

基于土地集约利用的长株潭城市群建设用地 供需仿真模拟

熊 鹰^{1,2}, 陈 云¹, 李静芝^{1,2}, 阎晓静¹

(1. 长沙理工大学建筑学院, 长沙 410114; 2. 长沙理工大学资源环境与城乡规划研究中心, 长沙 410114)

摘要: 土地集约利用反映了土地利用的综合状态,是协调土地供需平衡的重要指标。运用系统动力学(SD)构建城市建设用地供需反馈关系回路以及指标变量函数,在此基础上,建立长株潭城市群建设用地供需系统模型,仿真模拟低土地集约利用度、中等土地集约利用度、高土地集约利用度三种不同状态条件下,2016-2030年区域的建设用地、工业用地和居住用地供需变化趋势。结果表明:① 研究区用地规模仍处于扩张状态,城市建设用地数量增长速度总体较快。但三种发展状态下用地增长规模、速度存有差异;② 在低集约度模式下,建设用地规模及供地数量大,易造成土地资源的浪费;高集约度模式下,建设用地供给紧缩,用地规模增长缓慢,总规模偏小,不利于城镇化的良性发展;中等集约度模式则在用地规模和供给量上均与社会经济发展相适应,能体现现代城市发展理念;③ 工业用地占建设用地比例保持在15%~21%之间,其中低集约度模式下比例逐年上升,中等和高集约度模式下呈缓慢下降并趋于稳定之势;居住用地占建设用地的比例维持在27%~35%之间,其中低集约度和中等集约度模式用地占比呈下降趋势,高集约度模式比例总体维持在较高水平。研究通过对三种发展模式的设定,确定了不同指标在三种模式下的变化趋势,可为土地供需决策优化、城市建设规划及土地供给侧结构性改革提供科学参考。

关键词: 土地集约利用;建设用地供需;仿真模拟;系统动力学(SD);长株潭城市群

DOI: 10.11821/dlxb201803013

1 引言

土地集约利用与经济发展和城市规模紧密关联,是影响城市未来增长的重要要素。随着城镇化的快速发展,以“土地财政”和“土地引资”为核心动力的用地模式在带来经济增长“红利”的同时,城乡建设用地数量与规模呈现迅速增长之势^[1]。据研究显示,1980-2005年中国城市化率每提高一个百分点,新增建设用地为1004 km²;2006-2030年,城市化率每增加一个百分点,新增建设用地将达3460 km²,为前者的3.45倍。同时,受土地政策的调控,批地难度也将越来越大,土地供需矛盾及供地保障瓶颈凸显^[2]。

收稿日期: 2017-05-22; 修订日期: 2017-11-15

基金项目: 国家社会科学基金项目(15BJY051); 湖南省社会科学基金项目(16ZDB04, 13YBA016); 湖南省自然科学基金项目(2017JJ2264); 湖南省社会科学成果评审委员会课题(XSP18ZDI031); 湖南省国土科技计划项目(2014-13) [Foundation: National Social Science Foundation of China, No.15BJY051; Social Science Foundation of Hunan Province, No.16ZDB04, No.13YBA016; Natural Science Foundation of Hunan Province, No.2017JJ2264; Research Project of Appraisal Committee of Social Sciences Research Achievements of Hunan Province, No.XSP18ZDI031; Research Project of the Department of Land and Resource of Hunan Province, No.2014-13]

作者简介: 熊鹰(1977-), 男, 湖南汉寿人, 博士, 教授, 主要从事土地利用与城市扩张、城市与区域发展规划研究。

E-mail: csustxy@126.com

与欧美、日本等发达国家推行的土地集约利用城镇化模式相比,中国快速城镇化给土地利用带来一些较为突出的经济社会与生态问题。如城市开发中规划欠合理,部分城市边界无序扩张蔓延,用地效率低;优质耕地与生态用地被大量侵占,威胁区域耕地安全和生态安全^[3]。2013年12月,中央城镇化工作会议明确提升城镇土地利用效率是推进新型城镇化的主要内容,表明加强土地集约利用的重要性与紧迫性^[1]。因此,新型城镇化进程是否能引领土地利用趋于集约化和高效化,并通过集约化助推用地供需平衡是城镇化质量提升的关键。

近年来,土地集约利用成为城市土地利用变化研究的热点问题和重点领域^[4]。众多学者从不同专业视角、不同时空尺度,探讨了土地集约利用的内涵^[5-6]、综合测度^[7-8]、时空演化^[9-10]、驱动机制^[11-12]等;采用PSR模型^[13]、STIRPAT模型^[14]、GPCA方法^[15]、改进熵值模型^[16]、多边形图示法^[17]及应用RS^[18]等改进土地集约评价方法;探讨了城镇化进程与土地集约利用的协调性^[19]、产业结构演进对城镇土地集约利用影响^[20]、城市土地集约利用内部协调性的时空演变^[21]、新区建设与土地集约利用关系^[22]等,取得了众多丰富的成果。从系统角度看,城市土地利用与土地供需、土地优化配置及城市发展、城市扩张系统相互作用、相互影响,并具有内在的协调需求^[23-29]。由于土地供需直接受土地集约利用程度的影响,因此在推进城镇化过程中,协调处理土地集约利用与用地供需之间的关系,对城镇化目标能否如期实现具有重要意义,更关系到城镇化质量的提升。从研究现状看,结合土地集约利用程度,动态探讨与土地供需之间关系的研究较为不足,特别是开展城市建设用地供需仿真模拟与预测的研究更是不多。同时,在研究区域上,对于用地扩张迅速,且土地供需矛盾较为突出的城市群的研究较缺乏。本文以长株潭城市群为研究对象,运用系统动力学(Systems Dynamics, SD)建立区域建设用地供需关系仿真决策系统模型,探讨了在低土地集约利用度、中等土地集约利用度、高土地集约利用度等三种发展模式下的用地供需变化趋势,揭示两变量间的演化关系。通过模拟未来用地供需发展情景,以期为土地供需决策优化,协调推进城镇化及土地调控,推动土地资源供给侧结构性改革提供参考。

2 研究区域与研究方法

2.1 区域概况

长株潭城市群位于湖南省中东部,区位及交通条件良好,是湖南省城镇化和经济发展的核心地区、全国“两型”社会建设试验区(图1)。长株潭城市群土地面积2.8万km²,2016年总人口1449.95万人,城市化率66.8%,GDP13681.9亿元,占湖南省的43.8%。近年来,随着城镇化进程快速推进,该区土地开发强度加剧,用地规模及建成区面积不断扩大。据统计,2000-2014年长株潭城市群建成区面积扩张了1.2倍,期间市区用地规模增加了1096.67 km²。与此同时,城市郊区土地大量征用,当前人均耕地面积仅为0.0533 hm²/人,总体处于联合国粮农组织(FAO)确定的耕地面积警戒线,用地供需矛盾日益突出。

2.2 研究方法及数据来源

2.2.1 研究方法 中国人多地少的国情与快速发展的城市化决定了必须坚持集约利用土地^[21]。作为土地集约状况最直接体现的城市总体集约利用程度,可作为城市土地供给量的一个衡量指标,以此确定在多大程度上满足城市土地的需求。因此,土地集约度成为平衡土地供需矛盾的一个关键性指标^[30-31]。城市土地供需系统涉及资源环境、经济发展、

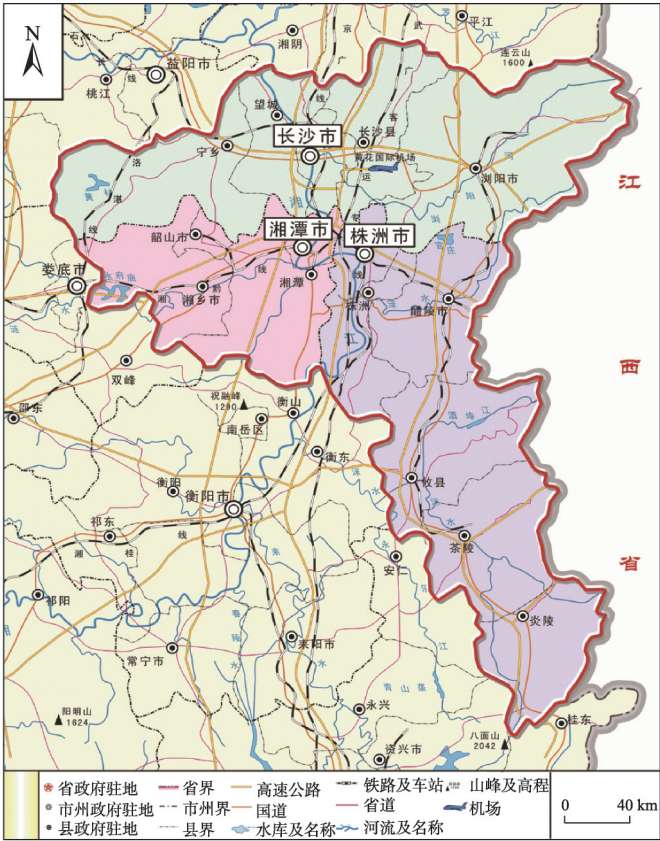


图1 长株潭城市群区域范围图

Fig. 1 Sketch map of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration

生产生活、政策制度等众多因素，且各因素之间存在着相互制约、相互作用、彼消此涨的复杂关系。常规的评价方法难以在整体上对用地供需系统的结构与功能特性进行全面充分的分析。为此，本文运用系统动力学原理及分析方法，通过构建用地供需系统要素间的反馈关系及仿真模型，分析土地集约利用与建设用地供需之间的内在关系，模拟预测不同土地集约利用水平下的用地指标变化趋势。

系统动力学（SD）是研究复杂时变系统的分析理论和方法，以反馈控制理论为基础，并通过计算机模拟分析要素间相互作用与影响下的系统状态变化趋势，适合于定量研究复杂系统随时间变化的问题^[32-33]。目前SD已广泛应用于社会、经济、环境、管理等复杂大系统的战略分析及优化决策。该方法解决问题可分为4个主要环节：①明确建模目的，划定系统边界；②确定反馈机制，开展系统结构分析；③构建因果关系，建立系统模型并根据模拟情况检验修改参数；④应用与优化决策实验。通过参数的调控，上机得到多种仿真结果，并进行方案比较分析。本文利用Vensim-PLE软件建立城市建设用地供需系统动力学仿真模型，在此基础上进行建用地供需动态模拟与预测。

1.2.2 数据来源 本文采用的各类城镇建设用地的面积、社会经济等数据来源于2001-2013年《中国城市建设统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《湖南省统计年鉴》、《长沙市统计年鉴》、《株洲市统计年鉴》、《湘潭市统计年鉴》，历年湖南省以及长沙、株洲、湘潭三市国民经济与社会发展统计公报，以及长沙、株洲和湘潭市城市总体规划、土地利用规

划、土地利用变更详查数据成果资料等。工业用地闲置率、居住用地闲置率、土地储备量等根据《湖南省国土资源节约集约考核报告》、《湖南省工业园区土地集约利用评价报告》、《长株潭城市扩张与用地变化动态监测报告》,以及长沙、株洲、湘潭三市建设用地供应、建设用地节约集约利用评价与闲置报告等资料^[29, 31, 34]整理计算获得。

3 长株潭城市群建设用地供需系统模型构建

3.1 系统空间边界

用地供需系统的空间边界为长株潭城市群市辖区,具体包括长沙市的芙蓉区、天心区、开福区、岳麓区、雨花区,株洲市天元区、芦淞区、荷塘区、石峰区,以及湘潭市雨湖区、岳塘区,共11个市辖区。时间界限以2000年为基准年,以2001-2013年相关数据拟合系统仿真方程,对2016-2030年建设用地、工业用地、居住用地供需进行仿真模拟预测,时间步长为1年。需要说明的是,在此时段内长株潭区域存在行政区划的调整,如2011年6月望城县调整为长沙市望城区,故行政区划调整后,均应将其纳入到研究范围。

3.2 系统建模指标与反馈关系

基于研究区域土地供需状况、社会经济发展等特征,在Vensim-PLE软件的支持下,构建城市建用地供需SD模型。仿真模型涉及的主要变量有:建设用地规模、建设用地供给量、建设用地理论需求量、工业用地规模、工业用地理论需求量、工业用地基础需求量、工业用地有效需求量、居住用地规模、居住用地理论需求量、居住用地基础需求量、居住用地有效需求量、人口、GDP、总体集约度、土地储备量、工业增加值、规模以上工业企业年度耗电量、规模以上工业企业数量、工业用地结构指数、人均住房面积、人均可支配收入、商品房销售价格、居住用地结构指数、工业用地闲置率、居住用地闲置率。需要说明的是,商品房销售价格、规模以上工业耗电量和规模以上企业数量虽不是直接的用地指标,但都间接反映用地规模,在一定程度上影响土地集约利用水平。如商品房价格的波动变化会直接影响地方政府对于土地政策的制定,进而影响居住用地的投放量(供给量),同时也在一定程度上刺激市场对于居住用地的需求期望。因此,商品房价格与土地供需存在较显著的关系。若供给与需求量不均衡,由此影响土地集约利用程度。规模以上工业耗电量作为经济运行的“晴雨表”、“风向标”,反映了规模工业经济发展的规模与效率,并与工业用地的需求变化存在一定的相关,其效率水平在一定程度上影响土地集约利用程度。规模以上工业企业数量的变化则在客观层面反映了工业用地的数量变化,其内在的供需状况在一定程度上影响土地集约利用程度。各指标变量的类型及说明如表1所示。

本文以土地供需为主线,并引入集约度作为衡量速率控制的指标^[30],以此调整土地供给量及各类型用地供给比例。通过系统动力学模型构建供、用、控三方面因素的反馈回路,并确定系统各要素相互作用与影响下的反馈方程,模拟预测城市用地供需的趋势。本文建立的SD模型如图2所示,共有3个反馈关系回路:①建设用地规模→建设用地理论需求量→建设用地供给量→建设用地规模;②工业用地规模→工业用地理论需求量→工业用地供给量→工业用地规模;③居住用地规模→居住用地理论需求量→居住用地供给量→居住用地规模。在反馈关系①中,以总体集约度和土地储备量作为控制建设用地供给量变化的指标,对建设用地这个一级土地市场的供需进行调节,在反馈关系②和③中,以工业用地和居住用地的结构指数和有效需求量对两者的供给量进行调节,以

表 1 土地供需系统建模指标变量

Tab. 1 Main indexes of land supply and demand system model

变量名称	变量类型	变量说明
建设用地规模	状态变量 Z_1	建设用地总量
工业用地规模	状态变量 Z_2	工业用地总量
居住用地规模	状态变量 Z_3	居住用地总量
建设用地理论需求量	辅助变量 F_1	城市发展对建设用地的理论需求
工业用地理论需求量	辅助变量 F_2	城市发展对工业用地的理论需求
居住用地理论需求量	辅助变量 F_3	城市发展对居住用地的理论需求
建设用地供给量	辅助变量 F_4	建设用地年增加量
工业用地供给量	辅助变量 F_5	工业用地年增加量
居住用地供给量	辅助变量 F_6	居住用地年增加量
建设用地基础需求量	辅助变量 F_7	当年建设用地理论需求量减去已有规模
工业用地基础需求量	辅助变量 F_8	当年工业用地理论需求量减去已有规模
居住用地基础需求量	辅助变量 F_9	当年居住用地理论需求量减去已有规模
工业用地有效需求量	辅助变量 F_{10}	工业用地基础需求量减去闲置量
居住用地有效需求量	辅助变量 F_{11}	居住用地基础需求量减去闲置量
人口	表函数 D_1	长株潭城市群各年人口数据
GDP	表函数 D_2	长株潭城市群各年 GDP 数据
总体集约度	表函数 D_3	各年城市土地利用总体集约度
土地储备量	表函数 D_4	各年度土地储备量
规模以上工业企业年度耗电量	表函数 D_5	各年度规模以上工业耗电量
规模以上工业企业数量	表函数 D_6	各年度规模以上工业企业数量
人均住房面积	表函数 D_7	各年度人均住房面积
工业产值	表函数 D_8	各年度工业产值
人均可支配收入	表函数 D_9	各年度人均可支配收入
商品房销售价格	表函数 D_{10}	各年度商品房销售价格
工业用地结构指数	表函数 D_{11}	工业用地占建设用地比例
居住用地结构指数	表函数 D_{12}	居住用地占建设用地比例
工业用地闲置率	表函数 D_{13}	各年度闲置工业用地占工业用地比例
居住用地闲置率	表函数 D_{14}	各年度闲置居住用地占居住用地比例

达到对二级土地市场供需的调控。

3.3 模型变量方程

模型变量方程的确立是模型构建的重要环节，本文主要通过数学统计分析、模拟假设的方法，并借助 SPSS 软件对变量之间进行回归分析以确定相关指标变量的系数。因篇幅有限，仅对 2001-2013 年长株潭城市群各年人口、GDP 和建设用地实际需求量等进行回归分析予以说明，其结果如表 2 所示。根据表 2 结果可得拟合方程为：

$$\text{建设用地理论需求量} = \text{人口} \times 1.567 + \text{GDP} \times 0.013 - 264.217$$

式中： R 表示相关系数； t 值表示对系数检验的结果。 $Sig.$ 代表 t 对系数检验的显著性，其 $R^2 = 0.994$ ，说明人口和 GDP 能够较准确的描述建设用地理论需求量。其他指标变量方程的确定与建设用地理论需求量、人口、GDP 三者的方程确定同理，其判定系数 R^2 均大于 0.95，因此各个自变量均能较好的解释相应的因变量。模型各指标变量方程如表 3 所示。

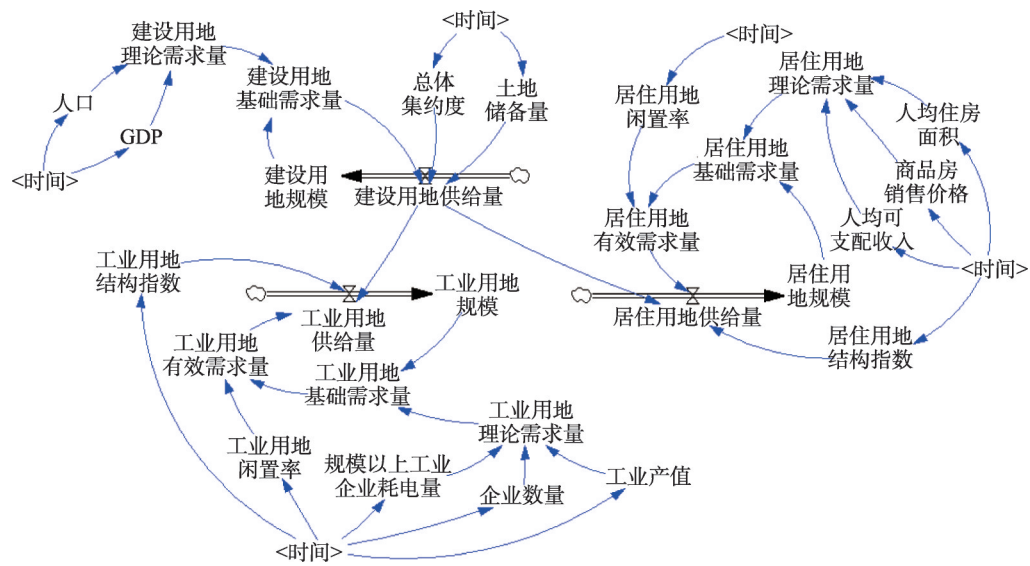


图2 城市建设用地供需关系系统动力学模型

Fig. 2 Dynamics model of urban construction land supply and demand system

3.4 系统仿真

在 Vensim-PLE 中运行构建的建设用地供需系统模型，其结果表明模型中设置的变量、要素间因果关系及变量方程表述均较合理。以 2000 年为基准年，仿真计算长株潭城市群 2001-2013 年的总人口、GDP、建设用地规模，模拟值与实际值的误差均小于 5%（表 4），符合仿真模拟的一致性检验要求。据此说明建立的系统动力学模型能较好地仿真模拟土地供需系统，且可信度较高。

表 2 人口、GDP 和建设用地实际需求回归分析结果
Tab. 2 Regression analysis results of population, GDP and actual demand for construction land

模型指标	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差			
(常量)	-264.217	81.619	-	-3.237	0.009
总人口	1.576	0.253	0.762	6.220	0.000
GDP	0.013	0.007	0.239	1.947	0.080

4 方案模拟与结果分析

4.1 方案模拟

为更加全面地了解不同发展模式下长株潭城市群城市建设用地的供需情况，根据控制变量的确定原则，对土地供需模型进行情景假设^[30, 34]。假设分别在三种不同集约度发展模式情景下研究土地供需的变化情况（表 5）：① 情景一，低集约度发展模式下，土地利用总体集约度处于低水平，并逐年下降，土地闲置率高，居住用地结构指数处于较低水平，工业用地指数上升，人均住房面积、规模以上工业耗电量、规模以上企业数量增长较快，而商品房销售价格和人均可支配收入增长较慢；② 情景二，中等集约度发展模式下，总体集约度处于中等水平并逐年上升，商品房销售价格、人均可支配收入相对于低集约度变化加快，城市土地闲置率呈下降趋势，工业用地结构指数保持现有水平，居住用地结构指数增加，其他各项指标变量相对于低集约度发展模式变化幅度放缓；③ 情景三，高集约度发展模式下，土地利用总体集约度较高并逐年上升，人均住房面积逐年下降，与前两者相比，土地闲置率处于最低，主要土地供应来自城市内部挖潜。商品房

表 3 模型各指标变量方程

Tab. 3 Variable equation of system model index

指标变量	方程表达
建设用地规模	状态变量 Z_1 =INTEG(建设用地供给量)
工业用地规模	状态变量 Z_2 =INTEG(工业用地供给量)
居住用地规模	状态变量 Z_3 =INTEG(居住用地供给量)
建设用地理论需求量	辅助变量 F_1 =人口 \times 1.576+GDP \times 0.013-264.217
工业用地理论需求量	辅助变量 F_2 =工业产值 \times 0.0053+规模以上工业耗电量 \times 0.416+规模以上工业企业数量 \times 0.0027+32.015
居住用地理论需求量	辅助变量 F_3 =商品房销售价格 \times 0.044-人均可支配收入 \times 0.004+人均居住面积 \times 3.387-73.844
建设用地供给量	辅助变量 F_4 =IF THEN ELSE(土地储备量 \times 0.6-建设用地基础需求量 \times 1.5(1-总体集约度) 0, 建设用地基础需求量 \times 1.5(1-总体集约度), 土地储备量 \times 0.6)
工业用地供给量	辅助变量 F_5 =IF THEN ELSE(1.3 \times 建设用地供给量 \times 工业用地结构指数-工业用地有效需求量 \geq 0, 工业用地有效需求量, 1.3 \times 建设用地供给量 \times 工业用地结构指数)
居住用地供给量	辅助变量 F_6 =IF THEN ELSE(1.5 \times 建设用地供给量 \times 居住用地结构指数-居住用地有效需求量 \geq 0, 居住用地有效需求量, 1.5 \times 建设用地供给量 \times 居住用地结构指数)
建设用地基础需求量	辅助变量 F_7 =当年建设用地理论需求量-当年建设用地规模量
工业用地基础需求量	辅助变量 F_8 =当年工业用地理论需求量-当年工业用地规模量
居住用地基础需求量	辅助变量 F_9 =当年居住用地理论需求量-当年居住用地规模量
工业用地有效需求量	辅助变量 F_{10} =当年工业用地基础需求量 \times (1-当年工业用地闲置率)
居住用地有效需求量	辅助变量 F_{11} =当年居住用地基础需求量 \times (1-当年居住用地闲置率)

注：其他指标，人口、GDP、总体集约度、土地储备量、工业增加值、规模以上工业企业年度耗电量、规模以上工业企业数量、工业用地结构指数、人均住房面积、人均可支配收入、商品房销售价格、居住用地结构指数、工业用地闲置率、居住用地闲置率为表函数。

表 4 长株潭城市群用地供需系统模拟值与实际值对比表

Tab. 4 Simulation data and statistic data of land supply and demand system in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration

年份	总人口(10 ⁴ 人)			GDP(10 ⁸ 元)			工业增加值(10 ⁸ 元)			建设用地规模(km ²)		
	实际值	仿真值	误差(%)	实际值	仿真值	误差(%)	实际值	仿真值	误差(%)	实际值	仿真值	误差(%)
2001	324.94	324.94	0.00	759.36	759.36	0.00	267.03	267.03	0.00	255.07	255.07	0.00
2002	328.80	335.41	1.97	830.85	860.33	3.43	293.25	304.96	3.84	268.81	272.75	1.47
2003	339.20	344.62	1.57	900.23	884.38	1.79	312.30	314.79	0.79	287.01	290.81	1.32
2004	349.93	352.06	0.61	1104.15	1062.33	3.94	362.60	345.96	4.81	300.22	303.36	1.05
2005	361.00	359.31	0.47	1349.64	1346.61	0.23	421.74	404.36	4.30	314.05	317.31	1.04
2006	372.42	365.93	1.77	1645.18	1591.93	3.35	524.14	503.18	4.17	337.74	331.93	1.72
2007	384.19	370.27	3.76	1953.97	1886.14	3.60	699.25	725.90	3.67	356.55	351.40	1.44
2008	396.34	386.06	2.66	2429.29	2486.22	2.29	881.82	906.61	2.73	386.07	379.91	1.60
2009	408.88	409.72	0.20	2994.94	3144.80	4.77	1212.15	1204.76	0.61	423.04	417.31	1.35
2010	421.81	433.63	2.73	3565.72	3695.42	3.51	1496.52	1458.41	2.61	468.25	461.36	1.47
2011	435.15	447.15	2.68	4513.05	4700.14	3.98	1947.60	2012.52	3.23	496.30	495.61	0.14
2012	448.91	448.52	0.09	5112.73	5308.80	3.69	2281.05	2259.65	0.95	514.47	505.78	1.69
2013	463.11	457.92	1.13	5895.84	5921.24	0.43	2416.18	2442.67	1.08	523.12	516.32	1.30

表5 长株潭城市群2016-2030年不同模拟预测情景参数设计

Tab. 5 Main prediction indexes in Changsha- Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration from2016 to 2030			
参数名称	低集约度发展模式	中等集约度发展模式	高集约度发展模式
总体集约度	介于[0, 25], 并假定其逐年下降并趋于平稳	介于(25, 75], 并假定其逐年上升后趋于平稳	介于(75, 100], 并假定其逐年上升并趋于平稳
人口	结果见表6预测值	结果见表6预测值	结果见表6预测值
GDP	结果见表6预测值	结果见表6预测值	结果见表6预测值
工业增加值	结果见表6预测值	结果见表6预测值	结果见表6预测值
土地储备量	年均下降1.5%	年均下降1%	年均下降0.8%
居住用地闲置率	3%~5%	2%~3%	<1%
人均住房面积	年均增长2.5%	年均增长1.5%	年均下降2%
商品房销售价格	年均增长2.5%	年均增长5%	年均增长8%
人均可支配收入	年均增长4%	年均增长7%	年均增长10%
居住用地结构指数	介于[0.20, 0.26]	介于(0.26, 0.32]	介于(0.32, 0.40]
工业用地闲置率	年均增长2%	年均下降1%	年均下降3%
规模以上工业耗电量	年均增长7%	年均增长3%	年均增长1%
工业企业数量	年均增长4%	年均增长2%	年均增长1%
工业用地结构指数	年均增长2%	保持现有水平	年均下降1%

销售价格、人均可支配收入增长速度最快，居住用地结构指数最大，工业用地结构指数下降较快，规模以上企业数量和年度耗电量变化速度均较小。

4.2 结果分析

根据上述模拟预测情景设计所确立指标的参数，计算出2016-2030年各个指标的值得（表6），并将其以表函数的形式输入系统动力学反馈系统。在 Vensim PLE 软件所建立的模型中，运行仿真模拟模型，得到不同集约发展模式与土地供需关系情景下，建设用地规模、工业用地规模、居住用地规模、建设用地供给量、工业用地供给量、居住用地供给量等预测结果。

4.2.1 不同发展模式下建设用地供需关系分析 （1）建设用地规模预测。不同发展模式下建设用地规模预测结果如图3所示。在三种集约水平发展模式下，2030年城市的建设用地规模分别为 1003.05 km²、959.15 km²、769.96 km²。其中，低集约度发展模式和中等集约度发展模式建设用地规模呈现出近似线性的增长趋势，年均用地增长率分别达4.2%和3.7%。高集约度发展模式下，建设用地规模增长较慢，年均用地增长率为2.3%，且在后期用地规模增长明显减缓。

表6 长株潭城市群人口、GDP及工业增加值预测值
Tab. 6 Forecast of population, GDP and industrial output value of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration from 2016 to 2030

年份	人口(10 ⁴)	GDP(10 ⁸ 元)	工业增加值(10 ⁸ 元)
2016	493.33	7639.87	3003.56
2017	505.09	8258.70	3195.79
2018	516.84	8886.36	3397.13
2019	528.60	9499.52	3597.56
2020	540.35	10116.99	3802.62
2021	552.10	10744.24	4004.16
2022	563.86	11388.90	4204.36
2023	575.61	12060.84	4410.38
2024	587.37	12748.31	4617.66
2025	599.12	13462.22	4820.84
2026	610.87	14202.64	5008.85
2027	622.63	14955.38	5194.18
2028	634.38	15703.15	5386.37
2029	646.14	16425.49	5574.89
2030	657.89	17131.79	5758.86

(2) 建设用地供给量预测。不同发展模式下建设用地供给变化情况分别如图4、图5、图6所示。建设用地供给量从小到大依次高集约度发展模式、中等集约度发展模式及低集约度发展模式。其中,低集约度模式和中等集约度发展模式下,建设用地供给量相对稳定,而高集约度发展模式供给量呈现出逐年下降趋势。

(3) 不同发展模式下集约度与供需关系分析。为便于分析并直观反映集约度与建设用地供需两者变化关系,对集约度和供给占需求的比例运用极值法进行无量纲化处理。在低集约度发展模式下,城市建设用地的需求量不断增加,土地的供给量产生较大的增量,且供给量占需求的比例不断增大,表明供给能够满足当前的需求量,建设用地规模呈现较快的增长。低集约度发展模式下集约度与用地供需关系如图4所示。在此发展模式下,土地供给量随需求的增加呈现不断的增长,但土地集约利用程度不断下降。这反映出该发展模式指引的土地利用方式较为粗放,土地利用效率不高,且易造成土地供给的浪费,土地利用实际的有效需求较低。在土地资源有限的情况下这种发展模式导致建设用地摊大饼式的扩张,不利于建设用地规模的控制。

中等集约度发展模式下集约度与土地供需变化关系如图5所示。在此发展模式下,城市内部的建设用地利用效率不断提高,建设用地需求量是实际需求的体现。从图5可知,供给量占需求量的比例总体呈下降趋势,说明在这种模式下,建设用地的有效需求量控制在较小范围内,用地规模在供给源头方面得到有效的控制,土地供给量基本满足城市建设用地的需求。因此,在这种集约发展模式下,城市用地总的需求量控制在较合理的范围内,城市建设用地规模保持在较平稳的水平,不会导致其迅速

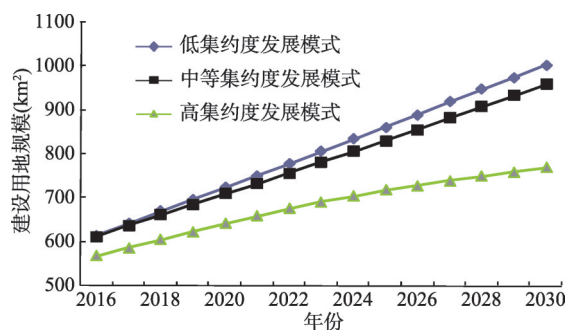


图3 不同发展模式下建设用地规模

Fig. 3 Construction land scale under various intensity modes

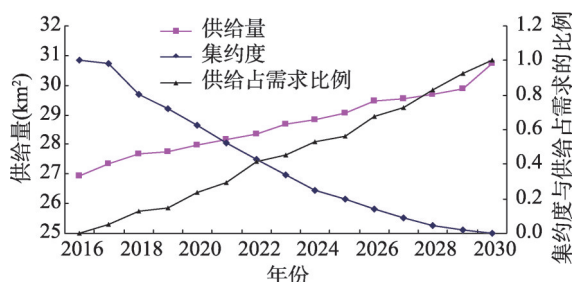


图4 低集约度发展模式下集约度与土地供需变化关系

Fig. 4 The relationship between land supply and demand under the low intensity mode

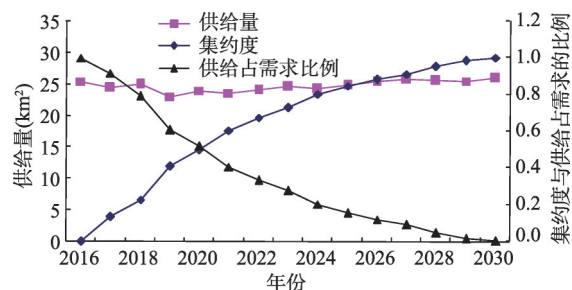


图5 中等集约度发展模式下集约度与土地供需变化关系

Fig. 5 The relationship between land supply and demand under the medium intensity mode

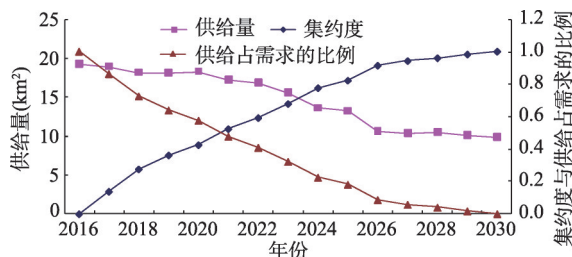


图6 高集约度发展模式下集约度与土地供需变化关系

Fig. 6 The relationship between land supply and demand under the higher intensity mode

扩张,其规模总体得到规范控制,且土地利用效率水平和合理化不断提高。

高集约度发展模式下集约度与土地供需变化关系如图6所示。在此发展模式下,供给量占需求量的比例呈逐渐下降趋势,用地规模将表现为缓慢增长。究其原因在于土地的供给量紧缩。虽然在该发展模式下,土地供给量与建设用地的有效需求量维持基本平衡,但在城镇人口保持快速增长的状况下,人均建设用地面积将呈不断减少趋势。这一趋紧现象不利于城市的发展及城镇化的推进,也不利于城乡一体化的协调发展。

4.2.2 不同发展模式下工业用地供需分析 (1) 工业用地规模预测。不同发展模式下工业用地规模预测结果如图7所示。在低集约度发展模式下,工业用地规模呈现出较快增长,且增长速度有逐渐加快的趋势,到2030年工业用地规模达到209.67 km²。而在中等和高集约度发展模式下,工业用地规模增长缓慢,到2030年工业用地规模分别为142.72 km²、120.68 km²。由于在低集约度发展模式下,工业用地结构指数呈年均2%的增长之势,且对工业用地占城市用地比例变化的影响较大,从而导致在此模式下工业用地规模的快速增长。

(2) 工业用地供给量预测分析。长株潭城市群工业用地2016-2030年供给量预测结果如图7所示。在低集约度发展模式下,工业用地供给量逐年快速增加,到后期增长态势趋于平缓。究其原因在于工业用地规模与工业耗电量、工业企业数量的增长密切相关。但随着社会经济的发展,城市对土地利用效率具有较高的要求,而非盲目的规模扩张。在高集约度发展与中等集约度发展模式下,长株潭城市群工业用地的供给量均呈现较为平缓的增长趋势,但总体规模上前者的供给量要较后者发展模式的供给量小。

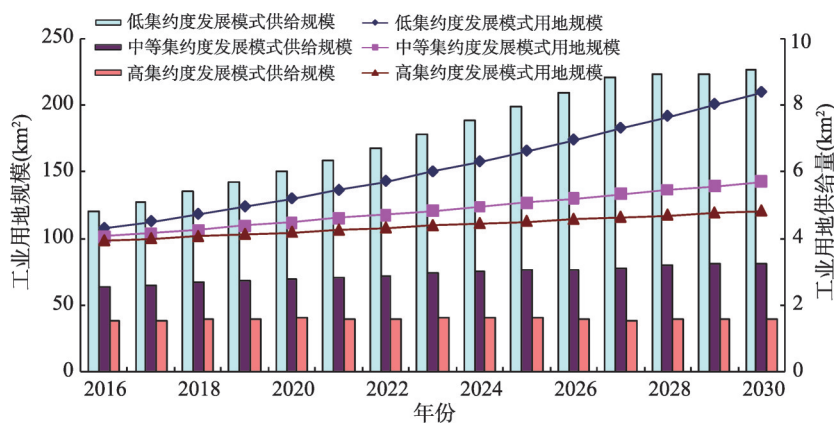


图7 不同发展模式下工业用地规模变化

Fig. 7 Industrial land scale under various intensity modes

(3) 工业用地占建设用地比例分析。在三种发展模式下,工业用地规模占建设用地规模比例如图8所示。工业用地规模占建设用地规模比例基本保持在15%~23%之间,其中低集约度发展模式下工业用地规模占建设用地规模比例逐年上升,而中等集约度和高集约度发展模式下该比例则缓慢下降并趋于稳定。在低集约度情景下,建设用地供给量较大,工业用地需求持续增加,建设用地分流至工业用地较多,最后工业用地所占比例也相对较大(22.89%);而在中等集约度和高集约度发展模式下,用地得到一定的控制,特别是在高集约度发展模式下,用地的规模将受到严格的控制,导致工业用地比例相对较低。

4.2.3 不同集约发展模式下居住用地预测分析 (1) 居住用地规模预测。不同发展模式

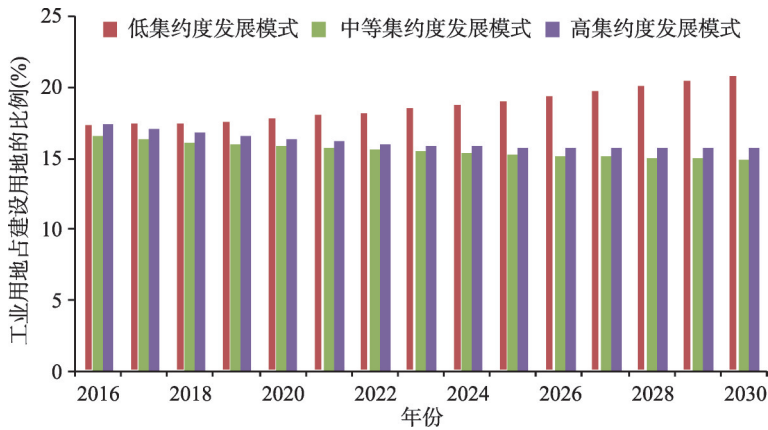


图8 不同土地集约发展模式下工业用地占建设用地的比重

Fig. 8 The proportion of industrial land to construction land under different intensity modes

下居住用地规模预测如图9所示。居住用地规模在低集约度发展模式下增长较快,用地规模较大;中等集约度发展模式随着时间的发展,居住用地规模增长趋缓;在高集约度发展模式下,居住用地规模较前两者始终处于较低水平,并且在后期出现增长减缓的趋势。在2030年,三种发展模式下居住用地规模分别为292.11 km²、266.99 km²、262.26 km²。

(2) 居住用地供给量预测。不同发展模式居住用地供给量预测如图9所示。从居住用地供给量变化曲线图中可以发现,低集约度发展模式下供给量仍然比其他两种发展模式下要大,且供给量较为平稳,导致居住用地规模相对较大。在中等集约度发展和高集约度发展模式下,居住用地供给量均呈明显的减少趋势。但在居住用地总规模上,中等集约度发展模式仍然要高于低集约度发展模式。其原因在于,随着集约度的不断增加,城市建设用地的总供给量不断减少,进而导致配置于居住用地的份额相应减少。

(3) 居住用地规模占建设用地规模比例分析。居住用地规模占建设用地规模比例如图10所示,居住用地占建设用地的比例维持在27%~35%之间,其中低集约度发展模式和

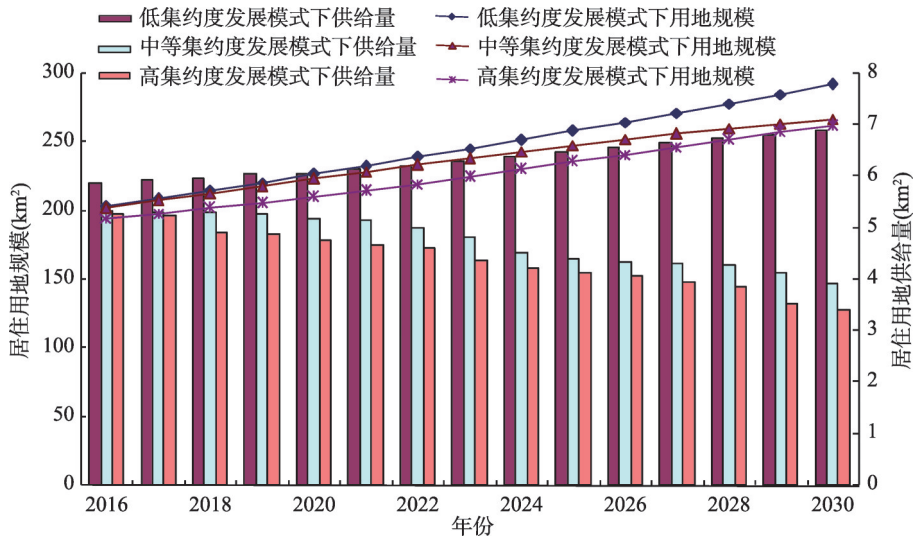


图9 不同发展模式下居住用地规模变化

Fig. 9 Residential land scale under different intensity modes

中等集约度发展模式用地占比略有下降,高集约度发展模式居住用地比例基本维持在较高水平。这是由于在低集约度和中等集约度发展模式下,城市土地的供给量产生较大的增量,土地供给量充足,建设用地规模相对较大,由此居住用地占总建设用地的比例相对较小;而在高集约度发展模式下,一方面土地供给量受到限制,以此控制建设用地总量规模。另一方面,集约程度过高,导致高人口密度,市民对住宅的需求量增加。在此情景下,居住用地占总建设用地的比例相对较高。但在居住用地总量上,要低于低集约度发展模式和中等集约度发展模式的用地水平。

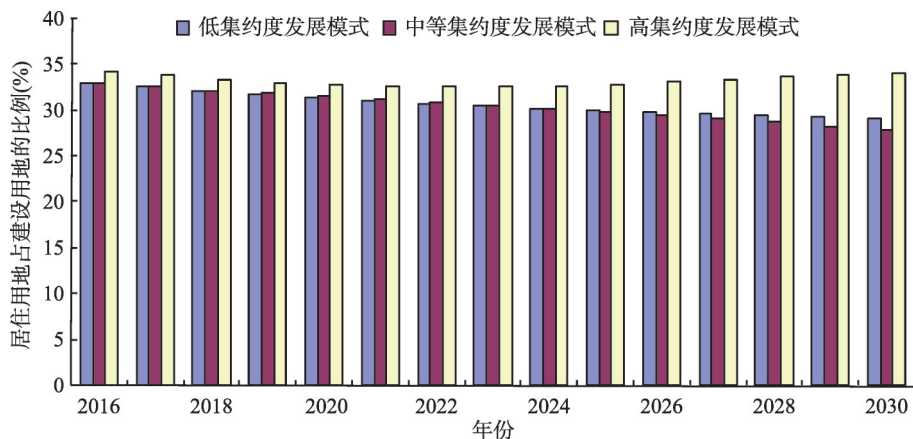


图10 不同集约发展模式下居住用地占建设用地的比重

Fig. 10 The proportion of residential land under various intensity modes

5 结论与讨论

5.1 结论

提高城市土地集约利用水平是实现土地供需平衡以及提升城镇化质量的关键要素,开展土地供需仿真模拟研究其实质探讨的是土地资源供给侧结构改革的问题,以此推动经济社会发展与土地资源集约节约利用、高效利用相协调。本文从土地供需矛盾这一复杂问题着手,运用系统动力学分析复杂问题的优点,对长株潭城市群建设用地供需形势进行仿真模拟研究。通过建立土地供需系统模型,预测2016-2030年区域在低集约度、中等集约度和高集约度三种发展模式下建设用地、工业用地与居住用地供需情景与变化趋势。

(1) 长株潭城市群用地规模处于扩张状态,城市建设用地数量增长速度总体较快,但3种发展模式下用地增长规模、速度存有差异。在低集约度、中等集约度和高集约度3种发展模式下,2030年研究区城市建设用地规模分别为1003.05 km²、959.15 km²、769.96 km²。其中,低集约度发展模式和中等集约度发展模式建设用地规模呈现出近似线性的增长趋势,年均用地增长率分别达4.2%和3.7%。高集约度发展模式下,建设用地规模增长较慢,年均用地增长率为2.3%,且在研究后期用地规模增长明显减缓。

(2) 不同发展模式下集约度与建设用地供需关系分析表明,在低集约度发展模式下,土地供给量产生较大的增量,但用地集约利用水平不断降低。这种发展模式下,土地的实际有效需求很低,城市用地规模会盲目扩张,易发生“摊大饼”式的发展,对土地资源造成浪费,不利于合理地控制城市建设用地的规模。在高集约度发展模式下,城

市总体用地供给紧缩,供给量占需求量的比例呈逐渐下降趋势,用地规模增长缓慢,总规模偏小,与快速城镇化发展的实际不符,不利于城市社会经济的良性发展。中等集约度发展模式则在用地规模和供给量上均与城市经济社会发展相适应,城市内部的建设用地利用效率不断提高,建设用地需求量是实际需求的体现,用地规模在供给源头方面得到有效的控制,因此更能体现现代城市发展理念。

(3) 工业用地呈增长的趋势,其中在低集约度发展模式下用地规模最大,增速最快,且工业用地供给量成逐年增加的趋势,到后期增长态势趋于平缓。究其原因在于工业用地规模与工业耗电量、工业企业数量的增长密切相关。在中等与高集约度发展模式下,工业用地的供给量增长趋于平缓,但总体规模上高集约度发展模式的供给量小于中等集约度发展模式的供给量。工业用地规模占建设用地规模比例基本保持在15%~23%之间,其中低集约度发展模式下工业用地规模占建设用地规模比例逐年上升,而中等集约度和高集约度发展模式下该比例则缓慢下降并趋于稳定。

(4) 居住用地在低集约度发展模式下增长较快,用地规模较大;中等集约度发展模式下,居住用地规模增长趋缓;而高集约度发展模式下,居住用地规模较前两者始终处于较低水平。在供给量上,低集约度发展模式下较其他两种发展模式的大。居住用地占建设用地的比例维持在27%~35%之间,其中低集约度发展模式和中等集约度发展模式用地占比略有下降,高集约度发展模式的居住用地比例基本维持在较高水平。其原因一方面土地供给量受到限制,由此控制建设用地总量规模;另一方面,集约程度过高,导致高人口密度,市民对住宅的需求量增加。在此情景下,居住用地占总建设用地的比例相对较高。但总量上,要低于前两种发展模式的规模水平。

5.2 讨论

(1) 城市土地供需系统涉及资源环境、经济发展、生产生活、政策制度等众多因素,且各因素之间存在着相互制约、相互作用、彼此消涨的影响关系。运用系统动力学方法对土地资源供需平衡状态进行动态系统分析,可以弥补以往静态分析中相关因素分离的缺陷,便于描绘不同方案下土地供需系统的变化趋势。通过模拟城市建设用地供需变化关系的影响指标,管理部门可依据不同指标的设置观察土地市场可能出现的用地供需状况,评判分析用地供需矛盾问题的原因,以此提出符合本区域科学、合理的土地调控与配置方案,促进土地资源节约集约利用,建设资源节约型社会,推动经济社会发展与土地资源承载能力相协调,保障经济社会平稳较快发展。

(2) 由于土地供需系统的复杂性,借助系统动力学理论方法,从土地集约利用的视角研究城市土地供需系统的仿真模拟与协调性还处于探索阶段,在指标体系构建、模型构建、方案模拟等方面难免存在不足和缺陷。如长株潭城市群的发展已经由外延扩张为主转向外延扩张与内涵发展相结合发展的阶段,从发展的驱动力来看,第三产业发展、生态建设及房地产调控对区域与城市用地的驱动作用正在增强。在仿真模拟的建模指标选择、动力学模型构建及参数确定时,还应该充分考虑到这些变化的影响。城市化的速度与质量、城市发展定位、土地生态政策与用地供需之间的关联与影响机制有待加强分析。另外,受资料获取的限制影响,部分指标如工业用地闲置率、居住用地闲置率等有些年份的数据为计算加工而成,同时统计指标口径的变化及行政区划的调整,在一定程度上影响分析结果的精确度。因此,仿真建模指标的选取以及模型的构建还有待优化,土地集约利用与土地供需关系的作用机理、土地资源空间配置及城市群内部用地空间关系等问题还有待更深入的研究。

参考文献(References)

- [1] Peng Chong, Chen Leyi, Han Feng. The analysis of new-type urbanization and the intensive urban land use: Spatial-temporal evolution and their relationship. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 2005-2020. [彭冲, 陈乐一, 韩峰. 新型城镇化与土地集约利用的时空演变及关系. *地理研究*, 2014, 33(11): 2005-2020.]
- [2] Fang Chuanglin, Ma Haitao. New city district development and intensive land use in the context of new-type urbanization. *China Land Sciences*, 2013, 27(7): 4-9. [方创琳, 马海涛. 新型城镇化背景下中国的新区建设与土地集约利用. *中国土地科学*, 2013, 27(7): 4-9.]
- [3] He Ping, Ni Ping. Study on the quality of China's urbanization. *Statistical Research*, 2013, 30(6): 11-18. [何平, 倪萍. 中国城镇化质量研究. *统计研究*, 2013, 30(6): 11-18.]
- [4] Zhao Xiaofeng, Huang Xianjin, Chen Yi, et al. Research progress in urban land intensive use. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(11): 1979-1996. [赵小凤, 黄贤金, 陈逸, 等. 城市土地集约利用研究进展. *自然资源学报*, 2010, 25(11): 1979-1996.]
- [5] Xie Min, Hao Jinmin, Ding Zhongyi, et al. Study on connotation of intensified urban land use and its evaluation index. *Journal of China Agricultural University*, 2006, 11(5): 117-120. [谢敏, 郝晋珉, 丁忠义, 等. 城市土地集约利用内涵及其评价指标体系研究. *中国农业大学学报*, 2006, 11(5): 117-120.]
- [6] Yang Shuhai. Connotation of intensive use of urban land And the construction of its evaluation index system. *Exploration of Economic Issues*, 2007(1): 27-30. [杨树海. 城市土地集约利用的内涵及其评价指标体系构建. *经济问题探索*, 2007(1): 27-30.]
- [7] Wang Zhongya, Fu Liping, Chen Weidong. Evaluation and empirical analysis of intensive use of urban land in China: Taking three major urban agglomerations as an example. *Exploration of Economic Issues*, 2010(11): 96-99. [王中亚, 傅利平, 陈卫东. 中国城市土地集约利用评价与实证分析: 以三大城市群为例. *经济问题探索*, 2010(11): 96-99.]
- [8] Chen Yu, Chen Yinrong, Ma Wenbo. Colligation evaluation of industrial land intensive use in Hubei Province based on 365 valid questionnaires of typical industrial enterprises. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(1): 73-80. [陈昱, 陈银蓉, 马文博. 湖北省工业用地集约利用综合评价: 基于365家典型工业企业的问卷调查. *自然资源学报*, 2013, 28(1): 73-80.]
- [9] Deng Chuxiong, Xie Binggeng, Li Xiaoqing, et al. Analysis on spatial-temporal change of cultivated land intensive use in Changsha city. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(1): 230-237. [邓楚雄, 谢炳庚, 李晓青, 等. 长沙市耕地集约利用时空变化分析. *农业工程学报*, 2012, 28(1): 230-237.]
- [10] He Wei, Xiu Chunliang. Analysis of spatial difference in regional urban land intensive utilization: A case study of Jilin Province. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(8): 1287-1296. [何为, 修春亮. 吉林省城市土地集约利用的空间分异. *自然资源学报*, 2011, 26(8): 1287-1296.]
- [11] Wang Jiating, Ji Kaiwen. Study on dynamic mechanism of urban land intensive use. *Urban Problems*, 2008(8): 9-13. [王家庭, 季凯文. 城市土地集约利用动力机制研究. *城市问题*, 2008(8): 9-13.]
- [12] Wu Yuling, Qu Futian. Mechanism of intensive urban land use in China: Theoretical and practical study. *Resources Science*, 2007, 29(6): 106-113. [吴郁玲, 曲福田. 中国城市土地集约利用的影响机理: 理论与实证研究. *资源科学*, 2007, 29(6): 106-113.]
- [13] Zhu Yizhong, Cao Yu. Assessment of urban land intensive use based on PSR model: A case study of Guangdong Province. *Economic Geography*, 2011, 31(8): 1375-1380. [朱一中, 曹裕. 基于PSR模型的广东省城市土地集约利用空间差异分析. *经济地理*, 2011, 31(8): 1375-1380.]
- [14] Zhang Leqin, Chen Supping, Wang Wenqin, et al. Research on the driving factor measurement of the construction land expansion in Chizhou City, Anhui Province: Based on the STIRPAT model. *Progress in Geography*, 2012, 31(9): 1235-1242. [张乐勤, 陈素平, 王文琴, 等. 基于STIRPAT模型的安徽省池州市建设用地扩展驱动因子测度. *地理科学进展*, 2012, 31(9): 1235-1242.]
- [15] Sun Yujie, Chen Zhigang. Coordinated development between urban land intensive use and urbanization level in Jiangsu Province. *Resources Science*, 2012, 34(5): 889-895. [孙宇杰, 陈志刚. 江苏省城市土地集约利用与城市化水平协调发展研究. *资源科学*, 2012, 34(5): 889-895.]
- [16] Li Jinggang, Zhang Xiaojun, Gao Yanmei, et al. Dynamic analysis and evaluation on the degree of urban land intensive use based on improved entropy model: A case of Guangzhou City. *Areal Research and Development*, 2012, 31(4): 118-123. [李景刚, 张效军, 高艳梅, 等. 基于改进熵值模型的城市土地集约利用动态评价: 以广州市为例. *地域研究与开发*, 2012, 31(4): 118-123.]
- [17] Zhou Wei, Cao Yingui, Qiao Luyin. Urban land intensive use assessment based on the entire-array-polygon indicator method. *China Land Sciences*, 2012, 26(4): 84-90. [周伟, 曹银贵, 乔陆印. 基于全排列多边形图示指标法的西宁市土

- 地集约利用评价. 中国土地科学, 2012, 26(4): 84-90.]
- [18] Yin Jun, Xie Junqi, Wang Li, et al. The evaluation of urban land intensive use based on RS. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 775-782. [尹君, 谢俊奇, 王力, 等. 基于RS的城市土地集约利用评价方法研究. 自然资源学报, 2007, 22(5): 775-782.]
- [19] Yang Yong, Lang Yongjian. Impacts of urbanization on land use efficiency and its regional differences in inland area of China regarding the opening reform. *China Land Sciences*, 2011, 25(10): 20-26. [杨勇, 郎永建. 开放条件下内陆地区城镇化对土地利用效率的影响及区位差异. 中国土地科学, 2011, 25(10): 20-26.]
- [20] Zhang Leqin, Chen Suping, Chen Baoping. Measurement and analysis of impact of industrial structure evolution on urban land intensive use in Anhui Province in 1996-2011. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(9): 1117-1124. [张乐勤, 陈素平, 陈保平. 1996-2011年安徽省产业结构演进对城镇土地集约利用影响测度与分析. 地理科学, 2014, 34(9): 1117-1124.]
- [21] Fan Hui, Liu Weidong, Wu Zebin. Spatio-temporal characteristics of internal coordination of intensive urban land use: A case study of the downtown of Wuhan. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(6): 696-704. [范辉, 刘卫东, 吴泽斌. 城市土地集约利用内部协调性的时空演变: 以武汉市中心城区为例. 地理科学, 2014, 34(6): 696-704.]
- [22] Zhou Luhong, Hong Zenglin, Yu Yonglin. Land intensive use assessment in the block economy: A case study in Lianhu District in Xi'an City. *China Land Sciences*, 2012, 26(7): 78-83. [周璐红, 洪增林, 余永林. 街区经济发展中土地集约利用评价研究: 以西安市莲湖区为例. 中国土地科学, 2012, 26(7): 78-83.]
- [23] Fan J, Zhang Y K. A preliminary analysis of land resource constraints on urban expansion of Beijing based on land supply and demand. *Journal of Resources and Ecology*, 2012, 3(3): 253-261.
- [24] Taleai M, Sharifi A, Sliuzas R, et al. Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007, 9(4): 375-391.
- [25] Susannah G E, Handley J F, Ennos A R, et al. Characterizing the urban environment of UK cities and towns: A template for landscape and urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 87(3): 210-222.
- [26] Zhang Honghui, Zeng Yongnian, Tan Rong, et al. A model for regional land use optimization allocation based on multi-agent system and its application. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 972-984. [张鸿辉, 曾永年, 谭荣, 等. 多智能体区域土地利用优化配置模型及其应用. 地理学报, 2011, 66(7): 972-984.]
- [27] Wang Jing, Zheng Zhenyuan, Huang Xiaoyu, et al. Rethinking the current land use strategies of solving the conflicts between land supply and demand in China. *China Land Sciences*, 2014, 25(4): 9-12. [王静, 郑振源, 黄晓宇, 等. 对中国现行土地利用战略解决土地供需矛盾的反思. 中国土地科学, 2014, 25(4): 9-12.]
- [28] Zhou Guohua, He Yanhua. Characteristics and influencing factors of urban land expansion in Changsha. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11): 1171-1180. [周国华, 贺艳华. 长沙城市土地扩张特征及影响因素. 地理学报, 2006, 61(11): 1171-1180.]
- [29] Xiong Ying, Yu Ting, Su Ting. Analysis of land supply and demand forecasting and distribution pattern of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(5): 222-225. [熊鹰, 余婷, 苏婷. 长株潭城市群土地供需预测及格局分析. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(5): 222-225.]
- [30] Gu Jirong, Chen Xianwei, Yang Hailong. System dynamic model of land supply and demand in Chengdu. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(4): 81-85. [辜寄蓉, 陈先伟, 杨海龙. 成都市土地供需关系系统动力学模型研究. 地理与地理信息科学, 2010, 26(4): 81-85.]
- [31] Xiong Ying, Su Ting, Li Hai, et al. Dynamic econometric analysis of the relationship between economic development and land intensive utilization in Changsha- Zhuzhou- Xiangtan urban agglomeration. *Scientific and Technological Management of Land and Resource*, 2016, 33(3): 1-8. [熊鹰, 苏婷, 李海, 等. 长株潭城市群土地集约利用与经济发展关系动态计量分析. 国土资源科技管理, 2016, 33(3): 1-8.]
- [32] Li Jingzhi, Zhu Xiang, Li Jingbao. Research on the dynamics analysis and optimization decision-making of water resources supply and demand system in Dongting Lake district. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(2): 199-210. [李静芝, 朱翔, 李景保. 洞庭湖区水资源供需系统仿真及优化决策研究. 自然资源学报, 2013, 28(2): 199-210.]
- [33] Li Xiuxia, Xu Long, Jiang Enci. Multi-objective optimization of land use structure in western Jilin province based on system dynamics. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(16): 247-254. [李秀霞, 徐龙, 江恩赐. 基于系统动力学的土地利用结构多目标优化. 农业工程学报, 2013, 29(16): 247-254.]
- [34] Xiong Ying, Zhong Minzhou, Su Ting, et al. Study on urban land supply and demand of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration and land comprehensive benefit. *Natural Resource Economics of China*, 2016(3): 39-44. [熊鹰, 钟敏洲, 苏婷, 等. 长株潭城市群建设用地供需及综合效益分析. 中国国土资源经济, 2016(3): 39-44.]

Analog simulation of urban construction land supply and demand based on land intensive use

XIONG Ying^{1,2}, CHEN Yun¹, LI Jingzhi^{1,2}, YAN Xiaojing¹

(1. School of Architecture, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China;

2. Research Center of Resource Environment and Urban Planning, Changsha 410004, China)

Abstract: Using the system dynamics (SD), the feedback loop of urban construction land between supply and demand and function relationship between index variables are built up to simulate the change trends of the balance of land resources supply and demand in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration from 2016 to 2030 in three scenarios, i.e., low intensity mode, medium intensity mode and high intensity mode based on the land resources supply and demand system dynamic model. The simulation suggested that: (1) the construction land scale is still in the expansion state, and the amount of urban construction land is increasing rapidly. However, there are differences in the scale and speed of land use under the three development modes. (2) Under the low intensity mode, the scale of construction land and the quantity of land supply are large, which is prone to the waste of land resources; under the high intensity mode, the supply of construction land is contracted, and the scale of land use is growing slowly and the total scale is small, which is not conducive to the healthy development of new-type urbanization; under the medium intensity mode, the scale of land use and the amount of supply can be adapted to the development of social economy, which can reflect the concept of modern city. (3) The proportion of industrial land to construction land maintains at 15%-21%, in which the proportion under the low intensity mode increases year by year, and slows down and keeps stable under the proper intensity mode and high intensity mode; the proportion of residential land to construction land maintains at 27%-35%, in which the proportion under the low and the medium intensity modes slow down, and the proportion of the high intensity mode keeps at a high level.

Keywords: intensive urban land use; construction land supply and demand system; analog simulation; system dynamics; Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration