

国家重点基础研究发展计划 ( 973 ) 资助 ( 2005CB724205 )

Optimization and Management for  
Urban Transportation Environmental System

# 城市交通环境系统 优化与管理

郭怀成 王 真 郁亚娟 等编著



化



化学工业出版社

Optimization and Management for  
Urban Transportation Environmental System

# 城市交通环境系统 优化与管理

郭怀成 王 真 郁亚娟 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书从交通带来的大气、噪声、土地利用等问题出发,按照“模拟-预测-分析-优化-管理”的思路,建立了城市交通环境的系统动力学模拟与预测模型,对案例城市北京市的交通环境进行了模拟和预测,对交通环境的外部性做出定量研究,同时对交通一体化、便捷性及交通和土地的相互影响做出量化评价,识别出城市交通环境的调控关键因子。最后,分别基于出行和机动车保有量结构,建立了综合的交通优化管理模型。

本书可作为城市交通系统研究、交通环境管理等研究方向的学者、研究生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市交通环境系统优化与管理/郭怀成,王真,郁亚娟编著.  
北京:化学工业出版社,2011.5

ISBN 978-7-122-10745-9

I. 城… II. ①郭…②王…③郁… III. 城市交通-环境污染-  
污染控制 IV. X734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 041670 号

---

责任编辑:王 斌

文字编辑:汲永臻

责任校对:蒋 宇

装帧设计:关 飞

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 13 字数 259 千字 2011 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

我国正处在城市化的加速进程中，城市人口膨胀、经济活动频繁，日益增长的交通需求与相对不足的交通服务设施之间存在着较大矛盾，引发了大气和噪声污染、能源紧张、交通拥挤、土地紧张等一系列问题，成为我国城市可持续发展面临的主要问题之一。传统从土地利用和机动车流上对城市交通的管理对环境问题的关注程度严重不足，交通建设与环境保护之间缺乏有机的关联，无法为交通环境保护提供有效的支撑。为了应对严峻的城市交通环境问题，我国在《公路水路交通“十一五”发展规划》中提出了坚持全面协调和可持续发展的原则，并把交通资源节约和环境保护研究作为今后研究和发展的重点内容之一。本质上，交通问题与人口、大气、土地、能源等因素之间存在着内在关联，单纯研究交通系统无法适应当前城市交通管理的需求。由于我国城市交通发展有其自身特点，与国外外延式发展存在明显的不同，国外成功的经验并不一定适用于我国情况，迫切需要对我国的城市交通问题开展系统性研究，从而满足城市环境保护和可持续发展的战略需求。本书试图从环境保护和交通环境优化的角度，分析城市交通系统的环境属性，探索克服城市交通环境问题的政策管理措施，为城市管理提供科学的决策依据，从而达到交通管理的环境导向目标，最终实现城市的可持续发展。

为了综合考虑基于城市复合生态系统理论的交通问题，本书从城市可持续交通概念出发，融合环境科学、城市生态学、系统科学、可持续发展论等基本理论，紧紧围绕交通环境问题的优化与管理这条主线，力图建立科学的交通环境管理研究方法 与政策体系，解决我国交通快速发展带来的一系列环境问题，主要内容涵盖交通环境可持续管理的基本理论、系统模拟与分析、外部性影响以及政策的制定与实施。

可持续交通环境管理是作为一个全新的领域，需要在理论、方法和实证三方面开展研究，并充分运用城市生态调控和城市生态学的相关理论和方法。本书作者完成了如下的研究和创新：①从内涵、特征、理论基础、理论体系等方面，在国内外首次系统地对城市可持续交通优化管理的概念和理论体系进行了界定和系统阐述；②针对城市交通系统的复杂性、不确定性等特征，以 973 项目为依托，运用多学科方法，将交通系统模拟与仿真、不确定性分析、综合评价等方面的研究结合，围绕两个核心概念建立了系统的研究方法体系，包括交通状态变化与趋势模拟，交通环境的外部性分析，可持续交通综合评价，可持续交通管理策略的提出与优化四部分，并将不确定性分析贯穿研究的全过程，实现了不同模型间的关联和数据共享；③将提出的理论体系与研究方法应用于所承担的“城市生命体承载系统的健康识别和调控理论与方法研究”中，以北京市交通为案例进行实证分析，研究成果已经提

交到北京市政府参事室，得到北京市政府的高度重视，部分建议已在交通管理措施中得到体现，取得了良好的社会、经济和环境效应。

可持续交通管理与优化研究是一个全新的领域，其在国内外仍处于起步阶段，研究范围广，方法新，希望本书能够推动我国在该领域的理论、方法和实证的广泛研究，促进相关问题的提出、探讨和解决，并为解决我国在快速城市化中遇到的城市交通环境问题提供有益的参考。

参加本书编写的人员有郭怀成、王真、郁亚娟、何成杰、姜玉梅、刀涓、刘慧、徐志新、詹歆晔、刘永、周丰、阳平坚、王金凤、李娜、杨永辉、盛虎，全书由郭怀成、王真、郁亚娟负责修改定稿。

本书内容是国家重点基础研究发展计划 (973)：现代城市“病”的系统识别理论与生态调控机理项目之课题 5 “城市生命体承载系统的健康识别和调控理论与方法研究” (2005CB724205) 的部分研究成果。该课题研究自始至终得到项目首席科学家黄国和教授的大力指导、支持与帮助；得到课题组协作单位严新平教授、吴超仲教授全力支持与协助；研究也得到项目其他课题组同行专家、学者的帮助与指导。在此一并表示诚挚的感谢！

**编者**

**2011 年 1 月于燕园**

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>1 城市可持续交通概述</b>          | 1  |
| <b>1.1 城市可持续交通的概念、组成与特征</b> | 1  |
| 1.1.1 城市可持续交通的概念            | 1  |
| 1.1.2 城市可持续交通系统组成           | 3  |
| 1.1.3 城市可持续交通的系统特征与功能       | 4  |
| 1.1.4 城市可持续交通研究的关键问题        | 6  |
| <b>1.2 城市可持续交通的基础问题</b>     | 7  |
| 1.2.1 城市交通-土地模拟             | 10 |
| 1.2.2 城市交通的环境导向             | 17 |
| 1.2.3 城市交通及生态调控             | 23 |
| 1.2.4 城市交通环境管理的不确定性         | 29 |
| <b>2 城市可持续交通管理的理论基础</b>     | 30 |
| <b>2.1 城市复合生态系统论</b>        | 30 |
| 2.1.1 复合生态系统论               | 30 |
| 2.1.2 城市自组织特点               | 31 |
| 2.1.3 城市生态控制论               | 31 |
| <b>2.2 城市生态系统健康理论</b>       | 32 |
| 2.2.1 生态系统健康理论              | 32 |
| 2.2.2 城市生态系统健康论             | 33 |
| 2.2.3 城市生命体与健康诊断理论          | 33 |
| <b>2.3 城市交通与土地相互作用</b>      | 35 |
| 2.3.1 城市道路的功能               | 35 |
| 2.3.2 交通与土地利用               | 36 |
| 2.3.3 交通对土地的影响              | 37 |
| <b>2.4 外部性理论</b>            | 38 |
| 2.4.1 噪声和震动                 | 41 |
| 2.4.2 能源消耗                  | 42 |
| 2.4.3 交通拥挤                  | 43 |
| <b>2.5 不确定性理论</b>           | 43 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>2.6 最优化理论</b>                    | 46 |
| 2.6.1 最优化理论的内涵与分类                   | 46 |
| 2.6.2 基本范式与交通环境管理最优化                | 47 |
| <b>3 北京市交通环境概况与问题基本诊断</b>           | 49 |
| <b>3.1 北京市概况</b>                    | 49 |
| 3.1.1 社会现状与城市化水平                    | 50 |
| 3.1.2 经济运行现状                        | 51 |
| 3.1.3 交通发展状况                        | 52 |
| <b>3.2 北京市交通问题初步诊断</b>              | 55 |
| 3.2.1 交通环境污染现状与分析                   | 55 |
| 3.2.2 交通对土地的影响                      | 56 |
| 3.2.3 交通能源供求分析                      | 58 |
| 3.2.4 交通与社会经济的相互作用                  | 60 |
| <b>4 城市交通环境系统的系统动力学模拟</b>           | 63 |
| <b>4.1 系统动力学模型简介</b>                | 63 |
| 4.1.1 模型的建立                         | 63 |
| 4.1.2 模型检验                          | 67 |
| <b>4.2 城市交通环境系统模型的建立</b>            | 67 |
| 4.2.1 模型检验结果                        | 68 |
| 4.2.2 模拟结果与不确定性                     | 68 |
| <b>5 城市交通环境系统的外部性分析</b>             | 74 |
| <b>5.1 交通 CO<sub>2</sub> 排放的外部性</b> | 74 |
| 5.1.1 大尺度定性评估                       | 74 |
| 5.1.2 植树成本法定量评估                     | 78 |
| 5.1.3 北京市交通 CO <sub>2</sub> 的环境影响   | 78 |
| <b>5.2 交通常规污染的健康影响</b>              | 82 |
| 5.2.1 评估方法                          | 82 |
| 5.2.2 NO <sub>x</sub> 的健康影响         | 84 |
| 5.2.3 PM <sub>10</sub> 的健康影响        | 88 |
| 5.2.4 噪声的健康影响                       | 91 |
| 5.2.5 环境污染的经济分析                     | 93 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 5.3   | 交通 PAHs 污染风险评价 .....     | 94  |
| 5.3.1 | 大气 PAHs 风险 .....         | 94  |
| 5.3.2 | PAHs 风险评价 .....          | 101 |
| 5.4   | 城市交通事故的经济损失 .....        | 108 |
| 5.4.1 | Downs 定律 .....           | 108 |
| 5.4.2 | Downs 定律实证分析 .....       | 108 |
| 5.4.3 | 道路安全与交通经济损失分析 .....      | 110 |
| 5.4.4 | 交通事故的经济损失分析 .....        | 111 |
| 6     | 交通土地利用的量化评价 .....        | 116 |
| 6.1   | 土地利用的综合效益分析 .....        | 116 |
| 6.1.1 | 土地利用效益分析 .....           | 116 |
| 6.1.2 | 土地利用综合效益分析 .....         | 123 |
| 6.2   | 交通道路的便捷性评价 .....         | 128 |
| 6.2.1 | 交通便捷性估值方法 .....          | 128 |
| 6.2.2 | 北京市交通道路的便捷性评价 .....      | 132 |
| 6.3   | 交通对土地价格影响的量化评价 .....     | 135 |
| 6.3.1 | 交通对土地价格影响的量化评价方法 .....   | 135 |
| 6.3.2 | 北京市交通对土地价格的影响 .....      | 137 |
| 7     | 基于城市生态系统的可持续交通综合评价 ..... | 143 |
| 7.1   | 城市生态系统健康综合评价 .....       | 143 |
| 7.1.1 | 城市生态系统健康评价与诊断 .....      | 143 |
| 7.1.2 | 城市生态系统健康综合评价 .....       | 151 |
| 7.2   | 可持续交通系统综合评价 .....        | 155 |
| 7.2.1 | 概述 .....                 | 155 |
| 7.2.2 | 概念模型与指标体系 .....          | 157 |
| 7.2.3 | 综合方法与步骤 .....            | 158 |
| 7.2.4 | 可持续交通系统综合评价 .....        | 160 |
| 7.3   | 在驶量承载力综合评价 .....         | 164 |
| 7.3.1 | 在驶量承载力评价方法 .....         | 164 |
| 7.3.2 | 北京市在驶量承载力综合评价 .....      | 167 |
| 8     | 城市可持续交通优化管理 .....        | 174 |
| 8.1   | 优化管理目标确定 .....           | 174 |



- 8.1.1 不确定性二次优化方法 ..... 174
  - 8.1.2 北京市机动车保有量结构的优化调控目标 ..... 177
- 8.2 政策在水平尺度上的安排 ..... 180
  - 8.2.1 多属性决策方法 ..... 180
  - 8.2.2 北京市交通政策的多属性决策优化 ..... 184
- 8.3 政策在时间尺度上的安排 ..... 187
  - 8.3.1 倒推规划法 ..... 187
  - 8.3.2 北京市交通环境政策的时间安排 ..... 188

后记 ..... 195

参考文献 ..... 197

# 1 城市可持续交通概述

## 1.1 城市可持续交通的概念、组成与特征

### 1.1.1 城市可持续交通的概念

1987 年可持续发展 (WCED, 1987) 提出后, 联合国人居中心 (The UN Centre for Human Settlements) 提出可持续交通必须满足: a. 生态可持续, 交通相关的污染水平低于人类安全耐受范围和环境承载力; b. 系统必须经济可持续, 不能以超过使用者支付能力的经济代价来控制 and 维持系统运行; c. 系统必须社会可持续, 为社会每一成员提供获得基本的社会、文化、教育和经济服务的出行方式 (Birk and Zegras, 1993)。可持续交通不仅包含社会和经济的可持续性, 还包括能源的理性利用和环境保护 (Lin and Song, 2002)。Anders Roth 和 Tomas Käberger (2002) 为可持续给出判定标准: a. 岩石圈内提取的物质不能在生物圈内积累; b. 社会生产的物质不能在生物圈内积累; c. 生物圈生产和多样性的物理环境不能恶化; d. 资源利用必须有效且仅用于满足人类需要。陆化普等 (2006, 2007) 认为可持续交通的主要特征是: 安全、畅通、高效、舒适、环保、节能、高效率和高可达性, 可持续的交通系统是以较小的资源投入、较小的环境代价、最大程度地满足社会经济发展和人民生活质量提高所产生的交通需求的城市交通系统。Intikhab 和 Lu (2007) 认为可持续交通基础设施和出行政策应适应经济发展、环境责任和社会公平多种目标, 有目的的优化配置和利用可以实现经济及相关的社会、环境目标, 且不损害后代达到同样目标的能力。此后, 在可持续交通的概念基础上进一步发展环境导向式交通、生态交通和环境可持续交通三类延伸概念。

(1) 环境导向式交通 可持续交通的含义覆盖面广, 在指导实际交通规划管理时不具备针对性。因此王智慧等人 (2000) 年提出了面向环境的城市交通 (Environment-Oriented Urban Transportation, EOUP), 又称为环境导向式交通。Bel-

tran 等 (2006) 在第 21 届欧洲运筹学大会上也论述了环境导向式交通政策, 他们将环境约束与交通路径、频率和模式选择相联系, 建立了交通网络分配模型。王智慧、Beltran 等并没有给出 EOUT 的确切定义, 仅建立了环境约束的交通需求预测数学模型, 并应用到实际的交通规划与政策制定过程中去。本书认为 EOUT 的核心是城市交通, 要求从环境系统论的角度来研究交通问题, 是动态可调控的, 探讨了环境导向式交通系统的特征, 并在此基础上建立了复合模型。

**(2) 生态交通** 生态交通是近年来掀起生态城市建设热潮后提出的概念。它是生态学为理论基础, 考虑生态极限的约束和满足交通需求的前提下, 在城市交通规划与建设中, 最大程度地降低因交通系统造成的环境污染和资源消耗, 形成生态化演化的城市交通系统 (李晓燕和陈红, 2006), 实际应用上它按照生态学和城市科学原理, 将住宅、交通、基础设施及其他活动与自然生态系统融为一体, 提高人类对城市生态系统的自我调控能力 (王京元等, 2006)。理论上生态交通与可持续交通较为接近, 但生态交通一方面强调交通系统的动态发展, 一方面将城市交通与交通相关的其他要素结合, 强调交通系统的生态可调控。从应用上来看, 生态交通也主要集中于城市交通的生态评价 (姜玉梅, 2007a; 2007b) 以及城市交通的生态调控 (李晓燕和陈红, 2006)。

**(3) 环境可持续交通** 环境可持续交通是经合组织 (OECD, 2000) 提出的, 旨在建立新型可持续交通的概念。其概念基础来自于可持续发展 (WCED, 1987)。1998 年经合组织成员国的环境部长共同呼吁制订环境可持续的交通导则, 它致力于在不导致非正常死亡、负面环境影响和过度消耗有限资源的前提下, 强化经济发展和个人福利, 包含一系列的重要的可量化环境指标。OECD 认为可持续交通: ①为人、地点、货物和服务提供安全、经济可行的和社会可接受的可达性; ②满足健康和环境质量目标, 如世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 制定的空气质量和噪声标准; ③保护生态系统, 防止对生态系统完整性造成过度压力; ④不导致全球环境恶化, 如气候变化、臭氧层破坏和持续性有机污染物迁移。为了与可持续发展的定义相一致, 环境可持续交通被定义为: 交通运输不危及公共健康或生态系统, 并且满足可达性需求和 (a) 可再生资源的消耗速度低于它们的再生速度; (b) 不可再生资源的消耗速度低于开发可再生的替代资源的速度。该定义被 WHO、欧盟、UNECE 等国际组织一致认可 (OECD, 2000a)。Friedl 和 Steininger (2002) 认为 OECD 的关于 EST 中生态系统完整性的定义不能量化, 他们将前述环境可持续交通含义中的③改为生态系统完整性没有受到严重危害。

由此, 环境可持续交通的发展应该以环境和经济可承受的发展方式满足人们的出行和物流需求, 同时不影响下一代享有相同甚至更加优质的交通服务的权利。环境可承受是指交通发展不以破坏环境为代价, 满足基本的环境标准和健康需求; 经济可承受是不过分超前发展, 超出城市发展规模, 亦不成为城市发展的瓶颈, 成为限制城市发展的关键因素, 而是与城市发展的规模相一致, 并为城市提供高质量的

可达性，满足城市出行需求。环境可持续交通强调加强当代和后代的健康和可达性质量，为交通发展提供了新的前景。因此环境可持续交通要求城市社会和经济子系统的活动进行深刻的变革，从一提出就强调应用调控和政策工具（OECD，2000a）对目前不可持续交通发展趋势进行变革，并与倒推法结合建立了环境可持续交通计划的基本框架。

以上四个相似定义侧重点有所不同，其应用领域也略有差距，环境导向式交通更多地应用在交通规划中；环境可持续交通相对于其他三种定义，关注健康、环境资源影响、可达性三方面的内容，特别强调了健康标准，进一步明确了可持续交通中较为模糊的定义，在应用上环境可持续交通与生态交通接近，但有所不同，生态交通更加强调系统间的协同调控，更多用于交通系统的评价与诊断，而环境可持续交通着眼于政策制定与实施，更加强调对交通环境管理的指导。以上四个定义的区别总结如表 1-1。

表 1-1 常见交通概念的辨析

|         | 内 涵                            | 核 心                                       | 应用重点         |
|---------|--------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
| 可持续交通   | 交通使用与发展满足当代人的需求,但不损害后代的需求      | 交通可达性,交通安全,交通的环境影响,资源利用,能源利用效率,社会公平,社会责任等 |              |
| 环境导向式交通 | 在交通发展中引入环境约束,交通发展不超过环境容量限制     | 交通规划的环境约束                                 | 交通规划         |
| 生态交通    | 生态极限约束和交通需求约束下,交通发展满足生态演化的规律   | 土地、住宅、基础设施等与交通的动态影响过程,能量与资源的利用            | 交通的生态调控、生态评价 |
| 环境可持续交通 | 交通不危害公共健康与生态系统,满足可达性需求和资源可持续利用 | 交通可达性,交通环境影响,资源的可持续利用和健康                  | 制定详细的政策过程    |

1.1.2 城市可持续交通系统组成

城市交通系统由以下几个基本元素组成：①道路，是最基本的构成元素，是城市交通的承载体系；②节点，是道路网络 and 不同交通类型的连接点，如十字路口、公交换乘站等；③交通工具，如机动车、自行车、地铁等；④交通活动，如客货运出行。

城市可持续交通系统是交通与社会、经济与环境组成的复合嵌套系统，不仅应该包含上述传统定义的交通系统内涵，还应该包括对交通产生驱动和交通对其产生的影响的其他方面，具体而言包括：①人口与社会发展子系统，人是交通活动的主体，也是交通活动的需求者，没有人就没有交通活动；②城市经济发展子系统，经济水平是交通的直接驱动力（刀谓等，2008）；③城市交通子系统，即传统定义的交通活动及完成交通活动的其他要素；④资源环境子系统，这是城市可持续交通核

心内容之一，是确立城市可持续交通优化管理的约束系统；⑤政策管理子系统，该系统是以上四个子系统的反馈和控制中枢，其作用是保证交通沿城市可持续方向发展。它们之间的关系如图 1-1。

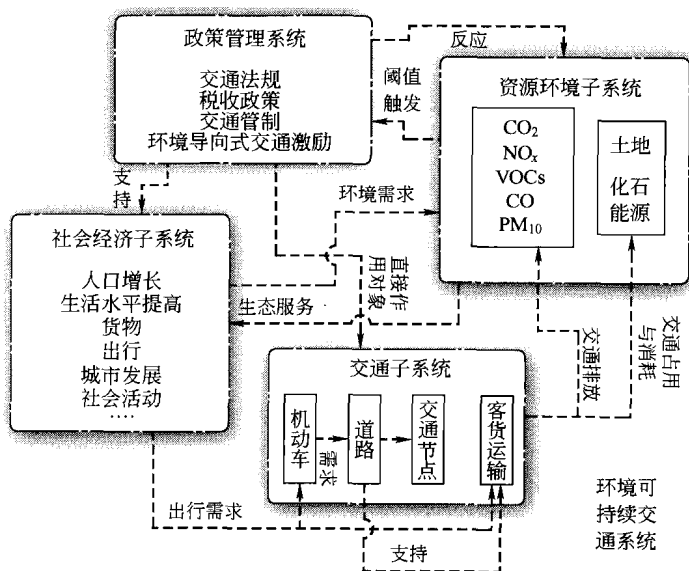


图 1-1 城市可持续交通系统组成及其相互关系

1. 1. 3 城市可持续交通的系统特征与功能

城市可持续交通系统除了满足前述的基本需求和一般系统的整体性、层级性等基本特征外，还具有其自身特有的特征与功能，如模糊的边界、嵌套性、有限承载下的服务功能、不确定性、自组织和健康持续发展特征。理解城市可持续交通系统的这些特性，为管理目标的设定、管理对象识别、动力学模拟、健康评价和管理策略制定等具有重要的意义。

(1) 边界模糊特性 城市可持续交通系统边界的模糊特性表现在：通常情况下，因为交通活动与城市社会经济活动的重叠，其边界一般以城市市区划或城市中心区为边界，但由于道路可以无限延伸，城市居民出行活动、货物运输和服务可能超出城市的范围，沿城际高速公路、国道等发散型道路向外扩展；城市交通排放的污染物随着大气活动的迁移转化，有可能造成远距离输移。在交通活动主要集中于城市活动中心区，且城市中心区远离城市边界时，由于边界上的交通活动强度远低于城市中心区的活动强度，可以忽略行政边界造成的误差，但在城市中心区靠近城市行政边界时，可能会有大部分交通活动“溢出”到城市边界之外，此时城市可持续交通系统的边界必须重新划定，包括区域主要的交通活动才具有代表性。

(2) 嵌套性 尽管交通活动与城市社会、经济活动之间具有较为明显的区别，

城市可持续交通系统与社会经济系统、环境系统的研究对象和范围均有不同,但城市交通活动由社会经济活动驱动、受环境系统制约,因而城市可持续交通系统不能脱离社会经济和环境系统独立存在,在优化调控过程中也必须将交通系统与社会经济和环境系统调控相结合。

(3) 有限承载下的服务功能 城市可持续交通系统中组成元素如道路、土地、大气环境为人类提供了多种多样的服务功能(郑猛和张晓东,2008)。在一定的社会和技术发展水平下,停车场、道路、大气环境等对交通活动的承载具有最大的限度(詹歆晔等,2007),在承载力范围内增大交通活动强度不会对系统的稳定和恢复造成不可逆的影响,若超出承载力范围,将产生交通拥挤甚至交通瘫痪,停车用地挤占其他类型用地,大气环境恶化造成人体身心健康不可逆的损伤。因此城市可持续交通系统的优化管理任务之一就是确定各种限制因素的承载力,将交通发展控制在承载力范围内。

(4) 不确定性 城市可持续交通系统是复杂的巨系统,目前为止,关于交通、交通与环境、交通与土地相互作用关系的机理尚未清晰。首先社会、经济系统中的多数现象具有不可重复性,社会与经济的理论难以用重复试验证明其有效性,社会现象的数学化表述目前也存在难题;其次,交通系统本身是一个包括随机性、模糊性和灰色性等多种不确定性的系统,信息调查的不完备、人们的认识能力局限等都会造成对系统的理解偏差。

(5) 自组织 城市交通系统作为城市复合生态系统的一部分,是一个开放的、远离平衡态的耗散系统(柴蕾,2005),具有自发性,以维持自身结构的稳定。在一定限度范围内,城市可持续交通系统可以自发调整以适应新的形势,如交通拥堵时,部分车流会自动绕行。在优化调控中充分考虑交通系统的自组织性,将降低政策成本,提高调控效率。

(6) 健康持续发展特征 城市可持续交通系统强调环境对交通的约束,并以环境阈值作为信号自发通过管理系统进行调控,城市可持续交通系统还是一个动态的概念,随着人们对交通基本规律认识的提升,将增加新的内涵。以城市可持续交通为发展目标的管理过程,也是促进交通向健康、可持续发展的过程。

城市可持续交通系统的功能除了一般交通系统提供的可达性功能(Liu and Zhu, 2004),即提供通畅、快捷、舒适、安全的交通服务以外,还应该达到以下三个功能:①最大限度地减少对环境的污染和破坏,使整个交通排放和其他系统的污染物排放总体不超过城市大气环境容量;②节约资源,减少不可再生的化石能源使用,提高土地的利用效率,推动发展集约型经济;③提高人类的生活质量,保障经济发展战略的实现,促进城市空间优化和社会进步。城市可持续交通系统的功能也是一般交通系统优化管理的目标,交通优化管理就是一个动态的目标与功能的相互促进过程。

### 1.1.4 城市可持续交通研究的关键问题

根据交通系统的特点及其管理要求,在实践中存在三个关键问题:①交通系统与社会经济环境之间的嵌套特性;②交通系统对环境、资源影响的关键因素识别;③管理中的不确定性。

(1) 交通系统与其他系统之间的嵌套 与其他系统管理,如流域管理不同的是,交通系统通常作为复合城市生态系统的一个非独立的子系统,嵌套在城市社会、经济和环境系统中。因此分析城市交通系统与社会、经济、环境系统之间的关联极为重要。首先,交通是人们生活的一部分,人们在城市中的活动几乎都涉及区位选择,如上下班、上学、购物、休闲等,因此出行是交通系统与社会系统(主要由人口、就业等构成)之间的关键中间变量。其次,交通既是经济部门的一个组成部分,是一种经济活动,产生经济价值,又是其他经济部门活动的载体之一(黄国和,2006),经济与交通之间具有显著的正相关关系(刀湑等,2007);最后,交通与城市环境息息相关,是城市大气污染物和噪声的主要排放源,交通系统的变化必然引起城市环境系统的改变。

基于上述关系,本书需要从以下两个方面进行分析:a. 交通的驱动因子及其分析,通过相关分析、因子分析和多元回归法确定交通系统的变化,如机动车保有量变化的社会经济驱动因子,并分析其在未来可能趋势,为模型预测奠定基础;b. 交通对环境的外部性输出,通过机动车类型与保有量、行驶里程、排放因子等模拟和预测交通的污染物排放,对交通流与噪声相关关系进行定量分析。

(2) 交通的资源环境影响的关键因素识别 交通是具有巨大外部性的一种活动,作为城市公共部门,应充分发挥其正外部性,促进经济发展,促进土地、房地产增值,减少对资源和环境的负外部性。交通环境系统优化管理的主要任务即为减少环境、资源的负外部性。根据本书中的外部性分析,本书认为行驶中的机动车会对大气环境质量和噪声环境造成影响,并且消耗化石能源,而停泊中的机动车造成土地占用。因此机动车的运行与否与污染物浓度、能源消耗、停车占用之间存在紧密关系。

对于上述影响,本书从三个方面对其进行分析:①污染物的负荷及其评价,本书使用污染物消除的经济评价、污染物的健康经济评价等,统一污染物的度量,找出各类污染物中的首要污染物;②建立生态城市与交通可持续综合评价模型,对城市发展及交通发展存在的问题进行甄别;③提出在驶量和在驶量承载力概念,研究在驶量承载力算法,通过在驶量承载力综合评价确定在驶量承载力关键限制性因子。

(3) 优化管理中的不确定性 交通系统优化管理的不确定性主要来源于:①数据的不确定性,由于交通的复杂性和动态性,数据测度、转换不可能完全反映真实的交通状况,产生测度的不确定性;②模型的不确定性,主要表现在模型本身、参

数、预测和传递上的不确定性；③决策者的不确定性，包括认知能力和对事物真实了解、决策偏好、模型解释、执行等不确定性。

对于以上提到的各种不确定性，本书认为经典的随机、灰色和模糊数学方法可以解决数据的不确定性，敏感性分析、情景分析、可靠性分析等分析方法可以解决模型不确定性，群体决策、研讨、风险分析等可以降低决策者的不确定性，各类不确定性的解决方法如表 1-2。本书将不确定性分析贯穿于全书的方法学和案例研究中。

表 1-2 不确定性研究内容及其研究方法

| 主 要 内 容                                          |                                                                    | 常见研究方法                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 数据的不确定性<br>(uncertainties of data)               | 事件和行为的随机(randomicity of events and activities)                     | 经典误差理论(classic error theory)、空间统计学方法(spatial statistical methods)、随机模拟(stochastic simulation)、灰色理论(grey theory)                    |
|                                                  | 信息缺失(lack of information)                                          | 空间插值法(spatial interpolation method)、重复采样(repetitive sampling)、灰色理论(grey theory)                                                    |
|                                                  | 信息转换与解译(information transformation and explanation)                | 模糊逻辑转换(fuzzy logic transformation)                                                                                                 |
| 模型不确定性(un-<br>certainties of models)             | 模型选择的不确定性(uncer-<br>tainty of model choice)                        | 可靠性评价(reliability assessment)、对比分析(comparative analysis)                                                                           |
|                                                  | 模型参数的不确定性(uncer-<br>tainty of parameters)                          | 蒙特卡罗(Monte Carlo method)、拉丁超立方(Latin hypercube method)、稳定性分析(reliability analysis)、敏感性分析(sensitivity analysis)、灰色理论(grey analysis) |
|                                                  | 模型预测的不确定性(uncer-<br>tainty of forecasting)                         | 情景分析方法(scenario analysis)、最优化方法(operational methods)                                                                               |
|                                                  | 模型不确定性的传递(propaga-<br>tion of uncertainties)                       | 蒙特卡罗(Monte Carlo method)、敏感性分析(sensitivity analysis)                                                                               |
| 决策者不确定(un-<br>certainties of decision<br>makers) | 认知不确定性(uncertainty of<br>recognization)                            | 讨论(disscusion)、专家咨询(specialized consult-<br>ing)                                                                                   |
|                                                  | 决策偏好不确定(uncertainty of<br>decision preference)                     | 群体多属性决策方法(Group multi-attribute deci-<br>sion making)                                                                              |
|                                                  | 模型解释的不确定性(para-<br>phrase uncertainty of model)                    | —                                                                                                                                  |
|                                                  | 政策制定、执行的不确定性(un-<br>certainties of policy making and<br>executing) | 风险分析方法(risk analysis method)                                                                                                       |

1.2 城市可持续交通的基础问题

城市是一种重要的社会组织形态，在人类社会的发展过程中具有举足轻重的作用。随着社会生产力的发展，城市规模不断扩大，城市对人类社会生产和生活的影响日益显著。从 2000 年到 2025 年，全球城市化水平将由 47% 升至 61%，城市人



口将由 24 亿猛增至 50 亿（吴良镛等，2004）。城市化的加速和城市人口的爆炸式增长，将主要集中在发展中国家，其中我国城市化水平将会由 1999 年的 31% 提高到 2025 年的 55% 左右，城市化规模和速度居世界首位。

城市化的快速发展，使发达国家近百年的城市环境问题在我国近 20 年内集中爆发（刘鸿亮，2005）。我国正面临着世界上最为严重的现代城市病问题：水资源短缺、能源匮乏、水质恶化、大气污染、垃圾肆虐、生态破坏、交通拥挤、噪声扰民、人居环境恶化、食品安全受到威胁、居民健康水平下降等（段小梅，2001；黄国和等，2006；Hezri，2006）。这些问题已对我国的社会经济发展产生了一系列触目惊心的惩罚性影响。由于城市化速度加快，交通运输以及相应的基础设施、服务手段远远落后于城市的实际需求，再加上交通配置的不合理等问题，导致了我国各大城市饱受交通问题的困扰，因此亟须以城市化进程为背景，针对我国特色的城市交通问题，结合环境系统识别理论与生态调控机理，大力开展城市交通问题的基础性研究，以便为改善和解决城市交通问题，提出相应的政策性科学决策建议，实现城市社会经济环境的可持续发展。

我国城市交通拥挤问题普遍存在，致使城市全局性的效率低下，造成巨大经济损失，其中特大城市问题尤为突出。北京老城区道路用地率为 9.5%，三环以内道路网密度为  $3\text{km}/\text{km}^2$ ，道路用地率为 8.7%，而东京和伦敦中心区则为高达 23.9% 和 24.8%（张敬淦，2004）。近年北京的交通拥堵现象更为严重，早晚流量高峰期间城区内道路 90% 以上处于饱和或超饱和状态（王鸿春等，2006）。我国城市人均交通道路面积少，仅为发达国家的 1/3，而轿车拥有量却以每年 20% 的速度增长（许光清，2006；赵玉肖等，2006），这进一步加剧了交通拥挤。交通拥挤也带来一系列的环境问题，如车辆的低速/怠速行驶会增加尾气排放，破坏城市大气环境质量。

我国汽车工业发展迅速，机动车保有量以每年 11%~16% 的速率增长，2004 年底我国机动车保有量达到 1.07 亿辆。我国机动车尾气排放的主要污染物 CO、HC 和  $\text{NO}_x$  的排放因子大大高于发达国家，如 CO 排放因子约为发达国家的 10 倍或更高。交通拥堵严重、机动车维护保养不当，以及许多车辆为了获得较好的行驶性能而采用富油状态运行等因素增加了机动车的油耗和污染物排放量。在大城市，机动车尾气污染已经成为空气污染的一个主要来源，机动车排放的  $\text{NO}_x$  占总排放量的 50% 以上，CO 约占 85%（柴发合等，2006）。

目前我国城市的大气污染主要来自工业、交通和生活等，其中交通污染源对大气中污染物的总量和浓度贡献均较大，如北京市 2001 年交通污染源对于大气中 CO 排放的分担率达到了 90%，HC 达到了 60%~75%， $\text{NO}_x$  达到了 74%。交通源已成为我国城市大气污染的首要因素。表 1-3 列举了国内外部分城市的汽车污染源分担率（贺克斌等，1996；黄肇义，2000；李铁柱，2001）。