

占玮, 陈朝隆, 孙武, 班鹏飞. 2021. 基于多源数据的广佛都市区城市引力结构特征分析. 热带地理, 41 (6): 1292-1302.

Zhan Wei, Chen Chaolong, Sun Wu and Ban Pengfei. 2021. Characteristics of the Urban Gravity Structure in the Guangzhou-Foshan Metropolitan Area Based on Multi-Source Data. *Tropical Geography*, 41 (6): 1292-1302.

基于多源数据的广佛都市区城市引力结构特征分析

占 玮¹, 陈朝隆¹, 孙 武¹, 班鹏飞²

(1. 华南师范大学 地理科学学院, 广州 51063; 2. 昆明理工大学 建筑与城市规划学院, 昆明 650000)

摘 要: 利用夜间灯光遥感数据和POI数据, 采用断裂点分析法得出城市实体地域的范围大小。在此基础上引入交通便利系数和相对引力常量修正引力模型, 分析广佛都市区内部各个城市实体地域间的引力强度和方向。结果表明: 1) 广佛都市区形成了以核心区为中心的“7+1”城镇体系结构; 2) “七边形”正向城市体系结构围绕核心区域生成, “六边形”负向城市体系结构围绕西南区域生成, “西强东弱”格局明显; 3) 城市三角结构是广佛城市引力结构的基本单元, 发展较好的城市组团为“核心区—顺德—南沙”“核心区—顺德—高明”“核心区—三水—花都”“核心区—花都—从化”, 而“核心区—增城—南沙”和“核心区—高明—三水”组团则发展动能不足; 4) 广佛都市区引力势能大小及结构稳定与城市经济职能强度正相关。

关键词: 夜间灯光; POI; 城市引力模型; 引力结构特征; 广佛都市区

中图分类号: F299.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2021)06-1292-11

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003401

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



都市区是城市发展到一定阶级的必然产物。在城市发展过程中, 当扩散作用强于聚集作用并占据主导地位时, 城市要素及其职能将会向外围流动形成都市区(王兴平, 2002)。有别于传统的城市建成区的概念, 都市区作为城市功能地域的组织形式, 其核心内涵包括经济中心、经济腹地以及中心与腹地之间的经济联系(洪世键等, 2007)。随着城市的经济发展和地域扩张, 都市区的发展形态经历了一系列的发展演化过程。根据克里斯塔勒的中心地理论(Christaller, 1933), 都市区的发展历程可归纳为3个阶段: 单中心极核初级阶段、多中心发展中阶段和多中心网络协同高级阶段(王林申, 2017)。单中心发展聚集到一定程度会产生人口拥挤和通勤成本增加等问题, 部分城市职能在现有城市中心竞争中无法获得优势, 继而另辟新地, 选取城市中心外围的价格洼地发展, 逐步演化为新的城市中心(Henderson et al., 1974; Kanemoto et al., 1980)。都市区在城镇化高速发展过程中经历跃迁

式的发展, 虽形成多元复合的城市联系网络, 但也存在一定的发展问题。除了城市中心与外围地区发展不均衡, 还存在都市区城市体系之间不平衡、不稳定的现象, 其原因是都市区城市地域大小与发展模式的不同(Green, 2007)。研究都市区城市实体地域之间的关系以及城市中心之间结构的基本发展规律, 能够对都市区的城市中心及其周边区域的规划发展、开发策划、建设管理等工作提供一定的参考和借鉴。

国外对都市区的城市中心相关研究多集中于不同尺度的都市区中心职能分析(Coffey et al., 1997)、多中心形成动因(Gordon et al., 2015)、多中心空间体系识别(Aguilar et al., 2016)、城市中心网络结构的“流动”关系(Martin et al., 2013)等方面。对于都市区城市中心关联体系研究主要集中在模型方法构建和理论意义层面, 其中利用城市引力模型的方法测度都市区城市中心之间的经济、创新等关联(Han et al., 2018; Li et al., 2019), 是众多

收稿日期: 2020-11-23; **修回日期:** 2021-02-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771001); 广州市科技计划项目(201704020136)

作者简介: 占玮(1996—), 男, 江西九江人, 硕士研究生, 主要从事城镇与乡村规划研究, (E-mail) zhanwei@m.scnu.edu.cn;

通信作者: 陈朝隆(1965—), 男, 江西赣州人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事旅游规划、社会文化地理学、区域研究和城镇规划研究, (E-mail) chencl@scnu.edu.cn。

学者关注的热点。国内相关研究起步较晚,但关于利用城市引力模型研究城市联系相关成果较多,其中大部分都是关于全国尺度或城市群尺度的城市网络特征分析(叶强等,2017;高爽等,2019),从不同的视角和层次分析城市群之间的内在空间关系与城镇之间的要素流动。也有研究利用城市引力模型建构城市流强度,对比剖析区域城市体系联系和城市之间相互作用(许芸鹭等,2018)。整体来看,大部分研究都集中在国家或者城市群尺度,较少关注都市区尺度下的城市结构特点,特别是像广佛这样高度同城化的都市区。多数研究对城市群协同发展描述较多,而较少讨论都市区内部城市中心体系结果和形成机制。

传统调查数据由于数据精度低、获取难度大、数据丰富程度不够,难以真实地反映城市的发展情况和城市之间的动态关系,而多样化的开源大数据恰好能够弥补传统数据的缺陷且不受行政区划和传统数据统计口径限制(Yang et al., 2017)。其中,夜间灯光数据以其照亮夜间活动独特的优势反映城市的经济活动、城市发展水平和城市化进程,已经成为城市定量研究的有效数据来源(杨眉等,2011)。夜间灯光数据的不足之处是存在灯光溢出效应,虽然能够较好地反映城市发展的宏观形态,但在表达细部特征上存在一定的误差(Zhou et al., 2014)。城市POI数据因其位置准确性强、城市属性全面的特点也常被用来测度城市的发展程度和边界范围,城市与乡村空间的差别在POI密度大小上能够很明显的体现出来(许泽宁等,2016)。利用POI数据可弥补夜间遥感灯光数据的不足,帮助识别都市区城市中心的范围和数量(Lou et al., 2019),将POI核密度值和灯光强度通过数学方法拟合(于丙辰等,2018)作为城市引力模型的质量,通过修正模型更准确反映城市之间的联系。因此,本文将广州和佛山都市区(以下简称“广佛都市区”)作为样本,利用夜间灯光遥感数据和POI数据综合划分都市区城市实体地域范围,再将其综合指数作为引力模型的质量变量,分析城市之间的网络特征,进而了解都市区城市中

心之间的发展特征关系,以期广佛都市区协同一体化发展提供参考和借鉴。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区域概况

广州和佛山地处粤港澳大湾区腹地,广州作为粤港澳大湾区的国家中心城市和综合性门户城市,佛山作为大湾区的重要交通枢纽和节点城市与广州西南方向相接。因地理位置相邻加上政府政策条件等多重因素的作用,广州和佛山的建设用地已经突破行政区划的限制连绵成一体,逐渐形成广佛都市区(班鹏飞等,2018)。本文的研究范围包括广州和佛山所有市辖区,包括广州以越秀、天河为代表的11个市辖区,佛山以禅城、顺德为代表的5个市辖区(图1)。改革开放以来,广州和佛山地区都经历了快速的城市化发展,广佛都市区已经形成了多核城市节点并存的结构形态(刘锐等,2011),并且城市中心职能和发展都存在一定的差异化,为研究都市区城市中心网络发展及其特征提供了较好的案例样本。广佛核心实体地域虽已连片,但其与外

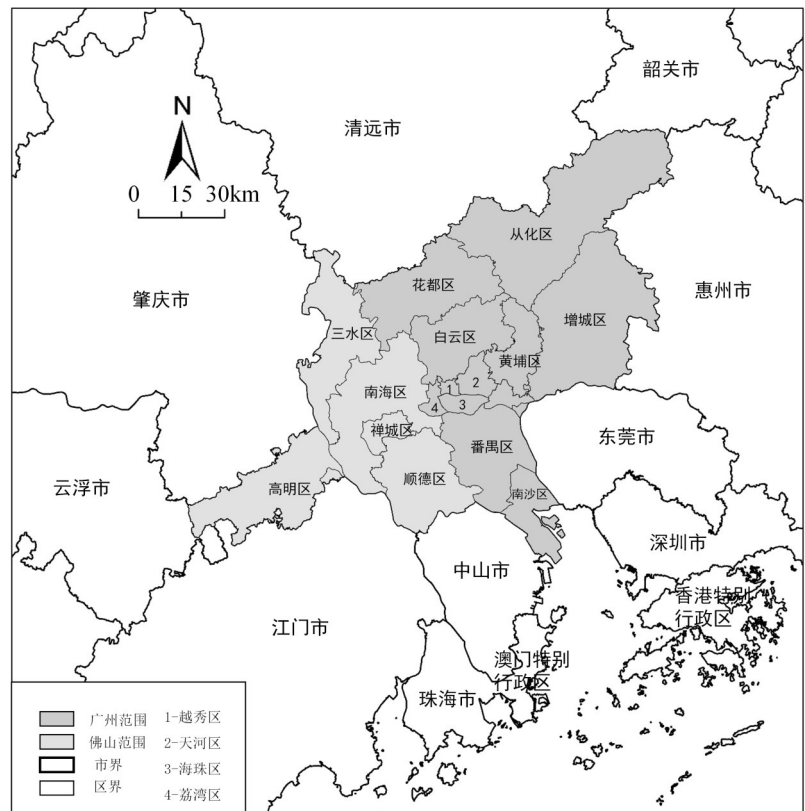


图1 广佛都市区研究范围

Fig.1 Research Scope of Guangzhou-Foshan Metropolitan Area

围城市地域之间的发展联系仍是研究关注的重点。在湾区协同发展的背景下,探求湾区腹地城市地域之间的特征关系,能够为湾区城市可持续发展提供积极响应。

1.2 数据来源及处理

本文采用的基础数据主要是NPP/VIIRS夜间灯光遥感数据和广州、佛山两市的POI(Point of Interest)数据(即城市兴趣点数据);辅助数据采用广佛都市区行政边界数据、城市交通路网数据和广佛各区的经济、产业、人口数据。NPP/VIIRS夜间灯光遥感数据由NOAA/NGDC网站^①提供,该数据能够探测到城市夜间各种可见光辐射,分辨率为500 m,因为其具有较高的空间分辨率和精细的量化,常被用于城市发展规模与城市经济发展水平计算、城市灾害评估、城市房屋建筑量测算等(陈颖彪等,2019)。本文下载2018年的夜间灯光数据进行年平均处理,再通过掩膜提取出广佛两地的2018年夜间遥感灯光数据。城市POI数据通过高德地图开放平台^②爬取,共3类分级为大类、中类、小类,分为餐饮、购物、生活、住宅等,通过清洗筛选共得到809 374条数据(其中摒除了道路设施数据以及地名数据)。POI数据能够实时提供各类服务设施的经纬度信息、地理位置信息等,常被用于城市经济动态变化(薛冰等,2018)、城市建成区范围(方斌等,2017)、城市活力特征(池娇等,2016)等研究。通过数据清洗,根据广佛实际情况,筛出摩托车服务大类数据,对其余数据进行合并。再运用ArcGIS 10.2软件进行核密度分析,经过反复实验比对,核密度分析选取4 000 m的带宽作为适合值,最终得到2018年广佛都市区POI核密度分布。道路交通数据通过OSM平台^③获取,由此得到广佛都市区2018年城市各级路网的分布数据,经过清洗保留高速公路和城市主要干道数据,其余数据均通过广东省数据开放平台获取^④。

2 研究方法

2.1 断裂点分析法确定城市地域范围

城市实体地域是城市中人类社会经济活动的核心区域,确定城市实体地域边界范围及城市中心的位置能够从空间准确地反映城市的发展状况和城市

的发展活力。夜间灯光遥感数据具有一定的起伏性,灯光值从城市到乡村逐渐降低,而城市边缘区由于其特殊性和复杂性,灯光起伏变化较高。许多学者利用灯光数据的这一特性,测度城市的建成区边界范围(舒松等,2011)。利用POI数据和夜间灯光数据结合,使测度范围更加准确地反映城市的发展状况。康弗斯率先提出采用断裂点(Breaking Point)方法计算城市吸引力范围和划分城市经济区的设想(Converse, 1949)。从城市中心到城市边缘区再到乡村地区,城市吸引力逐渐减弱,利用断裂点方法能够较准确地算出城市的边界范围。本文通过数学均值法(厉飞等,2020)建构POI&NPP综合指数,确定城市中心的POI&NPP综合值和城市中心数量;再利用断裂点分析法,根据综合数据由城市—城市边缘区—乡村逐渐变小,并在变小过程中会在边界产生突变的特点,分析城市的边界范围。

POI&NPP综合指数计算公式如下:

$$I_{P\&N} = \sqrt{P_i \times N_i} \quad (1)$$

式中: $I_{P\&N}$ 为POI&NPP综合指数; P_i 为*i*点POI核密度值; N_i 为*i*点夜间灯光亮度值。

断裂点分析断裂位置公式(陈佑启,1996)如下:

$$I_{DDV} = \frac{x_{ij} - x_{i(j+1)}}{\sum [x_{ij} - x_{i(j+1)}] / n} \quad (2)$$

以城市中心为圆心,将样本区域划分成360个不同样带区域, x_{ij} 为某一样带的 $I_{P\&N}$,隔500 m后选取样带上 $x_{i(j+1)}$ 点值进行比对, n 为样带上点的数量。 I_{DDV} 为该研究样点的密度衰减突变值。然后通过比较每个样带数据突变值 I_{DDV} ,排除异常值并求取其最大值确定突变点,将360组数据进行筛选分析,将突变点串联可得出城市主城区及城乡结合部范围。

2.2 修正引力模型确定都市区城市中心结构

城市引力模型常用于城市空间联系研究。该模型根据牛顿万有引力定律,确定城市之间距离的衰减关系。传统城市引力模型的公式如下:

$$F_{ij} = K \frac{M_i M_j}{d_{ij}^r} \quad (3)$$

① <https://ngdc.noaa.gov/eog/>

② <https://lbs.amap.com/>

③ <https://www.openstreetmap.org/>

④ <https://data.gz.gov.cn/>

式中： F_{ij} 代表城市*i*对城市*j*的引力大小； M_i 和 M_j 分别代表城市*i*、*j*的质量； d_{ij} 代表城市之间的距离； r 代表城市的距离摩擦系数。

早期使用人口和GDP代表城市的质量计算城市相互作用的算法存在一定局限，目前大多数学者主要采取2种方法修正城市引力模型：第一种是通过城市的质量常量进行不同影响因素的改进（吴燕等，2020），第二种是通过城市之间的距离系数进行修正和改进（顾朝林等，2008；刘荷等，2014）。但城市间相互作用的测算，如果仅通过对质量和距离系数进行修正而忽略城市区域经济联系量或空间相互作用量，就会得出城市间彼此吸引力相同的错误结论。

城市区域的相互作用力综合反映了城市的经济辐射实力，区域经济联系量的绝对经济联系和相对经济联系代表经济中心的对外辐射强度及对外经济接受能力。城市之间的引力存在双向联系，城市间的正向吸引力大小能够代表大城市对于小城市的影响程度，而负向联系能够反映出小城市对于大城市经济辐射的接受程度（钱春蕾等，2015）。区域距离作为代表城市之间相互作用的重要指标，仅通过空间的直线距离难以反映城市之间联系的真实情况，城市本身的经济规模和其所在区域的交通便利度都对城市之间的吸引力产生重要影响。基于以上考虑，本文利用夜间灯光强度和城市POI密度值代表城市经济活力和城市发展程度，用城市中心范围内NPP&POI值总和代表城市的质量，并引入矢量相对引力常量 K_{ij} （钱春蕾等，2015）和城市的交通便利系数 T_{ij} ，修正城市引力模型。城市交通便利系数以城市高速公路与城市主干道密度及其对应的交通时速作为影响因子；相对引力常量通过向量正负代表城市之间的强弱经济联系，利用向量的正负关系改进城市引力模型。修正后的城市引力模型表达如下：

$$F_{ij} = T_{ij} K_{ij} \frac{N_i N_j}{d_{ij}^r} \quad (4)$$

$$T_{ij} = \frac{(R_i + R_j)/2}{\sum_{i=0}^n R_i/n} \quad (5)$$

$$R_i = \frac{R_{i1} \times V_1 + R_{i2} \times V_2}{V_1 + V_2} \quad (6)$$

式中： T_{ij} 代表城市交通便利系数； N_i 和 N_j 分别代表该城市地区的NPP&POI指数总量； d_{ij} 代表不同城

市中心之间的距离； r 代表城市的距离摩擦系数； R_i 和 R_j 分别代表城市*i*和*j*的城市道路网密度； n 代表城市的个数； R_{i1} 和 R_{i2} 分别代表城市高速公路和城市主干道的密度； V_1 和 V_2 代表两种等级的道路的设计时速。相关研究表明，城市地区之间的距离摩擦系数与地理位置及两地交通出行时间、出行成本相关（顾朝林等，2008），本研究经过多次比对，最终确定 r 取值为2。

$$K_{ij} = G |(\vec{e} + E_{ij})| \quad (7)$$

$$E_{ij} = a \frac{\vec{oi} - \vec{oj}}{d_{ij}} \quad (8)$$

$$a = \frac{N_i^2 + N_j^2}{(N_i + N_j)^2} \quad (9)$$

引入的相对引力常量 K_{ij} 与城市的大小及经济实力相关；式中： G 为量纲转换系数， $\vec{e}$ 作为单位向量，城市NPP&POI指数总量大的指向城市NPP&POI指数总量小的为正方向，反之则为负方向。 a 作为调节系数改变 E_{ij} 的大小， E_{ij} 矢量方向不同，代表的相对引力常量 K_{ij} 正负值不同。 $\vec{oi}$ 和 $\vec{oj}$ 分别是城市*i*和城市*j*的之间的任一点到向量两边的城市距离。

3 结果分析

3.1 广佛都市区城市中心结构与引力联系

计算结果表明，广佛都市区呈现“7+1”的城市结构体系，包括7个外围中心和1个核心区中心。其中，顺德城市地域范围已经和核心区连成一体，但其城市组团中心距离核心区中心较远，故将顺德区中心作为核心区边缘城市组团。核心区行政区域包括广州的越秀、天河、海珠、荔湾、番禺、黄埔、白云、增城的部分区域，佛山的禅城、南海、顺德部分区域，核心区测度出的面积范围最大为1 794.76 km²，NPP&POI总量最大为741 435；其余为7个都市区边缘城市，划分的面积大小分别为广州的花都190.50 km²、增城34 km²、从化32.25 km²、南沙56.25 km²，佛山的顺德135.48 km²、三水42.25 km²、高明36.25 km²。计算出的NPP&POI总量和分别为花都57 381、顺德42 435、南沙14 290、三水14 260、高明12 929、增城12 242、从化11 207（图2）。

根据改进的引力模型得出广佛都市区城市中心引力结构关系（图3-a）表明：核心区对其郊县城市副中心的吸引力较强，空间联系势能最强，正向

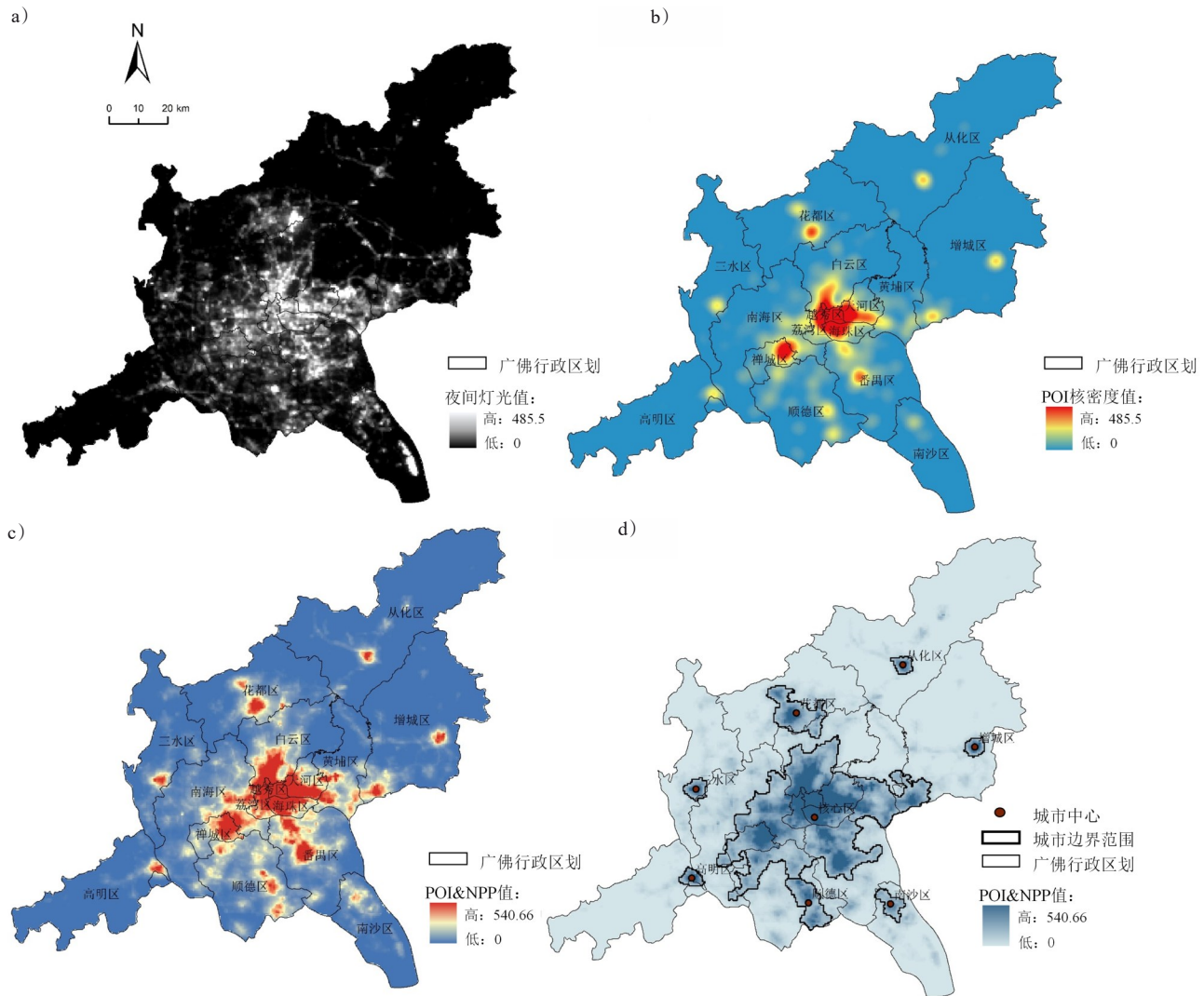


图2 广佛都市区夜间灯光 (a)、核密度分析 (b)、NPP&POI 数据 (c) 和城市范围及中心位置 (d)

Fig.2 Nocturnal lighting in the Guangfo Metropolitan Area (a), Nuclear Density Analysis (b), NPP&POI data (c) and City-wide and Central Location (d)

向量 $\vec{e}$ 城市结构 (图 3-b) 反映出核心区与其他郊县城市关系联系形成较为稳定的“七边形网络结构”；核心区与顺德区联系强度位列第一 (表 1)，广佛一体化发展与顺德区、核心区城市范围连成一片，导致核心区对其城市吸引力强度远超其他郊县城市副中心；核心区与花都区的联系略小于顺德区，花都区的城市 NPP&POI 总值在所有郊县城市中排名第一，但空间联系势能小于顺德区；除去核心区与郊县城市联系以外，总体来看城市之间引力关系较强的集中在都市区的西南部，而东北部片区城市之间的引力联系较弱。负向量 $\vec{e}$ 城市结构 (图 3-c) 表明广佛都市区西南部城市之间的结构特征形成引力联系较强的“六边形结构”，六边形的 6 个顶点城市

分别为核心区、花都区、三水区、高明区、顺德区、南沙区。将所有城市副中心引力强度累加形成该城市副中心的引力势能，得出各个城市中心的引力势能排名 (见表 1)，其中核心区、顺德区、花都区位于第一梯队，三水区、南沙区、高明区、增城区、从化区位于第二梯队。

3.2 广佛都市区城市引力结构特征

广佛都市区的正向引力结构呈现“七边形网络结构”，而负向引力结构则明显不同，在广佛都市区西南区域引力势能较强的几个城市组团呈现不规则的“六边形网络联系”。通过对广佛都市区的网络结构剖析发现，广佛都市区城市结构其实是由不同城市的三角形稳定结构组成的多边形网络结构，

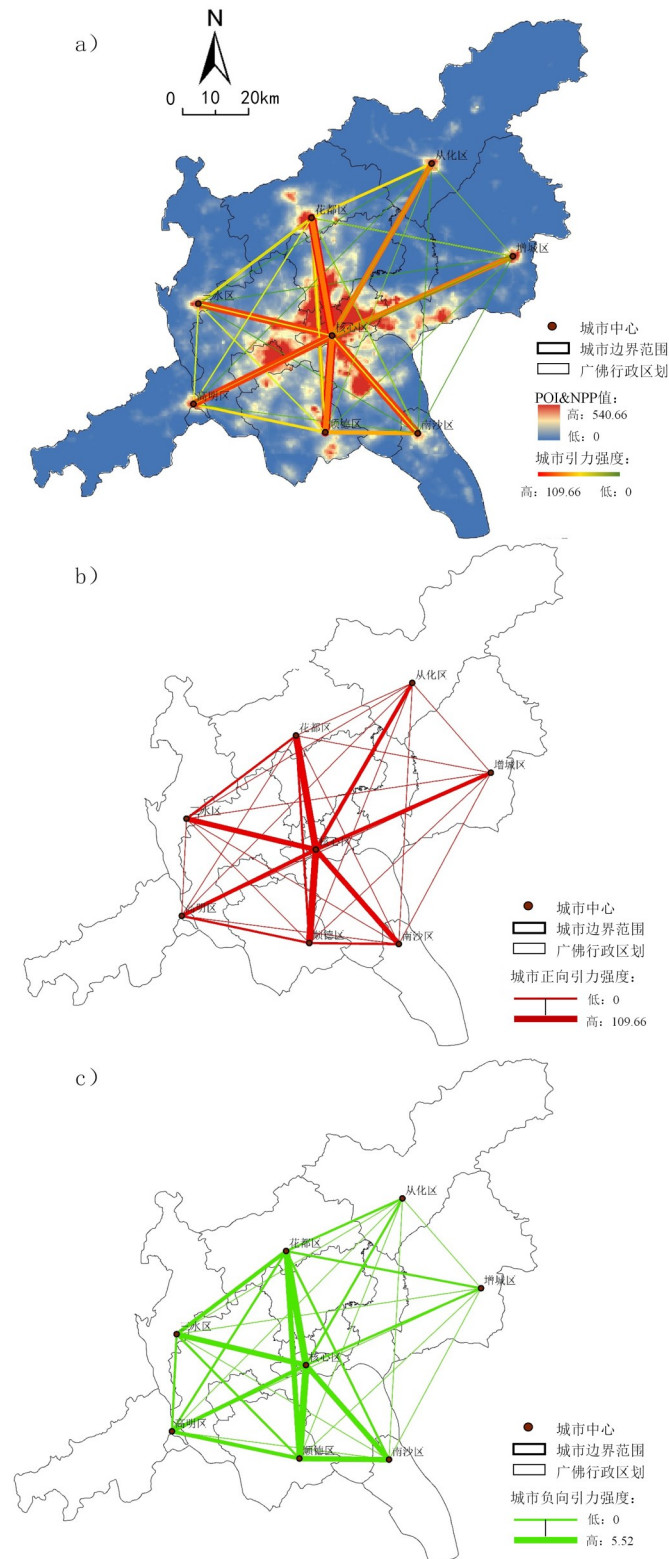


图3 广佛都市区城市中心结构联系 (a. 城市结构联系;
b. 正向联系; c. 负向联系)

Fig.3 The structural connection of urban centers in Guangzhou-Foshan Metropolitan Area (a. Urban structural linkage;
b. positive linkage; c. negative linkage)

并且中心顶点都是围绕着都市区的核心城市 (图4)。这反映都市区城市结构的发展经历了城市单中心—较为稳定的城市三角结构—逐渐成为成熟的城市多边形网络。从稳定结构分析整个都市区城市结构网络能够较为直观的反映特征,也能较好地后续城市之间的发展提供建议,将三角形城市结构作为“单元结构”,叠加城市之间的循环势能发现 (表2): 发展较好的组团为核心区—顺德—南沙组团、核心区—顺德—高明组团、核心区—三水—花都、核心区—花都—从化组团; 发展动能不足的是核心区—增城—南沙组团和核心区—高明—三水组团; 城市组团之间的正负向引力势能关系与城市经济发展程度及城市间距成正比关系。

3.3 广佛都市区城市引力特征与城市经济职能强度差异分析

城市经济职能强度作为城市非常重要的对外生产和服务量化指标,也是城市功能地位的重要评价指标,而城市经济发展与城市的发展息息相关 (方远平等, 2019)。选取地区生产总值、人均GDP、地方公共财政收入、固定资产投资、社会消费品零售总额5项指标作为评定城市经济职能强度的指标要素,通过对每一种经济类型数据的进行均值处理,计算出每一项指标占均值的比值,再通过对一次不同类型指标取平均,综合得出城市的经济职能强度 (叶强等, 2017)。将计算结果与广佛都市区城市组团的引力强度势能进行对比 (图5), 结果显示: 经济中心职能强度处于前4位为核心区、顺德区、增城区、三水区, 后4位分别为南沙区、花都区、高明区、从化区; 各个城市三角组团引力势能与经济职能强度排名存在差异较大的是核心区—增城—南沙和核心区—花都—从化组团, 城市经济职能强度排名与引力势能排名差异较大的是核心区—增城—南沙和核心区—花都—从化组团。从表3可知, 增城区的地方公共财政收入、固定资产投资以及消费品零售总额排名都相对靠前, 原因是增城城市副中心实际存在2个城市核心地域, 一部分已经与核心区城市实体地域融合为一体, 位于增城行政区的西南侧, 另一部分位于增城行政区的东侧, 增城区经济职能强度指标实际上包含这两片区域的职能强度。而造成花都区引力势能与城市职能差异较大的原因, 主要是花都区城市化程度较高、

表 1 2018 年广佛都市区“7+1”城市中心的引力与城市引力势能

Table 1 The gravitational force and urban gravitational potential of the "7+1" urban center in the Guangzhou-Foshan metropolitan area in 2018

分区	核心区	增城区	顺德区	三水区	南沙区	花都区	高明区	从化区
城市中心引力	核心区	—	5.973	109.665	14.395	17.515	80.604	10.630
	增城区	0.097	—	0.033	0.007	0.020	0.047	0.006
	顺德区	5.919	0.161	—	0.376	1.566	0.359	0.638
	三水区	0.272	0.216	0.087	—	0.015	0.127	0.240
	南沙区	0.331	0.062	0.364	0.045	—	0.050	0.025
	花都区	5.758	0.279	1.109	0.669	0.261	—	0.264
	高明区	0.182	0.017	0.139	0.080	0.018	0.0467	—
	从化区	0.070	0.030	0.020	0.007	0.008	0.081	0.004
城市引力势能	243.478	0.299	9.121	0.979	0.933	8.855	0.495	0.220

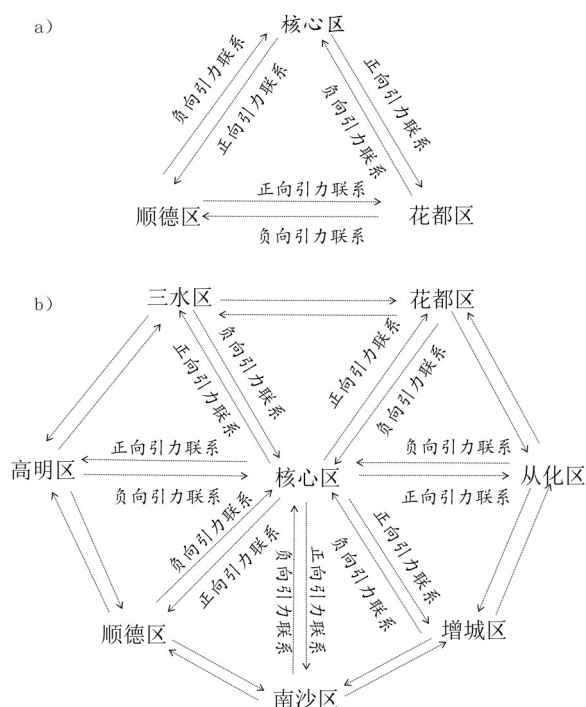


图 4 城市结构构成单位示意 (a)、广佛都市区城市引力结构模型 (b)

Fig.4 Illustration of urban structure component unit (a), model of urban gravitational structure of Guangzhou-Foshan metropolitan area (b)

表 2 广佛都市区城市三角组团引力势能联系

Table 2 Contact Form of Gravitational Potential Energy of Guangzhou-Foshan Urban Triangle Group

城市三角组团	正向引力循环	负向引力循环
核心区—花都—从化组团	85.325	5.909
核心区—从化—增城组团	10.758	0.197
核心区—增城—南沙组团	23.55	0.448
核心区—南沙—顺德组团	128.746	6.614
核心区—顺德—高明组团	120.933	6.24
核心区—高明—三水组团	25.265	0.534
核心区—三水—花都组团	95.668	6.157

城市地区面积仅次于核心区，城市经济活动范围大，距离核心区地理位置较近。可见，城市中心的经济综合实力以及城市间的地域距离影响城市中心和城市组团之间综合引力势能，同时也影响城市组团的引力特征稳定性。都市区城市的经济发展与城市中心之间引力特征具有非常高的相关性，经济职能强度高、地域交通距离短的城市中心之间引力势能较大，城市之间的经济辐射能力大；经济职能强度低、地域交通距离长的城市之间引力势能较小，城市经济辐射能力小。经济职能强度与地域交通距离影响城市组团稳定性，经济职能强度差距较大，同时地域距离较远的城市组团综合引力势能较低，结构不够稳定；经济职能强度差距较小，地域距离较近的城市组团综合引力势能较高，结构也较稳定。

4 结论与建议

本研究利用多源数据融合测度都市区城市引力结构特征，并增加城市中心双向引力特征描述，探讨其与城市之间的经济影响程度之间的关联，得到以下主要结论：1) 广佛都市区核心区与外围城市形成了“7+1”的城市中心体系结构。2) 正向引力城市结构形成“七边形网络结构”，负向结构西南区域“六边形结构”发展较稳定，“西强东弱”格局明显，西部较强的区域为核心区、顺德区、花都区，排名为前三名；东部较弱的组团为分别是增城区、从化区，排名最后两名。3) “城市三角结构”作为广佛都市区城市引力结构的基本单元。发展较好的城市组团为“核心区—顺德—南沙”“核心区—顺德—高明”“核心区—三水—花都”“核心区—花都—从化”，而“核心区—增城—南沙”和“核心区—高明—三水”组团则发展动能不足。城市基本单元结构稳定发展能够保证都市区的整体城市中

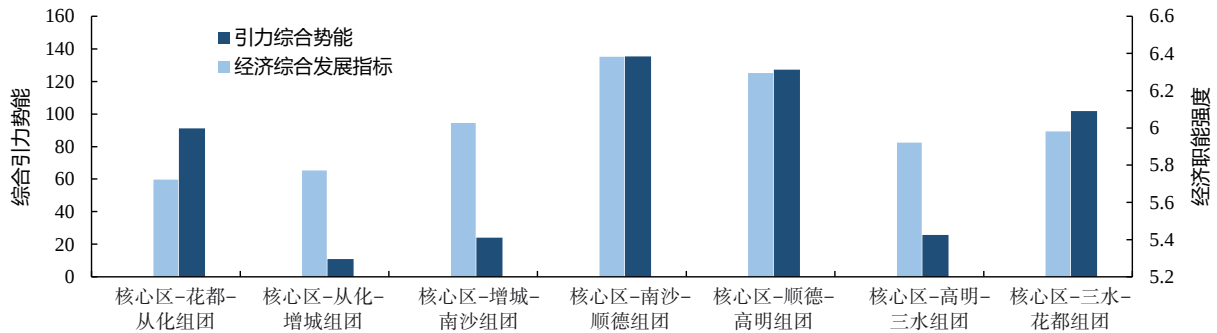


图5 2018年广佛都市区城市三角组团与城市经济职能强度对比

Fig.5 Comparison of the intensity of urban triangle clusters and urban economic functions in the Guangzhou-Foshan Metropolitan Area in 2018

表3 2018年广佛都市区“7+1”城市各项社会经济指标与城市经济职能强度

Table 3 Guangzhou-Foshan Metropolitan Area "7+1" city various socio-economic indicators and central function intensity in 2018

分区	地区生产总值/亿元	人均GDP/万元	公共财政收入均值/亿元	固定资产投资/亿元	消费品零售总额/亿元	城市经济职能强度
核心区	23 165.92	155.16	894.1	5 854.02	9 963.87	5.220
增城区	1 124.11	9.30	95.16	1 005.48	370.98	0.415
顺德区	3 163.93	11.90	235.78	1 101.98	971.89	0.771
三水区	1 227.95	18.57	62.44	799.02	240.68	0.396
南沙区	1 458.41	19.75	75.19	588.18	208.77	0.392
花都区	1 358.37	12.53	84.82	413.7	524.6	0.365
高明区	879.48	19.92	40.4	490.99	139.47	0.304
从化区	416.68	6.46	28.87	188.86	123.45	0.136

心体系稳固，为都市区的可持续发展创造必要条件。4) 广佛同城区域格局一体化已成定局，都市区的城市中心的发展与城市中心之间引力特征具有非常高的相关性，经济职能强度的大小、地域交通距长短影响着城市组团综合引力势能大小与结构稳定性。

城市组团引力结构的稳定性与城市中心之间的经济联系与地域关联性相关，虽然广佛两个行政区域已经连片成一体，但核心区与其他中心发展体系还需加强研究。问题主要集中在城市之间的交通基础设施网络、经济职能发展定位建设以及城市政策体制等层面，本文从核心引领、结构单元、体系完善3个方向对广佛都市区城市网络体系发展提出建议：1) 发挥核心城市中心职能引领，加强中心城市与其他城市的引力联系，稳固城市中心体系结构，加强交通基础设施之间的互联互通，建立广佛超级城市。广佛两市跨界成为“共同城市”已成事实，利用共同资源加强核心片区对外部城市组团的辐射，积极实现产业协同、创新协作、基础互联，为其他城市中心提供经济辐射动能，积极构成多元稳固的城市体系网络。2) 加强三角结构单元的互联互通，为发展较弱的城市三角组团提供经济、产

业方向创新创业发展条件，同时稳固引力综合势能较强的城市中心组团（即都市区边缘的城市组团）。将较弱城市的潜力充分挖掘，同时增加较强城市中心的辐射，积极承载城市主中心外溢的城市职能，加强城市组团引力循环，推动都市区内部的扁平化、网络化。3) 都市区城市中心结构体系的完善，需要保证城市之间各种要素顺畅的流通与链接，同时也需要政府积极政策的引导与创新体制的完善。城市政府需要提供良好的政策与体制环境，才能带动城市产业协作、设施互联互通、创新人才培育。城市之间完善各级体系，才能促进正向循环，带动广佛都市区发展，推动湾区可持续。

参考文献 (References):

- Aguilar A G and Hernandez J. 2016. Metropolitan Change and Uneven Distribution of Urban Sub-Centres in Mexico City, 1989-2009. *Bulletin of Latin American Research*, 35(2): 191-209.
- 班鹏飞, 李刚, 袁奇峰, 李晓建. 2018. 区域视角下大城市的功能疏解及广佛都市区的实证. *规划师*, 34 (9): 18-23. [Ban Pengfei, Li Gang, Yuan Qifeng and Li Xiaojian. 2018. Functional Decentralization of Large Cities in A Regional Perspective and Empirical Evidence of the Guangzhou-Foshan Metropolitan Area. *Planner*, 34(9): 18-23.]

- Christaller W. 1933. 德国南部中心地原理. 常正义, 王兴中. 译. 北京: 商务印书馆. [Christaller W. 1933. *The Principle of the Southern German Heartland*. Chang Zhengyi and Wang Xingzhong. Trans.. Beijing: The Commercial Press.]
- Coffey W J and Shearmur R G. 1997. The Growth and Location of High Order Services in the Canadian Urban System, 1971-1991. *Professional Geographer*, 49(4): 404-418.
- Converse P D. 1949. New Laws of Retail Gravitation. *Journal of Marketing*, 14(3): 379-384.
- 陈颖彪, 郑子豪, 吴志峰, 千庆兰. 2019. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望. 地理科学进展, 38 (2): 205-223. [Chen Yingbiao, Zheng Zihao, Wu Zhifeng and Qian Qinglan. 2019. A Review and Outlook on the Application of Remote Sensing Data for Nighttime Lighting. *Advances in Geoscience*, 38(2): 205-223.]
- 陈佑启. 1996. 试论城乡交错带及其特征与功能. 经济地理, 16 (3): 27-31. [Chen Youqi. 1996. Experimental Discussion on Urban-Rural Intersection Zone and Its Characteristics and Functions. *Economic Geography*, 16(3): 27-31.]
- 池娇, 焦利民, 董婷, 谷岩岩, 马雅兰. 2016. 基于POI数据的城市功能区定量识别及其可视化. 测绘地理信息, 41 (2): 68-73. [Chi Jiao, Jiao Limin, Dong Ting, Gu Yanyan and Ma Yalan. 2016. Quantitative Identification of Urban Functional Areas Based on POI Data and Its Visualization. *Mapping and Geographic Information*, 41(2): 68-73.]
- 方斌, 张宪哲, 杨柳. 2017. 基于POI数据的城市边界变化提取研究——以山西运城城市城区为例. 现代测绘, 40 (5): 20-22. [Fang Bin, Zhang Xianzhe and Yang Liu. 2017. Research on Extraction of Urban Boundary Changes Based on POI Data—An Example of Urban Area in Yuncheng City, Shanxi. *Modern Surveying and Mapping*, 40(5): 20-22.]
- 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 the Evolution of Urban Functions in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 39(5): 647-660.]
- Green N. 2007. Functional Polycentricity: A Formal Definition in Terms of Social Network Analysis. *Urban Studies*, 44(11): 2077-2103.
- Gordon P and Lee Bumsoo. 2015. "Spatial Structure and Travel: Trends in Commuting and Non-Commuting Travels in US Metropolitan Areas." In: Hickman R, Givoni M, Bonilla D and Banister D Edward Elgar. Handbook on Transport and Development. Edward Elgar Publishing.
- 高爽, 王少剑, 王泽宏. 2019. 粤港澳大湾区知识网络空间结构演化特征与影响机制. 热带地理, 39 (5): 678-688. [Gao Shuang, Wang Shaojian and Wang Zehong. 2019. Spatial Structure Evolution Characteristics and Influence Mechanisms of Knowledge Networks in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 39(5): 678-688.]
- 顾朝林, 庞海峰. 2008. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分. 地理研究, 27 (1): 1-12. [Gu Chaolin and Pang Haifeng. 2008. Spatial Linkage and Hierarchical Domain Classification of Chinese Urban Aystem Based on Gravity Model. *Geography Research*, (1): 1-12.]
- Han R, Cao H and Liu Z . 2018. Studying the Urban Hierarchical Pattern and Spatial Structure of China Using a Synthesized Gravity Model. *China Science: Earth Science*, 61(12): 1818-1831.
- 洪世键, 黄晓芬. 2007. 大都市区概念及其界定问题探讨. 国际城市规划, 28 (5): 50-57. [Hong Shijian and Huang Xiaofen. 2007. Exploring the Concept of Metropolitan Area and Its Definition. *International Urban Planning*, 28(5): 50-57.]
- Henderson J V. 1974. Optimum City Size: The External Diseconomy Question. *Journal of Political Economy*, 82: (2): 373-388.
- Kanemoto Y. 1980. Theories of Urban Externalities. Germany: University Library of Munich.
- Lou G, Chen Q, He K, Zhou Y and Shi Z. 2019. Using Nighttime Light Data and POI Big Data to Detect the Urban Centers of Hangzhou. *Remote Sensing*, 11(15): 1821-1821.
- Li L, Sun Z and Long X. 2018. An Empirical Analysis of Night-Time Light Data Based on the Gravity Model. *Applied Economics*, 51: 1-18.
- 刘荷, 王健. 2014. 基于轴辐理论的区域物流网络构建及实证研究. 经济地理, 34 (2): 108-113. [He Liu and Jian Wang . 2014. Construction and Empirical Study of Regional Logistics Network Based on Axis and Spoke Theory. *Economic Geography*, 34(2): 108-113.]
- 刘锐, 胡伟平, 王红亮, 吴驰, 何劲. 2011. 基于核密度估计的广佛都市区路网演变分析. 地理科学, 31 (1): 81-86. [Liu Rui, Hu Weiping, Wang Hongliang, Wu Chi and He Jin. 2011. Analysis of Road Network Evolution in Guangfo Metropolitan Area Based on Kernel Density Estimation. *Geoscience*, 31(1): 81-86.]
- 厉飞, 闫庆武, 邹雅婧, 刘保丽. 2021. 利用夜间灯光POI的城市建成区提取精度研究——以珞珈一号01星和NPP/VIIIRS夜间灯光影像为例. 武汉大学学报 (信息科学版), 46 (6): 825-835. [Li Fei, Yan Qingwu, Zou Yajing and Liu Baoli. 2021. Research on the Accuracy of Urban Built-up Area Extraction using Nighttime Light POI—Example of Nighttime Light Images with Luojia-01 Star and NPP/VIIIRS. *Journal of Wuhan University (Information Science Edition)*, 46(6): 825-835.]
- Martin J Burger, Bert van der Knaap and Ronald S Wall. 2013. Polycentricity and the Multiplexity of Urban Networks. *European Planning Studies*, 22(4): 816-840.
- 钱春蕾, 叶菁, 陆潮. 2015. 基于改进城市引力模型的武汉城市圈

- 引力格局划分研究. 地理科学进展, 34 (2): 237-245. [Qian Chunlei, Ye Jing and Lu Chao. 2015. Research on Gravitational Pattern Division of Wuhan City Circle Based on Improved City Gravitational Model. *Advances in Geographical Sciences*, 34(2): 237-245.]
- 舒松, 余柏菡, 吴健平, 刘红星. 2011. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用. 遥感技术与应用, 26 (2): 169-176. [Shu Song, Yu Bolang, Wu Jianping and Liu Hongxing. 2011. Evaluation and Application of Extraction Methods for Urban Built-up Areas Based on Nighttime Lighting Data. *Remote Sensing Technology and Applications*, 26(2): 169-176.]
- 王林申. 2017. “流”与“形”: 大都市区外围城市中心的生成机理与规划控制. 天津: 天津大学. [Wang Linshen. 2017. "Flow" and "Shape": The Generation Mechanism and Planning Control of Peripheral Urban Centers in Metropolitan Areas. Tianjin: Tianjin University.]
- 王兴平. 2002. 都市区化: 中国城市化的新阶段. 城市规划汇刊, (4): 56-59, 80. [Wang Xingping. 2002. Urbanization: A New Stage of Urbanization in China. *Journal of Urban Planning*, (4): 56-59, 80.]
- 吴燕, 李红波. 2020. 大都市城乡融合区空间演进及内在关联性测度——基于武汉市夜间灯光数据. 地理科学进展, 39 (1): 13-23. [Wu Yan and Li Hongbo. 2020. Spatial Evolution and Intrinsic Correlation Measurement of Urban-Rural Integration Area in Metropolis—Based on Nighttime Lighting Data of Wuhan city. *Advances in Geographical Sciences*, 39(1): 13-23.]
- 薛冰, 肖骁, 李京忠, 姜璐, 谢潇. 2018. 基于POI大数据的城市零售业空间热点分析——以辽宁省沈阳市为例. 经济地理, 38 (5): 36-43. [Xue Bing, Xiao Xiao, Li Jingzhong, Jiang Lu and Xie Xiao. 2018. Spatial Hotspot Analysis of Urban Retail Based on POI Big Data—Shenyang City, Liaoning Province as An Example. *Economic Geography*, 38(5): 36-43.]
- 许芸鹭, 雷国平. 2018. 辽中南城市群空间联系测度. 城市问题, (11): 65-74. [Xu Yunlu and Lei Guoping. 2018. Measurement of Spatial Linkages in the South-Central Liaoning Urban Agglomeration. *Urban Issues*, (11): 65-74.]
- 许泽宁, 高晓路. 2016. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. 地理学报, 71 (6): 928-939. [Xu Zening and Gao Xiaolu. 2016. A Method of Urban Built-up Area Boundary Identification Based on Electronic Map Interest Points. *Journal of Geography*, 71(6): 928-939.]
- Yang Yuli, Ma Mingguo, Tan Chao and Li Wangping. 2017. Spatial Recognition of the Urban-Rural Fringe of Beijing Using DMSP/OLS Nighttime Light Data. *Remote Sensing*, 9(11): 1141.
- 杨眉, 王世新, 周艺, 王丽涛. 2011. DMSP/OLS夜间灯光数据应用研究综述. 遥感技术与应用, 26 (1): 45-51. [Yang Mei, Wang Shixin, Zhou Yi and Wang Litao. 2011. A Review of DMSP/OLS Nighttime Lighting Data Application Research. *Remote Sensing Technology and Applications*, 26(1): 45-51.]
- 于丙辰, 刘玉轩, 陈刚. 2018. 基于夜光遥感与POI数据空间耦合关系的南海港口城市空间结构研究. 地球信息科学学报, 20 (6): 854-861. [Yu Bingchen, Liu Yuxuan and Chen Gang. 2018. Study on the Spatial Structure of Port Cities in the South China Sea Based on the Spatial Coupling Relationship Between Luminous Remote Sensing and POI Data. *Journal of Geoinformation Science*, 20(6): 854-861.]
- 叶强, 张俪璇, 彭鹏, 黄军林. 2017. 基于百度迁徙数据的长江中游城市群网络特征研究. 经济地理, 37 (8): 53-59. [Ye Qiang, Zhang Lixuan, Peng Peng and Huang Junlin. 2017. A Study on Network Characteristics of Urban Clusters in The Middle Reaches of Yangtze River Based on Baidu Migration Data. *Economic Geography*, 37(8): 53-59.]
- Zhou Yuyu, Smith Steven J, Elvidge Christopher D, Zhao K and Imhoff M. 2014. A Cluster-Based Method to Map Urban Area from DMSP/OLS Nightlights. *Remote Sensing of Environment*, 147: 173-185.

Characteristics of the Urban Gravity Structure in the Guangzhou-Foshan Metropolitan Area Based on Multi-Source Data

Zhan Wei¹, Chen Chaolong¹, Sun Wu¹ and Ban Pengfei²

(1. School of Geographical Sciences, South China Normal University, Guangzhou 51063, China; 2. School of Architecture and Urban Planning, Kunming University of Technology, Kunming 650000, China)

Abstract: As the endogenous driving force of regional development, the development of urban entities in metropolitan areas has a great influence on the development of the metropolitan areas, while the interactions between the urban entities' systems directly affect the metropolitan areas' development. Studying the relationship between urban entities in metropolitan areas and the basic development law of the structure between urban centers can provide some reference for the planning, development, and construction management of the urban centers and their surrounding areas in the metropolitan areas. Although the core entity territory of Guangzhou-Foshan has been contiguous, its development connection with the peripheral urban territories remains the focus of research. In the context of the synergistic development of the Bay Area, exploring the characteristic relationships between the urban territories in the Bay Area hinterland can provide a positive response to the sustainable development of the Bay Area cities. This study constructs a POI & NPP composite index by a mathematical mean method to determine the POI & NPP composite value and the number of urban centers; Based on the feature that the integrated data will produce abrupt changes at the boundary, the city's boundary extent is then analyzed using the fracture point analysis method. We then analyze the strength and direction of the gravitational force between the urban entities within the Guangzhou-Foshan metropolitan area by adding the modified gravitational force model based on the divided urban-entity territory and the POI & NPP composite index within the scope. The results show the following: (1) A "7+1" urban system structure centered on the core area is formed in the Guangzhou-Foshan metropolitan area. (2) A "heptagonal" positive urban system structure is generated around the core area and a "hexagonal." (3) The urban triangle structure is the basic unit of the Guangzhou-Foshan urban gravitational structure, while the better-developed urban clusters are "Core-Shunde-Nansha," "Core-Shunde - Gaoming," "Core-Sanshui - Huadu," "Core-Huadu-Conghua," "Core-Zengcheng-Nansha," and "Core." (4) The size and structural stability of the gravitational potential of the Guangzhou-Foshan metropolitan area are positively related to the intensity of the urban economic functions.

Keywords: Night light data; point-of-interest; urban gravitational model; gravitational structural characteristics; Guangzhou-Foshan Metropolitan Area