

引用格式: 芦蕊, 马廷. 中国市级人口增长的多因素空间建模分析[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(7): 939-946. [Lu R, Ma T. Spatially modeling of multiple factors for city-level population growth in China[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(7): 939-946.] DOI: 10.12082/dqxxkx.2018.180135

中国市级人口增长的多因素空间建模分析

芦蕊^{1,2}, 马廷^{1*}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

Spatially Modeling of Multiple Factors for City-level Population Growth in China

LU Rui^{1,2}, MA Ting^{1*}

1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: This paper is aimed at exploring the determinants of population growth in Chinese urban areas. With the method of exploratory spatial data analysis and the data of traditional population census between 1990 and 2010, we could delve into the spatial distribution characteristics of the population growth rate and the multivariable spatial dependency during the past twenty years in Chinese city-level. Based on a thorough interpretation of population data, we are able to discover an existing spatial dependency between different cities. Obviously, spatial relations should not be negligible, because the spatial dependency is much stronger within cities living in shorter distance. It is more reasonable to use spatial regression model for our work, therefore, we use spatial lag regression model, spatial error model and classical linear regression model with spatial filtering to explore the influences of economic factors, climate factors, sociocultural factors and topography factors on population growth rate. It is showed that the classical linear regression model with spatial filtering can simulate the urban population growth rate better than other models in our outcomes. The findings also suggest that economy is the most pivotal factors in population growth, such as the total amount of economy reflected by density of urban nightlight index plays an important role in driving population growth. Meanwhile other factors are following as well. Climatic variation is another systematic and significant factor affecting the rates of urban population growth. Some weather-related movement appears. People are willing to leave the unpleasant places and move to the places with nice weather. For example, with the increase of July heat index, there is a more and more stronger negative impact on population growth. The research shows that Chinese population growth is a complex question. There is a comprehensive action of multi-factor in generating the model of regional population growth. It is necessary to consider the different effects of economic development and climate conditions on the population growth in the researches on corresponding modeling and formulation of policy.

Key words: population growth; influence factors; exploratory spatial data analysis; spatial regression; spatial filtering

***Corresponding author:** MA Ting, E-mail: mting@lreis.ac.cn

收稿日期 2018-03-15; 修回日期: 2018-05-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771418). [**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China, No.41771418.]

作者简介: 芦蕊(1994-), 女, 硕士生, 主要从事地理空间分析与系统模拟研究. E-mail: lur@lreis.ac.cn

*通讯作者: 马廷(1976-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事高性能地学计算、空间分析、环境遥感研究. E-mail: mting@lreis.ac.cn

摘要 本文以中国市域单元为研究对象,利用1990–2010年人口普查数据,采用探索性空间数据分析的方法,分析了过去20年间中国市级人口增长率的空间分布特征和多变量的空间依赖关系。使用空间计量模型和空间滤波后的经典线性回归模型分别探究了经济、气候、地形、社会文化等因素对中国市级人口增长率的影响。模型对比结果显示,经过空间滤波后的经典线性回归模型能够更好的模拟中国市级人口增长率的变化。在该模型中,经济因素是影响中国城市人口增长率的主要因素,例如代表城市经济发展水平的城市夜光指数密度。气候因素对人口增长率也有着不可忽视的作用,如七月热指数随着等级的提升对人口增长率有着越来越强的负向影响。研究结果表明:人口的区域增长模式是多要素综合作用的结果,在相关建模研究和政策制定中需要重点考虑经济发展水平和气候条件因素对人口增长趋势的不同影响。

关键词 人口增长;影响因素;探索性空间数据分析;空间自回归;空间滤波

1 引言

据联合国经济和社会事务部人口司的研究表明2030年世界人口将增加到85亿^[1],这种快速的人口增长对发展中国家的影响更为明显,中国是世界上的人口大国并且正处于发展中国家阶段,因此研究中国人口增长与区域动态分布问题具有重要的意义。近几十年来,随着城市化和社会经济的快速发展以及相关政策的引领,中国的人口增长趋势呈现出一定的时空格局特征^[2]。从时间上看,人口数量从1990年的11.3亿快速增长到2010年的13.32亿^[3]。从空间上看,人口数量的增长呈现出区域间不均衡的态势,不同地区和城市间差异较大^[4–5],造成这种差异的因素很多。因此,深入探究人口增长的影响因素对合理引导人口增长、实现城市资源合理配置、促进区域协调发展具有十分重要的意义^[6]。

人口增长问题,是一个涉及经济、气候、环境、社会、文化、地形等多方面因素的复杂问题^[7–9],随着研究尺度和研究区域的不同,影响人口增长的因素也有差异。省际人口流动受到地区经济水平、产业结构、就业机会等因素的影响较强,省内人口流动受经济、教育、交通等因素的影响较强^[10]。长江三角洲地区经济水平、产业结构、房价水平、环境是影响人口分布的关键变量^[11],东北地区经济水平、行政级别、就业水平、医疗服务水平可以更好的解释人口数量的变化^[12],京津冀地区教育水平和交通便利程度是影响人口分布的重要因素^[13]。因此,要根据研究尺度和研究区域选择合适的影响因子分析人口增长问题^[14]。

在探究人口增长影响因素的模型中,常用的主要有2类:①传统统计学模型,主要包括经典线性回归模型、面板数据模型以及经济计量模型等,例如,基于多元回归模型探究经济、地形、气候等因素对城市人口增长率的影响^[15],基于固定效应的静态和动态面板数据模型讨论区域人口增长的影响因

素^[16],基于经济计量模型分析城市人口增长的决定因素^[17–18]。此类模型通常只考虑人口的统计特征,忽略了人口增长的空间特征,极易导致模型结果出现偏差或错误。②空间分析模型,此类模型考虑了人口分布的空间关系,将空间关系纳入模型的计量之中。例如,基于Getis-Ord G_i^* 方法揭示人口密度空间变化与降水量空间分布间的关系^[19],基于地理加权回归模型考察自然、经济和社会因素对一个地区人口密度的影响^[20],基于空间滞后模型分析人口增长的空间自相关关系^[10]。

本文以中国市级人口增长数据的空间特征为基础,通过比较空间滞后模型、空间误差模型和经过空间滤波后的经典线性回归模型的拟合结果,得到最佳拟合模型并分析影响中国市级人口增长的重要因素。

2 研究区概况及数据源

2.1 研究区概况

以中国344个市级行政区划单元为研究对象,包含333个地级行政区划单位、4个直辖县区、4个直辖市以及3个省级直辖区域(河南济源市、新疆石河子市、湖北省直辖行政区)。香港、澳门、台湾地区数据缺失,故本研究不包含这3个地区。

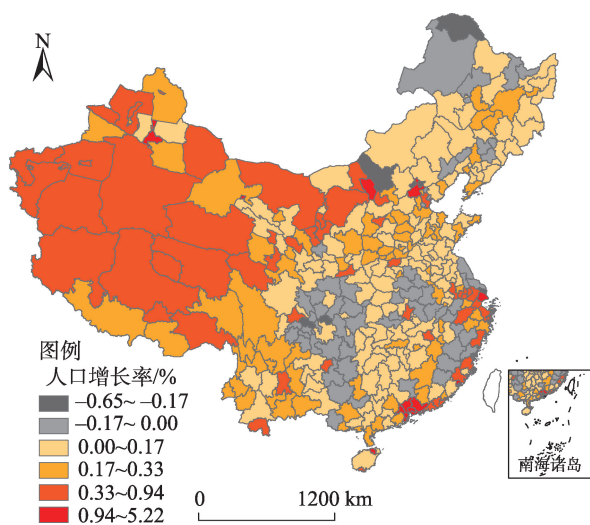
2.2 数据源

本文使用的人口数据来自第四、第五、第六次人口普查数据,经济数据来自1992–2012年的21幅DMSP/OLS遥感影像,道路里程数据来自中国1 km格网的道路长度数据,气象数据来自中国气象科学数据共享服务网,社会文化数据来自国家统计局的统计数据。数据预处理过程如下:

(1)空间数据与属性数据匹配。用ArcMap软件中的空间连接工具对气候数据、夜光数据、道路数据进行连接^[21]。其中,夜光遥感影像数据和道路栅格数据在投影变换的过程中会产生一定的形变,

导致距离赤道越远的地方形变越大,所以在空间连接前要先进行数值矫正。

(2)探索人口增长率的空间分布特征及空间依赖关系。如图1所示,从空间分布上看,人口增长率呈现出西高东低,增多减少的趋势。新疆、西藏地区由于国家宽松的人口政策和西部大开发计划的实施,人口增长率普遍要高,中部和四川盆地的一些城市人口增长率因大量人口迁出而呈现出负增长,省会城市的人口增长率普遍较高。从统计结果来看,人口增长率呈现正增长的城市共有282个,呈现负增长的城市共有62个。



注:香港、澳门、台湾数据暂缺

图1 1990-2010年中国市级人口增长率分布图

Fig.1 Distribution of Chinese population growth rate from 1990 to 2010

人口增长率的空间依赖关系用全局莫兰指数(Global Moran's I)分析,如式(1)所示。

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})} \quad (1)$$

式中: n 表示研究单元的总数; y_i 和 y_j 表示 i 区域和 j 区域的属性值; \bar{y} 表示该属性均值; w_{ij} 为空间权重矩阵; I 为全局莫兰指数。用R软件spdep包进行全局空间自相关分析(表1)。

Global Moran's I 的值为0.338,对其进行近似正态分布的相关性检验。假设中国344个市的人口增长率在空间分布上不存在相关性,在 $\alpha=0.05$ 显著水平下检验的临界值 $Z_{0.05}=1.96$ 。本文 $Z(I)>1.96$,拒绝假设,即中国各市的人口增长率在空间上存在正相关关系。

表1 Global Moran's I 统计结果表

Tab. 1 Statistics of Global Moran's I

| 统计量 | 值 |
|---------------------|--------|
| Moran I statistic | 0.338 |
| $E(I)$ | -0.003 |
| $Var(I)$ | 0.001 |
| $Z(I)$ | 10.850 |
| P-value | 0.000 |

3 多因素作用下的人口增长建模

在模型选择方面主要采用两种思路来处理人口增长率的空间正相关关系:①将空间自相关关系纳入模型中,包括空间滞后模型和空间误差模型;②在模型分析前过滤掉空间自相关关系,即经过空间滤波的经典线性回归模型。在解释变量选择的过程中使用了逐步回归的方法。

3.1 变量选择

以1990-2010年中国各个城市人口增长率为因变量,用 $popgrowth$ 表示。人口增长率的计算方式如式(2)所示。

$$popgrowth_i = \frac{POP_{2010i} - POP_{1990i}}{POP_{1990i}} \quad (2)$$

式中: $popgrowth_i$ 表示第 i 个城市的人口增长率; POP_{1990i} 表示第 i 个城市1990年人口数量; POP_{2010i} 表示第 i 个城市2010年人口数量; i 表示344个城市($i=1,2,\dots,344$)。

在多因素作用下人口增长率的研究中,解释变量的选择往往要基于相关的理论假设,或借鉴已有研究,有些难以精确测量或无法测量的变量,只能使用替代变量或相似变量^[22]。本文参考了相关研究^[11,14-17],在充分考虑数据可获得性的基础上,选择了经济、气候、地形、社会文化4类影响因素,共12个解释变量(表2)。其中,为了减少通货膨胀带来的影响,本文使用夜晚灯光指数代替GDP数值;考虑到少数民族人口增长迅速的问题^[23],加入了少数民族区域的影响;引入Heat Index(HI)表征一个城市七月的人体舒适程度^[24]。

AIC准则是1974年日本统计学家Akaike根据极大似然估计原理提出的一种回归模型自变量选择准则,其核心思想是从 m 元回归分析开始,每一步舍去一个不显著且导致AIC值大的变量。假设回归模型的似然函数为 $L(\theta, x)$,AIC定义为:

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\theta}_L, x) + 2p \quad (3)$$

式中: $\hat{\theta}_L$ 是 θ 的极大似然估计; x 为样本数; p 是未知

表2 变量说明表

Tab. 2 Definitions of the variables

| 变量名 | 含义 | 计算方法 |
|---------------|-------------|---|
| <i>NLDens</i> | 城市夜光密度 | 城市夜光指数之和除以城市面积 |
| <i>NLGrow</i> | 城市夜光指数的增长趋势 | 计算城市20年夜光指数的变化趋势 |
| <i>RLSum</i> | 城市道路总里程 | 城市铺装道路总长度 |
| <i>SIRGR</i> | 城市第二产业区位熵 | 城市第二产业从业人数百分比/城市从业人数占全国从业人数的百分比 |
| <i>TIRGR</i> | 城市第三产业区位熵 | 城市第三产业从业人数百分比/城市从业人数占全国从业人数的百分比 |
| <i>APMean</i> | 年降雨量 | 年平均降水量小于400 mm时值为1,否则值为0 |
| <i>JTMean</i> | 城市一月平均气温 | 1月日平均气温的算数平均值 |
| <i>HI</i> | 7月热指数 | 根据城市7月平均气温(<i>T</i>)和7月相对湿度(<i>H</i>)计算得出 |
| <i>APArea</i> | 少数民族自治区域 | 少数民族自治区域值为1,否则值为0 |
| <i>Patent</i> | 专利申请量 | 无 |
| <i>UENum</i> | 大学招生数量 | 无 |
| <i>CoastC</i> | 城市是否临海 | 临海值为1,否则值为0 |

参数的个数。根据AIC准则,使用逐步回归法选出的对模型显著影响的自变量。设城市人口增长率与经济 E_i 、气候 C_i 、社会文化 S_i 、地形 T_i 等有关,其中:

$$E_i = \{NLDens_i, NLGrow_i, RLSum_i, SIRGR_i, TIRGR_i\} \quad (4)$$

$$C_i = \{APMean_i, JTMean_i, HI_i\} \quad (5)$$

$$S_i = \{APArea_i, Patent_i, UENum_i\} \quad (6)$$

$$T_i = \{CoastC_i\} \quad (7)$$

逐步回归前人口增长率的经典线性回归模型(全模型)如式(8)所示。

$$popgrowth_i = \alpha + \beta_1 E_i + \beta_2 C_i + \beta_3 S_i + \beta_4 T_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

式中: $popgrowth_i$ 表示人口增长率; α 表示常数项; β_n 表示回归系数; ε_i 表示随机误差; i 表示344个城市($i=1,2,\dots,344$)。

逐步回归后简化模型如式(9)所示。

$$popgrowth_i = \alpha + \beta_1 E'_i + \beta_2 C'_i + \beta_3 S'_i + \beta_4 T'_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

式中: $popgrowth_i$ 表示人口增长率; α 表示常数项; β_n 表示回归系数; ε_i 表示随机误差; E'_i 、 C'_i 、 S'_i 、 T'_i 表示逐步回归后选取的经济、气候、社会文化、地形变量。

3.2 空间滞后模型

空间统计学认为在有关地理因素的研究中忽略空间效应会给模型的分析结果带来一定的偏差,甚至导致模型得出错误的结果。所以在经典线性回归的基础上又加入了空间因素,构建了空间滞后模型。空间滞后模型把因变量的空间自相关关系作为一个变量引入模型,通过建立空间权重 W_{ij} ,将空间关系纳入了模型。如式(10)所示。

$$popgrowth_i = \alpha + \rho W_{ij} + \beta_1 E'_i + \beta_2 C'_i + \beta_3 S'_i + \beta_4 T'_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

式中: $popgrowth_i$ 表示人口增长率; α 表示常数项; ρ 表示空间回归系数; W_{ij} 表示空间权重矩阵; β_n 表示回归系数; E'_i 、 C'_i 、 S'_i 、 T'_i 表示逐步回归筛选后的解释变量; ε_i 表示随机误差; i 表示344个城市($i=1,2,\dots,344$)。

3.3 空间误差模型

空间误差模型是一种常用的空间统计模型,将空间自相关关系作为残差的一部分纳入模型中,如式(11)所示。

$$popgrowth_i = \alpha + \beta_1 E'_i + \beta_2 C'_i + \beta_3 S'_i + \beta_4 T'_i + \lambda \varepsilon W + \mu_i \quad (11)$$

式中: $popgrowth_i$ 表示人口增长率; α 表示常数项; β_n 表示回归系数; E'_i 、 C'_i 、 S'_i 、 T'_i 表示逐步回归后选取的解释变量; λ 表示空间误差系数; ε 表示随机误差项; W 表示空间权重矩阵; μ_i 表示正态分布的随机误差项; i 表示344个城市($i=1,2,\dots,344$)。

3.4 空间滤波后的经典线性回归模型

空间滤波是一种比较新颖的空间统计方法。常用的空间滤波方法有3种:①参数空间滤波,最早通过交叉相关系数的方法来比较2个变量之间的空间自相关关系,与时间序列分析中,预先确定2个序列之间潜在的传递函数的方法相似。②非参数空间滤波,主要是运用一系列的空间代理变量,从被观测空间对象的基础空间关系矩阵中提取特征向量,通过特征向量移除被观测对象的空间依赖关系^[25-27]。③半参数空间滤波,该方法是在参数空间滤波和非参数空间滤波的基础上发展而来的,主要

用空间代理变量来代替空间滞后模型和空间误差模型中的误差项,并且在非参数空间滤波的基础上优化了特征向量的选取,运用最小化残差平方和的原则搜索特征向量^[28]。

空间滤波后的经典线性回归模型使用的是半参数空间滤波的方法,首先选取特征变量识别和过滤掉被观测对象的空间依赖关系,然后再使用经典线性回归模型对各个因素进行拟合分析。

4 结果分析

本文在运用逐步回归方法确定解释变量后,通过AIC最小准则和方差分析结果对模型进行对比分析,从而找到市级人口增长的最佳拟合模型,并对影响因素进行了分析。

4.1 变量选择结果

对12个解释变量进行后向逐步回归,用得到的9个解释变量建立简化回归模型。分析逐步回归前后的全模型和简化模型得到(表3):简化模型的判定系数 R^2 更优($0.525 < 0.529$),简化模型的AIC值更小(AIC可以衡量模型拟合的优良和模型的复杂度,为了避免过度拟合,通常选择AIC值较小的模

表3 经典线性回归模型(OLS)统计表

Tab. 3 Statistics of OLS model

| 解释变量 | 模型 | |
|-------------|--------------------|--------------------|
| | 全模型 | 简化模型 |
| NLDens | 0.529*** | 0.543*** |
| NLGrow | -0.106* | -0.107* |
| RLSum | 0.231 ^m | 0.216 ^m |
| SIRGRs | -0.026 | - |
| TIRGR | 0.209*** | 0.202*** |
| APMean | 0.468** | 0.449** |
| JTMean | 0.270*** | 0.274*** |
| HIb | -0.106 | -0.105 |
| HIc | -0.545** | -0.535** |
| HIId | -0.587** | -0.587*** |
| APArea | 0.280* | 0.277* |
| Patent | -0.182** | -0.179*** |
| UENum | 0.167 | - |
| CoastC | 0.074 | - |
| F-statistic | 28.120*** | 36.01*** |
| AIC | 736.506 | 731.092 |

注:“^m”表示在0.1水平显著;“*”表示在0.05水平显著;“**”表示在0.01水平显著;“***”表示在0.001水平显著

型),并且2个模型不显著的概率都是 $2.2e-16$ 。所以简化模型的9个解释变量可以更好地拟合中国市级人口增长率。

4.2 空间回归统计结果

通过探索性空间数据分析发现,中国市级人口增长率具有空间正相关关系,使用经典线性回归模型而不考虑人口增长率的空间依赖关系会导致模拟结果出现一定偏差。本文给出了空间滞后模型、空间误差模型以及空间过滤后的经典线性回归模型的参数估计结果(表4)。

表4 空间回归模型统计表

Tab. 4 Statistics of spatial regression

| 解释变量 | 空间统计模型 | | |
|----------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| | LAG模型 | SEM模型 | SFOLS模型 |
| NLDens | 0.479*** | 0.645*** | 0.543*** |
| NLGrow | -0.092* | -0.098* | -0.107** |
| RLSum | 0.161 | 0.037 | 0.216 ^m |
| TIRGR | 0.219*** | 0.264*** | 0.202*** |
| APMean | 0.304* | 0.368* | 0.449*** |
| JTMean | 0.237*** | 0.326*** | 0.274*** |
| HIb | -0.090 | -0.092 | -0.105 |
| HIc | -0.439** | -0.511** | -0.535*** |
| HIId | -0.488** | -0.572** | -0.587*** |
| APArea | 0.226* | 0.232 ^m | 0.277** |
| Patent | -0.178*** | -0.166** | -0.180*** |
| RHO | 0.299 | - | - |
| LAMBDA | - | 0.318 | - |
| LR test | 20.385*** | 13.329*** | - |
| ASE | 0.061*** | 0.073*** | - |
| Wald statistic | 24.397*** | 19.165*** | - |
| Log likelihood | -342.353 | -345.882 | -319.109 |
| ML residual variance | 0.421 | 0.428 | - |
| LM test | 12.001(0.000) | - | - |
| SSR | 144.746 | 147.376 | 128.773 |
| AIC | 712.710 | 719.760 | 678.218 |

注:“^m”表示在0.1水平显著;“*”表示在0.05水平显著;“**”表示在0.01水平显著;“***”表示在0.001水平显著

4.3 模型对比分析

图2中3个模型的预测值与人口增长率的实测值比较接近。本文使用方差分析的方法,两两比较模型的拟合程度。首先比较空间滞后模型和空间误差模型(表5)。根据Anselin等提出的标准^[29],Log likelihood的值越大,模型拟合的效果越好,因此空间滞后模型优于空间误差模型。从AIC的结果分析,

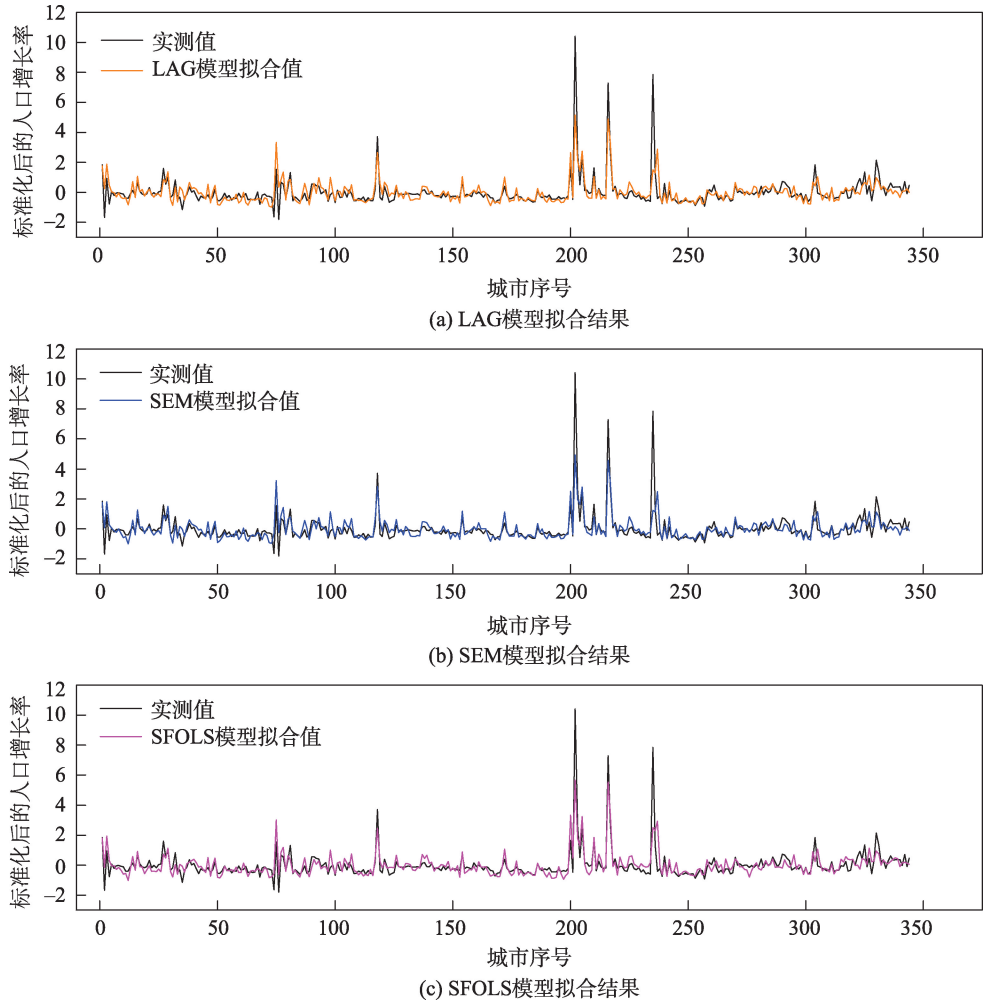


图2 3种模型对344个城市的人口增长率模拟结果比较

Fig.2 Comparisons of modelled results of growth rate of human population from three models across 344 cities

表5 方差分析结果1

Tab. 5 Statistics of anova analysis 1

| TEST | LAG | SEM |
|--------|----------|----------|
| df | 14.000 | 14.000 |
| AIC | 712.710 | 719.760 |
| logLik | -342.350 | -345.880 |

空间滞后模型的AIC值较小。所以在空间计量模型中,空间滞后模型的拟合效果优于空间误差模型。

对比分析空间滞后模型与经过空间滤波后的经典线性回归模型。方差分析结果显示(表6),经过空间滤波后的线性回归模型的AIC值为678.220,低于空间滞后模型,Log likelihood值为-319.110,高于空间滞后模型。所以经过空间滤波后的经典线性回归模型的拟合效果更优。

在空间滤波后的经典线性回归模型中:经济因素是影响人口增长的主要因素,除了城市道路密度

表6 方差分析结果2

Tab. 6 Statistics of anova analysis 2

| TEST | SFOLS | LAG |
|---------|----------|----------|
| df | 20.000 | 14.000 |
| AIC | 678.220 | 712.710 |
| logLik | -319.110 | -342.350 |
| L.Ratio | 46.488 | |
| p-value | 0.000 | |

外,都通过了0.01%水平的显著性检验。城市夜光密度的影响系数为0.543,对人口的增长有着显著的正向作用,表明一个城市的经济总量是导致人口增长的重要原因,经济水平较高的城市,对人口流动吸引力较大,导致城市人口增长率快速增加。城市夜光值增长率的影响系数为-0.107,夜光值的增长率表征一个城市经济发展的速度,人口的增长与经济的发展速度间通常有一个相对滞后的过程,经

经济增长速度快的城市可能现有经济总量还未达到一定的规模,对人口迁移流的吸引还需要一个过程,甚至会出现短期的人口流出现象,所以在分析结果中与人口增长率呈负相关关系。城市道路密度对人口的增长率有着正向但不显著的作用,交通通达性不仅反映城市与外部区域联系的便利程度,而且重要交通枢纽及交通要道沿线对人口的流动具有很强的吸引力,尤其是新的道路的出现,更容易吸引人口流入。第三产业区位熵的系数为0.202,说明对人口的增长有着正向的显著作用,第三产业属于劳动密集型产业,第三产业的增加,带动了就业岗位的增加,促使城市人口数量增加。

在气候因素中,降水量因素的影响系数达到0.449,通过了显著性检验,表明干旱区域人口增长率相对较高,干旱区多分布在中国西北地区,降水量较少,生态脆弱,但人口出生率却普遍较高,而且西部大开发的政策导向使得西北干旱区人口大量增加。1月平均气温的影响系数为0.274,通过了显著性检验,随着中国经济的发展,国民收入的不断增加,冬季气候宜人,风景优美的地方对人口的吸引力不断提高,例如中国海南省,近几年大量外来人口涌入。7月热指数对人口增长的影响随着等级的不同而有所不同。如表4中所示,体感温度在27~32℃时(Ⅱ级),热指数的影响系数为-0.105,未通过显著性检验。体感温度在32~41℃时(Ⅲ级),热指数的影响系数为-0.535,通过了显著性检验。体感温度在41~54℃时(Ⅳ级),热指数的影响系数为-0.587,且通过了显著性检验。整体来看,7月热指数对人口增长率有着负向的作用,并且这种作用随着体感温度的增加而增加。

在社会文化因素方面,少数民族自治区对中国市级人口的增长也有着重要的作用,其影响系数为0.277,通过了显著性检验,我国在少数民族自治区域实施了较为宽松的生育政策,所以少数民族自治区域的人口出生率较高。专利申请量往往代表一个城市的科技水平,它对人口增长率的影响系数为-0.180,且通过了显著性检验,说明专利申请量对一个城市的人口增长率有着负向的作用。专利申请量代表了城市的科技水平和创新水平,科技水平的进步将推动人口的增加,但是将专利成果转化为实用产品需要一个过程,并且科技水平高的地区,人们生育率会下降,导致人口的自然增长缓慢,所以会对城市的人口增长率有负向的作用。

5 结论与展望

本文通过利用最近三次人口普查数据对中国344个城市的人口数据进行了探索性空间数据分析,在发现中国市级人口增长率具有空间正相关关系后,运用空间滞后模型、空间误差模型以及经过空间滤波后的经典线性回归模型对中国市级人口增长率进行了模拟,得出以下结论:

空间滤波后的经典线性回归模型的拟合效果最好。结果显示,经济因素是影响人口增长率的重要因素,尤其是一个城市的经济总量对人口的增长率有着十分重要的积极作用,经济发达的地区,人口增长率高。气候因素也有着不可忽视的作用,气候条件好的城市人口增长率更高,例如,7月热指数对城市人口的增长有着负向作用,1月气温高的地方会使人口增长较快,年平均降水量少的地方人口增长率较高。社会文化因素中少数民族自治区域对人口增长率有着正向的影响。

本文虽然从经济、气候、地形和社会文化4个方面研究了影响中国市级人口增长率的因素,但是涉及社会文化的因素较少。随着时代的发展,气候环境因素和社会文化因素的影响力将会加强,特别是经济发展到一定阶段时,社会文化因素将会越来越重要,所以在以后的研究中要加强对这方面的因素的考虑,并且加强对相关模型地学机理的研究。

参考文献(References):

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World population prospects: The 2015 revision, key findings and advance tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241.
- [2] 潘倩,金晓斌,周寅康.近300年来中国人口变化及时空分布格局[J].地理研究,2013,32(7):1291-1302. [Pan Q, Jin X B, Zhou Y K. Population change and spatiotemporal distribution of China in recent 300 years[J]. Geographical Research, 2013,32(7):1291-1302.]
- [3] 国家统计局人口和就业统计司.中国2010人口普查分县资料[M].北京:中国统计出版社,2012. [The National Bureau of Statistics of Population and Employment Statistics Division. Tabulation on the 2010 population census of the people's republic of China by county[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.]
- [4] 张思彤.中国城市增长特征及影响因素的计量分析[D].长春:吉林大学,2010. [Zhang S T. Econometric analysis on the Chinese urban growth characteristics and influencing factors[D]. Changchun: Jilin University, 2010.]
- [5] 于方涛.中国城市人口流动增长的空间类型及影响因素

- [J]. 中国人口科学, 2012(4):47-58. [Yu F T. Spatial-temporal features and influential factors of China urban floating population growth[J]. Chinese Journal of Population Science, 2012(4):47-58.]
- [6] 唐嘉韵. 甘肃省人口分布的时空格局及其影响因素研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015. [Tang J Y. The research of population distribution pattern of space and time in Gansu province and its influencing factors[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2015.]
- [7] 刘晏伶, 冯健. 中国人口迁移特征及其影响因素—基于第六次人口普查数据的分析[J]. 人文地理, 2014, 29(2):129-137. [Liu Y L, Feng J. Characteristics and impact factors of migration in China: Based on the analysis of the sixth census data[J]. Human Geography, 2014, 29(2):129-137.]
- [8] Egan P J, Mullin M. Recent improvement and projected worsening of weather in the United States[J]. Nature, 2016, 532:357-360.
- [9] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性[J]. 地理学报, 2007, 62(10):1073-1082. [Feng Z M, Tang Y, Yang Y Z, et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10):1073-1082.]
- [10] 张耀军, 岑俏. 中国人口空间流动格局与省际流动影响因素研究[J]. 人口研究, 2014, 38(5):54-71. [Zhang Y J, Cen Q. Spatial patterns of population mobility and determinants of inter-provincial migration in China[J]. Population Research, 2014, 38(5):54-71.]
- [11] 刘乃全, 吴伟平, 刘莎. 长三角城市群人口空间分布的时空演变及影响因素研究[J]. 城市观察, 2017(5):5-18. [Liu N P, Wu W P, Liu S. Research on the spatial evolution and its influencing factor of population distribution in the Yangtze River urban agglomeration[J]. Urban Insight, 2017(5):5-18.]
- [12] 刘志敏, 修春亮, 魏冶, 等. 1990-2010年东北地区人口变化的空间格局及影响因素[J]. 西北人口, 2017, 38(5):19-26. [Liu Z M, Xiu C L, Wei Y, et al. Spatial pattern of population change and its influencing factors in northeast China from 1990 to 2010[J]. Northwest Population, 2017, 38(5):19-26.]
- [13] Wang L Z, Chen L J. The impact of new transportation modes on population distribution in Jing-Jin-Ji region of China[J]. Nature, DOI: 10.1038/sdata.2017.204.
- [14] 吴友, 刘乃全. 中国城市人口规模的空间演化及影响因素—基于264个地级市的实证研究[J]. 人口与经济, 2017(6):32-42. [Wu Y, Lin N Q. The spatial evolution and influence factors of urban population: Empirical analysis on 264 cities' data in China[J]. Population and Economics, 2017(6):32-42.]
- [15] Cheshire P, Magrini S. Population growth in European cities: Weather matters - but only nationally[J]. Regional Studies, 2006, 40(1):23-37.
- [16] Rodríguez-Pose A, Ketterer T D. Do local amenities affect the appeal of regions in Europe for migrants[J]. Journal of Regional Science, 2012, 52(4):535-561.
- [17] Rappaport J. Consumption amenities and city population density[J]. Regional Science and Urban Economics, 2008, 38(6):533-552.
- [18] 朱农, 曾昭俊. 中国城市人口增长的决定因素分析[J]. 中国人口科学, 2004(5):9-18. [Zhu N, Zeng Z J. The determinants of urban population growth in China[J]. Chinese Journal of Population Science, 2004(5):9-18.]
- [19] López-Carr D, Pricope N G, Aukema J E, et al. A spatial analysis of population dynamics and climate change in Africa: potential vulnerability hot spots emerge where precipitation declines and demographic pressures coincide[J]. Population and Environment, 2014, 35(3):323-339.
- [20] 任政委. 基于GIS的山区人口分布及其影响因素研究——以贵州省毕节地区为例[D]. 北京: 人民大学, 2011. [Ren Z W. The determinants of population distribution in mountains area: evidence based on GIS from Bijie[D]. Beijing: Renmin University of China, 2011.]
- [21] Hanigan I, Hall G, Dear K B. A comparison of methods for calculating population exposure estimates of daily weather for health research[J]. International Journal of Health Geographics, 2006, 5(38):1-16.
- [22] 王新贤. 中国流动人口空间格局演变及影响因素分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2017. [Wang X X. The analysis of evolution of spatial pattern of China's floating population and its influencing factors[D]. Shanghai: East China Normal University, 2017.]
- [23] 高向东, 王新贤, 朱蓓倩. 基于“胡焕庸线”的中国少数民族人口分布及其变动[J]. 人口研究, 2016, 40(3):3-17. [Gao X D, Wang X X, Zhu B Q. Distribution and change of the ethnic minority population in China: A “Hu Line” perspective[J]. Population Research, 2016, 40(3):3-17.]
- [24] Steadman R G. The assessment of sultriness. part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science[J]. Journal of Applied Meteorology, 1979, 18(7):861-873.
- [25] Getis A, Griffith D A. Comparative spatial filtering in regression analysis[J]. Geographical Analysis, 2002, 34(2):130-140.
- [26] Tiefelsdorf M, Griffith D A. Semiparametric filtering of spatial autocorrelation: The eigenvector approach[J]. Environment and Planning A, 2007, 39(5):1193-1221.
- [27] Griffith D A, Peres-Neto P R. Spatial modeling in ecology: The flexibility of eigenfunction spatial analyses[J]. Ecology, 2006, 87(10):2603-2613.
- [28] Getis A, Griffith D A. Comparative spatial filtering in regression analysis[J]. Geographical Analysis, 2002, 34(2):130-140.
- [29] Anselin R, Florax, Rey S. Advanced in spatial econometrics: Methodology, tools and application[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2004.