

基于空间结构的长江经济带可持续发展关联分析

唐德才, 李智江

(南京信息工程大学 中国制造业发展研究院, 江苏 南京 210044)

[摘要] 科学合理的空间结构不仅能够促进区域资源高效利用,还能够有效避免交通拥堵、住房紧张、资源稀缺等“城市病”,是区域发展的“调节器”和“助推器”。首先从规模分布、中心结构、空间联系、紧凑性四个维度选取城市规模基尼系数、城市首位度、经济联系强度、空间紧凑度四大空间结构指标对长江经济带空间结构进行测度;其次,运用优化后的 Super-SBM-Undesirable 模型对长江经济带可持续发展现状进行综合评价;最后,构建基于区域空间结构的可持续发展关联分析模型,并分别基于长江经济带整体视角、11省市个体视角分析长江经济带空间结构与可持续发展间的关联关系。

[关键词] 长江经济带;空间结构;可持续发展;区域经济发展;城市化;城市密度

[中图分类号] F207 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1004-4833(2019)06-0089-11

一、引言

长江经济带横跨我国东中西,覆盖11省市,以21%土地面积,养育了超过中国40%的人口和经济总量,是中国经济与文化版图上的重要组成部分^[1]。从20世纪80年代“一线一轴”开放战略的首次提出,到2018年习近平总书记召开深入推动长江经济带发展座谈会,加快推进长江经济带可持续发展,打造具有国际影响力的内河经济带与国家经济增长新的支撑带迫在眉睫。但近年来沿江省份社会经济虽然实现了较快发展,但依靠人口红利、资源消耗、环境污染带来的飞速发展优势正在逐渐消退,传统社会经济发展模式仍未根本转变,致使近年来长江经济带经济增速逐年放缓,陷入发展瓶颈。同时,资源短缺、环境污染、生态破坏、传统产业产能过剩等问题不断涌现,最终威胁到各个省市乃至长江经济带整体的可持续发展^[2]。

近年来,伴随城市化进程的快速推进,区域空间结构及其社会经济绩效引起学术界的广泛关注,因地制宜的空间结构是推进区域可持续发展的“调节器”和“助推器”^[3]。首先,加拿大学者 Marshall 基于区域内各城市规模间的差距提出,合理的城市等级体系能够促进区域内各城市间的协同合作,培养自身的产业特色,实现区域的高效发展^[4];其次,法国经济学家 Perroux 提出的增长极理论认为,不同城市的社会经济发展总是不平衡的,当区域内各类生产要素不充裕时,通过将各类发展要素向优势城市、产业倾斜,从而获得比独自发展更高的经济效益和更低的发展成本,并促使其成为区域增长极,进而带动周边城市社会经济发展^[5];同时,美国学者 Rondonelli 指出各种生产要素在城市之间、城市与区域之间的相互流动能够为区域发展带来极化与辐射、分工协作以及系统强化等效应,进而提升整个区域的综合效率^[6];最后,Haughton 和 Hunter 认为,区域内较高的城市密度有助于通过对集中设置的公共设施进行可持续综合利用,有效减少交通距离、污染排放并促进区域可持续发展^[7]。区域空间结构是影响区域内各类生产要素投入产出效率的重要因素,是影响区域可持续发展的关键。科学合理的空间结构不仅能够优化配置区域内各类生产要素,实现物尽其用,还能够通过构建区域内各城市间的相互关系网,实现优势互补,产生一加一大于二的产出^[8-10]。总结现有相关研究成果,我们发现关于空间结构与区域发展的政策研究主要围绕以下三点:一是扩张型城市与紧凑型城市中哪种空间结构模式更能促进区域可持续发展^[11];二

[收稿日期] 2018-07-19

[基金项目] 江苏省普通高等学校哲学社会科学重点研究基地(南京信息工程大学中国制造业发展研究院)2019年开放课题重点项目“长江经济带智能制造能力综合评价研究”(SK20190090-15);南京信息工程大学气候变化与公共政策研究院2018年开放课题重点项目“长江经济带大气污染治理效率评价研究”(18QHA015)

[作者简介] 唐德才(1966—),男,江苏盐城人,南京信息工程大学中国制造业发展研究院教授,博士生导师,从事环境经济、区域可持续发展研究,Email: tangdecai2003@163.com;李智江(1994—),男,江苏盐城人,南京信息工程大学管理工程学院硕士研究生,从事环境经济、区域可持续发展研究。

是区域内各城市间过度紧密的社会经济联系是否会影响各城市自身的可持续发展^[12];三是较大的城市规模是否是阻碍城市可持续发展的绊脚石^[13]。另外,基于实证分析视角的研究成果相对较少,其中国外学者 Fallah^[14], Lee 和 Gordon^[15]以及 Meijers 和 Burger^[16]等都对美国区域空间结构与社会经济发展关系进行了相关实证分析。首先, Fallah 等对美国区域的扩张强度与区域生产率水平之间的相关影响关系进行深入研究,发现两者呈显著负相关关系;其次, Lee 和 Gordon 通过以就业增长来定量表示区域发展活动,进而研究区域空间结构对区域发展的作用。结果表明,区域空间结构对区域经济发展的影响取决于城市规模,规模较小则表现为较快的经济增长,反之亦反;最后, Meijers 和 Burger 基于 Lee 和 Gordon 的研究成果发现,中心结构较高的区域会有较高的生产效率。国内学者张鹏等以中国省级行政单元为研究对象,发现我国省级区域的单中心空间结构对区域社会经济效应的提升有一定的促进作用^[17];赵憬和党兴华以城市群为研究对象,通过 Vensim 平台对城市群的空间结构演进与社会经济发展的耦合关系进行系统仿真,结果表明位序-规模分形分布是最能促进城市群长期发展的城市群空间结构^[18];张浩然基于位序规模法则研究中国十大城市群的空间结构与社会经济绩效间的耦合关系,发现单中心结构对全要素生产率具有显著作用^[19];钟业喜等人基于区域内各城市间的距离、空间联系以及规模三大视角对不同城市群发展规划进行对比研究^[20]。目前对区域空间结构及其演进规律的科学研究显然仍然处于起步阶段,对区域空间结构特征和区域可持续发展关联关系的实证分析就更为鲜见。对于某一区域来说,若不充分考虑区域空间结构的影响作用,制定的区域规划必将导致区域整体及内部单个城市效率的损失。因此,基于区域空间结构的可持续发展的研究成为今后研究区域可持续发展的重要内容。

长江经济带横跨中国东中西,11省市间的资源禀赋与社会经济发展状况存在较大落差,且一体化格局远未形成,内部碎片化、非均衡化的发展痕迹仍十分明显^[8]。所以,基于空间结构视角定量分析长江经济带11省市空间结构与可持续发展间的关联关系,是加快推进长江经济带可持续发展的关键一步。本文利用灰色关联分析方法对比分析长江经济带11个省市的可持续发展水平与四大空间结构指标的关联关系,找出区域可持续发展与四大空间结构指标内在关联在11省市内作用的特征及其内在规律性,并针对11省市发展现状和特征提出具有针对性的可持续发展水平提升策略,确保一江清水绵延后世。

二、理论分析

长江经济带中部分西部城市先天受制于区位条件,导致投资和政策等外部手段推动该区域可持续发展的效果并不明显,因此只有通过优化城市空间结构,明确城市发展方向,充分运用自身发展优势,促进城市可持续发展。另外,近年来长江经济带沿海城市陷入发展瓶颈,为促进区域可持续发展,急需优化沿海城市群空间结构,重新整合各城市发展要素,明确分工,减少资源浪费冗余,充分发挥上海、南京、杭州等核心城市的辐射力与影响力^[21]。由此可见,区域空间结构问题是导致长江经济带部分省市可持续发展水平较低的重要因素。究其原因,只有优化区域空间结构才能够促进区域形成整体效益、共享效益、集约效益。具体表现在:首先,基于规模分布维度的区域空间结构优化可以通过重组生产要素、明确城市职能、突出城市优势、合理分工,以壮大核心城市、提高大中城市、发展中小城市为原则,不断完善区域城市等级体系,推进区域内各城市优势互补,实现经济带均衡发展^[22];其次,基于中心结构维度的区域空间结构优化可以集中各类生产要素优先发展中心城市,扩大中心城市的辐射力与影响力,继而推动区域发展增长由节点向外扩散,通过乘数效应带动附近城市发展,实现经济带高效发展^[23];再次,基于空间联系维度的区域空间结构优化可以推进区域信息、生产要素共享,减少生产要素的冗余、浪费,降低成本,实现经济带共享发展^[24];最后,基于空间紧凑性维度的区域空间结构优化可以集中规划城市内的城镇、企业、工厂、资金、设施、技术、人才等发展要素,促进资源高效利用、单位空间高产出及实现高密度发展,进而实现经济带集约发展^[25]。

三、指标选取、计量模型与数据说明

(一) 指标选取

基于上述空间结构影响长江经济带可持续发展的理论分析,并总结现有基于空间结构对区域社会经济发展影响的研究成果^[21,26],本文从规模分布、中心结构、空间联系、紧凑性四个维度选取城市规模基尼系数、城市首位度、经济联系强度、空间紧凑度四大区域空间结构指标,分别从区域是否已构建合理城市体系、是否已培育区域

增长极、是否已增强区域空间联系以及是否已推进城镇化高质量发展四大视角来表征长江经济带 11 省市的空间结构,从而既能反映区域内各城市的空间分布与组合,又能反映城市间的关系网络。

1. 规模分布维度

本文结合现有研究成果及长江经济带 11 省市发展现状,基于规模分布维度选用城市规模基尼系数以衡量区域内部是否生成了合理的城市等级体系^[27]。基尼系数最先是用来反映一个国家或地区的贫富差距程度,后来 Marshall 将基尼系数运用到区域发展内,以反映区域内各城市规模间的差距,因此又称为城市规模基尼系数^[28]。城市规模基尼系数的值在 0~1 之间,数值越趋近于 0,则表明区域内各城市间的规模差距越小,各类发展要素分布越平衡;越趋近于 1,则表明区域内各城市间的规模差距越大,各类发展要素越向少数城市集聚。城市规模基尼系数计算的具体公式如下:

$$G = \frac{T}{2S(n-1)} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \|x_i - x_j\|}{2S(n-1)} \quad (1)$$

式中, G 表示城市规模基尼系数, S 表示整个区域的 GDP 总量, n 表示城市个数, T 表示区域中每个城市之间 GDP 规模之差的绝对值总和^[29]。

2. 中心结构维度

根据 Perroux 提出的增长极理论可知,区域经济增长可由节点向外扩散,进而带动区域发展,因此区域中心城市对周边城市、地区的辐射效应也是区域空间结构的重点研究内容^[30]。本文基于中心结构维度选取城市首位度以衡量区域内中心城市的辐射力与影响力。Jefferson 将城市首位度定义为首位城市与第二位城市的人口规模之比^[31]。随着城空间结构研究的不断深入,越来越多的学者运用该指标测算区域综合发展要素在中心城市的聚集程度,研究区域内中心城市的辐射力与影响力。众多研究表明,城市首位度高,说明区域各类发展要素向首位城市倾斜。但若城市首位度过高则不仅不会带来区域发展效益,甚至还会阻碍自身的发展,产生各类城市病。二城市指数法是计算首位度的常用方法,但部分学者认为两城市指数尽管容易理解和计算方便,但不免以偏概全。另外,四城市指数法和十一城市指数法改进了两城市指数,三者的计算公式如下:

$$\begin{aligned} S_1 &= P_1/P_2 \\ S_2 &= P_1/(P_2 + P_3 + P_4) \\ S_3 &= P_1/(P_2 + P_3 + \dots + P_{11}) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, S_1 、 S_2 、 S_3 分别表示二城市指数法、四城市指数法以及十一城市指数法计算而得的城市首位度, P_1 、 P_2 、 P_3 、 \dots 、 P_{11} 分别表示第一位城市到第十位城市的人口规模。因为在众多实践应用中,四城市指数法和十一城市指数法并未表现出明显优势,所以本文仍采用二城市指数法对长江经济带 11 省市的城市首位度进行计算^[32]。

3. 空间联系维度

空间相互作用理论认为,区域内各城市并非静态封闭的,而是动态开放的,区域内各城市间通过对流、辐射和传导等多种方式产生错综复杂的联系网络^[33]。区域内城市之间的相互联系是区域内各类生产要素流动的具体体现,更是区域空间结构形成、重组的内在动力。在众多区域空间联系中,经济联系的重要性显而易见,考虑到区域空间联系的复杂性以及经济联系的重要性,本文参考相关研究成果,以区域经济联系代表区域空间联系^[34]。对于区域经济联系的测度日趋成熟,主要有万有引力测度模型^[35,36]、断裂点测度模型^[37]、潜力测度模型^[38]、威尔逊测度模型^[39]以及城市流强度测度模型^[40]。本文采用万有引力模型对长江经济带 11 省市的区域经济联系进行测度,公式如下:

$$r_{ij} = \frac{\sqrt{P_i \times V_i} \times \sqrt{P_j \times V_j}}{D_{ij}^2} \quad (3)$$

式中 r_{ij} 表示区域内两城市间的经济联系强度; P_i 和 P_j 表示区域内城市就业人数; V_i 和 V_j 表示区域内城市的 GDP; D_{ij} 加入为两城市之间的直线距离。结合众多相关研究的实践,本文对上述模型进行以下两点完善^[41]:首先,增加系数,城市市区 GDP 占两城市市区 GDP 之和的比;其次,鉴于长江经济带 11 省市交通运输现状,本文以两城市间的最短公路距离作为计算依据。修正后的计算公式如下:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{i,j=1}^n k_{ij} \frac{\sqrt{P_i \times V_i} \times \sqrt{P_j \times V_j}}{D_{ij}^2}}{1 + 2 + \dots + (n-1)} k_{ij} = \frac{G_i}{G_i + G_j} \quad (4)$$

式(4)中: R_{ij} 为区域内平均每两座城市之间的经济联系强度; P_i 和 P_j 区域内城市就业人数; G_i 和 G_j 表示区域内城市的GDP; D_{ij} 为两城市间的公路距离; k_{ij} 为城市*i*对 R_{ij} 的贡献率^[42]。

4. 区域空间紧凑性维度

空间紧凑度是指区域发展过程中,区域内城镇、企业、工厂、资金、设施、技术、人才等发展要素在空间上的集中程度。空间紧凑性是推进区域集约高效发展的基础,良好的空间紧凑度是区域综合效益最大化的集中体现,能够促进资源高效利用、空间的高产出及实现高密度发展。而过高或过低的空间紧凑度都不利于区域的健康发展,会导致交通拥堵、工业与人口过度集中等负面影响。紧凑型城市是从城市自身角度研究的一种促进城市可持续发展的城市形态,是以遏制城市蔓延为前提,并通过集中设置公共设施、减少交通距离、降低污染排放等措施推进城市发展,是促进城市可持续发展的代表理论之一。根据紧凑型城市的内涵,紧凑型区域是从城市与城市之间的角度研究的一种促进多个城市共同推进区域可持续发展的区域形态。与分散型区域相比,紧凑型区域是一种资源节约型、高密度及高效率型城市体系结构,度量区域空间紧凑程度的指标称其为区域空间紧凑度。本文以区域空间联系总量与区域城区总面积的比值表示区域空间紧凑度。由前文可知,在区域空间联系中最普遍、最重要的是经济联系,因此,本章以区域经济联系总量与区域城区总面积的比值表示区域空间紧凑度,公式如下所示:

$$I = \frac{\sum_{i,j=1}^n R_{ij}}{S} \quad (5)$$

式中: I 为区域空间紧凑度指数, S 为区域总面积^[43]。

(二) 可持续发展综合评价

1. Super-SBM-Undesirable 评价模型

DEA 评价方法是解决以多投入、多产出,复杂巨系统为特征的综合评价问题的有效方法。首先,DEA 方法是一种非参数研究方法,以相对效率为基础,使用数学规划模型从投入、产出角度评价具有多个投入、产出的决策单元(DMU)。其次,DEA 方法可避免主观判断和客观要素的量纲、单位对评价结果产生影响。最后,DEA 评价方法在对各 DMU 的相对效率做出衡量的同时,可指出其无效的原因和程度,为决策单元效率的提高提供调控依据。另外,采用 DEA 方法时要求投入、产出指标个数的乘积小于 DMU 的个数,同时投入、产出指标总个数的 2 倍也需小于 DMU 的个数,即 $\max\{m \times q, 2 \times (m + q)\} < n$ ^[44],若评价指标数量过多则很容易出现大部分甚至全部 DMU 均有效的结果。而构建全面、客观的区域可持续发展评价指标体系往往包含多项投入、产出指标,因此,本文在已建立的评价指标体基础上采用主客观权重相结合的办法生成 DEA 投入、产出综合指标,从而为 DEA 方法在可持续发展综合评价中的应用提供思路。

本文以 SBM-Undesirable 模型为基础,结合建立的超效率评价模型的基本思想,推导出 Super-SBM-Undesirable 评价模型。其中,Tone 构建的 SBM-Undesirable 评价模型如下所示^[45]:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^{g+}}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{y_{tk}} \right)} \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} X\lambda + s^- = x_k \\ Y^g\lambda - s^{g+} = y_k^g \\ Y^b\lambda + s^{b-} = y_k^b \\ s^-, s^{g+}, s^{b-}, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

式(6)中: ρ 为目标 DMU 的综合技术效率值; λ 表权重向量; k 表第 k 个被评价单元; x, y^g, y^b 分别表投入值、期望产出值和非期望产出值; s^-, s^{g+}, s^{b-} 分别表投入、期望产出和非期望产出的松弛量。从公式(6)中可以看出,SBM-Undesirable 模型将投放与产出的松弛量直接放入目标函数中,直接度量了变量松弛性所产生的与最佳生

产前沿间的差距,解决了传统DEA模型中投入与产出的松弛性问题,同时也解决了非期望产出下的综合技术效率评价问题。Andersen与Petersen^[46]所构建的超效率DEA评价模型的核心思想是将被评价DMU从参考集中剔除,即DMU的效率是参考其他DMU构成的前沿得出的。基于上述原理,由SBM-Undesirable评价模型与超效率评价模型推导而得的Super-SBM-Undesirable评价模型定义如下:

$$\min \rho^* = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^{g+}}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{y_{tk}} \right)} \quad s.t. \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj}^g \lambda_j + s_r^{g+} \geq y_{rk}^g \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj}^b \lambda_j - s_t^{b-} \leq y_{tk}^b \\ 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^{g+}}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{y_{tk}} \right) > 0 \\ s^-, s^{g+}, s^{b-}, \lambda \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{cases} \quad (7)$$

2. 评价指标体系

在借鉴国际城市可持续发展指标体系目录IUSIL、麦肯锡2011年城市可持续发展指数等国内外相关文献的同时,遵循指标体系设计的目的性、可比性、可操作性三大原则,本文建立了包含投入、期望产出与非期望产出的长江经济带可持续发展评价指标体系(如表1所示),旨在以投入产出为主线,以资源消耗、城市建设、经济发展以及污染灾害事故为基本要素单元,力求系统地、科学地反映长江经济带可持续发展现状。为保证指标体系建立的科学性,指标体系的最终确定还征求了来自高等院校、科研院所、规划部门、环境部门、统计部门等的多个专家的意见。

(三) 灰色关联模型

在数理统计中常见的关联分析方法主要有相关分析、因素分析以及

主成分分析等,但上述方法的使用需要以海量相关数据作为前提条件。因此,克服该缺点的灰色关联分析方法在“小样本,贫信息”案例中得到越来越多的应用。灰色关联分析法是一种因素比较分析法,其基本思想是在定量的描述系统发展过程中观察序列之间相对变化的情况来判断序列之间是否存在紧密联系,通过对比分析,对各影响因素与目标间的关联紧密程度进行排序。若两个观察序列存在相似的变化特征,则说明两者存在较大的关联度,反之亦反。该模型的主要应用在于确定影响目标各类影响因素间的主次、优劣关系^[47]。

基于不同的研究视角,灰色关联模型的测度结果又可以分为狭义关联度与广义关联度。广义关联度包括灰色绝对关联度、灰色相对关联度、灰色综合关联度。其中,灰色综合关联度不仅能够反映两观察序列间相似程度,也能反映其变化趋势相似程度。因此,本文选取灰色综合关联度来衡量长江经济带四大空间结构指标与其可持续发展间的关联关系。结合现有研究成果,灰色综合关联度计算过程如下^[48-49]。

①构建灰色关联模型测算灰色绝对关联度。灰色绝对关联度是对灰色关联模型中四大空间结构指标分别

表1 区域可持续发展综合评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system for regional sustainable development

类型	一级指标	二级指标	三级指标
投入	自然资源消耗 X_1	土地 X_{11}	人均占有土地面积 X_{111}
		水 X_{12}	人均用水量 X_{121}
		能源 X_{13}	人均能源消费总量 X_{131}
	社会资源消耗 X_2	资金 X_{21}	环境污染治理投资占GDP比重 X_{211}
		劳动力 X_{22}	人均固定资产投资 X_{212}
期望产出	社会发展 Y_1	城市发展 Y_{11}	就业人数占比 X_{221}
			人均城市道路面积 Y_{111}
		人均绿化覆盖面积 Y_{112}	
		人均城区面积 Y_{113}	
	教育、科技、文化与医疗 Y_{12}	城镇人口占比 Y_{114}	
		人均国内三种专利授权数 Y_{121}	
	社会保障 Y_{13}	每万人拥有卫生人员数 Y_{122}	
		人均教、文、娱消费支出占比 Y_{123}	
		每万人拥有普通高校专任教师数 Y_{124}	
		基本养老保险参保比率 Y_{131}	
经济发展 Y_2	失业保险参保比率 Y_{132}		
	城镇职工医疗保险参保比率 Y_{133}		
	工伤保险参保比率 Y_{134}		
	生育保险参保比率 Y_{135}		
	人均消费支出 Y_{141}		
	人均可支配收入 Y_{142}		
非期望产出 污染、灾害与事故 Y_3	生活水平 Y_{14}	GDP增长率 Y_{221}	
	经济增长 Y_{21}	第三产业占比 Y_{221}	
	经济结构 Y_{22}	人均GDP Y_{231}	
	经济规模 Y_{23}	人均废水排放总量 Y_{311}	
非期望产出 污染、灾害与事故 Y_3	废水污染 Y_{31}	人均SO ₂ 排放总量 Y_{321}	
	废气污染 Y_{32}	人均烟粉尘排放总量 Y_{322}	
	自然灾害 Y_{33}	人均自然灾害直接经济损失 Y_{331}	
	交通事故 Y_{34}	人均交通事故直接经济损失 Y_{341}	

与可持续发展水平之间相似程度的测算。

假设 X_j 与 X_i 的长度相同且都为同一时矩之和序列, $X_j^0=(X_j^0(1), X_j^0(2), \dots, X_j^0(n))$, $X_i^0=(X_i^0(1), X_i^0(2), \dots, X_i^0(n))$ 分别是 X_j 与 X_i 的始点零画像, X_0 与 X_i 的灰色绝对关联度记为 ϵ_{ji} :

$$\epsilon_{ji} = \frac{1 + |S_j| + |S_i|}{1 + |S_j| + |S_i| + |S_i - S_j|} \quad (8)$$

其中:

$$|S_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_j^0(k) + \frac{1}{2} X_j^0(n) \right| \quad (9)$$

$$|S_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_i^0(k) + \frac{1}{2} X_i^0(n) \right| \quad (10)$$

$$|S_i - S_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (X_i^0(k) - X_j^0(k)) + \frac{1}{2} (X_i^0(n) - X_j^0(n)) \right| \quad (11)$$

S_j 表示空间结构序列 j 的第一个观测值, 共有 n 个观测值。灰色绝对关联度越大, 表明该空间结构指标与可持续发展水平越相似, 两者存在密切联系, 反之亦然。

②构建灰色关联模型测算灰色相对关联度。灰色相对关联度是对灰色关联模型中四大空间结构指标分别与可持续发展水平之间变化速率关联程度的测算。假设序列 X_j 与 X_i 的长度相同且初值都不为零, X'_j 与 X'_i 分别为 X_j 与 X_i 的初值像, 那么就称 X'_j 与 X'_i 的灰色绝对关联度为 X_j 与 X_i 的灰色相对关联度, 记为 r_{ji} 。

$$r_{ji} = \frac{1 + |S'_j| + |S'_i|}{1 + |S'_j| + |S'_i| + |S'_i - S'_j|} \quad (12)$$

其中:

$$|S'_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_j^{\prime 0}(k) + \frac{1}{2} X_j^{\prime 0}(n) \right| \quad (13)$$

$$|S'_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_i^{\prime 0}(k) + \frac{1}{2} X_i^{\prime 0}(n) \right| \quad (14)$$

$$|S'_i - S'_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (X_i^{\prime 0}(k) - X_j^{\prime 0}(k)) + \frac{1}{2} (X_i^{\prime 0}(n) - X_j^{\prime 0}(n)) \right| \quad (15)$$

S'_j 和 S'_i 的计算与灰色绝对关联度测算过程中的 S_j 和 S_i 类似, 仅仅是 X_j 和 X_i 变成了空间结构指标与可持续发展水平的初值像 X'_j 、 X'_i 。灰色相对关联度越大, 表明该空间结构指标与可持续发展水平之间的变化速率越相似, 关系越密切, 反之亦然。

③根据第一步与第二步测算而得的灰色绝对关联度与灰色相对关联度测算灰色综合关联度。灰色综合关联度是对灰色绝对关联度和灰色相对关联度加权平均的计算, 不仅体现了序列之间的相似程度, 同时也反映出序列相对于始点变化速率的接近程度, 较为全面地表征了序列之间的紧密联系程度。其计算公式为:

$$\rho_{ji} = \theta \epsilon_{ji} + (1 - \theta) r_{ji} \quad (16)$$

其中, θ 表示灰色绝对关联度所占权重, 多数情况取 0.5, 表示对绝对关联度和相对关联度具有同样的重视程度。灰色综合关联度越大, 表明空间结构指标与可持续发展水平间存在紧密联系, 反之则反。

(四) 数据说明

本文以长江经济带 11 个省市涵盖的地级及以上城市作为研究对象(重庆市、上海市空间结构的测度, 则是以行政区(县)为研究对象), 以 2006—2015 年为研究时限。①由于部分地市在该时期涉及行政区划调整, 为保证研究的统一性, 本文进行如下处理, 贵州省的毕节地区和铜仁地区分别在 2011 年和 2012 年改设地级市, 此前缺乏对毕节和铜仁的行业分类统计, 故加以剔除, 最终研究区域共涉及 80 个地级及以上城市单元; ②2011 年国务院同意撤销安徽省地级巢湖市, 将其原先管辖的庐江县、无为县和含山县、和县分别划归合肥市、芜湖市、马鞍山市管辖, 因此以 2011 年安徽省的行政区划为基础, 调整此前合肥市、芜湖市和马鞍山市的区划范围。

本文所运用的 80 个地级及以上城市数据及少数直接摘自 2007—2016 年的《中国城市统计年鉴》《中国能源

统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及11省市的统计年鉴,多数是由相关年鉴上公布的数据计算而来。其中个别城市可能在某些年份存在着数据缺失的情况,本文则通过采取线性插值等方法将其补齐。

四、实证分析

根据所确定的空间结构指标以及获取的数据,本文首先根据公式(1)、公式(2)、公式(4)、公式(5)对长江经济带11省市的空间结构进行测算;其次根据构建的区域可持续发展综合评价指标体系,结合推导出的Super-SBM-Undesirable评价模型对长江经济带11省市可持续发展现状进行综合评价;最后根据灰色关联模型,分别以各省市的可持续发展水平为参考序列,各省市4大区域空间结构指标为比较序列,并利用窗口长度递增法逐期计算各个比较序列与参考序列的关联度,同时根据关联度对四大空间结构指标进行排序,定量分析长江经济带空间结构与可持续发展间的关联关系,深入探讨长江经济带四大空间结构指标对区域可持续发展的影响是否具有波动性。限于篇幅,11省市空间结构与社会经济发展效率测算结果不再列出。

(一) 整体分析

根据表2中长江经济带整体不同时期可持续发展水平与四大空间结构的灰色综合关联度可以看出:在五个不同时期,长江经济带空间结构与可持续发展水平间的关联关系相对稳定,影响强度由强至若进行排序,排序结果为,城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度。

首先,由排序结果可知基于规模分布维度的城市规模基尼系数是影响长江经济带可持续发展最重要的空间结构因素。该结果说明改革开放以来,长江经济带虽然实现了较快的发展,但是各区域城市等级混乱,未能明确各城市职能、突出城市优势、实现合理分工,从而导致东部各类生产要素冗余,而西部生产要素短缺,严重影响了长江经济带的可持续发展。一个健康理想的区域,既不是寡头式的大都市,也不是满天星斗式的松散布局,只有区域内的各类生产要素相对均匀分布于区域内不同的城市,在区域内形成合理的层级与分工体系,才可以提高区域整体的人均产出水平,缩小区域内各城市间差距,实现区域可持续发展。这也从另一角度说明,要想基于区域结构视角促进长江经济带可持续发展,确保一江清水绵延后世,首先需要以壮大核心城市、提高大中城市、发展中小城市、培育落后地区增长极为原则,构建层次分明科学合理的长江经济带城市等级体系,加强区域分工与合作,促进资源优化配置,实现长江经济带均衡发展。

其次,基于中心结构维度的城市首位度是仅次于城市规模基尼系数的影响长江经济带可持续发展的空间结构因素。该结果说明近年来长江经济带发展缓慢的主要原因在于未能集中优势资源培育区域发展新增长极,尤其是中西部地区缺少带动区域发展增长极,且中心城市的辐射力与影响力较弱。根据增长极理论可知区域经济增长由节点向外扩散,促进区域内各生产要素流通及扩散,进而带动区域发展。在区域发展历程中,各类生产要素向首位城市的集聚可以产生城市集聚经济和规模效应:一方面表现为节约交通成本和能源损耗,有效利用和配置有限的资源要素,形成更加有效的市场和更加紧密的产业关联效应;另一方面也有利于知识和技术的外溢,提高基础设施和土地的利用效率。但若其过度集聚则会带来交通拥堵、住房紧张、资源稀缺等“城市病”,在一定程度上会抵消各类生产要素集聚带来的经济效应。因此,培育区域增长极、促进长江经济带区域空间相互链接和扩散是促进区域走可持续发展的关键一步。

最后,基于区域联系维度的经济联系强度与基于空间紧凑性维度的空间紧凑度也是影响长江经济带可持续发展的重要空间结构因素。受地理条件等因素的限制,尽管长江经济带东部地区的交通体系日趋成熟,且各类生产要素产出密集,但西部地区交通体系仍旧落后,各城市间联系较弱,未能实现各类生产要素的共享,且单位空间产出较低。城市之间的相互联系是区域空间结构这一外在形态产生和发展的内在动力。随着经济的快速发展,长江经济带区域内各城市间的联系日益密切,各城市间通过对流、辐射和传导等多种方式产生错综复杂联系网络的纵横向联系,并通过各类生产要素在区域内的集聚程度以及城市间的流动来获得极化与辐射、分工协

表2 长江经济带整体不同时期可持续发展水平与空间结构灰色综合关联度
Tab.2 Grey Comprehensive Relevance Degree of Sustainable Development Level and Spatial Structure in Different Periods of Jiangsu Economic Belt

年份	H1	H2	H3	H4	排序结果
2006—2011	0.814	0.835	0.621	0.596	H2>H1>H3>H4
2006—2012	0.776	0.795	0.601	0.574	H2>H1>H3>H4
2006—2013	0.746	0.768	0.584	0.560	H2>H1>H3>H4
2006—2014	0.737	0.757	0.574	0.553	H2>H1>H3>H4
2006—2015	0.724	0.750	0.567	0.549	H2>H1>H3>H4

注:城市首位度为H1;城市规模基尼系数为H2;经济联系强度H3;空间紧凑度为H4。

作和系统增强等效应,进而提升整个区域的综合效率。另外,与分散型区域相比,紧凑型区域是一种资源节约型、高密度、高效率型城市体系结构。空间的紧凑性是推进区域集约高效发展的基础,以遏制城市扩张为前提的适度紧凑型城市体系能够集中公共设施、有效减少交通距离以及减少污染排放量,从而促进资源高效利用、空间的高产出及实现高密度发展,但过度紧凑的空间也会带来交通拥堵、工业与人口过度集中等集聚不经济。因此,在下一阶段,长江经济带一方面需要规划科学交通运输网络,优化空间扩散轴线,构建具有鲜明的“高效、绿色环保”特征的交通体系,最大化降低运行成本,从而加强长江经济带各城镇间的联系,实现经济效益最大化;同时,在推进长江经济带可持续发展的道路上,必须坚持城镇化高质量发展,遏制城市盲目扩张,坚持集约发展的理念,实现土地集约、空间集约、人口集约和产业集聚发展,实现空间利用集约紧凑、产业集聚发展、资源集约循环利用的新型城镇化发展道路。

(二) 个体分析

根据长江经济带11省市5期可持续发展水平与空间结构的灰色综合关联度的测算结果,本文将长江经济带11省市空间结构与可持续发展水平间的关联关系归结为以下4类,分别为:①城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度;②城市首位度>城市规模基尼系数>经济联系强度>空间紧凑度;③经济联系强度>空间紧凑度>城市规模基尼系数>城市首位度;④空间紧凑度>经济联系强度>城市首位度>城市规模基尼系数。其中,排序出现频数最高的是城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度,共出现36次;其次是城市首位度>城市规模基尼系数>经济联系强度>空间紧凑度,共出现14次;然后是经济联系强度>空间紧凑度>城市规模基尼系数>城市首位度,共出现4次;最后是空间紧凑度>经济联系强度>城市首位度>城市规模基尼系数,共出现1次。

另外,长江经济带11省市的关联度排序结果较为稳定,这说明在过去的发展历程中,各省市的空间结构与区域可持续发展关联关系保持相对稳定。在55个排序结果中先后发生变化的只有5个,分别是:贵州省的2006—2013时期、四川省的2006—2015时期、江西省的2006—2015时期、上海市的2006—2014时期以及云南省的2006—2012时期。其中,贵州的2006—2013时期与四川省的2006—2015时期由城市首位度>城市规模基尼系数>经济联系强度>空间紧凑度转变为城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度。借鉴东部沿海区域的发展经验,贵州省与四川省集中各类生产要素优先发展中心城市,不断扩大贵阳市、遵义市、成都市以及绵阳市等中心城市的辐射力与影响力。因此,城市规模基尼系数取代了城市首位度成为影响贵州省、四川省可持续发展关系最为紧密的空间结构影响,工作重心向构建合理城市等级体系转移;江西省的2006—2015时期、上海市的2006—2014时期由城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度转变为城市首位度>城市规模基尼系数>经济联系强度>空间紧凑度。江西省与上海市内各城市(区域)功能逐步明确,区域城市等级体系日趋成熟,所以关联强度最为紧密的空间结构影响因素由城市规模基尼系数变为城市首位度,工作重

表3 长江经济带11省市不同时期可持续发展水平与空间结构的灰色综合关联度

区域	2006—2011年					2006—2012年				
	H1	H2	H3	H4	排序结果	H1	H2	H3	H4	排序结果
安徽	0.856	0.859	0.620	0.549	H2>H1>H3>H4	0.836	0.837	0.596	0.538	H2>H1>H3>H4
贵州	0.937	0.912	0.600	0.597	H1>H2>H3>H4	0.953	0.950	0.567	0.560	H1>H2>H3>H4
湖北	0.749	0.782	0.575	0.555	H2>H1>H3>H4	0.692	0.724	0.567	0.549	H2>H1>H3>H4
湖南	0.860	0.894	0.553	0.536	H2>H1>H3>H4	0.797	0.855	0.532	0.521	H2>H1>H3>H4
江苏	0.770	0.824	0.573	0.565	H2>H1>H3>H4	0.730	0.786	0.553	0.547	H2>H1>H3>H4
江西	0.826	0.837	0.754	0.656	H2>H1>H3>H4	0.781	0.789	0.702	0.617	H2>H1>H3>H4
上海	0.849	0.930	0.580	0.579	H2>H1>H3>H4	0.822	0.864	0.569	0.569	H2>H1>H3>H4
四川	0.787	0.773	0.651	0.575	H1>H2>H3>H4	0.775	0.738	0.602	0.550	H1>H2>H3>H4
云南	0.652	0.648	0.827	0.855	H4>H3>H1>H2	0.630	0.631	0.831	0.775	H3>H4>H2>H1
浙江	0.800	0.795	0.550	0.544	H1>H2>H3>H4	0.728	0.713	0.549	0.542	H1>H2>H3>H4
重庆	0.869	0.929	0.549	0.542	H2>H1>H3>H4	0.790	0.854	0.546	0.540	H2>H1>H3>H4
区域	2006—2013年					2006—2014年				
	H1	H2	H3	H4	排序结果	H1	H2	H3	H4	排序结果
安徽	0.827	0.829	0.593	0.536	H2>H1>H3>H4	0.820	0.826	0.588	0.534	H2>H1>H3>H4
贵州	0.857	0.957	0.549	0.539	H2>H1>H3>H4	0.787	0.940	0.536	0.527	H2>H1>H3>H4
湖北	0.650	0.682	0.561	0.545	H2>H1>H3>H4	0.619	0.652	0.558	0.542	H2>H1>H3>H4
湖南	0.763	0.822	0.522	0.515	H2>H1>H3>H4	0.781	0.849	0.519	0.513	H2>H1>H3>H4
江苏	0.705	0.762	0.538	0.535	H2>H1>H3>H4	0.688	0.745	0.532	0.529	H2>H1>H3>H4
江西	0.750	0.754	0.663	0.592	H2>H1>H3>H4	0.726	0.728	0.637	0.576	H2>H1>H3>H4
上海	0.802	0.814	0.563	0.562	H2>H1>H3>H4	0.788	0.744	0.566	0.562	H1>H2>H3>H4
四川	0.815	0.751	0.564	0.531	H1>H2>H3>H4	0.951	0.865	0.533	0.516	H1>H2>H3>H4
云南	0.614	0.619	0.780	0.729	H3>H4>H2>H1	0.600	0.610	0.751	0.703	H3>H4>H2>H1
浙江	0.689	0.667	0.546	0.540	H1>H2>H3>H4	0.661	0.636	0.544	0.538	H1>H2>H3>H4
重庆	0.730	0.786	0.545	0.539	H2>H1>H3>H4	0.688	0.734	0.545	0.539	H2>H1>H3>H4
区域	2006年—2015年									
	H1	H2	H3	H4	排序结果					
安徽	0.815	0.827	0.583	0.532	H2>H1>H3>H4					
贵州	0.787	0.919	0.533	0.524	H2>H1>H3>H4					
湖北	0.597	0.633	0.554	0.540	H2>H1>H3>H4					
湖南	0.811	0.857	0.518	0.512	H2>H1>H3>H4					
江苏	0.678	0.734	0.528	0.526	H2>H1>H3>H4					
江西	0.703	0.701	0.622	0.567	H1>H2>H3>H4					
上海	0.788	0.694	0.566	0.566	H1>H2>H3>H4					
四川	0.891	0.972	0.520	0.509	H2>H1>H3>H4					
云南	0.588	0.603	0.729	0.684	H3>H4>H2>H1					
浙江	0.644	0.612	0.542	0.537	H1>H2>H3>H4					
重庆	0.660	0.696	0.544	0.538	H2>H1>H3>H4					

心向培育区域增长极转移。云南省的2006—2012时期由空间紧凑度>经济联系强度>城市首位度>城市规模基尼系数转变为经济联系强度>空间紧凑度>城市规模基尼系数>城市首位度。随着社会经济的不断发展,地理位置成为制约云南省发展的重要因素。山高谷深的地理环境导致经济联系强度成为影响云南省可持续发展关系最为紧密的空间结构影响因素,因此未来工作重心需要向规划科学交通运输网络,增强区域联系转移。最后,安徽省、湖北省、湖南省、江苏省、浙江省以及重庆市6大省市在过去的发展历程中,影响区域可持续发展的空间结构影响并未发生改变,关联关系由强至弱始终为,城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度,说明在下一阶段,为加快推进该6省市可持续发展需高度重视区域的均衡发展,合理配置各项生产要素,在区域内形成合理的层级与分工体系。

五、结论性评述

本文从规模分布、中心结构、空间联系、紧凑性四个维度来表征长江经济带11省市的空间结构演变过程与特征,运用基于传统DEA模型优化后的Super-SBM-Undesirable评价模型、Malmquist指数对长江经济带11省市可持续发展进行时空差异分析,并构建基于空间结构的长江经济带可持续发展关联分析模型,从而探讨长江经济带空间结构与可持续发展间的关联关系,得到如下研究结论:基于整体视角分析可得,在五个不同时期,四大空间结构指标对长江经济带可持续发展水平的影响相对稳定,按影响强度进行排序,排序结果为城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度。基于个体视角分析可得,根据长江经济带11省市不同时期可持续发展水平与空间结构的灰色综合关联度的测算结果,可以将四大空间结构因素对长江经济带11省市可持续发展水平的关联程度强度归结为以下4类,分别为:①城市规模基尼系数>城市首位度>经济联系强度>空间紧凑度;②城市首位度>城市规模基尼系数>经济联系强度>空间紧凑度;③经济联系强度>空间紧凑度>城市规模基尼系数>城市首位度;④空间紧凑度>经济联系强度>城市首位度>城市规模基尼系数。

科学合理的空间结构能够有效提高区域发展效率,是促进区域可持续发展的“调节器”和“助推器”。本文通过对长江经济带空间结构与可持续发展的关联分析,并结合“节点—轴线—域面”的空间要素体系,分别基于城市规模基尼系数、城市首位度、经济联系强度以及空间紧凑度四大空间结构指标提出以下四个政策建议。

首先,构建合理的城市体系。研究表明,城市规模基尼系数是四大空间结构指标中与长江经济带整体可持续发展关联强度最高的,基于此,促进长江经济带可持续发展的关键一步是构建合理城市等级体系,加强区域分工与合作,实现资源优化配置。另外,城市规模基尼系数也是影响安徽省、贵州省、湖北省、湖南省、江苏省、四川省以及重庆市可持续发展最紧密的空间结构因素。因此,基于区域空间结构促进该7省市可持续发展也需要构建合理的城市等级体系。其次,培育区域增长极。通过上文的关联分析发现,长江经济带整体城市首位度与可持续发展之间也存在较高的关联强度。另外,城市首位度是影响江西省、上海市以及浙江省可持续发展最紧密的空间结构要素。根据增长极理论可知,区域内经济增长由节点向外扩散,从而带动附近城市发展。因此,培育区域增长极是促进各类生产要素链接和扩散,实现可持续发展的关键一步。再次,增强区域空间联系。关联分析发现,经济联系强度与长江经济带可持续发展也存在较高的关联强度。因此,优化长江经济带交通运输网络,构建具有鲜明的“高效、绿色环保”特征的交通体系,以加强长江经济带各城镇间的交流,是促进长江经济带可持续发展的重要一步。另外,空间联系强度是影响云南省可持续发展最紧密的空间结构因素,因此,加强基础设施建设,改善交通运输状况,增强区域内各城市空间联系是基于空间结构视角推进云南省可持续发展的重要工作内容。最后,推进城镇化高质量发展。空间紧凑度也是促进长江经济带可持续发展的重要影响因素,适度紧凑的城市体系能够促进资源高效利用、空间的高产出及实现高密度发展。但同时需要避免交通拥堵、工业与人口过度集中等集聚不经济现象。因此,在推进长江经济带可持续发展的道路上,有关部门必须坚持城镇化高质量发展,遏制城市盲目扩张,坚持集约发展的理念,走土地集约、空间集约、人口集约和产业集约发展的新型城镇化发展道路。

参考文献:

- [1] 吴传清, 万庆. 长江经济带城镇化发展的时空格局与驱动机制研究——基于九大城市群2004—2013年数据的实证分析[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2015(5):44-51.

- [2] 卢丽文,宋德勇,李小帆.长江经济带城市发展绿色效率研究[J].中国人口资源与环境,2016(6):35-42.
- [3] 陈修颖.长江经济带空间结构演化及重组[J].地理学报,2007(12):1265-1276.
- [4] Marshall J U. Beyond the rank-size rule: A new descriptive model of city sizes[J]. Urban Geography, 1997, 18(1):36-55.
- [5] Perroux F. Economic Space: Theory and applications[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1950, 64(1):89-104.
- [6] Rondinelli D A. Regional disparities and investment allocation policies in the Philippines: Spatial dimensions of poverty in a developing country.[J]. Revue canadienne d'études du développement Canadian journal of development studies, 1980, 1(2):262-287.
- [7] Houghton G, Rowe I, Hunter C. The Thames gateway and the re-emergence of regional strategic planning: The implications for water resource management[J]. Town Planning Review, 1997, 68(4):407-422.
- [8] 辜寄蓉,唐伟,郝建明,等.长江经济带资源禀赋现状分析——基于地理国情普查[J].中国国土资源经济,2017,30(7):46-52.
- [9] 丁成日.空间结构与城市竞争力[J].地理学报,2004(7):85-92.
- [10] Stafford H A. Economics of agglomeration: Cities, industrial location, and regional growth[J]. 2003, 93(3):778-779.
- [11] Burchell R W. Smart growth: More than a ghost of urban policy past, less than a bold new horizon [J]. Housing Policy Debate, 2000, 11(4):821-879.
- [12] Fan C C, Scott A J. Industrial agglomeration and development: A survey of spatial economic issues in East Asia and a statistical analysis of Chinese regions[J]. Economic Geography, 2003, 79(3):295-319.
- [13] 朱丽霞,敖荣军.基于GIS的区域化外部经济研究[J].经济地理,2011(8):1264-1269.
- [14] Fallah B, Partridge M, Olfert M R. Uncertain economic growth and sprawl: Evidence from a stochastic growth approach[J]. The Annals of Regional Science, 2011, 49(3):102-109.
- [15] Lee B Gordon E. 'Edge' or 'Edgeless Cities'? Urban spatial structure in US metropolitan areas, 1980 to 2000[J]. Journal of Regional Science, 2010, 47(3):479-515.
- [16] Meijers E J, Burger M J. Spatial structure and productivity in US metropolitan areas[J]. Erim Report, 2009, 42(42):1383-1402.
- [17] 张鹏.中国城市化空间结构的经济效应研究[D].长春:东北师范大学,2012.
- [18] 赵璟,党兴华.城市群空间结构演进与经济增长耦合关系系统动力学仿真[J].系统管理学报,2012,21(4).
- [19] 张浩然,衣保中.城市群空间结构特征与经济绩效——来自中国的经验证据[J].经济评论,2012(1):42-47.
- [20] 钟业喜,文玉钊.城市群空间结构效益比较与优化研究——以江西省为例[J].地理科学,2013(11):62-71.
- [21] 尚勇敏,曾刚,海骏娇.“长江经济带”建设的空间结构与发展战略研究[J].经济纵横,2014(11):87-92.
- [22] 冯兴华,钟业喜,徐羽.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(10):1711-1720.
- [23] 应辉.基于ESDA—GIS的长江经济带经济空间分异及优化对策研究[D].苏州:苏州大学,2016.
- [24] 徐维祥,张凌燕,刘程军,等.城市功能与区域创新耦合协调的空间联系研究——以长江经济带107个城市为实证[J].地理科学,2017(11):1659-1667.
- [25] 卢丽文,宋德勇,李小帆.长江经济带城市发展绿色效率研究[J].中国人口资源与环境,2016(6):35-42.
- [26] 张玮琪.城市群空间结构的经济效应研究[D].广州:暨南大学,2014.
- [27] 陈鑫,李效顺,邱哲宁,等.基于基尼系数计量的城市土地规模均衡研究[J].统计与决策,2017(1):93-97.
- [28] 王惊雷,李在军.基于基尼系数空间分解的江苏省经济发展差异分析[J].地域研究与开发,2017,36(3):12-15.
- [29] 苏飞,张平宇.辽中南城市群城市规模分布演变特征[J].地理科学,2010(3):343-349.
- [30] 秦贤宏,段学军.长三角极化区形成过程中的经济梯度演变特征及政策启示[J].长江流域资源与环境,2018(6):4-10.
- [31] Jefferson M. The law of the primate City[J]. Geographical Review, 1939, 29(2):226-232.
- [32] 周一星,张莉,武悦.城市中心性与我国城市中心性的等级体系[J].地域研究与开发,2001(4):1-5.
- [33] 张建营,毛艳华.珠三角城市群经济空间联系实证分析[J].城市问题,2012(10):2-8.
- [34] 刘承良,余瑞林,熊剑平,等.武汉都市圈经济联系的空间结构[J].地理研究,2007(1):199-211.
- [35] 王欣,吴殿廷,王红强.城市间经济联系的定量计算[J].城市发展研究,2006(3):55-59.
- [36] 王辉,马婧,刘小宇,等.辽宁省14市与长山群岛旅游空间相互作用研究[J].地理科学,2017(3):367-374.
- [37] 孟德友,陆玉麒.基于引力模型的江苏区域经济联系强度与方向[J].地理科学进展,2009(5):697-704.
- [38] 方超,盛旗锋,李少付.基于引力模型的皖北城市经济联系研究[J].地域研究与开发,2018(2):25-28.
- [39] 陈少沛,丘健妮,庄大昌.基于潜力模型的广东城市可达性度量及经济联系分析[J].地理与地理信息科学,2014(6):64-69.
- [40] 赵正,王佳昊,赵静.“一带一路”中国段节点城市经济联系的空间分析——基于城市流强度模型的研究[J].干旱区资源与环境,2018(5):25-32.
- [41] 孙久文,罗标强.基于修正引力模型的京津冀城市经济联系研究[J].经济问题探索,2016(8):71-75.

- [42] 田柳, 陈江龙, 高金龙. 城市空间结构紧凑与土地利用效率耦合分析——以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017(1):26-34.
- [43] 李顺成, LEE Hee-Yeon. 紧凑式城市空间结构要素对区域经济发展的影响力研究——基于中国大城市面板数据的实证分析[J]. 中国人口资源与环境, 2017(12):168-176.
- [44] LiZ, TangD, Han, M, et al. Comprehensive Evaluation of Regional Sustainable Development Based on Data Envelopment Analysis[J]. Sustainability, 2018(11):3897.
- [45] Tang D, Tang J, Xiao Z, et al. Environmental regulation efficiency and total factor productivity—Effect analysis based on Chinese data from 2003 to 2013[J]. Ecological Indicators, 2017, 73(2):312-318.
- [46] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10):1261-1264.
- [47] 岳云康, 焦利芹, 高平堂. 山西物流与经济灰色关联分析[J]. 经济问题, 2017(7):121-124.
- [48] 黄速建, 李倩, 王季. 我国不同所有制工业企业效率比较评价——基于熵权法和灰色关联分析法的分析[J]. 河北经贸大学学报, 2017(3):72-79.
- [49] 刘思峰, 蔡华, 杨英杰, 等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践, 2013(8):2041-2046.

[责任编辑:杨志辉]

Relevance Analysis of Sustainable Development of Yangtze River Economic Belt Based on Spatial Structure

TANG Decai, LI Zhijiang

(Academy of Chinese Manufacturing Development, Nanjing University of Information Engineering, Nanjing 210044, China)

Abstract: Scientifically justifiable spatial structure can not only promote the efficient use of regional resources, but also can effectively avoid "urban diseases" such as traffic congestion, housing shortage, resources scarcity, and so on. It is the "regulator" and "booster" of regional development. Firstly, this paper measures the spatial structure of the Yangtze River Delta Economic Zone from the four dimensions of scale distribution, central structure, spatial connection and compactness: Gini coefficient of urban scale, urban primacy, regional economic linkage strength and spatial compactness. Secondly, the optimized Super-SBM-Undesirable model is used to evaluate the sustainable development status of the Yangtze River Delta Economic Zone. Finally, a sustainable development correlation analysis model based on regional spatial structure is constructed. Based on the overall perspective of the Yangtze River Delta Economic Zone and the individual perspective of 11 provinces and cities, the relationship between the spatial structure of the Yangtze River Delta Economic Zone and sustainable development is analyzed.

Keywords: Yangtze River Delta Economic Zone; space structure; sustainable development; regional economic development; urbanization; city density