
长江经济带城市体系空间格局演变^{*1}

冯兴华^{1, 2} 钟业喜² 李峥荣³ 傅钰²

(1. 东北师范大学地理科学学院, 吉林长春 130024;

2. 江西师范大学江西经济发展研究院/地理与环境学院, 江西南昌 330022;

3. 西华师范大学国土资源学院, 四川南充 637009)

【摘要】: 构建科学合理的城市体系空间格局, 是推进新型城镇化、促进区域协调发展的重要内容。基于 1988、2001、2012 年长江经济带城市影响力指数及交通路网数据, 运用 Kernel 密度分析法、分形理论、修正引力模型等方法对长江经济带城市规模结构演变、城市等级结构演变及城市体系演变进行深入分析。结果表明: 长江经济带城市规模变化明显, 由单一低水平俱乐部向中、高水平的多个俱乐部发展, 出现城市规模多峰主的“俱乐部趋同”现象, 低、中、高的等级序列分布模式趋于完善; 城市规模结构在空间上逐步形成典型的多核心—边缘结构; 长江经济带城市规模体系总体呈初级首位型特征, 但合理化发展趋势明显; 城市引力强度差异持续缩小、地域差异性显著, 低层级引力城市多分布在中西部地区; 区域内逐步形成长三角、中三角及大西南 3 大城市体系, 而中三角城市体系组织相对松散。基于城市体系格局分析, 研究从因素层、机制层、特征层及目标层等 4 个层次探讨了长江经济带城市体系空间演化机理。

【关键词】: Kernel 密度分析法; 分形理论; 城市体系格局; 空间演化机理; 长江经济带

【中图分类号】: F127 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2017)11-1721-13

DOI: 10. 11870 /cjlyzyyhj201711001

城市体系是指在一个相对完整的区域中, 以中心城市为核心, 由各种不同职能分工、不同等级规模、空间分布有序的城市所组成的相互联系、相互作用的城市群组织^[1], 具有整体、层次、动态、开放和重叠性等特征; 科学认知区域城市体系空间格局特征及其规律性, 对合理谋划区域城市格局、优化城市体系功能具有重要意义^[2]。

城市体系的空间合理性及完善性直接关系到城市体系功能的发挥和竞争力的提升, 因此成为城市研究的核心内容之一。国外学者对城市体系空间格局的研究多集中在相关测度模型的建立^[3, 4]和理论的完善^[5]: 德国经济学家 Auerbach 在 20 世纪初提出等级—规模法则^[3], Zipf 在等级—规模法基础上进行了相关和拟合分析、提出了反映位序—规模关系的 Zipf 法则^[4], 这些

¹ 收稿日期: 2017-03-06; 修回日期: 2017-05-31

基金项目: 国家自然科学基金(41161021, 41561025) [National Natural Science Foundation(41161021, 41561025)]

作者简介: 冯兴华(1990 ~), 男, 博士研究生, 研究方向为城市地理、应用地理学。 E-mail: fxh120315@ 126. com

通讯作者 E-mail: zhongyexi@ 126. com

理论法则为城市体系研究奠定了基础；美籍数学家 Mandelbort 于 1967 年首次提出分形理论，并将其运用到城市体系研究以探究城市体系的分维数性质^[5]。之后，一些学者相继对城市体系研究相关理论进行了定量分析^[6, 7]：Jeff 等^[6]提出全球大城市分布符合 Gibrat 法则和 Zipf 法则，并认为移民对全球城市体系具有一定影响；Chen Yanguang^[7]基于 Zipf 法则的 3 种数学模型分别探讨了其适用条件与范围。得益于国外理论的引进以及地理信息技术的进步，国内的城市体系研究快速推进，主要集中在城市体系理论^[8]、空间结构及其演变机理^[9, 10]和城市体系定量研究^[11~14]等方面。陆大道院士提出了点-轴渐进扩散理论^[8]及中国国土开发的“T”字型空间结构战略^[9]；姚士谋等^[10]对中国城市群开展了系统研究，揭示了中国城市群的空间格局及其发育机理；王发曾等^[11]、尚正永等^[12]、程开明等^[2]、刘继生等^[13]、边梅婷等^[14]均结合传统计量方法及空间分析方法分别对中原城市群、长三角、中部地区、东北三省及徐州城市圈等区域城市体系空间结构进行了定量研究。随着网络信息技术的崛起，以传统的位序城市关系逐步转向以模型方法或大数据为基础结合复杂网络理论构建的城市网络关系研究。冷炳荣等^[15]、顾朝林等^[16]等从经济角度结合传统模型和复杂网络分析工具构建了城市联系网络，刻画了中国城市体系的空间联系状态和结节区结构；吕拉昌等^[17]基于城市创新职能及城市体系理论，从创新格局、网络、等级体系等方面对中国创新城市空间体系进行分析，提出五级塔型城市创新体系结构；吴康等^[18]基于企业名录的总部-分支机构关联大数据利用复杂网络分析工具对中国城市网络的空间组织特征进行了分析；钟业喜等^[19]基于铁路始发列车数量，运用图表判别和聚类分析法揭示了中国城市“T”型空间分布特征。从现有相关文献来看，城市体系格局研究主要呈现出研究数据多元化、研究方法集成化及研究尺度细致化等典型特征；但同时研究成果多集中在现状特征分析、较少深入分析其长时间序列的演变态势及其特征。为此，研究基于城市影响力指数综合指标体系通过传统数理统计方法、空间分析方法及修正引力模型等方法，对长江经济带城市体系空间格局进行长时间序列下的演变特征分析及其构建的空间结构进行深入分析。

长江经济带是我国未来“一弓两箭”战略空间格局的重要组成部分，随着我国经济发展进入新常态时期，启动长江经济带的建设显得尤为重要^[20]。按照国家的顶层设计，长江经济带将打造成具有全球影响力的内河经济带、国家经济增长新的支撑带、东中西部协调发展与沿海沿江沿边全面开放的示范带。虽然近年来沿江省份社会经济实现了较快发展、立体交通网络初步成型、局部区域城市体系逐步稳固，但作为一个包含 9 省 2 市的巨型区域，地区资源禀赋与经济发展状况差异极大，内部非均衡化的发展痕迹十分明显，全域城市体系远未形成。本文以长江经济带内地级以上城市为基本研究单元，结合传统数理统计方法、修正引力模型并结合 ArcGIS 空间分析方法，对长江经济带城市体系空间格局演化态势及其特征进行深入分析，以期对长江经济带的城市体系优化及区域空间开发提供指导意见。

1 研究区域、数据来源及研究方法

1.1 研究区域

经济带是在劳动地域分工基础上形成的不同层次、各具特色的带状地域经济单元，是在一定的自然和人文环境基础上形成的以扩散通道为发展轴，以轴线上经济发达的多个大城市为核心，发挥其经济集聚和辐射功能，带动区域不同等级规模城市的发展，并由此形成点状密集、面状辐射、线状延伸的带状经济区域或经济走廊^[21]。

随着建设长江经济带上升为国家发展战略，长江经济带将再次成为学术界研究热点区域。陆大道在 1984 年提出了“一线一轴”的“T”字形发展战略：一线指沿海一线，一轴即长江流域；20 世纪 90 年代，“长江三角洲及长江沿江地区经济”战略构想提出：建设以浦东开发为龙头，进一步开放长江沿岸城市，尽快把上海建成国际经济、金融、贸易中心之一，带动长江三角洲和整个长江流域地域经济的新飞跃；2005 年，长江沿线 7 省 2 市签订了《长江经济带合作协议》，长江经济带的框架由此基本形成；2013 年，《推动长江经济带转型升级指导意见》编制、习近平总书记在武汉提出长江流域要加强合作，发挥内河航运作用，把全流域打造成“黄金水道”；2014 年，“依托黄金水道，建设长江经济带”上升为国家战略写入政府工作报告。长江经济带兼顾了自然地理环境、人文脉络、经济区的整体功能和行政区的完整性等诸多因素的一种经济区形式，它是流域为基础、以长江为纽带、以城市经济区为基本单元的宏观协作经济带^[18]。依据经济带的整体功能性及长江经济带国家发展战略规划，长江经济带空间范围包括沪、苏、浙、皖、赣、鄂、湘、渝、川、贵、云等 11 省市；研究以长江经济带内 110 个

地级以上城市为基本研究单元，对长江经济带城市体系空间格局进行深入分析和探讨，以期为长江经济带的城市体系优化及区域空间开发提供参考。

1.2 数据来源

数据资料主要来自 1989 年、2002 年及 2013 年《中国城市统计年鉴》^[22~24]，依据数据的可获取性原则及研究基本单元的一致性，研究以 2001 年地级以上城市为标准，部分指标数据利用指数平滑法计算或通过中国宏观数据挖掘分析系统补充得到。

以 1 : 400 万基础地理数据为基础，进行 Gauss Kruger 投影转换，提取交通网络、城市节点等数据。将 1988、2001、2012 年长江经济带 11 省市交通路网进行配准、矢量化补充和完善到 1 : 400 万基础地理数据的交通网络数据中，形成长江经济带道路交通网络图。依据《中华人民共和国公路工程技术标准(JT-GB01-2003)》规定的道路设计标准，结合不同时期区域实际路网密度和质量，对不同时间断面下各类道路平均行车速度进行赋值(表 1)；并在 ArcGIS 9.3 软件平台下，利用加权成本距离模块(cost distance)进行可达性分析，提取两两城市间的时间成本距离，构成长江经济带城市间时间成本距离矩阵。

表 1 不同交通方式下相对时间成本值设定

		高铁	高速 铁路 公路	主要 公路	一般 公路	快速路	国道	省道	县乡道	其他	
1988 年	行车速度 (v) 时间成本 (cost = 1/V)		50 km/h	60 km/h	60 km/h	50 km/h				10km/h	
			1.2	1	1	1.2				6	
2001 年	行车速度 时间成本(cost = 1/r)		100km/h	100 km/h			90 km/h	60 km/h	40 km/h	30 km/h	10 km/h
			0.6	0.6		0.67	1	1.5	2	6	
2012 年	行车速度 (r)	250	120	100			90 km/h	60 km/h	40 km/h	30 km/h	10 km/h
	时间成本 (cost = 1/V)	0.24	0.5	0.6		0.67	1	1.5	2	6	

1.3 研究方法

1.3.1 城市影响力指数的构建

单一指标难以反映城市实力，为此研究依据方创琳等^[25]、王丽等^[26]的城市综合实力测度指标体系的研究成果，在综合考虑城市发展水平间的相对差异及绝对差异的基础上，选择经济发展等 3 个子系统、地区生产总值等 17 项测度指标构建了城市影响力指数测度指标体系(表 2)，以反映城市综合实力水平。

表 2 城市影响力指数测度指标体系

系统层	子系统层	指标层
城市影响力指数	经济发展	地区生产总值、人均地区生产总值、地均地区生产总值、二三产业产值、年平均人口、二三产业从业比例、社会消费品零售总额、城乡居民储蓄年末余额
	社会发展	建成区面积、建成区绿化覆盖率、人均绿化面积、人口密度、在岗职工工资水平、高等学校在校学生数、医院床位数
	基础投资	全社会固定资产投资总额、实际利用外资金额

在多指标综合评价研究中，指标权重的确定方法主要分为主观赋权和客观赋权两类。本文应用熵值法对长江经济带城市影响力指数进行客观评价。熵值法是将物理学中热力学熵的方法运用于社会系统中，依据熵的特性计算熵值来判断某指标的离散程度，指标离散程度越大，对综合评价的影响就越大^[24]。计算步骤如下：

(1) 构建原始指标矩阵数据：有 h 个年份， m 个城市， n 项测评指标，则原始指标矩阵为 $X = \{x_{\lambda ij}\}_{h \times m \times n}$ ($1 \leq \lambda \leq h, 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$)，而 $x_{\lambda ij}$ 为第 λ 个年份第 i 个城市的第 j 项指标的指标值。本研究中， h 、 m 和 n 分别为 3、110 及 17。

(2) 对指标体系中的各项指标进行极差标准法无量纲化处理：

$$Z_{\lambda ij} = (x_{\lambda ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \text{ (正向指标)}; Z_{\lambda ij} = (x_{\max} - x_{\lambda ij}) / (x_{\max} - x_{\min}) \text{ (逆向指标)}$$

式中： $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ， $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 分别为评价指标和评价对象的总数量； x_{\max} 、 x_{\min} 为所有评价对象中不同指标 j 的最大值和最小值； $Z_{\lambda ij}$ 、 $x_{\lambda ij}$ 为不同指标 i 无量纲化后和无量纲化前的指标值。

(3) 指标的归一化处理：

$$P_{\lambda ij} = Z_{\lambda ij} / \sum_{\lambda=1}^h \sum_{i=1}^m Z_{\lambda ij}$$

(4) 计算各项指标的熵值：

$$E_j = -k \sum_{\lambda=1}^h \sum_{i=1}^m P_{\lambda ij} \ln P_{\lambda ij}$$

其中 $k = 1 / \ln(h \times m)$ 。

(5) 计算各项指标熵值的冗余度:

$$D_j = 1 - E_j$$

(6) 计算各项指标的权重:

$$W_j = D_j / \sum_{j=1}^n D_j$$

(7) 计算各年份各城市影响力指数:

$$C_{\lambda i} = P_{\lambda ij} \times W_j$$

1. 3. 2 Kernel 密度分析法

核密度估计是从在概率论中用来估计未知的密度函数,属于非参数估计及检验方法之一,可以反映随机变量的数理统计特征^[27]。通过其分布位置、延展性、形状特征,得到随机变量的整体分布形态特征;多年份的核密度估计图可以直观动态的显示区域城市整体实力的演进,波峰个数及其迁移则可以反映区域城市之间的数量关系及迁移过程中密度函数的变化情况。Kernel 空间密度分析是根据输入的要素数据计算整个区域的数据集聚状况,从而产生一个连续的密度表面^[28];将 Kernel 密度分析应用于城市规模,可以直观的表达城市规模在空间上集聚与扩散的连续变化趋势,用以识别城市规模发展的密集区及其空间扩散特征。核密度估计可用连续的密度曲线描述随机变量的总体分布形态,而利用 Kernel 密度分析方法的多尺度搜索半径更好地解释长江经济带城市规模的时空演化状况。设随机变量 x 的密度函数为 $f(x)$,在点 x 处的概率密度为^[29]:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N \frac{K(x_i - x)}{h}$$

式中: N 为研究的区域个数,这里为 110; h 为带宽, $i = 1, 2, \dots, N$; $K(x_i - x)$ 是随机核估计的核函数。

1. 3. 3 分形维数

城市规模具有自相似性和分形特征,分形理论从体系的完整性出发,可以反映不同城市的规模及其在整个系统中排序间关系,评估地区城市体系的分布情况^[2]。研究基于城市影响力指数运用分形理论进行区域城市规模分布空间维数的计算,在某个

标度范围内,区域城市规模及其位序满足 Lotka 模型,计算公式为: $C = KR^{-q}$

式中：C 为城市影响力指数； R 为城市影响力指数位序； K 为理想的首位城市影响力值； q 为常数。

为直观起见，对上式进行自然对数变换得到： $\ln C = \ln K - q \ln R$ 。式中 q 值的大小直接反映了城市体系等级规模结构；当 $q > 1$ 时，中间位序的城市分布较多，城市体系发展趋于成熟、均衡；当 $q = 1$ 时，城市体系处于自然状态下的最优状态；当 $q < 1$ 时，城市规模分布总体呈集聚状态、差异较大，首位型特征较为显著。

1. 3. 4 修正引力模型

空间联系是经济实体间在区域空间内相互作用和关联的客观体现^[30]。研究利用引力模型对长江经济带城市空间联系进行计算，计算公式为：

$$F_{ij} = K \frac{M_i^* M_j}{D_{ij}^b}$$

式中： F_{ij} 是城市 i、j 之间的引力； M_i 、 M_j 是城市 i、j 的“质量”； D_{ij} 为城市 i、j 之间的时间成本距离；b 为距离衰减系数；k 为经验常数。

研究在计算各城市间空间联系强度基础上，识别得到各节点城市的最大空间联系强度，计算公式为：

$$T_i^{\max} = \max (T_{ij}) (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中： T_i^{\max} 表示 i 城市的最大联系强度； T_{ij} 表示城市 i 与长江经济带其它地级城市的联系强度。

2 结果与分析

2. 1 长江经济带城市规模空间格局演变

为直观描述并比较区域城市规模分布形态及演变特征，在 Stata 12 软件支持下计算得出图 1。结果显示：长江经济带城市整体规模不断扩大，规模较小的城市发展较快，城市规模呈现出“多俱乐部趋同”现象。1988 年，曲线峰度主要位于 0. 01 为主，呈现出低水平集聚状态；2001 年，城市规模曲线呈现出“双峰度”现象，曲线主峰右移至 0. 035，而在 0. 09 处附近有高水平的次峰发育，这表明城市规模得到显著提升，高规模城市初步出现聚集状态；发展至 2012 年，曲线呈“多峰度”状态，主峰由 2001 年的 0. 035 迁移至 0. 08，高水平俱乐部由 0. 09 变成了 2012 年的 0. 25、0. 3 和 0. 5 多个俱乐部呈现态势。核密度估计曲线图刻画了在城市演进过程中，低水平俱乐部在逐步成熟的状况下，中、高水平的多个俱乐部也逐步发育，形成了城市规模多峰主导的“俱乐部趋同”现象，低、中、高的等级序列分布模式逐步趋于完善。

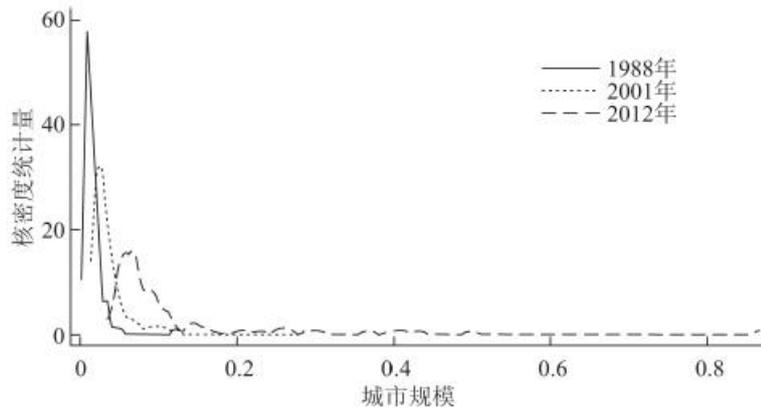
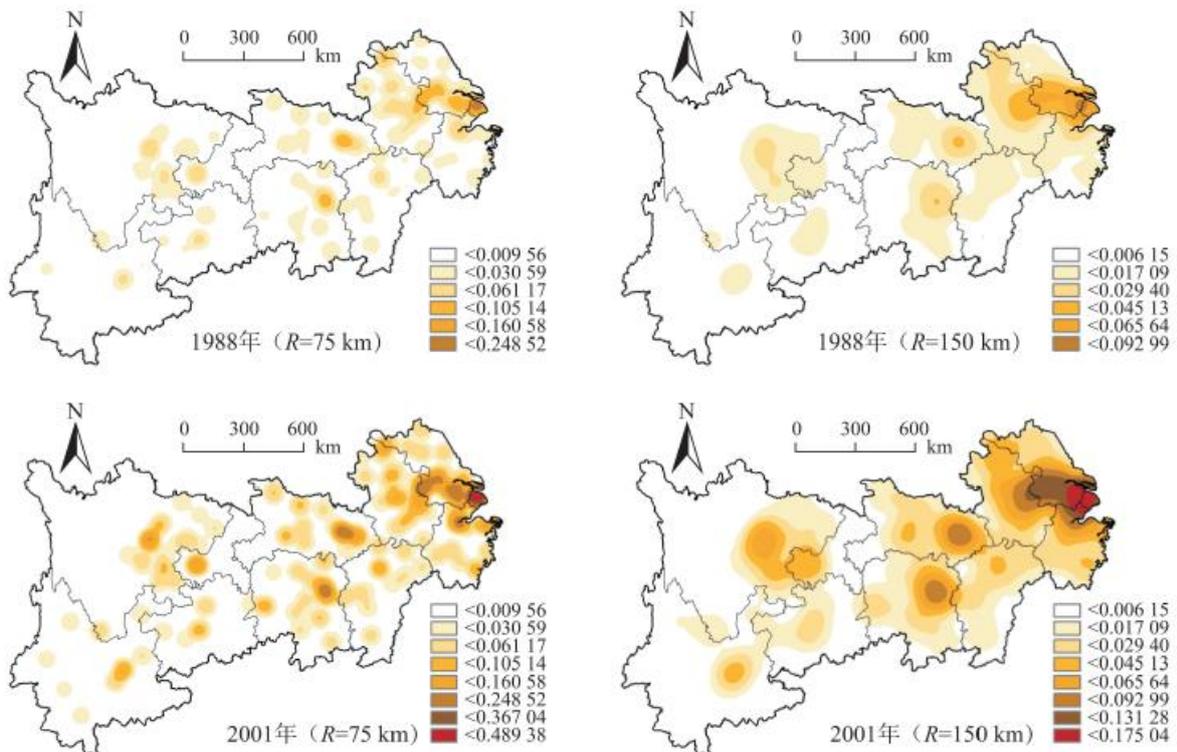


图 1 长江经济带城市规模分布的核密度估计
 Fig. 1 Kernel Density Estimates for the Distribution of City Size in Yangtze River Economic Zone

为更好的展现城市规模增长及扩张趋势，研究选取 1988 年、2001 年及 2012 年 3 个时间面的城市影响力指数为分析对象，并基于区域栅格精度(1 km* 1 km) 和覆盖区域内研究对象所在空间点，分别设置 75 km 和 150 km 两个搜索半径进行 Kernel 密度分析，并对 2001 年密度值进行 NaturalBreaks (Jenks) 分类，将其分为 6 类，以此为依据分别对 1988 年和 2012 年密度图进行分层，制成专题图(图 2)。从密度图来看，多尺度搜索半径较好地解释了长江经济带城市规模的时空演化；其中，75 km 的搜索半径清晰的反映出城市规模结构的变化，150 km 的搜索半径则直观的反映出整个长江经济带城市规模分布密集地带的形成与扩张情况。



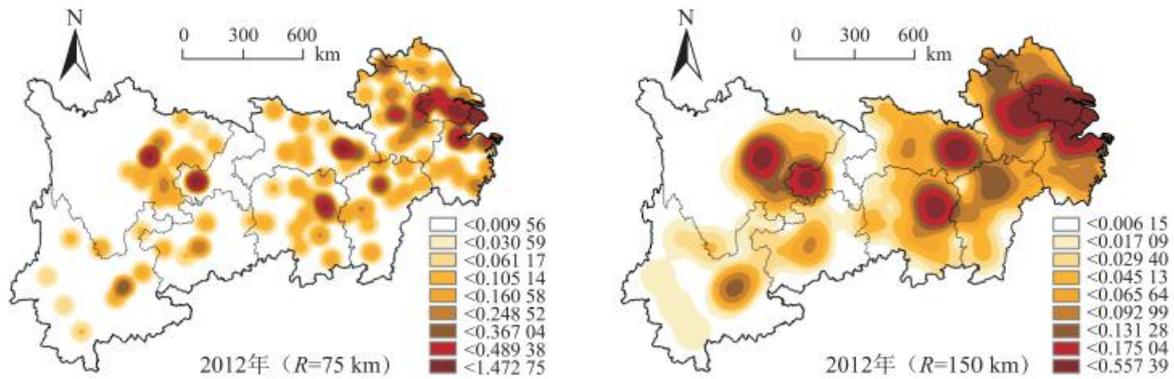


图2 长江经济带城市规模密度空间分布图

Fig. 2 Kernel Density on Spatial Distribution of City Size in Yangtze River Economic Zone

基于 75 km 搜索半径的 Kernel 密度演化结果来看：城市规模加速扩张，区域 Kernel 密度值在不断提升。上海、南京、武汉、长沙、重庆、成都等市密度增长明显，城市规模扩张较快，逐步成为区域内的核心增长极；与此同时，合肥、南昌、宁波、徐州、贵阳、昆明等市的城市规模均得到显著发展，逐步成为地方性增长极。区域城市规模 Kernel 密度最高值由 1988 年的 0.249 上升至 2001 年的 0.489 而后持续增长至 1.473，增长率由 96.4% 攀升至 201.2%，这表明城市规模整体扩张十分显著；2001 ~ 2012 年的长江经济带城市规模发展明显快于 1988 ~ 2001 年，城市发展处于飞速发展阶段。为比较个体城市 Kernel 密度值的增速情况，研究提取了区域内 1988、2012 年 2 个年份下 110 个地级城市 Kernel 密度值，进行相对增长率计算，得到：上海、重庆、无锡、南京、武汉、苏州及成都等城市均超过 300%，远高于区域平均增长值，该类城市多为东部沿海城市及中西部核心增长极；而思茅、安顺、巴中、临沧及保山等西部边缘城市受自身经济发展基础弱、对外交通不畅等因素制约，其密度增长率远低于区域平均增速，成为区域经济增长的低谷区。

基于 150 km 搜索半径的 Kernel 密度演化结果显示：长江经济带城市规模结构在空间上逐步形成典型的多核心—边缘结构。1988 年，区域内在长三角地区形成了条带状核心区；而武汉、长沙、成都等则呈点状分布，影响范围较小。2001 年，区域 Kernel 密度值得到明显提升；长三角核心区进一步沿京沪铁路沿线扩展，呈现出条带状发展态势；而在长江中游地区则初步呈现出武汉、长沙的“双星”格局，南昌增长极实力偏弱的状况十分显著；在西部地区则出现了以重庆、成都为核心的“双核”结构，并呈现出轴带发展态势。2012 年，区域 Kernel 密度进一步提高；皖江城市带向东逐步融入长三角地区，形成沿江发展的轴带状分布格局；而在长江中游地区，三核“品”字状分布格局初步显现；重庆及成都为核心的“双核”扩散效应十分明显，以昆明、贵阳为核心的滇中城市群及黔中城市群逐步发育形成，成为滇黔地区经济发展的增长极；总体来看，在自然因素、经济发展差异等多重因素制约下，核心区之间存在明显的不均衡性、由轴及面的全域一体化趋势仍不显著，同时受城市群建设及交通路网完善等因素的推动下，部分地区呈现出轴带状或面状拓展的局域一体化现象，如：长三角地区、成渝城市群。

2.2 长江经济带城市等级结构演变

为探讨长江经济带城市等级规模演变状况，研究在 1988 年、2001 年及 2012 年城市影响力指数基础上对其进行位序—规模法则分析(表 3)。结果显示：长江经济带城市双对数回归方程的拟合优度均达到 0.92 以上，表明长江经济带城市规模及其位序间吻合度较好、具备分形特征，其发展状况能够满足位序—规模分布理论。3 个时间断面下，长江经济带城市规模的分形维数均低于 1，表明长江经济带城市规模等级差异较大、分布不均，大城市得到较好发展而中小城市发展相对滞后，呈现出初级首位型分布特征。1988 ~ 2001 年，长江经济带城市规模分形维数由 0.6857 下降至 0.5898，区域内大城市发展优于中小城市，城市体系处于集聚发展阶段，首位城市垄断性特征加强；这一阶段，重庆、杭州、成都等大城市加速发展，城市综合实力得到显著提升，城市集聚作用得到明显增强。2001 ~ 2012 年，分形维数由 0.5898 上升为 0.6670，得益于上海、武汉、

重庆等特大城市扩散效应的增强及小城市自身实力的显著提升，区内城市规模整体趋于合理化发展。

表 3 长江经济带城市规模位序-规模双对数回归

年份	回归方程	p 值	R ²
1988	$\ln P = 7.2375 - 0.6857 \ln R$	0.6857	0.9263
2001	$\ln P = 7.8784 - 0.5898 \ln R$	0.5898	0.9631
2012	$\ln P = 9.2414 - 0.6670 \ln R$	0.6670	0.9823

研究在 1988 年、2001 年及 2012 年长江经济带内的 110 个城市综合影响力指数基础上，通过 K 型聚类，将其分为 5 类，构成城市规模等级体系，如表(4)。在 3 个时间断面下上海市始终处于城市等级金字塔的顶端且影响力指数遥遥领先于其他城市；在二级城市中，武汉市和南京市的领先优势也十分明显，三级城市中主要为各省省会城市或长三角主要节点城市，四、五级城市为地区中心性城市及地区性城市。1988 年，经济带内城市影响力指数最小的城市为铜仁市，为 0.0025，而影响力指数最大的城市是上海市，为 0.1188，二者相差 48 倍；2001 年，城市影响力指数最大的为 0.2883，最小的为临沧市，仅为 0.011，二者相差 27 倍；2012 年，城市影响力指数最大为 0.8676，最小的仍是临沧市，为 0.033，相差为 26 倍，城市规模极值差异呈持续缩小趋势。从各层级城市数量来看，区域各层级城市数量比由 1 : 2 : 9 : 39 : 59 转变至 2012 年的 1 : 5 : 8 : 29 : 67，城市体系结构逐步趋于市场法则下(K = 3)的中心地系统分布模型。从等级体系演变来看，1988 ~ 2001 年，二级城市增加了重庆、成都及杭州 3 个城市，昆明及宁波上升为三级城市。2001 ~ 2012 年，前三层次等级城市无较大变动，而第四等级城市由 40 个缩减至 29 个，第五等级城市则增加了 11 个，城市结构体系逐步趋于合理。总体来看，1988 ~ 2012 年，前三层级城市中，重庆、成都及昆明等西部城市虽逐步成为区域核心增长极，但城市规模“东强西弱”的格局未能得到明显改观；而东部地区，前三层级城市中，东部城市个数较为稳定，分别为上海、南京、杭州、苏州、无锡、宁波及常州等 7 个城市，长三角地区一体化发展格局基本形成。

表 4 长江经济带城市规模等级体系

	1988 年	2001 年	2012 年
一级城市	上海 (1 个)	上海 (1 个)	上海 (1 个)
二级城市	武汉、南京 (2 个)	武汉、南京、重庆、杭州、成都 (5 个)	重庆、武汉、南京、成都、杭州 (5 个)
三级城市	重庆、苏州、成都、长沙、杭州、徐州、合肥、南昌、常州等 9 个	长沙、无锡、苏州、宁波、合肥、昆明、南昌、常州等 8 个	苏州、长沙、合肥、无锡、南昌、宁波、常州、昆明等 8 个
四级城市	贵阳、昆明、南通、无锡、巢湖、扬州、芜湖、阜阳、襄阳、株洲、攀枝花、马鞍山、遵义、郴州、宜昌等 39 个	温州、南通、镇江、徐州、怀化、芜湖、贵阳、湘潭、宜昌、黄石、株洲、绍兴、襄阳、扬州、怀化等 40 个	徐州、镇江、南通、扬州、温州、贵阳、芜湖、绍兴、马鞍山、铜陵、株洲、湘潭、淮安、黄石、泰州等 29 个
五级城市	宜宾、绵阳、滁州、上饶、盐城、宿州、连云港、常德、舟山、随州、湖州、吉安、荆门、乐山、怀化等 59 个	金华、宿迁、自贡、荆州、孝感、泸州、安庆、赣州、阜阳、郴州、娄底、乐山、德阳、黄冈、鄂州等 56 个	新余、淮北、淮南、赣州、常德、十堰、德阳、金华、郴州、攀枝花、自贡、荆州、玉溪、安庆、萍乡等 67 个

2. 3 长江经济带城市体系演变分析

在可达性技术支持下计算得出 1988、2001 及 2012 年长江经济带地级城市间时间成本值，结合城市影响力指数，通过修正引力模型计算得出区域两两城市间引力值，将单个节点城市对外引力求和得到城市引力强度，利用 Natural Breaks (Jenks) 将其分为 5 类；同时，在单个节点城市对外引力值中筛选出最大值，即为城市最大引力强度，得到图(3)。

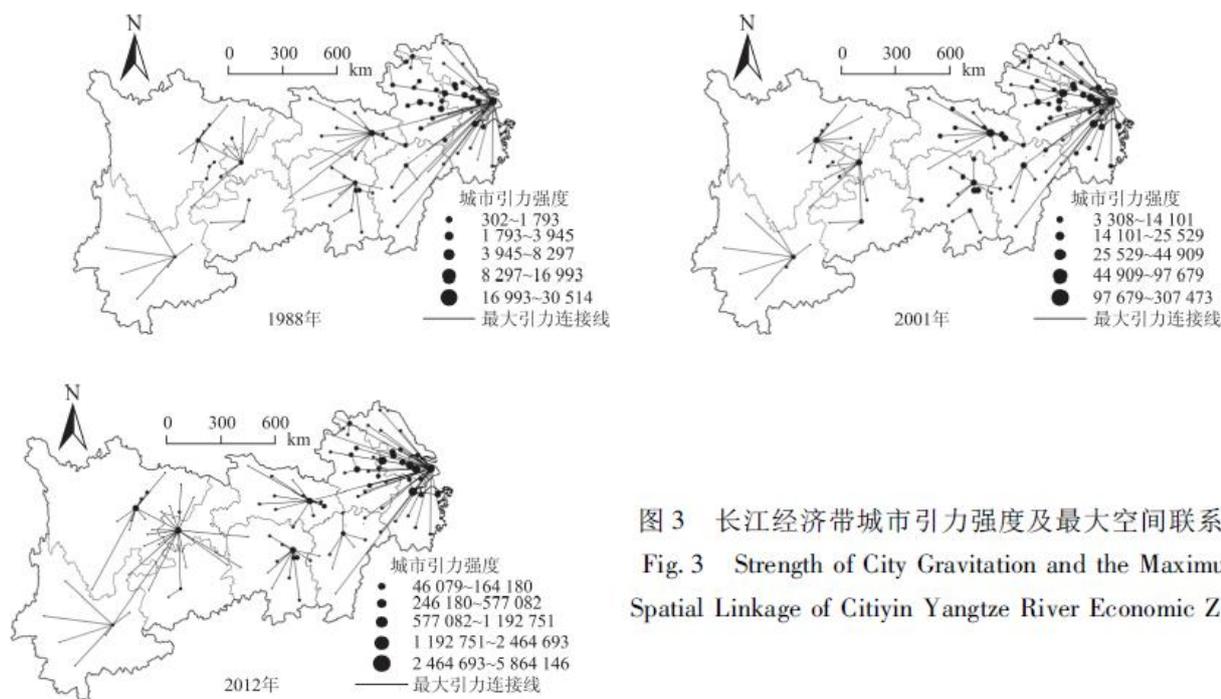


图 3 长江经济带城市引力强度及最大空间联系图
Fig. 3 Strength of City Gravitation and the Maximum Spatial Linkage of Citiyin Yangtze River Economic Zone

1988 ~ 2012 年，长江经济带城市体系趋于完善，区内三大板块逐步形成。城市引力强度显示：区域城市引力强度差异逐步缩小，但地域差异性显著、与城市规模发展呈正相关性，低层级引力城市多分布在中西部地区现状仍未得到明显改观。1988 年，区内上海属于第一等级、成为引力核心城市，而南京、杭州、苏州、武汉等城市位于第二等级，区内引力强度差异较大，低等级引力城市较多且多分布在西部地区、地域差异性明显；2001 年，经济带内出现上海、杭州、南京、武汉市等 6 大引力核心城市，重庆、成都、长株潭、南昌、合肥等逐步上升至第二等级；2012 年，第一层级城市均分布在东部地区，武汉受长江中游地区城市迅速发展而发生下降，低层级引力城市多分布在中西部地区这一现象并未得到有效改善，西部城市整体体系紧凑性欠佳。城市最大引力强度表明区域内城市联系日渐增强，3 大板块的总体格局逐步显现：1988 年，城市群内形成了上海、武汉、长沙、重庆、成都、昆明为核心的 6 大城市板块，也出现了徐淮宿、合六巢、蚌淮、贵安六遵、自内宜等 5 个小城市集团，这一阶段上海城市实力强大、辐射范围较广，有近 30 个中东部城市将其作为最大引力连接城市。2001 年，群内城市引力组团状况得到明显改善。区域主要有以上海、武汉、成都、重庆、长沙、昆明为核心的 5 大引力板块及铜怀、衡永郴两个小城市引力集团；这一阶段，武汉城市实力显著增强，成为独立的板块核心；长江中游城市群逐步形成三大核心，但南昌核心仍偏弱，区域内部联系并不是十分紧密，结构组织较为松散；而在西部地区，以重庆、成都为双核的引力板块进一步兼并了贵安六遵小城市集团，大西南城市板块逐步显现。2012 年，区域城市三大板块格局逐步显现：上海的辐射能力进一步增强，泛长三角一体化明显；而以武汉、长沙、南昌为核心的长江中游城市群城市体系相对松散，呈现出 3 个小城市集团现状，长江中游城市群城市一体化进程有待进一步发展；西部地区则出现以重庆、成都为主核，贵阳、昆明为副核的大西南城市体系格局。

2. 4 长江经济带城市体系演变机理分析

城市体系格局是多因素共同驱动形成的结果。通过对长江经济带城市体系格局特征的梳理，提出其演变的主要影响因素、机制、现有特征及主要优化目标等，形成长江经济带城市体系空间演化机理(图 4)。

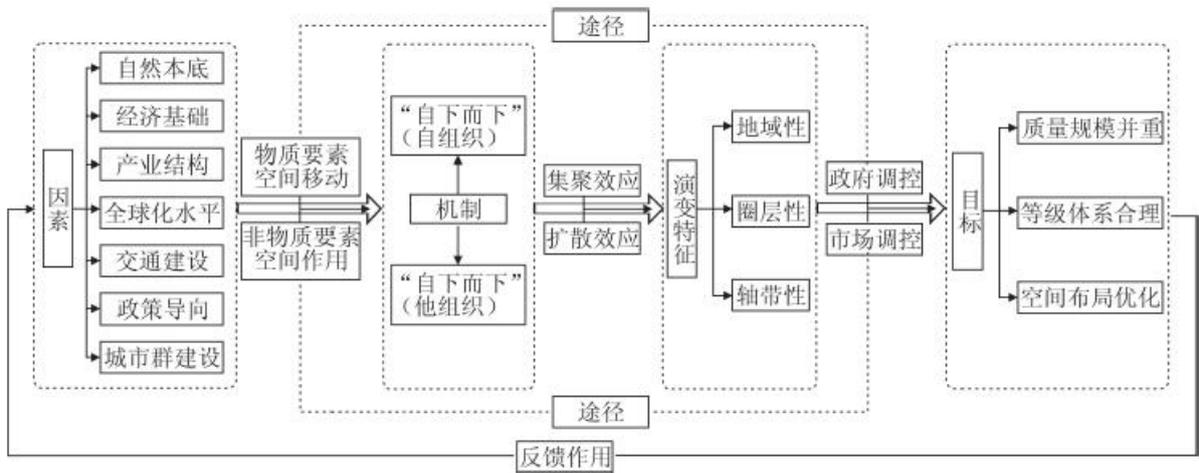


图 4 长江经济带城市体系空间演化机理图

Fig. 4 Evolution Mechanism of Spatial Pattern of Urban System in Yangtze River Economic Zone

2. 4. 1 因素层

(1) 自然本底。自然本底主要通过地形地貌、河流水文及自然资源等方面对城市发展、分布密度及体系结构产生作用，这一作用体现在地形相对开放的沿江地区城市开发历史较早、分布密度相对较大，形成城市群发展格局。东部地区濒临沿海、地处长江下游，地势平坦开阔，这为城市孕育发展、交通拓展、人口集聚均提供了有利条件；也是东部沿海地区城市布局密度高、城市联系紧密的基础要素之一。中西部地区多为山地丘陵地带，受自然要素（山脉、湖泊）阻隔影响，城市要素集聚及扩散相对缓慢、交通布局相对滞后、城市体系拓展缓慢，如：长江中游城市群受幕阜山脉阻隔形成了 3 个相对独立的城市体系及城市组团，而赣南、闽西、湘西、滇西等非沿江地区、城市发展水平较低、多为四、五等级。

(2) 经济基础与政策导向。城市经济基础与其开发历史密切相关、直接影响城市发展基底，而政策导向作用与城市规模增长具有明显的相关性。南京（金陵）、杭州（临安）等东部城市为我国古代著名商贸城市，开发历史悠久、经济发展基础良好；国家于 1985 和 1990 年分别在长三角地区建设沿海经济开放区和上海浦东新区，这一系列国家政策促使区内东部地区的资源集聚、推动了长三角地区城市经济发展水平的提升，使其成为全国经济发展的核心增长极之一。受梯度推移规律及自身经济发展水平的提升，长江中游地区城市整体经济发展水平高于西部地区，区内形成了三大子城市群，但由于行政壁垒等因素影响长江中游地区城市体系结构相对松散。成渝城市群地处巴蜀之地、开发较早，区内较早的形成了成渝双核、城市经济发展在西部地区及长江经济带内均处于较高水平，是带动西部地区发展的核心增长极；滇黔地区为我国少数民族主要聚集地之一，受开发历史因素影响、经济发展基础相对滞后，城市集聚能力不足、组织体系欠稳固；随着西部大开发战略的实施，西部地区城市规模得到明显提升，城市组织体系也得到明显拓展，但核心城市带动作用不强的问题仍然存在。

(3) 产业结构与全球化水平。狭长的区域形态及长期的经济发展差异导致了长江经济带存在明显的产业结构及全球化水平差异；这种差异反作用于经济发展要素的空间移动和空间相互作用，从而推动区域城市体系格局的演变。东部经济地带在基础产业配套、商贸发展、全球化水平等方面基本上占据主导地位，经济基础稳固、产业结构实现集约型调整、全球化水平得到显著提升；而中西部地区处于从属、响应和补充的被动地位，产业仍以资源密集型、初级产品加工业为主，布局仍有待进一步提升；但产业结构的梯度推移及全球化水平下的资源优化配置促进了劳动力、资金等资源在城市之间的流动，从而影响城市规模

的变动和城市间经济联系强度的变化，是区域城市空间体系的重要因素之一。

(4) 交通建设。交通建设通过促进“流体”要素转换的“频度”及“速度”实现城市组织体系的优化与拓展，因此，交通基础设施布局及其完善程度直接影响着城市等级、规模体系及城市空间结构的变化。传统交通运输(水运、海运)时代促使了沿江地区城市规模的发展、形成外向发展的门户城市，构成区域“双核”发展结构，如：昌九、成渝、长岳等组合。随着高等级公路、铁路及新型交通工具最早在东部地区的广泛应用，以上海为核心的长三角城市群城市规模的迅速提升、城市体系也逐步拓展至泛长三角地区；而西部地区仍以低等级交通路网为主、且路网密度较低，一定程度上阻碍了西部城市对外联系水平的提升，但随着成贵铁路、渝黔铁路的逐步完善，区内城市体系将得到一定程度的拓展，大西南城市群雏形逐步显现。

(5) 城市群建设。随着我国经济进入“稳增长、调结构”转型发展时期，城市群逐步成为区域经济发展的中坚力量和战略支撑点，对城市体系的完善具有重要作用^[27]。长江经济带区域内形成了长三角城市群、皖江城市带、长江中游城市群、成渝城市群、滇中城市群及黔中城市群等多个城市群，其中：长三角地区、长江中游地区及成渝城市群现已上升为国家级城市群，成为带动长江经济带城市体系发展的三大核心城市群。区域东中部城市群内城市间联系相对紧密，城市组织体系相对完善：皖江城市带由于自身区位及长三角泛化等因素影响而逐步融入长三角地区；而中三角地区受地形阻隔、行政壁垒等因素影响而未能形成统一完整的城市组织体系，仅各子城市群内的城市体系相对完善；区域西部地区主要有成渝、滇中及黔中 3 个城市群，其中滇中及黔中城市群由于城市实力偏弱、交通通达性较差等因素影响而导致附属城市较少，成渝城市群是区域西部乃至我国西部地区核心增长极、也是推进大西南城市群构建的中坚力量。随着长江经济带战略定位的明确，区内将在注重城市群个体发展的同时更加注重城市群间的外向联系^[27]；城市群将在实现长江经济带城市组织体系的完善与拓展中扮演重要角色。

2. 4. 2 机制层

城市体系演化可分为自下而上和自上而下两种生成及发展模式 [2]，其中：“自下而上”属于自组织进程，通过节点的集聚能力逐步成长为系统内核心增长点，而系统通过核心节点的集聚和扩散能力而自行发展为一个有机整体；“自上而下”则属于他组织机制，通过规划、管理、政策倾斜等调控手段而作用于城市体系演变进程。自组织机制及他组织基于发展因素通过物质要素的空间移动及非物质要素的空间相互作用，促进区内城市要素集聚、产业调整、创新发展等，实现城市综合规模的提升、等级体系的优化及空间联系的强化。

2. 4. 3 特征层

(1) 地域性。长江经济带城市体系地域差异性主要表现为城市规模的東西向差异、梯度分布格局。东部区域总体城市规模的相对增长率明显高于区域中西部地区，区内形成长三角地区的快速增长区及西南边缘地区低速发展区；前三级城市中，东部地区城市由 6 个增长至 7 个，中部地区核心城市个数体系稳固、为 4 个，西部地区城市由 2 个上升为 3 个，核心城市的地域分布也呈现出一定的梯度发展格局。

(2) 圈层性。长江经济带内形成了上海、武汉、重庆三大核心城市，成都、合肥、长沙、南昌、昆明等区域性核心城市。以上海为核心的长三角板块区明显扩展，其辐射能力逐步增强，由长三角地区逐步扩展至泛长三角及皖江城市带等区域，呈扇状扩张形式；长江中游地区则呈现出以武汉为主核、以长沙及南昌为副核的“品”字型圈层扩张，以武汉、长沙及南昌为核心分别形成了武汉城市圈、长株潭城市群及环鄱阳湖城市群；而在长江上游地区，则出现了以重庆为主核、成都为副核的“双星”扩展模式，值得注意的是以昆明、贵阳为核心形成的滇中城市群、黔中城市群逐步融入到“双星”城市扩展体系中，大西南城市格局逐步显现。

(3) 轴带性。交通运输网络是城市体系结构的重要组成部分，它不仅构成了区域空间结构的重要骨架，而且对城市体系拓展也起着重要作用。长江经济带城市规模发展呈现出明显的轴带指向性特征：从横向轴线来看，区域内以长江为轴线依次联接

三大核心城市，轴上主要有上海、苏州、镇江、南京、合肥、武汉、重庆等大城市；而在长江以南则以沪昆高铁线为轴带形成辅轴带发展，主要有上海、杭州、南昌、长株潭、贵阳、昆明等城市。从纵向来看，区域内京沪高铁沿线城市发展条件优越、规模水平最高；以武汉、岳阳、长沙、株洲、湘潭、衡阳为核心节点的京广高铁沿线城市发展迅速，将成为区域城市发展的又一重要纵向轴线。

2. 4. 4 目标层

城市体系结构是一个由均衡和非均衡、不合理与相对合理组成的不断循环的耗散结构体。这一耗散体结构基于政府及市场双重行为，以调控区域内要素空间移动（相互作用）为主要途径，实现自身优化重组及合理发展。具体来看：

(1) 质量规模并重。城市规模不仅包含了城市经济发展、而且与城市发展质量与效率密切相关^[31]。加强质量与规模的协调发展是促进区域城市综合水平提升的重要途径之一。长江经济带内大城市整体经济发展水平较高，但城市发展进程中应实行紧凑、集约发展模式，注重城市过程中的环境污染问题，通过城市内生力提升城市发展实力；区域中小城市以转型发展为主要目标、实现中小城市的特色发展；值得注意的是，应着重培育区域边缘城市，通过产业结构转移、国家政策倾斜、交通设施建设等措施推进边缘山区中心城市的发展，从而推动区域内城市整体水平的提升，如：赣南、苏北、湘西等区域。

(2) 等级体系合理。从长江经济带城市体系结构来看，区域内大城市发展良好而中小城市发展乏力的问题相对突出。为此，加强区域内中小城市的发展，尤其是边缘地区城市综合实力的提升显得尤为重要；同时，强化中西部地区核心城市集聚发展、适度释放核心城市扩散力是推动区域一体化发展的重要途径之一，例如：昆明、南昌、贵阳等省会城市。

(3) 空间布局优化。当前长江经济带城市空间分布与规模结构的不合理问题相对突出，例如：东部地区城市以大城市为主，而资源环境承载能力较强的中西部地区大城市发展不足、中小城市数量多、规模小、服务功能弱等。长江经济带应逐步形成“一轴、两翼、三极、多点”的发展新格局，以长江、沪昆、沪汉蓉等发展轴线集约发展多层次城市群，深挖中西部地区发展潜力、推动区内地级节点城市的综合发展。

尤其是西部地区打造区域性交通核心枢纽城市、推动区域立体交通网络的完善，以高效提升三大核心城市群的辐射带动作用。

3 结论与讨论

本文基于 1988、2001、2012 年长江经济带城市影响力指数及路网数据，借助 ArcGIS、Stata12 等软件对长江经济带城市规模结构演变、等级结构演变、城市体系演变及演变特征进行深入分析，并进一步探讨了城市体系演变的影响因素，结果显示：

(1) 核密度估计曲线表明长江经济带城市规模不断扩大，城市结构由“单峰”转向“多峰”模式主导，低、中、高的等级序列分布模式趋于完善。多尺度搜索半径的 Kernel 密度图显示上海、重庆等市成为区域发展的极核地区而思茅、安顺等西部边缘城市成为区域密度增长塌陷区，长江经济带城市规模结构在空间上逐步形成典型的多核心—边缘结构。

(2) 长江经济带城市等级规模演变状况能够满足位序—规模分布理论，城市等级结构由大城市垄断发展转向小城市集聚发展，城市结构等级趋于合理。城市规模等级体系中上海市始终处于第一等级、影响力远远大于其他城市，武汉市和南京市等二级城市的领先优势也十分显著；前三层级城市中，重庆、成都及昆明等西部城市虽逐步成为区域核心增长极，但城市规模“东强西弱”的格局未能得到明显改观。

(3) 通过引力模型计算得出区域城市引力差异逐步减小，低层级引力城市多分布在中西部地区现状依旧存在；从时间层面

看,第一层级城市增加显著,而西部底层级水平城市变化并不明显,区域内城市联系日渐增强,逐步形成长三角、中三角及大西南三大城市体系,但中三角城市体系组织相对松散。

基于城市体系格局分析从因素层、机制层、特征层及目标层等4个层面探讨了长江经济带城市体系空间演化机理,得到自然本底、经济基础及政策导向、产业结构及全球化水平、交通建设、城市群建设等是区域城市体系结构的影响因素,自组织机制及他组织机制是推动城市体系发展的双重机制,特征层主要包括地域性、圈层性和轴带性,通过政府及市场两大主体调控推动区域城市体系向质量规模并重、等级体系合理、空间布局优化等三大目标演进。

参考文献:

[1] 鲍超,陈晓杰. 中国城市体系的空间格局研究评述与展望 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(10) : 1300—1311.

【BAO C, CHEN X J. Review and prospect of research on the spatial pattern of China' s urban system. Progress in Geography, 2014, 33(10) : 1300—1311. 】

[2] 程开明,庄燕杰. 城市体系位序—规模特征的空间计量分析—以中部地区地级以上城市为例 [J]. 地理科学, 2012, 32(08) : 905—912.

【CHENG K M, ZHUANG Y J. Spatial econometric analysis of the rank-size rule for urban system: spatial system: a case of prefectural-level cities in China : a China' s middle areas area.

Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(08) : 905—912. 】

[3] AUERBACH F. Das gesetz der bevölkerungsk on centration [J]. Petermanns Geographische Mitteilungen, 1913(59) : 74—76.

[4] ZIPF G K. Human behaviour and the principle of least effort [M]. Addison-Wesley, Reading, MA, 1949: 32—41.

[5] MANDELBORT B B. The fractal geometry of nature [M]. San Francisco: Freeman, 1982.

[6] JEFF LUCKSTED, STEPHEN DEVADOS. Do the world' s largest cities follow Zipf' s and Gibrat' s laws? [J]. Economics Letters, 2014, (125) : 182—186.

[7] CHEN Y G. The evolution of Zipf' s law indicative of city development [J]. Physica A, 2016, (443) : 555—567.

[8] 陆大道. 关于“点—轴”空间结构系统的形成机理分析 [J]. 地理科学, 2002, 22(01) : 1—6.

【LU D D. Formation and dynamics of the “Pole-Axis” spatial system [J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(01) : 1—6. 】

[9] 陆大道. 中国区域发展的理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

-
- [10] 姚士谋, 陈振光, 朱英明, 等. 中国城市群 [M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2006.
- [11] 王发曾, 张改素, 丁志伟, 等. 中原经济区城市体系空间组织 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(02) : 153-168.
- 【WANG F Z, ZHANG G S, DING Z W, et al. Spatial organization of urban system in Central Plains Economic Region [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 33(02) : 153-168. 】
- [12] 尚正永, 张小林. 长江三角洲城市体系空间结构及其分形特征 [J]. 经济地理, 2009, 29(06) : 913-917.
- 【SHANG Z Y, ZHANG X L. Urban system spatial structure and its fractal characteristic of the Yangtze Delta [J]. Economic Geography, 2009, 29(06) : 913-917. 】
- [13] 刘继生, 陈彦光. 东北地区城市体系分形结构的地理空间图式—对东北地区城市体系空间结构分形的再探讨 [J]. 人文地理, 2000, 15(06) : 9-16.
- 【LIU J S, CHEN Y G. Research on the fractional dimensions of the spatial structure of the urban system as fractals in northeast China [J]. Human Geography, 2000, 15(06) : 9-16. 】
- [14] 边美婷, 马晓冬, 赵洁, 等. 徐州都市圈城市体系结构分析 [J]. 城市问题, 2008, 157(08) : 40-45.
- 【BIAN M T, MA X D, ZHAO J, et al. Urban system structure analysis in Xuzhou metropolitan [J]. Urban Problems, 2008, 157(08) : 40-45. 】
- [15] 冷炳荣, 杨永春, 李英杰, 等. 中国城市经济网络结构空间特征及其复杂性分析 [J]. 地理学报, 2011, 66(02) : 199-211.
- 【LENG B R, YANG Y C, LI Y J, et al. Spatial characteristics and complex analysis: A perspective from basic activities of urban networks in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2) : 199 ~ 211. 】
- [16] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分 [J]. 地理研究, 2008, 27(01) : 1-12.
- 【GU C L, PANG H F. Study on spatial relations of Chinese urban system: Gravity model approach [J]. Geographical Research, 2008, 27(1) : 1-12. 】
- [17] 吕拉昌, 李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系 [J]. 地理学报, 2010, 65(02) : 177-190.
- 【LU L C, LI Y. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(02) : 177-190. 】
- [18] 吴康, 方创琳, 赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征 [J]. 地理研究, 2015, 34(04) : 711-728.
- 【WU K, FANG C L, ZHAO M X. The spatial organization and structure complexity of Chinese intercity networks

[J]. Geographical Research, 2015, 34(04) : 711—728. 】

[19] 钟业喜, 陆玉麒. 基于铁路网络的中国城市等级体系与分布格局 [J]. 地理研究, 2011, 30(05) : 785—794.

【ZHONG Y X, LU Y Q. Hierarchical structure and distribution pattern of Chinese urban system based on railway network [J]. Geographical Research, 2011, 30(05) : 785—794. 】

[20] 陆大道. 论区域的最佳结构与最佳发展—提出“点—轴系统”和“T”型结构以来的回顾与再分析 [J]. 地理学报, 2001, 56(02) : 127—135.

【LU D D. An analysis of spatial structure and optimal regional development [J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56 (02) :127—135. 】

[21] 冯兴华, 钟业喜, 徐羽, 等. 长江经济带区域空间结构演化研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (10) :1711—1720.

【FENG X H, ZHONG Y X, XU Y, et al. The evolvement of regional spatial structure in economic belt of Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(10) : 1711—1720. 】

[22] 国家统计局城市社会经济调查总队. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国城市经济社会出版社, 1989.

【NBS survey office city social economy. China city statistical yearbook [M]. Beijing: China' s urban social and economic publishing house, 1989. 】

[23] 国家统计局城市社会经济调查总队. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.

【NBS survey office city social economy. China city statistical yearbook [M]. Beijing: China statistics press, 2002. 】

[24] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.

【NBS, the city social and economic investigation department. China city statistical yearbook [M]. Beijing: China statistics press, 2013. 】

[25] 方创琳, 宋吉涛, 张蔷, 等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局 [J]. 地理学报, 2005, 60(05) : 827—840.

【FANG C L, SONG J T, ZHANG Q, et al. The formation, development and spatial heterogeneity patterns or the structures system of urban agglomerations in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(05) : 827—840. 】

[26] 王丽, 邓羽, 刘盛和, 等. 基于改进场模型的城市影响范围动态演变——以中国中部地区为例 [J]. 地理学报, 2011, 66(02) : 189—198.

【WANG L, DENG Y, LIU S H, et al. The study of urban spheres of influence based on improved field model and its applications:A case study of Central China [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2) : 189—198.】

[27] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析 [J]. 地理科学, 2013, 33(11) : 1323—1329.

【WANG F, MAO A H, LI H L, et al. Quality measurement and regional difference of urbanization quality urbanization in shandong province based on the entropy method [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(11) : 1323—1329.】

[28] 柯文前. 高速公路交通流网络的时空特征与城市空间关联研究——以江苏省为例 [D]. 南京. 南京师范大学博士论文. 2015.

【KE W Q. Spatio-temporal characteristic of expressway traffic flow network and urban spatial interaction: A case study in Jiangsu province [J]. Nanjing: Doctor Dissertation of Nanjing Normal University, 2015.】

[29] 文玉钊, 陈文峰, 钟业喜, 等. 赣南原中央苏区中心城市的选择与培育 [J]. 热带地理, 2014, 34(04) : 568—576.

【WEN Y Z, CHEN W F, ZHONG Y X, et al. Selection and cultivation of central cities in Former Central Soviet Area of Southern Jiangxi [J]. Tropical Geography, 2014, 34 (4) :568—576.】

[30] 钟业喜, 冯兴华, 文玉钊. 长江经济带经济网络结构演变及其驱动机制研究 [J]. 地理科学, 2016, 36(1) : 10—19.

【ZHONG Y X, FENG X H, WEN Y Z. The evolvement and driving mechanism of economic network structure in the Changjiang River Economic Zone [J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(1) : 10—19.】

[31] 钟业喜, 徐羽, 徐丽婷. 江西省城市效率与经济增长协调性研究 [J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版), 2017, 50(01) : 125—131.

【ZHONG Y X, XUY, XU L T. On the harmony of urban efficiency and economic growth of the Jiangxi Province [J]. Journal of Jiangxi Normal University(Philosophy and Social Sciences Edition), 2017, 50(01) : 125—131.】