

长三角地区人口密度模型及增长模式:1982~2010^{*1}

程林¹ 陈晨²

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西西安 710119;

2. 西安外国语大学旅游学院·人文地理研究所, 陕西西安 710128)

【摘要】: 基于熵值法对上海、南京和杭州影响力进行综合评价, 运用 ArcGIS 点距离工具测算各空间单元到沪宁杭的距离, 然后借鉴重力模型, 将长三角地区划分为以上海、南京和杭州为中心的 3 个城市经济区, 并进行区域人口密度模型拟合。相比线性、指数和乘幂模型, 对数模型能更好地拟合经济区内各县、县级市或市辖区人口密度与其到各自经济区中心距离的关系。而相比上述基础模型, 基于基础模型的二次模型拟合的判定系数更高, 拟合效果更好。其中, 对数二次模型拟合的判定系数最高, 且明显优于基础模型。基于对数二次模型的人口密度变动的空间差异, 沪、宁、杭经济区增长模式可以总结为“强向心集聚”和“近域扩散”, 但不同区域不同时段增长模式存在差异。

【关键词】: 区域人口密度模型; 对数模型; 对数二次模型; 增长模式; 长三角地区

【中图分类号】: K901 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2017)07-0955-08

人口是经济系统中最重要的主体。人口分布反映了经济活动的态势, 考察一定时段内城市或区域经济发展的空间模式, 往往也是从分析人口分布模式入手^[1]。克拉克开创性的负指数方程认为, 城市人口密度随着其到城市中心的距离增加而遵循负指数规律递减^[2]。之后, 有学者从经济模型^[3, 4]和引力模型^[5]两方面解释了城市人口密度分布的负指数方程。城市人口密度方程揭示了城市的内部结构, 是城市最为重要的社会经济特征^[6], 成为城市空间结构及其演变研究的重要视角^[3, 4]。在克拉克模型基础上, 又发展了包括单中心^[7~9]和多中心^[10]的多种城市人口密度模型。其中, 指数模型、线性模型、对数模型和幂函数模型是描述单中心结构的主要模型。

从城市尺度推广到区域尺度, 区域人口密度分布不再遵循负指数方程^[11~13]。帕尔运用平方根负指数方程拟合了英国和北美 8 个都市区人口密度与到区域中心距离的关系, 并通过拟合方程图像分析其空间结构^[14]。巴克利等通过对比不同年份区域人口密度函数图像的截距、斜率和拐点, 将具有核心—边缘结构的区域增长空间模式划分为通过中心增长的扩散、通过逆中心化的扩散、中心增长—腹地停滞和回流 4 种主要模式, 并基于人口密度分布的三次样条曲线探讨了 1980 和 1990 年美国东南部 8 个经济区的增长模式^[15]。

空间数据发展相对落后导致我国区域人口密度模型研究起步较晚。王法辉^[16]研究了 1982 和 1990 年我国平原地区 17 个区域的人口密度模型, 认为对数模型最适合描述中国区域人口密度分布模式, 并基于图像特征认为这些区域在 1980 年代都处于“向

¹ 收稿日期: 2016-11-10; 修回日期: 2017-02-24

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41601158) [National Natural Science Youth Foundation of China(41601158)]

作者简介: 程林(1984~), 男, 讲师, 主要从事城市与区域发展及 GIS 应用研究. E-mail: cheng108@snnu.edu.cn

心集聚”阶段，但不同区域“向心集聚”程度存在差异。孙铁山等^[17, 18]基于多中心区域人口密度函数发现京津冀都市圈存在多种人口集聚与扩散模式；黄永斌等^[19]基于区域人口密度函数发现兰州—西宁城市区域人口聚散存在向心集聚和弱中心扩散两种模式；汤韵等^[20]则运用人口密度函数分析了台湾大都会区和小都会区人口空间变动模式差异。

区域人口密度模型不仅描述了区域人口分布规律，还成为区域空间结构和区域增长空间模式研究的有效手段。虽然对数模型被认为最适合描述中国人口密度分布模式，但是否存在其他拟合效果更优的区域人口密度方程显然还值得进一步探索。本研究以长三角地区为研究对象，首先，借鉴重力模型将研究区域划分为以上海、南京和杭州为中心的3个城市经济区；然后，对区域人口密度经验模型进行验证，并尝试探索其他可能具有更优拟合效果的区域人口密度模型；最后，基于拟合的人口密度分布曲线探讨1982～2010年间沪、宁、杭经济区增长模式。

1 研究区域与数据处理

1.1 研究区域

长三角地区是中国最重要的经济核心地带和城镇最密集地区。目前关于长三角地区范围的说法主要有3种尺度：(1)上海及江苏和浙江部分城市（即“15+1”），(2)上海及江苏和浙江1市2省，(3)上海、江苏、浙江和安徽全境或部分城市，加上江西的部分城市。

本文研究区域以“15+1”为基础，同时纳入安徽省马鞍山市和滁州市及其所辖的部分县（这些区县与南京市空间毗邻，且受南京的影响和辐射，发生空间相互作用的现实可能性较高），具体为：上海市和江苏省南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州、泰州、南通市，浙江省杭州、宁波、湖州、嘉兴、绍兴、舟山、台州市，以及安徽省马鞍山市辖区、当涂县、和县、滁州市辖区、来安县、全椒县。其中，上海、南京、杭州是研究区域的经济、行政和交通中心，对周边区域产生吸引和辐射，形成3个经济区。研究区域总面积约11.74万 km^2 ，2010年总人口11093.16万，人口密度高达944.9人/ km^2 ，实现地区生产总值71882.67亿元。

1.2 数据来源及处理

人口数据来源于人口普查资料。各行政区面积主要来源于相应年份各省市统计年鉴，个别数据来源于政府网站和百度百科。城市吸引力综合评价指标数据来源于《中国城市统计年鉴2011》。

1982～2010年，长三角地区内进行了频繁的行政区划调整，主要包括更名、撤县(市)设区、县区合并、拆分、撤区合并和边界调整6种类型，涉及大量的行政边界变动。因此，首先对1982、1990、2000和2010年的行政区划进行匹配和处理：(1)以县和合并的市辖区为基本空间单元，尽量保持4个年份空间单元划分一致性；(2)为了刻画区域中心的人口高密度区，沪宁杭中心市区各自合并为一个空间单元，中心市区周边的市辖区各自作为一个空间单元；(3)为了降低各空间单元面积大小的离散程度，沪宁杭以外的各地级市市辖区各自合并为一个空间单元，个别非常小的市辖区与临近县(市)合并。匹配和处理完毕后，将研究区域划分成了91个空间单元。最后，基于上述处理将人口数据和矢量化底图相应的进行合并。

因缺乏路网数据，本研究采用欧式距离，通过ArcGIS运算获得。其中，杭州湾以南空间单元与上海的距离采用经慈溪、平湖至上海3段直线距离之和来表示（即经杭州湾跨海大桥），启东至上海距离通过绕行苏通大桥来计算。

表 1 上海、南京和杭州中心市区构成

Tab. 1 Central Districts of Shanghai, Nanjing and Hangzhou

构成	
上海中心市区	黄浦区、卢湾区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、闸北区、虹口区、杨浦区、闵行区、宝山区
南京中心市区	白下区、秦淮区、鼓楼区、下关区、宣武区、建邺区、雨花台区
杭州中心市区	上城区、下城区、拱墅区、江干区、西湖区

2 沪、宁、杭城市经济区划分

城市经济区是以中心城市或城市密集区为依托，在城市与其腹地之间经济联系的基础上形成的^[21]。中心城市及其吸引范围即构成城市经济区。沪、宁、杭城市经济区划分，关键在于中心城市沪、宁、杭吸引范围的确定。

2.1 沪、宁、杭影响力综合评价

城市影响力体现其综合功能，涉及到经济社会的多方面。相比单一指标，综合指标能全面反映城市经济发展水平，可从总量和平均指标两方面构建沪、宁、杭影响力的综合评价体系。其中，总量指标包括市辖区常住人口、地区生产总值、固定资产投资额、社会消费品零售总额、地方财政一般预算内收入、实际利用外资额和大学及以上学历人口数；平均指标包括市辖区人均地区生产总值、人均固定资产投资额、单位地区生产总值的固定资产投资额、每万人大学及以上学历人口数和职工平均工资。

运用熵值法确定各指标权重，三中心城市影响力即可表示为公式(1)。P_i为中心城市 i (i = 1, 2, 3) 的影响力，w_n为指标 n 的权重，x'_n为指标 n 的标准化值。

$$P_i = \sum w_n * x'_n \quad (1)$$

评价得沪、宁、杭影响力分别为 0.616 8、0.194 6 和 0.188 8，表明作为国际性中心城市的上海影响力远超过南京和杭州，而作为区域中心的南京和杭州影响力基本相当。这一评价结果与现实感知也比较吻合。

2.2 沪、宁、杭吸引范围

在缺乏物资流、资金流和信息流等数据的情况下，重力模型成为城市吸引范围研究颇为常用的方法。中心城市对周边区域辐射力的距离衰减呈负幂指数函数^[16]。

$$I_{ij} = P_i / r_{ij}^\beta \quad (2)$$

式中：I_{ij}为中心城市 i 对空间单元 j (j = 1, 2, ..., 91) 的辐射力；r_{ij}为空间单元 j 与中心城市 i 的距离；β 为距离弹性系数，借鉴已有研究成果取值 2.1^[22]。若中心城市 i 对空间单元 j 的辐射力是所有中心城市中最大的，即可将空间单元 j 视为中心城市 i 的腹地^[23]，中心城市 i 的吸引范围即为接受其辐射力最大的空间单元集合。

距离 r_{ij}通过 ArcGIS 计算：(1) 利用 ArcToolbox 的 Mean Cente 计算沪宁杭市辖区人口中心作为三经济区的中心；(2) 利用 Feature to Point 获得 91 个空间单元的质点；(3) 运用 Point Distance 计算 91 个质点与 3 个中心的距离，得 91 乘 3 的

距离矩阵。

需要指出的是，城市影响力是随着其经济社会发展而变化的，因此其吸引范围也不是一成不变的。为了确保研究时段内各经济区空间范围的一致性，假定 3 个中心城市在研究时段内的吸引范围不变，并采用 2010 年的吸引范围。

长三角地区 3 大中心城市上海、南京、杭州的吸引范围如图 1，分别由 47、23 和 21 个空间单元组成。南京和杭州影响力相当，因此其吸引范围的断裂点基本位于二者连接线的中点。而相比南京和杭州，上海影响力的显著优势使其吸引范围的断裂点明显越过连接线中点而偏向南京和杭州一侧，对南京和杭州吸引范围形成的挤压。

3 区域人口密度模型经验验证与优化探索

3.1 主要回归模型的经验验证

线性模型、对数模型、指数模型和乘幂模型是描述人口密度分布的主要基础模型，可用公式 (3)、(4)、(5)、(6) 线性回归模型表示。对数函数最适合描述我国区域人口密度分布^[16]。然而，若将区域各空间单元看作点，区域中心到自身距离即为 0。为了满足对数底数非零的要求，可以对距离加一个较小的常量。

$$D_r = b_0 + b_1 * r' \quad (3)$$

$$D_r = b_0 + b_1 * \ln(r') \quad (4)$$

$$\ln(D_r) = b_0 + b_1 * r' \quad (5)$$

$$\ln(D_r) = b_0 + b_1 * \ln(r') \quad (6)$$

式中： D_r 表示空间单元的人口密度； r' 为空间单元到区域中心的距离 r 加 1； b_0 为常数项； b_1 为自变量系数。

运用 SPSS 进行回归估计，验证上述模型描述沪、宁、杭经济区人口密度分布的效果。拟合结果(表 2 仅列出 2010 年)显示，对数模型拟合的判定系数 R^2 最高，拟合效果是 4 种模型中最好的。表 3 为 4 个年份沪、宁、杭经济区人口密度的对数模型拟合结果，其判定系数 R^2 分别在 0.52 ~ 0.67、0.68 ~ 0.76 和 0.85 ~ 0.88 之间，但估计标准误差 SE 均偏大，且呈增大趋势，2010 年三经济区 SE 分别高达 1 018.98、944.70 和 403.45，说明人口密度实际值与估计值的偏离程度较高。此外， b_0 所刻画的区域中心人口密度估计值与实际值相差较大。

表2 线性回归模型对沪、宁、杭经济区人口密度分布拟合结果(2010)

Tab.2 Regression Results of Four Linear Regression Models in the Economic Areas of Shanghai, Nanjing and Hangzhou in 2010

	回归方程	样本数	自变量, 因变量	判定系数 (R^2)	b_0	b_1
上海	(3)	47	r', D_r	0.156*	2 599.19*	-8.15*
	(4)	47	$\ln(r'), D_r$	0.672**	8 361.58**	-1 481.34**
	(5)	47	$r', \ln(D_r)$	0.250**	7.55**	-0.004**
	(6)	47	$\ln(r'), \ln(D_r)$	0.507**	9.291**	-0.491**
南京	(3)	23	r', D_r	0.202*	2 723.12*	-25.258^
	(4)	23	$\ln(r'), D_r$	0.759**	7 471.44**	-1 692.68**
	(5)	23	$r', \ln(D_r)$	0.171^	7.14**	-0.009^
	(6)	23	$\ln(r'), \ln(D_r)$	0.556**	8.71**	-0.55**
杭州	(3)	21	r', D_r	0.351*	1 886.82**	-14.74*
	(4)	21	$\ln(r'), D_r$	0.876**	4 623.64**	-958.14**
	(5)	21	$r', \ln(D_r)$	0.637**	7.44**	0.017**
	(6)	21	$\ln(r'), \ln(D_r)$	0.684**	9.08**	-0.726**

注:**表示显著性检验的置信水平为99.9%, *表示置信水平为99%, ^表示置信水平低于99%, 下同。

表3 4个年份沪、宁、杭经济区人口密度分布的对数模型拟合结果

Tab.3 Regression Results of Logarithmic Model in the Urban Economic Areas of Shanghai, Nanjing and Hangzhou

	年份	判定系数 (R^2)	估计标准误差 (SE)	b_0	b_1
上海	1982	0.523**	609.36	3 903.60**	-647.81**
	1990	0.522**	723.83	4 538.31**	-768.51**
	2000	0.578**	793.01	5 497.69**	-942.16**
	2010	0.672**	1 018.98	8 361.58**	-1 481.34**
南京	1982	0.679**	610.38	4 138.24**	-863.82**
	1990	0.689**	757.47	5 143.97**	-1 096.54**
	2000	0.706**	756.82	5 377.39**	-1 141.15**
	2010	0.759**	944.70	7 471.44**	-1 692.68**
杭州	1982	0.853**	221.85	2 455.59**	-478.53**
	1990	0.856**	272.21	2 968.82**	-593.16**
	2000	0.857**	306.32	3 331.88**	-672.11**
	2010	0.876**	403.45	4 623.64**	-958.14**

表 4 二次模型对沪、宁、杭经济区人口密度分布拟合结果(2010)

Tab. 4 Regression Results of Four Quadratic Regression Models in the Urban Economic Areas of Shanghai, Nanjing and Hangzhou in 2010

	回归方程	自变量, 因变量	判定系数 (R^2)	b_0	b_1	b_2
上海	(7)	r', D_r	0.375**	4 417.10**	-38.99**	0.093**
	(8)	$\ln(r'), D$	0.906**	12 255.63**	-4 249.03**	397.60**
	(9)	$r', \ln(D_r)_r$	0.487**	8.276**	-0.016**	3.71E-5**
	(10)	$\ln(r'), \ln(D_r)$	0.512**	9.519**	-0.65*	0.023**
南京	(7)	r', D_r	0.471*	5 059.36**	-111.60**	0.619*
	(8)	$\ln(r'), D$	0.974**	9 511.71**	-4 374.99**	533.43**
	(9)	$r', \ln(D_r)_r$	0.390*	7.97**	-0.040*	2.21E-4^
	(10)	$\ln(r'), \ln(D_r)$	0.647**	9.23**	-1.26**	0.137^
杭州	(7)	r', D_r	0.624**	3 240.88**	-58.10**	0.251*
	(8)	$\ln(r'), D_r$	0.943***	5 289.54**	-1 760.02**	148.38**
	(9)	$r', \ln(D_r)$	0.727*	8.11**	-0.38**	1.24E-4^
	(10)	$\ln(r'), \ln(D_r)$	0.742**	8.55**	-0.09^	-0.12^

表 5 上海、南京和杭州经济区区域人口密度的对数二次模型拟合结果

Tab. 5 Regression Results of Logarithm-Based Quadratic Model in the Urban Economic Areas of Shanghai, Nanjing and Hangzhou

	年份	判定系数 (R^2)	估计标准误差 (SE)	b_0	b_1	b_2
上海	1982	0.906**	273.5	6 373.62**	-2 403.37**	252.20**
	1990	0.914**	310.6	7 503.03**	-2 875.68**	302.71**
	2000	0.900**	390.6	8 630.49**	-3 168.78**	319.87**
	2010	0.906**	551.3	12 255.63**	-4 249.03**	397.60**
南京	1982	0.968**	197.6	5 461.37**	-2 644.11**	345.92**
	1990	0.973**	230.3	6 796.63**	-3 320.22**	432.07**
	2000	0.963**	274.1	6 994.89**	-3 317.55**	422.89**
	2010	0.974**	315.8	9 511.71**	-4 374.99**	533.43**
杭州	1982	0.906**	182.1	2 755.31**	-839.45**	66.79*
	1990	0.931**	193.4	3 410.27**	-1 124.72**	98.36**
	2000	0.923**	230.5	3 800.19**	-1 236.07**	104.36**
	2010	0.943**	281.0	5 289.54**	-1 760.02**	148.38**

3. 2 二次模型的优化探索

对数模型虽然能在一定程度上描述长三角地区人口密度分布,但效果不理想。分析“距离—密度”散点图,若将距离($r+1$)进行以自然对数 e 为底的对数变换,再以二次曲线为趋势线,发现散点图与趋势线结合较为紧密。基于这一分析,尝试以(3)、(4)、(5)、(6)式为基础,构建(7)、(8)、(9)、(10)式二次模型。

$$D_r = b_0 + b_1 * r' + b_2 * (r')^2 \quad (7)$$

$$D_r = b_0 + b_1 * \ln(r') + b_2 * [\ln(r')]^2 \quad (8)$$

列出 2010 年) 表明, 对数二次模型拟合的判定系数 R^2 不仅为这 4 模型中最高, 且明显优于(3)、(4)、(5)、(6) 式。因此, 相比对数模型, 对数二次模型的拟合结果明显更优。首先, 判定系数 R^2 均在 0.9 以上, 最高达 0.974, 其平均值较对数模型提高了 0.22。其次, 大大降低了估计标准误差 SE, 沪、宁、杭经济区各年份 SE 最大值分别降至 551.3、315.8 和 281.0, 降幅分别达 45.9%、66.6%和 30.4%, 使模型估计值与实际值的偏离程度保持在更低水平, 提高了模型代表性。此外, 区域中心人口密度估计值 b_0 更接近实际值, 更好的刻画了区域中心人口密度特征。基于上述对比, 可以认为对数二次模型更适于描述长三角地区人口密度分布模式。

4 沪、宁、杭城市经济区增长模式

4.1 区域人口密度变化与增长模式的关系

虽然有学者基于区域人口密度方程探讨了区域增长模式, 但是对于区域人口密度变化与增长模式之间的关系, 并未有较详尽的分析。然而, 这一分析是非常必要的。

在相同的人口政策下, 不同地区人口自然增长率基本相当。然而, 在劳动力自由流动的市场经济条件下, 就业供给引导着劳动力的流动方向。发展动力充足、经济快速增长地区创造了大量的就业机会, 而边远或农村地区发展的缓慢甚至停滞使剩余劳动力纷纷外出寻找就业机会。就业在劳动力自由流动中逐渐达到相对均衡, 人口的变动也随之而来。某地区人口大规模增长, 其主要来源于人口机械增长, 直接原因就是其就业供给的增加。假定区域内劳动生产率是一致的, 区域内各地区人口增长幅度很大程度上体现了该地区经济增长幅度。因此, 人口密度变动反映了经济活动强度的变动, 基于人口密度空间变动分析区域增长空间模式是可行的和有效的。

4.2 沪、宁、杭经济区增长模式

上海、南京和杭州经济区人口密度对数二次函数图像如图 2。1982 ~ 2010 年间, 区域中心人口密度均大幅增长, 近中心地区也有较显著增长, 远中心及区域边缘增长缓慢甚至停滞。显然, 这种人口变动空间差异并不是盲目或偶然的, 其根本动力是经济增长的空间差异。因此, 可以将这种人口密度差异化的空间变动所表征的区域增长模式总结为“强向心集聚”和“近域扩散”, 但不同区域不同时期增长模式存在一定差异。具体为: (1) 1982 ~ 2010 年间, 上海和南京经济区增长模式较为一致, 中心大幅增长的同时, 边缘也有一定程度的增长; 而杭州经济区略有差异, 其中心大幅增长, 边缘则基本停滞。(2) 不同时段增长幅度存在明显差异, 三经济区在 2000 ~ 2010 年间增长幅度均最大, 而 1980 年代和 1990 年代增长幅度差异不明显, 南京经济区在 1990 年代表现出中心与边缘同步增长现象, 其实是行政区划调整所导致的数据假象。(3) 上海中心集聚和扩散作用明显强于南京和杭州中心, 其扩散域也更大一些。(4) 上海经济区 1980 年代和 1990 年代中心增长幅度基本相当, 但边缘地区增长存在差异, 表现为 1980 年代增长缓慢, 而 1990 年代增长较明显。

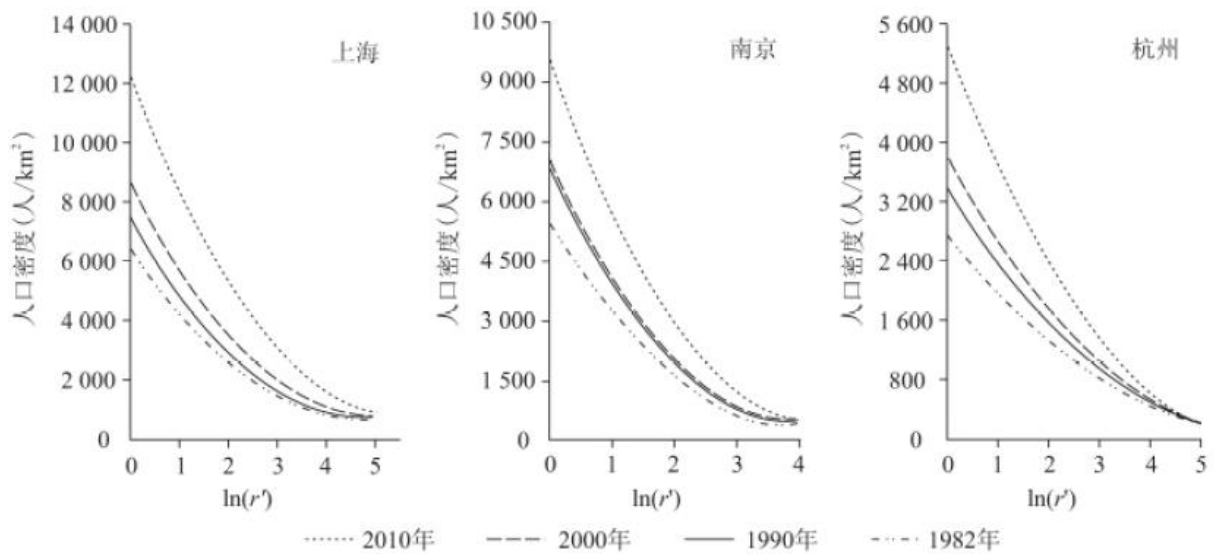


图 2 1982、1990、2000 和 2010 年上海、南京和杭州经济区人口密度函数图像

Fig. 2 Regional Population Density Function Profiles of Urban Economic Areas of Shanghai, Nanjing and Hangzhou in 1982, 1990, 2000 and 2010

上述区域增长模式的形成也可以通过分析区域产业升级与转移来理解。国际发展经验表明，中心城市实现其地位和功能提升的必要途径是产业升级。上海、南京和杭州作为一定地域范围内最重要的中心城市，处于不断提升城市地位和功能的发展阶段，这必然要求产业升级，即不断地从当前产业结构升级到利润更大的产业结构，导致区域优势要素继续向中心集聚。而原来利润相对较低的产业则从中心向外围转移，但这种转移多呈距离衰减。这样一来，整个区域实现差异化增长，其中，区域中心增长幅度最大，近中心地区次之，边缘则增长缓慢甚至相对停滞，总体表现为“强向心集聚”和“近域扩散”。

5 结论与讨论

相比线性模型、指数模型和乘幂模型，对数模型能更好地拟合上海、南京和杭州城市经济区内各县、县级市或市辖区人口密度与其到各自经济区中心的距离的关系，表现为判定系数 R^2 为此四模型中最高。然而，进一步尝试发现，基于线性模型、对数模型、指数模型和乘幂模型线性回归方程的二次模型分别较其基础模型有更好的拟合效果。其中，对数二次模型拟合的判定系数 R^2 为 4 种二次模型中最高，且明显优于 4 种基础模型。因此可以认为，对数二次模型更适合于描述长三角地区以上海、南京和杭州为中心的城市经济区人口密度分布模式。

人口密度变动反映了经济活动强度的变动，区域人口密度模型是研究区域增长模式的有效工具。基于人口密度变动的空间差异，1982 ~ 2010 年间上海、南京和杭州经济区经济增长模式都表现出“强向心集聚”和“近域扩散”特征，但不同区域不同时段增长模式存在较大差异。

各样本空间单元面积的差异和行政区划调整导致的某些空间单元面积变化是本研究基础数据的缺陷，而理想的等面积样本在中国目前的统计制度下是难以实现的。此外，以长三角地区为例的区域人口密度的对数二次模型是否适用于中国其他区域，模型的理论推演，以及引入其他变量、考察其他因素对区域人口密度模型的影响，都还有待进一步研究。

参考文献:

-
- [1] WANG F. Quantitative methods and applications in GIS [M] . Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [2] CLARK C. Urban population densities [J] Journal of the Royal Statistical Society, 1951, 114(4) : 60—68.
- [3] MILLS E S. Study in the structure of urban economy [M] . Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1972.
- [4] MUTH R. City and housing [M] . Chicago: The University of Chicago Press, 1969.
- [5] WANG F, GULDMANN J.M. Simulating urban population density with a gravity-based Model [J] . Soci-Economic Planning Sciences, 1996, 30(4) : 245—256.
- [6] MCDONALD J.F. Econometric studies of urban population density: A survey [J] . Journal of Urban Economics, 1989, 26(3) : 361—385.
- [7] SHERRATT G. Management sciences: Models and techniques [C] . Oxford: Pergamon Press, 1960.
- [8] TANNER J C. Factors affecting the amount of travel [C] //1961.
- [9] NEWLING B. The Spatial variation of urban population densities [J] . Geographical Review, 1969, 59(2) : 242—252.
- [10] SMALL K A, SONG S. Population and employment densities:Structure and change [J] . Journal of Urban Economics, 36(3) : 292—313.
- [11] CLARK C. Population growth and land use [M] . New York:Macmillan Publisher, 1968.
- [12] BERRY B J L, HORTON F E. Geographic perspectives on urban systems: with integrated readings[M]. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, 1970.
- [13] PARR J B. The form of the regional density function [J] . Regional Studies, 1985, 16(6) : 535—546.
- [14] PARR J B. A population-density approach to regional spatial structure [J] . Urban Studies, 1985, 22(4) : 289—303.
- [15] BARKLEY D L, BAO S. Identifying “Spread” versus “Backwash” effects in regional economic areas: A density functions approach [J] . Land Economics, 1996, 72(2) : 336—357.
- [16] 王法辉, 金凤君, 曾光. 区域人口密度函数与增长模式: 兼论城市吸引范围划分的 GIS 方法 [J] . 地理研究, 2004, 23(1) : 97—103.
- 【WANG F H, JIN F J, ZENG G. Analyzing regional density functions and growth patterns in China with a GIS-based

method delineating influential regions of cities [J]. *Geographical Research*, 2004, 23(1) : 97-103. 】

[17] 孙铁山, 李国平, 卢明华. 京津冀都市圈人口集聚与扩散及其影响因素——基于区域人口密度函数的实证研究 [J]. *地理学报*, 2009, 64(8) : 956-966.

【SUN T S, LI G P, LU M H. Concentration and decentralization of population in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region and its determinants: A regional density function approach [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(8) : 956 -966. 】

[18] 孙铁山, 李国平, 卢明华. 基于区域密度函数的区域空间结构与增长模式研究——以京津冀都市圈为例 [J]. *地理科学*, 2009, 29(4) : 500-507.

【SUN T S, LI G P, LU M H. A regional density-function approach to regional spatial structure and growth patterns ——A case study of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 64(8) : 956-966. 】

[19] 黄永斌, 白永平, 李建豹. 基于区域密度函数的兰—西城市区域人口聚散研究 [J]. *地域研究与开发*, 2011, 30(5) : 30-35.

【HUANG Y B, BAI Y P, LI J B. Study on concentration and decentralization of population in Lanzhou-Xining city region based on a regional density function approach [J]. *Areal Research and Development*, 2011, 30(5) : 30 -35. 】

[20] 汤韵, 梁若冰. 台湾都会区人口空间变动模式及其原因探析——基于区域人口密度函数的分析 [J]. *华侨大学学报(哲学社会科学版)*, 2011, (4) : 38-44.

【TANG Y, LIANG R B. Analysis of the patterns and causes of spatial changes of taiwan metropolitan population based on the regional density functions [J]. *Journal of Huaqiao University(Humanities & Social Science)*, 2011, (4) : 38-44. 】

[21] 周一星, 张莉. 改革开放条件下的中国城市经济区 [J]. *地理学报*, 2003, 58(2) : 271-284.

【ZHOU Y X, ZHANG L. China' s urban economic region in the open context [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2) :271-284. 】

[22] 陈田. 我国城市经济影响区域系统的初步分析 [J]. *地理学报*, 1987(4) : 93-104.

【CHEN T. A preliminary analysis on the system of influence regions of China' s urban economy[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1987 (4) : 93-104. 】

[23] 杨齐. 区域客流分布模型的研究 [J]. *地理学报*, 1990(3) : 264-274.

【YANG Q. A model for interregional trip distribution in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1990 (3) : 264

—274. 】

[24] BERRY B J L, LAMB R F. The delineation of urban spheres of influence: Evaluation of an interaction model [J]. *Regional Studies*, 1974, 8(2) : 185—190.