

多尺度视角下中国新能源汽车产业创新 空间格局及网络特征

张凯煌, 千庆兰*, 陈清怡

(广州大学地理科学与遥感学院, 广州 510006)

摘要:创新活动与创新网络的多尺度空间模式是创新经济地理学关注的焦点。论文选择在知识分类上兼具隐性和显性知识特征的新能源汽车产业作为研究对象,利用来自国家知识产权局的相关专利数据,分析了2001—2015年中国新能源汽车产业独立创新活动和合作创新网络在“区域—省域—市域”的多尺度空间特征,并对其进行空间分类。结果显示:①创新活动在城市层面最具解释力度,中国新能源汽车产业技术创新活动主要集中在东部和北部沿海地区,市域尺度上的创新活动存在较大差异;②内部创新网络和外部创新网络在区域层面最具解释力度,创新网络集中在东部和北部沿海地区,市域尺度上的创新网络变异明显;③在不同尺度上,创新网络与创新活动之间存在不同程度的差异。地方创新环境与创新主体性质是造成上述格局差异的重要原因。仅停留在空间上的分析很难深入解释创新网络格局,应从更微观的创新主体层面探究创新结网的过程和机理。此外,创新活动和创新网络分别具有“多尺度结构性嵌套”和“多尺度能动性交换”特征,未来研究应对两者之间的差别给予更多关注。

关键词:创新活动;创新网络;空间格局;新能源汽车产业;中国

创新活动和创新网络的空间模式是创新地理学关注的核心议题。创新活动和创新网络呈现显著的多尺度空间特征。一方面,创新活动在多尺度上集聚^[1]。从全球范围看,前10大科技创新集群的PCT (patent cooperation treaty)专利申请量占全球份额的35.27%,其中,“东京—横滨”“深圳—香港”“首尔”分别占全球的10.9%、5.54%和3.95%^[2]。从国家尺度看,部分区域往往是国家创新活动的集聚中心。美国的五大湖区、加州湾区、南加州是其主要的研发活动集聚区^[3]。2019年中国的广东、江苏、浙江占到全国专利申请量份额的51%。在区域和城市尺度,创新活动依然具有明显的空间集聚性^[4]。另一方面,创新网络在多尺度上存在互动。世界知识产权组织(World Intellectual Property Organi-

tion, WIPO)的报告指出,从全球范围看,近40%的合作专利和近50%的合作出版物超越国家范围,从国家尺度上看,大量的合作专利跨越地方发生^[5]。典型地,美国有超过80%的合作专利超越本地,甚至大约45%的合作专利跨国发生。来自中国的证据表明,在浙江、江苏、广东、山东等创新活动密集的省份,其外部创新网络占到其全部创新网络的50%~60%^[6]。

创新经济地理学家试图对创新的空间分布做出解释。共享、匹配和知识溢出是解释创新活动在多尺度集聚的经典理论之一^[7]。强大的集群使得内部主体共享设施、供应链与资本,以更低的成本将创意转化为产品现实^[8]。集聚使创新型企业能够快速获得专业化劳动力,同时,为此付出的成本又不

收稿日期:2020-12-31;修订日期:2021-04-16。

基金项目:国家自然科学基金项目(41771127);广东省攀登计划项目(pdjh2020b0472)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41771127; Guangdong Climbing Plan Project, No. pdjh2020b0472.]

第一作者简介:张凯煌(1996—),男,广东广州人,硕士生,主要研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: kh819@outlook.com

*通信作者简介:千庆兰(1970—),女,吉林吉林人,教授,硕士生导师,主要研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: qianlynn@21cn.com

引用格式:张凯煌, 千庆兰, 陈清怡. 多尺度视角下中国新能源汽车产业创新空间格局及网络特征[J]. 地理科学进展, 2021, 40(11): 1824-1838. [Zhang Kaihuang, Qian Qinglan, Chen Qingyi. Multilevel spatial patterns and network characteristics of China's new energy vehicle industrial technological innovation. Progress in Geography, 2021, 40(11): 1824-1838.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.11.003

会过高^[9-10]。在劳动力要素流动和企业集中的背景下,知识溢出成为必然结果,这使得创新活动进一步在地方上集聚^[11]。创新活动的空间分布受到来自不同尺度环境的向心力作用,这股力量在越小尺度上越明显。但在此过程中,地方的知识溢出往往是隐性知识的结果,而显性知识的存在又常常能够超越地理空间^[12]。多维邻近是解释主体跨地域空间合作的重要理论之一。简言之,组织上的隶属关系、社交上的紧密关系以及认知上的接近关系是主体是否达成合作的重要原因^[13];在此背景下,有学者认为,创新地理的空间模式本质上是多尺度嵌套与多尺度交换的地理过程^[14-15]。但在现有的知识中,仍然缺少直接的实证证据来支持上述创新活动和创新网络的空间模式假说。本文的工作即针对于此展开。

选择合适的产业进行多尺度研究是本文的基础工作。如前所述,技术创新的空间模式由创新活动的多尺度嵌套以及创新网络的多尺度交换2种方式构成。在选择相应产业时,研究者需要重点考虑产业的知识特征。既具有鲜明的隐性知识特征,又具有突出的显性知识特征,是相应前提。隐性知识和显性知识的概念在1995年即被提出^[16],隐性知识和可编码化的显性知识由于表达方式和交流难易程度存在差异,其地理空间范围因此存在显著不同^[17]。隐性知识的表达方式较为单一,知识的传递和更多地依靠非正式联系,因此这样的交流很难跨地域发生,创新活动也更多地横向地在本地发生^[18]。而显性知识则从垂直维度为本地创新实体带来知识补充^[19]。它们易于传播,也更容易通过正式联系在企业间形成合作。因此,创新主体在多尺度上存在能动性交换,知识和技术的交流得以构建^[20]。新能源汽车产业兼顾隐性知识与显性知识的特点^[21]。一方面,新能源汽车产业由传统汽车产业衍生,过去的汽车生产厂商依旧在该产业中扮演着重要角色,技术、经验和知识无法被完全替代^[22];另一方面,由于动力过程已发生深刻改变,终端服务场景也面临新的转型,新能源汽车产业拥有更多的科技内涵^[23-24]。这意味着新能源汽车产业知识体系又具有鲜明的显性特征,是研究技术创新多尺度问题的重要案例产业。

受益于政府的长期财政扶持,中国新能源汽车产业在全球处于领先水平,中国是研究新能源汽车

产业创新的最佳案例区之一^[25-26]。随着知识变得日益复杂,同时伴随信息和交通技术的不断进步,传统意义上的创新活动由线性转向非线性。在复杂的创新活动中,主体间的联系和合作显得尤为重要。反映在具体的正式创新产出上,创新成果不仅包括相对独立的创新活动,还包括合作创新。后者的主体联系即组成了显性的创新网络。因此,创新活动覆盖范围更广,既包括独立的创新活动,也包括合作创新,而创新网络是表征合作创新活动的重要形式。据此,本文选取中国新能源汽车产业作为研究对象,从多尺度视角分析创新活动和创新网络格局的尺度关系和空间特征,并讨论不同尺度下技术创新的空间分类,以期和技术创新的多尺度空间模式提供直接的实证证据。

1 数据与方法

1.1 研究数据

本文的数据来源于国家专利局(SIPO)。新能源汽车是指采用非常规动力来源的汽车,故这里使用的检索字段为纯电动、新能源、混合动力、氢动力以及燃料汽车。在此检索方式下,所涉及的产业环节不仅包括汽车生产制造本身,产业上游的金属材料、化学材料以及电池、电机和电控等的制造与创新,产业下游的充电设施和智能化过程都将被覆盖。所获专利均为有效授权专利。2004—2018年国内新能源汽车产业创新专利数量为16470项,合作创新专利共1428项。由于本文针对的核心问题为新能源汽车产业整体的多尺度创新分布与网络格局,不同环节间的结构性差异在此不进行分析。受新能源汽车产业发展影响,产业技术专利在2004年之前数量较少。中国对新能源汽车产业的实际投入从2001年开始,产业专利出现增加。到2015年,政府的财政补贴逐步缩减,预计在未来几年逐步退出。因此,本文选择2001—2015年作为研究时间段。在具体的数据获取过程中,由于创新投入到产出存在滞后性特征,这一滞后时长大致在3 a左右^[27]。因此,为研究2001—2015年的中国新能源汽车产业创新空间格局及网络特征,本文选择2004—2018年的专利数据进行分析。研究数据的获取日期为2020年10月15日。一般说来,专利由申请到公开的时间大致在18个月左右,因此,截至

2018年的专利数据较为完整。

本文从“区域—省域—市域”对多尺度进行划分。参考前人研究^[28],将中国区域划分为8大分区,即分别为东北、北部沿海、东部沿海、南部沿海、长江中游、黄河中游、大西北和大西南(因数据所限,未包括港澳台地区)^①。如前所述,创新活动的具体形式除独立创新外,主体之间的合作也是创新活动的重要组成部分。在实际的创新合作中,创新者之间常常会表现出超地方、跨区域甚至跨国界的空间特征。为了对这种本地和空间外的创新联系进行深层次刻画,本文进一步从内部创新网络和外部创新网络2个维度对创新合作进行分析。这里内部创新网络是指在特定尺度空间范围内的创新合作关系,即创新联系中的双边主体均在各城市内部、各省内部和各区域内部;外部创新网络则是超越特定空间的创新合作关系,即创新主体在某省内各城市之间、某区域内各省份之间和国家内各区域之间形成的网络联系。以此为基础,跨地方和跨区域的创新网络得以刻画。需要指出的是,在本文研究时间段所涉及的来自中国专利受理局的新能源汽车产业专利数据中,海外专利共计507项,其中合作专利40项,仅有3项与国内主体合作。可见,跨国合作的规模在该阶段的中国新能源汽车产业中十分有限,可以忽略不计,故本文不对此进行深入讨论。

在中国新能源汽车产业中,2003年前皆为独立创新活动,2003年后开始出现内部创新网络,2006年后开始稳定出现外部创新网络。因此,针对创新网络的研究时间段为2003—2015年,其中,内部创新网络的研究时间段为2003—2015年,外部创新网络的研究时间段为2006—2015年。

1.2 研究方法

1.2.1 泰尔指数嵌套分析法

使用泰尔指数嵌套分析法对不同尺度在总体差异上的影响大小进行分析。运用该方法,结合本文的尺度划分体系,全国总体差异可以被拆分为区域间差异(T_{BR})、省间差异(T_{BP})以及省内差异(T_{WP})。通过对不同尺度进行嵌套式的分解,可以得到创新活动在各尺度上的差异变化及其对总差异的贡献度比重。具体公式如下^[29]:

$$T = \sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \sum_j \left(\frac{Y_{ij}}{Y_i} \right) \sum_k \left(\frac{Y_{ijk}}{Y_{ij}} \right) \log \left[\frac{(Y_{ijk}/Y_{ij})}{(G_{ijk}/G_{ij})} \right] + \sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \sum_j \left(\frac{Y_{ij}}{Y_i} \right) \log \left[\frac{(Y_{ij}/Y_i)}{(G_{ij}/G_i)} \right] + \sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \log \left[\frac{(Y_i/Y)}{(G_i/G)} \right] \quad (1)$$

$$T = T_{WP} + T_{BP} + T_{BR} \quad (2)$$

式中: T 为创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)在全国范围内的总体差异, T_{BR} 为创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)在区域间的差异, T_{BP} 为创新活动在省间的差异, T_{WP} 为创新活动在省内的差异; Y 、 Y_i 、 Y_{ij} 、 Y_{ijk} 分别为在全国、 i 区、 i 区中的 j 省以及 i 区中 j 省的 k 市的创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的规模水平; G 、 G_i 、 G_{ij} 、 G_{ijk} 分别为在全国、 i 区、 i 区中的 j 省以及 i 区中 j 省的 k 市的创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的人均规模水平。

1.2.2 变异系数与基尼系数

采用变异系数和基尼系数对创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)在不同尺度上的规模差异进行测度。总的来说,这2个系数越大,则区域创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的规模差异也越大。具体来看,变异系数针对的是单元与平均值的对比,而基尼系数关注的是单元间的对比。公式如下:

$$C_v = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$G = \frac{1}{2n(n-1)\bar{x}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i - x_j| \quad (4)$$

式中: C_v 是变异系数, G 为基尼系数, n 为对应尺度的研究单元的总数; x_i 和 x_j 是 i 单元和 j 单元中创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的规模水平, \bar{x} 为各尺度上的创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的规模均值。

1.2.3 空间相关与空间分类

(1) 空间相关

该方法研究创新活动在研究尺度上所有空间

① 具体来看,各区域包含以下省份:东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁;北部沿海包括北京、天津、河北、山东;东部沿海包括江苏、上海、浙江;南部沿海包括福建、广东、海南;长江中游包括安徽、江西、湖南、湖北;黄河中游包括河南、陕西、山西、内蒙古;大西北包括宁夏、甘肃、青海、西藏、新疆;大西南包括四川、重庆、广西、云南、贵州。

单元的整体空间关系和局部空间关系。在对全局自相关关系进行分析时,测度的指标为 Moran's I , 具体公式^[30]如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(5)

式中: W_{ij} 为空间权重, x_i 为第 i 个单元上的观测值, \bar{x} 为观测单元的平均值。

对于局部空间关系,采用 Local Moran's I ^[31]和 Getis-Ord G_i^* 指数 2 种方法综合考量局部上的空间关系。具体公式如下:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n W_{ij} z_j$$

(6)

式中: z_i 和 z_j 是区域 i 和区域 j 上观测值的标准化值; W_{ij} 为空间权重。根据 I_i 值的不同,区域 i 可以被划分高高、高低、低低以及低高象限,进而可以判断各空间单元之间的相互关系。

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}(d) x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

(7)

若 G_i^* 显著为正,则表示区域 i 周围存在显著的高值集聚特征,即为创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的集聚热点;若 G_i^* 显著为负,则表示区域 i 周围存在显著的低值集聚特征,即为创新活动(或内部创新网络和外部创新网络)的集聚冷点。

(2) 空间分类

对不同尺度上各研究单元创新活动和创新网络的规模水平值进行划分,以探索空间分类在多尺度上的规律。使用 ArcGIS 软件中的 Jenks 最佳分类法,将空间单元上的创新活动或创新网络规模划分为 4 个等级,分别为高水平、中高水平、中低水平、低水平。在此基础上,按照规模水平之间的关系进行相互匹配,对空间单元进一步划分。共可分为 4 类(表 1)。

2 中国新能源汽车产业创新空间格局的多尺度特征

2.1 创新活动分布的多尺度特征

(1) 尺度分解

中国新能源汽车产业创新活动的空间分布在

市域尺度上的差异最显著,区域次之,省域尺度上的差异最小。具体分析泰尔指数嵌套分析的研究结果可知,2001—2015 年间:① 市域尺度上的差异显著高于区域尺度和省域尺度上的差异,其在总体差异中占有最大权重,且该差异特征日益突出;② 区域与省域尺度上的创新活动差异趋势较为稳定,但更具体地,区域尺度上的差异在总体差异中占有比省域尺度差异更大的权重(表 2)。换句话说,在中国新能源汽车产业中,相比于区域和省域尺度,市域尺度的创新活动空间分布尤其需要研究者们重点关注。

表 1 创新活动与创新网络的空间关系类型划分
Tab.1 Types of spatial relationship between innovation activities and innovation networks

具体类型	主要特征
第 I 型:高值正向强化	创新活动规模高或中高,创新网络规模高或中高
第 II 型:高值负向背离	创新活动规模高或中高,创新网络规模低或中低
第 III 型:低值负向背离	创新活动规模低或中低,创新网络规模高或中高
第 IV 型:低值正向强化	创新活动规模低或中低,创新网络规模低或中低

表 2 2001—2015 年多尺度创新活动的泰尔指数
嵌套分解和贡献度构成

Tab.2 Theil nesting index and scale decomposition of multilevel innovation activities, 2001–2015

年份	泰尔指数					
	市域尺度		省域尺度		区域尺度	
	指数	权重/%	指数	权重/%	指数	权重/%
2001	-1.64	50.52	-0.69	21.34	-0.91	28.14
2002	-2.22	59.72	-0.58	15.61	-0.92	24.67
2003	-1.89	57.19	-0.54	16.23	-0.88	26.58
2004	-2.31	61.53	-0.60	16.04	-0.84	22.43
2005	-2.07	57.81	-0.64	17.88	-0.87	24.31
2006	-1.97	57.95	-0.58	16.92	-0.85	25.13
2007	-2.23	60.04	-0.62	16.75	-0.86	23.21
2008	-2.17	59.39	-0.63	17.15	-0.86	23.46
2009	-2.30	61.26	-0.58	15.54	-0.87	23.20
2010	-2.12	59.50	-0.58	16.26	-0.87	24.24
2011	-2.43	62.64	-0.59	15.12	-0.86	22.24
2012	-2.54	63.51	-0.60	14.94	-0.86	21.55
2013	-2.37	62.74	-0.54	14.26	-0.87	23.00
2014	-1.73	55.73	-0.51	16.25	-0.87	28.02
2015	-2.97	68.40	-0.51	11.71	-0.86	19.89

(2) 差异演化的多尺度分析

中国新能源汽车产业创新活动的空间分布在市域尺度上的变异最显著,省域尺度次之,区域尺度上的变异最小。具体来说,2001—2015年:①根据变异系数和基尼系数的分析结果,市域尺度上的变异情况最为突出,但这样的差异呈下降趋势。省域的创新活动分布变异较区域尺度更大,两者的变化相对稳定。②根据全局空间自相关的分析结果,市域尺度与省域尺度均逐步表现出正相关的空间关系,但市域尺度拥有更强和更稳定的显著性特征(表3)。结合尺度嵌套的分析结果,分析中国新能源汽车产业技术创新活动的空间分布时,市域尺度上的空间分布变异尤其值得注意。

由于市域尺度上有更多的空间单元出现创新活动值为零的情况,这在很大程度上造成了市域尺度上的差异更加显著。市域尺度上变异系数不断下滑的结果则从侧面反映出中国新能源汽车产业创新活动在全国范围内更加广泛地发展。同时,基尼系数的下降也成为单元间不平衡现象得到一定缓解的证据。相比较而言,省域与区域层面的变异系数和基尼系数则保持相对稳定。换言之,新能源汽车产业创新活动在省域与区域尺度上分布的不均衡程度没有发生剧烈变化。

需要强调的是,由于省域和市域尺度的全局莫

兰指数自2007年开始出现显著,因此,下文中2个尺度上的局部自相关分析时间段为2007—2015年。

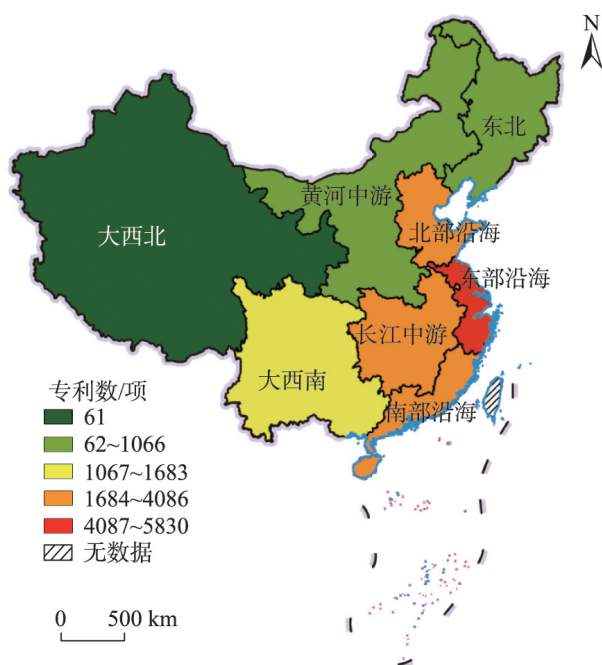
(3) 空间格局的多尺度分析

在区域尺度上,中国新能源汽车产业创新活动存在显著的区域间分异格局,并集中在东部沿海、北部沿海、南部沿海以及长江中游地区。由于区域尺度上单元数量仅有8个,因此无法进行热点分析以及局部空间自相关分析。本文仅对区域尺度上基本空间分布格局进行可视化表达。2001—2015年,中国新能源汽车产业创新活动主要分布于东部沿海、北部沿海、南部沿海及长江中游地区,上述地区拥有16507项相关专利,占全国的82.3%;相反,大西南、东北、黄河中游及大西北地区专利数量少,拥有专利数量为3545项,占全国的17.7%(图1)。

在省域尺度上,中国新能源汽车产业创新活动主要集中在东部沿海的江苏、浙江,南部沿海的广东以及长江中游的安徽。北部沿海的山东、长江中游的江西以及南部沿海的福建也开始出现更多的新能源汽车技术创新活动。具体分析省域尺度上的创新活动空间格局发现,2007—2015年:①江苏、广东、安徽、北京是中国新能源汽车产业创新活动的主要集聚区,它们集中了50.9%的全国专利。浙江、上海、山东、重庆、河南是创新活动的重要集聚区,它们集中了26.5%的全国专利。②分析创新

表3 2001—2015年多尺度创新活动的变异系数、基尼系数和全局莫兰指数
Tab.3 Coefficient of variation, Gini index, and global Moran's *I* of multilevel innovation activities, 2001–2015

年份	变异系数			基尼系数			全局莫兰指数			
	市域 尺度	省域 尺度	区域 尺度	市域 尺度	省域 尺度	区域 尺度	市域尺度		省域尺度	
							Moran's <i>I</i>	<i>P</i> 值	Moran's <i>I</i>	<i>P</i> 值
2001	6.56	1.75	0.95	0.98	0.78	0.60	0.007	0.40	−0.060	0.70
2002	6.27	1.56	0.75	0.97	0.72	0.48	−0.008	0.67	−0.056	0.73
2003	6.88	1.92	0.79	0.98	0.81	0.51	0	0.83	−0.077	0.52
2004	7.53	1.95	0.95	0.97	0.75	0.52	−0.006	0.75	−0.019	0.83
2005	6.22	1.67	0.72	0.96	0.75	0.46	0.003	0.62	−0.128	0.19
2006	5.78	1.56	0.78	0.95	0.71	0.50	0.005	0.50	0.044	0.30
2007	4.40	1.24	0.75	0.93	0.64	0.48	0.044	<0.01	0.109	0.09
2008	4.30	1.24	0.75	0.92	0.65	0.48	0.038	<0.01	0.114	0.07
2009	4.65	1.33	0.79	0.93	0.67	0.49	0.037	<0.01	0.054	0.27
2010	4.18	1.23	0.69	0.93	0.65	0.44	0.044	<0.01	0.072	0.20
2011	4.70	1.41	0.77	0.92	0.68	0.49	0.039	<0.01	0.009	0.59
2012	4.03	1.23	0.77	0.91	0.64	0.49	0.060	<0.01	0.112	0.07
2013	4.11	1.34	0.78	0.90	0.67	0.50	0.061	<0.01	0.057	0.27
2014	3.56	1.36	0.77	0.89	0.66	0.49	0.095	<0.01	0.037	0.39
2015	3.16	1.40	0.77	0.87	0.67	0.49	0.162	<0.01	0.123	0.05



注: 本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2020)4619号的标准地图制作, 底图无修改。

图1 2001—2015年区域尺度创新活动格局

Fig.1 Innovation activity distribution at the regional level, 2001–2015

活动分布的空间关联格局可知, 江苏、浙江以及安徽持续保持高高型集聚的空间特征, 上海的高高型集聚特征在2015年变得不显著。同时, 广东呈现出高低型集聚的地理特征(图2a、2b)。③分析创新活动分布的冷热点格局发现, 创新活动热点进一步集中。以上海、江苏、浙江为核心, 创新活动的热点格局扩散至山东、安徽、江西、福建等省份(图2c、2d)。

在市域尺度上, 北京在中国新能源汽车产业技术创新活动中拥有绝对优势, 重要省份中的核心城市拥有更高水平的新能源汽车产业技术产出。正向的空间关联关系在长三角城市群中的扩散最为显著。具体分析市域尺度上的创新活动, 研究发现: ①北京在技术创新产出上最具竞争力, 共有2338项专利, 占全国总量的11.6%。深圳、上海、芜湖、合肥、重庆、南京、广州、杭州、苏州亦拥有较大规模的创新活动, 共7585项, 占比37.7%。②分析创新活动的空间关联格局可知, 以上海、南京、杭州和合肥为核心的长三角地区呈现出显著的高高集聚特征, 并蔓延扩散。以深圳为核心的珠三角地区在高高集聚特征上出现一定程度的蔓延。特别地, 北京、重庆和成都的创新活动空间分布表现出高低离散状态(图2e、2f)。③分析创新活动的冷热点格局

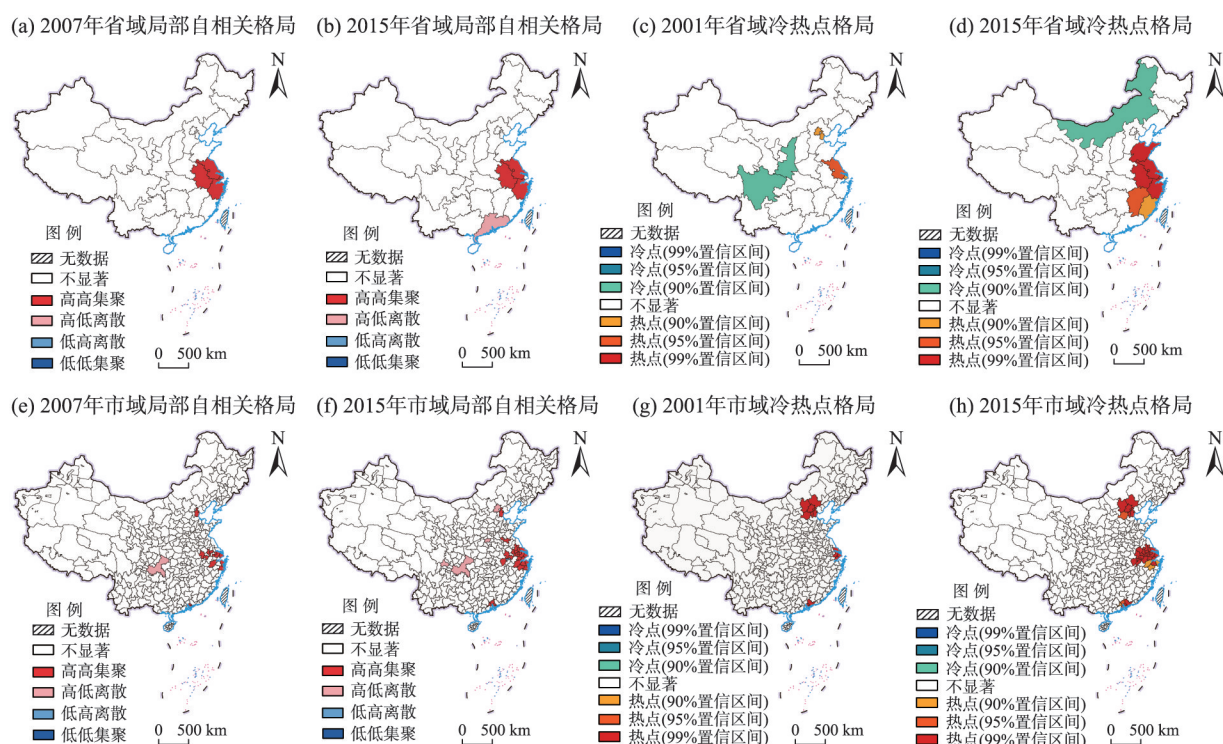


图2 省域与市域尺度创新活动空间相关与冷热点变化

Fig.2 Local Moran's I and Getis-Ord G_i^* at the provincial and municipal levels

局发现,创新活动的热点范围集中并扩大。具体来看,在长三角地区,创新活动出现以上海、南京为核心的明显扩散。在珠三角地区和京津冀地区,创新活动集聚格局分别以深圳、广州和北京、天津为核心,相对稳定(图2g、2h)。

总的来看,在中国新能源汽车产业中,市域层面是研究技术创新活动格局的重点尺度,主要体现在以下几个方面:市域尺度上,创新活动空间分布的差异最显著,创新活动空间分布的变异最显著,创新活动的集聚特征最突出。空间上,重要省份的核心城市以及长三角地区的主要城市是形成集聚的中心。从集聚理论和知识特点出发,新能源汽车产业创新活动的分布格局可以被理解为新能源汽车产业隐性知识的空间特征。以此出发,这样的结果意味着,在新能源汽车产业中,隐性知识显著受到地理空间的约束,知识的分布集中于少数在制度环境、科研机构和设施配套等方面具有优势的地方。在产业演化过程中,隐性知识以这些地方为基础向周边地方发生扩散,进而出现尺度上推——在更大尺度下的空间单元内,新能源汽车产业创新得到发展。

从“区域—省域—市域”等尺度上看,在中国新能源汽车产业中,创新活动表现出尺度嵌套的典型特征。由于中央政策对中国新能源汽车产业创新主体的影响是普遍且统一的,因此产生地方分异的原因不在于中央政策,而在于区域与地方的创新系统。创新主体更可能在哪里出现,更愿意在哪里集聚,将对创新活动的分布产生直接影响。在汽车动力新能源化的过程中,传统汽车生产商反应过程普遍滞后,大量新兴创新主体介入产业发展,这对区域和地方的环境提出了不一样的要求。简单说来,由于京津冀、长三角以及珠三角地区的制度环境具有优势,民营企业较为活跃。同时,知识基础和金融资本在上述区域又具备坚实基础,创新活动便更易于在这些地方发生。

2.2 创新网络格局的多尺度特征

2.2.1 内部创新网络

(1) 尺度分解

总的说来,中国新能源汽车产业内部创新网络的空间分布在区域层面上最为显著,省域次之,市域尺度上的差异最小。具体分析内部创新网络的泰尔指数嵌套分析结果可知,2003—2015年间:①区域尺度上的差异显著高于省域尺度和市域尺度

上的差异,其在总体差异中占有最大权重,并保持稳定;②省域尺度上的内部创新网络差异波动下降,市域尺度的差异相对稳定;但在总体差异中,省域尺度仍然占有比市域尺度大得多的权重(表4)。即在中国新能源汽车产业中,相比于省域和市域尺度,区域尺度上的内部创新网络空间格局需要重点关注。

(2) 差异演化的多尺度分析

研究中国新能源汽车产业的内部创新网络空间分布时,市域尺度上的空间分布变异尤其值得关注。根据变异系数和基尼系数的分析结果(表5),2003—2015年,对于内部创新网络而言,市域尺度上的变异情况最为突出,但各尺度间的差异在不断缩小。

与创新活动相似,内部创新网络也在市域尺度上面临大量值为零的客观现实。上述证据反映出,相比较而言,市域尺度上新能源汽车产业内部创新网络出现较为广泛的提升,但是空间单元间的不均衡现象表现突出。与之形成对比,新能源汽车产业中,省域尺度和区域尺度上各单元内部创新网络普遍提升的同时,单元间的差异则出现比较显著的缩小,空间分布不平衡现象得到一定程度的缓解,但仍存在较大差异。

表4 2003—2015年多尺度内部创新网络的泰尔指数
嵌套分解和贡献度构成

Tab.4 Theil nesting index and scale decomposition of
multilevel internal innovation networks, 2003–2015

年份	泰尔指数					
	市域尺度		省域尺度		区域尺度	
	指数	权重/%	指数	权重/%	指数	权重/%
2003	0.05	2.14	-1.66	67.89	-0.73	29.97
2004	0.02	1.44	-0.89	53.52	-0.75	45.05
2005	0.02	1.05	-0.73	47.03	-0.80	51.92
2006	-0.11	4.52	-1.47	58.35	-0.94	37.14
2007	0	0.07	-0.51	38.13	-0.82	61.80
2008	0	0.22	-0.64	43.62	-0.83	56.16
2009	-0.04	2.69	-0.50	35.60	-0.87	61.71
2010	-0.07	4.58	-0.50	35.03	-0.87	60.39
2011	-0.04	2.67	-0.51	35.85	-0.87	61.48
2012	-0.03	2.05	-0.40	31.65	-0.84	66.30
2013	-0.04	2.78	-0.49	35.95	-0.84	61.27
2014	-0.04	3.45	-0.33	26.38	-0.89	70.16
2015	-0.08	5.36	-0.47	33.02	-0.88	61.62

表5 2003—2015年多尺度内部创新网络和外部创新网络的变异系数和基尼系数

Tab.5 Coefficient of variation and Gini index of multilevel internal and external innovation networks, 2003–2015

年份	内部网络						外部网络					
	变异系数			基尼系数			变异系数			基尼系数		
	市域尺度	省域尺度	区域尺度	市域尺度	省域尺度	区域尺度	市域尺度	省域尺度	区域尺度	市域尺度	省域尺度	区域尺度
2003	18.97	5.48	2.65	1.00	1.00	1.00	254.91	21.54	5.20	1.00	1.00	1.00
2004	18.97	4.03	1.86	1.00	0.98	0.90	254.91	0	0	1.00	0	0
2005	12.53	3.54	1.58	1.00	0.95	0.79	0	0	0	0	0	0
2006	11.59	3.68	2.65	1.00	0.97	1.00	140.96	14.08	3.32	1.00	1.00	0.96
2007	10.87	2.70	1.23	0.99	0.87	0.71	102.12	11.37	3.61	1.00	0.99	0.96
2008	15.45	3.36	1.49	1.00	0.95	0.82	111.14	10.90	3.28	1.00	0.99	0.94
2009	8.86	2.74	0.83	0.99	0.91	0.46	97.85	8.70	1.87	1.00	0.99	0.83
2010	6.83	2.10	1.32	0.98	0.84	0.74	51.24	5.34	2.27	1.00	0.97	0.86
2011	7.15	1.93	1.45	0.98	0.83	0.78	55.40	7.19	2.89	1.00	0.98	0.91
2012	6.93	1.76	1.17	0.98	0.79	0.68	63.21	6.82	2.71	1.00	0.98	0.88
2013	9.14	2.26	1.38	0.98	0.82	0.78	54.25	5.39	1.72	1.00	0.96	0.77
2014	6.18	1.68	1.28	0.97	0.75	0.64	54.19	5.41	2.03	1.00	0.96	0.79
2015	7.26	1.45	0.97	0.97	0.69	0.62	68.63	7.37	3.49	1.00	0.97	0.90

(3) 空间格局的多尺度分析

区域尺度上的内部创新网络结果显示(图3a):中国新能源汽车产业内部创新网络主要集中于东部沿海和北部沿海地区。上述地区的内部创新网络联系分别为614次与511次,共占全国的68.10%;结合上文分析,大西南和黄河中游地区在创新活动规模上不具备竞争力,但其内部创新网络具备一定规模,共占19.61%;南部沿海和长江中游地区在创新活动规模上拥有突出规模,但其内部创新网络数量却比较有限,占比之和仅为9.86%;东部和大西北地区的内部结网规模小,占比之和仅为5.80%。

省域尺度上的内部创新网络结果显示(图3b):在中国新能源汽车产业中,北京拥有省域尺度上联

系最多的内部创新网络,共计323次,占21.9%;浙江、江苏、重庆的内部创新网络联系也占有重要地位,分别占16.1%、14.0%和13.3%;重庆在创新活动规模上并不占优势。与之形成对比,广东、上海和山东虽然拥有较大体量的创新活动,但在内部网络联系规模上却十分有限。

市域尺度上的内部创新网络结果显示(图3c):在中国新能源汽车产业中,北京拥有全国最大的内部结网规模,共计323次,占比26.6%。重庆的结网规模亦具有突出地位,但远不及北京,仅占比16.2%。与其他尺度上的发现相类似,创新活动规模与内部创新网络体量可能会出现严重差异。许昌即是典型证据,它的内部结网规模占7.9%。而在

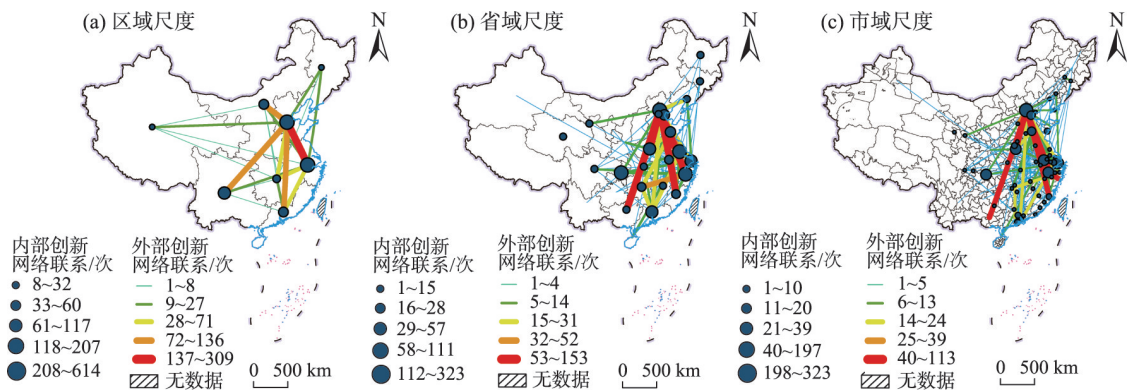


图3 2003—2015年多尺度创新网络空间格局

Fig.3 Distribution of multilevel innovation networks, 2003–2015

创新活动规模上排名第2位的深圳,仅拥有4项内部结网,占比仅为0.3%。

2.2.2 外部创新网络

(1) 尺度分解

总的来看,中国新能源汽车产业外部创新网络的空间分布特征在区域层面上最为显著,省域次之,市域尺度上的差异最小。表6是2003—2015年中国新能源汽车产业外部创新网络的多尺度泰尔指数嵌套分解结果。可见,外部创新网络自2006年后开始稳定出现。进一步具体分析2006—2015年间外部创新网络的泰尔指数嵌套分析结果发现:① 区域尺度上的差异显著高于省域尺度和市域尺度,并保持稳定。虽然其在全国范围内占比出现下滑,但仍远大于省域与市域的贡献度。② 省域尺度与市域尺度上,泰尔指数呈现“W”型变化特征;虽然市域尺度贡献度逐年上升,但省域尺度占有更大比重。这样的空间分布特征与内部创新网络相似。换言之,在中国新能源汽车产业中,相比于省域和市域尺度,区域尺度上的外部创新网络空间分布格局需要重点关注。

(2) 差异演化的多尺度分析

研究中国新能源汽车产业外部创新网络时,尤其需要关注市域尺度上的空间格局变异。根据变异系数和基尼系数的分析结果(表5),2006—2015

年,外部创新网络的空间差异程度依次为市域>省域>区域,各尺度间的变异情况差异较大,但均保持相对稳定。

在中国新能源汽车产业中,外部创新网络在各尺度上单元间的差异最为突出。虽然变异系数在各尺度上不断下降,但系数绝对值始终位于非常高的水平。同时,基尼系数也始终维持在高位。这样的结果意味着,在新能源汽车产业中,虽然外部创新网络在全国范围内不断发展,但在市域尺度和省域尺度上,只有非常有限的单元有能力建立外部联系,且外部创新网络的空间格局存在严重的不平衡。这样的情况在大尺度上得到改善,但更多的是因为零创新现象得到缓解,区域间的差异仍十分显著。

(3) 空间格局的多尺度分析

区域尺度上的外部创新网络结果显示(图3a):北部沿海是中国新能源汽车产业外部创新网络核心区域,拥有绝对地位。该区域参与的外部网络联系占77.0%;东部沿海亦扮演关键角色,其参与的外部合作占49.2%,但远低于北部沿海地区;虽然南部沿海拥有较大创新活动规模,但其外部结网规模并不占优势,仅占23.3%。长江中游、大西南、黄河中游的外部结网均比较有限,占15%左右;涉及东北和大西北的外部网络十分有限,分别仅为4.1%和1.7%。

分析区域尺度上的外部创新网络(图3b),结合相关数据,发现:在中国新能源汽车产业中,北京参与的外部创新网络联系最多,在全国占有绝对优势,共计682次,占58.1%。浙江、江苏、山东、河南、福建等省份也形成了较大规模的外部创新网络。需要指出的是,福建的外部创新网络规模与其创新活动体量不相匹配。与之形成对比,在创新活动上极具竞争力的广东,外部网络联系却十分有限。

分析市域尺度上的外部创新网络发现(图3c):在中国新能源汽车产业中,北京在外部联系上具有绝对优势,围绕北京的外部结网规模达到682次,占47.6%。杭州和南京的外部联系规模亦较大,但与北京存在很大差距。亦须指出的是,在创新活动上极具优势的深圳,所拥有的外部创新网络规模十分有限,仅占3.5%。

总的说来,在中国新能源汽车产业中,区域层面是分析技术创新网络格局的重点尺度。由于泰尔指数中的差异反映的是纵向截面上不同尺度间的区

表6 2003—2015年多尺度外部创新网络的泰尔指数嵌套分解和贡献度构成

Tab.6 Theil nesting index and scale decomposition of multilevel external innovation networks, 2003–2015

年份	泰尔指数					
	市域尺度		省域尺度		区域尺度	
	指数	权重/%	指数	权重/%	指数	权重/%
2003	-0.01	0.6	-1.47	74.8	-0.48	24.5
2004	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0
2006	-0.05	4.3	-0.60	48.6	-0.58	47.1
2007	-0.08	7.9	-0.34	34.9	-0.56	57.2
2008	-0.04	4.7	-0.33	34.9	-0.57	60.4
2009	-0.02	2.7	-0.10	14.9	-0.56	82.4
2010	-0.05	7.5	-0.09	12.3	-0.56	80.2
2011	-0.03	4.7	-0.11	16.4	-0.55	78.9
2012	-0.09	10.2	-0.20	23.3	-0.57	66.5
2013	-0.03	4.5	-0.10	14.7	-0.57	80.8
2014	-0.05	6.3	-0.16	20.3	-0.56	73.4
2015	-0.14	14.0	-0.32	31.2	-0.56	54.8

别,而变异反映的是横向截面上空间单元间的区别。因此,无论是内部创新网络还是外部创新网络,区域尺度值得特别关注。空间上,无论是内部创新网络还是外部创新网络,北部沿海均占有优势地位。

市域尺度上的内部创新网络由于其空间范围特定,因此它们更多地作为隐性知识的显性表征而存在。城市内部创新网络的空间分布与创新活动的空间分布格局相似。换言之,隐性知识驱动下的结网过程在具有创新环境优势的地方得到更大的发展;相反,外部创新网络和非市域尺度的内部创新网络在更大程度上反映显性知识的联系特征。基于此我们发现,中国新能源汽车产业中显性知识的联系具有非常显著的超地方属性。与隐形知识集中于少数具有创新系统优势的地方不同,显性知识在主体间的联系并不以此作为出发点。一些地方和省份虽然在创新环境上仍欠发展,但却能与重要的创新区建立高强度联系。在空间上,中国新能源汽车产业外部创新网络形成以京津冀为核心的分布格局。

从“区域—省域—市域”等多尺度分析,中国新能源汽车产业中创新网络表现出尺度交换的典型特征。创新主体的结网过程超越本地,并在大尺度上频繁交流。相较于合作创新方式,独立的创新行为也普遍存在。换言之,创新主体在合作上的行为动机与独立创新行为之间存在差异。其中,创新主体性质的差异是导致结网过程和空间格局不同的主要原因。在中国新能源汽车产业中,民营企业具有极强的创新能力。但是,出于知识产权保护与行业竞争的需要,他们往往在创新合作上十分保守。如比亚迪与宁德时代(位于南部沿海),均为中国新能源汽车产业的领军企业,却极少进行合作创新。反观国有企业,由于在全国范围内拥有庞大的组织体系,更容易开展以纵向组织关系为核心的结网行动,也更便于在全国范围内建立其超越地方的跨区域网络。如历史深远又处于垄断地位的国家电网,是中国新能源汽车产业中的关键主体,在新能源汽车产业中,该集团在全国范围内建立了以北方沿海为核心的大规模内部与外部创新网络。

3 中国新能源汽车产业创新空间分类的多尺度特征

重新审视前文中有关中国新能源汽车产业技

术创新格局的实证证据,可以发现创新活动和创新网络的空间格局在不同尺度上均存在较大差异。也就是说,拥有密集创新活动的空间单元并不一定拥有相应高强度的创新网络,缺乏创新活动的空间单元也并不一定建立不了高强度的创新联系。本节将根据创新活动与创新网络在规模上的关系,对不同尺度上的空间单元进行分类,以进一步解读中国新能源汽车产业技术创新的多尺度空间格局特征。

3.1 区域尺度:活动规模与网络规模之间存在结构性匹配

研究中国新能源汽车产业技术创新的区域尺度空间格局发现,创新活动规模高和低的区域在创新网络上拥有一致性的水平特征,但创新活动处于中间规模的区域并未表现出一致的竞争力。具体来看,2001—2015年:①东部沿海、北部沿海和南部沿海表现出“第Ⅰ型:高值正向强化”的空间特点。在拥有高水平创新活动规模的前提下,该区域也拥有高水平的创新网络规模。②长江中游表现出“第Ⅱ型:高值负向背离”的空间特点。虽然拥有中高水平的创新活动,但在创新网络上,它们的规模水平十分有限。③大西南表现出“第Ⅲ型:低值负向背离”的空间特点。该区域创新活动处于中低水平,但创新网络体量位于中高水平,且以内部网络居多。④其余区域属于“第Ⅳ型:低值正向强化”的空间单元,创新活动和创新网络规模保持一致的低水平特征(图4a~4d)。

3.2 省域尺度:内部创新网络的发生具有更大的确定性

分析中国新能源汽车产业技术创新的省域尺度空间格局可知,其内部创新网络拥有更强的确定性,而外部创新网络并不与创新活动规模相匹配。具体来看,2001—2015年:①在5个高水平创新活动的省份中,“第Ⅰ型:高值正向强化”的省份3个,分别为江苏、北京和浙江,“第Ⅱ型:高值负向背离”的省份2个,分别为广东和安徽。在这些高值创新活动的省份内,它们的内部创新网络优势较为稳定。②4个中高水平创新活动的省份皆为“第Ⅱ型:高值负向背离”的空间单元。但它们的内部创新网络大多保持着很大的规模体量。③在创新活动中处于中低水平和低水平的省份均为“第Ⅳ型:低值正向强化”,它们的创新网络规模普遍呈现对应的低水平特征(图4e~4h)。

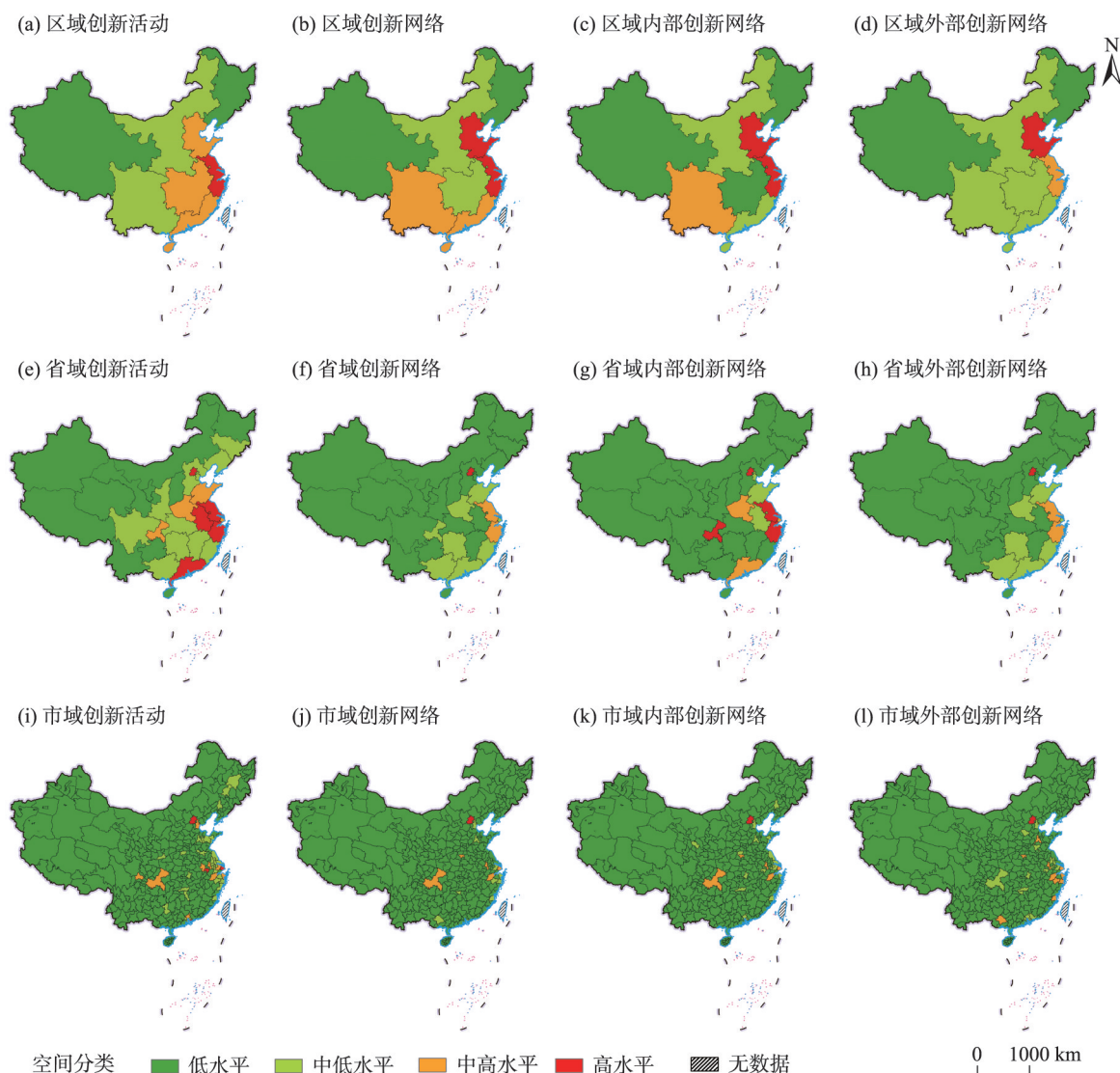


图4 2001—2015年区域—省域—市域多尺度上空间分类的格局

Fig.4 The distribution of multilevel spatial classification, 2001–2015

3.3 市域尺度：活动规模与网络规模间存在很强的不确定性

分析中国新能源汽车产业技术创新的市域尺度空间格局可知,创新活动规模与创新网络规模之间的关系存在很强的不确定性。具体来看,2001—2015年:①对于13个创新活动高水平和中高水平的城市而言,“第I型:高值正向强化”的城市共5个,即北京、上海、重庆、南京和杭州。“第II型:高值负向背离”的城市共8个,分别为深圳、芜湖、合肥、广州、苏州、天津、宁波和成都。创新活动具备较大规模,但是创新网络不具备优势的情况在市域尺度上并不罕见。②对于256个创新活动低水平和中低水平的城市而言,“第IV型:低值正向强化”城市数量为

255个,“第III型:低值负向背离”仅1个,即许昌。但是,在外部创新网络上,有6个城市,济南、福州、台州、金华、许昌和南宁具有突出规模。虽然这些城市占比并不大,但仍反映出的一个关键事实,即在创新活动不占优势的地方,外部创新网络存在突变的可能性(图4i~4l)。

总的说来,在中国新能源汽车产业中,创新活动与创新网络之间在不同尺度上存在不同程度的差异。观察典型的空间,广东表现出“第II型:高值负向背离”的特点,其中最为典型的是深圳。河南表现出“第II型:高值负向背离”,但许昌表现出截然不同的“第III型:低值负向背离”。

在中国新能源汽车产业中,创新活动与创新网

络的空间格局不匹配,同时,大尺度格局对小尺度格局不能形成约束。分析背后的过程,剖析创新主体是解读这一现象的关键。如前所述,在区域创新环境的影响下,经济发达的省份在催生新创主体上更具优势。传统汽车生产商和电气部门供应商的存在,又使得新能源汽车产业创新活动的空间分布变得复杂多样。一般说来,由于建立的时间更长,这些主体往往在全国范围内拥有更为庞大的组织体系。根据所有权,集团总部与分公司之间形成“控制”和“被控制”的关系。基于这样的联系,创新网络的空间范围很大程度上取决于这些创新主体本身的经营范围。与全国性垄断企业国家电网形成对比的是长安汽车,它所建立的创新网络局限于重庆而很难突破空间边界并形成内部创新网络。与之相反,国家电网凭借强有力的控制能力,使得外部创新网络广泛发生。这一行动在空间上的表征即为,部分地方在缺少创新活动的情况下,仍然建立起具备规模的外部创新网络。另一种极端情况是,关键部门的领先企业出于保护知识产权而更多地选择独立创新,最为典型的即比亚迪。作为空间上的结果,深圳拥有大量创新活动,却在创新结网方面没有与之相匹配的规模。

4 结论与讨论

创新活动和创新网络的多尺度空间模式是创新经济地理学研究的热点。新能源汽车产业兼顾隐性知识和显性知识的特征,是研究多尺度技术创新空间分布的合适产业之一。本文将中国新能源汽车产业技术创新分为独立创新活动与合作创新网络,并对它们的多尺度特征进行解析。基于规模特征,从不同尺度对中国新能源汽车产业技术创新的空间格局进行分类,得到以下结论:

(1) 中国新能源汽车产业技术创新活动的空间分布表现出多尺度嵌套关系。创新活动在很大程度上需要从市域尺度上进行分析。同时,地方集聚可以有效影响创新活动的空间分布。共享、匹配与知识溢出,叠加产业政策与地方环境的影响,创新活动的空间分布受到向心力的作用。因此,结构性的地方环境在创新活动的尺度聚焦过程中具有很强的解释力,尺度间也形成了由上至下的嵌套关系,即创新活动的空间关系表现出“多尺度结构性嵌套过程”。

(2) 中国新能源汽车产业技术创新网络的空间格局表现出多尺度交换关系,即无论是内部创新网络还是外部创新网络,区域尺度都是研究创新网络的重要空间范围。创新合作关系实际上是创新主体的技术和知识交换的过程。在这一过程中,创新主体的行动具有能动性的本质特征,即主体在多种动力的推动下,主动或者被动地达成合作关系,形成正式创新网络。这些合作可以在很大程度上超越地理空间,其动力来源于组织上的隶属关系、知识上的互补关系以及个体间的社会关系。这样的多尺度层级关系,需要更多地从“多尺度能动性交换过程”进行研究。

(3) 中国新能源汽车产业技术创新活动和技术创新网络之间在不同尺度上的空间分布存在异质性特征。虽然创新产出的空间格局具有一定的经济依赖性,但在一些创新活动具有优势的省份和城市,不一定产生与创新产出规模相匹配的创新网络。同时,大空间尺度并不能对小尺度形成约束,影响创新活动分布的因素和影响创新网络结网的因素存在差异。

综上所述,创新活动广泛存在于创新主体之间的相互联系、彼此合作和知识溢出的过程中,网络化是创新的重要形式。但同时,大量的专利成果以独立形式申请,故仅从合作的角度研究创新的发生有失偏颇。事实上,无论是创新主体的产生还是创新活动的发生,都在不同程度上具有空间依赖性,也因空间集聚而长期获益^[32-33],不同尺度上创新环境对创新者具有重要意义,这样的结构性影响表现为自上而下的嵌套过程。此外,创新主体之间的合作与选择存在另一种逻辑,地理环境不能决定网络的结构,合作联系的构建在很大程度上取决于创新主体的主观行动^[34]。在产业的知识类型和参与者结构既定的背景下,创新者自身的性质属性、知识体系和未来的认知方向将是其做出决策的出发点。未来研究过程中,学者们应对两者之间的差别给予更多关注。

参考文献(References)

- [1] 孙瑜康, 李国平, 袁薇薇, 等. 创新活动空间集聚及其影响机制研究评述与展望 [J]. 人文地理, 2017, 32(5): 17-24. [Sun Yukang, Li Guoping, Yuan Weiwei, et al. The spatial concentration of innovation and its mechanisms: A literature review and prospect. Human Geography, 2017, 32(5): 17-24.]

- [2] Dutta S, Lanvin B, Wunsch-Vincent S. The global innovation index 2019: Creating healthy lives: The future of medical innovation [R]. Geneva, Switzerland: World Intellectual Property Organization, 2019.
- [3] Buzard K, Carlino G A, Hunt R M, et al. Localized knowledge spillovers: Evidence from the agglomeration of American R&D labs and patent data [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2020, 81: 103490. doi: 10.1016/j.regsciurbeco.2019.103490.
- [4] Halbert L. Collaborative and collective: Reflexive co-ordination and the dynamics of open innovation in the digital industry clusters of the Paris region [J]. *Urban Studies*, 2012, 49(11): 2357-2376.
- [5] World Intellectual Property Organization (WIPO). World intellectual property report 2019: The geography of innovation: Local hotspots, global networks [R]. Geneva, Switzerland: WIPO, 2019.
- [6] 马双, 曾刚. 多尺度视角下中国城市创新网络格局及邻近性机理分析 [J]. *人文地理*, 2020, 35(1): 95-103. [Ma Shuang, Zeng Gang. Analysis of China's urban innovation network pattern and its proximity mechanism from a multi-scale perspective. *Human Geography*, 2020, 35(1): 95-103.]
- [7] Carlino G, Kerr W R. Agglomeration and innovation [R]. National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 20367. Cambridge, USA: National Bureau of Economic Research, 2014.
- [8] Helsley R W, Strange W C. Innovation and input sharing [J]. *Journal of Urban Economics*, 2002, 51(1): 25-45.
- [9] Berliant M, Reed R R, Wang P. Knowledge exchange, matching, and agglomeration [J]. *Journal of Urban Economics*, 2006, 60(1): 69-95.
- [10] Fallick B, Fleischmann C, Rebitzer J. Job-hopping in silicon valley: Some evidence concerning the micro-foundations of a high technology cluster [R]. National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 11710. Cambridge, USA: National Bureau of Economic Research, 2005.
- [11] Audretsch B. Agglomeration and the location of innovative activity [J]. *Oxford Review of Economic Policy*, 1998, 14(2): 18-29.
- [12] Martin R, Sunley P. Deconstructing clusters: Chaotic concept or policy panacea? [J]. *Journal of Economic Geography*, 2003, 3(1): 5-35.
- [13] Boschma R. Proximity and innovation: A critical assessment [J]. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- [14] 符文颖, 杨家蕊. 创新地理学的批判性思考: 基于中国情境的理论创新 [J]. *地理研究*, 2020, 39(5): 1018-1027. [Fu Wenying, Yang Jiarui. Critical reflections on the geography of innovation: A prospect of theoretical progress from Chinese scenarios. *Geographical Research*, 2020, 39(5): 1018-1027.]
- [15] 朱晟君, 黄永源, 胡晓辉. 多尺度视角下的产业价值链与空间升级研究框架与展望 [J]. *地理科学进展*, 2020, 39(8): 1367-1384. [Zhu Shengjun, Huang Yongyuan, Hu Xiaohui. Research framework and prospect of industrial value chain upgrading and spatial upgrading based on a multiple scale perspective. *Progress in Geography*, 2020, 39(8): 1367-1384.]
- [16] 野中郁次郎, 竹内弘高. 知识创造的螺旋: 知识管理理论与案例研究 [M]. 北京: 知识产权出版社, 2012: 1-349. [Ikujiro Nonaka, Hirotaka Takeuchi. The spiral of knowledge creation: knowledge management theory and case study. Beijing, China: Intellectual Property Publishing House, 2012: 1-349.]
- [17] 曹贤忠, 曾刚, 司月芳. 网络资本、知识流动与区域经济增长: 一个文献述评 [J]. *经济问题探索*, 2016(6): 175-184. [Cao Xianzhong, Zeng Gang, Si Yuefang. Network capital, knowledge flows and regional economy development: A review. *Inquiry into Economic Issues*, 2016(6): 175-184.]
- [18] 王缉慈. 创新的空间: 企业集群与区域发展 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. [Wang Jici. Industrial clusters and regional development. Beijing, China: Science Press, 2001.]
- [19] Maskell P. Towards a knowledge: Based theory of the geographical cluster [J]. *Industrial and Corporate Change*, 2001, 10(4): 921-943.
- [20] Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation [J]. *Progress in Human Geography*, 2004, 28(1): 31-56.
- [21] Binz C, Truffer B. Global innovation systems: A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts [J]. *Research Policy*, 2017, 46(7): 1284-1298.
- [22] Dicken P. Global shift: Mapping the changing contours of the world economy [M]. New York, USA: The Guilford Press, 2015.
- [23] Wesseling J H, Niesten E M M I, Faber J, et al. Business strategies of incumbents in the market for electric vehicles: Opportunities and incentives for sustainable innovation [J]. *Business Strategy and the Environment*, 2015, 24(6): 518-531.

- [24] Jeannerat H, Kebir L. Knowledge, resources and markets: What economic system of valuation? [J]. *Regional Studies*, 2016, 50(2): 274-288.
- [25] Kimble C, Wang H. China's new energy vehicles: Value and innovation [J]. *Journal of Business Strategy*, 2013, 34(2): 13-20.
- [26] 余谦, 白梦平, 覃一冬. 多维邻近性能促进中国新能源汽车企业的合作创新吗? [J]. *研究与发展管理*, 2018, 30(6): 67-74. [Yu Qian, Bai Mengping, Qin Yidong. Does multi-dimensional proximity promote innovation cooperation between new energy automobile enterprises in China? *R&D Management*, 2018, 30(6): 67-74.]
- [27] Sun H P, Geng Y, Hu L X, et al. Measuring China's new energy vehicle patents: A social network analysis approach [J]. *Energy*, 2018, 153: 685-693.
- [28] 江孝君. 中国区域经济差异的多尺度时空演化特征及驱动机制研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2019. [Jiang Xiaojun. Study on the multi-scale spatio-temporal evolution characteristics and driving mechanism of regional economic differences in China. Changchun, China: Northeast Normal University, 2019.]
- [29] 鲁凤, 徐建华. 基于不同区划系统的中国区域经济差异分解研究 [J]. *人文地理*, 2006, 21(2): 77-81. [Lu Feng, Xu Jianhua. Study on the decomposition of the regional economic inequalities in China based on different regional division systems. *Human Geography*, 2006, 21(2): 77-81.]
- [30] Caragliu A, Nijkamp P. Space and knowledge spillovers in European regions: The impact of different forms of proximity on spatial knowledge diffusion [J]. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(3): 749-774.
- [31] Anselin L. Local indicators of spatial association: LISA [J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [32] 段吕晗, 杜德斌, 黄筱彧. 上海互联网新创企业的时空演化及影响因素 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38(3): 383-394. [Duan Lvhan, Du Debin, Huang Xiaoyu. Spatial and temporal changes and influencing factors of the location of internet start-ups in Shanghai, China. *Progress in Geography*, 2019, 38(3): 383-394.]
- [33] 侯纯光, 程钰, 任建兰, 等. 中国创新能力时空格局演变及其影响因素 [J]. *地理科学进展*, 2016, 35(10): 1206-1217. [Hou Chunguang, Cheng Yu, Ren Jianlan, et al. Spatiotemporal changes and influencing factors of innovation capacity in China. *Progress in Geography*, 2016, 35(10): 1206-1217.]
- [34] 朱晟君, 王翀. 制造业重构背景下的中国经济地理研究转向 [J]. *地理科学进展*, 2018, 37(7): 865-879. [Zhu Shengjun, Wang Chong. Shifts in China's economic geography studies in an era of industrial restructuring. *Progress in Geography*, 2018, 37(7): 865-879.]

Multilevel spatial patterns and network characteristics of China's new energy vehicle industrial technological innovation

ZHANG Kaihuang, QIAN Qinglan*, CHEN Qingyi

(School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 51006, China)

Abstract: Multilevel spatial models of innovation activities and innovation networks have been the focus of researchers. To provide more direct evidence for multilevel spatial model of innovation, we chose the new energy vehicle industry (NEV industry) as an example, because the knowledge in NEV industry is tacit and codified, which means it would be with a significant multilevel feature. This study used the patent data of 2004 to 2018 from the State Intellectual Property Office (SIPO) to analyze the multilevel spatial characteristics of China's NEV industry innovation from 2001 to 2015 because the patents in China would be published 18 to 24 months after the application and there is a time lag of almost 3 years between innovation input and output. We used the Theil coefficient to understand the multilevel structure, the coefficient of variation (CV) and Gini coefficient to clear the variation and difference of innovation at multiple levels, and the local Moran's I , Getis-Ord G_i^* , and natural breaks (Jenks) to map the spatial agglomerations and clustering. The results show that: 1) At the municipal level resides the strongest explanation of innovation activities and they are mainly agglomerated in the eastern coastal region (ECR) and northern coastal region (NCR), and the distribution of innovation activities are greatly different at the municipal level. 2) The regional level has the strongest explanatory power of internal and external innovation networks and they are mainly clustered in the ECR and NCR, and the distribution of innovation networks are quite different at the municipal level. 3) The distributions of innovation networks and innovation activities are significantly different at different spatial levels. Based on this reality, we point out that the formation mechanism of innovation activities and innovation networks are different. The spatial pattern of innovation activities is affected by regional innovation system, and the innovation networks are the result of actors' choices. We argue that it is difficult to explain the spatial characteristics of innovation networks only from the spatial perspective. Therefore, it is necessary to examine the formation process of innovation networks from a more micro level. Because the municipal level is the most important place for innovation activities and the regional level is the key area for innovation networks, as the Theil coefficient shows, we actually provide direct evidence for the multilevel structural nesting feature of innovation activities and the multilevel initiative interaction feature of innovation networks. It would be necessary for researchers to discuss the differences between them in the future.

Keywords: innovation activities; innovation networks; spatial pattern; new energy vehicle industry; China