

1980—2020年粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型演变及其驱动力多维探测

鞠洪润¹, 张生瑞², 闫逸晨^{1,3}

(1. 青岛大学旅游与地理科学学院, 青岛 266071; 2. 中国海洋大学管理学院, 青岛 266100;

3. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

摘要: 深入研究1978年改革开放以来粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型, 探索土地城镇化多维和交互驱动机制, 对推进粤港澳大湾区建设, 打造世界级城市群具有重要意义。本文基于模糊聚类, 从规模、形态和分布3个维度划分和定义粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型, 利用地理探测器测度城镇用地空间格局多维变化驱动力及其交互作用。结果表明: ① 粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型包括分形/复杂大面积型、分形小面积型、复杂小面积型、简单小面积型和散布型5种类型, 城镇用地规模和形状复杂性具有一定的正相关性, 2010年后用地规模趋于稳定, 形态的规则性和紧凑性得到优化, 分布集中。② 人口、GDP、地方财政收入、固定资产投资额和路网密度等社会经济因素对城镇用地面积和形态变化影响显著, 核心城市对城市群发展的牵引作用在2000年后得以显现。2010—2020年各影响因子对城镇用地面积、分布和类型变化的作用差异有所减弱, 但社会经济因素对形状特征的影响力上升。③ 城镇用地面积特征变化的影响力交互作用最为多样, 表现有非线性增强、协同增强、单因子减弱和非线性减弱4种类型; 对形状、分布和空间格局类型变化的影响力交互作用主要表现为协同增强和非线性增强。核心城市牵引力、路网密度、河网密度与多数因子交互产生“1+1>2”的效果, 反映出城市群核心区、交通优势对城镇用地扩展的强烈推动作用。

关键词: 城镇用地; 空间格局类型; 多维驱动力; 交互作用; 粤港澳大湾区

DOI: 10.11821/dlxb202205004

1 引言

粤港澳大湾区建设有利于充分发挥粤港澳综合优势, 深化内地与港澳合作, 提升粤港澳大湾区在国家经济发展和对外开放中的支撑引领作用, 是丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路对接融汇的重要支撑区, 已经上升为国家级战略^[1-3]。随着改革开放和经济全球化的不断深入, 粤港澳大湾区城镇用地空间格局与城镇化动力机制发生了深刻的变化, 城市群历经了“单核发展”“双核驱动发展”“多中心网络化发展”等过程^[4-6]。作为中国开放程度最高、经济活力最强, 最早实行改革开放的地区之一, 20世纪80年代以来

收稿日期: 2021-01-06; 修订日期: 2022-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(42001243); 教育部人文社会科学研究项目(20YJC630212); 山东省自然科学基金项目(ZR2020QD008) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42001243; The Humanities and Social Science Project of the Ministry of Education, No.20YJC630212; Natural Science Foundation of Shandong Province, China, No.ZR2020QD008]

作者简介: 鞠洪润(1990-), 女, 山东青岛人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为土地资源管理。

E-mail: juhr@qdu.edu.cn

通讯作者: 张生瑞(1990-), 男, 山东莱芜人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110014255M), 研究方向为旅游地理。E-mail: zhangshengrui@ouc.edu.cn

粤港澳大湾区城镇用地空间格局呈现出哪些类型?从哪些维度进行划分?不同维度与格局类型具有怎样的时空演变特征与原因?解决这些问题有利于深入理解城市群城镇用地空间格局演变的规律和机理,推进粤港澳大湾区建设为世界级城市群,为新型城镇化高质量发展提供科学参考。

目前,对城市群或大城市城镇用地空间格局的研究多采用单层面或多层面的多个指标进行刻画,主要包括城镇用地的规模特征^[7-9]、形态特征^[10-12]和分布特征^[13-15]及其演变。城镇用地规模特征可以反应区域土地城镇化发展水平,其不仅关系到土地分配、地价税收等与社会、经济效益有关的一些活动,也影响城市生态环境,包括局地气候^[16]、大气质量^[17]、资源减少及环境污染程度^[18]等,主要以区域城镇用地总面积、城镇扩展强度、土地城镇化率等指标进行表征。形状特征表示城镇用地形状的复杂性和紧凑性,不同形态的城镇用地斑块对生物的生存和能量的流动具有重要作用,已有研究表明,城市形态对生物多样性^[19]、噪声污染^[20]和城市内涝^[21]等均具有一定影响。此外,形状特征也能在一定程度上反映斑块的边缘效应和其与周围斑块的镶嵌关系。一般来说,形状简单是一种更好的趋势,说明城市建设更多地受到规划控制,城区周界整齐规则,用地紧凑集约^[11],主要以分维数、紧凑度或多种形状指数进行表征。另外,城镇用地分布特征表示不同城镇用地分布的位置、斑块分布的密度和聚集性,可以反映城市发展的方向、地理区位与相互作用关系^[22],为优化城镇用地空间格局提供科学依据,其刻画主要以城镇用地的重心、斑块密度、斑块距离等指标进行表征。但是,当前对城市群城镇用地空间格局多层面特征的综合与相互关系研究较少,忽视了具有普适性的城镇用地空间格局类型的研究。规模、形态和分布等特征的独立刻画难以突出城镇用地空间格局的主要特征和演变规律,制约了地理学对新型城镇化建设进行分类指导与模式推广等学科支撑功能的发挥。如何找到城镇用地空间格局多维特征之间的关系,挖掘其主要核心特征,提取空间格局类型,是城镇用地空间格局刻画研究的重点之一,有利于对不同城镇用地空间格局类型及其演变造成的生产和生态影响做出准确的分析与预判。

以土地利用变化为基础的城市群城镇用地变化动力机制研究也是城市群研究的热点之一,如王利伟等利用因子分析和多元线性回归分析,测度行政力、市场力、外向力、内源力4种驱动力对京津冀城市群空间扩展的影响^[23];王海军等采用Logistic-GTWR模型刻画邻域因子、自然因子和社会经济因子对武汉城市圈土地扩张的演化和空间分异格局的影响^[24]。然而,目前大多数研究对城镇用地变化的驱动机制解析多针对面积变化的总量与速度,对城镇用地形态、分布及空间格局类型等多维度的城镇用地扩展驱动机制解释略显不足。其次,在城市群生态系统中,地理、生态、经济和社会因素之间在不同的时空尺度上存在广泛的相互作用^[25],某一因素对城市发展的作用可能会受到城市系统中其他因素水平的影响。研究证明,对因子间相互作用的定量研究可以提高城市增长空间预测的准确性^[26]。但是,已有研究侧重自然、社会、经济等因子对城市群城镇用地扩展的单因素影响力度定量刻画与对比,多因子交互作用研究相对较少。因此,定量刻画驱动因子间的交互作用机制对明晰城市群城镇用地扩展的驱动机理和提高未来模拟预测精度具有重要价值。

本文深入研究1980—2020年粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型的演变及其驱动机制。首先,从“规模—形态—分布”三维特征入手,基于模糊聚类分析对城镇用地空间格局进行类型划分与定义,刻画粤港澳大湾区内特别行政区、地级市和县级行政区的城镇用地空间格局的时空演变特征。其次,基于地理探测器定量测度影响粤港澳大湾区城镇用地面积、形状、分布和空间格局类型变化的多维影响力与交互作用。以期优化粤港澳大湾区国土空间开发格局、促进城市群协调发展和新型城镇化建设提供科学依据。

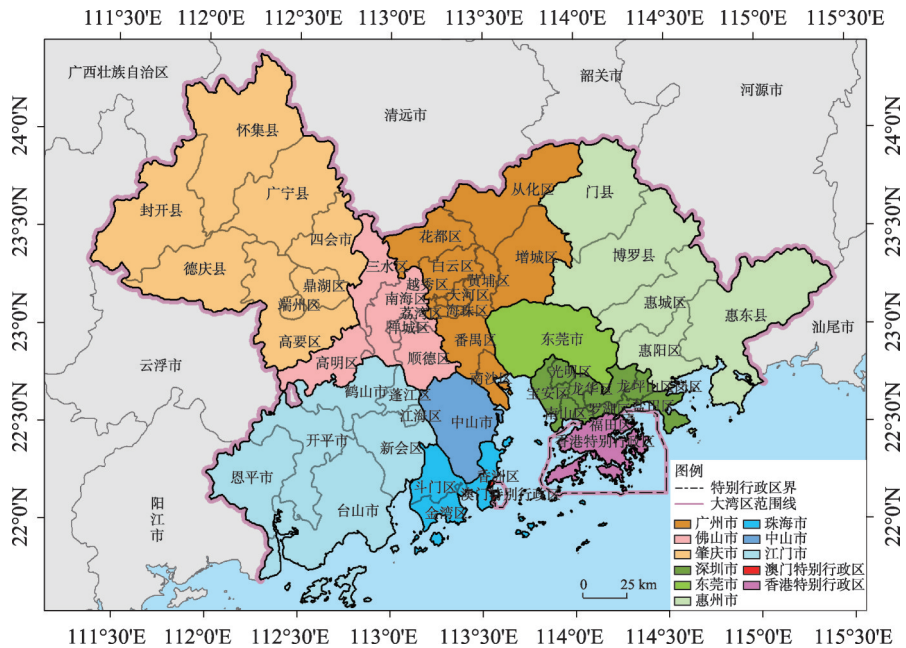
2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区域

粤港澳大湾区地临南海、地势平坦、河网密集、气候宜人，与东南亚隔海相望，是中国对外联系的重要门户，具有明显的地缘优势。其行政范围包括广东省的广州市、深圳市、珠海市、佛山市、惠州市、东莞市、中山市、江门市、肇庆市9个城市和香港、澳门两个特别行政区，其中，广州市和深圳市为副省级城市，东莞市和中山市是不设区县的地级市（图1）。1978年改革开放以来，特别是香港、澳门回归后，粤港澳合作不断深化实化，粤港澳大湾区经济实力、区域竞争力显著增强，已具备建成国际一流湾区和世界级城市群的基础条件。2000—2019年间，该地区常住人口从4997.51万人增加到9079.53万人，国内生产总值从20400.03亿元大幅增加到119877.65亿元，涨幅高达587.64%^[27-28]。然而，近年来粤港澳大湾区水土资源告急、人口超负、环境透支以及高昂的生活和住房成本等问题相继出现，粤港澳大湾区城镇化发展模式面临转型。因此，在城镇分布密集、城镇化发展迅速、人地矛盾突出的粤港澳大湾区开展长时序城镇用地扩展空间格局类型与驱动力探测研究，极具必要性。

2.2 数据来源与预处理

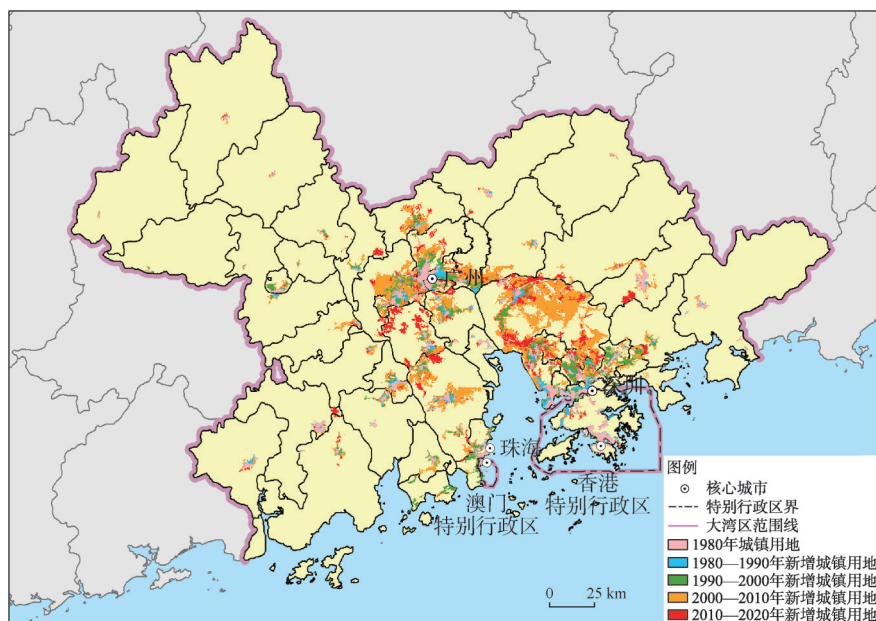
本文采用的数据主要包括土地利用数据、社会经济统计数据 and 基础地理信息数据。
① 土地利用来自中国科学院构建的中国1:10万比例尺土地利用现状遥感监测数据库，包括1980年、1990年、2000年、2010年和2020年共5期100 m分辨率的栅格数据（图2）。本文所指城镇用地是该土地利用分类系统中城乡、工矿、居民用地中的城镇用地^[29]。土地利用数据显示，1980—2020年间，广州、深圳、东莞、佛山等地市城镇用地扩展最为剧烈，40年间大湾区中心地区城镇用地扩展逐渐连接成片，期间存在少量城镇用地收缩



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)4342号标准地图制作,底图边界无修改。

图1 粤港澳大湾区地理区位与2020年行政区划

Fig. 1 Geographical location and administrative divisions in 2020 of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)4342号标准地图制作, 底图边界无修改。

图2 1980—2020年粤港澳大湾区城镇用地空间演变

Fig. 2 Spatial evolution of urban land from 1980 to 2020 in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

现象, 但由于面积较小, 未在图中标识。② 社会经济数据包括各特别行政区、地级市和县级行政单元的常住人口数、地区生产总值、第二产业GDP、第三产业GDP、全社会固定资产投资额、地方财政一般预算收入, 主要数据来源为1991—2020年《广东省统计年鉴》和广东省各地市统计年鉴。由于1980年的统计资料匮乏, 城镇用地空间格局演变驱动力定量测度仅包括1990—2020年。各年份缺少的数据通过人口普查数据、各地市国民经济和社会发展统计公报等获取; 港澳数据通过国家统计局、世界银行等获取。县级行政区划以2020年国家统计局公告为准 (<http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjbz/tjyqhdmhcxhfdm/2020/index.html>), 以此为据对不同年份行政区划变化引起的数据不一致问题进行调整, 对于部分无法获取的区县数据, 按相邻年份该县该指标占其地市级的比例, 对数据加权计算。③ 基础地理信息数据包括高程、交通、河流等数据, 交通和河流数据为矢量数据, 来源于1:25万全国基础地理数据库, 高程、坡度数据来源于SRTM 90 m高程数据。

2.3 驱动因子遴选

城镇用地扩展的驱动力主要包括自然因素、社会经济因素和政策因素等, 各种影响因素通过相互作用, 共同驱动城镇用地扩展^[30]。其中, 自然因素决定了区域城镇用地扩展的本底条件, 粤港澳大湾区北部和东部丘陵散布, 因此高程、坡度等地形条件将影响城镇用地扩展的方向和规模; 此外, 珠江三角洲的西江、北江和东江三大河流分布影响城镇用地扩展的强度和范围。社会经济因素是城镇化的内在因素, 人口、GDP、固定资产投资、政府财政收入、交通运输和核心城市的牵引作用均直接或间接影响城市群城镇用地扩张。另外, 由于政策因素通常与自然、社会、经济等因素紧密相关, 所以政策因素对城镇用地扩展的影响可以通过自然、社会、经济因素的变化得以反映。因此, 本文从自然因素和社会经济因素两大方面选取13个指标作为粤港澳大湾区城镇用地扩展的驱动因子(表1), 并基于自然因素和社会经济因素的影响力变化分析讨论政策因素对粤港澳大湾区城镇用地扩展的作用。

表1 粤港澳大湾区城镇用地扩展驱动因子

Tab. 1 Driving factors of urban land expansion in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area			
驱动因子	变量名称	单位	变量符号
自然因素	平均海拔	m	ELE
	平均坡度	°	SLOPE
	河网密度	km/km ²	RIVER
社会经济因素	常住人口数量	万人	POP
	GDP	亿元	GDP
	全社会固定资产投资额	万元	INVEST
	地方财政一般预算收入	万元	INCM
	路网密度 ^①	km/km ²	ROAD
	距核心城市距离(核心城市分别为香港、澳门、广州、深圳、珠海) ^②	km	XG、AM、GZ、SZ、ZH

注：① 考虑到不同类型和等级道路的运输容量和通行能力的差异,对铁路、国道、省道、县道和乡道分别按照3、3、2、1、0.4的权重进行路网密度计算^[31-32];② 距核心城市距离因子以“各行政单元城镇用地面积加权质心”到“核心城市城镇用地面积加权质心”的直线距离表示。

3 研究方法

3.1 空间格局类型划分方法

为提取具有普适性的城镇用地空间格局类型，找到空间格局不同层面特征之间的内在关系，挖掘各类型核心特征与功能，本文从城镇用地的规模、形态和分布特征划分城镇用地空间格局类型。研究以县级行政区划单元为最小分析尺度，考虑指数的地理含义明确性、相对独立性和可获得性等因素，规模特征选择城镇用地斑块总面积（CA），形态特征选择面积加权斑块分维数（FRAC），分布特征选择面积加权斑块最近距离（ENN）^[33]，对粤港澳大湾区城镇用地扩展时空格局进行刻画。CA指数表示区域城镇用地的面积规模大小，CA越大说明城镇发展水平相对较高；FRAC指数表示城镇用地形状的复杂性和紧凑性，一般来说，分维减少是一种更好的趋势，说明城市建设更多地受到规划控制，城区周界整齐规则，用地紧凑集约^[11]；ENN指数表示不同城镇用地斑块间分布的聚集性，ENN越大说明城镇用地斑块分布较为零散，飞地式扩展现象较为显著，ENN越小说明城镇用地斑块分布较为集中，其扩展分布于核心城区周围。计算公式：

$$CA_j = \sum_{i,j=1}^n a_{ij}$$
(1)

$$FRAC_j = \frac{a_{ij}}{\sum_{i,j=1}^n a_{ij}} \times \frac{2 \ln 0.25 p_{ij}}{\ln a_{ij}}$$
(2)

$$ENN_j = \frac{a_{ij}}{\sum_{i,j=1}^n a_{ij}} h_{ij}$$
(3)

式中： a_{ij} 为区县*j*中第*i*个斑块的面积； p_{ij} 为区县*j*中第*i*个斑块的周长； h_{ij} 为区县*j*中第*i*个斑块中心到距离其最近的斑块中心的距离。

基于上述指标，利用模糊C均值（FCM）算法从规模、形态和分布3个维度对城镇用地空间格局类型进行聚类划分^[33]，并参考模糊聚类的划分方式确定各空间格局类型划分阈值，对各类型进行命名并总结其特点。首先，为了消除CA、FRAC和ENN指标之间

的量纲影响,对每项指标进行Z-score标准化处理,使不同指标的数值具有可比性,经过处理后每个指标的数据符合均值为0、标准差为1的标准正态分布。然后,基于MATLAB利用FCM算法对粤港澳大湾区的特别行政区、市和县进行空间格局类型的初步划分^[34]。最后,参考FCM聚类划分的结果,对模糊隶属度较低的单元进行调整,确定城镇用地空间格局类型划分的数量和阈值,对各类型进行定义,总结归纳其几何特征和地理特征。

3.2 驱动力探测方法

本文使用地理探测器中因子探测器和交互作用探测器展开分析^[35],探测粤港澳大湾区各因子对城镇用地空间格局的规模、形态、分布和空间格局类型特征的影响力和多因子交互作用强度与类型。

因子探测器从空间异质性角度探索潜在因素或解释变量,可以定量表示各可能影响因子的相对影响力大小,其将影响因子划分的子区内的城镇用地规模/形态/分布/类型指标变化的方差之和占研究区城镇用地规模/形态/分布/类型指标变化总体方差的比例作为该因子的影响力的定量解释,则影响力 p 的计算如公式(4)所示:

$$p = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N n_i \sigma_i^2}{n \sigma^2} \quad (4)$$

式中: n_i 和 n 分别为层 i 和全区的单元数; σ_i^2 和 σ^2 分别为层 i 和全区的 Y 值方差。如果一个因子 x 能够完全控制城镇用地的规模/形态/分布/类型特征,则 $p \rightarrow 1$;若因子 x 与城镇用地的规模、形态、分布、类型特征无关,则 $p \rightarrow 0$ 。 p 的取值范围为 $[0, 1]$, p 值越大说明该因子的影响力越大。

交互作用探测器可以识别不同的影响因子对城市群空间扩展是否存在交互作用以及交互作用的类型和强度,如公式(5)所示:

$$\begin{aligned} & \text{非线性减弱: } p(M \cap N) < \min(p(M), p(N)) \\ & \text{单因子减弱: } \min(p(M), p(N)) < p(M \cap N) < \max(p(M), p(N)) \\ & \text{协同增强: } \max(p(M), p(N)) < p(M \cap N) < (p(M) + p(N)) \\ & \text{独立: } p(M \cap N) = p(M) + p(N) \\ & \text{非线性增强: } p(M \cap N) > (p(M) + p(N)) \end{aligned} \quad (5)$$

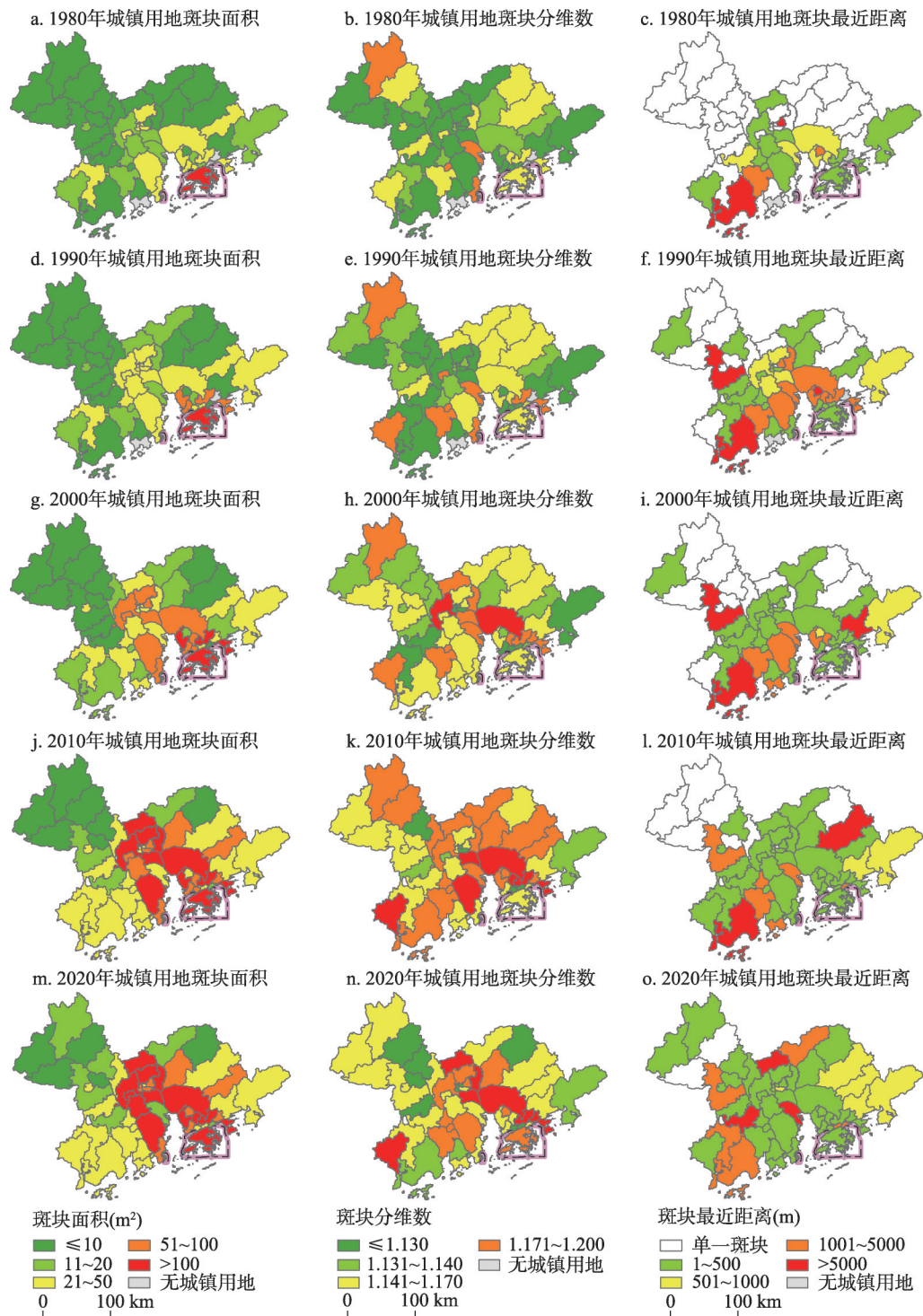
式中: $p(M)$ 和 $p(N)$ 分别表示因子 M 和因子 N 的影响力; $p(M \cap N)$ 表示因子 M 和 N 交互作用后的影响力。

本文对13个影响因素的因子分析与交互作用分析均基于R语言的GD包实现,GD包可以对每个因子自动确定最佳的离散化方法和离散化数量,本文所有因子的离散化方法采用等间距法、自然间断点法和四分位法中的影响力最大者,离散化数量选择4~6个离散化划分中的影响力最大者^[36]。

4 结果与分析

4.1 粤港澳大湾区城镇用空间格局

4.1.1 城镇用地规模、形态和分布特征 1978年改革开放以来,粤港澳大湾区城镇用地的规模、形态和分布特征发生了明显的时空变化(图3)。^①粤港澳大湾区城镇用地总面积从1980年的828.07 km²剧烈增加到2020年的4551.86 km²,其增长呈现近似“S”型曲线,即1990年前缓慢增长,1990—2010年快速增长,增长速率在2010年达到最大,2010年后增长速率减缓。^②城市群发展空间结构由单核发展演变为多核协同发展。



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)4342号标准地图制作,底图边界无修改。

图3 1980—2020年粤港澳大湾区城镇用地规模、形态和分布特征

Fig. 3 Area, shape, and distribution characteristics of urban land in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area during 1980-2000

1978—2000年香港特别行政区城镇用地面积居于首位,但与其他地区的差距逐步缩减。21世纪初,东莞市、中山市和佛山市南海区城镇用地面积急剧增加,涨幅高达2.5~8倍,深圳市龙岗区和宝安区城镇用地面积持续增加,超过香港特别行政区。③ 2010—2020年粤港澳大湾区城镇用地规模特征空间格局趋于稳定,城镇用地面积大于100 km²的行政单元集中分布于沿湾地区,面积介于20 km²和100 km²之间的行政单元主要分布在粤港澳大湾区的东西两翼,而西北部城镇用地面积普遍较小。④ 表征形态特征的城镇用地斑块分维数整体呈增加趋势,且在2010年达到峰值,城镇用地斑块形状的复杂性增加、紧凑性减弱。⑤ 对比香港特别行政区,其城镇用地规模虽为最高等级,但城镇用地形态一直保持为中高等级,而内地城镇用地扩张同时形态复杂性显著提高,提示2010年前的城镇扩张存在一定的无序性,但该现象在2020年规模特征接近稳定时有所改善,城镇用地斑块形状的紧凑性略有提高。⑥ 从分布特征来看,粤港澳大湾区城镇用地斑块分布整体上经历了“单一斑块集中分布”→“多斑块离散分布”→“多斑块集中分布”的演化过程。

4.1.2 空间格局类型划分与演变特征 从规模、形态和分布3个方面,基于FCM聚类对1980—2020年间粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型划分。结果显示,1990—2010年的空间格局类型划分方式相似,1980年和2020年的划分方式与其他年份差异较大,这是由于40年的研究时段跨度较大,城镇用地空间格局的规模、形态和分布特征发生了显著的变化。为探索区域城镇用地空间格局类型演化特征,不同年份应以相同标准进行划分,其中,2010年的划分方式具有明显的划分阈值,因此,本文以2010年城镇用地空间格局类型划分方式为参考,综合考虑其他年份的特征,最终确定各年份的城镇用地空间格局类型和划分标准如式(6)所示,其几何特征和地理特征如表2所示。由于本文以区县级行政区划为研究尺度,个别行政区总面积较小,故认为土地城镇化率大于50%的行政单元也属于大面积型。划分结果表明,粤港澳大湾区城镇用地的规模和形状复杂性具有一定的正相关性。

分形/复杂大面积型: $CA \geq 100$ 或 $Land_{Urban} > 50\%$

分形小面积型: $CA < 100$ 且 $FRAC \geq 1.17$ 且 $ENN < 5000$

复杂小面积型: $CA < 100$ 且 $1.13 \leq FRAC < 1.17$ 且 $ENN < 5000$ (6)


简单小面积型: $CA < 100$ 且 $FRAC < 1.13$ 且 $ENN < 5000$

散布型: $CA < 100$ 且 $ENN \geq 5000$

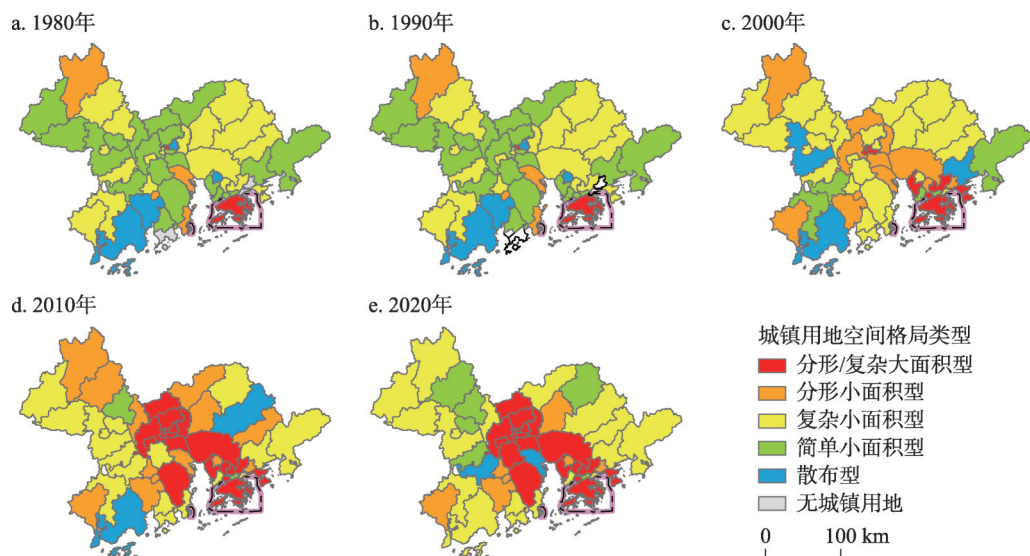
式中: CA 为区域城镇用地斑块总面积 (km²); $FRAC$ 为面积加权斑块分维数; ENN 为面积加权斑块最近距离 (m); $Land_{Urban}$ 为土地城镇化率。

1979年党中央、国务院批准广东在对外经济活动中实行“特殊政策、灵活措施”,并决定在深圳、珠海、汕头等城市试办经济特区,为珠三角地区城镇化发展提供了新契机,此后,该区域城镇用地空间格局类型发生了较大的变化(图4)。1980—1990年粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型基本稳定,以复杂小面积型和简单小面积型为主,分形/复杂大面积型仅有香港特别行政区和广州市越秀区。2000年中国加入世界贸易组织后,珠江三角洲地区成为中国对外开放的前沿阵地,粤港澳大湾区的空间格局类型发生较大变化,分形/复杂大面积型和分形小面积型空间范围持续扩大,城镇用地发展呈现面积和形状复杂性同步增长的趋势。2010年后,随着国土资源优化配置的大力推进,粤港澳大湾区的形态特征得到优化,简单小面积型和复杂小面积型的城镇用地空间格局类型增加,规则性和紧凑性有所提高,散布型空间格局类型数量减少,城镇用地空间分布较为集中。

表2 粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型特征及典型图谱

空间格局类型	几何特征	地理特征	典型图谱
分形/复杂大面积型	① 城镇用地斑块面积大于等于 100 km ² 或土地城镇化率大于 50%； ② 形状复杂。	城镇用地空间分布广、面积大，城镇用地边界复杂，分形特征较为明显，形状紧凑性较弱。该类型是城镇用地发展的相对高级阶段，城市基础设施健全，经济社会发展水平较高，人口密集。	
分形小面积型	① 城镇用地斑块面积小于 100 km ² ； ② 形状复杂； ③ 面积加权平均斑块最近距离小于 5000 m。	城镇用地空间分布范围较小，斑块面积相对较小，城镇用地边界复杂，呈现分形特征，形状紧凑性较弱。该类型是城镇用地发展的相对中级阶段，城市基础设施较为健全，经济社会发展潜力大，人口较为密集。	
复杂小面积型	① 城镇用地斑块面积小于 100 km ² ； ② 形状较复杂； ③ 面积加权平均斑块最近距离小于 5000 m。	城镇用地空间分布范围较小，斑块面积相对较小，城镇用地边界较为复杂，形状紧凑性高于分形小面积型。该类型是城镇用地发展的相对中级阶段，城市基础设施较为健全，经济社会发展潜力大。	
简单小面积型	① 城镇用地斑块面积小于 100 km ² ； ② 形状简单紧凑； ③ 面积加权平均斑块最近距离小于 5000 m。	城镇用地空间分布范围较小，斑块面积相对较小，城镇用地边界较简单，紧凑性较高。该类型是城镇用地发展的相对初级阶段，城市基础设施较为简单，经济社会发展潜力大。	
散布型	① 城镇用地斑块面积小于 100 km ² ； ② 面积加权平均斑块最近距离大于等于 5000 m。	城镇用地斑块面积相对较小，发展受地形、河流等因素影响呈现出典型的飞地特征，城镇用地斑块分布较为零散。该类型可能是城镇扩展过程中的过渡阶段，随着扩展程度的加剧，不同斑块会聚集成片；也可能是具有卫星城的城市，其主要城镇用地分布具有明显的空间分离性。	

注：典型图谱截取自 2020 年谷歌地球遥感影像，亮灰色为城镇用地。



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)4342号标准地图制作, 底图边界无修改。

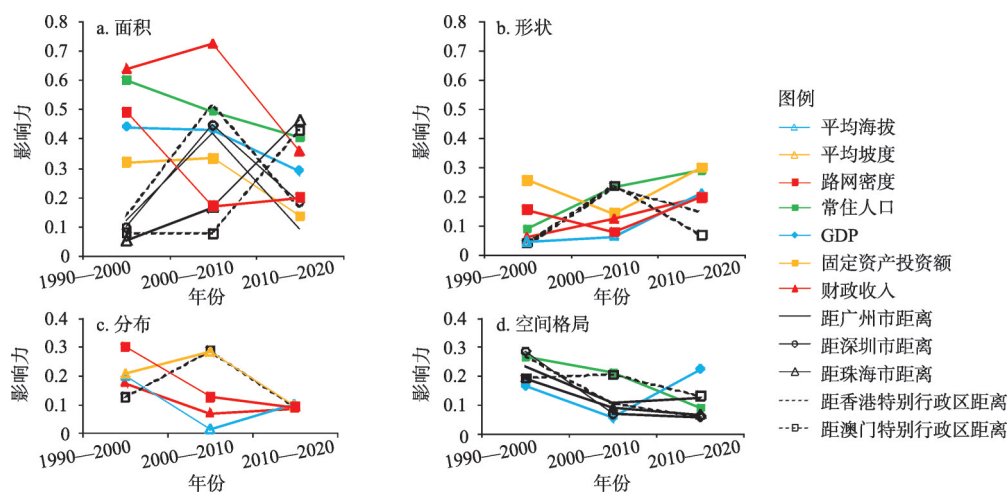
图4 1980—2020年粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型分布

Fig. 4 Spatial distribution of pattern types of urban land in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area during 1980-2020

4.2 粤港澳大湾区城镇用地变化驱动力分析

4.2.1 因子探测结果 1987年深圳市率先实行国有土地所有权和使用权分离改革, 标志着以市场化手段配置土地制度的创立, 此后, 珠江三角洲地区城镇用地空间格局发生了较大的变化, 深圳市多个行政单元城镇用地空间格局转变为大面积型, 广州市、佛山市、东莞市城镇用地的形状特征趋于复杂, 人口、GDP、地方财政收入、固定资产投资额和路网密度等社会经济因素对城镇用地面积和形态变化影响显著, 但核心城市对城市群发展的牵引作用尚未显现。进入21世纪以来, 广东省常住人口总量快速增长并进一步向珠三角中心城市聚集, 粤港澳大湾区基于其特殊的区位优势、巨大的人口红利和廉价的土地要素, 城镇用地迅速扩张^[37], 但受2008年全球金融危机以及自身产业结构调整的影响, 珠三角经济增速减缓。在此期间, GDP和人口对城镇用地规模的影响力有所减弱, 人口因素对城镇用地形状的影响有所增强。另外, 随着香港、澳门的回归, 粤港澳合作不断深化实化, 香港、澳门特别行政区、广州市和深圳市的牵引力对城镇用地的规模、形态、分布及空间格局类型演变的影响显著提升。2010年后, 各影响因子对城镇用地规模、分布和类型变化的作用差异有所减弱, 但社会经济因素对形状特征的影响力上升, 而核心城市的牵引力作用下降, 结合该时段城镇用地形态趋于简单规则化的特征, 从一定程度上表明了政府城市规划和设计的成果开始显现 (图5)。

4.2.2 交互作用探测结果 总体来看, 驱动因子交互作用后对粤港澳大湾区城镇用地空间格局演变多具有促进作用。从不同维度来看: ① 对城镇用地面积特征变化的影响力交互作用最为复杂且随时间发生较大的变化, 2000年前以协同增强和非线性增强为主导, 2000年后转变为协同增强、非线性增强和单因子减弱共同主导, 各时间段交互作用平均影响力降低; 社会经济因子间的交互作用对城镇用地面积特征的影响显著, 具有显著影响的因子种类多、影响力大、交互作用复杂 (图6a~6c)。② 对城镇用地斑块分维数的影响因子交互作用以非线性增强为主导类型, 说明对城镇用地形状特征的影响因子通过交



注：仅显示研究期间在0.1水平上显著的影响因子。

图5 1990—2020年粤港澳大湾区城镇用地规模、形态、分布和空间格局类型变化的影响力变化

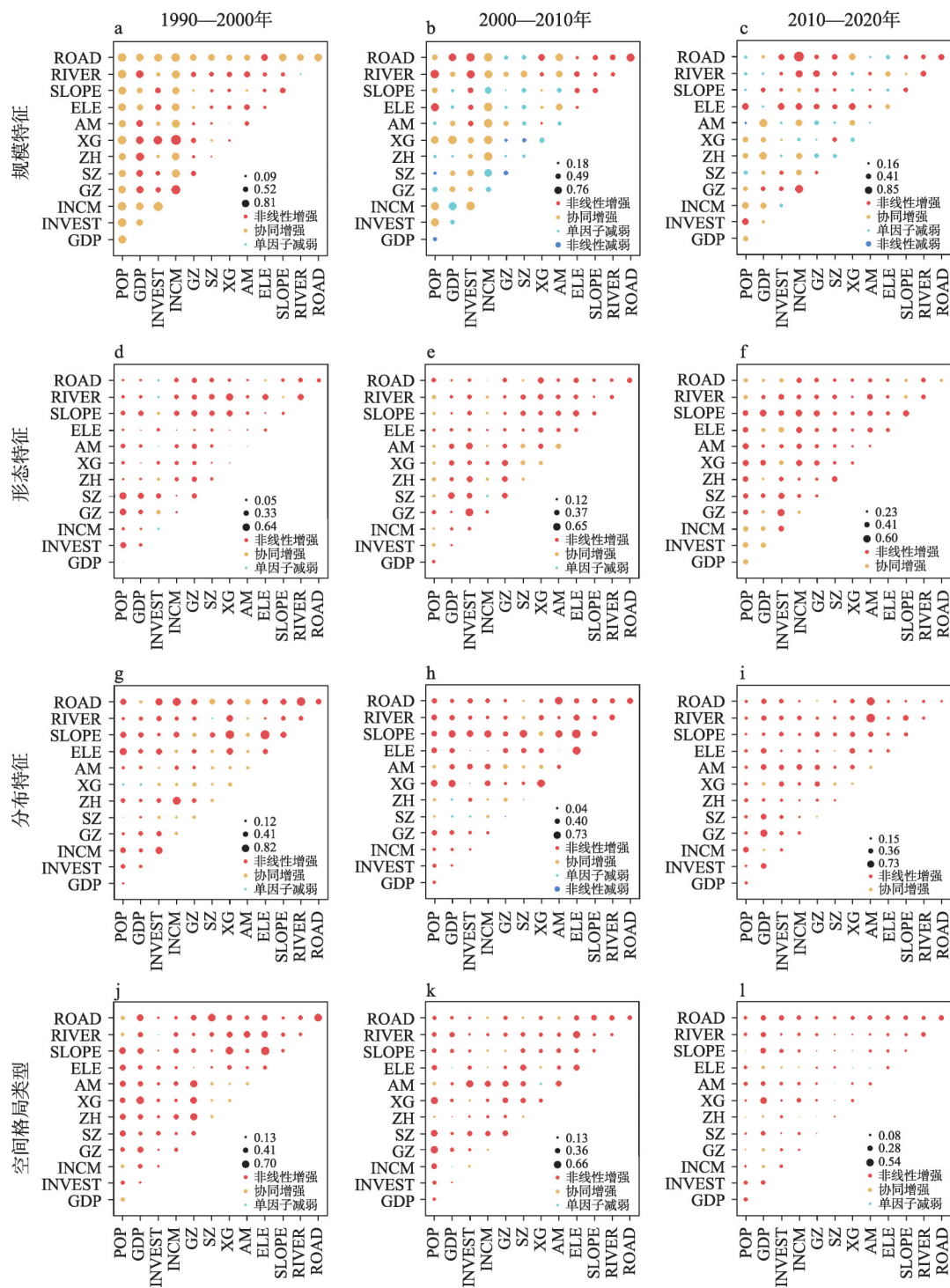
Fig. 5 Driving forces of area, shape, distribution and pattern types characteristics changes of urban land in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area during 1990-2020

互作用，提高了因子单一作用时的影响力，且该交互作用具有随时间加强的趋势（图6d~6f）。因此，在规划城镇用地形态时，需要综合考虑各因子之间的相互作用，尤其是社会经济因子与坡度和核心城市距离因子的交互作用能够显著影响城镇用地的形态特征，需要重点考察。③对城镇用地斑块最近距离的交互作用平均影响力持续降低，其中，香港和澳门特别行政区对区域城市的影响和地形、交通等因子交互后，能够对城镇用地斑块分布产生显著影响（图6g~6i）。④对城镇用地空间格局类型的影响因子交互作用在研究期间均以非线性增强为主导类型，仅有少部分协同增强与单因子减弱的交互作用类型，交互作用平均影响力呈降低趋势。其中，距香港、澳门特别行政区及广州市、珠海市等核心城市的距离与人口、GDP和地形因子叠加后对城镇用地空间格局的类型演变起到促进作用（图6j~6l）。

5 结论与讨论

本文基于1980—2020年粤港澳大湾区土地利用遥感解译数据，从规模、形态和分布3个维度，基于模糊聚类对1980—2020年粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型进行划分与时空演变特征刻画，利用地理探测器对城镇用地扩展驱动力及其交互作用机制进行多维分析。主要结论如下：

（1）粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型可划分为分形/复杂大面积型、分形小面积型、复杂小面积型、简单小面积型和散布型共5种类型，面积规模和形状复杂性呈现一定的正相关性。20世纪90年代后，随着改革开放的深入和土地要素市场化改革，粤港澳大湾区城镇用地空间格局类型发生较大变化，主要表现为分形/复杂大面积型空间格局类型以广州和深圳为中心的扩张，及分形小面积型空间范围持续扩大。2010年后，随着国土资源优化配置的大力推进，粤港澳大湾区的形状特征得到优化，简单小面积型和复杂小面积型的城镇用地空间格局类型增加，规则性和紧凑性有所提高，城镇用地空间分布更为集中。基于规模、形态和分布划分出的5种空间格局类型，有利于把握和分析城镇



注: 变量符号见表1。

图6 1990—2020年粤港澳大湾区城镇用地规模特征、形态特征、分布特征和空间格局类型变化驱动力交互作用

Fig. 6 Interaction of driving forces of area, shape, distribution and pattern types characteristics changes of urban land in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area during 1990-2020

用地空间格局的主要特征,提高城镇用地时空格局表达的综合性 and 简洁性。

(2) 1990—2000 年人口、GDP、地方财政收入、固定资产投资额和路网密度等社会经济因素对城镇用地面积和形态变化影响显著,但核心城市对城市群发展的牵引作用尚未显现。进入 21 世纪以来,GDP 和人口对城镇用地规模的影响力有所减弱,人口因素对城镇用地形状的影响有所增强。另外,随着粤港澳合作不断深化,核心城市牵引力对城镇用地的面积、形状、分布及空间格局演变的影响显著提升。2010 年后,各影响因子对城镇用地面积、分布和类型变化的作用差异有所减弱,但社会经济因素对形状特征的影响力上升,核心城市的牵引力作用下降。

(3) 驱动因子交互作用后对城镇用地空间格局演变大多具有促进作用。距核心城市距离与大多数因子交互作用后,表现为协同增强或非线性增强,说明核心城市的牵引作用与其他因子作用叠加会表现出更大的驱动力,这是因为核心城市一般作为城市群的经济中心、综合交通枢纽、科技教育文化中心,有利于提高资源的投资产出比,促进加快现代化城市建设。另外,路网密度、河网密度与多数因子交互也产生了“1+1>2”的效果,反映出交通优势对城镇用地扩展的强烈推动作用,交通基础设施作为城市群空间构筑和生产要素配置的纽带,使得不同城市要素联系加强^[38];2018 年随着港珠澳大桥的建成通车,珠海与香港、深圳之间的通勤效率极大提升,以珠海为核心的珠江西海岸地区将迎来重要发展机遇。

未来研究可结合兴趣点数据进一步区分不同功能的城镇用地,刻画其时空演变的格局和驱动力机制;更加精确地遴选和表达驱动因子,如目前针对交通要素选择路网密度进行表征,存在难以准确反映区域可达性和路网连接的公共服务资源等问题,后续研究可设计更具针对性的驱动因子进行定量表征;开展驱动力时空差异研究,从不同时间阶段的城镇用地发展的动力差异分析扩展到不同区位的城镇用地发展驱动机制研究;并将多因子交互作用的研究结果与城市群城镇用地变化模拟预测研究相结合,探索研究结果的应用价值。

参考文献(References)

- [1] Peng Fangmei. Economic spatial connection and spatial structure of guangdong-hong kong-macao greater bay and the surrounding area cities: An empirical analysis based on improved gravity model and social network analysis. *Economic Geography*, 2017, 37(12): 57-64. [彭芳梅. 粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构: 基于改进引力模型与社会网络分析的实证分析. *经济地理*, 2017, 37(12): 57-64.]
- [2] Hui E, Li X, Chen T, et al. Deciphering the spatial structure of China's megacity region: A new bay area the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in the making. *Cities*, 2020, 105: 102168. DOI: 10.1016/j.cities.2018.10.011.
- [3] Chong Z, Pan S. Understanding the structure and determinants of city network through intra-firm service relationships: The case of Guangdong- Hong Kong- Macao Greater Bay Area. *Cities*, 2020, 103: 102738. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102738.
- [4] Ye L. Urban transformation and institutional policies: Case study of mega-region development in China's Pearl River Delta. *Journal of Urban Planning and Development*, 2013, 139(4): 292-300.
- [5] Seto K C. Exploring the dynamics of migration to mega-delta cities in Asia and Africa: Contemporary drivers and future scenarios. *Global Environmental Change*, 2011, 21: S94-S107.
- [6] Yan Y, Ju H, Zhang S, et al. Spatiotemporal patterns and driving forces of urban expansion in coastal areas: A study on urban agglomeration in the Pearl River Delta, China. *Sustainability*, 2019, 12(1): 191. DOI: 10.3390/su12010191.
- [7] Guan Xingliang, Fang Chuanglin, Zhou Min, et al. Spatial and temporal characteristics of spatial expansion of urban land in Wuhan urban agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(9): 1447-1459. [关兴良, 方创琳, 周敏, 等. 武汉城市群城镇用地空间扩展时空特征分析. *自然资源学报*, 2012, 27(9): 1447-1459.]
- [8] Wang Haijun, Zhang Bin, Liu Yaolin, et al. Multi-dimensional analysis of urban expansion patterns and their driving forces based on the center of gravity-GTWR model: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration.

- Acta Geographica Sinica, 2018, 73(6): 1076-1092. [王海军, 张彬, 刘耀林, 等. 基于重心-GTWR模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析. 地理学报, 2018, 73(6): 1076-1092.]
- [9] Gao Qian, Fang Chuanglin, Zhang Xiaolei, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and mechanisms of influence of urban construction land expansion in Xinjiang, the core area of the Silk Road Economic Belt. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): 1263-1277. [高倩, 方创琳, 张小雷, 等. 丝绸之路经济带核心区新疆城镇建设用地扩展的时空演变特征及影响机理. 生态学报, 2019, 39(4): 1263-1277.]
- [10] Tang Yongchao, Wang Chengxin, Zhang Shuai. Impact of high-speed traffic on the temporal and spatial evolution of urban form in Shandong province. Areal Research and Development, 2020, 39(1): 71-75. [唐永超, 王成新, 张帅. 高速交通对山东省城市形态时空演变的影响. 地域研究与开发, 2020, 39(1): 71-75.]
- [11] Wang Xinsheng, Liu Jiuyan, Zhuang Dafang, et al. Spatial-temporal changes of urban spatial morphology in China. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3): 392-400. [王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征. 地理学报, 2005, 60(3): 392-400.]
- [12] Liu F, Zhang Z X, Shi L F, et al. Urban expansion in China and its spatial-temporal differences over the past four decades. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26: 1477-1496.
- [13] Wang Haiyun, Kuang Yaoqiu, Zou Wei. Analysis of the spatial cluster development characteristics of Pearl River Delta urban agglomeration from 2000 to 2017. Geospatial Information, 2020, 18(1): 119-124, 127. [王海云, 匡耀求, 邹威. 2000—2017年珠三角城市群空间聚集发展特征分析. 地理空间信息, 2020, 18(1): 119-124, 127.]
- [14] Wei Shimie, Pan Jinghu, Zhang Yongnian, et al. Research on spatial evolution of Zhongyuan urban agglomeration based on DMSP-OLS nighttime light data. Human Geography, 2019, 34(6): 71-81, 128. [魏石梅, 潘竟虎, 张永年, 等. 基于DMSP-OLS夜间灯光数据的中原城市群空间演变分析. 人文地理, 2019, 34(6): 71-81, 128.]
- [15] Huang Xianmei, Zhao Jianji, Meng Qingyan, et al. Study on urban expansion and gravity evolution in rapid urbanization areas based on nighttime light data: Taking Henan Province as an example. World Regional Studies, 2019, 28(1): 79-89. [黄先梅, 赵建吉, 孟庆岩, 等. 基于夜间灯光数据的快速城镇化地区城市扩展与重心演变分析: 以河南省为例. 世界地理研究, 2019, 28(1): 79-89.]
- [16] He Jianfeng, Zhuang Dafang. Analysis of the relationship between urban dynamic change pattern of the Yangtze River Delta and the regional eco-environment. Geographical Research, 2006, 25(3): 388-396, 562. [何剑锋, 庄大方. 长江三角洲地区城镇时空动态格局及其环境效应. 地理研究, 2006, 25(3): 388-396, 562.]
- [17] Zhao X L, Zhou W Q, Wu T, et al. The impacts of urban structure on PM_{2.5} pollution depend on city size and location. Environmental Pollution, 2022, 292: 118302. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118302.
- [18] Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(4): 531-550. [方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550.]
- [19] Beninde J, Veith M, Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: A meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. Ecology Letters, 2015, 18(6): 581-592.
- [20] Forssén J, Gustafson A, Pont M B, et al. Effects of urban morphology on traffic noise: A parameter study including indirect noise exposure and estimated health impact. Applied Acoustics, 2022, 186: 108436. DOI: 10.1016/j.apacoust.2021.108436.
- [21] Li X F, Erpicum S, Mignot E, et al. Influence of urban forms on long-duration urban flooding: Laboratory experiments and computational analysis. Journal of Hydrology, 2021, 603: 127034. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.127034.
- [22] Chen Lei, Guo Xi, Han Yi, et al. Research on spatio-temporal characteristics and driving factors of urban expansion in Nanchang City based on BRT model. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(2): 322-333. [陈蕾, 郭熙, 韩逸, 等. 基于BRT模型的南昌市城市扩展时空特征及驱动因素研究. 长江流域资源与环境, 2020, 29(2): 322-333.]
- [23] Wang Liwei, Feng Changchun. Spatial expansion pattern and its driving dynamics of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region: Based on nighttime light data. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(12): 2155-2169. [王利伟, 冯长春. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制: 基于夜间灯光数据方法. 地理学报, 2016, 71(12): 2155-2169.]
- [24] Wang Haijun, Liu Yiming, Zhang Bin, et al. Analysis of driving forces of urban land expansion in Wuhan metropolitan area based on Logistic-GTWR model. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(19): 248-257, 310. [王海军, 刘艺明, 张彬, 等. 基于Logistic-GTWR模型的武汉城市圈城镇用地扩展驱动力分析. 农业

- 工程学报, 2018, 34(19): 248-257, 310.]
- [25] Shao J G, Wei C F, Xie D T. An insight on drivers of land use change at regional scale. *Chinese Geographical Science*, 2006, 16(2): 176-182.
- [26] Fang S, Gertner G Z, Sun Z, et al. The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 73(4): 294-306.
- [27] Guangdong Bureau of Statistics. *Guangdong Statistical Yearbook: 2001*. Beijing: China Statistics Press, 2001. [广东省统计局. 广东统计年鉴: 2001. 北京: 中国统计出版社, 2001.]
- [28] Guangdong Bureau of Statistics. *Guangdong Statistical Yearbook: 2020*. Beijing: China Statistics Press, 2020. [广东省统计局. 广东统计年鉴: 2020. 北京: 中国统计出版社, 2020.]
- [29] Zhang Z X, Wang X, Zhao X L, et al. A 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1:100000 scale using medium spatial resolution satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 149: 142-154.
- [30] Ju H R, Zhang Z X, Zuo L J, et al. Driving forces and their interactions of built-up land expansion based on the geographical detector: A case study of Beijing, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016, 30(11): 2188-2207.
- [31] GB/T 919-2002. Code for Highway Classification. State Standard of the People's Republic of China, 2002. [GB/T 919-2002. 公路等级代码. 中华人民共和国国家标准, 2002.]
- [32] Bai Zhongqiang, Wang Juanle, Yang Yaping, et al. Characterizing spatial patterns of population distribution at township level across the 25 provinces in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1229-1242. [柏中强, 王卷乐, 杨雅萍, 等. 基于乡镇尺度的中国25省区人口分布特征及影响因素. 地理学报, 2015, 70(8): 1229-1242.]
- [33] Ju Hongrun, Zuo Lijun, Zhang Zengxiang, et al. Methods research on describing the spatial pattern of land use types in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(1): 143-159. [鞠洪润, 左丽君, 张增祥, 等. 中国土地利用空间格局刻画方法研究. 地理学报, 2020, 75(1): 143-159.]
- [34] Mao Lili, Yu Jingjie, Zhang Yichi. Preliminary application of the fuzzy C-mean clustering method to the soil mapping in the lower reaches of Heihe River. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(1): 195-201. [毛丽丽, 于静洁, 张一驰. 模糊C均值聚类方法在黑河下游土壤属性制图中的初步应用研究. 干旱区资源与环境, 2013, 27(1): 195-201.]
- [35] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. 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*, 2010, 24(1): 107-127.
- [36] Song Y Z, Wang J F, Ge Y, et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: Cases with different types of spatial data. *GIScience & Remote Sensing*, 2020, 57(5): 593-610.
- [37] Zhou Chunshan, Wang Yuqu, Xu Qiyang, et al. The new process of urbanization in the Pearl River Delta. *Geographical Research*, 2019, 38(1): 45-63. [周春山, 王宇渠, 徐期莹, 等. 珠三角城镇化新进程. 地理研究, 2019, 38(1): 45-63.]
- [38] Qin Chenglin, Chai Qingyuan. Transport network construction and integrated development of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *China Soft Science*, 2018(7): 71-79. [覃成林, 柴庆元. 交通网络建设与粤港澳大湾区一体化发展. 中国软科学, 2018(7): 71-79.]

Spatial pattern changes of urban expansion and multi-dimensional analysis of driving forces in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in 1980-2020

JU Hongrun¹, ZHANG Shengrui², YAN Yichen^{1,3}

(1. School of Tourism and Geography Science, Qingdao University, Qingdao 266071, Shandong, China;

2. Management College, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China;

3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Exploring the types of spatial patterns of urban land use in the Guangdong, Hong Kong and Macao since the reform and opening up in the late 1970s, and the multi-dimensional and interactive driving mechanism for the evolution of urban land spatial pattern, is important for promoting the construction of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, and building a world-class bay area and urban agglomeration. This study divided and defined the evolution of urban land patterns types in the Greater Bay Area from the perspectives of area, shape and distribution characteristics based on fuzzy clustering. Using geographic detectors, this study measured the multi-dimensional driving forces and interactions of urban land use changes in the study area. The results showed that: (1) In terms of spatial pattern, there are five types of urban land use: fractal/complex large area, fractal small area, complex small area, simple small area and scattered area. The area scale and shape complexity of urban land had a certain positive correlation. (2) Socio-economic factors such as population, GDP, local fiscal revenue, fixed asset investment, and road network density had significant impacts on urban land area and morphological changes. The impacts of core cities on the development of urban agglomerations became apparent after 2000. In the later stage of the research, the differences among the effects of various influencing factors on the changes in the area, distribution and spatial pattern types of urban land use tended to be weakened, but the influences of social and economic factors on the shape characteristics increased. (3) The interactions of influence on the change of urban land area characteristics were the most complex, with four types of nonlinear enhancement, synergy enhancement, single factor weakening and nonlinear weakening; the interactions of influence on shape, distribution and spatial pattern changes were mainly manifested as synergistic enhancement and non-linear enhancement. Interactions between core city traction, road network density, river network density and most factors produced a " $1+1 > 2$ " effect, reflecting the strong promotion effects by the core cities of urban agglomerations and transportation advantages.

Keywords: urban land use; spatial pattern type; multi-dimensional driving forces; interactive mechanism; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area