

数字经济、数字产品空间与实数融合发展

——基于技术关联与比较优势耦合协调视角

杨继东，高秋男，刘守英

【摘要】 促进实体经济和数字经济深度融合是党中央立足全局、面向中国式现代化作出的重大战略抉择。本文利用2003—2015年中国工业企业数据和机器学习模型，通过测算工业行业和核心数字产业之间的技术关联度，构造中国数字产品空间，并基于产业数字邻近性和比较优势耦合协调的发展逻辑，探究如何实现实体经济和数字经济深度融合。研究发现：中国经济的实数融合程度稳步提升，在研究期内提升63.73%，但区域间数字鸿沟问题突出，区域间实数融合差异增长51.16%。数字产品空间的耦合协调度具有区域根植性，且对数字经济发展具有持续影响，耦合协调度每增长1个标准差，省级和地市层面的数字经济水平分别增长36.95%和9.62%。基于技术关联和比较优势耦合协调原则，中国应重点推进实数融合发展的产业是金属制品业、专用设备制造业、化学制品和非金属矿物制品业。通过分析不同地区的行业耦合协调度，本文提出因地制宜的数字化转型优先顺序。

【关键词】 实数融合；产品空间；数字邻近性；比较优势

【中图分类号】 F424 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1006-480X(2025)03-0078-19

一、引言

在加快构建新发展格局下，促进实数融合成为赋能现代化产业体系建设和经济高质量发展的重要引擎。大力推动实体经济和数字经济深度融合，以数字化转型驱动现代化产业体系，是建设社会主义现代化强国的重大理论和实践命题。一个亟待回答的问题是，如何才能有效推动实体经济和数字经济融合发展，更好地发挥产业数字化转型对传统产业的增益作用？产业数字化转型的关键是通过数字技术赋能传统产业，提升传统产业的产出效率和综合竞争力，本质上是产业转型升级和经济结构优化的过程。中国幅员辽阔，各地区产业结构和资源禀赋存在较大差异，因地制宜是各地推动产业数字化转型的基本原则。那么，在推动各地区的产业数字化转型过程中，如何确立行业

【收稿日期】 2024-07-09

【基金项目】 教育部人文社会科学研究一般项目“地方政府土地出让行为的影响因素和福利分析研究：基于微观土地交易数据”（批准号22YJA790076）。

【作者简介】 杨继东，中国人民大学经济学院教授，博士生导师，经济学博士；高秋男，中国人民大学经济学院博士研究生；刘守英，中国人民大学经济学院教授，博士生导师。通讯作者：刘守英，电子邮箱：liusy18@126.com。本文得到中国人民大学科学研究基金“中国制造业转型升级：基于产品空间的方法”项目资助。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见，文责自负。

的优先顺序,因地制宜确定产业数字化的发展路径呢?

为了回答以上问题,本文借鉴演化经济地理学的研究思路,立足产品空间理论,遵循“产品空间构建—历史经验总结—未来路径优化”的分析范式,利用2003—2015年中国工业企业数据和机器学习模型,将现实中纷繁复杂的具体业务活动分类至经济行业类别,通过计算不同行业的生产活动在企业层面的共现频率度量行业间的技术关联度,构建反映中国工业行业间及其与数字核心产业间技术关联度的数字产品空间。本文基于企业生产经营活动的实际结果构建数字产品空间的技术关联度,考虑企业信息投资、数字创新、技术合作等因素和机制的综合产出,可以较好地避免仅考虑数字化投资造成的误导(Rahmati et al., 2021)。数字产品空间描述了不同行业间数字经济联系的网络结构,包含行业之间的技术关联度以及相对位置等结构化信息,对于理解经济体的数字化潜在竞争力和识别增长动能转换方向具有重要意义(郑江淮等, 2018; 张其仔等, 2023),有助于探寻产业数字化的可行路径,对于推进产业数字化转型具有丰富的现实意义和政策含义。本文综合考虑产品空间所反映的数字技术邻近性和产业比较优势的耦合发展程度,刻画了数字产品空间耦合协调度的演化特征,实证检验了其对数字经济发展的影响,并总结中国实数融合发展的历史经验。最后,本文基于数字产品空间的耦合协调发展逻辑,阐释如何因地制宜制定产业数字化转型策略,为更好驱动实体经济和数字经济深度融合提供了可操作的政策工具。

研究发现:①中国实体经济和数字经济融合取得了积极成效,但表现出典型的区域鸿沟特征。中国实数融合程度在研究期内提升63.73%,后发地区的实数融合发展取得了显著成效,新疆、云南和吉林的实数融合程度在研究期内增长幅度超过100%,但是数字技术赋能实体经济未能完全突破地理局限,地区间实数融合度的标准差在研究期内上升51.16%。②数字产品空间中数字邻近性和比较优势的耦合协调关系表现出区域根植性,而且对地区未来数字经济发展具有重要解释力。耦合协调度每增长1个标准差,省份和城市层面的数字经济水平分别增长36.95%和9.62%,说明在驱动实数融合发展过程中,应遵循技术邻近性和产业比较优势耦合协调的发展逻辑。③本文基于耦合协调度模型,识别了适宜重点推进数字化转型的潜力行业。全国层面重点推进数字化转型的产业是金属制品业、专用设备制造业、化学制品和非金属矿物制品业。各地区需要通过协调产业的数字邻近性和比较优势来确定产业数字化转型的先后顺序,以提升地区耦合协调度为抓手,将行业数字化转型潜力转化为产业转型升级动能。

本文的主要贡献在于:①丰富了数字经济研究的文献。本文首次从数字产品空间视角测度实数融合的发展程度,检验了实数融合对数字经济发展的影响,探究了实体经济和数字经济深度融合的可行逻辑。当前相关研究主要从实数融合的主体(何德旭等, 2024)、实数融合的要素(黄先海和高亚兴, 2023)、实数融合的场景(孙伟增等, 2023)等角度分析了实数融合的内涵及经济后果。本文从数字产品空间视角切入,基于数字邻近性和比较优势耦合协调的发展逻辑,对中国实数融合发展进程展开事实刻画和路径选择设计。传统比较优势理论从要素密集角度指出了产业升级的演进路径,但是针对日趋复杂化、精细化的分工体系,传统比较优势理论在提供产业转型升级的指导性建议方面存在不足。本文立足演化经济地理学中的产品空间理论,将核心数字产业引入工业企业的产品空间网络,基于数字产品空间和耦合协调度模型,刻画了中国实数融合发展的特征事实,讨论了遵循数字邻近性和比较优势耦合协调的数字化转型逻辑对推进中国数字经济发展的作用。②丰富了产品空间理论研究。国内关于产品空间的研究主要集中在利用产品空间方法分析中国的产业转型问题(金碚等, 2013; 张其仔和李颢, 2013; 刘守英和杨继东, 2019),以及针对影响中国产品空间演化和经济复杂度的具体因素展开实证分析(张其仔等, 2023),对于数字经济时代背景下如何

基于产品空间理论的演化逻辑优化产业数字化转型路径的研究尚显不足。本文通过识别工业企业所开展的与数字产品生产和数字技术运用相关的经济活动,构建了反映工业行业和数字行业之间技术关联度的数字产品空间,丰富了产品空间的构建方法以及现实应用。③讨论了推动实体经济和数字经济深度融合的实践路径。关于如何推动中国实数融合,现有研究主要围绕“技术驱动、数据驱动、场景驱动、生态驱动”等展开理论机制分析(洪银兴和任保平,2023;陈雨露,2023)。本文基于地区产业的数字邻近性和比较优势的耦合协调关系,认为各地区在推进传统产业数字化转型的进程中需要综合考量传统产业与数字产业的技术邻近性和产业自身的禀赋优势。演化经济理论认为,技术溢出等赋能过程遵循着产业间技术关联结构决定的扩散路径(Hidalgo et al., 2007; Boschma and Frenken, 2011),表明产业数字化转型过程在技术范畴上受到技术邻近关系的制约。同时,地区的资源禀赋条件是产业演化的重要基础,推动地区的比较优势产业优先进行转型升级可以提高经济增益效果,为提升地方经济发展提供动力源泉。本文的数字产品空间综合考量了地区产业的技术和经济两方面客观禀赋条件,提出了因地制宜推进产业数字化转型优先顺序的建议。

余文结构安排如下:第二部分是文献综述;第三部分为研究设计;第四部分展示中国数字产品空间的发展特征;第五部分实证检验数字产品空间耦合协调度对数字经济发展的影响;第六部分基于耦合协调逻辑探讨行业数字化转型顺序问题;第七部分为结论与启示。

二、文献综述

1. 产业演化路径与技术关联度

21世纪以来,在演化经济学的经典理论与分析框架基础上,经济地理学家发展出演化经济地理理论,旨在从地区禀赋和历史发展角度研究经济活动在空间维度的演化规律。其中,关于产业演化路径的研究是发展最为迅速的分支之一。演化经济地理学认为,地区的产业转型升级过程与产业演化路径遵循区域派生理论(Frenken and Boschma, 2007; Boschma and Frenken, 2011),即与地区现有产业结构具有更高技术关联度的新兴产业更容易存活和发展,基于地区资源禀赋形成的路径依赖会塑造地区产业未来发展的轨迹(Rigby and Essletzbichler, 1997; Martin and Sunley, 2006)。

技术关联度概念的提出,突破了基于地理距离的知识外部性理论对产业演化路径的解释(Jaffe et al., 1993)。由于不同产业在生产经营流程的各环节会积累专有技术和知识,技术关联度所反映的认知距离相较地理距离,对知识溢出效应的影响更为关键(Boschma, 2005)。从技术创新角度看,产业结构的演化进程有赖于技术创新的推动。一般而言,技术创新需要花费大量沉没成本且面临较高风险,企业通常会选择整合现有的技术、知识、生产能力等,向技术关联较高的生产活动演化。

基于技术关联度概念,Hidalgo et al.(2007)利用共现分析法,改进了技术关联度的测度方式,并基于国际贸易数据,构建了全球产品空间,发现地区生产结构的演变受制于产品空间中的技术结构,发达国家通过开发与其现有产品邻近的潜力产品向新的比较优势过渡。这从动态视角为区域派生理论提供了经验证据,为因地制宜制定地区产业转型升级政策提供了实践指导工具。在基于产品空间讨论产业演化的相关研究中,张其仔和李颢(2013)利用2000—2011年全球产品贸易数据库,讨论了不同邻近性阈值条件下中国的产业演化轨迹和潜在优势产业。刘守英和杨继东(2019)基于1995—2016中国海关出口数据,刻画了中国省级出口产品空间特征,分析了不同地区的产业升级路径。

2. 技术关联度概念与测度

在演化经济地理学的分析框架下,技术关联度是研究产业演化路径的核心概念。技术关联度通常被定义为两个产业或产品之间在生产技术、生产要素、组织结构以及制度设施等方面的相似性程度(Hidalgo et al.,2007;Neffke et al.,2011;Boschma et al.,2013)。在该定义的语境下,“技术”的内涵是一个接近于多维邻近性(Boschma,2005)的广义概念,是目前广泛使用的共现分析法的理论支撑(Hidalgo et al.,2007;Boschma et al.,2013)。

现有文献中,主要有三种方法测度产业或产品间的技术关联度。第一种方法是基于标准行业分类,将产业划分为不同等级的嵌套系统。Caves(1981)假设,若两个产品属于相同的上级分类,则定义两者存在技术关联。该方法忽略了不同行业由于投入产出联系和跨行业知识溢出而存在技术关联的现实情况(Essletzbichler,2015)。第二种方法关注产业的生产过程,通过计算不同产业所使用的资源相似性来衡量技术关联度。具体测度对象包括物质资本的相似程度(Fan and Lang,2000)、技术资本相似程度(Breschi et al.,2003),以及人力资本的相似程度(Farjoun,1994)等。然而,由于不同资源的重要性在行业间存在明显差异,基于资源相似性的测度会导致技术关联的计算结果存在偏差。第三种方法是基于共现分析来测度技术关联。Hidalgo et al.(2007)在宏观层面利用国际贸易数据,通过衡量两种产品在国家对外出口中共同表现出显示性比较优势的概率来度量技术关联度。随后,许多研究基于这一共现分析思路,计算两种比较优势产品同时被同一地区生产的条件概率来测算产品关联或行业关联(张其仔和李颖,2013;刘守英和杨继东,2019)。与地区相比,企业是更为微观的生产主体,将共现分析的尺度细化到企业层面,能有效提高技术关联测度的精准性。Teece et al.(1994)较早在企业层面使用共现分析法计算技术关联度,但其计算方法没有处理条件概率的不对称性,并且采用两类产业活动共现的频数而非概率进行度量。此外,由于企业—产品层面的数据难以获得,企业层面的共现分析方法没有得到广泛采用。

已有研究为本文基于主要业务活动度量行业关联度提供了有益参考,但现有的共现分析法在构建中国数字产品空间时存在不具总体代表性或者方法适用困难等问题。在宏观层面,基于海关出口数据构建的技术关联度强调对外贸易在地区经济中的重要性,难以全面客观地反映地区经济的总体状况。在微观层面,行业关联性度量面临数据代表性和可得性之间的权衡。基于多元化生产活动的度量方法需要使用企业—产品层面的数据,通常难以获得反映经济体总体特征的大数据样本,而囿于小样本的测度结果,面临不具有总体代表性的问题。为了测度中国行业间的技术关联度,并在此基础上构建数字产品空间,本文利用文本分析方法和机器学习模型,基于2003—2015年全部规模以上工业企业的主营业务活动文本,将企业的主要生产经营活动分类至标准行业分类,通过测度不同行业的生产经营活动在企业层面的共现频率,度量了行业间技术关联度,较为全面准确地表征了中国工业行业间的总体技术关联特征。

3. 产业演化的耦合协调发展

在研究地区产业演化的驱动力量时,除了考量产业间技术关联等外生型力量,还需要关注经济禀赋等内生型力量与外生性力量的耦合关系。在数字产品空间中,工业行业与数字核心产业的网络距离衡量了两者之间的技术关联度,但是仅根据产业间的技术关联度来制定数字化转型策略,会忽视数字化转型的经济增益。产品空间理论认为,在利润最大化目标下,产品演化的方向应该综合考量技术邻近性和经济收益,在讨论各地区应该发展的潜力产品时,提出了产品复杂度概念以表征产品潜在的经济收益(Hidalgo and Hausmann,2009)。

数字经济是一种技术驱动的新经济形态,其技术属性与经济属性相互交叉融合。在推动产业数字化转型时,不仅要强调产品空间中传统产业与数字产业间的技术邻近性,遵循“数字化”要求的数字技术渗透的客观规律,而且要注重行业在地区经济结构中的重要性,优先推动地区比较优势产业实现“转型”,带来更好的地区经济增益效果。现有研究也发现,最优产业结构内生于地区要素禀赋,只有符合地区比较优势的产业才能获得自生能力(林毅夫,2002;Ju et al.,2015;刘培林和刘孟德,2020),从而更高效地通过数字化转型赋能地区整体经济发展。基于对不同地区产业发展历史轨迹的考察,相关实证研究发现,美国、欧洲地区以及中国均倾向于优先发展与地区比较优势产业技术关联度更高的新产业,遵循地区经济禀赋和技术关联共同决定的产业发展轨迹,可以达到更具经济效应的产业转型结果(Boschma and Wenting,2007;Essletzbichler,2015;邓向荣和曹红,2016)。

产业演化过程是一个涉及多方面因素的复杂系统,资源、经济、技术等子系统之间相互耦合,基于技术关联和比较优势耦合协调的产业演化逻辑逐渐受到研究者认同。耦合协调度模型作为研究整体均衡发展程度的有效评价与研究工具,被广泛运用于评估经济系统中子系统的互动与制约关系(魏金义和祁春节,2015;唐晓华等,2018)。在研究对象上,耦合协调度模型具有广泛的适用性。理论上,两个子系统间存在相互作用关系,且两者的耦合关系会影响系统的整体功能性,由此便可以基于耦合协调度模型展开分析。本文基于工业行业与数字产业的技术关联度考量产业数字化转型的技术可行性,在此基础上引入反映行业数字化转型潜在收益的显示性比较优势指数,以数字邻近性和比较优势耦合协调发展作为分析视角,揭示实体经济和数字经济的互动演化特征,探寻驱动实体经济和数字经济深度融合的可行路径。

三、研究设计

1. 数据来源

本文基于工业企业数据库中企业主要业务活动来构建数字产品空间。根据工商年报制度,企业需要根据当年实际经营情况,填写1—3项主要业务活动或主要产品名称。本文所用到的中国工业企业数据库包含了研究区间全部规模以上工业企业数据,约占中国工业企业总销售额的90%(聂辉华等,2012),对于考察中国工业企业具有良好的代表性。由于数据真实性可能存在问题,本文未使用2010年数据,并将2009年和2011年看作是两个连续的年份。产品空间的节点基于《国民经济行业分类》的中类行业(国民经济三位码行业)来确定。本文研究区间为2003—2015年,期间国民经济行业分类在2011年做了修订,工业企业数据库从2013年开始按照《国民经济行业分类(GB/T 4754—2011)》的行业口径统计,本文将2013年前后的工业企业数据库的中类行业,按照《国民经济行业分类(GB/T 4754—2002)》和《国民经济行业分类(GB/T 4754—2011)》做最大限度对应,共计包含216个中类行业^①。

2. 基于主营业务活动的工业行业分类

在工业企业数据库中,企业的行业分类一般根据其第一项主营业务活动确定。对于存在第二或第三项业务活动的企业,则需要根据具体业务活动划分至对应中类行业。理论上,划分行业的可行做法是根据企业的具体业务活动,基于业务产品的特性,将其业务活动逐项人工分类到具体行

^① 行业对应结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

业。由于工业企业库的样本数以千万计,人工完成行业分类在操作上不具可行性。为了解决这一问题,本文利用机器学习模型完成行业分类问题。首先,在工业企业数据库中,企业的行业分类一般根据其第一项主营业务活动确定,对于单产品的企业样本,这一分类结果具有较高可信度。为此,本文利用朴素贝叶斯分类器学习单产品企业蕴含的行业分类规则。然后,利用学习完分类规则的朴素贝叶斯分类器,完成多产品企业的业务活动的行业分类。

具体地,对于每一年的工业企业数据,本文均单独训练一个朴素贝叶斯分类器。为避免企业多元化战略导致的第二、三项主营业务活动与企业所属中类行业不一致的情况,本文使用仅进行单一业务活动的企业样本构建“业务活动—中类行业”的训练样本,以提高分类器训练的有效性。朴素贝叶斯分类器的具体训练步骤如下:①对企业的主要业务活动的文本数据进行清洗和修复。对业务活动字段中的乱码、非有效字符予以删除;对未列明主要业务活动的公司,以其所处的行业小类名称代替。对不同企业从事相同的业务活动但被分为不同中类行业的情况,按照“业务活动—中类行业”的出现频率,把从事特定业务活动的企业重新分类至频率最高的中类行业。②利用jieba分词器和阿里巴巴产品词汇大全中的27个子库,对清洗后的主要业务活动文本做分词处理,并经由文本向量化,得到文档词频矩阵。文档词频矩阵反映了每个业务产品词汇出现在各个行业的频率高低,其每一行是企业所属的中类行业,每一列是对业务活动文本进行分词后得到的业务产品词汇,矩阵的元素则记录了每个行业所有业务产品词汇出现的频数。③按照有监督机器学习模型的一般做法,使用75%的样本数据进行模型训练,接着,利用训练后模型对剩余25%的样本数据进行中类行业预测,并计算预测结果与实际标签的匹配度,得到中类行业预测的平均准确率为90.1%,表明本文的朴素贝叶斯分类器具有良好的性能表现。④对存在多业务活动的公司的主要业务活动文本进行同样的清洗、分词和文档词频化处理,利用得到的朴素贝叶斯分类器完成多业务产品企业的中类行业预测。

3. 数字产业活动识别

识别工业企业中与数字产业相关的生产经营活动的可行思路是,找到一个全面包含数字经济相关生产活动的具体事物范本,在此基础上,根据相似性实现对数字产业活动的识别(胡增玺和马述忠,2023)。

(1)文本基础。国家统计局公布《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,建立了严格的数字经济行业分类标准,并确定了四类数字经济核心产业:数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业和数字要素驱动业。该分类标准在数字经济核心产业分类基础上,全面描述数字经济核心产业所囊括的生产经营活动,为基于文本相似性进行数字产业活动识别提供了文本基础。基于工业企业的主要经营活动的内容和数字经济核心产业描述之间的语义关系,根据文本相似性,将主要经营活动归类到数字经济核心产业,实现对工业企业的数字产业活动的有效识别。

(2)文本相似度计算。本文基于机器学习方法范畴的预训练语言模型SBERT,计算工业企业生产经营活动和每个数字经济核心产业类别描述之间的文本相似度。文本相似度的计算属于自然语言处理范畴。伴随着大规模语料库的快速发展,基于语料库的统计机器学习方法成为自然语言处理的重要工具。2018年推出的预训练语言模型BERT,凭借强大的语言表示和特征提取能力,推动自然语言处理进入预训练模型的时代。Reimers and Gurevych(2019)在BERT基础上提出SBERT网络架构,其能够为语义相近的文本生成相似度较高的Embedding向量,从而为根据语义相似性进行文本分类的研究方法提供了有力工具。SBERT提供了适用于中文语料库的预训练语言模型,本文

利用SBERT提供的官方模型计算文本相似度^①。

(3)识别步骤。①本文利用SBERT模型,基于工业企业开展的生产经营活动文本和数字经济核心产业小类的描述说明文本生成Embedding向量。②计算任一数字经济核心产业小类与任一生产经营活动之间的余弦相似度数值(范围在0—1之间)。③本文首先以0.5为阈值,将与数字产业类别描述相似度高于0.5的生产经营活动初筛出来。在此基础上,由人工判断和筛选出属于数字经济核心产业的生产经营活动。识别结果表明,样本期内工业企业生产经营中涉及的数字产业活动主要属于数字产品制造业和数字技术应用业^②。

4. 数字产品空间网络构建

在产品空间网络中,每个节点代表一个中类行业,节点间的连接权重代表两个行业的技术关联度。新制度主义的组织理论(Giddens, 1979; DiMaggio and Powell, 1983)和企业资源基础观(Schilling and Steensma, 2002)认为,企业是理性的行为者,其在多个行业中进行经营活动,目的在于提高从现有资源中创造价值的能力。同时,经济竞争会导致相对低效的组织形式消失。因此,实践中能以较高频率观测到多元化组织形式,表明两类产业活动在生产技术、生产要素、组织结构等方面具有更高的技术关联度(Teece et al., 1994; Rahmati et al., 2021)。

具体地,本文产品空间中两个行业*i*和*j*之间的连接的权重为:

$$\phi_{ij} = \frac{n_{i \cap j}}{n_i + n_j - n_{i \cap j}} \quad (1)$$

其中, n_i 和 n_j 分别表示在行业*i*和*j*进行生产经营的公司数量, $n_{i \cap j}$ 则表示在两个行业同时进行生产经营的公司数量。可以发现, ϕ_{ij} 表示在行业*i*和*j*同时进行生产经营的公司数量与在行业*i*和行业*j*进行生产经营的公司总数的比值。本文使用的产业间技术关联度指标,本质上是反映行业*i*和行业*j*两个企业集中交集企业数量与并集企业数量比例的杰卡德指数,在共现分析中被广泛用于相似性度量。技术关联度 ϕ_{ij} 反映经济生产活动的多维邻近性,较高的技术关联度一般源自相近的生产工艺流程或产业链的上下游关系。当行业*i*和行业*j*间 ϕ_{ij} 值较高时,包含两方面信息:一是两个行业生产产品所需的能力相似性高,在行业*i*进行生产经营所积累的技术优势能更大程度应用于行业*j*中产品的生产,行业间的跨界发展更容易;二是关联性强的行业之间信息、物质交流的渠道更顺畅,技术溢出、信息交换等也会更高效。特别地,在2015年中国数字产品空间中,数字经济核心产业与电子、电器设备制造业以及设备制造业等行业建立了较为紧密的直接技术关联性,对实体经济发挥着增益作用。

5. 基于数字邻近性与比较优势的耦合协调度模型

(1)数字邻近性。对于地区*p*的数字产品空间,数字邻近性 DP_{ip}^i 考察了工业行业*i*与数字经济核心产业*j*的位置邻近关系,主要基于两个节点间的最短路径长度进行计算。首先,根据Dijkstra(1959)算法确定两个节点在产品空间网络上的最短路径;其次,按照逆加权的方式将最短路径上的边权重进行加总,得到工业行业*i*与数字经济核心产业*j*的最短路径长度 dis_{ip}^i ;最后,得到数字邻近

① 本文使用SBERT提供的sentence-transformers/paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2模型进行相似度计算,具体方法详见Technische Universität Darmstadt下属UKPLab开发的开源项目Sentence-BERT网站(<https://www.sbert.net>)。

② 由于数字经济核心产业间的生产活动具有较高技术关联性,根据数字产品制造业和数字技术应用业所刻画的工业行业和数字产业间的技术邻近关系具有整体代表性。关于数字产业活动识别结果的合理性说明,参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

性 $DP_{ip}^i = 1/(1 + dis_{ip}^i)$, 综合反映了行业 i 与数字经济核心产业 j 间的技术关联度。本文数字产品空间中的数字产业包括数字产品制造业和数字技术应用业, 工业行业 i 的综合数字邻近性 DP_{ip} 由产业 i 与两个数字产业的邻近性加权得到, 具体权重基于熵权法确定。数字邻近性 DP_{ip} 越高, 行业 i 越有潜力通过应用数字技术赋能生产流程, 实现产业数字化转型的技术可行性便越高。

(2) 显示性比较优势。显示性比较优势指数是贸易理论中的一个重要概念, 用来衡量不同地区在生产不同商品或服务时的相对优势 (Balassa, 1965)。根据比较优势理论, 如果比较优势的差异决定了生产模式, 那么可利用易观测的生产模式差异来推断不易观测的比较优势差异。具体地, 本文根据工业企业数据中的中类行业分类, 将每年的工业企业销售额在地区—中类行业层面进行加总, 计算出每个地区每个中类行业的工业总产值, 进而计算出各地区每个中类行业的显示性比较优势指数。如果 p 地区的 i 行业工业总产值为 V_{ip} , 则其比较优势定义为:

$$RCA_{ip} = \frac{V_{ip} / \sum_p V_{ip}}{\sum_i V_{ip} / \sum_p \sum_i V_{ip}} \quad (2)$$

显示性比较优势指数反映了 p 地区 i 行业的工业产值占当地产值的份额与全国产值总额中该行业产值所占份额的比率。显示性比较优势指数越高的产业在地区产业格局中的经济重要性越高, 其完成数字化转型后对当地整体经济带来的拉动作用也越强。

(3) 耦合协调度模型。本文基于用以评估系统整体均衡发展程度且被广泛用于经济领域的耦合协调度模型 (魏金义和祁春节, 2015; 唐晓华等, 2018), 测度地区数字产品空间中工业行业的数字邻近性 (DP) 和比较优势 (RCA) 两个子系统间的协同发展程度^①。耦合协调度模型使用耦合度模型阐释子系统之间的协调关系, 然后使用协调发展度模型评价系统的发展程度, 最后综合利用耦合协调度指标衡量系统整体的协同发展程度。

对于年份 t , 地区 p , 数字产品空间的耦合度模型为:

$$C_p^t = 2 \sqrt{DP_p^t \cdot RCA_p^t} / (\|DP_p^t\| + \|RCA_p^t\|) \quad (3)$$

其中, C_p^t 为地区数字产品空间的耦合度值, 取值范围在 0—1 之间。其中, 数字邻近性向量 $DP_p^t = (DP_{1p}^t, \dots, DP_{Np}^t)$, 比较优势向量 $RCA_p^t = (RCA_{1p}^t, \dots, RCA_{Np}^t)$, $1, \dots, N$ 代表地区工业经济中的工业类别。 $DP_p^t \cdot RCA_p^t$ 表示两个向量的点积, $\|\cdot\|$ 表示向量的模长。当 DP_p^t 和 RCA_p^t 方向相近但元素水平较低时, 会出现两个子系统的发展水平较低、而耦合度结果呈现较高水平的伪评价结果。因此, 为准确地反映数字邻近性与比较优势的互动发展水平, 进一步构建耦合协调度模型, 具体如下:

$$D_p^t = \sqrt{C_p^t \times T_p^t} \quad (4)$$

其中, D_p^t 为地区 p 在 t 年度的耦合协调度; $T_p^t = \alpha \|DP_p^t\| + \beta \|RCA_p^t\|$, 是反映地区 p 在 t 年两个子系统协调发展程度的综合评价指数, α 和 β 为待定系数 ($\alpha + \beta = 1$), 分别是数字邻近性和比较优势对整体系统耦合协调作用的贡献程度。为避免主观人为因素影响, 权重系数 α 和 β 根据客观数据采用熵权法测算^②。地区层面数字邻近性与比较优势的耦合协调度反映了两个系统间的融合发展程

① 为了消除数据量级的影响, 需要对 DP 和 RCA 的原始数据做极差标准化处理。具体方式参见《中国工业经济》网站 (ciejournal.ajcass.com) 附件。

② 熵权法依据指标的变异程度进行权重分配, 可以合理地反映子系统指标在综合评价中的贡献, 从而科学客观地展现出区域间综合发展程度的差异。关于使用熵权法的合理性说明, 参见《中国工业经济》网站 (ciejournal.ajcass.com) 附件。

度,是衡量地区实体经济和数字经济融合程度的重要指标。当地区数字产品空间的耦合协调度较高时,两个子系统能够产生协同效应推动实体经济和数字经济深度融合,是推动地区数字经济长期协调发展的重要禀赋。

遵循相似的思路,可以将耦合协调度模型应用于年份 t 地区 p 中的行业 i 。具体地,行业层面的耦合协调度模型为:

$$D'_{ip} = \sqrt{C'_{ip} \times T'_{ip}} \quad (5)$$

其中, $C'_{ip} = 2\sqrt{DP'_{ip} \times RCA'_{ip}} / (DP'_{ip} + RCA'_{ip})$, $T'_{ip} = \gamma DP'_{ip} + \delta RCA'_{ip}$ 。行业层面耦合协调度的数值越大代表该行业的数字邻近性和比较优势的耦合协调关系越强,其利用比较优势和数字技术赋能协同发力的方式完成转型升级,进而助推地区实数融合潜力就越高。

四、数字产品空间的发展特征

为了捕捉中国数字经济发展的时间趋势和地区差异,本文按照年度分别构建了地区数字产品空间。首先,为了刻画中国数字经济发展的整体面貌,本部分测算了各地区数字产品空间的耦合协调度水平,评估中国实数融合程度的整体状况。其次,从区域差异的视角,基于耦合协调度考察了省际实数融合水平的差距。最后,总结了耦合协调度的地域根植性特征,提供了耦合协调度影响地区未来数字经济发展的直观证据^①。

特征一:中国实数融合程度提高显著,数字产品空间耦合协调度水平在研究期内增长 63.73%。

图 1 展示了 2003—2015 年间反映各省份实数融合程度的耦合协调度水平。从耦合协调度的平均水平看,中国实数融合发展取得了较大进步。数字产品空间耦合协调度水平从 2003 年的 0.91 上升至 2015 年的 1.49,增长 63.73%。

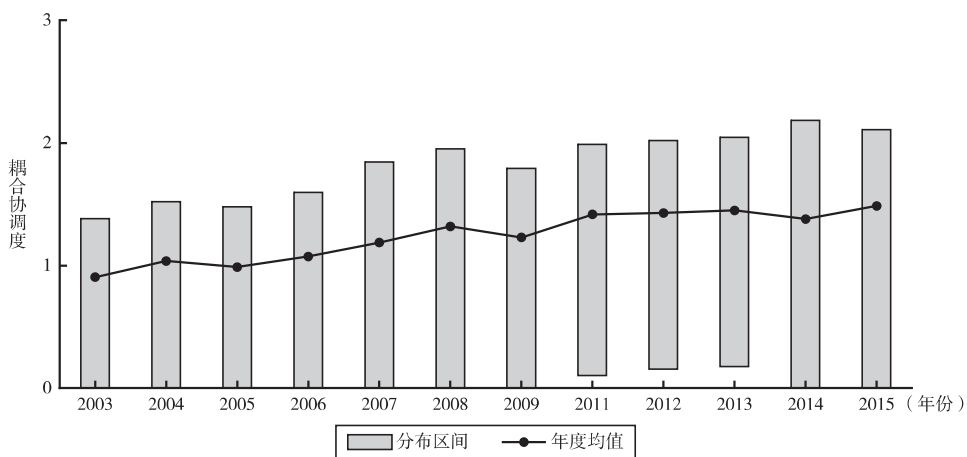


图 1 各年数字产品空间耦合协调度水平

2003—2015 年,实数融合水平最高的省份为广东,平均得分为 1.81。其他发展水平较高的省份包括北京、江苏和浙江,平均得分为 1.78、1.77 和 1.76。在研究区间初期实数融合程度较低的省份,

^① 数字产品空间发展特征的详细统计结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

在样本期间也取得了显著进展。新疆、云南和吉林的实数融合水平分别从期初的0.25、0.32和0.71增长至期末的0.56、0.64和1.54,增长率均超过100%。

特征二:实数融合发展存在明显的地域数字鸿沟,呈现显著的“东高西低”态势。

虽然中国实数融合进程整体上稳步发展,先发和后发地区均取得了显著进步,但省份之间依然存在较大的发展差异。从图1可见,省级耦合协调度分布的极差在逐渐加大,标准差在研究期内也从0.43上升至0.65,增长比例达51.16%。为了更好地分析省际间实数融合水平的差异,本文进一步计算了每个省份数字产品空间耦合协调度在研究期间的均值。结果发现,数字行业的经济嵌入程度在地域上呈现显著的“东高西低”态势,实数融合发展存在显著的区域不平衡。

具体看,实数融合发展以沿海地区为先,沿江智慧工业带的加速发展引领实数融合进程深化。沿海智慧工业带的代表省份广东、上海、浙江和江苏的实数融合水平领先全国。同时,中部和东北地区的实数融合水平中等,沿江智慧工业带的代表省份四川以及老工业基地的代表省份辽宁的实数融合进程在加速推进。然而,西部省份实体经济和数字经济的协调发展水平整体较低,数字产品空间耦合协调度远低于全国平均水平。总体而言,实数融合水平领先的地区基本位于“胡焕庸线”以东,数字技术赋能实体经济的过程未能突破地理局限,尚未有效嵌入西部欠发达地区的经济发展格局。

特征三:数字产品空间耦合协调度具有区域根植性,对地区未来数字经济发展具有重要解释力。

演化经济地理理论认为地区的产业禀赋具有根植性(Martin and Sunley, 2006; Boschma and Wenting, 2007),会塑造地区产业发展的长期演化轨迹。在数字产品空间,数字邻近性和比较优势间的耦合协调度随时间呈现增长趋势,但始终表现出明显的区域差距,这是否表明地区数字产品空间的耦合协调度是根植于地区的禀赋特征呢?为了检验数字产品空间的耦合协调度在地区层面是否具有稳定性,本文对样本期间各年度省份和城市数字产品空间的耦合协调度进行方差分解。结果表明,省份间耦合协调度的均方误差和是省份内的54.35倍,地市间的均方误差和是城市内的22.15倍,且地区间差异相较于地区内差异在1%水平上显著。这表明,地区数字产品空间的耦合协调度表现出明显的根植性特征,反映了地区实数融合进程中的产业禀赋特征。

进一步地,本文检验了数字产品空间的耦合协调度对地区数字经济发展的预测能力。参照Hausmann et al.(2014)的做法,本文考察了样本期末(2013—2015年)数字产品空间耦合协调度的平均水平对地区中长期数字经济发展水平的解释能力。为了测度地区层面数字经济的发展水平,本文参考王军等(2021)、赵涛等(2020),测度了中国省级行政区和市级行政区在2022年的数字经济指数。结果表明,地区数字产品空间具有越高的耦合协调度,未来会表现出更高的数字经济发展水平,且耦合协调度对省级层面和地级市层面数字经济水平变异性的单独解释力达到48.47%和55.13%。

五、耦合协调度对数字经济发展影响的实证分析

1. 计量模型设定

本部分主要检验地区数字产品空间耦合协调度对未来数字经济发展的影响,实证分析部分包含两套面板数据,分别是中国2012—2022年31个省份和213个地级市的面板数据。回归方程设定如下:

$$DE_{i,t} = \alpha_1 + \alpha_2 CC_{i,t-7} + \beta X_{it} + \varepsilon_i + \gamma_t + \mu_{it} \quad (6)$$

其中, i 和 t 分别表示 t 年、地区 i 。被解释变量 DE 衡量地区数字经济发展水平, 主要解释变量 CC 表示数字产品空间的耦合协调度。由于数字产品空间耦合协调度的指标期末为 2015 年, 数字经济发展水平的指标期末为 2022 年, 故选择滞后期数为七期。 X 表示可能影响数字经济发展水平的地区层面控制变量。 ε 表示地区固定效应, γ 表示年份固定效应, μ 是误差项。

2. 变量选取与说明

(1) 被解释变量: 数字经济发展水平 (DE)。为了测度地区层面数字经济的发展水平, 本文参考王军等 (2021)、赵涛等 (2020) 的测度方式, 在省级层面选取数字经济发展载体、数字产业化、产业数字化及数字经济发展环境四方面共 20 个变量, 在地级市层面选取互联网发展和数字金融普惠两个维度共 5 个变量, 分别对地区数字经济综合发展水平进行测度。最终得到 2012—2022 年中国省级和市级行政区的数字经济发展水平的衡量指标。

(2) 解释变量: 数字产品空间耦合协调度 (CC)。基于式 (4) 计算地区层面数字产品空间耦合协调度, 反映了地区层面数字邻近性与比较优势两个系统间的融合发展程度。当地区耦合协调度较高时, 两个子系统能够产生协同效应, 推动实体经济和数字经济深度融合, 是推动地区数字经济长期协调发展的重要禀赋。

(3) 控制变量。 X 表示可能影响数字经济发展水平的地区层面控制变量, 分为两组: ① 地区经济变量, 包括人均 GDP 的自然对数 (gdp)、第三产业增加值占 GDP 比重 ($industry$)、社会消费品零售总额的自然对数 ($sales$)、地方财政一般预算内收入的自然对数 ($revenue$)、地方财政一般预算内支出的自然对数 ($expenditure$); ② 地区数字化水平相关变量, 包括邮政业务总量的自然对数 ($post$)、电信业务总量的自然对数 ($telecom$)、移动电话用户数的自然对数 ($mobile$)。省份层面和城市层面的控制变量分别来自相关年份《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》^①。

3. 基准回归结果

使用地区数字经济发展水平 (DE) 作为被解释变量, 数字产品空间耦合协调度 (CC) 作为主要解释变量, 做面板固定效应回归, 结果如表 1 所示。其中, 第 (1)、(2) 列为省份层面回归, 第 (3)、(4) 列为地市级层面回归。其中, 奇数列未加入控制变量, 偶数列则控制了地区层面控制变量的影响。可以发现, 无论是否加入地区层面其他影响数字经济发展水平的控制变量, 耦合协调度的系数始终保持 1% 水平上的统计显著性, 体现了耦合协调度对地区数字经济发展解释能

表 1 OLS 回归结果

变量	(1) DE	(2) DE	(3) DE	(4) DE
地区层级	省级		地市级	
CC	0.0822*** (0.0147)	0.0764*** (0.0154)	0.0291*** (0.0025)	0.0206*** (0.0023)
控制变量	否	是	否	是
年份固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
N	310	310	2130	2130
R ²	0.8815	0.8986	0.9184	0.9357

注: 括号内为稳健标准误; “是”表示控制相关变量; *、**、***分别表示 10%、5% 和 1% 的显著性水平。以下各表同。

① 描述性统计结果参见《中国工业经济》网站 (ciejournal.ajcass.com) 附件。

力的稳健性。表1所有列的回归结果中, CC 的系数都显著为正, 初步表明数字产品空间耦合协调度可以推动地区数字经济的发展。从系数大小看, 以偶数列回归结果为例, 省份层面 CC 每增加1个标准差(即增加0.60), 可以使 DE 增加0.046, 约为省份层面数字经济发展水平平均值的36.95%; 而城市层面 CC 每增加1个标准差(即增加0.65), 可以使 DE 增加0.013, 约为城市数字经济发展水平平均值的9.62%。上述结果说明, 地区中产业的数字邻近性和比较优势的耦合协调关系对地区数字经济发展具有重要影响, 提高数字产品空间的耦合协调度可以有效提升地区的数字经济发展水平。

4. 内生性讨论

为了避免其他未加控制的时变因素等遗漏变量以及反向因果关系可能带来的内生性问题, 本文基于前文的事实特征和文献中的研究思路构建工具变量, 通过工具变量回归缓解这一担忧。对于第一个工具变量, 本文特征事实部分发现, 数字产品空间的耦合协调度水平在地理分布上始终具有较大差异。考虑到这一事实特征, 本文借鉴 Acemoglu and Restrepo (2020) 的思路, 首先将省份和地市按照东、中、西的地理区域进行分组^①, 然后将处于相同地理区域(除本地区外)的地区耦合协调度均值作为第一个工具变量(IV_1), 选取理由如下: 一是处于同一个地理区域的地区耦合协调度水平, 能够在一定程度上反映本地区耦合协调度的平均变化趋势, 满足相关性要求; 二是该指标与本地区数字经济发展的高度相关性主要体现在比较外生的产业比较优势和技术禀赋层面, 与本地区数字经济发展不存在其他的直接相关关系, 满足排他性要求。工具变量回归结果如表2所示, 第(1)、(5)列结果显示, 无论是在省份层面还是地市层面, CC 的回归系数显著为正, 再次表明耦合协调度可以有效促进地区数字经济发展。同时, 第(2)、(6)列结果显示, 第一阶段回归系数均在1%水平上显著, 证明了 IV_1 与耦合协调度具有较强的相关性。

对于第二个工具变量, 本文根据耦合协调度的区域根植性特征, 借鉴赵奎等(2021)的思路, 使用移动份额法构建 Bartik 工具变量(IV_2)。基本思想如下: 用耦合协调度的初始值和同一地理区域中其他地区耦合协调度的总体增长率来模拟历年估计值, 该估计值和实际值高度相关, 但是与残差项不相关。具体地, 本文使用 CC_t^D 代表 t 年同一地理区域(除本地区外)的平均耦合协调度, CC_0^D 代表该地理区域(除本地区外)基期(2004年)的耦合协调度, 则该地理区域的总体耦合协调度增长率(G_t^D)可表示为: $G_t^D = CC_t^D / CC_0^D$ 。进一步地, 基于本地区基期的耦合协调度水平 CC_0 , 使用移动份额法构建的工具变量可表示为: $IV_2 = CC_0 \times G_t^D$ 。上述 Bartik 工具变量仅通过基期的耦合协调度与外生的同一地理区域(除本地区外)的总体增长率交乘而得。在控制地区与时间固定效应后, 该变量不会与其他影响数字经济发展的残差项相关。同时, 由于耦合协调度表现出的地域根植性, 基于初始值和总体增长率构建的估计值 IV_2 与 CC 高度相关。加入第二个工具变量后, 表2第(3)、(7)列结果显示, DE 对 CC 的回归结果均显著为正, 表明在缓解内生性问题后, 数字产品空间耦合协调度促进地区数字经济发展水平提高的结论保持稳健。第(4)、(8)列结果显示, 在第一阶段, IV_2 对 CC 的回归系数均显著为正, 可以排除弱工具变量的问题。过度识别检验的 Hansen J 统计量分别为 0.0176 和 0.0310, 对应的 P 值均大于 0.1, 反映了工具变量的有效性。

① 东部地区包括: 北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南; 中部地区包括: 安徽、河南、湖北、湖南、江西、吉林、黑龙江、山西、内蒙古; 西部地区包括: 甘肃、广西、贵州、四川、重庆、宁夏、青海、陕西、新疆、云南、西藏。

表 2 工具变量 2SLS 回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	DE	CC	DE	CC	DE	CC	DE	CC
地区层级	省级				地市级			
CC	0.2530*** (0.0816)		0.2584*** (0.0726)		0.0259*** (0.0090)		0.0247*** (0.0067)	
IV ₁		0.5437*** (0.1774)		0.4606*** (0.1668)		0.7584*** (0.1422)		0.6270*** (0.1330)
IV ₂				0.1563*** (0.0585)				0.1137** (0.0454)
Hansen J 统计量 (P 值)			0.0176 (0.8944)				0.0310 (0.8603)	
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
N	310	310	310	310	2130	2130	2130	2130

六、耦合协调逻辑下产业数字化转型路径

1. 数字化转型优先顺序的确定方式

实证结果表明,数字产品空间的耦合协调度可以助推地区未来的数字经济发展。这表明,地区产业的数字邻近性与比较优势间的协同发展程度,对数字化转型的综合收益具有重要影响。那么,地区要提高数字经济发展水平的可行策略之一是识别地区内具备数字化转型潜力的具体行业,因势利导推进这些行业的数字化转型。通过提高具体行业的耦合协调度,提升地区整体的耦合协调度,从而将数字化转型潜力转化为产业转型升级的动能。

为了在行业层面解构数字产品空间耦合协调度,遵循耦合协调逻辑,因地制宜制定产业数字化转型策略,基于式(5)构建了行业层面耦合协调度模型。参考唐晓华等(2018)的划分标准,本文将产业层面的耦合协调度分为三类发展阶段、九类发展类型,在此基础上识别出具有数字化转型潜力且应该优先推动转型的行业。具体看,耦合协调度处于0—0.3属于低度耦合协调阶段,处于0.3—0.7区间划分为中度耦合协调阶段,处于0.7—1.0区间划分为高度耦合协调阶段。在高、中、低三类耦合协调阶段内,依据产业数字邻近性相对于比较优势的相对发展程度 $E = DP'_{ip}/RCA'_{ip}$,划分出数字邻近性滞后、均衡和领先三种类型,以表征数字化转型的潜力^①。理论上,存在两个类型的行业适合优先推动数字化转型,分别是产业比较优势和数字邻近性处于中度或高度耦合阶段,且数字邻近性的相对水平高于比较优势水平的行业。处于中度或高度耦合阶段表明该类型行业在当地具有较好的产业基础,且在数字产品空间中属于与核心数字产业具有较高技术关联度的工业行业,使得这些产业具备数字化转型的工业基础以及数字技术应用前景。同时,数字邻近性的相对水平高于比较优势水平,表明这些行业在技术层面具备的数字技术潜力尚未完全实现经济价值,故应该切实促进这两类行业在实践中进行数字化转型,将数字化转型潜力落实为数字化转型实践,进而产生数

^① 类型划分结果及阶段特征结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

数字化转型收益,提高地区数字产品空间的耦合协调度。

2. 耦合协调阶段的地区分布特征

为了解不同类型行业在地区层面的整体分布情况,在阐释行业层面的数字化转型建议前,图2展示了2003—2015年不同省份工业行业所处高、中、低三种耦合协调阶段的分布比例。在每个阶段内部,以白色、灰色和黑色填充表示行业的数字邻近性相对于比较优势的发展程度。可以发现,中国绝大多数的行业处于中度耦合协调阶段,22个省份中存在过半比例的行业处于该阶段。处于高度耦合协调的行业多位于东部沿海省份,江苏、广东和浙江处于高度耦合协调阶段的行业数量比例均超过7%。西部省份内的大量行业处于低度耦合协调阶段,新疆、贵州、云南、宁夏和青海等省份辖区内存在超过60%比例的行业处于低度耦合协调阶段。

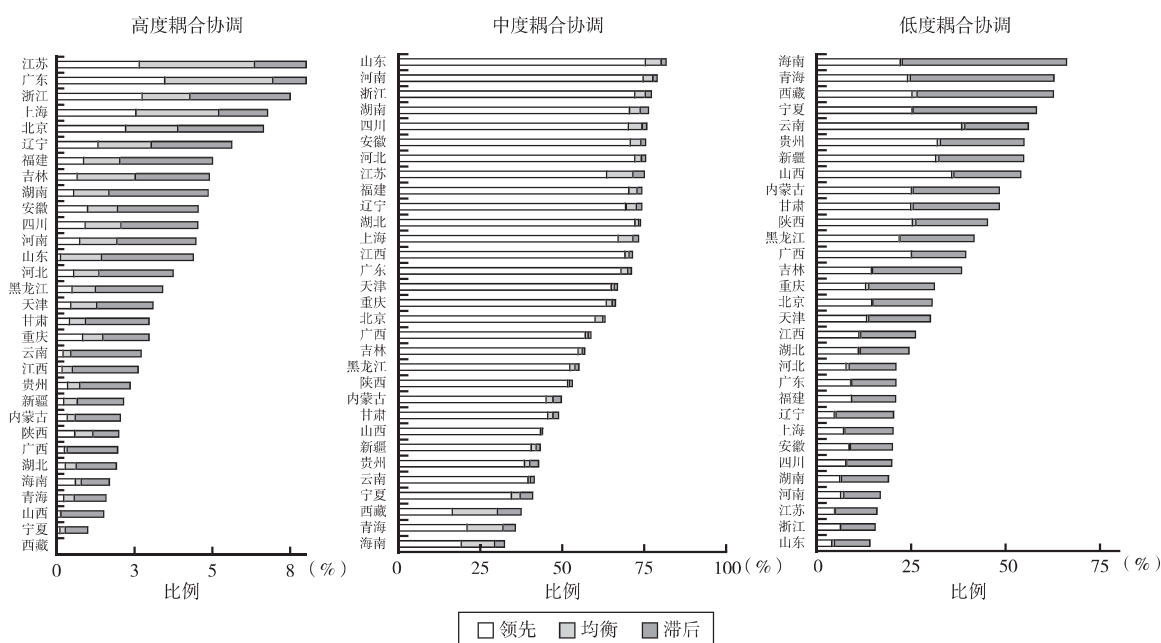


图2 耦合协调阶段的区域分布

同时,中国诸多省份均具有强劲数字化转型潜力。对于中度耦合协调阶段的行业来说,数字邻近性显著高于比较优势水平说明该产业具有更高的数字邻近特征,更容易利用数字化技术赋能产业发展。处于中度耦合协调且具有数字邻近性相对较高的行业,即具有数字化转型潜力的行业占比超过50%的省份有21个,且广泛分布于东中西部地区,表明各地区均存在强大的数字化转型潜力。

利用2013—2015年各省份处于高度和中度耦合协调阶段且数字邻近性水平相对较高的行业数量,本文统计了在全国加总层面数字化转型潜力行业的数量,并按照大类行业(国民经济二位码行业,工业大类行业共计38个)计算了行业的比例。结果表明,从全国层面看,较适宜优先进行数字化转型的行业为金属制品业(占比6.65%)、专用设备制造业(占比6.61%)、化学原料和化学制品制造业(占比6.36%)、非金属矿物制品业(占比6.33%)和通用设备制造业(占比6.23%)。装备数字化是制造数字化的根基,通过应用数控自动化、物联网等数字技术可以显著提高装备制造业的生产效率和市场竞争力。专用设备制造和通用设备制造等装备制造业作为工业制造的基础一环,如果

顺利完成数字化转型,将有力推动中国从制造大国向制造强国的转型。新材料产业是重要的基础性、战略性、先导性产业,推动新材料产业数字化转型对于加快新材料领域的关键技术攻关和维护产业安全都具有重要战略意义。金属制品业的数字化转型可以支撑传统产业高质量发展,有力促进先进钢铁材料和有色金属材料等基础材料的升级换代和高端应用领域开拓。化学原料和化学制品制造业和非金属矿物制品业的数字化转型可以有力助推高端聚烯烃、高纯石墨等高新技术材料的关键核心技术攻关,从而确保产业链的健康发展。

3. 因地制宜推进数字化转型的行业顺序选择

为了充分发挥各地区数字化转型潜力,更好驱动中国实体经济和数字经济融合发展,本文基于各地区数字化转型潜力行业的实际分布情况,对各地区的产业数字化转型的发展顺序给出具体建议。基于Balassa(1965)的测算思路,本文利用2013—2015年各省份处于高度和中度耦合协调阶段且数字邻近性水平相对较高的行业数量,在大类行业层面定义了数字化转型优先度指数:

$$priority_{pi} = \frac{N_{pi}^D / \sum_p N_{pi}^D}{\sum_i N_{pi}^D / \sum_p \sum_i N_{pi}^D} \quad (7)$$

其中, N_{pi}^D 表示 p 地区的大类行业 i 所包含的具有数字化转型潜力的中类行业数量。转型优先度指数 $priority_{pi}$ 是一种经过标准化的数字化转型潜力行业的相对占比,不仅考虑了转型潜力行业在省内的数量,而且考虑了该类型行业在全国层面的总量。一般而言,转型优先度指数 $priority_{pi}$ 大于1,则表明该大类行业 i 在省内具有优先推动数字化转型的必要性,转型优先度指数越高,推动数字化转型的优先级别也越高。

为了检验本文提出的数字化转型优先度指数的现实指导意义,本文选取了具有最高转型优先度的三个行业进行具体分析,分别为湖北的汽车制造业(指数=14.00)、贵州的黑色金属矿采选业(指数=7.00)以及黑龙江的非金属矿物制品业(指数=5.25)。通过查阅三个省份的数字化转型相关政策文件和示范案例,发现数字化转型优先度指数的理论预测得到了各省份近年来数字化转型实践的回应。

作为湖北的优势支柱产业,智能网联汽车近年来一直是产业数字化转型的重点发展领域。《湖北省汽车产业转型发展实施方案(2023—2025年)》着重提出,要加快促进汽车产业创新发展,建成中国智能网联汽车创新中心和生产基地。2024年1月,湖北省汽车数字化管理服务平台揭牌成立,同步启动建设中国首个全球汽车标识代码体系。同时,依托湖北联合发展投资有限公司这一省级数字产业化平台,湖北省着力建设湖北汽车数字化管理服务平台,完善汽车全生命周期产业链数字化服务,积极利用汽车数据要素助力湖北汽车产业转型升级。

黑色金属矿采选业是贵州的优势和特色产业,贵州长期致力于破解矿产地质勘查数字化转型难题。2016年,贵州省地质矿产勘查开发局以固体矿产锰矿为突破口,在全国率先开展固体矿产数字勘查工作,成功实现固体矿产勘查全过程数字化,为中国固体矿产勘查数字化转型提供了典型示范。根据《贵州省新一轮找矿突破战略行动实施纲要(2022—2035年)》,贵州下一步将继续利用人工智能等机器学习方法进行数据挖掘,为成矿预测和圈定找矿靶区提供智能化决策依据,进一步以“数字勘查”助推贵州黑色金属矿采选业的高质量发展。

在黑龙江,非金属矿物制品业是具有最高数字化转型优先度的行业。鹤岗市石墨矿产资源丰富,辖区内坐落着“亚洲第一矿”云山石墨矿。中国五矿云山石墨矿成立以来,坚持数字赋能生产,积极将数字技术与矿山运营管理相融合。根据《黑龙江省石墨产业振兴专项行动方案(2022—2026

年)》的工作部署,黑龙江省坚持重点推进石墨产业与工业互联网融合发展,加强石墨新材料领域的数字化技术运用。云山石墨矿“露天石墨矿绿色智能化采矿技术集成与应用”获得2022年中国非金属协会科技进步奖一等奖,入选工业和信息化部2023年建材工业智能制造数字转型典型案例等荣誉,打造了石墨产业数字化发展的典型案例。

七、结论与启示

本文基于演化经济地理学中的产品空间理论,遵循“产品空间构建—历史经验总结—未来路径优化”的分析范式,从数字产品空间视角考察了中国实数融合发展状况。构建现代化产业体系是未来中国经济发展的关键,实体经济和数字经济深度融合是构建现代化产业体系的重要途径。实体经济和数字经济融合发展的关键内涵,是把数字技术运用到实体产业中去,进而提高实体经济的运行效率。如何将数字经济和中国制造深度融合,驱动实体经济和数字经济融合发展,是亟须回答的时代之问。本文立足于产品空间理论,利用2003—2015年间的工业企业数据,构建了反映中国工业行业和核心数字产业技术关联度的数字产品空间,并基于产业数字邻近性和比较优势耦合协调发展的数字化转型逻辑,对这一时代命题进行了回应。

从国家数字经济发展看,本文定量研究了中国实数融合发展程度,中国实体经济和数字经济融合取得了积极成效,但也表现出典型的区域鸿沟。在研究期间,中国的实数融合程度提升63.73%,地区间发展差距上升51.16%。从推动实体经济和数字经济深度融合的发展逻辑看,数字产品空间中数字邻近性和比较优势的耦合协调关系表现出区域根植性,且对于地区未来数字经济发展具有重要解释力。耦合协调度每增长1个标准差,省份和城市层面的数字经济水平分别增长36.95%和9.62%。从产业数字化转型的实践路径看,本文基于耦合协调度模型,识别了适宜重点推进数字化转型的潜力行业,结合地区产业数字化转型的真实案例,阐明了地区如何通过协调产业的数字邻近性和比较优势来确定产业数字化转型的先后顺序。

传统的比较优势理论从要素密集角度指出了产业转型升级的发展路径,但对于如何进行发展路径选择这一实践层面的问题并没有提供太多指导性意见。产品空间理论认为应该遵循技术关联度和生产能力相似性选择转型方向,为产业路径选择指明了可探索的研究方向。同时,地区的比较优势产业拥有自主造血能力,可以更高效地通过转型升级赋能地区整体经济发展。本文基于数字产品空间中数字邻近性和比较优势耦合协调逻辑,为优化产业数字化转型路径这一重要的实践问题提供了具有针对性的政策启示。一是从实数融合的发展逻辑看,为了更好地驱动实体经济和数字经济融合发展,各地区在推进产业数字化转型的进程中,要兼顾转型的技术邻近原则和经济效益原则,综合考虑产业数字化转型的技术可行性和转型成功后对地区经济的潜在经济效益,更好地实现数字技术对实体经济的赋能增效。二是从推动产业数字化转型的具体路径看,地区应基于显示性比较优势所反映的地区产业优势和产品空间决定的数字技术邻近性,识别出既具有良好产业基础且与数字行业具有较高技术关联度的数字化转型潜力产业,进而推动目标产业优先进行数字化转型。三是在推动实体经济和数字经济融合的过程中,警惕“数字鸿沟”可能引致的贫富进一步两极分化趋势。西部欠发达地区数字产品空间的耦合协调度与先发地区相比存在较大的发展鸿沟,要着重加速数字技术的应用推广,推动数字技术与地区优势产业深度融合。同时,欠发达地区也要因地制宜,不应刻板模仿先发地区的转型模式,而是把握本地资源禀赋和产业基础,走因地制宜的实数融合发展道路。

〔参考文献〕

- 〔1〕陈雨露. 数字经济与实体经济融合发展的理论探索[J]. 经济研究, 2023, (9): 22-30.
- 〔2〕邓向荣, 曹红. 产业升级路径选择: 遵循抑或偏离比较优势——基于产品空间结构的实证分析[J]. 中国工业经济, 2016, (2): 52-67.
- 〔3〕何德旭, 张昊, 刘蕴霆. 新型实体企业促进数实融合提升发展质量[J]. 中国工业经济, 2024, (2): 5-21.
- 〔4〕洪银兴, 任保平. 数字经济与实体经济深度融合的内涵和途径[J]. 中国工业经济, 2023, (2): 5-16.
- 〔5〕胡增玺, 马述忠. 市场一体化对企业数字创新的影响——兼论数字创新衡量方法[J]. 经济研究, 2023, (6): 155-172.
- 〔6〕黄先海, 高亚兴. 数实产业技术融合与企业全要素生产率——基于中国企业专利信息的研究[J]. 中国工业经济, 2023, (11): 118-136.
- 〔7〕金碚, 李鹏飞, 廖建辉. 中国产业国际竞争力现状及演变趋势——基于出口商品的分析[J]. 中国工业经济, 2013, (5): 5-17.
- 〔8〕林毅夫. 自生能力、经济转型与新古典经济学的反思[J]. 经济研究, 2002, (12): 15-24.
- 〔9〕刘培林, 刘孟德. 发展的机制: 以比较优势战略释放后发优势——与樊纲教授商榷[J]. 管理世界, 2020, (5): 67-73.
- 〔10〕刘守英, 杨继东. 中国产业升级的演进与政策选择——基于产品空间的视角[J]. 管理世界, 2019, (6): 81-94.
- 〔11〕聂辉华, 江艇, 杨汝岱. 中国工业企业数据库的使用现状和潜在问题[J]. 世界经济, 2012, (5): 142-158.
- 〔12〕孙伟增, 毛宁, 兰峰, 王立. 政策赋能、数字生态与企业数字化转型——基于国家大数据综合试验区的准自然实验[J]. 中国工业经济, 2023, (9): 117-135.
- 〔13〕唐晓华, 张欣钰, 李阳. 中国制造业与生产性服务业动态协调发展实证研究[J]. 经济研究, 2018, (3): 79-93.
- 〔14〕王军, 朱杰, 罗茜. 中国数字经济发展水平及演变测度[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, (7): 26-42.
- 〔15〕魏金义, 祁春节. 农业技术进步与要素禀赋的耦合协调度测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, (1): 90-96.
- 〔16〕张其仔, 李颖. 中国产业升级机会的甄别[J]. 中国工业经济, 2013, (5): 44-56.
- 〔17〕张其仔, 伍业君, 王磊. 互联网、创新与经济复杂度——基于产品空间视角[J]. 财贸经济, 2023, (7): 108-123.
- 〔18〕赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, (10): 65-76.
- 〔19〕赵奎, 后青松, 李巍. 省会城市经济发展的溢出效应——基于工业企业数据的分析[J]. 经济研究, 2021, (3): 150-166.
- 〔20〕郑江淮, 宋建, 张玉昌, 郑玉, 姜青克. 中国经济增长新旧动能转换的进展评估[J]. 中国工业经济, 2018, (6): 24-42.
- 〔21〕Acemoglu, D., and P. Restrepo. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets[J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128(6): 2188-2244.
- 〔22〕Balassa, B. Trade Liberalisation and “Revealed” Comparative Advantage[J]. *Manchester School*, 1965, 33(2): 99-123.
- 〔23〕Boschma, R. Proximity and Innovation: A Critical Assessment[J]. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- 〔24〕Boschma, R., and K. Frenken. Technological Relatedness and Regional Branching[A]. Bathelt, H., M. Feldman, and D. F. Kogler. *Beyond Territory: Dynamic Geographies of Knowledge Creation, Diffusion, and Innovation*[C]. New York: Routledge, 2011.
- 〔25〕Boschma, R., A. Minondo, and M. Navarro. The Emergence of New Industries at the Regional Level in Spain: A Proximity Approach Based on Product Relatedness[J]. *Economic Geography*, 2013, 89(1): 29-51.
- 〔26〕Boschma, R., and R. Wenting. The Spatial Evolution of the British Automobile Industry: Does Location Matter[J]. *Industrial and Corporate Change*, 2007, 16(2): 213-238.

- [27] Breschi, S., F. Lissoni, and F. Malerba. Knowledge-relatedness in Firm Technological Diversification[J]. *Research Policy*, 2003, 32(1): 69–87.
- [28] Caves, R. E. Diversification and Seller Concentration: Evidence from Changes, 1963–72[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1981, 63(2): 289–293.
- [29] Dijkstra, E. W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs[J]. *Numerische Mathematik*, 1959, 1(1): 269–271.
- [30] DiMaggio, P. J., and W. W. Powell. The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields[J]. *American Sociological Review*, 1983, 48(2): 147–160.
- [31] Essletzbichler, J. Relatedness, Industrial Branching and Technological Cohesion in US Metropolitan Areas[J]. *Regional Studies*, 2015, 49(5): 752–766.
- [32] Fan, J. P. H., and L. H. P. Lang. The Measurement of Relatedness: An Application to Corporate Diversification[J]. *Journal of Business*, 2000, 73(4): 629–660.
- [33] Farjoun, M. Beyond Industry Boundaries: Human Expertise, Diversification and Resource-Related Industry Groups[J]. *Organization Science*, 1994, 5(2): 185–199.
- [34] Frenken, K., and R. Boschma. A Theoretical Framework for Evolutionary Economic Geography: Industrial Dynamics and Urban Growth as a Branching Process[J]. *Journal of Economic Geography*, 2007, 7(5): 635–649.
- [35] Giddens, A. *Central Problems in Social Theory: Action, Structure, and Contradiction in Social Analysis* [M]. London: Macmillan, 1979.
- [36] Hausmann, R., C. A. Hidalgo, S. Bustos, M. Coscia, and A. Simoes. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity* [M]. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2014.
- [37] Hidalgo, C. A., and R. Hausmann. The Building Blocks of Economic Complexity[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(26): 10570–10575.
- [38] Hidalgo, C. A., B. Klinger, A. L. Barabasi, and R. Hausmann. The Product Space Conditions the Development of Nations[J]. *Science*, 2007, 317(5837): 482–487.
- [39] Jaffe, A. B., M. Trajtenberg, and R. Henderson. Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1993, 108(3): 577–598.
- [40] Ju, J., J. Y. Lin, and Y. Wang. Endowment Structures, Industrial Dynamics, and Economic Growth[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2015, 76: 244–263.
- [41] Martin, R., and P. Sunley. Path Dependence and Regional Economic Evolution[J]. *Journal of Economic Geography*, 2006, 6(4): 395–437.
- [42] Neffke, F., M. Henning, and R. Boschma. How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions[J]. *Economic Geography*, 2011, 87(3): 237–265.
- [43] Rahmati, P., A. Tafti, J. C. Westland, and C. A. Hidalgo. When All Products Are Digital: Complexity and Intangible Value in the Ecosystem of Digitizing Firms[J]. *MIS Quarterly*, 2021, 45(3): 1025–1058.
- [44] Reimers, N., and I. Gurevych. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks[A]. Inui, K., J. Jiang, V. Ng, and X. Wan. *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing* [C]. Hong Kong: ACL, 2019.
- [45] Rigby, D. L., and J. Essletzbichler. Evolution, Process Variety, and Regional Trajectories of Technological Change in U.S. Manufacturing[J]. *Economic Geography*, 1997, 73(3): 269–284.
- [46] Schilling, M. A., and H. K. Steensma. Disentangling the Theories of Firm Boundaries: A Path Model and Empirical Test[J]. *Organization Science*, 2002, 13(4): 387–401.
- [47] Teece, D. J., R. Rumelt, G. Dosi, and S. Winter. Understanding Corporate Coherence: Theory and Evidence[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 1994, 23(1): 1–30.

Digital Economy, Digital Product Space and Real-Digital Integration Development: Coupling Coordination Analysis on Technological Relatedness and Comparative Advantage

YANG Ji-dong, GAO Qiu-nan, LIU Shou-ying
(School of Economics, Renmin University of China)

Abstract: Promoting the deep integration of the real and digital economy is a major strategic decision made by the CPC Central Committee facing Chinese modernization. Promoting the integration of the real and digital economy has become an important driver for enabling the construction of a modern industrial system and high-quality economic development. Driving the construction of a modern industrial system with digital transformation is a major theoretical and practical proposition for building a great modern socialist country. The digital economy is a new economic form driven by technology. Therefore, when promoting the digital transformation of industries, the technological relatedness between industrial sectors and digital industries should be emphasized. Meanwhile, the economic attributes of the digital economy call for a focus on the economic conditions of regional resource endowments and industrial foundations.

Based on the microdata of Chinese industrial enterprises from 2003 to 2015, this paper uses machine learning models to construct China's digital product space by measuring the technical relatedness between industrial sectors and core digital industries, and explores how to achieve the deep integration of the real and digital economy in China based on the logic of coupling coordination of digital proximity and comparative advantage. The research results are as follows. China's real and digital integration has steadily improved, increasing by 63.73% during the research period, but the problem of the digital divide between regions has always been prominent, and the difference in real and digital integration between regions has increased by 51.16%. The coupling coordination degree of digital product space is rooted and has a lasting impact on the development of the digital economy. For every standard deviation increase in coupling coordination degree, the digital economy at the provincial and city levels can increase by 36.95% and 9.62%, respectively. According to the principle of coupling coordination development of technical relatedness and comparative advantage, the industries that China should focus on promoting digital transformation are metal products, special equipment manufacturing, chemical products, and non-metallic mineral products.

The contributions of this paper are as follows. Firstly, it enriches literature on the digital economy. This paper measures the development of real-digital integration from the perspective of digital product space, examines the impact of real-digital integration on the development of the digital economy, and explores the feasible logic of the deep integration of the real and digital economy in China. Secondly, this paper enriches research on product space. This paper constructs the digital product space that reflects the technical relatedness between industrial sectors and digital industries by identifying the economic activities related to the digital economy carried out by industrial enterprises, enriching the construction method and practical application of product space. Finally, in terms of policy implications, this paper discusses the practical path to promote the integration of the real and digital economy. Based on the principle of coupling coordination of digital proximity and comparative advantage, each region needs to carry out digital transformation in accordance with regional industrial endowment conditions in terms of technology and economy.

Keywords: real-digital integration; product space; digital proximity; comparative advantage

JEL Classification: O14 O25 R11

[责任编辑:覃毅]