

城市土地利用动态变化及预测模型研究^{*}

张新长¹, 梁金成²

(1. 中山大学遥感与地理信息工程系, 广东 广州 510275;
2. 广东省地图出版社, 广东 广州 510075)

摘 要: 以广州市海珠区土地利用现状图数据源, 利用 GIS 技术定量分析了土地利用动态变化过程以及土地利用各类型之间的相互转化情况。在此基础上, 求得研究区土地利用变化的转移矩阵, 据此分析海珠区 1993—1997 年间土地利用变化的空间过程。同时运用马尔柯夫模型, 对土地利用动态变化及演变趋势预测进行了分析, 从而达到全面把握城市土地变化规律的目的。

关键词: 城市土地利用; 动态变化; 时空模拟; 广州市

中图分类号: P228 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 02-0121-05

土地利用/土地覆被变化 (LUCC) 是全球环境变化研究的重要组成部分^[1], 是人类活动对自然环境施加影响的显著表现形式之一。客观把握驱动土地利用变化的方式, 了解土地利用变化特征, 是区域可持续发展的重要决策基础。广州市的高速经济发展过程为人们揭示城市化过程中的土地利用变化规律, 提供了极为难得的条件。本文以土地利用和土地覆被类型的时空变化为研究重点, 采用基于 GIS 技术的转移矩阵, 通过动态度模型和马尔柯夫模型来分析、预测土地利用的时空演变。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

海珠区位于珠江南岸、广州市的南部, 作为广州市的一个独立行政区域, 三面为珠江航道所包围, 南邻番禺区。全区土地总面积为 90.4 km², 土地利用以建设用地、农用地为主。根据广州市海珠区 2001 年土地利用现状图 (图 1) 可知, 其中面积最大的土地利用类型为建设用地, 占总土地面积的 71.03%, 其中绝大部分为城镇用地, 其次为交通

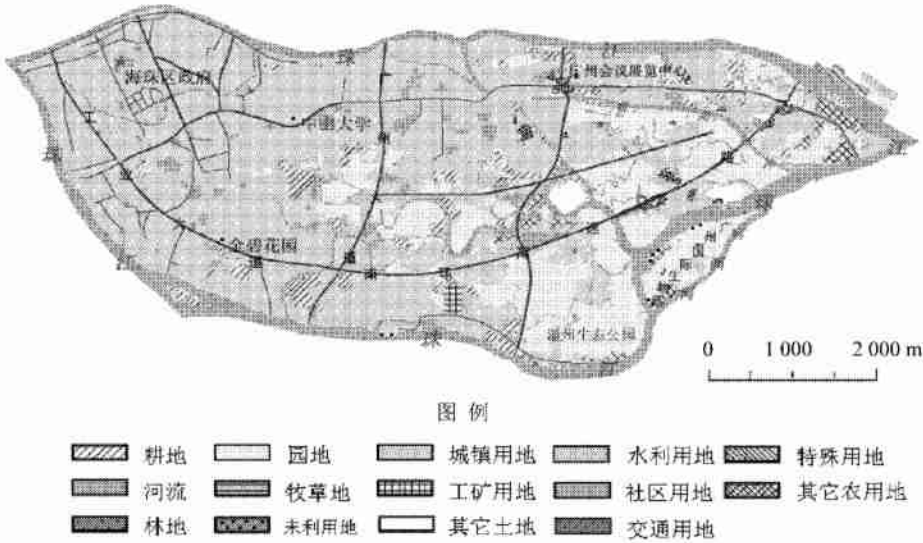


图 1 2001 年广州市海珠区土地利用现状图

Fig. 1 Map of land use in Haizhu district of Guangzhou in 2001

^{*} 收稿日期: 2003—05—20

基金项目: 测绘遥感信息工程国家重点实验室资助项目 (WK1020302)

作者简介: 张新长 (1957 年生), 男, 教授; E-mail: eeszc@zsu.edu.cn

运输用地和社区用地；农用地仅占 24.37%，其中，园地占 70%，林地和草地的比例极低，仅为 4.8%。土地利用类型的分布，西北部主要以城镇、工矿用地为主，南部、东部为农用地。

1.2 研究方法

本文以广州市海珠区土地利用现状图为数据源，运用 ArcGIS 软件中的 ArcMap 模块，对 1993 和 1997 年土地利用图进行空间叠置分析，获得这一时段的土地利用变化图（图 2），再用 ArcCatalog 软件提取数据，得到土地利用动态演变的数据矩阵（表 1）。

根据图 2 和表 1 分析得到：广州市海珠区土地利用的动态变化特点是农用地逐步减少，建设用地增多。农用地面积由 1993 年的 33.06 km² 减少到 1997 年的 26.35 km²，在总面积的比例中也越来越小，由 1993 年的 36.57% 到 1997 年的 29.15%。农

用地中，耕地变化较大，其次为园地。建设用地逐年增加，1993 年建设用地占总土地面积的比例为 58.37%，1997 年为 66.36%，1993—1997 年间，建设用地共增加了 72.22 km²。其中城镇用地增幅最大，而耕地、园地等农用地下降最快。耕地的减少，是与人口的增长，经济的发展分不开的。减少的耕地大都是被用作城镇、社区、交通等建设用地。而城镇用地的增加也反映了城市化过程的不断加速。城镇用地增加的区域是沿原有的城镇用地向东南方向扩展，大部分城镇用地的增加是由耕地、园地等农用地转变来的。

2 土地利用动态变化分析

本文的土地利用动态变化分析主要包括了土地利用动态度、土地利用开发度和耗减度 3 个指数的计算模型。它们用于对土地利用动态变化速度、新

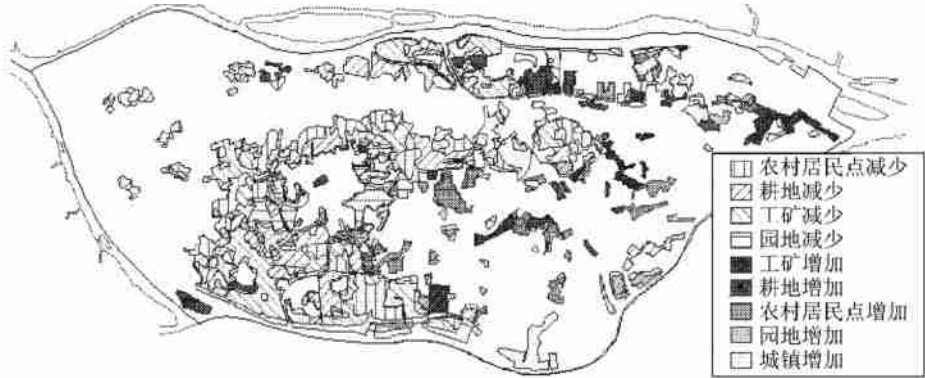


图 2 1993—1997 年部分土地利用类型的变化
Fig. 2 Map for the change of land use sorts from 1993 to 1997

表 1 1993—1997 年各土地利用类型的面积转换状况¹⁾

Tab 1 Changes of land-use types during 1993—1997													km ²
项目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	1993 年总计
A	2.51	1.59	0.02	0.04	1.63	0.54	0.01	0	0.16	0.11	0.15	0.59	7.35
B	2.26	13.06	0.02	0.05	4.54	1.71	0.01	0.23	0.02	0.06	0.01	2.54	24.52
C	0.04	0.02	0.03	0.01	0.04	0.03	0	0.03	0	0.04	0	0	0.24
D	0.08	0	0.01	0.15	0.11	0.15	0.42	0	0	0	0.01	0.01	0.95
E	0.68	0.89	0.11	0.37	37.59	0.42	0	0.12	0.01	0.05	0.01	0.2	40.46
F	0.51	0.43	0	0.02	1.74	1.33	0.03	1.52	0.01	0.02	0.01	0.02	5.64
G	0	0	0	0	0	0	3.41	0	0	0	0	0.04	3.45
H	0	0.14	0.05	0	0.15	0.06	0	1.81	0	0.14	0	0.06	2.41
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0	0	0	0.22
J	0.08	0.16	0.01	0	0.21	0.01	0	0.04	0	0.02	0	0.02	0.56
K	0.73	1.96	0.03	0.02	0.67	0.23	0.01	0.08	0	0.12	0.02	0.13	3.99
L	0.02	0.05	0.17	0	0.12	0	0	0	0	0	0.1	0.11	0.57
1997 年总计	6.92	18.31	0.46	0.66	46.79	4.48	3.89	3.83	0.42	0.56	0.32	3.73	90.37

1) A 耕地、B 园地、C 林地、D 牧草地、E 城镇用地、F 工矿用地、G 社区用地、H 交通用地、I 水利设施用地、J 特殊用地、K 水域、L 未利用土地

开发速度和被耗费速度的度量，从净变化和实际变化两个方面对土地利用变化速度进行研究的。其中，土地利用动态度虽能较好地度量土地利用的净变化速度，但由于增减变化的抵消，这种净变化速度往往在一定程度上掩盖了土地利用变化的实际情况。为此，增加土地利用开发度和土地利用耗减度两个指标，可以揭示各类型土地利用实际新开发和实际被耗减的速率^[2]。

2.1 土地利用动态度 (LUDD)

土地利用动态度表示单位时间内某一土地利用类型面积的变化程度。其表达式为：

$$LUDD = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中， U_a 、 U_b 分别表示 a 时刻和 b 时刻某种土地利用类型的面积， T 为 a 时刻到 b 时刻的研究时段长。

2.2 土地利用开发度 (LUD)

土地利用开发度表达的是单位时间内某类型土地利用实际新开发的程度。由于此概念不适用于未利用土地，对这种类型土地不进行此项计算。

$$LUD = \frac{D_{ab}}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中， D_{ab} 量测从 a 时刻到 b 时刻新开发的某类型土地利用的面积。即由其它类型土地利用转变为该类型土地利用的面积之和。 U_a 表示 a 时刻该土地利用类型的面积， T 为 a 时刻到 b 时刻的研究时段长。

2.3 土地利用耗减度 (LUC)

土地利用耗减度表达的是单位时间内某类型土地利用被实际消耗的程度。

$$LUC = \frac{C_{ab}}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中， C_{ab} 是指从 a 时刻到 b 时刻某种土地利用类型被消耗的面积。即该类型土地利用转变为其它类型土地利用的土地面积之和。 U_a 表示 a 时刻该土地利用型的面积， T 为 a 时刻到 b 时刻的研究时段长。根据上述公式，海珠区两个时期各类型土地利用动态变化指数计算结果见表 2。

由表 2 可以看出，在 1993—1997 年间，海珠区园地和牧草地大量消耗，园地的开发度为 68.21%，耗减度为 46.72%，年均减少 25.32%；牧草地开发度 65.80%，而耗减度 84.40%，年均减少 30.33%；耕地的消耗也较大，耗减度为 65.84%，年均减少 5.86%。城镇用地发展较快，开发度 111.62%，这种高开发速度使该土地利用类型年增长达 15.65%；交通用地的开发也很大，高达 159.08%，年均增长 59.08%；社区用地的开发

度也较大，开发度为 112.20%，年增长 12.51%。与此同时，表 2 还反映了在这一时期里，未利用土地也得到了有效开发，其耗减度高达 81.71%。这些变化都与海珠区的经济发展、城市化进程相吻合。

表 2 1993—1997 年各类型土地利用动态变化指数表

Tab 2 Indexes of dynamic change land use during 1993—1997

类 型	动态度/%	开发度/%	耗减度/%
A 耕地	— 5.86	59.99	65.84
B 园地	— 25.32	68.21	46.72
C 林地	93.79	185.20	88.47
D 牧草地	— 30.33	65.80	84.40
E 城镇用地	15.65	111.62	7.08
F 工矿用地	— 20.67	69.74	76.38
G 社区用地	12.51	112.20	1.22
H 交通用地	59.08	159.08	24.83
I 水利设施用地	91.51	117.68	0.00
J 特殊用地	0.00	81.29	96.37
K 水域	— 6.66	78.55	96.79
L 未利用土地	— 43.83		81.71

3 基于马尔柯夫模型的土地利用动态过程模拟与预测

3.1 马尔柯夫模型

要运用马尔柯夫过程，须首先确定土地利用类型之间相互转化的初始转移概率矩阵 P ，其数学表达式为：

$$P = (P_{ij}) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mn} \end{bmatrix}$$

其中 $P_{ij} = \frac{C_{i-1j}}{LU_i}$ ； n 为研究区域的土地利用类型数目， P_{ij} 为初始到末期由类型 i 转化为类型 j 的概率， C_{i-1j} 表示由研究区域中在研究期内第 i 类土地利用类型转化为第 j 类的面积， LU_i 为研究期初第 i 类土地利用类型面积， P_{ij} 它应满足以下条件

$$\begin{cases} 0 \leq P_{ij} \leq 1 (i, j = 1, 2, 3 \dots n) \\ \sum_{i=1}^n P_{ij} = 1 (j = 1, 2, 3 \dots n) \end{cases}$$

根据马尔柯夫过程的无后效性及 Bayes 条件概率公式，有：

$$P(n) = P(n-1)P_d$$

或
$$P(n) = P(Q)P^n$$

式中, $P(n)$ 为经过 $n-1$ 次状态转移到达 n 次转移后的状态概率向量, $P(n-1)$ 为经过 $n-2$ 次状态转移到达 $n-1$ 次转移后的状态概率向量, P 或 P_{ij} 为转移概率矩阵, $P(0)$ 为它的初始状态概率向量^[3,4]。

3.2 预测结果

表 3 是由表 1 计算出 1993—1997 年的研究区土地利用变化的转移概率矩阵。由研究期末各种土地利用类型的面积百分比例, 可以得到初始状态概率向量 $P(n-1)$ (或 $P(0)$), 借助马尔柯夫过程的具体运算程序预测, 每隔一定时期(即所用研究期 4 a)

为一步, 当 $n=1$ 时, 预测年份为 2001 年; $n=2$ 时, 为两个研究期后即 2005 年的预测结果。如此类推, 预测结果见表 4。

根据表 4 预测, 2001 年以后的 8 a 内 (2002—2009 年) 研究区土地利用如果继续保持 1993—1997 年内的变化速度, 耕地面积将进一步继续减少, 而耕地减少主要是被城镇用地等建设用地占用。林地、园地、水域和未利用土地也将趋于减少, 而城镇用地、社区用地和交通用地的面积将持续增长。

表 3 各土地利用类型的转移概率矩阵 (1993—1997)
Tab 3 Transition probability matrix of land use types (1993—1997)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
A	0.34	0.22	0.00	0.01	0.22	0.07	0.00	0.00	0.02	0.01	0.08	0.02
B	0.09	0.53	0.00	0.00	0.18	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10	0.00
C	0.18	0.09	0.12	0.06	0.16	0.12	0.00	0.13	0.00	0.15	0.00	0.00
D	0.08	0.00	0.01	0.16	0.12	0.16	0.44	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
E	0.02	0.02	0.00	0.01	0.93	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.09	0.08	0.00	0.00	0.31	0.24	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
H	0.00	0.06	0.02	0.00	0.06	0.02	0.00	0.75	0.00	0.06	0.03	0.00
I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J	0.15	0.29	0.03	0.00	0.37	0.02	0.00	0.07	0.00	0.04	0.04	0.00
K	0.18	0.49	0.01	0.00	0.17	0.06	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01
L	0.04	0.08	0.30	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.18

表 4 研究区土地利用变化的 Markov 预测值
Tab 4 The land use change forecast taking use of the model of Markov process

类型	1993 年	1997 年				2001 年				2005 年				2009 年			
		1993 年比较				预测值实际值 1997 年比较				2001 年比较				2005 年比较			
A	7.35	6.92	-0.43	-5.86	5.66	6.05	-0.87	-12.49	5.48	-0.68	-10.98	-0.5	-9.04	-9.04			
B	24.52	18.31	-6.21	-25.30	13.52	15.13	-3.18	-17.37	12.71	-2.42	-16.20	-1.46	-11.51	-11.51			
C	0.24	0.46	0.22	93.80	1.45	0.44	-0.02	-3.85	0.44	0	-0.34	0	-0.44	-0.44			
D	0.95	0.66	-0.29	-30.30	0.65	0.63	-0.03	-5.19	0.69	0.06	9.22	0.02	2.69	2.69			
E	40.46	46.79	6.33	15.60	51.17	51	4.21	9.01	53.97	2.97	5.82	1.97	3.65	3.65			
F	5.64	4.48	-1.17	-20.70	3.61	3.77	-0.7	-15.70	3.37	-0.4	-10.62	-0.29	-8.49	-8.49			
G	3.45	3.89	0.43	12.50	4.17	4.19	0.3	7.71	4.46	0.27	6.55	0.28	6.38	6.38			
H	2.41	3.83	1.42	59.10	4.51	4.21	0.38	9.91	4.93	0.71	15.53	0.13	2.57	2.57			
I	0.22	0.42	0.2	91.50	0.61	0.43	0.01	1.65	0.78	0.35	56.83	0.15	19.29	19.29			
J	0.56	0.56	0	0.00	0.55	0.56	0	-0.04	0.66	0.1	14.99	-0.01	-0.78	-0.78			
K	3.99	3.73	-0.27	-6.70	0.86	3.67	-0.05	-1.45	2.65	-1.32	-33.37	-0.28	-10.39	-10.39			
L	0.57	0.32	-0.25	-43.80	3.62	0.23	-0.09	-27.83	0.22	0.04	-3.43	-0.02	-10.53	-10.53			

4 讨论与结论

由于已知 2001 年各土地类型的实际值, 通过用 1993—1997 年各土地类型的实际值进行预测 2001 年各土地类型的预测值并进行对比分析后发

现: 2001 年的各土地类型的预测值与实际值误差并不是很大, 其土地利用的预测变化量与实际变化量相比, 大部分都在 3%~10% 之间 (除个别土地类型变化误差较大以外), 因此其预测方法是基本可行的, 但也看到了它的局限性。要进行全面和准

确地预测，还需要结合其他预测方法进行相互比较和印证，同时还要结合定性分析方法，去伪存真，去粗取精，使对土地利用变化的预测更为准确和可信。

地理信息系统技术为土地利用变化监测研究提供了便利条件，空间数据能够客观地反映出研究区域的土地利用动态变化情况。因此，本文以这种空间信息技术为基本技术手段，通过 GIS 手段，实现土地利用现状图等数据的叠合和集成分析，旨在对海珠区土地利用时空变化进行较透彻的分析，总结出该区近年来土地利用的时空变化特点并对未来的土地利用进行了预测。希望能为该区土地资源合理利用、保护提供理论基础和有关管理部门制定土地资源开发的政策法规提供较可靠的科学依据。

参考文献:

[1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J] . 地理学报, 1996 51 (6): 553—557.

[2] 赵健, 魏成阶, 黄丽芳, 等. 土地利用动态变化的研究方法及其在海南岛的应用[J] . 地理研究, 2001, 20(6): 723—730.

[3] TURBERM G. A spatial simulation model of land use change in a piedmont county in Georgia[J] . Applied Mathematics and Computation, 1998, 27: 39—51.

[4] 高占国, 赵旭阳. 基于 GIS 的土地利用动态变化与预测—以井陉县威州镇为例[J] . 首都师范大学学报(自然科学版), 2002 23(2): 75—80.

Study on Change of Urban Land use and Forecasting Model

ZHANG Xin chang¹, LIANG Jin cheng²

(1. Department of Remote Sensing and GIS Engineering, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Map Press House of Guangdong Province, Guangzhou 510075, China)

Abstract: On the basis of the current situation map, the process of the land use development and the situation of all the categories of the land use transformation are quantitatively analyzed with the technique of GIS. It is feasible to calculate the transformation matrix of land use showing spatial pattern of land use distribution in unit of image pixel, which revealed the city's spatial process from 1993 to 1997. Moreover, the land use development and the variation tendency are analyzed and predicted by using development degree of the land use and the model of Markov process.

Key words: urban land use; variation change; spatio temporal modeling; Guangzhou