

# 数字产业化与产业数字化: 双向联动关系、产业网络特征与数字经济发展

李 腾<sup>1</sup>, 孙国强<sup>2</sup>, 崔格格<sup>3</sup>

(1. 山西财经大学 工商管理学院, 山西 太原 030006; 2. 山西财经大学 组织创新与网络治理研究中心, 山西 太原 030006; 3. 山西财经大学 经济学院, 山西 太原 030006)

**摘要:** 数字产业化与产业数字化构成数字经济的重要组成部分, 数字产品流动体现出数字化供给与需求特征, 成为联结数字产业化与产业数字化的重要纽带。基于数字产业化与产业数字化的二分视角, 以数字产品流动为导向, 划分数字经济供给侧与需求侧, 建立数字产业部门与数字融合部门的二模网络, 从数字化需求拉动和数字化供给推动两个角度分析中国产业网络中的数字化特征。网络分析显示: 数字产业化与产业数字化在产业部门层面存在核心与边缘节点; 数字投入参与率与吸引率存在明显的主被动差异; 数字产业化与产业数字化之间并非简单的推拉关系, 数字产业部门与数字融合部门之间的联结水平并不均衡; 数字产业内部推动作用与受到的外部拉动作用在具体部门中表现各异, 数字融合产业内部拉动作用与受到的外部推动作用也有显著区别; 在对应分析中通过奇异值分解降低二模网络维度, 发现 ICT 软件与硬件产业协同性不足。研究结论为分析数字产业化与产业数字化提供了定量视角, 也为数字经济时代下产业政策细化提供了启示。

**关键词:** 数字经济; 数字产业化; 产业数字化; 联动关系; 网络结构; 二模网络

**中图分类号:** F49      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-9301(2021)05-0054-15

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2021.05.005

## 一、引言

数字化嵌入经济可以追溯到 20 世纪 90 年代左右, 彼时互联网的出现改变了经济与产业结构<sup>[1]</sup>。经济中涉及的数字化概念主要泛指先进数字技术<sup>[2]</sup>, 技术进步是驱动经济中长期发展的核心动力<sup>[3]</sup>, 数字技术驱动下的要素流动贯穿于产业网络<sup>[4]</sup>, 深刻影响着产业结构并决定其未来竞争力。嵌入数字技术将导致现有产业结构发生两种变化: 首先是“互补整合”, 数字经济中生产要素与非生产性增值活动联结, 产生一批新的产业形态; 其次是“优化整合”, 数字经济中生产要素流入生产性增值活动中, 变革劳动密集型生产, 分解大型流水线作业, 重新定义产业规模效应, 同时降低成本且提升效率, 使得“微笑曲线”变浅<sup>[5]</sup>。虽然有研究表明数字经济中可能存在生产率悖论<sup>[6]</sup>以及数字鸿沟问题<sup>[7]</sup>, 但数字技术对产业的正面贡献仍然是主流, 应该肯定数字技术带来的积极溢出效应。

“十四五”规划强调, 要加快数字化发展, 推进数字产业化和产业数字化, 推动数字经济和实体经

收稿日期: 2021-03-24; 修回日期: 2021-08-11

**作者简介:** 李腾(1989—), 男, 山西太原人, 山西财经大学工商管理学院博士研究生, 研究方向为数字创新与产业网络; 孙国强(1963—), 男, 山西万荣人, 通讯作者, 管理学博士, 山西财经大学组织创新与网络治理研究中心教授、博士生导师, 研究方向为数字创新与网络组织; 崔格格(1996—), 女, 山西临汾人, 山西财经大学经济学院博士研究生, 研究方向为数字经济与产业融合。

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(71872014); 教育部人文社会科学基金青年项目(21YJC630113)

济深度融合。只有抓紧布局数字经济等新兴产业,扩大新生产可能性边界,才能不断形成高质量发展新动能<sup>[8]</sup>。从经济结构来看,数字经济发展主要包括数字产业化与产业数字化。2019年,中国数字产业化与产业数字化占GDP的比重分别为7.2%与29%,且这一比例还在不断增加<sup>[9]</sup>,数字产业化与产业数字化特征映射了数字经济发展质量。另外,随着数字经济融入产业结构,产业数字化升级成为经济结构调整的必然要求。从网络结构来看,数字经济时代下的产业网络联动关系更为密切、要素流动更为复杂、技术含量要求更为突出。产业网络为数字资源提供了联通通道,数字产业部门向数字融合部门的要素流动成为联结数字产业化与产业数字化的重要桥梁。

## 二、文献综述

数字产业化是数字经济的基础构成部分,随着数字技术与实体经济的深度融合,经济新形态在产业层面不断涌现<sup>[10]</sup>。数字技术迅速发展使得数字相关业务在产业结构中地位日益凸显,以数字技术为核心的产业形态占据着愈发重要的位置。数字产业化强调数字技术的产业化,由于数字技术定义范畴不同,数字产业有狭义与广义之分。狭义定义聚焦于信息通信产业(ICT),康铁祥<sup>[11]</sup>较早归纳了中国数字技术所形成的产业类别,基于ICT形成数字经济基础产业群。随着数字经济的快速发展,以狭义ICT定义数字产业已无法适应现实需求。部分学者将数字产业从狭义ICT进一步扩展至数字内容、数字交易等范畴<sup>[12]</sup>,也有学者尝试构建数字经济产业统计分类目录<sup>[13-14]</sup>,将数字产业进行拓展,形成数字产业广义范畴。直到2021年6月,国家统计局正式发布《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,数字产业整体框架才得以正式确立。

产业数字化是数字经济的延伸部分,主要指数字技术在现有产业层面的运用,强调把数字技术应用到产品和服务中<sup>[15]</sup>。产业数字化的客体是数字技术,主体多是需要提升生产数量与效率的传统产业,主体利用客体对其业务进行升级改造的过程即为产业数字化<sup>[16]</sup>。技术创新能够推动产业需求结构变动以及生产率变革<sup>[17]</sup>,学界关于数字技术对经济增长的影响力以及贡献程度已有一定共识<sup>[18]</sup>,数字技术对传统产业的改造与贡献愈发显著,相关产业的行业增加值因数字化融合而不断增长。现有研究认为,产业数字化过程中使用的数字技术,例如制造业中对机器人的运用<sup>[19]</sup>,能够使全要素生产率获得提升<sup>[20]</sup>。数字技术对经济增长的推动作用,由数字技术开发转向数字技术应用<sup>[21]</sup>。随着数字技术沿产业网络融合渗透,技术与产业应用形成了良性互动的创新发展格局。

本文首先将数字产业化与产业数字化这组议题具象化,借鉴芮明杰<sup>[22]</sup>对产业体系的两分法将数字经济产业体系划分为两类,即以数字技术为核心并为产业体系供应数字类产品的产业为数字产业,而对数字类产品有需求且需要利用数字技术改造自身的产业为数字融合产业,结合产业部门定义可以进一步分别表述为数字产业部门与数字融合部门。因此,数字产业与数字融合产业成为数字产业化与产业数字化在产业层面的映射。当数字产业化与产业数字化落实到产业层面时,产业结构理论与产业关联理论就变得不可忽视。研究产业结构关系主要通过产业间投入产出分析,基于投入产出表构建产业网络,不仅可以有效分析产业间关联关系<sup>[23]</sup>,还能有效识别不同产业在产业网络中的结构特点,复杂网络分析对结构和关系的研究契合了产业结构理论与产业关联理论。现有研究主要从网络全局视角出发,将投入产出表转化为一模邻接矩阵来研究产业部门间关联关系,但鲜有聚焦数字产业进行网络分析,虽有学者开始注意投入产出表中存在的ICT产业<sup>[24]</sup>,但研究对象并未超出42部门中的数字产业狭义范畴,且未能进行建网分析。

关系与结构是分析产业网络最重要的两个方面,本文试图回答以下问题:第一,数字产业化与产业数字化之间存在何种关系,二者间的相互作用又是怎样的。现有文献多为定性层面的逻辑论述,本文基于产业关联视角,从已有产业中提取出数字产业与数字融合产业,建立数字产业与数字融合产业的部门目录,定量分析两者间的双向联动关系。此外,本文还进一步区分了关系间的主动性与被动性。第二,数字产业与数字融合产业之间构成的网络呈现何种结构特性。数字产业部门与数字

融合部门内嵌于产业网络之中,需要探究其网络结构形态、节点核心边缘特征以及聚类结构等。本文基于复杂网络分析方法,以数字产业化与产业数字化二分数字经济,构建包含数字产业部门与数字融合部门的二模网络,剖析网络具体结构特征。

### 三、模型设定与数据处理

#### (一) 理论模型与数据来源

投入产出表是基于 Leontief 产业关联理论所产生的,投入产出关系表明相关产业间供需关系,具有方向性且能显示上下游关系,反映产业部门间存在的技术经济联系,能够解释产业空间共聚的成因<sup>[2]</sup>。将经济系统中的产业部门视为节点,节点依据特定规则确定的强关联关系进行结网,可以形成对应的产业网络。分析数字产业部门与数字融合部门之间的投入产出关系,对于研究数字产业化与产业数字化的结构匹配与协调发展具有重要意义。

根据文献综述以及国家统计局的解释,产业数字化指“应用数字技术和数据资源为传统产业带来的产出增加和效率提升,是数字技术与实体经济的融合”,而数字产业化指能够“为产业数字化发展提供数字技术、产品、服务、基础设施和解决方案,以及完全依赖于数字技术、数据要素的各类经济活动”。本文基于数字产业化与产业数字化的二分视角将现有国民经济中涉及数字经济的部分划分为数字产业与数字融合产业。在具体产业部门表述中结合前述定义进行划分:生产数字类产品或服务的为数字产业部门,表达数字产业化;消耗数字类产品或服务的为数字融合部门,表达产业数字化。另外,将不属于数字经济部分的产业部门称为数字未融合部门。假设存在  $m$  个数字产业部门(D), $n$  个数字融合部门(ID),将数字产业部门与数字融合部门视为两类节点,以数字产业部门对数字融合部门的投入为基础构建二模网络。将数字产业部门与数字融合部门视作数字类产品投入者与接受者,形成  $m \times n$  二模矩阵。

本文中二模网络可以定义为一个二部图  $G(V_1, V_2, E)$ ,其中, $V_1$  与  $V_2$  代表数字产业与数字融合产业实体点集, $E$  表示投入行为指向关系,映射从  $V_1$  到  $V_2$  的元素。该二模网络中,所有点被分为两类,不考虑点集内部之间关系,关系只存在于不同点集之间。因此网络中节点之间均为单向关系,且不含有自环。二模网络可以转为一模网络,节点间连线反映产业部门间在数字投入行为中的共现程度。如图1、图2所示, $D1$  与  $D2$  共同参与3个数字融合部门投入,而  $ID1$  与  $ID2$  共同接受2个数字产业部门投入。

本文数据来源为《2018 年全国投入产出表》《中国经济普查年鉴 2018》以及国家统计局的其他相关数据,采用的网络分析软件为 UCINET 6.56 和 Gephi 0.9.2。

#### (二) 数字产业分类与剥离留存系数

现有投入产出表中未有单独体现数字产业的环节,本文将《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》中的 01-04 大类作为本文数字产业的分类基础。另外,本文参考朱发仓<sup>[3]</sup>的研究将快递业作为数字核心产业列入目录之中,之后剔除分类目录中的金融部分,依据《投入产出表部门分类解释及代码》(II 级分类)和《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2017)(小类)的对应关系,形成本文数字产业部门目录。

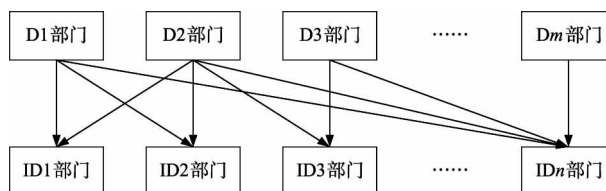


图1 数字产业部门-数字融合部门二部图结构

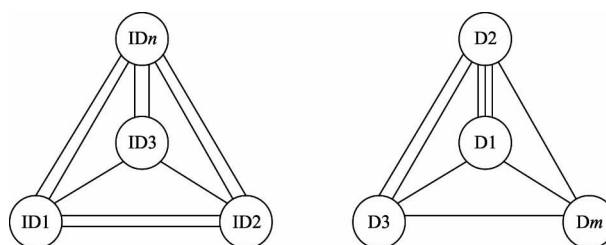


图2 二模转一模网络

在此目录基础之上,对原有投入产出表内部门分类中包含数字产业内容的分类进行剥离。参考许宪春和张美慧<sup>[2]</sup>的数据剥离思想构建剥离与留存系数。剥离系数是指行业中数字经济增加值与行业总增加值的比重,即 $\mu_i = Y_{id}/Y_i$ ,其中, $Y_{id}$ 表示部门*i*内数字经济的增加值, $Y_i$ 表示国民经济统计中部门*i*的总增加值。留存系数则是产业部门剥离数字产业后剩余产业占比,即 $\varphi_i = 1 - \mu_i$ 。本文假设混合了数字产业目录的产业部门内数字经济中间投入占总产出的比重与该部门中间投入占总产出的比重相同。由于数据收集限制,本文采用行业营业收入对总产出进行衡量,确定数字经济行业中间投入,并假设包含部分数字产业的部门中数字部分对每一个数字融合产业的投入与该行业中数字经济部分总产出占行业总产出的比重保持一致。因此,按照上述方法可以从混合了数字产业目录的产业部门中剥离出数字产业部门,并且留存出剩余的数字融合以及未融合部门。

需要说明的是,个别数字产业部门由于小类数据不易获得,暂未剥离,例如科技推广和应用服务部门(75134)中包含的三维(3D)打印技术推广服务(7517)等。另外,《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》04类中的一些小类,如其他房屋建筑业(4790)、架线及设备工程建筑(4851)等,其原有产业说明并未明显体现出数字产业含义,故暂不考虑。综上,数字产业部门构成中,有13个部门的目录全部属于数字产业内容,不需要进行剥离,有16个部门的目录则是部分属于数字产业内容,表1为投入产出表中需要进行剥离与留存的16个部门。

表1 剥离系数与留存系数

| 部门代码   | 部门名称              | 包含数字产业目录部分        | GB/T 4754—2017 | 剥离系数   | 留存系数   |
|--------|-------------------|-------------------|----------------|--------|--------|
| 23038  | 印刷和记录媒介复制品        | 记录媒介复制            | 2330           | 0.44%  | 99.56% |
| 26048  | 专用化学产品和炸药、火工、焰火产品 | 文化用信息化学品制造        | 2664           | 5.59%  | 94.41% |
| 34071  | 文化、办公用机械          | 幻灯及投影设备制造         | 3472           | 36.63% | 63.37% |
|        |                   | 计算器及货币专用设备制造      | 3475           |        |        |
| 34072b | 其他通用设备            | 工业机器人制造           | 3491           | 37.76% | 62.24% |
|        |                   | 增材制造装备制造          | 3493           |        |        |
| 35076b | 其他专用设备            | 半导体器件专用设备制造       | 3562           | 11.76% | 88.24% |
|        |                   | 电子元器件与机电组件设备制造    | 3563           |        |        |
|        |                   | 其他电子专用设备制造        | 3569           |        |        |
| 38082  | 电机                | 微特电机及组件制造         | 3813           | 15.54% | 84.46% |
| 38083  | 输配电及控制设备          | 电容器及其配套设备制造       | 3822           | 42.70% | 57.30% |
|        |                   | 电力电子元器件制造         | 3824           |        |        |
|        |                   | 光伏设备及元器件制造        | 3825           |        |        |
| 38084  | 电线、电缆、光缆及电工器材     | 电线、电缆制造           | 3831           | 93.23% | 6.77%  |
|        |                   | 光纤制造              | 3832           |        |        |
|        |                   | 光缆制造              | 3833           |        |        |
| 40094  | 仪器仪表              | 工业自动控制系统装置制造      | 4011           | 65.19% | 34.81% |
|        |                   | 电工仪器仪表制造          | 4012           |        |        |
|        |                   | 环境监测专用仪器仪表制造      | 4021           |        |        |
|        |                   | 运输设备及生产用计数仪表制造    | 4022           |        |        |
|        |                   | 导航、测绘、气象及海洋专用仪器制造 | 4023           |        |        |
|        |                   | 农林牧渔专用仪器仪表制造      | 4024           |        |        |
|        |                   | 地质勘探和地震专用仪器制造     | 4025           |        |        |
|        |                   | 教学专用仪器制造          | 4026           |        |        |
|        |                   | 核子及核辐射测量仪器制造      | 4027           |        |        |
|        |                   | 电子测量仪器制造          | 4028           |        |        |
|        |                   | 其他专用仪器制造          | 4029           |        |        |
| 51105  | 批发                | 批发业               | —              | 23.64% | 76.36% |
| 52106  | 零售                | 零售业               | —              | 23.64% | 76.36% |
| 60118  | 邮政                | 快递服务              | 6020           | 64.08% | 35.92% |
| 72131  | 商务服务              | 互联网广告服务           | 7251           | 5.43%  | 94.57% |
| 74133  | 专业技术服务            | 遥感测绘服务            | 7441           | 2.79%  | 97.21% |
|        |                   | 其他测绘地理信息服务        | 7449           |        |        |
|        |                   | 工业设计服务            | 7491           |        |        |
| 86143  | 新闻和出版             | 数字出版              | 8626           | 44.58% | 55.42% |
| 90147  | 娱乐                | 电子游艺厅娱乐活动         | 9012           | 10.95% | 89.05% |
|        |                   | 网吧活动              | 9013           |        |        |

注:其中零售与批发剥离系数根据国家统计局发布的全国社会消费品零售数据计算得到。

按照产业部门在数字经济中的分工角色,将剥离后的数字产业部门与其他数字产业部门归于数字经济的供给侧,这些数字产业部门为产业网络提供数字类产品;将留存后的数字融合部门与其他数字融合部门归于数字经济的需求侧,这些数字融合部门消耗产业网络中供给的数字类产品。

出于行文简洁考虑,本文按照投入产出表中部门Ⅱ级分类代码顺序重新编写数字产业部门(D1-D29)与数字融合以及未融合部门(ID1-ID140)。另外,本文对参与剥离和留存的产业部门在原有部门名称中加“\*”“\*\*”表示剥离留存后形成的产业部门。例如,“邮政\*”表示剥离出的数字产业部分,而“邮政\*\*”则表示留存的数字融合产业部分。在原有 $153 \times 153$ 投入产出表基础之上重新形成 $169 \times 169$ 投入产出表,保留数字产业对数字融合以及未融合产业的 $29 \times 140$ 投入产出表结构,在此基础上形成数字产业部门与数字融合部门的二模网络,即在形成的二模网络中去掉了140个部门中的数字未融合部门。此外,本文参考许宪春和张美慧<sup>[2]</sup>以及关会娟等<sup>[4]</sup>的研究对数字产业分类表达,并将“数字化基础设施”中的“数字设备”进一步拓展,新增“数字基础设备制造”“数字能源与动力传输”分类。本文将数字产业进行归类,具体如表2所示。

### (三) 阈值选取与网络建立规则

二模网络节点间的联结反映数字产业部门对数字融合部门的投入行为关系,而对产业关联关系的研究主要采用消耗系数矩阵与分配系数矩阵。具体来说,消耗系数矩阵体现产业间供给推动作用,而分配系数矩阵则体现产业间需求拉动作用。这两类系数矩阵还可以细分为直接与完全消耗系数矩阵、直接与完全分配系数矩阵。完全系数矩阵的优势在于考虑产业间直接和间接关系。因此,本文利用Leontief逆矩阵<sup>[24]</sup>和Ghosh逆矩阵<sup>[27-28]</sup>计算完全消耗系数矩阵以及完全分配系数矩阵。

$$B = (I - A)^{-1} - I, G = (I - H)^{-1} - I$$

其中, $A$ 为直接消耗系数矩阵, $H$ 为直接分配系数矩阵, $I$ 为单位矩阵, $(I - A)^{-1}$ 为Leontief逆矩阵, $(I - H)^{-1}$ 为Ghosh逆矩阵。

结合现有研究,本文以投入产出表为基础计算得到完全系数矩阵。为避免形成全域耦合网络,设定节点间联结阈值为两类矩阵中所有系数的均值。之后按照下述规则对矩阵进行二值化处理,过滤掉消耗系数与分配系数较小的联结,确保得到的数据能够充分反映数字产业部门对数字融合部门的投入行为。具体规则如下:

表2 数字产业分类

| 数字产业分类    | 编号  | 数字产业部门             |
|-----------|-----|--------------------|
| 数字化基础设施   |     |                    |
| 数字设备      |     |                    |
| 数字基础设备制造  | D1  | 印刷和记录媒介复制品*        |
|           | D2  | 专用化学产品和炸药、火工、焰火产品* |
|           | D3  | 文化、办公用机械*          |
|           | D4  | 其他通用设备*            |
|           | D5  | 其他专用设备*            |
|           | D16 | 仪器仪表*              |
| 数字能源与动力传输 | D6  | 电机*                |
|           | D7  | 输配电及控制设备*          |
|           | D8  | 电线、电缆、光缆及电工器材*     |
|           | D9  | 电池                 |
| ICT领域     |     |                    |
| ICT硬件     | D10 | 计算机                |
|           | D11 | 通信设备               |
|           | D12 | 广播电视设备和雷达及配套设备     |
|           | D13 | 视听设备               |
|           | D14 | 电子元器件              |
|           | D15 | 其他电子设备             |
| ICT软件与服务  | D20 | 电信                 |
|           | D21 | 广播电视及卫星传输服务        |
|           | D22 | 互联网和相关服务           |
|           | D23 | 软件服务               |
|           | D24 | 信息技术服务             |
|           | D26 | 专业技术服务*            |
| 数字交易      | D17 | 批发*                |
|           | D18 | 零售*                |
|           | D19 | 邮政*                |
| 数字内容与媒体   | D25 | 商务服务*              |
|           | D27 | 新闻和出版*             |
|           | D28 | 广播、电视、电影和影视录音制作    |
|           | D29 | 娱乐*                |

$$\bar{b} = \frac{\sum_i \sum_j b_{ij}}{(m+n)^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 169; i \neq j), \quad \bar{g} = \frac{\sum_i \sum_j g_{ij}}{(m+n)^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 169; i \neq j)$$

$$B(i, j) = \begin{cases} 1 & (b > \bar{b}) \\ 0 & (b \leq \bar{b}) \end{cases}, \quad G(i, j) = \begin{cases} 1 & (g > \bar{g}) \\ 0 & (g \leq \bar{g}) \end{cases}$$

其中,  $\bar{b}$  与  $\bar{g}$  为对应系数矩阵均值,  $B(i, j)$  与  $G(i, j)$  为对应二值矩阵中的元素。

#### 四、网络关系与结构特征分析

##### (一) 基础二模网络构建

使用完全消耗系数构建产业供给网络,使用完全分配系数构建产业需求网络,结合主动与被动视角分别形成四个基础网络模型,即前向供给网络、后向供给网络、前向需求网络、后向需求网络<sup>[29-30]</sup>。在数字产业部门对数字融合以及未融合部门的  $29 \times 140$  投入产出表中,完全消耗系数反映投入结构,体现数字产业部门对数字融合部门的供给推动关系,而完全分配系数反映产出结构,体现数字融合部门对数字产业部门的需求拉动关系。在供给网络中,数字产业部门为数字产品的供给方,数字融合部门为数字产品的被供给方;在需求网络中,数字融合部门为数字产品的需求方,数字产业部门为数字产品的被需求方。正因如此,供需网络中同时存在着主动视角与被动视角<sup>[31]</sup>。

在供给网络中,主动视角是指从数字产业部门出发,分析其提供的数字产品对其前向关联数字融合部门的影响程度。从行项来看,行项中每一个元素表示某数字产业部门投入在各个数字融合部门总投入中的占比情况。占比越大,说明某数字产业部门对该数字融合部门的供给推动作用越强。被动视角是指从数字融合部门出发,分析其接受的数字产品受其后向关联数字产业部门的影响程度。从列项来看,列项中每一个元素表示某数字融合部门中各个数字产业部门投入占比情况。占比越大,说明某数字融合部门受该数字产业部门的供给推动作用越强。

在需求网络中,主动视角是指从数字融合部门出发,分析其需求的数字产品对其后向关联数字产业部门的影响程度。从列项来看,列项中每一个元素表示某数字融合部门需求在各个数字产业部门总产出中的占比情况。占比越大,说明某数字融合部门对该数字产业部门的需求拉动作用越强。被动视角是指从数字产业部门出发,分析其提供的数字产品受其前向关联数字融合部门的影响程度。从行项来看,行项中每一个元素表示某数字产业部门中各个数字融合部门需求占比情况。占比越大,说明某数字产业部门受该数字融合部门的需求拉动作用越强。

在二模网络中,某数字产业部门的出度为该产业部门前向联结之和,反映产业网络中数字产品流出方向,与数字融合部门前向关联性越强,该数字产业部门对数字融合部门资源输出的影响越大。某数字融合部门的入度为该产业部门后向联结之和,反映产业网络中数字产品流入方向,与数字产业部门后向关联性越强,该数字融合部门对数字投入的吸纳能力越大。通过计算供给或需求关系而产生的强关联数目,可以衡量数字产业部门与数字融合部门间的联系程度。图3至图6中节点标签越大,表明其产业关联度越大。

从图3与图5可以看出,起推动作用的数字产业部门主要有电子元器件、信息技术服务、数字交易领域,数字融合对数字产业的拉动领域集中于ICT硬件与软件、邮政\*\*等产业部门。根据罗斯托经济成长阶段论,一系列主导部门支撑着起飞之后的经济增长。随着数字经济的发展,具有强大动力的先导部门成为数字产业化与产业数字化过程中的焦点与核心。从技术革命角度来看,数字产业化作为数字经济发展的基础构成,其主导部门是实现当下中国数字经济变革的重要源泉,通过赋能数字融合产业为产业数字化发展提供动力支撑。图4与图6未能呈现明显聚类,数字产业对数字融合产业的推动领域以及起拉动作用的数字融合领域需要进一步判断。另外,同向网络中主动视角下节点数量明显小于被动视角下节点数量,即前向供给网络节点少于前向需求网络节点,后向需求网



络节点少于后向供给网络节点。除个别节点外,主被动视角下的网络节点未呈现一致性,即数字产业化与产业数字化在具体部门中存在主被动差异。

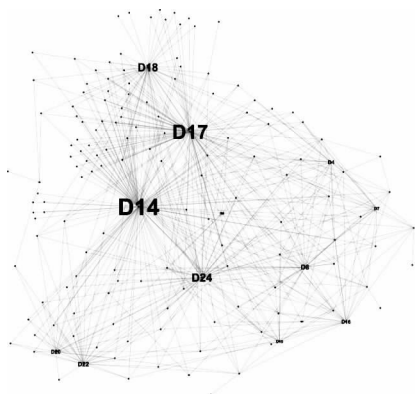


图3 前向供给网络(主动视角)

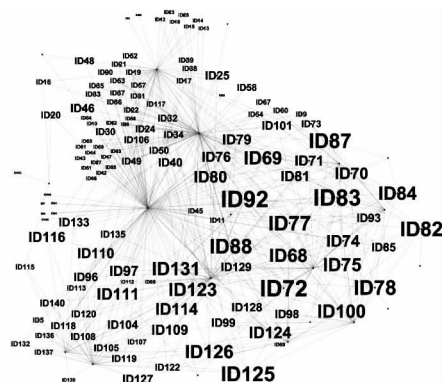


图4 后向供给网络(被动视角)

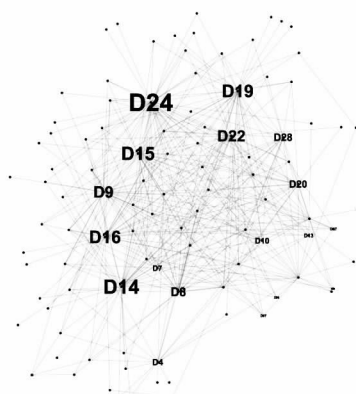


图5 前向需求网络(被动视角)

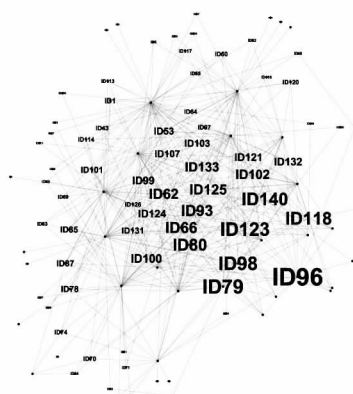


图6 后向需求网络(主动视角)

具体来说,供给网络中联结关系数量为 540 组,覆盖节点 153 个;需求网络中联结关系数量为 428 组,覆盖节点 101 个。整体来看,数字供给向生产领域各环节进行渗透,已经具有了跨越产业边界的特征,各行各业对数字产品与技术的广泛运用,为推动数字经济发展奠定了产业基础。但数字类要素并未完全实现自由流动,相比于供给网络,需求网络结构更为“稀疏”且存在大量孤立节点。

两类网络中无强联结关系的数字产业部门多为剥离系数较小的部门,少数属于完全包含数字产业分类目录的部门,例如 D23 软件服务。此外,数字产业部门中的数字内容与媒体和数字融合产业之间关联性较低。综上,两类网络中无强联结关系的数字未融合部门差距较大,供给网络中数字未融合部门仅有 8 个,而需求网络中数字未融合部门达到 64 个,占数字融合以及未融合部门的比例约为 46%。可以看出,具有数字化主动需求的数字融合部门占比仅过半,产业数字化空间仍然十分广阔。此类数字未融合部门主要集中于农林牧渔业、采矿业、制造业中的轻纺类与资源加工类、文化产业等。因此,仍需深化数字技术与产业融合运用,特别是在农业领域,需要提升数字农业、智慧农业发展水平,加大传统农业信息化改造。在采矿业以及资源加工业中,需要推动工业互联网等数字技术的运用,打造智慧矿山、智能工厂等,推进产业数字化薄弱环节的数字化、智能化转型。

## (二) 一模转换与密度分析

测量二模网络密度,需要先对二模网络进行一模转换。利用对应乘积法形成数字产业部门 $\times$ 数字产业部门以及数字融合部门 $\times$ 数字融合部门两个对称矩阵。其对角线分别表示一个数字产业部

门向数字融合部门的投入行为次数,以及一个数字融合部门所接受的数字产业部门投入个数;矩阵中非对角线的元素分别表示每两个数字产业部门参与数字融合部门投入的数量,以及每两个数字融合部门接受数字产业部门投入的数量。二模网络密度的测量方式主要有两种,即去掉矩阵中对角线元素保留其余元素进行测度以及仅保留对角线元素进行测度,两者的测度结果衡量范畴有所不同。第一种主要衡量产业内部间投入行为或者接受投入行为的联动性,具有整体关联特征;第二种主要衡量产业内部个体的投入行为或者接受投入行为的频率,表现的是个体特征。因此,二模网络密度值不能解释为一个比例,其反映的是行节点某类行为参与情况,以及列节点接受行节点某类行为的情况。结合本文研究主题,将其命名为投入参与率与投入吸引率,根据整体与个体表现特征,可进一步分为联动型与个体型。基于二模网络密度计算公式<sup>[32]</sup>并且参考 Wasserman and Faust<sup>[33]</sup>对行动者参与率的定义,本文定义联动型投入参与率 $\theta^D$ 与投入吸引率 $\theta^{ID}$ 如下:

$$\theta^D = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m X_{ij}^D}{m(m-1)/2} \quad (i < j) \quad (1)$$

$$\theta^{ID} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij}^{ID}}{n(n-1)/2} \quad (i < j) \quad (2)$$

式中,分子表示产业部门一模矩阵的上三角矩阵中除去对角线元素以外所有元素的总和,分母为除去对角线以外所有无序对点的数量。 $\theta^D$ 解释为每两个数字产业部门所共同投向的数字融合部门平均数量, $\theta^{ID}$ 解释为每两个数字融合部门共同接受数字投入的数字产业部门平均数量。

另外,本文用角标 $\alpha$ 与 $\beta$ 来区分主被动性。计算可得:供给网络中 $\theta_{\alpha}^D = 1.45$ ,说明平均每两个数字产业部门共同参与1.45个数字融合部门的投入; $\theta_{\beta}^{ID} = 0.89$ ,说明平均每两个数字融合部门接受0.89个数字产业部门投入。需求网络中 $\theta_{\beta}^D = 2.24$ ,说明平均每两个数字产业部门共同参与2.24个数字融合部门的投入; $\theta_{\alpha}^{ID} = 0.50$ ,说明平均每两个数字融合部门接受0.50个数字产业部门投入。二模网络联动型投入参与率与吸引率显示,数字产业化与产业数字化的主动性均低于被动性。数字产品供需结构不匹配性较为明显,数字产业化与产业数字化均存在结构性失衡问题。由于数字产业化与产业数字化是相互促进发展的过程,因此需要加强数字产业化与产业数字化发展的主动性,进一步释放数字经济活力,形成良性发展的动力机制。

二模网络的一模转换还显示出,一些跨行业门类的产业部门共现度较高。例如,供给网络中D14与D17、D14与D18、D14与D24、D17与D24之间具有较高的共现程度,反映出这些部门在对产业数字化推动过程中存在较强联动性。同样,需求网络中D24与D9、D24与D14、D24与D15、D24与D19之间具有较高的共现程度,反映出这些部门在受产业数字化拉动过程中存在较强联动性。由于数字经济发展更加具有融合性、协同性,相关数字产业协同发展可能会对细分行业的数字化产生协同与叠加效应。

剔除一模网络矩阵对角线元素计算得到的二模网络密度反映出节点间联动投入参与率和投入吸引率,而以对角线为基础计算得到的二模网络密度则反映出节点个体的投入参与率和投入吸引率。因此,定义个体型投入参与率 $\delta^D$ 与投入吸引率 $\delta^{ID}$ 如下:

$$\delta^D = \frac{\sum_{i=1}^m X_{ii}^D}{m} \quad (3)$$

$$\delta^{ID} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}^{ID}}{n} \quad (4)$$

计算得到:供给网络中 $\delta_{\alpha}^D = 18.62$ , $\delta_{\beta}^{ID} = 3.86$ ;需求网络中 $\delta_{\beta}^D = 14.76$ , $\delta_{\alpha}^{ID} = 3.06$ 。为进一步分析数字产业部门与数字融合部门中的主被动参与率,本文按照数字产业类别分别计算,如表3所示。



横向比较可得,数字产业化活跃度主要集中在数字交易领域,其次是在 ICT 硬件、ICT 软件与服务、数字能源与动力传输领域,而活跃度较低的则为数字基础设备制造、数字内容与媒体。纵向比较可得,ICT

硬件、ICT 软件与服务、数字交易的主动投入参与率均高于被动投入参与率。而数字基础设备制造、数字能源与动力传输、数字内容与媒体的主动投入参与率均低于被动投入参与率。其中,数字交易、数字内容与媒体的主被动投入参与率差距较大,数字交易被动比主动参与率低 77.03%,数字内容与媒体的主动比被动参与率低 96.55%。

按照数字产业类别进一步细化数字融合部门的投入吸引力,如表 4 所示。横向比较可得:数字融合产业中科学研究和技术服务业的被动吸引率最高,房地产业的被动吸引率最低;数字融合产业中建筑业的主动吸引率最高,文化、体育和娱乐业的主动吸引率最低。纵向比较可得,房地产业,水利、环境和公共设施管理业,批发和零售业,采矿业等的数字投入吸引率呈现明显的主被动分离状态。

表 4 数字投入吸引率

|       | 农、林、牧、渔业 | 采矿业      | 制造业        | 电力、热力、燃气及水生产和供应业 | 建筑业           | 批发和零售业 | 交通运输、仓储和邮政业 | 住宿和餐饮业    | 金融业            |
|-------|----------|----------|------------|------------------|---------------|--------|-------------|-----------|----------------|
| 被动吸引率 | 0.80     | 2.00     | 3.96       | 2.67             | 5.67          | 1.00   | 4.50        | 4.50      | 4.00           |
| 主动吸引率 | 1.40     | 0.67     | 2.06       | 4.33             | 11.33         | 9.50   | 2.17        | 3.50      | 7.33           |
|       | 房地产业     | 租赁和商务服务业 | 科学研究和技术服务业 | 水利、环境和公共设施管理业    | 居民服务、修理和其他服务业 | 教育     | 卫生和社会工作     | 文化、体育和娱乐业 | 公共管理、社会保障和社会组织 |
| 被动吸引率 | 0.00     | 6.00     | 8.00       | 5.00             | 4.50          | 3.00   | 2.50        | 2.50      | 3.00           |
| 主动吸引率 | 9.00     | 8.00     | 8.67       | 0.67             | 3.50          | 9.00   | 5.50        | 0         | 7.50           |

注:类别与 GB/T 4754—2017 中的门类分类相一致。

### (三) 二模网络中心性分析

相比于一模网络,二模网络中心性分析更为复杂,且指标解释含义不同。通过对二模网络进行定量分析,剖析数字产业部门与数字融合部门中的核心边缘节点,进一步揭示数字产业与数字融合产业之间的深层结构。

#### 1. 度数中心度

一个数字产业部门的度数中心度是该部门所辐射的数字融合部门数量,一个数字融合部门的度数中心度是该部门接受数字产业部门投入的个数。本文利用完全分配系数矩阵转换的二值矩阵测度数字产业部门的度数中心度,利用完全消耗系数矩阵转换的二值矩阵测度数字融合部门的度数中心度。度数中心度越大,表示该节点关联的其他节点越多,该节点在网络中的位置就越重要。

#### 2. 接近中心度

对于数字产业部门而言,其接近中心度为该点与其他数字产业部门的距离之和,再加上该节点到所有数字融合部门的距离之和<sup>[34]</sup>。由于数字产业部门仅与数字融合部门相关联,从该点出发的途径必然需要经过该数字产业部门所投向的各个数字融合部门。因此,一个数字产业部门的接近中心度是该点所投向的数字融合部门到其他数字产业部门和数字融合部门最短距离的一个函数<sup>[35]</sup>。

$$C_c^{MN}(D_i) = \left( 1 + \frac{\sum_{j=1}^{m+n} \min_k d(k, j)}{m+n-1} \right)^{-1} \quad (5)$$

同理,数字融合部门的接近中心度也是该点所联结的数字产业部门到其他数字产业部门和数字融合部门的最短距离的函数<sup>[35]</sup>:

$$C_c^{MN}(ID_k) = \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^{m+n} \min_j d(i, j)}{m+n-1} \right)^{-1} \quad (6)$$

其中,  $C_c^{MN}(D_i)$  为数字产业部门的接近中心度,  $C_c^{MN}(ID_k)$  为数字融合部门的接近中心度,  $m$  为数字产业部门的数量,  $n$  为数字融合部门的数量,  $k$  为数字产业部门  $D_i$  所邻接的某数字融合部门,  $i$  为数字融合部门  $ID_k$  所邻接的某数字产业部门,  $j$  为某个其他数字产业部门或者数字融合部门,  $\min_k d(k, j)$  表示  $k$  和  $j$  之间的最短距离,  $\min_j d(i, j)$  表示  $i$  与  $j$  之间的最短距离。

### 3. 中间中心度

中间中心度用于反映两个非邻接节点间的相互联系, 以及依赖其他节点的程度。当计算一个数字融合部门  $ID_k$  的中间中心度时, 需要考虑所有投向于该数字融合部门的数字产业部门。  $ID_k$  位于投向于该数字融合部门的所有数字产业部门的捷径上。当一组数字产业部门 ( $D_i, D_j$ ) 共同投向  $x_{ij}^M$  个数字融合部门时, 对于其中的数字融合部门  $ID_k$  而言, 其中间中心度增加  $1/x_{ij}^M$  个单位。数字融合部门的中间中心度比例可以用下述公式进行表述:

$$C_B(ID_k) = \frac{1}{2} \sum_{D_i, D_j \in ID_k} \frac{1}{x_{ij}^M} \quad (7)$$

其中,  $C_B(ID_k)$  为数字融合部门  $ID_k$  的中间中心度, 数字产业部门  $D_j$  为与  $D_i$  共同投向数字融合部门  $ID_k$  的另一数字产业部门,  $x_{ij}^M$  为  $D_i$  与  $D_j$  所共同投入的数字融合部门的数量。同理, 数字产业部门的中间中心度性质也与之类似。对于一个数字产业部门所投向的所有数字融合部门来说, 该数字产业部门将获得  $1/x_{kl}^N$  个中间中心度, 其中  $ID_l$  为与  $ID_k$  共同接受数字产业部门投入的另一个数字融合部门,  $x_{kl}^N$  为  $ID_k$  与  $ID_l$  所共同接受的数字产业部门的数量<sup>[34]</sup>。

### 二模网络中, 三种中心度指标结

果排序基本具有一致性, 但各部门节点按照中心度指标排序后首尾差距较大。表5中供给网络中心性分析显示, 占据二模网络中核心位置的数字产业部门有: ICT 领域中的 D14 电子元器件、D24 信息技术服务, 数字交易中的 D17 批发\*、D18 零售\*, 数字设备中的 D8 电线、电缆、光缆及电工器材\*。此类核心产业对产业数字化推动作用最为明显。另外, 有 17 个数字产业部门的中间中心度为 0, 其中, 度数中心度与接近中心度同时为 0 的部门有 12 个, 这说明数字产业部门中有较多节点属于边缘节点。根据发展经济学相关理论, 边缘节点在未来一段时间可能成为核心数字产业的接续产业, 从而不断完成数字技术变革的扩散过程。核心边缘结构反映了数字产业化与产业数字化发展存在的结构性特征与矛盾, 从供给网络角度来看, 核心节点

表5 二模网络中心性分析结果

| 供给网络中心性分析(数字产业部门前5名) |       |       |       | 供给网络中心性分析(数字融合部门前5名) |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| 编号                   | 度数中心度 | 接近中心度 | 中间中心度 | 编号                   | 度数中心度 | 接近中心度 | 中间中心度 |
| D14                  | 0.843 | 0.980 | 0.370 | ID83                 | 0.345 | 0.987 | 0.006 |
| D17                  | 0.721 | 0.838 | 0.240 | ID92                 | 0.345 | 0.987 | 0.006 |
| D18                  | 0.400 | 0.590 | 0.077 | ID72                 | 0.345 | 0.975 | 0.007 |
| D24                  | 0.400 | 0.598 | 0.059 | ID125                | 0.310 | 0.981 | 0.015 |
| D8                   | 0.229 | 0.516 | 0.012 | ID87                 | 0.310 | 0.981 | 0.007 |
| 需求网络中心性分析(数字产业部门前5名) |       |       |       | 需求网络中心性分析(数字融合部门前5名) |       |       |       |
| 编号                   | 度数中心度 | 接近中心度 | 中间中心度 | 编号                   | 度数中心度 | 接近中心度 | 中间中心度 |
| D24                  | 0.364 | 1.126 | 0.078 | ID96                 | 0.724 | 1.678 | 0.026 |
| D14                  | 0.293 | 1.010 | 0.055 | ID79                 | 0.586 | 1.607 | 0.017 |
| D15                  | 0.271 | 0.980 | 0.030 | ID98                 | 0.552 | 1.591 | 0.011 |
| D16                  | 0.257 | 0.961 | 0.046 | ID123                | 0.552 | 1.558 | 0.008 |
| D19                  | 0.257 | 0.942 | 0.046 | ID118                | 0.517 | 1.543 | 0.015 |

注: 为求简洁, 本文仅对部分产业部门进行列示。

的数字产品可能出现产能过剩, 而边缘节点的存在可能会约束数字供给, 造成对产业数字化有效供给不足, 使得数字经济结构失衡。因此, 在数字经济供给侧治理方面, 需要发掘边缘数字产业部门的供给潜能, 不断提升数字产业化的辐射能力。占据二模网络中核心位置的数字融合部门有: 运输设备制造业中的 ID83 其他交通运输设备, 电气机械和器材制造业中的 ID87 家用器具, 金属制品机械和设备修理业中的 ID92 金属制品机械和设备修理服务, 通用设备制造业中的 ID72 文化办公用机械\*\*, 服务业中的 ID125 专业技术服务\*\*。上述数字融合部门受到数字产业化的推动作用最为明显。

表5中需求网络中心性分析显示,占据二模网络中核心位置的数字产业部门有ICT领域中的D14 电子元器件、D15 其他电子设备、D24 信息技术服务,此类ICT产业部门的中心度水平排名靠前,受产业数字化的拉动作用最为明显,反映出ICT领域为产业数字化重点需求领域。另外,数字交易中的D19 邮政\*、数字设备中的D16 仪器仪表\*的核心地位也较为突出。占据二模网络中核心位置的数字融合部门有建筑领域中的ID96 住宅房屋建筑、ID98 铁路道路隧道和桥梁工程建筑,制造业中的ID79 汽车整车,服务业中的ID123 商务服务\*\*,以及金融业中的ID118 货币金融和其他金融服务。这些反映了对数字产业起拉动作用的重点数字融合领域。另外,有91个部门的中间中心度为0,其中,三种中心度指标均为0的部门有41个。因此,在数字经济需求侧治理方面,需要重点培育产业数字化发展的新着力点,以需求侧带动供给侧,扩大产业数字化的核心节点构成,特别是发掘三类指标为0的节点产业数字化,使得产业数字化向着全方位、多领域推进。

### 五、二模对应分析与SVD分解

本文二模矩阵中元素数量达到4 060个,需要对原矩阵进行压缩与降噪处理。通过对应分析以及奇异值分解法(SVD),进一步分析产业部门间存在的共变异信息,推断潜在的构面,从而将数字产业部门与数字融合部门“映射”到相同的“空间”内<sup>[34]</sup>。对应分析是一个用来研究两个或者多个变量组中相互关系的分析手段<sup>[35]</sup>,基于二模网络数据,对 $m$ 个数字产业部门以及 $n$ 个数字融合部门分别赋予一个分数。之后依据其关联的数字融合部门来表示数字产业部门,依据其关联的数字产业部门来表示数字融合部门。由于该分析手段并不适合分析二值数据<sup>[34]</sup>,因此本文采用原值矩阵进行SVD分析。另外,利用UCINET实现SVD分析要求行项大于列项,因此将原二模矩阵进行转置处理。

本文用 $Z = \{z_{ji}\}$ 表示数字融合部门与数字产业部门形成的二模矩阵,其中 $z_{ji}$ 是原矩阵中第 $j$ 行和第 $i$ 列元素值。二模矩阵蕴含了各个数字产业部门与数字融合部门之间的对应关系。对二模矩阵进行对应分析可以产生如下信息: $\Lambda$ 矩阵主对角线上的元素称为奇异值,其余元素均为0, $\Lambda = \{\lambda_k\}$ ,其中, $\lambda$ 用来描述数字产业部门与数字融合部门间的相关度, $k$ 表示数字产业部门与数字融合部门对应形成的维度, $k=1,2,\dots,W$ 。对于数字融合部门,计算其在每个维度中的行得分 $\{v_{jk}\}$ ,其中 $j=1,2,\dots,m$ ;对于数字产业部门,计算其在每个维度中的列得分 $\{u_{ik}\}$ ,其中 $i=1,2,\dots,n$ 。另外,行分数与列分数的加权平均、列分数与行分数的加权平均存在比例关系。可以表示为:

$$\lambda_k v_{jk} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{ji}}{z_{j+}} u_{ik} \quad (8)$$

$$\lambda_k u_{ik} = \sum_{j=1}^m \frac{z_{ji}}{z_{+i}} v_{jk} \quad (9)$$

为解上述方程,需要对二模矩阵 $Z$ 进行SVD分解,SVD的原理是将 $Z$ 矩阵分解成 $UAV^T$ 形式,即分解为左奇异向量矩阵 $U$ 、奇异值对角线矩阵 $\Lambda$ 、以及右奇异向量矩阵 $V$ 。此时,数字产业部门得分是其关联数字融合部门的一个函数,数字融合部门得分是其关联数字产业部门的一个函数。具体而言,在某维度中数字产业部门 $i$ 的值是由该数字产业部门关联的几个数字融合部门的加权平均值除以这一维度的奇异值所得到的。同理,这一维度中数字融合部门 $j$ 的值是由该数字融合部门关联的几个数字产业部门的加权平均值除以对应的奇异值所得到的。

选取使奇异值累计解释超过70%的维度个数,对于供给网络而言,选取5个维度,对于需求网络而言,选取6个维

表6 奇异值分析与维度提取

| 供给网络 |         |        |          |
|------|---------|--------|----------|
| 维度   | 奇异值     | 贡献率(%) | 累计贡献率(%) |
| 1    | 0.788 4 | 41.3   | 41.3     |
| 2    | 0.238 4 | 12.5   | 53.8     |
| 3    | 0.125 4 | 6.6    | 60.4     |
| 4    | 0.108 0 | 5.7    | 66.0     |
| 5    | 0.092 0 | 4.8    | 70.8     |
| 需求网络 |         |        |          |
| 维度   | 奇异值     | 贡献率(%) | 累计贡献率(%) |
| 1    | 0.634 4 | 28.9   | 28.9     |
| 2    | 0.261 1 | 11.9   | 40.7     |
| 3    | 0.206 7 | 9.4    | 50.1     |
| 4    | 0.183 2 | 8.3    | 58.5     |
| 5    | 0.159 9 | 7.3    | 65.7     |
| 6    | 0.122 3 | 5.6    | 71.3     |

度,具体见表6。负载得分排名中,各自存在一个得分为负值的维度,说明该维度体现一定的反向关系,这里实际意义较弱,故不予汇报。表7、表8主要考察正向得分形成的维度,其中数字融合部门采用《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2017)(门类与大类)进行归类表示。

表7 供给网络 SVD 分析结果

| 维度 | 高负载得分节点<br>(数字产业部门)         | 数字产业部门归类<br>(作者归类)             | 高负载得分节点<br>(数字融合部门)                                                                                                                  | 数字融合部门归类<br>(GB/T 4754—2017)                                                         |
|----|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | D4 - D6、D9、D14、D15          | ICT 硬件、<br>数字设备                | ID6、ID8 - ID10、ID40 - ID42、ID45、<br>ID54、ID58、ID60 - ID64、ID66 - ID81、<br>ID83、ID85、ID87 - ID90、ID92、ID94、<br>ID95、ID106、ID111、ID131 | B06、B08 - B10、C24 - C26、C30、C31、<br>C33 - C38、C40、C41、C43、D45、D46、<br>G54、G58、O82    |
| 2  | D1、D3、D20 - D24、<br>D27、D29 | ICT 软件与服务、<br>数字设备、<br>数字内容与媒体 | ID5、ID102 - ID105、ID107 - ID110、<br>ID112 - ID116、ID118 - ID120、ID122、<br>ID126、ID127、ID130、ID132、ID135 -<br>ID137、ID139、ID140       | A05、F51、F52、G53 - G60、H61、J66 -<br>J68、L71、M75、N76、O80、P83、R86、<br>R88、R89、S94 - S96 |
| 3  | D7、D8、D10 - D13、D16         | 数字设备、<br>ICT 硬件                | ID7、ID82、ID84、ID93、ID96、ID97、<br>ID100、ID101、ID124、ID125、ID128、<br>ID129                                                             | B07、C37、C38、D44、E47、E49、E50、<br>M73、M74、N77 - N79                                    |
| 4  | D17 - D19                   | 数字交易                           | ID3、ID11 - ID39、ID43、ID44、ID46 -<br>ID53、ID55 - ID57、ID59、ID65、ID98、<br>ID99、ID117、ID123、ID133                                       | A03、B11、C13 - C24、C26 - C30、C32、<br>E48、H62、L72、Q84                                  |

注:不考虑仅出现一次且负载得分较低的节点;数字融合部门类属中字母表示门类,数字代表大类。

从数字融合产业角度出发,供给网络中第一个维度维中得分最高的产业主要为制造业,采矿业,居民服务、修理和其他服务业,电力、热力、燃气及水生产和供应业,其对应的数字产业分类为 ICT 硬件、数字设备。在这一维度中,产业对应关系较为单一,数字产业对产业数字化的辐射作用尚未充分释放。供给网络中第二个维度维中得分最高的产业不含制造业,主要为服务业范畴。其中,金融业,公共管理、社会保障和社会组织,交通运输、仓储和邮政业,科学研究和技术服务业负载得分较大,文化、体育和娱乐业,教育等得分较低,对应这一维度的数字产业分类有 ICT 软件与服务、数字设备、数字内容与媒体。供给网络中第三个维度维中得分最高的产业主要包括科学研究和技术服务业,建筑业,电力、热力、燃气及水生产和供应业等,对应这一维度的数字产业分类主要为数字设备、ICT 硬件。供给网络中第四个维度维中得分最高的产业为制造业中的轻纺类以及少量服务业类别,如租赁和商务服务业、住宿和餐饮业,对应这一维度的数字产业分类主要为数字交易。

表8 需求网络 SVD 分析结果

| 维度 | 高负载得分节点<br>(数字产业部门)                                           | 数字产业部门归类<br>(作者归类)                                 | 高负载得分节点<br>(数字融合部门)                                                                                                                                                  | 数字融合部门归类<br>(GB/T 4754—2017)                                                                              |
|----|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | D2 - D5、D8、D11、<br>D14、D15、D17 -<br>D19、D21 - D25、<br>D28、D29 | 数字设备、<br>ICT 硬件、<br>ICT 软件与服务、<br>数字交易、<br>数字内容与媒体 | ID1、ID6、ID27、ID32、ID35、ID43、ID47、<br>ID48、ID54、ID55、ID58 - ID66、ID69、ID70、<br>ID78、ID81、ID84、ID87、ID88、ID94 -<br>ID101、ID109、ID116、ID118、ID119、ID121、<br>ID128、ID133 | A01、B06、C13、C15 - C18、C20、C26、<br>C30 - C35、C37、C38、C45、C46、D45、D46、<br>E47 - E50、H61、J66、J67、K70、N77、Q84 |
| 2  | D6、D7、D16                                                     | 数字设备                                               | ID7、ID41、ID68、ID71、ID73 - ID75、ID77、<br>ID82、ID85、ID89                                                                                                               | B07、B25、C34、C35、C37、C38、C40                                                                               |
| 3  | D9、D12                                                        | 无分类意义                                              | ID3、ID16、ID40、ID50、ID53、ID57、ID67、<br>ID72、ID79、ID80、ID102、ID103、ID106、<br>ID107、ID110 - ID115、ID117、ID130                                                           | A03、C13、C24、C27、C29、C30、C34、C36、<br>F51、F52、G54、G56 - G60、H62、O80                                         |
| 4  | D1、D10、D13                                                    | ICT 硬件                                             | ID123、ID125、ID126、ID129、ID131                                                                                                                                        | L72、M74、M75、N76、O82                                                                                       |
| 5  | D20、D27                                                       | 无分类意义                                              | ID76、ID83、ID124、ID140                                                                                                                                                | C35、M73、S91 - S93、S95、S96                                                                                 |

注:不考虑仅出现一次且负载得分较低的节点;数字融合部门类属中字母表示门类,数字代表大类。

从数字融合产业角度出发,需求网络中第一个维度维中得分最高的产业类别较多,按负载得分排名来看主要包括建筑业、房地产业、金融业、制造业等。其中制造业中的资源加工类、机械电子制

造类负载得分高于轻纺类,对应的数字产业部门包括全部数字产业分类。在第一维度中,数字产业与数字融合产业的对应分割关系趋于消融,反映出这一维度的数字产业具有较高的兼容性。需求网络中第二个维度维中得分最高的产业为采矿业、制造业,其中制造业不包含轻纺类,主要为装备制造类,其对应的数字产业分类为数字设备。需求网络中第三个维度维中得分最高的产业为制造业中的汽车行业,批发和零售业,交通运输、仓储和邮政业等,其对应的数字产业为电池、广播电视设备和雷达及配套设备。需求网络中第四个维度维中得分最高的产业均为服务业范畴,其对应的数字产业分类为 ICT 硬件。需求网络中第五个维度维中得分最高的产业为公共管理、社会保障和社会组织等,其对应的数字产业为电信、新闻和出版<sup>\*</sup>。整体来看,数字产业化与产业数字化未能形成明显的产业链条结构,且呈现碎片化的组合格局。

## 六、结论与政策建议

### (一) 研究结论

本文研究得出如下结论:第一,由于产业视角与供需关系不同,产业网络也呈现出不同的数字化结构特征。体现数字产业化推动作用以及产业数字化拉动作用的网络较为“稀疏”,数字产业化与产业数字化的动力潜能仍然巨大。同时,在供需网络中部门节点具有明显的核心边缘之分。密度分析显示:联动型参与率与吸引率的主动性均低于被动性,个体型参与率与吸引率在不同行业分类下主被动差异较大。第二,中心性与对应分析显示:数字交易、ICT 硬件中的电子元器件是推动产业数字化的重要数字产业领域;ICT 软硬件成为受产业数字化拉动最为突出的领域,反映出产业数字化对 ICT 领域的需求状况;产业数字化对数字设备中数字能源与动力传输的需求拉动较弱;数字内容与媒体行业所受拉动作用也不明显。第三,数字融合产业中,第一产业在推拉作用中表现最弱。第二产业制造业中的资源加工类与机械电子制造类、采矿业受数字产业推动明显,但主要与数字设备以及少量 ICT 硬件存在对应关系,与 ICT 领域尚未形成全面强关联。同时,制造业中机械电子制造类产生的需求拉动作用也较为突出,反映出此类制造业信息化水平较高。第三产业除金融业以及少量与数字产业相关的服务业外,其余产业在推拉关系中表现较弱。第四,结合密集型产业分类方式可知,推拉作用较强的数字融合部门主要集中在技术密集型与资金密集型产业,其对数字技术兼容性强,消耗数字产品能力强。推拉作用较弱的数字融合部门主要集中在劳动密集型产业,这些产业部门虽然存在数字化转型需求,但对数字技术兼容性不高,且可能无法承担高昂的数字化成本。

### (二) 政策建议

本文研究具有如下政策启示:第一,优化产业结构,提高产业数字化水平。产业网络分析显示,尚有诸多传统产业未能进入网络结构中。需要针对产业数字化薄弱环节及时调整,全面促进传统产业与数字类资源高效整合,防范数字经济发展带来新的“产业孤岛”问题。第二,发展数字技术,推进产业数字技术创新。没有数字技术的深度嵌入运用,产业数字化水平也就无法提升。因此,需要提高数字关键技术研发供给能力,促进数字技术成果不断转化,加强对数字技术的消化吸收与创新,激发释放产业数字化需求潜力,带动整体经济生产率提升。第三,做好数字产业规划,助力数字经济发展。数字产业发展规划不能盲目追逐技术热点,需要避免资源浪费与同质竞争,实现数字产业差异化发展。第四,精准政策匹配,提升产业数字竞争力。对产业间互补联动性明显的产业类别考虑集成优化方向,特别是跨行业门类或大类的产业更应关注产业政策间兼容性问题。鼓励发展某类产业的同时需要考虑相关联动产业影响,发挥产业主动性与创造性,最终实现数字产业化与产业数字化良性互动,不断提升中国数字经济发展水平。

## 参考文献:

- [1] SCHWAB K. The fourth industrial revolution [M]. New York: Currency Books, 2017.

- [2] PRADHAN R P, ARVIN M B, NAIR M, et al. Short-term and long-term dynamics of venture capital and economic growth in a digital economy: a study of European countries [J]. *Technology in Society*, 2019, 57: 125 – 134.
- [3] 张彬斌, 李雪松. 增长阻力和结构性改革: 国际困境及启示 [J]. *求实*, 2017(5): 44 – 54.
- [4] 孙国强, 李腾, 张宝建. 企业网络数字化转型的演化特征与治理机制研究 [J]. *科技进步与对策*, 2021(7): 85 – 94.
- [5] LI K, KIM D J, LANG K R, et al. How should we understand the digital economy in Asia? Critical assessment and research agenda [J]. *Electronic commerce research and applications*, 2020, 44: 101004.
- [6] WATANABE C, TOU Y, NEITTAANMÄKI P. A new paradox of the digital economy – Structural sources of the limitation of GDP statistics [J]. *Technology in society*, 2018, 55: 9 – 23.
- [7] VIAL G. Understanding digital transformation: a review and a research agenda [J]. *The journal of strategic information systems*, 2019, 28(2): 118 – 144.
- [8] 张其仔, 许明. 中国参与全球价值链与创新链、产业链的协同升级 [J]. *改革*, 2020(6): 58 – 70.
- [9] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展白皮书(2020年) [R/OL]. (2020-07-10) [2021-03-05]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202007/P020200703318256637020.pdf>.
- [10] 李海舰, 李燕. 对经济新形态的认识: 微观经济的视角 [J]. *中国工业经济*, 2020(12): 159 – 177.
- [11] 康铁祥. 中国数字经济规模测算研究 [J]. *当代财经*, 2008(3): 118 – 121.
- [12] 许宪春, 张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角 [J]. *中国工业经济*, 2020(5): 23 – 41.
- [13] 朱发仓. 数字经济统计测度研究: 理论与应用 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2019: 125 – 128.
- [14] 关会娟, 许宪春, 张美慧, 等. 中国数字经济产业统计分类问题研究 [J]. *统计研究*, 2020(12): 3 – 16.
- [15] 吕铁. 传统产业数字化转型的趋向与路径 [J]. *人民论坛·学术前沿*, 2019(18): 13 – 19.
- [16] 肖旭, 戚聿东. 产业数字化转型的价值维度与理论逻辑 [J]. *改革*, 2019(8): 61 – 70.
- [17] 郭卫军, 黄繁华. 高技术产业与生产性服务业协同集聚如何影响经济增长质量? [J]. *产业经济研究*, 2020(6): 128 – 142.
- [18] 杨晓维, 何昉. 信息通信技术对中国经济增长的贡献——基于生产性资本存量的测算 [J]. *经济与管理研究*, 2015(11): 66 – 73.
- [19] 李磊, 徐大策. 机器人能否提升企业劳动生产率? ——机制与事实 [J]. *产业经济研究*, 2020(3): 127 – 142.
- [20] BASU S, FERNALD J. Information and communications technology as a general-purpose technology: evidence from US industry data [J]. *German economic review*, 2007, 8(2): 146 – 173.
- [21] 郭美晨, 杜传忠. ICT 提升中国经济增长质量的机理与效应分析 [J]. *统计研究*, 2019(3): 3 – 16.
- [22] 芮明杰. 构建现代产业体系战略思路、目标与路径 [J]. *中国工业经济*, 2018(9): 24 – 40.
- [23] ACEMOGLU D, CARVALHO V M, OZDALGLAR A, et al. The network origins of aggregate fluctuations [J]. *Econometrica*, 2012, 80(5): 1977 – 2016.
- [24] 冯居易, 魏修建. 数字经济时代下中国信息服务业的投入产出效应研究 [J]. *情报科学*, 2020(5): 112 – 119.
- [25] 陈露, 刘修岩, 叶信岳, 等. 城市群视角下的产业共聚与产业空间治理: 机器学习算法的测度 [J]. *中国工业经济*, 2020(5): 99 – 117.
- [26] GUITTON H, RASMUSSEN P N. Studies in inter-sectoral relations [J]. *Economica*, 1957, 8(6): 15 – 17.
- [27] AUGUSTINOVICS M. Methods of international and intertemporal comparison of structure [J]. *Contributions to input-output analysis*, 1970, 1: 249 – 269.
- [28] JONES L P. The measurement of hirschmanian linkages [J]. *The quarterly journal of economics*, 1976, 90(2): 323 – 333.
- [29] 赵炳新, 尹翀, 张江华. 产业复杂网络及其建模——基于山东省实例的研究 [J]. *经济管理*, 2011(7): 139 – 148.
- [30] 周勇, 李苗苗. 基于产业网络的东中部省份核心-边缘结构研究 [J]. *求索*, 2018(2): 85 – 93.
- [31] 尹翀. 产业复杂网络: 建模及应用 [J]. 济南: 山东大学, 2012.
- [32] KNOKE D, YANG S. Social network analysis [M]. Los Angeles: Sage Publications, 2008.
- [33] WASSERMAN S, FAUST K. Social network analysis: methods and applications [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.



- [4] 刘军. 整体网分析: UCINET 软件实用指南 [M]. 上海: 格致出版社, 2014: 285 – 295.
- [5] FAUST K. Centrality in affiliation networks [J]. Social networks, 1997, 19( 2) : 157 – 191.
- [6] HANNEMAN R A, RIDDLE M. Introduction to social network methods [M]. California: California University Press, 2005.

(责任编辑: 李 敏)

## Digital industrialization and industrial digitization: two-way linkage, industrial network characteristics, and digital economy development

LI Teng<sup>1</sup>, SUN Guoqiang<sup>2</sup>, CUI Gege<sup>3</sup>

( 1. Faculty of Business Administration, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China;

2. Research Center of Organization Innovation and Network Governance, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China; 3. School of Economics, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Digital industrialization and industrial digitization constitute important aspects of the digital economy. The flow of digital products reflects the characteristics of digital supply and demand, and has become an important link connecting digital industrialization and industrial digitization. Based on the dual perspective of digital industrialization and industrial digitization, this article divides the supply side and the demand side of the digital economy with the flow of digital products as the guide, and establishes a two-mode network of digital industry departments and digital convergence departments. This project analyzes the characteristics of digitization in China's industrial network from the perspectives of digital demand and digital supply. Network analysis shows: Digital industrialization and industrial digitization have core and edge nodes at the industrial sector level. There exist obvious active and passive differences in the participation rate and attraction rate of digital investment. The relationship between digital industrialization and industrial digitization is not a simple push-pull relationship. The level of connection between the digital industrial sector and the digital convergence sector is not balanced. The internal and external driving effects of the digital industry are different in specific sectors. Moreover, the internal driving effect of the digital convergence industry is also significantly different from its external driving effect. In correspondence analysis, singular value decomposition is used to reduce the dimensions of the two-mode network, and it is found that the ICT software and hardware industries are insufficiently synergistic. The research in this article provides a quantitative perspective on the analysis of digital industrialization and industrial digitization. Further, it provides enlightenment for the refinement of industrial policies in the digital economy era.

**Key words:** digital economy; digital industrialization; industrial digitization; linkage relationship; network structure; two-mode network