

我国综合交通运输体系效率提升策略研究

卢春房^{1*}, 贾光智², 张永波³, 王镠莹², 穆文奇², 赵芳璨²

(1. 中国铁道学会, 北京 100844; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司科学技术信息研究所, 北京 100081; 3. 清华大学交通研究所, 北京 100084)

摘要: 综合交通运输体系涵盖铁路、公路、水运、航空等运输方式, 提升交通运输效率事关提高居民生活质量、优化社会资源配置、促进区域均衡发展, 因而深入分析当前效率提升的制约因素, 科学论证效率提升的路径和策略, 意义明确且需求迫切。本文界定了综合交通运输体系的概念、综合交通运输体系效率提升的内涵, 凝练了新时期综合交通运输体系效率提升的基本要求; 全面分析了我国综合交通运输体系效率的发展现状, 进而识别出布局结构、利用效能、耐久性和可靠性、管理效能、投资债务压力等方面制约综合交通运输体系效率提升的因素。研究认为, 优化综合交通基础设施布局结构, 推进基础设施、能源、信息、服务“四网融合”, 提升既有交通基础设施的耐久性和可靠性, 提升综合交通运输组织效率及管理效能, 优化未来综合交通运输体系建设投资, 可推动我国综合交通运输体系迈向新发展阶段, 并以效率提升支撑高质量发展。

关键词: 综合交通运输体系; 效率提升; 多式联运; 交通基础设施耐久性; 交通基础设施利用率; “四网融合”

中图分类号: U1 文献标识码: A

Strategies for Enhancing the Efficiency of China's Integrated Transport System

Lu Chunfang^{1*}, Jia Guangzhi², Zhang Yongbo³, Wang Liuying², Mu Wenqi², Zhao Fangcan²

(1. China Railway Society, Beijing 100844, China; 2. Scientific and Technological Information Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 3. Institute of Transportation Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: An integrated transport system comprises various modes of transportation such as railways, highways, waterways, and aviation, and improving the efficiency of this system is crucial for enhancing residents' quality of life, optimizing social resource allocation, and promoting balanced regional development. Consequently, it is necessary to analyze the factors that restrain the improvement in transport efficiency and explore pathways and strategies for efficiency improvement. This study elucidates the concept of the integrated transportation system as well as the essence of efficiency improvement, and outlines the basic requirements for enhancing the system's efficiency in the new era. Moreover, it analyzes the current status of efficiency improvement of China's integrated transport system and identifies the constraining factors in terms of layout structure, utilization efficiency, durability and reliability, management effectiveness, and investment debt pressure. Furthermore, the following suggestions are proposed to promote China's integrated transport system to a new stage of development: (1) optimizing the layout and structure of the integrated transportation infrastructure, (2) promoting the integration of infrastructure, energy, information, and service networks, (3) enhancing the durability and reliability of existing transportation infrastructure, (4) improving the organizational efficiency and management performance of

收稿日期: 2024-09-24; 修回日期: 2025-01-14

通讯作者: *卢春房, 中国铁道学会教授级高级工程师, 中国工程院院士, 研究方向为铁路工程技术与建设管理; E-mail: chflu1956@126.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“综合交通运输体系效率提升战略”(2022-PP-06)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

the integrated transport system, and (5) optimizing future investments in the construction of the integrated transport system.

Keywords: integrated transport system; efficiency improvement; multimodal transport; durability of transportation infrastructure; utilization rate of transportation infrastructure; “integration of four networks”

一、前言

交通运输产业在国民经济中具有基础性、先导性和战略性，提升交通运输效率事关提高居民生活质量、优化社会资源配置、促进区域均衡发展，也是推动经济高质量发展、助力国家重大战略实施的重要保障。《交通强国建设纲要》（2019年）提出，到2035年基本建成交通强国，形成现代化综合交通运输体系，提升综合交通运输的服务能力和效率。《国家综合立体交通网规划纲要》（2021年）提出，建设现代化、高质量的国家综合立体交通网，提升枢纽联通效能，实现交通运输资源的高效配置和全链条畅通。

我国交通运输体系经过长期发展，建立了涵盖铁路、公路、水运、航空等运输方式的现代化交通网络，基础设施规模及运输技术装备达到世界先进水平，运输服务能力和质量不断提升，取得了从“瓶颈制约”到“基本适应”经济社会发展需要的跨越。然而，与承担的重要任务相比，综合交通运输体系的整体效率和服务水平仍存在不足，运输资源配置不平衡、不充分的矛盾依然存在。全面提升我国综合交通运输体系的效率，成为开展交通强国建设、支撑国家高质量发展的重要任务^[1-6]。

深入分析当前综合交通运输体系效率提升的制约因素，科学论证效率提升的路径和策略，意义明确且需求迫切。本文阐述综合交通运输体系的概念、内涵及基本要求，梳理效率的现状并识别效率提升存在的瓶颈问题，研判后续建设的重点任务，为综合交通运输体系建设及发展研究提供参考。

二、综合交通运输体系效率提升的概念、内涵与基本要求

（一）综合交通运输体系的概念界定

起初，综合交通运输体系指由多种基本交通方式相互组合而构成的运输系统，涵盖运载工具、运输通道、枢纽场站、运营管理等核心要素，强调要素之间的协同与衔接，注重运输系统与经济、社

会、自然环境的融合^[7]。随着经济社会的发展、交通运输领域研究的深入，这一概念不再局限于单一的运输方式与基础设施的简单组合，而是逐渐呈现系统化、复杂化、多元化、结构化、层次化的特点。

现代综合交通运输体系更加注重从宏观战略布局到微观运行管理的全链条协同，突出多种运输方式在物理空间、逻辑层面的深度融合。在物理空间上，综合交通运输体系覆盖基础设施建设、运载工具应用、能源网络布局，以实现各类运输方式在空间和时间上的无缝衔接。在逻辑层面上，综合交通运输体系涉及供给能力、需求服务、管理体系，以实现供需高效匹配和管理流程优化；逐步融入信息化、智能化方面的先进技术以及碳中和等可持续发展目标，构建多层次、一体化、高效协同的现代化系统^[8-10]。

未来的综合交通运输体系将更加依赖技术创新与跨领域融合，以适应不断变化的全球经济格局和区域发展需求；不仅包括设施装备体系、运输服务体系、治理体系等核心要素，而且涉及跨部门、跨区域的协调机制，形成三维空间中有机组合、有序衔接、资源高效配置的立体交通网络^[11-14]。

本研究将新时期综合交通运输体系界定为：以公路、铁路、水运、航空等运输方式为基础，开展物理层面（如基础设施、运载工具、能源网络等）与逻辑层面（如供给能力、需求服务、管理体系等）要素的有机融合，依托信息化、智能化、数字化等技术手段，构建多层次、一体化、系统协同的复杂巨系统。新时期综合交通运输体系能够高效衔接各类运输方式，通过资源合理配置和技术创新，最大限度地发挥各类运输方式的优势，提升体系整体效率，推动交通基础设施的协调发展和优化组合，最终实现高效率、可持续、智能化发展。

（二）综合交通运输体系效率提升的内涵

效率是衡量稀缺资源配置和利用程度的重要指标、评估经济系统投入与产出关系的核心标准。在交通运输领域，效率通常定义为在运输过程中对人

力、物力、财力等资源进行精准配置和高效利用的程度。传统上,运输效率评价主要分为运输系统配置效率、运输工具技术经济效率、运输组织效率3个核心维度^[15,16]。运输系统配置效率强调资源在不同运输方式之间的科学配置,确保各类运输方式在空间布局、运力分配、功能定位上的有效衔接,减少资源浪费并提升运行效能。运输工具技术经济效率关注运输设备的技术性能、运载能力、能耗水平、运维成本,追求运输工具在全生命周期中的高效运转。运输组织效率聚焦运输系统的管理调度、流程衔接、运行监控,通过科学的管理手段提升运输链条的连贯性,减少中间环节的时间损耗和资源浪费^[17]。

综合交通运输体系效率不仅关注单类运输方式的独立运行效率,而且强调各类运输方式之间的有机融合与协同效应^[18]。这种协同效应体现在运输资源的合理配置与高效利用、运输网络的优化衔接、运输链条的无缝连接、信息资源的高效共享等层面^[19]。在时间维度上,要求不同运输阶段进行高效衔接,减少时间延误并提高运输时效。在空间维度上,强调不同运输方式在区域和全国范围内实现资源的合理分布,减少供需失衡现象,确保区域运输网络的均衡发展。在技术维度上,引入先进技术实现运输过程的精准调度、智能管理、动态响应,全面提升整体运输效能。系统运行的全生命周期也是综合交通运输体系效率提升的关注点。针对基础设施的规划、设计、施工以及进一步的运营与维护开展科学论证和精细管理,确保资源产出效益的最大化,延长基础设施的使用寿命,降低全生命周期内的运行成本^[20,21]。

本研究认为,综合交通运输体系效率指在特定的时间和空间条件下,通过多类运输方式在物理层面和逻辑层面的有机融合,应用科学配置、系统协同、高效调度等方式,实现运输资源的最大化利用、运输服务的精准供给、运输过程的高效运作,进而在经济、社会、环境等维度下达到运输系统综合效益最大化的能力。

(三) 新时期综合交通运输体系效率提升的基本要求

新时期综合交通运输体系的发展更加注重跨领域协同创新,强化交通基础设施、技术装备、体系

管理的一体化发展,同步引入标准化、数字化手段,全面提升运输服务效能。在此背景下,综合交通运输体系效率提升不仅需要运输资源的高效配置与利用,而且应当全面反映运输系统在服务国家经济发展、推动区域一体化、保障居民交通需求、实现可持续发展等方面发挥的关键作用。①新时期背景下的效率提升在满足当前经济社会发展的现实需求条件下,从全面统筹规划、技术创新驱动、可持续发展等维度出发,及时进行全局性、系统性重构,建立面向未来的高质量发展能力。②新时期背景下的效率提升在继续聚焦交通运输领域优化升级的条件下,面向高质量发展的总体要求,全面深化改革,加强体系建设,推动各类运输方式的高效对接以及与关联产业的统筹发展,全面增强运输系统的服务能力。③新时期背景下的效率提升在资源配置和运输组织全面优化的条件下,坚持“安全、便捷、高效、绿色、经济”发展导向,以数据资源赋能交通发展为切入点,围绕基础支撑、共享开放、创新应用、安全保障、管理改革等重点环节,全面提升运输资源配置和生产组织能力,最大限度地发挥运输系统潜力。

三、我国综合交通运输体系效率的现状与趋势分析

(一) 公路运输

从基础设施规模、运输能力、网络覆盖等角度看,我国公路运输达到了世界先进水平,展现出良好的基础设施建设和运营能力。2023年,公路总里程为 5.437×10^6 km,其中高速公路超过 1.8×10^5 km^[22],居世界首位。然而,部分区域发展不均衡、局部道路质量差异化、管理水平参差不齐等问题依然存在。在公路基础设施的宏观布局方面,东部、南部地区的路网密集,尤其是京津冀、长江三角洲(长三角)、粤港澳大湾区等核心经济区的高速公路网络密度较为突出,但局部地区的道路拥堵问题依然存在;新疆、西藏、青海等省份的高速公路密度较低、通行能力有限,形成了区域交通发展不均衡的状况。2022年,高速公路、国家高速公路、普通国道、省道的饱和度分别下降至0.34、0.36、0.46、0.39,公路基础设施的整体利用率有待提高。

在货运领域,公路运输承担了全国70%以上的

货运量，主要为煤炭、矿石、钢材、建材等大宗商品运输，而在高附加值货物运输、运输效率、环境影响、多式联运等方面依然发展相对迟缓。在客运领域，公路长途客运市场因私家车普及、高速铁路（高铁）快速发展而逐渐萎缩，但在短途客运、城乡交通连接等方面仍发挥着重要作用，保障了大量的日常通勤和出行需求。在智能化管理方面，公路运输进展显著，突出表现在电子收费系统、自动驾驶技术、智能交通平台建设等方面。然而，在数据共享、智能高速公路建设、跨部门协同管理机制优化方面仍存在不足，制约了公路运输效率的整体性提升。

（二）铁路运输

从基础设施规模、运输能力、技术创新等角度看，我国铁路运输位居世界前列，成为全球铁路运输体系的重要支撑力量。2023年，普速铁路总里程为 1.14×10^5 km，高铁总里程为 4.5×10^4 km^[22]，居世界首位。整体上，铁路运力基本满足经济社会发展需求，但部分区域和重点通道仍存在运力紧张现象。

在普速铁路方面，部分重点通道依然面临较大压力，利用率超过80%的紧张区段占比约为14%，集中在京沪线、京广线、陇海线等繁忙干线以及进出藏、进出西南等重要通道。在高铁方面，通道总体能力利用率较好，紧张区段占比仅为3%，但在京沪高铁徐州至蚌埠段、京广高铁长沙以南段、沪昆高铁沪杭段等重点区段的运能趋于饱和。京津冀、长三角、粤港澳大湾区等地区的城市群对城际铁路需求旺盛，广深港高铁、沪宁城际等线路的运输压力较大，接近饱和状态。

铁路客运需求规模全球最大，高铁在城际出行、长距离运输方面展现出良好的运输效率与时效性，对经济社会发展构成重要支撑。铁路货运以煤炭、矿石、钢材、建材等大宗商品运输为主，运输结构正在逐步优化，但在高附加值货物运输、多式联运、市场化运营机制方面仍存在一定的局限性，运输服务的多元化和灵活性有待提升。

（三）水运运输

我国在水运领域具有显著优势，内河航道通航里程、集装箱码头吞吐量、水运货运周转量等关键指标均处于国际领先地位。2023年，内河航道通航

里程为 1.28×10^5 km，集装箱码头吞吐量为 3.1×10^8 标准箱，水运（内河）货运周转量为 2.077×10^{12} t·km^[22]。然而，在高等级航道的占比和利用率上，我国与世界先进水平相比仍存在差距，如美国四级以上航道占比为76.6%，而国内仅为21.2%，导致部分航道运输效率受限^[22]。

国内沿海港口的能力利用率约为86%，高于国际平均水平（60%~70%）^[23]，但部分港口在特定货类和时段存在“船等码头”现象，影响了整体运输效率。

内河水运存在航道网络化程度不足、高等级航道连通性较差等问题，如因地理条件限制主要内河航道网互不连通，淮河航道网仅能通过大运河与长江航道网相连；船闸、升船机等通航建筑物的通过能力不足，三峡船闸等关键节点的运行量超过设计能力的60%，导致待闸时间较长、通航效率受限；航道桥梁净空不足以及河流水位变化和潮汐等自然条件，也在一定程度上限制了内河的通航能力。

在铁水联运方面，东部沿海港口的集装箱生成量约占全国的90%，但相应发展存在瓶颈，突出表现在铁水联运体制机制不完善、运输服务衔接不畅、信息共享不足等方面，影响了整体运输效率。

在服务与管理方面，水运客运网络覆盖范围较广，能够连接内陆与沿海城市，具有较强的运输覆盖能力；但服务舒适性、船舶速度、班次安排等与国际先进水平相比存在差距，内河航道监管能力较弱，部分地区的航道维护和管理水平亟待提升。

（四）航空运输

我国航空运输体系在基础设施规模、运输能力、技术应用等方面达到国际先进水平，但空域资源管理、枢纽机场效能提升等亟待改善。机场总数、旅客运输量、航空货运周转量等方面的竞争力较强，进入国际前列。2019年，全国共有238个运输机场，年旅客吞吐量为13.5亿人次^[24]，设计容量利用率为99%，基本处于饱和运行状态。航空货运设施的设计容量为 2.767×10^7 t/a，实际完成吞吐量为 1.71×10^7 t/a，利用率仅为62%，存在较大的富余。

41个枢纽机场承担了全国民航客、货业务量的83.4%、95.1%，2019年共完成起降 7.946×10^6 架次，跑道利用率为86.8%；其中广州、成都、深圳、昆明等14个机场的跑道利用率超过100%，繁忙时段

的时刻利用率超过 90%，部分机场处于饱和或超负荷状态^[25]。航站楼、停机位总量基本满足需求，但大连周水子、合肥新桥、厦门高崎、青岛流亭等重点机场的停机位保障能力仍存在不足。

在空域资源方面，民航使用空域仅占全国空域的 22.9%，明显低于发达国家超过 82% 的水平，在军民航协调、空域灵活使用方面存在较大的提升空间。航线网络布局以点对点直飞为主，中转旅客比例较低，不利于提高枢纽机场的运行效率。

我国航空货运以国际市场需求为主，2021 年的航空货邮周转量为 277.8×10^{10} t·km，与发达国家相比存在一定的差距，高附加值货物运输量、国际市场份额等均待提升。

（五）综合运输

我国综合运输体系建设进展良好，形成了由铁路、公路、水运、航空等运输方式构成的立体化、网络化综合运输体系，在枢纽城市建设、通道布局、多式联运、智慧交通等方面展现出较强的竞争力。也要注意，受资源配置不均、跨方式衔接不畅、管理机制滞后等因素的影响，综合运输体系的协同效能仍有较大的提升空间。

我国的综合交通枢纽城市多位于沿海地区和内陆中心区域，如北京、上海、广州、深圳、武汉等，以保障区域运输的衔接效率和资源利用率为布局导向。然而，部分内陆地区的综合枢纽建设滞后，导致物流链条断点较多、资源配置不够均衡。尽管已在积极推动公铁联运、铁水联运、空铁联运等多式联运模式，但铁路货运的集装箱化率、标准化运输成效等相较国际先进水平存在较大差距。公铁联运、铁水联运的衔接标准尚未统一，信息共享平台能力有待提升，综合运输效率未能实现最优。跨部门、跨区域协调机制未能建成，运输资源的统一调度和精益管理尚存壁垒。多式联运领域的市场化运营机制不够完善，运输服务的市场竞争意识不强，部分地区的基础设施建设投入不足。

四、我国综合交通运输体系效率提升的制约因素

（一）综合交通基础设施布局有待调整

综合交通基础设施布局需要在区域协调发展、

结构调整、枢纽整合等方面进行优化，而结构性失衡、区域发展不均衡是制约我国整体运输效率提升的重要因素。① 综合交通骨架不够完善，供需匹配有待均衡。加强东部沿海和中部经济发达地区的综合运输“大通道”能力、提升城市群及都市圈的交通基础设施适应度、实施城乡及区域交通基础设施的互联互通和运输一体化发展等，较为迫切。② 综合交通基础设施的结构性矛盾较为突出。部分地区的交通建设单一化、综合规划缺乏，降低了整体运输效率。在陆路交通方面，干线与支线发展不协调、高速与普通交通发展不均衡，导致不同交通方式之间衔接不畅。③ 综合交通基础设施布局在区域发展层面上存在不均衡情况。如东部经济发达地区的基础设施较为完善，而中西部地区的交通设施建设仍有不足，加大了区域之间的运输效率差异；部分地区的交通枢纽和“大通道”建设滞后，影响了区域之间的要素流动与资源配置。

（二）综合交通基础设施利用效能有待增强

综合交通基础设施的利用效能受到多重因素的限制，智能化和安全水平不足、与信息 and 能源网络脱节，削弱了整体运输效能。① 基础设施智能化水平较低。各类运输方式的信息化、数字化水平不均衡，智慧化应用处于起步阶段，未能形成系统性的集成解决方案。② 基础设施安全应急措施的可靠性有待提高。应急保障的信息化手段缺乏，各类运输方式的安全监督和管理效能有待提升，针对突发事件的应急指挥调度、辅助决策能力滞后。③ 与能源网络的衔接存在短板，基础设施和能源设施的共用水平以及资源共享程度不够理想，供给与需求的动态平衡未能实现。④ 各类交通数据“孤岛”现象凸显，交通基础设施数据采集的全面性、实时性、精确性不强，智慧交通建设所需的行业标准和工程规范未能统一，面向全行业的推广应用难度较大。

（三）交通基础设施的耐久性和可靠性有待提升

铁路、公路、水运、民航工程等领域分别建立了耐久性技术体系，但仍存在一定的不足，制约了综合交通运输体系效率的提升潜力。① 耐久性保障技术体系亟需完善。各类交通领域的结构耐久性技术体系存在重设计和维修、轻评估的问题，结构维修成本较高，存在影响结构正常服役的风险。② 耐

久性现场快速测试技术有待升级。耐久性现场试验设备复杂，不适应既有基础设施耐久性的快速评定要求，需要发展支持现场作业的耐久性快速、无损检测新技术。③ 耐久性评估专业方案缺失，尤其是铁路工程、民航工程尚无既有基础设施耐久性可靠评估的专用标准，而现有的通用性标准不宜直接用于耐久性评估。④ 耐久性提升与养护维修工艺有待升级。交通基础设施存量、服役条件各异，对养护维修工艺与方法提出了差异化的需求，现有工艺与方法较为传统，不适应各类交通基础设施耐久性提升的需要。

（四）综合交通运输管理效能有待优化

综合交通运输管理效能不够完善，是制约整体运输效率提升的直接因素。① 联程运输的体制机制、市场运营机制、监督管理权责分配机制等未能细化到位，需要系统研究和制定法律法规、政策保障措施。② 各类运输方式的运营主体在运能匹配、时刻衔接、枢纽换乘等方面缺少协同，客票配套保障服务体系存在短板，导致联运组织管理难以优化。③ 货运“一单制”“一箱制”未能全面推行。货运运输布局与部分地区的物流基础设施不匹配，不同主体的集装箱运输规则不一致，集装箱智能管控技术应用不充分，导致以箱为固定单元在各类运输方式之间的流转便利性和顺畅性不佳。④ 服务规则衔接不畅、缺乏互认。各类运输方式分属不同部门并各自形成相对完备的运输服务规则，在货类品名、危险品划分、包装与装载要求等方面的规定也各不相同；各类主体在即将作业的内容、时间、地点上缺少互认机制，直接抑制货物的联运效率。

（五）综合交通基础设施投资债务压力极大

综合交通基础设施投资强度大、发展迅速，客观上面临着较高的投资债务压力，对整体运输效率提升构成潜在风险。亟需优化融资结构，提升项目盈利能力，促成交通基础设施的可持续发展。① 交通行业项目建设和运营主要依赖债务融资，如铁路、公路基建投资多来自银行贷款，导致长期银行借款融资占比明显偏高。不合理的融资结构伴生了资金流动性风险，短期贷款到期后还本付息压力较大，后续资金融通存在一定的缺口。② 交通行业具有较强的公益性，许多建设项目盈利能力不足、资

产流转性低、现金流动性不足，影响健康运营和效率提升。

五、我国综合交通运输体系效率提升的重点任务

（一）优化综合交通基础设施布局结构

优化综合交通基础设施布局是提升综合交通运输体系效率的基础。通过科学统筹、协调发展、管理创新，全面提升综合交通基础设施布局结构的合理性及高效性。① 加快建设铁路、公路等“大通道”能力紧张区段，完善综合交通网络骨架；提升城市轨道交通与城乡道路的联通水平，促进城乡及区域交通的互联互通、一体化发展。针对区域发展不均衡产生的交通供需失衡问题，统筹资源配置与空间布局，引导交通基础设施建设向薄弱环节倾斜，确保交通供给与区域经济发展的动态适应。② 全面调整综合交通基础设施的布局结构，推动干/支线交通的协调发展；优化高速公路、普通公路网络，增强各类运输方式之间的衔接，减少重复建设，避免资源浪费。形成主次分明、层次清晰的港口布局结构，建立功能互补的航空网络，避免同质化竞争，提升整体运输效率。加强综合运输枢纽的功能建设，优化枢纽之间的空间衔接和联运组织，提升客货联运效率。加快普及“一站式”服务、“一单制”物流模式，提升货物运输的便捷性与安全性。③ 研判未来发展趋势、识别潜在需求，科学布局“大通道”交通基础设施建设体系；以提高“大通道”整体利用率为目标导向，确保新建和改造项目满足经济社会发展的实际需求，有效提升综合交通运输效率。

（二）推进基础设施、能源、信息、服务“四网融合”

推进基础设施、能源、信息、服务“四网融合”是提升综合交通运输体系效率的重要策略。① 建设基于“四网融合”的新型基础设施体系，布局充换电网络、智能路网设施，探索“多站融合”“共享铁塔”模式；开展工程示范，促进能源、通信产业的协同发展，为综合交通运输体系的绿色化发展、智能化转型确立关键基础。② 以交通基础设施为载体，结合清洁能源利用的重要发展趋势，统

筹实施交通运输与能源两大领域的规划、建设、运营，推动交通基础设施与能源基础设施深度融合。③ 将升级信息服务体系作为“四网融合”的核心环节，完善有线和无线通信专网建设，推进“人—车—路—云”高效协同，强化数据驱动的信息服务能力，促进交通数据的互联互通和高效利用。④ 构建“四网融合”一体化服务体系、统一的信息共享平台，优化供需匹配情况，改善用户出行体验，推动交通、消费、能源等领域的融合发展。⑤ 建立资源共享、数据互联的高效协同机制，推动交通、旅游、商贸、物流、能源等业态的融合服务，支持基础设施“建—管—养—运”全链条数字化管理，全面提升综合交通运输体系的整体效率与服务水平。

（三）提升既有交通基础设施耐久性和可靠性

提升既有交通基础设施的耐久性和可靠性是优化综合交通运输体系效率的重要保障。在关注既有基础设施利用效率的基础上，进一步从全生命周期成本的角度出发，延长设施的使用寿命并挖掘潜在效能，直接提升资源利用效率，促进交通运输体系的高效率和可持续运行。① 开展既有交通基础设施的扩容提效，优化现有铁路、公路、港口、民航设施的运维管理，提升承载能力和运行效率。实施普速铁路提速、高速铁路达速、重载铁路提升改造，快速提升铁路运输的效能。通过车道扩容、桥梁隧道加固、智能交通技术应用等方式，缓解公路交通压力并提升通行能力。通过设备更新、工艺改进、空间优化等方式，提升港口和机场设施的装卸作业与客货吞吐效率。② 重点提升交通基础设施在自然灾害和突发事件中的韧性，增强交通基础设施的可靠性。加强灾害监测预警、应急响应能力建设，应用自然灾害预报、不良地质监控等技术，及时发现潜在风险，提前采取防范措施。应用预防性加固、快速抢修等技术，提升结构的可靠性，确保极端条件下交通基础设施通畅。运用无损监测技术开展关键基础设施的实时监控，及时发现结构异常情况，降低安全隐患，避免通行效率下降。发展精准修复技术，优化养护维修制度，推广预防性修复新工艺，确保交通基础设施病害“可预防、可感知、可整治”。③ 匹配不同结构的服役寿命，延长设施的整体使用年限，使部分设施在达到设计寿命后仍能维持正常运转。

（四）提升综合交通运输组织效率及管理效能

提升运输组织效率及管理效能是确保综合交通运输体系高效运行的重要环节。在组织模式创新、联运效率提升、信息化管理升级、跨部门协同增强等方面采取行动，有效应对涉及多种运输方式、需要跨区域协同等交通运输管理组织难题，促进各类运输方式的有机衔接和资源共享。① 优化运输组织模式，提升运输链的连续性和效率。在旅客联程运输方面，加快普及“一票通”服务模式，探索公铁联运、空铁联运、铁水联运等联程运输模式，降低不同交通方式的转换成本，提供便捷高效的出行服务。在货运联程运输方面，加快推进“一单制”“一箱制”多式联运模式，实现货物在不同运输方式之间的高效衔接，推动“门到门”全程运输服务，提升货物运输的时效和安全性。② 建立信息化管理体系、统一的交通运输信息平台，整合客运、货运、基础设施等维度的数据资源，开展数据的实时采集、传输、共享和分析，提升运输组织的决策水平。扩大交通信息数据的智能化应用，推动交通数据在不同运输方式、管理部门之间的共享共用，优化资源配置并提升运输效率。建立跨部门、跨区域、跨运输方式的综合协调机制，推动交通运输政策的统一实施。③ 提升综合交通运输服务品质，升级和改造客运枢纽、货运物流节点，增强基础设施的服务功能；依托智慧交通平台，提供实时的交通信息和出行建议，改善出行效率和服务体验。

（五）优化未来综合交通运输体系建设投资

优化综合交通运输体系建设投资是保障交通运输体系可持续发展的重要支撑。通过科学的投资规划、高效的资金运作，全面提升综合交通基础设施的建设和运营效益，为交通运输体系的可持续发展筑牢基础。① 统筹新建项目与既有设施提质改造并重，科学制定交通基础设施建设的投资策略。在满足国家战略、区域发展需求的前提下，优先投资对综合运输体系效率具有显著提升作用的项目，着力实施运输瓶颈区段扩容升级。② 围绕关键节点和薄弱环节，精准识别交通运输中的瓶颈问题，优先投资战略性交通通道、枢纽节点、重点工程，持续提升网络的连通性；侧重中西部和边疆地区的基础设施建设，推动区域交通运输体系协调发展。③ 聚焦

基础设施的智能化与绿色化升级，重点开展智能路网^[26]、车路协同系统^[27]、智慧港口^[28]、智能机场^[29]等智慧交通基础设施的建设与改造，加快交通基础设施的数字化转型。④建立多元化的投融资机制，吸引社会资本参与交通基础设施建设，形成政府引导、市场化运作的良性投资机制；探索基础设施债券、产业基金等新型融资工具，拓宽资金来源渠道，保障交通重点项目的资金需求。

六、结语

涵盖铁路、公路、水运、航空等运输方式的综合交通运输体系建设及其效率提升是复杂的系统工程，作为交通运输现代化的关键着力点，事关经济社会高质量发展。本文围绕交通强国战略部署，提出系统化、科学化的提升路径与发展策略：优化基础设施布局，推动“四网融合”发展，提升基础设施的耐久性和可靠性，提升交通组织及管理效能，优化交通体系投资。相关研究成果，为推动我国综合交通运输体系迈向新发展阶段，以效率提升促进实现高质量发展提供理论和实践支撑。

随着新技术、新理念在交通运输领域的融合创新，我国综合交通运输体系将迎来前所未有的发展机遇。新一代移动通信、人工智能、大数据、物联网等信息技术与交通运输领域进一步融合，将赋能交通运输装备与体系演进升级。绿色低碳发展理念将贯穿交通基础设施建设、运营管理、技术创新的全过程，政策支持、标准化等体系建设可为综合交通运输体系效率提升提供有力的制度保障和执行支撑。高质量发展多式联运将促进各类运输方式之间的资源共享、优势互补、高效协同，全面提升整体运输效率与服务质量。深化相关方面的研究，将更好支持交通强国建设。

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: September 24, 2024; **Revised date:** January 14, 2025

Corresponding author: Lu Chunfang is a professor-level senior engineer from China Railway Society, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research fields include railway engineering technology and construction management. E-mail: chflu1956@126.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Comprehensive Transport System Efficiency Improvement Strategy” (2022-PP-06)

参考文献

- [1] 交通运输部领域新型基础设施建设行动方案(2021—2025年) [EB/OL]. (2021-08-31)[2024-12-25]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/29/5639987/files/a2d1ca20cc0448cc9380c6f2f1f7c340.pdf>.
Action plan for the construction of new infrastructure in the transportation sector (2021—2025) [EB/OL]. (2021-08-31)[2024-12-25]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/29/5639987/files/a2d1ca20cc0448cc9380c6f2f1f7c340.pdf>.
- [2] 新时代交通强国铁路先行规划纲要 [J]. 铁道技术监督, 2020, 48(9): 1–6, 24.
Outline of railway advance planning for powerful transportation countries in the new era [J]. Railway Technical Supervision, 2020, 48(9): 1–6, 24.
- [3] 伍朝辉, 武晓博, 王亮. 交通强国背景下智慧交通发展趋势展望 [J]. 交通运输研究, 2019, 5(4): 26–36.
Wu Z H, Wu X B, Wang L. Development trend of intelligent transportation under the background of powerful transportation country [J]. Transportation Research, 2019, 5(4): 26–36.
- [4] 《中国公路学报》编辑部. 中国交通工程学术研究综述·2016 [J]. 中国公路学报, 2016, 29(6): 1–161.
Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. Review of academic research on traffic engineering in China·2016 [J]. China Journal of Highway and Transportation, 2016, 29(6): 1–161.
- [5] 刘长俭. 交通强国背景下中国水运发展战略思考 [J]. 中国水运, 2019 (23): 14–15.
Liu C J. Strategic thinking on the development of China's water transportation under the background of building a strong transportation country [J]. China Water Transportation, 2019 (23): 14–15.
- [6] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国交通的可持续发展 [N]. 人民日报, 2020-12-23(10).
The State Council Information Office of the People's Republic of China. Sustainable development of China's transportation [N]. People's Daily, 2020-12-23(10).
- [7] 张国伍. 交通运输系统分析 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1991.
Zhang G W. Transportation system analysis [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 1991.
- [8] 罗仁坚. 我国现代综合运输体系发展思路 [J]. 综合运输, 2004, 26(1): 22–25.
Luo R J. Thoughts on the development of modern comprehensive transportation system in China [J]. Comprehensive Transportation, 2004, 26(1): 22–25.
- [9] 荣朝和. 关于我国尽快实行综合运输管理体制的思考 [J]. 中国软科学, 2005 (2): 10–16.
Rong C H. Opinions on implementing the integrated transport management system in China [J]. China Soft Science, 2005 (2): 10–16.
- [10] 王宝春. 现代综合交通运输治理体系建设的思考 [J]. 综合运输, 2018, 40(8): 7–10.
Wang B C. Thoughts on improving modern integrated transportation governance system [J]. China Transportation Review, 2018, 40(8): 7–10.

- [11] 卢春房, 卢炜. 综合立体交通运输体系发展策略 [J]. 铁道学报, 2022, 44(1): 1–7.
Lu C F, Lu W. Development strategies of comprehensive stereoscopic transportation system [J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(1): 1–7.
- [12] 王庆云. 系统工程视角下综合交通运输理论发展演化与分析 [J]. 交通运输研究, 2023, 9(3): 3–15.
Wang Q Y. Development, evolution and analysis of comprehensive transportation theory from perspective of systems engineering [J]. Transport Research, 2023, 9(3): 3–15.
- [13] 丁金学. 新时代我国综合交通运输发展形势与建议 [J]. 重庆交通大学学报(社会科学版), 2024, 24(6): 55–62, 112.
Ding J X. The development situation and suggestions of comprehensive transportation in China in the new era [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2024, 24(6): 55–62, 112.
- [14] 吴文化. 中国交通运输效率评价体系研究分析 [J]. 综合运输, 2001, 23(3): 32–35.
Wu W H. Research and analysis of China transportation efficiency evaluation system [J]. Comprehensive Transportation, 2001, 23(3): 32–35.
- [15] 宋京妮. 综合运输效率形成机理及评价研究 [D]. 西安: 长安大学(博士学位论文), 2017.
Song J N. Study on formation mechanism and evaluation of comprehensive transportation efficiency [D]. Xi'an: Changan University (Doctoral dissertation), 2017.
- [16] 何洪文, 孙逢春, 李梦林. 我国综合交通工程科技现状及未来发展 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 202–211.
He H W, Sun F C, Li M L. Current status and future development of integrated transportation technology in China [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(6): 202–211.
- [17] 俞礼军, 靳文舟. 交通效率的度量方法研究 [J]. 公路, 2006, 51(10): 102–106.
Yu L J, Jin W Z. A study on measures of transportation efficiency [J]. Highway, 2006, 51(10): 102–106.
- [18] 马奇飞. 中国综合交通运输绿色效率研究 [D]. 大连: 大连海事大学(博士学位论文), 2023.
Ma Q F. Study on green efficiency of comprehensive transportation in China [D]. Dalian: Dalian Maritime University (Doctoral dissertation), 2023.
- [19] 张林, 卢春房. 公铁水航一体化规划建设的路径 [J]. 中国公路, 2023 (2): 24–26.
Zhang L, Lu C F. Operation path of integrated planning and construction of public, hot metal and aviation [J]. China Highway, 2023 (2): 24–26.
- [20] 傅志寰. 交通强国战略研究 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
Fu Z H. Research on the strategy of building a strong transportation country [M]. Beijing: China Communications Press, 2019.
- [21] 张国强. 我国综合运输发展及适应性理论的述评 [J]. 综合运输, 2009, 31(3): 8–11.
Zhang G Q. Review on the theory of comprehensive transportation development and adaptability in China [J]. Comprehensive Transportation, 2009, 31(3): 8–11.
- [22] 2023 年交通运输行业发展统计公报 [J]. 现代城市轨道交通, 2024 (7): 139.
Statistical bulletin on the development of transportation industry in 2023 [J]. Modern Urban Transit, 2024 (7): 139.
- [23] 贾大山, 徐迪, 蔡鹏. 2023 年沿海港口发展回顾与 2024 年展望 [J]. 中国港口, 2024 (1): 6–16.
Jia D S, Xu D, Cai P. Review of coastal port development in 2023 and prospect in 2024 [J]. China Ports, 2024 (1): 6–16.
- [24] 2019 年交通运输行业发展统计公报 [J]. 中国水运, 2020 (9): 40–43.
Statistical bulletin on the development of transportation industry in 2019 [J]. China Water Transport, 2020 (9): 40–43.
- [25] 中国民航科学技术研究院, 国家发展和改革委员会综合运输研究所. 民用运输机场适应性评价研究 [R]. 北京: 中国民航科学技术研究院, 国家发展和改革委员会综合运输研究所, 2022.
China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Institute of Comprehensive Transportation of National Development and Reform Commission. Research on adaptability evaluation of civil transport airports [R]. Beijing: China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Institute of Comprehensive Transportation of National Development and Reform Commission, 2022.
- [26] 傅志寰, 翁孟勇, 张晓璇, 等. 我国智慧公路发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 150–159.
Fu Z H, Weng M Y, Zhang X X, et al. Development strategy of smart highways in China [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25 (6): 150–159.
- [27] 伊笑莹, 芮一康, 冉斌, 等. 车路协同感知技术研究进展及展望 [J]. 中国工程科学, 2024, 26(1): 178–189.
Yi X Y, Rui Y K, Ran B, et al. Vehicle–infrastructure cooperative sensing: Progress and prospect [J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(1): 178–189.
- [28] 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.
- [29] 凌建明, 方意心, 张家科, 等. 机场智能跑道体系架构与关键技术 [J]. 土木工程学报, 2022, 55(2): 120–128.
Ling J M, Fang Y X, Zhang J K, et al. Framework and key technologies of airport smart runway [J]. China Civil Engineering Journal, 2022, 55(2): 120–128.