

集装箱海铁联运班列组织文献综述

蔡林君 唐磊 苏欣 朱星玮

大连交通大学 交通工程学院, 辽宁大连, 116028;

摘要: 本文围绕海铁联运班列组织问题展开研究, 系统梳理了该领域的研究文献, 对基于运输需求分析的班列组织、班列组织与港口作业衔接优化、应对不确定情况与集装箱流波动的班列组织等方面的研究成果进行归纳。研究表明, 现有研究通过数学规划与优化算法提升了海铁联运班列组织的科学决策水平, 但在模型的动态适应性、区域协同调度、智能化技术应用等方面有待进一步深化研究, 本文为后续组织优化的研究提供参考方向。

关键词: 海铁联运; 班列组织; 文献综述

DOI: 10.69979/3029-2700.25.09.083

引言

随着全球贸易的持续增长以及对环境保护需求的日益增强, 多式联运在全球运输体系中的战略地位愈加凸显。海铁联运凭借整合海运和铁路运输资源的优势, 具有低成本和低碳排放的双重特征, 能大幅提升物流效率, 为区域经济发展筑牢物流根基, 推动区域间产业合作与资源优化配置。近年来, 随着海铁联运运量规模的不断扩大, 如何进一步优化海铁联运运营组织, 提升海铁联运系统运行效率与可靠性, 已成为学术界和产业界广泛关注的研究热点。本文系统搜集与分析近 10 年集装箱海铁联运组织优化领域的研究文献, 深入剖析现有研究解决问题的特征, 模型构建的特点等, 并提出未来研究方向。

1 研究现状梳理

基于集装箱海铁联运班列组织研究内容及建立模型呈现出的特征, 本文的文献综述将从基于运输需求分析的班列组织、班列组织与港口作业衔接优化、应对不确定情况与集装箱流波动的班列组织等方面展开。

1.1 基于运输需求分析的班列组织

集装箱海铁联运班列组织的核心在于通过对运输需求分析实现资源优化配置与服务供给。集装箱海铁联运班列组织的运输需求分析可分为宏观区域经济产业结构及国内外贸易派生的需求, 到港船舶载运集装箱的集疏运需求和特定企业原材料或产品运输需求等不同维度。集装箱海铁联运班列组织决策须根据不同维度运输需求的货源分布、货物流量流向和时间约束特征, 权衡成本、收入、运力和时效等复杂因素进行科学优化。

刁瑾洁^[1]通过构建马尔可夫链模型, 引入滚动计划策略以动态匹配运输需求与班列发运计划, 为节点资源

配置提供理论依据。李健翔^[2]基于运输需求预测, 提出班列编组与调度方法, 通过协调装车顺序、车底利用与发运时序, 提升集疏运环节的协同性与运作效率。王笛等^[3]考虑运输需求时变特性与集装箱集结规律, 对固定车底多点循环开行模式下的集装箱集疏运班列进行优化研究, 提高海铁联运集疏运衔接能力。张丰婷^[4]通过考虑多客户时间窗约束构建最小化运输成本和时间的多目标优化模型, 优化运输路径。邓夕贵等^[5]针对海铁联运节点在集装箱高峰期密集到达需求, 构建双层规划模型, 上层模型缩短集装箱滞港时间, 下层模型则降低班列开行成本, 综合提升运输效益。唐亚龙^[6]针对多线路、多节点货源分布的特征, 构建班列开行方案优化模型, 协同优化班列开行频次、运输路径与箱源配置。申经纬^[7]结合港口群区域内多源、多向、多时段集装箱运输需求分析, 采用布谷鸟算法对港口群海铁联运网络优化求解, 有效提高运输网络的运行效率。王梦楠^[8]综合集装箱运输在港口间路径选择多样、货量分布不均的需求特征, 运用蚁群算法对班列服务网络进行优化, 实现运输资源的优化配置。赵阳子等^[9]构建动态运输服务网络模型, 考虑主机厂生产计划与运输环节的协同性, 优化港口与内陆站间的直达运输。

1.2 班列组织与港口作业衔接优化

港口是海铁联运网络中水路运输与铁路运输结合的枢纽, 是实现海铁联运效率提升的关键节点。受既有设施布局、运营协同机制等多方面因素的影响, 港口作业与班列组织的衔接在实际运营过程中仍面临诸多挑战。

孙燕^[10]通过优化班列的开行时间与船舶抵港时间的匹配, 降低集装箱在港站的滞留时间和堆存成本, 提高港口的转运效率。赵宏远^[11]提出泊位-岸桥-班列作业

联合优化模型,考虑泊位岸桥分配与集装箱班列在港装卸作业及设备调度规划,有效缩短船舶和班列在港时间,提高海铁联运的衔接效率。杜兴刚^[12]和李昂^[13]均研究了衔接可靠性在班列开行中的影响,虽然都是降低运输成本的前提下提高衔接可靠性,但前者将衔接可靠性细化为时序、运量与过程等指标构建多目标优化模型,提升方案在实际运行中的可行性。后者从鲁棒性视角出发,构建考虑船期波动影响的多目标优化模型,设计班列的开行方案。李庆庆^[14]通过构建港口-港站衔接优化模型以及多港区联动优化模型,优化港口与港站之间的衔接作业,降低综合运输成本。李红雨等^[15]基于卷积理论构建海铁联运班列开行优化模型,通过递推集结周期内的剩余集装箱数量,确定衔接过程中的可靠性指标,提高运输服务质量。程家兴^[16]分析进口集装箱在港衔接过程,通过仿真分析可靠性因素的影响程度,建立数学模型优化开行方案,提高海铁联运系统的在港衔接可靠性。张雯^[17]应用网络图分析方法,构建多目标规划模型,对港口枢纽站的作业协调、衔接优化及集装箱编组方案进行优化。Grishin 等^[18]考虑货物类型和泊位能力限制,对泊位分配和列车编组进行研究,提出了二进制和整数模型,重点解决海港-铁路转运点船舶卸货与列车编组的协同决策问题。Ding^[19]提出铁路集装箱堆场的共享策略来缓解港口码头拥堵,通过优化集装箱在港口与铁路堆场之间的存储与转移策略,实现集装箱在港口与铁路货运堆场的动态分配优化。

1.3 应对不确定情形的班列组织

海铁联运过程中可能存在船舶到达时间、港口恶劣天气、箱流波动等不确定情形。这些不确定因素会对班列组织效率和经济效益产生深刻影响。通过研究应对不确定性因素的班列组织方案,可以提高资源利用率、降低成本,并增强运输系统在面对突发事件时的韧性。

Lei 等^[20]运用隐马尔可夫模型,对集装箱流量波动进行精准预测,构建多目标混合整数规划模型,动态调整海铁联运班列开行计划,有效降低货物滞港时间和提升运输效率。闫建文^[21]针对集装箱流波动下的海铁联运班列开行问题,运用不确定性优化理论,在模型构建中引入鲁棒优化理论分析不确定需求对海铁联运系统的影响。李祺^[22]从不确定扰动视角出发,针对可恢复和不可恢复扰动两种场景,开展集装箱班列组织优化研究。刘晓威^[23]针对船舶到港的时间波动问题,建立机会约束规划模型,深入分析船舶到港时间对疏运组织的影响。

2 研究的局限及未来研究方向

尽管现有研究为海铁联运的优化提供了重要的理论支持和实践方法,但仍存在一些亟待解决的问题。本文认为海铁联运集装箱班列组织优化的未来研究方向有:

1. 基于实时运输数据的班列组织动态调整优化模型。现有研究主要为静态优化模型,针对划定的规划期内的特定运输需求进行运输组织优化。对需求波动及船舶到港时间等不确定性因素的解决方法主要是构建鲁棒模型或是采用机会约束的路径。实际上,海铁联运过程是动态变化的。未来研究可结合 RFID、GPS、TDCS 等物联网技术,实时获取船舶位置、货物运输状态、铁路运力变化等信息,通过大数据分析预测海铁联运集装箱运输需求的动态时空分布,以及对船舶到港时间进行精准预测,构建动态自适应优化模型,实现班列开行方案的实时优化调整。这有助于应对运输过程中的突发情况,进一步提高运输效率和服务质量。

2. 区域协同组织与优化。当前研究的港口与班列组织衔接作业主要集中在单一港口或港站的协同作业,对区域内多港区、多场站之间的协同组织机制与方法缺乏深入研究,难以满足区域一体化发展对海铁联运高效协同的要求。后续研究可从区域多港口、多场站系统规划的角度,开展协同组织优化,通过区域网络内资源综合调配,推动海铁联运向系统化、一体化、协同化方向发展。

3. 应用大数据分析与人工智能算法解决动态优化、区域协同组织等模拟多现实因素、复杂度高的大规模网络优化问题。大数据分析可实时融合港口作业、集装箱状态、车站到发信息等多源数据,构建动态的运输网络时空状态画像。基于大数据分析预测对海铁联运网络中的集装箱流量、流向变化、线路拥堵和载运能力进行趋势识别,是班列动态优化与区域协同组织中的重要数据基础。深度学习算法是实现动态优化、区域协同组织的高效路径。运输网络动态性与区域网络联动性会使集装箱海铁联运班列组织优化模型的变量与约束条件数量、结构复杂性急剧增加,需要应用人工智能算法通过强化学习训练在动态环境和复杂网络下的最优策略学习机制,实现组织方案的自适应动态优化与区域间多主体运输任务分配、协同调度方案优化。

3 结论

海铁联运在提高运输效率、降低物流成本和优化资源配置方面具有显著优势。本文围绕基于运输需求分析的班列组织、班列组织与港口作业衔接优化、应对不确定情况与集装箱流波动的班列组织等方向对文献进行

归纳整理。经分析,现有研究多基于静态数据进行特定港口或港站的班列组织问题,缺乏数据驱动的班列动态优化与区域协同调度研究。因此本文提出了基于实时运输数据的班列组织动态调整优化模型和区域协同组织优化等研究方向。在研究算法的角度,应开展机器学习和强化学习等人工智能算法的应用,为解决具有动态性和复杂性的时空网络特征问题提供科学、高效依据。

参考文献

- [1] 刁璀璨. 中欧班列海铁联运节点集装箱堆存容量与集结模式研究[D]. 大连海事大学, 2021. DOI: 10. 26989/d. cnki. gdlhu. 2021. 001674.
- [2] 李健翔. 基于海铁联运的铁路港站集装箱集疏运组织方法[D]. 北京交通大学, 2019.
- [3] 王笛. 循环模式下的海铁联运班列集疏运组织优化研究[D]. 北京交通大学, 2022. DOI: 10. 26944/d. cnki. gbfju. 2022. 002658.
- [4] 张丰婷. 基于海铁联运的集装箱班列服务路径优化研究[D]. 兰州交通大学, 2022. DOI: 10. 27205/d. cnki. gltec. 2022. 001307.
- [5] 邓夕贵, 朱逸凡等. 基于双层规划的海铁联运班列编组数量研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(06): 80-86. DOI: 10. 16668/j. cnki. issn. 1003-1421. 2021. 06. 13.
- [6] 唐亚龙. 集装箱海铁联运班列开行方案研究[D]. 北京交通大学, 2013.
- [7] 申经伟. 基于改进布谷鸟算法的港口群海铁联运网络优化[D]. 大连海事大学, 2020. DOI: 10. 26989/d. cnki. gdlhu. 2020. 001413.
- [8] 王梦楠. 基于蚁群算法的集装箱港口海铁联运班列服务网络优化[D]. 大连海事大学, 2018.
- [9] 赵阳子, 李海鹰等. 基于生产计划协同的商品车海铁联运班列开行方案优化研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2024, 21(07): 2615-2625.
- [10] 孙燕. 集装箱海铁联运港站泊位分配与班列组织计划编制优化研究[D]. 西南交通大学, 2022. DOI: 10. 27414/d. cnki. gxnju. 2022. 002305.
- [11] 赵宏远. 基于“海铁联运”模式的集装箱港口泊位岸桥分配和集装箱班列作业规划联合优化研究[D]. 东北财经大学, 2020. DOI: 10. 27006/d. cnki. gdbcu. 2020. 000428.
- [12] 杜兴刚. 考虑衔接可靠性的海铁联运集装箱班列开行方案研究[D]. 大连海事大学, 2022. DOI: 10. 26989/d. cnki. gdlhu. 2022. 001623.
- [13] 李昂. 考虑衔接可靠性的海铁联运集装箱班列开行方案研究[D]. 西南交通大学, 2020. DOI: 10. 27414/d. cnki. gxnju. 2020. 000516.
- [14] 李庆庆. 集装箱海铁联运港口-港站衔接优化研究[D]. 北京交通大学, 2021. DOI: 10. 26944/d. cnki. gbfj. u. 2021. 001843.
- [15] 李红雨, 袁韵美等. 卷积理论在海铁联运衔接可靠性中的应用[J]. 上海铁道科技, 2018, (04): 120-121.
- [16] 程家兴. 基于动态集装箱班列开行方案的海铁联运衔接可靠性研究[D]. 北京交通大学, 2016.
- [17] 张雯. 集装箱海铁联运港口枢纽站运输组织优化研究[D]. 西南交通大学, 2014.
- [18] Grishin E, Pravdivets N, et al. Comparison of mathematical programming models for optimization of transshipment point seaport-railway*[J]. IFAC-PapersOnLine, 2022.
- [19] Qianying D. Robust optimization strategy of airport gate allocation for large busy airport[C] 8th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT 2023). Hangzhou, China. 2023: 197.
- [20] Zhiyi L, Zhikuan M, et al. Research on the Plan of Container Train Operation in Sea-Rail Intermodal Transportation Under the Uncertain Demand[M]. Singapore: Springer Singapore. 2022: 549-561.
- [21] 闫建文. 集装箱流波动下海铁联运班列开行问题研究[D]. 北京交通大学, 2018.
- [22] 李祺. 不确定扰动条件下集装箱海铁联运列车组织问题研究[D]. 北京交通大学, 2021. DOI: 10. 26944/d. cnki. gbfju. 2021. 001849.
- [23] 刘晓威. 考虑船舶到港时间约束的集装箱海铁联运疏运班列组织研究[D]. 北京交通大学, 2022. DOI: 10. 26944/d. cnki. gbfju. 2022. 002370.

基金项目: 辽宁省社会科学规划基金项目“数据驱动的海铁联运网络协同组织与优化”(L21AJY002)

作者简介: 蔡林君(2003-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生在读, 研究方向: 交通运输规划与管理。

通讯作者: 朱星玮(2001-), 男, 浙江青田人, 硕士研究生在读, 研究方向: 交通运输规划与管理。