

大型山地城市建设用地空间扩展及地形分异

吕志强, 邓睿, 卿珊珊

(重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

摘要:近年来,我国城市化进程已经进入加速发展阶段,城市建设用地日益紧张,对山地城市来讲,建设用地的供需矛盾尤为突出。以城市建设用地扩张的地形梯度变化为切入点,运用重庆市主城区 2001 年、2007 年和 2014 年的遥感影像数据,通过混合像元分解提取建设用地。通过计算建设用地的分形维数、紧凑度指数和放射状指数分析了主城区城市建设用地扩张水平方向的形态变化特征;结合区域的高程、地形起伏度,分析了建设用地的地形分异特征。结果表明:城市规模扩展迅速,建设用地数量从 2001 年的 237.62 km² 增加到 2014 年的 818.85 km²;综合分形维数指数、城市紧凑度指数、放射状指数来看,城市扩展从 2001—2007 年的紧凑型扩展发展转变成 2007—2014 年的外延扩展;主城区建设用地的扩展呈从低高程区的增长达到饱和状态向高程较高的区域发展的态势;从起伏度分析来看,建设用地无法向起伏度较大的区域大规模扩展。

关键词:建设用地扩展;混合像元分解;地形梯度;大型山地城市

中图分类号:F301.2;P208

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0232-07

Spatial Expansion and Topographic Differentiation of Urban Construction Land in Large Mountainous Cities

LYU Zhiqiang, DENG Rui, QING Shanshan

(Department of Land Resource Management, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: The urbanization process in China has entered the accelerating stage in recent years, the urban construction land is increasingly scarce, especially in the mountainous city, the contradiction between supply and demand of construction lands is obvious. Based on the terrain gradient change of urban construction land expansion, we used remote sensing image data of the main urban area in 2001, 2007 and 2014 in Chongqing City to extract the urban construction lands by using the method of decomposition of mixed pixels. The fractal dimension of construction land, compact index and the radial index were computed to analyze the main urban construction land expansion form change characteristics of horizontal direction. Combining urban construction land with the regional elevation and relief, we analyzed the construction land differentiation characteristics of terrain. The results showed that the city scale expanded rapidly, and the area of construction land increased from 237.62 km² to 818.85 km² during the period from 2001 to 2014. With respect to comprehensive fractal dimension index, compact city index, the radial index in general, urban expansion is compact extension type, but during the period from 2007 to 2014, the urban expansion shifted toward the epitaxial extension type. Urban expansion appeared as compact extension type in the period from 2001 to 2007, but it turned to epitaxial extension type in the period from 2007 to 2014. The urban construction land in low elevation area reached to the saturated state, while high elevation area is a growing momentum, from the point of rolling degree analysis, construction lands are unable to expand to the larger area.

Keywords: construction land expansion; mixed pixel decomposition; terrain gradient; large mountainous cities

收稿日期:2015-12-15

修回日期:2016-02-01

资助项目:重庆市社会科学规划培育项目(2014PY63);国家自然科学基金(41101155,41301351);重庆市教委科技项目(KJ1400623);教育部人文社科项目(12XJCZH005);重庆市高等学校青年骨干教师资助计划(2011)

第一作者:吕志强(1978—),男,山东莱芜人,博士,副教授,主要从事 3S 应用、环境遥感、资源环境经济与农村可持续发展研究。

E-mail:lv0726@126.com

城市建设用地扩张是城市发展在空间上最为显著的特征,是城市地理学、土地科学、城市规划学等多学科共同关注的领域^[1],作为 LUCC(Land-Use and Land-Cover Change)中变化最快、环境影响最剧烈的城市建设用地空间扩张直观地体现了城市化和城市发展的空间过程与特征,开展这方面的研究对于合理配置土地资源、优化城市空间结构、实现城市可持续发展具有重要意义。

20 世纪 80 年代以来,城市建设用地的急剧扩张成为中国城市化的突出特征和社会经济加速发展的重要表现,针对此方面的研究主要集中在 20 世纪 90 年代。对城市建设用地扩张的研究主要集中在长三角、珠三角等经济发达的沿海地区和内陆平原地区,例如上海市^[2]、南京都市区^[3-4]、无锡市^[5]、常熟市^[6]、北京市^[7]、石家庄市^[8]和长沙市^[9]等;黎夏等^[10]在遥感多时相数据的基础上通过熵的计算,定量地描述了珠江三角洲城市扩张的空间规律和扩张过程;周翔等^[11]结合遥感影像与社会经济数据分析了 1990—2010 年苏锡常地区建设用地扩张的时空特征、空间模式及社会经济驱动力。

随着城市化进程的加快以及国家对建设用地需求的增长,城市建设逐渐由人口过度稠密的平原地区转向人居环境更佳的山区。在中国,山地、丘陵和高原占了全国陆地面积的 69%,分布在上述山地区域的城市称为山地城市。因其地理条件的特殊性,山地城市的发展受自然条件限制,近几年随着经济发展和城市化建设的不断加强,更多的学者对山地城市的发展特征和规律进行研究。重庆作为西南地区的特大地山地城市,近年来也有研究者开始了对重庆城市用地的研究。廖和平等^[12]分析了重庆市直辖以后的城市空间扩展强度及其空间差异、城市空间扩展影响机制,定量揭示了城市空间扩张演变特征及其驱动机制的评价方法;牟风云等^[13]运用多时相遥感数据对重庆市 1978—2005 年城市空间演化过程、动力机制、城乡用地转化和城市用地的内部分异进行了研究。此类研究多是针对建设用地水平方向的扩张特征进行研究,缺乏在垂直方向上的扩张特征的研究。

关于城市建设用地空间扩展的研究都是基于城市建设用地范围的提取,即土地利用分类,主要的土地利用分类方法有目视解译和包括神经网络分类方法、模糊分类方法以及决策树分类方法等方法在内的遥感分类方法。随着遥感技术的迅速发展,Ridd^[14]提出将城市影像中的每个像元看成植被—不透水面—土壤这 3 种代表类型的线性组合,即 V-I-S 模型(Vegetation-impervious surface-soil)。此模型成为

提取非渗透表面丰度的重要方法,Carlson 等^[15]利用植被覆盖度与不透水面之间的关系,研究了适合于城市建成区不透水面信息提取的方法;Wu 等^[16]利用光谱混合分析法(SMA)对 Landsat 7ETM+影像进行分解,提取出不透水面;钱乐祥等^[17]用线性光谱模型有效地解决了亮度变化与阴影关联的问题,展现了该方法的应用前景;李明杰等^[18]在采用 V-I-S 模型与归一化线性混合模型相结合的方法提取的非渗透表面丰度图的基础上,以地表温度数据进行纠正,进一步提高丰度提取精度。

本研究尝试运用混合像元分解的方法较高精度提取城市建设用地范围,结合城市空间形态指数研究城市范围的扩张过程和特征;根据提取端元的丰度值划分建设用地密度等级,结合地形因素研究建设用地及建设用地等级在地形因素影响下的扩张水平和扩张特征。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

重庆市地跨东经 105°17′—110°11′,北纬 28°10′—32°13′,位于四川盆地、中国西南内陆青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,是全国著名的“山城”,是中国重要的中心城市之一,也是西南地区和长江上游最大的经济中心城市和科技、文化、教育事业的中心。重庆市主城区位于川东平行岭谷地区,明月山、铜锣山、中梁山、缙云山等多条华蓥山余脉从东北向西南延伸,长江和嘉陵江自西向东切割山脉而过,是典型的“山水城市”。主城区面积 5 473 km²,2013 年常住人口为 808.5 万人,人均 GDP 为 6.67 万元,城镇化率达到 87.87%。

由于早期我国西南地区经济较为落后,城市建设发展速度缓慢,重庆的城市布局形态呈现一种原始自然的点状。随着我国经济的发展以及国家推出重点发展西南地区经济的政策,山地城市建设进程加快,城市建设规模不断加大。尤其是重庆成为中央直辖市后,城市逐渐由集中向分散发展,并向着与区域城市相融合、与外围都市紧密联合的方向发展。

重庆市主城区自改革开放,尤其是 1997 年设立为直辖市以来,城市化速度加快,区内建成区面积不断扩大。2010 年我国内陆地区第一个国家级开发开放新区两江新区的成立使得主城区北部成为建设的热点地区。本文因数据限制,采用处理过后的边界截取大部分主城区作为研究区域,截掉部分土地覆被类型多为植被,对城市建设用地的扩张研究基本没有影响。

1.2 数据来源与处理

重庆市主城区主要覆盖 LANDSAT TM/ETM/OLI 轨道号为 p128/r39 和 p128/r40 的遥感影像中, 本文为了体现重庆市直辖后的快速城市化过程, 选择 2001 年、2007 年和 2014 年遥感影像图作为数据源, 其中 2001 年为 ETM+ 数据, 2007 年为 TM 数据, 2014 年为 OLI 数据。首先在 ENVI 中对遥感影像进行几何校正、配准、镶嵌等处理, 然后采用混合像元分解方法提取不透水面密度, 并进一步提取建设用地。



图 1 研究区位置

为体现地形因素对山地城市空间演化的影响, 本文将分析城市随海拔高度和地形起伏度的变化呈现出来的空间拓展特点, 故选择 DEM 数据为辅助数据对山地城市的空间拓展进行分析。本文采用空间分辨率为 85.6m 的 STRM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM 数据, 在 ArcGIS 中计算地形起伏度并与建设用地密度相结合进行分类叠加、统计。

2 研究方法

2.1 混合像元分解

遥感影像是以像元为基本单位来检测和获取地物信息, 混合像元是指一个像元中包括了两种或两种以上地物的现象。将每一像元分解, 求得其覆盖类型组分占像元面积的百分比的过程被称为混合像元分解。本文采用归一化线性光谱混合模型 (NSMA) 进行混合像元分解, 首先对各波段的光谱值进行归一化处理, 然后依据线性光谱混合模型 (LSMM) 原理对混合像元进行高精度分解的方法。其中, 光谱归一化算法公式为:

$$\overline{R_b} = \frac{R_b}{\mu} \times 100 \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^N R_b \quad (2)$$

式中: $\overline{R_b}$ 是波段 b 某一像元的标准化反射比; R_b 是波段 b 的原始反比; μ 是该像元的平均反射比; N 是波段数。

线性光谱混合模型 (LSMM) 算法公式为:

$$R_{\lambda} = \sum_{k=1}^n f_{ki} C_{k\lambda} + \epsilon_{\lambda} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^n f_{ki} = 1 \quad (4)$$

式中: R_{λ} 为第 λ 波段第 i 像元的光谱反射率 (已知); f_{ki} 为对应于 i 像元组分第 k 个端元所占的分量值 (待求); $C_{k\lambda}$ 为第 k 个基本组分在第 λ 波段的光谱反射率; ϵ_{λ} 为残余误差值 (即光谱的非模型化部分); n 为基本组分的数目。评价模型用残差或均方根误差 RMS 表示:

$$\text{RMS} = \left[\sum_{\lambda=1}^{\lambda} \frac{(\epsilon_{\lambda})^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

本研究在 ENVI 中, 选择植被、水体、建设用地为端元, 对遥感图片进行混合像元分解, 采用选择限制性条件的混合像元分解方法。提取出建设用地端元之后, 根据端元的丰度值将建设用地分为高密度、中密度、低密度 3 个等级。

2.2 城市形态定量描述

在 GIS 平台中, 对得到的城市建设用地结果进行统计与分析, 利用城市空间形态的定量模型来获取城市形态的相关参数。

(1) 城市空间形状分形维数。

空间的分形维数可以描述城市边界形状的复杂性, 反映出土地利用形状的变化及土地利用受干扰的程度, 是一个面积与周长的关系, 计算公式为:

$$S_t = 2 \ln \frac{P_t}{4} / \ln A_t \quad (6)$$

式中: S_t 为 t 时期城市斑块的分形维数; P_t , A_t 分别为 t 时期城市斑块的面积和周长; S_t 的理论范围在 1 ~ 2, S_t 值越大表示图形形状越复杂。

(2) 城市空间紧凑度指数。

$$K_1 = 2 \sqrt{\pi A} / P \quad (7)$$

式中: K 为城市的紧凑度; A 为城市面积; P 为城市轮廓周长。这一公式以圆形区域作为标准度量单位, 圆形地物的紧凑度为 1, 其他任何形状地物的紧凑度均小于 1, 如正方形的紧凑度为 $\frac{\sqrt{\pi}}{2}$, 地物离散程度越大, 其紧凑度越低。紧凑度大的图斑受外界干扰小, 更容易保持内部资源的稳定性。

(3) Boyce-Clark 形状指数。

其基本思想是将研究的形状与标准圆形形状进行比较, 得出一个相对指数的方法。这种方法是面状

地物的重心(或图形的质心、行政区范围内的人口中心、经济中心等)为核心,向周边延伸若干条半径(半径之间的夹角相等),计算各条半径的变化情况,所以也被称为半径形状指数,用放射状指数 SBC 来表示。

$$SBC=\sum_{i=1}^n\left|\left(r_i/\sum_{i=1}^nr_i\right)\times100-\frac{100}{n}\right|$$

(8)

式中:SBC 为 Boyce-Clark 形状指数; r_i 为某个图形的优势点(Vantage point)到图形周界的半径长度; n 为具有相等角度差的辐射半径的数量。 n 可以取不同的数量,数量越大,形状指数值精度越高。对于该研究,城市形状优势点是图形质心(Centroid),半径的取值方向采用 32 方向,基本上可以避免一对多或多对一现象的出现。

2.3 起伏度计算

在计算地形起伏度之前需要确定起伏度的计算尺度,张伟等^[18]在全国范围内选取试验区,在渐变尺度下对中国地形起伏度适宜计算尺度进行研究,认为基于 SRTM 和 ASTER DEM 这两种不同的数据源,全国范围内的地形起伏度适宜计算尺度分别为 4.72, 3.20 km²。本研究采用的是 STRM(Shuttle Radar Topography Mission)DEM 数据,结合重庆市主城区的典型性,研究中以 3×3 的计算窗口进行地形起伏度计算。

采用 ArcMap 中的空间分析(Spatial Analyst)模块中的邻域分析(Neighborhood Statistic)工具,先计算出 3×3 像元内的格网最大值,然后计算出其领域最小值,再利用模块中的栅格计算工具(Raster Calculator)计算最大值与最小值高程差,就得到了该窗口的地形起伏度结果值。可表示为如下公式:

$$RF=H_{\max}-H_{\min}$$

(9)

式中:RF 是分析窗口内的地势起伏度; H_{\max} 是分析窗口内的最大高程值; H_{\min} 是分析窗口内的最小高程值。

2.4 结合海拔高度和起伏度分级分区统计

参考李明杰等^[19]的方法在 GIS 中将提取的建设用地分为低密度、中密度和高密度 3 个等级,本文研究的是建设用地相对密度在地形维度上的空间扩张,而不是具体建设用地图斑密度的绝对数量的变化;采用平均面积加权法(AWAE)将高程分为 8 个区间,用 1—8 标记;采用 1/2 Standard Deviation 方法将起伏度分为 10 个区间,用 1—10 标记。结合海拔高度和起伏度分区,统计每一区间内 3 个建设用地等级所占数量和比例。

3 结果与分析

3.1 建设用地扩展的总体特征

重庆市主城区位于长江和嘉陵江交汇处,城区被

河流分割为 3 个主体部分,区域大小和地形条件的差异使各区域的扩展速度和方向差异较大。自改革开放以来,随着经济的发展和生产力布局的优化调整,重庆市主城区城市空间进入了前所未有的快速扩展阶段。尤其是重庆市直辖以来,主城区建设用地面积在 2001 年约为 237.62 km²,增加到 2007 年的 328.99 km²,2014 年的 818.85 km²,其中 2007—2014 年建设用地扩张最为剧烈,增速为 69.98 km²/a,和 2001—2007 年的 15.23 km²/a 相比,增速明显,达到了 2001—2007 年的 4.6 倍。

从表 1 可以看出,2001—2007 年主城区建设用地轮廓变化不大,高密度等级建设用地分布较广;2007—2014 年建设用地跨越了缙云山、中梁山、铜锣山和明月山 4 条山脉大规模扩张,高密度等级比例严重下降。

表 1 建设用地扩张总体特征

年份	低密度	中密度	高密度	合计
2001	82.17	89.21	66.23	237.62
2007	75.67	179.86	73.46	328.99
2014	378.62	402.70	37.53	818.85

2001—2007 年主城区建设用地重心向东北迁移,由于山体阻隔,建设用地向正西和正东方向的拓展空间越来越小,主城向北扩张速度加快;2007—2014 年主城区建设用地重心继续向东北偏移,特别是 2010 年两江新区的成立,使得城市向北扩张的趋势继续增强。

3.2 建设用地扩展的水平特征

在 ArcGIS 中提取出城市建设用地的面积和边界周长,并计算出城市空间形态指数,计算结果见表 2。

表 2 主城区城市空间形态演化指数

年份	面积/km ²	周长/m	分形维数	紧凑度指数	放射状指数
2001	237.62	16610880	1.580	0.003	33.804
2007	328.99	15586980	1.548	0.004	29.302
2014	818.85	32448000	1.550	0.003	20.348

从表 2 可以看出,2001—2014 年,主城区城市形态分形维数为 1.548~1.580,分形维数理论范围为 1~2,说明重庆市主城区的城市边界形状较复杂;但城市分形维数变化不大,说明城市形态稳定性较高,结合重庆的实际情况,说明城市一直在建设,边界形态没有稳定下来。2001—2014 年,主城区紧凑度指数为 0.003~0.004,远远低于 1,由紧凑度指数的定义来看,紧凑度指数介于 0~1,当紧凑度指数接近于 1 时,其形状接近于圆形,城市内斑块受外界干扰小,更容易保持内部资源的稳定性;而主城区的紧凑度远远

小于 1,说明城市形态离散程度大。同期城市形态放射状指数变化较为明显,并呈现出一直减小的趋势。根据放射状指数的定义来看,放射状指数越趋于 0,表明城市内各图斑分布越紧凑,指数越大说明各图斑分布越离散,较好地反映了区域内部的联系强度。

重庆市主城区地貌多为丘陵山地,平坦地面较少,主要是沿江断续阶地和缓丘平坝。这就导致了城区的城市扩张不像平原城市均衡地向各个方向扩展,而主要是沿交通干线向外扩张,在不同方向上,扩张的速度和规模都有较大差异,整个城市呈跳跃式扩张。

(1) 2001—2007 年处于直辖后的加速发展阶段。这一时期城市逐渐进入了快速扩张期,增加的建设用地面积约为 91.37 km²。这个阶段内分形维数下降,紧凑度指数增加,放射状指数下降较为明显,表明这一时期内空间扩张以填充型为主。结合实际情况来看,城市轮廓变化不大,江北机场建设逐渐完善,靠近机场的两路片区得到迅速发展,渝北区介于唐家沱和观音桥一人和之间的腹地、机场高速沿线地带成为了城市扩张的主要区域。

(2) 2007—2014 年处于城市的快速扩张期。这一时期城市扩张进入了跳跃式空间扩张阶段,增加的建设用地面积约为 489.86 km²。阶段内分形维数上升,紧凑度指数和放射状指数下降,表明这一时期内空间扩张以外延发展为主。随着两江新区的成立,北部新区和两路片区成为了主城区建设的热点地区。此外,随着微电子产业园、物流园及大学城的持续建设,主城区的西部得到快速发展;城区东南部由于茶园新区的建设也进行了快速扩张;城区东北部江北区复盛鱼嘴片区异军突起。城区跳跃性向城市外围大规模扩张,城市外围地区的城镇开始承担起中心城区外溢功能和新增职能,与中心城区协同发展。

3.3 建设用地扩展的地形分异

(1) 地形重心转移。在 GIS 中分别统计各年份建设用地所在的海拔高度和起伏度的最小值、最大值、平均值和标准差,结果如表 3、表 4 所示。

从建设用地所在海拔高度的最大值来看(表 3),2001—2007 年建设用地向高度较高的区域扩展。此后,因为针对区内的各类自然保护区、风景名胜区、森林公园区和“四山”禁建区等高海拔区域的生态保护政策,到了 2014 年建设用地所在的海拔高度下降到低于 2001 年,其中的建设用地向其他用地转化。结合建设用地所在海拔高度的平均值和标准差来看,2001—2014 年,建设用地整体持续向海拔高度较高

的区域扩展,所在高度也相对集中。

从建设用地所在地形起伏度的最大值来看(表 4),随着经济发展和技术水平的提高,所在起伏度也经历了增大尔后又降低的过程。结合建设用地所在起伏度的平均值和标准差来看,和海拔高度不同,起伏度的平均值基本保持不变;标准差相差不大,但保持逐渐减小,说明建设用地所在起伏度相对而言更加集中。

表 3 建设用地所在海拔高度特征 m

年份	最小值	最大值	平均值	标准差
2001	150	1246	289.53	88.95
2007	151	1349	293.32	85.44
2014	150	1029	296.66	75.33

表 4 建设用地所在地形起伏度特征

年份	最小值	最大值	平均值	标准差
2001	0	193	24.24	17.98
2007	1	231	24.02	17.31
2014	0	193	24.20	16.25

(2) 建设用地扩展与海拔高度。在 GIS 中对研究区的高程分区,分别统计 2001 年、2007 年和 2014 年的建设用地面积。

从每一高程区间建设用地的分布情况来看(图 2),主城区建设用地在每一高程区间内逐年增长,尤其是 2007—2014 年增幅较大。从每一年建设用地的分布情况看,主城区建设用地呈现偏态分布,主要分布在 1,2,3 区,分别占了全部建设用地面积的 75.3%,74%和 73.4%。可以看出,3 个年份建设用地面积在 1—3 区所占比重相差不大,说明主城区建设用地按照一定的速度和规律稳定地进行扩展。2001 年和 2007 年建设用地面积分布区间都是从 1 区增长到 2 区达到最高,然后逐渐下降。直到 2014 年建设用地面积分布区间从 1 区逐渐增长到 3 区达到最高,然后逐渐下降。说明随着年份的增加,主城区建设用地在低高程区的增长达到饱和状态,逐渐向高程较高的区域发展。

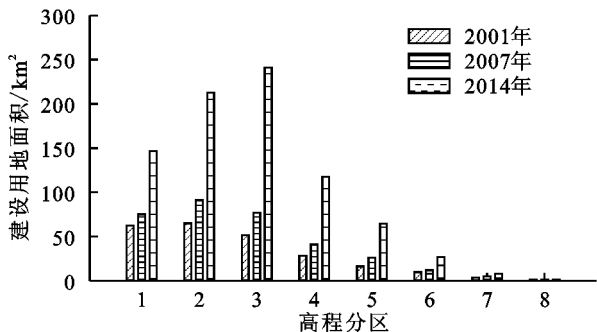


图 2 高程分区统计建设用地面积

在高程分区的基础上统计 2001 年和 2014 年主城区建设用地密度等级,并进行比较分析,详见图 3。

从图3来看,2001年主城区建设用地主要分布在高程1区、2区和3区。建设用地在每一个高程分区内密度分布较为均匀,在高程1—4区均是中密度等级建设用地最多,低密度等级次之,高密度等级最少;随着高程的增加,扩展难度加大,建设用地密度等级分布呈现不同的趋势,在高程5—8区低密度等级建设用地最多,中密度等级次之,高密度等级最少。

从2014年来看,主城区建设用地仍然主要分布在高程1—3区,但高程4区的比重有增加的趋势。建设用地整体分布和在每一高程区间内的分布出现极为明显的不均匀,高密度等级建设用地比重只有4.5%。在高程2—5区间内中密度等级建设用地最多,低密度等级次之,高密度等级最少;而在高程最低的1区和高程达到一定高度的6—8区内低密度等级的建设用地最多,中密度次之,高密度等级最少,高程

8区从图3可以看出几乎没有,说明在研究区内高程的最高点仍然有建设用地但排列极为稀疏。

结合重庆主城区的实际情况,2001—2014年重庆直辖以来,随着经济的飞速发展,建设用地急速扩展,经历了“扩展—饱和—扩展”的过程。建设用地呈现出由适宜性最强的低高程区慢慢向适宜性较强的较高高程区扩展的趋势。且随着建设用地的扩展,新建设用地的开发建设,出现了大面积的待建和新建建设用地,使得原有的高密度等级建设用地转化为中密度等级建设用地;或是由于整个建设用地面积的增加,基数增大,使得原有的高密度等级建设用地比重严重下降。

(3) 建设用地扩展与地形起伏度。在GIS中对研究区的起伏度分区,分别统计2001年、2007年和2014年的建设用地面积,得到如下结果。

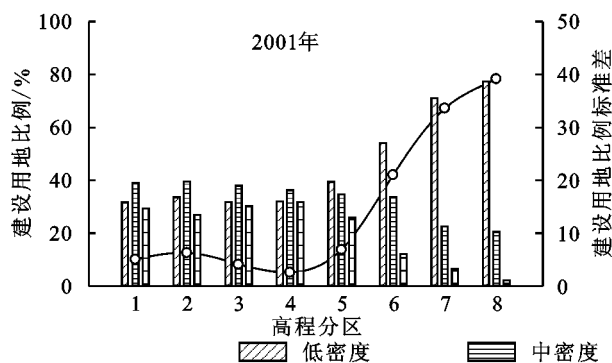
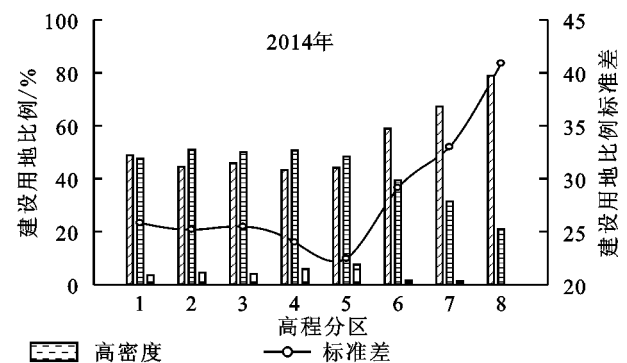


图3 2001年和高程分区统计建设用地密度等级比例及标准差

从每一年份建设用地分布情况来看(图4),年份增加建设用地随之逐渐增长,分散到每一区间仍然可以看出2007—2014年建设用地急剧增长的情况。从每一起伏度区间建设用地分布情况来看,起伏度1区间建设用地面积变化不大,重庆为典型山地城市,地势平坦的起伏度1区间开发较早,已经近乎饱和,总量变化不大。建设用地扩展程度最剧烈的是起伏度2区间、3区间和4区间,数量从2001年的205.36 km²增加2007年的285.69 km²以及2014年的717.77 km²,分别占总面积的86.4%,87.0%和87.7%,比重稍微有所增加但相差不大。这3个起伏度区间开发难度相对较低,在现有的技术水平和经济投入下这部分的土地转换为建设用地的可能性较大。其中绝对数量增加最多的是第2区间,主要分布渝北区和两江新区,也是主城区开发的重点区域。建设用地面积变化最小的是起伏度8区间、9区间和10区间,建设用地面积仅从2001年的2.67 km²增加到2014年的5.10 km²。从难易程度和开发的可行性方面来讲,这3个起伏度区间建设开发的可能性最小,所以变化最小。与高程分区不同,随着起伏度的增加,建设用地扩展规模和速度迅速减小,建设用地无法向起伏度



较大的区域大规模扩展。

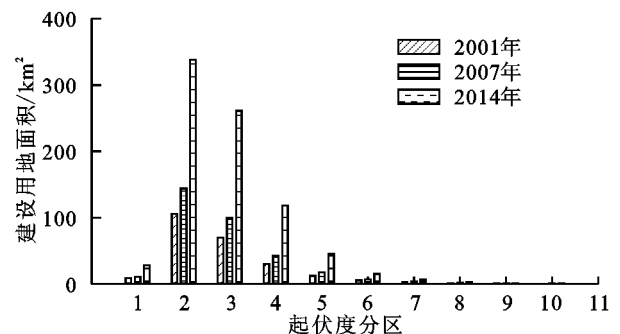


图4 起伏度分区统计建设用地面积

图5是在起伏度分区的基础上统计2001年和2014年主城区建设用地密度等级,并进行比较分析。从图5可以看出,主城区建设用地高密度等级在各个起伏度分区比例下降明显,说明随着城市的扩展,使得城市建设用地总量这一基数快速增加,同时低密度和中密度等级建设用地的用地数量增加更为显著;随着城市的发展,城市生态环境的变化,例如城市绿地的增加,树冠的生长以及旧建筑楼顶积水等,使得较早年份的高密度等级建设用地转化为非高密度等级,导致高密度等级建设用地的比例降低。

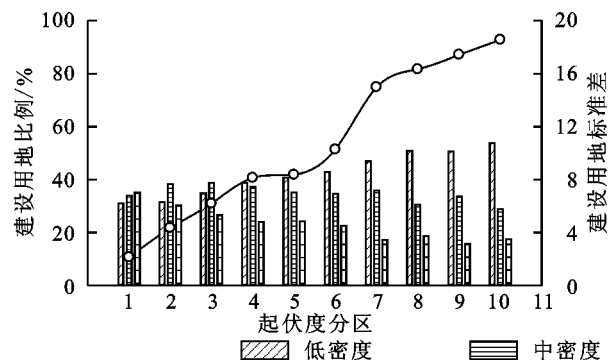
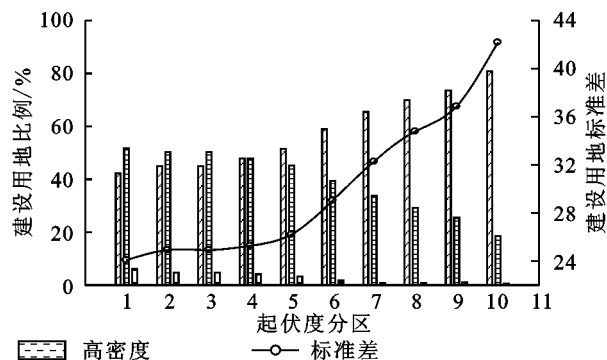


图5 2001年和2014年起伏度分区统计建设用地密度等级比例及标准差



4 结论

(1) 2001—2014年,随着经济发展、城市化建设的不断加强和技术水平的提高,在一定程度上打破了山地城市自然条件的限制,重庆市主城区建设用地跨越4大山脉快速扩展,经历了“扩展—饱和—扩展”的过程,建设用地在已有规模内达到饱和后进行外延式扩展。

(2) 建设用地在不同高程区间和起伏度区间下分布差异特征明显,随着开发技术水平的进步,建设用地有向高程较高的区域扩展的趋势;但无论技术如何进步,起伏度较大的区域建设用地数量增加不明显,说明建设用地无法大规模向起伏度较大的区域扩展。从不同年份建设用地在高程和起伏度各个区间所占比例来看,主城区建设用地按照一定的速度和规模稳定地进行扩展。

文章虽然采用改进的混合像元分解模型并且在此基础上反复试验提取城市建设用地范围,以期提高提取精度,但也会把城市化水平较高的区域内公园、公共绿地等误分为非建设用地,或是因遥感影像采集的季节不同,水体干涸后的滩涂等误分为建设用地,希望在以后的研究中继续改进。

参考文献:

- [1] 曹广忠,郜晓雯,刘涛.都市区与非都市区的城镇用地增长特征:以长三角地区为例[J].人文地理,2011,26(5):65-70.
- [2] 张心怡,刘敏,孟飞.基于RS和GIS的上海城建设用地扩展研究[J].长江流域资源与环境,2006,15(1):29-33.
- [3] 姚士谋.南京大都市空间演化与地域结构发展策略[J].地理学与国土研究,2001,17(3):7-11.
- [4] 陈江龙,高金龙,徐梦月,等.南京大都市区建设用地扩张特征与机理[J].地理研究,2014,33(3):427-438.
- [5] 薛东前,王传胜.无锡城市用地扩展的时空特征与趋势分析[J].资源科学,2003,25(1):9-14.

- [6] 马荣华,陈雯,陈小卉,等.常熟市城镇用地扩展分析[J].地理学报,2004,59(3):418-426.
- [7] 顾朝林.北京土地利用/覆盖变化机制研究[J].自然资源学报,1999,14(4):307-312.
- [8] 肖捷颖,葛京凤,沈彦俊,等.基于GIS的石家庄市城市土地利用扩展分析[J].地理研究,2003,22(6):789-798.
- [9] 林目轩,陈秧分,师迎春,等.大城市内部建设用地扩张差异及其原因:以长沙市区为例[J].经济地理,2006,26(5):836-841.
- [10] 黎夏,叶嘉安.利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程:以东莞市为例[J].地理研究,16(4):56-62.
- [11] 周翔,陈亮,象伟宁.苏锡常地区建设用地扩张过程的定量分析[J].应用生态学报,2014,25(5):1422-1430.
- [12] 廖和平,彭征,洪惠坤,等.重庆市直辖以来的城市空间扩展与机制[J].地理研究,2007,26(6):1137-1146.
- [13] 牟凤云,张增祥,谭文彬.基于遥感和GIS的重庆市近30年城市形态演化特征分析[J].云南地理环境研究,2008,20(5):1-5.
- [14] Ridd M K. Exploring a VIS (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities[J]. International Journal of Remote Sensing,1995,16(12):2165-2185.
- [15] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective[J]. Global and Planetary Change,2000,25(1):49-65.
- [16] Wu C, Murray A T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis[J]. Remote Sensing of Environment,2003,84(4):493-505.
- [17] 钱乐祥,崔海山.运用归一化光谱混合模型分析城市地表组成[J].国土资源遥感,2006,18(2):64-68.
- [18] 张伟,李爱农.基于DEM的中国地形起伏度适宜计算尺度研究[J].地理与地理信息科学,2012,28(4):8-12.
- [19] 李明杰,钱乐祥,陈健飞.非渗透表面丰度提取方法运用:以广州市海珠区为例[J].遥感信息,2011(2):36-40.