

珠三角地区半导体产业布局特征 及其区位关联模式

任亚文^{1,3}, 杨宇^{1,2,3*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 粤港澳大湾区战略研究院, 广州 510070; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:产业布局的区位关联是区域产业空间结构及其空间关系研究的重要内容。论文通过构建珠三角地区半导体企业数据库,并采用核密度分析与协同区位分析方法对珠三角地区半导体产业空间格局及其区位关联特征进行研究。研究发现:①广深莞三地是珠三角地区半导体产业空间的重要集聚区,半导体设计环节是珠三角地区进入半导体产业链的普遍选择。②广州尽管在设计、材料和分立器件制造方面形成了专业化集群,但其仅有分立器件制造环节与设计及封测环节形成了区位协同关系;而深圳则以设计设备两大专业化集群为支撑形成了与其他所有环节的区位协同,总体上形成了较为完整的半导体全产业链。③广州在分立器件制造环节的专业化优势属于半导体产业链建设过程中的过渡状态,而深圳在全产业链建设方面的优势则建立在大量数字技术企业在本地的集聚,通过半导体设计环节与其他环节建立了共同的知识、技术和人才基础。研究旨在为珠三角进一步优化半导体产业链布局提供决策依据,以提升区域半导体产业竞争力。

关键词:产业空间;半导体产业;区位关联;协同区位商;珠三角

半导体产业是区域产业转型升级的“转换纽带”,它既能支撑传统工业的数字化、信息化改造,又能衍生出人工智能、移动互联网等新兴产业生态,这种双向促进的重要功能是主要国家围绕其争夺话语权的根本原因^[1-2]。从20世纪80年代日美半导体贸易战到近年日韩半导体争端以及中美科技贸易战,再到2020年以来新冠肺炎疫情进一步加剧的全球“芯片焦虑”^[3],半导体产业空间及组织已经成为区域产业发展战略以及区域产业研究重点关

注的内容。20世纪80年代以来,美国半导体企业的全球扩张以及所引发的三次产业转移奠定了这一产业区位关联研究的历史基础。学者在解构美国半导体产业体系时发现其组织形成的根本动力来源于生产技术和商业模式之间的动态适应,集中表现为上下游企业之间的深度嵌入^[4-8]。21世纪初,国内学者聚焦上海浦东集成电路产业集群时同样发现上下游企业间的深度交流合作是其产业组织生存的基础,而企业与科技创新主体间的互动也能

收稿日期:2022-02-05;修订日期:2022-06-22。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(42130712);广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金项目(2020GDASYL-20200102002);粤港澳大湾区战略研究院建设专项(2020GDASYL-20200201001, 2021GDASYL-20210401001)。

[Foundation: Key Program of the National Natural Science Foundation of China, No. 42130712; GDAS Special Project of Science and Technology Development, No. 2020GDASYL-20200102002; Special Construction Project of the Institute of Strategic Research for the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, No. 2020GDASYL-20200201001 and 2021GDASYL-20210401001.]

第一作者简介:任亚文(1992—),男,安徽六安人,博士生,主要研究方向为产业地理与区域发展。

E-mail: renyw.19b@igsrr.ac.cn

*通信作者简介:杨宇(1984—),男,山东威海人,研究员,博士生导师,主要从事经济地理与区域发展研究。

E-mail: yangyu@igsrr.ac.cn

引用格式:任亚文, 杨宇. 珠三角地区半导体产业布局特征及其区位关联模式[J]. 地理科学进展, 2022, 41(9): 1622-1634. [Ren Yawen, Yang Yu. Spatial distribution and location correlation of the semiconductor industry in the Pearl River Delta region. Progress in Geography, 2022, 41(9): 1622-1634.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.09.006

有利于保持较高的生产效率^[9]。此外,集成电路产业集聚的形成更加依赖于“全球一本地”的交互影响^[10],尤其是头部企业,一方面影响本地产业集聚的组织模式,另一方面也帮助本地集群嵌入全球价值链^[11-12]。因此,半导体产业区位布局的组织模式对产业集群的塑造和演化具有深刻的影响。

企业作为经济活动的主要承担者,企业区位及空间组织是经济地理学中重要的基础科学问题^[13-14]。当前关于企业区位的主流研究仍以单一产业整体为研究对象进行区位因子识别或多产业区位选择比较,具体集中在制造业^[15-17]、都市工业^[18]、高新技术产业^[19-21]、文创产业^[22]、生产性服务业^[23-24]等产业门类,其研究的基本思路均围绕时空演化及其因素展开定量分析,市场规模、基础设施、制度政策、空间距离以及要素价格等宏观环境因素进一步丰富了古典区位理论体系下的区位解释。然而,上述区位研究均在强化外部因素对于产业布局决策的影响,而较少关注企业与企业之间的布局关系。相较之下,产业的区位关联研究则进一步揭示了在不同产业或同一产业内部不同企业的空间布局关系,以及不同企业的区位选择与周边其他企业的区位关系^[25]。工业企业区位不仅与同类企业区位形成空间上的竞合关系,也会在不同环节上发生空间关联。现有研究中对于电子信息产业的笼统表达事实上忽略了半导体产品作为“中间品”属性在区域产业组织中的“嵌入性”,这种嵌入性需要通过区位关联进行空间表达。珠三角地区在既有电子信息产业集群的基础上已经初步构建起较为完整的半导体产业链,然而与北京、上海、无锡、绍兴等城市相比,珠三角地区并不具有早期半导体产业建设较为系统性的政策和智力支持,而后期的电子信息产业集群则是依靠民营经济为主体的市场力量逐步构建^[2],总体上呈现出市场化驱动下一种相对自主性的产业演化路径,其“区位关联”更加能反映其半导体产业集群建设的路径与模式。“区位关联”这一基本思路被应用在许多方面,尤其在产业、设施、商业等布局研究中已经得到验证,且一般基于协同区位商的方法予以实现。Ke等^[26]针对中国所有城市构建了制造业与生产性服务业协同集聚的分析模型,发现制造业倾向于选址于有生产性服务业的城市;Yuan等^[27]则同样利用协同区位分析发现集聚经济和城市地价对制造业与生产性服务业的共同区位的影响。此外,生产服务业内部不同产业部门间也存在区位关联,张大鹏等^[28]利用点位数据证明了上海市不同类型

物流企业间形成的区位协同关系,严若谷^[29]也发现了深圳市金融产业部门区位关联规律。Xue等^[30]利用POI数据发现沈阳市装备制造业和汽车销售业呈现出空间互补整合的基本特征,并且认为这种关系能够促进产业生态系统的建设。上述研究为城市内部产业间以及产业内部不同部门间存在的区位协同规律提供了重要证据。除产业区位布局规律的探索外,商业网点布局以及城市内部不同功能空间的关系同样引起相关学者的关注。张英浩等^[31]以咖啡店为对象总结出不同品牌连锁店布局的区位模式;孟斌等^[32]则是从“职住分离”视角出发进一步揭示了北京市区内居住地和工作地之间的空间关联规律。由于产业链在空间上的布局本质上也是要素之间的相互作用关系,所以借助区位关联的基本思路研究不同生产环节的空间关系问题成为相对可行的探索方向。

半导体产业作为一种相对复杂的高技术产业链,其在区域内的相对集聚在更大程度上是上下游环节企业间深度关联而产生的自然结果。在上述区位协同的研究基础上,本文将针对半导体这一单一产业内部不同生产环节之间的区位关联进行解构,通过引入协同区位商的分析方法针对珠三角半导体产业布局的区位关联进行量化研究。协同区位商(co-location quotient)分析来源于地理学第一定律在产业或经济区位商的空间化应用,通过对不同要素的空间分布关系的定量化和可视化,来识别在单个或多个要素群内部之间呈现的关系模式^[33-34]。所以,不同生产环节布局所产生的区位关联可以被解释为在一定空间范围内2种环节企业布局之间的吸引力。相较于传统的产业区位商依赖于规模比重数据,协同区位商则更加依赖于地理最近邻原则生成全局和局域2种尺度下的区位关联结果,比产业区位商更能够反映地理空间中的关联效应^[35]。本文立足于半导体设计、制造、封测、材料设备、分立器件及光电子元件等5个关键生产环节,对珠三角半导体产业布局及其主要集聚区进行分析和识别;同时,采用协同区位商方法定量计算对不同环节企业的区位关联格局,以此尝试论证和回答上述问题。

1 数据与方法

1.1 半导体产业链的基本结构

完整的半导体产业链涵盖上、中、下游3个主要

环节^[1-2]。上游环节包括集成电路设计、制造材料与制造设备三大模块,其中集成电路设计包括具体设计厂商、IP资产商以及软件开发商;支撑模块包括半导体专用设备(晶圆硅片和集成电路制造及封测专用设备)与特殊电子材料(特殊电子气体、特殊化学液体、印制电路板等)。中游环节为半导体晶圆制造及封装测试。下游环节则是半导体作为中间品嵌入到数字终端生产体系中(图1)。需要进一步说明的是,分立器件与光电子元件制造也属于半导体产业链,但相较于集成电路而言是相对独立的生产体系。尽管半导体上游和中游环节均具有较高的技术壁垒和增值能力,但根据初始投资的规模基准,晶圆制造是其中成本、风险及收益均达到最高的关键环节,也是全球主要国家竞相争夺的核心环节。此外,由于本文的关键对象是直接生产半导体产品的企业,所以数据收集和实际研究的范围只考虑上游和中游环节。

半导体产品范畴包括集成电路、分立器件及光电子元件^[1-2]。根据全球半导体近5年来的市场总体结构数据,集成电路在全球半导体市场中的占比稳定在85%左右^[3];由此本文将研究对象划定为半导体设计企业、材料和设备制造企业、晶圆制造及封测企业、分立器件及光电子元件制造企业四大类,并据此进行数据采集和分析。

1.2 企业数据采集与预处理

相较于现有产业地理研究对中国工业企业数据、中国海关企业进出口匹配数据以及历次中国经

济普查数据等宏观数据库的充分利用,本文则采用“多源数据+交叉验证”的方法构建数据库。多源数据分别来自于“企查查”工商企业注册数据库、中国半导体行业协会(CSIA)企业名录数据、广东省及深圳市半导体行业协会企业名录数据、“行行查”产业研究综合数据库(企业名录+研究报告)以及基于2021年“慕尼黑·上海消费电子展”人工获取的国内展商名录数据。在此基础上,根据企业所属环节和地区进行筛选,初步形成半导体企业名录;同时,为了克服工商企业注册数据容易出现的失真和冗余,严格按照实际缴纳注册资本为基准进行二次清洗,同时将所有企业与其他数据库进行人工交叉验证,最终得到较为真实和完整的珠三角地区半导体企业数据库(表1)。

该数据库中的企业均位于珠三角9市市域(广州、深圳、东莞、佛山、中山、珠海、惠州、肇庆、江门),按照企业成立年份划定其时间范围为1980—2020年。具体属性包括:企业名称、所在省市及区县、所属行业大类、经营状态(在业、存续、吊销和外迁)、注册资本、主营业务、最新年报地址等。在预处理时,借助Data-Map工具根据企业地址进行地理编码和坐标纠偏(WGS1984),并在ArcMap中输出点位数据。

1.3 研究方法

1.3.1 核密度分析(kernel density)

核密度分析工具可用于刻画基于区域内已知样本点数据可视化其空间分布特征,并能够平滑地

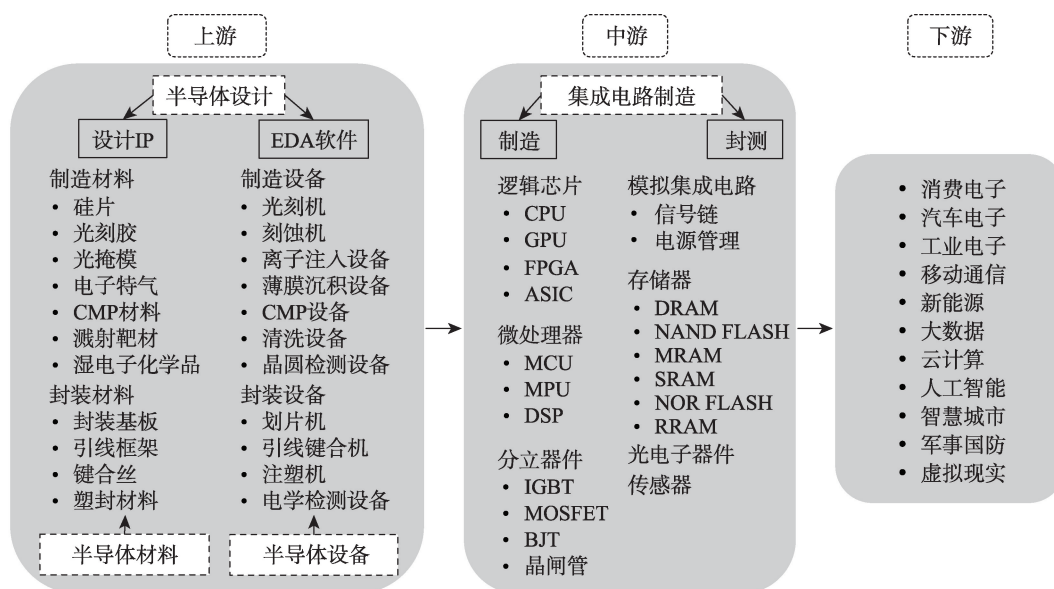


图1 半导体产业链及其关键内容

Fig.1 Semiconductor industrial chain and its key components

表1 珠三角半导体企业数据统计

Tab.1 Semiconductor enterprises in the Pearl River Delta region

企业属性		总体规模/家	数据来源
芯片设计		781	行业协会数据+行行查
晶圆制造		7	人工查找+行业协会数据
封装测试		100	行业协会数据+展商数据
半导体设备	制造设备	57	企查查数据+展商数据
	封测设备	128	企查查数据+展商数据
半导体材料	制造材料	40	企查查数据+展商数据
	封测材料	72	企查查数据+展商数据
分立器件及光电子元件		293	企查查数据

表示样本点在研究区域内的集聚与分散情况^[36]。本文将半导体企业抽象成点要素,分析半导体产业在珠三角地区内的空间集聚特征。核密度分析的数学表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$ 为核密度函数; x 为待估计的点位置; x_i 为已知独立的样本点; h 为搜索阈值; n 为搜索阈值内地区半导体产业的主导环节; d 为数据的维数。由于不同企业规模存在普遍差异, 所以将半导体企业的注册资本作为核密度估算的权重, 以确保分析结果的客观准确性。核密度分析及其空间可视化借助 ArcGIS Pro 软件完成。

1.3.2 协同区位商(co-location quotient)

协同区位商主要分为全局协同区位商(GCLQ)与局域协同区位商(LCLQ)。全局协同区位商测度 A 类点附近 B 类点的观察值与预期值间的整体关系。局域协同区位商则针对在其邻域内找到的相邻要素的协同区位, 对所选定的中心要素(类别 A) 中的每个要素进行评估, 来揭示两要素(点)间相关性的空间差异性。局域协同区位商能使得空间过程和潜在的驱动因素更加容易理解, 也方便解释空间关联的空间特征。通常, 如果 A 类点邻域内 B 类点的比例大于 B 的全局比例, 则协同区位商将很高; 否则其协同区位关系将不显著。GCLQ 和 LCLQ 计算公式如下^[33-34]:

$$GCLQ_{A \rightarrow B} = \frac{N_{A \rightarrow B} / N_A}{N_B / (N-1)} \quad (2)$$

$$LCLQ_{A_i \rightarrow B} = \frac{N_{A_i \rightarrow B}}{N_B / (N-1)} \quad (3)$$

$$N_{A_i \rightarrow B} = \sum_{j=1}^N \left\{ w_{ij} f_{ij} / \sum_{j=1(j \neq i)}^N w_{ij} \right\} \quad (j \neq i) \quad (4)$$

$$w_{ij} = \exp\left(-0.5 \times \frac{d_{ij}^2}{d_{ib}^2}\right) \quad (5)$$

式中: 参考相关实证研究^[32,36], 将 $CLQ_{A \rightarrow B}$ 视作 A 类点被 B 类点吸引的程度; N 代表所有点的数量; N_A 代表 A 类点的数量或规模; N_B 代表 B 类点的数量; $N_{A_i \rightarrow B}$ 表示拥有 B 类点作为其最近邻点的 A 类点的数量(其中, A_i 代表第 i 个 A 类点); f_{ij} 为一个二进制变量, 代表 j 是否标记为 B 类点(1 代表是, 否则为 0); w_{ij} 为点 j 的权重, 说明 j 对第 i 个 A 类点的重要程度; d_{ij} 为第 i 个 A 类点与点 j 之间的距离; d_{ib} 代表的是第 i 个 A 类点附近的带宽距离。式(3)中分子表示观测到的作为 A 类点最近邻的 B 类点的比例; 分母表示随机情况下作为 A 类点最近邻的 B 类点的比例。具体而言, CLQ 值越高, 共同区位关联越强。若 $CLQ_{A \rightarrow B}$ 值大于 1, 说明 A 和 B 具有空间关联性; 相反, 如果 $CLQ_{A \rightarrow B}$ 小于 1, 表明 A 与 B 趋向于离散(隔离)分布; $CLQ_{A \rightarrow B}$ 等于 1, 表明 A 与 B 趋向随机分布(表 2)。此外, CLQ 值也可从反方向区分两类点的空间作用, 即 $CLQ_{A \rightarrow B}$ 表示 A 类点被 B 类点吸引的程度, 而 $CLQ_{B \rightarrow A}$ 表示 B 类点被 A 类点吸引的程度。

2 珠三角半导体产业布局总体特征

2.1 中小企业为主的半导体产业结构

珠三角地区不同生产环节的半导体企业在数量和资本规模 2 种维度下形成了较为显著的规模不对称性(图 2)。总体上, 半导体设计环节占据主导地位, 而其他环节的规模不对称性存在差异。晶圆制造环节企业数量占比仅为 1%, 但注册资本占比高达 21%; 这也充分证明了晶圆制造在半导体生产环节中的高附加值特征, 建厂门槛高的基本属性决定

表2 协同区位商的显著类型与对应区间

Tab.2 Significance types and intervals of co-location quotient

CLQ类型	CLQ值区间说明
协同区位一显著	$CLQ > 1$ 且 $P < 0.05$
协同区位一不显著	$CLQ > 1$ 且 $P > 0.05$
隔离一显著	$CLQ \leq 1$ 且 $P < 0.05$
隔离一不显著	$CLQ \leq 1$ 且 $P > 0.05$
未定义	要素在其等于0的邻域或带宽内没有任何其他要素

注：表中P代表企业点随机分布的概率值。

了其企业布局的风险及其谨慎性。其次是半导体封测及材料类企业,分别以6%和7%的企业数量占据了11%和10%的资本规模;半导体材料企业中高纯度化工技术和封测企业中对于先进封装技术的基本要求决定了其相对较高的制造门槛,2类企业均处于半导体价值链的中高端环节。而在分立器件及光电子元件、半导体设备和半导体设计3类环节中,珠三角企业呈现出典型的小微企业主导格局:数量庞大、资本投入低,3类企业分别以20%、13%和53%的数量占据了7%、4%和47%的资本,由于技术门槛较低为中小民营企业资本分散进入该领域提供了良好机遇,这是形成“小而多”基本结构的根本原因。

2.2 半导体产业链在“广深莞”地区高度集聚

珠三角地区半导体产业空间总体上形成了以

“广深莞”为主体的“核心—边缘”结构,珠江西岸及珠三角北部地区参与半导体产业链的程度较低。主要城市在不同生产环节上形成了差异化的企业集聚格局(图3、图4)。

具体而言,芯片设计业务在地区内分布较广,是主要城市进入半导体产业链的普遍选择,但其产业资本投入却高度集中在广州和深圳两地。而在其他环节中,广州和深圳几乎形成了相对专业化的分工:分立器件及光电子元件制造企业在广州市呈现出高度集聚性,而深圳在半导体封测、材料和设备3个环节占据显著的规模优势,且东莞在上述环节中的集聚特征与深圳存在高度相似性。与上述环节相比,具有极高建厂门槛的晶圆制造企业在地区内仅有7家,尽管深圳在总体规模上占有相对优势,但仍未形成与其他环节相似的规模集聚效应。在半导体产业链的价值分布中,分立器件及光电子元件制造产值占比不足15%,而围绕集成电路形成的设计、材料、设备和晶圆制造业务产值超过80%。在这种产值分配前提下,珠三角城市间半导体产业空间异质性进一步凸显:广州半导体产业优势仍建立在较低增值能力的分立器件及光电子元件制造;而深圳—东莞地区已经在半导体产业链上游初步形成了增值优势;珠海、中山、佛山、惠州等城市在地区内半导体产业体系中仍然处于“边缘”角色。

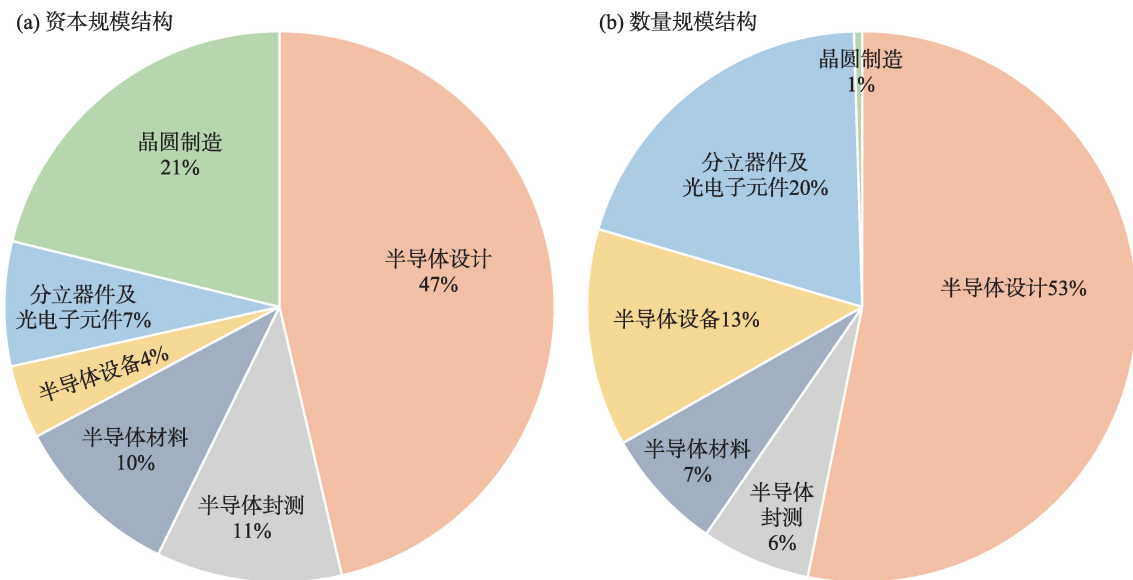
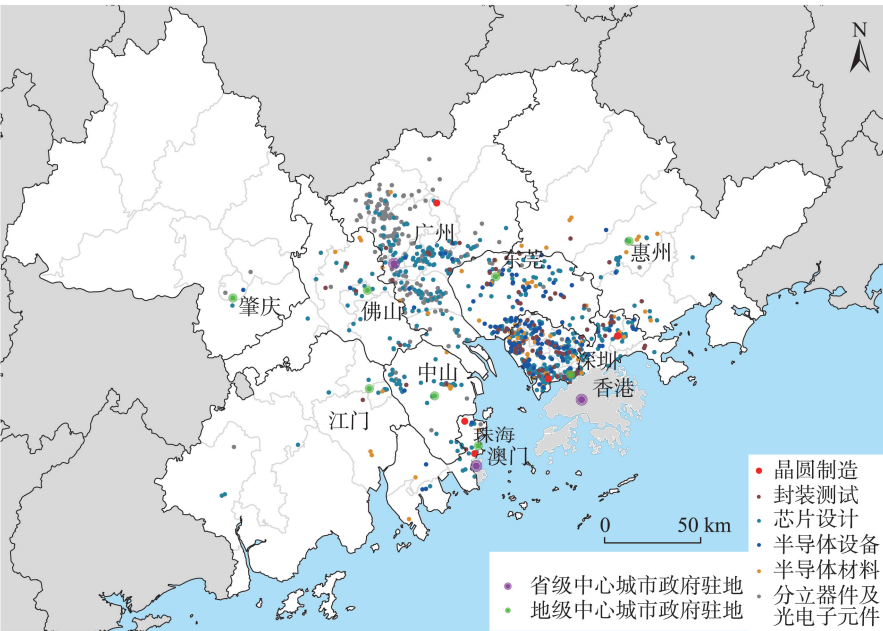


图2 珠三角地区半导体企业数量及注册资本量比重分布

Fig.2 The number of semiconductor companies and the distribution of registered capital structure in the Pearl River Delta region



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(2019)4342号的标准地图制作，底图无修改。图4同。

图3 珠三角地区半导体企业空间分布

Fig.3 Spatial distribution of semiconductor manufacturers in the Pearl River Delta region

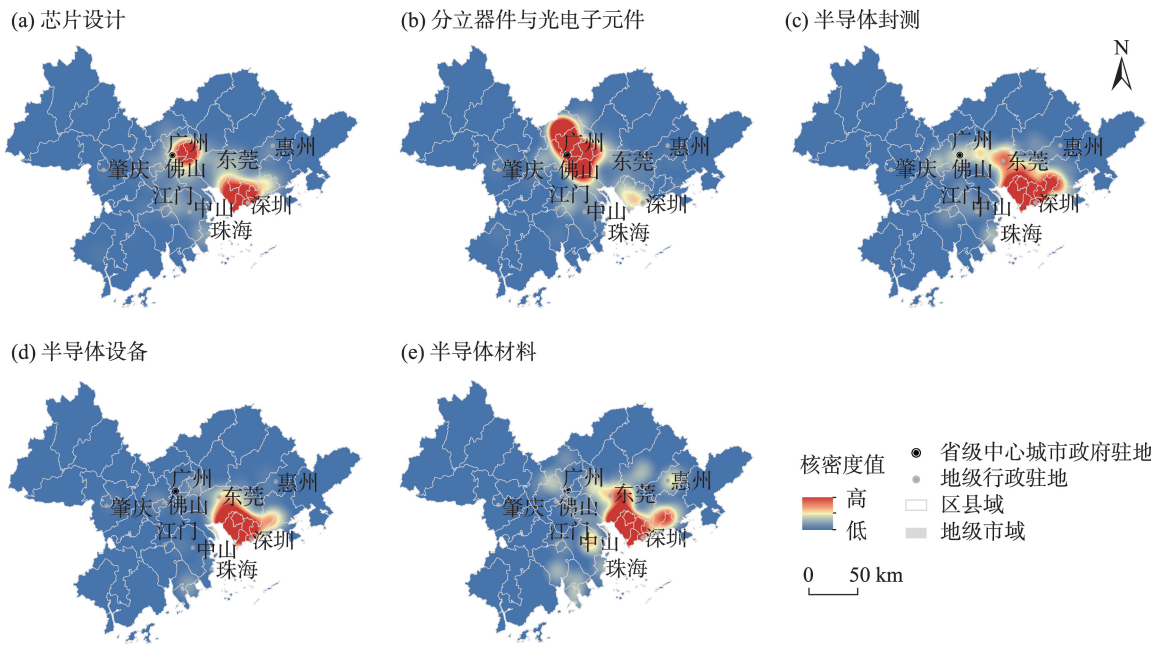


图4 珠三角半导体生产企业核密度分析结果

Fig.4 Kernel density of semiconductor manufacturing enterprises in the Pearl River Delta region

3 珠三角地区重点城市半导体产业的
区位关联

由于协同区位商在当前区位分析中以城市尺

度为主流；同时考虑到广州和深圳是珠三角地区具有半导体全产业链构建能力的城市且具有足够数量的样本,所以本文将进一步针对半导体产业主要集聚城市——广州和深圳进行重点分析；一方面兼

顾协同区位分析的尺度适用性;另一方面通过重点城市的产业集聚总结半导体产业布局的区位关联模式。

3.1 广州和深圳半导体产业区位关联的全局特征

广州和深圳半导体产业区位关联的全局特征集中表现为同类企业间关联与上下游企业间关联(表3)。广州已经形成了设计、材料以及分立器件制造产业的显著集聚,3类企业的GCLQ值均超过1,尤其是材料企业间的GCLQ值高达20.60;设计、设备环节各自企业的GCLQ值在1.9左右,而2类企业之间也同样存在显著的区位关联。深圳则在设备、

设计环节中形成了专业化集聚,而上下游企业间的区位关联则以材料和设备企业间的区位协同关系为主导,GCLQ值分别超过1.6和1.4。值得注意的是,设计企业间的集聚程度相对于其他环节并不十分显著,其在广深两地的GCLQ平均值低于1.2;尽管设计业务在珠三角地区的分布最为广泛,但由于其本身需要面向前端客户进行定制化服务,这种供需特征决定了其区位并不受限于半导体产业链上下游环节的布局影响,以便于能够更容易嵌入与之高度相关的数字设备终端产业链。珠三角作为全球主要的信息与通信技术产业带,大量数字终端设备企业集中于此,如计算机制造、手机制造、智能网联汽车等一系列智能数字终端企业,这进一步分化了设计环节与其他环节之间的区位依赖。此外,由于在晶圆制造环节上布局有限,珠三角地区半导体产业集聚具有生产环节的非连续性特征。

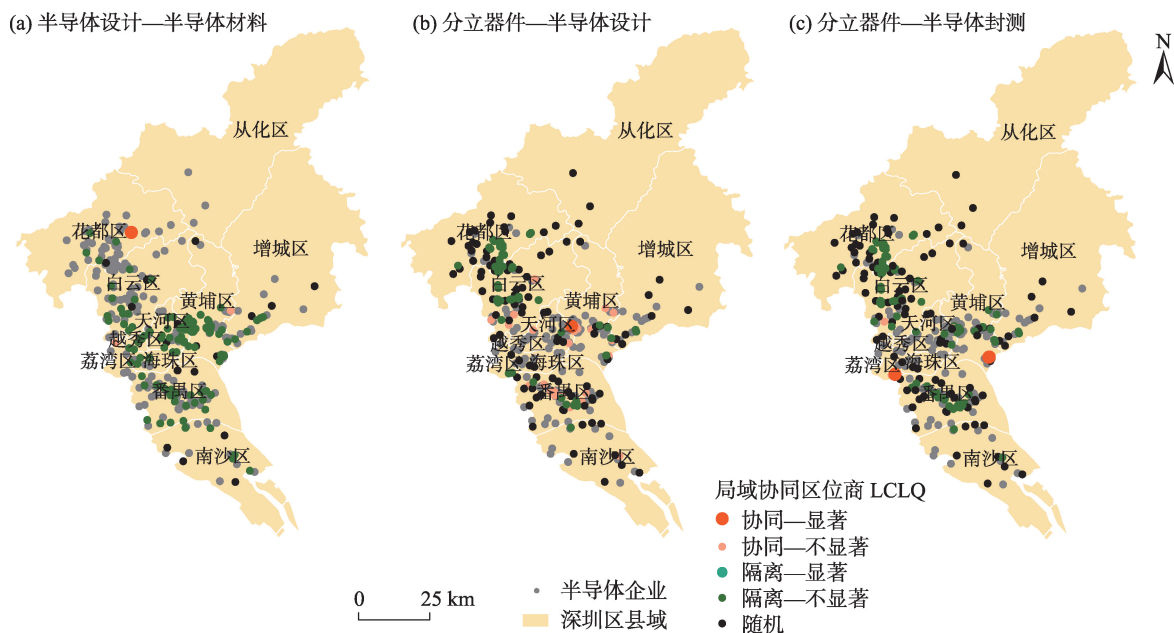
3.2 广州和深圳半导体产业区位关联的局域特征

3.2.1 广州:分立器件为主导的产业链建设

广州半导体设计、封测2个环节与分立器件制造环节间的显著区位关联主要集中在花都、荔湾和黄埔区(图5),且关联强度存在较大差距(表4)。分立器件制造是广州建设半导体产业集群的关键主体,而设计和封测环节均对分立器件制造形成高度的区位依赖。其中,分立器件制造和设计类企业在

表3 广州和深圳半导体产业GCLQ值显著性结果统计
Tab.3 Semiconductor industry GCLQ value statistics in Guangzhou and Shenzhen cities

城市	中心要素	相邻要素	GCLQ	P值
广州市	设备	设计	1.84	0.02
	设计	设备	1.97	0.02
	材料	材料	20.60	0.04
	设计	设计	1.21	0.04
	分立器件	分立器件	1.12	0.02
深圳市	材料	设备	1.65	0.04
	设备	材料	1.50	0.04
	设备	设备	2.07	0.02
	设计	设计	1.13	0.02



注:分图中标题的基本范式为中心点属性—相邻点属性。

图5 广州市半导体产业局域协同区位商

Fig.5 The LCLQ of semiconductor industry in Guangzhou City

表4 广州半导体产业LCLQ值显著性结果统计
Tab.4 Semiconductor industry LCLQ value statistics
in Guangzhou City

显著点编号	中心要素	相邻要素	LCLQ值	P值	所属区县
1	设计	材料	68.67	0.02	花都区
2	分立器件	设计	2.25	0.02	黄埔区
3	分立器件	设计	1.79	0.02	黄埔区
4	分立器件	设计	1.79	0.04	黄埔区
5	分立器件	封测	50.01	0.04	荔湾区
6	分立器件	封测	37.69	0.04	黄埔区

黄埔区形成了显著的区位关联,LCLQ值约为1.79~2.25。由于分立器件制造需要针对不同厂商的设计方案而做出生产布局,而半导体设计作为直接面向应用系统厂商的关键环节,它与分立器件制造厂商之间事实上存在较强的知识和技术共享基础。分立器件制造与封测企业之间的LCLQ值在荔湾和黄埔两区分别高达50.01和37.69,生产环节上的连续性是导致这一结果的根本原因。此外,花都区半导体设计对于材料制造企业的区位吸引力高达68.67,显著高于其他生产环节企业间的区位关联程度。这在很大程度上是由于本地化的产业政策及其规划围绕设计企业展开全产业链建设引导产业空间布局的结果。概言之,广州半导体产业布局正处于依靠分立器件为区位载体建设半导体全产业链的过程中。

3.2.2 深圳:上下游产业区位协同显著

深圳半导体产业的区位关联相较于广州更加具有全产业链特征,其中上下游企业间的区位关联较为完整,设计与设备生产环节是深圳半导体产业链布局的主要区位载体,这2个环节与其他环节均产生了显著的区位协同关系,是支撑深圳建设半导体全产业链的关键部分。首先,半导体设计与其他环节的区位协同关系集中分布在宝安、南山、光明及福田4个区(图6),但其LCLQ值存在较大差距(表5)。半导体设计企业在深圳的广泛分布直接导致了其与其他生产环节存在不对称的区位协同,尤其是晶圆制造与设计环节之间的LCLQ值在南山区达到58.03和26.77;分立器件制造与设计环节间的区位协同更多集中在福田与宝安,LCLQ值为9.27~14.80;封测企业对设计企业的区位依赖同样集中在福田、宝安和龙华3个区,LCLQ值为4.74~13.07。材料、封测与设备企业之间形成了相互的区位依赖,其LCLQ值为2.51~9.97,主要集中在宝安区与光明区。与之相比,材料与设备制造企业对于设计

的区位依赖显著较低。从上述不同环节企业之间的LCLQ值结果中可以看出,深圳市已经基本构建完成本地化的半导体产业分工体系,尤其反映在深圳不同行政区均具有主导性的生产环节:南山区主要围绕设计和晶圆制造环节进行产业集群建设,宝安、福田、龙华3个区则承担着封测、制造材料和设备以及分立器件制造等需要综合性工业生产体系的重要环节。

3.3 珠三角地区半导体产业区位关联模式

基于协同区位商的区位关系量化结果,可以进一步提取出以广州和深圳为代表的珠三角地区半导体产业区位的基本关联模式。总体上,广州和深圳都存在着依靠设计、设备环节布局半导体产业链的基本动机,但实际形成的产业区位模式却具有差异性;即广州和深圳分别形成了以分立器件制造与设计及设备制造为重点的产业区位关联模式。对比全局和局域协同区位商结果,广州在形成设计、材料和分立器件制造专业化产业集聚的基础上,仅有分立器件制造与设计以及封测环节产生的区位关联塑造了其产业链建设的基本路径;而深圳则依赖于设计和设备制造2大环节构建了较为完整的半导体产业链,既形成了设计和设备制造的专业化集聚,也有效地与其他所有环节产生区位关联。

两座城市之间这种半导体产业区位关联模式的差异在珠三角地区极具代表性。广州和深圳作为珠三角地区的中心城市,在电子元器件制造、一般消费电子代工、数字技术服务等产业均具有不同程度的比较优势;然而在从中低端电子元件制造向系统化的半导体产业链转型的过程中却出现了差异化结果。广州更加侧重于半导体电子元件的一体化生产;由于分立器件制造既具有传统电子元件的基本属性,也是当前半导体产业中相对边缘化的业务环节,依靠该环节构建产业链具有前期投资成本较低、集群建设较快的基本优势。从国内半导体产业发展历史来看,相较于北京、河北、上海、无锡、绍兴等城市,由于缺乏半导体集成电路本地化的知识和技术基础,广州半导体产业起步较晚;同时,长期从事中低端电子元件加工已经形成了潜在的产业发展的路径依赖。所以,通过分立器件制造吸引其他关联环节的集中布局是广州在建设半导体产业链过程中的重要区位模式。与广州形成鲜明对比的是,深圳通过半导体设计和设备制造2个关键环节来主导半导体产业链在内部不同行政区之间



注:分图中标题的基本范式为中心点属性—相邻点属性。

图6 深圳市半导体产业的局域协同区位商

Fig.6 The LCLQ of semiconductor industry in Shenzhen City

表5 深圳半导体产业LCLQ值显著性结果统计
Tab.5 Semiconductor industry LCLQ value statistics in Shenzhen City

显著点编号	中心	相邻	LCLQ	P值	区县	显著点编号	中心	相邻	LCLQ	P值	区县
1	材料	设备	4.45	0.02	宝安区	22	设计	晶圆制造	58.03	0.04	南山区
2	材料	设备	4.01	0.02	光明区	23	设计	晶圆制造	26.77	0.04	南山区
3	材料	设备	3.74	0.04	宝安区	24	设计	封测	13.07	0.04	龙华区
4	封测	设备	5.47	0.02	宝安区	25	设计	封测	6.43	0.02	福田区
5	封测	设备	2.51	0.04	宝安区	26	设计	封测	5.78	0.02	福田区
6	设备	材料	9.97	0.02	宝安区	27	设计	封测	5.76	0.02	福田区
7	设备	材料	9.87	0.02	宝安区	28	设计	封测	5.32	0.04	宝安区
8	设备	材料	8.75	0.02	宝安区	29	设计	封测	5.18	0.02	福田区
9	设备	材料	6.24	0.04	光明区	30	设计	封测	5.17	0.02	福田区
10	设备	材料	5.77	0.04	光明区	31	设计	封测	5.15	0.02	福田区
11	设备	材料	4.21	0.04	光明区	32	设计	封测	5.03	0.04	福田区
12	设备	设计	1.59	0.02	南山区	33	设计	封测	5.02	0.02	福田区
13	设备	封测	8.40	0.04	宝安区	34	设计	封测	4.74	0.02	宝安区
14	设备	封测	4.48	0.04	宝安区	35	设计	材料	7.64	0.02	南山区
15	设备	封测	3.92	0.04	宝安区	36	设计	材料	7.07	0.04	南山区
16	设计	分立器件	14.80	0.04	福田区	37	设计	设备	5.48	0.04	龙华区
17	设计	分立器件	13.34	0.02	宝安区	38	设计	设备	4.71	0.04	南山区
18	设计	分立器件	10.80	0.02	福田区	39	设计	设备	3.89	0.02	龙华区
19	设计	分立器件	10.69	0.04	宝安区	40	设计	设备	3.21	0.02	宝安区
20	设计	分立器件	9.68	0.04	福田区	41	分立器件	设计	1.55	0.02	南山区
21	设计	分立器件	9.27	0.04	宝安区	42	分立器件	封测	4.48	0.04	宝安区

的区位模式。半导体设计为导向的区位模式来源于其承担着半导体产业链与数字技术服务产业链之间的生产关联。由于对移动通信、智能终端、娱乐电子等行业企业定制化业务深度嵌入的现实需要,半导体设计事实上具有相关知识和技术的转化功能,使半导体作为一种中间品更容易进入更大尺度的数字服务产业链。深圳在下游半导体应用产业的巨大优势为半导体设计提供规模化、多元化的设计需求;同时以计算机科学和互联网为新经济支柱的产业结构也为半导体设计业的长足发展奠定了年轻的高素质劳动力及产业衍生基础。半导体设备制造在深圳与封测和材料制造的区位关联模式则具有工业集群建设的一般特征。设备与材料是半导体制造和封测环节的必要支撑,3个生产环节事实上具有连续性和不可分离性。即在很大程度上,深圳围绕半导体封测已经形成了材料和设备生产的本地化,这是深圳半导体全产业链基本成型的重要证据。就珠三角地区整体而言,其半导体产业集聚的基础事实上是依靠参与全球电子信息制造业价值链的组装代工而形成。改革开放后,珠三

角地区依赖外资从初级电子加工逐步构建起电子信息制造产业集群,以专业镇和开发区为基本单元参与全球电子信息制造业的价值链循环过程,由此形成了地区内不同城市在半导体产业链上不同生产环节及其相应增值能力的异质性,这也进一步导致不同环节的企业布局也存在显著的空间异质性。

4 结论

产业布局及其区位模式的探索和讨论是经济地理研究中的基础问题之一。本文针对半导体产业链中不同环节企业在珠三角地区的布局区位问题展开探讨,引入基于最近邻原则的协同区位分析方法,并将不同环节企业的全局和局域协同区位商作为关键变量,识别和分析广州和深圳两大重点城市半导体产业的空间关联模式,旨在呈现半导体产业链内部不同环节企业之间的空间关系。研究所得到的关键结论如下:

珠三角地区半导体产业空间上总体形成以广深莞地区为主导的“核心—边缘”结构。半导体设

计在珠三角地区内分布最为广泛,其数量及资本规模占据主导地位,是主要城市进入半导体产业链体系中的普遍选择;同时与半导体设备以及分立器件制造企业同样呈现出“多而小”的基本规模特征。晶圆制造企业数量极少,但资本规模较大,表现为少数大型企业形成的行业垄断态势。

广州和深圳作为珠三角地区半导体产业发展的中心城市,两地形成了不同环节的产业集聚及其区位关联模式。广州在材料、设计和分立器件制造环节上存在显著的产业集聚特征,分立器件制造是其半导体产业链布局的主体环节,仅与设计和封测环节存在显著的区位关联。深圳已经构建了以设计和设备2大环节专业化集群为主体的全产业链,尤其是设计与晶圆制造的区位协同关系较强。广州在局域尺度下的半导体产业区位关联显著性与深圳存在明显差距,深圳半导体产业链构建比广州更加完整。

广深两地半导体产业的区位关联模式形成与本地产业结构有关。在从一般电子元器件向半导体产业系统建设的过程中,分立器件制造环节的集聚有利于降低广州本地对半导体全产业链建设大规模前期投入带来的布局风险,而深圳能够围绕设计和设备构建全产业链的重要动力来自于数字技术和移动互联网企业在本地的集聚,通过半导体设计业务的定制化供需关系奠定了相关的知识、技术和人才基础。

参考文献(References)

- [1] Grimes S, Du D. China's emerging role in the global semiconductor value chain [J]. *Telecommunications Policy*, 2020, 46(2): 101959. doi: 10.1016/j.telpol.2020.101959.
- [2] 朱贻玮. 集成电路产业50年回眸 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019. [Zhu Yiwei. A 50-year retrospective of the integrated circuit industry. Beijing, China: Electronic Industry Press, 2019.]
- [3] 马源, 屠晓杰. 全球集成电路产业: 成长、迁移与重塑 [J]. *信息通信技术与政策*, 2022(5): 68-77. [Ma Yuan, Tu Xiaojie. Global integrated circuit industry: Evolution, migration and reconstruction. *Information and Communications Technology and Policy*, 2022(5): 68-77.]
- [4] Scott A J, Angel D P. The US semiconductor industry: A locational analysis [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 1987, 19(7): 875-912.
- [5] Scott A J, Angel D P. The global assembly-operations of US semiconductor firms: A geographical analysis [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 1988, 20(8): 1047-1067.
- [6] West J. Institutions, information processing, and organization structure in research and development: Evidence from the semiconductor industry [J]. *Research Policy*, 2000, 29(3): 349-373.
- [7] 王琳, 王琛, 曾刚. 产业集群与浦东集成电路产业建设 [J]. *世界地理研究*, 2005, 14(1): 23-27. [Wang Lin, Wang Chen, Zeng Gang. Industrial clusters and the development of Pudong IC industry. *World Regional Studies*, 2005, 14(1): 23-27.]
- [8] 文婷. 基于全球性互动的地方产业网络发展研究: 以上海浦东 IC 地方产业网络为例 [J]. *当代经济管理*, 2006, 28(4): 77-82. [Wen Hu. Development of local industrial network based on global interaction: A case study. *Contemporary Economy & Management*, 2006, 28(4): 77-82.]
- [9] 文婷. 价值链空间形态演变下的治理模式研究: 以集成电路(IC)产业为例 [J]. *中国工业经济*, 2006(2): 45-51. [Wen Hu. Study of value chain governance based on the change of value chain from the space perspective: Case of IC industry. *China Industrial Economy*, 2006(2): 45-51.]
- [10] 文婷, 杨友仁, 侯俊军. 嵌入性与 FDI 驱动型产业集群研究: 以上海浦东 IC 产业集群为例 [J]. *经济地理*, 2007, 27(5): 741-746. [Wen Hu, Yang Youren, Hou Junjun. Study of embeddedness and FDI-driven industrial cluster: Case of Pudong IC industrial cluster. *Economic Geography*, 2007, 27(5): 741-746.]
- [11] Leslie T F, Kronenfeld B J. The colocation quotient: A new measure of spatial association between categorical subsets of points [J]. *Geographical Analysis*, 2011, 43(3): 306-326.
- [12] Cromley R G, Hanink D M, Bentley G C. Geographically weighted colocation quotients: Specification and application [J]. *The Professional Geographer*, 2014, 66(1): 138-148.
- [13] 李小建, 胡雪瑶. 中国公司地理研究进展及特色凝练 [J]. *经济地理*, 2021, 41(10): 33-41. [Li Xiaojian, Hu Xueyao. Progress of corporate geography research in China. *Economic Geography*, 2021, 41(10): 33-41.]
- [14] 贺灿飞, 王文字, 郭琪. 中国工业地理学的传承发展与转型 [J]. *地理学报*, 2021, 76(8): 1815-1834. [He Canfei, Wang Wenyu, Guoqi. The inheritance, development and transformation of industrial geography in China: Based on analysis of articles published in *Acta Geographica Sinica* during 1934-2019. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(8): 1815-1834.]
- [15] 陈曦, 席强敏, 李国平. 制造业内部产业关联与空间分布关系的实证研究 [J]. *地理研究*, 2015, 34(10): 1943-

1956. [Chen Xi, Xi Qiangmin, Li Guoping. Industrial linkage and spatial distribution of manufacturing industry. *Geographical Research*, 2015, 34(10): 1943-1956.]
- [16] Arku G, Cleave E, Easton M. Geographic differences in the distribution of manufacturing firms in Ontario, Canada [J]. *Area*, 2020, 52(3): 634-645.
- [17] 叶玉瑶, 吴康敏, 张虹鸥, 等. 珠三角新晋跨境制造业企业地理集聚与区位选择 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38(10): 1583-1595. [Ye Yuyao, Wu Kangmin, Zhang Hong'ou, et al. Geographical agglomeration and location factors of the new-born cross-border manufactural firms in the Pearl River Delta. *Progress in Geography*, 2019, 38(10): 1583-1595.]
- [18] 曹玉红, 宋艳卿, 朱胜清, 等. 基于点状数据的上海都市型工业空间格局研究 [J]. *地理研究*, 2015, 34(9): 1708-1720. [Cao Yuhong, Song Yanqing, Zhu Shengqing, et al. The spatial pattern of Shanghai urban industry based on point data. *Geographical Research*, 2015, 34(9): 1708-1720.]
- [19] 宋金彦, 李仙德, 徐宁. 中国新创通信设备制造企业空间格局及其影响因素研究 [J]. *地理科学进展*, 2021, 40(6): 911-924. [Song Jinyan, Li Xiande, Xu Ning. Spatial pattern and underlying factors of new telecommunication equipment ventures in China. *Progress in Geography*, 2021, 40(6): 911-924.]
- [20] Corradini C, Santini E, Vecchiolini C. The geography of industry 4.0 technologies across European regions [J]. *Regional Studies*, 2021, 55(10/11): 1667-1680.
- [21] 刘婧, 甄峰, 张姗姗, 等. 新一代信息技术企业空间分布特征及影响因素: 以南京市中心城区为例 [J]. *经济地理*, 2022, 42(2): 114-123, 211. [Liu Jing, Zhen Feng, Zhang Shanqi, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of new-generation information technology companies: A case of Nanjing central city. *Economic Geography*, 2022, 42(2): 114-123, 211.]
- [22] 马仁锋, 吴丹丹, 张文忠, 等. 城市文化创意产业微区位模型及杭州案例 [J]. *经济地理*, 2019, 39(11): 123-133. [Ma Renfeng, Wu Dandan, Zhang Wenzhong, et al. Micro-location model of urban cultural & creative industries and its application in Hangzhou. *Economic Geography*, 2019, 39(11): 123-133.]
- [23] 张志斌, 公维民, 张怀林, 等. 兰州市生产性服务业的空间集聚及其影响因素 [J]. *经济地理*, 2019, 39(9): 112-121. [Zhang Zhibin, Gong Weimin, Zhang Huailin, et al. The spatial agglomeration characteristics and its influencing factors of producer services in Lanzhou. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 112-121.]
- [24] 李佳谔, 孙威, 张文忠. 北京典型行业微区位选址比较研究: 以北京企业管理服务业和汽车制造业为例 [J]. *地理研究*, 2018, 37(12): 2541-2553. [Li Jiaming, Sun Wei, Zhang Wenzhong. Comparative study on micro-scale location choice of typical industries: The case study of management service and automobile manufacturing in Beijing. *Geographical Research*, 2018, 37(12): 2541-2553.]
- [25] 张文忠. 经济区位论 [M]. 北京: 商务印书馆, 2022. [Zhang Wenzhong. *The economics of location*. Beijing, China: Commercial Press, 2022.]
- [26] Ke S Z, He M, Yuan C H. Synergy and co-agglomeration of producer services and manufacturing: A panel data analysis of Chinese cities [J]. *Regional Studies*, 2014, 48(11): 1829-1841.
- [27] Yuan F, Gao J L, Wang L, et al. Co-location of manufacturing and producer services in Nanjing, China [J]. *Cities*, 2017, 63: 81-91.
- [28] 张大鹏, 曹卫东, 姚兆钊, 等. 上海大都市区物流企业区位分布特征及其演化 [J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(7): 1478-1489. [Zhang Dapeng, Cao Weidong, Yao Zhaozhao, et al. Study on the distribution characteristics and evolution of logistics enterprises in Shanghai metropolitan area. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(7): 1478-1489.]
- [29] 严若谷. 金融业协同集聚的空间分异研究: 基于深圳金融企业选址的观察 [J]. *广东社会科学*, 2021(5): 26-35. [Yan Ruogu. Research on spatial differentiation of financial industry co-agglomeration: Based on the observation of location selection of financial enterprises in Shenzhen. *Social Sciences in Guangdong*, 2021(5): 26-35.]
- [30] Xue B, Xiao X, Li J Z. Identification method and empirical study of urban industrial spatial relationship based on POI big data: A case of Shenyang City, China [J]. *Geography and Sustainability*, 2020, 1(2): 152-162.
- [31] 张英浩, 汪明峰. 新零售背景下连锁店区位选择及其空间关联特征 [J]. *热带地理*, 2021, 41(3): 573-583. [Zhang Yinghao, Wang Mingfeng. Location selection and correlation characteristics of chain stores against the background of new retail. *Tropical Geography*, 2021, 41(3): 573-583.]
- [32] 孟斌, 高丽萍, 李若倩. 基于协同区位商的北京城市职住要素空间关联 [J]. *地理学报*, 2021, 76(6): 1380-1393. [Meng Bin, Gao Liping, Li Ruoqian. Spatial correlation analysis of residential and employment elements in Beijing based on collaborative location quotient. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(6): 1380-1393.]
- [33] Leslie T F, Kronenfeld B J. The colocation quotient: A new measure of spatial association between categorical

- subsets of points [J]. *Geographical Analysis*, 2011, 43(3): 306-326.
- [34] Wang F H, Hu Y J, Wang S, et al. Local indicator of colocation quotient with a statistical significance test: Examining spatial association of crime and facilities [J]. *The Professional Geographer*, 2017, 69(1): 22-31.
- [35] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 77-89. [Wang Jinfeng, Liao Yilan, Liu Xin. *Course of spatial data analysis*. Beijing, China: Science Press, 2010: 77-89.]
- [36] Cao W D, Li Y Y, Cheng J Q, et al. Location patterns of urban industry in Shanghai and implications for sustainability [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27 (7): 857-878.

Spatial distribution and location correlation of the semiconductor industry in the Pearl River Delta region

REN Yawen^{1,3}, YANG Yu^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Institute of Strategy Research for the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, Guangzhou 510070, China; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The locational association of industrial layout is an important element in the study of the spatial structure of regional industries and their spatial relationship. In this study, we constructed a database of semiconductor enterprises in the Pearl River Delta (PRD) region and examined the spatial pattern of the semiconductor industry and its locational association characteristics in the region by using kernel density analysis and synergistic locational analysis. The results show that: 1) Guangzhou, Shenzhen, and Dongguan formed important spatial clusters of the semiconductor industry in the PRD region, and the semiconductor design segment is a common choice for entering the semiconductor industry chain in the PRD region. 2) Although Guangzhou has formed specialized clusters in design, materials, and discrete device manufacturing, only its discrete device manufacturing segment has formed a locational synergy with the design and packaging segments; while Shenzhen has formed a synergistic relationship with the design equipment. 3) Guangzhou's specialization in discrete device manufacturing is a transitional state in the construction of the semiconductor industry chain, while Shenzhen's advantage in the construction of the whole industry chain is based on the high concentration of digital technology enterprises in the city and the establishment of common knowledge, technology, and human resources bases through the semiconductor design segment and other segments.

Keywords: industrial space; semiconductor industry; location correlation; co-location quotient; Pearl River Delta