

一种融合地理空间指标的土地需求量预测方法 ——以佛山市南海区为例

马林兵, 曹小曙, 牟少杰

(中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

摘要: 目前关于土地需求量的预测方法往往忽视地理空间因素。本文提出了一种融合地理空间指标的土地需求量的多因素预测方法, 通过在需求量预测计算中引入地理标准距离、标准差椭圆、*Moran's I* 指数等与土地利用类型的空间分布和空间形态相关的因素, 探讨基于地理空间指标进行土地需求量预测的可行性和准确性。以佛山市南海区历年的土地利用调查数据为基础进行案例研究, 结果表明: 相对于地理经济指标, 引入地理空间指标的土地需求量预测结果准确率更高。但由于数据量的限制, 本文所得的结果需要收集更多数据采用多种统计分析方法进一步加以研究验证。

关键词: 土地需求量; 预测; 地理空间指标

文章编号: 1000-0585(2011)05-0854-07

1 引言

土地作为生物赖以生存的环境和一种耗竭性的资源, 一旦耗损过度就不适合生存并且不可再生, 所以将土地利用情况作合理规划便尤为重要。土地利用规划统一协调和安排各部门在规划期内的用地数量和用地布局。它对各行各业在规划期内土地的增减进行预算, 以了解各类用地的需求量变化情况, 是土地利用规划中的重要环节。只有进行各部门的土地利用需求量预测, 才能确定、协调各部门的用地指标。土地需求预测的目的是对预测地域未来的土地利用结构比例、农用地和非农用地的规模做出预计和推测, 以指导当前土地资源管理工作和控制未来的土地利用^[1]。目前, 国内外研究者已在土地需求预测方面开展了很多研究工作, 提出了很多预测方法, 这些方法归纳起来有如下几种:

(1) 定额指标法。按照国家规定的各类建设用地定额指标, 以及对人口发展规模、建设投资规模, 测算未来一定时期建设用地发展规模的方法。除了定额指标法外, 传统预测方法还有粮食需求法、部门预测法、自然增长律法等; (2) 时序预测法。基于时序的预测方法, 是研究土地利用需求量的时序特征, 并以其中规律作为预测模型的方法, 主要有回归方程预测法、灰色 GM (1, 1) 法、马尔科夫链法等^[2~5]; (3) 因素分析预测法。引入多个经济和社会因素, 采用多元回归方法构建预测模型^[6~9]; (4) 目标约束预测法。基于因素的分析方法很好的展示了相关因素在土地利用需求量预测的作用, 但对于限制因素的影响却比较弱。目标约束预测法就能很好的解决这个问题。目标约束法有灰色线性规划

收稿日期: 2010-09-16; 修订日期: 2011-01-10

基金项目: 广东省普通高等学校人文社会科学重点研究基地重大项目 (09JDXM84001)

作者简介: 马林兵 (1968-), 四川南部人, 博士, 副教授, 主要从事移动对象空间数据库、地理信息系统及其在土地利用与交通规划中的应用研究。E-mail: malb@mail.sysu.edu.cn

模型法等^[10, 11]；(5) 控制预测法。对于某个区域而言，土地的总供给量是不变的，预测的值不可能超过区域土地总供给量，控制预测法就是基于这种思路，研究者在其中引入了 Monte Carlo 模拟、系统动力学模型和元胞自动机等多种方法^[12~15]。

另外，国外研究者在土地利用需求量预测方面也建立了比较科学的模型，如美国数学家柯布和经济学家道格拉斯通过讨论投入和产出的关系，共同创造了柯布—道格拉斯生产函数（C—D 函数），用来预测国家和地区的工业系统或大企业的生产和分析发展生产的途径的一种经济数学模型，简称生产函数^[16, 17]。ARIMA 模型是 1970 年由 BOX 和 Jenkins 提出的方法，又称 BOX—Jenkins 法，简称为 B—J 法；FAO^[18]在这个基础上，进一步构建了建设用地量、投入的资本量和投入的劳动量与之间的函数模型。

上述研究预测方法大都基于社会和经济因素，如人口、固定资产投资、GDP 产值作为预测变量，而忽略了土地利用类型自身空间分布位置及形态对土地需求量的影响，因此，本文引入了几个地理空间指标作为土地需求预测变量，以广东省佛山市南海区为案例，通过对该区域历年的土地利用现状数据的统计分析，力图揭示出地理空间指标变量在土地去需求预测中的影响与作用。

2 地理空间指标

长期以来，研究者一直将经济、社会因素作为土地利用需求量的主要影响因素，但却忽视地理空间因素。建设用地的的发展总是符合城市格局发展规律的，即在城市不断发展的过程中会形成各种类型的城市功能区，比如城镇居民点、工业区、商业区等在空间分布上会相对的集中形成各具功能的区块^[19]，建设用地的扩张又往往影响了农用地的状态。因此，在城市不断发展，建设用地、农用地不断变化的过程中，它们的空间分布以及空间形态也会出现相关的变化。相对于人口、固定资产投资、GDP 产值等地理经济指标，本文以下把与不同土地利用类型空间分布以及空间形态相关的计算因子统称为地理空间指标。本文采用了以下几个地理空间指标：

(1) 地理标准距离

平均中心或称空间均值是指一组点的中心位置或平均位置。对于地块图斑这类面状对象来说，将其抽象为每块面域的质心。空间统计中的标准距离就相当于经典统计中的标准偏差。表明的是各位置或各点对于平均中心或空间均值的偏离情况。地理标准距离计算如下：

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mc})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - y_{mc})^2}{n}} \tag{1}$$

式中， (x_{mc}, y_{mc}) 是 (x_i, y_i) 的平均中心。

(2) 标准偏差椭圆

标准距离圆是用来显示点空间分散情况的一种直观有效的手段，但是由于地理现象的空间分布呈现不规则的特点，所以标准距离圆，无法全面揭示相关空间活动的方向偏离。对标准距离圆的概念进行拓展便得到标准偏差椭圆的概念。标准偏差椭圆是用来描述点的空间分布方向偏离的指标，它的计算结果有三个部分：转角 $(\tan\theta)$ 、X 轴标准偏差 (δ_x) 和 Y 轴标准偏差 (δ_y) ，其计算公式如下

$$\tan \theta = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2 \right) + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^n x_i' y_i' \right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n x_i' y_i'} \tag{2}$$
$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i' \cos \theta - y_i' \sin \theta)^2}{n}}, \delta y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i' \sin \theta + y_i' \cos \theta)^2}{n}}$$

式中， (x_{mc}, y_{mc}) 是 (x_i, y_i) 的平均中心， $x_i' = x_i - x_{mc}$ ， $y_i' = y_i - y_{mc}$ 。

很多地理现象，如土地利用类型在空间分布的各个方向上的离散度有时是明显不同的，即所谓的各向异性，本文引入标准差椭圆来描述某一用地类型空间分布的景观格局，X 轴长度、Y 轴长度分别表示在两个方向的分布趋势的强度，转角表示用地类型空间分布的主要方向（以正东方向为 0°，按逆时针旋转）。显然，标准差椭圆能较好地描述某类用地的空间分布的发展趋势，因此其参数计算的数值结果可用于某类用地需求量的预测。

(3) 空间自相关系数

空间自相关是指属性值在空间上相关，或者说属性值的相关性是由要素的地理位置造成的。空间自相关统计量是用于度量地理数据的一个基本性质，某位置上的数据与其他位置上的数据间的相互依赖程度。通常把这种依赖叫做空间依赖。地理数据由于受空间相互作用和空间扩散的影响，彼此之间可能不再相互独立，而是相关的。空间自相关指数是对空间自相关特性的定量表示，*Moran's I* 指数是其中较常用的指数之一，其计算公式如下：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - x_m)(x_j - x_m) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sum_{i=1}^n (w_i - w_m)^2 / n} \tag{3}$$

式中， x_i 是地理要素*i*的属性值， x_m 是所有要素属性值的均值， w 是空间权重矩阵的所有元素的和。

3 案例研究

3.1 数据来源

本文以广东省佛山市南海区作为案例研究区域，佛山市和南海区的行政区划图如图 1。南海是广东省经济比较发达的城市，也是国土资源部土地利用资源管理的示范性单位，并且在全区域较早地完成了 1：1000 大比例尺土地利用调查。本文选取了南海 2003 年土地利用调查数据、2005 年土地变更调查数据、2007 年土地利用更新数据、2009 年第二次土地利用调查数据（初稿），用于地理空间指标的计算。

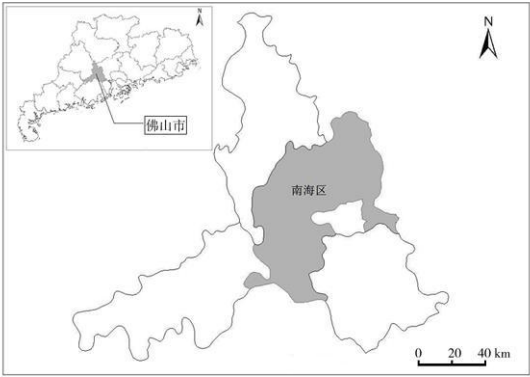


图 1 佛山市南海区行政区位图

Fig. 1 Location of Naihaidistrict in Foshan

定资产投资总额、消费品零售总额、外贸出口总额、总人口、地方财政收入、金融机构存款余额、农民纯收入、工人纯收入等社会经济指标。

通过对已有数据进行主成分分析，对用地需求量变化影响较大的几个主要成分因素依次为：GDP、固定资产投资、地方财政收入等，因此，为简化数据分析，本文取这三个地理经济指标作为预测因素。

利用 ArcGIS 软件提供的 Spatial Analyze 功能，从 2003 年、2005 年、2007 年、2009 年土地利用数据计算出建设地和耕地的地理标准距离、标准差椭圆转角正切值、X 轴标准差、Y 轴标准差、Moran's I 指数等几个地理空间指标（表 1）。

表 1 南海地理经济指标和地理空间指标表（2002~2009）

Tab. 1 Table of geo-spatial indicators and geo-economic indicators of Nanhai (2002~2009)

地理经济指标				地理空间指标									
年份	GDP (亿元)	固定	地方	地理标准		标准差椭圆		X 轴标准		Y 轴标准		Moran's I	
		资产	财政	距离 (m)		转角正切值		偏差 (m)		偏差 (m)		指数	
		投资 (亿元)	收入 (亿元)	建设 用地	耕地	建设 用地	耕地	建设 用地	耕地	建设 用地	耕地	建设 用地	耕地
2002	439.8	96.4	27.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2003	468.2	141.9	27.9	16589	16310	0.4896	0.6007	11997	12186	20162	19585	0.2117	0.2245
2004	547.8	178.1	29.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2005	772.5	240.8	38.0	17037	16406	0.4844	0.5508	12242	11563	20752	20115	0.2688	0.1546
2006	980.4	290.3	48.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2007	1231.0	363.2	63.0	16709	16648	0.3698	0.5403	12108	11298	20292	20655	0.1994	0.2413
2008	1480.8	414.1	76.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2009	1592.0	475.0	85.80	17516	17186	0.4332	0.3989	11842	10848	21758	21749	0.3352	0.2512

3.2 预测方法

土地需求的预测不仅要考虑地理经济指标的影响，还要考虑地理空间指标的影响，计算的预测因素涉及多个。本文提出一个融合多因素的土地利用需求的预测方法，步骤如下：

(1) 采用多元回归统计方法，根据现有的多期数据，计算土地需求量与多个因素指标的线性回归关系。假设土地需求变量为 Y，引发 Y 变化的因素 X 有 n 个（例如表 1 所列的因素指标），分别为 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ，则 Y 与 X 的关系可以表示为：

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n$$
(4)

式中，a 为常数， $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ 分别为 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 前的系数，这些系数可以通过最小二乘法求出。

(2) 对每一个因素指标 X，根据历史数据，建立该因素指标的时间序列 t 的预测公式。

$$\hat{X} = X(t)$$
(5)

对于单一的因素指标，采用多种曲线估值方法（例如二次曲线、三次曲线、增长曲线、对数曲线、指数曲线、S 曲线等）建立预测方程，预先计算每个预测方程的拟合优度

(r^2) 和回归方程显著性 (F), 先择其中拟合效果最好的曲线方程作为该因素指标的预测公式 $X(t)$ 。由于单一指标的拟合计算比较简单, 故本文未给出具体的计算过程和数值结果。

(3) 根据式 (4)、式 (5), 建立多因素指标的土地需求量预测公式, 根据式 (6), 可计算出各个预测时期的土地需求量的预测值。

$$Y = a + b_1 X_1(t) + b_2 X_2(t) + \cdots b_n X_n(t)$$

(6)

3.3 预测结果分析

为了分析地理空间指标对土地需求量预测的影响, 按照上述的计算步骤, 采用三种计算方法: (1) 只考虑地理经济指标; (2) 只考虑地理空间指标; (3) 结合地理经济指标和地理空间指标。为了检验预测结果, 将根据历年数据计算得到的预测结果与 2009 年全国土地二次调查数据 (初稿) 的实际结果进行比较, 如表 2 和图 2。

表 2 土地需求量预测结果分析对比表

Tab. 2 Analysis of land demand forecast

预测分类	用地类型	2009 年 实际值 (m ²)	2009 年 预测值 (m ²)	与实际值 的误差 (%)
只考虑地理 经济指标	建设用地	523807123.96	668255434.1	27.58
	耕地	127997445.24	90878186.1	29.03
只考虑地理 空间指标	建设用地	523807123.96	480179544.4	8.32
	耕地	127997445.24	104177120.7	18.61
结合地理 经济指标和 地理空间指标	建设用地	523807123.96	579749724.79	10.68
	耕地	127997445.24	10594217.6	18.49

从以上图表中, 可以看到:

(1) 仅考虑地理经济指标, 其预测结果有较大误差, 建设用地和耕地的预测误差分别是 27.68% 和 29.03%。这是因为这些经济指标均来源于统计年鉴, 统计口径存在一定的误差, 因此容易产生较大的预测误差。

(2) 引入地理空间指标, 大大减少了预测误差。这是因为, 无论是建设用地还是耕地, 其空间分布一定存在空间自相关性, 其空间形态也会存在相互影响和制约。相对于人口、固定资产投资、GDP 产值等地理经济指标, 地理空间指标与土地利用类型具有更好的相关性, 因此对于土地需求的预测具有更高的准确性。

(3) 将地理经济指标与地理空间指标结合起来进行预测, 相比于单独使用地理空间

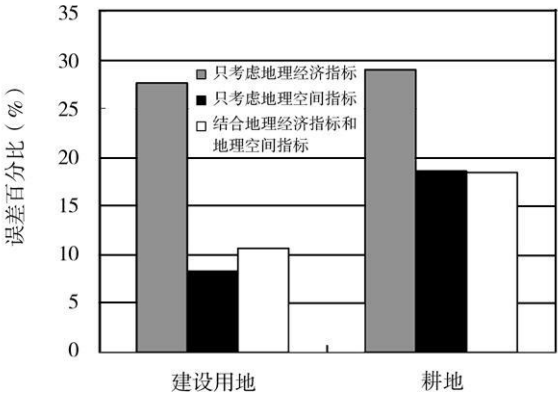


图 2 三种模式预测误差结果分析图

Fig. 2 Chart of analysis results

指标, 其预测误差并没有明显的改善。

4 结论与讨论

土地需求量预测是土地利用规划的一个重要步骤。城市的发展与土地利用的格局密切相关, 不同土地利用类型的空间分布和空间形态相互作用和影响。本文通过引入标准距离、标准差椭圆、*Moran's I* 指数等多个地理空间指标, 提出一个融合地理空间指标的土地需求量预测方法。试验结果表明, 相对于仅仅使用地理经济指标, 融合地理空间指标后能很好地提高预测准确度, 因此, 本文所提出的思路和计算方法将对土地需求量预测的研究具有一定的借鉴作用。

但还有几个问题需要进一步探讨:

(1) 地理空间指标有多个, 本文只是选取了其中几个作为预测因素, 没有对其合理性作深入研究, 如何合理的选取地理空间指标作为预测因素, 并分析其内在机理关系, 将是今后研究的重点;

(2) 地理空间指标的数据获取有一定的难度, 本文只有四个时间期的数据, 对于多元回归分析方法而言, 其计算结果具有一定的偶然性, 需要加强数据的收集工作, 在以后的研究中进一步验证本文的结论;

(3) 无论是研究还是在实际应用中, 地理经济指标数据一直是土地需求预测的重要因素, 需要研究如何将地理空间指标与地理经济指标数据更好地融合起来, 以提高预测的准确率。本文主要采用的是回归分析方法, 需要进一步利用其他统计方法进行计算, 对结果进行分析比较。

参考文献:

- [1] 林芳. 建设用地需求量预测方法研究——以福建省为例. 福州: 福建师范大学硕士学位论文, 2005.
- [2] 苏安玉, 李衡邱. 城市化进程中黑龙江省城市用地需求预测研究. 东北农业大学学报, 2007, 38(6): 856~859.
- [3] 陈国建, 刁承泰, 等. 重庆市区城市建设用地预测研究. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 403~308.
- [4] 赖红松, 董品杰. 基于灰色预测和神经网络的城市建设用地量预测. 测绘信息与工程, 2003, 28(6): 36~39.
- [5] 张军, 王红, 孙伟. 信息科学中软计算法在城市建设用地需求量预测中的应用. 统计与决策, 2006, 4: 32~34.
- [6] 邱道持, 刘力, 粟辉, 等. 城镇建设用地预测方法新探——以重庆市渝北区为例. 西南师范大学学报(自然科学版), 2004, 29(1): 146~150.
- [7] 邵建英, 王珂, 肖志豪, 等. 城镇建设用地预测方法研究. 江西农业大学学报, 2006, 28(3): 472~476.
- [8] 罗里辉, 吴次芳. 建设用地需求预测方法研究. 中国土地科学, 2004, 18(6): 14~17.
- [9] 韦素琼, 陈健飞. 福建省土地利用动态变化及趋势预测. 福建师范大学学报(自然科学版), 2006, 19(4): 85~91.
- [10] 邓华灿, 陈松林. 基于灰色序列模型的建设用地预测. 沈阳大学学报, 2007, 19(2): 100~102.
- [11] 石海洋, 康慕宁, 邓正宏. 基于灰色 BP 网络的城市建设用地预测模型. 计算机工程与应用, 2010, 46(1): 218~220.
- [12] 慎勇扬, 叶艳妹. Monte Carlo 模拟在建设用需求预测中的应用. 计算机应用与软件, 2004, 21(11): 30~31.
- [13] 何春阳, 史培军. 中国北方未来土地利用变化情景模拟. 地理学报, 2004, 59(4): 599~607.
- [14] 何春阳, 史培军. 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(5): 464~473.
- [15] 王倩, 王绍斌. 系统动力学方法在县级农业系统结构优化中的应用. 辽宁行政学院学报, 2007, 9(2): 79~81.
- [16] Adams J B, Sabol D, Kapos V, et al. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. Remote Sensing of Environment, 1995, 52: 137~154.
- [17] Fischel W A. The urbanization of agricultural land: A review of the nation agricultural land study. Land Economics, 1982, 58: 236~259.

- [18] Fao Fealm · An international framework for evaluating sustainable land management · World Solid Resources Report 73, 1993.
- [19] 李江 · 基于 GIS 的城市空间形态定量研究及多尺度描述, 武汉: 武汉大学博士学位论文, 2003.

A method to forecast land demand by fusing geo-spatial indicators: Exemplified by Nanhai in Foshan

MA Lin-bing, CAO Xiao-shu, MU Shao-jie

(School of Geography Science and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The paper puts forward a method to forecast land demand by fusing several geo-spatial indicators. Traditionally, economic and social factors were regarded as the main influencing factors in forecasting land demand, hence the effects of spatial factors were neglected by researchers. However, for each type of land use, its spatial distribution and spatial shape are bound up with the other type of land use by interacting each other, so spatial factor should be introduced to forecast land use demand as a key ingredient. Several computable factors called geo-spatial factors can be used to fulfill the requirement, such as geographic standard distance, standard deviation ellipse parameters and spatial autocorrelation coefficient. These geo-spatial factors can reflect the changing trend of each type of land use and disclose some interior rule of spatial distribution and spatial spreading. It is necessary to fuse these geo-spatial factors into forecasting land use demand.

Considering the influence of geo-spatial factors, the paper gives a land use demand forecasting method by fusing economic factor and geo-spatial factor. The method adopts multiple linear regressions to create a linear relation between land use demand quantity and multi-factor value from multi-years data and finally figures out target years forecasting result. To verify the method, the paper makes a case study based on land use investigation data (from 2003 to 2009) and economic factor data (from 2002 to 2009) of Nanhai in Foshan city. By computing and analyzing, the result shows that it is more veracious to fuse geo-spatial indicators and economic indicators into land use demand than to use economic indicators only. It can be concluded that geo-spatial indicators have closer correlation with land use status and can play a more important role in forecasting land use demand. But restricted by basis data, the result in this paper should be verified by collecting more integrated data and adopting other statistic computing methods. The further work will focus on analyzing geo-spatial indicators' internal mechanism related to land use changes and selecting more reasonable indicators as forecasting factors.

Key words: land use demand; forecasting; geo-spatial indicator