

我国省域“四链”耦合的空间网络结构及影响因素

吴明洁, 方大春

(安徽工业大学 商学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘要: 区域经济一体化深入推进, 要素流动突破地理“邻近”限制, 要素耦合提升不仅取决于自身属性, 亦取决于空间关联效应。采用耦合协调度模型, 测度我国省域创新链产业链资金链人才链(简称“四链”)耦合协调度水平; 基于测度结果运用社会网络分析(SNA)方法, 考察省域“四链”耦合空间关联网络结构特征; 运用二次指派程序(QAP)探究省域“四链”耦合的影响因素。结果表明: 2016—2021年我国省域“四链”耦合协调度呈稳步提升态势, 但总体仍处于较低水平, 呈“东高西低”非均衡分布特征。整体网络特征方面, “四链”耦合协调空间网络紧密度呈波动上升态势, 总体仍有较大提升空间; 上海、江苏、北京等地区处于核心位置, 而海南、宁夏、新疆等地区处于边缘位置, “核心-边缘”结构特征明显。科技创新投入强度、经济水平和教育投入强度对省域“四链”耦合空间关联有显著影响, 建议树立联动意识, 弱化距离等因素制约, 促进区域间资源要素流动; 制定差别化的区域发展政策, 优化空间网络结构, 缩小区域间差距, 进一步推进“四链”深度耦合协调发展。

关键词: 创新链; 产业链; 资金链; 人才链; 耦合协调; 社会网络分析; 区域经济

中图分类号: F 061.5 **文献标志码:** A **doi:** 10.12415/j.issn.1671-7872.24057



Spatial Network Structure of the “Four Chains” Coupling in Provincial Regions of Our Country and Its Influencing Factors

WU Mingjie, FANG Dachun

(School of Business, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

Abstract: Regional economic integration continues to advance deeply, with the flow of factors breaking through the geographical “neighbourly” restrictions. The enhancement of factor coupling depends not only on their own attributes but also on spatial association effects. The coupling coordination model was adopted to measure the level of coupling coordination among the innovation chain, industrial chain, capital chain, and talent chain (referred to as “four chains”) within provincial regions in our country. Based on the measurement results, the social network analysis (SNA) method was employed to investigate the structural characteristics of the spatial association network of the “four chains” across provincial regions. The quadratic assignment procedure (QAP) was employed to explore influencing factors of the coupling among the “four chains” in provincial regions. The results show that from 2016 to 2021, the coupling coordination of “four chains” in provincial regions of our country has been steadily increasing, but the overall it still remains at a low level, exhibiting an uneven distribution characteristic of “high in the east, low in the west”. In terms of overall network characteristics, the tightness of the “four chains” coupling coordination space network shows a fluctuating upward trend, but there is still significant room for improvement in the whole. Shanghai, Jiangsu, Beijing and other regions are in the core position, while Hainan, Ningxia, Xinjiang and other regions are in the marginal position, and the “core-edge” structure characteristics are

收稿日期: 2024-04-08

基金项目: 安徽高校人文社会科学研究重大项目(2023AH040146)

作者简介: 吴明洁(1999—), 女, 安徽宣城人, 硕士生, 主要研究方向为宏观经济及区域经济系统分析。

通信作者: 方大春(1973—), 男, 安徽和县人, 博士, 教授, 主要研究方向为区域经济发展。

引文格式: 吴明洁, 方大春. 我国省域“四链”耦合的空间网络结构及影响因素[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2024, 41(6):675-684.

obvious. The intensity of scientific and technological innovation investment, economic level, and the intensity of education investment have a significant impact on the “four chains” coupling spatial correlation in province regions. It is recommended to establish linkage awareness, mitigate constraints such as distance, and promote the flow of resources and factors between regions, formulate differentiated regional development policies, optimize the spatial network structure, narrow the interregional gaps, and further promote the deep coupling and coordinated development of the “four chains”.

Keywords: innovation chain; industrial chain; capital chain; talent chain; coupling and coordination; social network analysis; regional economic

党的二十大报告把推动创新链产业链资金链人才链(简称“四链”)深度融合作为加快实施创新驱动发展战略的重要举措。如何实现深度融合发展是值得深入研究的重要课题,需要厘清“四链”内在关联逻辑和影响因素。学术界围绕“四链”相关研究较为丰富,主要聚焦“两链”和“三链”,从理论机制和实证检验视角对“两链”和“三链”的融合价值和融合路径进行研究,从融合或耦合视角对“两链”和“三链”进行测度。一是融合价值方面,胡乐明^[1]提出,创新链与产业链的深度融合有助于推动供给侧结构性改革,积蓄未来发展动力;刘德光^[2]基于中心-外围研究框架,实证检验产业链创新链融合对区域经济高质量的影响;郭荣等^[3]基于创新生态理论和协同理论,实证研究发现创新链与资金链融合能够显著推动绿色技术创新。二是耦合路径方面,赵晨等^[4]从“人才-创新”闭环、“人才-产业”闭环及“创新-产业”螺旋三过程给出人才链支撑创新链产业链融合发展的中国方案;周跃辉等^[5]认为要充分发挥资金链在四链融合中的关键性作用,以资金链推进“四链”深度融合;梁树广等^[6]从创新链产业链资金链耦合机制视角,提出通过数字技术、政产学研服用共同体、链长制和科技服务体系实现“三链”耦合。三是融合或耦合测度方面,梁文良等^[7]利用复合系统协同度模型测度资金链产业链创新链“三链”融合度。大多文献实证研究中以耦合协调度替代融合度。柳毅等^[8]选用传统制造业产业链与创新链的耦合协调度作为两者融合的替代变量;刘家树等^[9]则以创新链与资金链

的耦合协调度作为替代变量。最近有少数学者对“四链”融合内涵机制、面临问题和对策建议进行探讨,聂常虹等^[10]认为“四链”融合本质是降低创新要素跨组织边界流动时遇到的各类壁垒,推动“四链”融合,需要将重点放在化解各环节的供需矛盾上。目前,“四链”尚未深度融合,究其原因,产业链方面,企业主体缺乏参与“四链融合”内驱力;创新链方面,科技创新贡献力度较低,研发效率和成果转化率有待提升;资金链方面,科技型企业融资难、融资贵问题依然突出;人才链方面,人才培养与产业需求相对脱节,人才作用未能充分发挥^[11]。

从现有研究看,有关“四链”耦合研究主要着眼于区域内的链链耦合关系。随着区域经济一体化深入推进,要素流动突破地理“邻近”限制,表现为“跨区域”流动^[12],各区域“四链”耦合提升不仅取决于自身属性,亦取决于空间关联效应。鉴于此,构建我国省域“四链”耦合指标体系,测度我国省域“四链”耦合协调度水平,基于测度结果探究我国省域“四链”耦合空间关联网络结构特征及其影响因素,以期为我国“四链”耦合的政策制定提供理论依据,避免区域政策实施过程中出现此消彼长的“水床效应”。

1 研究设计

1.1 指标体系构建

遵循科学性、完整性、客观性以及数据可得性等原则,参照甄峰等^[13]、蒋天颖等^[14]、姜兴等^[15]的做法,构建“四链”综合评价指标体系,具体见表1。

表1 “四链”综合评价指标体系

Tab. 1 Comprehensive evaluation index system of “four chains”

目标系统	一级指标	二级指标	指标属性
创新链	创新投入	R&D经费投入强度	正
		R&D人员全时当量	正
		高技术产业企业数	正
		高技术产业R&D活动研发机构数	正
	创新产出	国内专利授权数	正
		技术市场成交额	正
		高技术产业营业收入	正

续表

目标系统	一级指标	二级指标	指标属性
产业链	产业结构	第二产业产值占GDP比重	正
		第三产业产值占GDP比重	正
		高技术产业主营业务收入/规模以上工业企业主营业务收入	正
高级化 合理化	第三产业产值/第二产业产值	正	
	泰尔指数	负	
资金链	政府资金	一般公共预算支出	正
	金融机构资金	年末金融机构存款余额	正
		年末金融机构贷款余额	正
社会资金	上市公司数量	正	
人才链	创新型人才	R&D人员	正
		研究生人口	正
	实用性人才	大学本科人口	正
	技能型人才	大学专科人口	正
普通高中人口		正	

选用泰尔指数评价产业链合理化^[16], 作为负向指标, 其数值越接近零, 表明产业结构越合理, 其计算式如式 (1)。

$$T_L = \sum_{m=1}^3 \left(\frac{Y_h}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_h}{Y} / \frac{Y_h}{l} \right) \quad (1)$$

其中: T_L 为泰尔指数; Y 为地区 GDP 总值; l 为就业人数; h 为产业, $h=1, 2, 3$ 。

1.2 数据标准化

依据指标影响方向, 将评价指标划分为正向、负向 2 种, 基于此进行数据标准化。正向指标标准化如式 (2), 负向指标标准化如式 (3)。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (2)$$

$$X'_{ij} = \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (3)$$

其中: i 为地区; j 为选取的指标; X_{ij} 为第 i 个地区的第 j 项指标的原始数值; X'_{ij} 为 X_{ij} 经标准化后的数值; $\max X_{ij}$ 和 $\min X_{ij}$ 分别为在样本期间各指标的最大值和最小值。

1.3 指标赋权

选择熵权法对指标进行赋权, 以各项指标数值提供的信息量确定权重, 使计算得到的权重更客观准确, 避免主观臆断^[17]。

首先, 计算第 j 项指标第 i 个地区所占的比重 (a_{ij}), 其中 p 为地区个数。

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^p X_{ij}} \quad (4)$$

然后, 计算第 j 项指标熵值 (e_j), 如式 (5)。

$$e_j = \frac{1}{\ln p} \sum_{i=1}^p a_{ij} \ln a_{ij} \quad (5)$$

最终, 计算出第 j 项指标权重 (ω_j), 如式 (6), 其

中 q 表示相应二级指标数量。

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^q (1 - e_j)} \quad (6)$$

采用线性加权法, 借助权重构建创新链 (S_1)、产业链 (S_2)、资金链 (S_3) 与人才链 (S_4) 综合水平指数, 其计算式如式 (7)。

$$S_\tau = \sum_{j=1}^q \omega_j X'_{ij} \quad (7)$$

其中 τ 为链数量, $\tau=1, 2, 3, 4$ 。

1.4 耦合协调度模型

通过计算耦合协调度考察创新链、产业链、资金链与人才链的关联程度, 耦合度体现系统之间依存的强度, 计算公式如式 (8)。

$$C = 4 \sqrt{\frac{S_1 S_2 S_3 S_4}{(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)^4}} \quad (8)$$

其中: C 为系统之间的耦合度, 范围为 $[0, 1]$, C 值越大表明系统之间协同度越高; 反之, 表明系统间处于无序发展的状态。

耦合协调度模型考察交互耦合的协调程度, 反映耦合协调度的阶段性。基于耦合度模型, 进一步得出耦合协调度模型, 如式 (9)。

$$T = \sqrt{CZ} \quad (9)$$

$$Z = \alpha S_1 + \beta S_2 + \gamma S_3 + \varepsilon S_4, \quad \alpha = \beta = \gamma = \varepsilon = \frac{1}{4} \quad (10)$$

其中: T 为系统间的耦合协调度; $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ 为待估计参数, 且 $\alpha + \beta + \gamma + \varepsilon = 1$ 。文中认为创新链、产业链、资金链与人才链四大系统同等重要, 故设定 $\alpha = \beta = \gamma = \varepsilon = \frac{1}{4}$ 。

借鉴丁煜等^[18]的划分方法, 将耦合协调度类型和等级进行划分, 结果见表 2。

表2 耦合协调度的判别标准及类型

Tab.2 Criteria and types for the discrimination of coupling coordination

区间	类型
[0, 0.1)	极度失调
[0.1, 0.2)	严重失调
[0.2, 0.3)	中度失调
[0.3, 0.4)	轻度失调
[0.4, 0.5)	濒临失调
[0.5, 0.6)	勉强协调
[0.6, 0.7)	初级协调
[0.7, 0.8)	中级协调
[0.8, 0.9)	良好协调
[0.9, 1.0)	优质协调

1.5 修正的引力模型

对我国“四链”耦合协调空间关联网络进行分析,需确定省域“四链”耦合协调度关联关系。已有研究通常采用VAR模型^[19]和引力模型^[20-21]来刻画空间关联关系,考虑到引力模型比VAR模型更适合处理总量数据和探索网络的动态演化^[22]。文中基于省域“四链”耦合协调水平存在差异性,借鉴文献^[23]的做法,将“四链”耦合协调度占比系数作为修正系数引入引力模型,得到的模型如式(11)。

$$K_{mn} = t_{mn} \frac{\sqrt[3]{P_m Y_m T_m} \sqrt[3]{P_n Y_n T_n}}{D_{mn}^2}, \quad t_{mn} = \frac{T_m}{T_m + T_n}, \quad D_{mn} = \frac{d_{mn}}{y_m - y_n} \quad (11)$$

其中: K_{mn} 为 m, n 地区间“四链”耦合协调度的空间关联强度; t_{mn} 为某地区“四链”耦合协调度在 m, n 区域“四链”耦合协调度总值中的占比; P 为年末总人口数; y 为人均GDP。基于托达罗人口迁移模型,将地理距离和经济距离同时纳入摩擦距离 D_{mn} 中,其中地理距离 d_{mn} 以 m 区域与 n 区域的球面距离表示, $y_m - y_n$ 表示经济距离。

由引力模型计算得到我国省域“四链”耦合协调度空间关联引力矩阵 $(k_{mn})_{30 \times 30}$ 。鉴于相互作用存在一定的临界值,参考文献^[24],取矩阵每行的均值作为临界值,当大于等于临界值时,表示两者存在相互作用,取值为1;反之,取值为0,最终得到有向不对称空间关联网络0~1矩阵 $(k_{mn})_{30 \times 30}$ 。

1.6 数据来源

鉴于西藏、香港、澳门、台湾样本数据缺失或统计口径不一致,选取我国30个省级行政区为研究对象,原始数据来源于2017—2022年《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》、各省(自治区、直辖市)统计年鉴及统计公报等统计资料。

2 “四链”耦合测度

根据评价体系得到“四链”综合水平指数,利用耦合协调度模型得到2016—2021年我国30个省域“四链”之间的耦合协调度,结果见表3。

表3 2016—2021年我国30个省域“四链”耦合协调度

Tab.3 Coupling coordination of the “four chains” in 30 provincial regions of our country from 2016 to 2021

地区	2016	2017	2018	2019	2020	2021
北京	0.474 6	0.487 6	0.499 1	0.520 5	0.539 3	0.559 2
天津	0.275 5	0.298 6	0.275 3	0.303 1	0.317 4	0.323 9
河北	0.286 7	0.303 8	0.314 5	0.331 2	0.349 3	0.363 1
山西	0.236 2	0.239 0	0.246 4	0.248 8	0.259 2	0.266 4
内蒙古	0.190 9	0.192 3	0.189 2	0.190 4	0.198 5	0.208 8
辽宁	0.297 6	0.305 0	0.310 8	0.319 0	0.331 7	0.338 4
吉林	0.232 9	0.232 2	0.229 8	0.241 9	0.248 2	0.248 4
黑龙江	0.229 0	0.230 8	0.229 2	0.233 9	0.240 8	0.256 7
上海	0.438 2	0.448 1	0.462 4	0.477 5	0.504 9	0.521 8
江苏	0.521 7	0.529 4	0.541 5	0.552 8	0.586 6	0.614 2
浙江	0.426 2	0.443 3	0.462 1	0.483 3	0.515 7	0.538 1
安徽	0.322 8	0.333 7	0.344 8	0.360 7	0.385 5	0.413 4
福建	0.304 9	0.317 8	0.329 1	0.341 8	0.356 3	0.377 7
江西	0.275 8	0.291 0	0.309 2	0.327 1	0.348 0	0.367 7
山东	0.418 5	0.430 1	0.434 6	0.611 1	0.469 6	0.496 3
河南	0.348 6	0.356 6	0.373 1	0.387 0	0.405 9	0.429 5
湖北	0.334 0	0.344 4	0.356 5	0.371 1	0.390 3	0.413 8
湖南	0.312 7	0.326 1	0.336 6	0.351 6	0.370 3	0.392 2

续表

地区	2016	2017	2018	2019	2020	2021
广东	0.577 6	0.613 7	0.638 6	0.658 1	0.695 7	0.717 5
广西	0.233 5	0.238 2	0.245 8	0.259 5	0.270 7	0.300 3
海南	0.118 3	0.121 9	0.130 4	0.137 2	0.150 0	0.162 4
重庆	0.290 0	0.301 0	0.313 6	0.322 8	0.338 7	0.354 2
四川	0.359 1	0.373 1	0.393 2	0.406 2	0.428 4	0.444 6
贵州	0.212 3	0.228 6	0.245 3	0.254 8	0.262 5	0.266 9
云南	0.220 2	0.231 8	0.239 2	0.251 9	0.263 8	0.275 0
陕西	0.299 7	0.305 1	0.313 2	0.329 6	0.348 5	0.340 0
甘肃	0.198 8	0.203 5	0.208 0	0.215 0	0.222 8	0.230 9
青海	0.039 3	0.082 3	0.085 1	0.087 3	0.089 3	0.101 7
宁夏	0.104 3	0.112 6	0.118 2	0.127 2	0.131 8	0.145 3
新疆	0.161 2	0.161 6	0.167 6	0.167 3	0.179 4	0.191 5
均值	0.291 4	0.302 8	0.311 4	0.329 0	0.340 0	0.355 3

从表 3 可知: 我国 30 个省域“四链”耦合协调度在 2016—2021 年整体上呈逐步上升的态势, 说明我国省域“四链”之间互动关系向着协调一致、相互促进的方向演进, 但总体水平仍有较大上升空间; 东部沿海地区, 如上海、江苏、浙江等地区 2021 年耦合协调水平已进入勉强协调阶段; 西部地区, 如青海、宁夏等地区 2021 年仍处在严重失调阶段。由此说明省域“四链”耦合协调水平在整体空间上呈现出非均衡分布特征, 总体表现为“东高西低, 南高北低”。

3 空间关联网络特征分析

在“四链”耦合协调时空特征的基础上, 运用社会网络分析 (social network analysis, SNA) 法^[25-26], 考察我国省域“四链”耦合协调空间网络结构特征。

3.1 整体网络结构和特征

借助 Ucinet6.0 软件, 通过计算网络密度和关联系数, 定量分析我国省域“四链”耦合协调空间关联的整体网络结构特征, 结果如图 1、2。



图 1 空间关联度与网络密度
Fig. 1 Spatial relevance and network density

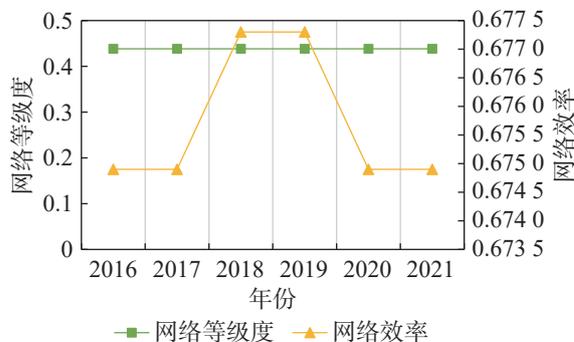


图 2 网络等级度与网络效率

Fig. 2 Spatial level and network efficiency

网络密度反映空间关联疏密程度, 其值越大, 表明空间联系越密切。从图 1 可看出: 2016—2021 年, 我国省域“四链”耦合协调网络空间关联度和网络密度的变化保持同步, 2018, 2019 年有小幅下降; 从绝对值看, 我国省域“四链”耦合协调网络空间关联度最大为 202, 与最大理论值 870(30×29=870) 存在很大差距; 我国省域“四链”耦合协调网络密度理论值介于 0~1 间, 样本期间网络密度最大值仅 0.232 2, 说明网络结构相对松散, 我国省域“四链”耦合协调度的空间关联仍有较大提升空间。

网络等级度反映不平等程度, 其值越大, 表明网络等级越森严; 网络效率反映连接效率, 其值越小, 表明成员间连线越多, 网络越稳定。从图 2 可看出: 我国省域“四链”耦合协调网络等级度维持在 0.438 3 水平, 说明区域之间的等级较为宽松; 网络效率整体上维持在 0.674 9 水平, 2018, 2019 年上升到 0.677 3, 之后下降到原来水平。网络效率整体稳定于较低水平, 表明各区域之间的“四链”关联较强。可见, 当前亟需坚持系统观念推动“四链”进一步深度耦合协调, 积极促进技术、知识、人才、资

金等资源在区域间流动,有助于我国省域“四链”耦合协调度的空间关联得到有效加强。

3.2 个体网络结构和特征

为进一步探究不同省域在空间关联网络中的地

位及作用,通过计算点度中心度、接近中心度与中间中心度,考察我国30个省域“四链”耦合协调空间关联的个体网络结构特征。限于篇幅,文中仅给出2021年的计算结果,如表4。

表4 2021年我国30个省域的区域中心性

Tab. 4 Regional centrality of 30 provincial regions of our country in 2021

地区	点度中心度				接近中心度		中间中心度	
	点入度	点出度	中心度	排序	中心度	排序	中心度	排序
北京	22	6	79.310	3	8.378	3	7.223	4
天津	18	6	65.517	5	67.442	6	4.457	8
河北	4	5	20.690	26	49.153	12	0.911	16
山西	4	6	20.690	27	49.153	13	3.990	9
内蒙古	3	5	24.138	20	35.366	17	0.207	22
辽宁	2	6	20.690	25	46.032	15	0.731	20
吉林	1	6	20.690	28	3.448	25	0	25
黑龙江	1	7	24.138	21	3.448	26	0.031	24
上海	25	8	89.655	1	87.879	2	11.484	2
江苏	26	4	89.655	2	90.625	1	5.857	6
浙江	19	6	68.966	4	74.359	4	4.980	7
安徽	3	3	31.034	10	59.184	8	0.830	18
福建	3	7	27.586	16	37.179	16	0.309	21
江西	6	7	24.138	22	52.727	9	10.182	3
山东	16	8	62.069	6	69.048	5	3.473	10
河南	9	6	31.034	9	59.184	7	3.202	11
湖北	4	7	27.586	13	50.877	10	0.901	17
湖南	4	7	24.138	23	50.000	11	6.012	5
广东	12	10	55.172	7	48.333	14	17.090	1
广西	1	5	17.241	30	32.955	21	0.063	23
海南	0	5	17.241	29	3.333	27	0	27
重庆	4	7	27.586	12	27.358	22	0.780	19
四川	2	8	27.586	18	33.333	18	1.221	15
贵州	2	8	27.586	17	33.333	19	1.221	14
云南	2	9	31.034	11	33.333	20	1.544	12
陕西	1	7	27.586	15	3.694	23		26
甘肃	2	10	41.379	8	3.571	24	1.232	13
青海	0	8	27.586	19	3.333	28	0	28
宁夏	0	8	27.586	14	3.333	29	0	29
新疆	0	7	24.138	24	3.333	30	0	30
均值	6.533	6.733	36.782		39.757		2.931	

点度中心度衡量成员在网络中与其他成员的关联程度,其值越高,表明成员越处于网络中心。由表4中的点度中心度看,2021年全国整体均值为36.782,北京、天津、上海等8个地区高于均值,表明这些地区“四链”耦合协调发展在空间关联网络中与其他省域存在复杂紧密的联系,处于网络核心地位。点入度和点出度两者在2021年的均值分别为6.533和6.733,点入度大于均值的有北京、天津、上海、江苏等8个地区,在网络中为受益方,这些地区

在经济高速发展过程中高度依赖其他地区的资源溢出;此外,青海、宁夏和新疆点入度值为0,说明其在空间关联网络中主要表现为空间溢出,受其他地区影响较小;云南、四川、贵州、青海、宁夏等17个地区点出度大于均值,表明这些地区在“四链”耦合协调空间网络中溢出关系较多。可见,我国东部地区凭其发达的经济条件和空间地理位置优势,利用“虹吸”效应广泛吸引其他地区人才、资金、技术等资源流入,拥有较高的“四链”耦合协调水平。

接近中心度反映成员在网络中不受控制的程度,其值越高,表明与其他成员越接近。由表4中的接近中心度来看,2021年全国整体均值为39.577,高于均值的有北京、天津、河北等15个地区,在耦合协调关联网络中充分发挥了内外联动效用;上海、江苏、北京排名前三,究其原因因为这些地区能够凭借其发达的经济基础、完善的新型基础设施建设以及国家相关发展政策倾斜,广泛吸引周边地区与其开展交流与合作;海南、青海、宁夏、新疆等地区受制于偏远的地理位置与相对落后的经济基础,缺乏发展动力与获取资源能力,故其接近中心度较低,在网络中处于边缘地位。

中间中心度反映成员在网络中的中介作用,其值越高表示对其他成员“四链”耦合协调调节作用越强^[27-28]。从表4中的中间中心度来看,高于均值的地区有北京、天津、山西、上海等11个地区,这些地区掌握资金、人才、技术等创新资源较多,在空间

网络中充分发挥中介作用,对网络中其他区域“四链”耦合协调发展的控制和影响作用较强。

此外,无论是从点度中心度、接近中心度还是中间中心度看,排名靠前的多处于我国东部沿海地区,这些地区拥有丰富的资金、人才等创新资源,区位优势明显,有利于促进区域间创新资源流动,推动“四链”深度耦合。排名靠后的海南、青海、宁夏等地区多处于西部、南部地区,这些地区由于地理位置偏远,经济发展水平较低,城市交通基础设施建设落后,创新资源禀赋不足,处在空间关联网络的边缘位置。

3.3 块模型

进一步将整个网络划分为块模型,探讨2021年我国30个省域“四链”耦合协调空间网络聚类特征。基于CONCOR迭代分析方法,借鉴刘华军等^[29]的方法,将我国30个省域“四链”耦合协调空间网络划分为四大板块,具体如表5。

表5 我国30个省域“四链”空间网络的板块结构

Tab. 5 Plate structure of the “four chains” space network in 30 provincial regions of our country

板块	收益关系		溢出关系		内部关系比例/%	
	板块内	板块外	板块内	板块外	期望	实际
双向溢出	6	53	6	19	10.34	24.00
净受益	8	76	8	27	13.79	22.86
经纪人	3	29	3	27	13.79	10.00
净溢出	12	14	12	99	51.72	10.81

注:期望内部关系比例为(板块内省域数-1)/(所有省域数-1);实际内部关系比例为板块内部关系数/板块溢出关系数。

由表5可知:2021年,我国30个省域“四链”耦合协调空间网络关联关系总数为201,其中板块内29、板块外172,表明我国30个省域“四链”耦合协调存在显著空间溢出效应。北京、天津、内蒙古、山东属于双向溢出板块,该板块内外成员的关联关系较多;江苏、广东、福建、上海、浙江属于净受益板块,该板块成员凭借自身经济实力、区位优势吸引其他区域创新资源流入,在空间关联网络中以接收关系为主;湖北、安徽、湖南、江西、河南属于经纪人板块,该板块成员接受外部成员发出的关系数与向其他板块发出关系数相当;吉林、河北、甘肃等16个地区属于净溢出板块,该板块成员有明显的资源优势,在空间网络中主要表现为向外溢出作用。总的来说,东部地区自身产业结构升级和经济发展优势吸引中西部的创新资源,我国省域“四链”耦合协调空间网络在整体上表现出东部地区发展情况优于中西部地区。

为进一步分析板块间相互作用,通过关联关系分布计算2021年我国省域“四链”耦合协调空间网络各板块的密度矩阵,据此得到对应像矩阵,结果如表6。分析表6可知:双向溢出板块和净受益板块存在内部溢出效应,板块内部成员多位于东部地区,表明东部地区各省(直辖市)依托区域一体化发展战略的深入实施,“四链”耦合提升中资源流动与合作日益密切。经纪人板块和净溢出板块一方面自身溢出效应不明显,板块内部成员多位于中、西部地区,表明东部地区的资源禀赋无法匹配自身经济发展与产业结构水平,依赖中、西部资源支持;另一方面,经纪人板块和净溢出板块对双向溢出板块和净受益板块存在溢出效应,说明中西部区域因发展基础薄弱,资源黏性弱,经济生产要素、人才有向东部地区流动的趋势。总体看我国省域“四链”耦合协调空间关联网络板块之间关联紧密,各板块均能立足自身发展优势,有力推动“全国一盘棋”联动效应形成。

表6 我国30个省域“四链”耦合协调空间网络各板块的密度矩阵与像矩阵

Tab. 6 Density matrix and image matrix of the coupling coordination spatial network of “four chains” in 30 provincial regions of our country

板块	密度矩阵				像矩阵			
	双向溢出	净受益	经纪人	净溢出	双向溢出	净受益	经纪人	净溢出
双向溢出	0.500	0.100	0.350	0.156	1	0	1	0
净受益	0.050	0.400	0.880	0.050	0	1	1	0
经纪人	0.400	0.760	0.150	0	1	1	0	0
净溢出	0.688	0.700	0	0.050	1	1	0	0

4 “四链”耦合的影响因素

在考察我国省域“四链”耦合协调空间关联网络特征基础上,借助二次指派程序(quadratic assignment procedure, QAP)^[30]进一步探讨空间关联网络的影响因素。基于“四链”耦合的实质是有效配置人才、资金等创新要素,考虑到不同区域创新资源、经济水平、教育水平等因素的影响,构建包含地理邻接关系、技术创新、产业结构、人均GDP、教育支出水平和科技支出水平等6个指标的“四链”耦合协调度差异矩阵,见式(12)。

$$T = f(B, R, I, F, J, U) \quad (12)$$

其中: T 为耦合协调度空间关联矩阵; B 为空间邻接矩阵,地理上邻近则为1,反之则为0; R 为R&D经费内部支出占GDP比重差异矩阵; I 为第二三产业产值之和占GDP比重差异矩阵; F 为人均GDP差

异矩阵; J 为教育支出占财政支出比重差异矩阵; U 为科技支出占财政支出比重差异矩阵。

4.1 QAP相关性分析

将区域“四链”耦合协调度差异矩阵导入UCINET软件,通过10000次置换,分别得到被解释变量与解释变量之间的相关系数,见表7。

由表7可知:R&D经费内部支出占GDP比重、第二三产业产值之和占GDP比重、科技支出占财政支出比重的相关系数均在1%置信水平上显著为正,人均GDP在5%的水平上通过检验,空间邻接矩阵相关系数在1%置信水平上显著为负。说明选取的绝大部分指标对我国省域“四链”耦合协调的空间关联有显著的正向影响。为检验各指标是否存在相关关系,进一步进行QAP相关性分析,结果见表8。据表8可知,解释变量间无严重共线性。

表7 耦合协调度空间关联矩阵与影响因素的QAP相关性分析

Tab. 7 QAP correlation analysis of coupling coordination spatial correlation matrix and influencing factors

变量	相关系数	显著性水平	相关系数均值	标准值	最小值	最大值	$P_1 \geq 0$	$P_2 \leq 0$
B	-0.165	0	-0	0.048	-0.158	0.182	1.000	0
R	0.478	0.001	0.001	0.118	0.196	0.498	0.001	1.000
I	0.365	0.004	-0	0.108	-0.207	0.496	0.004	0.996
F	0.282	0.011	-0	0.105	-0.245	0.433	0.011	0.989
J	0.100	0.104	-0.001	0.076	-0.198	0.326	0.104	0.896
U	0.583	0	0	0.095	-0.200	0.463	0	1.000

表8 差异矩阵之间的相关系数与显著性水平

Tab. 8 Correlation coefficient and significant level between differential matrices

变量	B	R	I	F	J	U
B	1.000***	-0.162***	-0.220***	-0.155***	-0.138**	-0.176***
R	-0.162***	1.000***	0.519***	0.783***	-0.001	0.610***
I	-0.220***	0.519***	1.000***	0.515***	0.043	0.340**
F	-0.155***	0.783***	0.515***	1.000***	0.036	0.601***
J	-0.128**	-0.001	0.043	0.036	1.000***	0.020
U	-0.176***	0.610***	0.340**	0.601***	0.020	1.000

注:***, **, *分别代表1%, 5%, 10%的显著性水平。

4.2 QAP 回归分析

运用 UCINET 软件,选择 50 000 次随机置换进行 QAP 回归分析,结果如表 9。由表 9 可知:R&D 经费内部支出占比差异矩阵和科技支出占比差异矩阵均在 5% 的显著性水平上显著,人均 GDP 差异矩阵和教育支出占比差异矩阵在 10% 的显著性水平上显著;R&D 经费内部支出占比、教育支出占比、科技支出占比的差异越大,省域“四链”耦合度的

空间关联越强;人均 GDP 的差异越小,省域“四链”耦合度的空间关联越强;地理位置、第二三产业产值之和占 GDP 比重系数的系数在 10% 的水平上不显著,表明其对省域“四链”耦合空间关联作用不明显,可能由于地区间发展水平存在差异性。由此可见,选取的 R&D 经费内部支出占比、科技支出占比、人均 GDP 差异、教育支出占比均为我国省域“四链”耦合协调空间关联的重要影响因素。

表 9 耦合协调度空间关联影响因素的 QAP 回归分析

Tab. 9 QAP regression analysis of the influencing factors on the spatial correlation of coupling coordination

变量	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性概率	P_1	P_2
截距项	0.052 1				
B	-0.011 8	-0.038 0	0.189 9	0.810 6	0.189 9
R	0.030 1	0.306 9	0.037 5	0.037 5	0.963 0
I	0.001 2	0.048 8	0.303 8	0.303 8	0.696 7
F	-0.000 1	-0.207 5	0.056 0	0.944 5	0.056 0
J	0.005 2	0.090 4	0.087 0	0.087 0	0.913 5
U	0.038 8	0.495 3	0.001 0	0.001 0	0.999 5

5 结论与建议

5.1 结论

采用耦合协调度模型,测度我国省域“四链”耦合协调度,根据测度结果采用修正后的引力模型,通过社会网络分析(SNA)方法考察我国省域“四链”耦合空间关联网络结构特征及影响因素,得到如下主要结论:

1) 我国省域“四链”耦合协调度整体呈现稳定上升趋势,空间上呈东部沿海地区高于中西部地区非均衡分布特征。

2) 从整体网络特征看,关联关系和网络密度在样本期间维持在稳定的水平,区域“四链”耦合协调的空间联系较为稳定,有很大的上升空间。

3) 从个体网络特征看,上海、江苏、北京等地区处于核心位置,而海南、宁夏、新疆等地区处于边缘位置,“核心-边缘”结构特征明显。

4) 块模型分析表明,四大板块发挥着各自的作用,板块间存在显著空间溢出效应。

5) QAP 分析结果表明,R&D 经费内部支出、人均 GDP、教育支出、科技支出均对“四链”耦合空间关联影响显著。

5.2 建议

基于上述研究结论,提出以下建议:

1) 加快打造“四链”协调发展创新生态系统,推动创新链产业链资金链人才链耦合协调发展。引导政府、研发机构、企业、高校等多主体广泛建立

合作,强化主体间技术、人才、经验交流与共享,形成相互促进相互作用的良性循环,为“四链”耦合协调发展持续注入新动力。打造高水平创新高地、产业高地、人才高地等创新平台,为“四链”深度耦合创造条件。

2) 树立联动意识促进创新要素跨区域流动,增强“四链”空间关联网络紧密度。各省(自治区、直辖市)在网络中功能定位与地位不同,应立足自身属性,充分发挥优势。北京、上海、江苏、浙江等地区应发挥网络核心地位优势,通过资金、人才、技术、经验等的外溢与共享带动周边地区“四链”耦合度提升;新疆、宁夏、海南等地区处于网络中的边缘位置,应积极主动与“四链”耦合度较高的地区建立战略合作,采取不同形式引进自身不足资源。

3) 充分考虑四大板块各自结构特征,制定差别化的推进“四链”深度耦合协调发展政策。双向溢出板块、净溢出板块应突出其自身优势,充分发挥示范引领作用,拓宽资金、人才、技术等资源的空间溢出渠道,充分发挥辐射带动作用,引导其他板块成员“四链”耦合协调发展。净受益板块要持续优化其发展环境,立足自身发展特色,利用自身资源、环境等优势,促进与其他城市沟通与合作;加大科技创新投入,实施产业基础再造工程;推动有效市场和有为政府更好结合,让“看得见的手”与“看不见的手”形成合力,破除制约产业转型升级的体制机制弊端。

4) 打破区域间距离等因素制约, 促进资源要素流动。一是加大基础设施建设投入, 优化升级铁路、公路、机场等交通条件, 为资源流动提供交通便利, 同时及时配置新型基础设施, 实现要素资源与商品服务在更大空间范围内的高速与高效流通。二是搭建全国统一的人才、技术等公共资源交易平台, 构建畅通有序、充分开放的公共资源交易网络, 完善资源协同机制, 促进“四链”耦合协调跨区域联动。三是深化市场改革, 消除区域壁垒, 激发市场主体创新活力, 形成稳定安全的供应链、产业链、创业链, 促进要素流动^[31]。

参考文献:

- [1] 胡乐明. 产业链与创新链融合发展的意义与路径[J]. 人民论坛, 2020(31):72-75.
- [2] 刘德光. 产业链创新链融合对区域经济高质量发展的影响研究[J]. 现代管理科学, 2023(2):38-47.
- [3] 郭蓉, 梅潇, 张敬怡. “双链”融合对绿色技术创新的影响效应研究[J]. 会计之友, 2023(15):26-32.
- [4] 赵晨, 林晨, 高中华. 人才链支撑创新链产业链的融合发展路径: 逻辑理路、中美比较以及政策启示[J]. 中国软科学, 2023(11):23-37.
- [5] 周跃辉, 高涌智. 以资金链推进“四链”深度融合[J]. 中国金融, 2023(18):87-88.
- [6] 梁树广, 臧文嘉, 张芃芃, 等. 创新链产业链资金链耦合的机制与路径探究[J]. 财会月刊, 2023, 44(13):118-124.
- [7] 梁文良, 黄瑞玲. 江苏高技术产业“三链”融合度的测度与评价: 基于复合系统协同度模型的实证研究[J]. 现代管理科学, 2022(1):51-60.
- [8] 柳毅, 赵轩, 杨伟. 数字经济对传统制造业产业链创新链融合的影响: 基于中国省域经验的实证研究[J]. 浙江社会科学, 2023(3):4-14, 156.
- [9] 刘家树, 石洪波, 周梦琦. 创新链与资金链融合影响经济高质量发展的效应研究[J]. 经济与管理评论, 2022, 38(1):103-115.
- [10] 聂常虹, 赵斐杰, 李钊, 等. 对创新链产业链资金链人才链“四链”融合发展的研究[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(2):262-269.
- [11] 黄涛, 樊艳萍, 王慧. 推动创新链产业链资金链人才链深度融合[J]. 中国人才, 2023(1):12-15.
- [12] 金浩, 王平平, 赵晨光. 我国区域创新网络评价与空间关联研究[J]. 当代经济管理, 2019, 41(5):49-57.
- [13] 甄峰, 黄朝永, 罗守贵. 区域创新能力评价指标体系研究[J]. 科学管理研究, 2000(6):5-8.
- [14] 蒋天颖, 华明浩, 许强, 等. 区域创新与城市化耦合发展机制及其空间分异: 以浙江省为例[J]. 经济地理, 2014, 34(6):25-32.
- [15] 姜兴, 张贵. 京津冀人才链与产业链耦合发展研究[J]. 河北学刊, 2022, 42(2):170-176.
- [16] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46(5):4-16, 31.
- [17] 陈强, 梁佳慧, 敦帅. 创新生态评价研究: 指标体系、区域差异和对策建议[J]. 科学管理研究, 2023, 41(5):2-11.
- [18] 丁煜, 陶长琪. 创新要素配置与数字经济耦合协调发展的时空特征及动态演进[J]. 统计与信息论坛, 2023, 38(11):47-61.
- [19] 刘华军, 何礼伟. 中国省际经济增长的空间关联网结构: 基于非线性 Granger 因果检验方法的再考察[J]. 财经研究, 2016, 42(2):97-107.
- [20] WASSERMAN S, FAUST K. Social Network Analysis: Methods and Applications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [21] LIU G Y, YANG Z F, FATH B D, et al. Time and space model of urban pollution migration: economy-energy-environment nexus network[J]. Applied Energy, 2017, 186:96-114.
- [22] 俞洁, 张勇, 李清瑶. 长三角碳排放空间关联网结构特征及演化机制[J]. 自然资源学报, 2024, 39(2):372-391.
- [23] SONG H H, GU L Y, LI Y F, et al. Research on carbon emission efficiency space relations and network structure of the Yellow River Basin city cluster[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(19):12235.
- [24] 方大春, 马为彪. 我国区域创新空间关联的网络特征及其影响因素[J]. 西部论坛, 2018, 28(2):50-61.
- [25] GÓMEZ S, PATRACA B, MOLINA J L. Improving seafood systems with social network analysis: the case of cuttlefish marketing in Catalonia[J]. Marine Policy, 2023, 150:105517.
- [26] BAI Y Q. Social network analysis based on collaborative innovation performance impact factors of assembled construction industrial park[J]. Academic Journal of Business & Management, 2022, 4(19):138-146.
- [27] 张明斗, 翁爱华. 长江经济带城市水资源利用效率的空间关联网及形成机制[J]. 地理学报, 2022, 77(9):2353-2373.
- [28] 蔡秀亭, 吕洁华, 王成齐. 中国森林生态安全空间关联的网络特征及其驱动机制[J]. 自然资源学报, 2022, 37(8):2137-2152.
- [29] 刘华军, 刘传明, 孙亚男. 中国能源消费的空间关联网结构特征及其效应研究[J]. 中国工业经济, 2015(5):83-95.
- [30] CAMACHO D, PANIZO-LLEDOT A, BELLO-ORGAZ G, et al. The four dimensions of social network analysis: an overview of research methods, applications, and software tools[J]. Information Fusion, 2020(63):88-120.
- [31] 黄新华. 加快建设全国统一大市场[N]. 中国社会科学报, 2023-07-20(7).