

# 重庆主城区建设用地的时空特征及驱动因子分析

嵇涛<sup>1,2</sup> 杨华<sup>1,2\*</sup> 何太蓉<sup>1,2</sup>

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047;

2. 重庆市高校地理信息系统应用研究实验室, 重庆 400047)

**【摘要】**:以多时相的遥感影像为基础,选用归一化裸露指数(NDBI)、重归一植被指数(RDVI)和改进的归一化水体指数(修改后的NDWI),通过阈值分割、掩膜处理提取建设用地信息,结合重庆主城区的社会经济数据,利用扩展速度指数、扩展强度指数、扩展弹性指数、紧凑度指数、建设用地扩展系数及扩展方向分析研究了不同阶段建设用地扩展的时空动态特征,并运用灰色关联分析,对建设用地扩展的驱动因子进行探讨。结果表明:1988-2011年重庆主城区建设用地扩展了393.32km<sup>2</sup>,扩展速度和扩展强度呈现增大的趋势;扩展弹性系数、建设用地扩展系数波动变化,反映了重庆主城区建设用地逐渐由粗放型向集约型转变;建设用地扩展的空间分析表明重庆主城区的城市形态由非紧凑型向紧凑型发展,同时扩展方向具有明显的分异性,主要向正北和西北方向扩展;人口增长,尤其是城市人口的增长是重庆主城区建设用地扩展最主要的驱动因子;经济发展、产业结构变化与建设用地的扩展也有明显的相关性。

**【关键词】**:建设用地;扩展;时空动态;驱动因子;重庆主城区

**【中图分类号】**:**【文献标识码】**:A**【文章编号】**:1004-8227(2014)01-0060-07

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201401009

改革开放以来,我国在城市化水平和城镇建设取得巨大成就的同时,土地利用方式也发生了急剧变化,尤其是城镇建设用地的空间扩展日益成为现在乃至将来几十年内土地利用变化的主要特征<sup>[1-2]</sup>。因此,城镇建设用地的扩展,不仅是衡量城市化水平的重要指标,而且也是土地利用/覆盖变化(LUCC)研究的重要内容<sup>[3]</sup>。由于RS与GIS技术拥有具体、迅速、定量地研究城镇建设用地扩展动态变化的优势<sup>[4]</sup>,推动了近些年来众多国内学者利用不同数据源的遥感影像对城镇建设用地扩展进行研究。但是已有研究主要集中在东部沿海发达地区如北京、上海、南京、杭州、厦门、苏州、济南等地大城市演变过程所表现的城镇建设用地扩展形态、扩展模式、扩展驱动力等方面进行系统研究<sup>[5-12]</sup>。

自西部大开发和重庆直辖以来,重庆作为西部大开发重要的增长极和长江上游的中心,城市化进程加快,建设用地扩展明显,建设用地、耕地保护和生态环境建设之间的矛盾日益突出,这给土地利用与规划管理提出了巨大的挑战。因此,建设用地时空动态变化成为重庆城市发展与生态环境建设的重要研究内容<sup>[13-15]</sup>。本文以重庆主城区为研究区域,通过多时相的遥感影像和社会经济数据,利用RS提取建设用地信息技术与GIS空间分析工具,计算城市扩展速度指数、扩展强度指数、扩展弹性指数、紧凑度指

**收稿日期**:2012-12-05;**修回日期**:2013-03-08

**基金项目**:国家自然科学基金面上项目(41271411);国家自然科学基金面上项目(40771135);重庆市科委软科学计划项(CSTC2011CX-rkxA0280)

**作者简介**:嵇涛(1988~),男,硕士研究生,主要从事资源环境遥感与GIS研究。E-mail:taoji\_scholar@126.com

\* **通讯作者**:E-mail:csyanghua@263.net

数、城市用地扩展系数、扩展方向等指标,对主城区建设用地扩展的时空分异特征及驱动力进行探讨,以期为重庆的发展和规划提供科学依据和决策支持。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

重庆主城区位于北纬  $29^{\circ} 19' - 29^{\circ} 57'$ , 东经  $106^{\circ} 14' - 106^{\circ} 53'$ , 行政区划上包括渝中区、沙坪坝区、江北区、九龙坡区、大渡口区、北碚区、南岸区、渝北区、巴南区 9 个区, 土地总面积约为  $5488.84\text{km}^2$ , 2011 年末常住总人口达到了 772.31 万人。研究区地处四川盆地东缘, 地貌上属于盆东平行岭谷区, 以山地、丘陵为主, 平地较少。本区属于中亚热带湿润季风气候, 年平均气温  $18^{\circ}\text{C}$  左右, 年均降水量为  $1000-1400\text{mm}$ 。区内主要河流有长江和嘉陵江。受自然条件和资源环境影响, 主城区坐落在长江和嘉陵江交汇处及其附近河谷地带, 介于缙云山与明月山之间(图 1)。

在重庆市三大经济圈中本区属于经济最发达的都市经济圈, 区内人口密集, 工业发达, 经济活动频繁, 是全市城镇体系的核心, 是国家级历史文化名城和重要的工业基地, 也是重庆市政治、文化和经济中心。

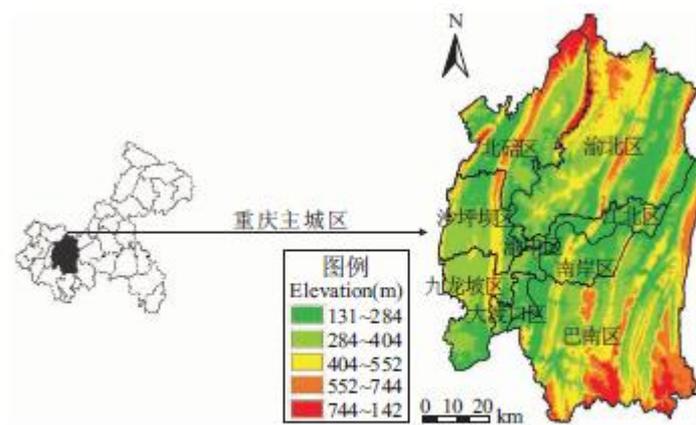


图 1 重庆主城区区位图

Fig. 1 Geographic Location Map of Metropolitan Area of Chongqing

### 1.2 数据源及其处理

本研究选取的数据包括:重庆市主城区 1988、1995、2000、2002、2007 和 2009 年 6 个时间点的 LandsatTM/ETM+影像, 研究区域 2000 年 1:5 万地形图, 2011 年重庆主城区城镇建设用地现状图, 以及同期各年份重庆市统计年鉴。文中所涉及到的数据, 均采用 UTM 投影和 WGS-84 坐标系, 以 ERDASIMAGINE 和 ARCGIS 为处理工具, 并借助 1:5 万地形图对不同相的遥感影像分别进行波段融合、几何校正、拼接配准、裁剪等数据预处理。

### 1.3 研究方法

#### (1) 城市建设用地信息提取方法

建设用地是一种复杂的土地利用类型,其电磁波反射光谱表现出明显的异质性。因此,很难用简单的方法将其从遥感影像中准确提取出来。城市建设用地的遥感信息提取通常采用人机交互的手工方式和影像分类提取技术,自动化程度不高,许多方法如果不做后续处理,精度无法满足要求。近年来,基于指数的建设用地提取技术相继提出<sup>[16-18]</sup>。杨晏立等<sup>[19]</sup>提出了将地物种类归并为建设用地、植被、水体3大类,分别选用归一化裸露指数(NDBI)、重归一植被指数(RDVI)和改进的归一化水体指数(修改后的NDWI)作为3种地类的指示因子,通过阈值分割、掩膜处理去除了非建设用地区域的噪音信息,得到比较准确的城镇建设用地专题信息,其提取精度达到了93.33%。因此,本文也采用这3个指数,通过ERDASIMAGINE遥感图像处理软件中的“ModelMaker”进行空间建模,并结合原遥感影像进行指数图像的目视判读及多次阈值尝试,最终确定合适的阈值;同时对2011年重庆市主城区建设用地现状图主要采用配准矢量化方法;建设用地扩展地块主要采用ARCGIS空间叠加分析获取。通过上述方法分别得到了1988、1995、2000、2002、2007、2009和2011年7个时间点的城镇建设用地地块信息(图2)。

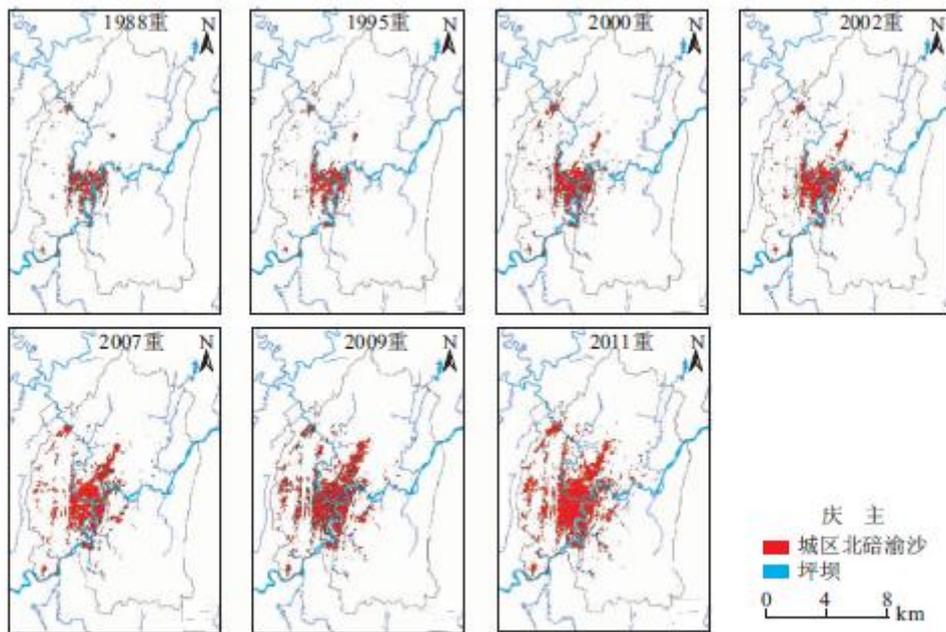


图2 1988~2011年重庆主城区建设用地空间范围变化图

Fig 2 Variation of Urban Construction Land in Metropolitan Area of Chongqing from 1988 to 2011

## (2) 建设用地扩展时间序列分析方法

为揭示城镇建设用地在时间序列的演变规律,采用扩展速度、扩展强度、扩展弹性指数及城市用地扩展系数分析重庆主城区建设用地在时间维的扩展演变过程。其中扩展速度指数(ESI<sub>i</sub>)表示城镇建设用地面积在研究时段内年均增长率,反映城镇用地扩展的速度和趋势;扩展强度指数(EII<sub>i</sub>)是用各空间单元的土地面积来对其年平均扩展速度进行标准化处理,使不同时期城镇用地扩展速度具有可比性;扩展弹性指数(EEI<sub>i</sub>)表示城镇建设用地扩展速度与经济增长之间的关系;城市扩展系数(K)表示城镇建设用地扩展速度与城市人口增长之间的关系。以上都能反映城镇建设用地集约利用变化趋势<sup>[20,21]</sup>。

$$ESI_i = \frac{A_t - A_0}{\Delta t \times A_0} \times 100\%$$

$$EII_i = \frac{A_t - A_0}{\Delta t \times S} \times 100\%$$

$$EEI_i = \frac{\Delta ESI_i}{\Delta E_i} \times 100\%$$

$$K = \frac{\Delta ESI_i}{\Delta P_i} \times 100\%$$

式中:  $A_0$  为研究起始年建设用地的面积;  $A_t$  为第  $t$  年建设用地面积;  $\Delta t$  为某一时段的时间跨度;  $S$  为研究区土地总面积;  $\Delta E_i$  为经济指标的年均增长率, 文中指二三产业增加值;  $K$  为城市用地扩展系数;  $P_i$  为城市人口年均增长速度。

### (3) 建设用地扩展空间序列分析方法

为揭示城市建设用地在空间序列的演变规律, 本文利用城市形态的紧凑度以及扩展方向分析重庆主城区建设用地在空间维的扩展特征。城市边界形态的紧凑度可以反映城市形态<sup>[22]</sup>, 其计算公式是:

$$c = 2 \times \sqrt{\pi A} / P$$

式中:  $c$  为城市形态的紧凑度;  $A$  为城市面积;  $P$  为城市轮廓周长。紧凑度值越大, 其形状越紧凑; 反之, 形状的紧凑性越差<sup>[23]</sup>。

在 ArcGIS10.0 的支持下, 以 1988 年重庆市渝中区李子坝 (29° 33' 8" N, 106° 32' 9" E) 建设用地重心坐标为原点, 以东西向为水平轴, 南北向为纵轴, 将研究区分为 8 个区位 (图 3), 进行空间扩展分析。

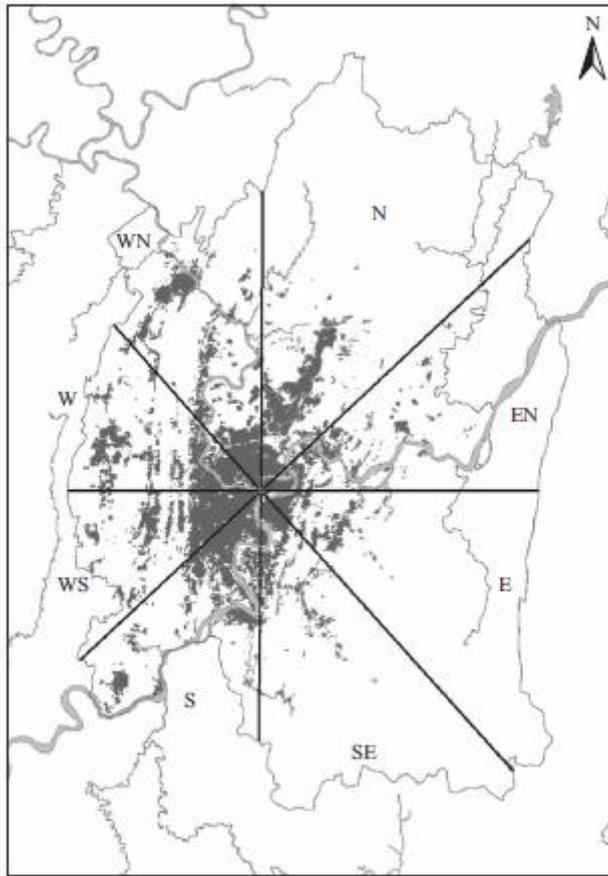


图3 重庆主城区建设用地扩展空间的方位分析图  
 Fig 3 Spatial Differentiation Diagram of Urban Construction Land Expansion in Metropolitan Area of Chongqing

#### (4) 建设用地扩展驱动因子分析方法

灰色关联分析是根据因素之间发展态势的相似或相异程度,来衡量因素之间的关联程度的一种系统分析方法<sup>[24]</sup>。参照相关文献的计算步骤,选取对建设用地扩展有重要影响的因子<sup>[21,25,26]</sup>,应用灰色关联分析得出这些因子的相对重要性。

## 2 重庆主城区建设用地扩展时空特征分析

### 2.1 建设用地扩展时间序列特征

根据影像解译结果,重庆主城区 1988 年城镇建设用地面积为 106.66km<sup>2</sup>,到 2011 年增长了近 6.7 倍,城镇建设用地占土地总面积的比重也由 1.94%上升到 9.11%。由此看出,重庆主城区建设用地扩展在时间序列上保持着快速增长的态势。

从各个时间段的建设用地扩展速度和强度分析(表 1),重庆主城区在 2002 年以后,城镇建设用地的扩展速度、扩展强度都在不断加快,这与国家实施西部大开发战略和重庆直辖有关。重庆作为西部重要增长极,城镇建设用地需求逐年增加;而在 1988-2002 年城镇建设用地的扩展速度和扩展强度经历了慢、快、慢的变化,1995-2000 年扩展速度及扩展强度比 1988-1995 年快,主要是重庆直辖以来社会经济得到快速发展的结果;由于实施退耕还林还草以及耕地保护政策,建设用地盲目扩张的势头得

到一定扼制,从而使 2000-2002 年扩展速度及扩展强度大幅减慢。

从表 1 各阶段扩展弹性指数波动变化可以看出,1988-1995 年建设用地扩展弹性指数为 0.1,用地比较集约;1995-2000 年建设用地扩展弹性指数明显增大;2000-2002 年建设用地扩展弹性指数又大幅下降;而在 2002 年后建设用地扩展弹性指数呈快速增长态势,尤其是 2009-2011 年,建设用地扩展弹性指数达到 1.8,说明重庆主城区建设用地扩展速度超过了经济增长速度,用地还处于由粗放型向集约过渡阶段。

根据 K 在国内的划分标准<sup>[27]</sup>可知,1988-2000 年城镇建设用地扩展严重不足,主要是因为这期间重庆经济发展缓慢,人口增长,尤其是城市人口增长缓慢,直接导致了建设用地需求不足;而 2000-2009 年城镇建设用地扩展系数由 1.14 增长到 5.19,城镇用地建设规模扩展过快,而且扩展速度越来越快,存在非理性圈地现象,主要原因是西部大开发的政策加快了重庆的城市化进程;2009-2011 年城镇用地扩展系数又下降到 1.14,表明建设用地规模扩张逐渐趋向于合理,并在未来的发展中,城镇用地扩展系数将更加接近 1.12。

2.2 建设用地扩展空间序列特征根据表 1 和图 4,重庆主城区建设用地空间扩展总体变化特征为:该区城市形态已经开始由非紧凑型向紧凑型过渡,同时方向分异性十分显著。

表 1 各年份及各时段重庆主城区建设用地扩展特征  
Tab. 1 Expansion Characteristics of Urban Construction Land in Metropolitan Area of Chongqing from 1988 to 2011

年份	紧凑度	时间段 (年份)	扩展速度 指数 (%)	扩展 强度 指数	扩展 弹性 指数	城市用地 扩展系数
1988 年	0.26	1988~1995	3.47	0.07	0.10	0.42
1995 年	0.31					
2000 年	0.25	1995~2000	10.99	0.21	0.97	0.20
2002 年	0.29	2000~2002	4.91	0.10	0.31	1.14
2007 年	0.28	2002~2007	15.98	0.31	0.86	2.09
2009 年	0.17	2007~2009	20.45	0.40	0.70	3.59
2011 年	0.26	2009~2011	34.38	0.67	1.80	1.14

由表 1 可知,1988-1995 年由于经济条件及自然条件的限制,城镇建设用地主要集中在两江交汇的河谷地带,城市形态偏紧凑;1995-2007 年紧凑度有所下降但变幅较小,基本维持在稳定状态,表明在国家一系列政策带动下经济快速发展、城镇建设用地需求增大,建设用地开始由河谷地带向外围扩展,并呈现不规则、不稳定性形态;而在各地纷纷“热衷”设立各类经济开发区的刺激下,2007-2009 年建设用地呈现出组团式分散扩展,城市形态严重偏离紧凑;2009-2011 年紧凑度大幅上升,说明主城区发展开始转为内部挖潜阶段,加强区域内部各组团之间的联系,提高土地的利用效率、优化土地利用结构并使城市建设逐渐摆脱盲目无序扩张,回归理性发展。由表 1 可知,1988-1995 年由于经济条件及自然条件的限制,城镇建设用地主要集中在两江交汇的河谷地带,城市形态偏紧凑;1995-2007 年紧凑度有所下降但变幅较小,基本维持在稳定状态,表明在国家一系列政策带动下经济快速发展、城镇建设用地需求增大,建设用地开始由河谷地带向外围扩展,并呈现不规则、不稳定性形态;而在各地纷纷“热衷”设立各类经济开发区的刺激下,2007-2009 年建设用地呈现出组团式分散扩展,城市形态严重偏离紧凑;2009-2011 年紧凑度大幅上升,说明主城区发展开始转为内部挖潜阶段,加强区域内部各组团之间的联系,提高土地的利用效率、优化土地利用结构并使城市建设逐渐摆脱盲目无序扩张,回归理性发展。

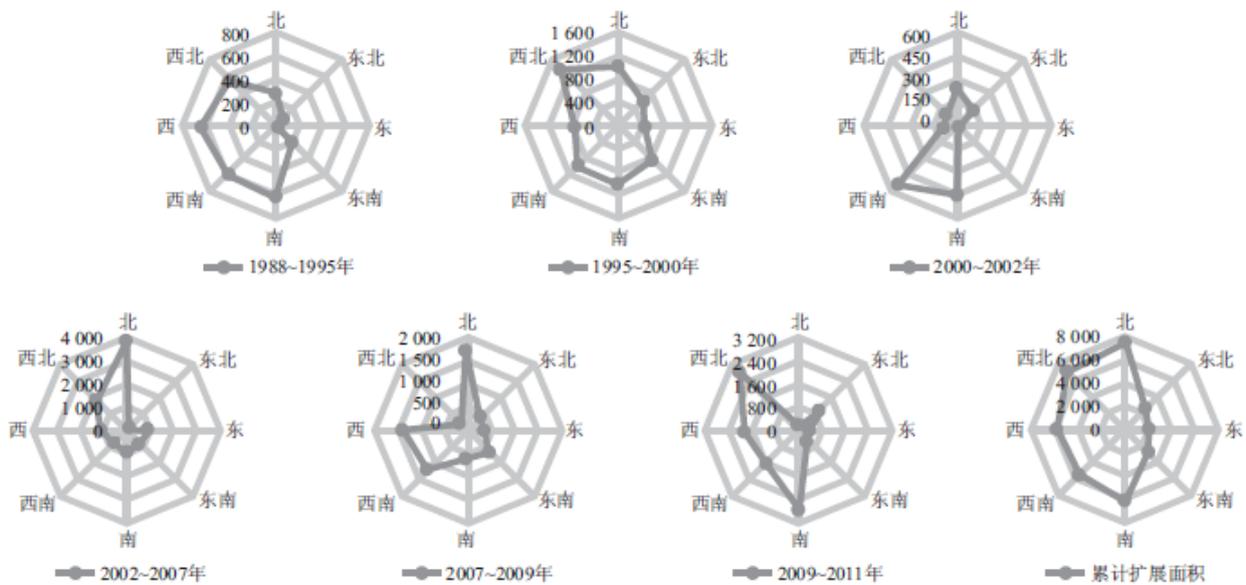


图 4 重庆主城区建设用地扩展空间分异分析

Fig. 4 Spatial Differentiations of Urban Construction Land Expansion in Metropolitan Area of Chongqing

从图 4 可以看出,重庆主城区建设用地在 6 个时间段的 8 个方向均有扩展,但扩展面积、扩展速度具有明显的差异性。1988-1995 年重庆主城区主要向正西和正南方向扩展,扩展速度较快,面积都增加了  $6\text{km}^2$  左右,其次是正北与东南方向,东北与正东方向扩展比较缓慢,尤其是正东方向,期间面积仅增加了  $0.9\text{km}^2$ ;20 世纪 90 年代后期(1995-2000 年)扩展方向主要在西北部,扩展面积增加高达 72%,其次为正西、正北和南部地区,虽扩展速度不一致,但面积增加都在 29%以上,而正东和东北部依然处于低速扩展阶段;21 世纪初期(2000-2002 年),扩展速度最快的是西南方向,扩展面积增加了 15%,其次为正南方向,而其它方向的扩展速度和扩展面积均增长缓慢;2002-2007 年和 2007-2009 年这两个阶段扩展最快的为正北方向,扩展面积分别增加了 171%和 28%,其次 2002-2007 年在西北方向面积扩展较快,面积增加了  $18.33\text{km}^2$ ,2007-2009 年则是在正西和西南方向面积扩展较快,面积分别增加了  $13.6\text{km}^2$ 、 $11.87\text{km}^2$ ,而其它方向扩展均较慢;2009-2011 年主要集中在正南和西北扩展,扩展面积分别增加了 45.67%、52.5%,其次是东北、西南、正西向,其扩展速度和扩展面积均较快,而其它方向发展相对滞后。由重庆主城区建设用地累计扩展面积来看,1988-2011 年这 24a 间,主要扩展方向是正北与西北方向,其次为正西、西南及正南方向,而东北、正东和东南部地区一直处于低速扩展的阶段。由此表明,重庆市主城区建设用地扩展具有非常明显的方位分异特征,其中地形是重要的影响因素。

### 3 重庆主城区建设用地扩展的驱动因子分析

城市化过程是动态的演化过程,作为城市化的典型表象——城市建设用地面积的不断扩张,是内力和外力共同作用的结果,具体包括:区域资源条件、地理环境、政策、社会经济、人口、文化和生产技术等因素。城市化驱动力是随着生产力的发展水平而不断变化的,对其研究视角也表现出多元化特征<sup>[28,29]</sup>。而重庆主城区建设用地扩展受到了包括自然、政策、经济、人口、城市规划等各种因素的影响。从自然角度看,由于自然条件的限制,重庆主城区建设用地主要集中在歌乐山与铜锣山之间的长江、嘉陵江沿岸,“组团”发展;从政策角度看,重庆直辖、西部大开发、三峡工程建设等政策的实施,使重庆的基础设施建设及社会经济得到了前所未有的发展,土地利用结构也发生了深刻的变化,尤其是建设用地面积大大增加;从城市规划角度来看,“一小时经济圈”建设、“一心四带”的产业布局、以“主城特大城市”为核心的现代城市群建设、城市轨道交通建设规划都极大刺激了建设用地的需求;从经济和人口角度来看,重庆经济快速发展和“户籍制度”改革使大量的农村人口转化为城镇人口,也直接推动了建设用地扩张。但这些驱动因子不是单独作用,而是共同影响着建设用地的扩展。因此,本文采用灰色关联分析重庆主城城镇建设用地的综合驱动力,但由于自然条件、政策、城市规划等因素难以量化,本研究试从经济、人口因素两方面分析,选取了总人口、城市人口、GDP、第一、二、三产业占 GDP 比重以及社会固定资产投资总额这 7 个因子。

依据灰色关联度原理及计算公式, 计算得到各因子与建设用地扩展的灰色关联度(表 2)

**表 2 重庆主城区建设用地面积与驱动因子的关联度**  
 Tab 2 Degree of Grey Incidences Between Urban  
 Construction Land and Driving Force Factor in  
 Metropolitan Area of Chongqing

驱动因子	总人口	城市人口	GDP	第一产业比重	第二产业比重	第三产业比重	社会固定资产投资
R(i)	0.7462	0.8239	0.7060	0.5246	0.6940	0.7412	0.6495
排序	2	1	4	7	5	3	6

如表 2 所示, 建设用地面积与影响因子之间的灰色关联度都大于 0.5, 表明它们之间关联程度明显; 人口因素与建设用地扩张的关联度最大, 尤其是城市人口, 与建设用地的关联度达到了 0.8 以上, 说明城市人口增加对建设用地的扩展作用最为显著; 第三产业比重对建设用地的影响大于 GDP 和第二产业比重, 这与第三产业主要集中在主城区, 土地利用集约度较高以及在国民经济中的比重逐年上升有关; 而建设用地扩展与社会固定资产投资以及第一产业比重的关联度最小, 说明目前重庆主城区建设用地的扩展主要还是以城市人口增加促进用地需求为主, 这与重庆主城实际发展情况基本一致; 同时随着未来重庆主城区产业结构优化升级, 二三产业对建设用地的影响将越来越大。

## 4 结论与讨论

(1) 基于对多时相重庆主城区建设用地在时间序列扩展信息定量分析表明建设用地扩展明显, 但也呈现出明显的阶段性。24a 间重庆主城区建设用地面积由 1988 年的 106.66km<sup>2</sup> 增长到 2011 年的 499.98km<sup>2</sup>, 扩展了近 6.7 倍。1988-1995 年, 重庆主城区受自然和经济条件的制约, 发展处于低速阶段, 1995 年以后(除 2000-2002 年)得益于国家一系列的政策, 重庆主城呈现出快速发展状态, 建设用地需求不断增加; 同时建设用地扩展弹性指数以及扩展系数波动变化也表明重庆主城建设用地扩展具有明显的阶段性, 建设用地逐渐由盲目无序扩张向理性发展, 土地利用也逐渐由粗放型向集约型转变;

(2) 通过对重庆主城区建设用地空间扩展分析

得出, 城市形态开始由非紧凑型向紧凑型过渡, 同时主城建设用地扩展具有明显的方向性, 主要向正北与西北方向扩展, 其次是正西、西南及正南方向, 而东北、正东和东南部地区一直处于低速扩展的阶段;

(3) 重庆主城区建设用地扩展受到包括自然、政策、经济、人口、城市规划等各种因素综合影响。本文主要选取经济和人口因素与建设用地面积进行灰色关联分析, 从而得出这些因子对建设用地扩展的影响程度。关联度大小排序为: 城市人口>总人口>第三产业比重>GDP>第二产业比重>社会固定资产投资>第一产业比重, 表明人口增长, 尤其是城市人口的增长是重庆主城区建设用地扩展最主要的驱动因子, 而经济增长和产业结构变化也是重庆主城区建设用地扩展的重要驱动因子。

### 参考文献:

- [1] 张国平, 刘纪远, 张增祥. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 323-332.  
 [2] 方创琳. 改革开放 30 年来中国的城市化与城市发展[J]. 经济地理, 2009, 29(1): 19-25.

- 
- [3] 许彦曦, 陈凤, 濮励杰. 城市空间扩展与城市土地利用扩展的研究进展[J]. 经济地理, 2007, 27(2):296-295.
- [4] 田光进. 基于遥感与 GIS 的中国城镇用地扩展特征[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4):505-508.
- [5] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报, 2000, 55(4):407-416.
- [6] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4):412-427.
- [7] 陈本清, 徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析—以厦门市为例[J]. 经济地理, 2005, 25(1):7-14.
- [8] 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):685-693.
- [9] 李加栋, 许继琴, 李伟. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析[J]. 地理学报, 2007, 62(4):437-447.
- [10] 曹雪, 柯长青, 冉江. 基于 GIS 技术的城市用地扩展研究——以南京市江宁区为例[J]. 资源科学, 2008, 30(30):385-391.
- [11] 康红刚, 孙希华. 基于 RS 和 GIS 的城市扩展及驱动机制研究——以济南市为例[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(3):135-141.
- [12] 姚士谋, 陈爽, 吴建楠, 等. 中国大城市用地空间扩展若干规律的探索——以苏州市为例[J]. 地理科学, 2009, 29(1):15-23.
- [13] 黄季, 朱莉芬, 邓祥征. 中国建设用地扩张的区域差异及其影响因素[J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(9):1235-1241.
- [14] 谈明洪, 李秀斌, 吕昌河. 20 世纪 90 年代中国大中城市建设用地扩张及其对耕地的占用[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(12):1157-1165.
- [15] 何书金, 王秀红, 邓祥征. 中国西部典型地区土地利用变化对比分析[J]. 地理研究, 2006, 25(1):79-86.
- [16] ZHA Y, GAO J, NI S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3):583-594.
- [17] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(2):223-229.
- [18] XU H Q. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14):4269-4276.
- [19] 杨晏立, 唐尧, 何政伟, 等. 基于指数图像的城镇建设用地信息识别与提取——以岳阳市为例[J]. 测绘科学, 2011, 36(4):208-210.
- [20] 段学军, 卢雨田, 李慧, 等. 南通市城镇建设用地扩展时空特征分析及模拟[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2):106-110.

- 
- [21] 王宏志, 宋明洁, 李仁东, 等. 江汉平原建设用地扩张的时空特征与驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(4):416-420.
- [22] 郭腾云, 董冠鹏. 基于 GIS 和 DEA 的特大城市空间紧凑度与城市效率分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4):482-489.
- [23] 蔡博峰, 张增祥, 刘斌, 等. 基于遥感和 GIS 的天津城市空间形态变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2007, 9(5):89-93.
- [24] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2008:45-52.
- [25] 王海鸿, 常艳妮, 杜荃深, 等. 甘肃省八年来建设用地利用结构信息熵的时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8):1-6.
- [26] 段祖亮, 张小雷, 雷军, 等. 新疆建设用地变化及驱动力研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1):193-197.
- [27] 朱英明, 姚士谋, 李玉见, 等. 我国城市进程中的城市空间演化研究[J]. 地理学与国土研究, 2000, 16(2):12-16.
- [28] 方创琳, 鲍超, 乔标, 等. 城市化过程与生态环境效应[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [29] 龚建周, 夏北成. 城市景观生态学与生态安全[M]. 北京:科学出版社, 2008.