



地理研究
Geographical Research
ISSN 1000-0585, CN 11-1848/P

《地理研究》网络首发论文

题目: 长沙城市空间破碎化的格局特征及其影响因素
作者: 朱佩娟, 郎泽慧, 贺清云, 张美芳, 吴国权
收稿日期: 2019-12-23
网络首发日期: 2020-06-03
引用格式: 朱佩娟, 郎泽慧, 贺清云, 张美芳, 吴国权. 长沙城市空间破碎化的格局特征及其影响因素[J/OL]. 地理研究.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1848.P.20200603.0841.002.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

长沙城市空间破碎化的格局特征及其影响因素

朱佩娟^{1,2}, 郎泽慧¹, 贺清云¹, 张美芳¹, 吴国权¹

(1. 湖南师范大学资源环境科学学院, 长沙, 410081;

2. 湖南师范大学地理空间大数据挖掘与应用湖南省重点实验室, 长沙 410081)

摘要: 空间破碎化是城市空间结构研究亟待深化的重要课题。从形态、联系以及功能 3 个维度构建城市空间破碎化测度指标, 并运用地理探测器模型, 探讨长沙城市空间破碎化的格局特征及其影响因素。主要结论如下: ①城市空间破碎化可从形态分割、联系阻隔、功能失序三个方面进行测度, 形态分割可用平均地块面积指数表征, 联系阻隔可用平均阻抗指数刻画, 功能失序可用功能多样指数、邻接冲突指数来反映; ②长沙城市空间破碎化呈现圈层式分异为主、扇形扩展分异为辅的格局特征, 低破碎化区主要分布在城市核心区, 高破碎化区沿着特定的扇面向外围扩展, 且主要分布在大型封闭社区、工业园区、山地绿地及大型站场等区域; ③长沙城市空间破碎化的空间分异是多因素综合作用的结果, 其中海拔、坡度等自然因素是基础因素, 土地价格、人口密度、设施投入是主导因素。④长沙城市空间破碎化治理可从突破市场供给约束、市场需求约束和设施丰度约束三方面着手, 采取针对性调控对策, 以最大程度地消减空间破碎化带来的负面效应。

关键词: 空间破碎化; 空间格局; 影响因素; 地理探测器; 长沙市

DOI: 10.11821/dlyj020191108

1 引言

伴随城市空间的对外扩张与内部更新, 城市空间破碎化成为中国大城市空间演进的重要特征^[1-6], 并折射出转型背景下中国城市空间结构的复杂性与特殊性。城市空间破碎化是在自然或人文因素的影响下, 形态上均质连续、结构上联系紧密、功能上协同高效的整体空间趋向于割裂、低效和不连续的过程与状态, 集中表现为城市空间单元分割加强、空间联系弱化和空间整体功能下降, 具有复杂性与多维性的特征^[7, 8]。

城市空间破碎化研究起源于景观破碎化方法在城市空间研究中的探索, 最初主要关注于基于斑块特征的城市空间支离破碎式的领土延伸与空间蔓延方面。这一类型的研究着重对城市边界不断向外扩展过程中城市用地开发呈现的“低密度”“跳跃式”现象的分析与描述。多从土地利用/覆盖入手, 对城市空间的景观破碎化格局及其空间异质性进行分析, 为深入探索城市景观格局作用机理, 准确把握该区域的生态问题提供分析依据^[9]。但这类研究存在明显的局限, 主要表现为: 一是研究所涉及的对象限定为“土地(建设用地)”这一“物质”要素, 无法考虑其所承载的社会经济活动与过程, 将人类活动在城市空间破碎化中的作用排除在分析之外, 研究多适用于对城市化早期城市土地形态变化的描述, 对城市发展中后期的城市人文、社会及经济过程的动态演化缺乏描述能力。特别是对部分国家和地区的城市进入后工业化阶段, 城市中心对人口及相关活动的吸引力被新区分化, 城市对外扩张与内部重构背景下的空间碎片难以进行分析^[10]。二是机械照搬景观破碎化对生态格局影响效应的研究逻辑, 导致对城市空间结构特征的解释力不足。在实证研究中, 学者们多极为默契地认为城市空间斑块“细碎化”会带来生态负面效应和用地的不经济性, 但单一使用“细碎化”作为城

收稿日期: 2019-12-23; 修订日期: 2020-04-18

资助项目: 2019 年度湖南省重点领域研发计划项目(2019SK2101)

作者简介: 朱佩娟(1974-), 女, 湖南岳阳县人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为人文地理与城乡空间结构, E-mail: mrs-zhu@163.com

通讯作者: 贺清云(1955-), 女, 湖南省湘潭市人, 学士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为人文地理与区域发展。E-mail: 763540137@qq.com

市空间破碎化判断的指标,难以解释城市局部尺度土地混合利用的小地块组合模式的效益,如果只是从形态角度考虑,空间破碎化所表现的细碎化“碎片”恰恰是城市多样性的体现^[11, 12],从而导致城市空间破碎化判别标准的混乱与争议。

近年来,学者们开始关注城市空间要素相互作用关系变化所导致的功能破碎化,形成了两类视角。一是“土地形态”视角。研究多是从集约节约用地的视角围绕特定的建设用地空间分布展开^[13, 14]。关注受人为或自然条件的影响,某一类用地难以集中成片成规模,土地利用呈分散、插花、无序的状态。由于同样还是关注土地的细碎化水平,故在研究方法上仍然借鉴景观生态学的相关研究方法,只是提出了“适度规模经营”需求导向下的、对城市空间功能特征的把握,初步实现了城市空间破碎化研究的“功能”转向。二是“空间隔离”视角。城市空间中存在的隔离、孤立和异质性的空间斑块也被看作是景观破碎化中的“景观碎块”。“空间隔离”视角的研究注重从宏观的空间描述转向空间演进机制的剖析,以“城市居住分异”研究为热点展开,通过以围墙或栅栏作为社区边界与外界隔离开来的“封闭社区”(Gated Community)成为研究重点^[15, 16]。“孤立”“隔离”的空间状态成为理解“空间隔离”城市空间破碎化的关键。这一视角是运用空间手段介入社会运作之中的有效尝试,有效地弥补了景观破碎化研究忽视城市社会经济活动联系的不足,但未能充分体现功能失序的空间破碎化特征。

地块是城市空间的基本单元,对城市空间破碎化有重要影响。首先,大量封闭社区出现,公共空间私有化促发了过大尺度的城市地块的形成^[17]。其次,大尺度地块导致社会人群交流产生障碍,影响空间要素的自由流动,形成孤岛式的城市单元,从而降低了街道的活力,增加了交通的阻滞,影响城市内部通达程度,进一步加剧了空间的破碎,使得城市空间联系弱化^[18]。再次,城市空间快速扩张,低效率的资源配置使得城市中出现了分散化的居住、就业、商业和娱乐活动,兼容性差的用地类型以及单一功能地块的存在,使得空间功能冲突失序,城市空间隔离加剧,城市整体运行效率下降^[6, 8]。

本文基于地块特征分析,从形态分割、联系阻隔与功能失序三个维度构建城市空间破碎化的测度指标,研究长沙城市空间破碎化的格局特征及其影响因素,在理论上完善城市空间破碎化的测度指标,探讨识别城市空间破碎化格局分异因素的有效方法,在实践上为协调长沙城市空间冲突、提升长沙城市空间功能提供借鉴。

2 研究区域概况

长沙位于湖南省东部偏北,湘江下游和湘浏盆地西缘,处于平原向丘陵的过渡地带,全市总面积 11816 km²,内河网纵横交错,地形复杂,山地、丘陵、岗地、平原大体各占四分之一。2018 年末,长沙市常住人口 815.47 万人,其中城镇人口 645.19 万人,占 79.12%。2018 年实现地区生产总值 11003.41 亿元,全国排名第 14 位,跻身国内新一线城市,也是全国两型社会建设综合配套改革试验区核心城市。

本研究以长沙 2002 年为基期的《长沙市城市总体规划(2003—2020)》中界定的都市区为基础,剔除雨敞坪等建设用地开发强度较小,距离市中心区过于偏远的街道作为研究范围。研究区域面积为 1334 km²,包括 84 个街道(表 1)。结合长沙市城市建设与发展的现实情况,以五一广场为中心,根据长沙城市空间圈层式分异特征,进一步将研究区域分为 5km 的核心区、5~10km 的中心城区以及 10km 外的近郊区三个区域(图 1)。

该区域是长沙近 20 年来城市扩张的主要区域,也是城市空间最敏感、破碎化最突出的地区。一方面在快速城市化与市场化引导下,城市内部涌现出大量大尺度分割的形态碎片,如城市空间对外跳跃式扩展出现的生态孤岛式“碎片”,城市内部超大封闭社区、封闭工业园区或大学校园等,研究区内工业区地块规模最大可达 1.56km²,封闭社区规模最大的地块可达 0.92km²,对城市空间整体结构形成割裂。另一方面,大尺度孤岛化地块影响城市空间

联系,增加了交通的阻滞,影响城市内部的通达程度,造成空间联系上的阻隔。第三,城市化与工业化推动下城市空间所出现的单一功能地块以及兼容性差的用地类型引发空间功能紊乱,造成空间上功能的冲突与失序^[19]。因此,从形态、联系、功能方面来看,长沙市空间破碎化对城市可持续发展产生了巨大的挑战,对该区域空间破碎化的研究具有迫切性、典型性和代表性。

表 1 研究范围基本空间单元

Tab. 1 The basic spatial unit of the study area

| 行政辖区 | 面积 (km ²) | 街道名称 |
|------|-----------------------|---|
| 望城区 | 228.76 | 白沙洲街道、大泽湖街道、月亮岛街道、金山桥街道、黄金园街道、雷锋街道、丁字湾街道 青竹湖街道、沙坪街道、秀峰街道、捞刀河街道、芙蓉北街道、浏阳河街道、洪山桥街道、 |
| 开福区 | 181.22 | 新河街道、伍家岭街道、四方坪街道、月湖街道、东风路街道、湘雅路街道、通泰街街道、 望麓园街道、清水塘街道 |
| 长沙县 | 263.95 | 湘龙街道、星沙街道、黄花镇、长龙街道、泉塘街道、榔梨街道 |
| 芙蓉区 | 42.68 | 定王台街道、文艺路街道、韭菜园街道、朝阳街街道、荷花园街道、东屯渡街道、五里牌街 道、湘湖街道、火星街道、马王堆街道、东岸街道、马坡岭街道、东湖街道 |
| 雨花区 | 118.96 | 侯家塘街道、左家塘街道、高桥街道、黎托街道、东塘街道、砂子塘街道、雨花亭街道、圭 塘街道、东山街道、井子湾街道、洞井街道、同升街道 |
| 天心区 | 126.70 | 坡子街街道、城南路街道、裕南街街道、金盆岭街道、赤岭路街道、文源街道、新开铺街道、 青园街道、黑石铺街道、桂花坪街道、大托铺街道、先锋街道、南托岭街道、暮云街道 麓谷街道、天顶街道、望岳街道、观沙岭街道、望城坡街道、咸嘉湖街道、银盆岭街道、西 |
| 岳麓区 | 320.54 | 湖街道、望月湖街道、梅溪湖街道、学士街道、岳麓街道、桔子洲街道、洋湖街道、含浦街 道、坪塘街道 |

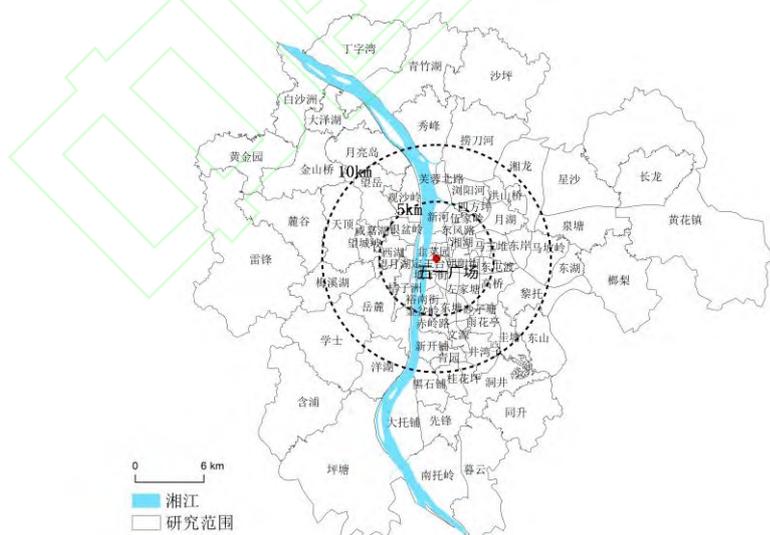


图 1 研究区范围及地域划分

Fig.1 Study area and regional division

3. 研究思路、方法与数据

3.1 研究思路

基于斑块特征的破碎化评估框架多从斑块大小、形状、边缘、隔离和连接特征展开^[14, 20]，研究多聚焦于景观斑块本身的细碎性和景观格局的连续性。本文从城市空间结构的整体性出发，将城市空间破碎化理解为地块形态隔离性、联系阻隔性和功能失序性的综合^[8]。研究的基本思路为：首先，构建形态、联系、功能三个维度的评估指标体系，测度研究区城市空间破碎化子维度以及各指数；其次，采用 ArcGIS 中自然断裂点法将测度值的大小分等级，解析其空间破碎化分异的格局特征；最后，基于地理探测模型分析自然条件、市场以及政府政策等因素对城市空间破碎化格局的影响。

地块是指可辨认出同类属性的最小土地单元，即内部特性和区位条件相对均匀的土地区域。在不同的尺度上，地块表现为不同的形式，其面积可大可小^[21]。本文中的地块是指在街道尺度上，经由城市道路划分出的城市地块。从形态特征看，地块面积越大，城市路网密度就越低，单一地块内部的封闭性就越强。从联系特征看，地块与地块之间的可达性越差，联系阻隔性就越强。从功能特征看，地块内部或地块之间功能越单一，功能同质化会降低地块间的有机联系^[22, 23]，进而强化地块间的阻隔和功能冲突。因此，城市空间破碎化评价，可从三方面考量：一是从地块形态维来看，空间破碎化主要表现为过度庞大和封闭的孤岛式的地块单元的存在，使得空间要素自由流动受阻，社会人群隔离加重。二是从联系维来看，空间破碎化主要表现为空间联系的阻隔，如空间廊道、空间地块与空间基质之间空间过程的阻滞以及空间网络连通效率的下降。三是从功能维来看，空间内地块组合的不兼容、不匹配以及之间的冲突都是空间破碎化的主要特征。由此构建起“形态-联系-功能”多维度城市空间破碎化测度框架与测度指标（图 2、表 2）。

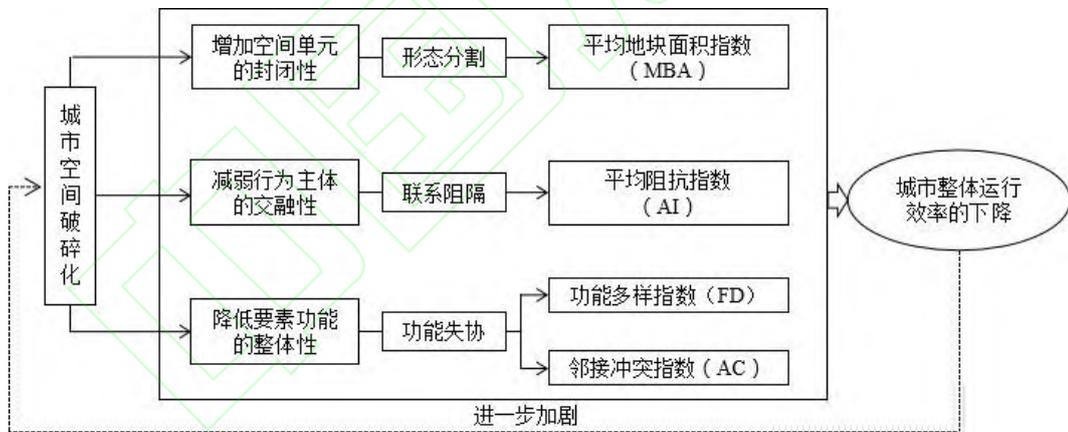


图 2 城市空间破碎化评价基本框架

Fig.2 Basic framework of evaluation of urban space fragmentation

表 2 城市空间破碎化评价指标

Tab. 2 Evaluation index of urban space fragmentation

| 准则层 | 维度 | 指标参数 | 指标方向 | 数据来源与指标含义 |
|------|------|----------------|------|-----------|
| 地块特征 | 空间形态 | 平均地块面积指数 (MBA) | + | 地块分割 |
| | 空间联系 | 平均阻抗指数 (AI) | + | 地块联系 |
| | 空间功能 | 功能多样指数 (FD) | - | 地块功能多样 |
| | | 邻接冲突指数 (AC) | + | 地块功能冲突 |

3.2 研究方法

3.2.1 多指标综合评价法

将城市空间破碎化视为“形态-联系-功能”维度的综合函数，先按照表 2 的评价指标计算单项指数，采用极值法对数据进行标准化处理，运用线性加权模型进行指标合成，得到空间破碎化评价综合指数（*SFI*），具体计算公式如下。

$$SFI = \sum_{j=1}^n W_j Y_{ij} \quad (1)$$

式中：*SFI* 为基于地块特征空间破碎化评价指数，*Y_{ij}* 为各维度指标的标准化值，*n* 为各维度指标数量，*W_j* 为各维度指标的权重，由熵值法与专家打分法相结合获得。

各单项指数的计算方法与数据来源如下：

(1) 平均地块面积指数。从城市的角度来说，地块面积越大，会直接影响空间要素的自由流动，形成孤岛式的城市单元，加大空间上的阻滞，因此，面积是基本的地块空间特征^[24, 25]。平均地块面积指数用来表征空间地块的封闭隔离程度。城市空间基质中地块面积越大，内部越稳定，越趋向于封闭，各地块封闭隔离状态越强，空间形态破碎化程度越高。具体计算公式如下：

$$MBA = \frac{A}{N} \quad (2)$$

式中：*MBA* 为平均地块面积指数；*A* 表示研究区土地总面积（*hm*²）；*N* 表示研究区地块总数量。

(2) 平均阻抗指数。采用最小阻抗的 O-D 成本矩阵分析方法计算阻抗大小^[26, 27]，街道内联系地块之间任意两个节点的最小阻抗，可反映地块联系的便利程度。值越大，意味着两点间的阻抗值越大，空间可达性越差，空间破碎化程度越高。反之，值越小，两点间的阻抗值越小，联系越方便，交通效率越高，空间联系破碎化程度越低^[26]。计算方法如下：

$$H_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1(j \neq i)}^n (D_{ij}) \quad (3)$$

$$AI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i) \quad (4)$$

式中：*D_{ij}* 为第 *i* 个节点到其他各节点 *j* 的最小阻抗，最小阻抗的指标可以是最短时间、最少费用或者最短距离等，本文选取的是最短时间阻抗。其计算方法是用第 *i* 个节点到其他各节点 *j* 的平均时间，即道路长度除以道路设计速度取值获得。道路设计速度取值参考《城市道路工程设计规范》（CJJ37-2012，国道、高速路、城市快速路为 80km/h，省道、主干道为 60km/h，县道、次干道为 40km/h，支路为 20km/h。*n* 为研究单元内的节点个数，*H_i* 表示研究单元内第 *i* 个节点到其他各节点 *j* 平均最小阻抗。*AI* 为平均阻抗指数，是研究单元内的平均最小阻抗值，反映研究单元可达性。

(3) 功能多样指数。城市功能多样性主要体现城市居住、商办、服务和休闲等功能的多样性融合，依据《城市用地分类与规划建设用地标准 GB50137-2011》分类体系，从长沙市 2016 年土地利用现状数据中提取居住用地、公共管理与公共服务用地、商业服务业设施用地、工业与物流仓储用地、绿地与广场用地五类用地作为评价因子^[28]。测度方法上，选取标准化香农多样性指数进行测度^[29, 30]。功能多样指数的高低可反映城市空间功能的均衡程度，其值越低，地块内与地块间功能丰度越低，功能失衡程度越高，区域内相互之间比较孤立，功能趋向单一碎化。具体计算公式如下：

$$FD = \frac{-\sum_{k=1}^k (P_{k,i}) \ln(P_{k,i})}{\ln r} \tag{5}$$

$$P_{k,i} = \frac{X_k}{\sum_{k=1}^k X_k} \tag{6}$$

式中： r 为功能要素状态（样方）数， k 为功能要素类型数量， $P_{k,i}$ 表示第 k 种功能要素在街道 i 中的数量占比， X_k 为第 k 类功能要素的数量。 FD 为功能多样指数，取值范围为 $[0, 1]$ ，与空间功能破碎化呈负相关，其值越低，功能越单一，空间功能破碎化程度越高。

(4) 邻接冲突指数。邻接冲突指数是利用地块内空间单元内功能冲突的用地邻接边长占比来反映邻接不兼容程度^[31]。空间功能斑块邻接兼容性越低，邻接冲突指数越高，空间破碎化程度越高。根据《城市用地分类与规划建设用地标准（GB50137-2011）》，按照功能兼容性将用地分为四类（表3）。利用空间单元内兼容性二类用地与其三类、四类用地的邻接边长占比来反映邻接冲突程度。具体计算公式如下：

$$AC = \frac{L_{AC23}\alpha + L_{AC24}\beta}{L_{AC2} + L_{AC3} + L_{AC4}} \tag{7}$$

式中： AC 为邻接冲突指数； L_{AC23} 为兼容性二类用地与三类用地的邻接边长； L_{AC24} 为兼容性二类用地与四类用地的邻接边长； L_{AC2} 为兼容性二类用地周长， L_{AC3} 为兼容性三类用地周长， L_{AC4} 为兼容性四类用地周长。 α 为三类用地冲突强度系数，参考已有研究^[31, 32]，根据用地功能兼容性分类表可知，三类用地比四类用地的冲突强度要小，假设三类用地的冲突强度系数为1，相应的 β 四类用地冲突强度系数建议值为2，从而可以将四类用地的冲突强度与三类用地区分，实现邻接冲突状态的数量化刻画。

表3 用地功能兼容性分类

Tab. 3 Classification of land functional compatibility

| 类别 | 对应《城市用地分类与规划建设用地标准》GB50137-2011》分类 |
|------|---|
| 一类用地 | 绿地与广场用地 G、道路与交通设施用地 S、非建设用地 E |
| 二类用地 | 居住用地 R 公共管理与公共服务用地 A（不含 A53）、商业服务业设施用地 B（不含 B41）、一类工业用地 M1、一类物流仓储用地 W1、镇建设用地 H12、乡建设用地 H13、村庄建设用地 H14、其他建设用地 H9 |
| 三类用地 | 加油加气站用地 B41、二类工业用地 M2、二类物流仓储用地 W2、公用设施用地 U、区域交通设施用地 H2 区域公用设施用地 H3、特殊用地 H4 |
| 四类用地 | 特殊医疗用地 A53、三类工业用地 M3、三类物流仓储用地 W3、采矿用地 H5 |

3.2.2 地理探测器

地理探测器可以较好地反映同一区域的相似性以及不同区域间的差异性^[33]，从而得出研究对象的空间异质性。该模型是由王劲峰等人提出的，主要用于探测空间分异性以及地理要素对研究对象空间分布的影响因素。

运用地理探测器模型，引入城市空间破碎化分异决定力 q 。假定研究区域为 A ，在 A 上存在空间破碎化 Y 。 Y 被采集在 A 内，由采样单元 j （ $i=1, 2, \dots, n, n$ 为总采样单元数）组成的街道系统，假设 $X=\{X_i\}$ 是可能存在的一种影响破碎化分异的因子， X_i 分别代表对因子的不同分类。为了探测因子 X 与破碎化 Y 在空间上的相关性，将 Y 图层与因子 X 进行图层叠置，在因子 X 的每个子区域内， Y 的离散方差被记为 σ^2h ，因子 X 对空间破碎化 Y 的决定力大小为：

地理探测器正确引用：

[1] Wang JF, Li XH, Christakos G, Liao YL, Zhang T, Gu X & Zheng XY. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science* 24(1): 107-127.

[2] Wang JF, Zhang TL, Fu BJ. 2016. A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators* 67: 250-256.

[3] 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器：原理与展望. *地理学报* 72(1): 116-134. [Wang JF, Xu CD. 2017. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica* 72(1):116-134.]

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{h=1}^L n_h \sigma_h^2 \tag{8}$$

式中： n 为研究区全部样本数； σ^2 为整个区域 Y 值的离散方差； $h=1, 2, \dots, L$ ； L 为因素的分类数； q 为某指标的空间异质性，值域范围为 $[0, 1]$ 。当各因素对破碎化产生决定力时，决定力 q 值=0，表明空间破碎化呈现随机分布，因素对破碎化空间分异没有影响， q 值越大，表明因素对破碎化空间分异的影响越大，当决定力 $q=1$ 时，则表明破碎化完全由该因素决定。通过软件 Geo Detector 可得到 q 值及显著性检验结果，通过比较各决定力 q 值大小，可以探测出城市空间破碎化空间分异的主导因素。本文选取海拔 (X_1)、坡度 (X_2)、生态用地占比 (X_3)、土地价格 (X_4)、人口密度 (X_5)、固定资产投资 (X_6)、加权公共服务设施密度 (X_7)、开发程度 (X_8) 等 8 个因素，用于探测城市空间破碎化空间分异机制，数据来源与计算方法见表 4 和表 5。

3.3 数据来源

研究所涉及的数据主要包括遥感影像数据、DEM 数据、路网数据、公共服务设施数据和其他数据。根据城市空间破碎化评价各单项指数计算和城市空间破碎化影响因素地理探测器模型测算的需求进行数据的收集、处理，在充分利用网络开源数据的同时，注重实地调研的结合，确保数据质量能够充分满足研究需求（表 4）。

表 4 数据来源与处理

Tab. 4 Data sources and processing

| 数据类型 | 数据来源与处理 | 数据用途 |
|---------------|---|---|
| 遥感影像与 用地数据 | 运用美国 Landsat 卫星采集 2016 年长沙市影像数据，像元空间分辨率为 30m，进行图像拼合与配准叠加，并结合植被类型图和土地利用现状图对影像进行解译。通过对照 2016 年土地利用现状图，结合 2016 年长沙市植被类型图、2016 年长沙市土地利用现状图和《长沙市城市总体规划（2003—2020）》、《长沙市城市总体规划（2003—2020）（2014 年修订）》、《长沙市“十三五”城乡规 划事业发展规划》等资料采用控制点校正的方法，将栅格格式的土地利用现状图转化为矢量格式。 | 主要用于平均地块面积指数、邻接冲突指数计算和影响因素分析中生态用地占比 (X_3)、开发程度 (X_8) 因素指标的计算与相关分析 |
| DEM 数据 | DEM 数据来源于国家地理信息中心，通过校正和坡度分析，获得长沙市地面坡度和海拔数据。 | 主要用于自然地理影响因素海拔 (X_1)、坡度 (X_2) 等指标的计算分析 |
| 路网数据 | 结合 2016 年 7 月 OpenStreetMap 官方网站获取的路网数据进行清洗对照。下载的数据通过裁剪和重投影，得到与研究区相对应道路网络。于 2016 年 8 月—10 月，结合百度地图开展实地调研，补充完善支路网数据和对可达性分析有影响的孤立路和断头路，通过人工识别进行矢量修改。结合城市道路交通规划，划分为快速路、主干路、次干路以及支路四级。 | 主要用于平均阻抗指数计算与空间联系阻隔相关分析 |
| 公共服务 设施数据 | 基于 2016 年百度地图 POI 数据，结合实地调研核对，根据研究的需要将项目类别划分为街道级以上、街道级以及基层社区级三级。按照使用功能分为基础教育设施、行政管理与服务设施、公共文化与体育设施、医疗卫生设施、养老设施、其他设施六大类。以此数据为基础作为影响因素指标，分析各街道受不同等级公共服务设施占比的影响程度。 | 主要用于功能多样指数计算及影响因素加权公共服务设施密度 (X_7) 指标的计算与公共服务设施状况的分析 |
| 其他数据 | 包括 2017 年《湖南省统计年鉴》、研究区各街道统计年鉴以及《长沙市市区土地基准地价》，分别来源于湖南省统计局、各街道官网统计数据和中国地价信息服务平台。 | 主要用于影响因素土地价格 (X_4)、人口密度 (X_5)、固定资产投资 (X_6) 因素的计算与相关分析 |

4 长沙城市空间破碎化空间格局特征

4.1 空间破碎化分项指标格局特征

结合原始数据，分别计算各街道平均地块面积指数、平均阻抗指数、功能多样指数和邻接冲突指数，采用自然断点法分别将其划分为低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区等五个等级，得到长沙市空间破碎化各指标空间分异格局（图 3）。

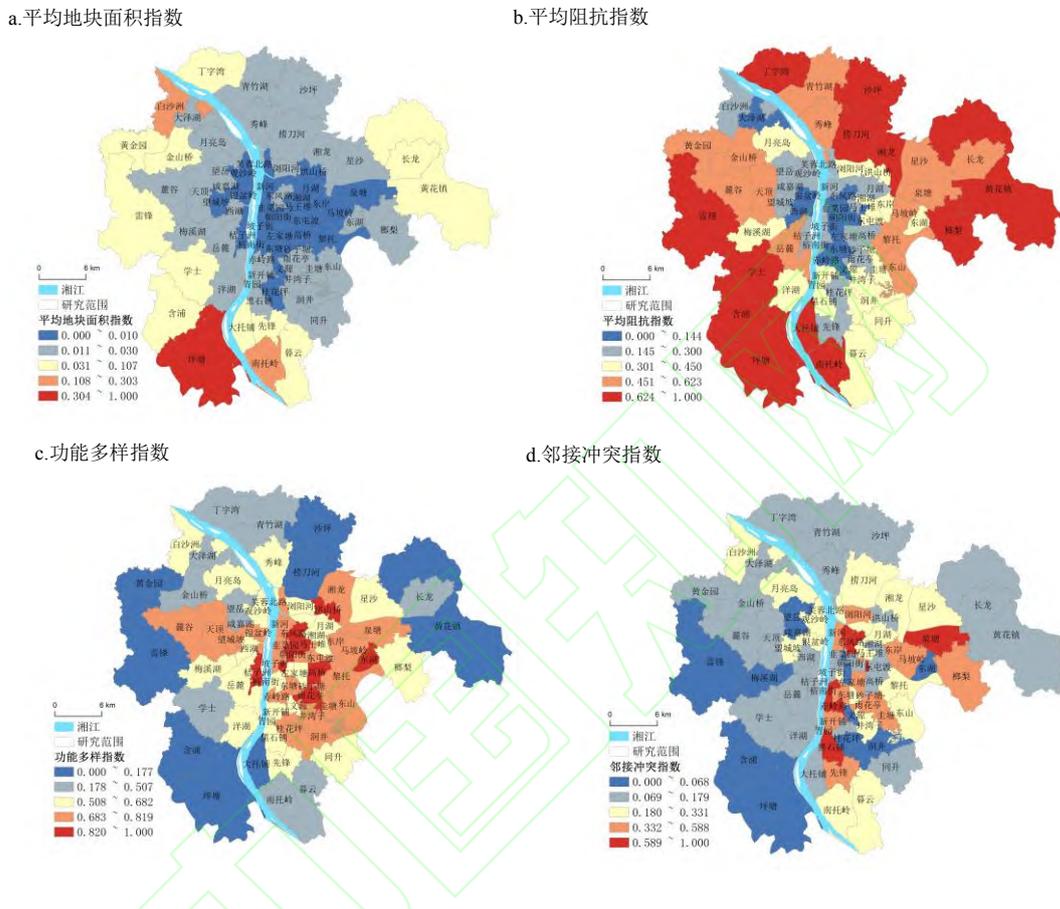


图 3 长沙市城市空间破碎化各指标空间格局 (a. 平均地块面积指数; b. 平均阻抗指数; c. 功能多样指数; d. 邻接冲突指数)

Fig.3 Spatial pattern of urban spatial fragmentation indexes in Changsha (a. Mean block area; b. Average impedance; c. Functional diversity; d. Adjacency conflict)

从平均地块面积指数来看（图 3a），低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区的研究单元分别占总数的 50.00%、33.30%、13.10%、2.40%、1.20%。从空间分布来看，低及较低等级平均地块面积空间单元在城市核心区和中心城区的大部分街道高度集聚，主要是因为这些地区经济发展水平较高，土地开发程度较高，用地集聚，道路交通体系较为完善，道路网密度高，地块受路网分割程度较高，街区较小，各地块间联系程度较高，空间破碎化程度较低。另外，在成片的低值区出现了东风路街道“洼地”，主要是因为该街道存在大型单位封闭社区与城市中“孤岛化”的公园，在空间上封闭独立，形成了较大面积的孤立空间地块；中等等级平均地块面积空间单元主要分布在城市近郊区，且坪塘、白沙洲以及南托岭街道为平均地块面积较高及高等级的空间单元，主要是因为这些地区处于郊区，经济发展水平相对落后，土地成本较低，用地不经济，大量的生态用地与建设用地混杂形成独立地块，且基础设施较差，路网稀疏，地块受路网分割程度较弱，地块面积较大，内部稳定，各地块封

闭隔离状态较强, 空间破碎化程度较高。

从平均阻抗指数来看(图 3b), 低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区的研究单元分别占总数的 26.20%、25.00%、19.00%、15.50%、14.30%。从空间分布来看, 低及较低等级平均阻抗空间单元主要分布在城市核心区, 这些街道经济比较发达, 道路网密度高, 空间连接方便, 两点间的阻抗值小, 可达性好, 空间破碎化程度低; 中等级平均阻抗空间单元大体呈环状分布在高值区和低值区之间; 较高及高等级平均阻抗空间单元大体上呈环状连片分布在城市近郊区, 主要是由于这些地区受山地、水系等自然以及人工阻隔的影响, 路网稀疏, 街道内任意两节点间阻抗值大, 可达性较差, 受阻隔程度高, 空间破碎化程度较高。

从功能多样指数来看(图 3c), 低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区的研究单元分别占总数的 9.52%、10.71%、27.38%、38.10%、14.29%。从空间分布来看, 低及较低等级功能多样空间单元主要分布在城市近郊区, 这些地区主要分布单一工业园区、大型封闭社区和大型绿地等, 功能单一, 空间破碎化程度高; 中等级功能多样空间单元主要分布城市中心城区, 大体呈环状分布在高等级与低等级空间单元之间; 较高及高等级功能多样空间单元主要分布在城市核心区, 除桔子洲街道之外集中分布在河东地区, 这些地区功能类型多样, 功能失衡指数较低, 空间破碎化程度低。

从邻接冲突指数来看(图 3d), 低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区的研究单元分别占总数的 14.30%、35.70%、25.00%、16.70%、8.30%。从空间分布来看, 低及较低等级邻接冲突空间单元主要分布在城市近郊区且主要分布在河西街道, 主要是因为这些街道一方面用地兼容性较强, 另一方面部分街道为近十年发展的以宜居建设为主的新区, 如梅溪湖国际新城、洋湖新城等, 规划引导下的空间功能配置相对合理, 因而空间破碎化程度较低; 中等级邻接冲突空间单元主要分布在河东街道, 较为零散分布; 较高及高等级邻接冲突空间单元主要分布在河东街道, 这些街道有较多的产业园和物流园, 为二三类工业用地集中区域和混杂的工业、仓储用地, 用地混合性较强, 邻接冲突较高, 因而空间破碎化程度较高。

4.2 空间破碎化综合格局特征

根据空间破碎化综合评价模型计算长沙市空间破碎化综合水平, 从结果来看(图 4), 低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区的研究单元分别占总数的 15.48%、25.00%、21.42%、25.00%、13.10%。从空间分布来看, 低及较低等级破碎化空间单元较为集中的分布在研究区域的核心地区。其中河东地区市中心五一广场两侧的空间破碎化程度最低, 这些街道为城市主要经济中心, 人口众多, 交通便利, 功能多样, 因而空间破碎化程度较低; 中等级破碎化空间单元主要分布在高等级与低等级之间的空间单元; 较高等级破碎化空间单元主要分布在城市近郊区, 零星分布在赤岭路、浏阳河等街道, 这是由于这些街道存在大型封闭地块, 封闭程度高, 功能单一, 如省政府、浏阳河、烈士陵园等; 高等级破碎化空间单元主要分布在城市近郊区, 位于城乡之间, 城市快速向外扩张, 城乡结合部为城市发展最敏感、影响最深刻和变化最迅速的地区, 因而破碎化程度高。具体来说, 高等级破碎化空间单元主要分布在有大型封闭社区、工业园区、山体绿地、铁路的街道。泉塘等街道被定位为经济技术开发区, 街道内存在大型工业园区, 居住区与厂区混杂, 用地不兼容, 功能单一, 空间破碎化程度比较高, 而河东地区的大托铺军用机场、大型工业园区以及河西地区的谷山森林公园等, 这些区域受大型封闭地块及山体绿地阻隔的影响, 空间破碎化程度较高。

为进一步证实城市空间破碎化分布规律, 选取空间上变化最大的东西、南北两个方向的街道结果作为样带分析数据。结果显示(图 5), 城市空间破碎化评价结果显示外围破碎化程度高, 中心破碎化程度低的空间格局。具体来看, 城市空间破碎化评价结果, 东西样带大体表现出市中心向外围空间分异差异不断增强的趋势, 中心与外围的破碎化差异较大。南北样带破碎化空间分异起伏较大, 有较为复杂的空间分异特征。

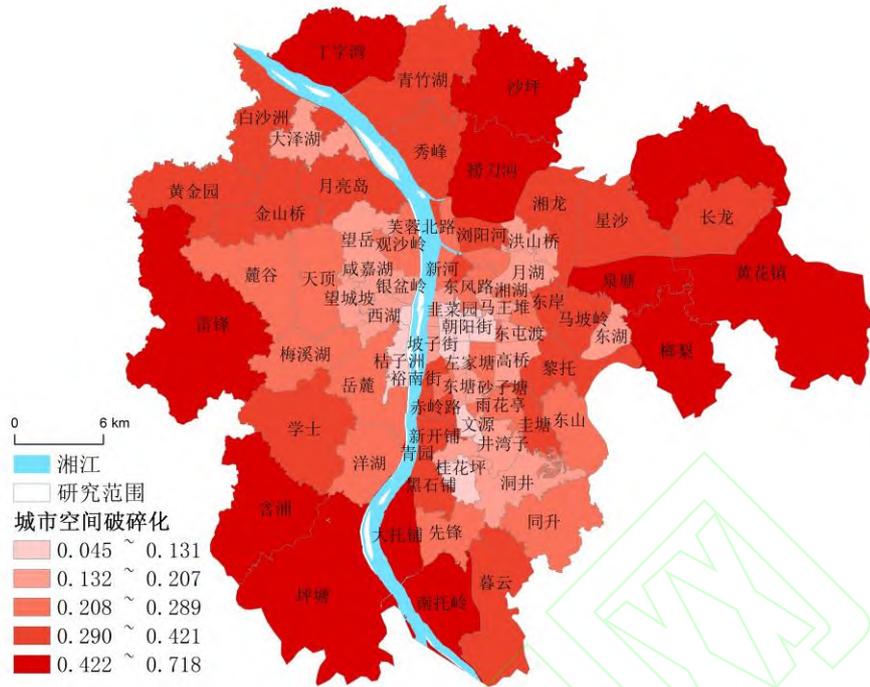
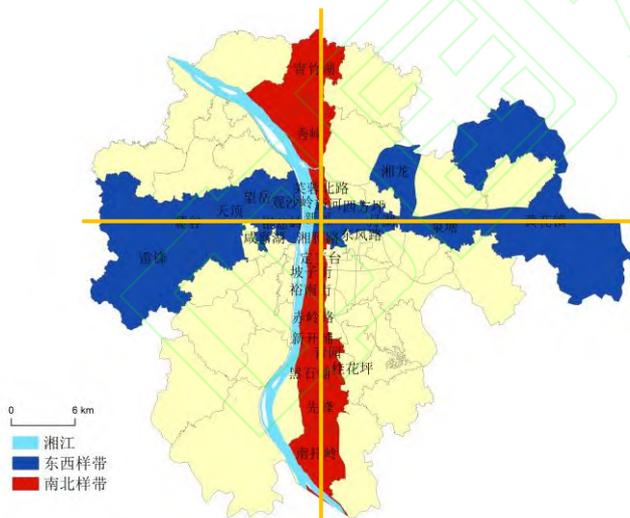


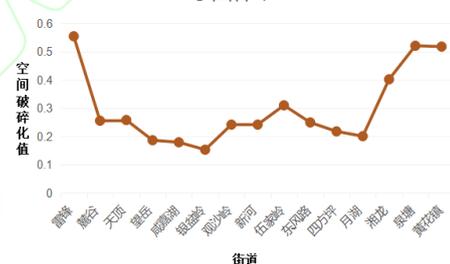
图 4 长沙市城市空间破碎化综合格局

Fig. 4 Comprehensive pattern of urban space fragmentation in Changsha

a. 样带区域



b. 东西样带



c. 南北样带

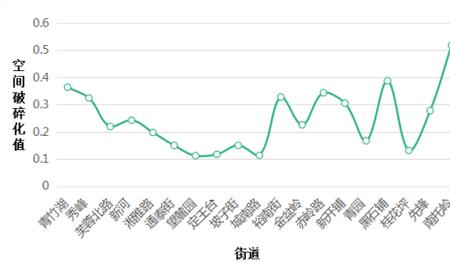


图 5 东西、南北样带对比分析

Fig. 5 Comparison and analysis of East-West and North-South transects

总之，长沙市城市空间破碎化呈现圈层式分异为主，扇形扩展分异为辅的空间结构特征（图 6）。低空间破碎区主要集中在城市核心区，部分低空间破碎区呈飞地式分布在中心城区和近郊区；高空间破碎化主要分布在近郊区，另外主要沿着特定的扇面向外围扩展，使得长沙市存在中等、高等破碎化和低破碎化并存的复杂城市空间结构，有必要对其形成的影响因素开展进一步的分析。

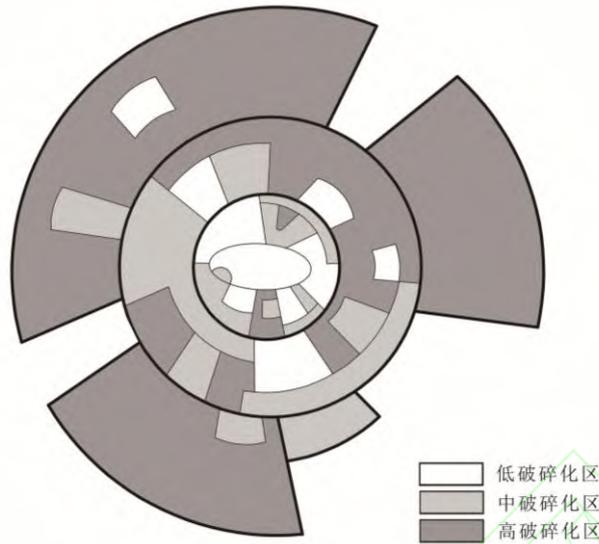


图 6 长沙市城市空间破碎化空间结构示意图

Fig. 6 Spatial structure of urban space fragmentation in Changsha

5 长沙城市空间破碎化格局的影响因素

5.1 影响因素选取

城市空间破碎化不是自然形成的，在城市空间上形成空间形态封闭、空间联系阻隔和空间功能失衡，主要是受自然地理因素、市场因素以及政府政策因素等影响的结果^[8, 34, 35]。其中，自然地理是影响城市空间破碎化的先决条件，过度封闭的空间斑块，一定程度上限制了城市空间的拓展，在发展过程中，受山体绿地及河流湖泊的阻隔，人们为降低开发和使用成本，在发展过程中会自然规避高大的山体与自然水体，从而出现跳跃式扩展而形成的“碎片”，

表 5 影响因素选取

Tab.5 Influencing factors and definitions of urban space fragmentation

| 目标层 | 准则层 | 因子层 | 数据来源与处理 | 具体含义 |
|-------------|--------|----------------------|--------------------|------------------------------|
| 城市空间 破碎化 | 自然地理因素 | 海拔 (X_1) | 地理空间数据云 | 海拔值 |
| | | 坡度 (X_2) | 地理空间数据云 | 坡度值 |
| | | 生态用地占比 (X_3) | 地理空间数据云、 遥感影像解译 | 生态用地 (绿地、水域、农林) 面积占比 (%) |
| | 市场因素 | 土地价格 (X_4) | 中国地价信息服务平台 | 土地基准地价均值 (元/m ²) |
| | | 人口密度 (X_5) | 统计年鉴 | 人口密度 |
| | 政府政策因素 | 固定资产投资占比 (X_6) | 统计年鉴 | 固定资产投资占比 (%) |
| | | 加权公共服务设施密度 (X_7) | 实地调研 | 加权公共服务设施的密度 |
| | | 开发程度 (X_8) | 地理空间数据云、 遥感影像解译 | 建设用地占比 (%) |

选取海拔 (X_1)、坡度以 (X_2) 及生态用地面积占比 (X_3) 进行表征。市场推动作用的城市空间结构变化的内在动力，其作用主要来源于供给与需求两方面。空间资源的稀缺性与异质性导致空间资源供给的空间差异，会不断引导空间主体的内在特性选择；企业、居民等空间主体的空间偏好导致空间需求的差异化，各类企业的选址偏好形成产业集聚的空间溢出效应，居民的安全需求、择居偏好、择业行为以及消费习惯等也影响到城市空间配置。在市场供给与需求的双重引导下，不断激发城市空间的自我更新与完善^[19, 25]。在此选取土地价格 (X_4) 以及人口密度 (X_5) 2 个变量，其中地价是市场因素中的供给因素，地价水平的等级差别，在市场利益的驱动下，会影响城市空间布局和企业投资，以土地基准地价来表征土地价格。人口密度 (X_5) 能够反映地区人口密集程度，为市场因素中的需求因素，一定密度的

人口能够提高城市活力，有助于促进地区多样性，选择街道人口密度均值进行表征。政府政策推动是城市空间结构变化的直接动力。政府政策直接决定了空间资源配置与城市发展中公共物品的供给方式，引导城市空间功能关系构成。本文主要选取固定资产投资占比 (X_6)、加权公共服务设施密度 (X_7) 以及开发程度 (X_8) 进行表征，其中固定资产投资是反映固定资产投资规模、结构和发展速度的综合性指标。加权公共设施密度能够反映不同等级的公共设施在街道中的占比程度，直观反映政府规划在不同街道中的影响程度。开发程度能够反映区域受规划政策引导下城市化影响的程度 (表 5)。

5.2 影响因素分析

利用地理探测器中的因子探测器，对海拔、坡度、生态用地占比、土地价格、人口密度、固定资产投资占比、加权公共服务设施密度、开发程度等指标，探测影响城市空间破碎化分异的主要影响因子 (表 6)。结果显示：变量基本上通过 5% 的显著性水平检验，说明上述影响因素对空间破碎化具有较为显著的影响。影响空间破碎化的主要因素是土地价格 (0.53)、加权公共服务设施密度 (0.48)、人口密度 (0.43)，其中土地价格影响最大，加权公共服务设施密度和人口密度次之；开发程度 (0.31) 以及生态用地占比 (0.31) 对空间破碎化影响较大；坡度 (0.15)、固定资产投资占比 (0.14) 和海拔 (0.08) 对空间破碎化有一定的影响。

表 6 地理探测器影响因子结果

Tab.6 Influence factor results of geographical detector

| | 海拔 X_1 | 坡度 X_2 | 生态用地 占比 X_3 | 土地价格 X_4 | 人口密度 X_5 | 固定资产投资 占比 X_6 | 加权公共服务 设施密度 X_7 | 开发程度 X_8 |
|-----|-------------|-------------|------------------|---------------|---------------|--------------------|----------------------|---------------|
| q | 0.08 | 0.15 | 0.31 | 0.53 | 0.43 | 0.14 | 0.48 | 0.31 |
| p | 0.19 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |

土地价格是影响城市空间破碎化重要因素。城市土地价格影响商业、住宅以及工业的布局。土地价格较高地区，受市场趋利性的影响，商业网点多在此布局，用地聚集度较高，功能多样，道路网密集，交通便捷，空间联系程度高。而土地价格较低的地区会产生与地价较高地区相反的影响。具体来说，在城市发展过程中，私人开发商为追求经济效益，在城市非市中心地价较低的地区修建较大规模连片住房，且为迎合城市精英群体对优美环境和个人私密性的追求，形成占地面积巨大的封闭社区，在市场机制的作用下，以价格为门槛的门禁社区对居民形成了社会层级划分，不同阶层居民分层级在空间上集聚，加大了社会冲突和空间隔离。据不完全统计，到 2016 年，长沙市在建和建成的各类小区已超 600 多个，其中还存在许多超大规模的住宅小区，形成了孤岛化地块，影响城市空间联系，增加了交通的阻滞，影响城市内部的通达程度；另外，长沙是以工业和大制造业为主的城市，工业区的形成经历了由老城边缘外迁和城郊园区连片发展的过程，且大多在地价低的片区集中布局。目前长沙市重点发展了长沙经济技术开发区、隆平高科技园、长沙雨花经济开发区、长沙高新技术开发区、望城经济技术开发区以及金霞经济开发区等工业园区，早期形成的部分园区过度强调功能的单一性，以及部分退二进三未完成的工业用地周边功能的混杂性，进一步加重了城市空间破碎化。

人口是城市发展的主要动力之一，人口的合理集聚会带来人口的密度效益和规模效益。人口密度较高地区，需求多元化，促使该地区集聚众多的企业和商家，政府修建相应的基础设施，产生了一定的规模和集聚效益，功能多样，城市活力增加，另外高密度人口，会促使城市修建更多的道路与周边地区联系，形成更便捷、更完善的交通体系。而人口密度较低地区，商业网点零散化布局，功能丰富度低，城市活力欠缺，路网稀疏，通勤距离较长，空间

联系较差。

公共服务设施是促进城市良性发展的主导因素,能够体现公共服务资源的配置是否公平,对消除城市隔离,促进社会公平,实现城市可持续发展具有重要意义。公共服务设施是政府有效为居民日常生活提供各类公共产品和服务的重要空间载体。公共服务设施密度较高地区的住区联系更加紧密,人群交流频繁,具有更强的开放性,社会隔离程度较低,居民的生活满意度和幸福指数较高。而公共服务设施密度低的地区,会造成公共服务的滞后,供需矛盾突出,并且受“马太效应”的影响,公共服务设施密度较高地区的各种设施资源的集聚速度将远远大于密度低的地区,导致公共服务设施的非均等化发展,加剧了功能分离式的城市空间破碎化。

总的来看,土地价格(X_4)、人口密度(X_5)以及加权公共服务设施密度(X_7)是影响长沙市空间破碎化分异的主导因素,反映了市场推动与政策推动是城市空间破碎化分异的直接动力。市场供给方面,企业主体以工业生产为主或单纯的房地产开发为主的建设,受近期利益驱动和政府监督不严等因素影响服务设施的建设往往滞后,导致用地功能多样性的降低和可达性的下降,易形成空间孤立的斑块。市场需求方面对自由主义偏好引发“封闭社区蔓延”,也是加剧城市空间破碎化的重要原因。政府政策通过规划编制、公共设施投入等对空间形成引导,差异化的设施投入与公共政策推动了城市空间破碎化的分异。

基于以上分析,长沙城市空间破碎化调控可从突破市场供给约束、市场需求约束和设施丰度约束三方面着手。应对市场供给约束,要充分发挥政府对市场供给的宏观调控能力,着力解决城市中存在的空间阻隔和空间冲突的现象;应对市场需求约束,应加强公众参与,充分考虑社会人群的需求,提升城市空间质量和城市活力,增强空间对人的吸引力;应对设施丰度约束应加大扶持力度,促进公共服务设施均等化发展,提高城市居民特别是低收入群体的获得感,不断提高城市公平和公正。在未来发展中,需加强三方面综合治理,统筹市场以及政府两大主体,使市场无形之手与政府有形之手同向发力,共同推动城市实现高品质发展。

6 结论与讨论

(1) 城市空间破碎化是在自然或人文因素的影响下,形态上均质连续、结构上联系紧密、功能上协同高效的整体空间趋向于割裂、低效和不连续的过程与状态,集中表现为城市空间单元分割加强、空间联系弱化和空间整体功能下降,可从形态分割、联系阻隔、功能失序三个方面进行测度,形态分割可用平均地块面积指数表征,联系阻隔可用平均阻抗指数刻画,功能失序可用功能多样指数、邻接冲突指数来反映。

(2) 长沙城市空间破碎化呈现圈层式分异为主、扇形扩展分异为辅的格局特征。低破碎化区主要分布在城市核心区,部分呈飞地式分布在核心区外围的中心城区,高破碎化区沿着特定的扇面向外围扩展,且主要分布在大型封闭社区、工业园区、山地绿地及大型站场等区域。

(3) 长沙城市空间破碎化的空间分异是多因素综合作用的结果,其中海拔、坡度等自然因素是基础因素,土地价格、人口密度、设施投入是主导因素。在自然地理格局约束的基础上,反映市场特征的土地价格、人口密度等因素,及反映政府政策的设施投入因素相互作用,共同影响城市空间破碎化的空间分异,形成了复杂而多元的城市空间破碎化格局。

(4) 长沙城市空间破碎化治理可从突破市场供给约束、市场需求约束和设施丰度约束三方面着手,采取针对性调控对策,以最大程度地消减空间破碎化带来的负面效应。

(5) 本文对空间破碎化与城市整体运行效率之间关系的研究尚不充分,尚未定量刻画影响城市整体运行效率的空间破碎化阈值,也未开展多时序分析和多地区对比分析,需要在后续研究中逐步展开、深化。

致谢: 真诚感谢 2 位匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力, 评审专家对本文理论框架、指标设计、结论梳理方面给出的客观、详实修改意见, 使本文获益匪浅。

参考文献(References)

- [1] Gu C, Liu F W G. The Structure of Social Space in Beijing in 1998: A Socialist City in Transition. *Urban Geography*. 2005, 26(2): 167-192.
- [2] Feng J, Logan J. From Homogenous to Heterogeneous: The Transformation of Beijing's Socio-Spatial Structure. *Built Environment*. 2008, 34(4): 482-498.
- [3] Li Z, Wu F. Tenure-based residential segregation in post-reform Chinese cities: a case study of Shanghai. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 2008, 33(33): 404-419.
- [4] 王成新, 王波涛, 王翔宇. 基于结构视角的中国人口城市化与土地城市化异速增长研究. *中国人口·资源与环境*. 2016, 26(8): 135-141.[Chengxin W, Botao W, Xiangyu W. Study on population urbanization and land urbanization allometric growth in China based on the structure. *China Population, Resources And Environment*. 2016, 26(8): 135-141.]
- [5] 孙斌栋, 何舟, 李南菲, 等. 职住均衡能够缓解交通拥堵吗?—基于 GIS 缓冲区方法的上海实证研究. *城市规划学刊*. 2017(5): 98-104.[Sun B, He Z, Li N, et al. Could Jobs-Housing Balance Relieve Traffic Congestion? A Case Study of Shanghai Based on GIS Buffer. *Urban Planning Forum*. 2017, (5): 98-104.]
- [6] 郑卫, 邢尚青. 我国小城镇空间碎化现象探析. *城市发展研究*. 2012, 19(3): 96-100.[Zheng W, Xing S. The research on space broken of Chinese towns. *Urban Studies*. 2012, 19(3): 96-100.]
- [7] 朱佩娟, 张美芳, 贺清云. 城市空间破碎化研究进展及其展望. *世界地理研究*. 2019: 1-13.[Peijuan Z, Meifang Z, Qingyun H. Research Progress and Prospect of Urban Space Fragmentation. *World Regional Studies*. 2019: 1-13.]
- [8] 朱佩娟, 贺清云, 朱翔, 等. 论城市空间破碎化研究. *地理研究*. 2018, 37(3): 480-494.[Peijuan Z, Qingyun H, Xiang Z, et al. Research on urban space fragmentation. *Geographical Research*. 2018, 37(3): 480-494.]
- [9] 李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 等. 大城市边缘区景观破碎化空间异质性—以北京市顺义区为例. *生态学报*. 2013, 33(17): 5363-5374.[Can L, Fengrong Z, Taifeng Z. Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area: a case study in Shunyi district of Beijing. *Acta ecologica sinica*. 2013, 33(17): 5363-5374.]
- [10] 童陆亿. 广义城市扩张度量方法及其应用研究. 中国地质大学博士学位论文, 2018: 29-30.[Luyi T. A Dissertation Submitted to China University of Geosciences For the Doctor Degree of Management. Doctoral Dissertation of China University of Geosciences, 2018: 29-30.]
- [11] Shalaby A S, Shalaby M S. Service Provision and Prosperity in Urban Communities in the Greater Cairo Region. *Urban Forum*. 2018, 29(3): 239-258.
- [12] Wang J, Zhou W, Wang J, et al. From quantity to quality: enhanced understanding of the changes in urban greenspace[J]. *Landscape Ecology*. 2019, 34(5): 1145-1160.
- [13] Wei Y, Zhang Z. Assessing the fragmentation of construction land in urban areas: An index method and case study in Shunde, China. *Land Use Policy*. 2012, 29(2): 417-428.
- [14] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价. *植物生态学报*. 2000, 24(3): 320-326.[Ma K, Fu B. Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan Montane Region. *Acta Phytocologica Sinica*. 2000, 24(3): 320-326.]
- [15] 宋伟轩, 吕陈, 徐昀. 城市社区微观空间意象研究—基于南京居民 250 份手绘草图的比较. *地理研究*. 2011, 30(4): 709-722.[Song W, Lü C, Xu D. Study on spatial image of community based on comparison of 250 sketch maps drawn by residents in Nanjing. *Geographical research*. 2011, 30(4): 709-722.]
- [16] Sabatini, Cáceres F, Cerda G, et al. Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: Tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción. *EURE (Santiago) - Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*. 2001, 27(82): 135-150.
- [17] 余侃华, 张沛, 张中华. 城市社区空间私有化的产生机制及发展趋势—以国外封闭社区为研究对象. *城市发展研究*. 2009, 3(6): 94-101.[Kanhua Y, Pei Z, Zhonghua Z. Development Trends and Generation Mechanism of Privatization of Urban Space—Foreign Closed Community as the Object of Study in Foreign Countries. *Urban development Studies*. 2009, 3(6): 94-101.]
- [18] Jenks M, Kozak D, Takkanon P. *World Cities and Urban Form: Fragmented, Polycentric, Sustainable?* Routledge, 2008: 401-402.
- [19] 周国华, 贺艳华. 长沙城市土地扩张特征及影响因素. *地理学报*. 2006, 61(11): 1171-1180.[Zhou G, He Y. Characteristics and influencing factors of urban land expansion in Changsha. *Acta Geographica Sinica*. 2006, 61(11): 1171-1180.]
- [20] Angeon V, Bates S. Reviewing Composite Vulnerability and Resilience Indexes: A Sustainable Approach and Application. *World Development*. 2015, 72(3): 140-162.
- [21] 辜容蓉, 吴修月, 黄志勤, 等. POI 数据辅助下的泸州市城市地块用地类型现状快速判断与验证. *中国农业资源与区划*. 2019, 40(11): 72-79.[Jirong G, Xiuyue W, Zhiqin H. Research on the identify method of urban block use types in luzhou city by POI data. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*. 2019, 40(11): 72-79.]

- [22] Wang Y, Peng Z, Chen Q. The choice of residential layout in urban China: A comparison of transportation and land use in Changsha (China) and Leeds (UK). *Habitat International*. 2018(75): 50-58.
- [23] 沈清基, 徐溯源. 城市多样性与紧凑性:状态表征及关系辨析. *城市规划*. 2009, 33(10): 25-34.[Shen Q, Xu S. Urban diversity and compactness: characterization and relationship. *Urban Planning*. 2009(10): 25-34.]
- [24] 谌丽, 张文忠, 李业锦, 等. 北京城市居住空间形态对居民通勤方式的影响. *地理科学*. 2016, 36(5): 697-704.[Chen L, Zhang W, Li Y, et al. Residential form in Beijing and Its Impact on Residents' Commuting Mode Choice. *Scientia Geographica Sinica*. 2016(5): 697-704.]
- [25] 武文杰, 张文忠, 刘志林, 等. 北京市居住用地出让的时空格局演变. *地理研究*. 2010, 29(4): 683-692.[Wenjie W, Wenzhong Z, Zhilin L, et al. Tempo-spatial analysis of the residential land's spatial pattern in Beijing. *Geographical research*. 2010(4): 683-692.]
- [26] 李星星, 李同昇. 乡村地区路网通达性研究—以陕西省丹凤县为例. *人文地理*. 2012, 27(3): 78-85.[Xingxing L, Tongsheng L. Study on Road Network Accessibility in Rural Areas—A Case Study of Danfeng County Shaanxi Province. *Human geography*. 2012(3): 78-85.]
- [27] 蔡兴飞, 林爱文, 孙毓. 武汉市交通可达性综合评价及城际铁路通勤化发展探讨. *现代城市研究*. 2019(4): 9-15.[Xingfei C, Aiwen L, Cheng S. Comprehensive Accessibility Evaluation and Commuting Development of Intercity Railway in Wuhan. *Modern Urban Research*. 2019(4): 9-15.]
- [28] 党云晓, 董冠鹏, 余建辉, 等. 北京土地利用混合度对居民职住分离的影响. *地理学报*. 2015, 70(6): 919-930.[Dang Yunxiao D G Y J. Impact of land-use mixed degree on resident's home-work separation in Beijing. *Acta Geographica Sinica*. 2015(6): 919-930.]
- [29] Mercado R, Páez A. Determinants of distance traveled with a focus on the elderly: a multilevel analysis in the Hamilton CMA, Canada. *Journal of Transport Geography*. 2009, 17(1): 65-76.
- [30] Maoh H, Tang Z. Determinants of normal and extreme commute distance in a sprawled midsize Canadian city: evidence from Windsor, Canada. *Journal of Transport Geography*. 2012, 25(2): 50-57.
- [31] 贺艳华, 唐承丽, 周国华, 等. 基于地理学视角的快速城市化地区空间冲突测度—以长株潭城市群地区为例. *自然资源学报*. 2014, 29(10): 1660-1674.[He Y, Tang C, Zhou G, et al. The analysis of spatial conflict measurement in fast urbanization region from the perspective of geography. *Journal of Natural Resources*. 2014, (10): 1660-1674.]
- [32] 周国华, 彭佳捷. 空间冲突的演变特征及影响效应—以长株潭城市群为例. *地理科学进展*. 2012, 31(6): 717-723.[Zhou G, Peng J. The evolution characteristics and influence effect of spatial conflict: A case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration. *Progress in Geography*. 2012, 31(6): 717-723.]
- [33] 董玉祥, 徐茜, 杨忍, 等. 基于地理探测器的中国陆地热带北界探讨. *地理学报*. 2017, 72(1): 135-147.[Yuxiang D, Xi X, Nini Y. Delineation of the northern border of the tropical zone of China's mainland using Geodetector. *Acta Geographica Sinica*. 2017, 72(1): 135-147.]
- [34] 张琳琳. 转型期中国城市蔓延的多尺度测度、内在机理与管控研究. 浙江大学博士学位论文, 2018: 52-54.[Linlin Z. Research on the Urban Sprawl in Transitional China: Multi-Scale Measurement, Mechanism, and Remedies. Doctoral Dissertation of Zhejiang University, 2018: 52-54.]
- [35] Hidding M C, Teunissen A T J. Beyond fragmentation: new concepts for urban - rural development. *Landscape & Urban Planning*. 2002, 58(2): 297-308.

The pattern characteristics and influencing factors of urban spatial fragmentation in Changsha

ZHU Peijuan^{1,2}, LANG Zehui¹, HE Qingyun¹, ZHANG Meifang¹, WU Guoquan¹

(1. Department of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2. Key Laboratory of Geospatial Big Data Mining and Application, Hunan Province, Changsha 410081, China)

Abstract: Space fragmentation is an important issue to be deepened in the study of urban spatial structure. The measurement index of urban spatial fragmentation is constructed from three dimensions of form, connection and function, and the pattern characteristics and influencing factors of urban spatial fragmentation in Changsha are discussed by using geographical detector model. The main conclusions are as follows: (1) Fragmentation of urban space can be measured from three aspects: morphological segmentation, contact barrier and functional disorder. Morphological segmentation can be characterized by mean block area index(MBA), contact barrier can be characterized by average impedance index(AI), and functional disorder can be reflected by functional diversity index(FD) and adjacency conflict index(AC). (2) The spatial

fragmentation pattern of Changsha city is characterized by the pattern feature of the circle type differentiation and the fan type expansion differentiation. The low-fragmentation area is mainly distributed in the urban core area, while the high-fragmentation area extends to the periphery along specific sectors, and is mainly distributed in large gated communities, industrial parks, mountain green areas and large railway stations. (3) The spatial differentiation of urban space fragmentation in Changsha is the result of the comprehensive action of multiple factors, among which the natural factors such as altitude and slope are the basic factors, while the land price, population density and facility input are the leading factors. (4) The governance of Changsha urban space fragmentation can start from three aspects: breaking through the constraints of market supply, market demand and facility abundance. In order to reduce the negative effect of space fragmentation, the corresponding countermeasures should be adopted.

Keywords: spatial fragmentation; spatial pattern; influencing factors; geographic detector; Changsha