

多式联运联接共性关键技术体系构建研究

张玉召^{1,2*}, 李海军^{1,2}, 张文豪³, 杨建铃¹

(1. 兰州交通大学交通运输学院, 兰州 730070; 2. 高原铁路运输智慧管控铁路行业重点实验室, 兰州 730070;
3. 西南交通大学交通运输与物流学院, 成都 611756)

摘要: 公路、铁路、水路等货物运输方式的高效衔接是多式联运发展的核心, 多式联运联接共性关键技术是实现不同货物运输方式衔接的基础, 构建多式联运联接共性关键技术体系有助于推动多式联运高质量发展。本文在分析国内外多式联运发展现状的基础上, 剖析了我国多式联运发展的瓶颈问题及技术突破点, 提出了多式联运联接共性关键技术体系构建思路, 搭建了涵盖基础网络、载运工具、数据信息、运输组织、标准规范、枢纽布局等六大模块的技术体系。结合我国实际, 提出了我国多式联运技术的发展建议: 做好顶层设计, 为多式联运联接技术发展提供引领; 加快数字化建设进程, 为多式联运联接打牢技术底座; 推进标准体系建设, 为多式联运联接技术发展破除尺度壁垒; 制定联运设施衔接的支持政策, 为多式联运联接技术发展提供资金保障; 加强协调机制建设, 为多式联运联接打通管理屏障。

关键词: 多式联运联接; 基础网络; 数据信息; 标准规范; 枢纽布局

中图分类号: U15 **文献标识码:** A

Construction of Common Key Technology System of Multimodal Transport Connection

Zhang Yuzhao^{1,2*}, Li Haijun^{1,2}, Zhang Wenhao³, Yang Jianling¹

(1. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Key Laboratory of Railway Industry on Plateau Railway Transportation Intelligent Management and Control, Lanzhou 730070, China;
3. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: Efficiently connecting various freight transport modes, such as highway, railway, and waterway, is crucial for the development of multimodal transport. The foundation for achieving the connection of various transport modes lies in the common key technologies for multimodal transport connection. Therefore, establishing a comprehensive system of common key technologies for multimodal transport connection can facilitate the high-quality development of multimodal transport. This study analyzes the current status of multimodal transport both in China and abroad, identifies the bottlenecks and technical breakthroughs of multimodal transport development in China, and proposes a system framework for common key technologies regarding multimodal transport connection. The framework consists of six major modules: basic network, transportation tools, data information, transportation organization, standards and specifications, and hub layout. Furthermore, development suggestions are proposed from five aspects. First, the top-level design should be improved to provide guidance for the development of multimodal transport. Second, the digitalization of multimodal transport should be accelerated to lay a solid technical foundation. Third, the construction of the standards system for multimodal transport should be promoted to break

收稿日期: 2023-08-07; **修回日期:** 2023-10-20

通讯作者: *张玉召, 兰州交通大学交通运输学院教授, 研究方向为客货运技术及管理、多式联运; E-mail: yuzhaozhang@126.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“丝绸之路经济带甘肃段公铁航多式联运联接发展战略研究”(GS2021ZDA05); 国家自然科学基金项目(71761025); 甘肃省教育厅双一流重大科研项目(GSSYLXM-04)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

down scale barriers. Fourth, support policies should be formulated to ensure the economic foundation. Fifth, coordination mechanisms should be improved to facilitate the management of multimodal transport connections.

Keywords: multimodal transport connection; basic network; data information; standards and specifications; layout of hub

一、前言

多式联运可以充分发挥公路、铁路、水路等货运方式的技术经济特性,提升综合运输效率、降低物流成本、促进节能减碳、推动区域经济社会高质量发展,是世界各国交通运输领域重点发展的方向之一^[1-3]。我国交通运输领域相关国家最新规划均强调,深入推进多式联运发展,加快多式联运在基础网络、数据共享、标准规范构建等方面的建设^[4-6]。2022年,国务院办公厅发布的《推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案(2021—2025年)》明确提出,提升多式联运的承载能力和衔接水平,创新多式联运组织模式,促进重点区域运输结构调整,加快技术装备升级。多式联运高质量发展的关键是各种运输方式的高效联接,这不仅需要不同运输方式之间实现良好的管理体制机制对接,更需要构建各种运输方式协同发展的技术体系,尤其是共性关键技术体系。一般认为,多式联运联接共性关键技术体系涵盖基础网络、载运工具、数据信息、运输组织、标准规范、枢纽布局6个方面的联接技术,这些技术的发展和关系到多式联运未来的发展前景。

近年来,多式联运需求不断增长且受到广泛关注,相关研究主要围绕多式联运的路径选择及优化^[7,8]、多式联运网络规划及其可靠性^[9,10]、多式联运的发展模式及对策建议^[2,11]、多式联运定价及利益分配^[12,13]、多式联运支撑体系及规则^[14,15]等方面展开。在多式联运联接技术方面,一些成果研究了区块链、大数据、物联网等信息技术在多式联运数据采集和交换共享中的应用^[14,16-20],多式联运运输组织及设备调度技术^[21-25]等;但针对多式联运联接共性关键技术的系统性研究还较为鲜见,对其相关系统性和框架性的分析也明显不足^[26,27]。

人工智能、大数据、云计算、北斗卫星导航(北斗)等技术的快速发展和推广应用为多式联运的高效联接提供了良好的基础条件。为此,本文结合国内外多式联运的发展实际,分析我国多式联运面临的瓶颈问题,归纳相关技术突破点,聚焦多式联运联接共性关键技术整体性、框架性,构建适合国情的

多式联运联接共性关键技术体系架构,力求推动各种货运运输方式的深度融合及交通运输与人工智能、大数据、云计算等相关先进技术的深度融合,以期为我国交通强国建设提供参考。

二、多式联运的发展现状、瓶颈问题和技术突破点

(一) 国内外多式联运的发展现状

1. 国外多式联运的发展现状

美国、欧洲等发达国家和地区的多式联运发展较早,相关基础设施设备条件良好,多种多式联运模式和技术也较为成熟,多式联运运量在全社会货运量中的占比也较高。美国多式联运的运量约占其全社会货运总量的9%以上,高于我国的3%,其中集装箱运输占据主导地位,公铁联运是主要的联运形式,已形成了箱驮运输、驮背运输、滚装运输、公铁两用挂车等联运模式。2021年,欧洲多式联运的运量约为 2.954×10^7 标准箱(TEU)、总质量约为 3.237×10^8 t,较2011年分别增长了43%、57%^[28]。欧洲多式联运中由公铁联运、铁水联运等铁路参与的运量增长迅速,国际多式联运占比超过了国内多式联运,除了借鉴美国的集中多式联运模式外,还发明了交换箱体运输的新模式。在多式联运联接技术方面,注重从基础设施规划建设阶段考虑不同运输方式的衔接^[29],加强各运输方式间的信息共享技术应用和平台构建^[19,20],同时结合新型运载工具研发及新技术发展,积极探索新的运输组织方法^[21,30]。

2. 我国多式联运的发展现状

我国多式联运虽起步相对较晚,但在国家相关政策的推动下,近年来发展迅速。①在基础设施建设方面,我国多式联运已初具规模。截至2022年年底,全国铁路、公路、内河航道营业里程分别为 1.55×10^5 km、 5.35×10^6 km、 1.28×10^5 km,港口万吨级以上的码头泊位有2751个,已颁证的民用航运机场有254个^[31]。②在移动设备方面,铁路货运机车车辆、公路货运车辆、水运载货船舶、货运飞机等都实现了数量和质量的提升。③在政策方面,国家

出台了多项推动多式联运发展的政策，一些地方主管部门还制定了多式联运示范工程、公转铁、公转水等具体政策，切实推动铁水联运、公铁联运的发展。

④ 在运量方面，多式联运运量，尤其是铁水联运运量持续快速增长。2022年，全国港口完成的集装箱铁水联运量为 8.75×10^6 TEU，同比增长了16%^[31]。

⑤ 在联接技术方面，已经开展了大量铁路专用线进园区、进港口的基础设施建设和运输组织实践，在多个区域构建了多式联运信息平台，推动客户服务“一单制”组织模式发展壮大。

（二）多式联运存在的瓶颈问题

1. 基础联运网络尚不完善

经过多年发展，我国交通基础设施建设已取得了显著成就，但目前仍无法较好满足多式联运的需要。在运输规模方面，公路运输在我国货运体系中占据较大份额，基础设施相对完善；铁路网络及其枢纽建设的规模则稍显不足，铁路线路相对密度仍然较低，按照国土面积和人口计算的铁路网密度均远低于发达国家。在运输衔接方式方面，各种运输方式长期独立发展，缺乏全局层面的统筹规划，致使铁路、公路、水运等体系分散发展；不同运输方式之间未形成高效的衔接，需要通过一系列转运作业才能完成整个多式联运过程，削弱了多式联运在时效性和物流成本等方面的优势。

2. 设施设备匹配程度有待提升

我国多式联运设施设备在机械化、智能化水平及衔接过程中均存在较大的缺陷。在机械化、智能化建设方面，我国载运工具及装卸机械等新型设施设备的研发进度整体偏慢，关键技术仍存在“卡脖子”现象，运输现场仍较多依赖人力装卸和搬运，导致运输成本始终居高不下，运输效率处在低位水平。在各运输方式衔接过程中，存在载运工具载重及尺寸匹配不协调、与装卸机械匹配程度不高的现象，集装运输发展推进相对缓慢，制约了多式联运的发展。

3. 数据信息交互共享不够高效

我国铁路、公路、水运等运输方式均在不同程度上实现了信息化，但各运输方式之间的信息共享交互仍存在短板。近年来，相关部门虽建立了多式联运信息共享平台，但技术体系还不完善，在实际应用中不同运输方式、不同机构、不同部门之间仍存在管理机制、技术标准、运营安全等方面的壁垒，造成不同运

输方式之间的数据信息共享与交互不够畅通，限制了多式联运效率的提升。同时，公路货运量占比偏高，自身的“散、小、弱”等问题也限制了多式联运量的增加和数据信息的共享交互。

4. 联运组织效率相对不高

先进的联运组织技术能有效降低成本、提升联运效率。我国在驮背运输、双层集装箱运输等先进联运组织技术领域仍处于研究阶段，受技术条件和货运组织能力等制约，尚未广泛应用于实践。我国货运直达班列开行比例低、港口和车站的“前后一公里”衔接不足等问题尚未有效解决，致使联接过程繁琐，降低了联运的组织效率和物流成本，不利于发挥多式联运的优势。

5. 标准规范对接不够顺畅

我国有关多式联运的标准规范尚未统一，各部门之间的协调性有待提升。在装载设备、场地设施、运营服务和统计评价等方面的标准与规范还不够完善，致使货物在不同运输方式间联运联接效率偏低，如存在部分船体舱位与集装箱箱型不匹配、公铁联运时的集装箱与货运车辆能力不匹配等问题。我国多式联运的票证单据尚未完全统一，造成货物在转换运输方式时流转程序繁琐，增加了货物的换装时间。目前，我国正处在大力推进多式联运发展的阶段，亟需构建一套完备的多式联运标准规范体系，推动多式联运有序规范发展。

6. 联运枢纽布局不够合理

多式联运是典型的轴辐式网络结构，其节点建设至关重要。目前，我国多式联运的枢纽建设相对缓慢。以集装箱中心站布局建设为例，建成的铁路集装箱中心站与铁路物流基地数量与《中长期铁路网规划》中所要实现的目标还有明显差距，且大部分建成的铁路物流基地仅具备基本的集散货功能，难以提供高质量的综合物流服务。另外，现有的许多货运枢纽在建设之初没有考虑与其他运输方式之间的衔接问题，致使铁路货场、港口、公路集散中心等货运枢纽的建设规模和布局功能有所差异，各种运输方式间的枢纽无法形成有效联接，降低了货物的转运效率。

（三）我国多式联运的技术突破点

我国多式联运发展面临瓶颈的主要原因是没有基于系统观念做好多式联运联接关键技术体系构建的顶

层设计和应用，缺乏在多式联运实际规划建设及运营管理中的统筹思想和系统联动。因此，推动我国多式联运高质量发展的关键是厘清适用于我国多式联运联接的关键技术，构建多式联运联接关键技术体系，并在生产实际中协同发展和应用。

多式联运技术涉及范围广，贯通公、铁、水、航等多个环节。不同运输方式间的共性关键技术可以有效提升多式联运的效率和效益，主要包括基础网络联接技术、载运工具联接技术、数据信息联接技术、运输组织联接技术、标准规范联接技术、枢纽布局联接技术等。基础网络联接技术可以破解各种运输方式的线路、场站自成体系难题；载运工具联接技术可以实现不同运输方式的载运工具能力匹配，推动作业高效实施；数据信息联接技术使各种运输方式、海关及园区之间的信息能够安全高效的交互共享，破除“信息孤岛”；运输组织联接技术解决货物短驳和“集疏运”时效问题，同时助力实现运输的全程监控和货源组织的精细管理；标准规范联接技术用于推动各种运输方式间的标准对接，解决不同运输方式服务质量、管理评价等尺度不一的问题；枢纽布局联接技术主要实现区域枢纽优化和单个枢纽内部资源节约集约，保障枢纽内作业高效。

三、多式联运联接共性关键技术体系架构

集装箱运输具有高效率、高效益、更容易实现门到门运输等优点，是当前多式联运的主要方式。我国的集装箱运输，除了采用传统通用集装箱外，也大量使用敞顶箱、罐式箱等。因此，我国多式联运联接共性关键技术体系的构建是以集装箱多式联

运为核心。

多式联运联接共性关键技术体系的构建遵循“围绕一个核心、服务两个对象、实现四个目标、构建六个体系”的设计理念（见图1）。多式联运共性关键技术体系，一方面服务于多式联运体系的完备高效，另一方面服务于经济社会高质量发展，实现我国多式联运“基础设施一张网、标准规范一把尺、信息交换一朵云、客户服务一单制”的综合运输一体化目标。整个体系的架构以大数据、云计算等先进信息技术，先进制造领域的新型智能设备，物流场站的智能化技术等为基础，形成基础网络联接技术、载运工具联接技术、数据信息联接技术、作业组织联接技术、标准规范联接技术、枢纽布局联接技术等六大体系。

（一）高效衔接的基础网络技术体系

铁路和水运都是运量大、能耗低、占地少、成本节约的货运方式。我国铁路和水路货运网络已逐步完善，技术装备水平也日益提升，具备高质量货运服务能力，在多式联运联接中具有显著的技术经济优势。因此，多式联运基础网络体系的构建以铁路干线、大型物流基地、枢纽港口为主体，以铁路货运场站、公路货运站场（物流园区）、企业生产基地、机场货运中心（航空物流园区）、其他港口为支点，实现铁路专用线、多层次公路线网、水路航线的高效衔接。该体系统筹考虑平面联接、立体联接和综合联接，涵盖铁路专用线联接技术、公路货运枢纽联接技术、航空货运枢纽联接技术、水运货运枢纽联接技术（见图2）。其中，铁路专用线联接技术涉及铁路站点衔接、内外道路网衔接、设施装备共

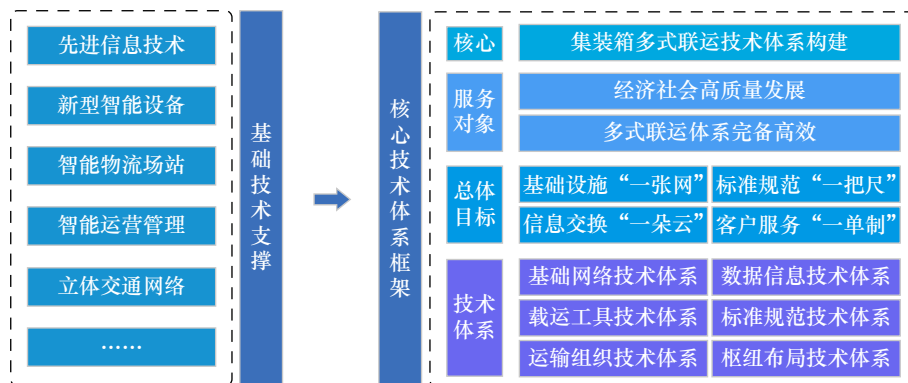


图1 多式联运联接共性关键技术体系

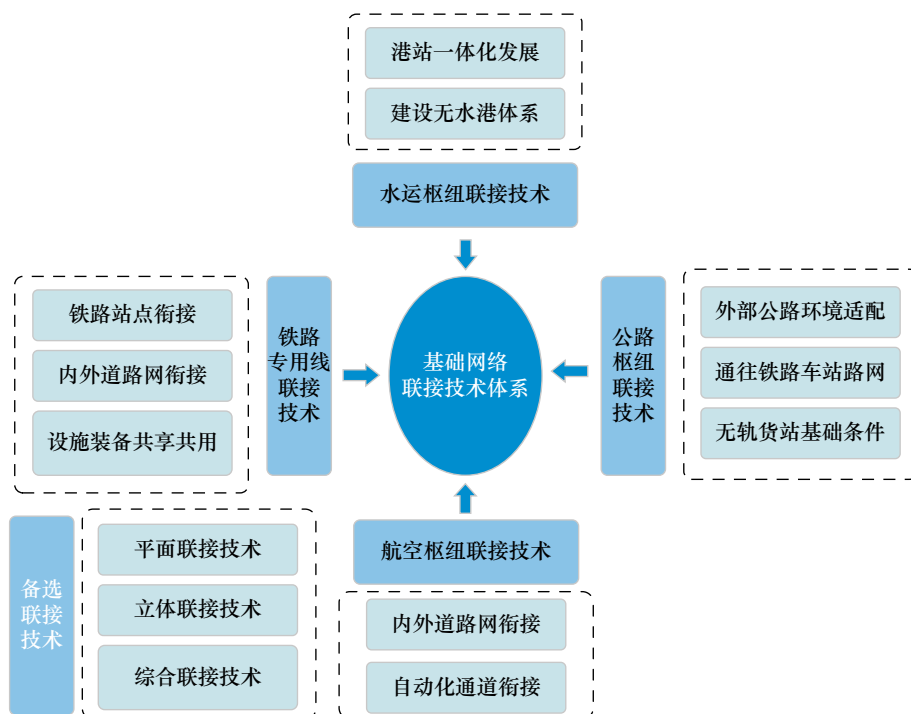


图2 基础网络技术体系

享共用等；公路货运枢纽联接技术包括外部公路环境适配、通往铁路车站路网、无轨货站基本条件等；航空货运枢纽联接技术包括内外道路网衔接、自动化通道衔接等；水运货运枢纽联接技术则主要包括港站一体化发展和建设无水港体系。

1. 建设以铁路干线为基础的联运网络

依托我国铁路干线网络，构建以铁路干线为主线，以铁路车站、机场、港口为枢纽，以公路运输、专用线运输为分支的综合轴辐式多式联运网络，加强多种运输方式之间的互联互通。通过铁路专用线、城市快速路、高速公路连通铁路车站、机场、港口等，与铁路车站开展一体化建设，完善铁路车站后方“集疏运”体系，扩大铁路网络辐射范围。统一“公铁水”的托盘、集装箱标准，推进设施设备共享共用。此外，在水运资源丰富的运输通道，打造铁路-水运联运干线网络，提升联运能力和效率。

2. 航空枢纽联接技术

机场内部不便实施大规模货物积压、大面积换装作业。为了满足航空运输总量的要求，需要建设完善的内外部道路网络，实现货物快速周转，提高运输效率。在机场外部，开辟连通主要货源地的专用货运通道，如连通空港物流园、连接机场所在城市重要货物集散地等货运通道以及开通机场高速直达

航空货运站的通道。在机场内部，合理组织货运专用登机口，同时内部路网直接连接货站，实现客货分流，降低干扰。此外，综合应用平面联接和立体联接技术，合理布置机场内部换装平台，实现自动化装卸，提高联运效率。

3. 公路枢纽联接技术

公路运输具有较为完善的基础路网且覆盖率高，因此，有效整合公路运输资源可以最大程度降低末端运输成本。在城市、城镇、农村因地制宜，建设大、中、小型货物“集疏运”货场，实现货物运输集中化，提高公路货车满载率。在路网层面，大部分铁路枢纽、公路枢纽都有既有路网连接，为提高联运效率，必要时可以提升改造连接线、新建专用道路连接等方法，加强枢纽间的互联互通。例如，运量较大的公路枢纽可以考虑建设铁路专用线，探究无轨货站设立的基础条件，将铁路货场开至企业或货物集散地旁边，增强铁路货运服务能力。

4. 水运枢纽联接技术

我国很多铁路集装箱场站与港口的衔接需要借助于短距离的公路接驳，这增加了运输的成本和时间。应加快推进港站一体化发展，推动铁路支线、专用线进港，构建疏港铁路体系，实现铁路干线运输与重要港口的高效联通和无缝衔接。同时，铁路

企业积极与港口、海关、地方主管部门等协商，加快推进沿海港口依托铁路集装箱中心站、专办站建设“无水港”体系，提高多式联运服务水平，降低综合物流成本。

整体来看，加快基础网络技术体系建设是推动整个多式联运高速发展的基础，做好基础网络衔接的战略统筹规划是促进多式联运快速发展的基石。应综合考量现有运输基础网络条件及货运需求分布等因素，以及在土地开发利用、统筹协调、经费投入等方面的政策支持，积极推动铁路专用线与疏港铁路的建设，铁路与公路枢纽、物流园区、航空枢纽的衔接，以及地方铁路与国家铁路干线的高效衔接。

（二）智能协调的载运工具技术体系

标准化的联运设备是实现各运输方式间快速转运的重要前提，是实现不同载运工具之间、载运工具与装卸机械之间载重匹配的重要依托。载运工具技术体系从不同运输方式的载重匹配、载运工具尺寸匹配、载运工具与装卸机械匹配、载运工具全程追踪监控、载运工具运行智能化等方面构建，实现箱车能力匹配化、装卸机械高效化、干线运行智能化、中转配送无人化（见图3）。具体技术包括新型标准化托盘及集装箱技术、智能卡车、无人驾驶、载运工具全程监控、安全预警、装卸机械自动检斤、信息采集等。

1. 箱车能力匹配化

积极研发和应用新型集装箱及货车，如35 t敞顶箱、20英尺（1英尺=30.48 cm）罐式箱、集装箱骨架车等，确保集装箱规格和货车载运能力相匹配。利用物联网、人工智能等先进技术，研发集装箱与货车的自动匹配方法、智能化站场与自动化码头的衔接方式，增强点线协同组织能力。

2. 装卸机械高效化

加快装卸机械新技术的研发，如集装箱正面吊轻型可变轴距技术、混合动力正面吊技术、新型轮胎式集装箱门式起重机等。优化装卸机械的环保、成本效益、整机质量等指标，利用集装化货物智能装卸系统、智能“集疏运”空轨系统等智能化系统，提升装卸机械的协调调度能力。

3. 干线运行智能化

通过在车/船上加装北斗接收器，配合使用地理信息系统（GIS）、射频识别（RFID）、通信、气象监测、火灾监控、地质灾害监测、轨道检测、车辆检测等技术进行精准定位和全程监控。采集多式联运物流全程的安全信息，对多式联运及各项动静态设施进行实时、全方位的监控，以便及时发现问题，加以预防。拓宽创新铁路集装箱多式联运信息化调度服务平台功能，实现智能调度。

4. 中转配送无人化

积极推动先进技术与多式联运相融合，将北斗、

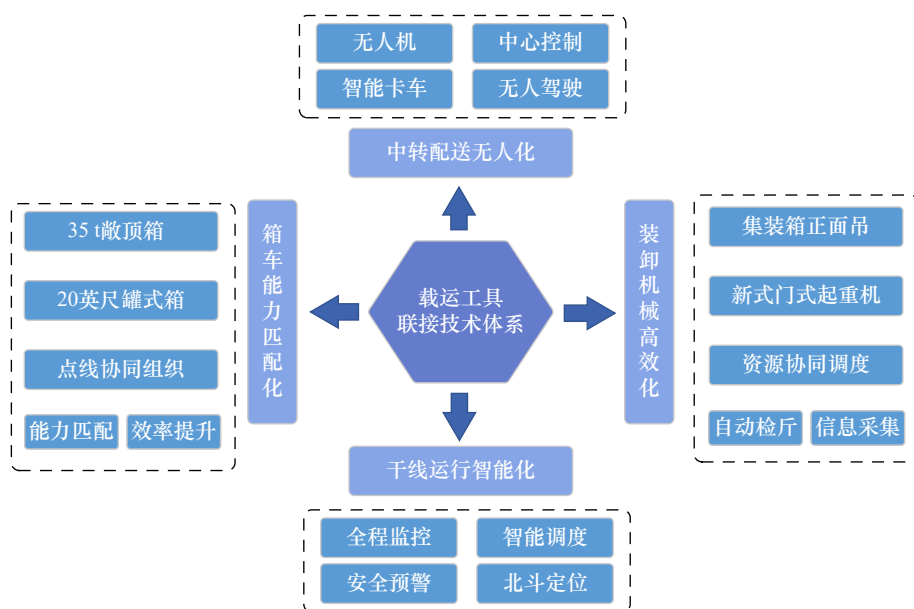


图3 载运工具技术体系

第五代移动通信（5G）、物联网、智能感知大数据、云计算等先进技术应用在中转配送领域，实现无人驾驶电动集卡、远程操控中转设备、5G智能理货、5G智能安防等智能化成果的普及推广，大幅提高中转配送效率。

整体来说，各联运企业应以适合多式联运的装卸机械和载运工具为基础，加快淘汰现场标准不匹配、技术较落后的机型，加速联运设施设备升级，从而达到绿色环保、提升联运效率的目的。同时，加快高新技术与专业化运输设备相融合，实现载运工具的智能化作业和中转作业过程的无人化作业，提高运行效率。

（三）安全共享的数据信息技术体系

构建面向公路、铁路、航空、水运等多种运输方式，针对发送、途中、到达等各个环节，可以处理结构化、非结构化等各种数据，覆盖感知、网络、应用等各个层次的数据信息技术体系，实现各运输方式之间、各部门之间的数据信息的安全高效与共享交互。数据信息技术体系包括智能传感、射频识别、高清摄像、北斗定位等数据采集技术，数据辨析、清洗、抽取、存储、挖掘、应用等数据处理技术，用户标识和鉴别、存取控制、审计、加密等数据安全技术，跨域共享分发、跨异构网络传输、分布式虚拟组织等数据共享技术，并拓展和完善多式联运物流信息综合服务平台（见图4）。

1. 数据采集技术

将传感器技术、RFID采集技术、北斗定位技术等广泛应用于物资入库、仓储、分类、盘点、出库、装卸和运输等方面，实现货物的自动化统计管理及移动中车辆的实时监控和调度^[17]。

2. 数据处理技术

利用大数据、云计算等技术对数据仓库中的数据进行清洗、分类、汇总、计算等，对运输能力、竞争环境、车辆供给与匹配、资源优化等进行数据分析，帮助客户调整经营策略，最后利用电子数据交换（EDI）技术实现商业单证的自动交换和处理^[18]。

3. 数据安全的管理

针对关键业务的数据安全问题，可通过认证授权、数据加密以及数据备份等予以解决。① 在业务处理之前对处理双方进行身份验证，保证数据不被未授权用户所获知。② 对用户输入的关键信息或敏感信息进行数据加密，确保用户数据在传输及存储中的安全性。③ 通过对数据系统进行全面、可靠、安全和多层次的备份，防止数据遭到恶意破坏后造成不可逆的损失。

4. 数据共享技术

多式联运信息共享机制将所有参与的组织机构连成一个整体，充分实现信息共享与互联互通。数据库将对多式联运子系统的相关数据进行调用、存储、整合、处理后，存放至相应子系统的数据库，然后运用区块链、云技术使用户在各自信息系统管理平台与

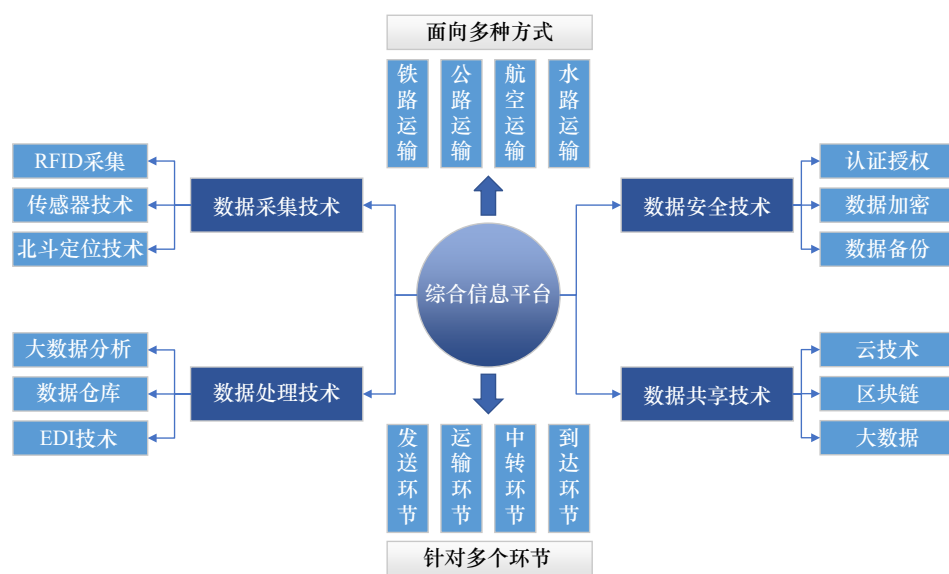


图4 数据信息技术体系

多式联运信息管理平台间实现信息的交互共享。

5. 多式联运信息平台构建

在已有多式联运信息平台的基础上，广泛应用北斗、物联网、5G等技术对平台进行优化完善，并加强各单位之间的协调，将多式联运各环节中的所有参与者连接起来，实现各种运输方式全流程数据信息传输和共享的高效化、安全化；提升联接效率和效益，解决当前信息资源共享程度低、交换体系不健全、交换标准不统一等问题^[19]，保障货物运输过程的安全透明。

（四）快捷绿色的运输组织技术体系

以货主需求为导向，融合大数据、云计算、人工智能等技术，构建快捷高效、绿色经济的多式联运运输组织技术体系，实现组织模式多元化、干线运输快速化、短驳组织高效化、货源组织精细化（见图5）。具体包括“一单制”、班列化运输、直达化运输组织、智能调度、重点盯控、时限卡控、智能场站、客户管理、“互联网+货运”、市场营销、“数字化+货运”等技术，还可以在有条件的区域发展及应用双层集装箱运输技术。

1. 干线组织快速化

对于货源充足、运量需求较大的地区，可以优先组织班列化运输。开发新型班列化运输产品，创新直达化运输组织模式，如公铁一体化、基于三级网络结构集装箱的运输组织形式，合理设计货源分散地区的运输形式，提高班列组织的灵活性，同时考虑远期发展双层集装箱运输技术的可行性。强化多式联运运输过程管理，提升运输产品的稳定性和时效性。加强货物班列送达速度管理，明确列车运

抵期限、预计送达时间、准点送达概率，确保列车准时发车、送达，做好时限卡控。大力推广应用多式联运运单，加快发展“一单制”“一箱制”联运服务，实现“一次托运、一次收费、一次保险、一次安检、一单到底”^[32]。

2. 短驳组织高效化

加快罐式集装箱、公铁一体化联运车等联运运载工具和新型门式起重机等新式装卸机械的推广及应用，淘汰老旧和存在较高污染的设施设备，减少人工装卸，提高短驳运输组织效率，促进运输绿色发展。以货主需求为导向，融合大数据、云计算、人工智能等技术，打造联运智能场站；构建行车信息综合数据平台，实现多种信息的融合应用，提高多式联运各运输主体间的协同程度，提升多式联运换装转运的自动化水平，完善自动优化运输方式间的短驳组织，实现智能调度，推动各运输方式组织形式一体化发展。

3. 组织模式多元化

将5G、物联网、大数据、云计算等技术与运输组织过程相结合，建立跨运输方式、适度透明开放的多式联运业务办理平台。采用线上线相结合的方式，灵活办理运输组织过程中的各个环节所涉及的业务，做到线上互联、线下互通，提高运输组织效率，实现运输组织过程中的数字化、网络化。

4. 货源组织精细化

构建客户与供应商之间交互的信息平台，以客户服务为中心，面向货主收集近年提报的多式联运运输需求，整理货源基本信息，制定运价及相关联运优惠政策，并发布至相关的信息平台，方便货主查询。运用前沿技术，做好货运需求精准预测，根

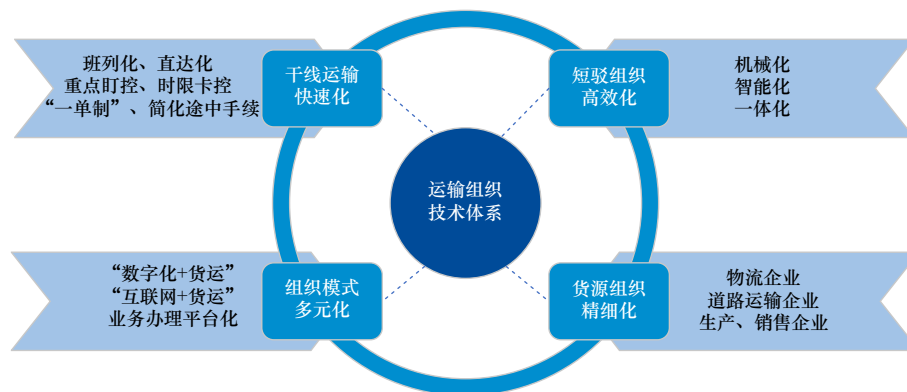


图5 运输组织技术体系

据预测运量需求，合理配置运力，提高运输效率。优化市场营销策略，如大客户营销策略，对不同运量需求的客户进行划分，优先为大客户提供优质服务。加强对各部门、各单位、各环节、各成员、各工作单元之间的衔接和协同运作，共同提高货源组织系统的整体效能。

(五) 尺度统一的标准规范技术体系

多式联运标准体系是多式联运发展的重要支撑。我国多式联运发展较晚，尚未形成一套完备的标准化体系，需积极组织编制多式联运标准体系，适时构建多式联运标准数字化平台，并与相关国家的标准进行对接。同时，建立相应的保障体系，强化标准规范的执行与监督工作，为我国多式联运发展奠定技术基础。结合基础网络、载运工具、运输组织等方面的要求及发展情况，统筹考虑各种运输方式的设备设施、信息单证、品类品名、检验检疫、运输装卸、管理评价等，本文构建了多式联运的标准规范技术体系框架（见图6），其主要包括数字化多式联运标准规范平台建设，与国家标准、行业标准及国际标准的对接、标准规范的执行与监督等方面。

1. 标准规范数字平台建设

标准规范数字平台可有力推动国家标准、国际标准、地方标准、企业标准的数字化建设。搭建涵盖术语及基础标准、设施与设备标准、装卸与运输标准、信息与单证标准、管理与评价标准、品类与品名标准等方面的多式联运标准数字平台，使各种

标准能够快速匹配、精准对接，助力多式联运各运输方式、各区域的高效联接。

2. 与其他区域和国际标准对接

参考国际铁路联盟（UIC）和其他国外相关标准，制定我国在设备设施、信息单证、品类品名、检验检疫、运输装卸、管理评价等方面的标准体系。与我国周边地区，如“一带一路”沿线国家积极沟通，开展有关标准体系构建的合作交流，在基础设备设施、检验通关等方面达成一致，为未来更好地与国际市场对接提供便利条件。同时，积极参与和制定相关国际标准，强化国际话语权。

3. 标准规范的执行与监督

以物联网、云计算、大数据等技术为支撑，加强数据感知、互联互通、交换共享、更深入的智能化标准规范系统建设，全面搜集联运信息资源，建设集监督监控、科学预警决策、应急指挥于一体的多式联运监督指挥平台。通过对各环节进行实时监控，即对货物信息的传递进行实时监控、对运载工具与装卸机械安全作业进行监督、对场站枢纽作业规范进行监督等方面，保障标准规范的严格执行。

(六) 集约集聚的枢纽布局技术体系

联运枢纽的合理布局规划可以有效缩短中转接驳的路径，减少作业步骤，加快各运输方式间的联接运输效率。根据现有枢纽体系及其未来发展战略，结合国家相关政策，加快路网范围内的联运枢纽建设，优化我国货运枢纽整体布局方案及单个

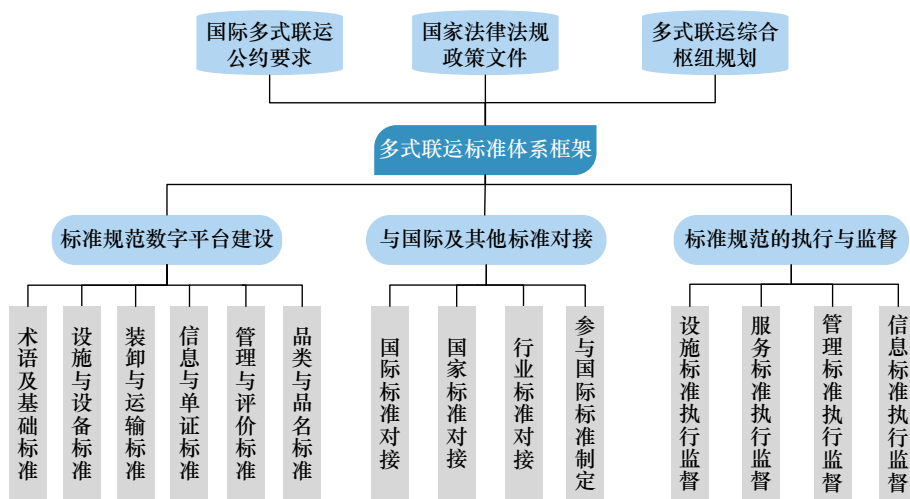


图6 标准规范技术体系

枢纽城市内部的货运资源配置方案,注重枢纽间的联运形式衔接路径规划,实现枢纽内部各种运输方式以及枢纽与外部“集疏运”的衔接顺畅和高效。立足提高枢纽货运集散能力和效率,提升产业集聚水平和效应,服务枢纽经济和通道经济发展,构建综合考虑区域枢纽布局一体化、联运枢纽“集疏运”高效化、内部资源配置集约化、战略枢纽设计前瞻化的枢纽布局技术体系(见图7)。该体系涵盖货运枢纽选址、设施空间布局、设备选型、平台搭建、供需匹配、效益评价、数字场站、智慧枢纽等。

1. 区域枢纽布局的一体化

根据我国综合立体交通网规划,加快物流枢纽建设,助推强链补链工作。在国家物流枢纽网络的基础上,实现区域物流枢纽优化布局。结合区域产业布局及国家低碳政策,综合考虑多种运输方式现存枢纽节点,应用合理的选址理论与方法做好多式联运枢纽选址工作^[33],确保运输方式枢纽间的有机衔接,提高综合交通枢纽的运营效率。

2. 枢纽内部资源配置集约化

采用枢纽规划布局方法及设备设施选型技术,对物流基地、基础设施、装备、系统等各个资源配置模块进行集中布局设计,实现集中管理、合理调配、降低运营成本以及提升服务效率的目标。以能够适应作业需求为基本原则,对枢纽设施设备进行集约化配置,充分考虑场库、配送中心、装卸搬运机械等各种物流资源的未来发展和技术进步,使设备能够在其经济寿命周期内保持适当的技术先进性和作业能力空间。

3. 联运枢纽“集疏运”的高效化

联运枢纽有大量货流集散,其“集疏运”方式的合理选择、“集疏运”设施的优化配置、“集疏运”组织的快捷高效是节约枢纽物流成本、提高枢纽物流效率和效益的关键所在。根据联运枢纽作业需求、衔接路网、区域环境等特征,可以选择绿色经济的“集疏运”方式,配备适度超前的“集疏运”设备,采用快捷高效的“集疏运”组织方法。例如,在港口枢纽,加强疏港铁路建设和运营维护;在大型铁路物流中心,完善配套路网、专用线的建设和组织;加强公路、水路和铁路之间的协调合作,加快港口多方式联合运输的发展,发挥各种“集疏运”方式的优势,提高“集疏运”系统的效率^[34]。

4. 战略枢纽的前瞻性

根据各地区枢纽的特点,确定战略发展方向。以兰州枢纽为例,在国家实施“一带一路”倡议和进一步扩大向西开放的重大机遇下,推进兰州、嘉峪关、敦煌国际空港和兰州、天水、武威的国际陆港建设,打造集交通运输与经济开放开发于一体的综合物流基地。依托国际空港,发展国际航空物流,加快开辟兰州直飞“一带一路”沿线国家和地区的货运航线,大力发展国际货运包机、直航业务,充分释放客运航班腹舱载货能力。依托国际陆港,大力发展甘肃至欧洲、中亚、南亚的铁路货运班列和集装箱班列,加快建设兰州—中欧国际货运班列编组枢纽和物流集散转运中心,推进“兰州号”“天马号”中欧国际货运班列常态化运行。推进兰州铁路口岸建设,加快马鬃山口岸复通工作,积极推进国际道路运输发展。

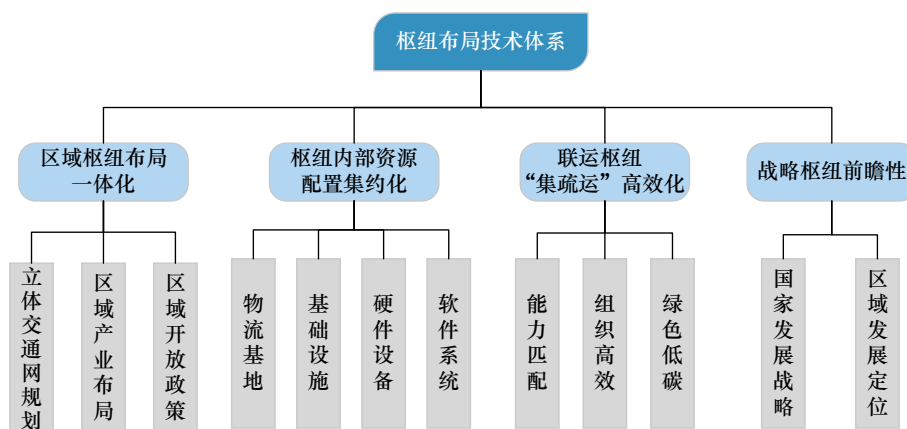


图7 枢纽布局技术体系

四、多式联运技术发展建议

(一) 做好顶层设计，为多式联运联接技术发展提供引领

突出国家主管部门在多式联运发展战略规划和体系设计中的主导作用，统筹协调各行业部门及科研院所，制定系统完备的多式联运联接关键技术体系。围绕多式联运联接的关键问题，结合我国经济社会及自然生态实际，充分考虑不同运输方式的特征，合理确定多式联运联接关键技术的发展时序。建议近期主要做好多式联运的体系规划，推动多式联运与新技术融合，实现不同运输方式标准规范的对接，完善多式联运信息平台，推进基础网络衔接，优化运输组织方案；中远期逐步完善路网及枢纽建设，建成高效互联互通的综合运输体系，开发新型智能运载工具，形成“通道+枢纽+网络”的良好物流运作体系。

(二) 加快数字化建设进程，为多式联运联接打牢技术底座

在已有多式联运物流信息服务平台及各种运输方式信息平台资源的基础上，综合考虑数据信息互联互通、安全性的需求，加强区块链、大数据、云计算、物联网等技术在多式联运联接领域应用的研究与实践，进一步优化完善、扩展功能、提质升级，实现与其他区域物流信息平台及海关信息服务平台的融合，构建多式联运数智化生产服务大平台。加强与各单位之间的协调，实现各种运输方式跨区域全流程数据信息传输和共享的高效化、安全化，提升联接效率和效益。此外，强化与“一带一路”沿线城市或国家的交流合作，促进与相关平台的信息交互，实现全程一次申报、一次查验，提高通关效率。

(三) 推进标准体系建设，为多式联运联接技术发展破除尺度壁垒

针对公路、铁路、航空等行业在设备设施、运输单证、货物品名、运营服务、数据接口等方面的标准规范不统一，以及物流园区、产业园区、厂矿企业等在平台建设上各自为政的问题，系统考虑多式联运运营服务、基础设施互联互通、运载工具匹配协调、信息平台接口统一、各单位高效配合等，构建多式联运标准体系。适时构建多式联运标准数

字化平台，实现与国内其他区域及“一带一路”沿线国家的标准对接。同时，建立健全多式联运标准的执行监督检查制度，保障标准体系的高质量实施。通过多式联运标准体系建设与实施，减少各运输方式之间、物流企业与生产企业之间、不同区域之间、国内与国外之间的信息交互及货物流动壁垒，降低社会物流成本，提升物流发展质量。

(四) 制定联运设施衔接的支持政策，为多式联运联接技术发展提供资金保障

建立健全多式联运设备设施联接技术发展的支持政策，保障多式联运联接技术发展的资金来源，在土地开发利用、统筹协调、经费投入、税收减免等方面予以政策倾斜，推动铁路与港口、公路枢纽、物流园区、航空枢纽的衔接，实现地方铁路与国家铁路干线的高效衔接。通过政策支持多式联运载运工具研发制造企业发展壮大，推动载运工具联接技术的发展。在综合货运枢纽建设方面，确保内部资源合理配置和外部“集疏运”顺畅，在支持大型综合枢纽发展的同时，加大对中小型货运枢纽的政策引导力度。

(五) 加强协调机制建设，为多式联运联接打通管理屏障

我国多式联运在基础设施、载运工具、信息化平台等方面发展迅速，各运输方式的企业之间、管理部门之间的协调机制成为限制多式联运高效联接的最大屏障。建议充分考虑各种运输方式的特征，从各参与方之间的运营组织管理、设备设施能力利用、业务信息沟通处理、经济收益分配等方面，建立与多式联运高质量发展相适应的规则协调和互认机制，支持多种运输方式高效协同，提高综合运输效率。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: August 7, 2023; **Revised date:** October 20, 2023

Corresponding author: Zhang Yuzhao is a professor from the School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University. His major research fields include passenger and freight technology and management, multimodal transport. E-mail: yuzhaozhang@126.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of Multimodal Transport Connection of Road, Rail and Aviation in Gansu Section of the Silk Road Economic Belt” (GS2021ZDA05); National Natural Science Fund project (71761025);

“Double-First Class” Major Research Programs, Educational Department of Gansu Province (GSSYLXM-04)

参考文献

- [1] 依绍华. 新发展格局下多式联运发展模式及对策体系——基于供应链集成视角[J]. 河北学刊, 2022, 42(5): 146–154.
Yi S H. Development mode and countermeasure system of multimodal transport under the new development pattern [J]. Hebei Academic Journal, 2022, 42(5): 146–154.
- [2] Archetti C, Peirano L, Speranza M G. Optimization in multimodal freight transportation problems: A survey [J]. European Journal of Operational Research, 2022, 299(1): 1–20.
- [3] 彭聪. 双循环视角下考虑时间价值的物流业多式联运网络布局优化——以西部陆海新通道枢纽城市为例[J]. 商业经济研究, 2022 (18): 98–102.
Peng C. The optimization of multimodal transport network layout in logistics industry considering time value from the perspective of dual circulation—Taking the hub city of the new western land-sea corridor as an example [J]. Journal of Commercial Economics, 2022 (18): 98–102.
- [4] 本书编写组. 国家综合立体交通网规划纲要学习读本[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
The Book Writing Team. National comprehensive three dimensional transportation network planning outline study book [M] Beijing: People’s Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [5] 中华人民共和国国务院. “十四五”现代综合交通运输体系发展规划 [EB/OL]. (2021-01-18)[2023-06-20]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm.
The State Council of the People’s Republic of China. The 14th Five-Year Plan for the development of a modern comprehensive transportation system [EB/OL]. (2021-01-18)[2023-06-20]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm.
- [6] 中华人民共和国交通运输部. 绿色交通“十四五”发展规划 [EB/OL]. (2021-20-29)[2023-06-20]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content_5669662.htm.
Ministry of Transport of the People’s Republic of China. The “14th Five-Year” development plan of green transportation [EB/OL]. (2021-01-18)[2023-06-20]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content_5669662.htm.
- [7] 冯芬玲, 孙楠佳. 考虑时间价值的中非多式联运路径与出海港选择[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(2): 45–53.
Feng F L, Sun N J. Time value based route and port selection for China and Africa multimodal transportation [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2022, 22(2): 45–53.
- [8] 张玉召. 快捷货运服务网络设计研究综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(3): 1–12.
Zhang Y Z. Review of service network design for express freight transportation [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(3): 1–12.
- [9] 尹传忠, 邱慧妍, 柯媛定, 等. 区域主枢纽港多式联运网络协同优化[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(1): 63–70.
Yin C Z, Qiu H Y, Ke Y D, et al. Collaborative optimization for multimodal transport network of regional main hub ports [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(1): 63–70.
- [10] Chen J, Zhang Y, Liu L. Vulnerability analysis of multimodal transport networks: Based on complex network theory [J]. Journal of Southeast University (English Edition), 2021, 37(2): 209–215.
- [11] 张利, 赵守香, 张铎. 我国多式联运存在问题及发展策略[J]. 现代管理科学, 2020 (2): 62–64.
Zhang L, Zhao S X, Zhang D. Problems and development strategies of multimodal transport in China [J]. Modern Management Science, 2020 (2): 62–64.
- [12] Bertsimas D, Ng Y S, Yan J L. Joint frequency-setting and pricing optimization on multimodal transit networks at scale [J]. Transportation Science, 2020, 54(3): 839–853.
- [13] 朱文英, 赵雨, 张红英, 等. 时间窗约束下多式联运企业收益分配优化模型研究[J]. 公路交通科技, 2022, 39(12): 247–254.
Zhu W Y, Zhao Y, Zhang H Y, et al. Study on income distribution optimization model of multimodal transport enterprise under time window constraint [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2022, 39(12): 247–254.
- [14] 焦巍巍, 刘彤. 基于区块链技术的多式联运数字化单证研究[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(8): 28–32.
Jiao W W, Liu T. Intermodal transport digital waybill based on blockchain technology [J]. Computer Applications and Software, 2021, 38(8): 28–32.
- [15] 曹译文. 综合运输立法与多式联运立法的协调向度[J]. 河北法学, 2019, 37(1): 181–188.
Cao Y W. The coordination dimension between integrated transport law and multimodal transport law [J]. Hebei Law Science, 2019, 37(1): 181–188.
- [16] 黄敏珍, 王瑞民, 林晓蕾. 多式联运数据交换区块链技术应用研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(2): 75–81.
Huang M Z, Wang R M, Lin X L. A study of the application of block chain technology on multimodal transportation data exchange [J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(2): 75–81.
- [17] 包起帆. 基于物联网的集装箱感知系统研究与应用[J]. 中国工程科学, 2011, 13(3): 19–23.
Bao Q F. Research and application of the container sense system based on IoT [J]. Strategic Study of CAE, 2011, 13(3): 19–23.
- [18] 程琳, 朱晓峰, 陆敬筠. 基于大数据的共享物流信息平台模型研究[J]. 科技管理研究, 2018, 38(15): 234–238.
Cheng L, Zhu X F, Lu J Y. Research on shared logistics information platform model based on big data [J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(15): 234–238.
- [19] Ding L Q. Multimodal transport information sharing platform with mixed time window constraints based on big data [J]. Journal of Cloud Computing, 2020, 9(1): 11.
- [20] Molero G D, Santarremigia F E, Poveda-Reyes S, et al. Key factors for the implementation and integration of innovative ICT solutions in SMEs and large companies involved in the multimodal transport of dangerous goods [J]. European Transport Research Review, 2019, 11(1): 28.
- [21] Wang Y L, Sarkis J. Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: Current trends and future directions [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2021, 148: 102291.

- [22] 刘文茜, 朱晓宁, 王力, 等. 基于析取图的铁水联运港口设备协同调度方法 [J]. 铁道学报, 2022, 44(8): 14–24.
Liu W Q, Zhu X N, Wang L, et al. Disjunctive graph based integrated scheduling method for port handling equipment for railway-waterway intermodal transportation [J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(8): 14–24.
- [23] Chen X C, He S W, Zhang Y X, et al. Yard crane and AGV scheduling in automated container terminal: A multi-robot task allocation framework [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020, 114: 241–271.
- [24] 任建伟, 孟祥冬, 陈春花, 等. 多式联运网络中的托盘共用调度方法 [J]. 西南交通大学学报, 2020, 55(3): 1–3, 612–619.
Ren J W, Meng X D, Chen C H, et al. Methodologies of pallet allocation over pallet pool in intermodal transportation network [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2020, 55(3): 1–3, 612–619.
- [25] 霍凯歌, 张亚琦, 胡志华. 自动化集装箱码头多载 AGV 调度问题研究 [J]. 大连理工大学学报, 2016, 56(3): 244–251.
Huo K G, Zhang Y Q, Hu Z H. Research on scheduling problem of multi-load AGV at automated container terminal [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2016, 56(3): 244–251.
- [26] 张超德, 李冬, 周炯, 等. 欧美多式联运技术及其相关标准分析 [J]. 铁道机车车辆, 2022, 42(1): 10–18.
Zhang C D, Li D, Zhou J, et al. Analysis of intermodal transport technology and related standards in of European and American [J]. Railway Locomotive & Car, 2022, 42(1): 10–18.
- [27] 诸葛恒英, 齐向春, 周浪雅. 美国铁路多式联运发展的启示 [J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(12): 69–73.
Zhuge H Y, Qi X C, Zhou L Y. Inspiration of American railway intermodal transport development [J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(12): 69–73.
- [28] Freight Department of International Union of Railways. 2022 report on combined transport in Europe [R]. Paris: International Union of Railways, 2023.
- [29] Nechaev A, Skorobogatova Y, Nechaeva M. Toolkit for the transportation and logistics infrastructure [J]. Transportation Research Procedia, 2021, 54: 637–644.
- [30] Gayialis S P, Kechagias E P, Konstantakopoulos G D. A city logistics system for freight transportation: Integrating information technology and operational research [J]. Operational Research, 2022, 22(5): 5953–5982.
- [31] 中华人民共和国交通运输部. 2022 年交通运输行业发展统计公报 [EB/OL]. (2023-06-16)[2023-09-20]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202306/t20230615_3847023.html.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Statistical communiqué on the development of the transportation industry in 2022 [EB/OL]. (2023-06-16)[2023-09-20]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202306/t20230615_3847023.html.
- [32] 沈冰, 沈忠刚, 张锦黎. 我国多式联运“一单制”模式构建研究 [J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(5): 20–23, 30.
Shen B, Shen Z G, Zhang J L. A study on the developing multi-modal transport under a single contract in China [J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(5): 20–23, 30.
- [33] 李慧芳, 胡大伟, 陈希琼, 等. 考虑碳排放的混合轴辐式多式联运网络枢纽扩增选址—路径问题 [J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(4): 306–321.
Li H F, Hu D W, Chen X Q, et al. Expanding hub location-routing problem for hybrid hub-and-spoke multimodal transport network considering carbon emissions [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2022, 22(4): 306–321.
- [34] 曹菁菁, 雷阿会, 刘清, 等. 虚实融合驱动智慧港口发展研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 239–250.
Cao J J, Lei A H, Liu Q, et al. Smart port development driven by virtual-real integration [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(3): 239–250.