

全球数字服务业技术跨国溢出网络格局的时空演化

赵立斌 张梦雪

(河北大学, 河北 保定 071000)

摘要: 基于全球价值链上下游关系, 构建全球数字服务业技术跨国前后向溢出两类网络, 运用复杂网络分析法从整体、局部社团和个体层面探究数字服务业技术跨国溢出网络的时空演化特征。结果表明: 两类溢出网络规模不断扩大, 溢出效率不断提高, 但网络分布较不均匀, 存在明显的集聚效应和“小世界”特征, 且从德国、美国、英国和卢森堡主导逐渐转变为中国、美国、德国和卢森堡共同主导; 中国在两类网络中虽然具有较强的直接影响力、反控制力及波及影响力, 但中介控制力明显弱于美国、德国和卢森堡; 从溢出路径看, 中国香港向中国内地的前后向溢出规模最大, 卢森堡向英国和德国等欧洲经济体的前后向溢出规模较大; 从溢出关联看, 中国、美国和日本等亚太经济体大多属于主受益板块, 在网络中扮演“吸收者”角色, 而中国香港、新加坡以及奥地利、瑞士、卢森堡等多数欧洲经济体属于双向溢出或主溢出板块, 在网络中担任“奉献者”角色。

关键词: 数字服务业技术; 跨国溢出; 复杂网络分析; 网络格局演化

中图分类号: F49

文献标识码: A

文章编号: 1006-1894 (2024) 04-0083-15

一、引言

当前, 随着大国间战略竞争日益加剧, 地缘政治与经济形势持续恶化, 加之百年未有之大变局与全球化重塑的加速推进, 全球经济增长与复苏的传统动力逐渐减弱, 寻求可持续发展的新动能就变得尤为重要。值得关注的是, 随着新一轮科技革命的迅速发展, 数字产业技术创新已成为各经济体实现可持续发展的重要动力源。在开放经济条件下, 一个国家的数字技术进步不仅依赖自主创新, 也需学习、借鉴、模仿和吸收其他国家的先进技术(梁圣蓉和罗良文, 2019)。随着各国数字技术经济联系日渐加强, 国际间的技术扩散效应已成为数字技术创新的核心决定因素, 吸收和利用国际间的数字产业技术溢出成为各国增加知识存量、提升数字技术创新能力、推动经济社会可持续发展的重要途径(Lee, 1998; 谢建国, 2006; Batabyal and

作者简介: 赵立斌, 河北大学经济学院副教授, 研究方向: 数字贸易自由化与全球价值链; 张梦雪(通信作者), 河北大学经济学院硕士研究生, 研究方向: 数字贸易自由化与全球价值链。

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“数字技术创新对中国—东盟价值链贸易碳排放的影响研究”(项目编号: 22BGJ048)。

Nijkamp, 2016; 张小云和凌丹, 2023)。

与此同时, 美国联合其盟友限制对中国数字技术关键领域出口, 甚至筑起“小院高墙”, 以开展价值观贸易的方式围堵中国数字技术发展, 全球数字技术生态逐渐向数字技术主权化、民族化与联盟化趋势发展, 数字产业脱钩断链风险持续加剧(黄日涵和高恩泽, 2022; 保建云, 2023)。中国作为最大的发展中国家, 数字经济领域长期存在“重硬轻软”的问题, 数字制造产业立足传统比较优势已深度融入全球价值链分工, 但数字服务关键技术存在较大短板, 数字服务业国际竞争力相对不足, 特别是近年来数字核心技术受制于人的风险更加凸显。在此背景下, 本文关注的核心问题是, 如何准确测算经济体间的数字服务业技术跨国溢出水平? 数字服务业技术跨国溢出网络的结构如何演变? 网络中不同群体板块间的溢出规模和溢出路径如何? 各经济体在数字服务业技术跨国溢出网络中的地位如何变迁? 对这些问题的深入研究有助于中国通过推动数字技术跨国合作, 实现数字服务业核心技术突破性创新, 提升数字服务业供应链可持续性现代化水平, 为带动经济高质量发展提供理论指导与实践参考。

二、文献综述

与本研究主题密切相关的文献主要围绕跨国技术溢出的测算方法与复杂网络分析法在跨国技术溢出网络中的应用两方面展开。

一是跨国技术溢出的测算方法。主要包括两种方法: 第一种是利用 CH 模型、扩展的 CH 模型、LP 模型或空间计量模型等方法, 从进出口贸易额、FDI、OFDI、人员流动、研发投入和 GDP 等技术溢出渠道间接衡量跨国技术溢出效应(Coe and Helpman, 1995; 王静和张西征, 2012; 岐洁等, 2015; 朱平芳等, 2016; 刘航和王乐, 2023; Acs et al., 2007; Kondyan and Yenokyan, 2019); 第二种是利用专利引用关系直接近似表征国家间的技术流, 将技术溢出的无形过程通过专利引用关系转变为可观察的有形过程(Jaffe et al., 2000; 向希尧和蔡虹, 2009)。仅有几篇文献对数字技术国内溢出和渗透作用进行了简单测度(刘维林和程倩, 2023; 赵立斌和张梦雪, 2023), 鲜有文献专门针对数字技术跨国溢出尤其是数字服务业技术跨国溢出进行准确衡量。

二是复杂网络分析法在跨国技术溢出网络中的应用。随着网络科学的兴起, 复杂网络分析理论和工具已经在国际贸易(唐晓彬和崔茂生, 2020; 罗超亮等, 2022; 马菁等, 2024; 彭红枫等, 2024)、国际政治(Ingold and Leifeld, 2016; Gjesvik, 2023)和社会关系(Leifeld et al., 2018)等诸多领域得到广泛运用, 但运用其分析跨国技术溢出网络的研究相对较少。仅有的几篇文献或从企业层面利用专利引用关系构建跨国技术溢出网络, 探讨其拓扑结构特征; 或从宏观区域层面通过一系列网络结构指标对跨国技术溢出网络特征进行识别, 并分析网络格局的动态演变过程

(向希尧和蔡虹, 2009; 刘敏等, 2020), 鲜有文献从全球层面对数字服务业技术跨国溢出网络演变进行重点讨论与深入研究。

基于此, 本文主要的边际贡献有: 基于全球价值链的上下游关系, 在对数字服务业技术创新衡量的基础上, 借助 Leontief 和 Ghosh 逆矩阵, 从前向溢出和后向溢出两个层面对数字服务业技术跨国溢出进行准确衡量; 采用整体结构特征指标分析数字服务业技术跨国溢出网络格局动态演变趋势, 并采用中心性指标识别各经济体在数字服务业技术跨国溢出网络演化中的位置变迁; 运用块模型方法揭示网络各板块间的溢出机制、路径以及不同成员经济体在其中的角色和作用。

三、数字服务业技术跨国溢出网络构建与指标体系

(一) 数字服务业技术跨国溢出网络构建

1. 数字服务业技术跨国溢出衡量

首先, 参考 Wang 等 (2021)、易子榆等 (2022) 以及赵立斌和张梦雪 (2023) 的方法, 基于全球价值链增加值统计口径, 用劳动生产率和国际竞争力的交乘项衡量一国数字服务业的技术创新水平。具体测算公式如下:

$$DSI_{id} = \frac{VX_i^d / VX_i}{\sum_i VX_i^d / \sum_i VX_i} \times y_i = NRCA_{id} \times y_i \quad (1)$$

下标 d 表示数字服务业, i 表示国家; VX_i^d / VX_i 表示 i 国数字服务业增加值出口占 i 国增加值总出口的比重, $\sum_i VX_i^d / \sum_i VX_i$ 表示全球数字服务业增加值出口占全球增加值总出口的比重, 两者之比即为基于增加值出口的数字服务业显示性比较优势指数 ($NRCA_{id}$), y_i 表示人均 GDP, 两者的乘积即为一国数字服务业的技术创新水平。

其次, 在衡量数字服务业技术创新基础上测度数字服务业技术跨国溢出水平。数字服务业技术跨国溢出体现了一国的数字服务业通过前后向关联对其他国家各行业的技术带动作用。基于全球价值链的上下游联系, 借助 Leontief 和 Ghosh 逆矩阵, 可以将数字服务业技术跨国溢出分为跨国前向溢出和后向溢出, 具体测算公式如下:

$$DSI_CF_{ijd} = DSI_{id} \times \sum_{c=1}^n g_{ij}^{dc} \quad (2)$$

$$DSI_CB_{ijd} = \sum_{c=1}^n b_{ji}^{cd} \times DSI_{id} \quad (3)$$

DSI_CF_{ijd} 表示 i 国数字服务业对 j 国的供给驱动作用, $\sum g_{ij}^{dc}$ 为 Ghosh 逆矩阵中 i 国数字服务业向 j 国提供中间投入的分块矩阵, DSI_{id} 与 $\sum g_{ij}^{dc}$ 的乘积即为 i 国数字服务业对 j 国的前向溢出; DSI_CB_{ijd} 表示 i 国数字服务业对 j 国的需求拉动作用, $\sum b_{ji}^{cd}$ 为 Leontief 逆矩阵中 i 国数字服务业消耗 j 国中间投入的分块矩阵, $\sum b_{ji}^{cd}$ 与 DSI_{id} 的乘积即为 i 国数字服务业对 j 国的后向溢出。

2. 阈值设定与网络构建

采用复杂网络分析法, 基于 ADB-MRIO 数据库, 构建全球数字服务业技术跨国溢出网络。考虑到数据可得性, 将中国、美国和德国等 59 个经济体作为节点, 以溢出国为起始节点, 以接收国为目的节点, 分别用向量 $I=[i](i=1, 2, \cdots 59)$ 和 $J=[j](j=1, 2, \cdots 59)$ 表示, 并用权重矩阵 $W=[w_{ij}]$ 表示节点 i 与 j 之间数字服务业技术溢出的大小, 构建数字服务业技术跨国溢出联系邻接矩阵 $A=[a_{ij}]$, I 、 J 、 W 和 A 组成数字服务业技术跨国溢出网络, 记作 $G=(I, J, W, A)$ 。

同时, 为保证网络的稀疏性以及最大限度地反映数字服务业技术溢出联系的密切程度, 通过对比分析现阶段学者阈值设定主要采用的 3 种设定方法的结果后,^①最终采用二八法则与平均值结合的方法, 提取两类网络中各年矩阵元素前 20% 的技术溢出关系, 再取平均值, 最后将大于平均值的元素设为 1, 其余为 0。

(二) 数字服务业技术跨国溢出网络特征指标

1. 整体网络指标

为了更好地刻画整体网络结构的演化特征, 选取网络节点数、边数、密度、平均度、平均路径长度和平均聚类系数等指标。网络密度是指网络中实际存在的边数与最大可能边数之比, 平均度是网络中各节点的平均连接数量, 两者均可用来衡量网络的疏密程度。平均路径长度是所有相连节点间最短路径的平均值, 是网络中用于评估节点间传输效率的重要指标, 平均路径长度越小, 说明各经济体数字服务产业技术溢出联系越紧密, 溢出效率越高。平均聚类系数是指网络各节点集聚系数的平均值, 用于衡量网络中不同经济体间的相互连接程度和集聚程度。

2. 个体中心性指标

为分析网络节点中心性, 选取点度中心度(包括点入度和点出度)、接近中心度、中介中心度和特征向量中心度等指标。点度中心度是指该节点与网络中其他节点的直接联系, 常用来揭示该节点在网络中是否处于核心地位, 且对有向图而言还可细分为出度中心度和入度中心度。接近中心度是指该节点与网络中所有其他节点最短距离之和的倒数, 表示该节点与其他节点产生直接联系的程度, 常用来衡量该节点在网络中的独立性程度和反控制能力。中介中心度是指该节点经过某节点对间的最短路径数占节点对间所有最短路径数的比例, 主要衡量该节点控制其他节点联系的能力, 体现节点的“中介”和“桥梁”作用。特征向量中心度是指节点的重要性会随着与它相连节点重要性的增加而增加, 常用来刻画该节点在网络中的波及影响力。此外, 为描述网络结构分布是否均匀, 在对上述中心性指标分析的基础上, 利用基

^① 3 种设定方法为: 选取不同分位数的自然断点法、平均值法以及二八法则(张天顶和龚同, 2023)。

尼系数衡量节点度之间的差异性，刻画网络的异质性。一般情况下，网络的结构分布越不均匀，异质性越强；反之，异质性越弱。

3. 局部结构与社团演进特征

为进一步探究数字服务业技术跨国溢出网络的局部结构及社团演进特征，借鉴李敬等（2014）、张辉和李宁静（2023）的方法，采用块模型分析法（CONCOR方法）将全球59个经济体分成若干板块，并根据板块内外部之间的数字服务业技术溢出关系，揭示各板块及成员经济体在数字服务业技术溢出网络中的角色和作用。首先，将两类溢出网络分为4个板块，具体划分方法见表1。然后，用密度矩阵分析板块内外部关系的密切程度，并与各自对应的溢出关系网络密度进行比较，得到0-1关系像矩阵。最后，根据像矩阵绘制溢出关系网络中4个板块的关联关系图。

表1 板块划分标准

板块内实际与最大联系之比	溢出与接收联系数之比	
	≥ 1	< 1
$\geq (g_k-1)/(g-1)$	双向溢出板块	主受益板块
$< (g_k-1)/(g-1)$	主溢出板块	经纪人板块

资料来源：在参考李敬等（2014）、张辉和李宁静（2023）的基础上划分。

四、数字服务业技术跨国溢出网络演化特征分析

（一）整体结构特征

1. 网络规模不断扩大，复杂性逐渐增强

如图1所示，数字服务业技术跨国前后向溢出两类网络中的节点数分别从2000年的42个和41个增长至2021年的57个和55个，说明随着新一轮科技革命的迅猛发展和数字全球化的推进，两类数字服务业技术跨国溢出网络中的节点规模均呈不断增长之势。两类网络中的数字技术溢出联系数除受2008年全球金融危机冲击和2014年欧美高端制造业回流影响稍有下降外，其余年份均不断上升。说明两类网络超过阈值的数字服务业技术跨国溢出联系均在不断增加，经济体间的相互作用和相互依赖程度日益加深。

2. 网络日趋稠密化，溢出效率不断提高

如图1所示，2000~2021年数字服务业技术跨国前后向溢出网络密度分别由0.078和0.079增至0.268和0.254，平均度分别由4.508和4.576增至15.559和14.729，说明溢出网络越来越紧密，经济体间的技术溢出关系有不断加强的趋势。两类网络的平均路径长度均在2.4以下且均呈波动下降趋势，说明本来较高的网络连通性与传输效率还在不断提升。这可能是由于随着数字技术的飞速发展，由数据流引发和牵动的技术流、服务流、资金流和人才流等在世界范围内协同提升，使得经济体间的数字服务技术溢出关系通达性逐渐增强，数字服务技术传递效率也日益提高。

3. 网络存在明显的集聚效应和“小世界”特征

如图1所示,首先,样本年间数字服务业技术跨国前后向溢出网络的聚类系数均值分别为0.55和0.52,说明两类网络均存在明显的集聚化特征。其次,通过对比发现,数字服务业技术跨国前后向溢出网络聚类系数的数值均呈波动上升趋势,说明两类溢出网络的集聚效应日益显现,而前向溢出网络的聚类系数更高,说明前向溢出网络的集聚效应更明显。可能是随着时间的推移,数字技术溢出联系特别是前向溢出联系更多集中于美国、中国与欧洲等巨型数字平台较多、数字技术领先的经济体。另外,与随机网络相比,两类网络均拥有较小的平均路径长度和相对较大的平均聚类系数,意味着两类网络均呈现明显的“小世界”特征。

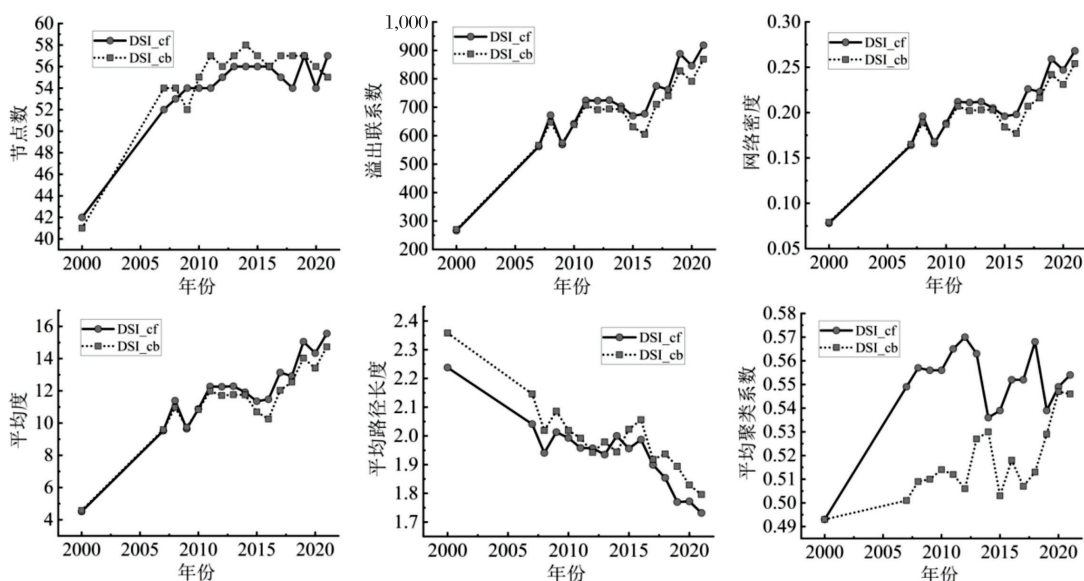


图1 数字服务业技术跨国溢出网络整体结构特征

资料来源:基于UCINET结果计算整理绘制;下图同。

(二) 节点中心性特征

表2和表3分别为2000年与2021年前后向溢出两类网络中排名前10位经济体的点度中心度(包括点入度和点出度)、接近中心度、中介中心度和特征向量中心度数值,以体现主要经济体在网络中的直接影响力、反控制能力、中介控制力以及波及影响力等方面的差异。

1. 前向溢出网络节点中心性

首先,从点度中心度和接近中心度看,2000年卢森堡排名第1位,紧随其后的是英国、美国和德国等。中国^①的点度中心度和接近中心度排名在2021年跃居全球

^① 文中的中国指中国大陆,不包括港澳台地区。

表2 数字服务业技术跨国前向溢出网络中心性

年份	点度中心度		点出度		点入度		接近中心度		中介中心度		特征向量中心度	
2000	卢森堡	36	卢森堡	36	英国	25	卢森堡	0.443	英国	470.21	卢森堡	0.31
	英国	27	中国香港	18	美国	24	英国	0.411	卢森堡	292.08	英国	0.28
	美国	26	比利时	15	德国	21	美国	0.408	美国	118.64	美国	0.28
	德国	21	瑞士	15	法国	17	德国	0.395	德国	82.34	德国	0.24
	中国香港	19	英国	15	意大利	17	荷兰	0.387	新加坡	75.62	荷兰	0.23
	荷兰	18	丹麦	14	荷兰	16	中国香港	0.387	奥地利	56.53	法国	0.23
	法国	17	芬兰	14	日本	14	法国	0.384	比利时	53.61	意大利	0.22
	意大利	17	爱尔兰	14	西班牙	13	意大利	0.384	瑞士	44.20	瑞士	0.22
	新加坡	17	新加坡	14	中国	11	比利时	0.382	芬兰	41.18	丹麦	0.22
	比利时	16	奥地利	12	比利时	8	芬兰	0.382	瑞典	27.05	比利时	0.21
2021	中国	47	卢森堡	46	中国	47	中国	0.795	新加坡	271.45	瑞士	0.19
	卢森堡	46	爱尔兰	41	美国	40	卢森堡	0.784	德国	184.32	卢森堡	0.19
	瑞士	45	瑞典	41	德国	38	瑞士	0.773	卢森堡	157.58	瑞典	0.19
	瑞典	45	中国香港	40	英国	35	瑞典	0.773	英国	136.14	荷兰	0.19
	新加坡	45	比利时	38	印度	32	新加坡	0.773	比利时	114.46	比利时	0.19
	比利时	44	瑞士	36	意大利	32	比利时	0.763	美国	113.84	英国	0.19
	英国	44	马耳他	36	法国	31	英国	0.763	爱尔兰	107.97	中国	0.19
	荷兰	44	荷兰	35	新加坡	31	荷兰	0.763	瑞典	95.53	德国	0.19
	美国	44	爱沙尼亚	33	荷兰	30	美国	0.763	荷兰	73.54	新加坡	0.19
	爱尔兰	43	新加坡	33	日本	29	爱尔兰	0.753	瑞士	67.04	爱尔兰	0.18

注：基于 UCINET 结果计算整理绘制；下表同。

第1位。瑞士和瑞典分别从2000年的第11位和第18位上升至2021年的第3位和第4位。德国、法国、中国香港和意大利则逐渐淡出前10位。除此之外，美国和英国的排名虽略有下降，但仍处于前10位。这表明卢森堡、中国、美国、英国和新加坡等经济体在数字服务业技术跨国前向溢出网络中与其他经济体的联系更为紧密，独立性也更强且能有效影响其他经济体，在网络中处于核心地位。具体从点出度和点入度来看，卢森堡、爱尔兰、瑞典等欧洲经济体与中国香港、新加坡的数字服务技术对其他经济体溢出较多，中国、美国、德国、英国、法国和印度等经济体吸收其他经济体的数字服务技术溢出较多。

其次，从中介中心度看，2021年新加坡跃居全球第1位，其次是德国、卢森堡和英国等欧洲经济体。与2000年相比，新加坡、德国和比利时等经济体的排名有较大幅度提升，奥地利和芬兰有所降低，而新加坡、卢森堡、德国、美国、英国、比利时、瑞士和瑞典一直处于数字服务业技术跨国前向溢出网络前10位，在网络中具有重要的中介作用。中国的中介中心度为0，在数字服务业技术前向溢出网络中掌控信息和资源的能力极弱。

最后,从特征向量中心度看,卢森堡、英国、德国、荷兰、瑞士和比利时等经济体一直处于前10位,与网络中的强国有较多联系,可获得较大的借势权力,自身地位也较高,具有较大的溢出波及影响力。与2000年相比,中国2021年排名第7位,有较大幅度提升;美国排名有所下降,2021年已经退出前10位。

2. 后向溢出网络节点中心性

首先,从点度中心度和接近中心度看,与2000年相比,2021年中国排名有较大幅度提升,跃居到全球第1位,表明中国在后向溢出网络中发挥越来越重要的需求拉动作用,紧随其后的是卢森堡、荷兰、美国和马耳他等。卢森堡、马耳他、荷兰和丹麦等经济体的排名也有所提升,日本、德国、美国和意大利等经济体排名有所下降。德国、美国、英国、卢森堡、荷兰和比利时始终位于前10位,在网络中占据重要地位,且处于距离网络中其他经济体的最短路径上,对其他经济体的依赖程度最小。从点出度看,卢森堡、中国香港、丹麦、比利时、荷兰、英国和新加坡等经济体名列前茅,它们通过后向关联对其他经济体有较强的需求拉动作用。从点入度看,中国、德国、美国、法国、英国和荷兰等经济体的点入度较高,对其他经济体的数字服务业发展提供了较多的中间投入。

其次,从中介中心度看,2021年卢森堡排名全球第1位,紧随其后的是荷兰、新加坡、德国和美国等,它们在后向溢出网络中的控制能力较强;与2000年相比,韩国排名有较大幅度提升,2021年跻身全球第6位,在网络中发挥越来越重要的中介作用;中国的中介中心度为0,中介作用极弱。

最后,从特征向量中心度看,与2000年相比,2021年中国排名跃居全球第1位,美国、卢森堡、荷兰、德国、英国、法国和丹麦等经济体的排名也相对靠前,在后向溢出网络中与强国的联系较多,获得较大的借势权力,具有较大的溢出波及影响力。

3. 两类网络中心性的基尼系数

图2反映了数字服务业技术跨国溢出网络出度和入度的差异性。就出度差异性而言,2000年两类网络的基尼系数较高,均在0.6以上,表明2000年数字服务业技术跨国溢出网络具有极强的异质性,少数经济体具有较高的出度值,而其他大多数经济体的出度值较低,反映了数字服务业技术溢出国的集中性与溢出网络分布的不均匀性。但网络异质性整体呈波动下降趋势,特别是在2000~2008年下降幅度较大,之后波动较为频繁但幅度相对较小,整体保持在0.48~0.58范围内,网络异质性仍然较强,特别是前向溢出网络的异质性更大。

就入度差异性而言,数字服务业技术跨国前后向溢出网络的基尼系数也呈下降趋势,分别从2000年的0.7253和0.6398下降至2021年的0.4735和0.4433,表明少数经济体具有较高的入度值,大部分经济体具有较低的入度值,网络呈现两极分化的特征,但这种差异性呈逐渐缩小的态势。基尼系数在2021年仍大于0.4,网络差异性与不均匀性仍较大,反映了数字服务业技术溢出吸收国的集中性,且后向

溢出网络的集中性更大。

表 3 数字服务业技术跨国后向溢出网络中心性

年份	点度中心度		点出度		点入度		接近中心度		中介中心度		特征向量中心度	
2000	美国	32	卢森堡	23	美国	31	美国	0.42	英国	314.93	美国	0.29
	德国	26	瑞士	17	德国	25	德国	0.4	瑞士	222.00	英国	0.27
	英国	25	丹麦	15	英国	22	英国	0.397	美国	189.90	德国	0.26
	卢森堡	23	英国	14	日本	20	卢森堡	0.389	荷兰	152.81	卢森堡	0.25
	荷兰	21	中国香港	14	法国	19	荷兰	0.387	新加坡	120.22	荷兰	0.24
	法国	20	奥地利	13	意大利	19	法国	0.384	德国	85.28	法国	0.24
	意大利	20	爱尔兰	13	荷兰	16	意大利	0.384	奥地利	81.35	日本	0.23
	日本	20	新加坡	13	中国	14	日本	0.382	瑞典	69.11	瑞士	0.22
	新加坡	19	芬兰	12	西班牙	12	新加坡	0.382	卢森堡	54.44	意大利	0.22
	瑞士	18	荷兰	12	新加坡	10	瑞士	0.374	芬兰	33.78	丹麦	0.21
2021	中国	52	卢森堡	48	中国	52	中国	0.806	卢森堡	271.87	中国	0.21
	卢森堡	48	马耳他	42	美国	40	卢森堡	0.763	荷兰	236.41	卢森堡	0.20
	荷兰	46	荷兰	38	德国	38	荷兰	0.744	新加坡	171.75	荷兰	0.20
	美国	45	丹麦	36	荷兰	35	美国	0.734	德国	161.65	美国	0.20
	马耳他	42	塞浦路斯	34	英国	34	马耳他	0.707	美国	152.12	马耳他	0.19
	德国	41	新加坡	34	俄罗斯	33	德国	0.699	韩国	101.46	德国	0.19
	丹麦	39	比利时	33	法国	32	丹麦	0.682	英国	99.00	英国	0.19
	英国	39	瑞典	32	意大利	32	英国	0.682	法国	61.27	丹麦	0.19
	比利时	38	瑞士	31	印度	30	比利时	0.674	瑞典	59.70	比利时	0.18
	新加坡	38	爱沙尼亚	31	韩国	30	新加坡	0.674	爱尔兰	55.78	法国	0.18

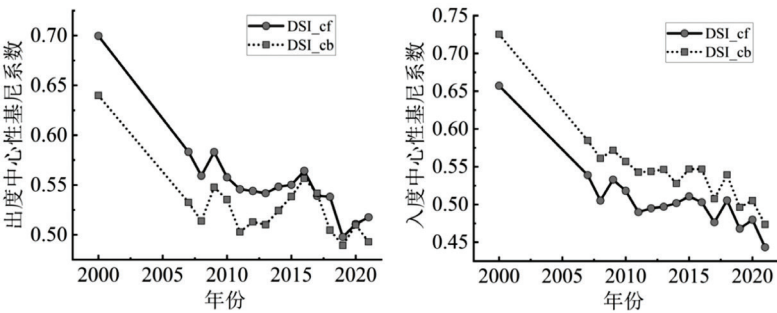


图 2 数字服务业技术跨国溢出网络中心性的基尼系数

4. 两类网络拓扑结构可视化

选取 2000 年和 2021 年的数据，将大于阈值的数字技术溢出联系保留原数据，小于阈值的取零值，绘制数字服务业技术跨国溢出网络拓扑结构（图 3）。图中的圆形节点代表不同的经济体，线条的粗细反映节点间数字技术溢出规模，节点大小对应点度中心度，并将点度中心度排名前 3 位的经济体标为白色，排名第 4~10 位的经济体标为浅灰色。

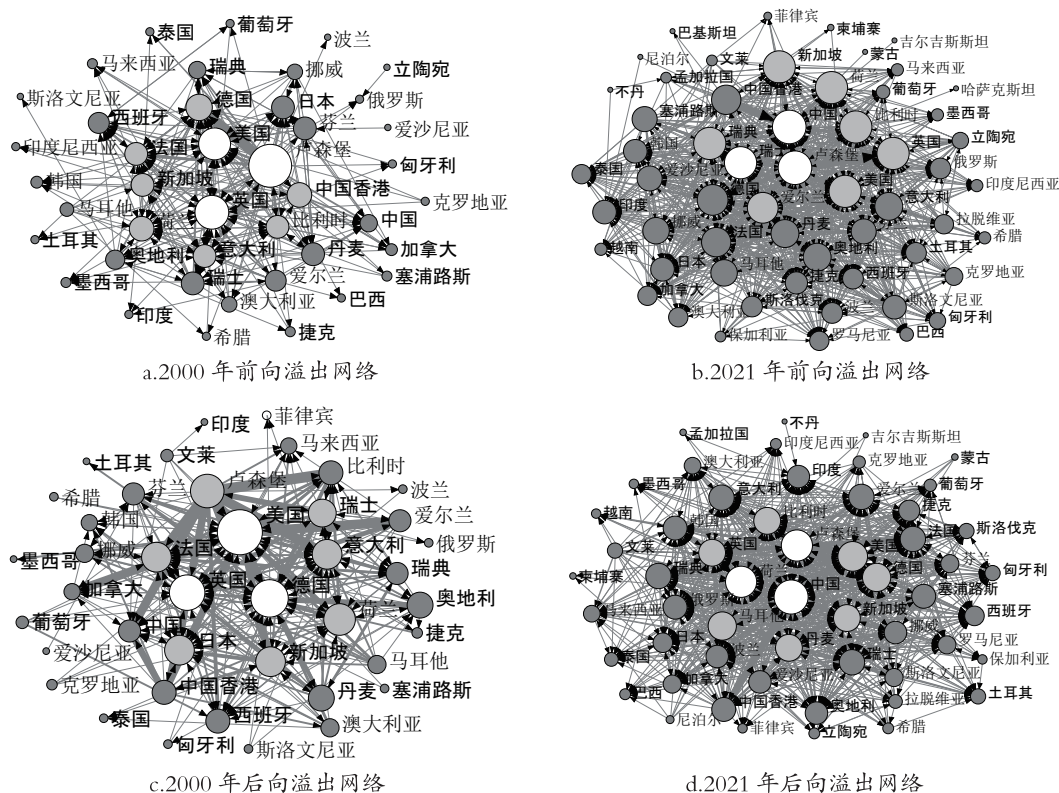


图3 数字服务业技术跨国溢出网络拓扑结构

就前向溢出网络而言，2000 年卢森堡在网络中占据绝对领先地位，且其溢出规模遥遥领先于其他经济体，特别是对德国、法国、意大利和比利时等欧洲经济体的溢出规模更大；2021 年网络更加稠密，由卢森堡绝对主导转变为由中国、卢森堡、瑞士和新加坡等多个核心经济体共同主导，卢森堡溢出至英国和德国及中国香港溢出至中国内地的规模最大，表明卢森堡和中国香港的数字服务业对各自区域内邻近经济体的前向供给推动作用较大。就后向溢出网络而言，2021 年网络密度明显更大，由美国绝对主导转变为由中国、卢森堡、荷兰和美国等多个经济体共同主导。从溢出规模看，卢森堡对德国、比利时、法国和英国等经济体的溢出及中国香港对中国内地的溢出规模较大，说明卢森堡和中国香港的数字服务业对各自区域内邻近经济体的后向需求拉动作用也较大。

（三）局部结构与社团特征

根据表 1 的分类标准，对 2021 年数字服务业技术跨国溢出网络的局部结构与社团特征进行块模型分析。

1. 两类网络中不同板块的溢出效应及主要成员

如表 4 所示，从整体上看，前后向溢出网络中板块间溢出占比分别达到了

61.24% 和 66.67%，说明与板块内部溢出相比，不同板块间的数字服务溢出联系更多。

综合表 4 和表 5 可知，在前向溢出网络中，板块 1 溢出数为 42，其中内部溢出数为 26，接收其他板块溢出数为 248，远大于溢出数，属于典型的主受益板块，成员主要为中国、日本、韩国、澳大利亚、印度尼西亚和印度等 14 个经济体；板块 2 溢出数为 147，内部溢出数为 54，接收其他板块溢出数为 214，与板块 1 相比，板块 2 内外部溢出数相对较多，也属于主受益板块，成员包括德国、美国、法国和加拿大等 11 个经济体；板块 3 溢出数为 490，内部溢出数为 164，接收其他板块溢出数为 135，属于双向溢出板块，成员主要有英国、比利时和奥地利等部分欧洲经济体以及新加坡和中国香港，它们的数字服务技术水平整体较高，对板块内外部都产生了显著的供给推动效应；板块 4 对其他板块的溢出数为 193，接收其他板块溢出数仅为 31，为主溢出板块，成员主要有保加利亚、匈牙利和克罗地亚等 9 个经济体，在整个网络中担任“奉献者”角色。

表 4 2021 年数字服务业技术跨国溢出网络中四大板块的溢出效应

网络	板块	溢出关系数			接收关系数		
		板块内	板块外	合计	板块内	板块外	合计
前向溢出网络	板块 1	26	16	42	26	248	274
	板块 2	54	93	147	54	214	268
	板块 3	164	326	490	164	135	299
	板块 4	14	193	207	14	31	45
后向溢出网络	板块 1	14	46	60	14	100	114
	板块 2	73	69	142	73	296	369
	板块 3	178	333	511	178	90	268
	板块 4	12	106	118	12	68	80

注：为保证板块类型划分的准确性，删除哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、柬埔寨、斯里兰卡、老挝、不丹、蒙古和巴基斯坦这 8 个溢出和接收数量十分稀少的节点国家，故两类网络的节点数量变为 48 个；下表同。

表 5 数字服务业技术跨国溢出网络中四大板块的经济体

网络	板块	板块类型	板块内经济体
前向溢出网络	板块 1	主受益板块	澳大利亚、巴西、中国、印度尼西亚、印度、日本、韩国、墨西哥、俄罗斯、土耳其、马来西亚、菲律宾、泰国、越南
	板块 2	主受益板块	加拿大、捷克、德国、西班牙、法国、希腊、意大利、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、美国
	板块 3	双向溢出板块	奥地利、比利时、瑞士、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、英国、爱尔兰、卢森堡、荷兰、挪威、瑞典、新加坡、中国香港
	板块 4	主溢出板块	保加利亚、塞浦路斯、克罗地亚、匈牙利、立陶宛、拉脱维亚、马耳他、斯洛伐克、斯洛文尼亚
后向溢出网络	板块 1	主受益板块	澳大利亚、巴西、加拿大、印度尼西亚、日本、墨西哥、马来西亚、菲律宾、泰国、越南
	板块 2	主受益板块	中国、德国、西班牙、法国、英国、印度、意大利、韩国、波兰、俄罗斯、土耳其、美国
	板块 3	双向溢出板块	奥地利、比利时、瑞士、塞浦路斯、捷克、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、爱尔兰、卢森堡、马耳他、荷兰、挪威、瑞典、新加坡、中国香港
	板块 4	主溢出板块	保加利亚、希腊、克罗地亚、匈牙利、立陶宛、拉脱维亚、葡萄牙、罗马尼亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚

在后向溢出网络中，板块 1 和板块 2 仍属于主受益板块，板块 1 成员主要包括日本、澳大利亚、加拿大和印度尼西亚等经济体，板块 2 成员主要为中国、美国、德国、英国、法国和韩国等经济体。板块 2 的内外部溢出数及接收其他板块溢出数均大于板块 1，表明板块内部以及与其他板块的联系更加密切；板块 3 的内部溢出数为 178，外部溢出数为 333，属于双向溢出板块，成员主要有奥地利、比利时和瑞士等部分欧洲经济体以及新加坡和中国香港，它们的数字服务业技术水平整体较高，对板块内外部都产生了显著的需求拉动效应；板块 4 的外部溢出数为 106，内部溢出数仅为 12，属于典型的主溢出板块，成员主要为保加利亚、希腊、葡萄牙和匈牙利等欧洲经济体，属于网络中的“奉献者”。

综合两类网络，数字服务业技术主溢出板块包括更多的中东欧经济体，双向溢出板块主要包括新加坡、中国香港和欧洲经济体等，而中国、美国、德国和日本等全球生产网络核心经济体、一些西欧经济体及印度尼西亚和马来西亚等东南亚国家、澳大利亚、巴西、墨西哥基本处于主受益板块。其中，美国和德国在两类网络中均处于板块 2，日本在两类网络中均处于板块 1，中国在数字服务业技术跨国前向溢出网络中处于板块 1，在后向溢出网络中处于板块 2。

2. 两类网络中不同板块之间的溢出关联

为考察板块之间数字服务业技术溢出的关联关系，计算各板块的密度矩阵和像矩阵，并绘制四大板块间的关联图。如表 6 与图 4 所示，在两类网络中，板块 2 内部存在明显的数字服务业技术溢出联系，并且接收来自板块 3 和板块 4 的溢出，属于整个网络中的“受益者”；板块 3 内部存在数字服务业技术溢出关系，对其他板块的溢出效应也很明显，主要是因为该板块成员数字服务业发展较为成熟，数字服务业技术创新能力较强，对板块内外部的前后向带动作用均较强，属于网络中的“奉献者”；板块 4 的数字服务业技术更多溢出到板块 2，同样也为“奉献者”。

表 6 2021 年两类网络中四大板块的密度矩阵和像矩阵

网络	板块	密度矩阵				像矩阵			
		板块 1	板块 2	板块 3	板块 4	板块 1	板块 2	板块 3	板块 4
前向溢出网络	板块 1	0.143	0.058	0.036	0	0	0	0	0
	板块 2	0.253	0.491	0.338	0.02	0	1	0	0
	板块 3	0.816	0.89	0.901	0.23	1	1	1	0
	板块 4	0.389	0.687	0.603	0.194	0	1	1	0
后向溢出网络	板块 1	0.156	0.292	0.069	0	0	0	0	0
	板块 2	0.117	0.553	0.25	0.058	0	1	0	0
	板块 3	0.538	0.969	0.742	0.381	1	1	1	1
	板块 4	0	0.625	0.194	0.133	0	1	0	0

注：2021 年两类网络的整体密度分别为 0.393 和 0.368。

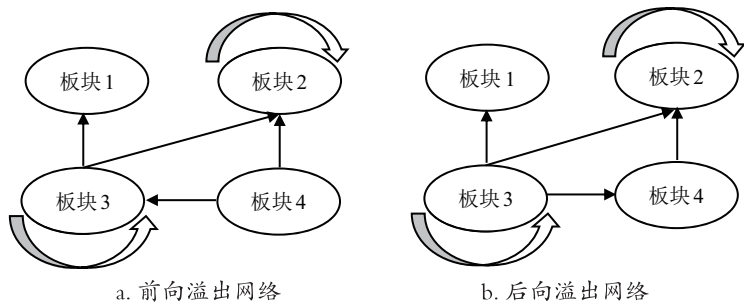


图4 2021年两类网络中四大板块的关联关系

资料来源：笔者自制。

五、结论与政策建议

（一）主要结论

从整体结构看，数字服务业技术跨国前后向两类溢出网络的规模不断扩大，网络日趋稠密化，溢出效率不断提高，网络异质性及分布不均匀性较强，且均存在较大的集聚效应和明显的“小世界”特征，由2000年卢森堡、美国和德国主导逐渐转变为2021年由卢森堡、中国和瑞士等经济体主导。

在所有溢出路径中，卢森堡前向溢出至英国和德国、后向溢出至德国、比利时、法国和英国的规模较大；中国香港前后向溢出至中国内地的规模最大，表明卢森堡和中国香港的数字服务对各自区域邻近经济体的前向供给推动作用和后向需求拉动作用均较大。

从节点中心性看，美国、德国、英国、卢森堡和新加坡等经济体在数字服务业技术跨国溢出网络中始终处于核心地位，且在网络中与其他经济体联系紧密，具有较强的独立性、控制能力和波及影响力。中国的点度中心性和接近中心性到2021年均位居全球第1位，在网络中处于核心地位，具有较强的直接影响力和反控制能力，特征向量中心性也已跻身全球前10位，但中介控制能力极弱。

从局部结构和社团演进看，新加坡、中国香港和奥地利、瑞士、卢森堡等欧洲发达经济体大多属于双向溢出板块或主溢出板块，属于整个网络中的“奉献者”；中国、美国、日本、印度尼西亚等亚太经济体大多属于主受益板块，主要接收来自其他板块的溢出，属于网络中的“吸收者”。此外，中国、美国和德国等经济体所属板块内部也存在较强的溢出效应，板块内部溢出联系较紧密。

（二）政策建议

基于以上结论，提出通过国际合作促进数字服务技术创新、提升中国数字服务业国际竞争力、带动全球经济高质量发展的政策建议。首先，提前布局关键基础数字技术和数字服务核心产业，发挥科研机构 and 数字服务领军企业的带动作用，提高原始技术创新能力，突破底层技术架构等关键核心技术瓶颈，实现数字服务产业关

键技术自主可控,提升中国数字服务价值链结构性权力。其次,积极推动数字服务技术创新国际合作,不仅要继续深化与中国香港、日本、韩国和新加坡等亚洲经济体内部的数字服务技术合作,还要加强与欧洲发达经济体的数字服务技术交流,积极借鉴和吸收欧洲发达经济体的数字服务技术创新经验,促进数字服务合作对象多元化发展,提升区域数字服务产业链韧性。再次,积极参与数字服务贸易和数字经济相关协定谈判,推动数字服务贸易和网络安全国际标准制定,提升中国在数字服务贸易规则领域的话语权和控制权,摆脱美国对中国数字技术的遏制、围堵与打压,有效避免数字服务产业脱钩断链,提升区域数字服务产业链的安全性及稳定性。最后,积极发挥中国在数字服务业技术跨国溢出网络中的核心影响力,以数字“一带一路”倡议为主要抓手,积极构建区域可持续数字服务产业链,带动全球数字服务供应链可持续性现代化水平不断提升,为全球数字命运共同体建设贡献中国智慧和力量。

参考文献:

- [1] 保建云.百年变局下的全球数字治理变革及数字风险治理[J].人民论坛,2023,(12).
- [2] 李敬等.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).
- [3] 梁圣蓉,罗良文.国际研发资本技术溢出对绿色技术创新效率的动态效应[J].科研管理,2019,40(3).
- [4] 罗超亮等.战略性新兴产业国际贸易网络的演化及动力机制研究[J].国际贸易问题,2022,(3).
- [5] 黄日涵,高恩泽.“小院高墙”:拜登政府的科技竞争战略[J].外交评论(外交学院学报),2022,39(2).
- [6] 刘航,王乐.进口品技术属性如何实现跨行业二次溢出?——对创新激励与横向技术启发效应的实证检验[J].统计研究,2023,40(10).
- [7] 刘敏等.“一带一路”跨国技术溢出网络空间演化与路径识别——加权复杂网络分析视角[J].科技进步与对策,2020,37(23).
- [8] 刘维林,程倩.数字产业渗透、全球生产网络与非对称技术溢出[J].中国工业经济,2023,(3).
- [9] 马菁等.全球数字贸易网络结构演化及影响因素分析[J].地理科学,2024,44(3).
- [10] 彭红枫等.RCEP成员国农产品贸易网络的动态结构及其影响因素分析[J].统计研究,2024,41(1).
- [11] 岐洁等.国际性绿色技术溢出与我国技术进步[J].科研管理,2015,3(9).
- [12] 唐晓彬,崔茂生.“一带一路”货物贸易网络结构动态变化及其影响机制[J].财经研究,2020,46(7).
- [13] 王静,张西征.高科技产品进口溢出、创新能力和生产效率[J].数量经济技术经济研究,2012,29(9).
- [14] 向希尧,蔡虹.跨国技术溢出网络结构分析与路径识别——基于专利引用的实证分析[J].科学学研究,2009,27(9).
- [15] 谢建国.外商直接投资对中国的技术溢出:一个基于中国省区面板数据的研究[J].经济学季刊,2006,(4).
- [16] 易子榆等.数字产业技术发展对碳排放强度的影响效应研究[J].国际经贸探索,2022,38(4).
- [17] 张辉,李宁静.“一带一路”贸易关系演变特征:基于社会网络分析视角[J].社会科学,2023,(12).
- [18] 张天顶,龚同.FTA网络中心枢纽如何影响增加值网络重构?基于本土化、区域化和多元化的视角[J].世界经济研究,2023,352(6).
- [19] 张小云,凌丹.中间品技术溢出与制造业全球价值链地位攀升——双循环下的理论与经验分析[J].国际贸易问题,2023,(9).
- [20] 赵立斌,张梦雪.数字技术创新溢出对全球价值链结构性权力的影响——兼论中国的应对策略[J].经济学家,2023,(11).

- [21] 朱平芳等. 中国工业行业间 R&D 溢出效应研究 [J]. 经济研究, 2016, 51(11).
- [22] Acs, Z. J., et al. The Determinants of New-firm Survival across Regional Economies: The Role of Human Capital Stock and Knowledge Spillover [J]. Papers in Regional Science, 2007, 86(3).
- [23] Batabyal, A. A., Nijkamp, P. Digital Technologies, Knowledge Spillovers, Innovation Policies, and Economic Growth in a Creative Region [J]. Economics of Innovation and New Technology, 2016, 25(5).
- [24] Coe, D. T., Helpman, E. International R&D Spillovers [J]. European Economic Review, 1995, 39(5).
- [25] Gjesvik, L. Private Infrastructure in Weaponized Interdependence [J]. Review of International Political Economy, 2023, 30(2).
- [26] Ingold, K., Leifeld, P. Structural and Institutional Determinants of Influence Reputation: A Comparison of Collaborative and Adversarial Policy Networks in Decision Making and Implementation [J]. Journal of Public Administration Research and Theory, 2016, 26(1).
- [27] Jaffe, A. B., et al. Knowledge Spillovers and Patent Citations: Evidence from a Survey of Inventors [J]. American Economic Review, 2000, 90(2).
- [28] Lee, G. Direct versus Indirect International R&D Spillovers: A Re-examination [J]. European Economic Review, 1998, 42(8).
- [29] Leifeld, P., et al. Temporal Exponential Random Graph Models with Btergm: Estimation and Bootstrap Confidence Intervals [J]. Journal of Statistical Software, 2018, 83(6).
- [30] Kondyan, S., Yenokyan, K. Cross-country Knowledge Spillovers and Innovations in Less Developed Countries in the Context of the Schumpeterian Growth Model [J]. Journal of Industry Competition and Trade, 2019, 19(3).
- [31] Wang, L., et al. Will Researching Digital Technology Really Empower Green Development [J]. Technology in Society, 2021, (10).

Global Digital Service Technology Cross-border Spillover Network Patterns Study on Spatial-temporal Evolution

ZHAO Libin ZHANG Mengxue

Abstract: Based on the upstream and downstream relationship of global value chain, this paper constructs two types of global digital service industry technology cross-border spillover networks, and explores the temporal and spatial evolution characteristics of digital service industry technology transnational spillover networks using complex network analysis method from the overall, local community and individual levels. The results show that the scale of the two types of spillover networks continues to expand, and the spillover efficiency continues to improve, but the distribution of the networks is not uniform, there are obvious agglomeration effects and “small world” characteristics. The network pattern was dominated by Germany, the United States, the United Kingdom and Luxembourg, and gradually changed to China, the United States, Germany and Luxembourg. Although China has strong direct influence, counter-control and spread influence in the two types of networks, the intermediary control is significantly weaker than that of the United States, Germany and Luxembourg. In terms of spillover paths, China Hong Kong has the largest spillover to Mainland China, Luxembourg has the largest spillover to European economies such as the United Kingdom and Germany. From the perspective of spillover correlation, most Asia-Pacific economies such as China, the United States and Japan belong to the main beneficiary sectors and play the role of “absorbers” in the network, while China Hong Kong, Singapore and most European economies such as Austria, Switzerland and Luxembourg belong to the two-way spillover or main spillover plate and play the role of “contributors” in the network.

Keywords: digital service industry technology; transnational spillover; complex network analysis; network pattern evolution

(责任编辑: 梁丽华)