

交通规划与管理决策支持系统的研发应用 ——中国城市交通发展论坛第24次研讨会

王 炜¹, 薛美根², 王 媛², 陈艳艳³, 宋家骅⁴, 孙小丽⁵, 董志国⁶, 程晓明⁷, 汪光焘⁸

(1.东南大学,南京 211189; 2.上海市城乡建设和交通发展研究院,上海 200040; 3.北京工业大学城市交通学院,交通运输部公交智能化行业重点实验室,北京 100124; 4.深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司,广东 深圳 518057; 5.武汉市交通发展战略研究院,湖北 武汉 430017; 6.北京晶众智慧交通科技股份有限公司,北京 110105; 7.南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司,江苏 南京 210008; 8.同济大学,上海 201804)

摘要:为探讨在中国大数据应用与“互联网+交通”发展大背景下如何推动交通规划与管理的科学决策,中国城市交通发展论坛于2019年11月3日在南京举办2019年第4次(总第24次)研讨会。本次会议由东南大学交通学院承办,会议主题为“交通规划与管理决策支持系统的研发及应用”。因篇幅有限,本刊编选部分专家发言,以飨读者。

关键词:交通规划;交通管理;大数据;交通仿真;决策分析与支持

Development of Transportation Planning and Management Support System: Highlight of the 24th Urban Transportation Development Forum in China

Wang Wei¹, Xue Meigen², Wang Yuan², Chen Yanyan³, Song Jiahua⁴, Sun Xiaoli⁵, Dong Zhiguo⁶, Cheng Xiaoming⁷, Wang Guangtao⁸

(1.Southeast University, Nanjing Jiangsu, 211189, China; 2.Shanghai Urban Rural Construction and Transportation Development Research Institute, Shanghai 200040, China; 3.Key Lab of MOT Intelligent Public Transportation, College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 4.Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518057, China; 5. Wuhan Transportation Development Strategy Institute, Wuhan Hubei 430017, China; 6.Beijing Traffic Data Science & Technology Co., Ltd., Beijing 110105, China; 7.Nanjing Institute of City & Transport Planning Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210008, China; 8.Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Aimed to promote effective police-making with big data for transportation planning and management under the growth in “internet of things + transportation”, the 24th Urban Transportation Development Forum in China took place in Nanjing on Nov. 3, 2019. Organized by the School of Transportation, Nanjing University, the themes of the forum is on the Development of Transportation Planning and Management Support System. Due to the limited space, only selected expert speeches are published in this edition.

Keywords: transportation planning; traffic management; big data; transportation simulation; policy-making support

收稿日期:2019-11-06

作者简介:王炜(1959—),男,浙江绍兴人,博士,教授,土建交通学部主任,主要研究方向:城市虚拟交通系统仿真技术,智能交通运输系统(ITS)基础理论,城市交通及区域运输规划理论与方法,可持续发展的交通运输系统基础理论。E-mail: wangwei@seu.edu.cn

(作者按发言先后排序)

面向交通强国的战略交通分析与仿真技术

2017年,立足新时代征程,党的十九大提出建设交通强国的重大决策部署。交通强国建设可以理解为在基础设施、运输效率与服务质量三方面争创世界一流。目前,中国已经基本建成了世界一流的交通基础设施,但在交通运输效率与服务质量方面,距离世

界一流标准仍有较大差距。

2019年,中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》,进一步统筹推进交通强国建设工作,提出打造“一流设施、一流技术、一流管理、一流服务”。《交通强国建设纲要》的实施意味着中国交通发展的重大转型,从以往大规模交通基础设施建设“增量积累”,向现代化交通系统效率提升“存量优化”转变。转变的过程中,所依托的交通

工程学科架构、系统科学理论体系，以及相关的交通分析、仿真与优化关键技术的重要性将日益凸显。

立足国家重大交通战略发展需求，着眼中国特色交通系统发展问题，东南大学城市交通创新团队在交通分析与仿真技术领域深耕30余年，自主开发了中国唯一拥有自主知识产权的虚拟交通系统仿真软件“交运之星-TranStar”（交通大数据版、城市交通版、综合交通版），实现了中国自有交通仿真与分析软件从0到1的突破。

交通大数据为交通仿真提供有力支撑

大数据的兴起对于交通行业带来了前所未有的机遇与冲击，对于传统交通研究、分析技术与应用实践带来跨时代的变革。大数据的重要作用显而易见，然而交通大数据的归集整理工作极具挑战。以交通规划所必需的交通小区人口数据为例，该数据涉及公安、街道、统计、交通、规划等多个部门，要获取统计口径统一的标准化数据以往是非常困难的。针对交通大数据分散、碎片化、非标准化、难以共享的实际问题，为了推动标准化体系下交通基础数据库的聚合，团队融合百度、高德、OpenStreetMap、手机信令、遥感、票务、互联网、调查等多源大数据，构建了“全球千城”交通基础数据库。

目前，“全球千城”交通基础数据库已覆盖国内660个城市、国外300多个著名城市及“一带一路”沿线100多个城市，涵盖交通网络结构化数据、人口分布数据、土地利用数据（部分）。这既是城市（群）与区域交通分析的基础积累，也是交通建设与发展的经验汇聚。依托“全球千城”交通基础数据库，仅需要几分钟就可以实现城市（群）、区域从数据获取到仿真分析、方案对比和结果展现全过程。

城市虚拟交通仿真平台引领智慧交通决策

在城市（群）空间快速扩张过程中，存在城镇空间增长低效、城市交通拥堵严重、环境质量低下等问题，相关部门都在为解决上述问题而努力。然而，由于缺乏统一的数据、统一的方法、统一的软件支撑，多部门间往往分头管理；加之交通系统的复杂性，导致决策失误的长期积累，进一步激化了交通问题。城市虚拟交通仿真平台便是在这种情况下应运而生。

为了给交通决策提供有效辅助，需要建设跟真实交通系统一致的统一平台，依托平

台进行交通系统分析、评估、优化和调整，之后再真实交通系统中实施。这项工作必须基于四项突破：基础数据、分析模型、平台软件和结果评估。

基础大数据的作用和意义已经明确，分析模型的突破则需要做好如下两方面：现有的交通分析模型大多是20世纪建立的，并未考虑交通大数据的背景，已不适应现代交通系统的建设与管理；另一方面，以往模型仅针对单一功能实现或项目实施，并未考虑跨部门系统分析的需要，模型理论仍然需要进一步优化与完善。

平台软件方面，由于交通问题的解决需要面向各部门协同，这也决定了交通分析软件与仿真平台的用户大多是非专业的。对于非专业人士来说，平台软件的操作必须极简与人性，用户才会使用。这需要平台软件具有“一键式”的运行功能设计。此外，国内主流商业交通仿真软件都是国外开发的，比如TransCAD、EMME等。由于中国交通业务、管理控制等方面跟国外存在诸多差异，国外软件在这方面的支持较差，这要求我们采用自己的数据和模型来解决交通方式选择、运行分析等方面的工作。

结果评估方面，需要对各类交通方案做定制化、全面的评估。“交运之星”及城市虚拟交通仿真平台已经拥有处理十多类情景、一百多个指标的评估分析能力。以雄安新区为例，交通规划方案要考虑几十年之后的影响，因此需要综合考虑包括土地开发整理、交通设施建设、交通系统管控、公共交通政策与交通规则制定等实施后对交通系统的影响，来进行系统化的评估。

基于统一的数据、统一的方法、统一的软件、共享的平台打造的城市虚拟交通仿真平台非常重要，它将交通相关部门的工作连在一起。可以认为，哪个单位建设有这样的平台，哪个单位在交通系统问题分析、优化方面就更具有话语权。

综合交通体系成为未来发展新核心

综合交通体系经历了从20世纪的条块分割到现在的独立成网运营，再到多网融合互融互通的演化过程，需要综合交通系统各交通方式在物理网、信息网和服务网三方面的协同，在综合交通多网融合体系构建过程中仍有较多问题需要研究。

在多网融合方面，单一铁路、公路、航空与水运网络的融合，不仅仅是管理层面的

改革这么简单，需要在网络综合一体、需求组合分析、分配多网竞争等多方面进一步分析与研究。这一过程涉及两项关键技术，首先是计算交通枢纽的阻抗。如何在多网融合背景下对枢纽进行转换处理，需要综合考虑换乘时间、费用与便利性，实现与路段匹配且可比较的枢纽阻抗，其分析与建模过程非常复杂。另一个关键则是交通需求集成分析模型体系的构建，这其中难度最大的是交通分配模型。在单一交通网络层面进行交通分配难度已经很大，考虑交通需求在不同网络之间的选择与转换，这就更加困难了。“交运之星”综合交通版已经在上述方面进行了不少有益探索，形成了相对成熟的综合交通运输分析技术。

目前，“交运之星”可实现1万个交通节点、4万个路段综合交通网络的分钟级系统仿真与综合分析评价。未来，在交通强国建设任务的框架内，以多版本“交运之星”为核心，进一步强化交通分析与仿真技术，优化虚拟交通仿真平台软件功能，实现综合交通系统时空基础数据标准化与共享化、城市及综合交通系统仿真技术集成化，打造中国完全自主知识产权的大规模交通网络系统分析与综合仿真大型平台，支撑综合交通体系一体化融合发展。

(王炜)

大数据环境下上海交通规划与决策分析系统研发及应用

大数据为上海交通规划与决策分析系统的建立提供有力支撑

上海交通信息化数据采集起步比较早，已经取得了广泛应用。主要有以下7个方面：1)遥感用地数据；2)手机信令数据；3)快速路、市境道口车牌识别数据；4)各类运营车辆数据，主要包括巡游出租汽车GPS、公共汽车GPS、重型和危险品货车GPS；5)网约车、共享单车、新能源车辆数据；6)公交一卡通刷卡数据；7)道路线圈、道路交叉口SCATS、高速公路收费数据等。交通大数据一方面为交通模型提供多方位参数输入，另一方面大数据分析成果与模型成果可以相互融合校核，为交通规划决策提供更为可靠的支撑。

在丰富大数据的基础上，上海进行了交通规划与决策分析系统的建设，主要包括基于现状的综合交通运行决策分析系统和在大数据分析基础上构建起来的一整套多层次综合交通模型体系(见图1)。上海交通规划与决策分析系统包括现状交通运行评价、仿真模拟、交通需求预测、方案评价和环境能耗评估等功能，为交通行业管理部门和研究机构服务。

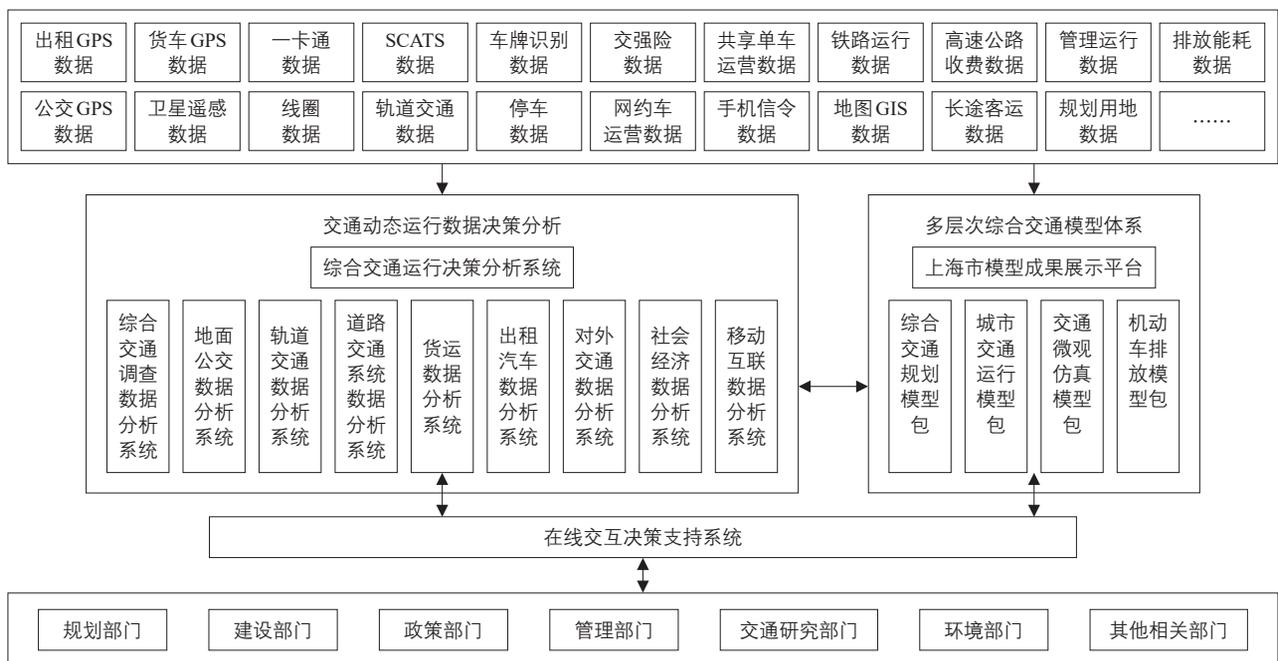


图1 上海交通规划与决策分析系统框架

Fig.1 Framework of transportation planning and policy-making system in Shanghai

上海交通规划与决策分析系统的核心是多层次综合交通模型体系

上海交通规划与决策分析系统的核心是科学的模型体系构建。从20世纪80年代开始,在国外技术援助下上海开始构建综合交通模型,至今已经建成的综合交通模型体系(见图2)涵盖宏观、中观、微观多个层次。从研究范围来看,宏观层面涉及长三角区域、上海大都市圈、上海市域等层次;中观层面有分区域、重点地区模型;微观层面有路段、道路交叉口、综合交通枢纽模型。从功能来看,有战略规划、城市交通系统运行、人流和车流微观仿真、机动车排放等。

大区域模型覆盖长三角三省一市所有地级市。目前已经建立了上海与长三角三省一市所有地级市的需求模型,未来将结合长三角一体化工作推进,对模型做进一步深化完善。市域综合交通模型由10多项子模型组成,主要应用于市域交通需求预测、战略方案及政策措施的决策支持评价。近几年,针对网约车、新能源车、共享单车等新交通模式对模型架构和参数进行了调整优化。地区交通模型主要是支撑局部地区的交通规划决策,对局部区域进行细化研究,例如虹桥商务区、郊区新城等区域交通规划模型。

道路交通运行模型主要用于道路交通系统的运行分析和车流预测。在大数据支撑的基础上将小客车按照牌照类别进行细化,增强模型对政策效果的精准评价功能。公共交

通运行模型主要用于城市轨道交通及公共汽车交通系统的运行分析和客流预测。随着城市轨道交通成网、高峰客流增加,上海特别研发了拥挤条件下的城市轨道交通客流分配算法,在延误成本中增加了断面拥挤度参数,进一步提高了城市轨道交通客流分配的精度。

机动车仿真模型构建了覆盖高速公路、城市快速路全网的动态车流仿真模型。该仿真模型主要基于高速公路收费系统、城市快速路线圈和车辆牌照识别系统等大数据构建。人流仿真模型主要针对综合交通枢纽的人流进行仿真模拟。

交通排放模型主要与环保部门、环境监测中心 etc 合作,将实时分车种的道路交通量与环境排放因子相结合,每半小时实时在线更新上海全网的污染物排放量。该模型在首届上海进口博览会期间为相关政府部门决策提供了很好的支撑。

上海交通规划与决策分析系统的基础是综合交通决策分析系统

综合交通决策分析系统是规划与决策分析系统的重要基础。主要包括综合交通调查分析系统、社会经济数据分析系统、地面公交数据分析系统、轨道交通数据分析系统、出租汽车数据分析系统、货车数据分析系统、道路交通数据分析系统、对外交通数据分析系统、移动互联数据分析系统等。系统汇集上海市历次综合交通调查数据和实时道路、公共交通以及货物运营数据,为政府部

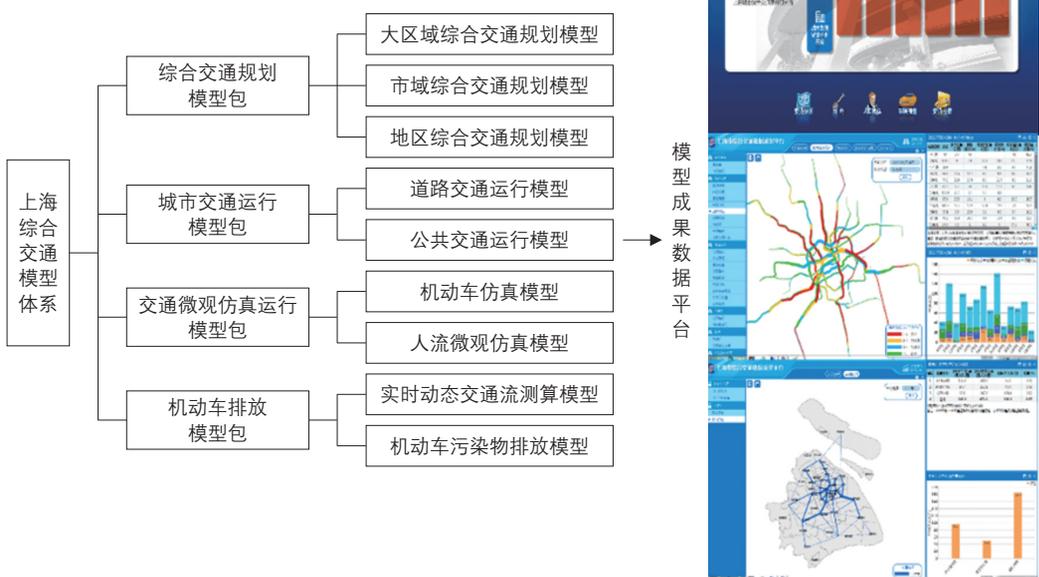


图2 上海综合交通模型体系架构

Fig.2 Framework of comprehensive transportation model system

门和相关单位提供服务。

上海交通规划与决策分析系统的应用

上海交通规划与决策分析系统已经在规划、建设、运营、管理、政策等上千个项目中得到了广泛应用。典型案例如下：

市域综合交通规划：以上海“十三五”综合交通规划为例。对上海未来五年发展态势做判断，确定下一阶段的发展目标以及重大实施方案的效果评价等。

区域综合交通规划：以虹桥商务区综合交通规划为例。虹桥地区交通非常复杂，大型综合交通枢纽和86 km²商务区的需求叠加，预测复杂需求对轨道交通系统和道路系统的影响。

重点区域规划：以自贸区新片区综合交通规划为例。该地区未来产业定位是高新技术产业，结合产业业态特征和国土空间布局，预测该地区交通流特征，包括区内、与国际国内综合交通枢纽、与长三角地区、与中心城区的联系，如何进行设施布局来满足该地区的高端商务需求等。

专项交通规划：以城市轨道交通近期建设计划为例。上海城市轨道交通运营里程已经突破了700 km，下一步需要建设什么标准的城市轨道交通系统，都需要决策系统进行技术支撑。

政策评价：以牌照限行政策评估为例。上海1/3的小客车都不是本地牌照，如何依据车辆出行时间、空间特征规律来确定其通行权限是决策支持系统的重要应用。

大型活动的交通保障：以进口博览会综合交通保障为例。结合分析不同参展人员的特征和客流特点，预判对日常交通的影响，评估不同交通保障方案的效果。

环境影响评价：以机动车污染排放实时预警系统为例。与环境系统合作建立了国内首个实时在线排放评估系统。该系统为环保部门摸底重点污染源、评估不同交通管制措施对环境指标的影响等提供了科学决策依据和精准预判。

随着大数据应用的不断深入，交通模型的精度和可靠度会越来越高，必将进一步加强交通模型对政府决策的支撑。

(薛美根, 王媛)

数字时代城市交通精细化、人本化规划管理决策支持

数字时代的新机遇

新时期人的出行需求在悄然发生变化。以公共交通为例，随着生活水平提高及出行

目的的丰富，对公共交通服务提出更高而且差异化的要求，不同人群、不同出行目的对舒适性、可靠性、便利化的目标要求都不一样。因此，城市公共交通由提供基本可达性的服务，已经转化成为面向不同人、不同目的的差异化、门到门的全链条服务。这就需要对人的出行，特别是对公共交通的出行需求有更精准的感知，以支撑更科学的线网规划、动态调度以及全过程的服务。

在以大数据、网联技术及人工智能为代表的数字新时代，利用浮动车、手机、IC卡、众包、网络签到、遥感影像等大数据，可实现用地感知、出行感知、运行感知及能耗排放的环境感知，从而为城市交通系统科学规划、实施和效果的评估及滚动调整提供了新的机遇。

数字时代还催生了很多新业态、新模式，例如共享单车、定制公交、合乘等，特别是自动驾驶的出现拓展了公共交通服务的范围或者是人群，公共汽车小型化、编组化、运营定制化、需求响应化、模式混合化将成为未来新趋势。

新的时代也为公共交通规划管理和服务决策带来了新变化。决策目标越来越向人本化发展，也就是提供面向人的差异化需求，提供门到门的全过程生活链和出行链协同、综合服务。同时，感知能力及智能决策能力的提升可以支撑分区域、分人群的精准服务，因此决策越来越呈现动态化、精细化的特点。

大数据支持的公共交通全息感知、评价及致因分析

感知、评价、致因分析是最终决策的基础。数字时代可以实现海量个体出行全链条的感知。除了利用IC卡、GPS、手机信令等数据获知公共交通系统内的客流、车内时间等信息外，利用蓝牙、Wi-Fi等主动探测技术，可以获知从家到公共车站的时间及方式、候车时间、换乘时间等，进而利用机器学习等方法，可以进行人群识别，包括出行目的、出行喜好等。

在区域层面，利用客流量、出行距离及出行时间等数据，可以对区域时空特征进行画像。并通过聚类方法进行区域分类，从而对不同类别的区域进行分类精准管理或者规划。

在全面感知基础上，根据不同目的可进行问题导向评价。例如，可达性是反映人本化目标达成的主要指标，其内涵十分丰富，

除时间可达性以外，还有通勤可达性、机会可达性等。任一区域通过评估给定时间出行能覆盖多少工作机会及生活服务设施，可助力用地与公共交通的协同规划，提高机会可达性。

多维度可达性评估之后可以利用大数据挖掘致因，并针对性地采取对策。如时间可达性低的原因可从车内时间、换乘时间、接驳时间等全链条进行分析，进而对公交专用车道设置、信号配时、换乘次数、换乘条件、运力调度、站点设置等多个方面寻找背后原因。

数据驱动的线网优化决策支持及精准服务支持

公共汽车线网优化调整是最常见的决策问题，在大城市通过传统交通模型进行调整的工作量过大。在大数据时代，通过各种数据获知能反映线网布局、客流和服务水平问题的各种指标，并建立相关关系，进而通过数据及问题驱动，有针对性地初选线网调整方案。例如根据线路最大满载率、客流平均运距等指标组合，梳理城市哪些公共汽车线路应该撤销、延伸、截弯取直等。获得初步调整方案后，还需要做预评估，例如调整后的线网覆盖性、线路可达性、乘车便利性、客流适应性、运营适应性，从而了解线路调整对系统整体及个体出行者的正面与负面影响。以上过程可通过决策平台开发实现调整的自动生成及优化。预评估之后则可通过配流模型进行更为精准的评价。

通过大数据获知分区域、分人群精准画像，还可为人本化、精准化服务提供决策支持。例如，需求响应公交是一种用户向系统发起即时或预约的出行需求，系统根据算法将匹配的车辆以不固定时间、车站和线路的形式来满足用户需求的出行服务模式。依赖于需求精准感知及智能决策技术，其运营能更好地满足差异化出行需求。

未来发展展望

未来公共交通的发展趋势之一是用地与公共交通系统一体化，即多层次公共交通线网规划设计要与城市用地密切协同，促进生活链与出行链深度融合。借助三维GIS平台可实现用地与公共交通系统一体化的智能决策。

发展趋势之二是规划、运营服务一体化。例如需求响应式公交往往是不固定线路和车站，线路、车站及调度方案均随需求动态设置。这需要对潜在需求的精准识别及动态需求的及时响应处理。

发展趋势之三是信息技术催生新的运行管理模式。随着5G、自动驾驶、车路协同等技术发展，可实现公共汽车编组运行、专用车道共享等。

未来支撑公共交通服务的精细化、人本化服务还需要多主体合作、数据共享、高精度仿真和多学科交叉，尤其是如何将传统的基于静态调查数据的模型驱动的决策方法，与动态数据驱动的智能决策模型相结合，提高决策人本化、智能化、动态化、精准化，仍任重道远。

(陈艳艳)

城市交通综合决策平台探索及应用——深圳智慧交通发展的探索与实践

智慧交通发展建设历程

当前深圳基本完成所有土地的开发建设，交通建设也进入了存量挖潜时代，研究重点已转向如何通过盘活存量实现发展增量。智慧交通作为存量挖潜的重要抓手，自20世纪90年代开始，深圳已经历三个阶段的发展建设。

第一阶段始于20世纪90年代初，在交通模型、道路监测和智慧管控等方面开展了探索与尝试。1994年与境外公司合作，首次引入TRIPS交通模型，并面向深圳市高饱和度、高复杂度的交通管理需求，开发了SMOOTH交通信号管控系统；1998年创立首个交通仿真实验室，建立深圳市第一个道路交通实时监测系统和多层次一体化交通模型，为全市交通发展规划建设提供了有力支撑。

第二阶段为2005—2015年，这一阶段的主要任务是转变深圳市交通运输委员会、交通管理等部门分散重复建设、系统烟囱林立的态势，在建设过程中面临较多挑战，信息化系统建设方面总体趋于谨慎，但在本阶段后期经克服困难后取得一系列较为亮眼的建设成果，其中有许多前沿应用，如深圳交通运行指数平台、道路交通安全系统、实时动态交通碳排放分析系统等。

第三阶段自2015年至今，随着大数据、移动互联网等技术迅速发展，所能获取的数据种类和数量越来越广，深圳智慧交通建设理念进一步革新。运营、服务和管理成为深圳市城市治理和交通治理非常重要的核心。在信息化建设方面，已由面向一个部门转变成面向一个区域，服务对象更加多样化，建设内容也更为丰富，如福田区智慧交

通工程建设(约5 km²)。在信息采集方面,重建该片区1 500多盏路灯,同步挂载包括5G微基站、电警、视频、雷达、RFID等智能设备,实现该片区交通运行的无死角全息感知,并在此基础上,面向片区交通治理、公共交通服务和非机动车空间,构建一套完整的智慧交通体系,大幅提升该片区出行品质。此外,在大数据决策支撑方面,已由服务于传统空间规划布局深入到交通行业的细分领域,例如深圳全市的交通信号配时,政府开始推行购买服务的模式,由政府主导的配时调控转向交由专业的交通企业负责,为全市1 000余个信号控制交叉口保驾护航。

先行示范下的智慧交通探索与实践

在深圳社会主义先行示范区的主导下,全市大力推进新型智慧城市和“数字政府”建设,智慧交通建设迎来新的机遇与挑战。新时期城市交通综合决策平台发展建设需要重点解决三方面问题:一是支撑空间规划如何更加精准;二是支撑政策调控如何更加有效;三是如何通过精细运营服务支撑城市交通治理。

1) 支撑城市空间精准规划。

在区域层面,自2009年珠三角城市便开始谋划都市圈一体化发展,但在推进过程中存在许多困难。现阶段深圳市已着手通过综合交通一体化平台建设,强化与周边城市各方面联系,推动国家近期提出的深莞惠交通运输一体化平台建设。

在市级层面,深圳市的规划落地情况在全国各城市中处于前列,但由于发展太快,仍存在交通规划与城市发展相背离的情形。例如,深圳市科技园建设中,规划就业岗位18万个,开发量188万m²,如此高强度开发项目中轨道交通建设迟迟未落地。2017年,深圳市城市轨道交通800 m范围人口覆盖率仅有30%。当前深圳市正在建设的交通运输一体化平台的重点就是解决规划建设与城市发展匹配协调问题。

在片区层面,深圳市正通过片区级交通一体化平台建设,助推核心区出行品质提升。以福田区为例,大规模开发建设始于2000年左右,如今已成为全国范围内单位面积GDP产值最高的地区之一,福田区经济持续稳定发展离不开综合交通枢纽建设和片区智慧交通品质升级。

2) 支撑宏观政策精准调控。

近几年,深圳市城市发展向全面化、成熟化迈进,出行量和城市建设均步入快速通

道,但交通政策宏观调控成效不大。例如在公共交通出行方面,仅对公共交通的财政补贴便达80亿元人民币,但公共交通客运量仍呈逐年下降趋势,对公共交通运营企业形成了巨大压力,其中一个主要原因是对公众出行规律的掌握不足。此外,公众的出行需求也开始向多样化、个性化转变,通过对不同人群的出行方式进行全面调查和统计分析,可以发现公众出行的许多特点,如有孩家庭与无孩家庭的出行方式差异巨大。深圳市建设的城市交通综合决策平台正开展细分人群出行规律分析,精细支撑公共交通补贴、交通需求调控等宏观政策制定。

3) 精细交通运营服务。

面向城市交通综合治理,深圳市运用交通大数据在城市交通运输管控、设施隐患防控、停车矛盾缓解、公共交通资源优化、片区综合治理及MaaS出行服务等方面做了探索性尝试,并取得良好效果。

交通运输管控方面,经大数据分析发现大量交通事故由货车违规驾驶引起,深圳正将重点货运GPS与道路视频卡口数据关联研判,开展对货运运输事前、事中、事后全流程管控,有效降低了城市货运交通事故发生率。现阶段深圳交通事故死亡率长期维持在全国最低水平。

交通设施隐患防控方面,在无锡高架桥侧翻事故后,深圳市开展了道路设施的智慧监测,结合桥梁上布置的视频监测设备,利用AI智能识别车辆的超重、超载现象,并开始尝试将传感器直接植入设施本体,及时有效发现城市交通设施安全隐患,将以往的设施被动维修模式逐步转向主动养护,大幅提升了深圳市政基础设施的自动化养护水平。

停车供需矛盾缓解方面,深圳市2012年开始逐步采集城市停车场实时车位信息,并通过互联网及诱导屏等多渠道对外发布,有效缓解了停车信息不对称的矛盾。

公共交通资源优化方面,在人流密度高速增长背景下,深圳市开展了第三轮公共汽车线路调整研究,通过交通决策平台的大数据研判分析,支撑不同道路等级的公共汽车交通收费问题研究,为更精细的公共交通资源配置提供有力支撑。

片区综合治理方面,由于深圳市工作日夜晚人流仍相对较大,通过视频监测设备采集行人的出行特征数据,并对行人轨迹进行跟踪识别,提炼出主要出行规律,掌握白天和夜晚不同人流的活动特点,支撑对片区空

间品质的个性化改造与升级。

MaaS(Mobility as a Service, MaaS)出行服务探索方面,在深圳湾生态科技园等个性化出行需求旺盛的区域开展了按需响应的通勤服务。通过研发公共汽车预约平台,公众可以实时预约上车时间与地点,营运公共汽车会根据乘客预约情况实时调整线路及发车时间,为早晚高峰轨道交通接驳客流提供了便捷的按需换乘服务,取得了良好效果。当前深圳湾生态科技园入驻人口约3万人,平台用户已达6千多人,在深圳市公共汽车线路普遍亏损的态势下,按需响应的三条线路运营收入为成本的3~5倍,后续深圳市将以公共汽车交通为切入口,打通与其他出行方式的支付接口,与轨道交通、共享单车等构成一站式出行模式,持续探索MaaS在深圳市的实践。

智慧交通发展建设的启示

在深圳市20多年智慧交通发展建设及先行示范探索实践下,面向于精准空间规划、精确政策调控,精细运营服务的城市交通综合决策平台建设经验主要可归纳为三点。

1) 精准感知是基石。运用海量视频及其他交通传感数据,构建面向交通治理的“人-车-路-环境”全方位实时精准感知体系,支撑城市交通综合治理与规划建设。

2) 交通认知是核心。需要结合智能识别、大数据挖掘、机器学习、人工智能等技术手段,将海量碎片化交通数据提炼成交通知识图谱,形成可认知的交通信息,为多层次交通分析决策提供有力支撑。

3) 云边协同是保障。云边端平台架构依托智慧路灯、智慧网关等设施,确保将各类前端采集的数据、共享的交通相关数据及时有效汇聚到城市交通综合决策平台,开展深度交通分析与应用,最大限度发挥交通大数据效用。

(宋家骅)

武汉市轨道交通规划编制体系与管理决策探索

武汉市城市轨道交通规划编制体系

武汉市城市轨道交通规划编制体系分为五个层次,包括轨道交通线网规划、轨道交通建设规划、轨道交通线路综合规划及修建性详细规划、轨道交通建设用地控制规划,从宏观至微观,与上游城市总体规划、控制性详细规划紧密结合,指导下游项目的初步

设计及施工图编制。

1) 轨道交通线网规划是轨道交通建设规划编制的依据,由市人民政府审批。武汉市迄今为止共计编制了四轮轨道交通线网规划,现阶段更加注重社会公平和线网效率。在工作组织上采用共同规划、纵横贯通的模式搭建两个平台,其一是构建各区各部门规划研讨平台,其二是构建武汉大都市区协商平台,拓展研究范围,充分反映各方诉求;在技术手段上整合全市人、地、房产、基础设施等空间数据,构建大数据互动平台,识别城市发展主要客流走廊,探索轨道交通和土地利用的内在规律;在资源配置上,充分挖潜轨道交通与城市空间结构的耦合关系,构建3条穿城快线和3条枢纽直通线支撑主城、新城轴向拓展,满足主城30 min通勤圈、枢纽45min交通圈以及大都市区1 h通行的时空目标。轨道交通线网结构与城市的自然山水格局一脉相承、强心强轴,放射成网。

2) 轨道交通建设规划是项目立项开工的前提,由国家发展改革委审批。轨道交通建设规划编制的主要内容是依据轨道交通线网和城市近期建设重点,提出轨道交通近期建设合理规模、建设方案和时序安排,并且开展资金平衡及财务分析、社会稳定风险评估、环境影响评价以及实施保障措施等方面的内容。武汉市按照轨道交通引领城市发展战略格局的战略提出分期建设方案,由主城向外围新城逐步拓展。目前,武汉市已经通车运营轨道交通里程339 km,日均客运量370万人次 $\cdot d^{-1}$,换乘系数1.53,客运强度超过1万人次 $\cdot km^{-1}$,步入全国轨道交通建设第一方阵。

3) 轨道交通线路综合规划及修建性详细规划是线路总体设计和初步设计的依据,由市规划行政主管部门联合轨道交通建设单位编制,报请市人民政府审批。修建性详细规划对车站进行平面和竖向定位;综合规划编制的重点突出四个“一体化”,即综合交通一体化、城市功能一体化、地上地下物业一体化和景观环境一体化。规划通过合理组织轨道交通接驳体系,强化站点周边公共服务设施高效衔接;采用TOD或邻里中心模式,促进站点区域立体开发,并营造特色景观和区域公共空间,整体提升站点周边环境品质,实现站城一体。规划鼓励“地铁+物业”用地集约节约模式,采取上盖开发、配套开发及与周边地块联合开发等多种模式实现地铁建设的资金筹措。综合规划形成的设计导则对站点控制要素提出具体要求,对工

程设计阶段具有指导作用，同时从项目工程可行性研究的角度提出相关需求，反馈给综合规划，综合规划和工可研究互为指导与配合。

4) 轨道交通建设用地控制规划是轨道交通能够建设实施的用地保障，由市人民政府审批。为统筹协调轨道交通建设与城市用地开发的关系，武汉市规划行政主管部门会同轨道交通建设单位对已经完成的轨道交通线网规划和建设规划组织编制《城市轨道交通建设用地控制规划》，通过调查轨道沿线用地权属，协调总体规划、分区规划、市政专项规划等，依据相关法律、法规多方案比选线形和站位，并在广泛征求相关部门意见和专家意见的基础上形成最终成果，报请市人民政府审批后作为城市市政黄线纳入规划“一张图”管理。

轨道交通管理决策支撑体系

武汉市轨道交通管理决策支撑体系包括政策、法律法规及信息平台。在政策法规方面，从市一级层面出台一系列的文件包括《武汉市轨道交通管理条例》和《武汉市轨道交通规划管理办法》，明确轨道交通规划编制体系，各层级规划的编制主体、审批主体、规划管控以及修改的要求；在支撑体系方面搭建交通信息平台，成立城市仿真实验室。武汉市计划用三年左右的时间，完成实验室的框架建设和示范项目的应用，量化探索城市治理的途径；在反馈机制方面定期对轨道交通开展运营后评估。从2011年开始，市规划行政主管部门针对每年开通运营的轨道交通线路定期组织评估综合社会效益和车站内外配套设施实施情况，查找存在的问题，形成决策评估报告，提交给市人民政府。市人民政府决策后形成文件签发给地铁集团进行整改落实，形成一个动态评估和更新的过程。

地铁城市建设若干问题探索

1) 武汉市在评估总结轨道交通实施过程中，发现TOD模式下新城区轨道交通线路的快速建设与用地开发、人口导入滞后所带来的客流风险问题及综合配套同步实施问题是当前很多城市面临的一个普遍问题，值得重视。

2) 在新一轮国土空间规划变革下，增量扩展向存量优化转变，国土空间规划与综合交通规划的刚弹约束，“轨道网、公交网、慢行网”的融合发展，是支撑特大城市高质量发展重点关注的方向。

3) 在新型业态和新型交通工具不断涌

现的过程当中，居民逐步从车本位到人本位迈进，未来的城市发展应该是集约高效、宜居宜业的，如何对未来城市进行仿真和感知？如何高效解决各类人群的出行需求问题？应用大数据决策平台模拟城市交通、引导城市精细化发展，是管理决策者进行量体裁衣的基础保障。

(孙小丽)

综合交通大数据分析和辅助决策智慧平台

建设目标

交通行业正处于前所未有的数据创新驱动时代。通过构建综合交通大数据平台，推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合，发挥数据的基础资源作用，推进数据资源赋能交通发展，建立基于数据的城市交通治理能力现代化体系，实现交通强国建设目标，已成为当前交通行业研究的重点和热点。晶众一直致力于积极探索交通规划大数据科技创新道路，为全国各级交通研究机构提供集数据采集、数据分析和数据应用于一体的业务支撑平台——综合交通大数据分析和辅助决策智慧平台(以下简称“智慧平台”)。该平台实现了规划编制和决策过程的信息化、智能化和可视化，主要体现在三个方面：

1) 汇集数据资源、支持智慧研究。智慧平台整合多元数据资源，构建交通大数据中心，夯实研究基础。

2) 内置大数据模型、支持智慧决策。智慧平台内置大数据算法和交通模型技术，实现模型软件的自动化调用，提供便捷的方案编辑和评价操作界面，提高规划编制工作效率和决策技术支撑能力。

3) 对外信息服务、支持业务拓展。智慧平台面向社会提供多种形式的专业信息定制服务功能，可与外部平台进行数据交换和共享，提高规划编制单位和研究机构的对外服务能力。

大数据中心

大数据中心是智慧平台的基础，提供动、静态各类交通数据资源统一管理功能，包括数据采集、入库、维护、编辑、查询、统计和输出等。大数据中心由大数据库、基础数据库、调查数据库、设施数据库等构成。大数据库包括手机、视频、卡口、浮动车、IC卡、AFC、移动支付、ETC等交通动

态采集数据，基础数据库包括经济、用地、人口、岗位、环境等交通相关数据，调查数据库包括居民出行、流动人口、公共交通、道路交通、出入境交通、货运、商用车、生成源等交通调查数据，设施数据库包括二三维道路网、停车位、轨道交通及公共汽车线网、枢纽场站、非机动车和步行网、加油加气站和充电桩等设施基础数据。

提供多种数据采集服务，保障大数据中心定期维护更新。采集数据类型主要包括手机信令数据、货车GPS数据、交通调查数据、停车设施数据、二三维路网数据、轨道交通及公共汽车线网数据等。同时，自主研发了调查APP和小程序、机动车流量和OD视频采集及图像识别、居民出行停留点识别和轨迹补全、三维路网制作等数据采集软硬件设备，有效提高了数据采集精度，降低了采集成本。

大数据模型

大数据模型是智慧平台的“芯片”。基于交通出行理论和活动理论，将大数据技术和模型技术进行深度融合，构建了宏-中-微观多层次模型体系，并借助深度学习、超级计算等算法，实现对产业、城镇、通勤、生活、公共活动等空间特征的量化解析，包括范围、形态、结构、要素、规模、强度、频率等，实现国土空间规划、都市圈建设和交通专项规划建设等研究和决策过程所需的现状分析、趋势预测和方案评价功能。

自主研发了模型可视化应用系统，降低模型使用门槛，规范模型使用流程，扩大模型使用者范围，提高模型使用工作效率，从而更加充分发挥模型的重要作用。

应用系统

智慧平台面向规划编制和决策研究过程提供全方位数据分析应用信息化服务，由交通年报系统、交通评估系统、方案评价系统和规划一张图系统等构成。

交通年报系统的主要功能是定期发布专业版的城市交通发展报告。通过接入城市交通行业主管部门和运营企事业单位的统计报表，构建城市综合交通发展指标指数体系，并采用政务云和公众移动端等方式对外发布行业动态，为管理部门、研究机构和社会公众提供专业信息服务。

交通评估系统的主要功能是支撑现状评估研究。基于大数据深度挖掘成果，提供不同区域、不同层面、不同系统的交通承载

力、出行需求和交通运行服务水平等分析功能，识别交通薄弱环节，辅助提出诊断建议。交通评估系统由空间评估、道路交通评估、轨道交通评估、公共汽车交通评估等子系统构成。

方案评价系统的主要功能是支撑方案编制研究。面向决策管理人员和规划研究人员，通过友好便捷的操作界面，自动化调用交通模型，提供用地和道路方案编辑、评价和比选功能，提高工作效率，丰富汇报效果，现场进行方案推演辅助决策，适用项目范围包括控规、建设项目、道路规划建设、交通组织、小汽车管控政策等。

规划一张图系统的主要功能是支撑国土空间规划研究。按照《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)，整合铁路、场站、城市客运交通、非机动车、城市道路交通、停车场及加油加气站等各类交通设施现状和规划信息，构建交通一张图，衔接国土空间规划大平台，并提供交通建设关键指标的重点评估、动态监测和预警功能。

(董志国)

基于移动运营商数据的居民出行全息画像

在多源数据融合的大趋势下，为什么在运营商的数据这个点上做持续深入的挖掘，这有其内在原因。移动运营商数据是一种泛用性的时空类型数据，该类型数据无损耗地反映了城市各类型人群的出行活动时空规律。通过对数据的深度挖掘，可以对不同居民出行行为进行精准画像，还原其所有出行行为发生的起讫点、路径、方式。以此为基础，可以进一步深入分析交通行为和城市空间、交通设施之间的互动关系，既有研究价值也有功能应用价值。

探索思路

对运营商数据进行挖掘处理，构建一个完整的逻辑链条，将各个模块串联起来，不断融合校核，提升指标精度。首先判断居民出行端点(起讫点)，初步识别人口和就业岗位；然后还原出行路径，判断出行目的和方式；基于出行目的反馈第一阶段的人口和就业岗位指标，并进一步反馈路径、目的、方式。通过这个不停迭代的算法体系，逐步精准识别各阶段挖掘指标。

出行端点识别的基础是手机数据漂移以

及乒乓效应的治理，需要把出行端点定位到真实出行的点上，再进一步定位到路网上。出行端点的识别误差是影响后续指标精度的关键误差，在既有运营商大样本量数据背景下依然会产生大量误判。为了解决出行端点的识别误差，一方面需要通过算法的逐层迭代，逐步降低误差概率；另一方面可以借助运营商的新型数据(测量报告数据)对端点可能存在区域进行子片区切分。

路径、方式识别需要两个核心的算法技术进行支撑。一是子路网切片基础，在做路径搜索过程中必须对可能搜索路径集合相关联的网络进行子路网的切分，保障路径搜索在有限的范围内进行，这样才能在很大程度上保证效率。二是启发式出行轨迹路径匹配，基于识别路径的历史经验规律，基于速度和轨迹模式综合确定出行的可能轨迹和方式结构。

既有成果

基于南京市全域数据，算法可以将90%的路径进行识别，同时研发团队和移动运营商联合做了一个路径测试，判断识别路径的准确程度。经过测试，路径搜索准确率在80%左右，误判主要发生在端点处。现阶段研究成果能够对规划模型的构建、现状分析和规划方案的评估提供支撑作用。

在出行方式判断方面选取轨道交通场景进行算法验证分析，验证既有模型能否匹配轨道交通出行者的全过程、全方式出行链。

地铁内部有运营商微基站，基于微基站信号数据可以初步识别利用轨道交通的人流。但是如果只基于微基站数据进行筛选会出现结果性偏差，因为当距离过近时，很多非轨道交通乘客也会利用微基站进行通信。对传统算法进行验证发现，如果是地下车站，轨道交通客流会有5%~10%的误判，特别是核心商业周边的轨道交通车站，误判率会更高。而对于外围高架车站，由于没有空间隔离，误判率可能会超过50%。

基于此，需要识别全方式或者是全路径的出行轨迹，将轨道交通乘客与轨道交通沿线过路用户、核心商业周边游览用户进行区分，进而精准识别轨道交通乘客规模、来源、去向。在路径轨迹算法识别后，通过与轨道交通各站点上下客量对比，结果相对于传统算法更为契合。

研发团队还将进一步聚焦公共汽车交通系统，但是出行端点识别的困难是研究中很

大的制约。团队将基于测量报告数据进行融合分析，攻克端点误判问题。测量报告数据类似GPS数据，反映用户的精准经纬度坐标，精度在50~100 m左右。测量报告数据对于静止用户的搜集频率比较高，所以在起点的时候，可以直接定位到建筑级别，有效提高端点判断准确率。

应用前景

运营商数据的应用场景比较广阔，大致有三个方面的。

首先，基于运营商数据进行城市空间监测的全尺度、全过程监测。除了常规的人口、就业岗位、职住、出行OD以外，进一步分析监测城市功能中心分布、功能中心影响范围、功能互动走廊，这样才能将城市空间描摹出来，为后续规划编制打下基础。

其次，基于用户全过程轨迹画像结果，融合城市用地空间、交通设施供给和交通管理措施，进行交通现象的成因分析、症结分析，切实抓住现状问题痛点，为规划战略、方案形成提供最直接的支撑。

最后，基于大样本轨迹分析成果，将传统宏观预测模型底层理论基础进行智能化升级，利用机器学习替代传统统计理论，驱动预测模型技术的新一轮发展。

(程晓明)

城市交通信息化与2035愿景

城市交通与信息化

王炜教授《面向交通强国的战略交通分析与仿真技术》的观点提供了交通信息化角度的大框架。信息化不会仅仅停留在现有层面上，下一阶段还将带来社会重大变革，会给城市交通学科带来新机遇。不仅是交通规划实践，与之相关的专业教育也需要研究这个问题。

城市交通信息化发展应该与城市发展目标一致，是基于城市交通网络的信息化发展，超越了基础设施建设。信息化手段是促进城市网络不同对象的联系和协同，要基于大数据的基础模型创新，从城市需求管理和交通政策出发促进交通信息化发展。

此外，城市交通信息化不是独立的，在城市交通网络构建、运行和服务框架下需要更好的顶层设计。信息化技术特别是移动互联网和大数据，需要运用经济学、法学、社会学等多科学开展综合交叉研究。

信息化推动城市交通发展

在信息化背景下城市交通的三个基本问题：一是解决人的出行需求，关键是从城市交通发展层面上解决问题；二是城市交通是以城市群为主体形态的新型城镇化的重要支撑，区域性的交通枢纽对中心城市辐射带动周边地区发展的作用和影响日益凸显；三是城市交通信息化的顶层设计是什么？就是提出城市交通信息化的网络构建，提前构思信息化将会带来的社会变革和城市交通变革。

在大数据研究背景下，城市交通系统规划与管理的复杂性和各类研究已经升级，服务城市的交通运行系统也变得复杂并且规模扩大。交通系统形态和出行服务需求已经不能简单用交通系统组织融合带来的可能去解决城市交通问题。

对金融产生最大的影响是支付方式，对交通产生最大的影响就是信息化。信息化使认知、评估、推演、交通复杂巨系统的能力显著提升，促使城市交通管理加快迈入“协同联动+动态优化+精准调控”的时代。

2035城市交通愿景

中国城市交通发展论坛和研究团队到2019年已经建立10年，论坛持续制度化举

办已经6年。论坛动员了全国各地30几个城市和高校的研究团队并将成果集中体现在国家自然科学基金委员会三个课题中，第一是2012年公共交通优先战略；第二是2014年和2015年新常态城市交通理论创新研究；第三是正在进行的城市交通治理研究。

2035年中国将成为世界第一大经济体，这是一个转折点。如何实现2035年城市发展的愿景，顶层设计思想是国家富强与民族振兴、绿色发展、创新驱动、链接全球，满足人民群众对美好生活的向往，美丽宜居、彰显特色、包容共享等(参见《城市规划学刊》2018年第6期《城市：40年回顾和新时代愿景》)。

而2035年城市交通的愿景如何实现？城市交通发展目标的要素是什么？正在研究的城市交通治理课题就是为了推进实现2035城市交通愿景，是国家治理能力现代化重要课题的内容之一。我们期待城市和城市交通治理能力的现代化体现在交通结构、出行效率、能耗水平、交通安全、交通公平、城市发展等各个方面。

(汪光焘)

(上接第49页)

以明确，对于此种条件下自行车的安全保障要求更无从谈起。国家或地方法规对于自行车通行权和通行规则的严谨定义是交通管理部门的执法依据，在此基础上，通过执法部门对各种损害自行车通行权和交通安全的行为予以严厉处罚，才能创造出真正安全的自行车出行环境。

参考文献：

References:

- [1] City of Melbourne. Annual Vehicle and Bicycle Counts[EB/OL]. 2017[2018-07-06]. <http://www.melbourne.vic.gov.au/parking-and-transport/cycling/Pages/cycling-data.aspx>.
- [2] Australian Bicycle Council. National Cycling Strategy (2011—2016) [R]. Sydney: Australian Bicycle Council, 2010.
- [3] Australian Bicycle Council. National Cycling Strategy Implementation Report 2016[R]. Sydney: Australian Bicycle Council, 2017.
- [4] Australian Government Department of Infra-

structure and Transport. Public Road-Related Expenditure and Revenue in Australia[R]. Canberra: Australian Government Department of Infrastructure and Transport, 2011.

- [5] Austroads Ltd. Cycling Aspects of Austroads Guides[R]. Sydney: Austroads Ltd., 2017.
- [6] Australian Government Department of Infrastructure and Transport. Walking, Riding and Access to Public Transport (Supporting Active Travel in Australian Communities): Ministerial Statement[R]. Canberra: Australian Government Department of Infrastructure and Transport, 2013.
- [7] Jacobsen P L. Safety in Numbers: More Walkers and Bicyclists, Safer Walking and Bicycling[J]. Injury Prevention, 2003, 9(3): 205-209.
- [8] John P. Cycling Down Under: A Comparative Analysis of Bicycling Trends and Policies in Sydney and Melbourne[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(2): 332-345.