

长江中游城市群空间结构演变历程与特征

朱政¹, 朱翔², 李霜霜¹

(1. 湖南师范大学美术学院环境设计系, 长沙 410081; 2. 湖南师范大学地理科学学院, 长沙 410081)

摘要: 城市群空间结构反映了城市群中城市的等级结构、职能结构和联系形态, 代表了城市群在一定时间范围内的扩张模式与发展特征。本文选取中国首个获批复的国家级城市群——长江中游城市群作为研究对象, 收集其1990—2019年的LULC、Landsat等图像资料以及城镇人口等数据, 通过空间数据库构建、方格网系统建立、城镇扩张程度计算、扩张玫瑰图构建, 从宏观、微观层面研究了长江中游城市群1990—2019年的空间结构演变历程及特征, 并按照历史发展特征及规律, 对2025年、2030年的发展态势进行情景分析。结果表明: ① 1990—2019年长江中游城市群的空间结构经历了“三中心”到“一核双心多组团”, 再到“双核多心多组团”模式的历程。作为“双核”的武汉城市圈、长株潭城市群已发展为巨型核心, 在2020—2030年期间将继续扩张, 成为面积达2000 km²和1500 km²的超巨型核心。而南昌规模相对较小, 将继续作为辐射江西的区域发展中心。目前已形成了襄阳、宜昌、荆州、常德、衡阳、九江、上饶等7个发展次中心, 在未来有望进一步增加。② 在发展历程中, 逐渐形成了长江沿线、武汉—长沙、武汉—南昌、南昌—长沙4条城镇化发展主轴和多条发展次轴, 但由于缺乏强有力的边界枢纽和桥头堡, 轴线对城市群的辐射带动作用有待进一步提升。③ 城市群发展存在一些问题, 包括武汉城市圈与长株潭城市群的核心极化作用过强并出现连绵发展趋势、江西缺乏强有力发展核心、城镇建成区过度集中导致环境问题等。亟待从控制核心扩张速度、培育新的区域中心、强化轴线功能等方面进行调控和优化。

关键词: 空间结构; 情景分析; 演变历程; 演变特征; 长江中游城市群

DOI: 10.11821/dlxb202104003

1 引言

随着21世纪20年代的来临, 城市群在经济全球化和区域一体化快速发展过程中的重要性日益突出, 不但是新型城镇化的主体形态, 是国家和地区参与国际竞争的主要载体, 也是促进区域协调和可持续发展, 营造人与自然和谐共生关系的主要场所^[1]。与特大都市、都市绵延区、大都市区、巨型城市区等概念不同, 城市群并不以连绵分布的城镇建成区为特色, 而往往具备大中小城市层次分明, 彼此之间既有生态用地分隔, 又有紧密交通联系的空间结构^[2-3]。空间结构反映了城市群的城市等级、职能结构, 以及城市与自然、城市与城市之间的联系形态, 是一种涵盖了点、线、面域、网络等要素的区域系统^[4]。研究城市群空间结构的演变历程, 有利于厘清城市群的发展脉络与趋势, 深刻把握发展过程中的人地关系, 归纳存在的问题, 从而制定出有利于城市群长远发展的规划方案^[5]。

收稿日期: 2020-02-20; 修订日期: 2020-12-27

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(19CJL026) [Foundation: Youth Program of National Social Science Foundation of China, No.19CJL026]

作者简介: 朱政(1984-), 男, 湖南长沙人, 博士, 副教授, 主要从事城市与区域规划研究。E-mail: Cat1king10@163.com

通讯作者: 朱翔(1955-), 男, 北京人, 教授, 主要从事城市与区域规划研究。E-mail: Zhuxiang882000@aliyun.com

799-817 页

西方关于城市群空间结构的研究可以追溯到20世纪80年代。美国学者Friedmann于1986年在“世界城市”学说中从城市群的视角提出了城市等级网络结构研究的重要性^[6]。Marshall于1989年指出大中小城镇的空间集聚和密切联系是形成城市群的必要因素^[7]。2000—2010年城市群空间结构的研究日趋成熟。英国学者Hall与Pain提出了多中心城市群的概念^[8],并指出由多个特大城市共同主导的城市群将成为世界城市化的主要载体。Scott将城市群空间结构的变迁过程分为单中心主导、多中心作用、网络化发展3个时期^[9]。Mayhew提出了与乡村和谐共生的“中心+组团”城市群空间结构模式^[10]。此时期也涌现了一批城市群空间结构的研究方法,以因子分析(FA)、系统动力学方法(SD)、层次分析法(AHP)等方法为主^[11],试图通过对各个城市数据的计算,归纳出城市群空间结构的特征与内涵^[12]。2010—2020年有关城市群空间结构演变研究大量出现,主要包括演变特征、趋势、动力机制的研究以及空间结构模式优化研究等。空间分析、数理分析方法均被广泛运用,包括元胞自动机(CA)、压力状态响应模型(PSR)、随机环境影响评估模型(STIRPAT)、扩张指数模型(AGI)、多分类Logistic回归模型、空间平衡抽样法(SBS)、空间自相关模型(Moran's *I*)等^[13-16],能够在宏观层面深入研究城市群空间结构演变的过程和动力机制。

中国关于城市群空间结构的研究稍晚于西方。1998年姚士谋等以长三角地区为例,阐述了城市群空间结构的演化趋势^[17]。宁越敏等分析了长三角地区城市群空间结构的形成机制^[18],均为中国较早的城市群空间结构相关研究。方创琳等分别对中国城市群的空间结构体系、空间紧凑度开展了研究,并引入了西方的理论和方法,为中国在该领域的研究奠定了重要基础^[19-20]。陆大道于2009年提出了以经济全球化视角研究城市群空间结构的必要性,为该领域研究提供了重要的思路支撑^[21]。2010—2020年中国关于城市群空间结构的研究趋于成熟,在空间结构的演变特征、演变趋势、动力机制、生态影响、政策作用等方面均有深入研究,在方法论上也有许多创新。顾朝林从自然条件、经济发展、政策环境等方面分析了导致城市群空间结构演变的动力机制^[22]。周春山等分析了中国城市群空间结构演变中的带状化、多中心化、分散化、破碎化等特征及动力因素^[23]。薛凤旋等指出市场主导、政府主导是导致城市群空间结构演变的主要原因^[24]。崔功豪指出中国城市群的空间结构由松散、各自发展逐步演变至层次明确、网络化联系^[25]。在方法论层面,中国学者在西方常用方法的基础上,还运用了DMSP/OLS夜间灯光数据分析、综合承载力分析、空间离散分析、时空地理加权回归模型等方法,对中国城市群空间结构演变的特征、规律、动力机制均有深入透彻的研究^[26]。

综上可知,当代国内外关于城市群空间结构研究往往立足于整个城市群的宏观视角,虽能反映城市群整体变化态势,但难以对城市群中单个城市,尤其是中小城市的变化情况进行准确表达^[27]。同时,国内外研究对于城市群空间结构演变的结果与“拐点”关注较多,对空间结构演变的历史脉络、内在特征的动态分析以及未来发展情景分析的研究较少^[28]。在此基础上制定的城市群空间结构优化方案的可行性和可操作性有待提升。

长江中游城市群是中国首个获批复的国家级城市群,土地面积达31.7万km²,仅次于长江三角洲城市群,是中国面积第二大的城市群。在国家区域协调发展战略和中部崛起战略背景下,长江中游城市群作为长江经济带的重要组成部分,承担了承东启西、连南接北的作用,是中西部地区联系长江三角洲、粤港澳大湾区的核心枢纽。同时,长江中游城市群扼守着955 km的长江水道,有汉江、湘江、赣江以及多条支流汇入,并拥有全国第一、第二大的淡水湖鄱阳湖、洞庭湖,其环境状况直接影响长江流域尤其是长江下游的环境质量。1990年以来,长江中游城市群发展迅速,其内部的武汉城市圈、长株

潭城市群的城镇建成区扩张速度尤为迅猛,在形成巨型都市区的同时,占用了大量的水体、湿地、森林与农业用地^[29]。如果不科学引导其发展,未来可能因超过生态承载力而对整个长江流域造成环境破坏。对长江中游城市群空间结构演变历程及其发展特征进行研究,进而归纳其发展过程中存在的问题,不但有助于制定空间结构的优化方案,为城市群国土空间规划提供参考,还可为中国其他城市群的空间结构研究开拓思路。

鉴于此,本文以长江中游城市群作为研究对象,通过整合 Landsat、土地利用与土地覆盖(Land Use and Land Cover, LULC)等图形资料和城镇人口数据,建立相对准确的GIS空间数据库,基于上万个单元格构成的方格网系统尽可能准确地模拟特大、大、中、小城市的扩张分布情况;并生成城市扩张玫瑰图,分析各城市间辐射影响、相互从属的关系,利用情景分析预测2025年、2030年的发展态势,从而分析长江中游城市群空间结构演变历程和特征,归纳其中存在的问题,并探索性地提出一些优化对策。

2 研究区域与数据来源

2.1 研究区域

按照2015年国务院批复的《长江中游城市群发展规划》,长江中游城市群的研究范围涵盖湖北省的武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、潜江、天门、襄阳、宜昌、荆州、荆门共13市,湖南省的长沙、株洲、湘潭、岳阳、益阳、常德、衡阳、娄底共8市,江西南昌、九江、景德镇、鹰潭、新余、宜春、萍乡、上饶、抚州(部分)、吉安(部分)共10市,土地面积约31.7万km²^[30]。

2.2 数据来源

Landsat数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)中的Landsat 4-5、7的TM/ETM数据,以及Landsat 8的OLI-TIRS数据。数据均取夏日无云、少云日的图像,采用UTM-WGS 84投影,分辨率30 m,涵盖1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年、2019年共7个年份。LULC数据来源于欧洲航天局(European Space Agency)的网站(<http://www.esa-landcover-cci.org/>),分辨率为300 m,已解译完成,涵盖城市和建筑区、农田、草地、林地、水体、湿地、荒地共7类空间数据,包括1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年、2018年7个年份。2019年LULC数据暂缺,故以2018年数据为参考,并以Landsat数据为依据补足。行政边界数据来源于地理国情监测云平台(GIM Cloud)的网站(<http://www.dsac.cn/>),以2019年湖北、湖南、江西三省及下辖城市、县市区的行政区划为准。城镇人口数据来源于三省统计局,涵盖31个城市下属233个县市区在上述7个年份的统计数据。

3 研究方法

3.1 空间数据库建立

利用ENVI 5.1版本导入Landsat TM/ETM、OLI-TIRS数据,进行坐标定标、几何校正、图像优化,将处理后的图像导入ArcGIS 10.2,并通过投影校正、坐标校正,使其与Landsat空间数据实现坐标对应。通过“Data Reviewer Checks”功能,以Landsat数据为参照,对LULC数据进行自动化数据检验和拓扑检验,对于发现的问题予以修正。经过多次检验和反复修正,提升LULC数据的精度^[31]。同时,通过图斑位置、面积、形态的区分和目视解译,将城市与建筑区图斑划分为城镇建成区、农村居民点,并对高速公

路、铁路与高铁所占用地进行数字化^[32]。在此基础上,形成涵盖1990—2019年中7个年份的城镇建成区、高速公路、铁路与高铁、水域、农业与生态用地、行政边界等数据的长江中游城市群空间数据库。按照行政边界,生成233个县市区图斑,并将7个年份的城镇人口数据输入对应县市区图斑,得到城镇人口数据库。

3.2 城镇建成区与城镇人口密度方格网系统建立

在空间数据库的基础上,充分考虑分析精度和运算的可行性,建立一个由12780个5 km×5 km,面积25 km²的单元格组成的方格网系统,覆盖整个研究范围。利用ArcGIS的分区统计功能,计算出各单元格在1990—2019年的7个年份中的城镇建成区、高速公路、铁路与高铁、水域、农业与生态用地的面积,并将数值存至对应单元格,得到城镇建成区方格网系统^[33]。建立一个同样的方格网系统,计算各单元格城镇人口密度:

$$P_d = \frac{P_a \times U_d}{U_a \times U_0} \quad (1)$$

式中: P_d 为某单元格在某一年份的城镇人口密度,只统计城镇建成区面积大于0的单元格; U_d 为该单元格该年份的城镇建成区面积; P_a 、 U_a 分别为单元格所在县市区该年份的城镇人口总量和城镇建成区总面积; U_0 为单元格自身面积,取25 km²。据此可统计出各单元格在各年份的城镇人口密度。按照降序对各年份方格网中各单元格中的数值进行两两相减,如2019年减去2015年、2015年减去2010年等,可得出反映1990—1995年、1995—2000年、2000—2005年、2005—2010年、2010—2015年、2015—2019年共6个时间段中各单元格城镇建成区面积、城镇人口密度空间增幅的方格网系统。

3.3 单元格城镇扩张程度计算

城镇扩张程度既反映了某单元格所在区域的城镇建成区、城镇人口密度增长情况,又反映了该单元格在区域发展中的重要程度,以及与其他区域的发展差异,是一个比值类指标,单独来看无意义,但适合用来分析各城市扩张的空间差异^[34]。通过公式(2)计算各单元格的在各时间段城镇扩张程度:

$$D_t = \frac{U_{d(t)}}{U_0} + \frac{P_{d(t)}}{P_{a(t0)}/U_{d(t0)}} \quad (2)$$

式中: D_t 为某单元格在某一时间段中的城镇扩张程度; $U_{d(t)}$ 为该单元格该时间段的城镇建成区面积增量; U_0 为单元格自身面积25 km²; $P_{d(t)}$ 为该单元格在该时间段的城镇人口密度增量; $U_{d(t0)}$ 、 $P_{a(t0)}$ 分别为该单元格所在县市区该时间段起始年份(如1990—1995年中的1990年)的城镇建成区面积和城镇人口数量。

3.4 城市扩张玫瑰图构建

在1990—2019年6个时间段中城镇建成区面积、城镇人口密度增幅大于0的所有单元格,以它们的中点为原点,建立城市扩张玫瑰图^[35]。城市扩张玫瑰图设有N、NNE、NE、ENE、E、ESE、ES、SSE、S、SSW、SW、WSW、W、WNW、NW、NNW共16条方向轴,可以分析正北(NNW—NNE)、东北(NNE—ENE)、正东(ENE—ESE)、东南(ESE—SSE)、正南(SSE—SSW)、西南(SSW—WSW)、正西(WSW—WNW)、西北(WNW—NNW)这8个方向的城市扩张程度情况。通过公式(3)明确玫瑰图中各方向的有效单元格:

$$D_{(i,j)} \in Q_k, (0 < D_{(i,j)} \leq D_{(i-1,j-1)} < 0; i \geq 1; j \geq 1) \quad (3)$$

式中: $D_{(i,j)}$ 为某单元格的城镇扩张程度; Q_k 为某坐标系中某方向的有效集; i 为该方向顺时针方向轴的坐标; j 为该方向逆时针方向轴的坐标,均以单元格边长即5 km为度量单位。即当某一单元格城镇扩张程度大于0,并小于等于相邻且与原点距离更近的单元格

时,此单元格属于该方向。确定8个方向的有效单元格后,计算各方向中距原点最远的有效单元格的中点与原点之间的距离,作为该方向的扩张幅度。找出最远有效单元格中城镇建成区图斑离原点最远的点,并将其用线段连接起来,即可得到一个城市的扩张玫瑰图。在此基础上,建立公式(4),确定各玫瑰图之间从属关系:

$$RQ_k \in RH_s, \left[\sum_{k=1}^8 Q_{k(i,j)} \leq H_{s(n,m)}; n \geq i \geq 0; m \geq j \geq 0 \right] \quad (4)$$

式中: RH_s 为某较大玫瑰图; RQ_k 为某较小玫瑰图,其原点位于 RH_s 的某一方向内; $H_{s(n,m)}$ 和 $Q_{k(i,j)}$ 分别为 RH_s 、 RQ_k 某方向中坐标为 (n, m) 和 (i, j) 单元格的城镇扩张程度,即当 RQ_k 玫瑰图8个方向中所有单元格城镇扩张程度的总和小于 RH_s 玫瑰图中单个方向中所有单元格城镇扩张程度之和时,视 RQ_k 从属于 RH_s ,是其子玫瑰图。同理,如果 RH_s 从属于另一更大玫瑰图 RT_s ,则 RH_s 和 RQ_k 分别是 RT_s 的二级、三级子玫瑰图。据此,可得出各时间段长江中游城市群中各玫瑰图的位置、范围、从属关系,从而模拟各城市发展脉络、城市群等级结构及城市之间的相互作用关系。

3.5 情景分析与结果检验

依据历史发展趋势与规律,建立公式(5),对长江中游城市群在2020—2030年的发展态势进行情景分析^[36]:

$$D_T = D_0 \left[1 + \frac{1}{T^2} \left(\sum_{t=1}^6 \frac{D_{t+1}}{D_t} \right) \left(\sum_{t=1}^6 \frac{RD_t/N_t}{RT_t/A_t} \right) \right]^{(T-2019)} \quad (5)$$

式中: D_T 为预测年时某单元格的城镇扩张程度; T 为预测年份,可为2025年、2030年; D_0 为预测基期(即2015—2019年)该单元格的城镇扩张程度; D_t 和 D_{t+1} 分别为 t 时间段及其下个时间段中该单元格的城镇扩张程度; RD_t 和 N_t 分别为 t 时间段中该单元格所在玫瑰图中所有有效单元格的城镇扩张程度总和,以及该玫瑰图的有效单元格总数。 RT_t 和 A_t 分别为 t 时间段中整个研究范围中所有玫瑰图中所有有效单元格的城镇扩张程度总和,以及所有玫瑰图的有效单元格的总和。

在得出情景分析结果后,利用绝对平均误差法(MAE)对分析方法的准确性进行检验^[37]。由于未来情况暂无法验证,故假设2015—2019年情况不可知,用1990—2015年的数据和本文方法预测2015—2019年的情况,计算预测值与真实情况之间的绝对平均误差:

$$MAE = \frac{1}{A} \sum_{g=1}^A |D_t - M_t| \quad (6)$$

式中: MAE 为绝对平均误差; D_t 为模拟预测得到的某单元格在2015—2019年的城镇扩张程度; M_t 为2018年该单元格真实的城镇扩张程度; A 为参与预测的单元格总数。根据检验原则, $MAE \leq 10\%$ 时情景分析可视为有效。在情景分析有效的前提下,将预测的2025年、2030年的空间扩张程度值除以2019年现状值,得到增幅比。将各单元格2015—2019年城镇建成区扩张值乘以增幅比,可得到预测的空间增幅。将预测的空间增幅以原轮廓扩张的方式添加到各单元格的图斑中,并充分考虑城市群现行空间规划中禁止开发区的范围、重要交通干线的布局,即可得到2025年、2030年的发展态势预测图。

4 结果分析

4.1 长江中游城市群总体扩张历程分析

根据所建立的空间数据库,导出1990—2019年7个年份的城镇建成区和城镇人口密度分布图(图1、图2)。在空间数据库中统计31个城市在6个时间段上的城镇建成区面

积增量（表1）。统计6个时间段中各城市下属县市区的城镇人口增量之和，得到31个城市的城镇人口增量（表2）。通过运算生成1990—2019年6个时间段中城镇建成区与城镇人口密度增幅的方格网系统，为节约篇幅并进行更直观表达，对各单元格在6个时间段的增幅进行叠加，形成表现1990—2019年城镇建成区、城镇人口密度总增幅空间分布图（图3）。通过对比观察，可归纳长江中游城市群在1990—2019年扩张历程中的主要特征。

4.1.1 三大城市圈对城市群扩张起到了主导作用 对比可知，1990—2019年的全过程中，武汉城市圈、长株潭城市群、南昌都市圈三个城市圈均为整个城市群中建成区面积最大、扩张幅度最为明显的区域，但在不同时间段中其扩张特征又各有区别。1990—2000年是三大城市圈形成且快速发展的阶段。至2000年，武汉城市圈（含武汉、黄石、黄冈、鄂州、孝感、咸宁、天门、潜江、仙桃9个城市）城镇建成区523.29 km²，城镇人口839.97万人，较1990年分别增长了198.25 km²和261.25万人。长株潭城市群（含长沙、株洲、湘潭3个城市）城镇建成区299.48 km²，城镇人口436.99万人，较1990年分别增长了105.35 km²和164.94万人。南昌都市圈（含南昌及周边县、区）城镇建成区

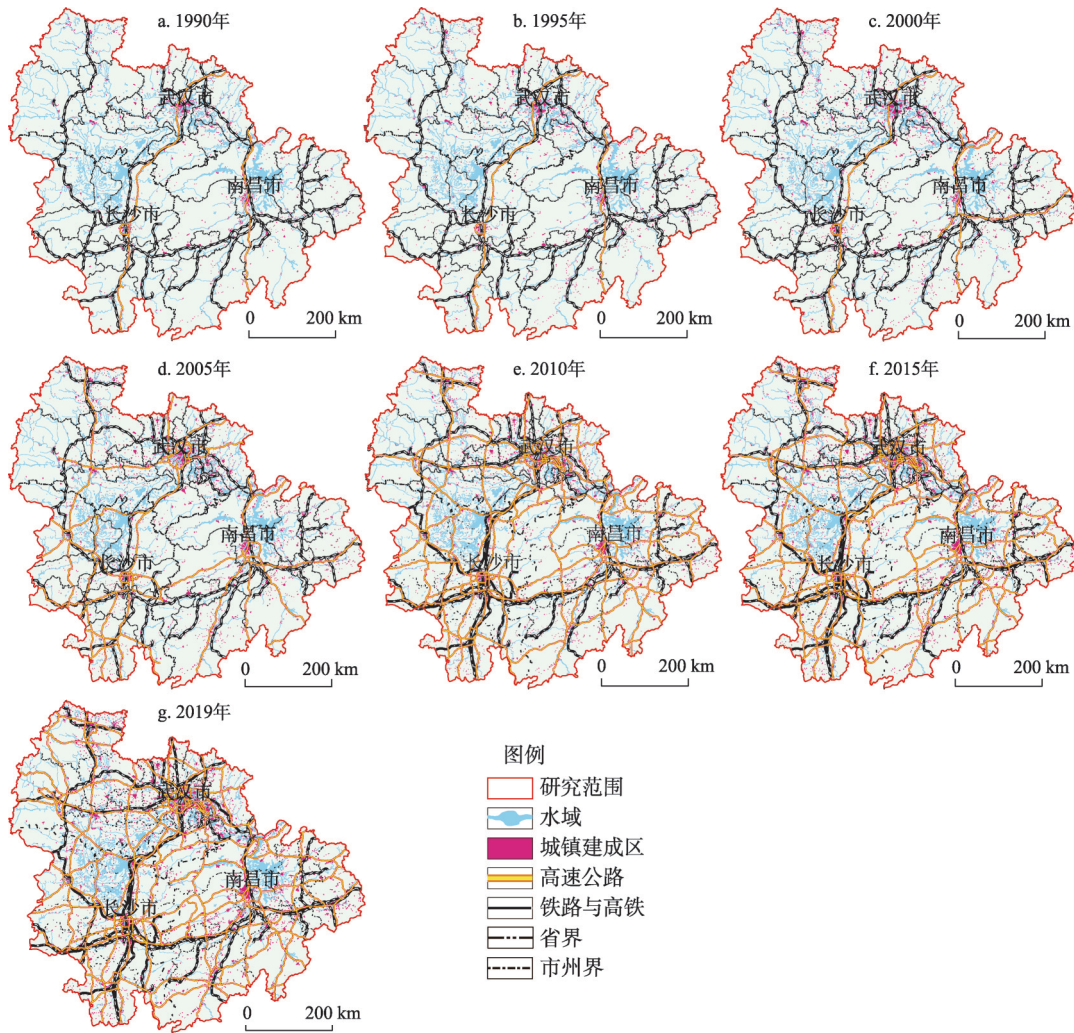


图1 1990—2019年长江中游城市群城镇建成区分布

Fig. 1 Distribution of urban built-up areas in the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River in 1990-2019

112.19 km², 城镇人口 175.89 万人, 较 1990 年分别增长了 47.92 km² 和 39.09 万人。三者以长江中游城市群 22.18% 的土地面积, 集中了 55.00% 的城镇建成区增量和 46.66% 的城镇人口增量, 形成了对鄂、湘、赣三省区域发展的主导作用。2000—2010 年间, 武汉城市圈、长株潭城市群、南昌都市圈的城镇建成区增量分别为 333.12 km²、186.50 km²、106.56 km², 城镇人口增量分别为 469.70 万人、272.69 万人、58.13 万人, 三大城市圈集中了整个城市群 52.83% 城镇建成区增量和 41.65% 的城镇人口增量, 对城市群扩张的主导作用进一步加强, 但对城镇人口的集聚作用稍有减弱。2010—2019 年间, 三大城市圈的扩张速度仍未放缓, 不但集中了整个城市群 60.64% 的城镇建成区增量与 45.86% 的城镇人口增量, 还出现了以城市圈为核心的连绵式扩张趋势。其中, 武汉城市圈已成为城镇建成区面积达 1359.39 km², 城镇人口接近 2000 万的巨型核心, 长株潭城市群城镇建成区面积达到 767.30 km², 城镇人口也超过 1000 万。可以认为, 1990—2019 年间, 三大城市圈一直在长江中游城市群的城镇化进程中起着主导作用, 并随着时间推移而加速扩张, 至 2019 年已出现了多个巨型核心, 这使得城市群的极化发展趋势不断加强。

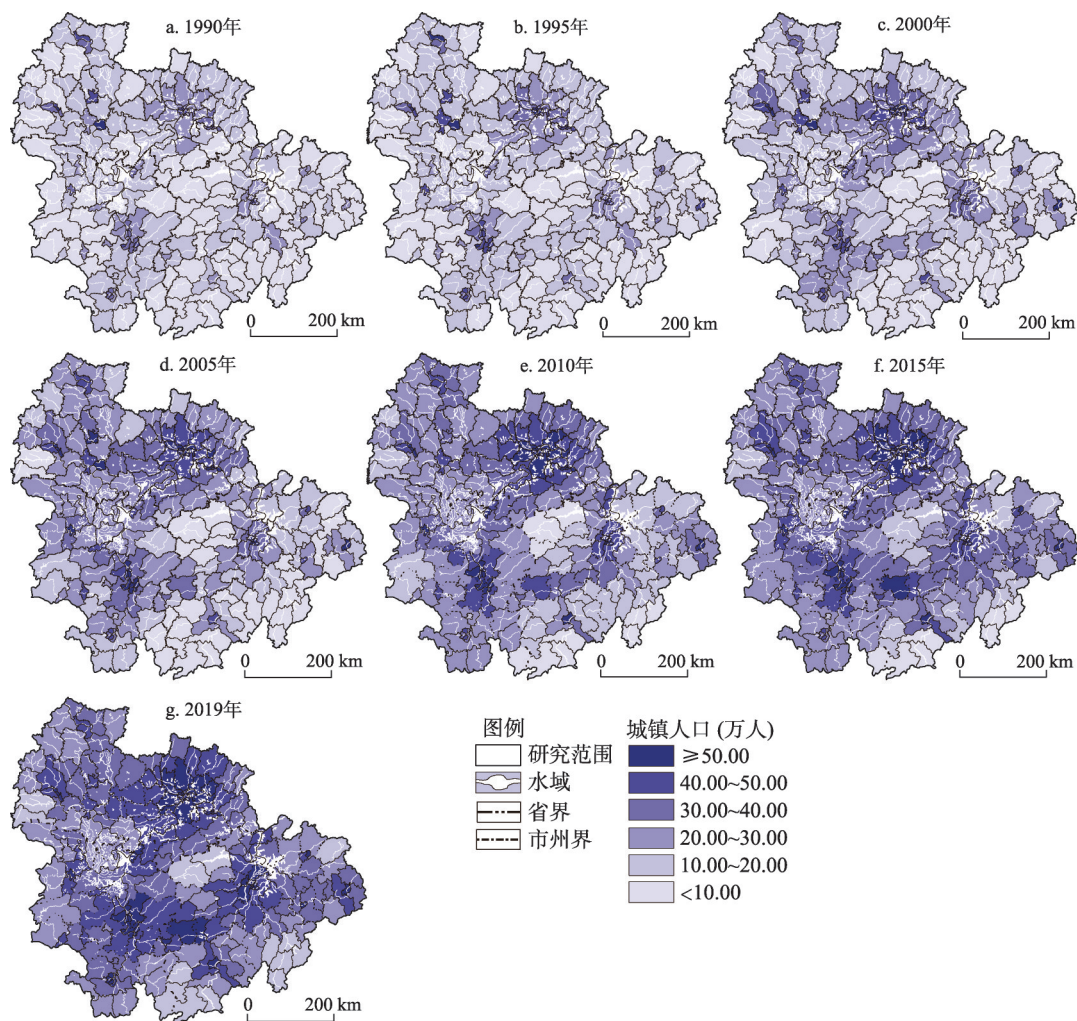


图2 1990—2019年长江中游城市群县市区城镇人口分布

Fig. 2 Distribution of urban population for all counties (cities and districts) in the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River in 1990-2019

表 1 1990—2019 年长江中游城市群各城市城镇建成区增量(km²)Tab. 1 Growth of urban built-up area for all cities in the middle reaches of the Yangtze River in 1990-2019 (km²)

城市	1990年 面积	1990—1995 年增量	1995—2000 年增量	2000—2005 年增量	2005—2010 年增量	2010—2015 年增量	2015—2019 年增量	2019年 面积
武汉市	188.68	46.82	53.18	78.65	112.05	176.42	130.78	786.58
黄石市	29.87	5.36	6.12	8.58	16.35	19.80	23.28	109.36
黄冈市	18.22	5.74	14.21	11.77	17.17	15.08	16.52	98.71
鄂州市	18.13	5.58	5.85	5.72	8.04	10.74	8.32	62.38
孝感市	22.67	9.91	13.86	14.42	20.53	25.88	24.54	131.81
咸宁市	22.56	3.16	6.09	4.92	5.54	6.72	7.22	56.21
襄阳市	62.42	13.20	13.32	23.66	26.17	24.63	11.12	174.52
宜昌市	93.36	5.18	7.14	8.63	11.30	33.13	12.30	171.04
荆州市	85.08	10.75	8.96	22.85	27.27	30.13	29.23	214.27
荆门市	36.89	6.18	5.36	7.82	12.16	16.52	23.43	108.36
天门市	7.94	4.21	3.46	2.48	6.23	4.51	6.45	35.28
潜江市	7.86	2.98	2.52	3.88	6.13	4.56	7.81	35.74
仙桃市	9.11	5.03	4.17	5.32	5.34	6.82	7.53	43.32
长沙市	101.94	27.92	33.81	45.62	78.13	83.21	90.42	461.05
株洲市	47.96	9.26	11.58	12.79	20.36	27.53	33.26	162.74
湘潭市	44.23	10.32	12.46	13.92	15.68	20.19	26.71	143.51
衡阳市	47.41	11.36	14.18	25.27	19.55	24.15	16.16	158.08
岳阳市	43.23	8.27	9.16	11.72	22.45	10.38	11.11	116.32
常德市	78.66	7.58	9.03	10.71	12.68	15.91	16.34	150.91
益阳市	18.42	5.33	7.16	9.69	12.51	16.35	14.87	84.33
娄底市	15.03	4.11	5.27	6.18	9.36	12.11	14.41	66.47
南昌市	64.27	20.35	27.57	50.21	56.35	69.92	96.54	385.21
九江市	30.56	7.99	12.34	19.57	24.16	33.59	27.51	155.72
鹰潭市	11.34	2.92	3.66	4.98	5.42	6.76	8.05	43.13
抚州市	11.29	3.42	7.57	10.48	12.03	15.32	8.87	68.98
景德镇市	30.94	4.78	5.12	6.36	7.04	8.02	10.05	72.31
上饶市	22.88	7.16	8.78	20.33	23.34	20.31	22.62	125.42
萍乡市	21.08	3.28	5.41	5.66	12.36	12.54	8.21	68.54
宜春市	11.63	4.08	15.78	16.69	20.86	20.78	26.10	115.92
新余市	16.38	5.31	8.57	6.23	21.56	12.13	5.08	75.26
吉安市	13.39	9.71	8.23	27.17	34.89	29.32	9.47	132.18
长江中游城市群	1233.43	277.25	349.92	502.28	683.01	813.46	754.31	4613.66

4.1.2 城市群的区域发展差异不断增加 长江中游城市群除三大城市圈外,还有土地面积占比达77.82%的18个地级城市(含3个省管县级市)。1990—2000年间,与三大城市圈相比,这18个城市的扩张幅度均相对较低,各城市中心区与其下属县城的扩张幅度相差不大,发展呈现出显著的分散性。2000—2010年间,发展差异开始显现。其中襄阳、荆州、衡阳、岳阳、九江、上饶发展迅速,其城镇建成区面积分别达到138.77 km²、154.91 km²、117.77 km²、94.83 km²、94.62 km²、82.49 km²,增量为34.17~50.12 km²,城镇人口分别达到245.02万人、262.85万人、252.43万人、210.58万人、201.07万人、221.41万人,增量为31.38~119.89万人,均显著高于其他城市,可视为第一层次。宜昌、荆门、常德、抚州、吉安、宜春的发展速度也有所提升,其城镇建成区面积达到44.79~125.61 km²,增量为19.93~62.06 km²,城镇人口达到130.82万~203.85万人,增量

表2 1990—2019年长江中游城市群各城市城镇人口增量(万人)

Tab. 2 Growth of the urban population for all cities in the middle reaches of the Yangtze River in 1990-2019 (10⁴ persons)

城市	1990年 城镇人口	1990—1995 年增量	1995—2000 年增量	2000—2005 年增量	2005—2010 年增量	2010—2015 年增量	2015—2019 年增量	2019年 城镇人口
武汉市	374.47	32.21	34.46	61.96	154.6	151.57	80.42	889.69
黄石市	54.39	12.53	10.38	11.62	21.16	20.53	25.76	156.37
黄冈市	19.07	13.18	26.39	34.38	43.36	52.28	68.48	257.14
鄂州市	19.01	4.77	6.04	7.14	5.76	20.41	13.21	76.34
孝感市	26.63	15.83	21.76	31.02	59.84	66.38	61.78	283.24
咸宁市	23.68	12.81	20.72	20.48	17.45	17.55	23.52	136.21
襄阳市	144.22	19.35	11.26	37.35	32.84	45.70	53.96	344.68
宜昌市	131.77	16.12	11.59	16.47	27.90	29.56	29.77	263.18
荆州市	209.85	8.38	13.24	12.94	18.44	19.53	29.61	311.99
荆门市	82.84	13.21	6.57	15.09	14.52	19.90	19.37	171.50
天门市	18.63	8.44	8.15	8.53	5.50	9.52	10.25	69.02
潜江市	20.55	7.12	8.89	3.63	3.59	4.55	7.12	55.45
仙桃市	22.29	7.81	9.76	3.41	3.27	7.37	8.13	62.04
长沙市	142.94	47.25	66.23	71.65	94.65	113.60	108.88	645.20
株洲市	69.45	10.99	13.90	28.23	35.97	59.97	51.48	269.99
湘潭市	59.66	12.62	13.95	19.99	22.20	26.14	25.64	180.20
衡阳市	100.07	24.49	32.66	47.02	48.19	62.29	73.60	388.32
岳阳市	71.18	19.88	33.82	41.39	44.31	63.44	62.21	336.23
常德市	85.19	17.27	19.74	21.52	43.21	59.18	63.59	309.70
益阳市	18.58	12.83	20.34	23.84	30.95	47.40	48.85	202.79
娄底市	12.84	7.43	18.56	31.84	37.14	41.66	39.69	189.16
南昌市	136.8	16.49	22.60	44.05	14.08	48.24	99.29	381.55
九江市	71.19	11.32	13.58	26.74	78.24	32.92	36.66	270.65
鹰潭市	20.17	6.27	1.32	4.67	20.9	11.05	6.92	71.30
抚州市	17.29	4.58	32.98	42.23	48.46	24.02	12.52	182.08
景德镇市	43.96	3.69	3.38	8.81	15.55	17.87	18.75	112.01
上饶市	52.91	10.95	37.66	62.76	57.13	76.48	56.06	353.95
萍乡市	42.56	5.86	11.13	13.83	16.26	27.08	16.80	133.52
宜春市	15.16	3.24	31.07	56.75	76.39	54.44	39.83	276.88
新余市	22.85	7.08	6.24	2.91	11.06	19.72	13.26	83.12
吉安市	24.47	20.56	14.33	47.52	23.94	72.70	49.02	252.54
长江中游城市群	2154.67	414.56	582.70	859.77	1126.86	1323.05	1254.43	7716.04

为34.42万~102.39万人,明显高于第一层次以外的其他城市,可视为第二层次。而益阳、娄底、鹰潭、景德镇、萍乡、新余发展相对缓慢,其城镇建成区面积仅为28.32~58.05 km²,增量为12.18~33.69 km²,城镇人口仅为53.33万~107.81万人,增量为13.97万~68.98万人,均明显小于前两类城市,故可视为第三层次。2010—2019年间,原第一层次的襄阳、荆州、衡阳、九江、上饶仍保持了较快增速,其城镇建成区面积分别达到174.52 km²、214.27 km²、158.08 km²、155.72 km²、125.42 km²,城镇人口分别达到344.68万人、311.99万人、388.32万人、270.65万人、353.95万人。而宜昌、常德增速大幅提升,城镇建成区面积分别达到171.04 km²和150.91 km²,城镇人口分别达到263.18万人和309.70万人,也迈入了第一层次。荆门、抚州、宜春、吉安保持了稳定增速,岳阳的增速有所下滑,而益阳增速有所上升,共同组成了新的第二层次。娄底、鹰潭、萍

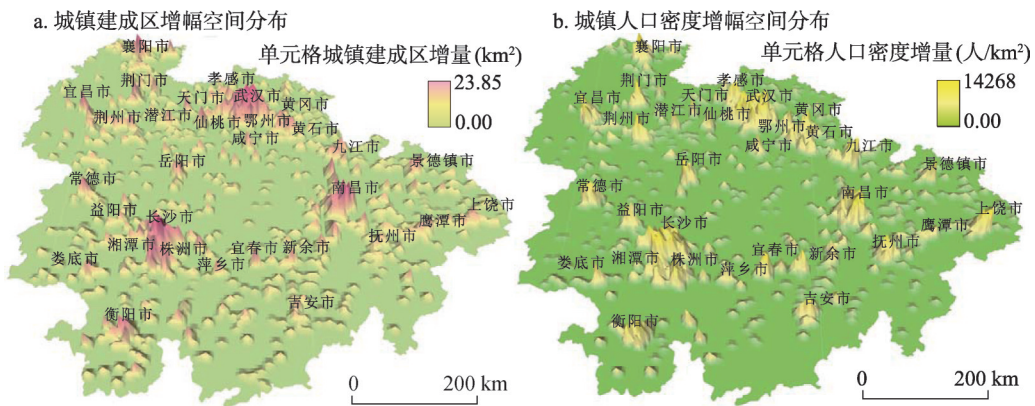


图3 1990—2019年长江中游城市群城市建成区与城镇人口密度增幅分布

Fig. 3 Distribution of growth of the urban population density and urban built-up area in 1990-2019

乡、新余、景德镇仍发展缓慢,城镇建成区增量为14.81~26.52 km²,城镇人口增量为17.97万~81.35万人,显著低于其他城市,可归为第三层次。可以认为,在1990—2019中,三大城市圈以外的18个城市发展差异不断增加,部分城市已有成为副中心的趋势,而部分城市发展明显滞后,同时也存在前期发展较快而后期发展较慢的城市。

4.1.3 已形成多条城镇化发展轴线,但作用有待加强 观察图1、图3可知,1990—2019年间长江中游城市群形成了4条主要的城镇发展轴线,主要包括:①长江沿线发展轴,由长江水道及两岸的杭瑞高速、京港澳复线、沪渝高速、京广铁路、武九铁路等干线作为联系通道,是横贯整个长江中游城市群、联系三大城市圈的重要轴线。对武汉城市圈的协同发展发挥了非常重要的作用,但距离长沙、南昌均有110 km左右的距离,故对其他两个城市圈的带动作用未能充分发挥。②武汉—长沙发展轴,由京广高铁、京广铁路、京港澳高速、武深高速、京港澳高速复线等干线作为联系通道,沿线城市以咸宁、岳阳为主。这两个城市的规模优势不明显,未能充分发挥鄂湘两省的桥头堡功能,限制了该轴线的作用。③武汉—南昌发展轴,由武九高铁、武九铁路、京九铁路、沪渝高速、福银高速、杭瑞高速等干线作为联系通道,沿线城市中,鄂州、黄冈、黄石虽规模处于中等水平,但与武汉已基本形成连绵发展态势。九江的建成区规模和人口都具备显著优势,很好地担负了江西桥头堡作用。但黄石距离九江的110 km范围中,缺乏一个可以作为湖北桥头堡的城市。④长沙—南昌发展轴,由沪昆高铁、沪昆高速、杭长高速、永武高速等干线作为联系通道,沿线城市数量众多,但其中只有株洲具有一定优势,而萍乡、宜春、新余等城市的规模均不占优势。可以认为,4条发展主轴均有发达的交通线路作为支撑,但沿线城市发展均存在一定问题,限制了其辐射作用的发挥。除了上述4条轴线外,尚有武汉至宜昌、襄阳至荆州、上饶至吉安、长沙至常德等发展次轴正在逐渐形成。

4.2 各城市扩张历程分析

依照上文方法,计算各单元格的城镇扩张程度并建立玫瑰图系统,得到3个级别的玫瑰图,找出各玫瑰图坐标系原点所在的城市或县市区,并明确各级玫瑰图的从属关系,得到图4。需要说明的是,玫瑰图反映的是各城市辐射影响的实际情况,故不受行政区划约束。如湖北黄梅县的玫瑰图即从属于江西九江市的玫瑰图。另外,由于二、三级玫瑰图的数量非常多,故只表述其所在的县市区名称。图4中一级玫瑰图共21个,即三大城市圈和其他18个城市,应作为重点分析对象。在玫瑰图系统里找出这21个玫瑰图,生成图5、图6,并分别对其扩张历程进行分析。



图4 长江中游城市群各级玫瑰图从属关系

Fig. 4 Subordinate relationship of rose maps at all levels of the middle reaches of the Yangtze River

4.2.1 三大城市圈扩张历程分析 在图5、图6中,以不同颜色的三维体块来表达各玫瑰图在各时间段的城镇扩张程度变化情况。某个方向的体块高度越高,其所在区域的城镇扩张程度就越高,体块面积越大,延伸得越远,该方向的扩张幅度就越大。扩张幅度较大的几个方向称为主要方向,其他称为次要方向。依照上述原则对图5进行观察,可归纳三大城市圈的扩张历程及差异。

(1) 三大城市圈扩张幅度差异很大。1990—2000年间,三大城市圈核心城市所在的一级玫瑰图已表现出显著的扩张幅度差异。其中武汉扩张幅度最大,在主要方向上已达8~12 km,次要方向也有3~5 km。而长沙、南昌在主要方向上为4~6 km,次要方向大多在2 km以内。此时,武汉周边出现了孝感、黄冈、鄂州等11个二级玫瑰图,以及从属于它们的云梦、应城、孝昌等17个三级玫瑰图。长沙周边出现了株洲、湘潭、益阳等6个二级玫瑰图,以及醴陵、湘乡、韶山等5个三级玫瑰图。南昌周边出现了南昌县、进贤、高安等7个二级玫瑰图。其中,武汉、长沙的二级玫瑰图在各方向的扩张幅度均为1~3 km不等,三级玫瑰图均在1 km以内。而南昌的二级玫瑰图扩张幅度均在1 km以内。2000—2010年间,武汉扩张非常迅速,在西部、南部、东北部等主要方向的扩张幅度达到15~18 km,在次要方向也达5~14 km不等。长沙、南昌扩张幅度相差不大,主要方向均为5~8 km左右,次要方向均为2~5 km左右。此时武汉、长沙周边的二级玫瑰图也有2~5 km不等的扩张。而南昌周边的二级玫瑰图仅有1~2 km的扩张,与武汉、长沙周边的三级玫瑰图基本相当。2010—2019年间,武汉的扩张速度进一步加剧,在西部、

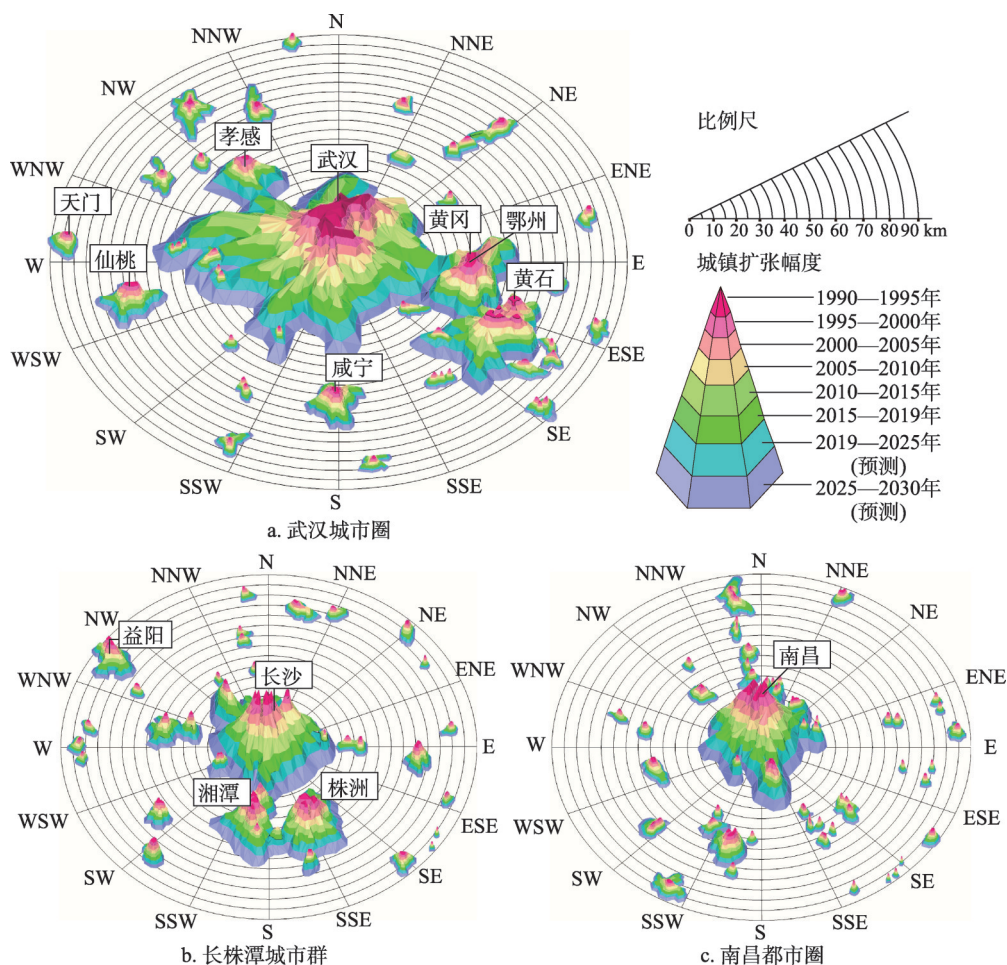


图5 1990—2030年长江中游城市群三大城市圈扩张玫瑰图

Fig. 5 Expansion rose figure for three metropolitan areas in the middle reaches of the Yangtze River in 1990-2030

东南部、南部等主要方向的扩张幅度达到20~28 km，在次要方向上也有10~15 km不等的扩张。长沙、南昌的扩张速度有明显提升，主要方向扩张幅度均达到7~12 km左右，次要方向也达3~5 km。武汉的二级玫瑰图中，黄冈、鄂州、黄石、孝感等的各方向扩张幅度均达到3~8 km，咸宁、仙桃、天门等也达到2~4 km。长沙的二级玫瑰图株洲、湘潭各方向扩张幅度达到5~12 km不等。而南昌周边的二级玫瑰图扩张幅度仅为1~3 km，仅仅相当于武汉、长沙的三级玫瑰图水平。

(2) 三大城市圈扩张方式存在显著区别。1990—2000年间，武汉基础好、发展快，增幅倍于长沙、南昌，而长沙的增幅略低于南昌。三市与其周边城市均无明显的城镇化对接，尚处于分散发展阶段。2000—2010年间，在自身迅速扩张的同时，武汉周边的黄冈、鄂州、黄石、孝感等城市及其下属城镇也快速发展，与武汉之间的距离不断缩短。形成了联系密切的城镇网络。株洲、湘潭扩张速度加快，与长沙之间的城镇化联系加强，形成了鼎足发展之势。而南昌周边县市发展缓慢，对南昌的支撑作用有限，使南昌出现了孤军发展的局面。2010—2019年间，黄冈、鄂州、黄石、孝感扩张幅度进一步加强，与武汉基本实现无缝对接。咸宁、仙桃、天门发展稍慢，但也与武汉出现了对接发展趋势。此时武汉城市圈实际上已形成了由武汉和周边城市连片发展的巨型核心。长

沙、株洲、湘潭三市连片发展趋势仍不断加强,联系更加紧密,使得长株潭城市群的总体实力进一步提升。南昌自身虽发展较快,但其周边县市发展相对滞后,甚至无法与武汉、长沙周边的三级玫瑰图抗衡。而九江、鹰潭、上饶等地级城市又距离南昌较远,城镇化联系偏弱,故南昌始终处于相对孤立发展的局面。

4.3 其他城市扩张历程分析

观察图6可知,18个城市的扩张历程有显著区别,可归为4类进行分析。

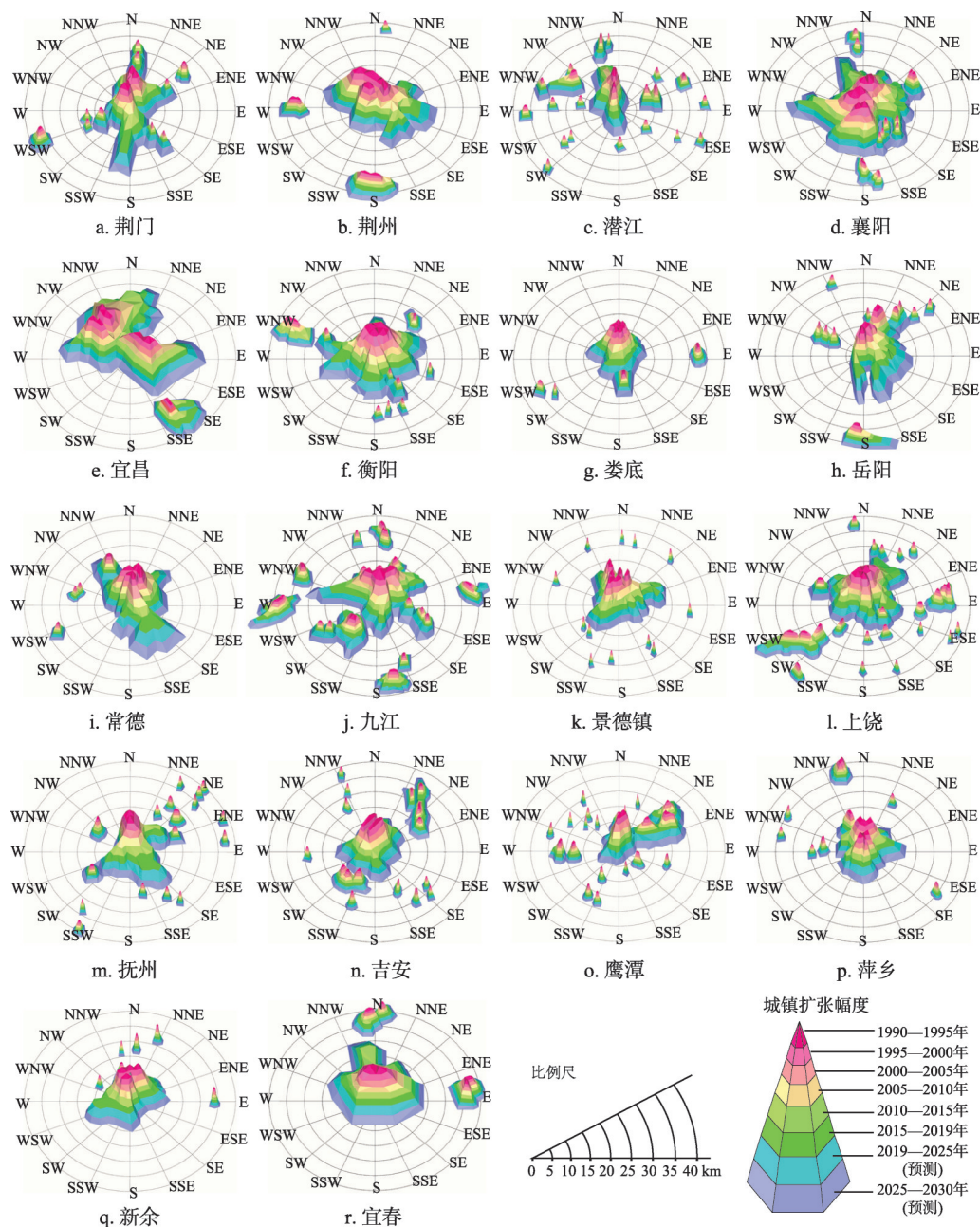


图6 1990—2030年长江中游城市群其他城市扩张玫瑰图

Fig. 6 Expansion rose figure for other cities in the middle reaches of the Yangtze River in 1990-2030

(1) 高速发育型: 包括襄阳、宜昌、衡阳、九江、上饶。这类城市往往由一个很强的发展中心(一级玫瑰图)和若干发展组团(二级玫瑰图)组成, 中心和组团之间联系紧密。1990—2019年的每个10年中, 中心在各方向的扩张幅度均可达到2~5 km左右, 大部分组团在各方向的扩张幅度也能达到1~2 km不等。在发展过程中, 一部分组团与中心连为一体, 进一步增强了中心的实力, 另一部分组团虽未能与中心连为一体, 但受中心的辐射影响也得到快速扩张, 使此类城市呈现出一种紧密、高效的网络状空间结构。

(2) 集中增长型: 包括宜春、荆门、荆州、常德。这类城市往往具备一个强有力的发展中心, 而周边组团数量少、发展慢。1990—2019年的每一个十年中, 此类城市中心在主要方向的扩张幅度为3~5 km, 在次要方向上为2~3 km。但周边只有少数发展较慢的组团。这类城市的中心能迅速带动周边地区发展, 但对较远区域的辐射影响大大减弱。

(3) 分散发展型: 包括岳阳、鹰潭、抚州、吉安、潜江。这类城市中心的规模较小, 但周边往往分布有数量较多或规模较大的发展组团。在1990—2019年的每一个十年中, 此类城市中心在主、次方向的扩张幅度均为2~4 km不等, 其周边组团的扩张幅度也可达到1~3 km不等。虽然中心对周边的辐射作用偏弱, 但有组团辅助其发展, 形成了相对分散的空间结构。

(4) 发育迟缓型: 包括娄底、萍乡、新余、景德镇。这类城市中心规模较小, 周围可能存在一些小型组团。1990—2019年的每一个十年中, 此类城市中心在各方向的扩张幅度均为1~3 km不等, 周边组团的扩张幅度大多都小于1 km, 均显著低于前几类城市。此类城市的中心、组团实力均弱, 对周边区域辐射带动作用不明显, 呈现出相对松散的空间结构。

4.4 空间结构演变特征归纳

根据总体扩张历程、三大城市圈扩张历程、其他18个城市扩张历程的分析, 可归纳出长江中游城市群在1990—2019年间的空间结构演变特征。

1990—2000年三大城市圈处于初步形成阶段, 影响范围相对较小, 对周边城市的辐射带动作用相对有限。三大城市圈中, 武汉的规模虽大于长沙和南昌, 但在辐射范围和带动效果上与之差别不大, 故可将三者视为同一级别的发展中心。其他城市的规模均较小, 对所在区域的辐射带动作用有限, 甚至无法担负发展组团的功能。因此, 此时期长江中游城市群的空间结构可概括为“三中心”模式。

2000—2010年武汉城市圈扩张速度显著加快, 武汉与周边城市之间城镇化联系不断加强, 辐射范围持续扩大, 带动作用显著提升, 形成了引领城市群发展的核心增长极。长沙通过与株洲、湘潭的一体化发展, 南昌通过对周边县市区的带动, 均保持了快速增长, 但增长幅度和辐射范围显著小于武汉城市圈, 可视作湘赣两省的发展中心。襄阳、宜昌、衡阳、常德、九江、上饶等一批城市扩张迅速, 通过高速、高铁干线与三大城市圈保持了密切联系, 并将城市圈的辐射力传导到其周边区域, 成为了带动所在区域发展的组团。因此, 此时期长江中游城市群的空间结构可概括为“一核双心多组团”模式。

2010—2019年三大城市圈的差异进一步加大, 武汉城市圈已成为巨型核心, 作为城市群核心的优势得以继续保持。长株潭城市群的一体化程度大幅提升, 规模进一步扩大, 对周边城市的辐射带动作用不断提升, 形成了城市群又一发展核心。而南昌城市圈仍处于南昌相对孤立发展的窘境, 建成区面积不到400 km², 虽对其周边城市有较强的辐射带动作用, 但对整个城市群的辐射作用偏弱, 仍是一个区域性的发展中心。长江沿线、武汉—长沙、武汉—南昌、南昌—长沙等发展主轴, 武汉至宜昌、襄阳至荆州、上饶至吉安、长沙至常德等发展次轴相继形成。借助这些轴线, 襄阳、宜昌、荆州、衡

阳、常德、九江、上饶等城市充分发挥了区位优势,不断做大做强,已成为与核心、中心共同带动周边城市发展的副中心。因此,此时长江中游城市群的空间结构可概括为“双核多心多组团”模式。

4.5 情景分析结果

绝对平均误差法(MAE)的检验表明,本文情景分析的平均误差为3.61%,在10%的有效范围内,故视分析结果有效。按该方法求出情景分析结果(图7)。

(1)“双核多心多组团”的模式将继续保持。2020—2030年间武汉与周围8个城市的连绵发展态势将更加明显,使得武汉城市圈的范围进一步扩大,将在2030年形成一个直径达150 km,城镇建成区总面积超过2000 km²的超巨型核心。长沙、株洲、湘潭三市之间除500 km²生态绿心以外的所有区域将被建成区填满,在2030年将形成一个总面积1500 km²左右的超巨型核心。南昌也扩张迅速,对其北部、南部的城镇有显著带动作用,并使都市区范围进一步扩大,2030年的城镇建成区面积将达到660 km²左右,虽然能对江西的城镇化带来显著的辐射带动作用,但对整个城市群的影响不明显,仍为区域性发展中心。三大城市圈城镇建成区占整个城市群的比重将达到60%。次中心方面,除襄阳、宜昌、荆州、常德、衡阳、九江、上饶7个城市外,荆门、岳阳、抚州、吉安等城市也有发展成区域次中心的可能性。因此,预计长江中游城市群在2030年以内将继续保持“双核多心多组团”的模式。

(2)轴线的作用将进一步加强。2020—2030年间,长江沿线、武汉—长沙、武汉—南昌、南昌—长沙这四条发展轴线上的城镇发展将加快,同时还将通过交通干线向两端继续延伸,形成沿长江、沪昆线、京九线、京广线布局的四条城镇发展走廊。其沿线的孝感、咸宁、岳阳、衡阳、娄底、萍乡、新余、宜春、鹰潭、上饶等城市及下属中小城镇将受到很强的辐射带动作用,发展扩张速度大大加快。此外,武汉至宜昌、襄阳至荆州、上饶至吉安、长沙至常德等发展次轴的作用也将进一步强化。

(3)生态环境的负担将持续加重。预测结果表明,武汉城市圈的绵延发展趋势将占用大量的农业与生态用地。其范围内的汤逊湖、东湖、后官湖、张渡湖、梁子湖、大冶湖等湖泊将被城镇建成区基本包围,长江、汉江两岸的生态用地也将受到不同程度的占用,这将大大加重长江流域的环境负担。长株潭城市群虽然可以凭借绿心政策保护生态绿心,但三市之间的生态缓冲用地仍将被大量占用,很可能降低整体环境品质。南昌都市圈由于扩张幅度相对较小,且距离长江、鄱阳湖有一定距离,故对生态环境的影响相对较轻。此外,副中心、组团城市的快速发展也可能会对其所在区域环境造成一定负面影响,有待及时干预和控制。

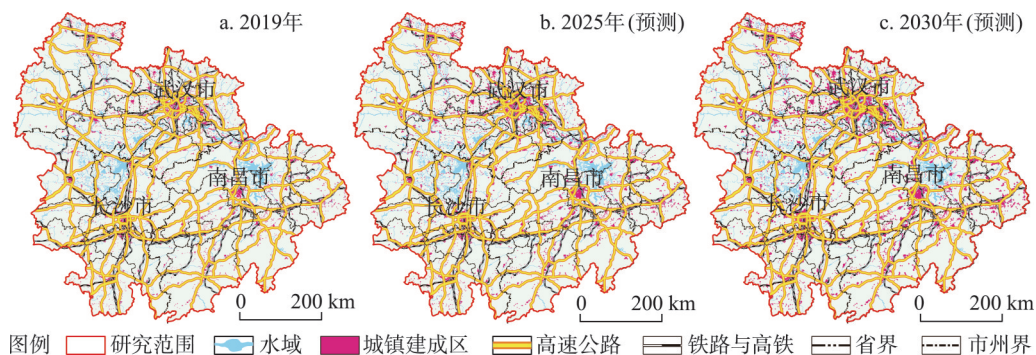


图7 2020—2030年长江中游城市群未来发展态势预测

Fig. 7 Prediction of future development trend of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River in 2020-2030

5 结论与讨论

5.1 结论

本文分析了长江中游城市群空间结构的演变历程及特征,得到以下4个方面的结论:

(1) 1990—2019年期间,长江中游城市群的空间结构经历了“三中心”到“一核双多心多组团”,再到“双核多心多组团”的历程,在未来10年左右仍将保持目前的“双核多心多组团”模式。在此历程中,武汉城市圈一直起到主导地位,长株潭城市群通过加速发展,成为了又一发展核心。而南昌都市圈与周边地级城市联系偏弱,发展相对滞后。此时还形成了襄阳、宜昌、荆州、衡阳、常德、九江、上饶等一批区域性次中心,在2020—2030年可能将再形成多个次中心。在空间结构演变历程中,发展轴线从无到有,辐射带动了城市群区域发展,但也存在缺乏中间纽带、沿线城市偏弱等问题,其作用未得到充分发挥。未来轴线的作用有望进一步加强,但仍需要规划调控。

(2) 现行空间结构中的核心极化作用过强,容易对生态环境造成不利影响。目前,长江中游城市群一半以上的城镇建成区都集中在相对狭小的三大城市圈范围内。根据情景分析结果,2030年将有60%左右城镇建成区集中在三大城市圈区域。而三大城市圈均位于生态环境相对敏感的长江、湘江、赣江流域,毗邻中国第一、第二大淡水湖鄱阳湖、洞庭湖,如果由于生态负担过重而产生环境问题,将直接影响长江中下游诸多省市。

(3) 空间结构演变政策启示。1990—2019年间,中国颁布了中部地区崛起、新型城镇化建设、生态文明建设、区域协调发展等一系列与城市群发展密切相关的政策。尽管长江中游城市群各城市在规划中均融入了这些政策,但其发展核心的扩张速度仍未减缓,区域发展差异仍不断加剧,大量占用生态用地的行为仍未得到遏制。究其原因,主要在于区域发展的自发性较强,缺乏城市群层面的有力调度,以GDP为核心的考核制度仍起主导作用,生态用地保护红线未能完全划定等方面^[38]。在此背景下,应从编制城市群国土空间规划、实施绿色GDP考核评价制度、划定并落实“三线一单”等领域共同发力,以政策引导长江中游城市群空间结构的全面优化。

(4) 空间结构优化对策。一是对武汉城市圈和长株潭城市群的发展速度进行科学控制。引领区内各城市以城市更新、土地功能置换等方式进行高效开发,严格控制无序扩张占用生态用地的行为。二是通过大南昌都市圈规划的落地实施,将南昌、九江及周边县市密切组织起来,打造新的发展核心,从而在长江中游城市群中营造三核心带动多中心、多组团共同发展的空间模式,促进区域协调发展。三是进一步强化轴线功能,着重做强九江、黄石、咸宁、岳阳、萍乡等发展轴线上的城市,重点发展襄阳、上饶、衡阳等靠近城市群边界的次中心城市,积极培育其人流、物流、资金流枢纽功能。使主次轴线的功能得到强化,在带动城市群区域协调发展的同时,加强与长三角城市群、京津冀城市群、粤港澳大湾区的对接。

5.2 讨论

本文依托GIS平台利用由海量单元格组成的方格网系统、各时间段扩张幅度叠加的玫瑰图分析了长江中游城市群在1990—2019年的空间结构演变历程,从宏观、微观角度分析了整个城市群及各个主要城市的扩张特征,构建了一套相对完整的方法论,有望为长江中游城市群空间结构优化方案的制定提供支撑,也可为其他城市群空间结构演变的研究提供参考。但本文也存在3方面的问题:①由于篇幅所限,未能采用迁徙大数据和Moran's *I*等模型进行分析,对于城市群内各城市的复杂联系考虑不足。②情景分析主

要依据1990—2019年发展趋势和现行城市规划,对政策变化、产业协作、国际化背景等方面考虑较少。^③在空间结构优化方案、政策体系方面的研究不够深入。这些问题将留待下一步的研究中继续深化。

参考文献(References)

- [1] Fang C L. The basic law of the formation and expansion in urban agglomerations. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(10): 1699-1712.
- [2] Song Jitao, Fang Chuanglin, Song Dunjiang. Spatial structure stability of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1311-1325. [宋吉涛, 方创琳, 宋敦江. 中国城市群空间结构的稳定性分析. *地理学报*, 2006, 61(12): 1311-1325.]
- [3] Fang Chuanglin. New structure and new trend of formation and development of urban agglomerations in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(9): 1025-1034. [方创琳. 中国城市群形成发育的新格局及新趋向. *地理科学*, 2011, 31(9): 1025-1034.]
- [4] Hennig B D. The growth and decline of urban agglomerations in Germany. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2019, 51(6): 1209-1212.
- [5] Melo P C, Graham D J, Levinson D, et al. Agglomeration, accessibility and productivity: Evidence for large metropolitan areas in the US. *Urban Studies*, 2017, 54(1): 179-195.
- [6] Friedmann J. The world city hypothesis. *Development and Change*, 1986, 17(1): 69-83.
- [7] Marshall J U. *The Structure of Urban Systems*. Toronto: University of Toronto Press, 1989: 59-68.
- [8] Hall P, Pain K. *The Polycentric Metropolis: Learning from Mega-City Regions in Europe*. London: Earthscan, 2006: 24-36.
- [9] Scott A J. *Global City-Regions: Trends, Theory, Policy*. New York: Oxford University Press, 2002: 84-89.
- [10] Mayhew S. *A Dictionary of Geography*. Oxford: Oxford University Press, 2004: 33-51.
- [11] Antrop M. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67(1-4): 9-26.
- [12] Marull J, Pino J, Mallarach J M, et al. A land suitability index for strategic environmental assessment in metropolitan areas. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81(3): 200-212.
- [13] Gaitani N, Santamouris M, Cartalis C, et al. Microclimatic analysis as a prerequisite for sustainable urbanisation: Application for an urban regeneration project for a medium size city in the greater urban agglomeration of Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*, 2014, 13: 230-236.
- [14] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 2003, 423(6939): 528-531.
- [15] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, et al. A technique for using composite DMSP/OLS 'City Lights' satellite data to map urban area. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 61(3): 361-370.
- [16] Lee S Y, Dunn R J K, Young R A, et al. Impact of urbanization on coastal wetland structure and function. *Austral Ecology*, 2006, 31(2): 149-163.
- [17] Yao Shimou, Chen Shuang. The trend of urban spatial evolution in the Changjiang river delta. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(S1): 1-10. [姚士谋, 陈爽. 长江三角洲地区城市空间演化趋势. *地理学报*, 1998, 53(S1): 1-10.]
- [18] Ning Yueming, Shi Qian, Zha Zhiqiang. A study on the formation mechanism and cross regional planning of urban continuous area in the Yangtze River Delta. *City Planning Review*, 1998(1): 15-19, 31. [宁越敏, 施倩, 查志强. 长江三角洲都市连绵区形成机制与跨区域规划研究. *城市规划*, 1998(1): 15-19, 31.]
- [19] Fang Chuanglin, Song Jitao, Zhang Qiang et al. The formation, development and spatial heterogeneity patterns for the structures system of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 827-840. [方创琳, 宋吉涛, 张蔷, 等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局. *地理学报*, 2005, 60(5): 827-840.]
- [20] Fang Chuanglin, Qi Weifeng, Song Jitao. Researches on comprehensive measurement of compactness of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(10): 1011-1021. [方创琳, 祁巍锋, 宋吉涛. 中国城市群紧凑度的综合测度分析. *地理学报*, 2008, 63(10): 1011-1021.]
- [21] Lu Dadao. The development and planning of metropolitan area. *Economic Geography*, 2009, 29(10): 1585-1587. [陆大道. 大都市区的发展及其规划. *经济地理*, 2009, 29(10): 1585-1587.]
- [22] Gu Chaolin. Study on urban agglomeration: Progress and prospects. *Geographical Research*, 2011, 30(5): 771-784. [顾

- 朝林. 城市群研究进展与展望. 地理研究, 2011, 30(5): 771-784.]
- [23] Zhou Chunshan, Ye Changdong. Features and causes of urban spatial growth in Chinese metropolises. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 728-738. [周春山, 叶昌东. 中国特大城市空间增长特征及其原因分析. 地理学报, 2013, 68(6): 728-738.]
- [24] Xue Fengxuan, Zheng Yanting, Xu Zhihua. The development of foreign urban agglomerations and its enlightenment to Chinese urban agglomerations. *Regional Economic Review*, 2014(4): 147-152. [薛凤旋, 郑艳婷, 许志桦. 国外城市群发展及其对中国城市群的启示. 区域经济评论, 2014(4): 147-152.]
- [25] Cui Gonghao. Yangtze River Delta: From regional cooperation to integrated development. *Shanghai Urban Planning Review*, 2018(6): 7-8. [崔功豪. 长三角: 从区域合作到一体化发展. 上海城市规划, 2018(6): 7-8.]
- [26] Hu Y N, Peng J, Liu Y X, et al. Mapping development pattern in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration using DMSP/OLS nighttime light data. *Remote Sensing*, 2017, 9(7): 760.
- [27] Saizen I, Mizuno K, Kobayashi S. Effects of land-use master plans in the metropolitan fringe of Japan. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 78(4): 411-421.
- [28] Buyantuyev A, Wu J G, Gries C. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94(3-4): 206-217.
- [29] Song Qiong, Xie Zhixiang, Li Tongsheng, et al. Study on spatial structure of urban network in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. *Areal Research and Development*, 2017, 36(3): 59-65. [宋琼, 谢志祥, 李同昇, 等. 长江中游城市群城市网络空间结构研究. 地域研究与开发, 2017, 36(3): 59-65.]
- [30] Peng Chong, Lin Yingzi, Gu Chaolin. Evaluation and optimization strategy of city network structural resilience in the middle reaches of Yangtze River. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1193-1207. [彭翀, 林樱子, 顾朝林. 长江中游城市网络结构韧性评估及其优化策略. 地理研究, 2018, 37(6): 1193-1207.]
- [31] Gadrani L, Lominadze G, Tsitsagi M. F assessment of landuse/landcover (LULC) change of Tbilisi and surrounding area using remote sensing (RS) and GIS. *Annals of Agrarian Science*, 2018, 16(2): 163-169.
- [32] Ouyang Xiao, Zhu Xiang, He Qingyun. Spatial interaction between urbanisation and ecosystem services: A case study in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(20): 7502-7513. [欧阳晓, 朱翔, 贺清云. 城市化与生态系统服务的空间交互关系研究: 以长株潭城市群为例. 生态学报, 2019, 39(20): 7502-7513.]
- [33] Grigoraş G, Urişescu B. Land use/land cover changes dynamics and their effects on surface urban heat island in Bucharest, Romania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2019, 80: 115-126.
- [34] Tong L Y, Hu S G, Frazier A E. Hierarchically measuring urban expansion in fast urbanizing regions using multi-dimensional metrics: A case of Wuhan metropolis, China. *Habitat International*, 2019, 94: 102070. DOI: .10.1016/j.habitatint.2019.102070.
- [35] Zhu Z. Spatial structure of the Changsha- Zhuzhou- Xiangtan urban agglomeration based on dynamic simulation analysis. *Journal of Urban Planning and Development*, 2015, 141(4): 357-369.
- [36] Shu Bangrong, Zhu Jianjun, Li Yongle, et al. Driving forces of urban land expansion at different stages of economic development: An empirical analysis based on provincial panel data. *China Land Science*, 2013, 27(11): 65-71. [舒帮荣, 朱建军, 李永乐, 等. 不同经济发展阶段下城市用地规模扩张动力研究: 基于省际面板数据的考察. 中国土地科学, 2013, 27(11): 65-71.]
- [37] Pugh C. Methodology, political economy and economics in land studies for developing countries. *Land Use Policy*, 1996, 13(3): 165-179.
- [38] Guo Qingbin, Zhang Zhonghua. Spatial-temporal evolution of factors aggregating ability in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(10): 1746-1761. [郭庆宾, 张中华. 长江中游城市群要素集聚能力的时空演变. 地理学报, 2017, 72(10): 1746-1761.]

Evolution process and characteristics of spatial structure of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River

ZHU Zheng¹, ZHU Xiang², LI Shuangshuang¹

(1. Department of Environmental Design, Fine Arts Academy, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2. College of Geographic Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: The spatial structure reflects the hierarchical structure, functional structure, and community form between cities in the urban agglomeration, representing the expansion model and development characteristics of the urban agglomeration within a certain time range. In this study, the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River (UAMRYR), which is the first approved national urban agglomeration in China, is selected as the research object. The land use / land cover datasets, Landsat images, and urban population data were used in this study to analyze the evolution process and characteristics of the UAMRYR during 1990-2019 at the macro and micro levels. The research methodology includes the development of the spatial database, construction of the grid system, calculation of the urban expansion degree, and building of the expansion rose map. Based on the characteristics and the rules of historical development, a scenario analysis is processed on the development situation for 2020 and 2030. The main conclusions are as follows: (1) From 1990 to 2019, the spatial structure of the UAMRYR has transitioned from "three centers" into "single core, double centers, and multi-clusters", and then into "double cores, multi-centers, and multi-clusters". The "double cores" of the Wuhan metropolitan area and the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration has developed into giant cores and will continue to expand during 2020-2030, becoming superlarge cores with built-up areas of about 2000 km² and 1500 km², respectively. Nanchang is relatively small and would remain as the regional development center radiating the Jiangxi Province. Seven development sub-centers have been formed, namely Xiangyang, Yichang, Jingzhou, Changde, Hengyang, Jiujiang, and Shangrao, and are expected to increase further in the future. (2) In the development process, four main axes of the Yangtze River, Wuhan to Changsha, Wuhan to Nanchang, Nanchang to Changsha, and several secondary axes have been formed. However, due to the lack of strong border hub and bridgehead city, the driving force of the axes on the urban agglomeration needs to be further improved. (3) There are several development problems in the area. The polarization effects of cores in the Wuhan metropolitan area and the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration are extremely strong and continue to present a development trend. Jiangxi Province lacks a strong core, thus various environmental problems emerged due to the over-concentration of urban built-up areas. These places are urgently adjusted in order to control the speed of expansion, cultivate new regional centers, and strengthen the axis function.

Keywords: spatial structure; scenario analysis; evolution process; evolution characteristics; urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River (UAMRYR)