

多网融合条件下运输组织优化研究

林立¹ 孟学雷² 崔袁丁¹ 韩正² 夏溪蔓²

1. 兰州交通大学 机电工程学院 机械工程博士后流动站 甘肃兰州 730070;

2. 兰州交通大学 交通运输学院 甘肃兰州 730070

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21596

[摘要] 随着我国城镇化水平提升,城市群与都市圈逐步成为区域发展的核心形态,推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路与城市轨道交通一体化融合发展,已成为现阶段我国轨道交通领域的核心战略方向。运输组织优化是破解不同制式互联互通壁垒、提升路网整体运输效能的关键环节。本文在梳理多网融合发展现状与既有研究成果的基础上,深入拆解多网融合下运输组织面临的核心问题,包括运输资源共享机制、客流预测、开行方案编制等多个维度。搭建了适配多网融合场景的运输组织优化整体框架,针对运输计划协同编制、运力资源统筹调配、多运营主体利益协调的实施路径进行了深入探讨,以期为我国轨道交通多网融合运输组织实践提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 轨道交通;多网融合;运输组织;协同运营

引言

国内轨道交通产业迎来转型升级的重要窗口期,行业发展重心已由前期大规模线路建设转向运营品质与服务能力全方位升级。现阶段,高铁、城际、市域(郊)、地铁等多层次轨道网络已实现规模化布局,各类线路形成了完备的网络体系。全国铁路运营线路总长突破16.5万公里,高速铁路超5万公里,同期我国大陆地区已有58座城市开通运营线路合计382条,线路总里程超13067.89 km,全年城轨客运总量接近333亿人次。伴随多层次轨道网络持续织密扩容,各类轨道制式在运营衔接、资源协同层面存在的短板与矛盾不断显现,成为制约综合运输效能提升的核心瓶颈。

统筹多制式轨道交通协同发展是落实交通强国战略的关键举措,自2017年起,交通运输部、国家发改委陆续出台多项政策文件,明确要求推进干线、城际、市域(郊)及城市轨道交通的统筹发展^[1]。其中,国办函〔2020〕116号文件针对都市圈通勤网络作出部署,要求统一市域铁路技术标准,推广多站点换乘、跨线直达的运输组织模式。《国家综合立体交通网规划纲要》进一步细化建设要求,提出统筹干线、城际与市域线路一体化规划建设。系列政策文件的核心导向,都要求推动轨道交通运营、客运服务实现一体化统筹,打通城市内外出行通道,解决不同轨道系统衔接不畅的现实问题。

从实际运营情况来看,各制式大多采取独立运营的管理方式,不同制式线路分属不同运营主体,运力资源难以统筹调配,路网整体协同水平偏低,因此时常出现部分区段运力闲置、高峰路段运力不足的供需错配现象。旅客跨区域、跨

制式出行时,往往要经多次购票、换乘和安检,途中耗费大量时间,出行便捷度大打折扣。传统单一制式独立运营模式已难以满足旅客多样化的出行需求,推动各制式一体化融合发展,已成为未来行业的必然走向^[2]。

多网融合发展正由战略部署逐步转向工程落地,因此亟待完善与之适配的运输组织理论与方法体系。从理论层面而言,多网融合下运输组织研究能够扩展延伸传统运输组织理论的边界,丰富其应用场景。从实践层面而言,本文研究可为都市圈、城市群轨道交通新线规划建设及既有线运营效能提升提供有益参考。

一、多网融合的内涵与发展现状

多网融合是指通过实现不同层次、不同制式轨道交通网络的互联互通与协同运营,形成功能互补、衔接顺畅的一体化轨道交通网络。不同制式轨道交通线路在空间上的连通是融合的基础,包括线路的交叉、并行、共用通道以及车站节点的衔接设计。运输组织层面的协同是多网融合从“物理联通”走向“逻辑协同”的关键环节,包括列车开行方案的协同编制、运行图的协调铺画、运力资源的共享调配等^[3]。多运营主体之间的信息共享、票务互通、应急联动、收益分配等管理机制的建立,是多网融合可持续发展的制度保障^[4]。

跨制式协同运营在国外发达都市圈已有较为成熟的实践。东京都市圈以多元运营主体协同为切入点,构建跨线统一调度机制与票务清分规则,解决了“谁来指挥、如何分成”的核心问题。巴黎都市圈围绕跨制式互通运营技术问题,制定了统一的轨道、供电与信号系统标准,实现了多网融合硬

联通。德国卡尔斯鲁厄地区创新性地提出了“Tram-Train”模式，经运营实践客流量增长了约五倍。

国内部分区域也已开展多网融合的初步探索，例如京津冀、长三角、成渝等城市群形成了多层次、多制式轨道交通立体网络。2024年粤港澳大湾区作为多网融合的试点区域，陆续开展了设施互联、票务互通、安检互认、信息共享及跨制式协同管理等系统性改革。与此同时，重庆市实现了市域江跳线与轨道交通5号线的贯通运营，大幅提升了跨制式旅客出行效率。

二、多网融合条件下运输组织的关键问题

（一）运输资源共享机制

多网融合条件下，运输资源共享是实现资源优化配置、提升系统整体效率的核心手段。通过技术标准的统一与运营管理的协同，不同制式轨道交通线路、车辆、设备、信息、人员等均可实现跨制式复用。

运输资源共享主要包括以下几个层面：一是线路资源共享，即不同制式列车共用部分线路或通道，如利用国铁线路富余能力开行市域列车；二是车辆资源共享，列车跨制式贯通运行，从而实现移动设备的跨线共用；三是设备设施共享，包括供电、通信、调度系统的标准衔接以及车辆基地、检修维保设施的共享利用；四是信息资源共享，通过搭建跨运营主体的数据交互平台，实现客流动态数据、列车实时运行信息的双向传递与即时共享。

（二）多网融合下客流预测

客流预测是运输计划编制的基础，预测结果对开行方案制定的合理性和运输资源配置的科学性有着直接影响。一方面，多网融合会带来路网拓扑结构的变化，进而影响客流时空分布规律，另一方面，跨制式互联互通也会影响旅客出行方式选择，不同制式间的协同效应会对客流产生复杂的非线性扰动。传统客流预测方法多聚焦于单一制式轨道交通系统内部的客流分析，未能充分考虑站点间的协同效应和线网拓扑结构变化对客流变化的影响，忽略了多网融合带来的客流诱增与转移。

深度学习方法擅长处理高维、非线性数据，近年来已逐步应用于轨道交通客流预测领域，针对多网融合带来的路网结构与客流分布变化，此类数据驱动方法能够有效地挖掘变量间的深层关联，因此在多网融合场景下表现出较好的适用性。

（三）多网融合下开行方案编制

列车开行方案是运输组织的核心，是客流转化为列车流的关键环节。多网融合条件下，列车开行方案编制问题涉及的决策变量更高维、约束条件更复杂、优化目标更多元。决策变量方面，除传统的列车开行频率、停站方案、运行径路外，还需考虑互通运营列车的运行区段、折返站点设置、跨线列车与本线列车的开行比例等。约束条件方面，除客流需求满足、线路通过能力、车站能力、可用车辆数等传统约束外，还需考虑不同制式间的运能匹配度、多运营主体间的利益均衡、跨制式列车的技术兼容性等。从求解方法来看，多网融合条件下的列车开行方案属于典型的NP难问题，需要针对问题特点设计高效求解算法。

三、运输组织优化方法

（一）运输计划协同编制

多网融合条件下的运输计划协同编制是实现运输组织优化的核心环节。不同制式轨道交通的运输计划应由各自独立编制转向协同编制。协同编制的核心在于建立跨制式、跨运营主体的信息共享机制和计划协调机制。

开行方案的协同编制应同步满足本线客流与跨线客流需求，运行图的协同编制要求不同制式列车运行线在共用区段实现时间上的协调配合，而车底运用的协同编制需要考虑跨制式车底统筹调配与高效周转。

（二）运力资源优化配置

多网融合运力资源配置的关键转变，是从单线效率优先转向全网效能最优。依靠增加投入来满足日益增长的客运需求难以实现，在既有设施设备数目有限的前提下，通过跨制式运力资源共享，打通不同制式间的资源壁垒，使运力在多层次轨道交通网络中实现动态调配。

运力资源优化配置的关键在于准确识别不同区段、不同时段的客流需求，实现需求与供给的精准匹配。开行贯通运营列车可将客流较小区段的运力转移至客流较大的区段，提高整体运力的利用效率。与此同时，灵活编组、大小交路等运输组织方式也能够运力资源优化配置中发挥重要作用。

多网融合条件下的运输资源并不限于车辆。基础设施资源包括区间、站台、折返线、联络线、车辆基地和检修设施；移动资源包括跨线列车、备用车、救援车辆和应急装备；时空能力资源包括区间通过能力、车站接发能力、折返能力和追踪间隔；信息与治理资源则包括客流信息、列车状态、票务清算、异常信息发布和应急指挥。资源在物理层面是客观存在的，并不意味着它已成为可调用的共享资源，只有当

技术接口、调度权、维护责任、费用清分规则和故障退出机制均已明确时，资源才能真正实现全局优化配置^[5]。

资源共享能够减少重复配置并扩大可选择的服务组合，但共享对象不同，对运输组织的影响路径也不同。线路与站台共享直接改变列车服务的可达范围，同时占用另一网络的能力；车辆共享可减少专用车底需求，但可能会增加周转里程和检修组织难度；线路能力共享能够改善跨网接续，需要统一铺画列车运行图并建立规范的交接规则；信息共享对物理接口提出了一定要求，同时它决定了客流预测、票款清分和应急联动能否形成闭环。因此，模型必须把“共享收益”和“共享占用”同时计入，不能仅把资源共享视为免费的容量增加。

（三）多运营主体利益协调

多网融合涉及多个独立运营的市场主体，各主体基于自身经营目标与发展定位，往往存在差异化的利益诉求。因此，构建科学完善的利益协调体系，是破解多主体协同发展难题的关键。

多运营主体的利益协调主要包含以下内容：①构建成本分摊制度，明确不同运营主体在共用设施设备、集中运营管理中的成本分担比例。②优化收益分配方法，合理划分客票收入、商业经营等各类收益。③构建协同决策机制，建立多主体共同参与的运输计划编制与决策流程。④明确风险分担责任，在突发事件、极端客流波动等情况下实现风险的合理分担。

四、客运服务质量提升效果

重庆市域江跳线与轨道交通5号线的贯通运营是国内多网融合从规划走向落地的一个典型实例。江跳线作为国内首条商用双流制市域铁路，正线全长28.22km、沿途设站7座，5号线全长48.66km、设站31座，二者于跳蹬站实现线路衔接与跨制式直通运行。

针对跨制式出行的换乘问题，贯通运营后设置了差异化的开行频率：城轨本线与过轨列车分别为10对/h和5对/h，市域本线与过轨列车分别为1对/h和7对/h。通过贯通列车的开行，乘客可在两线间不经换乘实现直达运输，出行效率大为提升。相较于换乘衔接模式，互联互通模式下乘客总出行时间可降低22.60%。缩短旅客出行时间是多网融合的重要目标，通过优化列车开行频率、停站方案和运行交路，减少乘客的候车时间、在车时间和换乘时间。

总结：

本文围绕轨道交通多网融合背景下运输组织优化问题，系统梳理了多网融合的内涵、发展现状及关键瓶颈。当前各制式轨道交通仍以“专线跑专车”的独立运营模式为主，资源共享率低、换乘不便、运能匹配性差等问题突出，亟需实现从基础的物理联通向全方位的运营协同转变。本文分析了运输资源共享的多层次内涵与实现路径，厘清了运输资源共享、客流预测分析、开行方案编制的思路，并提出了涵盖运输计划协同编制、运力资源优化配置及多主体利益协调的整体优化框架。实践案例表明，多网融合模式能够显著降低乘客出行时间、减少换乘次数、增加企业运营收益，同时对客流波动具有更强的适应能力。本文的研究丰富了轨道交通运输组织基础理论，为多网融合条件下的运输组织优化提供了理论支撑和有益借鉴，也对推动我国轨道交通高质量发展、支撑都市圈和城市群一体化建设具有重要意义。

【参考文献】

- [1]王睿，刘启钢，杨晓，等. 我国轨道交通“四网融合”发展战略研究[J]. 中国工程科学，2025，27(4)：187-198.
- [2]彭其渊，刘思源，江山，等. 贯通运营下市域铁路与地铁列车开行方案协同优化[J]. 交通运输系统工程与信息，2025，25(2)：36-47.
- [3]何必胜，石宇航，黄永龙，等. 市域铁路与城市轨道交通贯通运行条件下的列车运行图编制策略研究[J]. 铁路运输与经济，2025，47(7)：86-96.
- [4]朱炜，张炜晗，郁叶萍，等. 多网融合下都市圈轨道交通清分方法改进研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(2)：42-48+118.
- [5]陈丽，李瑞林，任志权，等. 四网融合之城际铁路与市域铁路互通运营研究[J]. 高速铁路技术，2026，17(2)：25-32.
- 作者简介：林立，出生年月：1995年12月，女，汉族，籍贯：山东临沂，毕业院校：兰州交通大学，毕业专业：交通运输规划与管理，学历：博士研究生，在站博士后，研究方向：轨道交通运输组织优化。
- 基金项目：甘肃省科技计划资助项目（25JRRA220）；
- 项目名称：多网融合条件下考虑运输资源共享的列车开行方案编制研究。