

基于建成区扩展对南京弹性势能 最佳发育区间的测度

王璐玮¹, 汤茂林¹, 王美慧², 张婷婷¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125)

[摘要] 将物理学中的弹性势能与城市弹性相结合, 以探究城市缓冲功能、紧压功能、复位功能和带动功能对城市弹性发展的影响. 研究结果有 3 点: ①从城市弹性功能出发构建南京弹性势能测度体系, 并运用理想点组合赋权法对其进行量化; ②构建南京弹性势能—建成区土地扩展模型, 用散点图形式反映两者函数关系, 并划分出南京城市弹性势能增速区间; ③在一定程度上, 通过对南京建成区形变量的计算, 大致预测城市弹性发育情况, 从而对城区土地开发规模作出指导.

[关键词] 城市弹性势能, 建成区土地增量单位, 理想点组合赋权法, 南京市

[中图分类号] TU984.11 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2018)02-0127-07

Measurement of Optimal Development Interval of the Elastic Potential Energy in Nanjing Based on the Expansion of Built-up Area

Wang Luwei¹, Tang Maolin¹, Wang Meihui², Zhang Tingting¹

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Institute of Subtropical Agriculture, The Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: This paper combines the elastic potential energy of physics with the city's elasticity to explore the effect of urban cushioning function, compact function, reset function and driving function on urban flexibility development. The research results of this paper are three things. First, it builds Nanjing elastic potential energy measure system from the city's elastic function, and quantifies it by using the ideal point combination method. Secondly, it constructs the land extension model of the elastic potential energy in Nanjing, which reflects the relationship between the two functions variable in the form of scatter plots, and divides the growth interval of the elastic potential energy in Nanjing. Thirdly, to some extent, through the calculation of the shape variable of Nanjing construction area, the city's elastic development is predicted roughly, so as to give guidance to the urban land development scale.

Key words: urban elastic potential energy, land increment unit in built-up area, ideal point combination weighting method, Nanjing

2001 年, Kates R 等首次系统地介绍了一种全新的跨学科范式——可持续性科学, 将其定义为在局地、区域和全球尺度上研究自然和社会之间动态关系的科学, 它为可持续发展提供了理论基础和技术手段^[1]. 近年来, 在可持续性科学指导下, 学者们将物理学的“弹性”概念引入到城市研究中组义为“弹性城市”, 认为城市在一系列结构和过程变化之前, 具有吸收与化解变化的差异性能力^[2], 引起各界广泛关注. 弹性城市经历了“工程弹性”、“生态弹性”、“社会弹性”3 个阶段^[3], 现在又引发出诸多新的研究脉络, 其中不少学者致力于城市弹性指标体系的构建, 且大多数认可洛克菲勒基金会按照“社会—经济—环境—制度”划分标准提出的指标体系^[4]. 尽管弹性城市研究日益完善, 但目前国内相关文献仅限于零星的

收稿日期: 2017-09-20.

基金项目: 国家自然科学基金(41071105).

通讯联系人: 汤茂林, 博士, 教授, 研究方向: 城市与区域发展、人文地理学、文化景观. E-mail: mltang317@163.com

研究综述,或综合定性描述,鲜有针对性的科学定量评定^[5];另外从研究主体来看,多落脚于“城市”,仅从单一层面强调“综合性”,因此城市的弹性性质和综合实力区分度不大,易于将城市弹性发展与可持续性发展混淆^[6],故本文尝试从城市弹性功能出发构建指标体系,更加突显城市的“弹性”性质.在研究方法上,针对多定性、少定量的研究短板,以南京为例通过理想点组合赋权法计算出南京2001—2015年间城市综合弹性势能.

随着我国城镇化快速推进,城市用地扩张成为近年来城市规划领域关注的焦点问题之一^[7-11].本文利用建成区人口密度和建成区面积计算出土地扩张增量单位,将其作为南京弹性形变量,以探求南京建成区面积扩展与城市弹性势能间的关系,找出南京弹性势能增长的最佳区间,进而为南京以及其他城市城区土地开发提供借鉴和参考.

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文选取南京市2001—2015年的相关统计数据,15个二级指标初始数据均来源于《江苏统计年鉴》(1999—2016年)、《南京统计年鉴》(1999—2016年),采用理想点组合法对南京城市综合弹性进行测度.基于城市弹性功能内涵,部分数据以市域为尺度(例如城市的带动功能数据收集以市域为尺度更具合理性),部分则以建成区为尺度,另外个别缺失数据则用统计方法进行了分析和填充.

1.2 模型构建

城市弹性势能指城市受到各种力量作用,发生了不同程度的土地扩张,城市在一定扩张范围内因空间形态变化获得城市弹性势能,从而被赋予了各种相关功能——紧压功能、复位功能、带动功能和缓冲功能.与物理学中的弹性势能相比,它们表现出一定的共性:(1)两者作用力都限于一定的弹性区间,作用力超出区间后,便不满足势能与空间扩张的应有关系,例如城市空间一定程度上的扩张,促进了城市化,推动了城市发展,城市弹力与空间扩张之间存在一种正相关关系,但超出这个限度,城市蔓延便造成资源过度消耗、生态环境破坏、人们生活质量和社会和谐受到威胁等系列负面效应^[12],将大大破坏城市的弹性能力;(2)弹性形变量与作用合力呈正相关关系,而不是和单个作用力相关;(3)应对外力时弹性势能完成与其他能量的转化,从而发挥其弹性功能.

城市用地是城市各项发展的载体,同样耕地资源也是人类生存、经济发展和社会进步的基础,那么怎样平衡两者之间的关系,就成为学者和政府部门关注的焦点.一方面,在城市用地与耕地资源博弈中,城市用地凭着“财大气粗”的底气一直抢占农业用地,突破边界的情况频繁发生,其忽略了城市结构的合理性和与生态之间的完整性,从而导致城市“骨架大而低效”的发展^[13];另一方面,城市空间拓展是经济发展的作用力^[14],如果对城市用地极度限制,又会对当地经济发展造成极大阻碍.因此,本文试图寻求一个可以反映南京建成区扩张情况的形变量作为南京弹性势能数学模型的自变量,从而构建南京弹性势能模型.

由于城市弹力与弹性形变量的复杂性,城市弹力和形变量之间并非简单的线性关系,同样城市弹性势能与形变量的平方之间也不是线性关系.因此不同于物理学中“弹性势能”的计算,本文需要构建一个更加复杂的城市弹性势能公式,它的数学模型设为:

$$E_i = f(X_i - X_j), X \in (x_1, x_2), \quad (1)$$

式中, E_i 为南京相应年份的弹性势能, $X_i - X_j$ 为第*i*年南京建成区形变量, X 为建成区弹性区间.本文将数据结果以散点图形式直观呈现出来,并在加权最小二乘意义下对数据进行曲线拟合,求出相关待定参数,进步确定弹性势能与形变量之间的函数关系.

2 南京弹性形变量计算

与物理学中的弹性势能相比,城市弹性研究的特殊性主要表现为形变量的复杂性: $\Delta x = x_i - x_j$,在物理学中 x_j 表示弹簧原长,长度固定,但如果将城市弹性形变量中的 x_j 看成常数,则极不合理,因此本文将重新定义城市弹性形变量,通过建成区人口密度及增量、建成区面积计算出建成区增量单位 Δx ,用建成区增量单位 Δx 表示城市弹性形变量.

为更科学反映南京建成区面积的扩展情况,本文将 x_j 设为动态的建成区原量,以现建成区面积 x_i 与 x_j 的差值 Δx_i 计算建成区增量单位作为弹性形变量,计算过程如下:

$$\begin{aligned}\bar{\rho} &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \rho_i, \quad \Delta \rho = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \frac{h_{i+1} - h_i}{x_{i+1} - x_i}, \\ \rho'^* &= (1 + \Delta \rho) \bar{\rho}, \quad \rho^* = \Delta \rho \cdot \bar{\rho}, \quad x_j = \frac{h_i}{\rho^*}, \\ \Delta x_i &= x_i - x_j = x_i - \frac{225 h_i}{\sum_{i=1}^{15} \frac{h_{i+1} - h_i}{x_{i+1} - x_i} \cdot \sum_{i=1}^{15} \rho_i}, \quad i = 1, 2, \dots, 15,\end{aligned}\quad (2)$$

式中, $\bar{\rho}$ 为 2001—2015 年间人口密度平均值; ρ_i 为 i 年人口密度; $\Delta \rho$ 为 2001—2015 年间人口密度增量平均值; h_i 为 i 年的建成区人口; ρ'^* 为建成区人口标准密度; ρ^* 其数值为建成区人口标准密度 ρ'^* 与人口密度平均值的差值,是为方便计算对 ρ'^* 的单位化处理。

将相关数据代入式(2),便可计算每年南京建成区土地增量单位。

3 南京弹性势能最佳发育区间测度

3.1 城市弹性势能测度体系的指标选择

本文按照目的性、系统性、不相关性、可比性原则,充分考虑城市背景和发展路径^[15],全面分析影响城市弹性势能的各个作用力,使依据城市弹性功能构建出的指标体系尽可能客观、真实地反映 2001—2015 年南京城市弹性势能的变化情况。

城市缓冲功能指城市吸收经济或社会冲击能量,然后将其转化为城市弹性的形变能,平缓地释放以延长经济社会速度变化的时间。例如唐皇凤从回归政治缓冲角度指出在一定意义上,信访制度的价值指向和具体运作反映了在急剧社会变迁条件下,政府部门如何维护社会稳定的独特机制^[16]。城市缓冲功能除了包括这种政治上的缓冲,而且还应涵盖经济、生态等多个方面。聂伟提出公众所感受的物理与健康风险、社会风险明显大于风险制造者所给予的风险补偿(体检、增加就业、经济补助等)^[17],所以城市污水处理率、建成区绿化覆盖率在一定程度上可以反映城市缓冲功能。另外,作为调节收入分配重要手段的“税收”^[18],也是衡量经济政治公正的关键要素。因此本文缓冲指标选取为:污水处理率、建成区绿化覆盖率、税收额度。

城市紧压功能可从两个过程理解:①城市压缩过程,它要求更多地考虑对城区资产的高效利用,倡导使用公共基础设施,维持高密度的城市空间和高强度的开发模式^[19]。②城市解压过程,由于高密度的城市资源压缩为城市储存了充足能量,城市方可在解压过程中更灵活地发挥各项功能,例如加速资金周转,促进城市协作和专业分工,高效配置公共基础设施^[20]。故借鉴城市紧凑测度指标中的密度类指标来反映城市单位土地面积上人口、资本、设施的承载量^[21]。另外平均土地出让价格指数更能直接反映一个城市用地紧凑的程度。因此本文紧压指标选取为:人口密度、城市常住人口人均消费性支出、人均道路面积、平均土地出让价格。

城市复位功能指城市作为一个集自然、经济、社会于一体的复杂生态系统^[22],当外界力改变时会在非惯性力的作用下,其经济、社会形态自动恢复。本文将选取人均绿地面积反映城市自然情况,选取国内旅游收入反映城市经济情况,选取城市就业率反映城市社会情况,从而为政府公共安全规则、应急管理提供有效信息。因此本文复位指标选取为:人均绿地面积、国内旅游收入、城市就业率。

城市带动功能指城市带动其辐射范围内农村和中小城市的发展能力,主要表现在集聚力和辐射力两个方面^[23]。现代工业发展改变了城市发展动力机制,城市集聚发展呈现出新规律,以经济、创新为中心的集聚逐渐取代以政治为中心的集聚^[24]。虽然随着参与创新的城市空间单元逐年增加,区域创新产出总体差距在缩小,但空间集聚趋势在加剧^[25]。另外孙红玲指出中心城市辐射带动力与城镇化水平联系紧密,而新型城市化基于市场要素流动和现代交通信息技术的极大便利化^[26]。因此本文带动指标选取为:人均 GDP、专利申请受理量、高新技术产业产值、货物周转量、邮电业务基本总量。

由以上分析得知城市弹性四大功能都具有“自主性能量转化”的共同特征,但它们侧重点不同,从多个方面反映城市的弹性能力,本文最终构建出的指标体系见表 1.

3.2 理想点组合法确定南京弹性势能指标权重

首先按照层次分析法标度及其含义,请专家对南京弹性势能准则层进行比较和排序,分别得到各弹性势能指标的判断矩阵,利用 yaahp 软件得到各指标权重 $\gamma=(\gamma_1,\gamma_2,\cdots,\gamma_n)$ 及其一致性.

然后根据系统数据的离散程度与信息熵的负相关关系确定各指标权重^[27],用熵值法计算出指标权重 $\mu=(\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n)$.

最后利用理想点组合赋权法计算城市弹性权重 w_i ,使向量目标函数与所考虑问题的理想点偏差最小^[28],以克服 AHP 权重 γ 的主观性和熵值法权重 μ 的绝对客观性^[29].

$$w_j=\sqrt{\frac{\gamma_j^2+\mu_j^2}{2}}, \tag{3}$$

$$w_i=\frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}, \tag{4}$$

$j=1,2,\cdots,15.$

将相关数据代入式(3)、式(4),求出各指标的组合权重 w_i (见表 1).

表 1 南京城市弹性势能权重及其一致性

Table 1 The weight and consistency of urban elastic potential energy in Nanjing

准则层	准则层权重	指标层	指标权重 w_i	一致性比例	λ_{\max}
缓冲指标	0.360	污水处理率	0.153	0.017 5	3.028
		建成区绿化覆盖率	0.067		
		税收额度	0.140		
紧压指标	0.259	人口密度	0.024	0.022 4	4.064
		城市常住人口人均消费性支出	0.080		
		人均道路面积	0.041		
		平均土地出让价格	0.114		
复位指标	0.152	人均绿地面积	0.017	0.017 5	3.018
		国内旅游收入	0.095		
		城市就业率	0.040		
带动指标	0.229	人均 GDP	0.031	0.048 0	5.216
		专利申请受理量	0.090		
		高新技术产业产值	0.065		
		货物周转量	0.013		
		邮电业务基本总量	0.030		

3.3 南京市弹性势能测度结果

城市弹性势能 E :

$$E=\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i, \quad i=1,2,\cdots,15. \tag{5}$$

将理想点组合法求出的各指标组合权重 w_i 和相应指标值代入式(5),求出南京市 2001—2015 年城市弹性势能(见表 2、图 1).

表 2 南京 2001—2015 年城市弹性势能

Table 2 Urban elastic potential energy from 2001 to 2015 in Nanjing

年份	弹性势能	年份	弹性势能	年份	弹性势能	年份	弹性势能	年份	弹性势能
2001	837.47	2004	1 083.42	2007	2 408.32	2010	4 865.24	2013	11 027.84
2002	866.29	2005	1 445.52	2008	3 111.05	2011	7 013.03	2014	11 316.79
2003	950.03	2006	1 833.66	2009	3 844.19	2012	9 100.86	2015	11 470.37

从图 1 可知,南京弹性势能逐年增加,其中 2001—2010 年多项式函数和指数函数可以较好地显示南京弹性势能的增长趋势,2011 年、2012 年、2013 年南京弹性势能增长迅速,数值超出预测趋势线,2013 年后,南京弹性势能增长急速放缓.综上所述,2001—2015 年南京弹性势能是一条增长逐渐加速到一定值又减速的变速

趋势线。

3.4 南京建成区弹性势能发育最佳空间

本文将南京弹性形变单位与弹性势能数据结果以散点图形式直观呈现出来(见图2)。并在加权最小二乘意义下对数据进行曲线拟合,求出相关待定参数,进一步确定弹性势能与形变量之间的指数和多项式函数关系。

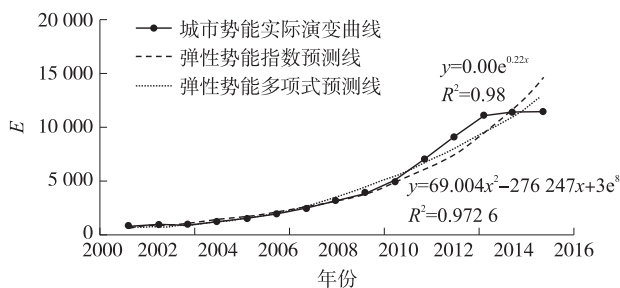


图1 南京2001—2015年城市弹性势能变化

Fig. 1 The changes of urban elastic potential energy from 2001 to 2015 in Nanjing

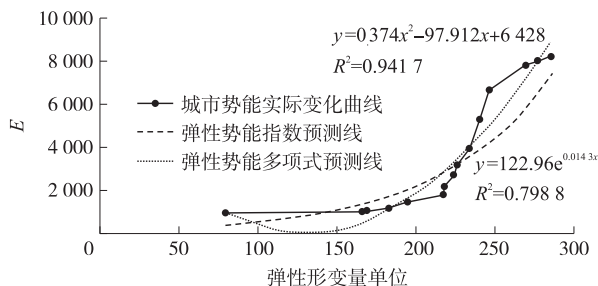


图2 土地扩张与弹性势能的关系

Fig. 2 Relationship between land expansion and elastic potential energy

(1)通过曲线拟合,进一步确定了南京城市弹性势能模型函数:

南京弹性势能指数预测函数:

$$y = 122.96e^{0.143x}, \\ R^2 = 0.7988.$$

南京弹性势能多项式预测函数:

$$y = 0.374x^2 - 97.912x + 6428, \\ R^2 = 0.9417.$$

从散点图可以看出指数预测函数在一定意义上,“更佳”逼近或拟合已知数据。前慢速区间和后慢速区间虽都显示出南京弹性势能增长缓慢的特点,但两者的作用机制不同,从区间相对应的年份来看,前慢速区间的缓慢发育主要受限于经济社会等作用力的大小,后慢速区间则更多的是受制于土地资源的有限性。快速区间则有效合理地协调了经济发展和土地利用的关系,快速促进了南京弹性势能的发育。在新常态下,南京经济进入慢速阶段,这一时期经济社会等城市因素稳定,加强了本文趋势线的预测作用。笔者认为在一系列变量(城市作用合力)稳定的情况下,易于通过设定另一变量(城区开发规模)来维持因变量(南京弹性势能)在快速区间发育。

(2)尽管指数函数可以很好地逼近或拟合已知数据,但从[250,300]区间发育来看,其对未来数据预测趋势仍存在明显偏差。根据弹性势能实际发育曲线,本文提出用“S型曲线”对其进行理论解释。

①“S型曲线”的提出和区间划分

焦秀奇推出的“S型曲线”的一般形式为 $Y = \frac{1}{1 + Ce^{KT}}$ ^[30],本文中C值反映城市建成区扩展程度,K值反映弹性势能发育速度,K值越大,发育越快,K值越小,发育越慢。用参数C、K来描述南京弹性势能发育S型曲线的演化情况。

由图2可知,在[220,250]城市弹性势能增长迅速,设定为弹性势能增长最佳区间,相对应的年份区间为[2006,2012]。在建成区扩张的一定范围内,建成区土地扩张与城市弹性势能两者之间存在明显的正相关关系,但由于土地扩张程度不同,即建成区土地增量单位的差别,而使城市弹性势能出现差异性的增长速率,大致趋势为:南京城市弹性势能增长速率随着建成区土地增量单位的增加,逐渐加速后减速,相应地将建成区土地增量划分为3个区间:前慢速区间[80,220];快速区间[220,250];后慢速区间[250,300]。

前慢速区间:[80,220]对应的年份是[2001,2005],C、K值相对较小,反映南京建成区扩展程度较小,弹性势能发育缓慢。

快速区间:[220,250]对应的年份是[2006,2012],C值相对适中、K值相对较大,反映南京建成区扩展程度适中,弹性势能发育速度较快。

后慢速区间:[250,300]对应的年份是[2013,2015], C 值相对较大、 K 值相对较小,反映南京建成区扩展程度较大,弹性势能发育缓慢。

②“S型曲线”的加速和减速的动力学解释

[220,250]作为南京弹性势能发育过程中重要的加速阶段,其加速直接原因来自城市弹性和建成区扩建面积的高度协调,其间接还受到城市人口、资源、环境等因素的规模累积影响。城市弹性系统的增长速率与自身规模是正相关关系,根据动力学原理判断其势必存在一个加速过程,因此城市弹性势能具有累积效应,过去的规模对未来的增长存在着重要影响。南京弹性势能累积效应区间为[80,250],而当城市弹性势能发育进入[250,300],其逻辑演化的加速过程自然激活减速因子——有限的建成区扩展土地面积,南京弹性势能发育受到较大的阻力。

“S型曲线”理论对于我国城市弹性势能增长动能转换具有重要的指导和实践意义。建成区土地扩展是驱动弹性势能的主要动力,但从[250,300]趋势线可以看出,其所推动的弹性势能发育开始走向“S型曲线”的“天花板”,如果城市仍追求不断扩展建成区面积来强度刺激势能增长,则可能会导致城市收益低效增长或递减。以建成区扩展为动力的弹性势能发育到一定阶段势必会不可逆地走向衰弱,因此地方政府应根据自身条件找出一条新的陡峭的S型曲线来推动城市的弹性势能发育。

另外,因城市弹性具有规律性和多样性的特征,故S型曲线是对其大致宏观的描述,但其划分的3个区间特征的总结则是相对可信的。由于不同城市发展背景、路径、程度十分悬殊,所以要根据相应城市的历史数据进行拟合,各城市的弹性城市发育情况则会由S型曲线的“拉伸”和“压缩”变化反映出来。通过对S型曲线理论分析可以获得对城市弹性势能更全面清晰的认识,从而制定出适合自身城市发展的政策。

4 结语

本文在不影响研究科学性和系统性的前提下,构建出的城市弹性势能指标和对它的测度可以较好地城市开发建设提供参考意见。本文研究结果有3点:(1)从弹性功能出发构建出弹性势能测度体系,并运用理想点组合赋权法对南京2001年—2015年的弹性势能作出量化;(2)将南京弹性势能量化结果与建成区土地扩展相结合,用散点图表达南京势能模型,并拟合出南京弹性势能指数和多项式预测函数。(3)提出“S型曲线”来解释南京弹性势能发育,并相应划分出城市弹性势能增速区间:前慢速区间[80,220];快速区间[220,250];后慢速区间[250,300]。最后在“S型曲线”理论基础上,对南京弹性势能发育增速减速作出动力学分析,对我国城市弹性势能增长动能转换具有指导和实践意义。

同时,本文研究还存在一定局限:(1)城市弹性势能指标体系构建仍不够完善,例如本文选取的紧压指标属于密度类指标,未考虑非均质空间的功能布局 and 空间组织关系对紧凑度的影响;(2)本文得出2001—2015年的弹性势能与城市建设用地增量的趋势线,分析得出2013年南京弹性势能增长进入慢速区间,但只有2013—2015年3年的数据参考,对未来趋势预测存在难度;(3)本文仅从数据上揭示了城市弹性势能与城区土地增量之间的关系,而未对两者的作用机制进行分析;(4)本文只从土地增量单位角度提出适于城市弹性势能发育的区间,并没有从空间扩展形态过程上作出说明。基于这些局限性,本文提出的城市弹性势能模型应与黎夏提出的MCE-CA模型相结合^[31],从而得出较高精确度的城市形态边界模拟,是完善城市弹性势能模型的研究方向。

[参考文献]

- [1] KATES R W, CLARK W C, CORELL R, et al. Environment and development: sustainability science[J]. Science, 2001, 292: 641-642.
- [2] ALBERTI M. Urban form and ecosystem dynamics: empirical evidence and practical implications[M]//WILLIAMS E, BURTON M. Achieving sustainable urban form. London: E & FN Spon, 2000.
- [3] 谢起慧. 发达国家建设韧性城市的政策启示[J]. 科学决策, 2017, 24(4): 60-75.
- [4] 陈玉梅, 李康晨. 国外公共管理视角下韧性城市研究进展与实践探析[J]. 中国行政管理, 2017, 33(1): 137-143.
- [5] 李彤玥. 韧性城市研究新进展[J]. 国际城市规划, 2017, 38(3): 1-11.

- [6] 李彤玥,牛品一,顾朝林. 弹性城市研究框架综述[J]. 城市规划学刊,2014(5):23-31.
- [7] 刘涛,曹广忠. 城市用地扩张及驱动力研究进展[J]. 地理科学进展,2010,29(8):927-934.
- [8] 赵可,张炳信,张安录. 经济增长质量影响城市用地扩张的机理与实证[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(10):76-84.
- [9] 王成龙,刘慧,张梦天. 行政边界对城市群城市用地空间扩张的影响:基于京津冀城市群的实证研究[J]. 地理研究,2016,35(1):173-183.
- [10] 王健,汪应宏,陈晨,等. 地方政府竞争对城市用地扩张的传导机制研究:以广东省为例[J]. 资源与科学,2015,37(2):237-246.
- [11] 杨艳昭,封志明,赵延德,等. 中国城市土地扩张与人口增长协调性研究[J]. 地理研究,2013,32(9):1668-1678.
- [12] 张琳琳,岳文泽,范蓓蕾. 中国大城市蔓延的测度研究:以杭州市为例[J]. 地理科学,2014,34(4):394-400.
- [13] 黄明华,张然,贺琦,等. 回归本源:对城市增长边界“永久性”与“阶段性”的探讨[J]. 城市规划,2017,41(2):9-26.
- [14] 陈晓红,张文忠,张海峰. 中国城市空间拓展与经济增长关系研究:以 261 个地级市为例[J]. 地理科学,2016,36(8):1141-1147.
- [15] 郭存芝,彭泽怡,丁继强. 可持续发展综合评价的 EDA 指标构建[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(3):9-17.
- [16] 唐皇凤. 回归政治缓冲:当代中国信访制度功能变迁的理性审视[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2008,61(4):573-579.
- [17] 聂伟. 环境公正、系统信任与垃圾处理厂接受度[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2016,16(4):62-71.
- [18] 安体富,任强. 税收在收入分配中的功能与机制研究[J]. 税务研究,2007,23(10):22-27.
- [19] CHOWDHRY T A, SCOTT D W, KANAROGLOU P S. Urban form and commuting efficiency: a comparative analysis across time and space[J]. Urban studies, 2013, 50(1):191-207.
- [20] 黄永斌,董锁成,白永平. 中国城市紧凑度与城市效率关系的时空特征[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(3):64-73.
- [21] 燕月,陈爽,李广宇,等. 城市紧凑性测度指标研究及典型城市分析:以南京、苏州建设用地紧凑度为例[J]. 地理科学进展,2013,32(5):733-742.
- [22] 赵帅,柴立和,李鹏飞,等. 城市生态系统健康评价新模型及应用:以天津市为例[J]. 环境科学学报,2013,33(4):1173-1179.
- [23] 焦继文,郭宝洁. 中心城市科技资源集聚辐射力评价[J]. 统计与决策,2015,31(23):56-59.
- [24] 何一民. 从政治中心优先发展到经济中心优先发展:农业时代到工业时代中国城市发展动力机制的转变[J]. 西南民族大学学报(人文社科版),2004,25(1):79-89.
- [25] 段德忠,杜德斌,刘承良. 上海和北京城市创新空间结构的时空演化模式[J]. 地理学报,2015,70(12):1911-1925.
- [26] 孙红玲. 中心城市发育、城市群形成与中部崛起:基于长沙都市圈与湖南崛起的研究[J]. 中国工业经济,2012,30(11):31-43.
- [27] 王福喜,毛爱华,李赫龙. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J]. 地理科学,2013,33(11):1323-1329.
- [28] 李影,刘治愚. 基于组合赋权—理想点法的大坝安全评价模型[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2016,14(1):60-66.
- [29] 江强强,方堃,章广成. 基于新组合赋权法的地质灾害危险性评价[J]. 自然灾害学报,2015,24(3):28-36.
- [30] 段辉. 对“S型曲线”城市化理论的再讨论[J]. 技术经济与管理研究,2015,36(10):119-123.
- [31] 黎夏,李丹,刘小平,等. 地理模拟优化系统 GeoSOS 及前沿研究[J]. 地理科学进展,2009,24(8):899-907.

[责任编辑:丁 蓉]