

# 长沙城市空间结构演变的动态模拟

朱政贺清云

(湖南师范大学美术学院, 中国湖南长沙 410081;

湖南师范大学资源与环境科学学院, 中国湖南长沙 410081)

**【摘要】**以 1990—2015 年城镇建成区、交通路网、城镇人口密度的数据为基础, 以长沙市为例展开动态模拟研究: 利用六边形格网系统描述城市建设指数的空间分布, 利用十二向玫瑰图坐标系表现各增长单元对周边的辐射作用, 利用四维山丘图模拟过去 25 年的城市空间结构演变脉络, 预测未来 10 年的发展趋势。通过数理分析和动态观察, 得出了长沙城市空间结构演变在宏观、微观层面的若干结论。试图提出优化模式, 并为城市总体规划的前期研究提供方法层面的参考。

**【关键词】**城市空间结构; 六边形格网系统; 十二向玫瑰图坐标系; 四维山丘图

**【中图分类号】**TU984.2 **【文献标识码】**A

**【文章编号】**1000-8462(2016)06-0050-09

**【DOI】**10.15957/j.cnki.jjdl.2016.06.007

城市发展是一个动态的、复杂的、变化的、多因素共同参与的过程。城市空间结构反映了城市发展的内生机制, 描述了城市发展方向、扩展速度、增长单元分布、中心区与边缘区的关系等要素。2006 年开始实施的《城市规划编制办法》的三十一条第八项指出: 城市总体规划编制过程中, 应合理设计城市空间结构, 确定市级和区级中心的位置和规模。这要求我们深入研究城市空间结构演变的内生机制及发展趋势, 为城市总体规划的制定提供依据。

传统研究认为: 城市空间结构可以概括为某一种固定的模式, 如 Burges 提出的同心圆模式, Hoyt 提出的扇形模式等。2000 年后, 国内外学界针对城市空间结构提出了一些新观点: 当代城市的发展是一个量变、质变交替出现的过程, 伴随着城市的扩张, 城市空间结构将会发生变化, 反过来又影响城市的扩张趋势。由于当代中国城市的爆发性发展, 城市空间结构在某 5~10 年中采取一种模式, 但在下一个 5~10 年中可能就演化成了另一种模式。因此, 以动态的视角来研究城市空间结构是准确把握城市发展趋势的必要途径。根据上述研究, 本文认为, 要制定切合实际的城市总体规划, 就必须深刻把握城市空间结构演变脉络, 采用动态的、四维的、宏观与微观结合的研究方法准确预测其发展趋势。

近年来, 关于城市空间结构演化的研究方法不断丰富。主流方法有系统动力学法、Markov 模型、CLUE-St 模型和元胞自动机 (Cellular Automata, CA) 等。其中, 系统动力学法、Markov 模型可以分析城市规模变化的趋势, 预测一定时间范围内城市规模总量, 但难以在空间维度上描述城市发展态势 [8]。CLUE-S 模型可以模拟出城市空间维度的变化过程, 但对微观演化的把握不足 [9]。元胞自动机能够相对精确地模拟出城市宏观、微观层面上的变化特征, 但数据呈离散状态, 归纳与运算的难度较大。本文试图综合上述研究的优点, 探索一种既能模拟城市空间结构的时间、空间演化趋势, 又能准确反映宏观与微观变化特征, 基于 GIS 平台, 操作较为简易, 结果较为直观的方法。

长沙市位于我国中南部、湖南省中部偏东, 是湖南省省会、长株潭城市群核心城市、长江中游城市群的重要节点。自 1990 年以来, 长沙市城市建设速度不断加快 [11]。观察历史数据可以发现, 1978—1990 年, 城镇建成区规模从 53.26 km<sup>2</sup> 增长到 72.35 km<sup>2</sup>, 年均增长率仅为 2.99%。而 1990—2015 年, 年均增长率达 12.39%, 2015 年建成区规模已达 296.38 km<sup>2</sup>。这说明 1990—2015 年期间, 长沙城市扩张速度迅猛增长, 城市空间结构很可能发生一系列变化, 这也是我国许多省会城市的共同特征 [13]。在 25 年的时间范围中, 选取每 5 年为一个时间单位, 能够在相对较小的数据量的前提下进行准确的动态模拟。因此, 本文以 1990、1995、2000、2005、2010、2015 年 6 个时间节点上长沙城市空间结构的演化为研究对象, 通过对城镇建成区、交通路网、城镇人口密度等资料的收集处理, 建立城市建设指数六边形格网系统。利用十二向玫瑰图坐标系, 描述各时间段城市建设指数的变化情况, 找出对周边区域影响范围较大, 影响程度较高的区域。建立四维山丘图, 对城市整体发展扩张情况进行模拟, 对未来 10 年的发展趋势进行预测。从而归纳出长沙城市空间结构演变的趋势和内生机制, 明确空间结构的

宏观模式与微观特征，为城市总体规划的编制提供参考。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 研究范围与数据收集

本文的研究范围采用《长沙市城市总体规划(2003—2020)(2014年修编成果)》中划定的都市区范围。涵盖芙蓉区、开福区、雨花区、天心区全部，岳麓区除莲花镇、雨敞坪镇以外的区域，望城区的高塘岭、喻家坡、白沙洲、大泽湖、月亮岛、金山桥、黄金园、廖家坪、书堂山、丁字湾10个街道，长沙县的星沙、湘龙、泉塘、榔梨、黄兴、黄花、安沙、干杉、暮云、跳马10个街道与乡镇，共有街道、乡镇90个，总面积1930km<sup>2</sup>。

资料收集方面，城镇建成区、交通路网的资料以城市总体规划中的土地利用现状图、历史卫星影像图为主，来自长沙市城乡规划局信息中心。城镇人口密度由各街道、乡镇的总面积和城镇人口两个数据计算得出，来源于各区、县历年的统计年鉴和报表。1990—2015年中，长沙市许多街道、乡镇发生了调整或撤并，本文按照调整或撤并的具体情况来计算城镇人口密度。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 城镇建成区与城镇人口密度变迁图数字化

在ArcGIS10.2软件中，按坐标导入所收集的土地利用现状图、历史卫星影像图，对城镇建成区、交通路网、水域、街道与乡镇的边界分别进行数字化，得到四类海量图斑，并保存在相应的图层。提取城镇建成区、交通路网、水域三个图层，即可得到长沙1990—2015年城镇建成区变迁图。以各街道、乡镇的城镇人口数据除以其区域面积，即可得到各街道、乡镇的城镇人口密度数据和1990—2015年城镇人口密度变迁图。

#### 1.2.2 六边形格网系统

在长沙城镇建成区变迁图的基础上，建立一个由2330个六边形单元格组成的格网系统。每个六边形单元格东西宽1km，南北长1.16km，边长0.58km，面积0.87km<sup>2</sup>。建立该格网系统目的在于描述长沙1990—2015年城市建设指数分布情况。城市建设指数(UrbanConstructionIndex)是一个综合性概念，包括了建成区面积、交通路网密度、城镇人口密度等指标，将六边形格网同坐标覆盖到1990—2015年的城镇建成区和城镇人口密度变迁图上，并用2330个六边形单元格的边界对所有的城镇建成区、交通路网、街道与乡镇的人口密度图斑进行切割，使所有单元格内的图斑相对独立，以便于统计。在此基础上，建立公式(1)。

$$U = \frac{C \cdot (T_{hw} R_{hw} + T_{w} R_{w} + T_{c} R_{c} + T_{s} R_{s}) (f_1 g_1 + f_2 g_2 + f_3 g_3 + f_4 g_4 + f_5 g_5)}{2d_0 A^2} \cdot 100\% \quad (1)$$

式中： $U$ 为城市建设指数，采用%； $C$ 为单元格内城镇建成区面积，单位为km<sup>2</sup>； $A$ 为单元格面积0.87km<sup>2</sup>； $R_{hw}$ 、 $R_w$ 、 $R_c$ 、 $R_s$ 分别为单元格内高速路与快速路、城市主干道、城市次干道、城市支路的路段长度，单位为km<sup>2</sup>； $T_{hw}$ 、 $T_w$ 、 $T_c$ 、 $T_s$ 分别为上述四种道路的比例常数，取0.4、0.6、0.4、0.2<sup>[16]</sup>； $d_0$ 为单元格边长，取0.58km； $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、 $g_4$ 、 $g_5$ 分别为单元格中城镇人口密度 $\geq 10\,000$ 人/km<sup>2</sup>、5\,000~10\,000人/km<sup>2</sup>、2\,000~5\,000人/km<sup>2</sup>、1\,000~2\,000人/km<sup>2</sup>和500~1\,000人/km<sup>2</sup>图斑的面积； $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ 、 $f_5$ 分别为上述五种城镇人口密度图斑的比例常数，取1、0.75、0.35、0.15、0.075<sup>[17]</sup>。利用公式(1)可计算出全部2\,330个单元格1990—2015年的城市建设指数。

### 1.2.3 十二向玫瑰图坐标系

在 ArcGIS10.2 软件中,对 1990—2015 年 6 个时间节点上所有单元格的城市建设指数进行两两相减,得到 1990—1995、1995—2000、2000—2005、2005—2010、2010—2015 年共 5 个时间段的增长量,并添加到各单元格的属性中。在 ArcGIS10.2 软件中提取 1990—2015 年所有城市建设指数高于 20%的单元格,以这些单元格的中心为原点建立若干个十二向玫瑰图坐标系,如图 1。

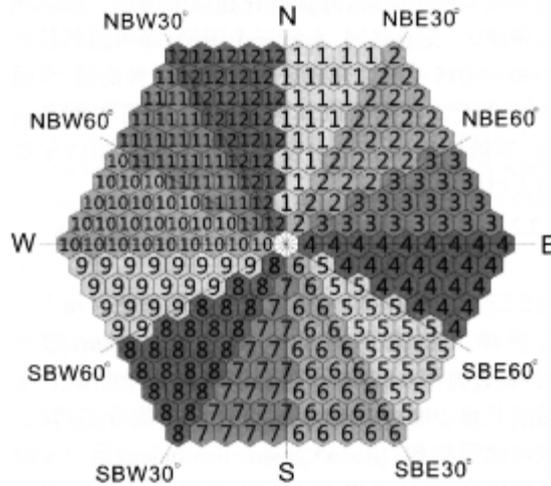


图1 十二向玫瑰图坐标系范例  
Fig.1 Example of coordinate system of the 12 directions rose diagram

十二向玫瑰图坐标系中,设某一单元格的中心为原点,设某一方向为 X 坐标轴,相邻方向为 Y 坐标轴,坐标轴的计量单位为单元格中心之间的距离。如坐标系中某一单元格距离 X 坐标轴  $i$  单位, Y 坐标轴  $y$  单位,它的坐标可表现为  $(i, y)$ 。以原点为中心,将十二向玫瑰图坐标系划分为 12 个象限,分别是正北~北偏东 30°、北偏东 30°~60°、北偏东 60°~正东、正东~南偏东 60°、南偏东 60°~30°、南偏东 30°~正南、正南~南偏西 30°、南偏西 30°~60°、南偏西 60°~正西、正西~北偏西 60°、北偏西 60°~30°、北偏西 30°~正北,依次将各象限中所有单元格编号为 1~12。在此基础上,利用公式(2),确定 1~12 象限所包含的有效单元格。

$$P_{i,j} \in Q$$

$$(P_{i+1,j+1} \leq P_{i,j}; n=0,1,2,\dots,i+1; i \geq 0; j \geq 0) \quad (2)$$

式中:  $P_{i,j}$  表示 1~12 象限中某一单元格某一时间段城市建设指数的增长量,  $i$  和  $j$  分别为其在相邻两条坐标轴上的坐标;  $Q$  为有效集,当  $P_{i,j}$  的值小于相邻且更靠近原点的另一单元格的值时,  $P_{i,j} \in Q$ 。如果  $P_{i,j}$  的值大于所在象限中相邻且更靠近原点的另一单元格的值,则  $P_{i,j}$  及其外侧的所有单元格均不属于  $Q$ ,不在该坐标系中考虑。当坐标系中,某一象限的  $Q$  非空集时,用一条线段将该象限最外侧的单元格中心点与两侧的坐标轴连接起来,共同形成一个三角形。将 1~12 象限均用三角形表现,可以得到该坐标系的十二向玫瑰图。如果某一象限的  $Q$  中没有任何有效元素,则视  $Q$  为空集,该象限应在玫瑰图中保持空缺。如果一个坐标系的 12 个象限全部空缺,则视该坐标系无效。

#### 1.2.4 四维山丘图与三维曲线图构建

利用公式(2)、(3)、(4)、(5),建立1990—1995、1995—2000、2000—2005、2005—2010、2010—2015年共5个时间段的十二向玫瑰图坐标系分布图。将某时段坐标系各象限的城市建设指数增量以三维多边形表现[2()],即可得到该时段的增长山丘图。将5个时间段的增长山丘图按时间先后顺序叠加起来,则可得到反映1990—2015年长沙市城市空间结构演变的四维山丘图。

在ArcGIS10.2软件中将各有效坐标系的有效象限数、各象限面积、12象限总面积计算出来,并保存为坐标系的特征变量。利用SPSS19.0软件进行聚类分析,得到若干类,并取其中的前几类进行观察。在参照各坐标系的实际位置与周边关系的基础上,判断哪些坐标系对城市空间结构的变迁有重要、次重要影响。将具有最重要影响的坐标系提取出来,计算原点外每一单元格中城市建设指数的平均值,可得到描述原点影响范围和程度的三维曲线图。

以对城市空间结构变迁有重要、次重要影响的坐标系为基础,利用公式(3)对2020、2025年的发展趋势进行预测。

$$F_{(a,b)} = D_0 \cdot \left[ P_{(a,b)} + \frac{d_1 \cdot \sum_{i=1}^5 P_1}{m_1 \cdot d_1} + \frac{d_2 \cdot \sum_{i=1}^5 P_2}{m_2 \cdot d_2} + \frac{d_3 \cdot \sum_{i=1}^5 P_3}{m_3 \cdot d_3} + \frac{d_4 \cdot \sum_{i=1}^5 P_4}{m_4 \cdot d_4} + \frac{d_5 \cdot \sum_{i=1}^5 P_5}{m_5 \cdot d_5} \right] \quad (3)$$

$$F_{(a,b)} = P_{(a,b)} \quad (a^2 + b^2 \leq E \cdot d_i^2)$$

$$F_{(a,b)} = P_{(a,b)} \quad (a^2 + b^2 > E \cdot d_i^2)$$

式中:  $F_{(a,b)}$  为预测年时,某一象限中某单元格的城市建设指数。该单元格与预测基准年(2015年)最外侧有效单元格的X轴、Y轴距离分别为  $a$ 、 $b$ 。  $F_{(a,b)}$  为该单元格在预测基准年的城市建设指数。  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$  分别为该象限在1990—1995、1995—2000、2000—2005、2005—2010、2010—2015年5个时间段各单元格的城市建设指数增长量。  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、 $m_4$ 、 $m_5$  为各时间段包含的单元格数量。  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 、 $d_5$  分别为该单元格与上述五个时间段中最外侧

有效单元格的直线距离,  $d_i$  为该象限1990—2015年扩张的总距离,均以单元格为单位。  $s$  为有效预测时间段数量,即该单元格在几个时间段内有所增长,  $s \leq 5$ 。  $D_0$  为边际递减效应系数,根据十二向玫瑰图坐标系的特性,取0.96。  $E$  为预测时间段单位,由于以5年为一个时间段,故预测2020、2025年时,  $E$  分别取1、2。

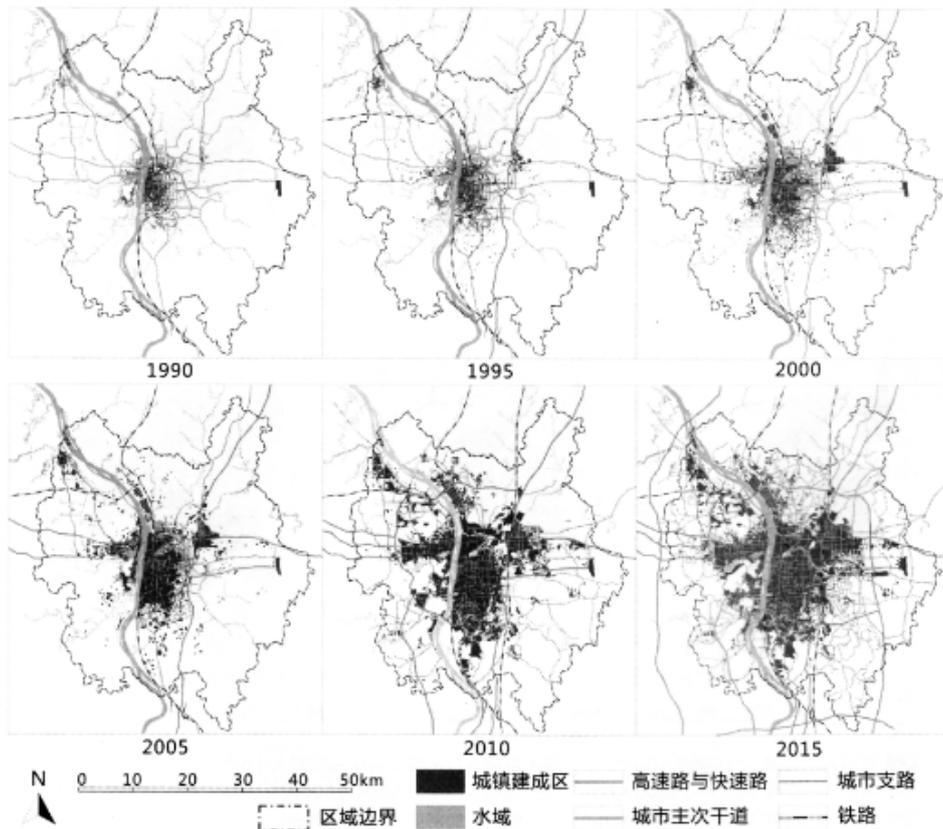


图2 长沙城镇建成区变迁(1990—2015)  
Fig.2 The variation of urban built-up areas of Changsha (1990—2015)

### 1. 2. 5 绝对平均误差 (MAE) 检验

利用绝对平均误差法(MAE),对研究结果进行检验。由于未来暂无法验证,故假设2015年情况不可知,用1990—2010年的数据和本文方法预测2015年的情况,再计算2015年的真实情况与预测值的绝对平均误差。

$$MAE = \frac{1}{2330} \sum_{i=1}^{2330} |U_{2015} - P_{2015}| \quad (4)$$

式中:MAE为绝对平均误差; $U_{2015}$ 为模拟预测得到的2015年各单元格城市建设指数; $P_{2015}$ 为2015年的

真实城市建设指数。根据相关判定原则<sup>[27]</sup>,当研究对象数量介于2 000~3 000之间,如果 $MAE \leq 20\%$ ,研究方法可视为有效。

## 2 实证分析结果

### 2.1 城镇建成区与城镇人口密度分析结果

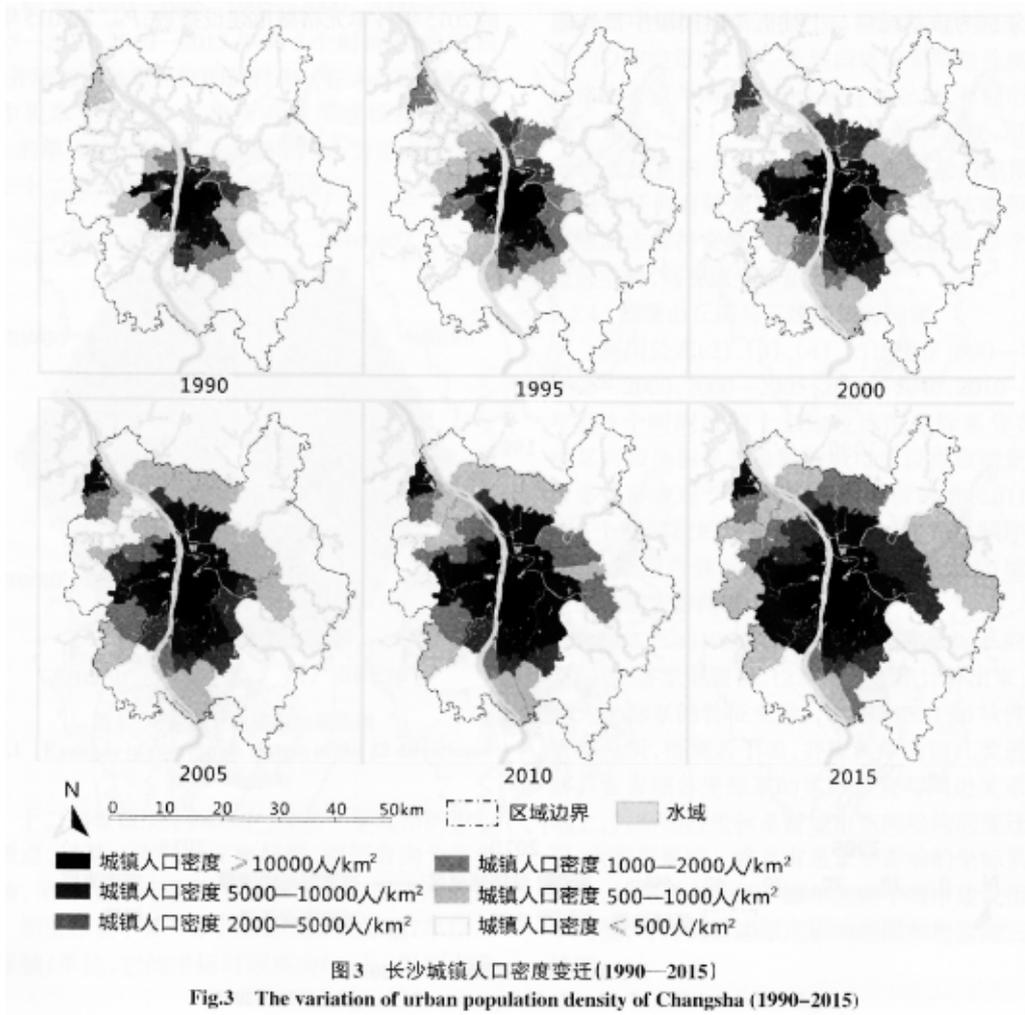
通过上文方法,得到1990—2015年六个时间节点上长沙城镇建成区变迁图(图2)和城镇人口密度变迁图(图3)。观察发现:1990—2015年期间,长沙保持了较快的城市扩张速度,每5年建成区会扩大60%左右。城镇建成区与交通路网的建设基本同步。城镇人口密度增长与建成区扩张在空间上呈现明显的正相关。

综合城镇建成区、交通路网、城镇人口密度等要素,计算出2330个六边形格网在1990—2015年6个时间节点上的城市建设指数,将其按80%~100%、60%~80%、40%~60%、20%~40%

、10%~20%、10%以下分为6类，并用不同深浅的颜色来表示。如图4。

### 2.3 十二向玫瑰图坐标系结果

建立1990—1995、1995—2000、2000—2005、2005—2010、2010—2015年的十二向玫瑰图坐标系。5个时间段中的有效坐标系数量分别为42、54、76、88、102个。观察有效坐标系发现：如果某一坐标系12个象限均面积较大，说明该区域对周边区域有较强的辐射带动作用。如果某一坐标系范围较小，或仅有少数几个有效象限，说明该区域的辐射带动作用较弱。



### 2.4 四维山丘图与三维曲线图结果

利用上文方法，建立长沙市1990—2015年的城市空间结构演变四维山丘图。计算出坐标系聚

类分析结果，共5类，第1~5类所含数量为：9、16、64、102、171。找出第1、2类坐标系原点的位置。其中第1类9个，分别是五一广场、长沙市政府、湘府中路、高新区麓谷、星沙开元中路、金霞片区、万家丽广场、圭塘片区、大学城。第2类16个，分别是望城经开区、观沙岭、梅溪湖、溁湾镇、岳麓科技产业园、洋湖、新开铺、暮云、洞井、环保产业园、黎托、隆平高科园、高桥、高铁站、空港城、会展中心。针对9个第1类坐标系建立三维曲线图，描述1990—2015年间与原点一定距离的单元格中城市建设指数的平均值，从而呈现其影响范围与程度，如图5。

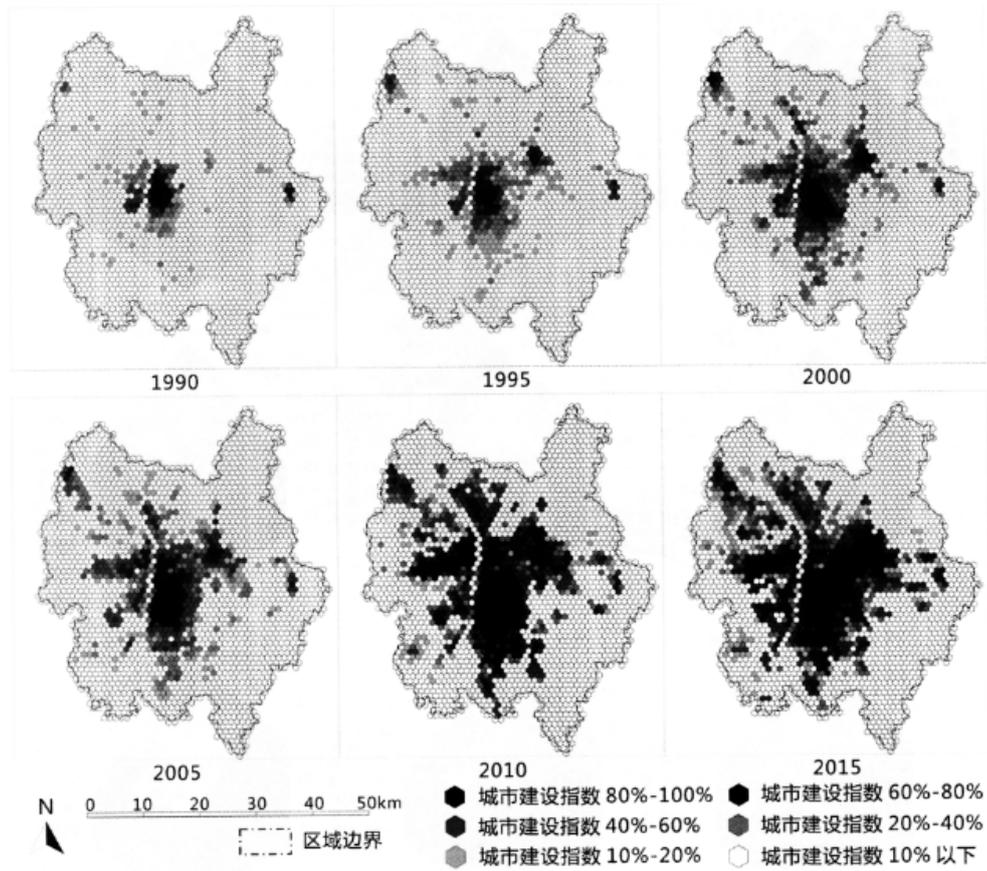


图4 城市建设指数六边形格网系统(1990—2015)  
 Fig.4 The hexagon grid system of urban construction index (1990—2015)

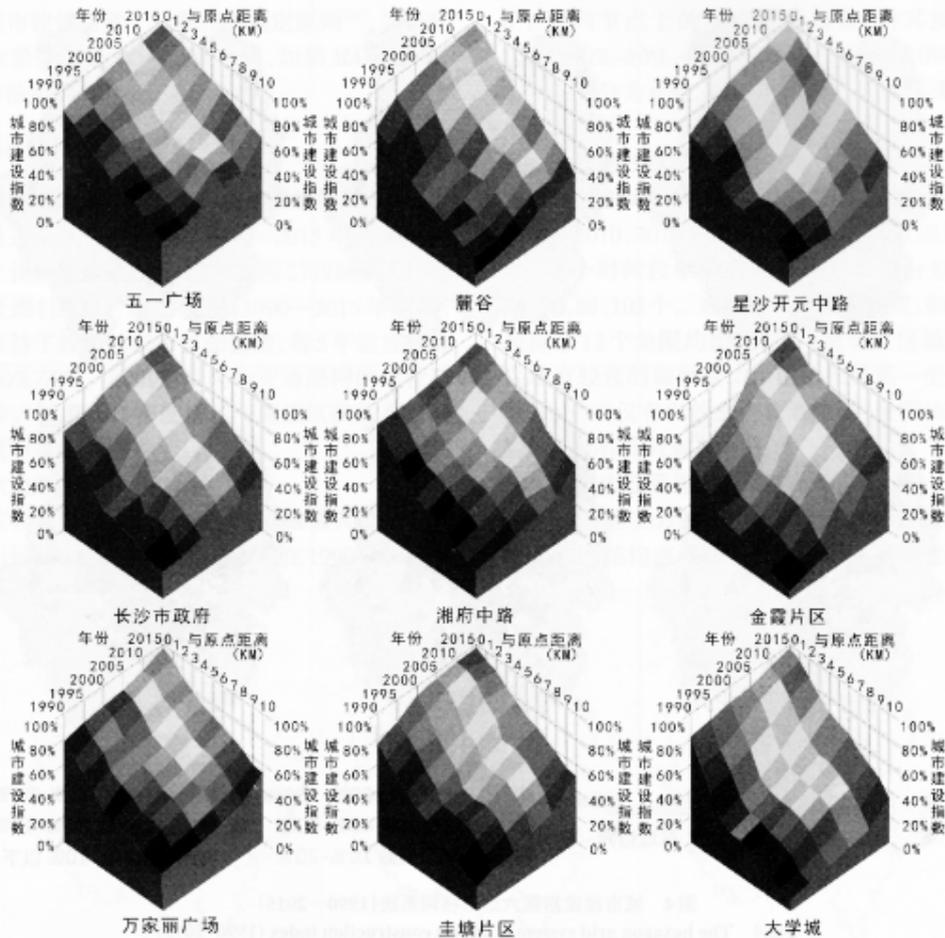


图5 第1类坐标系的影响范围与程度三维曲线图

Fig.5 The three-dimensional curves of influence scope and degree of coordinate systems in first category

结合三维曲线图和四维山丘图可以发现，五一广场作为长沙的传统中心，影响范围广、程度高，1990—2015年期间一直对周边地区产生强大的辐射带动作用，对半径10km的区域仍有明显效果。湘府中路、长沙市政府作为搬迁后的省市政府驻地，2005年后兴起，对周边区域辐射带动效果较强，且随着时间推移影响范围越来越广，至2015年对半径10km的区域有明显带动作用。麓谷、星沙开元中路作为长沙高新区、经开区的核心区，2000年后兴起，对半径8km左右的区域有一定辐射带动作用，但程度不及五一广场和省市政府驻地。金霞片区是2005年后逐渐兴起的增长点，对周边的辐射带动范围和程度均较强。万家丽广场、圭塘片区作为城市东部的增长中心，1995年后开始发挥作用，影响范围广、辐射作用强，对半径10km的区域仍有较强带动作用。大学城1990年就已兴起，对半径6~7km的区域辐射带动作用明显，对7km以外的区域效果减弱，但2010年后有逐步增加的趋势。总的来说，第1类的9个区域在过去的25年中逐步兴起，并对整个城市的发展有举足轻重的作用，可视为发展中心。其中五一广场为代表的城市中心区实力强、辐射广，明显高于其他8个中心。第2类的16个坐标系在影响范围和程度方面不如第1类明显，但对周边也有一定辐射带动作用，应视为发展组团。值得注意的是，部分发展组团是在2000年、2005年方才形成的，这说明长沙市的发展组团的数量处于不断变化的过程中。

通过与四维山丘图的对比观察，取两次聚类中的第1、2、3类，共89个坐标系，利用公式(3)预测长沙市2016—2025年的城市空间结构发展趋势。自此，长沙市1990—2025年的空间结构演变情况得到了完整的模拟，如图6。此处可预测出长沙市至2025年的城镇建成区增速和面积，分别为10.4%和796km<sup>2</sup>。

## 2.5 MAE 检验结果

在假定2015年情况不可知的前提下，根据公式(3)，以1990—2010年的数据预测2015年的情况，形成六边形格网，并与2015年的真实情况相比较。利用公式(4)，计算出 $4E=7.56\%$

。按照 20%视为有效的原则，判定本文方法为有效。

## 2.6 空间结构) 演变特征分析

根据 1990—2015 年的演变四维山丘图、坐标系聚类结果，以及 2020、2025 年的预测结果，可以归纳长沙城市空间结构的演变趋势特征。长沙市 1990 年的空间结构为简单的单核模式，至 2015 年已形成了“一核八心多组团”模式。其中，“一核”是以五一广场为主的发展核心，具备对整个城区的辐射带动作用。“八心”分别是长沙市政府、湘府中路、高新区麓谷、星沙开元中路、金霞片区、万家丽广场、圭塘片区、大学城 8 个发展中心，一方面对周边 10km 左右的区域有显著辐射带动作用，另一方面还在周边不断培育新的发展组团。“多组团”即对周边 5~10km 的区域有带动作用的多个发展组团。未来 10 年中，可能会增加坪塘、学士、黄金园、黄兴、安沙、南托等多个新组团。

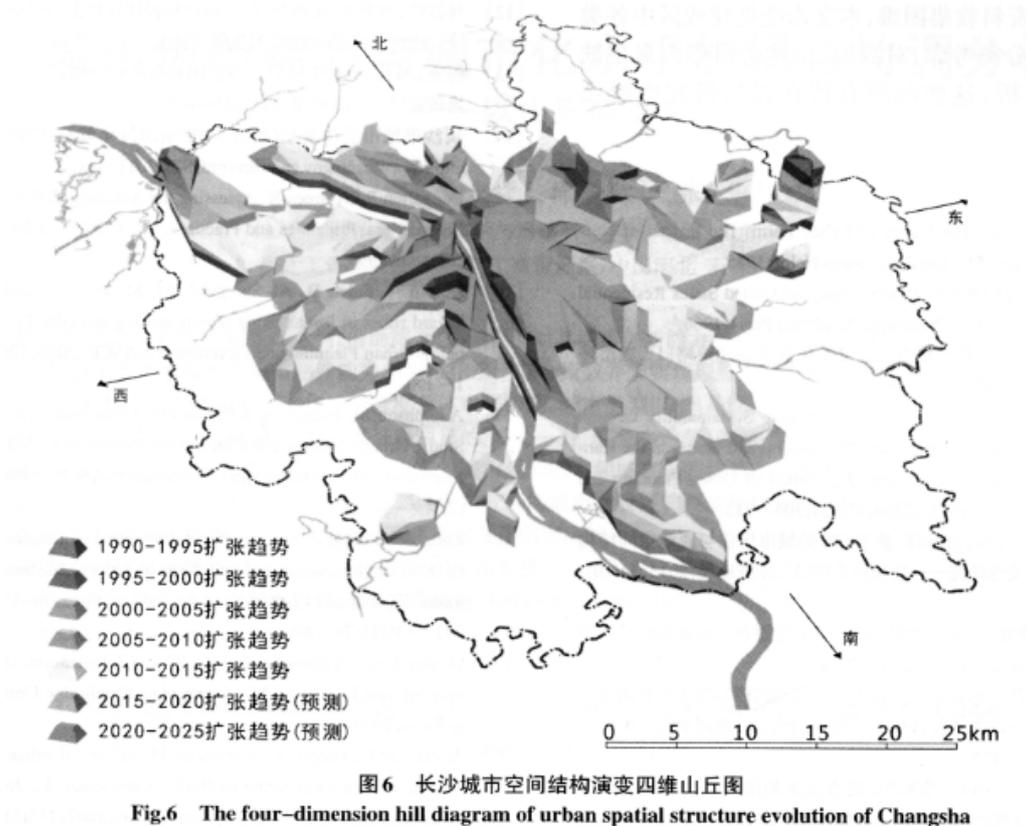


图 6 长沙城市空间结构演变四维山丘图  
Fig.6 The four-dimension hill diagram of urban spatial structure evolution of Changsha

## 3 结论与讨论

本文探索了长沙市 1990—2015 年城市空间结构演变趋势，并预测了未来 2016—2025 年的发展趋势。得出如下结论：

1990—2015 年，长沙城市空间结构由简单的单核模式演化为“一核八心多组团”模式。在演变过程中，城市总体规模不断扩大，而发展核心始终辐射带动整个城市，并对各发展中心有拉动作用。发展中心随着城市的扩张逐渐兴起，在承接核心区辐射的同时，不断带动周边区域发展，催生新的组团。城市空间结构的演变过程是一种有内部层次的，“扩张—融合—新生”循环的有机模式。

2016—2025 年的预测结果表明，未来 10 年中长沙城镇建成区面积仍将以每年 10% 以上的速度增长，至 2025 年达到 796km<sup>2</sup>。随着城市的扩张，市中心发展核对边缘区的作用将会减弱，新的发展中心可能会形成，组团数量会增加。但一些发展中心和组团也可能会由于周边区域发展饱和而失去辐射作用。

从四维山丘图来看，1990—2015 年期间，市中心发展核对整个城市的辐射作用最为明显。而 2016—2025 年期间，发展核对周边区域的直接带动作用变小，更多的是凭借中心、组团

来实现辐射带动。中心、组团的作用在未来将变强。

本文认为,长沙在 2016—2025 年的空间结构应调整为“双核八心多组团”。在现有的市中心发展核的基础上,还必须在河西的市府滨江片区增加一个新的发展核,作为国家级湘江新区的主体增长极,为河西城区提供强有力的辐射作用,实现更加均衡的发展。现有的 8 个发展中心中,大学城、圭塘片区周边区域将逐渐饱和,高铁站、梅溪湖这两个组团应升级成为新的发展中心。应合理设置 8~10 个新的发展组团,促进城市各片区的高效发展。

综上所述,本文认为,长沙作为我国中部地区具有代表性的省会城市,1990—2015 年的城市空间结构经历了由单核模式向“一核八心多组团”的演变,在 2016—2025 年应根据新的发展态势优化发展模式。本文的结论可以为城市总体规划的修订提供参考,也可为城市研究拓宽方法层面的思路。

由于历史资料收集困难,本文未能把建成区中各类用地进行分类考虑,对绿地、山体等自然因素也缺乏相关分析,这些问题有待在以后研究中继续探索。

#### 参考文献:

- [1] BurgesEW. The Future of Urban Form: The Impact of New Technology[M]. London: CroomHelm, 1985.
- [2] HoytH. The Sector Theory: Studyon United States Residential Community[M]. Pittsburgh: AcademicPress, 1966.
- [3] 魏后凯. 中国特大城市的过度扩张及其治理策略[J]. 城市环境研究, 2015(2):30-35.
- [4] JohnsonBJ, SwearingenS. PromotingSustainabilitythroughTransportationInfrast- ructure?InnovationandInertiaintheKan- sasCityMetropolitanArea[j]. JournalofUrbanPlanningandDevelopment-ASCE, 2010 , 136(3): 303-313.
- [5] 叶强, 曹诗怡, 聂承锋. 基于 GIS 的城市居住与商业空间结构演变相关性研究——以长沙为例[J]. 经济地理, 2015, 34(10):65-70.
- [6] 王磊, 沈建法. 五年计划/规划、城市规划和土地规划的关系演变[J]. 城市规划学刊, 2014(3):45-51.
- [7] 杨俊, 解鹏, 席建超, 等. 基于元胞自动机模型的土地利用变化模拟——以大连经济技术开发区为例[J]. 地理学报, 2015, 70(3): 461-475.
- [8] 刘明皓, 王耀兴, 李东鸿. 城市土地利用动态模拟研究进展[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2013, 25(4):207-214.
- [9] 焦利民, 张欣, 毛立凡. 自组织双重空间聚类算法的城市扩张结构分析应用[J]. 地球信息科学, 2015, 17(6):638-643.
- [10] 马世发, 高峰, 念沛豪. 城市扩张经典 CA 模型模拟精度的时空衰减效应——以广州市 2000—2010 年城市扩张为例[J]. 现代城市研究, 2015, 15(7):88-93.
- [11] 周国华, 贺艳华. 长沙城市土地扩张特征及影响因素[J]. 地理学报, 2006, 61(11):1171-1180.
- [12] 林目轩, 师迎春, 陈秧分. 长沙市区建设用地扩张的时空特征[J]. 地理学报, 2007, 26(21):265-275.
- [13] 蒋亮, 冯长春. 基于社会——空间视角的长沙市居住空间分异研究[J]. 经济地理, 2015. 35(6):78-86.

- [14]长沙市城市总体规划(2003—2020)(2014年修订)[EB/OL]. <http://www.csup.gov.cn/csufmCSZG2011.aspx>.
- [15]CongaltonRG, GreenK. AssessingtheAccuracyofRemotelySensedData : PrinciplesandPractices. M. . CRCPressInc, BocaRaton, 1999.
- [16]HuseinA, SalehB, Al-SheriadehM. MappingoflandslidehazardzonesinJordanusingremotesensingandGIS[J]. JournalofUrbanPlanningandDevelopment-ASCE, 2000, 126(1): 1-17.
- [17]AdolphsonM. EstimatingaPolycentricUrbanStructureCaseStudy : UrbanChangesintheStockholmRegion1991-2004[j]. JournalofUrbanPlanningandDevelopment-ASCE, 2009, 135(2): 19-30.
- [18]ZhengZ, BohongZ. StudyonSpatialStructureofYangtzeRiverDeltaAgglomerationandItsEffectsonUrbanandRuralRegions[J]. JournalofUrbanPlanningandDevelopment-ASCE, 2012, 138(1): 78-89.
- [19]GuglerJ. WorldcitiesbeyondtheWest : Globalization, Development, andInequality[M]. Cambridge: CambridgeUniversityPress, 2004.
- [20]KottmeierC, BiegertC, CorsmeierU. EffectsofurbanlanduseonsurfacetemperatureinBerlin : Casestudy[J]. JournalofUrbanPlanningandDevelopment-ASCE, 2007, 133(2) : 128-137.
- [21]GosoniL, VounatsouP, SogobaN, etal. MappingmalariariskinWestAfricausingaBayesiannonparametricnon-stationarymodel[j]. ComputStat. DataAnal, 2011, 53(2) : 3358-3371.
- [22]黄金川, 刘倩倩, 陈明. 基于 GIS 的中国城市群发育格局识别研究[J]. 城市规划学刊, 2014(3): 37-44.