



北京交通大学
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

二〇二四甲辰龙年

科技

Yearly Report
on Science and Technology

工作年度简报

思源 / 交融 / 创新

School of
Traffic and Transportation
交通运输学院

SINCE — 1896



本年成果

● 学科：

交通运输工程学科在 2024“软科世界一流学科排名”中**第六次**排名**世界第一**

● 项目：

2024 年共完成科研项目立项 **401** 项，近三年科研经费增长率稳定保持在 **20%** 以上
其中：

——国家重点研发计划项目 **1** 项、课题 **2** 项、任务 **17** 项

——国家自然科学基金重点项目 **2** 项

——北京高校卓越青年科学家计划项目 **1** 项

——超 1000 万成果转化类项目 **2** 项

向相关部门提交各类重大重点项目指南建议累计 **20** 余项

● 平台：

新增获批 **“铁路现代物流技术研究中心”**

● 智库：

2024 年新增智库成果 **13** 项，**3** 位教师收到省部级以上相关部门感谢信

● 期刊：

主编的 **《都市轨道交通（英文版）》** 实现 **SCI、EI 双收录**，
成为学校历史上**第一本**论文同时被 EI、SCI 收录的科技期刊

● 专利：

2024 年新提交专利申请 **110** 项，授权 **51** 项。

● 软件著作权：

2024 年 11 月新提交软件著作权申请 **65** 项，授权 **55** 项。

● 科研平台：铁路现代物流研究中心获批成立

2024年4月，经相关部门批准，我校牵头成立了铁路现代物流研究中心（以下简称：研究中心），以联合铁路企业、交通院校、物流企业等单位，对支撑铁路现代物流体系发展的若干关键技术开展系统化研究。

研究中心拟围绕现代物流体系建设需要，以国铁集团科研任务为抓手，依托学校学科平台优势与人才密集优势，协同其他单位，围绕铁路现代物流产业政策、专业理论、技术装备等若干问题开展研究工作，强化“校企”关联。

同时，研究中心将依托学校科研资源，自主开展对铁路现代物流若干关键问题的先期探索，有规划的形成若干理论成果体系，强化自身专业积累与行业优势，逐步将自身打造为铁路现代物流研究的产业政策研究基地、理论创新攻关基地、技术装备孵化基地、智库服务支撑基地、创新人才培育基地。



图1 铁路现代物流研究中心定位

后期，研究中心将进一步落实党和国家关于“构建现代物流体系”“降低全社会物流成本”的最新部署决策，围绕铁路现代物流转型升级，组织中心成员对“物流降本”“市场分析”“现代物流体系架构”“转型路径”等问题开展先期研究与论证工作，依托铁路物流专项课题、铁路物流企业合作项目开展“铁路物流市场分析及降本思路”、“铁路现代物流体系内涵及架构”、“铁路现代物流转型的思路及转型路径”等相关科学研究。

运输 2024

● 学术期刊：《都市轨道交通（英文版）》成功实现 SCI、EI 双收录

2024 年 12 月，由我院韩宝明教授担任主编的《都市轨道交通（英文版）》实现 SCI、EI 双收录，成为学校历史上第一本论文同时被 EI、SCI 收录的科技期刊。

经检索 Elsevier 爱思维尔 Engineering Village 网站的 Ei Compendex 数据库核实 *URBAN RAIL TRANSIT* 今年第 3 期以后的全部 16 篇论文已经被 EI 收录，这是 2022 年该刊论文被 SCI(Web of science 核心合集)全文收录之后又一重大成绩。

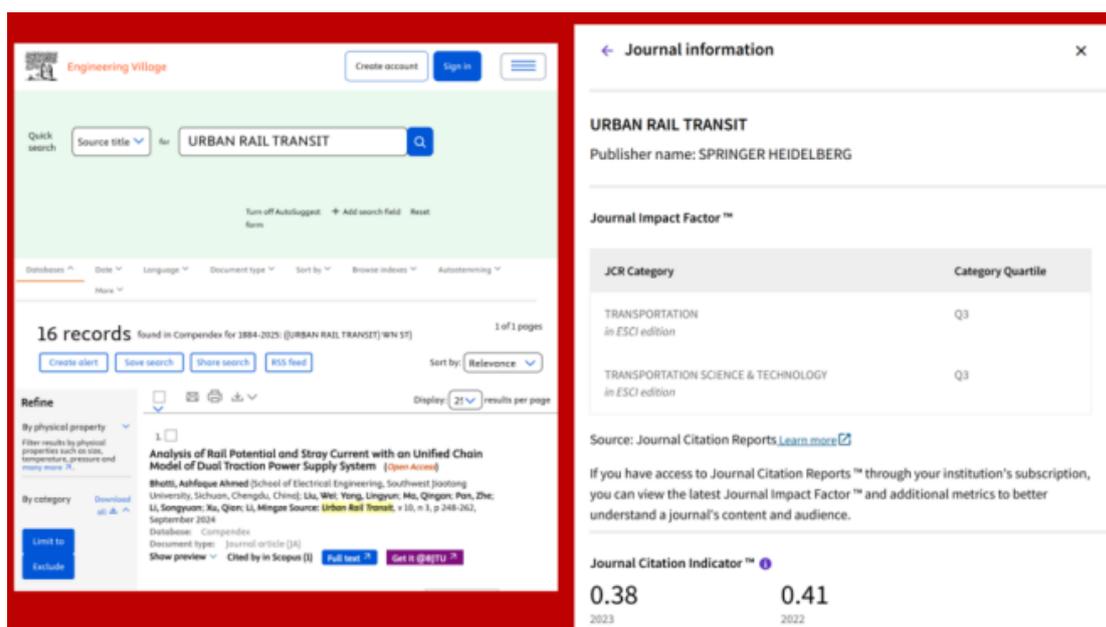


图 1 《都市轨道交通（英文版）》成功实现 SCI、EI 双收录

期刊简介：

URBAN RAIL TRANSIT 《都市轨道交通（英文版）》创办于 2015 年，是城市轨道交通领域第一本英文国际学术期刊，每年出版 4 期。期刊由都市轨道交通杂志社负责编辑出版，联合 Springer 出版发行，中国城市轨道交通协会指导。目前，期刊已被 ESCI、SCOPUS、DOAJ 等 30 余个知名数据库收录，2022 年进入中科院期刊分区表 4 区，2023 年影响因子 1.7，位居 JCR 的 Q3。期刊已发表多篇高引用论文，年下载量近 30 万次。

期刊由中国工程院施仲衡院士任荣誉主编，北京交通大学韩宝明教授和高亮教授任主编，美国亚利桑那州立大学周学松教授和北京交通大学张纯教授任执行主编。北京交通大学冯超和夏胜利副教授先后担任 Managing Editor。

期刊网址：<https://www.springer.com/journal/40864>

● 学术会议：中国铁道学会运输委员会 2024 年年会顺利召开

2024 年 12 月 7 日，中国铁道学会运输委员会 2024 年年会在北京交通大学科学会堂隆重召开。来自国铁集团、国家铁路局、北京交大等行业内领导、专家、学者一百余人参加了会议。北京交通大学副校长李国岫、中国铁道学会副专员国建华分别致辞，国铁集团客运部主任、中国铁道学会运输委员会主任委员黄欣对第六届运输委员会上一年度工作进行了回顾和总结。



会议期间，中国铁道学会运输委员会的行车、货运、客运、站场、安全、高铁、综合、联运 8 个专业方向学组，分别开展了工作研讨并介绍了明年工作规划。中国铁道学会运输委员会常务副主任、兰州交通大学常务副校长聂磊对第六届运输委员会下一年度工作进行了展望。会议由中国铁道学会运输委员会秘书长魏玉光主持，北京交通大学交通运输学院院长孟令云、北京交通大学相关部处领导等出席此次会议。

当天下午举办第四届“铁路运输组织与运营管理创新研讨会”和“新形势下铁路运输系统职工健康管理研讨会”两个分论坛。分论坛一上，9 位专家学者围绕面向现代物流的铁路运输组织创新、中国高铁运营组织综合管理实践创新及发展、打通专业壁垒重塑生产流程努力建设全路一流的数智化编组站等做主旨报告和论文交流；分论坛二上，6 位专家学者围绕铁路职工健康管理策略、基层站段铁路职工健康管理实践与经验等做主旨报告和论文交流。两场学术研讨会分别吸引了线上线下 300 余人参与，获得了铁路各界从业人员的高度认可与肯定！

本次年会汇聚了政产学研各界领导、专家和学者，从系统角度全面深入探讨了铁路运输领域面临的关键技术问题、运营管理问题、职工健康管理问题，分享了最新的研究成果和新思想，促进了铁路运输行业的学术交流，体现了对铁路科技工作者和基层站段职工的爱护与关怀，明确了中国铁道学会运输委员会下一步创新发展和建设工作的思路。

● 学术会议：“低空经济与智慧交通”高端论坛成功举办

2024年12月8日，由北京交通大学交通运输学院主办的“低空经济与智慧交通”高端论坛，在北京交通大学科学会堂举行。论坛分为上午总论坛和下午分论坛两部分。总论坛由交通运输学院院长孟令云主持。

北京交通大学副校长李国岫首先向各位来宾的到来表示热烈欢迎，并介绍了北京交通大学的学科优势和参与中国轨道交通重大事件取得的一系列具有完全自主知识产权、处于国际先进水平的突出创新性成果。



中国民用航空局副局长董志毅、中国工程院陈军院士、中国科学院地理科学与资源研究所原党委书记兼中国民航局民航低空地理信息与航路重点实验室主任廖小罕、北京大学教授兼国家空管专家委员会委员程承旗教授分别就《深入学习贯彻党的二十届三中全会精神，大力发展通用航空和低空经济》、《打造低空经济的数字底座》、《发展低空经济与建设低空路网基础设施效益和挑战》、《地球时空剖分编码代数与低空立体交通智能红绿灯技术系统》作了主题演讲。

下午，分论坛一“低空智能管控关键技术”在北京交通大学红果园宾馆三层多功能厅举行，分论坛二“低空数字化基础设施设计与规划”在北京交通大学红果园1号会议室举行。分论坛“低空智能管控关键技术”由北京交通大学交通运输学院副院长何世伟主持。分论坛“低空数字化基础设施设计与规划”由北京交通大学交通运输学院党委副书记、副院长陈军华主持。

本次论坛邀请了众多行业精英与学界翘楚，在低空经济“元年”共同探讨低空经济与智慧交通这一极具创新性和战略性的主题。整个论坛座无虚席，氛围热烈，开启了高校对“国家综合立体交通网”和低空经济与智慧交通学术研究的新局面。通过论坛，提供了低空经济进一步创新发展的新思路，分享了最新研究成果和新思想，为推动中国低空经济发展和相关领域创新贡献了智慧和力量。

● 学术会议：第 60 次交通“7+1”论坛成功举办

2024 年 12 月 7 日下午，由北京交通大学中国综合交通研究中心承办，北京交通大学交通运输学院、可持续交通创新中心北京交通大学国家交通发展研究院、中国科协创新战略研究院双碳经济与创新发展研究中心、首都高端智库北京交通大学北京综合交通发展研究院、《交通运输系统工程与信息》编辑部、中国系统工程学会交通运输系统工程专业委员会协办的第 60 次交通“7+1”论坛在北京交通大学红果园宾馆多功能厅成功召开。本次论坛的主题为“新时期我国交通运输业碳减排的任务与对策”，深入探讨了交通运输领域碳减排的阶段性目标，重点研究了公路、民航以及货运领域 2035 年前后我国交通运输行业碳减排的面临的任务与难点。



论坛上，北京交通大学教授柏赞围绕我国交通运输行业碳减排的任务与对策，结合国际经验，从总体上分析了我国交通运输行业面临的形势，研究提出了减碳的交通运输重点领域，并分析了运输结构优化、燃料替换、能效提升、组织管理等各类减排措施的潜力。南京航空航天大学民航学院副教授胡荣从技术与组织两个层面分析了 2035 年我国民航运输业碳减排的任务与对策，提出以可持续航空燃料为核心，通过优化航空器地面、终端区和航路运行效率和完善管理措施来减少碳排放。交通运输部科学研究院副研究员凤振华探讨了我国公路运输业绿色低碳转型的政策与实施路径，提出重点推动新能源车辆应用，完善充电基础设施布局，依托多式联运、数字化转型和市场化机制，实现交通领域绿色发展目标。交通运输部公路科学研究院副研究员李梈分享了他在公路货运领域研究推进绿色及低碳转型路径的成果与观点，提出应加快推动燃油车技术升级，加速新能源货运车辆推广应用，通过市场化手段实现减排与经济效益的平衡。

来自交通运输部运输服务司、国家铁路局科技法制司、中国民航干部管理学院、国家发改委综合运输研究所、交通运输部科学研究院、交通运输部公路科学研究院、中国民航科学技术研究院、中国铁路设计集团有限公司、能源基金会（北京办事处）、中国智能交通协会、南京航空航天大学、北京交通发展研究院、中国铁道科学研究院、北京交通大学等单位的 30 余名专家与学者参加了本次论坛。

● 学术会议：2024 交通与运载工程学科轨道交通领域青年学者论坛成功召开

2024年9月20日至22日，由国家自然科学基金委员会工程与材料科学部指导，北京交通大学和昆明理工大学联合承办，同济大学、东南大学、中南大学、西南交通大学、北京航空航天大学及兰州交通大学等单位协办的“2024 交通与运载工程学科轨道交通领域青年学者论坛”在云南省弥勒市成功举办。



9月21日，论坛正式拉开帷幕。弥勒市市委副书记、市长潘金军，北京交通大学副校长赵鹏，昆明理工大学副校级领导周峰越，国家自然科学基金委员会交通与运载工程学科主任王之中分别致辞。开幕式由北京交通大学交通运输学院院长孟令云主持。

在主旨演讲环节，6位业内资深专家分享最新研究进展与思考。中国国家铁路集团有限公司赵国堂教授级高工作了题为“关于轨道工程学科发展的思考”的报告，深入探讨了中国轨道交通学科发展的前景及挑战。北京交通大学副校长高亮教授从基础设施角度出发，发表了关于“轨道交通基础设施发展挑战与展望”的主题演讲，分析了当前基础设施面临的技术瓶颈及未来的创新方向。西南交通大学副校长王平教授介绍了重载铁路基础设施运维的关键技术及未来发展趋势。西南交通大学的高仕斌教授从装备和技术的角度分享了我国高速铁路在供电技术上的创新。国家高速列车技术创新中心副主任刘韶庆教授级高工介绍了轨道交通装备数实融合验证技术及其发展趋势。国防科技大学龙志强教授介绍了常导磁浮交通技术的应用、创新与挑战。

9月21日下午至22日，论坛进入了青年学者平行论坛阶段，涵盖轨道交通载运工具与安全、道铁工程、轨道交通规划设计与运输组织、列车运行控制与调度等热点领域。青年学者们在论坛上展示了最新研究成果，资深专家进行了点评和指导，帮助其梳理研究成果的体系与未来方向。

本次论坛吸引了来自上海交通大学、同济大学、中南大学、铁道科学研究院等20余个高校及科研院所的200多名参会人员参加。论坛的成功举办，促进了青年学者之间的合作与交流，推动了学术成果的共享，为中国轨道交通领域的技术进步和高质量发展提出了许多建设性的意见。

运输 2024

● 学术会议：第十一届交通运输研究国际会议（ICTTS'2024）成功召开

2024年8月23日至8月25日，第十一届交通运输研究国际会议（ICTTS'2024）于甘肃兰州举行。本届会议由北京交通大学主办，兰州交通大学承办。

会议以“智慧创新和绿色共享”为主题，来自美国亚利桑那州立大学、德国维尔道应用技术大学、香港理工大学、港铁学院、日本东海大学、同济大学、中国中车股份有限公司、中国铁道科学院、北京地铁、北京交通大学、兰州交通大学等40家机构的200余名海内外专家学者集聚一堂，探讨智慧绿色背景下的轨道交通运营管理、城市交通管理、综合交通规划、交通基础设施运维、交通运输安全与物流管理等议题。



8月23日上午，大会举行开幕式。兰州交通大学副校长闫浩文教授、北京交通大学交通运输学院党委书记聂磊教授分别致辞。

8月23日上午，大会主旨报告环节邀请美国亚利桑那州立大学 Xuesong Zhou 教授、香港理工大学 Edward Chung 教授、德国维尔道应用技术大学 Christian Liebchen 教授、港铁学院 Tin Kin Mark Ho 教授分别作题为《具有可扩展数字孪生和深度 AI 集成的全球数据集、基于开放规范的交通系统建模生态系统》《人工智能在交通管理中的潜力》《两大热点的最新研究进展：绿波与 DRT 运营效率》《轨道交通研究——行业视角》的大会报告，围绕数字孪生技术、AI 在交通领域的革新应用、新兴共享交通模式的探索与轨道交通的未来发展等前沿议题，分享最新研究成果与深刻见解。

8月23日下午、8月24日，大会24个分论坛顺利召开。大会期间，来自国内外的147位报告人围绕“交通数据分析与应用”、“航空运输”、“铁路和地铁规划与运营”、“交通运输安全与应急响应”等12个议题进行了学术交流与分享。8月25日，与会人员前往兰州北编组站进行技术参观，近距离接触、了解中国交通运输系统重要创新与实践发展成果。

交通运输研究国际会议（ICTTS）由北京交通大学发起，创办于1998年，分别在北京、桂林、昆明、大连、南宁、西安、长沙、绍兴、兰州等地举行，至今已举办十一届，累计吸引世界各地1700余名交通运输领域学者和专业人士前来开展学术交流与合作，已成为交通运输研究和实践发展领域的国际知名学术会议。

● 学术活动：中外铁路运输指标对比分析及铁路运输 2035 科技发展研讨会成功召开

2024 年 9 月 11 日下午 14:30，中外铁路运输指标对比分析及铁路运输 2035 科技发展研讨会在北京交通大学红果园宾馆一号会议室顺利召开。会议旨在通过深入分析中外铁路运输指标差异，探讨并规划未来铁路运输科技发展的蓝图。



会议伊始，国铁集团谭处长发表讲话。他强调，开展 2035 年的创新方向研究，是深入贯彻习总书记在科技大会上的重要讲话精神的重要举措。前期已广泛邀请并收集了专家们的宝贵意见，本次会议旨在进一步聚焦关键问题，达成共识，明确具体工作任务，推动铁路运输科技创新迈向新台阶。

随后，北京交通大学运输学院教师代表张进川，就中外铁路技术指标进行了全面对比分析，从货运指标、客运指标、行车指标和站场指标四大维度出发，深入剖析了国内外铁路运输的差异与趋势。铁科院代表郑平标则对差异化指标进行了补充汇报，重点阐述了路网指标、运输规模、运输效率、运输效益、能耗及安全六大方面的现状与挑战。

在谈及铁路运输 2035 科技发展时，郑平标代表提出了四大思考方向：构建高效运输通道、数字智慧赋能铁路系统、推动绿色低碳发展以及加强铁路与其他运输方式的融合协同，这些思考为未来铁路运输科技创新指明了方向。

谭处长强调，对于 2035 年的规划，需特别关注背景、客运、货运及生产系统四个方面。要求与会专家围绕这些核心议题，深入探讨，形成具体可行的解决方案。

会议期间，铁科院运经所、电子所、通号所等部门的专家与学院老师们共同就供给侧结构性改革、现代化物流体系建设、智能化技术应用、高铁快捷物流、列车运行图优化、人工智能提升效率、货运物流化转型及信息化支撑等议题发表了各自的见解与研究成果。

本次研讨会的成功举办，不仅为中外铁路运输指标对比分析提供了宝贵的交流平台，更为铁路运输 2035 科技发展的战略规划奠定了坚实基础。与会专家表示，将携手努力，共同推动中国铁路运输事业迈向更加辉煌的未来。

● 学术活动：交通运输学院在 2024 年 INFORMS 年会中斩获双冠

在 2024 年美国运筹学与管理科学协会（INFORMS）年会上，交通运输学院师生在铁路应用分部（Railway Application Section，简称 RAS）举办的学生论文竞赛（Student Paper Competition）和问题求解竞赛（Problem-Solving Competition）中勇夺桂冠，双双斩获一等奖。此次获奖，为 INFORMS RAS 历史上首次有研究团队在同一年包揽这两项赛事的一等奖，这一成就充分展示了我院在轨道交通领域的研究实力和专业素养。

(1) INFORMS RAS 学生论文竞赛第一名：

作品名称：《Integrated Optimization of Train Makeup Problem and Resource Scheduling in Railway Shunting Yards: A Hybrid MILP-CP Approach with Logic-Based Benders Decomposition》

参赛队员：韩霏然

指导教师：孟令云、栾晓洁、苗建瑞、廖正文

作品简介：论文结合铁路货运编组站的组织模式，构建了混合整数规划模型，设计了 Logic-based Benders 分解算法，并利用约束规划重构子问题，有效降低了求解难度。在对模型的数学性质分析的基础上，讨论问题的最优性和对称性，通过设计多种 Logic-based Benders cut 模拟了编组站内车流组织与场站作业的交互逻辑。**该论文荣获 2024 年 INFORMS RAS 学生论文竞赛的第一名。**

(2) INFORMS RAS 问题求解竞赛第一名：

作品名称：“A novel reward-driven 0-1 integer programming for optimizing railroad flat yard switching: A sequential decision approach?”

团队名称：RailSparks-BJTU

参赛队员：韩霏然、胡云、潘钰雯、郑然斐

指导老师：栾晓洁

作品简介：系统地构建了一套刻画平面调车作业的理论方法，提出了一种调车作业网络（Shunting Action Network）及相应的整数规划模型。在算法设计中，通过延迟约束，在保证调车线长度约束的前提下加速求解过程，根据问题特点设计了对称性破除约束，来避免无效的搜索以及合并钩计划，并提出了一种序列决策优化框架，将复杂的调车作业过程分解为多阶段关联的决策子问题。

经过初复两轮赛程的结果验证和线上答辩，队伍成功入围最终名单，并受邀到西雅图进行现场汇报。最终，RailSparksBJTU 队从四支决赛队伍中脱颖而出，获得 2024 INFORMS RAS 问题求解竞赛第一名，这也是自 2010 年 RAS 首次举办求解竞赛以来，我校首次以独立和第一单位身份荣获该奖项。

● 学术活动：科研助力计划——“交子引航·青椒漫谈”顺利举行

为帮助青年教师快速融入学院，努力提升科研水平，学院科研科于2024年12月特举办青年教师科研助力计划系列活动——“交子引航·青椒漫谈”。邀请到2023年、2024年国自然“青年基金”获得者刘莎莎、胥国强两位老师做“青年基金”申报经验主题分享，同时邀请到了郭戎格、付饶两位新入职老师围绕“面向无人驾驶的需求响应公交优化研究”、“空中高速公路：一种低空交通解决”介绍他们近期的科研进展。

会上，刘莎莎、胥国强两位老师以自身“青年基金”项目《交互增益下公共交通个性化诱导信息生成与出行决策演化激励研究》、《突发事件下航空交通网络延误传播应急优化调控方法研究》为例，为在场新入职老师们分享了申请书撰写策略及注意事项，选题立意角度等方面的申报经验，在场老师纷纷表示受益颇多。

交子引航
教师科研助力计划系列活动

主要内容: “青年基金”申报经验分享（申请策略与注意事项、选题立项角度、申请书撰写技巧）

刘莎莎 2023年国自然“青年基金”获得者
担任世界交通大会出行行为调查与分析技术委员会主席、低空交通与智能技术委员会委员、需求响应出行系统技术委员会委员等
分享主题：交互增益下公共交通个性化诱导信息生成与出行决策演化激励研究

胥国强 2024年国自然“青年基金”获得者
在《Chaos, Solitons and Fractals》、《Physica A: Statistical Mechanics and its Applications》等应用数学物理、交通运输领域国际期刊及学术会议上发表学术论文10余篇
分享主题：突发事件下航空交通网络延误传播应急优化调控方法研究

12月5日 14:30
八角017会议室
不见不散~

郭戎格 研究方向：智能交通系统、公共交通规划与运营、智能网联车辆路径规划等
担任《IEEE Transactions on Intelligent Vehicles》副主编、中国自动化学会智能车工作委员会委员、世界交通大会交通系统理论与政策学组青年委员
分享主题：面向无人驾驶的需求响应公交服务优化研究

付饶 研究方向：城市低空交通管理、多智能体协同控制、空域结构设计与评估等
在《Transportation Research Part C》、《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》等交通领域、机器人领域国际期刊及学术会议上发表学术论文10余篇
分享主题：空中高速公路：一种低空交通解决方案

科研进展分享阶段，郭戎格老师就《面向无人驾驶的需求响应公交服务优化研究》作了主题分享。她表示随着城市化加速与出行模式多元化，传统公交在线路和发车频次上往往难以灵活应对多样化和个性化需求，进而导致资源浪费或运力不足。为更好地满足乘客个性化出行需要，需求响应式服务（DRT）应运而生，通过灵活的线路设计和动态调度车辆来提升效率与满意度。然而，人工驾驶车辆在排班、运营时间和车厢容量等方面仍存在诸多限制。无人驾驶技术的引入，不仅省去了人工驾驶成本，更能在智能调度与安全性方面带来革新。尤其是模块化的无人驾驶电动汽车（MAEVs），可通过“拆解—编组”机制动态调整车厢容量，极大增强灵活性与环保效益。

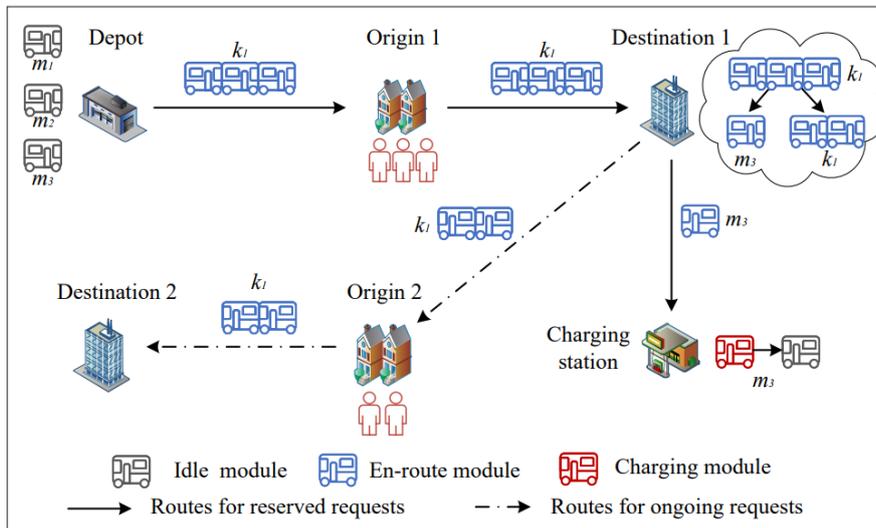


图1 无人驾驶模块化车辆编组拆解示意图

● 学术活动：科研助力计划——“交子引航·青椒漫谈”顺利举行

在此背景下，充分利用无人驾驶模块化车辆的动态编组特性，可实现需求响应服务的灵活调度，以更好地满足实时出行需求。研究首先构建了基于时空状态网络的混合整数规划模型，综合考虑模块车辆的路径规划、充电决策、乘客分配以及容量管理，并配合三种调度策略，验证了无人驾驶模块化车辆在实际运营中的可行性与高效性。随后，进一步引入对实时需求的预测，针对不同预测场景提出乐观与悲观两类前瞻性运营模式：在乐观模式下，采用混合整数规划模型确定车辆容量；在悲观模式下，则利用两阶段优化方法应对需求波动。基于实际数据的对比分析表明，结合需求预测与模块化技术的需求响应服务不仅有效降低了运营成本，还显著提升了车辆使用效率，为城市公共交通的可持续发展提供了全新思路。

付饶老师就《空中高速公路：一种低空交通解决方案》作了主题分享，他认为“空中高速公路”是一种无人机交通管理概念，针对大规模低空可垂直起降无人机交通管理场景，采用集中式-分布式混合控制方案，旨在达到安全性、高效性之间的折衷，以期解决未来低空无人机交通管理这一问题。其中，“空中高速公路”概念中综合考虑了航路网设计、碰撞避免控制和线选择控制，其中航路网由航路和交叉口组成，无人机的碰撞避免控制通过机载分布式控制器实现，而路线选择控制则通过地面集中式控制器实现。在空中高速公路中，每架无人机都会有自己的飞行路线，每条航路类似于地面高速公路，可以容纳多架无人机同时在其中飞行。更具体地，“空中高速公路”这一概念从民航空中交通管理的三个核心内容：空域管理、空中交通服务以及空中交通流量管理的角度分别进行了补充完善：



(1) 空域管理：包括对航路网的几何结构设计以及交通规则设计，并进一步考查了实际飞行中含通信不确定性环境下的无人机间安全距离设计，以期在保证安全性的同时尽可能增加空域容量。

(2) 空中交通服务：包括非结构化空域中的无人机分布式碰撞避免方法研究，以及结构化空域中的无人机分布式协同控制方法研究，以期保证无人机间及无人机到障碍物间的安全距离，进而确保飞行过程的安全。

(3) 空中交通流量管理：参考宏观基本图概念，对空域内的交通特征参数进行定义，进而考察不同控制/调度方法对交通特征的影响，以期在保证安全性的基础上，尽可能提升交通效率。

上述老师联系方式如下，欢迎各位老师及相关单位与我们开展科研交流及合作！

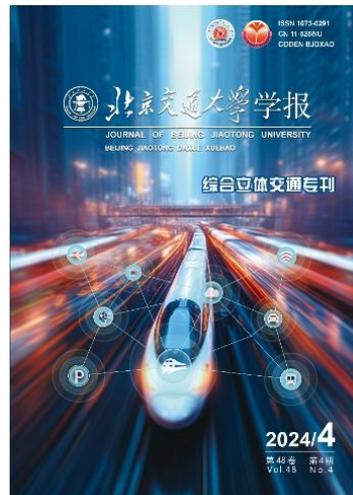
刘莎莎：ssliu1@bjtu.edu.cn；胥国强：gqxu1@bjtu.edu.cn

郭戎格：10287@bjtu.edu.cn；付 饶：10286@bjtu.edu.cn

期刊征稿

● 《北京交通大学学报——轨道与综合交通专刊》正式上线并开启征稿

2024年9月，由国家自然科学基金委员会工程与材料科学部指导，北京交通大学和昆明理工大学联合承办的“2024 交通与运载工程学科轨道交通领域青年学者论坛”在云南省弥勒市成功举办。论坛吸引了来自上海交通大学、同济大学、中南大学、铁道科学研究院等20余个高校及科研院所的200多名参会人员参加。以该论坛为延伸，《北京交通大学学报》编辑部依托国家自然科学基金委工程与材料科学部、北京交通大学交通运输学院及昆明理工大学交通工程学院，共同组建了“轨道与综合交通”专刊。专刊已于2024年10月正式上线，现面向各高校、科研院所及相关行业单位，在轨道与综合交通领域的规划与设计、运输服务和安全绿色发展等领域征稿。



本专刊由北京交通大学交通运输学院孟令云教授、昆明理工大学何明卫教授、中南大学刘辉教授、哈尔滨工业大学黄永教授、华南理工大学卢少锋教授、西南交通大学韦凯研究员等领域权威专家担任组稿专家，北京交通大学交通运输学院杨洋副教授担任专刊联系人，专刊旨在深入探讨轨道和综合交通领域的最新研究进展和技术创新。

➤ 征稿范围包括但不限于：

(1) 轨道交通规划与设计、(2) 轨道交通运输组织与运行控制、(3) 轨道运载工具结构与设计、(4) 轨道运载系统动力作用、(5) 轨道交通基础设施运维、(6) 轨道交通安全与应急、(7) 综合立体交通与多网融合、(8) 轨道与综合交通网络韧性分析、(9) 低碳交通与绿色发展、(10) 一带一路与多式联运

➤ 重要日期

投稿截止日期：2025年4月30日

预计出版时间：2025年8月31日

➤ 投稿方式

投稿网站：<http://jdx.bjtu.edu.cn>

联系电话：010-51688053

➤ 专刊联系人

姓名：杨洋 副教授

单位：北京交通大学交通运输学院

联系方式：17710169920（微信同号）

期刊征稿

● 《The Journal of Smart and Resilient Transportation》

《Smart and Resilient Transportation》由北京交通大学交通运输学院交通智能系统与安全系团队在2019年创办，主编为贾利民教授、秦勇教授。期刊依托于国家一级学科**安全科学与工程**开展建设，聚焦智能交通和韧性交通系统的研究与应用，推动相关领域的学术进展和技术创新。截止2024年6月，SRT期刊已出版13期，共发表约60篇高质量论文，下载6万余次，国际合作论文占比36.7%。

欢迎来自不同模式交通运输系统工程，及电子电气工程、通信与信息，安全科学与工程、系统与运筹优化、人工智能等多领域跨学科研究的学者、研究人员及技术人员进行投稿。



征稿方向：

- 1、 Smart and resilient rail/road/air/water transportation system
- 2、 Architecture and assessment for SRTs
- 3、 Intelligent control and operation for SRTs
- 4、 Condition monitoring, prognostic and health management for SRTs
- 5、 Smart travel services for SRTs
- 6、 Risk assessment, active safety and emergency management for SRTs
- 7、 Reliability, availability, maintainability, safety and interoperabilityfor SRTS

投稿地址：

<https://mc.manuscriptcentral.com/sart>

欢迎关注期刊公众号



成果分享——科研获奖

● 城市轨道交通运营风险主动防控

在国家重点研发计划（编号：2016YFB1200402）资助下，北京交通大学交通运输学院**贾利民、王艳辉教授团队**聚焦对提高城市轨道交通运营安全水平、降低运营成本、提升服务品质和运营效能具有重大意义的瓶颈问题：城轨系统运营风险辨识、风险特征提取和全局安全态势评估推演，系统关键设施设备安全状态监测/检测、预测和预警，复杂时空场景下客流状态精准表达、智能辨识和综合评估，具有多层次关联推演防控功能和可信可行特征城轨系统安全风险主动防控成套装备研制与信息化平台构建；以实现科学、系统和精准高效的安全风险管控机制为目标，以“风险管控、超前防范”实际需求为导向，深入开展研究基于本构关系的风险发生、发展及演化机理，基于机理和故障/事故大数据的系统风险动态辨识方法、控制技术和策略，攻克城市轨道交通系统关键设施设备安全状态监测/检测技术，形成面向不同区域及场景下的客流风险辨识与评估方法，构建经实际应用验证、具有自主知识产权的城市轨道交通系统风险辨识与主动管控核心技术、关键系统装备、平台、管理模式和标准体系。**该成果“城市轨道交通运营风险主动防控关键技术与应用”获2023年度北京市科技进步奖二等奖。**

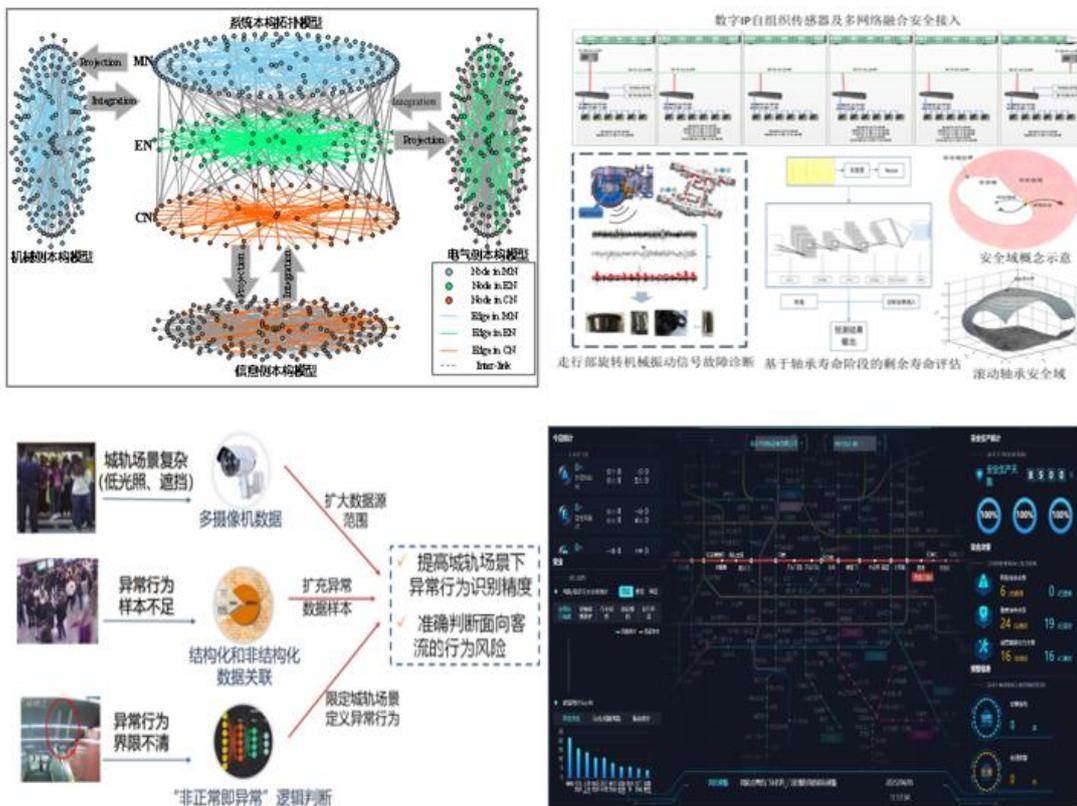


图 1 部分成果图

附：

我校获奖名单：贾利民（1）、王艳辉（2）、李曼（8）、马小平（9）；

成果分享——科研获奖

● 基于大数据的路网运力资源统筹利用智能优化技术研究

在国铁集团重点课题“基于大数据的路网运力资源统筹利用智能优化技术研究”（批准号：2017X004-D）资助下，北京交通大学交通运输学院**何世伟教授团队**针对基于铁路大数据的路网运力资源统筹利用智能优化技术问题展开研究，提出了铁路运输组织创新产品设计方法、运输能力配置方法，建立了区域路网运力资源统筹利用技术体系。**该成果“基于大数据的路网运力资源统筹利用智能优化技术研究”获中国铁道学会科学技术奖铁道科技奖一等奖。**

项目基于大数据技术揭示了区域铁路运输市场特征，提出了经营市场化下的铁路运输组织模式，构建了经营市场化下的多样化运输产品设计方法，突破运输日常生产态势推演等关键技术，开发了基于实时大数据的铁路日常运输生产总体态势推演原型系统。研制了运输条件变化下运输能力瓶颈监控预警技术。建立了一整套基于策略的铁路运力资源智能调控优化新方法，研发了路网运力资源统筹优化利用辅助决策分析系统。发表 SCI、EI 检索论文 32 篇，获得软件著作权 7 项，相关成果已纳入国铁集团扩能改造相关文件，并在铁路“短平快”扩能项目和局站调度生产系统中实际应用。有力支撑了唐呼（包）、瓦日、浩吉、侯月、入川通道、疆煤外运等铁路通道及关联线路、枢纽设施改造决策、运力资源统筹利用及调度生产组织改进工作，对消除铁路运能利用瓶颈，提升铁路服务运输市场能力，提高运力资源利用效率起到了重要指导作用。为实现铁路货运增量目标和提升运力统筹利用水平发挥了重要作用，取得较显著社会效益。



图 1 获奖证书及相关成果

主要完成人：何世伟，宋瑞，谢海红，黎浩东，蒋健，姚宇峰，于洋

科研团队简介：团队承担了多项国家重点研发计划课题、国铁集团重大重点课题等。获得中国铁道学会铁道科技奖一等奖 4 项、二等奖 4 项等奖项。发表 SCI、EI 检索论文 100 余篇，形成了包括铁路运力资源及集疏运设备管理系统、铁路路网运能评测与分析系统、铁路枢纽规划方案评价辅助软件系统、铁路装卸机具信息配置管理系统等在内的一系列运力资源配置优化支持系统，对铁路通道资源科学配置、货运产品设计及集疏运组织具有重要的理论和应用价值，成果已在国铁集团等应用，取得良好社会效益。

成果分享——科研获奖

● 铁路运输生产力布局优化

在基于发达完善路网下的运输生产力布局优化研究基金项目（批准号：2018F010）资助下，北京交通大学交通运输学院**李海鹰教授团队**针对发达完善路网条件下的运输生产力布局优化问题开展研究，提出了适用于路网不同发展阶段、不同站段管理模式、不同地域特点的生产力布局成套优化方法，提出了发达完善路网条件下运输生产力布局的量化标准和调整建议。**该成果“基于发达完善路网下的运输生产力布局优化研究”获铁道学会科技奖二等奖。**

项目在总结我国铁路生产力布局调整规律的基础上，结合铁路改革和未来路网、技术装备、信息化发展情况，对运输生产力布局优化问题进行了系列研究，提出了适用于路网不同发展阶段、不同站段管理模式、不同地域特点的生产力布局成套优化方法，提出了发达完善路网条件下运输生产力布局的量化标准和调整建议，提出了四类专业站段的管理模式。项目成果为拟定《国铁集团关于运输站段布局调整管理工作的指导意见》提供了参考，为相关站段的布局优化调整提供了支撑，在48个运输站段布局的优化调整中得到应用，在减少站段设置、精简机构、提高生产效率方面取得了显著成效，累计核减定员约1500人，全路范围内的站段优化调整每年可节约成本约10亿元，取得了良好的经济和社会效益。



图1 部分成果图

主要完成人：李海鹰，王莹，许心越，张进川，武旭，孟令云，廖正文，苗建瑞，蒋熙

科研团队简介：团队由3名教授、5名副教授和1名讲师组成，围绕生产力布局调整、评价、优化和信息化管理等开展一系列研究，多次承担了国铁集团（铁道部）的相关课题，深入参与了2003-2006年全路生产力布局、2017年前后新线生产力布局调整、2020-2021年全路生产力布局调整工作，在生产力布局优化的理论和应用方面积累了深厚的基础。研究成果获2017年铁道学会科技奖三等奖、2022年铁道学会科技奖二等奖，相关工作申请专利8项（5项已授权）、软著2项、发表论文22篇，培养硕士11名，博士1名。

成果分享——科研获奖

● 区域多层次轨道交通系统一体化规划、设计及运营理论与关键技术

北京交通大学交通运输学院**姚恩建教授团队**针对区域多层次轨道交通融合发展问题开展研究，阐述了区域轨道交通不同层次间协同机理与关键技术以及规划、设计与运营等不同阶段间协同机理与关键技术。该成果“区域多层次轨道交通系统一体化规划、设计及运营理论与关键技术”获中国交通运输协会科学技术奖一等奖。

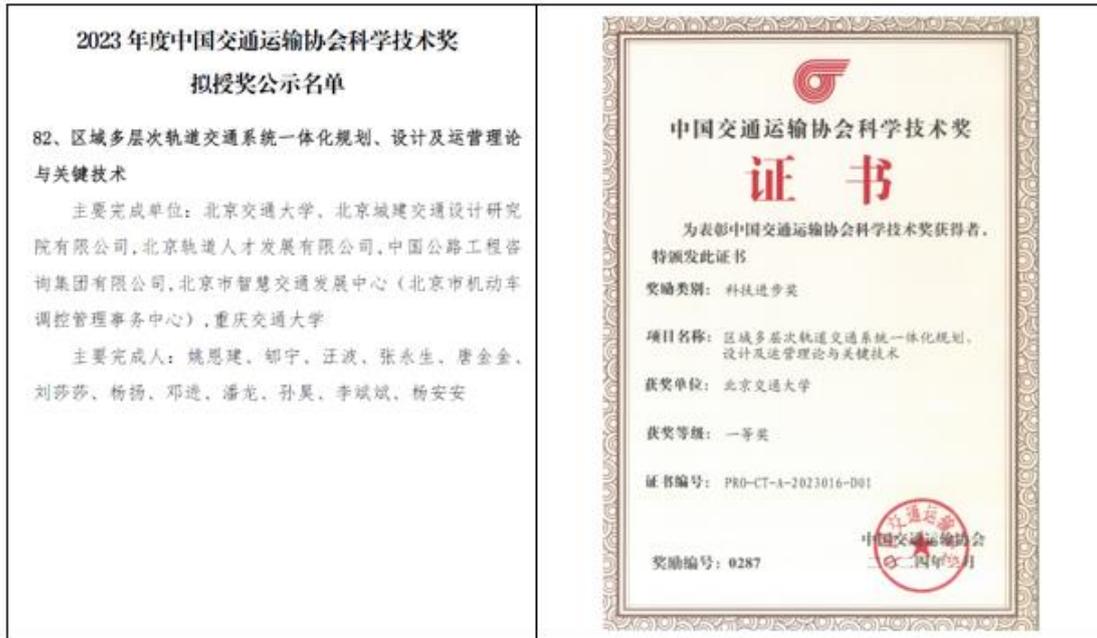


图1 获奖公示名单及证书

本成果围绕区域多层次轨道交通线网规划、设计与运营严重脱节且不同层次轨道交通相对独立，轨道交通与区域形态的互动机理不明，不同层次轨道交通设计缺乏协同、设施资源难以共享，不同轨道交通的运营组织、应急处置、联程信息服务缺乏协同且客流预测相互独立等一系列“四网融合”发展问题，立足于区域空间结构与轨道交通的互动发展关系，考虑多模式轨道交通协同运营下的线网规划、设计需要，以最大限度发挥区域轨道交通系统的社会效益和经济效益为导向，提出集规划引领、统筹设计、协同运营为一体的发展理念与科学方法指引，通过研发区域多层次轨道交通与区域形态的互动发展机理挖掘方法、面向多网融合的区域多层次轨道交通协同规划方法、考虑一体化运营的区域多层次轨道交通协同设计方法、以及区域多层次轨道交通协同运营技术等核心方法与关键技术，并在京津冀地区、粤港澳大湾区、成渝地区等不同区域成功获得示范应用，显著提升了区域轨道交通网络综合承载能力与协同运营效率，助力区域轨道交通系统的高质量发展。

成果分享——科研获奖

● 动态客流需求驱动的城市轨道交通能耗管控研究

北京交通大学交通运输学院**李得伟教授团队**针对车站环控能耗管控、线路设计节能和运输组织节能进行了系统深入的研究，形成了一套以动态时变客流为驱动，涵盖城轨设计和运营，覆盖“站-线-车”的城轨能耗精细化管控关键技术。该成果“**动态客流需求驱动的城市轨道交通能耗精细化管控关键技术与应用**”获**2023年度城市轨道交通科技进步奖一等奖**。

在当前城市快速发展和能源紧张的背景下，研究团队聚焦于如何通过技术创新来提升城市轨道交通系统的能效与可持续发展。研究团队建设性地将车站通风空调系统负荷与动态客流紧密耦合，提出了基于动态客流的车站通风空调系统能耗精细化计算、精准预测及多粒度调控方法，研制了高效节能城轨车站通风空调装备，形成了一套完整的基于动态客流的车站环控能耗管理与控制技术体系。研究团队创新性地提出了多场景列车运行条件下线路节能坡设计方法和复杂工况组合优化设计技术，建立了节能坡与复杂工况多维仿真评估技术，研发了多要素节能坡设计方案能耗仿真评估系统，形成了更具一般性的城轨线路节能坡与复杂工况组合优化设计技术体系。研究团队首次攻克了兼顾效率与能耗的列车开行方案和运行图一体化优化技术，提出了灵活编组和虚拟编组条件下的列车运行计划优化与调整方法，形成了多模式编组条件下的城轨运输组织一体化节能技术体系。研究成果应用于北京地铁8号线、12号线、16号线、昌平线，广州地铁2号线，深圳地铁9号线等，产生直接经济效益1.619亿元，初步测算，通过试用本套技术每年最高可节能2.505亿千瓦时。（仅北京12号线每年节能2444.64万千瓦时）。

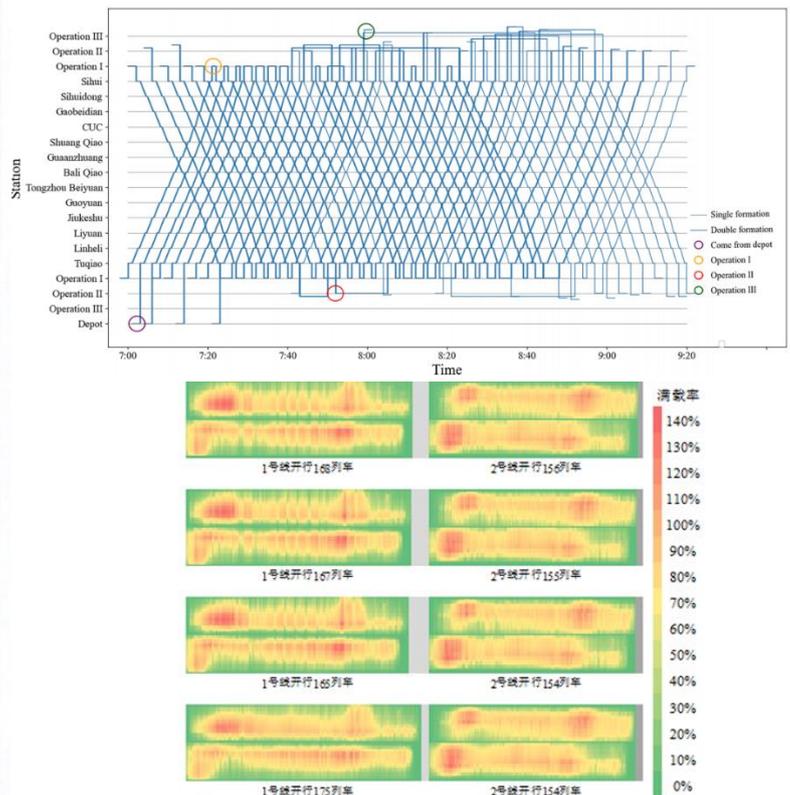


图1 获奖证书（左）、灵活编组条件下运行图和车底周转一体化优化（右上）、优化后列车运行计划对应满载率（右下）

成果分享——科研获奖

● 城市轨道交通运营风险主动防控关键技术及应用研究

北京交通大学交通运输学院**王艳辉教授团队**针对城市轨道交通运营风险主动防控问题开展研究，设计了数据与模型融合驱动的城轨交通运营系统多效应耦合关系物理侧本构拓扑网络模型，形成了覆盖多系统、全要素的静态风险点集库，发明了风险动态辨识、风险链构建、潜在风险链群建模等技术，形成了覆盖“个体-群体-客流”各粒度对象的“场景-行为-状态”融合驱动的乘客及客流风险实时智能精准监测/检测和识别预测技术，研发了覆盖乘客身份特征与异常形态的身份精准辨识装备体系，识别准确率达99%，首创了“感知-辨识-治理-管控-救援”的城轨交通安全风险管控新模式，构建了基于矩阵式主动安全防控体系和系统分层递阶循环管控模型，研制了国内首套具有自主知识产权的城轨交通安全风险主动防控平台及装备，成果累计授权各类专利成果52项，至今已在北京地铁等国内二十余家地铁线路公司得到推广应用，实现了城轨交通运营安全管理领域的体系化、标准化、专业化与信息化。**该成果“数据与模型融合驱动的城市轨道交通运营风险主动防控关键技术及应用”获2024年度中国智能交通协会科学技术奖-技术发明奖二等奖。**



图1 奖励证书

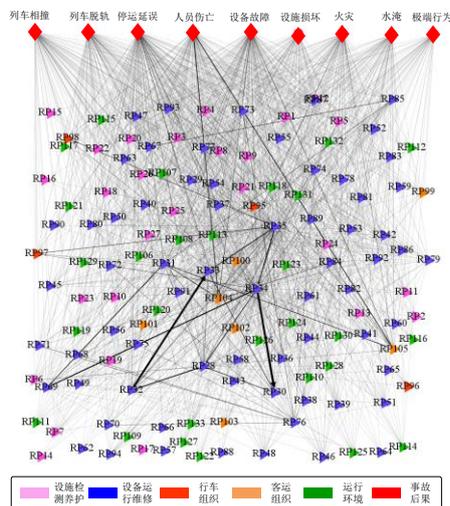


图2 城轨交通系统风险链群

成果分享——科研项目

● 高速铁路周期化列车运行图编制理论研究

在《大规模复杂路网条件下高速铁路周期化列车运行图编制理论与方法研究》基金项目（批准号：U1934216）资助下，北京交通大学交通运输学院**聂磊、周磊山、乐逸祥、付慧伶**教师团队与**中国铁道科学研究院集团有限公司、中南大学**合作，针对大规模高速铁路网络周期化列车运行组织方法等相关问题开展研究，结合我国高速铁路实际运营组织现状，研究了周期列车开行模式、单周期网络化列车运行图优化、周期非周期结合的列车运行图优化、列车运行图动态推演与评价等关键技术难点。**该成果在 TR-Part B/C、CACAIE、铁道学报等国内外顶级与权威期刊和会议发表了 54 篇学术论文，获专利授权 4 项，研发了国际上第一套真正基于云计算的列车运行图编制系统并在雅万高铁落地应用。**

该项目围绕我国大规模路网周期化列车开行方案设计、运行图编制、到发线与动车交路方案设计以及周期图评估反馈等关键要素进行研究，涵盖了周期化列车运营模式实现所需的各项关键技术：

(1) 适应复杂路网特征的列车开行周期模式：面向旅客出行可达性需求与服务频率要求，确定合理的线路周期长度及周期与非周期列车的开行结构比例，建立基于备选集的路网周期与非周期列车开行组合方案优化模型。

(2) 单周期网络列车运行图优化模型与算法：提出大规模路网条件下单周期网络列车运行图的求解方案，采用高效的数学分解算法简化求解难度，根据子问题特性设计专门算法，结合分布式计算提高模型求解效率；

(3) 周期与非周期结合的列车运行图优化模型与算法：通过“抽线+加线”相结合的手段，生成周期与非周期结合的一日列车运行图，考虑周期与非周期列车间的接续情况，构建可实现接续列车以及换乘地点动态调整的列车接续优化模型；

(4) 大规模路网列车运行图动态推演与智能调整：建立周期化列车运行图的动车运用计划与检修计划一体化编制模型以及周期与非周期相结合的到发线运用方案编制模型，全方位、高精度推演列车运行全过程的时空态势，给出周期化列车运行图的可行性判断后反馈调整建议方案；

(5) 高速铁路周期化列车运行图综合评估：结合旅客出行行为特征，模拟旅客对列车的选择，实现对周期化列车运行图适应性的精细化评估，验证车流匹配程度，并依据评估结果对周期化列车运行图进行反馈优化。

上述关键技术在京沪高铁、京广高铁等繁忙干线列车运行图编制工作中为干线列车运行图编制问题提供了更科学合理的能力运用水平测算方法，为北京局集团公司在京沪高铁列车运行线与北京南高速场股道运用计划的初步周期化列车运行图方案的编制提供了依据。



图 1 Kereta Cepat Indonesia-China(KCIC) company 应用证明

成果分享——科研项目

● 诱发性网络大客流快速预警与诱导路径重构

在“十四五”国家重点研发计划课题“诱发性网络大客流快速预警与诱导路径重构”（批准号：2022YFC3005204）资助下，北京交通大学交通运输学院**李海鹰教授团队**围绕“城市轨道交通运营重大风险演化机理与防控机制”开展研究，突破“面向乘客-列车-线网-信息协同的诱发性网络大客流风险防控”关键问题。

课题聚焦诱发性网络大客流状态演化及供需匹配机理，攻克网络大客流实时感知与预测、复杂场景下诱发性网络大客流动态推演与预警、面向风险演化的网络运行计划动态调整与区域协同限流优化、服务劣化下诱导路径快速重构等4项关键技术，研发网络客流动态推演预警引导系统，研制混合交叉客流感知与解析装置，解决复杂场景中需求侧与供给侧在大规模时空网络下不匹配、调控策略不及时难题。

团队按照研究任务及实施计划有序推进课题研究，实现了**基于多源数据的客流状态感知与估计、复杂条件下混合 Agent 客流动态推演、列车运行调整与区域客流协同控制优化、个性化诱导策略优化以及网络客流动态推演预警与引导系统初步设计**，已发表4篇学术论文，申请1项行业标准，1项专利，2项软件著作权，超过目前课题考核指标。下一步，团队将继续做好技术攻关、装备与系统平台研制、成果应用示范等工作，实现诱发性网络大客流风险精准监测、快速预测和主动防控的技术突破。

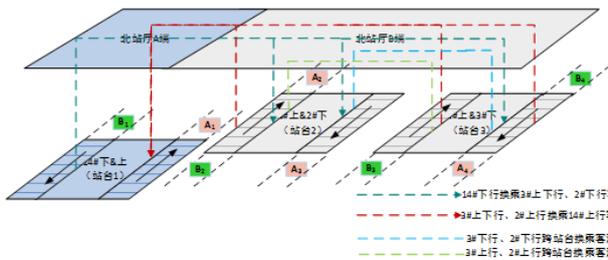


图1 分方向实时客流状态

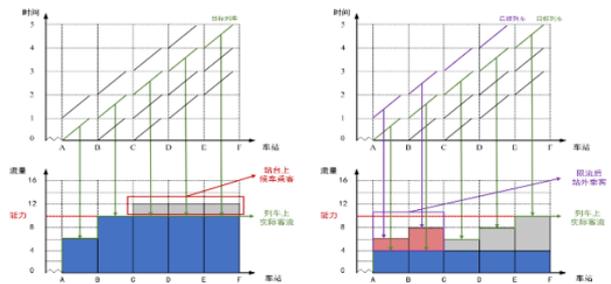


图2 客流控制前后断面流量变化

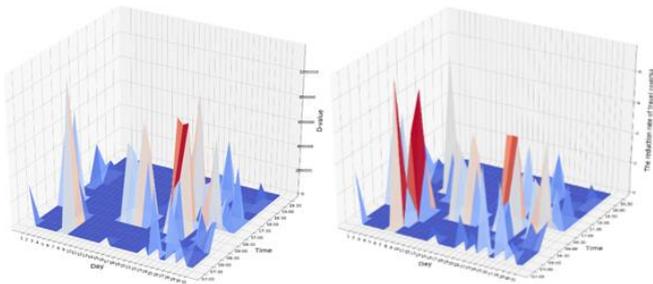


图3 最优诱导策略下路网成本变化



图4 网络客流动态推演预警引导系统界面

成果分享——科研项目

● 高速铁路非正常行车调度调整决策技术研究

在中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目（批准号：N2022X018）资助下，北京交通大学交通运输学院孟令云、苗建瑞、栾晓洁、廖正文教师团队与中国铁路沈阳局集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、中国铁路北京局集团有限公司合作，针对路网和设备数字化条件下的高速铁路列车运行调整问题开展研究，在面向调度指挥业务流程的路网和设备数字化模型的支持下，研究了故障持续事件估计、列车运行计划调整、枢纽站作业计划冲突疏解、调度命令自动拟写等关键技术并开发计算机系统，在沈阳局上进行示范应用。该项目于2024年3月正式通过国铁集团结题验收，评价等级为“A”。项目形成的成果发表论文6篇，申请发明专利2项，获得软件著作权2项。

该课题根据既有高铁调度指挥现状，研究了高速铁路数字路网建模技术和卷积神经网络的高铁故障持续时间预测技术，构建了一套基于数字路网及设备数字化的高速铁路非正常行车调度调整决策方案，研发了故障条件下的调度调整方案、应急处置指令自动生成和枢纽站作业冲突检测及疏解等5项关键技术。

(1) 高速铁路数字路网构建技术：基于跨粒度多图层技术，构建了面向行车业务的数字路网，用于精准制定行车条件。

(2) 基于历史数据的故障影响规律分析：基于词嵌入算法和卷积神经网络，基于海量的安监报-1数据，构建了用于预测高速铁路突发非正常事件的持续时间的模型，为应急处置提供参考依据。

(3) 面向故障事件的调度调整方案智能生成技术：基于故障持续时间预测结果，考虑线路封锁、列车临时限速等行车条件变化等制约因素，研究了列车运行计划调整方案自动生成技术。

(4) 故障条件下应急处置指令自动生成技术：研究处置命令自动生成技术，基于既有T/D结合协议，研发将相关命令批量发送至CTC的技术。

(5) 大型枢纽站股道和进路冲突检测与疏解技术：在列车运行调整计划给出后，考虑高铁枢纽站的进路和到发线冲突，研发了枢纽站进路和作业股道冲突检测和疏解技术，实现枢纽站的进路冲突疏解，进一步提升列车运行调整计划的可行性。

上述技术自2023年起在沈阳局集团公司调度所哈大高速铁路及沈阳枢纽客车调度台进行示范验证，为实现高速铁路非正常行车条件下的自主决策提供技术支撑。

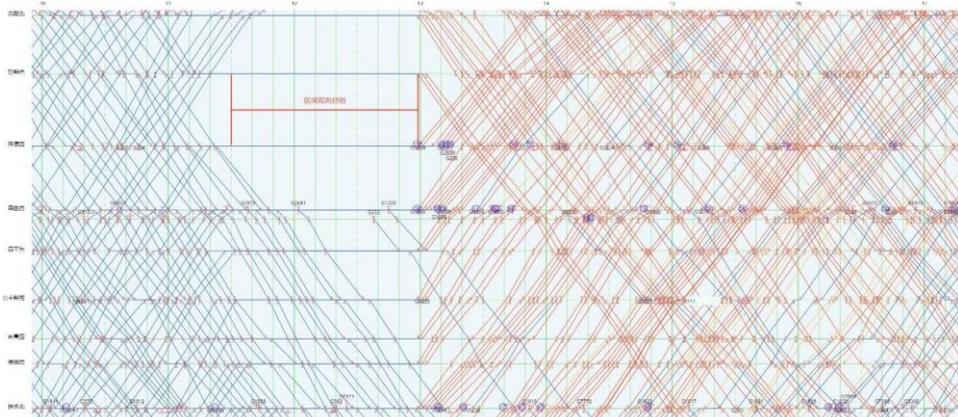


图1 沈阳局哈大高铁（一）调度台列车运行计划调整

成果分享——科研项目

● 城市群枢纽群运力协同组织研究

国家重点研发计划课题（批准号：2018YFB1601303）资助下，北京交通大学交通运输学院**姚恩建教授团队**针对面向城市群多模式客运枢纽高效能协同运营的组织及应急需求，研究枢纽间换乘客流的精准辨识和一体化监测技术、多场景换乘客流需求预测及分析、换乘需求与多模式交通系统耦合分析等关键技术，研发多模式交通网络中枢纽间客流运行态势仿真、多模式交通系统运力动态协同调度等基础技术，提出面向需求端非常态客流变化和供给端运输能力下降等异常环境下受影响客流识别及应急状态处置技术，实现枢纽间多模式交通系统的协同调度和换乘客流的主动保障，为提升城市群枢纽整体集疏散能力、提高系统运行效率等提供支撑。

该项成果共计发表了相关学术论文 16 篇，其中 SCI/SSCI/EI 检索 9 篇；申请专利 3 项、均已进入公开实审阶段；获得软件著作权 3 项；培养研究生 7 人；培养 1 人入选“北京市科学技术协会 2022 年-2024 年度青年人才托举工程”；相关标准《TITS 0177-2021 城市群综合客运枢纽间多模式交通系统运行风险评估方法》已由中国智能交通产业联盟正式发布。

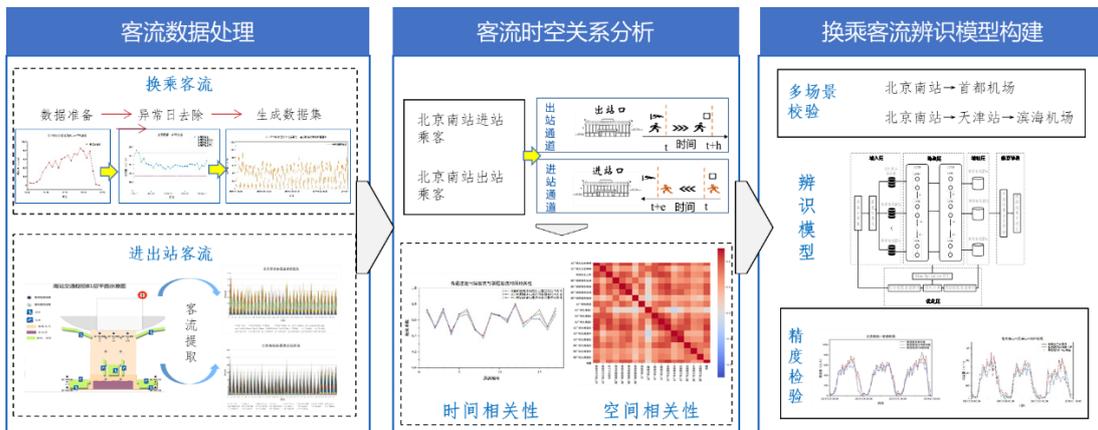


图 1 换乘客流的精准辨识与实时监测技术框架

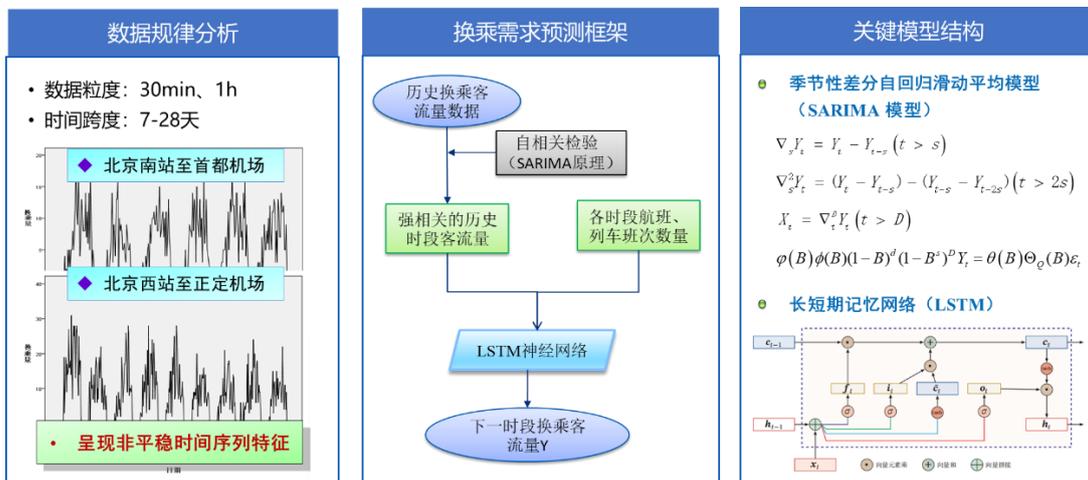


图 2 枢纽间换乘客流需求预测及耦合分析

成果分享——科研项目

● 节能低碳下的运输组织关键技术研究与应用

在国家自然科学基金项目资助下，北京交通大学交通运输学院柏赞教授团队针对节能低碳下的运输组织关键技术研究与应用问题开展研究，揭示了基于能量产生、传输、消耗和反馈全过程的城市轨道交通牵引能耗流向分布机理及关键影响因子，定量分析了多编组、多交路、不均衡运输与快慢车等运输组织策略的节能效益，研发了城市轨道交通运行图节能优化系统，实现节能导向下的列车到发时分自适应调整。该成果“城市轨道交通规划设计运营节能运行关键技术研究与应用”获中国交通运输协会科学技术奖二等奖。

课题聚焦牵引节能的角度研究运输组织关键技术及应用，提升轨道交通绿色化水平。对牵引能耗机理进行深入探讨，构建了轨道交通全过程牵引节能理论、方法及综合评价体系。提出了车辆制式、车辆编组、动拖比、最高旅行速度等多个维度的节能策略。定量刻画了不同节能运输组织策略-列车牵引能耗-乘客服务水平三者间的影响关系。研发了城市轨道交通列车运行图节能优化系统。项目所提出的地铁列车运行图节能优化方法应用于广州地铁，实现了需求导向下的运能安排精细化管控和列车安全节能运行。

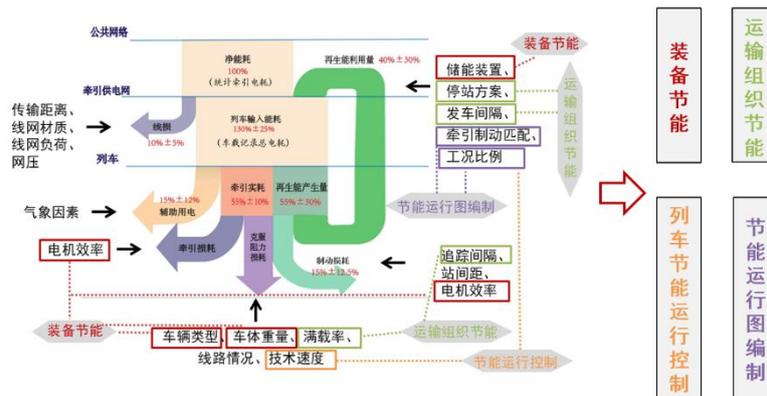


图 1 牵引能量流向图及能耗关键影响因子



图 2 奖励证书（左）、应用效果和社会评价（右）

成果分享——科研项目

● 虚拟编组技术条件下城轨列车运行计划优化与调整方法研究

在北京市自然科学基金项目（批准号：L201013）资助下，北京交通大学交通运输学院**韩宝明、李得伟、张琦、鲁放、周玮腾教师团队**针对虚拟编组条件下城轨线网效能与服务水平提升问题开展研究，研究了城轨列车虚拟编组运行组织模式与调度策略、多模式列车运行计划优化方法以及多策略列车运行计划调整方法，以北京地铁4号线、昌平线、上海市域铁路金山线等工程场景进行了案例分析。**该项目于2024年3月正式通过结题验收，项目形成的成果发表学术论文8篇，授权发明专利3项。**

该课题紧密围绕虚拟编组技术应用特征，攻克新型运力调配模式下列车运行计划优化与调整的核心技术，构建虚拟编组城轨列车运行组织与调整方法体系，为虚拟编组技术的工程应用提供决策支持。

(1) 虚拟编组技术下新型列车运输组织模式与调整策略。修订更新了虚拟编组技术应用下城轨列车运行及作业参数集合，针对不同运输组织模式和突发事件场景，构建新型供需匹配机制下的城轨列车运行组织模式与调整策略。

(2) 虚拟编组技术下城轨多模式列车运行计划优化方法。攻克了大规模多场景多目标组合优化技术难题，构建了虚拟编组技术应用下城轨快慢车、大小交路、Y型线等场景的列车运行计划优化模型，设计了求解算法，形成了适应常态运营需求的运输计划优化方法体系。

(3) 虚拟编组技术下城轨多策略列车运行计划调整方法。针对列车运行扰动、单向运行中断、双向运行中断三类突发事件场景，构建了基于虚拟编组技术的城轨列车运行调整模型，形成了应对特殊运营需求的运输计划调整方法体系。

(4) 上述方法体系以北京地铁4号线、昌平线、上海市域铁路金山线等工程场景为背景进行了案例分析，评估了虚拟编组技术的适应性，为工程应用提供了理论支撑。

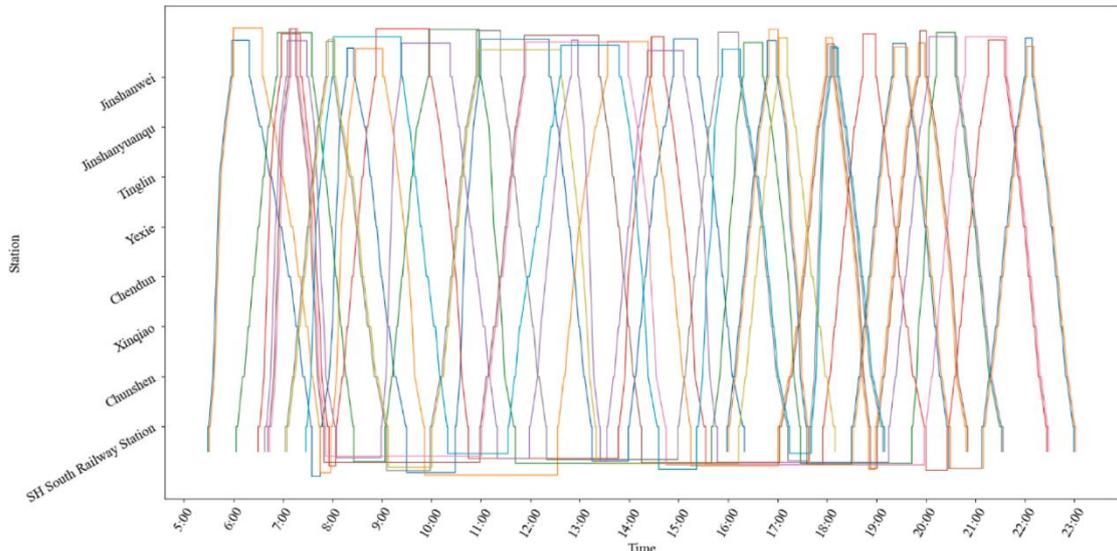


图1 多模式编组条件下城轨列车时刻表与车底周转计划一体化优化

论文成果于2023年发表在《Transportation Research Part E: Logistics and Transportation》期刊上（交通运输领域权威期刊，影响因子10.6）

成果分享——科研项目

● 应对突发事件的客流时空分布推演及列车运行计划调整方法研究

在北京市自然科学基金-丰台轨道交通前沿研究联合基金项目（批准号：L201016）资助下，北京交通大学交通运输学院**商攀副教授团队**针对突发事件下城市轨道交通系统的客流动态变化与列车运行调整问题开展研究，设计了基于三维四组分类法的乘客行为建模方法、不同情况下的动态客流演变仿真模型、列车运行计划动态调整模型，阐述了闭环反馈迭代优化框架以优化突发事件响应方案。目前，**该研究已完成研究报告和技术方案，为轨道交通系统的应急管理智能化运营提供了扎实的理论基础和实践指导。**

研究内容聚焦突发事件对城市轨道交通系统的影响，围绕客流动态演变与列车运行计划优化展开了全面的探索。提出“三维四组”乘客行为分类法，基于事件发生时乘客的时空位置，细化定义 12 种潜在行为决策，精准刻画乘客行为模式。同时，构建了基于时空网络的客流时空演化模型，通过将时变 OD 流转化为时空路径流，还原乘客全链条出行过程，为限流、封站等应急场景的客流变化预测提供科学依据。此外，还设计了突发事件下的列车运行计划动态调整模型，将列车运行计划与客流需求动态结合，以最小化列车运行成本为目标，优化列车调度方案，提升列车运行效率并合理分配系统资源。在此基础上，研究进一步提出闭环反馈迭代优化框架，揭示客流动态演变与列车运行调整的交互作用机制，通过实时调整乘客路径和列车运行方案，使轨道交通系统在突发事件后的恢复能力显著增强。该研究成果不仅为突发事件下轨道交通系统的高效运行提供了理论支撑，还展现了突发事件应急管理智能化运营的广阔应用前景。通过优化列车运行和乘客引导策略，研究在提升系统韧性、减少乘客不便、优化资源配置等方面具有重要意义。



图 1 三维四组乘客分类法

● 高速铁路列车开行方案研究

在中央高校基本科研业务费专项资金（批准号：2022JBQY005）等项目资助下，北京交通大学交通运输学院**聂磊教授、乐逸祥教授、付慧伶副教授团队**针对高速铁路列车开行方案优化问题开展研究，设计了一种在有限资源供给条件下实现多层次列车服务与多样化旅客需求有效匹配的方法。**该成果以“How to optimize train lines for diverse passenger demands: A line planning approach providing matched train services for each O-D market”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part A: Policy and Practice》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子6.3），**论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104154>。

尽可能满足旅客的出行需求是提升铁路运输竞争力的关键，然而在有限的铁路资源下，巨量且多样化的客流需求让铁路运营商进行市场决策变得困难。例如，是否需要为所有客流 OD 提供直达服务，如何权衡列车停站次数与服务范围，如何聚焦高收益旅客群体，哪些客流 OD 可以被降级服务？既有的列车开行方案优化方法通常同质化地看待旅客，或者根据旅行目的或服务类型划分简单的旅客群体。本文将每个客流 OD 视为独立的 OD 市场，基于各 OD 市场的特点，提出了一种基于 OD 灵活服务水平的列车开行方案优化方法。基于集合覆盖问题（SCP），考虑铁路运营商和旅客的利益，构建了双目标混合整数线性规划（MILP）模型。除了数量需求，每个客流 OD 的多类服务质量需求，如旅行速度、直达或换乘、服务频率、票价等，都被视为大站停、大-中站停、大-中-小站停的多个层级列车将要“覆盖”的对象，以实现更准确的供需匹配。面对多样旅客需求和有限铁路供给之间的潜在冲突，设计了一系列柔性约束来实现灵活的供需匹配。通过这种方式，铁路运营商可以验证不同的市场营销策略（如优先长距离 OD、优先大客流 OD、优先高收益群体 OD、优先优势竞争距离 OD 等不同类型 OD 客流需求的满足）以及多种策略之间的组合，并就哪些 OD 市场应该改善、维持或降低服务水平做出营销决策。以京沪高速铁路为案例研究背景，评估了周期列车开行方案在多种策略场景下的运营和服务指标，讨论了性能差异，并阐述了不同市场策略带来的启示；此外，还通过优化提高了实际非周期列车开行方案的服务水平。结果表明，提出的方法可以有效地生成基于定制营销策略的列车开行方案，并提高实际列车开行方案对多样化客流的服务水平。在旅客需求日益多元、OD 市场特征差异化日益明显的发展趋势下，为铁路部门制定列车开行方案提供了新思路。

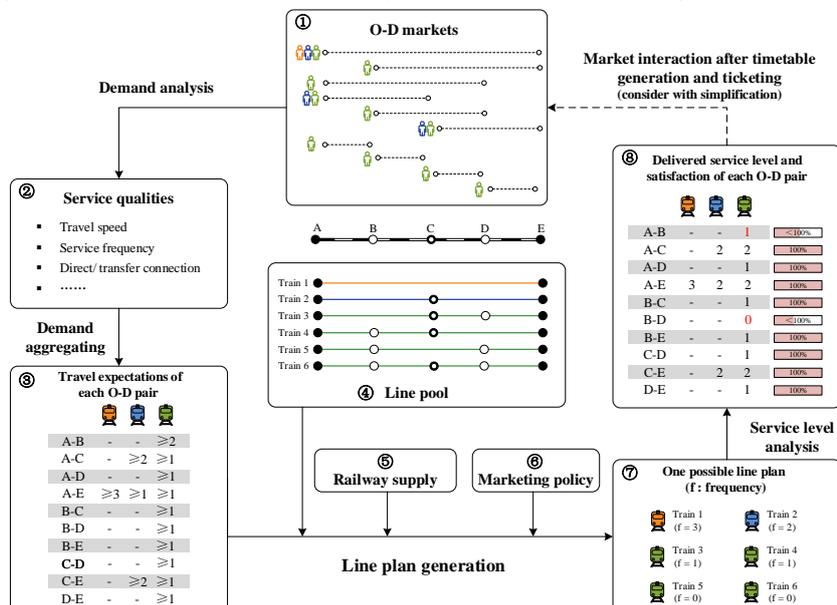


图1 基于 OD 服务水平的列车开行方案优化思路

● 扰动不确定条件下高速铁路列车运行调整研究

在中央高校基本科研业务费项目（批准号：2022JBQY006）、国家自然科学基金（批准号：52202379和 U2268207）资助下，北京交通大学交通运输学院**赵鹏教授团队**针对高速铁路列车运行调整问题开展研究，设计了一种扰动不确定条件下高速铁路列车运行调整多阶段决策优化方法。**该成果以“A Multistage Decision Optimization Approach for Train Timetable Rescheduling Under Uncertain Disruptions in a High-Speed Railway Network”为题，于2023年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（智能交通领域顶刊，影响因子 7.9），**论文链接: <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3253928>。

论文针对列车行车中断的态势场景，考虑直达旅客和换乘旅客两种出行需求，基于乐观估计的情况采用调整列车到发时刻、灵活调整列车运行顺序以及增加临时停站等策略提出了一种带有补偿机制的列车运行调整模型，以减少旅客因延误而产生的额外出行成本。将不确定性相关的特征考虑到模型的补偿机制部分，假设为符合一定概率分布的若干场景，通过不同场景模拟下一阶段列车运行调整的表现，将期望作为补偿项反馈到当前阶段，并引入鲁棒的场景一致性约束避免给旅客和车站组织工作带来不便。设计了一个嵌入滚动时域算法的多阶段决策优化框架以求得最优解的近似，并以实际案例进行测试，验证表明该方法可以满足列车运行调整有效性、实时性要求。

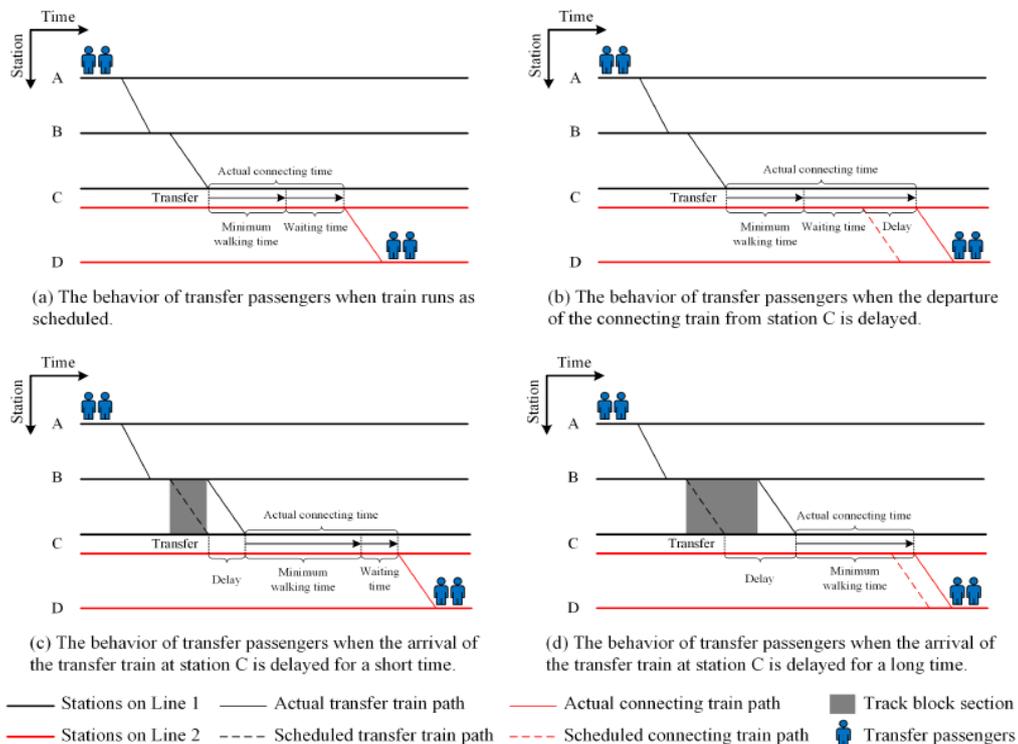


图 1 不同情况下换乘乘客的换乘行为示意图

● 数据驱动的高速铁路列车晚点预测方法研究

在中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2022JBZY022)资助下, 北京交通大学交通运输学院**许心越教授团队**针对大晚点场景下的高速铁路列车晚点预测问题开展研究, 设计了一种贝叶斯时空图卷积神经网络模型, 实现了列车晚点时间的精准预测, 揭示了列车间晚点动态传播因果关系对列车晚点演化的影响机制。该成果以“**Bayesian Spatio-temporal graph convolutional network for railway train delay prediction**”为题, 于2024年发表在《**IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**》期刊上(交通运输领域顶刊, 影响因子7.9), 论文链接: <https://doi.10.1109/TITS.2024.3409754>。

面向单一线路层面的大晚点场景, 针对既有研究对列车晚点动态传播关系考虑不足和因大晚点列车事件数据量相对较少导致难以学习有效晚点传播规律的问题, 提出了贝叶斯时空图卷积神经网络模型来预测高速铁路列车晚点时间。提出的模型识别了列车晚点模式, 以表征列车晚点数据在列车晚点时长、区间运行时间和停站时间等方面的综合晚点程度差异; 并将其作为预测模型的附加解释变量, 促使模型利用有限数据量相似样本间的相互影响来提高其预测性能, 降低了模型训练过程中忽略“低发生频率、大晚点”列车事件信息的风险。其次, 将经验知识与列车晚点数据相结合, 利用动态贝叶斯网络模型准确地刻画了列车晚点传播规律的动态时变特征, 揭示了列车间晚点传播隐藏的因果关系, 克服了既有研究仅依赖数据驱动或经验知识定义列车晚点传播关系的可解释性差或灵活性不足的局限。最后, 以武广高速铁路为例验证, 结果表明: 提出的方法能够有效提升对大晚点列车事件信息的学习能力, 预测精度随着预测范围变长优势愈突出, 且考虑列车晚点模式变量可使平均绝对误差降低19.76%。

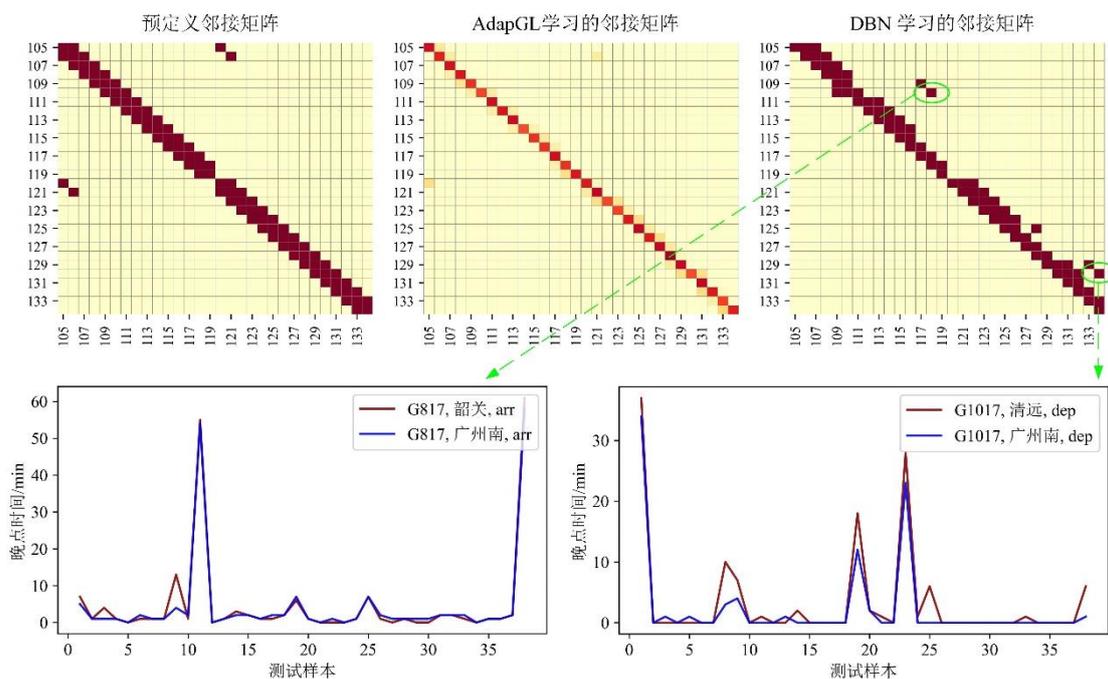


图1 列车晚点动态传播因果关系的影响

● 列车运行计划一体化研究

在国家自然科学基金项目（批准号：71971019）资助下，北京交通大学交通运输学院李得伟教授团队针对列车时刻表、编组计划和车底周转的一体化优化问题开展研究，设计了基于时空网络的多目标混合整数非线性规划模型。该成果以“Integrated optimization of demand-driven timetable, train formation plan and rolling stock circulation with variable running times and dwell times”为题，于2023年发表在《Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review》期刊上（交通运输领域顶级期刊，影响因子10.6002），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103035>。

研究关注列车时刻表、编组计划和车底周转，传统的逐步优化不能有效平衡三方面成本，并且在资源有限的情况下，可能会为后一阶段提供不可行方案。且现有的列车运行计划一体化优化通常忽略运输系统中可变运行时间、可变停留时间和联挂/解编等变量元素。因此论文在考虑现实条件的情况下，对时变客流需求下的列车时刻表、列车编组计划和车底周转进行一体化优化研究。重点关注列车运行时间（即到达时间、出发时间、运行时间和停站时间）、编组方案和车底运用情况（包括车底周转和联挂/解编）。

论文考虑乘客成本和企业成本，提出了基于时空网络的多目标混合整数非线性规划模型，以最小化总乘客等待时间、列车数量、编组数量和联挂/解编次数，一定程度上打破了车底周转的时间限制，而且考虑了列车的联挂和解编操作，提高车底运用的灵活性。

为解决一体化模型中的非线性约束，论文根据模型结构和决策变量的性质，通过逻辑线性化和分段线性化，将非线性整数规划模型转化为线性化整数规划模型；并通过模糊规划将维度不一致的多个目标函数量化为单个目标函数，使乘客成本和运营商成本同时实现最小化。

为验证论文中一体化优化模型的有效性，论文进行实例研究，结果表明与多阶段优化相比，论文所提出的一体化优化模型可以有效减少车底使用数量，提高车底利用率。另外，研究还有效解决了只有一个车辆段以及可用车底数量有限情况下的车底数量短缺问题。

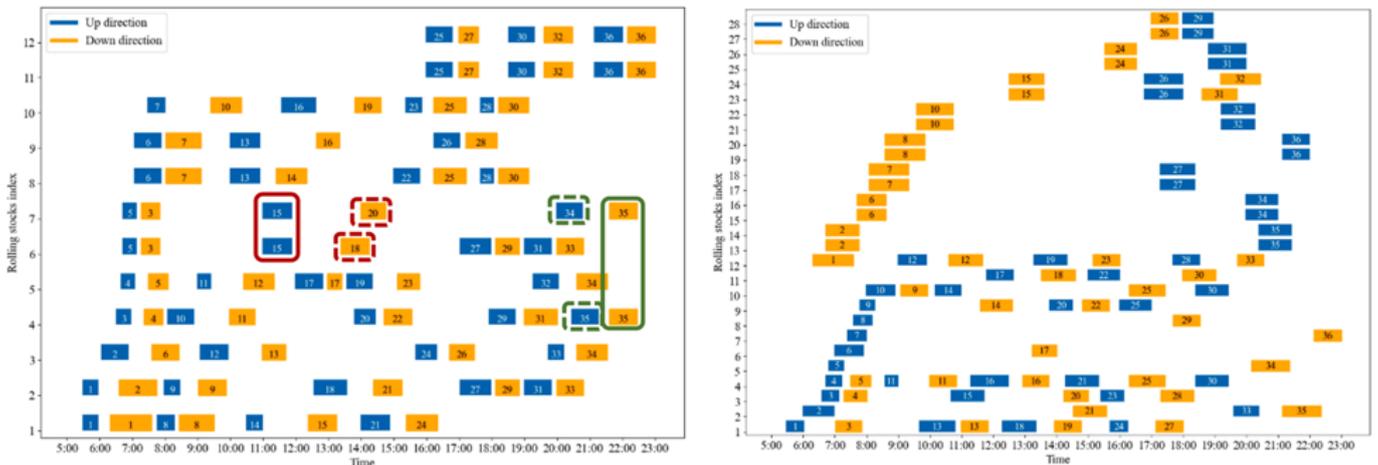


图1 一体化优化（左）和分步优化（右）得到的车底周转方案

● 基于列车操纵策略的节能时刻表设计与调整优化研究

在国家重点研发计划项目（批准号：2022YFB4300603）资助下，北京交通大学交通运输学院**王莉副教授团队**面向事件扰动条件下基于列车操纵策略的节能时刻表设计与调整优化问题开展研究，在考虑实际复杂线路条件基础上，设计了一种基于时间-能量帕累托解的双层时刻表优化方法，克服了复杂线路条件下协同优化宏观时刻表与微观列车操纵困难的难点，建立了基于列车操纵策略的节能时刻表调整优化方法，弥补了传统事件影响条件下只考虑时间效率但不考虑效能的时刻表调整优化的不足，形成了可根据扰动影响程度进行动态多目标优化的运行调整技术。该成果以“**Energy-Efficient Timetable Optimization Empowered by Time-Energy Pareto Solution Under Actual Line Conditions**”为题，于2024年发表在《**IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS**》期刊上（智能交通领域国际顶级期刊，影响因子7.9），论文链接：<https://ieeexplore.ieee.org/document/10401016>。

本文在保持现有基础设施不变的情况下，提出了一种双层节能时刻表优化方法以有效降低列车能耗。在列车层面，提出了一种针对实际线路条件（包括多变的坡度、曲线和隧道）的等效方法，将列车行驶过程抽象为多目标优化模型，以平衡时间成本和能耗。进一步，结合差分进化和新的拥挤距离算子，提出了一种改进的非支配排序遗传算法 II (INSGA-II)，通过比较不同的控制策略来获取单列车速度距离曲线的时间-能量帕累托解集。在时刻表层面，利用计算得到的时间-能量帕累托解设计了一个整数线性规划模型，通过限制列车之间的发车间隔来优化时刻表。其中提出了一种新的基于作业时间的分支定界方法，可以快速搜索最优控制策略，从而在保留真实仿真结果的同时准确输出最优时刻表。对京沪高速铁路北京-济南段实际运行数据的案例研究表明，在列车准点的场景下，采用本文提出的方法优化后的时刻表可以节省高达 18.69% 的能源；在列车受时间影响延误的场景下，与仅以时间最短为目标的传统方法相比，8 分钟、9 分钟和 14 分钟延误场景下的总目标可分别节省 4.69%、9.93% 和 8.05%。

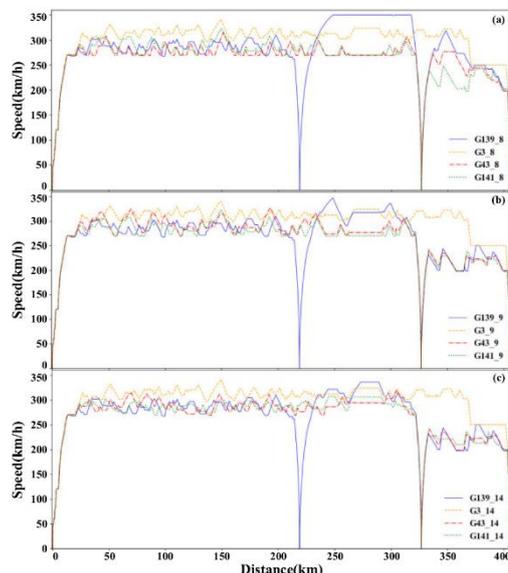


图 1 在晚点 8 分钟、9 分钟和 14 分钟场景下采用节能策略的列车速度距离曲线

● 高速铁路综合交通枢纽旅客空间出行行为研究

在前沿中心基本科研业务费基金项目（批准号：2022JBQY006）资助下，北京交通大学交通运输学院李得伟教授团队针对旅客在高铁综合交通枢纽中出行过程受空间知识和视觉信息影响的问题开展研究，阐述了不同场景维度（二维与三维）下行人寻路行为的差异。研究通过结合空间知识、视觉场信息和深度学习语义分割方法，精确量化了行人视觉信息，分析了不同信息因素对行人路径选择的影响，并提供了优化公共空间设计和提升行人流动性的实用经验。该成果以“基于桌面端 VR 综合考虑空间知识和视觉信息的行人寻路行为研究”为题，于 2024 年发表在《Transportation Research Part C》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子 7.6），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104651>。

基于桌面虚拟现实（VR）技术的行人寻路行为，重点考虑了空间知识和视觉信息对行人路径选择的影响。研究旨在理解旅客在高速铁路综合交通枢纽中的路径选择决策行为，通过 VR 行为实验，对不同场景维度（二维与三维）对寻路行为的影响进行比较分析。研究不仅探讨了行人对局部与全局空间知识的运用，还首次提出利用深度学习的语义分割方法精确量化行人视觉信息。结果表明，空间和视觉信息均对提高寻路行为预测模型的准确性有显著作用，且三维场景中的行人在视觉信息有限的情况下更倾向于选择局部最短路径，而二维场景则体现出更强的全局路径选择倾向。该研究通过量化视觉场和标识信息，揭示了视觉和不同类别标识信息在不同场景下对决策作用的差异，并为公共空间的布局设计、标识系统的改进以及行人流动性的提升提供了有益的经验。

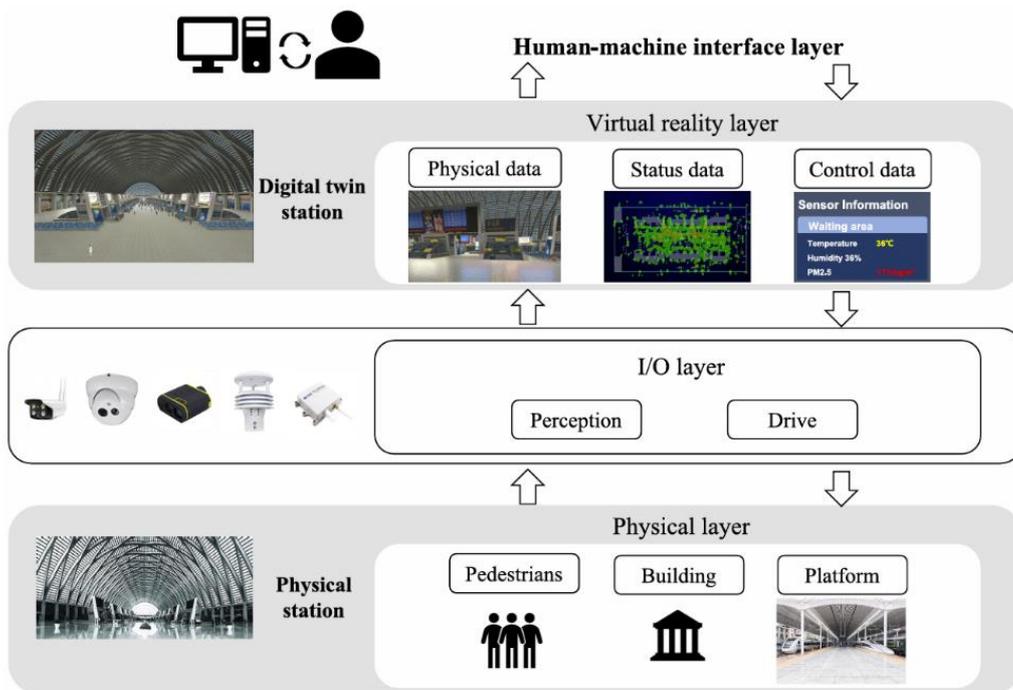


图 1 研究构建的基于实际交通场景空间数据的 VR 实验平台

● 海铁联运港口多阶段设备协同作业调度

在国家留学基金委（批准号：202207090078）、中央高校基本科研业务经费重点项目（批准号：2023JBZY006）资助下，北京交通大学交通运输学院朱晓宁教授团队针对铁路专用线入港的海铁联运港口，对集装箱装卸、转运、存取作业过程涉及的关键设备协同调度问题展开研究，强化铁路与水运一体衔接，提升海铁联运作业组织联通水平。该成果以“Integrated Scheduling of Yard and Rail Container Handling Equipment and Internal Trucks in a Multimodal Port”为题，于2023年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（智能交通领域顶刊，影响因子7.6），论文链接：<https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3295812>。

论文围绕海铁联运港口进口铁路箱和出口铁路箱双向作业流程以及公路箱堆场作业需求，考虑多列列车的装卸作业时间窗要求、集装箱作业优先级关系以及公路箱到达时间不确定性等影响，以最小化作业完工时间、设备等待时间和内集卡空驶时间为优化目标，建立了轨道门吊、内集卡、场吊协同作业调度优化模型。设计了基于仿真的自适应大规模邻域搜索算法进行求解。通过小规模和大规模算例验证了模型和算法的有效性，并从资源利用角度分析了不同设备配置方案及箱流混合作业模式对联运港口陆侧作业系统作业效率和设备利用率的影响。

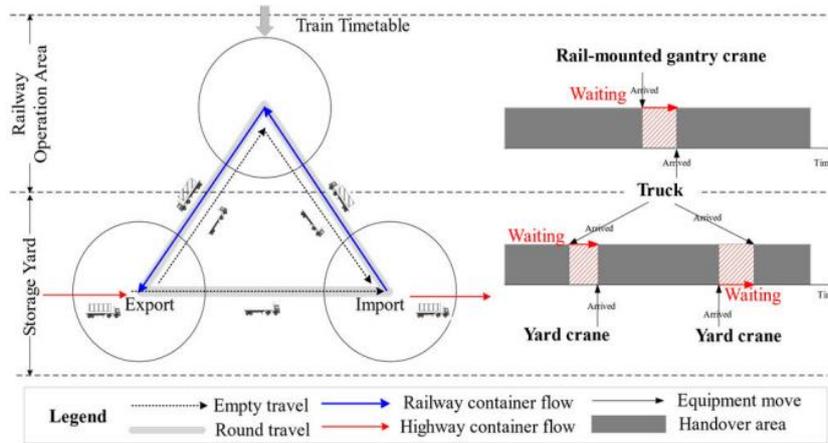


图1 铁路作业区与堆场间箱流和设备交接示意图

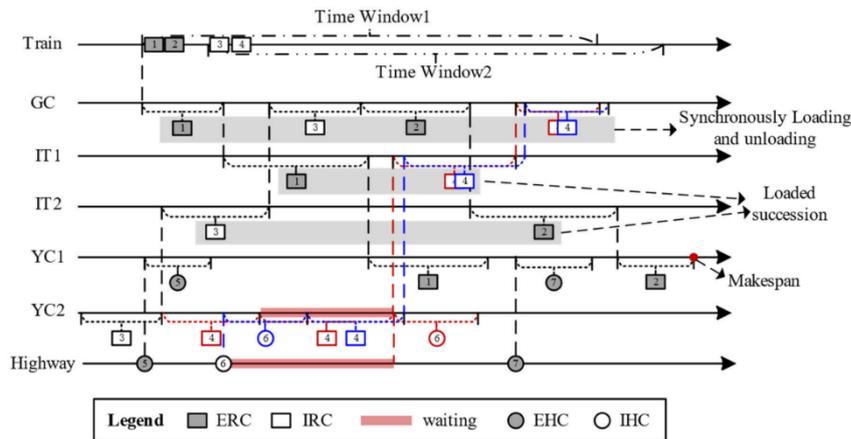


图2 6个任务作业流程示意图

● 高速铁路快捷货物运输服务网络设计

在高铁联合基金项目（批准号：U2034208）资助下，北京交通大学交通运输学院朱晓宁、商攀教授团队针对高速铁路快捷货物运输服务网络设计问题开展研究，设计了多模式下考虑客货权衡的高速铁路快捷货物运输模式选择与货流分配方法。该成果以“Optimizing a shared freight and passenger high-speed railway system: A multi-commodity flow formulation with Benders decomposition solution approach”为题，于2023年发表在《Transportation Research Part B: Methodological》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子6.8），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.trb.2023.03.012>。

为了充分利用高速铁路网络在承担客运业务后的剩余能力来运输小件快递货物，研究基于旅客列车时刻表构建二维时空网络，围绕多种运输组织模式的综合运用，基于列车载运系数引入服务惩罚成本以考虑各模式对客运业务造成的影响，以服务成本、货流运输成本最小化为目标，以运输组织模式选择、列车运输能力、节点作业能力、货物运到时限等为约束，构建高铁快捷货物运输服务网络设计和货流分配一体化优化模型。为了对模型进行有效求解，设计了一种 Benders 分解算法将模型拆分为服务网络设计主问题和货流分配子问题进行迭代求解，利用一种基于列池的近似方法来有效生成时空路径并获得良好的上界，提出了两种加速技术来加速算法。最后，以沪宁杭地区高速铁路网为背景构建 12 个场景，对所提方法进行了测试，结果表明两种算法加速策略的使用能够使平均求解时间分别减少 30.90%和 29.15%，同时，实例结果揭示了在不同列车载运系数、惩罚成本、运输组织模式和货运量的影响下，如何科学地设计服务网络来取得客货平衡。

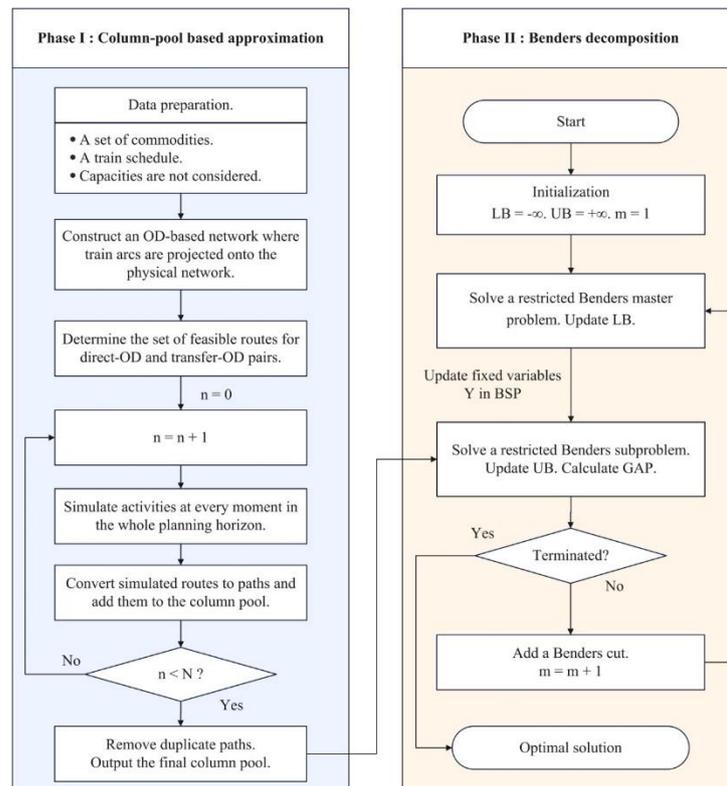


图 1 基于列生成的 Benders 分解算法流程图

成果分享——科研论文

● 受电弓精细化监测/检测研究

在国家重点研发计划项目（批准号：2022YFB4301204）资助下，北京交通大学交通运输学院**魏秀琨教授团队**该研究针对铁路交通安全中关键部件——受电弓碳滑板的磨损监测问题，设计了一种基于图像处理和深度学习的方法，实现了对滑板磨损程度的高精度估计。该成果以“High Precision Robust Real-Time Lightweight Approach for Railway Pantograph Slider Wear Estimation”为题，于2024年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation System》期刊上（交通领域顶刊，影响因子8.5），论文链接：<https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3329109>。

受电弓碳滑板是轨道交通弓网系统中的关键部件。对铁路交通安全来说，监测碳滑板的磨损至关重要。本研究提出了一种创新的实时高精度轻量化方法，用于估计碳滑板的磨损程度。该方法可实现对所有滑块的全面监测。

在第一阶段，提出了一种基于图像处理和深度学习目标检测的方法，用于定位滑块区域。该方法考虑了受电弓碳滑板的宽高比和倾斜角度。

在第二阶段，提出了一种用于受电弓碳滑板磨损估计的深度学习神经网络模型（WEPSNet）。该网络实现了滑块轮廓的端到端提取，并通过计数像素数计算出滑块的剩余厚度。此外，还讨论了单目图像中的透视投影变换引起的误差。

实验结果表明，在模型大小相似的情况下，所提出的 WEPSNet 较当前最先进的方法在 mIoU 上提高了 1.08%，在 IMP 上提高了 4.63%。此外，对 120 幅受电弓滑板图像上的残余厚度精度进行了测试，在允许的 1mm 误差范围内达到了最高 95.91% 的精度，比当前最先进的方法提高了 6.68%。

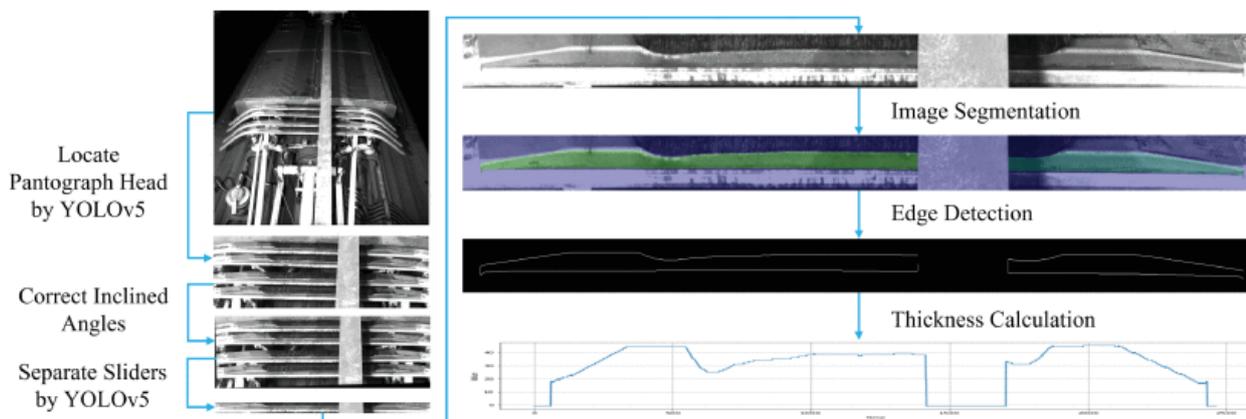


图1 碳滑板剩余厚度估计流程图

● 受电弓精细化监测/检测研究

在中央高校基本科研基金项目（批准号：2022JBQY007）和国家重点研发计划项目（批准号：2022YFB4301204）资助下，北京交通大学交通运输学院魏秀琨教授团队该研究针对受电弓表面微小缺陷的检测问题，设计了一种集成物体检测和分割的深度学习方法，实现了对 PCCS 表面碎片和裂纹的准确检测和分析。该成果以“Subtle defect detection on the surface of railway PCCS based on deep learning”为题，于 2023 年发表在《Measurement》期刊上（工程技术领域顶刊，影响因子 5.6），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113964>。

受电弓是铁路车辆的关键组件，其运行状态直接关系到铁路运营安全。本文涉及 PCCS（受电弓碳滑板）表面剥落和裂纹的检测。尽管最新的物体检测和分割方法被广泛用于解决工业检测领域的实际问题，但深度学习在受电弓表面缺陷检测中的应用仍然缺乏系统的研究。本研究旨在检测 PCCS 表面的典型微小缺陷。在 PCCS 图像采集和增强后，设计了碎片和裂纹缺陷数据集。首先，对于碎片检测，提出 EBF-YOLOv5，集成了聚焦微小物体的四头结构，并在 YOLOv5 的主干上增加了 ECA(Effective Channel Attention)。此外，采用 BiFPN 取代原有的 PANet，同时引入焦损，解决了物体细微、样本少、物体与背景不平衡等问题。然后，提出了一种裂纹检测-分割模型，并将语义分割的思想应用于 PCCS 表面裂纹检测。在对斑块级裂纹进行检测后，在像素级分割过程中，提出了基于 U-Net 模型，结合通道注意机制和空间注意机制的 CBAMU-Net 模型。同时，应用混合损失函数提高分割精度。最后，在分割后的二值掩模图像上进行裂缝长度和宽度的测量，同时通过分析裂骨架，确定裂缝轮廓内最大内切圆来测量裂缝。然后通过与裂长度和宽度的测量结果进行对比，计算出相对误差。实验证明 EBF-YOLOv5 和 CBAMU-Net 可以满足典型 PCCS 微小表面缺陷在实际应用中需求。

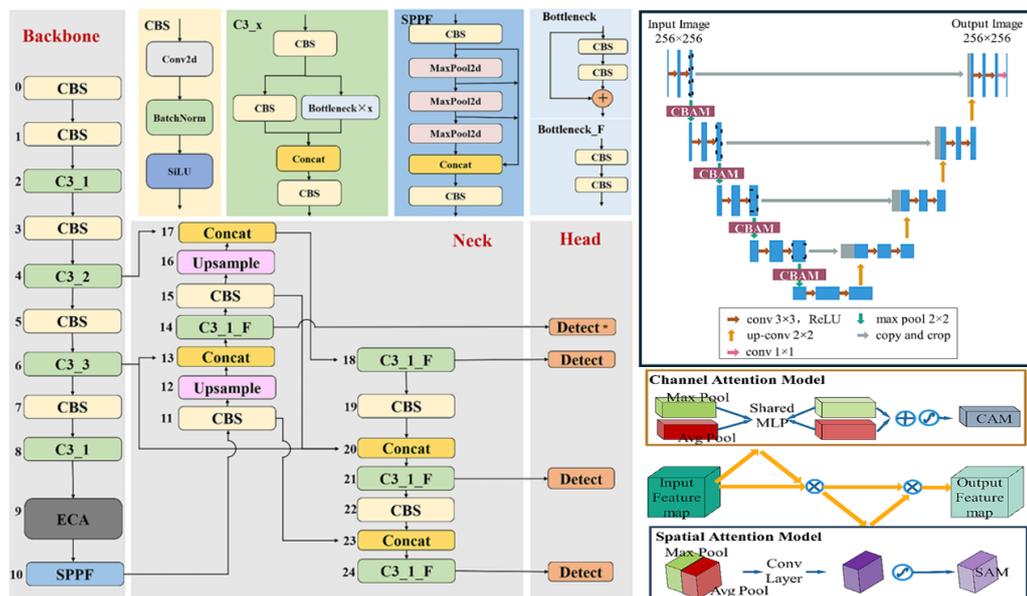


图 1 网络结构图：EBF-YOLOv5（左）CBAMU-Net（右）

● 钢轨焊缝损伤与动静态载荷关系模型研究

在国家重点研发计划项目（批准号：2022YFB4301204）资助下，北京交通大学交通运输学院**蔡国强副教授团队**针对钢轨焊缝的损伤效应与动静态载荷的关系模型等问题开展研究，构建了一个损伤实时检测平台，使用 CHN60 型轨道进行实验室测试，压电传感器阵列传感器被安装在焊缝截面的不同部分，利用疲劳试验机对轨道施加静态和循环载荷，通过对比不同载荷条件下的超声导波信号，探讨了损伤引起的信号变化特征。**该成果以“Experimental Study of Static and Dynamic Loading Effects on Guided Wave-Based Intelligent Monitoring of Welded Rail Joints”为题，于 2024 年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子 7.9），论文链接：<https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3332129>。**

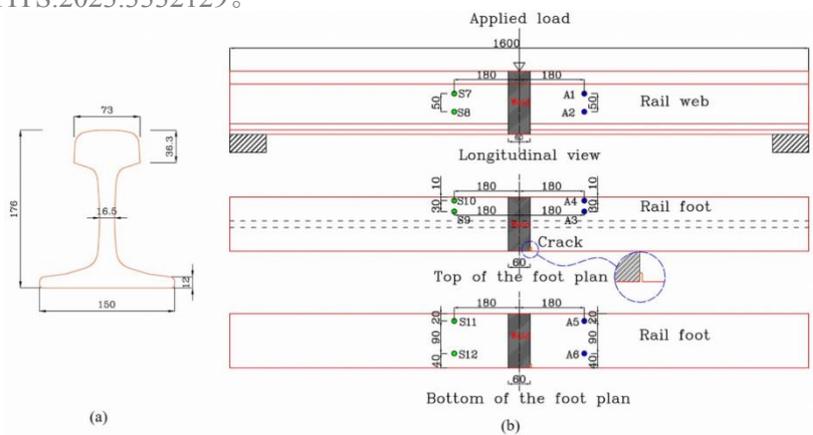


图 1 钢轨焊缝传感器阵列布设示意图

研究中，12 个压电换能器（PZTs）被安装在轨道截面的不同部分，包括轨道腹板和轨底，以生成或接收导波信号。通过信号处理分析载荷条件下信号的变化。实验结果显示，钢轨截面各部分的群速度在高于 300 kHz 的频率下几乎保持不变，对提取的短时间时序相干特征在区分结构损伤和各种载荷条件方面非常有效，有助于开发适用于服役线路的实时监测系统。

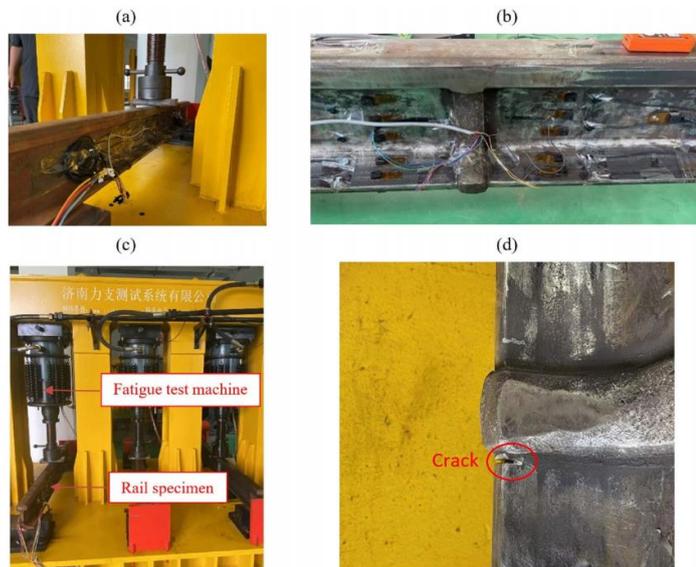


图 2 钢轨焊缝疲劳损伤超声导波监测技术

● 通信网络攻击下智能网联车辆编队控制研究

在国家重点研发计划（批准号：2022YFB4300400）资助下，北京交通大学交通运输学院**闫学东，王江锋，马路，王云，刘晓冰，段金肖**团队针对通信网络攻击下智能网联车辆的编队控制性能开展测试研究，设计了多种攻击情境和评估指标，用于说明编队的控制性能。**该成果以“Modeling and analyzing self-resistance of connected automated vehicular platoons under different cyberattack injection modes”为题，于2024年发表在《Accident Analysis & Prevention》期刊上（交通安全领域国际级顶刊，影响因子11.9），**论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107494>。

网络层的信息流与车辆层的物理主体之间的高度集成与交互，使网联自动驾驶车辆能够实现高效、协作的出行。然而，网络层面临恶意攻击和通信资源不足等挑战，导致车辆层受到系统非线性、干扰随机性和行为不确定性的影响，从而影响编队的稳定性。目前，学者们通常通过假设或改进跟驰模型研究编队控制策略，但未充分考虑这些模型在应对网络攻击时可能产生的干扰。因此，分析不同跟驰模型在网络攻击下的控制性能具有重要意义。

首先回顾了常用的跟驰模型，涵盖交通工程、物理统计学和车辆动力学等领域，并将网络层的恶意攻击分为显式攻击和隐性攻击两类。基于此，提出了一个协作广义力模型，该模型整合多前车通信行为，并应用于不同的网络攻击情境。进一步地，模型被扩展为三类车辆跟驰模型，包括了线性和非线性模型，并依据车辆相对位置、速度和加速度进行编队控制。此外，本文提出六项控制性能指标，评估编队在虚假信息、重播/延迟和通信中断等攻击下的表现。这些指标反映了驾驶员的容忍度、车辆的适应性及环境的抗干扰能力。通过对不同跟驰模型和网络攻击的组合，完成了编队控制性能的研究，这对增强车辆层内生安全性、提高网络层容侵性能容具有积极的研究价值和现实意义。

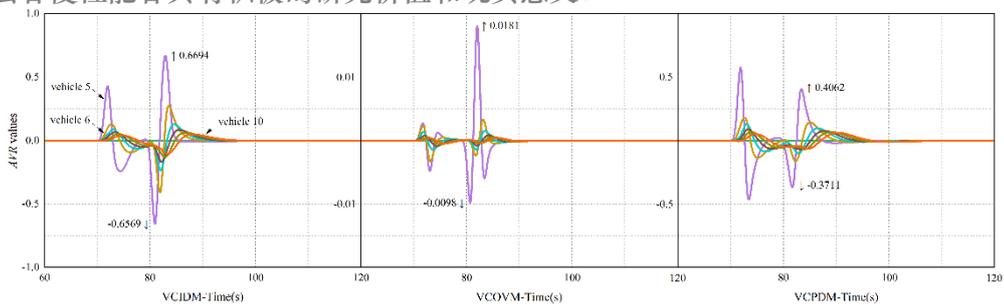


图1 加速度变化率图

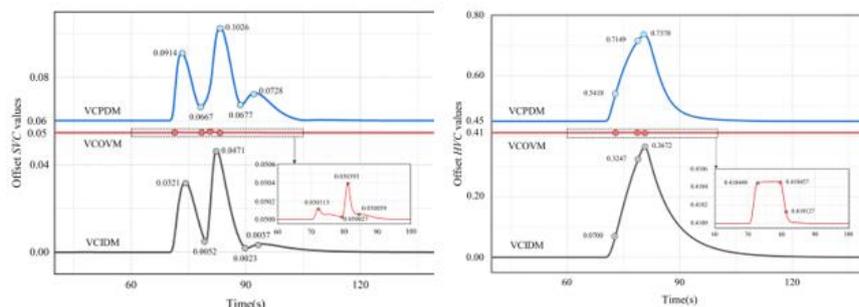


图2 速度变异系数图（左）、时距变异系数图（右）

成果分享——科研论文

● 自主式道路交通系统研究

在国家重点研发计划课题（批准号：2023YFB4302703）资助下，北京交通大学交通运输学院**姚恩建教授团队**针对智能网联混合交通流环境下的无信号交叉口管控问题开展研究，设计考虑驾驶风格和车间通行权博弈的交叉口管控方法。该成果以“Decentralized human-like control strategy of mixed-flow multi-vehicle interactions at uncontrolled intersections: A game-theoretic approach”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part C》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子7.6），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104835>。

随着自动驾驶车辆渗透率的逐渐提升，未来的道路交通系统可能长期处于人工驾驶车辆和自动驾驶车辆等类型车辆所构成的混合交通流场景。为应对该场景下无信号交叉路口的管控问题，考虑集中式车辆轨迹规划算法在无信号交叉口应用的局限性，研究提出基于车间通行权博弈的分布式交叉口管控方法。

研究提出基于非完全信息假设的主从博弈模型框架以刻画不同类型车辆间的通行权博弈机制，并对模型解的存在性进行理论证明。另外，研究提出基于贝叶斯模型参数动态校准算法对博弈效用函数中的相关参数进行校准。

研究结果显示，研究所提出的算法可以精确重现特定场景下的车辆轨迹。在保障通行安全的前提下，自动驾驶车辆更充分地利用交叉口时空资源，使得算法控制下的交叉口比传统停车让行和信号控制交叉口具有更优的通行效率。

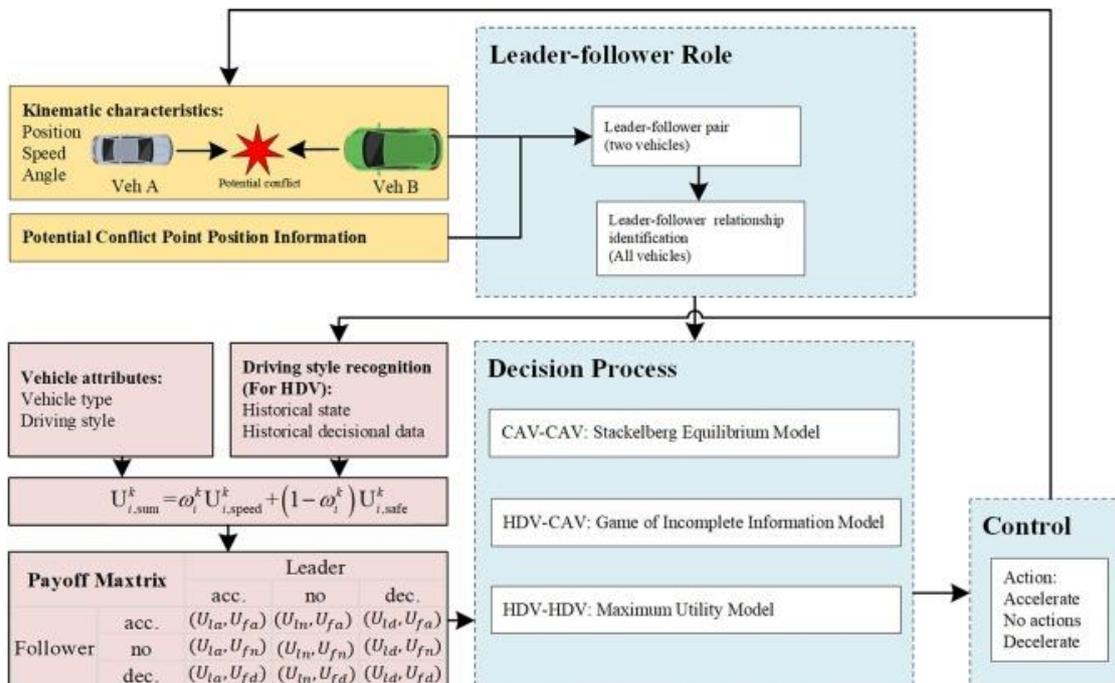


图1 模型框架示意图

成果分享——科研论文

● 多源数据驱动出行方式识别

在国家重点研发计划（批准号：2018YFB1601200）等项目资助下，北京交通大学交通运输学院**黄爱玲教授团队**针对多源数据驱动识别出行方式问题开展研究，设计了融合深度学习与地图匹配算法的出行方式识别框架。该成果以“A Framework of Travel Mode Identification Fusing Deep Learning and Map-Matching Algorithm”为题，于2023年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（智能交通领域顶刊，影响因子7.6），论文链接：<https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3250660>。

手机信令数据蕴含着丰富的出行行为信息，这些信息对于居民出行行为分析至关重要。鉴于手机信令数据的特性，从中准确挖掘如出行方式等出行信息极具挑战。一方面，由于手机信令数据的时空稀疏性，现有相关研究简单地将基站位置视为出行者的实际位置往往会导致较大空间误差。另一方面，缺乏带有出行方式标签的手机信令数据集也限制了利用有监督学习方法从手机信令数据中挖掘出行方式。为了解决上述问题，本研究提出了一种新型的基于手机信令数据的出行方式识别框架，该框架以由多源数据重构的伪手机信令数据和真实手机信令数据为数据基础，结合基于隐马尔可夫模型的地图匹配算法和以双向长短期记忆网络为核心的深度神经网络，能够从无出行方式标签的手机信令数据中有效识别出行方式。以深圳的多源交通数据集为例验证该方法的准确性和有效性。结果表明，与真实的各交通方式出行比例相比，所提出框架识别的出行方式比例准确度达到87.30%。

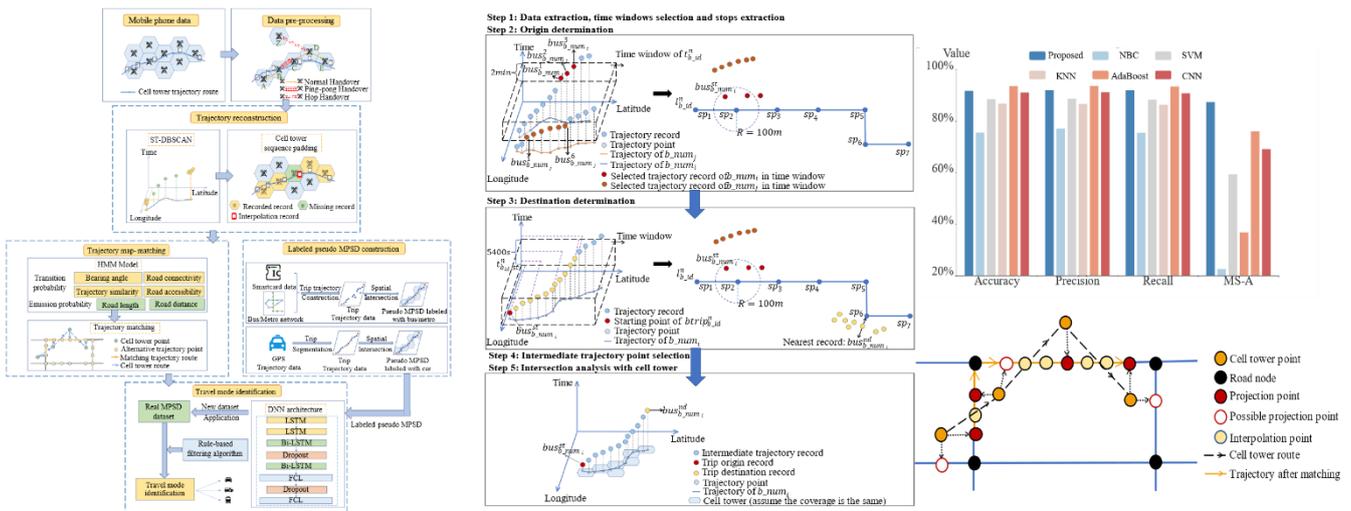


图1 模型框架（左）、信令数据重构流程（中）、准确度分析（右上）、地图匹配示意（右下）

● 城市物流多模式协同的两阶段车辆路径优化

在高铁联合基金项目（批准号：U2034208）资助下，北京交通大学交通运输学院朱晓宁、商攀教授团队针对考虑多模式协同的两阶段车辆路径问题开展研究，设计了综合考虑车辆的同步协调、客货共运的车辆路径优化和货流分配方法。该成果以“Two-echelon multi-commodity multimodal vehicle routing problem considering user heterogeneity in city logistics”为题，于2024年发表在《Expert Systems With Applications》期刊上（交通运输领域权威期刊，影响因子8.5），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124141>。

为了在充分利用城市物流资源的同时提高客户的满意度，研究将两阶段车辆路径优化与路径选择行为整合，以二维时间空间网络描述多交通模式的配送路径，以满足客户要求的前提下最小化总配送成本为目标，以车辆流平衡、货物流平衡、车辆最大容量、车辆同步协同、多交通模式协同等为约束，构建两阶段车辆路径优化与多交通模式货流分配一体化优化模型。为了对模型进行有效求解，设计了自适应大规模邻域搜索算法，同时针对所研究问题的特征，提出了路径时间调整策略并设计了对应算子。最后，基于2E-VRP标准实例对所提方法进行了验证，结果表明所提出的方法能带来下界值的整体提高，进一步以北京亦庄交通网络为背景对所提方法进行了测试，结果表明相较于单交通模式，多交通模式的成本相对适中且可满足用户的异质性，可以应用于城市物流服务。用户异质性虽然增加了配送成本，但从时间维度看，更好地满足了客户的需求。同时，基于不同需求分布和车辆容量的实例结果揭示了集中化与专业化是物流行业提高效率与降低成本的主要方法。

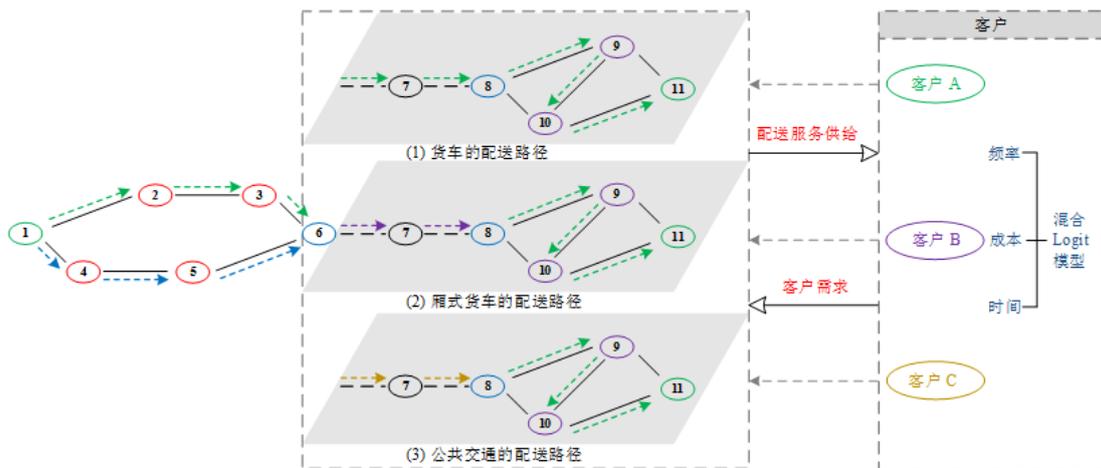


图1 配送服务供需平衡示意图

● 交通可达性研究

在国家自然科学基金项目（批准号：71621001）资助下，北京交通大学交通运输学院许奇副教授团队针对十五分钟城市背景下基础医疗服务的可达性评估问题开展研究，设计了改进的三步移动搜索法。该成果以“Measuring the dynamic accessibility to COVID-19 testing sites in the 15-min city: A focus on service congestion and mobility difference”为题，于2023年发表在《Journal of Transport Geography》期刊上（交通地理/城市规划领域顶刊，影响因子6.1），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103670>。

便捷地获得基础医疗服务等基本城市服务是实现15分钟城市目标的关键。然而，到目前为止，很少有研究在可达性建模中充分考虑到服务设施的拥挤程度和不同年龄群体之间的移动性差异。因此，本文提出了改进的三步移动搜索法（3SFCA），该方法考虑了设施的动态拥挤程度，并区分了不同年龄群体的步行和骑行速度差异。本文将这一方法应用于深圳核酸检测点的可达性评估中，并使用Lorenz曲线和Spearman相关系数分别评估横向公平性和纵向公平性。研究表明，15分钟城市目标下的核酸检测点分布实际上更符合20分钟城市的情况。可达性在整个城市分布较为分散，且在西部和东部边缘地区变化更为显著。在公平性方面，考虑到儿童和老年人的移动性较差，整体可达性分布更不公平。此外，纵向公平的结果还表明罗湖区应更多地优先考虑这些弱势群体。这些发现有助于城市规划者和政策制定者改善15分钟城市中基础服务资源的分配和管理，并实施更有效的措施以应对不确定的未来。

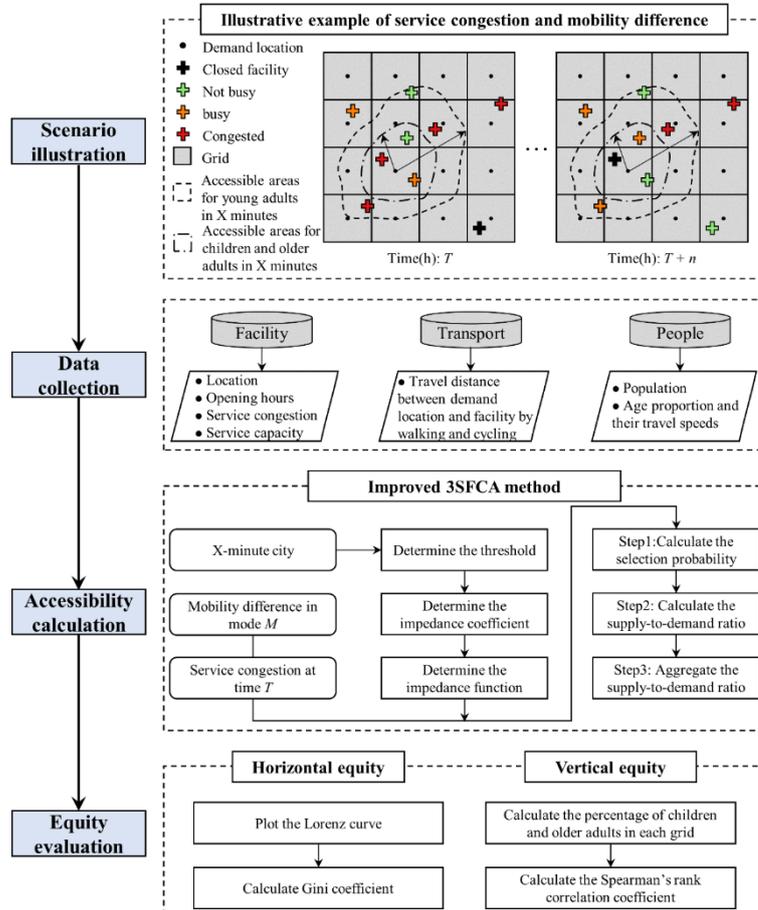


图1 技术路线图

成果分享——科研论文

● 高速公路快速充电设施规划研究

在国家自然科学基金项目（批准号：52172312, 71931003）、新加坡教育部学术研究基金(AcRF)Tier 1项目（RT22/22）资助下，北京交通大学交通运输学院**姚恩建教授团队**针对区域能源转型背景下的高速公路快速充电设施规划问题开展研究，设计了考虑绿电占比的电动汽车充电设施多阶段布局优化模型。该成果以“Multistage charging facility planning on the expressway coordinated with the power structure transformation”为题，于2024年发表在《Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子8.5），论文链接：<https://doi.org/10.1111/mice.13216>。

论文提出了一种与动态区域能源结构转型相协调的新型多阶段高速公路快速充电站规划问题。在保证充电设施网络可持续运行、网络可达性和有序建设的前提下，提出了面向节能减排效益提升和设施利用合理化的三步规划方法：(i)EV 时空扩展网络、(ii)基于多智能体的动态交通分配(MA-DTA)和(iii)精细化部署。通过将 MA-DTA 和定制的精细化策略嵌入到迭代规划结构中，本文提出的模型实现了高速公路快速充电设施网络的运营和规划的集成。

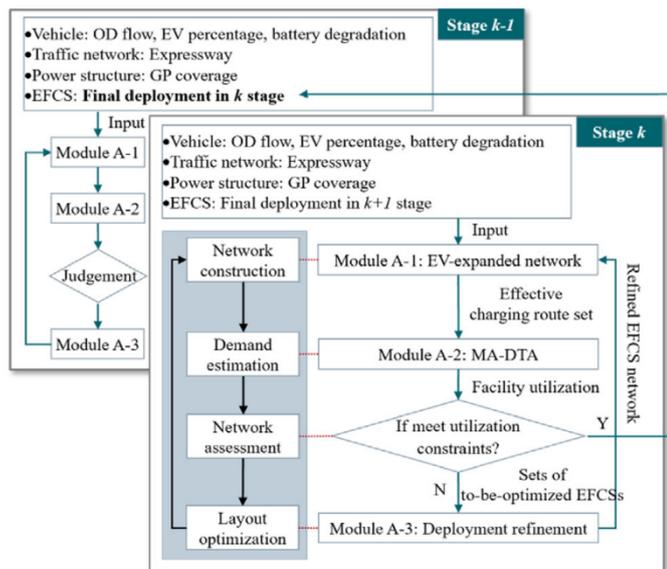


图1 多阶段高速公路快速充电设施部署优化方法整体框架

论文在山东半岛城市群进行了数值试验和实证研究，结果表明，文中提出的规划方法能够在可接受的计算时间内找到高质量的解，适用于实际的大规模高速公路快速充电设施规划。在山东半岛的核电能源转型背景下，该规划方法能够有效发挥经济性和便利性对电动汽车用户充电需求的诱导作用，从而提升整体节能减排效益。同时，该方法通过运营与规划一体化，实现了全时段合理匹配网络内设施服务水平和充电负荷供需平衡。进一步地，论文基于逆向规划思想，对2025-2045年的多阶段高速公路快速充电站规划方案进行了探索，并认为各阶段规划方案将由初期的扩大站点覆盖范围为主逐渐过渡到提升关键站点服务水平为主，且随着电动汽车城际出行的增加，初期设施利用率较低的问题将很快得到缓解。

成果分享——科研论文

● 即时订单与预约订单混合下的自动驾驶出租车动态调度决策管理

在国家自然科学基金项目（批准号：72101019）资助下，北京交通大学交通运输学院**陈垚副教授团队**与**新加坡国立大学 LIU Yang 教授**针对自动驾驶出租车(SAV)的动态调度问题开展合作研究，利用近似动态规划方法设计了非短视的车辆动态调度决策管理方法。该成果以“**Real-time dispatch management of shared autonomous vehicles with on-demand and pre-booked requests**”为题，于 2024 年发表在《**Transportation Research Part A**》期刊上（**交通运输领域顶刊，影响因子 6.4**），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104021>。

自动驾驶出租车为共享汽车与自动驾驶技术的结合。文章探讨了即时订单与预约订单混合下自动驾驶出租车辆的动态调度问题，设计了基于近似动态规划(ADP)的建模框架，构造了实时场景下车辆订单分配和空车调度决策的优化模型与求解方法。首先利用近似动态规划框架将实时问题划分为一系列基于时间阶段的子问题，并采用车辆时空网络建立当前时间下的车辆调度模型。由于在随机条件下动态规划模型中的状态值函数存在维数过高的问题，文章提出分段线性函数进行状态值函数的近似刻画。为了标定近似状态值函数中的参数，提出了基于对偶信息的 DualT 和 DualNext 算法。此外，文章提出一种将预约订单信息纳入 ADP 方法的前瞻策略，以提高实时决策正确性。基于 Brooklyn 开放出租车数据进行了数值实验，验证了 ADP 方法的有效性。

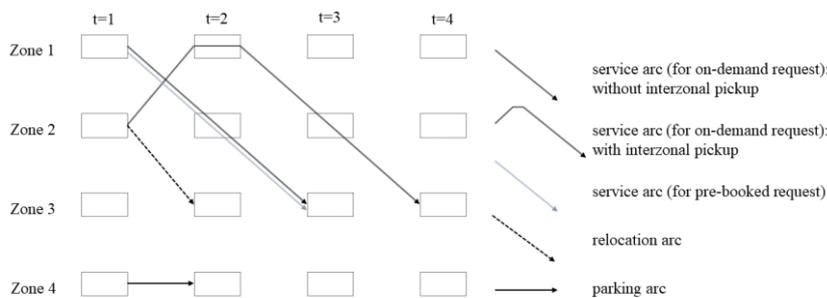


图 1 车辆调度的网络刻画

表 1 ADP 方法效果对比

Comparisons of different ADP approaches.

		DualT		DualNext	
		ADP	ADP with lookahead	ADP	ADP with lookahead
0% instance	Reward	2639.3	2516.2	2618.5	2664.9
	Fulfillment rate	94.11%	86.01%	93.07%	91.82%
	Relocation trips	229.0	89.7	276.0	187.8
20% instance	Reward	2642.8	2598.2	2620.7	2729.9
	Fulfillment rate	94.43%	89.49%	94.32%	95.38%
	Relocation trips	287.6	169.3	346.8	266.2
40% instance	Reward	2653.9	2668.1	2609.0	2757.9
	Fulfillment rate	95.23%	92.18%	92.99%	96.51%
	Relocation trips	326.0	229.7	350.5	311.7

● 车辆与无人机协同配送路径优化研究

在国家自然科学基金项目（批准号：62076023）资助下，北京交通大学交通运输学院**宋瑞教授团队**基于微进化算法针对车辆与无人机协同配送路径优化问题开展研究。**该成果以“Truck-drone Hybrid Delivery Routing: A Mathematical Model and Micro-evolutionary Algorithm”为题，于 2024 年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（智能交通领域顶刊，影响因子 8.5），**论文链接: <https://doi.org/10.1109/TITS.2024.3381933>。

母船模式是一种能够使客户点避免无人机起降带来的安全、噪音等风险的车辆与无人机协同配送方法。考虑到现实中存在部分客户点需求量超出无人机最大载重或所处位置超过无人机最大航程覆盖范围的情况，本文提出一种考虑超重超远客户点的母船模式，以提高协同配送在实际应用的适配程度。本文对该模式建立了混合整数线性规划模型并设计了微进化算法（MEA）。微进化算法通过在进化过程中引入基因结构保留策略提高求解质量，相比传统遗传算法（GA），其在寻优过程中更注重策略性重组而非随机性探索。基因结构代表反映染色体特定特征的隐藏信息，具有某些基因结构的染色体表现出比其他染色体更好的适应性，这些基因结构将在后代生成过程中被保留。本文依据该思想，设计了两种基于基因结构的微进化算子，即基因结构均匀交叉算子（GSUX）和基于占优概率的交叉算子（DPX）。每次迭代中，算子分析高适应性染色体基因结构并利用这些信息指导基因结构进化。为验证算法有效性，在大、小规模多个算例上开展实验，将微进化求解结果与商业求解器和经典遗传算法求解结果对比；并开展模型灵敏度测试，探究不同场景下无人机技术特征对配送成本的影响。

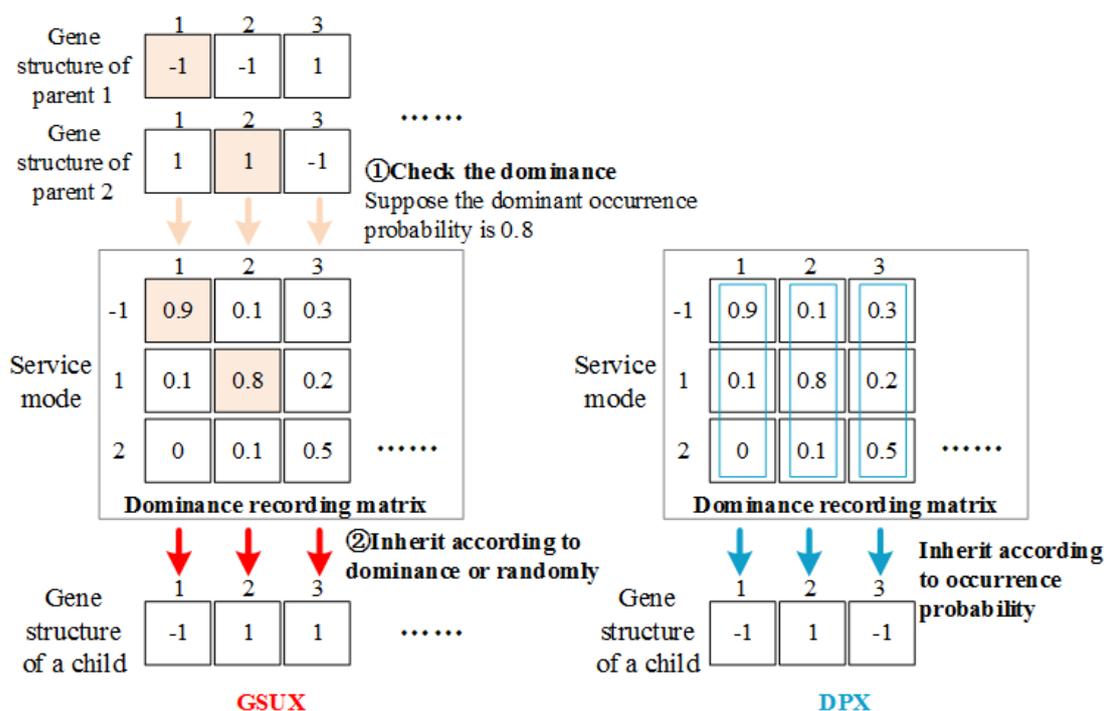


图 1 两个微进化算子示意图

● 自动驾驶能耗研究

在国家自然科学基金项目（批准号：71871015 和 71901018）资助下，北京交通大学交通运输学院**宋国华教授团队**针对自动驾驶车辆的能耗特征问题开展研究，阐述了真实交通环境下多源自动驾驶数据的工况与能耗共性特征及其影响机理。**该成果以“Energetic Impacts of Autonomous Vehicles in Real-world Traffic Conditions from Nine Open-source Datasets”为题，于2023年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（智能交通领域顶刊，影响因子7.9），论文链接：**<https://doi.10.1109/TITS.2023.3272914>。

针对真实交通环境下自动驾驶车辆的工况与能耗特征不明晰的问题，该研究收集了来自6个国家的9个开源自动驾驶工况数据集，排除单一数据源导致的单源异质性，理清自动驾驶共性运行工况特征，剖析了自动驾驶能耗在不同工况下的变化特性。研究发现真实交通环境下自动驾驶能耗的三个现状特征：1) 自动驾驶车辆在低速区间的能源消耗与人工驾驶车辆相似，而在高速区间则低于人工驾驶车辆；2) 低速与高速之间的转折点对于不同数据源而言是一个可变参数；3) 在复杂交通条件下的高速区间，自动驾驶车辆的能源消耗可能高于人工驾驶车辆。基于此，研究基于车辆功率分布模型，通过低速与高速之间的转折点以及高速范围内特定车辆功率标准差的变化率两个参数，确定潜在的能源消耗节省和损失，建立了适用于平均速度为10-100 km/h的自动驾驶车辆能源消耗模型。研究表明，与轻型人工驾驶车辆相比，轻型自动驾驶车辆在稳定条件下能减少3.8%-26.5%的能源消耗，但在不稳定条件下也能增加3.3%-48.9%能源消耗。研究根据功率分布特征提出了稳定性判别方法。

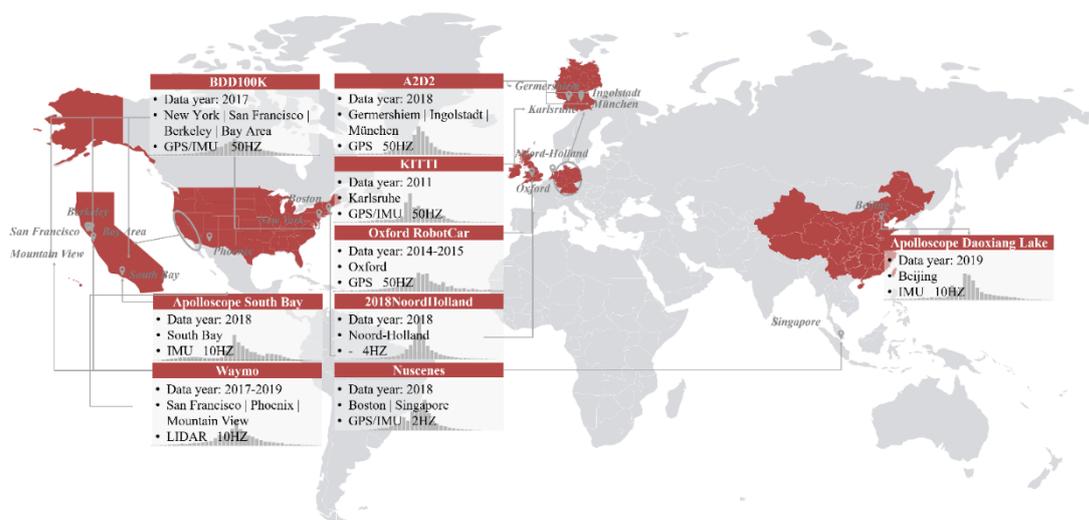


图1 9个自动驾驶车辆开源数据集的收集年份、测试区域和数据粒度

成果分享——科研论文

● 无人电动汽车行驶速度优化模型与算法研究

在国家自然科学基金项目（批准号：72171019、61873040）资助下，北京交通大学交通运输学院**刘志硕副教授团队**针对可变速度下无人电动汽车配送优化问题开展研究，建立了数学规划模型，设计了基于两阶段速度优化策略的自适应蚁群算法求解。该成果以“**Electric Vehicle Routing Problem With Variable Vehicle Speed and Soft Time Windows for Perishable Product Delivery**”为题，于2023年发表在《**IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**》期刊上（智能交通领域顶刊，影响因子7.9），论文链接：<https://doi.10.1109/TITS.2023.3249403>。

论文研究并解决了无人电动汽车速度可变条件下的生鲜产品配送优化问题。

首先定义子电动汽车的能耗函数。电动汽车的能耗与燃油车不同，影响因素主要包括以下四类：Aerodynamic（空气动力学）、Tires（轮胎）、Drivetrain（传动系统）、Ancillary（辅助设备），如图所示。

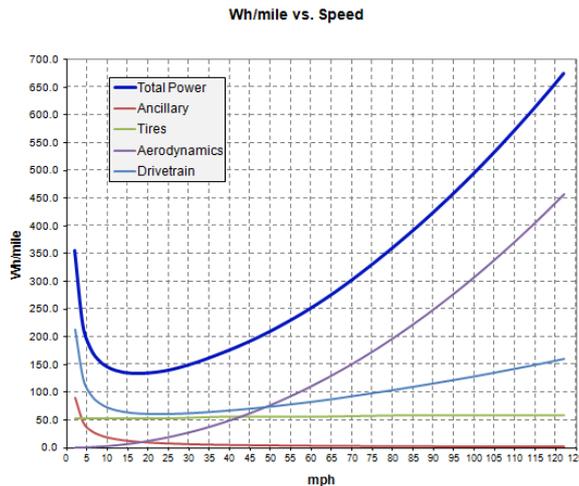


图1 电动汽车的速度与能耗的关系曲线

综合考虑冷藏电动汽车的行驶能耗和制冷能耗，作者分析了电动汽车的行驶速度、载重与能耗之间的关系，定义了更加符合实际的非线性能耗函数。然后以最小化配送总成本为目标，以行驶速度为决策变量，建立了非线性数学规划模型，并将行驶速度离散化，将该非线性规划模型转化为线性规划模型。

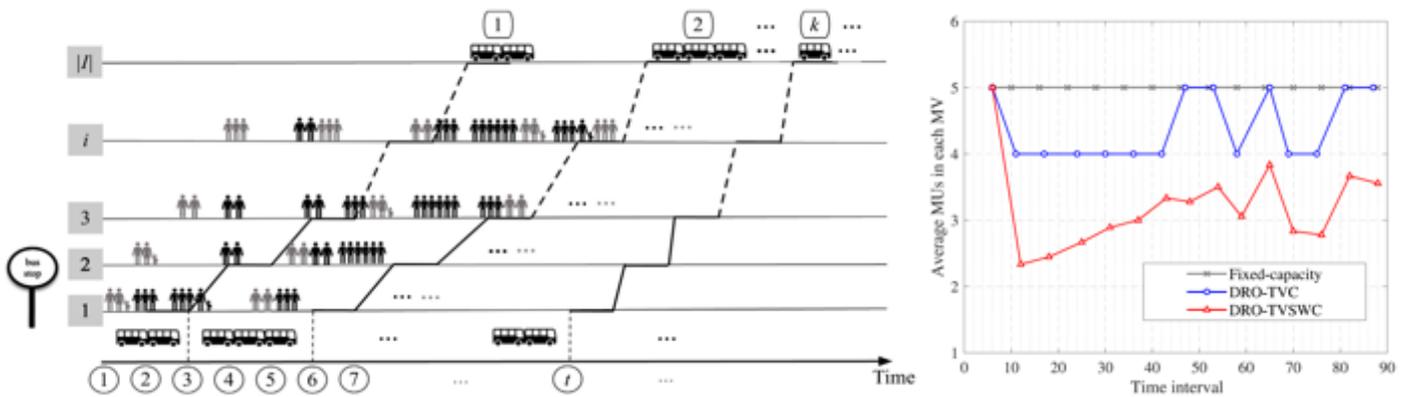
设计了基于两阶段速度优化策略的自适应蚁群算法进行求解。在蚂蚁转移时，采用局部速度优化策略求得最优速度的解析解。在路径构造完成后，通过对到达时刻进行离散化，建立网络图，并采用最短路算法求解全局最优速度，从而进一步提升解的质量。

实验结果表明，与固定速度相比较，对无人电动汽车的行驶速度进行优化能够有效降低配送成本；与前人仅进行全局速度优化相比较，本文所设计的局部和全局相结合的两阶段速度优化算法能够带来更多的配送成本降低。

● 自动驾驶地面公交运行调度研究

在国家自然科学基金（批准号：72288101）等项目资助下，北京交通大学交通运输学院**张文义副教授**所在**马继辉教授团队**针对模块化自动驾驶公交时刻表编制问题开展研究，设计了一种数据驱动的分布式鲁棒公交线路时刻表和车辆编组计划的联合优化方法。**该成果以“Data-driven distributionally robust timetabling and dynamic-capacity allocation for automated bus systems with modular vehicles”为题，于2023年发表在《Transportation Research Part C: Emerging Technologies》期刊上（交通运输研究领域顶刊，影响因子8.3），**论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104314>。

运行环境的动态不确定性和客流需求的时空异质性给城市常规公交运行计划编制提出了巨大挑战，也是当前公交运行计划适应性不强、可靠性差、效率低下的关键诱因。近年新发展起来的模块化自动驾驶车辆技术允许公交车辆在线路行进中灵活解编重组、动态调整区段运能，为有效应对公交客流需求的时空差异、更好解决公共交通供需匹配提供了一种有前景的方案。有鉴于此，本研究基于新兴模块化自动驾驶公交车辆技术和运行场景，综合考虑动态站间旅行时间和动态不确定站点需求，面向常规单线路公交运行构建了一种数据驱动的分布鲁棒公交时刻表和车辆编组计划的联合优化模型，给出了模型在 Wasserstein 距离模糊集定义下的线性等价形式，并结合有效不等式设计了一种 L-shaped 求解算法。最后，以北京 468 路公交为背景，通过数值算例详细比较了不同车辆技术、编组策略和优化方法的计算效果，研究发现与实际容量固定车辆技术相比，模块化车辆技术可显著降低乘客等待时间和公交运营成本，并且站点级动态编组技术成效最佳；此外，分布鲁棒优化方法的综合效果也明显优于随机规划和鲁棒优化方法。



Model	Objective value (unit: \$)		Total number of utilized MUs
	Waiting costs of passengers	Operating costs of operators	
DRO-TVC	3707.411	930.566	81
DRO-TVSWC	3736.678	749.858	44
Objective improvement (%)	-0.789	19.419	45.679

图 1 研究问题描述（左上）、不同公交车辆技术/编组策略用车数量（右上）和多指标（正下）对比

● 自动驾驶共享电动汽车系统规划与运营综合优化

在国家自然科学基金项目（批准号：72101019）资助下，北京交通大学交通运输学院**陈珪副教授**与**新加坡国立大学 LIU Yang 教授**针对自动驾驶共享电动汽车(SAEV)系统规划与运营优化问题开展合作研究，设计了 SAEV 系统的充电设施与车辆运营的综合优化决策方法。该成果以“Integrated optimization of planning and operations for shared autonomous electric vehicle systems”为题，于 2023 年发表在《Transportation Science》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子 4.6），论文链接：<https://doi.org/10.1287/trsc.2022.1156>。

自动驾驶共享电动汽车(SAEV)是汽车产业“电气化”“智能化”“网联化”“共享化”发展的体现。文章首次建立了“多状态”时间-空间-电量的三维标准化网络，用于刻画自动驾驶共享电动汽车的运营调度与快慢充电管理；构建了订单需求随机波动下充电设施规划与车辆运营调度的两阶段随机规划模型，在考虑车辆派单、空车调度与充电管理决策基础上，对各运营区域内的快慢充充电桩选址与数量进行布局；设计了与启发式算法结合的两相位 Benders 分解算法，用于模型的高效求解，并提出了改进的 Pareto-optimal Benders 割平面生成策略等加速技术；以上海共享汽车系统为背景，进行了模型与算法的案例测试，测试结果表明快慢充协调布局可提高系统运营效益，研究方法可为共享车辆系统的充电设施规划提供决策支持。

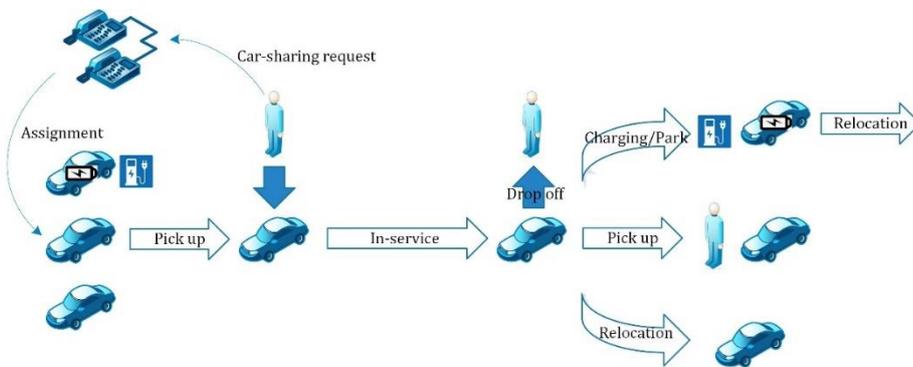


图 1 自动驾驶共享电动汽车的运营调度过程

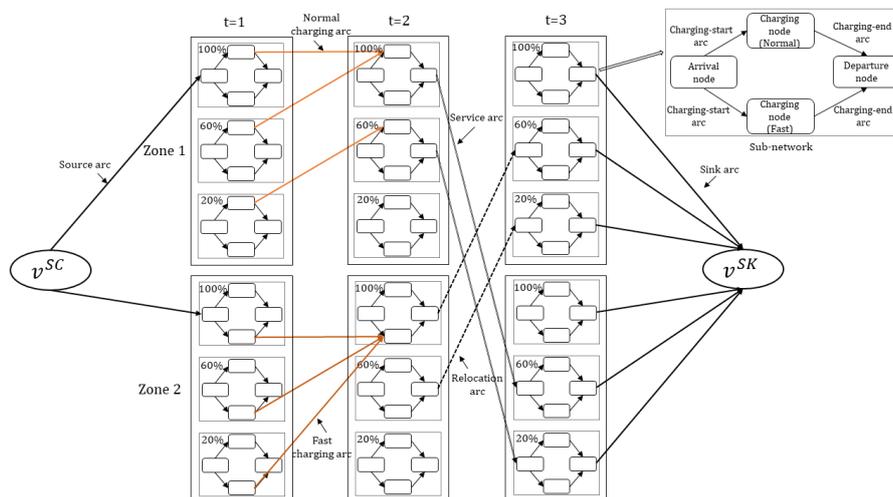


图 2 “多状态”时间-空间-电量网络

● 多模式公交网络路径诱导研究

在北京市自然科学“轨道交通联合”项目（批准号：L211025）资助下，北京交通大学交通运输学院姚恩建教授团队针对多模式公交线网下乘客路径动态诱导问题开展研究，设计了结合图表示和深度强化学习的路径诱导算法。该成果以“Dynamic Passenger Route Guidance in the Multimodal Transit System With Graph Representation and Attention Based Deep Reinforcement Learning”为题，于2024年发表在交通领域智能交通系统顶级期刊《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》上（交通运输领域顶刊，影响因子7.9），论文链接：<https://doi.10.1109/TITS.2024.3390172>。

为缓解地铁过度拥挤、公交运力资源浪费的现状，充分利用地铁、公交运力资源并提高用户出行体验，本文面向地铁与公交组成的多模式公交线网的多样化运营场景，提出了一种强化学习算法生成多模式公交线网中的乘客路径诱导策略。首先，以存在接驳条件为基础，构建多模式公交线网作为强化学习算法的训练环境。随后，定义RL算法状态、动作、奖励、策略生成等核心部分。状态为多模式公交线网的断面满载率和车站等候人数；动作为每个站点的推荐指数，结合K短路径对每个OD对计算推荐指数最高的路径作为推荐路径；奖励值考虑加权网络负载均衡度、乘客出行体验和运营碳排放三部分；策略生成结合图表示学习、卷积神经网络和自注意力机制组成，其中图表示学习是捕捉乘客出行需求的时空分布，卷积神经网络和自注意力机制分别提取网络空间关联性和路段重要性。

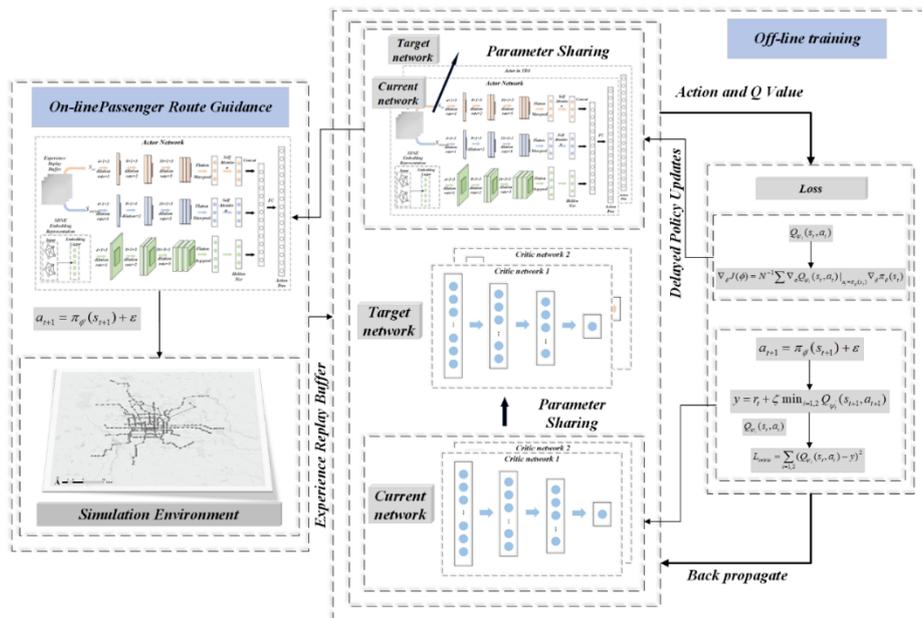


图1 训练算法整体框架

最终 RL 算法采用 TD3 框架进行训练，并在北京的大规模地铁与公交线网上进行验证。结果表明，提出的 RL 算法能够很好地感知网络状态并生成自适应路径诱导策略，从而降低路段负载率，改善全网乘客的出行体验，并减少二氧化碳排放。对诱导接受度的分析表明，即使在乘客不完全遵守路径诱导的情况下，算法仍然有效。

● 公共交通需求管理与优化

在国自然铁路基础研究联合基金项目（批准号：U2368211）资助下，北京交通大学交通运输学院**栾晓洁教授**针对多模式公共交通系统中基于“群体优化”路径选择策略的需求管理问题开展研究，探索如何通过乘客协作和公共交通实时信息共享，平衡公共交通网络的负载分布，设计了“群体优化”路径选择策略（social rerouting strategy）以提升网络运行效率并缓解拥挤状况。**该成果以“Passenger Social Rerouting Strategies in Capacitated Public Transport Systems（考虑能力约束的公共交通乘客‘群体优化’出行策略）”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part E》期刊上（交通运输领域国际顶级期刊，影响因子8.3），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103598>。**

本研究针对当前许多公共交通系统无法快速应对需求波动的问题，提出了一种基于“群体优化”路径选择策略的动态需求管理策略，通过建议部分乘客改变出发时间、线路或交通方式，实现系统负载的时空优化分布。在研究中，构建了基于 Stackelberg 博弈的优化框架，将社会目标与个体行为动态响应相结合。上层优化负责确定“群体优化”出行路径的建议内容，而下层模型模拟所有乘客的行为响应，并构建了混合用户均衡模型（Mixed User Equilibrium），从理论上证明了均衡解的存在性和优化方法的适用性。

研究基于瑞士苏黎世地区和荷兰特文特地区的公共交通网络进行实证分析。苏黎世案例展示了策略在“多模式、高频次”网络中的优化潜力，而特文特案例则验证了方法在“低频次、路径有限”网络中的适用性。实验从“群体优化”策略的可实现性和可维持性进行了分析，结果表明，该策略能够通过较小规模的乘客配合（10%参与率），实现显著的系统效率提升。此外，实验结果还证明了乘客之间的“协作”和信息共享对改善网络效率的重要性，特别是在大规模网络中，乘客行为的同步“调整”对实现系统最优尤为关键。通过集中协调的信息策略和乘客间的“协作”，不仅可以在突发事件中有效分配客流，还能在高需求情况下提升公共交通系统的运行效率和服务水平，为公共交通运营提供了新的需求管理思路。

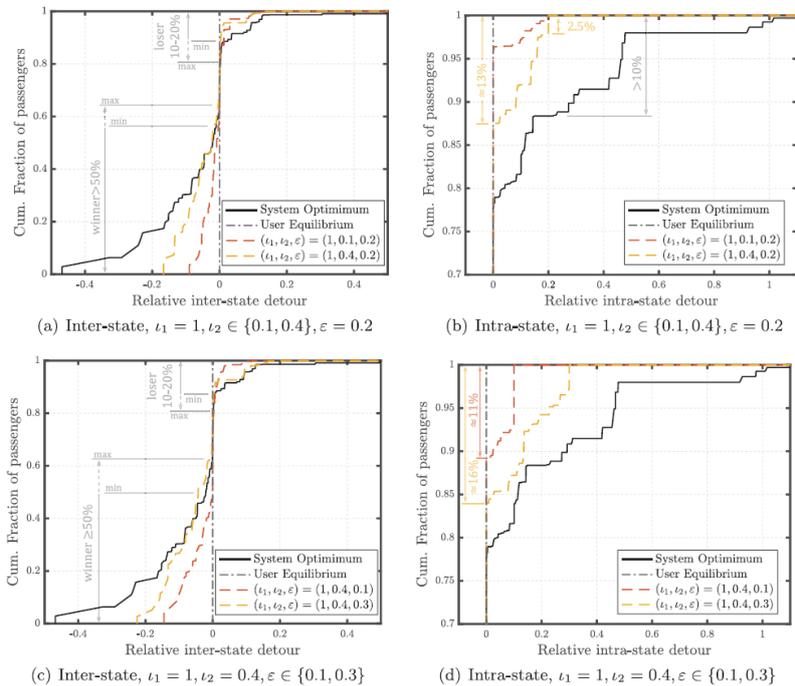


图 1 “群体优化”策略的可实现性与可维持性分析

● 公交-共享单车协同发展的建模研究

在中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2021RC273)和国家自然科学基金(批准号: 72101017)资助下, 北京交通大学交通运输学院**罗斯达教授团队**针对 MaaS 理念下公交-共享单车系统联合优化设计问题开展研究, 探讨了在以公交为核心的出行服务系统优化建模中, 考虑乘客实际路径选择和单车利用率的必要性。**该成果以“Integrated design of a bus-bike system considering realistic route options and bike availability”为题, 于 2023 年发表在《Transportation Research Part C: Emerging Technologies》期刊上(交通运输研究领域顶刊, 影响因子 8.3)**, 论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104192>。

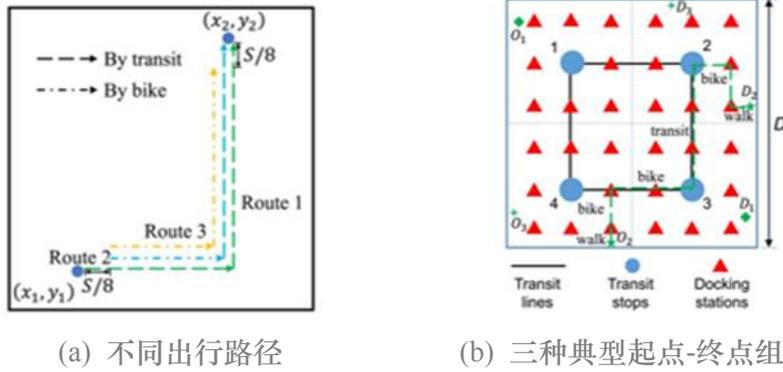


图 1 三周期应急物资选址及分配问题示意图

随着自行车共享系统不断推广, 共享单车(后简称“单车”)在中短距离出行方面与公共交通呈现出不同的竞合关系, 公交客流量逐渐受其影响, 现有公交线网布局亟需调整。因而, 如何进行单车与公交线网的协同优化, 将成为城市公共交通发展必须面对的科学问题。在以往公交-单车网络协同优化研究中, 通常假设(1)单车仅用作接驳公交; (2)乘客出行总能找到一辆单车; (3)乘客只能前往最近的公交站点乘车。然而, 这往往忽视了乘客出行的多样化路径选择以及单车可用性问题, 使得建模分析存在明显局限。

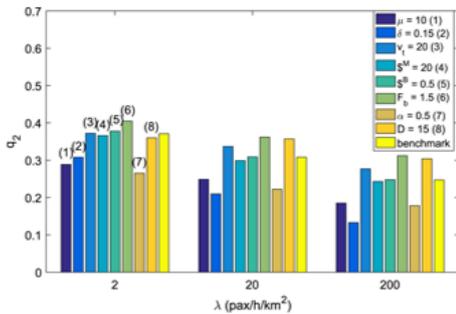


图 2 不同场景下选择骑行前往较远站点乘客比例

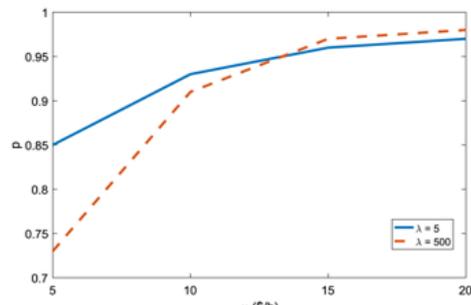


图 3 不同时间价值下的单车利用率(即出行者找到单车的概率)

本研究首先考虑乘客可以前往最近或较远的公交站点乘车以减少公交线路之间的换乘次数, 即存在多条单车接驳的出行路径; 同时建立单车利用率函数以描述乘客找到单车的概率, 该函数具有内生性, 使得单车利用率与单车车队规模及使用情况相互关联。然后, 基于简约连续建模方法, 本研究构建、求解和测试了公交-单车系统联合优化设计模型。结果显示: (1) 超过 20% 的乘客选择骑行前往较远而非最近的公交站点乘车; (2) 乘客找到单车的概率从未达到 100%, 在经济欠发达的城市, 该值可能会降至 80% 以下。

● 可靠的公共交通动态无线充电基础设施部署问题

在国家自然科学基金项目（批准号：72371020，72288101）资助下，北京交通大学交通运输学院**王云副教授**团队针对电动公交车无线动态充电设施布局的问题，首次提出了二阶段鲁棒优化模型，并设计了 Column-and-constraint Generation (C&CG) 来进行求解。**该成果以“Reliable dynamic wireless charging infrastructure deployment problem for public transport services”为题，于2024年发表在《European Journal of Operational Research》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子6.4），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.08.053>。**

动态无线电能传输 (DWPT) 技术有着克服现有电动公交车有限里程缺点的潜力，该技术通过在电动公交车的运行中对电池进行充电，能够有效地提高电动公交车的利用效率，减少电动公交车的车队规模。本文研究了电动公交车系统中的 DWPT 设备的布局问题，旨在同时确定 DWPT 设备的数量、位置、电动公交车的电池容量以及电动公交车的充电规划。我们首先通过引入 special order set constraint of type 2 (SOS2) 将问题构建成混合整数线性规划 (MILP) 模型。接下来，该文章同时考虑能量消耗的不确定性和行驶时间的不确定性，提出了一个二阶段鲁棒优化模型。通过对所构建模型的结构和性质进行分析，该文章提出了基于 C&CG 的求解方法来精确求解该模型。为了验证模型和算法的有效性，文章最后基于新加坡国立大学的校内公交网络进行了测试。通过一系列的实验，证明了所提出算法和模型的可行性和有效性。最后还为未来 DWPT 设备的推广与布局提供了一定的管理意见，以提高公共交通系统的运营效率。

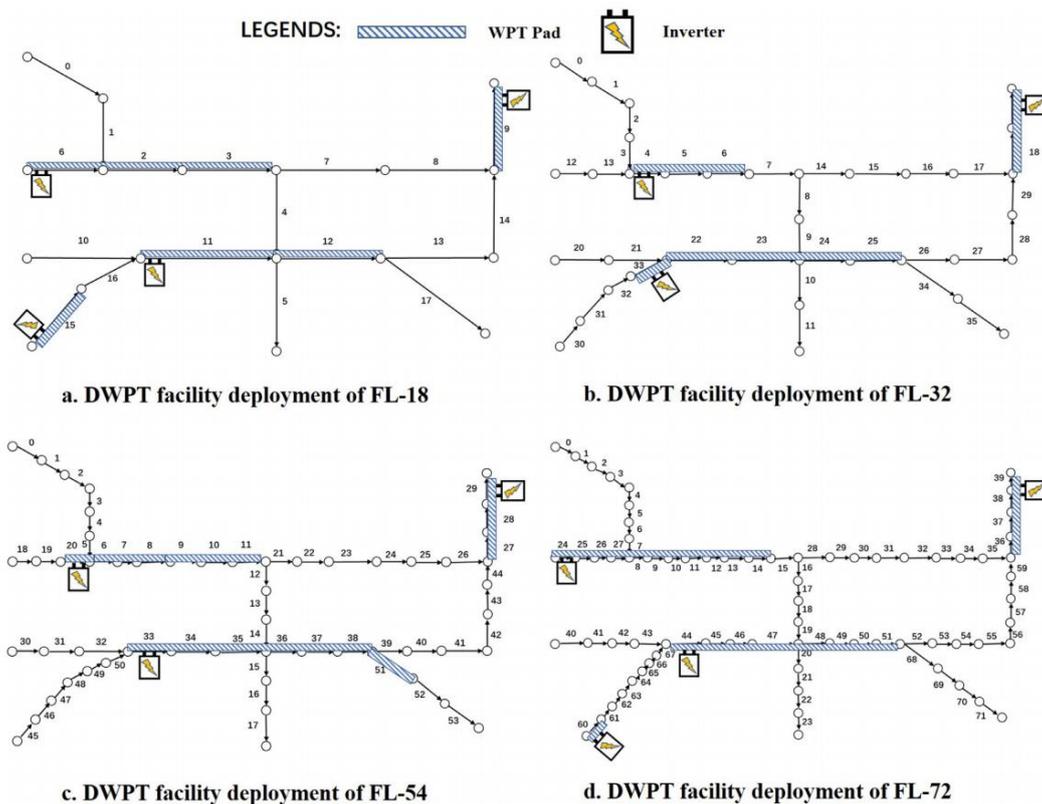


图1 DWPT 设施部署方案

● 城市轨道交通突发事件下应急接驳公交服务优化研究

在国家自然科学基金项目（批准号：72371020，72288101，71931003，72401014，52225209）资助下，北京交通大学交通运输学院王云副教授团队针对城市轨道交通突发事件下应急接驳公交服务优化问题开展研究，提出了一种能够耦合滞留乘客出行方式选择的应急接驳公交线路规划、频率设计、乘客路径分配及车辆资源配置的协同优化方法。该成果以“Optimizing bus bridging services with mode choice in response to urban rail transit emergencies”为题，于2024年发表在《European Journal of Operational Research》期刊上（运筹与管理领域顶刊，影响因子6.0），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.11.042>。

城市轨道交通突发事件时有发生，造成乘客出行延误、安全隐患激增等严重后果。地面公交对于应对城市轨道交通突发事件有着极为重要的作用，能够有效疏散滞留乘客，规避二次风险，同时能够桥接中断网络，保障运输接续。设计高效便捷的应急接驳公交服务是实现快速疏散滞留乘客、减小事故影响、保障交通安全的关键。然而，滞留乘客多变的出行行为会导致应急接驳公交服务需求波动，给服务优化带来了极大的挑战。因此，本文针对城市轨道交通局部网络中断的情况，构建了考虑换乘等待时间、在车时间及出行费用因素的出行效用函数，构建了耦合出行方式选择的混合整数非线性优化模型，协同决策方式选择、路径分配、线路设计、频率确定、车辆配置，并设计了基于禁忌搜索和分支定界的两阶段最优化求解方法（opt-tabu）。此外，提出了一种类似于具有资源约束的k-对基本最短路径问题（k-APESPPRC）的候选线路集合生成新方法，并设计了基于label setting算法和Lawler算法的精确求解方法，能够有效平衡计算速度和求解质量。基于香港地铁网络，对该方法的有效性和高效性进行了检验，结果表明，与仅考虑标准接驳和端点站往返接驳相比，所提出的方法可以大大提高滞留乘客疏散效率，减少乘客换乘等待时间；此外，应急接驳公交服务质量可以得到较大提升，更多滞留乘客愿意选择‘轨道交通+应急公交接驳’出行方式；面向实际运营需求，所提出的opt-tabu搜索方法可以在几分钟内快速实时响应，生成高质量解决方案。

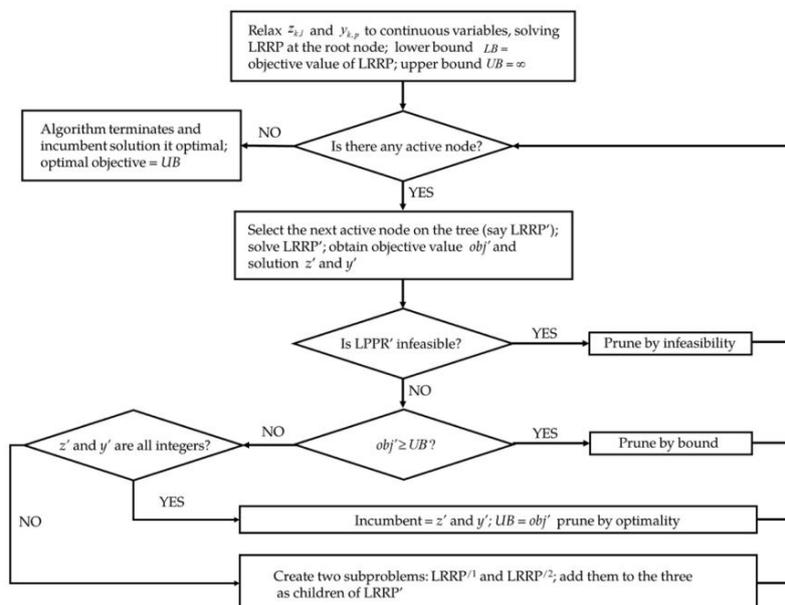


图1 分支定界流程图

● 重型车能耗排放研究

在国家自然科学基金(批准号: 71871015、71901018)、国家重点研发计划(批准号: 2018YFB1600701)和中央高校基本科研业务费(批准号: 2022YJS058)资助下,北京交通大学交通运输学院**宋国华教授**、**吴亦政副教授**团队针对重型货车能耗建模问题开展了深入研究,解释了车辆动态载重对能耗的显著影响,并设计了一种基于深度学习的多尺度能耗模型。该成果以“Fuel consumption estimation in heavy-duty trucks: Integrating vehicle weight into deep-learning frameworks”为题,于2024年发表在《Transportation Research Part D: Transport and Environment》期刊上(交通运输领域顶刊,影响因子 7.6),论文链接:
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104157>。

重型货车使用强度大,能耗和排放水平高,是能源消耗和污染物排放的主要来源之一。在实际行驶条件下,重型货车频繁的载重变化给能耗排放建模带来了显著的不确定性。针对这一问题,研究基于大规模的重型货车瞬时能耗和运行工况数据,分析了车辆动态载重对实际驾驶条件下能耗排放特性的影响,明确了不同载重条件下的车辆能耗变化规律。研究提出了一种融合发动机功率输出特性与深度学习框架的多尺度能耗模型,结合车辆速度、加速度、载重等多维输入特征,实现了对重型货车能耗特性的精准建模和预测。结果表明,与载重为5吨的基准车辆相比,当车辆总重量为15-25吨和45-55吨时,其能耗率将分别增加290%和755%。相较于传统的VSP模型和VT-Micro模型,研究建立的深度学习模型实现了明显的准确度提升,瞬时能耗率的平均预测误差降低至9.81%,行程级能耗预测误差降低至1.49%。此外,该模型在不同速度、加速度及载重条件下表现出更高的稳定性,克服了传统物理模型在复杂动态环境下易失效的局限性。

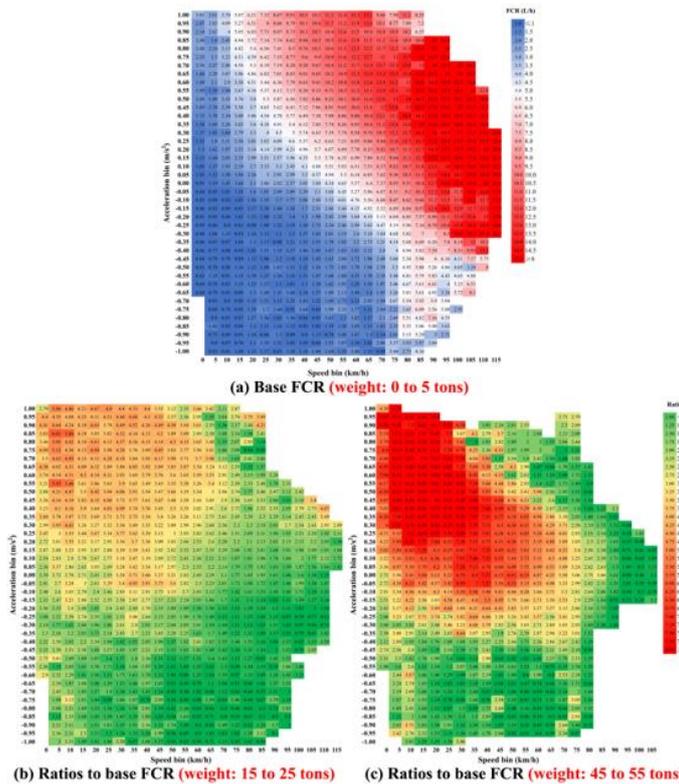


图1 车重对不同行驶工况条件下货车能耗的显著影响

● 基于大气走航系统的健康影响城乡公平性分析

在中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2023YJS033)、国家自然科学基金(批准号: 52272340)资助下, 北京交通大学交通运输学院**宋国华教授、吴亦政副教授团队**针对路侧 PM_{2.5} 导致的城市与农村居民健康不平等开展研究, 建立了一种精细化的健康影响评估方法以计算城乡区域的健康差异。**该成果以“Modeling Urban-Rural health disparities using a Taxi-Based mobile atmospheric monitoring system”为题, 于 2024 年发表在《Transportation Research Part D: Transport and Environment》期刊上(交通运输研究领域顶刊, 影响因子 7.6)**, 论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104152>。

大气污染物固定监测站由于成本与维护费用昂贵, 通常设立在人口密集的城市区域, 导致农村地区的环境污染情况无法被监测。许多农村居民意外地暴露在高污染环境却没有知情权, 严重影响了其身体健康, 且进一步加大了地区间的健康影响不平等。此外, 作为人类活动的热点区域, 路侧环境中的污染物也很少地被监测, 其对人类健康的影响也无法掌握。因此, 为了捕捉路侧 PM_{2.5} 的时空异质性以及分析城市和农村地区之间的健康影响差异性, 本研究构建了基于大气移动走航监测系统的精细化健康影响评估模型。

研究结合使用了一种基于出租车移动走航的颗粒物采集系统, 在河北沧州开展了本地化的路侧 PM_{2.5} 浓度采集活动, 绘制了高分辨率的 PM_{2.5} 浓度、健康风险和与 PM_{2.5} 相关死亡人数的分布图, 准确识别了具有高污染和高健康危害特征的地点。结果显示, 一些农村地区的 PM_{2.5} 平均浓度高于城市地区。在冬季、春季、夏季和秋季, 农村地区分别有 7.85%、3.72%、8.74% 和 0.97% 的居民暴露在高于城市地区的最大浓度环境下。研究展示了空气污染暴露水平的不平等和地区之间的健康差异, 强调了建立全面监测系统与实施精细化的健康影响评估的重要性。

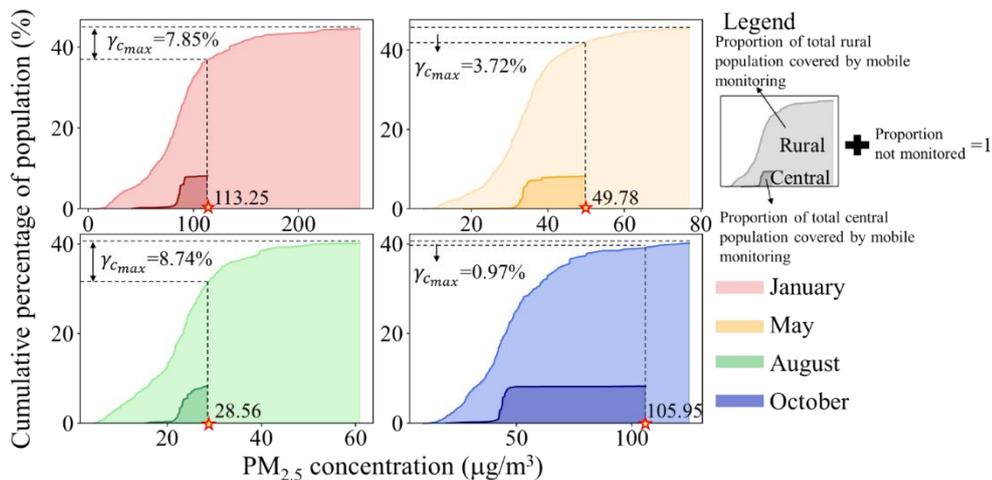


图 1 在城乡区域中暴露不同浓度下的人口累积分布曲线

● 托盘运输模式下的库存优化研究

在国家自然科学基金项目（批准号：72101021）资助下，北京交通大学交通运输学院刘康琳副教授团队对托盘运输模式下的库存管理优化问题开展研究。该成果以“Inventory management with actual palletized transportation costs and lost sales”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part E: Logistics and Transportation》期刊上（交通运输领域权威期刊，影响因子 10.6），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103462>。

托盘运输在货运领域占据重要地位，本文研究了离散化、非线性托盘运输费率下的库存管理问题，考虑了多周期、多产品、随机需求条件下的订货、缺货及运输策略。本文考虑的托盘运输费率来源于实际企业数据，该企业运输费率随运输托盘的数量呈现凹增长，且当托盘数大于一定阈值时，按整车收费，详见图 1。

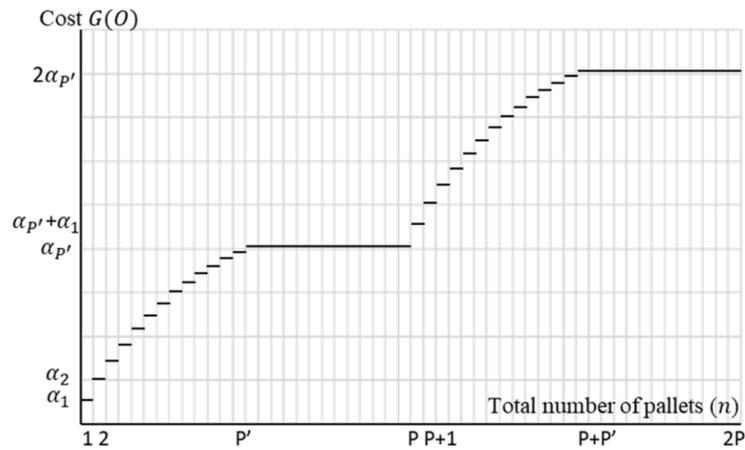


图 1 运输费率与运输托盘数量函数关系图

在进行具体研究时，首先，根据企业运输费率的实际数据量化整车及非整车运输费用函数；其次，构造货物充足与缺货条件下的两类库存管理优化模型，并利用分段线性近似和外逼近方法处理混合整数非线性模型；最后，将上述模型成功应用于包含 3196 个 SKU、五种货物类型（A+、A、B、C 和 D）、24 个月的实际算例中，得出管理意见。研究表明，非整车运输能够在考虑缺货和补货时获得更低的总运营成本。

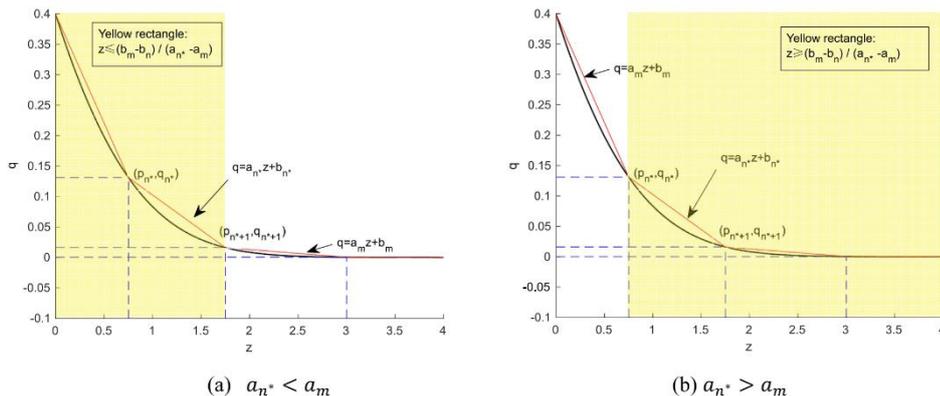


图 2 非线性近似方法示意图

● 成品油二次配送优化模型与算法研究

在国家自然科学基金项目（批准号：61873040）资助下，北京交通大学交通运输学院**刘志硕副教授团队**针对主动配送模式下的成品油二次配送优化调度问题开展研究，设计了基于人工智能的元启发式算法求解。该成果以“Inventory Routing Problem With Split Delivery and Variable Time Windows for Customers With Small Capacity and Large Sales”为题，于 2024 年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子 7.9），论文链接：<https://doi.10.1109/TITS.2024.3357648>。

中石化采用主动配送模式对旗下加油站进行补货。在该模式下，由供方（油库）确定补货量并组织车队开展配送。供方根据加油站各种油品的库存、罐容、销量等信息制定配送计划，包括确定加油站各油品的配送量以及车辆的调度安排。更重要的是，一些加油站各油品的罐容较小而销量较大，在一个班次的销售量会高于罐容，甚至是罐容的数倍。对于这种客户，在一个班次内需要对其配送多次，送的次数以及每次配送量均为决策变量。

作者在理论上将这类问题称为带需求分割和可变时间窗的库存路径问题（SIRSC），这是一类新型的库存路径问题。其补货方案如图 1 所示。

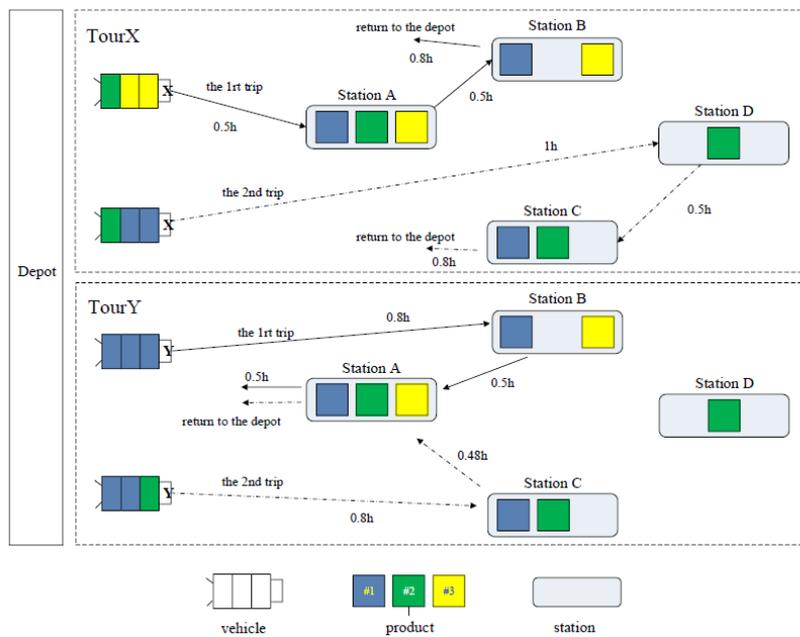


图 1 加油站补货配送方案图

论文建立了 SIRSC 问题的混合整数规划模型，针对 SIRSC 问题和蚁群算法的特点，将客户的配送量离散化，将离散后的各个配送量与客户以及配送次数相结合，共同重构配送网络节点，从而使蚁群能够在该固定网络中进行搜索。设计了变邻域搜索算子，并将其与蚁群算法相结合。大量算例和中石化实例的应用结果表明，所设计的算法能够高效地解决 SIRSC 问题，可应用于主动配送模式下的加油站或者加氢站的配送优化调度。

● 轨道交通发展与土地利用一体化研究

在中央高校基本科研基金项目（批准号：2023YJS134）和国家自然科学基金（批准号：71621001）资助下，北京交通大学交通运输学院**许奇副教授团队**针对土地利用/建成环境影响轨道交通客流分布的因果效应识别问题开展研究，阐述了不同尺度下建成环境影响城市轨道交通客流的因果互动机理。**该成果以“Causality between multi-scale built environment and rail transit ridership in Beijing and Tokyo”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part D: Transport and Environment》期刊上（交通领域顶刊，影响因子 7.6），**论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104150>。

城市交通与土地利用是维持城市运行的关键要素，二者之间亦存在复杂的互动关系。很少有研究从线路尺度和因果角度对其进行分析。为了填补这一空白，本研究以北京和东京为例，提出了线路尺度建成环境要素的刻画方法，并利用贝叶斯网络的结构学习算法实现多尺度建成环境与轨道交通站点乘降量之间的因果发现，接着通过以控制混淆变量为目的的广义倾向得分匹配模型来估计重要建成环境对客流的因果效应。研究表明，在建成环境指标体系中，引入线路尺度指标丰富了建成环境的诠释角度，拓展了建成环境与客流研究的宽度。线路尺度指标的引入可以分析轨道交通线路沿线整体建成环境水平对线路内站点的影响，有助于城市轨道交通沿线的一体化开发。另外，论文证实了站点与线路尺度的建成环境对客流有明显的非线性因果关系。通过结合高斯贝叶斯网络模型与广义倾向得分匹配模型构建了分析变量间定量因果关系的方法，探究了站点与线路多尺度建成环境对北京与东京两座城市轨道交通站点乘降量的因果关系。该研究思路为后续研究提供了新的分析方法，有助于因果分析方法在交通领域的进一步拓展深入。

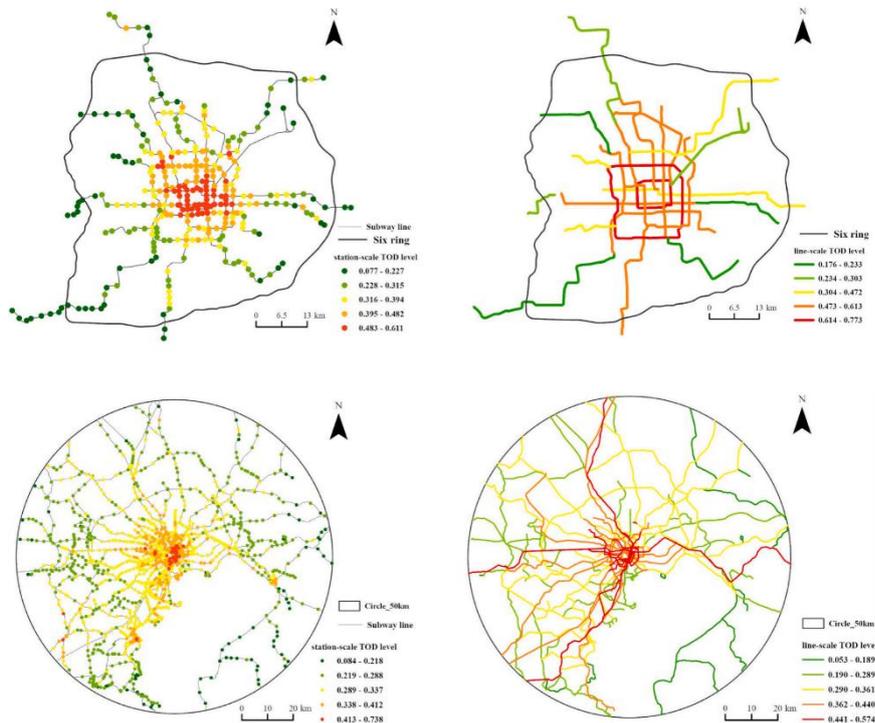


图 1 车站和线路尺度北京和东京的 TOD 发展水平

城市轨道交通客货混运服务网络设计研究

在高铁联合基金项目（批准号：U2034208）资助下，北京交通大学交通运输学院朱晓宁、商攀教授团队针对城市轨道交通客货混运服务网络设计问题开展研究，设计了灵活编组下考虑客货均衡的城市轨道交通车底周转与客货流分配方法。该成果以“Scheduling shared passenger and freight transport for an underground logistics system”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part B: Methodological》期刊上（交通运输领域顶刊，影响因子6.8），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.102907>。

为了在充分利用城市轨道交通在承担客运业务后的剩余能力来提供城市物流配送服务的同时，最大化利用现有运力资源，研究将灵活编组规则下的车底编组作为状态维度，基于旅客列车时刻表和车底编组变化图构建三维时间空间状态网络，以车底运行成本、客流运输成本、货流运输成本最小化为目标，以车底单元流平衡、乘客流平衡、货物流平衡、列车运输能力、可用车底总数等为约束，构建城市轨道交通车底周转与客货流分配一体化优化模型。为了对模型进行有效求解，针对模型的客货混运特点，设计了一种基于 constrained gap 的分支定界分解算法，考虑可行车底方案下的客运效益和货运效益的上界和下界，通过对超过规定上界的分支的剪枝来控制解的客运目标值与货运目标值，同时利用束搜索进一步限制搜索范围，实现各线路车底周转方案有效决策。最后，以北京地铁网络为背景对所提方法进行了测试，结果表明灵活编组策略能带来目标值的整体提高，在地铁非高峰时段开展客货混运能显著提高列车的能力利用率，同时，实例结果揭示了在不同客流分布和可用车底数量的影响下，如何科学地设计车底周转方案和客货混运策略来取得客货平衡。

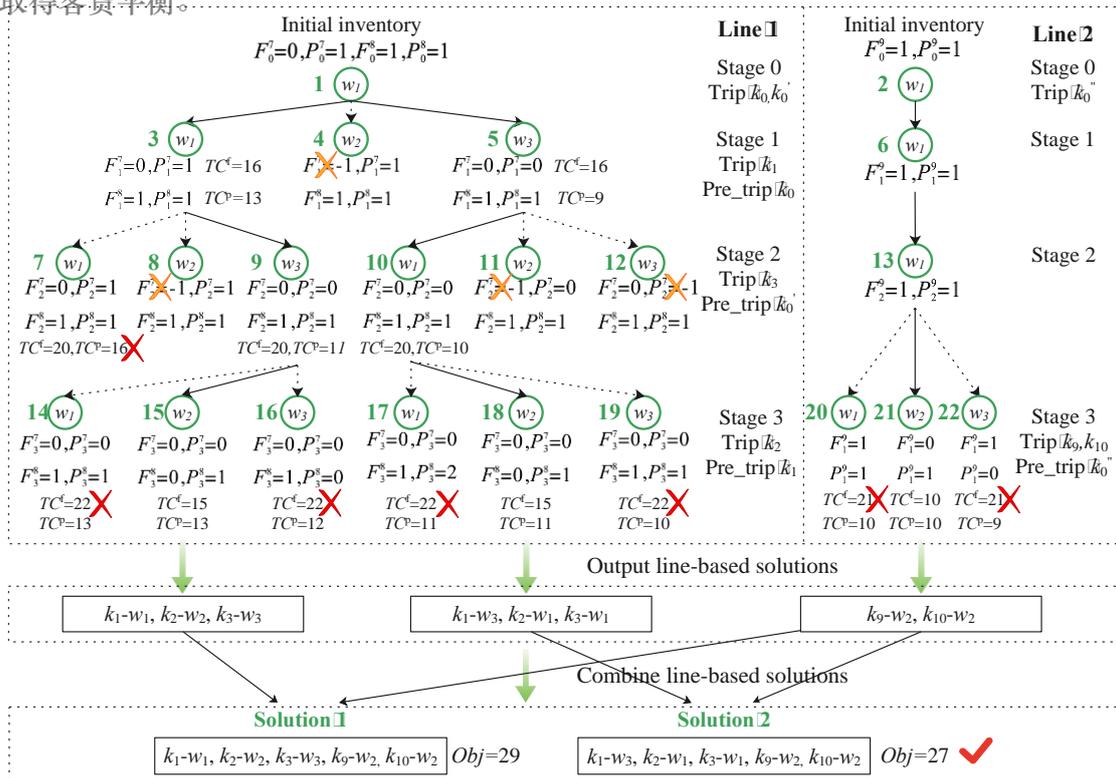


图 1 基于 constrained gap 的分支定界算法示意图

● 城市轨道交通乘客路径选择和时空轨迹估计

在国家自然科学基金青年基金项目（批准号：72001020）资助下，北京交通大学交通运输学院**商攀副教授团队**针对城市轨道交通网络中基于多源观测数据的乘客路径选择与时空轨迹的协调估计问题开展研究，设计了一种整合基于频率和基于时刻表乘客分配模型的一体化估计模型，以估计乘客路径选择与时空轨迹估计。该成果以“A modeling framework to integrate frequency - and schedule-based passenger assignment approaches for coordinated path choice and space-time trajectory estimation based on multi-source observations”为题，于2024年发表在《Transportation Research Part B: Methodological》期刊上（**交通运输领域顶刊，影响因子6.8**），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.102945>。

针对城市轨道交通网络中基于多源观测数据的乘客路径与时空轨迹协调估计问题，为了充分利用多源观测数据的异构信息，研究利用基于频率和基于时刻表的乘客分配模型，建立两组从观测数据到不同模型决策变量的映射关系，将基于流量和基于个体的观测数据分别映射到模型决策变量中，以基于频率和基于时刻表的乘客分配模型之间的路径流耦合关系为约束，构建了基于多源观测数据的协调乘客路径选择与时空轨迹估计的一体化估计模型。针对长时间范围的实际场景，进一步提出了一个考虑多时间段的一体化估计模型。为了对模型进行有效求解，设计了基于拉格朗日松弛算法的模型分解算法，将一体化估计模型分解成路径选择估计模型和时空轨迹估计模型进行迭代求解。最后，以一个简单的网络和北京地铁网络为例，对所提方法进行了测试，验证了方法在准确性、稳健性和计算效率方面的优势。

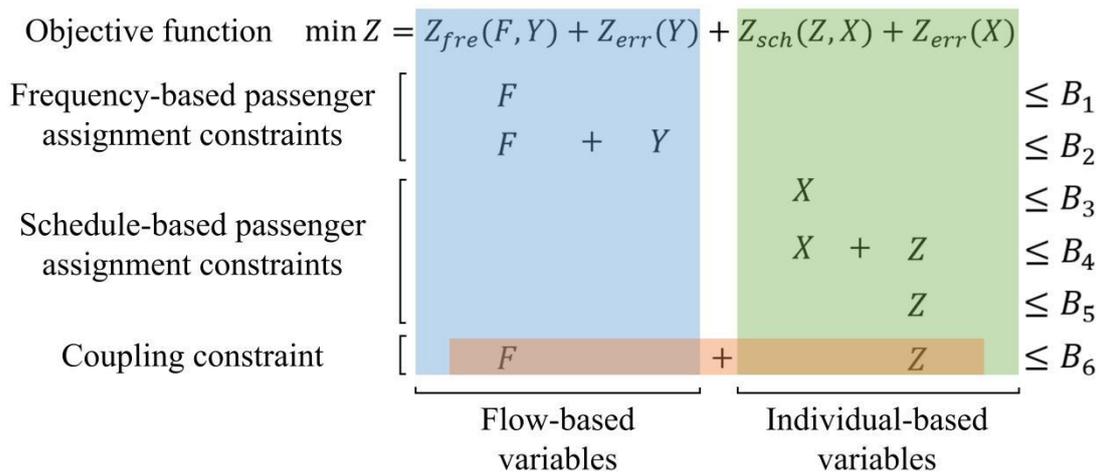


图1 一体化估计模型结构示意图

成果分享——科研论文

● 城市轨道交通网络列车开行频率及乘客选择行为协同框架构建

在国家自然科学基金青年基金项目（批准号：72001020）资助下，北京交通大学交通运输学院**朱晓宁、商攀**教师团队针对过饱和条件下考虑乘客选择行为的城市轨道交通网络列车开行频率优化开展研究，设计了协同乘客流和列车流的乘客自适应路径选择行为框架。该成果以“**Behavior-Adaptive Sync-Flow Framework: Integrating Frequency Setting and Passenger Routing in Oversaturated Urban Rail Transit Networks**”为题，于2024年发表在《**Transportation Research Part E**》期刊上（**交通运输领域顶刊，影响因子8.3**），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103659>。

为了促进过饱和条件下城市轨道交通大规模网络的供需匹配，在充分利用城市轨道交通车底资源的同时缓解网络拥堵，提升乘客出行满意度，本研究分别建立列车与乘客时空网络，以最小化乘客出行的广义成本为目标，考虑过饱和条件下时变的车内拥堵、换乘次数、留乘次数等因素对乘客行为的影响，以乘客流平衡、车底最大载客能力、可用车底资源、列车开行频率设置、乘客先到先服务原则、乘客路径选择行为等为约束，设计协同列车流及乘客流的乘客自适应行为框架并构建模型。为了对模型进行有效求解，设计了基于梯度下降的启发式迭代求解算法，针对所研究问题的特征，将问题分解成三个子问题，并提出了过饱和条件下时变路径成本的求解方法。最后，在小规模网络及简化的Sioux-Falls网络上对所提出的框架进行了验证及敏感度分析，对比了算法效率，结果表明，所提出的框架能有效均衡车底资源及乘客在路网上的分配，且求解效率较高。进一步，以北京地铁大规模网络为实验对象进行了实例测试，结果表明相较于不考虑乘客选择行为的列车频率设置方案，考虑乘客的自适应选择行为进行列车频率设置可以在一定程度上减少乘客的出行成本，缓解网络拥堵，促进供需匹配。

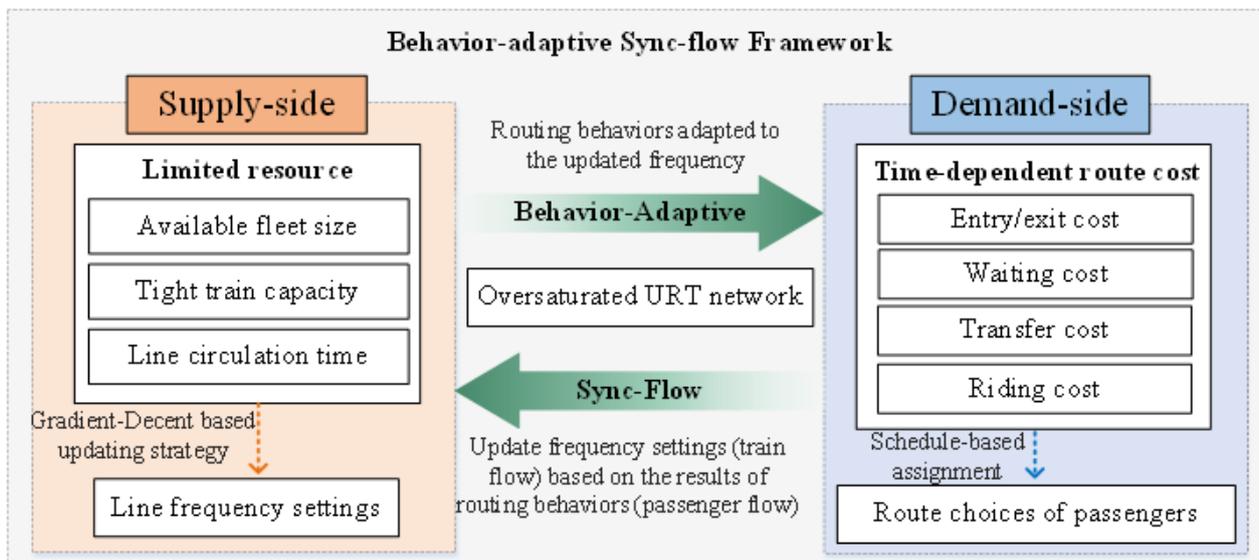


图1 自适应乘客行为协同流框架示意图

城市轨道交通纵断面优化设计研究

在国家自然科学基金项目资助下，北京交通大学交通运输学院柏赞教授团队针对城市轨道交通纵断面优化设计问题开展研究。该成果形成论文“Optimizing vertical alignment of underground metro for energy saving of train operation”，于2023年发表在《Energy》期刊上（能源电力领域顶刊，影响因子8.857），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127295>。获批国家发明专利一项《一种地铁纵断面设计和节能操纵方案优化方法及装置 ZL 2020 1 1276145.6》。

城市轨道交通纵断面设计方案对运营期列车牵引能耗有很大影响。针对广泛采用盾构法施工的城市轨道交通地下线路，在充分考虑设计规范、施工条件和列车运行约束的基础上，建立了以区间变坡点数量与位置为决策变量的线路纵断面优化模型，并设计定制的启发式算法求解区间最优纵断面设计方案，从而实现列车双向运行能耗最小。国内地铁线路案例分析表明，优化后的纵断面设计方案较人工设计方案的平均节能率超过5%。文章总结了城市轨道交通纵断面节能设计的一般原则，给出不同区间长度和高程差下的纵断面设计形式推荐表。

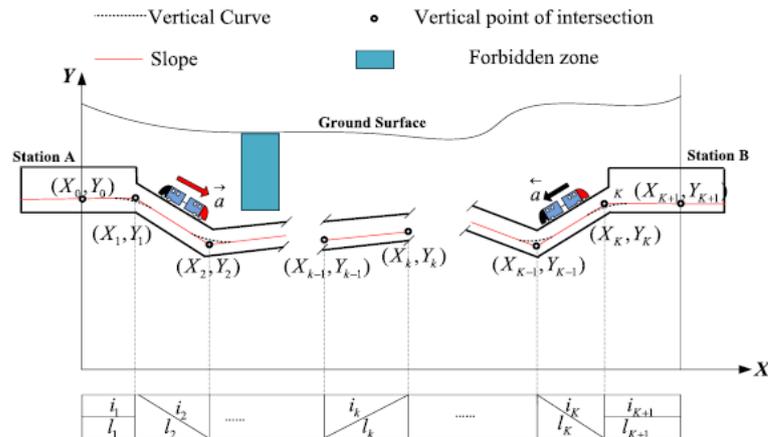


图1 城市轨道交通节能纵断面设计示意图



图2 专利授权书

成果分享——科研论文

● 面向城市轨道交通智慧应急的安全事件案例知识获取方法

在国家自然科学基金“面上”项目（批准号：62272036）资助下，北京交通大学交通运输学院**朱广宇教授团队**针对城市轨道交通安全事件案例的知识获取问题开展研究，提出了一种融合标签语义的城市轨道交通历史事件案例知识获取模型，并设计了知识获取程度评估方法。该成果以“**Knowledge Acquisition Method of Urban Rail Transit Safety Event Case Base for Intelligent Emergency Response**”为题，于2023年发表在《IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING》期刊上（自动化与控制领域期刊，影响因子5.9），论文链接: doi: 10.1109/TASE.2023.3337135。

利用历史安全事件案例构建知识库，是实现城轨交通智慧应急的关键技术之一。案例数据具有非结构化特征，仅靠人为分析的方式难以对其中蕴含的经验知识进行充分的挖掘、归纳和整理，导致利用率不高，极大地限制了其对城市轨道交通系统应急决策的支持作用。因此，研究提出了一种融合标签语义的知识获取模型，将知识获取任务转化为机器阅读理解任务，一定程度上弥补了传统序列标注模型无法学习标签丰富语义信息的缺陷。相对于传统基线模型，性能得到了显著提升。

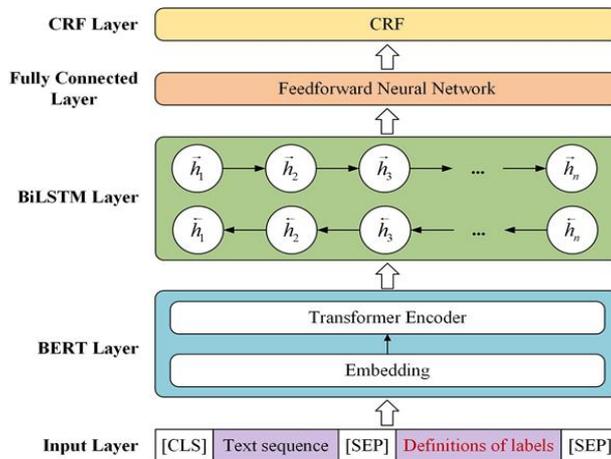


图1 结合标签语义的知识获取模型结构图

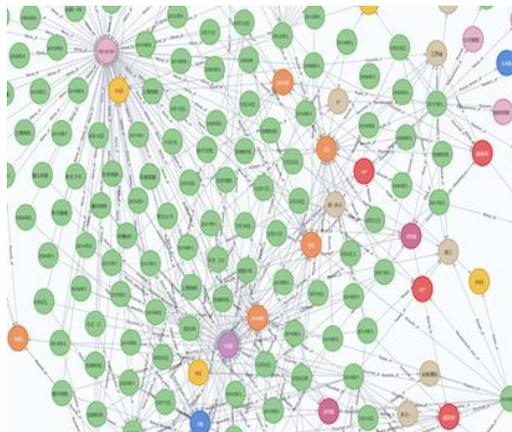


图2 城市轨道交通安全事件案例知识图谱

● 移动路侧单元和静态路侧单元联合部署研究

在中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2022JBZY022)的资助下, 北京交通大学交通运输学院许心越教授团队针对移动路侧单元和静态路侧单元联合部署问题开展研究, 提出了基于时空网络流以及基于时空网络路径的移动路侧单元和静态路侧单元联合模型, 并且设计了一种分支定价算法对模型进行求解, 结果表明联合部署策略能够有效节约部署成本。该成果以“Optimizing the deployment of static and mobile roadside units using a branch-and-price algorithm”为题, 于2024年发表在《IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》期刊上(交通运输领域顶刊, 影响因子7.9), 论文链接:<https://ieeexplore.ieee.org/document/10552425>。

路侧单元是车路通信的关键设施, 对于提高车载自组织网络的性能至关重要。然而, 移动路侧单元和静态路侧单元的联合部署仍然是一个亟待解决的问题。为了解决这一问题, 基于车辆轨迹数据, 构建了静态路侧单元和移动路侧单元的时空网络。随后, 该联合部署问题被构建为一个基于时空网络流的混合整数规划模型。线性化后该模型可以直接由CPLEX求解。此外, 该优化问题也可以被表述为一个基于时空网络路径的模型。由于路径数量的指数增长, 设计了一种分支定价(Branch-and-Price, BAP)算法对其进行求解。在BAP框架内, 采用启发式技术来生成高质量的初始解, 并且利用有向无环图最短路径算法加速每个节点的列生成定价问题的求解。最后, 通过仿真实例验证所提出的模型和算法。此外, 还进行了一系列敏感性分析以评估各参数对模型结果的影响。结果表明, BAP能够生成可验证的高质量解决方案, 并且在大规模问题上相比CPLEX具有显著的速度优势。

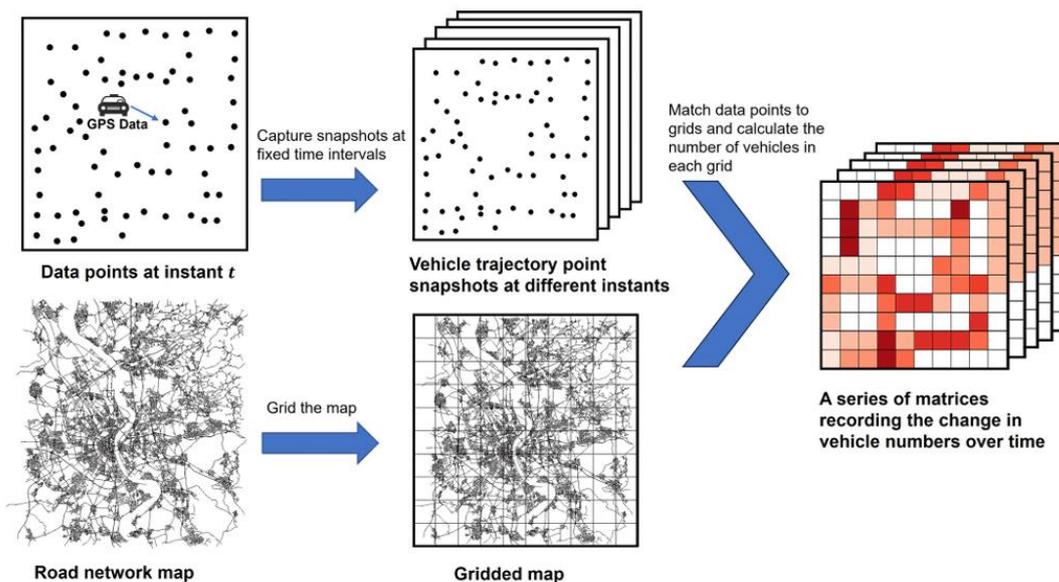


图1 地图网格化、车辆轨迹点匹配以及车辆计数矩阵生成

● COVID-19 诱导信息对乘客路径选择行为的影响研究

在中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2022JBZY022)和北京市自然科学基金(批准号: 9212014)的资助下,北京交通大学交通运输学院**许心越教授团队**针对新冠疫情下诱导信息对乘客路径选择行为的影响问题开展研究,设计了一种广义随机后悔最小化模型,分析疫情不同时期下不同类型的乘客出行行为与信息偏好的变化,揭示了疫情变化下乘客选择行为的变化机理。**该成果以“The impacts of COVID-19 on route choice with guidance information in urban rail transit of megacities”为题,于2024年发表在《Transportation Research Part A: Policy and Practice》期刊上(交通运输领域顶刊,SCI和SSCI双检索, JCR Q1, 影响因子6.4), 论文链接: <https://authors.elsevier.com/c/1iqPh3Rd3v3dso>。**

新冠肺炎疫情的爆发导致城市轨道交通客流量空前下降,乘客出行习惯发生改变,给地铁运营带来极大挑战。因此,有必要更好地了解和量化新冠肺炎对乘客出行行为、特别是路线选择行为的影响。因此,收集 AFC 数据和调查问卷数据,引入了改进的广义随机后悔最小化模型(Generalized Random Regret Minimization model, GRRM),研究新冠肺炎疫情期间乘客在诱导信息下路径选择行为的变化。改进的 GRRM 考虑了最大效用和最小后悔两种决策准则和乘客的异质性,结果表明,改进后的模型拟合效果最好(调整后的拟合优度为 0.536),与诱导信息相关的属性(即信息推送方式、接收信息时间、路线疫情风险感知)增强了模型的拟合。采用 VOIT (Value of Information Time) 值来量化不同乘客群体对信息的偏好。与正常情况相比,女性、青年和非通勤乘客更倾向于接收更早的信息推送,以尽早计划行程。最后,我们将乘客个人属性与路线疫情风险感知联系起来,结果表明,老年人和学生在各个阶段对疫情都表现出较高的敏感性,而年轻乘客和通勤者仅在小规模疫情期间特别敏感。

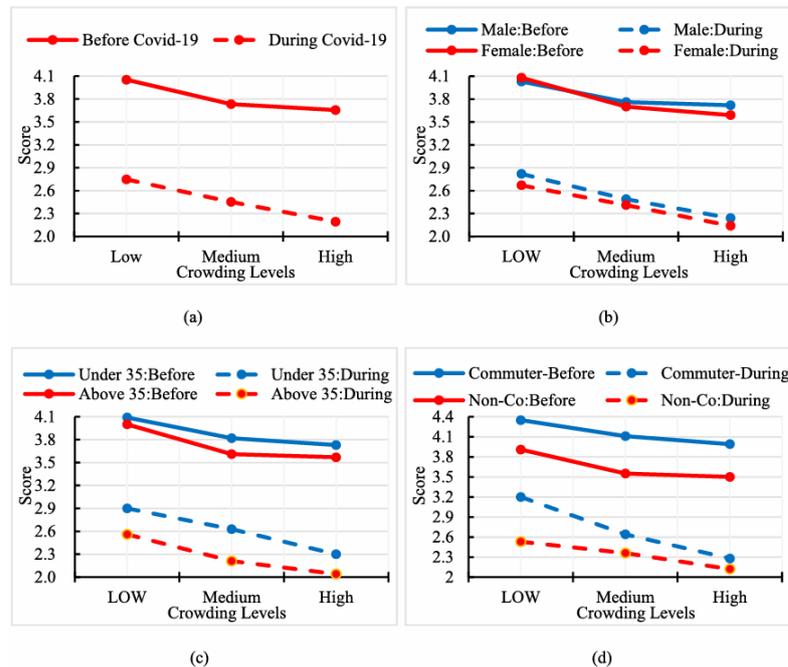


图 1 不同拥挤水平下乘客的安全感知

● 大面积航班延误下的机场大客流疏散研究

在国家重点研发计划（批准号：2023YFB4301901）等项目资助下，北京交通大学交通运输学院**黄爱玲教授团队**针对大面积航班延误下的机场大客流应急疏散问题开展研究，设计了融合多源数据的三层大客流疏散方法框架。该成果以“A data-driven optimal method for massive passenger flow evacuation at airports under large-scale flight delays”为题，于2024年发表在《Reliability Engineering and System Safety》期刊上（可靠性工程与安全领域顶刊，影响因子9.4），论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.109988>。此外，相关技术《一种空港枢纽大面积延误条件下的大客流预警与疏散方法》获得发明专利一项（ZL202211200316.6）。

在极端天气、突发事件干扰下，大面积航班延误时有发生，进而引发突发大客流，其对空港枢纽正常运行造成极大冲击的同时，也威胁着旅客的生命和财产安全。在此背景下，本研究利用航班数据、网约车GPS数据、调研数据等多源数据，提出了航班大面积延误下的大客流疏散三层框架：（1）底层为疏散需求估计及疏散预警模型；（2）中层为疏散地点选择模型；（3）上层为应急疏散车辆调度模型。该模型能够通过航班延误判断航站楼旅客聚集态势，进而提前进行预警并辅助启动疏散进程；与此同时在城市层面保证疏散效率、疏散质量的条件下有效识别旅客疏散地点；最后考虑个体出行和机场大巴调度两方面的经济成本构建车辆调度时刻表和路径规划联合优化模型，通过启发式算法求解得出疏散班次、疏散时刻表、疏散路径等，为空港枢纽应急响应与韧性恢复提供解决方案。最后，本研究以北京首都国际机场T3航站楼全年延误最严重的典型日作为研究对象，在该方法框架下取得四方面疏散效果：缩短预警时间、缩短延误传播、减少最大旅客聚集量、减少潜在受灾旅客。

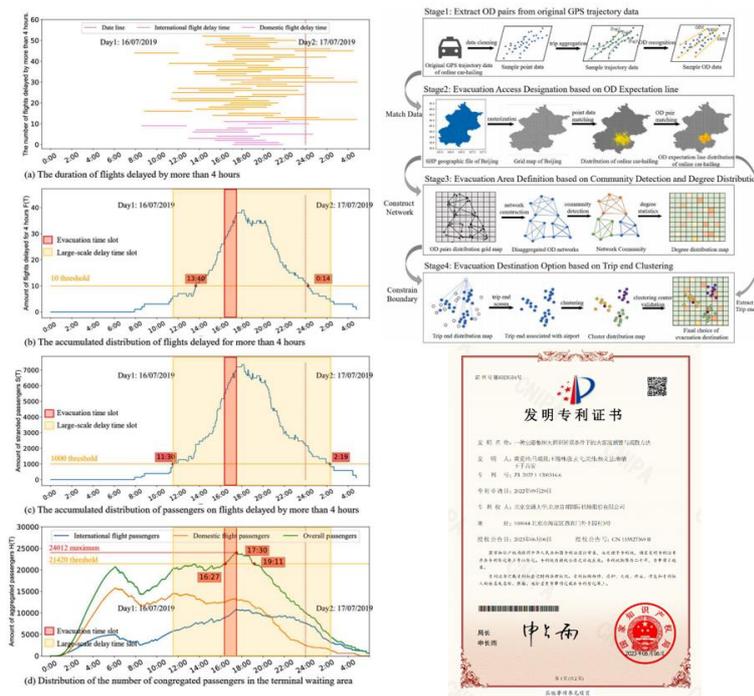


图1 大面积航班延误下旅客聚集情况及延误预警、疏散预警方法及专利

● 集装箱内货物装载研究

北京交通大学交通运输学院**张琦教授团队**针对中欧班列集装箱内不同品类货物装载方法问题开展研究,设计了多品类货物集装箱内装载方案系列指南。**该成果以“集装箱内货物装载方法图析”为题,于2024年出版专著。**



图 1 《集装箱内货物装载方法图析》专著封面图

随着“一带一路”倡议的不断深入,作为共建“一带一路”的名片,中欧班列为推动区域经济发展、助力欧亚联通提供了强劲的动力支撑,其开行数量和运行品质也在稳步提升。运输安全是中欧班列高质量发展的前提,规范集装箱内货物装载方法是保证中欧班列运营安全、降低集装箱运输安全风险的重要手段之一。不同品类货物因其形状、尺寸、重量、数量等不同,在集装箱内的装载方法在遵循货物基本装载要求的基础上也有所不同。研究团队基于货物装运需求差异性,建设性地提出了不同品类货物在集装箱内的装载方法。相应地,作为系列研究项目的主要产出成果,本书分别针对板材类货物、卷筒状类货物、桶装油品类货物、散装/颗粒状类货物、吨袋类货物以及不规则类货物、机械类货物等多种类别货物在集装箱内的装载方法进行了解释和图析。结构上,全书按照货物品类不同分为六章,采用图例与说明相结合的方式分别介绍了上述类别类货物在集装箱内装载的技术方法,以提高集装箱内货物装载的稳定性,提高集装箱载重量和容积利用率。

成果分享——学术专著

● 地铁车辆与供电系统维修策略优化及备品备件需求预测研究

在“十四五”国家重点研发计划“超大城市轨道交通智能维护关键技术与应用研究”(批准号:2020YFB1600704)课题和“中央高校基本科研业务费科技领军人才团队项目”(批准号:2022JBQY007)的资助下,北京交通大学交通运输学院魏秀琨教授团队针对地铁车辆与供电系统维修策略优化及备品备件需求预测问题开展研究,研究了地铁关键系统的维修策略优化技术和针对不同特征的备品备件的需求预测方法。该成果以“地铁车辆与供电系统维修策略优化与预测技术”为题,于2024年出版专著。

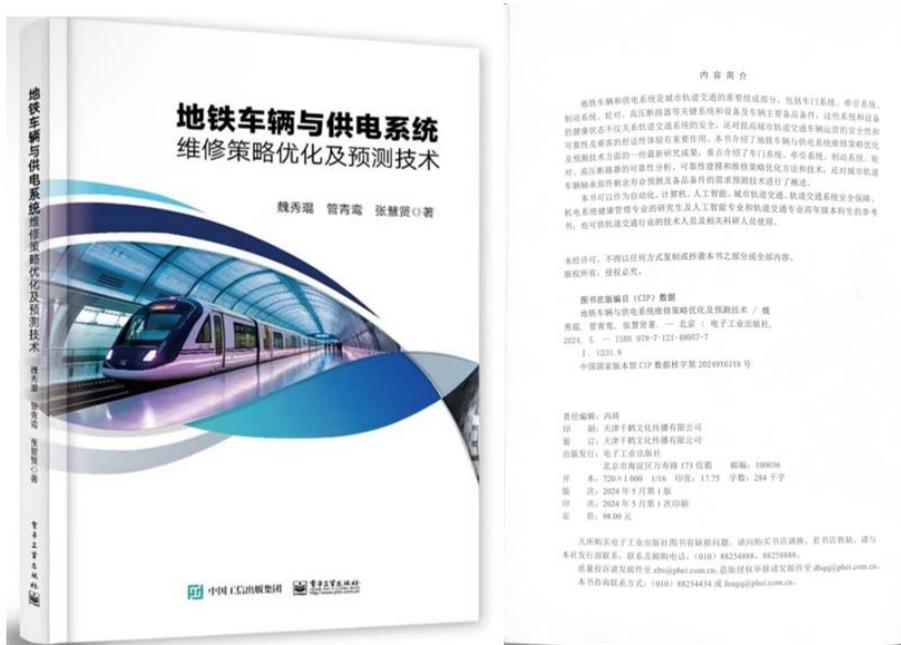


图1 《地铁车辆与供电系统维修策略优化与预测技术》专著封面及出版信息图

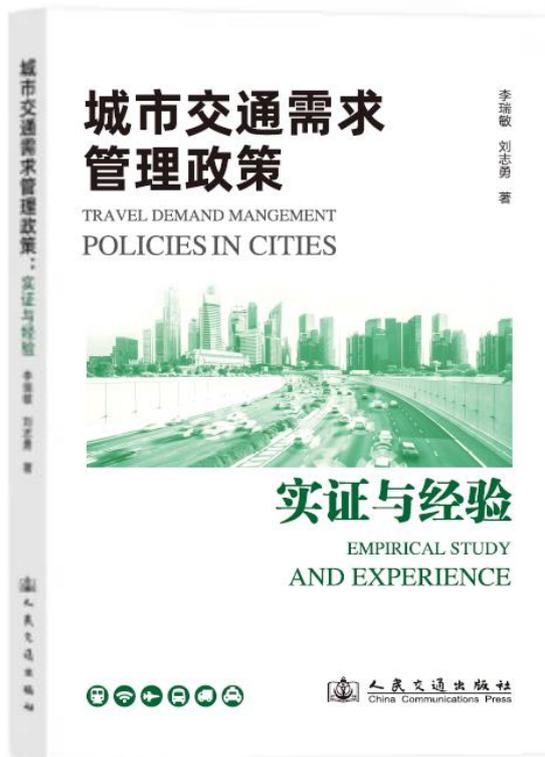
“十四五”期间,全国范围内城市轨道交通行业的运营里程持续增加,轨道交通将进入以运营、经营为主的高质量发展阶段。提高车辆运营维护效率、降低成本及保证运营安全成为轨道交通行业研究的重点。随着维修理论不断发展,维修新模式、新理念不断涌现,维修策略从被动的事后维修发展为积极的预防性维修,并进一步发展为消除故障根源的主动维修。地铁系统也应灵活运用多种维修策略,提高维修效益。剩余寿命预测为设备的健康状态评估和预测维护提供理论及技术支持。此外,平衡备品备件供需矛盾,清准备品备件运营库存,提高项目资金使用效率,是轨道交通运营公司的共同目标。本书主要包括两个部分:第一部分为地铁车辆的关键系统及供电系统高压断路器的可靠性建模和维修策略优化研究,基于通用生成函数法、Phase-type(PH)分布、冲击理论及混合故障率等展开维修策略优化研究;第二部分为城市轨道交通车辆轴承部件剩余寿命预测及备品备件的需求预测技术研究,包括基于维纳过程的剩余寿命预测,基于机器学习、备品备件寿命分布、缺乏失效位置信息的数据等的需求预测分析。本书采用理论介绍与实例研究相结合的方式,系统的讲述维修策略优化、剩余寿命预测及备品备件预测相关方法,维修地铁运营管理中提供技术支持和理论依据。

成果分享——科研专著

● 城市交通需求管理政策数据实证研究

在国家自然科学基金项目（批准号：52302383）资助下，北京交通大学交通运输学院**刘志勇老师**针对一系列城市交通需求管理政策的实证影响和群体反馈问题开展研究，针对不同实证案例设计了数据驱动分析方法框架，阐述了政策影响的深度和广度，还原了政策之下的群体态度。**该成果以“城市交通需求管理政策：实证与经验”为题，于2024年出版专著。**

以海量数据之基础，促管理决策之科学。该专著以缜密、鲜活的案例分析方式，展示了典型交通需求管理政策下的实证数据量化研究成果，内容涉及大型活动下限行政策的影响、日常条件下限行政策的影响、限行政策的绝对威慑作用与限制性威慑作用、路内停车收费政策的影响、公共交通免费政策的影响等。在这些案例中，实证数据能够帮助我们站在更全局、更客观的视角，观察交通需求管理政策之下的种种细节，使得交通需求管理政策的研究能够摆脱单纯的经验判断，从宏观和微观不同层面揭示交通需求管理政策的实际影响，亦能辨识政策之下的群体行为反馈特征。在这之中，实证数据扮演了重要的沟通渠道，将交通参与者的态度悄无声息地传递给交通管理者，挖掘交通需求管理领域的本质规律，形成具有针对性、建设性、前瞻性的政策建议，从而促进交通需求管理政策的不断迭代与完善。



内 容 提 要

本书基于作者多年来在该领域的研究成果，针对国内部分典型的城市交通政策的数据实证效果分析进行了梳理。本书共分7章，主要内容包括：概述、北京夏季奥运会期间交通管制政策影响、差异化限行政策的交通影响、限行政策的威慑作用与公众的遵从行为、路内停车收费价格调整的影响、不同公共交通优惠政策的影响、车辆限行政策对城市交通系统的影响。

本书可供大专院校交通运输工程相关专业的学生阅读，也可供在科研机构、企事业单位中从事相关工作的各类人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

城市交通需求管理政策：实证与经验 / 李瑞敏、刘志勇著. —北京：人民交通出版社股份有限公司，2024.7. — ISBN 978-7-114-19709-3
I. F572
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024MX4476 号

Chengshi Jiaotong Xueqiu Guanli Zhengce: Shizheng yu Jingyan

书 名：城市交通需求管理政策：实证与经验

著 者：李瑞敏 刘志勇

责任编辑：姚 旭 钟 伟

责任校对：赵媛媛

责任印制：张 凯

出版发行：人民交通出版社

地 址：(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址：<http://www.cepc1.com.cn>

销售电话：(010)85285857

总 经 销：人民交通出版社发行部

经 销：各地新华书店

印 刷：北京中彩印刷有限公司

开 本：720×960 1/16

印 张：12.75

字 数：208千

版 次：2024年7月 第1版

印 次：2024年7月 第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-114-19709-3

定 价：66.00元

(有印刷、装订质量问题的图书，由本社负责调换)

图1 《城市交通需求管理政策》专著封面及扉页

成果分享——智库成果

● 北京城市副中心交通问题研究

在北京社科基金“青年学术带头人”项目（批准号：21DTR055）资助下，北京交通大学交通运输学院**马路教授团队**针对北京城市副中心交通问题开展研究，对副中心存在的交通问题进行了系统的分析，并提出相关建议。**该成果被中共北京市委办公厅信息刊物《调研与参阅》2023年第126期采用，并得到北京市领导批示。**

研究介绍：随着市级机关搬迁的推进，北京城市副中心内外交通量均持续增长，在此过程中，逐渐产生道路交通拥堵节点，并加大轨道交通压力，会对副中心的工作、生活和出行造成长期的干扰和不便。本文分析了副中心对外交通所存在的短板和瓶颈效应，并从副中心内部道路等级、地面公交服务配置、交通接驳情况、生活配套服务以及中心城区和副中心之间的关系等方面提出了所存在的不足。围绕上述方面，本研究提出了充分考虑副中心交通承载力，优化搬迁进度和规模；提升副中心道路网络机动化能力，推进副中心道路网络快速化；推动副中心轨道交通建设；开设副中心办公区、朗晴园、轨道交通站点等关键点位的循环专线公交，实现“门到门”服务；加强副中心建筑空间综合利用和开发，提升副中心生活配套服务能力等具体措施，为优化改善北京城市副中心交通提供了重要参考。

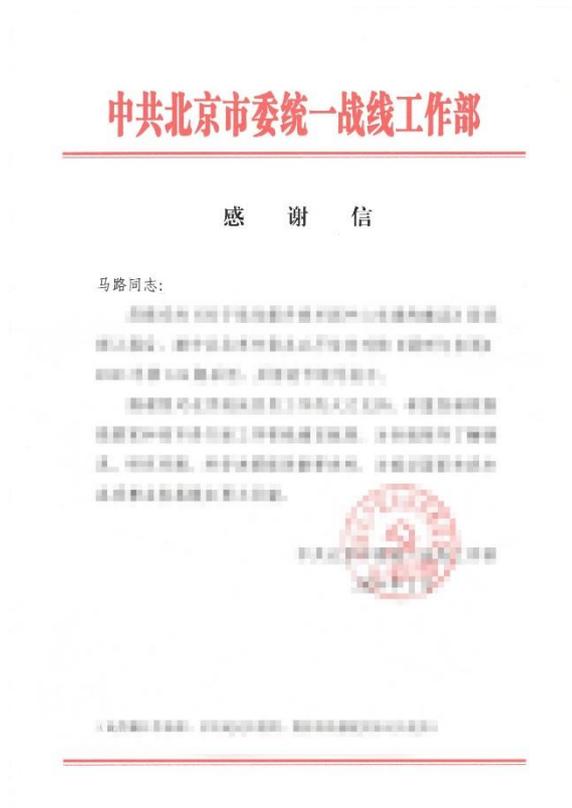


图 1 我院学者智库成果在中共北京市委办公厅信息刊物《调研与参阅》2023年第126期中有所体现

成果分享——智库成果

● 集装箱承重限值与箱内货物装载方法研究

北京交通大学交通运输学院**张琦教授团队**针对中欧班列集装箱内不同品类货物装载方法以及集装箱承重限值确定问题开展研究，形成了多品类货物集装箱内装载方案系列指南，提出了集装箱内载荷分布规律与承重限值确定方法。**项目研究形成的成果于2024年出版专著《集装箱内货物装载方法图析》1部，申请发明专利1项（专利申请号：202410744344.7）。**

作为共建“一带一路”的名片,中欧班列为推动区域经济发展、助力欧亚联通提供了强劲的动力支撑。运输安全是中欧班列高质量发展的前提,规范集装箱内货物装载方法是保证中欧班列运营安全、降低集装箱运输安全风险的重要手段之一。不同品类货物因其形状、尺寸、重量等不同,在集装箱内的装载方法在遵循货物基本装载要求的基础上也有所不同。研究团队基于货物装运需求差异性,建设性地提出了不同品类货物在集装箱内的装载方法,首次形成了板材类、卷筒状类、桶装油品类、散装/颗粒状类、吨袋类、不规则类以及汽车配件托盘等货物在集装箱内的装载方案系列指南。研究成果已被中铁国际多式联运有限公司采纳公布,并被中欧班列装箱单位应用于去回程中欧班列货物装载实际中,为中欧班列运营安全提供了有效的技术支撑。

随着适箱货物品类多样化,集装箱承重限值的确定对装箱货物品类及箱型选择、以及货物在集装箱内装载方法的影响日益凸显。研究团队深入研究了不同箱型、不同部位、不同装载条件下的集装箱受力特点及其载荷限制的差异,探究集装箱的承载分布规律与集重机理,首次从理论层面提出集装箱内载荷分布规律与承重限值确定方法,为适箱货物箱型选择及箱内货物装载方案设计提供理论依据。



图1 专著（上）、集装箱内货物装载应用证明（左下）、集装箱承重限值确定方法专利受理通知（右下）

成果分享——智库成果

● “完善城市公交市场化运营机制”相关智库成果研究

北京交通大学交通运输学院姚恩建教授团队针对完善城市公交市场化运营机制开展研究，阐述了一系列改善企业经营，激发公共交通发展活力的措施。该成果获得了中国广播电视总台内参中心采用。

长期以来，我国坚守城市公共交通的公益性。为此，作为城市公共交通的经营主体，公共交通企业在政府补贴下长期实施低票价的政策。然而，随着小汽车的发展，以及网约车、共享单车等新业态的涌现，公共交通客流量持续下降，伴随着日益增长的运营成本，政府补贴难以弥补公共交通企业维持公共交通社会属性的支出成本，导致公共交通企业面临连年亏损、经营困难等问题。因此，对于公共交通企业而言，在保障公共交通社会属性的前提下，如何引入先进的管理方法和技术手段，实现交通运输主营业务的降本增收，如何引入市场化经营模式，围绕“公共交通+”拓展经营业务实现增收，对改善企业经营，激发公共交通发展活力有重要意义。为此，本研究在厘清城市公共交通企业经营窘境的基础上，从企业的主营业务和拓展业务两方面剖析企业经营困难的致因，在保障公共交通公益性的基础上，提出如何融合商业属性以改善企业经营的有效举措。

从优化公共交通企业主营业务运营俩看，建议形成在政府监管下引入市场竞争的公共交通经营体系，同时构建以城市轨道交通线网为骨干，分级公交线网为支撑的多模式公共交通网络，降本增效。另外，引入市场化力量，建立以需求为导向的多元化运营模式体系，并改革形成政府指导下市场化票价机制。从公共交通企业对外拓展业务来看，应推进开发全流程规范、多方协同、互惠共赢的 TOD 发展模式，促进站城一体化，同时，探索充分利用闲时运力、存量资源的“公共交通+”模式，发挥公共交通企业存量资源的最大化。

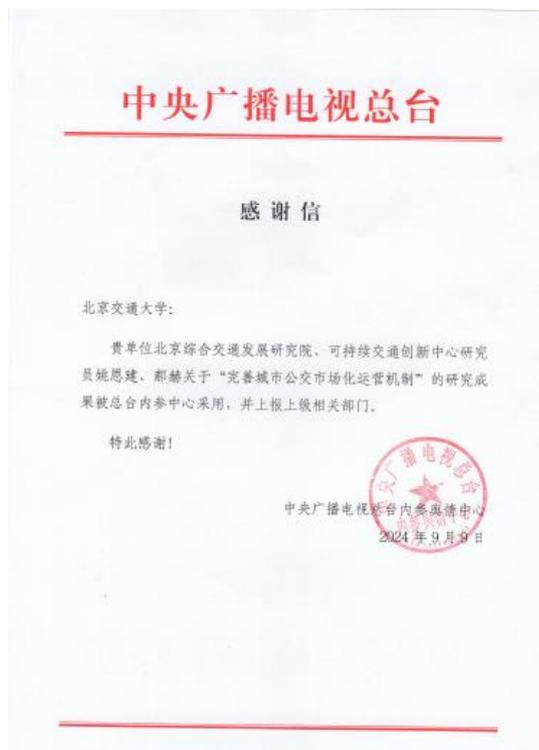


图 1 “完善城市公交市场化运营机制”相关智库成果获得中国广播电视总台内参中心采用

成果分享——智库建议

● 我院学者“P+R”智库成果研究取得进展

北京交通大学交通运输学院交通工程教师团队（吴先宇、罗斯达等）针对北京市 P+R 停车场发展开展研究，深入分析了 P+R 国内外经验、北京 P+R 发展现状与主要问题，提出了建设用户友好的 P+R 停车平台/模块、推广预约停车等重要举措。该成果于 2024 年 1 月被北京市委办公厅内部刊物综合采用，并获得相关市领导批示。

截至 2023 年 10 月底，北京市共有 33 个站点周边形成 P+R 停车场，总计 41 处，提供停车位约 1 万个，主要分布在中心城外围不同方位的交通走廊、新城内的公共交通枢纽站以及轨道交通的车站周边，其中 30 处位于五环路以外，占总规模的 91%。



图 1 北京 P+R 发展现状图

部分发达国家 P+R 发展现状：

1. **美国**。以休斯顿为例，有 25 个停车换乘停车场，累计 34471 个泊位，平均每个停车场规模为 1379 个泊位。在芝加哥，约 20 个地铁站设置了 P+R 设施，收费标准不等，可提前预约每月的停车位。美国的停车场采用智能化管理模式，提高车辆停放效率，增加停车换乘的便利性。

2. **澳大利亚（墨尔本）**。墨尔本都市圈的市郊铁路站点设置了 P+R 设施，如 Huntingdale 郊区火车站的停车场。P+R 设施有清晰可见的时刻表和引导标志，提供信息给市郊铁路和常规公交乘客。

3. **荷兰（阿姆斯特丹）**。有 7 个 P+R 停车场，位于市中心外围，紧邻环城高速 A10 不同出口处，吸引和引导市民选择更加绿色低碳的出行方式。

主要改善建议：提高 P+R 停车场的信息化水平，实现停车预约。（1）为提升停车服务质量，应建设用户友好的 APP 平台，方便用户预约、查询和支付；（2）引入智能预约系统，优化停车位分配，提高利用率；引入电子支付系统，减少支付时间；实现即时停车位信息更新，方便规划行程；（3）通过数据分析优化停车场布局、交通流向和服务水平，提高服务质量。初期可在地铁站预约出行的工作基础上，试点相关站点周边的停车与进站同步预约。

成果分享——智库成果

● 世界级机场群比较研究，推进京津冀机场群协同发展的建议

在首都高端智库项目《世界级机场群比较研究》（批准号：ZKKT027）资助下，北京交通大学交通运输学院李艳华教授团队就世界级机场群多维度发展进行比较研究，推演归纳世界级机场群的发展规律，针对京津冀城市群陆、海、空资源特点，提出进一步推进京津冀机场群协同发展建议，并就在更大范围上深化陆海空协同提出思考。该成果被市委办公厅《北京信息》（调研与参阅）第13期采用刊登，获得北京市社科联、北京市社科规划办的成果采用通报。



图1 我院学者智库成果在市委办公厅《北京信息》（调研与参阅）第13期中有所体现

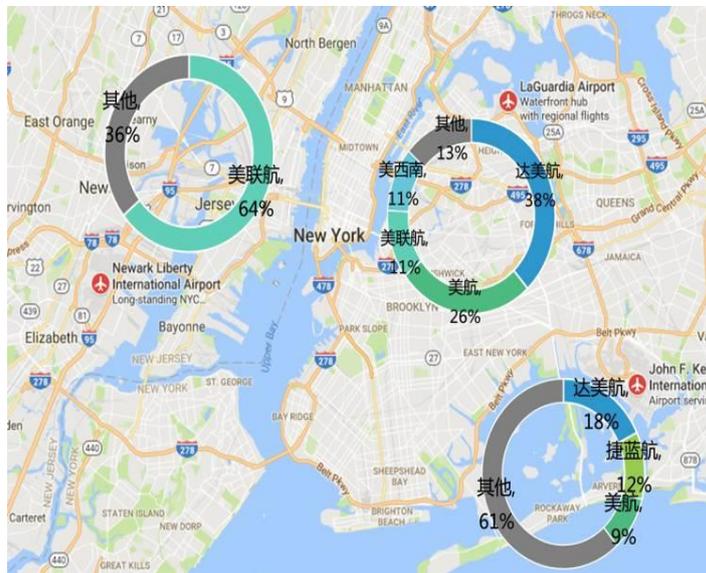


图2 纽约机场群的基地航空公司市场份额情况

● 低空经济产业发展问题研究

北京交通大学交通运输学院**刘志硕副教授团队**针对低空经济产业发展问题开展研究，阐述了我国低空经济发展所面临的挑战、无人机产业现状与行业赋能。**成果陆续被经济日报报道。**

当前低空经济仍面临诸多挑战。一是 eVTOL、飞行汽车装备产业尚处于发展初级阶段，针对中型无人机的适航标准尚未发布。二是在空域规划方面，低空空域通常定义为离地高度 1000 米以下空域。城市空中交通空域运行边界还有待界定。三是低空交通管控方面，依赖人工的运输航空管控模式已不适用于低空飞行，尤其是在城市空中交通中。当交通量较大时，如何保障飞行安全和高效应当重视。四是在行政管理方面，国家层面出台了一系列促进无人机飞行的法律法规、标准规范，部分地方政府也出台了地方法规，但民航局和地方政府职责划分尚待清晰界定。

无人机赋能千行百业。为促进无人机产业发展，国家层面先后出台《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》《通用航空装备创新应用实施方案（2024—2030 年）》等，各地也陆续发布地方法规，推动形成了场景丰富多元、供给智慧高效、监管安全规范的低空经济健康发展局面。在交通出行方面，载人无人机的未来城市交通的重要组成部分。以电动垂直起降（eVTOL）为代表的载人无人机正引领城市空中交通变革。相比传统的直升机，采用多旋翼设计的 eVTOL 占地面积更小、机动性更强，能在城市中心、屋顶停机坪、小型空地等便捷起降，通过城市空中交通实现点对点运输，极大提高运输效率、降低延误风险。当前，载人无人机尚处于初期阶段。随着越来越多低空应用场景开启，将加速载人无人机产业发展。在物流配送方面，无人机在物流领域的应用尤为突出。无论是在地面交通拥堵的城市，还是地形复杂或交通基础设施匮乏的山区、海岛等，无人机单独或与其他交通方式协作，均能高效完成包括易腐生鲜等对时效性要求严格的物品快速递送。国内外各大企业纷纷入局无人机物流配送，显著提升了消费者体验与供应链效率。



图 1 我院学者智库成果在《经济日报》有所体现

成果分享——行业标准

● 铁路超限超重货物运输标准

在国家铁路局和国铁集团的大力支持下，北京交通大学作为第一起草单位，交通运输学院韩梅教授团队联合其他起草单位共同对《铁路运输货物堆码标准》（TB/T 1937—1987）进行了修订，形成了铁道行业标准《铁路货物装卸安全技术要求》（TB/T 30009-2023），2023年7月14日由国家铁路局发布，于2024年2月1日实施。

铁道行业标准《铁路货物装卸安全技术要求》（TB/T 30009-2023）主要技术内容包括：

1. 铁路货物装卸作业安全通用要求，包括线路作业安全、装卸车和货物堆码安全、车辆使用安全、高处作业安全、电气安全、暑期和防寒期作业安全等。
2. 铁路货物装卸作业人员要求。
3. 铁路货物装卸设备设施、工具及备品要求。
4. 铁路货物装卸机械作业要求，包括通用要求、各类装卸机械操作要求、司索指挥要求、机械交接检查要求、机械检修作业要求等。
5. 铁路货物装卸人力作业要求和汽车作业要求。
6. 主要货物品类装卸作业要求。
7. 铁路货物装卸作业中的应急处理。
8. 装卸放射性物质容许作业时间及作业安全距离要求。



图1 《铁路运输货物堆码标准》标准

成果分享——科研标准

● 铁路货运检查标准研究

在国家铁路局和国铁集团的大力支持下，北京交通大学交通运输学院**韩梅教授团队**联合其他单位，针对铁路货运检查问题开展相关研究，**共同起草了铁道行业标准《铁路货运检查技术要求》（TB/T 30011-2024）**，**2024年3月25日由国家铁路局发布，于2024年10月1日实施。**

主要技术内容包括：

1. 铁路货运检查基本要求，包括货检管理要求、货检的区段负责制、20英尺以上通用集装箱在站技术检查等。
2. 铁路货检人员的配备及应具备的条件。
3. 铁路货检设备设施的配备要求。
4. 铁路货检主要内容及作业基本程序。
5. 铁路货检的应急处置要求。
6. 主要货物品类装卸作业要求。

ICS 03.220.30
CCS 893

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 30011—2024
代替 TB/T 3207—2008

铁路货运检查技术要求

Technical requirement for railway freight transport inspection

2024-03-25 发布

2024-10-01 实施

图1 铁道行业标准《铁路货运检查技术要求》（TB/T 30011-2024）封面

成果分享——专利成果

● 突发场景下城市轨道交通短时客流需求预测研究

在客流控制下路网供需匹配的协同优化机制研究基金项目（批准号：71871012）资助下，北京交通大学交通运输学院**许心越教授团队**针对轨道交通短时客流需求预测问题开展研究，设计了一种封站条件下的轨道交通短时客流预测方法及系统专利（登记号：2020107321992）。

针对突发事件下的客流样本有限、客流分布规律性不强、突发事件信息变量复杂等问题，本项目聚焦突发场景下客流特性和突发事件的特征，探索突发事件的特征与路网各车站客流的作用关系，提出了突发事件下乘客行为建模和客流精准预测方法，开发了轨道交通清分仿真评估系统及新线客流预测与后评估智能系统，已在北京轨道交通应用并获得认可，**突发场景下客流清分精度提高到 95%，突破了突发及封站条件下路网非线性短时客流的精准预测难题。**



图 1 专利授权书（左）、北京轨道交通 ACC 清分仿真评估系统（右）

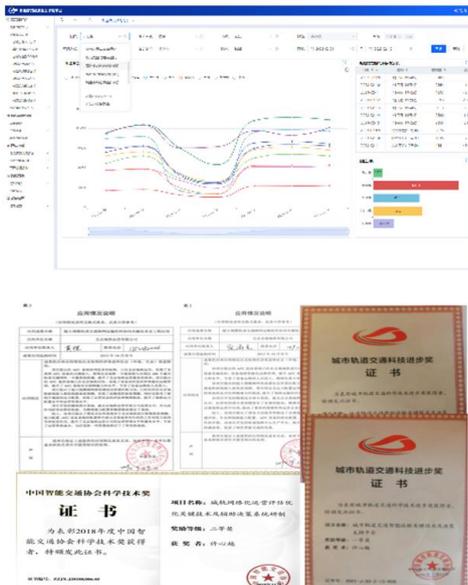


图 2 应用效果和社会评价

成果分享——专利设备

● 继电器可靠性评估及剩余寿命预测研究

在继电器可靠性评估及剩余寿命预测研究基金项目（批准号：02572410001）资助下，北京交通大学交通运输学院魏秀琨教授团队针对地铁列车继电器剩余寿命预测问题开展研究，设计了北京地铁运二智能预测性维护系统。该成果以“一种地铁列车继电器的智能检测及健康管理”为题，于2024年申请发明专利。

①继电器智能预测性维护系统可对七种型号北京地铁继电器进行检测，并方便扩展至其他继电器；可同时测量4对触点（2对常开触点、2对常闭触点）的吸合时间、超程时间、弹跳时间、燃弧时间、释放时间、接触电阻及继电器的吸合电压、释放电压，其中时间参数采集精度最大可达0.01ms，接触电阻精度可达4mΩ，吸合释放电压步进精度可达0.2V。



图1 继电器智能预测性维护系统

②该维护系统可对不同型号继电器进行时间参数测量、健康状态评估及剩余寿命预测。评估当前继电器的健康状态、预测继电器的剩余寿命并给出该继电器至少运行一段时间的可能性。

③该维护系统于实验室平稳运行一年零四个月，共产出数据数百万条；于北京地铁运营有限公司运营二分公司平稳运行九个月，诊断预测继电器数百个。

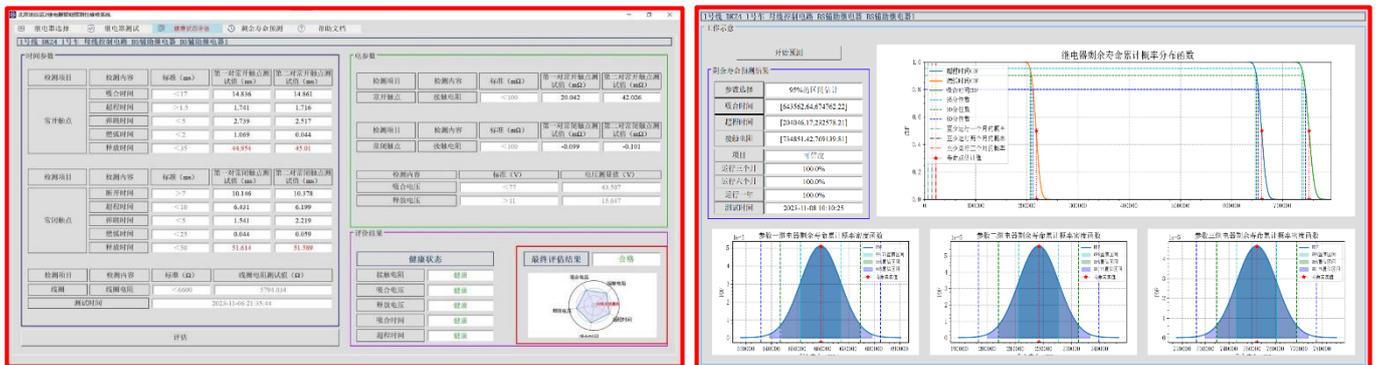


图2 继电器健康状态评估结果 (左)、继电器剩余寿命预测结果 (右)



欢迎扫码留下您的联系方式，期待与您的合作及交流



交通运输学院官网

联系我们：

黄老师：010-51682004, huangmc@bjtu.edu.cn

孙老师：010-51682004, rjsun@bjtu.edu.cn

学院官网：<http://trans.bjtu.edu.cn/cms/>

编辑 | 黄美晨 孙仁杰

校对 | 何世伟

审核 | 孟令云