

王长建, 叶玉瑶, 汪菲, 黄正东, 李启军, 陈宇, 林浩曦, 吴康敏, 林晓洁, 张虹鸥. 2022. 粤港澳大湾区协同发展水平的测度及评估. 热带地理, 42 (2): 206-219.

Wang Changjian, Ye Yuyao, Wang Fei, Huang Zhengdong, Li Qijun, Chen Yu, Lin Haoxi, Wu Kangmin, Lin Xiaojie and Zhang Hong'ou. 2022. Measurement and Evaluation of the Coordinated Development in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 42 (2): 206-219.

粤港澳大湾区协同发展水平的测度及评估

王长建^{1,2}, 叶玉瑶^{1,2}, 汪菲³, 黄正东⁴, 李启军⁵, 陈宇⁴,
林浩曦¹, 吴康敏¹, 林晓洁^{1,6}, 张虹鸥¹

(1. 广东省科学院广州地理研究所 广东省地理空间信息技术与应用公共实验室/广东省遥感与地理信息系统应用重点实验室, 广州 510070; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室, 广州 511458; 3. 广州新华学院 资源与城乡规划学院, 广州 510520; 4. 深圳大学 建筑与城市规划学院, 广东 深圳 518060; 5. 深圳市城市规划设计研究院有限公司, 广东 深圳 518052; 6. 广东工业大学 建筑与城市规划学院, 广州 510090)

摘要: 在充分理解粤港澳大湾区城市群协同发展科学内涵的基础上, 从产业协同创新、环境协同治理、服务协同共享和制度协同安排4个维度构建协同发展评价指标体系, 综合运用“流”空间、大数据、网络分析和连锁网络模型等理论与方法, 对城市之间的相互关系、流动性、连通性和边界效应进行量化分析。结果表明: 1) 城市之间的资本流动集中在广深之间, 城市之间的知识流动集中在香港、广州和深圳之间; 澳门、珠海、中山和江门等城市之间的环境协同治理水平更高, 深莞惠和广佛等城市之间的环境协同治理水平稍差; 广佛、广深、深莞等城市之间交通、通信、物流和银行等基础设施的服务协同共享水平更高; 香港和澳门在跨境区域协同方面具有制度优势。2) 粤港澳大湾区协同发展水平表现最优的是广州与深圳、广州与佛山、深圳与东莞、香港与深圳; 同时, 广州与东莞、深圳与佛山呈现联动趋势。虽然去边界化趋势明显, 城市间流动性增强, 但是粤港澳大湾区协同发展水平总体不高。3) 广州和深圳两座中心城市的协同能力最强, 香港和澳门两座国际化城市的协同能力仍有很大提升空间。

关键词: 粤港澳大湾区; 协同发展; 流空间; 城市连通性; 城市网络

中图分类号: F127

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2022)02-0206-14

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003434

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



随着全球化与城镇化进程的持续推进, 协同发展已经成为邻近区域提升核心竞争力和实现互利共赢的首要选择(周春山等, 2018)。近年来, 随着《京津冀协同发展规划纲要》《粤港澳大湾区发展规划纲要》《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》等一系列国家战略的相继颁布实施, 促进区域协同发展成为新发展阶段的共有之意(方创琳, 2017; 张虹鸥等, 2018)。但是, 作为中国开放程度最高、经济活力最大、创新能力最强的三大城市群区域

(樊杰等, 2019), 依然存在行政分割、产业同构、竞争同质、资源错配、环境污染等问题(陆大道, 2018; 方创琳等, 2020; 刘毅等, 2020a)。总体上, 跨区域共建共享共保共治机制尚不健全, 协同性和连接性有待提升。

对于区域协同发展的理解, 方创琳(2017)以京津冀为例, 认为城市群协同发展的真正内涵是推动城市群实现规划协同、交通协同、产业协同、城乡协同、市场协同、科技协同、金融协同、信息协

收稿日期: 2021-08-12; 修回日期: 2021-11-17

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2019YFB2103101); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0301); 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-20200301003)

作者简介: 王长建(1986—), 男, 河南南阳人, 副研究员, 博士, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110010114M), 主要从事经济地理、能源地理、区域可持续等研究, (E-mail) wwwangcj@126.com;

通信作者: 张虹鸥(1962—), 男, 广东梅州人, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事国土空间规划与区域可持续发展等研究, (E-mail) hozhang@gdas.ac.cn。

同、生态协同和环境协同，建设协同发展共同体。周春山等（2018）以协同学为参照，认为区域协同是区域内各城市通过人口、资金和信息等的相互作用，突破行政区划制约，发挥初始禀赋与比较优势，实现要素和资源的优化配置，形成时间、空间和功能上的有序结构，进而实现区域整体利益最大化。史培军等（2019）以“地理协同论”为基础，认为只有充分理解“人地关系”，才能科学设计“人地协同”。尤其是在新阶段、新背景、新趋势下，全球化、信息化、城镇化交互推进，全球经济的“地点空间”正在被“流的空间”所代替，“流”、节点、连接和网络成为构筑区域经济体系的核心逻辑基础（陆大道，2017）。城市群协同研究从以往基于场所空间的规模（能力）研究，转向基于流动空间的关系（功能）研究（唐子来等，2017）。以世界一流湾区（纽约湾区、旧金山湾区和东京湾区）为例，在增长极、区域经济一体化、核心—边缘、区域空间相互作用、全球生产网络等理论体系指导下，由“共享、协作、分工、互补”逐步形成区域协同发展的新路径（张胜磊，2018）。纽约湾区以“中心引领—外围若干功能区”空间结构为鲜明特征，旧金山湾区逐步强化以交通干线构建的“泛网络化”空间结构，东京湾区正在强化“对流型”的空间结构，世界一流湾区的发育成长都伴随持续的产业转型升级（刘毅等，2020b），以及经济、环境、服务、政策等各个层面的优化与协同（刘毅等，2020b），形成区域互联互通、要素高效流动的良好局面。

从珠三角城市群到粤港澳大湾区，从改革开放以来的“前店后厂”的地域分工模式（许学强等，2009）到当前的“东亚最大的都市连绵区域”（马向明等，2017）再到正在建设的“国际一流湾区和世界级城市群”，粤港澳大湾区已经成为通过产业协同合作实现区域经济“多赢”局面的成功实践（李郁等，2012；周春山等，2017；向晓梅等，2018）。但是，在新时期、新阶段、新形势下，作为“一国两制三关税”的特殊区域，粤港澳大湾区更是研究区域协同发展的典型案例。粤港澳大湾区从过去的以跨境产业合作、以区域政府间合作为主的模式，转向有国家规划目标引导的跨境协同发展与跨境区域治理（蔡赤荫，2017）。要客观理性地分析粤港澳大湾区的特殊性与典型性（李立勋，2017），才能准确把握其协同发展的可为与不可为（林初昇，2017）。粤港澳大湾区的典型性主要表现

在：制度环境特殊性（社会主义、资本主义）；关系尺度复杂性（中央—地方关系、府际关系）；内部差异显著性（经济差异、文化差异等）。由此，粤港澳大湾区发展面临供需结构不匹配、资源能源约束趋紧、生态环境压力增大、公共服务不均等诸多挑战。进而，“建立区域合作关系，推进区域协同发展”成为推进大湾区建设的重要基本原则之一，建设粤港澳大湾区更加强调整体性与协调性。已有关于粤港澳大湾区协同发展的研究，主要体现在协同机制的战略探讨（邓志新，2017；李立勋，2017；毛艳华等，2018）、跨境区域协调（刘云刚等，2018；许志桦等，2019）、区域一体化（李郁等，2018；刘毅等，2019）、产业协同模式（刘锦等，2018；向晓梅等，2018；赵晓斌等，2018；钟韵等，2021）、创新联系（钟韵等，2020）、跨界通勤（李颖等，2020）、环境协同治理（潘泽强等，2019；许堃等，2020）等方面。协同发展研究由基于规模（能力）的场所空间转向基于关系（“流”）的流动空间，更加侧重城市之间的连通性与流动性。城市群空间网络成为理解城市群内部关系的重要视角，不同规模的城市在不同空间尺度下形成彼此间相互联系更加频繁密切、彼此间联系方式更加复杂多元的城市网络空间组织（彭芳梅，2017；邱坚坚等，2019）。如彭芳梅（2017）基于改进引力模型和社会网络分析方法揭示了粤港澳网络联系呈现由港深穗向周边梯度衰减态势，且表现出显著的圈层结构特征。陈世栋（2018）通过构建“百度指数”判别粤港澳大湾区11个城市之间的联系强度，解释了“香港—深圳”和“广州—佛山”是要素汇聚的两大极核。邱坚坚等（2019）借助交通流和信息流分析，揭示了流空间视角下粤港澳大湾区以广深为双核心的空间网络格局。已有研究过多关注香港、广州和深圳“三城记”的种种想象（李立勋，2017），对于如何打造要素高效便捷流动的良好局面，进一步提升互联互通水平，进而形成协同和包容的区域内城市网络关系等方面关注不足（钟韵等，2017）。毕竟，城市群协同发展最终不是消除区域内差异、不是实现区域内平均，而是提升区域整体的连通性、协同性和竞争力。然而，对于粤港澳大湾区协调发展的整体性评价、协调发展的关键制约因素依然缺乏系统地定量分析。当前，城市群协同发展评价主要侧重城市群各个城市的协同能力评价，首先，对于城市群各个城市之间的协同关系评价关注不足，并且缺乏相关大数据支撑的智

能化评价手段,导致城市群协同发展评价的主要内容和评价结果存在差异。其次,一些指数的设计缺少简明的数学特性,虽然也能得出一定的量化评分,但很难做进一步的深入分析;有些方法的指标体系过于庞大复杂,因而不利于进行政策评价并得出清晰的政策涵义。鉴于此,如何促进粤港澳大湾区协调发展,突显了开展大湾区城市群协同发展水平综合评价的必要性,同时,构建更具针对性的协同测度指标又是实现综合评价的关键所在。本文拟从产业协同创新、环境协同治理、服务协同共享和制度协同安排4个维度构建协同发展评价指标体系,综合运用“流”空间、大数据、网络分析和连锁网络模型等理论与方法,对粤港澳大湾区城市之间的相互关系、流动性、连通性和边界效应进行量化分析。以期创新城市群协同发展理论研究及应用研究,形成对粤港澳大湾区协同发展特征与趋势的科学判断。

1 协同发展水平的指标体系构建

粤港澳大湾区协同发展水平的指标体系构建,关键在于解决“测什么”的问题。周春山等

(2018)认为粤港澳大湾区协同发展主要受资源禀赋差异、资本市场驱动、政府制度安排、外部环境变化等4种主要力量的影响。方远平等(2019)认为粤港澳大湾区主要受区域资源条件、经济发展水平、区域功能定位、经济全球化及新一轮信息技术革命等多种因素的影响。联合国可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)的具体指标达200项之多,涉及社会、经济、环境、政策等多个维度,是本文构建协同发展指标体系的重要参考(表1)。全球创新指数(Global Innovation Index, GII)更聚焦于创新系统的综合分析,其指标体系不仅包含多样性的创新要素,而且包含科技合作、创新网络等。城市群一体化发展指数和长江经济带城市协同发展能力指数从产业、科技、环境、生态、服务、政策等维度实现协同发展的量化分析,并进一步强调集聚、连接、协作等指标的重要性。全球化与世界级城市研究小组与网络(GaWC)对于城市连通性的阐述,是本文系统构建关系类指标的重要支撑。但是, GaWC更加侧重基于生产性服务业的城市网络,难以体现粤港澳大湾区当前的制造业优势。

表1 已有协同发展相关指标体系

Table 1 Indicators related to coordinated development

指标体系	主要内容	说明
SDGs 可持续发展目标	2015年,可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)在联合国可持续发展峰会上正式通过,SDG由17个可持续发展目标,以分类、分级和分层为原则,并通过估算历时性数据来观测各个国家/地区的发展变化趋势,旨在通过综合方式彻底解决社会、经济和环境3个维度的发展问题。	① 构建分17维度指标体系,具体指标有200多个; ② 可持续发展能力测度,侧重规模、水平和能力的测度,同时关注跨界流域治理、国家间科技合作、南南合作、伙伴关系等。
GII 全球创新指数	由世界知识产权组织(WIPO)、康奈尔大学(Cornell University)和英士国际商学院(INSEAD)发布,GII总得分是投入和产出次级指数得分的简单平均数。投入类指标包含:1)制度;2)人力资本和研究;3)基础设施;4)市场成熟度;5)商业成熟度;产出类指标包含:6)知识和技术产出;7)创意产出。(详见: https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/)	① 构建分投入和产出等维度指标体系; ② 创新要素集聚能力测度,技术合作和创新网络是创新生态系统的一个重要组成部分。
ACEP 一体化发展指数	城市群一体化发展指数由中国发展研究基金会发布,从经济集聚度(A)、区域连接性(C)、经济均等化(E)、政策协同(P)4个方面来刻画区域的一体化,由此形成了ACEP指数。	① 构建分集聚、连接、均等、协同等维度指标体系; ② 区域一体化关系测度,侧重城市与城市之间相互关系的测度
GaWC 全球城市排名	全球化与世界级城市研究小组与网络着眼于高级生产性服务业在全球的分布,以此定位城市在世界中的连通性。通过生产性服务业(金融、广告、法律、会计、管理咨询等)的全球布局,衡量所在城市的全球连通性(Global Network Connectivities)。(详见: https://www.lboro.ac.uk/gawc/group.html)	GaWC着眼于高级生产性服务业在全球的分布,以此定位城市在世界中的连通性。

因此,在充分理解SDGs和GII的基础上,借鉴城市群一体化发展指数、长江经济带城市协同发展能力指数、GaWC世界城市排名的指标体系,结合粤港澳大湾区发展趋势,从产业协同创新、环境协同共治、服务协同共享、制度协同安排4个维度构建协同发展综合评价指标体系,注重测度城市之间一对一、一对多、多对多的相互关系,实现大湾区

协同发展水平的单一指标测度和综合发展评价。其中,产业协同创新是大湾区开展全球布局的经济支撑,环境协同治理是大湾区实现绿色发展的生态实践,服务协同共享是大湾区打造优质生活圈的服务理念,制度协同安排是大湾区创建一流湾区的政策保障(图1)。评价指标体系的具体说明及数据来源详见《城市群协同发展智能化评价规范,团体标

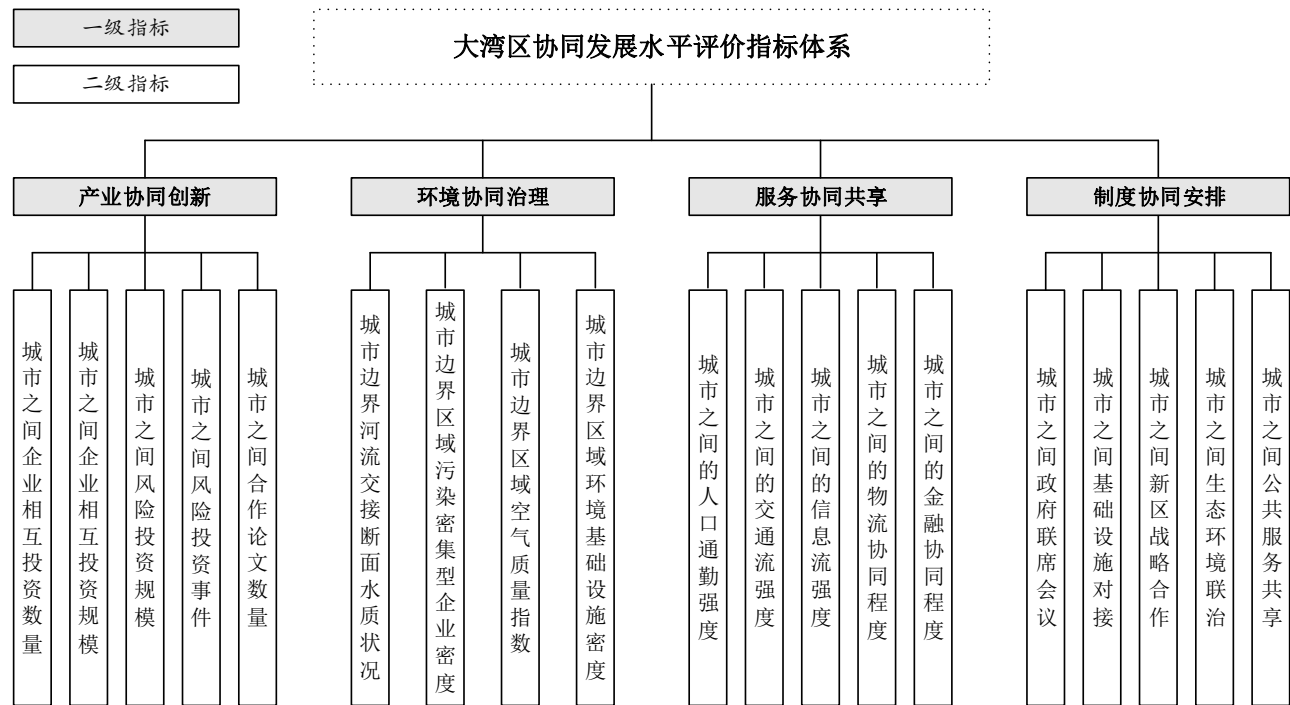


图1 粤港澳大湾区协同发展水平综合评价指标体系

Fig.1 Comprehensive evaluation index system for the coordinated development in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

准, T/GDC 98-2021》, 数据以2017年为基准。

2 协同发展水平的综合测度方法

2.1 要素流强度统计模型

以往的城市空间网络侧重基于场所空间的城市联系, 突出地方性。而由要素流动所产生的“流空间”则强调网络化。由卡斯特 (Castells) 首次提出的“流空间” (Castells, 2004), 定义为通过流动而运作的共享时间之社会实践的物质组织, 逐渐成为理解与重构城市网络结构的重要视角 (Castells, 2009)。“流空间”是由人流、物流、交通流、信息流、资金流、技术流、知识流等各种要素移动组成的单向、双向或者多向流动的网络化的动态空间 (董超等; 2014)。当前, 基于大数据和信息技术的“流空间”研究不仅包含城市之间的要素流动, 而且包括区域和全球等大尺度的远程相互联系。

要素流强度的统计主要应用于评价指标体系中的O-D数据和非O-D数据。对于O-D数据, 主要构建城市群内 n 个城市的 $n \times n$ 非对称O-D流量矩阵。对于非O-D数据, 主要构建城市群内 n 个城市的 $n \times n$ 的对称O-D流量矩阵。

O-D数据的要素流强度统计为:

$$C_{ij} = C_{i \rightarrow j} + C_{j \rightarrow i} \quad (1)$$

式中: C_{ij} 表示城市 i 与城市 j 之间的要素流强度, 以投资规模、交通流量等典型的O-D数据为例; $C_{i \rightarrow j}$ 表示城市 i 对城市 j 的投资规模; $C_{j \rightarrow i}$ 表示城市 j 对城市 i 的投资规模。

非O-D数据的要素流强度统计为:

$$C_{ij} = C_{i \& j} \quad (2)$$

式中: C_{ij} 表示城市 i 与城市 j 之间的要素流强度, 以论文合作等典型的非O-D数据为例; $C_{i \& j}$ 表示城市 i 与城市 j 的论文合作数量。

2.2 城市网络分析

城市网络分析主要侧重于对大、中、小城市在不同空间尺度下的关系进行量化 (林涛, 2019), 分为有向网络和无向网络两种, 又分为关系取向和位置取向两种视角, 难点在于城市关系数据的收集与获取, 并由此形成城市关系矩阵, 在最大程度上反映城市间的真实联系。并依据优势流分析原理, 探究网络中各个城市节点的联系强度, 主要包括流量分析、流向分析和流强度分析等, 进而揭示人流、物流、资金流、技术流和信息流等在不同城市节点间的流动特征。

2.3 联锁网络模型

联锁网络模型 (Interlocking Network Model)

由泰勒 (Taylor) 领衔的全球化与世界城市研究网络 (Globalization and World Cities, GaWC) 提出 (Taylor, 2001; 2005)。联锁网络模型以高级生产服务业中的企业总部与分支机构的分布作为测量依据 (倪鹏飞等, 2011), 在模型中, 假设 n 个城市中有 m 个生产性服务企业, 城市中某一企业价值由该企业在该城市的服务价值 (即企业的重要性) 衡量, 企业的重要性主要由企业在中国中所具有的服务价值进行评分, 由 V_{ij} 表示。 V_{aj} , $a \leq n$; $j \leq m$ 表示企业 j 在城市 a 的服务价值, V_{ij} 构成 $n \times m$ 的服务价值矩阵 V 。由服务价值矩阵 V 可以得到城市 a 与城市 b 之间通过某一个企业的基本连接点: $R_{abj} = V_{aj} \times V_{bj}$ 。 R_{abj} 即为城市 a 与城市 b 之间的单位链接 (elemental interlock)。那么, $R_{ab} = R_{ab1} + R_{ab2} + R_{abj} + \dots + R_{abm}$ ($1 \leq j \leq m$)。 R_{ab} 表示城市 a 和城市 b 两城市通过所有企业单位链接的加总, 即为城市链接 (city interlock), 表征城市之间的连通性 (connectivity)。

3 大湾区协同发展水平综合评价

3.1 产业协同创新

企业互投主要表征股东企业和被投资企业之间的投资关系, 是对正在形成或强化的生产网络的精细化描述。通过企业间资本流出行业和资本流入行业聚合城市尺度的相互投资规模, 挖掘城市之间的产业关联关系和资本流动结构。以粤港澳大湾区高新技术企业为代表, 通过企查查网站的企业对外投资 API 接口爬取包括投资企业名称、被投资企业名称、企业类型、投资比例、被投资企业注册资本和企业状态等信息, 投资规模采用投资比例与被投资企业注册资本的乘积表示, 获得有效投资关系数量 1.1

万条, 进一步对投资数据进行城市尺度聚合。以高新技术企业为例, 粤港澳大湾区企业互投主要体现在城市对城市本身的投资, 且主要集聚在深圳市和广州市, 其企业互投规模占粤港澳大湾区总规模的 45% 以上。城市与城市之间的互投主要集中在广深, 且以广州对深圳的投资为主 (图 2-a), 流入深圳的投资主要集中在计算机、电子通信、以及其他电子设备; 其次是深佛、深莞、深惠, 且以佛山对深圳、深圳对东莞、深圳对惠州的投资为主。对外投资企业数量主要集中在广州 (999 家)、深圳 (639 家)、佛山 (414 家) 和东莞 (366 家), 广州 68% 的对外投资企业投向深圳, 深圳 41% 的对外投资企业投向东莞, 22% 投向惠州, 21% 投向广州, 深圳在粤港澳大湾区高新技术产业联系中的主导地位比较突出。自 2008 年编制的《珠江三角洲地区改革发展规划纲要 (2008—2022)》中提出的“广佛肇、深莞惠、珠中江”三大都市圈, 成为较长时间内珠三角城市网络结构的鲜明特征。但是, 当前通过产业协同的相互渗透, 城市之间的行政边界逐渐模糊化, 广佛同城之后, 深佛联动趋势显现。新近数据表明, 深圳的龙头企业华润、飞荣达、中集天达等正在佛山批量布局, 粤港澳大湾区正在构建一种新型城市关系。

与揭示现状特征的企业互投不同, 风险投资又称创业投资, 主要是针对初创企业提供资金支持的融资方式, 更多地代表未来产业发展方向和科技变革趋势。基于中国投融资事件数据库, 整理粤港澳大湾区被投资企业名称、投资机构名称、一级行业、二级行业、投资金额、投资年份、投资轮次等信息, 投资规模是真实投资金额和投资轮次的加

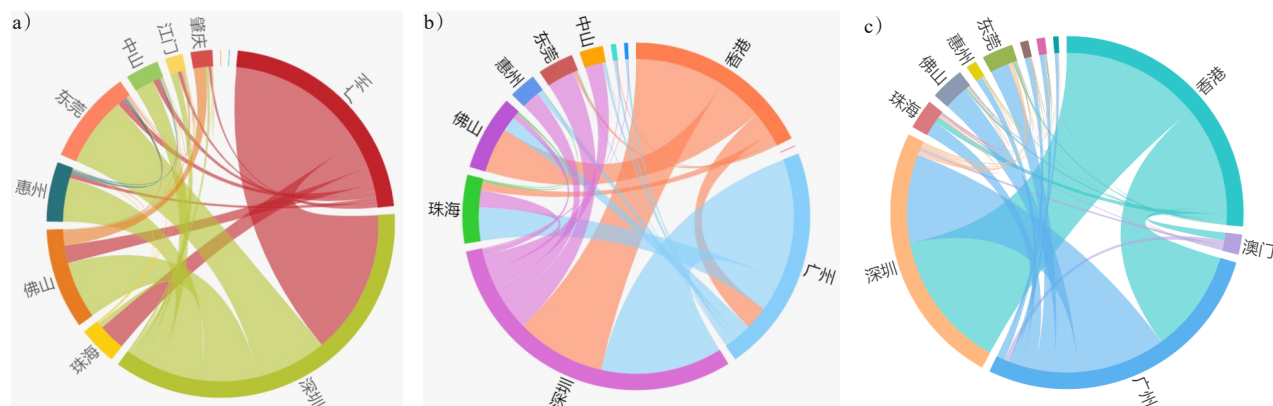


图2 粤港澳大湾区城市之间企业互投规模 (a)、风险投资规模 (b) 和论文合作 (c)

Fig.2 The enterprise mutual investment scale (a), venture capital scale (b) and scientific paper cooperation (c) among cities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

总, 获得有效投资关系数量 2 300 条, 进一步对投资数据进行城市尺度聚合。粤港澳大湾区风险投资规模主要体现在城市对城市本身的投资, 且主要集聚在深圳市, 其风险投资规模接近粤港澳大湾区总规模的 50%。城市与城市之间的风险投资主要集中在广深和港深, 且以深圳对广州的投资、香港对深圳的投资为主; 其次是港佛、广珠、深莞和深中, 且以香港对佛山、广州对珠海、深圳对东莞、深圳对中山的投资为主 (图 2-b)。粤港澳大湾区风险投资事件主要集中在广深之间, 虽然广深和港深风险投资规模大致相当, 但是广深之间的风投事件为 342 起, 港深为 46 起, 进一步说明中小型企业是粤港澳大湾区实施科技创新的重要载体。

依据国际期刊数据库 (Web of Science)、中国知网数据库 (CNKI) 以及万方数据库, 揭示粤港澳大湾区城市尺度的论文合作关系。粤港澳大湾区知识合作的演变趋势主要表现为: 自 2000 年以来, 论文合作发表以香港和广州为主; 2005 年之后, 深圳与其他城市之间的合作发表论文数量快速增长, 主要得益于为弥补本地高等教育资源的不足, 吸引国内外名校在深圳异地办学; 2010 年以来, 形成以广州、香港和深圳为主导的论文合作发表特征; 2014 年之后截止 2017 年, 香港与深圳之间的论文合作发表超过香港与广州之间的论文合作发表数量, 广州和深圳之间的论文合作也呈现增长趋势。当前, 粤港澳大湾区论文合作主要体现在港深, 其次是港广和广深之间, 再次是广佛、广莞、广珠和广惠之间 (图 2-c)。2017 年, 广州与粤港澳大湾区其他城市合作论文总量为 4 879 篇, 香港为 4 636 篇, 深圳为 4 294 篇。在地理临近、制度接近和等级接近等因素影响下, 科研单位联动、研究人员合作和政府政策推动促使粤港澳大湾区形成“广深港”多中心的协同创新共同体 (马海涛 等, 2018)。

进而对城市之间的相互投资规模、风险投资规模和科技论文合作进行最大值归一化处理, 即表征城市与城市之间的协同关系, 并进一步反映基于产业协同创新的粤港澳大湾区城市网络结构。

3.2 环境协同治理

跨界水环境治理、空气污染治理、污染密集型企业治理一直是粤港澳大湾区环境治理的重点领域。对于环境协同治理类指标, 本文采用边界效应的测度思路。如图 3-a 所示, 以广东省省级环境信用评价企业数据库、广东省涉重金属重点行业企业数据、工业企业数据库为基础, 构建粤港澳大湾区

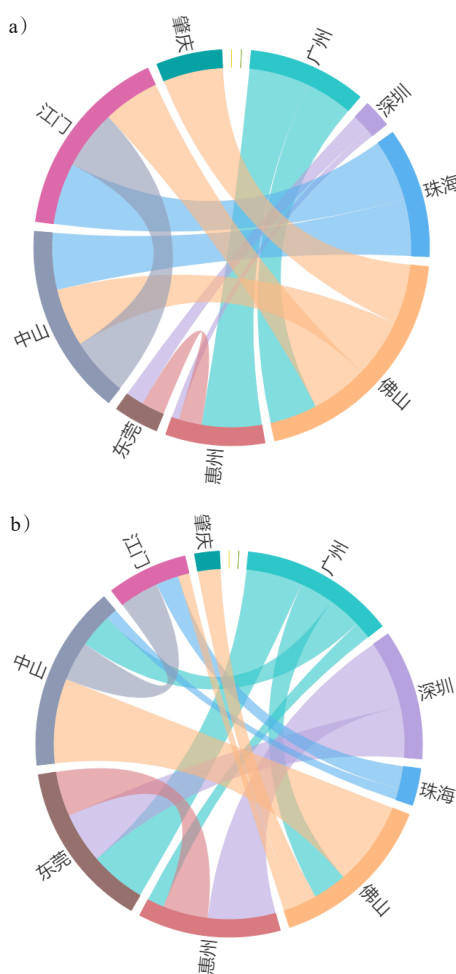


图 3 粤港澳大湾区城市边界河流交接断面水质达标率 (a) 和边界区域污染密集型企业密度 (b)

Fig. 3 The water quality compliance rate of river junction section (a) and the density of pollution-intensive enterprises (b) in the urban border area in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

污染密集型企业数据库, 利用 Python 编码与 Arc-GIS 空间化模块, 通过百度地图 API 接口, 以城市边界的 1、2、5、10 km 等为半径设置缓冲区, 统计城市间缓冲区内污染密集型企业密度 (个数/缓冲区面积)。本文在边界缓冲区 10 km 范围内计算城市边界区域污染密集型企业密度。边界缓冲区内的污染密集型企业数量占粤港澳大湾区污染密集型企业的 66.2%, 其中佛山与中山、深圳与惠州、广州与东莞的边界污染密集型企业密度较高, 反映其环境协同治理的效果稍差。佛山与中山的边界区域主要集聚照明电器、钣金配件、印染企业; 深圳与惠州的边界区域主要集聚电子制品、手机配件企业; 广州与东莞的边界区域主要集聚纺织服装、汽车摩托车零配件企业。在产业转移过程中, 边界地区等洼地

区域更容易吸引小型工业园集聚,正在成为新的增长空间。但是,在去边界化过程中,应特别关注污染企业向城市边界和环境准入门槛低的区域迁移。对污染密集型企业密度的倒数做最大值归一化处理,表征城市与城市之间的环境协同关系,并进一步反映粤港澳大湾区的城市网络结构。

城市边界区域河流交接断面水质达标率,以广东省主要跨市河流交接断面水质状况为基础数据库,主要来源于广东省生态环境厅发布的跨市河流交接断面水质状况信息^①,包含20多个交接断面水质状况数据(交接关系、水质类别、达标状况等),特别关注深圳与香港跨市河流深圳河、珠海与澳门跨市河流鸭涌河的交接断面水质状况,根据月度达标率数据汇总计算城市间河流交接断面水质年平均达标率,水质平均达标率的最大值归一化处理结果表征城市之间的环境协同治理关系。结果表明(图3-b),跨市河流交接断面水质达标率表现稍差的是深圳与惠州(龙岗河、坪山河)、深圳与东莞(观澜河)、惠州与东莞(东江)、广州与佛山(顺德水道、平洲水道);跨市河流交接断面水质达标率表现最优的是珠海与江门(磨刀门水道)、佛山与肇庆(西江干流)、中山与江门(磨刀门水道)。截止2017年,深港联合治理深圳河四期工程完成。2018年,深圳河水质达地表水V类标准,为40年来的最好水平。截止2019年,鸭涌河截污和清淤工程完成,实现鸭涌河水质达到地表IV类水目标。政府主体、民间机构、环保组织等多主体参与的跨境水污染协作治理,避免跨界流域河道等成为转移环境负外部性的通道,为粤港澳大湾区环境协同治理提供宝贵实践经验(潘泽强等,2019)。

3.3 服务协同共享

以高德地图逐日发布的驾车迁徙指数反映粤港澳大湾区人口通勤强度,指数越高表示驾车跨城出行用户量越大。图4显示,深莞路线和广佛路线的单日迁徙指数最高,深莞之间和广佛之间的实际迁徙规模大致相当,其次是广莞线路、深惠线路和莞惠线路,并且东莞至广州、惠州至深圳的实际迁徙指数强于广州至东莞、深圳至惠州的实际迁徙指数。以此迁徙指数的最大值归一化处理结果反映城市与城市之间的协同关系,并进一步反映粤港澳大湾区的城市网络结构。从实际迁徙指数分析,深圳与东莞两地之间的人员流动更为频繁,得益于其强

大的交通基础设施服务能力,深圳与东莞两地之间有9条高速公路相连,广州与佛山之间主要有6条高速公路相连。随着轨道交通的进一步发展,将对深莞、广佛在交通维度上的协同发展水平产生深远影响。

以高速公路收费站数据构建的城市之间交通流强度主要集中在广州与佛山、深圳与东莞,并且广佛之间、深莞之间的出行往返规模大致相当;其次是广州与东莞、深圳与惠州,并且东莞至广州、惠州至深圳的出行规模强于广州至东莞、深圳至惠州的出行规模。以百度指数构建城市之间的信息流强度,主要集中在广州与深圳、深圳与东莞、广州与佛山,其次是香港与广州、香港与深圳、深圳与佛山、广州与东莞。

以粤港澳大湾区物流网点为例,采用联锁网络模型,物流网点数据包含粤港澳大湾区共11座城市的POI数据,共有顺丰快递、中国邮政、德邦快递、申通快递、圆通快递、中通快递、韵达快递等7家快递公司,包括物流网点名称、快递公司名称、地址、联系电话、经纬度信息,借助联锁网络模型计算出城市之间物流的总链接(即城市之间的连通性),总链接的最大值归一化处理结果表征城市之间的物流协同关系。结果显示,粤港澳大湾区物流联系强度最强的是广州与深圳,联系强度远远高于大湾区其他城市;其次是广州与佛山、深圳与东莞、广州与东莞;再次是香港与广州、深圳与佛山、香港与深圳(图5-a)。

以粤港澳大湾区金融网点为例,采用联锁网络模型,总部位于广深港澳且位于广深港澳的网点的服务价值赋权为3,总部不在广深港澳且位于广深港澳的网点的服务价值赋权为2,其他城市的服务价值赋权为1。以24家银行(中国银行、中国工商银行、中国建设银行、中国农业银行、交通银行、招商银行、中国邮政储蓄银行、兴业银行、民生银行、中信银行、光大银行、平安银行、华夏银行、广发银行、广州银行、汇丰银行、恒生银行、渣打银行(香港)、东亚银行、花旗银行、创兴银行(香港)、大众银行(台湾)、澳门国际银行、大西洋银行)网点数据(不包含ATM网点信息)为基础,借助联锁网络模型计算出城市之间金融的总链接(即城市之间的连通性),总链接的最大值归一化处理结果表征城市之间的金融协同关系。借助联

^① 详见: http://gddata.gd.gov.cn/data/dataSet/toDataDetails/29000_00400031。

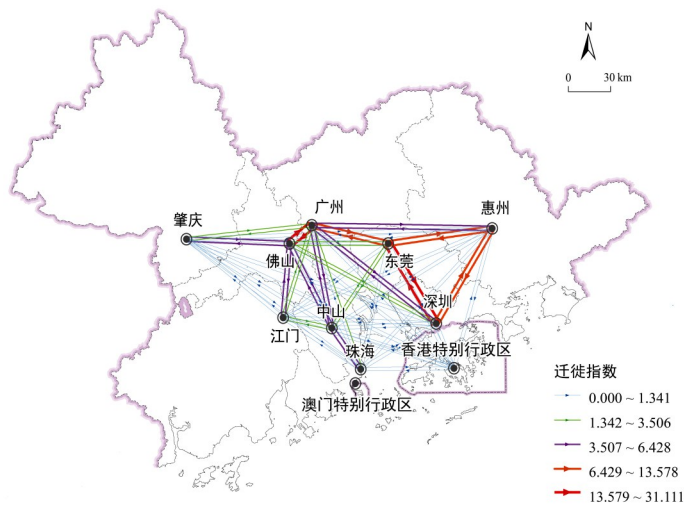


图4 粤港澳大湾区迁徙指数

Fig.4 Migration Index among cities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

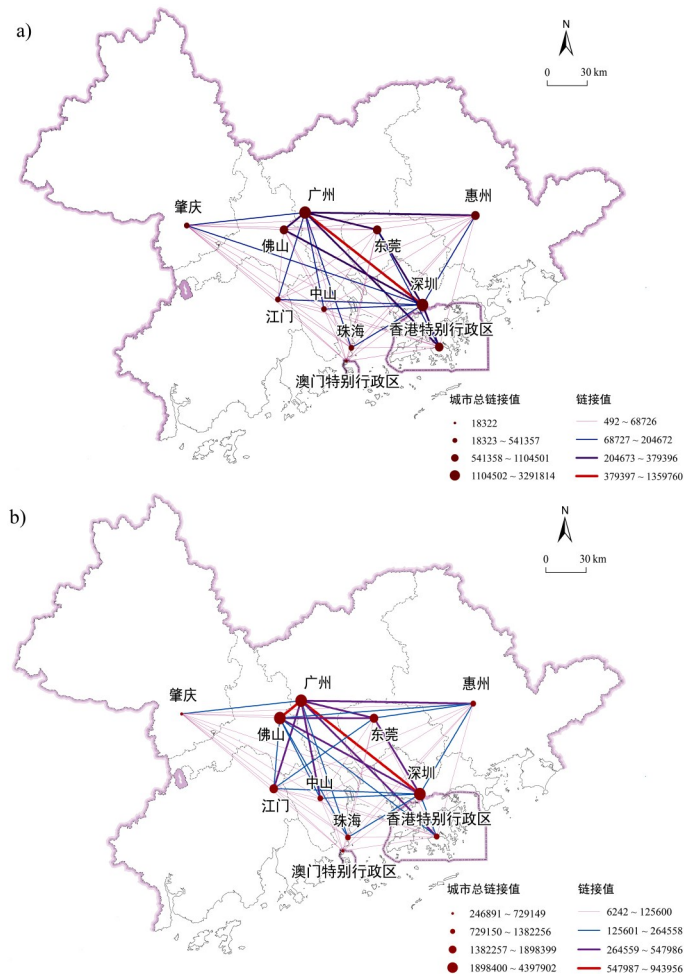


图5 基于物流 (a)、银行 (b) 网点的粤港澳大湾区城市网络结构

Fig.5 Urban network structure of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on logistics POI data (a) and bank (b)

锁网络模型评价城市之间金融协同程度，城市之间的金融协同程度最强的是广州与深圳、广州与佛山，其次是广州与东莞、深圳与佛山（图5-b）。粤港澳大湾区银行网点数量最多的城市依次为广州（3 843家）、深圳（2 818家）、佛山（1 916家）、香港（1 528家）、东莞（1 608家）、江门（910家）、惠州（850家）、中山（810家）、珠海（741家）、肇庆（466家）和澳门（211家）。香港作为国际金融中心，布局最多的银行网点依次是中国银行、汇丰银行、恒生银行、东亚银行、渣打银行，除中国银行外，其他银行在珠三角九市的布局都相对较少，导致对内金融联系紧密程度远远低于其对外金融联系强度。

3.4 制度协同安排

“一国两制”下，制度因素对粤港澳区域协同发展的决定性影响显而易见（张虹鸥等，2018）。粤港澳大湾区制度协同安排主要是对公共政策的量化分析，以粤港澳大湾区城市政府官网发布的政策文件（内容涉及联席会议、经贸协定、联合规划、跨区域合作、交通基础设施等）构建数据库，将城市政府主体间的政策互动形成量化指标，主要侧重城市主体间双边关系和多边关系的测度。比如开展多年的粤港联席会议、粤澳联席会议，以及泛珠三角区域合作行政首长联席会议，其主要议题集中在产业、经贸、基建、环保、社会服务等。城市之间双边合作关系主要集中在港深、澳珠，其次是港澳、广佛，而广深之间缺乏双边合作。邻近城市更多体现双边合作关系，且以产业协同创新和服务协同共享类政策为主，合作领域涉及边界合作开发、交通基础设施衔接等。多边合作关系主要集中在深莞惠、粤港澳，具有国家战略驱动和都市圈战略驱动的典型特征，以服务协同共享类政策为主，体现对宜居宜业宜游优质生活圈的共同诉求。但是，由于粤港澳大湾区的特殊性，使其制度安排的参与主体、利益诉求、实施机制、协同路径等更为复杂多变，粤港澳大湾区跨境区域协同发展亟须建立制度化的广域行政模式（刘云刚等，2018）。

3.5 协同水平及协同能力综合测度

通过产业协同创新、服务协同共享、制度协同安排等不同维度测度城市之间的协同发展

水平,实现粤港澳大湾区协同发展水平的分层测度。借鉴GII总得分即投入次级指数得分和产出次级指数得分的简单平均数,通过标准化处理后的简单平均求和(每个维度的最高得分为1分,总和为3分),实现粤港澳大湾区协同发展水平的综合测度(图6)。粤港澳大湾区协同发展水平相对较高的依次是广州与深圳、广州与佛山、深圳与东莞、香港与深圳、深圳与惠州、澳门与珠海、香港与澳门、惠州与东莞、香港与广州、广州与东莞、深圳与佛山。广州和深圳因其在产业协同创新和服务协同共享两个维度表现突出,成为粤港澳大湾区协同发展水平最高的城市组合。广州与佛山、深圳与东莞因其在服务协同共享和制度协同安排两个维度表现突出,特别是广佛和深莞的交通联系、信息交流、物流联系和金融协同等表现突出,同样呈现出较高的协同发展水平。香港与深圳的协同发展更多地体现在制度协同安排和产业协同创新。广州与东莞、深圳与佛山同样呈现较高的协同发展水平,都是在服务协同共享和产业协同创新等维度表现突出,特别是广莞、深佛之间的金融协同程度和物流联系强度,同时伴随着深佛、广莞的产业渗透,相较于固化的“广佛肇”和“深莞惠”的空间结构,城市之间的行政壁垒和边界属性逐步模糊化,这种关系空间的重塑将对粤港澳大湾区协同发展带来新的机遇与挑战。相比港深的协同发展水平,澳珠的协同发展水平偏低,澳门与珠海的协同发展主要体现在制度协同安排,产业协同创新和服务协同共享是当前澳珠协同发展的最大短板。虽然去边界化趋势明显,城市间流动性增强,但是粤港澳大湾区协同发展水平总体不高,其协同发展水平均未达到1.8分(以3分为准的及格线)。

借鉴GaWC通过城市链接转换为城市总链接进行全球城市排名的计算逻辑,将粤港澳大湾区1个城市与其他10个城市的协同关系进行加总,得出该城市的协同发展能力(图7)。珠三角地区:深圳和广州的协同能力为第一梯队;佛山和东莞为第二梯队;惠州、珠海和中山为第三梯队;江门和肇庆为第四梯队。粤港澳大湾区:深圳和广州的协同能力为第一梯队;佛山、东莞和香港为第二梯队;澳门、惠州、珠海和中山为第三梯队;江门和肇庆为第四梯队。总体上,粤港澳大湾区各个城市的协同能力主要由服务协同共享和制度协同安排主导,广深之外其他城市在产业协同创新方面的能力均有不足。广州和深圳两座中心城市的协同能力最强,广

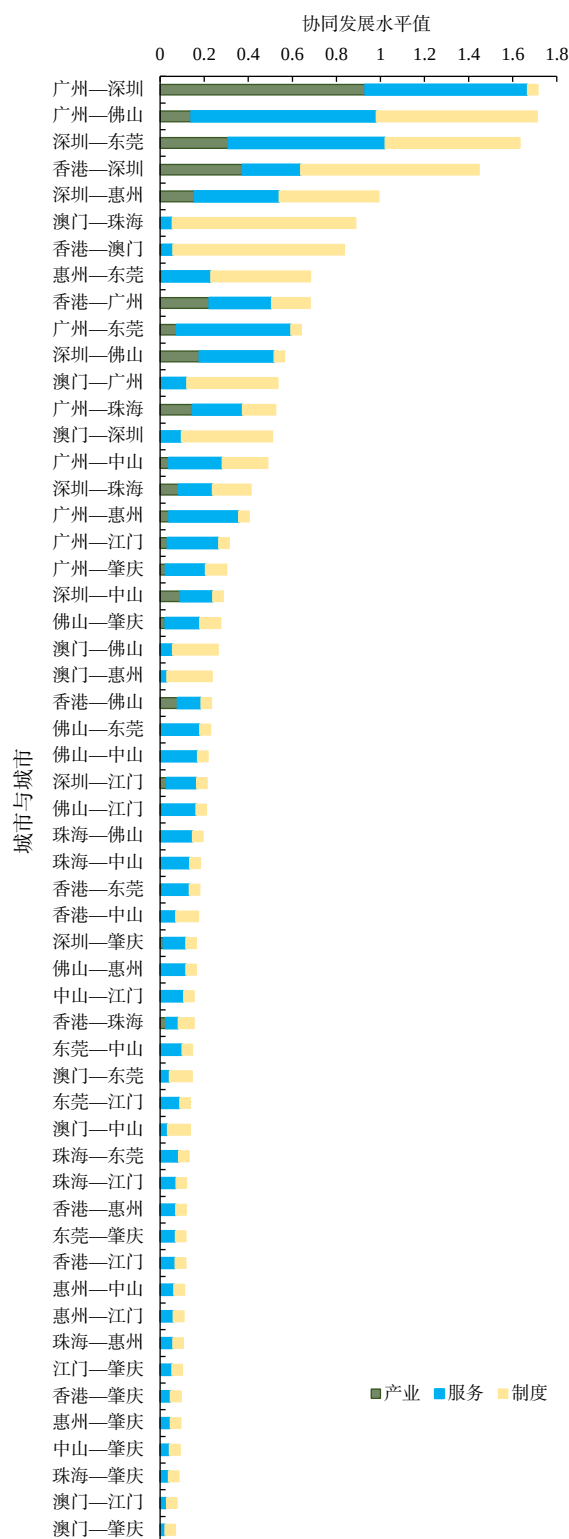


图6 粤港澳大湾区协同发展水平综合评价

Fig.6 Comprehensive evaluation of the coordinated development in the Greater Bay Area

州在服务协同共享方面具有优势,深圳在产业协同创新方面具有优势。香港和澳门两座国际化城市,

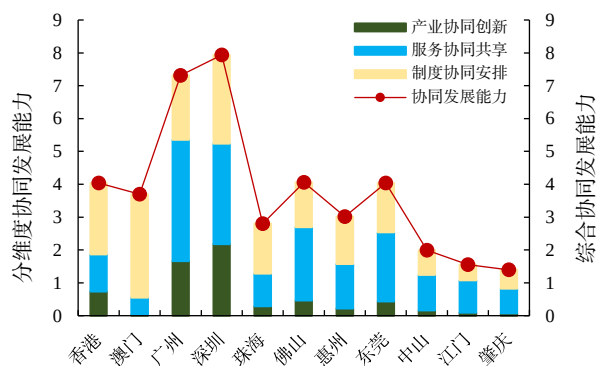


图7 粤港澳大湾区协同能力评价

Fig.7 Comprehensive evaluation of the coordinated development capacities in the Greater Bay Area

在粤港澳大湾区范围内的协同能力仍有很大提升空间。香港和澳门在制度协同安排方面具有较大优势，应借助制度优势在相关政策的实施过程中进一步转化为竞争优势，特别是在产业协同创新和服务协同共享等方面。东莞和佛山借助深莞和广佛“朋友圈”的地理邻近优势，在服务协同共享方面具有优势，但是应特别注意在产业协同创新方面的不足。惠州需要进一步提升其在产业协同创新方面的能力。珠海、中山和江门作为珠江西岸重点打造的都市圈，在服务协同共享和产业协同创新等方面存在明显差距，中山和江门在制度协同安排方面也有明显不足。肇庆作为粤港澳大湾区重点建设的节点城市之一，但是在产业协同创新、服务协同共享、制度协同安排等方面与大湾区其他城市差距明显，应进一步增强发展的协同性，加强与中心城市的互动合作。

在城市与城市的一对一关系测度基础上，综合产业协同创新、环境协同治理、服务协同共享和制度协同安排等维度对城市与城市的多对多关系进行测度，将广州与佛山、佛山与肇庆、广州与肇庆的协同关系进行加和，得出“广佛肇”都市圈的协同发展水平，同理计算“深莞惠”和“珠中江”都市圈的协同发展水平。总体上，“深莞惠”都市圈的协同发展水平最高，分别由深圳—东莞、深圳—惠州、惠州—东莞组成；“广佛肇”都市圈的协同发展水平次之，分别由广州—佛山、佛山—肇庆、广州—肇庆组成；“珠中江”都市圈的协同发展水平最低，分别由珠海—中山、中山—江门、珠海—江门组成。进一步评价三大都市圈的协同能力（图8），发现深莞惠都市圈的协同发展能力最强，其次

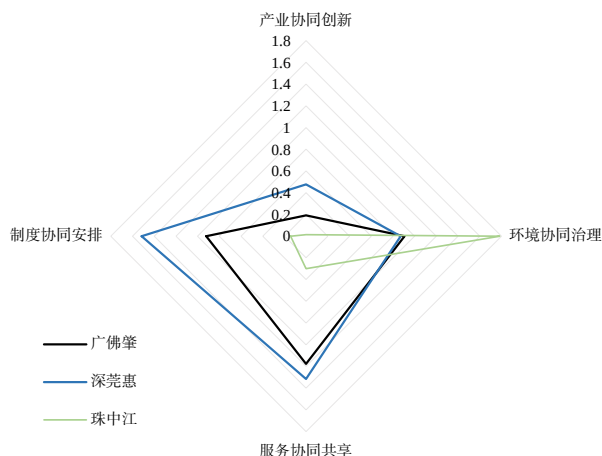


图8 粤港澳大湾区都市圈协同能力评价

Fig.8 Comprehensive evaluation of metropolitan area's coordinated development capacities in the GBA

是广佛肇都市圈，深莞惠和广佛肇均在制度协同安排和服务协同共享方面表现突出。在产业协同创新的协同方面，深莞惠的协同能力高于广佛肇，但是，在环境协同治理方面，深莞惠和广佛肇均存在明显不足。珠中江的协同发展能力与深莞惠和广佛肇存在明显差距。但是，在环境协同治理方面，珠中江的协同能力明显高于广佛肇和深莞惠。

4 结论

在充分理解粤港澳大湾区城市群协同发展的科学内涵与动力机制的前提下，从产业协同创新、环境协同治理、服务协同共享、制度协同安排4个维度构建评价指标体系。综合利用“流”空间、大数据、网络分析、联锁网络模型等理论与方法，集成工业企业数据、风险投资数据、知识产权数据、遥感影像数据、河流断面水质、区域空气质量、高德地图数据、政务合作信息数据等多源异构海量数据，重在测度城市之间的一对一、一对多、多对多的关系，并形成协同发展水平综合评价，得出的主要结论有：

1) 粤港澳大湾区协同发展水平分维度评价方面：从产业协同创新的视角分析得出，城市之间的资金流主要集中在广州与深圳之间，城市之间的知识流集中在香港、广州和深圳。环境协同治理与产业协同创新的评价结果存在明显反差，澳门、珠海、中山和江门等城市之间的环境协同治理水平更高，深莞惠和广佛等城市之间的环境协同治理水平稍差。从交通、通信、物流、银行等服务基础设施

的角度分析得出,广佛、深莞、广深等城市之间的服务协同共享水平更高。从制度协同安排的角度分析得出,香港和澳门在跨境区域协同方面具有制度优势。

2) 粤港澳大湾区协同发展水平综合性评价方面:粤港澳大湾区由改革开放以来的“核心—外围”的空间结构,逐步发展成为去边界化趋势明显的相互关联的网络结构。粤港澳大湾区协同发展水平表现最优的是广州与深圳、广州与佛山、深圳与东莞、香港与深圳,同时,广州与东莞、深圳与佛山呈现联动趋势。虽然去边界化趋势明显、城市间流动性增强,但是粤港澳大湾区协同发展水平总体不高,其协同发展水平均未达到1.8分(以3分为准的及格线)。在广州都市圈和深圳都市圈背景下,深圳与佛山、广州与东莞呈现联动趋势,广州和深圳这两个近距离的超级城市也呈现竞合关系的新格局。

本研究是对城市群协同发展水平综合评价的有益探索,基于关系网络的新视角,提出粤港澳大湾区协同测度的指标体系与测度方法,更加关注知识、技术、资本等要素的流动性以及城市治理的边界效应,对于形成对粤港澳大湾区协同发展水平的科学判断,用以指导粤港澳大湾区城市群及都市圈协同发展态势评估与协同决策,促进粤港澳大湾区治理能力现代化、提升城市群协同治理水平具有重要的借鉴意义。由于数据缺乏,本研究的协同发展水平综合评价主要是基于单一年份数据,未能开展粤港澳大湾区建设国家战略提出之后区域协同发展的动态变化分析,未来需要持续补充和完善突显粤港澳大湾区典型性的指标体系和数据积累,以期对粤港澳大湾区建设过程开展协同视角的动态评估。未来还应进一步加强协同机制及协同路径的系统研究,对于建设国际一流湾区和世界级城市群具有重要的实践价值。

参考文献 (References):

- Castells M. 2004. Informationalism, Networks, and the Network Society: A Theoretical Blueprint. In: Castells M. *The Network Society: A Cross-Cultural Perspective*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. DOI: 10.4337/9781845421663.00010.
- Castells M. 2009. The New Economy: Informationalism, Globalization, Networking. In: Castells M. *The Rise of the Network Society*. 77-162. New Jersey: Wiley - Blackwell. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444319514.ch2>.
- 蔡赤萌. 2017. 粤港澳大湾区城市群建设的战略意义和现实挑战.

- 广东社会科学, 186 (4): 5-14, 254. [Cai Chimeng. 2017. The Building of a World-Class City Cluster in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Strategic Meanings and Challenges. *Social Sciences in Guangdong*, 186(4): 5-14, 254.]
- 陈世栋. 2018. 粤港澳大湾区要素流动空间特征及国际对接路径研究. 华南师范大学学报(社会科学版), (2): 27-32. [Chen Shidong. 2018. Research on the Spatial Characteristics of Factor Flow and Its International Integration Path in Guangdong-Hong Kong-Macao Bay Area. *Journal of South China Normal University (Social Science Edition)*, (2): 27-32.]
- 邓志新. 2017. 粤港澳大湾区: 珠三角发展的新引擎. 广东经济, (5): 32-35. [Deng Zhixin. 2017. Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area: A New Engine for the Development of the Pearl River Delta. *Guangdong Economy*, (5): 32-35.]
- 董超, 修春亮, 魏冶. 2014. 基于通信流的吉林省流空间网络格局. 地理学报, 69 (4): 510-519. [Dong Chao, Xiu Chunliang and Wei Ye. 2014. Network Structure of 'Space of Flows' in Jilin Province Based on Telecommunication Flows. *Acta Geographica Sinica*, 69(4): 510-519.]
- 樊杰, 王亚飞, 梁博. 2019. 中国区域发展格局演变过程与调控. 地理学报, 74 (12): 2437-2454. [Fan Jie, Wang Yafei and Liang Bo. 2019. The Evolution Process and Regulation of China's Regional Development Pattern. *Acta Geographica Sinica*, 74(12): 2437-2454.]
- 方创琳, 梁龙武, 王振波. 2020. 京津冀城市群可持续爬升规律的定量模拟及验证. 中国科学: 地球科学, 50 (1): 104-121. [Fang Chuanglin, Liang Longwu and Wang Zhenbo. 2020. Quantitative Simulation and Verification of Upgrade Law of Sustainable Development in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Scientia Sinica Terrae*, 50(1): 104-121.]
- 方创琳. 2017. 京津冀城市群协同发展的理论基础与规律性分析. 地理科学进展, 36 (1): 15-24. [Fang Chuanglin. 2017. Theoretical Foundation and Patterns of Coordinated Development of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Progress in Geography*, 36(1): 15-24.]
- 方远平, 彭婷, 陆莲芯, 毕斗斗, 陈再齐. 2019. 粤港澳大湾区城市职能演变特征与影响因素. 热带地理, 39 (5): 647-660. [Fang Yuanping, Peng Ting, Lu Lianxin, Bi Doudou and Chen Zaiqi. 2019. Characteristics and Influencing Factors of Urban Function Evolution in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 39(5): 647-660.]
- 李立勋. 2017. 关于“粤港澳大湾区”的若干思考. 热带地理, 37 (6): 757-761. [Li Lixun. 2017. Thinking on the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 37(6): 757-761.]
- 李郁, 殷江滨. 2012. 国外区域一体化对产业影响研究综述. 城市规划, 36 (5): 91-96. [Li Yun and Yin Jiangbin. 2012. Research Review on the Effects of Regional Integration on Industry. *City Planning Review*, 36(5): 91-96.]
- 李郁, 周金苗, 黄耀福, 黄玫瑜. 2018. 从巨型城市区域视角审视粤港澳大湾区空间结构. 地理科学进展, 37 (12): 1609-

1622. [Li Xun, Zhou Jinmiao, Huang Yaofu and Huang Meiyu. 2018. Understanding the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from the Perspective of Mega-City Region. *Progress in Geography*, 37(12): 1609-1622.]
- 李颖, 陈婷婷, 李郁, 许伟攀, 郎崑. 2020. 基于手机信令的跨界地区职住中心识别及其模式——以广佛地区为例. *热带地理*, 40 (2): 206-216. [Li Ying, Chen Tingting, Li Xun, Xu Weipan and Lang Wei. 2020. Identification and Patterns of Employment and Residential Centers in a Cross-Border Region Based on Mobile Phone Signaling Data: A Case Study of Guangzhou and Foshan. *Tropical Geography*, 40(2): 206-216.]
- 林初昇. 2017. “粤港澳大湾区”城市群发展规划之可为与不可为. *热带地理*, 37 (6): 755-756, 761. [George C S LIN. 2017. Planning for the Development of the City-Regions in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: What Can and Cannot be Done. *Tropical Geography*, 37(6): 755-756, 761.]
- 林涛. 2019. 城市网络: 中国城市地理研究的前沿和热点领域. *科学*, 71 (4): 25-29, 4. [Lin Tao. 2019. City Network: A Geographical Research Focus and Frontier in China. *Science*, 71 (4): 25-29, 4.]
- 刘锦, 田银生. 2018. 粤港澳大湾区背景下的珠三角城市群产业-人口-空间交互影响机理. *地理科学进展*, 37 (12): 1653-1662. [Liu Jin and Tian Yinsheng. 2018. Mutual Influencing Mechanism of Industry-Population-Space in the Pearl River Delta Urban Agglomeration in the Context of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Development. *Progress in Geography*, 37(12): 1653-1662.]
- 刘毅, 王云, 杨宇, 马丽. 2019. 粤港澳大湾区区域一体化及其互动关系. *地理学报*, 74 (12): 2455-2466. [Liu Yi, Wang Yun, Yang Yu and Ma Li. 2019. Regional Integration and Interaction of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Acta Geographica Sinica*, 74(12): 2455-2466.]
- 刘毅, 杨宇, 康蕾, 王云. 2020a. 新时代粤港澳大湾区人地关系的全球模式与区域响应. *地理研究*, 39 (9): 1949-1957. [Liu Yi, Yang Yu, Kang Lei and Wang Yun. 2020a. Human-Environment System in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Global Model and Local Response. *Geographical Research*, 39(9): 1949-1957.]
- 刘毅, 王云, 李宏. 2020b. 世界级湾区产业发展对粤港澳大湾区建设的启示. *中国科学院院刊*, 35 (3): 312-321. [Liu Yi, Wang Yun and Li Hong. 2020b. Industrial Development of World-Class Bay Areas and Its Enlightenment to the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 35(3): 312-321.]
- 刘云刚, 侯璐璐, 许志桦. 2018. 粤港澳大湾区跨境区域协调: 现状、问题与展望. *城市观察*, (1): 7-25. [Liu Yungang, Hou Lulu and Xu Zhihua. 2018. Cross-Border Collaboration in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Progress, Problems and Prospect. *Urban Insight*, (1): 7-25.]
- 陆大道. 2017. 关于珠江三角洲大城市群与泛珠三角经济合作区的发展问题. *经济地理*, 37 (4): 1-4. [Lu Dadao. 2017. Development of Pearl River Delta Metropolitan Group and Pan-Pearl River Delta Economic Cooperation Zone. *Economic Geography*, 37(4): 1-4.]
- 陆大道. 2018. 长江大保护与长江经济带的可持续发展——关于落实习总书记重要指示, 实现长江经济带可持续发展的认识与建议. *地理学报*, 73 (10): 1829-1836. [Lu Dadao. 2018. Conservation of the Yangtze River and Sustainable Development of the Yangtze River Economic Belt: An Understanding of General Secretary Xi Jinping's Important Instructions and Suggestions for Their Implementation. *Acta Geographica Sinica*, 73(10): 1829-1836.]
- 马海涛, 黄晓东, 李迎成. 2018. 粤港澳大湾区城市群知识多中心的演化过程与机理. *地理学报*, 73 (12): 2297-2314. [Ma Haitao, Huang Xiaodong and Li Yingcheng. 2018. The Evolution and Mechanisms of Megalopolitan Knowledge Polycentricity of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Acta Geographica Sinica*, 73(12): 2297-2314.]
- 马向明, 陈洋. 2017. 粤港澳大湾区: 新阶段与新挑战. *热带地理*, 37 (6): 762-774. [Ma Xiangming and Chen Yang. 2017. The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: A New Era and a Big Challenge. *Tropical Geography*, 37(6): 762-774.]
- 毛艳华, 荣健欣. 2018. 粤港澳大湾区的战略定位与协同发展. *华南师范大学学报(社会科学版)*, 50 (4): 104-109, 191. [Mao Yanhua and Rong Jianxin. 2018. Strategic Positioning and Collaborative Development of Guangdong-Hongkong-Macao Greater Bay Area. *Journal of South China normal University (Social Science Edition)*, 50(4): 104-109, 191.]
- 倪鹏飞, 刘凯, 彼得·泰勒. 2011. 中国城市联系度: 基于联锁网络模型的测度. *经济社会体制比较*, 158 (6): 96-103. [Ni Pengfei, Liu Kai and Taylor Peter. 2011. Urban Connectivity in China: Measurement Based on Interlocking Network Model. *Comparative Economic & Social Systems*, 158(6): 96-103.]
- 潘泽强, 宁超乔, 袁媛. 2019. 协作式环境管理在粤港澳大湾区中的应用——以跨界河治理为例. *热带地理*, 39 (5): 661-670. [Pan Zeqiang, Ning Chaoqiao and Yuan Yuan. 2019. Collaborative Environmental Management in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Based on Cross-Border Rivers. *Tropical Geography*, 39(5): 661-670.]
- 彭芳梅. 2017. 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分析. *经济地理*, 37 (12): 57-64. [Peng Fangmei. 2017. 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*, 37(12): 57-64.]
- 邱坚坚, 刘毅华, 陈浩然, 高枫. 2019. 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. *经济地理*, 39 (6): 7-15. [Qiu Jianjian, Liu Yihua, Chen Haoran and Gao Feng. 2019. 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*, 39(6): 7-15.]
- 史培军, 宋长青, 程昌秀. 2019. 地理协同论——从理解“人—地关系”到设计“人—地协同”. *地理学报*, 74 (1): 3-15. [Shi Peijun, Song Changqing and Cheng Changxiu. 2019. Geographical Synergetics—From Understanding Human-Environment Relationship to Designing Human-Environment Synergy. *Acta Geographica Sinica*, 74(1): 3-15.]
- Taylor P J. 2001. Specification of the World City Network. *Geographical Analysis*, 33(2): 181-194.
- Taylor P J. 2005. Leading World Cities: Empirical Evaluations of Urban Nodes in Multiple Networks. *Urban Studies*, 42(9): 1593-1608.
- 唐子来, 李涛, 李桢. 2017. 中国主要城市关联网研究. *城市规划*, 41 (1): 28-39, 82. [Tang Zilai, Li Tao and Li Can. 2017. Research on the Interlocking Network of Major Cities in China. *City Planning Review*, 41(1): 28-39, 82.]
- 向晓梅, 杨娟. 2018. 粤港澳大湾区产业协同发展的机制和模式. *华南师范大学学报 (社会科学版)*, 50 (2): 17-20. [Xiang Xiaomei and Yang Juan. 2018. The Paths of the Industrial Synergy Development in Guangdong-Hong Kong-Macao Bay Area. *Journal of South China Normal University (Social Science Edition)*, 50(2): 17-20.]
- 许堃, 马丽. 2020. 粤港澳大湾区环境协同治理制约因素与推进路径. *地理研究*, 39 (9): 2165-2175. [Xu Die and Ma Li. 2020. Restrictive Factors and Promoting Approaches on Collaborative Ecological Environment Governance in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Geographical Research*, 39(9): 2165-2175.]
- 许学强, 李娜. 2009. 改革开放30年珠江三角洲城镇化的回顾与展望. *经济地理*, 29 (1): 13-18. [Xu Xueqiang and Li Nana. 2009. Review and Preview of the Urbanization in Pearl River Delta in the Past 30 Years of Reform and Opening Up. *Economic Geography*, 29(1): 13-18.]
- 许志桦, 刘云刚, 胡国华. 2019. 从珠三角到大珠三角再到粤港澳大湾区: 改革开放以来中国的国家尺度重组. *热带地理*, 39 (5): 635-646. [Xu Zhihua, Liu Yungang and Hu Guohua. 2019. From the Pearl River Delta to the Greater Pearl River Delta and to the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: State Rescaling in Post-Reform China. *Tropical Geography*, 39 (5): 635-646.]
- 张虹鸥, 王洋, 叶玉瑶, 金利霞, 黄耿志. 2018. 粤港澳区域联动发展的关键科学问题与重点议题. *地理科学进展*, 37 (12): 1587-1596. [Zhang Hong'ou, Wang Yang, Ye Yuyao, Jin Lixia and Huang Gengzhi. 2018. Key Scientific Issues and Important Topics in the Joint Development of the Guangdong-Hong Kong-Macao Region. *Progress in Geography*, 37(12): 1587-1596.]
- 张胜磊. 2018. 粤港澳大湾区发展路径和建设战略探讨: 基于世界三大湾区的对比分析. *中国发展*, 18 (3): 53-59. [Zhang Shenglei. 2018. Discussion on the Developing Path and Construction Strategies of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Based on the Comparative Study Among Three Global Bay Areas. *China Development*, 18(3): 53-59.]
- 赵晓斌, 强卫, 黄伟豪, 线实. 2018. 粤港澳大湾区发展的理论框架与发展战略探究. *地理科学进展*, 37 (12): 1597-1608. [Zhao Xiaobin, Qiang Wei, Huang Weihao and Xian Shi. 2018. Theoretical Framework and Development Strategy of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Progress in Geography*, 37(12): 1597-1608.]
- 钟韵, 胡晓华. 2017. 粤港澳大湾区的构建与制度创新: 理论基础与实施机制. *经济学家*, (12): 50-57. [Zhong Yun and Hu Xiaohua. 2017. Construction and Institutional Innovation of the Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area: Theoretical Basis and Implementation Mechanism. *Economist*, (12): 50-57.]
- 钟韵, 叶艺华, 魏也华. 2020. 基于创新联系的城市网络特征及影响因素研究——以粤港澳地区为例. *科技管理研究*, 40 (7): 1-9. [Zhong Yun, Ye Yihua and Wei Yehua. 2020. Urban Network on Innovation Connection: Case Study of Guangdong-Hong Kong-Macao Area. *Science and Technology Management Research*, 40(7): 1-9.]
- 钟韵, 秦嫣然. 2021. 中国城市群的服务业协同集聚研究——基于长三角与珠三角的对比. *广东社会科学*, 208 (2): 5-15, 254. [Zhong Yun and Qin Yanran. 2021. Co-Agglomeration of Service Industries Within Urban Agglomeration in China: Comparison Between the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta. *Social Sciences in Guangdong*, 208(2): 5-15, 254.]
- 周春山, 罗利佳, 史晨怡, 王珏晗. 2017. 粤港澳大湾区经济发展时空演变特征及其影响因素. *热带地理*, 37 (6): 802-813. [Zhou Chunshan, Luo Lijia, Shi Chenyi and Wang Juehan. 2017. Spatio-Temporal Evolutionary Characteristics of the Economic Development in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and Its Influencing Factors. *Tropical Geography*, 37(6): 802-813.]
- 周春山, 邓鸿鹄, 史晨怡. 2018. 粤港澳大湾区协同发展特征及机制. *规划师*, 34 (4): 5-12. [Zhou Chunshan, Deng Honghu and Shi Chenyi. 2018. A Study on Synergic Development of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Planners*, 34 (4): 5-12.]

作者贡献声明:

- 王长建、叶玉瑶、黄正东:**全面参与论文整体设计;
汪菲、林晓洁:参与部分数据采集与部分图件制作;
李启军:参与制度协同安排指标构建与研究分析;
陈宇、吴康敏:参与部分产业协同创新指标构建与研究分析;
林浩熙:参与部分环境协同治理指标构建与研究分析;
王长建:全面负责指标体系构建、研究方法优化和研究内容撰写;
张虹鸥:全面指导论文初稿撰写和论文修改稿撰写。

Measurement and Evaluation of the Coordinated Development in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

Wang Changjian^{1,2}, Ye Yuyao^{1,2}, Wang Fei³, Huang Zhengdong⁴, Li Qijun⁵, Chen Yu⁴,
Lin Haoxi¹, Wu Kangmin¹, Lin Xiaojie^{1,6} and Zhang Hong'ou¹

[1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Remote Sensing and Geographical Information System, Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 510070, China; 3. School of Resources and Planning, Guangzhou Xinhua University, Guangzhou 510520, China; 4. School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 5. Urban Planning & Design Institute of Shenzhen Co., Ltd., Shenzhen 518034, China; 6. School of Architecture and Urban Planning, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China]

Abstract: On the basis of fully understanding the scientific connotation of coordinated development of urban agglomeration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, the evaluation index system of coordinated development is constructed from four dimensions: industrial coordinative innovation, environmental coordinative governance, service coordinative sharing and institutional coordinative arrangement. The theory and method of space of flows, big data, network analysis and interlocking network model are comprehensively used to quantitatively analyze the interurban relationship, liquidity, connectivity and boundary effect. The research shows that: 1) Interurban capital flow is concentrated between Guangzhou and Shenzhen, and interurban knowledge flow is concentrated among Hong Kong, Guangzhou and Shenzhen. Macao, Zhuhai, Zhongshan and Jiangmen have higher level of collaborative environmental governance, while Shenzhen-Dongguan-Huizhou and Guangzhou-Foshan have lower level of collaborative environmental governance. The interurban service coordination sharing level of infrastructure such as transportation, communications, logistics and banking is higher among cities of Guangzhou-Shenzhen, Guangzhou-Foshan and Shenzhen-Dongguan. And Hong Kong and Macao have institutional advantages in cross-border regional coordination. 2) Guangzhou and Shenzhen, Guangzhou and Foshan, Shenzhen and Dongguan, and Hong Kong and Shenzhen have the best level of coordinated development in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. At the same time, Guangzhou and Dongguan, Shenzhen and Foshan show a linkage trend. Although the de-boundary trend is obvious and the interurban liquidity is enhanced, the coordinated development level of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area is generally not high. 3) The collaborative capacity of Guangzhou and Shenzhen is the strongest, and there is still much room for improvement in the collaborative capacity of the two international cities, Hong Kong and Macao. It is of great practical value to deeply understand the typical characteristics and potential trends of the coordinated development of urban agglomeration in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area for the construction of international first-class bay area and world-class urban agglomeration.

Keywords: Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; coordinated development; space of flows; urban connectivity; urban network