

· 科学论坛 ·

新型城镇化导向下的城市群综合交通系统管理

黄海军¹ 高自友² 田琼¹ 吴建军³ 刘作仪^{2**} 孟庆峰⁴

(1. 北京航空航天大学, 北京 100191; 2. 国家自然科学基金委员会管理科学部, 北京 10085;
3. 北京交通大学, 北京 100044; 4. 国家自然科学基金委员会政策局, 北京 10085)

[摘要] 随着我国新型城镇化进程的推进,城市群发展战略为破解交通困局提供了新机遇,同时也给科学、有效地管理综合交通系统提出了新挑战。2017年5月22—23日,国家自然科学基金委员会管理科学部、工程与材料科学部与政策局联合召开了主题为“新型城镇化导向下的城市群综合交通系统管理理论与方法”的第179期双清论坛。基于本期“双清论坛”的研讨结果,本文总结了我国新型城镇化导向下的城市群综合交通系统管理所面临的国家重大需求,回顾了交通科学领域近年来通过与管理科学与工程、公共管理、交通工程以及信息科学等学科交叉所取得的主要进展和成就,凝练了该领域未来3—5年的重大关键科学问题,探讨了前沿研究方向。

[关键词] 综合交通系统;城市群;新型城镇化;多学科交叉;基础研究

随着我国城镇化进程的推进,以北京、上海、广州、深圳、天津、重庆等为代表的大城市乃至超大城市出现了严重的资源短缺、环境污染、交通拥堵等“城市病”。为了解决城镇化快速发展过程中的突出矛盾和问题、促进人的全面发展和社会和谐进步,我国陆续出台了有关新型城镇化规划与城市群建设发展的政策和措施。

国际上一些典型的城市群案例(比如东京都市圈、大伦敦都会区、美国大西洋沿岸城市群等)表明,城市群的发展普遍经历了初步形成、快速发展、繁荣稳定三个阶段,城市群相关的理论研究也经历了启蒙发展阶段(1915—1945)、研究丰富阶段(1945—1970)和快速发展阶段(1970—至今)^[1]。时至今日,部分国家和地区已经形成了较为完善的面向都市圈和城市群协调发展的区域规划、管理机制与行政体制,建立了互联互通的交通运输网络,对缓解城市群发展中出现的各种问题,以及促进区域一体化起到了十分积极的作用。国际上典型城市群的空间规划进程和交通系统建设模式,对引导和推进我国城市群综合交通系统的建设与发展,具有重要的启示作用和借鉴价值。

我国铁路、公路、航空、海运等各种交通网络规模不断增长,不同交通系统之间的协调衔接设施日益完善,各类运输网络之间的互联互通性得到加强,使得城市群各节点之间的时空可达性和交通出行可靠性逐步提高,城市群内居民的出行方式呈现出多模式协同化的特性。如何开展各模式交通网络的综合规划与管理,以及对多方式交通时空资源的协同配置和布局优化,成为我国城市群交通规划与综合运输组织面临的新问题。与此同时,城市群的建设与发展也会诱发更加多样化的交通运输需求。由于城市群综合交通系统建设与运营的时空复杂性,以及交通运输需求的高度不确定性,城市群交通走廊容易引发局部的高强度拥堵并带来大范围的传播,造成城市群综合交通枢纽或者局部区域容易出现人群聚集,进而引发交通事件或次生公共危机。因此,掌握城市群综合交通系统的动态演化过程,保障重要交通节点和区域内交通安全,防范极端堵塞和踩踏事件等,成为城市群综合交通系统建设与运营管理中不可忽视的重要问题。

新型城镇化导向下的城市群发展战略,为破解我国大城市交通困局提供了新机遇,同时也给科学、

收稿日期:2017-08-29;修回日期:2017-10-08

* 本文根据第179期“双清论坛”的讨论内容整理。

** 通信作者,Email:liuzy@nsfc.gov.cn

有效地交通运输规划与管理提出了新挑战。如城市内与城际间交通运输模式的转变、出行复杂度的增加、综合交通应急管理范围的扩大等。因此,迫切需要深入地研究城市群居民出行和货物运输的复杂决策行为和多层次交通需求的生成机理,探索复杂交通需求的时空演化与分布规律,剖析城市内部地面公交网络—轨道交通网络—道路网络和城市外部交通网络的衔接与协调关系,揭示城市群综合交通系统的供需匹配、多方式耦合与协同运行机理,从而提出适应我国城市群发展的综合交通系统管理理论与方法,不仅对夯实和发展交通科学具有重要的学术价值,而且为引导和推进新型城镇化导向下的城市群综合交通系统发展,缓解区域交通拥堵、交通污染、交通安全等城市病问题,促进经济持续健康发展与社会和谐进步,奠定了坚实的理论基础和实践依据。

1 国内外研究现状分析

近年来,国内外许多专家学者从城市群综合交通需求分析与管理、网络设计和资源配置、土地利用、应急管理和政策机制等方面进行了相关研究。

1.1 城市群交通需求分析与管理

从上世纪七十年代开始,城市交通研究的重点从交通基础设施建设转为有效的交通需求管理。经过近半个世纪的发展,交通需求管理理论和方法取得了较快发展。近年来,利用价格及市场机制策略进行交通需求分析与管理是国际上的研究热点之一,研究人员提出了一些典型的交通需求管理手段,如公交优先^[2],拥挤收费^[3-4],停车收费^[5-6],可交易路票^[7-9]等。

现有的交通需求管理研究大都基于单一的城市交通需求分析,而城市群的交通需求分析涉及到市镇内、市际、镇际、市镇间的活动特征,用户出行行为的异质性较高,城市群内部的交通特征与单一城市的交通特征存在显著差别。把握城市群内部的交通特征是研究城市群交通需求分析与管理问题的重要前提。目前,已有相关城市群内部的交通出行特征研究。例如,Li等^[10]以长三角城市群为例,采用地理网络加权回归方法,研究了高速铁路带来的交通需求和经济活动的分布。Li等^[11]研究了城市群区域交通枢纽多阶段层次定位问题,建立了城市群区域交通枢纽的层次服务网络。何韶瑶等^[12]以长株潭城市群为例,通过对城市群交通规划特点的分析,探讨了城市群形态以及交通需求对城市群交通的影响。谢建平^[13]以京津冀为例,采用四阶段预测法进

行了区域城际客流预测,对各种交通需求预测模型进行分析比较,并将运输通道理论、交通区位理论、线网构架理论结合起来,提出新型城际轨道交通线网优化理论。任小聪^[14]将城市群内出行旅客作为研究对象,分析了城市群的交通系统特征和旅客城市群出行的全过程,并研究了城市群旅客出行方式选择行为。王莉岚等^[15]以成都市为例,对该市的外交通需求进行预测。李成兵^[16]以呼包鄂城市群为例,构建了城市群交通供需非均衡模型。杨东援和韩皓^[17]通过对纽约、东京、伦敦、巴黎四个国际大都市进行对比分析,阐述了现代国际大都市圈交通需求的特点、轨道交通系统的适应性以及轨道交通对于城市交通结构所产生的影响,提出了在我国大城市圈、城市群中建设轨道交通系统需要考虑的几个基本问题。

1.2 城市群综合交通网络设计和资源配置

新型城镇化背景下产生的大量交通需求及其所呈现出的高强度、多样化、高频次和强时效等特征,对交通运输提出了新的挑战,而多层次多模式的交通运输网络是解决这一挑战的有效途径。城市群综合运输网络设计、结构优化与资源配置等是一个复杂的系统工程,战略设计必须从区域发展远景目标入手^[18],综合多种因素考虑,研究城镇化空间布局与多层次多模式交通运输网络交互影响机理^[19-20],引导区域城市群的合理建设和良性发展。

1.2.1 交通网络设计方面

虽然现有关于交通网络设计的研究较多,但大部分集中在城市交通网络^[21,22],而对城市群的综合交通网络设计和结构优化的研究相对较少。周和平等^[23]优先考虑了重要城市之间的需求,在兼顾公平的基础上建立了城市群公路交通网络设计的双层规划模型。曾明华等^[24]针对从分析当前区域综合交通运输网络结构、交通运输网络资源合理配置等现状入手,深入研究了区域交通网络时空结构演化及基于多层次的交通网络规划方法。另外,利用复杂网络理论研究城市群交通网络结构和层次特征,对改善整个网络的承载能力,合理配置交通资源,科学制定发展战略,提高交通管理与控制技术都具有较强的理论和实际意义。

1.2.2 城市群交通枢纽布局方面

如何进行城市群交通枢纽合理布局,有效整合交通网络资源,实现交通方式之间的无缝衔接,是管理部门和专家学者共同关注的问题。面向城市群枢纽空间布局的研究,主要集中在基础设施网络、枢纽功能定位方面。例如,研究发现目前珠三角城市群

综合交通网络建设较为完善,但不同交通方式间的衔接与换乘效率较低^[25]。枢纽空间布局要实现均衡分布,避免多种交通功能和方式集于某一枢纽或区域^[26]。而城市群交通系统的换乘、接驳研究主要集中在城际轨道、市郊铁路、城市轨道交通三种交通模式。国外对城市间的换乘研究较早,较为成熟^[27-28]。相比之下,国内有关研究起步较晚。李婷婷^[29]通过分析枢纽分层布局的意义和重要性,提出了基于城市群的分层轴辐式枢纽空间布局形态。李明高、毛保华等^[30]通过分析影响城市轨道交通换乘便捷性的因素,得出网络形态对换乘站和衔接路线有影响。此外,也有探讨珠三角城市群城际轨道交通与广州、佛山、珠海换乘布局方式的相关研究^[31]。

1.2.3 轨道交通结构方面

城市群轨道交通系统特别是城际轨道交通是城市群发展的重要支撑方式。国外许多大城市群城际轨道建设较为成功,如巴黎大区,其城市轨道交通系统由多种交通网构成,分别承担巴黎大区的城区和城际客流。国内应借鉴国外研究相关经验,结合我国城市群城际轨道交通发展现状,通过交通方式之间的有效协同,引导城市群快速发展。依据城市群内部差异性的运输需求,城市群轨道交通系统可以分为快速骨干轨道交通、地下铁道和轻轨三种类型。实现城市群的协同发展,需发展轨道交通为核心的综合交通运输体系,实现轨道交通系统资源共享^[32-33]。而目前中国城市群轨道交通存在发展速度不匹配、线网密度低、联通性差三方面问题^[34],仍需加强管理与建设。

随着城市群的不断扩展,构建城市群交通耦合系统,可以打破交通系统中供需主体的独立运作,实现城市群交通需求和供给的平衡。但国内目前尚缺少对城市群空间结构和城市综合交通耦合的研究,既有文献大都是针对城市供需、经济和城市综合体与交通耦合开展的研究。

1.3 城市群综合交通与土地利用

土地资源作为交通的承载体,面向绿色出行的城市土地利用与综合交通系统协调发展,受到广泛关注。目前国内外研究主要包括:

1.3.1 土地利用开发对城市交通影响

刘俊娟等^[35]强调在研究大城市交通问题时应考虑局部地区的特征,并研究了城市内部土地利用密度和区位对居民出行方式的影响,分析了居民出行的局部和全局特征。丁成日^[36]对比分析了单中心、多中心两种典型城市空间结构对城市交通的影

响,指出多中心城市结构并不一定能够降低城市交通需求,而单中心城市虽然造成市中心交通压力较大,但有助于公共交通及 TOD 模式的发展。弗兰克等人^[37]分别运用出行链模型与离散选择模型分析城市土地利用特征变量、居民出行时间、费用等对出行模式、出行链的影响。Litman^[38]系统总结了城市土地利用如何影响城市交通,分析了包括土地利用密度、土地利用混合度、区域可达性等在内的 12 个影响城市交通的土地利用因素,对各个因素影响城市交通的机制做了详细分析。陈燕萍^[39]运用多元 Logit 模型,探讨了城市土地利用特征变量及出行者的家庭、社会、经济属性等变量对居民工作与非工作出行方式的影响。

1.3.2 城市交通系统对土地利用结构的影响

交通系统对土地利用结构的影响主要体现在城市公共交通(公交、地铁以及 BRT)对沿线土地利用结构的影响方面。闫小培等^[40]以广州市为例,针对轨道交通对土地利用的影响做了较系统的研究。李泳^[41]提出城市交通运输建设通过改变不同区位的可达性来影响城市土地利用结构。何宁^[42]修正了日本研究者 Aoki 的轨道交通出行成本与沿线土地价值的定量关系式,并针对上海的实际情况对有关参数进行了标定。谷一桢等^[43]采用特征价格模型测算分析了北京 13 号线开工前后沿线的住宅价格和土地开发强度,并进行了对比分析,验证了轨道交通的建设对沿线房价具有重要影响。Deng 和 Xu^[44]以北京市轨道交通站点为例,研究了乘客量与地铁站周边的土地利用关系。

1.3.3 土地利用与交通协调性评价

樊娟娟^[45]从交通服务水平、交通资源配置的科学性、交通与交通硬环境发展的协调性和交通与交通软环境发展的适应性四个方面,建立了较全面的北京市和谐交通评价指标体系。杨励雅^[46]采用一种新的非参数统计分析方法,建立了 TOD 模式下城市交通与土地利用协调关系的评价指标体系。郭秀芝^[47]收集了 66 个城市的数据,用城市交通系统整体发展水平综合评价指标体系和主成分方法对城市交通系统发展水平进行了综合评价。罗铭^[48]基于系统论的复合系统理论,结合数据包络分析方法和模糊数学的隶属度概念,构建了交通—土地利用复合系统的协调度模型。Xu 等^[49]从建模的角度,基于双层规划方法,提出了一类组合交通与土地利用协调发展模型。

1.4 城市群交通系统应急管理

城市群综合交通系统应急管理目的在于深入分

析出行者在突发事件下的交通需求以及交通行为特性,制定相应的管理和控制措施来保证供给和需求的有效匹配,从而提高城市群综合交通系统的可靠性和抗毁性。国内外在此方面的研究主要侧重于突发事件下的城市群交通行为、应急交通系统规划与紧急预案研究、应急交通疏散组织以及应急资源配置四个方面。

1.4.1 突发事件下的城市群交通行为研究

如果综合交通枢纽发生重大突发事件,不仅直接造成枢纽周围的人员生命和财产损失,还会影响综合交通系统的正常运转,甚至引起城市群范围内的人员恐慌。因此,研究城市群重要综合交通枢纽的人员疏散行为和疏散管理措施尤为重要。如 Fritz 和 Mathewson 等^[50]提出了应急环境下逃生者的“集聚行为”理论。Stern 和 Sinuany-Stern^[51]在其建立的城市疏散仿真模型中考虑了警告信息的发布、逃生者的出发时间和路线选择等行为。对于区域范围城市群综合交通应急行为的研究,其核心内容是应急环境下的疏散者路径以及目的地选择行为。Yin 等^[52]研究了突发事件下城市轨道交通枢纽乘客出行行为变化规律。Cheng 等^[53]利用美国佛罗里达飓风数据,研究了疏散者与目的地距离、目的地人口数量及密度、目的地是否为大都市圈以及目的地的人种比例等因素对目的地选择的影响。

1.4.2 应急交通系统规划、预案和协调机制研究

构建统一协调、联手协作的应急联动机制,是城市群应对突发事件的基础。在城市群综合交通系统应急管理上需要相应的顶层设计。如在应急交通规划方面, Matherly 等^[54]编写了针对灾难、应急和重大突发事件的区域交通规划导则,提出了多行政主体的应急交通规划。在应急预案方面,路易斯安娜州飓风应急交通预案分为五步行动过程^[55]。虽然我国各大城市和各相关部门针对大型活动、突发事件等情况,制定了一系列应急预案,如交通运输部的《公路交通突发事件应急预案》、北京市的《北京市雪天交通保障应急预案》等。此外,曹杰等^[56]建立了由出救点、中转点和受灾点构成的多层次城市群应急协调超网络模型。但是在综合协调机制、应急交通规划和应急预案等跨区域协调联动方面,目前国内外的研究还相对薄弱。

1.4.3 应急交通疏散组织研究

现有关于应急交通疏散组织的研究主要以网络流优化为基础,根据道路网络结构的动态变化特性,建立相关优化模型进行疏散。Sattayhatewa 等^[57]

提出了以系统最优为目标的动态应急疏散模型。苑盛成等^[58]提出了基于实时数据的应急交通疏散仿真方法。Elgawad 和 Abdulhai^[59]提出了机动车交通和大型公共交通系统的两种交通模式的应急优化模型。张钊^[60]以墨西哥湾城市群为例,构建虚拟飓风情境,提出了城市群应急疏散微观仿真模型。杨鹏飞^[61]提出了多式联疏,并结合 GIS 平台应用于洪水灾害应急疏散。目前,针对城市群综合交通系统的应急管理研究较少,综合交通系统多方式协同应急疏散仍然为一大难点,因此,城市群应急交通疏散有待建立公路、轨道交通、航空和水运的多模式协同应急交通模型。

1.4.4 城市群综合交通应急资源配置研究

城市群不断的发展完善,使其内部各构成要素之间的联系更加紧密,一旦发生突发事件将会迅速在城市群内部进行扩散,产生巨大的连锁和放大反应。对于城市群综合交通应急管理而言,需要通过资源配置优化,充分发挥各类应急资源的应有效用,实现应急资源地最大化效应用。国内外对于应急资源调配、应急资源布局等内容进行了一系列研究。就应急资源调配而言, Haghani 和 Oh^[62]建立了时间窗约束下的以总救援成本最小作为优化目标的线性网络调配模型,并推广应用到非常规突发事件的交通应急资源调配问题^[63-64]中。就应急资源布局而言,相关研究主要将设施选址的理论方法应用应急资源布局研究中,部分研究提出了包括应急资源选择一路径优化的两阶段模型,还有部分研究提出利用情景规划的方法、混合模糊聚类的方法来对应急物资的储备库进行选择以及运输调配。如高学英^[65]研究了动态需求条件下应急救援资源选址与配置优化模型与方法,俞武扬^[66]提出了交通阻断情形下的应急资源布局方法。

总体来看,目前我国针对城市群综合交通应急管理的研究主要集中对较小路网或单一城市的交通系统应急管理研究,较少考虑城市群综合交通网络特性、应急交通行为以及应急交通管理组织等方面的内在联系。因此,还需要结合我国城市群交通系统的出行行为特点,以及城市群交通网络的时空分布特性,从全局的角度出发建立相应的交通系统应急管理政策,提升我国城市群应急管理效率。

1.5 城市群综合交通智能服务与机制体制建设

随着城市内的通讯网络、GPS 导航系统以及物联网的发展,使得城市综合交通系统内的人、车、路等系统信息能够实时采集,依靠物联网以及云计算

平台的支持,能够实现高效的城市综合交通智能服务与智慧决策。主要包括:

1.5.1 基于大数据的城市交通综合管理应用

利用手机等移动大数据可以建立城市交通综合管理信息服务平台,实现城市交通状况的动态监测、拥堵识别分析、城市路网的路况查询以及电子地图服务、路况拥堵预警与应急疏导、道路出行信息实时发布等智慧交通服务,其可以为交通管理部门制定交通诱导、分流、限行等管制措施提供依据,向社会公众发布实时路况信息,从而实现居民的出行路径优化,提供出行效率。如徐建闽等^[67]提出了大数据下的动态最短路径计算方法,Sun等^[68]基于一卡通刷卡数据,研究了城市轨道交通突发事件的传播和影响机制。

1.5.2 基于大数据的城市交通拥堵对策研究

利用大数据技术来对城市交通中的拥堵成因、交通组织管理问题进行研究,采取交通限行、拥堵收费等措施来缓解城市交通拥堵问题。如杨东援^[69]研究了大数据环境下的城市交通分析技术,王妍颖^[70]提出了基于大数据的交通拥堵评价指标体系。

此外,大数据技术的发展使得出行者多维数据的获取与统计分析成为可能,有助于管理者全面掌握城市群综合交通系统的运行情况,并为其提供相应的决策技术支持,主要应用于城市群综合交通的需求预测。如傅成红等^[71]提出了基于改进支持向量机算法的城市群交通需求模型,避免了预测过程中对于历史样本数据规模的依赖。任小聪^[14]研究了城市群居民出行全过程下的交通方式选择问题,总结了城市群居民出行方式选择行为的特征。王守彬^[72]利用手机通信数据研究城市群城际间旅客出行的行为特征,并预测了未来趋势。

作为新型城镇化发展的主体形态,当前城市群交通发展还存在城市群内交通政策不统一、城市群交通信息共享机制缺失等问题。城市群交通一体化分为基础设施一体化与管理服务一体化两个方面。基础设施一体化方面,需发展多式联运,提高综合交通运输规模^[73],实现多种运输方式联动与无缝连接,以促进整个区域内的不同交通运输方式的协调发展。交通管理服务一体化方面,需要设立一体化职能的管理机构,保证交通发展要与经济发展的空间结构一致,注重区域交通运输的可持续发展^[74]。张明等从区域交通一体化的科学内涵入手,提出协调京津冀全局、多种交通方式协调联动的交通规划建设思路,从规划、建设和运营管理三个方面,提出

“京津冀交通一体化”的管理政策^[75-76]。

1.6 小结

综上所述,结合当前我国城市群发展现状,国外现有的城市群交通系统管理理论与方法不能直接应用于我国城市群的交通管理实际,特别在交通需求分析与管理、绿色出行与土地利用、协同管理与资源配置、非常态交通应急管理以及交通大数据共享与交通政策体制的制定等方面,还面临极大的挑战,主要表现在以下内容:

(1) 目前针对交通需求的研究大多集中于城市内部,缺乏对市镇内、市际、镇际、市镇间的活动特征的差异性,以及用户出行行为异质性的深入研究。因此,现有的交通需求分析方法与管理手段不能完全适应新型城镇化背景下的交通需求管理。

(2) 城市群综合交通系统具有自身的特点,如多种交通方式在城市间的共享或衔接、城乡接合部稀疏路网分布、城市群空间形态、多阶段发展规划等,但是现有的交通网络协同管理与资源配置方法大都是针对城市交通内部进行优化设计,较少考虑城市群综合交通系统的内在特征。

(3) 在绿色出行、土地利用与综合交通发展方面,现阶段的研究较少考虑多种绿色出行方式、不同用地性质和产业布局对城市群交通发展的影响。绿色出行、土地利用和交通综合发展的互动影响机理尚不明确,有待进一步深入研究。此外,现有研究较少从城市群形态布局特点等重要因素去分析土地利用与交通互动发展问题。

(4) 在城市群应急管理的研究方面,缺乏从交通出行活动特征变化的角度来研究非常态交通事件发生的机理,缺乏事前非常态交通管理的理论,更缺乏从综合的角度对城市群布局结构、发展特点等方面分析城市群发展、交通出行活动变化规律、非常态交通事件三者的内在关联性。此外,关于非常态交通事件对人流的影响及非常态交通流的状态扩散机制还未形成完整的、科学的解释。

(5) 在交通大数据和交通一体化政策制定方面,尚缺乏有效的城市群综合交通数据共享机制。基于模型的综合交通管理与优化方法,尚缺乏与交通大数据的有效结合,部分结论仍需要运用实际交通数据进行检验和校正。此外,如何对城市群的交通系统各要素按照统一标准和原则进行规划和管理,提出相应的城市群综合交通一体化管理政策,有待深入研究。

2 主要研究方向和关键科学问题

城市群综合交通系统是一个依托高速公路、城际铁路、干线铁路和普通国省干线公路等构成的动态开放的复杂交通巨系统,需要通过对城市群中多种交通方式进行合理规划和管理,实现不同交通方式的协同,共同服务于城市群的多层次交通需求。综合交通系统中的每种交通方式的服务范围与作用既与自身特征有关,也与居民出行与货物运输需求的层次和时空分布特性相关。此外,城市群综合交通系统不同于都市圈和城市层面的综合交通,交通需求也区别于国家空间范围的低频次交通需求和城市内部范围的高频次交通需求。因此,城市群综合交通系统管理应突破传统面向城市内部或都市圈交通系统管理的研究方法。

结合我国在城市群综合交通管理领域的研究现状,进一步重点开展的科学问题主要包括:城市群交通出行需求分析与动态管理、城市群综合交通协同组织与资源配置、绿色出行导向下的城市群综合交通/土地利用协调发展模型、突发事件下城市群综合交通系统应急管理、基于大数据的城市群综合交通智能服务与智慧决策平台构建、以及城市群交通系统建设与运行的机制体制设计优化等六个方面。

2.1 城市群交通需求分析与动态管理

城市群交通需求的产生及实现不同于一般城市内部交通需求,具有其特殊规律性。主要体现在以下三个方面:第一,交通需求总体上取决于城市群整体社会经济环境特征及其区域内部的城际耦合程度;第二,伴随着城市群的发展,城市群交通需求具有显著的动态性和阶段性,存在不同的演化趋势;第三,城际交通与城市内部交通具有一体化趋势,主要体现在多模式和内外部交通网络的一体化、交通内部和城际间出行的一体化、交通需求管理的一体化等方面。在新型城镇化导向下,城市边界向外延伸,城市形态布局、人口分布等发生变化,这将导致城市间出行活动量快速增长(特别是在节假日,城市内、城市间产生巨量出行需求),城市群内部的交通出行模式发生巨大改变,城市间出行需求分布及其动态演化更加复杂。因此,有必要开展城市群交通需求分析与动态管理理论与方法的研究。

为此,需要从宏观—中观—微观三个层次深入理解交通需求的产生、演化及个体行为机理,注重从三个方面开展相关研究工作。首先,在宏观层面,需要在整体、动态、协同的视角下,以城市和城市之间

连接带为分析单元,研究城市群系统的社会、经济特征及其与交通系统的协同关系,分析协同关系在不同阶段所表现出的不同特征。其次,在中观层面,分析城际间交通需求与宏观要素的相互影响机制、交通需求的规模、结构和空间特征,发现城际间交通出行的特征和演化规律以及城际交通需求与城市内部需求一体化的规律。再次,从个体出行者层面,探索城市群交通需求的形成和演变机理,分析个体出行行为在城市群相关交通活动决策时的新特性和新规律,为交通政策的制定提供理论依据。该领域需要重点关注的科学问题主要包括:

(1) 城市群多层次交通运输需求与社会系统、区域经济、产业布局、土地利用和人口分布等之间的互动机理;

(2) 城市内和城际间多尺度交通运输需求的时空叠加特性和供需平衡机理;

(3) 城市群交通走廊、交通枢纽和核心区域需求预测组合模型;

(4) 城市群多式多链活动需求生成、出行行为分析与时空演化规律;

(5) 城市群多方式一体化交通需求管理理论与方法;

(6) 城市群轨道交通系统客流需求管理与信息服务。

2.2 城市群综合交通协同组织与资源配置

综合交通系统被认为是缓解城市交通问题的最可靠、最有效方法之一,也是提高居民出行与货物运输效率和提升城市乃至城市群活力的重要手段。新型城镇化的快速发展对城市群综合交通系统提出了前所未有的新要求和新挑战。城市群综合交通应以资源要素空间统筹规划利用为主线,强化城市群之间综合交通系统的互联互通,提高交通运输系统的整体运营管理和交通服务水平。这就需要应对城市群区域内和跨区域的客流和货流变化,以及多方式交通网络化布局与运营给系统运行与管理带来的巨大冲击。同时,还必须适应持续发展的城镇化和生态城市群需要。

城市群综合交通协同组织与资源配置需要突破传统的城市交通研究框架,综合考虑城市对内与对外交通方式的整体协调,重点关注城市群综合交通网络结构设计与基础设施布局优化,城市群综合交通网络资源配置、换乘组织与系统接驳,达到城市群综合交通系统的整体协调和资源的高效利用。该领域需要重点关注的科学问题主要包括:

(1) 多层次多模式交通运输网络与城镇化空间布局的交互影响机理;

(2) 城市群综合运输网络设计与结构优化;

(3) 城市群多系统间枢纽布局、换乘组织与接驳运营管理;

(4) 城市群轨道交通系统资源配置与协同组织优化;

(5) 典型城市群空间结构演化与综合交通耦合机理。

2.3 绿色出行导向下的城市群综合交通/土地利用协调发展模型

《新型城镇化规划(2014—2020)》和《城市工作会议》均明确了城市群是我国城镇化发展的主体形态。我国核心城市、都市圈、城市群具有不同的功能结构与空间结构,且仍处于调整和演进中。综合交通网络改变了城市间出行与运输的时间、空间尺度,并深刻影响城市间交往—城市内活动的关系,带来交通需求目的性、周期性和空间分布的动态演化,也带来交通网络受需求自组织和外部组织的多重影响。

城市群功能结构—交通需求—交通网络具有多重互动反馈效应,对三者协同演化的复杂性、动态性和交互性研究,是我国城市群交通研究的基础和核心理论构成。在新型城镇化的过程中,城市内部、城乡、城市群等不同空间尺度下的人口特征、土地利用、产业结构以及交通设施的布局都处在动态的演化过程中。在这个复杂的过程中,交通设施的布局与居民的出行特性的交互变化极大的影响了城市的形态、城乡之间的土地使用的协调规划以及整个城市群的区域经济效应。该领域需要重点关注的科学问题主要包括:

(1) 轨道交通为骨干的城市群综合交通/土地利用协调理论与方法;

(2) 面向绿色出行和可持续发展的土地开发、产业布局和交通结构优化;

(3) 城市群交通环境影响评价方法与承载力评估;

(4) 城市群新能源交通基础设施布局优化;

(5) 城市群轨道交通列车节能运行优化理论和方法。

2.4 突发事件下城市群综合交通系统应急管理

面临自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件等突发事件时,综合交通网络通常是生命和财产的保障线,得当的交通应急管理策略能够最

大限度地预防和减少突发事件的发生及其影响。现有交通应急管理理论与方法面临城市群加速建设这一重大国家战略的时代背景,互联网+和交通大数据等新技术快速发展,各项社会变革使应急管理环境复杂多变。在此背景下,开展面向城市群的综合交通应急管理理论与方法研究十分迫切,且充满机遇与挑战。

在推进新型城镇化和加快城市群建设发展的新形势下,轨道交通作为一种大容量、绿色、准点、快捷的公共交通方式,在解决大城市交通拥堵、交通污染等交通问题方面发挥着重要的作用。随着线网规模与客流规模的剧增,以及线网结构与运营组织模式的日益复杂化,网络化运营给城市群轨道交通的安全高效运行带来严重冲击和巨大挑战。城市群综合交通系统的复杂程度和空间尺度快速增长,容易导致城市群内局部地区或重要综合交通枢纽内人群的短时间聚集,进而引发交通事故或次生公共危机。在城市群发展进程中如何快速获取交通信息,挖掘出行需求,辨识交通态势和突发事件的影响,进而设计安全、可靠的交通运输网络以保障区域内交通安全、防范极端堵塞和踩踏事件等成为非常态交通安全管理中不可忽视的问题。该领域需要重点关注的科学问题主要包括:

(1) 面向城市群的应急交通运输数据挖掘与动态需求获取;

(2) 面向城市群的应急交通运输网络规划、管理策略与机制设计;

(3) 城市群交通安全态势主动辨识与调控;

(4) 城市群轨道交通突发事件影响辨识、协同管理与应急调控;

(5) 城市群交通枢纽内的密集人群疏散与引导策略。

2.5 基于大数据的城市群综合交通智能服务与智慧决策

城市群发展战略在破解交通困局的同时也给交通运输规划和管理提出了新挑战,城市群交通系统是复杂的关联巨系统,传统交通理论侧重于对交通系统进行一般化数学建模,然而理想的数学模型会因为大量的假设和简化而牺牲对系统刻画准确性。随着信息技术变革式的发展,多源多维度的交通系统数据和个体出行数据能够被海量采集、并行处理和深度挖掘,从而为复杂的城市群交通系统建模提供了新的可能性。

大数据技术正在改变人们对于数据获取、分析和应用的理解与认识,可以有效辅助洞察综合交通行为、理解交通运行特征、预测综合交通演化趋势,为智能服务与智慧决策提供创新的研究范式。随着区域经济快速发展和城镇化进程不断加快,我国城镇发展已经突破既有行政区划界限,以大城市乃至特大城市为依托,逐步形成了具有较强辐射作用的城市群。然而,目前我国城市群综合交通系统的服务水平与决策能力较低,还不能满足城市群交通快速发展的需要。基于大数据的城市群综合交通智能服务与智慧决策,对于提升城市群综合交通智能服务水平与智慧决策能力具有重要意义。该领域需要重点关注的科学问题主要包括:

(1) 城市群多源交通信息智能感知、处理与融合分析技术;

(2) 基于大数据分析的个体和群体出行行为特征提取和影响因素分析;

(3) 面向城市群个体和群体出行的多样化信息服务;

(4) 基于大数据分析的区域交通协同控制理论与方法;

(5) 城市群交通状态预测、网联联控优化与智慧决策平台。

2.6 城市群交通系统建设与运行的机制体制设计优化

中国城镇化快速发展,进入以城市群为主体的发展形态,意味着全球资源环境的重新分配、中国社会经济结构的大重构以及居民生活方式的嬗变。城市群交通系统建设运行与一般的城市交通系统建设运行相比,具有更大的开放性和对外部环境的反馈功能。在城市群交通系统建设运行中,人、经济、资源、环境与政策等外部因素更多地被引入到系统建设运行中,交通运输必须与经济发展、环境保护以及可持续发展逐渐融为一体,更多地是包含着社会性的一面。因此,有必要厘清城市群交通系统建设与运行的理论机制从城市群交通系统规划、组织、管理和控制等方面为开展城市群交通系统的设计运行研究提供理论依据,实现城市群交通系统社会效益的最大化。

我国城市群综合交通发展受行政区域和行业管理体制的分割影响,面临层级式行政资源配置与城市群服务的冲突、人口流动与城市群公共风险的冲突、行政边界壁垒与交通基础设施建设的冲突等治理问题,规划建设、投资融资与运营管理等协调难度

较大。而且,随着国家在基础设施投资建设中对民营资本的积极鼓励与引导,城市群道路网络的投融资模式或资本结构、投资经营主体越来越趋于多样化。因此,有必要系统研究城市群交通系统运行的机制,发展合理的城市群综合交通层级体系和分工协作体制。该领域需要重点关注的科学问题主要包括:

(1) 城市群综合交通系统建设与发展促进机制设计;

(2) 城市群综合交通信息共享、联动机制与协同治理;

(3) 城市群交通基础设施建设与运营的投融资机制与财政税费政策;

(4) “互联网+”背景下的交通运输服务定价与运营模式;

(5) 城市群发展战略下的综合空间利用、交通拥堵与空气污染治理。

参 考 文 献

- [1] 熊剑平,刘承良,袁俊. 国外城市群经济联系空间研究进展. 世界地理研究, 2006, 15(1): 63—70.
- [2] Xu M, Ceder A, Gao ZY, et al. Mass-transit systems of Beijing: governance evolution and analysis. *Transportation*, 2010, 37(5): 709—729.
- [3] Yang H, Huang HJ. *Mathematical and economic theory of road pricing*. Oxford: Elsevier Ltd, 2005, 345—388.
- [4] Bao Y, Gao ZY, Xu M, et al. Travel mental budgeting under road toll: An investigation based on user equilibrium. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 2015, 73: 1—17.
- [5] Pickrell DH. *Free parking and urban transportation*. Los Angeles: University of California, 1980.
- [6] Xu M, Grantmuller S. Effect and evaluation of a selection of transport management measures for sustainable development in Beijing. *Transportation Research Board Annual Meeting*, 2015.
- [7] Yang H, Wang XL. Managing network mobility with tradable credits. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2011, 45(3): 580—594.
- [8] Xu M, Grant-Muller S, Gao ZY. Evolution and assessment of economic regulatory policies for expressway infrastructure in China. *Transport Policy*, 2015, 41: 42—49.
- [9] Grantmuller S, Xu M. The role of tradable credit schemes in road traffic congestion management. *Transport Reviews*, 2014, 34(2): 128—149.
- [10] Li TT, Song R, He S, et al. Multi-period hierarchical location problem of transit hub in urban agglomeration area. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 7189060.
- [11] Li XJ, Huang B, Li RR, et al. Exploring the impact of high speed railways on the spatial redistribution of economic activities—Yangtze River Delta urban agglomeration as a case study. *Journal of Transport Geography*, 2016, 57: 194—206.

- [12] 何韶瑶,马燕玲,夏博. 长株潭城市群交通规划整合研究. 城市规划, 2009, 33(7): 45—50.
- [13] 谢建平. 基于京津冀城市群的城际轨道交通线网优化研究. 中南大学, 2010.
- [14] 任小聪. 基于出行全过程的旅客城市群出行方式选择研究. 重庆交通大学, 2016.
- [15] 王莉岚,辛灵,钟小燕. 城市群核心城市对外交通规划. 交通科技与经济, 2008, 10(1): 94—96.
- [16] 李成兵. 城市群交通运输系统供需非均衡模型研究. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(1): 47—53.
- [17] 杨东援,韩皓. 世界四大都市轨道交通与交通结构剖析. 城市轨道交通研究, 2000, 3(4): 10—5.
- [18] 毛保华. 综合运输体系规划理念与顶层设计方法. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14(3): 1—8.
- [19] 葛亮,王炜,邓卫,等. 城市空间布局与城市交通相关关系研究. 华中科技大学学报(城市科学版), 2003, 20(4): 51—53.
- [20] 程东东. 新型城镇化背景下交通运输发展的思路与重点. 综合运输, 2014, (1): 9—13.
- [21] 王广民,高自友,徐猛,等. 弹性需求下网络设计问题和电子路票问题研究. 管理科学学报, 2015, 18(4): 38—47.
- [22] 蒋洋,孙会君,吴建军. 不确定条件对交通网络设计的影响分析. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14(3): 85—90.
- [23] 周和平,胡列格,裴武. 基于优先与公平的城市群一体化混合公路交通网络设计模型. 系统工程, 2007, 25(7): 92—95.
- [24] 曾明华. 区域交通网络层次性与优化设计研究. 中南大学, 2010.
- [25] 胡迎鹏. 珠三角城市群综合客运枢纽现状剖析及发展对策. 广东公路交通, 2014, (4): 77—84.
- [26] 王宝辉. 城市群综合运输系统规划研究. 海峡两岸都市交通学术研讨会论文集选编, 2011.
- [27] Dessouky M, Hall R, Nowroozi A, et al. Bus dispatching at timed transfer transit stations using bus tracking technology. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 1999, 7(4): 187—208.
- [28] Su BB, Chang H, Chen YZ, et al. A game theory model of urban public traffic networks. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2007, 379(1): 291—297.
- [29] 李婷婷,宋瑞,何世伟,等. 基于分层布局的城市群综合客运枢纽优化模型. 中国公路学报, 2016, 29(2): 116—122.
- [30] 李明高,毛保华,蒋玉琨,等. 城市轨道交通网络换乘便捷性研究. 中国铁道科学, 2015, 36(3): 113—118.
- [31] 长安大学. 广佛珠城际轨道交通客流预测报告. 长安大学交通工程研究所, 2009.
- [32] 王悦欣,韩宝明,李得伟. 美国东北部城市群多层次轨道交通系统研究. 都市快轨交通, 2015, 28(1): 129—132.
- [33] 周英. 中外城市群轨道交通规划对比研究. 经济研究导刊, 2011, (24): 156—157.
- [34] 方恒望. 京津冀协同发展下北京区域轨道交通发展研究. 都市快轨交通, 2016, 29(3): 11—15.
- [35] 刘俊娟,王炜,程琳. 单中心大城市土地利用对居民出行方式的影响. 交通信息与安全, 2010, 28(2): 74—78.
- [36] 丁成日. 城市空间结构和用地模式对城市交通的影响. 城市交通, 2010, 8(5): 28—35.
- [37] Frank LD, Bradley M, Kavage S, et al. Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. Transportation, 2008, 35(1): 37—54.
- [38] Litman T. Land use impact on transport-how land use factors affect travel behavior. Victoria Transport Policy Institute, 2005.
- [39] 陈燕萍,宋彦,张毅. 城市土地利用特征对居民出行方式的影响—以深圳市为例. 城市交通, 2011, 9(5): 80—85.
- [40] 毛蒋兴,闫小培,李响. 广州城市交通系统与土地利用互动关系格局演化研究. 热带地理, 2005, 25(1): 43—48.
- [41] 李泳. 城市交通系统与土地利用结构关系研究. 热带地理, 1998, 18(4): 307—310.
- [42] 何宁,顾保南. 城市轨道交通对土地利用的作用分析. 城市轨道交通研究, 1998, 1(4): 32—36.
- [43] 谷一桢,郑思齐. 轨道交通对住宅价格和土地开发强度的影响—以北京市13号线为例. 地理学报, 2010, 65(2): 213—223.
- [44] Deng J, Xu M. Ridership scale and surrounding land use characteristics at urban rail transit stations: a non-parameter regression approach for the municipality of Beijing. Transportation Research Procedia, World Conference on Transport Research, 2016.
- [45] 樊娟娟. 北京市和谐交通评价指标体系的构建和实证分析. 北京交通大学, 2010.
- [46] 杨励雅,邵春福,聂伟,等. 基于TOD模式的城市交通与土地利用协调关系评价. 北京交通大学学报, 2007, 31(3): 6—9.
- [47] 郭秀芝,陆化普. 城市交通系统整体发展水平综合评价指标体系及方法. 交通标准化, 2003, (8): 53—55.
- [48] 罗铭,陈艳艳,刘小明. 交通—土地利用复合系统协调度模型研究. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, 32(4): 585—588.
- [49] Xu M, Lam WHK, Gao ZY, et al. An activity-based approach for optimisation of land use and transportation network development. Transportmetrica B, 2016, 4(2): 1—24.
- [50] Fritz CE, Mathewson JH. Convergence behavior in disasters: A problem in social control: A special report prepared for the Committee on Disaster Studies. National Academy of Sciences National Research Council, 1957.
- [51] Stern E, Sinuany-Stern Z. A behavioral-based simulation model for urban evacuation. Papers in Regional Science, 1989, 66(1): 87—103.
- [52] Yin HD, Han BM, Li DW, et al. Modeling and simulating passenger behavior for a station closure in a rail transit network. PLOS ONE, 2016, 11(12): e0167126.
- [53] Cheng G, Wilmot CG, Baker EJ. A destination choice model for hurricane evacuation. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2008.
- [54] 韩豫,成虎,赵宪博,等. 综合交通枢纽运营安全集成管理机制的构建. 中国安全科学学报, 2011, 21(5): 159—165.
- [55] Wolshon B, Urbina E, Wilmot CG, et al. Review of policies and practices for hurricane evacuation. I: Transportation planning, preparedness, and response. Nature Hazards Review, 2005, 6(3): 129—142.

- [56] 曹杰,朱莉. 考虑决策偏好的城市群应急协调超级网络模型. 管理科学学报, 2014,17(11): 33—42.
- [57] Sattayhatewa P, Ran B. Developing a dynamic traffic management model for nuclear power plant evacuation. 79th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC. 2000.
- [58] 苑盛成,王刚桥,马晔风,等. 基于实时数据的应急交通疏散仿真方法研究. 系统工程理论与实践, 2015, 35(10): 2484—2489.
- [59] Elgawad EHA, Abdulhai B. Optimization of Multimodal Evacuation of Large-scale Transportation Networks. Laryngoscope, 2010, 35(5): 367—367.
- [60] 张钊. 可预知灾难性事件下城市群应急交通疏散模型及分析. 西南交通大学, 2013.
- [61] 杨鹏飞. 突发事件下应急交通疏散研究. 湖南大学, 2013.
- [62] Haghani A, Oh SC. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. Transportation Research Part A: Policy & Practice, 1996, 30(3): 231—250.
- [63] 赵惠良,刘建平,刘向东. 城市交通非常规突发事件的应急资源调度最优路径研究. 北京理工大学学报(社会科学版), 2010, 12(6): 65—68.
- [64] 王军. 铁路重大突发事件应急资源优化调配问题的研究. 北京交通大学, 2007.
- [65] 高学英. 大规模应急救援资源布局与调度优化方法研究. 吉林大学, 2012.
- [66] 俞武扬. 基于交通阻断情景的应急资源布局问题研究. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 099—103.
- [67] 徐建闽,王钰,林培群. 大数据环境下的动态最短路径算法. 华南理工大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 1—7.
- [68] Sun HJ, Wu JJ, Wu LJ, et al. Estimating the influence of common disruptions on urban rail transit networks. Transportation Research Part A: Policy & Practice, 2016, 94: 62—75.
- [69] 杨东援,段征宇. 大数据环境下城市交通分析技术. 同济大学出版社, 2015.
- [70] 王妍颖,黄宇. 基于大数据下的北京交通拥堵评价指标分析. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(4): 231—240.
- [71] 傅成红,张阳. 基于参数优化的SVR城市群交通需求预测方法. 系统工程, 2016, 34(2): 114—120.
- [72] 王守彬. 城市群城际间旅客出行行为特征分析. 长安大学, 2015.
- [73] 陆化普. 城市群交通一体化面临的课题和挑战. 中国水运, 2016, 37(5): 10—11.
- [74] 姜策. 国内外主要城市群交通一体化发展的比较与借鉴. 经济研究参考, 2016, (52): 78—82.
- [75] 马明,马衍军,关昌余. 交通领跑京津冀—京津冀协同发展下的交通一体化. 中国公路, 2015, (17): 46—49.
- [76] 张明,郭谦,王维. 京津冀交通一体化建设与管理政策研究. 经济视野, 2014, (17): 13—14.

The management theory and method of the comprehensive transportation system in city agglomeration under the new urbanization trend

Huang Hai-Jun¹ Gao Ziyou² Tian Qiong¹ Wu Jianjun³ Liu Zuoyi² Meng Qingfeng⁴
 (1. Beihang University, Beijing 100191; 2. Department of Management Sciences, Natural Science Foundation of China, Beijing 100085;
 3. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044; 4. Bureau of Policy, Natural Science Foundation of China Beijing 100085)

Abstract With the new urbanization in China in recent decades, the planning strategy of urban agglomeration provides new opportunities for solving the dilemma in transportation system, and it puts forward new challenges for the scientific and effective management of comprehensive transportation system. On May 22—23, 2017, the Department of Management Sciences, the Department of Engineering and Material Sciences and the Bureau of Policy of NSFC jointly held the 179th Shuangqing Forum, entitled "The management theory and method of the comprehensive transportation system in city agglomeration under the new urbanization trend". Based on the outputs of this forum, this paper summarizes the major national needs of China on the comprehensive transportation system management under the new urbanization trend, and reviews the main progress and achievement in the aspects of management of science and engineering, public management, traffic engineering and information science. Finally, several key directions and possible hotspots of this field in the coming 3—5 years have been proposed.

Key words comprehensive transportation system; city agglomeration; new urbanization; multidisciplinary intersection; basic research.