

曾文, 张小林, 向梨丽, 等. 2000~2010年南京都市区人口空间变动特征研究[J]. 地理科学, 2016, 36(1): 81-89. [Zeng Wen, Zhang Xiaolin, Xiang Lili et al. The Features of Population Redistribution of Nanjing Metropolitan Area in 2000-2010. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(1): 81-89.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.01.010

# 2000~2010年南京都市区人口空间变动特征研究

曾文<sup>1</sup>, 张小林<sup>1</sup>, 向梨丽<sup>2</sup>, 王亚华<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023; 2. 利兹大学地理学院, 英国 利兹, LS2 9JT)

**摘要:** 利用南京市第五次、第六次人口普查数据研究南京都市区2000~2010年人口空间变动及其规律。研究发现, ① 10 a间南京都市区各地域人口均呈现增长态势, 近郊区成为人口增长最为剧烈的区域; 人口重心逐渐向南移动, 同时人口分布的核心区域有向内收敛的趋势。② 根据测定系数、F检验与图像分析的综合判断, 对数正态模型能够较好地拟合人口分布的单核心结构, 两年份曲线的变化表明郊区化的主体仍然是近郊区, 尚未发展到远郊化的程度。多核心模型的拟合表明南京都市区已初步形成多核心结构, 且主中心对人口仍具有强大吸引力; 而多核心与单核心模型同时具有良好的拟合效果说明多核心结构尚未发育成熟。③ 南京都市区人口分布的空间异质性越来越高, 人口分布趋于复杂, 表明都市区正在向更加高级的阶段发展。

**关键词:** 人口空间变动; 郊区化; 南京都市区

**中图分类号:** F129.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2016)01-0081-09

人口分布作为城市空间结构的重要组成部分, 其空间变动反映着城市经济的扩散与集聚、空间的扩张与重组, 因此人口空间分布及其变动一直是城市地理学、城市经济学和城市规划研究的重要课题。对人口分布及其变动较为系统的研究最早可追溯到冯·杜能的农业区位论<sup>[1]</sup>。自20世纪50年代以来, 国外学者通过大量研究总结了城市人口空间分布的一系列理论模型<sup>[2-6]</sup>, 反映了距离市中心越远人口密度越低的城市空间现象。但是随着城市产业与居住空间的外迁, 很多城市出现了多核心的空间特征<sup>[7,8]</sup>, 20世纪80年代后单核心模型的修正与多核心模型成为国外关注的焦点<sup>[9,10]</sup>。国内学界在20世纪90年代真正开始对城市人口空间分布与变动进行研究。基于人口普查资料, 学者们以不同城市为实证对象卓有成效地探索了中国城市的人口空间分布与变动情况<sup>[11-19]</sup>, 但是进入21世纪以来, 伴随着城市产业与居住空间郊区化、商业空间多极化以及社会空间极化等的深入, 城市空间重构更加显著, 人口空间变动呈现出不同于以往的新特征。这一时期的城市人口空间分布变化、不同城市间的人口空间变

化共性及差异都是亟待研究的问题。本文利用官方最新公布的南京市第六次人口普查资料并将其与2000年五普资料相对比, 综合运用人口重心与标准离差椭圆、人口空间分布模型与变异性模型等方法, 从整体与分街道、集中-离散分布、多中心化趋势以及空间变异性等方面对南京都市区人口空间变动特征进行了综合全面的分析, 以期反映这一时期城市人口空间变动情况, 进而揭示与之相关的城市空间过程。

## 1 研究区划分与数据处理

### 1.1 研究区划分

截止至2010年底, 南京市下辖11个区、2个县、84个街道办事处、29个镇和4个开发区; 市域面积6 597 km<sup>2</sup>, 市域人口800.37万人。由于城市的实体范围与行政区范围往往不一致, 因此需要对其进行重新划分<sup>[20]</sup>。周一星等认为中国城市中心区可与当地居民概念中的旧城区或解放前夕的城市建成区, 抑或与老城墙加关厢包围的地域大体相当; 而中心区、近郊区和远郊区可根据人口密度的数量级为数万、数千和数百来进行划分<sup>[20]</sup>。本

**收稿日期:** 2014-12-22; **修订日期:** 2015-05-08

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41371172)、江苏省高校优势学科建设工程项目资助资助。[Foundation: National Nature Science Foundation of China (41371172), Preponderant Discipline Construction Project of Jiangsu Colleges and Universities.]

**作者简介:** 曾文(1987-), 男, 山东东营人, 博士研究生, 主要从事城市地理学研究。E-mail: Alvin\_z@163.com

文据此对南京都市区各地域进行划分。

南京拥有世界上保存最完好的古城墙,其包围的区域是南京居民概念中的老城范围,且人口密度高于1万人/ $\text{km}^2$ 的区域主要集中于该范围内,故本文将南京市明城墙以内的范围作为城市中心区,其范围包括鼓楼、玄武、白下和秦淮四区的大部分街道。秦宏贤等曾将距离市中心新街口10 km和30 km的范围划定为南京市的近郊区 and 都市区<sup>[19]</sup>。但是随着南京城市空间和人口的迅速扩张,近郊区和都市区已突破了上述范围。因此本文根据南京市2010年土地利用现状中城市建成区范围以及人口密度在1 000~10 000人/ $\text{km}^2$ 主要分布区域,将距离市中心新街口20 km缓冲区的范围划定为近郊区(图1)。近郊区包括建邺区和下关区的所有街道,雨花台区、江宁区、浦口区和栖霞区的部分街道以及上述4个内城区的少量街道。根据《南京市城市总规划2007-2030》中关于南京都市区发展规划的研究和人口密度1 000人/ $\text{km}^2$ 的分布区域,将距离新街口40 km缓冲区范围划定为都市区,其范围包括市域内除了六合区部分街镇以及溧水、高淳两县以外的所有区域,这也是本文的重点研究范围。而都市区以外的市域范围作为远郊区。2010年南京市中心区、近郊区、远郊区和都市区的面积分别为45.2  $\text{km}^2$ 、1 045.6  $\text{km}^2$ 、2 294.7  $\text{km}^2$ 和4 057  $\text{km}^2$ 。

## 1.2 数据处理

本文主要使用官方提供的南京市第六次人口普查数据和第五次人口普查数据进行对比分析。2000年后南京市的区划调整幅度较小,但是为了便于对比分析,本文以2010年行政区划为标准,以街道和乡镇为基本单元,对2000年街道进行合并、调整处理,调整后的街道和乡镇统称为“街区”。本文采用ArcGIS10.0提取南京市各街镇的面积、质点坐标、各街道质心距市中心的距离,以及人口分布的标准离差椭圆;以软件Surfer8.0绘制都市区人口密度等值线。分别利用Excel 2010、Istopt和GS+7.0分析建立人口密度单核心模型、多核心模型及人口密度进行半方差模型。

## 2 南京都市区人口空间变动特征

### 2.1 南京都市区人口空间变动总体特征

#### 2.1.1 分地域人口空间变动特征

2000~2010年南京市各地域人口均呈现增长态势,但各地域间人口增长差别较大(表1)。城市

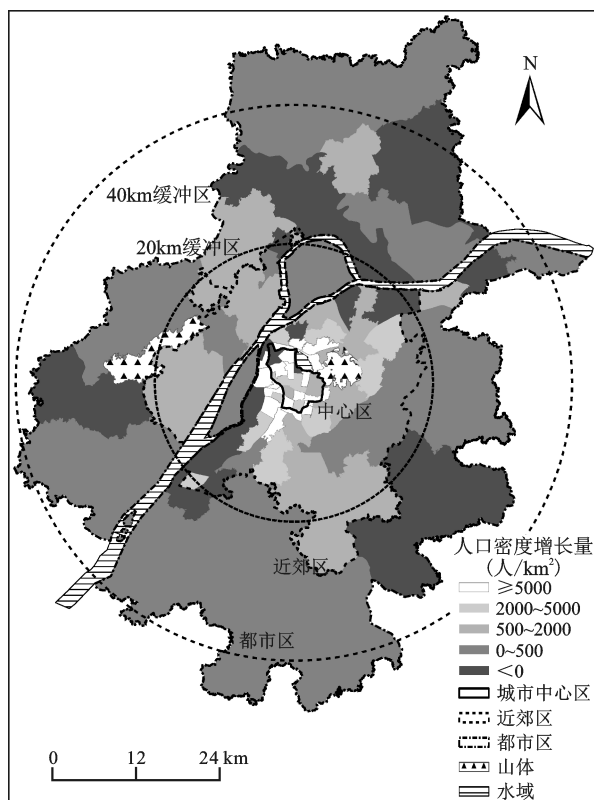


图1 2000~2010年研究区及南京都市区分街道人口密度变化

Fig.1 The spatial difference of population density change in Nanjing metropolitan area by sub-district in 2000-2010

中心区人口增长20.9万人,人口密度由3万人/ $\text{km}^2$ 增长到3.5万人/ $\text{km}^2$ ,年均增长1.55%。近郊区人口总量增长148.4万人,人口密度由2 000人/ $\text{km}^2$ 增长到3 500人/ $\text{km}^2$ ,年均增长率达到6.30%。这一时期,南京都市区人口增长183.1万人,人口密度年均增长3.52%。而远郊区人口增长较为缓慢,人口总量和密度年均增长仅为0.52%。从分地域的人口分布变动情况来看,近郊区成为10 a间南京都市区人口增长最快、吸纳人口最多的地区。近郊区人口的迅速增长,一方面是由于2000年以来南京市“一城三片”空间发展战略的实行,仙林、东山和江北等新城快速发展,郊区优越的自然条件吸引许多居民迁居与此;另一方面,工业郊区化、经济开发区和大学城的建设带动了居住人口的外迁,促进了居住郊区化的发展。

#### 2.1.2 分街道人口密度空间变动特征

从分街道的人口分布变动情况来看(图1),10 a间人口密度增长超过5 000人/ $\text{km}^2$ 的街区有20个,集中分布于城市中心区外围,即南京老城墙附近;人口密度增长在2 000~5 000人/ $\text{km}^2$ 的街区有13个,主要

表1 2000~2010年南京市不同地域人口增长情况

Table 1 The population growth in Nanjing metropolitan area from 2000 to 2010

	人口数量		人口密度		年均增长率(%)
	2000年(人)	2010年(人)	2000年(人/km <sup>2</sup> )	2010年(人/km <sup>2</sup> )	
城市中心区	1349590	1558805	30606	35350	1.55
近郊区	2353711	3837896	2250	3667	6.30
都市区	5200163	7031291	1727	2335	3.52
远郊区	924506	972453	403	424	0.52

注:城市近郊区的人口增长情况是除掉中心区的人口总增长量,都市区的人口增长情况是包括中心区、近郊区的总的都市区人口数量。

分布在紫金山周围的近郊区以及中山路沿线的城市中心区;人口密度增长在500~2 000人/km<sup>2</sup>的街区有18个,集中分布于近郊区的南北两侧并向外延伸;人口密度增长小于500人/km<sup>2</sup>的街区有24个,主要分布在近郊区外侧的都市区内,这些街区面积较大,人口密度增长缓慢。人口密度出现负增长的街区有23个,在中心区、近郊区和都市区范围内都有分布,但主要分布于都市区外缘,这些街区由于地处都市区外围,城市中心对其的辐射带动作用较弱,加之相关产业支撑不足,导致人口外流。不同于北京、上海等一线城市的中心区人口出现下降的现象<sup>[12,14]</sup>,2000年以来南京城市中心区人口仍呈上升态势,反映出人口仍具有向城市中心区集中的趋势,主要原因在于各类优质城市服务资源(如教育、医疗等)与就业岗位仍主要集中于城市中心区,为享受优质的城市资源和便捷的交通条件,城市中心区仍被作为择居的首选。

## 2.2 南京都市区人口变动趋势

城市在地理空间上并非是均衡发展的,一般存在着由集中到扩散再到集中的过程<sup>[21]</sup>。西方学界和政府部门常常采用人口重心和标准离差椭圆来衡量城市发展的这一过程。人口重心是度量城市或区域人口分布的重要指标,研究人口重心的移动方向和移动距离有助于了解人口分布变动的方向和强度<sup>[22]</sup>。人口重心的移动轨迹和移动速度已成为西方国家制定人口发展政策的重要参考依据。人口重心坐标的计算公式为:

$$X = \sum P_i * X_i / \sum P_i, Y = \sum P_i * Y_i / \sum P_i \quad (1)$$

式中, $X, Y$ 分别为区域人口重心的横、纵坐标; $X_i, Y_i, P_i$ 分别为第*i*个人口单元的横、纵坐标和人口数。

人口重心实际上是对人口分布集中趋势的测量,而人口分布的离散趋势则主要利用标准离差椭圆(Standard deviational ellipse)来度量<sup>[23]</sup>。标准离差椭圆由长轴、短轴、偏向角和椭圆中心组成,

其长轴代表在主方向上人口分布偏离人口重心的程度,短轴代表在次要方向上人口分布偏离人口重心的程度,偏向角代表人口分布的主要方向,椭圆范围内可以包含研究区域2/3以上的人口。标准离差椭圆充分考虑了不同方向上人口分布的偏离,可以有效反映人口分布的离散趋势。

根据两年份的人口数据,分别计算南京都市区2000年与2010年的人口重心和标准离差椭圆(图2)。两个年份人口重心都位于都市区的中心区域,2000年人口重心位于玄武区玄武门街道,处于中心区北部边缘,即玄武湖南侧;2010年人口重心向南移至玄武区新街口街道,说明这一时期都市区南部人口增长较北部迅速。这与21世纪以来南京市注重南部新城的发展密不可分,2000年南京市成立雨花经济技术开发区,同年启动建设江宁大学城,2002年江宁开发区上升为国家级经济技术开发区。工业、高新技术产业以及高校的发展都吸引着大量的人口向都市区南部迁移。相比之下,北部的发展则缺少动力,很多街道的人口密度不增反降(图2)。

观察两个年份的人口标准离差椭圆的范围,其差别很小,说明:① 10 a间南京都市区人口分布的核心区域变化不大,标准离差椭圆的范围主要包括城市中心区(鼓楼区、玄武区、白下区、秦淮区)、大部分近郊区(建邺区、雨花台区、栖霞区)以及少量都市区外围区域(江宁区 and 浦口区的部分街区),这些区域都是南京市经济文化发展的核心区域,容纳了整个都市区68%以上的人口。② 两年份的标准离差椭圆的偏向角相差不大,都是正北方向偏东10°左右,说明南京都市区的人口呈“东北-西南”的分布格局。③ 两年份的人口离差椭圆的长轴有缩短趋势,2000年椭圆长轴为21 391 m,到2010年缩短到20 123 m,说明10 a间南京都市区人口分布的核心区域逐渐缩小,并在



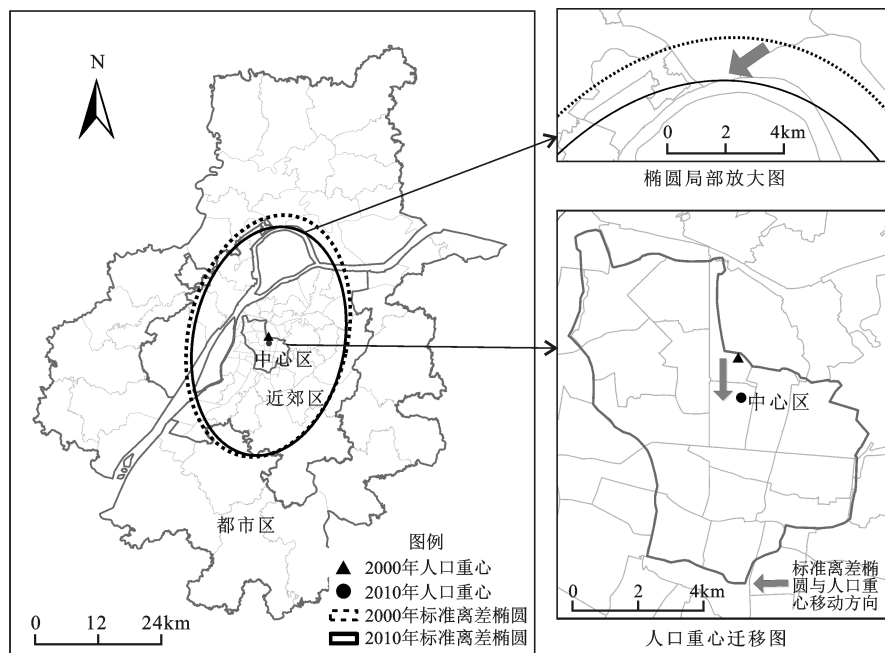


图2 人口重心与人口标准离差椭圆的空间变动

Fig.2 The spatial changes of population gravity center and standard deviation ellipse

南北方向上有向内收敛的趋势,人口空间分布有相对极化的趋向。

### 3 南京都市区人口空间变动模型分析

目前关于城市人口分布的模型总体上可为单核心和多核心模型两大类<sup>[1]</sup>。常见的单核心模型有 Clark 模型、Smeed 模型、Newling 模型、对数模型、伽马模型等(表2)。单核心模型可以被看成是拥有一个起点和多个终点的空间相互作用模型<sup>[24]</sup>,因此它易于推衍成更为复杂的相互作用模式<sup>[25]</sup>。而多核心模型<sup>[26,27]</sup>则在分析城市人口多中心结构时较多使用,其实质是对每个假设的城市中心进行 Clark 模型分析,然后进行叠加。

#### 3.1 单中心人口分布模型分析

对南京都市区 2000 年与 2010 年人口密度的空间分布进行单中心模型拟合,结果见表3。对比各模型测定系数  $R^2$  和  $F$  检验的效果,发现  $R^2$  值大于 0.8 且  $F$  检验值在 500 以上的模型有 5 个,分别为 Clark 模型、Newling 模型、伽马模型、对数正态模型和加幂指数模型。根据测定系数和  $F$  检验值的大小,2000 年与 2010 年拟合效果最好的模型分别为伽马模型与加幂指数模型。但通过观察各函数图像(图3),发现伽马模型在距离市中心 4 km 处人口密度急剧下降,到市中心处人口密度竟然为 0,

这明显与实际不符,因此将其舍弃;加幂指数模型、Clark 模型和 Newling 模型的数值在距离市中心 20 km 处就已经降低到 0 附近,而 Smeed 模型在近郊区的数值仍在 10 000 人/km<sup>2</sup> 附近,它们与现实情况也都不符,因此也不予考虑。只有对数正态模型与实际的人口分布情况吻合:在距离市中心大约 2 km 处形成“火山口”,人口密度到达理论峰值,然后急速下降;经验证,2000 年的对数正态模型在 20 km 处人口密度理论值为 1 789 人/km<sup>2</sup>,40 km 处人口密度理论值为 345 人/km<sup>2</sup>,分别与 2000 年近郊区的 2 250 人/km<sup>2</sup> 和远郊区 403 人/km<sup>2</sup> 的实际值相接近(表1),2010 年的对数正态模型同样与现实情况相接近,因此采用对数正态模型作为南京都市区人口分布的单中心拟合模型。可以看出,不能单纯地依靠测定系数  $R^2$  和  $F$  检验就武断地选择最优模型,而应该同时结合曲线与实际人口分布的吻合程度做出判断。

对南京都市区两个年份的人口密度拟合曲线进行分析(图4),可以发现:

1) 总体来看,两曲线都是由城市中心开始上升,在距离市中心大约 2 km 处达到峰值,形成“火山口”。西方很多城市的人口分布往往出现这种情况<sup>[28]</sup>,这是因为城市中心经常是商业服务机构集中分布的地区,而居住区往往在距市中心一定距

表2 人口密度分布的常见模型

Table 2 Some models of spatial distribution of population density

模型	模型表达式	参数意义	参数限定
Clark 模型	$D(r)=ae^{br}$	$r$ 为距市中心的距离; $D(r)$ 为 $r$ 处的人口密度; $a$ 为城市中心人口密度的理论值; $b$ 为人口密度衰减的斜率	$a>0, b<0$
Smeed 模型	$D(r)=ar^b$	各参数意义同上	$a>0, b<0$
对数模型	$D(r)=a+b\ln r$	各参数意义同上	$a>0, b<0$
对数正态模型	$D(r)=ae^{b(\ln r)^2}$	各参数意义同上	$a>0, b<0$
加幂指数模型	$D(r)=ae^{br^c}$	$b$ 为城市地理系统信息熵的变化趋势 <sup>[16]</sup> ,其他同上	$a>0, b<0$
Newling 模型	$D(r)=ae^{b+c r^2}$	$b, c$ 同时控制人口衰减的斜率,其他参数意义同上	$a>0, b<0, c<0$
伽马模型	$D(r)=ar^b e^{-cr}$	$b$ 为人口达到极值的速率, $c$ 控制人口极值的大小,其他参数意义同上	$a>0, b<0, c<0$
多中心模型	$D(r)=\sum a_n e^{b_n/r_n}$	$N$ 为城市中心数量; $M$ 为街区数量; $r_n$ 为到中心 $n$ 的距离; $a_n$ 和 $b_n$ 为针对中心 $n$ 的参数; $D(r)$ 为人口密度	$a_n>0, b_n<0$

表3 两年份南京都市区人口密度空间分布的单中心模型回归及拟合结果

Table 3 Regression for monocentric models of population distribution in Nanjing metropolitan area in 2000 and 2010

模型	参数 $a$		参数 $b$		参数 $c$		测定系数 $R^2$		$r$ 的回归 $F$ 检验	
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年
Clark 模型	51642.73	61855.05	-0.20	-0.21	—	—	0.85	0.85	661.29	532.66
Smeed 模型	42802.98	58812.15	-0.64	-0.75	—	—	0.72	0.73	291.05	258.51
Newling 模型	44016.09	45070.53	-0.08	0.00	-0.02	-0.03	0.86	0.86	711.16	610.10
对数模型	39137.95	44511.93	-12055.04	-13800.29	—	—	0.79	0.76	420.18	306.92
伽马模型	54810.11	60734.92	0.31	0.44	-0.31	-0.34	0.86	0.86	722.19	586.23
对数正态模型	43276.38	49569.52	-0.36	-0.34	—	—	0.86	0.84	708.00	514.05
加幂指数模型	42737.30	44781.26	-0.07	-0.03	1.55	2.01	0.86	0.86	711.59	610.51
线性模型	25299.85	26030.61	-878.50	-908.95	—	—	0.53	0.50	126.69	95.73

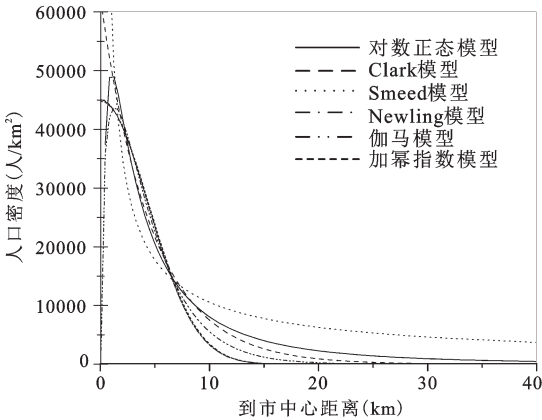


图3 2000年各模型曲线图像  
Fig.3 The image of curves of different models in 2000

离范围的区域才开始大规模出现,因此市中心人口密度通常小于附近地区。对于南京而言,作为市中心的新街口是各类中高档商业服务场所密集分布的区域,居住用地在距离其1 km处才开始较

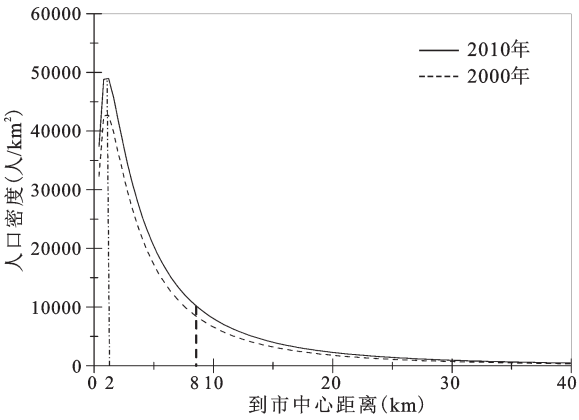


图4 南京都市区人口密度分布拟合曲线对比  
Fig.4 The contrast of population density curves in 2000 and 2010

多出现,加之南京老城内有较多高校与其他建设用地(政府和军事用地)分布,因此在距离市中心2 km处才达到人口峰值。

2) 曲线的斜率表明人口密度衰减的速度,两

年份拟合曲线都是在达到峰值后急剧下降,在大约 8 km 处开始变缓,直至到 20 km 处曲线趋于平缓,从 20 km 处开始曲线斜率变化极小且人口密度向 0 逼近。距离市中心 8~20 km 的范围恰与近郊区大体一致,因此可以判断 10 a 间南京都市区郊区化的主体仍然是近郊区,尚没有扩散到远郊区的范围。

3) 2010 年曲线位于 2000 年上方,表明都市区各圈层人口密度都有所增长;0~10 km 范围内两曲线斜率几乎平行,从大约 10 km 处开始 2010 年曲线下降速率大于 2000 年并在 20 km 处趋于重合,这表明近郊区以内的范围是 10 a 间人口密度变化最为显著的区域。

3.2 多中心人口分布模型的分析

在向外扩张与内部重组的双向过程中,很多大城市有可能发展成为多中心的结构,因此有必要从多中心的角度对人口分布变化进行考察。按照西方文献和国内相关研究中关于多中心人口分布模型的拟合方法<sup>[12,26]</sup>,首先需要确定各级城市中心。南京一直以来都是以新街口为第一级别的城

市中心,继而确定城市次中心,通过绘制 2000 年与 2010 年的人口密度等值线图,以人口密度 $\geq 25\,000$  人/km<sup>2</sup>且距离新街口 $\geq 3$  km 的等值线峰顶作为次中心候选项(图 5)。按照此方法,2000 年南京都市区仅有 1 个潜在次中心,位于城市中心区北部的山西路商业街;2010 年南京都市区有 3 个潜在次中心,分别位于山西路商业街、中心区外围西侧的万达广场附近、近郊区的月牙湖街道。继而根据多核心模型公式对两年份人口分布进行拟合(表 4)。

通过多核心模型的拟合发现:① 根据参数  $a$  显著 $>0$  且参数  $b<0$  的多核心特征,2000 年以来南京都市区已初步形成多核心结构。在新街口主中心的基础上,山西路商业街已经成为相对稳定的次级中心(两年份参数  $a>10\,000$ ),而万达广场和月牙湖街道尚不具备成为次中心的能力(参数  $a$  的值都过小)。② 通过对比两年份参数,发现新街口主中心的参数  $a$  呈增加趋势,说明 10 a 间南京都市区主中心对人口仍具有强大的吸引力,这不同于北京案例中主中心出现下降的情况<sup>[12]</sup>;而山西路商

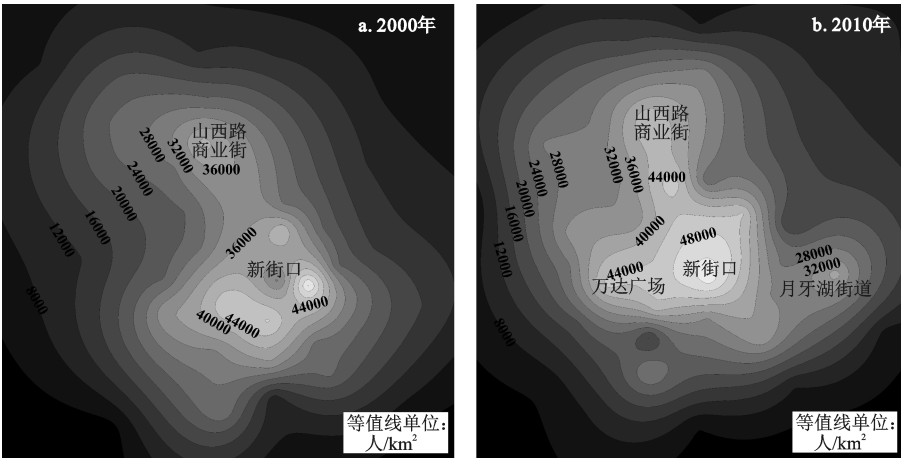


图5 2000年和2010年人口密度等值线

Fig.5 Population density contour map in 2000 and 2010

表4 2000年和2010年南京都市区人口密度空间分布的多中心模型回归及拟合结果

Table 4 Regression for polycentric models of population distribution in Nanjing metropolitan area in 2000 and 2010					
年份	城市各中心	参数 $a$	参数 $b$	测定系数 $R^2$	$r$ 的回归 $F$ 检验
2000 年	新街口城市主中心	42481.081	-0.239	0.869	761.647
	山西路商业街次中心	16532.052	-0.217		
2010 年	新街口城市中心	55212.466	-0.217	0.851	550.368
	山西路商业街次中心	10008.566	-0.243		
	万达广场次中心	1.106	-0.338		
	月牙湖街道次中心	-0.300	-0.060		

业街次中心的参数 $a$ 则有下降态势,表明该地区人口集聚作用有所减弱。③虽然南京都市区多核心模型拟合效果较好(已经形成新街口与山西路商业街的双核心人口空间结构),然而单核心模型的拟合效果亦佳,这不同于西方城市所出现的多核心模型拟合效果好而单核心模型拟合较差的特征<sup>[29]</sup>,说明次中心与主中心相差较为悬殊(对比各中心的参数 $a$ ,新街口是山西路的3~5倍),反映出南京都市区虽已形成多核心结构,但尚未发育成熟。

### 3.3 人口分布的空间变异性模型分析

空间变异性分析是以半变异函数建模为基础用来描述空间现象随机性与结构性分布的有效手段。如果空间样本为 $(S_1, S_2, \dots, S_n)$ ,则半变异函数 $\gamma(h)$ 可表示为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(S_i) - Z(S_i + h)]^2 \quad (2)$$

式中, $h$ 为样本间距, $N(h)$ 是样本间距为 $h$ 的总样本个数, $Z(S_i)$ 为空间样本 $S_i$ 的属性值, $Z(S_i + h)$ 是距样本 $S_i$ 距离为 $h$ 处的样本属性值<sup>[30]</sup>。半变异函数有4个主要参数:块金值( $C_0$ )、基台值( $C_0 + C$ )、变程( $a$ )和结构方差比 $[C/(C_0 + C)]$ 。当样本距 $h=0$ 时, $\gamma(0) = C_0$ ,该值称为块金值,它表示系统中随机变异的大小。当变异函数 $\gamma(h)$ 随着 $h$ 的增大由 $C_0$ 逐渐达到一个相对稳定的常数时,该常数称为基台值,表示系统内总变异的大小。当变异函数 $\gamma(h)$ 达到基台值时,它的样本间距 $h=a$ ,这时 $a$ 称为变程,表示样本变量影响范围的大小。结构方差比则用来衡量空间自相关程度,当它大于75%时,系统具有强烈的空间自相关性;在25%~75%时,系统具有中等自相关性;小于25%时,系统自相关性较弱。

半变异函数拟合模型能够很好地反映空间变异性特征。选取南京都市区2000年与2010年人

口密度作为空间样本,分别计算空间半变异函数,并对人口密度采用线性模型、高斯模型、指数模型和球状模型进行拟合。通过比较测定系数 $R^2$ 最终确定拟合度最高的球状模型,并生成人口密度空间变异图及模型各参数(图6)。

从图6中可以看出,①人口密度半方差模型的测定系数 $R^2$ 呈增大趋势,表明模型拟合度越来越高,反映出10a年间南京都市区人口密度的空间格局整体稳定性越来越显著;两年份结构方差比都在0.8以上,反映出南京都市区人口分布具有强烈的自组织性。②块金值由 $3.56 \times 10^7$ 增大到 $4.75 \times 10^7$ ,表明人口密度分布受不确定因素影响的趋势更加明显;基台值同时也由 $2.62 \times 10^8$ 增大到 $2.68 \times 10^8$ ,反映出人口密度分布的空间异质性越来越高,人口分布越来越复杂。③前后两年份的变程则出现下降,表明人口密度空间异质性和自相关性影响的范围有所缩小,这反映出南京都市区人口分布有相对收敛和集聚的趋势,这与上述2.2中的研究相吻合。稳定性的提高与空间异质性的加剧表明,经过十余年的发展南京都市区发育更为成熟。

## 4 结论与讨论

本文通过研究可以得出以下几方面结论:

1) 2000~2010年南京都市区各地域人口均呈现增长态势,其中近郊区成为人口总量与人口密度增长最为剧烈的区域。不同于北京、上海等城市中心区人口出现下降的情况,南京的案例中城市中心区人口仍保持增长。通过对人口重心和标准离差椭圆的分析发现,南京都市区人口分布的核心区域变化不大,但经过十余年的发展,人口重心渐渐向南移动,人口分布的核心区域在南北方向上有向内收敛的趋势,人口空间分布有相对极化的趋向。

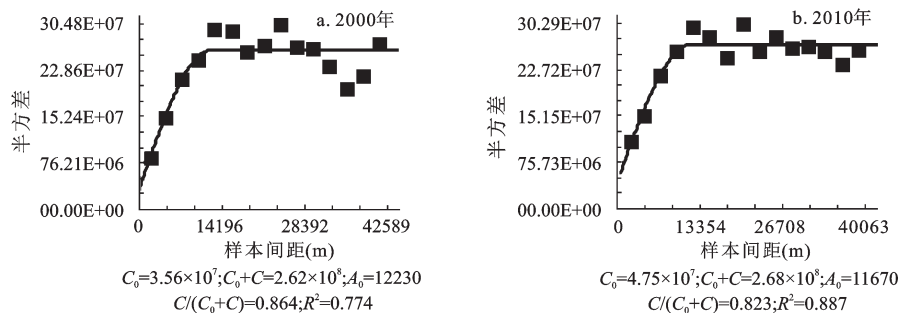


图6 南京都市区人口密度半方差函数图

Fig.6 Variogram on spatial pattern of population density in Nanjing metropolitan area



2) 通过测定系数、 $F$ 检验与图像分析的综合判断,对数正态模型为南京都市区最佳的单核心模型,能够较好地拟合人口空间分布的现实情况。两年份拟合曲线的变化表明,10 a间南京都市区郊区化的主体仍然是近郊区,尚未发展到远郊化的程度。

3) 根据多核心模型的分析,2000年以来南京都市区已初步形成多核心结构,其主中心对人口仍具有强大的吸引力,这不同于国内其他案例中出现下降的情况。多核心与单核心模型同时具有良好的拟合效果反映出南京都市区虽已形成多核心结构,但尚未发育成熟。

4) 人口分布空间变异性分析发现,10 a间南京都市区人口分布稳定性和自组织性越来越强,同时人口分布的空间异质性越来越高,人口分布趋于复杂,表明都市区正在向更加高级的阶段发展。

城市空间的演变是一个双重过程,既包括向外扩张,也同时发生着内部的重组,它们分别以不同的方式扩展和改造着人们生存和发展的空间。2000~2010年南京都市区的发展亦存在着这样的两个过程——人口在向郊区扩散的同时,也在不断地向城市中心集聚;城市出现多核心结构的同时,主中心的作用同时也在强化。一方面,新城的建设、工业郊区化发展、大学城与开发区的建设,推动了居住郊区化发展;另一方面,城市中心区便捷的交通、优越的城市服务资源仍吸引着大量人口向内集聚。如何在扩张和集聚之间选择一个平衡点,将是解决诸多城市问题的关键。在通过适度集聚保证城市中心活力的基础上,有序引导人口郊区化并形成稳定成熟的多核心结构,将是未来中国大城市健康发展的有效途径。

## 参考文献(References):

- [1] Smith B E. A review of monocentric urban density analysis[J]. *Journal of Planning Literature*, 1997, 12(2):115-135.
- [2] Clark C. Urban Population Densities[J]. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 1951, 114(4):490-494.
- [3] Sherratt G G. A model for general urban growth[M]//Churchman C W, et al. *Management Sciences, Model and Techniques: Proceedings of the Sixth International Meeting of Institute of Management Sciences* (2). Elmsford N Y: Pergamon Press, 1960.
- [4] Newling B E. The spatial variation of urban population densities [J]. *Geographical Review*, 1969, 59(2): 242-252.
- [5] Smeed R J. The Traffic Problem in Towns: Manchester Statistical Society Papers[M]. Manchester: Norbury Lockwood, 1961: 112-136.
- [6] Tanner J C. Factors affecting the amount travel[R]. Road Research Technical Paper No.51. London: HMSO (Department of Scientific and Industrial Research), 1961.
- [7] Waddell P, Shukld V. Manufacturing location in a polycentric urban area: a study in the composition and attractiveness of employment subcenters[J]. *Urban Geography*, 1993, 14(3):277-296.
- [8] Clark W A V. Monocentric to polycentric: New urban forms and old paradigms[M]//G Bridge et al. *A Companion to The City*. London: Blackwell Publishers Ltd., 2002.
- [9] McDonald J F. Econometric studies of urban population density: a survey[J]. *Journal of Urban Economics*, 1989, 26:361-385.
- [10] Berry B J L, Kim H M. Challenges to the monocentric model[J]. *Geographical Analysis*, 1993, 25(1):1-4.
- [11] Wang F H, Zhou Y X. Modelling Urban Population Densities in Beijing 1982-90: Suburbanization and its Causes[J]. *Urban Studies*, 1999,36(2):271-287.
- [12] 冯健,周一星. 近20年来北京都市区人口增长与分布[J]. *地理学报*, 2003,58(6): 903-916. [Feng Jian, Zhou Yixing. The growth and distribution of population in Beijing metropolitan area (1982-2000). *Acta Geographica Sinica*, 2003,58(6): 903-916.]
- [13] 沈建法,王桂新. 90年代上海中心城人口分布及其变动趋势的模型研究[J]. *中国人口科学*, 2000, 5(5):45-53. [Shen Jianfa, Wang Guixin. Research in population distribution and changing trend in Shanghai central city in the 1990s. *Chinese Journal of Population Science*, 2000, 5(5):45-53.]
- [14] 高向东,吴文钰. 20世纪90年代上海市人口分布变动及模拟[J]. *地理学报*, 2005, 60(4): 637-644. [Gao Xiangdong, Wu Wenyu. Population redistribution and modeling of Shanghai city in the 1990s. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4):637-644.]
- [15] 周春山,罗彦,陈素素. 近20年来广州市人口增长与分布的时空演化分析[J]. *地理科学*, 2004, 24(6): 2-8. [Zhou Chunshan, Luo Yan, Chen Susu. Spatial-temporal evolvement of growth and distribution of population in Guangzhou in recent twenty years. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(6):2-8.]
- [16] 冯健. 杭州市人口密度空间分布及其演化的模型研究[J]. *地理研究*, 2002, 21(5): 635-646. [Feng Jian. Modeling the spatial distribution of urban population density and its evolution in Hangzhou. *Geographical Research*, 2002, 21(5): 635-646.]
- [17] Luo Jun, Wei Yehua. Population distribution and spatial structure in transitional Chinese cities: A study of Nanjing[J]. *Eurasian Geography and Economics*, 2006, 47(5):585-603.
- [18] 谢守红,宁越敏. 城市化与郊区化:转型期都市空间变化的引擎——对广州的实证分析[J]. *城市规划*, 2003, 27(11): 24-29. [Xie Shouhong, Ning Yuemin. Urbanization and suburbanization: the dual engines to spatial change of Chinese metropolis under transitional era: a case study of Guangzhou. *City Planning Review*, 2003, 27(11): 24-29.]
- [19] 秦贤宏,魏也华,陈雯,等. 南京都市区人口空间扩张与多中心化[J]. *地理研究*, 2013,32(4):711-719. [Qin Xianhong, Wei Ye-



- hua, Chen Wen et al. Population expansion and polycentric development of Nanjing city in a period of hyper-growth. *Geographical Research*, 2013, 32(4): 711-719.]
- [20] 周一星, 孟延春. 北京的郊区化及其对策[M]. 北京: 科学出版社, 2000. [Zhou Yixing, Meng Yanchun. Beijing's Suburbanization and its solutions. Beijing: Science Press, 2000.]
- [21] Hansen M. Unbalanced Growth and Regional Development[J]. *Economic Inquiry*, 1965, 4(1):3-14.
- [22] Plane D A, Rogerson P A. The Geographical Analysis of Population: With Applications to Planning and Business [M]. New York: John Wiley & Sons, 2003.
- [23] O'Sullivan D, Unwin D. Geographic Information Analysis [M]. New York: John Wiley & Sons, 2003.
- [24] Wilson A G. Entropy in urban and regional modelling[M]. London: Pion, 1970.
- [25] Batty M, Xie Y. Urban analysis in a GIS environment: population density modelling using ARC/INFO[M]// Fotheringham S, et al. Spatial analysis and GIS. Briston PA: Taylor & Francis Ltd., 1994.
- [26] Heikkila E, Gordon P, Kim J et al. What happened to the CBD-distance gradient? Land values in a polycentric city [J]. *Environment and Planning A*, 1989, 21: 221-232.
- [27] Small K A, Song S F. Population and Employment Densities: Structure and Change[J]. *Journal of Urban Economics*, 1994, 36 (3):292-313.
- [28] Muniz I, Galindo A, Garcia M A. Cubic Spline Population Density Functions and Satellite City Delimitation: The Case of Barcelona[J]. *Urban Studies*, 2003, 40(7):1303-1321.
- [29] Richardson H W. Monocentric vs. polycentric models: The future of urban economics in regional science[J]. *The Annals of Regional Science*, 1988, 22(2):1-12.
- [30] 张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005. [Zhang Renduo. Theory and application of spatial variation. Beijing: Science Press. 2005.]

## The Features of Population Redistribution of Nanjing Metropolitan Area in 2000-2010

Zeng Wen<sup>1</sup>, Zhang Xiaolin<sup>1</sup>, Xiang Lili<sup>2</sup>, Wang Yahua<sup>1</sup>

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, Jiangsu, China;

2. School of Geography, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, England)

**Abstract:** Using the demographic data of fifth and sixth census, this paper analyzes the population redistribution in Nanjing metropolitan area from 2000 to 2010 and tries to find some laws. Firstly the authors analyze the general characteristics of population redistribution in metropolitan area, and finds that each area has experienced a population growth in the past ten years, while the population of suburb area increased the most. We also find that the population gravity center has been moving to the south gradually, and the core area of population distribution has the tendency of shrink inwards. Then we analyze the population redistribution of Nanjing metropolitan area with mathematical models. Based on the synthetic judgment of determination coefficient  $R^2$ , F-criterion and curve image analysis, the lognormal model is the optimal choice to reflect the monocentric structure. The model curves' changes indicate that suburbanization was still concentrated in the suburb area last ten years. The analysis of polycentric model illustrates that a polycentric structure has been formed initially in Nanjing metropolitan area, but the population still concentrates to the main center prominently, which is different from other Chinese cities. Both the polycentric and monocentric models have good fitting results reflects that the polycentric structure is not ripe yet compared with western cities. The analysis of population spatial variability reflects that the population heterogeneity has increased and population distribution is more and more complicated, both of which illustrate that the metropolitan area has been developing to a higher stage. On the basis of keeping the urban center livable and efficient through moderate aggregation, guiding people moving to the suburb and making the city form ripe polycentric structure may be the optimal way to develop the large cities of China in the future.

**Key words:** population redistribution; suburbanization; Nanjing metropolitan area