基于人居环境适宜性的市域人口增长调控分区研究
——以南京市为例

段学军[1], 田 方[1,2]

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 构建人口规模收益函数和外部成本函数, 对南京市主城、郊区和县城进行最优人口规模分析; 进而通过人口随机分配模型和基于人居环境适宜性评价的优化目标函数, 以预测的总人口规模和圈层人口最优规模为约束条件, 采用蒙特卡洛法进行求解, 获得人口的优化分布结果, 与现状人口分布相比, 把南京市域空间划分为四类人口发展功能区。研究认为, 商业街区和老街区如湖南路、新街口街道、洪武路街道、朝天宫街道等老街区人口密度过高, 需要进行人口规模的控制或调减; 处于郊区的东山镇、沿江街道、仙林街道等, 人居适宜性相对较高, 现状人口密度较低, 应快速集聚人口; 南北两翼以及生态保护区的生态敏感性高, 需要削减人口。

关 键 词: 人居环境适宜性; 人口增长调控分区; 南京市

中图分类号: C922; C924.23 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2010)01-0045-08

人口问题始终是制约区域全面协调可持续发展的重大问题, 是影响区域经济社会发展的关键因素。因此, 中国在“十一五”开始主体功能区规划中, 把人口纳入分区调控的重要目标。实施人口分区调控, 就是要在科学把握制约人口分布的自然条件、资源环境、经济社会及人文条件的基础上, 划定人口增长调控分区, 据此引导人口的有序流动和再分布, 有效缓解人口与经济、社会、资源、环境的矛盾。针对市域人口增长调控分区研究, 直接的研究不多, 主要集中在人居环境适宜性评价方面, 如李华生等分别从人居环境质量[1]、人居满意度[2]等方面评价人居环境, 建立了主客观的评价方法。本文则基于已有的空间适宜性评价方法[3~5], 以及GIS空间分析和蒙特卡洛模拟等技术撑, 建立起从人居适宜性评价、人口优化分配到分区方案形成的人口调控分区方法, 并应用于南京市域空间人口布局研究, 提出未来南京市人口增长分区调控方向, 从而进一步完善人口分区思路和方法。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

南京市地处长江中下游平原的东部苏、皖两省的交界处, 江苏省西南部, 31°14′N ~ 32°37′N, 118°22′E ~ 119°14′E, 是江苏省省会, 副省级城市, 长三角的副中心城市。南京市下辖玄武、白下、建邺、鼓楼、秦淮、下关、雨花台、栖霞、江宁、浦口、六合 11个区和高淳、溧水 2个县, 面积 6 597 km^2。2007年末, 全市常住人口为 741.3万人, 其中, 户籍人口为 617.2万人。从分布上来看, 南京市老城区(城墙或者护城河以内)人口密度最高, 达到 3.2万人/km^2, 虽略低于上海市在 2000年的水平, 但远高于与南京发展历史和经济条件较相似的杭州市; 南京市外围的六合区北部、浦口区西部、溧水县东部和高淳县南部的农村乡镇人口密度最低, 总体来看, 南京市人口呈明显的圈层分布特征[6]。

1.2 研究方法

1.2.1 市域空间人居环境适宜性评价

人居环境评价指标的选取应尽可能全面、综合地反映空间单元的人居环境状况, 并尽量避免指标的重叠; 此外还需考虑指标的稳定性、尺度性和可获取性等。指标选择主要从约束性和宜居性两方面进行考虑。人居约束性: 从灾害易损性、生态重要性及环境限制性等方面进行评价, 主要反映区域自然和生态本底以及现状环境质量对人口集聚的

收稿日期: 2009-07-16; 修订日期: 2009-11-13
基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-339)和国家自然科学基金项目(40671077)资助。
作者简介: 段学军(1970-), 男, 内蒙古赤峰人, 研究员, 博士, 主要从事城市与区域可持续发展及模拟、GIS应用等方面的研究。E-mail: xjduan2002@yahoo.com

约束; 而反映出区域交通联系便利程度; 人居适宜性: 从人居舒适度、生活富裕度、交通便利度等方面来评价, 反映经济社会因素对人口集聚的促进作用[7~9]。据此, 建立了包括 6个指标 20项因子的人居环境适宜性评价指标体系 (表 1), 权重采用指标相对重要性专家问卷调查方法设定 (向地理、规划、生态和环境等领域的专家及政府部门相关管理人员发放了 50份问卷, 回收有效问卷 40份), 单项指标评价, 权重取 1; 两项指标评价, 权重采用问卷调查数据的平均值; 三项指标评价, 基于两两指标相对重要性问卷调查数据, 并利用层次分析法进行了计算。

表 1 人居环境评价指标体系及权重

Table 1 Index system and indicators' weights for human settlements evaluation

目标	作 用	指 标	指标项 (因子)
约束性	反映区域自然生态本底属性对人口发展规模的约束	灾害易损性 (0.3)	地面塌陷 (0.25)、旱灾 (0.25)、滑坡崩塌 (0.25)、涝灾 (0.25)
		生态重要性 (0.3)	水源地保护区 (0.25)、水源涵养区 (0.25)、湿地保护区 (0.25)、风景保护区 (0.25)
		环境限制性 (0.4)	大气污染 (0.35)、固体废物污染 (0.35)、水环境功能 (0.3)
宜居性	反映经济社会因素对人口发展规模的促进作用	人居舒适度 (0.4)	镇域森林绿地面积 (0.5)、水网密度 (0.5)
		生活富裕度 (0.3)	人均收入 (1.0)
		交通便利度 (0.3)	综合交通可达性 (包括到新街口可达性 (0.5)、到溧水可达性 (0.1)、到高淳可达性 (0.1)、到浦口区可达性 (0.1) 和到六合区可达性 (0.1)、到江宁可达性 (0.1))

1.2.2 人口优化分布

人口在市域空间上的优化分布上, 不仅要考虑人口集聚的成本和效益, 还要考虑人居环境的约束性和适宜性, 只有同时满足经济收益、生态环境保护和人居环境质量等方面的要求, 人口的分布才能趋向于合理化[10,11]。

(1)圈层分布约束模型。在市域空间人口分布优化模型中, 把人口在城区、郊区、县域三个圈层之间的分布作为人口在乡镇和街道之间的分布的总体约束条件, 构建人口规模收益函数 $f_u(x)$和外部成本函数 $f_v(x)$, 对主城、郊区和县城进行最优人口规模分析。$f_u(x)$和 $f_v(x)$具有如下特征:

① $\frac{d^2 f_u(x)}{dx^2}$为人口规模 x在 $[0, +\infty)$的连续递减函数, 其经济意义是随着人口规模的扩大, 单位人口带来的经济收益增长速度逐步减少。

② $f_v(x)$为人口规模 x在 $[0, +\infty)$的连续递增函数, 其经济意义是随着人口规模的增大, 由于交通拥挤、环境污染以及物价提高等带来的外部性成本不断提高。

由此, 可以构建人口规模收益函数形式如下:

$$f_u(x) = 1 - 1/\exp(\gamma \ln x + \gamma (\ln x)^2) \quad (1)$$

式 (1)中, γ为集聚规模效益参数, 由生产函数 $Y = AK^{\alpha}L^{\beta}U^{\gamma}$ 确定。其中 Y、K、L、U分别代表 GDP、生产性固定资产投资、劳动力以及城市人口规模, α、β分别是资本和劳动的产出弹性。

人口增长的外部性成本包括随着人口规模的扩大而造成的交通拥挤、环境污染等影响政府公共事业的成本、因集聚而导致的居民生活费用的增加及因环境恶化而带来的居民生活质量的下降、因职工工资和土地价格提升而带来的企业生产成本的增加。函数形式如下:

$$f_v(x) = g(x) + p(x) + w(x) + r(x) \quad (2)$$

$$g(x) = \exp[\ln g_0 + a_1 \ln x + a_2 (\ln x)^2] - g_0 \quad (3)$$

$$p(x) = \exp[c + b_1 \ln x + b_2 (\ln x)^2] \quad (4)$$

$$w(x) = \exp[\ln w_0 + \varphi \ln x + \varphi_2 (\ln x)^2] - w_0 \quad (5)$$

$$r(x) = \exp[\ln r_0 + \sigma_1 \ln x + \sigma_2 (\ln x)_2] - r_0 \quad (6)$$

式 (2)中, $\ln x$是二次项, 是为了反映城市规模与外部成本之间可能的对数线性关系。$g(x)$表示政府负担的城市外部资本占 GDP的比重。$p(x)$代表由居民负担的城市外部成本占 GDP的比重。g_0、w_0 和 r_0 分别表示不受人口规模影响的常规财务比重、企业基准工资和地租。

图 1中, $f_u(x)$表示人口集聚收益曲线, $f_v(x)$表示集聚外部成本曲线。当人口规模收益和人口规模成本的差值最大时, 这时获得最优人口规模 X^*, 当人口规模成本和收益相等时, 获得最大人口规模 X_{max}。

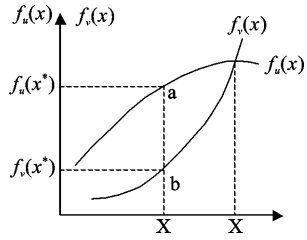

图 1　城市人口集聚收益与外部成本曲线

Fig. 1　Agglomeration benefits and external cost curves of city's population

(2)街镇人口分布优化模型。街镇人口分布优化考虑以下原则: ①要尽可能将人口布局在生态环境约束较低, 开发条件较好、适合于优先开发建设的区域; ②要有利于提高人居环境质量; ③要使人口空间分布的规模集聚效益最大化; ④要符合就业空间分布的要求; ⑤要考虑现有人口分布格局。

街镇人口分配模型的目标是把总人口按一定的约束条件, 分配到各个空间单元。空间单元除去禁止开发面积(水域、森林、自然保护区以及基本农田等), 剩余用地面积按照人均 120 m^2 /人建设用地面积的标准, 最大可分配人口为:

$$P_{max} = \frac{(S_{unit} - S_{禁止})}{120} \tag{7}$$

式(7)中, P_{max}为空间单元可容纳的最大人口数, S_{unit}、$S_{禁止}$分别为空间单元的总面积及空间单元内禁止开发面积。

另外, 根据人口分配的要求, 各单元人口 P_i 之和应该等于总人口 P_{total}, 即:

$$\sum_{i=1}^{N} P_i = P_{total} \tag{8}$$

在设计该模型时为了尽可能确保方案选择上保持随机性, 本研究使用了 FORTRAN 的一个随机数发生器, 该随机数发生器产生一个 [0, 1]的随机数。利用随机数发生器可以首先给各空间单元分别生成一个 [0, 1]的随机数, 并经过一定的数学变换, 把该随机数调整到区间 [0, P_{max}], 这个人口数小于(等于)空间单元能够分配的最大人口数 P_{max}, 因此, 分配符合第一个约束条件; 但由于各空间单元产生的随机数之和不一定等于待分配的总人口, 必须根据下式进行总量调整:

$$\frac{\xi}{\sum_{i=1}^{N}\xi} = \frac{P_i}{P_{total}} \tag{9}$$

式(9)中, ξ 为调整前的随机数; P_i 为调整后的随机数, 即为第 i 空间单元分配的人口数。此时, P_i 既符合第一个约束条件, 又符合第二个约束条件, 从而完成一次有效的人口分配。

人口优化分布要尽可能符合生态资源约束性和人居环境适宜性的要求, 采用上述随机分配模型生成人口分布方案 $X = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$, 建立人口分布方案对人居约束性指数 $C = (c_1, c_2, \cdots, c_n)$ 和宜居性指数 $B = (b_1, b_2, \cdots, b_n)$满足程度目标函数 $f(X|C)$、$g(X|B)$, 通过离散优化的求解过程, 求出使 $f(X|C)$趋于最小化, 同时使 $g(X|B)$趋于最大化的优化解 $X_{opt}(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n)$, 作为人口分布的理想方案。模型求解流程见图 2, 满足程度目标函数见公式(10) ~ (11)。

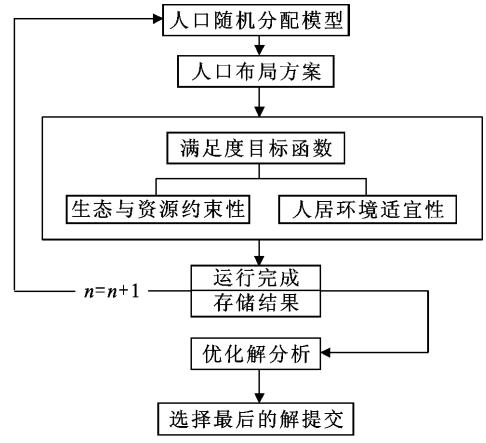

图 2　基于蒙特卡罗法的优化目标函数求解过程

Fig. 2　Solving process of optimizing objective function based on monte carlo method

$$f(X|C) \to 1 = \left(\sum_{i=1}^{N}\left((x_i - x_{min})/(x_{max} - x_{min}) \times (c_{max} - c_{min}) - c_{min}\right)/c_i\right)/N \tag{10}$$

$$f(X|B) \to 1 = \left(\sum_{i=1}^{N}\left((x_i - x_{min})/(x_{max} - x_{min}) \times (b_{max} - b_{min}) - b_{min}/b_i\right)\right)/N \tag{11}$$

其中, X_{max}、X_{min}分别为空间单元人口规模最大值和最小值, C_{max}、C_{min}分别为生态及资源约束性指数最大值和最小值, b_{max}、b_{min}分别为人居环境适宜性指数最大值和最小值, x_i、c_i、b_i 分别为空间单元 i 的人口规模、生态及资源约束性指数和人居环境适宜性指数, i为空间单元代码, N 为该区域的空间单元总数。

1.2.3 人口调控分区

以未来人口预测目标作为人口分布优化的总体约束, 获得未来人口空间分布的理想方案, 然后在 ARCGIS系统下叠减 (图层不变, 属性相减) 人口分布现状, 获得人口增长的空间分布图, 根据人口增长的空间分布特征, 进行人口增长调控分区。

1.3 数据处理

人口规模采用常住人口口径, 分乡镇现状人口来源于 2005年南京市 1% 人口抽样调查数据, 未来预测人口来源于《南京市城市总体规划 2007~2030(修编)》。城市圈层根据南京市行政区划、结合社会经济统计区域进行划分, 城区: 包括玄武、白下、秦淮、建邺、鼓楼、下关 6个区; 郊区: 包括浦口、栖霞、雨花台、江宁 4个区, 县域: 包括六合区、溧水县和高淳县。利用 GIS的空间分析功能, 社会经济指标按照乡镇行政单元进行量化, 自然生态类指标首先按照 100 m × 100 m 网格单元量化, 然后把自然单元评价结果根据适宜性等级及其所占面积比例转化为乡镇行政单元。面状专题要素采用区域均质赋值法, 点状或线状要素借助 GIS的网络分析、密度分析、空间插值等方法量化, 统计数据直接经属性表关联后转换成矢量数据[12]。

2 结果分析

2.1 南京市域空间人居环境评价

南京市域空间的灾害易损性主要考虑塌陷、滑坡、洪涝等, 塌陷灾害主要分布在市区东部低山丘陵地区, 滑坡灾害主要分布在市区东部、西南部和西北部地区, 洪涝灾害主要分布在秦淮河两岸, 以及高淳南部的阳江镇和砖墙镇; 市域空间生态重要性主要考虑水源地、湿地以及风景区保护要求, 南京市水源保护区主要分布在长江沿线、溧水的方便水库、老鸦坝水库以及六合区的河王坝水库、山湖水库等地区, 水源涵养区主要分布在石臼湖北侧以及汤山镇、上峰镇等地, 湿地主要分布在阳江镇、铜井镇、东沟镇和新集镇, 风景区主要分布于钟山和石臼湖沿岸地区; 环境限制性主要考虑大气、水和固体废弃物污染, 南京市的大气污染源主要分布在市区东部的化工区, 受主导风向以及西南部紫金山影响, 化工区大气污染的主要影响范围在东北方向, 覆盖栖霞、麒麟、汤山以及江北的东沟、龙袍、玉带、靖安等乡镇 (街道)。按照 GB3838-2002标准, 南京市水环境大体分为Ⅱ类 (高质量饮用水)、Ⅱ类 (饮用水和农业用水)、Ⅳ类 (工业用水和农业用水)、Ⅴ类四个等级, 其中Ⅱ类水体主要为长江干流, Ⅱ类水体主要为秦淮河溧水段及其支流句容河以及横溪河等, Ⅳ类水体主要为江北滁河及浦口区、江宁区的入江河流, Ⅴ类水体分布较少[13]。南京较大的垃圾处理和填埋场主要包括浦口区的天井洼垃圾填埋场、水阁垃圾填埋场、轿子山垃圾填埋场、南京市危险废物处理中心等, 按照 2 km 缓冲区, 影响范围涉及雄州镇、长芦镇、玉带镇、上坊镇、百家湖镇等。综合灾害易损性、生态重要性和环境限制性单因子评价结果, 进行人居约束性综合评价 (图 3), 可以看出, 六合区北部以及浦口区西部地区人居约束性最高, 市区东部的汤山镇、麒麟镇以及溧水县南部部分乡镇的人居约束性也较高; 市区及其南部和西南部人居约束性相对较低。

南京市域空间的富裕度根据居民人均收入来评价, 富裕度最高地区主要分布在市区及向南沿宁溧公路的区域, 富裕程度由市区向周边递减, 富裕度最低的地区主要分布在六合区、溧水县和高淳县的一些偏远乡镇; 居住舒适度主要考虑森林绿地面积和水网密度, 南京市森林绿地主要分布在市区东部的钟山风景区以及北部的老山林场, 溧水县城周边及横溪、丹阳等地森林绿地面积也较大。水网密度较高的地区主要分布在长江两侧; 交通便利度根据到城市中心 (新街口) 以及郊区和县城的区域性中心可达性综合计算, 总体上生活便利度由市中心向外逐步降低。根据舒适度、富裕度和便利度单因子评价结果, 综合评价南京市域空间的宜居性 (见图 3), 可以看出, 市区及其外围宜居性高, 六合区的北部以及高淳和溧水县的南部宜居性相对较低。

2.2 市域空间人口分布优化

2.2.1 城市圈层人口优化分布

采用回归分析方法, 利用 2000~2006年南京城区、郊区以及县城的 GDP、固定资产投资、人口等数据, 确定人口规模收益函数, 利用 GDP、政府财政支出和人口规模数据确定人口集聚的政府成本函数, 利用城市居民和农村居民消费支出之差在 GDP总量中的比重、城市居民人均收入与农村居民人居收入之差占 GDP的比重、城市房地产价格与城市人口规模, 分别确定城区、郊区和县城的人口集聚的居民外部成本函数、企业支付工资成本函数以及企业支付地租成本函数 (表 2)。根据图 2, 当城市城市集聚收益与集聚成本的差达到最大时,

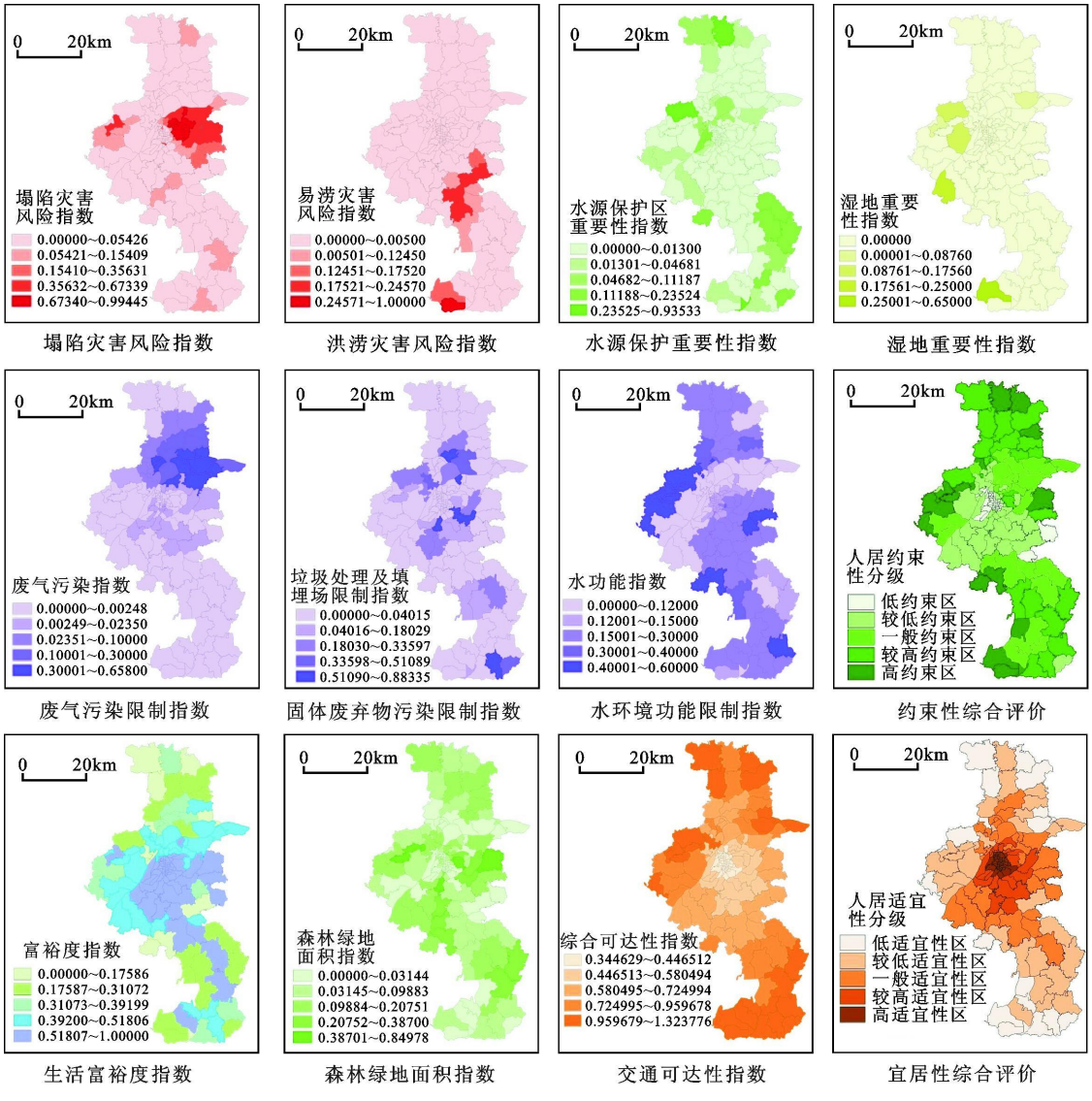

图 3　人居环境单因子及综合评价

Fig 3　Evaluation of single factors and integrated level for human settlements

人口规模收益最大, 城市人口规模达到最优, 当城市人口集聚收益与集聚成本相等时, 人口规模收益等于 0, 人口规模超过这个点就出现集聚不经济。根据上述方程进行连立求解, 获得城区最优人口规模介于 300~ 400万人之间, 郊区最优人口规模介于 500~ 600万人之间, 县城最优人口规模介于 100~ 200万人之间。

2 2 2　街镇人口优化分布与调控分区

人口的布局需要通过若干年的持续调控和引导, 才能达到优化的目标, 而在这个过程中, 城市人口的总规模是在不断变化的, 因此, 输入模型的总人口应该为预测或规划的目标年份人口规模。基于人口分配模型和优化目标函数, 以 2030年预测的总人口规模 (1 260万人左右)和圈层人口最优规模作为约束条件, 采用蒙特卡罗方法, 借助计算机的辅助支持, 进行优化函数求解。通过模拟, 获得南京市分街镇的人口分布结果如图 4所示。从街镇人口规模来看, 大于 20万人的街镇有 14个, 分别为兴隆街道、尧化街道、东山镇、仙林街道、板桥街道、泰山街道、沿江街道和顶山街道、桥林镇、丹阳镇、雄州镇、永阳镇、淳溪镇、禄口镇, 另外江浦街道和龙潭镇也接近 20万人, 这样就在城市郊区形成了城东 (仙林)、城南 (东山)、江北 (桥林、泰山、顶山等) 3个人口集聚中心, 仙林人口集聚规模达到 40万人以上, 东山集聚规模达到 60万人以上, 江北集聚人口规模 80万人以上, 在原六合县城

表 2 人口规模收益和外部成本函数

Table 2 Population revenue and external cost function

类型	空间范围	函数形式		Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.
		规模效益函数	生产函数	Std. Error	Beta		
人口规模收益	城区	$f_u(x)=1-1/\exp\{0.049[\ln x+(\ln x)^2]\}$	$\ln Y=-3.696+0.455\ln K+0.787\ln L+0.049\ln U$	2.211		-1.671	0.343
				1.386	-0.122	-0.328	0.798
				15.254	0.923	1.690	0.340
				0.468	0.063	0.105	0.934
	郊区	$f_u(x)=1-1/\exp\{0.335[\ln x+(\ln x)^2]\}$	$\ln Y=-1.399+0.610\ln K+0.077\ln L+0.335\ln U$	1.372		-0.102	0.935
				0.076	1.131	8.056	0.079
				0.024	-0.195	-3.174	0.194
				0.968	0.037	0.346	0.788
	县城	$f_u(x)=1-1/\exp\{0.12[\ln x+(\ln x)^2]\}$	$\ln Y=-0.572+0.683\ln K+0.048\ln L+0.12\ln U$	0.427		1.341	0.408
				0.036	1.153	19.151	0.033
				0.016	-0.164	-2.967	0.207
				2.977	-0.042	-1.275	0.423
政府支付外部成本	城区	$f_v(x)=\exp[-1.573+1.022(\ln x)^2]-0.207$		1.064		2.042	0.178
				0.515	-1.073	-1.984	0.186
	郊区	$f_v(x)=\exp[-1.918+0.254(\ln x)^2]-0.147$		0.018	1.1270		-4.179
				0.054	0.938	4.693	0.018
	县城	$f_v(x)=\exp[-2.591+0.77(\ln x)^2]]-0.075$		2.440		-0.652	0.561
				1.187	0.351	0.649	0.562
居民支付外部成本	城区	$f_v(x)=\exp[1.379-0.648(\ln x)^2]$		0.052	0.4393		3.140
				0.205	-0.877	-3.162	0.051
	郊区	$f_v(x)=\exp[0.951-0.052(\ln x)^2]$		1.005		0.951	0.412
				0.048	-0.532	-1.088	0.356
	县城	$f_v(x)=\exp[0.571-0.283(\ln x)^2]$		0.906		0.631	0.573
				0.441	-0.348	-0.642	0.566
企业支付工资成本	城区	$f_v(x)=\exp[-1.210+0.567(\ln x)^2]-0.298$		1.357		2.779	0.069
				0.203	-0.850	-2.791	0.068
	郊区	$f_v(x)=\exp[-2.468+0.492(\ln x)^2]-0.074$		3.366		-0.705	0.531
				0.045	0.331	0.608	0.586
	县城	$f_v(x)=\exp[-3.780+0.084(\ln x)^2]-0.023$		2.048		-0.225	0.836
				0.384	0.125	0.217	0.842
企业支付地租成本	城区	$f_v(x)=\exp[-1.037+0.523(\ln x)^2]-0.355$		4.755		-2.181	0.000
				0.022	0.997	2.358	0.000
	郊区	$f_v(x)=\exp[-2.468+0.492(\ln x)^2]-0.085$		2.161		-4.380	0.022
				0.104	0.939	4.744	0.018
	县城	$f_v(x)=\exp[-2.978+1.863(\ln x)^2]-0.051$		5.467		-0.687	0.541
				2.659	0.375	0.701	0.534

区域(葛塘街道、长芦街道、卸甲甸街道、西厂门街道、山潘街道和雄州街道)形成北部县域人口集聚中心,人口规模 50万人以上,在城南禄口镇、永阳镇和淳溪镇分别形成 20~30万人的南部县域人口集聚中心。县域除县城和个别重点乡镇,其他乡镇人口规模基本上控制在 5万人以下。

利用 2030年人口分布优化结果与 2005人口分布现状进行 GIS叠减分析,进一步将南京市域空间划分为人口发展重点拓展区、人口发展拓展区、人口发展稳定区、人口发展限制区 4个功能区(见图 4)。人口发展重点拓展区主要包括城区的兴隆街道和板桥街道、江宁区的东山镇、栖霞区的仙林街道、尧化街道、浦口区的顶山街道、泰山街道、沿江街道、六合区雄州镇、高淳县淳溪镇以及溧水县永阳镇等;人口发展拓展区主要包括城区人口密度相对较小,人口发展尚有一定空间的街道,如孝陵

卫街道、后宰门街道、锁金村街道、马群街道、西善桥街道、赛虹桥街道、宁南街道、江浦街道等, 以及产业发展基础相对较好、人居适宜性较高的郊区乡镇, 如栖霞镇、东善桥镇、江宁镇、秣陵镇、麒麟镇、淳化镇、湖熟镇、土桥镇等; 人口发展稳定区主要包括城区人口密度较高的街道, 如夫子庙街道、华侨路街道、南湖街道、瑞金路街道、淮海路街道、玄武门街道等, 以及生态敏感性较高的乡镇, 如漆桥镇、桠溪镇、古柏镇、秦淮区、八卦洲乡、汤山镇、东屏镇、乌江镇、玉带镇、龙袍镇等; 人口发展限制区, 主要包括城区人口最为密集的街道, 如新街口、湖南路、健康路、洪武路、朝天宫、五老村、中央门等, 以及部分生态敏感性高, 不适宜进一步集聚人口的乡镇, 如六合区的马集镇、程桥镇、竹镇镇、高淳县的固城镇、砖墙镇、阳江镇、溧水县的和凤镇、石湫镇、洪蓝镇等。

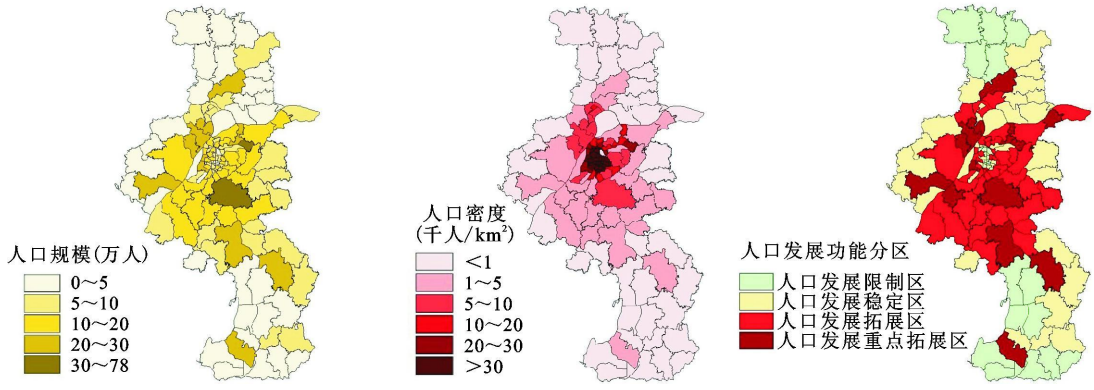

图 4　基于街镇单元的南京市域人口优化分布模拟与调控分区

Fig 4　Simulation of Nanjing city's population distribution optimization and regionalization of population growth control based on the town cell

3　结论与讨论

(1)从南京市人口增长调控分区结果来看, 商业街区和老街区的人口规模需要控制或削减。湖南路是南京重要的商贸街区, 人口密度已经较高, 不宜于再大幅扩大规模; 新街口街道是南京市的商贸、商务中心区(CBD), 该区域目前居住人口过多, 挤占了服务业发展空间, 洪武路街道、朝天宫街道、五老村街道、健康路街道等老街区人口密度过高, 影响城市人居环境质量的改善, 需要调减人口; 中心城区人口密度偏低较低的街道, 如孝陵卫街道、幕府山街道、红山街道、光华路街道、红花街道、玄武湖街道等, 可以适当扩大人口规模; 处于郊区的东山镇、上坊镇、顶山街道、沿江街道、马群街道、仙林街道等, 人居适宜性相对较高, 生态约束不大, 且这些区域及周边经济就业发展较快, 现状人口密度较低, 因此, 可以快速集聚人口。南北两翼区域经济发展需求不大, 但生态保护的要求较高, 人口规模要加以控制。生态保护区生态敏感性高, 需要削减人口, 减少人类活动对保护区的影响。

(2)比较南京市人口增长调控分区结果与2000～2005年各街镇单元人口增长趋势, 2000～2005年南京市人口快速增长区仍然集中在老城区(城墙和护城河以内以内)以外和老市区(指2000年以前行政区划确定的市区, 包括玄武区、鼓楼区、白下区、秦淮区、建邺区、下关区、雨花台区、栖霞区、浦口区、大厂区)以内。而人口增长调控分区的重点拓展区则明显外移, 说明从长远发展来看, 南京市应该尽量避免现在这种圈层向外扩展的人口布局调整, 鼓励人口向江宁、仙林以及浦口发展, 在郊区快速形成人口次中心, 减少人口在主城过度集中而带来的交通和环境压力。

(3)与主体功能分区的四大类区域来比较, 人口增长调控分区的重点拓展区应与主体功能分区的重点开发区对应, 人口发展限制区位于城区的部分应与主体功能分区的优化开发区对应, 而人口发展限制区位于乡镇部分则应与主体功能分区的限制开发区对应。由于目前南京市主体功能分区方案尚未最后确定, 且本研究主要从人居适宜性的角度来看待人口的空间分布问题, 因此, 尚不能把本研究结果完全与主体功能分区对接。进一步研究应在主体功能分区的基础上, 按照各类功能区对建

设空间开发的要求,再根据人居适宜性进行人口调控分区,这样的分区将能更有效地落实主体功能区对于人口发展的调控目标。另外,在人居适宜性指标的选取、权重确定等方面也需要进一步深入研究。

参考文献:

[1] 李华生, 徐瑞祥, 高中贵, 等. 城市尺度人居环境质量评价研究——以南京市为例 [J]. 人文地理, 2005, **20**(1): 1~5.

[2] 陈 浮, 陈海燕, 朱振华, 等. 城市人居环境与满意度评价研究 [J]. 人文地理, 2000, **15**(4): 20~23.

[3] 王桂芝. 基于GIS的土地适宜性评价模型研究 [J]. 中国土地科学, 1996, **10**(5): 40~44.

[4] 陈 雯, 孙 伟, 段学军, 等. 苏州地域开发适宜性分区 [J]. 地理学报, 2006, **61**(8): 839~846.

[5] 黄杏元, 倪绍祥, 徐寿成, 等. 地理信息系统支持区域土地利用决策的研究 [J]. 地理学报, 1993, **48**(2): 114~121.

[6] 张京祥, 崔功豪. 大都市空间集散的景观、机制与规律——南京大都市的实证研究 [J]. 地理学与国土研究, 2002, **8**: 48~51.

[7] 朱宝树, 戴淑庚, 黄晨熹. 上海城市建设中的人口分布变化和趋势 [J]. 上海综合经济, 1996, (5): 13~14.

[8] 王桂新. 中国人口的地域分布及其变动 [J]. 人口研究, 1998, **22**(6): 41~46.

[9] 张善余. 近年上海市人口分布态势的巨大变化 [J]. 人口研究, 1999, **23**(5): 16~24.

[10] 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**: 45~52.

[11] 高向东, 张善余. 上海人口郊区化与城市可持续发展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2002, **12**(1): 76~80.

[12] 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.

[13] 段学军, 陈 雯, 许 刚, 等. 经济-生态导向的城市人口空间分布优化——以无锡市区为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, **17**(5): 679~687.

Regionalization of Urban Population Growth Control Based on Suitability Level for Human Settlements

A Case Study of Nanjing City

DUAN Xue-jun[1], TIAN Fang[1,2]

(1. *Nanjing Institute of Geography and Limnology, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu* 210008;
2. *Graduate University, the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049)

Abstract: The optimized allocation of population distribution should not only consider the cost and revenue of Population aggregation, but also should pay attention to the restriction and suitability level of human settlements. First, by building the revenue function and external cost function of population, this paper analyzed the optimal population for the central city, suburb area and county area of Nanjing city. Then by using random and objective function based on evaluation for the suitability level of human settlements, taking the forecasted total population and optimal population for circle areas as constraints, and using Monte Carlo methods, analyzed the population's optimized allocation distribution. Compared with current population distribution, this paper divided the studied area in to four different types for population growth and distribution. Finally, this study showed that, population densities of business and older areas like Hunan Road, Xinjiekou, Hongwulu, Chaotiangong Streets are so high that there are needs of controlling the population size. The comprehensive suitability levels for population distribution in the suburb area, like Dongshan, Yanjiang, Xianlin towns, are relatively higher. Considering the faster economic growth rate and lower population density of these areas, population aggregation should be encouraged. The ecological sensitivity of northern, southern parts and ecological protecting areas are relatively higher, which means the population growth rate should be controlled, and people in these regions should be guided to move to other areas.

Key words: suitability level for human settlements; regionalization for population growth control; Nanjing City