

# 环长株潭城市群城际空间联系演化分析

熊鹰<sup>1, 2</sup> 李亮<sup>2</sup> 孙维筠<sup>2</sup> 王卯蓉<sup>3</sup> 尹建军<sup>11</sup>

(1. 黄冈师范学院 地理与旅游学院, 中国湖北 黄冈 438000;

2. 长沙理工大学 资源环境与城乡规划研究中心, 中国湖南 长沙 410076;

3. 长沙理工大学 经济与管理学院, 中国湖南 长沙 410114)

**【摘要】:** 探究城市群空间联系格局演变不仅有助于揭示城市空间发展特征, 也可为城市群空间结构优化、区域经济社会协同发展提供科学依据。文章以环长株潭城市群为例, 基于时序全局主成分分析法评估城市发展质量, 采用修正距离要素的引力和潜力模型量化城市群的发展状况以及空间联系作用, 综合运用 ArcGIS 的反距离插值法和重心转移曲线分析 2005—2019 年环长株潭城市群的 8 个城市空间联系的时空分异及演化趋势。结果表明: ① 2005—2019 年环长株潭城市群城市联系作用总体呈稳定增长态势, 存在“中部高、西部低”的强度差异; ② 2005—2019 年环长株潭潜力重心总体上的移动方向为由西北向东南移动, 但潜力重心偏移角度小, 且相对接近几何中心, 表明城市之间的空间相互作用保持均衡稳定性发展; ③ 环长株潭城市群总体已形成长沙—株洲—湘潭三角结构的强联系区域, 与外围城市的空间联系偏弱。应统筹优化区域发展格局, 形成较完备的城市群体体系, 进一步优化资源配置, 加快城市群综合交通基础设施网络建设, 创新一体化合作机制, 加快城市全面提质发展, 提升城市群整体实力。

**【关键词】:** 城市发展质量 修正引力模型 城际联系强度 城市潜力模型 强省会战略 区域一体化 环长株潭城市群

**【中图分类号】:** F291.1 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2022) 07-0073 - 09

城市群是国家新型城镇化的主体区、国家高质量发展的战略核心区与碳中和的责任区<sup>[1]</sup>, 城市群空间内的各个城市通过相互作用让城市与附近范围地区联系紧密, 使得城市具有了调控、服务周围地理区域的能力<sup>[2]</sup>。城市群经济空间联系的强弱直接影响着整个城市群的发展水平和竞争力, 并通过交通、运输和信息网络, 城市群对区域的自然、经济、人口、社会、服务等产生错综复杂的影响作用<sup>[3]</sup>。城市的吸引和辐射能力使得城市能够成为所在城镇体系的发展极核或重要节点, 对城市群物质、信息、人才和资金等资源流动和配置、产业迁移和升级、生态环境可持续发展等过程起重要作用, 进而带动或抑制城市发展, 导致城市群内部发展出现差异, 最终对城市群协同发展和空间组织产生显著影响。随着城市群一体化的推进, 能够有效地改善城市之间出现的问题, 从而更好地发挥每个城市的特色与优势。

城市群空间联系研究起始于欧美地区, 1950 年代美国学者 E. L. Ullman 最先在城市联系研究中提出空间相互作用理论, 后来被学者广泛运用<sup>[4]</sup>。对城市群空间联系的研究始于对空间联系理论的定性分析, 然后逐渐对其定量化开展研究。学者们通过对

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (U21A2010); 长沙理工大学土木工程重点学科创新性项目 (17ZDXK02)

**作者简介:** 熊鹰 (1977—), 男, 湖南汉寿人, 博士, 教授, 研究方向为城市群与城镇化生态环境效应。E-mail: csustxy@126.com

“零售引力法则”“引力模型”“城市流模型”和“OD 矩阵”等定量模型的研究，为探究城市群之间的联系奠定了理论基础。近年来，国内开展城市空间相互作用的研究逐渐增多，取得丰硕成果。立足城市化现状，对研究对象进行了拓展：主要从城市群联系量测度<sup>[5-10]</sup>、空间结构优化<sup>[11-15]</sup>、产业发展<sup>[16, 17]</sup>、内部经济区划分<sup>[18-20]</sup>等开展深入分析；对研究方法展开优化：除传统定性分析外，主要采用引力模型、场强模型等数学模拟法<sup>[21]</sup>，结合 GIS 的 IDW、Kriging 插值等空间分析方法<sup>[22]</sup>、结构方程<sup>[23]</sup>等方法对长三角<sup>[24]</sup>、珠三角<sup>[25-27]</sup>、京津冀<sup>[28]</sup>等城市群空间联系作用进行探讨。但总的来看，其研究视角、方法等均有待进一步加强。城市之间的空间联系应从多维角度运用多学科的综合知识进行分析，从经济、交通、信息等某一个角度向综合视角多元分析转变，避免研究趋于片面与分散。通过对城市经济、社会空间结构发展演变的研究，识别出城市群空间结构，揭示城市群的演变特征与趋势，合理确定城市群未来的发展方向，指导城市群空间布局以及空间结构优化，这对于推动城市群的高质量发展具有重要意义。

环长株潭城市群是长江中游城市群重要组成部分，也是长江经济带沿线极具发展潜力和影响力的区域之一。我国“国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要”提出，加快长株潭都市圈建设，打造全国重要增长极。通过梳理文献发现，以环长株潭城市群为对象，探讨空间联系层级的研究偏少，因此研究环长株潭城市群联系作用格局，分析其时空演化特征，对促进环长株潭城市群乃至整个长江中游城市群协同发展，优化空间结构，具有重要的理论与现实意义。在考虑环长株潭城市群发展特点的基础上，本文构建符合空间相互作用内涵的评价指标，采用时序主成分分析法评价城市发展质量水平，通过修正时间距离等参数，利用引力和潜力模型计算城市联系强度，引入基于重心转移曲线的时空演化模型和 GIS 反距离权重插值法，对 2005—2019 年环长株潭城市群城市联系强度时空演变规律和特征进行定性解析和定量分析，研究结果可为环长株潭城市群区域协同发展和区域经济社会可持续发展提供调控与指引的科学参考。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区概况

环长株潭城市群位于长江经济带中部，东西邻接长三角城市群和成渝城市群，是长江中游城市群的重要组成部分。环长株潭城市群范围为湖南省长沙、株洲、湘潭、岳阳、常德、益阳、娄底、衡阳 8 个地级市，土地面积 9.96 万 km<sup>2</sup>，约占全省面积的 47%；2019 年末，常住人口 4168.77 万人，占全省的 60.3%，GDP 约 3.1 万亿元，占全省的 78%，城镇化率达 60.3%。环长株潭城市群区位如图 1 所示。从其发展历程看，1984 年湖南省正式提出建设长株潭经济区方案，1997 年湖南省实施长株潭经济一体化发展战略，2007 年长株潭城市群获批国家资源节约型和环境友好型改革试验区，2014 年获批国家自主创新示范区，2020 年湖南省印发了《长株潭区域一体化发展规划刚要》，2021 年湖南省委省政府印发《关于实施强省会战略支持长沙市高质量发展的若干意见》，长株潭已成为湖南现代化建设和全方位开放的战略支撑。环长株潭城市群源于湖南省第九次党代会上提出的“3+5”城市群，2011 年出台的《湖南国民经济和社会发展“十二五”规划纲要》正式提出环长株潭城市群的概念，并要求加快推进形成以环长株潭城市群为主体形态、市州中心城市为骨干、县城和中心镇为节点的新型城镇体系。作为中部地区城市密集区域之一，近年来环长株潭城市群经济社会不断发展，城市间的联系日益密切，是湖南省经济社会发展和城市化的核心地区。从现实层面看，环长株潭城市群区域联动、协同发展不仅影响自身实力，更会对全省乃至中部地区的发展产生重要影响；从理论层面看，系统研究环长株潭城市群内城际联系特征及演化特征可为中西部城市群的研究提供新样本。

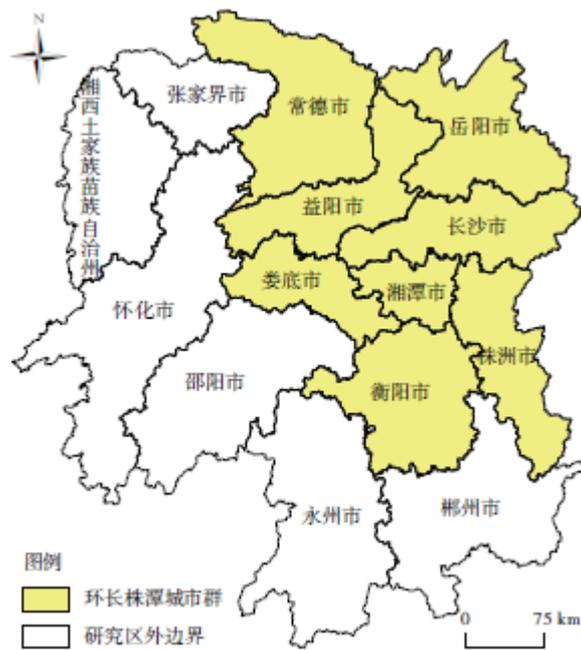


图1 环长株潭城市群区位图

## 1.2 数据来源

考虑到相邻年份之间城市群内城际空间联系结构的变化幅度有限，选取2005、2007、2009、2011、2013、2015、2017、2019年共计8个年份数据进行分析研究。数据分为空间和统计数据两方面，统计数据获取于相应年份的《湖南统计年鉴》《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴以及政府公报。个别数据存在缺失、异常问题，利用线性插值补充。空间数据包括环长株潭城市群的行政范围及历年公路、铁路数据，其中城市群空间范围源于1:400万国家基础地理信息矢量数据，公路数据从历年《中国高速公路及城乡公路网地图集》数字化得到，并根据湖南通行状况将环长株潭城市群区域高速各级公路的通过时速确定为高速公路100km/h、国道80km/h、省道60km/h、县道30km/h，得到城市间公路空间距离的数据；铁路空间距离数据来源于中国铁路总公司（原铁道部）列车运行时刻表，通过路路通历年数据库查询获取。

## 2 研究方法

### 2.1 城市发展质量评价

城市发展质量评价受到不同要素的综合影响，从城市自身具备的功能条件出发，构建评价指标体系，主要分为外向影响力、内向吸引力、协同联系力三个一级类指标，具体包括经济实力、社会发展、产业结构、人口规模、城镇化水平等10个二级类指标。对于具体评价指标，本文选取GDP、全社会固定资产投资额、地方财政支出、城镇居民人均可支配收入、社会消费品零售总额等23个指标构建城市发展质量评价指标体系。同时，采用熵权法方法确定权重，利用全局时序主成分分析法计算城市发展质量综合评价价值。

### 2.2 引力模型及其修正

引力模型源于物理学的万有引力定律，随着城市化不断推进，交通不断发展，城市距离的确定方式逐渐变化。综合参考相关

研究成果<sup>[3, 7]</sup>, 本文引入“时间距离”修正引力模型, 量化测度环长株潭城市群内城际联系强度, 其计算表达式为<sup>[29]</sup>:

$$F_{ij} = \frac{(W_i \times P_i) \times (W_j \times P_j)}{D_{ij}^b}, (i \neq j) \quad (1)$$

式中:  $F_{ij}$ 为两城市的联系强度;  $P_i$ 、 $P_j$ 分别为*i*、*j*城市发展质量评价值;  $W_i$ 、 $W_j$ 为经验权重;  $D_{ij}$ 为*i*、*j*城市距离;  $b$ 为距离摩擦系数。通常使用引力模型测度城际联系作用, 常以GDP或常住人口等单一值表征城市质量<sup>[12, 21, 30]</sup>, 对城市间距离的表达也较为直接<sup>[31]</sup>。随着城市化的不断深入, 城市群发展程度不断提升, 影响城市发展的内外部因素不断复杂化, 政策、环境、人力、交通可达性等因素对城市辐射与吸引、城市群可持续发展的作用愈发显著, 因此不少学者<sup>[2-3, 7-9]</sup>将多指标体系引入城市发展水平量化测度中, 并为了使距离要素更符合现实, 利用空间路网数据获取城市间交通距离来修正引力模型<sup>[2-3, 7, 8]</sup>。其中城市群“空间距离” $D_{ij}$ 计算公式为:

$$D_{ij} = \alpha \times R + \beta \times G \quad (2)$$

式中:  $D_{ij}$ 代表城市*i*、*j*的“空间距离”;  $R$ 、 $G$ 分别表示两城市间通过铁路、公路流动所用时间;  $\alpha$ 和 $\beta$ 分别代表铁路运输和公路运输的运送量所占的权重(环长株潭城市群部分拥有机场的城市, 主要用于与区外远距离地区的交流, 因此模型中航空运输不计),  $\alpha + \beta = 1$ 。

综上, 以往很多城市空间关联研究为了使引力模型能准确量化联系强度, 针对模型中质量或距离因素的一两个参数进行了修正<sup>[3, 7-13]</sup>, 在指标选择和距离测度上存在片面性、不准确: ①城市发展水平也就是城市质量的定量测度往往侧重于经济社会层面, 并未基于空间相互作用明确指标; ②随着城市交通网络的完善、交通技术的更新变化, 城市间货物和人员流通变得复杂高效, 距离摩擦系数 $b$ 的取值不应简单固定为常数, 此外交通时间成本成为影响城市要素流通的重要因素, 城市节点的地理距离或交通距离难以反映城市辐射吸引作用的实际衰减特征。

为了应对以上问题, 本研究提出以下修正途径:

①基于城际空间相互作用内涵, 从发展要素层面有针对性地选取能体现城市质量变化的指标。②基于铁路、道路网络数据, 量化城市间要素流动的时间成本, 即以“时间距离”表达城市距离。③ $b$ 的取值取决于交通运输线网、信息网络状况以及区域交通方式组成比例等因素, 通过参考相关研究成果<sup>[7-8, 32]</sup>, 针对不同空间关系灵活确定 $b$ : 当两地地理相邻且高速/高铁直连直达时,  $b$ 取2.25, 无直连直达时 $b$ 取2.5; 当两地地理不相邻且无高速/高铁直连直达时,  $b$ 取2.75, 无直连直达时 $b$ 取3。

### 2.3 城市潜力模型

为了反映单个城市在城市群体系内的发展层次和地位, 本文引入基于引力模型发展得到的城市潜力模型。根据引力模型, 可以计算出城市间预期的相互作用量, 分别计算某城市与其他城市的相互作用强度之和, 加上该城市自身影响强度, 即为潜力模型的公式, 表征该城市在城市群内的影响潜力, 是一种分析空间相互作用的代表性指标<sup>[33]</sup>。表达式为:

$$F_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{P_i P_j}{D_{ij}^b} + \frac{P_i P_i}{D_{ii}^b}, (i \neq j) \quad (3)$$

式中：符号与引力模型中的符号意义相同，其中  $P_i$ 、 $P_j$  分别为  $i$ 、 $j$  城市质量评价值； $D_{ij}$  为  $i$ 、 $j$  城市距离； $b$  为距离摩擦

系数； $\sum_{j=1}^n F_{ij}$  为  $i$  城市的潜力值  $F_i$ ； $D_{ii}$  为  $i$  城市对辖区内部的影响半径，本文采用  $i$  城市行政区划面积的平均半径。

## 2.4 城市联系作用空间分析

### 2.4.1 反距离权重插值法

为了分析城市群空间联系格局特征及演化规律，本文引入 ArcGIS 空间分析中的反距离权重法 (Inverse Distance Weight) 对各城市空间关联程度进行插值分析，依据城市潜力值要素绘制多个时间节点的复杂层级连续空间强度势力图，并定性对比联系作用异质性特征。

### 2.4.2 空间重心转移曲线分析

反距离权重插值分析城市联系作用格局时存在一定的主观判断，本文引入基于重心转移曲线的时空演化分析模型 (Centroid Transferring Curve Based Spatio-temporal Pattern Expression)<sup>[34]</sup>。该模型通过加入时间演变视角改进传统重心模型，以加权重心偏移量、偏移方向以及与几何重心的对比为目标，利用 ArcGIS 平台的空间数据编辑和处理功能，实现某属性的多时期空间重心偏移曲线的直观显示和定量数据分析。在此需明确几何重心和加权重心的意义和计算方法。几何重心是指地理属性在某空间内平均分布时的理论中心，常被作为对比参考点；加权重心又称属性重心，是以某地理属性值为权重，利用重心公式计算出的附属性特征的空间坐标点。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

式中： $n$  为多边形边界点数； $x_i$ 、 $y_i$  为区域边多边形第  $i$  个边界点的横、纵坐标； $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  则为重心的横、纵坐标。

重心转移量：是指加权重心转移有向线段的长度，用  $\|\Gamma_i\|$  表示。公式为：

$$\|\Gamma_i\| = \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2 + (x_{i+1} - x_i)^2} \quad (5)$$

式中： $(x_i, y_i)$ 、 $(x_{i+1}, y_{i+1})$  分别为第  $i$  和  $i+1$  年的区域加权重心坐标。

重心转移方向：从第  $i$  到  $i+1$  年的加权重心转移方向，公式为：

$$\theta_i = n \frac{\pi}{2} + \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) \quad (6)$$

式中： $\theta_i$  表示向量  $\Gamma_i$  的指向； $n=0, 1, 2, \dots$ 。

### 3 环长株潭城市群城际联系的演变分析

#### 3.1 城际联系强度测算

基于空间相互作用理论内涵，在前人研究基础上合理设置引力模型中各参数，并由此测算环长株潭城市群内城际引力值。

##### 3.1.1 各城市发展质量评价

基于构建的城市发展质量评价指标体系及其权重，使用统计分析软件 SPSS19.0 对所选指标的原始数据进行无量纲化处理，采用全局时序主成分分析法计算得城市发展质量综合评价价值。依据各城市历年评价得分绘制环长株潭城市群发展质量综合得分表。

从计算结果可知，长沙排名一直处于第一位，株洲、衡阳、常德、岳阳、湘潭位于前五位，而益阳和娄底排名较后，排名第一的长沙市其城市发展质量综合得分远大于其他 7 个城市。同时，也可以看出，城市群内部 8 个城市之间存在发展不平衡的现象。总体而言，长沙发展水平明显领先于城市群内其他 7 个城市。

##### 3.1.2 城际空间距离测算

本研究将“时间距离”作为环长株潭城市群间的“空间距离”，即两地之间的距离，选取按日常主要的交通方式所花费的时间成本。对 2019 年环长株潭城市群城际空间距离进行测算。

##### 3.1.3 城际联系强度计算

利用修正后引力模型计算得到环长株潭城市群 2005—2019 年城际联系强度。

从各城市的联系强度总值来看，环长株潭城市群空间的联系强度存在较明显的分布规律，即以长沙为中心，向外依次降低。株洲引力总值仅次于长沙，为 102.8316，排名第 2，湘潭排名第 3，主要原因在于距离长沙较近，且具有良好的交通通达性。衡阳、岳阳与长沙联系较强，其引力总值排名第 4、5 位。常德、益阳和娄底因受其城市本身综合实力以及距各城市距离的影响，与城市群内其他城市的引力值普遍较小，因此其引力总值排名处于靠后位置。

从环长株潭城市群主要城市对城市群中其他城市引力值可以看出，长沙、株洲、湘潭通过其便捷的交通网络、强大的经济实力以及独特的影响力，对周边城市的引力值稳定居于各城市的前三位。其余 5 个城市衡阳、岳阳、益阳、常德、娄底与长株潭之间的联系相对较弱，所以城市的辐射带动作用受到一定限制。衡阳是长株潭向湘南辐射、联系珠三角的中心城市，城市本身具有一定的综合实力，同核心城市的联系相对紧密，故与城市之间的引力较高。岳阳是对接武汉城市圈、联系长三角的前沿与中心城市，毗邻核心城市，与核心城市联系较强，虽然与城市群中其他城市之间的联系相对较弱，但引力总值仍排名前列。益阳、常德和娄底是长株潭向湘西北、湘西南辐射的节点与中心城市，由于距核心城市地理位置相对较远，导致其与核心城市之间的联系相对松散，处于核心城市的边缘辐射区，排名相对靠后。

#### 3.2 环长株潭城市群城市空间相互作用强度的时空演变

##### 3.2.1 潜力强度测算及其时间演变

基于引力模型计算结果，利用式（2）计算得到环长株潭城市群城市潜力强度。根据结果可以看出：①环长株潭城市群潜力发展格局是以长沙、株洲、湘潭为核心的“品”字形轴线式发展。近13年来长沙、株洲、湘潭潜力值始终高于其他城市，稳居前3名，且均呈逐步增长趋势。特别是长沙市的成长趋势非常显著且远超其他城市，这说明长沙作为环长株潭城市群的中心城市，辐射范围广，带动周边城市发展的能力强，在整个城市圈内处于核心地位。

株洲、湘潭的潜力值也呈现出逐渐增长的趋势，说明这两个城市相对于其他城市具有明显的集聚优势，在环长株潭城市群中起到越来越大的作用，未来发展潜力大。②潜力值次之的是衡阳、岳阳和益阳，三市因与长沙地理位置紧邻，与长沙空间距离相对较小，受到较大的经济辐射影响。值得注意的是，益阳作为环长株潭城市群外围城市，依托紧邻长沙的优越地理区位而受到环长株潭核心城市的辐射，近年来排名有上升的趋势。③常德、娄底两市在环长株潭城市群发展中与其他城市联系较弱，究其原因主要是其地理位置距离其他城市较远或自身发展水平不高，受核心城市的经济辐射影响有限，影响了其集聚和辐射作用的发挥。

### 3.2.2 潜力强度空间扩展演变

利用 ArcGIS 平台中的反距离空间插值法绘制 2005—2019 年共计 8 个年份的环长株潭城市群潜力强度分异图（图 2）。由图 2 可将环长株潭城市群空间联系作用演化分为 3 个时期：①缓慢发展期（2005—2007 年），核心城市长沙影响范围有限，整体联系力拓展较慢。2005 年环长株潭城市群联系作用较弱，仅长沙与邻近株洲、湘潭、岳阳存在 2 个单位联系力；2007 年，长沙市辐射范围逐渐向南北方向延伸且强度增大，涉及岳阳和娄底等地。②快速扩张时期（2008—2013 年），核心城市影响范围增大显著，强度提升明显，整体联系力拓展迅速。环长株潭城市群“3+5”结构确立之后，城市群腹地范围大幅扩张，城市间沟通联系进一步加深；长沙作为城市群的核心城市，吸纳人才、资金能力强，发展尤为迅速，到本期末对外联系强度达到 9 个单位以上；2008—2011 年，长沙影响范围基本涉及到城市群内所有城市，2013 年基本全覆盖。③稳定发展时期（2014—2019 年），联系格局基本稳定，强度稳步增强。2013 年后核心城市长沙影响范围进一步增长，强度平稳提升。在这一阶段中，长沙与株洲等之间的空间联系进一步增强，成为城市群内新的二级辐射中心，从而进一步加强城市间的空间联系。

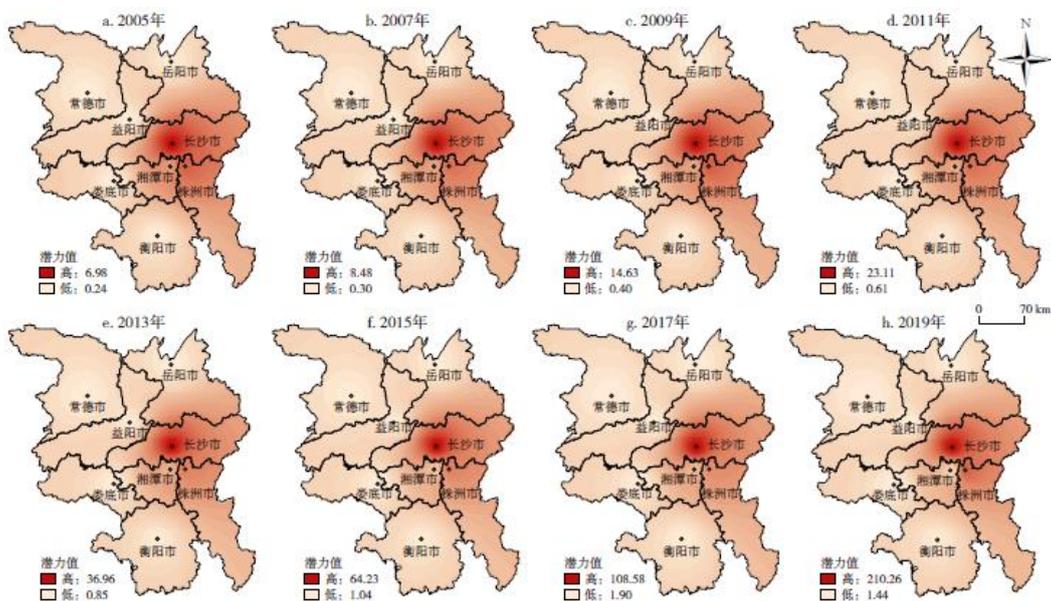


图 2 2005—2019 年环长株潭城市群潜力强度空间分异

综上所述：①环长株潭城市群潜力强度格局总体呈现为“一主二次”的特征，围绕主核长沙与次核株洲、湘潭形成了层级结构；强度递减存在由东南向西北增加的方向差异，原因是城市群西部常德、娄底与主区联系较弱。②与核心城市的区位关系和城

市交通条件是影响联系强度格局的主要因素。株洲、湘潭与长沙相邻，三市联系紧密，近几年随着高速铁路、城际铁路快速建设，城市间的时间距离迅速缩短，城市间产业发展联动愈发深化，并逐步成为城市群内次一级辐射中心；西部的常德、娄底因处于城市群的边缘，联系强度相对偏低。

### 3.2.3 潜力重心结构布局演变

重心偏移向量表示的是区域几何重心与某一属性重心之间连接的有向线段，重心偏移角度则是表明其偏移方向为地理属性发生热区的方向。重心偏移量与角度主要反映了环长株潭城市群潜力空间结构的均衡差异以及区域城市发展的空间差异。利用式（4）计算得到 2005—2019 年环长株潭城市群潜力的重心偏移距离及角度，结果显示 2005—2019 年期间潜力重心均偏离于几何重心的东南方向，表明城市群潜力空间联系逐年产生变动。其中，2013—2015 年偏移最为剧烈，2019 年之后偏移幅度收窄，表明空间联系强度的不均衡状态总体上得到一定改善，但城市群空间联系的不均衡发展态势仍存在，需引起重视并加强调控。环长株潭城市群历年潜力重心位置及演变如图 3 所示。



图 3 2005—2019 年环长株潭城市群历年潜力重心位置及演变

重心转移距离反映了潜力空间结构均衡的变化幅度，重心转移角度则是指引起潜力空间结构均衡改变的空间板块。重心转移曲线体现了在研究时期内，环长株潭城市群潜力重心的变化过程，并通过对其潜力重心位置的可视化，更加清晰明了地将整个研究区域潜力的演化过程呈现出来。结果表明：①2005—2019 年期间环长株潭城市群潜力重心位于几何中心东南部，体现了长沙市作为湖南省省会的中心城市地位。②潜力重心总体上的移动方向为由西北向东南移动，究其原因，环长株潭城市群西部的娄底等城市由于经济发展水平不高、交通建设相对滞后等原因，发挥辐射和聚集其他城市的空间作用受到限制。③2005—2009 年潜力重心位置向北方向转移，移动距离相对较小，2009—2011 年潜力重心偏移角度为  $4.18^\circ$ ，偏移较小且相对接近几何中心，表明城市之间的空间相互作用保持均衡稳定性发展；2011—2015 年潜力重心位置向东南方向转移，移动距离大幅增加，表明环长株潭城市群内东南部城市与外界城市的联系活动逐渐增多，城市群机制的建立促进了环长株潭城市群内东南部城市与外部邻

近城市的空间联系；2015年以后，潜力重心移动趋势出现变缓迹象，呈现逐步稳定趋势，但是潜力重心依然偏离几何中心，位于几何中心的东南部方向，表现出城市群内城市之间空间联系的不均衡。

## 4 结论与建议

本研究通过构建城市群综合评价指标体系，利用时序主成分分析法确定权重来测度环长株潭城市群各城市发展水平，并基于城市群发展情况和相关研究成果，针对环长株潭城市群修正引力模型的距离和摩擦系数等参数，结合潜力模型计算得到城市群联系作用强度，最后引入基于重心转移曲线的时空演化模型和GIS反距离权重插值分析法，对2005—2019年环长株潭城市群联系强度特征和时空演变规律进行多视角的分析。结论如下：①从演化特征看，2005—2019年环长株潭城市群联系作用强度和范围始终处于增长扩张区间，增速存在“缓—急—缓”的三期变化。其中长沙对外联系力覆盖了整个城市群，是区域内唯一的发展主核；株洲、湘潭得益于邻近核心城市的区位条件和交通成本的急剧压缩，近年来对外辐射力也显著增强，初步成长为区域次核心城市。②从空间结构看，环长株潭城市群整体呈现“中东部高、南部居中、西部较低”的联系作用空间分异特征，城市间联系格局始终以长沙为单极，并向四周扩散为圈层组织，发展中后期出现长沙—株洲双核的对外辐射结构。③从整体联系作用发展态势来看，环长株潭城市群城市发展重心偏离几何重心东侧，所有年份重心均落在长沙市区偏株洲方向，2005—2009年重心向北部转移，2011年后持续向东南偏移，反映出城市群先北向发展、现东南向发展的空间联系规律。此外值得注意的是，近年来重心转移速率明显增大，城市群发展差距以及不平衡问题仍较显著。当然，城市群的形成源于中心城市的集聚和溢出效应，是集聚效应和溢出效应共同作用的产物。由于城市群为一个开放耦合的巨系统，在空间联系的研究中，应更广范围地综合考量内外相互联系和相互作用，即考虑城市群外围城市的联系，从而使城市群空间联系的评价更为全面和精确。

研究表明，环长株潭城市群呈现出明显的中心边缘的空间组织特征，形成了以长沙为主核，株洲、湘潭为次核，向四周衰减的圈层扩散式联系格局，同时区域各城市资源、政策等协同联动的广度、深度均较为有限，城市群各城市的发展存在不均衡性。近年来，环长株潭城市群辐射联系力的增长速度趋于放缓。为强化城市群相互联系，推动城市群协同均衡可持续发展，本研究提出以下建议：①完善环长株潭城市群交通基础设施，构建一体化综合交通网络。在“强省会”战略实施下，加快推进环长株潭现代城市群交通网络建设，升级联通主要城市的高等级国省道，扩展铁路运能，支持并协调构建覆盖城市群的城际铁路网。通过建设高效灵活的公铁通道，打造“1小时”生活圈，为区域产业联动、要素流通提供方便快捷的路径，加快环长株潭同城化发展格局全面形成。②统筹优化城市群的空间布局，强化核心城市的带动作用，发挥每个城市特色优势，形成优势互补、高质量协调发展的城市群格局。打破行政体制障碍，创新合作机制，优化资源配置，形成比较完备的城市群体系，提升城市群整体竞争力，通过核心城市辐射推动作用，加快城市群全面提质发展，促进城市群多核心发展的空间布局。③建立健全共商共建共享协调机制，形成城市群发展合力。由于城市群中每个城市的经济发展水平的不平衡与其功能定位上的差异，形成了各城市在发展上的差距，因此，应构建并充分发挥城市群联席会议机制作用，完善共商共建共创共享的合作协调机制，实现城市群整体质量提升及协调发展。

### 参考文献：

- [1]方创琳,张国友,薛德升.中国城市群高质量发展与科技协同创新共同体建设[J].地理学报,2021,76(12):2898-2908.
- [2]梅志雄,徐颂军,欧阳军.珠三角城市群城市空间吸引范围界定及其变化[J].经济地理,2012,32(12):47-52,60.
- [3]关晓光,刘柳.基于修正引力模型的京津冀城市群空间联系分析[J].城市问题,2014,33(11):21-26.
- [4]Gould P,Haggett P.Location analysis in human geography[J].Geographical Review,1967,68(2):363-67.
- [5]Wilson A G. A statistical theory of spatial distribution models[J].Transportation Research,1967,1(3):253-

---

269.

[6]Simini F,González M,Maritan A,et al. A universal model formobility and migration patterns[J].Nature,2012,484(7392):96-100.

[7]梅志雄,徐颂军,欧阳军,等.近20年珠三角城市群城市空间相互作用时空演变[J].地理科学,2012,32(6):694-701.

[8]关伟,周忻桐.辽中南城市群空间相互作用的时空演变[J].经济地理,2014,34(9):48-55.

[9]邵海琴,王兆峰.长江中游城市群人居环境空间关联网结构及其驱动因素[J].长江流域资源与环境,2022,31(5):983-994.

[10]吴威,唐昭沛,梁双波,等.空间扩容背景下长三角城市群陆路交通联系时空演化[J].人文地理,2022,37(3):163-171,182.

[11]周晓艳,华敏,秦雅雯,等.长江中游城市群空间联系研究[J].长江流域资源与环境,2016,25(10):1492-1500.

[12]万庆,曾菊新.基于空间相互作用视角的城市群产业结构优化——以武汉城市群为例[J].经济地理,2013,33(7):102-108.

[13]殷章馨,夏赞才,唐月亮,等.城市群地区乡村旅游点空间格局演变与优化调控——以长株潭城市群为例[J].经济地理,2021,41(9):214-224.

[14]肖泽平,钟业喜,冯兴华,等.长江中游城市群空间结构演变及效应分析[J].长江流域资源与环,2021,30(11):2607-2617.

[15]任会明,叶明确,余运江.中国三大城市群金融网络空间结构与演化特征[J].经济地理,2021,41(12):63-73.

[16]薛领,杨开忠.基于空间相互作用模型的商业布局——以北京市海淀区为例[J].地理研究,2005,24(2):265-273.

[17]朱媛媛,周笑琦,顾江,等.长江中游城市群“文—旅”产业融合发展的空间效应及驱动机制研究[J].地理科学进展,2022,41(5):785-796.

[18]吴爱芝,李国平,孙铁山,等.北京世界城市区域的空间范围划分研究[J].城市发展研究,2012,19(11):64-69.

[19]钟业喜,陆玉麒.基于空间联系的城市腹地范围划分——以江苏省为例[J].地理科学,2012,32(5):536-543.

[20]赵雪雁,江进德,张丽,等.皖江城市带城市经济联系与中心城市辐射范围分析[J].经济地理,2011,31(2):218-223.

[21]宋小冬,廖雄赳.基于GIS的空间相互作用模型在城镇发展研究中的应用[J].城市规划汇刊,2003,47(3):46-51.

[22]孟德友,陆玉麒,史本林.基于路网的江苏城市空间相互作用测度[J].商丘师范学院学报,2009,25(9):112-118.

[23]薛景丽.基于GIS和SEM的城市空间相互作用测度方法研究[D].北京:中国地质大学,2012.

- 
- [24]陈建军,郑广建,刘月. 高速铁路对长江三角洲空间联系格局演化的影响[J]. 经济地理, 2014, 34(8): 54-60.
- [25]李红锦,李胜会. 基于引力模型的城市群经济空间联系研究——珠三角城市群的实证研究[J]. 华南理工大学学报:社会科学版, 2011, 13(1): 19-24.
- [26]陈伟劲,马学广,蔡莉丽,等. 珠三角城市联系的空间格局特征研究——基于城际客运交通流的分析[J]. 经济地理, 2013, 33(4): 48-55.
- [27]许露元,李红. 城市空间经济联系变化的网络特征及机理——以珠三角及北部湾地区为例[J]. 城市问题, 2015, 34(5): 20-26.
- [28]刘建朝,高素英. 基于城市联系强度与城市流的京津冀城市群空间联系研究[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(2): 57-61.
- [29]孟德友,陆玉麒. 基于引力模型的江苏区域经济联系强度与方向[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 697-704.
- [30]苗长虹,王海江. 河南省城市的经济联系方向与强度——兼论中原城市群的形成与对外联系[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 222-232.
- [31]陈彦光,刘继生. 基于引力模型的城市空间互相关和功率谱分析——引力模型的理论证明、函数推广及应用实例[J]. 地理研究, 2002, 21(6): 742-752.
- [32]张荆荆. 城市间相互作用对城镇用地扩张的影响——以武汉城市圈为例[D]. 武汉:华中农业大学, 2014.
- [33]许学强,周一星,宁越敏. 城市地理学[M]. 北京:高等教育出版社, 1997.
- [34]李光强,曾绍琴,邓敏,等. 重心转移曲线在时空演化模式表达中的应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2013, 38(8): 940-944.