引文格式：上官书睿,许宁,孙奇,等. 社会发展视角下中原地级市人口时空演变与影响因素分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(7): 47-54. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2025.07.010

社会发展视角下中原地级市人口时空演变与影响因素分析

上官书睿[1]，许　宁[1,2]，孙　奇[1,2]，董新宇[1,2*]
（1. 商丘师范学院 测绘与规划学院，河南 商丘 476000；2. 河南省黄河故道生态保护与治理工程技术研究中心，河南 商丘 476000）

摘　要：基于典型中原地级市洛阳市2012—2021年人口和社会经济统计面板数据，利用位序—规模法则、人口分布结构指数、人口空间重心转移模型等分析了其人口分布时空演变特征；并利用全局空间自相关和冷热点分析研究了其人口空间格局；通过构建社会发展综合指标评价体系，利用地理探测器和地理加权回归模型综合分析了其人口演变影响因素。结果表明：①洛阳市人口规模多集中于中小型县区，人口密度不断增加且地区差异显著，整体呈东北高、西南低态势；②2012—2021年人口分布不均衡指数和集中指数呈逐年递增趋势，人口分布趋于集中，人口重心位于伊川县且呈西南向东北移动趋势；③人口空间分布具有明显的空间集聚特征，东北地区为显著热点区域；④服务业水平、城镇化水平和医疗水平为长期性较强主导因子，且经济发展水平与城镇化水平的协同作用最强，人均GDP和医疗机构数影响由正向转为负向，而社会消费品零销总额则由负向转为正向，且影响程度逐渐减弱，第二产业占比在不同县区的作用强度具有显著差异性。

关键词：中原地级市；人口分布；时空格局；地理探测器；地理加权回归模型
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）07-0047-08

Population Spatio-temporal Evolution and Influence Factor Analysis of Prefecture-level Cities in the Central Plains from the Perspective of Social Development

SHANGGUAN Shurui[1], XU Ning[1,2], SUN Qi[1,2], DONG Xinyu[1,2]
(1. College of Surveying and Planning, Shangqiu Normal University, Shangqiu 476000, China;
2. Henan Engineering Technology Research Center of Ecological Protection and Management of the Old Course of Yellow River, Shangqiu 476000, China)

Abstract: Based on panel data of population and socio-economic statistics of Luoyang City, a typical prefecture-level city in the Central Plains region, from 2012 to 2021, we used the order-scale rule, population distribution structure index and population spatial gravity center transfer model to investigate the spatio-temporal evolution characteristics of population distribution, used global spatial autocorrelation and hot-spot analysis methods to study the spatial pattern of population, and used GeoDetector model and geographically weighted regression (GWR) model to analyze the influence factors of population changes from the perspective of social development. The research results indicate that ①the population in Luoyang is predominantly concentrated in small and medium-sized counties, with a continuously increasing population density and significant regional differences. Overall, the spatial distribution presents high in the northeast and low in the southwest pattern. ②The imbalance index and concentration index of population distribution show an increasing trend from 2012 to 2021, indicating a trend towards population concentration. The population gravity center is located in Yichuan County and exhibits a southwest to northeast movement. ③The spatial distribution of population exhibits distinct spatial clustering characteristics, with the northeast region being a significant hotspot. ④The levels of service industry, urbanization, and medical care are consistently strong long-term dominant factors, with the synergy between economic development and urbanization being the most robust. Per capita GDP and the number of medical institution transfer from positive to negative impact, while the total retail sales of social consumer goods transfers from negative to positive impact, with a tendency towards a weakening effect. The proportion of secondary industry demonstrates strong spatial heterogeneity.

Key words: prefecture-level city in the Central Plains, population distribution, spatio-temporal pattern, GeoDetector, GWR model

人口问题是当前我国面临的一个全局性、长期性和战略性问题[1]。特别是在人口高质量发展背景下，研究区域人口分布和影响因素能为了解区域人口特征和演化格局提供新视角、新认识，是当前地理学领域人地关系研究的热点之一[2]。人口分布是人口发展过程在地理空间的静态表现形式[3]。目前针对人口空间分布的研究[4-9]主要关注于不同地理尺度视角和相关影响因素。2022年7月国家发展改革委印发《“十四

项目来源：河南省科技攻关资助项目（232102320249）；商丘师范学院博士人才科研启动经费资助项目（7001100）。
第一作者简介：上官书睿（2001—），本科，研究方向为区域空间分析，E-mail：shangguanshurui@163.com。
通信作者：董新宇（1994—），博士，讲师，主要研究方向为GIS空间分析及应用等，E-mail：dongxinyu@sqnu.edu.cn。

五”新型城镇化实施方案》，明确提出要推动中原城市群发展。洛阳市作为中原城市群副中心城市、中西部创新高地和历史文化名城，在郑洛西高质量发展合作带建设以及黄河流域高质量发展中具有重要的战略地位。“十三五”期间，洛阳市大力发展文旅产业，打造旅游强市，城市服务业发展迅速，人口流动规模加大；但洛阳市西高东低的地势使其人口区域分布不均衡，面临人地关系矛盾日益突出等问题。因此，基于2012—2021年洛阳市人口等统计面板数据，综合利用位序—规模法则、人口分布结构指数、人口空间重心转移模型和空间自相关分析等方法研究了洛阳市人口分布特征和演变规律；并结合地理探测器和地理加权回归（GWR）模型综合分析了人口分布的影响因素，不仅可为指导区域人口政策和发展规划等提供理论依据，而且对于推动区域综合可持续发展具有重要意义。

1 数据来源与研究方法

洛阳市位于河南省西部，东邻郑州市，西接三门峡市，北与焦作市接壤，南与平顶山市、南阳市毗邻；横贯黄河中下游，整体地势西高东低；境内山川丘陵纵横交错，地形复杂多样；内辖涧西区、偃师区、孟津区、老城区、瀍河回族区、西工区、洛龙区、栾川县、汝阳县、伊川县、洛宁县、嵩县、新安县、宜阳县7区7县，总面积为15 230 km^2。市区（7个区）面积为2 274 km^2。

2012—2021年洛阳市常住人口由659.00万人增至706.90万人，其中城镇常住人口由315.86万人增至465.70万人，居河南省第3位；城镇化水平稳居河南省前列且持续提升，由47.93%提升至65.88%，居河南省第2位，高出河南省平均水平约9%；经济发展模式逐渐由传统制造业向多元化产业结构转型，加强了文化旅游产业与服务业的发展，借助其丰富的历史和文化资源，促进了人口增长和经济发展；高速公路、铁路和航空等交通网络的改善进一步促进了其与周边地区的区域联通；全年生产总值由3 001.1亿元增至5 447.1亿元，人均生产总值由4.38万元增至7.71万元，年复合增长率分别为6.85%和6.48%（数据来源于洛阳市统计局，http://lytjj.ly.gov.cn/）。

1.1 数据来源与指标选取

本文采用的人口数据来源于2013年、2016年、2019年和2022年《洛阳市统计年鉴》；地图数据来源于国家基础地理信息中心（https://www.webmap.cn）。由于2021年行政区域调整，设立洛阳市偃师区，偃师市原行政区域为现偃师区行政区域；撤销孟津县、吉利区，设立孟津区，原孟津县和吉利区的行政区域为孟津区行政区域，本文采用调整后的行政区划范围，以便于统一分析。

本文从社会发展视角出发，在经济发展水平、城镇化水平、社会消费水平和医疗水平4个方面分别选取相应指标来综合分析其对人口分布的影响。已有研究表明，经济因素是人口变化的重要因素，医疗机会能对人口流动产生积极影响[10]。在新型城镇化背景下，人口在一定程度上能反映区域城镇化水平，实质表现为乡村人口向城市人口持续流转的发展过程[11]。从经济学视角来看，人口变化、人口流动、人口结构和社会消费水平之间关系密切[12-13]。因此，本文以洛阳市县区常住人口为被解释变量，选取的解释变量见表1。

表1 指标体系及其含义

解释变量	指标	指标解释
经济发展水平	人均GDP/元（X_1）	反映某地区居民的经济水平和生活质量
	城镇居民人均可支配收入/元（X_2）	城镇居民扣除个人所得税后的可支配收入平均值，反映城镇居民经济收入水平
	第二产业占比/%（X_3）	反映一个地区工业发展水平
	第三产业占比/%（X_4）	反映一个地区服务业发展水平
城镇化水平	城镇化率/%（X_5）	城镇人口在总人口中的占比，反映一个地区的城镇化程度
社会消费水平	社会消费品零销总额/亿元（X_6）	一个地区一定时期内零售企业销售的商品和提供的劳务所得的收入总额，反映一个地区消费水平和消费趋势
医疗水平	医疗机构数/个（X_7）	反映一个地区医疗卫生服务的供给程度
	医疗机构床位数/张（X_8）	反映一个地区医疗服务的容量和质量

1.2 研究方法

1）位序—规模法则是通过城市规模与城市规模位序的关系来反映一个地区城市体系的规模等级分布规律[14]。基于洛阳市区县尺度的人口数量及其位序等级数据，将其标绘至双对数坐标系中。假定研究数据服从Zipf幂函数规律，计算公式为：

$$P_i = P_1 \times R_i^{-q} \quad (1)$$

$$\ln P_i = \ln P_1 - q \ln R_i \quad (2)$$

式中，P_i、R_i 分别为县区 i 的人口数量及其位序；q 为Zipf指数，是一个常数，若 $q=1$ 则人口规模体系处于自然状态下的最优分布，人口规模体系处于均衡发展态势，若 $q>1$ 则区域人口规模为集中分布模式，大规模县区单元较突出，若 $q<1$ 则区域人口规模为均衡分布模式，规模结构等级差异较小。

2）人口分布结构指数可通过人口分布不均衡指数和集中指数表征[15-16]，计算公式为：

$$U=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\sqrt{2}}{2}\left(\frac{P_i}{P}-\frac{S_i}{S}\right)\right]^2}{n}} \tag{3}$$

$$C=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{P_i}{P}-\frac{S_i}{S}\right| \tag{4}$$

式中，P 为研究区总人口；S 为研究区总面积；n 为研究单元数量；U 为不均衡指数，越接近于0则说明区域人口分布越均衡，越接近于1则说明区域人口分布越不均衡；C 为集中指数，越接近于1则说明区域人口分布趋向于某个特定位置，越接近于0则说明区域人口分布趋于均衡[17]。

3）人口空间重心转移模型。人口重心借鉴于物理学重心的概念，是指研究区内人口分布某时刻在空间平面上力矩达到平衡状态的点[18]。本文通过构建人口空间重心转移模型来衡量区域人口重心空间坐标位置，以反映区域人口重心随时间迁移在空间上的发展趋势[16,19]。人口重心的坐标[20]为：

$$\bar{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_iX_i}{\sum_{i=1}^{n}P_i},\quad \bar{Y}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_iY_i}{\sum_{i=1}^{n}P_i} \tag{5}$$

式中，X、Y 为人口重心的经纬度坐标；P_i 为区域 i 的总人口数。

4）全局空间自相关。全局Moran's I指数可用于评估空间自相关性，分析各研究单元属性间的相似程度及其空间分布情况[21]。本文利用全局Moran's I指数研究区域单元人口分布的空间依赖性和关联性，计算公式为：

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}\left(X_i-\bar{X}\right)\left(X_j-\bar{X}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}\sum_{i=1}^{n}\left(X_i-\bar{X}\right)^2} \tag{6}$$

式中，n 为空间单元数量；X_i、Y_j 为空间位置 i、j 的属性值；$\boldsymbol{W}_{ij}$ 为空间权重矩阵；I 取值范围为[-1,1]，$I>0$ 为正相关、研究区呈集聚分布，$I<0$ 为负相关、研究区呈离散分布，$I=0$ 为不相关，研究区呈随机分布，值越接近于-1，则表明研究对象的某属性在空间分布上的趋异性越显著，值越接近于1，则表明集聚效应越显著[22]。

5）冷热点分析可用于分析局部空间聚类分布特征，能有效识别具有统计显著性的冷热点区域及其变化情况。本文采用Getis-Ord G_i^*统计量研究洛阳市县区单元之间人口空间分布的关系，从而得到热点与冷点发生聚类的位置，即判断人口在空间上属于高值集聚或低值集聚类型[23]。

$$G_i^*=\frac{\sum_{j}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}x_j}{\sum_{j}^{n}x_j} \tag{7}$$

$$Z=\frac{G_i^*-E\left(G_i^*\right)}{\sqrt{\mathrm{Var}\left(G_i^*\right)}} \tag{8}$$

式中，Z 为聚集指数的显著程度，正值表示特定区域为热点区，负值表示冷点区；$E\left(G_i^*\right)$ 和 $\mathrm{Var}\left(G_i^*\right)$ 为 G_i^* 的数学期望和方差。

6）地理探测器是用于探测空间分异性，并揭示其背后驱动力的一组统计学方法，主要包括分异与因子探测、交互作用探测、风险区探测和生态探测[24-25]。本文从社会发展视角选取影响因子，分别利用因子探测和交互探测分析洛阳市人口的影响因素。因子探测器用以探测因子 X 能在多大程度上解释属性 Y 的空间分异，用 q 值度量[24]，值越大，说明自变量 X 对因变量 Y 的解释力越强[26]。

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2}=1-\frac{W}{T} \tag{9}$$

$$W=\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2 \tag{10}$$

$$T=N\times\sigma^2 \tag{11}$$

式中，$h=1,\cdots,L$ 为 X 或 Y 的分类或分区数；N、N_h 为整个区域和 h 类的单位数量；σ_h^2、σ^2 为 Y 在 h 类和整个区域的方差；W、T 为层内方差、总方差和。

交互探测器用于确定两个因素共同作用时，其解释力是增强、减弱还是独立。首先计算因子 X_1、X_2 对 Y 的 q 值，即 $q(X_1)$、$q(X_2)$；再计算它们交互作用的 $q(X_1\cap X_2)$；最后通过比较 q 值，量化两个解释因素之间的交互作用。交互作用类型可分为非线性减弱（∩）、单因子非线性减弱（∧）、双因子增强（∨）、独立（→）和非线性增强（∪）5种类型。

7）GWR模型是一种局部回归统计方法，在传统

线性回归模型的基础上，进一步将数据的地理位置信息嵌入回归参数中，能直观探测因地理位置不同而导致的变量间关系或结构的差异，从而反映区域的异质性和参数在不同空间的非平稳性[27-28]。

$$y_i=\beta_0(u_i,v_i)+\sum_{i=1}^{k}\beta_i(u_i,v_i)x_{ij}+\varepsilon_i \quad (12)$$

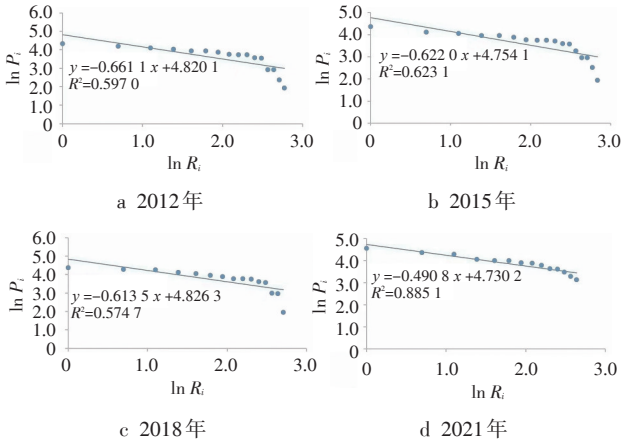
式中，y_i 为区域 i 的人口密度对数值；(u_i,v_i) 为区域 i 的地理中心坐标；$\beta_i(u_i,v_i)$ 为区域 i 第 j 个影响因素的回归参数；x_{ij} 为影响因素 X_j 在地区 i 的值；ε_i 为随机误差项。

2 研究结果与分析

2.1 洛阳市人口变化探索性数据分析

2.1.1 人口数量变化特征分析

本文将2012—2021年洛阳市县区常住人口由大到小排序，再基于相应位序绘制双对数散点图（图1），可以看出，2012—2021年拟合方程 R^2 均大于0.5，拟合效果较好，且拟合指数呈下降趋势，说明各区县体系的城市人口规模发育变缓，人口规模分布趋于平衡；2012—2021年 q 值较小且均小于1，说明各县区人口规模分布较均匀，小规模县区数量居多，而人口数量多的较高位次不突出；各年份首位规模县区实际值均小于拟合值，说明随着各县区人口规模体系的不断发展，人口数量多的高位次县区仍具有一定的发展空间；拟合曲线具有“摆尾”现象，说明各县区末位规模较小，将来仍有较大提升空间。位序—规模回归分析结果表明，2012年、2015年、2018年和2021年的 q 值分别为0.661 1、0.622 0、0.613 5和0.490 8。



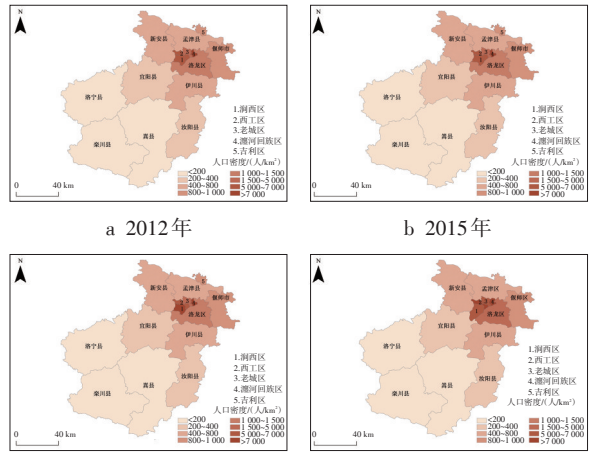
a 2012年 b 2015年

c 2018年 d 2021年

图1 2012—2021年洛阳市人口位序—规模变化

2.1.2 人口密度统计结果分析

各年份洛阳市人口密度空间分布见图2，可以看出，洛阳市人口密度整体上分布极不均匀，地区差异显著，东部平原地区的人口密度明显高于西部山区，呈现以“东北高、西南低”为主的空间分布格局。



a 2012年 b 2015年

c 2018年 d 2021年

图2 2012—2021年洛阳市县区人口密度分布空间格局

审图号：GS(2024)0650

各年份洛阳市人口密度见表2。2021年洛阳市平均人口密度为464人/km²，整体表现为人口密度低类型。洛龙区、涧西区、老城区、西工区、瀍河回族区等市区核心组成区域，面积虽偏小但一直是人口集聚核心区。从整体上看，人口密度偏高的地区主要集中在孟津区、伊川县、偃师区、吉利区、新安县；密度一般的地区主要集中在宜阳县和汝阳县；密度偏低的地区集中在栾川县、嵩县、洛宁县。2012—2021年人口密度分布等级除涧西区、老城区、洛龙区发生显著变化，其余县区基本保持不变。涧西区的人口密度不断增大，2021年高达9 171人/km²，远高于栾川县（129人/km²），且明显超过了全市平均水平。从人口密度增长速度来看，2012年起洛阳市人口密度明显上升，其中瀍河回族区、老城区增长速度较快，分别为22.67%和43.31%。

2.2 洛阳市人口分布时空演变特征分析

2.2.1 时间演变特征分析

由2012—2021年洛阳市人口分布的不均衡指数和集中指数可知，2012—2021年洛阳市人口不均衡指数由0.042 6增至0.048 4，增长缓慢且基本保持同一水平，表明洛阳市人口空间分布整体保持相对稳定；人口集中指数由0.361 1增至0.396 5，且保持持续增长态势，表明洛阳市人口空间集聚程度不断增强。

2.2.2 空间演变特征分析

本文利用人口空间重心转移模型计算得到不同年份洛阳市人口空间重心坐标（表3），并通过对比洛阳市几何中心坐标与人口空间重心坐标计算偏移距离，以分析洛阳市区域人口分布的空间演变情况。洛阳市几何中心坐标为34°17′28"N、112°1′53"E，位于嵩县

表2　2012—2021年洛阳市县区人口密度变化情况/人·km^{-2}

县区	2012年	2015年	2018年	2021年
老城区	3 506.8	3 619.3	3 709.3	5 025.8
西工区	6 600.4	6 731.3	6 871.5	6 862.2
瀍河回族区	7 296.0	7 452.0	7 580.8	8 950.2
涧西区	6 514.9	6 603.2	8 829.1	9 171.3
洛龙区	1 303.4	1 330.5	1 215.0	1 604.3
偃师市	843.4	852.1	859.7	806.0
孟津县	571.2	579.3	591.1	604.2
新安县	405.9	411.1	420.7	410.2
栾川县	138.9	141.7	141.9	129.1
嵩县	169.2	172.3	173.3	180.3
汝阳县	310.2	319.8	322.9	326.6
宜阳县	373.6	378.8	381.5	351.5
洛宁县	183.9	185.8	189.0	162.9
伊川县	718.5	740.0	747.2	740.8
吉利区	855.9	855.9	878.2	–

北部，而人口重心处于伊川县西北部境内，始终位于几何中心的东北部；随着时间的推移，人口重心呈西南向东北移动趋势，且偏移距离逐渐增大，最小偏移距离为34.7 km，最大偏移距离为36.4 km。《洛阳市城市总体规划（2011—2020年）》明确指出了实施分区城镇化战略，包括集中发展中部和北部地区以及重点发展洛阳市域东北部城镇密集地区。在政府一系列发展规划政策指导下，作为洛阳市经济、文化中心所在区域，东北部地区整体发展优势显著，间接吸引人口向该地区迁移。

表3　2012—2021年洛阳市人口空间重心坐标偏移

年份	人口重心		偏移距离/km
	经度	纬度	
2012	112°18′26"E	34°30′16"N	34.7
2015	112°18′28"E	34°30′14"N	34.7
2018	112°18′30"E	34°30′27"N	35.0
2021	112°19′17"E	34°30′52"N	36.4

2.3　洛阳市人口空间相关性分析

2.3.1　全局空间自相关分析

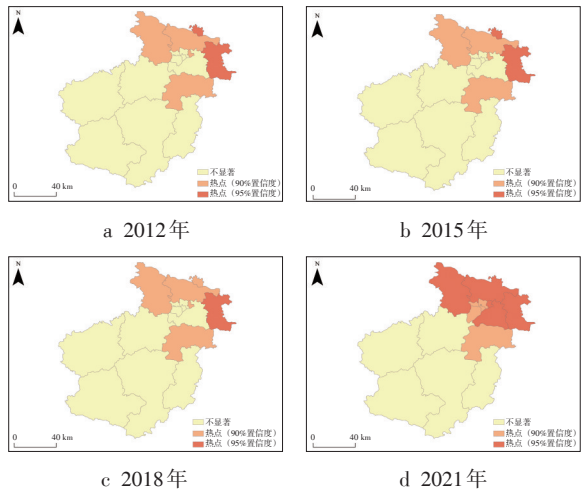
基于洛阳市人口密度统计数据，本文利用Geoda软件计算2012—2021年洛阳市县区单元人口密度全局Moran's I指数（表4），可以看出，各年份洛阳市县区单元人口密度全局Moran's Ⅰ值均为正值，且通过检验显著性水平 $P<0.1$ 和 $Z>1.65$，表明在90%置信度条件下，洛阳市县区单元人口密度空间分布呈显著正空间自相关特征，即人口稠密区和人口稀疏区呈集中分布态势；2012—2021年县区单元人口密度全局Moran's I呈轻微上升—下降—上升趋势，可能是受区域城市规划、人口分布调整和行政区划调整等因素影响。

表4　2012—2021年洛阳市县区人口Moran's I结果

年份	Moran's I	Z值	P值
2012	0.236 7	1.946 4	0.051 6
2015	0.238 3	1.955 7	0.050 5
2018	0.217 5	1.847 4	0.064 7
2021	0.232 2	2.000 7	0.045 4

2.3.2　冷热点分析

本文利用冷热点分析方法识别洛阳市人口空间分布的冷点区和热点区，对应于低值集聚区和高值集聚区（图3）。2012—2021年洛阳市人口空间分布显著热点区连片分布，主要集中在东北部地区，即人口密度高的县区相对集中，整体上没有明显的冷点区域。洛阳市东北部地区城镇化程度较高，导致人口产生明显的区域集聚效应；而其他县区人口分布相对稀疏，导致冷点区域不明显。



a 2012年　b 2015年

c 2018年　d 2021年

图3　2012—2021年洛阳市人口空间分布冷热点分析结果

审图号：GS(2024)0650

2.4　洛阳市人口分布影响因素探测

将经济发展水平、城镇化水平、社会消费水平和医疗水平4个方面的8个指标作为自变量，将常住人口数量作为因变量，进行地理探测器分析。由于输入数据均为面板数据，基于王劲峰等[24]提出的数据离散化方法，得到点状类别数据。基于ArcGIS软件平台创建渔网数据，并将渔网点矢量数据作为离散数据提取依据，利用空间分析模块得到各渔网点矢量对应位置的因变量和自变量数值，输入基于Excel的地理探测器软件开展因子探测和交互探测分析。

2.4.1　因子探测结果分析

本文利用因子探测器探究各因子对人口密度的解释力，结果表明（表5）：①各年份8个指标的 P 值均为0，均通过显著性检验，说明选取的影响因素指标均对人口产生显著影响，即解释力充分；②整体上 X_4、X_5、X_7和X_8的解释力长期处于较高排序水平，说

明服务业水平、城镇化水平和医疗水平对洛阳市人口具有相对稳定的较强影响；③X_1、X_4、X_6的 q 值总体呈上升趋势，说明洛阳市近10年的经济发展对人口的影响力越来越显著。

表5 2012—2021年洛阳市人口影响因素指标因子探测结果

指标	2012年		2015年		2018年		2021年	
	q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序
X_1	0.214 4	8	0.331 4	5	0.331 4	8	0.442 4	6
X_2	0.214 6	7	0.191 7	7	0.426 6	4	0.278 9	8
X_3	0.217 7	6	0.450 5	3	0.376 7	6	0.391 6	7
X_4	0.463 7	4	0.537 0	2	0.709 7	1	0.674 5	2
X_5	0.612 6	1	0.635 2	1	0.638 0	2	0.571 3	3
X_6	0.305 4	5	0.303 3	6	0.373 6	7	0.502 8	5
X_7	0.514 8	3	0.183 4	8	0.431 8	3	0.696 4	1
X_8	0.526 6	2	0.357 7	4	0.405 8	5	0.545 1	4

2.4.2 交互探测结果分析

利用交互探测分析上述因子之间的相互作用以及对人口密度影响是否具有显著差异，结果见表6~9，可以看出，任意两个因子的交互作用均大于单因子，说明不同时期洛阳市人口数量是多个因子共同作用的结果；任意两个因子的交互作用类型为双因子增强和非线性增强，随着时间的推移，非线性增强类型减少、双因子增强类型增加，说明不同影响因素间的交互作用趋于简单化；不同时期洛阳市人口空间分异解释力较强的交互因子为$X_1 \cap X_5$。经济发展和城镇化水平提升对人口的吸引力较强，能促进区域人口流动。

2.4.3 GWR结果分析

对选取变量进行多重共线性检验，剔除方差膨胀因子VIF>5的变量；再以X_1、X_3、X_6、X_7为解释变量，GWR估计结果见表10，可以看出，各年份GWR模型的拟合优度呈上升趋势，说明模型越来越契合，整体表现出较好的估计效果，能解释影响选取解释变量局部变化。

2012—2021年X_1的回归系数由正向逐渐转为负向，取值在-0.026~0.012之间，标准差均保持较低水

表6 2012年洛阳市人口影响因素指标交互探测结果

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0.214 4							
X_2	0.738 0∪	0.214 6						
X_3	0.873 9∪	0.549 6∪	0.217 7					
X_4	0.521 4∨	0.879 6∪	0.740 3∪	0.463 7				
X_5	0.892 9∪	0.841 8∪	0.769 2∨	0.761 8∨	0.612 6			
X_6	0.575 1∪	0.870 3∪	0.760 8∪	0.522 0∨	0.844 3∨	0.305 4		
X_7	0.709 5∨	0.717 8∨	0.809 5∪	0.827 0∨	0.769 4∨	0.879 6∪	0.514 8	
X_8	0.857 0∪	0.888 7∪	0.595 4∨	0.816 2∨	0.755 6∨	0.795 7∨	0.853 6∨	0.526 6

表7 2015年洛阳市人口影响因素指标交互探测结果

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0.331 4							
X_2	0.931 7 ∪	0.191 7						
X_3	0.893 8 ∪	0.849 4 ∪	0.450 5					
X_4	0.818 4 ∨	0.775 4 ∪	0.851 4 ∨	0.537 0				
X_5	0.954 7 ∪	0.776 6 ∨	0.917 8 ∨	0.761 8∨	0.635 2			
X_6	0.876 9 ∪	0.742 2 ∪	0.910 2 ∪	0.609 5∨	0.790 7∨	0.303 3		
X_7	0.703 5 ∪	0.873 0 ∪	0.744 6 ∪	0.905 9∪	0.784 5∪	0.912 4 ∪	0.183 4	
X_8	0.703 5 ∪	0.870 9 ∪	0.693 7 ∨	0.855 0∨	0.847 5∨	0.914 1 ∪	0.488 4 ∨	0.357 7

表8 2018年洛阳市人口影响因素指标交互探测结果

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0.331 4							
X_2	0.931 7∪	0.426 6						
X_3	0.689 6∨	0.866 8 ∪	0.376 7					
X_4	0.818 4∨	0.920 6 ∨	0.828 2∨	0.709 7				
X_5	0.976 7∪	0.849 0 ∨	0.963 3∨	0.814 5 ∨	0.638 0			
X_6	0.798 4∪	0.937 9 ∪	0.893 7∪	0.759 9 ∨	0.790 7 ∨	0.373 6		
X_7	0.729 6∨	0.940 4 ∪	0.905 9∪	0.853 2 ∨	0.834 2 ∨	0.853 2 ∪	0.431 8	
X_8	0.937 9∪	0.965 1 ∪	0.902 9∪	0.947 4 ∨	0.847 4 ∨	0.923 6 ∪	0.889 1 ∪	0.405 8

表9　2021年洛阳市人口影响因素指标交互探测结果

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0.442 4							
X_2	0.736 7∪	0.278 9∪						
X_3	0.528 2∨	0.799 0∨	0.391 6					
X_4	0.781 7∨	0.805 3∪	0.848 0∨	0.674 5				
X_5	0.953 5∪	0.895 9∨	0.935 5∨	0.819 5∨	0.571 3			
X_6	0.778 9∨	0.773 4∨	0.766 2∨	0.735 2∨	0.782 0∨	0.502 8		
X_7	0.930 9∨	0.888 3∪	0.852 9∨	0.934 5∨	0.939 6∨	0.909 9 ∨	0.696 4	
X_8	0.941 4∨	0.864 5∨	0.624 0∨	0.819 5∨	0.715 4∨	0.864 5 ∨	0.936 8 ∨	0.545 1

表10　GWR模型参数估计结果

模型参数	2012年	2015年	2018年	2021年
AICc	280.08	283.15	283.75	269.34
R^2	0.74	0.69	0.75	0.78
Adj.R^2	0.64	0.57	0.65	0.68

平，说明空间异质性较低，受地理位置影响较小。从整体上看，X_1系数较小的区域主要集中在东北部地区，即核心建成区，该地区X_1和人口密度均较高，由X_1变化产生的影响效应偏低；而西南地区的县区普遍面积较大且经济发展相对落后，导致X_1变化对于人口密度变化的影响更强烈。2012—2021年X_3的回归系数由负向转为正向，取值在−60.840~25.990之间，标准差分别为0.040 0、0.080 0、0.160 0和0.100 0，说明X_3对于人口密度影响的空间异质性有所提高，空间格局上呈“东北高、西南低”的特征，而随着时间的推移，呈现核心城区影响较大、西南地区影响较小的格局。洛阳市制造业和工业领域发展主要集中在东北地区，在一定程度上影响了该地区的人口变化。2012—2021年X_6的回归系数由负向转为正向，取值在−22.41~17.66之间，标准差分别为0.020 0、0.003 0、0.004 0和0.000 1，说明X_6对人口密度影响的空间异质性有所降低，空间格局上呈“东北高、西南低”的特征，即主城区受影响较大，西南地区影响较小。随着经济的不断发展，社会消费力逐渐增加，人口倾向于向消费水平高的地区集聚。2012—2021年X_7的回归系数由正向转为负向，取值在−19.900~63.630之间，标准差为0.010 0、0.005 0、0.009 0和0.008 0，整体影响和空间异质性逐渐降低。2015年以来西南地区X_7显著增加，对于该地区人口密度的影响也越来越显著。

3　结　语

本文以洛阳市为研究区，利用探索性数据分析、空间自相关、地理探测器、GWR模型等方法系统性地探讨了2012—2021年洛阳市人口变化时空特征，并从社会发展视角分析了各时期洛阳市人口的影响因素，主要结论为：

1）洛阳市各县区常住人口规模分布相对均匀，大部分县区人口规模较小，随着时间的推移人口规模发展趋于平缓。首位度高和位序较低的部分县区人口规模低于模型拟合值，说明洛阳市县区人口仍存在一定发展空间。

2）2012—2021年洛阳市人口密度不断提高，不同区县之间差别较大，地区分异显著，东部平原地区普遍高于西部山区，洛阳市人口空间分布整体呈现“东北高、西南低”的特征。

3）2012—2021年洛阳市人口空间集聚程度逐渐增强，人口重心由西南向东北方向迁移。洛阳市人口密度特征相似的县区整体呈现显著的空间集聚特征，且东北部地区存在明显的人口分布热点区域。

4）在人口分布影响因素方面，不同时期的主导因子具有显著差异，其中服务业水平、城镇化水平和医疗水平是洛阳市人口变化的显著影响因子。从不同因子交互作用力来看，经济发展水平和城镇化水平协同作用最强。GWR模型拟合优度能较好地解释选取变量局部变化，X_3表现出较强空间异质性，呈现“东北高、西南低”的空间格局。

长期以来，城镇化水平是影响洛阳市人口的一个关键因素。在新型城镇化战略背景下，洛阳市可通过制定合理的城镇化发展规划，整合城乡资源、鼓励产业结构升级等方式，平衡城镇化与人口高质量发展之间的关系。洛阳市作为我国文化旅游大市，一向秉承“旅游强市”的发展战略，特别是洛阳市在2016年第三产业比重超过第二产业和第一产业，形成了“三二一”的产业发展格局[29]。随着洛阳市第三产业的迅速发展，文化旅游产业持续高质量发展，融合了一系列新技术，形成了一批新业态和新模式，使得2018年和2021年第三产业占比较2012年和2015年得到显著提升，符合前文研究结论。实际上，区域服务业水平的

崛起也直接影响到人口质量和城市发展水平，洛阳市作为国家公共文化服务体系示范区，可通过持续深化文化产业、服务业等与其他产业融合，注重数字化和智能化技术的应用，进一步提升洛阳市的综合竞争力。区域人口往往是由诸多因素共同作用的结果，经济水平和医疗水平也是影响洛阳市人口的关键要素。洛阳市应结合实际情况，注重医疗服务和医疗资源的统筹均衡布局，提升医疗设施数量和质量，加强医疗专业性人才培养，持续推动信息化和医疗的深度融合，增强城市吸引力和幸福感。

本文仅针对洛阳市开展探索性研究，后续可选取更广泛的影响因素数据，结合遥感影像、土地利用和土地覆盖等多源数据，综合探讨自然因素对于一定时期内人口变化的影响；还可考虑开展不同尺度范围社会发展视角下人口时空变化格局研究，以深入探究社会发展过程中区域人口影响机制。

参考文献

[1] 王晓峰,刘华伟. 理解人口高质量发展:理论意蕴、支撑要素与实践路径[J]. 人口研究,2023,47(5):46-58

[2] 刘浩岚,陈万旭,曾杰. 长江中游地区人口分布特征及其影响因素[J]. 资源开发与市场,2023,39(4):444-452

[3] 毕忠鹏,段成荣,盛丹阳. 中国各民族人口空间分布格局的变迁与模式研究:基于1953—2020年七次人口普查数据的分析[J]. 人口与经济,2023(3):20-34

[4] 彭秋志,黄培依,陈笛,等. 2000—2020年中国人口数量在地形梯度上的分布与变化特征[J]. 地理科学进展,2023,42(10):2 019-2 032

[5] 陈绍军,余丹阳. 长三角城市群城镇化进程中人地关系的时空耦合特征及影响因素研究[J]. 世界地理研究,2025,34(2): 114-127

[6] 聂倩,郑浩宇. 河南省人口老龄化时空演变及影响因素研究[J]. 地域研究与开发,2023,42(5):174-180

[7] 尹旭,王婧,李裕瑞,等. 中国乡镇人口分布时空变化及其影响因素[J]. 地理研究,2022,41(5):1 245-1 261

[8] 杨慧敏,许家伟,李小建. 城镇化进程中平原农区县域人口分布变化特征及影响因素:以豫东平原柘城县为例[J]. 地理研究,2023,42(6):1 528-1 544

[9] 王美玲,张和生. 基于珞珈一号夜间灯光数据的人口空间化研究[J]. 地理空间信息,2021,19(9):53-56

[10] 王洁晶,张沐华,王霓霓. 中国流动人口分布的空间格局和影响因素:基于人口普查分县数据的研究[J]. 人口学刊,2023,45(4):82-96

[11] 朱奕衡,杨山,尹上岗,等. 长三角地区人口城镇化的空间极化过程及其演变格局研究[J]. 地理科学进展,2022,41(12):2 218-2 230

[12] 任昊,秦敏. 我国人口结构对消费的影响:需求侧视角下多维度社会人口结构的再考量[J]. 商业经济研究,2021(23):38-41

[13] 刘荣华. 人口流动常态化背景下城镇化对城乡居民消费升级的影响[J]. 商业经济研究,2022(1):51-54

[14] 马晨,王宏卫,谈波,等. 新疆典型绿洲城乡聚落规模体系特征及空间重构:以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 地理学报,2022,77(4):852-868

[15] 罗君,石培基,张学斌. 黄河上游兰西城市群人口时空特征多维透视[J]. 资源科学,2020,42(3):474-485

[16] 梁文琼,王春晓,刘璐. 基于ArcGIS的人口重心和经济重心时空变化分析[J]. 地理空间信息,2022,20(2):67-70

[17] 王华,张炜,宋辉,等. 基于多源数据的长沙城市人口空间分布格局演变与模拟[J]. 经济地理,2023,43(8):49-61

[18] 潘泽瀚,吴连霞,卓冲,等. 2010—2020年中国老年人口健康水平空间格局演变及其影响因素[J]. 地理学报,2022,77(12):3 072-3 089

[19] 杨青林,赵荣钦,胡月明,等. 京津冀地区经济社会要素与碳排放的时空耦合关系[J]. 生态学报,2023,43(9):3 458-3 472

[20] 李在军,管卫华,柯文前. 中国区域消费与经济、人口重心演变的时间多尺度研究[J]. 经济地理,2014,34(1):7-14

[21] 赵书虹,孔营营. 区域旅游经济与空气质量耦合协调的时空演化:以云南省为例[J]. 中国人口·资源与环境,2023,33(8):146-156

[22] 高鬻,白立敏,李冰心,等. 中国资源型产业转型效率的时空演变及影响因素研究[J]. 地理科学,2023,43(9):1 527-1 536

[23] 张圆刚,张宏梅,赵晓彤. 中国城市居民生活状况感受的空间分异格局与影响因素[J]. 地理学报,2023,78(10):2 574-2 590

[24] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134

[25] 周金,范秋雁,朱真. 广西滑坡灾害的空间分布特征及其影响因子研究[J]. 地理空间信息,2023,21(9):40-43

[26] 周德,戚佳玲,钟文钰,等. 城市群城乡融合发展:测度评价、障碍因素与驱动因素[J]. 地理研究,2023,42(11):2 914-2 939

[27] 杨勇,杨忍. 河南省人口城镇化特征及影响因素的空间异质性[J]. 地理与地理信息科学,2014,30(5):60-65

[28] 关莹莹,李雪铭,杨俊,等. 基于地理加权回归模型的辽宁省城市人居环境综合适宜性评价[J]. 地理科学,2022,42(12):2 097-2 108

[29] 冯子骅. 高质量发展背景下洛阳农业转型升级研究[J]. 河北农机,2021(7):46-47