

多目标突变决策方法及其在 土地利用总体规划中的应用*

吴次芳**

(浙江农业大学东南土地管理学院)

华楠

(同济大学经济管理学院)

提 要 运用突变理论解决土地利用总体规划中的多目标突变决策问题。在推导并建立了多目标突变决策模型的基础上,详细讨论了该模型在土地利用总体规划中的具体应用。最后对照层次分析法,对多目标突变决策方法进行了优缺点评价。

关键词 突变决策模型 土地利用总体规划 层次分析法

Multiobjective Catastrophe Strategic Decision Making Method and Its Application in Integrated Land Use Planning

Wu Ci-fang

(College of Southeast Land Management, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

Hua Nan

(College of Economics and Management, Tongji University)

Abstract This paper studies multiobjective strategic decision making in integrated land use planning on the basis of catastrophe theory. The principles and models of the multiobjective catastrophe decision making method are presented and derived. The application of the method to a case is described. Finally, compared with analytic hierarchy process, the advantages and defects of the method are discussed.

Key words Catastrophe decision making model Integrated land use planning Analytic hierarchy process

1 引 言

土地利用总体规划是对一定地域范围内,全部土地的开发、利用、整治、保护在时间空间上所做的战略构想和设计方案。它有多种编制模式:一是可以根据土地适宜性编制规划;二是可以根据上级下达的指导性任务编制规划;三是可以通过建立线性规划模型或系统仿真模型编制规划;四是可以根据近几年的土地利用状况按趋势外推编制规划,如此等等。每一种模式有一种规划方案,并可能得出很不相同的规划结果。如何采用更为科学的方法,从多个规划方案中选择最有效、最合理的方案,对提高土地利用效益、降低费用,促进土地资源配

* 收稿日期:1996-04-15

** 吴次芳,副教授,杭州市华家池 浙江农业大学东南土地管理学院,310029

置的可持续发展具有重要意义。在系统工程的多目标评价和决策中,目前常应用层次分析法^[1]。然而,由于多种方案和准则表现了不同的质态,方案的选择非此即彼,是非连续变化过程,因此,更适合应用突变理论思想和原理来解决多目标下方案排序选优问题。

2 多目标突变决策的基本原理与模型

2.1 基本原理

雷尼·汤姆的初等突变理论根据一个系统的势函数把它的临界点分类,研究各类临界点附近连续变化的特征,从而归纳出若干个初等突变模型。突变决策方法所涉及的是其中三种比较简单和常用的突变模型:

$$\text{尖点突变模型 } f(x) = x^4 + ux^2 + vx \tag{1a}$$

$$\text{燕尾突变模型 } f(x) = x^5 + ux^3 + vx^2 + wx \tag{1b}$$

$$\text{蝴蝶突变模型 } f(x) = x^6 + wx^4 + tx^3 + ux^2 + vx \tag{1c}$$

各式中 $f(x)$ 表示系统的状态变量 x 的势函数。 u, v, w, t 表示控制变量。系统势函数的状态变量和控制变量是矛盾着的两方面,诸控制变量之间又相互作用以构成矛盾。系统所处的任一状态是状态变量和控制变量的统一,也是诸控制变量之间相互作用的统一。我们以尖点突变模型为例分析,式(1a)表示的势函数,其状态空间是三维的(x, u, v)。

$$\text{平衡曲面 } M \text{ 为 } f'(x) = 4x^3 + 2ux + v = 0 \tag{2}$$

$$\text{奇点集 } S \text{ 为 } f''(x) = 12x^2 + 2u = 0 \tag{3}$$

由式(2)和式(3)联立求解,消去 x 得分歧集 B 为

$$8u^3 + 27v^2 = 0 \tag{4}$$

若令 $u_1 = -u/6, v_1 = v/8$, (4)式可变形为

$$u_1^3 - v_1^2 = 0 \tag{5}$$

在图1中,平衡曲面 M 上的一个尖点褶皱的两条折痕 OF 和 OG 为奇点集 S ,它在控制空间 u, v 上的投影 $OF'OG'$ 就是分歧集 B 。在平衡曲面上的每一点都表示系统在 x, u, v 综合作用下的某一状态。由折痕 OF 和 OG 可以把 M 分为上叶、中叶和下叶。当控制变量 u, v 符合式(4)的方程关系时系统的质态发生根本性突变,势函数的值将越过中叶在上叶和下叶之间突跳。这就可以引出突变决策的基本原理:

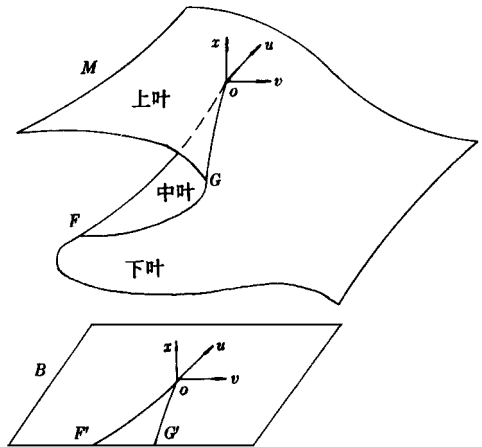


图1 尖点突变的平衡曲面 M 和分歧集 B

1) 可以把 M 的上叶规定为系统某种质态的“肯定”,下叶规定为它的“否定”。从评价决策的角度看“肯定”指方案的“可取”,“否定”为方案的“舍弃”。

2) 突变可以发生在 M 的褶皱痕线上任意一点,但各点的突变程度不同,这是质变中的量变现象。当 x 值(绝对值)越大,说明同一质态下量的程度越高。因此 x 绝对值的大小表

明了质态的程度。从评价决策的角度看, x 的大小代表了方案的可取程度。

3) 当 $u > 0$ 时, v 的变化只引起势函数状态变量 x 的光滑连续变化, 而当 $u < 0$ 时, M 上出现褶皱, x 的变化不再连续, 系统的质态就发生突变。在初等突变理论中, 控制变量 u 称作剖分因子, 控制变量 v 称作正则因子。根据上述逻辑依据, 从评价决策的角度看, u 、 v 代表决策中的两个目标(准则), u 代表矛盾的主要方面, 取为主要目标(准则), 而 v 代表矛盾的次要方面, 取为次要目标(准则)。

4) 同理, 由燕尾突变模型可推出控制变量 u 、 v 、 w 代表决策中的三个目标(准则), 它们的重要性排序为 u 、 v 、 w 。由蝴蝶突变模型可推出控制变量 w 、 t 、 u 、 v 代表决策中的四个目标(准则), 它们的重要性排序为 u 、 v 、 w 、 t 。

2.2 突变决策模型结构

一个决策系统往往有几个甚至几十个目标。我们把系统内的所有目标按矛盾的逻辑关系归类, 分出主次矛盾, 将这些矛盾分别再按主次分解, 直至可具体量化为止。然后根据各层次矛盾的目标数确定其突变决策模型, 并用各目标的主次顺序去对应突变决策模型中的主次控制变量。这样就可以建立突变决策模型的树状目标层次结构。单层的突变决策模型结构如图 2 所示。图中的控制变量按其重要性从左到右排序, 以便识图和计算。

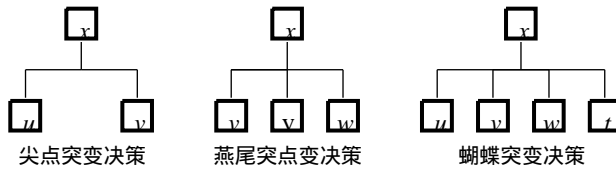


图 2 单层突变决策模型结构

2.3 突变决策模型计算公式与决策原则

由式(5)表示的尖点突变模型的分歧集方程可分解为

$$u_1 = x^2, \quad v_1 = x^3 \tag{6}$$

于是得到对应于两个目标(准则)的尖点突变决策模型的计算公式

$$Xu_1 = u_1^{1/2}, \quad Xv_1 = v_1^{1/3} \tag{7}$$

这里 Xu_1 、 Xv_1 表示对应于 u_1 、 v_1 的 x 值。为便于表示, 我们仍用 u 、 v , 则式(7)变形为

$$Xu = u_1^{1/2}, \quad Xv = v_1^{1/3} \tag{8a}$$

同理可由式(1b)推得对应于三个目标的燕尾突变决策模型的计算公式

$$Xu = u^{1/2}, \quad Xv = v^{1/3}, \quad Xw = w^{1/4} \tag{8b}$$

由式(1c)推得对应于四个目标的蝴蝶突变决策模型的计算公式

$$Xu = u^{1/4}, \quad Xv = v^{1/5}, \quad Xw = w^{1/2}, \quad Xt = t^{1/3} \tag{8c}$$

在多目标突变决策时可遵循三种原则:

1) 非互补决策 一个系统的诸控制变量(如 u 、 v 、 w 、 t)之间不可相互替代, 即不可相互弥补其不足。因而按突变决策模型的计算公式求得系统状态变量 x 的值后, 要从诸控制

变量(方案的目标)相对应的 x 值中,即 $X_u、X_v、X_w、X_t$ 中选取最小的一个作为整个系统的 x 值。

2) 互补决策 一个系统的诸控制变量(方案的目标)之间可以相互弥补其不足。因而取 $X_u、X_v、X_w、X_t$ 的平均值作为整个系统的 x 值。

3) 阈值互补决策 只有在系统的各个控制变量(方案的目标)达到一定的阈值(限值)后方可互补。阈值的大小由决策者根据实际情况决定。

以尖点突变决策为例,三种决策原则可用图 3 表示。

考虑到与通常效用函数、可能—满意度等的定量取值范围的统一以及实际运算的方便,我们将各突变决策模型中状态变量、控制变量的取值范围也限制在区间 $[0,1]$ 。在突变决策时,可运用多种方法将各方案对应于

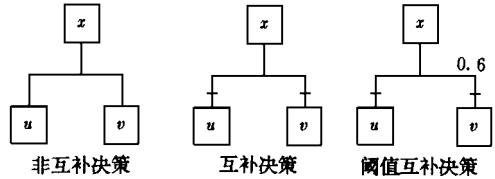


图 3 突变决策原则示意图

突变决策目标树最底层目标的评价进行定量化处理,按照突变决策模型的计算公式以及决策原则逐层向上综合运算,直至计算出总目标。最后按总目标计算结果对各方案进行排序选优。

3 应用分析

浙江东部余姚市是我国东部沿海的对外开放城市。为了编制好 1995 ~ 2010 年的土地利用总体规划,我们从不同角度编制了四种方案,主要结果如表 1 所示。

表 1 余姚市土地利用总体规划方案 hm²

地 类	耕地	园地	林地	居民点及 工矿用地	交通用地	水域	未利用地
方案一	40958	8530	49518	15539	3650	30676	3860
方案二	42776	8340	49130	14159	3230	31592	4285
方案三	40600	8440	49264	15921	3670	31627	4185
方案四	42341	8773	49463	14558	3820	31760	2864

如何对表 1 的四种规划方案进行评价和选优决策,我们尝试应用了多目标突变决策方法。首先确定了决策的目标,按它们之间的逻辑关系和重要性顺序建立突变决策目标结构,并对各目标选取适当的决策原则,如图 4 所示。四个方案对应于 D 层各目标的效用函数值如表 2 所示。应用前述推导的三种多目标决策模型的计算公式及其决策原则依次对 C 层、 B 层和 A 层的目标进行计算,结果如表 3、表 4 和表 5 所示。

由总目标的综合计算结果可知,在四个方案中,方案一的 x 值最大,据此可以认为:该市可按方案一组织土地利用。按此方案能保证全市粮食自给,可积极扩大商品性农副产品生产,不断满足市场需求,使城镇建设有较快的发展。该方案既考虑到保护耕地,又兼顾到沿海开放城市经济建设的需要,方案已被政府采纳,取得了满意的效果。在规划中我们还同时运用层次分析法研究该问题,各方案的综合数量分值如下:方案一为 0.360;方案二为 0.125;方案三为 0.272;方案四为 0.236,与多目标突变决策的结果相一致。

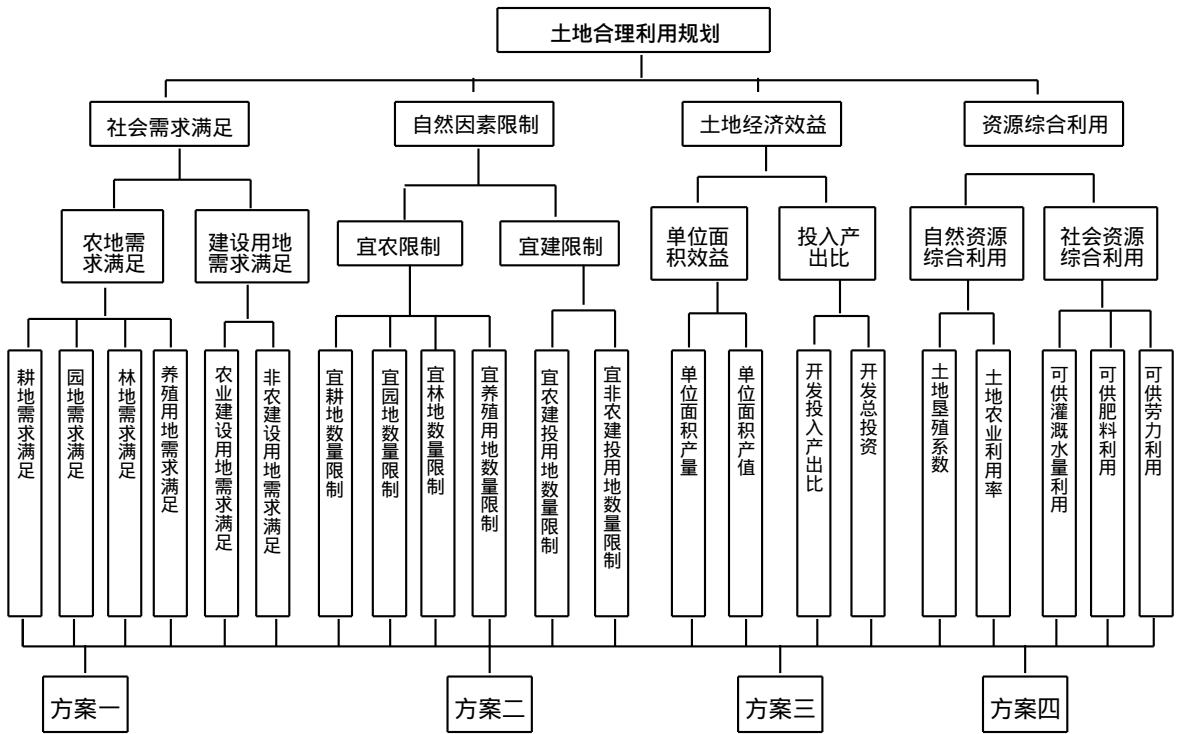


图 4 土地利用总体规划突变决策目标结构

表 2 D 层效用函数值

C 层	D 层		方案一	方案二	方案三	方案四
农地需求满足	耕地需求满足	u	0.95	0.80	0.85	0.65
	园地需求满足	v	0.65	0.65	0.70	0.80
	林地需求满足	w	0.85	0.45	0.55	0.70
	养殖用地需求满足	t	0.65	0.80	0.65	0.75
建设用地需求满足	农业建设用地需求满足	u	0.65	0.50	0.75	0.70
	非农建设用地需求满足	v	0.90	0.60	0.85	0.70
宜农限制	宜耕地数量限制	u	0.80	0.75	0.80	0.70
	宜园地数量限制	v	0.75	0.50	0.70	0.70
	宜林地数量限制	w	0.90	0.55	0.50	0.75
	宜养殖用地数量限制	t	0.60	0.85	0.65	0.70
宜建限制	宜农业建设用地数量限制	u	0.70	0.60	0.80	0.45
	宜非农建设用地数量限制	v	0.85	0.70	0.65	0.60
单位面积效益	单位面积产量	u	0.70	0.30	0.55	0.35
	单位面积产值	v	0.80	0.75	0.80	0.60
投入产出比	开发投入产出比	u	0.75	0.65	0.80	0.60
	开发总投资	v	0.90	0.85	0.60	0.75
自然资源利用	土地垦殖系数	u	0.75	0.65	0.55	0.80
	土地农业利用率	v	0.45	0.55	0.65	0.70
社会资源利用	可供灌溉水量利用	w	0.65	0.45	0.70	0.55
	可供肥料利用	u	0.85	0.70	0.85	0.65
	可供劳力利用	v	0.75	0.65	0.70	0.70

表3 C层目标突变决策计算结果

B层	C层		方案一	方案二	方案三	方案四
社会需求	农业需求	u	0.9233	0.8656	0.8748	0.8999
求满足	建设需求	v	0.806	0.7071	0.8660	0.8367
自然因素	宜农限制	u	0.8434	0.7416	0.7071	0.8660
素限制	宜建限制	v	0.8367	0.7746	0.8662	0.6708
土地经济	单位面积效益	u	0.8367	0.5477	0.7416	0.5916
济收益	投入产出比	v	0.8667	0.8062	0.8434	0.7746
资源综合	自然资源	u	0.8434	0.8148	0.8480	0.8812
合利用	社会资源	v	0.9086	0.8367	0.8879	0.8062

表4 B层目标突变决策计算结果

A层	B层					
总目标	社会需求	u	0.9184	0.8612	0.8409	0.8754
	自然因素	v	0.9291	0.8909	0.9353	0.8395
	土地经济	w	0.9147	0.7401	0.8612	0.7692
	资源利用	t	0.9184	0.9027	0.9170	0.9370

表5 A层总目标突变决策计算结果

总目标方案						
	土地合理利用规划		0.9464	0.8603	0.9280	0.8770

4 结 语

与层次分析法相比较,多目标突变决策方法具有以下优点:

1) 层次分析的关键在于确定各目标的权重,往往带有较大的主观性。而多目标突变决策方法对各目标重要性的确定量化是根据各控制变量的突变模型中的内在矛盾地位和逻辑关系决定的,不需要确定权重,因而主观性较小。

2) 层次分析法要确定众多判断矩阵,从而计算权重,运算量较大。而多目标突变决策方法根据由突变模型推导而得的计算公式和决策原则进行计算,运算量要小得多。

3) 层次分析法要确定指标的权重,因而在处理相互矛盾的指标时就有困难。而多目标突变决策方法只需确定指标的重要性顺序,所以对相互矛盾的目标也比较容易处理。

多目标突变决策方法存在的不足是:它是由初等突变理论的尖点模型、燕尾模型和蝴蝶模型推导而得,能处理2个、3个和4个控制变量的突变决策问题,而对有更多个控制变量的情况就不适用。实际应用中可采用对目标进行适当分解和归纳的办法来解决。

总之,多目标突变决策方法将突变理论与系统工程相结合,对解决土地利用总体规划的方案选择具有较大优越性,也可用它来解决社会和经济管理中的多目标评价决策问题。

参 考 文 献

- 1 夏绍玮等. 系统工程概论. 北京: 清华大学出版社, 1995. 56~61