

# 环境约束下的福建省城市建设用地 利用效率及驱动因素

梁建飞<sup>1</sup>, 陈松林<sup>1,2</sup>

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007)

**摘要:** 研究环境约束下的城市建设用地利用效率地区差异特征及其驱动机理, 对于引导城市建设用地高效利用、缓解快速城镇化进程中经济社会发展与生态环境之间的矛盾、实现区域协调发展具有重要现实意义。将环境污染作为非期望产出纳入城市建设用地利用效率评价体系, 运用非期望产出 SE-SBM 模型、变异系数、GML 指数和灰色关联度模型, 系统研究 2006—2016 年福建省城市建设用地利用效率的时空分异特征、动态趋势演变及其驱动因素。研究表明: (1) 2006—2016 年福建城市建设用地利用效率总体呈正弦函数式样波动, 2012—2016 年投入产出效率始终位于有效前沿面。各地区效率差异明显, 效率的高低与经济发展水平之间并非正相关关系。(2) 空间格局整体上呈现东部沿海地区的效率值高于西部内陆地区的分布态势, 形成明显的集群效应。漳州虽属于东南部沿海地区, 但 2016 年其效率值仍处于无效状态, 未发生根本性转变, 这进一步说明高效率城市的辐射带动作用较弱。(3) 福建全要素生产率表现为正弦函数式样增长态势, 整体发展趋势向好。技术进步引起的集聚规模效应是造成地区全要素生产增长率差异的主要原因, 技术因素是缩小地区间全要素增长率差距的关键。(4) 城镇化水平、生态投入、政府规制、耕地资源禀赋、科技研发投入和产业结构高级化是影响福建省城市建设用地利用效率时空分异与演变的主要驱动因素。

**关键词:** 环境约束; 城市建设用地利用效率; SE-SBM 模型; GML 指数; 驱动因素; 福建省

城市建设用地利用效率表征城市系统与建设用地系统间耦合强度, 是衡量地区资源配置合理程度、建设用地投入产出能力、城镇化进程是否健康以及城镇化发展质量是否高效的重要指标<sup>[1]</sup>。改革开放以来, 中国城镇化率从 1978 年的 17.92% 跃升至 2016 年的 57.35%, 年均提高 1.04 个百分点。随着城镇化、工业化快速推进, 建设用地不断空间外延式扩张、土地资源低效利用和优质耕地资源锐减并存现象日益突出, 伴随着建设用地利用的环境硬约束和刚性压力日益加剧, 反过来又严重制约经济社会可持续发展。在这样的现实背景下, 对城市建设用地利用效率展开研究显得十分重要。

国外关于城市土地利用效率研究起步较早, 随着时代发展的需要, 研究重点也从前期的归纳总结土地利用类型空间演替模式, 逐渐深入到研究土地利用开发过程中的决策过程与驱动机制。近年来的研究重点主要偏向于土地资源优化配置、土地利用效率评价方法及其应用方面等<sup>[2-7]</sup>。鉴于国外相关研究, 国内学者对城市建设用地利用效率展开深入探究, 研究内容主要围绕城市建设用地利用效率的基本理论、评价指标体系、测算方

收稿日期: 2019-05-08; 修订日期: 2019-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41771136); 福建省科技重大专项项目 (2012NZ0002)

作者简介: 梁建飞 (1993-), 女, 广东湛江人, 硕士, 主要从事土壤与土地资源研究。E-mail: 1156887101@qq.com

通讯作者: 陈松林 (1964-), 男, 福建南安人, 博士, 教授, 主要从事土壤地理与土地资源方面的研究。

E-mail: slchen6@163.com

法及应用、影响因素及优化途径等方面进行思考<sup>[8-11]</sup>。其中,评价指标选取由反映城市建设用地利用经济效益的经济学层面下的单指标<sup>[12]</sup>逐渐向复合系统视角下的“投入+期望产出(经济、社会和环境效益)”等多指标<sup>[2,11]</sup>方向发展,而事实上,深刻改变土地利用格局,不仅会带来期望产出,也会因为系统间的不兼容性成为污染物排放源。因此若忽视城市建设用地利用过程中所伴随的非期望产出,就无法得到科学的城市建设用地利用效率评价,而且这也与人类社会所追求的土地可持续利用理念相悖。研究尺度对全国<sup>[2,4,5]</sup>、典型省区<sup>[9,13]</sup>、城市群<sup>[11,14]</sup>、市域<sup>[15,16]</sup>、县域<sup>[13]</sup>皆有涉及。研究方法多以传统DEA模型<sup>[4]</sup>、SFA模型<sup>[13]</sup>评价分析城市建设用地利用效率,多以Malmquist全要素生产率指数法<sup>[14,17]</sup>、Tobit模型<sup>[14,18]</sup>研究城市建设用地利用的动态效率和驱动机理。但传统DEA模型无法对含有非期望产出的效率问题展开有效处理,且无法更进一步区分有效决策单元;基于传统距离函数的Malmquist生产率指数无法科学处置具有非期望产出多投入多产出的动态效率,由M生产率指数演化而来的Malmquist-Luenberger生产率指数存在着不具备传递性以及线性规划出现无可行解等缺陷;大多数学者运用Tobit模型研究建设用地利用效率驱动机理的过程中往往忽视若效率值为截断数据,直接采用最小二乘法对其进行回归,参数估计结果会有偏差。

作为“21世纪海上丝绸之路”核心区,福建的城市建设用地随着城市化进程的加快和经济的快速发展而迅速扩张,由2006年的551521.82 hm<sup>2</sup>迅速增至2016年的760757.86 hm<sup>2</sup>,年均增长3.27%,显著高于城市人口增速的0.7%。受制于“八山一水一分田”的地形特点,山地丘陵占全省土地面积的80%以上,而可用于开发建设的土地面积不到全省土地面积的10%,城市建设用地的增加不可避免地占用大量的耕地资源,导致耕地面积持续减少。截至2016年福建人均耕地面积低于联合国粮农组织规定的0.05 hm<sup>2</sup>警戒线,仅为0.03 hm<sup>2</sup>,不及全国人均水平的1/2,更远低于世界人均水平的0.37 hm<sup>2</sup>。城市建设用地的迅速扩张对区域生态环境系统造成严重冲击,暴露出的环境污染等问题尚未得到根本解决。环境风险隐患不容忽视,酸雨污染普遍存在,2016年酸雨发生频率为40.9%,比去年高出0.3个百分点;危险废物产生量同比增长14.75%,为4.708×10<sup>5</sup> t;水环境质量整体虽保持良好,但部分地区形势依然严峻,如福州市因污水收集管网严重缺乏导致主城区生活污水收集处理率仅是66%等。全省环境污染治理投资由2006年的44.48亿元增加到2016年的92.93亿元,年均增长7.65%,环境污染治理压力日趋加剧。在资源和环境约束日益趋紧的现实背景下,现行的资源环境制度已难以适应,转方式、调结构、推动绿色发展的需要,加快城市建设用地绿色利用、提高其发展的质量和效率势在必行。充分考虑城市建设用地利用过程中的环境代价,科学评价环境约束下的城市建设用地利用效率及其影响因素,对于破解环境约束难题,探索城市建设用地发展有效路径,改善生态环境与区域经济发展之间的矛盾,增强区域可持续发展能力有着重要的理论价值与现实意义。

本文将城市建设用地利用效率定义为在既定生产技术条件下,在城市建设用地利用的活动过程中,生产性投入要素创造的产出(包含期望产出与非期望产出)价值量与投入价值量的比值。以福建省9个设区市为研究区,重点考虑城市建设用地利用的污染物排放对城市建设用地利用效率的约束,将污染物排放作为非期望产出纳入城市建设用地效率测度框架中,运用非期望产出Super Efficiency-SBM模型(SE-SBM模型)、变异系数、

Global Malmquist-Luenberger (GML) 指数和灰色关联度模型, 揭示环境约束下的2006—2016年城市建设用地利用效率时空异质性、动态趋势演变及驱动因素, 旨在为实现区域绿色可持续发展提供借鉴和参考。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 非期望产出 SE-SBM 模型

针对基于径向和角度的传统DEA模型无法解决要素松弛问题, Tone<sup>[19]</sup>在2001年提出非径向非角度的SBM (Slack-Based Measure) 效率测度模型, SBM模型能直接将松弛变量引入目标函数中, 有效解决投入产出松弛性问题, 而且将非期望产出作为产出变量纳入到效率分析中, 有效解决存在非期望产出的效率评价问题。但由于SBM模型得到的效率值最优为1, 无法对多个效率值为1的决策单元 (Decision Making Unit, DMU) 进行再排序。Tone<sup>[20]</sup>在2002年进一步定义超效率SBM模型, 将超效率模型与SBM模型相结合, 弥补SBM模型不能对有效DMU进行再排序比较的缺陷。SE-SBM模型构建如下:

设定有  $n$  个DMU, 每个DMU由  $m$  种投入 ( $x$ )、 $r_1$  种期望产出 ( $y^g$ ) 和  $r_2$  种非期望产出 ( $y^b$ ) 组成。  $X=[x_1, \dots, x_n]$ 、  $Y^g=[y_1^g, \dots, y_n^g]$  与  $Y^b=[y_1^b, \dots, y_n^b]$  为矩阵, 在规模报酬可变的情况下生产可能集为  $p = \{(x, y^b, y^g) | x \leq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \leq Y^b\lambda\}$ , 其中  $\lambda$  为权重向量。

$$\min p = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{r_1 + r_2} \left( \sum_{r=1}^{r_1} \frac{s_r^{g+}}{y_{rk}^g} + \sum_{t=1}^{r_2} \frac{s_t^{b-}}{y_{tk}^b} \right)}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^{g+} \geq y_{rk}^g \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj}^b \lambda_j - s_t^{b-} \leq y_{tk}^b \\ 1 - \frac{1}{r_1 + r_2} \left( \sum_{r=1}^{r_1} \frac{s_r^{g+}}{y_{rk}^g} + \sum_{t=1}^{r_2} \frac{s_t^{b-}}{y_{tk}^b} \right) > 0 \\ s^-, s^b, s^g, \lambda > 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, r_1; t = 1, 2, \dots, r_2; j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{cases} \quad (1)$$

式中: s.t.为约束条件集合;  $x_{ij}$  是第  $j$  个DMU的第  $i$  项投入;  $y_{rj}$  为第  $j$  个DMU的第  $r$  项产出;  $k$  为被评价单元;  $s^-$ 、 $s^b$ 、 $s^g$  分别为投入过度、非期望产出过多、期望产出不足;  $p$  为目标效率函数, 其分子与分母分别表示生产决策单元实际投入与产出相对于生产技术前沿的平均可缩减比例与平均可扩张比例, 亦即投入无效率与产出无效率。当  $p < 1$ , DMU 无效; 当  $p \geq 1$ , DMU 有效, 且  $p$  值越大效率越高。

#### 1.1.2 GML 指数分析方法

基于投入产出视角, 全要素生产增长率反映的是在各种生产要素投入水平既定的条

件下，所达到的额外生产效率，即以前期同样的生产要素投入量获取比前期更多的产出量，表征的是全要素生产的动态增量程度<sup>[21]</sup>。Oh<sup>[22]</sup>基于全局生产技术构建 *GML* 指数。*GML* 指数能克服以几何平均形式表示的 *ML* 指数存在的不足，具有传递性、循环累乘性等特性，能避免线性规划出现无可行解的问题，且能够有效避免生产前沿向内偏移的现象发生。

对于 *GML* 指数的分解，Grifell 等<sup>[23]</sup>认为 Fare 等<sup>[24]</sup>的分解方法（假设规模报酬不变）和 Ray 等<sup>[25]</sup>的分解方法（假设规模报酬可变）各有优缺点，前者对生产率增长的测度相对准确，而后的分解思路更加合理。研究结合二者分解方法，基于规模报酬不变将 *GML* 指数分解为纯效率变化（*GPEC*）、纯技术进步（*GPTC*）、技术规模变化（*GSTC*）和规模效率变化（*GSEC*）4个因素。定义 *t* 期到 *t+1* 期的 *GML* 指数如下<sup>[26]</sup>：

$$GML_{jo}^{t,t+1} = \frac{\vec{S}_c^G(c^t; g_{jo}^t)}{\vec{S}_c^G(c^{t+1}; g_{jo}^{t+1})} = GPEC_t^{t+1} \times GPTC_t^{t+1} \times GSTC_t^{t+1} \times GSEC_t^{t+1} \quad (2)$$

式中： $\vec{S}_c^G(c^t; g_{jo}^t) = 1 + \vec{D}_c^G(x^t, y^t, b^t; -x_{jo}^t, y_{jo}^t, -b_{jo}^t)$  为规模报酬不变下的全域方向性距离函数； $c^t$  为技术前沿； $g_{jo}^t$  为方向向量； $x_{jo}^t$ 、 $y_{jo}^t$ 、 $b_{jo}^t$  分别为第  $j_o$  个 DMU 的投入向量、期望产出向量、非期望产出向量； $GPEC_t^{t+1}$  表示纯效率变动， $GPEC_t^{t+1} > 1$  说明在  $t$  和  $t+1$  时期之间，DMU 向效率前沿面移动，生产活动效率提高； $GPTC_t^{t+1}$  表示纯技术进步， $GPTC_t^{t+1} > 1$  则表明相比  $t$  期生产技术， $t+1$  期的离全局生产技术更近，说明技术进步； $GSTC_t^{t+1}$  表示技术规模变动， $GSTC_t^{t+1} > 1$  说明技术偏离规模报酬不变，度量技术进步的规模效应； $GSEC_t^{t+1}$  表示规模效率变动，是因效率的变动导致的规模效应， $GSEC_t^{t+1} > 1$  说明规模效率提升； $GML_t^{t+1}$  表示 DMU 向有效生产前沿面靠近， $GML_t^{t+1} = 1$  说明全要素生产率水平保持不变， $GML_t^{t+1} > 1$  意味着全要素生产率提高， $GPEC_t^{t+1} > 1$ 、 $GPTC_t^{t+1} > 1$ 、 $GSTC_t^{t+1} > 1$  和  $GSEC_t^{t+1} > 1$  对 *GML* 指数的提高有着促进作用。

## 1.2 指标选取与数据说明

基于经典的柯布—道格拉斯生产函数理论，以及借鉴相关研究成果<sup>[3,27]</sup>，将土地、劳动力和资本作为城市建设用地利用效率测度的投入要素，分别选取建设用地面积、单位二三产业从业人员和固定资本存量来表征；选择能够综合反映城市经济水平和发展程度的二三产业增加值来体现期望产出；考虑城市建设用地利用过程中的环境负效应，选取工业废水排放量和工业二氧化硫排放量来衡量非期望产出。

土地数据来自《福建省土地利用变更调查》（2006—2016年），其余数据来自《中国城市统计年鉴》（2007—2017年）、《福建省统计年鉴》（2007—2017年）及其9个设市区2007—2017年统计年鉴。根据《全国土地分类》（过渡期间适用），建设用地主要有居民点及工矿用地、交通用地和水利设施用地三类。建设用地利用的有效产出主要是二三产业增加值，考虑数据可获取性，以单位二三产业从业人员衡量人力要素投入。建设用地利用所承载的资本要素投入对产出的影响并不局限于当期投资，还基于以往投资所形成的资本存量，固定资本存量采用永续盘存法<sup>[27,28]</sup>（Perpetual Inventory System, PIM）来估算。以2006年为基期采用GDP平减指数法对二三产业增加值进行调整，消除价格因素的影响。



## 2 结果分析

### 2.1 福建省城市建设用地利用效率时空异质性

#### 2.1.1 时序演化特征

从全省来看, 2006—2016年福建建设用地利用效率介于0.844~1.083之间, 最大振幅为0.239, 平均效率指数为0.959, 整体呈正弦函数式样波动。2006—2011年建设用地利用效率在波动中提高, 2008年由于美国次贷危机引起的金融危机迅速席卷全球, 福建经济增速放缓, “用工荒”和“就业难”的局面共存, 资源成本过低等问题突出, 建设用地利用各要素投入严重不足, 在此阶段效率值出现“断层”式急速下降。之后, 福建明确经济形势, 加快产业结构优化调整与发展方式转变, 再加上国家“拉动内需”等经济政策的助力下, 城市发展效率保持较高水平, 2012—2016年建设用地利用投入产出保持最优状态(表1)。

表1 2006—2016年福建省城市建设用地利用效率

Table 1 The urban construction land use efficiency in Fujian province from 2006 to 2016

地区	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
福州市	1.039	1.028	1.027	1.066	1.072	1.157	1.159	1.152	1.175	1.183	1.184
厦门市	1.172	1.160	1.142	1.144	1.144	1.243	1.234	1.217	1.200	1.195	1.335
莆田市	1.021	1.020	1.015	1.024	1.041	1.112	1.089	1.124	1.117	1.069	1.068
三明市	0.418	0.483	0.520	0.515	0.522	0.534	1.053	1.074	1.067	1.062	1.075
泉州市	1.164	1.162	1.163	1.161	1.131	1.128	1.125	1.122	1.119	1.114	1.114
漳州市	0.702	1.044	0.651	1.018	1.036	1.004	1.027	1.012	1.006	1.001	0.635
南平市	0.395	0.415	0.438	0.472	0.469	0.545	0.604	0.704	1.014	1.003	1.000
龙岩市	0.578	0.593	0.595	0.579	0.584	0.618	0.698	0.690	1.025	1.024	1.018
宁德市	1.105	1.092	1.090	1.092	1.098	1.139	1.053	1.051	1.026	1.021	1.023
福建省	0.844	0.889	0.849	0.897	0.900	0.942	1.005	1.016	1.083	1.075	1.050

从各设市区来看, 2006—2016年间各城市建设用地利用效率整体呈波动提高趋势, 11年间福州、厦门、莆田、泉州和宁德建设用地利用效率值均保持大于1, 始终位于有效技术前沿面, 占研究区总量的55.6%。值得一提的是, 宁德虽属于经济欠发达地区, 但宁德在经济发展的同时, 兼顾资源可持续利用和环境保护, 加强生态环境建设, 加大环保投入力度, 且成效显著, 这说明城市建设用地利用效率与经济发展水平之间并非是绝对正相关关系<sup>[29,30]</sup>, 规模不大且经济发展欠发达地区同样可以通过保护环境和优化资源配置等手段达到高值投入产出效率。三明2006—2011年建设用地利用效率偏低, 效率值介于0.4~0.6之间, 处于无效状态, 2012—2016年效率值在1.053~1.075之间波动, 位于生产前沿面。直到2014年, 南平和龙岩建设用地利用效率才达到有效状态, 效率值在1.000~1.025之间上下波动。漳州建设用地利用效率波动幅度剧烈, 2007年效率值为1.044, DEA有效, 2008年效率却降至无效值, 2009—2015年效率值虽皆大于1, 但从2012年起出现大幅度下降, 从1.027降到2016年最低值0.635。这表明若能有效发挥当前生产要素全部潜力, 能使总产出水平再提高近36.5%(表1)。

#### 2.1.2 空间格局演变特征

2006—2016年间, 环境约束下的福建城市建设用地利用效率呈现地域不均衡性。建

设用地利用效率始终位于有效前沿面的福州、厦门、莆田、泉州和宁德均集中于东部沿海地区，在地理位置上相互接壤，在经济建设中能够最大限度地保证资源集约利用和环境保护，形成明显的集群效应。西部内陆地区的三明、龙岩和南平建设用地利用效率虽在波动中呈上升趋势，但与东南部沿海地区高效率城市仍有一定的差距。厦门的效率均值(1.199)是南平(0.642)的1.87倍，区域空间差异较大。漳州虽位于东南部沿海地区，但其建设用地利用效率发展局面并未发生根本性转变，2016年仍处于无效状态，距离最优前沿面尚存在近40%的提升空间，未能享受到有效地区快速发展带来的便利和好处，经济发展所带来的生态负效应问题依旧严重。这进一步说明东部沿海地区高效率城市起到的辐射带动作用较弱(图1)。

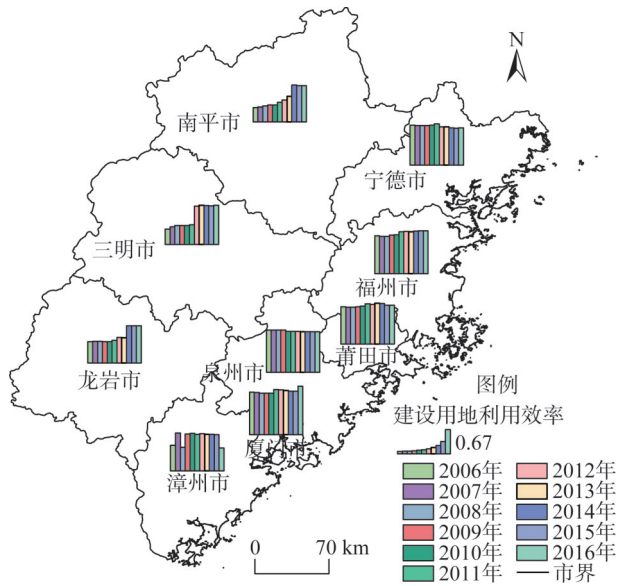


图1 2006—2016年福建省各城市建设用地利用效率变化空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of construction land use efficiency in Fujian province from 2006 to 2016

## 2.2 福建省城市建设用地利用效率动态趋势演进

在非期望产出的约束下，2006—2016年福建城市建设用地利用效率  $GML$  指数均大于1，表现为正弦函数式样增长态势，11年间全要素生产增长率均值为1.126，年均增长12.6%。意味着随新型城镇化进程的快速推进和经济的高速发展，福建建设用地结构得到优化，建设用地综合效益明显提升，同时在建设用地利用过程中更加追求环境保护长效机制，建设用地利用效率整体趋势向好。纯效率变化、纯技术进步和规模效率变化在时间序列上波动幅度较大，2016年纯效率变化和规模效率变化分别下降0.6%、1.7%，成为制约  $GML$  指数快速增长的瓶颈。技术规模变化在2006—2016年间维持正向增长状态，年均提高8.6%，对  $GML$  指数始终存在着正向促增作用(图2)。

从各设市区层面来看，福建省9个设区市  $GML$  指数皆呈现良好的增长态势，其中南平和三明11年间年均提高15%以上，福州、莆田、漳州、龙岩和宁德年均提高介于10%~15%之间，厦门和泉州年均提高处于10%以下，这是由于厦门、泉州等城市的生产力基础较好，起点较高，这种庞大的基数再加上边际生产力递减规律的影响，使其全要素生产率的增速低于充分发挥其后发势力的南平、三明等欠发达地区。根据  $GML$  指数分解因子，福州、厦门和泉州的纯技术效率和规模效率未发生实质性变化， $GML$  指数增长主要依赖于技术进步以及技术进步引发的规模效应，但侧重点不同，厦门的技术规模促进作用占主导地位，而福州和泉州的技术进步大于技术规模的促进作用。莆田的技术规模效应最高，其南与泉州接壤，北与福州毗邻，再加上是第一批国家新型城镇化综合试点地区，优越的地理位置和优惠的政策条件吸引大量的生产要素流入，要素的流动和初始集聚极大地推动技术水平的提升，从而促进全要素生产率的提高。三明、龙岩和南平的全

要素生产率增长较快主要由于纯效率变动、技术进步、技术规模效率和规模效率齐驱动。漳州的纯效率变动和规模效率分别年均下降0.6%、0.3%，说明在建设土地利用过程中存在管理制度不完善和规模不经济等问题，有过度投资、资源闲置的可能性，但其纯技术进步与技术规模变动分别年均上升5.1%、7.4%，技术进步和技术规模效应的促进作用大于纯效率变动和规模效率的抑制作用致使漳州市建设土地利用全要素生产率呈增长状态。未来漳州市需整合重组资源要素，淘汰高耗能、高污染和低效益企业与产品，同时，应加强技术更新和改造，以先进技术为先导，不断提高发展质量和效益，促进全要素生产率快速增长。宁德全要素生产率的提高主要得益于技术规模的促进作用，技术效率、纯技术变动及规模效率对其贡献不明显。根据GML指数分解因子的地区差异，纯效率变动差异最小，技术规模变化地区差异程度最大，说明技术进步引起的集聚规模效应是造成地区全要素生产增长率差异的主要原因。而且技术进步的地区差异也相对较大，总的来说，技术因素是缩小地区间全要素增长率差异的关键（表2）。

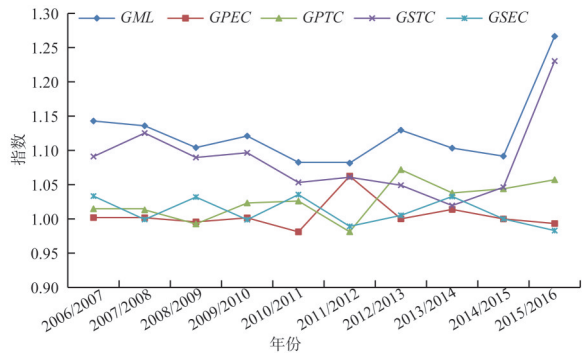


图2 2006—2016年福建省GML指数及其分解因素的变化趋势

Fig. 2 The variation trends of GML index and its decomposition factors in Fujian province from 2006 to 2016

表2 2006—2016年福建省各城市GML指数及其分解因素均值

Table 2 GML index and its decomposition factor in different cities of Fujian province from 2006 to 2016

地区	GML 指数	纯效率变化 (GPEC)	纯技术进步 (GPTC)	技术规模变化 (GSTC)	规模效率变化 (GSEC)
福州市	1.105	1.000	1.072	1.030	1.000
厦门市	1.080	1.000	1.002	1.083	1.000
莆田市	1.145	1.000	1.001	1.147	1.000
三明市	1.150	1.024	1.013	1.088	1.025
泉州市	1.098	1.000	1.072	1.024	1.000
漳州市	1.109	0.994	1.051	1.074	0.997
南平市	1.172	1.026	1.003	1.106	1.040
龙岩市	1.141	1.002	1.021	1.090	1.035
宁德市	1.134	1.000	1.000	1.133	1.000
均值	1.126	1.005	1.026	1.086	1.011
差异系数	0.025	0.011	0.028	0.036	0.016

注：差异系数测算参考文献 [3, 5]。

## 2.3 福建省城市建设用地利用效率驱动因素

### 2.3.1 模型设定

灰色关联分析法是建立在灰色系统理论基础上，根据参考数列与比较数列曲线几何形状的接近程度来判断二者联系的紧密度。由于其对样本数量无限制，也不要求样本服从任何概率分布等<sup>[5,31]</sup>，因此研究借助灰色关联模型探究福建省城市建设用地利用效率的

主要驱动因素。计算步骤如下：

$$R(x_o(k), x_s(k)) = \frac{\min_s \min_k |x_o(k) - x_s(k)| + \zeta \max_s \max_k |x_o(k) - x_s(k)|}{|x_o(k) - x_s(k)| + \zeta \max_s \max_k |x_o(k) - x_s(k)|} \quad (3)$$

$$R(x_o, x_s) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n R(x_o(k), x_s(k)) \quad (4)$$

式中： $x_s$ 为比较数列的无量纲值，以各驱动因素为比较数列； $x_o$ 为参考数列的无量纲值，以城市建设用地利用综合效率为参考数列； $R(x_o(k), x_s(k))$ 为 $x_s$ 对 $x_o$ 在第 $k$ 个指标上的关联系数， $k=1, 2, 3, \dots, n$ ， $n$ 为指标个数（个）； $\min_s \min_k |x_o(k) - x_s(k)|$ 和 $\max_s \max_k |x_o(k) - x_s(k)|$ 分别为极差最小值和最大值； $\zeta$ 为分辨系数， $\zeta \in [0, 1]$ ， $\zeta$ 一般取值为0.5； $R(x_o, x_s)$ 为 $x_o$ 和 $x_s$ 的灰色关联度。

### 2.3.2 驱动因素分析

参考相关研究成果<sup>[5,14,27]</sup>，对城市建设用地利用效率的影响因素进行综合预判。城市经济发展水平影响着单位土地面积各生产要素的投入强度。产业结构高级化表征产业结构由以劳动密集型产业为主的低级结构调整转变为以知识技术密集型产业为主的高级结构，对城市建设用地利用效率有着积极影响，借鉴高远东等<sup>[32]</sup>的研究方法测算福建产业结构高级化程度。政府在规划管制、经济政策等方面影响各类主体对土地资源的利用，进而影响资源的配置效率。城镇化发展是人口和产业等不断向城镇转移集聚的过程，影响土地利用格局，对建设用地利用效率有着深刻影响。人口密度越大，土地资源能更大程度得到充分利用，但当人口扩大到一定程度时会引起土地供求矛盾激化以及环境污染等一系列问题，进而影响城市建设用地利用效率。城市土地投资密度越大，土地集约利用程度越高。资源的有限性和稀缺性要求必须注重资源在不同用途之间的优化配置，提高资源利用效率。对外依赖程度和科技研发投入越高的地区能够极大程度地共享知识和技术外溢的成果，土地集约利用水平也会随之提高。此外，研究进一步考虑生态投入对城市建设用地利用效率的影响，基于产出视角，生态投入对生态环境恢复治理和污染物排放预防及减少有直接影响。基于此，建立相应的指标体系（表3），判断各影响因素与城市建设用地利用效率之间的关系。

根据式（7）和式（8）测算出二者之间的灰色关联度，福建城市建设用地利用效率与各影响因素的灰色关联度系数均在0.6以上，这表明初步预判的合理性。由关联等级可知，福建城市建设用地利用效率主要受城镇化水平、生态投入、政府规制、耕地资源禀赋、科技研发投入和产业结构高级化这6大因素影响（表3）。

（1）城镇化水平是导致福建城市建设用地利用效率时空格局演变的关键因素，其关联度为0.9211。福建的城镇化率由2006年的50.4%提高至2016年的63.6%，城镇化进程的加快推进，有效地吸引各类要素聚集，有利于人口、产业等发挥集聚效益，土地利用强度提高。而且具有福建特色的新型城镇化对建设用地利用的集约性和高效性提出更高要求，更加关注绿色、低碳、生态发展方式，这对提高城市建设用地利用效率产生积极影响。

（2）生态投入的解释力为0.8659。根据“环境库兹涅茨曲线”规律，只有在低碳发展和自主创新能力提高的前提下，才能增强可持续发展能力，实现“拐点”的出现。虽



表3 城市建设用地利用效率与各影响因素的灰色关联度及关联等级

Table 3 Grey relational degree and relational grade of each influence factor and construction land use efficiency in Fujian province

影响因素	变量说明	灰色关联度	关联等级
经济发展水平	人均GDP/万元	0.6352	中
产业结构高级化	产业结构升级指数	0.7983	强
政府规制	政府财政支出占地区GDP比例/%	0.8445	强
城镇化水平	城镇人口比例/%	0.9211	强
人地关系	人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	0.6800	中
土地投资强度	单位建设用地面积的固定资本投入/(亿元/km <sup>2</sup> )	0.7134	中
耕地资源禀赋	人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	0.8248	强
对外依赖程度	进出口总值占地区GDP比例/%	0.7102	中
科技研发投入	科学技术投入占地区GDP比例/%	0.8151	强
生态投入	建成区绿化覆盖率/%	0.8659	强

注：参考文献 [4]，将灰色关联度划分为三类：[0, 0.35] 弱关联度；(0.35, 0.75] 中关联度；(0.75, 1] 强关联度。

然在建设土地利用过程中需要依靠资本投入，但若片面追求经济发展，忽视经济发展过程中的非期望产出，导致环境进一步恶化，会无法真正从根本上提高建设土地利用效率，进而延缓“拐点”的出现。福建在经济发展的同时，全力推进生态建设，11年间建成区绿化覆盖率提高3.77%，2016年森林覆盖率高达65.95%，连续38年领跑全国，生态建设的积极投入对城市建设土地利用效率产生显著的正向影响。

(3) 政府规制的解释力为0.8445。政府参与市场配置在一定程度上对城市建设土地利用效率有着促进作用。从宏观视角，政府可制定相应的土地政策参与土地调控，加强土地用途管制力度，优化城市土地资源配罝，科学管理城市建设用地。从微观视角，政府可加强城市建设用地公共设施服务和配套设施建设，激发市场主体活力，促进更多生产要素投入到建设土地利用中，提高其利用效率。

(4) 耕地资源禀赋的解释力为0.8248。就目前而言耕地仍是建设土地利用的重要供应资源，资源的稀缺性决定资源供给的有限性。福建地形以山地丘陵为主，境内峰岭耸峙，山海相隔，相对封闭，2016年福建人均耕地面积仅有0.03 hm<sup>2</sup>。为实现土地资源可持续利用，遏制耕地锐减趋势，缓解紧张的人地矛盾，政府必须严格实行土地用途管制，倒逼建设用地总量控制，提高建设土地利用投入产出效率，以集约用地缓解建设用地占用耕地资源的压力。

(5) 科技研发投入的解释力为0.8151。科技研发投入能够推进科技进步与科技创新，有效推动区域产业结构调整，推动经济增长。福建产业投资结构持续优化，积极促进科技创新在产业转型升级中发挥支撑引领作用，2016年高技术产业投资增长60.6%，其增加值增长11.7%，比上年提高0.6个百分点。且科技研发有效推动区域产业结构调整，转变城市建设土地利用开发方式，同时能改善经济发展过程中生态环境质量，促进城市建设土地利用效率提高。

(6) 产业结构高级化的解释力为0.7983。福建产业转型升级步伐加快，2016年三次产业结构调整为8.3 : 48.8 : 42.9，第三产业增加值增长10.7%。产业结构指数的提高表明产业结构向低污染低能耗、高附加值产业和资源集约型产业优化升级，这不仅能使生态

环境质量持续改善，而且能给福建经济增长带来新一轮动力，在促进城市建设用地利用效率方面发挥重大作用。

### 3 结论

运用非期望产出SE-SBM模型测算环境约束下的2006—2016年福建城市建设用地利用效率，同时借助变异系数、GML指数和灰色关联度模型剖析其城市建设用地利用效率时空分异特征及动态趋势演变，并进一步揭示其驱动机理。研究表明：

(1) 从静态效率来看，2006—2016年福建建设用地利用效率总体表现为正弦函数式样波动，2012—2016年效率处于有效状态。地区效率差异显著，福州、厦门、莆田、泉州和宁德效率值始终位于有效技术前沿面，说明建设用地利用效率的高低与经济发展水平之间并无必然的关系；三明、南平和龙岩在波动中上升，漳州的效率值波动起伏较大，2016年仍处于无效状态，距离有效生产前沿面尚存在近40%的提升空间。根据空间格局演变，环境约束下的福建城市建设用地利用效率地域不均衡性和空间关联性并存，高效率的城市集中分布于东部沿海地区，形成明显的集群效应；但高效率地区的辐射带动作用弱，亟需释放建设用地利用高效率地区的辐射带动能力助力于地区发展。

(2) 从效率的动态趋势演进来看，2006—2016年间福建城市建设用地利用全要素生产率总体呈现正弦函数式样增长态势，整体发展趋势向好。生产力基础较好，起点较高，这种庞大的基数再加上边际生产力递减规律的影响造成厦门、泉州等经济发达城市全要素生产率的增速慢于充分发挥其后发势力的南平、三明等经济欠发达地区。根据GML指数分解因子的地区差异，技术规模变化的地区差异程度最大，是造成地区全要素生产增长率差异的主要原因；技术进步对全要素增长率差异的贡献也相对较大，总体而言技术因素是缩小地区间全要素增长率差异的关键。

(3) 从驱动因素来看，城镇化水平、生态投入、政府规制、耕地资源禀赋、科技研发投入和产业结构高级化是影响福建城市建设用地利用效率的主要驱动因素。不同因素的影响程度存在差异，其中城镇化水平是最主要的影响因素。

在新型城镇化背景下，各区域应充分考虑自身的发展条件、背景及功能定位，注重城市内涵式发展，全面提高城市建设用地利用效率。具体可从以下几方面入手：第一，建立健全生态环境硬约束机制，严格实施环境准入负面清单制度，坚持走生态优先绿色发展之路。第二，积极推动厦漳泉同城化以及闽东北和闽西南协同发展区高质量一体化发展，强化辐射带动作用。第三，破除条块分割与地方保护主义，加强地区间技术交流与合作，最大限度地支持和鼓励创新创造，深入挖掘技术创新因素对城市建设用地利用效率的提升作用。第四，积极推动新型城镇化健康发展，增强城镇吸引力和综合承载力，进一步提高建设用地利用的社会期望产出。

### 参考文献(References):

- [1] WU C, WEI Y D, HUANG X, et al. Economic transition, spatial development and urban land use efficiency in the Yangtze River Delta, China. *Habitat International*, 2017, 63(5): 67-78.
- [2] 吴得文, 毛汉英, 张小雷, 等. 中国城市土地利用效率评价. *地理学报*, 2011, 66(8): 1111-1121. [WU D W, MAO H Y, ZHANG X L, et al. Assessment of urban land use efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1111-1121.]

- [3] 杨清可, 段学军, 叶磊, 等. 基于SBM-Undesirable模型的城市土地利用效率评价: 以长三角地区16城市为例. 资源科学, 2014, 36(4): 712-721. [YANG Q K, DUAN X J, YE L, et al. Efficiency evaluation of city land utilization in the Yangtze River Delta using a SBM-undesirable model. Resource Science, 2014, 36(4): 712-721.]
- [4] 张立新, 朱道林, 杜挺, 等. 基于DEA模型的城市建设用地利用效率时空格局演变及驱动因素. 资源科学, 2017, 39(3): 418-429. [ZHANG L X, ZHU D L, DU T, et al. Spatiotemporal pattern evolution and driving factors of urban construction land use efficiency using data envelopment analysis. Resource Science, 2017, 39(3): 418-429.]
- [5] 樊鹏飞, 冯淑怡, 苏敏, 等. 基于非期望产出的不同职能城市土地利用效率分异及驱动因素探究. 资源科学, 2018, 40(5): 946-957. [FAN P F, FENG S Y, SU M, et al. Differential characteristics and driving factors of land use efficiency in different functional cities based on undesirable outputs. Resource Science, 2018, 40(5): 946-957.]
- [6] SUI D Z. GIS-based urban modeling: Practices, problems and prospects. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(7): 651-671.
- [7] ODECK J, BRATHEN S. A meta-analysis of DEA and SFA studies of the technical efficiency of seaports: A comparison of fixed and random-effects regression models. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2012, 46(10): 1574-1585.
- [8] BURTON E. Measuring urban compactness in UK towns and environment and planning. Planning and Design, 2002, 29(2): 219-250.
- [9] 华吉庆, 叶长盛. 基于DEA的广东省城市土地利用效率及其时空分异特征. 水土保持研究, 2018, 25(4): 283-288. [HUA J Q, YE C S. Urban land use efficiency and spatiotemporal differentiation of Guangdong province based on DEA. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 283-288.]
- [10] 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): 745-752. [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): 745-752.]
- [11] 张雅杰, 金海. 长江中游地区城市建设用地利用效率及驱动机理研究. 资源科学, 2015, 37(7): 1384-1393. [ZHANG Y J, JIN H. Research on efficiency of urban construction land and the drive mechanism in the Mid-Yangtze River. Resource Science, 2015, 37(7): 1384-1393.]
- [12] 李永乐, 舒帮荣, 吴群. 中国城市土地利用效率: 时空特征、地区差距与影响因素. 经济地理, 2014, 34(1): 133-139. [LI Y L, SHU B R, WU Q. Urban land use efficiency in China: Spatial and temporal characteristics, regional difference and influence factors. Economic Geography, 2014, 34(1): 133-139.]
- [13] 林丽群, 李娜, 李国焜, 等. 基于主体功能区的福建省城镇建设用地利用效率研究. 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.]
- [14] 陆砚池, 方世明. 基于SBM-DEA和Malmquist模型的武汉城市圈城市建设用地生态效率时空演变及其影响因素分析. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1575-1586. [LU Y C, FANG S M. Analysis of spatio-temporal evolution and influencing factors of eco-efficiency of urban construction land in Wuhan City Circle based on SBM-DEA and Malmquist model. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(10): 1575-1586.]
- [15] 黄晶, 马蓓蓓, 薛东前. 基于SE-DEA模型的西安市土地利用效率及优化对策. 干旱区研究, 2015, 32(3): 630-636. [HUANG J, MA B B, XUE D Q. Research on land use efficiency and optimal strategies in Xi'an based on SE-DEA model. Arid Zone Research, 2015, 32(3): 630-636.]
- [16] 范建双, 虞晓芬, 周琳. 南京市土地利用结构碳排放效率增长及其空间相关性. 地理研究, 2018, 37(11): 2177-2192. [FAN J S, YU X F, ZHOU L. Carbon emission efficiency growth of land use structure and its spatial correlation: A case study of Nanjing city. Geographical Research, 2018, 37(11): 2177-2192.]
- [17] 王希睿, 许实, 杨兴典, 等. 江苏省建设用地利用效率和全要素生产率的时空差异分析. 中国土地科学, 2015, 29(5): 77-83. [WANG X R, XU S, YANG X D, et al. Analysis on spatial and temporal difference of construction land use efficiency and total factor productivity in Jiangsu province. China Land Sciences, 2015, 29(5): 77-83.]
- [18] 徐慧敏, 胡守庚, 李熙. 中国建设用地环境效率时空演变及其影响因素. 应用科学学报, 2019, 37(1): 73-86. [XU H

- M, HU S G, LI X. Spatial-temporal evolution and influencing factors of environmental efficiency of construction land in China. *Journal of Applied Sciences*, 2019, 37(1): 73-86.]
- [19] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [20] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [21] 韩增林, 夏康, 郭建科, 等. 基于 Global-Malmquist-Luenberger 指数的沿海地带陆海统筹发展水平测度及区域差异分析. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1271-1285. [HAN Z L, XIA K, GUO J K, et al. Research of the level and spatial differences of land-sea coordinate development in coastal areas based on Global-Malmquist-Luenberger index. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1271-1285.]
- [22] OH D H. A global Malmquist-Luenberger productivity index. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 183-197.
- [23] GRIFELL-TATJE E, LOVELL C A. A generalized Malmquist productivity index. *Top*, 1999, 7(1): 81-101.
- [24] FARE R, GROSSKOPF S, NORRIS M, et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review*, 1994, 84(1): 66-83.
- [25] RAY S C, DESLI E. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: Comment. *American Economic Review*, 1997, 87(5): 1033-1039.
- [26] 杨皓然, 吴群. 碳排放视角下的江苏省土地利用转型生态效率研究: 基于混合方向性距离函数. *自然资源学报*, 2017, 32(10): 1718-1730. [YANG H R, WU Q. Study on the eco-efficiency of land use transformation in Jiangsu province from the perspective of carbon emission: Based on the Mixed Directional Distance Function. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(10): 1718-1730.]
- [27] 贝涵璐. 建设用地利用效率时空差异及其与城镇化质量的耦合关系. 杭州: 浙江大学, 2016. [BEI H L. Spatial-temporal differences of construction land use efficiency and coupling relationship between the efficiency and urbanization quality. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.]
- [28] 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*, 2004, (10): 35-44.]
- [29] 齐亚伟. 碳排放约束下我国全要素生产率增长的测度与分解: 基于SBM方向性距离函数和GML指数. *工业技术经济*, 2013, 32(5): 137-146. [QI Y W. Measurement and decomposition of China's total factor productivity under the constraints of carbon emissions. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2013, 32(5): 137-146.]
- [30] 杨高升, 谢秋皓. 长江经济带绿色水资源效率时空分异研究: 基于SE-SBM与ML指数法. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(2): 349-358. [YANG G S, XIE Q H. Study on spatial and temporal differentiation of green water resources efficiency in the Yangtze River Economic Belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(2): 349-358.]
- [31] 温丽华. 灰色系统理论及其应用. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2003. [WEN L H. Grey system theory and application. Harbin: Harbin Engineering University, 2003.]
- [32] 高远东, 张卫国, 阳琴. 中国产业结构高级化的影响因素研究. *经济地理*, 2015, 35(6): 96-101, 108. [GAO Y D, ZHANG W G, YANG Q. The factors influencing of industrial structure upgrade in China. *Economic Geography*, 2015, 35(6): 96-101, 108.]



## Research on the land-use efficiency and driving factors of urban construction in Fujian province under environmental constraints

LIANG Jian-fei<sup>1</sup>, CHEN Song-lin<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Fuzhou 350007, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory for Subtropical Resources and Environment, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** It is of great practical significance to explore the regional difference characteristics and driving mechanism of the utilization efficiency of construction land under environmental constraints. The purpose is to guide the efficient utilization of urban construction land, alleviate the contradiction between social and economic development and ecological environment in the process of rapid urbanization, as well as achieve regional coordinated development. Taking environmental pollution as an unexpected output into the evaluation system, we systematically studied the spatiotemporal differentiation characteristics, dynamic trend evolution and driving factors of urban construction land use efficiency in Fujian province from 2006 to 2016. Models adopted in this analysis include the non-expected output SE-SBM model, coefficient of variation, and *GML* index and gray relational model. The results showed that: (1) During 2006-2016, the utilization efficiency of urban construction land in Fujian fluctuated in a sinusoidal pattern. The input-output efficiency had always been put at the effective frontier from 2012 to 2016. It is easy to find the differences of efficiency values between regions. It can also be found that there exists a non-positive correlation between efficiency and economic development level. (2) The spatial pattern suggests that the efficiency of the eastern coastal region is higher than that of the western inland areas, which forms an obvious cluster effect. Although Zhangzhou city is located in the southeastern coastal area, its efficiency value in 2016 was still in an invalid state without a fundamental change, which further illustrates that the radiation driving role of high-efficiency cities is weak. (3) The TFP of Fujian shows a sinusoidal growth trend, and the overall development trend is good. The agglomeration scale effect caused by technological progress is the main reason for the variance in the growth rate of regional TFP. Technological factor is the key to narrow the gap in the growth rate of regional TFP. (4) Urbanization level, ecological input, government regulation, cultivated land resource endowment, R&D investment in science and technology, as well as the advanced industrial structure are the main driving factors affecting the spatiotemporal differentiation and evolution of urban construction land-use efficiency in Fujian province.

**Keywords:** environmental constraints; urban construction land use efficiency; SE-SBM model; *GML* index; driving factor; Fujian province