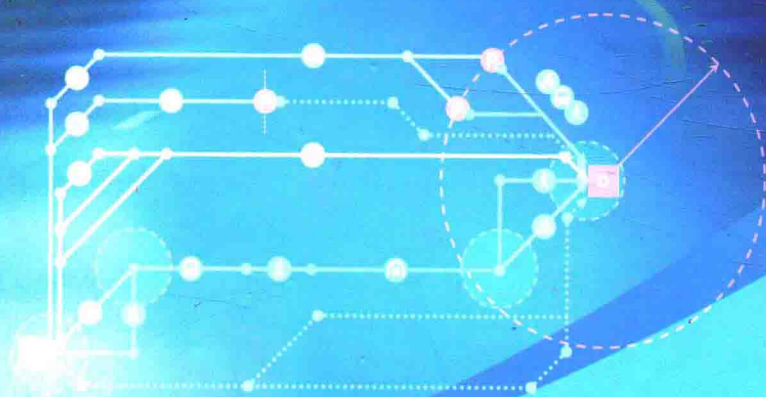


陈艳艳 刘小明 著

# 城市交通出行行为 机理及引导策略



科学出版社

# 城市交通出行行为 机理及引导策略

陈艳艳 刘小明 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书介绍了城市交通出行行为分析理论及方法的研究成果,从交通方式、出行链及路径选择机理以及出行行为引导策略等方面进行了讨论。本书主要内容包括:国内外关于出行行为研究方面的进展;个体出行行为过程及其影响因素分析;基于手机定位信息的群体出行行为时空分布特征分析;个体出行方式选择、区域出行方式选择、小汽车使用者出行链及出行方式链选择预测模型的建立;在前景理论的框架下,提出修正的多模式公交组合路径选择预测方法;在动态路径诱导系统的框架下,基于多 Agent 系统理论并结合导航技术对驾驶员路径选择进行建模分析;以出行行为引导为目标,建立两阶段交通需求管理策略生成及综合评价方法。本书涉及多学科交叉理论及方法,力求通过案例分析使读者了解城市交通出行行为涵盖的内容、理论及方法。

本书可作为城市交通运输领域从事教学、科研、规划及管理等相关工作的相关人员的参考用书,也可作为交通工程、城市规划专业高年级本科生及研究生的教材或教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市交通出行行为机理及引导策略/陈艳艳,刘小明著. —北京:科学出版社,2016

ISBN 978-7-03-049294-4

I. ①城… II. ①陈… ②刘… III. ①城市交通-交通运输管理 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 148091 号

责任编辑:刘宝莉 陈 婕 / 责任校对:桂伟利

责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张:16 1/4

字数:320 000

定价:100.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

我国一些特大城市,例如北京,正面临城市扩张、人口及机动车持续增长、出行总量保持增长趋势、步行自行车出行比例下降趋势明显、拥堵持续时间增加、交通拥堵加剧污染等一系列问题。

以高增长、高消耗、高排放、高扩张为特征的粗放型城市发展模式带来了城市的无序、低效开发,城市空间呈“摊大饼式”向外蔓延,形成了粗放的城市发展路径,机动化为主导的出行方式导致了安全、拥堵、环境等问题成为“必得”的“城市病”。城市空间及环境资源的有限性迫使城市交通发展的战略选择由机动化向绿色可持续交通发展转变。一方面,北京市正在进行大规模的公共交通基础设施建设,这将有利于打造高效的绿色多模式交通体系;另一方面,国外大城市经验表明,交通需求管理(TDM)策略的实施有利于引导出行向绿色出行方式转变,是保证绿色交通方式选择的持续性的重要保障。要想保证 TDM 策略对出行行为转变的有效性,必须从出行行为选择机理入手,研究其与出行者个体、家庭、社会、经济、设施、政策之间的相互关联关系,从而为 TDM 策略的制定作出科学的分析、评价和决策。

本书通过多源数据整理和分析,包括居民出行调查数据、手机移动定位数据、IC 卡客流数据、车辆 GPS 数据等,进行大数据分析与挖掘。一方面进行差异性的交通需求分析,对出行者按照出行距离、出行时间、出行目的、出行方式、出行起终点等要素进行交叉分类分析;另一方面,提取影响居民个体出行选择行为的影响因素,包括个人属性特征、出行链全过程特性、交通设施环境特征以及出行者满意度、出行需求特征等,利用结构方程模型、满意-行为意愿理论、计划行为理论等方法对出行者出行行为选择影响进行建模,对各种结果进行对比分析论证,找出影响出行者交通方式选择、出行时间选择、出行路径选择等关键影响因素。在此基础上,构建出行者出行行为选择预测模型,从宏观角度建立个体出行方式选择模型,从中观角度建立基于神经网络的区域交通方式选择模型,从微观角度建立基于前景理论的多路径选择模型。通过将北京市居民出行模式特征及差异化交通需求与交通需求管理政策作用进行耦合分析,提出兼具缓堵减排目标、作用人群及效果明确的出行行为引导策略措施方案,并对所提出的 TDM 措施方案以提高可接受性为目标进行出行行为引导有效性评价分析。

本书章节内容安排如下:第 1 章对我国大城市的交通背景做简要介绍,概括国内外关于出行行为研究方面的进展。第 2 章对出行行为过程及其影响因素进行说明,基于结构方程模型进行出行方式选择影响因素分析;利用多重对应方法对人群

进行划分,分析不同特性人群所倾向的出行方式;构建租赁自行车与公共交通组合出行持续使用意向综合模型,从心理学角度确定影响持续使用租赁自行车意向的显著性因素。第3章利用结构方程模型建立出行者个人属性、区位属性、家庭属性、出行时间、出行费用、出行方式和出行链类型之间的直接及间接影响关系模型,确定影响出行方式链和出行链的显著性影响因素。第4章利用移动定位信息进行海量个体轨迹采集,进行群体出行时空分布特征分析。群体出行行为特征参数包括:出行总量、空间 OD 分布、出行高峰持续时间、交通方式分担率、出行路径选择集聚、特定区域出行集聚特征等。第5章介绍利用累积 Logit 模型进行出行者个体出行方式选择、利用神经网络智能算法进行特定区域交通方式选择、利用巢式 Logit 模型进行小汽车使用者出行链及出行方式链选择的交通行为选择预测方法。第6章在前景理论的框架下,以地铁在常态运营下的行驶时间为单位广义费用,通过 SP 调查拟合路径选择影响因素的换算函数,建立广义出行费用计算模型,针对前景理论中关键的参考点选择方法,提出用预留时间对期望费用进行修正的多模式公交组合路径选择预测方法。第7章在动态路径诱导系统的框架下,进行驾驶员的决策意向调查,确定驾驶员路径选择的有决策权重的效用函数;基于多 Agent 系统理论并结合导航技术对交通系统进行建模,建立了出行前的各 Agent 模型和协商模型,并通过仿真进行验证。第8章建立两阶段交通需求管理策略生成及综合评价方法:第一阶段,基于行为引导的交通需求管理可行性多维评价内容及方法;第二阶段,TDM 措施出行行为引导有效性评价分析方法,并以低排放区拥挤收费为例进行实例分析。

本书以国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题“城市交通行为过程的基础理论研究”(2012CB723303)、北京市科委课题“交通出行行为机理及引导策略研究”(K2004011201301)以及北京市自然科学基金重点项目“多方式出行链协同机理及公交一体化关键技术研究”(Z1004011201301)的研究成果为主要内容编写而成。课题研究及本书编写过程中得到了北京交通发展研究中心的帮助和支持,课题组的科研人员王振报、赖见辉、原方、张伟伟、刘花、蔡熠文、魏攀一、郝世洋等博士、硕士研究生为本书的完成做了大量实际工作,在此一并表示感谢!此外,本书在撰写过程中参考和引用了许多国内外文献,在此对这些文献的作者也表示衷心的感谢!

本书介绍城市居民出行行为机理及引导策略理论及方法时力图系统全面,但由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

# 目 录

## 前言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 概述                    | 1  |
| 1.1 出行行为引导的必要性              | 1  |
| 1.2 出行行为分析方法                | 4  |
| 1.2.1 非集计理论模型               | 4  |
| 1.2.2 基于活动和活动链的理论模型         | 5  |
| 1.2.3 行为经济学理论模型             | 6  |
| 1.2.4 复杂性理论                 | 8  |
| 1.3 本书主要内容及章节结构             | 9  |
| 第 2 章 个体出行行为的影响因素分析         | 11 |
| 2.1 出行选择行为过程及影响因素分析         | 11 |
| 2.1.1 出行选择行为过程              | 11 |
| 2.1.2 出行选择行为影响因素分析          | 12 |
| 2.2 基于结构方程模型的出行方式选择影响因素分析   | 17 |
| 2.2.1 结构方程模型基本思想            | 18 |
| 2.2.2 理论模型的构建及假设            | 21 |
| 2.2.3 指标的选取及样本              | 21 |
| 2.2.4 模型结果分析及指标对的选取         | 23 |
| 2.3 不同出行方式选择倾向的特性人群划分方法     | 23 |
| 2.3.1 对应分析基本方法              | 24 |
| 2.3.2 出行方式选择倾向特性人群对应分析划分方法  | 25 |
| 2.4 出行方式持续使用意向模型            | 28 |
| 2.4.1 技术接受模型                | 28 |
| 2.4.2 计划行为理论                | 29 |
| 2.4.3 服务质量、满意度与顾客忠诚度关联分析    | 31 |
| 2.4.4 租赁自行车持续使用意向建模与分析      | 33 |
| 第 3 章 小汽车使用者出行链及出行方式链选择机理分析 | 46 |
| 3.1 出行链定义及时空聚类              | 46 |
| 3.1.1 出行链相关定义               | 46 |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 3.1.2 出行链类型划分 .....                    | 47        |
| 3.2 小汽车使用者个人、家庭属性与出行特征分析 .....         | 53        |
| 3.2.1 小汽车使用者家庭及个人属性分析 .....            | 53        |
| 3.2.2 小汽车使用者出行总体特征 .....               | 55        |
| 3.3 小汽车使用者出行链特征分析 .....                | 66        |
| 3.3.1 小汽车使用者出行链总体特征 .....              | 66        |
| 3.3.2 小汽车使用者基本属性与出行链类型选择分析 .....       | 67        |
| 3.4 小汽车拥有者出行方式链特征分析 .....              | 69        |
| 3.4.1 小汽车拥有者出行方式链类型划分 .....            | 69        |
| 3.4.2 小汽车拥有者基本属性与出行方式链交叉分析 .....       | 70        |
| 3.4.3 小汽车拥有者出行链与出行方式链选择分析 .....        | 72        |
| 3.5 小汽车拥有者出行链与出行方式链关系建模 .....          | 73        |
| 3.5.1 指标的选取 .....                      | 74        |
| 3.5.2 模型的结构化 .....                     | 75        |
| 3.5.3 模型结果分析 .....                     | 75        |
| <b>第4章 群体出行特征与城市用地及交通设施的关系分析 .....</b> | <b>78</b> |
| 4.1 基于信令数据的个体出行信息提取方法 .....            | 78        |
| 4.1.1 手机通信原理 .....                     | 78        |
| 4.1.2 基于移动终端的个体交通出行链提取方法 .....         | 80        |
| 4.1.3 工作地居住地模糊识别及通勤出行辨识方法 .....        | 82        |
| 4.1.4 基于地理时空学的出行链模糊分类辨识模型 .....        | 91        |
| 4.2 区域出行时空特性 .....                     | 101       |
| 4.2.1 不同区域居住者出行空间活动范围 .....            | 101       |
| 4.2.2 不同区域工作者出行时空积聚分析 .....            | 103       |
| 4.3 北京平均出行距离与通勤距离分布 .....              | 110       |
| 4.4 区域出行距离与土地使用的关系 .....               | 114       |
| 4.4.1 土地使用及出行距离表征参数指标的选取 .....         | 114       |
| 4.4.2 区域空间位置与出行距离关系 .....              | 116       |
| 4.4.3 居住人口密度与出行距离的关系 .....             | 118       |
| 4.4.4 混合程度与出行距离的关系 .....               | 120       |
| 4.4.5 土地使用指标对出行距离回归模型 .....            | 120       |
| 4.5 轨道出行用户工作居住地分布 .....                | 121       |
| 4.5.1 轨道出行用户工作居住地辨识方法 .....            | 121       |
| 4.5.2 北京地铁1号线乘客居住地分布 .....             | 122       |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 4.5.3 北京地铁 1 号线乘客工作地分布 .....              | 123 |
| 4.5.4 站点乘客吸引范围分布 .....                    | 124 |
| <b>第 5 章 个体出行方式选择及区域出行结构预测模型</b> .....    | 127 |
| 5.1 效用最大化理论及非集计模型 .....                   | 127 |
| 5.1.1 效用最大化理论 .....                       | 127 |
| 5.1.2 二项 Logit 模型 .....                   | 128 |
| 5.1.3 多项 Logit 模型 .....                   | 129 |
| 5.1.4 累积 Logit 模型 .....                   | 129 |
| 5.1.5 巢式 Logit 模型 .....                   | 131 |
| 5.1.6 非集计模型的集计化 .....                     | 133 |
| 5.2 基于累积 Logit 的个体出行方式选择预测模型及弹性分析 .....   | 134 |
| 5.2.1 交通方式选择广义成本 .....                    | 134 |
| 5.2.2 交通方式意愿调查说明 .....                    | 134 |
| 5.2.3 个体出行方式选择预测的累积 Logit 模型 .....        | 137 |
| 5.2.4 模型结果分析 .....                        | 142 |
| 5.3 小汽车使用者出行链与出行方式链联合选择预测模型 .....         | 143 |
| 5.3.1 模型建立 .....                          | 143 |
| 5.3.2 模型参数估计及结果分析 .....                   | 145 |
| 5.4 基于神经网络的特定区域出行方式选择预测 .....             | 150 |
| 5.4.1 神经网络与多项 Logit 模型在出行方式选择预测上的比较 ..... | 150 |
| 5.4.2 神经网络在出行方式选择上的应用 .....               | 151 |
| 5.4.3 基于神经网络的公交出行比例预测 .....               | 151 |
| <b>第 6 章 多模式公交出行路径选择预测模型</b> .....        | 153 |
| 6.1 前景理论概述 .....                          | 153 |
| 6.2 公交组合出行广义费用 .....                      | 154 |
| 6.3 基于前景理论路径选择建模 .....                    | 157 |
| 6.4 实例分析 .....                            | 159 |
| <b>第 7 章 动态导航下小汽车路径选择行为及对路网影响</b> .....   | 165 |
| 7.1 驾驶员路径选择行为研究概述 .....                   | 165 |
| 7.2 驾驶员路径选择影响因素分析 .....                   | 166 |
| 7.3 车载动态导航条件下的驾驶员路径遵从行为 .....             | 168 |
| 7.4 基于主观决策权重效用理论的路径选择效用函数 .....           | 169 |
| 7.4.1 有决策权重的路径选择的效用理论 .....               | 169 |
| 7.4.2 决策目标权重和定位点的调查及分析 .....              | 171 |
| 7.5 路径选择行为多 Agent 仿真模型 .....              | 175 |



|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 7.5.1 Agent 技术及其在交通中的应用 .....               | 175        |
| 7.5.2 出行前的多 Agent 系统建模 .....                | 178        |
| 7.5.3 路径选择多 Agent 协商模型 .....                | 181        |
| 7.5.4 出行路径决策多 Agent 仿真模型的初始化 .....          | 186        |
| 7.5.5 驾驶员路径选择行为仿真 .....                     | 187        |
| <b>第 8 章 基于出行行为引导的交通需求管理策略生成及评价方法</b> ..... | <b>199</b> |
| 8.1 交通需求管理政策基本概念 .....                      | 199        |
| 8.2 交通需求管理政策实现手段及实践 .....                   | 203        |
| 8.2.1 “精明式增长的土地利用政策”——优化出行空间分布及减少交通需求 ..... | 204        |
| 8.2.2 “增加选择类措施”——引导绿色出行选择 .....             | 205        |
| 8.2.3 “经济性措施”——提高机动车出行成本 .....              | 210        |
| 8.2.4 “行政性措施”——控制小汽车增长及使用 .....             | 212        |
| 8.2.5 “信息服务类措施”——引导绿色出行及小汽车高效共享使用 .....     | 213        |
| 8.3 两阶段交通需求管理措施生成及综合评价方法 .....              | 216        |
| 8.4 北京市交通需求管理策略生成及评价 .....                  | 219        |
| 8.4.1 北京市交通需求管理政策发展历程 .....                 | 220        |
| 8.4.2 低排放区拥挤收费公众可接受性及效果评价 .....             | 222        |
| <b>参考文献</b> .....                           | <b>240</b> |

# 第 1 章 概 述

## 1.1 出行行为引导的必要性

交通出行,指车辆、行人从出发地向目的地移动的交通行为。城市交通出行的产生及交通行为的选择受到城市活动需求和供给的双重影响。一方面,城市的社会、经济等活动促生了交通出行的需求;另一方面,城市作为城市交通的承载体,为交通出行提供了基本的物质环境和方式选择。换言之,出行行为的产生是基于特定出行目的,以一定的个体需求在一定的交通供给条件下进行的交通行为选择。城市所有个体的出行选择行为的集聚演变成了城市交通需求。

随着我国国民经济的高速发展以及城市化、机动化进程的叠加推进,城市人口快速膨胀,经济和社会活动日益繁忙,城市交通出行发生了前所未有的迅速增长。然而,城市空间结构与功能所产生的交通需求调整与交通系统的发展未能同步,城市海量的交通需求与有限的交通空间供给之间出现了严重失衡,交通系统与城市发展不协调的问题日益突出,全国范围内的大中城市都面临十分突出的交通阻塞现象,严重影响着城市的生产生活以及经济建设的发展。随之伴生的交通污染、行人及自行车出行环境恶化等问题,也大大降低了城市居民生活品质。交通问题正日益上升为困扰我国城市可持续发展的最主要的难题之一。如果不能得到有效的解决和治理,必将对我国经济的持续、快速、健康发展构成严重威胁。

以北京为例,作为特大型城市的典型代表,截至 2013 年年末,北京常住人口已突破 2100 万人,2010 年北京市出行总量达到了 4130(万人次),机动车保有量已达 520 万辆(如图 1.1 所示),北京市机动车的高速度增长、高密度聚集、高强度使用,给北京特大城市交通发展乃至城市运行带来巨大挑战。根据调查数据,2013 年北京市平均全日拥堵时间超过 3h,84%的北京人每天平均花费 1h 时间赶路,北京市每年由于交通拥堵造成的时间浪费、能源过度消耗、环境污染、道路利用率低下等经济损失就超过 1055.9 亿元,相当于 2013 年北京市 GDP 的 5.4%。

交通拥挤的结果是降低了城市的机动性,增加了驾驶者的负担、车辆的费用,并且加剧了城市环境污染。目前,北京市的大气污染已由原来的单纯煤烟型污染逐渐向煤烟和汽车尾气的复合型污染转化,机动车已成为城市 PM<sub>2.5</sub> 排放的最大本地源,占比高达 31%;比 2012 年初公布的研究成果(29.4%)有所提高。

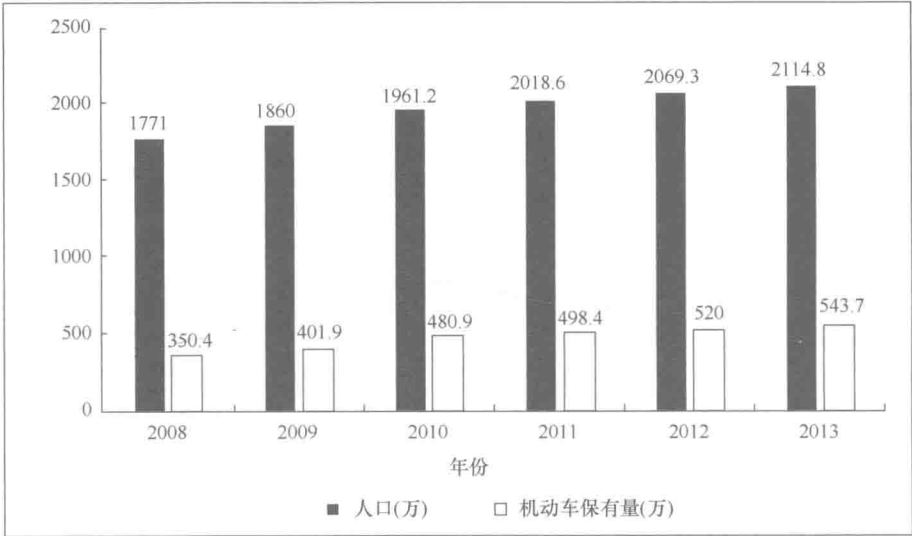


图 1.1 北京市人口及机动化快速增长趋势图

交通问题在其他特大及大中城市也有愈演愈烈之势。以天津市为例,2011 年天津市常住人口总量为 1354.58 万,比十年前增长 34.91%。全市地区生产总值 1.1 万亿元,增长率 16.5%。机动车保有量 239.77 万辆,同比增长 16.08%,其中私人小客车 143.93 万辆,同比增长 27.96%。机动车的使用主要集中在市内六区,约占城市机动车交通总量的 80%。随着天津市汽车保有量加速增长,交通机动化程度不断提高,中心城区饱和和交通状态呈现出由中心向外围逐渐扩展趋势,道路交通流量早晚高峰持续时间越来越长,波峰、波谷的曲线特征越来越不明显。特别是医院、学校、商场、饭店等强交通吸引源对道路交通的影响不断加剧,所在道路点段已经成为区域路网通行瓶颈,往往出现周期性的交通拥堵,造成内环线、中环线、快速路和其他干道通行能力始终在较低水平上徘徊<sup>[1]</sup>。

城市交通问题更是发展中国家快速发展期面临的世界性难题,在城市化发展方面,发展中国家正在快速地重复发达国家曾经走过的人口膨胀、机动车激增及空间扩张的发展历程。预计到 2020 年,全球机动车保有量与 2004 年相比将翻一番,达到 13 亿辆。其中,亚洲和拉美成为发展最快的区域,机动车保有量超过世界的 55%。与此同时,发展中国家城市的地铁等大容量公共交通基础设施建设落后,公交出行吸引力不足,交通需求与交通供给予矛盾日益突出。2013 年全球通勤痛苦指数最高的五个城市分别为墨西哥城、深圳、北京、内罗毕和约翰内斯堡。交通拥堵治理正在成为新兴发展中国家特大城市发展共同面临的核心课题之一。

城市交通问题在发达国家也依然存在。据估测,美国的在交通拥挤每年要花费将近 1000 亿美元,由此可见其危害严重。同时由于发展中国家城市发展、社会

经济的特殊性,难以完全照搬发达国家已有的先进交通管理手段。

要解决城市交通拥挤问题,通常要考虑增加交通供给与交通需求管理两方面。增加交通供给有两种方法:一种是拓宽改造旧路提高现有道路等级;另一种是新建道路,完善道路网布局。这两种方法无疑具有很大局限性,国内外的教训表明,新建道路往往会引起新的交通需求,而新的交通需求会产生更大的交通问题,如果单纯以增加交通供给作为解决交通问题的方法,势必是行不通的。尤其是我国许多城市人口稠密,土地资源有限,道路建设拆迁量巨大,即使道路网密度与发达国家相比仍有较大差距,不可能像美国一些大城市那样把30%~40%的城市土地用于扩展道路系统。

交通需求管理则将解决大城市交通问题的理念,由单纯提高供给转为从交通需求的源头进行控制。交通需求管理强调交通运输的目的是实现人和物的移动,而非车的移动。基于这个原则,在城市处于拥挤的交通状况下,交通需求管理策略强调的是对出行者出行行为的良性引导。而其途径有三个:一是减少不必要的交通出行;二是引导采用公交及自行车、步行等绿色出行方式;三是使出行时间选择避开高峰、出行路径避开拥堵路段,从而有效地消减出行总量、优化出行结构及均衡交通时空分布。交通需求管理政策的效果已经被很多国内外城市有效的交通改善成果所证明。

城市交通出行具有复杂性,与城市社会经济发展及交通基础设施建设有着密切联系。在新时期,我国城市交通出行近年来的变化有着以下显著特征:①区域城市群的发展及城市本身的规模与人口的激增,带来了城市布局、空间结构、土地利用及交通出行的巨大增长与快速变化;②机动化进程加快,小汽车保有量迅速增长,小汽车出行成为主要出行方式且使用强度高;③城市出行目的及构成日趋多样化,刚性出行(上下班、上下学、接送人)仍是居民主要的日常出行目的,生活类出行也呈现逐年增多的趋势,居民的出行构成发生了较大的变化;④城市交通方式多样化。我国大中城市目前普遍处于由单一的道路交通网络向包含轨道、公交、小汽车、自行车、步行等多模式交通网络转变的时期,因此,需要从交通战略层面、规划设计层面、运行管理层面、出行服务层面、设施建设层面全方位地引导调控交通需求,优化设施资源配置,实现供需基本平衡。

总之,交通拥挤引发了更高的交通运营成本,带来了城市大量内耗,成为制约经济发展的主要因素,同时也降低了城市应有的吸引力和辐射力。通过增加道路供给去被动适应交通需求的模式难以为继,加强需求的可调控性及出行引导机理与方法的研究,真实把握我国城市复杂环境下的多方式出行机理,建立以经济、社会和环境均衡发展为目标,以全社会总成本下降和资源节约为导向的交通需求管理政策与措施,是促进我国城市社会经济发展的需要,是实现全面的可持续发展的需要。

## 1.2 出行行为分析方法

出行行为问题,既涉及系统复杂性问题,又涉及行为个体的有限理性决策问题。早期的出行行为分析方法,一般是利用集聚的数据,对一个简单、只有几个参数的模型进行估计,从而达到对个体一些行为特征进行预测的目的。但是,随着人们出行行为模式、价值观念以及客观条件的改变,影响出行行为各种因素之间的关系日趋复杂,传统的出行行为分析方法已不能在令人信服的理论框架下清楚解释这些关系,交通规划者开始探讨利用更复杂的模型对个体及群体的出行行为特征进行分析。传统的用于研究出行行为的方法,更多是对交通现象、交通行为进行描述,但对如何改变出行的行为往往并没有提出明确的建议。目前出行行为分析常用的模型和方法包括非集计理论模型(disaggregate model)、基于活动和活动链的理论模型、行为经济学理论模型、复杂系统理论模型等。

### 1.2.1 非集计理论模型

随机效用理论最早为经济学的分析手段,主要用于研究消费者的消费选择行为,是将消费者行为理论的最大效用假设与概率论相结合的理论。该理论以离散选择模型(discrete choice model)为基础,并且认为每一种选择都提供了一个明确的“效用”,决策者在选择时总是倾向于选择“效用”最大的备选项。随机效用理论目前被广泛用于交通需求管理政策、拥堵收费、停车收费、信息诱导等多个领域。例如,Choo 等建立多项 Probit 模型,对旧金山地区将实施的多项交通需求管理措施进行评价<sup>[2]</sup>;Cao 等建立二项 Logit 模型,预测了弹性工作制、小汽车合乘、远程办公等措施对居民出行行为的影响<sup>[3]</sup>;Marc 应用 Probit 模型预测了美国 Acadia 公园收费策略对周边地区的公交方式选择的影响<sup>[4]</sup>;Han 等应用非集计理论建立 TDM 策略评价模型,并用该模型对居民出行行为进行了分析预测<sup>[5]</sup>;Sinha 等建立了多项巢式 Logit 模型进行弹性工作措施的实施效果评价<sup>[6]</sup>;Concas 等对小汽车合乘措施进行了效果评价<sup>[7]</sup>;熊萍等应用多项 Logit 模型建立了停车换乘选择行为模型,并对该模型进行求解分析,指出非集计模型在停车换乘行为研究方面可应用于停车换乘设施需求预测支持、相关交通政策与服务模式决策支持<sup>[8]</sup>;秦焕美等利用非集计理论建立了包括停车收费价格、公交服务水平等多因素的行为模型,确定了选择小汽车出行和选择公交/出租车出行的停车收费价格的平衡点,以及出行方式选择变化对于停车收费价格变化最为敏感的区间<sup>[9]</sup>;罗清玉等建立了基于混合 Logit 的交通方式选择模型,该模型为拥挤收费下的出行行为分析和交通影响研究以及其他交通需求管理政策的评价提供了方法<sup>[10]</sup>。蒋婧雯结合美国新泽西州公路收费政策实施后的交通调查数据,分析出行者的决策过程,利用 Limdep

软件建立巢式 Logit(Nested-Logit, NL)模型,分析了公路收费政策对交通出行选择行为的影响及表征出行特性的重要参数,为拥挤收费的后续研究提供了参考依据<sup>[11]</sup>。

### 1.2.2 基于活动和活动链的理论模型

基于活动的出行行为分析方法综合了行为理论、决策理论、效用理论、计量经济理论等众多学科研究成果,从个体行为的微观角度出发,剖析交通出行的微观机理,研究人们的出行行为特征和选择特征,能够更加贴切地描述人们的日常活动行为,可较好地预测居民出行中出发时间、交通方式、目的地选择特性以及中途停驻等情况,对传统的四阶段交通需求预测方法是一个很好的改进和补充<sup>[12]</sup>。

基于活动的研究方法主要有三种:基于空间相互作用的方法、基于效用的方法和启发式方法。基于空间相互作用的方法是传统交通规划四阶段法的延伸,这种方法基于最大熵理论模型、出行 OD 表、集计的数据统计参数和路阻函数四个方面,可进行出行量预测、目的地选择和路线选择。基于效用的方法应用最大效用理论,通过离散选择模型构建基于活动的出行选择模型。启发式方法一般通过交通仿真的手段来预测活动的模式,目前在这个方面的研究还不成熟。

城市空间规模的不断扩展、机动化出行的不断提高,使得出行者的出行和活动在空间上不断扩大,出行行为也变得越来越复杂。为节省出行成本,出行者更倾向于将多次出行铰接到一个出行链(trip chain)中。出行链的观点起源于 20 世纪 60 年代,最初是利用马尔可夫理论对出行链进行分析。由于马尔可夫理论需要严格假设,使其在出行链的分析中受到了很大限制,一些研究人员开始尝试用新的方法对出行链进行分析。图 1.2 和图 1.3 展示了某个出行者在同样有 3 个活动的情况下,采用链接出行和非链接出行的差异。在采用非链接出行时,出行者完成 3 个活动需要 6 次出行才能完成,而将 3 个活动铰接在一个出行链中时需要 4 次出行即可完成。因此,如果合理地安排出行链形式,可以有效地节约出行成本,提高出行效率。

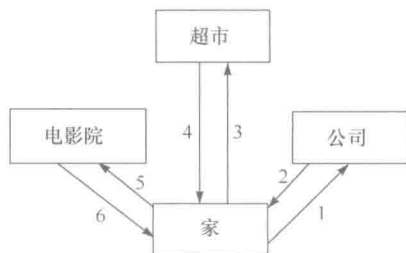


图 1.2 非链接出行

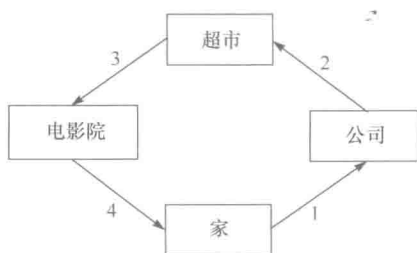


图 1.3 链接出行

出行链描述了出行者在一个往返行程中出行的顺序,也反映了出行者在时间和空间上的活动规律,指从家出行开始,至回家为出行结束的多次出行组成的活动序列,即从家出发又回到家中的一连串移动与停留,表明了居民活动的时空先后顺序。出行链一般由多个出行首尾衔接构成闭环,如家→单位→购物→家,形成了一个完整的出行链。基于出行链的出行行为分析方法的提出,使得对于出行者的出行行为分析不再仅仅针对单次出行,而是考虑了在一个往返行程中前后出行之间的内在关系。同时,基于出行链的出行行为分析方法还考虑了家庭结构、个人角色等因素对个体出行选择的影响,有效地克服了基于出行的行为分析方法的缺陷。

基于活动和活动链的理论目前已被用于交通需求管理政策评价中。如 Kalmanje 等建立了基于活动的出行目的地、方式和出发时间选择模型系统,分析了美国实行基于信用的拥挤收费策略的可行性,并将该策略与其他拥挤收费方案进行了比较<sup>[13]</sup>;Stacey 应用出行链分析方法,从出行目的地、中途驻停地点、出行时间、出行方式等方面预测了基于 TOD(transit-orient development)思想的零售业布局模式的实施效果<sup>[14]</sup>。赵阳和邵昀泓结合我国交通规划实际,研究了基于活动的出行行为动态模拟方法,应用蒙特卡罗方法模拟了辽宁省某市城市居民的出行行为,其结果显示所提出的模拟模型误差较小,能准确反映出行行为<sup>[15]</sup>;雋志才等引入贝叶斯结构学习和参数估计方法,辅以基于活动的出行行为分析理论、非集计建模方法和 SP/RP 数据融合方法,提出了基于贝叶斯结构学习和参数估计方法的出行行为与交通需求管理(TDM)策略互动关系分析方法的框架,将贝叶斯理论与已有的出行行为分析方法相结合,可以使出行行为预测更为精确、全面和灵活,从而更加准确地描述活动-出行决策行为与 TDM 策略的互动响应关系,为制定有效的 TDM 策略、缓解城市交通供需矛盾提供了理论依据<sup>[16]</sup>。

### 1.2.3 行为经济学理论模型

行为经济学理论模型是指利用经济学理论来解释出行选择行为。传统的西方经济学理论假定在一切经济活动中,人的行为都是合乎理性的,都是以利己为动机。这也是著名的“经济人”假设。行动者追求的是价值或效益的最大化,趋向于采取最优策略,以最小代价取得最大收益(卡尔·布鲁内)。自从“经济人”假设被提出,理性选择流派就一直受到争议,因为出行者受自身的认知能力、价值取向、风险偏好、个人习惯等方面的制约,实际的决策行为常常背离期望效用理论的公理化体系。也就是说,除客观环境外,心理因素也会对人们行为决策造成较大影响,进而衍生出理性决策和非理性决策行为。因此,用心理学对人们的出行过程进行描述,进而对出行过程行为进行控制,是最近发展起来的行为经济学的主要功能,它将行为分析理论与经济运行规律、心理学与经济科学有机结合起来,以发现现今经

济学模型中的错误或遗漏,进而修正主流经济学关于人的理性、自利、完全信息、效用最大化及偏好一致的基本假设的不足。

一般认为行为经济学正式创立于1994年,已故著名心理学家阿莫斯·特维尔斯基(Amos Tversky)、经济学家丹尼尔·卡尼曼(Daniel Kahneman)、理查德·萨勒(Richard Thaler)、马修·拉宾(Matthew Rabin)、美籍华人奚恺元教授等是这一学科的开创性代表。以行为经济学家丹尼尔·卡尼曼(Daniel Kahneman)和弗农·史密斯(Vernon Smith)因在行为经济理论和实验经济学方面的杰出研究而获得2002年度诺贝尔经济学奖为标志,行为经济学有力地展现了其存在价值、学术地位以及广阔的研究前景。随着行为经济学的发展,尤其是Allias悖论及Ellenberg悖论的出现,人们决策的有限理性越来越受到关注。因此社会理论学家不断对其理想化的理论假设进行修正,以使其更贴近实际生活,例如:以“有限理性”代替“完全理性”,承认人的行为也有非理性的一面;以“满意原则”代替“最优原则”,寻求一个令人满意的行动方案而非最优方案;从“工具理性”扩展到“价值理性”,从“经济人”充实到“社会人”,认为人的理性行为不仅是追求利己的价值或效益,还追求情感、责任等方面的满足。

目前,基于不同选择原则假设的研究主要采用随机效用理论、期望效用理论、有限理性理论、满意度理论等。其中,出行者理性原则假设下的随机效用理论主要是建立在调查的基础上,对影响决策的因素进行多重变量分析,并将效用表示为由影响因素组成的随机变量,通过建立多项Logit、累积Logit、Probit、混合Logit等离散选择模型进行定量分析。遵循期望效用理论的选择行为研究,通常假设出行者绝对理性。出行者有限理性原则假设下的代表性理论包括Kahneman和Tversky提出的前景理论(prospect theory, PT),以及在等级依赖效用(rank-dependent utility, RDU)思想后形成的累积前景理论(cumulative prospect theory, CPT),它们能更加准确地反映了人们在面临风险时的决策行为和规律。出行者满意原则假设下的代表性理论为满意度评价理论。目前,对满意度的定义主要有三种说法:Oliver认为满意度是指顾客对消费过的产品的整体评价,也就是期望服务和实际服务之间的差异;Kotler认为满意度是一种客观评价;而Cronin和Taylor则认为满意度是一种情感的反映。在行为领域,顾客满意度指的是出行者在特定的环境下,对于其所采取的交通方式服务的一种情感反映。因此,顾客满意度取决于出行者期望服务的实现程度,即从出行者的总体评价观点来反映期望与实际结果是否一致,所以对于出行者来说一般采用整体满意程度衡量的方法。

此外,近期还有学者认为,若出行者意识到此前的决策有所失误,则会表现出后悔,反之会产生欣喜感,这种感觉将影响下次决策,后悔理论能够更好地解释这种现象<sup>[17]</sup>。有些学者认为,出行者往往不会去比较备选项的确切效用值,而是利用属性与决策偏好之间模糊关系的几条简单规则进行决策<sup>[18]</sup>。由于决策结果可



看作是解释变量与决策行为之间的模式识别,因此有些学者利用人工神经网络的自学习能力,通过拟合数据建立选择行为的模型<sup>[19]</sup>。虽然人工神经网络能够很好地拟合高阶非线性系统,但其结果难以分析和解释<sup>[20]</sup>。

1979年,Kahneman和Tversky在Simon的“有限理性”<sup>[21]</sup>的基础上提出了“前景理论”<sup>[22]</sup>。Avineri认为交通管理者可以通过提供准确的交通信息以及改善公共交通的服务水平等途径对参照点进行操控,进而影响甚至改变出行者的选择行为,引导交通系统向着有利于实现系统最优的方向发展<sup>[23]</sup>。van de Kaa基于前景理论对新加坡实施拥挤收费的效果进行了政策评价<sup>[24]</sup>;张波等对前景理论在出行行为研究中的适用性进行了探讨,认为:对于具体的出行行为研究,前景理论是否适用不仅取决于决策问题的性质,而且还要看出行者的个性特征,以及所考虑的选择方案属性是否具有不确定性<sup>[25]</sup>。赵凇和张星臣在前景理论的框架下对一天内单次出行的路径选择行为进行了理论建模,对比了基于“前景理论”与基于“期望效用理论”的路径选择模型,结果表明“前景理论”在描述出行者的路径选择行为时能够在一定程度上克服“期望效用理论”的不足,可以较准确地刻画出出行者在不确定性条件下的路径选择决策行为<sup>[26]</sup>。邢睿等针对带有出行者期望且属性值为区间数的多属性决策问题,提出一种基于前景理论的决策方法,以参照点为基础计算收益和损失矩阵,以得到的各种交通方式综合前景值为效用值,通过经典的Logit模型计算得到个人出行交通方式的概率<sup>[27]</sup>。

#### 1.2.4 复杂性理论

复杂性科学是系统科学和非线性科学的进一步发展、充实和深化,是系统科学研究的最新、最前沿的领域。如果说系统科学是建立在系统的整体性、组织性、目的性研究的基础上,非线性科学是建立在对系统非线性、不确定性、随机性研究的基础上,那么复杂性科学则是建立在系统的“复杂性、智能性和适应性”的研究基础上。复杂系统就是具有复杂性的系统,而关于复杂性这门科学目前还无确切的定义,不知其边界的存在<sup>[28]</sup>。复杂系统是具有中等数目基于局部信息做出行动的智能性、自适应性主体的系统。而复杂并不一定与系统的规模成正比,复杂系统中的个体一般来讲具有一定的智能性,如组织中的细胞、股市中的股民、城市交通系统中的司机,这些个体都可以根据自身所处的部分环境通过自己的规则进行智能的判断或决策。复杂性科学研究的范畴涉及多个方面,包括自然、工程、生物、经济、管理、政治和社会等各个方面;它探索的复杂现象从宏观上可以概括为物理层次、生物层次和社会层次,例如一个细胞呈现出的生命现象到股市的涨落、城市交通的管理、自然灾害的预测,乃至社会的发展等都属于它的研究范畴。

目前,关于复杂性的研究受到了世界各国科学家的广泛重视。总体来说,复杂系统都有一些共同的特点,就是在变化无常的活动背后呈现出某种捉摸不定的