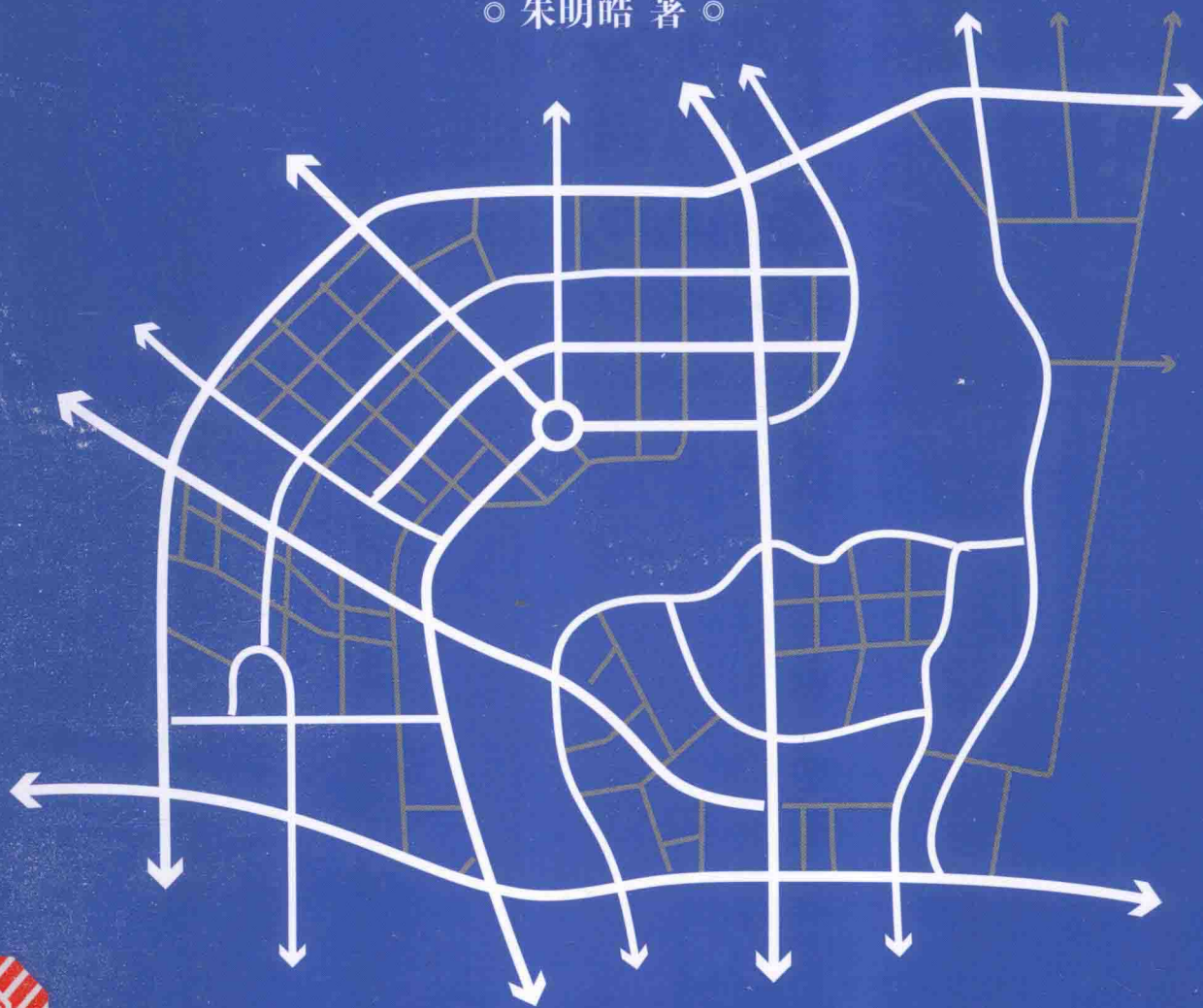


城市交通拥堵对社会经济发展的 动力学机制与疏导策略

Dynamic Mechanism and Dispersal Strategy of
Social Economic Impact on Urban Traffic Congestion

◎ 朱明皓 著 ◎



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>

城市交通拥堵对社会经济发展的动力学机制与疏导策略

朱明皓 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

在需求端,随着社会经济发展,居民对出行的便捷性和舒适性有了更高的要求,必然导致对私家车需求的快速增加。2016年,北京市私家车保有量接近453万辆。在供给端,城市可利用土地面积退缩,建设费用高昂,新建和改扩建城市道路缓慢,交通供给边际效用递减。供需矛盾愈演愈烈,最终导致交通拥堵成为大中型城市面临和制约城市发展的主要问题之一,也是城市雾霾加重的主要原因之一。

本书从定性和定量两个角度,通过情景模拟和宏观驱动因素自上而下地建立了城市交通与社会经济互动关系的系统动力学模型,从微观交通流自下而上构建了城市交通拥堵微观经济成本的元胞自动机模型,分析交通拥堵对经济社会因素的影响,并提供一种预先评价社会经济政策缓解交通拥堵有效性的方法,为交通拥堵疏导提供理论和政策支持。

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

城市交通拥堵对社会经济发展的动力学机制与疏导策略 / 朱明皓著. —北京: 电子工业出版社, 2017.6
ISBN 978-7-121-31830-6

I. ①城… II. ①朱… III. ①城市交通—交通拥挤—影响—社会发展—研究—中国 ②城市交通—交通拥挤—影响—经济发展—研究—中国 IV. ①U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 130208 号

策划编辑: 管晓伟

责任编辑: 管晓伟

特约编辑: 王欢等

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 9.25 字数: 296 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 60.00 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 zltz@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: (010) 88254460; guanxw@phei.com.cn。

前言

近年来,我国城市发展的速度越来越快,大型城市、超大型城市相继涌现,城市的人员、货物等交相通达,形成了一个巨大的、复杂的交通网络。这种复杂性要求必须建立起跨学科、交叉性的研究思路,既能够从系统的角度分析、探讨城市交通子系统与社会经济子系统之间的关联关系,也能够从微观层面分析交通流的涌现与演化。《城市交通拥堵对社会经济发展的动力学机制与疏导策略》一书的出版,希望引导读者从复杂性、系统性、微观性的角度探索寻找解决城市交通拥堵的新理念和新思路,有助于研究人员建立一个宏观和微观相结合的分析方法。

作者在撰写本书的过程中,致力于把城市交通拥堵问题清晰直观地展现在读者面前,既有研究性,又能够通俗易懂。该书具有以下三个特点。

(1) 语言简明扼要,文字通俗易懂。城市交通拥堵问题是每一个读者切身感受到的现实问题,与大家休戚相关。该书定性分析城市交通的社会经济属性,从交通流、出行者、经济学角度给出城市交通拥堵的定义,通过大量的数据和图片介绍了城市交通拥堵的主要原因、特征,让读者从中感受到交通拥堵产生的内在因素与外在因素。

(2) 运用实际案例解剖城市交通拥堵。以北京市为例,对城市交通与社会经济互动关系系统动力学模型进行实证分析,从宏观角度分析了城市交通拥堵对常住人口、就业岗位、土地面积、能源消费量、环境污染水平等变量的影响。同时,提出了要将“优先发展公共交通”、“机动车限号”、“机动车限行”、“机动车数量控制”、“拥堵收费”、“交通信息化建设”等多种措施进行有机结合,联动治理城市交通拥堵。

(3) 致力于从宏观和微观两个层面共同解决城市交通拥堵问题。引入元胞自动机理论,构建城市交通拥堵微观经济成本模型,模拟一个假定交通网的车流变化,分析交通拥堵的产生以及出行者的出行成本和出行时间。通过模型的仿真结果,能够预先评价社会经济政策对于缓解交通拥堵的作用是否有效,进而制定更有效的拥堵疏导政策。

本书既有大量的数据和案例,又引入了系统工程的思想 and 元胞自动机的理论,可以为从事城市交通研究的人们提供助力,也可以使广大读者更加直观地了解我们身处交通环境的复杂性。

《城市交通拥堵对社会经济发展的动力学机制与疏导策略》一书,内容精炼,案例丰富,政策精准,是探索城市交通复杂性的读物之一。希望本书的出版能为解决城市交通拥堵这一顽疾发挥积极作用。

城市交通出行方式、出行工具的多样性,将使得城市交通问题的研究更加复杂,也更为迫切,让我们一起努力,共同致力于为广大人民提供安全、高效、便捷、舒适的交通服务!

目 录

第1章 引言	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 研究内容和本书框架	6
第2章 城市交通拥堵社会经济影响分析的相关理论基础	9
2.1 系统动力学	9
2.2 元胞自动机	18
第3章 城市交通拥堵的社会经济影响界定	28
3.1 城市交通	28
3.2 城市交通拥堵	30
3.3 交通拥堵社会经济影响的影响渠道和影响方式	35
3.4 交通拥堵对社会经济直接影响分析	37
3.5 交通拥堵对社会经济间接影响分析	40
第4章 城市交通拥堵社会经济影响系统动力学建模与实证	44
4.1 系统分析	44
4.2 城市交通与社会经济互动关系系统动力学模型	52
4.3 模型调试	65
4.4 交通拥堵对社会经济的影响	71
4.5 政策因素对交通拥堵的影响	76
第5章 城市交通拥堵的微观经济成本建模和分析	80
5.1 交通拥堵的传统经济学解释	80
5.2 道路交通运行的元胞自动机模拟	83
5.3 基于元胞自动机的交通出行微观经济成本建模与仿真	88
第6章 结论与展望	94
6.1 结论	94
6.2 政策建议	95
附录 交通拥堵变量循环	97
参考文献	136

第1章

引言

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

随着社会经济的发展,居民生活水平的提高,人们对出行质量的要求越来越高,进入20世纪70年代以后,随着交通工具和交通技术的进步与普及,交通拥堵开始走入人们的视野,单纯依靠增加供给已经不能满足居民对出行的要求,人、车、路的矛盾日益突出,交通拥堵已成为国内外大中型城市决策当局面临的制约城市发展的主要问题之一。如同纽约、伦敦、东京等国际性大都市一样,北京也面临着因交通拥堵带来的一系列难题。

截至2012年8月,北京市机动车保有量已突破510万辆,驾驶人总量达到720万人。每天还有近500万辆非机动车上路,38万辆外省市机动车进出北京,工作日全天拥堵时间为2小时30分钟,早高峰道路网常发拥堵路段为249条、50公里,晚高峰道路网常发拥堵路段为555条、110公里,据中国社科院计算:交通拥堵每天造成的社会成本约4000万元,每年的损失高达146亿元。交通拥堵导致城区机动车行驶速度降低,出行时间延长且不确定性增加、车用燃料消耗增加、标准污染物以及温室气体排放增加、道路事故率增加等一系列社会经济影响。可以说拥堵的交通已经影响到广大城市居民的正常生活、社会经济发展、资源消耗、环境保护等一个城市的和谐发展进程。

道路作为准公共产品,主要由政府出资修建。当路段车流量较小时,车辆自由行驶,单个车辆对道路的使用不会影响其他车辆对同一道路的使用。然而车流量一旦超过临界点,面对过量的车辆,相对有限的道路其非竞争性就会消失,排他性表现得尤为突出,进而产生交通拥堵。交通拥堵问题从一定意义上讲就是道路的供给和需求之间存在矛盾,以往进行拥堵疏解主要采取增加供给的方式,但是往往会造成更加拥堵的现象。因此,可以利用系统科学和经济学原理,通过分析交通拥堵产生的社会经济影响,以及以社会经济为手段的政策对交通拥堵的影响,同时从出行者的角度出发研究交通拥堵的微观经济学成本,进而构建城市和谐交通,达到促进社会经济发展的目的。

交通拥堵产生的社会与经济影响包括直接影响和间接影响两个方面,直接影响指交通拥堵引起区域社会、经济、资源消耗和环境等规模与结构的变化,即交通拥堵与社会经济之间的内在逻辑。间接影响指交通拥堵引起出行时间增加、出行不确定因素增加等所带来的区域社会经济的变化,表现为出行时间和不确定因素等引起社会经济的变化。交通拥堵的社会经

济影响从城市总体经济和出行者出行成本度量可以划分为两个方面：一是交通拥堵对社会经济的宏观影响；二是交通拥堵对居民出行成本和出行时间的微观影响。

1.1.2 研究意义

城市交通和社会经济系统是两个复杂巨系统，拥堵对社会经济产生巨大影响，如何认识拥堵所带来的影响程度、范围，量化这一影响，如何通过社会经济手段调整交通需求、出行结构，将对拥堵疏解具有重要的指导意义。

在理论与方法上，本书将结合统计学、计量经济学、系统科学与工程、管理科学的方法，分析交通拥堵的社会与经济影响因素，这是从一个全新角度的尝试；定性描述交通拥堵社会经济影响的影响渠道和影响方式，以及交通拥堵对社会经济的直接影响和间接影响；利用系统动力学方法构建城市交通与社会经济互动关系系统动力学模型，以及将元胞自动机引入到研究城市交通微观经济成本中，在交通拥堵疏解方向进行理论探索具有重要意义。

在实证上，本书选择北京市交通为研究对象，分析北京市交通拥堵的社会影响、经济影响、资源影响、环境影响，分析社会经济政策对交通拥堵的影响以及交通拥堵对社会经济的影响趋势，服务于北京市城市交通发展政策的制定，具有很强的理论意义与现实意义。

本书主要解决以下三个问题：一是如何描述交通拥堵对社会经济的影响渠道与影响方式；二是通过系统动力学方法分析交通拥堵对社会经济的宏观影响，分析缓解交通拥堵的社会经济政策；三是运用元胞自动机的方法分析城市交通的车流变化，交通拥堵的演化，以及出行者的出行成本和出行时间。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 交通拥堵和疏解

工业革命后，随着城市化进程，最初的表现住宅拥挤。19世纪40年代，城市居民只是依靠步行移动，传统的城市形态就无法解决更大的城市的发展带来的麻烦。而交通工具十分不发达，无法创造新的交通条件，不得不转向从地理角度通过卫星城、郊区扩展来解决城市经济和人口的增长问题。进入电车时代后，郊区住房价格低廉，促使工人向外搬迁，中心城区逐渐发展为非居住商业区，拥有便捷的交通网络，就业与购物的集中导致交通的堵塞，解决办法是把铁路架到空中或是埋到地下。

交通工具的发展在解决住宅拥挤的同时也产生了交通拥堵，当汽车时代来临后，交通拥堵才成为真正令人困扰的问题。第二次世界大战后的交通状况开始让人担忧，但最初采取的解决办法是大量修建道路，在一段时期内的确效果不错，这时城市拥挤表现为交通拥挤，城市形态变得更为复杂。20世纪70年代之前，解决办法就是增加供给。之后转为交通需求管理，进入20世纪90年代，各国逐步认识到公共交通应是解决办法，尤其是轨道交通。20世纪80年代末到90年代早期，不仅存在住宅拥挤，同时也存在交通拥挤甚至环境拥挤，不仅城市内交通拥挤，而且城际之间也存在严重的交通拥挤，城市中心的磁石引力导致这种复合拥挤的产生。

对交通拥堵的研究主要有以下几个方面：

1) 交通拥堵的产生与治理。Bhargab Maitra、P.K.Sikdar 和 S.L.Dhingra 定量化分析了城

市道路的拥挤以及服务水平¹。M.A.P.Taylor 分析了在城市道路网中拥挤的本质以及描述拥挤服务水平的参数²。Cambridge Systematics 介绍了美国城市拥挤的现状和趋势,详细分析了拥挤产生的原因和发展趋势³。刘志刚⁴运用经济学中的博弈理论分析城市交通拥堵问题产生的原因,指出了城市交通拥堵问题的实质为“囚徒困境”。张文富通过对汽车消费主义的分析提出了城市交通拥堵产生的文化原因⁵。楚国清分析了北京市的交通拥堵的产生原因,以保障居民出行权利为出发点提出相应的政策建议⁶。在“交通 7+1 论坛”上以“大城市交通拥堵”为主题,分析了引起城市交通拥堵的深层次原因,解决交通拥堵问题中存在的一些认识误区,探讨治理大城市交通拥堵的核心问题⁷。谢琛通过建立基于带有自适应能力的道路车流转移比例矩阵的城市交通网络车流动态变化模型,对车流的流动造成交通拥堵的产生和传播做出定量的分析、研究和预测⁸。魏星提出可以在研究城市交通问题时引入经济学方法,利用经济手段缓解我国城市交通拥堵⁹。

2) 交通拥堵前期预警(事先发出预警信号,采取预防措施)。陆化普、宁宣熙等人提出采取诱导车辆进行合理道路分配行驶、加强秩序管理等防止拥堵的产生与缓解拥堵程度¹⁰⁻¹¹。张元亮综合考虑各种导致城市交通拥堵因素(包括天气、时间段等),以粗糙集理论为依据,建立一套判断城市交通拥堵算法,为交通拥堵预警提供分析与支持¹²。吴汇涛概括了车流拥堵的原因,认为设计不当、突发事件是造成收费站拥堵的主要原因,并针对车流拥堵提出了有效组织领导、明确岗位职责、加强监控稽查、提高思想认识等策略来解决车流拥堵问题¹³。赵峰通过研究浦东新区外高桥,提出“管理和建设并重”,通过路网的完善、配合管理等其他措施,将大大改善地区交通拥堵状况¹⁴。范冠峰认为通过充分利用高科技手段、构建智能交通管理系统,在大力发展公共交通的同时,适当运用经济手段限制私家车在城市中心区的使用、严格管理特种车和“特权车”等进行交通拥堵疏解¹⁵。高宇杨从税费治理的角度求解城市交通拥堵困境¹⁶。

3) 瓶颈处交通流研究。作为基于交通瓶颈交通流分配基础模型,Vickrey 模型¹⁷在假设出行费用相等的前提下推导出早高峰交通发生率分布,吴子啸和黄海军¹⁸讨论了将该模型用于道路收费研究,提出道路使用的动态收费策略。任华玲、赵彤等人则利用双层规划模型描述了城市公共交通网络设计问题,考虑在拥挤条件下,如何进行公交车发车频率的调整,以期望获得最小的公交路径总阻抗,同时利用基于路段的元胞传输模型进行模拟,给出了一种计算实际路段出行阻抗的方法,并在此基础上构造了基于路段变量的动态用户最优变分不等式模型¹⁹⁻²⁰。李新刚研究了混合双车道交通流中存在的类似颗粒流中的偏析现象——快车与慢车相互分离,利用元胞自动机模型进一步揭示了在混合交通流中,堵塞簇团的形成机理²¹。

4) 交通拥堵收费。Braid²²通过分析弹性需求瓶颈模型中均匀收费与时变收费的差别,提出第二最优收费理论。Trabuchi²³引入并行公交线路分析不同收费体制下交通方式的竞争关系。黄海军²⁴则推广了这一研究,讨论了拥堵收费对公交补贴的问题。Wie²⁵利用边际成本定价理论建立动态拥堵收费模型,求解动态收费费率。赵柴厚和刘伟铭²⁶利用粒子群优化算法求解城市路网动态拥堵收费费率。杨海等人²⁷通过分析高峰期内拥堵收费问题,并将模型扩展到一般排队网络。周溪召²⁸将拥堵收费理论与其他交通措施相结合,探讨了基于拥挤收费的出发时间选择问题的负效用函数。田旻和邹骥²⁹将博弈论引入交通拥堵收费研究,建立了简单的拥堵博弈模型。

5) 交通拥堵传播规律及控制策略。付蓬勃和吕永波等人³⁰建立了交通意外事件影响下的仿真模型,模拟了交通拥堵传播与消散过程,有效探索了交通拥堵的消散规律。姬杨蓓蓓³¹

建立了交通事件消散时间的元胞传输模型, 仿真计算了上海市城市某段快速路交通事件发生位置处拥挤波的产生与消散。张毅华等人³²通过建立元胞传输模型, 研究了紧急事件下动态网络交通流应急疏散问题, 将车流离散化处理成单个车辆可以有效地克服网络规模较大时运算效率低的缺点。

6) 交通网络均衡。交通网络均衡问题可以被描述为 Wardrop 原则³³的数学规划问题, 但是传统的均衡模型没有考虑道路阻塞问题。Hearn³⁴、Inoue³⁵、Larsson³⁶ 等人在网络均衡模型中添加路段容量约束条件, 增强传统模型的现实性, 使得交通网络均衡可以被用来研究交通拥堵问题。Daganzo³⁷将模型中路段旅行时间采用 Davidson 函数考虑道路的阻塞现象。程琳、王炜³⁸进一步将外惩罚函数和牛顿法相结合构筑成增强拉格朗日乘子算法, 用来求解拥堵网络的交通流状态。

7) 交通网络优化。高自友、毛保华等人分析与研究交通拥堵产生机理, 从建设和谐交通环境、提高公共交通服务水平、优化交通组织、完善交通基础设施等方面对全市交通拥堵点提出了解决方案³⁹⁻⁴⁰。利用 GIS 的可视化和空间信息处理技术, 综合计算机处理技术和交通工程学, 有效地集成并运用于北京市交通疏堵工程的项目管理, 通过对空间数据和属性数据的统计、分析、评价, 为相关管理部门制定交通疏堵工程计划提供辅助决策依据⁴¹。

1.2.2 交通拥堵的经济学分析

对城市交通问题的经济学分析⁴²最早可追溯至福利经济学的先驱 Pigouvian 教授, 他提出了道路拥堵定价理论, 通过算例说明了交通拥挤所产生的外部费用以及应收取的最优费用。该理论认为, 道路交通也有供给和需求关系, 对于一段道路而言, 它的供给就是单位时间里该道路能通过的车流量, 而它的需求则牵涉到很复杂的城市结构和交通行为等问题。车流速度与一条道路上车的数量呈负相关, 道路上车越多, 单位时间内道路能通过的车量就越少。随着车辆的增加, 会形成道路拥堵, 从而使个人成本与社会成本之间形成不一致, 解决这种不一致就可以通过拥堵定价。该理论指出, 拥堵产生了负的外部性, 这里的负外部性不包括汽车产生的环境污染及交通安全问题, 只是拥堵产生以后造成了车速减慢后形成的额外成本, 如图 1.1 所示。

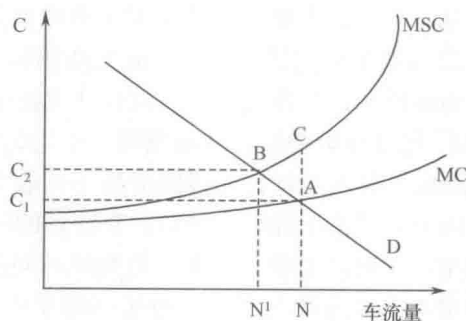


图 1.1 Pigouvian 的拥堵定价理论⁴³

Figure 1.1 Congestion pricing theory

短期边际成本理论认为长时间内拥挤水平都不会提高或降低, 拥挤收费的目的就是优化当前拥挤水平下的整个交通状况, 使整个系统的社会效益达到最大。Walters⁴⁴、Nash⁴⁵将 Pigouvian

的理论进一步模型化,并得出了最优的拥堵收费的一般表达形式,他们假设道路上所有的车辆都是一样的,每一辆车的边际私人成本包括两部分,货币成本(燃料、维护、折旧等)和时间成本。长期边际费用理论认为增加建设费用必须等于增加的收益补贴,在这样的前提下,道路设施才得以兴建并取得最佳收益⁴⁶。诺贝尔经济学奖得主 Vickrey⁴⁷首创了以瓶颈路段为核心的动态拥堵定价方法,这一方法后来由 Braid¹³、Arnott⁴⁸等人加以推广。Wilson⁴⁹、d'Ouille 和 McDonald⁵⁰等人研究了次优拥堵定价时的最优道路容量问题。Henderson⁵¹则考虑了从道路流量出发的动态拥堵定价方法。Zettel、Carl⁵²、Hau⁵³、Small⁵⁴等人分析了交通拥堵收费所产生的社会效益,认为收费能够降低整个社会的平均边际成本。

国内学者也对交通拥堵问题作了大量的研究,他们在介绍国外的拥堵定价理论上提出了自己的一些观点,如用计算经济学(ACE)来解决实践中估算最优收费标准的难题⁵⁵⁻⁵⁶。也有学者认为城市交通基础设施的公共资源本质导致对交通设施的过度利用,拥堵从而产生,并从博弈论的角度分析了政府应该采取收费的政策来解决拥堵问题⁵⁷。也有学者将城市道路设施理解为准公共产品,当拥堵产生后,城市道路就有了排他性,部分可分性,因此,就需要引入价格机制⁵⁸。

1.2.3 国外缓解交通拥堵的主要措施⁵⁹

1) 机动车数量配额措施。新加坡采取车辆数年度配额和拥车证两个措施来有效缓解交通拥堵,以控制交通需求的增长,使交通需求与道路容量相符,车辆数年度配额制度是每年根据道路网络新增容量,制定全国本年度小汽车增量的配额,在配额确定以后每月举行公开招标,由公众竞买“拥车权”,有效地降低小汽车保有量的增长,加大了居民获得车辆的难度,保证交通需求与供给匹配。

2) 提高交通出行成本措施。英国伦敦从2003年2月开始在工作日期间在内环线对私人汽车和货车实施拥挤收费,该政策在减少交通总量和缓解交通拥堵方面发挥了很大作用,不仅市财政增加了可观收入,而且交通拥堵状况大为缓解,同时增加公交出行比例。欧洲一些城市和日本也会采取中心区收取高额停车费、严惩非法停车、中心区限制停车泊位供给、高燃油税率等措施,这些措施主要是通过提高交通出行成本达到遏制核心区小汽车交通量、减少小汽车滥用的目的。

3) 综合土地规划措施。日本执行了以公共交通为导向的城市土地发展政策,鼓励在城市铁路车站周边地区进行高密度的建筑开发,有效缓解了城区交通压力。法国巴黎大区通过促进城市中心区就业向郊区疏散,有效减轻了已经超负荷的市内交通网的负担。美国弗吉尼亚州建立“公交村落”,在便利的公共交通设施如地铁站周围建立基础设施齐全的居民区,购物、娱乐、就医、上学甚至上班都在“公交村落”内进行。这些措施通过调整城市功能区来减少居民不必要的交通出行次数,达到缓解交通拥堵的目的。

4) 公务车管理措施。美国政府部门的公务车数量控制非常严格,联邦政府主要部门公务用车往往只有几十辆,州政府的公车数量也不多,有的市政府只有几辆甚至没有公务车,同时美国政府的公务车需要接受公众严格监督。日本东京的各大会社通常规定公司“常务”以下的高级管理人员在上下班不准乘坐专车,甚至许多议员等政治家上下班或办事也都是乘坐公共交通。这些措施通过减少公务车数量,减轻道路交通压力,缓解城市交通拥堵。

5) 公共出行措施。欧洲和新加坡公共交通系统由轨道交通为主的多种交通方式形成高效率的网络体系,市郊快速列车、地铁、现代有轨电车、公共汽车等交通方式相互补充,形成

了高密度、高覆盖、高水平的公交营运网络。伦敦采取“停车再乘车”计划和德国海德堡在郊区配有“小汽车—公交的转换系统”，使进城者可以先在郊区停车，然后再坐公交车到城市中心。而纽约市城区 2005 年纽约地铁日平均客流量为 470 万人次，曼哈顿中央商业区员工有 80% 选择公共交通作为主要出行手段。东京轨道交通系统每天运送旅客 2000 多万人次，承担了全部客运量的 86%，在早高峰时的市中心区，有 91% 的人乘坐轨道交通工具。

6) 提倡“绿色出行”措施。欧洲每年都会举办交通周活动，宣传可持续城市交通战略，倡导步行、骑自行车以及公共交通等绿色交通理念，减少小汽车对城市和社会造成的负面影响，欧洲交通周活动与“世界无车日”活动相配合，培养了居民节能环保的交通行为。韩国的绿色出行成为制度约束，政府官员每周有一个工作日时间是“无车日”，同时鼓励私车每周停运一天，给予减免汽车税。

尽管国内外已经在城市交通拥堵方面展开了大量研究，然而由于出发点不同，追求的目标有差异，以及具有国情特色，以上相关研究的方法、模型、实验结论及理论细节方面的问题主要体现在以下方面：

1) 针对交通拥堵经济性的研究多是定性分析，缺乏量化数据支持。提出将交通发展战略思想与城市规划相结合，定性给出缓解交通拥堵的政策建议等。国内利用系统动力学研究城市交通拥堵对社会经济影响主要集中在定性分析交通拥堵对社会经济某一个方面的影响，而国外的量化研究具有一定特色，所选取的变量部分不适用于我国国情或者所需数据在我国无法获取。

2) 主要是从交通流和交通网络均衡角度研究。通过分析城市路网交通拥堵传播规律及控制策略，研究了城市交通网络设计以及公交网络配流问题，建立了描述基于非干扰行为的混合交通流模型等一系列交通流模拟、控制、优化等研究。

3) 将元胞自动机应用于交通拥堵的研究是交通管理的一个重要创新。但是目前研究多集中于研究交通流的仿真和模拟，主要考虑车辆、行人、道路条件等因素，很少涉及交通拥堵对社会和经济要素的影响以及从社会和经济要素建立自动机模型进行交通拥堵疏解仿真。

因此，本书定性分析了交通拥堵对社会经济的影响渠道和影响方式，描述交通拥堵对社会经济的直接影响和间接影响，在定性分析的基础上分别利用自上而下的系统动力学和自下而上的元胞自动机构建了以研究城市交通拥堵对宏观社会经济影响为目的的城市交通与社会经济互动关系系统动力学模型和以研究交通拥堵对居民出行成本影响为目的的交通拥堵微观经济学分析元胞自动机模型，从宏观和微观角度分析交通拥堵的社会经济影响。

1.3 研究内容和本书框架

1.3.1 主要研究内容与研究方法

本书主要从宏观和微观的观点出发，系统分析了交通拥堵与社会经济的复杂性关系问题。首先定性研究交通拥堵的社会经济影响渠道和影响方式，描述交通拥堵对社会经济的影响，构建城市交通与社会经济互动关系的系统动力学模型和基于元胞自动机的交通拥堵微观经济学分析模型，同时对北京市城市交通进行实证研究，具体研究内容如下：

1) 引言。阐述本书的研究背景和研究意义，描述国内外关于城市交通和交通拥堵的研究现状，并介绍论文的研究思路、研究目的、研究方法和研究框架。

2) 相关理论研究。本章研究国内外关于交通拥堵的思想和理论,深入研究系统动力学和元胞自动机理论背景和物理结构,介绍本文选取的主要理论以及选取依据和应用方法,将社会经济引入到城市交通拥堵疏解研究中,用于描述社会经济和交通拥堵的相互关系。

3) 城市交通拥堵的社会经济影响界定。本章通过分析交通与城市交通的定义,给出城市交通的社会经济属性,分别从交通流、出行者和经济学角度定义城市交通拥堵,介绍城市交通拥堵的原因、特征以及测算方法,进而界定影响渠道和影响方式的概念、交通拥堵社会经济的影响渠道和影响方式,从社会、经济、资源、环境角度定性分析了交通拥堵对社会经济的直接影响和间接影响。

4) 交通拥堵社会经济影响系统动力学建模与实证。通过系统分析,将城市交通与社会经济互动关系系统划分为社会、经济、能源、环境、城市交通五个子系统,分析交通拥堵与社会经济要素间的系统行为模式和结构特征,明确系统的各组成要素;刻画变量的因果关系,建立系统流程图,给出结构函数,构建城市交通与社会经济互动关系系统模型,对模型进行校验和测试,验证系统的稳定性。通过模型仿真研究,分析动态条件下交通拥堵对社会经济的影响,研究如何调整交通结构和出行需求,以及通过何种社会经济手段进行拥堵疏解。

5) 基于元胞自动机的交通拥堵微观经济学分析。元胞自动机方法将单个车辆的行为作为研究对象,对组成交通流的车辆运动规律及其相互之间的关系进行研究。本章通过利用元胞自动机原理,仿真模拟了从A点到B点的车流变化以及交通拥堵的演化规律,进而分析出行者的出行成本和出行时间,同时分析交通拥堵疏解手段对城市出行者出行时间和出行成本等社会经济变化规律。

6) 结论与展望。本章对本书研究结论进行整理,提出本书的主要创新点,以及本书的进一步工作计划。

本书主要采用以下研究方法:

1) 数据收集、处理、描述与解释。以统计年鉴为基础,结合统计学处理方法,对获得的数据进行检验、处理和描述性统计分析,确定相关变量。

2) 理论与实证研究相结合。理论是研究的基础,实证是理论研究的目的,本书在第4章运用系统动力学理论与方法分析城市交通与社会经济的互动关系,建立系统动力学模型,从宏观角度以北京市城市交通为例进行实证分析;在第5章运用元胞自动机方法,通过假设一个道路网络,从微观角度仿真分析城市交通流变化以及出行者的出行成本和出行时间。

3) 定性分析与定量分析相结合。在定性分析的基础上,进行定量分析,再对定量分析的结构进行定性分析。其中定性分析表现为第3章城市交通拥堵的社会经济影响界定,确定交通拥堵的社会经济影响渠道和影响方式,描述交通拥堵对社会经济的直接影响和间接影响;定量分析方法运用统计学方法确定系统关键变量和结构方程式,分析确定系统的元胞、元胞空间和邻居,给出系统的边界范围。对定量分析的结果进行定性分析,包括根据以社会经济为手段的政策要素对社会经济影响,分析社会经济在交通拥堵中的具体表象。

4) 自上而下和自下而上相结合。一方面利用自上而下的系统动力学模型,从宏观角度分析城市交通与社会经济的相互驱动因素,研究不同政策下城市交通拥堵的变化趋势;另一方面,以自下而上的元胞自动机模型为基础,从微观角度构建某一道路交通网的仿真模型,分析在不同拥堵状态下居民出行时间和出行成本的变化情况。同时考虑了城市交通和社会经济系统宏观驱动因素的复杂性和微观格局演化复杂性特征,提高了模型的可靠性。

1.3.2 本书框架

本书以城市交通拥堵的社会经济影响为研究对象，给出城市交通拥堵的社会经济影响渠道和影响方式定义，采用系统动力学方法构建城市交通与社会经济互动关系的系统动力学模型，通过计算城市交通拥堵指数和模拟指标间相互关系，从宏观角度定量研究交通拥堵对经济、社会、能源、环境的影响程度，以及以社会经济为输入条件分析拥堵疏导的措施，以有效处理交通拥堵复杂的非线性影响问题；同时运用元胞自动机方法构建交通拥堵的微观经济学分析模型，分析交通拥堵的微观经济学特性，通过调整系统参数对城市车流进行仿真模拟，研究交通拥堵演化规律，从微观角度分析出行者的出行成本和出行时间等社会经济影响的变化规律，通过模型仿真分析缓解交通拥堵政策作用的有效性。根据以上研究思路，本书的总体框架见图 1.2。

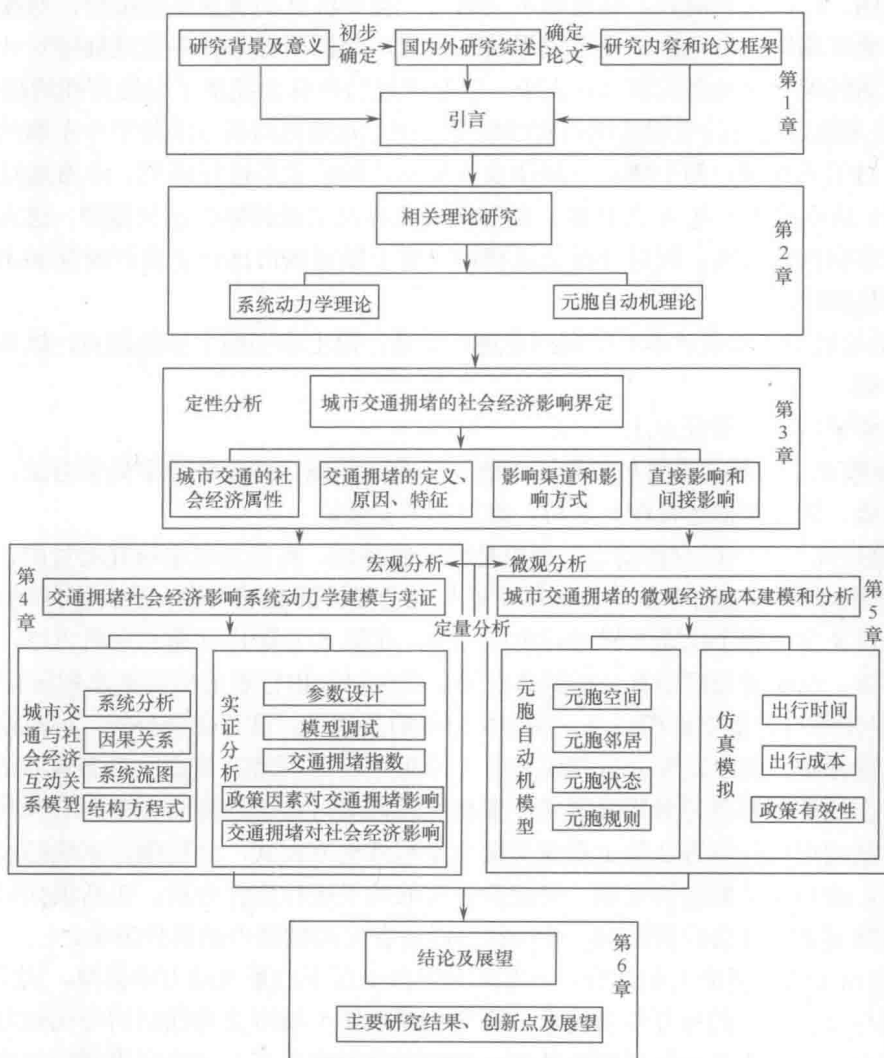


图 1.2 本书总体框架

Figure 1.2 Framework of this dissertation

第2章

城市交通拥堵社会经济影响分析的相关理论基础

城市交通拥堵影响宏观社会经济发展和微观居民出行成本与出行时间,以及城市经济社会的健康发展和城市的总体竞争力,而社会经济系统的各个构成要素之间存在着复杂的非线性和不确定性,是一个复杂系统,因此传统的数量经济方法难以全面把握系统的特征,对于系统内部以及系统间的非线性相互作用和反馈关系无法定量描述。系统动力学是一种自上而下从宏观的角度思考系统问题的建模方法,本书运用系统动力学方法研究系统要素之间的相关关系,分析系统存在的问题,并通过结构、功能和历史的方法研究宏观社会经济系统中复杂非线性问题;而元胞自动机是一种自下而上复杂系统建模方法,本书运用元胞自动机方法从微观的角度考虑车辆在道路中的运行行为,通过设定元胞状态和演化规则模拟车辆在路网中的运行过程,进而研究交通运行中微观居民出行成本和出行时间。通过系统动力学和元胞自动机方法的有机结合,可以有效地从宏观和微观的角度描述交通拥堵对社会经济的影响以及缓解交通拥堵的社会经济手段。

2.1 系统动力学

系统动力学以系统思考为理论基础,通过融入计算机技术而运用到系统仿真中,通过分析研究信息反馈机理,探求系统存在的问题,并通过结构的方法、功能的方法和历史的方法解决系统问题,能够解决复杂的、非线性的和带有延迟现象的系统问题。作为本书宏观分析的理论基础,通过对系统动力学理论的发展和演变、系统动力学基本内容和系统分析方法进行简要描述,进而确定本书研究中交通拥堵与社会经济互动关系的系统动力学建模理论与方法。

2.1.1 系统动力学的理论与发展

系统动力学作为系统科学的一个重要组成部分,吸收了控制论和信息论的精髓,被广泛应用于自然科学和社会科学,成为一门新的交叉学科。系统动力学以控制论、控制工程、系统工程、信息处理和计算机仿真技术为基础,研究复杂系统随时间推移而产生的行为模式,将系统的行为模式看成是由系统内部的信息反馈机制决定的,通过建立系统动力学模型,利用仿真语言在计算机上实现对真实系统的仿真,可以研究系统的结构、功能和行为之间的动态关系,以便寻求较优的系统结构和功能。从管理学角度来说,系统动力学不仅是管理科学的主流研究方法,也是管理科学的一个重要分支。系统动力学的发展主要经历以下几个阶段:

(1) 从线性到非线性问题求解。在大自然中的很多事情不是线性的, 这包括从这个世界感兴趣的大多事情, 我们的大脑肯定不是线性系统, 经济也是非线性系统。除了简单的物理系统外, 世界上几乎所有的事情、所有的人都被裹罩在一张充满刺激、限制和相互关系的巨大的非线性大网之中⁶⁰。20 世纪以来, 线性理论已经形成了系统完备的内容体系, 取得了划时代的飞跃发展, 获得广泛的应用。线性理论用来求解线性系统, 主要研究系统状态的变化规律和改变这种运动规律的可能性方法, 建立和揭示系统结构、参数、行为和性能之间的确定和定量的关系。线性数学模型包括时间域模型、频率域模型和状态空间域模型, 建立线性系统模型的基本方法就是解析法、试验法和仿真模拟法, 线性系统的方程遵守叠加原理, 即系统整体作用等于各部分作用之和, 各个组成部分互不相干, 各自独立起作用。

而从严格意义上来说, 真正的线性系统并不存在, 由于整个世界, 从宏观到微观的本质都是非线性的, 通过线性理论分析的线性现象的结论已经不能解释事物的本质和组成性质。非线性与线性现象相比主要有以下特征: 从运动形式上有实质性区别, 非线性现象表现为规则运动向不规则运动的转化和跃变; 从系统对外界影响和系统参量微小变动的响应上看, 非线性系统中参量的极微小变化在一些关键节点上则表现为出现与外界激励有本质区别的行为; 在连续介质的波动上, 非线性作用可促使空间规整性结构的形成和维持。世界是确定的、必然的、有序的, 但又是随机的、偶然的、无序的, 有序运动产生无序, 无序又包含更高层次的有序, 非线性理论逐渐渗透到社会科学的各个专业和领域。

(2) 系统、信息与控制

我国称系统论、控制论、信息论为“老三论”, 是系统科学产生的根本, 从 1940 年创立以来获得迅猛的发展。

任何经济、社会或者其他事物都可以被看作一个系统, 一般系统论⁶¹的研究对象是抽象的一般系统, 主要揭示一般系统的“同构性”问题, 即所有系统共同遵守的规律。系统论将研究对象作为一个整体, 强调系统结构与功能的研究, 以及系统、要素、环境三者的相互关系和变动的规律性研究, 系统论使人类认识社会形成了系统综合的思维方式。

控制论思想最先源于 1943 年维纳与罗森伯里特·毕格洛合写的《行为、目的和目的论》一文⁶², 维纳创立的控制论⁶³是从行为和功能的角将生物和机器进行类比, 将生物的目的性赋予机器, 用机器的负反馈概念去理解生物系统, 一个控制系统就是通过信息变换过程和反馈原理实现的。在控制论中, 对系统的控制和调节不是通过物质和能量的反馈来实现的, 而是通过信息的反馈来实现的, 控制论通过对系统中信息方面的联系的分析, 应用数学模型对这种联系进行精确的定量描述。控制论将社会的国民经济管理、企业管理、科学管理、工程管理、军事管理、行政管理, 甚至整个社会经济管理运动, 都作为大系统来研究, 探索其全面的指挥和控制的规律, 相应地形成了管理控制理论体系⁶⁴。

香农引用概率的概念来确定信息量的大小, 可以用来精确地计算信息量, 从而开创了信息论⁶⁵的先河。信息对于揭示事物的组织结构程度、研究物质和能量的时空分布不均匀程度以及系统的演化方向有着重要的意义, 用信息方法揭示各种复杂系统的共同属性, 将人类社会系统中的生产、技术、管理等看作通信和控制系统, 通过研究它们共同存在的信息接收、储存、加工和传输的变换过程, 进而解释它们的联系和属性。尤其在管理过程中, 信息及时有效地反馈和沟通, 对于实现人、财、物要素的良性循环, 达到管理目标和优化管理效果,

协调主客体、内外部关系具有重要意义。

(3) 工业动力学⁶⁶

Jay W. Forrester 教授在 20 世纪 50 年代在《哈佛商业评论》上最早提出系统动力学, 主要应用于工业企业管理, 处理生产与雇员情况的波动, 市场股票与市场增长的不稳定性等问题。1961 年出版的系统动力学理论与方法的经典著作《工业动力学》⁶⁷ 使系统动力学这一学科领域被称为“工业动力学”。《系统原理》⁶⁸ 描述了系统中产生动态行为的基本原理、系统结构和动态行为, 使得该理论在系统分析、决策和预测中得到普遍应用和推广。在初期, 系统动力学主要应用于研究精密制造、电气和高档电子器件的工业制造部门管理问题, 设计生产、分配、销售整个系统一体化的管理, 初步提出“牛鞭效应”⁶⁸ 问题。系统动力学的研究范围逐步从民用到军用, 从科研、设计工作的管理到城市问题⁶⁹ 的决策, 从世界人口增长危机问题到医学病例假设检验等人类社会的各类系统、各个领域。因此“工业动力学”逐渐被改称“系统动力学”。

(4) 世界模型 (WORD II & WORD III)

20 世纪 70 年代初, 罗马俱乐部 (The Club of Rome) 受世界人口增长与资源枯竭前景的困惑, 而当时的理论、方法还无法解决这一复杂的系统问题, 罗马俱乐部决定支持 Forrester 和 Meadows 教授承担世界模型任务, 先后建立了 WORD II 和 WORD III 模型, 初期研究成果包括世界动力学⁷⁰、增长的限制⁷¹、趋向全球的均衡⁷² 等著作。该模型从世界范围内的人口、资源、工业、粮食生产和污染等重要因素出发, 分析这些因素之间的相互联系、制约和作用以及其产生后果的可能性, 建立了全球分析模型, 得出结果认为: 当时世界范围内指数增长无法持续下去, 将会逐渐转换到一种均衡发展模式, 由于工业化伴随的人口膨胀、资源短缺和污染加剧, 结果将是人口和工业生产力双方有相当突然和不可控制的衰退。研究证明了传统经济模式使人类与自然处于矛盾中, 同时将持续不断受到自然的报复, 只有改变这种增长趋势和建立稳定的生态和经济条件, 才能支撑未来的社会经济系统是可行的。虽然这一结论引起了广泛的争论, 但系统动力学这一定量方法对于理解世界性问题得到了共识, 从而系统动力学加速壮大、成熟。

同一时期, 麻省理工学院系统动力学小组历时 11 年完成了一个方程达 4000 个的全国系统动力学模型, 该模型将美国的社会经济问题作为一个系统进行研究, 解决了经济方面长期存在的一些问题: 通货膨胀、失业率和实际利率同时增长。该模型同时解释了美国与西方国家的经济长波⁷³ 的形成的内在机理。由于在经济长波理论方面取得的巨大成就, 系统动力学达到了一个相对成熟的水平。随后系统动力学在项目管理领域也有了新进展, K.G.Cooper 用系统动力学模型分析和量化一个大型的军事造船工程的成本超额原因, Ingall 用系统动力学模型量化因海军设计更改导致的损失获得了补偿, 这些研究式的系统动力学在世界范围内受到关注, 确立了在解决社会经济问题中的学科地位。

(5) 多领域综合应用

进入 20 世纪 90 年代以后, 系统动力学在世界范围内得到了广泛传播和应用, 同时加强与控制理论、系统科学和突变理论的联系, 结合关于耗散结构、结构稳定性分析、灵敏度分析与参数估计、优化技术和专家系统方面的应用研究。

系统动力学与信息论。系统动力学建立的模型主要基于历史数据信息, 因此利用模型分析的前提就是要解决信息的有效性和合理性的问题, 在系统动力学研究过程中, 需要继承各

种定性信息、经验资料 and 理论性的概念,集成的关键就是系统动力学模型的结构,通过系统回路的构成和反馈结构来进行信息的集成。

系统动力学与复杂系统建模。系统动力学所研究的问题涉及范围很广,系统中各种关系过于复杂,且不利于理解和定量分析,通常需要将复杂系统分解成便于理解和分析的若干个子系统,而这种分割应按照分割后的各部分能够满足预定的政策分析及设计的要求,通过研究这些子系统进而形成对复杂系统的整体认识。Saeed⁷⁴认为模型分割可以从时间、空间和同时性三个方面进行,当问题是一个历史进程时,部分的分割应为一个基于某种条件的分割;当探求政策操作问题时,部分分割为一个时间的独立分割;当研究复杂历史过程中包含一个周期发展倾向,可以分割为两个模型,一个描述各个历史过程本身的复杂性,另一个描述共同存在于两个历史过程的周期性。针对系统动力学复杂系统建模,在解决实际问题时不要求模型在时间和空间上全面模拟现实系统,而是要有针对性地解决有效问题,王其藩⁷⁵提出主导结构分析法并使用主回路概念对模型进行简化分析系统的大部分行为特性,寻找主导结构的方法包括逐步隔离非主导回路法、回路参数变易法、回路极性分析法和特征值分析法等。

系统动力学与最优化问题。在解决实际问题中,一般按照给定的标准在某些约束条件下选取最优的解集,以便获得最优的社会经济效果,因此系统动力学建模的目的就在于研究和设计最优化模型,以寻求最优的政策设计。系统动力学建模属于非线性系统建模,常规的线性模型最优化技术往往不足以优化模型。传统的优化方法是对模型进行参数试凑,一般是对系统的某些参数而言的,但需要依靠建模人员丰富的经验和技巧。系统动力学模型优化的主要问题是模型结构的优化,而复杂系统反馈结构的变化在时域和空域是不连续的,无法用数学函数描述,林文浩⁷⁶将遗传算法应用于系统动力学模型的参数估计问题,认为GA自适应寻优的智能特征和并行搜索的高速性可以克服试凑法的盲目性,保证参数估计的效率和质量。利用GA构造的系统动力学模型不断适应环境变化,由简单、低级的结构产生复杂的高级网络结构,使模型具有自适应和自进化的能力⁷⁷。同时,GA也可以构造特定的环境,对SD模型进行选优,使其研究对象与外界环境成为一个有机整体,提高了模型的适应性⁷⁸。

我国系统动力学研究集中在区域与城市规划⁷⁹⁻⁸⁰、企业研究⁸¹、产业研究⁸²、科技管理⁸³、生态环保⁸⁴、海洋经济和国家发展⁸⁵等应用研究领域,理论研究领域包括了应用图论分析给出系统动力学存量流量图的极大出树及反馈回路一种确定方法,建立了系统动力学的流率基本入树建模法、枝向量行列式、矩阵反馈环计算法,得出一种系统动力学规范化建模方法⁸⁶。

系统动力学认为,物质和信息在传递过程中需要时间,从而产生了系统延迟,使得系统状态产生波动,增加系统控制的准确性的难度,在社会经济系统中即系统状态与决策合二为一。系统动力学从系统微观结构建立系统的结构模型,用回路描述系统结构框架,用因果关系图和流图描述系统要素之间的逻辑关系,用结构方程描述系统要素之间的数量关系。

(1) 因果关系图

不论在交通系统或者是社会经济系统中,彼此之间均存在一定的因果联系,原因和结果相互依存又在一定条件下相互转化,系统动力学用因果关系图定性描述系统中变量之间的因果关系,以图形方式描述变量之间的相互影响和相互作用,探求决定事物存在和发展的根本原因和客观规律。