

安徽省城市建设用地变化及驱动力分析

张雪茹 尹志强 姚亦锋 胡美娟 洪永胜

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210023;

2. 华中师范大学, 湖北武汉 430079)

摘要: 基于安徽省 17 个地级市的各类土地利用变化数据, 采用典型相关分析、主成分分析和偏最小二乘回归分析方法, 分析安徽省 2000~2011 年建设用地的数量变化、结构变化及区域差异变化, 探讨城市建设用地变化的主要驱动力。研究表明: 安徽省城市建设用地面积以每年 5.8% 的速度不断增长; 安徽省城市建设用地系统结构性增强, 系统从无序向有序方向发展; 从安徽省各市建设用地变化的区域特征来看, 各市的建设用地相对变化率差异明显, 东部、中部和南部地区变化幅度较大, 西部和北部建设用地变化的幅度相对较小; 居民生活水平的提高与经济发展、道路设施完善是安徽省城市建设用地变化的主要驱动力。

关键词: 建设用地扩张; 驱动力; 偏最小二乘法; 安徽省

中图分类号: U412.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2016)04-0544-08

DOI: 10.11 870/cjlyzyyhj201604002

城市建设用地是城市经济活动的载体。在快速城市化背景下, 城市建设用地的扩张与变化是城市化进程中的必然趋势, 同时也受到各方面因素的影响。随着城市化进程的加快, 城市用地和土地资源的矛盾越来越突出、耕地不断减少、粮食安全和生态安全日益受到威胁、城市人口拥挤、交通拥挤等社会问题也不断涌现。通过对城市建设用地变化过程、特征和趋势研究, 明确其产生变化的机制, 对提高土地利用效率, 促进城市经济、社会、环境可持续发展具有重要意义。国外学者对城市建设用地研究较早, 主要集中在扩展空间过程、动力机制和增长控制等方面。国内学者的研究多集中在时空特征分析、驱动机制、规模预测等方面。研究方法, 主要包括回归分析法、主成分分析法、层次分析法、系统聚类法及相关分析等。研究尺度上, 以宏观(中国)或微观(个案城市)尺度研究较多, 中观尺度(省域)的研究也主要集中在经济发达、城市化水平高的东部地区或者是生态脆弱地区。从研究视角来看, 目前仅有的几篇关于安徽省土地利用变化的研究多以耕地为研究对象进行分析; 或者是探索城市化与耕地变化之间的关系; 对建设用地的研究集中在现状及趋势变化, 很少涉及驱动因子分析。就研究方法而言, 以往多采用单一数理统计方法, 在选择驱动力指标上较少考虑交通、技术因素。针对以上不足, 本文较多涉及交通、技术指标, 将典型相关分析、主成分分析及偏最小二乘回归分析法相结合对安徽省建设用地变化驱动力进行定量分析, 力求得到精确可靠的研究结果。

安徽是我国中部重要的省份, 具有独特的地理区位并处于特殊的发展阶段, 建设用地扩张驱动因子具有其独特性和区域性。随着中部崛起、皖江城市带承接产业转移示范区的设立及泛长三角区域合作的实行, 安徽省城镇化率提高到了 44.8%, 是建国以来安徽省城镇化发展最快的时期, 城市土地利用变化显著, 其中城市建设用地需求量大幅增长是最直观的表现, 以 5.8% 的速度逐年递增。建设用地的扩张必然占用其他类型用地, 尤其是耕地, 安徽省人均耕地面积由 0.09 hm² 减少到 0.06 hm², 已接近联合国粮农组织确定的人均耕地 0.053 hm² 警戒值。安徽仍处于城市化快速发展阶段, 城市建设用地需求会不断增加, 建设用地扩张与耕地保护之间的矛盾、粮食安全问题也日益突出。因此, 本文以安徽省为研究对象, 首先运用土地利用变化模型对研究区域城市建设用地变化进行测度, 再基于上述三种定量分析法, 探讨安徽省城市建设用地变化的主要驱动力, 为指导土地资源的合理利用、城市经济社会可持续发展及制定相关政策提供参考, 也可为揭示我国城市建设用地驱动机制积累研究案例。

1 研究数据与方法

1.1 数据来源

安徽省城市建设用地数据来源于《中国城市建设统计年鉴》(2000-2012), 相关的社会经济指标来源于《安徽省统计年鉴》(2000-2012)。

由于本文研究时段为 2000-2011 年, 因而参考了中华人民共和国住房和城乡建设部颁布的 1991 版《城市用地分类和建设用地标准》(GB 137-90)。本文将城市建设用地定义为: 在城市用地中包括居住用地、公共设施用地、工业用地、仓储用地、对外交通用地、道路广场用地、市政公用设施用地、绿地和特殊用地等 9 类。

1.2 模型与方法

1.2.1 土地利用变化模型

(1) 土地利用的变化速度

单一土地利用类型动态度可以表达区域一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况, 还可以反映某种土地利用类型变化的变化速率。其计算公式:

$$K = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: U_a 、 U_b 表示研究期初及期末的该类型用地数量, T 为研究时段。如果 T 为年时, 则 K 表示年变化率。

(2) 土地利用结构信息熵

土地利用结构变化的研究可以客观地反映研究区域在一定阶段内的土地利用类型情况及其变化特征。信息熵是 1948 年美国数学家 Shannon 基于信息论提出的, 在土地利用结构研究中用来反映某区域系统宏观尺度上的土地用地结构特征, 其研究的深入对于区域土地利用结构的优化具有指导意义。根据 Shannon 熵公式可以构建土地利用

用地结构信息熵(H), 其计算模型如下:

$$A = \sum_{(i=1)}^N A_i \quad (2)$$

$$P_i = \frac{A_i}{A} \quad (3)$$

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \quad (4)$$

式中: A_i 表示每个各种土地利用类型的面积, 为土地的种类; P_i 为某一土地利用类型面积与该区域土地面积的百分比, 具有归一性; H 表示土地利用结构信息熵, 信息熵高低可以反映城市用地结构均衡程度, 熵值越大, 说明不同职能的用地类型数越多, 各职能类型的面积相差越小, 土地分布越均衡^[21]。

(3) 土地利用均衡度和优势度

土地利用信息熵值大小可反映城市用地类型的多少和各类型面积分布的均匀程度及复杂状态 [211]。但实际会存在不同区域具有不同的土地利用类型或者同一区域在不同时期具有不同的土地利用类型，故引入土地利用均衡度和优势度，其计算公式：

$$J = H_i/H = \frac{-\sum_{i=1}^N P_i}{N} \quad (5)$$

式中： J 为均衡度，取值范围为(0, 1)， J 值越大，说明研究区域的土地利用类型种类越丰富，其均质性越强。土地利用优势度的意义则与均衡度相反，土地利用的均衡度越大，则土地利用的优势度就越小；反之，也成立。土地利用的优势度计算公式：

$$I = 1 - J \quad (6)$$

式中： I 表示土地利用的优势度，其值越大表明城市内一种或几种用地类型在该区域土地利用中具有主导作用。

(4) 土地利用的区域差异模型

引入单一土地利用类型相对变化率来衡量区域的该类型用地的相对水平，反映土地利用数量变化的区域差异。其计算公式：

$$R = K_i/K \quad (7)$$

式中： R 表示某类地的相对变化率； K_i 和 K 分别表示区域该类地的变化率和整个研究区域的该类土地的变化率。若 $R>1$ 表明某一区域该类地的变化比整个研究区域的变化要剧烈；若 $R<1$ 表明某一

区域该类地的变化程度低于整个研究区域水平； $R=1$ 表示某一区域该类地的变化程度与整个研究区域处在同一水平。

1. 2. 2 偏最小二乘回归法

采用偏最小二乘分析法中的变量重要性投影 (VIP) (表示自变量对因变量重要性的解释程度) 分析建设用地变化的主导驱动因素，各指标的值反映对建设用地变化的影响重要性程度。计算公式为：

$$VIP_j = \sqrt{\frac{p \sum_{h=1}^m Rd(Y; t_h) w_{hj}^2}{Rd(Y; t_1, t_2, \dots, t_m)}} \quad (8)$$

式中：VIP_j表示第j个指标的VIP值；p为所选的指标变量数；m为提取的PLS主成分对数，Rd(Y; t₁, ...t_m)表示轴t₁, ..., t_m对Y的累积解释能力；Rd(Y; t_h)表示轴t_h对Y的解释能力。一般认为，VIP大于1的影响因素重要，在0.5~1之间的影响因素比较重要，小于0.5的则不重要^[22]。

2 安徽省城市建设用地变化分析

2.1 安徽省城市建设用地变化整体分析

2.1.1 城市建设用地总量变化

本文采用建设用地面积指标反映城市建设用地变化。安徽省城市建设用地总量2000—2011年呈增加趋势，经历了快速增加—波动增加—缓慢增加的变化过程（图1）。其建设用地面积从2000年的845.35 km²增加到2011年的1565.01 km²，年增长率为5.8%。总的增长幅度较大，增长趋势基本保持平稳。同期，安徽省城镇人口由1758万人增加到3080万人，年增长率为5.2%。在研究阶段内，安徽省城市用地扩张弹性系数为1.11，说明城市用地增长速度与人口增长速度基本一致。

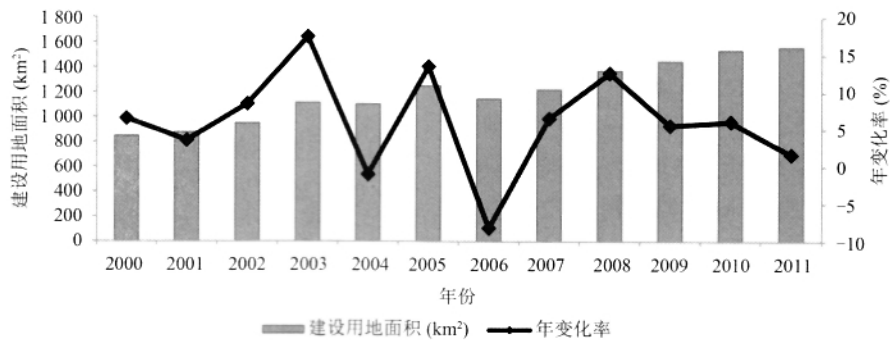


图1 安徽省2000~2011年建设用地总量变化

Fig.1 Gross Change of Construction Land in Anhui Province During 2000–2011

2.1.2 城市建设用地结构变化

利用 MATLAB 软件计算出安徽省城市建设用地结构信息熵及均衡度、优势度（如图2和图3）。由此可知，这12年间，安徽省建设用地结构信息熵总体上呈下降趋势，其平均值为1.867，说明研究时段内安徽省城市建设用地系统结构性增强，系统从无序向有序方向发展。同时，建设用地利用结构均衡度和信息熵的变化趋势具有一致性⁽²³⁾，起始两期相比小幅度下降，优势度则与之相反呈上升趋势，表明这期间单一或多种职能类型的建设用地主导安徽省建设用地类型的程度增强，致使建设用地结构均质性减弱。

另外，从建设用地信息熵上来看，2000–2003年安徽省建设用地结构信息熵趋于小幅下降，年均减少0.3%；2004年出现大幅度增长，达最大值为1.911，建设用地中变动较显著的为居住用地和工业用地，其次是公共设施用地和绿地；随后再次进入下降期，下降幅度出现波动；2008–2010年间出现小幅度上升。总体上看，建设用地信息熵先降后升，再趋回落，表明安徽省城市土地职能就比较齐全，发展早期单一职能（居住用地）暂时突出，导致信息熵值下

降，待各职能协调、成熟、稳定之后其熵值会升高、收敛、稳定，趋于均衡状态。

2011年居住用地比重平均值为34.3%，虽然呈不断下降趋势，但远超过国家规定的城市居住用地适宜（20%–32%）的标准；工业用地平均比重为22.1%更接近国家规定的城市工业用地适宜比例（15%–25%）的上限，近年来工业用地总量变化幅度较小；绿地均值为11.1%，距国家规定的城市绿地用地适宜比例（8%–15%）上限还有一定距离，但总体来看绿地占城市用地比重不断扩大；安徽省城市道路广场用地从2001年开始达到国家规定的城市道路广场用地适宜比例（8%–5%），均值为10.4%，说明城市道路系统等基础设施得到发展完善。

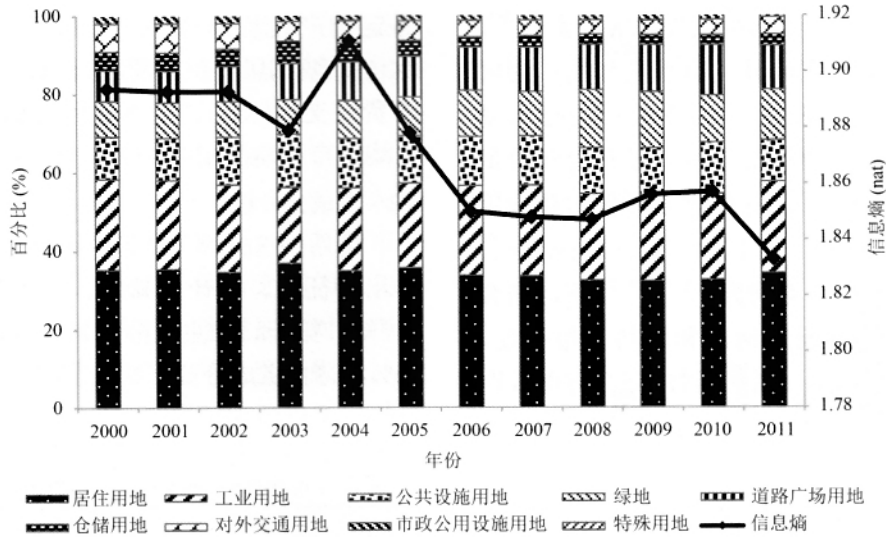


图2 安徽省城市建设用地结构变化

Fig.2 Structure Change of Urban Construction Land in Anhui Province

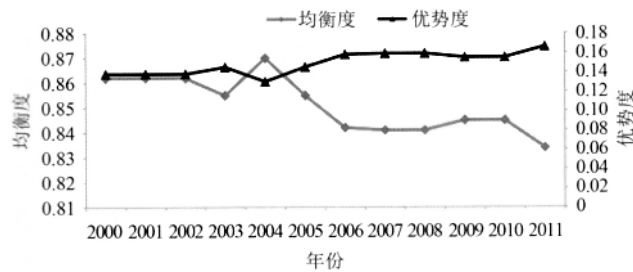


图3 安徽省城市建设用地结构均衡度和优势度变化

Fig.3 Degree of Equilibrium and Dominance of the Structure of the Urban Construction in Anhui Province

2.2 城市建设用地区域差异分析

用建设用地相对变化率来分析建设用地数量变化的区域差异。从图4中各市建设用地相对变化率可知，宣城和池州二市建设用地相对变化率最高，其变化程度比安徽省全区的变化要剧烈，主要是因为宣城和池州抓住建设皖江城市带承接产业转移示范区和皖南国际旅游文化示范区这一历史性机遇，旅游业发展迅速，建设用地扩展突现；合肥、淮北、蚌埠、马鞍山、芜湖、安庆和滁州城市建设用地变化的剧烈程度较高，是因为这些城市是承接东部地区产业和资本转移的前沿阵地，积极参与泛长三角区域发展分工；其余城市建设用地变化均接近或低于安徽省全区水平，这些城市基本位于安徽北部，为该省粮食主产区，受到基本农田保护政策影响，严格控制建设用地总量。总体而言，在承接产业转移背景下，安徽省东部、中部和南部地区建设用地扩展突现，其变化幅度较大，西部和北部建设用地变化的幅度相对小。

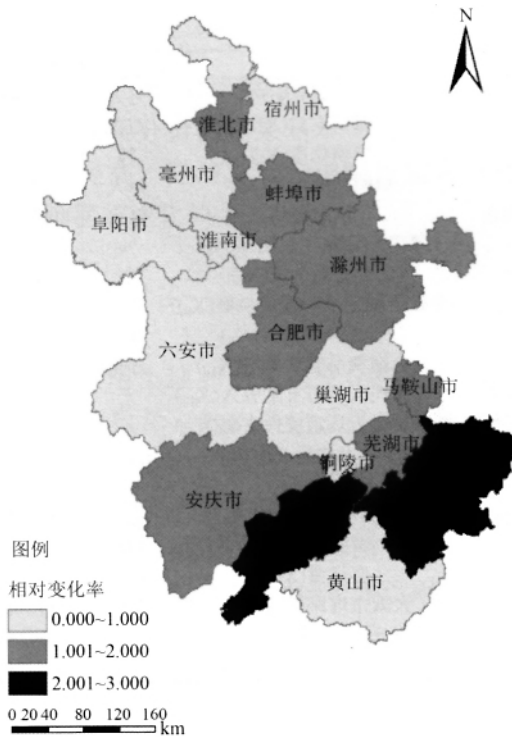


图4 安徽省城市建设用地相对变化率的格局分异(2000~2011)

Fig.4 Pattern Differentiation of the Rate of Relative Change of the Urban Construction in Anhui Province (2000-2011)

3 安徽省城市建设用地变化的驱动力分析

3.1 指标选取

影响建设用地变化的因素多且复杂，主要包括自然环境、社会经济、制度及技术等因素。长时间尺度，自然环境因素具有重要作用；短时间尺度，主要受人口变化、经济增长、技术变化、富裕程度、政治和经济结构以及观念和价值等社会经济因素影响。这些因素不仅与建设用地变化过程密切相关，而且相互之间还耦合关联。本文在综合多位学者研究下，结合安徽省社会经济实际发展情况和资料收集程度，从人口、经济、社会、交通和科技等5个方面选取影响安徽省城市建设用地变化的20个备选驱动力指标。

首先通过典型相关分析对上述20个备选驱动因子和因变量进行典型相关分析，得出各备选驱动因子与因变量之间的典型相关系数，剔除相关系数比较小的因子。从表1可知，大部分驱动因子与建设用地的相关性都达到0.9以上，说明备选驱动因子具有一定的合理性，其中有些因子与建设用地变化的相关性比较弱，故将其剔除，得到11个显著影响的驱动因子：城镇人口(X2)、城镇化率(X3)、城镇从业人员(X4)、生产总值(X5)、全社会固定资产投资总额(X8)、社会消费品零售总额(X10)、城镇居民可支配收入(X11)、城镇居民人均消费性支出(X12)、城市居民人均居住面积(X13)、人均城市道路面积(X15)、城市道路长度(X18)。

表 1 安徽省城市建设用地变化驱动因素

Tab.1 Driving Forces of the Change of the Urban Construction in Anhui Province

目标层	指标层	单位	典型相关系数
人口因素	总人口(X ₁)	万人	0.5044
	城镇人口(X ₂)	万人	0.9729
	城镇化率(X ₃)	%	0.9741
经济因素	城镇从业人员(X ₄)	万人	0.9518
	生产总值(X ₅)	亿元	0.9349
	第二、三业产值比重(X ₆)	%	0.8484
	工业企业个数(X ₇)	个	0.9111
	全社会固定资产投资总额(X ₈)	万元	0.9319
	城镇房地产开发(X ₉)	万元	0.9294
	社会消费品零售总额(X ₁₀)	万元	0.9370
社会因素	城市居民人均可支配收入(X ₁₁)	元	0.9514
	城镇居民人均消费性支出(X ₁₂)	元	0.9495
	城市居民人均居住面积(X ₁₃)	m ²	0.9574
	城市人均绿地面积(X ₁₄)	m ²	0.8823
交通因素	人均城市道路面积(X ₁₅)	m ²	0.9460
	公路里程(X ₁₆)	km	0.8154
	客运量(X ₁₇)	万人	0.9075
科技因素	人城市道路长度(X ₁₈)	km	0.9788
	科研机构数量(X ₁₉)	万元	0.9164
	研究与实验发展经费支出(X ₂₀)	万元	0.9164

3.2 主成分分析

运用 SPSS 软件对上述指标进行主成分分析，得出特征值、累计贡献率、主成分贡献率。从表 2 可知，第一、二主成分的累计贡献率达 94.036% > 85%，符合主成分分析要求。

表 2 特征值和主成分贡献率

Tab.2 Eigenvalues and Principal Component Contribution Rate

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	9.886	89.870	89.740
2	0.458	4.166	94.036

各驱动因子的综合得分系数可以表明驱动指标在整体评价中的相对重要程度。从表 3 可以看出其中 x₅、x₈、x₁₀、x₁₁、x₁₂、x₁₅、x₁₈ 的综合得分高，是影响建设用地变化的主要因子。这些因子反映了人口的富裕程度和经济增长程度，道路的扩展。因此，可以将影响建设用地变化的驱动因子概括为居民生活水平提高及经济发展、道路设施完善等方面。

3.3 主导驱动因素对建设用地变化影响的分析

3.3.1 居民生活水平提高的驱动

2000-2011 年，安徽省城镇居民人均收入由 6778 元增加到 18 606 元，增幅为 174.5%。同期城镇居民、人均住房面积持续增加，从 2000 年的 14.76 m² 增加到 2011 年的 31.55 m²。由此可见，人口富裕程度和居民收入水平的提高，也会对建设用地变化产生影响。首先随着城市居民收入的提高，生活水平也会相应提高。对改善居住条件的需求较大，推动了城市住宅建设；其次，对环境质量的要求，推动了城市绿地的建设及居住用地向郊区扩展；最后，一些大型商场和娱乐设施的建设满足了居民的物质和精神追求，从而推动了城市用地面积的扩大。

表 3 驱动指标权重

Tab.3 Weight of Driving Index

驱动因子	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₈	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₅	X ₁₈
综合得分系数	0.221	0.278	0.272	0.308	0.243	0.309	0.310	0.306	0.300	0.310	0.300

3. 3. 2 经济发展的驱动

建设用地的变化与经济发展密切相关。运用 SPSS 软件利用相关经济指标对城市建设用地进行回归分析, 结果显示建设用地与各项经济指标相关系数都达 0.90 以上, 呈较强的正相关性。

2000-2011 年, 安徽省 GDP 由 2 902.1 亿元增加到 15 300.6 亿元, 年均增长率为 14.9%, 人均 GDP 由 4 779.46 元增加到 25 659.31 元。同期城市建设用地面积增加了 719.66km², 两者之间的相关系数达 0.935。可以看出经济的高速发展会对城市空间扩张和土地利用结构的变化产生重要影响, 主要表现为:(1) 经济发展会促进固定资产投资、基础设施建设、房地产开发的快速发展, 使得研究期间安徽省居住、交通及绿地等用地面积分别由 2000 年的 288.24、58.48 和 74.02 km² 增加到 2011 年的 518.22、65.88 和 194.45km² (2) 伴随经济发展, 全省的第一、二、三产业结构从 2000 年的 25.36%、36.41%、38.03% 变化到 2011 年的 13.17%、54.31%、32.52%, 第一产业比例大幅下降, 第二产业比例急剧上升, 第三产业比例变化幅度较小, 第二投资不断扩大, 工业用地面积 12 年间增加了 163.57 km², 是 2000 年工业用地面积的 0.9 倍。

3. 3. 3 道路设施完善的驱动

随着经济的发展, 交通基础设施的建设和完善, 将改变城市的交通条件, 引起交通沿线可达性变化, 促进城市交通干线建设用地的开发。研究时段内, 安徽省城市道路长度由 2000 年的 6107 km 增加到 2011 年 10 854.46 km, 增加了 4 747.46 km, 增幅为 77.7%。对城市道路长度和建设用地面积进行回归分析, 两者相关系数达 0.979, 说明城市道路的扩展推动建设用地规模的扩大。

在典型相关分析基础上, 根据偏最小二乘分析法中的变量重要性投影 (VIP) 对所有指标的重要性进行测度。从图 5 可以看出驱动因子 X1, 的 VIP 值都大于 1, 说明对安徽省城市建设用地面积变化有显著影响; X5、X12、X15、X18 的 VIP 值介于 0.5-1 之间, 表示对建设用地变化的影响比较重要。从而表明: 安徽省城市建设用地面积变化的主要驱动力为居民生活水平提高、经济发展和道路扩展等因素。

典型相关分析可以直接得出影响建设用地面积的驱动因子, 但无法将这些相互间耦合关联的因子分类; 主成分分析则可以解决简单相关分析造成的信息重叠冗杂, 用较少变量来解释原始变量的绝大部分信息; 但主成分分析得出的第一、二主成分的重要程度不是绝对的, 当分析结果中综合变量因子符号有正有负时, 会存在主成分综合评价不明确、命名清晰性低等不足; PLS 回归分析法则可以克服多重共线性问题, 解释驱动因子对因变量的重要性, 但这种方法也会因因子选择而产生不同结果。上述分析表明建设用地驱动力分析方法均存在一定不足。因此, 本文将三种方法结合, 互为补充。把典型相关分析、主成分分析和 PLS 回归分析的结果结合起来看, 可以发现三者对驱动因素分析的结果基本一致, 即城镇居民生活水平提高、经济发展和道路设施完善是构成建设用地面积变化的主要驱动力。

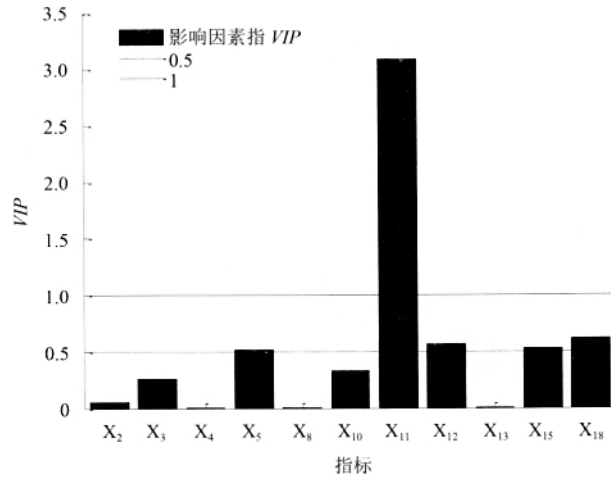


图5 各驱动因子变量投影重要性指标

Fig.5 Significance Index of the Variable Projection of Various Driving Forces

4 结论和讨论

本文采用土地利用动态变化模型对安徽省城市建设用地数量、结构变化及区域差异进行了分析，运用典型相关、主成分及PLS回归相结合的方法，研究了研究区城市建设用地变化的主要驱动力，得出了以下结论：(1)从建设用地扩展规模来看，安徽省2000-2011年间城市建设用地面积增加了719.66 km²，年平均增加59.97 km²，经历T快速增加一波动增加一缓慢增加的变化过程；从建设用地变化结构来看，居住用地、工业用地、仓储用地的比重逐渐下降，但仍占据优势地位，绿地、公共设施用地及道路广场用地比重逐渐增加。通过信息熵的研究发现，对城市建设用地结构均衡性和优势性影响较大的是居住用地、工业用地、道路广场用地。(2)安徽省各市建设用地变化强度区域差异明显，建设用地变化强度较大区域与皖江城市带承接产业转移示范区具有较好的拟合性。整体而言，安徽中部、南部和东部地区城市建设用地变化剧烈程度较高，北部、西部地区变化强度较低。(3)通过典型相关和主成分分析得出安徽省建设用地变化的主要驱动因素为居民生活水平提高、经济发展及道路设施完善，这与PLS回归分析法中变量投影重要性指标VIP值分析结果基本一致。

城市用地的扩展是一个复杂性、动态性、阶段性的过程，涉及诸多因素。本研究选取的驱动力指标虽然涉及面较广，但缺乏政策制度方面指标。由于数据获取的限制，研究的时间尺度较短，未能得出建设用地变化阶段性规律。此外，由于篇幅和能力限制，仅从单方面探讨了各驱动因素对建设用地变化的作用，没有对建设用地变化与自然、社会经济相互作用关系进行研究，未来对于建设用地变化的反馈机制还需要进一步深入研究。