

# 基于 PVAR 模型的城市土地综合承载力动态冲击效应

## ——以京津冀城市群为例

李新刚<sup>1</sup>, 王双进<sup>2\*</sup>, 孙钰

(1. 天津商业大学公共管理学院, 天津, 300134; 2. 天津商业大学管理学院, 天津, 300134)

**【摘要】**研究对城市土地综合承载力进行评价, 采用三维面板数据, 构建京津冀城市群土地综合承载力系统的 PVAR 模型, 运用面板脉冲响应函数和面板方差分解技术, 分析内生变量之间的动态冲击效应, 从而探寻它们之间的互动发展机制。研究发现: (1) 科技文化承载力变动冲击能推动土地人口承载力水平的提高和经济社会承载力水平的发展, 但土地人口承载力标准差新息冲击对资源环境承载力水平的提高具有抑制作用。(2) 内生变量波动都受其自身变动冲击的影响最大, 方差贡献度分别保持在 95.54%、87.70%、86.50%、82.10%; 土地人口、资源环境、科技文化承载力波动受经济社会承载力变动冲击的影响次之。

**【关键词】**京津冀城市群; 土地综合承载力; 动态冲击效应; PVAR 模型

**【中图分类号】**F293.2

**【文献标识码】**A

## 0. 引言

随着我国城市化进程的不断推进, 城市群地区已成为今后经济发展格局中最具活力和潜力的核心地区<sup>[1]</sup>。城市发展势必带来人口集聚、住房短缺、建设用地加剧、城市空间布局混乱、城市基础设施滞后等一系列问题。城市水土资源难以支撑经济社会健康发展, 城市土地过度承载和经济社会持续发展之间的矛盾日益突出, 城市土地综合承载力超负荷运行成为制约区域经济持续发展的瓶颈。同时, 《京津冀协同发展规划纲要》指出要有序疏解北京非首都功能, 调整经济结构和空间结构, 探索人口经济密集地区优化开发的模式, 促进区域协调发展。鉴于此, 研究城市土地综合承载力系统之间的动态冲击效应成为促进区域协调发展的关键。

国外与承载力相关的研究成果有: Sarma 等分析了城市承载能力的概念和计算方法<sup>[2]</sup>; Oh 等构建了城市承载能力的评价框架<sup>[3]</sup>; Lane 为可持续土地利用规划评估了区域承载能力的方法<sup>[4]</sup>; Lane 等描述了澳大利亚资源承载能力评估发展所需的必要参数<sup>[5]</sup>; Hjorth 等采用系统动力学模型对生态承载力问题进行了探讨<sup>[6]</sup>。国内研究成果主要集中在: ①城市土地综合承载力指标体系构建及评价方面<sup>[7-10]</sup>, 文献[7]采用均方差决策法对土地综合承载力进行评价, 文献[8]采用组合赋权法对北京市土地资源承载力进行综合评价, 文献[9]采用灰色关联度定权对天津市土地综合承载力进行评价, 文献[10]采用局部变权法和 TOPSIS 模型对京津冀城市群土地综合承载力进行评价; ②城市土地综合承载力内部相互耦合、协调发展方面<sup>[11]</sup>, 采用灰关联熵法和综合指数模型对城市土地综合承载力协调发展度进行分析; ③土地综合承载力指标预警、短板要素识别方面<sup>[12]</sup>, 构建了土地综合承载力承载指标承载状态预

警指数计算模型; ④城市土地综合承载力系统动力学分析方面<sup>[13-14]</sup>, 文献[13]构建了上海市土地资源承载力系统动力学方程, 文献[14]构建了城市土地综合承载力趋势的修正系统动力学模型; ⑤城市土地综合承载力空间自相关、空间异质性分析方面<sup>[15]</sup>, 采用地理加权回归模型对城市土地综合承载力影响因素进行了空间自相关和空间回归分析。此外, 文献[16]将生物免疫学模型与状态空间模型相结合研究城市群土地综合承载力时空分异特征。

前人研究成果进行指标体系构建、系统动力学分析的居多, 少数文献从复杂系统内部分析了城市土地支撑力和受压力的耦合协调, 部分文献运用截面数据分析了城市土地人口、资源环境、经济社会承载力的空间异质性。同时, 城市群土地综合承载力研究成果主要集中在综合评价方面, 部分文献探究了城市群土地综合承载力的时空分异特征。但采用含有时间、截面、变量三维信息的面板数据对城市土地综合承载力进行 Panel Data 模型分析的研究鲜有报道。本文基于区域可持续发展研究的实际需要, 运用面板向量自回归模型 (Panel Data Vector Autoregression, PVAR) 研究京津冀城市群土地综合承载力的动态冲击效应问题。根据复杂系统理论, 采用频度统计法、因子分析法构建城市土地综合承载力水平指标体系, 运用面板 Granger 因果检验、面板脉冲响应函数、面板方差分解技术进行实证研究, 为推动京津冀协调发展提供科学的决策依据。

## 1. 城市土地综合承载力指数评价

### 1.1 指标体系构建

对城市土地综合承载力内涵进行深度辨析, 借鉴环渤海地区城市群<sup>[15]</sup>、京津冀城市群<sup>[10]</sup>、天津市辖区<sup>[9]</sup>土地综合承载力的评价指标, 查阅 CNKI 数据库中土地综合承载力研究相关的典型指标, 采用频度统计法、理论分析法<sup>[17]</sup>优化了京津冀城市群土地综合承载力评价指标, 并结合统计年鉴<sup>[18-19]</sup>中指标设置和数据, 运用相关分析法、主成分分析法归纳出京津冀城市群土地综合承载力的构成要素, 即: 土地人口承载力 (LP)、资源环境承载力 (RE)、经济社会承载力 (ES) 和科技文化

**基金项目:**教育部人文社会科学研究青年基金项目 (15YJC790047); 天津科技发展计划项目 (18ZLZXZF00530); 天津市教委人文社科重大项目 (2016JWZD35)

**通讯作者:**王双进 (1973—), 男, 河北廊坊人, 博士, 副教授。研究方向: 区域经济发展。Email: dualwang@163.com。

承载力 (TC)<sup>[20]</sup>。需要说明的是,考虑到数据的可获得性,反映区域城市之间水土资源、环境容量、经济社会要素等合理调配的指标涉及较少。GDP 增长率是适度型指标,但鉴于京津冀城市群统计数据特点,仍把它看作是效益型指标。

### 1.2 指数测算

采用均方差决策法测算指标权重,运用综合指数评价模型测算 2000~2014 年北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、保定、张家口、承德、沧州、廊坊 10 个城市的土地人口、资源环境、经济社会和科技文化承载力水平指数。<sup>[17]</sup>数据来源包括:《中国城市统计年鉴(2001~2015)》<sup>[18]</sup>及《中国城市年鉴(2001~2015)》<sup>[19]</sup>,通过灰色预测法和移动平均法估算统计年鉴缺失数据。

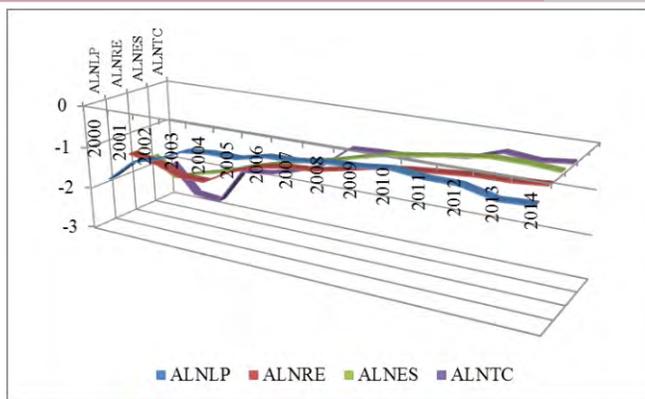


图 1 京津冀城市群土地综合承载力水平折线(指数对数均值)

资料来源:作者自绘

## 2. PVAR 模型构建及数据处理

PVAR 模型由 Holtz-Eakin 于 1988 年提出<sup>[21]</sup>,通过脉冲响应函数和方差分解技术分析随机扰动对变量系统的动态冲击,解释各种动态冲击对系统变量形成的影响<sup>[22]</sup>。PVAR 模型的表达式<sup>[23]</sup>为:

$$Z_{it} = \gamma_0 + \sum_{j=1}^m \gamma_j Z_{it-j} + \lambda_i + \xi_{it} + \zeta_{it} \quad (1)$$

式中:  $i$  表示城市 ( $i=1,2,\dots,10$ ),  $t$  表示年份 ( $i=0,1,\dots,14$ ),  $j$  表示滞后期数 ( $j=1,2,\dots,m$ )。  $Z_{it}=(LNLP_{it}, LNRE_{it}, LNES_{it}, LNTC_{it})^T$ , 表示第  $i$  个城市第  $t$  年的  $4 \times 1$  维内生变量,即为土地人口承载力变量、资源环境承载力变量、经济社会承载力变量、科技文化承载力变量;  $Z_{it-j}$  表示  $Z_{it}$  滞后  $j$  期的变量。  $\gamma_0$  表示截距项向量,  $\gamma_j$  表示滞后期系数矩阵。  $\lambda_i$  表示 10 个城市间的固定效应向量,反映了各个城市的异质性;  $\xi_{it}$  表示时间效应向量,反映了每一年份的特定冲击效应;  $\zeta_{it}$  表示随机扰动误差向量。<sup>[23]</sup>

为了增强变量之间的线性趋势和减少变量异方差的影响<sup>[23]</sup>,采用土地人口承载力水平指数对数(LNLP)、资源环境承载力水平指数对数(LNRE)、经济社会承载力水平指数对数(LNES)、科技文化承载力水平指数对数(LNTC)作为系统的内生变量,构建京津冀城市群土地综合承载力系统的 PVAR 模型,采用广义矩估计(Generalized Method of Moments, GMM)进行估计,运用面板脉冲响应函数和面板方差分解技术探究土地人口承载力、资源环境承载力、经济社会

承载力和科技文化承载力内生变量之间的动态冲击效应。

此外,分别取 2000~2014 年 10 个城市的 LNLP、LNRE、LNES、LNTC 均值,得到京津冀城市群土地综合承载力水平指数对数折线,见图 1。可知,京津冀城市群土地人口承载力、资源环境承载力、经济社会承载力、科技文化承载力水平在 2003 年之前出现较大幅度的波动,2003 年之后总体呈缓慢上升趋势,表明内生变量时间序列的线性组合可能是平稳的。

## 3. 动态冲击效应

### 3.1 面板 ADF 检验

为避免出现 PVAR 模型的“伪回归”现象,确保估计的有效性<sup>[23]</sup>,对 LNLP、LNRE、LNES 和 LNTC 变量数据进行平稳性检验。采用 Eviews9.0 软件对面板数据进行单位根检验,其中: LLC 检验、Breitung 检验、IPS 检验、Fisher-ADF 检验滞后阶数根据 AIC 准则自动选取, Fisher-PP 检验、Hadri 检验带宽根据 Newey-West 检验自动选取(表 1)。在 1% 显著性水平下, LNRE 变量、LNTC 变量的一阶差分序列均为平稳序列,在 10% 显著性水平下, LNLP 变量的一阶差分序列为平稳序列,而 LNES 变量的一阶差分序列除 Breitung 检验外均通过平稳性检验。因此,内生变量序列均为一阶单整序列 I(1),对其进行面板协整检验,探寻京津冀城市群土地综合承载力系统之间是否存在协整关系。

### 3.2 面板协整检验

基于面板 ADF 检验,分别对 LNLP、LNRE、LNES 和

表 1 面板单位根检验结果

变量	LLC	Breitung	IPS	Fisher-ADF		Fisher-PP		Hadri	
				①	②	①	②	③	④
LNLP	-5.84***	-0.10	-5.95***	68.23***	-4.23***	108.67***	-6.67***	6.84***	5.42***
LNRE	-5.00***	-0.84	-1.73**	46.13***	-3.74***	43.06***	-3.47***	7.29***	6.87***
LNES	-7.04***	-0.90	-3.06***	67.18***	-5.06***	78.48***	-5.41***	8.01***	7.88***
LNTC	-10.83***	-1.94**	-4.80***	69.34***	-5.56***	75.73***	-5.29***	7.50***	7.45***
DLNLP	-13.93***	-1.42*	-9.49***	102.43***	-6.27***	152.93***	-9.97***	5.17***	5.02***
DLNRE	-10.14***	-2.44***	-9.26***	102.93***	-7.79***	106.34***	-7.79***	4.16***	9.75***
DLNES	-4.09***	-0.77	-6.99***	82.51***	-6.15***	142.37***	-9.50***	5.19***	7.48***
DLNTC	-11.22***	-3.03***	-9.52***	112.09***	-7.29***	124.89***	-8.92***	7.79***	17.03***

注: “\*”、“\*\*”、“\*\*\*” 分别表示在 10%、5%、1% 显著性水平下显著。方法: ①表示“Fisher Chi-square”, ②表示“Choi Z-stat”, ③表示“Hadri Z-stat”, ④表示“Heteroscedastic Consistent Z-stat”。

资料来源:作者自绘

表 2 Kao 检验和 Pedroni 检验结果 (滞后阶数由 SIC 准则确定)

检验方法	统计量名	统计量值 / P 值					
		LNLP 和 LNRE	LNLP 和 LNES	LNLP 和 LNTC	LNRE 和 LNES	LNRE 和 LNTC	LNES 和 LNTC
Kao 检验	ADF	-8.06/0.00***	-8.41/0.00***	-7.62/0.00***	-2.78/0.00***	-1.47/0.07*	-2.95/0.00***
	Panel v	2.08/0.02**	2.87/0.00***	2.63/0.00***	2.72/0.00***	0.97/0.17	2.16/0.02**
	Panel rho	-3.38/0.00***	-4.61/0.00***	-4.45/0.00***	-2.63/0.00***	-2.05/0.02**	-3.49/0.00***
	Panel PP	-8.67/0.00***	-9.58/0.00***	-10.03/0.00***	-3.69/0.00***	-2.75/0.00***	-3.64/0.00***
	Panel ADF	-8.41/0.00***	-10.43/0.00***	-10.61/0.00***	-4.41/0.00***	-3.65/0.00***	-3.14/0.00***
Pedroni 检验	Group rho	-1.35/0.09*	-2.29/0.01**	-2.35/0.01***	-2.08/0.02**	-1.15/0.12	-1.67/0.05**
	Group PP	-8.16/0.00***	-9.60/0.00***	-12.58/0.00***	-5.38/0.00***	-4.87/0.00***	-4.71/0.00***
	Group ADF	-7.69/0.00***	-9.72/0.00***	-10.81/0.00***	-5.94/0.00***	-5.01/0.00***	-3.81/0.00***

资料来源：资料来源

注：“\*”、“\*\*”、“\*\*\*”分别表示在 10%、5%、1% 显著性水平下拒绝原假设而接受备择假设。

LNTC 内生变量面板数据进行协整检验，以诊断土地综合承载力系统内生变量序列之间是否存在长期均衡关系。考虑到京津冀城市群的区域空间特性，采用建立在 Engle 和 Granger 二步法检验基础上的 Kao 检验法和 Pedroni 检验法进行面板协整检验，其中：Kao 检验统计量为 ADF，Pedroni 包括维度内检验统计量 Panel v、Panel rho、Panel PP、Panel ADF 和维度间检验统计量 Group rho、Group PP、Group ADF<sup>[22]</sup>。由表 2 知，土地人口承载力和资源环境承载力、经济社会承载力、科技文化承载力之间，资源环境承载力和经济社会承载力、科技文化承载力之间，经济社会承载力和科技文化承载力之间都存在着长期协整关系，为京津冀城市群土地综合承载力系统进行 PVAR 模型估计、面板脉冲响应函数和面板方差分解技术分析提供了有力支撑。

### 3.3 实证分析

#### 3.3.1 PVAR 回归分析

采用 Abrigo 与 Love<sup>[24]</sup> 提供的 PVAR 程序对 LNLP、LNRE、LNES 和 LNTC 内生变量进行面板向量自回归分析。根据 MBIC、MAIC 与 MQIC 准则<sup>[24]</sup>，综合考虑面板脉冲响应函数的收敛性<sup>[25]</sup>，结合内生变量数据的实际情况，最终确定最优滞后阶数为 2 阶。同时，采用截面上的均值差分法消除 PVAR 模型中的时间效应，采用前向均值差分法消除城市间的固定效应，使滞后变量和转换后的变量正交，且与随机误差项不相关<sup>[23,26]</sup>。鉴于此，充分考虑内生变量先后顺序对面板脉冲响应函数<sup>[27]</sup>和面板方差分解技术可能产生的影响，运用 STATA14.0 软件对京津冀城市群土地综合承载力系统内生变量进行 GMM 估计 (表 3)。

从内生变量自身情况来看：DLNLP 滞后 1 期和滞后 2 期

的变量对当期 DLNLP 变量的影响均为显著正影响，系数分别为 0.3597、0.1853，表明之前土地人口承载力的活动对当前活动产生重要影响；DLNRE 滞后 1 期和滞后 2 期的变量对当期 DLNRE 变量的影响均不显著；DLNES 滞后 1 期的变量对当期 DLNES 变量的影响为显著正影响，系数为 0.3616，而滞后 2 期变量的影响不显著；DLNTC 滞后 2 期的变量对当期 DLNTC 变量的影响为显著正影响，系数为 0.3032，而滞后 1 期变量的影响不显著。

从内生变量之间的关系来看：DLNTC 滞后 1 期的变量对当期 DLNLP 变量的影响为显著正影响，表明科技文化承载力滞后 1 期对土地人口承载力发展存在正向影响，但影响程度较小；DLNES 滞后 1 期的变量对当期 DLNRE 变量的影响为显著正影响，表明经济社会承载力滞后 1 期对资源环境承载力提升具有较大的推动作用；DLNLP 滞后 1 期对当期 DLNES 变量的影响为显著负影响，而滞后 2 期变量的影响为显著正影响，表明土地人口承载力滞后 1 期制约了经济社会承载力发展，而滞后 2 期能够促进其发展；DLNES 滞后 1 期的变量对当期 DLNTC 变量的影响为显著正影响，表明经济社会承载力滞后 1 期对科技文化承载力进步具有重要作用。

#### 3.3.2 面板 AR 根检验

对构建的 PVAR 模型进行面板 AR 根检验 (图 2)，共有 4×2 个根，且所有根模的倒数都小于 1，即位于单位圆内，说明京津冀城市群土地综合承载力系统 PVAR 模型满足稳定性条件<sup>[22]</sup>。因此，有必要对该 PVAR 模型内生变量进行面板脉冲响应函数和面板方差分解技术分析。

#### 3.3.3 面板 Granger 因果检验

面板 Granger 因果检验主要是检验土地人口承载力、资源

表 3 GMM 估计结果

	DLNLP		DLNRE		DLNES		DLNTC	
	GMM_C	Z 值	GMM_C	Z 值	GMM_C	Z 值	GMM_C	Z 值
DLNLP(L1)	0.3597	2.31**	-0.0869	-1.08	-0.2613	-2.87***	-0.1101	-1.20
DLNLP(L2)	0.1853	1.81*	-0.0632	-0.73	0.2123	1.80*	0.2064	1.83*
DLNRE(L1)	0.0073	0.08	0.0986	0.75	-0.0385	-0.48	-0.0087	-0.05
DLNRE(L2)	0.0778	0.75	0.1372	1.46	-0.0616	-1.00	-0.1638	-1.57
DLNES(L1)	-0.0019	-0.02	0.2846	2.66***	0.3616	3.90***	0.3927	2.12**
DLNES(L2)	-0.1636	-1.35	-0.1541	-1.30	-0.0467	-0.44	0.0751	0.42
DLNTC(L1)	0.0775	1.74*	0.0357	0.88	0.0196	0.42	0.1088	1.29
DLNTC(L2)	0.0367	0.40	0.0628	1.12	0.0915	1.33	0.3032	3.26***

资料来源：作者自绘

注：GMM\_C 表示 GMM 估计系数，L1、L2 分别表示滞后 1 阶、滞后 2 阶。“\*”、“\*\*”、“\*\*\*”分别表示在 10%、5%、1% 显著性水平下拒绝原假设而接受备择假设。

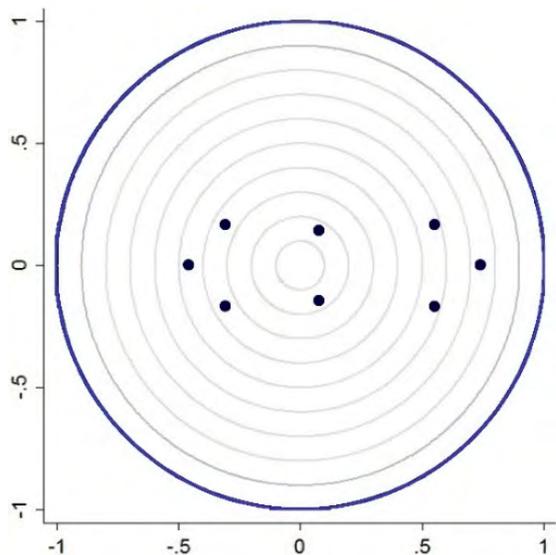


图2 面板 AR 根检验  
资料来源：作者自绘

环境承载力、经济社会承载力、科技文化承载力是否受到京津冀城市群土地综合承载力系统其他内生变量的滞后影响，故每一种 Granger 检验结果都和滞后阶数的选取密切相关<sup>[22]</sup>（表 4）。

由 DLNLP 方程可知，资源环境承载力、经济社会承载力、科技文化承载力以及三者的联合发展都不是土地人口承载力的 Granger 原因，这是因为土地人口承载力主要受人口自然增长率、单位土地面积上的人口数、第二第三产业从业人员构成比例等因素的影响。这与单个城市土地人口承载力的 Granger 因果分析一致。

由 DLNRE 方程可知，土地人口承载力、科技文化承载力不是资源环境承载力的 Granger 原因，而在 5% 显著性水平下，经济社会承载力以及三者的联合发展是资源环境承载力的 Granger 原因，这是因为水土资源合理开发、生态环境有效治理需要人类不断提高科技文化水平，在水土资源、生态环境可承载的范围内促进经济社会稳步健康发展。

由 DLNES 方程可知，资源环境承载力、科技文化承载力以及三者的联合发展不是经济社会承载力的 Granger 原因，但在 5% 显著性水平下，土地人口承载力是经济社会承载力的 Granger 原因，这是因为人口素质的提高、人口数量的适度增长、单位土地面积人口的合理承载能够促进区域经济健康发展和社会持续进步，但是也存在着水土资源利用效率低下、供给不足、环境污染严重等问题，需要在科技文化驱动下提高区域经济社会的支撑能力。

由 DLNTC 方程可知，土地人口承载力、资源环境承载力以及三者的联合发展不是科技文化承载力的 Granger 原因，而在 10% 显著性水平下，经济社会承载力是科技文化承载力的 Granger 原因，表明科学技术的发展、文化水平的提高需要经济社会发展的推动，加大对科技文化的投入力度，不断增强研发水平。这也表明科技文化承载力和经济社会承载力之间形成了一定程度的互动。

根据复杂系统理论，京津冀城市群土地综合承载力系统之间没有实现相互耦合、协调发展，系统没有形成稳定的有序结构，各个子承载力之间没有形成良好的合作机制，系统整体效应和功能没有得到最大最佳的发挥。

### 3.3.4 面板脉冲响应函数

面板脉冲响应函数是指 PVAR 模型的随机扰动误差  $\zeta_{it}$  发生变化，即受到某种冲击时对京津冀城市群土地综合承载力系统的动态冲击效应，从而分析 PVAR 模型中的各内生变量对于冲击是如何反应的<sup>[22]</sup>。结合构建的 PVAR 模型，采用面板脉冲响应函数分析京津冀城市群土地综合承载力系统之间的动态冲击效应。图 3 表示滞后 10 期的京津冀城市群土地人口、资源环境、经济社会、科技文化承载力对一个标准差新息冲击的面板脉冲响应函数，据此分析新息冲击对内生变量的冲击效应。其中，横轴表示冲击发生的滞后期数，纵轴表示内生变量对新息冲击的动态响应程度，中间实线表示面板脉冲响应函数，彩色部分表示 5% 和 95% 分位点形成的估计区间<sup>[25]</sup>。

第一，图 3 第一行分别为土地人口承载力受到自身新息冲击、资源环境承载力新息冲击、经济社会承载力新息冲击、科

表 4 面板 Granger 因果检验结果

变量	原假设	$F$ -统计量	自由度	P 值
DLNLP	DLNRE 不能 Granger 引起 DLNLP	0.674	2	0.714
	DLNES 不能 Granger 引起 DLNLP	1.902	2	0.386
	DLNTC 不能 Granger 引起 DLNLP	4.514	2	0.105
	DLNRE、DLNES、DLNTC 不能同时 Granger 引起 DLNLP	5.984	6	0.425
DLNRE	DLNLP 不能 Granger 引起 DLNRE	1.854	2	0.396
	DLNES 不能 Granger 引起 DLNRE	7.446	2	0.024
	DLNTC 不能 Granger 引起 DLNRE	2.566	2	0.277
	DLNLP、DLNES、DLNTC 不能同时 Granger 引起 DLNRE	16.201	6	0.013
DLNES	DLNLP 不能 Granger 引起 DLNES	8.251	2	0.016
	DLNRE 不能 Granger 引起 DLNES	1.072	2	0.585
	DLNTC 不能 Granger 引起 DLNES	3.677	2	0.159
	DLNLP、DLNRE、DLNTC 不能同时 Granger 引起 DLNES	9.836	6	0.132
DLNTC	DLNLP 不能 Granger 引起 DLNTC	3.429	2	0.180
	DLNRE 不能 Granger 引起 DLNTC	2.457	2	0.293
	DLNES 不能 Granger 引起 DLNTC	5.798	2	0.055
	DLNLP、DLNRE、DLNES 不能同时 Granger 引起 DLNTC	10.486	6	0.106

资料来源：作者自绘

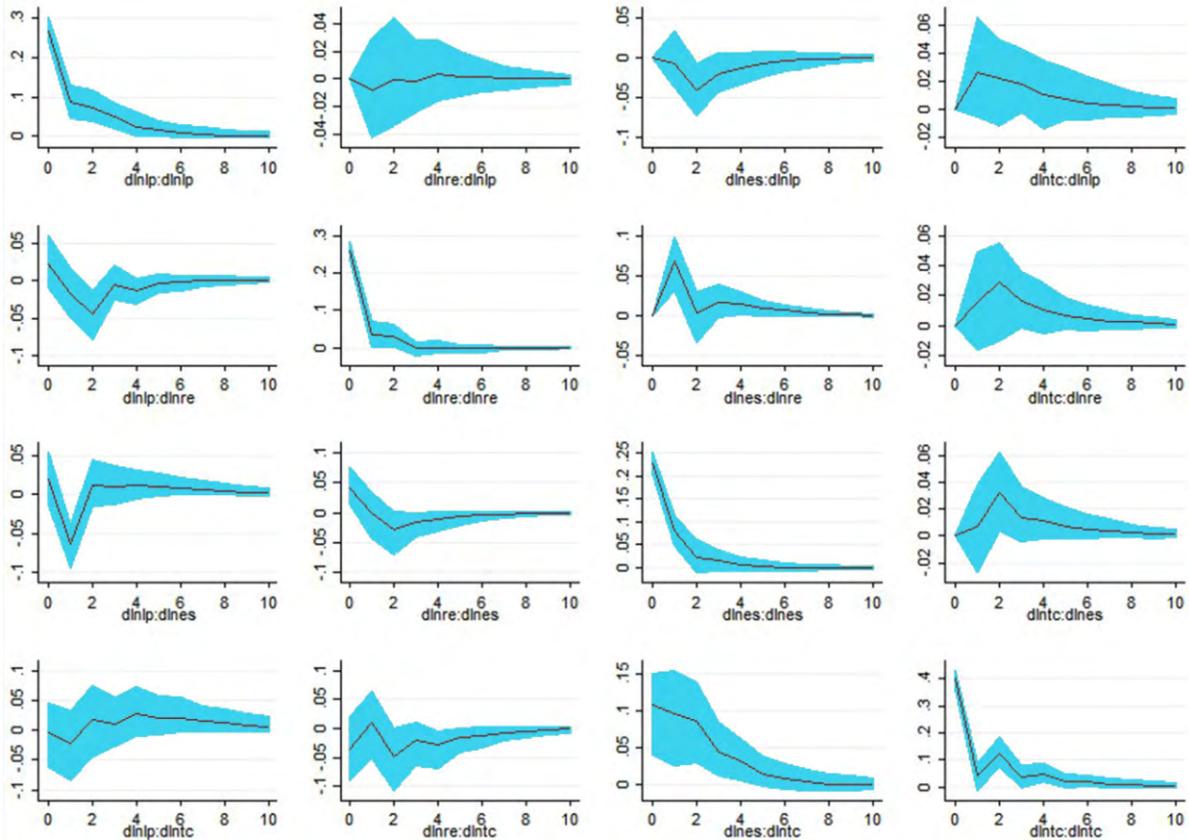


图3 一个标准差新息冲击的面板脉冲响应函数（脉冲变量：响应变量）

资料来源：作者自绘

技文化承载力新息冲击的动态响应。其中，LP 新息冲击响应逐渐下降，且均为正向效应，第 8 期以后逐渐收敛于 0 值；RE 新息冲击响应前 4 期内出现较小幅度的波动，且均为负向效应，第 6 期以后逐渐收敛于 0 值；ES 新息冲击响应均为负向效应，先下降后上升，第 2 期达到最小值，第 6 期以后逐渐趋向 0 值；TC 新息冲击响应均为正向效应，先上升后下降，第 1 期达到最大值，第 8 期以后逐渐趋向 0 值。这表明土地人口承载力自身、科技文化承载力的一个标准差新息冲击能够推动土地人口承载力水平的提高。

第二，图 3 第二行分别为资源环境承载力受到土地人口承载力新息冲击、自身新息冲击、经济社会承载力新息冲击、科技文化承载力新息冲击的动态响应。其中，LP 新息冲击响应先

下降后上升，除当期外均为负向效应，第 2 期达到最小值，第 6 期以后逐渐趋向 0 值；RE 新息冲击响应逐渐下降，且均为正向效应，第 5 期以后逐渐趋向 0 值；ES 新息冲击响应均为正向效应，先上升后下降，第 1 期达到最大值，第 8 期以后逐渐收敛于 0 值；TC 新息冲击响应均为正向效应，先上升后下降，第 2 期达到最大值，第 6 期以后逐渐收敛于 0 值。这表明土地人口承载力的一个标准差新息冲击对资源环境承载力水平的提高具有抑制作用。

第三，图 3 第三行分别为经济社会承载力受到土地人口承载力新息冲击、资源环境承载力新息冲击、自身新息冲击、科技文化承载力新息冲击的动态响应。其中，LP 新息冲击响应先下降后上升，表现出正负交替效应，第 1 期达到最小值，第

表 5

预测误差方差分解表

滞后期	DLNLP 的方差分解				DLNRE 的方差分解				DLNES 的方差分解				DLNTC 的方差分解			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
1	100	0	0	0	0.74	99.26	0	0	0.70	3.21	96.10	0	0.01	0.73	6.65	92.61
2	99.02	0.08	0.05	0.85	1.03	92.55	6.11	0.31	6.62	2.70	90.61	0.07	0.27	0.73	11.28	87.72
3	96.65	0.08	1.91	1.36	3.58	89.19	5.84	1.39	6.62	3.67	88.14	1.56	0.37	1.80	13.46	84.37
4	95.98	0.08	2.26	1.68	3.59	88.53	6.17	1.71	6.73	3.96	87.51	1.81	0.41	1.95	14.12	83.53
5	95.71	0.09	2.42	1.78	3.77	87.98	6.41	1.84	6.90	4.09	87.01	2.00	0.76	2.28	14.26	82.70
6	95.60	0.09	2.47	1.84	3.78	87.82	6.51	1.88	7.05	4.13	86.76	2.06	0.93	2.36	14.28	82.43
7	95.56	0.10	2.48	1.86	3.78	87.75	6.56	1.91	7.14	4.15	86.61	2.10	1.12	2.42	14.24	82.21
8	95.54	0.10	2.48	1.87	3.78	87.73	6.57	1.92	7.19	4.15	86.54	2.12	1.22	2.44	14.22	82.12
9	95.54	0.10	2.49	1.87	3.78	87.72	6.57	1.92	7.22	4.15	86.50	2.12	1.28	2.44	14.21	82.06
10	95.54	0.10	2.49	1.88	3.79	87.71	6.58	1.92	7.23	4.15	86.49	2.13	1.32	2.44	14.20	82.04

资料来源：作者自绘

注：Cholesky 顺序：DLNLP、DLNRE、DLNES 和 DLNTC；①、②、③、④分别表示 DLNLP、DLNRE、DLNES 和 DLNTC 的一个标准差新息冲击。

8期以后逐渐收敛于0值；RE新息冲击响应先下降后上升，除第1期外均为负向效应，第2期达到最小值，第6期以后逐渐收敛于0值；ES新息冲击响应均为正向效应，逐渐下降，第6期以后逐渐趋向0值；TC新息冲击响应均为正向效应，先上升后下降，第2期达到最大值，第8期以后逐渐趋向0值。这表明经济社会承载力自身、科技文化承载力变动冲击能够促进经济社会承载力发展。

第四，图3第四行分别为科技文化承载力受到土地人口承载力新息冲击、资源环境承载力新息冲击、经济社会承载力新息冲击、自身新息冲击的动态响应。其中，LP新息冲击响应除第1期外均为正向效应，且出现一定幅度的波动，第8期以后逐渐趋向0值；RE新息冲击响应均为负向效应，先上升后下降再上升，第7期以后逐渐趋向0值；ES新息冲击响应逐渐下降，且均为正向效应，第8期以后逐渐收敛于0值；TC新息冲击响应先下降后上升再下降，且均为正向效应，第6期以后逐渐收敛于0值。这表明资源环境承载力变动冲击不利于科技文化承载力的发展，而经济社会承载力、科技文化承载力自身变动冲击对科技文化承载力水平的提升具有重要的影响。

### 3.3.5 面板方差分解技术

面板方差分解是通过分析每一个标准差新息冲击对内生变量变化的方差贡献度来评价京津冀城市群土地综合承载力系统来自不同新息冲击的重要程度<sup>[22]</sup>。结合PVAR(2)模型，对京津冀城市群土地综合承载力系统进行滞后10期的方差分解(表5)。

从中长期来看，土地人口承载力变动冲击、资源环境承载力变动冲击、经济社会承载力变动冲击、科技文化承载力变动冲击分别对京津冀城市群土地人口承载力波动、资源环境承载力波动、经济社会承载力波动、科技文化承载力波动的方差贡献度的稳定水平，见图4。

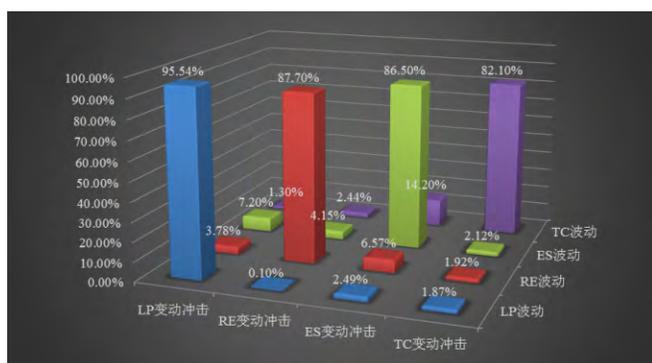


图4 LP、RE、ES、TC 变动冲击方差贡献度的稳定水平

资料来源：作者自绘

## 4. 结论及建议

本文采用PVAR模型分析京津冀城市群土地综合承载力的动态冲击效应问题，拓展了现有的研究思路，丰富了区域可持续发展理论的应用，从时间、空间维度揭示了内生变量之间的互动关系和动态冲击效应，为其他城市群土地综合承载力提升策略的制定提供了实证依据。

### 4.1 研究结论

(1) 京津冀城市群土地综合承载力系统内生变量序列均

为一阶单整序列I(1)，变量两两之间都存在着长期协整关系，构建的PVAR(2)模型满足稳定性条件。

(2) 科技文化承载力变动冲击能够推动土地人口承载力水平的提高和经济社会承载力水平的发展，经济社会承载力变动冲击对科技文化承载力水平的提升具有重要的影响，但土地人口承载力标准差新息冲击对资源环境承载力水平的提高具有抑制作用。

(3) 京津冀城市群土地人口、资源环境、经济社会、科技文化承载力变动冲击对其自身波动的影响最大，方差贡献度分别保持在95.54%、87.70%、86.50%、82.10%；土地人口、资源环境、科技文化承载力波动受经济社会承载力变动冲击的影响次之。

### 4.2 政策建议

(1) 根据京津冀城市群土地综合承载力水平指数，分别找出10个城市的土地人口、资源环境、经济社会、科技文化承载力的“瓶颈”，通过“驱动力—压力—状态—影响—响应”DPSIR基本框架进行验证，结合10个城市4个子承载力水平的承载状态，实现京津冀区域水土空间资源保护、空间结构优化、空间效率提升，确保京津冀城市群土地综合承载力的持续增效。

(2) 结合京津冀城市群土地综合承载力的动态冲击效应，探索10个城市土地人口、资源环境、经济社会、科技文化承载力之间的有效发展机制，促进科技文化推动下的城市人口、资源环境、经济社会的协调发展，均衡配置城市公共基础设施，保证京津冀城市群土地可持续利用，为京津冀城市土地的可持续承载提供重要的理论支撑。

(3) 节约利用京津冀城市群水土资源，提高资源利用效率，盘活10个城市建设用地存量，释放水资源盈余，提高城市水土资源供给能力。减少污染物排放量，提高三废利用产品产值，加大生态环境保护投入力度。建立空间规划体系，根据城市定位、产业布局、空间发展情况，适度调整京津冀城市群土地综合承载力的核算指标，深度挖掘京津冀城市土地的潜在综合承载能力。△

### 【参考文献】

- [1] 方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向[J]. 地理学报, 2014, 69(8): 1130-1144.
- [2] Sarma A K, Mahanta C, Bhattacharya R, et al. Urban carrying capacity: Concept and calculation[M]. Guwahati: Assam: India: Civil Engineering Department, IIT Guwahati, 2012: 1-23.
- [3] Oh K, Jeong Y, Lee D, et al. Determining development density using the urban carrying capacity assessment system[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 73(1): 1-15.
- [4] Lane M. The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(4): 1038-1045.
- [5] Lane M, Dawes L, Grace P. The essential parameters of a resource-based carrying capacity assessment model: An Australian case study[J]. *Ecological Modelling*, 2014, 272: 220-231.
- [6] Hjorth P, Bagheri A. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach[J]. *Futures*, 2006, 38(1): 74-92.
- [7] 王书华, 毛汉英. 土地综合承载力指标体系设计及评价——中

## 中彩页

- 国东部沿海地区案例研究 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 248-254.
- [8] 郭志伟. 北京市土地资源承载力综合评价研究 [J]. 城市发展研究, 2008, 15(5): 24-30.
- [9] 孙钰, 李新刚, 姚晓东. 天津市辖区土地综合承载力研究 [J]. 城市发展研究, 2012, 19(9): 106-113.
- [10] 孙钰, 李新刚, 姚晓东. 基于 TOPSIS 模型的京津冀城市群土地综合承载力评价 [J]. 现代财经, 2012(11): 71-80.
- [11] 孙钰, 李新刚. 山东省土地综合承载力协调发展度分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 123-129.
- [12] 朱凤武, 高永年, 鲍桂叶. 江苏沿海地区土地综合承载力指标预警与短板要素识别 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(Z1): 15-22.
- [13] 祝秀芝, 李宪文, 贾克敬, 等. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究 [J]. 中国土地科学, 2014, 28(2): 90-96.
- [14] 张红, 李林峻, 张洋, 等. 基于修正系统动力学模型的海岛城市土地综合承载力及其趋势评价——以舟山市为例 [J]. 生态经济, 2016, 32(7): 178-182.
- [15] 孙钰, 李新刚. 基于空间回归分析的城市土地综合承载力研究——以环渤海地区城市群为例 [J]. 地域研究与开发, 2013, 32(5): 128-132.
- [16] 魏玮, 伍博炜, 王强, 等. 基于生物免疫学原理的海西城市群土地综合承载力研究 [J]. 资源科学, 2015, 37(10): 2018-2029.
- [17] 方创琳, 宋吉涛, 蔺雪芹, 等. 中国城市群可持续发展理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 481.
- [18] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 (2001-2015) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002-2016.
- [19] 中国城市发展研究会. 中国城市年鉴 (2001-2015) [M]. 北京: 中国城市年鉴社, 2002-2016.
- [20] 李新刚, 王双进, 孙钰. 城市土地综合承载力因子的动态影响效应分析 [J]. 统计与决策, 2018(7): 114-118.
- [21] Holtz-Eakin D, Newey W, Rosen H S. Estimating vector autoregressions with panel data [J]. *Econometrica*, 1988, 56(6): 1371-1395.
- [22] 高铁梅, 王金明, 梁云芳, 等. 计量经济分析方法与建模——EViews 应用及实例 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 267-371.
- [23] 张海英, 周志刚, 朱迎春. 中国高校 R&D 投入与经济发展动态关系研究 [J]. 中国科技论坛, 2014(4): 118-122.
- [24] Michael R.M. Abrigo, Inessa Love. Estimation of panel vector autoregression in Stata: A package of programs [J]. *The Stata Journal*, 2016, 16(3): 778-804.
- [25] 黄宁, 郭平. 经济政策不确定性对宏观经济的影响及其区域差异——基于省级面板数据的 PVAR 模型分析 [J]. 财经科学, 2015(6): 61-70.
- [26] 楚尔鸣, 何鑫. 不同城市的房价是否具有相同的人口集聚效应——基于 35 个大中城市 PVAR 模型的实证分析 [J]. 统计与信息论坛, 2016, 31(3): 81-89.
- [27] 孙正, 张志超. 流转税改革是否优化了国民收入分配格局? ——基于“营改增”视角的 PVAR 模型分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2015(7): 74-89.

作者简介: 李新刚 (1983 — ), 男, 山东东营人, 博士, 讲师。研究方向: 城市土地综合承载力、区域经济发展。

收稿日期: 2018-10-13

## Research on the Dynamic Effect of Urban Land Comprehensive Carrying Capacity Based on PVAR Model: Taking Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration as an Example

LI Xingang, WANG Shuangjin, SUN Yu

**【Abstract】**The research evaluates the urban land comprehensive carrying capacity, using three-dimensional panel data, and constructs the system PVAR model of land comprehensive carrying capacity of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. And it uses panel impulse response function and panel variance decomposition technique to analyze the dynamic effects of endogenous variables, so as to explore their interactive development mechanism. The research finds that: (1)The change impact of scientific and technological carrying capacity can promote the improvement of land population carrying capacity and the development of economic and social carrying capacity, but a standard deviation error shock of land population carrying capacity has the restraining effect on the improvement of resources and environment carrying capacity. (2)The fluctuations of endogenous variables are the most affected by the shock of their own changes, and the variance contribution rates are stable at 95.54%, 87.70%, 86.50% and 82.10% respectively; the fluctuations of land population, resources and environment, scientific and technological carrying capacity are all secondly affected by the shock of economic and social carrying capacity changes.

**【Keywords】**Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration; Land Comprehensive Carrying Capacity; Dynamic Effect; PVAR Model