
人口结构与经济重心空间耦合演化及机制探析*¹

——以江苏省为例

吴连霞¹² 赵媛^{2,3} 吴开亚 管卫华³

(1. 复旦大学人口与政策发展研究中心, 上海 200433;

2. 南京师范大学金陵女子学院, 南京 210097 ;

3. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023)

【摘要】 伴随快速城镇化、经济社会转型、人口流动频繁以及人口结构转变成为中国及江苏省的挑战, 人口结构与经济的耦合发展问题成为可持续发展最亟需解决的问题。利用第四、五、六次全国人口普查数据, 建立人口结构与经济的耦合模型, 采取标准差椭圆模型与重心模型、空间重叠性和变动一致性等方法, 对江苏省人口结构与经济耦合发展的空间格局演化与其形成机制进行探析。通过研究得到以下结论: ①1990-2010年, 江苏省人口结构与经济的耦合度下降, 从较高关联为主转向中等关联为主。耦合类型由低水平型为主转变为拮抗性向磨合型过渡的阶段。经济发展阶段提高, 将促进人口结构与经济发展耦合类型不断升级。②耦合度标准差椭圆居于江苏省苏中地区的中部, 空间上趋向集聚, 在西北-东南方向上呈极化趋势。耦合度重心大致位于江都市东部与泰兴市西北部。耦合度重心先向东南转移, 后向西北转移, 其中南北偏移量最大。③经济对耦合度重心空间格局的影响一直最大, 人口产业结构仅次于经济发展, 二者均是对耦合度最重要的内生驱动力。江苏省各驱动力因子南北差异较大而产生的区域发展势能差, 推动各指标重心向均衡点不断移动与跃迁, 这是导致人口结构与经济耦合发展空间差异的本质原因。

【关键词】 空间耦合; 人口结构; 经济; 演变; 重心轨迹; 形成机制; 江苏

人口既可作为生产要素直接对经济发展产生作用, 又可通过人口内部结构转变间接对经济发展产生作用, 而经济发展水平亦对人口结构产生联动效应。人口结构与经济增长之间的关系问题是全部人口问题中最基本的问题。21世纪以来, 人口结构已

***基金项目**: 国家自然科学基金重大项目“整体性治理——应对老龄社会的公共政策和公共管理体系重构研究(71490735)”, 项目负责人: 彭希哲; 国家自然科学基金项目“中国经济增长波动的区域响应研究(41271128)”, 项目负责人: 管卫华; 上海市社科规划青年课题“长江经济带人口老龄化空间格局演化、空间溢出效应及其与上海的空间联动研究(2017ESH001)”, 项目负责人: 吴连霞。

作者简介: 吴连霞(1986-), 女, 江苏丹阳人, 复旦大学人口与发展政策研究中心博士后, 研究方向: 人口与区域经济发展; 赵媛(1963-), 女, 江苏南京人, 南京师范大学地理科学学院、金陵女子学院院长, 教授, 研究方向: 能源地理与人口地理研究; 吴开亚(1968-), 男, 安徽利辛人, 复旦大学社会发展与公共政策学院、人口与发展政策研究中心教授, 研究方向: 人口与可持续发展; 管卫华(1970-)男, 江苏如皋人, 南京师范大学地理科学学院教授, 研究方向: 城市和区域地理。

转变为限制人口与经济、资源、环境持续性发展的瓶颈。江苏省已进入老龄化问题严重、人口城镇化快速发展、人口迁移空前活跃、经济社会快速推进的新时期，人口结构与经济的耦合发展问题已成为可持续发展亟需解决的重要问题。

目前人口结构对经济的影响研究主要分为以下两种：①研究某一人口结构对经济的影响，如从人口的年龄结构（劳动年龄人口、老龄化、抚养比等）、文化结构、就业结构、城乡结构等对经济发展的影响进行研究，但多以定性分析为主^[1-7]。②从总人口结构出发，探讨其对经济发展的效应，研究人口结构与经济发展的耦合关联、协调发展，揭示人口结构和经济协调发展符合“倒U”型曲线^[8-9]。经济发展对人口年龄结构、文化结构、产业结构、城乡结构影响单独成文的研究很少，大多在研究某方面人口结构（如人口年龄结构、人口城镇化等）的影响因素时涉及到。研究方法也以定性研究居多。但研究总人口结构与经济耦合关系的较少，目前关于人口与经济、资源环境社会等的耦合研究方法较为成熟，例如：毕其格、何海林、吴连霞等利用灰色关联法，建立人口结构（或人口）与区域经济（或经济结构）的关联度模型和耦合模型^{[8][10-11]}；有些学者采用比较分析法、层次分析法探讨人口和经济发展阶段的耦合关系^[12-13]；有些学者通过耦合协调模型分析人口与经济的耦合协调关系^[14]、通过因子分析法^[15]或主成分分析法^[16]、熵值法^[17]确定权重并计算出耦合度与耦合协调度，探讨人口、经济和资源环境（社会等）的耦合特征^[18]。上述研究在指标权重以及研究方法上均取得了较丰硕的成果，为本研究奠定了扎实的基础，但缺乏对人口结构与经济耦合的空间布局演变研究，长期以来，中国的经济发展与人口分布在空间上错位较为严重，区域重心方法有利于把握人口结构与经济的空间耦合关系，学术界在人口和经济的重心模型方法研究方面较为成熟^{[5][21-26]}，可为本文进行人口结构与经济的重心空间耦合研究提供研究方法支撑。

综上所述，人口结构对经济发展的影响研究成果较多，但单一视角较多而研究总人口结构对经济发展影响关系的较少；经济发展对总人口结构的影响成果不多，对于两者的耦合关联研究成果也较少。多因素、大规模与交叉影响的研究将是未来人口结构与经济发展关系的主要分析方向。

鉴于本人已阐释了耦合发展与协调发展的区别，突出耦合发展的重要性，同时结合耦合类型与经济发展阶段并对耦合度与耦合类型异同比较分析^[11]，本文在此基础上，拟立足人口总结构与经济的耦合关系，全面挖掘人口结构与经济发展的耦合关联及其形成机制，运用定性与定量相结合的方法并结合重心模型，基于江苏省县域单元进行人口结构与经济耦合发展的空间格局及其重心轨迹演化研究，深入探析人口结构与经济系统的互动耦合关联，从实证视角探析两者重心空间耦合机理，为相关部门制定针对性的优化人口结构、合理发展经济政策等提供科学依据，同时，丰富人口结构与经济发展互动机制的理论与实证研究，亦具有一定的理论意义。

一、研究方法

（一）人口结构与经济耦合度模型及指标体系

1. 耦合度模型。灰色关联分析（GRA）是在处理某种内涵与外延不太清晰的数据方面具有优势，比其他方法更准确地解释各因素之间的亲疏程度与空间布局规律^[27-28]。依据灰色关联分析法原理和灰色关联度模型构建的具体过程，首先确定人口结构序列与经济序列；其次，对全部指标数据进行无量纲化处理，再计算关联系数，在此基础上，建立耦合度模型，得到耦合度，具体公式如下：

$$R_{ij}(t) = \frac{\min_j \min_i |X_i'(t) - Y_j'(t)| + \rho \max_j \max_i |X_i'(t) - Y_j'(t)|}{|\min_j \min_i |X_i'(t) - Y_j'(t)| + \rho \max_j \max_i |X_i'(t) - Y_j'(t)|} \quad (1)$$

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k R_{ij}(t) \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$d_i = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$d_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

$$C(t) = \frac{1}{m \times l} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m R_{ij}(t) \quad (5)$$

式中相关变量的释义详见本人已发论文^[11]。参照已有研究^[29-30]，根据耦合度，并且结合全省人口结构与经济发展情况，可进行耦合类型的划分。

2. 指标体系。依据科学性、全面性、典型性、可行性等原则，通过频度统计法和专家征询法对指标进行设置与选择。综合诸学者研究成果将人口结构分为人口自然结构、人口社会结构、人口经济结构、人口地域结构四大类型^[31-32]，从中各挑选一个对地区经济社会发展影响较大的人口结构，依次是人口年龄结构、人口文化结构、人口产业结构及人口城乡结构作为人口结构的代表进行重点研究，并将其作为人口结构子系统，为确保经济系统的完整性，从经济总量、经济结构、经济水平、农村经济、工业经济以及国内外贸易等 6 方面分解经济系统指标，通过咨询相关专家意见对指标体系进行调整，进而分别构建人口结构指标体系与经济指标体系（表 1），全面分析人口结构与经济发展的耦合关联等特征及其形成机制。

（二）标准差椭圆模型与重心模型

重心和标准差椭圆模型可用来分析点的集中与离散分布趋势。

1. 标准差椭圆模型。标准差椭圆可以形象地反映人口结构与经济发展耦合度的空间分布，并能识别其中心的位置变化与移动方向等趋势^[33-34]。它主要包括三个要素：转角 θ 、沿长轴的标准差和沿短轴的标准差。计算公式如下：

$$x_i' = x_i - x_{\text{cmc}}; y_i' = y_i - y_{\text{cmc}} \quad (6)$$

$$\tan\theta = \frac{(\sum_{i=1}^n w_i^2 x_i'^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 y_i'^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n w_i^2 x_i'^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 y_i'^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n w_i^2 x_i' y_i')^2}}{2 \sum_{i=1}^n w_i^2 x_i' y_i'} \quad (7)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i' \cos\theta - w_i y_i' \sin\theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i' \sin\theta + w_i y_i' \cos\theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}} \quad (8)$$

式中， α 和 β 分别是沿 x 轴的标准差以及沿 y 轴的标准差， X' 和 y' 分别为各点到重心的相对坐标，依据 $\tan \theta$ 可算出点布局的转角。利用 GIS10.0 软件，根据公式 6、公式 7、公式 8 可实现标准差椭圆的计算。

重心模型。假设一个大区域包含 n 个小区域，其中，第 i 个小区域的重心坐标为 (X_i, Y_i) ， G_i 为小区域的耦合度，则该大区域的重心坐标计算公式^[35]为：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i}{\sum_{i=1}^n G_i}, Y = \frac{\sum_{i=1}^n G_i y_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (9)$$

通过重心坐标可以计算区域重心空间区位移动的距离，公式如下：

$$D_{i-j} = R \sqrt{(Y_i - Y_j)^2 + (X_i - X_j)^2} \quad (10)$$

式中， D 代表两个不同年份的重心移动距离， i 、 j 代表不同年份， (X_i, Y_i) 、 (X_j, Y_j) 分别代表第 i 年和第 j 年区域重心的地理坐标， R 是常数，一般取值 111.11km。

(三) 空间重叠性与变动一致性

采用空间重叠性和变动一致性的方法，比较分析耦合度重心与各指标重心两两重心耦合的静态与动态状况^[25]，以便从重心空间耦合过程视角挖掘各指标对耦合度空间格局的主要影响机制。

空间重叠性，可以通过耦合度重心与各指标重心间的距离度量，距离越远，重叠性越低，计算公式如下：

$$s = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \quad (11)$$

变动一致性，体现变动轨迹的一致性，通过耦合度重心和各指标重心相对于上一个时间节点发生位移的交角 θ 来表征， θ 越大则说明变动越不一致，由于 θ 取值范围在 $0-180^\circ$ 之间，因此，其余弦值成为变动一致性指数 c ，值越小，说明变动越不一致，如果 $C=i$ ，则说明变动完全一样， $C=-1$ 则说明完全相反。设重心与上一时间点纬度、经度的变化量分别是 Δx 和 Δy ，依据余弦定理得到：

$$C = \cos \theta = \frac{(\Delta x^2 + \Delta y^2) + (\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2) - [(\Delta x^2 - \Delta x_c^2) + (\Delta y^2 - \Delta y_c^2)]}{2 \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)(\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2)}} = \frac{(\Delta x \Delta x_c) + (\Delta y \Delta y_c)}{\sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)(\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2)}} \quad (12)$$

表 1 江苏人口结构和经济耦合系统的指标体系

I 级指标	II 级指标	III 级指标	单位
人口结构	人口年龄结构	X10-14 岁人口比重	%
		X215-64 岁人口比重	%
		X365 岁以上人口比重	%
		X4 老年抚养比	%

系 统 X	人口文化结构	X5 小学人口比例 X6 初中人口比例 X7 高中人口比例 X8 本科及以上学历人口比例 X9 15岁及以上文盲人口的比例 X10 平均受教育年限	% % % % % 年
	人口产业结构	X11 第一产业从业人口比重 X12 第二产业从业人口比重 X13 第三产业从业人口比重	% % %
	人口城乡结构	X14 城镇化率	%

经 济 系 统 Y	经济总量	Y1 GDP (国内生产总值)	亿元
	经济结构	Y2 第一产业产值比重	%
		Y3 第二产业产值比重	%
		Y4 第三产业产值比重	%
	经济水平	Y5 人均 GDP	元
		Y6 城镇固定资产投资完成额	亿元
		Y7 地方财政一般预算支出	亿元
Y8 地方财政一般预算收入		亿元	
Y9 城镇在岗职工平均工资		元	
Y10 农村居民人均纯收入		元	
农村经济	Y11 居民储蓄存款	亿元	
	Y12 房地产开发投资	亿元	
工业经济	Y15 农业生产总值	亿元	
	Y16 粮食产量	万 t	
国内外贸易	Y13 工业总产值	亿元	
	¥14 工业企业利润总额	亿元	
国内外贸易	Y17 社会消费品零售总额	亿元	
	Y18 批发零售贸易业总额	亿元	
	Y19 实际外商直接投资	亿美元	
	Y20 进出口总额	亿美元	

二、江苏省人口结构与经济耦合发展演化

(一) 耦合度演化特征

运用以上指标体系和方法模型计算，结果如下（为便于比较，关于耦合度数据统一保留小数点后3位）。

1990-2010年江苏省人口结构与经济发展的耦合度分别为0.652、0.634和0.634，前者属于较高关联，后两者均属中等关联，20a间，全省人口结构与经济发展关联度略降了0.018，两者之间呈现出一定的波动性。

1990-2010年,全省各县(市、区)耦合度分别在0.576~0.715、0.566~0.719和0.561~0.701之间,其中,属于较高关联分别有34个(约占全省地区总数的53.97%)、23个(约36.51%)与22个(约34.92%)地区,属于中等关联的地区分别为29个(约46.03%)、40个(约63.49%)和41个(约65.08%)地区。说明江苏省人口结构与经济发展的关系比较密切,但其程度在1990-2000年的10年间略微下降,而进入21世纪以来又保持在较稳定的状态。

(二) 耦合类型演化特征

根据耦合类型划分方法,评判江苏省人口结构与

经济的耦合类型,分析1990-2010年江苏省人口结构与经济的耦合类型演变。

1990年,全省各县(市、区)中,属于低水平型耦合区的有44个(约占69.84%)、拮抗型耦合区18个(约占28.57%)、磨合型耦合区1个(仅占1.59%)。2000年江苏省经济发展阶段属于工业化的初期,全省63个县(市、区)中,属于低水平型耦合区的有17个(约占26.98%)、拮抗型耦合区27个(约占42.86%)、磨合型耦合区18个(约占28.57%)、协调型耦合区1个(约占1.59%)。2010年江苏省经济发展阶段为由工业化中期往后期过渡的阶段,全省63个县(市、区)中,属于拮抗型耦合区37个(约占58.73%)、磨合型耦合区14个(仅占22.22%),协调型耦合区12个(约19.05%)。可见20a来,人口结构与经济耦合类型的变化显著,并且呈现向更高水平升级的趋势。

(三) 耦合度与耦合类型的异同比较

耦合类型是综合多指标进行考虑的结果,故,耦合类型不同于耦合度。耦合度的高或低只能代表其关联程度的大或小,而耦合类型则具有等级,从低水平、拮抗型、磨合型到协调型级别不断提高,表示耦合程度升高,关系越和谐,越趋向协调发展。所以,耦合度大的耦合类型不一定高,但亦具有普遍的规律,一般而言,协调型耦合的耦合度最小,磨合型耦合的耦合度较小,拮抗型耦合的耦合度较大,低水平型耦合的耦合度可能最大也可能最小。

例如:2010年江苏省耦合度最大的涟水县(0.7008)耦合类型为拮抗型耦合,主要是由于徘徊于经济产业结构“二、三、一”(26.61%、41.31%、32.08%)与人口就业结构“一、三、二”(39.66%、23.95%、36.39%)的拮抗限制阶段,第一产业从业人口比重过高成为限制经济产业结构升级的瓶颈,人口就业结构滞后于经济产业结构的发展,人口结构与经济发展的关联非常大且矛盾异常突出。

三、人口结构与经济耦合重心移动轨迹演变

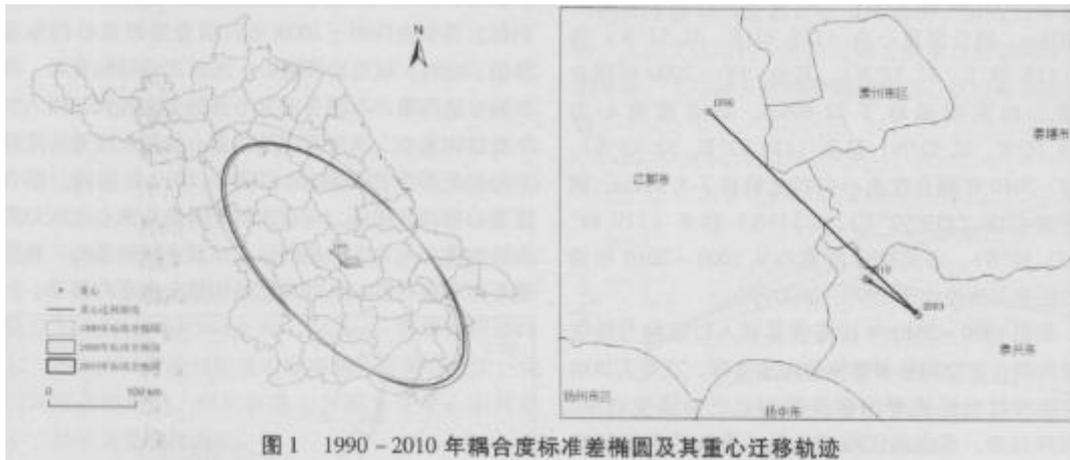
(一) 耦合度重心迁移轨迹分析

1990-2010年江苏省人口结构与经济发展耦合度的标准差椭圆及重心计算结果见表2与图1。

表2 江苏省人口结构与经济耦合度标准差椭圆的参数变化

年份	重心坐标	沿 X 轴的标准差/km	沿 Y 轴的标准差/km	转角/°
1990	119.76° E, 32.52° N	189848.09	84831.50	135.53°
2000	119.92° E, 32.33° N	180541.71	81632.41	134.93°
2010	119.88° E, 32.37° N	178598.30	83224.72	134.83°

数据来源：全国第四、五、六次人口普查。



1. 耦合度标准差椭圆分析 (1) 标准差椭圆的分布范围。不同年份的标准

差椭圆中心都是该年的重心，位于江苏省苏中地区中部，范围不断缩小，表明耦合度空间分布趋于集聚。最北端到达宿迁市区与沭阳县的交界处，最西端位于南京市东部，最南端达到吴江市域昆山市的交界处，最东端位于东台市中部，范围基本上覆盖全省经济较发达的长江两岸的苏南、苏中及少量苏北地区，由此表明耦合度与区域经济发展水平、交通水平等具有相对一致性。

(2) 转角 θ 大小的变化。从转角 θ 大小的变化来看，呈“不断减小”趋势，由 1990 年的 135.53° 下降至 2000 年的 134.93° 再降至 2010 年的 134.83° ，总体上耦合度空间分布呈现出西北-东南走向，且有向正北-正南方向转变的微弱趋势。主要由于泗洪县、洪泽县、盱眙县等地区耦合度下降明显，而涟水县等地区耦合度有上升趋势，导致转角不断下降，逐渐向正北-正南方向微移。

(3) 主辅轴方向。从主辅轴方向上看，主半轴

标准差由 1990 年的 189848.09km 下降到 2010 年的 178598.30km，表明耦合度在西北-东南格局上呈极化趋势。从主辅轴方向上看，1990-2010 年辅半轴标准差由 84831.50km 下降至 83224.72km，表明耦合度在东北-西南方向上呈微弱的极化趋势。从长短轴数值对比来看，1990-2010 年沿 X 轴标准差要大于沿 Y 轴标准差，即耦合度的空间分布南北向大于东西向，说明南北方向上耦合度相对更高，而东西方向相对较小。主要由于 2010 年涟水县成为耦合度最高区域，而且江苏耦合度、经济发展、交通条件等南北差异远大于东西差异，使得耦合度在南北方向呈现更高的集聚。

2. 耦合度重心演化轨迹分析

人口结构与经济的耦合度重心代表了人口结构与

经济耦合发展合理化程度在空间布局上的中心，不同年份的耦合度重心变迁实质上反映了人口结构与经济发展的合理化程度空间分布中心的转移，对洞察人口结构与经济发展的耦合度空间演化具有重要意义。

耦合度重心变化。1990-2010 年人口结构与经济发展的耦合度重心变化范围在 $119.76^\circ \sim 119.92^\circ \text{ E}$, $32.33^\circ \sim 32.37^\circ \text{ N}$ 之间，大致位于江都市东部与泰兴市西北部。1990-2010 年，耦合度重心先向东南转移，后向西北转移，南北方向上向南偏移了

0.15°，东西方向上向东偏移了 0.12°。其中，以 1990-2000 年南北偏移量最大(向南偏移了 0.19°)，东西方向上向东偏移了 0.16°，2000-2010 年南北方向(东西方向)上向北(西)偏移了 0.04°，可见，南北及东西方向耦合度重心偏移量均减小。

耦合度重心移动轨迹。耦合度重心总体上向东南发生偏移，1990-2010 年向东南移动了 22.03km，耦合度重心由(119.76° E, 32.52° N)移至(119.88° E, 32.37° N)，其中 1990-2000 年耦合度重心向东南偏移了 27.89km，耦合度重心由(119.76° E, 32.52° N)移至(119.92° E, 32.33° N)，2000-2010 年耦合度重心向西北偏移了 5.93km，耦合度重心由(119.92° E, 32.33° N)移至(119.88° E, 32.37° N)，可见耦合度重心从 2000-2010 年偏移的距离与速度小于 1990-2000 年。

表明 1990-2010 年江苏省县域人口结构与经济发展的耦合度空间分布整体趋向东南部，且受人口结构转换和社会经济等因素作用而处于持续变动中。1990 年以来，苏南地区依托长江三角洲的区位优势与政策优势，经济率先发展，产业结构不断升级，劳动力人口由第一产业大量转移到第二、三产业，城镇化进程加快，卫生医疗水平显著提高，人民生活水平呈跨越式发展，人口预期寿命延长，老年人口增长较快，大批年轻人口迁人，导致人口结构与经济发展的矛盾亦不断增大，促使衡量人口结构与经济协调发展程度的耦合度重心向东南方向迁移。

(二)人口结构与经济重心演变分析

以老年人口比重、本科及以上人口比重、城镇人口比重、第三产业人口比重及 GDP 等指标分别代表人口年龄结构、人口文化结构、人口城乡结构、人口产业结构及经济发展，采取重心分析的方法，计算并分析各个年份人口年龄结构、人口文化结构、人口城乡结构、人口产业结构及经济等指标的重心(如图 2 所示)，以便对重心重叠性、空间变动一致性及人口结构与经济的耦合度重心比较。

从空间布局来看，各指标重心主要在江都市及周

边县域进行不同方向的移动。其中，1990-2010 年，相比于上述分析中耦合度重心由江都市东部向东南移动至泰兴市西北部后又往西北回迁至泰兴市西北角；人口年龄结构重心从江都市北部移至江都市与高邮市交界处后继续北上移至高邮市；人口产业结构重心由高邮市东南部迁移至江都市后又往回迁移至高邮市；人口城乡结构重心由高邮市一直向东南迁移最终到达江都市西北部；人口文化结构重心由江都市西部不断向西北迁移最终移至江都市中部；经济重心由江都市近中部不断向东南移动最终移至扬中市。

与耦合度重心位置比较来看，1990-2010 年，人口年龄结构、人口产业结构、人口城乡结构重心均在耦合度的西北部，人口文化结构与经济结构重心均在耦合度重心的西部，从移动方向来看，1990-2010 年期间，仅人口产业结构重心移动轨迹大体与耦合度相似。其中，1990-2000 年，耦合度的重心向东南移动，此时，仅有经济重心、人口产业结构重心、人口城乡结构重心与耦合度重心迁移方向相同，而人口年龄结构重心、人口文化结构重心与耦合度重心迁移方向相反即向西北移动。2000-2010 年期间，耦合度重心向西北回迁，仅有人口年龄结构重心、人口产业结构重心与之方向相同，人口城乡结构重心、经济重心向东南迁移，人口文化结构重心向东北移动。



图2 1990-2010年耦合度与各指标重心空间移动轨迹

四、重心空间耦合态势演变的影响机制

(一) 重心重叠性与一致性分析

1. 重叠性

为更好地量化耦合度重心与其余各指标重心的空间耦合态势，使用空间重叠性从静态视角分析重心的空间耦合，如图3。

根据公式 11，计算结果表明：1990-2010 年，各指标重心与耦合度重心的距离总体上均呈上升趋势，重心重叠性下降，其中人口年龄结构重心、人口产业结构重心与耦合度的距离不断上升，重心重叠性下降，而人口文化结构重心、人口城乡结构重心、经济重心与耦合度重心的距离均呈先大幅上升后微幅下降的特征，重心重叠性先减小后增加。具体而言，1990 年，人口产业结构重心与耦合度的重心距离最远，达 26.70km，说明人口产业结构重心与耦合度的重心重叠性最小；经济重心与耦合度的重心距离最近，仅 10.94km，说明经济重心与耦合度的重心重叠性最大；人口年龄结构重心、人口文化结构重心、人口城乡结构重心与耦合度重心的距离在 20-25km 之间，与耦合度重心的重叠性比较高。2000 年，各指标重心与优势度重心的距离均上升，重叠性逐渐下降，人口城乡结构重心与耦合度重心距离最远(56.66km)，重叠性最小；经济重心与耦合度的重心距离最近(19.60km)，重叠性最大。2010 年，人口产业结构重心、人口年龄结构重心与耦合度重心的距离大幅度上升，分别上升至 61.72km 和 54.98km，重叠性下降且较小；人口文化结构重心、人口城乡结构重心、经济重心与耦合度重心的距离均下降，分别下降至 31.13km、55.56km 及 12.43km，重叠性逐渐增加，其中人口产业结构重心距离耦合度重心最大，说明其重叠性最小，而经济重心与耦合度重心距离最小，说明其重叠性最大。

2. 变动一致性

根据公式 12，利用重心变动的一致性指数，度量耦合度重心与各指标重心来考察角度变动，如表 3、图 3 所示。1990-2000 年期间，耦合度重心与人口年龄结构重心、人口文化结构重心、人口城乡结构重心变动一致性指数小于 0，表明此阶段，人口年龄结构重心、人口文化结构重心、人口城乡结构重心对耦合度重心的空间格局变动相反，其余指标重心与耦合度重心的变动指数均呈现出一致性，其中经济重心与优势度重心的变动一致性指数最大，表明此阶段，经济重心变化对耦合度重心空间格局变化的影响最显著。2000-2010 年期间，耦合度重心与人口文化结构重心、经济重心变动一致性指数小于 0，表明人口文化结构重

心、经济重心与耦合度重心的空间格局变动相反，其余各指标重心与耦合度重心的变动指数均呈现一致性，其中经济重心与优势度重心的变动一致性指数绝对值最大，说明此阶段，经济重心变化对耦

合度重心空间格局变化的影响力最明显。人口城乡结构重心、人口年龄结构重心与耦合度重心变动一致性指数由负变正，可见人口城乡结构重心与年龄结构重心对耦合度重心空间演变的影响由限制转变为促进；人口年龄结构重心、人口文化结构重心及经济重心与耦合度重心的变动一致性指数绝对值均上升，表明人口年龄结构重心、人口文化结构重心及经济重心对耦合度重心的空间作用增强；人口城乡结构重心与耦合度重心的变动一致性指数的绝对值下降，表明人口城乡重心对耦合度重心的空间作用减弱。

综合重心移动轨迹、重叠性及变化一致性可以发现，1990-2010年期间，经济发展对耦合度重心空间格局的影响最大，人口产业结构仅次于经济发展，二者均是对耦合度最重要的驱动力，虽然各指标重心与耦合度重心的距离均呈上升趋势，但人口年龄结构、人口文化结构及经济对耦合度重心的空间作用逐渐增强，人口城乡结构对耦合度重心空间格局逐渐减弱

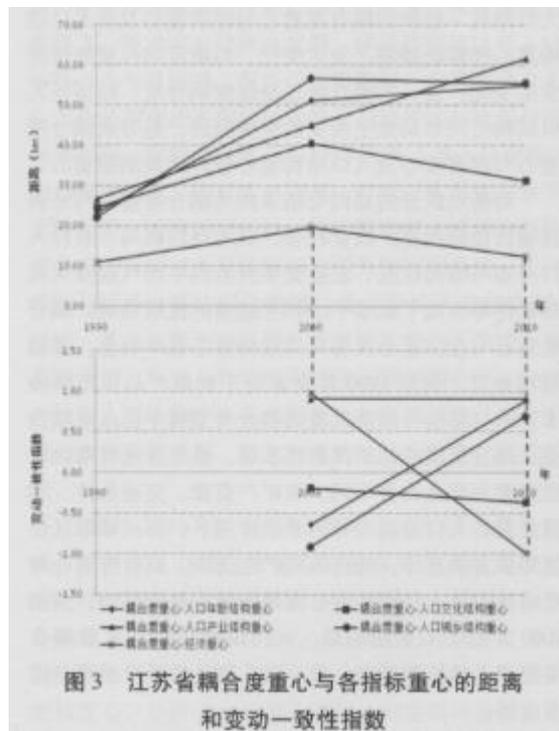


表 3 耦合度重心与各指标重心的变动一致性指数

	1990-2000	2000-2010
耦合度重心-人口年龄结构重心	-0.64	0.89
耦合度重心-人口文化结构重心	-0.20	-0.37
耦合度重心-人口产业结构重心	0.91	0.91
耦合度重心-人口城乡结构重心	-0.91	0.69
耦合度重心-经济重心	0.98	-0.99

数据来源：全国第四、五、六次人口普查。

(二) 重心空间耦合过程机理

人口结构-经济的耦合度重心与经济重心及各人口结构重心的靠近或远离是区域发展的客观现象。区域发展差异导致势能差，推动人口从经济水平低的地区向经济水平高的地区迁移，促进人口结构-经济的耦合度重心和经济重心及各人口结构重心趋向靠近，区域发展趋于均衡。故，均衡点跃迁、势能差转化在探讨区域发展均衡过程与重心空间耦合过程中意义重大。

1. 均衡点跃迁

区域发展的均衡状态指人口结构与经济发展的耦合度重心与经济重心及各人口结构重心趋向一致，均衡点指各要素重心趋向一致的点位 [24]。不同发展阶段驱动人口结构与经济空间布局的机制与目标不同，新发展阶段可能产生新人口结构布局和新经济区位，人口结构-经济的耦合度重心与经济重心及各人口结构重心迁移轨迹随之发生变化，均衡点的位置亦可能发生变化。故，均衡点跃迁是促使耦合度、经济与人口结构空间布局发生质变的主要原因，是导致耦合度重心与经济重心及人口结构重心暂时远离的驱动力。

均衡点跃迁的原因与结果均是耦合度重心与经济活动区位的改变。农业社会，农业经济格局、农村人口分布与结构状况、农业发展所需的平均气候及水资源条件等形成了低水平的相互适应的区域格局，耦合度重心与经济重心及各人口结构重心基本吻合，即初始均衡点。例如 1990 年全省处于初级产品生产阶段 I，人口结构与经济发展的耦合类型属于低水平耦合型，耦合度重心位于江都市东部。但工业化时期的区位因素与农业社会不同，在矿产资源、交通条件、地理位置、人口劳动力等因素的作用下，各区域的区位优势度重新排序，经济格局产生变动，耦合度重心与经济重心及人口结构重心出现不同程度的移动，例如 2000 年处于工业化初期，人口结构与经济发展耦合类型属于拮抗型耦合，重心向东南迁移至位于泰兴市西北部。

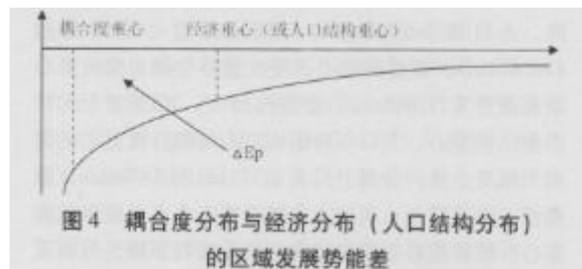
2. 区域发展势能差转化

利用区域发展势能（虚拟量 EP）作为研究区域发展空间布局变化驱动力的指标，当耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）远离时，耦合度分布与经济分布（或人口结构分布）将产生势能差（ ΔE_p ），借助引力势能，即区域发展势能永远是负值且无穷远处势能为 0 [24]，故，耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）相距越近，势能差则越小（图 4）。

研究发现，势能差与区域差异呈密切的正相关关系，势能差越大，区域差异则越大，推动人口和生产要素流动、促进经济与人口结构空间布局重新布局的力度就越大，进而引发耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）向均衡点移动。这个过程类似势能向动能转化的过程，即区域发展势能差（ ΔE_p ）转化为动能（Ed）。转化符合如下能量守恒公式：

$$\Delta E_p = \Delta E_p' + E_d = \Delta E_p' + W_y - W_z \quad (13)$$

式中， $\Delta E_p'$ 是转换后的区域发展势能差，Ed 是转换中产生的动能， W_y 是耦合度与经济（或人口结构）布局间的作用力所引发的结果（引力效应）， W_z 是外部对耦合度与经济（或人口结构）空间布局实施作用的结果（阻力效应）。



鉴于 W_z 决定区域发展势能差的转换量，对耦合度与经济（或人口结构）的空间布局及区域发展差异均有较大影响，故 W_z

十分重要，在现实生活中，政府通常为 W_z 的施加者，结合江苏省县域实际情况，其作用方式与效果一般包括以下两类：①政府干预抑制了耦合度与经济（或人口结构）分布趋于一致，即政府实施维持区域差异的管制行为， $W_z > 0$ ，当 $W_z < W_y$ 时，耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）小幅靠近，区域差异缩小；当 $W_z = W_y$ 时，耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）维持原距离，区域差异不变；当 $W_z > W_y$ 时，耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）继续分离，区域差异扩大。一般而言，此时耦合度与经济（或人口结构）分布之间的作用力被抵消，这类管制行为包含控制人口流动、采用利于苏南等发达地区的政策、在投资中偏向上述地区等，导致区域发展势能差不能有效释放，区域差异扩大或延缓缩小。②政府采取主动缩小区域差异的管制行为。这类政府作为主要包括实施有利于苏北等欠发达地区发展的区域政策、通过行政手段来促进与耦合度重心的转移相一致的经济产业转移（或人口结构迁移）等。这种情况下 $W_z < 0$ ，即阻力效应转化为推力效应，耦合度与经济（或人口结构）空间分布间的引力相叠加，在耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）仍远离时主动扭转区域差异扩大的局面，耦合度重心与经济重心（或人口结构重心）便加速靠近，区域差异缩小。

3. 耦合度与经济（或人口结构）重心均衡点跃迁与势能差机理分析

根据江苏省县域耦合度重心与经济重心、各人口结构重心空间耦合态势的计算结果（如图 3）可见，1990-2010 年这段时间内，江苏省区域发展差异体现出先扩大后缩小的过程。

归纳其发展过程、均衡特征、均衡点迁跃以及政府效应（如表 4）。

表 4 江苏省区域发展空间均衡过程及其特征

时间段	均衡特征	均衡点迁跃动因与特征	势能差转化外部作用 (W_z)
1990-2000	耦合度重心向东南移，区域差异扩大	经济建设为中心与全球化，苏南模式；迁向东南部发达地区	第①种类型
2000-2010	耦合度重心向西北移，区域差异缩小	中国加入世贸组织，交通发展，“南北挂钩、对口协作”工程；小幅回迁	第②种类型

1990-2000 年，经济（或人口年龄结构、人口文化结构及人口城乡结构等）与耦合度重心变动相反及其距离增大导致均衡点跃迁，同时导致势能差增大。变动一致性指数显示，人口年龄结构重心、人口文化结构重心、人口城乡结构重心对耦合度重心的空间格局变动不一致；重心重叠性结果发现，各指标重心与耦合度重心的距离总体上均呈上升趋势（图 3、表 4）。这一阶段，江苏省以经济建设为中心，实行对外开放，积极融入经济全球化体系，苏南模式的出现和长江三角洲的区域优势促使苏南地区尤其是靠近上海的东南部地区成为全省参与全球化的首选地区，经济（或人口年龄结构、人口文化结构及人口城乡结构等）与耦合度空间分布产生空间错位，进而导致区域发展空间均衡点跃迁并向东南方向产生新的均衡点。

在这一阶段，江苏省政府采用维持区域差异的方式，外部作用属于第①种类型。这一时期内，政府延续非均衡发展战略，对人口结构与经济分布的影响均有体现，首先，在经济政策方面，政府大胆进行经济体制改革，开创苏南模式，在资金、人力、物力、土地等诸多重要的生产要素方面给予投资与支持。在中国分权化改革的背景下，地方政府得到指导和促进经济发展的主动权，为追求财政利益最大化，在苏南经济腾飞的初期，由于市场机制尚不健全，政府进行制度创新，强制性变迁体制，促进苏南模式产生。地方政府掌控建立乡镇企业的资本、土地等生产要素，凭借行政、经济等力量，发动资金、人力、物质等资源来促进本地经济发展，在发动与配置市场资源方面具有显著优势，所形成的发展能力和投资能力均远大于乡镇企业本身。苏南政府还运用各种手段开发人力资源。该阶段，充分发挥制度创新所产生的巨大利益，苏南乡镇企业得到快速发展。

其次，在人口政策方面，政府执行中国严格的户籍管理制度，在一定程度上成为人口的自由流动的阻碍。伴随苏南模式的兴起，苏南地区经济发展实现迅速腾飞，带动城市化快速发展，使得苏南地区对人口的吸引力与日俱增，但由于户籍限制，大量劳动力人口无法长期留在苏南地区并享受当地居民的社保与医保等福利，导致耦合度与与经济发展（或人口结构）的分布仍

脱节，两者重心分离，有利于苏南地区发挥比较优势，培育其增长极，进而提高整个区域的整体竞争力，但同时亦导致区域发展失衡问题凸显，人口结构与经济发展的耦合类型由低水平型转向拮抗型，因而，苏南与苏北地区的区域发展势能差不断增大且不断累积，导致人口结构与经济发展的耦合度、经济以及各人口结构产生南北方向上的空间错位，耦合度重心向东南部迁移，苏北与苏南地区两极分化日益严重。

2000-2010年，经济（或人口文化结构及人口城乡结构等）与耦合度重心变动相反及其距离减小导致均衡点跃迁，同时导致势能差减小。2000-2010年期间，人口文化结构重心、经济重心与耦合度重心的空间格局变动相反，人口文化结构重心、人口城乡结构重心、经济重心与耦合度重心的距离均呈小幅下降的特征（图3、表4）。伴随中国加入世贸组织，对外贸易日益发达，江苏省大力促进高速公路、跨江隧道、地铁、沪宁高铁等交通事业的发展，建设“南北挂钩、对口协作”工程等，促使2000年以来人口结构与经济重心发生移动，导致人口结构与经济发展的耦合度往西北方向回迁，耦合度与经济（或人口结构）空间分布的错位态势得到缓和，从而推动区域发展空间均衡进入新的均衡点。

这一时期，江苏省政府采取主动缩小区域差异的管制方式，外部作用属于第②种类型。这一时期内，政府颁布或实施了多项政策措施，旨在缩小不断扩大的区域差异。在经济政策方面，依据十六届五中全会精神与“十一五”规划建议，逐渐扭转南北差异扩大的局面，导致三大区域优势互补、协调发展的态势，《建议》明确了推动区域协调发展的重大举措与各个区域发展的导向，重点推动“三横一纵”的产业带发展。即加快苏北地区的振兴，推动苏中地区的崛起，提高苏南地区的国际竞争力。特别是要加强县域经济发展，赋予县一级政府更多的经济、行政管理权限。完善南北挂钩机制，促进区域间资源整合与分工协作。在人口政策方面，政府开始尝试逐步改革户籍制度，促进城乡一体化与医疗、退休等保障体系一体化，试图改善城乡“二元结构”差异局面，降低对人口自由流动的限制，减少人口结构与经济发展的矛盾。因而这一时期，区域发展势能差减小，耦合度与经济（或人口结构）等重心距离减小，重叠性增大，区域差异总体亦有所减小，故耦合度重心向西北回迁。

但是其回迁的幅度，即2000-2010年耦合度重心移动的距离较短，小于1990-2010年间，主要是由于长期以来，江苏省在促进区域协调发展过程中的协调方式单一，缺乏真正的经济一体化。在发展中更注重资金和项目转移，大多数只停留在“扶持”与“援助”的表面上，区域和区域间缺乏深人的文化交流与制度变化，区域和区域间在经济与人口结构等方面处于绝缘状，导致区域经济与人口结构耦合发展很难由简单叠加转变成一体化的融合。

五、结论

通过研究，得到以下主要结论：

1. 1990-2010年江苏省人口结构与经济发展的耦合度整体小幅度下降，由较高关联为主转变为中等关联为主。耦合类型向高水平升级，由低水平型为主转变为拮抗型向磨合型过渡，人口结构与经济的关系趋向协调。一般而言，经济发展阶段提高，将推动人口结构与经济发展耦合类型不断升级，但人口结构与经济发展的关系错综复杂可能会有反复性。

2. 人口结构与经济重心空间耦合演化特征显著。耦合度标准差椭圆居于江苏省苏中地区的中部，空间格局趋于集中。转角 θ 不断减小，在西北-东南格局上出现极化趋势。沿X轴方向的耦合度呈现出逐渐

极化的演变特征，沿Y轴方向则先极化后分散且极化力度大于分散力度。人口结构与经济发展的耦合度重心大致位于江都市东部与泰兴市西北部。耦合度重心先向东南转移，后向西北转移，其中南北偏移量最大，南北及东西方向的偏移量均呈现出减小的过程。

3. 人口结构与经济耦合关联性较强，两者重心空间耦合态势明显，经济对耦合度重心空间格局的影响最大，各指标重心与耦合度重心的重叠性下降，其中人口年龄结构、人口文化结构及经济对耦合度重心的影响逐渐增强。均衡点跃迁是引起耦合度、

经济及人口结构空间格局产生质变的主要原因，是导致耦合度重心与经济重心及各人口结构重心暂时远离的驱动力机制。1990-2000年，政府采取维持区域差异的方式，苏南与苏北地区的区域发展势能差不断增大，导致人口结构与经济的耦合度、经济以及各人口结构产生南北方向上的空间错位，耦合度重心向东南部迁移，苏北与苏南地区两极分化日益严重。2000-2010年，政府采用主动缩小区域差异的方式，区域发展势能差减小，耦合度与经济(或人口结构)等重心重叠性增大，区域差异总体亦有所减小，故耦合度重心向西北回迁。以上研究结果可为政府制定区域发展政策、调控区域差异性、调整人口结构与经济耦合发展策略等提供科学依据。

参考文献:

- [1]王维国,徐勇,李秋影.我国人口年龄结构变动对经济发展影响的定量分析[J].市场与人口分析,2004,10(6):1-8.
- [2]Andersson B. Scandinavian evidence on growth and age structure [J]. Regional Studies, 2001, (35): 377-390.
- [3] Papageorgiou Chris. Human capital as a facilitator of innovation and imitation in economic growth: further evidence from cross country regression [R]. Louisiana State University Working Paper, 1999.
- [4]Engelbrecht. The role of human capital in economic growth: some empirical evidence on the Lucas Vs Nelson Phelps' controversy[R]. Discussion Paper,2001.
- [5]许月卿,李双成.我国人口与社会经济重心的动态演变[J]•人文地理,2005,20(1):117-120.
- [6]王维国,杨晓华.我国人口素质与经济协调发展关系的实证研究[J].西北人口,2006(2):26-28.
- [7]李秀霞,刘春艳.吉林省人口城市化与经济发展相关分析研究[J].人口学刊,2007,(3):8-12.
- [8]毕其格,宝音,李百岁.内蒙古人口结构与区域经济耦合的关联分析[J].地理研究,2007,26(5):995-1004.
- [9]苏飞,张平宇.辽宁省人口结构与经济协调发展研究[J].农业系统科学与综合研究,2010,26(1):107-111.
- [10]何海林,涂建军,孙祥龙,等.中国人口结构与经济结构耦合的关联分析[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(10):140-145.
- [11]吴连霞,赵媛,马定国,管卫华.江西省人口与经济发展时空耦合研究[J].地理科学,2015,35(6):742-747.
- [12]吴连霞,赵媛,管卫华.江苏省人口-经济耦合与经济发展阶段关联分析[J].地域研究与开发,2016,35(1):57-63.
- [13]逯进,郭志仪.中国省域人口迁移与经济增长耦合关系的演进[J].人口研究,2014,38(6):40-55.
- [14]涂建军,周艳.主体功能区人口-经济耦合协调关系研究以四川省重点开发区为例[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(4):118-124.
- [15]付云鹏,马树才.中国区域人口、经济与资源环境耦合的时空特征分析[J].区域经济,2015,(3):31-33.

-
- [16]曹瑞瑞, 蒋震. 上海市能源-经济-环境(3E)系统协调发展的实证研究[J]. 统计与决策, 2015, (12):134-136.
- [17]王宏卫, 刘勤, 柴春梅, 等. 新疆渭干河库车河绿洲人口、经济、环境耦合协调发展研究[J]. 生态经济, 2015, 31(3):78-83.
- [18]党建华, 瓦哈甫·哈力克, 张玉萍, 等. 吐鲁番地区人口-经济-生态耦合协调发展分析[J]. 中国沙漠, 2015, 35(1):1-7.
- [19]蒋晓娟, 王月菊, 陈兴鹏, 等. 中国人口-经济-空间-社会城市化耦合协调的时空演变分析[J]. 兰州大学学报(社会科学版), 2015, (5):63-71.
- [20]杜忠潮, 黄波, 陈佳丽. 关中-天水经济区城市群人口经济与资源环境发展耦合协调性分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(1):135-147.
- [21]徐建华, 岳文泽. 近20年来中国人口重心与经济重心的演变及其对比分析[J]. 地理科学, 2001, 21(5):385-389.
- [22]沈续雷, 王桂新, 孔超. 中国人口分布和经济发展空间不均衡性对比研究[J]. 人口与发展, 2009, 15(6):69-73.
- [23]徐艳艳, 于洋. 甘肃省人口与社会经济重心的动态演变及其对比分析[J]. 中国林业经济, 2009, 33(2):249-252.
- [24]秦振霞, 李含琳, 苏朝阳. 河南省1987-2006年人口重心与经济重心的空间演变及对比分析[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(1):16-19.
- [25]樊杰, 陶岸君, 吕晨. 中国经济与人口重心的耦合态势及其对区域发展的影响[J]. 地理科学进展, 2010, 29(1):87-95.
- [26]李细归, 吴清, 廖天. 武汉城市圈人口分布与区域经济空间耦合研究[J]. 统计与决策, 2015, (12):136-140.
- [27]罗庆成, 徐国新. 灰色关联分析与应用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989:2-3.
- [28]刘思峰, 郭天榜. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014:3-8.
- [29]刘耀彬, 李仁东, 宋雪峰. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报, 2005, 60(2):237-247.
- [30]Huang J C, Fang C L. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment [J]. Geographical Research, 2003, (2):211-220.
- [31]刘长茂, 张元纯. 人口结构学[M]. 北京: 中国人口出版社, 1991.
- [32]李建新. 中国人口结构问题[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2009
- [33]Wong S W D. Several Fundamentals in Implementing Spatial Statistics in GIS: Using Centographic Measures as Examples [J]. Geographic Information Sciences, 1999, (2):163-173.
- [34]Gong J. Clarifying the Standard Deviatonal Ellipse. Geographical Analysis, 2002, (34):155-167.

[35]李秀彬.地区发展均衡性的可视化测度[J].地理科学,1999,19(3):255-256.