
重庆市不同空间尺度建设用地的演进特征与景观格局分析¹

崔王平^{1,2}, 李阳兵^{1,2*}, 郭辉¹, 陈萌萌^{1,2}

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 重庆师范大学地理信息系统应用研究重点实验室, 重庆 401331)

【摘要】研究不同空间尺度下城市土地利用的演变过程和变化特征, 有助于深入了解和揭示城市土地利用演变时空差异和内在影响机制。以重庆市主城区为例, 基于研究区 1978—2013 年多时序的 MSS 和 Landsat TM/ETM 十遥感影像数据, 利用 ArcGIS 技术和景观格局分析理论, 从研究区整体尺度、区域尺度和各区尺度等 3 种空间尺度对研究区建设用地演进特征和景观格局动态变化进行分析。结果表明: (1) 1978—2013 年研究区不同空间尺度建设用地面积变化趋势基本相似, 综合扩展程度指数变化特征也存在一定的规律。在 2001 年之后研究区建设用地演进过程由低缓发展向高速递增阶段过渡, 各区尺度建设用地扩展深受地貌、经济、政策、交通等影响因素的干扰; (2) 在不同空间尺度新增斑块数目对比中, 边缘扩展模式与跳跃扩展模式的主导优势先后发生 3 次转换, 而在新增斑块面积对比中边缘扩展模式始终保持绝对优势, 填充扩展模式分别在新增斑块数目和面积比的比较中均处于弱势; (3) 随着时间的变化, 就整体尺度上景观指数变化而言, 景观破碎度和景观多样性明显增加, 斑块形状趋于简单和规则化, 斑块之间连通性不断提高, 与城市化进程趋于吻合。但区域尺度和各区尺度深受国家政策环境的影响, 景观指数变化则相对复杂。研究结论有助于从空间尺度对城市扩展信息进行挖掘和理解, 为其城市规划和土地管理提供一定的科学依据。

【关键词】空间尺度; 城市扩展模式; 综合扩展程度指数; 重庆市

【中图分类号】Q149

【文献标志码】A

【文章编号】1004—8227(2017)01—0035—12

¹收稿日期: 2016—05—06

修回日期: 2016—09—24

基金项目: 国家自然科学基金委重大国际合作基金 (41161140352) [The National Natural Science Foundation of Major International Cooperation Fund (41161140352)]; 国家自然科学基金 (41261045) [National Natural Science Foundation of China (41261045)]; 重庆市教育委员会科学技术研究项目 (KJ201518) [Chongqing Municipal Education Commission for Scientific and Technological Research Projects (KJ201518)]; 重庆师范大学研究生科研创新项目 (YKC16003) [Chongqing Normal University Graduate Student Research Innovation Project (YKC16003)]

作者简介: 崔王平 (1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事土地资源与土地管理研究. E-mail: 1594053001@qq.com

*通讯作者 E-mail: li-yapin@sohu.com

在地理学、景观生态学中,空间尺度问题一直是城市化研究的重点[1]。城市化背景下,城市建设用地作为人为大规模活动所引起的土地利用/覆盖变化的重要研究对象,其多尺度上的空间异质性特征较为显著[2]。当前国内外地理学者从空间上对城市建设用地进行单个城市、区域和国家3个层面的重点研究[3—8],其研究内容也主要集中在城市建设用地扩展模式及动态过程的分析[9—12],城市建设用地演变特征及影响机制的探究[13—17]、城市建设用地演进方向及趋势的预测[18—20]等多个方面。其中Kuangwenhui通过中美两国6个主要城市扩展模式的对比,发现处于发展阶段的中国城市扩展受其人口和经济条件驱动影响要强于发达阶段的美国城市[4];李仁东从县域尺度采用土地动态模型对江汉平原建设用地的影响机制进行探讨,认为城市用地及管理政策的刺激是导致建设用地增加的重要因素[5];刘沁萍基于全国DMSPOLS灯光数据研究发现,城市规模(超大城市、特大城市、大城市、中等城市和小城市)大小与城市建成区扩张速度成正比[7]。上述研究在空间尺度上多基于城市规模或行政等级分析,研究范围显示出单一的大、中尺度的特征,且过多集中在国内外平原城市。空间尺度不同标志着对研究对象细节及信息量了解程度的差异,最终导致不同研究结果的产生[21]。例如阳文锐从北京全市域和六环内两个不同空间尺度角度,观察到研究区景观空间形态均表现出复杂性增加的趋势[22];张新焕尝试从宏观、中观和微观3种不同的空间尺度对乌鲁木齐都市对都市圈的土地利用覆被变化进行分析[23]。可见进行更为详细的案例研究和理论探讨,较符合当前城市建设用地空间尺度“由大到小”转变的研究趋势。

目前针对复杂地形地貌的山地城市进行空间尺度上再细分的尝试性研究成果不多。重庆主城区地处典型的平行岭谷区,研究区城市景观格局演变由于独特的自然条件和人口分布背景,从而有别于我国东部平原城市发展的过程[24]。重庆地区的城乡发展经历了一个从集中向分散转变的过程[25],城市化进程存在明显的空间集群现象[26],城市用地扩张受人口分布和海拔高度影响明显[27],且城市化的发展速度和方向深受地形和交通的限制和影响[28,29]。本文基于行政区划与自然地理环境分异相结合的研究单元划分方法进行空间尺度的探究,试从整体尺度、区域尺度、各区尺度的角度对建设用地的扩展速率、扩展模式及景观动态变化来进行分析。由于不同空间尺度之间建设用地的动态变化和影响机制会通过不同的过程速率(包括行为频率和反应时间)和响应程度作用于研究区建设用地整体与局部的关系[30],因此本文详细探究:(1)整体尺度、区域尺度、各区尺度建设用地的扩展速率、扩展模式及空间异质性上共性及差异性是如何体现的;(2)不同空间尺度上建设用地存在的复杂等级关系又是怎样相互制约和反馈的。研究结果旨在局地自然环境和经济迅速发展等多重背景下,充分认识重庆市建设用地景观格局动态演变的特殊性,为未来的城市土地利用格局优化提供参考。

1 研究区概况

重庆主城区地处嘉陵江和长江的交汇处,水系、山脉纵横交错,以亚热带湿润季风气候为主,气候温和湿润。其中平行岭谷地貌是研究区较为典型地貌形态,而70%左右的海拔和坡度主要集中在200—500m和6°—25°之间,地势高低起伏,土地结构复杂、垂直差异明显,在山地城市中极具代表性(图2)。研究区行政管辖范围为5468.71km²,常住人口为808.53万人,主要包括渝中区、渝北区、北碚区、沙坪坝区、九龙坡区、大渡口区、巴南区、南岸区、江北区9个行政单元。1997年之前,研究区城市化进程发展缓慢,建设用地集中分布于两江沿岸的江河低阶地;然而重庆直辖之后,研究区建设用地几何重心开始发生偏离,城市规模扩展迅速,但城乡二元结构仍比较突出。截止到2013年该研究区GDP达5391.83亿元,城镇化率为87.87%,市级以上工业园12个,交通步入“二环”时代(表1)。复杂的地形地貌和快速城市化进程的耦合关系,对研究区城市扩展及景观格局影响深刻[27]。

表 1 2013年研究区不同空间尺度自然及社会经济因素统计表

Tab.1 Statistical Table of Natural and Social Economic Factors of Different Spatial Scales of Study Area in 2013

影响因素	尺度划分	自然因素										社会经济因素				
		不同高程等级					不同坡度等级					经济	城市化	交通	政策	
		区域占比(%)					区域占比(%)									
整体尺度	区域尺度	各区尺度	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	GDP (万元)	城市化率 (%)	公路里程 (km)	市级以上工 业园区(个)
	西部区	北碚区	0.59	4.05	5.46	2.97	0.79	2.35	5.21	4.44	1.47	0.38	3 715 769	78.47	1 182.28	1
		沙坪坝区	0.24	3.44	2.46	1.08	0.00	2.85	2.57	1.33	0.39	0.08	7 012 817	93.90	1 099.30	2
	北部区	渝北区	1.07	7.56	11.24	5.70	0.46	3.66	10.96	8.50	2.49	0.42	10 017 593	78.06	2 499.40	2
		江北区	0.81	2.42	0.86	0.20	0.00	1	1.86	1.13	0.26	0.04	5 548 592	94.95	466.00	2
	中心区	渝中区	0.17	0.18	0.06	0.00	0.00	0.21	0.12	0.06	0.01	0.00	8 042 049	100.00	-	-
	西南区	大渡口区	0.45	0.98	0.45	0.03	0.00	0.62	0.75	0.44	0.09	0.01	1 366 193	96.80	199.02	1
		九龙坡区	0.43	3.11	3.86	0.47	0.00	2.92	3.14	1.46	0.34	0.04	8 235 805	90.77	922.95	2
	东南区	南岸区	0.66	2.46	1.43	0.31	0.00	1.07	2.06	1.35	0.31	0.06	5 320 271	93.98	664.31	1
		巴南区	1.16	6.45	14.80	9.66	1.28	3.85	12.43	11.95	4.22	0.89	4 659 295	77.14	2 771.07	1

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源及数据处理

通过 ErdaSg. 1 软件分别对 1978 年的 MSS 影像、1986 年、1995 年、2001 年、2007 年、2013 年的 LandsatTM/ETM 影像进行几何校正和图像增强, 从而获得波段合成为 7、5、4 和 4、3、2 标准假彩色合成影像。并利用 ErdaSg. 1 及 ArcGIS9.3 软件, 采用监督分类和目视修正相结合的方法进行遥感影像解译和数据分析, 将研究区划分为水田、旱地、林地、草地、水域、建设用地等七种土地利用类型, 最终得到 6 期土地利用类型矢量图 (图 1)。针对重点解译的研究对象—建设用地 (参考于 2014 年比例尺为 1:82000 的重庆城区地图), 主要包含

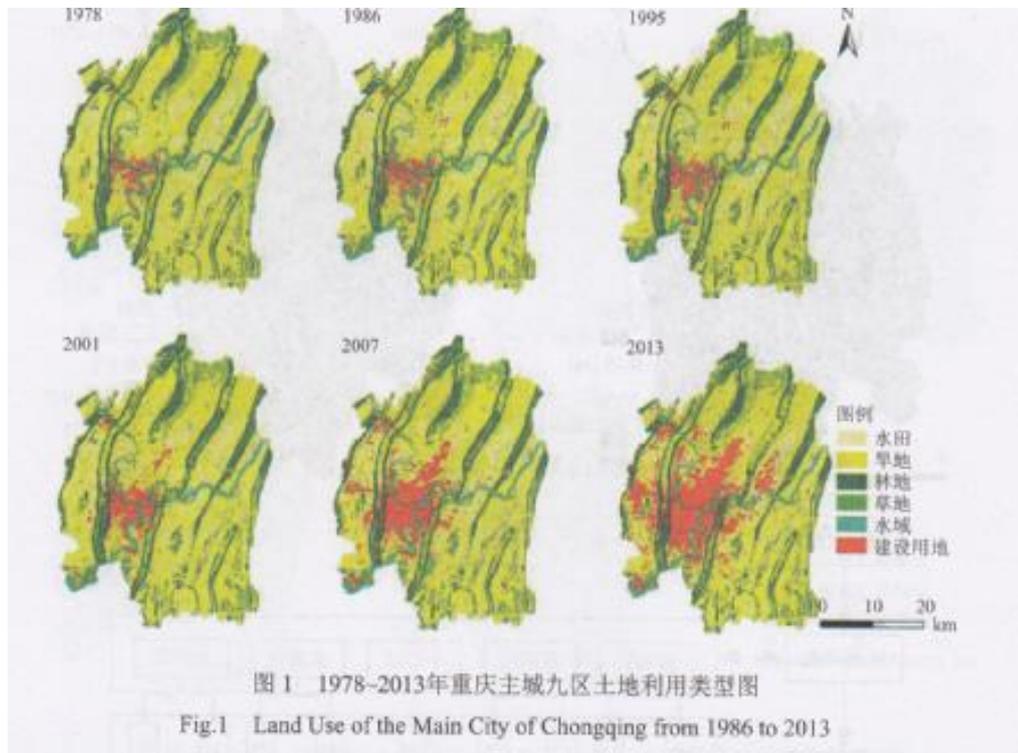


图 1 1978-2013年重庆主城九区土地利用类型图

Fig.1 Land Use of the Main City of Chongqing from 1986 to 2013

城区的建设用地（工业用地、居住用地、交通用地、商业用地、公共基础设施用地等），也涉及郊区的建设用地（独立工矿用地、城镇居住点等），因此所涉范围应大于严格意义上城区建设用地。而且考虑到建设用地对不同地形地貌的建设要求，本文借助 Arcgis 3.0 软件中空间分析模块，从地理空间数据云下载的研究区数字高程模型（DEM）中提取高程图及坡度图，然后与相关土地利用数据进行叠加分析。其中高程和坡度分别依据于 1986 版《中国 1:1000000 地貌图制图规范》和国土资源部（TD/T1014—2007）《第二次全国土地调查技术规程》，将两者均划分为 1、2、3、4、5 五个等级。即高程依次分级为 0—200m（低丘陵台地）、200—300m（高丘陵台地）、300—500m（低山）、500—800m（中低山）、>800m（中山），而坡度依次分级为：0—6°、6°—15°、15°—25°、25°—35°、>35°。（图 2）。此外针对 1978 年 MSS 影像分辨率较低的问题，为了获得准确的土地利用数据，1978 年土地利用类型矢量图在对照 MSS 影像的同时参考于 1978 年 1:5 万地形图。同时各期土地利用类型矢量图均通过野外选取典型样点对其进行实际验证，同时对分类后的图像进行分类精度评估，总的精确度达到 92% 以上，高于最低允许精度要求。

2.2 研究区空间尺度的划分依据

综合考虑从研究区整体、地理分区和行政区划的 3 种不同空间尺度（图 2），对建设用地的扩展速率、扩展模式以及所引起的整体景观格局变化进行分析。首先，将研究区视为一个整体，从整体尺度（主城区）来进行分析。第二，从区域尺度（五大区）进行分析，研究区域被近似南北向的平行低山分隔，研究单元的划分主要考虑了研究区的地形地貌特征以及行政区划。西部北碚区、沙坪坝区二个区大部分被阻隔在中梁山以西；北部渝北区、江北区两个区位于嘉陵江、长江以北，被铜锣山从中间一分为二；西南区中的九龙坡区也被歌乐山分割开来，而大渡口区则位于低山之间；东南部南岸区、巴南区的大部被铜锣山阻挡在以东地区。第三，以各区尺度（九小区）为研究单元进行具体分析。

2.3 研究区城市化时空格局的定量化方法

2.3.1 扩展强度指数

扩展强度指数指将研究时间段内各空间单元建设用地的年均增长速度进行标准化处理，提高其不同时期建设用地扩展速度的可比性 [31]。其公式为：

$$E_i = \frac{CLA_{i,t+n} - CLA_{i,t}}{TCLA_i \times n} \times 100\% \quad (1)$$

式中： E_i 为扩展强度指数， $CLA_{i,t+n}$ 和 $CLA_{i,t}$ 分别为 i 空间单元在 $t+n$ 和 t 年时的建设用地面积， $TCLA_i$ 为 i 空间单元的总面积， n 为研究时段长度。

2.3.2 扩展动态指数

扩展动态指数指单位时间各空间单元中的某种土地利用类型面积变化与该土地利用类型建设用地初期面积的比值 [32]。其公式为：

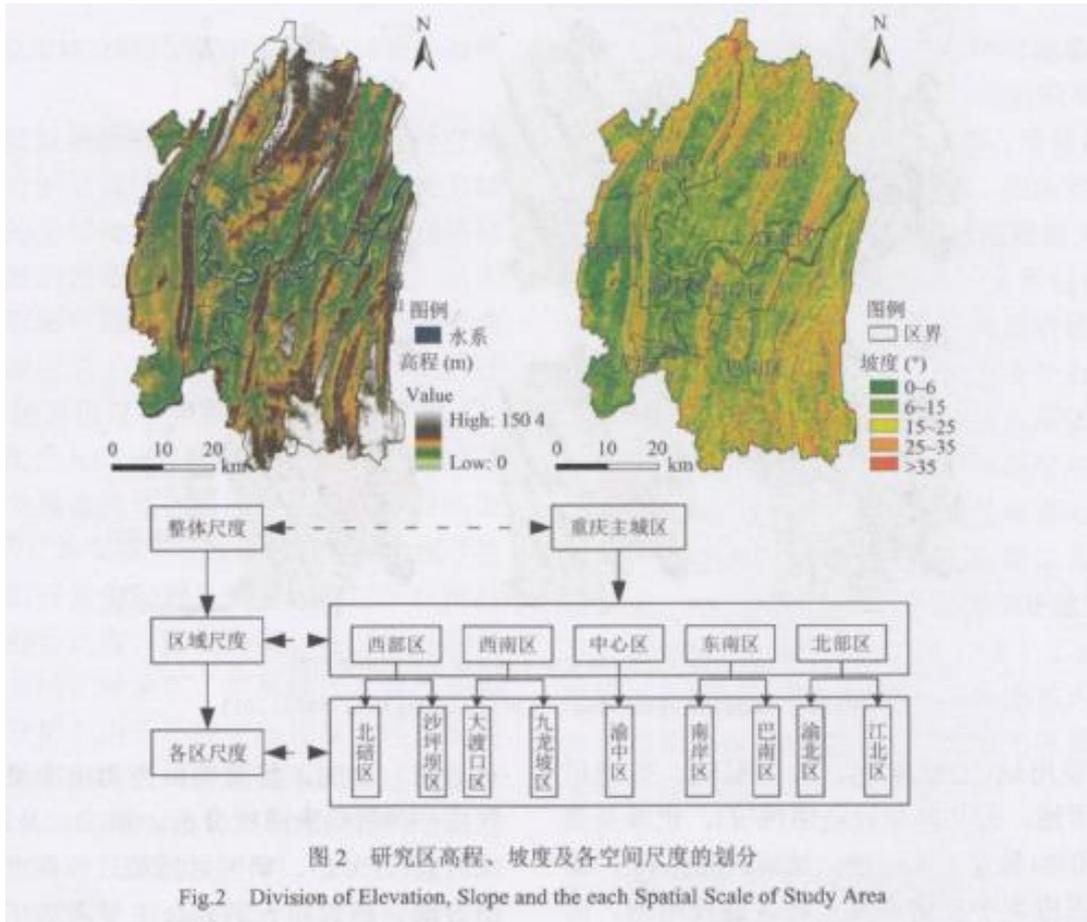


图2 研究区高程、坡度及各空间尺度的划分

Fig.2. Division of Elevation, Slope and the each Spatial Scale of Study Area

$$D_i = \frac{CLA_{i,t+n} - CLA_{i,t}}{CLA_{i,t} \times n} \times 100\% \quad (2)$$

式中 D_i 为扩展动态度指数。

2.3.3 扩展贡献率指数

扩展贡献率指数指的是单位时间各空间单元新增建设用地的面积占研究区新增建设用地总扩展面积的比值[33]。其公式为：

$$C_i = \frac{CLA_{i,t+n} - CLA_{i,t}}{ETCLA_{t-t+n}} \times 100\% \quad (3)$$

式中， C_i 为扩展动态度指数； $ETCLA_{t-t+n}$ 为 $t-t+n$ 时段内研究区建设用地扩展的总面积。

2.3.4 综合扩展程度指数

综合扩展程度指数指在分别计算建设用地类型的扩展强度指数(E_i)、扩展动态度指数(D_i)和扩展贡献率指数(C_i)的基础上，借鉴内梅罗公式将该3项指数标准化后进行合成，兼顾3者的综合影响以求全面反映建设用地扩展情况。综合扩展程度指数不

仅仅反映了扩展的相对变化率，也考虑到扩展基数的影响，还考虑到各个空间单元对研究区的重要性。并且在建设用地扩展程度总体上较弱的贵州地区，该方法还可以显化区域间的扩展差异[33].

$$I_i = \sqrt{\frac{E_i^2 + D_i^2 + C_i^2}{3}} \quad (4)$$

式中 I_i 为综合扩展程度指数。

2.3.5 景观扩张指数

景观扩张指数 (LEI) 指用来定量描述某一景观动态扩张过程的类型及各景观扩张类型在空间上的格局分布，计算如下：

$$LEI = 100 \times \frac{A_o}{A_o + A_v} \quad (5)$$

式中： A_o 为关于一个新增建设用地斑块周围预定义缓冲区面积与先前存在的建设用地面积的交集；而 A_v 是关于一个新增建设用地斑块周围预定义缓冲区面积与非建设用地面积的交集。而这里定义的缓冲区距离我们定义为 1m。所以当 LEI 为 (50, 100] 的区间时，则该斑块为填充式；当 LEI 为 (0, 50] 的区间时，则该斑块为边缘式；而当 LEI 为 0 时，则该斑块为跳跃式[8] (图 3)。

2.3.6 景观指标的选取和计算

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息，并反映其结构组成和空间配置方面特征的定量化指标[30, 34]。本文选取斑密度(PD)、平均斑块分维数(MPFD)、平均欧式最近邻近距离(ENN-MN)、香农多样性指数(SHDI)等 4 个具有代表意义的景观水平指标，并利用 Fragstate3.3 软件进景观指标数据计算。为了更好的分析研究区城市化过程中景观格局的变化，主要通过以景观指数变化值 $i = \text{景观指数 } i(t_2) - \text{景观指数 } i(t_1)$ 来表示说明。其中如果景观指数变化值从 $t_1 - t_2$ 时段的是增加的，则景观生态效应为正向变化；反之则为负向变化 [35]。

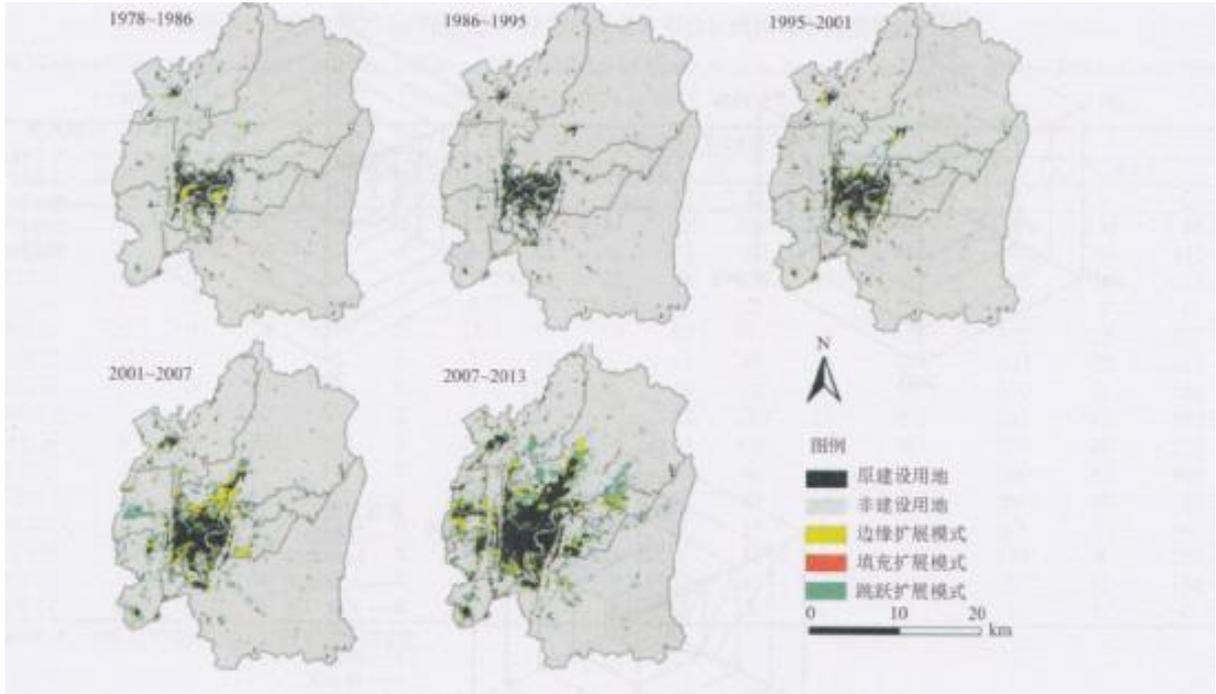


图3 1978—2013年5个时间段内研究区建设用地扩展模式的时空格局

Fig.3 Spatial-temporal Patterns of Different Growth Modes of Construction Land of Study Area in Five Time Periods from 1978 to 2013

3 结果分析

3.1 研究区不同空间尺度建设用地扩展速率

在1978—2013年期间，整体尺度上建设用地面积由141.53km²增加到879.44km²，增长6倍多（图4）。其中1978—2001年整体尺度上建设用地仅增加137.94km²，与2001—2013年建设用地扩展面积相比，2001年之前研究区城市化进展缓慢，这也与1986—2007期间彭月等人的研究数据基本吻合[22]。在1978—2001期间，区域尺度建设用地空间扩张比较呈：西部区>西南区>东南区>北部区>中心区；2001年之后则是：北部区>东南区>西部区>西南区>中心区。可见各地理分区之间建设用地扩展差异变化较大，说明研究区建设用地扩展方向面临调整，这与城市向南扩展遭受地形瓶颈限制的因素存在较大关系。而且研究区北部开阔的建设用地空间以及国家级新区的成立，给予区域尺度上建设用地空间转向的必要性条件。这种趋势在各区尺度表现中也尤为突出，例如2001—2013年渝北区、沙坪坝区建设用地扩展迅速，相反大渡口区却呈减弱的城市扩展迹象，促使各行政单元内建设用地的动态变化直接作用于相对应的地理分区。再加上资金、政策、交通基础设施以及适建用地等优质资源在研究区空间分布上的不均衡性，会加剧不同空间尺度下建设用地时空分异性趋势。

从表2来看，1978—2013年同一空间尺度建设用地的综合扩展程度指数（尤其是区域尺度和各区尺度）随着时间的推移，呈现出由低位徘徊逐渐向高值平稳过渡的变化特征，说明空间尺度越小，越易受到外界的干扰，建设用地扩展变化程度越剧烈。就区域尺度而言，在1978—1986、1986—1995、1995—2001年3个时段内东南区和西南区的综合扩展程度指数变化始终高于区域尺度平均值，一切数据显示研究区当时城市扩展的方向集中于南部区域。2001年之后，轨道交通网络的延伸也降低了地形地貌对城市扩展的束缚，北部区和西部区后来居上，城市扩张开始突破江河、山地的阻隔。这种地理分区上建设用地扩展程度的差异与上述建设用地面积变化规律相符。尤其是南部区域发展最快的九龙坡（西南区）在2007年之前均高于同期建设用地

综合扩展程度指数平均值，而渝北区（北部区）在 1978 — 2014 期间却一直高于九龙坡，这与政府大力开发北部区域的相关政策密切相关。

3.2 研究区不同空间尺度建设用地扩展模式

在 1986 — 1995 年和 1995 — 2001 年时段内，研究区不同空间尺度建设用地新增斑块数目表现为：

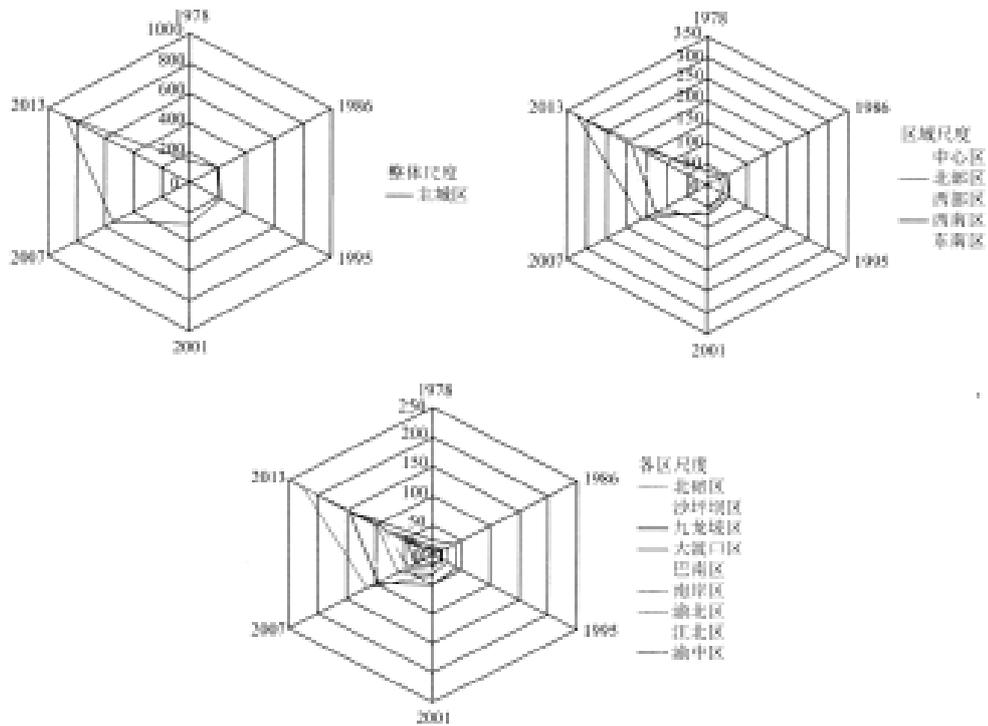


图 4 1978—2013 年研究区各空间尺度建设用地面积的变化

Fig.4 Change of the Construction Land Area Under the Different Spatial Scales of the Study Area from 1978 to 2013

表 2 1978—2013 年研究区各空间尺度建设用地的综合扩展程度指数

Tab.2 Comprehensive Expansion Degree Index Under the Different Spatial Scale of Study Area from 1978 to 2013

三种空间尺度		建设用地综合扩展程度指数及平均值									
		1978-1986	1986-1995	1995-2001	2001-2007	2007-2013					
整体尺度		0.578		0.577		0.578		0.564		0.580	
区域尺度	西部区	0.133	0.150	0.108	0.145	0.202					
	北部区	0.089	0.157	0.213	0.279	0.286					
	中心区	0.007	0.118	0.010	0.117	0.002	0.116	0.001	0.139	0.000	0.148
	西南区	0.164	0.147	0.158	0.150	0.115					
	东南区	0.198	0.121	0.121	0.119	0.140					
各区尺度	北部区	0.068	0.090	0.054	0.067	0.047	0.067	0.067	0.105	0.125	0.102
	沙坪坝区	0.072	0.156	0.066	0.125	0.132					
	渝北区	0.127	0.114	0.187	0.283	0.214					
	江北区	0.008	0.044	0.025	0.100	0.121					
	九龙坡区	0.127	0.101	0.095	0.132	0.096					
	大渡口区	0.050	0.046	0.054	0.069	0.049					
	巴南区	0.096	0.113	0.064	0.060	0.096					
	南岸区	0.121	0.008	0.064	0.108	0.088					
	渝中区	0.007	0.010	0.002	0.001	0.000					

边缘扩展模式>跳跃扩展模式>填充扩展模式；其余各时段却表现为：跳跃扩展模式>边缘扩展模式>填充扩展模式(表 3)。根据城市增长相位理论，跳跃扩展斑块数目优势的上升，在导致不同空间尺度下景观破碎程度增加的同时，也给研究区建设用

地扩展的主导模式带来扰动,说明城市扩展在分散凌乱的“扩散”相位阶段和趋于紧凑的“聚合”相位阶段之间发生互转。区域尺度上新增斑块数目呈由西南区逐渐向北部区和西部区集中规律,主要由于各区尺度中的九龙坡(西南区内)新增斑块数目逐渐弱于渝北区(北部区内)以及沙坪坝区(西部区内)的增长趋势,城市扩展深受等级理论中关于自下而上反作用的传递影响。而且不同城市扩展模式在研究区空间分布上存在差异性。其中填充扩展模式一直处于低位徘徊,2001年密集出现于城区中心,这与政府提出的旧城改造工程有关;边缘扩展模式相对优势逐渐减弱,且多发生于城乡交错地带的开发区附近;而跳跃扩展模式上升态势日趋增强,并重点散落于远离城区中心的郊区周围,主要以工业园区和科技园为主,尤其是突破地形地貌的束缚,建立新的经济增长中心,里接导致跳跃性城建斑块数量迅速增加(图3)。从1978—2013年整体尺度、区域尺度(除中心区·二外)、各区尺度(除北碚区·渝北区、巴南区和渝中区之外)不同城市扩展模式新增斑块面积比相对优势排序表现来看:边缘扩展模式>跳跃扩展模式>填充扩展模式(表4)。其中边缘扩展模式新增斑块面积比多数情况下均高于50%,在新增斑块面积上对比中占主导优势,说明经济的高速发展促使邻近斑块面积迅速扩张合并形成规模较大斑块,与上述新增斑块数目变化特征存在显著的差别,且各空间尺度之间自上而下的宏观约束力仍然存在。具体而言,整体尺度与区域尺度边缘扩展模式和填充扩展模式的新增斑块面积比,在时间上均表现为先增后减的趋势,跳跃扩展模式正好与之相反,显然这与对应新增斑块数目的动态变化有一定的相关性。各区尺度中北碚区、渝北区、巴南区和渝中区在相当长的时段内,新增斑块面积比结构只表现为城市扩展模式中的某两种,虽然某种城市扩展模式绝对数量上的增加会提高相对面积上的优势,但并不有利于各区城市空间结构的优化。尤其是研究区山地地貌的垂直分异性在一定程度上会加剧各区尺度中新增斑块面积比相对优势复杂化和差异化。

表3 1978-2013年5个时间段内研究区各空间尺度建设用地扩展模式中新增斑块的数目

Tab.3 Growth Modes of Construction Land Under the Different Spatial Scales of Study Area in Terms of the Number of New Patches over Five Time Periods from 1978 to 2013

3种空间尺度	建设用地扩展模式中新增斑块数目														
	1978-1986			1986-1995			1995-2001			2001-2007			2007-2013		
	E	I	O	E	I	O	E	I	O	E	I	O	E	I	O
整体尺度	39	0	145	343	5	25	234	41	181	580	132	1 603	1 079	149	1 743
区域尺度	9	0	44	85	2	1	42	6	44	191	37	460	299	46	413
	6	0	28	66	1	5	60	22	88	129	33	401	286	50	647
	2	0	0	1	0	0	0	5	0	2	1	0	1	0	0
	22	0	22	125	2	17	75	19	50	161	38	436	272	33	337
	10	0	54	55	0	2	52	3	18	89	23	290	207	20	313
	2	0	27	25	0	0	10	0	23	71	12	167	107	6	168
	7	0	17	60	2	1	32	6	21	120	25	293	192	40	245
	4	0	28	82	2	16	51	16	44	126	30	389	205	26	273
	2	0	0	31	0	1	35	6	32	62	19	296	200	37	499
各区尺度	11	0	15	35	1	4	25	2	37	67	14	105	86	13	148
	11	0	7	43	0	1	24	3	6	35	8	47	67	7	64
	5	0	35	28	0	2	29	0	6	46	7	188	128	8	205
	5	0	19	27	0	0	23	3	12	43	16	102	79	12	110
	2	0	0	1	0	0	0	5	0	2	1	0	1	0	0

注: E指边缘扩展模式, I填充扩展模式, O跳跃扩展模式。

表 4 1978-2013年5个时间段内研究区各空间尺度建设用地扩展模式中新增斑块的面积比

Table 4 Growth Modes of Construction Land Under the Different Spatial Scales of Study Area in Terms of the Area Ratio of New Patches over Five Time Periods from 1978 to 2013

3种空间尺度	建设用地扩展模式中新增斑块面积比(%)														
	1978-1986			1986-1995			1995-2001			2001-2007			2007-2013		
	E	I	O	E	I	O	E	I	O	E	I	O	E	I	O
整体尺度	60.12	0.00	39.88	91.17	2.47	6.36	68.45	6.52	25.04	59.87	6.01	34.12	55.62	2.51	41.87
西部区	47.62	0.00	52.38	92.27	4.28	3.45	78.18	3.49	18.34	62.01	5.68	32.31	59.20	2.47	38.33
北部区	46.33	0.00	53.67	91.47	1.16	7.37	55.82	1.99	42.20	61.89	5.18	52.95	51.17	1.87	46.96
区域尺度	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	40.91	59.09	0.00	100.00	0.00	0.00
西南部	77.00	0.00	23.00	87.61	3.98	8.41	64.44	13.67	21.90	53.06	6.37	40.56	61.97	3.73	34.30
东南部	60.25	0.00	39.75	93.61	0.00	6.39	87.21	5.83	6.96	61.31	7.64	31.05	54.97	2.96	42.07
北部区	29.56	0.00	70.44	100.00	0.00	0.00	68.38	0.00	31.62	56.55	3.62	39.85	41.92	0.87	57.20
沙坪坝区	100.00	0.00	0.00	87.95	6.67	5.38	84.32	5.67	10.01	64.35	6.56	29.09	71.03	3.57	25.40
渝北区	41.02	0.00	58.98	96.29	0.00	3.71	51.25	1.04	47.71	62.16	4.78	33.06	47.66	2.07	50.27
江北区	100.00	0.00	0.00	82.80	3.25	13.96	69.97	4.94	25.09	61.00	6.49	32.51	59.75	1.39	38.86
三区尺度	74.40	0.00	25.60	83.61	5.27	11.12	52.12	19.80	28.08	51.10	6.11	42.80	57.24	4.26	38.49
九龙坡区	84.45	0.00	15.55	99.99	0.00	0.01	86.16	2.85	10.99	60.27	7.35	32.38	78.69	1.64	19.47
巴南区	41.26	0.00	58.74	93.41	0.00	6.59	95.80	0.00	4.20	55.28	6.32	38.41	50.97	1.97	47.06
南岸区	74.82	0.00	25.18	100.00	0.00	0.00	79.50	11.06	9.44	65.60	8.59	25.81	58.76	3.90	37.34
渝中区	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	40.91	59.09	0.00	100.00	0.00	0.00

注: E指边缘扩展模式, I指填充扩展模式, O指跳跃扩展模式。

3.3 研究区不同空间尺度城市化过程整体景观格局分析

在整体尺度上, 1978—2013年期间斑块密度和景观多样性指数变化值逐年递增, 而平均斑块分维数和平均欧式最近邻体距离变化值却逐年递减。特别是2001年之后, 研究区建设用地的快速扩张, 自然地理条件复杂多变, 导致郊区周边景观破碎度和景观多样性明显增加; 此外又由于城市内部空间结构的调整和科学规划, 研究区斑块形状趋于规则, 交通基础设施的改善促使斑块之间的连通性也得到显著提高(表5)。在1986-1995(改革开放初期)和1995-2001(重庆直辖市成立)两个特殊时段, 可以注意到: 区域尺度中的斑块密度变化值总体上呈由高变低又逐渐上升的趋势, 而各区尺度(除沙坪坝区之外)大都保持与其相似的变化特点, 这与宏观政策引导存在较大联系; 平均斑块分维数和平均欧式最近邻体距离在区域尺度和各区尺度中呈波动性变化, 并最终趋向于负变化; 区域尺度中的香农多样性指数在波动性升高中又有所降低, 各区尺度则最终趋向于负变化, 集中反映了城市化对降低空间异质性的作用。显然与整体尺度相比, 区域尺度和各区尺度上景观指数变化特征相对比较复杂, 两种空间尺度中各景观指数变化值浮动差值被拉大, 空间尺度的大小在反映城市化过程景观格局变化过程中与某一时段刺激土地利用变化的人文诱因存在很大的相关性。其中渝中区在各区尺度4个相关景观指数的变化中比较特殊, 由于该区建设用地面积狭小, 较弱的人为建设活动也会引起剧烈的景观格局变化。

表 5 1978~2013年5个时段内研究区各空间尺度景观指数变化值

Tab.5 Changes in Landscape Pattern Metrics Under the Different Spatial Scales over Five Time Periods from 1978 to 2013

景观指数	时间段	整体尺度	研究区3种空间尺度													
			区域尺度					各区尺度								
			西部区	北部区	中心区	西南区	东南区	北碚区	沙坪坝区	渝北区	江北区	九龙坡区	大渡口区	巴南区	南岸区	渝中区
斑块密度	1978~1986	-0.039	0.152	0.073	0.170	0.083	0.115	0.149	0.142	0.022	0.428	0.184	0.012	0.057	0.095	0.170
	1986~1995	-0.016	0.003	-0.057	-0.043	0.000	-0.004	-0.032	0.061	-0.057	-0.098	-0.033	-0.086	0.003	-0.004	-0.043
	1995~2001	0.017	0.024	0.030	-0.297	0.001	-0.015	0.037	-0.005	0.019	0.107	0.040	0.115	0.002	-0.015	-0.297
	2001~2007	0.050	0.093	0.010	-0.042	0.056	-0.015	0.068	-0.061	0.013	-0.103	0.210	-0.095	0.059	-0.015	-0.042
	2007~2013	0.109	0.094	0.104	0.042	0.091	0.307	0.138	-0.020	0.112	0.000	0.133	0.124	0.097	0.307	0.042
平均斑块数	1978~1986	0.001	-0.002	-0.003	-0.002	0.009	-0.012	-0.002	0.000	-0.002	-0.005	-0.004	0.000	-0.001	0.000	-0.002
	1986~1995	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	-0.002	0.001	0.003	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	-0.002	0.000
	1995~2001	0.000	-0.001	-0.001	0.020	0.000	0.001	-0.002	-0.002	0.000	-0.001	0.001	-0.003	0.000	0.001	0.020
	2001~2007	-0.003	-0.003	-0.002	0.002	-0.002	-0.001	0.000	-0.004	-0.003	-0.003	-0.004	-0.005	-0.002	-0.001	0.002
	2007~2013	-0.004	-0.004	-0.004	0.000	-0.002	-0.006	-0.003	-0.005	-0.004	-0.002	-0.005	-0.005	-0.002	-0.006	0.000
平均欧式最近邻体距	1978~1986	13.136	20.070	8.226	-191.595	-0.757	10.694	11.390	2.546	17.306	-1.395	32.247	24.255	21.721	24.533	-191.595
	1986~1995	2.611	0.704	23.744	25.214	-15.815	4.850	15.953	-21.253	20.049	18.221	4.948	-1.923	-18.484	4.850	25.214
	1995~2001	-1.871	4.034	-14.039	124.431	-1.865	-15.816	18.041	6.839	-6.308	-6.987	-24.641	70.994	-1.145	-15.816	124.431
	2001~2007	-1.848	-5.722	6.363	0.000	-4.363	25.552	-14.379	13.394	-0.158	71.695	1.174	10.827	-6.793	25.552	0.000
	2007~2013	-13.419	-17.273	-11.382	-21.414	-11.115	-17.647	-21.070	-2.425	-20.336	-5.985	-28.598	-69.355	-10.850	-17.647	-21.414
离农多样指数	1978~1986	-0.012	0.099	0.083	-0.118	-0.121	0.215	0.085	0.048	0.095	0.019	0.093	0.060	0.055	0.055	-0.118
	1986~1995	-0.005	-0.003	-0.041	-0.071	0.002	0.002	-0.014	0.016	-0.032	-0.042	0.001	-0.013	0.006	0.002	-0.071
	1995~2001	0.029	0.024	0.069	-0.031	0.018	0.038	0.013	0.012	0.064	0.062	0.041	0.049	0.008	0.038	-0.031
	2001~2007	0.086	0.076	0.100	-0.032	0.066	0.116	0.047	0.104	0.106	0.084	0.047	-0.035	0.060	0.146	-0.032
	2007~2013	0.040	0.012	0.055	-0.003	0.024	-0.078	0.060	-0.077	0.062	-0.081	-0.026	-0.102	0.022	-0.108	-0.003

4 讨论

4.1 研究区地理要素对建设用地扩展演变综合影响

已有研究证明,重庆主城区作为山地城市的典型代表,城市空间结构正经历从早期的“极核式”逐渐向“分散组团式”和“集中型同心圆式”复合式空间格局转变的过程[36],其自然地理的差异性及社会经济要素空间分布的极不均衡性是导致研究区建设用地演变特征显著区别于北京、上海等平原城市圈层式扩展的重要原因[10,12]。

自然地理环境:通过1978-2013年期间研究区高程、坡度与建设用地的叠加分析及数据计算发现:0-500m和0°-25°集中了研究区97%。以上的建设用地,显然城市扩张深受海拔及坡度的影响[27],不同空间尺度建设用地仍存在显著的时空差异。就2013年各区尺度而言,地势过高或坡度过陡的巴南区,城市扩展容易产生高昂的建设成本,导致生态环境稳定性降低,城市化率仅77.14%居于研究区末位;而地势过低或坡度过缓的渝中区,虽然地处经济中心的渝中半岛且城市化率100%,但建设用地又面临洪灾侵袭和扩展空间趋于饱和的严重问题。因此拥有高比例空间面积和高生态承载力的200-300m和6°-15°范围自然就成为不同空间尺度建设用地扩展的重点区间,这与梁鹏飞认为的新增用地多集中于地势平缓、海拔适中区域的观点基本相同[37]。1978-2001年期间,研究区建设用地南北部受制于江河阻挡、东西两翼掣肘于低山阻隔[38],城市发展缓慢且缺乏连续的拓展空间,导致不同空间尺度上建设用地扩展迟缓,且边缘扩展模式在斑块数目和面积上均占主导优势。2001-2013年,人为干扰因素的增强,降低了平行岭谷地貌对研究区建设用地空间束缚,城市扩展开始突破自然环境的限制影响,促使不同空间尺度上跳跃扩展模式数量和规模优势不断上升,相反边缘扩展模式相对优势下降显著。

社会经济环境:1978~1995,研究区行政上隶属四川省管辖,整体经济发展水平较低,劳动力外流现象严重,城市建设用地扩展缺乏市场需求和交通基础设施的支撑。因此,在此期间内整体尺度上相关景观指数变化主要呈正或负变化单一性特征,变化幅度较小;不同空间尺度建设用地增长规模和综合扩展程度均比较低。1995~2001年,重庆行政上的直辖促使建设用地扩展获得中央财政、政策、技术上的重点支持,但研究区却面临一系列产业结构转型和城市空间内部调整的相关问题。其中1995-2001年不同空间尺度建设用地综合扩展程度平均值呈现出停摆状态,尤其在1995年前后不同尺度上相关景观指数变化值大都经历正负互变高频率的动态过程,研究区景观格局变

化开始发生逆转。而在 2001-2013 年期间,西永大学城及综合保税区落地以及北部新区等国家级开放型经济示范区成立,直接刺激西部区和北部区建设用地开发,跳跃扩展模式呈现出数量和规模增强的趋势。其中巴南区缓慢的城市化进程与恰好处于快速“扩散”阶段的渝北区和沙坪坝区形成鲜明的对比。而地铁 1 号线、渝遂高铁及外环高速的建成,催生一些新的组团或产业带的形成,导致区域尺度建设用地沿交通线扩展具有很强的空间集中性。因此加强政府引导,提高综合经济发展水平,完善交通网络格局,摆脱地形地貌束缚,注重生态环境的保护,减少社会经济要素空间分布的差异性,进行工业园区合理布局,有利于稳步推进不同空间尺度下城市化进程。

4.2 研究区景观格局分异性变化

在 1978-2013 年期间,各区尺度中的斑块密度和香农多样性指数值的波动变化幅度均比整体尺度和区域尺度要复杂的多,而平均斑块分维数和平均欧式最近邻体距离的波动幅度却保持与其余两个空间尺度相似的变化特征。这主要由于山地城市复杂的等高线与山地地貌类型相统一,山地城市地形显著的分形特征宏观上塑造了山地城市形态特点。此外城市道路网络在不同尺度的空间上具有自相似性,同样也具有与城市自然地形相协调的非线性的分形特征因此造成景观格局分析过程中,分维值和距离值更易于与不同空间尺度相统一,相反破碎度和多样性却显示出对空间尺度差异的高度敏感性。其中就各区空间尺度相关景观指数变化幅度而言,1978-2001 年各行政区单元建设用地以边缘扩展模式缓慢扩张,新增斑块数量及面积规模均比较小,且集中于两江沿岸交汇中心附近,未能根本上摆脱地形地貌的影响。由于各区尺度中自然环境和社会经济条件差异较大,不同行政单元景观格局变化比较复杂。2001-2013 年不同行政单元大规模项目开发活动以及经济快速发展已经波及到区域尺度甚至整体尺度上景观格局变化。其中 2013 年北部区和西部区 GDP 占比达 48.76%,这些很大程度上得益于 2001 年之后空港工业园(渝北区)、港城工业园(江北区)、西永微电子产业园(沙坪坝区)等 7 个市级以上产业园区的建设(表 1)。人为干预及科学规划程度的加深会导致北部区和西部区相关景观指数在此期间出现明显反弹,而整体尺度上建设用地扩展重心也显著出现向北部转移的迹象。同样截止到 2013 年各区尺度(渝中区除外)公路交通里程达到 9804.33km,交通网络延伸密切了区域之间经济、信息、物资联系,直接导致不同空间尺度斑块之间连通度均有明显提高。

5 结论

(1)通过比较 1978~2013 年期间研究区不同空间尺度建设用地扩展速率可以发现,空间尺度越大,建设用地低频率、慢速度、简单化的扩展特征会愈加明显,越易于建设用地扩张的总体规律把握和了解,例如较高空间尺度建设用地扩展速率更易在短时段受到宏观地形地貌累积效应的影响,可以将其作为城市管理者提供宏观决策和规划思维的考量;相反空间尺度越小,高频率、快速度、复杂化的建设用地扩展特征就愈加突出,越易受到局部经济、交通或政策等影响机制的干扰,因此针对较小空间尺度建设用地扩张规律显示出一定的无序性问题,城市土地管理者可根据当地实际情况进行建设用地内在机理的剖析和理解,从而采取有效的城市规划措施去进行引导,使其更加健康有序。

(2)分析研究区不同空间尺度新增斑块数目和新增斑块面积比相对优势,有助于揭示区域建设用地发展差异和时空变化特征。研究证实:建设用地的边缘扩展模式与跳跃扩展模式在研究区的主导优势随建设用地扩展动态过程及发展背景变化经常发生互转,且空间尺度越大,互换频率越低,整体变化特征越具有规律可循;而空间尺度越小,互转频率越高,整体变化特征越趋于复杂化。可见城市扩展模式会因空间尺度不同对自然或人文等干扰因子的敏感程度产生差异,因此城市管理者继续深化不同空间尺度所受主导因子具体信息和影响权重的研究,就可较大程度上通过人为施加的可调控性干扰手段达到增强或减弱某种城市扩展模式主导优势的效果和目的,促进城市空间结构的优化。

(3)1978-2013 年期间,整体尺度景观格局变化展示出阶梯式的递变特征,这与研究区城市化大背景的经济环境密切相关;而各区尺度或区域尺度中城市化发展较快的地区,会引起景观格局变化的连锁反应,进而对更大空间尺度景观空间异质性产生较大的影响。并且空间尺度划分较小的五大地理分区和九个行政单元景观格局变化更易受到国家政策或政府规划的干扰,在时空上更易呈现出较大的波动性特征。因此针对不同空间尺度的土地利用负面效应,城市规划部门需要寻求城市扩展与生态空间保护的平衡点,如建立

刚性生态空间对建设用地规模进行控制，加强城市景观生态的优化和调控，达到城市土地利用格局合理布局。

参考文献：

- [1] 鲁学军, 周成虎, 张洪岩, 等. 地理空间的尺度—结构分析模式探讨 [J] . 地理科学进展, 2004 , 23 (2) : 1 07 — 1 14 .
- [2] 岳文泽, 徐建华, 谈文琦, 等. 城市景观多样性的空间尺度分析——以上海市外环线以内区域为例 [J] . 生态学报, 2005 , 25 (1) : 122 — 128 .
- [3] KUANG WH , CHI WF , LU DS , et al . A comparative analysis of megacity expansion in China and the U . S . : patterns , rates and driving forces [J] . Landscape and Urban Planning , 2014 , 132 : 1 21 — 1 35 .
- [4] 李仁东, 程学军, 隋晓丽. 江汉平原土地利用的时空变化及其驱动因素分析 [J] . 地理研究, 2003 , 22 (4) : 423 并 3 1 .
- [5] 高金龙, 陈江龙, 苏曦. 中国城市扩张态势与驱动机制机理研究学派综述 [J] . 地理科学进展, 2013 , 32 (5) : 743 — 754 .
- [6] 刘沁萍, 杨永春, 付冬霞, 等. 基于 DMSP — OLS 灯光数据 1992 — 2010 年中国城市空间扩张研究 [J] . 地理科学, 2014 , 34 (2) : 129 — 136 .
- [7] 刘涛, 曹广忠. 城市用地扩张及驱动力研究进展 [J] . 地理科学进展, 2010 , 29 (8) : 927 — 934 .
- [8] 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用 [J] . 地理学报, 2009 , 64 (12) : 1430 — 1438 .
- [9] JIAO LM , MAO LF , LIU Y L . Multi — order landscape expansion index : characterizing urban expansion dynamics [J] . Landscape and Urban Planning , 2015 , 137 : 30 — 39 .
- [10] 朴妍, 马克明. 不同规模城镇的扩展过程分析——以北京为例 [J] . 生态学报, 2007 , 27 (5) : 2 1 36 — 2 1 44 .
- [11] 李飞雪, 李满春, 刘永学, 等. 建国以来南京城市扩展研究 [J] . 自然资源学报, 2007 , 22 (4) : 524 — 535 .
- [12] 刘曙华, 沈玉芳. 上海城市扩展模式及其动力机制. 经济地理, 2006 , 26 (3) : 487 — 491 .
- [13] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区城市化过程与机制研究 [J] . 地理学报, 2002 , 57 (3) : 363 — 371 .
- [14] 赵敏, 程维明, 黄坤. 近 21a 来京津冀城市发展空间特征及其与宏观地貌的关系分析 [J] . 地理信息科学, 2010 , 17 (8) : 917 — 926 .
- [15] 张宁, 方琳娜, 周杰, 等. 北京城市边缘区空间扩展特征及驱动力机制 [J] . 地理研究, 2010 , 29 (3) : 471 — 485 .

-
- [16] 王伟武, 金建伟, 肖作鹏, 等. 近 18 年来杭州城市用地扩展特征及其驱动机制 [J] . 地理研究, 2009 , 28 (3) : 685 — 695 .
- [17] 全泉, 田光进, 沙默泉. 基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟 [J] . 生态学报, 20 11 , 31 (10) : 2575 — 2887 .
- [18] JAWARNEH RN , JULIAN JP , LOOKINGBILL T R . The influence of physiography on historical and future land development changes : a case study of central Arkansas (USA) , 1 857 — 2030 [J] . Landscape and Urban Planning , 20 15 , 1 43 : 76 — 89 .
- [19] MURAKAMIA , MEDRIAL ZAINA , TAKEUCHIK , et al . Trends in urbanization and patterns of land use in the Asian mega cities Jakarta , Bangkok , and Metro Manila [J] . Landscape and Urban Planning , 2005 , 70 (3 / 4) : 251 — 259 .
- [20] 王德利, 方创琳, 杨青山, 等. 基于城市化质量的中国城市化发展速度判定分析 [J] . 地理科学, 20 10 , 30 (5) : 643 — 650 .
- [21] 吕晓, 黄贤金. 建设用地扩张的研究进展及展望 [J] . 地理与地理信息科学, 20 13 , 29 (6) : 51 — 55 .
- [22] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力 [J] . 生态学报, 20 15 , 35 (13) : 4357 并 366 .
- [23] 张新焕, 祁毅, 杨德刚, 等. 基于不同空间尺度的乌鲁木齐都市圈土地利用 / 覆被变化研究 (J) . 资源科学, 2008 , 30 (11) : 1 706 — 1 7 14 .
- [24] 刁承泰, 吕韬, 陈敏, 等. 重庆市地貌特点与城市用地川. 中国土地科学, 2004 , 18 (3) : 35 书 0 .
- [25] LONG HL , WU XQ , WANG WJ , et al . Analysis of urban — rural land — use change during 1 995 — 2006 and its policy dimensional driving forces in Chongqing , China (J) . Sensors , 2008 , 8 (2) : 681 — 699 .
- [26] 黄森, 蒲勇健. 城乡统筹背景下重庆城市化进程空间机理研究 [J] . 重庆大学学报 (社会科学版) , 20 12 , 18 (5) : 8 — 1 6 .
- [27] 彭月, 何丙辉. 重庆市主城区 1986 — 2007 年用地时空演化特征分析 [J] . 地球信息科学学报, 2012 , 14 (5) : 635 — 643 .
- [28] 李阳兵, 邵景安, 赵岩洁, 等. “二环八射, ’ 道路格局对重庆地区建设用地扩展演变特征的驱动 [J] . 地理科学, 2014 , 34 (3) : 255 — 294 .
- [29] 吕志强, 代富强, 周启刚. “交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析 [J] . 生态学报, 2014 , 34 (9) : 2442 — 2449 .
- [30] 邹建国. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级 (M) . 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007 .

-
- [31] 张新长, 梁金成. 城市土地利用动态变化及预测模型研究[J] . 中山大学(自然科学版), 2004, 43 (2) : 121 — 125 .
- [32] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J] . 地理科学进展, 1999, 18 (1) : 81 — 87 .
- [33] 周锐, 李月辉, 胡远满, 等. 苏南地区典型城镇建设用地扩展的时空分异 [J] . 应用生态学报, 2011, 22 (3) : 577 — 584 . [ZHOUR, LI YH, HU YM, et al . Spatiotemporal differentiation of construction land expansion in a typical town of south Jiangsu province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology , 20 11 , 22 (3) : 577 — 584 .]
- [34] SETO KC , FRAGKIAS M . Quantifying spatiotemporal patterns of urban land — use change in four cities of China with time series landscape metrics [J] . Landscape Ecology , 2005 , 20 (7) : 871 — 888 .
- [35] LIC , LI JX , WU J G . Quantifying the speed , growth modes , and landscape pattern changes of urbanization : a hierarchical patch dynamics approach [J] . Landscape Ecology , 2013 , 28 (10) : 1875 — 1888 .
- [36] 廖和平, 彭征, 洪惠坤, 等. 重庆市直辖市以来的城市空间扩展与机制 [J] . 地理研究, 2007 , 26 (6) : 1 1 37 — 1 146 .
- [37] 梁鹏飞, 刘勇, 刘秀华. 山地城市居住用地扩展的驱动力分析— 以重庆市主城区为例 (月 . 西南大学学报(自然科学版), 2016 , 38 (2) : 98 — 103 .
- [38] 李阳兵, 张阳阳. 平行岭谷区建设用地格局演变扩展的通道与低山阻隔效应 [J] . 地理研究, 20 10 , 29 (3) : 440 — 448 .
- [39] 冒亚龙, 欧阳梅娥. 山地城市的分形美学特征 [J] . 山地学报, 2007 . 25 (2) : 148 — 152 .