

快速城镇化背景下迅速扩张型城市空间演化时空特征及驱动力机制¹

——以合肥市为例

邓保彪，王雅琪，翁睿，苏敏，鲍捷

(安徽大学商学院，安徽 合肥 230601)

【摘要】：利用合肥市 1997 年、2001 年、2005 年、2009 年、2013 年和 2017 年遥感数据源，提取相应年份的城市建成区扩展信息，从扩展速度、扩展强度、紧凑度、分形维数、城市建成区扩展弹性指数和空间重心转移等方面对城市空间演化时空特征进行分析，选取 14 个指标构建主成分模型，结合城市发展背景，研究城市空间演化驱动力机制，同时利用多元回归模型预测合肥市未来建成区面积。结果表明：合肥市城市扩展速度与强度均保持较快增长，城市整体向外部不断扩张，重心向东南方向转移，但城市空间扩张与人口处于不协调的发展模式；经济、人口、交通和政策为城市空间演化主要驱动力；合肥市建成区面积保持较快增长，迅速扩张型城市未来空间扩展模式应以多中心扩展模式为主，进行以轴向发展为主的多中心城市结构的转变，同时注重城市空间的内涵式更新。

【关键词】：扩张型城市；时空特征；驱动力机制；合肥市

【中图分类号】：F291 **【文献标志码】**：A **【文章编号】**：1005-8141(2019)10- 1280-08

doi: 10.3969/j.issn.1005-8141.2019.10.010

城市空间演化特征是城市更新和城市代谢在时空上的重要表征^[1]，研究城市空间演化时空特征和驱动力机制对城市合理利用土地、优化环境和可持续发展具有现实意义。目前，学者们对单个城市扩展模式的研究，国外最早有生态位三大经典理论，即伯吉斯同心圆理论^[2]、霍伊特扇形理论^[3]和哈里斯和乌尔曼多核心理论^[4]。随后，国外学者在城市群的研究中提出了经典的生长极理论^[5]和大都市带概念^[6]。我国的相关研究起步较晚，学者们提出的几何形态城市扩展模式^[7]、精明增长^[8]和城市发展规律^[9]对我国城市发展意义重大。国外将城市拓展驱动力大致总结为市场、人口、经济、产业、劳动力、交通、资本、地租和政策几个要素^[10-15]，我国在此基础上提出了离心力、向心力和摩擦力作用、人口要素^[16,17]等。

综上所述，国内外学者对城市扩展的分析研究主要集中在监测、驱动机制、未来预测、动态模拟和管理措施等方面^[18]，且大部分研究按照地域分类，较少的研究按照城市类型分类，只有极少数的研究针对某一种类型的城市详细展开。国内大多数研究集中在发达城市或大城市，多聚焦于东部沿海地区城市，而对中部或西部一些较不发达的城市研究较少，但中西部近年来也在相继进入快速城市化进程。本研究以合肥市为例，着重研究快速城市化背景下迅速扩张型的城市空间扩展的模式及驱动力，就此

¹收稿日期：2019-04-17；修订日期：2019-08-12

基金项目：安徽大学国家级大学生创新创业训练计划项目（编号：201810357179）；国家自然科学基金青年项目（编号：41801142）。

第一作者简介：邓保彪（1996-），男，安徽省阜阳市人，本科，主要研究方向为城市与区域发展。

通讯作者简介：鲍捷（1985-），男，安徽省合肥人，博士，讲师，主要研究方向为城市与区域发展、旅游地理与旅游规划。

类型城市在城市空间扩展过程中出现的城市问题提出优化建议,具有较高的研究价值。

1 案例与研究方法

1.1 研究案例

在对短时间内城市迅速扩张型城市研究中,本研究选择安徽省合肥市作为研究案例。合肥市位于 $30^{\circ} 57' - 32^{\circ} 32' N$ 、 $116^{\circ} 41' - 117.58' E$ 之间,近年发展取得较大进步,在市区人口增长、经济发展和建成区扩展等方面表现出在快速城市化背景下迅速扩张型城市发展的普遍特点。

本文使用的数据来自于 1997—2017 年的《合肥市统计年鉴》。人口是城市建设的支撑力量,合肥市市区人口数由 1997 年的 130 万人增加到 2017 年的 353 万人,短期内市区人口仍将保持快速增长的趋势(图 1)。



经济发展决定着城市的发展活力,2017 年合肥市的生产总值突破 7000 亿元大关,且保持着较高速度的经济增长。建成区的扩张直接体现城市空间上的发展,合肥市建成区面积在 1997—2017 年均保持着较高的城市扩展速度,具有迅速扩张型城市最直接的形态表征。

1.2 研究方法

遥感影像处理:以 1997 年、2001 年、2005 年、2009 年、2013 年和 2017 年 LANDSAT5 TM 和 LAND-SAT8 OLI_TIRS 作为遥感影像数据源(表 1)。遥感成像时,由于各种因素的影响,使遥感影像存在一定的几何畸变、大气消光、辐射量失真等现象。产生上述畸变和失真的原因是客观存在的,难以规避,因此在实际影像分析前应先对影像进行辐射校正、几何校正、波段选择和图像增强处理,使其达到分析的基本要求。采用目视解译的方法作为遥感信息提取方法。目视解译法是根据人的经验和知识,通过影像的色形特征及解译标志来识别目标或对象,是最原始最基本的解译方法,与常用的监督分类和非监督分类的方法相比需要更多的工作量,优点是影像解译结果更为准确。其中,城市建成区面积提取数据与统计年鉴数据相比略大。本研究在对遥感影像进行解译时,对城市建成区的界定为:对城乡结合部的处理,将满足已与城市相互连接或已被城市包围的区域视为城市建成区;靠近城市,且通过主干道与城市道路相连接的区域视为城市建成区;城市景观特征明显的区域,无论其是否与城市通过主干道相联系,与城市距离的远近均视为城市建成区;已具备城市性质或者承担城市功能的城市外部乡村,均视为城市建成区^[19]。最终提取城市建成区的面积数值与统计年鉴数据相比略大,原因主要是本文研究区域选择为合肥市的主城区面积,城郊结合部面积较大,同时合肥在城市蔓延过程中对城市边界区域的影响较大,根据已确立的解译标准,将符合要求的区域纳入城市的建成区范围。

城市建成区空间演化时空分析方法：采用城市建成区扩展速度、扩展强度、空间紧凑度、城市空间分形维数和建成区弹性指数 5 个指标，运用 GIS 技术中城市重心转移路径分析技术，从城市时空扩展过程中城市的空间形态和空间结构等方面的演变对城市建成区空间进行分析。

表 1 1997—2017 年卫星遥感数据信息

年份	数据名称	卫星	传感器	云量	中心经度/纬度	白天晚上	成像时间
1997	LT51210381997122HAJ00	LANDSAT5	TM	29.12	117.3536E/31.7329N	DAY	1997-05-02
2001	LT51210382001101BJC00	LANDSAT5	TM	38.63	117.3356E/31.7378N	DAY	2001-04-11
2005	LT51210382005224BJC01	LANDSAT5	TM	0.18	117.2356E/31.7621N	DAY	2008-08-12
2009	LT51210382009123BJC00	LANDSAT5	TM	0.71	117.3116E/31.7448N	DAY	2009-05-03
2013	LC81210382013246LGN00	LANDSAT8	OLI_TIRS	4.40	117.2807E/31.7422N	DAY	2013-09-03
2017	LC81210382017257LGN00	LANDSAT8	OLI_TIRS	1.38	117.3164E/31.7424N	DAY	2017-09-14

城市空间扩展速度与强度分析：城市扩展速度表现了城市空间扩张在时间跨度上的变化，城市扩展强度是对城市空间扩张强弱程度的直观表述，扩展速度和强度都能够直接地反映城市扩张的快慢程度^[20]。计算公式为：

$$\text{扩展速度}^{[21]} V = \frac{S_a - S_b}{T} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{扩展强度} R = \frac{U_a - U_b}{U_{\text{总}}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中，V 为城市空间扩展速度指数；R 为城市空间扩展强度；V 为扩张年速度；S_a 为阶段末年建成区面积；S_b 为始年建成区面积；U_a 和 U_b 分别为末年和起始年的建成区面积；U_总 为研究区总面积；T 为时间段的跨度^[22]。

城市空间外部形态紧凑度分析：城市外部形态紧凑度 BCI 体现了城市在扩张过程中的空间集约化程度，能够表征城市用地扩张过程中的变化，在城市建成区用地扩展的研究中常采用该指标^[23]。计算公式为：

$$\text{外部形态紧凑度} BCI = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P} \dots\dots\dots (3)$$

式中，BCI 为外部形态紧凑度；A 为城市建成区的面积；P 为城市建成区的周长，其取值范围为 0<BCI<1 的值越大，表示城市形状越具有紧凑性，反之紧凑性越差，圆形的紧凑度为 1^[24]。

城市空间分形维数：分形维数描述的是城市边界形状的复杂性，反映出土地利用形状的变化和土地利用受干扰的程度，是一个面积与周长的关系。计算公式为：

$$\text{城市空间分形维数} S_i = \frac{2\ln \frac{P_i}{4}}{\ln A_i} \dots\dots\dots (4)$$

式中，S_i 为 t 时期城市空间分形维数；P_i 为 t 时期城市建成区周长；A_i 为 t 时期的城市建成区面积。

城市建成区扩展弹性系数：城市建成区扩展的弹性系数城市建成区扩展对城市非农业人口增长的弹性系数用于描述城市建设用地扩张速度与城市人口增长速度之间的关系，评价城市建设用地扩展的合理性^[26]。计算公式为：

$$\text{城市建成区扩展弹性指数 } R(i) = \frac{A(i)}{\text{pop}(i)} \quad (5)$$

式中，R(i)为城市第 i 时段的建成区扩展弹性系数；pop(i)为城市第 i 时段城市市区非农业人口年均增长速度；pop(i)为第 i 时段城市建成区年均增长速度^[26]。

城市空间重心转移分析^[27]：城市空间的重心一般选择以城市空间的几何中心来表示，它可在一定程度上反映城市发展方向和城市建成区扩展方向的转移情况，是区位选择、经济分析和城市规划和管理重要的参考因素。利用的城市建成区的矢量数据，建立 X、Y 坐标系，采用 GIS 空间分析功能，提取城市建成区重心。

主成分分析法：主成分分析是把原来多个指标划分为少数几个综合指标的多元统计方法^[28]，主要步骤包括：①原始指标标准化处理。计算公式为： $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$ ，式中， x'_{ij} 为标准化值； x_{ij} 为原始值； \bar{x}_j 和 s_j 分别为第 j 个指标的均值和标准差。②根据

$R = (r_{ij})_{p \times p}, r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j) / (s_i s_j)$ ，计算出相关系数矩阵 R。③根据特征方程计算特征值与特征向量。计算公式为： $|\lambda I - R| = 0$ 。④计算

贡献率 e_i 及累计贡献率 E。计算公式为： $e_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^p \lambda_k (i = 1, 2, \dots, p)$ ， $E = \sum_{k=1}^i \lambda_k / \sum_{k=1}^p \lambda_k (i = 1, 2, \dots, p)$ 。⑤计算主成分负荷 $Z = \sum_{j=1}^p u_{ij} x'_{ij}$ ，主成分负荷即主成分与变量之间的相关系数。

2 城市建成区扩展的时空分析

利用 GIS 空间分析得到 6 个时期合肥市建成区的形状、建成区面积和周长数据，结合《中国统计年鉴》、《合肥市统计年鉴》中合肥市人口和经济数据，利用式（1）—式（5）计算出合肥市建成区的扩展速度与强度、紧凑度、分形维数和弹性指数。

2.1 城市建成区形状

将遥感影像进行几何校正、波段组合和图像增强处理后，再通过目视解译法对影像进行解译，1997—2017 年以 4 年为一个时间跨度，共得到 6 个时期内的合肥市城市建成区数据，通过 ArcGIS 软件处理，得到不同时期内的城市建成区形状（图 2）。

2.2 城市扩展速度与强度分析

由表 2 可见，在 5 个时间段内合肥市的建成区面积分别增加了 102.93km²、42.49km²、105.50km²、77.12km²、24.68km²，并且从 1997 年的 140.64km² 增加到 2017 年的 468.68km²，扩大了约 4 倍。从表 2、图 3 中城市扩展速度和扩展强度数据可见，近 20 年合肥市的城市扩张处于较快发展的阶段，充分体现了合肥市快速扩张的特点

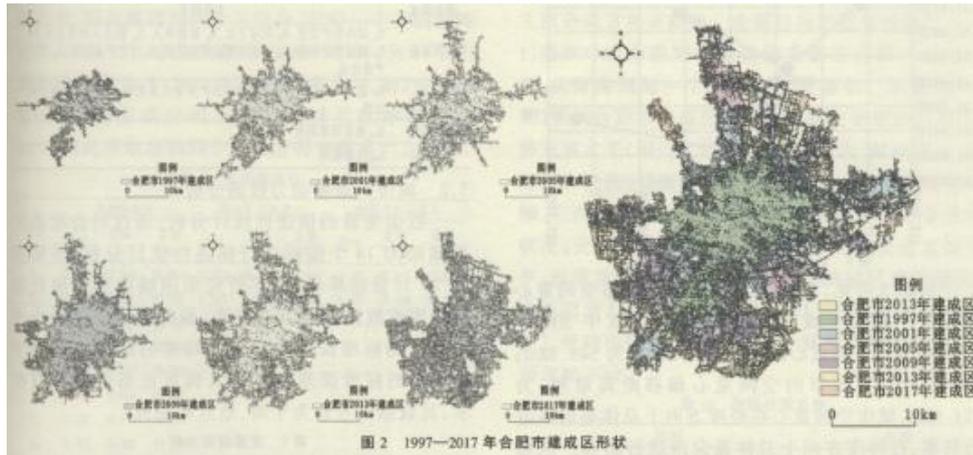


图 2 1997—2017 年合肥市建成区形状

表 2 建成区面积、周长、扩展速度与扩展强度分布

时间段	建成区面积(km ²)		建成区周长(km)		增长 面积 (km ²)	建成区 扩展速度 (km ² /a)	建成区 扩展强度 (%)
	前者	后者	前者	后者			
1997-2001 年	140.64	243.57	1462.62	1762.93	102.93	25.73	18.30
2001-2005 年	243.57	286.07	1762.93	2242.12	42.49	10.62	4.36
2005-2009 年	286.07	391.57	2242.12	3149.40	105.50	26.38	9.22
2009-2013 年	391.57	468.68	3149.40	3957.89	77.12	19.28	4.92
2013-2017 年	468.68	493.36	3957.89	5491.00	24.68	6.17	1.32

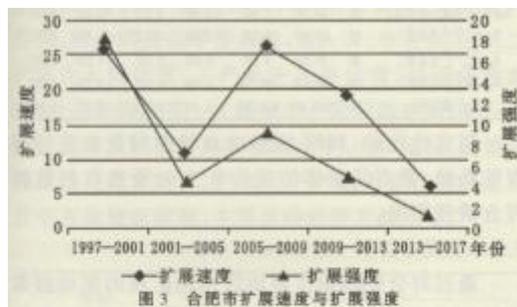


图 3 合肥市扩展速度与扩展强度

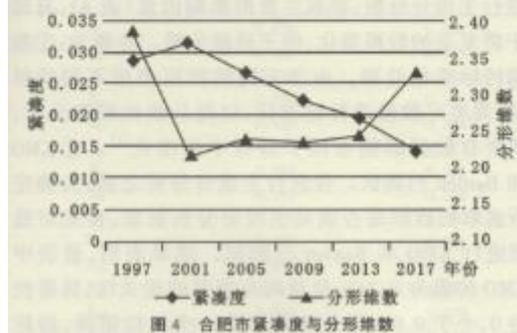


图 4 合肥市紧凑度与分形维数

2.3 城市空间紧凑度与分形维数分析

本文根据数据分析得出自 1997 年以来 20 年内的合肥市空间紧凑度整体呈现逐渐减小的趋势（图 4、表 3），分形维数在逐

渐增加，紧凑度的减少和分形维数的增加在城市空间变化上的体现就是城市空间的向外扩张。

表 3 紧凑度分布与分形维数分布

年份	建成区面积(km ²)	建成区周长(km)	紧凑度	城市空间分形维数
1997	140.64	1462.62	0.0287	2.3863
2001	243.57	1762.93	0.0314	2.2158
2005	286.07	2242.12	0.0267	2.2378
2009	391.57	3149.40	0.0223	2.2340
2013	468.68	3957.89	0.0194	2.2430
2017	493.36	5491.00	0.0143	2.3300

2.4 城市建成区扩展弹性指数

从表 4 可见，建成区扩展弹性指数数据与标准数值 1 表明处于较大的偏离程度，仅有 2001—2005 年和 2009—2013 年两个时间段内偏离较小，总体上合肥市的城市空间扩张与人口增长处于不协调发展模式。

表 4 城市建成区扩展弹性指数分布

时间段	建成区面积(km ²)		市区人口数(万人)		增长面积(km ²)	增长人口数(万人)	城市建成区扩展弹性指数
	前者	后者	前者	后者			
1997-2001	140.64	243.57	129.57	146.81	102.93	17.24	5.5004
2001-2005	243.57	286.07	146.81	184.91	42.49	38.10	0.6722
2005-2009	286.07	391.57	184.92	213.70	105.50	28.79	2.3687
2009-2013	391.57	468.68	213.70	265.75	77.12	54.05	0.7784
2013-2017	468.68	493.36	265.75	587.40	24.68	319.65	0.0441

2.5 城市空间重心转移分析

基于 ArcGIS 技术，本文分别求得 1997 年、2001 年、2005 年、2009 年、2013 年和 2017 年合肥市的城市建成区中心在投影坐标系下的经纬度坐标，并计算出各相邻年份的空间重心转移的直线距离(表 5)。

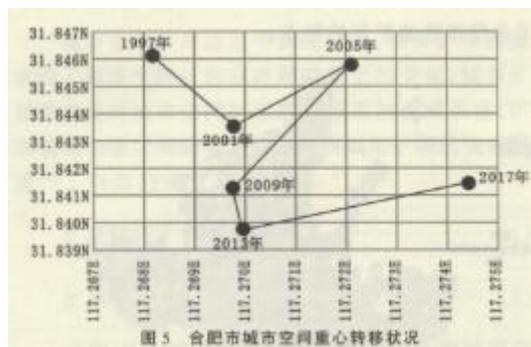


图 5 合肥市城市空间重心转移状况

从图 5 可见,近 20 年合肥市历年城市空间重心基本位于城市主城区中心位置附近,其中 2005—2009 年城市空间重心的偏移距离最长,为 548.88m;2009—2013 年城市的空间重心偏移距离最短,为 171.85m,城市空间重心在经度方向上总体是向东进行转移,在纬度方向上总体是向南进行转移。从城市重心的转移路径可见,随着滨湖新区发展建设,合肥市的城市空间重心逐渐偏移传统老城区的中心位置,逐步向东南方向,即滨湖新区方向靠拢。

表 5 合肥市建成区重心转移情况

年份		城市空间 重心坐标	与前期 基准变化	转移方向	转移距离 (据上一时期)
1997	X	117.268139E			
	Y	31.846087N			
2001	X	117.26979E	-0.001651	向东移动	325.724637m
	Y	31.843508N	0.002579	向南移动	
2005	X	117.272101E	-0.002311	向东移动	337.401771 m
	Y	31.845826N	-0.002318	向北移动	
2009	X	117.269742E	0.002359	向西移动	548.883434m
	Y	31.841302N	0.004524	向南移动	
2013	X	117.269947E	-0.000205	向东移动	171.851733m
	Y	31.839761N	0.001541	向南移动	
2017	X	117.274388E	-0.004441	向东移动	461.360399m
	Y	31.841479N	-0.001718	向北移动	

注:转移距离是利用 ArcGIS 在投影坐标下计算得出。

3 城市扩展驱动力机制分析

3.1 数据选取与来源

已有研究表明,经济、人口、政策和交通等是城市扩张的主要驱动力因素^[29,30]。同时,城市空间扩展驱动力与城市自身发展水平密切相关,因此应从多角度、全方位对其进行研究。本文在已有研究成果的基础之上,结合研究时期内合肥市的经济发展状况,选取了包括经济发展水平、人口因素、政策因素和交通发展水平等 4 个方面 14 个指标对 1997—2016 年合肥城市建成区扩展的驱动因素进行了定量分析(表 6),数据来源于 1997—2016 年的《合肥统计年鉴》。

表 6 主成分分析指标体系

指标构成	主要因子
经济指标	X ₁ 国内生产总值、X ₂ 财政支出、X ₃ 财政收入、X ₄ 城镇人均居住面积、X ₅ 固定资产投资、X ₆ 社会消费品零售总额、X ₇ 二产产值比重、X ₈ 三产产值比重
人口指标	X ₉ 总人口、X ₁₀ 非农业人口、X ₁₁ 二产从业人员比重、X ₁₂ 三产从业人员比重
政策指标	X ₁₃ 建设用地面积
交通指标	X ₁₄ 公路里程

3.2 城市扩展驱动力数据分析

数据变量的描述性统计分析：通过对合肥市扩展驱动力 14 个指标进行描述性统计分析，结果见表 7。计量结果表明，本研究采用城市空间演化驱动力因素数据达到以下要求：偏度的绝对值皆小于 1，偏度的标准误差为 0.512，峰度的绝对值都小于 2，峰度的标准误差为 0.992，满足正态分布模型要求，且数据分布较为平坦，适宜本研究。

表 7 变量描述分析

变量	N	均值	标准差	偏斜度	标准错误	峰度	标准错误
X ₁ (国内生产总值)	20	2156.915	2031.264	0.858	0.512	-0.737	0.992
X ₂ (财政支出)	20	267.314	289.644	0.923	0.512	-0.681	0.992
X ₃ (财政收入)	20	357.573	361.001	0.897	0.512	-0.588	0.992
X ₄ (城镇人均居住面积)	20	21.142	8.762	0.367	0.512	-0.885	0.992
X ₅ (固定资产投资)	20	2073.941	2230.927	0.830	0.512	-0.730	0.992
X ₆ (社会消费品零售总额)	20	800.240	771.311	0.968	0.512	-0.445	0.992
X ₇ (总人口)	20	533.701	123.366	0.856	0.512	-1.263	0.992
X ₈ (非农业人口)	20	204.357	60.780	0.577	0.512	-0.724	0.992
X ₉ (二产从业人员比重)	20	30.225	5.304	-0.087	0.512	-1.775	0.992
X ₁₀ (三产从业人员比重)	20	37.740	7.948	-0.149	0.512	-1.465	0.992
X ₁₁ (二产产值比重)	20	49.013	4.539	0.098	0.512	-1.478	0.992
X ₁₂ (三产产值比重)	20	43.591	4.135	0.083	0.512	-1.319	0.992
X ₁₃ (建设用地面积)	20	245.455	107.274	0.009	0.512	-1.230	0.992
X ₁₄ (公路里程)	20	9640.475	6065.166	0.191	0.512	-1.161	0.992

适宜性检验：利用 SPSS22.0 软件对量表进行适宜性检验，量表的整体信度为 0.719，所选取的数据符合研究要求。

3.3 主成分分析

通过对合肥市城市建成区用地扩展的驱动因素进行主成分分析，提取主要的影响因素（表 8），有助于将复杂的数据简化，便于后续分析。步骤为：①数据的标准化处理。由于不同的指标使用不同的单位，需要对数据进行标准化，以便后续比较和分析，使所有数据都能在因子分析中标准化^[1]。②KMO 和 Bartlett 的测试。在进行主成分分析之前，为确定所选取的数据是否满足主成分分析要求，首先对数据进行 KMO 和 Bartlett 的测试。结果表明，量表中 KMO 的值为 0.748，变量间有较强的相关性，显著性为 0，小于 0.01，相关矩阵不是一个单位矩阵，指标之间并非独立。本研究选取的因素数据满足主成分分析要求，适宜做研究。③主成分分析。本文使用 SPSS22.0 软件对选取的变量进行主成分分析，计算结果表明解释的总方差总共解释了 93.201% 的总体变量，因此共得到两个主成分，其中一个主成分特征值为 11.751，方差贡献率为 83.934%，另一个主成分特征值为 1.297，方差贡献率为 9.267%。通常，提取的主成分的方差的累计贡献率要达到 85%，因此提取出的两个主成分符合要求^[1]。

表 8 变异数总计

变量	起始特征值			撷取平方和载入			循环平方承和载入		
	总计	变异 (%)	累加 (%)	总计	变异 (%)	累加 (%)	总计	变异 (%)	累加 (%)
X ₁	11.751	83.934	83.934	11.751	83.934	83.934	10.451	74.653	74.653
X ₂	1.297	9.267	93.201	1.297	9.267	93.201	2.597	18.548	93.201
X ₃	0.491	3.505	96.706						
X ₄	0.257	1.832	98.538						

X ₅	0.102	0.731	99.269
X ₆	0.058	0.416	99.685
X ₇	0.022	0.159	99.844
X ₈	0.012	0.084	99.928
X ₉	0.007	0.053	99.981
X ₁₀	0.002	0.011	99.993
X ₁₁	0.001	0.004	99.997
X ₁₂	0.000	0.002	99.999
X ₁₃	0.000	0.001	100.000
X ₁₄	0.000	0.000	100.000

注：擷取方法为主体组件分析。

由旋转组件矩阵可（表 9），国内生产总值、财政支出、财政收入、城镇居民人均居住面积、固定资产投资、社会消费品零售总额、总人口、非农业人口、二产从业人员比重、三产从业人员比重、建设用地面积、公路里程在第一主成分中占取较高载荷，第一主成分主要反映城市经济发展水平、人口增长、政策导向以及交通发展，二产和三产产值比重在第二主成分中占取较高载荷，主要反映经济发展水平。

表 9 旋转成分矩阵

指标	变量	
	1	2
X ₁	0.934	0.328
X ₂	0.922	0.343
X ₃	0.932	0.329
X ₄	0.975	0.151
X ₅	0.923	0.354
X ₆	0.931	0.317
X ₇	0.883	0.356
X ₈	0.968	0.224
X ₉	0.599	0.560
X ₁₀	0.927	0.086
X ₁₁	0.647	0.703
X ₁₂	-0.011	-0.980
X ₁₃	0.954	0.176
X ₁₄	0.963	0.178

注：擷取方法为主体组件分析；转轴方法为具有 Kaiser 正规化的最大变异法；在 3 叠代中收敛循环。

利用主成分分析确定权重系数：在确定权重系数时，要明确各主成分线性组合中各指数的系数和主成分的方差贡献率。全部指标的权重系数之和为 1，需要对综合模型中的指标系数进行归一化的处理，从而得到每一个指标的权重系数。从表 10 可见，影响合肥市建成区土地扩张的主要驱动力为：经济发展水平（国内生产总值、财政支出、财政收入、固定资产投资、城镇居民人均居住面积、社会消费品零售总额、三产产值比重），代表合肥市的经济和产业发展状况；交通发展水平（公路里程），反映交通发展水平；政策导向（建设用地面积），反映城区建设情况；人口因素（总人口、非农业人口、三产从业人员比重），反映市区人口变化情况。其他因素影响不大，可忽略不计。

表 10 指标权重系数

指标	权重
X ₁ 国内生产总值	0.039
X ₂ 财政支出	0.037
X ₃ 财政收入	0.039
X ₄ 城镇人均居住面积	0.054
X ₅ 固定资产投资	0.036
X ₆ 社会消费品零售总额	0.040
X ₇ 总人口	0.034
X ₈ 非农业人口	0.048
X ₉ 二产从业人员比重	0.001
X ₁₀ 三产从业人员比重	0.055
X ₁₁ 二产产值比重	-0.005
X ₁₂ 三产产值比重	0.066
X ₁₃ 建设用地面积	0.050
X ₁₄ 公路里程	0.051

3.4 城市扩展驱动力机制

经济发展水平：经济发展对合肥城市的空间演化具有主导作用，代表因子为 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 。经济发展产生集聚效应，能为城市空间拓展带来更多的资金和资源，经济发展能吸引产业聚集，尤其是第二、三产业。由于传统的城市中心空间已趋于饱和，因此二产和部分三产倾向于聚集分布在城市近郊区，从而引起城市空间进一步拓展。合肥市 1997—2016 年国内生产总值增加了近 25 倍，第二、三产的产值比重增长明显，经济技术开发区和高新技术产业开发区等产业园区的建设进一步说明经济发展能引起产业聚集，进而带来城市空间拓展。

交通发展水平：城市交通发展是城市空间演化的重要因素，代表因子为 X_{14} 。交通技术的创新和交通道路的发展能够加快和扩大城市信息和资源的流通速度和流通范围，增加城市空间的可达性，从而促进城市空间拓展。1997—2016 年合肥市扩大了 148 倍，城市空间沿包河大道、京台高速、合安路等交通干线向外延伸。同时，“米”字型高铁网的建设将继续加强合肥与周边地区的经济联系，促进合肥经济发展和城市空间拓展。

政策导向：政策体制是城市空间演化的规范控制力量，代表因子为 X_{13} 。合肥市作为迅速扩张型城市的代表之一，城市用地面积扩大具有独特的政策因素。1997—2007 年合肥市建设用地面积增加较平缓，该阶段城市发展格局是构建圈层式城镇群体。2011 年巢湖市部分区县划入合肥市，合肥市的城市空间进一步扩展，实现临湖发展。此后，合肥实施“141”城市发展战略，建设经济技术开发区、高新技术产业开发区和滨湖新区。2013 年，合肥实施“1331”市域空间战略，建设产业新城和环巢湖示范区，城市空间快速扩展。政策导向还影响其他驱动力因素，如人口、交通、产业等，因此政策导向也是合肥城市空间扩展的重要因素之一。

人口因素：人口增加是城市空间演化的支撑因素，代表因子为 X_9 、 X_{10} 、 X_{12} 。人口增加能为城市建设提供必要的劳动力，同时需要更多的城市生存空间。中心城区人口聚集带来空间压力增大、生活成本增加。郊区低廉的土地价格和优美的自然环境吸引人口的聚集，从而引起城市空间进一步扩展。1997—2016 年合肥市总人口增加了 1.7 倍，非农业人口增加了 2.5 倍，第二、三产从业人员比重出现明显增长，对城市空间拓展起到了促进作用。

4 城市空间演化趋势

4.1 城市空间演化速度趋势

建立多元线性回归模型：城市空间扩展驱动力机制由多个因素共同作用下形成，综合分析多个要素，构建城市建成区面积与驱动因素之间多元线性回归模型。其中，以主成分分析得出的两个主成分 (F_1 、 F_2) 作为自变量，以城市建成区面积 (Y) 作为因变量，计算结果为： $Y = 245.800 + 118.796 \times F_1 + 8.479 \times F_2$ 。（表 11）。

表 11 系数

模型	非标准化系数		标准化系数	T	显著性
	B	标准错误	Beta		
(常数)	245.800	5.082		48.362	0.000
1 主成分	1118.796	5.215	0.982	22.782	0.000
主成分	28.479	5.215	0.070	1.626	0.122

注：应变数为城市建成区面积 (km^2)。

多元线性回归模型预测：根据以上结果，可利用合肥市 1997—2016 年的统计数据，结合主成分得分，利用指数平滑法 Brown 线性趋势模型推算出 2020 年和 2030 年的两个主成分的得分数值，结果见表 12。计量结果表明，使用时间序列预测方法，数据符合研究需要，依据 1997 年—2016 年的相关研究数据，结合 2020 年预测数据，提取出 2020 年的两个主成分的得分系数，即 F_1 为 3.256、 F_2 为 1.568。采用前文研究建立的回归方程 $Y=245.800+118.796 \times F_1+8.479 \times F_2$ 计算出合肥市 2020 年建成区面积为 634.771km^2 。同理，计算出 2030 年合肥市建成区面积为 1011.592km^2 ，表明合肥市将在未来一段时间内保持较高的城市扩展速度。

表 12 主成分系数

主成分	2020 年预测值	2030 年预测值
F_1	3.456	7.001
F_2	-2.546	-7.758

4.2 城市空间演化总体趋势

城市扩展模式趋势：城市未来空间扩展模式是以多中心扩展模式为主，内部伴有填充模式。以合肥市为例，在快速城镇化发展阶段，合肥市建立了 4 个城市新区，新区建设不仅采用向外扩张用地方式，还采用对内填充方式。新区承担了合肥市重要的经济、政治和居住等职能，缓解了老城区的压力，尤其滨湖新区发展潜力巨大，逐渐成为合肥市第二个核心区。同时，新区的发展也带动了合肥市交通体系的进一步完善，减小产业布局局限，促进产业转型与升级，带动了整个合肥市的经济发展。

城市空间结构趋势：在快速城镇化背景下，为了以最低的成本进行最快的对外扩展，由单个中心向外辐射道路粗放的圈层式扩展是这一阶段城市扩张的主要模式。但随着单中心辐射的区域范围愈来愈广，城市边缘区域与单中心之间交流困难，不利于边缘区域后期的健康发展，并且这种城市结构发展到一定阶段必然会带来一系列交通、环境、人口等问题，因此城市结构趋向以轴向发展为主的多中心城市结构。轴向式的扩展较于圈层式扩展更有利于节约土地资源，适应多变的城市空间拓展规律。多中心的结构也更加有利于地区间的功能互补，提高城市发展活力。

城市内涵发展趋势：通过研究，快速扩张型城市的空间扩展体现出空间结构分散，城市分形维数偏高，紧凑度偏低的特点。

城市空间不断扩张会增加土地需求的压力，也会对城市生态环境造成不利影响。而现代城市的快速扩张，城市发展主要强调经济效益，城市开发趋于无序，城市用地规模急剧增加，这对于环境保护十分不利。为同时保障城市的快速扩张和保护生态环境，必须在城市建设中树立可持续发展理念注重城市空间的内涵式更新，实现城市土地的集约化利用，坚持城市扩展与环境保护相协调，实现快速扩张型城市的良性发展。

5 结论与讨论

主要是：①从定量分析角度看，1997—2017年合肥市扩展速度与扩展强度保持在一个较高的数值，城市快速向外扩展；紧凑度减少和分形维数增加表现出城市在空间上向外扩展，但城市形态分散；城市建成区（人口）弹性指数总体偏小，表明城市空间的扩展与人口增长是一种不协调的关系；城市重心总体向东南偏移，城市趋向于东南方向扩展。②从驱动力机制角度看，经济发展对城市空间演化具有主导作用，人口增长是城市空间演化支撑元素，此外城市交通发展是城市空间演化又一重要因素，而政策体制是对城市空间演化有着规范控制作用。③从城市空间演化趋势角度看，利用多元线性回归方程，说明合肥在未来仍将保持较高的城市扩展速度。迅速扩张型城市未来空间扩展模式以多中心扩展模式为主，建成区内伴有内部填充式的模式，城市结构将以“圈层拓展”向“轴向发展”转变、“单中心”模式向“多中心”模式转变，进而优化城市的空间布局，注重内涵式更新，科学合理控制城市规模。④城市空间演化驱动力机制是由地理、历史、社会、文化、经济等多方面因素共同组成，本文在采用主成分分析法对城市空间演化的驱动力机制进行分析时，仅采用了经济、人口、政策、交通这些人文因子作为分析指标，但忽略了自然、文化等难以进行量化的指标，而这些因素对城市空间演化具有不可忽视的作用。在以后的研究中，如何将这些因素科学地纳入指标体系中，将是重点思考的部分。

参考文献：

[1] 杨旭熠. 绵阳市城市扩展时空分析及驱动力研究[D]. 绵阳：西南科技大学硕士学位论文，2017.

[2] Burgess L W. The growth of the City: An Introduction to A Research Project [M]. Chicago, University of Chicago Press: 1925:47—62.

[3] 许学强，周一星，宁越敏. 城市地理学[M]. 北京：高等教育出版社，1997:222—226.

[4] 林艳. 快速城市化时期西安城市空间扩展分析[D]. 西安：西安外国语大学硕士学位论文，2012.

[5] 许学强，周一星，宁越敏. 城市地理学[M]. 北京：高等教育出版社，1997:221—225.

[6] 许学强，周一星，宁越敏. 城市地理学[M]. 北京：高等教育出版社，1997:23—28.

[7] 邓智团，唐秀敏，但涛波. 城市空间扩展战略研究——以上海市为例[J]. 城市规划，2004，(5)：17—20.

[8] 马强，徐循初. “精明增长”策略与我国的城市空间扩展[J]. 城市规划汇刊，2004，(3)：16—22.

[9] 顾朝林，吴莉娅. 中国城市化研究主要成果综述[J]. 城市问题，2008，(161):2—11.

[10] Form W H. The Place of Social in the Determination of Land Use[J]. So-cial Forces, 1954, (32) :317—323.

[11] 刘慧平，陈志军，温良，等. 城市土地扩展的动态检测[J]. 北京师范大学学报（自然科学版），1999，(35)2:278—283.

-
- [12] Scott a J. Industrialization and Urbanization: A Greographical Agenda[A]. Annals of the Association of American Geographers, 1986, /6v 1):25-37.
- [13]Harvey. The Urban Process Under Capitalism: A Framework for Analysis[J]. International. Journal of Urban and Region Research, 1978,2 (1 -4) :101 - 131.
- [14]Robert Walker, William Solecki. South Florida: The Reality of Change and the Prospects for Sustainability 9Ecological Economics,2001, 37v3):333-337.
- [15]Schneider A, Seto KC, Webster DR. Urban Growth in Chengdu, Western China : Application of Remote Sensing to Assess Planning and Policy Out-comes[J].
- [16]陈顺清.城市增长与土地增值[M].北京:科学出版社,2000:300 - 305.
- [17]贾鹏,杨钢桥.城市用地扩张驱动力分析——以湖北省为例[J].水土保持研究,2006,13(2) :182- 185.
- [18]顾朝林,陈振光.中国大都市空间增长形态[J].城市规划,1994,(6):45 - 60.
- [19]耿甜伟.西安市城市扩展时空特征、空间分异及其动力机制研究[D].西安:西安外国语大学硕士学位论文,2017.
- [20]黄焕春,运迎霞.基于RS和GIS的天津市核心区城市空间扩展研究[J].干旱区资源与环境,2012,:26(7) : 165.
- [21]吴琼,胡聃,李宏卿,等.基于GIS的北京城市形态研究[J].世界地质,2008,27(2) :220-224.
- [22]甘洋.RS与GIS支持下的南昌市主城区扩张现状及预测分析研究[D].上海:东华理工大学硕士学位论文,2018.
- [23]宁晓刚,王浩,林祥国,等.京津冀城市群1990—2015年城区时空扩展监测与分析[J].测绘学报,2018,47(9) :1207-1215.
- [24]Galster G , Hanson R, Ratcliffe M. Wrestling sprawl to the Ground : Defi-nition and Measuring An Elusive Concept [J] . Housing Policy Debate, 2001,12(4) :681-717.
- [25]张治清,贾敦新,邓仕虎,等.城市空间形态与特征的定量分析——以重庆市主城区为例[J].地球信息科学学报,2013,15(2) :297 - 306.
- [26]谈明洪,李秀彬,吕昌河.20世纪90年代中国大中城市建设用地扩张及其对耕地的占用[J].中国科学(D辑:地球科学),2004,(12) :1157- 1165.
- [27]周柱灿.重庆市渝北区城市空间扩展时空特征及其驱动力研究[D].重庆:重庆交通大学硕士学位论文,2016.
- [28]代欢欢.1986年以来伊朗人口空间格局演化与形成机制研究[D].重庆:西南大学硕士学位论文,2018.
- [29] Quxn B, Bai Y, Mekens R, et al. Urban Land Expansion in QuanzhouCity,China, 1995—2010[J].Habitat

International, 2015, 48(8) : 131 -139.

[30]吴宏安, 蒋建军, 周杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1) :143- 150.