

基于 ESDA-GIS 的城镇群体空间结构

马晓冬^{1,2}, 马荣华³, 徐建刚¹

(1. 南京大学城市与资源学系, 南京 210093; 2. 徐州师范大学城市与环境学院, 徐州 221009;

3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 基于 ESDA-GIS 的空间分析框架, 利用江苏省 1346 个小城镇的统计数据, 对其城镇群体空间结构进行了研究。首先对统计数据进行了概括性因子分析, 抽取的规模与经济因子值的频率分布都是偏态的, 且两因子之间不存在规模—效益的正相关性。随后, 对小城镇群体的空间结构进行了探索性分析, 由密度图显示: 小城镇空间分布不均衡, 其密度由东南部的沿长江、环太湖地区向西和向北递减。通过空间自相关测度分析得出: 小城镇的经济因子的空间分布具有正相关性, 呈现出空间集聚的特征; 规模因子的空间相关特征不明显。最后, 将小城镇的局域空间自相关系数按县(市、区)行政单元进行聚类, 利用方差图的结论修正聚类结果, 得出江苏省小城镇经济发展类型分区: 三区、一环(带)、一片, 即苏北中部地区、苏中及宁镇区、苏锡常地区、苏北边缘环带、睢宁片区, 对应的经济发展类型分别为: 弥漫发展型、极核发展型、集群发展型、过渡发展型、持续贫困型。

关键词: ESDA; 城镇群体; 空间结构; 空间自相关; 江苏

1 引言

ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis, 探索性空间数据分析) 是 SDA (Spatial Data Analysis, 空间数据分析) 技术的一种, 它以空间关联性测度 (Spatial Association Measures, SAMs) 为核心, 旨在描述与显示对象的空间分布, 发现奇异观测值, 揭示空间联系、簇聚以及其他异质性的空间模式^[1]。ESDA 是基于数据驱动的 (Data-driven)、注重发现空间数据的分布模式, 揭示数据的空间依赖性 (Spatial Dependence) 与空间异质性 (Spatial Heterogeneity) 的可视现象^[2]。实际上, ESDA 是在零假设 (Null Hypothesis) 即空间不相关假设的基础上, 利用统计学和图形图表相结合的方法对空间数据进行描述性 (Descriptive) 和归纳性 (Inductive) 研究^[3]。GIS 是空间数据库发展的主体, 为地理学提供了一个“数据丰富而理论薄弱 (Data Rich but Theory Poor)”的环境, 使得在分析上需要一种“让数据说明本身 (Let Data Speak for Themselves)”的分析技术, 而 GIS 基于图形驱动 (Map-driven) 的特征在一定程度上限制了其空间分析功能的发挥。基于 GIS 平台的 ESDA 能够将地理信息的定位数据 (图形数据) 的空间分析与专题数据 (属性数据) 的关联测度功能相融合 (图 1)^[4]。GIS 借助 ESDA 使其空间分析功能得以加强; ESDA 在 GIS 平台上, 可以空间关联性分析的结果得以可视化表现, 更好地揭示空间规律、分析空间结构。其实质是“从 GIS 数据库中发现知识”的过程^[5]。

目前, ESDA 与 GIS 的结合研究在国外主要涉及数字图像处理^[5, 6]、流行病学研究^[7]、自然灾害研究^[8]、区域经济与社会研究^[9, 10]和犯罪学研究^[11]5 个方面。国内的 ESDA 研究起

收稿日期: 2004-05-12; 修订日期: 2004-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40301038; 40371038) [Foundation: National Nature Science Foundation of China, No. 40301038; No.40371038]

作者简介: 马晓冬 (1971-), 男, 江苏徐州人, 副教授, 博士生。主要从事城市与区域规划及 GIS 应用研究。

E-mail: maxiaodong@xznz.edu.cn

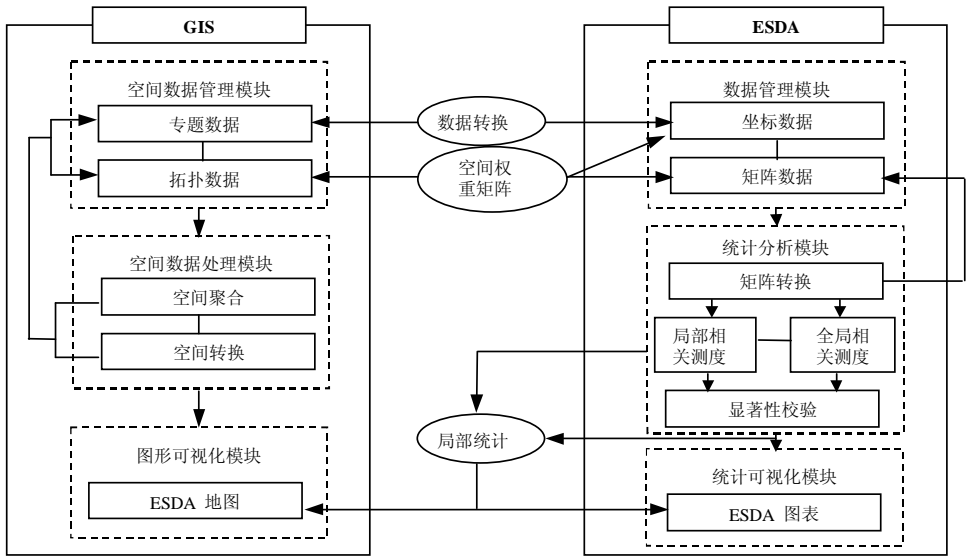


图 1 ESDA-GIS 框架
Fig. 1 ESDA-GIS framework

步比较晚，理论研究主要集中在空间数据分析与空间模型领域^[12-14]，应用研究主要集中在人口的增长与流动方面^[15, 16]。

利用 ESDA-GIS 对城镇群体空间结构的研究尚不多见。经济地理中的空间结构是指区域内社会经济各组成部分的相互作用及组合类型的位置关系，以及反映这种关系的空间集聚规模和集聚程度^[17]。本文以江苏省小城镇为例，以 GIS 技术为支撑，运用 ESDA 中诸如频率分布图、概括性特征统计量、全局及局域的空间自相关检验、异质方差图等工具，对小城镇群体空间结构进行研究。

表 1 江苏省小城镇统计数据的主成分负载矩阵
Tab. 1 Principal components loading matrix of small towns statistics in Jiangsu province

指标	主成份 1(规模因子)	主成份 2(经济因子)
GDP	0.537	0.741
财政收入	0.473	0.704
镇区人口	0.936	0.041
镇区面积	0.859	0.192
人均GDP	-0.102	0.882
产业结构	0.122	0.574
城市化率	0.773	0.193

2 数据采集与处理

2.1 基本数据

采用江苏省统计局城乡经济调查队 2002 年的小城镇调查统计资料，包括各种建制镇、乡集镇共 1346 个，选取国内生产总值 (GDP)、镇区人口、镇区面积、财政收入、产业结构、人均 GDP、城市化水平，7 个指标为基本分析变量。采用江苏省 1:10 万乡镇边界 (pologon) 数据与乡镇政府驻地 (point) 数据作为基本图形数据。将统计调查资料建立属性数据库，并通过乡镇的国标编码建立与图形数据库的链接。

2.2 概括性因子

对小城镇的统计数据进行处理，将三次产业结构从低级到高级分别赋值量化。检验样本数据简单相关系数与偏相关系数的相对校验值 (KMO 系数) 为 0.73，适合做因子分析，因此通过因子分析化简数据。用主成分分析法提取影响因子，采用正交旋转方差最大法来简化因子负载 (表 1)。结果显示前两个主成分变量解释的累计百分比达到 78%，其中主成分 1 在镇区人口、镇区面积、城市化水平 3 个指标上负载较高，为规模因子；

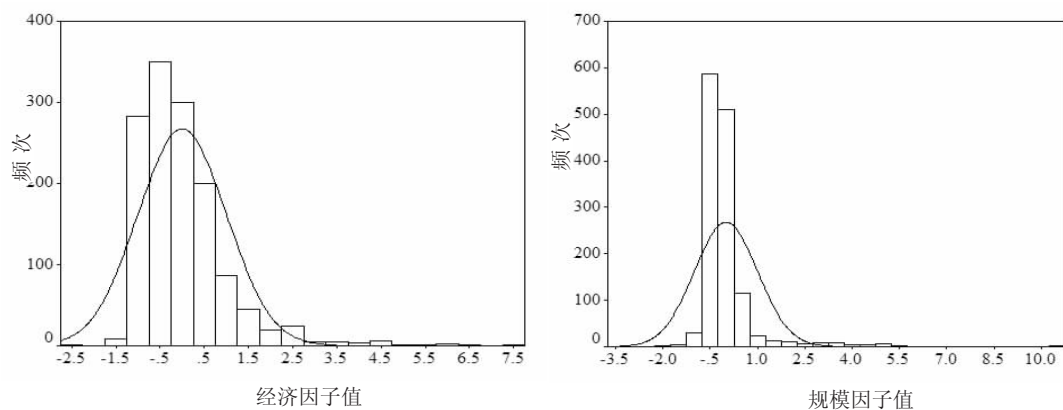


图 2 江苏省小城镇经济与规模因子值的频率分布图

Fig. 2 Frequency distribution of economic and scale factor scores of small towns in Jiangsu Province

表 2 江苏省小城镇规模与经济因子值的频率分布特征比较

Tab. 2 Comparison between economic and scale factor scores frequency of small towns in Jiangsu province

	数值分布指标			中心度指标			形态指标	
	Range	Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Skewness	Kurtosis
经济因子	10.08	-2.42	7.66	0	-0.18	-0.84	2.23	8.46
规模因子	14.24	-3.73	10.50	0	-0.22	-0.30	4.66	31.02

主成分 2 在财政收入、GDP、产业结构、人均 GDP 指标上负载较高，为经济因子。通过回归估算分别求得主成分 1 和主成分 2 在各个小城镇的因子值，这样原来 7 项指标值就化简为两个表征指标：经济因子、规模因子。通过建立两个因子值的频率分布图来进行概括性统计特征分析 (图 2)。图 2 和表 2 表明：①江苏省小城镇的规模与经济因子值的频率分布都是偏态的，数据背离中心性，形态也缺乏对称性；②规模因子值分布的区间值 (Range) 高于经济因子，说明江苏省小城镇规模的分异程度大于其经济发展水平的差异；③经济因子与规模因子的偏斜系数 (Skewness) 均大于 0，但中值小于均值，说明有较多的低值数据集簇分布，而高值数据离散分布；④两个因子的峰值系数 (Kurtosis) 均大于 3，说明两个因子值有较广离群分布的“肥尾”特征，同时更具有较窄集簇分布的“尖顶”特征，而且规模因子的峰值系数远大于经济因子，说明少数小城镇的规模指标变异程度较大，但大多数小城镇的规模指标呈集簇式分布；⑤通过两个因子值频率分布特征的比较，可以发现规模因子的偏态程度要高于经济因子。

由于主成分 (Principle analysis) 分析是一种把给定的组 (比如 k 个) 相关变量指标，通过线性变换转换成为一组新的不相关变量因子的数学方法。利用主成分分析的方法从江苏省小城镇的统计数据中抽取规模因子、经济因子两个主成分，所以，可以认为江苏省的小城镇并没有出现一般城市发展理论上的规模—效益的正相关特征。

3 空间结构分析

3.1 空间分布特征

用 Kernel 方法^[18]生成江苏省小城镇分布的密度图 (图 3)，分析后发现：①平均密度为 1.33 个 /100 km²，东南部沿长江两岸和环太湖地区非常密集，向西、向北呈阶梯状稀疏。②长江两岸的苏州、无锡、常州、镇江和南通、扬州、泰州 7 市为小城镇高密度分布地区，1.6 个 /100 km² 以上，其中沿沪宁线的苏锡常 3 市两侧约 30 km 范围内，形成密度超过 2 个 /100 km² 的小城镇密集带。③南通、扬州、泰州的平均密度在 1.6~2 个 /100 km²

之间，但分布的连续性不如苏锡常镇地区，小城镇分布表现出带状集群的特征，并具有明显的近中心性和邻水性。④淮安、宿迁、连云港三市的小城镇密度在 1.1~1.25 个 /100 km² 之间，略低于全省平均水平，但在宿迁与淮安中部、连云港南部地区出现了在市县城区周围小城镇圈层状密集分布的现象。⑤徐州市、盐城市、南京市的小城镇密度均在 0.9 个 /100 km² 左右，较为稀疏。

3.2 规模与经济因子的空间异质结构

ESDA 中的空间关联测度利用空间自相关指数来探索自然与社会现象的空间模式和非常态分布，其中全域指标用于验证整个研究区域的空间模式，而局域指标用于反映一个区域单元上的某种属性值与邻近区域单元上同一属性值的相关程度。本文用 Moran's I 检验和 Geary's C 检验作为测度变量间空间相互依赖水平的指标，来探索江苏省小城镇群体的空间自相关性，以及空间分布的结构特征。

3.2.1 全局空间自相关测度 Moran's I 与 Geary's C 的定义分别为公式 (1)、(2)：

$$I(d) = \frac{\sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}} \tag{1}$$

$$C(d) = \frac{(n - 1) \sum_i^n \sum_j^n W_{ij} (x_i - x_j)^2}{2ns^2 \sum_i^n \sum_j^n W_{ij}} \tag{2}$$

式中： $S^2 = \frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2$ X_i 表示在 i 处的属性值。 W_{ij} 是空间权重值。

空间权重 W_{ij} 的确定有多种方法。本文研究的基本空间单元为江苏省小城镇，多为不规则的面状区域，各行政单元之间的空间关系可采用空间邻接标准或距离标准来判定，本文主要采用邻接标准。详细内容参见文献[3]。

Moran's I 统计量取值范围在 -1 到 1 之间，当 $I_{(d)} < 0$ 时代表空间负相关， $I_{(d)} > 0$ 时为空间正相关， $I_{(d)} = 0$ 代表空间不相关；Geary's C 的取值范围一般在 0 到 2 之间， $C_{(d)} = 1$ 时代表空间不相关， $C_{(d)} < 1$ 时表示空间正相关， $C_{(d)} > 1$ 时表示空间负相关。

由于两个全局空间自相关检验都要求变量满足正态分布，因此首先采用 box-cox 变换使两个因子值的频率成正态分布，再利用公式 (1) 和 (2) 计算江苏省小城镇经济因子与规模因子的全域空间自相关统计量 (表 3)。通过表 3 可以得出：① 经济因子具有空间正相关性。经济因子的 Moran's I 和 Geary's C 的检验值分别为 0.601 和 0.4202，属于正相关的范围，且相关性显著，以 Moran's I 为例，采用正态分布 90% 置信区间双侧检验阈值 1.65 为界限，其正态统计量 (Normal Statistic) 远大于该值。这说明经济因子具有空间集聚的特征，即高值区域与高值区域相邻接，低值区域与低值区域邻接。② 规模因子空间相关特征极弱，接近于随机分布。规模因子的 Moran's I 和 Geary's C 的检验值分别为

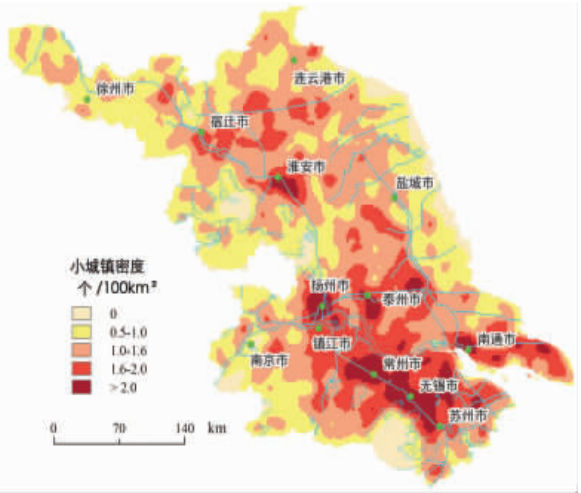


图 3 江苏省小城镇密度分布图

Fig. 3 Density map of small towns in Jiangsu province

-0.01765 和 1.181, 分别接近两个检验指标的空间不相关的临界值 0 和 1, 表明规模因子空间相关特征不明显, 有较弱的空间负相关趋势存在, 即高值区域与低值区域交叉散布。

表 3 江苏省小城镇规模与经济因子全域空间自相关检验
Tab. 3 Global SAMs of economic and scale factor scores of small towns in Jiangsu province

Mode	Factor	Correlation	Variance	Normal p-value	Normal statistic
Moran's I	规模因子	-0.01765	2.352e-4	0.2675	-1.109
	经济因子	0.601	2.352e-4	0	39.23
Geary's C	规模因子	1.181	3.55e-4	6.506e-22	9.621
	经济因子	0.4202	3.55e-4	6.232e-208	-30.77

连接小城镇经济因子值、规模因子值与乡镇政府驻地的图形数据, 采用反距离权重 (IDW) 插值的方法将两个因子值空间化, 得到江苏省小城镇经济与规模因子的空间分异图 (图 4)。两个图示进一步更形象地验证了我们对小城镇经济与规模因子的空间结构的测度结果: ① 经济因子的空间分布表现出明显的苏南—苏中—苏北的区域化分异的结构特征, 特别是高值区域和低值区域的集聚特征十分显著; ② 规模因子空间分布的结构化特征不明显, 一般在县 (市) 行政中心和大城市郊区周围形成高值中心, 并离散分布于全省各区域。值得注意的是在苏南经济因子的高值区域, 规模因子仍能形成低值中心; 苏北经济因子的低值区域, 规模因子反而能形成高值中心。

3.2.2 局域空间自相关测度 为了进一步揭示江苏省小城镇经济因子在“邻域空间”的自相关性, 采用局域空间关联性指标 Local Moran's I 来测度小城镇 i 与相邻接的小城镇 j 之间的经济因子的相关性。Local Moran's I 的定义如下:

$$I_{i(d)} = z_i \sum_{j \neq i}^n w_{ij} z_j \quad (3)$$

式中: Z_i 和 Z_j 分别代表小城镇 i 和小城镇 j 经济因子值的标准化形式, w_{ij} 是空间权重。

连接利用式 (3) 计算的每个小城镇的 $I_{(d)}$ 值与相应的乡镇行政边界图形数据, 利用 GIS 软件的专题制图功能, 生成江苏省小城镇经济因子局域空间自相关检验专题地图 (图 5), 结果表明: ① 局域自相关系数小于 0 的小城镇有 198 个, 占江苏省小城镇总数的 14.7%, 这些小城镇多数呈环状分布在城市周边地区, 多数为大中城市的郊区城镇, 或县 (市) 周边的小城镇, 由于受到大中城市经济发展的极化与辐射影响, 其经济发展水平表现出显著的内部差异性和外部差异性; ② 局域自相关系数在 0~0.4 之间的小城镇有 645 个, 占江苏省小城镇总数的 47.9%; 此类小城镇广泛分布于苏中地区 (南京、镇江、南通、扬州、泰州), 苏北的徐州、连云港、盐城等地区也有交叉分布。其经济发展水平的内部差异较大, 与外部的差异也较大; ③ 自相关系数在 0.4~0.8 之间的小城镇有 264 个, 占江苏省小城镇总数的 19.6%; 这类小城镇较连续地呈面状分布于苏北的淮安、徐州东部、连云港西部, 盐城西北部等地区, 这些地区是江苏省小城镇经济发展较差的地区, 小城镇的经济发展水平表现为内部差异性较小, 与外部差异性较大; ④ 自相关系数大于 0.8 的小城镇有 239 个, 占江苏省小城镇总数的 17.8%; 这类小城镇首先呈面状连续分布在苏南地区 (苏州、无锡、常州), 另外, 在苏北的徐州睢宁县, 连云港、宿迁和淮安 3 市交界的地区也呈现出此类小城镇集群分布的格局。此类小城镇在苏南、苏北分别出现在经济最发达和最不发达的地区, 其经济发展表现出明显的整体上的内外差异性。

3.2.3 基于县 (市、区) 级行政单元的局域自相关聚类 乡镇经济是县域经济发展的主体, 有必要再从县 (市、区) 级行政单元的层面上去揭示江苏省小城镇经济发展的空间结构特征。为此, 以县 (市、区) 级行政地域为基本单元, 分别计算局域自相关系数分属各区间段 (<0、0~0.4、0.4~0.8、>0.8) 的小城镇占其小城镇总数的比重, 并以最终所得江苏省 66 个县 (市、区) 的小城镇比重数据为样方, 采用迭代聚类 (K-means) 的方法对其进行聚类分析, 将聚类结果图形可视化 (图 6), 结果表明: ① 江苏省小城镇经济因子的空间自相关具有明显的结构化特征, 其中江苏北部地区空间结构的复杂性要高于中部和南部

地区，后二者的聚类结果具有区域化分异的特征，但前者却表现一定的圈层状结构；②比较图 5 和图 6 发现：类别 1 为小城镇 Local Moran's I 值在 0~0.4 和 0.4~0.8 两个区间的县(市、区)，且两者所占比重相当，此类县(市、区)的小城镇具有一定的过渡性特征，空间分布较为分散，呈环状分布在苏北外围地带；类别 2 为小城镇的 Local Moran's I 值在 0.4~0.8 和大于 0.8 两个区间县(市、区)，且前者所占的比重较大，分布较为集中，主要分布于苏北中部沿新沂河周围地区；类别 3 为小城镇的 Local Moran's I 值在小于 0 和 0~0.4 两个区间的县(市、区)，主要集中连片的分布于苏中地区，另外徐州、连云港 2 市市区周围也有分布；类别 4 主要是小城镇 Local Moran's I 值在大于 0.8 和 0.4~0.8 两个区间的县(市、区)，且前者所占的比重大，较集中地分布在苏南地区，另外徐州的睢宁也属此类；③比较图 6 和图 4，同属类别 4 的苏锡常地区和苏北的睢宁县，其经济发展水平却相差很大，这一现象也出现在类别 2 的苏南的吴江、张家港和苏北中部沿新沂河地区。

3.3 典型区域经济因子的空间变差

3.3.1 方差图 利用 ESDA 中的方差图分析小城镇的经济因子随空间距离发生变化的规律，探索其空间结构的经济意义。对于相距 h 的两个变量 $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ ，其变差函数 (Variogram) 为：

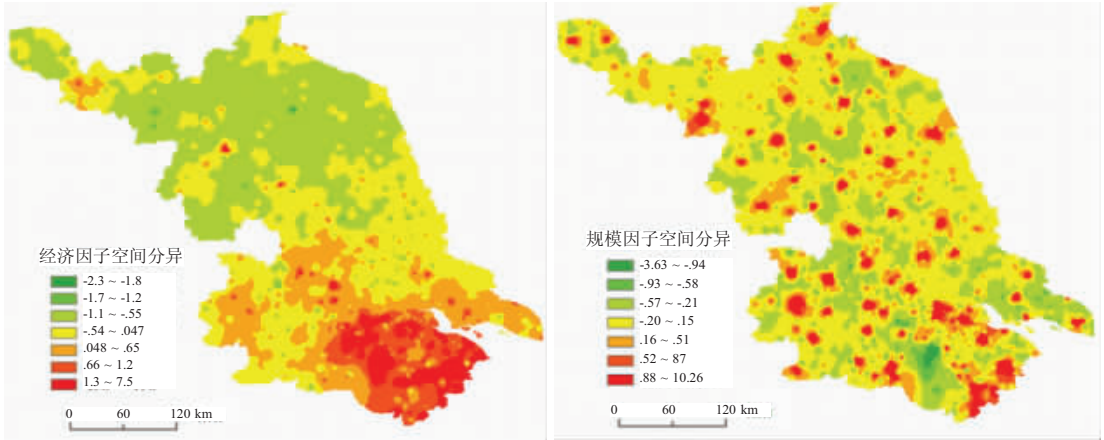


图 4 江苏省小城镇经济与规模因子空间分异

Fig. 4 Spatial distribution of economic and scale factor scores of small towns in Jiangsu province

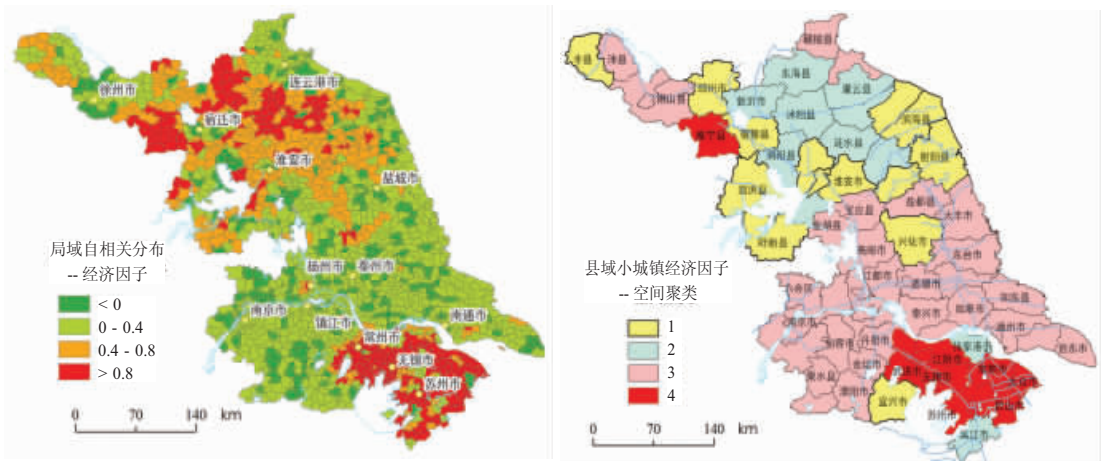


图 5 江苏小城镇经济因子的局域空间自相关分异图

图 6 江苏小城镇经济因子局域自相关聚类(按县域)

Fig. 5 Local SAMs distribution of small towns in Jiangsu province

Fig. 6 Local SAMs clustering of economic factor of small towns in Jiangsu province (based on county)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \int_V [Z(x) - Z(x+h)]^2 dx \quad (4)$$

典型的方差图如图 7 所示： $\gamma(h)$ 随 h 的增大而变大，当 h 达到 a 时， $\gamma(h)$ 趋于稳定。图中 a 为变程 (range)，当 h 小于 a 时，认为观测点之间存在着相关性，这种相关性随 h 的增大而减小，而 h 大于 a 时，将不再具有相关性。

为了确保样本数据的典型性与可比性，我们选取 3.2.3 的聚类结果中的 2、3、4 三个类型 (区域化特征典型)，分别选取 3 个类型的沿新沂河、沿长江 (宁镇段)、沿沪宁线 (苏锡常段) 的 150 km*35 km 矩形区域中小城镇群为样方，以经济因子值为变差函数的观察变量，分别绘制三个片区小城镇经济因子的异质方差图 (沿各自线性方向) (图 8)。与典型方差图相比，这三个片区的异质方差图均有一定的变异。变差曲线的变化趋势表明：① 以沿新沂河地区为代表的苏北中部 2 类区域，其小城镇经济因子的变差曲线随距离的变化较为平稳，显示为“落在”低位的近似于水平的曲线，不同的距离范围趋同性较强。这说明小城镇间的经济联系不够，尚处于低水平的“均衡”状态，其经济影响较少超出镇域范围；② 以宁镇沿长江片区为代表的苏中 3 类区域，其小城镇经济因子的变差曲线随距离的变化较大，并未出现稳定的变程。该类地区小城镇经济发展出现了明显的分化，城镇间经济发展的差异较大；③ 以苏锡常沿线为代表的苏南 4 类区域，其小城镇经济因子变差曲线与典型方差图最接近，显示了苏南小城镇经济发展具有较强的相关性。

3.3.2 差异分析 小城镇的非均衡发展在深层次上表现为发展类型的地域性差异。苏北小城镇多数还处在孤立发展状态，乡镇经济发展环境相对封闭，城镇间缺乏有机的经济联系，小城镇发展带有明显的小农经济的痕迹；而苏中的小城镇多为极核发展型，小城镇呈现出差异化发展的格局，一些乡镇企业发达的城镇成为一定范围内经济增长的极化点和辐射源；苏南的小城镇呈现出集群发展态势，小城镇发展表现出了一体化、网络化的趋势，城镇间经济联系紧密、专业化分工明确，城镇经济在乡镇企业的推动下，向专业型、联合型的高层次发展。由于传统农业和现代制造业的巨大落差，江苏省小城镇经济发展的区域差异明显，2002 年苏中、苏北小城镇的人均 GDP 只有苏南的 55%、25%。

江苏省小城镇经济发展的区域差异形成的原因主要有：① 驱动力差异。乡镇企业是小城镇经济发展的主要动力。苏南的乡镇企业起步早、发展迅速。著名的“苏南模式”在 20 世纪 80 年代造就了乡镇企业的“异军突起”，甚至在其工业经济总量中“三分天下

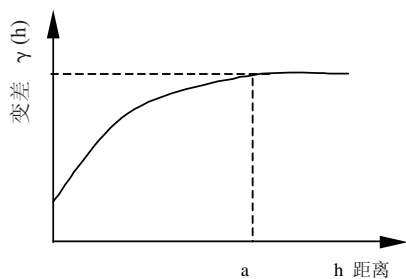


图 7 典型的理论方差图

Fig. 7 Model variogram

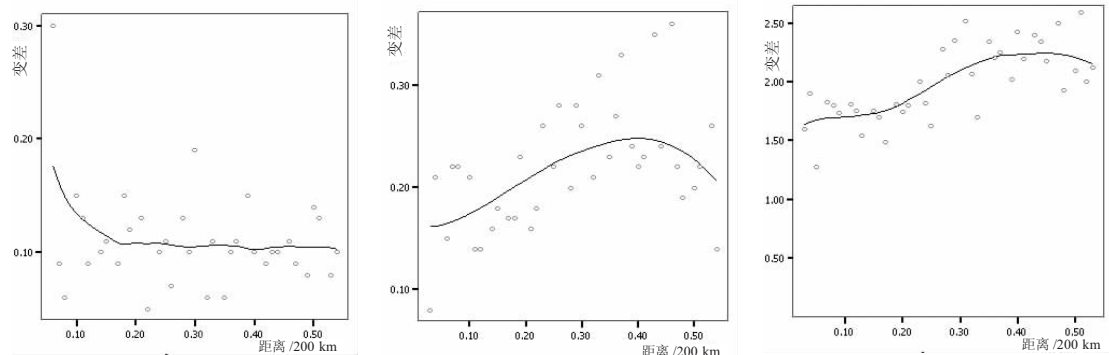


图 8 江苏省三个典型区域的小城镇经济因子异质方差图

Fig. 8 Anisotropic variogram of economic factors of small towns in three typical areas of Jiangsu province

近其二”；进入 90 年代以后，在外资的推动下，园区经济的飞速发展，给苏南的乡镇工业注入了新的生机和活力。而苏北地区的乡镇企业起步晚，经济环境差，加之外向型经济发展缓慢，导致乡镇工业没有得到较好的发展。2002 年苏南、苏中、苏北地区的乡镇工业增加值所占比重分别为：48%、30%、22%。② 区位差异。苏南地区地处我国最大的城镇群的中心地域，除苏锡常外，东邻上海、南接杭州，受其“泽及”，苏南的小城镇往往成为以上海为中心的大中城市的产业转移与技术扩散的承接地。苏中地区邻近省会城市，毗邻经济发展水平高的苏锡常地区，区位条件相对较好；而苏北地区远离经济中心城市，区内大中城市经济落后，辐射作用微弱，而与其接壤的除苏中地区外，其他区域如皖北、鲁南、豫西等地均为各省经济落后地区，区位条件最差。③ 历史基础不同。苏南早在明代就是商贾云集之地，鸦片战争以后，随着上海开辟为通商商埠，苏南广大地区成为我国近代工业和民族工业的发祥地和摇篮。由于接受工业文明影响的时间早、程度深，苏南的对外开放意识、生产方式和生产技术明显强于苏中与苏北地区；而苏北却因运河航运作用的减弱，加之黄泛、战乱频繁，城镇经济较为萧条。1949 年江苏的工业主要集中在苏锡常以及南京、南通等地区，工业分布的不平衡性已十分突出。

3.4 小城镇经济发展的类型分区

在对图 8 的典型地区进行异质方差分析的基础上，考虑到县级行政单元的邻接性以及小城镇经济因子的空间分异情况(图 4)，对基于县(市、区)级行政单元小城镇的 Local Moran's I 值的统计聚类结果做以下调整：① 睢宁县被具有异质性的空间自相关类型所包围，其空间自相关性类型与经济发展特征显著背离，故将其单独列为一类；② 苏州的张家港市和吴江市虽然属于第 2 类，但是与苏锡常邻接，空间自相关指标也较高，经济发展与苏锡常地区有很大的一致性，为了区别于苏北的 2 类地区，将这两个县(市)归为第 4 类。同理，无锡的宜兴市在小城镇的经济发展上更类似于宁镇地区。故将其归为 3 类地区。据此，我们根据小城镇的经济发展水平差异、小城镇间经济发展的相关性以及经济联系的强弱，以县(市、区)级行政境界为基本单元，将江苏省小城镇经济发展划分为 5 种类型(图 9)，他们的分区类别大致可概括为：三区、一环(带)、一片(表 4)。

4 结论与讨论

地理学者擅长从空间结构的角度去探讨区域发展问题，并认为区域概念中具有根本意义的，是一个区域内部各组成部分间在特性上存在的高度相关性^[19]。无疑，以空间关联测度技术为核心的 ESDA 的出现，为区域空间结构的定量研究提供了有力支撑。

利用 ESDA 技术，对江苏省小城镇的群体空间结构进行了实证分析，① 将小城镇的统计数据化简为规模因子和经济因子，两个因子值的频率分布都是偏态的，规模因子的偏态程度高于经济因子，且两因子之间不存在规模一效益的正相关性；② 小城镇的经济因子的空间分布具有正相关性，呈现出空间集聚的特征；规模因子空间相关特征不明显；③ 小城镇空间分布不均衡，其密度由东

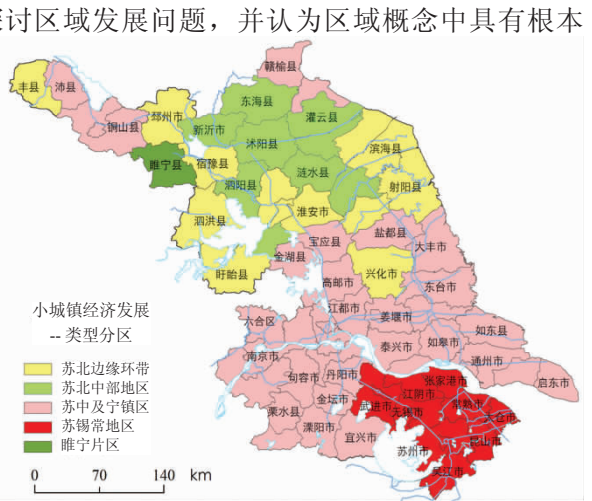


图 9 江苏省小城镇经济发展的类型分区(基于县域)
Fig. 9 Spatial clustering of small towns economic development in Jiangsu province (based on county)

表 4 江苏省小城镇经济发展类型分区概述

Tab. 4 Summary of spatial clustering of small towns economic development in Jiangsu province

分区	范围	数量 比重%	发展类型及基本特征
1 苏北中部地区	新沂市; 东海; 沭阳县、泗阳县; 灌南县、灌云县; 涟水县、洪泽县; 阜宁县	9 13.64	弥漫发展型: 经济水平低; 小城镇密度较高, 乡镇多; 基础设施薄弱, 小城镇发展以农业经济为主, 且较为均衡。
2 苏中及宁镇区	沛县、徐州市辖区、铜山县; 连云港市辖区、赣榆县; 金湖县; 盐城市辖区、盐都区、大丰市、东台市; 扬州市辖区、宝应县、高邮市、江都市、仪征市; 泰州市域; 南通市域; 南京市域; 镇江市域; 溧阳市、金坛市; 宜兴市	36 54.55	极核发展型: 经济发展有明显的差异性, 城关镇、工业城镇、港口城镇等成为县域经济发展增长极, 小城镇特色经济鲜明, 农业产业化水平较高、工业型城镇较多。
3 苏锡常地区	常州市辖区; 无锡市辖区、江阴市; 苏州市域	9 13.64	集群发展型: 乡镇工业发达; 经济结构以 2:3:1 型为主; 经济环境、基础设施好; 在开发区和外资的推动下, 小城镇呈网络化、集群式发展。
4 苏北边缘环带	丰县、邳州市; 滨海县、响水县、射阳县; 沭阳县、泗洪县; 淮安市辖区、盱眙县; 建湖县; 兴化市	11 16.67	过渡发展型: 经济水平较低; 经济结构以 1:3:2 型为主; 镇域人口较多; 县域内小城镇明显分异, 部分区位、资源条件较好的小城镇经济水平相对较高。
5 睢宁片区	睢宁县	1 1.52	持续贫困型: 经济水平低; 农村人口多; 除城关镇外, 经济结构均为 1:2:3 型; 乡镇多为自给自足的封闭式发展。

南部的沿长江、环太湖地区向西和向北依次递减, 并呈现出一定的带状和圈层状结构; ④ 将小城镇的局域空间自相关指数按县(市、区)行政单元进行聚类, 利用异质方差曲线的结论进一步修正聚类结果后, 得到江苏省小城镇经济发展的类型分区: 三区、一环(带)、一片, 即苏北中部地区、苏中及宁镇区、苏锡常地区、苏北边缘环带、睢宁片区, 对应的经济发展类型分别为: 弥漫发展型、极核发展型、集群发展型、过渡发展型、持续贫困型。

参考文献 (References)

- [1] Anselin L. Interactive techniques and exploratory spatial data analysis. In: Longley P A, Godchild M F, Maguire D J (eds.), *Geographical Information Systems* (2nd edn.). New York: John Wiley & Sons, 1999. 253-266.
- [2] Haining R, Wise S, Ma J. Designing and Implementing Software for Spatial Statistical Analysis in a GIS Environment. *Journal of Geographical System*, 2000, 2(3): 257-286.
- [3] Ma Ronghua. Knowledge discovery with ESDA from GIS database. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(2): 102-107. [马荣华, 黄杏元, 朱传耿. 从 GIS 数据库中发现知识. *遥感学报*, 2002, 6(2): 102-107.]
- [4] Sang-II Lee. Spatial Association Measures for an ESDA-GIS Framework: Developments, Significance Tests, and Applications to Spatio-Temporal Income Dynamics of U.S. Labor Market Areas, 1969-1999. Dissertation: The Ohio State University, 2001. 42.
- [5] Getis A. Spatial Dependence and Heterogeneity and Proximal Databases. In: Fotheringham A S, Rogerson P A (eds.), *Spatial Analysis and GIS*. London: Taylor & Francis, 1994. 104-120.
- [6] Wolfer M, Boots B. Local spatial autocorrelation characteristics of remotely sensed imagery assessed with the Getis Statistic. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(11): 2223-2231.
- [7] Tiefelsdorf M. Modeling Spatial Processes: The Identification and Analysis of Spatial Relationships in Regression Residuals by Means of Moran's I. Berlin: Springer, 2000.
- [8] Pereira J M, Carreiras J M, Vasconcelos M J. Exploratory data analysis of the spatial distribution of wildfires in Portugal, 1980-1989. *Geographical System*, 1998, 5: 335-390.
- [9] Rey S J, Montouri B D. US regional income convergence: a spatial econometric perspective. *Regional Studies*, 1999, 33(2): 143-156.
- [10] Talen E. The social equity of urban service distribution: an exploration of park access in Pueblo, Colorado, Macon, Georgia. *Urban Geography*, 1997, 18(6): 521-541.
- [11] Cohen J, Tita G. Diffusion in Homicide: exploring a general method for detecting spatial diffusion processes. *Journal of Quantitative Criminology*, 1999, 15(4): 451-493.
- [12] Bo Yanchen, Li Xin, Feng Xuezh. Spatial data analysis and spatial models. *Geographical Research*, 1999, 18(2):

185-190. [柏延臣, 李新, 冯学智. 空间数据分析和空间模型. 地理研究, 1999, 18(2): 185-190.]

- [13] Wang Jinfeng, Li Lianfa, Ge Yong et al. A theoretic framework for spatial analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(1): 92-103. [王劲峰, 李连发, 葛勇等. 地理信息空间分析的理论体系探讨. 地理学报, 2000, 55(1): 92-103.]
- [14] Li Deren, Wang Shuliang. Theories and technologies of spatial data mining and knowledge discovery. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, 27(3): 221-233. [李德仁, 王树良. 论空间数据挖掘和知识发现的理论与方法. 武汉大学学报(信息科学版), 2002, 27(3): 221-233.]
- [15] Zhu Chuangeng et al. The influential factors and spatial distribution of floating population in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 549-560. [朱传耿. 中国流动人口的影响要素与空间分布. 地理学报, 2001, 56(5): 549-560.]
- [16] Lu Anmin et al. Population growth rate and its spatial association by province in China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 143-150. [吕安民. 中国省际人口增长率及其空间关联分析. 地理学报, 2002, 57(2): 143-150.]
- [17] Chen Xiuying et al. Study on forming base and optimization of spatial structure in Yangtze River Zone. *Economic Geography*, 2004, 24(3): 326. [陈修颖. 长江经济带空间结构形成基础及优化研究. 经济地理, 2004, 24(3): 326.]
- [18] Wu Tao, He Hangen, He Mingke. Interpolation based Kernel function's construction. *Chinese Journal of Computers*, 2003, 26(8): 990. [吴涛, 贺汉根, 贺明科. 基于插值的核函数构造. 计算机学报, 2003, 26(8): 990.]
- [19] Cui Gonghao, Wei Qingquan. *Regional Analysis and Planning*. Beijing: Higher Education Press, 2000.

Spatial Structure of Cities and Towns with ESDA-GIS Framework

MA Xiaodong^{1,2}, MA Ronghua³, XU Jiangan¹

(1. *Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;*

2. *College of Urban and Environmental Science, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221009, China;*

3. *Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS; Nanjing 210008, China)*

Abstract: Based on analysis with ESDA-GIS framework, by using statistical data of 1346 small cities and towns in Jiangsu province in 2002, their spatial structure was studied. We, at first, finished summary factor analysis from database, and drew the two principal components: economic factor and scale factor. By comparison, we found that the frequency distribution of the two factors was skewed and the skewed degree of scale factor was higher than that of economic factor. But there is no positive correlation as scale-benefit between the two factors. In this paper, exploratory spatial structure of the small cities and towns was analyzed. With the density map, we found their spatial distribution is imbalanced, whose density would descend gradually from Yangtze River zone and Taihu Lake area in the southeast to the west and the north, which showed a belt and circle structure. Based on the analysis with global SAMs and local SAMs, we came to some conclusions. The spatial distribution of economic factor of the small cities and towns showed positive autocorrelation and spatial cluster, but the autocorrelation of scale factor is very weak. Finally, after classifying the local SAMs coefficients of small cities and towns according to administrative units of country, we analyzed economic significance with anisotropic variogram and improved the classified result. We found the spatial cluster of the economic development of the small cities and towns in Jiangsu province: three districts, one belt, and one part, i.e., the middle part of the northern Jiangsu area, the middle part of Jiangsu province and Nanjing-Zhenjiang area, Suzhou-Wuxi-Changzhou area, and the northern part of Jiangsu border belt, and district around Suining. The corresponding economic development types are diffusing development type, polarizing development type, clustering development type, transitional development type, and continual impoverished type.

Key words: ESDA; spatial structure; autocorrelation; Jiangsu province