

粤港澳大湾区区域合作与产业一体化的演化特征及耦合关系研究

冯琰玮¹, 张衍春^{2*}, 徐元朔²

(1. 内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310012)

摘要:区域一体化下的跨界合作与产业协同有利于推动区域高质量发展与实现共同富裕。论文借助流空间网络、耦合分析、探索性空间分析等方法系统分析2010—2019年粤港澳大湾区区域合作与产业一体化的演化特征及耦合关系,得到的主要结论有:①大湾区区域合作突破地理邻近性,网络化趋势明显加强,城市网络联系指数整体上升;②大湾区城市产业布局、要素一体化过程中极化效应显著,产业发展内部差异悬殊;③大湾区区域合作与产业一体化的耦合协调度整体上升,其空间演化呈集聚趋向,空间布局结构具有局部稳定性,整体分布格局呈“东南独高、中北趋凸、周边低凹”的特征;④大湾区西部及东南沿海城市耦合协调度空间增长过程具有显著的负向整合性,大湾区耦合协调度空间演化具有空间依赖性。研究表明大湾区区域合作与产业一体化具有显著的时空关联性,大湾区应持续推进多层次、全方位的区域合作,促进产业一体化与区域合作的高度耦合。

关键词:区域合作;产业一体化;流空间网络;耦合协调度;粤港澳大湾区

全球经济战略重组推动国家竞争与合作显现多尺度的地理重构。依靠地理区位、资源禀赋和本土企业支撑的城市竞争模式被逐渐消解,区域发展形成以城市群为空间载体、产业集群为竞争主体的空间态势^[1]。通过跨管辖权的区域合作达成城市区域内部产业有序分工成为提升国家竞争力的核心策略^[2]。城市区域打破了不同行政单元之间的制度壁垒,旨在城乡一体化空间内实现社会经济多领域整合发展,为区域经济集聚与战略规划提供发展支撑^[3]。目前,城市群发展已成为中国重要的国家发展战略,区域合作正通过建立跨行政区的协作模式谋求发展共赢^[4]。

区域合作是区位邻近的地区或城市通过建立沟通协调机制,制定统一的区域政策、规划布局及对接措施以实现要素优化配置的过程^[5]。通过要素流动消解地理邻接作用的流空间重塑了区域空间结构,流空间理论也为区域空间结构演化提供了新的量化方法^[6]。流空间是由信息流、物质流等要素组成的复合空间^[7],在信息社会背景下,信息流对物质流的导引作用具有多维度、多层次的特征^[8-9]。此外,信息流在实现不同局部地理空间的社会经济信息瞬时传递的同时,并没有降低地理空间生产的集聚性,因此在流空间的基础研究中适用性更广^[10]。流空间测度区域空间结构的方法主要包括位序—

收稿日期:2022-01-20;修订日期:2022-06-22。

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21ZDA064);国家自然科学基金项目(42101187);浙江省教育厅一般科研项目(Y202146123);广东省基础与应用基础研究基金联合基金青年基金项目(2019A151511145)。[Foundation: National Social Science Foundation of China, No. 21ZDA064; National Natural Science Foundation of China, No. 42101187; General Scientific Research Program of Education Department of Zhejiang Province, No. Y202146123; Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation, No. 2019A151511145.]

第一作者简介:冯琰玮(1994—),男,山西大同人,博士生,主要从事城市地理与区域发展研究。

E-mail: fengyanwei123@icloud.com

***通信作者简介:**张衍春(1988—),男,安徽巢湖人,研究员,博士生导师,主要从事城市与区域治理及国土空间规划研究。

E-mail: zhangxianchun@zju.edu.cn

引用格式:冯琰玮, 张衍春, 徐元朔. 粤港澳大湾区区域合作与产业一体化的演化特征及耦合关系研究[J]. 地理科学进展, 2022, 41(9): 1647-1661. [Feng Yanwei, Zhang Xianchun, Xu Yuanshuo. Evolution and coupling relationship between regional cooperation and industrial integration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Progress in Geography, 2022, 41(9): 1647-1661.]

DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.09.008

规模法^[11]与社会网络分析法^[12],测度指标多涉及网络密度^[13]与网络中心性^[14]。流空间视角下城市网络空间与地理实体空间之间的耦合作用解析研究多集中于交通运输^[15]、资本交易^[16]及公共服务^[17]等功能领域。在区域空间结构联系测算的基础上,常采用耦合协调度^[18]、灰色关联度^[19]等模型描述局部空间信息化建设水平差异,从而为区域城市间合作利益分配机制的调控提供依据。

产业一体化是区域各产业主体在区位选择的基础上运用资源整合、经济合作等手段,重塑产业空间布局并实现生产要素在区域内无障碍流动的过程^[20-21]。产业一体化的动因在于通过各地资源的整合促进生态要素流动加快,从而形成与产业结构相匹配的发展格局^[22]。一体化的发展目标可通过统筹区域发展提高资源利用效率,从制度层面消除行政壁垒,加快形成共同市场与要素自由流动^[23-24]。已有研究主要基于区域产业同构化^[25]、产业集聚协同^[26]对产业一体化进行测度,产业一体化水平空间分异的影响因素主要包括区域市场化程度、外部投资等经济因素^[27]、环境规制等社会制度因素^[28],区域产业一体化进程的加快有利于促进区域市场整合及用地集约化发展,增强生产技术创新能力^[29]。事实上,相对于传统产业环境下城市主体的独立性,产业一体化发展趋势使得主体间的合作进程易受邻域单元的影响^[30]。此外,产业一体化是区域合作达到一定阶段的产物,它通过捕获集聚与互补效应成为实现区域经济效益的重要途径^[31]。综上,已有文献多围绕区域合作经济网络空间演化特征及驱动机制、产业合作一体化等主题展开研究。区域合作网络分布特征多侧重于社会经济系统,缺少对政策制度性网络的量化分析。此外,产业一体化效应评价的数据源形式较为单一,采用多源数据对产业发展效应进行评价较为少见。

以优良港湾为依托形成的湾区成为当今世界经济版图中最突出的空间单元^[32]。粤港澳大湾区(简称“大湾区”)是具有世界湾区规模实力以上的第四大群体,其“一国两制”背景下的区域合作与一体化进程有别于其他湾区^[33]。早在20世纪90年代,大湾区已从多领域展开区域合作,为生产要素跨界流动、产业转移提供了便利^[34]。如深圳前海蛇口、广州南沙、珠海横琴3个自由贸易实验区平台与港澳市场实现对接;珠三角9市的创新合作平台围绕科技资源要素开展规则衔接的压力测试^[35],推动大

湾区形成梯度发展、分工合理、优势互补的产业一体化体系。大湾区产业一体化在一定程度上打破了行政分割,构建起“前店后厂”的产业地域分工模式,但也表现出产业工序、地方产业组织模式碎片化等特征,不同城市产业发展模式及水平差异较为显著,对于实现区域产业协同发展及空间绩效最大化存在阻碍。为进一步探讨区域合作实践对推动区域产业一体化的作用程度,促进区域合作空间溢出效应,本文通过流空间网络、耦合协调度、探索性空间分析等方法量化大湾区区域合作与产业一体化的演化特征及耦合关系,并采用空间计量分析方法探讨制度性网络及产业一体化间的协调关系演进对区域经济空间分异格局形成的影响,以期为大湾区制定一体化的区域发展政策,以及探究制度性区域网络空间与产业功能性地理空间的相互作用关系提供借鉴。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

大湾区是由香港特别行政区、澳门特别行政区和珠三角9市(广州市、深圳市、珠海市、佛山市、惠州市、东莞市、中山市、江门市、肇庆市)组成的世界级城市群,地处21°25′~24°30′N,111°12′~115°35′E之间。大湾区陆域面积约5.6万km²,大陆和岛屿海岸线总长近3201 km。2019年,中共中央及国务院印发《粤港澳大湾区发展规划纲要》,标志着大湾区建设将作为中国高质量发展的典范,香港、澳门、广州、深圳4大中心城市将成为区域发展的核心引擎。截至2020年底,大湾区人口数量超过8600万,经济总量达11.5万亿元,作为中国工业化、城镇化最为发达的区域之一,各类生产要素在此高度集聚^[36]。大湾区无论是在内部城市间的合作能力,还是在联动内陆腹地、对接世界网络的综合效能上,都位居中国城市群的前列,是具有网络关联和一体化发展特征的典型区域。

1.2 数据来源

政府官方网站会及时向社会公众播报政府间的合作成果,通过该途径爬取的城市间合作新闻具有可靠性、适时性与权威性。由于区域合作面板数据难以获取,以城市间合作新闻量化区域合作具有一定的合理性与创新性。相较于要素流、统计年鉴等其他类型大数据,新闻类数据虽存在样本代表性

缺陷,但其特有的地理标签可以针对合作类型开展相关研究。具体数据名称、类型及来源如表1所示,时间序列均为2010—2019年。其中,城市间合作新闻数据主要来源于新闻媒体,共收集有效词条13593条;产业一体化采用多源数据进行量化,数据形式为时序或栅格数据,分别以城市为单位进行采集或均值提取。

1.3 研究方法

1.3.1 流空间网络分析方法

根据 Taylor^[37]提出的流空间网络方法,构建2010—2019年大湾区城市间合作新闻的基础矩阵进行网络分析。基于Ucinet网络分析软件,从要素流强度(城市间合作新闻的关联量)、中心度(城市间合作新闻联系的紧密程度、各城市对要素流的掌控强度)以及核心度(城市间合作新闻的集聚程度)3个角度测算大湾区各城市的社会网络结构演化情况。评价指标包括要素流强度、点度中心度、特征向量中心度及核心度4项内容^[38],对各项指标进行加权修正合成网络联系指数,各指标获取方式、内涵及衡量标准、熵权法权重结果如表2所示。

1.3.2 产业一体化发展评价方法

产业一体化包括产业布局一体化、产业要素一

体化和产业发展效应一体化3个方面。因香港、澳门与珠三角9市统计口径差异,考虑到数据的可获取性,依托指标频度统计法、专家咨询法等指标选取方法构建大湾区产业一体化发展评价指标体系(表3)。其中:①产业布局一体化是因区域产业发展目标一致而促使产业数量扩张及产业集聚所形成的空间规模变化、区域合作所形成的产业分工变化及产业功能重组所形成的结构变化^[21],具体表现在产业扩展、集聚、分工、升级等方面,产业集聚度可用以表征产业扩展及集聚水平;产业分工可通过产业结构相似度进行刻画;产业升级可通过产业高级化及发展能耗进行评价。②产业要素一体化是对区域内部生产要素流动条件的集成评价,城市间要素流动区位不平衡是导致区域产业发展模式与形态差异的主要原因,常见对人口、物品运输、资金、信息及技术等区位要素流动性的评价。市场化水平、产业结构等因素对产业一体化的影响测度向来颇受关注,但缺乏从不同城市节点的维度距离对该类问题进行描述,因此可借鉴相关研究^[16]采用客货运总量、移动电话通信量等数据替代相关要素的流量数据。③产业发展效应一体化是区域产业发展所带来的各种溢出效应,可借助城镇化、工业化

表1 数据来源
Tab.1 Data sources

名称	类型	来源
合作新闻数据	矢量	① 城市政府官方网站爬取合作新闻;② 南方新闻网(http://www.southcn.com)、广东新闻网(http://www.gd.chinanews.com)、澳门月刊(http://www.macaumonthly.net)及香港新闻网(http://www.hkcn.hk)等网站爬取合作新闻;③ 百度搜索引擎爬取合作新闻
经济统计数据	时序	中国统计年鉴、广东统计年鉴、香港统计年刊、澳门统计年鉴
行政边界数据	矢量	自然资源部地图技术审查中心标准地图服务(http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/)
土地利用数据	栅格	1990—2019年中国30 m年土地覆盖及其动态数据集
夜间灯光数据	栅格	DMSP_OLS V4(1992—2013年)与VIIRS_VNL V2(2012—2020年)数据集
PM _{2.5} 数据	栅格	圣路易斯华盛顿大学(https://sites.wustl.edu/acag/datasets/surface-pm2-5)中国PM _{2.5} 数据集

表2 流空间网络分析评价指标
Tab.2 Evaluation indicators for space of flows network analysis

指标及权重	获取方式	内涵及衡量标准
要素流强度 0.30	$F_m=I_1+I_2+\cdots+I_n$	测算单一城市要素的规模实力,式中, F_m 为城市 m 的要素总强度; I 为城市间要素的关联量; I_n 表示所有与城市 m 有关的要素流强度
点度中心度 0.23	Ucinet软件Centrality选项 Multiple Measures工具	测算单一城市与其他节点的交往能力,反映空间网络各节点的联系中心性水平,其值越大说明该城市的要素活跃度就越高,联动网络的能力就越强
特征向量中心度 0.15	Ucinet软件Centrality选项 Multiple Measures工具	测算O-D网络中心度的标准化程度,若某城市位于高分节点,其特征向量的中心度就越高
核心度 0.32	Ucinet软件Core/Periphery选项 Categorical/Continuous工具	O-D网络中各节点相互联系形成一种中心紧密连接、外围逐渐稀疏的特质空间结构,核心度可测算单一城市要素的集聚水平

水平及生态治理等方面进行测度。对各指标进行极差标准化后采用熵权法进行加权合成,各指标权重见表3。

1.3.3 耦合效应分析方法

(1) 耦合协调度模型

耦合协调水平越高,就越利于发挥系统整体功效和协同效应。基于此,在分析区域网络联系和产业一体化发展水平的基础上,构建系统耦合协调模型,具体计算方式如下:

$$C = 2 \times \left[\frac{E_i \times U_i}{(E_i + U_i)^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中: C 为耦合度; E_i 、 U_i 分别为城市 i 的网络联系指数和产业一体化发展指数。再引入耦合协调指数构建两系统耦合协调模型,具体计算方式如下:

$$D = \sqrt{C \times T}, \quad T = \alpha E_i + \beta U_i \quad (2)$$

式中: D 为两系统的耦合协调度; T 为两系统的综合协调度; α 、 β 分别为网络联系指数和产业一体化发展指数的待定系数,为推动二者协调发展,令 $\alpha = 0.5$ 、 $\beta = 0.5$ 。

(2) 空间相关性模型

全局空间自相关可衡量某种属性在一定区域内的空间总体分布情况或平均关联程度。全局莫兰指数(Moran's I)需提前假设某功能属性在研究区域内不存在地域差异,当 $I > 0$ 时表示该属性值的空间分布呈正相关关系,即变量在空间形态上趋于集

聚;当 $I < 0$ 时表示该属性值的空间分布呈负相关关系,即变量在空间形态上趋于离散;当 $I = 0$ 时说明该属性值无空间相关性,具体计算方式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中: x_i 、 x_j 分别是空间单元 i 、 j 的属性值; n 为区域单元总数; ω_{ij} 是一阶Rook邻接权重; \bar{x} 是所有空间单元属性的平均值。

(3) 空间半变异函数

空间半变异函数又称空间变差函数,可用于测算变量空间相关与空间变异特征^[39]。假设存在地理变量 $Y(x)$,令 $Y(x_i)$ 、 $Y(x_i+k)$ 分别为点 x_i 、 x_i+k 处的观测值,具体计算方式如下:

$$\lambda(k) = \frac{1}{2N(k)} \sum_{i=1}^{N(k)} [Y(x_i) - Y(x_i+k)]^2 \quad (4)$$

式中: $\lambda(k)$ 是地理变量 $Y(x)$ 的半变异函数; $N(k)$ 是分割距离 k 的样本量。变程、块金系数、分维数是空间半变异函数的表征参数,可反映地理变量的空间相关性、各向异性、尺度性及周期性等特征。

(4) LISA时间路径模型

依据Rey^[40]提出的时空跃迁原理,将不同时期莫兰散点图中的LISA坐标进行时空动态化处理,以反映耦合协调度在局部范围内协调演化的时空

表3 大湾区产业一体化发展评价指标

Tab.3 Evaluation indicators of industrial integrated development in the Greater Bay Area

要素层	指标层	计算方式及说明	单位	权重
布局 一体化 0.35	产业集聚度	$IA = \sum (s_i - x_i)^2$, 式中: IA 表示产业集聚度; s_i 为 i 地区第二、三产业就业人数占就业人数比重; x_i 为 i 地区就业人数占大湾区总就业人数比重	—	0.22
	产业结构相似度	$S_{ij} = \sum (x_{ik} : x_{jk}) / \sqrt{(\sum x_{ik}^2 \cdot \sum x_{jk}^2)}$, 式中: S_{ij} 表示产业结构相似度; x_{ik} 与 x_{jk} 分别为 i 地区和大湾区的第二、三产业总产值	—	0.38
	产业高级化	第三产业产值/第二产业产值	—	0.29
要素 一体化 0.34	产业能耗	工业总产值/工业用电量	万元/万 kWh	0.11
	人口流动	客运总量/常住人口	%	0.32
	物品流通	进出口贸易总额占 GDP 比重	%	0.30
	资金流动	一般公共预算支出占 GDP 比重	%	0.20
发展 一体化 0.31	信息流动	移动电话用户数/常住人口	%	0.18
	经济发展效应	人均 GDP	元	0.25
	城镇扩展效应	平均夜间灯光强度	—	0.23
	土地利用效率	建设用地地均二三产业产值	万元/km ²	0.34
	工业污染效应	细颗粒物浓度	μg/m ³	0.18

注:除产业能耗及工业污染效应为负向指标外,其余评价指标方向均为正向。

动态性特征,具体计算方式如下:

$$N_i = \frac{S \cdot \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}, \quad \delta_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{d(L_{i,1}, L_{i,T})}, \quad (5)$$

$$\theta_i = \text{degrees}(\delta_i)$$

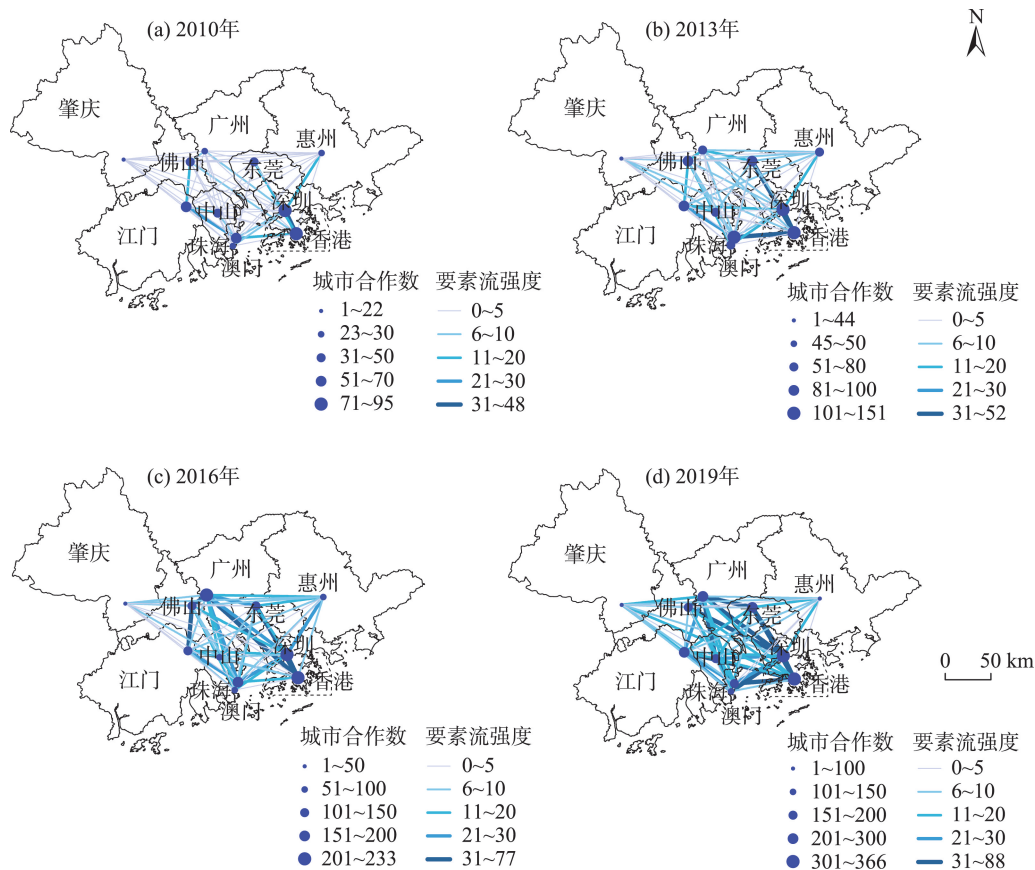
式中: N_i 表示 LISA 时间路径长度; δ_i 表示 LISA 时间路径弯曲度; θ_i 为 LISA 时间路径移动方向; S 为区域空间基本单元数量; T 为研究时段长度; $d(L_{i,t}, L_{i,t+1})$ 为城市 i 在时段 t 到 $t+1$ 的移动距离; $d(L_{i,1}, L_{i,T})$ 为城市 i 在研究时段 T 内的总移动距离。 N_i 与 δ_i 分别反映了城市 i 耦合协调度的局部结构动态变化显著性及空间依赖效应。 θ_i 值可量化表征城市 i 的耦合协调度局部空间结构的整合性,且当 $\theta_i \in (0^\circ, 90^\circ]$ 时城市 i 与其相邻城市存在正向协同增长效应, $\theta_i \in (180^\circ, 270^\circ]$ 时说明城市 i 与其相邻城市存在负向协同增长效应; $\theta_i \in (90^\circ, 180^\circ]$ 及 $\theta_i \in (270^\circ, 360^\circ]$ 分别表示城市 i 与其邻近城市存在正反向增长现象。

2 大湾区区域合作与产业一体化发展的演化特征

2.1 区域合作演化特征

2.1.1 大湾区区域合作突破地理邻近性,网络化趋势明显加强

以 2010、2013、2016 及 2019 年为观测点分析大湾区城市间合作数量及要素流强度的变化特征(图 1)。整体来看,大湾区城市间合作数及要素流强度呈上升趋势。具体来看,2010 年,香港、深圳的城市合作数排名较前,两地与其他城市的合作领域多聚焦于经济发展。香港积极寻求与珠三角各市的合作机会以实现产业改造升级,珠三角各市抓住与香港合作机遇以承接产业梯度转移。深圳谋划起“飞地”经济发展模式,主动向外寻求合作,强化了与周边城市的合作联系。要素流强度前两位的结对城市为深圳—香港及珠海—江门,表现出显著的地理邻近特征。城市合作数与要素流强度空间分布呈



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号的标准地图绘制,底图无修改。下同。

图1 大湾区城市间合作数量及要素流强度演化

Fig.1 Evolution of the quantity of city cooperation and factor flow intensity in the Greater Bay Area

南高北低的不均衡性,此时的大湾区规划尚处于雏形阶段。2013年,港深的城市合作数稳步提升并保持核心地位,两地的要素流强度同步增强。珠海—香港、东莞—香港的要素流强度开始上升,北部城市间合作趋势明显加强,南高北低的不均衡性得以缓解,“湾区”经济的发展理念屡被提及。2016年,中国提出建设大湾区世界级城市群的发展规划,广州确立了大湾区核心门户城市的地位,城市合作数一跃占据领先地位,不仅加强了与周边城市的合作联系,并突破行政边界限制提升了与香港的联系强度;广佛开展深度合作,使得穗港、广佛的要素流强度仅次于深港。区域合作网络开始呈多核心分布,但大湾区东西两翼的惠州与肇庆联系强度却处于较低水平,城市合作数与要素流强度空间分布呈现出“中心—边缘”的分布态势。2019年,大湾区明确发展战略地位,内地与港澳建设深度合作示范区,并发布发展规划纲要。深港、莞港、广深之间的互动愈发频繁,区域合作的南北不均衡演化为中心与边缘地带的失衡。此外,大湾区各城市的中心度与核心度演化阶段性特征明显。在中心度演化上,广州、惠州、东莞及港澳中心度处于上升趋势,体现了较好的联动性;核心度演化上,香港核心度下降明显,深圳有所下调,其余城市基本持平或略有上升,体现了多核心的发展趋向。可见,大湾区内部联动区域合作的城市不断增加,区域合作由单个城市集聚开始向多核心发展。

2.1.2 大湾区城市网络联系指数整体上升,深港长期处于领先地位

从大湾区网络联系指数演化情况来看(图2),各城市网络联系指数均处于上升态势,说明区域合作意愿整体上涨,但上升幅度有所不同。具体来看,2010年,深圳、香港网络联系指数最为活跃,两地具备较强的科研创新能力,在大湾区构建雏形期就展现出较强的合作意愿;澳门因多元文化共存的背景及推崇休闲旅游发展的特殊性,与其他城市合作联系相对较少,网络联系指数偏低。随着区域合作水平提升,大湾区社会网络结构趋于复杂,值得关注的是广州网络联系指数于2016年实现突破,最终排名仅次于深圳与香港两地,这与广州加速区域建设,在社会、经济方面探索泛珠三角区域合作密不可分。2019年,深圳、香港、广州三地确立了网络联系指数的领先地位,这与三地作为大湾区核心城市的地位是相符的;澳门、惠州、肇庆的网络联系指数整体偏低,澳门区域合作频次有所增加,但其中心

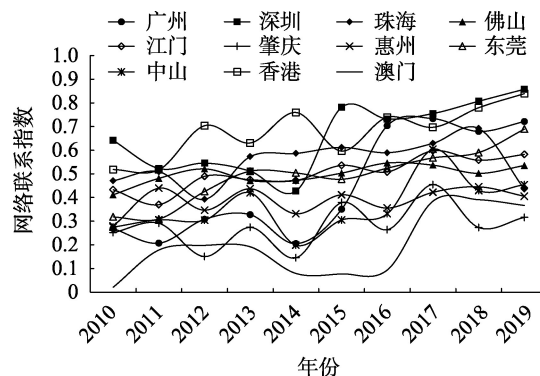


图2 2010—2019年大湾区城市网络联系指数演化

Fig.2 Evolution of city network connectivity index in the study area during 2010–2019

度及核心度表现一般,因此可加强澳门与其他城市的区域合作,充分发挥澳门的人才、资金及产业优势。惠州、肇庆两地由于处于边缘地区,网络联系指数整体偏低,作为连接大湾区与西南、东部沿海地区的门户城市,惠州、肇庆应基于其枢纽区位优势寻求区域合作新途径。综上,在区域合作上,深港、珠海、广佛展现出较强的联动性,与大湾区规划纲要对城市合作的要求相一致。但港澳与珠三角9市应在深圳前海、广州南沙与珠海横琴3个合作示范区的基础上展开多领域各层次的合作,以推动大湾区形成合理分工、功能互补的发展格局。

2.2 产业一体化发展演化特征

2.2.1 大湾区城市产业布局、要素一体化极化效应显著

根据表4可知,广州、深圳及港澳形成明显的产业集聚中心,这与四地产业极化发展的核心地位是一致的,具体来看,广州作为大湾区核心门户,具有先进装备制造、生物医药发展优势;深圳作为区域创新龙头,正转型成为科研转化基地与制造中心。此外,广深的产业布局一体化呈显著的上升趋势,两地的产业布局一体化指数最终保持在0.6左右。近年来,广东省连出多条产业发展优惠及人才吸引政策,广深借助劳动力、交通、产能的比较优势,促进产业结构升级改造。反观港澳地区,其产业布局亟需升级改造,这促使香港发挥其低税、科研及商务优势,与内地自贸区形成差异化竞争。澳门通过横琴岛强化与内陆的联系,并拓展中葡商贸合作。港澳产业布局趋向契合珠三角9市承接港澳产业梯度转移的发展意向,其他城市产业布局一体化虽整体上升,但具有一定的波动性。大湾区产业布局呈现珠江两岸“东强西弱”不均衡、西岸制造业同质化

表4 大湾区城市产业一体化发展评价结果

Tab.4 Evaluation results of industrial integrated development for cities of the Greater Bay Area

城市	2010年			2013年			2016年			2019年		
	布局	要素	效应	布局	要素	效应	布局	要素	效应	布局	要素	效应
广州	0.5076	0.2913	0.0872	0.5522	0.3535	0.1392	0.6210	0.2948	0.1980	0.6437	0.3555	0.2256
深圳	0.4427	0.2422	0.1648	0.5080	0.1833	0.2565	0.5837	0.2564	0.3286	0.5902	0.2167	0.3602
珠海	0.1640	0.3863	0.0615	0.2059	0.3500	0.1312	0.2351	0.3013	0.2147	0.2200	0.2796	0.2276
佛山	0.2722	0.1352	0.0700	0.2672	0.1735	0.0959	0.2781	0.1272	0.1839	0.2682	0.1137	0.1801
江门	0.0892	0.0714	0.0273	0.0985	0.1098	0.0617	0.1082	0.1523	0.1295	0.1066	0.1564	0.1287
肇庆	0.0936	0.0886	0.0519	0.0783	0.1049	0.0516	0.0715	0.0993	0.1235	0.0733	0.1419	0.1268
惠州	0.0925	0.0928	0.0822	0.1062	0.1370	0.1400	0.1225	0.2085	0.1823	0.1330	0.1977	0.2050
东莞	0.2896	0.1393	0.0946	0.2912	0.1631	0.1484	0.3085	0.1053	0.2098	0.3158	0.1216	0.2304
中山	0.1807	0.2465	0.0660	0.1892	0.2451	0.1218	0.1965	0.2573	0.1896	0.1881	0.2620	0.1970
香港	0.6176	0.7552	0.3161	0.5661	0.8083	0.4236	0.5220	0.7544	0.5105	0.5176	0.7792	0.5552
澳门	0.3493	0.2393	0.4258	0.4305	0.2182	0.7941	0.2263	0.3474	0.8132	0.3307	0.3604	0.9073

的特征。区别发展产业布局,实现产业错位发展与转型升级成为提升大湾区产业高质量发展的关键。

要素一体化的极化效应在香港十分突出,各阶段的要素一体化指数均超过0.75,这与香港作为全球第三大金融中心、国际化大都市的身份相契合。其他城市要素一体化发展较为完善的诸如广州、深圳、珠海、中山及澳门,借助人口、交通、资金、信息及技术流动的区位优势,为加快生产要素流动提供便利,从而促进区域经济增长及生产效率提升。而其他城市要素流动性的比较优势不突出。从产业布局、要素一体化的整体分布来看,若珠江东岸的生产要素资源能与西岸的装备制造业、海洋产业、生物医药等产业相结合,将提升大湾区整体产业发展优势。综上,大湾区业已具备完善的产业体系、较强的经济互补性及集群优势,因此需强化区域合作,不断调整产业结构,以构建具有国际竞争力的现代产业体系。

2.2.2 大湾区产业发展内部差异悬殊

产业发展效应一体化是经济、产业集聚推动工业化、城镇化发展的主要结果。整体来看,港澳的产业发展效应达到较高水平,特别是现代服务业占据龙头地位的澳门产业发展效应指数最终超过0.9;珠三角各市产业发展效应指数持续增长,深圳、东莞、广州表现较为突出,而江门、肇庆的城镇化水平相对滞后。从产业发展一体化指数来看,各地产业发展一体化水平均处于上升态势,其中,港澳处于第一梯队,广深紧随其后,而其他城市产业一体化发展水平整体偏低(图3)。此外,夜间灯光指数可反映区域城镇化发展(图4a~4c),各市建设用地扩展且呈外延扩张与集群发展态势,广佛中心城区已实

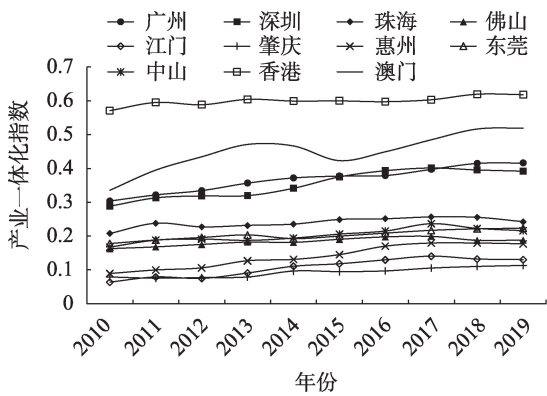


图3 2010—2019年大湾区产业一体化发展指数演化
Fig.3 Evolution of industrial integrated development in the study area during 2010–2019

现连片发展,深圳、东莞及港澳地区城镇化呈极化效应,但珠三角其他城市产业发展要素条件相对不足,缺乏必要的产业承接条件。从PM_{2.5}指数空间分布可以看出(图4d~4f),分布在珠江西岸的传统制造业使得PM_{2.5}高值在此集聚,PM_{2.5}值虽整体处于下降态势,但珠江东、西两岸空气质量差异仍较为突出。大湾区各市有较强的产业改造、提升、转型动力,因而具备上升空间。

3 大湾区区域合作与产业一体化发展的耦合关系

3.1 耦合协调关系演进的时空特征

根据式(1)、(2)计算得到区域合作与产业一体化的耦合协调度,将耦合协调度分为失调[0, 0.2)、低度协调[0.2, 0.4)、一般协调[0.4, 0.6)、中度协调

[0.6, 0.8)及高度协调[0.8, 1]5个类型,结果如图5所示。整体来看,耦合协调度未出现失调现象,其高值主要集中在深圳、香港两地。2010年,大湾区区

域尺度的耦合协调度为0.49,处于一般协调,深圳、香港为中度协调,广州、东莞等地为一般协调,肇庆及惠州为低度协调。2013年,区域尺度的耦合协调

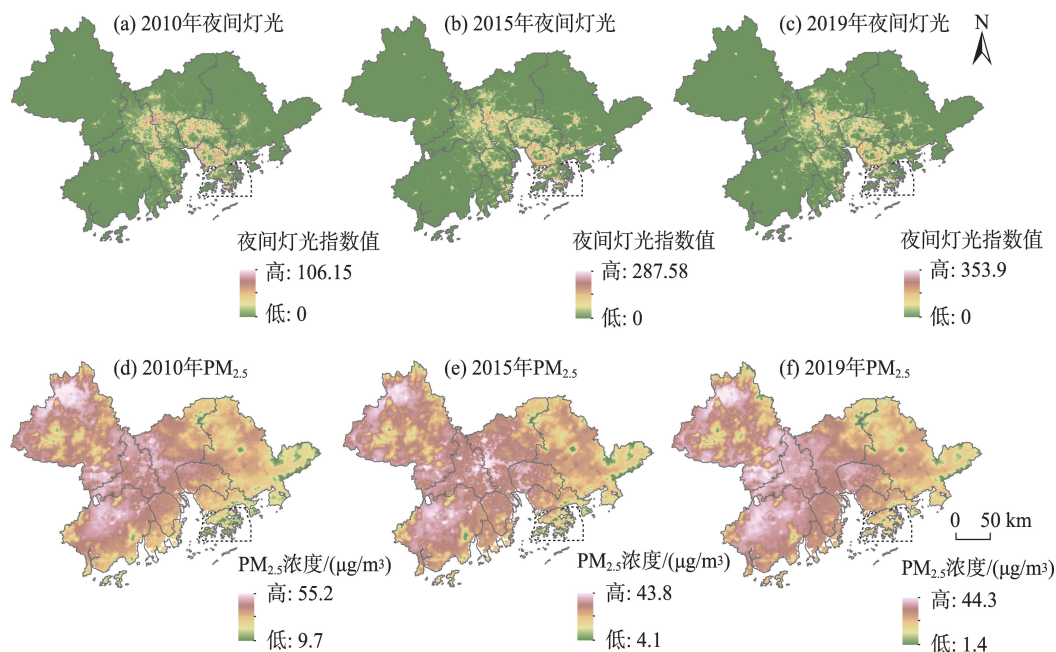


图4 大湾区夜间灯光及PM_{2.5}指数分布演化

Fig.4 Evolution of nighttime light and PM_{2.5} index in the Greater Bay Area

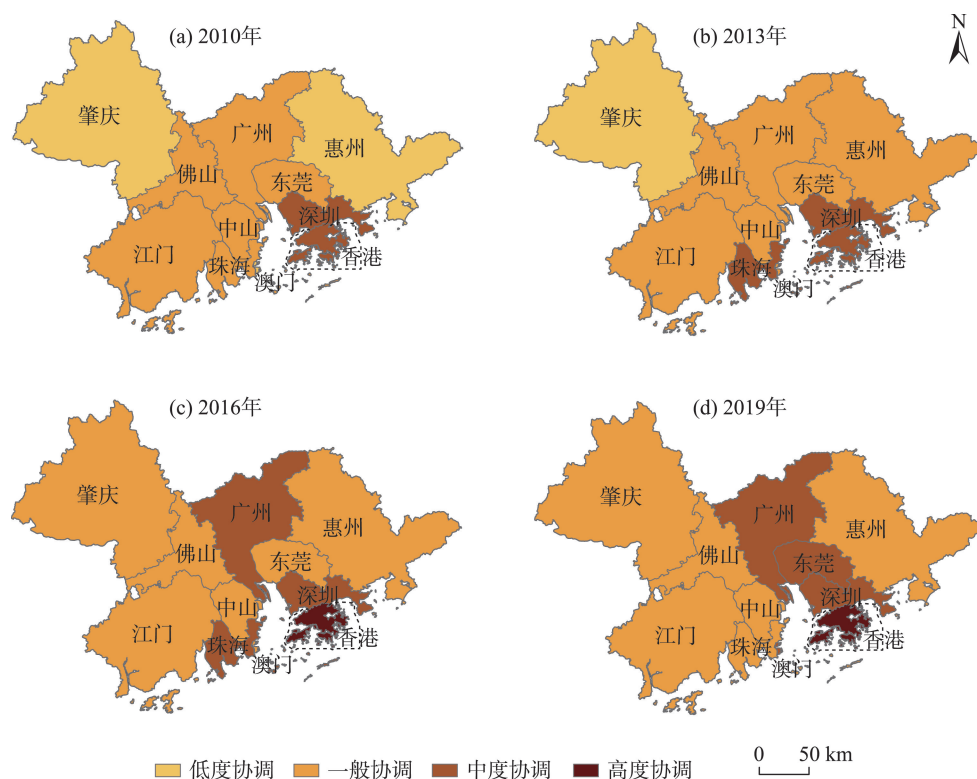


图5 大湾区区域合作与产业一体化耦合协调演化

Fig.5 Evolution of coupling coordination index of regional cooperation and industrial integrated development in the Greater Bay Area

度上升至0.56,珠海与惠州两市协调度类型发生变化,只有肇庆处于一般协调阶段。2016年,区域尺度的耦合协调度达到0.58,香港、广州及肇庆实现突破。2019年,区域尺度的耦合协调度为0.62,东莞、澳门迈入中度协调阶段,而大湾区西部城市及东部的惠州市低于区域均值。耦合协调度同样表现为珠江两岸“东强西弱”的空间分布特征。

3.2 耦合协调关系演进的时空格局

3.2.1 耦合协调度大体呈空间集聚特征

根据式(3),大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度的全局 Moran's *I* 指数结果显示(表5),除2010年为负值外,其余年份均为正值。从2011年的0.091波动上升至2019年的0.280,表明耦合协调度空间演化特征大体呈集聚演化趋向。采用Z值检验法进行检验,结果可拒绝研究对象在空间上随机分布的原假设。

3.2.2 耦合协调度空间分布的异质性

根据式(4),以各城市的耦合协调度作为Z变量,经、纬度分别为X、Y变量,进行耦合协调度变差函数分析。从耦合协调度空间变差函数拟合参数可知(表6),不同时期活动滞后距离及其间隔固定的情况下变程值不发生改变,耦合协调度结构化空间分异所引起城市间的空间关联作用强度也维持在一定水平以下。块金系数变化水平呈现周期性波动上升的变化趋向,可知大湾区耦合协调度的空间相关性变化处于增强状态。变差函数的最佳拟合模型均为高斯模型,不同时期耦合协调度空间分布结构特征相似,且空间分布具有一定的连续性。

从耦合协调度空间变差分维数可知(表7),全方位上的分维度变化呈周期性波动态势。2010—2013年出现较大幅度下降,年均降幅达到5.74%;2013—2016年及2016—2019年变化趋向分别转变为增长、降低态势,年均增降幅依次为3.56%、1.97%。2010—2019年间整体波动变化态势趋缓,但数值普遍偏高,说明大湾区耦合协调度在全方向上的空间均质性较高。各方向上的空间差异变化态势与全方位对比存在较显著的局部差异,其中东北—西南向的变化较为明显,2010—2019年间分维度数值持续增大,说明耦合协调度在东北—西南向空间差异不断减少。从各相邻年份分维度数值变化程度上看,东南—西北向的耦合协调度空间分异格局变化最为缓慢,年均变化幅度为2.54%,其次为东—西和南—北向,空间格局变化程度最大的为东北—西南方向,年均变化程度达到6.38%。从同向分维度对比上看,东—西方向的耦合协调度空间格局均质性分布程度最高,年均分维度为1.757,其次为南—北与东北—西南向,空间均质分布度最低的为东南—西北向,年均分维度为1.273。

结合空间变差拟合结果进行克里金空间插值,从3D拟合结果可知(图6),大湾区耦合协调度的空间布局结构具有明显局部稳定性特点,整体分布格局近似呈现“东南独高、中北趋凸、周边低凹”的特征,分布于东南的香港及深圳构成耦合协调度高值核心区,并对周边城市产生辐射影响力,带动东南—中北沿线城市耦合水平的显著提升。2016—2019年间在中北部发展形成以广州为中心的次高

表5 大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度的全局 Moran's *I* 指数
Tab.5 Global Moran's *I* of coupling coordination index of network connectivity and industrial integrated development in the Greater Bay Area

指标	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
Moran's <i>I</i>	-0.601	0.091	0.202	0.18	0.19	0.083	0.19	0.127	0.205	0.28
Z值	-2.097	0.8	1.259	1.17	1.211	0.765	1.211	0.95	1.276	1.589
P值	0.018	0.212	0.104	0.121	0.113	0.222	0.113	0.171	0.101	0.056

表6 大湾区网络联系指数与产业一体化空间变差函数拟合参数统计
Tab.6 Statistics for the spatial variation function fitting parameters of network connectivity index and industrial integrated development in the Greater Bay Area

年份	变程/km	块金方差	基台方差	块金系数	最佳拟合模型	决定系数
2010	6.944	0.011	0.099	0.888	Gaussian	0.735
2013	6.944	0.001	0.185	0.995	Gaussian	0.869
2016	6.944	0.007	0.178	0.960	Gaussian	0.859
2019	6.944	0.005	0.190	0.973	Gaussian	0.937

表7 大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度空间变差分维度统计

Tab.7 Statistics for the spatial variation of coupling coordination index of network connectivity and industrial integrated development by difference dimension in the Greater Bay Area

年份	全方位		东—西		东北—西南		南—北		东南—西北	
	分维度	决定系数	分维度	决定系数	分维度	决定系数	分维度	决定系数	分维度	决定系数
2010	1.778	0.698	1.765	0.307	1.032	0.601	1.874	0.007	1.380	0.848
2013	1.470	0.880	1.607	0.931	1.566	0.663	1.654	0.288	1.341	0.585
2016	1.627	0.806	1.947	0.450	1.632	0.372	1.752	0.433	1.291	0.746
2019	1.531	0.937	1.707	0.984	1.656	0.725	1.424	0.267	1.080	0.920

值核心区,大致以连接上述2个高值核心区的中心城市香港、广州形成的轴线为界,在其两侧分化为2个相对独立的低值区域,并在江门、佛山、肇庆及惠州等地形成耦合协调度低值区。2019年大湾区耦合协调度空间格局发展差异化显著,高低值之差也由2010年的0.45扩大至2019年的0.64。随着耦合协调度发展空间不平衡性进一步凸显,在空间上突出体现在香港—广州及其邻近局部地区等高值地带的耦合协调度增幅明显快于东北、西南局部边缘城市,两者局部增幅之差最大处可达4.82%,具有空间差异化的竞争关系在一定程度上印证了粤港澳大湾区一体化规划范围的科学性。综上,构建极点带动、轴带支撑、辐射周边的发展格局,重点是要发挥香港、深圳、广州等极点的引领带动作用,从而构建区域经济发展轴带,借助区域合作与产业一体化的空间耦合关系辐射大湾区,形成结构科学、集约高效的发展格局。

3.2.3 LISA时间路径几何属性特征

根据式(5),运用自然断裂法将耦合协调度LISA时间路径相对长度和弯曲度进行分级,并根据四象限法对移动方向类型进行分。根据LISA时间路径的几何特征可知(图7),相对长度较长的城市集中分布于大湾区西部边缘,具有西南及西北方向移动相对距离较长的分布特点,且LISA时间路径长度均大于0.8,这说明澳门、珠海等西南沿海高度耦合协调城市及肇庆等西北部低耦合协调城市具有较显著的空间结构演化动态性及产业要素发展可塑性;东南方向LISA时间路径移动长度较短,大多城市的相对长度小于0.5,其中深圳0.113、香港0.119、东莞0.182,移动距离偏低,说明产业要素结构调整潜力空间趋于饱和状态。弯曲度相对较大的城市集中分布于中西部,而弯曲度最大的3个城市依次为广州5.982、澳门5.838及江门4.532,说明城市单元耦合协调度增长波动性与耦合协调度存

量水平呈正相关性。耦合协调度LISA时间路径的迁移方向类型为协同增长的城市共有7个,多数集中于大湾区西部,其中6个城市与相邻城市的跃迁方式以负向协同增长为主,说明大湾区西部及东南沿海城市的耦合协调度空间增长过程具有较显著的负向整合性。

3.2.4 LISA时空跃迁特征

采用Markov转移概率矩阵与时空跃迁模型量化描述耦合协调度局部Moran's I 指数散点图的空间动态演化过程(表8)。从耦合协调度局部Moran's I 转移概率矩阵来看,耦合协调度局部结构变化整体较为稳定,相邻城市协同关系的跨类别间转移较少。除自身与邻域城市单元均未发生跃迁($H-H_t \rightarrow H-H_{t+1}$ 、 $L-L_t \rightarrow L-L_{t+1}$ 、 $H-L_t \rightarrow H-L_{t+1}$ 、 $L-H_t \rightarrow L-H_{t+1}$)及跃迁方向相反的类型($L-H_t \rightarrow H-L_{t+1}$ 、 $H-L_t \rightarrow L-H_{t+1}$)外,转移概率最大及最小的类型分别为自身不变、邻域发生跃迁($L-L_t \rightarrow L-H_{t+1}$)的类型(0.19)与自身发生跃迁($L-H_t \rightarrow H-H_{t+1}$)的类型(0.043)。从各城市LISA路径移动方向来看(图8),超过半数城市发生了不同象限间的跃迁,说明区域耦合协调度空间演化转移路径存在一定的变换性。在耦合协调度局部空间增长方向协同分布特征上,广州、澳门、珠海及惠州与相邻城市间呈现为非协同增长,其他城市与相邻城市间的相关关系以协同增长为主,说明大湾区耦合协调度空间演化具有空间依赖性。

4 结论与讨论

本文借助流空间网络、耦合分析、探索性空间分析等方法量化2010—2019年大湾区区域合作与产业一体化的演化情况及耦合关系,主要结论有:①大湾区区域合作突破地理邻近性,网络化趋势明显加强,城市合作数与要素流强度的“中心—边缘”分布趋势进一步加强,区域合作的南北不平衡演化

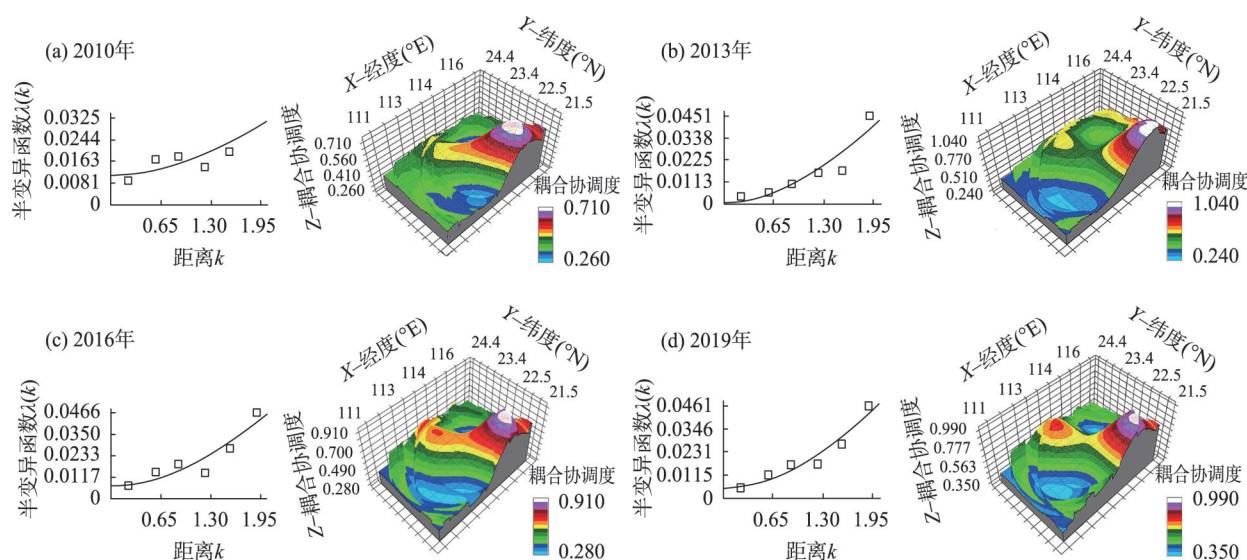


图6 大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度Kriging插值3D拟合图

Fig.6 3D fitting for Kriging interpolation of the coupling coordination index of network connectivity and industrial integrated development in the Greater Bay Area

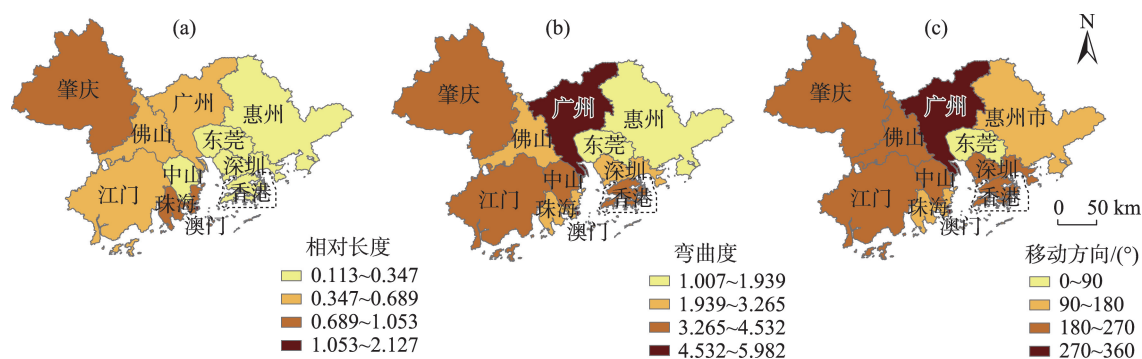


图7 大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度LISA时间路径几何特征

Fig.7 LISA path geometry of the coupling coordination index of network connectivity and industrial integrated development in the Greater Bay Area

为边缘地带不均衡。城市网络联系指数整体上升,深港两地长期处于领先地位。②大湾区城市产业布局、要素一体化极化效应显著,广州、深圳及港澳形成明显的产业集聚中心,且广深的产业布局一体化呈显著的上升趋势。③大湾区区域合作与产业一体化的耦合协调度整体上升,其空间演化呈集聚趋向,其空间布局结构具有局部稳定性的特点,整体分布格局呈“东南独高、中北趋凸、周边低凹”的特征,香港—广州及其邻近局部地区等高值地带的耦合协调度增幅明显快于东北、西南局部边缘城市。④大湾区西部及东南沿海城市的耦合协调度空间增长过程具有较显著的负向整合性;在耦合协调度局部空间增长方向协同分布特征上,广州、澳门、珠海及惠州与相邻城市间呈现为非协同增长,

其他城市与相邻城市以协同增长为主。上述结论印证了大湾区构建集约高效发展格局的科学性。

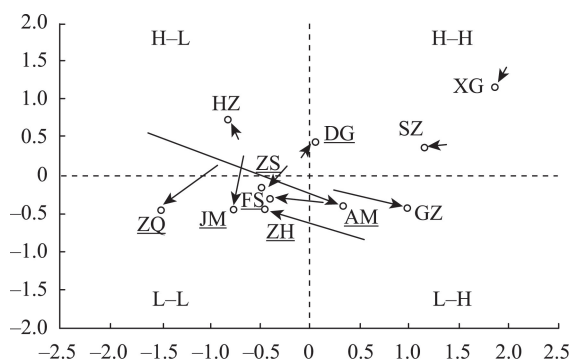
本文基于耦合理论模式,对区域合作网络与产业一体化2个子系统的耦合关系进行量化,发现不同子系统内部的涌现性及其自组织特征带动两者耦合度逐渐增强,同时进一步阐释了系统耦合对区域产业一体化及空间绩效水平提升的促进作用。为提升大湾区未来整体区域竞争力与产业格局的进一步优化,本文得出几点政策启示。①大湾区需要继续加强多元化的区域合作,发挥好广州—佛山、深圳—香港、澳门—珠海区域合作的领头作用。强化惠州、肇庆与其他城市的合作意向,促进珠江东西两岸协同发展,完善极点带动、轴带支撑的网络结构。此外,大湾区需打造高质量的区域合

表8 大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度
局部Moran's I 转移概率矩阵

Tab.8 Transitional probability matrix for local Moran's I
of the coupling coordination index of network
connectivity and industrial integrated development
in the Greater Bay Area

类型	H-H _{t+1}	H-L _{t+1}	L-L _{t+1}	L-H _{t+1}
H-H _t	0.905	0.095	0	0
H-L _t	0.118	0.647	0.176	0.059
L-L _t	0	0.238	0.571	0.19
L-H _t	0.043	0.174	0.174	0.609

注:H-H、L-L、H-L、L-H分别为高—高、低—低、高—低、低—高关联集聚区; t 为初始年份,即2010年; $t+1$ 为终止年份,即2019年。



注:DG代表东莞,SZ代表深圳,XG代表香港,HZ代表惠州,ZS代表中山,FS代表佛山,ZH代表珠海,JM代表江门,ZQ代表肇庆,AM代表澳门,GZ代表广州;带下划线城市表示发生时空跃迁。

图8 大湾区网络联系指数与产业一体化耦合协调度
LISA时间路径移动象限

Fig.8 LISA path quadrant of the coupling coordination index
of network connectivity and industrial integrated development
in the Greater Bay Area

作平台,建设科技创新合作区,如佛山南海推动高端服务业合作、莞港合作建设东莞滨海湾新区等。②与科技、资源、教育等领域相比,大湾区生态环境领域合作相对滞后,有必要加强山地、海洋及珠江流域的跨界生态合作,加强大湾区生态文明建设,提升人居环境宜居性。③促进香港、澳门、广州、东莞、深圳等地产业一体化发展的溢出效应,着力提高江门、肇庆两地的产业发展水平,而工业化、城镇化水平相对较低的地市需完善产业承接条件,加快融入大湾区一体化发展。④关注大湾区“边缘”地市区域合作与产业一体化的融合发展,如肇庆、江门、惠州三地利用自身区位优势(如肇庆、惠州的生态环境优势、联结大湾区东西两翼的交通优势等;江门的海岛、海洋开发优势)对接大湾区整体合作

网络与产业一体化发展;珠三角9市产业发展应积极寻求转型升级,拓宽与港澳的交流、合作类型,促进港澳服务业进入内地,带动内地服务业发展。⑤加快区域基础设施互联互通,加强信息基础建设,构建现代化的综合交通运输体系,如港珠澳大桥的贯通将助力区域综合竞争力的提升。整体而言,在大湾区区域合作与产业一体化的耦合协调度格局由局部不平衡向均衡发展的转型过渡期间,在充分利用政策扶持、要素集聚、区域分工与市场竞争等区域优势资源条件的同时,建议在现有的沿海中心—内陆腹地型空间结构的基础上,利用特色产业要素辐射影响力带动核心区周邻地市的产业合作,从而提升区域合作与产业一体化的耦合协调水平^[41-42]。

参考文献(References)

- [1] 苗峻玮, 冯华. 集聚效应是否推动了区域高质量发展: 以长三角城市群为例 [J]. 经济问题探索, 2021(2): 100-110. [Miao Junwei, Feng Hua. Does the agglomeration effect promote regional high-quality development? A case study of the Yangtze River delta urban agglomeration. Inquiry into Economic Issues, 2021(2): 100-110.]
- [2] 覃成林, 周姣. 城市群协调发展: 内涵、概念模型与实现路径 [J]. 城市发展研究, 2010, 17(12): 7-12. [Qin Chenglin, Zhou Jiao. Coordinated development of urban agglomerations: Connotation, conceptual model and realization paths. Urban Studies, 2010, 17(12): 7-12.]
- [3] 宁越敏. 中国都市区和大城市群的界定: 兼论大城市群在区域经济发展中的作用 [J]. 地理科学, 2011, 31(3): 257-263. [Ning Yuemin. Definition of Chinese metropolitan areas and large urban agglomerations: Role of large urban agglomerations in regional development. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(3): 257-263.]
- [4] 张衍春, 唐承辉, 许顺才, 等. 中国城市群空间规划的历史演化与空间逻辑: 基于新国家空间视角 [J]. 城市规划, 2021, 45(5): 21-29. [Zhang Xianchun, Tang Chenghui, Xu Shunca, et al. Historical evolution and spatial logic of spatial planning of urban agglomerations in China: From the perspectives of new state space. City Planning Review, 2021, 45(5): 21-29.]
- [5] 侯媛媛. 中国跨区域创新合作的模式及影响研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2015. [Hou Yuanyuan. Research on the modes and impacts of China's interregional innovation cooperation. Beijing, China: Beijing Institute of Technology, 2015.]
- [6] Hall P, Pain K. The polycentric metropolis: Learning from mega-city regions in Europe [M]. London, UK: Earths-

- can, 2006.
- [7] 杨延杰, 尹丹, 刘紫玟, 等. 基于大数据的流空间研究进展 [J]. 地理科学进展, 2020, 39(8): 1397-1411. [Yang Yanjie, Yin Dan, Liu Ziwen, et al. Research progress on the space of flow using big data. *Progress in Geography*, 2020, 39(8): 1397-1411.]
- [8] 甄峰, 曹小曙, 姚亦锋. 信息时代区域空间结构构成要素分析 [J]. 人文地理, 2004, 19(5): 40-45. [Zhen Feng, Cao Xiaoshu, Yao Yifeng. New component factors of regional spatial structure in information era. *Human Geography*, 2004, 19(5): 40-45.]
- [9] 朱媛媛, 曾菊新, 韩勇. 基于信息流的武汉城市圈城乡文化空间结构研究 [J]. 人文地理, 2015, 30(1): 105-111. [Zhu Yuanyuan, Zeng Juxin, Han Yong. Study on spatial structure of urban-rural cultures in Wuhan City circle based on the flow of information. *Human Geography*, 2015, 30(1): 105-111.]
- [10] 孙中伟, 路紫. 流空间基本性质的地理学透视 [J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 109-112. [Sun Zhongwei, Lu Zi. A geographical perspective to the elementary nature of space of flows. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(1): 109-112.]
- [11] 焦敬娟, 王姣娥, 金凤君, 等. 高速铁路对城市网络结构的影响研究: 基于铁路客运班列分析 [J]. 地理学报, 2016, 71(2): 265-280. [Jiao Jingjuan, Wang Jiao'e, Jin Fengjun, et al. Impact of high-speed rail on inter-city network based on the passenger train network in China, 2003-2013. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 265-280.]
- [12] 彭芳梅. 粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构: 基于改进引力模型与社会网络分析的实证 [J]. 经济地理, 2017, 37(12): 57-64. [Peng Fangmei. Economic spatial connection and spatial structure of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay and the surrounding area cities: An empirical analysis based on improved gravity model and social network analysis. *Economic Geography*, 2017, 37(12): 57-64.]
- [13] 王录仓, 刘海洋, 刘清. 基于腾讯迁徙大数据的中国城市网络研究 [J]. 地理学报, 2021, 76(4): 853-869. [Wang Lucang, Liu Haiyang, Liu Qing. China's city network based on Tencent's migration big data. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(4): 853-869.]
- [14] 黄音, 任天鸣, 黄淑敏, 等. “互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络演化及驱动机制 [J]. 经济地理, 2020, 40(6): 126-136. [Huang Yin, Ren Tianming, Huang Shumin, et al. Spatio-temporal evolution and formation mechanisms of intercity freight network in Zhejiang Province under the background of "internet plus". *Economic Geography*, 2020, 40(6): 126-136.]
- [15] 张衍春, 栾晓帆, 李志刚. “城市区域”主义下的中国区域治理模式重构: 珠三角城际铁路的实证 [J]. 地理研究, 2020, 39(3): 483-494. [Zhang Xianchun, Luan Xiaofan, Li Zhigang. The restructuring of regional governance under the city regionalism of China: A case study of the Pearl River Delta intercity railway. *Geographical Research*, 2020, 39(3): 483-494.]
- [16] 李伟. 流空间视角下人力资本促进创新的机制研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020. [Li Wei. Research on the mechanism of human capital promoting innovation from the perspective of flow space. Beijing, China: Beijing Jiaotong University, 2020.]
- [17] Xin R, Ai T H, Ding L F, et al. Impact of the COVID-19 pandemic on urban human mobility: A multiscale geospatial network analysis using New York bike-sharing data [J]. *Cities*, 2022, 126: 103677. doi: 10.1016/j.cities.2022.103677.
- [18] 周佳宁, 毕雪昊, 邹伟. “流空间”视域下淮海经济区城乡融合发展驱动机制 [J]. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1881-1896. [Zhou Jianing, Bi Xuehao, Zou Wei. Driving mechanism of urban-rural integration in Huaihai Economic Zone: Based on the space of flow. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(8): 1881-1896.]
- [19] 王宁宁, 陈锐, 赵宇, 等. 中国区域信息空间和人口空间的耦合关联分析 [J]. 地理科学, 2016, 36(10): 1474-1484. [Wang Ningning, Chen Rui, Zhao Yu, et al. Grey associative analysis of regional population space and information space coupling in china. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(10): 1474-1484.]
- [20] 康江江, 徐伟, 宁越敏. 基于地方化、城市化和全球化制造业空间集聚分析: 以长三角区域为例 [J]. 地理科学, 2021, 41(10): 1773-1782. [Kang Jiangjiang, Xu Wei, Ning Yuemin. Dynamic regional manufacturing agglomeration in the Yangtze River Delta region. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(10): 1773-1782.]
- [21] 王安平. 产业一体化的内涵与途径: 以南昌九江地区工业一体化为实证 [J]. 经济地理, 2014, 34(9): 93-98. [Wang Anping. The connotation and development path of industrial integration: Take the industrial integration in Nanchang-Jiujiang region as the case. *Economic Geography*, 2014, 34(9): 93-98.]
- [22] 卢新海, 陈丹玲, 匡兵. 产业一体化与城市土地利用效率的时空耦合效应: 以长江中游城市群为例 [J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 66-73. [Lu Xinhai, Chen Danling, Kuang Bing. Coupling effect of industrial integration and urban land use efficiency: Taking the urban agglomeration of the middle reaches of the Yangtze River as a case. *China Land Science*, 2018, 32(9): 66-73.]
- [23] 陈雯, 王珏, 高金龙. 城市群区域一体化与旅游共享合

- 作机制: 长三角的经验借鉴 [J]. 热带地理, 2017, 37(6): 784-791. [Chen Wen, Wang Jue, Gao Jinlong. Tourism cooperation among governments in the metropolitan region and the integration mechanisms: Evidence from the Yangtze River Delta, China. Tropical Geography, 2017, 37(6): 784-791.]
- [24] 张衍春, 杨宇, 单卓然, 等. 珠三角城市区域治理的尺度重构机制研究: 基于产业合作项目与交通基础设施项目的比较 [J]. 地理研究, 2020, 39(9): 2095-2108. [Zhang Xianchun, Yang Yu, Shan Zhuoran, et al. Rescaling of global city-regional governance in the Pearl River Delta: A comparative study on industrial project and transportation infrastructure project. Geographical Research, 2020, 39(9): 2095-2108.]
- [25] 王开科. 区域一体化进程中的产业发展协作问题及其治理机制优化 [J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1692-1697. [Wang Kaike. Cooperation problem of industrial development in the process of regional integration and the optimization of its governance mechanism. Economic Geography, 2011, 31(10): 1692-1697.]
- [26] Zeng W P, Li L, Huang Y. Industrial collaborative agglomeration, marketization, and green innovation: Evidence from China's provincial panel data [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 279: 123598. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123598.
- [27] Ning L T, Wang F, Li J. Urban innovation, regional externalities of foreign direct investment and industrial agglomeration: Evidence from Chinese cities [J]. Research Policy, 2016, 45(4): 830-843.
- [28] Zhang Y, Wang S H. Influence of marine industrial agglomeration and environmental regulation on marine innovation efficiency: From an innovation value chain perspective [J]. Marine Policy, 2021, 134(12): 104807. doi: 10.1016/j.marpol.2021.104807.
- [29] Peng H, Shen N, Ying H Q, et al. Can environmental regulation directly promote green innovation behavior? Based on situation of industrial agglomeration [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 314(9): 128044. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128044.
- [30] 张衍春, 刘泉, 陈守强, 等. 城市区域经济一体化水平测度: 基于深莞惠次区域的实证研究 [J]. 城市发展研究, 2019, 26(7): 18-28. [Zhang Xianchun, Liu Quan, Chen Shouqiang, et al. Measuring economic integration of city region: A case study of Shenzhen-Dongguan-Huizhou sub-region. Urban Development Studies, 2019, 26(7): 18-28.]
- [31] 陈雯, 陈顺龙. 厦漳泉大都市区同城化: 重塑发展新格局 [M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Chen Wen, Chen Shunlong. Urban integration of Xia-Zhang-Quan metropolitan area: Reshaping regional development pattern. Beijing, China: Science Press, 2012.]
- [32] 邱坚坚, 刘毅华, 陈浩然, 等. 流空间视角下的粤港澳大湾区空间网络格局: 基于信息流与交通流的对比分析 [J]. 经济地理, 2019, 39(6): 7-15. [Qiu Jianjian, Liu Yihua, Chen Haoran, et al. Urban network structure of Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area with the view of space of flows: A comparison between information flow and transportation flow. Economic Geography, 2019, 39(6): 7-15.]
- [33] 张虹鸥, 王洋, 叶玉瑶, 等. 粤港澳区域联动发展的关键科学问题与重点议题 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(12): 1587-1596. [Zhang Hong'ou, Wang Yang, Ye Yuyao, et al. Key scientific issues and important topics in the joint development of the Guangdong-Hong Kong-Macao region. Progress in Geography, 2018, 37(12): 1587-1596.]
- [34] 赵晓斌, 强卫, 黄伟豪, 等. 粤港澳大湾区发展的理论框架与发展战略探究 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(12): 1597-1608. [Zhao Xiaobin, Qiang Wei, Huang Weihao, et al. Theoretical framework and development strategy of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Progress in Geography, 2018, 37(12): 1597-1608.]
- [35] 钟韵, 胡晓华. 粤港澳大湾区的构建与制度创新: 理论基础与实施机制 [J]. 经济学家, 2017(12): 50-57. [Zhong Yun, Hu Xiaohua. Construction and institutional innovation of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Theoretical basis and implementation mechanism. Economist, 2017(12): 50-57.]
- [36] 凌连新, 阳国亮. 粤港澳大湾区经济高质量发展的评价与靶向路径研究 [J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(6): 120-128. [Ling Lianxin, Yang Guoliang. Study on the measurement and targeting path for the economic high-quality development in the Guangdong-Hongkong-Macao Greater Bay Area. Journal of Statistics and information, 2021, 36(6): 120-128.]
- [37] Taylor P J. World city network: A global urban analysis [M]. New York, USA: Routledge, 2003.
- [38] 初楠臣, 张平宇, 姜博. 基于日高铁流量视角的中国高速铁路网络空间特征 [J]. 地理研究, 2018, 37(11): 2193-2205. [Chu Nanchen, Zhang Pingyu, Jiang Bo. Spatial characteristics of Chinese high-speed railway network from the perspective of daily flow. Geographical Research, 2018, 37(11): 2193-2205.]
- [39] 范擎宇, 杨山, 胡信. 耦合视角下长三角地区城镇化协调度的时空特征及交互机制 [J]. 地理研究, 2020, 39(2): 289-302. [Fan Qingyu, Yang Shan, Hu Xin. Temporal and spatial characteristics and interaction process of urbanization coordination in the Yangtze River Delta region from the perspective of coupling. Geographical Research, 2020, 39(2): 289-302.]

- [40] Rey S J, Janikas M V. STARS: Space-time analysis of regional systems [J]. *Geographical Analysis*, 2006, 38(1): 67-86.
- [41] 张衍春, 胡国华, 单卓然, 等. 中国城市区域治理的尺度重构与尺度政治 [J]. *地理科学*, 2021, 41(1): 100-108. [Zhang Xianchun, Hu Guohua, Shan Zhuoran, et al. Rescaling and politics of scale in China's city- regional governance. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(1): 100-108.]
- [42] 张衍春, 夏洋辉, 单卓然, 等. 粤港澳大湾区府际合作网络特征及演变机制研究 [J]. *城市发展研究*, 2022, 29(1): 7-14. [Zhang Xianchun, Xia Yanghui, Shan Zhuoran, et al. Characteristics and evolution mechanism of inter-governmental cooperation network of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Urban Development Studies*, 2022, 29(1): 7-14.]

Evolution and coupling relationship between regional cooperation and industrial integration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

FENG Yanwei¹, ZHANG Xianchun^{2*}, XU Yuanshuo²

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

2. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Under the background of regional integration, cross-boundary cooperation and industrial development are conducive to promoting regional high-quality development and common prosperity. By means of space of flows network, coupling analysis, and exploratory spatial analysis, the evolution and coupling relationship between regional cooperation and industrial integration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area are quantified from 2010 to 2019. The main conclusions are as follows: 1) Regional cooperation has transcended geographical proximity, the networking trend has been significantly strengthened, and the network connectivity index of cities generally has increased in the study area. 2) The study area shows significant polarization effect of urban industrial layout and factor integration, and there are great differences in industrial development. 3) The coupling coordination degree between regional cooperation and industrial integration has increased as a whole. The spatial evolution of coupling coordination degree between regional cooperation and industrial integration showed an agglomeration trend, its spatial layout structure shows local stability, and the overall distribution pattern shows the characteristics of "a unique height in the southeast, convex in the middle and north, and low and concave in the surrounding areas". The spatial growth process of coupling coordination degree of western and southeastern coastal cities shows significant negative integration in the study area. However, the spatial evolution of coupling coordination degree shows spatial dependency. The research indicates that there is a significant temporal and spatial correlation between regional cooperation and industrial integration in the study area, and the area should continue to carry out multi-level and all-round regional cooperation to promote the high degree coupling of industrial integration and regional cooperation.

Keywords: regional cooperation; industrial integration; space of flows network; coupling coordination degree; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area