

长三角城市群绿色发展水平的时空演变及趋势预测¹

徐小鹰 田焱焱

(中南民族大学经济学院, 湖北 武汉 430074)

【摘要】：绿色发展能有效缓解生态环境问题，推动新时代长三角城市群实现更高质量的一体化发展。在梳理绿色发展理论和作用机理的基础上，构建了科技创新、经济增长、资源利用、环境治理、环境质量、绿色生活六个维度的绿色发展指标评价体系，采用熵值法、Kernel 密度估计、BP 时间序列预测模型，测算和分析了 2006 ~ 2019 年长三角城市群的绿色发展水平及其时空演变特征和未来变化趋势。结果表明：(1)研究期内，长三角城市群绿色发展水平总体上呈现波动上升，2008 ~ 2009 和 2011 ~ 2013 年受金融危机和产业转移影响，部分城市绿色发展水平出现下降。(2)城市间绿色发展水平差异日渐凸显，存在两极分化特征并有向三极分化转化的趋势，同时空间上分布不平衡。(3)“十四五”预测期内绿色发展水平将进一步攀升，北部和南部地区绿色发展水平得到改善，但西部地区依旧处于较低水平。(4)绿色发展水平等级转移均发生在相邻等级之间，没有出现“跳级”现象，说明长三角城市群绿色发展存在“瓶颈”。最后基于长三角城市群区域特征，提出相应的绿色发展建议。

【关键词】：长三角城市群；绿色发展；时空演变；趋势预测

【中图分类号】：F124. 5；X22 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004- 8227(2022)12- 2568- 14

【DOI】：10. 11870 / cjlzyyhj202212002

我国经济发展步入新常态，绿色发展作为一种资源节约型、环境友好型的发展方式，能够协调我国目前发展过程中经济、生态与社会间的不平衡关系，使绿水青山产生更大的经济效益、生态效益与社会效益。长三角城市群(YRDU)1 位于长江经济带与“一带一路”的交汇地带，每年能贡献约全国 1/4 的 GDP，是长江经济带发展的引领者和社会经济增长的重要引擎。然而，经济高速发展的同时，长三角城市群生态环境承载力濒临极限，已成为我国新的生态环境脆弱地带。2018 年长江三角洲区域一体化发展正式上升为国家战略，将绿色发展作为一体化发展的基调，在国家现代化建设大局和全方位开放格局中具有举足轻重的地位。故对长三角城市群绿色发展水平的测量与分析，有助于准确评估长三角绿色发展现状，对研究如何进一步提升长三角城市群绿色发展水平、优化绿色发展空间格局、建设美丽新中国都具有重要意义。

1 文献综述

绿色发展概念的起源可以追溯到十九世纪，马克思创立科学的自然观，从实践角度去思考人与自然之间的关系，提出人类在实践活动中要顺应自然和保护自然^[1]。20 世纪 70 年代，梅多斯等人再次认识了经济增长与环境污染之间的关系，提出初具有绿色发展思想的“低碳经济”、“生态足迹”等观点，为绿色发展奠定了理论基础^[2]。1972 年，联合国人类环境会议通过了《人类环境宣言》，成为人类绿色发展历程中一块重要的里程碑^[3]。为了找出经济发展与生态环境保护不协调的原因，皮尔斯(1989)在《绿色经济的蓝图》中进一步提出“绿色经济”概念，提倡通过绿色经济增长的方式实现人类可持续发展^[4]。可持续发展中的

¹ **【收稿日期】**：2021- 12- 31；**【修回日期】**：2022- 02- 16

【基金项目】：中南民族大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(CSY22033)

【作者简介】：徐小鹰(1980 ~)女，副教授，主要研究方向为区域经济与环境经济。E-mail: 877327294@qq.com

“可持续”离不开“绿色”,绿色发展已成为世界发展新模式^[5]。国外学者集中于对绿色经济、绿色绩效、绿色产业等方面展开实证研究,在考虑生态环境局限性和生物多样性的基础上,创建经济-社会-环境的绿色发展评价体系^[6,7],运用数理统计法^[8]、ML指数^[9]、LMDI模型^[10]等研究方法对其进行综合分析,提出合理的绿色发展机制与政策建议,为我国绿色发展相关研究的展开提供了参考。

在国外研究基础上,国内对绿色发展理论进行了延伸和拓展。国内学者提出绿色发展是对可持续发展中国化的继承和创新^[11],其理论内涵与科学发展观、新时代“两山”理论一致,强调经济、社会和生态的和谐统一^[12],长期中实施绿色发展模式能比褐色发展模式带来更好的经济增长,同时还能提高生活质量^[13],实施过程中也要兼顾效率与公平,要将经济公平延伸到环境公平,将环境效率融入经济效率^[14]。关于绿色发展的实证研究,国内学者在研究尺度、研究维度、研究方法的选择上有所不同。研究尺度上,现有研究多聚焦于以全国、长江经济带、黄河流域、省域、地区、个别城市为研究对象^[15,16,17,18,19]探讨绿色发展作用规律和作用机制,而对长三角城市群绿色发展水平的评价分析研究相对较少^[20]。研究维度上,围绕生态、经济、社会、治理等多个维度构建绿色发展指标评价体系^[19,20,21,22],通过熵值法、熵权 TOPSIS、主成分分析法等方法测算绿色发展指数^[19,23,24],或利用传统 DEA 型测算绿色发展效率^[25,26,27],再从时间维度分析绿色发展水平演变情况。现有研究中绿色发展评价指标体系的建立缺乏对长三角区域经济社会特性的考虑,并且从时空维度展开绿色发展水平趋势分析的研究较少。研究方法上,除了通过面板 Tobit 模型、空间计量模型等方法系统识别造成城市间绿色发展水平的驱动因素及空间差异^[28,29,30],还构建耦合协调度模型、脱钩追赶模型等探究绿色发展与其他领域之间的关系^[31,33],为实现科技创新驱动绿色发展、经济发展与资源消耗脱钩、工业绿色转型等战略目标提供科学支撑和政策建议,但尚未有研究分析预测长三角绿色发展水平未来变化趋势。

从现有的长三角城市群绿色发展相关研究来看,尚存在以下不足:第一,已有研究大多以全国或长江经济带为研究对象,缺少对长三角城市群各城市绿色发展水平测量。第二,已有研究多从国家、经济带层面构建评价指标体系,鲜有研究基于长三角区域特性构建评价指标体系。第三,已有研究较多从时间的维度对长三角绿色发展水平演变特征进行分析,鲜有结合空间维度分析时空演变特征。第四,已有文献主要是基于现有数据进行分析,未有文献对长三角城市群绿色发展水平未来变化趋势进行预测。基于此,本文以长三角城市群 2006~2019 年面板数据为样本,构建符合长三角城市群特性的绿色发展理论框架,全面揭示长三角城市群绿色发展时空演变特征,并预测“十四五”期间内绿色发展水平变化趋势,从而为长三角城市群绿色发展的有效路径研究提供理论参考。

2 研究方法、指标体系及数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 熵值法

本文采用熵值法对绿色发展水平进行客观评价,其原理是在指标评价过程中,根据各指标值的变异程度所反映的信息量来确定权重,信息量越大说明该指标不确定性就越小,熵就越小,其权重就越大,反之成立。正向指标即指标值越高越好,负向指标即指标值越低越好,为了使数据处理有意义,需消除标准化后数据出现的零值,所以将标准化后的数据进行整体平移 0.000 1。计算共分为 5 步:

第一步:指标标准化处理。其中, i 表示城市 ($i=1, 2, \dots, n$); j 表示指标 ($j=1, 2, \dots, m$); t 表示年份 ($t=1, 2, \dots, k$); X_{ijt} 为 i

城市第 j 指标第 t 年的原始值; X_{ijt}^+ 、 X_{ijt}^- 为标准化值; $\min x_j$ 、 $\max x_j$ 表示第 j 指标中的最小值和最大值。

$$\begin{cases} \text{正向指标: } X_{ijt}^+ = \frac{X_{ijt} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \\ \text{负向指标: } X_{ijt}^- = \frac{\max x_j - X_{ijt}}{\max x_j - \min x_j} \end{cases} \quad (1)$$

$$(2)$$

第二步：计算 i 城市第 j 指标第 t 年占第 j 指标总和的比重：

$$P_{ijt} = \frac{X_{ijt}^\pm}{\sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^n X_{ijt}^\pm} \quad (3)$$

第三步：计算指标的信息熵：

$$e_j = -\frac{1}{\ln(kn)} \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^n (P_{ijt} \times \ln P_{ijt}), \quad (0 \leq e_j \leq 1) \quad (4)$$

第四步：计算各个指标的差异系数 g_j 与指标权重 w_j ：

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (6)$$

第五步：计算 i 城市第 t 年的综合得分：

$$D_{it} = \sum_{j=1}^m X_{ijt} w_j \quad (7)$$

2.1.2 Kernel 密度估计

Kernel 密度估计用于研究不均衡分布和估计未知密度函数，属于非参数估计方法^[34, 35, 36]。

该方法将研究对象的分布格局看作某种概率分布，通过平滑方法得到连续的密度曲线，再分析其随时间变化的趋势特征。Kernel 密度函数根据表达形式进行分类，可以分为四次核、三角核、高斯核等，本文选择高斯核密度函数来对长三角城市群绿色发展指数的动态分布进行估计，公式如下：

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (8)$$
$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

式中： X_i 为观测值； x 为均值； N 为观测值个数； h 为带宽； $K(x)$ 为高斯核密度函数。其中 h 满足：

$$\lim_{N \rightarrow \infty} h(N) = 0 \quad \lim_{N \rightarrow \infty} Nh(N) = \infty \quad (9)$$

2.1.3 BP 时间序列预测模型

BP 时间序列预测模型是一种运算模型，同时也是数学统计方法的实际运用，由大量“神经元”及其相互连接形成的复杂非线性系统。该系统包含了输入层、隐含层和输出层，信号从输入节点传到隐含层，最后传到输出层，并采用反向传播的学习算法来调整各层权值。BP 时间序列预测模型基于此来模拟生物神经元传输系统，对历史数据进行总结模拟，有较强自学力、适应力，预测结果更加准确且比正式的逻辑推理演算更有优势^[37]。本文构建的 BP 时间序列预测模型经过反复迭代演算，最终确定为 9 个神经元输入，一个隐含层和 5 个神经元输出。

2.2 长三角城市群绿色发展作用机理及评价指标体系构建

2.2.1 绿色发展作用机理

绿色发展的内涵与“天人合一，道法自然”等中国古代主流哲学思想不谋而合，是二代可持续发展观，强调经济、生态与社会协同发展。经济发展、生态保护、社会进步之间存在复杂的交互关系，正向的交互作用能够推动绿色发展，负向的交互作用会抑制绿色发展；反过来绿色发展水平的高低也会影响到经济、生态、社会发展的好坏。

图 1 反映了 3 个系统间的交互作用，从经济发展与生态保护的正向交互关系来看：生态保护是实现经济发展的基础，生态保护良好的地区能够凭借高效、清洁的生产方式来实现经济增长最大化，为经济发展积累更多生产资料；经济发展能提升资源利用效率和增加对大气、水资源、土壤的治理活动，使生态环境得到更好的保护。从经济发展与社会进步的正向交互关系来看：经济发展能够为社会提供更多公共物品及教育、医疗等服务，有助于推动社会进步；而社会进步有助于提高公众的精神涵养和

身体素质，为经济发展提供更优质的人力资本。从社会进步与生态保护的正向交互关系来看：社会进步有助于培养公众的保护环境、节约资源的生活意识；而生态保护能改善公众的生活环境，公众的生活满意度得到提升，从而有助于社会稳定。

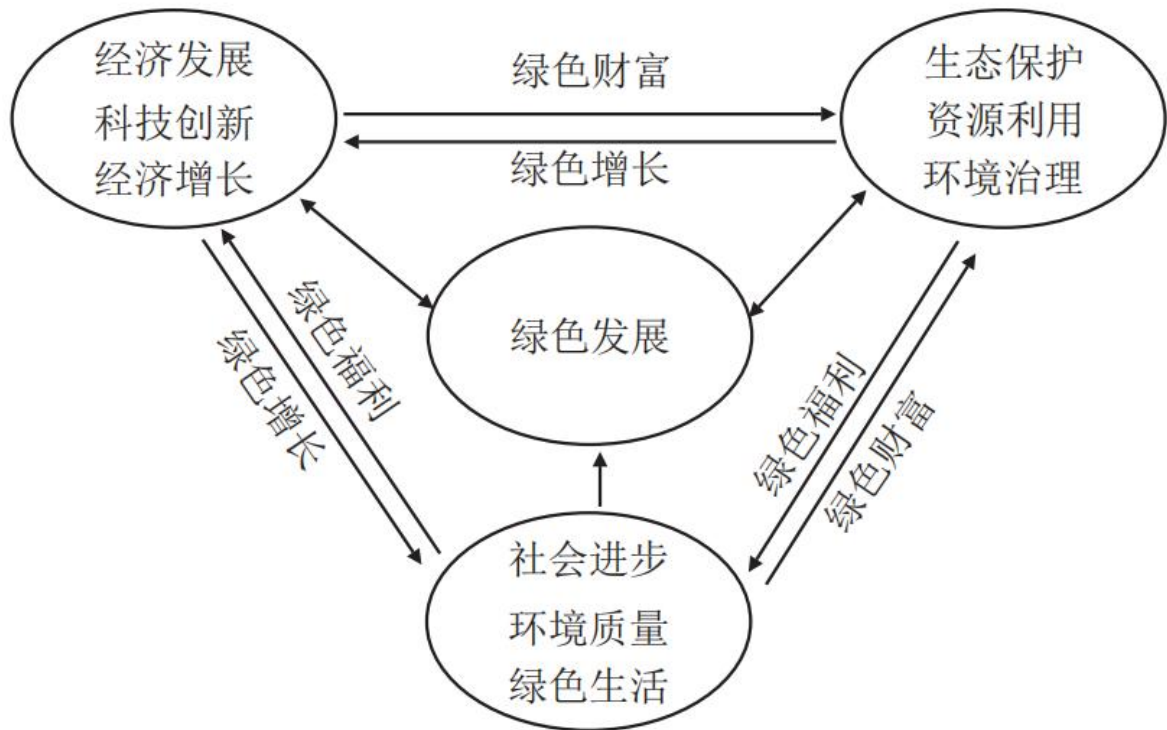


图 1 长三角城市群绿色发展作用机理图

Fig. 1 Mechanism of green development of YRDUA

2.2.2 评价指标体系构建

绿色发展水平测度是对城市经济、生态、社会各方面实际情况的综合评价，国内学者在构建评价指标体系时，往往基于国家或经济带层面，评价指标体系不一定适合长三角区域，未能充分体现长三角城市群绿色发展的实际水平。鉴于此，本文参考2016年国家发展改革委员会等多部门共同制定的《绿色发展指标体系》与前人研究成果^[19, 20, 21, 22]，考虑经济、生态、社会间的交互作用并突出长三角区域自主创新优势，构建了包括科技创新、经济增长、环境质量、环境治理、资源利用、绿色生活六个维度的绿色发展指标评价体系，共32个指标，大致涵盖了“十三五”和“十四五”规划中明确的绿色发展主要任务(表1)。该评价体系基本框架大致与《绿色发展指标体系》一致，但部分指标根据长三角区域主体功能进行了适当调整。其中分维度来看，科技创新是绿色发展的驱动力，故从创新环境、技术创新和知识创新三方面进行评价；经济增长与绿色发展联系紧密，故从收入、消费、投资、外贸、产业变化5个方面进行评价；资源利用是发展循环经济、实现循环发展的关键，主要反映在自然资源利用、土地利用、生态工业3个方面；环境治理是一项长期而庞大的系统工程，重点评价大气、水、土壤污染治理能力以及政府对环境治理的投资力度；环境质量与人民的健康和日常生活息息相关，因此从水源质量、大气质量、噪声排放三个方面进行评价；公众在享受生态环境改善所带来的效益的同时，也应牢固树立“绿色共建共享”的环保意识，为绿色发展履行应尽的义务，故从绿色居住、绿色出行两个方面对其进行评价。

2.3 数据来源

本文研究时期为 2006~2019 年,数据来源于《中国城市统计年鉴》(2007-2020 年)、《中国城市建设统计年鉴》(2007-2020 年)、各地级市统计公报、各地级市统计年鉴和 EPS 数据库,个别缺失数据采用插值法和移动平均法进行补充。长三角城市群底图数据来源于国家基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>)提供的矢量图。

表 1 长三角城市群绿色发展评价指标体系

目标层	系统层	指标层	属性	权重
绿色发展	科技创新 (48.39%)	规上工业企业 R&D 人员占平均用工人数比重 (%)	正	3.83%
		规上工业企业 R&D 经费占主营业务收入比重 (%)	正	5.03%
		规上工业企业新产品销售收入占主营业务收入比重 (%)	正	2.46%
		技术市场成交额 (万元)	正	28.07%
		国内专利申请授权量 (件)	正	9.01%
	经济增长 (19.26%)	人均 GDP (元)	正	2.62%
		城镇人均可支配收入 (元)	正	1.42%
		农村人均纯收入 (元)	正	1.64%
		人均社会消费品零售额 (元)	正	3.86%
		固定资产投资增长率 (%)	正	0.42%
		外贸依存度 (%)	正	7.63%
		第三产业增加值占 GDP 比重 (%)	正	1.67%
	资源利用 (11.03%)	人均水资源量 (m ³ /人)	正	8.80%
		单位 GDP 能耗 ((t 标准煤/万元)	负	0.34%
		单位 GDP 水耗 (m ³ /万元)	负	0.13%
		耕地保有量 (千公顷)	负	1.21%
		城市建设用地面积 (千公顷)	负	0.55%
	环境治理 (10.97%)	工业固体废物综合利用率 (%)	正	0.51%
		大气污染物去除率 (%)	正	0.88%

		城市生活垃圾无害处理率(%)	正	0.34%
		城市污水集中处理率(%)	正	0.37%
		环境保护投资额占 GDP 比重(%)	正	8.88%
	环境质量 (5.00%)	工业废水排放达标率(%)	正	0.18%
		SO ₂ 年日平均值 (ug/m ³)	负	0.80%
		可吸入颗粒物浓度平均值 (ug/m ³)	负	0.32%
		空气质量优良率(%)	正	1.87%
		区域环境噪声平均值 (dB)	负	0.61%
		交通环境噪声平均值 (dB)	负	1.22%
	绿色生活 (5.34%)	城市人口密度 (人/m ²)	负	0.72%
		每万人拥有公共交通工具 (辆/万人)	正	2.99%
		建成区绿化覆盖率(%)	正	0.35%
		人均公园绿地面积 (m ² /人)	正	1.29%

3 结果与分析

3.1 长三角城市群绿色发展水平测度

3.1.1 评价指标体系有效性分析

为说明长三角城市群绿色发展评价指标体系的有效性,本文从信度分析和冗余度(RD)两个维度对其进行检验^[38]。(1)信度分析利用 SPSS25 进行检验,通常认为 Cronbach's α 系数在 0~1 之间,大于 0.9 表示信度很好,在 0.8~0.9 之间表示信度可以接受,在 0.7~0.8 之间表示存在指标项目需要修订,小于 0.7 表示部分指标项目需要抛弃。统计分析结果显示长三角城市群绿色发展评价指标体系的 Cronbach's α 系数为 0.824,说明本评价指标体系具有较高的内在一致性,可靠程度较高。(2)冗余度(RD)检验一般认为 RD 在 0~1 之间,当 $RD \leq 0.5$ 时表示指标冗余可以接受, RD 值越小表明指标体系冗余信息越少。本文参考付允和刘怡君[39]的研究方法进行测算,结果显示长三角城市群绿色发展评价指标体系冗余度为 0.267,说明本评价指标体系是有效的,在指标选取上较为合理,冗余指标较少。

3.1.2 熵值法确定权重

以长三角城市群 26 个城市 2006~2019 年 32 个指标数据为样本,运用上述熵值法计算出各系统层、指标层权重,结果见表 1 所示。各系统层权重排序为:科技创新>经济增长>资源利用>环境治理>绿色生活>环境质量。长三角地区作为我国经济发展重要平台,高新区数量约占全国五分之一,经济总量约占全国的四分之一,故科技创新和经济增长是绿色发展的龙头主力,其权重也就较高。资源利用和环境治理的权重相当,约为 11%。随着长三角城市群现代化的发展,城市外来人口大量涌入,导致城市

人均基础设施增长缓慢和环境负担加重，而基础设施建设和环境质量改善是一个十分复杂而漫长的过程，故环境质量和绿色生活权重较低。

3.1.3 2006~2019 年长三角城市群绿色发展水平测度结果

根据上述构建的绿色发展指标评价体系，本文采用熵值法测算出长三角城市群 26 城市的绿色发展指数，结果见表 2。

表 2 显示，长三角城市群绿色发展水平总体处于波动上升，且呈缓慢下降-平稳上升-稳步上升的时序演变特征。从三省一市角度可以看出，上海一直处于领先地位，其次浙江和江苏整体绿色发展水平处于较高水平，安徽整体绿色发展水平最低。2006~2010 年绿色发展指数呈先上升后下降再上升特征，平均增速为负的 0.34 个百分点。“十一五”期间平均增速为负主要源于 2008 年金融危机的影响，期间有 20 个地级市绿色发展指数出现不同程度的下降，2009 年后大部分城市经济开始复苏，绿色发展水平恢复缓慢上升状态。2010 年颁布《长江三角洲地区区域规划》(下文简称规划)推动了长三角地区的城市群建设，故长三角城市群步入了产业转型升级的关键时期，2011~2015 年绿色发展指数平稳上升，平均增速为 2.58 个百分点。2016~2019 年绿色发展指数处于稳步上升阶段，增长速度较快，平均增速为 3.36 个百分点，较 2011~2015 年上升了 0.78 个百分点；2016 年全国实施“绿色化”的战略大背景下，习近平总书记在推动长江经济带发展座谈会上强调了长江经济带生态优先的流域大保护战略思想，而长三角地区作为长江经济带绿色发展的重要引擎，加快了绿色转型的步伐，大力发展绿色经济，故 2016 年后长三角城市群整体绿色发展水平持续攀升。

3.1.4 2006~2019 年长三角城市群代表性城市绿色发展水平变化差异

为了进一步分析长三角城市群各城市间绿色发展水平变化的差异，现对具有代表性的排名前五和后五的城市的演变趋势进行对比分析，见图 2 和图 3。排名前五位的城市分别是上海、杭州、苏州、无锡、南京，排名后五位的城市分别是盐城、宣城、池州、滁州、安庆。从指数变化范围可以看出，排名前五和排名后五的城市间绿色发展水平差距悬殊。

图 2 显示，排名前五城市的绿色发展水平总体上呈上升趋势并且处于中上等水平，上海绿色发展水平处于“独占鳌头”的地位。2008 年金融危机对上海绿色发展水平影响较小，这源于上海作为国际大都市拥有稳健的金融体系，抗风险能力较强并采取了积极的应对措施。除上海以外的四个的城市，2011~2013 年再次出现缓慢下降，主要有以下两个原因：第一，各城市为减轻金融危机所带的滞后影响而将重点放在工业化和城镇化的建设上，能源消耗不断增大的同时资源利用水平出现下降；第二，2010 年《规划》的颁布促进了长三角城市群产业转移，中心城市第二产业逐渐向外围相对落后的城市转移，中心城市生态环境得到了一定程度改善但产业转移使得经济下滑，短期内绿色财富收益不足以弥补经济下滑的损失，2016 年后恢复稳定增长。

表 2 2006~2019 年长三角城市群 26 城市绿色发展指数

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	均值
上海	0.412	0.463	0.489	0.502	0.527	0.544	0.559	0.569	0.591	0.604	0.661	0.687	0.737	0.785	0.581(1)
南京	0.277	0.280	0.260	0.244	0.249	0.269	0.290	0.299	0.307	0.304	0.323	0.347	0.368	0.405	0.302(5)
无锡	0.268	0.280	0.281	0.296	0.297	0.315	0.329	0.332	0.305	0.319	0.324	0.339	0.357	0.367	0.315(4)
常州	0.265	0.265	0.250	0.268	0.267	0.283	0.278	0.276	0.262	0.252	0.266	0.257	0.277	0.288	0.268(6)

州															
苏州	0.313	0.314	0.317	0.322	0.341	0.357	0.342	0.336	0.353	0.370	0.371	0.371	0.403	0.430	0.353(3)
南通	0.179	0.165	0.154	0.145	0.145	0.151	0.157	0.174	0.180	0.175	0.180	0.186	0.198	0.199	0.170(20)
盐城	0.137	0.137	0.120	0.113	0.114	0.121	0.123	0.128	0.137	0.145	0.144	0.155	0.161	0.162	0.135(22)
扬州	0.196	0.198	0.186	0.185	0.188	0.183	0.192	0.203	0.194	0.199	0.195	0.197	0.217	0.220	0.197(14)
镇江	0.184	0.192	0.184	0.183	0.184	0.189	0.190	0.191	0.193	0.199	0.205	0.209	0.210	0.211	0.195(15)
泰州	0.154	0.155	0.137	0.130	0.139	0.151	0.149	0.154	0.164	0.158	0.160	0.172	0.181	0.179	0.156(21)
杭州	0.296	0.316	0.337	0.340	0.334	0.358	0.380	0.382	0.378	0.397	0.414	0.430	0.445	0.466	0.377(2)
宁波	0.243	0.245	0.236	0.244	0.242	0.250	0.270	0.287	0.286	0.284	0.270	0.277	0.291	0.298	0.266(7)
嘉兴	0.211	0.206	0.194	0.192	0.195	0.209	0.216	0.221	0.219	0.215	0.228	0.231	0.241	0.244	0.216(10)
湖州	0.155	0.159	0.149	0.153	0.164	0.167	0.170	0.182	0.177	0.182	0.189	0.192	0.207	0.217	0.176(19)
绍兴	0.191	0.189	0.176	0.179	0.185	0.188	0.183	0.184	0.195	0.208	0.208	0.219	0.222	0.235	0.197(13)
金华	0.213	0.190	0.196	0.177	0.185	0.208	0.213	0.223	0.212	0.236	0.234	0.246	0.267	0.261	0.219(9)
舟山	0.197	0.203	0.186	0.190	0.194	0.201	0.206	0.208	0.244	0.223	0.219	0.233	0.238	0.239	0.213(12)
台州	0.203	0.161	0.149	0.150	0.157	0.167	0.175	0.190	0.209	0.211	0.215	0.228	0.230	0.233	0.191(17)
合肥	0.206	0.215	0.209	0.206	0.208	0.213	0.212	0.223	0.236	0.228	0.237	0.246	0.268	0.275	0.227(8)
芜湖	0.174	0.189	0.180	0.178	0.173	0.164	0.170	0.177	0.208	0.191	0.194	0.182	0.191	0.203	0.184(18)
马	0.265	0.254	0.246	0.214	0.215	0.193	0.191	0.192	0.220	0.203	0.200	0.189	0.209	0.219	0.215(11)

鞍山															
铜陵	0.227	0.231	0.224	0.197	0.185	0.160	0.172	0.196	0.203	0.182	0.174	0.170	0.184	0.181	0.192(16)
安庆	0.093	0.107	0.100	0.091	0.093	0.099	0.100	0.113	0.141	0.120	0.107	0.109	0.115	0.115	0.107(26)
滁州	0.091	0.098	0.093	0.098	0.110	0.115	0.123	0.134	0.145	0.123	0.120	0.117	0.130	0.136	0.117(25)
池州	0.116	0.109	0.100	0.086	0.092	0.104	0.109	0.121	0.161	0.144	0.120	0.118	0.128	0.127	0.117(24)
宣城	0.100	0.107	0.110	0.101	0.104	0.106	0.116	0.127	0.157	0.132	0.128	0.136	0.151	0.152	0.123(23)
均值	0.206	0.209	0.202	0.199	0.203	0.210	0.216	0.224	0.234	0.231	0.234	0.240	0.255	0.263	

注：括号内为各地级市绿色发展指数均值排名。

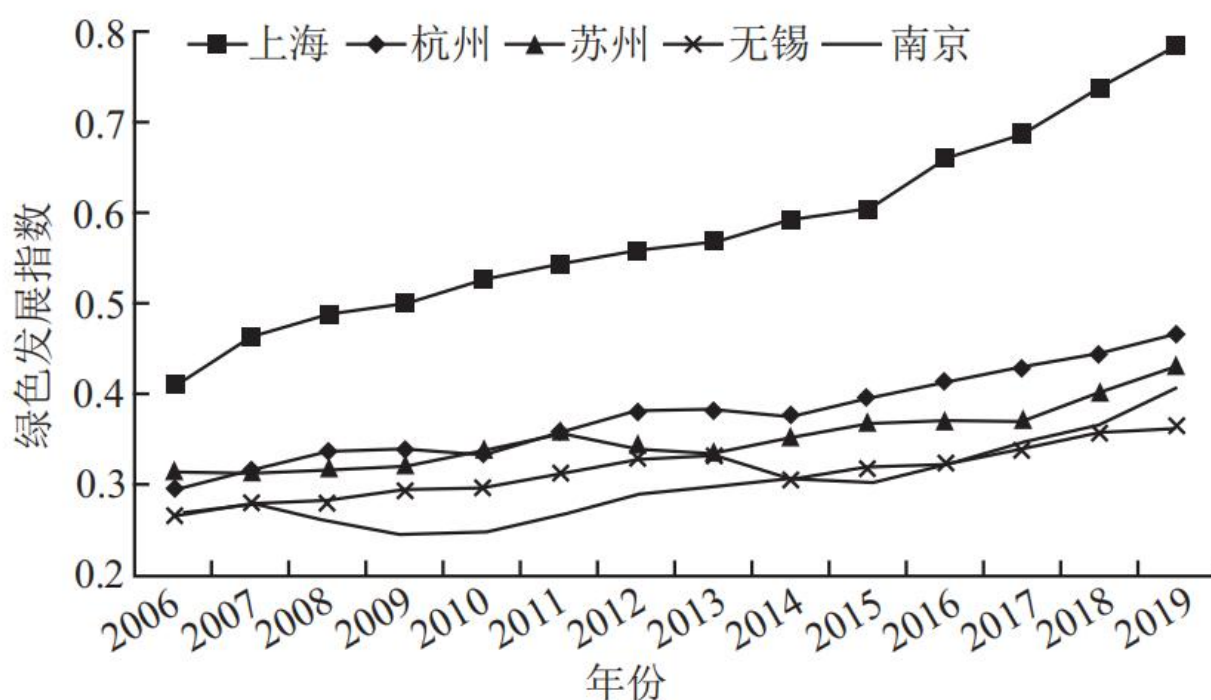


图 2 2006~2019 年长三角城市群排名前五的城市绿色发展指数变化趋势

Fig. 2 Temporal evolution of green development index of top five cities in YRDUA from 2006 to 2019

图 3 显示，排名后五城市的绿色发展水平总体呈“W”型发展且水平较低。盐城发展趋势和前面分析一致，不再赘述。宣城、池州、滁州、安庆均隶属安徽，2011~2013 年绿色发展指数增长较快，2014 年开始下降，之后恢复缓慢上升。2011~2013 年，安徽等外围城市承接了大量中心城市的转移产业，生产过程中由于地区环境规制水平较低也致使环境问题日益严重，但短期内产业集聚使得经济效益增加且大于环境污染所减少的效益，综合使绿色发展指数增长。历史经验说明长期中舍弃生态环境来发展经济的方式是不可取的，故 2014 年国务院首次明确了安徽作为新成员正式加入长三角城市群并参与一体化发展。2014~2016 年安徽逐渐转换发展方式并进入“换挡”磨合期，绿色发展指数出现下降，磨合期后恢复缓慢上升。

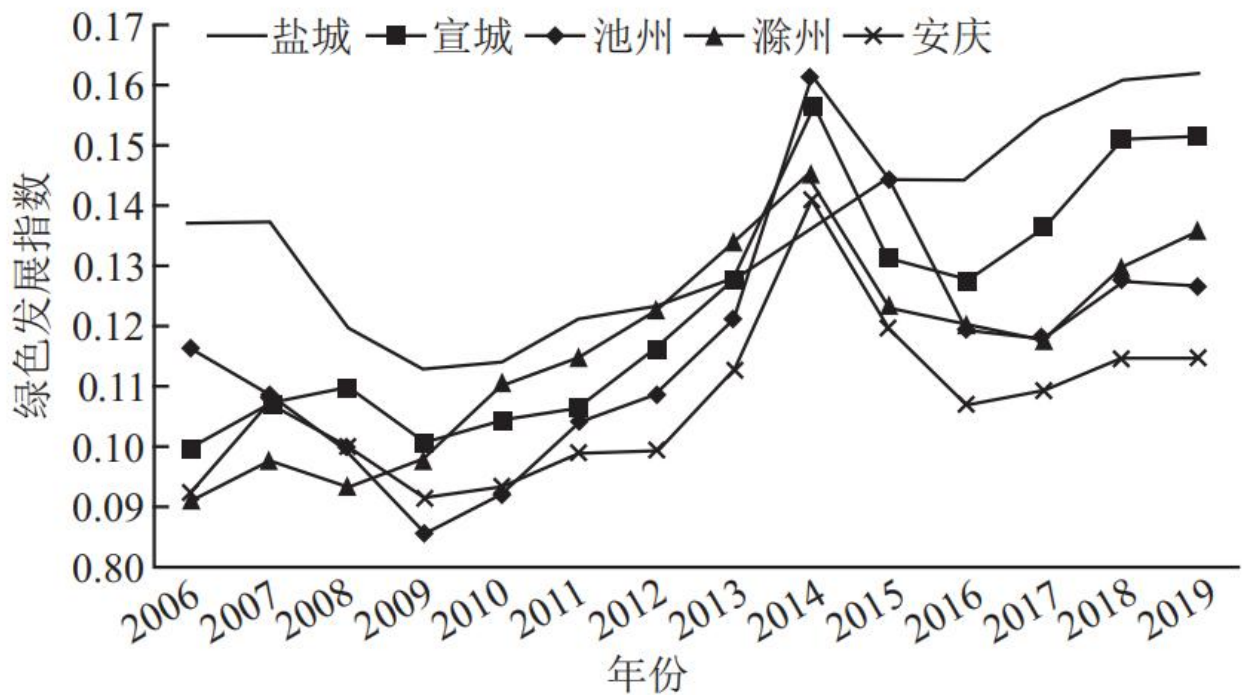


图 3 2006~2019 年长三角城市群排名后五的城市绿色发展指数变化趋势

Fig. 3 Temporal evolution of green development index of last five cities in YRDUA from 2006 to 2019

3.2 长三角城市群绿色发展水平的时空演变特征

3.2.1 长三角城市群绿色发展水平的时序演变特征

为了观察长三角城市群绿色发展水平随时间变化的动态演变规律, 本文使用 Matlab 2016b 对上文测算出的 2006~2019 年长三角城市群绿色发展指数进行 Kernel 密度估计并作出三维图。为方便观察, 图中仅显示 2007、2009、2011、2013、2015、2017、2019 年, 结果见图 4。

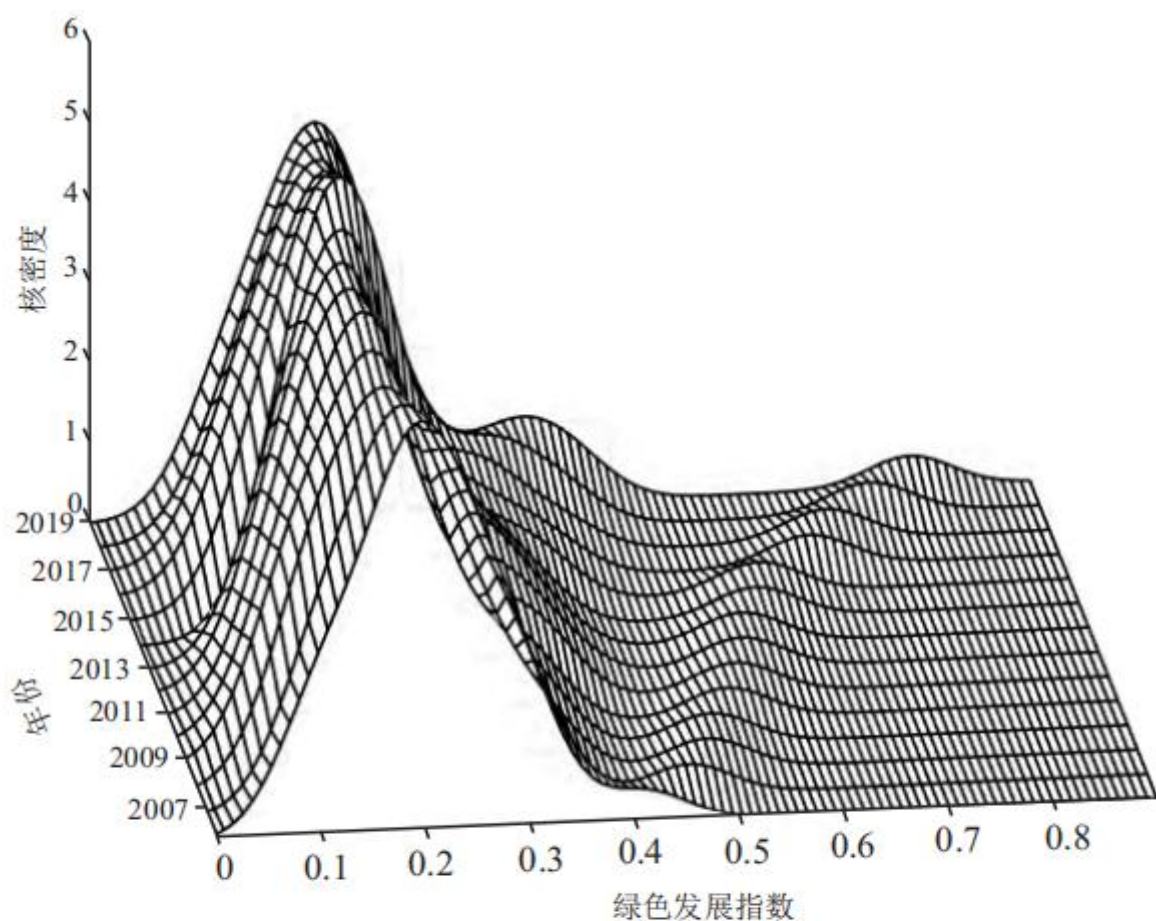


图 4 2006~2019 年长三角城市群绿色发展水平的时序演变

Fig. 4 Temporal evolution of green development level in YRDUA from 2006 to 2019

通过分析图 4 可知,长三角城市群绿色发展水平的时序演变呈现以下特征:第一,从核密度分布曲线的位置来看,除了 2008~2009 和 2011~2013 年核密度曲线整体向左微微移动(与前分析一致),其余年份核密度曲线整体逐渐向右移动,较为直观的反映出长三角城市群整体绿色发展水平经历了一个明显的上升阶段。第二,从核密度曲线的主峰特征来看,峰值在波动中上升,曲线左尾逐渐向中心收拢,右尾逐渐偏离中心且有拖长尾特征,波峰宽度逐渐收窄,说明绿色发展水平处于中高等的城市逐渐增多,绿色发展水平处于低等或中低等的城市逐渐减少。第三,从核密度曲线的形状特征来看,核密度曲线在 2006 年时呈“单峰”特征,右侧仅伴有轻微“隆起”,说明 2006 年长三角城市群内部各城市间绿色发展水平差异不大;随着时间推移,侧峰向右移动速度加快,核密度曲线逐渐由“单峰”转向“双峰”转变,并且有向“三峰”转化的趋势,说明长三角城市群部分城市的绿色发展速度不断加快,这也意味着城市间绿色发展水平差异日渐凸显,存在两极分化特征并伴有三极分化的趋势。

3.2.2 长三角城市群绿色发展水平的空间演变特征

为了更好分析长三角城市群绿色发展水平的空间格局演变特征,以 2006、2011、2016、2019 年为参考标准,使用 ArcGIS 10.5 软件的自然断点法对长三角城市群绿色发展水平进行空间可视化分析。将绿色发展水平分为五类,不同颜色对应不同的绿色发展等级,结果如图 5 所示。

从图 5 的空间分布格局来看,长三角城市群绿色发展水平的空间分布不均衡,并呈现以下两个分布特征:第一,绿色发展主要呈“中心-边缘”分布,逐渐形成了以上海、杭州、南京和合肥为中心的发展态势,绿色发展水平由高到低向四周扩散,边缘城市绿色发展水平较低;上海、杭州、南京、合肥等城市属于绿色化、一体化战略的重点发展对象,在“十一五”初期时就已经发现了环境污染问题并开始注重生态保护,故绿色发展水平领先于其他城市;“边缘”城市中宣城、湖州、嘉兴等位于长三角城市群腹地,资源环境具有优势但绿色发展水平不高,主要原因是其经济发展对于资源的过度依赖导致生态环境无法支撑当前发展状态;位于苏北和皖北的“边缘”城市的主要经济支撑来源于农业,由于缺乏科技创新而使其农业生态化水平较低,水、土污染相对严重,与此同时低水平的城镇化和工业化阻碍了第三产业的发展,致使绿色发展水平低下。第二,绿色发展主要呈“东强西弱”分布特征;长三角东部上海、浙江、苏南地区资源环境、地理位置优越,外省高新技术人才流入量大、科技教育实力强,对外贸易和第三产业发达,重污染产业少,环境保护良好,所以绿色发展水平和绿色发展速度较高。

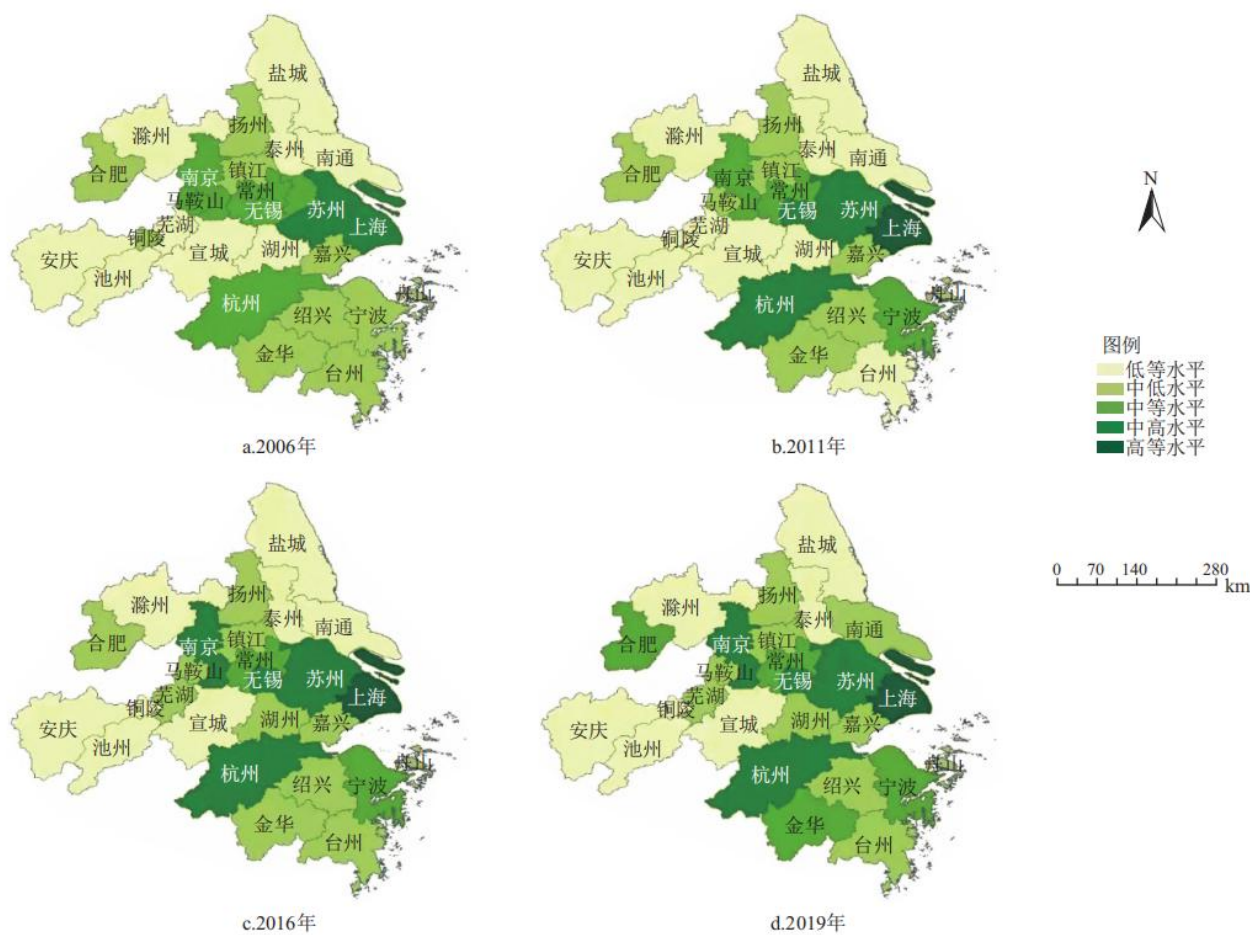


图 5 2006~2019 年长三角城市群绿色发展水平的空间格局演变
Fig. 5 Spatial distribution of green development level in YRDUA from 2006 to 2019

3.3 长三角城市群绿色发展水平预测

本文运用 Matlab 2016b 将构建的 BP 时间序列预测模型进行循环迭代计算,得到 2020~2024 年长三角城市群绿色发展指数

的预测值，结果见表 3。

在表 3 中，将 2019 年长三角城市群 26 个城市绿色发展指数真实值作为检验数据，其真实值与预测值之间的相对误差绝对值小于 2%，平均相对误差绝对值仅为 0.078%，说明 BP 时间序列预测模型的拟合效果良好、精确度较高，预测结果可信度较高。2020 年突发的新冠疫情，对我国经济造成了多方位影响，而 BP 时间序列预测模型根据历史数据对未来进行预测，无法预测突发事件对预测结果的影响，故 2020 预测值与实际值可能出现较大偏差。2021 年后我国经济社会秩序恢复正常，虽偶有小范围新冠肺炎感染传播，但影响较小，所以 2021~2024 年预测值具有现实意义。预测结果说明未来“十四五”期间，长三角城市群绿色发展水平将进一步攀升，上海绿色发展指数保持领先，杭州、南京将依次成为绿色发展高等水平的城市，苏州、无锡、宁波等城市紧随其后，说明这些城市绿色发展路径是可行和可持续的。在现有发展路径下，安庆、滁州、池州、宣城等城市未来绿色发展水平增长缓慢，依旧无法跳出低等水平，说明现有绿色发展路径存在弊端，需要向更加高效的发展路径改进，从而实现绿色发展水平突破。

为了更直观反映未来“十四五”期间长三角城市群绿色发展水平空间变化趋势，本文使用 ArcGIS 10.6 自然断点法对 2021~2024 年预测值进行空间可视化分析，结果见图 6。2021~2024 年期间，长三角城市群绿色发展水平的空间分布依旧不均衡，但不平衡状态有所改善。上海、杭州、南京作为增长极，其辐射作用加强、辐射范围变广，使得北部城市绿色发展水平得到极大改善，南部城市绿色发展水平逐渐加强。合肥作为增长极，对周围城市的辐射作用并未显现，西部城市依旧保持较低水平。西部城市虽然绿色发展水平较低，但具有较大的“后发优势”和增长潜力，改进绿色发展路径后仍有机会追赶上其他高水平城市。

表 3 长三角城市群绿色发展指数 BP 时间序列预测结果

	2019 真实值	2019 预测值	相对误差绝对值 (%)	2020	2021	2022	2023	2024
上海	0.785	0.783	0.324	0.834	0.891	0.934	0.942	0.926
南京	0.405	0.405	0.002	0.372	0.403	0.433	0.269	0.477
无锡	0.367	0.367	0.006	0.365	0.338	0.343	0.360	0.384
常州	0.288	0.288	0.067	0.288	0.262	0.234	0.278	0.255
苏州	0.430	0.430	0.056	0.401	0.399	0.415	0.473	0.453
南通	0.199	0.199	0.038	0.204	0.191	0.189	0.200	0.197
盐城	0.162	0.162	0.003	0.201	0.218	0.203	0.234	0.236
扬州	0.220	0.220	0.069	0.223	0.205	0.183	0.210	0.251
镇江	0.211	0.211	0.041	0.204	0.194	0.182	0.181	0.182
泰州	0.179	0.179	0.101	0.181	0.183	0.178	0.180	0.178
杭州	0.466	0.474	1.604	0.502	0.530	0.559	0.565	0.550
宁波	0.298	0.295	1.011	0.296	0.286	0.286	0.304	0.311
嘉兴	0.244	0.239	1.856	0.252	0.239	0.239	0.233	0.233
湖州	0.217	0.215	0.637	0.219	0.217	0.223	0.220	0.214

绍兴	0.235	0.235	0.022	0.237	0.228	0.252	0.244	0.250
金华	0.261	0.261	0.024	0.254	0.240	0.221	0.215	0.203
舟山	0.239	0.239	0.028	0.205	0.254	0.226	0.236	0.220
台州	0.233	0.233	0.004	0.244	0.241	0.237	0.236	0.227
合肥	0.275	0.275	0.181	0.235	0.296	0.268	0.267	0.260
芜湖	0.203	0.203	0.026	0.204	0.213	0.212	0.195	0.215
马鞍山	0.219	0.219	0.362	0.177	0.220	0.149	0.241	0.178
铜陵	0.181	0.181	0.118	0.184	0.189	0.191	0.184	0.178
安庆	0.115	0.115	0.040	0.107	0.102	0.102	0.100	0.096
滁州	0.136	0.136	0.071	0.124	0.110	0.118	0.109	0.108
池州	0.127	0.127	0.154	0.127	0.136	0.138	0.138	0.143
宣城	0.152	0.152	0.015	0.156	0.159	0.176	0.182	0.180

3.4 长三角城市群绿色发展水平的等级流动

为研究 2006~2024 年长三角城市群绿色发展水平的等级流动存在的特征，对不同等级的城市数进行总结，结果见表 4。

分析表 4 中不同等级城市占比和数量变化可知，2006~2024 年长三角城市群绿色发展水平等级的流动总体向上转移，均发生在相邻等级之间，没有出现“跳级”现象。2006~2024 年绿色发展高等水平城市所占比例逐年上升，低等水平城市所占比例先上升后下降，中低、中等、中高变化较为频繁，说明等级流动大多发生在这三个等级间。2006 年，较大部分城市处于中低水平和低等水平，主要分布在城市群的北部和西部地区，仅有上海和苏州绿色发展水平处于中高水平，杭州、南京等六个城市处于中等水平。2011 年，“十一五”期间不同城市抵抗和应对金融风险的能力不同，从而导致城市间等级转移方向相反，铜陵、台州、马鞍山作为小城市金融危机对其经济增长造成的影响较大从而导致绿色发展水平等级向下流动，上海、无锡、常州应对风险能力较强从而实现绿色发展水平等级向上流动。2016 年，长三角城市群整体绿色发展水平上升，芜湖、湖州、台州从低等水平上升到了中低水平，南京从中等水平上升到了中高水平。2019 年，南通从低等水平上升到了中低水平，合肥、金华从中低水平上升到了中等水平，部分西部和北部城市等级水平保持不变。2024 年预测值中，南京上升到高等水平，其余变化不大。随着绿色发展战略的持续开展，越来越多的城市绿色发展水平等级得到提升，但实现绿色发展等级向上跨越的难度也在逐渐增大，实现等级向上跨越的城市数量逐渐减少，说明长三角城市群绿色发展存在“瓶颈”，只有依靠科技创新这一根本途径，才能实现绿色发展新突破。

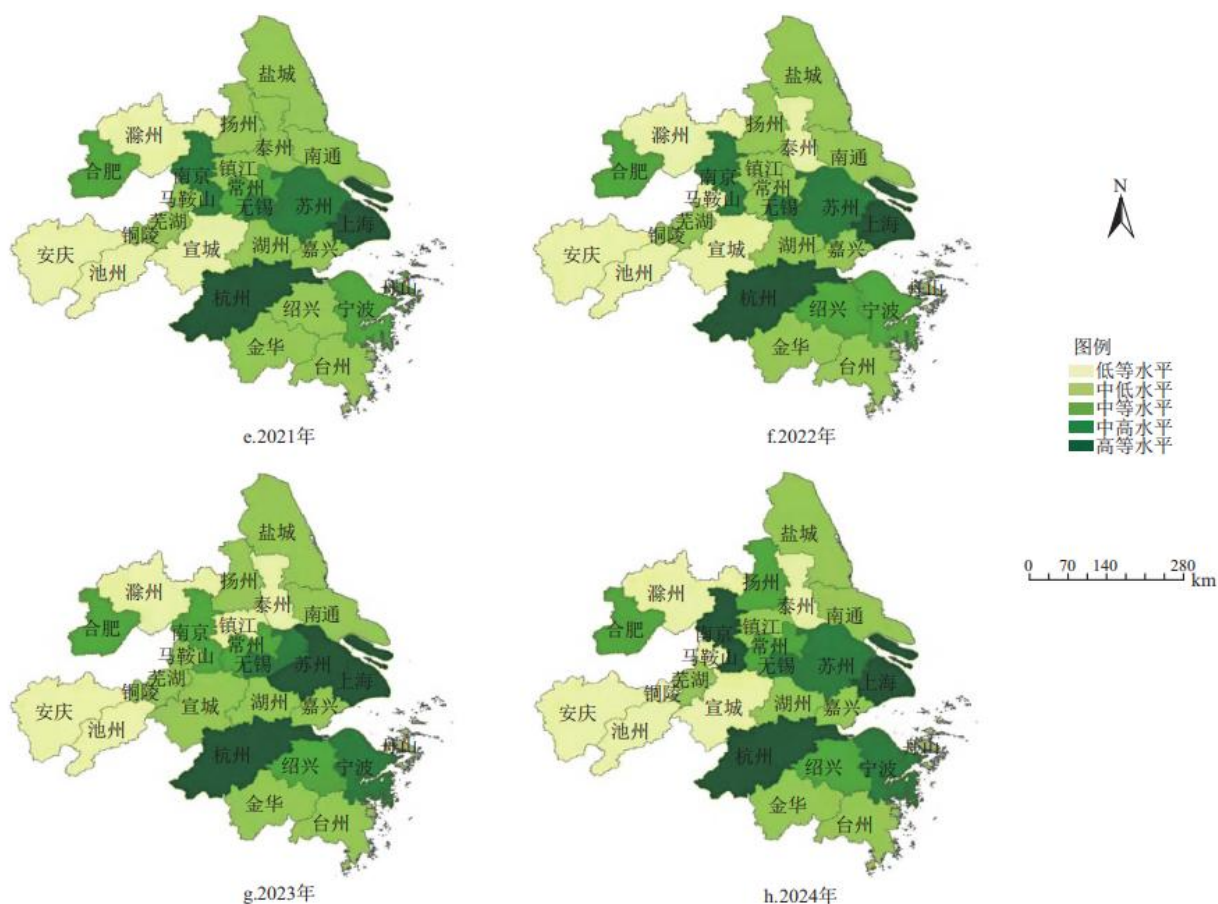


图 6 2021~2024 年长三角城市群绿色发展的空间格局演变趋势预测

Fig. 6 Trend prediction of spatial distribution of green development in YRDUA from 2021 to 2024

表 4 2006~2024 年长三角城市群绿色发展不同等级城市占比

等级	2006		2011		2016		2019		2024	
	个数	百分比 (%)	个数	百分比 (%)	个数	百分比 (%)	个数	百分比 (%)	个数	百分比 (%)
低等水平	9	34.62	11	42.31	8	30.77	6	23.08	7	26.92
中低水平	9	34.62	8	30.77	11	42.31	10	38.46	9	34.62
中等水平	6	23.08	3	11.54	2	7.69	4	15.38	4	15.38
中高水平	2	7.69	3	11.54	4	15.38	4	15.38	3	11.54

高等水平	0	0.00	1	3.85	1	3.85	2	7.69	3	11.54
------	---	------	---	------	---	------	---	------	---	-------

4 结论与建议

4.1 结论

本文通过对绿色发展理论及相关研究成果的梳理，从科技创新、经济增长、资源利用、环境治理、环境质量、绿色发展生活六个维度构建了长三角城市群绿色发展评价指标体系，运用熵值法测算了 2006~2019 年绿色发展指数，重点分析和预测了长三角城市群绿色发展时空分异特征及未来演变趋势。具体结论如下：

(1)从熵值法测算结果可知，绿色发展指标评价体系中，科技创新和经济增长所形成的绿色增长对绿色发展影响最大，资源利用和环境治理影响适中，环境质量和绿色生活影响较低，应积极发挥科技创新对绿色发展的驱动作用。长三角城市群绿色发展水平总体处于波动上升，变化趋势呈缓慢下降-平稳上升-稳步上升 3 个阶段。2008 年部分城市绿色发展水平下降，主要源于金融危机的影响，2009 年后逐渐恢复缓慢上升。2011~2013 年，城市群内部排名前五和后五的城市，由于产业转移导致绿色发展指数呈反向变动。“十三五”实施绿色化战略期间指数增长速度加快，绿色发展战略初见成效。

(2)长三角城市群绿色发展水平的时空演变特征如下：从时间维度来看，随着时间推移，城市间绿色发展水平差异日渐凸显，存在两极分化并有向三极分化转变的趋势；从空间维度来看，长三角城市群绿色发展水平空间分布不平衡，呈现“东强西弱”并在地理上形成了以上海、杭州、南京、合肥为中心的“中心-边缘”分布，绿色发展水平由高到低向四周扩散。缩小城市间差距和积极发挥中心城市的“增长极”作用成为绿色发展工作重点。

(3)BP 预测结果显示，未来“十四五”期间长三角城市群绿色发展水平将进一步攀升，北部和南部地区绿色发展状况得到改善，但西部地区依旧保持较低水平。上海、杭州、南京对周边城市的辐射作用增强及辐射范围增广，合肥“增长极”作用尚未凸显。西部地区现有发展模式不能使生态环境得到良好改善，需要向更高效的发展路径改进。

(4)通过对长三角城市群绿色发展水平等级流动特征分析可知，等级转移均发生在相邻等级之间，没有出现“跳级”现象。绿色发展水平等级流动上处于低等或中低等的城市逐渐减少，处于中等、中高等水平的城市逐渐增多，而且中等水平的城市最多；随着向上跨越的难度逐渐加大，实现等级向上跨越的城市数量逐渐减少，西部地区安庆、池州、宣城等城市一直处于低等水平，即长三角城市群绿色发展存在“瓶颈”。

4.2 政策建议

根据上述分析，本文认为可以从以下 3 个方面来提升长三角城市群绿色发展水平：

(1)缩小城市间差距，强化区域绿色协同发展。

由时空演变特征分析可知，长三角城市群绿色发展不平衡，因此城市间应向多方面、多层次强化绿色协同发展。首先，上海、杭州、南京、合肥等中心城市科技创新、经济发展、人才引进等方面实力较强，作为绿色发展增长极应积极带动外围城市发展，向外围城市转移技术型产业时应提供相应的技术指导，帮助外围城市实现产业创新升级，使整体资源利用效率得到提升，从而减轻生态修复的负担。其次，增强企业和政府间的互动及打破城市间的行政壁垒，为城市间绿色生产技术的流动提供更多可复制、可推广的经验。最后，合肥第三产业强但第一、二产业薄弱，芜湖产业结构与其互补，应加强“合肥-芜湖”双核心建设，实现区域优势互补，共同带动皖西绿色发展。以上建议有助于促进长三角城市群由局部一体化向更大范围一体化转变，开

创新时代长三角绿色一体化发展新格局，率先形成绿色低碳发展新范式。

(2)改进西部城市绿色发展路径，促进新时代产业绿色化转型。

BP 预测结果显示长三角西部城市绿色发展水平较低且增长缓慢，故西部城市应改进“先污染后治理”的发展路径，减少污染并维护其“绿水青山”的自然优势。首先，传统农业作为西部城市主要生产形式，其产生的农业污染较多，故西部城市应扎实推进传统农业向产业化、生态化转型。农作物培育过程中要采用更加科学安全的农作物管理模式，推进有机肥的使用，从而减少对化学农药的依赖，促进化学农药使用量“零增长”。其次，完善西部城市现代农业技术体系使传统农业向产业化、生态化转型，将农业发明应用到生产活动中去的同时要促进传统农业与其他产业的融合，例如将传统农业与旅游业结合形成景观农业、休闲农业、文化农业等。最后，西部城市应依托当地资源禀赋优势对承接产业进行筛选，充分考虑所承接产业之间的协调性，避免盲目承接转移产业对环境造成污染，同时有意识地将承接产业集聚在一起，培养出产业群，实现资源集约利用，提高整体经济效益。

(3)以科技创新驱动新时代长三角城市群绿色发展。

熵值法赋权结果显示科技创新权重最高，而等级流动特征分析显示未来长三角绿色发展存在瓶颈，故应充分利用长三角科技创新优势以突破绿色发展瓶颈。第一，要进一步促进创新成果转化，要将科技创新成果转化为生产技术成果，再运用到资源利用、环境治理过程中以发挥科技创新乘数效应，提高资源利用效率和环境治理效率使人们的生活更加绿色化，进而促进整体绿色发展水平提升；第二，科技创新要瞄准绿色先进的未来产业，推动新能源、新材料等新兴绿色产业发展壮大，培育绿色新动能，从源头解决污染排放问题。第三，习近平总书记指出“人才是创新的根基，是创新的核心要素”，因此“十四五”时期，长三角各大高校、科研机构等单位要注重创新能力培养，完善科研人才激励机制和引进制度，并给予科研人员更多自主创新的权力，积累创新人力资本，才能更快更好地攻克长三角绿色发展瓶颈问题。

本文从多个维度构建了长三角城市群绿色发展评价指标体系，采取熵值法衡量各指标所含信息量，依据所含信息质量对各指标进行赋权，评价结果一定程度上客观反映了长三角区域绿色发展现状，但也缺乏了主观上的经验优势。未来客观评价方法与主观评价方法相结合的综合评价方式将是最优选择，在保证客观质量的基础上兼顾主观经验优势，得到更加符合现实意义的绿色发展评价体系。同时由于数据获得限制，本文仅对长三角 26 个主要城市进行评价分析，后续将展开对长三角其他城市的绿色发展水平研究。

注释：

① 长三角城市群范围以国务院批准的《长江三角洲城市群发展规划》为依据，以上海为中心，南京、杭州、合肥为副中心，包括上海，江苏省的南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州，浙江省的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州，安徽省的合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城共 26 地级市；YRDUA 为长三角城市群英文缩写。

参考文献：

- [1] 马克思恩格斯著. 马克思恩格斯选集-第一卷[M]. 2 版. 北京：人民出版社，1995. MARX K H, ENGELS F V. Selected Works of Marx and Engels-Vol.1[M]. 2ed. Beijing: People's Publishing House, 1995.
- [2] (美)梅多斯(D. H. Meadows)等著. 增长的极限[M]. 北京：商务印书馆，1984 . MEADOWS D H et al. The limits to growth[M]. Beijing: The Commercial Press, 1984.

-
- [3] 斯德哥尔摩人类环境宣言[J]. 世界环境, 1983, (1):4-6. UN Conference on the Human Environment. Stockholm declaration on the human environment[J]. World Environment, 1983, (1):4-6.
- [4] WALL D. Green economics: an introduction and research agenda[J]. International Journal of Green Economics, 2006, 1(1/2):201.
- [5] 联合国开发计划署. 绿色发展必选之路: 中国人类发展报告 2002[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2002. UNDP. The only way to green development: China human development report 2002[M]. Beijing: China Financial and Economic Publishing House, 2002.
- [6] PETROSYAN A F. A model for incorporated measurement of sustainable development comprising remote sensing data and using the concept of biodiversity[J]. Journal of Sustainable Development, 2010, 3(2):9-26.
- [7] CHARDINE-BAUMANN E, BOTTA-GENOULAZ V. A framework for sustainable performance assessment of supply chain management practices[J]. Computers & Industrial Engineering, 2014, 76:138-147.
- [8] BHASKAR A, SHAH A, GUPTA S. 7.5 crore green jobs? Assessing the greenness of MGNREGA work[J]. The Indian Journal of Labour Economics, 2016, 59(3):441-461.
- [9] KORTELAINEEN M. Dynamic environmental performance analysis: A Malmquist index approach[J]. Ecological Economics, 2008, 64(4):701-715.
- [10] RÜSTEMOGG ~ LUHG ~ LUH. Factors affecting Germany's green development over 1990-2015: A comprehensive environmental analysis[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(7):6636-6651.
- [11] 邹巖, 廖小平. 绿色发展概念认知的再认知——兼谈习近平的绿色发展思想[J]. 湖南社会科学, 2017(2):115-123. ZOU D, LIAO X P. The re-cognition of green development concept cognition and Xi Jinping's green development thought[J]. Social Sciences in Human, 2017(2):115-123.
- [12] 胡鞍钢, 周绍杰. 绿色发展: 功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1):14-20. HU A G, ZHOU S J. Green development: Functional definition, mechanism analysis and development strategy[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(1):14-20.
- [13] 诸大建. 绿色经济新理念及中国开展绿色经济研究的思考[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5):40-47. ZHU D J. New concept of green economy and consideration of deepening green economy studies in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(5):40-47.
- [14] 张友国. 公平、效率与绿色发展[J]. 求索, 2018(1):72-81. ZHANG Y G. Fairness, efficiency and green development[J]. Seeker, 2018(1):72-81.
- [15] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(10):2027-2044. ZHOU L, CHE L, ZHOU C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10):2027-2044.

-
- [16] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(3):726-739. GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3):726-739.
- [17] 张旭, 魏福丽, 袁旭梅. 中国省域高质量绿色发展水平评价与演化[J]. 经济地理, 2020, 40(2):108-116. ZHANG X, WEI F L, YUAN X M. Evaluation and evolution of provincial high-quality green development in China[J]. Economic Geography, 2020, 40(2):108-116.
- [18] 黄素珍, 鲁洋, 杨晓英, 等. 安徽省黄山市绿色发展时空趋势研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8):1872-1885. HUANG S Z, LU Y, YANG X Y, et al. Study on spatio-temporal trends of the green development of Huangshan city in Anhui Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2019, 28(8):1872-1885.
- [19] 蔡绍洪, 谷城, 张再杰. 长江经济带绿色发展水平测度及时空演化特征[J]. 华东经济管理, 2021, 35(11):25-34. CAI S H, GU C, ZHANG Z J. Research on green development level measurement and spatiotemporal evolution characteristics of the Yangtze River economic belt[J]. East China Economic Management, 2021, 35(11):25-34.
- [20] 张婕, 吴寿敏, 张云. 长三角城市群绿色发展水平测度与分析[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2020, 22(4):53-60, 107-108. ZHANG J, WU S, ZHANG Y. Measurement and analysis of green development level of Yangtze River Delta urban agglomeration[J]. Journal of Hohai University(Philosophy and Social Sciences), 2020, 22(4):53-60, 107-108.
- [21] 熊曦, 张陶, 段宜嘉, 等. 长江中游城市群绿色化发展水平测度及其差异[J]. 经济地理, 2019, 39(12):96-102. XIONG X, ZHANG T, DUAN Y J, et al. Measurement and comparison of the level of the green development about urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Economic Geography, 2019, 39(12):96-102.
- [22] 杜宇, 黄成, 吴传清. 长江经济带工业高质量发展指数的时空格局演变[J]. 经济地理, 2020, 40(8):96-103. DU Y, HUANG C, WU C Q. The temporal and spatial pattern evolution of industrial high-quality development index in the Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2020, 40(8):96-103.
- [23] 张国俊, 王珏晗, 吴坤津, 等. 中国三大城市群经济与环境协调度时空特征及影响因素[J]. 地理研究, 2020, 39(2):272-288. ZHANG G J, WANG J H, WU K J, et al. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of coordination between economic and environmental development of three major urban agglomerations in China[J]. Geographical Research, 2020, 39(2):272-288.
- [24] 郭付友, 侯爱玲, 佟连军, 等. 振兴以来东北限制开发区绿色发展水平时空分异与影响因素[J]. 经济地理, 2018, 38(8):58-66. GUO F Y, HOU A L, TONG L J, et al. Spatio-temporal pattern and influencing factors of green development in the northeast restricted development zone since the revitalization of the northeast China[J]. Economic Geography, 2018, 38(8):58-66.
- [25] 岳立, 薛丹. 黄河流域沿线城市绿色发展效率时空演变及其影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(12):2274-2284. YUE L, XUE D. Spatiotemporal change of urban green development efficiency in the Yellow River Basin and influencing factors[J]. Resources Science, 2020, 42(12):2274-2284.

-
- [26] 王婧, 杜广杰. 中国城市绿色发展效率的空间分异及驱动因素[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(12):11-27. WANG J, DU G J. Spatial disparity and driving factors of green development efficiency in Chinese Cities[J]. Research on Economics and Management, 2020, 41(12):11-27.
- [27] 刘杨, 杨建梁, 梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征[J]. 经济地理, 2019, 39(2):110-117. LIU Y, YANG J L, LIANG Y. The green development efficiency and equilibrium features of urban agglomerations in China[J]. Economic Geography, 2019, 39(2):110-117.
- [28] 田时中, 丁雨洁. 长三角城市群绿色化测量及影响因素分析——基于 26 城市面板数据熵值-Tobit 模型实证[J]. 经济地理, 2019, 39(9):94-103. TIAN S Z, DING Y J. Greenization measurement of urban agglomeration in Yangtze River Delta and its influence factors: An empirical study based on the entropy-Tobit model of 26 cities' panel data[J]. Economic Geography, 2019, 39(9):94-103.
- [29] 王勇, 李海英, 俞海. 中国省域绿色发展的空间格局及其演变特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10):96-104. WANG Y, LI H Y, YU H. Analysis of spatial pattern and evolution characteristics of provincial green development in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(10):96-104.
- [30] 孙晓露, 闫东升. 长江三角洲经济增长空间溢出效应的测度与分解[J]. 经济地理, 2021, 41(1):66-73. SUN X L, YAN D S. Measurement and decomposition of the spatial spillover effect of economic growth in the Yangtze River Delta[J]. Economic Geography, 2021, 41(1):66-73.
- [31] 滕堂伟, 孙蓉, 胡森林. 长江经济带科技创新与绿色发展的耦合协调及其空间关联[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11):2574-2585. TENG T W, SUN R, HU S L. Coupling coordination and spatial correlation of scientific and technological innovation and green development in the Yangtze River economic belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11):2574-2585.
- [32] 陆琳忆, 胡森林, 何金廖, 等. 长三角城市群绿色发展与经济增长的关系——基于脱钩指数的分析[J]. 经济地理, 2020, 40(7):40-48. LU L Y, HU S L, HE J L, et al. Relationship between green development and economic growth of Yangtze River Delta urban agglomeration: Based on the decoupling index analysis[J]. Economic Geography, 2020, 40(7):40-48.
- [33] 黄智洵, 王飞飞, 曹文志. 长江经济带生态文明水平影响因素探析及预测——基于 VAR、GWR-BP 神经网络组合模型[J]. 经济地理, 2020, 40(3):196-206. HUANG Z X, WANG F F, CAO W Z. Influence factor and prediction of ecological civilization in the Yangtze River economic belt: Var and BP-GWR neural network combination model based[J]. Economic Geography, 2020, 40(3):196-206.
- [34] 沈丽, 鲍建慧. 中国金融发展的分布动态演进: 1978-2008 年——基于非参数估计方法的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2013, 30(5):33-47. SHEN L, BAO J H. Distribution dynamic evolution of financial development in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2013, 30(5):33-47.
- [35] 刘传明, 尹秀, 王林杉. 中国数字经济发展的区域差异及分布动态演进[J]. 中国科技论坛, 2020(3):97-109. LIU C M, YIN X, WANG L S. Research on the spatial imbalance and distributional dynamic evolution of digital economy in China[J]. Forum on Science and Technology in China, 2020(3):97-109.

[36] 汪侠, 徐晓红. 长江经济带经济高质量发展的时空演变与区域差距[J]. 经济地理, 2020, 40(3):5-15. WANG X, XU X H. Spatial-temporal evolution and regional disparity of economic high-quality development in the Yangtze River economic belt[J]. Economic Geography, 2020, 40(3):5-15.

[37] 高迪, 任庚坡, 李琦芬, 等. 基于驱动因素分解的能源消费预测——以上海市为例[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2021, 35(9):269-277. GAO D, REN G P, LI Q F, et al. Energy consumption forecast based on driving factor decomposition:A case study of Shanghai[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2021, 35(9):269-277.

[38] 马孝先. 中国城镇化的关键影响因素及其效应分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(12):117-124. MA X X. Analysis on the key influence factors of urbanization and its effects in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(12):117-124.

[39] 付允, 刘怡君. 指标体系有效性的RST评价方法及应用[J]. 管理评论, 2009, 21(7):91-95, 112. FU Y, LIU Y J. The RST evaluation method of indicator system validity and its application[J]. Management Review, 2009, 21(7):91-95, 112.