减少由于车组布局不合理而可能引发的结构应力或操作不便等安全问题。约束表达为:

$$\left| \sum_{i \in S^{Car}} \sum_{j \in S_L} w_i x_{ij} - \sum_{i \in S^{Car}} \sum_{j \in S_R} w_i x_{ij} \right| \leq \Delta_{LR} \quad (5)$$

式中： Δ_{LR} 为渡轮左右侧股道配重允许的误差； S_L 为进入列车舱方向的渡轮中心线左侧所有股道集合； S_R 为渡轮中心线右侧所有股道集合。

若渡轮股道数为奇数，将中间股道记作 $j=0$ ，此时有 $S^{Track} = S_L \cup S_R \cup \{0\}$ ；若为偶数，则有 $S^{Track} = S_L \cup S_R$ 。为统一编号，由远离中心线的方向，依次记左侧股道为 $j=1,3,L$ 号，右侧为 $j=2,4,L$ 号，由此有：

$$S_L = \{j \mid j = 2k+1, k \in \mathbf{N}, 0 \leq k < \lfloor N^{Track} / 2 \rfloor\} \quad (6)$$

$$S_R = \{j \mid j = 2k, k \in \mathbf{N}, 0 \leq k \leq N^{Track} / 2\} \quad (7)$$

(4) 互斥分配约束

确保每节车辆必须选择并且只能选择分配至一条股道，表达为：

$$\sum_{j \in S^{Track}} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in S^{Car} \quad (8)$$

(5) 二元决策变量约束

最后是决策变量的逻辑约束，即：

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in S^{Car}, j \in S^{Track} \quad (9)$$

2.3 线性化过程

尽管目标函数中涉及到变量的乘积，但由于这些变量的取值为 0 或 1，因此目标函数属于二次的。由于公式 (5) 的绝对值运算使得模型呈现非线性，为适配求解过程，可以将其线性化为以下两个线性不等式：

$$\sum_{i \in V^{Car}} \sum_{j \in S_L} w_i x_{ij} - \sum_{i \in V^{Car}} \sum_{j \in S_R} w_i x_{ij} \leq \Delta_{LR} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in S^{Car}} \sum_{j \in S_R} w_i x_{ij} - \sum_{i \in S^{Car}} \sum_{j \in S_L} w_i x_{ij} \leq \Delta_{LR} \quad (11)$$

这样，部分线性化后的跨海轮渡运输的列车分解（Cross-sea Ferry TranspirationTrain Decomposition, CFTTD）问题可完整地表述为以公式 (2) 为目标函数，满足约束条件 (3)、(4)、(6)、(7)、(8)、(9)、(10)、(11) 的二次 0-1 规划模型的优化求解问题。

3 结论

本文以跨海铁路轮渡运输中列车分解操作的优化问题为研究对象，对列车在渡轮站的分解流程及其优化难点进行了系统分析。通过构建 0-1 整数规划模型，结合渡轮设备的承载重量、股道长度等约束条件，以最小化调车次数为目标提出了一种优化列车分解策略的方法，并线性化模型以适配商业求解器实现计算。针对渡船舱内车组布局的要求，考虑渡轮左右侧股道配重平衡这一约束，保证其配重误差在合理区间范围内，以降低了潜在的安全风险。为

适配实际运营中存在不同数量股道的渡船, 本文在模型中同时考虑渡船股道分为奇数和偶数的情况并将其纳入同一体系。所建模型的使用可以为铁路跨海轮渡运输产生的渡轮站调车作业组织提供理论支持以及方法指导, 对提升铁路运输系统的运营效率和效益具有一定的理论和实际意义。后续可以结合列车下船后的编组作业, 探讨渡轮站更加全面的调车优化策略。同时, 下一步考虑将调车次数扩展为调车作业时间因素纳入优化模型, 以进一步贴合实际工作要求。

[参考文献] (References)

- 205 [1] 常伟妹, 朱晓宁. 不确定因素下的集装箱码头车船间装卸作业集成调度[J]. 交通运输工程学报, 2017, 17 (06): 115-124.
- [2] 王俊峰. 烟大铁路轮渡系统集成技术研究[D]. 北京交通大学, 2010.
- [3] XIE X. An integrated sea-land transportation system model and its theory[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2009,17(4):394-411.
- 210 [4] 连峰, 杜怡颖, 杨忠振. 基于铁路货运能力的集港集装箱班列组织优化[J]. 交通运输工程学报, 2022, 22 (02): 277-286.
- [5] KAZYMYRENKO Y, DROZD O, YEHOLONIKOV O, et al. System and analytical research of the development of transport and technological systems of railway ferries[J]. Technology audit and production reserves. 2020,2(2):52.
- 215 [6] 于天峰. 烟大铁路轮渡运输组织方案优化探讨[J]. 铁道货运, 2013, 31 (06): 23-26+63.
- [7] 谢紫尧, 谢文颖. 粤海铁路轮渡运输能力优化探讨[J]. 铁道货运, 2020, 38 (11): 32-37.
- [8] LEE J W, LEE S H, KANG Y J. Development of Korea-China train ferry system an example of short sea shipping in northeast Asia[J]. Journal of Ship and Ocean Technology. 2006,10(3):36-48.
- 220 [9] CHOI K S, XIA T S, LEE P T. Structural relationships among shipper's perception, value, and choice intention of Korea-China train ferry service[J]. Maritime Policy & Management. 2020,47(6):703-17.
- [10] LIAN F, CHEN R, YANG Z. Optimisation of trip end service for international container sea-rail intermodal transportation-a case of China-Korea container railway ferry[J]. International Journal of Logistics Research and Applications. 2024,11:1-26.
- 225 [11] EGOROV G, NILVA A, CHERNIKOV D. The First LNG Fuel Train ferry for St. Petersburg-Kaliningrad line[C]// OKADA T, SUZUKI K, KAWAMURA Y. Practical Design of Ships and Other Floating Structures. Singapore: Springer Singapore, 2019. 106-119.
- [12] KHOLIN A S. A railway connection to Sakhalin Island: the expediency and prospects of project implementation[J]. Geography and Natural Resources. 2021,42:180-4.
- 230 [13] 杨东. 烟大轮渡经营管理优化探讨[J]. 铁道货运, 2022, 40 (09): 29-33.
- [14] 荣会声, 刘慧征. 系统集成技术在烟大铁路轮渡项目中的应用[J]. 铁道经济研究, 2013 (06): 116-121.
- [15] 李可佳, 陆松, 殷涛, 等. 粤海铁路轮渡货物运输稳定性试验研究[J]. 铁道货运, 2020, 38 (12): 60-65.
- 235 [16] LOVSKA A, FOMIN O, PÍŠTĚK V, et al. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry[J]. Applied Sciences. 2020,10(16):5710.
- [17] FOMIN O, LOVSKA A. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry[J]. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2020,23(6):1455-65.
- [18] FOMIN O, VATULIA G, LOVSKA A, et al. Determination of the loading of the carrying structure of a tank wagon during transportation by a railway ferry[J]. TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2021,15.
- 240 [19] 陆松, 吴昊, 马玉坤. 恶劣海况下火车轮渡运输技术及运动响应试验和仿真研究[J]. 铁道运输与经济, 2023, 45 (02): 126-132.
- [20] 常伟妹. 集装箱港口船舶配载计划研究综述[J]. 交通运输工程学报, 2023, 23 (05): 85-103.
- [21] MONACO M F, SAMMARRA M, SORRENTINO G. The terminal-oriented ship stowage planning problem[J]. European Journal of Operational Research,2014,239(1):256-265
- 245 [22] 田维, 张煜, 程惠敏. 集装箱船舶装箱排序问题优化模型及算法[J]. 中国航海, 2016, 39 (04): 118-122+128.
- [23] 李俊, 赵雅洁, 肖笛, 等. 考虑岸桥作业的集装箱船配载多目标优化[J]. 上海海事大学学报, 2024, 45 (02): 35-45.
- 250 [24] BOYSEN N, FLIEDNER M, JAEHN F, et al. Shunting yard operations: Theoretical aspects and applications[J]. European Journal of Operational Research. 2012,220(1):1-4.
- [25] BOYSEN N, EMDE S, FLIEDNER M. The basic train makeup problem in shunting yards[J]. OR spectrum. 2016,38:207-33.
- [26] ADLBRECHT J A, HÜTTLER B, ZAZGORNİK J, et al. The train marshalling by a single shunting engine problem[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2015,58:56-72.

- 255 [27] 张博健, 彭其渊, 李力, 等. 面向调移车辆数优化的摘挂列车调车作业计划编制方法[J]. 铁道学报, 2020, 42 (03): 11-20.
- [28] 施俊庆, 陈林武, 林柏梁, 等. 基于 Q 学习算法的摘挂列车调车作业计划优化[J]. 中国铁道科学, 2022, 43 (01): 163-170.
- 260 [29] DICK C T. Influence of mainline schedule flexibility and volume variability on railway classification yard performance[J]. Journal of Rail Transport Planning & Management. 2021,20:100269.
- [30] BRUCK B P, CORDEAU J F, FREJINGER E. Integrated inbound train split and load planning in an intermodal railway terminal[J]. Transportation Research Part B: Methodological. 2021,145:270-89.