

基于多时相遥感影像的皖北地区城市 建成区扩张时空特征分析 ——以安徽省阜阳市为例

蒋伟峰 李天宇 李倩 吴锬梦 周裕祺 陆林¹

(安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

【摘要】以遥感影像和统计年鉴为数据源,选取城市空间扩张速度等为测度指标,运用空间形态分析等方法探讨了1981—2018年安徽省阜阳市城市建成区扩张的时空演变规律及其影响因素。结果表明:①阜阳市城市建成区处于扩张阶段,扩张速度和强度呈增长趋势。②城市建成区外延城市化和内涵城市化并存,其空间形态由紧凑型向分散型转变。③城市重心由西北部向东南部转移,东南方向仍是城市扩张主导方位。④经济、人口、政策、地理环境是影响建成区扩张的主要因素。

【关键词】城市建成区 遥感影像 时空特征 阜阳市

【中图分类号】:TU984 **【文献标志码】**:A **【文章编号】**:1005-8141(2021)07-0780-07

城市建成区是指行政区划范围内经过征用的土地和实际发展起来的非农业生产建设用地,包括城市中集中连片的区域、近郊内联系密切的其他城市建设用地中的非农业生产建设用地^[1]。总结国内外学者对城市建成区的研究成果,主要集中在研究城市建成区的空间形态格局演变^[2]、扩张模式^[3]、驱动机理^[4]、生态效应^[5,6]等方面。城市空间形态研究从传统定性描述城市扩张,转变为以现代测绘技术为基础,定性定量分析城市建成区扩张特征^[7];建成区扩张模式研究以分析国内外城市建成区(不透水面)土地利用类型为背景,探究建成区扩张的规模、速率等^[8];建成区扩张驱动机制研究分为单一要素和综合要素两大类,采用回归分析、聚类分析、地理因子探测器等方法分析区域城市扩张的内在机理^[9];在建成区扩张生态效应研究方面,主要探讨建成区扩张的水环境效应、景观格局风险及空间耦合关系等^[5,6]。上述研究内容从不同研究角度分析了城市建成区扩张特征,揭示了一般城市建成区扩张的普遍规律。遥感影像具有获取空间尺度大、周期短、地物信息丰富等特点,在研究方法上,一些学者基于不同遥感数据源^[10-12],多角度探究了城市空间扩张过程;另一些学者基于不同遥感数据处理平台^[13],分析了城市空间演化格局以及驱动机制;还有学者基于像元二分法、改进型聚集密度法等提取城市建成区外围边界^[14]。利用上述研究方法提取、测度城市建成区,可较为准确地分析城市扩张演变格局。在研究区域上,现有研究更多以沿海发达城市和内陆地区重要省会城市为案例地,测度城市扩张演变格局,以及发展模拟预测^[15-18]。在数学方法上,现有研究一般选取城市扩张热点等数学方法表征城市扩张的绝对与相对测度值^[19],但缺少绝对测度值与相对测度值相融合的综合测度指标体系去表征城市建成区扩张,这可以在研究中进一步完善。

皖北地区包括宿州、淮北、蚌埠、阜阳、淮南、亳州6市,各市所处地理环境具有相似性:均位于华北平原南部区域,地势平坦开

¹基金项目:国家自然科学基金重点项目(编号:41930644)。

作者简介:蒋伟峰(1997-),男,安徽省安庆人,硕士研究生,主要研究方向为旅游地理与城市地理。
陆林(1962-),男,安徽省芜湖人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为旅游管理与旅游地理。

阔,农业生产发达,是我国重要的粮食生产基地。但相对应的是,皖北地区人地关系紧张、基础设施建设滞后等问题突出,尤以阜阳市最为典型。阜阳市是皖北人口大市、全国重要劳务输出城市,2018年市区人口229.88万人,庞大的人口数量对城市空间扩张产生了强大刺激作用。在快速城市化和经济转型的背景下,研究城市建成区的空间扩张过程对探索人口密集城市扩张与人口、经济、土地供需等方面的关系具有借鉴意义。本文以阜阳市为案例地,基于多源长时序遥感影像,从时空维度构建综合测度指标体系,分析了城市建成区扩张时空过程并探讨了驱动机制,旨在为该市城市规划提供决策支持,同时为研究其他城市扩张提供参考。

1 研究区概况

阜阳市隶属于安徽省,地处该省的西北部,处于 115° 37′ 58″ —115° 59′ 46″ E,32° 46′ 17″ —33° 2′ 32″ N 之间,现辖颍州、颍泉、颍东 3 区(图 1),市辖区面积 1836km²。截至 2018 年末,全市总人口 1070.8 万人,人口数量居全省第一,是全国重要劳务输出大市。2019 年,全市实现生产总值 2705 亿元,居全省第四位。同时,阜阳市拥有京九线最大的货运编组站、高铁站、西关机场等交通设施,交通条件优越。

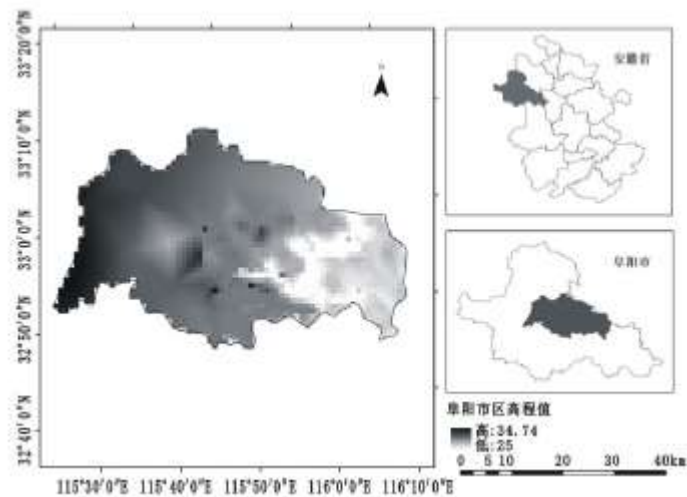


图 1 研究区位置

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文主要数据包括 1981 年、1990 年、2003 年、2008 年、2013 年、2018 年 6 个时相的 Landsat 系列遥感影像数据,数据来源于遥感数据共享平台(<http://ids.ceode.ac.cn/>),影像空间分辨率为 30m×30m;阜阳市区边界数据来源于国家测绘局地理信息局标准地图底图(<http://bzdt.nasg.gov.cn/index.jsp>),所用底图边界完全无修改;阜阳市人口经济信息数据来源于《阜阳市统计年鉴》、《安徽省统计年鉴》(1999—2020)和《中国城市统计年鉴》,部分缺失数据通过内插法补全。

2.2 遥感图像预处理

首先,本文通过 ENVI5.1 和 ArcGIS10.2 软件进行遥感图像预处理,包括快速大气校正、去云降噪等;其次,对各年份遥感影像进行波段合成与裁剪,得到建成区多时相遥感影像;第三,在完成上述操作后,进行监督分类、提取建成区面积和精确度评价,得到符合要求的建成区分类结果;最后,通过拓扑处理得到不同年份的城市建成区矢量图层,并通过字段计算器得出其周长和面积等

数据(图 2)。

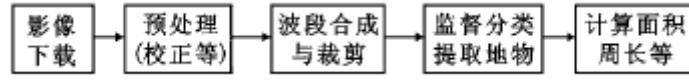


图 2 影像处理流程

2.3 主要测度指标

关于对城市建成区的相关测度,一般从时间和空间维度进行。时间维度指在研究年份的时间范围内,测度建成区的土地使用规模的变化规律,可选取扩张强度与速度等指标进行量化表述^[19];空间维度是指在单位时间内城市建成区用地空间扩展的强弱和快慢情况^[20],可选取重心转移指数、分形维数与紧凑度等指标进行量化表述。测度公式如下:

扩张时间测度指标:

$$I_1 = (S_2 - S_1) / T \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$I_2 = [(S_2 - S_1) / T] S_1 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中, I1、I2 分别为扩张速度指数、扩张强度指数;S1、S2 分别为研究期始末城市建成区面积;T 为研究时间。

扩张空间测度指标:

$$I_3 = \sqrt[3]{\pi \times (S_3 / L_1)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I_4 = 2\ln(1/4 \times I_1) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中, I3、I4 分别为紧凑度指数和分形维数指数;S3、L1 分别为某一时期城市建成区图斑面积与周长。

$$X_i = \sum_{j=1}^n (C_{ij} \times X_j) / \sum_{j=1}^n C_{ij}; Y_j = \sum_{i=1}^n (C_{ij} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{ij} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$D = \sqrt{(\overline{X_{i+1}} - \overline{X_i})^2 + (\overline{Y_{i+1}} - \overline{Y_i})^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中, Xj、Yj 分别为 T 时相城市重心经、纬度坐标;Cij 为第 i 块矢量图斑面积;Xi、Yi 分别为第 i 块矢量图斑几何中心坐标;D 为 T 到 Tn+1 时刻地理单元空间重心转移距离。

为了更直观地解释城市建成区扩张方位差异,本文采用“等扇方位法”分析了各年份城市建成区,分别计算了 8 个方位上的扩张强度指数,以达到定量分析城市建成区扩张时空特征的目的。

3 阜阳市城市建成区扩张时空特征

3.1 建成区扩张时间特征

阜阳市区城市建成区扩张速度呈明显的不均衡性特征。1981—1990 年,建成区面积共增加了 19.5km²,扩张速度为 2.2;1990—2003 年,处于上升阶段,扩张速度为 2.4;2003—2008 年,处于快速扩张阶段,这一时期城市化高速推进,伴随承接产业转移与房地产开发,城市功能布局不断优化调整,建成区面积增加了 28.8km²,扩张速度为 2.8;2008—2012 年处于调整阶段,城市发展以内部城市化为主,城市基础设施建设与完善产业发展配套体系同步展开,建成区面积增加了 10.1km²,扩张速度为 2.0;2012—2018 年,城市发展进入新阶段,城南新区和重大基建项目(合阜高铁)同时开工建设,建成区面积增加了 133.9km²,扩张速度达到 26.8。

城市建成区扩张强度与扩张速度变化呈一致性。1981—1990 年处于开始阶段,建成区扩张面积小、速度慢,但在研究期初始就存在建成区面积,这一阶段扩张强度系数为 0.3;1990—2008 年处于平稳阶段,扩张强度系数为 0.1;2008—2013 年处于过渡阶段,城市建成区扩展面积小,扩张强度系数为 0.09;2013—2018 年处于上升阶段,城市建成区扩张速度最快,面积最大,扩张强度系数达到最大值 0.3。

3.2 城市扩张形态与边界

分形维数可测度城市边界形状的不规则性和复杂性,紧凑度可测度城市形态的紧凑程度,二者拥有较强的独立性和相互验证的效果^[21-23]。阜阳市城市建成区扩张分形维数与紧凑度指标二者呈负相关关系(图 3),说明该市城市建成区大而分散的格局正在逐步形成。1981 年城市化水平较低,功能布局主要倾向于行政领域和重化工领域,人口主要集聚于周边乡镇,紧凑度指数达到最大值 0.11,分形维数指数达到最小值 1.25。1981—1990 年,阜阳市火车站扩建,推动城市建成区向东扩张,颍州区逐步成为居住功能为主的片区,推动建成区向西南扩张,因此紧凑度指数下降至 0.07。同期,城市建设规划不断引导城市扩张,城市建成区边界逐渐突破自然限制,分形维数则上升至 1.26。20 世纪 90 年代末,房地产行业进入金融化开发阶段,颍州区和颍泉区成为商品房集中分布区,城市建成区面积进一步增大,城市边界则进一步规则,紧凑度指数下减至 0.06,分形维数指数上升至 1.29。2003 年以后,经济发展与承接区域产业转移政策共同推动建成区地域结构变化;2011 年以后,市区启动城南新区建设规划,城市进一步南扩;到 2018 年,城市紧凑度指数达到最小值 0.02,分形维数达到最大值 1.35。

城市建成区空间格局从小且紧凑转为大而分散。市区正处于外延城市化和内涵城市化并存阶段,为预测建成区未来扩张情况,对紧凑度指数和分形维数指数进行趋势线拟合,研究发现紧凑度函数为 $y = -0.0021x + 4.2263$, $R^2 = 0.975$,分形维数函数为 $y = 0.0029x - 4.468$, $R^2 = 0.955$ 。二者呈负相关关系,说明在未来一段时间内市区城市发展仍是以空间扩张与内部城市化并存模式为主导。

3.3 城市重心迁移

城市空间重心是解释城市空间分布的指标^[24]。纵观 1981—2018 年城市建成区重心迁移情况,总体呈现出东偏南的趋势(图 4)。1981—1990 年,随着颍东区基础设施建设和早期城市化推进,城市重心开始向东部地区迁移,迁移角度为 23.53°,迁移距离为 1989.33m;1990—2003 年,市区重化工业建设以及房地产开发逐步推进,城市重心向南迁移,迁移角度为 79.13°,迁移距离为 1417m;2003—2008 年,阜阳市承接区域产业转移,各地企业进驻,城市重心向西南迁移,迁移角度为 83.17°,迁移距离为 912.45m;2008—2013 年,伴随转移产业配套体系的完善以及城南新区建设启动,城市重心向南迁移进程加快,迁移角度为 45.24°,迁移距离为 1878.07m;2013 年后,城南新区开发进程加快,包括政府机构、医院、学校、市民中心等单位迁至此处,城市重心向东南迁移,迁移角度为 8.44°,迁移距离为 3863.9m,城市重心最终位于市区的东南部。

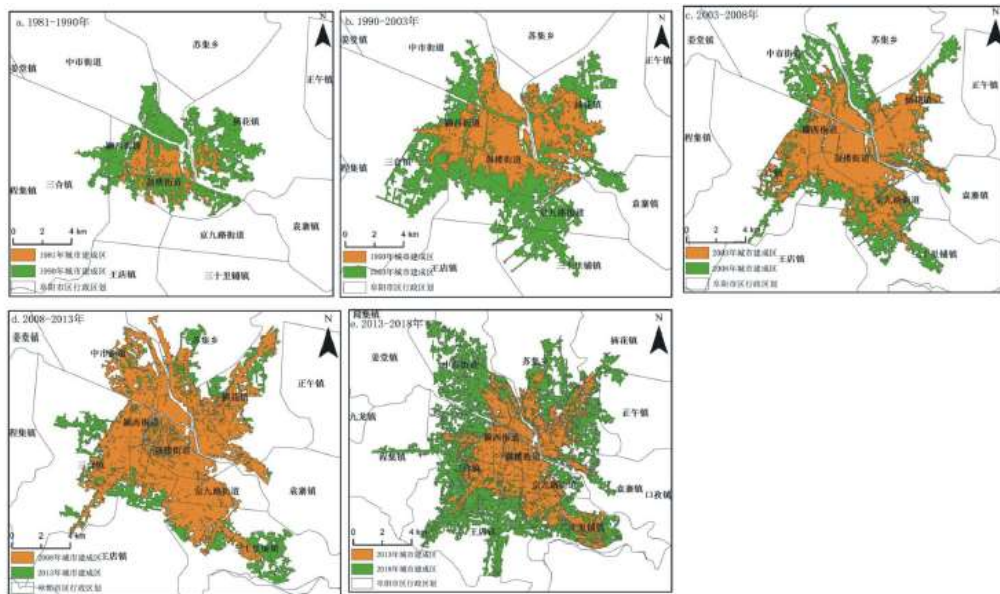


图 3 阜阳市城市建成区年际变化

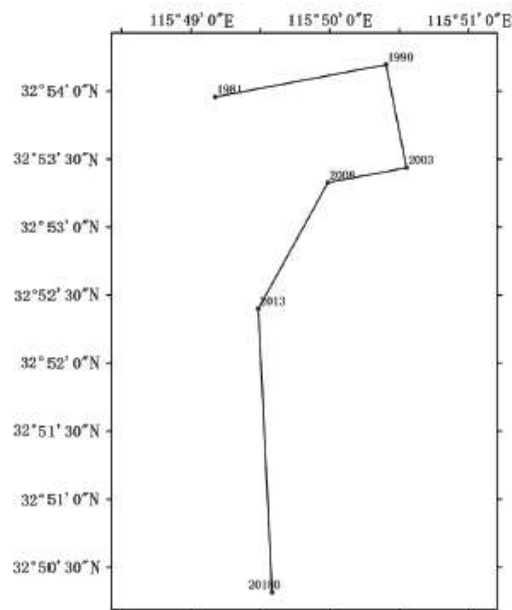


图 4 建成区重心迁移

3.4 城市扩张方位差异

为更加直观地展现建成区的扩张特征,本文采用“等扇方位法”分析阜阳市城市建成区 1981—2018 年在各方位的扩张情况(图 5)。因各扇形区面积夹角均等,所以得到的扩张强度系数在时空上具有可比性。

阜阳市城市建成区在各方位上的扩张存在明显不均衡性。1981—1990 年间,城市扩张在 E—NE 方向上最快,系数为 0.07,在 N—NE、W—NW 方向上扩张较快,系数为 0.04、0.05;1990—2003 年间,城市扩张在 E—SE、E—NE 方向上扩张最快,系数为 0.003、

0.002;2003—2008年间,在N—NW、N—NE方向上扩张较为迅速,系数为0.03、0.027,在南部方向上则无明显扩张;2008—2013年间,总体扩张系数较小,处于内涵城市化阶段,仅E—SE、E—NE方向上扩张较快,系数为0.02;2013—2018年间,建成区总体呈现快速扩张趋势。在N—NW方向上扩张最快,系数为0.07,在W、S—SE、E—NE、W—SW等方向上也以较快速度扩张,这一时期阜阳市城市建成区面积增加迅速。同时,阜阳市城市建成区扩展呈明显的轴向性,城市沿河道向两侧发展,主导发展方向仍是南部方向,城南新区的开发使其成为高速发展翼。

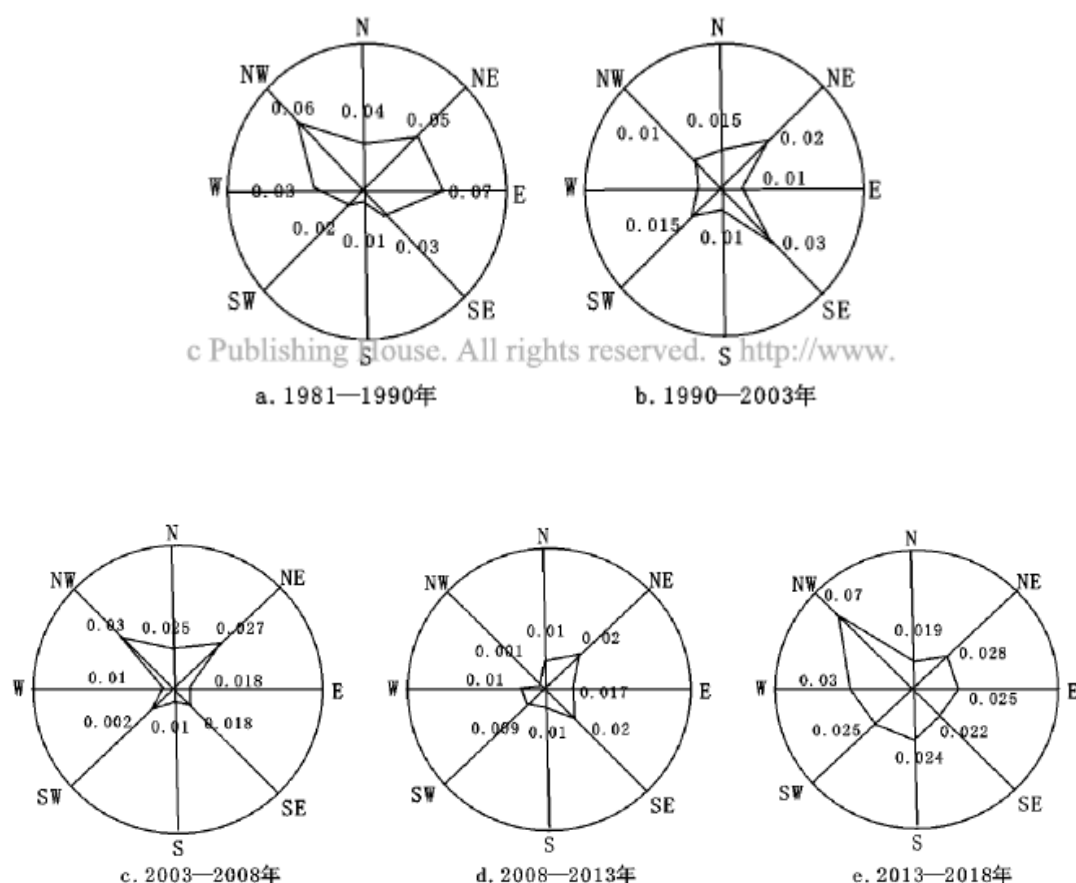


图5 阜阳市城市建成区扩张强度方位示意图

4 阜阳市城市建成区扩张影响因素

城市建城区的空间分布形态是城市化进程中人文因素和自然因素共同作用的结果。本文结合现有研究^[9,19,27],从经济发展、人口因素、政府政策、地理因素4个方面考虑,分析了推动阜阳市城市建成区空间格局形成及变化的影响因素。

4.1 经济发展与产业产值

经济社会发展带动城市发展,为城市扩张提供了不竭的动力^[25]。改革开放以来,阜阳市生产总值持续增长,从1981年的4.29亿元增加至2018年的604.17亿元,近40年GDP增加了599.88亿元,约140.83倍。通过对阜阳市各年份GDP和建成区面积进行回归分析可知,二者呈明显正相关性,线性回归方程为 $y=0.314x+19.005$,相关性系数平方是 $R^2=0.91$,说明区域经济增长对建成区扩张的刺激作用显著。其中,2003年是阜阳市城市建成区扩张转折点。2003年之前年生产总值增长缓慢,年均增长率为9.1%,这一时期建成区扩张以空间填充为主,2003年以后阜阳市经济发展进入高速增长阶段,年增长率为17.67%,这一时期建成区扩张以跳

跃式大面积扩张为主。至 2018 年底,阜阳市城市建成区面积达到 230.2km²,区域经济格局演变过程与城市建成区扩张阶段一一对应。

经济对城市扩张的驱动作用,本质是经济增长过程中产业结构重塑产生了新的用地需求^[16]。阜阳市重化工产业的发展直接推动了城市扩张进程。1981—1990 年间,工业产值从 2.34 亿元增长到 3.96 亿元,年均增长率仅为 6.8%,市区经济处于低速增长阶段,同一时期城市扩张速率仅为 2.2;2003—2018 年间,工业产值从 31.24 亿元增至 214.62 亿元,年均增长率达到 14.8%,工业发展直接推动了经济进入高速发展阶段,同期城市扩张速率达到最大值 26.8,工业产业对区域生产总值的贡献逐步加大。这说明以重化工、装备制造业为主的第二产业正逐步占据阜阳市产业发展的主导地位。目前阜阳市已建成 4 家省级经济开发区(阜阳市经济技术开发区、阜阳—合肥现代产业园、颍州经济开发区、颍东经济开发区)和一批县区级别工业园区,伴随这些经济开发区的成长壮大,现已成为初具规模的城市工业新区,不断推动着城市建成区向外围扩张,其中阜阳市经济技术开发区在 2019 年被列入国家级经济技术开发区培育期名单;第三产业对城市扩张推动力也正逐步加强,其中房地产业成为区域经济新的增长极。2015—2018 年间,阜阳市房地产行业产值由 19.17 亿元增长至 26.56 亿元,房地产建设投资额达到 589.7 亿元,仅次于合肥市。阜阳市房地产的繁荣一方面会抬高地区房价,另一方面则直接推动郊区城市化进程,在城市外围兴建大批住宅、购物中心、物流仓储、生产基地等,以追求更低房价和工业生产成本,这将进一步推动城市建成区空间向外围扩张。

4.2 人口增长与空间重组

经济因素不仅直接对城市空间扩展产生影响,还通过刺激人口增加对城市空间扩展起作用^[26]。1981—2018 年,阜阳市总人口从 18.6 万人增长至 229.88 万人,人口增长了约 12.36 倍,而城市建成区面积扩张了约 36.5 倍。通过对人口和建成区面积进行回归分析可知二者呈正相关性,线性回归方程为 $y=71.0911\ln x-134.42$,相关性系数平方是 $R^2=0.83$,说明人口增长对城市扩张的刺激作用显著。

城市绝对人口数量的增加和空间移动对城市原有基础设施造成巨大压力,这一点在中心城区、老城区尤为突出,现有人口数量超过基础服务设施上限,交通拥挤、住房困难、卫生环境状况下降等问题相继出现,亟需疏解原先城区部分功能转向周边地区或郊区;区域经济状况的改善推动城市生活方式的改变,居民对居住区的要求由生存性为主转变为更关注居住区生态环境,更强调生活质量;各工业园区在城市外围的集聚也催生了产业工人居住点的出现,其对相关配套体系需求较高。综上 3 个因素作用,推动城市建成区多方向扩张:一是垂直扩张,即修建高层或超高层居住区以缓解居住压力;二是水平扩张,即城市建设向郊区扩张,郊区较低的地价和优越的环境对城市居民具有极大吸引力。住房需求的增加推动了阜阳市郊区地产的开发,如城南新区、祥源文旅城、中南现代城、香格里拉等,区域人口增加在一定程度上决定了一个城市空间扩张的强度、规模等,是城市建成区扩张的主要动力。

4.3 政府政策与规划引导

政府作为城市的管理者,通过政策或规划来引导城市发展^[19]。20 世纪 90 年代,全国房地产开发和招商引资进入快速发展时期,在此背景下,阜阳市于 1992 年成立阜阳市经济开发区,成为阜阳市向东南扩张的基础之一。之后,2008—2011 年先后投资建设颍州、颍东经济开发区和合肥—阜阳产业园等,继续引导第二产业布局向市区东南方向扩张。20 世纪 90 年代,城市土地有偿使用原则逐步确立,形成地价自市中心至郊区的递减格局,并为未来市区房地产迅速发展和城南新区的大规模建设奠定了基础。2012 年以后,阜阳市积极推进“双轮驱动战略”,即发展新型工业化和城镇化,通过政策引导逐步形成市区目前的城市发展格局。

改革开放以来,阜阳市城市空间规划历经多次调整,《阜阳市城市总体规划(2012—2030 年)》中明确指出:阜阳市定位于区域性中心城市,提出“南进、西拓、东控、北优”的空间发展战略导向。2011 年以来,阜阳市区主导推进“南进”战略,积极推动城南新区建设,并将部分行政单位迁至此;2019 年,商合杭高铁、郑阜高铁的开通又带动了城区“西拓”,西湖新区成为市区下一个开发重点。至此,阜阳市中心城区 6 大片区(老城区、泉北区、河东区、经开区、城南区、西湖新区)发展格局初具规模。

4.4 地理环境与交通建设

自然地理环境是城市扩展的物质基础,地理环境的差异性直接影响了城市空间扩展的方向、速度、潜力和形态格局^[27]。阜阳市区地处黄淮海平原南部,地势平坦开阔,地形以平原为主,泉河和颍河将市区一分为三(颍东、颍州、颍泉)。优越的地理环境为阜阳市以后的城市建成区发展提供了广阔的空间。改革开放伊始,城市建成区主要集中于颍州区中部和南部,建成区面积小且较为分散,因受到河流制约,而很少向东进入颍东区或者向北进入颍泉区,主导向南发展;1990 年以后,城市发展逐渐突破河流界线向其他方位扩张,河流等自然地理要素对城市扩张的阻碍作用逐步减弱。纵观改革开放以来阜阳市城市建成区发展历程,虽然有向西、向北扩张趋势,但是东南方向仍为扩张主导方向,说明区域整体自然环境对城市扩张的影响在一定时间段内是相对稳定的。

合理的交通建设能在较长时间对城市的扩张起促进作用^[28]。交通建设一方面会占用城市土地,另一方面也会带来新要素的集聚。1971 年阜阳火车站修建,在经过 20 世纪 80 年代和 2006—2008 年扩建后已成为京九线重要客货运输节点,货运站场和铁路配套设施建设推动了颍东区城市建设;高铁建设方面,2019 年商合杭高铁与郑阜高铁的开通推动了高铁新区与颍州区城市建设;另外,阜阳西关机场的运营使用也对城市扩张起到了推动作用。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文基于多时相遥感影像数据,通过构建多指标测度体系分析了 1981—2018 年阜阳市城市建成区的扩张时空特征及其影响因素,主要结论如下:①从时间角度分析,阜阳市城市发展正处在上升阶段,城市建成区面积不断增加,扩张速度与强度指数波动上升,扩展速度指数从 2.2 扩大到 26.8,扩展强度指数从 0.1 增至 0.3。②从空间角度分析,阜阳市城市发展正处于外延城市化和内涵城市化并存阶段,建成区空间格局从小而紧凑转为大而分散,分形维数从 1.25 增长至 1.35,紧凑度指数从 0.11 下降至 0.02。在整个研究时序内,城市空间扩张存在方位差异,建成区重心先向东再向南迁移,最后保持东南方向迁移趋势。③经济、人口、政策、地理环境是影响阜阳市城市建成区扩张的主要驱动因子。其中,经济因素是根本动力,人口因素是主要推动力,政府政策对城市扩张有加速或延缓作用,地理因素是城市扩张的空间基础。不同阶段,各影响因子的变化与调整导致城市建成区扩张存在空间异质性。

5.2 讨论

城市扩张是城市经济发展与产业结构重组等方面的空间表现。2019—2020 年《长三角区域一体化发展规划纲要》《安徽省长三角一体化发展纲要计划》和安徽省“十四五”规划建议相继发布,将阜阳市定义为皖北产业转移集聚区、长三角绿色农产品生产基地、国家重要物流枢纽和区域重点城市进行建设,这说明阜阳市在安徽省和长三角一体化中的战略地位不断上升。对此,阜阳市要结合自身资源优势与区域定位,引导城市精明发展。一是要协调城市扩张与土地存量之间的关系,保障农业用地总量不减少,基于规划引导城市建设用地开发,提高土地利用效能;二是基于产业转移背景优化区域产业结构,提高先进制造业比例,打造区域强势主导产业,改变皖北地区弱工业基础局面;三是基于空间存量设计思想规划布局产业,避免城市无意义扩张,提高工业园区的利用强度,积极发挥经济开发区的作用与功能。

随着阜阳市在区域规划中的战略地位不断提高,阜阳市未来的城市发展进程还将面临诸多问题,需做进一步研究。本文仅考虑了阜阳市 1981—2018 年城市建成区扩张的时空特征,而城市扩张是一个长期的多要素参与的系统性工程,有限数量测度指标方法难以对城市扩张过程进行精准测度与全面分析。在今后研究中,应综合考量更多因素对城市扩张的影响,多维度分析城市扩张演化机制。

参考文献:

-
- [1]Kuang W H, Chi W F, Shi W J. Spatio-temporal Characteristics of Intraurban Land Cover in the Cities of China and USA from 1978 to 2010[J]. *Acta Geographica Sinic*, 2015, 69(7) : 883-895.
- [2]Yucer E, Erener A. Examining Urbanization Dynamics in Turkey Using
DMSP-OLS and Socio-economic Data[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2018, 46(7) : 1159-1169.
- [3]陈昕, 彭建, 刘焱序, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的京津冀地区城市空间扩展与空间关联测度[J]. *地理研究*, 2018, 37(5) : 898-909.
- [4]唐永超, 王成新, 王瑞莉, 等. 基于精明发展的城市扩张与土地利用效益的耦合研究[J]. *人文地理*, 2020, 174(4) : 91-98.
- [5]蔡文婷, 赵书河, 刘小煜, 等. 无锡市城市不透水面扩张特征及其水环境效应[J]. *测绘地理信息*, 2020, 45(4) : 110-115.
- [6]延相东, 苏晓毅, 王永庶, 等. 遵义市城区用地扩张与景观生态风险耦合关系研究[J]. *西部林业科学*, 2020, 49(4) : 147-154.
- [7]Mundia C N, Aniya M. Analysis of Land Use/Cover Changes and Urban Expansion of Nairobi City Using Remote Sensing and GIS[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(13) : 2831-2849.
- [8]Hussam A B. Spatial Monitoring of Urban Expansion Using Satellite Remote Sensing Images:A Case Study of Amman City, Jordan[J]. *Sustainability*, 2019, 11(8) : 173-190.
- [9]王绍博, 罗小龙, 顾宗倪, 等. 精明增长背景下上海城市空间扩展演变特征与驱动机制[J]. *经济地理*, 2019, 39(6) : 58-65.
- [10]Bhagawat R, Zhang L F, Fu D J, et al . Monitoring Urban Growth and the Nepal Earthquake 2015 for Sustainability of Kathmandu Valley, Nepal[J]. *Land*, 2017, 6(2) : 3473-3486.
- [11]Yan L L, Wang J. Glacier Mapping Based on Chinese High-resolution Remote Sensing GF-1 Satellite and Topographic Data[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2019, 23(3) : 218-225.
- [12]Hadeel A, Jabbar M, Chen X L. Application of Remote Sensing and GIS to the Study of Land Use/Cover Change and Urbanization Expansion in Basrah Province, Southern Iraq[J]. *Geo-spatial Information Science*, 2019, 12(2) : 135-141.
- [13]陈馨, 匡文慧. 基于云平台的中哈干旱区典型城市地表覆盖变化遥感监测与比较[J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(3) : 548-557.
- [14]孟飞, 殷成龙, 孟祥金, 等. 通过不透水面聚集密度法提取城市建成区[J]. *遥感信息*, 2020, 35(4) : 8-15.
- [15]杨智威, 陈颖彪, 吴志峰, 等. 粤港澳大湾区建设用地扩张与城市热岛扩张耦合态势研究[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(11) : 1592-1603.

-
- [16]胡业翠,付玲,李琦.北京城市增长边界预测[J].地球信息科学学报,2017,19(4):486-492.
- [17]焦利民,龚晨,许刚.大都市区城市扩张过程及形态对比分析——以东京、纽约和上海为例[J].地理科学进展,2019,38(5):675-685.
- [18]高宁,盖迎春,宋晓谕.基于夜间灯光数据的西安市城市扩张及驱动因素研究[J].遥感技术与应用,2019,34(1):207-215.
- [19]袁甲,沈非,黄薇薇,等.改革开放以来芜湖市城市空间扩展及驱动力分析[J].人文地理,2015,143(3):72-78.
- [20]李晓文,方精云,朴世龙.上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J].自然资源学报,2003,18(4):412-422.
- [21]汤君友,杨桂山.基于RS与GIS的无锡市城镇建设用地扩展时空特征分析[J].长江流域资源与环境,2004,13(5):423-428.
- [22]Batty M. Exploring Isovist Fields:Space and Shape in Architectural and Urban Morphology[J].Environmental and Planning,2001,28(2):123-150.
- [23]吴铮争,宋金平,王晓霞,等.北京城市边缘区城市化过程与空间扩展——以大兴区为例[J].地理研究,2008,27(2):287-289.
- [24]刘佳.基于1992—2013年夜间灯光影像的内蒙古城市扩张动态分析研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学硕士学位论文,2017.
- [25]李春林,刘淼,胡远满,等.基于增强回归树和Logistic回归的城市扩展驱动力分析[J].生态学报,2014,34(3):727-737.
- [26]谈明洪,李秀彬,吕昌河.我国城市用地扩张的驱动力分析[J].经济地理,2003,23(5):635-639.
- [27]陈本清,徐涵秋.城市扩展及其驱动力遥感分析——以厦门市为例[J].经济地理,2005,25(1):79-83.
- [28]吴小君,方秀琴,苗月鲜,等.基于Landsat的合肥市城市扩张研究[J].浙江大学学报(理学版),2017,44(6):631-639.