

# 长三角数字经济网络结构特征及影响因素<sup>1</sup>

胡 艳 栗明钰 唐 睿

（安徽大学 创新发展战略研究院，安徽 合肥 230039）

**【摘 要】：**数字经济是推动长三角新旧动能转换的重要力量。文章基于 2011 年、2015 年和 2019 年长三角数字经济联系强度，运用社会网络分析法、QAP 分析法对长三角数字经济网络结构特征及影响因素进行分析。研究表明：长三角数字经济网络密度呈现“倒 U”型变化，各城市之间联系较稀疏，但网络结构较稳定，数字经济资源有从长三角东南部向中部聚集的态势；发挥数字经济辐射作用的城市主要集中于沪苏浙，其对数字经济资源的控制能力较强；凝聚子群经历了先分化后整合的过程，子群内部城市具有地理邻近性；城市经济发展水平、信息化水平、产业结构和科技创新水平的差异以及各城市间是否相邻是影响长三角数字经济网络结构的重要因素。

**【关键词】：**长三角；数字经济；网络结构；社会网络分析

**【中图分类号】：**F49；F299.27 **【文献标识码】：**A **【文章编号】：**1007-5097（2022）12-0026-09

## 一、引言

数字经济概念于 20 世纪 90 年代提出，是继传统经济之后以信息技术为核心的新经济形态<sup>[1]</sup>。目前，长三角是中国经济最发达、成长速度最快的区域之一，与此同时，长三角也成为数字经济高水平聚集区<sup>[2]</sup>。早在 2003 年，浙江就已提出“数字浙江”建设。“十三五”时期，数字经济在长三角进入快速发展阶段。从政策举措看，浙江于 2015 年印发《中国制造 2025 浙江行动纲要》，推动信息化与工业化深度融合；江苏于 2016 年出台《江苏省大数据发展行动计划》，加快大数据产业发展；2018 年，安徽出台支持数字经济发展若干政策，全面支持数字经济发展；2019 年，上海发布《加快发展数字经济推动实体经济高质量发展的实施意见》，持续推动实体经济数字化转型。

2018 年 11 月，长三角一体化发展上升为国家战略。不容忽视的是，长三角现阶段存在欠发达地区。2020 年 8 月，习近平总书记在合肥主持召开扎实推进长三角一体化发展座谈会并发表重要讲话，强调要“加快产业数字化、智能化转型，提高产业链供应链稳定性和竞争力”。并指出“一体化的一个重要目的是要解决区域发展不平衡问题”<sup>[3]</sup>。2020 年，中国数字经济总规模为 39.2 万亿元，占 GDP 总量的 38.6%，其中长三角数字经济总量为 10.8 万亿元，占地区 GDP 比重约 44%<sup>1</sup>。由此可见，数字经济是长三角经济发展的重要引擎。因此，研究长三角数字经济网络结构特征，对统筹区域数字经济布局和各城市协同发展具有重要意义。

## 二、文献综述

---

<sup>1</sup> **【收稿日期】：**2022-07-07

**【基金项目】：**安徽省哲学社会科学规划青年项目“数字经济驱动安徽省文旅产业高质量发展的效应与机制研究”（AHSKQ2021D161）

**【作者简介】：**胡 艳（1964—），女，安徽合肥人，教授，博士生导师，安徽大学区域经济与城市发展研究院院长，安徽大学创新发展战略研究院副院长，研究方向：区域经济，产业经济；栗明钰（1999—），女，安徽亳州人，硕士研究生，通信作者，研究方向：数字经济；唐 睿（1988—），男，安徽合肥人，讲师，博士，研究方向：产业经济。

数字经济最早由美国学者 Tapscott 在其著作《数字经济》中提出<sup>[4]</sup>，自该概念提出以来，众多学者集中于理论层面研究数字经济内涵及其特征。有观点认为，数字经济是运用现代信息技术，使各行业业务流程和经营活动实现数字化的经济形式<sup>[5]</sup>。也有观点认为，数字经济是在新一代信息技术支持下，以数据为核心生产要素，实现数据与传统生产要素之间的协同与交融，推动传统产业转型升级的新经济业态<sup>[6]</sup>。关于数字经济特征的相关研究，以下三点具有代表性：一是数字经济有七大基本特征，即快捷性、高渗透性、自我膨胀性、边际效益递增性、外部经济性、可持续性以及直接性<sup>[7]</sup>；二是数字经济有四个新特征，即颠覆性变革、平台经济、网络效应、“蒲公英效应”<sup>[8]</sup>；三是在微观、中观和宏观三个层面上，数字经济呈现出以虚拟化数据为关键要素、以 ICT 技术集群为技术基础、以数字基础设施为物质基础以及以数字技术集群的破坏性创新及其应用重塑经济社会的组织结构与行为规则四大核心特征<sup>[9]</sup>。

近年来，数字经济相关研究愈发成熟，其空间特征问题引起学界关注。在区域层面，刘传明等通过 Kernel 核密度、Dagum 基尼系数等方法分析数字经济发展的区域差异和动态演进过程，发现五大城市群 2 内部和城市群之间差异明显，且存在梯度发展和多极化发展态势，总体呈现非均衡发展格局<sup>[10]</sup>。在省级层面，王彬燕等运用插值模拟、Zipf 位序-规模法和地理探测器等方法分析数字经济空间分异特征及影响因素，发现在省域尺度上，中国东、中、西部和东北部发展差异较大，且影响各区域空间分异特征的因素不同<sup>[11]</sup>；张雪玲和吴恬恬通过熵值法、自然断点法对数字经济空间格局进行研究，发现东部发展强于西部，各省数字经济发展不平衡<sup>[12]</sup>。在市级层面，钟业喜和毛伟圣运用空间计量模型探究长江经济带数字经济空间格局，发现长江经济带上、下游发展差异显著，整体水平不高<sup>[13]</sup>；田俊峰等通过泰尔指数、地理探测器等方法分析东北地区数字经济空间分异格局，发现东北地区数字经济总体水平较低，内部城市发展极化明显<sup>[14]</sup>。总的来看，多数学者主要关注数字经济空间相关程度，所用方法不能充分刻画各城市在数字经济网络中所处的地位，难以探讨城市之间的数字经济关系；现有研究多使用 2016 年腾讯研究院公布的数字经济指数，无法全面展示近年来数字经济空间特征的演进过程。

在长三角一体化发展上升为国家战略后，学界围绕长三角数字经济相关问题展开研究，结论包括：一是数字经济通过促进长三角科技创新能力的提升<sup>[15,16]</sup>强化城市经济韧性<sup>[17,18]</sup>，但创新能力和创新规模有明显分异特征<sup>[19]</sup>；二是数字经济可推动长三角高质量发展，但人才流动不平衡会削弱其促进作用<sup>[20]</sup>；三是数字经济通过规模经济和平台效应显著推动长三角一体化进程<sup>[21]</sup>。总体看来，长三角是中国数字经济发展水平最高的地区，多数研究聚焦于数字经济对长三角经济社会的影响效应，而少有探讨长三角数字经济网络关联性。

鉴于此，本文进行以下拓展：第一，基于修正的引力模型，利用社会网络分析法，从市级层面研究长三角一体化发展国家战略背景下数字经济网络结构特征，充分探讨各城市间数字经济关系，并通过 QAP 分析法研究影响长三角数字经济网络特征的相关因素；第二，选取 2011 年、2015 年、2019 年三个时间节点作为研究年份，利用网络大规模数据采集技术测算数字经济指数，更加全面地展示长三角数字经济空间特征的演进过程。

### 三、数据来源与研究方法

#### （一）数据来源

本文选择 2011 年、2015 年、2019 年三个时间节点，空间范围设定为长三角 41 个地级市，即上海、江苏、浙江和安徽的全部城市。

本文所采用的数字经济指数参考已有研究<sup>[22]</sup>，对百度资讯内的媒体网站新闻运用网络大规模数据采集技术进行检索。具体测算方法为：以数字经济和城市名称为关键词，加上控制时间的参数变量，以获取长三角各城市在相应时间段内与数字经济相关的所有媒体新闻网站和新闻条数。为减少单一关键词带来的波动影响，进一步提取有关文献 3 中与数字经济相关的 15 个关键词，包括集成电路、物联网、大数据、人工智能、云计算、区块链、ICT 产业、智慧城市、工业互联网、数据分析、数字贸易、电子支付、卫星导航、电子商务、互联网+。将最终结果汇总得到数字经济搜索量，对该搜索量取自然对数后即为企业数字经济指数。除数字经济指数外，其他相关数据来源于 2012 年、2016 年和 2020 年《中国城市统计年鉴》，空间距离数据来源于百度地图。

## （二）研究方法

### 1. 修正引力模型

本文通过借鉴相关研究成果<sup>[23,24]</sup>，构建模型的具体表达式如下：

$$F_{ij} = k_{ij} \frac{\sqrt[3]{P_i G_i I_i} \sqrt[3]{P_j G_j I_j}}{D_{ij}^2}, \quad k_{ij} = \frac{I_i}{I_i + I_j},$$
$$D_{ij} = \frac{d_{ij}}{g_i - g_j}$$

其中： $F_{i,j}$ 表示城市*i*对城市*j*的数字经济联系强度； $P_i$ 、 $P_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的常住人口； $G_i$ 、 $G_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的GDP总量； $I_i$ 、 $I_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的数字经济指数； $k_{i,j}$ 表示城市*i*在城市*i*和城市*j*的数字经济发展中的贡献率； $d_{i,j}$ 表示城市*i*和城市*j*之间的地理距离； $g_i$ 、 $g_j$ 分别表示城市*i*和城市*j*的人均GDP； $D_{i,j}$ 表示城市*i*和城市*j*间的经济地理距离。

### 2. 社会网络分析法

社会网络分析法从“关系”角度分析社会网络整体形态、特征和结构。目前，此方法主要用于分析区域经济网络<sup>[25,26,27]</sup>、贸易网络<sup>[28,29]</sup>和旅游经济网络<sup>[30,31]</sup>。本文运用UCINET6.0、NETDRAW软件并结合社会网络分析法，对长三角数字经济网络结构特征及其演进过程进行分析。

#### （1）网络整体结构分析。

本文通过网络密度和网络关联度分析长三角数字经济整体网络结构。网络密度衡量网络中城市间数字经济联系的紧密程度，网络密度越大，长三角数字经济关系紧密程度越高。关联性反映长三角数字经济网络结构的稳健性和脆弱性，网络关联度是衡量关联性的指标，若网络中任意两个城市之间有一条直接或间接的路径存在，数字经济系统可被各城市间的关联关系连接成一个整体，则该网络关联性较好。

#### （2）个体中心性分析。

本文通过度数中心度、中介中心度和接近中心度分析长三角数字经济网络个体中心性，以衡量城市在网络中的地位和角色。度数中心度用于衡量城市在网络中的中心地位，该指标越大，城市在网络中地位越高。度数中心度又分为点出度和点入度，分别表示该城市数字经济的辐射能力和聚集能力。中介中心度反映城市对数字经济网络的控制能力，该指标越高，则该城市对其他城市数字经济联系的控制能力越强。接近中心度衡量某城市在网络中是否处于中心行动者，该指标越大，则该城市与其他城市直接联系越多。

#### （3）凝聚子群分析。

凝聚子群是指有相对较强关系、存在直接紧密关系和积极关系的城市集合。本文采用 CONCOR 方法（迭代相关收敛法）分析凝聚子群，以深入认识网络整体结构，揭示网络中子结构对整体网络的影响。

## 四、长三角数字经济网络结构特征分析

### （一）网络结构整体特征分析

网络结构整体特征指标计算结果见表 1 所列,可见,长三角数字经济网络密度数值由 2011 年的 0.156 增加到 2015 年的 0.201,后又下降到 2019 年的 0.154,呈先升后降“倒 U”型。可能的原因是,2010—2016 年是中国数字经济快速成长期[32],移动互联网产业发展迅速,在此机遇下,各城市对外联系次数增加,长三角 41 个城市间联系愈加紧密。而长三角城市经过数字经济合作的快速发展后,需要寻求更高层次合作。中国近几年面临核心技术“卡脖子”问题,攻破核心技术同样也是长三角数字经济发展中最为艰巨的任务,核心技术缺失可能会对长三角数字经济整体网络产生影响。同时,数据安全在推动数字经济发展进程中至关重要,近年来,各城市对数字治理和数字保护愈加重视,可能也会降低整体网络的紧密程度。此外,在三个时间节点上,网络密度数值总体偏低,可见促进各城市数字经济合作仍有较大空间。进一步考察长三角数字经济空间网络的关联性,结果表明,2011 年、2015 年和 2019 年网络关联度都为 1,说明长三角 41 个城市间关联度始终较强,网络结构较稳定。

表 1 长三角数字经济整体网络结构特征

| 整体性指标 | 2011 年 | 2015 年 | 2019 年 |
|-------|--------|--------|--------|
| 网络密度  | 0.156  | 0.201  | 0.154  |
| 网络关联度 | 1.000  | 1.000  | 1.000  |

长三角数字经济网络如图 1、图 2、图 3 所示。需要指出的是,节点间连线密集程度代表数字经济联系强度。比较发现,上海与其他城市的数字经济联系强度始终较强,是长三角数字经济发展的排头兵。除此之外,2011 年连线主要集中在杭州、绍兴、宁波等浙江城市,随后逐渐向江苏和长三角中部城市移动,带动长三角边缘城市数字经济发展,即数字经济资源有从东南部沿海城市向长三角中部城市聚集的态势。浙江数字经济发展起步较早,“十一五”期间,浙江推进信息化与工业化融合已取得良好成效,且已形成初具规模的电子商务服务业产业集群。“十二五”期间,江苏经济转型取得明显成效,其在规划中明确提出,要大力推动物联网、集成电路等新一代信息技术产业发展,培育信息服务产业集群。随时间推移,安徽地区网络结构趋于复杂,省内城市与沪苏浙及省会合肥联系愈加频繁。安徽加入长三角时间较晚,是长三角数字经济后发地。“十三五”期间,其积极推进数字产业化和产业数字化,新兴产业体系逐步完善,数字经济发展逐渐加速。

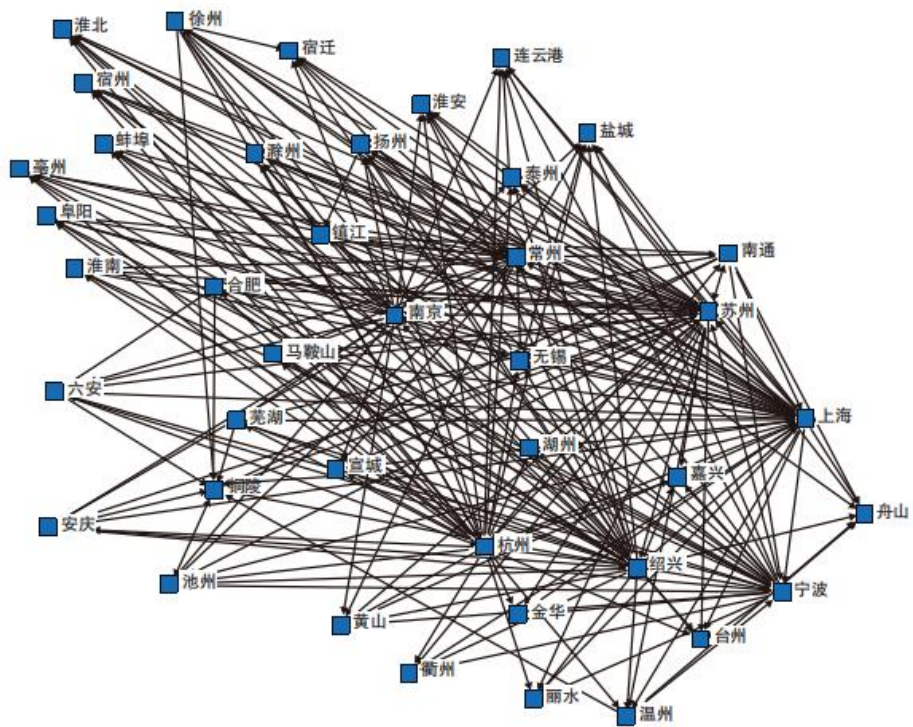


图1 2011年长三角数字经济网络

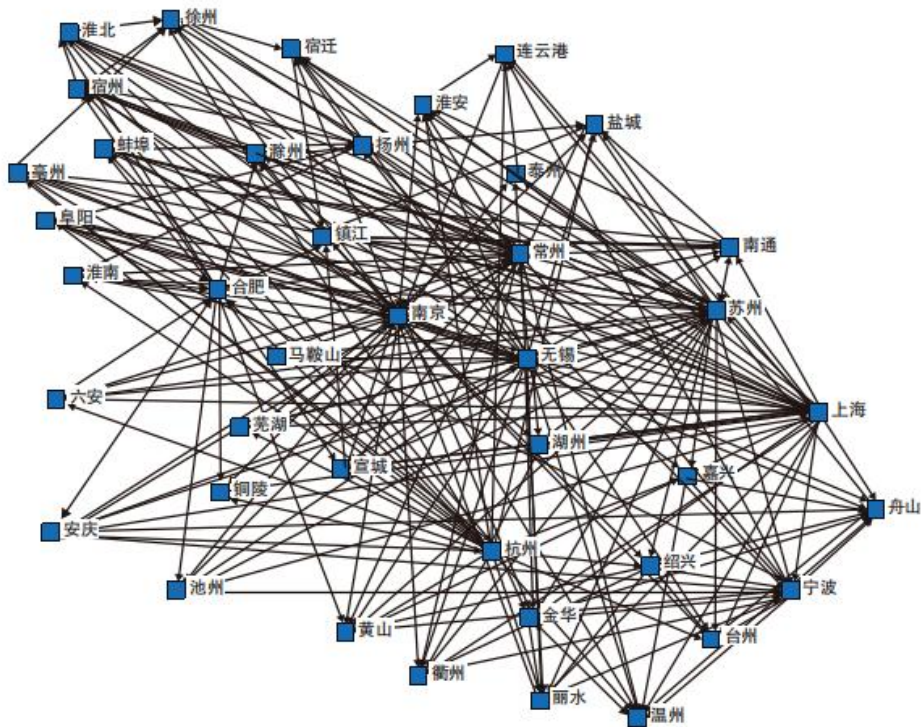


图2 2015年长三角数字经济网络



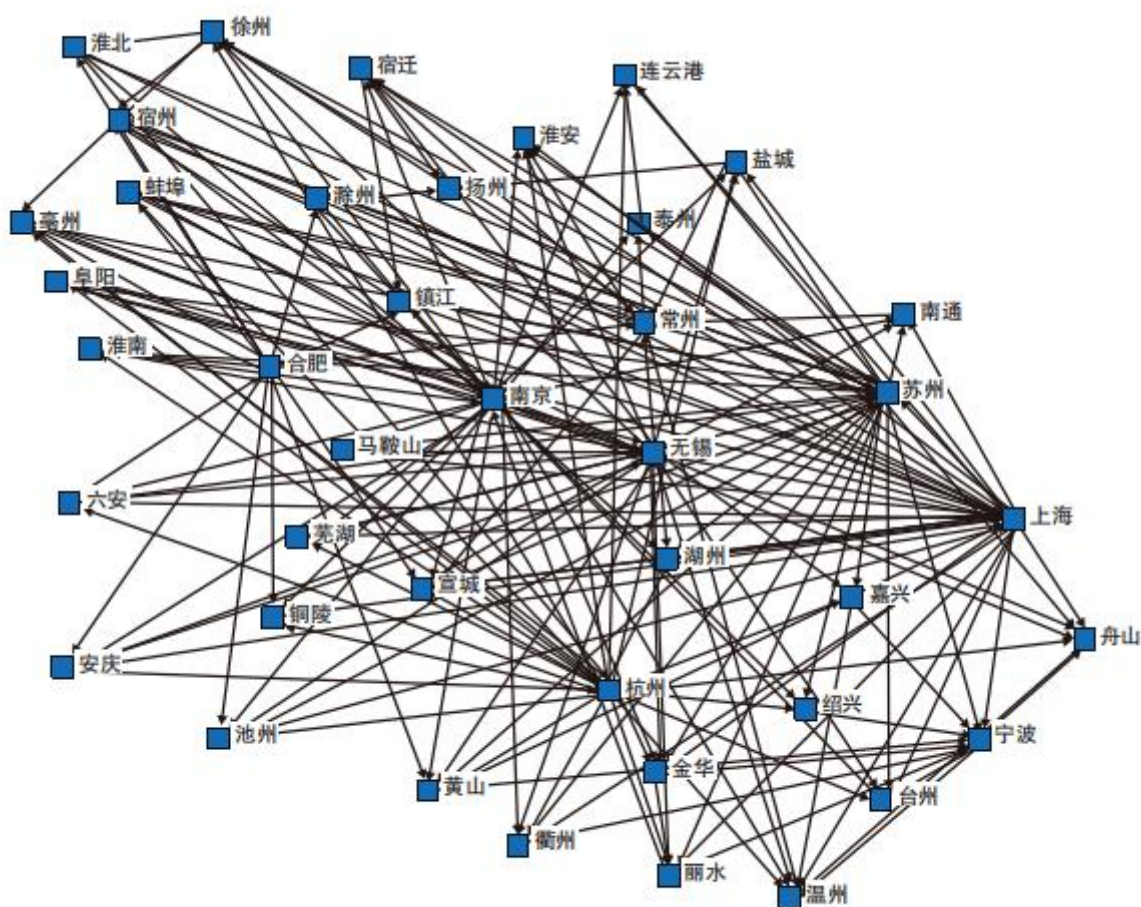


图3 2019年长三角数字经济网络

## （二）个体中心性分析

### 1. 度数中心度

长三角数字经济度数中心度见表2所列。比较2011年、2015年和2019年长三角数字经济点出度发现，上海、苏州的点出度始终居于地区前三，在数字经济发展中占据核心地位，辐射能力极强。杭州、宁波、无锡、南京、常州等城市点出度一直处于较高水平，对长三角数字经济发展的带动作用也较强。浙江是中国数字经济先发地，杭州更是数字经济第一城，杭州国家自主创新示范区、中国（杭州）跨境电商综合试验区的建立，进一步促进其发挥对长三角数字经济的带动作用。宁波利用其港口工业优势，与长三角其他城市在港航服务等方面深度合作，引领浙东地区数字经济发展。除浙江外，江苏多地已成为数字经济标杆城市，为长三角数字经济发展注入强劲力量。无锡印发的《关于加快推进数字经济高质量发展的实施意见》中明确指出，要推动以物联网为龙头的新一代信息技术产业发展，利用物联网优势，助力产业数字化转型。近年来，南京大力发展软件和信息服务，聚集大量数字经济人才，为数字经济发展打下坚实基础。常州有扎实的制造业基础，基于此推动互联网与实体经济深度融合，大力发展工业互联网产业园。另外，比较点出度与点入度发现，南京、常州、宁波的点入度呈上升趋势，2019年其点出度和点入度数值都处于较高水平，说明以上三个城市数字经济辐射能力和聚集能力都较强，逐渐成为长三角数字经济发展中的重要枢纽。

对净辐射量进行比较发现，上海、苏州、杭州、南京净辐射量一直为正，且数值较高，说明这些城市与长三角其他城市数

字经济的联系表现为辐射效应。对比安徽各市 2011 年、2015 年和 2019 年净辐射量发现，合肥净辐射量数值由-5 增至 13，中心地位进一步提升，有利于带动安徽城市数字经济发展。除合肥外，其余城市净辐射量一直为负，始终处于接受长三角其他城市数字经济辐射状态。可能的原因是：合肥将“大湖名城，创新高地”作为发展定位，积极建设各类创新平台，聚集创新人才，为数字经济发展聚集力量；积极推进数字经济产业创新试验区建设，目前已形成以人工智能为代表的数字产业集群，数字经济特色园区已初具规模，数字经济发展势头强劲。然而，安徽区域发展不平衡，其他城市经济发展水平相对落后，皖北地区更是地处长三角边缘，产业结构单一，高技能人才缺乏，发展受到限制，数字经济发展水平有待进一步提升。

表 2 长三角城市数字经济度中心度

| 城市  | 2011 年 |     |      | 2015 年 |     |      | 2019 年 |     |      |
|-----|--------|-----|------|--------|-----|------|--------|-----|------|
|     | 点出度    | 点入度 | 净辐射量 | 点出度    | 点入度 | 净辐射量 | 点出度    | 点入度 | 净辐射量 |
| 上海  | 39     | 4   | 35   | 35     | 6   | 29   | 37     | 4   | 33   |
| 南京  | 23     | 5   | 18   | 31     | 15  | 16   | 35     | 8   | 27   |
| 无锡  | 4      | 6   | -2   | 36     | 9   | 27   | 36     | 3   | 33   |
| 徐州  | 5      | 7   | -2   | 6      | 9   | -3   | 5      | 6   | -1   |
| 常州  | 26     | 4   | 22   | 32     | 10  | 22   | 9      | 15  | -6   |
| 苏州  | 39     | 6   | 33   | 40     | 8   | 32   | 40     | 5   | 35   |
| 南通  | 10     | 4   | 6    | 9      | 5   | 4    | 1      | 4   | -3   |
| 连云港 | 0      | 7   | -7   | 1      | 9   | -8   | 0      | 6   | -6   |
| 淮安  | 0      | 7   | -7   | 2      | 8   | -6   | 0      | 6   | -6   |
| 盐城  | 0      | 8   | -8   | 7      | 8   | -1   | 2      | 6   | -4   |
| 扬州  | 1      | 7   | -6   | 14     | 7   | 7    | 1      | 8   | -7   |
| 镇江  | 0      | 7   | -7   | 1      | 10  | -9   | 1      | 6   | -5   |

续表

| 城市 | 2011 年 | 2015 年 | 2019 年 |
|----|--------|--------|--------|
|----|--------|--------|--------|

|    | 点出度 | 点入度 | 净辐射量 | 点出度 | 点入度 | 净辐射量 | 点出度 | 点入度 | 净辐射量 |
|----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 泰州 | 0   | 7   | -7   | 3   | 5   | -2   | 1   | 5   | -4   |
| 宿迁 | 0   | 8   | -8   | 0   | 10  | -10  | 5   | 5   | 0    |
| 杭州 | 34  | 4   | 30   | 29  | 8   | 21   | 33  | 4   | 29   |
| 宁波 | 26  | 5   | 21   | 17  | 6   | 11   | 8   | 10  | -2   |
| 温州 | 3   | 5   | -2   | 10  | 7   | 3    | 3   | 6   | -3   |
| 嘉兴 | 0   | 5   | -5   | 7   | 4   | 3    | 4   | 4   | 0    |
| 湖州 | 0   | 4   | -4   | 2   | 6   | -4   | 1   | 5   | -4   |
| 绍兴 | 38  | 4   | 34   | 6   | 6   | 0    | 1   | 6   | -5   |
| 金华 | 0   | 5   | -5   | 6   | 8   | -2   | 2   | 6   | -4   |
| 衢州 | 0   | 5   | -5   | 0   | 9   | -9   | 1   | 6   | -5   |
| 舟山 | 0   | 6   | -6   | 0   | 10  | -10  | 0   | 7   | -7   |
| 台州 | 0   | 5   | -5   | 2   | 7   | -5   | 1   | 6   | -5   |
| 丽水 | 0   | 5   | -5   | 0   | 9   | -9   | 0   | 7   | -7   |
| 合肥 | 2   | 7   | -5   | 13  | 10  | 3    | 18  | 5   | 13   |
| 淮北 | 0   | 7   | -7   | 1   | 9   | -8   | 0   | 7   | -7   |
| 亳州 | 0   | 7   | -7   | 0   | 11  | -11  | 0   | 8   | -8   |
| 宿州 | 0   | 7   | -7   | 1   | 9   | -8   | 0   | 8   | -8   |
| 蚌埠 | 0   | 7   | -7   | 2   | 8   | -6   | 0   | 6   | -6   |
| 阜阳 | 0   | 7   | -7   | 2   | 11  | -9   | 0   | 6   | -6   |
| 淮南 | 0   | 7   | -7   | 1   | 8   | -7   | 0   | 6   | -6   |
| 滁州 | 0   | 6   | -6   | 3   | 7   | -4   | 3   | 5   | -2   |



|     |   |    |     |   |   |    |   |   |    |
|-----|---|----|-----|---|---|----|---|---|----|
| 六安  | 1 | 8  | -7  | 0 | 7 | -7 | 1 | 6 | -5 |
| 马鞍山 | 0 | 6  | -6  | 1 | 5 | -4 | 1 | 4 | -3 |
| 芜湖  | 1 | 7  | -6  | 1 | 7 | -6 | 2 | 5 | -3 |
| 宣城  | 1 | 7  | -6  | 5 | 7 | -2 | 0 | 7 | -7 |
| 铜陵  | 1 | 11 | -10 | 0 | 7 | -7 | 0 | 6 | -6 |
| 池州  | 1 | 8  | -7  | 0 | 8 | -8 | 0 | 6 | -6 |
| 安庆  | 1 | 7  | -6  | 3 | 8 | -5 | 0 | 6 | -6 |
| 黄山  | 0 | 7  | -7  | 0 | 8 | -8 | 0 | 7 | -7 |

## 2. 中介中心度

长三角数字经济中介中心度见表3所列。通过对2011年、2015年和2019年长三角数字经济中介中心度进行比较发现，苏州中介中心度始终居于首位，表现出对其他城市极强的控制能力。此外，上海、南京、杭州、常州等城市在长三角数字经济网络中控制能力也较强。无锡中介中心度数值增长显著，对数字经济资源的调配能力明显增强。泰州、湖州、淮北、蚌埠、阜阳、淮南、六安、马鞍山等城市中介中心度较低，始终居于区域末位，中介能力较弱。其中，湖州紧邻苏州、杭州等数字经济较发达地区，被中介中心度高值城市包围，但其中介中心度一直处于低水平，与其他城市联系有待加强。

表3 长三角城市数字经济中介中心度和接近中心度

| 城市 | 2011 年 |        | 2015 年 |        | 2019 年 |        |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    | 中介中心度  | 接近中心度  | 中介中心度  | 接近中心度  | 中介中心度  | 接近中心度  |
| 上海 | 14.196 | 97.561 | 9.915  | 88.889 | 15.095 | 93.023 |
| 南京 | 5.331  | 75.472 | 8.945  | 83.333 | 13.039 | 88.889 |
| 无锡 | 0.270  | 57.143 | 10.792 | 93.023 | 13.984 | 90.909 |
| 徐州 | 0.489  | 57.971 | 0.331  | 58.824 | 0.122  | 57.143 |
| 常州 | 6.175  | 76.923 | 9.706  | 86.957 | 3.513  | 66.667 |

|     |        |        |        |         |        |         |
|-----|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| 苏州  | 14.780 | 97.561 | 14.636 | 100.000 | 16.103 | 100.000 |
| 南通  | 0.512  | 57.143 | 0.160  | 57.143  | 0.030  | 53.333  |
| 连云港 | 0.030  | 54.795 | 0.152  | 56.338  | 0.030  | 54.054  |
| 淮安  | 0.030  | 54.795 | 0.077  | 55.556  | 0.030  | 54.054  |
| 盐城  | 0.075  | 55.556 | 0.380  | 57.143  | 0.049  | 54.795  |
| 扬州  | 0.091  | 55.556 | 1.164  | 63.492  | 0.092  | 55.556  |
| 镇江  | 0.085  | 54.795 | 0.245  | 57.143  | 0.030  | 54.054  |
| 泰州  | 0.027  | 54.795 | 0.032  | 54.054  | 0.030  | 53.333  |
| 宿迁  | 0.030  | 55.556 | 0.181  | 57.043  | 0.225  | 56.338  |
| 杭州  | 10.642 | 86.957 | 6.539  | 80.000  | 9.823  | 85.106  |
| 宁波  | 6.393  | 76.923 | 2.872  | 65.574  | 0.946  | 59.701  |
| 温州  | 0.108  | 54.795 | 0.201  | 57.143  | 0.121  | 55.556  |
| 嘉兴  | 0.005  | 53.333 | 0.096  | 54.795  | 0.053  | 54.054  |
| 湖州  | 0.000  | 52.632 | 0.026  | 54.054  | 0.030  | 54.054  |
| 绍兴  | 13.586 | 95.238 | 0.262  | 57.143  | 0.033  | 54.054  |
| 金华  | 0.005  | 53.333 | 0.246  | 57.971  | 0.033  | 54.795  |
| 衢州  | 0.005  | 53.333 | 0.124  | 56.338  | 0.033  | 54.054  |
| 舟山  | 0.068  | 54.054 | 0.536  | 57.143  | 0.033  | 54.795  |
| 台州  | 0.005  | 53.333 | 0.140  | 55.556  | 0.033  | 54.054  |
| 丽水  | 0.005  | 53.333 | 0.124  | 56.338  | 0.033  | 54.795  |
| 合肥  | 0.091  | 56.338 | 0.832  | 62.500  | 2.303  | 65.574  |
| 淮北  | 0.030  | 54.795 | 0.072  | 56.338  | 0.018  | 54.795  |

|     |       |        |       |        |       |        |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 亳州  | 0.030 | 54.795 | 0.249 | 57.971 | 0.038 | 55.556 |
| 宿州  | 0.030 | 54.795 | 0.072 | 56.338 | 0.038 | 55.556 |
| 蚌埠  | 0.030 | 54.795 | 0.046 | 55.556 | 0.018 | 54.054 |
| 阜阳  | 0.030 | 54.795 | 0.249 | 57.971 | 0.018 | 54.054 |
| 淮南  | 0.030 | 54.795 | 0.046 | 55.556 | 0.018 | 54.054 |
| 滁州  | 0.014 | 54.054 | 0.068 | 55.556 | 0.052 | 54.795 |
| 六安  | 0.091 | 56.338 | 0.026 | 54.795 | 0.018 | 54.054 |
| 马鞍山 | 0.014 | 54.054 | 0.016 | 53.333 | 0.011 | 52.632 |
| 芜湖  | 0.091 | 55.556 | 0.026 | 54.795 | 0.030 | 54.054 |
| 宣城  | 0.091 | 55.556 | 0.442 | 57.143 | 0.038 | 54.795 |
| 铜陵  | 0.627 | 57.971 | 0.062 | 54.795 | 0.018 | 54.054 |
| 池州  | 0.091 | 55.556 | 0.088 | 55.556 | 0.018 | 54.054 |
| 安庆  | 0.091 | 55.556 | 0.229 | 56.338 | 0.018 | 54.054 |
| 黄山  | 0.030 | 54.795 | 0.109 | 55.556 | 0.083 | 54.795 |

### 3. 接近中心度

长三角数字经济接近中心度见表3所列。通过比较发现，苏州接近中心度数值极高，在2015年和2019年甚至达到100，说明苏州已与长三角其他城市建立数字经济直接联系，是绝对中心行动者。上海、无锡、南京、杭州、常州、宁波等城市接近中心度在三个时间节点上都处于较高水平，不易受其他城市控制，与其他城市数字经济联系较为畅通。其余城市接近中心度数值差距较小，且都在50以上，说明长三角城市群中不存在绝对边缘行动者。

#### （三）凝聚子群分析

长三角数字经济凝聚子群具体划分情况见表4所列。对其进行对比分析发现，在二级网络上均为4个凝聚子群，而三级网络上子群数量和每个子群组成城市均发生改变。

表 4 长三角数字经济凝聚子群划分情况

| 年份   | 二级网络划分 | 三级网络划分 | 城 市                                                                    |
|------|--------|--------|------------------------------------------------------------------------|
| 2011 |        | 1      | 上海、苏州、绍兴                                                               |
|      |        | 2      | 杭州、宁波                                                                  |
|      | 二      | 3      | 南京、常州                                                                  |
|      | 三      | 4      | 徐州、无锡、连云港、淮北、淮南、淮安、宿迁、泰州、扬州、合肥、宣城、亳州、池州、盐城、黄山、六安、滁州、马鞍山、蚌埠、宿州、芜湖、阜阳、安庆 |
|      |        | 5      | 衢州、嘉兴、南通、温州、湖州、台州、金华、丽水                                                |
|      | 四      | 6      | 舟山、镇江                                                                  |
|      |        | 7      | 铜 陵                                                                    |
| 2015 |        | 1      | 上海、无锡、常州                                                               |
|      |        | 2      | 南 京                                                                    |
|      | 二      | 3      | 苏州、杭州                                                                  |
|      |        | 4      | 宁 波                                                                    |
|      | 三      | 5      | 徐州、淮北、连云港、淮安、镇江、滁州、宿迁、盐城、阜阳、宣城、亳州、池州、安庆、芜湖、淮南、马鞍山、六安、宿州、蚌埠             |
|      |        | 6      | 泰州、扬州、南通、合肥                                                            |
|      | 四      | 7      | 嘉兴、温州、绍兴、台州、湖州、金华                                                      |
|      |        | 8      | 舟山、铜陵、衢州、丽水、黄山                                                         |
| 2019 |        | 1      | 上海、苏州                                                                  |
|      |        | 2      | 无锡、南京                                                                  |

|  |   |   |                                             |
|--|---|---|---------------------------------------------|
|  | 二 | 3 | 杭州、合肥                                       |
|  | 三 | 4 | 徐州、连云港、南通、盐城、淮安、镇江、泰州、宿迁、马鞍山、扬州、湖州、嘉兴、芜湖、滁州 |
|  |   | 5 | 常 州                                         |
|  | 四 | 6 | 衢州、温州、台州、绍兴、金华、宁波、舟山、丽水                     |
|  |   | 7 | 淮北、宿州、淮南、亳州、六安、蚌埠、阜阳、宣城、铜陵、池州、安庆、黄山         |

2011 年，长三角出现沪苏越子群（上海、苏州、绍兴）、杭甬子群（杭州、宁波）和宁常子群（南京、常州）三大核心子群，对长三角其他城市进行数字经济辐射，带动经济发展。以徐合为中心的子群（徐州、无锡、连云港、淮北、淮南、淮安、宿迁、泰州、扬州、合肥、宣城、亳州、池州、盐城、黄山、六安、滁州、马鞍山、蚌埠、宿州、芜湖、阜阳、安庆）、浙江子群（衢州、嘉兴、南通、温州、湖州、台州、金华、丽水）和其他子群数字经济发展水平较弱，主要接受核心子群数字经济辐射。2015 年，区域内出现沪锡常子群（上海、无锡、常州）、南京子群、苏杭子群（苏州、杭州）、宁波子群四大核心子群。其中，南京位于长三角中心区域，便于调配数字经济资源的同时接受其他城市数字经济辐射。扬合子群（泰州、扬州、南通、合肥）从以徐合为中心的子群中分离，数字经济发展实力进一步增强。2019 年，核心子群合并为沪苏子群（上海、苏州）、宁锡子群（南京、无锡）和杭合子群（杭州、合肥）。其中，安徽省会合肥首次进入核心子群，给安徽地区其他城市数字经济发展带来极大支持。由于核心子群的变化，数字经济圈发生变化，以徐合为中心的子群也分离为以徐州为中心的子群（徐州、连云港、南通、盐城、淮安、镇江、泰州、宿迁、马鞍山、扬州、湖州、嘉兴、芜湖、滁州）和安徽子群（淮北、宿州、淮南、亳州、六安、蚌埠、阜阳、宣城、铜陵、池州、安庆、黄山）。整体来看，长三角数字经济凝聚子群经历了分化整合的过程，各子群内部联系紧密，子群内部城市相互邻近。

## 五、长三角数字经济网络结构影响因素分析

### （一）QAP 分析法

采用传统多元回归统计检验方法对空间网络关联关系进行检验时，计量结果会发生偏误。这是由于空间关联网络会受多种因素共同影响，自变量是高度相关的，具有多重共线性。传统计量方法检验“关系之间的关系”时失效，而 QAP 分析法可以克服多重共线性问题。因此，本文采用 QAP 分析法探究长三角数字经济发展网络结构特征的影响因素。

### （二）变量选取与模型构建

数字经济由实体经济与互联网融合产生，其发展受城市经济发展影响；信息基础设施建设是数字经济发展的关键要素，各城市本身有较好的信息基础设施水平，会对数字经济发展产生重要影响；目前数字经济主要与以电子商务为代表的现代服务业融合发展，故数字经济会受到第三产业发展水平的影响；当今数字技术发展要注重核心技术攻关，进行数字经济创新，以解决“卡脖子”技术问题，故科技创新水平对数字经济也有重要影响；由凝聚子群分析可知，地理位置相近的城市更容易处于同一子群中，空间上的邻近性是影响数字经济网络特征的重要因素。因此，本文从经济发展水平、信息化水平、产业结构、科技创新水平和地理空间五个方面，探究 2019 年长三角数字经济网络结构的影响因素。选取人均 GDP 代表城市经济发展水平、互联网宽带接入用户数代表信息化水平、第三产业占 GDP 比重代表产业结构、人均科学技术支出代表科技创新水平、各城市之间是否

邻接代表地理空间，并以以上指标作为基础构建差值矩阵，且把差值矩阵作为自变量、长三角数字经济关联矩阵作为因变量，构建 QAP 模型。

本部分数据主要来源于 2020 年《中国城市统计年鉴》，地理空间数据由作者整理得到。

（三）结果分析

QAP 相关分析和 QAP 回归分析结果见表 5 所列。QAP 相关分析结果显示，影响长三角数字经济的五个因素都通过了 1%水平的显著性检验，且相关系数都为正值，说明人均 GDP、互联网宽带接入用户数、第三产业占 GDP 比重、人均科学技术支出差异和各城市之间是否邻接与长三角数字经济网络具有较强相关性。

表 5 2019 年长三角数字经济影响因素分析

| 自变量            | QAP 相关分析 |       | QAP 回归分析 |       |       |       |
|----------------|----------|-------|----------|-------|-------|-------|
|                | 相关系数     | P 值   | 回归系数     | P 值   | 概率 A  | 概率 B  |
| 人均 GDP 差异矩阵    | 0.237    | 0.000 | 0.1424   | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 互联网宽带接入用户数差异矩阵 | 0.308    | 0.000 | 0.2142   | 0.000 | 0.002 | 1.000 |
| 第三产业占 GDP 差异矩阵 | 0.186    | 0.009 | 0.1297   | 0.012 | 0.012 | 0.988 |
| 人均科学技术支出差异矩阵   | 0.296    | 0.000 | 0.1987   | 0.002 | 0.002 | 0.998 |
| 空间邻接矩阵         | 0.095    | 0.000 | 0.1386   | 0.000 | 0.000 | 1.000 |

QAP 回归结果显示，人均 GDP、互联网宽带接入用户数、第三产业占 GDP、人均科学技术支出差异以及各城市之间是否邻接都通过了 5%水平的显著性检验，且相关系数显著为正，说明以上因素均能对长三角数字经济网络产生积极影响。可能的原因是，安徽在长三角范围内经济较落后，但近年来长三角一体化进程加快。2018 年，安徽出台支持数字经济发展若干政策，在政策引导下，安徽与长三角经济较发达城市数字经济合作加深，故城市经济发展水平的差异可以促进长三角数字经济发展网络关联。信息化水平和科技创新水平差异可导致数字化“势能”差的产生，信息势能和科技创新势能可转化为动能，通过示范效应等方式带动长三角数字化基础设施进一步优化。目前，长三角产业结构差异显著，上海把服务业作为主导产业，江苏、浙江两省服务业、工业并重发展，而安徽以农业为主导[33]。长三角三省一市在产业结构上的差异形成各自比较优势，正加速利用数字经济实现跨区域产业合作。同时，地理邻近性便于城市间数字经济资源流动，有利于数字经济合作开展。

六、结论与讨论

（一）研究结论

本文通过修正的引力模型和社会网络分析法，对长三角数字经济网络结构特征及影响因素进行分析，得出的结论主要有：  
①从整体网络看，长三角数字经济网络联系强度总体偏低，网络密度数值呈“倒 U”型，但网络关联度始终较强，网络结构稳定。



另外，长三角数字经济发展有从长三角东南部沿海城市向中部城市聚集的演进过程。②从城市个体看，长三角数字经济发展呈现非均衡格局。上海、苏州、杭州、南京等城市在网络中始终占据核心地位，对其他城市进行经济辐射，除此之外，合肥的中心地位在逐渐提升。上海、苏州、南京、杭州、常州、无锡是网络中的重要节点，对数字经济资源进行调配，中介中心度始终较低的城市主要集中在安徽。苏州在网络中扮演绝对中心行动者，且长三角范围内不存在绝对边缘行动者。③从凝聚子群分布情况看，在长三角数字经济发展演进过程中，凝聚子群经历了分化整合过程。核心子群最终合并为沪苏子群、宁锡子群和杭合子群，且子群内部城市具有地理邻近性。④从影响因素看，经济发展水平、信息化水平、产业结构、科技创新水平的差异性以及地理邻近性都会对长三角数字经济空间网络结构产生显著影响。

## （二）建议

基于以上研究结论，提出建议如下：

一是统筹数字经济布局，持续推动长三角一体化发展。上海、苏州、无锡、南京、杭州、常州等城市数字经济辐射能力和对数字经济资源的调配能力较强，应继续发挥带动作用，以点带面构建数字经济发展新格局，促进数据要素区域共享，引领区域数字经济发展。加强以上城市与浙西南、苏北、皖北等地区的合作，以带动数字经济相对落后地区的发展。同时，把握数字经济中心从长三角东南部向中部移动这一趋势，统筹布局，将数字经济资源向长三角西北部城市引导，以解决数字经济发展不平衡问题。

二是注重数字经济圈建设。应在现有子群基础上打造数字经济圈，发挥各经济圈在区域内的作用。加强同一经济圈内城市数字经济合作，打破城市行政边界，实现协同发展。长三角更高质量一体化发展的短板在安徽，要重视合肥在长三角数字经济发展中的地位。合肥既可作为安徽与沪苏浙数字经济资源交流的枢纽，也可依靠自身实力直接对省内其他城市进行经济辐射。合肥可与省内其他城市共建数字经济产业园区，充分发挥增长极作用，以合肥为中心打造安徽数字经济圈，多圈相互交融，带动安徽数字经济发展。

三是推动各城市实体经济与数字经济相融合，因地制宜，发展特色产业。加快 5G 基站等新型网络建设，持续优化互联网基础设施。增强各城市科技创新能力，建设创新平台，制定数字经济人才政策，解决核心技术问题。各城市要加快产业结构升级，大力支持企业数字化转型，提升长三角数字经济发展整体水平。

## （三）研究局限和展望

本文运用社会网络分析法对长三角数字经济网络结构特征及影响因素进行研究，但仍存在一些局限。一是在分析长三角数字经济的影响因素时，虽从经济发展水平、信息化水平、产业结构、科技创新水平和地理空间五个方面进行了探究，但数字经济空间网络受多种因素共同制约，未来可考虑加入更多影响因子进一步研究；二是仅对长三角数字经济网络结构进行了分析，未来可以将长三角和京津冀、粤港澳大湾区等其他地区进行对比，扩大研究视野，形成对全国一体化地区数字经济发展的总体把握。

## 参考文献

[1] 裴长洪，倪江飞，李越. 数字经济的政治经济学分析[J]. 财贸经济，2018, 39(9): 5-22.

[2] 徐维祥，周建平，刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究，2022, 41(1): 111-129.

[3] 习近平谈治国理政：第四卷[M]. 北京：外文出版社，2022: 188.

- 
- [4] TAPSCOTT D. The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence[M]. New York: McGraw Hill, 1996: 2-8.
- [5] 张雪玲, 焦月霞. 中国数字经济发展指数及其应用初探[J]. 浙江社会科学, 2017(4): 32-40, 157.
- [6] 左鹏飞, 陈静. 高质量发展视角下的数字经济与经济增长[J]. 财经问题研究, 2021(9): 19-27.
- [7] 孙德林, 王晓玲. 数字经济的本质与后发优势[J]. 当代财经, 2004(12): 22-23.
- [8] 李晓华. 数字经济新特征与数字经济新动能的形成机制[J]. 改革, 2019(11): 40-51.
- [9] 丁志帆. 数字经济驱动经济高质量发展的机制研究: 一个理论分析框架[J]. 现代经济探讨, 2020(1): 85-92.
- [10] 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.
- [11] 王彬燕, 田俊峰, 程利莎, 等. 中国数字经济空间分异及影响因素[J]. 地理科学, 2018, 38(6): 859-868.
- [12] 张雪玲, 吴恬恬. 中国省域数字经济发展空间分化格局研究[J]. 调研世界, 2019(10): 34-40.
- [13] 钟业喜, 毛炜圣. 长江经济带数字经济空间格局及影响因素[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2020, 26(1): 19-30.
- [14] 田俊峰, 王彬燕, 王士君, 等. 中国东北地区数字经济发展空间分异及成因[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(6): 16-21.
- [15] 熊励, 蔡雪莲. 数字经济对区域创新能力提升的影响效应——基于长三角城市群的实证研究[J]. 华东经济管理, 2020, 34(12): 1-8.
- [16] 胡骋来, 屠立峰, 乔桂明. 长三角数字金融环境对区域科技创新的影响分析[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2022, 43(3): 41-51.
- [17] 胡艳, 陈雨琪, 李彦. 数字经济对长三角地区城市经济韧性的影响研究[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 54(1): 143-154, 175-176.
- [18] 陈丛波, 叶阿忠. 数字经济、创新能力与区域经济韧性[J]. 统计与决策, 2021, 37(17): 10-15.
- [19] 孙勇, 樊杰, 刘汉初, 等. 长三角地区数字技术创新时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 124-133.
- [20] 余博, 潘爱民. 数字经济、人才流动与长三角地区高质量发展[J]. 自然资源学报, 2022, 37(6): 1481-1493.
- [21] 王庆喜, 武谨, 胡安. 数字经济与长三角区域一体化发展——基于空间面板模型的分析[J]. 浙江工业大学学报(社会科学版), 2020, 19(1): 39-46.
- [22] 胡艳, 王艺源, 唐睿. 数字经济对产业结构升级的影响[J]. 统计与决策, 2021, 37(17): 15-19.

- 
- [23] 余海华. 中国数字经济空间关联及其驱动因素研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(9):23-34, 44.
- [24] 刘英恒太, 杨丽娜. 中国数字经济产出的空间关联网络结构与影响因素研究[J]. 技术经济, 2021, 40(9):137-145.
- [25] 李敬, 陈澍, 万广华, 等. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法[J]. 经济研究, 2014, 49(11):4-16.
- [26] 刘传明, 马青山. 黄河流域高质量发展的空间关联网络及驱动因素[J]. 经济地理, 2020, 40(10):91-99.
- [27] 欧向军, 薛丽萍, 顾雯娟. 江苏省县市经济联系的空间特征[J]. 经济地理, 2015, 35(8):24-31.
- [28] 丛海彬, 邹德玲, 高博, 等. “一带一路”沿线国家新能源汽车贸易网络格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2021, 41(7):109-118.
- [29] DE ANDRADE R L, RÊGO L C. The Use of Nodes Attributes in Social Network Analysis with an Application to an International Trade Network[J]. Physica A:Statistical Mechanics and its Applications, 2018, 491(2):249-270.
- [30] 梁茹, 王媛, 冯学钢, 等. 文体旅上市企业社会关系网络结构特征分析——同行业与跨行业比较视角[J]. 旅游学刊, 2021, 36(10):14-25.
- [31] PAVLOVICH K. The Evolution and Transformation of a Tourism Destination Network:The Waitomo Caves, New Zealand[J]. Tourism Management, 2003, 24(2):203-216.
- [32] 吴福象. 长三角区域数字经济的发展经验评析[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020(17):58-65, 87.
- [33] 杜伟杰, 邱靓. 全方位推进长三角高质量一体化发展——浙江省推进长三角一体化发展重点领域分析报告[J]. 浙江经济, 2019(15):40-43.

## 注释

- (1) 数据来源于《中国数字经济发展白皮书》。
- (2) 五大城市群为粤港澳大湾区、长江中游城市群、成渝城市群、长三角城市群、京津冀城市群。
- (3) 文献源自《二十国集团数字经济发展与合作倡议》《中国数字经济发展与就业白皮书(2019年)》《全球数字经济新图景(2020年)》。