

价值链视角下中国新能源汽车产业网络及其机制

何瑶¹, 杨永春^{1,2}, 王绍博³

(1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000;

3. 兰州大学县域经济发展研究院, 兰州 730000)

摘要: 基于2015年和2021年中国新能源汽车核心产业链的上市公司数据,从价值链视角构建其产业网络,运用社会网络和负二项回归模型等方法,研究不同价值环节网络的特征、演变、差异及形成机制。结果表明:①研发型、生产型和服务型网络规模同步扩张,均向效率更高的“小世界”网络演化;度分布均始终呈现幂律分布且指数均下降,网络异质性增强;各价值环节节点度呈显著正相关性,同一节点在不同网络中的重要性相似;②除服务型网络中始终无权力型节点,其余各环节的权力—威望、权力和威望型节点数量均在增加,具有不同程度的集聚指向;研发型网络中节点具有总部所在地及高等级城市指向,服务型具有直辖市、副省级及省会城市指向,生产型具有传统生产基地指向。③各价值环节在追求不同要素禀赋和集聚效应下形成不同的集聚类型,并形成了具有各自特征的最强联系产业网络结构。在社会、技术和地理邻近影响下研发网络始终为一体化联系紧密的多个核心—边缘结构社群;在社会、地理和制度邻近影响下服务型网络由一体化联系紧密的多个核心—边缘结构社群向多个核心—半边缘—边缘结构社群转变;在社会、地理和行政边界制度邻近的影响下生产型网络由部分一体化的核心—边缘结构社群向分散化多个独立的核心—边缘结构社群演化。

关键词: 价值链;新能源汽车产业;上市公司;产业网络;核心—边缘结构;中国

DOI: 10.11821/dlxb202312007

1 引言

产业网络的研究是利用网络方法研究产业间或产业内部各种关系^[1],根据研究需要的不同其构建网络的方式也不同,主要以城市、省份或国家等空间属性的地理单元为节点,利用节点之间复杂的产业关系如产业链或产业内企业等关系构建产业网络^[2-7]。价值链即企业创造价值过程的各个环节的完整组合^[8],由于不同环节要求的要素投入比例不同,具有不同要素禀赋的地域在不同的生产环节具有区位优势,从而在不同地域形成价值链分割生产,各地域也成为承接不同价值分工企业的空间载体^[9-10]。因此,价值链视角下的某一产业在劳动空间分工下,产业中不同价值环节会根据各自适配的生产地理区位选址,如相同的价值环节(研发、生产或服务),通过同类型地域间的生产网络在地域上组织和布局,二者具有典型的映射关系^[10],形成价值链体系下的产业网络结构。现有研究表明发达国家高端制造业的全球价值链分工普遍高于发展中国家^[11],而国家内各

收稿日期: 2023-01-16; 修订日期: 2023-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971198); 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK1005) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41971198; The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program, No.2019QZKK1005.]

作者简介: 何瑶(1994-), 女, 山西运城人, 博士生, 研究方向城市与区域发展规划。E-mail: heyao1116@163.com

通讯作者: 杨永春(1969-), 男, 陕西白水人, 教授, 博士生导师, 研究方向为城市与区域发展规划。

E-mail: yangych@lzu.edu.cn

区域之间若能够遵循禀赋优势进行分工, 培育、建立和整合高质量的价值链可助力其在全球价值链中的攀升^[12], 合理识别区域分工和完善国内价值链成为关键; 价值链的生产分割可实现产业的部分转移, 使得边缘或欠发达地区能够承接部分产业参与到价值链分工^[13], 促进其经济发展, 同时各地域所处的价值环节会随着区域内产业的发展发生变迁, 其区位空间的功能、价值和用途也在改变^[8], 这一演化过程也是外部经济不断内在化的过程, 产业、企业通过空间集聚发现、改变和重塑空间价值驱动产业网络结构演化。

随着中国融入国际分工程度的不断加深, 中国汽车生产体系中各地域分工位置的阶段性特征明显。从1978年改革开放前引进苏联技术的东北长春第一汽车制造厂, 到允许建立合资企业的以东部重点城市为主的北京吉普汽车有限公司、上汽大众汽车有限公司、广汽本田汽车有限公司等, 再到零部件国产化率的刚性约束和合资政策限制的减少促使三四线城市发展汽车制造业^[14], 国内参与汽车制造分工的地域也在逐步增多。伴随国内汽车市场的成熟, 研发和销售受到重视, 上海、北京等总部所在高级别城市建立研发和销售中心实现价值升级。基于环境和能源安全的考虑, 中国开启了新能源汽车产业的发展, 新能源汽车作为汽车电动化、低碳化的重要发展方向, 对于提高产业竞争力、改善未来能源结构、发展低碳交通都具有深远意义。随新能源汽车技术演进, 中国汽车产业也不断开启新的发展空间。比亚迪、蔚来等本土品牌逐渐成熟, 带动西安、合肥等城市在新能源汽车产业分工中占据重要位置, 新能源汽车对锂电池等新产品的需求也使得具有电池生产能力和原材料的宁德、赣州等城市占据重要位置实现价值升级。全球主要发达国家和地区都将新能源汽车作为未来发展的重要战略方向并加快产业布局, 新能源汽车浪潮正在推动汽车产业价值链加速重构。另一方面汽车制造业具有较强的集群正效应^[15], 在产业空间集聚与规模化生产下形成各自的汽车产业集聚区, 中国汽车产业在20世纪80年代趋于分散, 而在90年代趋于集中^[16], 但21世纪初趋于分散, 这主要由于零部件及配件制造业的集聚水平对汽车制造业具有决定性和先导性影响^[17]。随着汽车产业的生产方式从“福特式”到“平台式”, 再发展到“模块化”的转变, 这种生产方式使得本地集聚程度下降, 但重组区域生产网络的组织结构, 产生“超越地方”的竞争优势^[18]。产业价值链的重构和生产方式的改变将重塑国内汽车产业网络结构和布局, 进而会带来区域人口迁移和产业重组, 从而推动区域经济发展和空间结构演化^[19]。

有学者认为在当代经济中最大的价值创造和获取主要来自无形商品的生产, 而不是有形商品和标准化服务的生产, 在价值链中, 其上游和下游知识密集型活动, 例如研发和品牌管理、分销和售后等服务创造和获取的价值明显高于生产业务^[20]。企业投资活动及其“分割”价值链将其不同职能转移到潜在最有利可图的地点^[21-22], 经济地理学家和经济学家也已证明高附加值的知识密集型活动和企业控制往往集中在较发达的核心地区, 而低附加值的生产网络往往集中在欠发达的外围地区^[21, 23-24]。在汽车产业情况仍然如此, 例如Sturgeon等基于汽车制造商及其最大供应商关系, 概述了汽车生产网络的空间结构, 认为为确保及时交货以及利用规模经济和低劳动力成本, 生产环节倾向于区域化, 研发则集中于几个中心^[25]。Coe等在对宝马集团的案例研究中所提到的其在欧盟和东盟地区的生产网络可以看出, 在巴伐利亚和泰国罗勇府的生产制造和装配的供应商均和汽车制造商存在区域内联系^[26]。但这些研究主要以少数领先企业及其供应商为例, 且侧重于供应商的总部, 忽视了分支的研究, 真正落在空间上具有生产布局意义的是每家供应商的分支工厂。在对中国汽车生产网络的研究中亦是如此, 例如赵梓渝等以一汽-大众案例分析了“全球—地方”视角下中国汽车生产网络的跨域关联与影响因素^[27], 以及模块化生产下中国汽车产业集群空间组织重构^[18]。同时对国内的研究^[18, 27-31]忽视了汽车生产网络

中的价值分割,而具有不同价值创造和获取潜力的经济活动的空间分布对区域发展具有重要意义^[32]。其次在国外政府干预较低的情况下,领先公司控制着其国内汽车产业的发展轨迹,例如捷克共和国^[33]和土耳其^[34]的零部件供应商。但在中国管控政策下,领先公司别无选择^[35-36],因而控制国内汽车产业发展有限,这种情况下仅以个别领先公司分析出现较大局限性。最后,目前关于汽车产业生产网络的布局研究多停留在传统汽车格局的剖析,例如Pavlinek借鉴了哈维的不均衡发展与时空固定理论概念化欧洲汽车工业的地理扩张和重组^[37],同时其利用欧盟汽车贸易数据基于生产网络和价值链网络刻画了2003—2017年欧洲汽车工业的“核心—半外围—外围”结构^[38];Kuroiwa等利用泰国汽车行业公司的新数据分析了泰国汽车零部件供应商和装配商企业的本地化^[39]。当前对新能源汽车产业布局及不同价值环节中地域间联系的形成机制及差异研究的较少。

因此本文基于价值链视角,通过新能源汽车核心产业A股和港股上市企业的组织网络构建以城市为节点的中国新能源汽车产业网络,采用社会网络和负二项回归模型等方法,揭示中国新能源汽车不同价值环节的产业网络特征演变及差异,同时从集聚和多维邻近性角度剖析网络结构形成机制。在机制探讨方面,集聚理论和多维邻近性理论为解释不同价值环节中的集聚及其地域间联系的机制提供了丰富的理论基础,能够较为全面的剖析新能源汽车产业空间集聚及空间联系上的形成机制。在数据方面,将国内新能源汽车核心产业在A股和港股的所有上市企业的总部及分支进行分析,不局限于少量的领先汽车制造商及其供应商总部,而是最大限度的将更多具有生产分支的国内城市纳入研究范围,清晰刻画国内整体新能源汽车产业的布局及演变。在实践方面,新能源汽车产业是城市高质量发展的产业方向之一,也是各城市产业发展争夺的焦点,从价值链视角剖析中国新能源汽车产业的网络结构,提高对新能源汽车产业地域发展的理解,识别不同城市在不同价值网络中的分工及优势,剖析网络结构的形成机制,促进相关城市的价值升级及各城市间的协调发展,为合理配置新能源汽车产业链和完善国内新能源汽车价值链提供科学依据。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 数据收集与处理

本文的企业数据收集与处理包括以下步骤:①基于万得(Wind)数据库、国信证券和长江证券的新能源汽车核心产业链,整理新能源汽车核心产业链的相关数据和信息。截至2021年底,中国新能源汽车保有量达784万辆,其中纯电动汽车保有量640万辆,占新能源汽车总量的81.63%,因此选择以三电为核心的新能源电动汽车核心产业链进行分析,主要包括锂矿、稀土、其他金属、电解液、正极材料、负极材料、隔膜、永磁材料、电池、电机、电控、热管理、轻量化、线束、变频器、变速器、继电器、半导体、整车生产、充电桩等环节。②基于万得数据库,获取A股和港股上市公司名录,参考天风证券汽车团队在新能源汽车核心产业链的公司列表,以及上市公司名录的企业简介、经营范围、产品类型和各企业官网的生产产品名录(该产品已具备生产能力并已供使用在新能源电动汽车),筛选出核心环节的具有代表性的上市企业。2015年和2021年分别获取到相关上市企业190家和270家。③根据企查查,搜集上市企业的控股子公司,包括经营范围、所属行业和所在城市。通过筛选和删除注销、迁移、经营范围完全不相关的子公司,最终留用获取到2015年相关上市企业2415家子公司和2021年相关上市企业6157家子公司,数据暂未含港澳台地区。所需要的城市常住人口及生产总值数据来自中

经网数据库以及2021年各城市国民经济与社会发展统计公报,城市专利数据来自国家知识产权局2021年中国专利布告。

2.2 研究方法

(1) 产业网络的构建:本文通过跨区域企业间的组织关系构建以城市为节点的产业网络,企业间的网络组织关系包括企业内部组织联系和企业间业务性联系,由于企业间的业务性联系数据具有保密性难以获取,而企业内部组织联系数据更加容易获取且相对稳定,因此多数学者基于企业内部之间的联系进行分析^[40]。因此,本文基于上市企业总部与分支机构所在城市间的对应数量关系,借鉴链锁模型构建有向加权网络。结合Defever提出的跨国公司分支机构功能分类标准、Gawc对功能重要性的赋值方法,以及各分支机构的所属行业和经营范围,对新能源汽车核心产业链的上市企业及其分支机构进行功能分类与赋值如下:集团总部型功能(5分)、研发型功能(4分)、服务型功能(3分)、专业材料和零部件生产(3分)、整车生产(3分)、通用零部件生产(2分)、原材料采集(2分)。其中服务型分支主要包括物流、软件开发、金融、租赁、商务服务等生产性服务分支以及批发零售分支。

城市节点之间的联系强度 T_{ij} 反应两城市之间所有企业的总部—分支机构关联建立的网络联系强度,计算公式为:

$$T_{ij} = \sum_{n=1}^m V_{if} \times V_{jf} \quad (1)$$

式中: m 表示同时在城市 i 和城市 j 设立有总部和分支机构的企业数量; V_{if} 和 V_{jf} 分别表示企业 f 在城市 i 和城市 j 的得分。

(2) 网络指标。度中心性:中心性指标可应用于识别处于网络中心地位的关键节点。节点度是刻画节点重要性的最直接度量指标,一个节点的度越大则其度数中心性越高,合作伙伴数越多。其中,出度为上市企业总部所在城市与分支机构所在城市的对应数量,入度为各分支机构所在城市隶属于总部所在城市的对应数量。

$$K_i = K_i^{in} + K_i^{out} \quad (2)$$

式中: K_i^{in} 为节点 i 的入度; K_i^{out} 为节点 i 的出度; K_i 表示节点的度,即与节点 i 联系的所有节点的数量。

平均路径长度:平均路径长度指网络中任意两个节点间最短路径长度的平均值,刻画了网络中要素流扩散能力。网络拥有较低的平均路径长度表明网络中节点在信息和货物等要素交换时的速度更快,便于城市之间交流学习,促进区域协调发展^[41]。

$$L = \frac{1}{1/2n(n+1)} \sum_{i \geq j} d_{ij} \quad (3)$$

式中: L 表示网络的平均路径长度; n 为节点数; d_{ij} 为从节点 i 到节点 j 的最短路径。

集聚系数:网络中所有节点局部聚类系数的平均值即为平均聚类系数,系数越大,说明该网络节点间的联系更为紧密^[41]。

$$C_i = \frac{2E_i}{K_i(K_i - 1)} \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (5)$$

式中: K_i 为节点 i 的度,即与节点 i 联系的所有节点的数量; E_i 是与节点 i 联系的节点之间实际产生的边数。

(3) 相关性和模块划分。为剖析不同价值环节节点度之间的相关性,本文借助SPSS中的相关分析模块,分别做服务型、生产型和研发型网络中节点度任意两者之间的

Pearson 相关分析。同时为了对不同价值环节产业网络分别进行社群划分和网络结构识别, 本文采用 GEPHI 中模块度的测度和分类进行识别和分析。

(4) 负二项回归模型。回归分析可以明晰解释变量对因变量的影响和关系^[42]。网络中节点之间的联系强度为计数变量, 数值是非负整数, 通过计算方差远大于均数且存在集聚现象, 在这种情况下负二项回归模型具有较好的拟合效果^[43]。因此本文通过构建负二项回归模型来探讨多要素对节点之间联系强度的作用机制。模型如下:

$$D_{ij} = \alpha + \beta \sum proximity_{ij} + \sum controlvar_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

式中: 因变量 D_{ij} 为价值链不同环节下两城市节点之间的总联系强度; 自变量 $proximity_{ij}$ 为多维邻近性, 分别为地理邻近、社会邻近、技术邻近和制度邻近; $controlvar_{ij}$ 为控制变量, 本文选择城市间生产总值差、专利数量乘积或常住人口数量乘积。

地理邻近指行为主体之间的地理距离, 一方面地理邻近可降低企业间的运输和交流成本, 从而促进企业布局生产, 另一方面地理邻近可为企业间共同应对外部风险和不确定因素^[44], 以及实现交换隐性知识的追求, 从而提高创新效率。常用的测量指标为城市间的距离, 本文通过经纬度测算并对其进行标准化处理:

$$Geo_{ij} = 1 - \ln \left(\frac{y_{ij}}{\max y_{ij}} \right) \quad (7)$$

式中: y_{ij} 表示城市 i 和城市 j 之间的地理距离; $\max y_{ij}$ 为研究样本中节点间的最大距离。最后计算的结果为 0~1 之间的连续变量。

社会邻近性起源于根植性的研究, 指主体之间共同关系的程度^[45], 表示主体间的亲疏关系^[5], 也可表示为主体之间存在涉及信任的其他关系^[46], 这些社会关系可以是血缘、地缘或者朋友关系^[47], 这促使主体之间相互了解从而决定他们之间信息交换的能力^[48]。基于友谊、信任和频繁的互动而建立的这种关系使熟悉的主体间更容易产生合作, 有助于不同产业之间的知识传播, 提高产业联系发生的可能性^[49]。因此本文参考已有研究选择两个节点的合作伙伴重叠的程度来衡量社会邻近性, 并利用 Jaccard 指数进行计算:

$$Soc_{ij} = \frac{q_{ij}}{r_i + s_j - q_{ij}} \quad (8)$$

式中: q_{ij} 为城市节点 i 和 j 的相同的合作伙伴的数量; r_i 为城市节点 i 的合作伙伴的数量; s_j 为城市 j 的合作伙伴的数量。

技术邻近性反应城市在交流时认知理解及知识禀赋分布的相似性, 为产业联系的产生提供技术与知识基础。当主体间拥有相似的知识认知基础, 他们之间相互交流学习的机会就会增加^[50]。参考学者们的研究^[42, 51], 本文将价值链各环节下的企业分为不同的类型, 采用城市间企业类型的相似度来衡量技术邻近性。计算公式及分类如下:

$$Tec_{ij} = \frac{\sum_{s=1}^t (x_{is} x_{js})}{\sqrt{\left(\sum_{s=1}^t x_{is}^2 \right) \left(\sum_{s=1}^t x_{js}^2 \right)}} \quad (9)$$

式中: x_{is} 和 x_{js} 表示城市节点 i 和 j 中 s 类型企业的数量; t 为企业类型的总数。根据业务范围将研发型企业分为零部件研发、专用材料研发、充电技术研发、电子研发、检测技术研发、循环利用研发、其他技术研发等多个类型; 生产型企业分为专业材料生产、专业零部件生产、整车生产和原材料采集等多个类型; 服务型企业分为金融服务、技术推广服务、软件开发服务、充换电运营服务、供应链服务、循环利用服务、批发销售服务以及其他服务等多个类型。

制度邻近性是用来解释主体间的联系受制度环境影响、塑造和约束的事实^[52],按照科斯理论,制度邻近性本质上应归结为制度设计上的便利性或相似性,即合作主体一方具有便利的政策环境或优惠的政策支持或合作双方政策环境相似,减少双方合作不确定性从而降低成本^[53],也是地区间建立产业联系的重要基础^[49]。考虑到一方面中国政府在产业发展中具有较强的组织作用,城市产业发展政策具有典型的行政等级分层;另一方面研究表明跨界的制度差异可能阻断产业间的知识溢出,从而影响产业联系路径的形成^[49]。因此本文采用优势城市行政等级以及行政边界来测度城市间制度的便利性和相似性,从而完成制度邻近性的测度。参考已有研究^[5, 54]和中国城市行政等级划分,行政等级下的制度邻近性 $Ins_{ij}I$:直辖市、副省级城市和省会城市之间的联系为3,以上城市与普通地级市之间的联系为1,普通地级市之间的联系为0,构建两两城市间的制度邻近性I;行政边界下的制度邻近性 $Ins_{ij}II$:同一省域内的城市联系为1,不同省域内的联系为0,构建两两城市间的制度邻近性II。

控制变量:基于生产网络理论,主要控制地区的社会经济特性与行业特性。城市间的经济规模与发展水平差异可能通过当地的市场效应吸引上市企业建立分支,因此本模型需要控制城市的GDP,因此将城市间的GDP差值作为控制变量之一。考虑到不同价值环节的差异,城市人口规模一定程度上代表城市的消费能力和劳动力资本,对城市的服务和生产均具有较大的影响,因此测度两两城市间的常住人口数量的乘积作为生产型和服务型网络的控制变量之一。城市专利授权规模代表城市的创新能力,对城市的研发具有很大的影响,因此测度城市专利数量的乘积作为研发型城市网络的控制变量之一。

3 不同价值环节网络的特征、演变与差异

基于企业的研发功能、生产功能(专业材料和零部件、通用零部件、整车等)和服务功能的分支机构,文中分别构建了以城市为节点的新能源汽车产业研发型网络、生产型网络和服务型网络,并对比分析其特征、演变和差异。

3.1 3类网络的特征、差异及相关性

(1) 规模同步扩张,联系强度同步增加。相较于2015年,2021年研发型中城市节点数量从73增长至128,节点之间联系数量从144增长至512,平均联系强度从1.973增长至3.556;服务型城市节点数从146增长至241,节点之间联系数量从570增长至2193,平均联系强度从3.904增长至9.100;生产型城市节点数量从205增长至240,节点之间联系数量从824增长至1662,平均联系强度从4.100增长至6.925。3类网络同步扩张,网络节点数量和节点之间联系均增加,至2021城市网络规模从大至小依次为服务型、生产型和研发型。其中,服务型网络反超生产型网络规模,这主要由于新能源汽车需求增大和服务类型分工细化。

(2) 平均路径长度同步减小,集聚系数同步上升。相较于2015年,2021年研发型、服务型和生产型的网络平均路径长度分别从3.391、2.854、3.101下降至3.071、2.537和2.952,3类网络的平均路径长度均减小,网络中任意节点之间的联系中转次数减少,联系更为便捷。研发型、服务型和生产型网络集聚系数分别从0.106、0.216、0.138上升至0.17、0.408、0.186,各类网络的集聚系数均上升和网络集聚程度均在增加。整体上,3类网络的平均路径长度减小,网络集聚系数上升。这表明3类网络均向效率更高的“小世界”网络演化的态势。其中服务型网络平均路径长度始终最小和网络集聚系数始终最大,这表明相对于其余网络,服务型网络的联系更为便捷、网络集聚程度和效率较高。

(3) 无标度网络分布, 网络异质性增强。相较于2015年, 2021年研发型、服务型和生产型网络平均度从1.726、2.233、2.473分别增长至2.672、4.278、3.554, 各城市节点的联系范围均增大。3类网络的度分布均呈现幂律分布(图1), 其拟合程度均大于0.92, 表明其始终为无标度网络, 马太效应明显, 绝大部分城市节点度相对很低, 但存在少量节点度相对很高。3类网络拟合幂律指数均呈下降趋势, 网络的异质性在增强, 这表明3类功能联系的总体差距增大。相对于研发型和生产型, 服务型网络的幂律指数始终最小, 即服务型功能联系的总体差距相对最大。

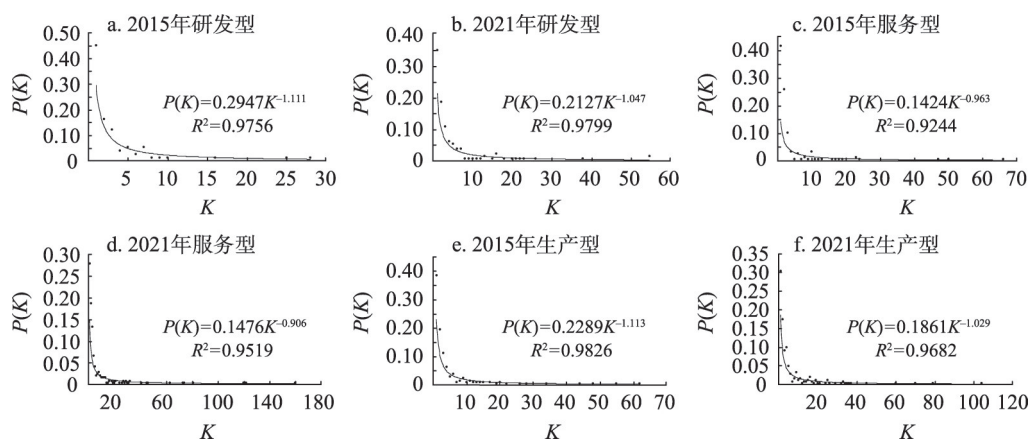


图1 2015年和2021年价值链视角下中国新能源汽车产业网络度分布

Fig. 1 Degree distribution of China's new energy vehicle industry network from the perspective of value chain 2015 and 2021

(4) 不同价值环节节点度之间显著正相关, 同一城市在不同环节重要性相似。相较于2015年, 2021年研发型和服务型网络中节点的度 Pearson 系数呈现显著正相关 ($R^2_{2015} = 0.900$, $R^2_{2021} = 0.845$), 研发型和生产型网络中节点的度也呈现显著正相关 ($R^2_{2015} = 0.832$, $R^2_{2021} = 0.918$), 服务型和生产型网络中节点的度也呈现显著正相关 ($R^2_{2015} = 0.888$, $R^2_{2021} = 0.883$), 上述显著性检验值均小于0.01。节点的度表示节点在网络中的重要性, 显著正相关表明同一城市节点在不同网络中很大程度上重要性相同, 这也表明从低端价值环节进入产业从而实现升级的可能性。因此, 对尚未进入核心产业的城市, 可积极引进低端价值环节的生产, 从而融入新能源汽车生产网络再实现升级。

3.2 新能源汽车产业网络中不同价值环节节点类型判断

将2021年3类网络中的城市节点的入度与出度, 在ArcGIS中利用自然断点分别分为两个层级(高层级和底层级), 按照相同分层标准对2015年3类网络进行划分。若网络中节点均表现为高层级的出度和入度, 则具有较大辐射范围和较强吸引力, 这些节点同时也是对外投资的发散地和吸引投资的承接地, 可称为权力—威望型节点。若网络中节点表现为高出度和低入度, 则具有较大辐射范围和较弱吸引力, 一般是企业的总部所在地, 可称为权力型节点。若网络中节点为低出度和高入度, 则具有较强吸引力和较小的辐射范围, 能吸引各地来此地建立分支企业, 可称为威望型节点。需要说明的是, 节点的出度和入度均为底层级的数量较多, 该类节点的辐射范围和吸引力相对来说均较小, 表1中未列出。

研发型网络中, 2015年尚无权力—威望型节点, 仅深圳为权力型节点, 为较多企业总部集聚地, 辐射范围相对广; 威望型节点有上海、北京和天津, 吸引了各地的企业来

表1 价值链视角下中国新能源汽车产业网络中节点类型演变

Tab. 1 Evolution of node types in China's new energy vehicle industry network from the perspective of value chain						
类型	2015年			2021年		
	研发型	服务型	生产型	研发型	服务型	生产型
权力—威望		深圳、	上海、北京、深圳、杭州、	上海、深圳、北京、杭州、	上海、深圳、北京、广州、杭州、青岛、合肥	深圳、北京、上海、杭州、广州、
权力	深圳、			合肥、宁波、东莞、青岛、西安、宁德、		厦门
威望	上海、北京、天津、	上海、北京、天津、成都、	广州、天津、苏州、武汉、合肥、宁波、成都、重庆、芜湖、长沙、南京、东莞、	天津、成都、苏州、南京、常州、无锡、长沙、	成都、苏州、海口、武汉、重庆、天津、南京、西安、厦门、宁波、三亚、郑州、无锡、太原、沈阳、长沙、珠海、东莞、哈尔滨、拉萨、南昌	南京、东莞、合肥、成都、宁波、西安、重庆、苏州、天津、武汉、长沙、芜湖、宜春、嘉兴、南通、无锡、滁州、长春、柳州、镇江、常州、青岛、包头、泰州、扬州、赣州、十堰、宁德、珠海

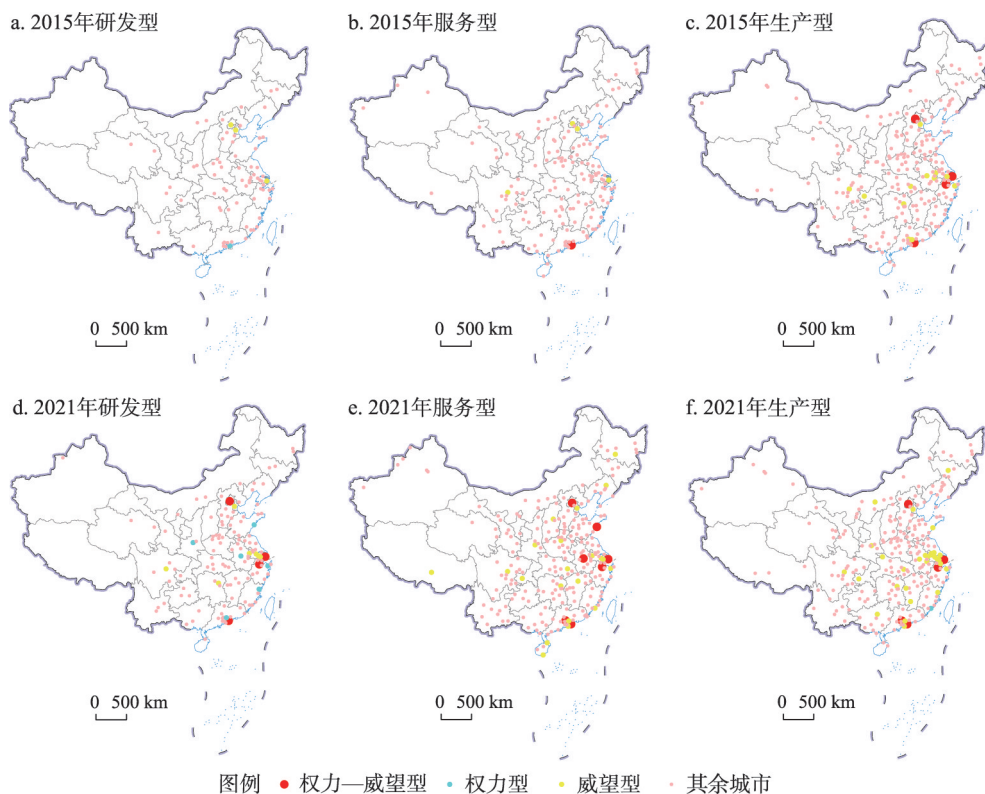
注：层级划分标准：研发型入度高层级（8~36）、底层级（0~7），出度高层级（10~40）、底层级（0~9）；服务型入度高层级（10~40）、底层级（0~9），出度高层级（33~124）、底层级（0~32）；生产型入度高层级（7~18）、底层级（0~6），出度高层级（28~90）、底层级（0~27）。

此建立研发分支。2021年上海、深圳、北京和杭州上升为权力—威望节点，辐射范围和吸引力均增强。合肥、宁波、东莞、青岛、西安和宁德上升为权力型节点，随着这些地区上市企业的增多以及对研发的重视，纷纷在知识环境和创新氛围良好的城市节点设立研发分支，其中合肥的增长速度最快。除天津外，成都、苏州、南京、常州、无锡和长沙也上升为威望型节点，吸引力增强，其中，增长最快的是苏州，吸引众多企业，主要围绕充电及充电桩技术的研发。同时，这些节点也是较多上市企业总部所在地。

服务型网络中，2015年仅深圳为权力—威望型节点，上海、北京、天津和成都为威望型节点。2021年除深圳外，上海、北京、广州、杭州、青岛、合肥上升为权力—威望型节点，成都、苏州、海口、武汉、重庆等21个城市为威望型节点，以上节点中有82.14%为直辖市、副省级和省会城市。

生产型网络中，2015年仅上海、北京、深圳和杭州为权力—威望型节点，广州、天津、苏州等12个城市为威望型节点。2021年除上海、北京、深圳、杭州外，广州上升为权力—威望型节点，厦门为权力型节点，虽有总部企业入驻，具有较大的辐射范围，但其吸引力相对较弱。除天津、苏州、武汉、合肥等11个城市仍是威望型节点外，西安、宜春、嘉兴、南通、无锡、长春等18个城市上升为威望型节点。其中，传统的汽车零部件生产城市仍具有优势，吸引新能源汽车核心企业在此建立分支的能力提升；同时，对新材料的需求也使企业在具有资源优势的城市建立生产分支，如包头成为磁性材料，宜春、赣州成为锂电池材料的主要生产基地。

整体上，随着上市企业数量增多，研发、生产和服务的分支数量增加，研发型、生产型和服务型网络中各类型节点数量均增多，各地辐射范围和吸引力都增强。从图2可以看出，相较于2015年，2021年研发型、服务型和生产型的城市节点虽然从东部向中西部扩张，但仍较多集中在“胡焕庸线”以东地区，同时各环节的权力—威望型节点始终集中在东部沿海地区。2021年上海、北京、深圳和杭州均为不同价值环节网络的权力—威望型节点，在价值链各环节均具有较强的吸引力和辐射力，具有绝对的领导力量，综



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1815号的标准地图制作，底图边界无修改。

图2 2015年和2021年中国新能源汽车产业网络中节点类型分布演变

Fig. 2 Distribution and evolution of node types in China's new energy vehicle industry network in 2015 and 2021

合性较强。2015年和2021年天津始终为研发、服务和生产的威望节点，辐射能力提升幅度较小，主要源于总部入驻天津的大型上市企业少，使得辐射能力有限。3类网络中节点中出度为0的节点数量远超过入度为0的节点数量，表明企业总部仍然集聚在少数城市。

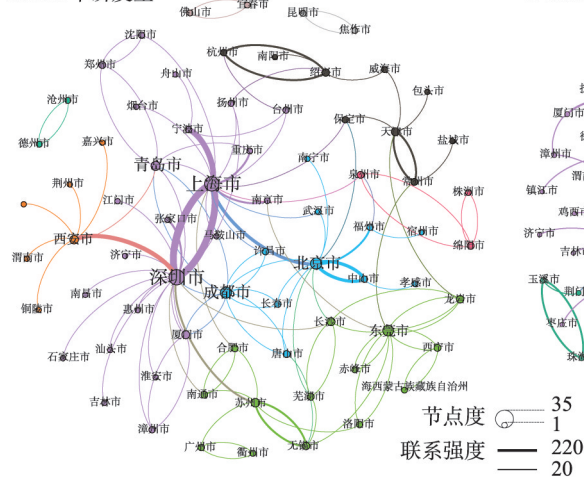
3.3 基于最强联系的产业网络结构演变

通过节点间最强联系，基于GEPHI模块化聚类算法，剖析了不同价值环节网络核心—边缘结构和社群划分。节点间最强联系表明了该节点联系最为紧密、便捷和影响最深的节点，这种关系可进一步促进城市间产业内各组织之间的信任与紧密合作（图3）。

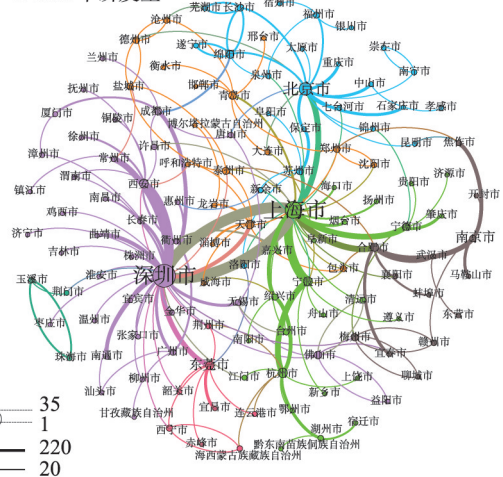
基于最强联系的研发型网络结构始终表现为一体化的联系紧密的多个核心—边缘结构社群。2015年深圳、上海之间存在最强联系，形成最大社群，其次是以北京为核心的社群，而北京则与上海形成最强联系；除此之外，各社群的成员较少且联系强度较低，社群分化不够明显。2021年上海和深圳仍然是最强联系对，但随着研发型节点的数量增多和完善，分别形成以深圳、上海为核心的核心社群，其次为以北京、青岛—天津、合肥、东莞为核心的社群，社群数量和社群内部节点同步增多；整体上，深圳和上海依旧形成最强联系，也是整个网络中最强的联系。北京的最强联系也是上海，各社群核心节点间存在最强联系，从而使得全国范围的研发型企业呈现一体化发展。

基于最强联系的服务型网络结构表现由联系紧密的多个核心—边缘结构社群向多个核心—半边缘—边缘结构社群转变。2015年上海和北京间形成最强联系对，成为最大社

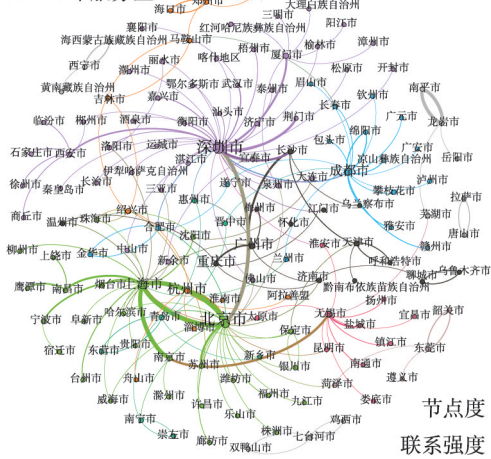
a. 2015年研发型



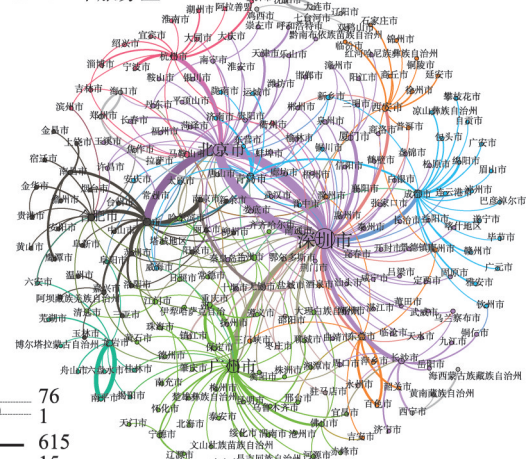
b. 2021年研发型



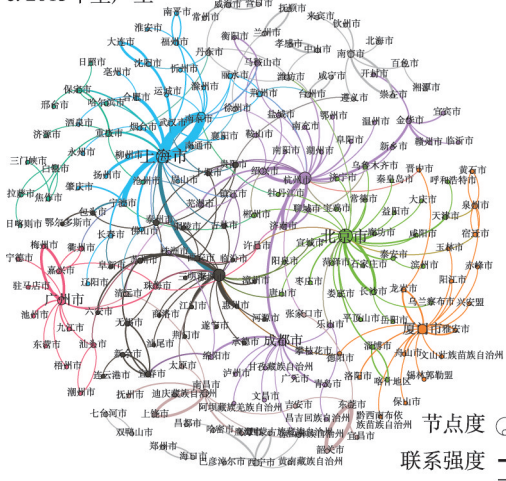
c. 2015年服务型



d. 2021年服务型



e. 2015年生产型



f. 2021年生产型

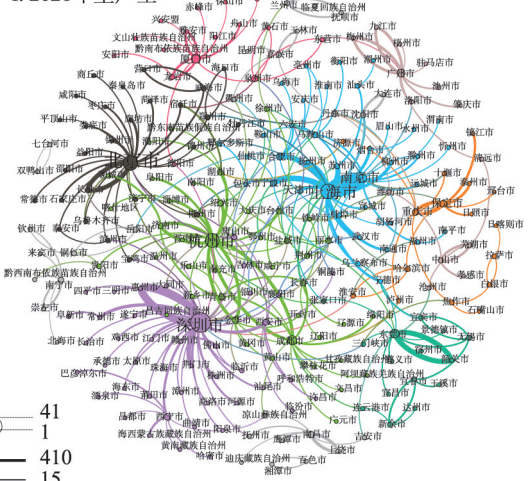


图3 2015年和2021年基于最强联系的中国新能源汽车产业网络结构演变

Fig. 3 The Evolution of China's new energy vehicle industry network structure based on the strongest connection in 2015 and 2021

群,其次是以深圳为核心的社群,深圳则与北京联系最强。2021年北京和深圳间的联系增强,形成最强联系对,从而形成最大社群;其次是分别以上海、广州、成都等为核心的社群发展壮大,其中上海与北京、广州与深圳、成都与深圳分别形成最强联系,同时也形成分别以西安、杭州为核心的新社群。整体来说,服务型网络结构形成以上海、北京、深圳、广州为核心的社群,以西安、成都、杭州等为核心的次等级社群。各社群核心节点间存在最强联系,从而提升了全国尺度服务型企业的一体化发展。处于高附加值的研发和服务环节企业,仍侧重在高层级核心节点之间的联系,并通过等级扩散到其他次一级城市。

基于最强联系的生产型网络结构表现为由部分一体化和局部化向分散化的多个独立的核心—边缘结构社群转变。2015年形成以上海、北京、杭州、深圳、厦门、广州等为核心的社群,其中深圳的最强联系是上海,这两个社群存在最强联系。2021年以某一城市为核心的各个社群更为分化,核心节点的最强联系在其社群内部,并形成多个独立的核心—边缘结构的社群。各核心节点均在社群内部存在最强联系对,形成了上海—南京、深圳—惠州、北京—长沙、杭州—金华、东莞—韶关等多个最强联系对。处于低附加值的生产环节表现为核心节点直接与次一级节点间直接对接,主要通过邻近扩散到其他层级的城市,区域化过程较明显。

4 新能源汽车产业不同价值环节网络结构的形成机制

不同价值环节在追求不同要素禀赋和集聚效应下在区域空间中形成不同的集聚类型,同时,在多维邻近的影响下形成具有各自特征的网络空间结构(图4)。多维邻近对不同价值环节的演化的影响同时具有相同性和异质性,其中各环节的地理邻近和社会邻近均通过了显著性检验,服务型中技术邻近、研发型中两种制度邻近和生产型网络中技术邻近以及行政等级下的制度邻近均未通过显著性检验(表2)。

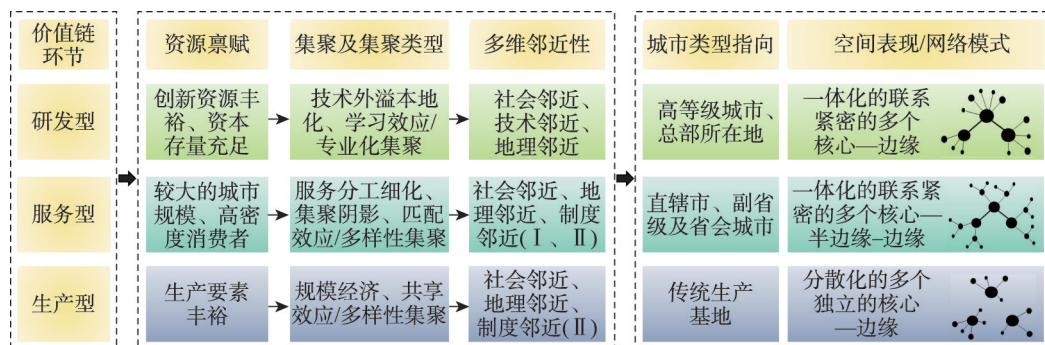


图4 价值链视角下中国新能源汽车产业网络结构的形成机制

Fig. 4 The formation mechanism of the network structure of China's new energy vehicle industry from the perspective of value chain

研发型网络中,当知识成为生产要素以及在经济社会发展中的贡献率不断加大时,科研企业、大学、研究机构正在成为新时期的创新主体和创新源,企业往往将研发活动集聚在这些创新资源丰裕的城市^[55],追求植根于地方环境与产业氛围的技术外部性和学习效应带来正反馈^[10]。而劳动力在规模更大和人力资本水平更为发达的大都市更易产生学习效应^[56-57],同时研发活动的投入大、周期长、风险性高等特点,决定其一般分布在初

表2 价值链视角下中国新能源汽车产业网络多维邻近机制回归结果

Tab. 2 Regression results of multidimensional proximity mechanism in China's new energy vehicle industry network from the perspective of value chain

变量	模型1	模型2	模型3	变量	模型1	模型2	模型3
	研发型	生产型	服务型		研发型	生产型	服务型
Geo_{ij}	0.0851016** (0.0365204)	0.1028103*** (0.0332531)	0.0610812** (0.0309952)	Gdp_{ij}	0.0014708*** (0.0005832)	0.0008793** (0.0004873)	0.0008893*** (0.0004504)
Soc_{ij}	1.329344*** (0.4147179)	1.699106*** (0.3668167)	1.744836*** (0.2370462)	Pat_{ij}/Pop_{ij}	0.0000146** (0.00000463)	0.0004679*** (0.000085)	0.0005694*** (0.0000679)
Tec_{ij}	0.2277579** (0.1062781)	-0.05579 (0.1089859)	0.121154 (0.1586508)	Cons	2.513486*** (0.1472295)	2.292235*** (0.1332833)	1.999777*** (0.1844383)
Ins_{ijI}	0.013834 (0.0347458)	0.046011 (0.0322685)	0.1607244*** (0.0266826)	α	0.21133	0.377051	0.372476
Ins_{ijII}	-0.04883 (0.1109177)	0.186526** (0.0885989)	0.4449469*** (0.0865728)	Log likelihood	-1256.93	-3193.46	-3817.34

注：模型1~3的方差膨胀因子（VIF）均小于临界值10，各解释变量之间不存在多重共线性；括号内为标准误；*、**、***分别表示 $P < 0.10$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 。

始资本存量较高的地方。因此，研发型网络中节点具有高等级或总部所在地指向，这种高附加值的研发企业在区域政府政策的优惠支持、技术外溢本地化和集聚惯性下不断自我强化，常常以产业链中某一专业知识的研究在区域空间上形成专业化集聚。

在邻近机制的回归结果中，地理邻近通过了显著性检验，对研发型城市之间的合作联系具有正向作用，研发行为主体为满足对不易清晰化和编码化、难以实现远距离交换的隐性知识的追求，需在地理邻近的空间上形成集聚，以获得更多面对面交流学习机会，达成降低创新成本、推动风险共担与合作创新的目标^[58]。技术邻近性对城市之间的联系也具有显著的正向作用，这表明拥有相似的研发类型的城市之间合作的几率更高，相似的知识背景、共同的研究水平是开展合作的必要基础^[47]，可促进合作主体之间研发知识的吸收和理解，这也进一步表明研发型节点追求专业化集聚，其研发类型的相似性会促进节点间合作的增多；社会邻近在1%的水平上具有正向显著性回归且回归系数最大，这表明拥有相同合作伙伴的节点之间的合作可能性更高。共同朋友越多越易建立较高的信任度，从而可降低交易和合作过程中的风险，提升合作效率^[48]；两种制度邻近均未通过显著性检验，一方面，研发型网络中节点城市较少且大部分为高等级城市，而这些高等级城市之间的制度邻近值相似但联系值却在地理邻近、社会邻近和技术邻近的影响下差异较大。另一方面，研发型节点中存在部分不是高等级但是总部集聚地的城市，例常州、东莞等，因此制度邻近回归不显著。基于以上，集聚和多维邻近性使得最强联系下的研发型网络始终表现为一体化的核心—边缘结构，各社群的核心城市北京—深圳—上海间的高强度联系使得全国研发网络一体化。社群内的边缘城市节点通过核心城市节点与全国范围内其余城市间的联系效率增强，便于获得核心节点的技术知识外溢，提升研发产业转移承接的可能性和提高技术知识外溢本地化。这种网络模式提高了全国研发的整体效率和稳定性。

服务型网络中，新能源汽车核心产业下的服务业具有高附加值的特点，可承受大城市中较高的土地租金，且对知识需求程度较高，规模较大的城市通常能满足该需求^[59-60]。而且因需劳动力与消费者面对面的交流，服务型企业中劳动力单位成本上升，因此须依

附于高密度的消费者^[61]。随着生产性服务业的分工细化,为追求企业间商务交流和合作的便利与互补,获取相关的正外部性,上市企业需更多专业化的服务分支以提升和匹配相关服务环节的质量和数量,因此上市企业常会在某一区域设立多种不同服务类型的服务分支,在区域空间形成多样性集聚。

在邻近机制的回归结果中,地理邻近通过了显著性检验,这表明地理空间的邻近有助于城市间服务的进行,地理邻近性对城市间服务合作的作用机制上主要表现为降低交易时空成本,这在服务型网络中主要表现在各社群内部的节点与核心节点间的联系。社会邻近也通过了显著性检验,倾向于与有共同合作伙伴的节点进行合作,这与研发环节相似,较高的信任可提高节点间的合作效率。技术邻近未通过显著性检验,这也进一步表明服务型城市追求类型多样化集聚,其服务类型的相似性并不会促进城市间合作的增多。行政等级和行政边界下的制度邻近性均通过了检验,合作主体一方政策的优越性和相同的制度环境便于主体之间开展交流合作。一方面高等级城市节点具有较强、较多服务门类,从而形成较强的合作,也使得全国服务信息互通,帮助中小城市节点的服务企业与更广泛的全国服务网络联系起来,这在服务型网络中主要表现为各社群之间的联系;另一方面省域内省会行政中心城市有着更高的资源控制能力,承担着省域对外联系的重要枢纽功能。同时在时空成本下,服务均具有一定的服务范围,如靠近网络核心的城市节点面临强大的竞争效应并易处于集聚阴影下,因此在距离生产性服务网络功能核心越远的外围城市,其生产性服务功能越强,即在“规模借用”下,拥有了一部分它本没有的生产性服务功能^[60]。基于以上集聚和多维邻近性使得最强联系的服务型城市网络,已从2015年的一体化核心—边缘结构转变为2021年的一体化的核心—半边缘—边缘结构,并随着服务网络的完善,形成西安、成都、杭州等半边缘核心节点。

生产型网络中,企业为共享不可分的商品、设施与生产服务和共同承担风险,往往都会选择集聚在生产要素完备的城市进行生产,从而享受共享效应^[58]。上市企业为获得各类生产企业集中后所产生的成本节约的城市化经济^[62],往往在区域空间上形成多样类型集聚。伴随模块化生产方式的应用,汽车零组件适配性的扩大提升了整车企业在采购方面和零部件生产企业在生产方面的规模经济^[18],继而促使区域间紧密联系。

在邻近机制的回归结果中,地理邻近通过了显著性检验,这表明城市节点间距离越小生产合作的几率越大,这主要由于生产环节中的运输及用地成本相较于研发和服务环节较高,为降低运输成本利用规模报酬递增和获取租金较低的生产用地,上市企业往往在总部地理邻近的低一层级的城市或其腹地布局生产环节。社会邻近通过了显著性检验,“朋友圈”重叠度越高,联系强度越强,这与研发和服务环节相似,较易建立深厚的信任提高城市节点间的合作效率。技术邻近没有通过显著性检验,这也进一步表明生产型节点追求类型多样化集聚,其生产类型的相似性并不会促进节点市间合作的增多。制度邻近中,行政等级下的制度邻近并未通过显著性检验,高等级城市的生产成本的增长使得生产联系减少,而行政边界的制度邻近通过了显著性检验,一方面同一省域内的制度相似性可减少城市生产合作的不确定性并降低交易成本,另一方面价值链中的生产环节是最低附加值的环节也是边缘型城市最易争夺的价值环节,一般具有较强的优惠政策,而同一省域内为防止这一环节的外流往往具有自上而下的城市合作机制。如此,基于最强联系的2015年生产型网络表现为部分一体化和局部化的核心—边缘结构社群,而到2021年则形成多个独立的核心—边缘结构社群。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 相较于2015年,2021年中国新能源汽车产业网络研发型、生产型和服务型网络同步扩张,网络节点数量增多,节点之间联系增加,其中服务型网络节点及节点之间的联系的增长和速度均是最快,至2021年网络规模最小的为研发型,研发型高附加值环节仍然分布在少数城市;3类网络度分布均呈现幂律分布,这表明3类网络始终为无标度网络,马太效应明显,绝大部分节点的度相对很低,但存在少量的度相对很高的节点;3类网络幂律分布的幂律指数均呈现下降趋势,这表明3类网络节点异质性增强,3类网络中节点度总体差距增大;不同价值环节节点度之间显著正相关,这表明同一城市节点在不同网络中很大程度上重要性相同,这也表明从低端价值环节进入产业从而实现升级的可能性。

(2) 在产业网络中权力—威望型、权力型和威望型节点类型划分中,除服务型网络中始终无权力型节点,其余的各类型节点数量均在增加。各类网络中权力节点相较于威望节点均较少。各价值环节节点具有不同的集聚指向,研发型具有总部所在地指向或高等级城市指向,服务型则具有副省级城市及省会城市指向,生产型则具有传统生产基地指向。2021年上海、北京、深圳和杭州为3类网络的权力—威望型节点,综合实力较强。节点中出度为0的节点数量远超过入度为0的节点数量,表明企业总部仍然集聚在少数城市。

(3) 新能源汽车产业不同价值环节在追求不同要素禀赋和集聚效应下在区域空间中形成不同的集聚类型,同时在多维邻近的影响下形成了具有各自特征的网络空间结构。为追求学习效应和技术外溢本地化,研发行为主体往往以某一专业知识在城市形成专业化集聚,在社会、技术和地理邻近影响下研发型最强联系网络始终表现为一体化的联系紧密的多个核心—边缘结构社群;服务类型分工细化促使上市企业需更多专业化的服务分支,从专业角度提升和匹配相关服务环节的质量和数量,从而在某一城市设立多种不同服务类型形成多样化集聚。但随着市场需求的增大,也受到规模借用和集聚阴影影响,同时在社会、地理和制度邻近影响下服务型最强联系网络表现由一体化的联系紧密的多个核心—边缘结构社群向多个核心—一半边缘—边缘结构社群转变;为降低运输成本、追求共享效应、规模经济和城市化经济,生产行为主体往往在某一城市形成生产类型多样性集聚,同时在社会、地理和行政边界下的制度邻近的影响下,生产型最强联系网络表现为部分一体化和局部化的核心—边缘结构社群向分散化的多个独立的核心—边缘社群结构演化。

5.2 讨论

本文从价值链角度审视中国新能源汽车产业的网络空间分布和形成机制,提高了对新能源汽车产业地域发展的理解,也为提升不同城市在国内新能源汽车产业发展中的竞争提供了以下启示:①对于尚未融入新能源汽车核心产业的城市,一方面应注重地理邻近的作用,利用地理邻近所带来的优势积极开展和已融入的邻近城市的相关合作;另一方面积极承接核心城市的产业转移,从低端价值环节融入产业发展之后再实现价值升级,同时核心城市合作伙伴较多,在社会邻近作用下可增加在产业内的可信力和合作伙伴数量。②对于已融入新能源汽车核心产业的城市,一方面城市在新能源汽车产业某一价值环节的发展中,在提升自身的竞争力时应明确在其中的位置及优劣势,同步发展自

身的吸引力和辐射力,才能掌握行业领导权力;另一方面城市在价值链攀升过程中,需关注不同环节作用机制的异质性,抓住省域范围内服务分工细化中缺少的服务类型,不断布局多样化的服务类型,提高对技术研发的专业化集聚,提升城市的研发能力。

结合价值链及生产网络,本文基于中国新能源汽车产业上市企业组织网络剖析国家尺度下以城市为节点的汽车产业的网络,揭示其在中国的具体地理分布规律和空间结构。基于大量的企业的总部—分支数据对传统的以少数领先企业和总部为案例的价值链体系下生产网络分布进行了科学的验证。同时分析了价值链视角下的新能源汽车产业网络结构的演变及形成机制,对各城市在抢占新能源汽车产业以及价值升级提供科学的依据。但仍然存在不足之处:在中国政策对新能源汽车产业的发展作用较强,而本文在制度邻近的测度中由于政策数据的难以量化因而使用行政等级及行政边界近似进行测度,有学者认为中国政治举措改变了老牌外国汽车公司在电动汽车市场和供应链的原始竞争格局和获得核心技术组件方面的条件^[36],因而对新能源汽车政策对产业发展的影响仍需进一步更为细致的探讨。另一方面随着全球贸易摩擦的增加,欧美国家通过行政力量干涉跨国主导企业,从而改变全球生产网络的运作。而合资企业存在技术依赖和路径锁定的弊端,尤其是国外公司的技术封闭后对合资企业乃至国内汽车制造业带来的风险,因此提前预估国内汽车产业在技术封闭后汽车制造业的脆弱性和韧性,提出本地汽车产业相关企业在技术封闭后的发展战略与路径选择也是亟需解决的问题。

参考文献(References)

- [1] Huang Shoukun, Li Wenbin. Analysis of industrial networks and its evolution patterns. *China Industrial Economics*, 2005(4): 53-60. [黄守坤, 李文彬. 产业网络及其演变模式分析. *中国工业经济*, 2005(4): 53-60.]
- [2] Wang C W, Miao W, Lu M M. Evolution of the Chinese industrial structure: A social network perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 184: 121972. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121972
- [3] Tang M H, Hong J K, Liu G W, et al. Exploring energy flows embodied in China's economy from the regional and sectoral perspectives via combination of multi-regional input-output analysis and a complex network approach. *Energy*, 2019, 170: 1191-2101.
- [4] Li Y Q, Xiong J, Ma W Q, et al. Environmental decoupling, eco-efficiency improvement, and industrial network optimization: Insights from 44 sectors in China. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 376(20): 134374. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134374.
- [5] Zhan Yarong, Gu Renxu. Characteristics and multi-dimensional proximity mechanism of the online game industry cooperative network in China. *Progress in Geography*, 2022, 41(7): 1145-1155. [展亚荣, 谷人旭. 中国网络游戏产业合作网络特征及其多维邻近性机制. *地理科学进展*, 2022, 41(7): 1145-1155.]
- [6] Taylor P J, Catalano G, Walker D R F. Measurement of the world city network. *Urban Studies*, 2002, 39(13): 2367-2376.
- [7] Jin Ying. The evolution of the spatial pattern and the resilience of Liaoning province's production network [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2020. [金瑛. 辽宁省产业网络空间格局及韧性演化[D]. 长春: 东北师范大学, 2020.]
- [8] Zhou Tao. Research on Urban Spatial Evolution from the Perspective of Value Chain. Beijing: China Social Sciences Press, 2021. [周韬. 价值链视角下的城市空间演化研究. 北京: 中国社会科学出版社, 2021.]
- [9] Ren Jinling. Production fragmentation of value chain, incomplete transfer and industrial transfer in China. *Forum on Science and Technology in China*, 2011(10): 37-41. [任金玲. 价值链分割生产、不完全转移与我国的产业转移. *中国科技论坛*, 2011(10): 37-41.]
- [10] Liu Qing, Yang Yongchun, Jiang Xiaorong, et al. An analysis of the multidimensional globalizing city networks based on global value chain: A case study of iPhone suppliers. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(4): 870-887. [刘清, 杨永春, 蒋小荣, 等. 基于全球价值链的全球化城市网络分析: 以苹果手机供应商为例. *地理学报*, 2021, 76(4): 870-887.]
- [11] Liang L, Liang Y W. An empirical study on the national heterogeneity of high-end manufacturing technology innovation and GVC's division of labor status. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021: 7464384. DOI: 10.1155/2021/

7464384.

- [12] Yuan Kaihua, Peng Shuijun, Chen Hongwen. The facts and explanations of the domestic value chain driving the export value of China's manufacturing industry. *Economist*, 2019(9): 93-103. [袁凯华, 彭水军, 陈泓文. 国内价值链推动中国制造业出口价值攀升的事实与解释. *经济学家*, 2019(9): 93-103.]
- [13] Zhang Shaojun, Li Dongfang. Industrial transference region in a mode of global value chain: From the perspective of business cost and learning curve. *Economic Review*, 2009(2): 65-72. [张少军, 李东方. 全球价值链模式的产业转移: 商务成本与学习曲线的视角. *经济评论*, 2009(2): 65-72.]
- [14] Fei Jin, Chen Luan, Xie Zhiying. Development course and embedded evolution of China's automobile industry. *Productivity Research*, 2019(4): 82-87, 128. [费劲, 陈鑫, 谢芷莹. 中国汽车产业发展历程与嵌入性演变. *生产力研究*, 2019(4): 82-87, 128.]
- [15] Beaudry C, Swann P. Growth in industrial cluster: A bird's eye view of the United Kingdom. SIEPR Discussion Paper, 2001: 1-38. DOI: 10.1.1.200.7347&rep.
- [16] Wu Zhengzheng, Wu Dianting, Yuan Jun, et al. Study on the geographical concentration and contributing factors of Chinese automotive industry. *China Population, Resources and Environment*, 2008, 18(1): 116-121. [吴铮铮, 吴殿廷, 袁俊, 等. 中国汽车产业地理集中及其影响因素研究. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(1): 116-121.]
- [17] Zhao Junzhu, Sun Tieshan, Li Guoping. Agglomeration and firm location choice of China's automobile manufacturing industry. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 850-862. [赵浚竹, 孙铁山, 李国平. 中国汽车制造业集聚与企业区位选择. *地理学报*, 2014, 69(6): 850-862.]
- [18] Zhao Ziyu, Wang Shijun, Chen Xiaofei. Beyond locality in restructuring the spatial organization of China's automobile industry clusters under modular production: A case study of FAW-Volkswagen. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(8): 1848-1864. [赵梓渝, 王士君, 陈肖飞. 模块化生产下中国汽车产业集群空间组织重构: 以一汽-大众为例. *地理学报*, 2021, 76(8): 1848-1864.]
- [19] Han Ying, Pan Zhigang. Analysis of the driving effectiveness of automobile industry to its correlative industry. *China Soft Science*, 2005(6): 139-143. [韩颖, 潘志刚. 汽车工业对其关联产业的带动效用分析. *中国软科学*, 2005(6): 139-143.]
- [20] Mudambi R. Location, control and innovation in knowledge-intensive industries. *Journal of Economic Geography*, 2008, 8(5): 699-725.
- [21] Dicken P. *Global Shift: Mapping the Changing Contours of the World Economy*. London: Sage, 2011.
- [22] Gereffi G, Humphrey J, Sturgeon T. The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 2005, 12(1): 78-104.
- [23] Hymer S. The multinational corporation and the law of uneven development. *International Economic Policies and Their Theoretical Foundations*. 2nd ed. California: Academic Press, 1992: 436-463.
- [24] Massey D. In what sense a regional problem? *Regional Studies*, 1979, 13(2): 233-243.
- [25] Sturgeon T, Van Biesebroeck J, Gereffi G. Value chains, networks and clusters: Reframing the global automotive industry. *Journal of Economic Geography*, 2008, 8(3): 297-321.
- [26] Coe N M, Hess M, Yeung H W C, et al. 'Globalizing' regional development: A global production networks perspective. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2004, 29(4): 468-484.
- [27] Zhao Ziyu, Wang Shijun, Chen Xiaofei, et al. Cross-regional relatedness and influencing factors of China's automobile production network from the perspective of 'global-local': A case study of FAW-Volkswagen. *Progress in Geography*, 2022, 41(5): 741-754. [赵梓渝, 王士君, 陈肖飞, 等. “全球—地方”视角下中国汽车生产网络的跨域关联与影响因素: 一汽-大众案例. *地理科学进展*, 2022, 41(5): 741-754.]
- [28] Lin Bingquan, Sun Bindong. The impact of inter-cluster networks on firms' TFP: A case study of China's automobile manufacturing industry. *Geographical Research*, 2022, 41(9): 2385-2403. [林柄全, 孙斌栋. 网络外部性对企业生产率的影响研究: 以中国汽车制造业集群网络为例. *地理研究*, 2022, 41(9): 2385-2403.]
- [29] Cong Haibin, Zou Deling, Gao Bo, et al. Network patterns and influence factors of new energy vehicle trade along the countries of the Belt and Road. *Economic Geography*, 2021, 41(7): 109-118. [丛海彬, 邹德玲, 高博, 等. “一带一路”沿线国家新能源汽车贸易网络格局及其影响因素. *经济地理*, 2021, 41(7): 109-118.]
- [30] Chen Xiaofei, Miao Changhong, Pan Shaoqi, et al. Characteristics and construction mechanism of enterprise networks in "Hub-and-Spoke" cluster: Empirical evidence from Chery cluster in 2014, China. *Geographical Research*, 2018, 37(2): 353-365. [陈肖飞, 苗长虹, 潘少奇, 等. 轮轴式产业集群内企业网络特征及形成机理: 基于2014年奇瑞汽车集

- 群实证分析. 地理研究, 2018, 37(2): 353-365.]
- [31] Wang Cheng, Wang Maojun, Chai Qing. The relationship between centrality and power in the city network. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1953-1972. [王成, 王茂军, 柴箐. 城市网络地位与网络权力的关系: 以中国汽车零部件交易链接网络为例. 地理学报, 2015, 70(12): 1953-1972.]
- [32] Pavlínek P, Ženka J. Value creation and value capture in the automotive industry: Empirical evidence from Czechia. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2016, 48(5): 937-959.
- [33] Natsuda K, Thoburn J, Blažek J, et al. Industrial policy and automotive development: A comparative study of Thailand and Czechia. *Eurasian Geography and Economics*, 2022, 63(2): 212-238.
- [34] Özatağan G. Shifts in value chain governance and upgrading in the European periphery of automotive production: Evidence from bursa, Turkey. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2011, 43(4): 885-903.
- [35] Schwabe, J. From "obligated embeddedness" to "obligated Chineseness"? Bargaining processes and evolution of international automotive firms in China's new energy vehicle sector. *Growth and Change*, 2020, 51: 1102-1123.
- [36] Yeung G. 'Made in China 2025': The development of a new energy vehicle industry in China. *Area Development and Policy*, 2019, 4(1): 39-59.
- [37] Pavlínek P. Restructuring and internationalization of the European automotive industry. *Journal of Economic Geography*, 2020, 20(2): 509-541.
- [38] Pavlínek P. Relative positions of countries in the core-periphery structure of the European automotive industry. *European Urban and Regional Studies*, 2022, 29(1): 59-84.
- [39] Kuroiwa I, Techakanont K, Keola S. Evolution of production networks and the localisation of firms: Evidence from the Thai automotive industry. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 2022. DOI: 10.1080/13547860.2021.2024361.
- [40] Zhao Xinzhen, Li Qiuping, Rui Yang, et al. The characteristics of urban network of China: A study based on the Chinese companies in the Fortune Global 500 List. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 694-709. [赵新正, 李秋平, 芮畅, 等. 基于财富 500 强中国企业网络的城市网络空间联系特征. 地理学报, 2019, 74(4): 694-709.]
- [41] Guo Jianke, He Yao, Wang Shaobo, et al. Rank-size distribution changes and transportation network connections of the coastal container port system in Chinese mainland since 1985. *Geographical Research*, 2019, 38(4): 869-883. [郭建科, 何瑶, 王绍博, 等. 1985 年以来中国大陆沿海集装箱港口体系位序—规模分布及其网络联系. 地理研究, 2019, 38(4): 869-883.]
- [42] Zhang Yi'ou, Gu Renxu, Ma Shuang. Spatial characteristics and proximity mechanism of technology transfer among cities in China. *Progress in Geography*, 2019, 38(3): 370-382. [张翼鸥, 谷人旭, 马双. 中国城市间技术转移的空间特征与邻近性机理. 地理科学进展, 2019, 38(3): 370-382.]
- [43] Liu Lin, Liu Huiting, Chen Jianguo, et al. The impact of "Thunder Anti-drug" operation on drug dealing crime: A case study of the main urban area of ZG city. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(6): 1461-1474. [柳林, 刘慧婷, 陈建国, 等. “雷霆扫毒”对贩卖毒品犯罪的影响及后续时空分布变化: 以 ZG 市主城区为例. 地理学报, 2022, 77(6): 1461-1474.]
- [44] Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. *Progress in Human Geography*, 2004, 28(1): 31-56.
- [45] Granovetter M. Economic action and social structure: The problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, 1985, 91(3): 481-510.
- [46] Dai Liang, Liu Chengliang, Wang Song, et al. Proximity and self-organizing mechanisms underlying scientific collaboration of cities in the Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 2022, 41(9): 2499-2515. [戴靓, 刘承良, 王嵩, 等. 长三角城市科研合作的邻近性与自组织性. 地理研究, 2022, 41(9): 2499-2515.]
- [47] Boschma R. Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- [48] Boschma R, Frenken K. The spatial evolution of innovation networks: A proximity perspective. *Papers in Evolutionary Economic Geography (PEEG)*, 2009: 0905. DOI: 10.4337/9781849806497.00012.
- [49] He Canfei, Yu Changda. Multi-dimensional proximity, trade barriers and the dynamic evolution of industrial linkages between China and the world market. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(2): 275-294. [贺灿飞, 余昌达. 多维邻近性, 贸易壁垒与中国—世界市场的产业联系动态演化. 地理学报, 2022, 77(2): 275-294.]
- [50] Cohen W M, Levinthal D A. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35(1): 128-152.
- [51] Zhang Kaihuang, Qian Qinglan. Characteristics and proximities mechanism of China's new energy vehicle industry innovation network. *Geographical Research*, 2021, 40(8): 2170-2187. [张凯煌, 千庆兰. 中国新能源汽车产业创新网络

- 特征及其多维邻近性成因. 地理研究, 2021, 40(8): 2170-2187.]
- [52] Gertler M S. Tacit knowledge, path dependency and local trajectories of growth//Fuchs G, Shapira P. Rethinking Regional Innovation and Change. New York: Springer, 2005: 23-41.
- [53] Zhou Ruibo, Qiu Yifeng, Hu Yaozong. Characteristics, evolution and mechanism of inter-city innovation network in China: From a perspective of multi-dimensional proximity. *Economic Geography*, 2021, 41(5): 1-10. [周锐波, 邱奕锋, 胡耀宗. 中国城市创新网络演化特征及多维邻近性机制. 经济地理, 2021, 41(5): 1-10.]
- [54] Dai Liang, Cao Zhan, Ma Haitao, et al. The influencing mechanisms of evolving structures of China's intercity knowledge collaboration networks. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(2): 334-350. [戴靓, 曹湛, 马海涛, 等. 中国城市知识合作网络结构演化的影响机制. 地理学报, 2023, 78(2): 334-350.]
- [55] Dolores H, Alfonso D M. Do universities matter for the location of foreign R&D? *BRQ Business Research Quarterly*, 2021: 234094442110423. DOI: 10.1177/23409444211042382.
- [56] Glaeser E L. Learning in cities. *Journal of Urban Economics*, 1999, 46(2): 254-277.
- [57] Glaeser E L, Saiz A. The Rise of the Skilled City. Cambridge, Mass: National Bureau of Economic Research, 2003. DOI: 10.3386/w10191.
- [58] Sheng Lei. Spatial Agglomeration and Knowledge Spillovers of Foreign R&D in China. Shanghai: East China Normal University Press, 2012. [盛垒. 外资在华研发空间集聚与知识溢出研究. 上海: 华东师范大学出版社, 2012.]
- [59] Smętkowski M, Celińska-Janowicz D, Wojnar K. Location patterns of advanced producer service firms in Warsaw: A tale of agglomeration in the era of creativity. *Cities*, 2021, 108: 102937. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102937.
- [60] Wang Yixiao, Sun Bindong, Zhang Tinglin. Urban producer service functions and geographical distance in Chinese city clusters: A perspective from network externalities. *Geographical Research*, 2022, 41(9): 2418-2432. [王艺晓, 孙斌栋, 张婷麟. 中国城市群城市生产性服务功能与地理距离: 网络外部性的视角. 地理研究, 2022, 41(9): 2418-2432.]
- [61] Chen Le. Theoretical basis and empirical studies of agglomeration economy influencing urban economic growth: Literature review and prospect. *Progress in Geography*, 2022, 41(7): 1325-1337. [陈乐. 集聚经济影响城市经济增长的理论基础与实证研究: 文献述评与展望. 地理科学进展, 2022, 41(7): 1325-1337.]
- [62] Ge Ying, Yao Shimou, Pu Yingxia, et al. Application of Spatial autocorrelation for the spatial patterns of urbanization and localization economy. *Human Geography*, 2005, 20(3): 21-25. [葛莹, 姚士谋, 蒲英霞, 等. 运用空间自相关分析集聚经济类型的地理格局. 人文地理, 2005, 20(3): 21-25.]

Network and mechanism of China's new energy vehicle industry from the perspective of value chain

HE Yao¹, YANG Yongchun^{1,2}, WANG Shaobo³

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education of
the People's Republic of China, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of

County Economic Development, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the data of listed companies in the core industry chain of China's new energy vehicles in 2015 and 2021, this paper constructs their industrial network from the perspective of the value chain, and uses methods such as social network and negative binomial regression model to study the characteristics, evolution, differences, and formation mechanisms of different value chain networks. The results show that: (1) R&D-oriented, production-oriented, and service-oriented networks share several common features: These networks are simultaneously expanding in scale and transitioning towards more efficient "small world" network; The degree distribution in these networks follows a power-law distribution, indicating a scale-free network structure; There is a decrease in the power-law exponent of network's degree distribution, indicating an increase in network heterogeneity. Furthermore, there is a significant positive correlation between the degrees of nodes in networks with diverse value chains, suggesting that the same node holds a similar level of significance across different networks. (2) The number of power-prestige, power and prestige nodes increases in the networks of all value chain segments, except in the service-oriented network, where there are no power nodes. In each value chain network, these nodes have different agglomeration directions. In R&D-oriented network, the nodes tend to cluster around headquarters and high-level cities. In contrast, service-oriented network shows a concentration of nodes in municipalities, sub-provincial and provincial capitals. Similarly, production-oriented network demonstrates a clustering of nodes in traditional production bases. (3) Different value-added segments of industry form different types of agglomeration in pursuit of different factor endowments and agglomeration effect, and form the spatial structure of the strongest connection industrial network with different characteristics. The R&D-oriented networks have always been an integrated and closely connected multiple core-periphery structure community with the influence of social, technological and geographical proximities; transformation of service-oriented network from an integrated and closely connected multiple core-periphery structure community to a multiple core-semi-periphery-periphery structure community with the influence of social, geographical and institutional proximities; transformation of production-oriented network from the partially integrated and localized core-periphery structure community to the more decentralized multiple independent core-periphery structure community with the influence of the social, institutional and administrative boundaries and geographical proximities.

Keywords: value chain; new energy vehicle industry; listed company; industrial network; core-periphery structure; China