

基于多时相 Landsat 数据的 城市扩张及其驱动力分析

胡德勇¹, 李京¹, 陈云浩¹, 张兵², 彭光雄¹

(1. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:以长沙市为例,在多时相 Landsat 遥感数据支持下,采用监督分类、非监督分类和归一化裸露指数(NDBI)等方法提取城市用地信息。通过对比多期城市用地的熵值变化,定量分析城市扩张的时空特性;运用叠加、缓冲区分析等方法,分析城市扩张和中心城区的关系,绘制城市扩张速度玫瑰图。研究结果表明,长沙市建成区总面积不断扩展,其中,1973~1986年扩张主要表现在东南方向,1987~1993年为西部方向,1994~2001年南和东南方向成为快速扩张方向;对长沙城市扩张驱动力进行分析,认为人口迅速增加是城市扩张的最主要驱动力。

关键词:城市扩张;遥感;时空分异;差熵;驱动力

中图分类号:TP 79:P 237.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-070X(2006)04-0046-04

0 引言

城市建成区扩展往往伴随着城市周边地区土地利用的急剧变化,一直是人们研究城市问题的重要内容^[1]。对其进行有效的监测,分析城市扩张背后的驱动力机制,可以科学合理地指导城市规划,控制用地规模,保护生态环境和有限的土地资源,具有非常重要的意义^[2]。

卫星遥感为城市变化趋势分析提供了快速便捷的途径^[3]。城市扩张遥感监测方法通常可以概括为两大类:一是建立在光谱分类基础上的方法,即分类后比较;二是建立在像元光谱变化直接比较基础上的方法^[4]。前者采用多时相的遥感数据,通过计算机信息提取,获取土地利用类型分布图,然后,将分类结果进行叠加和对比,得出变化结果^[1,2,6];后者通过对多时相的遥感信息源进行高精度配准,利用像元光谱变化检测,分离出城市动态变化区域^[4,5]。基于光谱的变化检测对数据源的要求较高(同一季相,已进行辐射、几何校正等)^[7],这对长期监测来说,数据获取难度较大。

本文选择湖南省长沙市作为研究对象,运用多时相 Landsat 遥感影像,在 GIS 支持下,分析城市扩张的数量特点和空间分布特性,并以社会经济统计数

据为基础,对城市扩张的驱动力进行了初步探讨。

1 研究方法

1.1 研究区和数据

湖南省长沙市位于湘东偏北,呈南北狭长分布,是湖南省经济中心,也是湖南省人口最稠密的区域。本区处于湘中丘陵与洞庭湖冲积平原过渡地带,属亚热带季风性湿润气候,年均温为 17.2℃,年降水量为 1 361.6 mm。近年来,随着经济快速发展,城市扩展日益加剧,用地规模不断扩大,城郊结合处土地资源日益减少。

研究中收集到 1973 年、1986 年、1993 年和 2001 年 4 个时相的卫星数据(表 1)。辅助数据包括 1:25 万地形图、1:5 万行政区划图和社会经济方面的统计数据。

表 1 Landsat 数据及其特征

数据	获取时间	轨道号	地面分辨率/m	采样分辨率/m
MSS	1973-11-02	132-41	80	30
	1986-11-12	123-41	30	30
TM	1993-08-25	123-41	30	30
	1993-10-12	123-40	30	30
ETM ⁺	2001-09-24	123-40	30,15	30
	2001-12-29	123-41	30,15	30

1.2 研究方法

通过城市用地遥感信息提取,确定各个时相的城市建成区范围。在此基础上,通过 GIS 缓冲区分析和叠加分析,得到不同增长期内扩展区域相对城市中心的关系,最后,结合城市经济统计数据进行城市扩张驱动力分析。

与其它许多地理现象一样,城市发展呈现为一种扩散过程,因此,可以用扩散理论来解释,通过计算多时相遥感图像上城市用地的熵值变化,定量监测城市的扩张过程^[8]。这里引入信息论中的 Shannon 公式,Shannon 熵反映了信息量的高低,可以被用来描述地理现象的分散度或集中度。为了使计算值落在 0~1 之间,可利用相对熵来计算分散度^[8]

$$H = - \sum P_i \lg P_i \tag{1}$$

$$H' = - \sum P_i \lg P_i / \lg n \tag{2}$$

式中, H 为熵; H' 为相对熵; P_i 为 P 类出现的概率; n 为类别总数。熵的变化 $\Delta H'$ 表示为式(3)

$$\begin{aligned} \Delta H' &= H'(t+1) - H'(t) \\ &= - \sum P_i(t+1) \lg P_i(t+1) / \lg n + \\ &\quad \sum P_i(t) \lg P_i(t) / \lg n \end{aligned} \tag{3}$$

式中, t 、 $(t+1)$ 表示 2 个不同的时刻。熵值的增加表示城市用地向外扩散,增加的值越大,表示扩散速度越快;熵值的减少表示城市用地更趋于“紧凑”。

2 城市用地遥感信息提取

城市用地和裸土的光谱值较为接近, TM4、TM5 对它们较为敏感,较易识别出来,在 TM5(R)、TM4(G)、TM3(B)和 TM7(R)、TM4(G)、TM3(B)假彩色合成图像上表现更加清楚^[9]。从遥感影像上提取城市用地的传统方法有非监督分类、监督分类和归一化裸露指数(NDBI)^[2,9~12]等方法。NDBI 是植被指数(NDVI)的一个应用,NDBI 反应了地表裸露情况,可以设置合适的阈值,提取地表覆盖信息,NDBI 定义为^[2,11]

$$NDBI = (TM5 - TM4) / (TM5 + TM4) \tag{4}$$

式中, TM4、TM5 表示 TM 影像的第 4、第 5 波段 DN 值。

这里采用监督分类、非监督分类和 NDBI 3 种方法进行城市建成区信息提取并进行对比,寻找最合适的方法。

由于遥感影像存在同物异谱、同谱异物和混合像元等现象,基于光谱值统计的分类方法都避免不

了误分、错分^[13],因此,需要对结果进行后处理。如,由于城区中间夹杂有散生林木、绿地、水域、施工场地等,它们的光谱值和城市类型存在差异,表现出城区夹有其它类别,因此,对城区进行整体化合并,将城市内部的非城市用地类归并到城市用地类。

3 城市扩张时空分异特性

3.1 城市扩张数量分析

通常使用城市扩展速度来衡量一个城市扩展的数量特征,它是指某空间单元在研究时期内建成区的年平均扩展面积^[14]。从多时相遥感图像的用地信息提取结果图上(图 1),获得 1973~2001 年 4 个时期的城市建成区面积分别为 25.1、60.9、82.1 和 130.3 km²。1973~1986 年城市扩张面积是 35.8 km²,平均扩张速度为 2.75 km²/a;1987~1993 年城市扩张面积是 21.2 km²,平均扩张速度为 3.03 km²/a;1994~2001 年的城市扩张面积是 48.2 km²,平均扩张速度为 6.03 km²/a。可以看出,城市的扩张速度逐渐加快,尤其是进入 20 世纪 90 年代以后。

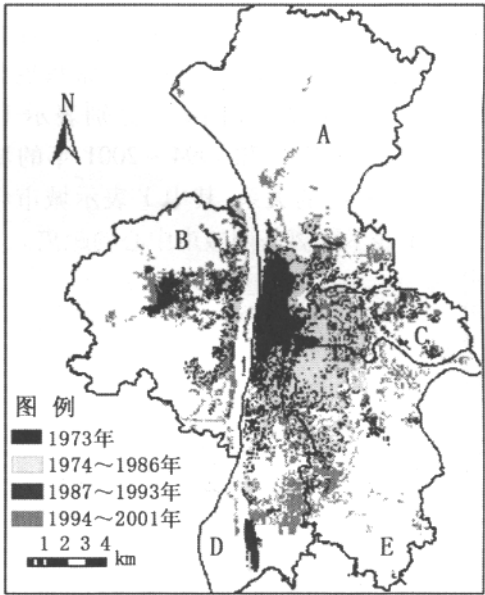


图 1 长沙市建成区扩张遥感提取结果

为了进一步分析 5 个辖区的扩散过程,利用行政区划图提取城市用地二值图像,并计算它们的熵值(H')、差熵($\Delta H'$)值(表 2)。熵值的变化量反映了城市扩张的快慢程度。可以看出,长沙市城市建成区扩张的明显差异。在 1973~1986 年期间,岳麓区和雨花区的扩张非常迅速,岳麓区熵值每年增加 26.038%,雨花区每年增加 24.230%;在 1987~1993 年期间,天心区和雨花区的扩张不明显;在

1994 ~ 2001 年期间,除了芙蓉区扩张较缓慢以外,其它的区都在迅速向外扩张,其扩张速度要高于 1987 ~ 1993 年城市平均扩张水平。

表 2 不同扩张时期图像的熵和差熵对比

区名	H'				$\Delta H'(\%/a)$		
	1973 年	1986 年	1993 年	2001 年	1973 ~ 1986 年	1987 ~ 1993 年	1994 ~ 2001 年
开福区(A)	0.286	0.348	0.411	0.507	1.665	2.581	2.905
岳麓区(B)	0.079	0.348	0.502	0.695	26.038	6.305	4.791
芙蓉区(C)	0.448	0.857	0.954	0.999	7.007	1.613	0.605
天心区(D)	0.486	0.690	0.708	0.942	3.236	0.357	4.150
雨花区(E)	0.149	0.617	0.656	0.888	24.230	0.905	4.440

3.2 城市扩张空间分异

城市空间区域的扩展是衡量城市化的一个重要指标^[15]。为了分析城市扩张空间分异特性,这里以研究时段中最早年限作为基期数据,其它年份和它进行对比,分析不同时期的变化规律。首先,计算出基期 1973 年城市中心位置,其定义为^[16]

$$X_0 = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i}, Y_0 = \frac{\sum W_i Y_i}{\sum W_i}$$

(5)

式中, X_0 、 Y_0 为城市中心坐标; i 为城市用地单元; W_i 为该目标权重; X_i 、 Y_i 为城市用地单元坐标。

以基期城市中心为原点,采用空间叠置和缓冲区分析的方法,分析 3 个时段城市扩张数量和城市中心距离之间的关系^[8] (图 2),分别表示 1973 ~ 1986 年、1987 ~ 1993 年和 1994 ~ 2001 年的城市扩张和城市中心距离的关系,其中 Y 表示城市年平均扩张面积, X 表示距离基期城市中心的距离。

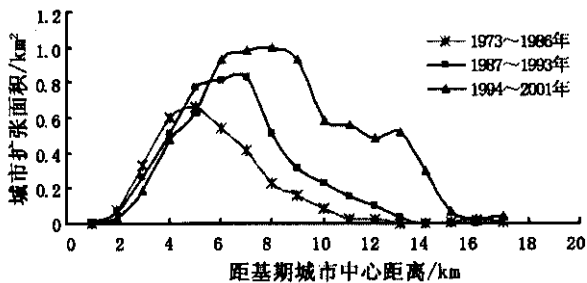


图 2 三个时期城市扩张和距离的关系

分析得出,1973 ~ 1986 年城市扩张最多的峰值出现在距基期城市中心约 5 km 处,1987 ~ 1993 年出现在约 7 km 处,而 1994 ~ 2001 年出现在约 8.3 km 处。城市扩张速度呈上升趋势,20 世纪 90 年代以后明显加快。

以基期 1973 年城市建成区作为参考,分析其它时期城市扩张的主导方向,得到各个时期城市扩张速度玫瑰图^[17] (图 3)。

从图 3 可以看出,1973 ~ 1986 年,城市扩张主要

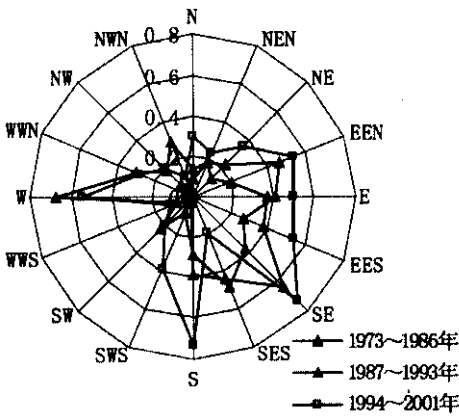


图 3 长沙市 3 个时期城市扩张空间分异分析

集中在东南方向,这是因为长沙市的湘江和岳麓山是城市向西部扩展的限制因子,所以扩张向着地势低平的东南方向进行。

1987 ~ 1993 年,除了西南方向受湘江的阻碍外,西、北东东和南、东南方向成为扩张的主方向,这一时期受河西开发政策的影响,政府的决策在城市扩张中起到非常重要的作用。

1994 ~ 2001 年,南和东南方向成为扩张的主导方向,表现在城市中心逐渐向东南方向移动,这个扩张趋势与长、株、潭城市一体化导向是密切相关的。

4 城市扩张驱动力分析

(1) 城市人口快速增长。长沙市市区人口数量逐年增加,从 80 年代中期的 115.72 万,到 2003 年总人口数为 196.26 万,增加了 80.5 万人左右,非农业人口增加了 66.5 万人,80 年代末期、90 年代中后期人口增加的速度较快。

(2) 经济快速增长。近几十年经济发展较快,城市人均国民生产总值不断增加,产值结构和就业结构向第二和第三产业转变。1989 年以来,长沙市的第一、二产业在全市的 GDP 中的比重逐渐减小,而

第三产业的比重逐年增加。第三产业的发展带动了基础设施建设、房地产业、商业、餐饮及娱乐服务业等快速发展,使得城区面积得到了迅速扩张。

(3) 投资加大。固定资产投资额的多少直接影响城市的经济发展,快速的固定资产投资额增长率使得近几年的发展速度异常加快,导致城市用地的大幅增加。1995 ~ 2003 年间,固定资产投资额从 52.3 亿元增长到 307.3 亿元。在这一时期,长沙市的几个经济技术开发区开始发展,如 1986 ~ 1993 年望城坡、火星镇和河西等几个地方的开发已经初现端倪,到 2001 年,加上马栏山广电中心、高桥和井湾子等地方的大规模地开发和商品住房、大型市场建设,使得城区规模迅速扩张,城区面积急剧上升。

利用人口总数、GDP 和社会固定资产投资 3 个方面的数据进行相关分析(图 4),可以看出,建成区面积的增加趋势和人口增加趋势非常接近,其相关系数为 0.999,和 GDP 的相关系数为 0.994,和固定资产投资的相关系数为 0.976。所以,长沙市城市扩展的最主要驱动力应该是城市人口的增加。

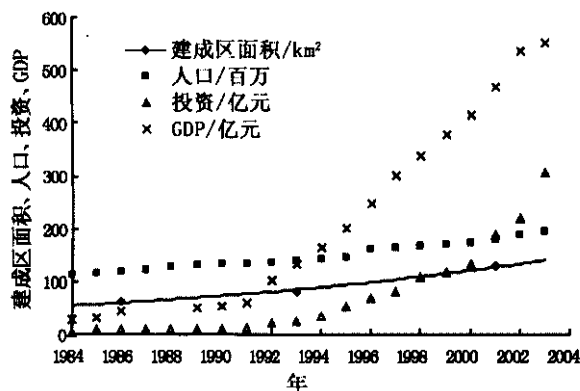


图 4 建成区面积和人口、固定资产投资、GDP 的关系

5 结论

(1) 利用 Landsat 影像和 GIS 相结合,进行城市扩张分析可以快速、有效地监测城市扩张和城市化带来的一系列问题。

(2) 利用卫星遥感影像提取不同时期的建成区范围,计算不同时期熵值变化,可以定量分析城市扩张特性;绘制城市扩张速度玫瑰图,能有效显示城市建成区扩展的空间分异。

(3) 研究结果显示,长沙市在不断扩展,1973 ~ 1986 年扩展主导方向为东南,岳麓区和天心区扩展面积较大;1987 ~ 1993 年扩展的主要方向是西部,万方数据

天心区和雨花区扩张较少;1994 ~ 2001 年各个行政区扩展面积较大,南和东南方向扩展尤其明显。通过社会经济统计资料分析,认为人口增加是城市扩展最主要的驱动力。

参考文献

- [1] 郑兴年,胡宝新,崔伟宏. 大城市边缘区土地利用动态遥感试验研究——以北京市朝阳区为例[J]. 地理科学, 1995, 15(1): 47-54.
- [2] 吴宏安,蒋建军,周杰,等. 西安城市扩张及其驱动力分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 143-150.
- [3] 戴昌达,唐伶俐,陈刚,等. 卫星遥感监测城市扩展与环境变化的研究[J]. 环境遥感, 1995, 10(1): 1-7.
- [4] 陈晋,何春阳,卓莉. 基于变化向量分析(CAV)的土地利用/覆盖变化动态监测(II)——变化类型的确定方法[J]. 遥感学报, 2001, 5(5): 346-352.
- [5] 刘慧平,陈志军,温良,等. 城市扩展的土地动态监测[J]. 北京师范大学学报, 1999, 35(2): 278-282.
- [6] Masek J G, Lindsay F E, Coward S N. Dynamics of Urban Growth in the Washington DC Metropolitan Area, 1973-1996, from Landsat Observation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(18): 3473-3486.
- [7] Yang X, Lo C P. Using A Time Series of Satellite Imagery to Detect Land Use and Land Cover Changes in the Atlanta, Georgia Metropolitan Area[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(9): 1775-1789.
- [8] 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, 1997, 16(4): 56-62.
- [9] 杨存健,周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 146-150.
- [10] 查勇,倪绍祥,杨山. 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.
- [11] 杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 671-678.
- [12] 潘卫华,徐涵秋. 泉州市城市扩展的遥感监测及其城市化核分析[J]. 国土资源遥感, 2004, (4): 36-40.
- [13] 王圆圆,李京. 遥感影像土地利用/覆盖分类方法研究综述[J]. 遥感信息, 2004, (1): 52-59.
- [14] 陈龙乾,郭达志,胡召玲. 城市扩展空间分异的多时相 TM 遥感研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(6): 308-312.
- [15] 许学强,周一星,宁越敏. 城市地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [16] 周成虎,孙战利,谢一春. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [17] 彭顺喜,林剑,鲍光淑,等. 基于遥感的长沙-株洲-湘潭城市扩展研究[J]. 国土资源遥感, 2005, (4): 74-77.

(下转第 54 页)

133.

[15] 祝 宁, 王 成, 周洪泽, 等. 哈尔滨市瞬时热力场空间格局分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14 (11) :1955 – 1958.

[16] AkbariH. Cool Construction Materials Offer Energy Saving and Help Reduce Smog[J]. ASTM Standardization News,1995,(11) 32 – 37.

A STUDY ON URBAN HEAT ISLAND EFFECT IN QUANZHOU CITY DURING ITS URBANIZATION PERIOD

PAN Wei – hua , ZHANG Chun – gui
(Institute of Meteorological Science of Fujian Province , Fuzhou 350001 , China)

Abstract : Landsat thermal images were used to study the urban heat island effect of Quanzhou City during its urbanization period from 1989 to 2000. The result shows that the area of heat island is increasing along with urban expansion , and the trend is the same as that of urban expansion. The seasonal difference makes the comparison of the thermal image data very difficult. In order to solve this problem , the authors processed different thermal infrared bands one by one with the help of image normalization technology. The intensity and the spatial structure of the urban heat island effect were investigated by means of landscape analysis. It is shown that agglomerate , circularity and fragment are three basic configurations of the heat island in Quanzhou City. The cause of the urban heat island is discussed and the effective measures are suggested to tackle the urban heat island effect.

Key words : Remote sensing ; Urban heat island effect ; Normalization ; Landscape analyzing ; Quanzhou
第一作者简介:潘卫华(1980 –) ,男,地图学与地理信息系统硕士,主要从事遥感应用和图像处理方面研究。
(责任编辑:肖继春)

=====

(上接第 49 页)

AN ANALYSIS OF URBAN EXPANSION AND ITS DYNAMICS BASED ON MULTI – TEMPORAL LANDSAT DATA

HU De – yong¹ , LI Jing¹ , CHEN Yun – hao¹ , ZHANG Bing² , PENG Guang – xiong¹
(1. College of Resources Science and Technology , Beijing Normal University , Beijing 100875 , China ; 2. Institute of Geographical Science and Natural Resource Research , CAS , Beijing 100101 , China)

Abstract : Based on multi – temporal Landsat imageries , the authors extracted the urban built – up areas in Changsha City , Hunan province on the basis of such methods as supervised classification , unsupervised classification and NDBI index. The spatio – temporal patterns of the urban expansion were analyzed quantitatively by using the entropy value and differential entropy value of sequential urban land use images. Overlay and buffer spatial analysis were used to establish the relationship between the urban expansion and the distance from the city center. On such a basis , the expansion rate map was drawn to show the dominant direction of urban expansion. The results show that the urban built – up areas have continued to increase , and the expansion was directed mostly southeastward from 1973 to 1986 , westward from 1987 to 1993 , and southward and southeastward from 1994 to 2001. The rapid increase of population is thought to be the most important driving force of urban expansion.

Key words : Urban expansion ; Remote sensing ; Spatio – temporal patterns ; Differential entropy ; Driving forces
第一作者简介:胡德勇(1974 –) ,男,博士生,主要从事遥感与 GIS 在资源环境、自然灾害等领域的应用研究。
万方数据 (责任编辑:肖继春)