

- 童珺玥, 吴旗韬, 李苑君, 千庆兰, 陈和平, 金双泉. 2023. 广东省客货流网络空间结构特征及经济外部性. 热带地理, 43 (12): 2288-2299.
- Tong Junyue, Wu Qitao, Li Yuanjun, Qian Qinglan, Chen Heping, and Jin Shuangquan. 2023. Spatial Structure Characteristics and Economic Externalities of Passenger and Freight Flow Network in Guangdong Province. *Tropical Geography*, 43 (12): 2288-2299.

广东省客货流网络空间结构特征及经济外部性

童珺玥^{1,2}, 吴旗韬¹, 李苑君¹, 千庆兰², 陈和平³, 金双泉⁴

(1. 广东省科学院广州地理研究所, 广州 510070; 2. 广州大学 地理科学与遥感学院, 广州 510006;
3. 广东省邮政管理局, 广州 510003; 4. 广东省交通运输规划研究中心, 广州 510101)

摘要: 在网络研究由结构描述转向绩效评价背景下, 基于网络外部性理论探索区域城市的空间互动关系及经济溢出效应成为当前城市网络研究关注的重点。以广东省为研究区域, 基于车流、人流、快递流构建城际客货流网络, 利用社会网络分析方法探讨网络的空间结构特征, 并采用空间杜宾模型测度网络的经济溢出效应。研究发现: 1) 车流和人流网络核心层均由广佛组成; 快递流网络核心层由广莞深构成。一级优势流在车流网络中呈佛—广—莞—深的廊道式分布; 在人流网络中呈广—佛、深—莞的双通道模式; 在快递流网络中集聚于广—莞—深之间。2) 广州在客货流网络中核心地位显著; 城市节点在快递流网络有明显职能分异。3) 广东省客货流网络的经济外部效应呈显著负向溢出, 现阶段广东省域尚未形成协同互补的发展格局。4) 城市节点功能关联的提升有利于促进区域经济协同增长。城际要素流动可降低消费市场的进入壁垒和交易成本, 使区域内城市享受市场规模借用带来的发展好处; 而营商基础配套条件的改善将加速资源虹吸, 进一步加剧集聚阴影的形成。

关键词: 城市网络; 客货流网络; 网络外部性; 经济溢出效应; 广东省

中图分类号: F542.8; F127

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2023)12-2288-12

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003779

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



传统的城市研究聚焦于场所空间, 强调地方性和竞争性, 将城市视为相对静止的等级化体系。随着交通手段、信息技术的不断发展, 生产和分工组织不再局限于某产业集群或城市单元内部, 城市经由要素流动形成非等级化、动态关联的网络体系, 针对要素在城际间的动态流动关系, Castells (1996) 提出“流空间”理论, 为构建城市网络、描述城市间功能联系提供理论依据, 城市网络成为研究城市增长和经济发展的关键。Capello (2000) 结合“外部性”理论, 以“城市网络外部性”为研究视角定量刻画了区域城市网络的空间溢出效应。

在网络外部性范式下, 城市网络研究由网络关联描述转向对网络绩效评价, 有助于深入探讨区域协同程度, 对实现区域经济高质量发展有重要意义。

网络外部性的内涵可描述为城际联系过程对单一城市及其内部要素产生的影响效应(孙东琪等, 2022a)。与集聚外部性相比, 网络外部性突破地理和行政边界的限制, 弥补了集聚外部性忽视跨地区流动要素影响和随距离衰减的不足。网络外部性的作用大小随城市功能关系的强弱而变化(林柄全等, 2018), 具体可分为正向的借用规模和负向的竞争虹吸效应(Meijers et al., 2015; 孙东琪等,

收稿日期: 2023-05-29; 修回日期: 2023-10-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071165); 广东省科学院打造综合产业技术创新中心行动资金项目(2023GDASZH-2023010101)

作者简介: 童珺玥(1998—), 女, 福建龙岩人, 硕士研究生, 主要研究方向为城市地理、经济地理学, (E-mail) Junyuetong10@163.com;

通信作者: 吴旗韬(1982—), 男, 河南平顶山人, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为经济地理学与交通地理学, (E-mail) wuqitao@gdas.ac.cn。

2022b)。如小城市通过知识流动、交流合作共享关联大城市的规模报酬，获得知识溢出、成本降低等超出自身的规模优势，潜在地将大城市的好处内在化（张杰等，2022）；竞争虹吸指占据网络主导地位的城市通过要素流动攫取更多的经济价值，与落后城市形成竞争关系进而造成落后城市的收益流失，如常见的发生在中小城市的低端锁定和集聚阴影（孙东琪等，2013）。

已有城市网络外部性的研究涉及城市经济、创新、生态环境、公共治理等方面，其中关于城市经济外部效应的研究受到广泛关注。如利用隶属联系模型构建基于上市企业的城市网络，测度网络链接强度及合作伙伴绩效对城市经济的影响（盛科荣等，2021）。部分学者聚焦生产性服务功能，构造城市网络以测度中国城市群间的功能联系和竞争机制（王艺晓等，2022）。此外，由于金融在经济发展中起到重要支撑作用，也有学者针对城际金融联系，探讨金融网络的中心性、嵌入程度等网络特征对城市经济增长的作用（刘乐等，2022；杨雨等，2023）。随着网络研究不断深入，基于多重流数据构建多类型城市网络进而揭示城市经济溢出的作用机制，成为当前城市网络外部性的研究热点（安岷等，2022；赵金丽等，2022）。但既有研究所构造的城市网络多为单向的虚拟联系；而真实的城际联系由于受城市规模和经济行为影响，往往是非对称的（张伟丽等，2019）。相比于城际间真实互动的有向流动数据，单向的虚拟联系忽略了方向性对城际关联的显著影响（Ye et al., 2021），易造成溢出效应的估计偏差。此外，已有研究多基于全国尺度（刘贺等，2023）或城市群尺度（薛峰等，2020；姚常成等，2019）分析经济外部效应的作用机制，关注于省域尺度的网络外部性研究较少。

随着数字化技术的发展，数据可获取性进一步提高，社会生产活动下的城市联系得以测度和量化，为城市网络研究提供了数据支撑。交通车辆、航班、人口、快递包裹等城际流动的实体要素作为社会经济交往的基础载体，反映出城际真实的互动关系；其流动方向、流量大小表征了城际资源的实际配置情况，成为理解区域价值流转和分工合作的重要视角（任梦瑶等，2020）。因此，本研究基于“流空间”视角，采用实体流动要素构建广东省客

货流关联网，分析关联网的空间结构特征，并就区域经济的空间效应及溢出机制展开详细论述，以为广东省区域经济一体化和高质量发展提供理论参考。

1 数据来源与方法

1.1 研究区域

广东省地处中国大陆最南部，省辖21个地级市，多年来一直作为中国经济第一大省和重要的经济增长极（陈凤桂等，2010）。《广东省第七次全国人口普查公报》（广东省统计局等，2021）显示，广东省常住人口超1.2亿人，是中国人口最多的省份，并持续吸引大量外来人口。交通设施建设方面，广东省域范围内已形成互联互通的综合立体交通网络，且高速公路在广东整体交通运输体系中占据重要地位（李苑君等，2021）。广东省交通运输厅^①发文指出，随着港珠澳大桥、南沙大桥和汕湛高速等多个重大项目相继建成通车，全省高速公路通车总里程达11 211 km，连续9年居全国第一。同时，广东省邮政管理局^②发布行业要闻，指出广东作为全国邮政快递第一大省，是全国快递业务量率先突破，也是唯一突破300亿件大关的省份。省内拥有顺丰等大型快递企业总部和等级站点，广州、深圳、揭阳等5个地市在2022年城市快递业务量和快递收入排名中进入全国10强。

1.2 研究方法

1.2.1 网络构建 以广东省21个地级市为节点、基于2021年城际日均高速公路交通车流、2022年城际日均迁徙人流和快递包裹流，构建广东省城际客货流关系矩阵，即21×21的一模网络。构建网络的3种流数据均为不包含中转城市记录的OD数据。其中，车流数据是基于高速公路联网收费数据所获取的交通车辆数，根据官方收费标准将车辆类型划分为客车与货车2类；作为广东省货运和客运的主要方式，高速公路车流数据代表城际主体客货要素的流动特征。而快递流数据是基于城际快递服务而产生的包裹流量，用以表征各种运输方式下的城际快递交往；人流数据是城际人口流动的综合表征，可解释各种出行方式下的人员流动。基于以上3种流数据所构建的关联网共同刻画出广东省城际客、货运特征。具体网络构建方法为：

① http://td.gd.gov.cn/dtxw_n/gdjrxw/content/post_4087743.html

② <http://gd.spb.gov.cn/gdsyzyglj/c100057/c100060/202302/638ca22aa72245d0ac14c4d0f7d6fd2a.shtml>

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & 0 & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： W 为加权关联矩阵；主对角线表示城市内部流量，在本文所构造的城际关联网中将主对角线元素设为0，其余元素为不同始发地和接收地间的流量权重，如 w_{1n} 表示以第1个地市为起点流向第 n 个地市的流量数， w_{n1} 表示以第 n 个地市为起点流向第1个地市的流量数。对矩阵做行标准化处理，规范为可进行比较的无量纲空间权重矩阵。

值得注意的是，由于城际车流、人流、快递流具有实际物理意义，其构建的矩阵为非对称的有向权重矩阵；因此，相比经济、地理距离等单向权重矩阵，本文所使用的非对称客货流矩阵更适用于衡量城际真实联系状态，突出OD流两端节点的权重影响和方向差异。

1.2.2 网络分析 社会网络分析 (Social Network Analysis, SNA) 方法主要用于分析社会网络的关系结构及其属性，通过量化网络间联系进而搭建宏观网络和微观个体节点间的联系桥梁。本研究基于Gephi和Ucinet测度网络结构，并计算网络节点特征指标。

度中心度 (Degree) 是节点与其他节点发生直接联系的总和，在有向网络中定义为入度和出度之和，用以衡量节点的流量规模。其定义为

$$C(V_i) = C_{in}(V_i) + C_{out}(V_i) = \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}^{in} + w_{ij}^{out} \quad (2)$$

式中： $C(V_i)$ 为节点 V_i 的度中心度； w_{ij}^{in} 是 V_i 与其他节点入边的权值； w_{ij}^{out} 是 V_i 与其他节点出边的权值。

核心度 (Core) 是基于核心-边缘结构模型 (Borgatti et al., 2000)，使用MINRES因子来识别节点在网络中处于核心或边缘地位，处于核心地位的节点具有更高的合群性 (周尚意等, 2011)。核心度的取值范围为[0, 1]，节点核心度越接近1，表明其在网络中具有越高的功能地位 (王传阳等, 2022)。

PageRank是一种节点重要性的排序算法。其原理是从任意一个城市节点出发，依据转移矩阵或随机跳转2种方式计算访问每个城市节点的概率，其中转移矩阵是基于关联边的流量大小所构造的权重概率矩阵。经过数次迭代，每个网络节点的访问概率收敛近似平稳分布，该平稳概率值即为PageRank (李航, 2019)。其定义为：

$$PR(v_i) = d \left[\sum_{v_j \in M(v_i)} \frac{PR(v_j)}{L(v_j)} \right] + \frac{1-d}{n} \quad (3)$$

式中： $PR(v_i)$ 表节点 v_i 的PageRank值； d ($0 \leq d \leq 1$)是转移概率系数，又称阻尼因子； $M(v_i)$ 表示指向节点 v_i 的节点集合； $PR(v_j)$ 表示节点 v_j 的PageRank值； $L(v_j)$ 表示节点 v_j 连出的有向边个数； n 为网络中的节点个数。

关联方向指数是加权点入度和加权点出度的相对关系 (唐子来等, 2017)，用以比较区域内城市节点对资源要素的输入和输出导向差异。其定义为：

$$D(V_i) = [C_{out}(V_i) - C_{in}(V_i)] / [C_{in}(V_i) + C_{out}(V_i)] \quad (4)$$

式中： $D(V_i)$ 为节点 V_i 的方向指数； $C_{in}(V_i)$ 表示节点 V_i 的加权入度，是节点 V_i 与其他节点入边的权值之和； $C_{out}(V_i)$ 表示节点 V_i 的加权出度，是节点 V_i 与其他节点出边的权值之和。

1.2.3 空间计量模型 空间计量 (Spatial Econometrics) 是指在一般计量模型的基础上，加入空间关联影响后做的系列回归，其空间相关性体现在邻近区域的变化会对自身区域产生影响。本研究基于快递包裹、高速交通车辆、迁徙人口3种要素的城际流动关系构建空间权重矩阵，利用空间杜宾模型 (SDM) 测度空间相关性。空间杜宾模型常用于衡量不同流要素网络对城市经济发展的影响 (叶胥等, 2022; 姚常成等, 2022)，其定义为 (陈强, 2014)：

$$y = \rho W y + X \beta + W X \gamma + \varepsilon + \alpha I \quad (5)$$

式中： y 为因变量； W 为空间权重矩阵； ρ 是空间滞后系数，表征区域内所有因变量 y 相互作用产生的全局效应； β 为本地区自变量的对应系数； γ 表示在空间权重矩阵作用下，关联地区自变量对本地区 y 的影响； ε 为满足正态独立同分布的随机扰动项； I 为常数项； α 为常数项的估计参数。

选择GDP作为因变量以表征区域的经济水平，选取表征节点功能嵌入地位的核心度作为核心自变量。此外，自变量 X 还需包含其他影响经济发展的一般控制变量。参考已有研究 (倪鹏飞等, 2019; 安嶝等, 2022)、结合广东省城市发展特点，选取商品零售总额、固定资产投资、进口总额和营商硬环境指数作为影响经济发展的控制变量。考虑到可能存在的内生性问题，参照相关研究 (卢飞等, 2023; 潘俊宇等, 2023) 选择城

市地形高程 (DEM) 作为工具变量。城市地形高程属于自然变量, 具有严格外生的地理条件, 不易受其他遗漏变量的影响; 同时城市地形高程会引致城际客货流联通水平的差异, 进而影响区域城市经济溢出。

在自相关系数显著的前提下, 需要分解估计结果以测度外部性的溢出机制, 进一步把网络传播的外部性分解为直接效应、间接效应和总效应 (LeSage et al., 2009; Dong et al., 2018; 童珺玥等, 2021)。直接效应指本地区自变量对本地区因变量的直接影响 (本地效应), 包含本地变量的直接影响和高阶网络关联带来的反馈作用。间接效应用于度量关联地区自变量对本地区因变量的累计影响 (溢出效应)。总效应为直接效应与间接效应之和, 表征关联网络对嵌入其中城市节点产生的总体效应改变, 是网络中所有节点经关联而获得的平均影响 (陈大峰等, 2021)。其定义为:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = (I_n - \rho W)^{-1} (I_n \beta + W \gamma) = I_n \beta + \rho W (\beta + \frac{\gamma}{\rho}) + \rho^2 W^2 (\beta + \frac{\gamma}{\rho}) + \dots + \rho^n W^n (\beta + \frac{\gamma}{\rho}) \quad (6)$$

第一项 $I_n \beta$ 表示不考虑空间权重矩阵影响时本地区自变量对因变量的改变, 第二项 $\rho W (\beta + \frac{\gamma}{\rho})$ 指一阶关联城市引致的效应改变, 其余项为高阶关联带来的效应改变。

1.3 数据来源

快递流数据来源于广东省邮政管理局提供的快件包裹数据; 车流数据来源于广东省交通运输厅提供的高速公路联网收费数据; 鉴于航班、客运等班次信息与实际流动人数存在一定偏差, 近年来逐渐应用百度迁徙指数、高德人口迁徙大数据等基于 LBS 的高精度数据来衡量城际人口流动。参考已有研究 (王聪等, 2021) 提出的实际人数 H 与百度迁徙指数 M 之间 $M=3.24 \times 10^5 H$ 的正比关系式, 利用百度地图慧眼平台^③提供的百度迁徙指数反演地市间实际的流动人数。营商硬环境指数来源于中国社会科学院财经战略研究院倪鹏飞等 (2021) 拟写的《中国城市竞争力报告 No.19: 超大、特大城市: 健康基准与理想标杆》, 由交通便捷程度、电力充沛度、信息传输速度等 6 个层面指数综合构建, 用以比较城市的基础设施配套情况; 其他统计数据来源于《2022 广东省统计年鉴》(广东省统计局,

2022), 均对其进行对数变换和归一化处理。各数据来源及其表征内涵详见表 1。

表 1 研究数据及其来源

Table 1 Research data and sources

研究数据	表征内涵	数据来源
城际日均邮政快递流数据(2022)	快递流联系	广东省邮政管理局
城际日均交通车流数据(2021)	车流联系	广东省交通运输厅
城际日均迁徙人流数据(2022)	人流联系	百度地图慧眼平台
GDP	经济发展水平	
商品零售总额	消费市场规模	《2022 广东省统计年鉴》
固定资产投资	资产投资情况	
进口总额	对外贸易联系	
营商硬环境指数	基础设施配套情况	《中国城市竞争力报告—No.19》

2 结果分析

2.1 客货流城市网络空间特征分析

2.1.1 组织结构特征 对节点核心度进行空间插值形成连续分布面, 利用自然断点法划分核心-半边缘-边缘圈层结构 (图 1)。结果表明, 3 种城市网络具有明显的圈层分异: 快递流网络的核心层由广州、东莞、深圳组成, 核心度在 0.4 以上; 车流及人流网络的核心层由广州和佛山组成, 核心度均 > 0.45 。快递流网络的半边缘层包含佛山、汕头、揭阳 3 市; 车流和人流网络半边缘层涵盖深圳、东莞、惠州市; 3 种网络半边缘层的核心度均在 0.12~0.38。其余核心度低于 0.1 的地市构成网络边缘层。对比城市核心度的数值差异发现: 广州在 3 种城市网络中的核心地位最为突出。相比于佛山 (0.24/0.47/0.52; 分别表示其在快递流、车流和人流网络中的核心度, 下同)、深圳 (0.52/0.28/0.21)、东莞 (0.40/0.37/0.27), 广州 (0.66/0.72/0.73) 占据绝对核心地位。同时发现汕头和揭阳 2 市在快递流网络中的核心地位显著高于其在车流和人流网络的核心地位, 这与其快递和电商业的高速发展现状相吻合。

对比 3 种网络优势流的空间分布形态 (图 2): 快递网络优势流呈现以广佛、深莞都市圈为中心, 向右辐射联系揭阳、汕头的东向沿海分布模式。一级优势流位于广州—东莞—深圳间, 拥有 50.8 万~98.4 万件的日均单向快递流量。车流网络的优势流主要集中于珠三角城市群内; 一级优势流呈现佛山—广州—东莞—深圳的廊道式结构, 城际最大日均单向车流量达到 8.3 万~16.2 万辆。人流网络的优势

③ <https://qianxi.baidu.com>

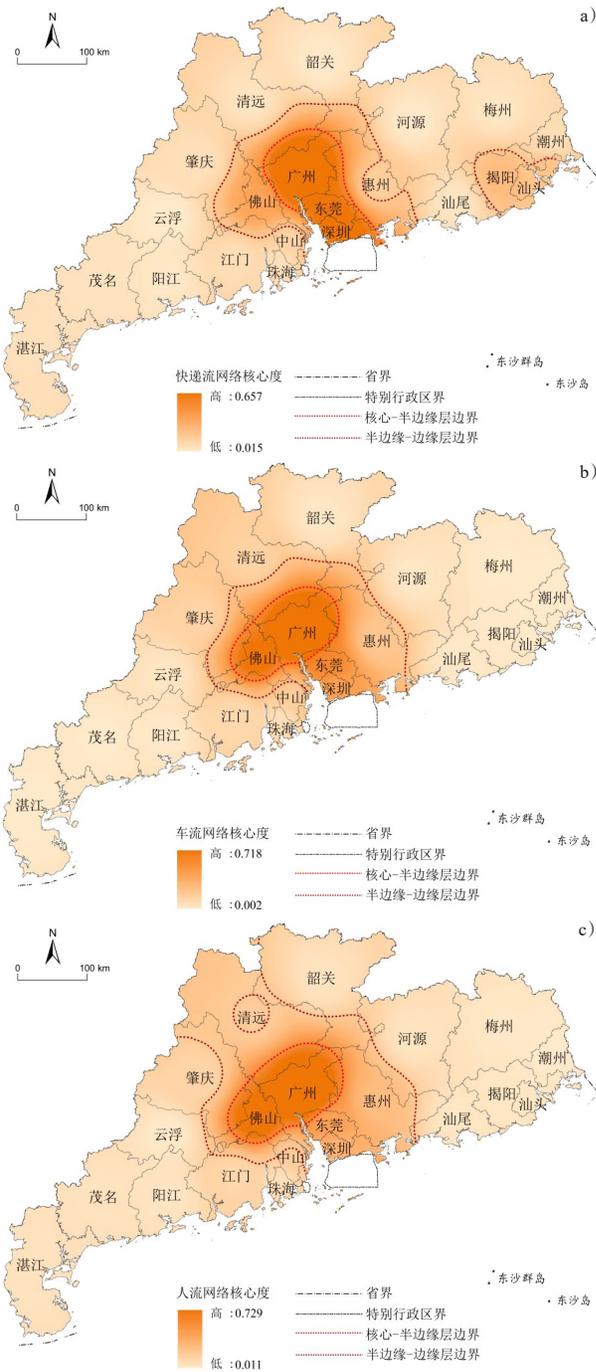


图1 广东省客货流网络的圈层结构
(a. 快递流; b. 车流; c. 人流)

Fig.1 The layer structure of the multi-flow network in Guangdong
(a. express flow; b. traffic flow; c. population flow)

注: 此图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站标准地图网站下载的审图号为GS (2019) 3333号绘制, 底图无修改; 下图同。

流同样集聚分布于珠三角城市群, 以广—佛、深—莞的双通道模式最为显著, 其日均单向人流量达到

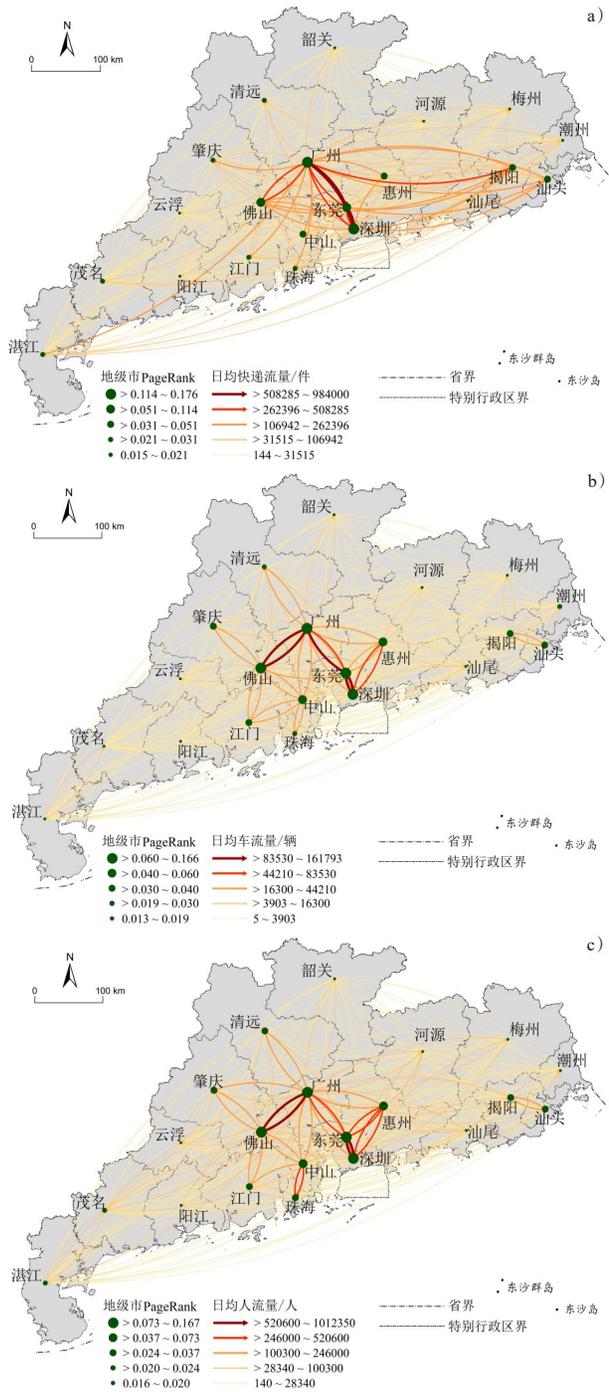


图2 广东省客货流网络的空间结构
(a. 快递流; b. 车流; c. 人流)

Fig.2 The spatial structure of multi-flow network in Guangdong
(a. express flow; b. traffic flow; c. population flow)

5.2万~10.1万人次。

2.1.2 功能特征分析 对比各节点的PageRank值、度中心度和方向指数 (图3): 省域快递网络中, 广州和深圳的PageRank值均>0.16, 占据首要网络地

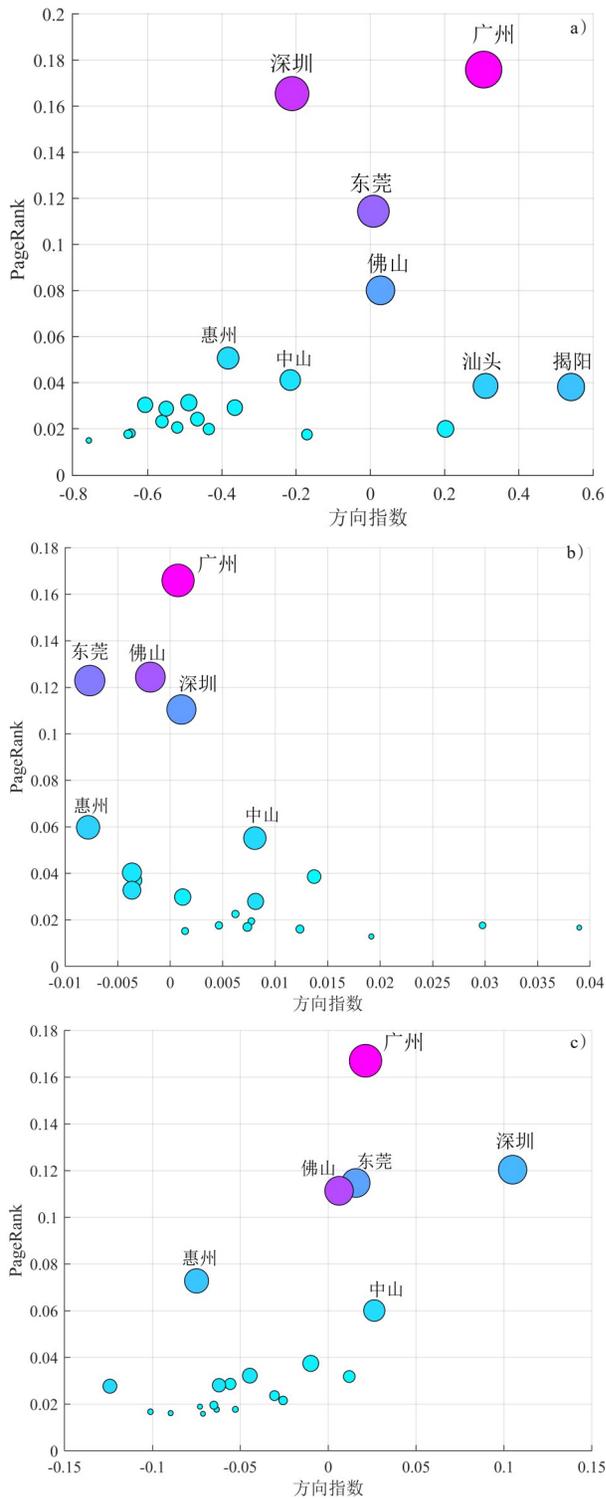


图3 广东省客货流网络的节点特征
(a. 快递流; b. 车流; c. 人流)

Fig.3 Node eigenvalues of the multi-stream network in Guangdong
(a. express flow; b. traffic flow; c. population flow)

位；在流量规模方面，深圳日均进出的快递总量约478万件、广州约662万件，同样拥有显著规模优

势。但二者在关联方向指数上差异明显，广州市的方向指数为0.31，以向外输出型为主，在网络中承担外向辐射功能；深圳市的方向指数为-0.21，属于向内输入型，对其他城市的快递资源有明显的集聚功能。其可能原因在于，广州的零售和制造业具有优越的产业基础和市场竞争力，其所生产的大量商品需要更庞大的市场进行销售，因而更多地表现为快递包裹的外向辐射模式。而深圳集聚了大量中青年劳动力，20~40岁人口所占比例明显高于省内其余城市，因此作为消费需求端对快递物流有很强的输入导向需求。除广深外，东莞、佛山、揭阳、汕头的节点也有较高的PageRank值；且揭阳、汕头较其他城市节点有较高的正值方向指数，对周边城市的输出作用显著，是粤东地区的快递物流交换枢纽。车流网络中，广州的PageRank值最高，其次是佛山、东莞、深圳市。广州拥有最大的流量规模，城际日均进出车流总量约83万辆。此外，邻近珠三角核心区的惠州、中山等市也在车流和人流网络中占据重要地位；但惠州和中山表现为相反的方向指数，惠州对于车流和人流资源的集聚能力较中山更强。人流网络中，广州拥有最高的PageRank值，其次是深圳、佛山及东莞。广州有显著的人流规模优势；深圳有较大的正值方向指数，在人流网络中具有重要的向外输出功能。

2.2 客货流城市网络的经济外部性

在Stata17中使用广义空间两阶段最小二乘法(gs2sls)的空间杜宾模型(SDM)对截面数据进行模型估计，测度区域城市经济的空间溢出效应，并进一步分解溢出效应以分析网络关联下城市经济绩效的溢出机制。

2.2.1 基准模型估计结果 首先，计算各变量的全局莫兰指数。在不同关联网络中，变量间表现出较强的空间相关性，说明广东省客货流网络存在空间溢出效应。空间杜宾模型检验结果如表2所示，3种城市网络均通过是否退化为空间自相关模型(SAR)的LR检验，表明其拟合效果优于因变量空

表2 空间杜宾模型检验结果

Table 2 SDM model test results

检验指标	车流	人流	快递流
LR	15.69***	17.51***	23.73***
Wald Test	3 060.3***	3 399.1***	6 824.9***
Pseudo R ²	0.988	0.989	0.990

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平。

间自相关的SAR模型；同时通过沃尔德检验 ($P < 0.01$)，且3种模型中自变量对因变量的解释能力均在0.98以上，表明基于空间杜宾模型的城市网络空间效应分析结果是准确的。

SDM模型估计结果如表3所示。首先，区域经

济表现为负向的空间关联，广东省尚未形成协同互补的经济发展格局。其次，从表征功能联系的核心度看，节点网络功能嵌入程度的提升有利于促进区域经济在空间上的增长溢出，但现阶段该正向溢出作用还有所欠缺。

表3 SDM模型估计结果

Table 3 SDM model estimation results

变量	车流	人流	快递流
核心度	0.054(1.343)	-0.018(-0.431)	0.090(3.309)***
商品零售总额	0.820(10.981)***	0.923(11.662)***	0.467(6.962)***
固定资产投资	0.145(2.766)***	0.113(2.286)**	0.192(3.582)***
进口总额	0.331(5.029)***	0.241(4.930)***	0.411(8.204)***
营商硬环境指数	-0.043(-1.061)	-0.081(-1.827)*	0.079(2.706)***
Dem	0.193(4.030)***	0.160(3.853)***	0.119(3.993)***
$W \times$ 核心度	0.654(4.327)***	0.653(4.432)***	2.872(6.505)***
$W \times$ 商品零售总额	1.076(3.091)***	1.612(4.274)***	3.374(2.176)**
$W \times$ 固定资产投资	0.297(1.136)	0.375(1.199)	2.546(1.573)
$W \times$ 进口总额	-0.153(-1.032)	-0.340(-1.970)**	2.851(4.477)***
$W \times$ 营商硬环境指数	-0.236(-2.691)***	-0.310(-2.789)***	0.607(0.766)
$W \times$ Dem	0.222(2.204)**	0.180(1.554)	2.009(3.146)***
cons	-0.466(-3.763)***	-0.461(-3.064)***	-2.394(-4.739)***
ρ	-0.974(-2.610)***	-1.255(-2.758)***	-8.173(-3.096)***

注：括号内为对应统计结果的标准差；***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平；下同。

从其他控制变量的溢出效应看，随着生产要素和物质商品实现空间上的再分配和再整合，核心城市依托自身发展优势向其他城市节点输送资源商品和服务，扩大潜在市场规模；边缘城市则借由要素流动降低市场进入壁垒及交易成本，拉动消费需求进而享受经济收益。但同时发现，营商硬环境在车流及人流网络中呈现出对区域城市经济增长的显著负向溢出。其原因主要是配套基础设施的改善将加速要素资源向核心城市转移，丰富了核心城市的资源基础，进而依托自身发展优势创造更大的经济价值；而边缘城市因受到资源虹吸，将面临基础设施投资回报损失并导致一系列社会生产活动的滞后，从而抑制原有发展空间，造成经济增速的减缓。这与已有研究（张克中等，2016）认为交通网络一体化对沿途中小城市经济存在虹吸效应相一致。此外，对外贸易联系在人流关联下表现出对区域经济协同增长的负向抑制作用。其原因在于：对外贸易联系的提升意味着城市与外部市场具有更加密切的贸易合作，可创造更多就业岗位进而吸引更多人力资源流入。因此当城市节点的对外贸易水平有所提升时，将有利于该城市集聚人流要素进而获得知识溢出和技术扩散。就估计结果看，现阶段这种增值红利主要为自身城市所享受，且与关联城市间形成

竞争化发展。这与已有研究（雷玮倩等，2023）认为城市在人口流动网络中借助外部交互获益的能力有待增强的结论具有一致性。

2.2.2 网络关联下经济绩效的溢出机制分析 进一步分解各变量的空间溢出机制（表4）。首先，在3种城市网络中，城市功能嵌入水平的间接效应和总效应均表现出显著正影响。这一方面表明城市经济发展不能忽视空间关联的作用，外部效应已成为影响区域经济发展的主导因素之一；另一方面也表明增强城市的功能嵌入、提升整体关联网络的功能联系水平，将有助于促进区域经济协同发展。从间接效应看，城市功能联系水平每提升1%，将通过车流、人流和快递要素流动对关联城市的经济产生0.418%、0.429%和0.272%的正向带动，且车流和人流联系的溢出效应较快递流更加突出。从总效应看，车流、人流和快递流网络的功能联系水平每提升1%，将对区域经济有0.359%、0.281%和0.323%的平均溢出促进。

车流与人流网络经济绩效的溢出机制具有相似性。首先是间接效应中，关联城市的市场规模均表现出显著的正向溢出。人、车要素流动及其背后承载地一系列市场交易过程能够降低城际市场壁垒和交易成本，使区域城市可借由要素联系实现对关联

表 4 SDM 模型效应分解

Table 4 SDM model effect decomposition

	变量	车流	人流	快递流
直接效应	核心度	-0.059(-0.92)	-0.148(-1.69)*	0.051(0.75)
	商品零售总额	0.768(8.65)***	0.836(9.65)***	0.475(6.35)***
	固定资产投资	0.116(1.47)	0.068(0.72)	0.174(2.68)***
	进口总额	0.42(3.46)***	0.363(3.00)***	0.42(9.53)***
	营商硬环境指数	-0.006(-0.13)	-0.041(-0.80)	0.08(2.67)***
	Dem	0.186(3.88)***	0.164(3.51)***	0.1(2.28)**
间接效应	核心度	0.418(4.56)***	0.429(4.30)***	0.272(5.08)***
	商品零售总额	0.192(1.08)*	0.288(1.78)*	-0.056(-0.48)
	固定资产投资	0.108(0.67)	0.148(0.82)	0.124(0.95)
	进口总额	-0.33(-2.25)**	-0.408(-2.73)***	-0.065(-0.73)
	营商硬环境指数	-0.135(-2.16)**	-0.132(-1.79)*	-0.005(-0.06)
	Dem	0.024(0.35)	-0.013(-0.18)	0.132(1.73)*
总效应	核心度	0.359(3.83)***	0.281(3.72)***	0.323(2.94)***
	商品零售总额	0.961(7.01)***	1.124(8.39)***	0.419(3.39)***
	固定资产投资	0.224(1.91)*	0.216(1.90)*	0.299(2.53)**
	进口总额	0.091(1.30)	-0.044(-0.57)	0.356(3.85)***
	营商硬环境指数	-0.141(-3.56)***	-0.173(-3.29)***	0.075(0.92)
	Dem	0.21(2.85)***	0.151(2.25)**	0.232(2.10)**

城市消费市场的规模借用、提升消费水平进而带来更大的发展空间。但相反，关联城市对外贸易水平的提升及营商环境的改善对经济协同增长表现出负向抑制，其原因在于：营商基础配套环境的改善将加速要素资源流动，因而对有着强功能联系的核心城市来说，加入关联网络有利于吸引资源要素和资本流入，促进生产力水平及技术进步；进而在丰富的资源、高效的生产能力和技术水平影响下，显著提升核心城市的对外贸易合作，为城市经济发展带来正向的循环促进。但对于功能联系弱的边缘城市来说，一方面受制于网络功能嵌入程度不高，无法通过功能协同和互补获得显著的溢出促进，且在城际竞争中可能损失对外贸易合作的机会、制约其原有发展空间；另一方面，边缘城市因受到核心城市的虹吸影响而陷入资源流失带来的发展桎梏，落入“灯下黑”的集聚阴影中。

快递关联网络中，经济绩效的溢出机制与车流及人流关联有所区别：其直接效应较间接效应更加显著。这说明当前由快递流动产生的经济效益倾向于集聚在自身城市，对关联城市的溢出带动有待加强。如揭阳、汕头具有发达的电商产业，在快递流网络中占据重要的功能地位，因此通过网络关联实现扩大消费市场、获得更多资产投资和对外贸易合作机会。但揭阳、汕头与其周边的潮州、梅州、汕尾等城市的快递物流专业化合作较弱，因而并未通过城际快递流动对周边城市的经济发展产生显著带

动。另一方面，间接效应中城际功能联系的估计系数显著为正，也论证了城市间功能联系的增强能够有效促进区经济实现正向溢出。

综上，随着城际关联不断加深，时空距离得以压缩，外部性对区域经济发展产生显著影响，网络功能联系的强弱成为决定节点将从网络中获得何种溢出效应的关键。核心城市拥有更强的功能嵌入，可通过集聚、整合资源要素从合作关系中获得更多外部经济收益。而边缘城市因功能嵌入程度不高，在网络中受资源虹吸的影响显著，故被动地处于资源流失、发展基础薄弱的“低端锁定”，进而形成区域空间上的集聚阴影。这与已有研究（孙东琪等，2013）认为的“集聚阴影”的形成是由于网络空间联系的弱化相一致。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文以城际客货流联系为研究视角，构建关联网络以探讨区域城市的经济溢出效应，并进一步区分规模借用和集聚阴影的形成过程，揭示经济绩效的溢出机制。研究发现：

1) 从圈层结构看，广东省城市网络核心-边缘结构清晰，不同流网络的核心圈层结构略有差异。优势流组织形式存在空间异质性：快递网络优势流呈现以广佛、深莞都市圈为核心，东向辐射至揭阳和汕头的沿海分布；车流网络的优势流形成佛—广

—莞—深的廊道式分布；人流网络优势流表现为广—佛、深—莞的双通道模式。

2) 从节点特征分析，广州在广东省客货流网络中占据绝对核心位置。城市的辐射与集聚职能在不同城市网络中有所差异；如深圳在快递关联网中表现为内向输入型，而在人流关联网中表现出重要的对外传输职能。

3) 网络外部性已成为影响广东省城市经济发展的重要因素之一。嵌入关联网后，广东省区域经济表现为显著的负向溢出；节点从关联网中获得何种溢出效应取决于其在网络中的功能嵌入程度。

3.2 讨论

广东省地级市数量众多、城市借由城际要素流动形成互联互通的关联网。然而就现阶段区域经济所表现出的空间溢出效应看，广东省仍处于珠三角核心区经济快速增长，而粤东、粤西、粤北地区相对落后的非协调发展阶段。因此，区域协调发展目标的实现要重视城市网络节点的异质性，统筹协调省域内产业发展路径，深化产业链分工合作，以提升城市节点与关联网的匹配能力，通过提高节点的功能嵌入以促进区域经济协调发展。

尽管广州和深圳均属于一线城市，但广州对于省域内其他城市的关联和影响程度更大，这也与广州作为省会城市的行政职能相关。而相关研究（陆军等，2020；杨桐彬等，2022）指出，借用规模更易产生于多中心结构的网络中，大、中、小城市均能通过嵌入多中心网络实现超越自身发展规模的正向经济溢出。因此，可考虑加强深圳在省域网络中的功能嵌入，打造多中心网络结构以最大程度发挥规模借用效应。此外，有必要制定相关政策措施、合理引导资源和产业流入边缘城市，提高落后城市在区域网络中的功能嵌入及合作联系。

囿于数据可得性，本研究仅选取了高速公路交通车辆、人口和快递联系下的截面数据。一方面，要素联系中缺乏进一步表征城际物流交往信息的关联数据。另一方面，截面数据虽然适用于刻画城市网络的结构特征，但在一定程度上忽略了可能存在的动态变化特性。此外，本研究仅从地级市尺度对城市网络的经济外部效应进行分析，在城乡融合发展背景下，探讨地市和县区尺度下的城市网络特征及其交互影响，对促进区域一体化发展有深远的现实意义。因此增加多元流视角，扩大研究样本时空范围并细化研究尺度，是后续将开展的主要工作。

参考文献 (References):

- 安頔, 胡映洁, 万勇. 2022. 中国城市网络关联与经济增长溢出效应——基于大数据与网络分析方法的研究. *地理研究*, 41(9): 2465-2481. [An Di, Hu Yingjie, and Wan Yong. 2022. Urban Network Association and Spillover Effects of Economic Growth in China: A Study Based on Big Data and Network Analysis. *Geographical Research*, 41(9): 2465-2481.]
- Borgatti Stephen P, and Everett Martin G. 2000. Models of Core/Periphery Structures. *Social Networks*, 21(4): 375-395.
- Castells M. 1996. *The Rise of the Network Society*. Oxford: Basil Blackwell.
- 陈大峰, 陈媛, 王文鹏. 2021. 中国城市创新空间溢出及其影响因素——基于行政边界效应的视角. *审计与经济研究*, 36(5): 118-127. [Chen Dafeng, Chen Yuan, and Wang Wenpeng. 2021. Spatial Spillover of Urban Innovation and Its Impact Factors in Chinese Cities Based on the Perspective of Administrative Boundary Effect. *Journal of Audit & Economics*, 36(5): 118-127.]
- 陈凤桂, 张虹鸥, 吴旗韬, 叶玉瑶. 2010. 产业承接地评价模型及应用研究——以广东省为例. *热带地理*, 30(6): 638-643. [Chen Guifeng, Zhang Hong'ou, Wu Qitao, and Ye Yuyao. 2010. An Evaluation Model for Industrial Receiver: A Case Study of Guangdong Province. *Tropical Geography*, 30(6): 638-643.]
- 陈强. 2014. *高级计量经济学及Stata应用*. 2版. 北京: 高等教育出版社. [Chen Qiang. 2014. *Advanced Econometrics and Stata Applications*. 2nd Edition. Beijing: Higher Education Press.]
- Dong Guanpeng, Levi Wolf, Alekos Alexiou, and Dani Arribas-Bel. 2018. Inferring Neighbourhood Quality with Property Transaction Records by Using a Locally Adaptive Spatial Multi-Level Model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73: 118-125.
- LeSage James, and Pace Robert Kelley. 2009. *Introduction to Spatial Econometrics*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
- 雷玮倩, 焦利民. 2023. 城市人口集聚与城市间人口流动对经济产出的影响. *地理学报*, 78(8): 1969-1982. [Lei Weiqian, and Jiao Limin. 2023. The Impacts of Urban Population Agglomeration and Human Mobility on Economic Performance. *Acta Geographica Sinica*, 78(8): 1969-1982.]
- 李航. 2019. *统计学习方法*. 2版. 北京: 清华大学出版社, 421. [Li Hang. 2019. *Statistical Learning Methods*. 2nd Edition. Beijing: Tsinghua University Press.]
- 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 张虹鸥, 方顺, 金双泉. 2021. “流空间”视角下高速公路交通流网络结构特征及其形成机制——以广东省为例. *地理研究*, 40(8): 2204-2219. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling, Zhang Hong'ou, Fang Shun, and Jin Shuangquan. 2021. Spatial Structure and Formation Mechanism of Expressway Traffic Flow Network Based on Space of Flows: A Case Study of Guangdong Province. *Geographical Research*, 40(8): 2204-2219.]
- 林柄全, 谷人旭, 王俊松, 毕学成. 2018. 从集聚外部性走向跨越地理边界的网络外部性——集聚经济理论的回顾与展望. *城市发展研究*, 25(12): 82-89. [Lin Bingquan, Gu Renxu, Wang

- Junsong, and Bi Xuecheng. 2018. From Agglomeration Externalities to Network Externalities of Crossing Borders: Frontier Progress of Agglomeration Economics. *Urban Development Studies*, 25(12): 82-89.]
- 刘乐, 盛科荣, 张杰, 王传阳. 2022. 金融网络嵌入对中国城市创业活力的影响研究. *地理科学进展*, 41 (12): 2244-2257. [Liu Le, Sheng Kerong, Zhang Jie, and Wang Chuanyang. 2022. The Impact of Financial Network Embedding on Entrepreneurial Vitality of Cities in China. *Progress in Geography*, 41(12): 2244-2257.]
- 刘贺, 李雪铭, 田深圳, 李松波, 孙赫. 2023. 集聚外部性、网络外部性与城市经济发展. *干旱区资源与环境*, 37 (6): 38-45. [Liu He, Li Xueming, Tian Shenzhen, Li Songbo, and Sun He. 2023. Agglomeration Externalities, Network Externalities and Urban Economic Development. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 37(6): 38-45.]
- 卢飞, 袁苏湘, 范斐. 2023. 国家级新区对区域创新的影响——基于中国280个城市的实证. *统计与决策*, (18): 179-183. [Lu Fei, Yuan Suxiang, and Fan Fei. 2023. The Impact of State-Level New Districts on Regional Innovation: An Empirical Study of 280 Cities in China. *Statistics & Decision*, (18): 179-183.]
- 陆军, 毛文峰. 2020. 城市网络外部性的崛起: 区域经济高质量一体化发展的新机制. *经济学家*, (12): 62-70. [Lu Jun, and Mao Wenfeng. 2020. The Rise of Urban Network Externalities: A New Mechanism for the High-Quality Integrated Development of Regional Economy. *Economist*, (12): 62-70.]
- Meijers Evert J, and Burger Martijn J. 2015. Stretching the Concept of "Borrowed Size". *Urban Studies*, 54(1): 269-291.
- 倪鹏飞, 徐海东, 沈立, 曹清峰. 2019. 城市经济竞争力: 关键因素与作用机制——基于亚洲566个城市的结构方程分析. *北京工业大学学报(社会科学版)*, 19 (1): 50-59. [Ni Pengfei, Xu Haidong, Shen Li, and Cao Qingfeng. 2019. Urban Economic Competitiveness: Key Factors and Action Mechanism: A Structural Equation Analysis Based on 566 Cities in Asia. *Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition)*, 19 (1): 50-59.]
- 倪鹏飞, 徐海东. 2021. 中国城市竞争力报告 No. 19——超大、特大城市: 健康基准与理想标杆. 北京: 中国社会科学出版社. [Ni Pengfei, and Xu Haidong. 2021. *Annual Report on China's Urban Competitiveness (No. 19): Megacities: Health Benchmarks and Ideal Benchmarks*. Beijing: China Social Sciences Press.]
- 潘俊宇, 宣烨, 杨小东. 2023. 信息通信技术提升了生产性服务业企业生产率吗?——来自异质性劳动力结构的经验证据. *经济问题探索*, (9): 170-190. [Pan Junyu, Xuan Ye, and Yang Xiaodong. 2023. Does Information Technology Improve the Productivity of Producer Service Enterprises?: Evidence from Heterogeneous Labor Structure. *Inquiry Into Economic Issues*, (9): 170-190.]
- 任梦瑶, 肖作鹏, 王缉宪. 2020. 中国城际专线物流网络空间格局. *地理学报*, 75 (4): 820-832. [Ren Mengyao, Xiao Zuopeng, and Wang Jixian. 2020. Spatial Pattern of Intercity Less-than-Truckload Logistics Networks in China. *Acta Geographica Sinica*, 75(4): 820-832.]
- Capello Roberta. 2000. The City Network Paradigm: Measuring Urban Network Externalities. *Urban Studies*, 37(11): 1925-1945.
- 盛科荣, 张杰, 张红霞. 2021. 上市公司500强企业网络嵌入对中国城市经济增长的影响. *地理学报*, 76 (4): 818-834. [Sheng Kerong, Zhang Jie, and Zhang Hongxia. 2021. Network Embedding and Urban Economic Growth in China: A Study Based on the Corporate Networks of Top 500 Public Companies. *Acta Geographica Sinica*, 76(4): 818-834.]
- 广东省统计局, 广东省第七次全国人口普查领导小组办公室. 2021. 广东省第七次全国人口普查公报(第一号)——全省常住人口情况. (2021-05-15) [2022-10-22]. <http://stats.gd.gov.cn/attachment/0/421/421308/3283423.pdf>. [Statistics Bureau of Guangdong Province, and Office of the Leading Group for the Seventh National Census of Guangdong Province. 2021. Bulletin of the Seventh National Census of Guangdong Province (No. 1): the Permanent Population of Guangdong Province. (2021-05-15) [2022-10-22]. <http://stats.gd.gov.cn/attachment/0/421/421308/3283423.pdf>.]
- 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 2022. 广东省统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Statistics Bureau of Guangdong Province, and Survey Office of the National Bureau of Statistics in Guangdong. 2022. *Guangdong Statistical Yearbook*. Beijing: Tsinghua University Press.]
- 孙东琪, 陆大道, 孙斌栋, 张维阳. 2022. 从网络描述走向网络绩效——“城市网络外部性”专辑序言. *地理研究*, 41 (9): 2325-2329. [Sun Dongqi, Lu Dadao, Sun Bindong, and Zhang Weiyang. 2022. From Network Description to Network Performance: Preface to the Special Issue 'Urban Network Externalities'. *Geographical Research*, 41(9): 2325-2329.]
- 孙东琪, 鲁嘉颐, 张明斗, 牛方曲. 2022. 借用规模与集聚阴影视角下中国小城镇服务功能评估——以苏南地区为例. *地理科学进展*, 41 (2): 199-213. [Sun Dongqi, Lu Jiayi, Zhang Mingdou, and Niu Fangqu. 2022. Evaluation of Service Function of Small Towns in China from the Perspective of Borrowed Size and Agglomeration Shadow: A Case Study of Southern Jiangsu Province. *Progress in Geography*, 41(2): 199-213.]
- 孙东琪, 张京祥, 胡毅, 周亮, 于正松. 2013. 基于产业空间联系的“大都市阴影区”形成机制解析——长三角城市群与京津冀城市群的比较研究. *地理科学*, 33 (9): 1043-1050. [Sun Dongqi, Zhang Jingxiang, Hu Yi, Zhou Liang, and Yu Zhengsong. 2013. The Formation of Metropolitan Shadow From the Perspective of Industry Spatial Contacts: A Comparison between Changjiang River Delta and Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region. *Scientia Geographica Sinica*, 33(9): 1043-1050.]
- 唐子来, 李涛, 李黎. 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.]

- 童昀, 刘海猛, 马勇, 刘军, 张瑞. 2021. 中国旅游经济对城市绿色发展的影响及空间溢出效应. *地理学报*, 76 (10): 2504-2521. [Tong Yun, Liu Haimeng, Ma Yong, Liu Jun, and Zhang Rui. 2021. The Influence and Spatial Spillover Effects of Tourism Economy on Urban Green Development in China. *Acta Geographica Sinica*, 76(10): 2504-2521.]
- 王传阳, 盛科荣, 张杰. 2022. 中国城市网络核心-边缘结构演化及影响因素研究——基于制造业企业网络视角. *地球信息科学学报*, 24 (1): 141-152. [Wang Chuanyang, Sheng Kerong, and Zhang Jie. 2022. Dynamics and Determinants of the Core-Periphery Structure of Urban Network in China: A Study Based on the Corporate Network of Manufacturing. *Journal of Geo-Information Science*, 24(1): 141-152.]
- 王聪, 严洁. 2021. 百度迁徙规模指数构造方法反演. *电子科技大学学报*, 50 (4): 616-626. [Wang Cong, and Yan Jie. 2021. An Inversion of the Constitution of the Baidu Migration Scale Index. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 50(4): 616-626.]
- 王艺晓, 孙斌栋, 张婷麟. 2022. 中国城市群城市生产性服务功能与地理距离: 网络外部性的视角. *地理研究*, 41 (9): 2418-2432. [Wang Yixiao, Sun Bindong, and Zhang Tinglin. 2022. Urban Producer Service Functions and Geographical Distance in Chinese City Clusters: A Perspective from Network Externalities. *Geographical Research*, 41(9): 2418-2432.]
- 薛峰, 李苗裔, 党安荣. 2020. 中心性与对称性: 多空间尺度下长三角城市群人口流动网络结构特征. *经济地理*, 40 (8): 49-58. [Xue Feng, Li Miaoyi and Dang Anrong. 2020. Centrality and Symmetry of People Flow Network Structure of the Yangtze River Delta Urban Agglomeration at Multi-Spatial Scales. *Economic Geography*, 40(8): 49-58.]
- 杨桐彬, 朱英明, 杜家祺. 2022. 中国城市群是否存在借用规模?. *地理科学进展*, 41 (7): 1156-1167. [Yang Tongbin, Zhu Yingming, and Du Jiazhen. 2022. Is There a Borrowed Size in China's Urban Agglomerations?. *Progress in Geography*, 41(7): 1156-1167.]
- 姚常成, 宋冬林. 2019. 借用规模、网络外部性与城市群集聚经济. *产业经济研究*, 99 (2): 76-87. [Yao Changcheng, and Song Donglin. 2019. Borrowed-Size, Network Externalities and Agglomeration Economies in the Urban Agglomerations. *Industrial Economics Research*, 99(2): 76-87.]
- 姚常成, 吴康. 2022. 集聚外部性、网络外部性与城市创新发展. *地理研究*, 41 (9): 2330-2349. [Yao Changcheng, and Wu Kang. 2022. Agglomeration Externalities, Network Externalities and Urban Innovation Development. *Geographical Research*, 41(9): 2330-2349.]
- 杨雨, 宋福铁, 张杰. 2023. 金融网络中心性对中国城市经济增长的影响机理. *地球信息科学学报*, 25 (5): 982-998. [Yang Yu, Song Futie, and Zhang Jie. 2023. Research on the Influence Mechanism of Financial Network Centrality on Urban Economic Growth in China. *Journal of Geo-Information Science*, 25(5): 982-998.]
- Ye Xinyue, Gong Junfang, and Li Shengwen. 2021. Analyzing Asymmetric City Connectivity by Toponym on Social Media in China. *Chinese Geographical Science*, 31(1): 14-26.
- 叶胥, 龙燕妮, 毛中根. 2022. 多层次消费城市的空间格局及驱动因素——以长三角地区41个城市为例. *经济地理*, 42 (5): 75-85. [Ye Xu, Long Yanni, and Mao Zhonggen. 2022. Spatial Pattern and Driving Factors of Multi-Level Consumer Cities: A Case Study of 41 Cities in the Yangtze River Delta. *Economic Geography*, 42(5): 75-85.]
- 赵金丽, 张学波, 任嘉敏, 陈肖飞. 2022. 多元流视角下黄河流域城市网络空间结构及其影响因素. *地理科学*, 42 (10): 1778-1787. [Zhao Jinli, Zhang Xuebo, Ren Jiamin, and Chen Xiaofei. 2022. Spatial Structure and Influencing Factors of Urban Network in the Yellow River Basin Based on Multiple Flows. *Scientia Geographica Sinica*, 42(10): 1778-1787.]
- 张杰, 盛科荣, 王传阳. 2022. 中国城市间金融网络的空间演化及其影响因素. *热带地理*, 42 (6): 928-938. [Zhang Jie, Sheng Kerong, and Wang Chuanyang. 2022. Spatial Evolution and Underlying Factors of the Urban Financial Network in China. *Tropical Geography*, 42(6): 928-938.]
- 张克中, 陶东杰. 2016. 交通基础设施的经济分布效应——来自高铁开通的证据. *经济学动态*, (6): 62-73. [Zhang Kezhong, and Tao Dongjie. 2016. Economic Distribution Effects of Transport Infrastructure: Evidence from the Opening of High-Speed Rail. *Economic Perspectives*, (6): 62-73.]
- 张伟丽, 叶信岳, 李栋, 傅继彬, 吴梦荷. 2019. 网络关联、空间溢出效应与中国区域经济增长——基于腾讯位置大数据的研究. *地理科学*, 39 (9): 1371-1377. [Zhang Weili, Ye Xinyue, Li Dong, Fu Jibin, and Wu Menghe. 2019. Network Association, Spillover Effect and China's Regional Economic Growth Based on Tencent's Location Big Data. *Scientia Geographica Sinica*, 39 (9): 1371-1377.]
- 周尚意, 吕国玮, 戴俊骋. 2011. 北京DRC空间约束下的企业网络特征与创新能力关系分析. *经济地理*, 31 (11): 1845-1850. [Zhou Shangyi, Lyu Guowei, and Dai Juncheng. 2011. An Analysis of The Relation between the Enterprise Network Characteristics and Their Innovation Capabilities in the Space of DRC On Beijing. *Economic Geography*, 31(11): 1845-1850.]

作者贡献声明:

童璐玥:负责数据处理, 模型构建, 图集绘制和文稿写作;

吴旗韬:负责理论总结, 模型调整, 论文修改, 提供基金资助;

李苑君:负责文稿修改, 格式修改, 图集绘制指导;

千庆兰:提供研究思路, 论文框架修改指导;

陈和平、金双泉:提供研究数据, 政策建议指导。

Spatial Structure Characteristics and Economic Externalities of Passenger and Freight Flow Network in Guangdong Province

Tong Junyue^{1,2}, Wu Qitao¹, Li Yuanjun¹, Qian Qinglan², Chen Heping³, and Jin Shuangquan⁴

(1. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou Academy of Science, Guangzhou 510070, China; 2. Guangzhou University, School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou 510006, China; 3. Guangdong Provincial Postal Administration, Guangzhou 510003, China;

4. Guangdong Provincial Transportation Planning and Research Center, Guangzhou 510101, China)

Abstract: Understanding the framework of regional urban economic organization and its spatial effect requires a consideration of the networks. Urban network research has increasingly focused on urban spatial interaction and economic spillover effect based on the network externality theory in the context of transition from network research on structural description to performance evaluation. This study focused on Guangdong Province as the research area, built intercity passenger and freight flow networks based on the traffic, people, and express flow, studied the spatial structure of the network using social network analysis and other quantitative methods, and used a spatial Durbin model to estimate the economic spillover effect of the network. The conclusions from the results obtained can be summarized as follows. (1) In the network of traffic and people flow, Guangzhou and Foshan occupy the central positions. The core node of the express flow network spans Guangzhou, Dongguan, and Shenzhen. The spatial distribution of core linkages in the people flow network could be summarized as "the double-channel mode" of Guangzhou-Foshan and Shenzhen-Dongguan, while the corridor distribution of Foshan-Guangzhou-Dongguan-Shenzhen is the dominant flow organization pattern in the traffic flow network. In the express flow network, the dominant flow is dispersed eastward along the coast. (2) Guangzhou serves as the primary controlling entity of the network. Urban nodes clearly differ functionally in the express flow network; however, there is little functional difference in the traffic and people flow networks. (3) According to the spatial regression coefficients based on the SDM of the traffic, people, and the express flow networks, which are -0.974, -1.255, and -8.173, respectively, the economic externality of intercity passenger and freight flow networks reveal a substantial negative spillover. The current growth trend of Guangdong Province is not coordinated or complementary. (4) Coordinated expansion of the regional economy has been facilitated by improved functional connections between urban nodes. In addition, The movement of intercity factors could lower consumer market transaction costs and entrance barriers while allowing regional cities to enjoy the development advantages of borrowed size. However, the improvement of the conditions supporting the business infrastructure has expedited resource siphoning and intensified the province space's agglomeration shadow. This study created urban networks based on the movements of the passenger and freight flows, thereby enriching the empirical investigation of the externality theory in South China. This study also provides some guidance for advancing the regional economic integration and high-quality development.

Keywords: urban network; passenger and freight flow networks; urban network externalities; economic spillover effect; Guangdong Province.