

城市模型研究展望

龙瀛 张雨洋

Prospects on Urban Modeling Application and Research

LONG Ying, ZHANG Yuyang
(School of Architecture, Tsinghua University,
Beijing 100084, China)

Abstract Urban modeling is an important tool for quantitative research in urban planning. After more than half a century of development, urban modeling can provide technical support for the implementation of urban policies and the formulation, evaluation of urban planning schemes. After 30 years of rapid urbanization, China's cities are facing a series of changes and challenges, during which process how to support and adapt is an urgent problem for urban modeling. Therefore, this paper first presents the background of urban modeling, including the development process and basic classification; secondly, it sorts out the current situation of urban modeling by introducing the classic urban models and the related academic conferences; finally, combined with the main background of China's cities, it proposes five development trends of the urban modeling, including: ① Enhancing the study of the impact of advanced technologies on cities and incorporating them into urban modeling; ② Enhancing the study of urban modeling for shrinking cities; ③ Enhancing the study of urban modeling from a human scale; ④ Enhancing the study of data-driven urban modeling; ⑤ Understanding the urban definitions from an objective perspective to build the urban models more scientifically. Based on the existing research shortage, the specific strategies of urban modeling research are proposed. For urban planners,

作者简介

龙瀛、张雨洋，清华大学建筑学院。

摘要 城市模型是城市规划学科定量研究的重要方法与工具，经过半个多世纪的发展，城市模型可以为城市政策的执行及城市规划方案的制定和评估提供可行的技术支持。在经历 30 年快速城市化发展的背景下，我国城市正面临一系列变革与挑战，城市模型如何在其中支持与适应是亟待解决的问题。因此，文章首先介绍城市模型背景，包括发展过程与基本分类；其次对城市模型发展现状进行梳理，介绍主流经典城市模型与城市模型研究相关的学术会议；最后，结合我国城市的主要变革趋势，重点对城市模型的未来发展提出五点展望，分别是：①加快研究颠覆性技术对城市的影响并纳入城市模型中；②构建面向收缩城市的城市模型；③加强人本尺度的城市模型构建；④加强数据驱动型城市模型的开发；⑤客观认识城市定义，更科学地构建城市模型。在现有研究不足的基础上提出模型研究与构建的具体策略，以期为规划工作者使用城市模型解决城市问题以及城市模型研究人员更好地构建城市模型提供可靠与详细的参考。

关键词 颠覆性技术；土地利用模型；人本尺度；数据驱动；收缩城市；实体城市；空间计量

1 引言

“城市模型”（urban modeling）是城市问题定量研究和城市公共政策如城市规划制定依托的最重要的工具，考虑到城市模型在不同学科和专业中有不同定义、外延和内涵，本文将局限于“城市空间发展模型”（urban spatial

this paper provides a reference to solve problems by using urban modeling. For urban modeling researchers, it provides a reference to optimize modeling for cities.

Key words advanced technology; land use model; human scale; data driven; shrinking city; physical city; spatial econometrics

development model), 也有学者把“城市模型”称作为“城市空间动态模型”“土地利用模型”或“应用城市模型”等。城市模型是指在对城市系统进行抽象和概化的基础上, 对城市空间现象与过程的抽象数学表达, 是理解城市空间现象变化、对城市系统进行科学管理和规划的重要工具。全球的城市模型研究已经有超过半个世纪的历史, 期间经历了不同的发展阶段。最近几年兴起的新数据环境(大数据与开放数据)和城市分析研究方法(如人工智能)为城市模拟提供了新的动力, 使城市模型得到快速发展。已有多篇综述性文章研究梳理城市模型的发展过程与发展现状, 例如: 万励、金鹰(2014)对国外城市模型的基本原理、主要类型, 发展轨迹及最新应用进行了综述性的介绍; 刘伦等(2014)基于对城市模型领域重要学者麦克·巴蒂的访谈, 对城市模型的发展历程、现状与前景进行了回顾、评述与展望; 牛强等(2017)勾画出了我国城市规划计量方法的研究和应用概貌。

技术之外的另一方面, 城市模型可以为城市政策的执行及城市规划方案的制定、评估提供可行的技术支持, 模型发展的目的是为了更好地解决城市发展中面临的问题。我国城市规划逐渐由过去二、三十年的“大拆大建”向精细化编制与管理转型, 同时在我国城市经历了 30 年快速城市化的发展后, 也面临一系列改革、调整的问题。鉴于此, 有必要根据当下数据环境、科学技术、城市发展问题的变革, 基于已有相关综述, 结合城市模型构建的趋势展望城市模型未来的发展方向, 对当下的模型研究进展进行评述, 进而提出城市模型构建的具体策略。

1.1 城市模型的发展历程

城市模型研究始于 20 世纪初期。20 世纪初到 20 世纪 50 年代中期是城市模型发展的初期, 经历了从一般概念模型、数学(或分析)模型到计算机模拟模型等几个阶段。20 世纪 50 年代末, 计算机的出现和推广推动了城市模型

研究的发展。图 1 描述了 1960~2000 年城市模型的发展轨迹，可以看出，在 20 世纪 60~1970 年代，城市模型研究出现了第一次高潮，这一阶段是定量城市研究的黄金时期，但模型研究仍以静态模型为主。当时的城市模型的研究目的主要为评估不同城市政策的潜在影响，包括城市更新、税收政策、交通及基础设施建设、区划政策(zoning)、住房抵押贷款政策、反歧视政策、就业政策等(Lee, 1973)，并实际应用于高速公路建设、商业布局、住宅政策等方面(Kilbridge, et al., 1970)。进入 20 世纪 90 年代，随着计算机技术的快速进步，人工智能等相关领域同地理信息系统(geographical information system, GIS)的不断发展推动了城市模型逐渐向动态维度发展，出现了元胞自动机(cellular automata, CA)模型，基于个体建模(agent-based modelling, ABM)模型、空间非均衡模型等。地理信息系统在城市模型研究中的应用及其与城市模型的集成已经成为侧重于计算机模拟的城市模型发展的重要趋势。2010 年以来，互联网行业的快速发展使与城市相关的互联网数据呈现爆炸式增长的态势。新数据环境为构建动态城市模型提供了便利条件，模型构建也相应呈现出精细化(龙瀛等, 2011)、破碎化(Batty, 2012)和算法简单化的趋势。

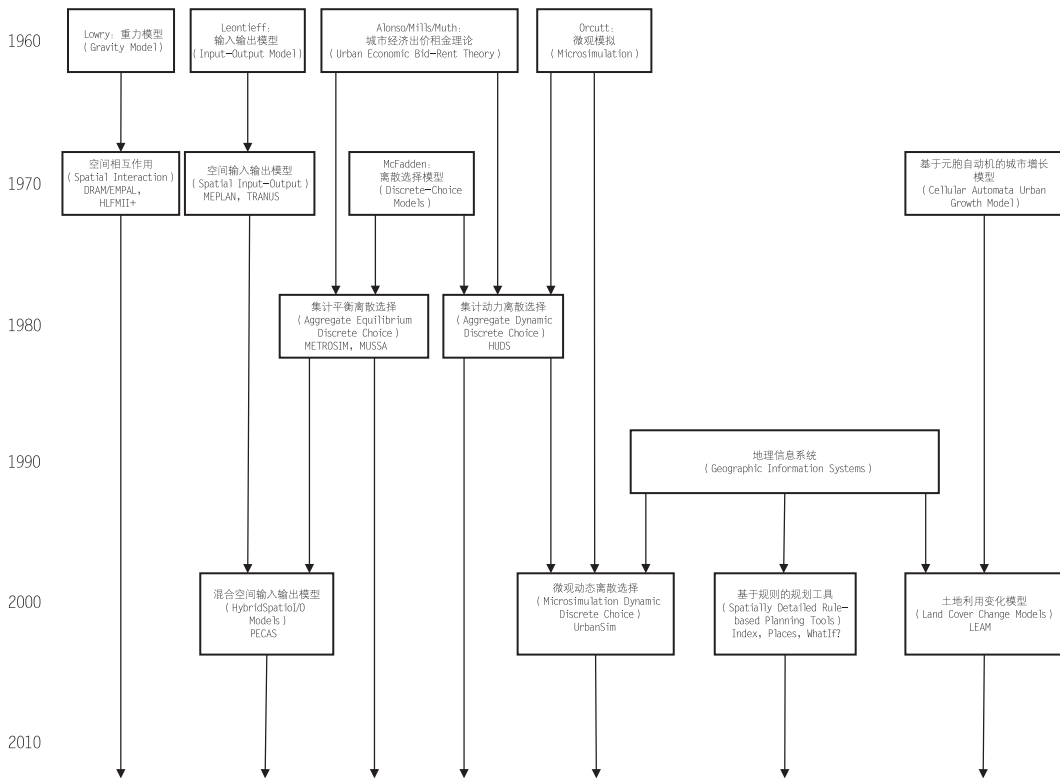


图 1 城市模型发展历程一览

资料来源：本图参考了沃德尔 (Waddell, 2011) 关于 Urbansim 的介绍材料。

1.2 城市模型的基本分类

当下的城市模型大部分属于动态模型，可以从建模方法、模型应用领域和模型应用空间尺度三个角度对城市模型进行分类。

从建模方法看，常用的方法有基于空间相互作用理论（spatial interaction）的重力模型、最大熵理论模型(entropy maximizing)，来自经济学的阿朗索地租模型、离散选择模型(discrete choice model)、空间投入产出模型(spatial input-output model)、回归分析(regression)，来自复杂科学的元胞自动机（CA）以及基于个体建模和微观模拟(microsimulation model, MSM)等(Pagliara and Wilson, 2010)。还有少数模型的建模方法是上述多种模型不同部分的融合，比如专门为东京构建的模型、北京城市空间发展分析模型(BUDEM)(龙瀛等, 2010)等。从模型应用的具体领域看，有区域模型、城市土地模型、土地利用与交通模型、土地利用—交通—环境模型等(郑思齐等, 2010)。从模型应用的空间尺度上看，主要有宏观尺度模型^②和微观尺度模型。宏观尺度模型（或分区模型）的研究基于地理网格^③（grid）或小区（zone）。小区可以是交通分析小区（traffic analysis zone, TAZ）或统计小区（census tract），一般选用一类活动主体作为分析对象；而微观模型，一般基本空间单元较小，如街区、地块或建筑，相应的，城市活动主体一般对应居民、家庭和企业的个体，其原理与方法更加清晰直观。

2 城市模型发展现状

本章将介绍现阶段城市模型研究领域的典型城市模型与具有代表性的城市模型学术会议，在梳理现状城市模型研究的尺度、建模方法和关注问题的基础上，提出城市模型未来的研究展望。

2.1 典型的城市模型

表1第一部分列举了当前典型城市模型的基本信息，包括名称、应用尺度、开发年份和代表性文献等。这些模型以城市土地利用研究为主，部分结合交通研究形成了土地利用与交通模型（“名称”列中粗体的）。模型应用的基本空间单元以小区和网格为主，仅有 UrbanSim、ILUTE 和 Agent iCity 等属于微观模型。

表1 典型城市模型一览

序号	名称	所在国家	研究尺度 ⁽¹⁾	开发年份	代表性开发人员/机构	主要方法	时间基础	代表性文献
1	POLIS	美国	小区	1960年代	旧金山湾区政府协会	空间相互作用、离散选择	静态	

续表

序号	名称	所在国家	研究尺度 ⁽¹⁾	开发年份	代表性开发人员/机构	主要方法	时间基础	代表性文献
2	DRAM/EM PAL	美国	小区	1970年代	Stephen H. Putman	空间相互作用、离散选择	静态平衡	(Putman, 1995)
3	TRANUS	委内瑞拉	小区	1982年	Modelistica	空间投入产出	动态平衡	(Modelistica, 1995)
4	MEPLAN	英国	小区	1984年	Marcial Echenique	空间投入产出	动态平衡	(Echenique, et al., 1990)
5	TLUMIP ⁽²⁾	美国	小区	1990年代	Tara Weidner	空间投入产出	动态平衡	(Weidner, et al., 2007)
6	IRPUD	德国	小区	1994年	Michael Wegener	离散选择	动态	(Wegener, 1996)
7	CUF	美国	DLU ⁽³⁾	1994年	John Landis	基于规则建模	动态	(Landis, 1994)
8	DELTA	英国	小区	1995年	David Simmonds Simmonds Consultancy	离散选择	动态	(Simmonds, 1996)
9	Metrosim	美国	小区	1995年	Alex Anas	离散选择	动态平衡	(Anas, 1994)
10	UrbanSim	美国	多尺度 ⁽⁴⁾	1996年	Paul Waddell	离散选择、微观模拟、基于个体建模	动态	(Waddell, 2002)
11	SLEUTH	美国	网格	1997年	Keith C. Clarke	元胞自动机	动态	(Clarke, et al., 1997)
12	CUF-2	美国	网格	1998年	John Landis, Ming Zhang	基于规则建模	动态	(Landis and Zhang, 1998)
13	ILUTE	加拿大	地块、居民、家庭	2004年	Eric J. Miller	微观模拟、基于个体建模	动态	Miller, et al. (2004)
14	ReluTran	美国	小区	2007年	Alex Anas	离散选择	动态平衡	(Anas and Liu, 2007)
15	PECAS	加拿大	小区	2005年	John Douglas Hunt, John E. Abraham	空间相互作用、空间投入产出	动态	(Hunt and Abraham, 2005)
16	BUDEM	中国	500m 网格	2009年	龙瀛	元胞自动机	动态	(Long, et al., 2009)

续表

序号	名称	所在国家	研究尺度 ⁽¹⁾	开发年份	代表性开发人员/机构	主要方法	时间基础	代表性文献
17	MUSSA II ⁽⁵⁾	智利	小区	1996 年	Francisco Martinez	离散选择	动态平衡	(Martinez, 1996)
18	GeoSOS	中国	多尺度	2011 年	黎夏	元胞自动机、基于个体建模	动态	(Li, et al., 2011)
19	Agent iCity	加拿大	地块、居民、家庭	2012 年	Suzana Dragicevic	基于个体建模	动态	(Jjumba and Dragičević, 2012)
20	BLUTI ⁽⁶⁾	中国	小区	2012	张宇	离散选择	静态平衡	(张宇等, 2012)
21	MATSim	新加坡	大尺度	2013	未来城市实验室	基于个体建模	动态	(Armas, et al., 2017)
22	QUANT	英国	大尺度	2015	Centre for Advanced Spatial Analysis, CASA, UCL	微观模拟、基于个体建模	动态	(Smith, 2018)
23	FLUS	中国	多尺度	2017	中山大学 GeoSOS 团队	元胞自动机	动态	(Liu, et al., 2017)

注：(1) 该表统一以小区 (discrete zone) 代表分区模型的研究尺度。

(2) 该模型是在 TRANUS 和 UrbanSim 基础上实现的。

(3) DLU (developable land unit), 可开发用地单元, 为非规则多边形, 类似地块 (矢量格式)。

(4) 空间单元可以是小区、网格或地块, 城市活动主体可以是类别 (categorical) 层次, 也可以是个体 (individual) 层次。

(5) 目前称为 Cube Land。

(6) 使用 Cube 软件基于北京市宏观交通模型 BMI Model 基础上开发。

2.2 具有代表性的城市模型会议

表 2 介绍了三个与城市模型研究关系密切的会议, 分别是: 始于 2011 年的应用城市模型 (Applied Urban Modelling, AUM) 会议, 已有 30 余年历史、关注计算机技术的城市规划与管理的计算机应用 (Computers in Urban Planning and Urban Management, CUPUM) 会议与土地利用—交通整体规划 (Integrated Land Use Transport Modeling, ILUTM) 会议。其中, 土地利用—交通整体规划国际会议 (ILUTMS) 是城市模型研究与应用领域的前沿会议, 代表了城市模型最新发展动向。自 2015 年 6 月 28 日该会议第一次召开以来, 至 2019 年 5 月 18 日已经成功举办五届, 会议重点关注土地交通整体

规划模型在世界与中国的发展。

表 2 代表性城市模型学术会议

会议名称	主办单位	会议介绍	最新会议主题
Applied Urban Modelling (AUM)	The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge	始于 2011 年的年会, 探讨应用城市模拟模型以揭示城市变化, 从而为实际政策导向提供依据。	2018 年 AUM 年会重点关注超过 2 年的长时间段模拟研究, 关注气候变化、能源替代、老龄化、个人流动性转移、移民和人工智能应用领域
Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM)	School of Art, Architecture and Design, University of South Australia	始于 1989 年的双年会, 已经召开过 15 次, 有 30 余年的历史。致力于利用计算机科技来解决在城市规划和发展中广泛存在的社会、管理和环境问题	第 16 届 CUPUM 大会首次在中国大陆召开, 会议围绕“面向智慧城市的可计算的城市规划和城市管理”中心主题展开
Integrated Land-use Transport Modeling (ILUTM)	China Communications and Transportation Association (CCTA)	关注城市区域经济、用地、交通、环境规划等主题	<p>第 4 届 (2018 年 6 月 16~17 日) 主题: 大量人口向城市聚集, 造成大城市土地资源匮乏、空气污染、交通拥堵和房价高涨等问题, 而落后村庄和落后地区的城镇却在萎缩。会议重点关注如何通过土地利用交通模型(ILUTMs)对经济和社会活动的空间分配、土地利用、交通和环境等多方面因素进行系统性合理规划。</p> <p>第 5 届 (2019 年 5 月 17~18 日) 主题: 城市与区域产业—土地—交通—环境整体规划是构建交通系统的关键。随着中国开始高度重视城市与区域可持续发展的问 题, 城市与区域产业—土地—交通—环境一体化规划与土地—交通整体规划模型(ILUTMs)的理论及其技术方法在中国未来的发展中将获得极为广泛的应用</p>

3 展望 1：加快研究颠覆性技术对城市的影响并纳入城市模型中

3.1 颠覆性技术对城市的影响

随着互联网行业发展而产生的城市大数据为城市研究者提供了认识、研究城市的新方法与新视角，为城市模型发展提供了新机遇。在互联网之外，近年来在第四次工业革命背景下诞生的颠覆性技术，包括（但不限于）人工智能（AI）、云计算、机器人、3D 打印、传感网、物联网、虚拟现实、增强现实、清洁能源、量子信息等即将在城市中普及应用，对人们的日常生活、城市的运行方式乃至城市空间被使用的方式即将产生巨大影响。例如：穿戴式相机的出现为监测个体在空间中的行为，形成个体“生命日志”提供了更多可能（张昭希、龙瀛，2019）；互联网算法已经开始支配甚至定义人类社会，算法对于人类的认识甚至超越了自己；深度学习技术也进入了算法之中，苹果手机 IOS12 操作系统的相册可以搜索图像中各式物体，例如水、草地、天空等；互联网公司开始对街道进行扫描，准备迎接即将到来的无人驾驶时代。

3.2 目前研究的趋势与不足

通过典型城市模型和具有代表性的模型会议可以看出，主流与最新模型仍然关注的是城市传统问题，例如，土地利用、交通模拟等方面，对当下及即将投入使用的颠覆性技术缺乏考虑，这可能会导致近期开发或更新的城市空间在建成后不久就出现不适用或再次更新的情况。上一节已经提到，颠覆性技术会改变居民对城市空间的使用方式，城市功能组织逐渐碎片化、分布化和混合化，无人驾驶的发展也将带来交通空间的重新组织。就像在 100 多年前，机动车的出现取代了马车，一些有远见的城市规划师以汽车为驱动力开始思考城市的新形态，从此诞生了具有迷宫般道路的城市中心区，但即便如此我们当下的城市与机动车之间也存在重重的矛盾。由此可见，如果不认识到问题的严重性，我们的城市将会重蹈覆辙（Duarte and Ratti, 2018）。针对这一情况，作为城市政策制定与评估的重要工具城市模型，可以对城市即将面对的问题提出科学客观的应对策略。城市模型的研究者与应用者应清晰地认识到当下中国城市化中的新趋势，提前进行研究模拟。

3.3 城市规划适应颠覆性技术带来的空间影响

考虑到城市发生的诸多转变，以面向未来进行应用的城市模拟方法如果不做相应的适应性调整，势必造成开发完毕后就以应用失败而告终。因此，在城市模型的研究领域，应在城市模型应用中考虑未来无人驾驶对城市空间结构和交通系统的影响：无人驾驶时代我们的城市是否还需要如此多的车道和如此巨大的停车空间，城市模型可以帮助我们模拟未来城市道路系统的改变；随着 5G、虚拟现实、增强现实等颠覆性技术的发展，未来可能不需要固定的工作场所，远程办公会对通勤量产生怎样的影

响，城市模型可以帮助我们调整城市空间结构；互联网公司算法可以掌握对个人空间场所选择偏好，城市模型可以基于此研究对空间使用的影响等等。

4 展望 2：面向收缩城市的城市模型构建

4.1 收缩城市及其全球趋势

城市是一个有机体，有着自身“生长盛衰”的过程，城市收缩是城市发展规律中的一环。城市收缩并不是一个新的话题，德国政府资助的收缩城市项目已经证实，在全球范围内人口超过 100 万的 450 个城市地区，总体上失去了其城市人口的 1/10；奥斯瓦尔特等(Oswalt, et al., 2006)基于 1950~2000 的统计数据从全球尺度角度明确了世界上较大收缩城市的空间分布特征，可见城市收缩是一个全球性的问题。中国东部的部分城市由于区位优势、优质的基础设施和就业市场吸引了大量的小城市或乡村居民，由此而产生的空置城市和乡村报道层出不穷(毛其智等, 2015)。2019 年 4 月 8 日，收缩城市首次出现在国家级政策中，国家发展改革委发布的《2019 年新型城镇化建设重点任务》首次提到：“收缩型中小城市要瘦身强体，转变惯性的增量规划思维，严控增量、盘活存量，引导人口和公共资源向城区集中。”引导城市认识自身的发展阶段并应对收缩，是城市模型在收缩城市研究领域应发挥的作用。

4.2 目前研究的趋势与不足

在中国，由于快速城市化的背景，收缩现象极易被忽略(龙瀛, 2015; 龙瀛等, 2015; 吴康等, 2015; 杨东峰等, 2015)，城市的传统规划主要以增长为范式。在收缩城市的定量研究方面，龙瀛、吴康(2016)通过比较两次人口普查的数据后发现，中国有 180 个城市存在着人口总量或密度下降的情况；龙瀛、吴康(Long and Wu, 2015)发现中国的收缩城市数量大、分布广（180 个分布于中国东中西部）、收缩程度较低且多分布于县级市（其中 140 个为县级市）。由此可见，中国的城市正在或已经面临非常严重的收缩问题。正确认识中国城市收缩问题，转变传统以增长为目标的规划方式，提出科学合理应对收缩的策略已经成为中国城市发展迫在眉睫的问题。2018 年的 ILUTM 会议虽然以面相解决城市收缩问题为主题，但会议中的主要报告仍关注传统交通、土地等方面的研究，缺乏有效的解决城市收缩问题的建模报告及研究，基于城市模型解决中国城市收缩问题的研究还没有受到广泛的关注。

4.3 构建预测城市收缩状态的城市模型

对于收缩城市的研究首先应是识别收缩城市分布区域，明确收缩城市的集聚特征，以此挖掘中国不同收缩城市的独特动因。对于中国收缩城市识别的研究不能够以单一时间段的状态进行评价，而应

选择合适的衡量收缩的指标，基于多时间段数据进行模拟分析。同时，遵从大数据、大模型的原则，在宏观尺度上构建覆盖整个中国国土并且在微观尺度上基本模拟单元为城市街区的收缩模型。更加精确科学地监测、预测城市未来的发展状态，结合城市的自身情况分析收缩动因，为制定面向收缩的城市规划提供准确、可靠的基础。

4.4 构建面向收缩政策评价的城市模型

通过科学的监测来预测城市未来的发展状态，从根本上认识到城市收缩的重要性与严重性，修正一直以来以增长为范式的城市规划框架，避免在人口收缩的背景下出现城市用地、空间扩张的情况。同时，结合城市的自身情况明确收缩动因后，城市管理者及城市规划师可以根据经验或定性研究应对城市收缩问题，例如关注城市存量空间，提高城市中心地区的生活质量；改变城市中心的土地利用，提升城市活力等。针对城市收缩的情况，制定面向城市收缩的政策：通过政策抑制城市收缩，或制定精明收缩政策避免空间的衰败和活力衰退。在确定应对城市收缩的政策后，通过城市模型预测城市未来变化，验证策略的正确性。由此可以以科学的策略为支撑，明确城市未来的发展方向。

5 展望 3：加强人本尺度的城市模型构建

5.1 人本尺度研究是“以人为本”的重要表征

2015年年底召开的中央城市工作会议明确指出，“城市发展是一个自然历史过程，有其自身规律……要把握发展规律，推动以人为核心的新型城镇化。”城市的人本尺度与城市精细化的空间品质、城市活力等直接相关。人本尺度指的是日常生活中与人体接触和活动密切相关的城市形态，是城市网络、街区和地块尺度的深化及补充，一般对应包括公园、广场、绿地和城市街道的城市公共空间。过去由于数据的匮乏等原因，大部分人本尺度的城市街区、景观绿地都是基于设计经验而建成的，缺乏科学的响应与评估，新数据环境为开展人本尺度的研究提供了数据基础。

5.2 目前研究的趋势与不足

传统经典城市模型的应用尺度分为宏观尺度和微观尺度，宏观尺度主要对应的是小区、网格或地块；微观尺度对应的是街区、地块或建筑尺度。从模型应用的空间尺度来说，“以人为本”的人本尺度是微观尺度的延伸，但传统微观模型由于数据的限制，一般选择住户、家庭和公司的个体为城市活动主体，代表性微观模型 UrbanSim、ILUTE 和 Agent iCity 无法解决人本尺度的研究问题。对于我国来说，模型研究主要集中于宏观尺度，例如土地利用和交通模型与侧重于城市扩张模拟的城市模型，在微观尺度上的研究与应用都较少。在国家政策一再强调城乡规划设计管理中要“以人为本”的大背

景下，人本尺度的城市建成环境研究是城市发展“以人为核心”趋势的重要体现，关注人本尺度的城市模型研究具有重要意义。因此，针对与我们日常生活息息相关的人本尺度的定量模拟是急需开展的。近年来，随着研究尺度的缩小和微观数据可获得性的增强，在国际会议中出现了一些微观模型的研究工作，主要是基于街道建模的研究，整体来看应用较为有限，关注度不足。

5.3 构建人本尺度的城市模型

龙瀛、叶宇(2016)认为人本尺度的城市形态研究框架可以从城市形态的测度、效应评估和规划设计响应三个方面展开工作。在测度方面，对传统调研工作无法获取或获取难度较大的街道界面、建筑立面、街头绿地、景观小品、城市家具等进行评价，包括位置、尺寸、多样性等方面(龙瀛、周垠, 2017; 唐婧娴、龙瀛, 2017; 唐婧娴等, 2016)。效应评估是通过形态活力表征与形态测度相结合实现的，通过两个维度的叠加研究得到形态优劣的结果，以此指导人本尺度的规划设计。在测度和效应评价的基础上，城市模型可以以城市公共空间作为基本模拟单元，借鉴元胞自动机和基于个体建模的方法，兼顾物理空间和社会空间，对城市公共空间的未来状态进行模拟、预测和情景分析，用于支持这一尺度空间规划的制定。

6 展望 4：加强数据驱动型城市模型的开发

6.1 新数据环境为城市模型研究提供新机遇

龙瀛、刘伦(2017)认为，定量研究已经成为城乡规划学科的趋势，近年来大数据广泛应用在城市研究中，使传统城市研究出现四个重大的变革：①在研究的空间尺度方面，由小范围高精度、大范围低精度到大范围高精度的变革；②在时间尺度方面，由静态截面到动态连续的变革；③在研究粒度方面，由“以地为本”到“以人为本”的变革；④在研究方法方面，由单一团队到开源众包的变革。未来随着互联网公司的发展及 ICT 等颠覆性技术在城市中的应用，与城市相关的数据量将更加丰富与多元，因此应加强数据驱动的城市模型的开发。

6.2 目前研究的趋势与不足

目前的热点模型为基于离散动力学的动态城市模型，同时主流模型基本上也都属于基于机理建模，是根据城市运行的内部机制或机理建立起来的精确数学模型，例如：BUDEM 模型、GeoSOS 模型和 FLUS 模型是基于元胞自动机建模，QUANT 模型、MATSim 模型、Agent iCity 模型是基于个体建模等。这类模型的构建往往需要较多的参数，而这些参数如果不能精确获取的话，将会影响到模型模拟的效果。在当下的新技术、新数据环境下，未来与城市相关的数据将会继续呈现爆炸式的增长态势。此外，

在计算机快速发展的支持下,未来城市模型研究可以以数据为驱动力,根据城市数据的特征构建新的城市模型,以此来满足实际研究中识别城市问题规律与机理的需要。

6.3 构建数据驱动的城市模型

充分利用传统统计数据、互联网大数据与颠覆性技术所带来的新数据环境,基于数据特征认识城市。避免传统模型因参数估计不准导致的误差,构建数据驱动型城市模型,更加精确地解决城市研究中的问题,在模型中体现出以下四个特点:

(1) 覆盖大范围、精细化的大数据,可以支持构建覆盖大量城市乃至整个国家、州甚至全球的城市模型,同时又在模拟单元上达到城市内如分区、街区和地块尺度,即为兼顾覆盖区域乃至全国的研究范围与精细化的大模型(龙瀛等,2014);

(2) 传统模型的模拟精度受制于原始数据多为时间粒度细致到年的年鉴数据,因此,模拟的时间分辨率或时间步长多为年,而不同的城市现象和问题在时间上的投影存在较大差异,大数据的出现为更精细化的时间粒度如月、周和日的模拟提供了支持;

(3) 虽然传统城市模型如多智能体模型也涉及对社会方面的模拟,但数据多为扩样或合成数据,新数据环境多对应社会个体如个人、家庭和企业层次的信息,为城市模型的“以人为本”提供了重要支撑;

(4) 传统城市模型的验证多为基于观察到的数据验证,而大量对当地各方面发展感兴趣的网民/居民,往往对当地的认知也具有正确性,通过社交网站、公众参与平台等,有望让除了模型师外的诸多网民提供对模拟结果的评判,作为模型有效性评估的额外渠道(Long and Wu, 2017)。

7 展望 5: 客观认识城市定义,更科学地构建城市模型

7.1 中国城市系统亟须重新定义

城市行政地域、城市实体地域和城市功能地域是城市地域概念的三种基本类型(周一星、史育龙,1995)。城市行政地域对应的是城市管辖权的空间范围;城市功能地域是指基于功能识别出的城市经济单元,通常是以一日为时间周期,包括城市居住、就业、教育、医疗等城市功能所辐射的范围;城市实体地域所指的是城镇型城市空间,也就是当下规划中涉及的城市中心区概念。我国所有市镇的行政地域远远大于它们的实体地域,而我国的城市统计等工作是基于行政空间范围展开的,这也造成我国长期存在城乡统计口径和基本概念混淆的问题(周一星,1986)。原因在于,我国城市的行政空间内包含城市与农村,很多市镇在经济结构上以第一产业为主,城镇型建设用地占比严重不足,因此,我国所有城市统计数据不代表真正的“城市”,这也与国际上普遍认为的城市概念脱轨,是我国行政设

置的历史“笑柄”(周一星, 2013)。明确城市与乡村的实体地域范围, 不仅可以提高我国人口、经济等统计数据的准确性, 同时使城市模型更有针对性地进行模拟分析, 制定区别城乡且适应自身条件与特征的发展策略。

7.2 目前研究的趋势与不足

我国在实体地域和功能地域方面研究较少, 关于“城市”的具体界定一直存在着“行政”和“实体”的二元割裂(龙瀛、吴康, 2016)。传统对于实体城市的研究集中于城乡划分的标准上, 包括周一星指导、冯健等(2012)编写的《城乡划分与检测》; 惠彦等(2009)、宋小冬等(2006)也都做过实体地域识别的实证研究。但这些研究中的指标选择存在过于复杂和无法大规模推广的局限性。当下的大数据环境为城市实体地域识别提供了数据基础, 龙瀛(Long, 2016)基于大数据, 利用渗透理论重新定义了中国城市体系, 文章中提出使用道路/街道交叉点来识别城市的方法, 总共确定了4 629个实体城市, 总面积64 144平方千米。马爽、龙瀛(2019)以全国社区为基本单元, 基于城镇建设用地分布资料, 建立了一套完整的基于全国社区行政单元的划分城市实体地域的方法, 识别了全国城市实体地域。这些研究为中国城市系统的调整提供了理论基础, 但目前在城市模型及城乡规划学界对这一问题重要性的认识还远远不够。

7.3 城市模型研究学界要充分认识实体城市的重要性

实体城市突破了传统行政区的限制, 是城镇型的城市空间, 其对于城市模型和城乡规划问题研究同样重要。主要体现在以下三个方面。

(1) 城市模型若以城市行政边界或行政区边界为空间对象进行模拟、分析, 极有可能受到边界效应(edge effect)等因素的影响, 导致分析结果的准确性受到质疑。

(2) 城市模型以实体城市作为空间对象, 可以基于城乡区别制定针对不同问题的模拟分析研究。准确地模拟不同因素对城市及乡村发展的影响, 制定适于自身的发展策略, 为城乡区别管理提供依据。

(3) 实体城市为城乡规划学等与城市研究相关学科提供了地域范围, 为日后民政部门的行政区划调整提供依据; 同时, 明确实体城市的范围, 可以更加准确地统计城镇人口, 测算城市化率, 科学统计城市发展变化的信息。

8 结论

经过半个多世纪的发展, 城市模型在城市公共政策制定等方面已经表现出至关重要的作用。同时, 计算机能力的提升与新数据的出现为城市定量研究的重要工具“城市模型”提供了良好的基础与条件。因此, 在城乡规划学科量化发展的背景下, 城市模型未来势必会得到更多的关注与应用。在第四次

工业革命的时代背景和中国城市经历 30 年快速发展的现实背景下,城市模型自身该如何发展以适应当下中国城市面临的重要问题是本文的研究重点。

本文首先简单介绍城市模型,分析了城市模型的发展过程和分类方式;然后在介绍城市经典模型与具有代表性的城市模型相关学术会议的基础上,提出城市模型研究展望。

针对城市模型研究本文共提出五项展望。

(1) 拥抱颠覆性技术所带来的变化,加快研究颠覆性技术对城市的影响并纳入城市模型研究之中。多方面考虑颠覆性技术即将对生活方式和空间使用带来的变化并通过城市模型进行模拟分析,使城市从空间角度做好准备并提前适应。

(2) 面向收缩城市构建城市模型,顺势而为解决城市收缩问题。城市收缩是城市发展的普遍过程,应构建城市模型明确收缩城市空间分布特征,提出面向收缩的城市发展策略,适应收缩、通过政策抑制或逆转收缩并利用城市模型进行验证。

(3) 在新数据环境与计算机发展的共同作用下,弥补传统研究主要集中于宏观尺度的不足,加强人本尺度城市模型的构建,体现城市发展“以人为本”的趋势。

(4) 传统机理城市模型中参数若不能精确识别易导致模拟的结果存在误差,考虑到爆炸式增长的数据环境,可加强数据驱动型城市模型的开发,更加科学准确地解决城市问题。

(5) 我国关于“城市”空间范围的具体界定会导致城乡统计口径和基本概念混淆的问题。因此,城市模型研究应理清实体城市概念,避免造成模拟分析的错误。

在基于业界与学界角度对城市模型未来发展进行展望之外,我们同样应重视加强教育界对城市模型的普及与发展。原因在于,我国城市规划正面向“精细化编制与管理”转型,同时我国已经进入国土空间规划时代,利用城市模型解决“三线三区”及“双评价”等问题,符合国土空间规划“科学化”“量化”“精细化”的核心要求。

由此可见,在业界如此高的需求之下,城乡规划学科对于城市模型教育的普及与发展亟待加强。而据笔者不完全统计,中国大陆仅有清华大学与同济大学两所高校开办城市模型相关课程。清华大学为龙瀛老师授课的城市模型概论课程,面向对象为高年级本科生,课程旨在使学生熟悉重要概念,包括城市模型、城市形态、城市空间发展、土地使用与交通模型、元胞自动机、多智能体、人工智能和大数据等,并可以利用实证数据和量化模型来支持城市决策;同济大学为朱玮老师授课的城市模拟与规划课程,面向对象为本科三年级学生,课程重点讲授多代理人模拟软件 NetLogo 的技术原理和操作方法,旨在使学生将所学原理技能用于解决城市规划的问题,具有能够面向实际规划应用编写程序的能力。综上所述,当下对于城市模型相关知识的普及与教授还远远不够。在业界的急迫需求下,未来教育界应加强对其的支持,例如:本科生增设城市模型相关课程,普及相关知识,引导学生重视量化方法,掌握利用模型解决城市问题的能力;研究生增设城市模型相关竞赛与课程,在熟练掌握城市模型应用的基础上,具备针对实际问题建模并提出解决策略的能力。

注释

- ①或集计模型 (aggregated models) 。
②或元胞 (cell) 。

参考文献

- [1] ANAS A, LIU Y. A regional economy, land use, and transportation model (RELU-TRAN©): formulation, algorithm design, and testing [J]. *Journal of Regional Science*, 2007, 47(3): 415-455.
- [2] ANAS A. METROSIM: a unified economic model of transportation and land-use [M]. Williamsville, NY: Alex Anas & Associates, 1994.
- [3] Armas R, Aguirre H, Daolio F, et al. An effective EA for short term evolution with small population for traffic signal optimization[C]// *Computational Intelligence*. 2017.
- [4] BATTY M. Smart cities, big data [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2012, 39(2): 191-193.
- [5] CLARKE K C, HOPPEN S, GAYDOS L. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay Area [J]. *Environment planning B: planning and design*, 1997, 24(2): 247-261.
- [6] Duarte F, Ratti C. The impact of autonomous vehicles on cities: a review[J]. *Journal of Urban Technology*, 2018, 25(4): 3-18.
- [7] ECHENIQUE M H, FLOWERDEW A D, HUNT J D, et al. The MEPLAN models of Bilbao, Leeds and Dortmund [J]. *Transport Reviews*, 1990, 10(4): 309-322.
- [8] HUNT J D, ABRAHAM J E. Design and implementation of PECAS: a generalised system for allocating economic production, exchange and consumption quantities [M]//LEE-GOSSELIN M E H, DOHERTYS T. *Integrated Land-Use and Transportation Models: Behavioural Foundations*. Emerald Group Publishing Limited. 2005: 253-273.
- [9] JJUMBA A, DRAGIĆEVIĆ S. High resolution urban land-use change modeling: Agent iCity approach [J]. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2012, 5(4): 291-315.
- [10] KILBRIDGE M D, BLOCK R P, TEPLITZ P V. *Urban analysis* [M]. Boston: Harvard University, 1970.
- [11] LANDIS J D. The California urban futures model: a new generation of metropolitan simulation models [J]. *Environment Planning B: Planning and Design*, 1994, 21(4): 399-420.
- [12] LANDIS J, ZHANG M. The second generation of the California urban futures model. Part 1: Model logic and theory [J]. *Environment Planning B: Planning and Design*, 1998, 25(5): 657-666.
- [13] LANDIS J, ZHANG M. The second generation of the California urban futures model. Part 2: specification and calibration results of the land-use change submodel [J]. *Environment Planning B: Planning and Design*, 1998, 25(6): 795-824.
- [14] LEE D B. Requiem for large-scale models [J]. *Journal of the American Institute of Planners*, 1973, 39(3): 163-178.
- [15] LI X, SHI X, HE J, et al. Coupling simulation and optimization to solve planning problems in a fast-developing area [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2011, 101(5):1032-1048.
- [16] LIU X P, LIANG X, LI X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use

- scenarios by coupling human and natural effects [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94-116.
- [17] LONG Y. Redefining Chinese city system with emerging new data [J]. *Applied Geography*, 2016, 75: 36-48.
- [18] LONG Y, MAO Q Z, DANG A R. Beijing urban development model: urban growth analysis and simulation [J]. *Tsinghua Science and Technology*, 2009, 14(6): 782-794.
- [19] LONG Y, WU K. Shrinking localities in booming urbanization of China (2000-2010)[J/OL]. *Environment and Planning A*, 2015, doi: 10.1068/a150025g.
- [20] LONG Y, WU K. Simulating block-level urban expansion for national wide cities [J]. *Sustainability*, 2017, 9(6): 879.
- [21] MARTINEZ F. MUSSA: land use model for Santiago city [J]. *Transportation Research Record*, 1996, 1552(1): 126-134.
- [22] MILLER E J, HUNT J D, ABRAHAM J E, et al. Microsimulating urban systems [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2004, 28(1-2): 9-44.
- [23] MODELISTICA. TRANUS integrated land use and transport modeling system version 5.0. 1995. (Modelistica, Caracas, Venezuela)
- [24] OSWALT P, RIENIETS T, SCHIRMEL H, et al. Atlas of shrinking cities[M]. Ostfildern, Germany: Hatje Cantz Verlag, 2006.
- [25] PAGLIARA F, WILSON A. The state-of-the-art in building residential location models [M]//PAGLIARA F, PRESTON J, SIMMONDS D. Residential location choice: models and applications. Berlin, Heidelberg; Springer. 2010.
- [26] PUTMAN S H. EMPAL and DRAM location and land use models: a technical overview [M]. Land Use Modelling Conference. Dallas, TX; Urban Simulation Laboratory, Department of City and Regional Planning, University of Pennsylvania. 1995.
- [27] SIMMONDS D C. DELTA model design [M]. Cambridge, UK: David Simmonds Consultancy, 1996.
- [28] SMITH D A. Employment accessibility in the London Metropolitan Region: developing a multi-modal travel cost model using open trip planner and average road speed data [J/OL]. 2018.
- [29] WADDELL P. Dynamic microsimulation: urban sim [M]. 2011.
- [30] WADDELL P. UrbanSim: modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning [J]. *Journal of the American planning association*, 2002, 68(3): 297-314.
- [31] WEGENER M. Reduction of CO₂ emissions of transport by reorganisation of urban activities [M]//HAYASHI Y, ROY J. Transport, land-use and the environment. Dordrecht; Kluwer Academic Publishers, 1996: 103-24.
- [32] WEIDNER T, DONNELLY R, FREEDMAN J, et al. A summary of the Oregon TLUMIP model microsimulation modules; proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, F, 2007 [C]. Citeseer.
- [33] 冯健, 周一星, 李伯衡, 等. 城乡划分与监测[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [34] 惠彦, 金志丰, 陈雯. 城乡地域划分和城镇人口核定研究——以常熟市为例[J]. *地域研究与开发*, 2009, 28(1): 42-46.
- [35] 刘伦, 龙瀛, 麦克·巴蒂. 城市模型的回顾与展望——访谈麦克·巴蒂之后的新思考[J]. *城市规划*, 2014,

- 38(8):63-70.
- [36] 龙瀛. 高度重视人口收缩对城市规划的挑战[J]. 探索与争鸣, 2015(6): 32-33.
- [37] 龙瀛, 刘伦. 新数据环境下定量城市研究的四个变革[J]. 国际城市规划, 2017, 32(1): 64-73.
- [38] 龙瀛, 毛其智, 沈振江, 等. 北京城市空间发展分析模型 [J]. 城市与区域规划研究, 2010, 3(2): 180-212.
- [39] 龙瀛, 沈振江, 毛其智. 城市系统微观模拟中的个体数据获取新方法[J]. 地理学报, 2011, 66(3): 416-426.
- [40] 龙瀛, 吴康. 中国城市化的几个现实问题:空间扩张、人口收缩、低密度人类活动与城市范围界定[J]. 城市规划学刊, 2016(2): 72-77.
- [41] 龙瀛, 吴康, 王江浩. 中国收缩城市及其研究框架[J]. 现代城市研究, 2015(9): 14-19.
- [42] 龙瀛, 吴康, 王江浩, 等. 大模型:城市和区域研究的新范式[J]. 城市规划学刊, 2014(6): 52-60.
- [43] 龙瀛, 叶宇. 人本尺度城市形态:测度、效应评估及规划设计响应[J]. 南方建筑, 2016(5): 41-47.
- [44] 龙瀛, 周垠. 图片城市主义:人本尺度城市形态研究的新思路[J]. 规划师, 2017, 33(2): 54-60.
- [45] 马爽, 龙瀛. 中国城市实体地域识别: 社区尺度的探索[J]. 城市与区域规划研究, 2019, 11(1): 37-50.
- [46] 毛其智, 龙瀛, 吴康. 中国人口密度时空演变与城镇化空间格局初探——从 2000 年到 2010 年[J]. 城市规划, 2015, 39(2): 38-43.
- [47] 牛强, 胡晓婧, 周婕. 我国城市规划计量方法应用综述和总体框架构建[J]. 城市规划学刊, 2017(1):71-78.
- [48] 宋小冬, 柳朴, 周一星. 上海市城乡实体地域的划分[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 787-797.
- [49] 唐婧娴, 龙瀛. 特大城市中心区街道空间品质的测度——以北京二三环和上海内环为例[J]. 规划师, 2017, 33(2): 68-73.
- [50] 唐婧娴, 龙瀛, 翟炜, 等. 街道空间品质的测度、变化评价与影响因素识别——基于大规模多时相街景图片的分析[J]. 新建筑, 2016(5): 110-115.
- [51] 万励, 金鹰. 国外应用城市模型发展回顾与新型空间政策模型综述[J]. 城市规划学刊, 2014(1):81-91.
- [52] 吴康, 龙瀛, 杨宇. 京津冀与长江三角洲的局部收缩: 格局、类型与影响因素识别[J]. 现代城市研究, 2015(9): 26-35.
- [53] 杨东峰, 龙瀛, 杨文诗, 等. 人口流失与空间扩张:中国快速城市化进程中的城市收缩悖论[J]. 现代城市研究, 2015(9): 20-25.
- [54] 张宇, 郑猛, 张晓东, 等. 北京市交通与土地使用整合模型开发与应用 [J]. 城市发展研究, 2012, 19(2): 108-115.
- [55] 张昭希, 龙瀛. 穿戴式相机在研究个体行为与建成环境关系中的应用[J]. 景观设计学, 2019, 7(2):22-37.
- [56] 郑思齐, 霍焱, 张英杰, 等. 城市空间动态模型的研究进展与应用前景 [J]. 城市问题, 2010(9): 25-30.
- [57] 周一星. 关于明确我国城镇概念和城镇人口统计口径的建议[J]. 城市规划, 1986(3): 10-15.
- [58] 周一星. 城市规划寻路[M]. 北京: 商务印书馆, 2013.
- [59] 周一星, 史育龙. 建立中国城市的实体地域概念 [J]. 地理学报, 1995(4): 289-301.

[欢迎引用]

- 龙瀛, 张雨洋. 城市模型研究展望[J]. 城市与区域规划研究, 2021, 13(1): 1-14.
- LONG Y, ZHANG Y Y. Prospects on urban modeling application and research [J]. Journal of Urban and Regional Planning, 2021,13(1): 1-14.