

# 治理维度下城市复杂性系统研究的优化与实践应用

田 莉 黄 安 李永浮

**【摘 要】** 城市属于典型的复杂性系统,多要素、多层级的子系统及其之间的复杂关系是其特征,这种复杂性为城市决策带来了挑战。本文首先回顾复杂性科学研究的起源、发展及在各个学科领域的应用,对城市复杂性系统进行了解构与剖析,将社会-生态系统(Social-ecological System, SES)的治理框架与系统动力学(System Dynamic, SD)模型相结合,提出了城市复杂性系统模拟的 SDES 框架。同时,以北京住房复杂性系统为例,采用 SDES 模型,对租赁住房发展的不同情景进行模拟,并对不同干预情景下的“成本-收益”进行分析,以为住房政策的选择提供决策依据。

**【关键词】** 复杂性系统;系统动力学;社会-生态系统;北京住房;治理

大城市病,尤其是房价高涨、交通拥堵、环境恶化、居住空间社会分异等问题,困扰着全世界新兴国家的中心城市,中国也不例外。城市问题的解决和复杂性系统关系密切。例如,住房问题仅通过单纯增加供给难以解决,还与通勤距离、公共服务设施配套、城市财政收入等紧密联系。城市系统的复杂性不仅在于其众多的子系统和空间层次性,更在于人、社会、经济与环境等的复杂关系。因此,从复杂性视角研究城市规划、管理等问题,是围绕某一问题,从系统性、整体性的视角将复杂问题抽丝剥茧,提出具有针对性、实用性的方案与政策设计,以提升城市规划与管理决策的科学性和有效性,这对大城市问题的解决具有深刻的理论与实践价值。

长期以来,对城市复杂性系统的研究并不鲜见。现有研究呈现两个特点:一是聚焦于定性描述,着力于剖析城市复杂性系统的特征和构成要素,但并未提供可参考的研究方法(段汉明、杨大伟, 2007);二是聚焦定量分析方法,如系统动力学模型(SD)、元胞自动机(CA)、多智能体模型(ABM)、神经网络、空间句法等模型在城市模拟中的应用,但往往将复杂的城市系统进行简化,而忽略其复杂的社会、经济特性及子系统之间的相互关系,导致模拟情景距现实世界甚远,参考价值有限。因此,建立一个定性和定量相结合的适应性研究框架,是优化城市复杂性系统研究与现实应用的重要路径。

田莉,经济学博士,清华大学教授、博士生导师,自然资源部智慧人居环境与空间规划治理中心主任,清华大学建筑学院土地利用与住房政策研究中心主任(北京 100084);黄安,土地资源管理博士,西安建筑科技大学公共管理学院副教授(西安 710055);李永浮,通讯作者,城乡规划学博士,上海大学上海美术学院建筑系教授、博士生导师(上海 200444)。本文系北京卓越青年科学家计划(JJWZYJH01201910003010)、国家自然科学基金(42201272)和西安建筑科技大学科研启动项目的阶段性研究成果。

本文首先回顾了国际上复杂系统和城市住房系统研究进展;其次,基于复杂系统视角,结合系统动力学模型(SD)和社会-生态系统(SES)优势,提出 SDES 模型框架,围绕城市住房系统,以北京市为例,建构城市住房复杂系统研究理论与方法体系,探讨在不同治理情景下,住房系统的变化对城市其他子系统所产生的影响并分析不同情景下的成本-收益分析框架,从而为住房发展政策的制定提供决策参考。

## 一、复杂性系统的国际国内研究

### (一) 复杂系统的研究历程

复杂性系统研究起源于 20 世纪七八十年代的复杂性科学研究,是系统科学发展的新阶段,有关研究以系统科学中的“老三论”(系统论、信息论、控制论)和自组织理论为基础(范冬萍,2020),尝试超越近代简单研究范式中“还原性”“普遍性”等分析局限,实现“认识和处理世界中的复杂性”这一研究目标(Flood,1987)。埃德加·莫兰是最早的复杂性研究学者(Morin & Bergad ,1978),从系统哲学的角度尝试厘清复杂性系统中的“有序”与“无序”的关系,并提出了“两重性原则”“组织循环原则”“局部无序”与“整体有序”等多个分析视角(赵佳佳,2021),为后续“耗散结构理论”(Prigogine & Stengers,2018)、复杂适应系统研究框架(Holland,1996)等经典框架的提出奠定了坚实的基础,尤其是霍金“21 世纪为复杂性科学的世纪”的论断(Arthur,2020),极大地推动了复杂性科学研究(Gell-Mann,1997)。复杂性系统研究最早被广泛应用到包括热力学、物理学、化学、气候科学、生态学等自然科学研究中(Prigogine & Stengers,2018)。

以社会结构和社会网络分析、复杂经济学等为代表,复杂性系统理论在社会学、管理学、经济学等领域也有较为丰富的应用(Kauffman & Levin,1987)。如 D. J. Watts 等(Watts,2004)从复杂系统视角,借用拓扑关系分析了个体活动如何与社会网络系统交互作用;Miller & Pagem(2009)将复杂性科学的适应性主体计算模型应用于复杂适应社会系统的动力学行为和管理决策;杰克逊(Jackson,2016.)深化了面向管理复杂性的创造性整体理论;奥斯特罗姆(Ostrom,2009)提出了社会生态系统(Social-ecological system,SES)分析框架,解析从资源、治理、参与、行动等维度对公共资源的治理、分配与竞争;SFI 研究所布莱恩·亚瑟博士创立的复杂经济学重点关注个体经济行为及其对宏观经济系统的影响(Arthur,2020),以智能体和网络联结的方式对系统互动进行分析,并关注“涌现”情况(Arthur,2021)。

在复杂系统定量模拟模型研究方面,重点借助信息化的手段抽象、概化研究对象,并通过一定的算法和情景模拟未来运行状况,典型模型如 Forrester 教授的时间仿真模型系统动力学 S 模型(Forrester,1969)和空间模拟模型元胞自动机 CA 模型及其扩展模型(刘小平、黎夏、艾彬等,2006)。随着计算机算力的不断提升,大批计算机科学家和软件开发人员为此研发了许多软件工具促进了复杂系统研究进展(Hidalgo,2021)。这些研究极大地推动了复杂系统的理论与实践研究。

### (二) 城市系统及住房系统研究

城市系统作为一个涉及多维度、多层次、交互式的综合性复杂巨系统,在复杂性系统理论成立之初就成为重要的研究对象。城市系统可以分为若干个子系统,如社会、经济、环境等,每一个子系统中又包含着许多子系统,具有明显的层次性。国外主流学派之一伊利诺伊学派 Hopkins 认为城市复杂系统发展中的不可逆性、相关性、不完全预见性、不可分割性,使得城市发展无法达到均衡(Hopkins,2001)。主流学派之二新城市科学 Michael Batty 整合了区域经济学、伊利诺伊学派的部分内容,

认为城市是一个以自下而上发展为主的复杂系统,其规模和形态遵循因空间争夺而导致的扩展规律,需要理解流动和网络如何塑造城市的过程以认识城市(Batty,2018)。此外,包括外部不确定性带来的多元的规划目标(仇保兴,2016)、多元参与主体带来的差异化诉求等分析视角,对城市发展目标进行解构。

城市住房系统是复杂巨系统中最为重要的子系统之一。住房系统的演化深受住房供给政策(商品房、保障房、租赁住房等)、土地供给政策、公共服务基础设施、社会-经济发展等子系统要素的影响(郑生钦、徐可,2018)。在理论建构方面,城市住房系统理论建构大多基于复杂系统理论,其差异主要体现在研究视角上,常见的视角如供需视角、利益博弈视角、政策系统分析视角等(闫曼娇、陈利根、兰民均,2022;牟新娣、李秀婷、董纪昌等,2020)。在模拟方法方面,SD模型和CA模型及其扩展模型均有涉及。但是,既有研究中,情景设置多为从社会、经济发展目标等的状态变量以及需求段的调控设置仿真情景(闫曼娇、陈利根、兰民均,2022),缺乏综合治理维度情景模拟的考量,难以为政策干预提供直接的参考依据。

二、基于 SDES 模型的城市住房复杂性系统研究框架

基于传统 SD 方法在治理维度的缺失与 SES 在定量模型上的不足,本文提出了“SD + SES”结合的“SDES”模型框架,进行复杂系统理论与方法模型的优化。

(一) SES + SD 模型相结合的意义

SES 框架是对具有排他性和竞争性的社会资源治理进行分析,从包含资源系统、资源单元、治理系统、参与者、行动情景、结果等多个维度要素分析框架对具体的治理行动情景进行梳理,以理清其中复杂的协调与治理过程。目前,它已被广泛应用于湿地系统、灌溉系统、小型渔场、生态系统服务、住宅园林景观、森林多功能等(Houballah, Cordonnier & Mathias, 2020)治理与可持续评价研究中。然而,SES 框架更多被用于挖掘影响因素和可持续发展状况评估,在复杂系统定量模拟研究应用中相对较为缺乏。

SD 模型是主要研究信息反馈系统,认识和解决具有高阶次、非线性、复杂时变特征的系统系统动态问题的模型(王其藩,2009),已被广泛应用于土地、能源、交通、建设等多个领域(Forrester, 1969)。SD 模型可以对城市复杂系统中各子系统、各类要素之间的复杂耦合关系进行梳理与分析,厘清相互之间复杂的作用关系并建构方程式进行预测。

研究将 SES 与 SD 模型相结合(图 1),可以将两者优势相结合,提出 SDES 模型框架。具体来说:利用 SES 框架从治理视角下挖掘城市系统的关键维度与要素之间内在逻辑,并通过定量模型模拟城市系统的动态演化趋势,以对不同治理情景下的社会经济环境绩效进行模拟仿真。

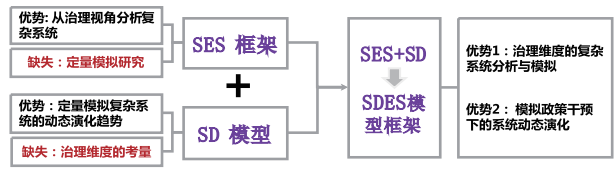


图 1 SDES 模型框架特征

(二) 城市住房系统 SES 框架

城市住房系统 SES 框架中(图 2),利益主体行为受不同维度系统要素的影响:(1)社会、经济系

统:是整个住房系统运行的重要背景因素。社会经济系统通过调整人口目标、就业岗位目标、一二三产业发展目标、人均 GDP 目标、财政支出等直接影响住房系统供给和需求。(2)资源系统:是住房系统的空间本底条件和供给端的重要组成部分。取决于土地、交通、公服、科创等子系统的状况,影响参与者的住房选择意愿。(3)流通住房:是指市场上可供选择的各种产权性质的住房,包括商品房、保障房、商改租、私房租赁等,是住房系统的关键输入产品与服务。(4)治理系统:是在特定社会-经济-政治背景下,政府或非政府组织、市场、公众等的行动准则或操作规则。治理系统包括自上而下的政府投资与政策干预、自下而上的组织或居民参与、市场作用及围绕住房系统所形成的规则等。(5)参与者系统:指与住房系统密切相关的各类利益群体,包括外来务工群体、科创群体、本地无房群体、有多余房屋群体,以及开发商群体。其中,无房群体对住房有刚性需求,多余房屋群体和开发商群体则是供给住房的主体。(6)相互作用→住房系统:互动情景是各维度要素之间对住房系统的干预/扰动力度。住房系统则是指反映住房市场运行状况的重要参数集合,如商品房价格、租赁住房租金、房租收入比、租赁住房供求比等,这些参数很大程度上反映了住房系统的状况。

图2 住房系统的 SES 框架

城市住房系统 SDES 模型框架如图 3 所示。首先,利用 SES 分析框架,围绕社会、经济、住房、交通、土地、公服、科创、治理以及参与者等不同维度要素,探明诸多要素之间的定量因果关系式。其次,构建自然发展情景下的 SD 模型,模拟预测现状延续情景下的住房系统演化趋势,其结果变化如图 3 中的 L 线。最后,设置 SES 治理情景下的住房系统预测情景。多利益主体的治理行动是影响城市住房系统状况的关键因素,因此,在对住房系统进行预测的过程中,可根据多元治理目标调控治理行为,模拟不同情景下的住房系统演化状况。当治理情景适应住房系统时,产生正向效应,有利于住房系统健康发展,如 L1 与 L 之间的距离 d1。反之将产生负面影响,如 L2 与 L 之间的距离 d2。

为了比较政策干预的成效,本文建构了城市住房系统的“成本-收益”分析框架(图4)。该框架的基本原理是:基于 SDES 模型,模拟住房系统收益变量(商品房价格、租赁住房租金、房租收入比、租赁住房供求比等)和成本变量(如政府投资、市场投资和社会投资等)的未来变化。在此基础上,通过定性、半定量或全定量的方法建立成本-收益四象限分类(图4),其中低成本-高收益的被认定为最佳情景,高成本-低收益被认定为最差情景,高成本-高收益、低成本-低收益被认定为一般情景,以此为城市住房系统政策调控提供决策依据。

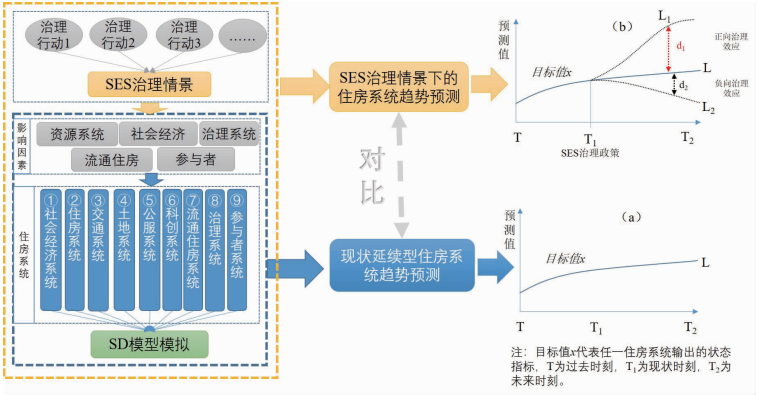


图3 城市住房系统 SDES 模型框架

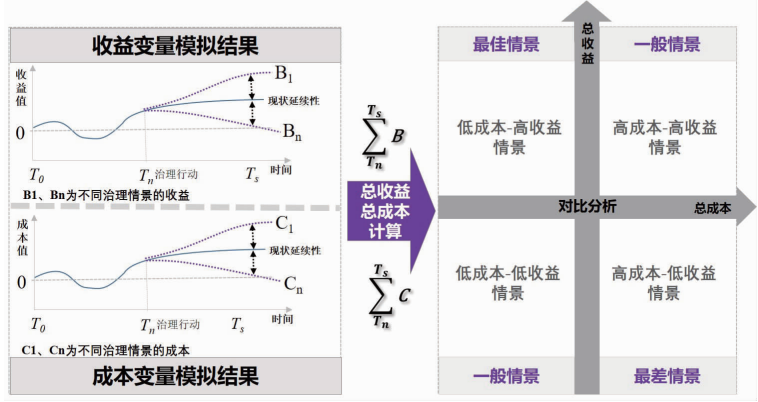


图4 城市住房系统成本收益分析框架

### 三、SDES 模型在北京住房复杂系统中的应用

近年来,随着住房问题的日益严峻与房地产引发的金融危机风险,党的十九大与二十大不断强调租购并举住房制度的重要性。2017 年以来,北京市政府一方面鼓励在集体土地上建设低成本的租赁住房(集租房),另一方面鼓励把低效的商办工业用房等改建为租赁住房。但经过几年的实践,效果并不尽如人意。例如,租赁住房供给的数量不足、区位不佳、多分布于偏远的郊区,导致通勤距离过长;成本回收期偏长、市场缺少热情等,而基层政府担心租赁住房发展会影响房价乃至本级土地财政收入。下文以租赁住房发展为重点,对北京住房市场未来的变化趋势进行模拟分析,以期对未来住房发展的政策优化提供决策参考。

#### (一) 研究方法与数据来源

本文主要采用 SDES 模型,利用 Vensim PLE 开展仿真模拟。研究使用 2009—2020 年数据资料,其中人口、社会、经济等数据来源于《北京统计年鉴(2010—2021 年)》,房价数据来源于安居客平台。新建租赁住房供给潜力与商改租赁住房供给增加潜力,采用清华大学建筑学院土地利用与住房政策研究中心“北京城乡土地利用与租赁住房发展系统平台”中的数据。

#### (二) 基于 SD 模型的北京住房系统的构建流程

SD 的构建是首先需要研究各个子系统之间的互动机制,加入关键要素后,通过因果关系图表现

出来。之后梳理系统的反馈结构,确定模型的变量和变量之间的方程关系,并将因果关系图转化为存量流量图,构建出初步的北京租赁住房模型。再通过历年数据设置和调整关键参数,使其适用于研究的对象和范围,同时具有较高的准确性,随后对模型的政策方案设定进行优化,对模拟结果进行分析。

（三）基于 SDES 的北京住房系统分析

模型并不能完全反映真实运行的复杂情况,要根据研究目标对指标和模型结构进行简化处理,忽略和剔除无关变量,保证模型能够有效运转。本研究中系统的边界定义为北京市住房、社会、经济 and 治理之间的作用影响,研究租赁住房的供给和需求变化趋势及对其他指标的影响。

反馈回路是系统动力学模型的基本构成单元,也是模型结构的核心。研究选择了三条与住房供需相关的关键反馈回路:

首先,GDP→固定资产投资→轨道交通投资→轨道交通运营情况→楼面地价→商品住宅价格→房价收入比→租赁住宅租金→科创群体房租收入比→创新实践水平→GDP。该回路是一条负反馈回路,租赁住房房租收入增加会逐离创新人才,不利于创新能力的提高,从而影响 GDP 增长;轨道交通建设与房地产业发展受限,最终使房租收入比回归较为合理的区间,体现了房租收入比与经济增长之间的互动关系。

其次,GDP→R&D 投入中的劳务费收入→科创群体收入水平→科创群体房租收入比→创新实践水平→GDP。这是一条正反馈回路,GDP 增长会增加 R&D 投入,提高科创群体的收入水平,有助于减少该群体的房租收入比和创新能力提升,最终使 GDP 增加,体现了创新水平与经济发展之间良性互动的规律。

再次,GDP→固定资产投资→固定资产资本存量→GDP。该回路是一条正反馈回路,经济发展过程中固定资产投资积累为资本存量,从而导致 GDP 进一步增长,符合有效投资扩大再生产对经济发展的促进作用。据此,建立以租赁住房为中心的北京 SD 模型因果关系图(图 5)。

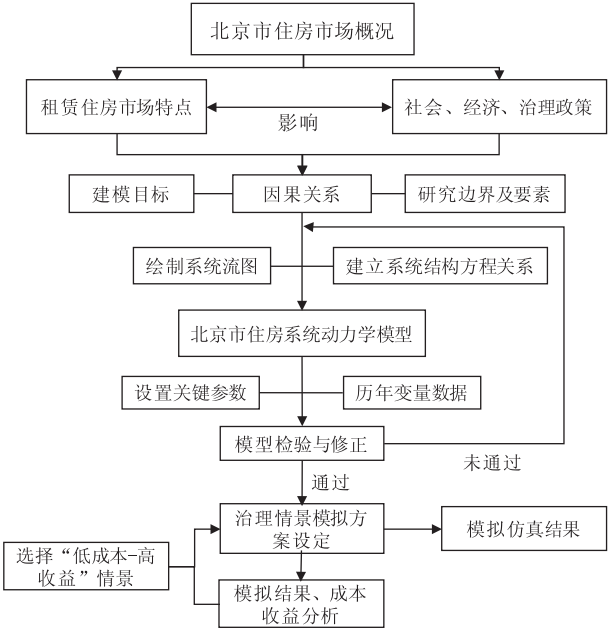


图 5 北京租赁住房 SD 模型因果关系图



对北京住房因果关系图中的变量类型进一步细分,加入相关变量进一步补充,可以得到 SD 模型系统流图(图 6)。模型中部分变量间的方程关系是固定的数量关系,可以直接写出系统方程式,有些变量之间没有直接的数量关系,则需要运用 SPSS 软件对历年数据进行回归分析得到<sup>①</sup>。

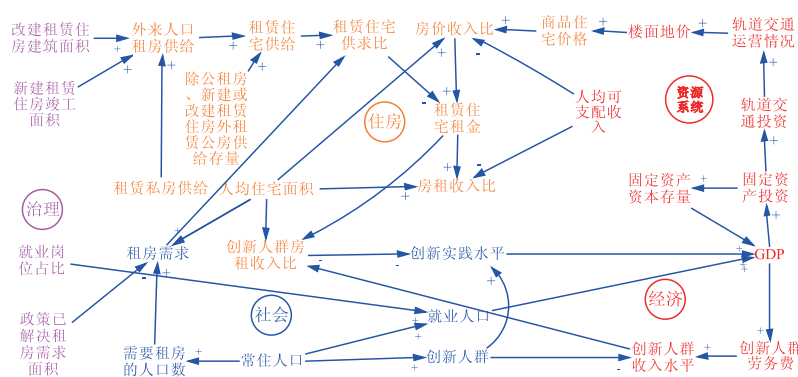


图 6 北京租赁住房 SD 模型系统流图

#### (四) 模型运行检验

为保证本研究所构建模型的真实性和有效性,需要对北京住房 SD 模型进行历史检验。模型的历史检验方法主要是判断仿真结果与历史数据的相对误差是否超过合理区间。如果误差在该区间内,则说明模型有效,能够较为准确地模拟研究对象的运行情况;否则要修改模型的结构或相关参数,直到通过历史模拟检验。相对误差的计算公式如下:

$$D_t = \frac{P_t - S_t}{S_t} \times 100\%$$

式中: $D_t$  为相对误差, $P_t$  为时间  $t$  下的模拟值, $S_t$  为时间  $t$  下的真实值。当  $D_t$  绝对值小于 10% 时,认为模型模拟结果较好,通过了历史检验。本研究以 2009 年为模型模拟起始年份,2009—2020 年为验证期,对模型中的 GDP、租赁住宅租金和 R&D 人员全时当量进行模型历史检验,检验结果见表 1 所示。模拟结果表明:该系统模型相对误差率不超过 10%,在误差允许范围内。这说明北京住房 SD 模型的模拟结果可靠,符合建模要求,可以用来模拟未来北京租赁住房市场的变化情况,能够

<sup>①</sup>GDP = (-1.20005 + 0.763695 \* LN(R&D 人员全时当量/10000)) \* 就业人口^0.151846 \* 固定资本存量^0.848154,单位:亿元;固定资本存量 = INTEG(固定资本资本增量 - 资本存量折旧量,19604.7),单位:亿元;固定资本资本增量 = 固定资产投资/固定资产投资价格指数,单位:亿元;固定资产投资价格指数 = 0.020342 \* Time - 39.692,单位:无量纲;资本存量折旧量 = 固定资本资本存量 \* 0.1096,单位:亿元;固定资产投资 = GDP \* 固定资产投资占 GDP 比例,单位:亿元;房价收入比 = 商品住宅价格 \* 人均住宅面积/人均可支配收入,单位:无量纲;商品住宅价格 = 商品住宅价格影响因子 \* 楼面地价 + 5931.3,单位:元/平;房租收入比 = 12 \* 租赁住宅租金 \* 人均住宅面积/人均可支配收入,单位:无量纲;租赁住宅租金 = (2.15124 \* 房价收入比 - 24.4215 \* 租赁住宅供求比 + 30.8715) \* 租金影响因子,单位:元/平方米 \* 月;租赁住房改建面积 = IF THEN ELSE(已改建租赁住房面积 + 商改租赁住房供给增加潜力 \* 改建租赁住房年改建比例 >= 商改租赁住房供给增加潜力,商改租赁住房供给增加潜力 \* 改建租赁住房年改建比例 - (已改建租赁住房面积 + 商改租赁住房供给增加潜力 \* 改建租赁住房年改建比例 - 商改租赁住房供给增加潜力),商改租赁住房供给增加潜力 \* 改建租赁住房年改建比例),单位:万平方米;商改租赁住房供给增加潜力 = 4.06 \* 50,单位:万平方米;已改建租赁住房面积 = INTEG(租赁住房改建面积,0),单位:万平方米;新建租赁住房竣工面积 = DELAY FIXED(租赁住房开工面积,3,0),单位:万平方米;租赁住房开工面积 = IF THEN ELSE(已开工租赁住房面积 + 新建租赁住房供给潜力 \* 新建租赁住房年供给比例 >= 新建租赁住房供给潜力,新建租赁住房供给潜力 \* 新建租赁住房年供给比例 - (已开工租赁住房面积 + 新建租赁住房供给潜力 \* 新建租赁住房年供给比例 - 新建租赁住房供给潜力),新建租赁住房供给潜力 \* 新建租赁住房年供给比例),单位:万平方米;新建租赁住房供给潜力 = 39.4 \* 50,单位:万平方米;R&D 人员 = 常住人口 \* R&D 人员占常住人口比例 \* 10000,单位:人;R&D 人员占常住人口比例 = 0.000708 \* Time - 1.40981,单位:无量纲;R&D 人员全时当量 = R&D 人员 \* R&D 人员转换全时当量系数,单位:人年;R&D 人员转换全时当量系数 = -1.23702 \* R&D 人员房租收入比 + 0.936546,单位:无量纲;R&D 人员劳务费增量 = IF THEN ELSE(GDP <= 15000,0.599421 \* GDP^1.36728,46.0164 \* GDP - 418490),单位:万元。

通过调节关键参数进行仿真模拟实验。

本研究以 2009 年为模型模拟起始年份,2009—2020 年为验证期,对模型中的 GDP、租赁住宅租金和 R&D 人员全时当量进行模型历史检验,检验结果见表 1 所示。所有相对误差率不超过 10%,在误差允许范围内,表明北京住房 SD 模型符合模型运行要求。

表 1 模拟结果统计与误差统计表

年份		2009	2012	2016	2020
GDP(亿元)	预测值	12379.6	17897.5	27179.8	37180.2
	真实值	12900.9	19024.7	27041.2	36102.6
	误差/%	-0.04	-0.06	0.01	0.03
租赁住宅租金 (元/平方米·月)	预测值	36.84	52.7469	74.442	81.8865
	真实值	36.80	53.55	71.96	87.87
	误差/%	0.00	-0.01	0.03	-0.07
R&D 人员全时当量 (人年)	预测值	176525	212879	261387	336825
	真实值	191779	235493	253337	336280
	误差/%	-0.08	-0.10	0.03	0.00
房价收入比	预测值	17.83	20.75	31.51	25.42
	真实值	17.69	21.89	32.56	24.82
	误差/%	0.01	-0.05	-0.03	0.02
轨道交通运营里程 (公里)	预测值	228	440.76	569.883	722.387
	真实值	228	442	574	727
	误差/%	0.00	0.00	-0.01	-0.01

(五) 治理情景模拟仿真

为了比较不同治理情景下北京住房改善的绩效,研究围绕租赁住房治理情景,从自上而下的政府干预、自下而上的市场投资和个体供应三方面设置了 5 种租赁住房治理情景,如图 7 所示。现状情景是未来北京住房市场按照 2020 年各指标的状况进行延续的场景,可以通过模拟较长时间段内关键指标的变化情况,来判断现有延续模式下未来北京住房市场的走向和趋势。其他 5 种租赁住房治理情景设置依据分别如下:

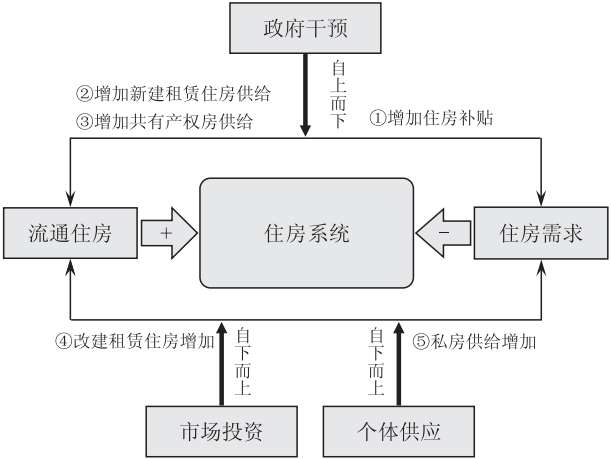


图 7 租赁住房治理情景设置依据

(1) 增加住房补贴情景:主要指对科创人才的住房补贴。(2) 增加新建租赁住房供给情景:包括新建公租房和集租房模式。(3) 增加共有产权房供给情景。(4) 改建租赁住房增加情景:积极利用各类闲置住房、商办用房,探索其改建为保障新租赁住房的途径,需要建立相应的情景进行分析。(5)



私房供给增加情景:主要指利用原有个人闲置住房扩大住房供应量。

为了获得单位治理力度变化所提升的绩效,以现状延续情景为参考,统一调整调控变量变化幅度为 30%。各情景中参与模拟调控的调控变量取值方案如表 2 所示。

表 2 调控变量取值方案表

利益主体	治理情景	调控变量	调控路径:现状值的基础上变化 30%
政府干预	增加住房补贴 增加新建租赁住房供给 增加共有产权房供给	科创人员住房补贴 新建租赁住房年供给比例 共有产权房竣工面积	2021 年后每年住房补贴增加 89 元/月 2021 年后每年供给比例为 0.0408576 2021 年后每年竣工面积为 171.73 万平方米
市场投资	改建租赁住房增加	改建租赁住房年供给比例	2021 年后每年改建比例为 0.115559
个体供应	私房供给增加	租赁私房供给增量	2021 年后每年租赁私房供给增量为 217.8878 万平方米

(六) 情景模拟变化趋势分析

选取住房系统中商品住宅价格、租赁住宅租金、房租收入比、房价收入比以及反映经济发展情况的 GDP 这五个指标来分析各个情景的模拟结果。模拟结果如图 8 所示。从各情景中指标的模拟结果看,房租收入比呈现下降趋势,租赁住宅供求比为上升趋势,租赁住宅租金总体为下降的趋势,GDP 呈稳定增长趋势,差异主要体现在变化幅度中。与现状延续情景相比,本研究设置的其余情景对商品住宅价格影响作用较小。

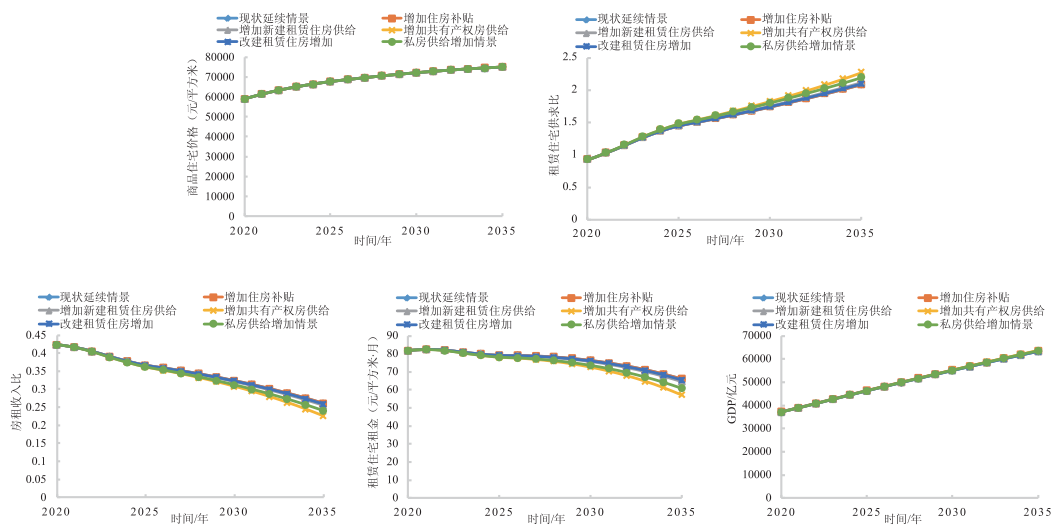


图 8 北京租赁住房系统模拟结果

表 3 展示了 2020—2035 年间各情景关键变量之间的变化差异。从 2020—2035 年四个指标的变化结果来看,现状延续情景 GDP、房租收入比、租赁住宅供求比、租赁住宅租金价格均有不同程度的改善。增加住房补贴情景下,除 GDP 相较现状延续情景略有增加外,其他三个指标变化情况与现状延续情景相近,原因是科创人员住房补贴范围较小,对租赁住房市场供求关系造成的影响也较弱。其余四个情景中,四指标均有不同程度的改善,相比现状延续情景有较大提升,改善了租赁住房供求关系。

从上述分析可知,调控变量调整的各个情景中,增加共有产权房供给情景与租赁私房供给增加情景的租赁住房市场情况较好,收益较高,但需要结合成本综合考虑。

表 3 不同情景下关键变量变化差异

对比项	现状延续	增加住房 补贴情景	增加新建租赁 住房供给情景	增加共有产权 房供给情景	改建租赁住房 增加情景	私房供给 增加情景
GDP(亿元)						
2020 现状值	36102.6	36102.6	36102.6	36102.6	36102.6	36102.6
2035 预测值	63260.4	63485.9	63328.4	63288.5	63686.6	63535.2
变化量	27157.8	27383.3	27225.8	27185.9	27584	27432.6
变化比例/%	75.22	75.85	75.41	75.30	76.40	75.99
比现状情景多变化量	—	225.50	68.00	28.10	426.20	274.80
比现状情景多变化量/%	—	0.83	0.25	0.10	1.57	1.01
房租收入比						
2020 现状值	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
2035 预测值	0.26	0.26	0.26	0.26	0.23	0.24
变化量	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19	-0.22	-0.21
变化比例/%	-42.03	-42.01	-43.29	-42.50	-49.82	-46.55
比现状情景多变化量	—	0.00	-0.01	0.00	-0.04	-0.02
比现状情景多变化量/%	—	-0.04	3.01	1.12	18.54	10.75
租赁住宅供求比						
2020 现状值	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
2035 预测值	2.08	2.08	2.11	2.09	2.27	2.19
变化量	1.29	1.29	1.32	1.30	1.48	1.40
变化比例/%	163.70	163.70	167.44	165.08	186.73	177.06
比现状情景多变化量	—	0.00	0.03	0.01	0.18	0.11
比现状情景多变化量/%	—	0.00	2.29	0.85	14.07	8.16
租赁住宅租金(元/平方米·月)						
2020 现状值	87.87	87.87	87.87	87.87	87.87	87.87
2035 预测值	66.07	66.09	64.63	65.54	57.19	60.92
变化量	-21.80	-21.78	-23.24	-22.33	-30.68	-26.95
变化比例/%	-24.81	-24.78	-26.45	-25.41	-34.91	-30.67
比现状情景多变化量	—	0.02	-1.44	-0.54	-8.88	-5.15
比现状情景多变化量/%	—	-0.10	6.62	2.46	40.74	23.63

(七) 成本收益对比分析

各个情景 2020—2035 年间的总收益可以用四个关键指标较现状延续情景的差值之和来表示,各二级情景较现状延续情景中,调控变量或其相关变量的变化量之和为治理投入的总成本。表 4 为 2020—2035 年与现状延续情景相比二级情景关键变量的总收益和总成本。从表中可以看出,治理力度每增加一个单位,增加新建租赁住房供给情景需要付出的成本是增加 9.287 万 m<sup>2</sup> 的租赁住房新建面积,折合成资金成本约 1.546 亿元,带来的收益有:GDP 增加 11.467 亿元、平均房租收入比下降 0.001、租赁住宅供求比提升 0.006、租赁住宅租金降低 -0.252 元/月 m<sup>2</sup>。私房供给增加情景的各项收益指标的收益均小于增加共有产权房供给情景,但单位治理力度下,其成本更低,说明在同等治理力度下,私房供给增加情景的性价比增加共有产权房供给情景更高。相较于现状延续情景,增加住房补贴情景能带来较多的 GDP 收入,但其对房租收入比、租赁住房供求基本没有影响,且政策成本是所有情景中相对较高的,政策成本最高的为增加共有产权房情景<sup>①</sup>。

<sup>①</sup>(1) $y_i = \sum_{t=2020}^{2035} y_i$  表示情景  $i$  在 2020—2035 年相对于现状延续情景的总收益或总成本, $x_{it}$  表示情景  $i$  在  $t$  年相对于现状延续情景的收益或成本。(2) $z_i = \frac{y_i}{\text{治理力度}}$ , $z_i$  是每一种情况下单位变化后的收益或成本。(3)不同情景成本价值汇算说明:新建租赁住房与共有产权房的财政补贴比例按照北京市当前占建造成本的(27%—47%)均值 37%,建造成本为 4500 元/m<sup>2</sup>,具体计算公式为:政府补贴 = 新建面积 × 4500 万元/m<sup>2</sup> × 0.37。私人租赁住房的财政补贴,按照《关于加快培育和发展住房租赁市场的若干意见》中“个人出租住房的,由按照 5% 的征收率减按 1.5% 计算缴纳增值税”进行计算,具体计算公式为:政府补贴 = 租赁私房面积 × 每平方米租金 × (5%—1.5%)。改建租赁住房的财政补贴,按照《北京市发展住房租赁市场专项资金管理暂行办法》中“改建租赁住房补助标准为使用面积 15 平方米以下的 1 万元/间”计算,具体计算公式为:政府补贴 = 改建面积 × 0.07 万元/m<sup>2</sup>。

表 4 与现状延续情景相比二级情景关键变量的总收益和总成本

类型	增加住房 补贴情景	增加新建租赁 住房供给情景	增加共有产权 房供给情景	改建租赁住房 增加情景	私房供给 增加情景
总收益					
GDP 总增加值(亿元)	2696.700	344.000	2298.800	172.300	1734.300
单位治理强度提升带来的 GDP 变化	89.890	11.467	76.627	5.743	57.810
平均房租收入比变化	0.001	-0.031	-0.198	-0.014	-0.139
单位治理强度提升带来的房租收入比变化	0.000	-0.001	-0.007	0.000	-0.005
平均租赁住宅供求比	0.000	0.167	1.065	0.076	0.754
单位治理强度提升带来的租赁住宅供求比变化	0.000	0.006	0.035	0.003	0.025
租赁住房平均月租金	0.173	-7.554	-47.547	-3.356	-33.132
单位治理强度提升带来的租赁住房租金变化 (元/月·m <sup>2</sup> )	0.006	-0.252	-1.585	-0.112	-1.104
成本					
成本类型	科创群体住 房额外补贴 (亿元)	增加租赁住房 开工面积 (万 m <sup>2</sup> )	共有产权房 竣工面积 (万 m <sup>2</sup> )	改建租赁住房 年供给 (万 m <sup>2</sup> )	私房供给 增量 (万 m <sup>2</sup> )
总成本	76.709	278.619	594.450	81.203	50.282
单位治理力度提升带来的总成本变化	2.557	9.287	19.815	2.707	1.676
折合人民币(亿元)	76.709	20.618	43.989	5.684	0.014
单位治理力度提升带来的财政补贴(亿元)	2.557	0.687	1.466	0.189	0.000

为了进一步识别不同情景的成本与综合收益特征,研究对收益和成本大小进行了排序。由于成本收益为一对多的关系,研究采用得分排序法进行优越性对比,即对收益按照高排序高得分的方法对不同情景打分(由高到低:5—1分),再对同一情景不同收益得分进行求和,最后根据总得分进行总收益排序(由高到低:1—5名)。收益成本比较结果见表 5,据此,可将不同情景分为以下 4 种类型:

表 5 二级情景成本收益排序

类型	增加住房 补贴情景	增加新建租赁住房 供给情景	增加共有产权房 供给情景	改建租赁住房 增加情景	私房供给 增加情景
各项收益排序打分					
GDP 总增加值	5	2	4	1	3
平均房租收入比变化	1	3	5	2	4
平均租赁住宅供求比	1	3	5	2	4
平均租赁住房租金	1	3	5	2	4
总收益得分	8	11	19	7	15
总收益排序	4	3	1	5	2
成本					
成本类型	增加住房 补贴情景	增加新建租赁住房 供给情景	增加共有产权房 供给情景	改建租赁住房 增加情景	私房供给 增加情景
总成本排序	1	3	2	4	5

(1)低成本-高收益情景:私房供给增加情景。成本几乎为 0,同时可获得相对较高的综合收益,被认定是最佳情景,现实中需要制定相关政策鼓励房东积极出租多余房屋。(2)高成本-高收益情景:增加共有产权房供给情景及新建租赁住房增加情景。主要是政府投入资金增加保障性住房建设,虽然能获得高收益,但也需要投入较多的财政补贴。(3)低成本-低收益情景:改建租赁住房增加情景。政府支付的财政补贴相对较低,但由于改建租赁住房的规模较小,效果相对有限。(4)高成本-低收益情景:增加住房补贴情景,该情景能带来较大的 GDP 收入,但对房租收入比、租赁住在供求比以及租金影响较小,综合绩效相对较小。

## 四、结 语

我们正处于一个日益变化与日渐复杂的世界。新技术新科技对生活与国家竞争力的影响、社会、经济与政治的碎片化与多元化……无一不影响着我们及我们所生活的城市。为了在后疫情时代加快经济复苏,如何在纷繁复杂的城市复杂性系统中,提炼影响城市问题的关键因素,据此对复杂系统的运行进行优化,为城市管理与决策提供参考,具有重要的理论与实践价值。本文在复杂性系统研究回顾与城市复杂性系统剖析的基础上,提出了建构 SDES 模型分析城市问题的路径,并以北京住房发展的模拟为例,以租赁住房发展为目标,对该模型的应用进行了验证。但是,该模型的应用也面临一些局限和约束,例如,历史数据的缺失导致模型中一些关键变量的缺失,如高学历人口的迁入迁出、拆迁户数等;其次,SDES 模型模拟的结果仍停留在总量和规模上,难以落实到城市规划管理所需的单元上。因此,还需要和 CA、ABM 等具有空间属性的模型相结合,以满足城市复杂性系统管理的需求,这是未来研究需要关注的方向。

### 参考文献:

- 段汉明、杨大伟,2007:《城市系统复杂性的数学描述初探》,《人文地理》第3期。
- 范冬萍,2020:《探索复杂性的系统哲学与系统思维》,《现代哲学》第4期。
- 刘小平、黎夏、艾彬等,2006:《基于多智能体的土地利用模拟与规划模型》,《地理学报》第10期。
- 牟新娣、李秀婷、董纪昌等,2020:《基于系统动力学的我国住房需求仿真研究》,《管理评论》第6期。
- 仇保兴,2016:《城市规划学新理性主义思想初探:复杂自适应系统(CAS)视角》,《南方建筑》第5期。
- 王其藩,2009:《系统动力学》(修订版),上海:上海财经大学出版社。
- 闫曼娇、陈利根、兰民均,2022:《供需系统视角下北京市集体土地建设租赁住房政策效果仿真研究》,《中国土地科学》第2期。
- 赵佳佳,2021:《当代科学主体认知范式的复杂性转向——基于埃德加·莫兰的复杂性思想》,《系统科学学报》第1期。
- 郑生钦、徐可,2018:《基于系统动力学的住房租赁市场多主体协同演化仿真分析》,《工程管理学报》第6期。
- Arthur, W. B., E. D. Beinhocker & A. Stanger (eds.), 2020, *Complexity Economics: Proceedings of the Santa Fe Institute's 2019 Fall Symposium* (Dialogues of the Applied Complexity Network I), Santa Fe, NM: The SFI Press.
- Arthur, W. B., 2021, "Foundations of complexity economics", *Nature Reviews Physics*, Vol. 3, No. 2, pp. 136 – 145.
- Batty, M., 2018, *Inventing Future Cities*, Cambridge MA: MIT press.
- Flood, R. L., 1987, "Complexity: A definition by construction of a conceptual framework", *Systems Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 177 – 185.
- Forrester J. W., 1969, *Urban Dynamics*, Cambridge MA: MIT Press.
- Gell-Mann, M., 1997, "The simple and the complex", in D. S. Alberts & T. J. Czerwinski (eds.), *Complexity, Global Politics, and National Security*, Washington, DC: National Defense University, pp. 3 – 28.
- Hidalgo C. A., 2021, Economic complexity theory and applications, *Nature Reviews Physics*, Vol. 3, No. 2, pp. 92 – 113.
- Holland, J. H., 1996, *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*, Cambridge, MA: Perseus Books.
- Hopkins, L. D., 2001, *Urban Development: The Logic of Making Plans*, Washington, DC: Island Press.
- Houballah, M., T. Cordonnier & J. Mathias, 2020, "Which infrastructures for which forest function? Analyzing multi-functionality through the social-ecological system framework", *Ecology and Society*, Vol. 25, No. 1, pp. 22 – 41.

- Jackson, M. C., 2016, *Systems Thinking: Creative Holism for Managers*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Kauffman, S. & S. Levin, 1987, "Towards a general theory of adaptive walks on rugged landscapes", *Journal of theoretical Biology*, Vol. 128, No. 1, pp. 11 – 45.
- Miller J. H. & Pagem S. E ., 2009, *Complex adaptive systems: An introduction to computational models of social life*, Princeton: Princeton University Press.
- Morin, E. & D. Bergadá, 1978, *El paradigma perdido: el paraiso olvidado*, Guatemala City: Kairós.
- Ostrom, E., 2009, "A general framework for analyzing sustainability of Social-Ecological Systems", *Science*, Vol. 325, No. 5939, pp. 419 – 422.
- Prigogine, I. & I. Stengers, 2018, *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, London: Verso Books.
- Watts, D. J., 2004, "The 'new' science of networks", *Annual Review of Sociology*, Vol. 30, pp. 243 – 270.

(责任编辑: 蒋永华)

## Optimization and Application of the Complex System Research

### Model from the Perspective of Urban Governance

TIAN Li, HUANG An, LI Yongfu

**Abstract:** Urban complex system has been characterized by the coupled relationships among multiple elements, and multi-dimension sub-systems; however, the application of urban complex system has many shortcomings. This paper begins with the origin, evolution of complex system research, and its application in social science and natural science fields. Then it deconstructs the elements of urban complex system, builds the SDES framework, a complex system framework of urban complex system simulation through linking system dynamic (SD) modelling and social-economic framework (SES). By taking Beijing housing system as a case, this research simulates the different governance scenarios of rental housing development through adopting the complex system. Moreover, it establishes a cost-benefit framework to identify the most cost-effective policies of increasing rental housing provision.

**Keywords:** complex system; system dynamics; social-ecological system; rental housing in Beijing; governance

**About the authors:** TIAN Li, PhD in land Economy, is Professor and PhD Supervisor at School of Architecture, Tsinghua University (Beijing 10084); Huang An, PhD in Land Resource Management, is associate Professor at School of Pubic Administration, Xi'an University of Architecture and Technology (Xi'an 710055); LI Yongfu, Corresponding Author, PhD in Urban Planning, is Professor and PhD Supervisor at Shanghai Academy of Fine Arts (Shanghai 200444).