

# 城市边缘区土地利用结构分形特征的动态变化

## ——以广州市南拓区为例

陈明辉<sup>1,2</sup>, 陈颖彪<sup>3\*</sup>, 郭冠华<sup>3</sup>, 罗俊彪<sup>3</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275; 2. 东莞市地理信息与规划编制研究中心, 东莞 529123;  
3. 广州大学地理科学学院, 广州 510006)

**摘要:** 近 20 年来, 随着广州市城市化水平的大幅提升, 作为城市地域空间发展前沿的城市边缘区土地利用变化异常明显。本文以广州市典型城市边缘区为研究对象, 基于覆盖广州市南拓区的 4 时相 TM 遥感解译数据, 构建土地利用数量结构变化模型和分形结构模型, 量化研究区域土地利用结构的变化强度、复杂性和稳定性。研究结果表明: 在广州市核心区城市化辐射作用下, 南拓区 1990 年以来, 土地利用经受了剧烈的变化, 按照变化特征可将其分为 2 个阶段: (1) 前期(1990 - 1995 年), 土地利用结构变化剧烈, 建筑用地的增加和耕地面积的减少主导了该时期的土地利用数量变化过程, 期间分维数快速增加, 稳定性迅速下降; (2) 后期(1995 - 2005 年), 土地利用结构变化幅度减缓, 耕地、林地面积有所回升, 分维数和稳定性上升幅度趋缓, 区域土地利用结构变化开始出现良好的态势。

**关键词:** 城市边缘区; 广州市南拓区; 土地利用变化; 分形特征

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00520

### 1 引言

自 1967 年 Mandelbrot 在《科学》上提出分形理论<sup>[1]</sup>以来, 很多学者应用分形理论研究不规则、不稳定及具有高度复杂结构的土地利用空间格局<sup>[2-6]</sup>。土地利用的空间形态具有不规则、不稳定和复杂性特征, 是自然界中最典型的分形几何体。传统的欧氏几何只适合于描述简单、规则的实体, 而分形和分维更适合于描述大自然中复杂的非线性系统<sup>[7]</sup>。因此, 以分析空间结构和形态见长的分形理论为土地利用研究提供了新的理论支撑和手段。

城市边缘区是城市地域结构的重要组成部分, 它处于城市与乡村的过渡地带, 其土地利用时空变化十分迅速和不稳定。目前, 运用分形理论对城市边缘区土地利用空间结构分形特征动态演变的研究相对较少, 而对其土地利用结构和形态的分析可以揭示城市空间扩展过程中许多重要信息。本文以典型城市边缘区广州市南部拓展区为研究区, 以

1990、1995、2000 和 2005 年的 TM 遥感影像获得土地利用类型图, 首先概述南拓区近 15 年来土地利用数量结构变化, 以分形模型分析土地利用空间形态分形特征动态变化的状况, 目的是揭示快速城市化过程中城市边缘区土地利用变化规律。本研究有助于及时了解和掌握南拓区近年来的土地利用结构和形态演变状况及其内部驱动机制, 揭示土地利用复杂系统变化的层次性和规律性, 这对指导城市地域空间科学有序演进, 实现区域可持续发展有重要意义。

### 2 研究区地理背景与数据处理

#### 2.1 研究区的地理背景

2001 年, 为了实现城市的可持续发展, 广州市提出了“东进、南拓、北优、西联”的发展战略。广州市南拓区位于珠江三角洲的几何中心, 毗邻广州市区、珠海、中山、澳门等城市(图 1)。“南拓”包括番禺区和南沙区两个行政单位, 它是广州城市空间发

收稿日期: 2011 - 02 - 04; 修回日期: 2011 - 06 - 21.  
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40830532); 住房和城乡建设部科学计划项目(2009 - K9 - 2).  
作者简介: 陈明辉(1978 -), 男, 湖南东安人, 博士研究生, 从事地理信息与遥感模型研究与应用。  
E-mail: 79131489@qq.com  
\* 通讯作者: 陈颖彪(1969 -), 吉林人, 男, 博士, 教授, 主要从事遥感和 GIS 技术应用研究。E-mail: chenyingb@21cn.com

展和工业布局调整的重中之重,是目前正在热点建设当中的滨海工业区。随着广州市经济的快速发展和人口的增加,近 20 年来,该区域内城市建设和农村发展用地迅速扩张,城市空间蔓延主导着土地利用变化过程。因此,选取广州市“南拓”区为典型区域进行城市边缘区土地结构分形特征演变分析具有很好的现实意义。

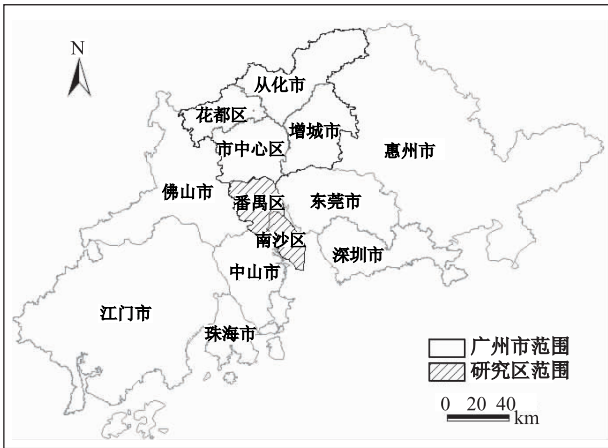


图 1 研究区位置

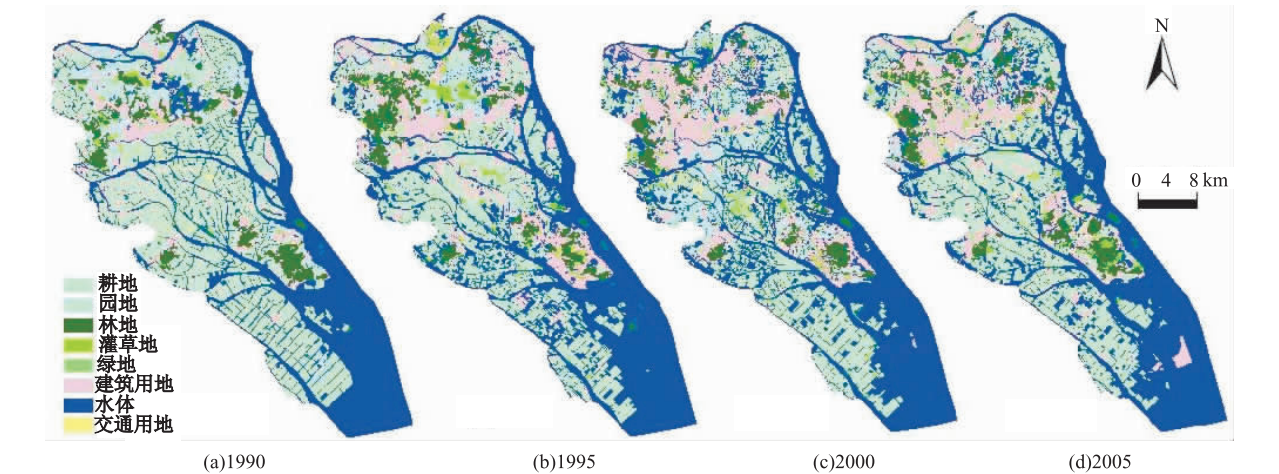


图 2 1990—2005 年广州市南拓区土地利用/覆被类型图

Fig. 2 Land use and land cover maps from 1990 to 2005 in the study area

### 3 土地利用结构分形特征动态分析

#### 3.1 单一土地利用类型变化强度模型

单一土地利用类型变化强度计算如公式 (1)<sup>[8-9]</sup>:

$$LTI = \frac{TA_b - TA_a}{LT} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{1}$$

式中, $LTI$  表示研究时段内某土地利用类型的变化强度指数; $TA_a$ 、 $TA_b$  分别是某土地利用类型在研

#### 2.2 数据处理

本研究采用的主要数据包括覆盖整个研究区的 4 期 Landsat TM 遥感数据(1990 年 10 月 13 日、1995 年 9 月 9 日、2000 年 10 月 14 日、2005 年 12 月 22 日,轨道号为 122/044(122/44 上移 15%));广州市行政区划图(2000 年)和 1 : 5 万地形图。

以地形图为准,先对 2000 年 TM 影像图进行几何精校正,再以校正好的 TM 影像为参考分别将 1990、1995 和 2005 年的 TM 影像校正到 2000 年的 TM 影像空间上。以广州市行政区划图中的研究区部分矢量图裁剪 4 时相的遥感影像,得到研究区遥感影像图。最后采用人机交互解译方法,获得研究区的土地利用/覆被类型图。其中,土地利用分类体系参考“土地利用现状分类”、“广东省土地利用分类现状”,以及相关研究资料,并结合研究区土地覆被现状和遥感数据的可判性,把土地利用分为 8 个类型,各时相土地利用分类精度均在 86% 以上,符合本研究要求。土地利用/覆被类型图如图 2 所示。

究初期和末期的面积; $LT$  为研究区总面积; $T$  为研究末期与初期的时间间隔(年)。

#### 3.2 分形结构模型

分形具有自相似性和标度性两个重要特征<sup>[10-11]</sup>,分维是表征自相似系统或结构的定量指标之一。研究分维,主要是定量描述斑块核心面积的大小及其边界的曲折性。董连科<sup>[12]</sup>应用 Mandelbrot<sup>[13]</sup>的分形几何体形态结构模型推导出适合  $n$

维欧氏空间的分维计算公式,对于 2 维空间中分形几何体,可用公式(2)计算其分维<sup>[14]</sup>。

$$\ln[A(r)] = \frac{2}{D}\ln[P(r) + C] \tag{2}$$

式中, $D$  为土地斑块的分维,其值的大小表示该斑块要素镶嵌结构的复杂性与稳定性; $A(r)$  代表以  $r$  为测量尺度的某种土地斑块类型面积; $P(r)$  为该斑块类型的周长; $C$  为常数; $2/D$  为斜率,分维  $D$  等于斜率除以 2。 $D$  值介于 1 和 2 之间,对于某一种景观要素而言, $D$  值越大,表示该要素镶嵌结构越复杂;当  $D=1.5$  时,表示该景观要素处于一种类似布朗运动的随机状态,即结构最不稳定; $D$  值越接近于 1.5,表示该要素越不稳定<sup>[15]</sup>。

各斑块要素镶嵌结构空间形态稳定指数  $SK$

表 1 1990 - 2005 年研究区土地利用结构数量变化 (km<sup>2</sup>)

Tab. 1 Quantity structure of different land use types of the study area, 1990 - 2005 (km<sup>2</sup>)

土地利用类型	耕地	园地	林地	灌草地	绿地	建筑用地	水体	交通用地
1990 年	525.9	107.2	70.4	13.1	4.7	123.9	461.2	7.6
1995 年	383.8	82.8	80.5	37.1	7.6	199.1	513.6	9.5
2000 年	322.8	111.4	57.1	25.5	13.9	217.2	549.9	16.2
2005 年	394.9	33.1	75.8	25.6	32.1	226.3	506.3	19.9
1990 - 1995 年变化强度(%)	-2.16	-0.37	0.16	0.37	0.04	1.15	0.79	0.03
1995 - 2000 年变化强度(%)	-0.93	0.44	-0.36	-0.17	0.09	0.28	0.56	0.10
2000 - 2005 年变化强度(%)	1.09	-1.19	0.29	0.01	0.80	0.14	-0.67	0.05
1990 - 2005 年变化强度(%)	-1.99	-1.13	0.08	0.19	0.42	1.56	0.69	0.19

从表 1 可知,耕地面积的快速下降和建筑用地的迅速增加主导了整个研究时期的土地覆被变化过程。1990 - 2005 年间耕地和园地的减小率分别为 1.99% 和 1.13%,建筑用地、绿地和交通用地分别增加 1.56%、0.42% 和 0.19%。

其中,在 1990 - 1995 年间,耕地面积的减少状况对整个研究时期耕地的变化趋势贡献最大,该时期内耕地面积减少 142.1 km<sup>2</sup>,年均减少率为 2.16%,呈下降趋势的还有园地。建筑用地面积的增加状况也对整个研究时期其变化态势贡献最大,该时期内建筑用地面积增加 75.2 km<sup>2</sup>,年均增加率为 1.15%。其他 5 种土地利用类型变化面积均呈上升趋势。这一时期南拓区正处于城市化高速发展阶段,在广州市经济快速发展、人口迅速增加的驱动下,广州南拓区特别是番禺区成为外来人口的主要集中地,建筑用地增加,城市蔓延明显。

在 1995 - 2005 年间,土地利用变化态势趋于科

计算公式<sup>[14,16]</sup>如下:

$$SK = |1.5 - D| \tag{3}$$

$SK$  值越大,表示景观要素空间形态越稳定。稳定性指数是检验土地利用形态稳定性的指标,其值反映土地利用形态在简单和复杂情况下的稳定程度。

3.3 土地利用结构分形特征的动态变化

3.3.1 土地利用结构数量动态变化

通过分析研究区各土地利用类型变化面积,可了解各时相的区域土地利用变化态势,及其土地利用变化的阶段性特征。表 1 是研究区 1990 - 2005 年间土地利用结构面积变化和各土地利用类型变化强度统计(变化强度根据公式(1)计算所得)。

学合理,表示为建筑用地面积增加态势趋缓,耕地面积有所回升。原本废弃的大量灌草地被重新利用,使得灌草地面积有所下降。对城市生态系统有着重要意义的林地和绿地景观面积有所增加。这种变化特征表明:自 1995 年来区域土地利用变化已经开始出现良好的趋势。

3.3.2 土地利用空间形态分维变化

在 ArcGIS 中求算各年份土地利用斑块的面积和周长,先导出属性表,然后根据公式(2)在 Excel 中建立各年份不同土地利用类型的周长 - 面积双对数散点图,运用线性方程拟合建立各土地利用类型的分形模型,得到各土地利用类型的分维和稳定性指数。依据分形模型研究土地利用结构,其分维越大,即相同面积的斑块周长越长,斑块结构越复杂,反之,斑块结构越简单。分维的下降意味着土地利用结构变得规整,反之则变得复杂。一般而言,分维数下降,说明斑块类型边界得到规整,土地

利用结构更加紧凑节约,从景观生态学的角度来看,分维数降低,土地斑块与周边其他景观的接触面越小,受边界干扰的机会越小,有利于斑块的稳定性<sup>[17]</sup>,是一种更好的发展趋势。

图 4 为各土地利用类型分维变化图,其中总体分维数通过建立同一时期内所有土地利用类型的斑块周长—面积对数线性模型得到,该参数能够反映研究时期内土地利用总体形态特征。从图 4 可以看出,1990—2005 年土地利用空间格局分维数整体上呈上升趋势,表明区域内土地利用景观镶嵌结构形态趋于复杂,各类型用地在空间上趋于相互交错和渗透,土地利用的复杂性和无序性增强。其中,1990—1995 年的分维数上升态势对研究时期内的分维数变化趋势贡献最大,分维数从在 5 年间增加 6.48%,而 1995—2005 年 10 年内增幅仅为 1.31%,这种变化特征显示 1990—1995 年为区域城市化快速发展时期,城市建设大规模展开,在这个过程中人为干扰土地形态的行为强度十分强烈,土地利用开发显现出无序的特点。而 1995—2005 年,土地利用空间格局分维数上升幅度减弱,反映人为开发土地利用强度趋缓,这与研究区内经济建设稳步发展,城市规划的制约性增强密切相关。

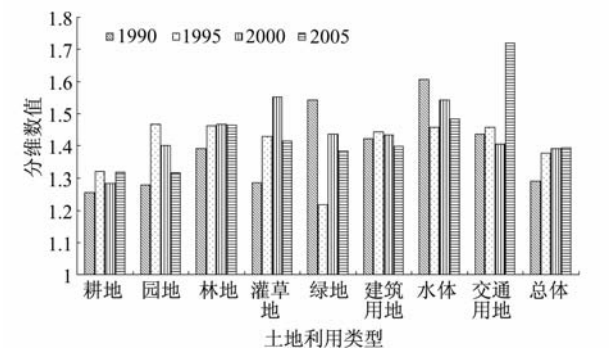


图 4 1990—2005 年研究区各土地利用类型分维数变化  
Fig. 4 Dynamic change of fractal dimension of different land use types in the study area, 1990—2005

根据图 4 分析不同土地利用类型的分维数变化状况:分维数变化较大的有园地、灌草地、绿地和交通用地。其中,园地、灌草地和交通用地均呈波动上升的趋势,分别在 1995、2000 和 2005 年到达最大值,表明这些地类形态结构趋于复杂,斑块边界受侵扰强度有时间差异。其中,交通用地分维数在 2005 年出现较高数值,反映其空间结构复杂性快速增加。这与时期内交通用地面积增加,斑块间

交错分布、相互渗透有关。绿地分维数呈减少趋势,1995 年降到最低值后在 2000 年有所回升,这与区域内因城市环境生态建设的需要绿地得到重新整理和配置有关。分维数变化较小的有耕地、林地、建筑用地和水体,其中,耕地和林地分维数呈上升趋势,而建筑用地和水体则显现下降态势,这种变化显示在区域城市化发展进程中,经济发展和人口增加导致耕地和林地边界不断受到侵扰,边界趋于复杂。

3.3.3 土地利用空间形态稳定性系数动态变化

稳定性系数是从土地利用斑块形状的稳定性角度表征土地利用结构形态特征,其意义在于说明在某一分维数状态下的土地类型在自然状态下,抵抗人类活动或自然灾害干扰以维持其自身形状的能力。

图 5 为研究区各土地利用类型稳定性系数变化状况。整体上土地利用稳定性呈不断下降趋势,其中,1990—1995 年土地利用稳定性变化,对整个研究时期的变化态势贡献最大,该时期内稳定性下降幅度达 40.20%,后期土地利用稳定性下降幅度逐渐减少,2000—2005 年间仅下降 2.05%。这一演变特征显示 1990—1995 年是区域城市化快速发展时期,该时期内人类活动作用十分剧烈,原本相对比较规整的土地利用斑块因缺乏土地规划管理制约,在土地盲目开发行为下土地利用结构稳定性下降。1995 年以后稳定性下降态势趋缓,表明大规模城市建设得到遏制,在科学的城市建设规划指导下土地利用向有序方向发展。

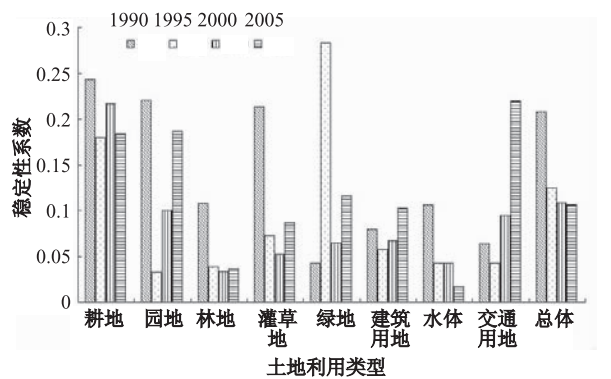


图 5 1990—2005 年研究区各土地利用类型稳定性变化  
Fig. 5 Dynamic change of stability index of different land use types in the study area, 1990—2005

根据图 5 分析不同土地利用类型稳定性变化状况,稳定性最大的是耕地,稳定性最小的有林地



和水体。稳定性下降的有耕地、园地、林地、灌草地、水体,其他土地利用类型均有不同程度的上升。不同土地利用类型之间对比看出,受人类活动影响较大的土地利用类型(耕地、园地、灌草地、绿地、建筑用地和交通用地)稳定性较强,而受人类活动影响较小的自然景观(林地和水体)则有较低的稳定性,因此,快速城市化过程中承受着人类改造活动剧烈的城市边缘区应当怎样在城市开发建设过程中合理保护这些稳定性较差、容易受破坏的自然景观,是当前城市可持续发展面临的重大问题之一。

## 4 结论

研究表明,广州市南拓区土地利用数量和形态结构变化呈现阶段性演变特征:1990-1995 年是广州市南拓区城市化高速发展时期,该时期内区域土地利用数量和空间形态变化剧烈,主要表现为建设用地扩展明显,其面积增加  $75.2 \text{ km}^2$ ,而耕地面积减少  $142.1 \text{ km}^2$ ,同时土地利用分维数上升了  $6.48\%$ ,稳定性呈下降趋势;1995 年后随着城市化进程的深入,在科学的城市发展规划和土地资源管理制约下,城市蔓延强度减缓,耕地被“蚕食”速度下降,到后期耕地、林地、绿地等对区域生态系统有重要意义的土地利用类型数量上升,同时分维数和稳定性变化逐渐趋缓,区域土地利用结构已经开始出现良好的趋势。

近 20 年来,广州市南拓区经受着广州市城市地域空间扩张的强烈辐射,剧烈的人类活动深刻改变着区域土地利用方式,这一过程主要表现为人造景观“蚕食”自然景观,致使受人类活动影响较大的土地利用类型结构复杂性,大于受人类活动影响较小的土地利用类型,而土地利用类型结构的稳定性则表现出相反的特征。人类干扰活动大大降低土地利用景观格局的复杂性和稳定性,改变景观结构内部运行机制,进一步影响区域自然生态系统。快速城市化过程中承受着人类改造干扰活动剧烈的城市边缘区应当怎样在城市开发建设过程中合理保护那些容易受破坏、对区域生态系统有重要意义的自然景观,是当前实现区域可持续发展面临的重大问题之一。

## 参考文献:

- [1] Mandelbrot B B. How Long is the Coast of Britain? Statistical Self-similarity and Fractional Dimension[J]. Science, 1967, 156(3775): 636-638.
- [2] 岳文泽,徐建华,金炯,等. 西北半干旱区城郊土地利用结构与分形模型研究——以兰州市西固区为例[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 249-256.
- [3] 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.
- [4] 包安明,陈云浩,史建康,等. 干旱区不同土地利用类型的时空分形特征研究——以塔里木河干流区域为例[J]. 干旱区地理, 2009, 32(5): 761-768.
- [5] 贾文臣,贾香云,李福印,等. 威海市土地利用分形特征动态变化[J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 193-198.
- [6] 朱晓华,蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制[J]. 地理科学, 2005, 25(6): 671-677.
- [7] 陈彦光. 地理学的贫困与出路(II)——地理学发展的分形方向[J]. 信阳师范学院学报, 1998, 11(2): 163-171.
- [8] 李晓文,方精云. 近 10 年来长江下游地区耕地动态变化特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 562-567.
- [9] 龚建周,夏北成. 1990 年以来广州市土地覆被景观的时空梯度分异[J]. 地理学报, 2007, 62(2): 181-190.
- [10] Falconer K J. Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Application[M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1997.
- [11] Edgar G A. Measure, Topology and Fractal Geometry[M]. New York: Springer-Verlag, 1990.
- [12] 董连科. 分形理论及应用[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991.
- [13] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. New York: W H Freeman, 1982.
- [14] 徐建华,艾南山,金炯,等. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究——以黑河流域为例[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 35-39.
- [15] 赵永平,王一谋. 图形分形理论在沙漠化定量研究中的应用[J]. 中国沙漠, 1995, 15(2): 175-180.
- [16] 蔡运龙. 土地结构分析的方法及应用[J]. 地理学报, 1992, 47(2): 146-156.
- [17] 谢花林,李秀彬. 基于分形理论的土地利用空间行为特征——以江西东江流域为例[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1867-1872.

Dynamic Change of Land Use Structure Fractal Characteristics of Urban Fringe: A Case Study in the Extend South Area of Guangzhou

CHEN Minghui<sup>1,2</sup>, CHEN Yingbiao<sup>3\*</sup>, GUO Guanhuan<sup>3</sup>, LUO Junbiao<sup>3</sup>

(1. Geography and Planning School of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China;

2. The Research Center of Geographic Information and Urban Planning of Dongguan City, Dongguan 529123, China;

3. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Over the past two decades, with rapid urbanization in Guangzhou, urban fringes experienced drastically land use changes. In this paper, taking the Extend South Area of Guangzhou as a typical example of urban fringe, based on GIS (Geography Information System) and RS (Remote Science) technology, land use vector of the study area in 1990, 1995, 2000 and 2005 were interpreted from Landsat TM images. Dynamic degree, fractal dimension and stability index of each main land use type in each year were calculated. Results showed that: from 1990 to 2005, land use of the Extend South Area of Guangzhou experienced obvious changes under the strong forces of urbanization of core area in Guangzhou. According to the change characteristics of land use, two phases of study period are followings. Firstly, from 1990 to 1995, the structure of land use changed tempestuously. In this period, the increase of construction land and decrease of farmland was the main process, with great increase of fractal dimension and decrease of stability index. Secondly, from 1995 – 2005, increasing speed of construction slowed down, farmland and forest land started to increase, and increase of fractal dimension and stability index became slighter, regional structure of land use experienced a beneficial development.

**Key words:** urban fringes; the Extend South Area of Guangzhou; land use change; fractal characteristics