

【区域绿色发展】

长三角城市群数字化绿色化协同转型发展水平测度及影响因素研究*

吴传清 宋用九 邓和顺

摘要:研究数字化绿色化协同转型发展的时空演变特征及内在机理,对促进长三角城市群高质量发展具有重要意义。根据2011—2022年中国地级市层面数据,采用熵权TOPSIS法和耦合协调度模型测度长三角城市群26个城市数字化绿色化协同转型发展水平,采用Kernel密度估计、Dagum基尼系数、泰尔指数、障碍度模型和地理探测器等方法探究长三角城市群数字化绿色化协同转型发展水平的时空演变、区域差异、障碍因子及驱动因素。研究表明:长三角城市群数字化绿色化协同转型发展水平呈现良好增长态势;空间差异呈现收敛特征,浙苏皖三省极化现象差异明显;地区总体差异呈下降趋势,并主要来源于地区间差异;影响数字化绿色化协同转型发展水平的主要因素依次为数字产业化>绿色生态>产业数字化>数字技术>数字治理>绿色生产>绿色生活;提升经济发展水平、工业规模水平和对外开放水平是推动数字化绿色化协同转型发展的重要着力点。进一步提升长三角城市群数字化绿色化协同转型发展水平的实践路径主要有:增强核心城市辐射效应,消除两极分化;深化长三角区域协同,缩小地区间差异;构建内外多元驱动机制,实现因城施策。

关键词:长江三角洲城市群;数字化;绿色化;影响因素

中图分类号:F299.2 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2025)05-0114-15 **收稿日期:**2025-05-21

***基金项目:**习近平经济思想研究中心课题研究项目“以习近平经济思想为指导加快推进产业结构绿色低碳转型研究”(2025-18)。

作者简介:吴传清,男,武汉大学中国发展战略与规划研究院副院长、经济与管理学院教授、博士生导师(武汉 430072)。

宋用九,男,武汉大学经济与管理学院硕士研究生(武汉 430072)。

邓和顺,男,武汉大学经济与管理学院博士研究生(武汉 430072)。

随着新一轮科技革命与产业变革的深入推进,数字化、绿色化正成为全球经济社会全面转型发展的大趋势。国家高度重视“数字化绿色化协同转型发展”(简称“双化协同”),先后作出系列部署。2023年以来,中共中央、国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》和《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》均强调加快数字化绿色化协同转型发展,中央网信办等五部门2022年确定张家口市等10个地区开展数字化绿色化协同转型发展综合

试点,中央网信办等十部门2024年联合印发《数字化绿色化协同转型发展实施指南》,从制度保障与试点示范层面对“双化协同”构建起多维政策支撑。

长三角城市群作为“一带一路”与长江经济带的重要交汇地带,是促进国内大循环的中心节点和国内国际双循环的战略链接,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战略地位,是中国经济最具活力、开放程度最高、创新能力最强、吸纳外来人口最多的区域之一,对长三角城市

群双化协同水平的时空演变特征、影响因素进行研究,具有重要的理论价值与实践意义。

一、文献述评

现有相关研究成果主要聚焦双化协同概念界定、水平测度、影响因素研究。关于双化协同概念界定,中国信通院发布的《数字化绿色化协同发展白皮书(2022年)》强调“数字化赋能绿色化、绿色化牵引数字化”,学术界研究成果进一步强调双化协同具有互促性、跨域协作性、动态性等显著特征(田海峰等,2023;李旭辉等,2024)。数字化指通过提升信息处理能力(陈伟雄等,2023)、优化产业结构(王伟玲,2022)、激励技术创新(周正,2023)推动绿色产业转型升级,绿色化指通过对环境保护和资源节约的需求,促进数字技术在绿色领域的应用与发展(邬晓燕,2022)。关于双化协同水平测度,相关文献的研究范式基本为先构建数字化、绿色化指标体系,再采用模型测度。在评价指标体系构建方面,企业维度主要采用年报关键词词频(周阔等,2022;赵宸宇等,2021)、单维指标(寇冬雪等,2024)或多维指标(张超等,2025)进行度量;产业及区域维度主要通过单一指标(赵卉心等,2022)与综合评价体系(彭政钦等,2025;赵佳丽等,2024)两类方法予以测度。在模型应用方面,现有文献多采用耦合协调度模型测算双化协同水平(林妍,2023;周密等,2023),少量文献拓展应用改进距离协同模型、改进协调发展度模型、复合系统、熵值法及TOPSIS法等进行评估(李其伦,2024;李旭辉等,2024)。关于双化协同的影响因素,国内学者研究发现,数字金融、信息消费等是影响城市双化协同水平的主要因素(周卫华等,2023;李强等,2024);国外学者则从经济、技术、社会与政治四类维度对双化协同水平的影响因素进行了研究(Ferreira et al., 2022; Hassoun et al., 2022; Ahmadova et al., 2022)。

总体而言,现有双化协同研究仍存在如下不足之处:一是主要聚焦数字化、绿色化某一方面研究,或侧重探讨数字化对绿色化的影响,对双化协同的影响因素缺乏综合研究;二是较少从动态角度分析不同地区双化协同水平的时空演变格局,特别是关于长三角城市群双化协同的研究成果尚处于空白。本文通过构建双化协同的综合评价指标体系,

采用一系列量化分析方法厘清长三角城市群双化协同水平的时空演变特征、区域差异、内生障碍因子及外生驱动因素;探讨提升长三角城市群城市双化协同水平的实践路径与政策思路。本文的边际贡献在于:一是正面回应国家双化协同政策需求,构建地级市层面双化并重的双化协同综合评价指标,为政策实践提供评估工具;二是前沿聚焦长三角城市群双化协同水平,系统呈现其动态时空演化特征及区域差异;三是实证揭示双化协同的内生障碍因子及外生驱动机制。

二、理论分析

为进一步识别数字化绿色化协同转型发展的内在动力机制及其驱动因素,本部分从理论层面展开深入分析。

(一)双化协同的内在动力机制

实现双化协同的内在动力机制可借鉴协同理论、创新理论和可持续发展理论等进行阐释。协同理论强调系统各部分之间的相互作用和协同效应(Haken, 1983)。在双化协同中,数字化和绿色化作为两个相互依存的子系统,通过信息流、资金流和技术流的交互作用,形成一个协同发展的整体系统。如:数字技术的应用能够提升绿色产业的资源利用效率,而绿色产业的发展又为数字技术提供了新的应用场景和需求,从而推动两者的协同发展(孙欣等,2025)。创新理论强调技术创新往往来源于不同领域的交叉融合(Christensen, 1997)。在双化协同中,数字技术与绿色技术的融合不仅促进绿色技术的创新,也推动数字技术在绿色领域的应用创新。研究表明,数字化转型能够显著促进企业绿色技术创新,尤其是在环境规制较强的地区,这种促进作用更加显著(刘宇等,2025)。可持续发展理论强调经济、社会 and 环境的协调发展(Brundtland et al., 1987)。在双化协同中,数字化和绿色化的融合不仅促进经济效益的提升,也有助于环境保护和社会可持续发展。数字技术通过推动经济增长稳定性、发展均衡性、环境可持续性与社会公平性,推动了绿色低碳发展目标的实现(徐君,2024)。

双化协同的实践价值方面,研究表明,数字化与绿色化的协同作用能够产生超出单一因素的综合效益。具体而言,数字技术通过赋能城市运行、

生态环境治理等领域推动绿色化转型,而绿色化转型通过升级基础设施、加快融合创新、培养复合人才等发挥对数字产业的带动作用,从而通过技术赋能、要素赋能、产业赋能的三重逻辑集合(韩融等,2025),形成相互促进、共同发展的良性循环(谢华,2024;张各兴等,2025),且在区域经济发展中发挥重要作用(肖沁霖,2025)。

(二)双化协同的驱动因素分析

依据中国信通院《数字化绿色化协同发展白皮书(2022年)》,并参考已有研究成果,本文将影响长三角城市群双化协同的主要因素概括为经济发展水平、工业规模水平、政府规制水平、对外开放水平和人才积累水平(见图1)。

经济发展是推动双化协同的根本动力。根据可持续发展理论(Brundtland et al., 1987),经济发展和环境保护应协调推进。在双化协同中,经济发展为数字化与绿色化提供了必要的资本、技术与市场支持,推动了绿色产业的转型升级。从直接影响的角度看,经济发展为高新技术企业、人才和资本提供了集聚平台,促进了区域的协调发展。经济越发达,居民越倾向于接受绿色生活方式(王玉君等,2016),从而推动绿色消费需求和数字技术创新。从间接影响的角度看,经济发展通过产业协同升级、市场需求拉动和跨区域资源优化配置,推动了相邻区域数字化与绿色化产业的同步发展(肖沁霖等,2025)。

工业规模是促进双化协同的有力支撑。根据创新理论(Christensen, 1997),工业规模的扩展为绿色技术与数字技术的融合提供了坚实基础,带来了规模效应和产业链协作。从直接影响的角度看,新型工业化战略形成了完备的产业链和资本积累,通过规模效应为绿色技术创新和数字化升级降低了技术应用成本,尤其是在智能制造和新能源领域。从间接影响的角度看,工业规模的扩展推动了产业链内要素的集聚与协同,促进技术标准与管理经验的推广,通过产业链协作带动区域产业的转型(陈佳琦等,2024)。

政府规制是促进双化协同的保障力量。根据系统协同理论(Haken, 1983),政府规制通过政策干预优化资源配置,推动产业与技术的协同发展,保障了双化协同的顺利实施。从直接影响的角度看,政府通过环保政策和对数字化、绿色化企业的税收

优惠等手段,激励企业进行双化协同投资,加速数字化与绿色化的转型。从间接影响的角度看,政府规制通过示范效应,引导邻近城市采纳相应政策,推动地区间双化协同水平的快速提升(周密等,2023)。

对外开放是促进双化协同的重要力量。根据创新扩散理论(Rogers, 1962),对外开放通过引进外资和技术,促进数字化与绿色化技术的创新与传播。从直接影响的角度看,企业通过“走出去”顺应全球绿色消费潮流,利用数字化创新提升生产效率与产品质量,增强国际竞争力。同时,政府引导外资与技术进入,加快数字化和绿色化技术的本土化创新与应用。从间接影响的角度看,国际技术合作与人员流动加速技术溢出效应,推动周边城市的双化协同进程(张英浩等,2022)。

人才积累是促进双化协同的必要条件。根据人力资本理论(Becker, 1994),高素质的劳动力通过智力支持与知识溢出效应在双化协同中发挥着关键作用。从直接影响的角度看,高素质人才为绿色技术创新与数字化应用提供了智力支持,推动双化协同的技术进步。从间接影响的角度看,人才的集聚带来知识溢出效应,将促进信息交流与产学研合作,推动区域整体人力资本的优化,并提高双化协同水平(吴传清等,2025)。

三、研究方法数据来源

本文采用的研究方法有熵权TOPSIS法、耦合协调度模型、Kernel密度估计、Dagum基尼系数、泰尔指数、障碍度模型、地理探测器等。具体而言,本文采用熵权TOPSIS法构建城市层面数字化与绿色化综合评价指标体系(王恒等,2023);将数字化与绿色化综合评价指标代入耦合协调度模型,以城市层面双化协同耦合协调度表征双化协同水平,并对耦合协调等级进行十级划分(郭晗等,2022;孙博文等,2025);进一步,采用Kernel密度估计分析双化协同水平在长三角城市群的发展差异、分布动态和演进规律;采用Dagum基尼系数与泰尔指数分析双化协同水平的地区差异并进行差异分解;采用障碍度模型诊断双化协同水平的内生障碍因子,并从准则层和指标层两个维度开展城市双化协同的障碍度分析;采用地理探测器中的因子探测和交互作用

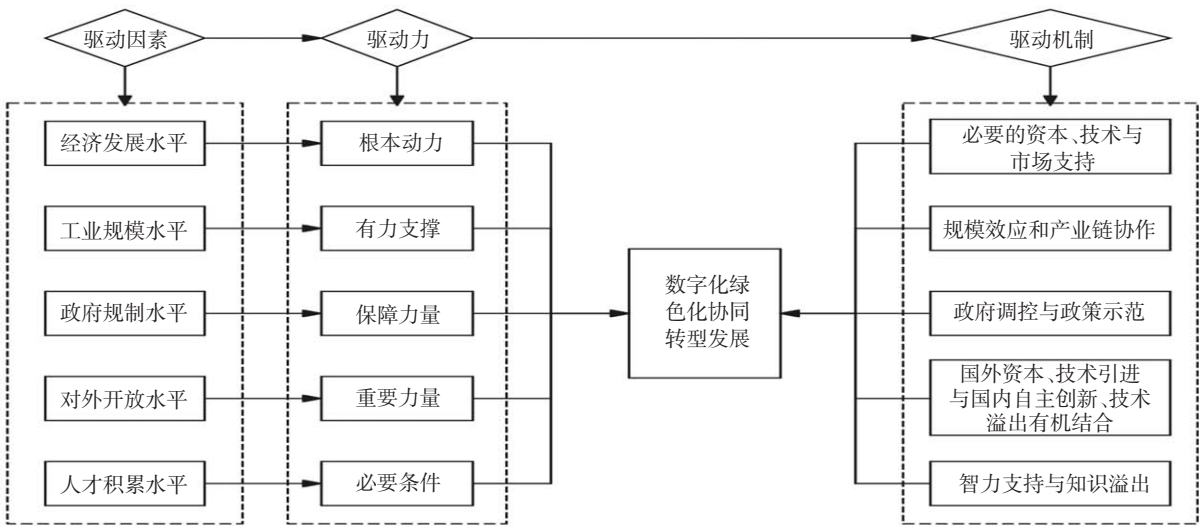


图1 数字化绿色化协同转型的驱动机制

资料来源:作者整理绘制。

探测来度量系统外部因素对双化协同水平的解释程度,并探索不同影响因素对双化协同水平的交互作用。

(一)数字化、绿色化评价指标体系构建

基于数字化与绿色化的内涵和要求,参考已有研究做法,遵循科学性、可比性和适用性等原则,本

文构建了城市数字化、绿色化水平综合评价指标体系(见表1)。其中,城市数字化水平测度:根据国家统计局数据领域常用名词解释中对城市全域数字化转型“实现技术架构重塑、城市管理流程变革和产城深度融合”的阐述并参考张云等(2023)、黄宗远等(2023)、刘亮等(2024)的研究思路,从数字技

表1 城市数字化、绿色化水平综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	变量	属性	权重
数字化水平	数字技术	1.当年授权的数字经济相关发明数量	D1	正	0.0710
		2.电子商务交易额	D2	正	0.0286
		3.城市科学技术支出占公共财政总支出比重	D3	正	0.0483
	数字治理	4.政府数字关注度	D4	正	0.0294
		5.北京大学数字普惠金融指数	D5	正	0.0891
	数字产业化	6.长途光缆线密度	D6	正	0.1324
		7.人均互联网宽带接入端口	D7	正	0.0884
		8.移动电话普及率	D8	正	0.0971
		9.互联网普及率	D9	正	0.0702
		10.人均电信业务收入	D10	正	0.0909
		11.信息传输、计算机服务和软件就业人数占比	D11	正	0.0834
	产业数字化	12.机器人安装密度	D12	正	0.0958
		13.每万人人工智能企业数	D13	正	0.0535
		14.地级市显卡进口金额	D14	正	0.0219
绿色化水平	绿色生态	15.每万人公园绿地面积	D15	正	0.2583
		16.每万人实有城市道路面积	D16	负	0.1370
		17.绿地面积与城市建设用地面积比	D17	正	0.1789
		18.建成区绿化覆盖率	D18	正	0.0150
	绿色生产	19.一般工业固体废物综合利用率	D19	正	0.0438
		20.每万人工业废水排放和SO ₂ 及氮氧化物排放量	D20	负	0.1023
		21.每万人工业烟(粉)尘排放量	D21	负	0.0680
	绿色生活	22.每万人全社会用电量	D22	负	0.1002
		23.居住用地面积与绿地面积之比	D23	负	0.0421
		24.生活垃圾无害化处理率	D24	正	0.0543

资料来源:作者根据相关资料构建。

注:*所有负向指标均进行逆向化处理。**指标层数据进行标准化处理后代入熵权TOPSIS模型。

术、数字治理、数字产业化、产业数字化四个维度构建长三角城市群数字化水平综合评价指标体系。城市绿色化水平测度：依据城市绿色化的内涵，结合国家相关政策及杨千龙等（2024）、周密等（2023）、徐军委等（2022）对绿色发展评价指标的研究成果，从绿色生态、绿色生产、绿色生活三个维度构建长三角城市群绿色化水平综合评价指标体系。

(二)驱动因素选择

为探究长三角城市群双化协同水平的驱动因素，参考前文研究框架，借鉴已有研究成果，选取经济发展水平、工业规模水平、政府规制水平、对外开放水平、人才积累水平等5项指标构建“双化协同”的驱动因素分析框架（周密等，2023；陈佳琦等，2024），且在指标选取中已考虑到内生性问题（见表2）。

表2 双化协同驱动因素指标体系

指标	度量方式	变量
经济发展水平	人均GDP的自然对数	X1
工业规模水平	规模以上工业企业数的自然对数	X2
政府规制水平	政府工作报告“绿色发展”相关词频的自然对数	X3
对外开放水平	实际使用外商直接投资的自然对数	X4
人才积累水平	每万人在校大学生人数	X5

资料来源：作者根据相关资料整理。

(三)数据来源

本文选择2011—2022年长三角城市群三省一市共26个城市^①作为研究对象，研究数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》、地方政府工作报告及EPS数据库、CEIC数据库，部分缺失值采用插值法补齐。

四、实证结果分析

本部分侧重探讨长三角城市群双化协同水平测度分析、内生障碍因子及外生驱动因素。

(一)长三角城市群双化协同水平测度分析

基于上述研究方法，本节对长三角城市群双化协同水平的测度结果、时序动态演进与地区差异分解进行描述，以期全面刻画双化协同的时空格局与收敛特征，为后续障碍因子诊断与驱动因素分析奠定基础。

1.双化协同水平测度结果

2011—2022年长三角城市群总体双化协同水平呈良好增长态势，均值从0.46升至0.59，实现了从失调向协调的跨越。这一转变与《长江三角洲区域一体化发展规划纲要（2019—2025年）》的实施密切相关，该规划明确提出“共同打造数字长三角”和“共同加强生态保护”，为双化协同提供了制度保障。

具体而言，如图2所示，2011—2022年长三角三省一市双化协同水平均呈增长趋势，但省际差异明显。其中，上海双化协同水平始终处于领先地位，从0.57升至0.68，接近中级协调，主要得益于其“五个中心”建设与政策先行优势。研究期内，2016年《上海市推进“互联网+”行动实施意见》推动制造业智能化升级；2021年《上海市生态空间专项规划（2021—2035年）》强化生态红线管控，两者协同发力形成“数字赋能、绿色牵引”的叠加效应。

浙江双化协同水平稳步提升，主要受益于民营经济与数字经济的深度融合。研究期内，2017年《浙江省国家信息经济示范区建设实施方案》推动“城市大脑”建设，支撑碳排放智能监测平台开发；2020年《浙江省数字经济促进条例》进一步加强数字化与绿色化转型的制度保障。

江苏双化协同水平增速最快，并呈现“阶梯式上升”特征。研究期内，2015年江苏依托《苏南国家自主创新示范区发展规划纲要》率先推进智能制造与清洁生产；2021年《江苏省“十四五”数字经济发展规划》与《江苏省“十四五”循环经济发展规划》重点支持能源互联网试点示范城市建设，助力国家“双碳”目标实现，推动双化协同水平快速提升。

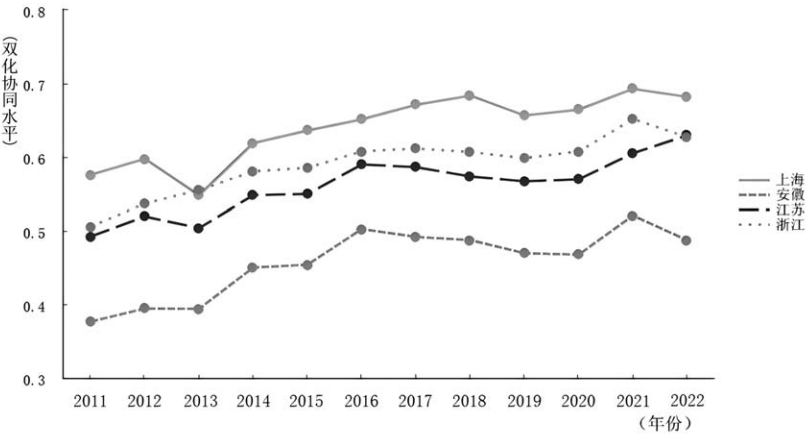


图2 2011—2022年长三角城市群分省（市）双化协同水平
资料来源：作者根据测算结果绘制。

安徽双化协同水平处于较低阶段,但持续提升态势。研究期内,2016年《安徽省系统推进全面改革创新试验方案》重点支持合肥建设长三角G60科创走廊节点城市,培育数字技术企业,并依托新能源汽车产业集群推动绿色制造升级;2021年《加快“数字皖农”建设若干措施》通过智慧农业试点,推进皖北地区与数字企业合作建设现代农业产业园,提升数字化投入水平。

图3显示,2011—2022年长三角城市群双化协同水平普遍显著提升,城市间差异逐步缩小,呈现

“核心引领、整体趋良”格局,但发展仍存在不平衡现象。具体而言,2011年处于协调状态的11座城市中,无锡断层式领先,达到中级协调阶段,其他城市均处于勉强协调阶段;15座失调城市中浙苏皖三省均有涉及,浙江占比较低,说明三省期初均存在部分地区数字化与绿色化发展严重失调,且浙江双化协同基础较好。2016年,失调城市降至6座,扬州等9座城市升至协调阶段。2022年,协调城市占比达到80.77%,苏州、杭州等11座城市上升为初级协调及以上,南京进入中级协调,无锡保持领先地位,并与舟山共同进入良好协调阶段。此外,仍有池州、滁州等少数城市处于失调阶段,且铜陵2022年与2011年相比协调水平出现下降,或源于这些城市未能统筹好数字经济与生态文明建设的协调联动机制,导致数字化转型滞后于绿色化发展。

2.双化协同水平的时序动态演进

为深入探讨长三角城市群双化协同的时序演化特征,采用Kernel密度估计对长三角城市群总体及三省双化协同水平的分布位置、形态、延展性和极化现象进行描述(见图4),其中由于上海市为直辖市,不包含进一步分城市数据,因此本节不作单独说明。

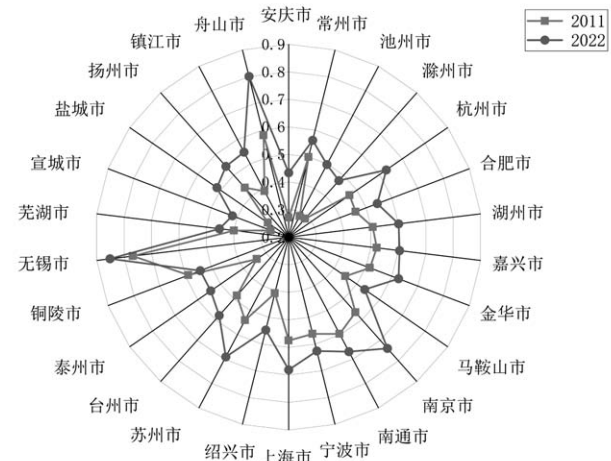


图3 2011年、2022年长三角城市群城市双化协同水平
资料来源:作者根据测算结果绘制。

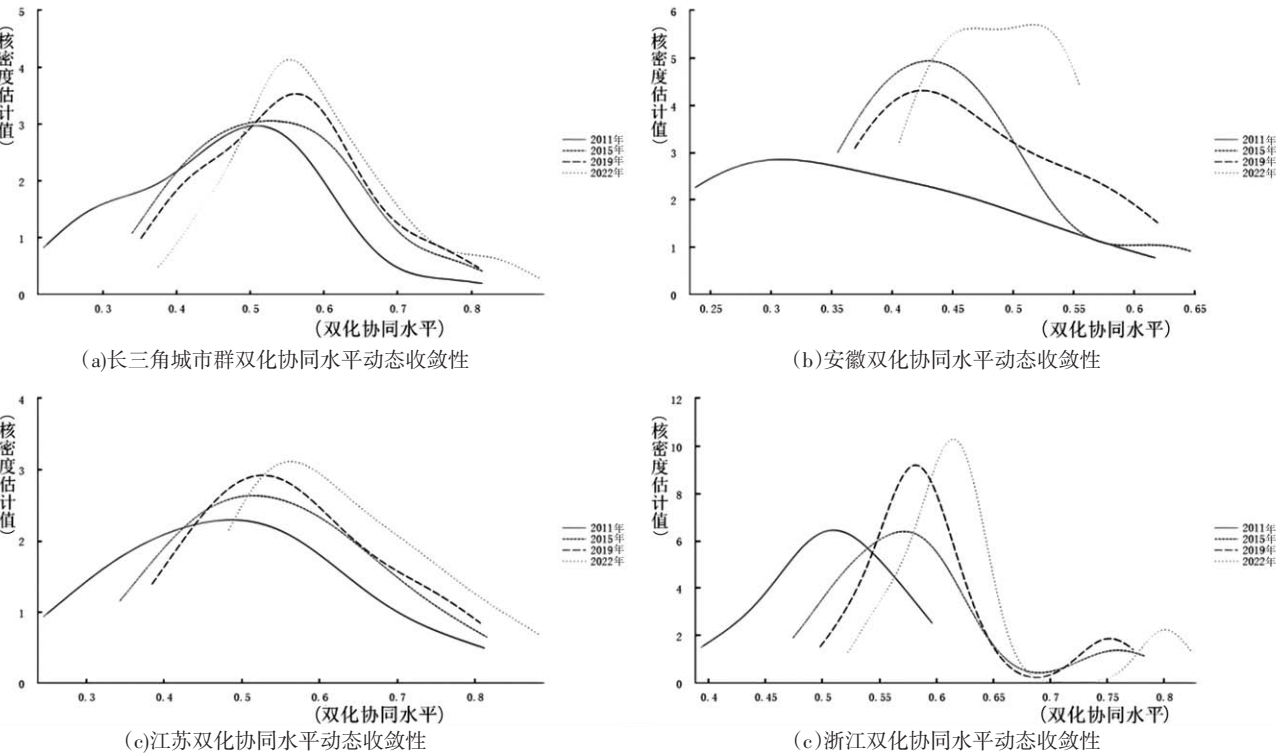


图4 2011—2022年长三角城市群整体及分省双化协同水平动态收敛性

资料来源:作者根据测算结果绘制。

图4(a)显示了长三角城市群总体双化协同水平的动态变化趋势。分布位置方面,曲线中心呈右移趋势,但速度逐渐放缓,且2022年与2019年相比,曲线中心基本保持不变,表明长三角城市群的双化协同水平持续提升,但受新冠疫情影响,2020年后增速缓慢,逐渐由高速增长阶段转向高质量发展阶段。分布形态方面,曲线主峰高度持续提升,且在2015年后尤为突出。说明城市间双化协同水平差距呈现明显的缩小态势,源于2016年《长江三角洲城市群发展规划》明确提出构建“一核五圈四带”的网络化空间格局,推动周边城市协同发展。分布延展性方面,曲线存在左拖尾向右拖尾的转变,延展性先降后升。表明双化协同水平的空间差异逐渐收敛于协调阶段,而无锡等部分城市具有核心引领作用。极化特征方面,曲线前期存在较弱的多极分化现象,其中2011年、2019年均呈现一个陡峭的主峰和一个较为平缓的次峰,而2022年呈现显著的单峰形态。说明长三角城市群双化协同水平前期出现两极分化现象,耦合协调类型集中于失调与勉强协调阶段,反映上海、苏南与皖北等地“核心—边缘”分化现象;2019年后区域差异逐步收敛,体现了高质量发展时期各城市双化协同水平集中于协调阶段的情况。

图4(b)—(d)显示了浙苏皖三省双化协同水平的动态变化趋势。分布位置方面,三省曲线中心均呈右移趋势,表明各省双化协同水平逐步提升。其中,安徽10年间右移幅度最大,且在2011—2015年间曲线中心右移超过0.15,但右移速度波动较大;江苏、浙江的右移速度较为稳健。分布形态方面,三省曲线主峰高度均呈整体上升趋势,具体高度演进有所差异。其中,安徽呈波动上升特征;江苏研究期内稳步提升;浙江先有所下降,在2015年后快速上升。分布延展性方面,三省曲线具有显著差异,其中江苏、浙江两省均呈现左拖尾向右拖尾的转变,且延展性有所增加;而安徽呈现右拖尾向左拖尾的转变,且拖尾延展逐渐缩短。极化特征方面,三省同样差异较大。其中,江苏没有明显极化现象;安徽、浙江均从单峰逐渐演化为双峰,出现两极分化现象。在研究后期,安徽的耦合协调类型集中于濒临失调与勉强协调阶段,表明安徽在农业占比大、数字化积累不足的情况下,对长三角平均双化协同水平的追赶与突破;浙江的耦合协调类型集

中于初级与良好协调阶段,表明舟山等优势城市对全省双化协同水平提升的引领作用。

3.双化协同水平的地区差异分解

上述研究表明,长三角城市群的双化协同水平存在显著地区差异。为深入分析不同地区差异的来源和程度,本文采用Dagum基尼系数和泰尔指数对2011—2022年长三角城市群双化协同的地区差异进行分解。

一是Dagum基尼系数的地区差异分解。从地区总体差异及来源分析,依据表3,2011—2022年长三角城市群双化协同水平的总体差异呈下降趋势,且主要来源于地区间差异。在变化趋势方面,总体基尼系数在研究期内呈波动下降趋势。进一步,通过基尼系数分解和贡献率分析发现,地区内差异和地区间差异的贡献率均值分别为25.27%和48.91%,表明长三角城市群的差异主要源于地区间差异。具体来看,地区内差异贡献率始终保持较低水平稳定,地区间差异贡献率波动上升,并在2016年、2021年出现回落,主要源于2016年《长江三角洲城市群发展规划》和2020年《长三角科技创新共同体建设发展规划》等政策的实施,促进核心城市的辐射效应,缩小省际技术差距,引领长三角城市群一体化发展。

表3 2011—2022年长三角城市群双化协同水平的基尼系数及贡献率

年份	基尼系数				贡献率(%)		
	总体	Gw	Gb	Gt	Gw	Gb	Gt
2011	0.1461	0.0377	0.0653	0.0431	25.82	44.67	29.51
2012	0.1414	0.0360	0.0671	0.0384	25.42	47.43	27.14
2013	0.1485	0.0391	0.0716	0.0378	26.33	48.23	25.44
2014	0.1146	0.0295	0.0558	0.0293	25.73	48.68	25.60
2015	0.1133	0.0285	0.0567	0.0281	25.15	50.03	24.82
2016	0.0975	0.0261	0.0425	0.0288	26.80	43.61	29.58
2017	0.1058	0.0273	0.0493	0.0291	25.86	46.60	27.54
2018	0.1007	0.0255	0.0510	0.0241	25.33	50.70	23.98
2019	0.1049	0.0260	0.0545	0.0243	24.83	51.97	23.19
2020	0.1101	0.0267	0.0585	0.0249	24.27	53.12	22.61
2021	0.1113	0.0285	0.0503	0.0325	25.60	45.22	29.18
2022	0.0972	0.0214	0.0551	0.0207	22.05	56.64	21.31

数据来源:作者根据测算结果整理。

从地区内差异来看,表4左侧显示了长三角城市群三省一市的地区内差异及其演变特征。在动态演进方面,除上海因作为整体讨论而组内基尼系数始终为0外,三省的地区内差异均呈收敛趋势。

在差异规模方面,图5表明长三角城市群中,浙江的地区内差异始终处于较低水平,并呈现先小幅上升,后缓慢下降的变化趋势;安徽、江苏两省的地区内差异呈梯度下降趋势,均在研究初期处于较高差异水平,并于2014年急剧下降,在2014—2020年处于稳定的平台期,2020年后,安徽再次持续下降,而江苏波动明显,呈先升后降趋势。研究初期,安徽的地区内差异最大,均值为0.1644,2014年后,江苏的地区内差异最大,均值为0.1170。这一演变过程显示,研究期内,初始双化协同水平较低的城市普遍实现提升,促使三省地区内差异趋于收敛。

从地区间差异来看,表4右侧显示了长三角城市群三省一市的地区间差异及其演变特征。依据表4,长三角城市群的地区间差异呈现“核心—边缘”分化的特征。具体来说,沪皖地区间差异最大,研究期内组间基尼系数普遍高于其他组合,主要源于上海数字经济对安徽外溢不足,且由于皖北农业占比较大,数字基础设施建设不足,制约了技术扩散效应;沪浙地区间差异最小,组间基尼系数始终保持最低,反映上海与浙江通过协同布局算力资源与利用长三角科创平台进行绿色技术联合攻关,实现产业链深度协同;其他省份地区间差异波动收

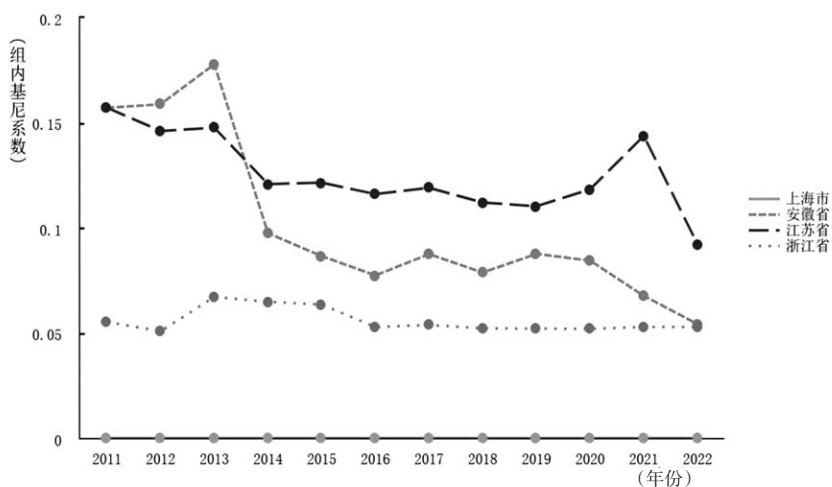


图5 2011—2022年长三角城市群分省(市)双化协同水平的地区内差异
资料来源:作者根据测算结果绘制。

敛,组间基尼系数平均从2011年的0.1528降至2022年的0.1046,主要受益于国家从2008年《国务院关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见》开始对长三角一体化发展的支持与对数绿融合的持续实践。

二是泰尔指数的地区差异分析。为进一步揭示长三角城市群双化协同水平的地区差异及其来源,本文借鉴周小亮等(2018)的做法,运用泰尔指数将双化协同水平的总体差异分解为地区内差异和地区间差异(见表5)。且由于上海泰尔指数始终为0,因此主要对浙苏皖三省地区差异进行分析。

从总体差异来看,与基尼系数结果相似,长三角城市群双化协同水平的泰尔指数差异在研究期内有明显的缩小趋势。具体而言,城市群泰尔指数

表4 2011—2022年长三角城市群双化协同水平的地区内及地区间差异

年份	组内基尼系数				组间基尼系数					
	上海	安徽	江苏	浙江	上海&安徽	上海&江苏	上海&浙江	安徽&江苏	安徽&浙江	江苏&浙江
2011	0	0.1570	0.1571	0.0552	0.2124	0.1227	0.0657	0.1955	0.1730	0.1200
2012	0	0.1587	0.1460	0.0507	0.2076	0.1119	0.0540	0.1908	0.1745	0.1139
2013	0	0.1777	0.1475	0.0671	0.1809	0.1099	0.0477	0.1919	0.1906	0.1211
2014	0	0.0974	0.1207	0.0648	0.1599	0.0974	0.0588	0.1387	0.1414	0.1018
2015	0	0.0865	0.1214	0.0635	0.1669	0.1049	0.0668	0.1340	0.1398	0.1031
2016	0	0.0773	0.1160	0.0527	0.1290	0.0927	0.0542	0.1187	0.1015	0.0952
2017	0	0.0874	0.1189	0.0538	0.1541	0.1046	0.0660	0.1287	0.1197	0.0972
2018	0	0.0787	0.1120	0.0521	0.1674	0.1121	0.0732	0.1182	0.1146	0.0928
2019	0	0.0876	0.1102	0.0520	0.1659	0.1046	0.0654	0.1273	0.1273	0.0931
2020	0	0.0843	0.1183	0.0519	0.1736	0.1094	0.0647	0.1349	0.1328	0.1007
2021	0	0.0676	0.1436	0.0528	0.1417	0.1135	0.0557	0.1392	0.1149	0.1126
2022	0	0.0542	0.0921	0.0528	0.1665	0.0801	0.0648	0.1292	0.1253	0.0836

数据来源:作者根据测算结果整理。

表5 2011—2022年长三角城市群双化协同水平的泰尔指数及贡献率

年份	总体差异	地区间差异及贡献率	地区内差异及贡献率			
			总体	安徽	江苏	浙江
2011	0.0356	0.0126 (35.39)	0.023 (64.61)	0.0409 (16.94)	0.0391 (24.91)	0.005 (22.75)
2012	0.0335	0.0132 (39.40)	0.0203 (60.60)	0.0398 (15.77)	0.0337 (23.37)	0.0044 (21.46)
2013	0.0386	0.0127 (32.90)	0.0259 (67.10)	0.0507 (17.44)	0.0353 (25.09)	0.0074 (24.57)
2014	0.021	0.0087 (41.43)	0.0123 (58.57)	0.0159 (16.01)	0.0229 (21.93)	0.0076 (20.63)
2015	0.0202	0.0085 (42.08)	0.0117 (57.92)	0.0133 (15.86)	0.0229 (21.60)	0.0076 (20.45)
2016	0.0156	0.0065 (41.67)	0.0091 (58.33)	0.0093 (16.53)	0.0212 (21.82)	0.0051 (19.99)
2017	0.0179	0.0073 (40.78)	0.0105 (58.66)	0.0124 (16.37)	0.0224 (21.94)	0.0056 (20.35)
2018	0.016	0.0069 (43.13)	0.0092 (57.50)	0.0099 (16.12)	0.0201 (21.33)	0.0052 (20.06)
2019	0.0175	0.0082 (46.86)	0.0093 (53.14)	0.0122 (14.63)	0.0192 (19.87)	0.0055 (18.64)
2020	0.0196	0.0088 (44.90)	0.0108 (55.10)	0.0118 (15.02)	0.0235 (20.58)	0.0055 (19.51)
2021	0.0235	0.0065 (27.66)	0.017 (72.34)	0.0073 (20.33)	0.0415 (26.58)	0.006 (25.44)
2022	0.0155	0.0115 (74.19)	0.0039 (25.16)	0.0046 (6.73)	0.0143 (9.78)	0.006 (8.66)

数据来源：作者根据测算结果整理。

从2011年的0.0356波动下降至2022年的0.0155，说明通过政策引导、区域合作及技术创新的推动，长三角数字化绿色化不均衡的发展情况得到有效缓解。尤其是在2014年以后，随着《长江三角洲地区区域规划》的出台，三省之间的差距逐渐收窄。

从结构分解结果来看，研究期内双化协同水平的地区间差异贡献率呈阶梯式上升趋势，2013年之前地区间差异贡献率均小于40%，2014—2020年贡献率缓慢提升，2022年贡献率快速增长至74.19%，因此长三角城市群双化协同水平的主要差异来源从地区内差异转为地区间差异。

对地区内差异泰尔指数进一步分解后发现，2011—2022年安徽、江苏、浙江双化协同水平的泰尔指数平均值分别为0.0190、0.0263和0.0059，表明江苏省内双化协同水平差异最

大，安徽次之，浙江差异相对较小。另外，安徽、江苏、浙江对总体差异贡献率的均值分别为15.65%、21.57%和20.21%，且三省贡献率在研究期内基本保持稳定，表明江苏对总体差异的贡献率最大，浙江次之，安徽对总体差异的贡献率最小。

此外，浙苏皖三省间的泰尔指数差异也较为突出。如图6所示，浙江的泰尔指数在研究期内始终较低，反映出该省数字化与绿色化的协同发展较为均衡。江苏的泰尔指数波动较大，但总体趋于下降，表明该省的双化协同发展经历了波动，但最终趋向平衡。安徽的泰尔指数在2013年前后先升后降，反映出安徽在数字基础设施建设和绿色产业发展的起步阶段面临较大挑战，而后得益于《国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》等政策的出台，省内双化协同水平趋于均衡。

(二)影响长三角城市群双化协同水平的内生障碍因子

前文结果表明，长三角城市群双化协同水平存在显著提升空间。进一步，本节采用障碍度模型对主要障碍因子予以识别，为实现双化协同提供经验数据支撑。

1.准则层障碍因子分析

由图7可知，研究期内长三角城市群双化协同水平准则层障碍度排名基本稳定，依次为数字产业化>绿色生态>产业数字化>数字技术>数字治理>绿色生产>绿色生活，障碍度均值分别为34.69%、31.51%、11.71%、11.15%、5.31%、2.96%和2.67%，可见数字产业化与绿色生态维度是影响双化协同水平提升的主要因素，两者加总障碍度可占总体障碍度的66%以上。结合障碍度变化趋势来看，

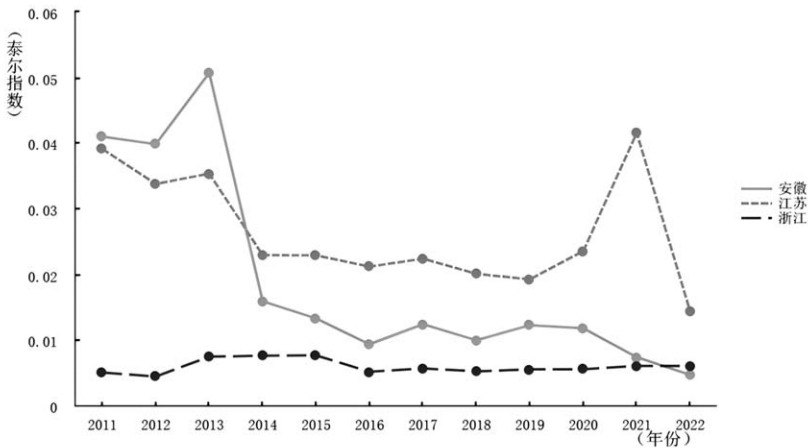


图6 2011—2022年长三角城市群浙苏皖三省双化协同水平的泰尔指数差异
资料来源：作者根据测算结果绘制。

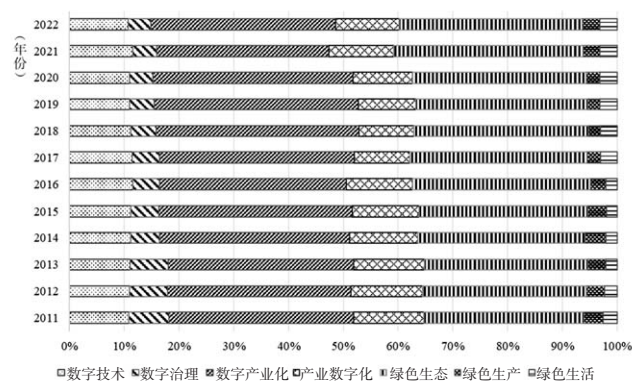


图7 2011—2022年长三角城市群双化协同水平准则层障碍因子

资料来源：作者根据测算结果绘制。

数字技术整体波动较小,基本维持在11%左右,表明数字技术障碍度作为基础性因素,其障碍度相对稳定,反映长三角城市群在数字基础设施建设和技术应用方面已趋于成熟;数字治理呈现逐年下降趋势,从2011年的7.40%降至2022年的4.19%,说明长三角城市群数字治理能力持续提升,这与近年来三省一市推进“数字政府”建设和数据共享政策的实施密切相关;数字产业化波动较大,2011—2019年呈上升趋势,2020年后有所下降,体现疫情所引发的线上需求对数字产业链的促进作用;产业数字化整体呈下降趋势,表明传统产业数字化转型的障碍逐步减少,这与长三角城市群推动“智能制造”和“工业互联网”的政策导向一致;绿色生产和绿色生活两者均呈现低水平波动态势,表明绿色制造和低碳生活的推广取得较大的成效,但仍有改进空间;绿色生态呈稳步增长

态势,反映出在长三角生态绿色一体化发展的进程中,环境保护等绿色生态领域仍面临显著压力,需持续强化治理,以突破发展瓶颈。

2.指标层障碍因子的总体诊断

依据表6,长三角城市群双化协同的前两项障碍因子及排序始终保持稳定,由高到低依次为D15、D17,均为绿色生态准则层指标。其中D15的障碍度在研究期内基本保持稳定,而D17的障碍度呈现上升趋势,逐渐逼近第一障碍因子。说明随着城镇化的发展,城市中绿地密度与比例的提升,已成为驱动城市双化协同的关键机制。

第三至五名障碍因子的结果在研究期内呈现出较大的差异。其中,D12排名表现出先降后升的“U”型演变趋势,其在2011—2015年排名由第三名降至第五名,并在2016年后跌出前五项障碍因子,而疫情后,其排名逐渐回升,于2022年再次恢复到第四名,这一趋势反映了智能制造推进与机器人应用挑战的综合影响;D6排名在前期由第五名上升至第三名,而后保持稳定,这与快速增长的数字经济需求形成鲜明对比,反映出数字基础设施建设仍相对滞后;D11排名在第四名与第五名之间波动,显示出人才供给与产业需求之间存在结构性矛盾,这与数字经济发展对高端人才的需求增加密切相关;D7排名在2017年后有所提升,并于2020年后快速下降。这与“宽带中国”战略的实施效果相符,但同时也表明基础设施供给仍需关注。

3.指标层障碍因子的分省诊断

为探究长三角城市群障碍因子的区域异质性

表6 2011—2022年长三角城市群双化协同水平指标层障碍因子

年份	第一障碍因子		第二障碍因子		第三障碍因子		第四障碍因子		第五障碍因子	
	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)
2011	D15	15.16	D17	11.80	D12	6.99	D5	6.53	D6	6.41
2012	D15	15.29	D17	12.15	D12	7.19	D6	6.50	D11	6.08
2013	D15	15.18	D17	11.92	D6	7.12	D12	6.90	D11	5.93
2014	D15	15.33	D17	12.30	D6	7.57	D12	6.28	D11	5.96
2015	D15	15.23	D17	12.34	D6	8.32	D11	6.01	D12	5.97
2016	D15	15.97	D17	13.03	D6	7.19	D11	6.26	D1	5.78
2017	D15	15.66	D17	13.07	D6	8.55	D11	6.20	D7	5.75
2018	D15	15.22	D17	12.79	D6	10.12	D7	6.56	D11	6.04
2019	D15	14.93	D17	12.62	D6	10.39	D7	6.81	D11	5.87
2020	D15	14.78	D17	12.85	D6	10.45	D7	6.90	D11	5.72
2021	D15	15.81	D17	13.96	D6	7.42	D11	6.35	D12	5.95
2022	D15	15.48	D17	13.58	D6	9.13	D12	6.34	D11	6.02

数据来源：作者根据测算结果整理。

及共性特征,本文以三省一市为研究对象,系统识别各区域双化协同进程的主要障碍因子。表7根据各指标障碍度年均值排序结果,呈现各区域双化协同的前五项障碍因子。

依据表7,长三角城市群三省一市的双化协同水平障碍因子呈现出显著的共性与差异。从共性来看,D15和D17在各省市均位列前两位,反映出长三角城市群在生态基础设施方面存在普遍短板,这与长三角快速城市化进程中绿地规划不足的现实情况相符。从差异来看,上海的第三大障碍因子为D12,而其他三省均为D6,这表明上海在智能制造领域面临挑战,而其他三省则在信息基础设施方面存在不足。这一差异与各省(市)的发展定位密切相关,即上海作为国际科技创新中心,其对智能制造发展要求更高;其他三省作为制造业大省,对信息基础设施的需求更为迫切。从政策层面看,前三位的排序也与“生态优先、绿色发展”和“加强协同创新产业体系建设”的政策关注相呼应。此外,在第四障碍因子层面,江苏与浙江均面临D11的制约,表明两省数字经济发展中存在信息技术人才结构性短缺现象,尽管浙江省《数字经济促进条例》中明确将“加强人才引进和储备”列为重点工程,但高端人才缺口仍然存在。第五障碍因子层面,安徽与江苏共同受限于D7,反映出两省城市间宽带网络质量分化的普遍困境,表明《江苏省“十四五”新型基础设施建设规划》

中“全光网省”目标的合理性。

(三)影响长三角城市群双化协同水平的外生驱动因素

本节运用地理探测器方法,识别影响长三角城市群双化协同水平的关键外生驱动因素及其交互效应,揭示各因素对“双化协同”的作用机制。

1.驱动因子探测分析

表8为长三角城市群双化协同水平的驱动因子探测结果。依据表8,2011年,除X3外,各因子均对双化协同水平具有显著解释力,前三位依次为X1、X2和X4,解释力均在0.4以上。2015年和2019年,三大因子对双化协同水平同样具有显著解释力,其排序转变为X2、X1和X4。2022年,各个因子对双化协同水平均有显著解释力,前三位影响因子依次为X4、X1和X2,X4上升至第一位,且三因子解释力均在0.6以上。上述结果表明,2011—2022年X1、X2和X4始终是城市双化协同水平的主导影响因子,长三角城市群双化协同对三者存在显著的路径依赖;其次,X3的影响效应也逐步显现;同时,X5对双化协同的驱动作用在研究期内先减弱后增强。

上述双化协同水平的驱动因素排序呈现显著的阶段性演变特征,反映出长三角城市群发展模式从规模驱动向开放引领的转型轨迹。具体来说,2011年以经济发展水平为核心,与2008年《指导意见》中“提高整体经济素质”的目标相呼应;2015年

表7 长三角城市群分省市双化协同水平主要障碍因子及障碍度

省份	第一障碍因子		第二障碍因子		第三障碍因子		第四障碍因子		第五障碍因子	
	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)	因子	障碍度(%)
上海	D15	25.05	D17	18.84	D12	7.71	D9	5.68	D11	5.39
安徽	D15	15.65	D17	11.41	D6	8.60	D8	6.50	D7	6.14
江苏	D15	13.84	D17	13.17	D6	7.71	D11	6.02	D7	5.76
浙江	D15	15.49	D17	12.70	D6	9.32	D11	6.38	D1	5.83

数据来源:作者根据测算结果整理。

表8 2011—2022年长三角城市群双化协同驱动因子探测结果

指标	2011年		2015年		2019年		2022年	
	q	rank	q	rank	q	rank	q	rank
经济发展水平(X1)	0.7326***	1	0.5585***	2	0.5745***	2	0.7474***	2
工业规模水平(X2)	0.5006***	2	0.6257***	1	0.6359**	1	0.6014***	3
政府规制水平(X3)	0.1585	5	0.1882	5	0.3172*	4	0.5723*	4
对外开放水平(X4)	0.4309**	3	0.3793*	3	0.4920***	3	0.7641***	1
人才积累水平(X5)	0.3975***	4	0.2853	4	0.2984	5	0.4231***	5

数据来源:作者根据测算结果整理。

后工业规模水平跃居首位,折射出《中国制造2025》战略下长三角制造业绿色化改造的阶段性成效;至2022年对外开放水平成为首要驱动因子,反映了“双循环”战略与上海自贸区扩容、江苏自贸区设立等政策对双化协同水平提升的直接影响。进一步,政府规制水平的驱动作用渐强,印证了《长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案》中跨境环境规制协同的实效;人才积累水平影响的“U”型波动也映射了人才政策执行的阶段性差异,早期人才引育政策较为分散,导致部分“人才特区”效果有限,后期《共建共享G60科创走廊人才新高地行动方案》推动九城人才互认互通,促进数字化绿色化人才跨区域流动。综上,影响城市双化协同水平的主导因素逐渐向更多元转变。

2. 交互作用探测分析

以2011年和2022年为例,进一步探测任意两个驱动因子协同对城市双化协同水平的交互作用及其演变趋势(见图8)。图8(a)—(b)中对角线数

值反映单因子 q 值,非对角线上的数值反映因子协同的交互解释力。结果表明:2011年,除X1与X3组合外,因子间的交互作用均为增强关系。其中,双因子增强有7对(平均 q 值为0.74),交互解释力最大值为0.82($X1 \cap X4$);非线性增强有2对(平均 q 值为0.72),交互解释力最大为0.80($X2 \cap X3$)。2022年,所有因子之间的交互作用均为增强关系,且交互类型均为双因子增强(平均 q 值为0.94),说明任意两个因子的交互作用均增强对城市双化协同的分异。在所有组合中,交互解释力最大值为0.99($X1 \cap X4$)。上述结果显示,从2011年到2022年,除X2与X5的组合保持稳定外,任意两个驱动因素协同对双化协同水平的交互作用都在增强,表明各因素之间的相互配合在驱动城市双化协同过程中愈发重要。此外,研究期内,X1、X2和X4与各因子交互作用的平均 q 值在0.8以上,能较高程度解释双化协同水平分异,验证了X1、X2、X4是城市双化协同分异的主导因子。

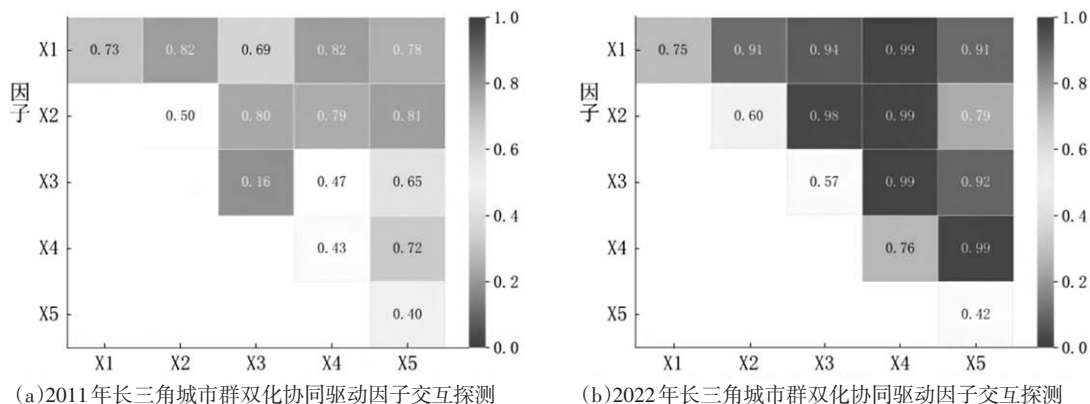


图8 2011年、2022年长三角城市群双化协同驱动因子交互探测热力图

资料来源:作者根据测算结果绘制。

五、研究结论与政策启示

本文基于熵权TOPSIS法、耦合协调度模型测度2011—2022年长三角城市群26个城市的双化协同水平,采用Kernel密度估计、Dagum基尼系数、泰尔指数等方法探究长三角城市群双化协同水平的时空演变特征、区域差异、内生障碍因子及外生驱动因素。

(一) 研究结论

第一,长三角城市群双化协同水平呈现良好增长态势。分省份看,上海始终处于领先地位;浙江

稳步提升;江苏增速最快,并呈现“阶梯式上升”特征;安徽处于较低水平,但持续保持提升态势。分城市看,研究期内城市间差异逐步缩小,陆续有10座城市由失调升为协调,11座城市上升为初级协调及以上,无锡等3座城市进入良好及中级协调阶段,呈现出“核心引领、整体趋良”格局。

第二,双化协同水平的空间差异呈现收敛特征,浙苏皖三省极化现象差异明显。整体层面而言,长三角城市群双化协同水平的空间差异显著缩小,逐渐收敛于协调阶段,且无锡等部分城市具有引领作用;在初期出现两极分化现象,2019年后极化现象消除。省份层面而言,各省双化协同水平表

现出显著的省间差异,但均呈稳步提升态势,整体趋势趋同;研究期内江苏没有明显极化特征,安徽、浙江均从单峰演化为双峰,出现两极分化现象。

第三,双化协同水平的地区总体差异呈下降趋势,并主要来源于地区间差异。一方面,由基尼系数结果可知,长三角城市群双化协同水平的地区总体差异在研究期内波动下降;地区内差异贡献率保持低水平稳定,地区间差异贡献率波动上升,并在2016年、2021年出现回落,地区总体差异主要源于地区间差异;分省来看,三省地区内差异均呈收敛趋势,地区间差异呈现“核心—边缘”分化特征,其中沪皖差异最大,沪浙差异最小。另一方面,泰尔指数结果印证了长三角城市群双化协同水平总体差异的缩小趋势,并指出研究期内主要差异来源从地区内差异转变为地区间差异。进一步发现,三省对总体差异贡献率依次为江苏>浙江>安徽。

第四,影响双化协同水平的主要因素依次为数字产业化>绿色生态>产业数字化>数字技术>数字治理>绿色生产>绿色生活。指标层维度,长三角城市群双化协同的前两项障碍因子在不同年份与不同省份均保持不变,由高到低依次为每万人公园绿地面积、绿地面积与城市建设用地面积占比,表明长三角城市群在生态基础设施建设方面存在短板,城市中绿地密度与比例的提升,已成为驱动城市双化协同的关键机制。

第五,提升经济发展水平、工业规模水平和对外开放水平是推动双化协同的重要着力点。三者排序升降呈现阶段性演变特征,反映出城市群发展模式从“规模驱动”向“开放引领”转型;政府规制水平也逐渐成为重要影响因素,人才积累水平对双化协同的驱动作用在研究期内先减弱后增强;此外,各因素之间的交互作用在城市双化协同过程中愈发重要。综上,影响城市双化协同水平的主导因素逐渐向更多元转变。

(二)政策启示

基于上述研究结论,进一步提升长三角城市群双化协同水平的路径主要有:

首先,增强核心城市辐射效应,消除两极分化。一是构建数字技术共享平台。依托上海张江、苏州工业园区等数字技术高地,建立长三角数字技术协同创新中心,推动核心城市(如无锡)的智能制造、新能源等技术向皖北、苏北等边缘城市扩散。

进一步深化《长三角科技创新共同体建设发展规划》要求,在数字产业化领域探索“揭榜挂帅”机制,支持边缘城市申报共性技术攻关项目,促进核心城市技术溢出与产业链双向协同。二是完善生态补偿机制。针对绿地密度和比例在长三角城市群普遍偏低的短板,参考《长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案》,建立“核心—边缘”生态补偿专项基金,对生态保护压力较大的边缘城市定向投入绿地建设资金,推动双化协同水平向更高阶段收敛。建议引入《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》中的生态价值核算方法,将绿地覆盖率、碳汇能力等指标纳入补偿标准,引导核心城市通过横向转移支付支持皖北等生态脆弱区建设。三是强化政策协同示范。借鉴无锡、上海等高水平双化协同城市经验,推动核心城市“数字政府”建设标准与绿色生产规制向边缘城市输出,降低政策落地门槛。依托长三角“一网通办”政务服务平台,建立跨区域政策协同试点,将上海“零碳园区”、浙江“未来工厂”等成熟模式向安徽、江苏推广,实现政策工具的区域适配。

其次,深化长三角区域协同,缩小地区间差异。一是统一数字基建标准。针对安徽等省份数字基础设施障碍度较高的问题,长三角城市群应联合制定信息基础设施一体化建设标准,借鉴推广“全光网省”等先进经验,重点提升皖北地区光缆覆盖密度。需落实《长三角地区一体化发展三年行动计划(2021—2023年)》中“数字长三角”专项任务,在滁州等地布局国家级算力枢纽节点,并探索三省一市共建“东数西算”长三角示范区,缩小省际数字鸿沟。二是共建绿色技术联合攻关与转移转化平台。依托上海、杭州的“双化”技术优势,聚焦解决工业废水减排、生活垃圾无害化处理等共性技术难题。同时,设立长三角绿色技术转移转化中心,推动研发成果在马鞍山等资源型城市与盐城等传统工业城市优先落地应用,强化技术供需对接。三是推进产业转移与精准适配,依据《长三角G60科创走廊建设方案》,重点支持合肥、滁州等城市承接上海、苏州的机器人产业转移,缩小技术应用差距并提升数字化投入水平。进一步细化《沪苏浙城市结对合作帮扶皖北城市实施方案》,建立“飞地园区”等合作模式,推动上海与安徽共建“数绿”融合产业园,实现产业链的跨区域梯度配置。

最后,构建内外多元驱动机制,实现因城施策。一是因地制宜促进双化协同投入。上海作为长三角城市群双化协同的“龙头”区域,下一步应加大对人工智能、循环经济等前沿技术的研发投入,建立国际性科技创新中心,吸引全球资金和数绿企业集聚;浙江实体经济发达且各城市发展相对均衡,应合理布局“双化”产业链,推动上下游企业协同发展;江苏2023年提出的“51010”发展战略,对双化协同至关重要,应以此为依托,大力发展集成电路、新能源等新兴产业;安徽应积极利用合肥的相对发展优势,发挥辐射带动作用,形成区域产业集群效应。二是激活因子协同的交互作用。利用近年来对外开放与工业规模的显著联动机制,推动江苏、浙江、安徽自贸试验区试点跨境电商绿色认证等“数字自贸”规则,促进智能制造和绿色技术研发并吸引国外投资。三是优化人才供给结构。依据《共建共享G60科创走廊人才新高地行动方案》,一方面,构建需求导向培养体系,通过在高校增设数字化绿色化交叉学科与推动“双化”企业与高校联合培养,定向输送复合型技术人才;另一方面,同步实施“靶向引才”与“柔性用才”政策,通过面向全球高薪招聘急需人才,并鼓励全国高校教授、企业技术骨干通过兼职、项目合作等方式服务长三角企业,扩大“双化”人才供给。

注释

①依据《长江三角洲城市群发展规划》,长三角城市群具体包括:上海,江苏的南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州,浙江的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州,安徽的合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城等26市。

参考文献

- [1] AHMADOVA G, DELGADO-MÁRQUEZ B L, PEDAUGA L E, et al. Too good to be true: the inverted u-shaped relationship between home-country digitalization and environmental performance [J]. *Ecological economics*, 2022 (196): 1—12.
- [2] BECKER G. Human capital: a theoretical and empirical analysis with special reference to education, third edition [M]. Chicago: The university of chicago press, 1994.
- [3] BRUNDTLAND G H, KHALID M. Our common future [M]. Oxford: Oxford university press, 1987.
- [4] CHRISTENSEN C M. The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail [M]. Boston: Harvard business school press, 1997.
- [5] FERREIRA J J, FERNANDES C I, VEIGA P M, et al. The interactions of entrepreneurial attitudes, abilities and aspirations in the (twin) environmental and digital transitions? a dynamic panel data approach [J]. *Technology in society*, 2022 (71): 101—115.
- [6] HAKEN H. Synergetics an introduction [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1983.
- [7] HASSOUN A, PRIETO M A, CARPENA M, et al. Exploring the role of green and industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors [J]. *Food research international*, 2022 (162): 112068.
- [8] ROGERS, EVERETT M. Diffusion of innovations [M]. New York: Free press of Glencoe, 1962.
- [9] 陈伟雄, 李宝银, 杨婷. 数字技术赋能生态文明建设: 理论基础、作用机理与实现路径 [J]. *当代经济研究*, 2023 (9).
- [10] 陈佳琦, 姜海宁, 金星星. 长三角地区科技创新与绿色发展耦合协调格局及驱动机制 [J]. *长江流域资源与环境*, 2024, 33 (5).
- [11] 郭晗, 全勤慧. 数字经济与实体经济融合发展: 测度评价与实现路径 [J]. *经济纵横*, 2022 (11).
- [12] 黄宗远, 王凤阳, 阳太林. 数字化赋能传统制造业发展的机制与效应分析 [J]. *改革*, 2023 (6).
- [13] 寇冬雪, 张彩云, 张小溪. 企业数字化赋能企业绿色化转型的方式: 从信息披露到创新驱动 [J]. *北京工业大学学报(社会科学版)*, 2024, 24 (2).
- [14] 李强, 唐幼明. 信息消费何以提升城市数字化绿色化协同绩效 [J]. *经济评论*, 2024 (5).
- [15] 李其伦. 中国制造业数字化与绿色化融合协同发展测度及演化分析 [J]. *经济问题探索*, 2024 (7).
- [16] 李其伦. 制造业数字化与绿色化融合发展: 水平测度、时空演变与收敛特征 [J]. *统计与决策*, 2024, 40 (15).
- [17] 李旭辉, 陈梦伟, 王经纬. 省域数字化与绿色化协同发展评价、时空特征及其影响因素 [J]. *经济地理*, 2024, 44 (7).
- [18] 李旭辉, 陈梦伟, 朱启贵. 中国农业数字化绿色化协同发展的时空格局及收敛性分析 [J]. *中国软科学*, 2024 (8).
- [19] 林妍. 产业数字化与绿色技术创新耦合协调测度与分析 [J]. *中国流通经济*, 2023, 37 (2).
- [20] 刘亮, 阮俊杰, 庄海涛. 数智化赋能长三角城市群绿色发展的效应研究 [J]. *经济地理*, 2024, 44 (9).
- [21] 彭政钦, 王定祥, 万妍辰. 中国工业数字化与绿色化协同发展水平测度与评价 [J]. *统计与信息论坛*, 2025, 40 (4).
- [22] 孙博文, 杨霄斐, 苏鑫. 国家级大数据综合试验区促进数字化绿色化协同发展研究 [J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2025, 31 (1).

- [23]田海峰,刘华军.企业数字化转型与绿色创新的“双化协同”机制研究[J].产业经济研究,2023(6).
- [24]王恒,方兰.中国农业数字化与绿色化时空耦合协调关系及驱动力分析[J].长江流域资源与环境,2023,32(4).
- [25]吴传清,邓和顺,夏启炜.数字技术创新对绿色发展水平的影响研究[J].中国软科学,2025(2).
- [26]徐军委,刘志华.京津冀地区城市绿色发展评价及空间效应研究:基于空间杜宾模型的实证研究[J].生态经济,2022,38(8).
- [27]杨千龙,陈慧媛,文琦.黄河上游地区市域数字经济与绿色发展耦合协调度及提升路径[J].经济地理,2024,44(5).
- [28]张超,胡宗光.企业数字化绿色化协同转型的产业链联动效应研究:基于耦合协调度模型和社会分工协作网络视角[J].安徽大学学报(哲学社会科学版),2025,49(2).
- [29]张云,柏培文.数智化如何影响双循环参与度与收入差距:基于省级一行业层面数据[J].管理世界,2023,39(10).
- [30]赵宸宇,王文春,李雪松.数字化转型如何影响企业全要素生产率[J].财贸经济,2021,42(7).
- [31]赵卉心,孟煜杰.中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调测度与评价[J].中国软科学,2022(9).
- [32]赵佳丽,张晓雅.中部地区城市数字化与绿色化协同发展演化与驱动因素分析[J].科学决策,2024(6).
- [33]周阔,王瑞新,陶云清,等.企业绿色化转型与股价崩盘风险[J].管理科学,2022,35(6).
- [34]周密,乔钰容.城市绿色化和数字化融合发展的区域差异及内在机制[J].城市问题,2023(8).
- [35]周卫华,郑欣圆.城市数字金融推动企业数字化与绿色化融合发展研究[J].城市问题,2023(8).
- [36]周小亮,吴武林.中国包容性绿色增长的测度及分析[J].数量经济技术经济研究,2018,35(8).
- [37]周正,门博阳,王搏.数字经济驱动制造业高质量发展的增长效应:基于中国数字经济与制造业的实证检验[J].河南师范大学学报(哲学社会科学版),2023,50(1).
- [38]刘宇,梁栋,张硕.数字化与绿色化协同转型如何赋能高质量发展:来自中国上市公司的证据[J].中国流通经济,2025,39(1).
- [39]邬晓燕.数字化赋能生态文明转型的难题与路径[J].人民论坛,2022(6).
- [40]孙欣,马海涛.数字化绿色化协同发展的作用机理与影响因素[J].南昌大学学报(人文社会科学版),2025,56(2).

Research on the Development Level and Influencing Factors of the Digital–Green Synergistic Transition in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations

Wu Chuanqing Song Yongjiu Deng Heshun

Abstract: Investigating the spatiotemporal evolutionary characteristics and intrinsic mechanisms of the digital–green synergistic transition holds significant practical implications for advancing high–quality development in the Yangtze River Delta urban agglomeration. Utilizing prefecture–level city data from 2011 to 2022, this study employs the entropy–weighted TOPSIS method and coupling coordination degree model to measure the development levels of digital–green synergistic transition across 26 cities in the region. Analytical techniques including Kernel density estimation, Dagum Gini coefficient, Theil index, obstacle degree model, and geographical detector are applied to systematically examine the spatiotemporal evolution, regional disparities, obstacle factors, and driving mechanisms of this coordinated development. The results indicate: (1) A sustained upward trajectory in development levels of digital–green synergistic transition across the urban agglomeration. (2) Spatial disparities exhibit convergence characteristics, with distinct polarization patterns among Zhejiang, Jiangsu, and Anhui provinces. (3) Overall regional disparities demonstrate a declining trend, predominantly attributable to inter–regional differences. (4) Key influencing factors are ranked in descending order as digital industrialization > green ecology > industrial digitization > digital technology > digital governance > green production > green lifestyle. (5) Enhancing economic development levels, industrial scale optimization, and openness to global markets emerge as crucial drivers for promoting synergistic transition. Practical pathways for further improvement include: intensifying radiation effects from core cities to mitigate polarization, deepening regional coordination mechanisms to narrow inter–regional disparities, and establishing diversified endogenous–exogenous driving mechanisms for city–specific strategy implementation.

Key Words: The Yangtze River Delta Urban Agglomerations; Digitalization; Greenization; Influencing Factor

(责任编辑:文 锐)