

基于遥感和 GIS 的天津城市空间形态变化分析

蔡博峰, 张增祥, 刘 斌, 周全斌

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 选用分维数和紧凑度作为城市形态指数, 与城市土地利用变化相结合研究城市扩展的过程和特征。以天津市为例, 利用遥感提取 26 年内 9 个时相的数据进行研究, 结果表明, 天津市近 26 年内有 2 次快速城市扩展, 但两阶段的特征不同, 后期虽然扩展速率高于前期, 但形态指数变化速率却低于前期, 反映出后期城市扩展更趋于理性和有序。城市形态指数与土地利用变化指标有很好的互补性, 两者结合可以更充分描述城市扩展的特征和过程。

关键词: 分维数; 紧凑度; 城市扩展; 城市土地利用变化; 城市形态

1 引言

中国城市扩展是驱动城市及其周边土地利用类型发生明显变化的主要原因。针对这一问题, 国内学者在城市扩展中的土地利用变化领域做出了深入而又广泛的研究^[1-4]。然而城市扩展不仅是对非城市用地的替代, 而且涉及到城市空间形态的变化, 而国内从城市土地利用变化和城市形态变化关系这一角度出发研究城市扩展的却很少。城市形态变化是科学度量和评价城市扩展的重要指标^[5,6], 通过将其与城市土地利用变化联系起来, 可以揭示城市扩展的特征及其社会、经济、政策根源。本研究中, 城市扩展的定义是城市建成区的扩展, 城市建成区是指城市行政区内实际已成片开发建设、市政公用设施和公共设施基本具备的地区^[7]。

本文以天津市为研究对象, 基于天津多时相卫星遥感影像, 结合 GIS 数据, 以分维数和紧凑度作为城市形态指标, 结合土地利用变化, 分析天津市 1978 年~2004 年城市扩展的特征。分维数和紧凑度是衡量城市空间形态特征的两个重要指标, 彼此独立, 有较强的互补性和相互验证效果, 因而被城市形态研究广为应用^[5,6,8-11]。

天津市位于北纬 38°34'~40°15', 东经 116°43'~118°04' 之间, 总面积 1.19×10⁴km²。截至 2004 年, 天津市建成区的面积为 355.88km², 基本形成了沿京津塘高速公路、海河, 和沿津围(天津至河北省围场

县)公路、津静(天津市区至静海)公路为主要轴线的城市发展空间布局。

2 数据处理

以 Landsat TM、ETM+ 的 9 个时相(1978、1979、1987、1993、1996、1998、2000、2001 和 2004 年)遥感图像作为数据源, 并以 1:10 万地形图为基准。遥感影像几何精纠正和建成区边界提取均在 MGE/Microstation 遥感制图专业软件下完成, 采用 WGS_1984_UTM(50N)投影。以 1:10 万比例尺地形图库为控制依据, 在遥感图像和地形图上选择稳定、明显的对应地物作为控制点, 纠正误差控制在 1 个像元左右, 以保证长时间序列中的多时相遥感数据不发生明显的空间位置偏移, 图像纠正的重采样取 30m 分辨率。数据处理过程(见图 1)。

天津城市扩展动态信息提取采用多位编码方式, 即动态编码。动态编码方法在一个编码中兼顾了原来的土地利用类型、现在的土地利用类型和相互转变关系等基本特性。根据遥感提取的矢量边界计算出天津不同时期建成区的面积和土地利用动态变化(见表 1、表 2 和图版 彩图 3)。

1978 年天津市建成区面积为 126.01km², 2004 年扩展到 355.88km², 增加了 1.82 倍, 平均每年扩展 8.84km²(见表 1, 图版 彩图 3)。从 90 年代中期开始, 天津市建成区就开始高速增长, 尤其是 2000 年

收稿日期: 2006-12-27; 修回日期: 2007-03-29.

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划)(2002CB412507)资助。

作者简介: 蔡博峰(1977-), 男, 博士研究生, 主要从事生态方面遥感研究。E-mail: caibofeng@gmail.com

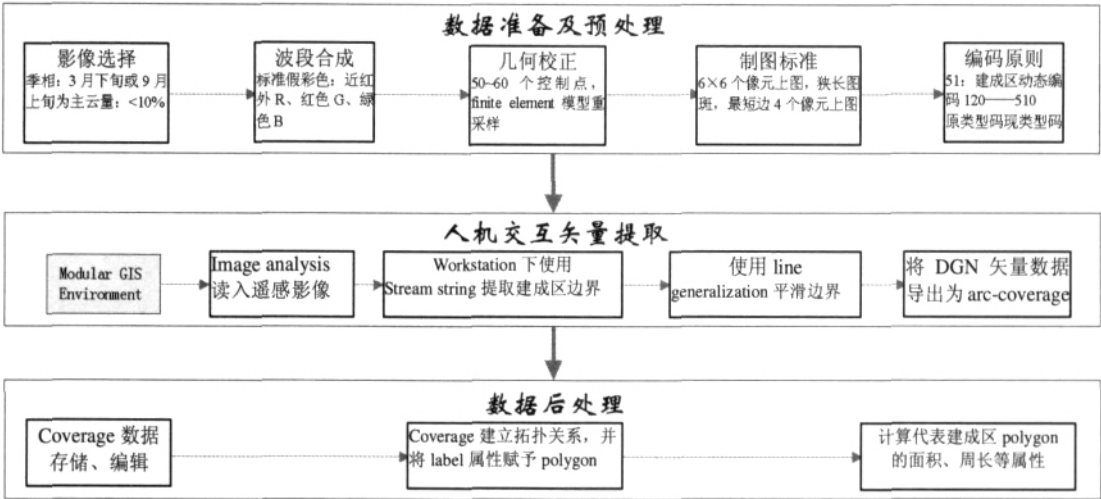


图 1 数据处理流程图
Fig.1 Frame of data process

表 1 天津市不同时期的建成区面积
Tab.1 Built-up area of Tianjin in different years

年度	1978	1979	1987	1993	1996	1998	2000	2001	2004
面积 (km ²)	126.01	128.60	193.51	201.59	219.33	260.34	266.23	293.94	355.88

以来的增长速度达到近 26 年以来的最高, 年增长达到 22.41km²。

随着城市建成区的扩展, 城市中农村居民点和工农等其他建设用地、耕地及其他土地的面积都发生不同程度的变化, 城市建成区扩展的结果是这些

土地利用类型面积的相应减少(表 2)。近 26 年来, 天津市城市建成区面积共增加了 229.87km², 即共有 229.87km²的非城市用地转化为城市建成区, 以耕地为主, 占 60.26%, 其次是农村居民点和工农等其他建设用地, 占 32.50%。

表 2 天津市城市扩展对各类土地利用类型的占用情况 (km²)
Tab.2 Landuse changes induced by urban expansion (km²)

占用土地类型	1978 ~1979	1979 ~1987	1987 ~1993	1993 ~1996	1996 ~1998	1998 ~2000	2000 ~2001	2001 ~2004	类型 合计
农村居民点和其他建设用地	0	16.05	2.63	9.81	8.27	3.79	12.36	21.80	74.71
耕地	2.38	45.71	5.22	7.37	29.15	1.06	13.22	34.42	138.53
其他土地	0.20	3.15	0.23	0.56	3.63	1.00	2.13	5.73	16.63
占地合计	2.58	64.91	8.08	17.74	41.05	5.85	27.71	61.95	229.87

3 城市空间形态特征及其时空变化 GIS分析

3.1 城市空间形状的分维

城市有着复杂的、非线性的空间形态, 这种空间形态具有分维特征, 具有内在的自组织、自相似和分形生长的能力, 这意味着城市空间形态演变可能受到某种隐含规则的支配, 这就使得采用分形理

论分析城市空间形态变得十分重要^[8-10]。本文使用面积-周长定义的分维数来衡量城市空间形态的分维特征, 即采用格子计数法进行分维估值^[8,9]。使用不同大小的正方形格网覆盖城市平面轮廓图形, 当正方形网格长度 r 出现变化时, 覆盖有城市轮廓边界的网格数目 N(r)和覆盖面积的网格数目 M(r)必然会出现相应的变化, 根据分形理论有下式成立:

$$\ln N(r)=C+D\ln M(r)^{1/2}$$

式中: C 为待定常数, D 为城市平面轮廓图形的维

数。不同大小正方形格网覆盖下获得一系列点对 (nN(r),lnM(r)), 然后线性拟合这些点对, 求得回归方程, 其斜率的 2 倍即为 D 值。我们采用了 11 种不同尺度格网覆盖天津市的建成区 (网格边长分别为:

30m, 60m, 120m, 240m, 480mm, 960m, 1920m, 3840 m, 7 680m, 15 360m, 30 720m, 平均拟和度 $R^2=0.945$), 借助 GIS 软件支持和 VC 编程, 得到了天津市不同时期建成区的分维数(见表 3, 图 2)。

表 3 天津市建成区分维数和紧凑度
Tab.3 Fractal dimension and compactness of built-up area of Tianjin

年度	1978	1979	1987	1993	1996	1998	2000	2001	2004
分维数	1.2222	1.2188	1.2374	1.2412	1.2278	1.2814	1.2786	1.3078	1.343
紧凑度	0.2921	0.2945	0.342	0.3331	0.3286	0.2236	0.2265	0.1911	0.1486

分维数的大小表征城市地域边界的复杂曲折程度, 分维数值越高, 边界线的复杂程度也就越大。分维减少是一种更好的趋势, 说明城区周界整齐规则, 用地紧凑节约。从图 2 中可以看出, 1996 年以前分维数一直较低, 变化也较为平缓, 自 1996 年开始, 分维数激增。

3.2 城市空间形状的紧凑度

城市外围轮廓形态的紧凑度被认为是反映城市空间形态的一个十分重要的概念, 形状紧凑度计算公式是^[11,12]:

$$c=2\sqrt{A}/p$$

式中: c 指城市的紧凑度, A 指城市面积, p 指城市轮廓周长。紧凑度值越大, 其形状越有紧凑性; 反之, 形状的紧凑性越差。圆是一种形状最紧凑的图形, 圆内各部分空间高度压缩, 其紧凑度为 1, 如果是狭长形状, 其值远远小于 1。

天津市建成区紧凑度的变化见表 3 和图 3, 1987 年以前, 紧凑度呈缓慢上升趋势, 1987~1996 年缓慢下降, 1998 年陡然下降, 2000~2004 年则又是一个下降的陡坡。城市紧凑度的提高, 有利于缩短城市内各部分之间联系距离, 提高城市基础设施和已开发土地的利用效率, 因此从规划者的角度, 会有意无意的增加城市紧凑度以便提高资源的利用效率和降低城市的管理成本。

4 建成区扩展规律分析

天津城市建成区的扩展, 共涉及天津市的 10

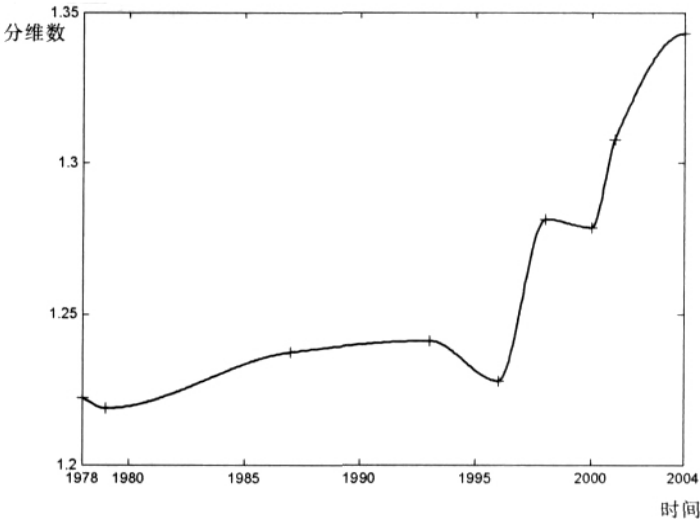


图 2 天津市建成区分维数变化图
Fig.2 Changes of fractal dimension

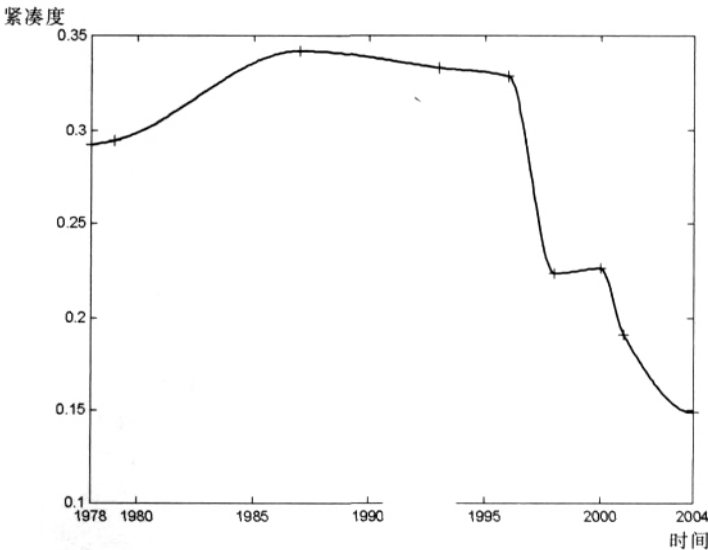


图 3 天津市建成区紧凑度变化图
Fig.3 Changes of compactness

个区, 分别为和平区、河东区、河西区、南开区、河北区、红桥区、西青区、东丽区、津南区、北辰区。受西

北方向北京市和东南方向塘沽新区的吸引,天津市建成区扩展的主要趋势是西北和东南。

天津市的城市建成区在近 26 年的扩展中,占用的主要是耕地,扩展面积中有 60.26%是耕地,对农村居民点和工交等其他建设用地有一定程度的影响,其他类型的土地利用所受影响较小。

1996 年以前建成区分维数和紧凑度一直呈缓慢变化趋势,说明这一段时期,天津城市的扩展比较规整、有序。在这一时期,天津市的旧城改造工程较多^[13],从 1994~1996 年,全市拆除危陋平房 300 多万 m^2 ,就地新建居民住宅 868.1 万 m^2 ,提高了建成区土地的利用效率。同时,天津市的小城镇发展较快,因此在建成区外,沿 14 条放射交通干线有一定基础的小城镇迅速成长,形成规模适度的城市组团,有效地缓和了城市扩展的压力。因而天津这一时期建成区的发展相对较为稳定。1996 年以前,耕地转化为城市建成区用地的趋势较为平缓,年变化面积为 3.37km^2 。

1996~1998 年建成区紧凑度的突降和分维数的突增是对应的,说明这一时期建成区出现无序扩展的趋势。只有建成区向周围蔓延式的增长,才有可能突然增加城市边界形态的曲折和复杂。而这一时期也是本研究时段内(26 年)城市建成区占用耕地强度最大的,每年达到 14.58km^2 。

1998 年 12 月 27 日国务院颁发,“基本农田保护条例”(第 257 号)严格保护耕地,因此城市扩展趋于缓和,相应紧凑度和分维数都转为平稳。

从 2000 年开始,城市扩展的速率再次加快并持续到 2004 年,然而 2000~2004 年的城市快速扩张和 1996~1998 年城市快速扩张相比,虽然扩展速度快,但紧凑度和分维数的变化斜率却低于前一时期(1996~1998 年)。2000~2004 年建成区的增长速度达到每年 22.41km^2 ,高于 1996~1998 年,每年为 20.51km^2 的速度,而对耕地的占用前者为每年 11.91km^2 ,低于后者的每年 14.58km^2 ,即耕地得到一定程度的保护,因而城市盲目、无序扩张的趋势得到控制,所以表现在建成区形态特征上,分维数和紧凑度的变化要缓和得多。

农村居民点和工交等其他建设用地转化成为城市建成区的速率在 2000 年以后大幅上升,平均每年达到 8.54km^2 ,其对城市建成区增加的贡献率达到 38.10%。2000 年以前,建成区占用此类用地的面积较少,变化也不显著,年平均占用 1.84km^2 。进

一步说明了城市扩展不断规范化。

天津市近 26 年的 2 次城市高速扩展阶段中,虽然第二阶段(2000~2004 年)的扩展速率要高于第一阶段(1996~1998 年),但其空间形态指数的变化却优于第一阶段,说明第二阶段的有序性和合理性要高于第一阶段,但如果仅从土地利用变化看,很可能得到相反的结论。因此,将空间形态指数和土地利用变化相结合,则可以更为准确和深刻地揭示城市扩展特征。

5 结语

通过上述分析可以看出,城市空间形态的变化与城市扩展和土地利用变化有着紧密的关系。单独研究土地利用变化,无法准确评价和比较不同时期城市扩展的有序性和城市土地利用效率。将城市形态指数与土地利用变化相结合,有利于科学定量、清晰鲜明地监测和评价城市扩展,并为城市规划的空间政策提供依据。

参考文献

- [1] 戴 芹,马建文,刘建波,陈 雪. 基于遥感数据 SOFM 网络分类结果的城市增长潜力模型研究. 遥感技术与应用, 2006,21(3):200~205.
- [2] 卓 莉,李 强,史培军 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型. 地理学报, 2006,61(2):169~178.
- [3] 彭光雄,李 京,武建军 等. 基于遥感的常德市城市扩展动态变化研究. 遥感信息, 2005, (6):32~35.
- [4] 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. 国土资源遥感, 2005,(66):74~77.
- [5] 王新生,刘纪远 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征. 地理学报, 2005,60(3):392~400.
- [6] Batty M, Longley P A. The morphology of urban land use. Environment and Planning B: Planning and Design, 1988,15 (4):461~488.
- [7] 中华人民共和国建设部. GB/T 50280-98 城市规划基本术语标准. 北京:中国建筑工业出版社, 1999, 3.
- [8] Shen G. Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas. International Journal of Geographical Information Science, 2002, 16(5):419~437.
- [9] 王新生. 若干空间分析方法及应用于城市空间形态研究. 中国科学院地理科学与资源研究所博士后出站报告, 2004.
- [10] 罗宏宇,陈彦光. 城市土地利用形态的分维刻画方法探讨. 东北师大学报自然科学版, 2002, 34(4): 107~113.

- [11] Gert D R. Environmental conflicts in compact cities: Complexity, decision making, and policy approaches. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000, 27 (2): 151-162.
- [12] Roberto C, Maria C G, Paolo R. Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 2002, 40(3): 199-216.
- [13] 郝寿义, 王明浩. 天津城市建设发展战略研究. 天津: 天津科学技术出版社, 2001, 81-235.

Analysis of Tianjin Urban Expansion and Spatial Morphologic Change Based on GIS and RS in Recent 26 years

CAI Bofeng, ZHANG Zengxiang, LIU Bin, ZHOU Quanbin
(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The process and characteristics of urban expansion are analyzed using fractal dimension and compactness based spatial morphologic measurement coupled with land use change survey. The Tianjin city is selected as a study case with nine Landsat TM images abstracted in 26 years. The results showed that there are two terms of high speed urban expansions in this period. The latter one expanded fast than the former one but its morphologic metrics change speed was lower than that of the former. This means the latter term was more rational and regular. The metrics of urban morphology and urban land use are compulsory to each other which can be used to satisfactorily describe the process and characteristics of urban expansion.

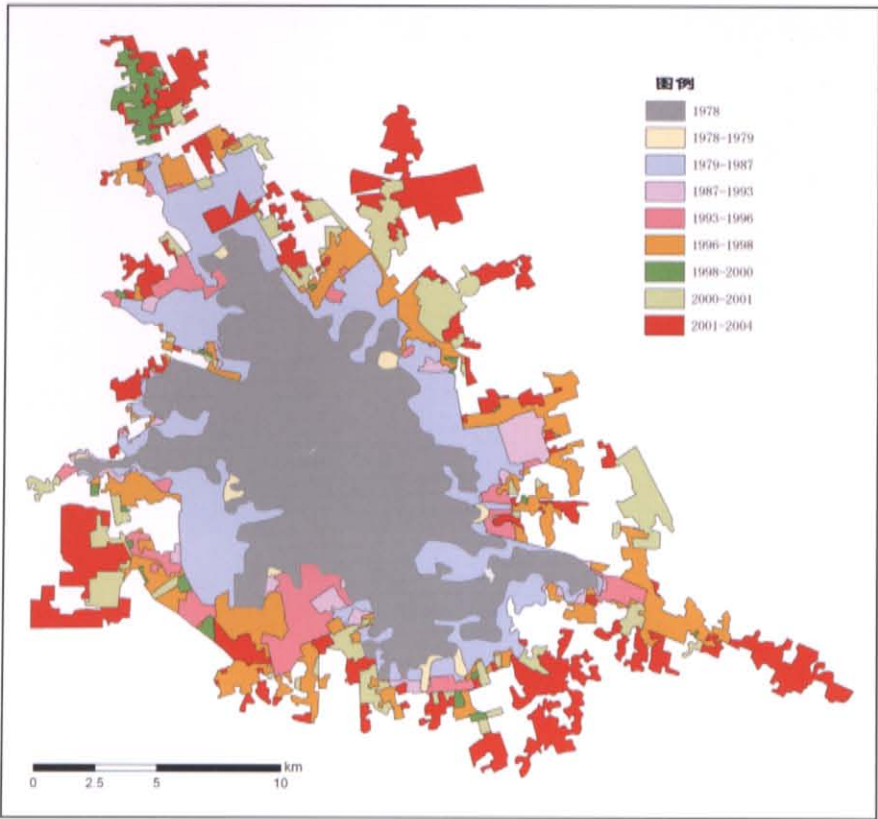
Key word: fractal dimension; compactness; urban expansion; urban land use change; spatial morphology



彩图 1 呈“工”字形的南京农业大学实验楼影像
Fig.1 “I-shaped” building of laboratory in
Nanjing Agricultural University
(江苏省测绘局数据资料中心, 1986 年 5 月 13 日)

彩图 2 实验楼内部柑桔正常生长结果
Fig.2 The normal growth and fruiting of the
orange trees in the intra-space of the building

蔡博峰 等：基于遥感和 GIS 的天津城市空间形态变化分析



彩图 3 天津市建成区 1978~2004 年扩展过程图
Fig.3 Expansion of urban built-up area of Tianjin, 1978~2004