

时间异质性视角下 对中国城市形态多中心性演化的探究

马秀馨¹, 刘耀林^{1,2,3}, 刘艳芳^{1,2,3}, 江平¹, 安子豪⁴, 张翔晖¹

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室, 武汉 430079;
3. 地球空间信息技术协同创新中心, 武汉 430079; 4. 利兹大学交通研究中心, 利兹 LS2 9JT)

摘要: 针对现有文献对于城市内部多中心空间结构演化过程中的时间异质性探讨不足的问题, 本研究基于1 km 格网人口数据, 采用相对最小阈值法测度2005—2015年全国地级市城市内部形态多中心性, 使用系统聚类算法对其时序演化模式进行归纳, 并通过混合效应模型将时间异质性纳入到城市多中心性演化相关因素的探索中。研究发现: ① 中国城市多中心结构在2010年前后基本形成; ② 共识别了五种多中心的演化模式; ③ 多中心性与区位特征、人口特征、经济水平、基础设施和城市规模显著相关; ④ 中国城市多中心性演化在时间序列上呈现出差异性, 符合扩散-聚合的规律, 与经典城市结构理论相契合。研究发现及使用的相应方法有助于推进对于城市多中心性发展规律的进一步理解。

关键词: 城市多中心性; 时间异质性; 模式归纳; 相关因素; 混合效应模型

DOI: 10.11821/dlyj020190353

1 引言

从20世纪90年代起, 多中心规划逐渐成为西方空间规划实践的主要标语, 并且在近年吸引了来自于政府机构、城市规划从业者以及相关学者的广泛关注。早期经典的都市理论认为城市是一个单核结构, 即城市由一个主要的中心——中心商务区(CBD)进行控制, 并由此向外围进行延展^[1]。然而, 伴随着城市的发展、人口的增长以及城市建成区规模的扩大等一系列城市“膨胀”过程, 居住区、制造业和零售业的空间分布不可避免地发生了分离与重组。一方面, 聚集经济和规模经济能够产生更大的收益; 另一方面, 城市各功能聚集在城市中心会导致严重的交通堵塞, 从而在增加通勤运输费用的同时也会降低城市空间的产出。在这两种因素的推动下, 城市的副中心应运而生^[2,3]。已有实证研究指出, 多中心城市结构较单中心城市结构而言是更为高效的都市形态^[4]。这一结构能够有效地促进职住平衡^[5]、避免交通拥堵^[6]、减少生产边际成本^[2]以及缓解负面环境问题^[7]。

城市多中心性的研究可以追溯到20世纪80年代, 如何界定城市多中心性是过去一段时间学界面临的首要问题^[8]。在广泛的研究中, 多中心性概念的构建主要聚焦于形态多中心和功能多中心两个方面, 并且这两种概念均可在不同的空间尺度上进行拓展^[9]。早期对

收稿日期: 2019-05-04; 修订日期: 2019-09-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0503601)

作者简介: 马秀馨(1995-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要研究方向为城市地理、区域发展与城市空间结构。E-mail: maxiuxin@whu.edu.cn

通讯作者: 刘艳芳(1959-), 女, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为经济地理、区域规划与地理信息应用工程。E-mail: yfliu610@163.com

于多中心的定义主要集中在形态学上,这在往后的研究中被称为形态多中心。形态多中心关注城市内部空间结构的探究,它是对特定空间范围内各城市要素的空间分布是否均匀进行测度^[9]。典型的城市要素可以由人口、就业、国民收入等指标来衡量。功能多中心则从网络分析角度出发,量化并解释城市中心之间的相互关系从而达到对城市多中心性的评价。在网络分析中,城市要素,例如居民、财产、建筑等,被构象为若干节点。而节点之间的链接则依赖于若干关系,例如乘客、道路、列车等^[10]。在这种情况下,相互关系的强弱被视作判定功能多中心的依据^[11]。尽管目前关于多中心的定义尚不一致,但是大部分学者对多中心城市即包含多个相对平衡的城市中心这一概念达成了共识。具体地,多中心区域由多个城市中心构成并形成了一个完整的网络,且多中心系统内没有一个主导的中心^[10]。而在这一层面上,不论是形态多中心还是功能多中心都关注于测度研究区域是否由一个主要的中心控制的相对程度^[12,13]。

多中心性的概念化表达与测度依赖于空间尺度的选取。正如Liu等在研究中指出,城市多中心性可以在4个空间尺度上进行评价,分别是全球、区域、城市间和城市内部^[14]。在全球尺度中,一个全球城市网络包括一系列最活跃的资本集中的城市区域^[15]。在区域尺度,多中心城市区域(PURs)作为一个标准术语以形容一系列相互合作的居民点。PURs的形成有助于促进区域间经济活动的合作、劳动力市场的一体化以及基础设施的共享^[9]。在中国区域的城市研究中,PURs主要用于代表城市群。在城市间尺度下,城市多中心性的特征主要由相邻城市通过强联系组成的区域网络所体现^[16]。在城市内部尺度下,市域范围被视作基本研究单元。这一类别的代表性研究关注于中心商务区(CBD),边缘城市以及卫星城镇等城市中心识别^[17,18]。虽然城市内部空间结构与包括城市总体规划在内的城市各级规划息息相关,然而,城市内部尺度在之前的文献中被较少提及。此外,为了对城市形态多中心性进行量化测度,现有研究对多维度城市要素进行了探索,例如常住人口^[17]、就业人口^[19]、土地利用^[20]和夜光遥感^[21]。

基于城市形态多中心性的研究为探索城市空间结构的诸多重要议题提供了良好的范式。这些议题主要集中于基于时序数据的城市多中心性的时空演化规律探索以及基于截面数据的城市中心性驱动力分析^[22-24]。这些研究为空间规划实践的实施、评价提供了有效的实证基础。对于探索城市多中心性的时空演化规律的研究在世界范围内得到了广泛的开展,包括洛杉矶^[25]、悉尼^[26]、伊斯坦布尔^[4]以及中国的几个特大城市,比如北京^[24]、杭州^[27]、广州^[28]和武汉^[29]。上述研究结果说明城市的多中心发展已经成为世界范围内一个流行的趋势,而不仅限于发达国家。这些代表性研究同样说明了多中心是城市空间结构发展的潜在未来趋势。根据现有研究,城市形态多中心性的影响因素可分为六类,即地形地貌、人口特征、经济水平、政策支持、基础设施和市场力量,尽管这些文献对于城市内部多中心性的关注较为缺乏^①。这些因素会影响各类社会活动在空间上的分布,从而影响城市的空间结构形态及其演变。地形地貌包括城市的地形曲率和行政区总面积,复杂的地形地貌将限制城市空间要素的集聚并有助于推动城市多中心结构的形成^[30]。城市土地作为城市各类活动的载体可以影响城市的空间结构。行政区总面积对多中心发展的影响则存在不一致性,在关注城市内部的多中心研究中^[17],该变量为正向影响,而在对于城市群的研究中,城市群面积越大反而更有利于城市群的集聚发展,进而催生明确的城市群单中心^[31]。对于人口特征而言,常住城镇人口^[31]、大学生占比^[32]和移民数^[27]均对城市多中心性具有正向效应。现有研究对城市经济水平进行了多维度特征分析。Schneider等

① 对“城市多中心性”“城市中心”“Urban Polycentricity”“Polycentric Development”关键词在中国知网、Web of Science以及Scopus数据库进行检索,仅Liu等^[17]的研究符合这一主题。

认为以制造业为代表的聚集经济能够促进人口集中,对多中心发展产生负向影响^[30]。钱竹梅通过对土地利用价值的分析,认为房地产业的发展能够增加第三产业用地促使城市内部多中心化^[33]。除此之外,其他学者发现人均GDP^[17]、非农产值占总GDP比率^[31]、进出口额^[34]、外国直接投资^[31]有助于促进城市的多中心发展。Liu等主要研究了相关政策支持,比如城市总体规划以及相应的城市发展规划对于城市多中心发展的影响^[24,35]。结果表明,无论是对于就业分布、人口分布还是建成区分布而言,城市的形态结构发展均受上层政策实施的影响。除此之外,以人均道路总长为代表的交通设施水平能够影响交通运输成本,有助于居民长距离出行,进而促进城市的多中心发展^[32]。由市场力量影响的都市地价和各工业企业选址则通过塑造职住关系以影响城市中心的均衡性^[36,37]。

尽管国内外学者在城市形态多中心性,特别是中国城市形态多中心性这一议题上开展了大量的研究,但现有研究未能充分考虑城市多中心性在时间序列上的阶段性特征差异,即时间异质性,进而催生出了一系列的研究空白。首先,对于城市多中心性的时空演化规律而言,现有研究通常聚焦于单一城市,以期对这些城市的宏观空间政策做出针对性评价^[38,39]。然而,在位置特异性研究(location-specific research)中,研究者往往难以对城市的中心性演化模式做出横向比较。由于城市内在固有属性(如城市要素空间关系、社会经济结构与政策实施等)的差异,更无法对多样的演化模式进行有效的归纳总结,这使得目前对于城市多中心性发展规律缺乏全面而系统的认识。

此外,学者更加关注某一时间节点上各种城市要素对形态多中心的“促进或抑制作用”^[14,40]。尽管这些研究往往涉及相当广泛的城市,它们依然无法有效地控制时间异质性的潜在影响,这引起了对模型、对变量估计上的潜在有偏性以及结果解读的不明确性。具体来说,城市多中心的空间结构形成依赖于漫长的时间周期。在同一时期,由于城市的等级、发展阶段、区位条件差异,不同的城市受到了不同大环境的潜在影响(比如全国以及区域性政策导向因素),具体表现为城市要素对于城市中心性的影响受到了时间的约束;从时间序列看,不同城市内,其城市中心形成的时间也不尽相同。总体而言,在方法论层面上,这些因素将导致模型的估计存在偏差,使得上述基于时间节点的截面研究结果缺乏鲁棒性^[41]。因此,在变量解释层面,这些研究只能反映在某一时间节点上城市要素与城市形态多中心性的相关性,而不能根据其结果推论这些“显著”因素在城市形态多中心性演化的过程中始终起到了作用或认为该因素与城市形态多中心性演化是时序稳健相关的。

最后,如前所述,城市总体规划的设计、开展与评价依赖于城市内部空间尺度,然而,现有文献对于城市内部多中心性这一城市总体规划重要关注目标的研究并不充分。

在上述情况下,现有的研究空白引起了如下3个相互紧密联系且亟待解决的问题:①在时间序列上,中国城市内部形态多中心性经历了怎样的演化过程并正处于何种阶段?②中国城市内部形态多中心性的演化特征可以被归纳为几种模式?③在这一过程中,城市内部形态多中心性演化的相关因素是什么?

基于上述研究问题,本文目标设定如下:①以全国地级市市域范围为基本研究单元,利用精细化人口格网密度数据识别各地理单元内部的城市中心,并通过相对最小阈值法确定城市内部尺度下2005—2015年各地级市的形态多中心值;②利用系统聚类方法对城市形态多中心的时序演化模式进行归纳;③采用顾及时间异质性的混合效应模型,并以此为基础探讨城市内部形态多中心性发展的相关因素。本研究旨在推进对于转型期城市,特别是中国城市多中心性发展的规律及研究框架的进一步理解。

2 研究区概况与数据来源

以全国364个地级市为研究对象,并选取其市域范围作为基本研究单元。城市人口的测度数据来源于橡树岭国家实验室(OAK RIDGE National Laboratory)的Landscan数据集。Landscan数据通过1 km的格网形式进行组织可以提供更加精确而细化的地理尺度来反映人口的分布特征^[17]。本文采集了2005—2015共11期全国人口数据,基于此反映这一时期内全国地级市的多中心发展态势及其特征。社会经济面板数据均来自《中国城市年鉴》2005—2015年全国各地级市的年度数据。由于某些地级市的数据缺失,本研究最终选取全国226个城市进行相关分析。

3 研究方法

3.1 城市中心识别

在城市中心的量化识别的问题上,现有文献已涉及了多样化的城市要素与标准,例如人口密度^[17,42]、就业密度^[26]、土地利用混合度^[28]、夜间灯光强度^[43]、公共交通设施密度^[44]等。Leislle指出,城市中心是拥有一组人口、就业或商业密度显著高于周围地区的分析单元^[45]。根据这一定义,本文对于城市形态多中心的测度主要基于对城市人口中心的识别。本文识别出的城市中心包括城市核心区(如中心商务区)以及城市副中心(如卫星城、开发区)^[29],因此本文所识别的城市中心属于市域范围内的人口中心。

具体来说,本文基于Liu等提出的相对最小阈值方法^[17],通过增加更精细的人口控制条件以适应全国范围内各城市的人口分布情况,从而达到对各城市人口中心的识别。该方法步骤:①裁剪各城市Landscan人口影像并选择人口密度大于1500人的格网;②在①的基础上选择人口密度最大的前5%的格网(对于北京、上海、广州、深圳、天津五个城市选取前10%的格网);③对相邻的格网进行融合并选择人口总数大于10万且至少包括两个格网的区域,并将其视为城市的中心。

3.2 城市多中心性测度及其演化模式归纳

本文采用Green提出的基于网络分析视角的多中心性衡量方法^[10]。该方法将城市多中心性量化定义为对城市各子中心“重要性”的标准差的测度^[17]:

$$P = 1 - \frac{\sigma_{\text{obs}}}{\sigma_{\text{max}}} \quad (1)$$

式中: P 变量表示城市的多中心性; σ_{obs} 变量表示城市内部各子中心“重要性”(本研究中为人口总数)的标准差; σ_{max} 变量表示城市内部最大子中心“重要性”和0的标准差。 P 值的范围是0~1,数值越接近0,代表城市内部几乎不存在城市中心,数值越接近1则代表城市内部存在着具有相同“重要性”的城市中心。最后,依照Liu等的研究,不存在明确中心的城市将被设定为-1^[17]。

由于中国城市在规模、社会经济结构、地理位置、发展阶段等方面的显著差异,各城市内部形态多中心性的演化模式可能存在潜在的不同。为了对其演化规律进行系统性的提取,本文引入系统聚类方法对这些规律模式进行统一归纳。具体来说,以各地级市2005年、2010年、2015年的多中心值、所有年份变化均值以及变化标准差作为划分多中心演化模式的依据,本文对中国城市多中心性演化趋势、演化速率以及变化波动性等三维特征进行统一归纳。进行类别合并的基本准则是使得类间差异最大,而类内差异最小。即通过系统聚类方法,把变化相似程度大的城市先聚为一类,而把另一些演化特征

相似程度较小的城市聚合为另一类, 并对这一类城市进行重新聚合, 直到所有城市都聚合完毕。

3.3 混合效应模型

现有研究多基于截面数据探索城市形态中心性的相关因素, 缺乏对于时间异质性的充分考虑, 这一问题加剧了模型系数估计的有偏性以及其效应解释的不明确性。在现有研究的基础上, 本文引入混合效应模型(随机截距模型), 通过将时间异质性纳入到模型截距的估计中, 得到更为稳健的变量效应估计。在这种情况下, 本研究可以根据结果推论, 显著的城市要素与2005—2015年中国城市形态多中心性的演化是相关的。

具体来说本文使用随机截距模型, 该模型假设在不同时间截面上城市形态多中心性受到的环境影响不同, 即模型的截距项是依赖于时间的随机效应^[46]。该模型构建为:

$$Y_{ij} = \beta_{0ij} + \sum_{m=1}^{15} \beta_m X_{ij} + e_{ij} \quad (2)$$

$$e_{ij} \sim (0, \sigma^2) \quad (3)$$

$$\beta_{0ij} = \gamma_0 + \vartheta_{0j} \quad (4)$$

$$\vartheta_{0j} \sim (0, \tau_u) \quad (5)$$

式中: Y_{ij} 变量表示第 i 个城市在 j 年的城市多中心值; X_{ij} 变量表示下文选取的解释变量; β_{0ij} 变量表示回归常数; β_m 变量表示回归系数; e_{ij} 变量表示未被观测的个体随机效应, 此变量被假定为符合 $(0, \tau_u)$ 的正态分布; ϑ_{0j} 代表年份 j 的随机效应, 此变量被假定为符合 $(0, \tau_u)$ 的正态分布。

在本研究中引入卡方 (χ^2) 检验来比较剔除随机效应与纳入随机效应模型的鲁棒性。卡方检验 $P < 0.05$ 则说明纳入随机效应使得模型的估计在 95% 置信水平下更加稳健, 拟合效果更好^[47]。本文混合效应模型通过 SAS PROC GLIMMIX 模块求解实现。此外, 为进一步说明时间异质性对变量估计的影响, 本文选取了 2015 年的人口数据和对应的社会经济数据, 并参照 Liu 等^[17] 在文中使用的固定效应模型 (OLS 模型) 对数据进行实验分析并与本文结果进行比对。

在本研究中, 对影响城市空间结构的因素以探索性分析为主, 无法保证枚举因素的全面性, 但是通过混合效应模型分析可以有效的探索并揭示与城市多中心值演变相关的要素。由于相关的研究较少, 本文选取的因子不仅参考了城市内部多中心的研究, 同样参考了城市群多中心的研究, 挑选已有研究结果中有显著影响的要素, 共五类 12 种作为相关变量被纳入到随机截距模型中, 这些要素涵盖城市区位、人口特征、经济水平、基础设施以及土地利用 (表 1)。

4 结果分析

4.1 多中心发展的时序变化

根据上述多中心测算的方法我们对全国 364 个地级市进行了 11 期人口数据的城市中心识别。中国城市总中心个数、人口总数和总面积的绝对数值呈现同步增长的趋势 (图 1)。其中, 城市总中心个数由 2005 年的 372 个上涨到 2015 年的 615 个, 增长率达到 65.32%。城市中心总人口由 18 524 万人增加至 28 577 万人, 上涨了 54.26%。城市中心总面积则由 11 893.78 km² 扩大至 17 651.21 km², 增长率达 48.40%。由此可见, 2005—2015 年期间, 中国城市中心个数、中心总人口和总面积都经历了高速的发展。与此同时, 自 2010 年起城市中心个数增长放缓, 而城市中心总人口和总面积增速有明显的提升。由此可以推

表1 相关因素描述性统计分析

Tab. 1 Descriptive analysis of the correlation factors

变量类型	序号	变量	指标	均值	最小值	最大值	标准差
城市区位	1	经济区划	1=东部地区; 2=中部地区; 3=西部地区	1.83	1.00	3.00	0.77
	2	城市等级	0=省会城市、直辖市或经济特区; 1=其他普通城市	0.13	0.00	1.00	0.33
人口特征	3	年末总人口	区域年末总人口数(万人)	456.61	43.11	3 375.20	307.14
	4	第二产业从业人员占比	第二产业从业人员/从业人员总数(%)	45.42	7.99	84.40	13.46
	5	第三产业从业人员占比	第三产业从业人员/从业人员总数(%)	51.48	9.91	91.44	12.45
经济水平	6	人均地区生产总值	地区生产总值/年末总人口(元/人)	35 203.66	3 162.71	467 749.00	28 437.97
	7	外商直接投资	当年实际使用外资金额(万美元)	71 231.85	22.00	2 113 444.00	158 509.70
	8	房地产投资开发额	房地产开发投资完成金额(万元)	1 934 732.00	10 593.00	42 363 473.00	3 590 368.00
基础设施	9	年末实有道路面积	区域内年末实际铺设道路面积(万m ²)	1 579.65	14.00	21 490.00	2 034.82
	10	公共汽车运营车辆	区域内年末运营公共汽车(电车)数(辆)	1 339.64	36.00	31 349.00	2 681.24
土地利用	11	城市总面积	城市总面积(km ²)	15 900.06	1 113.00	253 356.00	21 117.79
	12	建成区面积比例	城市建设用地面积/行政区域土地面积(%)	9.43	0.02	97.18	9.90

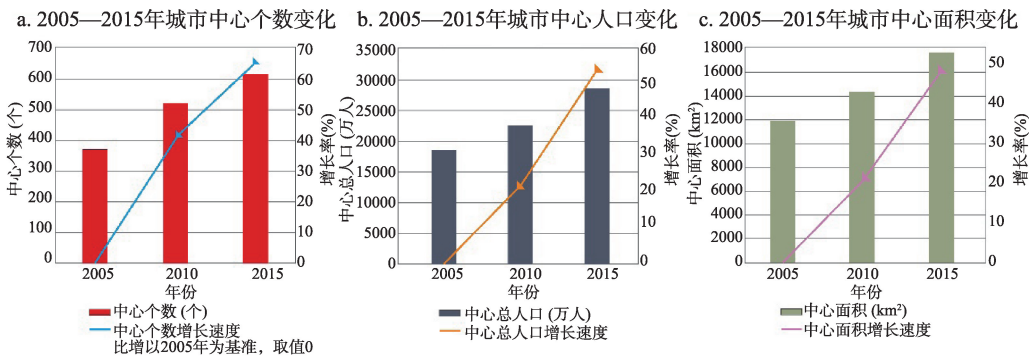


图1 2005—2015年中国多中心时序变化

Fig. 1 Temporal variations in urban polycentricity in China, 2005-2015

断, 在2010年前后多数中国城市的多中心基本形态已经形成。

在全国范围内, 共有59个城市没有识别出城市中心, 因此在多中心变化的分析中以其他305个城市进行分类讨论。

由单因素方差分析(表2)可知, 2005—2015年间全国城市各年份多中心性平均值存在显著差异($P < 0.001$)。自2005年起, 平均值呈上升趋势表明全国各城市向多中心发展的趋势逐渐增强; 尽管标准差呈现出了少许下降, 但下降幅度相比于其总量并不明显, 这说明各城市间多中心性的差异并没有随时间而缩小。

4.2 城市多中心演化模式

根据前述聚类方法, 本文将全国城市多中心在2005—2015年的演化模式归纳五类

(表3、表4)。通过不同演化模式的城市数量占比可以看出, 82%的城市有明确的人口中心; 在出现过中心的城市中(即排除11期中完全不存在中心的59个城市), 超过80%的城市多中心值呈现出稳定增长的趋势(平均变化速率=0.010, 标准差=0.060); 有12%的城市由早期无法识别明确中心向单中心城市空间结构转变(2005年均值=-0.974, 2015年均值=0.038)。由此可推论, 中国大部分城市向多中心形态转变的趋势明显。从各类型的空间分布上看, 各城市人口多中心性存在较为明显的差异性(表4)。然而, 各个演化模式分布较为分散, 空间特征不明显。

在表3中, 对五类演化模式的基本特征进行了提取, 基于此, 可以对全国各类多中心的演化模式进行特征归纳。

首先, 为了深入分析城市多中心演化模式的结构特征, 按照城市等级(直辖市、省会城市和经济特区为I级城市, 其他普通城市为II级城市)和经济区划进行初步分类统计(表5)。^①按城市等级分: 超过90%的直辖市、省会城市和经济特区形态主要是“多中心性稳定增长”。普通城市的演化模式类型则相对分散, 但仍是以“多中心性稳定增长”为主, 其次是“无中心向单中心转变”。^②按经济区划分: 东部城市中大多是“多中心性稳定增长”, 约占城市总量的90%。中部则有超过2/3的城市属于“多中心性稳定增长”。接近1/4的城市处于“无中心向单中心转变”状态。西部地区的大多数城市“多中心性稳定增长”, 不到10%的城市拥有明确的单个中心。综上分析, 中国各地级市城市结构的发展阶段差异不大, 因此不同的城市等级和经济发展水平对于多中心城市结构的影响仍需要更进一步的研究考察。

其次, 本文聚焦于五类被识别模式的多维度特征及其典型表征城市, 对中国城市多中心性演化模式进行梳理:

4.2.1 无明确中心 该类城市在研究期内大多数年份均未识别出明确的城市人口中心,

表2 2005—2015年全国多中心变化特征

Tab. 2 Characteristics of temporal variations in urban polycentricity in China, 2005-2015

年份	平均值	最大值	最小值	标准差
2005	-0.219	0.966	-1.000	0.537
2006	-0.134	0.960	-1.000	0.511
2007	-0.090	0.912	-1.000	0.510
2008	-0.073	0.943	-1.000	0.520
2009	-0.072	0.937	-1.000	0.520
2010	-0.060	0.981	-1.000	0.533
2011	-0.031	0.940	-1.000	0.519
2012	-0.040	0.975	-1.000	0.493
2013	-0.012	0.978	-1.000	0.493
2014	-0.003	1.000	-1.000	0.497
2015	-0.018	0.999	-1.000	0.509
P值	<0.001			

注: P值代表单因素方差分析(ANOVA)检验显著性。

表3 2005—2015年多中心演化模式特征

Tab. 3 Characteristics of evolution patterns of urban polycentricity in China, 2005-2015

类别	多中心均值 (2005年)	多中心均值 (2010年)	多中心均值 (2015年)	平均变化值	平均变化标准差
无明确中心	-1.000	-0.833	-1.000	0.000	0.540
无中心向单中心转变	-0.974	-0.296	0.038	0.101	0.334
多中心性稳定增长	0.096	0.175	0.196	0.010	0.060
无中心向均衡多中心转变	-1.000	0.901	0.802	0.180	0.470
多中心性逐年下降	0.865	0.844	0.615	-0.025	0.138
P值	0.000	0.000	0.000	0.002	0.193

注: P值代表单因素方差分析(ANOVA)检验显著性。

表5 不同城市多中心演化模式统计与差异

Tab. 5 Key statistics and discrepancies of patterns of urban polycentric evolution

类别	全国	城市等级		经济区划		
		I级城市	II级城市	东部	中部	西部
无明确中心	1.97	2.86	1.85	0.98	5.05	0.00
无中心向单中心转变	12.46	2.86	13.70	3.92	24.24	9.62
多中心性稳定增加	81.97	91.43	80.74	89.22	67.68	88.46
无中心向均衡多中心转变	1.97	0.00	2.22	2.94	1.01	1.92
多中心性逐年下降	1.64	2.86	1.48	2.94	2.02	0.00

城市中心的出现导致变化标准差较大(0.540),这说明该类城市空间结构的变化具有极强的波动性(图2)。

4.2.2 无中心向单中心转变 2005—2015年期间,共有38个城市由初期的无明确中心向单中心城市结构转变,并且维持单中心的城市人口形态。这类城市主要分布在中、西部地区。该类城市的多中心变化均值(0.101)和方差(0.334)都较大,这是因为在研究周期初期,该类城市未能识别到人口中心。然而,在2010年前后的1~2年内,该类城市普遍性地出现了明确的城市中心,随后维持单中心城市形态不变(图3)。

4.2.3 多中心性稳定增长 全国有超过80%的城市都处在多中心性稳定增长的阶段,各城市逐步形成了人口的多中心分布结构。该类型城市的多中心值变动幅度不大(平均变化速率=0.010),而且变化较为平稳(标准差=0.060)。这类城市在城市发展初期主要侧重单中心发展,即城市内部只有一个中心,通常被称作CBD。但是在城市发展的过程中逐渐向多中心过渡,在城市其他区域形成新的中心,例如开发区、高新技术区等。不过由于城市转型期发展时间较短,新中心依然处在早期发展阶段,人口数量上与原有中心的差距依旧较大,所以整体的多中心程度比较低(图4)。

除此之外,在这一类型中我们还发现了一些特大城市、省会城市以及经济发达城市的多中心值增速逐渐放缓,甚至在某些年份出现轻微下降的趋势(表6)。这一类城市多中心值变化的主要原因是随着城市外围新中心的产生,人口总数较少与原有中心无法平衡。

同样值得一提的是,在该类型中的一些沿海经济发达城市,城市多中心值在城市发展的某些阶段呈现出了持续的下降趋势。根据各年的中心识别情况可以看到一方面是由于城市发展过程中,各中心扩张、膨胀的同时中心间距离缩小,由此产生了中心融合、弱化了城市的多中心结构,Dietzel等在文章中提出过城市空间结构发展包括两大部分,扩散(diffusion)和聚合(coalescence)^[48]。在城市发展的初期,城市的各中心逐步扩



图2 博尔塔拉蒙古自治州人口中心识别

Fig. 2 Identification of population centres in Bortala Mongol Autonomous Prefecture

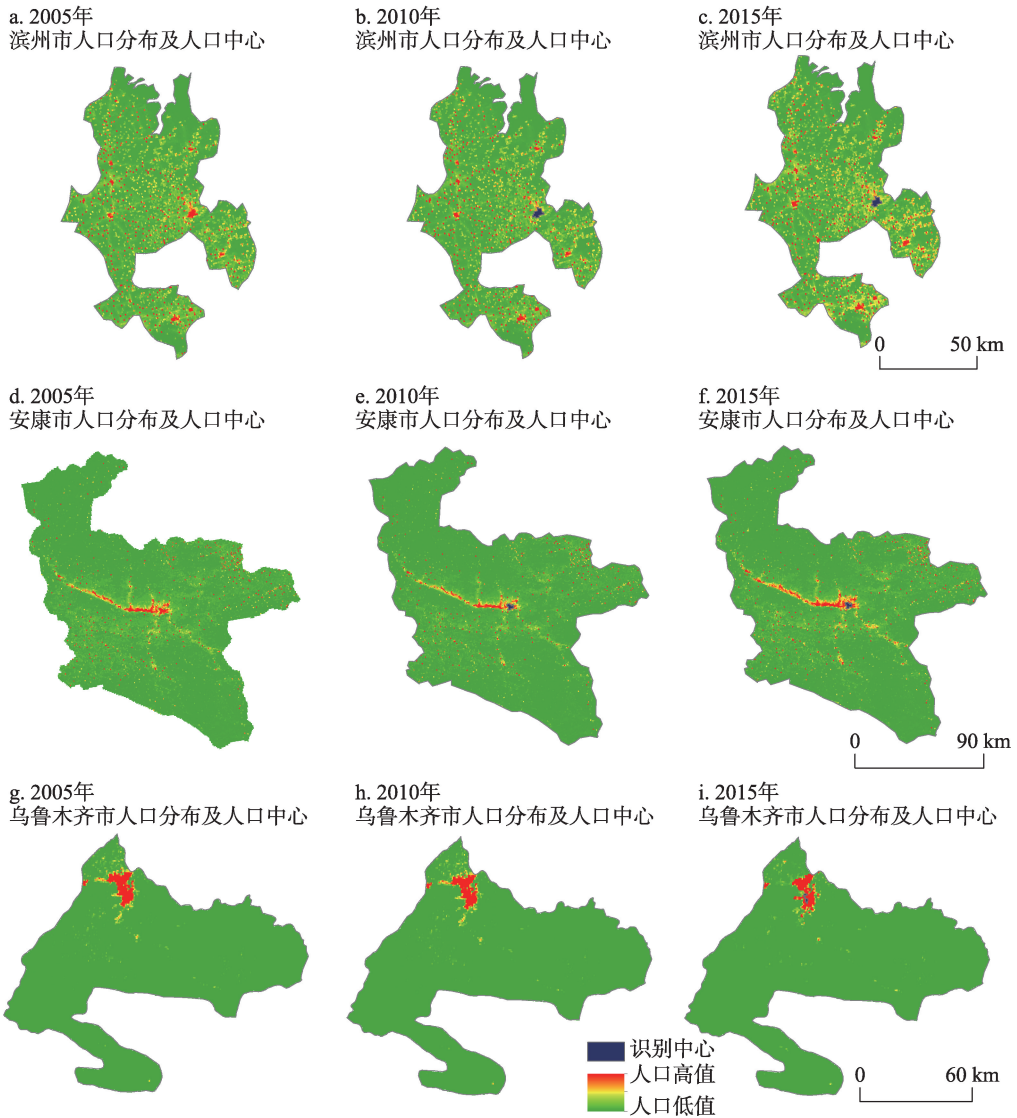


图3 2005—2015年滨州市、安康市、乌鲁木齐市地人口中心变化

Fig. 3 Temporal variations in population centres in Binzhou, Ankang, and Urumqi, 2005-2015

张，中心间距离逐步缩小最终融合。在此，我们也印证了这一城市发展规律；另一方面城市新中心不断出现但规模较小（图5）。两种因素的共同作用下产生了城市中心个数增长但多中心值下降的趋势。

4.2.4 无中心向均衡多中心转变 2005—2015年，全国共有6个城市经历了向多中心发展的剧烈变化。这些城市在研究初期并无明确的城市中心，但是到了2015年，这些城市的多中心均值均超过了0.8，即研究末期呈现均衡的多中心城市结构（图6）。该类型的变化均值和标准差都较高，说明该类型城市的城市形态迅速向多中心方向发展，且变化剧烈。

4.2.5 多中心性逐年下降 该类型城市在研究初期即具有高度多中心形态，随着时间推移多中心值逐年下降。该类型城市主要处在东部和西部地区。东部地区的转变主要是由于城市的发展，随着城市的发展产生了新的中心，但是中心之间相互的人口数差异较

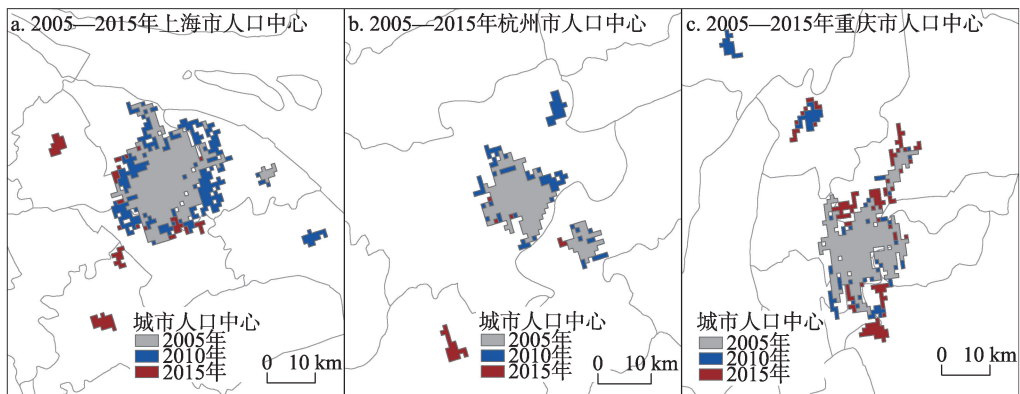


图4 2005—2015年上海市、杭州市、重庆市的人口中心变化

Fig. 4 Temporal variations in population centres in Shanghai, Hangzhou, and Chongqing, 2005-2015

大, 导致了多中心值的降低(图7)。需要说明的是, 银川的人口分布发展模式与东部地区类似, 但是由于其城市发展使得中心的人口差距增大, 因此城市的多中心程度有所下降。

5 多中心发展的相关因素分析

利用混合效应模型, 本文通过引入时间异质性的影响, 构建了城市空间、社会经济特征与城市内部形态多中心性的关联(表7)。首先, 本研究发现对于随机效应而言, 其方差成分(τ_u)在90%置信水平下显著($P=0.086$), 说明各个年份城市的多中心值存在显著的差异。这在现实情况中

则反应为不同年份之间, 城市多中心性所受到的随机因素扰动(比如宏观政策、城市中心出现时间等)是不同的, 而这些因素往往难以通过模型量化。根据年份随机效应($v_{01}-v_{011}$), 时间对于多中心发展的影响大致上是持续增加的, 尽管在2005—2007年以及2012年出现了轻微的下降。这与本文之前的研究结果是一致的。卡方检验结果在99.7%水平下显著, 说明加入年份随机效应, 即对时间异质性的考虑能够显著提高模型拟合优度, 从而增加模型估计的鲁棒性。

固定效应中, 处于东部地区的城市相比于中、西部地区城市呈现更高的多中心性。该结果与在前述的演化模式归纳结果一致, 即东部地区有更多的城市处于“多中心性增加”的趋势。城市等级对于多中心的影响在该模型中不显著。将经济区划与城市人均GDP做交互效应, 结果表明, 相比于中部地区和西部地区的城市人均GDP变异而言, 东部地区的城市人均GDP变异对于城市空间结构的影响更加敏感, 且随着经济发展水平提高, 城市结构越趋于单中心。

表6 2005—2015年多中心值演化特征

Tab. 6 Characteristics of urban polycentricity, 2005-2015

城市名	多中心值 (2005年)	多中心值 (2010年)	多中心值 (2015年)	平均 变化值	平均变化 标准差
北京市	0.013	0.016	0.149	0.014	0.047
长春市	0.000	0.098	0.091	0.009	0.041
重庆市	0.000	0.328	0.366	0.037	0.075
大连市	0.257	0.299	0.282	0.003	0.012
福州市	0.068	0.126	0.107	0.004	0.018
哈尔滨市	0.067	0.169	0.238	0.017	0.043
喀什地区	0.385	0.538	0.471	0.009	0.047
兰州市	0.458	0.386	0.155	-0.030	0.069
沈阳市	0.061	0.104	0.037	-0.002	0.037
石家庄市	0.072	0.100	0.067	-0.001	0.010
太原市	0.053	0.049	0.000	-0.005	0.027
唐山市	0.326	0.249	0.261	-0.006	0.027
西安市	0.056	0.040	0.032	-0.002	0.006
扬州市	0.313	0.330	0.255	-0.006	0.023

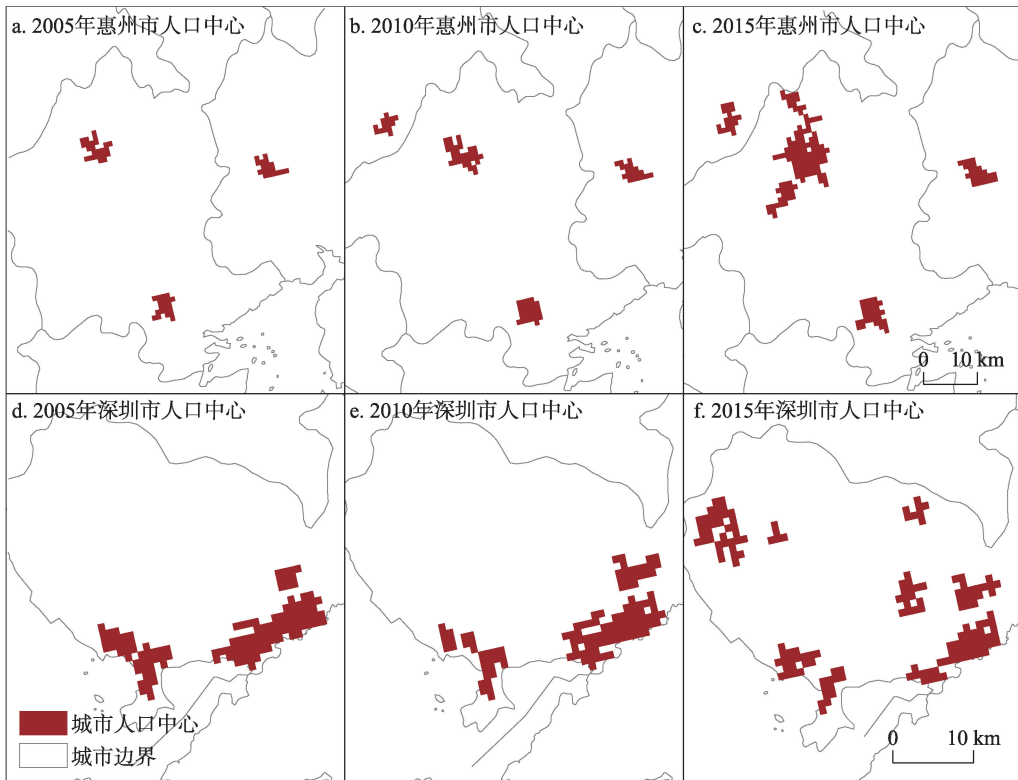


图5 2005—2015年惠州市、深圳市的人口中心变化

Fig. 5 Temporal variations in population centres in Huizhou and Shenzhen, 2005-2015

人口特征方面，第三产业从业人员占比升高会引起城市多中心值下降。增加房地产投资开发额则会促进城市多中心发展。钱竹梅在其研究中指出房地产行业的发展能促进第三产业用地和居住用地的扩张，调整各类型用地比例促进城市多中心化^[33]。除此之外，城市公共汽车运营量会轻微抑制城市的多中心发展，这一点与孙斌栋^[31]等人对城市群多中心的研究结果相佐，后者的研究结果表明交通基础设施的质量能够促进城市群多中心的发展。

城市行政区域面积与建成区面积比例对城市多中心的发展影响相反，城市行政区域面积对数值增加1个单位，多中心值增加0.021，而建成区比例增加1个单位，多中心值则降低0.001。这一发现与Liu等^[17]对于城市内部多中心性的研究结果一致。该现象的产生可能是由于增加的行政区域面积会纳入城市的郊区中心、卫星城镇等，从而使得多中心值上升。然而，该结果与Feng等^[49]的研究结果存在不一致，该文章指出在城市发展过程中，建成区扩张往往伴随着城市中心的融合，而在这一过程中城市多中心值会下降。

同时，本文依照Liu等^[17]使用的固定效应模型（OLS模型）对所引入变量进行重新建模，并在此基础上与当前研究结果进行对比（表8）。两模型研究结果中的显著变量有较大出入，这进一步印证了引入时间异质性在探究城市多中心性相关因素中的必要性。

最后，需要说明的是，混合效应模型的引入不仅提高了变量效应估计的鲁棒性，更使得对这些变量的解释更为明确。依照结果，本文可以做出如下推论，在2005—2015年间，地区经济水平、人口结构、基础设施和城市规模与城市多中心性的演化是稳健相关的。

表 7 混合效应模型估计结果

Tab. 7 Estimation results of the mixed effect model

变量				
固定效应	标志	系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
截距	β_0	-0.094	-0.52	0.617
东部地区	β_1	0.622	3.73	<0.001
中部地区			参照组	
西部地区	β_2	0.091	0.53	0.599
直辖市、省会、经济特区	β_3	-0.005	-0.24	0.811
其他城市			参照组	
Ln(人均GDP)	β_4	-0.005	-0.27	0.787
东部地区* Ln(人均GDP)	β_5	-0.050	-3.06	0.002
西部地区* Ln(人均GDP)	β_6	-0.007	-0.42	0.677
Ln(城市人口)	β_7	0.013	0.95	0.344
第二产业从业人员占比	β_8	0.001	1.22	0.222
第三产业从业人员占比	β_9	-0.003	-3.23	0.001
Ln(使用外资金额)	β_{10}	-0.003	-0.60	0.550
Ln(房地产投资开发额)	β_{11}	0.018	2.09	0.036
Ln(公共汽车运营量)	β_{12}	-0.025	-2.75	0.006
Ln(行政区域土地面积)	β_{13}	0.021	2.54	0.011
Ln(实有道路面积)	β_{14}	0.008	0.77	0.439
建成区面积比例	β_{15}	-0.001	-2.15	0.031
随机效应	标志	系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
2005年	u_{01}	-0.050	-2.98	0.003
2006年	u_{02}	-0.035	-2.20	0.028
2007年	u_{03}	-0.015	-0.95	0.345
2008年	u_{04}	0.005	0.30	0.763
2009年	u_{05}	0.003	0.17	0.866
2010年	u_{06}	0.023	1.50	0.133
2011年	u_{07}	0.026	1.69	0.090
2012年	u_{08}	-0.002	-0.14	0.888
2013年	u_{09}	0.005	0.35	0.727
2014年	u_{010}	0.018	1.15	0.252
2015年	u_{011}	0.023	1.47	0.141
随机效应方差成分	标志	系数	ε 值	<i>P</i> 值
年份	τ_u	7.83E-04	1.36	0.086
城市	σ^2	5.19E-02	36.39	<0.001
模型拟合				
-2 似然对数	-185.33	广义卡方	138.25	
BIC	-180.53	广义卡方/自由度	0.05	
AIC	-181.33			
协方差参数检验				
-2 残差对数似然	-177.53			
卡方	7.80			
Pr>卡方	0.003			

表8 模型结果对比
Tab. 8 Comparison of model results

变量	本文研究结果		参考结果	
	系数	显著性	系数	显著性
截距	-0.094	0.617	0.225	0.781
东部地区	0.622	<0.001	0.345	0.710
中部地区				
西部地区	0.091	0.599	-0.087	0.924
直辖市、省会、经济特区	-0.005	0.811	-0.031	0.651
其他城市				
Ln(人均GDP)	-0.005	0.787	0.010	0.895
东部地区* Ln(人均GDP)	-0.050	0.002	-0.021	0.808
西部地区* Ln(人均GDP)	-0.007	0.677	0.011	0.902
Ln(城市人口)	0.013	0.344	0.025	0.570
第二产业从业人员占比	0.001	0.222	-0.003	0.346
第三产业从业人员占比	-0.003	0.001	-0.005	0.133
Ln(使用外资金额)	-0.003	0.550	0.003	0.881
Ln(房地产投资开发额)	0.018	0.036	0.020	0.524
Ln(公共汽车运营量)	-0.025	0.006	-0.019	0.554
Ln(行政区域土地面积)	0.021	0.011	0.004	0.900
Ln(实有道路面积)	0.008	0.439	-0.021	0.579
建成区面积比例	-0.001	0.031	-0.002	0.267

注: 参考结果依据Liu等^[17]使用的固定效应模型, 即OLS进行估计。

演化的相关因素。研究得到以下主要结论:

(1) 在2005—2015年期间, 已有82%的城市存在明确的城市中心。2010年前后中国城市的多中心结构已基本形成, 尽管各城市间的多中心程度仍存在较大的差异。

(2) 中国城市多中心性的演化模式可以被归纳为五类, 分别是“无明确中心”“无中心向单中心转变”“多中心性稳定增长”“无中心向均衡多中心转变”“多中心逐年下降”。在这一时期, 多中心性稳定增加成为主流的演化模式。然而, 一些经济发达城市内展现出多中心相互融合的趋势。这些城市多中心性发展增速变缓并趋于饱和, 甚至出现了逆增长。

(3) 相比于中、西部地区, 位于东部地区的城市的多中心值较高; 但是当地区因素与人均GDP交互时, 该作用为负; 第三产业从业人员占比升高会引起城市多中心值下降; 增加房地产投资开发额则会促进城市多中心发展; 城市公共汽车运营量会抑制城市的多中心发展; 城市行政区域面积与建成区面积比例对城市多中心的发展影响相反。结合上述发现, 本文指出, 中国城市多中心性的发展存在明显的时间异质性。此外, 与经典城市结构理论研究相契合, 中国的城市空间结构演化也呈现出扩散-聚合的趋势, 即, 伴随着时间的推移、城市的发展以及城市各中心的壮大, 最终城市中心倾向于相互融合, 城市回归为受单中心支配的空间形态。

(4) 最后, 在方法论层面上, 对于时间异质性的考虑将有效地促进城市多中心性演化相关因素的估计准确性与解释能力, 这为未来研究的理论框架构建及实验设计提供了一定的参考价值。

本文也存在如下局限:第一,对于多中心的刻画只关注了城市各中心形态上的相对大小,由于数据的可获得性,没有引入各中心间的功能联系。第二,本文只选取了城市人口作为城市中心的识别条件,未来的研究中可以运用夜间灯光、土地利用等多维度城市要素来识别城市中心。第三,混合效应模型只能揭示因子之间的相关性不能反映因果关系,后续的研究可以考虑引入双重差分模型等因果推断模型进行驱动因素的探究。

相比于现有研究,围绕时间异质性这一主题,本文在城市多中心性的研究中展现了一定创新性。第一,本文测度并评价了全国城市内部多中心性2005—2015年间的变化分异及整体变化趋势。第二,通过对演化模式进行系统的归纳,有助于推动对于城市多中心性发展规律的深入理解。最后,在方法论层面贡献上,本文指出,对于时间异质性的考虑可以显著提升城市多中心性相关因素识别的鲁棒性与解释的明确性。

致谢:感谢评审专家对本文的理论框架构建和作用机理阐释提出了有建设性的修改意见。感谢陈奕云副教授对研究的文字表述提出的客观、准确的建议。

参考文献(References)

- [1] Fujita M, Ogawa H. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional science urban economics*, 1982, 12(2): 161-196.
- [2] Greene D L. Recent trends in urban spatial structure. *Growth Change*, 1980, 11(1): 29-40.
- [3] 刘耀林, 陈龙, 安子豪, 等. 基于公交刷卡数据的武汉市职住通勤特征研究. *经济地理*, 2019, 39(2): 93-102. [Liu Yaolin, Chen Long, An Zihao, et al. Research on job-housing and commuting in Wuhan based on bus smart card data. *Economic Geography*, 2019, 39(2): 93-102.]
- [4] Dökmeci V, Berköz L. Transformation of Istanbul from a monocentric to a polycentric city. *European Planning Studies*, 1994, 2(2): 193-205.
- [5] Huang D, Liu Z, Zhao X. Monocentric or polycentric? The urban spatial structure of employment in Beijing. *Sustainability-Base*, 2015, 7(9): 11632-11656.
- [6] 孙斌栋, 涂婷, 石巍, 等. 特大城市多中心空间结构的交通绩效检验: 上海案例研究. *城市规划学刊*, 2013, (2): 63-69. [Sun Bindong, Tu Ting, Shi Wei, et al. Test on the performance of polycentric spatial structure as a measure of congestion reduction in megacities: The case study of Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2013, (2): 63-69.]
- [7] Hilber Christian AL, Palmer C. Urban development and air pollution: Evidence from a global panel of cities. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper series. https://www.onacademic.com/detail/journal_1000041682033199_b6c4.html, 2019-05-04.
- [8] Malý J. Polycentric Urban Systems and Territorial Cohesion. *Territorial Cohesion*: Springer, 2019: 69-89.
- [9] Liu X, Derudder B, Wu K. Measuring polycentric urban development in China: An intercity transportation network perspective. *Regional Studies*, 2015, 50(8): 1302-1315.
- [10] Green N. Functional polycentricity: A formal definition in terms of social network analysis. *Urban Studies*, 2007, 44(11): 2077-2103.
- [11] De Goei B, Burger M J, Van Oort F G, et al. Functional polycentrism and urban network development in the Greater South East, United Kingdom: Evidence from commuting patterns, 1981-2001. *Regional Studies*, 2010, 44(9): 1149-1170.
- [12] Veneri P, Burgalassi D. Questioning polycentric development and its effects. Issues of definition and measurement for the Italian NUTS-2 regions. *European Planning Studies*, 2012, 20(6): 1017-1037.
- [13] 唐子来, 李涛, 李黎. 中国主要城市关联网研究. *城市规划*, 2017, 41(1): 28-39. [Tang Zilai, Li Tao, Li Can. Research on the interlocking network of major cities in China. *Planning Studies*, 2017, 41(1): 28-39.]
- [14] Liu X, Derudder B, Wang M. Polycentric urban development in China: A multi-scale analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2018, 45(5): 953-972.
- [15] Friedmann J, Wolff G. World city formation: An agenda for research and action. *International Journal of Urban Regional Research*, 2010, 6(3): 309-344.
- [16] Meijers E. Polycentric urban regions and the quest for synergy: Is a network of cities more than the sum of the parts?. *Urban Studies*, 2005, 42(4): 765-781.

- [17] Liu X, Wang M. How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 151: 10-20.
- [18] Vasanen A. Spatial integration and functional balance in polycentric urban systems: A multi-scalar approach. *Tijdschrift Voor Economische en Sociale Geografie*, 2013, 104(4): 410-425.
- [19] Sweet M N, Bullivant B, Kanaroglou P S. Are major Canadian city-regions monocentric, polycentric, or dispersed?. *Urban Geography*, 2017, 38(3): 445-471.
- [20] Dietzel C, Herold M, Hemphill J J, et al. Spatio-temporal dynamics in California's Central Valley: Empirical links to urban theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(2): 175-195.
- [21] Florida R, Mellander C, Gulden T. Global metropolis: Assessing economic activity in urban centers based on nighttime satellite images. *The Professional Geographer*, 2012, 64(2): 178-187.
- [22] Xie Z, Ye X, Zheng Z, et al. Modeling polycentric urbanization using multisource big geospatial data. *Remote Sens-Basel*, 2019, 11(3): 310.
- [23] Zheng Q, Wang K. Analysis of the spatio-temporal dynamic of polycentric city using night-time light remote sensing imagery. *IGARSS 2018- 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, IEEE, 2018: 8205-8208.*
- [24] Liu Z, Liu S. Polycentric development and the role of urban polycentric planning in China's mega cities: An examination of Beijing's metropolitan area. *Sustainability-Basel*, 2018, 10(5): 1588.
- [25] Gordon P, Richardson H W, Wong H L. The distribution of population and employment in a polycentric city: The case of Los Angeles. *Environment Planning A*, 1986, 18(2): 161-173.
- [26] Moghadam A S, Soltani A, Parolin B et al. Analysing the space-time dynamics of urban structure change using employment density and distribution data. *Cities*, 2018, 81: 203-213.
- [27] Yue W, Liu Y, Fan P. Polycentric urban development: The case of Hangzhou. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2010, 42(3): 563-577.
- [28] Wu F. Polycentric urban development and land-use change in a transitional economy: The case of Guangzhou. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 1998, 30(6): 1077-1100.
- [29] 何建华, 高雅, 李纯. 武汉市多中心发展格局演变研究. *国土与自然资源研究*, 2017, (6): 4-10. [He Jianhua, Gao Ya, Li Chun. Research on the evolution of polycentric pattern in Wuhan, 1995-2010. *Territory & Natural Resources Study*, 2017, (6): 4-10.]
- [30] Schneider A, Woodcock C E. Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. *Urban Studies*, 2008, 45(3): 659-692.
- [31] 孙斌栋, 华杰媛, 李琬, 等. 中国城市群空间结构的演化与影响因素: 基于人口分布的形态单中心-多中心视角. *地理科学进展*, 2017, 36(10): 1294-1303. [Sun Bindong, Hua Jieyuan, Li Wan, et al. Spatial structure change and influencing factors of city clusters in China: From monocentric to polycentric based on population distribution. *Progress in Geography*, 2017, 36(10): 1294-1303.]
- [32] Lan F, Da H, Wen H, et al. Spatial structure evolution of urban agglomerations and its driving factors in mainland China: From the monocentric to the polycentric dimension. *Sustainability-Base*, 2019, 11(3): 610.
- [33] 钱竹梅. 房地产开发对城市发展影响的初步研究. *地理研究*, 1995, 14(2): 107-107. [Qian Z. The initial research of the urban development influenced by the exploitation of real estate. *Geographical Research*. 1995, 14(2): 107-107.]
- [34] Zhao M, Derudder B, Huang J. Polycentric development in China's mega-city regions, 2001-08: A comparison of the Yangtze and Pearl river deltas. *Journal of the Geographical Society of Berlin*, 2017, 148(1): 1-13.
- [35] Xie X, Hou W, Herold H. Ex post impact assessment of master plans: The case of Shenzhen in shaping a polycentric urban structure. *International Journal of Geo-Information*, 2018, 7(7): 252.
- [36] Sun B, Zhou H, Zhang T, et al. Urban spatial structure and commute duration: An empirical study of China. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2016, 10(7): 638-644.
- [37] Wan L, Sun B, Zhao J, et al. Economic performance of spatial structure in Chinese prefecture regions: Evidence from night-time satellite imagery. *Habitat International*, 2018, 76: 29-39.
- [38] Huang D, Liu Z, Zhao X, et al. Emerging polycentric megacity in China: An examination of employment subcenters and their influence on population distribution in Beijing. *Cities*, 2017, 69: 36-45.
- [39] Wen H, Tao Y. Polycentric urban structure and housing price in the transitional China: Evidence from Hangzhou. *Habitat International*, 2015, 46: 138-146.
- [40] Yang J, Song G, Lin J. Measuring spatial structure of China's megaregions. *Journal of Urban Planning Development*, 2014, 141(2): 04014021.
- [41] Hausman J, Taylor W. Panel data and unobservable individual effects. *Econometrica*, 1981, 49(6): 1377-1398.

- [42] Xie B, Jiao J, An Z, et al. Deciphering the stroke-built environment nexus in transitional cities: Conceptual framework, empirical evidence, and implications for proactive planning intervention. *Cities*, 2019, 94: 116-128.
- [43] Chen Z, Yu B, Song W, et al. A new approach for detecting urban centers and their spatial structure with nighttime light remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 2017, 55(11): 6305-6319.
- [44] 张亮, 岳文泽, 刘勇. 多中心城市空间结构的多维识别研究: 以杭州为例. *经济地理*, 2017, 37(6): 67-75. [Zhang Liang, Yue Wenzhe, Liu Yong. Multidimensional analysis of the polycentric urban spatial structure: A case of Hangzhou. *Economic Geography*, 2017, 37(6): 67-75.]
- [45] Leslie T F. Identification and differentiation of urban centers in Phoenix through a multi-criteria kernel-density approach. *International Regional Science Review*, 2010, 33(2): 205-235.
- [46] Yang Y. Social inequalities in happiness in the united states, 1972 to 2004: An age-period-cohort analysis. *American Sociological Review*, 2008, 73(2): 204-226.
- [47] Fu Q. The persistence of power despite the changing meaning of homeownership: An age-period-cohort analysis of urban housing tenure in China, 1989-2011. *Urban Studies*, 2016, 53(6): 1225-1243.
- [48] Dietzel C, Oguz H, Hemphill J J, et al. Diffusion and coalescence of the houston metropolitan area: Evidence supporting a new urban theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2005, 32(2): 231-246.
- [49] Feng Y, Wu S, Wu P, et al. Spatiotemporal characterization of megaregional poly-centrality: Evidence for new urban hypotheses and implications for polycentric policies. *Land Use Policy*, 2018, 77: 712-731.

Exploring the evolution of morphological polycentricity in urban China from the perspective of temporal heterogeneity

MA Xiuxin¹, LIU Yaolin^{1,2,3}, LIU Yanfang^{1,2,3}, JIANG Ping¹, AN Zihao⁴, ZHANG Xianghui¹

(1. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

3. Collaborative Innovation Center for Geospatial Information Technology, Wuhan 430079, China;

4. Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, United Kingdom)

Abstract: The existing research on the temporal heterogeneity across the urban-internal polycentric developments remains insufficient. To fill this research gap, we employed the relative minimum threshold approach to measure the intra-city morphological polycentricity in Chinese prefecture-level cities, 2005-2015, using the 1-km-grid population dataset. The hierarchical-cluster analysis was then adopted to induce the patterns of temporal variations in polycentricity. Finally, the mixed effect model is used to capture the temporal heterogeneity and explore the correlation factors of intra-city polycentricity during the focal period. The results showed that: (1) the multicenter structure of Chinese cities has been basically formed around 2010; (2) five evolution patterns were identified; (3) the urban-internal morphological polycentricity presented significant correlations with the geographic features, demographic characteristics, economic performance, infrastructures, and city size; (4) consistent with the classic urban structure theory, the evolution in urban China exhibited significant temporal variations and conformed to the diffusion-coalescence development pattern. The research findings and corresponding methodologies of the current research can help to advance the understanding of patterns of urban polycentric developments in urban China.

Keywords: urban polycentricity; temporal heterogeneity; pattern Induction; determinants; mixed effect model