



基于 GIS 的 土地利用、交通与空气质量 一体化

赵丽元 著

 科学出版社

基于GIS的土地利用、交通 与空气质量一体化

赵丽元 著

国家自然科学基金青年基金项目(51408246)资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

土地利用形态空间布局差异是城市交通产生的根源,而交通排放污染是当前我国空气质量恶化的主要原因之一。探索城市土地利用、交通和空气质量三者之间的错综复杂关系,有助于从根源上掌握和改变交通需求的生成强度、空间分布特征,从而实现优化城市交通空间结构、减少交通排放和改善空气质量的长远目标。本书采用竞租理论、双层多目标优化理论和地理学的元胞自动机、多智能体等空间智能方法,从微观定量角度构建土地利用、交通和空气质量一体化模型。通过对三者关系进行量化、分析评估,以优化城市资源配置、提高空气质量为目标,探索土地利用空间优化策略,从而丰富城市规划系统研究理论,强化低碳规划理念,为我国传统的“定性规划”“经验拍脑袋规划”提供定量、科学的理论参考依据。

本书适合于具有一定城市规划、地理学或交通运输专业教学背景的教师,也可作为城市交通发展及土地利用研究的科研参考书籍和交通运输专业方向研究生的选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

基于 GIS 的土地利用、交通与空气质量一体化 / 赵丽元著. —北京: 科学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-03-047578-7

I. ①基… II. ①赵… III. ①地理信息系统-应用-土地利用 ②地理信息系统-应用-交通规划 ③地理信息系统-应用-环境空气质量-空气污染监测 IV. ①F301.2-39 ②U491.1-39 ③X831-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 046608 号

责任编辑: 杨帅英 白 丹 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 图阅社

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>

北京科印技术咨询有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 7 3/4

字数: 141 000

定价: 99.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前言

近年来,我国发生了大范围雾霾天气,多个大城市 PM2.5 指数濒临爆表,“无处呼吸”困扰着人们正常生活。机动车尾气排放、交通拥挤是造成上述情况的主要原因,根据城市大气污染物来源的分类统计,有 80%左右的污染物来源于交通排放。大城市空气质量下降、交通拥挤与交通事故频繁等现象日益严重。从交通理论出发,导致其主要原因在于日趋尖锐的城市交通需求与供给不平衡。而交通需求的产生取决于生产活动、生活活动和其他社会活动的发生地点与居住地点的空间背离,即城市土地利用形态空间布局的差异;并且土地利用产生交通源,而交通排放是空气质量恶化的源头之一。城市土地利用(land use)、交通(transportation)与空气质量(air quality)存在复杂的正负反馈关系,具体可以描述为:不同的城市土地利用空间分布形态是交通需求产生的根源。土地利用的布局、性质及其功能决定着交通发生量、吸引量、出行次数和距离。另外,交通可达性、出行费用等指标直接影响土地开发,从而影响其结构和空间形态。交通越便利、通达性越好的地区土地利用效率越高、开发强度越大。而交通能源消耗是造成局部环境污染和全球温室气体排放的主要来源之一。

国内外实践已表明,单纯依靠道路扩建已经难以满足日益增长的交通需求,甚至会导致小汽车拥有量急剧增加、交通拥挤、交通排放污染更加严重的恶性循环。要从根源上解决城市交通拥挤及其带来的环境污染问题,必须从调整土地利用形态与交通结构入手。当前欧美发达国家,为了适应严格的空气质量控制、环境控制以及优化城市资源分配,绝大多数城市规划部门已经把土地利用、交通和空气质量放在一起进行综合研究,实现一城一摸,并反映在规划层面,为具体的城市规划决策提供科学依据。近年来,我国多个大城市已经意识到交通拥挤及交通排放污染的根源,并非仅仅在于道路规划,而且在于空间发展的不均衡。在北京城市未来发展规划中,已考虑将就业资源分散在东部的以住宅区为主的通州新城,实现北京中心东移。在规划层面,决策者已意识到两者的互动关系,但在操作层面上尚缺乏科学定量分析作为规划支撑。

尽管我国绝大多数的大中型城市都已花费大量人力财力编制总体规划,并普遍采用专业的交通软件来实现城市综合交通规划模拟分析、环境影响分析,但将土地利用、交通和空气质量一体化并用于政策实施分析的平台还处于探索阶段。城市土地利用和交通、环境学科研究的孤立性和不科学,也是影响我国环境恶化、拆建泛滥、资源浪费的重要因素。

因此,本书根据我国快速城镇化特征,从科学定量角度研究土地利用、交通和空气质量的关系,深刻剖析三系统内部变量特征,以优化城市资源配置、提高空气质量为目标,探索土地利用空间优化策略,丰富城市规划系统研究理论,强化低碳规划理念,为我国传统的“定性规划”“经验拍脑袋规划”提供定量、科学的理论参考依据,并且,我国实现城市交通与土地利用协调发展、城市蔓延有效控制、城市整体资源优化配置与

交通污染减排,重要途径是推行基于低碳排放的土地利用空间布局的土地开发与交通发展策略。因此,结合我国当前规划背景,深入剖析土地利用、交通和空气质量三者之间的关系,对从根源上解决现代诸多城市病及促进城市的可持续发展具有重要意义。

作 者

2016年2月

目 录

前言

第 1 章 土地利用、交通与空气质量模型综述	1
1.1 土地利用交通一体化的必要性	1
1.2 土地利用交通一体化概念	2
1.3 国内外土地利用交通一体化研究综述	3
1.4 本书的主要内容与框架	8
1.5 本书研究意义	9
1.6 本章小结	11
第 2 章 基本原理与方法	12
2.1 土地利用交通一体化模型	12
2.2 元胞自动机模型	14
2.3 多智能体模型	16
2.4 神经网络及其在土地利用模型中的应用	18
2.5 土地利用市场竞争机制	20
2.6 本章小结	22
第 3 章 面向一体化的元胞自动机土地利用模拟	23
3.1 ANN 和 MNL 元胞自动机土地利用模型应用流程	23
3.2 基于出行需求的土地利用分类定量方法	26
3.3 基于多项式 Logit 转换规则的元胞自动机用地模拟	31
3.4 基于神经网络 ANN 的元胞自动机用地模拟	35
3.5 ANN 和 MNL 元胞自动机用地模拟结果比较	40
3.6 本章小结	40
第 4 章 融入市场机制的多智能体土地利用模拟	42
4.1 耦合元胞自动机和多智能体的土地利用模型	43
4.2 基于多智能体的土地利用变化的市场机制	45
4.3 面向市场供给需求均衡的多智能体土地利用模型	50
4.4 智能体的参数校正结果	52
4.5 MNL-CA-Agent 模型土地利用变化的预测性能	55
4.6 土地利用模型预测的家庭和就业分配	62
4.7 本章小结	63
第 5 章 融入市场机制的土地利用与交通一体化双层模型	65
5.1 Logit 元胞自动机与竞租理论结合	66
5.2 土地利用分配和交通耦合模型	68

5.3	耦合模型算法分析与流程	72
5.4	土地利用优化结果分析	76
5.5	家庭智能体居住选择行为结果分析	80
5.6	土地利用分配对交通网络的影响	82
5.7	本章小结	83
第 6 章	土地利用、交通和空气质量一体化模型构建	84
6.1	城市空间结构、交通与空气质量之间的关系	84
6.2	空气质量、交通排放及用地变化的量化分析	85
6.3	面向提高空气质量的的城市用地空间结构优化	88
6.4	一体化模型应用与结果分析	90
6.5	本章小结	93
第 7 章	基于佛罗里达州 Bay County 的土地利用交通一体化案例	94
7.1	土地利用模拟软件 LandSys 构建	94
7.2	智能交通预测模型	96
7.3	LandSys-FSUTMS 土地利用交通一体化模型	101
7.4	结果分析	105
7.5	本章小结	110
参考文献		111

第1章 土地利用、交通与空气质量模型综述

1.1 土地利用交通一体化的必要性

当前,在我国主要大城市中,随着我国城市人口和机动车保有量的激增,交通拥堵、交通环境污染、交通能耗、交通安全等现象日益严重,严重影响着城市的经济建设和运转效率。城市交通拥挤、空气质量下降、环境恶化、交通事故频发,已成为制约我国城市可持续发展的主要瓶颈。交通拥堵导致的交通安全问题,已经严重影响了城市稳定健康发展,危害人民的生活。根据公安部全国道路交通事故统计数据,2005年,我国共发生道路交通事故450254起,造成98738人死亡、469911人受伤,直接经济损失达18.8亿元。在我国主要大城市中,交通拥堵非常严重,北京市、上海市中心区的高峰期车辆平均速度不到20km/h。研究表明,当汽车的时速从40km/h降至10km/h时,燃料消耗量增加一倍,环境负荷增加2~4倍。导致的交通能源过多消耗,也是造成局部环境污染和全球温室气体排放的主要来源之一。早在1996年,上海市机动车CO的排放分担率就高达61%。当前,根据我国城市大气污染物来源的分类统计,已有80%左右的污染物来源于汽车废气。2009年,北京市机动车尾气挥发性有机化合物(HC)、一氧化碳(CO)和氮氧化合物(NO)污染总量达106.57万t,其中,私家车污染排放占总量的85.3%,出租车占12.4%,公交车占2.3%(石磊,2009)。

导致交通拥堵的主要原因在于日趋尖锐的城市交通需求与供给不平衡。解决这种失衡的常规途径有两种:一是扩大交通供给,通过加强交通基础设施建设,采用先进的交通系统的组织优化与控制方法,优化交通资源利用,以缓解交通供需矛盾。国内外许多经验教训表明,交通供需不平衡已不能单独依靠扩大交通供给解决,单纯依靠修建道路等交通设施和采用传统的管理方式来解决城市交通问题,不仅成本高昂、资源浪费、环境污染严重,且效果有限,甚至会导致小汽车保有量急剧增加、交通拥挤更加严重的恶性循环;二是调整交通需求,包括限制交通出行和调整交通需求空间结构。例如,北京奥运会期间,北京交通管理部门实施机动车单双号出行来限制交通出行,从短期效果看,调整交通需求能有效限制交通需求,但随之会带来机动车数量增加等问题。从长期角度看,土地利用交通一体化研究才是调整交通需求空间结构的有效途径。

国内早期的城市规划并不重视土地利用与交通的相互关系,土地利用与交通之间的协调并不完善。以天津市为例,其中心城区快速路和主干道沿线的交通吸引点无序分布,吸引点的进出交通与中长距离交通互相干扰,交通拥堵严重。同时,新城区的用地类型单一,快速公共交通发展缓慢,导致与中心城区交通流量过大。而中心城区又面临土地开发强度大、就业岗位多、吸引范围广、流动人口多的问题,使中心城区成为全市最大的交通发生源和吸引源(郭琳,2004)。而香港是世界上人口最稠密的城市之一,在高

密度下仍然能够保持城市交通顺畅,有效控制交通污染,这与香港采用土地利用交通协调发展模式——公共交通导向发展,是分不开的。香港的成绩很大程度上归功于公共交通社区式的土地利用形态。约有 45%的人口居住在距离地铁站仅 500m 的范围内。在新界,约有 78%的就业岗位集中在 8 个位于地铁站附近的就业中心内,大型商务办公中心更是高度集中在各类公共交通工具的大型枢纽处。

目前,我国在规划体制和实践方面,均认识到了土地利用与交通一体化研究的必要性。在规划体制方面,土地利用规划和交通规划隶属于不同的规划管理部门,两个独立的体系未能将两者在编制过程中进行对接。由于交通规划始终处于土地利用规划的下位规划,土地利用规划对交通规划的指导作用得到了一定程度的体现,但是交通规划向土地利用规划反馈的内容却始终没有一个满意的案例。中国近十几年的高密度、大容量的土地开发使原有的交通设施无法满足交通量的需求,越来越多的学者对交通规划的地位提出质疑,因此,2010 年中华人民共和国住房和城乡建设部印发了《城市综合交通体系规划编制办法》,提出“综合交通规划应和土地利用规划同步编制”的要求,从体制上肯定了土地利用一体化的编制方式。在规划实践需求方面,自推进城镇化发展以来,全国城市规模都在不断扩大,经济呈高速发展态势。与此同时,城市路网向外扩张,交通出行需求量和汽车保有量急剧增加。由于过多追求量而忽略了质的要求,我国城市的发展逐渐受到交通拥挤、环境污染、能源紧张以及由此产生的严重社会问题等一系列城市病的困扰,这些都有悖于中国新型城镇化的“可持续”原则。

1.2 土地利用交通一体化概念

根本上说,城市交通需求与土地利用存在着相辅相成的关系。交通需求的产生取决于生产活动、生活活动和其他社会活动的发生地点与居住地点的空间背离,即城市土地利用形态空间布局的差异。交通需求被不同的土地利用形态决定,如工业制造、居民住宅、商业服务、政府、地铁等不同的土地利用形态将导致不同的交通需求。土地利用的布局、性质及其功能决定交通发生量、吸引量、出行次数和距离。同时,交通通过可达性、出行费用等指标直接影响土地开发的选址,从而影响土地利用结构和空间形态。交通越便利、通达性越好的地区土地利用效率越高、开发强度越大。一个发达的交通体系会改变城市结构和土地利用形态,使城市中心区人口向周围疏散,商业中心更为集中,土地利用功能划分更加明确。

土地利用交通一体化可以优化分配城市资源、提高空气质量,促进城市可持续发展。从长期城市交通的可持续发展角度调整交通需求,通过协调土地利用与交通发展可调整并优化交通需求的分布结构,减少交通需求量,已成为当前解决交通供给需求不平衡的重要途径之一。依靠一些辅助措施也可以达到减少交通需求目的,如高密度混合土地利用开发,公交导向的城市空间发展等政策。合理的土地利用结构与布局能够优化调整交通需求结构,从根源上诊断诱发交通拥堵的症结,并为实现交通需求管理提供良好的条件。要从深层次解决城市交通供给需求矛盾,关键在于全面深入地研究土地利用与

交通的互动关系,探讨未来城市交通需求和土地利用空间布局。从城市可持续发展角度,优化城市土地空间布局和交通需求空间分布结构,以减少交通需求、缓解和预防城市交通拥堵。

在欧美发达国家,为了适应严格的空气质量控制、环境控制以及优化城市资源分配,土地利用和交通规划联系密切。早在 20 世纪 60 年代,欧美发达国家采用土地利用和交通规划一体化模型来协调、整合和模拟土地利用、交通规划和城市发展。一批先进的土地利用交通一体化模型及软件纷纷涌现。在美国,已制定相关法律以引导环境可持续发展。例如,在 1991 年的多式联运的交通法令中规定,交通规划必须要考虑交通运输与土地利用的相互作用。2009 年,美国的一项调查表明,在 47%的总人口超过 20 万的城市,交通规划部门都拥有土地利用与交通需求模型,而其余城市有一半正在创建或者考虑使用现有的土地和交通模型。

表 1.1 列举了四个已经在美国一些城市的应用开发比较流行的土地利用交通模型,包括 UrbanSim、PECAS、MEPLAN 和 TRANUS (Clay, 2008)。土地利用与交通的优化结果比较表明,土地利用与交通一体化能够有效减少交通量,便于交通、土地、环境三者的互动关系分析及相关政策制定。通过一体化模型优化未来城市土地、交通发展,能够有效地缓解并提前预防城市机动车急增带来的交通拥堵问题。

表 1.1 四种交通一体化模型及其在美国城市的应用

模型	已应用城市	正在应用开发的城市
UrbanSim	俄勒冈州的尤金-斯普菲尔德都市区、犹他州盐湖城、得克萨斯州休斯敦、华盛顿州西雅图	得克萨斯州圣安东尼奥、得克萨斯州达拉斯、夏威夷檀香山、科罗拉多州丹佛市、亚利桑那州凤凰城、密歇根州底特律
PECAS	俄勒冈州	俄亥俄州、加利福尼亚州、加利福尼亚州萨克拉门托、马里兰州巴尔的摩、亚拉巴马州蒙哥马利
MEPLAN	加利福尼亚州萨克拉门托	
TRANUS	加利福尼亚州萨克拉门托、俄勒冈州	马里兰州巴尔的摩

总的来说,土地利用和交通一体化模型是指在同一模型中兼顾交通需求与土地利用模式。一体化模型的开发与运用是理论走向实践的关键之一。它可以捕捉并模拟交通系统与土地利用系统之间的相互作用,为土地开发、交通布局、城市发展政策的制定提供科学直观的依据。通过预测城市未来交通和土地发展,一体化模型能够调整城市土地利用空间结构,优化交通需求空间布局,缓解和预防交通拥堵,从而改善城市环境,为城市可持续发展奠定基础。

1.3 国内外土地利用交通一体化研究综述

1.3.1 土地利用与交通一体化方面研究现状

关于交通与土地利用的相互关系,国外研究起步早,成果丰硕,并被广泛用于大都

市城市规划领域。现有的城市交通与土地利用相互关系模型主要可分为五大类：Lowry 类模型，数学优化类模型，空间输入输出模型，微观仿真模型以及元胞自动机模型。各类模型的特点、代表模型及其优缺点见表 1.2。

表 1.2 国外土地利用交通一体化的主要模型

类别	性质与特点	代表性模型	优点	缺点
Lowry 类模型	模拟城市居民和社会服务活动的区位格局，定量表达土地利用间相互作用	Lowry DRAM/EMPAL HLFM LILT LUTRIM	容易获取输入数据，能够融合区位选择的各种约束条件，且模型易校正	假设研究对象地域与外界不存在人员流动，基于纯统计模型，缺乏经济原理及市场竞争机制；考虑集聚行为，不能描述个体离散选择行为，政策分析不敏感
数学优化类模型	按特定衡量指标来寻找最优土地利用和交通发展方案	基于投影优化的土地利用信息系统 POLUS	模型目标明确，能有效优化土地利用策略和交通发展政策	模型约束条件过程简单，很难准确地描述时空高度复杂的土地利用变化和交通的相互作用
空间输入输出模型	通过计算机模拟，构建输入输出变量关系模型	MEPLAN TRANUS DELTA PECAS MEPLAN 等	从空间角度描述土地利用交通变化	考虑集聚行为，无法描述个体微观行为，软件往往收费，应用技术支持较难
微观仿真模型	从微观的角度模拟土地利用与交通决策主体的行为，并通过计算机分析模拟实现	NBER HUDS MASTER IRPUD MUSSA Urbansim 等	能够有效描述土地利用与交通系统中决策个体的微观行为	模型输入数据较多，要求较高
元胞自动机模型	将土地利用划分为方格单元，根据转换规则定义元胞状态转换规则	SLEUTH 模型和 CLUE-s	土地划分为栅格，可更精确、直观描述土地利用变化	单一的元胞自动机模型，很难反映人口变化、政策，以及经济对土地利用、交通变化的影响

Lowry 类模型最早可追溯到 1964 年（Lowry，1964），提出的目的是模拟城市居民和社会服务活动的区位格局。其假设研究对象地域与外界不存在人员流动，定量表达土地利用间相互作用，包括居民区位选择模型和服务零售部门区位选择模型。最初的 Lowry 模型缺陷在于研究对象封闭，对城市行为描述简单且缺乏理论依据，对于人口区位和交通量的关系缺乏科学解释。针对原始模型的缺陷，在 Lowry 模型发表后的几十年中，不断有学者和规划人员对其进行改进和扩展。具有代表性的有：Putman 等提出的基于 Lowry 模型的 DRAM/EMPAL 模型，Alan Horowitz 的 HLFM 模型（Dowling et al., 2000），Mackett（1979，1990）的 LILT 模型，以及 William Mann（1995）的 LUTRIM 模型。这些改进和扩展模型将原始 Lowry 模型动态化，引进了空间作用理论，并能够与交通紧密结合。Lowry 类模型优点是容易获取输入数据，能够融合区位选择的各种约束条件，且校正模型简单。其缺点主要有：基于纯统计模型，缺乏经济原理及市场竞争机制；考虑集聚行为，不能描述个体离散选择行为，政策分析不敏感。

数学优化类模型是在给定条件下，按特定衡量指标来寻找最优土地利用和交通发展方案。具有代表性的有 Prastacos 的基于投影优化的土地利用信息系统 POLUS，寻求一个与工作、出行方式、服务及基本产业雇员集聚效益相关联的区位剩余价值最大化。

Arild Vold 以交通效率最大和环境污染最小为目标,构建了城市交通与土地利用系统的数学优化模型。数学优化类模型目标明确,但模型约束条件过程简单,很难准确地描述时空高度复杂的土地利用变化和交通的相互作用(Webber, 1976)。

空间输入输出模型主要包括 MEPLAN (Hunt and Simmonds, 1993; Hunt, 1993, 1994)、TRANUS (de Barra et al., 1984)、DELTA (Zhao and Chung, 2006) 和 PECAS (Pfaffenbichler and Shepherd, 2002; Abraham and Hunt, 2003)。MEPLAN 由三个主要模块组成:土地利用经济模块、交通模块和经济评估模块。TRANUS 主要用于仿真和评估交通、经济和环境政策的相互影响。DELTA 模型由六个子模块组成,包括土地发展过程、人口变化、经济增长、家庭就业位置选择和重置、就业变化情况、汽车拥有量情况以及交通方式选择模块。PECAS 主要由两个模块组成:空间发展模块和活动分配模块。采用集聚、供需均衡结构,分析区域生产和消费的各种产品流在其各自交易市场下的运作,包括交通流、商品流、服务流、劳动力等。

微观仿真模型从微观角度模拟土地利用与交通决策主体的行为,并通过计算机模拟分析实现。主要有:20 世纪 70 年代的 NBER 和 HUDS 模型(Kain, 1987),英国 Mackett 开发的考虑人口增长和家庭结构变化的 MASTER 模型(Mackett, 1990),仿真大城市位置和迁移决策的 IRPUD 模型, Martinez (1996) 的基于个体拍卖竞价选择的土地利用均衡模型 MUSSA,以及被广泛使用的 20 世纪 90 年代末由华盛顿大学 Waddell 教授及其学生开发的 Urbansim 土地利用交通一体化开源软件(Waddell and Nourzad, 2002)。Urbansim 考虑了土地利用、交通及政策一体化,是一个较为全面的城市交通与土地利用预测及分析模型。MASTER 采用蒙特卡洛随机方法来模拟一系列个体及其家庭的活动决策行为过程。

基于元胞自动机模型(Cellular Automata, CA)的土地利用交通一体化模型代表有 SLEUTH 模型(Clarke et al., 1996)和 CLUE-s 模型(Verburg et al., 1999)。它们是基于元胞自动机的用来仿真非城市土地利用(农田、森林)转变成城市土地利用(城市居民住宅、商业、工业用地)模型。单一的元胞自动机模型很难反映人口变化、政策以及经济对土地利用、交通变化的影响。近年来,智能体模型开始结合元胞自动机研究土地利用变化(Torrens, 2001; Parker et al., 2003; Evans and Kelley, 2004)。智能体具有自主性,在共有环境下能通过相互间通信与作用,根据环境进行决策。它通过周围相关环境假设,为达到某种优化条件,能够控制自己的决策行为。

国内城市交通和土地利用的互动关系研究起步较晚,直到 20 世纪 80 年代末、90 年代初,一些学者才开始关注。1987 年年底,中国城市规划设计研究院交通所承担了国家“七五”重点科技攻关项目“大城市综合交通体系规划模式研究”,首次探讨城市用地与交通发展关系,并系统分析了我国大城市中心区的形成原因、用地结构以及交通模式特征。范炳全和张燕萍(1993)在总结发达国家土地利用与交通的研究进展基础上,呼吁我国规划界与学术界该重视该领域的研究。2000 年,由中国城市规划设计研究院承担的国家“九五”科技攻关专题项目“土地利用/交通模式与城市机动化趋势研究”,探讨了城市机动化对城市交通系统的影响,并分析了机动化条件下我国土地利用与交通模式的选择。国内城市交通系统与城市土地利用的互动关系研究主要从定性、定量及协调

关系三个方面进行阐述。

许多学者,如同小培(2006)、杨明(2002)、陆化普(2006)、周素红(2005)等在城市交通与土地利用的互动关系方面取得了理论研究和实证研究的成果。杨吾扬(1994)从历史、人口和交通等要素探讨了北京市商业中心等级结构的形成及演化,并研究了国内区域开发的理论模式。邵德华(2002)研究了城市轨道交通对土地利用的影响,并提出轨道交通与土地一体化建设的对策建议。杨励雅等(2005)运用随机效用、灰色系统等理论构建两者互动关系的模型及算法。毛蒋兴等(2004)以广州市为例,探讨了土地利用模式与交通模式的互动机制,提出了一个建立基于交通方式合理分工的高效、节能、环保的城市交通模式。

总体来看,我国现有的土地利用交通一体化研究侧重理论方面,多为描述两系统的局部变量关系,缺乏基于两系统微观个体行为的一体化模型。而实证研究方面,土地利用多以大区域,甚至整个城市为单位,很难全面分析两系统的互动机理,也难以准确地从操作层面为政府规划决策提供参考。尽管我国学者在土地利用研究方面成果丰富,但将前沿的地理学土地利用研究与交通学结合,进而开展一体化研究尚处于起步阶段。

1.3.2 土地利用、交通和空气质量三者结合

在空气质量研究方面,我国关于交通排放与空气质量关系研究成果较多。在道路交通排放研究方面,雷伟等在对车辆道路排队试验数据采集基础上,采用微观交通仿真软件,构建了某城市交叉路口的围观仿真模型,研究了不同信号控制优化方案对交通流和交通排放的有效性^①。东南大学李铁柱等(2005)探讨了城市交通污染物排放调查方法、排放因子确定方法,分析了机动车对空气污染影响。于跃等(2011)利用 DYNASMART 交通仿真技术,研究了机动车尾气排放与拥堵等级之间的关系。通过现有文献查阅,发现对空气质量方面的研究主要集中在通过交通排放指标评价当前的交通管理与控制措施的有效性。

国内在将三者结合方面,大连理工大学谭晓雨博士侧重分析土地利用对道路交通环境负荷的影响,通过揭示城市土地利用格局对道路交通环境负荷影响的单向关系,以降低城市道路交通环境负荷为目标优化城市土地利用格局^②,并指出基于用地类别的交通需求模型方面,还需要更充足的数据和可能影响因素对模型给予更加精确的标定和估计。向睿从系统的角度,以土地集约、混合发展为目标,构建了城市交通能耗约束条件下的土地利用优化模型,并根据交通政策特点建立了基于交通节能减排的动力学评估模型^③。

而国外对土地利用、交通和空气质量三者关系的研究,已基本实现一城一模,并制定相关法律引导环境可持续发展。例如,早在1991年的多式联运的交通法令中就规定:交通规划必须要考虑交通运输与土地利用的相互作用以及对空气质量的影响。美国加州

① 雷伟. 2011. 城市道路交通排放的仿真优化研究. 武汉理工大学博士学位论文.

② 谭晓雨. 2012. 基于道路交通环境负荷因素的城市土地利用格局优化研究. 大连海事大学博士论文.

③ 向睿. 2011. 交通能耗在城市绿色交通规划中的应用. 西南交通大学博士论文.

通过的首个全球变暖法案[U.S.(AB32)]提出 2050 年温室气体排放量低于 1990 年 80% 的目标。该目标直接促成了加利福尼亚州“可持的土地利用交通计划 SCSs”的形成,指出交通排放降低的唯一办法就是改变交通增长方式,即从低密度、小汽车导向发展向高密度、公交导向发展转变(Rodier, 2009)。基于这些强制性法律法规,欧美国家城市规划部门展开了一系列关于土地利用、交通与空气质量的研究,包括一体化模型构建、对应策略、潜在经济效益、公平性分析等(Rodier et al., 2011)。

1.3.3 研究综述总结

纵观国内外土地利用与出行需求研究进展,土地利用与交通的一体化研究的主要趋势有四个方面:一是采用现代经济学相关理论,融合交通、土地利用市场竞争机制,考虑两系统参与者的个体离散选择行为,构建综合的城市交通与城市空间演化分析框架;二是与交通系统紧密结合,包括交通生成、交通分布、交通方式选择和交通分配的路网微观仿真,建立两系统的反馈机制,实现真正意义上的土地、交通一体化;三是从地理科学的角度模拟土地利用的动态演化,以模拟、预测城市发展,实现土地利用动态、交通路网演化的 GIS 可视化、高度信息化;四是便于融合交通、土地利用相关政策,实现对政策、相关项目的科学评估。

国内的学者们往往主要从城市微观及中观层面研究城市土地利用与交通系统之间的相互作用,建立数学模型,多数研究还处于理论阶段,往往仅着重描述两系统的局部变量关系,缺乏综合考虑两系统微观个体行为的一体化模型。而且实证研究多以大区域,甚至整个城市为单位,很难准确地描述土地利用的动态变化。针对我国发展状况,能反映城市土地及交通系统动态演化,并可用于实际政策分析的应用型、科学型土地利用交通系统一体化模型和软件还很欠缺。并且,地理和交通两学科交叉甚少,地理学者对交通理论掌握不够,而交通学者也往往忽视了地理学的一些理论以及 GIS、RS 等空间分析工具,尽管我国在这两个学科分别有很多显著研究成果,但能够全面综合两学科理论及其特点、采用 GIS 仿真平台实现城市土地利用交通发展的一体化研究尚未进入正轨。

造成我国土地利用交通一体化发展缓慢的主要原因有两个。一是数据资源缺乏。人口、社会、经济、土地、交通等统计数据是土地利用交通一体化模型的重要输入。在美国,所需要的数据基本上可以从官方网站免费下载,或者直接向统计机构和部门获取。而在我国,这些所需要的数据通常是保密级或者是有限制公开。数据的不开源性直接阻碍了我国土地利用交通一体化研究发展,这也是国内的多数研究只能停留在理论阶段的主要原因之一。二是我国土地规划管理与交通部门之间相互独立,缺乏沟通与协调。土地规划往往忽略其对交通运营的影响,而交通规划也不能预测和改变土地规划和利用状况。以上原因使得土地和交通两系统在实际决策操作中缺乏足够的协调,导致交通拥挤严重和城市无序扩张。

我国对土地利用、交通和空气质量的研究,主要侧重于通过建立系统优化模型分析土地利用空间布局对交通环境的影响。和国外相比,基本还在理论研究阶段,甚至是初级阶段,很难从科学定量角度对未来城市规划具体政策实施提供支持,这也是导致当前

土地开发不合理、拆建普遍、交通线网无秩序蔓延、交通环境恶化、空气质量下降等一系列问题的重要原因。

1.4 本书的主要内容与框架

针对以上问题，本书分为七大章节，构建了元胞自动机与多智能体土地利用模型 LandSys，土地利用空间分配与交通相互作用模型，面向提高空气质量的土地利用空间优化模型，并以美国佛罗里达州为例展开模型演示分析，详见图 1.1。

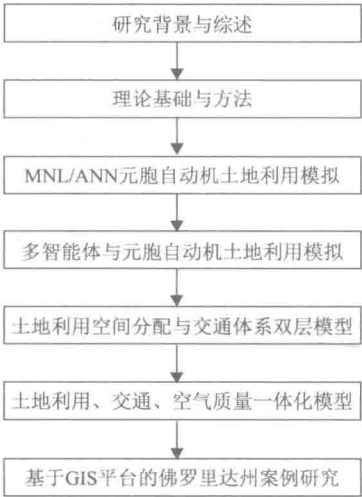


图 1.1 本书内容结构框架图

第 1 章，介绍本书的研究背景，国内外发展情况，研究意义、目的、内容、技术路线等，为文章指明方向。

第 2 章，根据文献综述，介绍本书采用的主要理论与方法，包括土地利用交通一体化方法、元胞自动机模型、多智能体模型、土地利用市场竞租理论、神经网络等。

第 3 章，土地利用元胞自动机动态演化模型：结合现有的佛罗里达州交通需求模型框架 FSUTMS 及实际的 GIS 数据，采用元胞自动机对土地利用变化进行仿真预测。对影响土地利用动态变化的因素进行深入研究，构建土地利用动态演化模型。通过对佛罗里达州橙县的土地物理属性、土地利用空间分布、土地利用经济属性、居民与就业个体属性及其空间分布、公共交通网络、交通可达性等基本信息相关的资料与数据收集、调查与统计分析，提出基于一体化模型的数据处理、土地分类等方法，采用元胞自动机模型，分别基于多项式逻辑模型（MNL）和神经网络模型（ANN），考虑土地利用变化的空间因素并对其进行预测仿真。

第 4 章，元胞自动机与多智能体耦合的土地利用动态演化模型：采用多智能体模型与元胞自动机模型以描述土地利用动态演化过程。融合居民决策智能体、就业智能体、开发商智能体对土地利用变化的微观行为，构建多智能体模型。其中，每个智能体都有

自己的变量和随时间变化的动态模型,并通过经济原理、竞争机制与其他智能体相互作用。通过研究用地空间物理因素、各决策主体行为(居民、就业和开发商等)、交通系统输出(交通可达性、出行费用等)与城市土地利用空间分布特性的关系,考虑经济因素和市场竞争机制,建立微观层面的土地利用动态演化模型,并进一步开发成土地利用仿真软件——LandSys,为交通模型提供必要的输入数据。

第5章,构建一个独特的基于时空动态的土地利用空间分配与交通系统双层微观模型。其中,上层(土地利用分配模型)和下层(交通模型)相互耦合,密切联系,从而定量分析土地利用空间分配策略与交通系统的关系,为未来的城市资源配置提供理论支持及向导,并为美国佛罗里达州的交通土地利用一体化研究奠定理论基础。

第6章,提出基于竞租理论的定量方法,通过探索土地利用和交通排放之间的关系来优化用地空间结构,并且改善空气质量。由于交通排放被认为是影响空气质量的决定性因素,因此空气质量可以来自交通和商业、工业活动的污染排放物共同量化。所提出的土地利用模型采用了竞租理论来描述地产市场中代理商的行为,同时考虑了环境因素的影响。通过遗传算法和frank-wolf算法,该模型分析了土地利用空间模式和空气污染排放之间的关系。在一个城市区域的实证案例研究中,利用所建立的模型获得了最佳土地利用模式,提高了空气质量等级。在所用到的优化情景中,用地模式在功能复合型多中心土地开发中呈现出对空气质量改善的有效性。此外,居住空间分布的结果显示该模型也可以有效描述考虑了环境影响时代理商的区位决策中的竞租原则。

第7章,交通(FSUTMS)-土地(LandSys)反馈模型与仿真:首先,研究土地利用空间分布与交通需求的关系,根据FSUTMS输入数据中用地布局、土地利用类型及开发密度的交通发生率、吸引率,实现基于栅格数据的土地划分与交通分析小区划分的转换,将土地利用动态演化模型产生的土地利用预测结果中的交通需求作为交通模型输入。同时,交通模型用于仿真从交通分析小区范围的交通出行需求到路网的路段流量分布,作为土地利用位置选择输入。实现交通-土地利用的反馈作用仿真。通过对比一体化模型前后的交通网络运营情况和土地利用空间分布特性,同时根据交通排放量计算方法,对比一体化前后交通对环境的影响,对一体化模型进行综合分析评价。

1.5 本书研究意义

土地利用产生交通源,而交通排放是空气质量恶化的源头之一。城市土地利用、交通与空气质量存在着紧密关系,具体可以描述为:不同的城市土地利用空间分布形态是交通需求的产生根源。土地利用的布局、性质及其功能决定着交通发生量、吸引量、出行次数和距离。另外,交通可达性、出行费用等指标直接影响土地开发,从而影响其结构和空间形态,即交通越便利、通达性越好的地区土地利用效率越高、开发强度越大。而交通能源消耗是造成局部环境污染和全球温室气体排放的主要来源之一。根据我国快速城镇化特征,从科学定量角度研究土地利用、交通和空气质量的关系,深刻剖析三系统内部变量特

征,以优化城市资源配置、提高空气质量为目标,探索我国 TOD 模式、混合土地利用开发的实施策略和影响评价,可以丰富城市规划系统研究理论,强化低碳规划理念,为我国传统的“定性规划”“经验拍脑袋规划”提供定量、科学的理论参考依据。

当前,在欧美发达国家,为了适应严格的空气质量控制、环境控制以及优化城市资源分配,绝大多数城市规划部门已经把土地利用、交通和空气质量放在一起进行综合研究,实现一城一模,并反映在规划层面,为具体的城市规划决策提供科学依据(Kitamura et al., 1996; Dowling et al., 2000)。在我国,大范围的雾霾天气严重危害人们的健康。根据城市大气污染物来源的分类统计,有 80%左右的污染物来源于交通排放^①。近年来,我国多个大城市已经意识到交通拥挤及交通排放污染的根源,并非仅仅在于道路规划,而在于空间发展的不均衡。在北京城市未来发展规划中,已考虑将就业资源分散在东部的以住宅区为主的通州新城,实现北京中心东移。在规划层面,决策者已意识到两者的互动关系,但在操作层面上尚缺乏科学定量分析作为规划支撑。

尽管我国绝大多数的大中型城市都已花费大量人力财力编制总体规划,并普遍采用专业的交通软件来实现城市综合交通规划模拟分析、环境影响分析,但将土地利用、交通和空气质量一体化并用于政策实施分析的平台还处于探索阶段。城市土地利用和交通、环境学科研究的孤立性和不科学,也是影响我国环境恶化、拆建泛滥、资源浪费的重要因素。因此,本书通过构建土地利用、交通和空气质量一体化模型,提出空间优化策略及配套政策建议,从而有效控制和降低交通排放、提高空气质量。具体意义表现如下。

1) 为未来土地利用空间布局规划提供科学依据

通过构建土地利用空间布局与交通系统一体化双层模型,从理论上定量分析土地利用空间分布与交通系统的关系,得到优化的土地利用空间分配策略。合理的土地利用结构与布局能够优化调整交通需求结构,从源头上诊断诱发交通拥堵的症结,并为实现交通需求管理提供良好的条件。

2) 提供微观个体行为与土地利用变化的关系

从微观层面,剖析土地利用市场及交通系统的个体行为特征,探求土地市场经济因素、智能体行为、交通系统相关指标,揭示土地空间因素、各智能体行为(居民、就业部门、开发商等)、交通系统输出等与土地变化的关系。从科学定量角度出发,能够分析微观个体,如政府决策行为、土地价格变化、家庭位置选择等对土地利用变化的影响,为未来城市土地利用发展提供有利的分析工具。

3) 仿真平台为土地利用、交通相关政策制定提供依据

构建仿真平台能够较好地表现土地利用与交通之间的相互关系,并便于规划者、政策制定者操作分析。为未来交通、土地相关政策制定、项目开发等提供一个预测评估分析,并能够为政府土地利用政策、交通政策进行分析,为交通规划制定以及土地利用形态调整提供依据与参考,并可为空气质量、城市交通对环境的影响等提供分析平台。对从根源上解决城市交通问题、优化城市空间结构以及实现可持续发展具有重要的现实意义。

^① 伏晴艳. 2009. 上海市空气污染排放清单及大气中高浓度细颗粒物的形成机制. 复旦大学博士学位论文.