

共享制造平台网络结构特征及影响因素研究

彭永涛¹, 董 浩¹, 李丫丫²

(1. 江苏大学 管理学院, 江苏 镇江 212013; 2. 江苏大学 财经学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 基于共享制造代表平台海织云平台, 运用社会网络分析(SNA)探究共享制造平台网络结构特征, 并使用二次指派程序(QAP)对共享制造平台网络的影响因素进行实证分析。研究发现: 目前共享制造平台处于发展初期, 网络规模不断扩大, 但合作关系的紧密程度有待进一步加深。海织云等节点在网络中占据核心地位, 拥有较大的权力和影响力, 其他节点的权力地位也在逐步提升。凝聚子群分析表明共享制造平台中存在多个小团体, 呈现多层次格局。QAP分析表明, 共享制造平台合作网络受经济规模、地理邻近、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近、政策强度和产业邻近等因素的影响。研究成果为制造企业更好地理解共享制造及为共享制造平台的发展提供帮助。

关键词: 共享制造; 平台网络; 社会网络分析; QAP

中图分类号: F273.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2023)11—0147—14

一、引言

随着共享经济从消费领域向制造领域延伸, 共享制造平台为全球制造业实现数字化转型带来新的机遇(Rojanakit et al, 2022; 晏鹏宇等, 2022)。基于自身优势, 互联网平台企业和制造业龙头企业开放数字资源, 建立自己专属的共享制造平台, 吸引传统制造企业和其他行业制造企业加入共享制造平台, 以从共享市场中谋取利益(Guan and Jiang, 2016; Hu et al, 2022)。通过工业互联网和云制造技术, 共享制造平台上的企业可以独立访问其外部合作伙伴, 激发更多的企业参与, 共享制造已经改变了原有的网络化制造模式(Li and Jiang, 2021; 杜勇等, 2022; 许晖等, 2023)。中国工业和信息化部在《关于加快培育共享制造新模式新业态促进制造业高质量发展的指导意见》中明确指出 2022 年要建立多家共享制造示范平台, 带动中小企业完成数字化转型。由于共享制造平台网络运营复杂, 中小企业对其缺乏了解, 不愿意加入共享制造平台(Wei and Su, 2013)。目前中国的共享制造发展仍处于起步阶段, 共享经济与制造业相融合是共享制造平台网络形成的驱动力, 完善的法规政策是共享制造发展的保障(鲍世赞和蔡瑞林, 2017)。基于上述背景, 厘清共享制造平台网络结构特征及形成机理不但有助于解决中小企业共享意愿不足的问题, 而且对于促进中国制造业高质量发展具有重要理论与现实意义。

从国内外对共享制造平台的研究进展来看, 共享制造可以方便地连接制造业供需, 为客户提供多样化的产品定制服务, 从而帮助制造企业获得战略竞争优势, 对制造业产生了深远的影响(Wang et al, 2021; Cao et al, 2023)。在共享制造平台形成方面, 制造企业衍生出共享工厂, 实现了多企业间的协同生产, 共享工厂作为社会化制造的一种新的生产节点, 推动制造业向网络化、平台化方向发展(Wan et al, 2020; Jiang and Li, 2020)。在共享制造平台组织架构方面, 平台主导企业在共享制造平台中占据了绝对权力位置, 成为共享制造平台网络的核心节点, 而其他企业为非核心节点, 节点之间基于联系形成了独特的网络结构, 而网络结构的变化会影响共享行为(He et al, 2019; 彭正银和姚双双, 2023; Belhadi et al, 2023)。在共享制造合作创新方面, 以大学-企业-科研院所主导的合作创新网络呈现出小世界布局, 大学是网络的核心, 推动着共享制造产业螺旋发展(Chen et al, 2021; 刘英恒太和杨丽娜, 2021)。在共享制造平台信任机制方面, 区块链技术通过保持交易记录的透明性和不变性来提高制造企业节点之间的信任, 从而维持共享制造平台网络的稳定运行(Rožman et

收稿日期: 2023-07-08

基金项目: 教育部人文社科研究项目“数字服务化场景中多主体动态协同运营决策及治理机制研究”(23YJC630140); 江苏省社会科学基金资助项目“江苏两业深度融合驱动产品服务供应链竞争策略研究”(21GLC005); 江苏省高校哲学社会科学资助重大项目“组态视角下江苏先进制造业与现代服务业深度融合机理研究”(2020SJZDA062)

作者简介: 彭永涛, 博士, 江苏大学管理学院副教授, 研究方向: 制造业服务化; 李丫丫, 博士, 江苏大学财经学院副教授, 研究方向: 技术创新; 董浩, 江苏大学管理学院硕士研究生, 研究方向: 共享制造平台。

al, 2021),降低了由于信任不足而出现机会主义行为的可能性(Yu et al, 2020;刘佳等, 2020)。

综上所述,学术界已经对共享制造平台网络展开了广泛的研究,但以下方面仍有待进一步研究:①在研究对象方面,现有研究指出共享制造平台是一种新型制造模式,但鲜有学者探究共享制造平台的网络结构和形成机理。本文从整体网和个体网角度分析了共享制造平台参与者的位置和权力变化,以便更好地描述和理解共享制造平台网络结构。②在研究视角方面,学者们指出政府支持及配套的法律保障影响着共享制造发展,但对于共享制造平台网络形成机理亟需进一步刻画。本文从多维邻近性角度探讨了共享制造平台网络的形成机理,探究不同因素对共享制造平台形成影响的显著性变化。③在研究变量方面,以往研究大多考察了地理邻近、知识水平、组织邻近、社会邻近和制度邻近对合作关系网络的影响机制,缺乏关注政府政策支持强度对共享制造平台网络的影响,并且已有研究尚未考虑产业邻近对共享制造平台网络的驱动作用。本文特别考虑政策强度和产业邻近对共享制造的影响。研究结果有助于加深制造企业理解共享制造,从而鼓舞更多制造企业积极参与共享制造,对实现共享制造平台健康稳定发展和制造业数字化转型有重要理论与现实意义。

二、文献回顾

(一)共享制造平台

“共享制造”的概念最早是由 Brandt (1990)提出的。他观察到,在当时美国的共享制造中心,大企业不仅向小企业提供闲置的制造设备,还帮助小企业培训工程师,帮助小企业升级制造设备,改善生产线。在共享制造诞生初期,通过互联网共享制造服务可以很好地解决合作伙伴之间沟通基础设施不完善的问题(杜勇等, 2022)。在制造任务中,供应商提供本地甚至全球的分布式制造资源,以满足消费者的需求,供应商与需求方动态、灵活地合作,形成完整的共享制造服务体系(Tedaldi and Miragliotta, 2022)。共享制造体系中各利益相关方应不断加强自我规制,通过相互合作、相互配合,实现有效的质量提升,共同提高产品竞争力(Yang et al, 2021)。协同生产是共享制造的典型特征,共享制造将单一企业自主生产的制造模式转变为协同制造。制造企业实现了多企业间的协同生产,改变了传统的生产制造网络(彭正银和姚双双, 2023)。网络效应增强了不同利益相关者之间的动态互动,从而实现共享供应链平台与制造商之间的价值共创。制造资源的合理配置是共享制造的核心内容。Wang等(2021)建立数字化与服务双驱动模式,有助于协调跨组织资源,为个性化制造需求提供服务。共享制造需要基于专业的制造资源和产能共享平台,因为平台具有强大的信息和资源整合能力,可以实现供应商和买家之间的有效快速对接,从而促进交易,优化市场配置(He et al, 2019)。对共享资源类型和数量的需求往往随着时间的推移而变化,导致资源竞争不平衡,基于两阶段模型的资源协调与调度优化方法可以缓解和改善平台资源竞争。为了体现共享制造平台的公平性,制造企业往往按照“订单顺序”安排生产,基于动态规划算法的调度可以解决混流车间具有固定加工顺序的问题(Yilmaz, 2020)。

(二)共享制造平台网络影响因素相关研究

在共享制造平台上活跃着平台的领导企业、合作伙伴和终端用户,参与者之间建立合作与互动,推动平台升级(De et al, 2018)。哪些因素会影响共享制造平台网络?数字经济、工业物联网和政府激励政策作为共享制造平台网络的外部影响因素促进共享制造平台发展。首先,制造业数字化转型,数字经济与制造业的融合推动了共享制造的发展(Istipliler et al, 2023)。其次,制造能力共享离不开云制造、区块链技术等基础设施和软件设计能力等数字化能力的支持(向坤和杨庆育, 2020)。最后,政府需要建立可靠的激励机制和补贴机制,帮助共享制造健康发展(Tian et al, 2022)。在共享制造平台网络内部,地理邻近性、知识邻近性和产业邻近性驱动着共享制造平台网络的发展。首先,地理距离对于在共享制造平台上建立合作关系至关重要。共享制造通过技术指导和资源配置,帮助地理位置分散的企业做出及时有效的决策(Qiu et al, 2005)。平台合作伙伴的选择不仅可以是线下合作,也可以是线上合作(Ordanini et al, 2011)。其次,知识差异也会影响共享制造平台网络,知识共享可以显著提高制造企业的创新绩效。现代共享制造不仅共享闲置设备和资源,还共享平台的知识库(綦良群等, 2023)。知识水平相近的企业更容易获得异质资源,便于企业学习和吸收新知识(Li et al, 2021)。最后,产业水平差异会影响共享制造平台网络,相邻产业水平接近的企业之间由于同一行业更容易实现创新绩效的提升(Guan and Yan, 2016)。

针对共享制造平台,学者们主要设计了共享制造平台的框架,讨论了共享制造的概念和定义、共享后的利益分配、资源共享的分配策略、共享制造平台的公平性等问题。资源共享和知识共享都改变了传统的制造

网络,但现有共享制造平台网络的结构有待进一步研究。探索共享制造平台整体网络和个体网络的结构特征,有助于制造企业更好地理解共享制造,促进制造业数字化转型的成功。

三、数据来源与研究方法

(一)数据来源

本文选取海织云平台作为研究对象,利用爬虫软件爬取收集了共享制造平台上各参与主体的合作关系数据,数据来源主要有海织云平台官网、天眼查网站、各样本企业官网及其官方公众号等。在剔除重复与信息缺失的数据后,共获得2017—2022年海织云平台上74个单位节点。数据采集完成后,将数据进一步转换为研究所需的矩阵形式,并保存到UCINET中。多样化的数据来源,既保证数据之间的相互补充和交叉验证,又使得研究结论更具解释性。

(二)网络构建与指标说明

社会网络分析法是社会学家在数学理论上发展起来的一种网络分析方法。共享制造平台网络是用于刻画平台上各节点之间关系的网络,网络中节点间的连线代表节点间的联系。本文构建了一个无向无加权的共享制造平台网络。本文将共享制造平台网络用图集来表示,具体表现为 $G=(V,A)$,其中 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是节点 N_v 的集合, N 为网络中节点的数量。 $A=\{a_{ij}, i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n\}$ 为边 N_a 的集合, a_{ij} 是网络矩阵的一个单元, $a_{ij}=1$ 代表节点 i 与节点 j 建立合作关系,即节点 i 与节点 j 之间存在联系。如果节点 i 与节点 j 之间存在联系,那么两节点之间绘制一条连线,且 $a_{ij}=1$;如果节点 i 与节点 j 之间不存在联系,那么连线不存在,且 $a_{ij}=0$ 。

为了描述共享制造平台网络的结构特征,建立了两个层次指标,分别分析了共享制造平台网络的整体网络特征和个体网络特征。首先,在整体网络指标方面,用网络边数、密度、集聚系数和平均路径长度来描述整体网络结构特征。如果一个网络比其他网络具有更高的节点数量、更多的连接、更高的密度、更短的平均路径长度和更大的集聚系数,则称为相对成熟的网络;否则,整个网络是不完善的,需要进一步发展。其次,用度中心度、中间中心度和接近中心度来描述个体网络结构特征(赵文霞等,2023;玄泽源等,2023)。这些中心度指标描述了共享制造平台网络中节点的位置及权力。具体指标含义及公式如下。

1. 整体网指标

网络节点数量和网络密度。网络节点数量是指共享制造平台网络中的节点数量。网络节点数量越多,网络规模越大,网络越复杂。密度用来描述网络成员之间联系的紧密程度。具体公式为

$$D = \frac{M}{N(N-1)} \quad (1)$$

其中: D 为网络密度; M 为网络关系总数; N 为网络节点数。

平均路径长度。平均路径长度表示网络中从一个节点传输到另一个节点的平均节点数。具体公式为

$$APL = \frac{\sum_{i \neq j} d_{ij}}{N(N-1)} \quad (2)$$

其中: APL 为平均路径长度; d_{ij} 为节点 i 到节点 j 的最短路径。

集聚系数。集聚系数表示网络中每个节点的可达性。具体公式为

$$T = \frac{3M_{\text{triangles}}}{M_{\text{triples}}} \quad (3)$$

其中: T 为集聚系数; $M_{\text{triangles}}$ 为网络中存在的三角关系数量; M_{triples} 为网络中潜在的三角关系数量。

2. 个体网指标

度中心度。度中心度是指网络中与某一点直接相连的其他点的数量,与它直接相连的点越多,意味着该点也具有更高的度中心度。具体公式为

$$K_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}, \quad i \neq j \quad (4)$$

其中: K_i 为节点 i 的度中心度。

中间中心度。中间中心度越大的节点对网络的控制能力越强。如果网络中的某个点总是在其他点的最短路径上,则表示该点的中间中心度高于其他网络节点。具体公式为

$$BC(N_i) = \sum_{i \neq j \neq k, j < k} \frac{g_{jk}(N_i)}{g_{jk}} \quad (5)$$

其中: $BC(N_i)$ 为节点*i*的中间中心度; g_{jk} 为节点*i*与节点*j*之间的最短路径数量; $g_{jk}(N_i)$ 为节点*i*与节点*j*之间通过*i*的最短路径数量。

接近中心度。接近中心度计算为到网络中某一点的最短路径与所有其他点的最短路径之和的倒数。具体公式为

$$CC(N_i) = \frac{1}{\sum_{j=1, j \neq i}^N d(N_i, N_j)} \quad (6)$$

其中: $CC(N_i)$ 为节点*i*的接近中心度; $d(N_i, N_j)$ 表示节点*i*与节点*j*之间的距离。

四、共享制造平台网络结构特征分析

(一)整体网络结构特征

本文构建共享制造平台网络矩阵,利用上节给出的网络特征指标计算整体网络特征统计表(见表1)。

从表1可以看出,2017—2022年,参与共享制造平台的企业数量不断增加,网络规模逐渐扩大。2017年,平台上只有3家企业,到2022年,平台上有74家企业。说明在此期间,越来越多的企业参与共享制造平台。网络边数从2017年的4条增加到2022年的177条,这表明参与平台的企业之间的联系在增加。网络节点数量和网络边数量的增加趋势表明,在共享制造平台网络规模扩大的过程中,参与平台的企业之间的联系更加频繁,从而促进了共享制造平台的稳健发展。同时,网络密度呈下降趋势,从2017年的0.667下降到2022年的0.033。这并不符合网络发展的一般规律,但体现了共享制造平台发展的独特性。究其原因,一方面,海织云平台不仅吸引了纺织服装领域的企业,也吸引了高校(青岛大学服装学院、山东科技职业学院等)、行业协会(青岛市家纺协会、中国服装物联生态联盟等)及地方人民政府(莱西市人民政府、山西侯马经济开发区等)等的关注。大量非服装纺织领域的制造企业、各类研发机构、政府机构跨行业加入网络,导致网络中初期参与者的联系紧密程度逐渐降低。另一方面,随着时间的推移,共享制造已经不仅仅局限于资源共享,平台参与企业通过知识共享、技术共享等方式进行协同创新。所以网络正在向更加复杂和松散的方向发展,从而降低了网络密度。平均路径长度从2017年的1.333逐渐增加到2022年的2.805,说明新节点的加入使得原有节点之间的距离更远,但网络边数的增长速度远远快于网络节点数的增长速度,说明网络节点之间的关系越来越紧密。集聚系数变化波动不大,大约围绕0.5上下浮动,由于网络密度逐步降低,因此除了2017年以外,整体网络的集聚系数均高于密度。相比一般网络的集聚系数大多等于密度而言,这说明共享制造平台网络的集聚性比一般网络更高。综上所述,与一般的网络化发展特点不同,共享制造平台具有其独特的网络结构特点。共享制造平台网络规模不断扩大,共享制造平台上企业之间的连接越来越紧密,参与单位也越来越多元化。

为进一步分析共享制造平台网络结构变化,本文将2017—2022年分为2017—2018年、2019—2020年和2021—2022年三个时间段,利用Gephi软件绘制共享制造平台网络整体变化特征,如图1~图3所示。网络中的线条表示节点之间存在合作关系。从图1~图3中可以看出,从2017—2022年,共

表1 2017—2022年共享制造平台网络整体特征

指标	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
节点数	3	6	21	47	66	74
边数	4	12	50	111	161	177
密度	0.667	0.400	0.119	0.051	0.038	0.033
平均路径长度	1.333	1.733	2.210	2.639	2.735	2.805
集聚系数	0.000	0.500	0.510	0.372	0.475	0.456

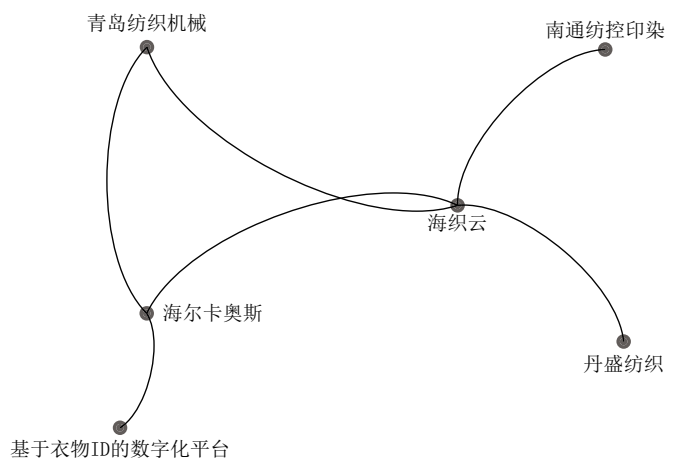


图1 2017—2018年共享制造平台网络动态变化

享制造平台网络节点数量明显增加。海织云在共享制造平台网络中一直占据着重要的地位,即海织云是网络中具有核心作用的核心企业。许多企业选择直接与核心节点建立联系,而不是与网络中的其他节点建立联系。从图2和图3可以看出,共享制造平台网络呈现出明显的核心-外围结构。

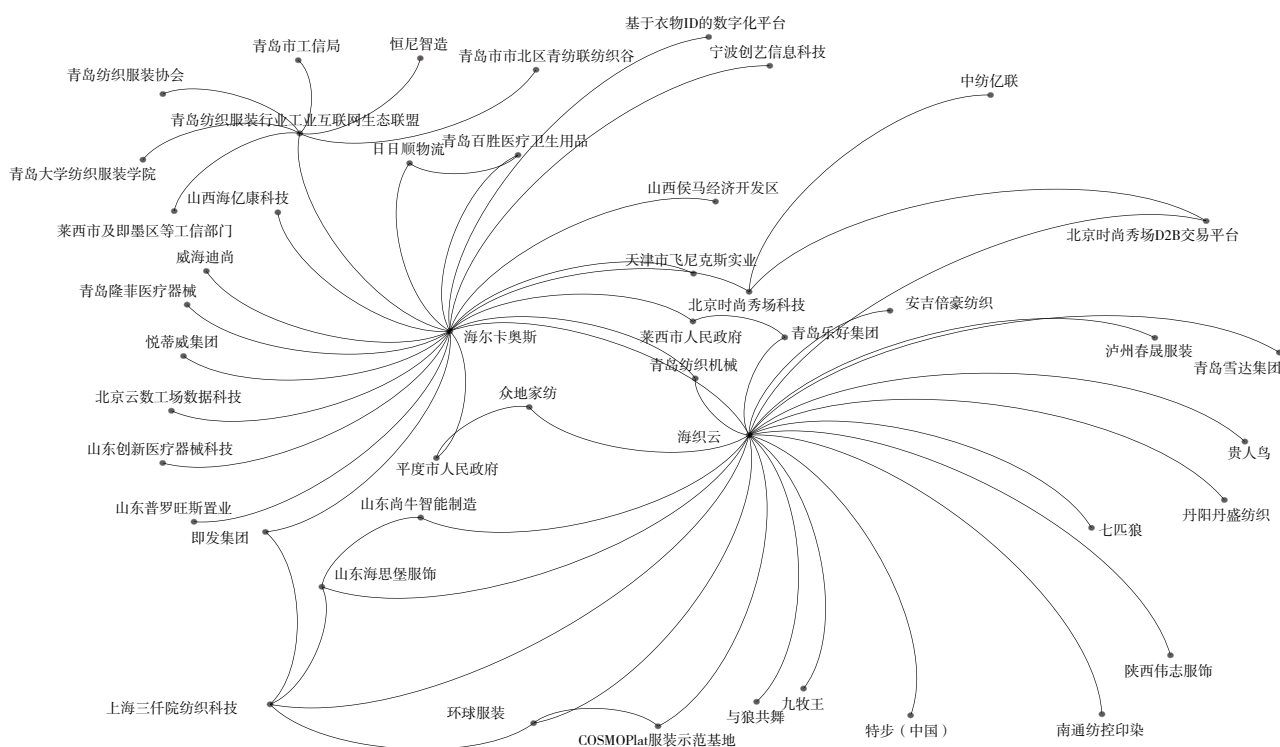


图 2 2019—2020 年共享制造平台网络动态变化

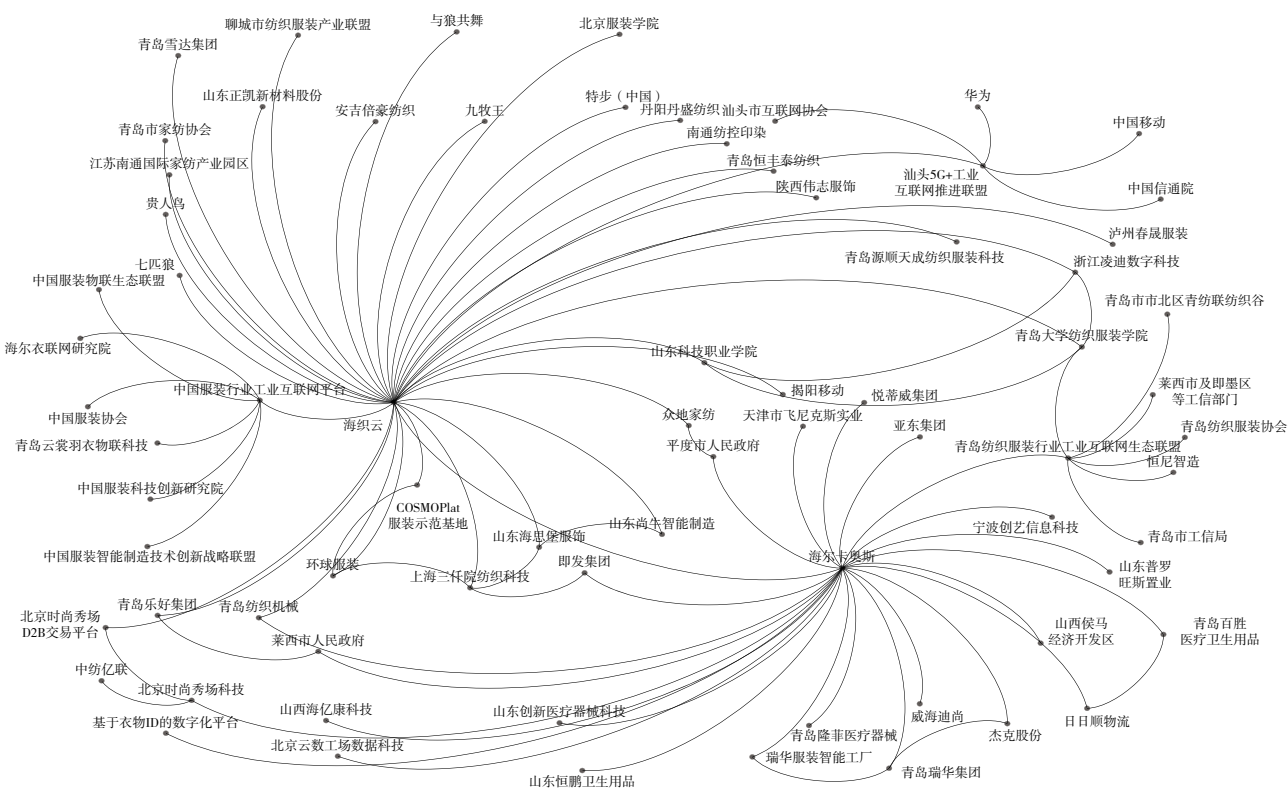


图3 2021—2022年共享制造平台网络动态变化

(二)个体网络结构特征

本文利用UCINET软件分别测算了排名前十的企业在2017—2018年、2019—2020年和2021—2022年三个时间段的度中心度、中间中心度和接近中心度,分析了网络个体节点的结构特征。结果见表2~表4。

首先,从度中心度来看,海织云排名一直处于网络的前列,即在共享制造平台网络中,海织云的度中心度最高。这说明海织云处于网络的中心,具有较大的权力和影响力,也说明现有的共享制造平台是以大企业为核心构建的。此外,共享制造平台网络中其他节点的度中心度也在不断提高。例如,海织云的度中心度从2017—2018年的4上升到2021—2022年的34,这表明越来越多的企业参与共享制造平台,并与核心企业建立了合作关系。

其次,从中间中心度结果来看,海织云的中间中心度远高于网络中其他节点的中间中心度,说明海织云在网络中处于重要位置。这一位置的网络节点可以通过控制或扭曲信息的传递来影响全网,在共享制造平台网络中起到“枢纽”的作用,这意味着海织云在网络中拥有绝对的权力和影响力。而在2019—2020年,海织云的中间中心度低于海尔卡奥斯,排名第二。这说明在网络发展的过程中,有些企业并不是直接与核心节点建立联系,而是通过与次核心节点或其他节点建立联系来加入网络。此外,在共享制造平台网络形成和发展的早期,曾出现过一些网络节点的中间中心度为0的情况。这些网络节点不能控制任何其他网络节点,处于网络的边缘。如果网络面临不可预知的危机,这些节点可能率先离开网络。但随着网络的发展,这种情况发生了变化:这些节点一方面选择与其他节点建立合作关系;另一方面与单个节点建立多个联系,以提高其面对危机的能力,这也间接提高了共享制造平台的弹性。

再次,从接近中心度的结果来看,海织云在共享制造平台网络中的可达性最强,这与度中心度的结果一致,再次证明了海织云处于网络的中心。但与中间中心度的结果相比,海织云和海尔卡奥斯的接近中心度不再远远高于网络中其他节点的接近中心度。这说明网络节点之间可能存在多条路径,居于网络中心的节点与很多点的距离都接近,但是其他点与另外一些点也很近,表明核心节点在网络中的权力和影响力在减小。此外,具有科研能力的高校在网络中的影响力也逐渐增强。例如,青岛大学纺织服装学院、山东科技职业学院等高校在加入网络的初始阶段比大多数节点具有更高的中心度,这表明高校与共享制造平台网络中的其他节点之间的“距离”很短,说明其他网络节点更容易和更倾向于与高校建立联系。究其原因,高校的知识水平要高于单个制造企业,知识共享更有利于共享制造的发展。

综上,虽然其他节点与海织云的权力和地位的差距正逐步缩小,但作为共享制造平台的主导企业,海织云依然是共享制造平台的核心节点,在共享制造平台网络中发挥着核心作用。具有核心节点角色的核心企业和其他不具有核心节点角色的企业形成共享制造平台网络。网络节点之间建立了紧密的合作关系,在自身发展的同时促进了共享制造平台的发展,企业特征更加多元、联系更加广泛,是共享制造平台网络升级的重要过程。

表2 2017—2018年共享制造平台网络个体中心度特征

排名	度中心度		中间中心度		接近中心度	
	节点	值	节点	值	节点	值
1	海织云	4	海织云	70	海织云	0.083
2	海尔卡奥斯	3	海尔卡奥斯	40	海尔卡奥斯	0.071
3	青岛纺织机械	2	基于衣物的数字化平台	0	青岛纺织机械	0.063
4	基于衣物的数字化平台	1	青岛纺织机械	0	南通纺控印染	0.050
5	南通纺控印染	1	南通纺控印染	0	丹盛纺织	0.050
6	丹盛纺织	1	丹盛纺织	0	基于衣物的数字化平台	0.045

表3 2019—2020年共享制造平台网络个体中心度特征

排名	度中心度		中间中心度		接近中心度	
	节点	值	节点	值	节点	值
1	海织云	21	海尔卡奥斯	72.53	海尔卡奥斯	0.064
2	海尔卡奥斯	20	海织云	60.27	海织云	0.059
3	青岛纺织服装行业工业互联网生态联盟	7	青岛纺织服装行业工业互联网生态联盟	24.64	青岛纺织机械	0.047
4	上海三仟院纺织科技	4	北京时尚秀场科技	5.46	青岛纺织服装行业工业互联网生态联盟	0.044

续表

排名	度中心度		中间中心度		接近中心度	
	节点	值	节点	值	节点	值
5	环球服装	3	北京时尚秀场交易平台	1.74	即发集团	0.041
6	山东海思堡服饰	3	即发集团	1.14	北京时尚秀场科技	0.041
7	北京时尚秀场科技	3	平度市人民政府	1.14	平度市人民政府	0.040
8	青岛纺织机械	2	莱西市人民政府	1.14	莱西市人民政府	0.040
9	COSMOPlat 服装示范基地	2	上海三仟院纺织科技	1.05	青岛百胜医疗卫生用品	0.040
10	即发集团	2	众地家纺	0.87	日日顺物流	0.040

表4 2021—2022年共享制造平台网络个体中心度特征

排名	度中心度		中间中心度		接近中心度	
	节点	值	节点	值	节点	值
1	海织云	34	海织云	77.46	海织云	0.062
2	海尔卡奥斯	25	海尔卡奥斯	54.05	海尔卡奥斯	0.056
3	青岛纺织服装行业工业互联网生态联盟	7	中国服装行业工业互联网平台	15.87	青岛纺织机械	0.046
4	中国服装行业工业互联网平台	7	青岛纺织服装行业工业互联网生态联盟	13.74	青岛大学纺织服装学院	0.041
5	汕头 5G+工业互联网推进联盟	5	汕头 5G+工业互联网推进联盟	10.73	中国服装行业工业互联网平台	0.041
6	上海三仟院纺织科技	4	青岛大学纺织服装学院	4.87	浙江凌迪数字科技	0.040
7	青岛大学纺织服装学院	4	北京时尚秀场科技	3.22	山东科技职业学院	0.040
8	环球服装	3	北京时尚秀场交易平台	1.55	汕头 5G+工业互联网推进联盟	0.040
9	山东海思堡服饰	3	上海三仟院纺织科技	0.84	上海三仟院纺织科技	0.039
10	北京时尚秀场科技	3	众地家纺	0.77	北京时尚秀场交易平台	0.039

(三)凝聚子群分析

凝聚子群分析可以帮助更好地识别共享制造平台网络中的派系和群体关系。凝聚子群数量和网络成员分布有助于揭示共享制造平台网络中的小团体现象。当多个网络节点形成一个凝聚子群时,表示这些网络节点之间存在较强、直接、密切或正相关的关系(Zhang et al, 2022; 李华和王丽娜, 2021)。在共享制造平台网络中,子群体反映了网络中群体的多样性,从而揭示了网络进一步发展的可能性。本文利用Ucinet中的迭代相关收敛性(CONCOR)分析了共享制造平台网络在各个时间段的凝聚子群。本文将最大分割值设置为3,结果如图4~图6所示。从图中可以看出,共享制造平台网络的子群在不同时间段的分布存在显著差异。

2017—2018年,网络中的节点数量仅为6个。经分析,网络主要有3个凝聚子群。第一个子群主要是中心度高、联系紧密的网络节点,主要包括海尔卡奥斯和青岛纺织机械;第二个子群为中间中心度较高的网络节点之间的连接,主要包括海织云和基于服装ID的数字平台;第三个子群中的网络节点与其他网络节点关系较差,远离网络核心,处于网络边缘,主要包括南通纺控印染和丹盛纺织。综上所述,第一个凝聚子群由海尔卡奥斯和青岛纺织机械组成。第二个子群关注在共享制造平台上密切合作的网络节点。最后,处于低层次接触和网络边缘的节点形成第三个子群。

随着共享制造平台的推进,凝聚子群也发生了重大变化。2019—2020年,已形成以海织云平台 and 海尔卡奥斯为核心的4个小子群。2021—2022年,进一步形成6个小子群。海织云等网络节点始终处于第一个子群中,在共享制造平台网络中占据重要地位,并具有更大的权力,引导其他网络节点与其直接或间接建立联系,使共享制造平台网络呈现出多个小团体结构。整体来看,共享制造平台网络中子群数量有所增加,呈现明显的多层次关系,促进了共享制造平台的多元化发展。

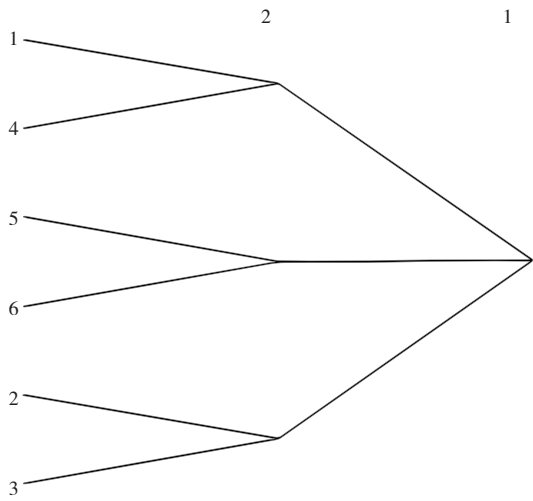


图4 2017—2018年共享制造平台凝聚子群分析

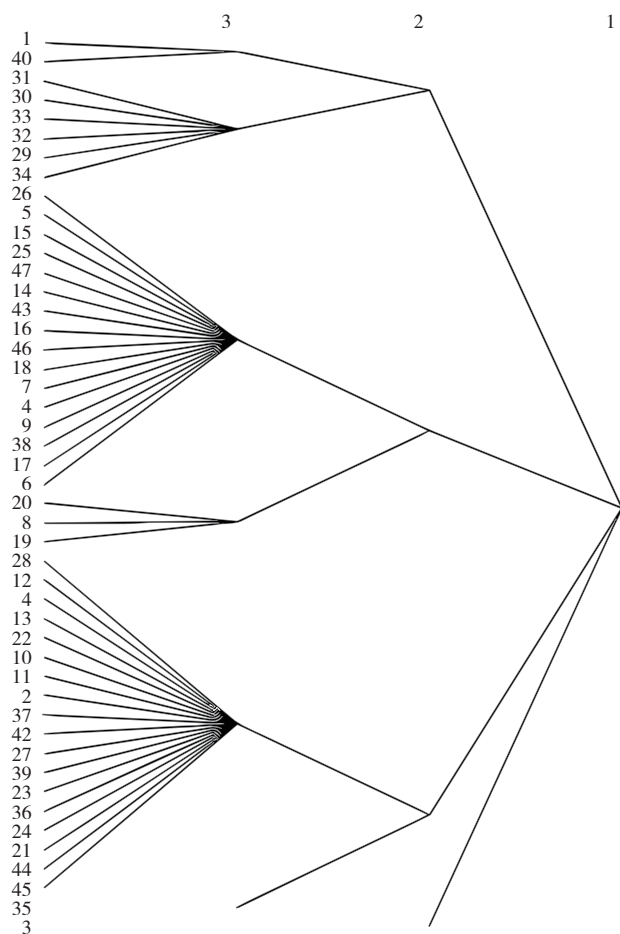


图5 2019—2020年共享制造平台凝聚子群分析

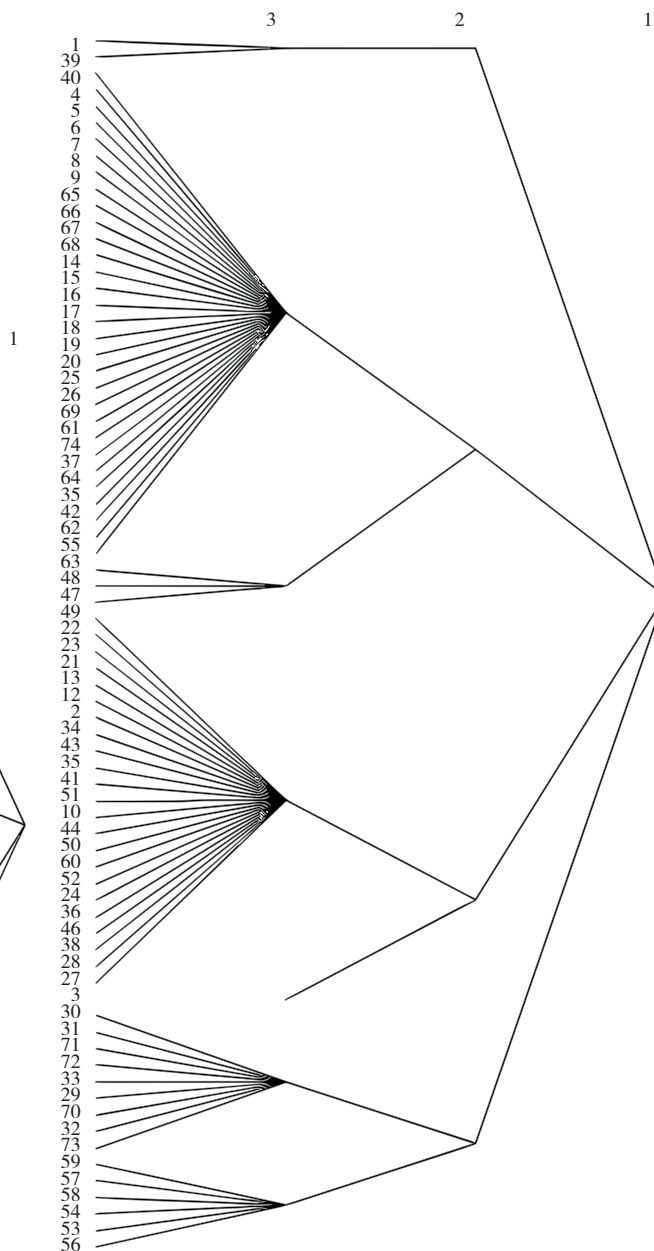


图6 2021—2022年共享制造平台凝聚子群分析

五、共享制造平台网络的影响因素分析

(一)QAP回归分析:模型设置和变量选择

前面讨论了共享制造平台网络结构的形成和变化,并分别从整体网和个体网度揭示了共享制造平台网络结构特征,但这些分析不足以探究共享制造平台网络的形成机理。当数据类型为对称邻接矩阵时,需要使用特定的方法,QAP分析就是其中之一。QAP可以比较两个方阵中每个元素的相似度,它比较方阵中的每个元素,然后给出两个矩阵之间的相关系数,同时对系数进行非参数检验。在研究多个矩阵与一个矩阵之间的回归关系,评价决定系数 R^2 的显著性时,需要使用QAP回归分析。

根据归纳现有文献,参考经济规模、地理距离、知识水平、社会接近程度、组织隶属关系和制度距离对现有合作关系网络的影响机制研究(Aleenajitpong and Leemakdej, 2021; Boschma, 2005; 向坤和杨庆育, 2020; Gui et al, 2019; Calvo-Gallardo et al, 2022),并结合共享制造平台独有的合作关系特征(李丫丫和罗建强, 2021; Li et al, 2021),在影响共享制造平台网络的诸多维度中,经济规模(*Eco*)、地理邻近(*Geo*)、知识邻近

(*Int*)、社会邻近(*Soc*)、组织邻近(*Org*)、制度邻近(*Ins*)、政策强度(*Policy*)和产业邻近(*Ind*)对共享制造平台的影响最为明显。值得注意的是,由于共享制造平台上的节点之间经济规模的衡量标准难以统一,例如高校与企业、政府与企业等,所以本文只研究了企业与企业之间的影响因素。综上,本文选取上述因素作为解释变量,探讨各因素对共享制造平台网络形成的影响,并构建改进的引力模型如式(7)所示:

$$P = f[Eco, Geo, Int, Soc, Org, Ins, Policy, Ind] \quad (7)$$

其中:因变量 P 为根据节点关系构建的共享制造平台网络的对称邻接矩阵 A_{ij} 。

(二)指标变量说明

经济规模(*Eco*)。企业的经济规模影响着自身参与共享制造的积极性,中小企业缺乏足够的经济实力来支撑其自主搭建共享制造平台,所以现有的共享制造平台往往由大型制造企业发起。本文通过爬取天眼查网站对海织云平台上各参与主体的年报,选择企业年度股东及出资信息并采用极差标准化法计算作为经济规模的原始数据。

$$Eco_{ij} = \frac{\text{Max}(e_{ij}) - e_{ij}}{\text{Max}(e_{ij}) - \text{Min}(e_{ij})} \quad (8)$$

其中: E 为该节点的经济规模; e_{ij} 为节点 i 与节点 j 经济规模差的绝对值。

地理邻近(*Geo*)。从地理邻近的角度,可以研究共享制造平台上所有参与者的位置关系。本文使用百度地图来测量节点间的地理距离,并采用极差标准化法计算作为地理接近的原始数据。

$$Geo_{ij} = \frac{\text{Max}(d_{ij}) - d_{ij}}{\text{Max}(d_{ij}) - \text{Min}(d_{ij})} \quad (9)$$

其中: d_{ij} 为该节点 i 与节点 j 地理距离差的绝对值。

知识邻近(*Int*)。共享制造平台网络各节点之间的知识差异程度会对网络成员之间的交流产生影响。从知识邻近的角度,可以研究共享制造平台网络的产学研关系。本文通过中国知网检索各样本主体自2017年成立以来各节点相关论文数量,并采用极差标准化法计算作为知识邻近的原始数据。

$$Int_{ij} = \frac{Z_{\max} - Z_{ij}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (10)$$

其中: Z 为该节点的论文数量; Z_{ij} 为节点 i 与节点 j 论文数量差的绝对值。

社会邻近(*Soc*)。以共享制造平台参与单位间的合作经历来衡量社会邻近。以往存在过合作关系的网络节点间的矩阵值为1,新建立合作关系的网络节点间的矩阵值取为0,由此得出社会邻近矩阵。

组织邻近(*Org*)。考虑到共享制造平台参与主体间存在隶属关系,因此通过判断两个组织是否属于同一企业集团来衡量组织距离。当主体之间存在隶属关系时,对应的矩阵值为1,否则为0,形成组织邻近矩阵。

制度邻近(*Ins*)。制度邻近度指主体受到非正式约束和正式规则制约的相似性,相似的制度环境下能减少双方合作的不确定性,可能更利于建立企业联系。若共享制造平台参与者处于同一省份,具有相似的制度环境,矩阵值标记为1;若不处于同一省份,标记为0,形成制度邻近矩阵。

政策强度(*Policy*)。政策强度用中国各省颁布的共享制造政策与法规总数衡量。该数据来源于中国各省工业和信息化局官网。具体来说,本文将节点之间的政策数目之和作为政策强度的代理变量,同时以2017—2022年政策强度均值作为划分标准,将样本分为政策强度均高(双方政策强度都大于均值)、政策强度均低(双方政策强度都小于均值)及政策强度有高有低(双方政策强度一方大于均值,一方小于均值)3种组合情况。

产业邻近(*Ind*)。1948年8月27日,联合国经济社会理事会正式通过《国际标准产业分类》,其是联合国对所有经济活动的标准分类。本文按照《国际标准产业分类》(第4版)对共享制造平台参与主体进行产业分类。参与主体处于同一产业时,矩阵值标记为1,反之标记为0,得出产业邻近矩阵。

(三)QAP回归分析

1. QAP相关分析

基于上述数据,利用Ucinet软件进行5000次随机排列,分别对共享制造平台的网络矩阵与地理邻近、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近、政策强度和产业邻近进行分析,得到QAP相关性分析结果(表5)。

首先,由表 5 可知,地理距离、知识水平、社会邻近和政策强度在整个时间段内均与共享制造平台网络显著正相关。此外,从观察结果来看,政策强度的相关系数最高,在任一时间段内政策强度的相关系数均超过了 0.9。实际观察到的相关系数越高,说明两个矩阵之间的相关性越强,这表明政策强度与共享制造平台的相关性最强。经济规模、组织隶属关系和制度邻近在 2017—2018 年与共享制造平台不显著相关,但随后都成为和共享制造平台显著相关的影响因素。产业邻近和共享制造平台的相关性变化同样表现为先

不显著随后显著的趋势,但产业邻近和共享制造平台在 2021—2022 年的相关系数为负数,这说明产业邻近与共享制造平台显著负相关。综上,以上变量是影响共享制造平台形成的重要因素。在不同时间段内,地理距离、知识水平、社会邻近和政策强度对共享制造平台形成具有持续的影响,经济规模、组织隶属关系和制度邻近与共享制造平台之间的相关性逐渐显现,产业邻近与共享制造平台相关性存在波动。

其次,显著性水平的结果表明,在共享制造平台网络形成和发展过程中,经济规模、地理距离、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近、政策强度和产业邻近在 1% 的统计水平上均显著,可以进行 QAP 回归分析,因此形成机理分析涉及以上八个自变量。

2. QAP 回归结果

为了进一步验证多维邻近性对共享制造平台的形成机理,基于共享制造平台网络形成和发展的整个阶段的关系数据,本文利用 Ucinet 软件进行了 5000 次随机排列,得到 QAP 回归分析的结果(表 6)。

由表 6 可以看出,各时间段的 R^2 均通过了显著性检验,拟合效果较好,说明经济规模、地理邻近、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近、政策强度和产业邻近 8 个影响因素在不同时间段对共享制造平台的形成有影响,但影响显著水平有所不同。

结果表明:2017—2018 年,除了地理距离的标准化回归系数为负数,其余影响因素的标准化回归系数均为正数,并且经济规模、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近、政策强度和产业邻近都在 5% 的水平上显著,这说明以上影响因素都正向影响共享制造平台。这意味着共享制造平台形成倾向于发生在经济规模和知识水平较接近的企业之间。社会邻近结果显著,表明早期的共享制造平台是在已有的合作关系上建立起来的,组织邻近结果显著,说明初期网络中存在隶属关系的母子公司,这类公司往往是该行业的领导企业,具有极强的号召力与影响力,是共享制造平台形成不可或缺的力量。政策强度正向影响表明共享制造平台的形成离不开政府的支持。虽然初期网络节点分布在不同的省份,但我国的省份之间制度差异大同小异,企业之间很容易适应双方的法律和市场环境,政策法规的颁布更是降低了企业合作的不确定性、扫清知识共享障碍。产业邻近正向显著影响共享制造平台表明了一开始共享制造发生在处于同一行业的产业之间,平台上较少存在跨领域合作。

2019—2020 年,经济规模、地理距离、知识邻近、社会邻近、组织邻近和政策强度与共享制造平台均表现为正显著,这说明经济规模、地理距离、知识邻近、社会邻近、组织邻近和政策强度正向影响共享制造平台形成。制度邻近与共享制造平台的标准化回归系数为负数,并且未通过任何显著性检验,不具备统计学意义。此外,产业邻近对共享制造平台的影响并不显著。不同行业的企业单位(如高校、地方人民政府和数字交易平台等)跨界加入共享制造平台,不同产业的参与者互相之间建立合作关系,这表明共享制造平台的形成不局限于产业距离相近的网络节点,不同产业的知识结构有助于突破技术壁垒以实现创新,从而促进共享制造平台的形成。

2021—2022 年,经济规模、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近和政策强度均正向显著影响共享制造平台,这说明经济规模、知识邻近、社会邻近、组织邻近、制度邻近和政策强度继续正向影响共享制造平台形成。值得注意的是,地理邻近对共享制造平台的影响首次呈现出负相关。究其原因,一方面,随着基于 5G 网络的普及,制造业企业内网建设加快,企业内网和外网建设进一步完善,智能工厂和智能车间的推广进一步加强,企业共享其供应链、知识库、客服、仓储、物流等资源,推动企业打通数据,从而实现生产能力的在线化和商品化,共享制造平台形成不再受限于地理因素,具备线下和线上两种合作模式;另一方面,该时间段内

表 5 QAP 相关性分析结果

变量	2017—2018 年		2019—2020 年		2021—2022 年	
	相关系数	显著性	相关系数	显著性	相关系数	显著性
<i>Eco</i>	0.0000	0.5963	0.2560**	0.0496	0.8007***	0.0002
<i>Geo</i>	0.6828**	0.0344	0.2207***	0.0002	0.2077***	0.0002
<i>Int</i>	0.6700**	0.0330	0.9909***	0.0002	0.9633***	0.0002
<i>Soc</i>	0.6000*	0.0656	0.8299***	0.0002	0.9099***	0.0002
<i>Org</i>	0.3333	0.5151	0.1898**	0.0172	0.1364*	0.0518
<i>Ins</i>	0.6547	0.1002	0.1420**	0.0280	0.6618***	0.0002
<i>Policy</i>	1.0000**	0.0326	0.9259***	0.0002	0.9008***	0.0002
<i>Ind</i>	0.0000	0.3395	0.2207***	0.0002	-0.0853**	0.0410

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10% 水平下显著。

爆发了影响全球社会经济的“黑天鹅”事件-新冠疫情,在新冠疫情冲击下,不少传统行业面临洗牌,人们必须在疫情中探索新的工作和生活方式(例如线上会议、线上购物和线上学习等),所以企业之间的合作也不得以线上合作的方式进行。产业邻近不显著,进一步说明共享制造平台通过优化不同产业之间的配置,努力形成产业生态网络,以此影响共享制造平台。

综上所述,经济规模、知识邻近、社会邻近、组织邻近和政策强度均持续正向显著影响共享制造平台形成。地理邻近对共享制造平台形成的影响呈现出先不显著后显著的趋势。就地理邻近而言,共享制造平台一开始往往发生在距离相近的节点之间,但随着信息技术的发展,共享制造平台打破了地理距离限制,工业互联网和云制造技术的应用使得各参与主体在合作伙伴的选择上,不仅可以是线下合作,也可以是线上合作。此外,2021—2022年发生的新冠疫情使得企业改变了传统的面对面建立合作关系的模式。就制度邻近而言,虽然在某个时间段内制度邻近对共享制造平台影响并不显著,但不妨碍整体上制度邻近积极影响共享制造平台,不同省份之间关于共享制造发展的法律政策和市场环境相差无几,与此同时随着政府推动法律和政策完善,明确共享制造产业链相关主体的责任权利,鼓励制造企业主动参与共享制造。制度邻近成为共享制造平台形成的重要推动力。就产业邻近而言,起初产业邻近正向显著影响共享制造平台,但随后对共享制造平台的影响不显著。这是因为不同行业的制造企业、高校、科研机构、产业联盟组织、行业协会跨界加入共享制造平台组成松散耦合的网络,通过其他行为者的嵌入和市场关系的混合以实现协同创新。一方面高校和科研机构具有较高的知识水平和科研能力,深化产学研合作有利于共享制造平台形成。另一方面产业联盟组织和行业协会等联合开展对于共享制造的推广和开发工作,引导多方协同推动共享制造发展。

3. 稳健性检验

为了检验结果的稳健性,运用Stata软件采用不同的计量回归方法对QAP回归的结果进行检验(Hou et al, 2023; 杨欢和陈杨洋, 2023),结果见表7。经过分析,经济规模、知识邻近、社会邻近、组织邻近和政策强度是影响共享制造平台形成的重要驱动因素。最后,对比表6的QAP回归分析结果,不同邻近度对共享制造平台影响的显著性基本保持一致,表明本文的回归结果具有稳健性,结论可靠。

表6 QAP回归分析结果

变量	2017—2018年		2019—2020年		2021—2022年	
	标准化回归系数	P-value	标准化回归系数	P-value	标准化回归系数	P-value
<i>Eco</i>	0.00000***	0.00051	0.03580***	0.00020	0.17347***	0.00020
<i>Geo</i>	-0.00031	1.00000	0.01949**	0.04615	-0.01277**	0.01100
<i>Int</i>	0.00000***	0.00046	0.90080***	0.00020	0.74167***	0.00020
<i>Soc</i>	0.00000***	0.00077	0.03824***	0.00020	0.05691**	0.02380
<i>Org</i>	0.00000***	0.00078	0.00871*	0.06579	0.01407**	0.01080
<i>Ins</i>	0.00030***	0.00029	-0.00397	0.33793	0.03345**	0.01320
<i>Policy</i>	1.00001***	0.00021	0.04614**	0.04039	0.01622*	0.05999
<i>Ind</i>	0.00000***	0.00061	0.01949	0.80256	-0.00660	0.19356
<i>R</i> ²	1.00000		0.98589		0.94168	
Adjusted <i>R</i> ²	1.00000		0.98579		0.94144	
<i>P</i> -value	0.00020***		0.00020***		0.00020***	

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平下显著。

表7 稳健性检验回归结果

变量	2017—2018年		2019—2020年		2021—2022年	
	相关系数	显著性	相关系数	显著性	相关系数	显著性
<i>Eco</i>	$1.23 \times 10^{-16**}$	0.0495	$1.61 \times 10^{-7***}$	3.73×10^{-7}	0.238*	0.0796
<i>Geo</i>	$2.78 \times 10^{-16**}$	0.075	0.000499**	0.00108	-0.00137***	0.000565
<i>Int</i>	3.88×10^{-16}	0.117	0.0228***	0.00660	0.109	0.770
<i>Soc</i>	1.69×10^{-16}	0.117	0.0454	0.236	0.0467*	0.0553
<i>Org</i>	3.69×10^{-16}	0.115	0.0253***	0.00692	0.0390*	0.0992
<i>Ins</i>	$4.69 \times 10^{-16**}$	0.015	-0.00663**	0.0341	0.0309**	0.0487
<i>Policy</i>	$2.67 \times 10^{-16**}$	0.081	0.130	1.459	0.110**	0.0383
<i>Ind</i>	$2.24 \times 10^{-16**}$	0.024	0.000305***	0.000340	-0.00350***	0.00143
<i>R</i> ²	1.000		0.887		0.942	

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平下显著。

六、结论与建议

共享制造平台不仅是制造业柔性化、网络化的重要驱动力,也有助于解决制造业产能过剩和生产成本压力等问题。本研究运用SNA方法和QAP分析方法探讨了共享制造平台网络的结构特征及形成机理,研究结果如下:①制造企业趋于参与共享制造,参与共享制造平台的节点数量稳步增加,参与者之间的连接越来越紧密,但整体网络规模尚小,有待进一步发展。②海织云是共享制造平台网络的核心节点,以海织云为首的大型制造企业在网络中占据核心地位。这与共享制造平台是一种以大型制造企业为主的生产制造模式相一致,网络呈现出明显的核心-边缘结构。③网络共享制造平台的发展有其独特的规律。一般网络的发展规律是网络密度随着网络的发展而增加,而共享制造平台网络则相反。这是因为网络不仅吸引该领域的制造企业加入,还吸引其他行业的企业跨行业加入,因此网络变得更加复杂和松散。④经济规模、知识邻近、社会邻近、组织邻近和政策强度均持续正向显著影响共享制造平台形成。企业间的合作总是受到地理距离的影

响。但地理邻近先积极促进共享制造平台形成,随后与共享制造平台的影响表现为负相关。从总体角度来看,制度邻近促进了共享制造平台的发展。起初产业邻近正向显著影响共享制造平台,但随后对共享制造的影响不显著。

研究成果对共享制造平台网络的稳定发展具有重要意义,本文分别从政府、平台及制造企业三个层面提出了一些政策建议:①政府等相关单位要加深对共享制造的认识,通过举办研讨会、推动相关法律政策的完善、明确相关企业在共享制造平台中的权利和责任等方式,鼓励企业参与共享制造。②平台应发挥引领作用,进一步完善共享制造的基础设施建设,积极建设共享制造平台,使生成的数据在平台上高效传输,大力加强云计算平台、物联网等数字新技术的应用,加快共享制造进程。此外,平台要制定各种机制,广泛吸纳企业加入共享制造平台,不仅要吸引中小企业积极参与,还要积极与高校、科研机构、跨行业知识水平高的制造企业建立合作关系,既要通过增加企业利润吸引更多企业加入共享制造,又要重视知识水平在共享制造中的重要性和地位,不断吸收学术界的研究成果和行业实践经验,通过多方合作引导共享制造的发展。③不同制造企业之间合作关系的密切程度会对共享制造平台的发展产生影响。其中产业邻近对企业建立合作关系更为重要。因此,制造业应大力推进产业网络化进程,优化产业要素配置,使企业更好地围绕共享制造平台网络配置生态资源,形成丰富的网络生态。

虽然本研究有一定的贡献,有助于帮助大型制造企业和互联网平台企业更好地理解共享制造平台的新模式,为推动大型企业共建共享制造平台,成果与小型企业共享提供实践指导和支持。但本文仍存在一定的局限性。首先,本文选择了海织云平台作为研究对象,但是共享制造并不局限于海织云平台。未来研究者可以选择其他行业的典型平台进行研究。其次,共享制造平台的形成发展不仅受到本文探究的几种因素的影响,还受到企业之间技术邻近的影响。在未来的研究中,可以将技术邻近纳入研究,探索共享制造平台的形成发展。最后,应进一步展开对共享制造平台发展的路径研究。

参考文献

- [1] 鲍世赞,蔡瑞林,2017.智能制造共享及其用户体验:沈阳机床的例证[J].工业工程与管理,22(3):77-82.
- [2] 杜勇,曹磊,谭畅,2022.平台化如何助力制造企业跨越转型升级的数字鸿沟?——基于宗申集团的探索性案例研究[J].管理世界,38(6):117-139.
- [3] 李华,王丽娜,2021.长江中游区域旅游经济空间关系与网络特征研究[J].统计与决策,37(11):93-98.
- [4] 李丫丫,罗建强,2021.工业机器人贸易网络结构及其影响机制研究[J].中国科技论坛,(7):76-85.
- [5] 刘佳,蔡盼心,王方方,2020.粤港澳大湾区城市群知识创新合作网络结构演化及影响因素研究[J].技术经济,39(5):68-78.
- [6] 刘英恒太,杨丽娜,2021.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,40(9):137-145.
- [7] 彭正银,姚双双,2023.平台生态系统中平台企业与互补企业实现协同合作的路径研究——基于演化博弈分析[J].软科学,37(5):87-95,114.
- [8] 蔡良群,吴佳莹,王智慧,2023.先进制造企业协同创新网络知识共享的演化博弈[J/OL].计算机集成制造系统:1-23[03-30].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.tp.20220314.1950.039.html>.
- [9] 向坤,杨庆育,2020.共享制造的驱动要素、制约因素和推动策略研究[J].宏观经济研究,(11):65-75.
- [10] 许晖,于超,王亚君,2023.生态“树”源:平台生态系统的创新扩散机制研究——卡奥斯与科大讯飞平台的双案例对比分析[J/OL].南开管理评论:1-21[2023-03-30].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1288.F.20220318.1844.005.html>.
- [11] 玄泽源,段进军,华怡宁,等,2023.长三角数字创新网络空间结构演化及机制差异的多尺度分析[J].中国科技论坛,(4):63-72.
- [12] 晏鹏宇,杨柳,车阿大,2022.共享制造平台供需匹配与调度研究综述[J].系统工程理论与实践,42(3):811-832.
- [13] 杨欢,陈杨洋,2023.互联网普及、交通便利化与医疗卫生服务效率——基于系统GMM与动态面板门槛模型的检验[J/OL].管理现代化,(2):1-7[2023-05-16].<https://doi.org/10.19634/j.cnki.11-1403/c.2023.02.021>.
- [14] 赵文霞,席艳玲,杨经国,2023.数字产品贸易网络结构特征与合作态势研究[J].中国科技论坛,(2):146-158.
- [15] ALEENAJITPONG N, LEEMAKDEJ A, 2021. Venture capital networks in Southeast Asia: Network characteristics and cohesive subgroups[J]. International Review of Financial Analysis, 76: 101752.
- [16] BELHADI A, KAMBLE S, BENKHATI I, et al, 2023. Does strategic management of digital technologies influence electronic word-of-mouth (eWOM) and customer loyalty? Empirical insights from B2B platform economy [J]. Journal of Business Research, 156: 113548.
- [17] BOSCHMA R A, 2005. Proximity and innovation: A critical assessment[J]. Regional Studies, 39(1): 61-74.

- [18] BRANDT E, 1990. Deborah Wince-Smith: A vision for shared manufacturing[J]. *Mechanical Engineering*, 112(12): 52-53.
- [19] CALVO-GALLARDO E, ARRANZ N, DE ARROYABE J C F, 2022. Innovation systems' response to changes in the institutional impulse: Analysis of the evolution of the European energy innovation system from FP7 to H2020[J]. *Journal of Cleaner Production*, 340: 130810.
- [20] CAO X, BO H, LIU Y, et al, 2023. Effects of different resource-sharing strategies in cloud manufacturing: A Stackelberg game-based approach[J]. *International Journal of Production Research*, 61(2): 520-540.
- [21] CHEN L, LIU N, LI C, et al, 2021. Peer-to-peer energy sharing with dynamic network structures[J]. *Applied Energy*, 291: 116831.
- [22] DE VASCONCELOS GOMES L A, SALERNO M S, PHAAL R, et al, 2018. How entrepreneurs manage collective uncertainties in innovation ecosystems[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 128: 164-185.
- [23] GUAN J C, YAN Y, 2016. Technological proximity and recombinative innovation in the alternative energy field [J]. *Research Policy*, 45(7): 1460-1473.
- [24] GUI Q, LIU C, DU D, 2019. Globalization of science and international scientific collaboration: A network perspective[J]. *Geoforum*, 105: 1-12.
- [25] HE J, ZHANG J, GU X, 2019. Research on sharing manufacturing in Chinese manufacturing industry[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104: 463-476.
- [26] HOU Z, ZHAO S, KUMBHAKAR S C, 2023. The GMM estimation of semiparametric spatial stochastic frontier models[J]. *European Journal of Operational Research*, 305(3): 1450-1464.
- [27] HU J, WANG K, LIU Y, 2022. Economic implications of equipment sharing under cloud manufacturing[J]. *International Journal of Production Economics*, 254: 108627.
- [28] ISTIPLILER B, BORT S, WOYWODE M, 2023. Flowers of adversity: Institutional constraints and innovative SMEs in transition economies[J]. *Journal of Business Research*, 154: 113306.
- [29] JIANG P, LI P, 2020. Shared factory: A new production node for social manufacturing in the context of sharing economy[J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 234(1-2): 285-294.
- [30] LI P, JIANG P, 2021. Enhanced agents in shared factory: Enabling high-efficiency self-organization and sustainability of the shared manufacturing resources[J]. *Journal of Cleaner Production*, 292: 126020.
- [31] LI Y, ZHANG Y, LEE C C, et al, 2021. Structural characteristics and determinants of an international green technological collaboration network[J]. *Journal of Cleaner Production*, 324: 129258.
- [32] ORDANINI A, MICELI L, PIZZETTI M, et al, 2011. Crowd -funding: Transforming customers into investors through innovative service platforms[J]. *Journal of Service Management*, 22(4): 443-470.
- [33] QIU R G, MCDONNELL P, JOSHI S, et al, 2005. A heuristic game theoretic approach to resource sharing in reconfigurable manufacturing[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25: 78-87.
- [34] ROJANAKIT P, DE OLIVEIRA R T, DULLECK U, 2022. The sharing economy: A critical review and research agenda[J]. *Journal of Business Research*, 139: 1317-1334.
- [35] ROŽMAN N, DIACI J, CORN M, 2021. Scalable framework for blockchain-based shared manufacturing[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 71: 102139.
- [36] TEDALDI G, MIRAGLIOTTA G, 2022. The role of Engineering-to-order machinery manufacturers in future cloud manufacturing supply chains: A business case and a strategic perspective[J]. *Production Planning & Control*, 33(9-10): 1011-1023.
- [37] TIAN J, COREYNEN W, MATTHYSSENS P, et al, 2022. Platform-based servitization and business model adaptation by established manufacturers[J]. *Technovation*, 118: 102222.
- [38] WAN C, ZHENG H, GUO L, et al, 2020. Cloud manufacturing in China: A review[J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(3): 229-251.
- [39] WANG G, ZHANG G, GUO X, et al, 2021. Digital twin-driven service model and optimal allocation of manufacturing resources in shared manufacturing[J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 59: 165-179.
- [40] WEI H, SU Y S, 2013. The effect of institutional proximity in non-local university-industry collaborations: An analysis based on Chinese patent data[J]. *Research Policy*, 42(2): 454-464.
- [41] YANG W, ZHAO Q, YAN X, et al, 2021. A system framework of model quality analysis for product model in collaborative manufacturing[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117: 1351-1374.
- [42] YILMAZ Ö F, 2020. Examining additive manufacturing in supply chain context through an optimization model [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 142: 106335.
- [43] YU C, JIANG X, YU S, et al, 2020. Blockchain-based shared manufacturing in support of cyber physical systems: Concept, framework, and operation[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 64: 101931.
- [44] ZHANG F, WU L, LIU W, et al, 2022. Evolutionary game-based incentive models for sustainable trust enhancement in a

blockchained shared manufacturing network[J]. Advanced Engineering Informatics, 54: 101791.

Research on Network Structure Characteristics and Influencing Factors of Shared Manufacturing Platform

Peng Yongtao¹, Dong Hao¹, Li Yaya²

(1. School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China;

2. School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China)

Abstract: Based on the representative platform of shared manufacturing, taken Haizhiyun platform as the research object, social network analysis (SNA) was used to explore the network structure characteristics of shared manufacturing platform, and quadratic assignment program (QAP) was used to empirically analyze the influencing factors of shared manufacturing platform network. It is found that the current shared manufacturing platform is in the early stage of development, and the network scale is constantly expanding, but the closeness of the cooperation relationship needs to be further deepened. Haizhiyun and other nodes occupy a core position in the network, with greater power and influence, and the power status of other nodes is also gradually improving. The analysis of cohesive subgroups shows that there are many small groups in the shared manufacturing platform, which presents a multi-level pattern. QAP analysis shows that the cooperation network of shared manufacturing platform is affected by economic scale, geographical proximity, knowledge proximity, social proximity, organizational proximity, institutional proximity, policy intensity and industrial proximity. The research results provide help for manufacturing enterprises to better understand shared manufacturing and the development of shared manufacturing platform.

Keywords: shared manufacturing; platform network; social network analysis; QAP