

文章编号 1001-8166(2006)11-1153-11

CGE 与 GIS 集成的中国城市增长情景模拟框架研究

沈体雁

(北京大学政府管理学院城市与区域管理系, 北京 100871)

摘要 建立机理和空间明确的城市模拟模型,对刻画我国城市未来情景、推演城市增长的环境影响、解释城市增长复杂性具有重要意义。现有的城市模拟模型偏重于对单个城市或城市区域进行模拟,大多缺乏可靠的经济学基础。通过有效集成 CGE 模型、GIS 空间分析和格网动力学模型,采用多区域可计算一般均衡模型将分散的城市模拟模型连接成为相互作用的“城市模型体系”,提出一个经济机理和地理参考明确的、多维度、多尺度、可运行的中国城市未来模拟模型框架,阐述其假设、逻辑、主要内容与关键技术。

关键词 中国城市未来模拟模型;可计算一般均衡模型(CG E);GIS 城市空间增长;复杂性
中图分类号: F291 文献标识码: A

1 引言

城市系统是城市内部不同功能地域之间、不同类型的城市之间以及城市聚落与生物栖息地之间相互作用的多维、多尺度、非线性、动态、开放的复杂空间系统^[1-7]。中国已经进入了高速城市化阶段,其城市系统在空间、时间、动力机制和管理特征等方面都表现出明显的复杂性。

随着空间经济理论、高质量时空数据和高性能计算技术的进步,建立地理环境和经济社会变量有机集成的城市模拟模型正在成为地理复杂性研究的新方法。通过建立机理和空间明确的城市模拟模型,科学分析各种发展情景(scenario)下中国城市系统空间格局演变,及其可能的环境影响与控制策略,为国家经济社会发展规划提供科学依据,是当前我国城市区域管理和地理信息科学研究的一项紧要课题。对刻画我国城市未来情景、推演城市增长的环境影响、解释城市增长复杂性具有理论与实际意义。

1.1 刻画中国城市未来情景

中国已经进入高速城市化阶段。由于城市人口增加、城市经济发展、用地需求变动以及土地管理体制等方面的原因,我国城市用地规模也在迅速扩张,大都市地区出现了明显的城市蔓延现象。据统计,近 10 年来我国特大城市用地规模扩展了 50.2%,一些城市甚至超过了 200%,特大城市用地规模增长率与人口增长率之比高达 2.29,远高于 1.12 的国际合理水平^[8,9]。

如此空前的城市化规模提出了严峻的科学问题(表 1)中国城市化将在哪些地方展开?中国未来城市景观如何?中国城市景观变化驱动力如何?城市化将产生何种生态环境影响?如何有效管理复杂的城市空间变化过程?面对人口和城市增长带来的类似问题,美国加利福尼亚州政府与伯克利大学联合开展了名为“California at 50 Millions”的研究项目,从经济、技术、人口、资源、环境、基础设施、健康等不同视角,探讨未来 20~25 年内加州人口从目前的 3 500 万增长到 5 000 万的挑战与策略,并采取城

收稿日期: 2005-04-06, 修回日期: 2006-09-20。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“我国区域城镇化管理的系统研究”(编号: 70433002);国家自然科学基金项目“2008 年奥运会的城市增长效应与控制: 一个集合性时空动态建模方法”(编号: 60304008);北京市自然科学基金项目“基于空间智能体的北京城市增长研究”(编号: 4022006)资助。

作者简介: 沈体雁(1971-),男,湖北天门人,副教授,博士,主要从事城市模拟与地理计算、城市与区域规划、遥感和地理信息系统等研究。E-mail: tyshen@pku.edu.cn

市模拟手段,预测和推演未来加州可能的城市化景观与生态影响^[10]。无疑,借鉴国际经验,采用经济模型和地理信息技术来模拟未来一段时间中国城市

化景观,推演可能发生的问题,并寻求解决途径,是中国城市与区域管理现代化的重要途径。

表 1 中国城市增长需求与挑战

Table 1 Demand and challenges of urbanization and urban growth in China

时间	全国总人口 (亿人)	城镇人口 (亿人)	农村人口 (亿人)	城镇化水平 (%)	城镇用地面积 (万 km ²)	城市化 景观	景观生态 影响
2003	12.9	5.2	7.7	40.53	39.9		
2020	14.5	8.3	6.2	57.1	?	?	?
2050	16.0	12.0	4.0	75	?	?	?

注 根据上文的资料整理而成。其中“?”表示需要研究的问题

1.2 推演城市增长对生物栖息地的影响

人类不仅通过某种资本的再生产过程和空间的再生产过程形塑和改变着城市的规模、形状、空间结构以及运行方式,而且进一步通过城市这一现代经济社会的主要载体对自然环境,特别是各种尺度的生态系统,产生种种目前还难以预料后果的影响^[11]。这种影响主要包括:城市化导致生物栖息地的损失和破碎化,从而导致生物多样性的减少;城市化、城市交通和城际交通引起重要生态走廊的分割与破坏;城市化导致农业土地覆盖的减少;城市化对水、土、大气甚至热环境的破坏;边缘土地(marginal land),如坡地、河流三角洲和滨海地区等的城市化对自然环境的影响等。城市增长的生态学效应,尤其对生物栖息地环境的生态格局、过程和稳定性造成的巨大压力,已经成为地理学、生态学及相关学科研究的热点问题^[12]。

可以预见,13亿的人口规模及其空间分布必将对中国业已脆弱的生态环境和农业土地覆盖带来巨大的挑战。研究表明,快速的城市蔓延已经对我国城市周边地区的湿地、林地、农地等城市敏感型景观产生了不可忽视的影响。一方面导致了生物栖息地面积的下降,另一方面加剧了其碎裂化程度,从而威胁到区域景观生态安全^[12-14]。尽管一些学者对单个城市地区或典型生态脆弱地区城市增长的生态影响进行了研究,但是区域和国家尺度上,通过预测各个政策情景下未来20年城市增长的情形,进而分析各种城市增长模式对主要栖息地的景观生态学影响,仍然具有重要的理论与实践意义。

1.3 解释中国城市增长复杂性

中国城市化和城市土地利用变化既有一般城市化过程的复杂特征,又有自身特色的复杂性机制。这种复杂性体现在4个方面:

(1) 城市增长驱动力及其相互作用复杂性。城市化是众多复杂的自然和人文因子驱动下的人口经济和土地利用转变过程(图1)。众多学者分别从人均耕地、人口增长、年龄、教育程度、人均国民生产总值、人均城市收入、政府财政、产业结构、经济结构、外国投资、专业市场、户口制度、制度创新、专业分工、集聚经济、区域差异以及国际战略格局等多种视角对中国城市化动力机制进行了经验研究^[15-24]。总体而言,一方面,国家的区域发展政策、城市管理体系和地方政府行为等政策因素对中国城市增长具有重要影响^[25];另一方面,随着改革开放不断深入,市场机制在城市增长过程中开始发挥基础性作用。因此,采取可计算一般均衡模型(CGE)模拟包括市场和政府在内的各种动力机制,通过地理计算方法将经济过程与地理空间过程有机联系起来,建立国家尺度的城市模拟模型,将为“城市空间再生产”过程提供一个综合的解释框架。

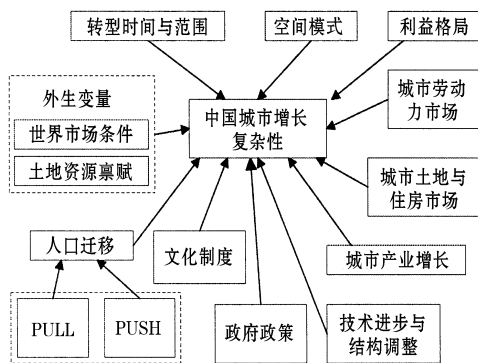


图 1 中国城市化和城市增长的主要驱动力
Fig.1 The drivers of urbanization and urban growth in China

(2) 空间复杂性。城市体系是一个国家内部各

个城市相互依赖的复杂地理网络^[26]。每一个城市都是相互联系的经济活动和经济流的一个节点。也就是说,一个城市的增长往往与其它城市,甚至整个城市体系的变动相联系,具有很强的空间外部性,并且这种外部性在不同的空间尺度可能具有不同的性质与程度。因此,探求中国城市发展规律,既需要对单个的城市区域进行模拟研究,更需要将中国的城市体系作为一个整体进行建模。空间化的可计算一般均衡模型(SCGE)是模拟城市和区域之间经济分工和经济流的重要方法。

(3) 时间复杂性。城市体系是一个内部和外部结构不断变化的系统。不仅城市系统的各个状态变量及其相互作用关系在不停变化,其空间形式在变化,而且城市空间增长的模式以及不同模式之间的转换(路径转换)形式也都在变化。这突出地体现在城市化和城市土地利用具有很强的不可逆性。其一,对建成区的土地进行“再开发”和“再填充”,往往要花费很大的建设成本。其二,对建成区的土地,要重新恢复其开发前的自然状态,几乎是不可能的。盲目地扩大城市建设用地面积造成农业土地覆盖和生态环境破坏,已经成为过去十多年来中国城市化进程中最受关注的问题。因此,要有效地管理城市增长动态特性,必须发展地理信息科学技术的优势,通过构筑各种城市发展情景,进行方案推演,提高决策效率。

(4) 城市增长管理复杂性。中国的人口资源环境与经济可持续发展离不开城市化,城市化战略是国家发展战略不可或缺的重要组成部分。人口、经济、科技、交通等每一方面的政策与规划都将影响到中国城市化的进程与格局,而不同的城市化模式又将影响甚至决定这些政策与规划的实施效果。因此,如何预见和展望各种不同政策情景下的城市化进程与格局,如何评估各种城市化格局的政治、经济、社会与生态影响,为 21 世纪中国的持续发展寻求最优的城市化空间,是一项紧要工作。

2 城市增长模拟模型综述

自从 1950s 计算机被引入到城市问题建模以来,城市系统的模型化已经取得了很大的进展^[6],并不断从静态模型向动态模型,从非地理参考模型向地理参考模型,从非计算机模型向计算机模型,从单一模型向集合性模型发展,形成了体系庞杂的城市增长模拟模型家族。根据模型的尺度与机制的不同,可以将城市增长动态模型分成两类,第一类即没

有空间变量的宏观系统动力学模型(均质区模型);第二类重在探讨宏观现象的微观作用机制的微观系统动力学模型。后者又可以进一步细分为基于元胞自动机的城市增长模型(Cellular Automation Based Model)和基于多智能体的城市增长动态模型(Multi-agent Based Model)。

2.1 静态格网模型

地理学家和地理信息科学家采取分类、区划、插值和图谱等方法,建立各种地理特征变量的静态格网模型,为动态城市模拟提供了数据基础和经验模式。其中,一类研究采用统计分析、地理叠加分析和比较分析等方法,归纳和总结人口、地价、建成区、经济总量等特征变量在城市及其周边地区的空间分布状况,及其在过去两个时间点之间的变化模式。如宗跃光^[27]采取两个时段的 TM 影像对北京城市扩展空间模式的研究。另一类则是采用遥感、地理信息系统技术进行全国尺度和区域尺度格网模拟。如中国人口密度模拟研究,即基于某个时刻的土地利用、基础设施、城市、气温、高程、陆地生态系统净第一性生产力等自然、经济因素,采取权重法则或相关法则,将人口插值分配到特定的格网中去,从而得到该时刻的人口密度^[28~30]。

这类工作并不是真正的城市模拟模型,主要采用各种地理信息系统算法,得到某种静态的分布特征,没有经济学机理,也没有预测功能。但是,其所建立的全国尺度 1 km × 1 km 格网,涵盖了主要自然和经济因子的格网空间数据库及其格网插值方法,为全国尺度的城市模拟模型提供了数据和数据处理的技术基础。

2.2 宏观系统动力学模型

1969 年 Forrester^[2]通过将时间变量引入静态规划方法从而提出了城市系统动力学(Urban Dynamics),并率先开发了基于计算机的城市动态模拟工具,从而为城市增长的计算机模拟奠定了基础。宏观系统动力学模型主要包括 Forrester 城市系统动态学模型、Wilson 城市动态模型、Peter Allen 等建立的基于自组织理论的城市动态模型等^[6, 31]。

这类模型的不足之处在于:一方面,模型多选取宏观变量,不能反映城市的微观特征和个体行为,而微观机制越来越被认为是城市系统复杂性的根源;另一方面,模型多采取社会、经济变量,缺失空间变量,因而难以真正揭示微观主体及其空间格局相互作用,以及引起的城市增长的空间演化过程,同时,连续微分方程的求解也是一个问题。但是宏观模型

比较好地反映了城市发展的总体动态特征,特别是同质空间单元的各个竖向变量(vertical variables)之间的相互关系。

2.3 基于元胞自动机的微观动力学模型

为了更加深入地揭示城市增长的空间动力学机制和复杂性来源,不仅要探讨城市系统各个竖向变量之间的相互作用,而且要剖析城市内部横向地理空间单元之间的相互作用机制,于是,一种离散的基于元胞(CA)的城市动力学模型被逐渐发展起来。在国外,Batty^[32]、Birkin^[33]、White^[34,35]和Landis等^[36]利用元胞自动机的方法发展了基于空间参考的城市动态分析和可视化工具,并进行了大量的城市增长计算机模拟案例研究。在国内,许多学者^[6,15,32,33,37-47]引入CA方法进行了中国城市扩展模拟研究,基于元胞自动机的模型方法的优点在于,通过将空间、时间和城市系统状态变量进行离散化,为揭示城市宏观空间格局演变背后的城市内部各个单元之间的相互作用机制提供了可能,此外,元胞模型还较好地与栅格地理信息处理技术结合起来,因而迅速成为城市增长模拟的主流模型^[48]。但是,元胞模型却面临着某种“规则”困境,包括:忽视元胞内在能力及其形成、积累与差异,即Forrester强调的特定城市区域动态变化的“内生驱动性”和“社会系统的累积性”;“规则”的形式化及其参数确定十分困难。简言之,由于对各种自然和社会经济因素之间反馈关系的相对忽视,基于CA的城市动态建模很大程度上简化成为某种格网空间上各种“空间转换规则”的设计。于是除了“规则”的多尺度化、多目标化和“智能化”等改进之外,CA的一个重要发展方向就是与经济模型的集成和与多主体模型的融合^[5]。

2.4 基于多智能体的微观动力学模型

由于突破了传统人工智能研究单纯注重个体智能而忽视集体智能的局限性,智能体理论正在成为当前复杂系统研究的新范式^[49]。所谓智能体,是一个运行于动态环境的具有自治能力的主体,可以是一个人、企业、计算机系统或者程序,其根本特性是具有智能性和社会交互性。智能体之间能够采取通讯、学习和交互等方式适应环境的动态变化,并与环境共同演进。自从20世纪50年代人工智能创始人麦卡锡提出智能体思想以来,经明斯基、休依特、沃尔德里奇等的工作,智能体理论与方法取得了很大进展,并深入应用于各个领域,为复杂系统的模型化研究奠定了科学基础。目前,美国SANTA FE研究

所已经开发了基于多智能体的模拟软件系统SWARM^[50]。基于SWARM平台,英国伦敦大学的高级空间分析中心(CASA)和英国Macaulay研究所的土地利用研究所分别开发了自己的城市土地利用模拟模型。而在国内,薛领、夏冰、沈体雁等也试图基于SWARM平台开发空间经济学和城市交通模型^[51,52]。

尽管多智能体模型代表了人工智能的前沿领域和城市空间增长模拟的发展方向,但由于基于多智能体的城市增长模型刚刚起步,目前的模型在Agent空间行为的形式化以及空间智能体的宏观行为与微观行为之间的通信机制等方面仍存在着许多不足之处。因此,开发和建立能够有效整合各种模型方法的集合性时空动态模拟平台,是当前城市空间动态模拟的切实可行的解决方案。

值得指出的是,无论CA类模型,还是ABM类模型,现有的城市动态模拟,仍然只是对某个城市或城市区域进行模拟,而没有将城市放在一个相互联系的城市体系之中去考虑;仍然缺乏可靠的经济基础,以致陷入“规则”困境和“行为”困境,影响了模型对真实的城市增长复杂性的解释能力。因此,本文尝试将CGE这一具有明确和完整经济学基础的模型引入城市模拟模型家族,并通过SCGE将各个分散的城市模拟模型连接成为一个虚拟的“城市体系”。

3 CGE模型及其空间化

自从Alonso提出区位竞租模型和Lowry建立城市土地利用与交通集成的城市模拟模型以来,城市模拟研究者就一直试图更多地将城市与区域经济学模型与空间分析技术相结合,建立可运行的城市模拟模型和土地利用模拟模型^[53-56]。目前在城市土地模拟中采用的经济学方法主要包括投入产出模型,如Tranus^[57];基于Logit模型的随机效用模型,如ITLUP/DRAM/EMPAL/METROPILUS模型系列^[58],CUF模型集^[35,59]等。20世纪70年代以来,随着CGE模型的日渐成熟,开发区域、多区域甚至空间化的CGE模型,成为城市与区域模拟的一个新方向^[59,60]。

3.1 单区域CGE模型

CGE即可计算一般均衡(Computable General Equilibrium)模型,是新古典一般均衡分析的实际应用。在特定的宏观经济条件和资源禀赋条件约束下,假定生产者利润最大化和消费者效用最大化,各

个市场(如产品市场、要素市场、外贸市场)通过数量与内生价格互动调整导致资源最优配置,从而达到经济系统的全面均衡状态。CGE 模型描述了均衡条件下各个社会主体的行为及其相互联系,并由一系列线性和非线性方程所组成^[61]。

随着计算技术和数据可得性不断改善,CGE 模型在国家或区域宏观经济模拟中的应用不断深入。20 世纪 70 年代,世界银行主持开发了世界三大 CGE 模型,即土耳其模型、韩国模型和喀麦隆模型;随后,美国农业部建立了由 78 个农业产业部门组成的 USDA/ERS 模型,用于本国经济发展预测分析和农业政策效应评价^[58, 62]。20 世纪 90 年代以来,我国一些学者也将 CGE 模型应用于宏观经济预测、以及金融、财政、产业和环境等方面的政策分析^[58, 63-70]。其中,黄季等^[63, 64]开发了基于 CGE 的“中国农业及非农业可持续发展决策支持系统”,并把 CAPSIM 和 CGE 及 GTAP 三大模型连结起来,不但探讨了中国农业对国民经济的影响、非农政策对农业的影响、中国经济对世界经济的影响,还探讨了国际市场条件对中国经济的整体影响、对中国各部门经济的影响,以及对各种农产品生产、消费、市场价格、贸易、农民收入等的影响。黄季农业 CGE 模型的成功及其将 CGE 与计算机模拟结合的思路,为试图将 CGE 与城市模拟结合的研究框架提供了可行性证据和经验示范。

单区域 CGE 模型至少存在着 2 个问题:对于城市和土地利用模拟研究而言,没有顾及城市与农村的地域差异;没有明确的空间参考和空间分析能力。因此,开发多区域 CGE 模型并与城市模拟相结合是一个发展方向。

3.2 多区域 CGE 模型

为了更加清晰地描述一国多个区域之间的经济联系,一些城市和区域科学研究者在多区域投入产出模型的基础上,进一步建立多区域 CGE 模型,研究集聚经济、城市蔓延、交通与区域增长、城乡经济联系、税收政策的区域影响等城市与区域问题。Hans L. Irgren 等^[71]提出了一个集成 CGE 和局部均衡模型的空间网络式的 CGE 模型,并模拟了一个典型的发展中的农村区域与一个作为国际市场门户的城市区域之间的互动关系,从而分析了世界市场价格升高和本国交通成本降低。Alex Anas 等^[72]建立了一个包含土地、劳动力和产品 3 个市场的一般均衡模型,以评估拥挤税和城市发展边界两种政策的城市增长管理效果。Almeida^[31]则开发了一个面向

交通政策规划与分析的空间 CGE 模型 MINAS-SPACE。Eduardo A. Haddad, Geoffrey J. D. Hewinger(2004)采用多区域 CGE 模型研究交通成本、递增报酬与区域增长的关系。Charles M. B., Jeffery G. W., Edwin S. M. (1992) 和 Maureen Kilkenney(1999) 试图建立包含“城市—乡村”系统的 CGE 模型,而且前者对印度的城市化和城市增长的研究成为多区域 CGE 的一个典范^[60]。

尽管上述研究在多区域 CGE 模型(MRCGE)或空间 CGE 模型(SCGE)的建立和应用上做了有益的工作,但是,这些模型的基本空间单位仍然是某种类型的“区域”,还不是真正意义上的空间参考明确的城市模拟模型。因此,将 MRCGE 与 GIS 结合,建立经济机理与地理参考明确的中国城市模拟模型,成为本文探讨建立的 CGE 与 GIS 集成模拟框架的目标所在。

4 国家尺度城市增长模拟模型框架

本文尝试采取复杂系统理论与方法,利用遥感与地理信息系统手段和计算机模拟技术,有效集成多区域可计算一般均衡模型、地理信息系统和地理格网动力学模型,提出一个经济机理和地理参考明确的、多维度、多尺度、可运行的“中国城市未来模型”框架(CUF),以支撑城市增长情景分析和城市发展的景观生态影响分析。其研究假设、逻辑、内容和关键技术如下:

4.1 研究假设

(1) 国家是一个多部门、多区域的开放经济体系,每一个区域由城市和农村 2 个部分组成。城市经济活动主要包括制造业、厂商服务业、生活服务业、房地产、运输等部门;农村经济活动主要包括农业、农村公共服务业、农村一般服务业、农村住宅等部门。共有资本、熟练劳动、非熟练劳动、城市土地、农村土地等生产要素。要素和产品均存在进出口和替代。

(2) 主体行为遵从新古典假定。即企业追求利润最大化,家庭追求效用最大化,企业、家庭和政府具有预算约束,移民具有迁移成本。在特定外部条件和技术系数下,要素市场、产品市场和进出口市场相互作用而形成均衡,从而确定各区域城市化格局,及区域间要素流与商品流格局。

(3) 每一个区域由 1 km × 1 km 格网构成。每一个地理网格根据区域城市化需求、邻域和自身的状态参数相对独立地决定土地利用类型的转变,从

而形成“城市的空间再生产”过程。

4.2 基本逻辑

按照上述假定,中国城市未来模拟模型的基本逻辑如下(图 2):

第一阶段求解 根据国家中长期发展规划,形成若干国家发展情景和区域发展情景;在多区域投入产出表和多区域社会会计矩阵的基础上,建立并求解多区域可计算一般均衡模型,从而预测出各个区域城市人口和经济相关指标数量。

第二阶段求解 在已知每一个区域未来城市人口和经济活动指标的基础上,采用多项式 Logit 模型和格网动力学模型,建立网格(或称为站点)发展可能性函数,求出每一个网格城市化的可能性,进而将各类人口和经济活动依其密度分配到地理空间上

去,得到特定发展情景下的中国城市未来景观。考虑到地理空间数据的可得性和研究成本,本研究在第二阶段将以京津冀地区为试验区。不过,如果数据许可的话,将尝试建立 1 km × 1 km 格网的全国城市未来景观。

第三阶段求解 根据初期和末期城市景观,比较评价城市化和城市增长对生物栖息地环境和生物多样性的影响。相关的评价结果经过分析和决策之后,将形成新的国家尺度和区域尺度的发展情景与策略。于是,形成一个城市增长模拟与控制的反馈环。值得注意的是,由于集成了多区域 CGE 模型, CUF 将支持一个区域对其它区域城市化进程和生态环境的影响评价,如研究 2008 年北京承办奥运会对天津和河北城市化的影响。

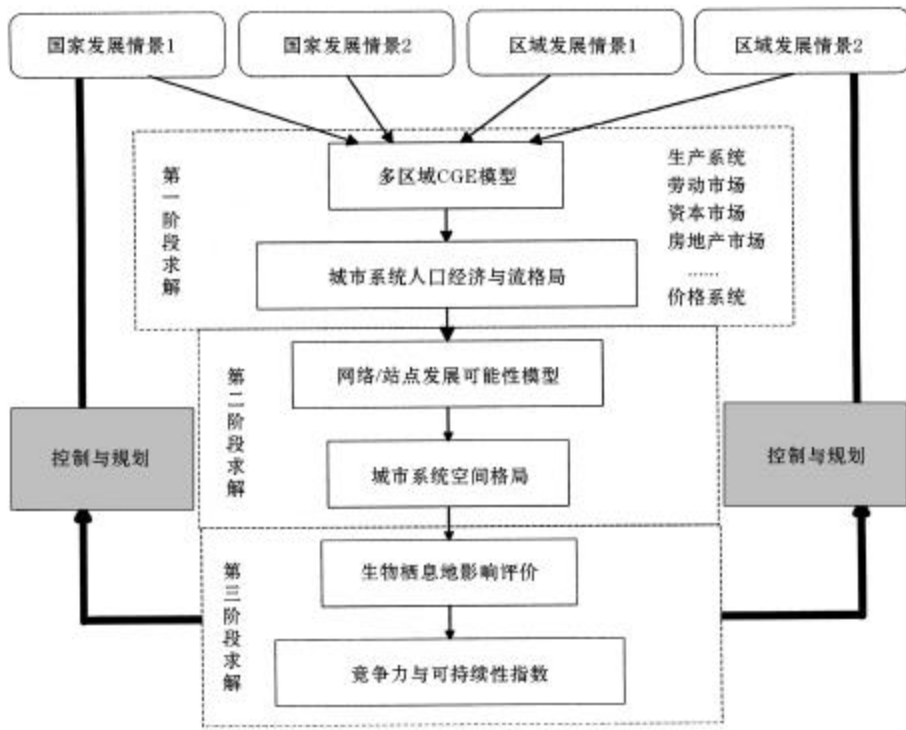


图 2 中国城市未来模型(CUF)的基本逻辑
Fig. 2 The logic of China Urban Future model

4.3 研究内容

根据上述研究思路形成研究框架(图 3)。其中主要内容包括:

(1) 建立中国多区域社会核算矩阵(SAM)。社会核算矩阵(SAM)是国民经济资金流动的平衡表,反映了家庭、部门、政府在国民经济的生产、分

配、消费、投资、外贸等活动中的各种经济联系。国务院发展研究中心和有关部门已经编制了 1987 年、1990 年、1992 年、1995 年、1997 年以及 2000 年等 6 个不同年度的中国社会核算矩阵。在国家 SAM 的基础上,结合各个省区投入产出表、SAM 和其它可得的数据,建立中国多区域 SAM,以此作为校准和

建立多区域 CGE 模型的数据基础。

(2) 建立中国多区域 CGE 模型。参考标准 CGE 模型,根据中国城市化一些个性特征,如劳动力市场分割、人口迁移的户口管制以及政府作为投资主体等,建立顾及“城市—农村”划分的中国多区域 CGE 模型,形成庞大的方程组,主要包括:生产和供应方程、技术变动方程、价格形成方程、劳动力市场和移民方程、资本市场和投资分配方程、土地和住宅市场方程、家庭消费和储蓄方程、政府收支和储蓄方程、区域间商品流方程、外贸和世界市场价格方程、市场出清方程等等。

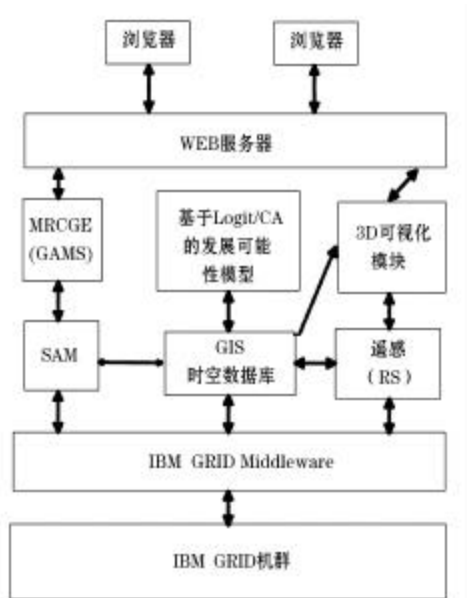


图 3 拟议中的 CUF 模拟模型系统框架与信息服务模式
Fig.3 System framework and information service model of CUF

(3) 建立试验区(京津冀)城市增长时空数据库。分别利用 1990 年和 2000 年的 TM 和 NOAA 等卫星影像进行土地利用分类,并采集相应的地形、交通、人口等地理信息,采用 ARC/INFO 地理信息系统软件建立多时相京津冀地区城市增长数据库,作为模型运算和校准的基础。

(4) 建立和校准站点开发可能性函数。通过地理采样,采用统计软件,基于多项式逻辑模型,建立和校准站点开发可能性与区域城市化需求变量、站点立地条件变量和邻域变量之间的函数关系。

(5) 开发国家和区域发展情景。根据国家和区域发展规划中可能出现的各种预期、未来 20~50 年

国家政治经济生活中可能出现一些重大事件,以及国际市场条件等外部发展环境的可能变化,建立量化的发展情景。

(6) 建立栖息地影响评价模型。参考景观生态学关于生物栖息地评价的指标体系,建立影响评估模型,评估各个区域城市化和城市增长的影响。

(7) 建立基于并行 GRID 的计算平台。为了提高计算速度,将在本研究团队已经开发的 IMB GRID 试验床上开发研制基于并行 GRID 的城市模拟计算平台,以支撑中国城市未来模拟模型(CUF)的运算^[73]。

(8) 开发城市模拟可视化模块。基于研究团队正在使用的三维模拟软件,根据模拟所得出的各个站点的开发密度,依照一般的城市规划原则,尝试将原有的城市路网骨架、城市建筑风格延伸到新增长的城市地区,模拟三维城市的动态生长过程。

(9) 进行模拟实验和结果分析。采取上述虚拟机,对不同的政策情景进行预测分析与校准,模拟未来试验区城市空间蔓延趋势,提出政策建议。

4.4 关键技术

为了实现上述研究任务,需要着重解决 5 个方面的关键技术问题: 发展情景和重要事件的模式化表达与生成; 构建中国多区域 SAM,特别是比较与核准多种数据来源和估计各个区域之间的要素流与商品流; 将经济活动部门与“城市—农村”的地域对应起来,构建含有“城市—农村”划分的多区域 CGE 模型; 基于 GRID 的并行计算,以及相应的软件开发与集成; 中国城市未来模型的整体校准。

5 结论与讨论

综上所述,通过引入可计算一般均衡模型,并使之空间化,从而构建一个有效集成可计算一般均衡模型(CG E)和地理信息系统(GIS)的,经济机理和地理参考明确的,多维度、多尺度、可运行的“中国城市未来模型”(CUF)模拟研究框架,具有重要的科学与政策意义。推进和实施这一研究框架,一方面,将探索建立全国尺度城市模拟模型,丰富和发展空间分析与模拟模型家族,促进地理信息科学与经济学相关研究在中国的进一步融合^[31,52,74],有力支持中国“全球环境变化人文因素计划”(IHDP)^[75,76],推进中国城市与区域研究复杂系统范式的建立;另一方面,也将为城市化和城市增长管理提供决策支持,为国家发展规划提供科学依据。

参考文献(References) :

- [1] Forrester J W . Urban Dynamics [M] . Cambridge MA : M . I . T . Press , 1969 .
- [2] Forrester J W . Counterintuitive behavior of social systems [J] . Technology Review , 1971 , 73 (3) : 52-68 .
- [3] Chen Shupeng . Complexity and systematism of geosciences [J] . Geographical Science , 1991 , 11 (4) : 297-305 . [陈述彭 . 地球科学的复杂性与系统性 [J] . 地理科学 , 1991 , 11 (4) : 297-305 .]
- [4] Chen Shupeng . Urbanization and Urban Geographical System [M] . Beijing : Science Press , 1999 . [陈述彭 . 城市化与城市地理系统 [M] . 北京 : 科学出版社 , 1999 .]
- [5] Baty M . New ways of flocking at cities [J] . Nature , 1995 , 377 : 574 .
- [6] Zhou Chengshu , Sun Zhanli , Xie Yichun . On Geographical Cellular Automaton [M] . Beijing : Science Press , 1999 . [周成虎 , 孙战利 , 谢一春 . 地理元胞自动机研究 [M] . 北京 : 科学出版社 , 1999 .]
- [7] Yang Kaishong , Xue Ling . Spatial complexity : Regional science in 21st century [J] . Advances in Earth Science , 2002 , 17 (1) : 5-11 . [杨开忠 , 薛颖 . 复杂区域科学 : 21 世纪的区域科学 [J] . 地球科学进展 , 2002 , 17 (1) : 5-11 .]
- [8] Wang Guanghua . Change of Construction Land-use and Regional Economical Development in China [D] . Beijing : Beijing University , 2003 . [王广华 . 我国建设用地变化与区域经济可持续发展研究 [D] . 北京 : 北京大学 , 2003 .]
- [9] Shi Yun , Xu Fengbo , Wang Ling , et al . Strategy of sustainable utilization of urban lands in China [J] . Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science) , 2003 , 34 (3) : 388-392 . [施云 , 徐鹏波 , 王岭 , 等 . 我国城市土地可持续利用对策研究 [J] . 山东农业大学学报 : 自然科学版 , 2003 , 34 (3) : 388-392 .]
- [10] Zeng Hui , Xia Jie , Zhang Lei . The current status of urban landscape ecology study and it's perspectives [J] . Geographical Sciences , 2003 , 23 (4) : 484-492 . [曾辉 , 夏洁 , 张磊 . 城市景观生态研究的现状与发展趋势 [J] . 地理科学 , 2003 , 23 (4) : 484-492 .]
- [11] Zeng Hui , Jiang Ziyang , Yu Hong , et al . Landscape Structure Study of Longhua Area in Shenzhen City during the Fast Urbanization Process : Structure and Heterogeneity Analysis of Farmland [J] . Journal of Peking University (Natural Sciences) , 2000 , 36 (2) : 221-230 . [曾辉 , 江子瀛 , 喻红 , 等 . 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究 : 农业用地结构及异质性分析 [J] . 北京大学学报 : 自然科学版 , 2000 , 36 (2) : 221-230 .]
- [12] Yuan Yi , Shi Peijun , Liu Yinghui , et al . A study on the pattern of land cover during rapid urbanization : Shenzhen city as a case study [J] . Acta Ecologica Sinica , 2003 , 23 (9) : 832-840 . [袁艺 , 史培军 , 刘颖慧 , 等 . 快速城市化过程中土地覆盖格局研究 [J] . 生态学报 , 2003 , 23 (9) : 832-840 .]
- [13] Yang Jinsheng . Land-use change based landscape ecological pattern change in Tianjin [J] . Urban Ecology and Urban Environment , 2004 , 6 : 53-54 . [杨津生 . 基于土地利用变化的天津市景观生态格局变迁研究 [J] . 城市生态与城市环境 , 2004 , 6 : 53-54 .]
- [14] Zhou Yixing . On relationships between urbanization and GDP [J] . Population and Economy , 1982 , (1) : 28-33 . [周一星 . 城市化与国民生产总值关系的规律性探讨 [J] . 人口与经济 , 1982 , (1) : 28-33 .]
- [15] Zhang Tingwei . On drivers of urbanization [J] . City Planning Review , 1983 , (5) : 59-62 . [张庭伟 . 对城市化发展动力的探讨 [J] . 城市规划 , 1983 , (5) : 59-62 .]
- [16] Liu Hongxing . Characteristics and prediction of urbanization in Wenzhou City [J] . City Planning Review , 1987 , (2) : 39-43 . [刘红星 . 温州城镇化特点分析和水平预测 [J] . 城市规划 , 1987 , (2) : 39-43 .]
- [17] Xue Fengkuan , Yang Chun . Exo-urbanization : The case of the Zhujiang river delta [J] . Acta Geographica Sinica , 1997 , 52 (3) : 193-206 . [薛凤旋 , 杨春 . 外资 : 发展中国家城市化的新动力 : 珠江三角洲个案研究 [J] . 地理学报 , 1997 , 52 (3) : 193-206 .]
- [18] Chen Bingzhao . Beijing urban development strategies—Walking out of urban sprawl [J] . City Planning Review , 1999 , 23 (12) : 27-39 . [陈秉钊 . 北京城市建设的战略抉择——抓住机遇摆脱“摊大饼” [J] . 城市规划 , 1999 , 23 (12) : 27-39 .]
- [19] Zhao Yanjing . China urbanization in the context of international strategies [J] . Urban Planning Forum , 2000 , 1 : 6-12 . [赵燕菁 . 国际战略格局中的中国城市化 [J] . 城市规划汇刊 , 2000 , 1 : 6-12 .]
- [20] Zhao Yanjing . Specialization and urbanization : A new analytical framework [J] . City Planning Review , 2000 , 24 (6) : 17-20 . [赵燕菁 . 专业分工与城市化 : 一个新的分析框架 [J] . 城市规划 , 2000 , 24 (6) : 17-20 .]
- [21] Zhao Yanjing . Urban growth models under the conditions of rapid development [J] . Foreign Urban Planning , 2001 , (1) : 27-33 . [赵燕菁 . 高速发展条件下的城市增长模式 [J] . 国外城市规划 , 2001 , (1) : 27-33 .]
- [22] Tang Hairu . Institutional innovation : Thinking about promoting urbanization [J] . Urban Planning Forum , 2000 , (5) : 41-43 . [汤海孺 . 制度创新 : 推进城市化进程的思考 [J] . 城市规划汇刊 , 2000 , (5) : 41-43 .]
- [23] Liu Shenghe , Wu Chuanjun , Shen Hongquan . A GIS based-model of urban land use growth in Beijing [J] . Acta Geographica Sinica , 2000 , 55 (4) : 409-416 . [刘盛和 , 吴传钧 , 沈洪泉 . 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式 [J] . 地理学报 , 2000 , 55 (4) : 409-416 .]
- [24] Li Haizheng , Zahner S . The determinants of temporary rural-to-urban migration in China [J] . Urban Studies , 2002 , 39 (12) : 2219-2235 .
- [25] Wu Liya . Progress on urbanization theoretical researches [J] . Urban Planning Forum , 2004 , 4 : 43-48 . [吴莉娅 . 中国城市化理论研究进展 [J] . 城市规划汇刊 , 2004 , 4 : 43-48 .]
- [26] Claes Andersson , Alexander Hellerqvist , Kristian Lindgren , et al . The urban economy as a scale-free network [J] . Physical Re-

- view 2003, 68:36-124.
- [27] Zong Yueguang. The corridor effects and optimization of landscapes structure in a metropolitan area—A case study on Beijing [J]. *Geographical Research*, 1998, 17(2):119-124. [宗跃光. 大都市空间扩展的廊道效应与景观结构优化——以北京市为例[J]. 地理研究, 1998, 17(2):119-124.]
- [28] Liu Jiyuan, Yue Tianxiang, Wang Yingdan, et al. Digital simulation of population density in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1):17-24. [刘纪远, 岳天祥, 王英安, 等. 中国人口密度数字模拟[J]. 地理学报, 2003, 58(1):17-24.]
- [29] Tian Yongzhong, Chen Shupeng, Yue Tianxiang, et al. Simulation of Chinese population density based on land use [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2):283-292. [田永中, 陈述彭, 岳天祥, 等. 基于土地利用的中国人口密度模拟[J]. 地理学报, 2004, 59(2):283-292.]
- [30] Liao Shunbao, Sun Julin. GIS based spatialization of population census data in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1):25-33. [廖顺宝, 孙九林. 基于 GIS 的青藏高原人口统计数据空间化[J]. 地理学报, 2003, 58(1):25-33.]
- [31] Almeida E S. MINAS-SPACE: A Spatial Applied General Equilibrium Model for Planning and Analysis of Transportation Policies in Minas Gerais [D]. Departamento de Economia/EPE, Universidade de São Paulo. São Paulo (in Portuguese), 2003.
- [32] Batty M. Urban modeling in computer-graphic and Geographic Information System environments [J]. *Environment and Planning B*, 1992, 19:678-708.
- [33] Birkin M. Elements of a model based Geographic Information System for the evaluation of urban policy [C]. *Geographic Information Systems*. London: Belhaven Press, 1990.
- [34] White R, Engelen G. The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land-use dynamics [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24:323-343.
- [35] White R, Engelen G. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24:235-246.
- [36] Landis J. The California urban futures model: A new generation of metropolitan simulation models [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1994, 21(4):399-420.
- [37] Zhang Xinsong, Wang Baoshan. Simulation of resident spatial behavior and urban spatial growth [J]. *Journal of Image and Graphics*, 1998, 3(2):134-139. [张新生, 王宝山. 居住空间行为模型与城市空间增长[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(2):134-139.]
- [38] Li Xia, Yeh Anthony Gar-On. Constrained cellular automata for modeling sustainable urban forms [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(4):289-298. [黎夏, 叶嘉安. 约束性单元自动演化 CA 模型及可持续城市发展形态的模拟[J]. 地理学报, 1999, 54(4):289-298.]
- [39] Li Xia, Yeh Anthony Gar-On. Principal component analysis and Cellular Automata's application in spatial decision and Urban Simulation [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, (8):683-690. [黎夏, 叶嘉安. 主成分分析与 Cellular Automata 在空间决策与城市模拟中的应用[J]. 中国科学: D 辑, 2001, (8):683-690.]
- [40] Li Xia, Yeh Anthony Gar-On. Neural-network-based Cellular Automata for realistic and idealized urban simulation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2):159-166. [黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟[J]. 地理学报, 2002, 57(2):159-166.]
- [41] Zhang Xianfeng. Cellular Automaton based urban growth dynamics modelling and prediction [J]. *Journal of Graduate School Academia Sinica*, 2000, 17(1):70-79. [张显峰. 基于 CA 的城市扩展动态模拟与预测[J]. 中国科学院研究生院学报, 2000, 17(1):70-79.]
- [42] Xiao Chunsheng, Yan Shouyong, Huang Lifang, et al. The urban expanding simulation with the Cellular Automata model in Haikou [J]. *City Planning Review*, 2002, 126(18):69-73. [肖春生, 阎守崑, 黄丽芳, 等. 细胞自动机模型用于城市发展模拟的方法初探[J]. 城市规划, 2002, 126(18):69-73.]
- [43] Du Ningrui, Deng Bing. Cellular automata and their application to modeling spatial-temporal process of urban development [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2001, 34(6):8-11. [杜宁睿, 邓冰. 细胞自动机及其在模拟城市时空演化过程中的应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2001, 34(6):8-11.]
- [44] He Chunyang, Shi Peijun, Chen Jun, et al. A study on land use/cover change in Beijing area [J]. *Geographical Research*, 2001, 20(6):679-687. [何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区土地利用覆盖变化研究[J]. 地理研究, 2001, 20(6):679-687.]
- [45] Chen Yanguang, Zhou Yixing. Cellular Automata and simulation of spatial complexity of urban systems: History, present situation and future [J]. *Economic Geography*, 2000, 20(3):35-39. [陈彦光, 周一星. 细胞自动机与城市系统的空间复杂性模拟: 历史、现状与前景[J]. 经济地理, 2000, 20(3):35-39.]
- [46] Wang Hong, Lü Guonian, Chen Gan. Application of Cellular Automata to urban dynamic process modeling for Nanjing City [J]. *Human Geography*, 2002, 17(1):47-50. [王红, 阎国年, 陈干. 细胞自动机及在南京城市演化预测中的应用[J]. 人文地理, 2002, 17(1):47-50.]
- [47] Wang Chunfeng. Using RS and CA to Simulate Urban Sprawl [M]. Beijing: Survey and Mapping Press, 2002. [王春峰. 用遥感和单元自动演化方法研究城市扩展问题[M]. 北京: 测绘出版社, 2002.]
- [48] Zhao Wenjie, Liu Zhaoli. The application of cellular automata in environmental sciences [J]. *Journal of Northeast Normal University*, 2003, 35(2):87-92. [赵文杰, 刘兆理. 元胞自动机在环境科学中的应用[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2003, 35(2):87-92.]
- [49] Xue Ling, Yang Kaizhong. Sciences of complexity and studies of evolutionary simulation of regional spatial structure [J]. *Geographical Research*, 2002, 21(1):79-88. [薛颖, 杨开忠. 复杂性科学理论与区域空间演化模拟研究[J]. 地理研究, 2002, 21(1):79-88.]

- [50] Wooldridge M, Jennings R. Methodology for agent-oriented analysis and Design [C]. Etzioni O, eds. Agents 99: Proceedings of the Third International Conference on Autonomous Agents. Seattle, WA May 1998.
- [51] Xie Ling. Multi-agent based Urban Spatial Evolution Simulation [D]. Beijing: Beijing University, 2002. [薛颖. 基于多主体 (multi-agent) 的城市空间演化模拟研究 [D]. 北京: 北京大学, 2002.]
- [52] Zhang Jinnu, Wu Bo, Shen Tiyan. Research on dynamic simulation of Beijing land covering & changing by applying agent modeling [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2004, 27(1): 80-83. [张金杜, 吴波, 沈体雁. 基于 Agent 模型的北京市土地利用变化动态模拟研究 [J]. 东华理工学院学报, 2004, 27(1): 80-83.]
- [53] Klosteman R E. Large scale urban models: Retrospect and prospect [J]. Journal of the American Planning Association 1994, 60: 36.
- [54] Wang Jinfeng, Li Lianfa, Ge Yong, et al. A theoretic framework for spatial analysis [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(1): 92-102. [王劲峰, 李连发, 葛咏, 等. 地理信息空间分析的理论体系探讨 [J]. 地理学报, 2000, 55(1): 92-102.]
- [55] Klaus Hubacek, Laixiang Sun. Land Use Change at the National and Regional Level in China: A Scenario Analysis Based on Input-Output Modeling [R]. Interim Report of International Institute for Applied Systems Analysis (IR-00-053), 2001.
- [56] Klaus Hubacek, Laixiang Sun. Land Use Change in China: A Scenario Analysis based on Input-Output Modeling [R]. Interim Report of International Institute for Applied Systems Analysis (IR-99-073), 2001.
- [57] Tomas De La Barra, et al. Integrated land use and transportation modeling: The Trans experience [C]. Planning Support System: Integrating Geographic Information System, Models and Visualization Tools [M]. ESRI Press, 2001: 129-156.
- [58] Maureen Kilkeny. Explicit spatial rural-urban computable general equilibrium [J]. American Journal of Agricultural Economics, 1999, 181(3): 647-652.
- [59] Landis J. CUF, CUF II and CURBA: A family of spatially explicit urban growth and land-use policy simulation models [C]. Richard K Brail, Richard E Klosteman. Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems, Models and Visualization Tools. ESRI Press, 2001.
- [60] Landis J. Imagining land use futures: Applying the California urban futures model [J]. Journal of the American Planning Association, 1995, 61(4, Autumn): 438-457.
- [61] Eliecer E, Varyas, Schreiner F, et al. Computer General Equilibrium Modeling For Regional Analysis [EB/OL]. <http://www.rrl.wvu.edu/Webbook/Schreiner/contents.htm>, 2006-04-25.
- [62] Walter Isard, Iwan J Azis, et al. Methods of Interregional and Regional Analysis [M]. Ashgate Publishing Limited Gower House, 1998.
- [63] Huang Jikun. Models of agricultural policy analysis and prediction in China [C]. China Applied Macro-economic Models. Beijing: China Financial & Economical Press, 1999: 240-262. [黄季中国. 中国农业政策分析和预测模型 [C]. 中国实用宏观经济模型. 北京: 中国财政经济出版社, 1999: 240-262.]
- [64] Huang Jikun, Li Ninghui. China's agricultural policy simulation and projection model-CAPSIM [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2003, 3(2): 30-41. [黄季中国, 李宁辉. 中国农业政策分析和预测模型——CAPSIM [J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2003, 3(2): 30-41.]
- [65] Li Xuesong. Using CGE models to analyze impacts of WTO on China economy [J]. Quantitative and Technical Economics, 2000, 17(10): 21-24. [李雪松. 加入 WTO 对中国经济影响的 CGE 模型比较分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2000, 17(10): 21-24.]
- [66] Zhou Zhuchua, Yang Jun, Zhang Linhua, et al. Methods, principles and problems of CGE model's solving [J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2002, 25(3): 142-145. [周焯华, 杨俊, 张林华, 等. CGE 模型的求解方法、原理和存在问题 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2002, 25(3): 142-145.]
- [67] Wu Yajun, Xuan Xiaowei. Environmental Tax Theories and Their Application in China [M]. Beijing: Economical Science Press, 2002. [武亚军, 宣晓伟. 环境税经济理论及对中国的应用分析 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2002.]
- [68] Jiang Junhe, Yao Yufang. Building economy-energy system models for climate change policy analysis [J]. Quantitative and Technical Economics, 2002, (7): 41-45. [蒋金荷, 姚愉芳. 气候变化政策研究中经济-能源系统模型的构建 [J]. 数量经济技术经济研究, 2002, (7): 41-45.]
- [69] Zhou Jianjun, Wang Tao. Financial CGE models and their applications [J]. Financial Education and Researches, 2003, (1): 2-4. [周建军, 王韬. 金融 CGE 模型研究与应用 [J]. 金融教学与研究, 2003, (1): 2-4.]
- [70] Li Hongxin, Fu Boying. General equilibrium analysis and application pattern inquiry to environmental taxation [J]. China Population, Resources and Environment, 2004, 14(3): 19-22. [李洪心, 付伯颖. 对环境税的一般均衡分析与应用模式探讨 [J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(3): 19-22.]
- [71] Hans Lfgren, Sherman Robinson. Spatial Networks in Multi-Region Computable General Equilibrium Models [R]. Discussion Paper No. 35 of Trade and Macroeconomics Division of International Food Policy Research Institute, 1999.
- [72] Alex Anas, Hyok-Joo Rhee. Curbing Excess Sprawl with Congestion Tolls and Urban Boundaries [Z]. 2004 Annual Meeting paper of North American Regional Science Association (August Seattle), 2004.
- [73] Wu Lun, Liu Yu, Zhang Jing, et al. Geographical Information System—Principle, Methodologies and Applications [M]. Beijing: Science Press, 2001. [邬伦, 刘宇, 张晶, 等. 地理信息系统——原理、方法和应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [74] Li Deren, Shao Zhenfeng, Zhu Xinyan. Spatial information multi-grid and its typical application [J]. Geomatics and Information

- Science of Wuhan University 2004, 29(11):945-950. [李德仁, 邵振峰, 朱欣焰. 论空间信息多级格网及其典型应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2004, 29(11):945-950.]
- [75] Shi Peijun, Song Changqing, Jing Guifei. Strengthening the study of land Use/cover change and its impact on eco-environmental security—The trend of the study of the dynamics of Human-Nature system based on "Global Change Open Science Conference 2001" in Amsterdam, Netherland[J]. Advances in Earth Science 2002, 17(2):161-168. [史培军, 宋长青, 景贵飞. 加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2):161-168.]
- [76] Liu Yanhua, Ge Quansheng, Zhang Xueqin. Research of human dimensions on global environmental change in China[J]. Advances in Earth Science 2004, 19(6):889-895. [刘燕华, 葛全胜, 张雪芹. 关于中国全球环境变化人文因素研究发展方向的思考[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6):889-895.]

China Urban Future Simulation : An Integrated Framework of CGE and GIS

SHEN Ti-yan

(Department of Urban & Regional Management, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract : Urban system is a kind of complex spatial systems. Developing spatially explicit urban simulation models is a very important approach to mapping urban future, analyzing environmental impacts of urban growth and explaining urban complexities in China. However, the existing urban simulation models, for example, system dynamics based models, cellular automata based models and multi-agent based models, are not enough to explain and analyze the complexities of urban system in China for their lack of reliable economic theories and their limit in only one urban area or metropolitan area. This paper tries to integrate multi-regional computable general equilibrium models (MRCGE), geographical information system and geographical cellular dynamics into a framework, in which MRCGE is used to link many urban models into an interdependent urban model system. The authors develop a sort of hypotheses, approaches, components and core techniques for this framework, which is considered to be spatially explicit, economically clear, multi-dimension, multi-scale, accountable and operational in promoting scenario analyses and explaining urban complexities in China.

Key words : China urban future simulation ; Computable general equilibrium model (CGE) ; GIS ; Urban growth ; Spatial complexity.