

基于 RS 和 GIS 的城市扩展及驱动力研究

——以西安市为例

冯晓刚^{1,3}, 李 锐², 莫宏伟¹

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要:以 RS 和 GIS 技术为支撑, 基于多时相 Landsat 遥感数据, 采用监督分类、非监督分类和归一化裸露指数(NDBI)等方法提取陕西省西安市城市空间特征信息, 结合地学统计方法, 定量研究了城市扩张强度、紧凑度等指标。结果表明: 西安市城区 1988~2002 年 14 a 间面积翻了 1.6 倍, 年平均增长率为 8.815%; 城区扩展空间主要集中在南北方向; 在此基础上, 以影响城市扩张视角多元化为出发点, 通过分析社会经济因子、人口因子、政策导向性因子和基本建设投资等因子对城区扩张的影响, 政策导向性的前提下社会经济(GDP)和人口增长是其核心影响因素。

关 键 词:城市扩张; NDBI; 扩张强度; 紧凑度; 驱动力; 西安市

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2010)02-0202-07

1 引 言

西部大开发战略的实施, 使得西部地区的政治、经济和文化实现跨越式发展的同时, 也加大了城市化进程的步伐, 而城市化进程快速发展的一个显著标志是城市空间的迅速扩张。城市空间的迅速扩张往往伴随着城市周边地区土地利用的急剧变化^[1], 并深刻影响着城市周边的生态环境及生态安全。因此, 对城市空间扩张进行必要的动态监测, 分析城市扩张背后的驱动力机制, 对指导城市宏观规划, 保护生态环境及其安全^[2], 控制可耕地资源的锐减有着非常重要的现实意义。

不同时相的多源遥感数据提供的城区信息, 已经成为研究城市动态变化监测的重要手段^[3], 与传统的监测手段相比更实时、高效。自 1972 年美国发射首颗地球资源卫星 ERST-1(后更名为 Landsat-1)以来, 国内外许多学者应用多源遥感数据对城市土地利用、城市扩展以及扩张引发的生态环境及其安全作了诸多研究。Harris 和 Skillcorn^[4]利用

SPOT 影像对澳大利亚南部的城乡结合带作了详尽的土地利用分类研究, 以揭示城市对城郊土地利用的影响; Hakan^[5]利用 IKONOS 和 QuickBird 影像对土耳其的卡赫拉曼马拉什及其周边地区作了城市扩张及其土地适宜性评价。在国内, 胡德勇^[1]等基于多时相的 Landsat 数据对长沙市进行了城市扩张及其驱动力分析研究; 方创琳^[6]等以西陇海兰新经济带为例进行了西北干旱区城市扩张与变动趋势分析研究; 孙善磊^[3]等利用 Landsat 数据应用决策树方法对环杭州湾地区城市扩展进行了动态变化监测研究; 王良健^[7]等利用 BP 神经网络结合小波处理研究了其在城市扩张预测中的应用。综上所述, 城市扩张的遥感动态变化监测方法通常概括为两类: 一是建立在光谱分类基础上的分类后比较法; 二是建立在像元光谱变化直接比较基础上的方法^[1,8]。前者通过获取土地利用类型分布图, 将分类结果进行叠加和比较, 最终得到变化结果; 后者需要多时相遥感源进行高精度配准, 利用像元光谱变化检测, 最终分离出城市动态变化区域。相比而言, 后者对数据

源的要求较高且数据获取难度较大。

本文以西安市城区扩展作为研究对象,充分应用多时相 Landsat 遥感数据的优点,采用监督分类、非监督分类和归一化裸露指数(NDBI)^[1-3] 3 种方法分别提取西安市 1988 年、2000 年和 2002 年 3 个时相的城市边界信息,在此基础上结合社会经济相关统计数据,计算城市扩张强度及其紧凑度,最终对西安市城区 14 a 发展扩张的态势及其驱动力机制进行剖析。

2 数据源与研究方法

2.1 西安市概况

西安是中国西北地区的商贸中心和交通通讯枢纽,全国旅游热点城市,重要的加工工业基地。地处西北部关中盆地中部秦岭北麓,地跨渭河南北两岸。位于 33°39′~34°45′N,107°40′~109°49′E 之间。南北最大纵距 100 km,东西最大横距 204 km,辖区包括 9 区 4 县,总面积 9 983 km²,其中市区面积 1 066 km²,城市建城区面积为 375 km²(2008 年)。常住人口 870 万人,其中城镇人口 579 余万,市区人口 516.3 万人。属暖温带半湿润季风气候,平均海拔高 424 m,1 月份平均气温 0.4℃,7 月份平均气温 26.6℃,年平均气温 13.3℃。年平均降水量 613.7 mm,年平均湿度 69.6%^[8]。

2.2 数据来源

本文使用的 3 个时相的美国陆地卫星影像,成像时间分别为 1988 年 8 月 23 日的 TM 影像,2000 年 5 月 4 日 ETM+ 影像和 2002 年 6 月 3 日 ETM+ 影像,轨道号均为 p137r36,影像分辨率均为 30 m(热红外波段除外)。辅助数据包括西安地区 1:5 万地形图、1989 年 1:55 万土地利用图、1989 年 1:65 000 城市扩展图及建国以后西安行政区变化图^[9]、30 m 分辨率的 DEM 数据及社会经济和人口等相关统计数据^[10]。

2.3 研究技术路线

本文以西安市城区为例,基于多时相 TM、ETM+ 数据,结合 1:5 万地形图,确定各个时相城市建成区面积,辅助 GIS 等相关技术^[11,12],得到不同时期的城市用地范围。为了定量地研究西安市城区空间扩张动态变化强度,本文引入了城市扩张强度和紧凑度等定量指标。在此基础上,结合城市经济及人口等相关统计数据与城市发展过程,对城市扩展趋势及其驱动力进行探索分析,确定影响城市扩展的关键因子。本研究主要使用 ERDAS 9.2、

ENVI 4.5、ArcGIS 9.0、ArcView 3.2 等软件,采用如图 1 所示的研究技术路线。

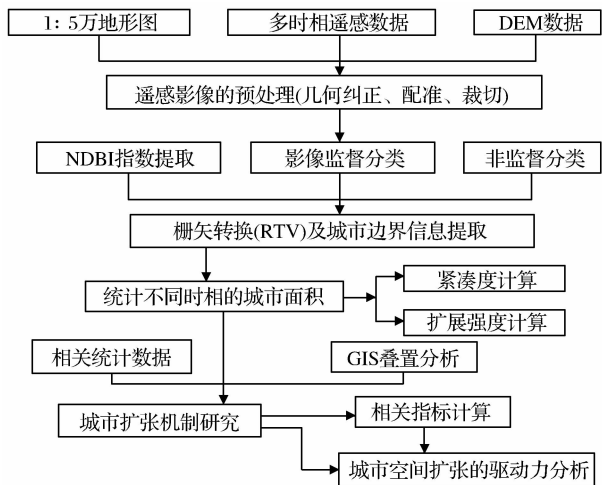


图 1 基于 RS 和 GIS 的城市扩展研究技术路线图

Fig. 1 The technology of the reasearch on the urabn expansion based on RS and GIS

3 城市化信息的提取

3.1 评价指标

3.1.1 城市扩张强度指标^[13,14]

计算城市扩张强度,比较不同时期城市扩张强弱和快慢变化,用以研究西安市扩张规模特征。本文利用城市年均增加面积与基年面积之比用以表示城市的扩张强度。

$$AGR = \frac{UA_{n+i} - UA_i}{UA_i} \times 100\%$$

其中:AGR 代表城市年均扩张强度,UA_{n+i} 和 UA_i 分别代表第 n+i 年和第 i 年城市面积,n 是以年为单位。

3.1.2 紧凑度指标^[13,15]

本文引入紧凑度指标 $c = 2\sqrt{\pi A}/P$,用以研究西安城市空间扩张形态变化特征。式中:c 代表城市紧凑度指标,A 为建成区面积,P 表示建成区轮廓的周长。

3.2 非监督分类法

由于本文的目标是获取西安市城区边界信息,采用非监督分类,结合不同地物光谱曲线,采用人机交互的目视解释办法,确定城市边界信息,对城市内部的各类型用地,通过滤波整体合并等方法,将城市内部的非城镇用地归类到城镇用地,将城市外部的城镇类归类到非城镇用地。在此基础上提取 1988 年西安市市区边界线,如图 2 所示。

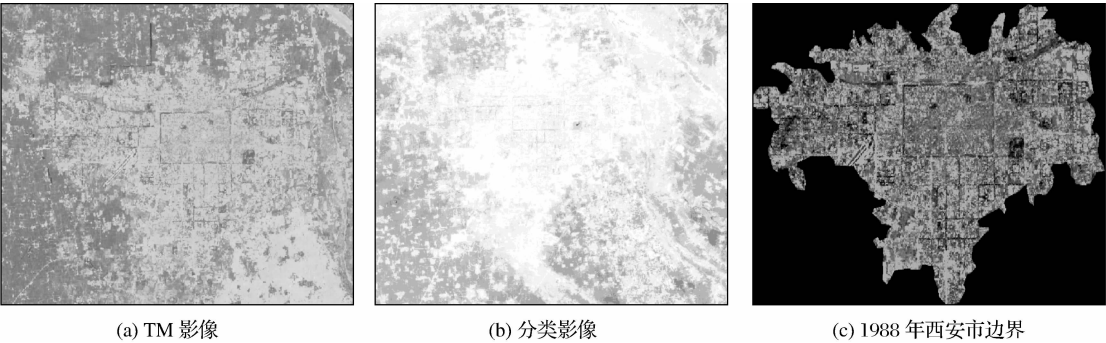


图 2 基于非监督分类方法获取的 1988 年西安市边界图

Fig. 2 The boundary of the Xi'an city in 1988 with non-supervised classification based on TM

3.3 NDBI 指数提取

NDBI 指数是反映地表裸露程度的一个指数,它是 NDVI 指数的一个应用^[2,16]。从地物波谱特性来看,Landsat ETM/TM4 是近红外波段,主要反映的是植被信息,因此对于植被监测具有较高的灵敏度,对于裸露区或者居民区用地来说反射率较低;ETM/TM5 属短波红外线波段,反映的是地物水分

含量信息,含水量高的如森林等反射率低,对于含水量低的如居民地、裸露地等反射率高。诸多研究表明:(TM5-TM4)与(TM5+TM4)的比值,设置合适的阈值,可以较好地提取地表覆盖信息^[2,17],因此,在提取 NDBI 的基础上,经二值化和矢量化处理,可以较好地提取 2000 年西安市城区边界信息,如图 3 所示。

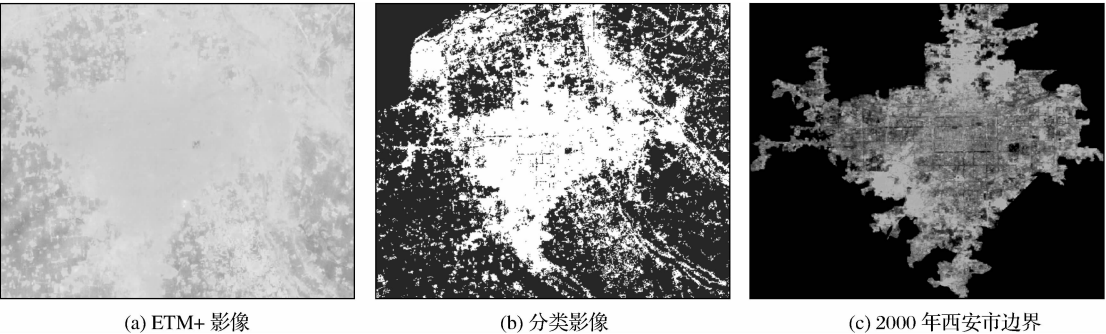


图 3 基于 NDBI 指数提取的 2000 年西安市边界图

Fig. 3 The boundary of the Xi'an city in 2000 derived from NDBI

3.4 监督分类法

图像经过预处理等,采用监督分类法,将西安市土地利用类型分为林地、草地、城镇用地、耕地、水域和裸地等 6 种类型。2002 年影像监督分类的 Kap-

pa 系数为 0.86。由于城镇内部多种土地利用类型并存,为了获得城市边界信息,对城镇内部不同形式的土地利用通过滤波合并最终获得西安市 2002 年边界信息,如图 4 所示。

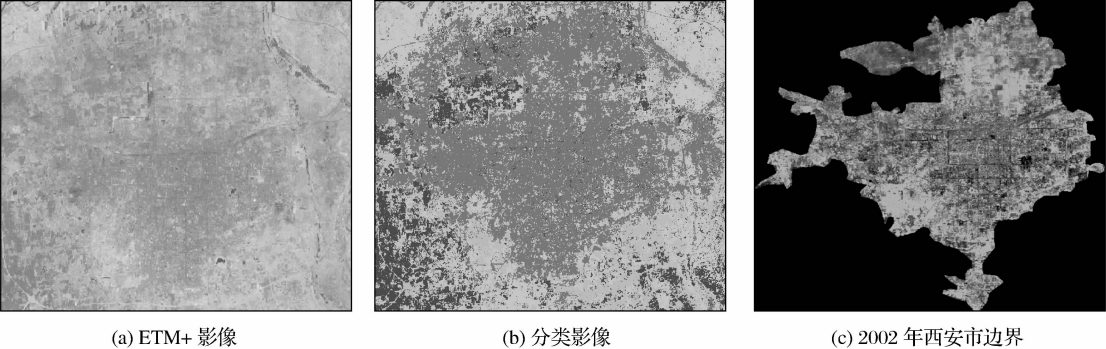


图 4 基于监督分类方法获取的 2002 年西安市边界图

Fig. 4 The boundary of the Xi'an city in 2002 with supervised classification based on ETM+

3.5 对比分析

本文提取西安市城区边界信息时分别采用了非监督分类、NDBI 及监督分类 3 种方法。非监督分类采用了最大似然法,在提取边界信息而忽略内部地物信息时具有通用性;NDBI 又称归一化裸露指数,由于它对影像的时相要求较高,2000 年影像成像时西安周边地区作物未进行收割,所以能较好地提取城区边界信息,同样的方法应用于 2002 年影像效果则不好,理由是 2002 年影像成像时间为 6 月份,西安城区周边作物均已收割,归一化裸露指数不能较好地分城区和非城区。基于此,本文试验了基于监督分类的方法提取 2002 年西安市边界信息,试验证明监督分类法能够很好地提取出城市边界信息。为了验证本文提取边界信息的精度,沿周边随机采样 50 个点进行精度检验,并辅助 1988 年、2000 年和 2002 年西安市地图,得出基于上述 3 种方法所提取的 3 期城区边界精度分别为:73.17%、80.72%、82.59%。

综上所述,通过 3 期影像解译可以得出结论:非监督分类、NDBI 和监督分类 3 种方法在提取城区边界信息时是可行的,且各具优势。但 NDBI 方法对影像时相要求较高,相比较非监督分类和监督分类则无时相限制且结果可信。为进一步提高试验精度以期达到实用的程度,可以考虑将 TM/ETM+ 与高空间分辨率的 SPOT、QuickBrid 等融合从而提高空间解译精度。

4 西安市空间动态扩张趋势

4.1 空间扩张的数量特征

利用 3 个时相的边界图分别对城区面积(本文所指的城区面积比建成区面积要大)进行统计,并计算城市扩张强度。经统计计算求得西安市 1988 年、2000 年和 2002 年建成区面积分别为:104.13 km²、243.65 km²、274.82 km²。1988 到 2000 年 12 年间城市扩张面积为 133.99 km² 是 1988 年面积 1.6 倍,2000 年到 2002 年两年间面积扩展 31.17 km²。其城市扩张强度相关指标计算如表 1 所示。

4.2 空间扩张的空间分异特征

本文以 1988 年西安市建成区作为参考,分析其它时期的城区扩张的空间分异特征及主导方向,从图 5 可以看出,1988~2000 年 12 a 间城区扩张主要集中在南北方向,西部次之,东部最慢。这是因为 12 a 间是西安经济快速增长期,经济迅速增长的同时伴随着用地规模的不断扩大,南边长安县快速发

展并与碑林连成一片;向北未央区的强力开发与建设使得 12 a 间西安市城区边界在这个方向扩张异常明显。同时,由图 5 可以看出西偏北方向发展变化突出,理由是这个方向邻接咸阳,双方经济贸易往来频繁,使得这个方向的扩张较为突出。东接泾河和灞河,成为这个方向上城区扩张的限制性因子。

表 1 各年份城市面积及扩张百分比

Table 1 The city area and expansion rate

年份	1988	2000	2002
城市面积/km ²	104.13	243.65	274.82
比 1988 年扩张面积/km ²	—	139.52	170.69
比 1988 年扩张百分比/%	—	133.99	163.92
比上基准年扩张百分比/%		133.99	12.79
城市年扩张速率/%	11.17	6.46	

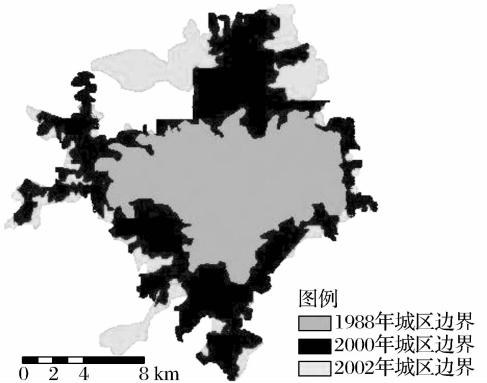


图 5 1988、2000 和 2002 年 3 期城区边界空间叠置图

Fig. 5 The terrace of the city boundary in 1988、2000 and 2002

2000~2002 年 2 a 内,西安市的城市扩张主要集中在西南方向和北部。东西部扩张缓慢,究其原因 2000 年后南偏西方向的西安高新技术开发区和北部的经济技术开发区的建设及其配套的基础设施建设使得城市化扩张在这两个方向突出。

4.3 空间扩张的趋势特征

本文引入紧凑度指标,分别计算 1988 年、2000 年和 2002 年西安市紧凑度指标为 C₁₉₈₈=0.45, C₂₀₀₀=0.086, C₂₀₀₂=0.52。由此可以看出,西安市 1988 年到 2002 年 14 a 间紧凑度指标变化经历了由大到小,再由小到大的过程,紧凑度指标的变化表明了:西安市由 1988 年的城市紧凑度好,经过长达 12 a 的发展逐步向紧凑度较差的方向发展,2000 年后,由于城北未央区的强力发展,南边长安区的扩张与西南方向的高新技术产业开发区、曲江旅游开发区及东郊的泾霸开发区的建设使得西安市城市空

间紧凑度指数好转,城市空间扩张趋势呈现良性。

城市空间扩张的本质是城市土地利用空间模式的扩张,刘盛和通过大量的具体案例研究,归纳出城市土地利用的空间扩张可能呈轴向增长、同心圆式增长、扇形扩张及多核增长等多种形态,并普遍认为“圆形城市”是城市形态和增长的理想模型。结合西安市经济、政治发展,西安市在“西咸一体化”及“渭北经济技术开发区”等相关背景下,城市未来主要向西南、东北方向发展,最终形成布局形态为九宫格局、棋盘路网、轴线突出、一城多心的主中心和多个副中心并存的大都市格局。

5 城市扩张的驱动力机制分析

城市化过程是动态的演化过程,作为城市化的典型表象——城市用地面积的不断扩张,是内营力和外营力共同作用的结果,具体包括:区域资源条件、地理环境、政策、社会经济、人口、文化和生产技术与环境变化等因素^[18]。城市化驱动力是随着生产力的发展水平而不断变化的^[19],对其研究视角也表现出多元化特征^[18]。本文在参考相关文献的基础上总结出西安市城区扩张的主要影响因子,分别对社会经济因子、人口增长因子、政策导向性因子及基本建设投资因子等做以剖析。

5.1 社会经济因子

统计西安市 1988~2002 年 14 a 间的国内生产总值(图 6)(数据来源:《西安统计年鉴 2007》^[10])可以看出 14 a 来,国内生产总值从 99.22 亿元增加到 826.68 亿元,增长幅度是 733.2%。第一、二、三产业各自的增长分别是 1988 年的 4 倍、7 倍和 10 倍,第一产业增幅较小,特别是从 20 世纪 90 年代中期开始,第二、三产业迅速发展是西安市国内生产总值迅猛增加的主要原因(图 6:1988~2002 年西安市生产总值统计图)。与此同时,人均 GDP 也由 1988 年的 1 711(元/人)增长到(11 831元/人),14a 间增幅

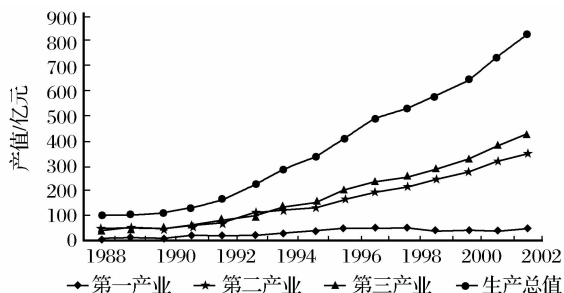


图 6 1988~2002 年西安市生产总值统计图

Fig. 6 The statistical chart of the Xi'an productivity from 1988 to 2002

达 591.5%，人均年工资水平由 1988 年的 1 445(元/人)增加到 2002 年的 9 876(元/人),14 a 间人均年工资水平增幅为 583.5%。由此可以看出,人均 GDP 增长与人均年工资水平增长呈明显的强线性相关。伴随西安经济突飞猛进发展的同时是城市化进程步伐的加快和各种工业结构的调整、整合及其产业化从而加速了城市居住、交通、仓储、工业等用地不断向外扩张。

5.2 人口因子

西安市特殊的地理位置及其适宜的人居环境使得西安市城区人口逐年增加,从 1988 年的 585.85 万人增加到 2002 年的 702.59 万人(数据来源:《西安统计年鉴 2007》^[10]),统计 1988~2002 年 14 a 间的西安市总人口、市区人口与非农人口(图 7)三者的增幅分别为 19.9%、87.7%和 38.3%。可以看出市区人口增幅最大,非农人口增幅次之,究其原因第二、三产业飞速发展的所引发的人口急剧膨胀,人口数量剧增的同时又导致住房、工业占地等用地面积的不断增加,致使城市不断向周边的郊区扩张,使得城区边界不断扩大。

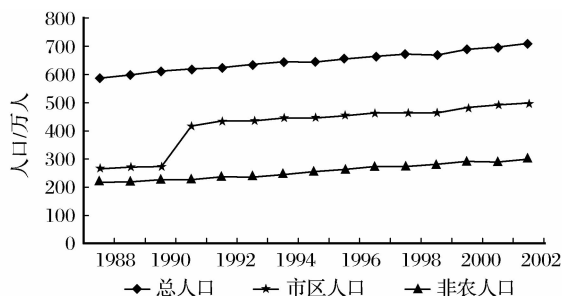


图 7 1988~2002 年西安市人口统计图

Fig. 7 The statistical chart of the population in Xi'an city from 1988 to 2002

5.3 政策导向性因子

城市不断扩张背后的一个主要驱动因子是宏观政策的导向性。自 1999 年中共十五届四中全会通过的《中共中央关于国有企业改革和发展若干重大问题的决定》中明确提出:国家要实施西部大开发战略以来,西安市周边地区的扩张速度明显加快,仅 2000~2002 年 2 a 间城市面积扩张 31.17 km²,扩展速度为年均 12.79%;其次,自 1991 年开建的西安高新区和 1993 年 9 月开建的西安经济技术开发区等的建设使得西安成为西部领先的制造业基地和出口加工基地的同时,大面积厂房、城市路网和绿化等配套设施的建设使得城市周边地区用地急剧扩张。且 2006 年确定西安市政府北迁、泾渭工业园建设、草

滩生态产业园建设、陕西西安出口加工区建设等项目的实施,将进一步加剧西安市城区的扩张态势。

5.4 基本建设投资因子

经统计1988~2002年14a间西安市基本建设投资从15.1亿元增加到124.9亿元,增幅为1988年的8.3倍,其中用于市政公共设施建设的费用比例不断增高,由1988年的8.54%增加到了2002年的30.1%。同时,西安市在高速发展经济的同时城市交通路网也日趋完善,特别是西宝高速已经成为整个关中的交通主轴线,西汉高速使得陕川的距离大大缩短,绕城高速在缩短加速城市连接的同时,使得城市面积持续扩展。

本文利用社会经济指标GDP、市区人口和基本建设投资3个指标进行相关分析,利用SPSS17.0进行典型相关性分析得出建成区面积与人口总数和GDP均呈典型的显著性相关,其相关系数为0.986和0.988。基于上述分析可以得出结论,西安市城市扩张的主要驱动力是社会经济(GDP)的增长及城市人口数量的增加。

6 结 语

本文基于1988、2000和2002年3期LandsatTM/ETM+数据运用非监督分类、监督分类和归一化裸露指数,辅助城市扩张强度和紧凑度指标对西安市城区14a空间扩张数量、分布和趋势作了详细论述,并深入剖析了西安市城区不断扩张的影响因子,最后得出以下结论:

(1) 1988~2002年14a间西安市城区面积扩张了1.6倍,究其原因是20世纪90年代初房地产业的兴起及城市周边各经济技术实体开发建设引起的。

(2) 西安市14a间的扩张空间分布主要集中在南北方向,东西方向扩张缓慢,原因是南部西部大学城建设,北部未央区经济快速发展及政府核心的北迁计划等因素造成,西南方向的突出表现是由西高新技术产业开发区的建设引起的。

(3) 通过引入城市紧凑度指标,经计算对比发现,西安市紧凑度经历了1988~2000年的松散化后,又趋向紧凑程度良好方向,原因是城市双核化和众多经济实体的建设、发展和扩张用地造成的。

(4) 从城市化影响因子的多元化出发,着重分析了影响西安市不断扩张变化的影响因子——社会经济因子、人口因子、政策导向性因子和基本建设投资因子。得出影响西安市城区不断扩张的关键因素

是在政策导向性的前提下社会经济(GDP)增长和人口数量增加是其核心影响因子的结论。

本文基于TM/ETM+数据,采用非监督分类、NDBI和监督分类方法试验了西安市城区扩展动态变化研究取得了较好的效果。下一步就TM/ETM+与高空间分辨率影像融合提高城区空间解译精度的同时,探索具有通用性的城区信息获取方法也有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Hu Deyong, Li Jing. An Analysis of Urban Expansion and Its Dynamics Based on Multi-temporal Landsat Data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2006, 4: 46-49. [胡德勇, 李京. 基于多时相Landsat数据的城市扩展及其驱动力分析[J]. 国土资源遥感, 2006, 4: 46-49.]
- [2] Wu Hong'an, Jiang Jianjun. Dynamics of Urban Expansion in Xi'an City Using Landsat TM/ETM+ Data[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 143-150. [吴宏安, 蒋建军. 西安城市扩展及其驱动力分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 143-150.]
- [3] Sun Shanlei, Zhou Suoquan. Dynamic Monitoring of Urban Expansion in the Region around Hangzhou Bay[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2): 327-333. [孙善磊, 周锁铨. 环杭州湾地区城市扩张的遥感动态监测[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 327-333.]
- [4] Alphan H. Land Use Change and Urbanization of Adana, Turkey[J]. Land Degradation & Development, 2004, 14: 575-586.
- [5] Doygun H, Alphan H. Analysing Urban Expansion and Land Use Suitability for the City of Kahramanmaraş, Turkey, and Its Surrounding Region[J]. Environ. Monit. Assess., 2008, 145: 387-395.
- [6] Fang Chuanglin, Bao Chao. Analysis on the Characteristic and the Change Trend of Urban Expansion Restricted by Water Resources in the Arid Area of Northwest China: A Case Study of the Cities in the Western Long Hai-Lan Xin Economic Zone[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(2): 248-255. [方创琳, 鲍超. 水资源约束下西北干旱区城市扩展特征与变化趋势分析——以西陇海兰新经济带城市为例[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 248-255.]
- [7] Wang Liangjian, Shi Yingchun. Applications of BP Neural Network Theory on Urban Expansion Forecasts with Wavelet Treatment: A Case of Changsha Urban Area[J]. China Land Science, 2008, 22(1): 39-47. [王良健, 师迎春. BP神经网络结合小波处理在城市扩张预测中的应用——以长沙市区为例[J]. 中国土地科学, 2008, 22(1): 39-47.]
- [8] Chen Jin, He Chunyang. Land Use/Cover Change Detection with Change Vector Analysis(CVA): Change Type Determining[J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(5): 346-352. [陈晋, 何春阳. 于变化向量(CVA)分析的土地利用/覆盖动态变

- 化监测(Ⅱ)—变化类型的确定方法[J]. 遥感学报, 2001, 5(5):346-352.]
- [9] The Atlas of the Shaanxi Province[M]. Xi'an: The Publish Company of the Xi'an Atlas. 2000. [陕西省地图集[M]. 西安: 西安地图出版社, 2000.]
- [10] The Statistics Almanac of Xi'an City[Z]. 2007. [西安统计年鉴[Z]. 2007.]
- [11] Liu Shifeng, Li Laizhi. The Land Use Change Based on the Technology of Remote Sensing with the Urbanization in Pukou District, Nanjing City[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(2): 166-172. [刘世峰, 李来芝. 基于遥感技术的城市化进程中南京浦口区的土地利用变化[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(2): 166-172.]
- [12] Huo Yanjie, Wei Haiyan. Study on Spatio-temporal Changes of Land Use in Xi'an City Based on RS and GIS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(6): 672-676. [霍艳杰, 卫海燕. 基于遥感和 GIS 的西安市土地利用时空变化研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(6): 672-676.]
- [13] Wang Qian, Zhang Zengxiang. Research on Urban Expansion in Nanjing, China Using RS and GIS[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(5): 554-558. [王茜, 张增祥. 南京城市扩张的遥感研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 554-558.]
- [14] Zhao Jing, Chen Huagen. A Study on the Intensity and Spatial Pattern of Urban Residential Growth in Shanghai from 1947 to 2002[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(3): 400-406. [赵晶, 陈华根. 20 世纪下半叶上海市居住用地扩展模式、强度及空间分异特征[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 400-406.]
- [15] Liu Jiyuan, Wang Xinsheng. Application of Convex Hull in Identifying the Type of Urban Land Expansion[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(6): 885-892. [刘纪远, 王新生, 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 885-892.]
- [16] Pan Weihua, Xu Hanqiu. A Study of Urban Spatial Expansion of Quanzhou City on the Basis of Remote Sensing Technology and Urbanization Core Analysis[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2004, 62(4): 36-40. [潘卫华, 徐涵秋. 泉州市城市扩张的遥感监测及其城市化核分析[J]. 国土资源遥感, 2004, 62(4): 36-40.]
- [17] Zha Yong, Ni Shaoxiang. An Effective Approach to Automatically Extract Urban Land Use from TM Imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(1): 37-40. [查勇, 倪绍祥. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 37-40.]
- [18] Fang Chuanglin, Bao Chao, Qiao Biao, *et al.* Urbanized Process and Ecological Environment Effect[M]. Beijing: Scientific Press, 2008. [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.]
- [19] Gong Jianzhou, Xia Beicheng. City Landscape Ecology and Ecological Security[M]. Beijing: Scientific Press, 2008. [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.]

Study of Urban Expansion and Driving Factor Using RS and GIS ——A Case Study of Xi'an City

FENG Xiao-gang^{1,3}, LI Rui², MO Hong-Wei¹

(1. College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS/ MWR, Yangling 712100, China

3. School of Architecture, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Based on RS and GIS, Xi'an City area expansion information were extracted from multi-temporal Landsat data using supervised classification, non-supervised classification and normalized difference barren index(NDBI). The result shows that Xi'an city area increased 1.6 times from 1988 to 2002, the average growth rate is 8.815% and the new areas mainly distribute in the north and the south parts of the city. Based on the multi-angle view, the paper analyzed the expansion driving factors, such as social economy (GDP), population growth rate, policy and the investment of the basic construct, and the result showed that the key driving factor of urban expansion is social economy(GDP) and population growth rate, which are impacted by policy to a great content.

Key words: Urban expansion; NDBI; Expansion intension; Compact tolerance; Driving forces; Xi'an city