



城市交通出行行为分析及多方式交通协同组织理论与方法

邵春福 董春娇 赵 丹 孟 梦 王博彬◎著



Trip Behavior Analysis and Theoretical Method for Multi-modes Collaborative Organization on Urban Transportation Systems



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国家科学技术学术著作出版基金 资助出版
工业和信息化部科技与教育专著出版资金

城市交通出行行为分析及 多方式交通协同组织理论与方法

邵春福 董春娇 赵 丹 孟 梦 王博彬 著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从基于活动的视角,研究了城市多方式交通网络中交通出行者出行行为辨识、出行形态、出行交通方式选择、网络交通流特性及利用交通信息服务的交通出行诱导与调控的理论与方法,内容包括城市交通基础、复杂系统及协同组织理论基础、城市交通出行行为调查与分析、城市交通多方式交通需求预测、城市交通多方式协同组织、城市交通多方式协同管理政策等。

本书可供交通工程和交通运输专业的本科生,交通运输工程和系统科学等学科的研究生,以及从事相关专业教育的科研工作者阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市交通出行行为分析及多方式交通协同组织理论与方法/邵春福等著. —北京: 电子工业出版社, 2018.4

ISBN 978-7-121-33808-3

I. ①城… II. ①邵… III. ①城市交通运输—交通运输管理—研究—中国 IV. ①F572

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 042947 号

策划编辑: 徐蔷薇

责任编辑: 徐蔷薇 文字编辑: 赵 娜

印 刷: 北京画中画印刷有限公司

装 订: 北京画中画印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 21.5 字数: 318 千字

版 次: 2018 年 4 月第 1 版

印 次: 2018 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 78.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: xuqw@phei.com.cn。

前 言

当前我国的城市普遍存在严重的“城市病”。道路交通拥堵、空气污染严重和交通事故频发严重影响着百姓的生活质量、交通出行、身心健康，困扰着政府的决策，阻碍着城市经济社会的可持续发展。

城市交通系统是包含道路、轨道交通、水上和航空节点的立体交通系统，规模庞大、结构复杂，又是由行人、非机动车、公共交通、私人小汽车和各种营运客货车组成的综合交通系统。

在城市交通系统中，交通出行者或载运工具通过道路和轨道交通等实现各自的位移，在交通节点（交通枢纽和站点）实现换乘和货物的运转，最终到达目的地。

城市交通系统的运营管理通常按照交通方式进行职能部门管理分工和企业单位运营，如交通运输局、交通管理局、公交公司、地铁运营公司等。各职能部门和运营企业分别建立了交通信息的采集、处理和发布系统，如 GPS 车辆定位、固定检测器、IC 卡、可变情报板 VMS、交通信息网站等，提供所

承担交通方式的交通信息服务。智能手机等移动通信设备为采集人们的交通出行提供时空动态大数据。

本书基于城市交通系统运营过程中丰富的信息资源，探索利用综合交通信息服务诱导交通参与者进行交通方式之间的换乘和路径选择，以均衡城市交通系统的交通流，缓解道路交通拥堵，减少汽车尾气排放，提高道路交通安全。

本书从基于活动的交通出行行为出发，研究城市多方式交通信息对出行交通方式选择、出行链及出行链结构的影响，并通过通勤交通和节假日交通出行行为的 SP 和 RP 调查，研究出行链构建及其随着信息服务的变化产生的出行链变化及演化。考虑这种变化，针对城市交通中的多方式交通网络，基于超级网络，构建多方式交通流动静态分析理论模型，并以城市中部分区域为对象进行应用分析。最后，从城市多方式交通协同管理的视角，研究交通需求协同管理和交通协同政策等。

本书由北京交通大学邵春福教授负责撰写第 1、第 6 章并参与编写其他章节及统稿全书，美国田纳西大学董春娇博士、助理教授负责撰写第 2 章，中国人民公安大学赵丹博士、讲师负责撰写第 5 章，新加坡南洋理工大学孟梦博士负责撰写第 4 章，北京交通大学王博彬博士负责撰写第 3 章。

本书还受国家自然科学基金面上项目“多方式诱导下组合出行模式及出行链重构演化机理”（批准号：51178032）和国家重点基础研究发展计划资助课题“多方式交通运行的协同组织与控制”（编号 2012CB725403）资助，在此一并向相关人员表示衷心感谢。

由于著者能力和水平所限，内容难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

著者

2018 年 3 月

目 录

第 1 章 城市交通基础	1
1.1 概述	2
1.2 城市交通	4
1.3 城市交通的问题	5
1.3.1 城市道路交通拥堵产生的原因	6
1.3.2 交通事故频发的原因	7
1.3.3 城市交通环境恶化的交通致因	8
1.4 城市交通的发展	10
参考文献	14
第 2 章 复杂系统及协同组织理论基础	17
2.1 概述	18
2.2 行为科学	18

2.2.1	基本概念	18
2.2.2	理论基础和基本内容	20
2.2.3	行为科学的研究方法	23
2.2.4	行为科学在交通出行行为分析中的应用	26
2.3	协同学	33
2.3.1	基本概念	33
2.3.2	协同学的主要思想及应用范围	36
2.3.3	协同学原理及其模型	39
2.3.4	协同学在交通中的应用	43
2.4	人工智能与机器学习	48
2.4.1	人工智能	48
2.4.2	机器学习	54
2.4.3	神经网络	60
2.4.4	遗传算法	67
2.5	复杂系统科学	72
2.5.1	基本概念及建模技术	72
2.5.2	基于智能体的建模方法	77
2.5.3	模糊理论	83
2.5.4	混沌理论	89
2.5.5	复杂网络技术	100
2.6	信息科学与大数据挖掘	104
2.6.1	基本概念	104
2.6.2	信息获取技术	109
2.6.3	大数据挖掘	113
2.6.4	常用的数据挖掘技术	116
2.7	组合优化理论与算法	120
2.7.1	基本概念	120

2.7.2	目标规划与多目标决策	121
2.7.3	动态规划与最短路搜索	125
2.7.4	图与网络优化	134
	参考文献	138
第3章	城市交通出行行为调查与分析	143
3.1	概述	144
3.2	行为科学基础	145
3.3	日活动计划特性指标	148
3.3.1	日活动计划时空特性	148
3.3.2	日活动计划结构特性	150
3.4	交通出行行为调查	152
3.4.1	交通出行调查方法	152
3.4.2	通勤出行行为调查	161
3.4.3	节假日出行行为调查	165
3.5	信息对日活动计划特性影响分析	168
3.5.1	信息对日活动计划时间特性影响分析	168
3.5.2	信息对日活动计划空间特性影响分析	170
3.5.3	信息对日活动计划结构特性影响分析	172
3.6	基于 Nested Logit 模型的出行行为分析	174
3.6.1	背景与目的	174
3.6.2	双层 Nested Logit 模型构建	175
3.6.3	样本数据描述	177
3.6.4	模型参数估计和精度检验	179
3.6.5	模型结果分析	180
3.7	基于结构方程模型的出行行为分析	181
3.7.1	研究背景与目的	181

3.7.2	结构方程模型概述	182
3.7.3	结构方程模型建立	186
3.7.4	模型结果分析	189
	参考文献	192
第4章	城市交通多方式交通需求预测	197
4.1	概述	198
4.2	城市交通单一出行模式下交通需求预测	198
4.3	城市交通组合出行模式下交通需求预测	204
4.3.1	多方式交通需求预测框架	204
4.3.2	需求函数	210
4.3.3	费用函数	211
4.3.4	随机用户平衡条件	215
4.3.5	变分不等式模型	216
4.3.6	求解算法	217
4.3.7	算例	218
4.3.8	基于出行链的组合分配	225
4.3.9	考虑路网降级的组合分配	226
4.4	面向城市可持续发展的交通需求预测	236
4.5	组合出行模式下动态解析分配模型与算法	241
4.5.1	概述	241
4.5.2	DDSUE 平衡条件	242
4.5.3	约束条件	244
4.5.4	模型建立	251
4.5.5	求解算法	252
4.5.6	算例	253
	参考文献	265

第5章 城市交通多方式协同组织	271
5.1 概述	272
5.2 出行链的结构特征及交通诱导	273
5.2.1 出行链的结构特征	274
5.2.2 多方式交通诱导	275
5.3 出行链重构分析方法	279
5.3.1 出行链重构的概念及表现形式	279
5.3.2 出行链重构机理分析	281
5.3.3 基于多阶段决策理论的出行链重构分析方法	282
5.3.4 出行链重构技术	288
5.4 出行链重构效果分析	290
5.4.1 基于统计方法的出行链重构效果分析	290
5.4.2 基于模型的出行链重构效果分析	293
5.5 出行链的演化	298
5.5.1 出行链演化过程中出行者的学习机制	298
5.5.2 出行链演化建模方法	300
参考文献	301
第6章 城市交通协同管理政策	305
6.1 概述	306
6.1.1 城市交通环境及问题	306
6.1.2 城市交通环境影响因素	307
6.2 城市交通政策需求	309
6.2.1 交通经济政策	309
6.2.2 交通科技政策	310
6.2.3 交通管理政策	310

6.3 城市交通政策	311
6.3.1 城市交通环境法律政策	311
6.3.2 城市交通经济政策	312
6.3.3 城市交通需求管理政策	316
6.4 城市交通多方式协同管理案例分析	318
6.4.1 英国伦敦	318
6.4.2 日本东京	319
6.4.3 美国纽约	324
参考文献	329
后记	331

第 1 章
Chapter 1

城市交通基础

1.1 概述

人和财富的聚集产生城市，人利用交通基础设施的出行和货物依靠载运工具在交通基础设施的移动而产生交通流，形成城市交通。

古往今来，城市政治、经济、社会文明和百姓生活需要交通基础设施的支撑和引导，从而形成城市的繁荣。

城市交通的基础是人的交通出行和货物的移动，即交通需求；城市交通的质量指交通基础设施的提供（交通供给）与交通需求的耦合。这种耦合因城市的性质不同而异，也因城市交通组织管理的科学化程度不同而异。

国务院《关于调整城市规模划分标准的通知》（国发〔2014〕51号）将我国城市按照城区常住人口划分为五类七档，五类分别是：50万人以下的城市为小城市，50万人以上100万人以下的城市为中等城市，100万人以上500万人以下的城市为大城市，500万人以上1000万人以下的城市为特大城市，1000万人以上的城市为超大城市。

城市交通基础设施具有多样性，而且随着城市规模的增大，在总规模变大的同时种类也变多，如道路、城市轨道、水路、索道等；就交通方式（或称交通工具）而言，又有步行、非机动车、摩托车、小客车、货车、公交车、轨道交通等。在超大城市和特大城市及部分大城市，道路还有快速路、主干

路、次干路和支路之分，城市快速路又有高架、平面和地下结构；在小城市和中等城市则少有城市快速路。

城市交通网络规模大、结构复杂，交通工具数量庞大。以北京这样的超大城市为例，截至2017年年底，常住人口2170万人，机动车保有量561.9万辆，轨道交通运营里程608km、22条线路、370个车站，道路约6500km，公交车运行线路1000余条、运营里程2万余km、公交车辆2.9万辆，出租汽车约7万辆，构成了庞大而复杂的交通供给系统。

城市中，人们的交通出行数量巨大、出行目的和交通方式多样、目的地复杂。仍以北京第5次居民出行调查结果为例，全市、六环以内和中心城区的日出行量分别为5685万人次、4445万人次和3469万人次；出行目的有上班、上学、旅游、购物、探亲、娱乐等，以这些为目的的交通出行因季节、日期、时段不同而异；利用上述交通方式的交通出行除因季节、日期、时段不同等不同外，还因出行的目的和出行距离等的不同而异；出行目的地也依然复杂，与人们的居住、工作、学习、购物等出行需求密切相关。

上述交通供给和城市居民的出行的耦合形成了交通网络上的交通流和交通状态，即道路交通流的畅通、拥堵，以及公共交通的乘坐舒适与否。然而，在交通基础设施供给总量一定的条件下，如何维持交通供给与交通需求的平衡本身是一个极其复杂、难度极大的重要的科学问题。

城市交通系统中，有众多人的参与，人们具有不同的行为规范和出行行为，难以全部用类似于自动控制等工程技术加以控制或加强约束。人人参与交通决定了交通既是民生问题，又是社会问题。

因此，城市多方式交通系统是复杂巨系统，需要科学的方法进行运行组织和管理。

1.2 城市交通

1. 城市交通的定义

城市交通是在城市范围内，由交通基础设施（交通网络、枢纽节点和设备等）、交通工具、交通运营、交通管理和交通服务等子系统构成，完成人流、物流和车流空间位移的综合交通系统。

2. 城市交通的构成

城市交通的构成可以分为交通基础设施、交通运输设备、交通参与者和货物等。就交通基础设施而言，有道路、城市轨道交通、水运和交通场站与枢纽等。城市轨道交通又分为地铁、轻轨和市郊铁路等。交通运输设备有车辆、轨道、机电设备和交通通信系统等。车辆又分为各种汽车、电车、轨道交通车辆、船舶、摩托车和自行车等。城市是人员高度聚集的场所，人人都是交通参与者，并且人员种类、年龄、文化程度和收入水平各异。因此，可以说城市交通系统具有交通基础设施密度高、交通设备品种多样、交通参与者多样，并具有高度复杂性的巨系统。在我国城市道路上，还有机动车、非机动车和行人共面的混合交通，又具有密度高、速度低等特性。

3. 城市交通需求

在城市交通领域，人们通常将需求分为刚性需求和弹性需求。

（1）刚性需求。受某种限制，时空聚集程度高的交通需求，如上班、上学、业务和有时间约束的货物配送等。

（2）弹性需求。基本不受限制，时空聚集程度低的交通需求，如观光、娱乐、度假、购物、看病等。

（3）需求量。城市人口密集和建筑密度高，因此交通出行需求巨大，并且分布不均衡，例如，2015年北京市常住人口2170.5万人，仅六环内日均出

行约达 4445 万人次，全市公交日均出行达 1110 余万人次；二环以内主要聚集了行政办公、金融、娱乐等业务，路网交通压力突出，日高峰平均交通指数（交通拥堵程度的度量指标，最高值为 10）日均 8.1。由于城市用地布局失衡，造成特殊时段方向上的客流和交通流失衡，2015 年北京的城市轨道交通早高峰常态限流站达 60 个；早高峰时段进城方向多条高速公路和城市快速路常发性交通拥堵，如东西南二环、东西南三环、西南四环、京藏高速、机场高速、阜石路、学院路等进京联络线。

（4）异质性。城市交通的构成、特征及交通需求因城市的类型和大小不同具有各自的特征，因此在进行城市交通规划、设计和管控时，在进行其城市特征分析的基础上“量身定做”非常重要，切忌用一个固定不变的模式套用所有城市。

4. 城市交通系统的特征

城市交通与城市互为因果，是与城市相辅相成的城市子系统。城市交通系统因人的参与而具有社会性、复杂性和时空动态变化特征；因地下、地面和地上的结构而具有立体化特征，因具有行人、非机动车、私家车、公交车、出租车、货车及城市轨道交通而具有多方式综合交通的特征。

1.3 城市交通的问题

城市规模的无序发展带来了诸多问题，甚至被称为大城市的“城市病”，主要表现为人口膨胀、道路交通拥堵、交通事故频发、环境恶化、住房紧张、就业困难等，其中道路交通拥堵、交通事故频发和因汽车尾气排放造成的环境恶化是城市交通的主要问题。

1.3.1 城市道路交通拥堵产生的原因

城市道路交通拥堵是交通供给和交通需求耦合失衡所致。然而，交通供给与交通需求均具有非常复杂的特征。

(1) 城市交通供给。在我国的大部分城市里，由于“先天不足”带来的交通供给不足是造成道路交通拥堵的基本原因。供给不足可以分为：交通建设用地供给不足、交通基础设施总量供给不足、交通体系结构和道路体系结构失衡等。

交通建设用地供给不足是指在城市用地中，交通建设用地配置总量和比例的不足，这是由于我国城市交通建设起步晚，在 GDP 至上的经济快速发展阶段，与工业、商业、房地产相比，城市交通用地没有得到应有的重视所致。

交通基础设施总量供给不足是指没有配置与城市经济社会发展及交通出行需求相适应的综合交通基础设施总量，在城市交通建设用地配置不足的环境下，也难以规划和建设合理的综合交通基础设施总量。

城市交通体系结构是指城市交通中各种交通方式运营里程所占的比例，即城市轨道交通、道路、水运等的比例结构。对于一座城市而言，合理的交通体系结构是缓解道路交通拥堵的前置条件。当然，不同类型和等级的城市应具有其合理的交通体系结构，其结构失衡将带来道路交通拥堵，如由于城市公共交通（含城市轨道交通）发展缓慢，造成过多的交通出行依赖私家车等私人交通工具，从而造成道路负担过重，交通需求超过其路网交通容量，带来道路交通拥堵。

道路体系结构是指城市道路中快速路、主干路、次干路和支路的比例。在城市道路体系中，即使道路总量供给合理，但由于其结构不合理也会导致交通出行特征与道路功能不匹配而引发道路交通拥堵。例如，由于支路和次干路配置过少，造成过多的短距离出行集中于快速路或主干路，从而造成快速路和主干路交通拥堵。