

基于随机前沿分析的中国城镇建设土地利用效率研究

刘书畅^{1,2}, 叶艳妹^{1,2}, 李林林^{1,2}, 肖武^{1,2}

(1. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学土地与国家发展研究院, 杭州 310058)

摘要: 建设用地高效利用是促进城镇高质量增长的有效方式之一。借助 2009—2016 年 30 个省级单元面板数据, 构建了用于城镇建设土地利用效率测度的“一步法”随机前沿模型, 并对效率水平与建设用地投入、污染水平等展开关联比较。结果表明: (1) 非期望产出会导致城镇建设土地利用效率损失, 研究期内其分别造成东、中、西部效率损失 3.77%、7.74%、8.77%。(2) 效率分布具有明显的区域非均衡性, 东部总体水平最高, 而西部最低; 且在考虑非期望产出后, 不同地区效率值会因污染排放程度的差异而呈现更大分异。(3) 高投入、高产出并不一定带来高土地利用效率, 较高的污染排放也会造成效率损失。研究结果有助于揭示未来建设用地效率改进的重点与方向。

关键词: 城镇建设土地利用效率; 随机前沿分析; 非期望产出; 区域分异; 中国

建设用地作为重要的投入要素, 有力支撑了城镇化建设进程^[1]。2018 年, 中国人口城镇化率为 59.58%, 这比 20 世纪 90 年代初提高了一倍多, 社会经济建设的成效显著。但这一过程中的资源环境成本也不容忽视^[2,3], 经济、人口增长与土地利用的不协调依然突出^[4]。据统计, 城市建设用地规模在 2000—2016 年约增加 2.8 倍, 显著快于人口增速。过度、无序的城镇土地开发不仅侵占了大量的农地和生态空间, 而且导致了土地的低效粗放利用^[5]。随着社会经济不断增长不断面临严峻的资源环境约束, 提高土地资源利用的综合效率将成为经济高质量增长、平衡发展与保护问题的关键。

城镇建设土地利用效率是指在一定技术条件下, 通过优化土地资源配置与治理结构, 以保障生产发展和生态改善的能力, 除了追求经济产出, 还重视生态效益, 强调土地利用过程的开发与保护并重, 即在保障经济发展和社会福利的同时, 减少生态干扰并实现环境优化。有学者从单一指标出发, 用土地经济产出率来表征土地利用效率^[6,7]。随着对环境问题的逐渐重视, 有关研究视角也逐渐由单纯注重经济效率转向考虑生态环境影响, 并尝试将工业污染作为环境负产出纳入测度模型^[8,9]。在测度方法上, 基于投入—产出原理, 多采用综合评价体系^[10]、DEA 模型^[11]和 SBM 模型^[12]。为体现土地利用负外部性影响, 多采用 SE-DEA 模型^[13]和方向距离函数^[14]等非参数方法。Battese 等^[15]逐步发展了适用于面板数据的随机前沿模型 (SFA), 相比于其他非参数方法, SFA 将复合误差中的随机因素单独分离, 弥补了非参数方法中将由于随机因素导致的与最优状态的偏离被计算为无效率的不足。随机前沿分析也逐渐被用于土地利用效率评价^[16,17], 并采用“两步

收稿日期: 2019-11-25; 修订日期: 2020-08-25

基金项目: 浙江省自然科学基金项目 (LY20D010008)

作者简介: 刘书畅 (1995-), 男, 河南周口人, 博士研究生, 研究方向为城乡土地利用、土地整治。

E-mail: liushuchang313@163.com

通讯作者: 叶艳妹 (1964-), 女, 浙江金华人, 博士, 教授, 研究方向为土地整治、土地利用。

E-mail: yeyanmei@zju.edu.cn

法”估计策略对效率影响因素进行分析。但“两步法”估计由于两个阶段分别估计时的假设条件不同,从而存在模型内部冲突问题,进而容易造成模型偏误^[18]。

通过梳理文献可知,当前既有研究成果丰富,且在土地利用效率测度中逐渐关注到非期望产出的影响。现有研究集中于非参数方法,通过线性规划模型来测度研究样本地区的土地利用效率值,但该方法不能剔除不可控的随机因素对效率的影响,且无法检验变量的显著性状况。随机前沿模型则解决了以上问题,但是其目前在土地利用效率评价中的研究仍有待进一步改进,既有研究在效率测度时未控制外生因素干扰,“两步法”估计也会由于在两个估计阶段基本假定的不同而出现冲突。为此,本文采用能够避免模型内部冲突的“一步法”随机前沿模型,通过构建技术无效率函数,在测度时控制了无效率的影响因素,以期准确揭示效率的地区差异及未来改进重点。

1 基于随机前沿分析的城镇建设用地利用效率

Aigner等^[19]与Meeusen等^[20]于同时期在不同研究中提出了SFA模型,该方法通过评价系统内各单元总体的投入产出状况确定生产前沿面,以实际产出与最佳产出之比反映技术效率,并以此表征既定的条件下,实现最优生产的能力。按照随机前沿理论,生产主体仍要在成本收益约束下,通过不断调整生产以保证生产过程的产出最大和利润最优。但是受到各种条件影响,现实中很难保证投入产出的最优化,生产主体在实际中往往会偏离最优生产状态,从而导致非效率。传统微观经济学认为,不可控制的随机因子是导致其与最优状态偏离的唯一因素^[18],但随机前沿理论认为,现实中人为失误、劳动力素质等因素也是造成技术无效的重要成因,并将此计算为技术无效率。

以城镇建设用地利用为例,城镇实际发展中也很难保证在既定的技术条件下能够以最少的投入保障最优产出,可以采用随机前沿分析理论来探索城镇建设用地利用的投入产出过程。如图1所示,假设 F_1 是土地利用投入产出的前沿边界,技术条件一定下,投入程度为 C_1 ,实际产出为 q_1 ,未达到最优状态,存在生产无效现象(A点, $u \neq 0$)。当不断提高技术利用水平,达到生产完全有效时($u=0$),此时由于不可控制的随机因素影响,仍会导致其偏离前沿面。如图中处于投入产出最优状态的B点,位于前沿面之下,这是由于随机因素对效率具有负面影响(即 $v < 0$);同理,如果随机因素影响为正(即 $v > 0$),则会导致土地利用过程的实际产出高于前沿面。随机前沿分析通过将随机因素与无效率项分离,在效率测算时剔除了随机因素影响,因此当土地利用投入产出达到完全有效时,实际产出将处于生产前沿面上。 C_1A 与 C_1B 的比值可用来表示技术效率,效率值介于0~1之间。

当调整土地利用投入过程,投入水平扩大到 C_2 时,土地利用产出增加至 q_2 ,假定已剔除随机因素的影响,

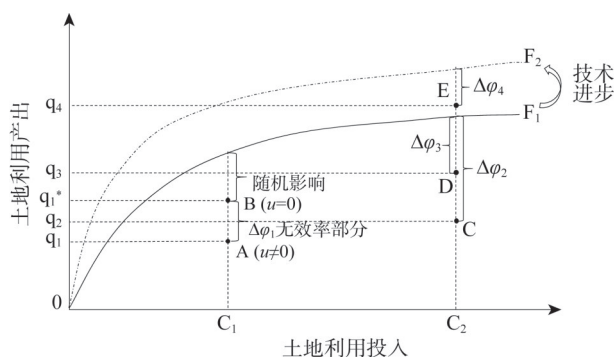


图1 基于随机前沿理论的城镇建设用
地利用效率分析

Fig. 1 Analysis of urban land use efficiency based on stochastic frontier theory

如果现实中技术条件与技术利用能力不变,此时土地利用投入产出的技术效率并未发生变化。假定技术条件不变,则前沿面仍为 F_1 ,逐步提高技术利用水平以促进生产,在 C_2 投入水平下,产出增加至 q_3 ,此时土地利用的实际产出与技术有效时的产出之间的差距缩小($\Delta\varphi_3 < \Delta\varphi_2$)。此外,如果出现技术进步,前沿面提升至 F_2 ,但如果实际技术应用能力变化不大(假设仍位于D点),则此时土地的现实产出与生产有效时的最优产出的距离进一步拉大,城镇建设用地效率反而出现下降;如果技术进步的同时技术应用能力也得以大幅提升(假设达到E点),那么城镇建设用地利用效率才会得到提高。可知,扩大土地利用投入能否带来产出增长,要取决于城镇发展中实际的技术利用能力,而通过扩大投入是否能够促进城镇建设用地效率提升,则又取决于二者的净效应。本文测得的效率值即为二者变化后的净效率值。

2 研究方法与数据来源

2.1 城镇建设用地利用效率测度模型

SFA模型可以采取柯布一道格拉斯函数和超效率函数两种形式,前者函数形式简洁,后者虽能在一定程度上避免函数形式误设,但容易造成共线性问题^[21]。因此,本文选择柯布一道格拉斯生产函数形式构建城镇建设用地利用效率测度的随机前沿生产函数模型,同时为更加准确地反映土地利用投入产出水平,采用集约化的生产函数,模型一般形式为^[15]:

$$Y_{it} = F(X_{it}, t; \beta) \exp(V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

式中: Y_{it} 表示地均产出; $F(\cdot)$ 表示随机前沿生产函数; X_{it} 为投入要素向量; t 为时间变量; β 为待估系数向量。 $V_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$,服从标准正态分布,为独立同分布的随机误差项,用来表示人为不可控的灾害、气候等因素的影响; $U_{it} \sim N^+(m_u, \sigma_u^2)$,为技术无效程度,假定其服从非负正态分布。当 $U_{it}=0$ 时,说明此时土地利用的现实产出与生产前沿面的距离为0,处于完全有效的状态;否则, U_{it} 越大,说明偏离前沿边界越远,效率水平也就越低。

采用地均非农经济增加值反映土地利用的期望产出,非期望产出使用污染和能源消耗碳排放近似表征。投入指标主要选取地均资本存量和地均劳动力人数。为适应模型单一产出要求,对非期望产出进入模型的形式加以变化。采用工业污染治理投资反映区域环境污染水平,并将其作为非期望产出在总产出中予以剔除。有研究也表明,使用污染治理投资以近似表征污染产出是有效的^[22]。另外,参考陈诗一^[23]的处理方法,将碳排放非期望产出视为投入变量,表征经济发展通过消耗生态环境资本来增加社会经济效益。模型对数形式如下:

$$\ln(y_{it} - w_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln L_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln C_{it} + \beta_4 t + v_{it} - u_{it} \quad (2)$$

式中: y_{it} 为地均非农产业增加值(万元/km²); w_{it} 为地均工业污染投资额; L_{it} 、 K_{it} 、 C_{it} 分别表示地均劳动力数量(人/km²)、地均资本存量(万元/km²)、地均碳排放量(t/km²); β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 为弹性系数; v_{it} 、 u_{it} 分别为随机误差项、无效率项。

城镇建设用地利用效率(LUE)可以表示为 t 时期城镇建设用地利用实际产出的期望值与技术完全有效($U_{it}=0$)下产出期望值之比,即:

$$LUE_{it} = \frac{E(Y_{it}|U_{it}, X_{it})}{E(Y_{it}|U_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-U_{it}) \quad (3)$$

技术无效率项不仅仅与时间趋势相关，其还是由一系列不进入生产函数但对效率产生影响的外生变量构成的函数，因此在效率估计时需要控制这些变量对效率估算的影响，函数形式如下^[24]：

$$m_{it} = \delta_0 + \sum \delta_k Z_{itk} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中： Z_{itk} 为影响技术无效的变量； δ_0 、 δ_k 为相应参数； m_{it} 为技术无效项中值； ε_{it} 为随机项。

本文选择区域污染强度来控制并检验环境对效率的效应。另外，由于一个地区效率值的高低还会受到当地技术水平、基础设施禀赋以及政策的影响^[25-27]，为避免模型回归偏误，另选择技术市场成熟度、交通设施水平和财政收支平衡压力指标作为控制变量，构建技术无效率函数模型。为保证指标可比性，污染强度使用每单位产值污染物排放量来表征^[28]。从社会—经济—资源—环境协调的视角，非期望产出的增加必然导致土地利用综合效益的降低并增加企业的治污成本，进而对土地利用的投入产出效率产生影响^[29]。由于不同类别的污染物不具有相加性，所以采用单位产值污染物排放量对其进行反映。本文考察的是地区总体污染强度对土地利用效率的影响，因此采用熵权法将单位产值的废水、SO₂、CO₂、烟（粉）尘排放量构建为一个综合指数。采用技术市场成交额占GDP的比例来反映技术市场成熟度，其考察的是地区实际技术利用与转化能力对土地利用效率的影响。技术研发活动是推动地区技术进步和经济发展的重要动力，技术水平的提高不仅能提高土地资源本身的利用率，还能够有效提高其产出水平^[14]。交通设施条件的改善可以加强地区间经贸交流，发挥技术的空间溢出效应，并推动资源要素向交通优势明显的区域集聚^[30]。但交通设施建设会在短期内占用大量投资^[31]，并推动城市土地的快速扩张，也可能对土地利用效率带来消极影响。本文采用公路和铁路密度的几何均值表征交通设施水平^[32]。财政收支压力采用财政支出与收入的比率表示^[33]，其考察的是现有财政压力下土地供应策略的调整对效率产生的影响^[34]。

最后，采用广义似然比来检验SFA模型的适用性，LR统计量为：

$$LR = -2[L(\omega_0) - L(\omega_1)] \quad (5)$$

式中： $LR \sim \chi^2_{1-\alpha}(K)$ ，服从混合卡方分布， K 为自由度， α 为显著水平； $L(\omega_0)$ 为受约束限制的对数似然函数值； $L(\omega_1)$ 为无约束下对数似然函数值。

2.2 熵权TOPSIS模型

熵权TOPSIS模型改进了传统TOPSIS模型在指标确权时的主观性问题，采用信息熵法则，通过各方案与理想值的接近度来确定其位序。本文采用该方法对土地利用投入、污染排放程度各分指标进行综合，主要计算方法如下^[35]。

(1) 建立判断矩阵

假设有 m 个评价单元， n 个评价指标，则判断矩阵 X 为：

$$X = (x_{ij})_{m \times n}, (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

(2) 初始数据标准化

采用极值法对初始数据无量纲处理，得到判断矩阵 Q 。

$$Q=(q_{ij})_{m\times n}, (i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n)$$

(7)

(3)确定指标权重

首先计算得到n个指标的信息熵 H_j ，并据此确定指标权重 w_j 。

$$H_j=-\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^m P_{ij}\ln P_{ij}$$

(8)

$$P_{ij}=q_{ij}/\sum_{i=1}^m q_{ij}$$

(9)

$$w_j=(1-H_j)/\sum_{j=1}^n (1-H_j)$$

(10)

(4)计算最优解与最劣解

计算加权判断矩阵：

$$R=w_jQ=(r_{ij})_{m\times n}$$

(11)

确定最优解 r_j^+ 与最劣解 r_j^- ：

$$r_j^+=\max(r_{1j},r_{2j},\cdots,r_{mj})$$

(12)

$$r_j^-=\min(r_{1j},r_{2j},\cdots,r_{mj})$$

(13)

计算欧式距离：

$$sd_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^n (r_j^+-r_{ij})^2}$$

(14)

$$sd_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^n (r_j^--r_{ij})^2}$$

(15)

(5)计算综合指数

根据以上结果，计算评价对象的综合指数 D_i 。

$$D_i=sd_i^-/(sd_i^++sd_i^-)$$

(16)

2.3 变量与数据来源

采用2009—2016年中国30个省级单元的面板数据（不包括西藏自治区和港、澳、台），其中投入、产出和污染物排放量、能源消耗量、公路与铁路长度等主要来自CEIC数据库，研究期内的城镇建设用地数据来源于第二次土地变更调查汇总资料。

期望产出采用以2009年为基期的不变价非农产值，劳动力投入使用各地区第二、三产业就业人数。采取永续盘存法估算各地区资本存量，在张军等^[36]的研究基础上，据此方法计算至2016年，最后以2009年为基期统一调整为可比价值。由于统计资料缺少CO₂排放数据，因此采用17种能源的终端消费量对其估算^[37]。各变量选择见表1。

表1 城镇建设用地利用投入产出指标

Table 1 Input and output indicators for urban land use

变量类型	指标名称	代码	单位
投入要素	地均劳动力数量	L	人/km ²
	地均资本存量	K	万元/km ²
期望产出	地均非农经济产值	y	万元/km ²
非期望产出	地均工业污染投资	w	万元/km ²
	地均碳排放量	C	t/km ²

3 结果分析

3.1 随机前沿模型估计结果

利用Frontier 4.1程序，运行得到SFA模型估计结果（表2）。模型1为

表2 随机前沿模型估计结果

Table 2 Estimation results of stochastic frontier production function

变量	模型1			模型2		
	系数	标准误	t检验值	系数	标准误	t检验值
随机前沿生产函数						
常数项	1.291***	0.318	4.064	1.614***	0.252	6.414
lnL	0.297***	0.020	15.026	0.281***	0.031	9.113
lnK	0.624***	0.028	22.382	0.517***	0.028	18.568
lnC				0.114***	0.016	6.958
t	-0.002	0.004	-0.691	0.007	0.019	0.380
无效率函数						
常数项	0.906***	0.037	24.787	0.977***	0.046	21.344
地区污染程度	0.112**	0.045	2.524	0.221***	0.069	3.205
技术水平	-5.522***	0.903	-6.118	-5.558***	0.764	-7.272
基础设施条件	0.035**	0.014	2.560	0.042***	0.012	3.639
财政分权	-0.908***	0.054	-16.818	-0.982***	0.062	-15.829
σ^2	0.008***	0.001	10.639	0.007***	0.001	7.318
γ	0.818***	0.117	7.002	0.969***	0.103	9.411
对数似然函数值		245.817			273.840	

注：*、**、***分别表示在5%、1%的水平上显著。

纳入非期望产出的SFA模型结果，模型2为未纳入非期望产出的传统效率测度模型估计结果。

比较模型1和模型2可知，各变量参数的估计值具有较强的稳健性，变量系数大都通过了1%水平的统计检验。 σ^2 均显著为正， γ 值分别为0.8177、0.9693，且均通过了1%显著水平上的t检验。进而采用似然比判断本文设定的时变SFA模型合理性，零假设 H_0 ：技术无效率不具有时变性，两种模型的似然比统计量LR分别为61.089、17.802，均显著拒绝了时不变SFA的假设，因此采用时变SFA模型是合适的。检验无效性是否存在，零假设 H_0 ： $\gamma=0$ ，结果表明，模型1和模型2的似然比统计量LR分别为341.4215和383.0771，在1%水平上拒绝不存在生产无效的假定。此外，各变量的方差膨胀因子（Variance Inflation Factor，VIF）均小于10，说明共线性影响较弱。

技术无效率函数结果显示，污染强度变量与技术无效 U_{it} 存在正向关系，这说明其对效率提升起到抑制效应，纳入非期望产出以后污染因素对效率改善的抑制作用更强（模型2中污染强度的系数值更大）。这也反映了为提高城镇建设用地利用效率，加强污染治理和降低污染强度是效率改善的有效途径。另外，技术水平和财政收支平衡能力变量回归系数显著为负，说明其对城镇建设用地利用效率的提高有着促进作用。而交通设施条件（ pfa ）却对建设用地效率产生负向影响，这可能是由于在短期内其对土地利用效率改善的推动作用未能发挥，反而会因交通设施建设占用更多的建设用地而导致其在短期内对土地利用效率产生负面影响。

3.2 城镇建设用地利用效率测度结果

3.2.1 非期望产出会造成建设用地利用效率损失

由表3得出，整体而言，包含非期望产出的效率值均低于传统建设用地效率值，这说

表3 中国及各区域包含与不包含非期望产出的建设用地利用效率

Table 3 Urban land use efficiency with and without undesirable outputs in China and its three main regions

年份	传统土地利用效率值								包含非期望产出的土地利用效率值							
	平均值				变异系数				平均值				变异系数			
	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部
2009	0.620	0.742	0.563	0.539	0.213	0.188	0.058	0.113	0.578	0.708	0.520	0.491	0.239	0.207	0.050	0.118
2010	0.630	0.756	0.572	0.547	0.211	0.180	0.055	0.119	0.591	0.725	0.532	0.499	0.242	0.208	0.049	0.124
2011	0.639	0.762	0.583	0.558	0.209	0.182	0.057	0.124	0.599	0.733	0.541	0.508	0.243	0.214	0.049	0.127
2012	0.645	0.765	0.587	0.568	0.211	0.188	0.057	0.140	0.605	0.737	0.545	0.517	0.247	0.222	0.049	0.152
2013	0.645	0.765	0.587	0.566	0.216	0.194	0.062	0.144	0.607	0.741	0.545	0.517	0.256	0.228	0.063	0.165
2014	0.642	0.766	0.585	0.559	0.224	0.197	0.065	0.159	0.601	0.739	0.538	0.509	0.263	0.230	0.059	0.179
2015	0.639	0.767	0.582	0.554	0.231	0.199	0.074	0.171	0.605	0.747	0.543	0.507	0.270	0.229	0.076	0.193
2016	0.640	0.772	0.583	0.551	0.237	0.199	0.078	0.185	0.592	0.735	0.518	0.503	0.278	0.231	0.086	0.211

明纳入非期望产出将会带来效率下降，如果忽略了其影响，将会高估建设用地效率的实际状况。在全国层面，研究时段内纳入非期望产出的平均效率值为0.597，而传统建设用地效率为0.638，约比前者高0.041，说明非期望产出在全国层面平均带来6.33%的效率损失。

区域层面上，中、西部省市遭受了更大的效率损失。从绝对差距来看，研究期间东、中、西部传统效率值与包含非期望产出的效率值差距分别为0.029、0.045、0.049。在差异程度上，东、中、西部传统效率值比包含非期望产出的效率值分别高3.92%、8.39%、9.61%，可见，中部和西部地区两种效率的差距要大于东部地区，这也在一定程度上反映了污染排放问题在中西部更加突出。经计算，研究期内东、中、西三大区域的整体污染强度分别为0.156、0.250、0.409，中部、西部的污染排放强度显著较高。进而在考虑非期望产出对效率产生的消极影响下，中部和西部地区由于较高的污染而产生了更大程度的效率损失。

3.2.2 全国城镇建设用地利用效率整体不高

研究期间，全国城镇建设用地利用效率除部分年份有所波动外，总体上不断提高，说明在近年来城镇化建设过程中，虽然建设用地总量不断攀升，但其整体效率状况有所改善。然而，无论是否纳入非期望产出，全国城镇建设用地效率值均不超过0.65，表明土地利用产出距离最佳前沿面之间依然存在较大差距，效率水平依然具有很大的改善空间。

3.2.3 城镇建设用地利用效率省际差异显著

分区域来看，东部区域城镇建设用地利用效率最高，中部区域次之，西部区域效率水平最低，并且两种效率值由东至西递减的总体格局基本不变。此外，三大区域效率水平的差距有扩大趋势，从考虑非期望产出的效率水平分析，2009年东部与中部、东部与西部的差距分别为0.188、0.217，2016年则分别增加到0.216、0.232。

在省际层面上，图2展示了各省（市、自治区）传统土地利用效率与包含非期望产出的效率均值的对比情况。各省（市、自治区）从左到右按照东、中、西部顺序排列，从图中可以明显看出，建设用地利用效率值东西方向上高低变化分明，北京、上海、广东的土地利用效率值均大于0.9，而青海、宁夏等西部省（自治区）的效率值普遍小于0.5。其中北京、上海、浙江等地两种效率值较为接近，这表明在考虑了非期望产出的负向影响后，这些地区由于污染排放强度相对较低，使得其效率值不会因非期望产出的纳

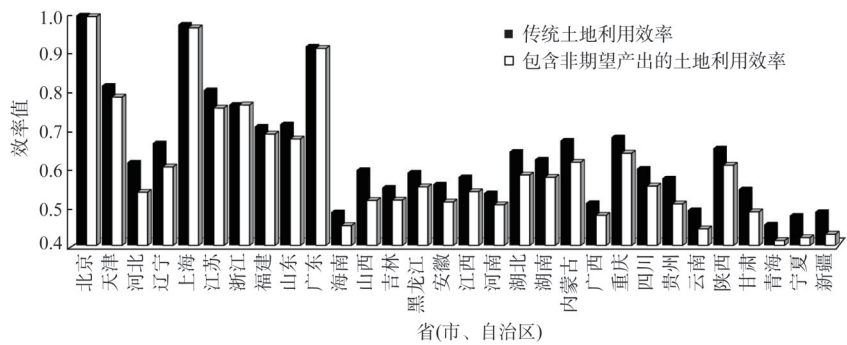


图2 各地区传统土地利用效率与包含非期望产出的建设用地效率均值

Fig. 2 Mean value of urban land use efficiency with and without undesirable outputs in different regions of China

入而造成较大损失。而青海、新疆等地两种效率值的差距很大，说明这些地区由于污染排放而造成了更大的效率损失。另外，变异系数的计算结果表明，相比于传统效率值，纳入非期望产出影响后效率值的变异更大，这反映出在纳入非期望产出影响后，不同地区会因污染程度的差别而导致建设用地效率呈现出更大差别。

3.3 城镇建设土地利用效率空间关联特征

3.3.1 全局空间自相关结果分析

借助Geoda软件测算纳入非期望产出的建设用地效率的全局Moran's *I*指数。由表4可知，各年度全局Moran's *I*值全部大于0，且均在5%水平上显著，相近效率值的空间邻接效应明显，即城镇建设用地效率水平大致相近的地区空间位置上趋向集聚，高效率水平的区域与高效率水平的区域趋向邻近，或者多个低效率水平的区域趋向邻近。总体而言，城镇建设土地利用效率的空间集聚程度先不断减弱、后逐渐增强，整体上趋于强化。这表现在2009—2012年全局Moran's *I*值逐渐减小（从0.446减小至0.355），2012—2016年全局Moran's *I*值不断增大（从0.355增大至0.481）。研究期间，全局Moran's *I*值虽波动变化，但均大于0.35，这反映出各地区城镇建设土地利用效率之间存在较为稳定的空间关联。

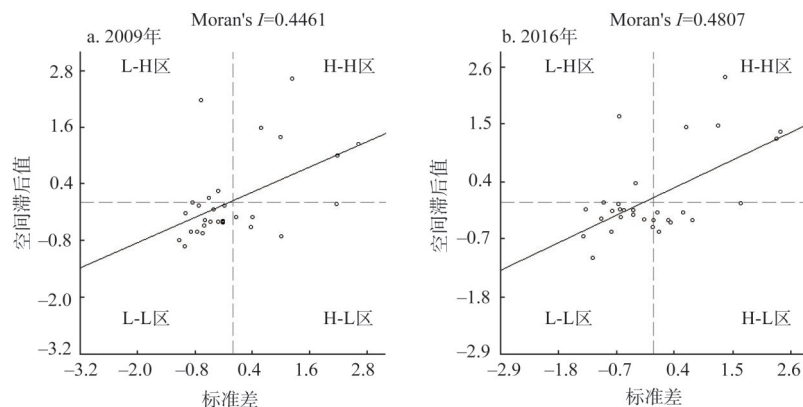
3.3.2 局域空间自相关结果

为探索城镇建设土地利用效率在局域上的关联特征，进一步绘制2009年、2013年、2016年建设用地利用效率的Moran's *I*散点图（图3），将空间相关类型划分为高高值（H-H）、低高值（L-H）、低低值（L-L）、高低值（H-L）四种。整体上，城镇建设用地效率的局部关联类型以H-H和L-L的正向关联为主，其中H-H类型地区全部为东部省市，中西部是L-L类型的集中地区，L-H和H-L类型主要分布在东部与中部交界地区。随着时间变化，H-H类型地区保持稳定，L-L类型仍重点分布在中西部，H-L类型数量略有增加，且中西部部分地区逐渐向该类型

表4 中国城镇建设土地利用效率的全局Moran's *I*指数

Table 4 The global Moran's *I* index of urban land use efficiency in China

年份	Moran's <i>I</i>	Z-Score	<i>P</i> -Value
2009	0.446	2.981	0.005
2010	0.424	2.841	0.008
2011	0.387	2.590	0.008
2012	0.355	2.487	0.014
2013	0.369	2.337	0.020
2014	0.383	2.463	0.014
2015	0.383	2.535	0.011
2016	0.481	3.125	0.003

图3 中国城镇建设土地利用效率Moran's I 散点图Fig. 3 Moran's I scatter plot of urban land use efficiency in China

转化,这一结果表明当前各地区城镇建设土地利用效率存在较大的局部分异。湖北、重庆、陕西等地逐渐从L-L关联变化为H-L关联,中西部效率水平低值连片的格局逐步得以改观。虽然东部地区总体建设土地利用效率较高,但区域内部差异依然较大,如辽宁、海南等地,与同区域其他省(市、自治区)效率水平存在显著差距。此外,地区间扩散效应有待进一步加强。比如,河北在研究期间均处于L-H关联,虽然其与北京、天津地理上邻近,但城镇建设土地利用效率明显偏低。

3.4 城镇建设土地利用效率与要素投入、产出关联分析

将建设土地利用过程中的要素投入、产出水平、污染排放程度等进行叠加分析,以进一步分析效率差异的内在原因。期望产出采用每平方公里土地的非农增加值表征;土地利用投入主要使用地均劳动力和地均资本存量,并利用熵权TOPSIS法将其构建为一个综合指数,表示土地利用综合投入水平;土地利用的非期望产出采用地均废水、地均 SO_2 、地均 CO_2 和地均烟(粉)尘释放量来表征,同样地,使用熵权TOPSIS法将这四个指标综合为一个指标。采用K-均值聚类法将建设土地利用投入、产出和污染排放综合指标划分为低、中、高三种类型(表5)。分析可知:

(1) 低投入、低产出、低污染与低投入、低产出、中污染类型地区建设用地效率值均比较低。低投入、低产出、低污染类型地区土地利用投入水平不高,同时土地利用产出也处于低下水平,虽然能够实现较少的污染排放,但在共同前沿面下,土地利用的实际产出仍与最优状态存在很大偏离,因此建设土地利用效率较低。而低投入、低产出、中污染类型地区不仅土地利用投入产出水平低,而且存在较高的污染排放,进一步造成效率损失。随着经济发展,部分地区逐渐由低投入向中高投入水平转变,但土地利用产出依然较低,其建设土地利用效率反而下降,如黑龙江、宁夏等。

(2) 高投入水平并不一定能带来较高的产出效益,高投入、中产出以及中投入、低产出是导致城镇建设土地利用效率偏低的关键原因之一。这类地区土地利用投入水平相对较高,但由于技术条件和资源配置效率相对低下等因素,导致土地利用产出与最优产出之间的差距较大,从而造成低效率。研究期内,该类地区数量总体有所减少,且主要分布在中西部区域,如安徽、湖南、甘肃、青海等。

(3) 高投入、高产出并不一定能带来高土地利用效率,较高的污染排放程度会造成更

表5 各地区建设用地要素投入、产出效益与污染排放关联类型

Table 5 Correlation types of input-output and pollution emissions of urban land use in 30 provincial-level regions of China

地区	2009年		2013年		2016年	
	投入产出类型	效率值	投入产出类型	效率值	投入产出类型	效率值
北京	中投入、中产出、低污染	0.947	高投入、高产出、低污染	0.990	高投入、高产出、低污染	0.994
天津	中投入、中产出、低污染	0.752	高投入、高产出、低污染	0.774	高投入、高产出、低污染	0.820
河北	中投入、中产出、中污染	0.534	高投入、中产出、中污染	0.530	高投入、中产出、中污染	0.536
山西	中投入、低产出、高污染	0.521	中投入、中产出、高污染	0.519	高投入、中产出、中污染	0.486
内蒙古	低投入、低产出、中污染	0.630	低投入、低产出、中污染	0.591	中投入、中产出、低污染	0.609
辽宁	中投入、中产出、中污染	0.588	中投入、中产出、中污染	0.601	中投入、中产出、低污染	0.591
吉林	低投入、低产出、中污染	0.506	中投入、中产出、低污染	0.526	高投入、中产出、低污染	0.498
黑龙江	低投入、低产出、低污染	0.553	低投入、低产出、中污染	0.555	中投入、低产出、低污染	0.527
上海	中投入、高产出、低污染	0.886	高投入、高产出、中污染	0.984	高投入、高产出、中污染	0.983
江苏	中投入、中产出、低污染	0.721	中投入、中产出、低污染	0.778	高投入、高产出、中污染	0.646
浙江	高投入、中产出、低污染	0.717	高投入、中产出、中污染	0.761	高投入、高产出、低污染	0.797
安徽	中投入、低产出、低污染	0.476	中投入、低产出、低污染	0.516	中投入、中产出、低污染	0.528
福建	高投入、中产出、中污染	0.661	高投入、高产出、中污染	0.699	高投入、高产出、中污染	0.696
江西	中投入、低产出、中污染	0.497	中投入、低产出、中污染	0.536	中投入、中产出、低污染	0.564
山东	中投入、中产出、低污染	0.636	高投入、中产出、低污染	0.678	高投入、中产出、低污染	0.715
河南	中投入、中产出、中污染	0.511	高投入、中产出、中污染	0.510	高投入、中产出、低污染	0.461
湖北	中投入、低产出、低污染	0.549	中投入、中产出、低污染	0.601	中投入、中产出、低污染	0.604
湖南	高投入、中产出、中污染	0.548	高投入、中产出、中污染	0.601	高投入、中产出、中污染	0.480
广东	中投入、中产出、低污染	0.883	中投入、中产出、中污染	0.917	高投入、高产出、中污染	0.870
广西	中投入、低产出、中污染	0.484	中投入、低产出、中污染	0.479	中投入、中产出、低污染	0.483
海南	低投入、低产出、低污染	0.459	低投入、低产出、低污染	0.440	低投入、低产出、低污染	0.435
重庆	中投入、中产出、中污染	0.549	中投入、中产出、中污染	0.665	高投入、中产出、中污染	0.687
四川	中投入、低产出、低污染	0.488	中投入、中产出、低污染	0.568	高投入、中产出、低污染	0.591
贵州	中投入、低产出、高污染	0.493	中投入、中产出、高污染	0.517	中投入、中产出、中污染	0.489
云南	中投入、低产出、中污染	0.455	高投入、中产出、中污染	0.447	高投入、中产出、中污染	0.428
陕西	中投入、低产出、中污染	0.534	中投入、中产出、中污染	0.649	中投入、中产出、低污染	0.640
甘肃	中投入、低产出、中污染	0.473	中投入、低产出、中污染	0.499	中投入、低产出、低污染	0.459
青海	中投入、低产出、中污染	0.421	中投入、低产出、中污染	0.414	中投入、低产出、中污染	0.370
宁夏	低投入、低产出、中污染	0.439	低投入、低产出、中污染	0.432	中投入、低产出、中污染	0.378
新疆	低投入、低产出、中污染	0.435	低投入、低产出、中污染	0.426	低投入、低产出、低污染	0.401

大的效率损失。东部是高投入、高产出类型集中区域，如北京、天津等地，这些地区城镇发展相对较快，建设用地投入水平高，技术条件相对优越，能够实现较高的土地利用产出。但建设用地利用效率并不一定处于高水平，如东部的江苏、福建等地，虽然也实现了高投入、高产出，但却因污染强度在同区域处在较高水平而导致其效率值相对偏低。

4 结论与讨论

本文基于随机前沿分析理论，采用“一步法”随机前沿生产函数模型对2009—2016年中国30个省（市、自治区，不含西藏自治区和港、澳、台）的城镇建设用地利用

效率进行了测度,并构建技术无效率函数,在效率测算时控制了污染等因素的影响,使效率测度更加准确。另外估计了未纳入环境影响的SFA模型,并比较两种效率水平差异及其区域分异。研究结论如下:

(1)非期望产出对各省(市、自治区)造成了不同程度的效率损失。非期望产出在全国层面导致效率平均损失了6.33%,对东、中、西部则分别造成3.77%、7.74%、8.77%的效率损失,忽略环境负效应影响将会高估各地区的现实效率状况。技术无效率函数结果也显示,效率水平的提升要受到污染强度的制约。

(2)2009—2016年全国城镇建设土地利用效率保持整体提升态势,但研究期内效率均值仅为0.597,仍处于中等水平,城镇土地利用的实际产出与前沿面之间仍存在较大距离。效率水平的区域空间格局基本稳定,东部效率水平总体最高,西部效率水平最低。在纳入非期望产出影响后,效率水平的整体区域格局保持不变,但却由于污染排放强度的不同而表现出更大差异。

(3)各区域的实际效率水平具有明显的空间集聚特性。效率的低值连片区域主要位于中西部,但近年来中西部效率水平低值集聚的格局逐步得以改观。东部是效率高值集中区,虽然其总体效率水平较高,但区域内部差异仍然比较大,尚未形成区域协同联动变化格局,较发达地区的正向溢出效应仍有待进一步释放。

(4)采用熵权TOPSIS模型、K-均值聚类法将建设用地投入、产出、污染排放综合指标划分为低、中、高三种类型,对城镇建设用地效率与要素投入、产出关联比较。分析发现,高投入水平并不一定能带来较高的产出效益,高投入、中产出以及中投入、低产出是导致城镇建设土地利用效率偏低的关键原因之一。高投入、高产出并不一定能带来高土地利用效率,较高的污染排放程度会造成更大的效率损失。

实现土地利用促进经济增长与生态水平的双向提升是实现城镇高质量发展的内在要求。未来应进一步采取具有针对性的效率改进措施:(1)有效降低建设用地开发利用过程的负外部性。对于效率水平整体较高的东部省市,降低能耗、减少排放、发展低碳经济是保障效率层次提升的关键途径。中西部省(市、自治区)不仅是全国建设土地利用效率水平提升的关键,同时也是未来加强污染治理的重点区域,未来应严守企业准入标准,以生态良好助推综合效率提升。(2)促进区域工业企业技术升级与转型,增强建设用地产出水平。规划有序地推进地区高耗地、低附加值工业企业的“退二进三”,分类淘汰高污染型产业,并实施低效建设用地的整治与再开发,改善其综合产出现状。(3)加大对地区科研与应用研究支持力度。技术无效率函数结果表明,技术市场成熟度的改善显著有利于城镇建设土地利用效率的提高,财政收支平衡压力则起到明显的抑制效应。这说明未来各地区应重视科技创新对地区发展的驱动效应,促进技术在实际生产中的应用和转化。尤其对于中西部地区而言,应提高科技支出在财政支出中的比例,适度放缓基础设施投资进度,逐步缓解财政收支平衡压力。

SFA模型能够将随机误差与无效率项分离,并能通过技术无效率函数控制其他变量对效率估计的影响,是生产效率测度的有效方法。囿于数据限制,本文主要在考虑碳排放和废水、SO₂、烟(粉)尘污染物的影响下对建设土地利用效率进行测度,虽然也能够反映出各地区污染排放的总体水平,但后续仍可考虑纳入其他污染要素的影响。此外,本文所考察的是在宏观技术条件和实际技术利用能力变化后的净效率值,并未能分解出

二者在效率变化中的贡献度。后续相关研究仍可以此为突破点, 对技术效率变化进行更为精细的研究。

参考文献(References):

- [1] 陈坤秋, 王良健, 屠爽爽, 等. 效率与协调: 土地市场助推城镇化发展的证据. 经济地理, 2019, 39(3): 37-47. [CHEN K Q, WANG L J, TU S S, et al. Efficiency and coordination: How does land market promote the development of urbanization. *Economic Geography*, 2019, 39(3): 37-47.]
- [2] 王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长. 经济研究, 2010, 45(5): 95-109. [WANG B, WU Y R, YAN P F. Environmental efficiency and environmental total factor productivity growth in China's regional economies. *Economic Research Journal*, 2010, 45(5): 95-109.]
- [3] 鲍健强, 苗阳, 陈锋. 低碳经济: 人类经济发展方式的新变革. 中国工业经济, 2008, (4): 153-160. [BAO J Q, MIAO Y, CHEN F. Low carbon economy: Revolution in the way of human economic development. *China Industrial Economics*, 2008, (4): 153-160.]
- [4] 吴一凡, 刘彦随, 李裕瑞. 中国人口与土地城镇化时空耦合特征及驱动机制. 地理学报, 2018, 73(10): 1865-1879. [WU Y F, LIU Y S, LI Y R. Spatio-temporal coupling of demographic-landscape urbanization and its driving forces in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1865-1879.]
- [5] 黄木易, 岳文泽, 何翔. 长江经济带城市扩张与经济增长脱钩关系及其空间异质性. 自然资源学报, 2018, 33(2): 219-232. [HUANG M Y, YUE W Z, HE X. Decoupling relationship between urban expansion and economic growth and its spatial heterogeneity in the Yangtze Economic Belt. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(2): 219-232.]
- [6] 郭施宏. 海西城市群城市土地利用结构与效率. 经济地理, 2017, 37(1): 170-175. [GUO S H. Urban land use structure and land use efficiency in Hercynian Urban Agglomeration. *Economic Geography*, 2017, 37(1): 170-175.]
- [7] WU C Y, DENNIS WEI Y H, HUANG X J, et al. Economic transition, spatial development and urban land use efficiency in the Yangtze River Delta, China. *Habitat International*, 2017, 63: 67-78.
- [8] 梁流涛, 雍雅君, 袁晨光. 城市土地绿色利用效率测度及其空间分异特征: 基于284个地级以上城市的实证研究. 中国土地科学, 2019, 33(6): 80-87. [LIANG L T, YONG Y J, YUAN C G. Measurement of urban land green use efficiency and its spatial differentiation characteristics: An empirical study based on 284 cities. *China Land Science*, 2019, 33(6): 80-87.]
- [9] LU X H, KUANG B, LI J. Regional difference decomposition and policy implications of China's urban land use efficiency under the environmental restriction. *Habitat International*, 2018, 77: 32-39.
- [10] TU F, YU X F, RUAN J Q. Industrial land use efficiency under government intervention: Evidence from Hangzhou, China. *Habitat International*, 2014, 43: 1-10.
- [11] CHEN Y, CHEN Z G, XU G L, et al. Built-up land efficiency in urban China: Insights from the General Land Use Plan (2006-2020). *Habitat International*, 2016, 51: 31-38.
- [12] 聂雷, 郭忠兴, 彭冲. 基于SBM-Undesirable和Meta-frontier模型的城市建设用地利用效率研究. 资源科学, 2017, 39(5): 836-845. [NIE L, GUO Z X, PENG C. Construction land utilization efficiency based on SBM-Undesirable and Meta-frontier model. *Resources Science*, 2017, 39(5): 836-845.]
- [13] ZHAO Z, BAI Y P, WANG G F, et al. Land eco-efficiency for new-type urbanization in the Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Technological Forecasting & Social Change*, 2018, 137: 19-26.
- [14] XIE H L, CHEN Q R, LU F C, et al. Spatial-temporal disparities and influencing factors of total-factor green use efficiency of industrial land in China. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 207: 1047-1058.
- [15] BATTESE G E, COELLI T G. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1-2): 153-169.
- [16] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 等. 2005—2014年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征. 地理学报, 2018, 73(7): 1242-1252. [JIN G, DENG X Z, ZHAO X D, et al. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(7): 1242-1252.]
- [17] 林丽群, 李娜, 李国煜, 等. 基于主体功能区的福建省城镇建设用土地利用效率研究. 自然资源学报, 2018, 33(6): 1018-

1028. [LIN L Q, LI N, LI G Y, et al. Urban construction land-use efficiency evaluation based on the plan for major function-oriented zones in Fujian province. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 1018-1028.]
- [18] 周月书, 俞靖. 规模农户产业链融资对生产效率的影响研究. *农业技术经济*, 2018, (4): 65-79. [ZHOU Y S, YU J. Research of agricultural industry chain financing on the production efficiency of large-scale farmers. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018, (4): 65-79.]
- [19] AIGNER D, LOVELL C A K, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21-37.
- [20] MEEUSEN W, JULIEN V D B. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 1977, 18(2): 435-444.
- [21] 傅晓霞, 吴利学. 技术效率、资本深化与地区差异: 基于随机前沿模型的中国地区收敛分析. *经济研究*, 2006, (10): 52-61. [FU X X, WU L X. Technical efficiency, capital deepening and regional disparity. *Economic Research Journal*, 2006, (10): 52-61.]
- [22] 王良健, 李辉. 中国耕地利用效率及其影响因素的区域差异: 基于 281 个市的面板数据与随机前沿生产函数方法. *地理研究*, 2014, 33(11): 1995-2004. [WANG L J, LI H. Cultivated land use efficiency and the regional characteristics of its influencing factors in China: By using a panel data of 281 prefectural cities and the stochastic frontier production function. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 1995-2004.]
- [23] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展. *经济研究*, 2009, 44(4): 41-55. [CHEN S Y. Energy consumption, CO₂ emission and sustainable development in Chinese industry. *Economic Research Journal*, 2009, 44(4): 41-55.]
- [24] BATTESE G E, COELLI T G. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 1995, 20(2): 325-332.
- [25] 卢新海, 匡兵, 周敏. 城市建设用地利用效率的空间非均衡及影响因素. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(11): 45-52. [LU X H, KUANG B, ZHOU M. Spatial inequality and influencing factors of utilization efficiency of urban construction land. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(11): 45-52.]
- [26] 张英浩, 陈江龙, 高金龙, 等. 经济转型视角下长三角城市土地利用效率影响机制. *自然资源学报*, 2019, 34(6): 1157-1170. [ZHANG Y H, CHEN J L, GAO J L, et al. The impact mechanism of urban land use efficiency in the Yangtze River Delta from the perspective of economic transition. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(6): 1157-1170.]
- [27] 韩峰, 赖明勇. 市场邻近、技术外溢与城市土地利用效率. *世界经济*, 2016, 39(1): 123-151. [HAN F, LAI M Y. Market proximity, technology spillovers and urban land use efficiency. *The Journal of World Economy*, 2016, 39(1): 123-151.]
- [28] 李玲, 陶锋. 中国制造业最优环境规制强度的选择: 基于绿色全要素生产率的视角. *中国工业经济*, 2012, (5): 70-82. [LI L, TAO F. Selection of optimal environmental regulation intensity for Chinese manufacturing industry based on the green TFP perspective. *China Industrial Economics*, 2012, (5): 70-82.]
- [29] 朱巧嫻, 梅昀, 陈银蓉, 等. 基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究. *经济地理*, 2015, 35(12): 176-184. [ZHU Q X, MEI Y, CHEN Y R, et al. Regional differentiation characteristics and optimization of the structural efficiency of land use in Hubei province based on the carbon emissions. *Economic Geography*, 2015, 35(12): 176-184.]
- [30] 崔学刚, 方创琳, 张薏. 山东半岛城市群高速交通优势度与土地利用效率的空间关系. *地理学报*, 2018, 73(6): 1149-1161. [CUI X G, FANG C L, ZHANG Q. Spatial relationship between high-speed transport superiority degree and land-use efficiency in Shandong Peninsula Urban Agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1149-1161.]
- [31] 匡远凤, 彭代彦. 中国环境生产效率与环境全要素生产率分析. *经济研究*, 2012, 47(7): 62-74. [KUANG Y F, PENG D Y. Analysis of environmental production efficiency and environmental total factor productivity in China. *Economic Research Journal*, 2012, 47(7): 62-74.]
- [32] 吴延瑞. 生产率对中国经济增长的贡献: 新的估计. *经济学(季刊)*, 2008, (3): 827-842. [WU Y R. The role of productivity in China's growth: New estimates. *China Economic Quarterly*, 2008, (3): 827-842.]
- [33] GAO J L, DENNIS WEI Y H, CHEN W, et al. Economic transition and urban land expansion in provincial China. *Habitat International*, 2014, 44: 461-473.
- [34] LIU Y, FAN P L, YUE W Z, et al. Impacts of land finance on urban sprawl in China: The case of Chongqing. *Land Use*

Policy, 2018, 72: 420-432.

- [35] 杜挺, 谢贤健, 梁海艳, 等. 基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析. 经济地理, 2014, 34(6): 40-47. [DU T, XIE X J, LIANG H Y, et al. County economy comprehensive evaluation and spatial analysis in Chongqing city based on entropy Weight-TOPSIS and GIS. Economic Geography, 2014, 34(6): 40-47.]
- [36] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000. 经济研究, 2004, (10): 35-44. [ZHANG J, WU G Y, ZHANG J P. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000. Economic Research Journal, 2004, (10): 35-44.]
- [37] 宋杰鲲. 基于 LMDI 的山东省能源消费碳排放因素分解. 资源科学, 2012, 34(1): 35-41. [SONG J K. Factor decomposition of carbon emissions from energy consumption of Shandong province based on LMDI. Resources Science, 2012, 34(1): 35-41.]

Research on urban land use efficiency in China based on the stochastic frontier analysis

LIU Shu-chang^{1,2}, YE Yan-mei^{1,2}, LI Lin-lin^{1,2}, XIAO Wu^{1,2}

(1. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Land Academy for National Development, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Efficient utilization of urban land is one of the important ways to promote the high-quality development of cities and towns. Taking the panel data of 30 provincial-levels in China during 2009-2016 as samples, a "one-stage" stochastic frontier production function model is used to measure urban land use efficiency. Then, the correlations between efficiency level, inputs, and pollution emission during land use in various regions of China are further analyzed. Results show that: (1) Undesirable output results in a loss of land use efficiency. During the study period, undesirable output causes 3.77%, 7.74%, and 8.77% declines in the eastern, central, and western regions, respectively. (2) Urban land use efficiency shows a significant regional difference. The average efficiency level in the eastern region is the highest, while that in the western region is the lowest. The difference among various regions becomes greater when undesirable output is considered. (3) High input-output level does not necessarily guarantee high efficiency level. A higher pollution emission intensity may cause a greater efficiency loss. The research results help to reveal the focus and direction of the improvement of urban land use efficiency in the future.

Keywords: urban land use efficiency; stochastic frontier analysis; undesirable output; regional difference; China