

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

赵梓渝¹, 王士君², 陈肖飞³

(1. 青岛大学旅游与地理科学学院, 青岛 266071; 2. 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024;
3. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明省部共建协同创新中心, 开封 475001)

摘要: 在以模块化为代表的第三次汽车工业生产方式变革背景下, 新生产方式如何影响汽车工业空间组织演化, 如何基于经济地理学阐释其发生机制及剖析对特定产业集群的影响作用, 成为亟需解决的理论和现实问题。本文以一汽-大众为例, 基于整车制造的本土全覆盖一级供应链映射产业集群组织, 探讨地方—区域尺度下模块化生产对于汽车产业集群空间组织的影响。结果显示: ① 地方方式微: 本地集聚程度下降。模块化生产所带来的规模经济在一定程度上克服运输成本, 导致大型整车集团产业转移后对东道地生产依赖的下降和零部件供应商空间集聚的降低; ② 超越地方: 生产网络跨区重构。模块化生产将重组区域生产网络的组织结构, 反映出尺度生产和尺度重组过程对空间经济动态的重要性。长三角地区凭借制造业区域优势和完整汽车零部件产业链, 以产业集群作为行动主体参与到一汽-大众全国4个城市整车厂生产网络的分工协作中, 产生了“超越地方”的竞争优势; ③ 规模经济效应、知识技术共享和企业组织强化共同驱动模块化生产下汽车产业集群的空间组织重构。研究有助于理解生产方式调整与制造业产业集群空间组织结构演化的互动机制, 同时为以经济、制度、社会和创新为视角的产业地理研究提供有益补充。

关键词: 产业集群; 集群网络; 模块化生产; 供应链; 汽车工业; 中国
DOI: 10.11821/dlxb202108003

1 引言

2018年12月中央经济工作会议明确提出, 制造业高质量发展是2019年7项任务之首, 并进一步要求“促进新技术、新组织形式产业集群的形成和发展”。作为经济地理学研究的核心议题之一, 产业集群的空间组织研究有着深刻的研究基础和强烈的现实需求。生产方式是在一定技术条件下降低生产成本和进行资本积累的内在逻辑和技术方法, 受生产数据获取限制, 产业集群研究较少涉及生产方式改变对于产业集群空间组织演化的影响。基于生产方式转变视角深入剖析产业集群空间组织重构不仅有助于理解生产技术、生产方式与制造业产业集群空间组织结构的互动机制, 同时也是经济地理学对当前中国促进新技术、新组织形式产业集群形成和发展研究的积极响应。

收稿日期: 2020-05-18; 修订日期: 2021-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41630749, 41771161, 42001176); 教育部人文社会科学研究青年基金(20YJCZH241)
[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41630749, No.41771161, No.42001176; Youth Foundation of Humanities and Social Sciences of Ministry of Education, No.20YJCZH241]

作者简介: 赵梓渝(1986-), 男, 吉林长春人, 博士, 讲师, 硕导, 研究方向为城市网络与人口流动。

E-mail: 171462539@qq.com

通讯作者: 陈肖飞(1986-), 男, 河南三门峡人, 副教授, 硕导, 研究方向为产业集群与区域发展。

E-mail: chenfei_niglas@163.com

模块化生产是使用标准和独立子系统解决复杂系统问题的方法^[1], 随着20世纪中后期模块化大规模应用于IBM电脑制造, 学术界开始深入研究其内在涵义, 如模块生产方式的“分解与集中”、模块信息知识的“显性与隐性”、模块生产链条的“集中与分散”等。汽车产业模块化通常是指在零部件标准化的基础上, 将汽车各部分如发动机、变速箱、悬架等像积木一样以模块的形式自由组合和总成, 实现共享通用^[2]。在汽车工业百余年发展历程中, 生产方式从“福特式”过渡到“平台式”, 进而发展到“模块化”, 助推了汽车产业生产力的飞跃。在制造业装配方面, 模块化生产已不再局限于多款车型共享相同的物理底盘结构, 而是以衍生性更强的核心模块为基础, 允许对前悬、后悬、轴距甚至悬架等进行不同组合, 促成大量核心组件和整车系统的通用共享, 被誉为汽车工业转型历史进程的重要部分^[3]。生产方式转变是导致汽车制造业空间组织演化的主导因素之一^[4], 在以模块化为代表的第三次汽车生产方式变革背景下, 新生产方式将如何塑造以产业集群为载体的中国汽车制造业地理格局? 产业集群的本质在于专业化集聚基础上的地方化结网^[5], 而新的模块化生产方式转变对于非地理邻近的生产组织是否造成超越“地方”空间的影响等, 都是值得探索的问题。

本文以汽车制造业为例, 利用生产供应链数据开展产业集群空间组织研究, 基于以下因素支撑研究合理性: 首先, 在理论层面上, 演化经济地理学基于广义达尔文主义及复杂科学等理论, 将知识和技术特性置于其理论构建的核心, 强调创新、新企业、新产业集群和新网络的出现及其所体现的不同发展路径^[6-7]。2000年以来产业集群研究愈发重视创新和技术对集群演化的推动作用, 而汽车制造业是一个典型的创新和研发率高的知识密集型产业。同时, 当前汽车制造业的全球领导企业与模块化生产的应用紧密相关, 例如欧洲7家实施了模块化生产汽车制造商的产量占欧洲总量的73.5%; 其次, 在空间尺度上, 作为供应链最为复杂的行业之一, 汽车制造业由“零件→组件→部件→系统→总成”形成金字塔式配套体系。横向上, 整车集团通过与其他公司形成合作关系以汇集资源并减少研发成本。纵向上, 汽车零部件供应链存在严格的等级体系高分包率, 同时整车运输的高昂成本通常也会促使大型整车集团通过建立分厂形成产业地方嵌入, 因此有助于开展地方和区域不同空间尺度下产业集群关系研究; 再次, 在行业属性上, 较电子、纺织等轻工业, 汽车制造业属于典型的“重资产”产业。其所覆盖的庞大供应链体系及相应的供应商规模集聚, 具有更深刻的地方嵌入、根植性、更广泛的集群效应和更长远的地方影响。尤其是在中国特殊的政治体制下, 汽车龙头企业往往与地方政府之间存在密切关系; 最后, 在研究视角上, 尽管汽车有超过20000个零部件, 但实际上整车厂生产线只涉及1000余个。作为一种新兴生产方式, 模块化生产重新定义了汽车组件在不影响系统完整性的情况下分离和重组的容易程度, 生产专业化、市场规模经济及消费者需求多样性共同推动了模块化生产的形成和发展, 并促进企业垂直外包和横向整合的共同演化, 为研究不同生产方式下产业集群空间组织重构提供现实依据。

2 文献综述与研究框架

2.1 文献综述

20世纪80年代以前, 诸多学者一直将“尺度”与欧式空间中的“距离”联系在一起, 强调“尺度”的实体性和边界性, 具有典型的地理空间特征, 而20世纪90年代以来关系经济地理学促生的“尺度转向”强调了尺度的社会建构性^[8-9]。通过“尺度转向”和“尺度关联”, 经济地理学在关注地方综合、地方间相互依赖性的同时, 进一步强调了尺

度生产和重组过程对空间经济动态的重要性,既关注于全球化影响,也关注于区域和空间的影响^[5, 10-11]。相应的,在研究范式上,21世纪以来产业集群研究呈现从集聚到网络的转变^[12]。学者基于社会经济因素^[13]、FDI (Foreign Direct Investment)^[14]、专利技术^[15]等视角对多区位集群网络^[16]、全球集群网络^[14, 17]、共位集群的关系结构^[12, 18-19]展开研究,并进一步指出集群并非孤立存在,而是与其他集群存在着系统联系^[12];无论是基于地方层面还是全球层面,能够形成分散网络结构的集群组织具有更大的局部溢出潜力^[20];具备“弹性专精”特征的集群网络组织已经成为经济舞台的主角^[21]。2017年美国地理学家协会就专题讨论了集群网络(Cluster Networks)和“超越集群”(Beyond the Cluster)概念,以多集群(Multi-cluster)视角解析集群间关系已经成为产业地理的前沿议题之一^[22]。从上述分析可知,产业集群的研究尺度不再限定于特定的地方尺度或强调地理邻近的必要性,而是逐渐由生产活动的“地方化”^[23]、本地根植性^[23-24]和本地知识网络向重视外部知识源和跨集群联系、跨区域边界发生转变,更加强调在特定产业内由经济主体所形成的相互联系的有机整体^[25],形成跨区域边界的根植性^[26]。通过人才对流、投资生产、战略关系建构等有助于获取社会资本和构建新型市场关系,从而避免集群锁定风险^[27-28]。究其原因,一方面是由于集群企业间贸易和非贸易的相互依赖形成了本地蜂鸣,另一方面则是生产关系同时存在于区域与跨区域尺度下的集群之间^[11, 29],跨区域集群的联系与比较成为产业集群维系可持续发展的关键^[20]和区域战略决策的重要依据^[16]。

汽车产业空间组织结构是一个重组与演化相互交织的复杂问题,不仅涉及到制造商与供应商的重新匹配问题,也与汽车区域生产网络与生产地方性耦合过程相联系。生产方式转变作为新技术与创新推动的重要结果,是汽车产业集群组织演化研究的重要视角^[4, 25, 30]。首先,在生产角度,模块化核心在于通过相同的生产协议使不同型号的汽车能够产生大量的通用整车系统,在提高生产机动性和产品更新能力的基础上达到降低研发周期和生产成本的目的^[2, 31];其次,在供应商角度,为模块化整车厂供应零部件的供应商,通过多个客户应用相同的通用生产程序,能够利用规模经济和范围经济降低交易成本、降低生产网络参与者的风险^[3]和提升重组制造能力^[2];最后,在生产网络角度,模块化意味着汽车制造商生产方式和生产组织的重要变化,其促使了全球化背景下汽车制造业生产网络与供应链中新的国际分工出现^[32]。可见,从早期的生产领域过渡到中后期的设计领域,模块化生产不仅对单个企业组织结构产生了深刻影响,同时进一步重塑了整车厂与供应商之间的生产网络结构、企业组织形式和地理关系^[33],继而重构了产业集群空间组织和社会经济的微观基础。

结合以往研究,本文创新之处主要包括以下3点:①基于模块化生产方式作为产业集群组织空间演化研究的视角,将进一步丰富和深化产业集群研究的范畴;②使用微观供应链数据弥补了由于宏观统计数据宽泛所掩盖的产业集群空间组织特征。目前国内外产业集群或产业地理研究仍以宏观趋势面为主^[34-35],尽管宏观统计数据可以帮助研究者获得经济行为的总体区位特征,但难以洞悉生产组织的实际轮廓和行动机制,也无法科学准确地分析集群网络的结构特征及重构机理^[36];③已有研究多集中于单集群维度下的集群内部与外部网络的构建和演化,较少关注“区域—地方”联结下集群间的网络联系^[22]和地理位置在产业联系中的突出作用^[37],因此在区域分工协作愈发成熟的现实背景下,集群网络研究呈现实证滞后于理论的局面。

2.2 研究框架

随着生产方式由“福特主义”向“后福特主义”的转变,世界汽车产业的空间组织大致经历了空间分散阶段、高度集聚阶段、轮轴式分散阶段、网络化分散阶段以及网络

化聚集阶段^[38]。然而如何基于经济地理学学科背景从理论层面阐释其发生机制以及对特定产业集群的影响是亟待考虑的问题。本文将以新经济地理学“关系转向”和新区域主义“新产业区”理论为基础,在关系尺度演化和生产方式转变的情境下,重点考察其产业集群空间组织的重构过程以及超越传统地方产业集群的现实意义,试图以多集群视角解析产业集群之间的关系。

20世纪90年代以来,西方学者强调生产活动的“地方化”,即地理邻近性、本地联系和面对面交流,特别注重区域主体间的互动协作、本地根植性^[23]和跨区域边界的根植性^[26]。新区域主义促进了经济全球化背景下区域之间整合和区域内部整合的深化和发展,而对于如何识别区域整合,新制度经济学做出了卓有成效的贡献。新制度经济学以人类行为理论和交易费用理论为基础,打开了企业内部生产组织的“黑箱”,重新解释了在经济发展过程中的生产组织逻辑。在福特主义大批生产时期,企业节约交易费用的一种有效制度组织就是垂直一体化,运输成本、集聚经济、企业规模经济和范围经济成为解释各地理空间特征的重要理论工具,而在后福特主义的生产时期,由于市场不确定性和技术快速转换,生产水平化和垂直化以及不同规模企业的网络联系是节约交易费用的有效形式。因此,新区域发展理论认为,任何生产组织的形成及其地理结构均根植于特定的技术—制度环境中,并且随着时间和空间变化而发生转变。事实上,区域间整合的最高级形式是网络构建,本地网络是发展企业和区域的新制度手段,能减少企业生产经营的不确定性,而根植性则是地理上接近和集聚所创造的一种文化力,它能够促进技术和制度的创新,减少交易费用。总之,新产业区是走自主型而不是依附型发展道路,发展新产业区内企业的联系与合作网络,是产业区持续发展的重要条件^[39]。

在新经济地理学和新区域主义的理论背景下,基于关系尺度演化和生产方式转变,如何追溯生产方式对产业集群空间组织影响的理论要素也是亟待考虑的问题。首先,规模经济效应倡导企业之间有效合作(图1)。模块化生产方式从某种意义上来说是一种企业水平合作行为,使得部分汽车零部件制造商在设计 and 生产过程中占有更大份额,并且进一步扩大了其经营活动的地理范围,提升了其在要素市场上的地位,增强企业讨价还价以及获取信息的能力,从而带来规模经济;其次,知识技术共享是产业集群实现跨区域合作的重要媒介。模块化生产优势源于系统生产组织的灵活性,具体体现在零部件生产技术共享和合作,在技术标准化前提下,同一个零部件子模块可以被用于不同品牌、不同厂商、甚至不同车型的系统模块生产和组装中,而产品共享的背后则是高度的知识技术共享作为纽带和支撑;最后,总部公司通过企业组织强化锁定技术优势,及其引发创新的关键性资源直接引导和控制子公司及合作商,共同建立集群生产网络以强化生产组织,同时,在市场准入、信息获取、融资等方面控制生产网络的发展方向,防止自身核心技术溢出。

3 研究数据与方法

3.1 研究依据

本文主要依据不同生产方式下整车制造供应链差异展开。一汽-大众整车生产供应链的稳定性是支撑研究开展的现实基础。通常而言,整车生

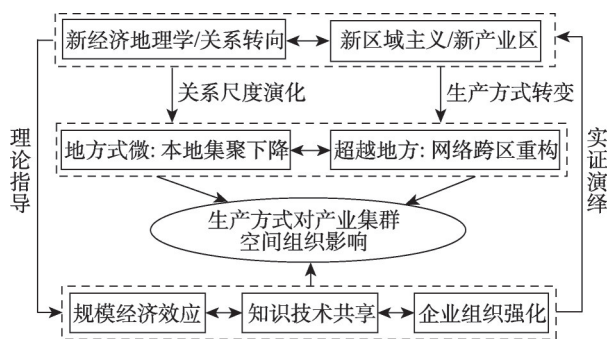


图1 研究框架

Fig. 1 Research framework

产供应链本地集群占比在一定程度上显然会受到整车厂建厂年限的影响。例如随着建厂时间的增加和车型、产量的扩充,转移当地的汽车制造业供应商数量也会增加,继而形成产业集群,但由于汽车制造业是典型的生产者驱动型网络,因此其影响的通常是后续投产车型。不同等级供应商客观存在的技术“势差”使得整车生产商相对依赖原有的高等级供应商,在短时间里很难去改变。

在车型正式投产前,其供应商一定是确保稳定的。一汽-大众供应商及其零部件产品需非常严格的资质与质量审核,同时由于一汽-大众为合资企业,这一审核过程涉及中、德双方。除非供应商断供,否则整车厂通常不会更换供应商。

——一汽-奥迪汽车研发项目工程师

以一汽-大众长春工厂奥迪Q5和成都工厂速腾车型为例,2016款Q5是源于奥迪A4(B7)的平台衍生而来,而2018款一汽-大众奥迪全新Q5L使用了MLB(Modularer L Ngsbaukasten) Evo模块化平台。从平台化生产到模块化生产,新款Q5L一级供应链零部件数量、种类分别较老车型减少了17.94%、22.84%,其中长春本地供应商(一汽-大众规定本地供应商为整车厂所在市辖区建厂)零部件数量下降15.13%;新速腾(Modularer Querbaukasten,即MQB模块化平台)较老速腾(PQ35平台)零部件数量和种类分别下降31.45%和15.73%,其中成都本地生产的零部件数量下降了37.07%。为什么会出现这种显著的变化?图2为奥迪Q5L某模块化部件的二级供应链。在实施模块化生产前,这些零部件作为奥迪Q5的一级供应链,其中部分供应商为了满足准时化或看板管理要求需在长春本地建厂。在模块化生产后,该部件已经作为一个单元由模块化供应商在长春本地生产,并直接供应整车厂生产线。通过零部件的高度通用和集成化以降低成本是模块化平台的最主要特性之一,因此在生产方式更替下,汽车集团整车生产的供应链、尤其是本地供应链的需求变化将深刻影响地方产业集群和区域生产网络的发展。

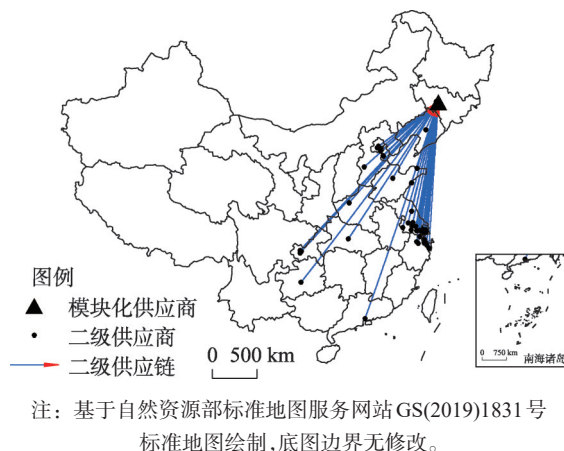


图2 奥迪Q5L某模块化零部件二级供应链

Fig. 2 Secondary supply chain of one modular part of Audi Q5L

3.2 研究对象与数据

一汽-大众是中国第一个按经济规模起步建设的现代化乘用车企业,引用世界领先的大众集团MQB和MLB平台模块化生产方式,截至2018年初,整车厂产能布局已覆盖中国东北(长春)、华北(天津)、西南(成都)、华南(佛山)。从时间轴来看,大众长春基地一厂、二厂分别于1996年、2004年建成投产;2011年、2013年、2018年成都、佛山、天津工厂相继投产。研究基于一汽-大众的长春、成都、佛山、天津4个整车厂各1款车型的国内全覆盖一级供应链构建汽车产业集群网络,分解生产协作中地理区位所产生的作用。本文所选用的4个车型考虑了不同档次、是否利用模块化生产对于供应商选择的影响,分别为未应用模块化生产的长春工厂奥迪Q5(2016款)、成都工厂速腾(2016款)和应用模块化生产的佛山工厂T-ROC(探歌,2018款)、天津工厂探岳(2018款)。根据一汽-大众供应链信息,Q5、速腾、T-ROC和探岳分别包括2303种、1351种、1473种、1769种一级供应商零部件,分别涉及116家、202家、180家、204家中国

本土供应商（图3）。研究数据及访谈内容源于对整车厂及部分供应商的实地调研和半结构式访谈，访谈对象主要包括一汽-大众整车厂研发、物流管理、企划、质检部门和一级供应商生产、物流部门的负责人或工程师。受保密协议约束，访谈者予以匿名。

两款模块化车型均生产于2010年起大众和奥迪在前置前驱车型生产中启用的MQB平台，该平台是目前大众集团应用车型最为广泛、产量最大的模块化平台。迄今MQB平台已取代目前的PQ25、PQ35和PQ46平台，涵盖大众、奥迪、斯柯达和西雅特4个品牌的B、C、D级数10种车型的生产。大众系列的高尔夫、迈腾、途观L、途昂、斯柯达速派以及奥迪A3、TT等车型均脱胎自MQB平台。2013年投产的一汽-大众佛山厂是全球第一个完全满足横置发动机模块化平台MQB生产的工厂。因此，基于一汽-大众的实证案例能够反映模块化这一新生产方式对于汽车工业及其产业集群空间组织的影响。

3.3 研究方法

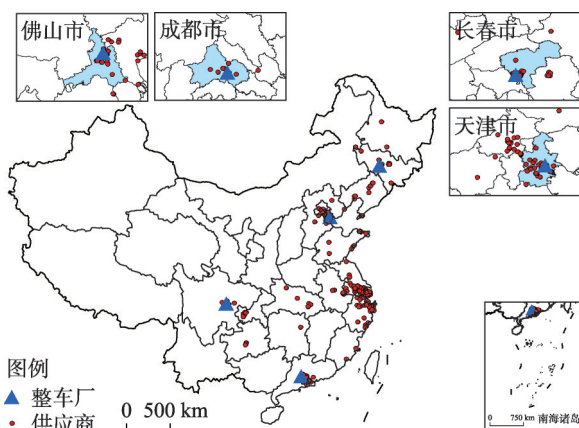
测量空间集聚程度是产业地理研究的核心挑战^[40]。基于面的测度方法（如Gini、EG、Moran等指数）均以预设的行政辖区作为分析单元，无法探究各单元内部的要素分布形态^[41]。同时其不同尺度的测度结论不具可比性，存在可变面元问题（Modifiable Area Unit Problem, MAUP）^[42]，即数据是由区域单元内的微观主体归总得来，这将导致不同空间尺度下同一研究对象集聚程度测算的差异^[43]。因此，理想情况下，所有的空间数据分析工作都应在连续空间中进行，以避免人为设定空间单元所带来的弊端^[44]。对此，DO指数能同时满足不同尺度估值具有无偏性、可进行显著性检验等标准^[41, 45]，同时被证明具有更好的稳健性^[46]。DO指数的计算主要包括2个步骤：

① 计算所有点对距离的密度，并用核平滑估计点对距离的分布。对于拥有 n 个点的要素 I ，任意距离 d 的核密度估计值的 $K_I(d)$ 为：

$$K_I(d) = \frac{1}{n(n-1)h} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n f\left(\frac{d-d_{ij}}{h}\right) \quad (1)$$

式中： d_{ij} 为供应商与整车厂的欧式距离； h 为最优带宽； f 为高斯核密度方程。

② 假设检验。通过蒙特卡洛法，对 n 个点在候选点位上的随机分布位置进行1000次模拟，估计相应的 $K_I(d)$ 值，以5%和95%分位数构建局部置信区间。然后对局部极值进行插值，获得要素 I 在距离 d 处的全局置信区间上限 $\overline{K_I}(d)$ 和下限 $\underline{K_I}(d)$ 。若至少存在1处距离上的 $K_I(d) > \overline{K_I}(d)$ ，则要素 I 为显著集聚分布，其在 d 处的全局集聚指数 $\Gamma_I(d) = \max(K_I(d) - \overline{K_I}(d), 0)$ 。若至少存在1处距离上的 $K_I(d) < \underline{K_I}(d)$ ，且在门槛值内未出现集聚，则要素 I 为显著分散分布，其在 d 处的全局分散指数^[41]：



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1831号标准地图绘制，底图边界无修改。

图3 一汽-大众整车厂和供应商的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of FAW-VW vehicle factories and suppliers

$$\psi_I(d)=\begin{cases}\max(\underline{K_I}(d)-K_I(d),0), & \text{if } \sum_0^d \Gamma_I(d)=0 \\ 0, & \text{else}\end{cases}\tag{2}$$

目前一汽-大众整车生产供应链无论是本地供应商还是长途供应均主要依赖公路物流。在满足交期的前提下，内陆优先采用公路运输，沿海采用公路与海运联运，因此供应商与整车厂距离全部采用公路驾车距离计算。驾车距离通过高德地图使用Python批量获取。

4 模块化方式下汽车产业集群空间组织特征

4.1 地方式微:本地集聚程度下降

对4款车型整车厂80 km范围内供应商进行空间分析。DO函数结果表明（图4），佛山、天津2款模块化生产车型80 km之内的供应商集聚程度明显低于长春、成都2款非模块化生产的车型。具体而言，① 由于一汽-大众长春工厂位于长春中心城区的最西部，集聚的25 km空间距离表明产业集群被限定于长春市城区内部（图4a），吉林省其他城市中供应商分布数量较少；② 成都分公司位于成都市东南部的龙泉驿区，其在10 km范围内空间集聚程度远高于其他城市（图4b），同时在30 km处出现次集聚状态；③ 佛山分公司位于佛山市西北部的狮山镇，其距离佛山和广州中心城区距离相当，约20 km，因此在此范围内供应商呈现明显的集聚特征（图4c），同时在60~85 km处再次呈现集聚状态，该距离主要覆盖广汽周边汽车零部件供应商；④ 天津分公司位于天津市东北部经济技术开发区，到达天津中心城区约30 km，供应商在50 km内呈现集聚特征（图4d），因此天津供应商分布与长春相类似，均为本市集聚。二者区别在于在60 km以外，天津核密度曲线下降平缓，这与北京分布大量零部件供应商关系密切。

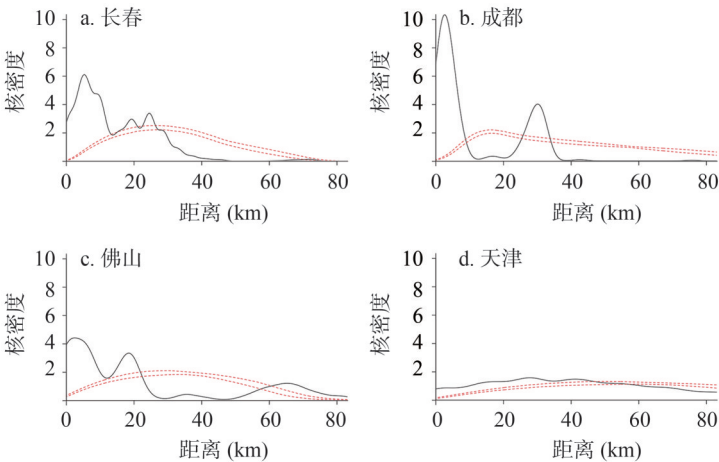


图4 供应商空间分布DO函数
Fig. 4 DO function of supplier distribution

长期以来，通过产业转移和地方化生产，使得产业承接区实现产业规模增长和经济质量提升，然而企业数量并不能够完全客观体现地方产业发展的变化情况，其中一个重要原因是企业数量并不能代表生产的具体信息。周转箱是一个行业里标准尺寸的物流箱，广泛用于机械、汽车、家电、电子等行业，大料箱（Large Load Carriers, GLT）和

小料箱 (Small Load Carriers, KLT) 是德系汽车制造商的普遍执行标准。表1分别从大料箱和小料箱角度统计了4个车型本地(市辖区)供应链零部件占全车比例。结果显示, 2018年的2款模块化生产车型T-ROC和探岳的本地供应链占比总计低于2016年的2款非模块化生产车型, 表明模块化生产车型的供应链更依赖外部区域分

工协作, 而非本地供应商。模块化生产与生产网络本质上都涉及到产品内空间分工, 产品及其零部件单位价值运输成本大小以及跨界生产活动的交易成本则制约了产品内分工。一汽-大众整车厂物流分为L段、W段和F段, 分别对应供应商包装尺寸、库房包装尺寸和生产线包装尺寸, 因此L段能够反映物流成本。以L段包装货箱尺寸对4个车型的零部件体积与运输距离相关性进行统计。通过K-S正态检验, 4个车型的运输包装体积与运输距离均不符合正态性分布。由于Spearman属于非参数检验, 对变量分布没有要求, 因此使用Spearman而非Pearson检验相关性。结果表明, Q5、速腾、T-ROC、探岳的零部件单件运输包装体积与运输距离spearman系数分别为-0.182、-0.167、-0.257和-0.237 (4个车型均 $p < 0.01$)。一方面, 4个车型的零部件单件运输包装体积均与供应商距整车厂的陆路距离呈弱负相关关系, 即零部件体积越大则越趋向于靠近整车厂布局, 这也更符合生产的经济性; 另一方面, T-ROC和探岳2个2018年的模块化生产车型Spearman相关性均高于Q5和速腾2个2016年的平台化车型, 表明在模块化生产的车型供应链中, 其产品体积越大的零部件供应商越趋向于靠近整车厂布局, 在整车厂生产组织中更具经济性。因此, 模块化生产车型投产后新增供应商数量大幅下降, 供应商的本地集聚程度低于非模块化车型, 无论从企业规模, 集聚程度还是对本地的生产依赖都出现显著下降态势, 形成了产业转移后地方产业集聚的“式微”。

生产方式和技术对于产业集群空间格局的影响是综合复杂的。尽管20世纪末期准时化、看板管理的现代制造业生产方式直接对上游供应商的选址产生了时间约束和空间约束。然而前文统计中表明, 一方面, 2016年车型Q5和速腾在2018年启用模块化生产后一级供应链零部件数量分别减少了17.94%和31.45%, 而本地一级供应链零部件数量分别减少了15.13%和37.07%; 另一方面, 3个产业转移地区整车厂本地一级供应链依赖程度远低于长春本地。就论文研究车型的年款而言, 均已经是成都分厂和佛山分厂投产5年后的车型, 结合汽车制造业属于典型的“重资产”产业、整车制造一级供应链“确保稳定”的现实情况, 可以表明, 模块化生产技术影响下, 整车制造的一级供应链零部件数量、供应商规模及其本地生产与集聚程度都出现了显著下降。继而, 这种时间约束已经被更多的转嫁给模块化供应商, 而非以往普通一级供应商。

奥迪Q5日产量440辆, 单车生产节拍118 s。按照整车厂生产节拍, 生产线要求指定部件的供应商2 h送达1车次零部件 (不同零部件有所差异)。

——一汽-奥迪生产管理部工程师

整车生产线生产计划精确到秒, 就要求本地供应商按照整车厂生产节拍持续不断的、在精准时间内按需小批量送达。因此, 在模块化供应商出现之前, 为了满足整车厂的准时化生产要求, 相当比例的供应商需要在整车厂所在地建厂。在模块化生产应用后, 整车厂将部分核心技术指标与模块化供应商共享, 供应商得以提供以最终形式的、直接安装在整车的产品, 这就导致供应商与整车厂成为了生产线的“共线”。其反应在空

表1 基于周转箱的零部件本地生产比例统计(%)

Tab. 1 Statistics of local production proportion of parts based on turnover box (%)

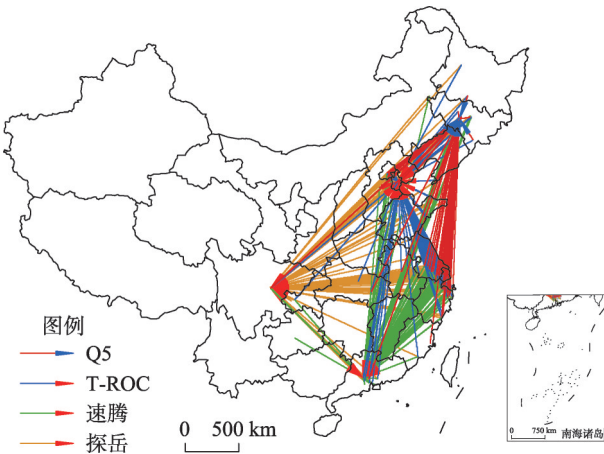
生产方式	平台化(2016年)		模块化(2018年)	
车型	Q5	速腾	T-ROC	探岳
大料箱	70.8	37.3	39.6	22.6
小料箱	47.8	19.4	16.0	16.3
总计	118.6	56.7	55.6	38.9

间上，不仅停留在产业集群的地方化，更是严格意义上的同城化。

4.2 超越地方：生产网络跨区重构

生产关系同时存在于本地、区域的多尺度下和产业集群之间^[11, 17, 29]。模块化生产通过从零部件到组件、汽车总成的通用，使得整车厂制造商在产业转移、车型扩充的过程中空前强化了不同地区产业集群的联系（图5）。从4个车型一级供应商在各城市分布的统计情况来看（表2）：① 长春是4个工厂中唯一本地供应商占比最高的城市，剩余3个转移城市本地供应商数量均未占首位；② 在一汽-大众长春和天津2个北方工厂中，供应商数量占比第一的均为长春市。在佛山和成都2个南方工厂中，首位均为上海市，次位均为长春，而第3位才是整车厂所在城市；③ 尽管一汽-大众整车生产未布局长三角地区，但宁波、苏州、嘉兴、常州、无锡、舟山、扬州、温州、宿迁和南京等长三角地区城市均位于供应商分布数量的前列。

从零部件类型来看，车身/安全系统、底盘系统等较大尺寸的汽车组件、产品更迭较快的零部件在准时化生产方式要求下具有明显的围绕整车厂布局的倾向（表3）；技术要求高、更新换代慢的零部件、紧固件供应厂商主要集聚在长三角地区；整车部件与系统中的以电子电器系统为代表的技术密集型零部件多来源于长三角和珠三角汽车产业集群；以发动机为代表的



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1831号标准地图绘制，底图边界无修改。

图5 一汽-大众整车生产的一级供应链空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of primary supply chain in vehicle production

表2 供应商所在城市前5位统计(%)
Tab. 2 Statistics of top five supplier cities (%)

位序	Q5		速腾		T-ROC		探岳	
	城市	占比	城市	占比	城市	占比	城市	占比
1	长春	47.9	上海	18.0	上海	18.1	长春	23.6
2	上海	12.9	长春	17.7	长春	16.9	天津	15.6
3	宁波	9.2	成都	14.7	佛山	15.6	上海	15.2
4	北京	5.5	宁波	9.7	宁波	8.2	宁波	9.8
5	苏州	3.7	北京	5.6	苏州	4.1	北京	3.6

表3 零部件供应商主要分布城市
Tab. 3 Major cities of parts suppliers

整车系统	零部件种类	主要生产城市
动力及装备系统	动力转向器、发动机、燃油箱、传动轴、传动器及其支承和悬置、起动机等	长春、大连、上海、宁波、成都、北京、佛山、天津等
车身/安全系统	隔板、护板、功能单元、连接件、密封条、内压条、排气系统、气囊及面板、塑料塑胶件、支架管线、后视镜、座椅总成、防撞梁、安全带、把手、保险杠总成、玻璃、防护罩、风道连接件总成等	长春、上海、宁波、成都、北京、佛山、天津、苏州、烟台、广州、无锡、吉林、扬州、镇江、铁岭、常州、武汉、温州、沈阳等
底盘系统	制动硬管、制动软管、底盘模块、盘式制动器、真空助力器、汽车密封件、胶管、进气系统、轮胎、减震器等	长春、上海、宁波、成都、北京、佛山、天津、苏州、烟台、广州、无锡、吉林、铁岭、镇江、常州等
电子电器系统	灯光系统、限位器、传感元件、收音机、扬声器、胎压监测控制器、抬头显示器、屏幕、电线导向件、空调控制器盖板、存储卡、雷达传感器ACC、控制器支架、空调压缩机等	长春、上海、宁波、成都、北京、佛山、天津、苏州、广州、吉林、扬州、镇江、常州、温州、武汉、重庆、大连、合肥、青岛等

动力系统、部分核心零部件仍依赖长春和大连的供应。因此,一方面,在整车生产过程中,无论是总部长春还是其转移企业,都高度依赖区域外部集群的生产网络。跨区域的产业集群网络在空间上形成了层次分明的分工协作体系,同时,供应链呈现出技术与价值分层的地理差异。不同区域产业集群在一个产品的生产过程中被紧密捆绑,成为地理空间下汽车产业集群网络的空间投影;另一方面,长三角作为中国制造业最为发达的地区之一,也是中国汽车零部件厂分布数量最多的区域之一^[5, 34]。模块化生产方式使得长三角的优势继续强化,部分无需保障准时化的模块化部件、组件受到技术共享、产品通用的影响,通过长途运输供应一汽-大众4地工厂,使供应商获得规模经济和范围经济优势,同时一级零部件供应商更容易形成基于地理临近的二级供应商的生产组织,继而导致长三角的汽车产业集群成为行动主体的网络重要参与者,以产业集群而非独立企业形式参与到生产网络的分工协作中。因此,在生产组织结构中,模块化生产下汽车产业集群网络不单纯是集群之间存在生产网络关系,而是形成以集群、核心企业(整车厂)、外围企业(供应商)多个行动主体之间的嵌套、扁平化生产网络关系。

5 模块化方式下汽车集群空间组织重构驱动机制

模块化生产的3个层次分别为产品设计的模块化、生产过程的模块化和组织形式的模块化,分别对应技术创新层面、生产效率层面和企业组织层面,它们共同构成了标准化、开放化、网络化的模块化产业系统。因此,制造业生产方式由平台化到模块化,也必然导致产业集群的组织形式向集群网络形式演化。

5.1 知识技术共享

区域关联是促进区域产业路径突破的重要动力之一^[47],企业通过集群知识存量的提升与溢出实现集群网络构建,并推动和维系超越本地的生产合作关系。就模块化生产而言,模块化网络优势源于生产的组织灵活性和地理灵活性,而生产灵活性的背后是知识技术的高度共享,主要体现在模块化零部件生产的共享性和互换性,同一个零部件的子模块可以被用于不同品牌、不同厂商、甚至不同车型的系统模块生产和组装。正是由于生产网络是在模块化平台基础上组织的,因此模块化供应商能够获得整车厂的技术扩散(图6),二者更容易形成相对紧密的技术关联,以提升零部件供应商的生产与创新效率;同时,模块化零部件在不同整车厂之间的转移产量,也能够优化生产网络的组织协调能力,对市场的变化做出及时反馈,以满足客户的多样化需求。因此,模块化生产促进了区域与地方的知识技术交互,而这些来自其他区域的知识能够提高区域内产业的技术水平,会加速区域内新产品、新技术和新产业类型的出现^[48]。

① 作为龙头企业,一汽-大众长春总部在市场准入、信息获取、融资能力等方面的优势使其可以控制生产网络的发展方向^[49],并可以有效防止自身核心技术外溢^[50]。因此在前文分析中长春在3个产业转移后整车厂的供应链中均位于前两名;② 供应商和总部公司的合作具有技术锁定效应,总部公司正是凭借这种技术权力的约束方式迫使供应商在生产上同进退。由于技术竞争的加剧和知识外溢的空间约束,厂商最优区位选择策略就是与其他竞争者、合作者集聚在同一技术溢出空间范围之内^[51]。企业原有供货商及合作伙伴为了更好地保持与领导厂商的合作关系并迅速获得技术信息,也会主动或被动地跟随领导公司进入新地区布局;③ 产品架构方法侧重于与产品设计相关的功能,同时考虑制造和装配过程的机会和限制^[52]。正是由于知识共享和技术通用,汽车制造集团在产

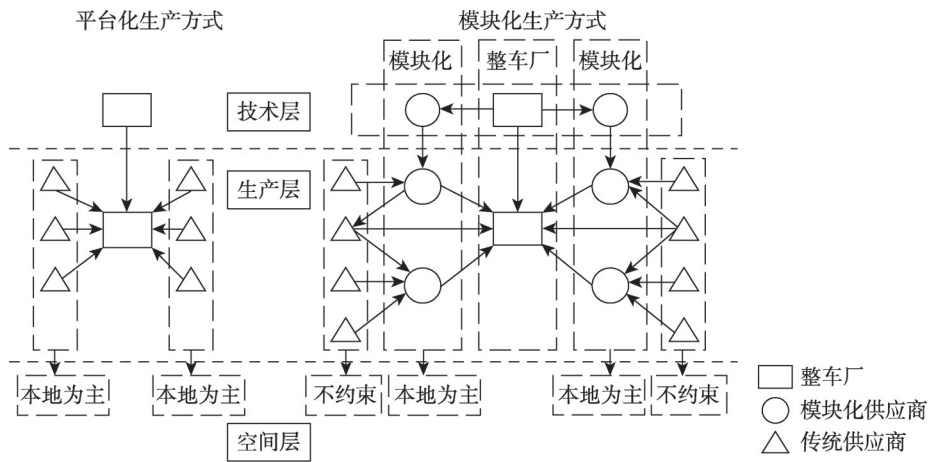


图6 模块化生产企业组织方式与集群空间结构互动关系

Fig. 6 Interactive relationship between the organization mode of modular production enterprise and the spatial structure of clusters

业转移时才能够更多的考量地方人力、区域市场潜力等因素，而不用过于担心当地供应商不足导致的生产问题。总部公司利用与原有供应商之间的技术标准和要求，引导和控制子公司及合作商共同建立新的生产网络，而生产网络也能更容易地从特定位置进行扩散和撤销。

5.2 规模经济效益

根据比较优势理论，集群企业有动力基于价值链将非核心产品外包给其他集群以降低成本，最大限度地提高竞争优势^[53]，特别是市场波动加速了企业结构的脱离化，导致各种生产网络的优化。由于模块化生产的整车系统、组件、零部件的高度通用共享，核心企业寻求外包越来越多的“非核心”功能时，本身专注于核心竞争力提升，以便在更多的网络运营商之间弱化市场波动的风险。伴随着模块化生产方式的应用，通过汽车零组件适配性的扩大，增强了整车厂在采购方面的规模经济和供应商在生产方面的规模经济，继而紧密联系了跨区域产业集群的生产网络。对于整车厂而言，关键零部件是大众集团模块化整车架构的三大要素之一，通过模块化平台共用共享整车系统、组件、零部件，整车厂扩大其生产网络的空间范围、形成不同地区产业集群的生产关联，同时能够有效控制供应商数量，使汽车制造商减少供应链的复杂程度和零部件开发、采购、验证的时间和成本，进一步提高其制造网络的效率；对于供应商而言，模块化生产通过广泛的客户、通用工艺技术和功能性创新以形成累积效应。从事给模块化整车厂供应零部件的供应商，可以通过为多个客户供应通用生产程序来实现规模经济，以降低交易成本和供应风险^[3]，使得生产系统不会被锁定到特定地方或特定客户关系。

从运营管理角度而言，模块化生产使整车厂可以将非核心零部件和组件进行外包，以避免自身生产链过于繁杂和企业规模过大而导致对市场反应的迟缓。不同车型、不同档次甚至不同品牌乘用车的制造受到模块化生产应用的影响，形成了大量的通用组件、部件、零部件，在此影响下，不同地区整车厂采购同一供应商的情况尤为突出。按照产业转移的设厂时间，就一汽-大众而言，速腾、T-ROC、探岳在相继投产后，新增供应商占该车型全部供应商的比例分别为68.1%、24.5%和20.6%。一方面，由于零部件的高度通用，产业转移后新车型的新增供应商数量占比在持续下降；另一方面，新增供应商数量并未呈线性下降，T-ROC和探岳两个模块化生产下的车型由于整车系统、组件的高度

共享,其新增供应商数量大幅下降至30%以下。新车型、新建分厂所带来的不同区位、不同零部件的需求并不会明显增加供应商和零部件的数量,而是依赖原有供应商通过交易规模扩大满足新的供应链需求(图7),因此导致了转移企业对于转移地生产关系需求的下降和外部链接依赖性的增强。

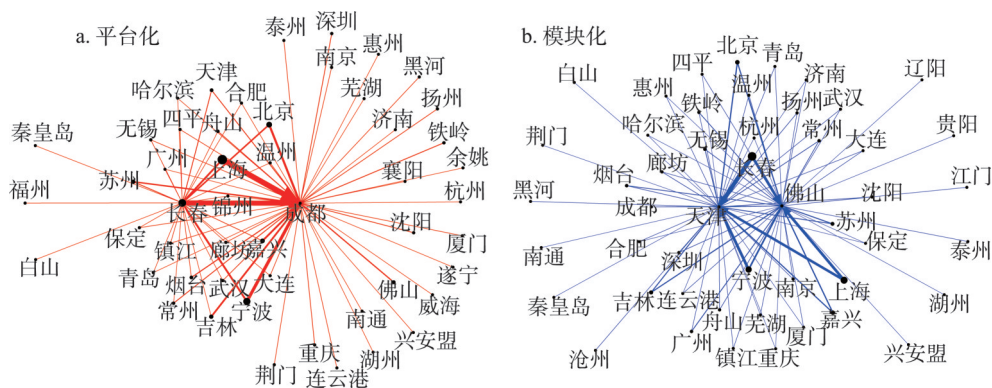


图7 基于汽车零部件供应链的城市网络

Fig. 7 Urban network based on automotive industry supply chain

5.3 企业组织强化

集群网络关系不仅仅是由于生产效率提高和交易成本降低所导致的,企业网络形成的信任、互惠、声誉、依赖在很大程度上能够稳定企业之间的生产与组织关系。此外,除了整车厂与供应商之间所存在的协议条款和长期信赖两种组织关系,一汽-大众隶属于一汽集团,这种特大型国有企业内部同时也包括富维、富奥等以汽车饰件、电子电器、车轮为核心产品为主的、共同隶属于一汽集团的核心供应商。一汽集团是一汽富维的实际控制人(持有25%股份),同时旗下形成了以富维海拉(一汽富维占股51%,后同)、富维延峰彼欧(51%)、富维华威(60%)、映泰饰件(40%)、富维梅克郎(25%)、富维安道拓(50%)为主的16家控股参股公司,为一汽集团产业链提供服务。整车厂与核心供应商共同隶属于同一个集团组织,一定程度上保证了整车厂兴建异地分厂时,模块化供应商能够及时的保障配套,整车厂不必担心核心技术外泄。例如富维安道拓是一汽-大众3家座椅供应商之一,一汽-大众整车厂所在地富维安道拓均设有分厂。除了Q5的前后座椅总成来自于长春富维安道拓汽车饰件系统有限公司,剩余3个车型的座椅也均来自富维安道拓在整车厂当地建立的分厂。

以探岳座椅为例,不同档次车型的座椅,存在诸如真皮、加热、记忆等功能的差异。长春富维安道拓汽车饰件系统有限公司(天津分公司)作为座椅模块化供应商,进一步按照整车厂、车型对于自身产品的质量要求对其供应商进行约束。模块化在平台化基础上进一步简化了整车厂组装任务,节省了以往需要管理其他小部件及其供应商的质量标准检查等工作。同样的,T-ROC和探岳车型的保险杠总成、传动总成、座椅、仪表板骨架模块、A柱、B柱、C柱(T-ROC同时包括D柱)、护板(包括连接件)、后轴焊接等,都是整车厂直接收到组装好的产品模块。

汽车座椅由于产品本身体积大、重量大,加之属于外观件,在运输途中需保证完好无损。运输需置于特制转运夹具中,尽管不同车型存在差异,但一辆箱货仅能放4~6辆份座椅。如果长途运输,物流成本可想而知,而且整车厂也要负担极大的库存压力。

——长春富维安道拓汽车饰件系统有限公司项目经理

发动机、变速箱、底盘等核心部件只在大换代（8年左右）才可能更换，而在小更新换代（4年左右）或下一年款型中，车灯、仪表板、前后保险杠总成通常需要更换样式或增加功能。我们要求部分系统总成或模块化供应商必须在整车厂本地建厂，这既满足整车厂准时化生产要求，也便于新产品研发试制过程中的调换、匹配。

——一汽-奥迪汽车研发项目工程师

6 结论与讨论

6.1 结论

本文借助汽车生产方式由“平台化”向“模块化”转变的历史契机，以一汽-大众在长春、成都、佛山和天津4个工厂整车生产的本土全覆盖供应链映射产业集群的空间组织，讨论生产方式转变对于产业集群空间格局和集群网络空间组织的塑造作用，理解产业集群本地化与区域化的共存与组合。研究指出：

（1）地方式微：转移企业对于本地生产依赖下降。模块化是后福特主义（Post-Fordism）时代的弹性化生产方式，通过整车厂对供应商的弹性约束作用，要求供应商积极参与到整车生产中，二者之间形成更为紧密的生产协作关系。整车厂基于地理邻近性建构生产网络实现技术、产品更新的快速反馈和产业集群的专业化集聚和地方嵌入。然而，模块化生产方式下新增供应商数量大幅下降，供应商的本地集聚程度低于非模块化车型，无论从企业规模、集聚程度还是对本地的生产依赖都出现显著下降态势，其主要原因在于相同的技术标准和交易产品以及保障零部件产品供应的长途运输方式，共同导致了产业转移地的整车厂强化了与原供应链的依赖，从而使得产业转移后地方产业集聚出现明显的“式微”。

（2）超越地方：生产网络和产业集群跨区重构。新生产方式的扩散在一定程度上改变了原有产业空间组织形态，强化了不同地区产业集群的联系，促进了集群网络的演化。在空间上，一汽-大众的东北、西南、华南和华北4个整车厂均高度依赖长三角地区的生产供应链，促进了跨区域的生产流动；在重组空间分工上，具有区位优势长三角企业通过以集群为行动主体的方式参与到生产网络的区域分工协作中，形成了由集群、核心企业、配套企业等多个行动主体构成的复合网络，其不单是传统意义的区域分工协作，更是以产业集群为行动主体，存在于集群之间的生产网络关系之中。因此，模块化生产下的汽车产业集群网络是一种“超越地方”、复合多行为主体的生产组织形式。

（3）知识技术共享、规模经济效益和企业组织强化共同驱动了模块化方式下汽车制造业由集群向集群网络的空间组织重构。首先，知识技术共享是产业集群实现跨域合作的重要媒介和基础保障。模块化生产从零部件到组件、再到汽车总成的通用，使得整车厂在产业转移和车型扩充的过程中强化了不同地区产业集群之间的联系，而产品通用的背后则是高度的知识技术共享作为关系纽带。只有在技术标准化的前提下，同一个零部件模块才能够用于不同品牌、不同厂商、甚至不同车型的系统模块的生产中；其次，模块化生产同时实现了整车厂和供应商双方在交易过程中的规模经济与范围经济，促使制造业通过扩大生产空间范围、形成集群网络以提高生产效率，而处于集群网络中的供应商也能够降低交易成本和实现风险规避；最后，总部公司通过企业组织直接引导和控制子公司及合作商，强化锁定技术优势及其能引发创新的关键性资源，从而强化生产组织，此外，生产网络所形成的信任、互惠、声誉、依赖也能够稳定企业之间的生产与组

织关系。总部公司对于供应商的企业组织强化, 最终实现了供应链的外部扩张, 形成了产业集群之间的网络关系。

6.2 讨论

部分演化经济地理学者在考虑产业关联时忽视了区域关联的重要性^[54], 然而区域产业动态不仅依赖于区域内的各种资源要素, 还会受到其他区域及相关要素的影响^[55]。近年来交通条件和通讯技术的迅速发展缩短了区域之间的时空距离, 强化了区域之间复杂的动态联系, 因此忽视个体间关联的区域产业动态很有可能会偏离真实世界中区域产业发展情况^[47], 而区域关联视角则有助于促使区域产业动态研究从“路径依赖”拓展到“路径突破”^[56]。本文基于供应链和供应商视角, 论证了生产技术是如何导致生产系统外部链接的增强, 并进一步证明了空间聚类 and 分散是相互包容和相互促进的, 也验证了本地与跨地域的生产组织是产业集群维系可持续发展的关键因素之一^[20]。

参考文献(References)

- [1] Simon H A. The architecture of complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1962, 106(6): 467-482.
- [2] Lampón J F, Cabanelas P, González-Benito J. The impact of modular platforms on automobile manufacturing networks. *Production Planning & Control*, 2017, 28(4): 335-348.
- [3] Sturgeon T J. Modular production networks: A new American model of industrial organization. *Industrial and Corporate Change*, 2002, 11(3): 451-496.
- [4] Bailey D. Globalization and restructuring in the auto industry: The impact on the West Midlands automobile cluster. *Strategic Change*, 2007, 16(4): 137-144.
- [5] Miao Changhong, Wei Yehua, Lv Lachang. *New Economic Geography*. Beijing: Science Press, 2011: 117-128. [苗长虹, 魏也华, 吕拉昌. 新经济地理学. 北京: 科学出版社, 2011: 117-128.]
- [6] He C F, Pan F H, Chen T M. Research progress of industrial geography in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(8): 1057-1066.
- [7] Trippl M, Grillitsch M, Isaksen A. Exogenous sources of regional industrial change. *Progress in Human Geography*, 2018, 42(5): 687-705.
- [8] Yeung H W C. The limits to globalization theory: A geographic perspective on global economic change. *Economic Geography*, 2002, 78(3): 285-305.
- [9] Marston S A. The social construction of scale. *Progress in Human Geography*, 2000, 24(2): 219-242.
- [10] Wang Chen, Guo Yiqiong. Resilience and resistance of local industry to economic crisis: A case study of China's IT industry. *Geographical Research*, 2018, 37(7): 1297-1307. [王琛, 郭一琼. 地方产业抵御经济危机的弹性影响因素: 以电子信息产业为例. *地理研究*, 2018, 37(7): 1297-1307.]
- [11] Giuliani E, Balland P A, Matta A. Straining but not thriving: Understanding network dynamics in underperforming industrial clusters. *Journal of Economic Geography*, 2019, 19(1): 147-172.
- [12] Lu R, Ruan M, Reve T. Cluster and co-located cluster effects: An empirical study of six Chinese city regions. *Research Policy*, 2016, 45(10): 1984-1995.
- [13] Diaz-Foncea M, Marcuello C. Spatial patterns in new firm formation: Are cooperatives different? *Small Business Economics*, 2015, 44(1): 171-187.
- [14] Bathelt H, Li P F. Global cluster networks-foreign direct investment flows from Canada to China. *Journal of Economic Geography*, 2014, 14(1): 45-71.
- [15] Nomaier Ö, Verspagen B. River deep, mountain high: Of long run knowledge trajectories within and between innovation clusters. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(6): 1259-1278.
- [16] Delgado M, Porter M E, Stern S. Defining clusters of related industries. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(1): 1-38.
- [17] Turkina E, Van Assche A, Kali R. Structure and evolution of global cluster networks: Evidence from the aerospace industry. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(6): 1211-1234.
- [18] Mukim M. Coagglomeration of formal and informal industry: Evidence from India. *Journal of Economic Geography*,

- 2015, 15(2): 329-351.
- [19] Bathelt H, Zhao J Y. Conceptualizing multiple clusters in mega-city regions: The case of the biomedical industry in Beijing. *Geoforum*, 2016, 75: 186-198.
- [20] Lorenzen M, Mudambi R. Clusters, connectivity and catch-up: Bollywood and Bangalore in the global economy. *Journal of Economic Geography*, 2013, 13(3): 501-534.
- [21] Yeung H W C. Regional development and the competitive dynamics of global production networks: An east Asian perspective. *Regional Studies*, 2009, 43(3): 325-351.
- [22] Zhou Can, Zeng Gang. Progress and prospect of international research on industrial cluster: A perspective from economic geography. *Economic Geography*, 2018, 38(1): 11-19. [周灿, 曾刚. 经济地理学视角下产业集群研究进展与展望. *经济地理*, 2018, 38(1): 11-19.]
- [23] Storper M, Venables A J. Buzz: Face-to-face contact and the urban economy. *Journal of Economic Geography*, 2004, 4(4): 351-370.
- [24] Maskell P, Malmberg A. Localised learning and industrial competitiveness. *Cambridge Journal of Economics*, 1999, 23(2): 167-185.
- [25] Pavlínek P. Global production networks, foreign direct investment, and supplier linkages in the integrated peripheries of the automotive industry. *Economic Geography*, 2018, 94(2): 141-165.
- [26] Ann M. Sticky places in slippery space: A typology of industrial districts. *Economic Geography*, 1996, 72(3): 293-313.
- [27] Morrison A. Gatekeepers of knowledge within industrial districts: Who they are, how they interact. *Regional Studies*, 2008, 42(6): 817-835.
- [28] 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.
- [29] Cohendet P, Grandadam D, Mehrouachi C, et al. The local, the global and the industry common: The case of the video game industry. *Journal of Economic Geography*, 2018, 18(5): 1045-1068.
- [30] Lampón J F, Lago-Peñas S, González-Benito J. International relocation and production geography in the European automobile components sector: The case of Spain. *International Journal of Production Research*, 2015, 53(5): 1409-1424.
- [31] Pavlínek P, Ženka J. Upgrading in the automotive industry: Firm-level evidence from Central Europe. *Journal of Economic Geography*, 2011, 11(3): 559-586.
- [32] Frigant V, Layan J B. Modular production and the new division of labour within Europe. *European Urban and Regional Studies*, 2009, 16(1): 11-25.
- [33] Klier T, McMillen D. Plant location patterns in the European automobile supplier industry. *Growth and Change*, 2015, 46(4): 558-573.
- [34] 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, 柴青. 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.]
- [35] 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.]
- [36] 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.]
- [37] Chain C P, Santos A C D, Castro Júnior L G D, et al. Bibliometric analysis of the quantitative methods applied to the measurement of industrial clusters. *Journal of Economic Surveys*, 2019, 33(1): 60-84.
- [38] Liu Weidong, Sit V F S. The changing spatial organization of the automotive industry: The impact of production pattern changes. *Progress in Geography*, 1998, 17(2): 1-14. [刘卫东, 薛凤旋. 论汽车工业空间组织之变化: 生产方式转变的影响. *地理科学进展*, 1998, 17(2): 1-14.]
- [39] Wang Jici. On the international concern about new industrial district. *Progress in Geography*, 1998, 17(3): 29-35. [王缉慈. 简评关于新产业区的国际学术讨论. *地理科学进展*, 1998, 17(3): 29-35.]
- [40] Alfaro L, Chen M X. The global agglomeration of multinational firms. *Journal of International Economics*, 2014, 94(2):

263-276.

- [41] Zhang Yanji, Zhang Lei, Wu Lingyan. Spatial distribution of street vending and its spatial relationship with formal commerce: Quantitative research using distance-based methods. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(4): 618-632. [张延吉, 张磊, 吴凌燕. 流动商贩的空间分布特征及与正规商业的分布关系: 基于距离测度方法的数量研究. *地理学报*, 2017, 72(4): 618-632.]
- [42] Briant A, Combes P P, Lafourcade M. Dots to boxes: Do the size and shape of spatial units jeopardize economic geography estimations? *Journal of Urban Economics*, 2010, 67(3): 287-302.
- [43] Lu Jiangyong, Tao Zhigang. Determinants of industrial agglomeration in China: Evidence from panel data. *China Economic Quarterly*, 2007, 6(3): 801-816. [路江涌, 陶志刚. 我国制造业区域集聚程度决定因素的研究. *经济学(季刊)*, 2007, 6(3): 801-816.]
- [44] Duranton G, Overman H G. Exploring the detailed location patterns of U.K. manufacturing industries using microgeographic data. *Journal of Regional Science*, 2008, 48(1): 213-243.
- [45] Duranton G, Overman H G. Testing for localization using micro-geographic data. *Review of Economic Studies*, 2005, 72(4): 1077-1106.
- [46] Behrens K, Bougna T. An anatomy of the geographical concentration of Canadian manufacturing industries. *Regional Science and Urban Economics*, 2015, 51: 47-69.
- [47] Zhu S J, He C F, Zhou Y. How to jump further and catch up? Path-breaking in an uneven industry space. *Journal of Economic Geography*, 2017, 17(3): 521-545.
- [48] Owen-Smith J, Powell W W. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the Boston biotechnology community. *Organization Science*, 2004, 15(1): 5-21.
- [49] Boschma R A, Lambooy J G. Knowledge, market structure, and economic coordination: Dynamics of industrial districts. *Growth and Change*, 2002, 33(3): 291-311.
- [50] Lin Lan. Innovation dynamics and spatial response of heavy-chemical industry: Rethinking the cluster innovation. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1400-1415. [林兰. 重化工业集群式创新机制与空间响应研究. *地理学报*, 2016, 71(8): 1400-1415.]
- [51] Aizenman J, Marion N. The high demand for international reserves in the Far East: What is going on? *Journal of the Japanese and International Economics*, 2003, 17(3): 370-400.
- [52] Yin Y, Kaku I, Liu C G. Product architecture, product development process, system integrator and product global performance. *Production Planning & Control*, 2014, 25(3): 203-219.
- [53] Sturgeon T J, Van Biesebroeck J, Gereffi G. Value chains, networks and clusters: Reframing the global automotive industry. *Journal of Economic Geography*, 2008, 8(3): 297-321.
- [54] Guo Q, He C F. Production space and regional industrial evolution in China. *GeoJournal*, 2017, 82(2): 379-396.
- [55] Bahar D, Hausmann R, Hidalgo C A. Neighbors and the evolution of the comparative advantage of nations: Evidence of international knowledge diffusion? *Journal of International Economics*, 2014, 92(1): 111-123.
- [56] Zhu Shengjun, Jin Wenwan, Hu Xiaohui. The regional industrial dynamics from the perspective of relatedness. *Geographical Research*, 2020, 39(5): 1045-1055. [朱晟君, 金文纨, 胡晓辉. 关联视角下的区域产业动态研究进展与反思. *地理研究*, 2020, 39(5): 1045-1055.]

Beyond locality in restructuring the spatial organization of China's automobile industry clusters under modular production: A case study of FAW-Volkswagen

ZHAO Ziyu¹, WANG Shijun², CHEN Xiaofei³

(1. School of Tourism and Geography Science, Qingdao University, Qingdao 266071, Shandong, China;

2. School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

3. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Yellow River Civilization by Provincial and Ministerial Co-construction of Collaborative Innovation Center, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China)

Abstract: Under the background of the third revolution of production mode in the automobile industry, as represented by modularization, there arise a series of urgent theoretical and practical problems: how the new production mode affects the evolution of the spatial organization of the automobile industry, how to explain its mechanism based on economic geography, and how to analyze its effects on specific industrial clusters. Taking FAW-Volkswagen as an example, based on the local full-coverage first-level supply chain mapping industry cluster organization of vehicle manufacturing, this paper explores the effects of modular production on the spatial organization of automobile industry clusters at the local-regional scale. Results indicate that: (1) The degree of local agglomeration decreases with the decline of local economy. To a certain extent, the scale economy created by modular production overcomes transportation cost, leading to both the weakened production dependence of large-scale vehicle groups on the host area after industrial transfer and the reduced spatial agglomeration of parts suppliers. (2) Beyond locality: the production network between regions is reconstructed. Under modular production, regional production networks will be reorganized, which reflects the importance of scale production and scale reorganization for spatial economic dynamics. When the Yangtze River Delta region, with its regional advantages in the manufacturing industry and its complete auto parts industry chain, takes part in the division and cooperation of the production network of FAW-Volkswagen automobile factories in four cities across the country in the form of industry clusters, "beyond locality" competitive advantages are created. (3) Scale economic effect, knowledge technology sharing, and enterprise organization strengthening jointly drive the spatial reconstruction of China's automobile industry clusters under modular production. This study provides insight to understand the interactive mechanism between the adjustment of production mode and the evolution of the spatial organization structure of manufacturing industry clusters, offering beneficial complements to studies on industrial geography from the perspectives of economy, system, society, and innovation.

Keywords: industrial cluster; cluster network; modular production; supply chain; automobile industry; China