



申请同济大学工学博士学位论文

# 基于交通网络均衡理论的 交通需求管理政策评价研究

(国家自然科学基金重点项目：  
信息环境下的城市道路规划理论与方法；编号：50738004)

培养单位：交通运输工程学院  
一级学科：交通运输工程  
二级学科：交通运输规划与管理  
研究生：张天然  
指导教师：杨东援 教授

二〇〇八年六月



A dissertation submitted to  
Tongji University in conformity with the requirements for  
the degree of Doctor of Philosophy

# **Research on Travel Demand Management Policies Evaluation Based on Transportation Network Equilibrium Theory**

(Supported by the Key National Natural Science Foundation of China, Urban  
Transportation Planning Theory and Methods under the Information Environment  
Grant No: 50738004)

School/Department:

Department of Traffic Engineering

School of Transportation Engineering

Discipline: Transportation Engineering

Major: Transportation Planning and Management

Candidate: Zhang Tianran

Supervisor: Prof. Yang Dongyuan

**June, 2008**

## 学位论文版权使用授权书

本人完全了解同济大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，同意如下各项内容：按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版；学校有权保留学位论文的印刷本和电子版，并采用影印、缩印、扫描、数字化或其它手段保存论文；学校有权提供目录检索以及提供本学位论文全文或者部分的阅览服务；学校有权按有关规定向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版；在不以赢利为目的的前提下，学校可以适当复制论文的部分或全部内容用于学术活动。

学位论文作者签名：

年 月 日

-----  
经指导教师同意，本学位论文属于保密，在 年解密后适用本授权书。

指导教师签名

学位论文作者签名：

:

年 月 日

年 月 日

## 同济大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

签名：

年 月 日

## 摘要

近年来,随着社会经济的快速发展,我国许多大城市交通形势日益严峻,机动化交通需求的持续增长与道路空间资源短缺的矛盾不断加剧。根据当斯定律(Downs Law)<sup>[1]</sup>,“新建的道路设施会诱发新的交通量,而交通需求总是倾向于超过交通供给”。从发达国家的经验来看,解决交通问题的思路应由“单纯地增加道路供给”向“设施供给与调控交通模式并重”的方向转变。“大力发展公共交通,方便各种交通模式之间的衔接与转换、对私人交通采取适度的需求管理、建立具有符合国情的可持续城市交通模式”,已达成了广泛的战略共识。我国的北京、上海、广州、深圳等大城市已经意识到交通需求管理(TDM)的重要性,先后展开了相关的研究和探索。然而,有关 TDM 政策却迟迟未能出台,很大程度上是由于政府对其实施后的效果难以给出准确的预判。因此,在政策决策中迫切需要有一个有效的 TDM 政策实施效果的评价方法。论文以定量分析 TDM 政策为目的,以交通网络均衡理论为基础,建立相应的多用户多准则多模式组合模型,并实际应用于大规模城市综合交通系统,有效地分析了 TDM 政策的实施效果,可为交通政策的决策者提供科学的决策参考。

论文分析和总结了 TDM 的具体措施、作用机理以及在国内外的应用情况及评价方法。以拥挤收费为例,从理论和实践结合的角度剖析了 TDM 政策量化分析的复杂性。并指出 TDM 政策评价的难点是不同出行者交通行为的影响效果及政策组合使用的效果分析。结合基于出行、出行链和活动的交通需求模型发展特点,提出了政策评价建模的三个关键性问题。**多用户**:考虑出行者时间价值、出行目的等其他属性的异质性研究;**多准则**:考虑时间和费用等广义成本的多准则出行行为;**多模式**:在考虑换乘的,多种交通方式之间相互影响的多模式交通体系下研究政策的交通行为调控作用。论文对这三个关键问题展开了重点研究:

从**多用户**角度,研究了出行者时间价值的异质性,为准确分析政策对不同出行者交通行为的影响提供了基本的参数。在国内外国时间价值研究的基础上,对 SP 调查数据用 Mixed Logit 模型估计了非同质时间价值分布;比较了 Mixed Logit 和 Nested Logit 模型对 RP/SP 融合数据的参数估计结果,分析了不同交通方式使用者的时间价值差异;惠州市区意愿支付调查验证了假设时间价值为对数正态分布的可行性。

**多用户多准则**交通分配是物理特征相同、但因时间价值异质性(对时间和费用具有不同的支付偏好)而产生不同的路径选择行为的对称性交通分配问题。论文系统总结了时间价值连续分布和离散分布两类模型的特征、构建方法、路抗函数形式、算法和解唯一性,并结合道路拥挤收费政策进行了研究。**多模式(多车种)**交通分配是考虑交通方式之间相互影响的非对称性交通分配问题,它可以反映不同交通方式在不同交通拥挤状态下的服务水平差异。论文重点研究了多车种路段阻抗函数的形式、参数及与模型解唯一性的关系,运用 VISSIM 对多车种交通流进行仿真并标定了路抗函数的参数。进而研究了**多用户多准则、多模式**混合交通分配模型解的唯一性。

在考虑换乘的多模式交通系统中,交通方式之间的相互影响不仅包括路径选择,也包括交通方式选择、目的地选择及交通产生等多种行为的影响。因此需要构建具有一致行为理论的组合模型来分析这种相互关联、具有系统性的交通行为,从而更好地反映 TDM 政策对出行需求的调控作用。论文从建模方法、模型特征、算法、交通政策评价应用等方面,对面向一致的交通需求组合模型进行了研究和对比分析,总结了组合模型在国际上的实际应用前沿。根据路段阻抗函数可分离和不可分离两种情况,建立了适用于 TDM 政策评价的、具有流程再造性的、基于个体交通选择行为和一般均衡理论相结合的多用户多准则多模式组合模

型,并给出了模型的等价性证明和算法。定性和定量分析了交通需求管理政策实施下不同出行者的利益分配情况,并给出了简单的算例。

论文进一步对大规模城市综合交通网络的 TDM 政策评价应用展开研究。结合交通模型,优化了多模式交通网络拓扑数据结构和最短路算法,并有效地处理了现有交通规划软件尚未解决的非法路径问题。在分析交通方式换乘的换乘站及路径选择行为,常规公交、轨道交通和出租车票价作为政策变量引入模型等相关问题的基础上,应用圣地亚哥中型网络、惠州和深圳大型综合交通网络对组合模型进行了算法测试,比较了不同算法的收敛效果和输出结果。验证了不同时间价值小汽车的路段流量解的不稳定性和路段小汽车总流量解的稳定性,和理论取得了一致。不同出行者分类数下的模型输出结果差异明显,表明了出行者细分对 TDM 政策精确评价的重要性。

以惠州市区综合交通网络为案例,对区域拥挤收费、桥梁收费、停车收费、P+R 停车换乘系统、燃油价格提高、公交(轨道和常规公交)票价调整、公交专用道设置、交通枢纽换乘效率提高、货车通行管制等 16 种单一和组合 TDM 政策进行了定量评价。重点对公交票价敏感性、出租车和轨道交通的竞争关系,公交专用道设置的效果,区域拥挤收费和停车收费效果对比以及不同定价下的停车换乘系统需求等问题进行了研究。并对比了组合 TDM 政策的实施前后的网络交通拥挤状况及车流和客流分布情况,还分析了机动车尾气排放量和污染物空间 GIS 栅格分布对比。在案例中得出了值得交通政策制定者重视的问题:

(1) 常规公共交通的票价降低能吸引人们使用全程常规公交,但它和轨道交通换乘的组合交通方式的客流有可能下降,从而整个公交分担比增加并不明显。同时降低轨道票价,提高发车频率缓解车内拥挤能够得到较好的组合政策效果。轨道交通票价下降后全程使用出租车和私人小汽车出行者会减少,但在轨道交通不成规模网络时,出租车、小汽车和轨道交通的换乘组合模式客流可能会增加。(2) 公交专用道设置能有效提高专用道上的公交客流密度,但小汽车可能因专用道设置改变出行路径,降低其他非公交专用道的公交车服务水平,从而公交分担比在总体上可能没有明显的增加。因此公交专用道的设置要有一定的规模,以便形成公交优先发展的良性循环。(3) 区域拥挤收费起作用的主要是通过交通和区外至区内的到达交通,停车收费控制的是区外和区内至收费区内的到达交通。区域拥挤收费对小汽车交通路径的转移和交通方式的替换影响取决于收费范围的大小和交通需求分布的空间特征。在案例中的拥挤收费调控的主要对象是大量通过交通,总体上比停车收费对小汽车的抑制作用效果要好,而收费区域内的效果则相反。(4) 停车收费价格、轨道交通票价、换乘时间、中心区道路拥挤程度等因素对 P+R 模式的需求量影响较大,采取组合交通需求管理政策,实现“推拉并举”式的组合政策,能使停车换乘系统得到有效运作。

**关键词:** 交通需求管理政策评价, 交通网络均衡, 城市综合交通网络, 多用户多准则多模式组合模型, 非同质时间价值, Mixed Logit 模型, RP/SP 融合数据

## ABSTRACT

Recent years, with rapid economic and social development, metropolises in China are confronting the contradictions between restrictions in road space resources and increasing demand of motorization. According to the Downs Law, new road infrastructure construction will induce new travel demand and the demand is always inclined to exceed the supply. From the experiences of developed countries, it is important to shift from simply enhancing supply to paying equal attention to the supply and demand management. Common sense has been reached that great efforts should be made to develop public transportation, the integrated multi-modal transportation system and suitable Travel Demand Management (TDM) to construct sustainable urban transportation system in China. Beijing, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen and other metropolis in China have been conscious of the importance of TDM and already made relative researches as well as conducting some trials. The reason for hesitant implementation of TDM policies is that governments can't forecast the effect of TDM policies accurately. Therefore, an effective measure to evaluate the effects of TDM policies is urgently needed to support policy decision. This paper is intended to evaluate the effects of TDM policies quantitatively through establishing Multi-class Multi-criteria Multi-modal Combined Model based on transportation network equilibrium theory and applying to large scale multi-modal urban transportation system. It can establish a scientific support system for transportation policy decision makers.

Various measures of TDM, their effects mechanism, domestic and foreign application cases and their evaluation methods are summarized. Taking congestion charges as example, this paper analyzes the complexity of quantifying the effects of TDM policy theoretically and practically and then points out that the critical point of evaluating TDM policy is to analyze the influences of combination of various policies on heterogeneous users. Combined with features of travel demand models, it puts forward three key issues in evaluating TDM policy: multi-criteria travel behaviors concerning time, cost and other kinds of factor; heterogeneous users with different Value of Time (VOT), trip purpose and other attributes; multi-modal transportation system in which correlation and transfer among different modes should also be taken into consideration.

The change of travel behavior by TDM policies can be analyzed more precisely by considering multi-class travelers with heterogeneous VOT. On the basis of existing researches on VOT, this paper uses Mixed Logit model with SP (Stated Preference) surveys data to estimate distribution of VOT. Comparing the parameter estimation of SP/RP (Revealed Preference) combined data with Mixed Logit model and Nested Logit model, it researches on the VOT differences of users by different modes. Furthermore, Willingness to Pay surveys in Huizhou has verified the lognormal distribution assumption of VOT.

Multi-class multi-criteria symmetric traffic assignment models describe the different route choice of the travelers with heterogeneous VOT. Combining different kinds of congestion charge policies with continuous VOT distribution and discrete VOT distribution, the character, model formulation, uniqueness solution, the parameters of link delay function and algorithm of these models are studied. Multi-modal asymmetric traffic assignment models can reflect the different level of service under different congestion state. It focuses on the uniqueness of solution of models and its relations with forms and parameters of link delay function. Multi-modal traffic flow is simulated by VISSIM and the parameters of link delay function are calibrated. Moreover, the uniqueness solution of multi-class multi-modal mixed traffic assignment model is also discussed.

The interactions among the different modes in multi-modal transportation system are not only the route choice but also mode, destination and production choice. It is important to establish a combined model with consistent travel behavior that can reflect the complex interactions and the TDM policies better. Various combined travel demand models towards consistency are studied in terms of model formulation, their features, algorithm and application in transportation policy

evaluation and the frontiers application of combined models around the world. According to their separable and non-separable link delay functions, Multi-class Multi-criteria Multi-modal Combined Models with programmable processes are formulated by convex mathematical programming and variational inequality. They combine the individual travel behaviors and general equilibrium theory which are competent for TDM policy evaluation. Equivalence demonstration of model's travel behavior and three algorithms, i.e. Generalized Partial Linearization (GPL), Method of Successive Averages (MSA) and Constant Weight (C-W) are put forward. Qualitative and quantitative analysis with simple calculation example are given to analyze the benefit allocation among heterogeneous travelers under the implementation of TDM policies.

Furthermore, the model is applied in large scale comprehensive transportation network. The data structure and the shortest path algorithm of multi-modal network are optimized and the unrealistic paths ignored by existing commercial transportation planning software are also tackled effectively. On the basis of transfer station and path choice of combined modes, taking fares of bus, rail and taxi as model's variables, the non-separable Multi-class Multi-criteria Multi-modal Combined Model is tested in mini-Santiago network, large scale multi-modal network in Huizhou and Shenzhen. The convergence and results of GPL, MSA and C-W algorithms are compared. Solution of car flow with different VOT is not stable but total car flow is stable which is consistent with theory. The results are quite different under different travelers' classification, which supports the importance of travelers' heterogeneity consideration.

16 pure and combined TDM measures such as cordon based congestion charge, bridge's charge, parking charge, Park and Ride, fuel pricing, public transportation (rail and bus) fares decrease, bus exclusive lanes construction, transfer time decreased and truck regulation, are tested quantitatively in Huizhou's comprehensive transportation network. It focuses on the sensitivity of public transport fares, the competition between taxi and urban rail transit, the effect of bus exclusive lanes, the different effects of cordon based congestion charge and parking charge as well as the demand of Park and Ride under the different parking charge. Vehicle emissions, modal shift and traffic spatial shift under the combined policies are also studied in detail. Many points are valuable for transportation decision makers. (1) Although bus fare decrease encourages people to use pure bus mode, passengers taking the combined mode with rail may be decreased because of the bus in-vehicle congestion. Combined measures such as decreasing the fare of bus and rail simultaneously and increasing bus frequency, will lead to modal share shift more effectively. Rail fare decrease will result in less use of pure taxi and private cars. But the combined mode between taxi and private car to rail maybe increase if the rail network has no scale effect. (2) Bus exclusive lanes will increase the passenger flow density on them. Meanwhile cars will change their route to save time, thus decreasing the service of common buses. Consequently, the total modal share of bus can't increase obviously. So it is important to plan certain scale of bus exclusive lane network. (3) Cordon based congestion charge mainly affects the through traffic and arrival traffic from non-charging area to charging area. Parking charge mainly influences the whole the charging area's arrival traffic. The effect of route and modal change of private car users depends on the range of charging area and the spatial distribution of travel demand. In the tested case, congestion charge takes more effect on big volume through traffic and has restrained the car users more effectively than parking charge in the whole city, but it has reverse result in parking charge area. (4) Whether P+R mode works well rests on many factors like parking fare, rail fare, transfer time and the congestion of center area. Using push and pull--combined policies will be more effective.

**Key Words:** Travel Demand Management Policy Evaluation, Transportation Network Equilibrium, Urban Comprehensive Transportation Network, Multi-Class Multi-Criteria Multi-Modal Combined Model, Heterogeneous Value of Time, Mixed Logit/Random Coefficient Logit(RCL)/Random Parameters Logit(RPL), RP/SP Combined Data

## 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 论文研究背景 .....	1
1.2 论文研究目的和意义 .....	2
1.3 论文研究内容和研究方法 .....	3
1.4 论文研究技术路线和章节安排 .....	4
第二章 交通需求管理政策及评价模型关键问题分析 .....	7
2.1 交通需求管理概述 .....	8
2.1.1 交通需求管理的定义 .....	8
2.1.2 交通需求管理的具体措施、作用机理及组合使用的重要性 .....	9
2.1.3 交通需求管理在国内外的应用概况 .....	13
2.2 交通需求管理政策评价方法综述 .....	17
2.2.1 交通需求模型发展概况 .....	17
2.2.2 交通需求管理政策评价综述 .....	18
2.2.3 交通需求管理政策定量分析及拥挤收费研究综述 .....	22
2.3 交通需求管理政策评价建模的关键问题分析 .....	27
2.3.1 出行者的时间价值——多准则 .....	27
2.3.2 出行者的异质性——多用户 .....	29
2.3.3 综合交通系统的交通方式的选择和相互影响关系——多模式 .....	30
2.4 本章小结 .....	30
第三章 政策模型参数——非同质时间价值研究 .....	31
3.1 国内外时间价值研究综述 .....	31
3.2 非同质时间价值标定方法 .....	35
3.2.1 Mixed Logit 模型及时间价值分布参数分析 .....	35
3.2.2 RP/SP 融合数据的参数估计 .....	39
3.3 时间价值标定的实证分析 .....	40
3.3.1 SP 数据的时间价值分布实证分析 .....	40
3.3.2 RP/SP 融合数据的时间价值研究分析 .....	42
3.3.3 意愿支付 WTP (Willingness to Pay) 调查的实证分析 .....	45
3.4 本章小结 .....	45
3.5 本章附录 .....	46
附录 3-A SP 数据参数标定的各交通方式效用函数 .....	46
附录 3-B RP/SP 融合数据参数标定的各交通方式效用函数 .....	46
第四章 多用户多准则多模式交通网络均衡分配理论研究 .....	47
4.1 交通网络均衡模型简介 .....	47
4.1.1 Wardrop 均衡原理和 Beckmann 变换式 .....	47
4.1.2 随机用户均衡交通分配 .....	48
4.1.3 路段阻抗不可分离(Non-Separable)的交通分配模型及算法 .....	49
4.2 多用户多准则多模式交通分配模型 .....	51
4.2.1 多用户(Multi-Class)多准则(Multi-Criteria)交通分配 .....	51
4.2.2 多模式(Multi-Modal)交通分配 .....	58
4.2.3 路段成本的非可加性分析 .....	60
4.2.4 交通分配模型的政策评价适用性分析 .....	61
4.3 多模式交通分配模型路段阻抗函数及其基于仿真的参数标定研究 .....	61
4.3.1 多模式交通分配路段阻抗函数分析 .....	61
4.3.2 基于 VISSIM 仿真的多用户交通分配路段阻抗函数参数标定 .....	67
4.4 多用户多准则多模式混合交通分配模型解唯一性的进一步探讨 .....	70
4.5 本章小结 .....	72
第五章 面向交通需求管理政策评价的多用户多准则多模式四阶段组合模型研究 .....	75

5.1 研究综述.....	75
5.1.1 面向一致的交通需求预测组合模型及交通政策分析应用 .....	75
5.1.2 公共交通分配模型及其在组合模型中的应用 .....	84
5.1.3 组合模型在大规模城市综合交通网络的实际应用 .....	87
5.2 多用户多准则多模式组合模型建立及等价性证明 .....	91
5.2.1 多用户交通行为描述 .....	91
5.2.2 模型的构建和交通行为等价性证明 .....	92
5.3 组合模型的算法和参数标定 .....	97
5.3.1 模型的算法 .....	97
5.3.2 模型的参数标定 .....	101
5.4 交通需求管理政策对不同出行者利益影响的简单算例 .....	102
5.5 本章小结 .....	108
<b>第六章 政策评价模型在大规模城市综合交通网络中的应用 .....</b>	<b>109</b>
6.1 综合交通网络拓扑结构表述 .....	109
6.2 综合交通网络的最短路径算法 .....	111
6.2.1 多模式交通网络最短路径算法的改进 .....	112
6.2.2 多模式交通网络最短路径算法的非法路径处理 .....	114
6.3 组合换乘交通方式行为分析 .....	117
6.4 公交车、轨道交通和出租车票价在建模中的处理 .....	119
6.5 模型计算概述 .....	120
6.6 模型在大规模综合交通网络的计算效果分析 .....	121
6.6.1 不同算法的收敛速度分析 .....	121
6.6.2 不同算法下路段流量解差异分析 .....	125
6.6.3 不同出行者分类数下的方式分担和路段流量解差异分析 .....	127
6.7 交通需求管理政策下的效果评价实例 .....	128
6.7.1 TDM 政策模型测试概述 .....	128
6.7.2 公共交通票价敏感性、出租车与轨道交通关系分析 .....	129
6.7.3 公交专用道设置效果分析 .....	131
6.7.4 区域拥挤收费和停车收费政策对比 .....	132
6.7.5 停车换乘模式(P+R)需求分析 .....	133
6.7.6 组合 TDM 政策实施效果示例 .....	134
6.8 本章小结 .....	142
6.9 本章附录 .....	144
附录 6-A 模型测试的综合交通网络图 .....	144
附录 6-B 模型输入及交通方式的广义成本计算 .....	147
附录 6-C 模型主要计算流程源代码 .....	150
<b>第七章 结论与展望 .....</b>	<b>151</b>
7.1 论文的主要研究成果和创新点 .....	151
7.1.1 论文的主要研究成果 .....	151
7.1.2 论文的主要创新点 .....	152
7.2 论文的不足之处和研究展望 .....	153
附录 缩略名词表 .....	156
致谢 .....	157
参考文献 .....	158
个人简历 在读期间发表的学术论文与研究成果 .....	171

# 第一章 绪论

## 1.1 论文研究背景

近年来,随着经济和社会的发展,我国城市交通基础设施建设发展十分迅速,但机动化的冲击仍是很多城市面临的问题。城市交通日益显露出机动化需求与资源制约的矛盾,使政府的职责不是单纯无休止的提供交通基础设施,更重要的是通过交通政策手段引导交通行为、构建资源和能源节约型的多模式交通服务、优先发展公共交通的服务体系,实现城市交通的可持续发展。我国的很多大城市,特别是北京、上海、广州、深圳等城市在经过一系列大规模基础设施规划建设后,城市可供交通基础设施建设的潜在空间资源已经十分有限。仅靠交通供给方面的对策,很难从根本上解决城市交通中供求不平衡的矛盾,因此引入了交通需求管理(TDM)的概念,明确了从供需两个方面解决城市交通问题的思想。这是在交通规划和解决城市交通问题指导思想上的一个转变。中央和地方政府对包括公交优先在内的交通需求管理政策十分重视,2006年12月1日,建设部等四部委联合下发了《关于优先发展城市公共交通若干经济政策的意见》,要求各地加大城市公共交通的投入,建立低票价的补贴机制,认真落实燃油补助及其他补贴政策,优先发展公共交通<sup>[2]</sup>。实施城市交通需求管理政策是解决城市交通拥堵问题的有效手段。拥挤收费、停车收费,公交票价调整,公交专用道设置,快速公交BRT线网规划等一系列颇受公众关注和争议的交通需求管理政策,其实施效果如何,是交通规划工作者需要向决策者回答的问题。

交通需求管理政策分析对交通需求模型提出了新的要求。虽然我国的城市交通规划模型在过去几十年里取得了长足的进步,但总体水平仍然落后于国外先进水平。国内大多数城市的交通规划研究机构使用的是国外的商业规划软件,而商业规划软件开发的模块一般来说是比较成熟的理论,不能反映规划理论和模型进展的动态,如传统的四阶段模型对政策的分析能力十分有限,即使是PTV公司开发的功能强大的交通需求模型软件,对交通需求管理政策的评价能力仍然显得薄弱。

出行者的特性和他们对交通方式、路径等选择行为是交通系统需求方的基本特征,不同收入层次、不同出行目的等差异会直接导致出行者对不同交通模式的需求。完全集计的交通模型难以精确地描述交通需求,完全非集计又对调查数据和工作量提出了挑战。因此,考虑多类用户对交通系统的出行需求,采用相对集计的办法,既考虑出行者行为的差异性,又考虑方法的可操作性,是理论和实际必须衔接的问题。

传统的基于网络的交通需求模型考虑影响出行行为的因素十分有限。非集计模型从效用理论出发,考虑了交通供给方的费用、时间、舒适性,交通需求方的年龄、性别、家庭结构等一系列因素,为传统的四阶段方法提供了有力的补充,同时也成为基于活动的交通需求模型的重要分析工具。基于活动的交通需求模型以家庭作为决策的单元进行分类,考虑活动和出行的时间,综合时间、空间和人与人之间的约束关系和事件发生的相互依赖关系,对交通政策的效果评价存在一定的优势。但基于活动的模型很少能在交通网络的层面上考虑,即使应用到网络层面,往往也不考虑网络的拥挤效应。此外,基于活动的模型需要大量详细调查数据,模型需要大量计算时间,适用于小范围的交通政策评价,难以应用在大规模城市交通系统,这些缺点使得其不能广泛应用。在交通需求管理政策作为缓解交通问题的重要手段的背景下,常规的交通模型已经不能适应大规模城市交通系统的政策评价需要。

在多模式的综合交通体系下,交通方式之间既存在竞争关系,又存在合作关系。交通需

求管理政策对多模式交通系统均衡的扰动产生的效果是难以简单判断的,不同交通政策存在错综复杂的关系,定性分析政策的组合使用效果是不够的,甚至可能出现适得其反的效果。

因此,结合出行者的不同特征、考虑政策对多种交通行为影响因素的变化以及多种政策在多模式交通体系下的作用机理,研究适合我国城市交通特点,能够评价交通需求管理政策的交通模型是当前我国城市交通规划和管理迫切需要解决的问题。

## 1.2 论文研究目的和意义

论文从交通网络均衡的角度出发,建立一个具有交通需求管理政策分析的交通模型,并对大规模城市综合交通系统进行实际应用,有效地分析交通需求管理政策的实施效果,并分析了政策对不同出行者的交通行为影响和利益公平性,为交通政策的决策者提供科学的、完备的决策参考。本论文力求采用定量分析的方法,来研究综合交通体系下的政策实施效果。

论文的研究意义包括理论和实际应用价值两个方面:

### 理论意义:

(1) 模型政策变量的引入和交通需求管理政策分析功能的实现。评价交通需求管理政策就是要将政策实施转化为交通行为影响因素变化,从而实现政策效果的量化研究。可以将交通方式的规划服务水平 and 经济杠杆手段转换为旅行时间、费用、可靠度等重要的交通行为影响因素,并尽可能多地引入其他次要因素。论文将综合运用交通工程学、运筹学、最优化理论、行为科学、政策科学、经济学和博弈论等多学科的先进研究成果,建立基于多用户的交通政策效果评价模型。一方面可以进一步丰富和完善交通行为分析和交通需求预测理论,将交通需求管理需求预测工作更加准确;更重要的是将交通政策方案作为交通规划的重要组成部分,和基础设施方案一起进行综合测试,形成“软硬结合”的交通规划理论体系。

(2) 丰富和完善基于一致的多模式交通需求预测模型。传统四阶段模型的各个阶段基于不同的理论方法,没有统一的理论体系,各个阶段没有很好的反馈作用,缺乏一致性。同时,很难解释综合交通网络体系下各种交通方式之间的相互均衡和状态的稳定性,各种交通方式之间的相互衔接和协调优化问题难以综合考虑。本论文将完善国际上前沿的多用户多准则多模式交通需求组合模型,形成一致的交通行为理论体系,考虑各种交通方式之间的换乘衔接,系统化和集成化地研究综合交通体系下的交通行为,从理论上解析多模式交通体系下的网络均衡特征。

(3) 大规模城市综合交通网络实际应用的算法完善。构建一个复杂而理想化的交通模型并不是建模的真正目的,本论文将综合应用最优化理论、变分不等式和双层规划等数学工具以及先进的算法,研究可行的、适合大规模城市综合交通网络的模型算法,将理论联系实际,解决模型的实际应用问题。

### 实际应用价值:

(1) 近期交通需求管理政策出台和实施层面,实质上是不同出行群体利益的再分配。各种颇受公众关注和争议的交通政策实施效果如何,是交通规划工作者需要向决策者和公众澄清的问题。不同交通政策的组合使用,在多模式交通服务体系下产生的影响是系统性的,它依赖于城市交通的需求特征、网络拥挤的状态和多模式交通之间的竞争服务水平等等。例如研究拥挤收费对缓解交通拥挤缓解的效果,不但要分析交通流量在空间上的转移,又要从交通模式的转移上进行研究,在不同城市综合交通网络的形态和交通需求特征下会有不同的结果。近几年来,我国不少大城市对拥挤收费都跃跃欲试,但至今尚未得到实施,其中的一个主要原因,是无法明确这项成本巨大而颇受争议的交通政策的效果到底如何。又如北京的

轨道交通 2 元一票制到底能够吸引多少人来使用轨道交通, 这些吸引的人群原本使用的是公交车还是私人小汽车, 对道路交通拥挤的缓解产生什么样的效果? 北京和上海的停车换乘系统, 停车收费定价的如何确定, 不同停车收费下 P+R 模式的需求状况如何, 城市中心区交通拥挤缓解相对于停车场土地开发成本的效益如何? 随着我国城市交通的不断发展, 交通模式逐渐向满足多样化需求方向发展, 交通需求管理政策评价面临的是错综复杂的综合交通系统均衡状态变化。同时交通需求管理政策本身具有多样性和组合性, 不同的对策组合实施效果是政府有关部门在进行最优决策过程中必须要明确的问题。交通政策的本质是对出行者利益的强制再分配, 其公平性分析也十分重要。这一系列问题的回答, 都需要有一个量化分析的工具。

(2) 在远期的城市综合交通规划战略及实施层面, 将交通需求管理政策作为规划和战略实施的重要组成部分并进行有效评估十分必要。笔者作为若干城市的综合交通规划编制者, 常常需要回答“远期规划年达到目标公交分担比的保障措施是什么, 政策上应该做些什么?”、“公交专用道开辟对吸引客流的效果如何, 公共交通的票价调整会给城市交通拥挤缓解带来什么效果”……等等一系列问题。这些问题的回答, 需要将交通基础实施建设方案和配套交通政策方案同时进行测试, 才能从理论上说明交通规划战略目标的可实施性。城市交通战略规划的核心是交通模式的选择, 战略规划的实施效果是否能够达到交通模式的战略愿景, 需要将交通基础设施建设和交通政策协同起来考虑。传统的交通需求预测方法很难将政策变量引入, 造成对交通规划方案测试的要素缺失。建立一个耦合基础设施建设规划和交通政策实施的需求预测模型, 可以更加完善地回答城市交通战略规划实施和战略愿景之间的关系, 明确政策的具体实施效果, 为决策者提供科学的决策依据。在交通规划工作中, 决策者关心的不仅是城市交通基础设施的规划, 更重要的是关心如何实现交通规划的战略目标。

### 1.3 论文研究内容和研究方法

论文以评价交通需求管理政策实施效果为切入点, 在系统分析交通需求管理政策应用现状、作用机理和评价的关键性问题的基础上, 综合运用体现出出行者异质性的高级离散选择模型、多用户多准则多模式网络均衡组合模型, 结合实际数据调查的方法、交通流仿真的方法和计算机模拟的方法, 构建了一个适用于大规模城市综合交通网络的、能够定量分析交通需求管理政策效果的一体化模型, 研究的内容主要包括如下五个方面:

(1) 阐述交通需求管理的定义、具体措施和作用机理, 以及在国内外的应用情况。在结合分析国内外交通需求管理政策评价方法和交通需求模型发展的基础上, 以拥挤收费为例, 分析了定量研究交通需求管理政策的复杂性。进而提出了评价交通需求管理政策建模的三个关键性问题: 首先是从多准则的角度分析政策对不同出行行为因素的影响; 其次是从多用户角度分析不同出行者的行为属性差异, 分析不同出行者对时间和费用的支付偏好; 再此是从多模式交通的角度, 分析出行者采用单一交通方式和组合换乘交通方式的选择行为和它们之间的相互影响关系。

(2) 总结了国内外出行时间价值的研究方法, 研究了基于 Mixed Logit 模型和 RP/SP 融合数据的非同质时间价值标定方法, 并用 SP 调查数据进行了时间价值分布的参数标定, 用 Mixed Logit 模型和 Nested Logit 模型对 RP/SP 融合数据的不同交通方式时间价值参数标定进行了对比。另外还采用愿意支付的调查方法验证了时间价值服从对数正态分布的可靠性。出行者非同质时间价值的标定为论文模型提供了基本的输入参数条件。

(3) 系统总结了多用户多准则多模式交通分配模型的特征、构建方法及算法, 将时间

价值连续分布和离散分布的多用户交通分配模型和道路拥挤收费政策结合起来进行分析。分析了多用户、多模式（多车种）交通分配模型的解唯一性问题，并研究了对应的路段阻抗函数形式及参数和模型解唯一性的关系，运用 VISSIM 对多车种交通流进行了仿真并标定了路段阻抗函数的参数。最后对多用户、多模式（多车种）混合交通分配模型解的唯一性作了进一步研究分析。

(4) 从建模方法、模型特征、算法、交通政策评价应用等方面，系统全面地介绍了面向一致的交通需求组合模型的理论方法和实际应用，并进行了对比研究。在此基础上构建了适用于交通需求管理政策、考虑交通方式之间换乘的多用户多准则多模式四阶段组合模型，给出了模型的等价性证明，按路段阻抗函数可分离和不可分离的情形给出了不同的算法，并说明了模型参数标定的方法。定性和定量分析了交通需求管理政策实施下不同出行者的利益分配情况，并给出了简单的算例分析。

(5) 研究了组合模型在大规模城市综合交通网络的交通需求管理政策评价的实际应用。结合组合模型的综合交通网络拓扑数据结构，优化了多模式交通网络的最短路算法，有效地解决了现有交通规划软件尚未解决的非法路径问题，并通过了大型交通网络的测试。分析了组合换乘方式行为、公共交通和出租车票价在模型中的表示方法，对模型在大型和中型的综合交通网络进行了测试，并比较了广义部分线性化算法(GPL)、相继平均法(MSA)、和固定步长法(C-W)的收敛速度及解的差异性分析。还对出行者在不同分类数目下的模型输出结果进行了对比。

(6) 论文以惠州市区综合交通网络为案例，分析了区域拥挤收费、桥梁收费、停车收费、P+R 停车换乘系统、燃油价格提高、公交(轨道和常规公交)票价调整、公交专用道设置、交通枢纽换乘效率提高、货车通行管制等多项单一交通需求管理政策以及不同政策组合使用对缓解交通拥挤定量效果分析。重点对公交票价敏感性、出租车和轨道交通的竞争关系，公交专用道设置的效果，区域拥挤收费和停车收费效果对比以及不同定价下的停车换乘系统需求等问题进行了分析研究，得出许多值得交通政策制定者重视的结论。最后，对组合交通需求管理政策的实施效果进行了详细分析，并给出了基于排放因子的环境污染改善空间栅格分析。

论文采取的研究方法包括以下几种：

- (1) 以定性分析为基础，构建定量分析模型，采取了定性和定量分析结合的方法；
- (2) 国内外交通需求政策评价相关模型和软件系统的总结与分析；
- (3) 数学解析模型与大型综合交通网络计算机编程模拟相结合的方法；
- (4) 交通模型计算数据和 GIS (Geographic Information System) 结合的空间网络分析方法。

## 1.4 论文研究技术路线和章节安排

论文共分为七章，第一章为绪论；第二章提出了交通需求管理政策评价建模的三个关键问题；第三、四、五三章分别对第二章提出的三个关键问题依次进行研究并建立了多用户多准则多模式凸规划和变分不等式组合模型；第六章是模型在大规模城市交通网络中的应用，第七章为结论与展望。

论文的研究技术路线和章节内容安排如图 1-1。

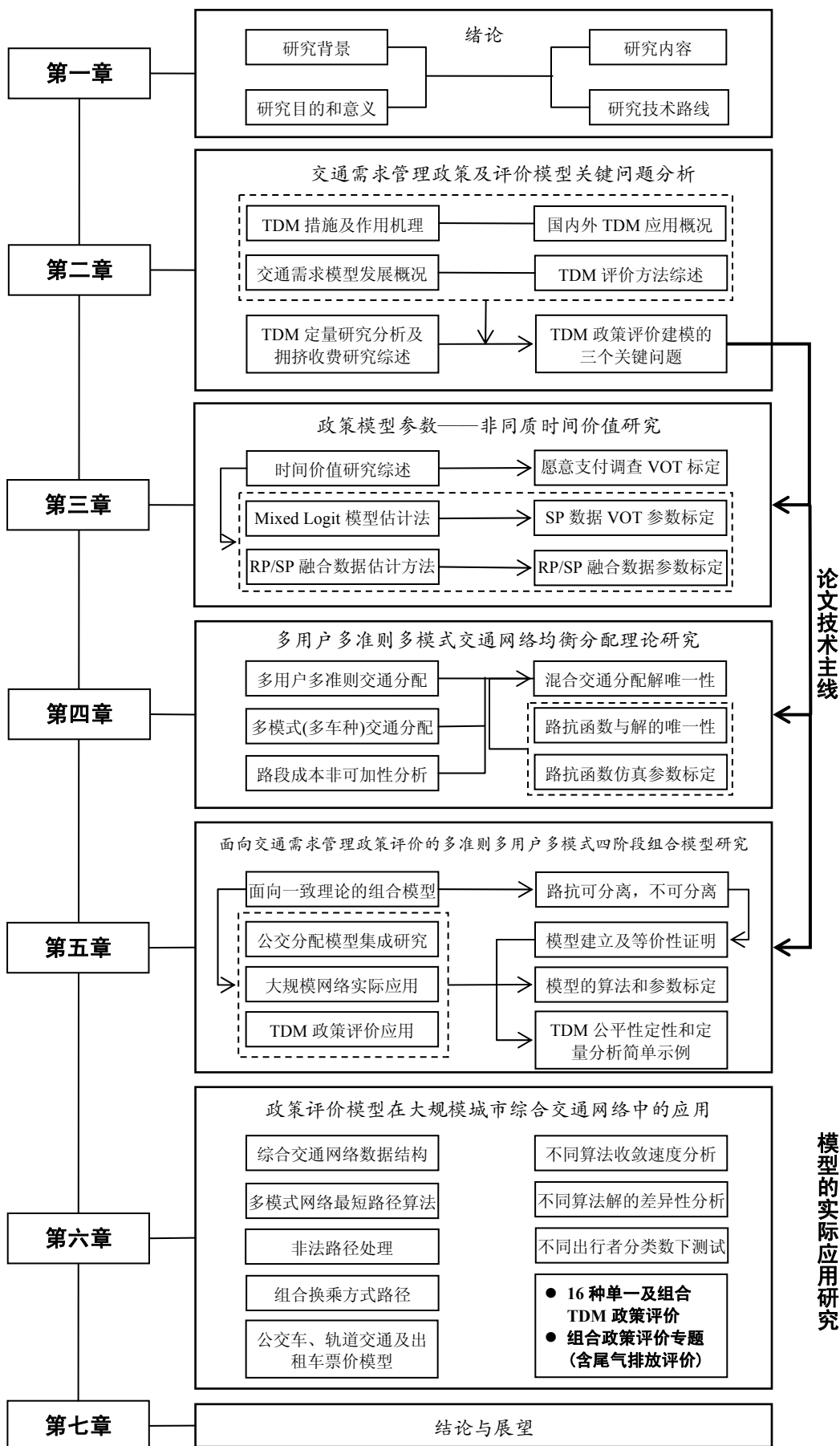


图 1-1 论文研究技术路线和章节安排

论文按照“TDM 政策实施→交通行为影响→交通行为描述与模型构建→政策实施效果评价”的逻辑框架，对相关问题展开研究，如图 1-2。

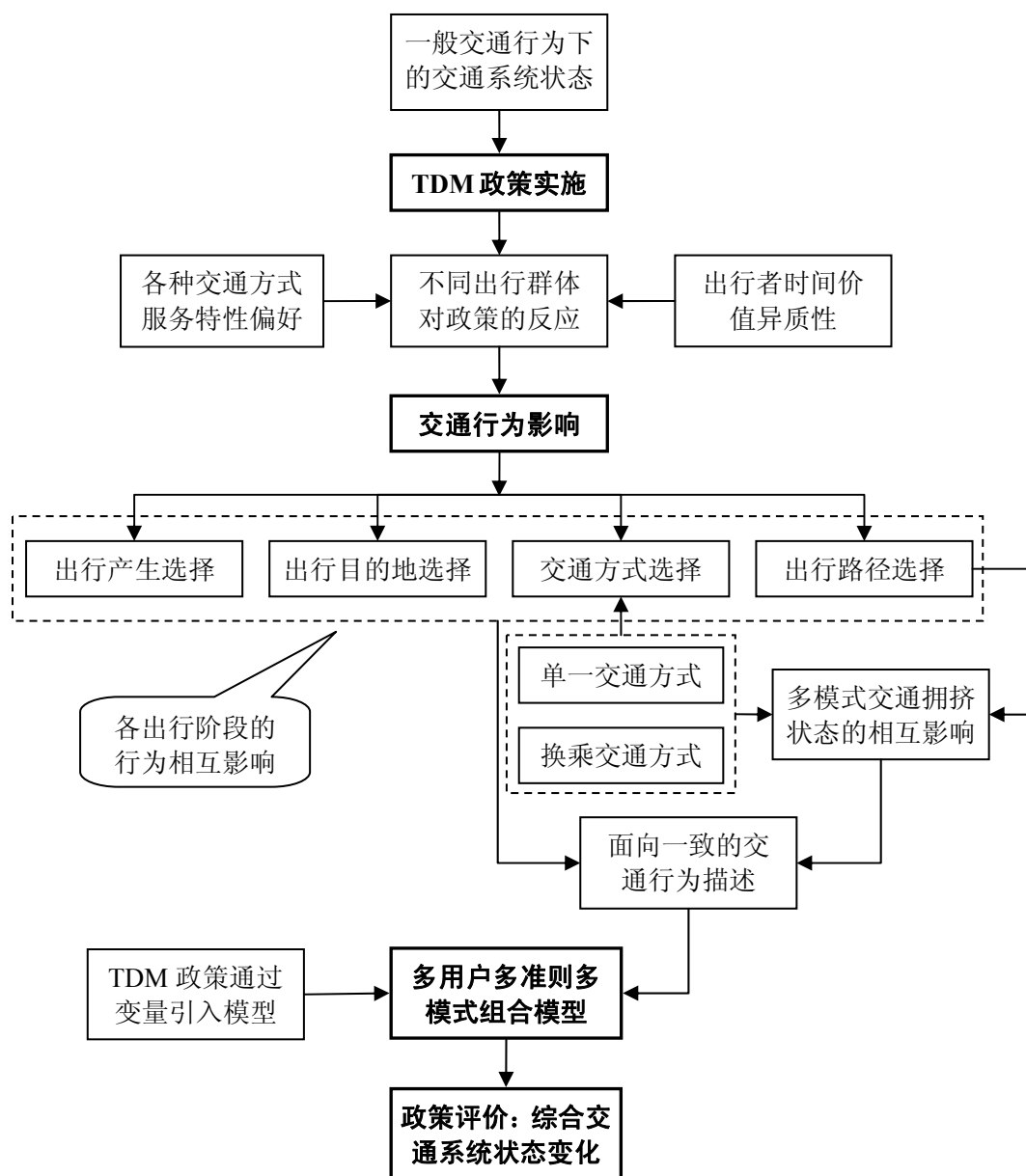


图 1-2 论文技术路线的逻辑框架

## 第二章 交通需求管理政策及评价模型关键问题分析

城市综合交通规划的交通战略目标通常为：促进城市社会、经济发展和区域协调发展，以交通引导城市发展；解决道路交通拥挤，促进交通畅通；提高公交服务水平，方便居民出行；改善慢行交通环境等等。为了实现以上战略目标，往往需要制定相应的战略方针。如新建交通基础设施；交通与土地利用协调发展；多模式交通协调发展，公交优先措施，道路交通流在时间和空间上和交通需求之间的平衡；综合的交通定价政策（道路收费、停车费率和公交票价）；交通流组织与管理；停车政策与管理等等。图 2-1 从长期和短期、需求和供给的角度给出了城市综合交通战略方针的工具。可见交通需求管理在城市综合交通战略方针中具有重要的地位。

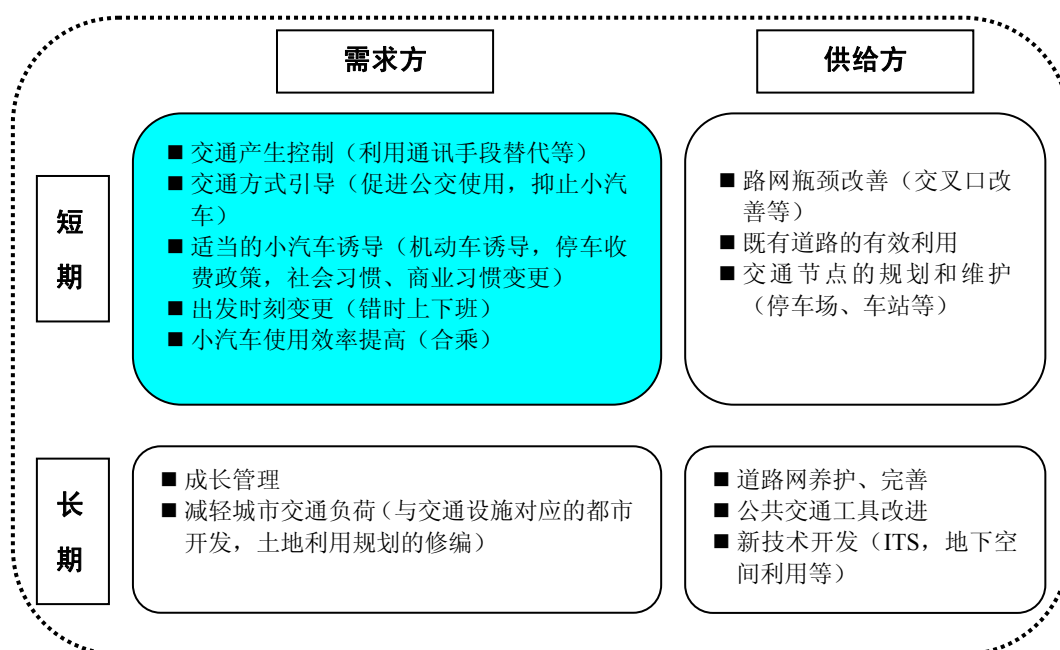


图2-1 城市综合交通战略方针工具箱<sup>[3]</sup>

交通拥挤是经济及机动化发展一定程度和世界各国城市普遍面临的问题。当在有限的城市空间内修建基础设施难以满足日益增加的交通需求时，交通需求管理作为一种调控的政策手段，受到了政府有关部门和交通工程师的青睐。交通需求管理最早在 20 世纪 70 年在一些资源相对短缺的国家得到了研究和应用。20 世纪 80 年代末期，随着可持续发展理论的发展，交通需求管理作为一种在有限的资源下调节供需矛盾的有效方法，在城市交通政策中的地位越发显得重要。到了 90 年代，交通需求管理成为美国、日本、澳大利亚等发达国家研究的热点。随后，欧洲部分国家或地区也采取了相应的交通需求管理措施来缓解城市交通拥挤，改善城市环境质量。不少国家的研究和实践证明交通需求管理在缓解城市交通拥堵、改善交通污染状况上具有较显著的效果。我国尽管目前大部分城市道路网密度与发达国家相比仍有较大差距，但新建道路会诱发新的交通需求，从而产生新的交通阻塞及能源问题。因此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。在北京、上海等一些大城市，土地资源的紧缺以及道路的高建设成本使得增加交通基础设施的供给十分有限，政府有关部门已经认识到了交通需求管理的重要性，并开始进行了相关研究。如北京市交通委员会