

北京城市形态的分形集聚特征 及其实践意义

姜世国^{1,2}, 周一星¹

(1. 北京大学地理科学研究中心, 北京 100871; 2. 北京清华城市规划设计研究院, 北京 100084)

摘要: 基于 1984、1999 年 Landsat TM 遥感图像, 根据分形理论, 用半径法研究了北京城市形态, 发现北京城市具有分形性质。北京市建设用地从中心向外扩散的集聚分形结构存在明显的标度区转折现象, 其中第一标度区是能够揭示北京城市形态演化特点的有效标度区。1984、1999 年半径维数的数值变化反映了建设用地密度集聚扩散的不同特点。本文根据集聚分形的标度区建立了一种新的城市范围定义, 这种定义可以减少通常定义中的主观因素和不可比因素, 标度区大小具有一定的理论意义。

关 键 词: 城市形态; 遥感图像; 分形; 分维; 半径法; 北京

文章编号: 1000-0585(2006)02-0204-10

1 引言

城市形态分形研究是地理科学研究的前沿课题之一, 自 1985 年 Batty 开创分形城市形态研究以来^[1], 有关学者开展了大量工作: Batty 和 Longley 研究了城市边界和城市土地利用形态分形^[2,3], Frankhauser 测算了包括中国北京和台北在内的世界上许多城市形态的分维^[4,5], Batty、Longley、Fotheringham、White、Engelen 等在城市形态的分形模拟方面开展了大量工作^[6~9]。近来, Benguigui 等用网格法计算了 Tel Aviv 市的容量维数, 提出了演化的城市分形概念^[10]。国内的相关研究开展得较晚。自 1992 年李后强、艾南山将分形理论引入城市地理研究之后^[11], 国内学者也在分形城市方面做了大量工作^[12], 其中包括不少分形城市形态的研究。陈彦光等研究了城市形态熵与分形维数^[13,14], 并在分形城市形态模拟方面进行了理论探讨^[15,16]; 张宇等、杨山、李江等用面积 - 周长法(网格法的一种)分别测算了太原、无锡、武汉不同时期城市的边界维数^[17~19]; 冯健用网格法计算了杭州城市形态的容量维数, 揭示了杭州城市 1949~1996 年间城市形态和土地利用结构的演化特征^[20]; 赵晶等用面积 - 周长法和半径法分别计算了 1947~1996 年间上海市土地利用分形维数, 探讨了上海市土地利用形态演变的驱动力^[21]。

进行分形城市形态研究, 首先要判断城市是否具有分形特征, 我们感兴趣的是那些具有分形性质的城市形态。在确定城市形态存在分形之后, 为了深入剖析其分形性质, 需要计算城市形态的分形维数。常见的维数计算方法有网格法和半径法两种。网格法即小盒计

收稿日期: 2005-05-10; 修订日期: 2005-11-17

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40335051)

作者简介: 姜世国 (1978-), 男, 四川渠县人, 硕士, 工程师。主要从事城市区域规划、地理分形和地理系统的空间复杂性研究。E-mail: sgjiang78@163.com

数法 (box-counting method), 可以用于计算城市形态的边界维数, 也可以计算城市用地扩展的容量维数和信息维数, 这些维数一般统称为计盒维数, 地理学中俗称网格维数。半径法即回转半径法 (area-radius relationship method), 给出的维数一般是从统计自相似的角度定义的, 所得到的维数俗称半径维数^[8]。

上面我们所提到的, 包括 Batty、Longley (1987/1988)、Benguigui (2000)、张宇 (2000) 等、杨山 (2000)、冯健 (2003) 等的研究都是基于网格法进行的。用半径法研究城市形态, White 和 Engelen (1993) 进行了积极的尝试, 他们计算了美国四城市的半径维数^[8]; 国内, 赵晶等 (2004) 对此进行了初步探讨^[21]。本文将利用遥感图像, 用半径法研究北京的城市形态, 用城市建设用地来刻画城市形态。这里的建设用地包括各种建筑物、构筑物及建设用地集中地区的道路和广场用地, 但是不包括绿地、水体以及联系中心城区与外围组团 (或乡村居民点) 的区域道路。半径维数可以反映城市用地的向心聚集程度和空间分布格局, 因此我们将这种角度的城市形态分形称为集聚分形。

2 理论模型与度量方法

判断城市形态是否存在分形, 已经有非常成熟的理论^[10,20], 即用某种尺度 r 对城市用地进行空间度量, 则相应于这个尺度有一个测度 $M(r)$; 改变尺度 r , 测度 $M(r)$ 也会随之改变。如果测度、尺度之间服从如下标度不变规律

$$M(r) \propto r^{\pm D}$$

则可认为城市形态具有分形性质: 其空间结构特征不随尺度改变而变化。容易看出, 幂函数

$$M(r) = r^{\pm D}$$

满足上述泛函方程。在上面二式中, r 为尺度比, D 为标度指数。通常是分维的函数, 或者就是分维本身, 即有 $D = D$, 这里 D 为分维。

本研究的基本思路如下: 从遥感图像提取建设用地信息, 得到建设用地图; 以城市中心为圆心, 以一定距离为半径公差, 做同心圆; 从中心向外, 将同心圆按从 1 开始的自然数进行编号, 并计算各同心圆内的建设用地面积; 将第三步得到的测度 (各同心圆内建设用地面积 S)、尺度 (同心圆编号 N) 序列数据标绘在坐标图上, 观察其拟合趋势。如果二者存在幂函数关系, 即

$$S(N) \propto N^{\pm D}$$

则可以断定城市形态存在分形。

幂函数关系等价于对数线性关系, 因此一般将上述测度、尺度数据直接标绘在双对数坐标图上, 只要数据点在双对数坐标图上直观地显示出直线关系能够成立, 或者有限度地成立——出现无特征尺度的标度区 (scaling range), 就可以判定分形的存在。否则, 城市还没有达到分形状态。判断是否有较好的直线关系, 除了从直观上考察直线的拟合趋势之外, 主要通过拟合优度 R^2 和标准误差 σ 来确定。Benguigui 等人用 $R^2 = 0.996$ 、 $\sigma = 0.04$ 作为判断城市是否分形的依据^[10], 我们根据北京市的具体情况, 定出适当的标准。

3 数据处理

3.1 资料来源与基础数据的提取

在此之前, 北京分形城市形态的系统研究尚未展开, 基于应用与方法上的必要性以及数据获取的可能性, 本文以北京市建设用地为研究对象, 基础数据来自美国陆地资源卫星

Landsat 5 北京幅 TM 遥感影像, 成图时间为 1984 年 10 月 3 日和 1999 年 10 月 29 日。在解译遥感数据时, 参照了北京市地形图、北京市域图、北京市区图等基础图件。

根据北京市 1:50000 地形图, 选取 20 余个地面控制点 (GCP), 采用一次多项式校正模型, 利用最近邻插值法, 对原始遥感数字图像进行几何校正, 并统一采样至 30m, 平均误差控制在半个像元之内, 即总均方根误差 $RMSE_{error} = 15m$ 。然后, 根据校正的遥感数字地图对其他遥感图像进行几何校正。校正后的图形在非监督分类的基础上, 利用目视判别法, 根据相关参考图, 对误分、漏分图斑进行人工纠正, 得到比较理想的分类结果。由于作者对北京比较熟悉, 加上城市建筑物与道路这些地物光谱特征也很明显, 分类精度较高, 可以满足分析的需要。

提取数据时, 需要确定同心圆环带的中心。西方城市一般以中央商务区 (CBD) 为中心。中国的城市一般不具有西方式的 CBD^[22]。虽然近几年来, 北京市朝阳区做了 CBD 规划^[23], 但是西方式的 CBD 还没有形成。王法辉等在一项研究中, 先选择 6 个可能作为中心的街道 (椿树、崇文门、大栅栏、前门、西长安街、东华门), 然后根据人口密度的衰减进行拟合, 最后取拟合优度最高的东华门几何中心为北京的中心^[24]。冯健等在一项研究中以天安门为北京的中心^[25]。本文以天安门为北京的中心, 因为北京城市的形成, 是一个长期的历史过程, 尤其是明清以来, 天安门是皇城的正门, 是政治活动的中心。

环带的半径公差可以选 0.5km、1km、1.5km 等值。以天安门为中心画圆, 要使圆能够比较完整地建设用地覆盖的最大半径大概为 30km (门头沟区的外围), 考虑到可能出现双标度区的情况, 应该有足够多的环带数量即样本量, 模型拟合才有意义。因此, 以 0.5km 为半径公差, 做 70 个环带 (图版 1 图 1)。

借助 ArcGIS、Microsoft Access 和 Microsoft Excel 等软件, 分别提取 1984 年、1999 年 70 个环带内的建设用地面积, 并将各环带面积进行累加, 得到各同心圆内的建设用地面积 (数据表从略)。

3.2 分形的判定

将各环带建设用地按环带-面积数据标绘在双对数坐标图上, 观察其拟合效果 (图 2)。

从图 2 直观上看, 散点图存在转折, 可以据此划分城市形态分形的标度区。转折点用下述方法确定。从中心的第一个环带开始, 向外逐渐增加环带, 分别用最小二乘法进行回归分析, 记录得到的维数值 D 、测定系数 R^2 与环带尺度 N (即环带编号) 之间的关系。将其分别标绘在坐标图上, 观察其变化规律, 确定转折点 (图略)。这种记录分维值与尺度之间关系的办法, Batty 等人将其称为分形签名 (Fractal Signature)^[7]。根据分形签名中维数值 D 、测定系数 R^2 随尺度 N 的变化关系, 确定两个标度区的界限: 1984 年取 16 个环带, 1999 年取 28 个环带, 图 2 给出了双标度区的回归拟合效果。

从图 2 可知, 1984 年和 1999 年数据在第一标度区内的幂函数关系拟合效果较好, 说明北京城市形态具有明显的分形特征。1984 年第二标度区的直线趋势不够好, 表明它是无效标度区, 只有第一标度区可以反映北京城市形态的分形特征。

北京市 1984、1999 年建设用地标度区范围的变化, 再一次印证了城市形态分形演化的一条重要规律, 即分形是大自然的优化结构, 是演化的分形。1984 年第一标度区较窄, 只有 16 个环带, 换算成实际的空间距离, 即 $16 \times 0.5 = 8km$ 。也就是说, 1984 年, 北京市建设用地的集聚分形结构在以天安门为中心、8km 为半径的范围内存在。1999 年第一标度区增加至 28 个环带, 即 $28 \times 0.5 = 14km$, 较之 1984 年有很大的扩展。

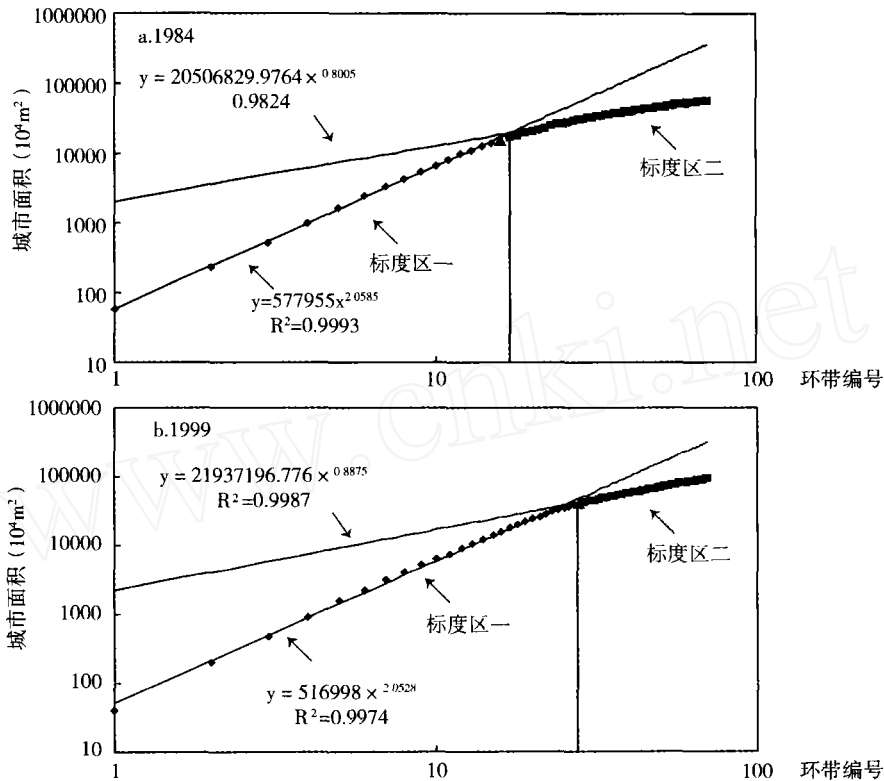


图 2 北京市建设用地半径维数拟合图示

Fig. 2 The plots on fractal dimensions of Beijing in log-log coordinate

4 分析与讨论

4.1 积聚分形维数演化及其理论解释

半径维数反映了从城市中心向外建设用地随距离增加而衰减的趋势，为了揭示其深刻意义，我们可以用数理模型进行分析^[16]。

一个几何体的长度 L 、面积 S 和体积 V 之间存在如下测度关系：

$$L^{1/d} \quad S^{1/2} \quad V^{1/3} \quad M^{1/d},$$

这里 M 为广义体积（可代表 L 、 S 、 V 中的任意一个）， d 为相应的维数（对于欧氏几何体， $d=1, 2$ 或 3 ），如果某种测度对应于分形，则 d 可被推广到分维。对于城市来说，半径 r 相当于线度 L ，即有 $L \propto r$ ，但面积未必是 2 维，因为城市用地形态破碎无规，不符合欧氏几何规则。假定城市形态为 D 维，则由上式可知 $r^{1/D} \propto S(r)^{1/D}$ ，从而

$$S(r) = kr^D \tag{1}$$

式中 k 为系数， D 为城市用地形态的维数。

又设从城市中心向外半径为 r 的圆域面积为 $A(r)$ ，则显然有

$$A(r) = r^2 \tag{2}$$

对上式求导，则有

$$\frac{dA(r)}{dr} = 2r \tag{3}$$

再对式 (1) 求导，可得

$$\frac{dS(r)}{dr} = Dkr^{D-1} \tag{4}$$

用式 (3) 两边除式 (4) 两边, 可得

$$(r) = \frac{dS(r)}{dA(r)} r^{D-2} \tag{5}$$

这个式子实际上就是所谓 Smeed 模型^[7], 该式定义了城市土地利用密度的分布公式。 (r) 为距市中心 r 处城市活动的平均密度。易见:

当 $D < 2$ 时, $(r) = 1/r^{2-D}$, r 越大, (r) 越小, 城市土地利用密度从中心向外递减;

当 $D = 2$ 时, $(r) = \frac{Dk}{2}$, 为常数, 城市土地利用密度从中心到外围没有差异;

当 $D > 2$ 时, $(r) = r^{D-2}$, r 越大, (r) 越大, 城市土地利用密度从中心向外围递增。

半径维数反映了城市用地从中心向外的密度衰减过程。如上所述, $D > 2$, 表示建设用地密度从中心向外围递增。当我们分门别类考察城市用地形态时, $D > 2$ 是非常普遍的, White 等人对美国四城市的研究即发现这一规律 (表 1)。

表 1 美国四城市各类土地利用的半径维数

Tab 1 The dimensions of four American cities on different land use types

土地类型	亚特兰大	辛辛那提	休斯敦	米尔沃基
商业用地	1	1. 1	1. 24	1. 27
工业用地	1. 97	2. 11	1. 51	1. 83
住宅用地	2. 12	2. 51	2. 76	2. 38
其他用地	2. 52	3. 42	2. 77	2. 17

资料来源: 根据 White R and Engelen (1993), 见参考文献[8]。

用回转半径法计算分维时, 圆心的位置非常重要。圆心的选取有几种办法: (1) 城市图像的重心; (2) 政治中心; (3) 某一城市职能用地的重心; 等等。因此, 选取的圆心未必是各个职能类土地的重心, 当圆心偏离某个职能类的重心太远时, 其分维值便会很高。在西方, 城市的重心一般是商业用地的中心 (CBD)。回转半径的圆心常与商业中心一致, 故商业用地的维数都不大于 2, 而工业、住宅等用地的维数都有高出所在空间维数的可能。

表 2 北京市建设用地半径维数的变化

Tab 2 The change of fractal dimensions of Beijing (built-up area)

年份	1984				1999			
参量	维数	标准误差	R ²	空间范围	维数	标准误差	R ²	空间范围
标度区一	2. 059	0. 015	0. 9992	0 ~ 10km	2. 053	0. 021	0. 9973	0 ~ 16. 5km
标度区二	1. 215	0. 016	0. 9983	> 10km	0. 887	0. 005	0. 9987	> 16. 5km

表 2 给出了北京市建设用地半径维数的拟合结果, 从表中可知, 1984 和 1999 年建设用地在第一标度区的维数大于 2, 说明在这个范围内, 建设用地密度由中心向外递增。

建设用地的分形签名图 (略) 还可以揭示第一标度区和第二标度区的用地分布特征。

1984 年, 随着环带的增加, 分维 D 从 2. 007 缓慢增加, 之后稳定在 2. 09 的水平, 接着缓慢下降到 2, 之后逐渐下降。在前 19 个环带 ($D = 2$ 的临界点) 中, D 值只比 2 略大。这表明, 1984 年在第一标度区内, 北京市建设用地密度基本保持不变。第二标度区的建设用地密度在前 3 个环带内基本不变, 从第 19 个环带开始向外逐渐降低。

1999 年北京市建设用地的集聚维数从最开始的 2. 300 逐渐下降到第 33 环带的 2. 005,

之后基本上维持一个逐渐下降的趋势。因此,在第一标度区内,建设用地密度由中心向外逐渐增加。增加的趋势是,越靠近中心,建设用地密度增加越快,越靠近边缘,建设用地密度增加越慢,直至停止增长并转为用地密度的下降。第二标度区内的建设用地密度在前 5 个环带内呈增加趋势,从第 33 个环带开始向外逐渐下降。

上述用分形方法得到的结果与用常规方法直接计算的城市建设用地密度随距离增加而变化的结果会有所不同。二者的本质区别在于:分形模型是一种宏观模拟,揭示研究对象的平均演化趋势,具有重要的理论演绎意义;直接计算属于实际观察值,用于刻画研究对象的微观状态。根据上述分形模型进行深入理论演绎超出了本文的研究范围,留待后续研究。

4.2 集聚分形的实践价值

下面我们从城市定义与城市范围确定的角度入手,揭示集聚分形标度区的实践价值。

4.2.1 城市定义、城市范围确定的难题 我们研究城市,第一要有城市的定义,第二要确定城市的范围即城乡的界限,第三要确定城市数目。但是,实际研究时,这 3 条常常是非常困难的事。一般来说,城市是相对于乡村而言的一种相对永久性的大型聚落,但是要找到一个与当代世界相符合的令人信服的城市或城镇的定义是不容易的,更难找到一个可应用于不同时代的解释^[26]。世界各国各地区根据各自社会经济发展的特点,制订了不同的城镇定义标准,周一星曾将其归纳为 8 种类型^[26]。

城市定义的标准如此多种多样,而确定城市范围则更困难。现实中,经常会有因城市范围划分不当而出现城市实体地域与城市行政界线不相符合的问题,其结果之一即是城市人口数的不确定性。例如,在不同出版物统计中,仅 1987 年北京市人口数竟有 7 种之多^[26],原因是不同的出版物统计城市人口的地域范围不一样。

由于城市定义和城市范围确定的困难,一个区域城市数量的确定也变得异常复杂,我们通常可从《年鉴》查到一个区域的城市数目,但实际上这些城市经常不具有可比性。随便从一本统计年鉴上就可以找到一批规模看似相当,但实际上并不可比的城市^[26]。

上述问题的本质在于城市是分形的,而分形的基本特性之一是没有特征尺度,因此很难确定城市的边界。为了解决这个问题,不同学者提出过不同的方法。解决问题的思路有两条:一是理论的,二是实用的。

从应用的角度解决问题,周一星曾经做过一些探讨。例如,在城市地域的认识方面,他在城市实体概念的基础上,建立了一套不同空间尺度的互相衔接的城市地域概念,以满足不同目的需要,并和国际上的城市统计建立起可比的基础^[27]。下面,我们换一种思路,用城市形态无特征尺度的标度区来尝试对城市进行定义,从而划分城市的范围。

4.2.2 一种新的城市范围定义 我们在前面已经提到,以城市的重心为圆心作回转半径,半径 r 与圆城内建筑物的占地面积 $S(r)$ 存在如下关系

$$S(r) = kr^D$$

按照这个方程,对北京市 1984、1999 年建设用地进行回归分析,各自得到两个标度区。根据标度区,我们可以得到一个从城市中心向外扩展的建设用地范围,它在一定程度上反映了城市经济活动在空间上的拓展情况。为此,我们可以考虑用标度区来进行城市定义,并以此为标准,划定城市范围。

表 3 给出了两个标度区的基本情况,综合以上分析,作者认为可以确立如下的城市定义及城市范围划分新方案:

表 3 北京市建设用地标度区比较(1984,1999)

Tab 3 The comparison of the scaling range of built-up area in Beijing in 1984 and 1999

编号	比较项目	1984		1999	
		标度区一	$D = 2$ 的临界区	标度区二	$D = 2$ 的临界区
1	环带数	16	19	28	33
2	半径(km)	8	9.5	14	16.5
3	圆域面积(km ²)	201.06	283.53	615.75	855.30
4	建设用地面积(km ²)	159.67	197.93	407.17	489.20
5	建设用地面积占圆域面积比重(%)	79.41	69.81	66.13	57.20

数据来源:通过遥感分类图计算而得。

第一步,获取城市用地相关数据。

城市用地数据来源有多种,例如(卫星、航空)遥感数据、城市土地详查数据等。遥感数据的优点在于可以适时更新。遥感数据有不同的分辨率。例如,30m 分辨率的 TM 遥感影像,可以用来解译建设用地、绿化用地、水体等用地类型。如果想解译更多信息,可以用更高分辨率的遥感影像。土地利用数据可从规划局、土地局等城市职能机构得到。

第二步,根据得到的城市用地数据,用半径法计算其标度区。

第三步,根据第二步计算得到的标度区,结合遥感分类图的实际情况,划定城市的范围。

对于北京市,根据本文计算得到的标度区,1984 年城市范围划分到 16 个环带,1999 年城市范围划分到 28 个环带。如果考虑到维数 $D = 2$ 的临界情况,则 1984 年的 16~19 环带之间、1999 年的 28~33 个环带之间为城乡过渡地带。

上述定义和划分方法与传统的城市定义和城市范围的划分相比,主要有如下优点:

(1)城市是分形的城市,分形是演化的分形,用标度区来划定城市,可以在不同城市之间建立一个可比的参数。

(2)利用现有数据的同时,减少了城市定义和城市范围划分的主观性。上述城市用地数据是城市职能部门必备的基础资料,我们可以加以充分开发利用。这种新的城市定义和划分,是基于数理方法进行的,可以减少传统划分城市范围中人为因素的干扰。

(3)本方法的结果具有较大的理论意义。标度区和分形维数可以用于其他数理模型的推演,从而得到更多有用的理论价值,这对于揭示城市发展的宏观规律大有裨益。

5 结论

北京城市形态具有分形特征。北京城市建设用地从中心向外扩散的集聚分形结构存在明显的标度区转折现象,其中第一标度区是能够揭示城市形态演化特点的有效标度区,其范围从 1984 年的 8km(以天安门为中心)扩展到 1999 年的 14km。半径维数数值反映了建设用地密度的集聚扩散特点,即用地从中心向外的变化趋势。研究表明,1984 年,以天安门为中心向外大约 10km 范围内,建设用地密度基本保持不变,之后向外逐渐降低。1999 年,从中心向外大约 16.5km 范围内,建设用地密度呈持续增加趋势,之后向外逐渐降低。

集聚分形模型具有一定的实践价值。本文根据集聚分形的标度区建立了一种新的城市范围定义,这种定义可以减少通常定义中的主观因素和不可比因素,标度区大小具有一定的理论意义。

致谢: 作者感谢陈彦光副教授, 他为本文的理论部分提供了有益的意见。

参考文献:

- [1] Batty M. Fractals geometry between dimensions. *New Scientist*, 1985, 106:31 ~ 35.
- [2] Batty M, Longley P A. Urban shapes as fractals. *Area*, 1987, 19:215 ~ 221.
- [3] Batty M, Longley P A. The morphology of urban land use. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1988, 15:461 ~ 488.
- [4] Frankhauser P. Aspects fractals des structures urbaines. *L'Espace Geographique*, 1990, 19:45 ~ 69.
- [5] Frankhauser P. *La Fractalité des Structures Urbaines*. Paris: Economica, 1994.
- [6] Batty M, Longley P A, Fotheringham A S. Urban growth and form: scaling, fractal geometry and diffusion-limited aggregation. *Environment and Planning A*, 1989, 21:1447 ~ 1472.
- [7] Batty M, Longley P A. *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. London: Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers, 1994.
- [8] White R, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, 1993, 25:1175 ~ 1199.
- [9] White R, Engelen G, Uljee I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban-land dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24:323 ~ 343.
- [10] Benguigui L, Czamanski D, Marinov M, *et al.* When and where is a city fractal? *Environment and Planning: Planning and Design*, 2000, 27:507 ~ 519.
- [11] 李后强, 艾南山. 具有黄金分割特征和分形性质的市场网络. *经济地理*, 1992, 12(4):1 ~ 5.
- [12] 刘继生, 陈彦光. 城市地理分形研究的回顾与前瞻. *地理科学*, 2000, 20(2):166 ~ 171.
- [13] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维. *地理研究*, 2001, 20(2):146 ~ 152.
- [14] 刘明华, 陈彦光. 城市土地利用形态及其空间结构的分维描述方法. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2001, 14(2):209 ~ 213, 219.
- [15] 况颐, 陈彦光. DLA 和 DBM 模型与城市生长的分形模拟——关于城市分形形态模拟方法的一个理论探讨. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2001, 14(3):303 ~ 308.
- [16] 陈彦光, 黄昆. 城市形态的分形维数: 理论探讨与实践教益. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2002, 15(1):62 ~ 67.
- [17] 张宇, 王青. 城市形态分形研究——以太原市为例. *山西大学学报*, 2000, 23(4):365 ~ 368.
- [18] 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. *地理学报*, 2000, 55(6):671 ~ 678.
- [19] 李江. 组团式城市外部空间形态分形特征研究. *经济地理*, 2004, 24(1):64 ~ 66.
- [20] 冯健. 杭州城市形态和土地利用结构的时空演化. *地理学报*, 2003, 58(3):343 ~ 353.
- [21] 赵晶, 徐建华, 梅安新等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析. *地理研究*, 2004, 23(2):137 ~ 146.
- [22] Yan X. Chinese urban geography since the late 1970s. *Urban Geography*, 1995, 16:469 ~ 492.
- [23] 张铁军. 北京商务中心区综合规划. *北京规划建设*, 2002, (2):56 ~ 61.
- [24] Wang F H, Zhou Y X. Modeling urban population densities in Beijing 1982 - 90: suburbanisation and its causes. *Urban Studies*, 1999, 36:271 ~ 287.
- [25] 冯健, 周一星. 近 20 年来北京都市区人口增长与分布. *地理学报*, 2003, 58(6):903 ~ 916.
- [26] 周一星. *城市地理学*. 北京: 商务印书馆, 1995.
- [27] Zhou Y X. Definitions of urban places and statistical standards of urban population in China: problems and solutions. *Asian Geographer*, 1988, 7:12 ~ 28.

The fractal urban form of Beijing and its practical significance

JIANG Shi-guo^{1,2}, ZHOU Yi-xing¹

(1. Geographic Science Research Center, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Urban Planning & Design Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract : This paper presents a study on the fractal urban form of Beijing. We use the city built-up area to define the urban form. It includes all the built-up area of houses, squares and roads, but the roads connecting central cities are not included, nor the water and vegetation. The data is obtained from the Landsat TM images of Beijing. Two TM scenes from 1984 and 1999 are used to cover the city and its adjacent areas. Based on the unsupervised classification using the IMAGE ERDAS 8.6, the authors conducted an aborative correction on the map so that the classification is accurate enough. ESRI ARC GIS 9.0 is used to get the area data. The authors use the area-radius relationship method in this paper. In this view, the fractal dimension is a way to clarify the convergence and decentralization of urbanized area.

The authors found that the city of Beijing bears clear fractal characteristics. The computation shows that there exist double scaling range. The first scaling range is good to reveal the fractal evolution of Beijing. The scaling range is 8km in 1984 while it is 14km in 1999. The extension of the scaling range shows that the fractal characteristic in 1999 is better than that in 1984. The dimension values also indicate the building density of Beijing. In 1984, the density remains almost unchanged in a region of 10 km distance from the center (Tian'an Men). In 1999, the building density increases from the center to a region with a radius of 16.5 km. Both of the building densities decrease outside the corresponding ranges of 1984 and 1999. The fractal model from the area-radius relationship method in this paper has important theoretical significance, which needs further studies.

The fractal computation in this paper has important practical significance. The scaling range of a city is a special variable that carries individual characteristics. It is also a comparable variable among cities. Based on this, the authors identified a new city definition using the scaling range. The new definition can avoid the subjective and incomparable factors of the ordinary definition method. The scaling range also has important theoretical significance.

Key words : urban form; remote sensing image; fractal; fractal dimension; area-radius relationship method; Beijing

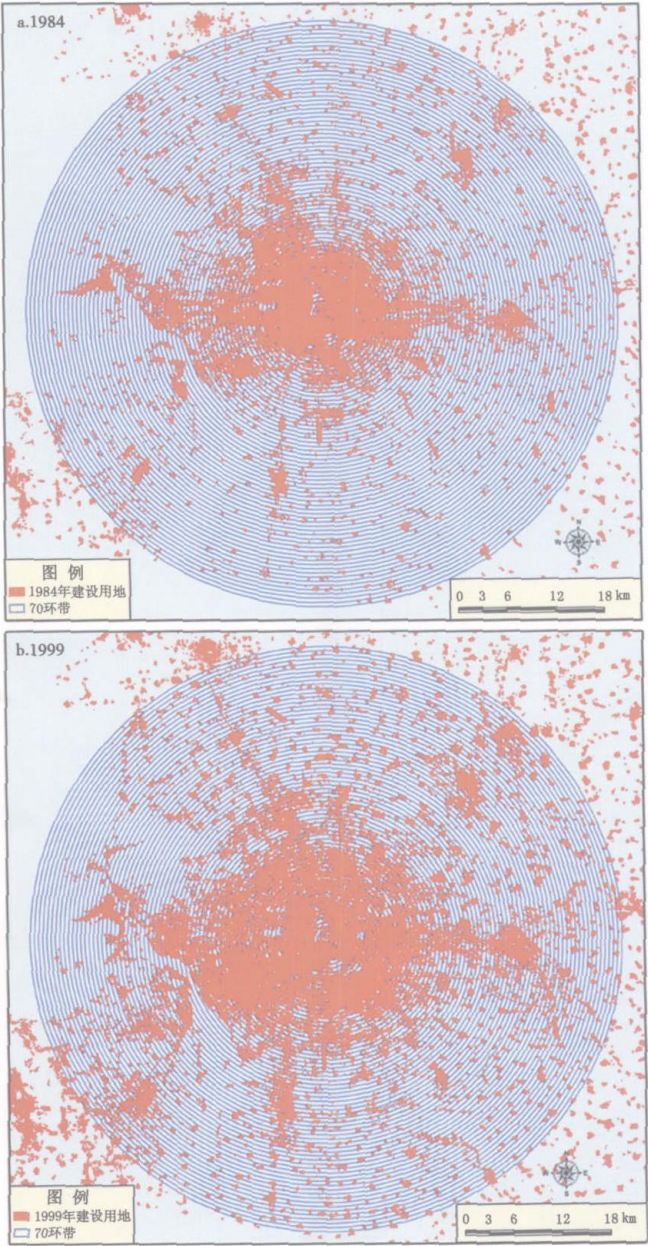


图 1 北京城市用地及环带
Fig.1 Maps of Beijing(built-up area) and the study rings