

资源开发

区域土地利用结构优化模型应用现状

吴淑梅, 刘 伟

(中国地质大学 土地资源管理系, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 土地利用结构优化是实现土地资源可持续利用的根本保证, 土地利用结构优化模型对于科学有效和合理利用土地资源起到了重要的作用。本文从研究和应用的角度介绍和分析了土地利用结构优化模型, 包括多目标优化模型、目标规划模型 (GP 模型)、系统动力学模型、土地利用空间格局优化模型。

关键词: 区域土地利用; 结构; 优化; 模型

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 2464 (2007) 01 - 0077 - 04

APPLICATION SITUATION OF OPTIMIZATION OF REGIONAL LAND UTILIZATION STRUCTURE

WU Shumei¹, LIU Wei²

(Department of Land Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Optimization of regional land utilization structure is the rational insurance to realize the sustainable utilization of land resources. Its optimization model plays a vital role in land utilization. This paper aiming at study and application analyses some optimization models of land utilization structure, including multi object planning model, GP model, system model and land utilization spatial structure optimization model.

Key words: regional land utilization; structure; optimization; model

土地利用结构是各种用地按照一定的构成方式的集合, 是土地利用规划中一项重要的基础工作。只有确定合理的土地利用结构, 使土地资源在时间上得到合理安排, 在空间上得到最佳落实, 才能保持土地利用系统的良性循环, 才能取得土地利用的最大效率, 才能最大限度的促进区域经济的发展。优化结构、提高功能, 可用较少的消耗或投入取得较高的效益。关于土地利用结构优化的概念, Plummer 在 1993 年给出了定义的具体表述: “土地利用结构优化是为了达到一定的生态经济最优目标, 依据土地资源的自身特性和土地适宜性评价, 对区域内土地资源的各种利用类型进行更加合理的数量安排和空间布局, 以提高土地利用效率和效益, 维持土地生态系统的相对平衡, 实现土地资源的可持续利用”^[1], 其过程是在地区性土地适宜性评价的基础上优化研究区域内土地利用的数量结构及空间格局, 优化目的是实现区域土地资源的可持续利用。土地资源优化配置需要收集大量数据, 工作复杂而艰巨, 可通过对模型有关方面的合理简化, 减少相应数据的收集工作量。本文综述性分析总结了各类研究典型模型应用现状及存在的不足, 为人们深入研究土地资源优化配置问题和土地资源管理提供参考。

1 区域土地利用结构优化模型

土地利用结构优化是一个庞大的系统工程, 有许多子系统组成, 其边界模糊, 逻辑关系复杂。处理好系统内外各种逻辑关系是土地利用结构优化的先决条件, 其中根据区域的土地利用基础数据和评估数据、区域的社会经济环境条件, 以及区域社会经济发展政策建立土地利用优化模型, 提出优化方案是该系统工程的关键。

1.1 多目标优化模型

多目标分析是近 30 年来迅速发展起来的一门新兴学科, 它主要研究在某种意义下多个目标的同时最优化问题。1951 年, Koopmans 从生产与分配的活动分析中提出了多目标最优化问题, 并且第一次提出了 Pareto 最优解的概念。1968 年, Johnsen 系统地提出了关于多目标优化模型的研究报告, 成为研究多目标决策的最早专著^[2]。进入 20 世纪 70 年代以后, 多目标决策分析开始被广泛应用于解决工程技术、经济管理和系统工程等众多方面的问题。最早将多目标决策分析应用到土地研究的是加拿大, 1984 年加拿大的一个土地评估小组用多目标分析方法对土地利用评价进行研究。此后, 1990 年多目标分析被用于解决空间土

收稿日期: 2006 - 07 - 08; 修订日期: 2006 - 12 - 21; 责任编辑: 曹荣珍。

第一作者简介: 吴淑梅 (1983—), 女, 硕士生, 主要从事土地资源管理研究。E-mail: wsmsea0507@163.com

地利用规划问题。模型的基本方程表达式为：

$$\max Z = C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n, \quad (1)$$

$$a_{ij} x_j \quad (=, <, >) b_i, \quad (2)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0. \quad (3)$$

方程 (1) 为模型目标函数, (2) 和 (3) 为约束条件, 其中 (3) 是非负约束条件, 变量 x_j 可以表示各行业用地规划面积。由于土地利用结构优化研究涉及环境、经济、政策等多个领域, 多目标分析方法在土地利用结构优化过程中得到广泛的应用^[3-9]。

Wang Xinhao 采用多目标方法研究流域尺度上的土地资源优化配置问题, 建立了多目标规划模型 (图 1), 并且提出了环境和经济优化目标下土地资源优化方案, 为当地土地资源管理者做出合理的决策提供了参考依据^[10]。郑新奇先生研究了无棣县耕地结构优化问题, 首先运用多目标规划模型面积控制, 在此基础上他借助 Arc/Info 和 Map Info 等信息工具, 实现耕地优化配置的自动化^[11]。周宗丽先生等将多目标线性规划模型和系统动力学模型相结合, 应用 LP-SD 方法, 把三峡库秭归县土地资源分为全县土地资源、农业土地资源和耕地资源 3 个层次, 分别进行优化, 并在可持续发展战略下, 提出了优化方案和对策^[12]。

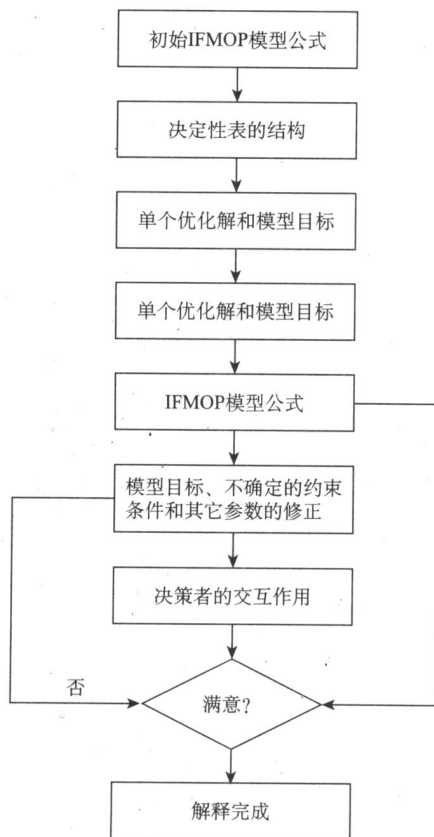


图 1 IFMOP方法框

多目标规划模型处理问题更符合实际, 具有积极的生产应用意义。土地资源的利用受到自然因素、社会因素、经济因素等多方面的影响, 是一个复杂的系统, 要实现土地可持续利用, 需要综合考虑到土地利用的社会、生态和经济效益, 因此多目标规划模型在进行土地利用结构的优化中具有重要的意义。

1.2 目标规划模型 (GP模型)

1961年 Abraham Charnes和 W. Cooper首次提出了目标规划 (Goal Programming) 的基本概念^[12]。其基本思想是在一定约束条件下完成一组包含不同优先等级的可能是互相矛盾的目标。该方法的特征是首先由决策者设置目标值 (期望目标达成值), 然后引入目标偏差变量 (也即实际与设置的目标值之间的差异), 最后求各偏差变量之和最小时的解作为决策者的偏好解。

GP模型是一种综合性的分析工具, 它可以提供多因子的分析机制, 包括社会因子、经济因子、生态因子, 例如在优化过程中同时兼顾物质生产水平及环境质量因子的可持续性。GP模型可为不同资源生产部门提供有效的规划工具, 尤其是对具有复杂组分关系的土地利用系统, GP技术的优越性更为突出。在土地利用优化模型中, GP的基本结构包括目标函数与约束条件, 其具体方程可以归结为: 资源限制、供需平衡、目标约束、土地变化约束以及目标函数。Yongyuan. Yin等人基于 GP模型建立了 LAS系统, 应用于哥伦比亚 peace河流域的湿地规划中, 模型建立过程中同时考虑了生态、物理、社会和经济等多因子的影响, 该系统的数学核心模块可简单表示成:

目标函数:

$$\text{Min } Z = [g_1(d^-, d^+), g_2(d^-, d^+), \dots, g_k(d^-, d^+)], \quad (4)$$

约束方程:

$$x_{pj} + x_{ij}^1 - x_{ij}^1 A_j, \quad (5)$$

$$(R_{pj} \cdot x_{pj}) + (R_{ij}^1 \cdot x_{ij}^1) + d_r^- - d_r^+ = b_r, \quad (6)$$

$$[Y_{pj} \cdot [x_{pj} + x_{ij}^1]] + d_y^- - d_y^+ = b_y, \quad (7)$$

$$[E_{pj} \cdot [x_{pj} + x_{ij}^1]] + d_e^- - d_e^+ = b_e, \quad (8)$$

$$[E_{ij} \cdot [x_{pj} + x_{ij}^1]] + d_f^- - d_f^+ = b_f, \quad (9)$$

$$(v_{cj} \cdot x_{cj}) + d_v^- - d_v^+ = b_v, \quad (10)$$

$$x_{ij}^1 A_j, \quad (11)$$

$$x, x^1, d^-, d^+ \geq 0. \quad (12)$$

模型中 $\text{min } Z$ 目标函数为求所有偏差变量的最小, 定义为背离预期目标水平的最小值; $g_k(d^-, d^+)$ 表示处于不同优先等级背离变量的线性函数, 下标变量 $k = 1, 2, \dots, k$ 代表优先权次序; x 为土地利用面积; x_{pj} 表示部门 j 中土地利用类型 p 的面积; x^1 表示土地利用变化变量; x_{ij}^1 、 x_{ij}^1 为决策变量, 分别表示部门 i 转化到部门 j 的土地利用面积及从部门 j 转化到部门 i 的土地利用面积; x_{pij} 为土地利用类型 p 从部门 i 转化到部门 j 的土地面积; A_j 表示部门 j 的资源可用性; R_{pj} 表示部门 j 中土地利用类型 p 产生的纯收益; R_{pij} 表示对于土地利用类型 p 从部门 i 转到部门 j 由部门间土地变化产生的纯收益; Y_{pj} 表示部门 j 中土地利用类型 p 的单位产量; E_{pj} 表示部门 j 中由土地利用类型 p 引起的土壤侵蚀率; x_{ij} 代表部门 j 中的树种或农作物种类 t ; x_{ij} 表示为栽种 t 部门 i 间的土地变化; x_c 表示部门 j 中 c 类自然保护区的面积; v_{cj} 表示 c 类保护区中某物种的生态价值 (例如观赏价值); 等式右边的 b_r, b_y, b_e, b_f, b_v 向量分别表示目标 y, r, e, f, v (资源产量、经济回报、水土流失、森林覆盖、自然保护区) 的目标值; d^-, d^+ 为偏差向量, d^- 为负偏差, 表示达到目标值的变量, d^+ 为正偏差, 表示超过目标值的变量; A_j 表示从部门 j 变化的土地

总量^[13]。

在资源规划中，GP技术的应用主要是为资源规划部门提供资源优化配置模式，它能够处理在有矛盾的多目标中分配有限的资源问题，但由于受到规划工作者的知识水平、思维方式等的影响，在处理多个不同优先等级目标的问题上较难把握。

1.3 系统动力学模型

前面提到的两种模型基本属于静态模型。然而由于土地利用需求要受到经济、社会和政策等多种因素的影响，因此要求规划目标和规划方案也要不断地随之调整，系统动力学模型可以解决这一问题。系统动力学（System Dynamics）是美国麻省理工学 Jay W. Forrester 教授于 1956 年首创的一种运用结构、功能、历史相结合的方法，通过建立 DYNAMO 模型并借助于计算机仿真而定量地研究高阶次、非线性、多重反馈复杂时变系统的系统分析技术。该模型能方便灵活地进行决策模拟和多方案比较，适用于解决复杂系统的结构功能协调和研究中长期系统动态发展问题。系统动力学模型通过规划目标与规划因素之间的因果关系建立信息反馈机制，模型的行为模式与结果主要取决于模型结构而不是参数值的大小，模型具有动态性、仿真模拟性。根据系统论的原理，通过分析土地利用的结构和系统内部各组成成分之间的反馈关系，可以建立反映土地利用结构优化度的系统动力模型。系统动力学模型的建立需要对模拟的系统具有充分的研究，对系统内部各种反馈机制已经非常的了解，在因果关系不明确的情况下，不便使用本模型。该模型不足之处：1) 它主要侧重于系统行为研究，对系统进行远期、综合性、趋势性描述，因而提供的答案往往不是最优解。2) 在预测方案的最优设计上，有些参数难以准确定量，随意性较大。模型中诸要素之间的相关关系及反馈中诸要素之反馈回路如图 2 所示。

目前，系统动力学方法已用于区域和国家尺度上的土地资源优化配置建模中。如赵小敏运用系统动力学方法分析土地—社会—经济系统的结构、功能、行为及其相互间的关系，通过描述人口变化、经济发展变

化、土地利用变化及各业用地需求量之间的内在联系，动态模拟各业用地的发展趋势，得出适应各种社会经济条件的土地利用决策方案，结果表明土地利用动力学模型是土地—社会—经济系统，用于土地资源优化配置的有效工具^[14]。赵庚星等通过系统动力学原理、方法和模型对黄河三角洲利县土地利用系统的模拟，得到了较好的模拟结果，并由此确定了适宜的土地利用发展方案^[15]。基于土地资源数据库和管理信息系统建立的“世界动力学”模型和 ECCO（Enhancement of Carrying Capacity Options）模型，建立了土地资源系统的动态模型，即可以模拟人口、资源、环境与发展之间的相互关联性，又可以用来模拟在各种发展条件策略下，人口增长与资源承载力之间的动态变化。此外，系统动力学模型还广泛应用于土地生态设计、作物布局设计、种植业、林业、水土保持规划等方面的研究中。

系统动力学采取定性和定量相结合的结构、功能模拟方法，强调系统结构分析，对数据的依赖性较小，具有操作灵活，可塑性强的特点，既可以对未来进行预测，也可以回顾系统历史行为，比较容易反映非线性和延期反映等用数学形式难以表达的过程。研究表明，应用系统动力学仿真模拟方法解决土地利用结构优化配置中的问题，是一种可行的方法。

1.4 土地利用空间格局优化模型

区域土地利用优化配置，不仅要求宏观土地利用数量结构的优化，也要保证土地利用结构空间布局趋于优化^[16-17]。基于空间格局分析的土地利用结构优化模型，从目前已有的研究看主要是把景观格局整体优化作为模型的核心，其中以 Habber 和 Foman 的研究成功为主要代表^[18-20]。

德国生态学家 Habber 建立的土地利用分异战略 DLU，其整体过程包括：1) 进行土地利用分类；识别研究区域内土地利用主要类型，并划分区域自然单位（RNU），每个 RNU 有自己的生境特征组，并形成

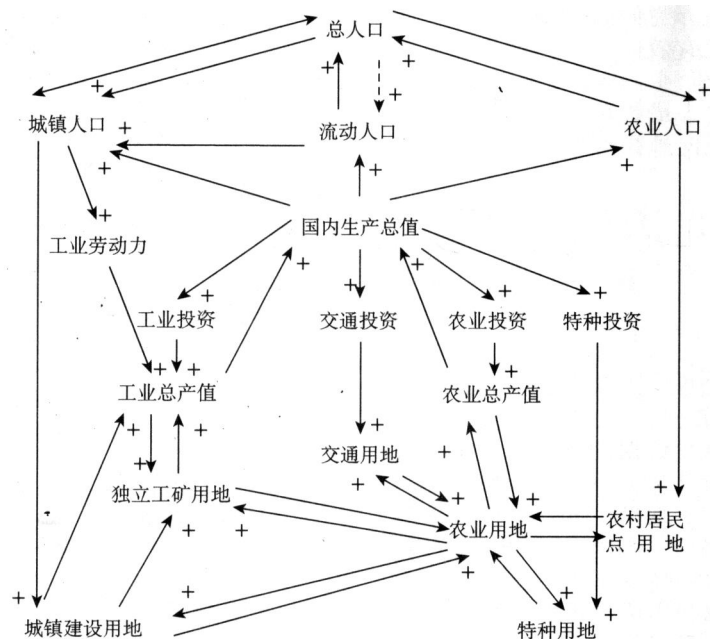


图 2 土地利用规划动态仿真模型主要反馈回路

可反映土地用途的模型。2) 评价、确定空间格局: 对每个 RNU 进行评价和制图, 确定每个 RNU 的土地利用的面积百分率。3) 敏感度分析: 识别 RNU 中对环境影响表现最敏感地区及最具保护价值的地区。4) 空间关系分析: 分析了每个 RNU 中的所有生境类型间的空间关系, 特别侧重于连通度的敏感性及不定向或相互依存关系等。5) 影响分析: 利用以上所得信息, 评价每个 RNU 中不同区域对环境影响表现出的敏感度, 特别强调影响的敏感性和影响范围。Habber 提出的这一分异战略以区域自然单元为主题, 强调了 RNU 中生境间的空间关系, 但对各 RNU 间空间联系的分析仍缺乏方法与手段, 没有完全反映土地利用结构空间布局关系^[10, 21-22]。

Forman 的格局优化理论, 其核心主要围绕以下几方面展开: 1) 背景分析: 了解研究区域的自然、人文背景, 并关注区域中的景观空间配置。2) 关键地段识别: 对于具有关键生态作用或生态价值的景观地段给予特别重视。3) 生态属性规划: 明确景观生态优化和社会经济发展的具体要求, 如维持那些重要物种数量的动态平衡、土地肥沃度以及其他社会经济指标。4) 空间格局优化: 将前述的生态和社会需求落实到规划设计的方案之中, 即通过空间格局配置的调整实现上述目标。Forman 的格局优化理论把生态学理论融入空间格局规划过程中, 是目前土地利用空间格局优化中较为明确的理论依据。

2 结论与展望

2.1 结论

1) 区域土地利用结构优化, 不仅要求宏观土地利用数量结构与空间布局趋于优化, 因此, 依据模型之间所具有的同性和互补性, 把它们有机组合起来, 既能发挥它们各自的功能作用, 又发挥了系列模型的优势, 可以达到良好的效果。

2) 虽然各种模型着眼点不同, 但都是以寻求土地利用最佳结构效应为核心。它们通过围绕建立非农建设用地的适度扩展和耕地有效保护的协调机制及其微观土地集约利用的激励机制, 来揭示不同用地规模、类型转换机制及其模式, 最终将土地利用优化的问题, 落实在城镇建设用地向外扩展与基本农田保护调控约束的最佳结合上来。

3) 土地利用优化配置, 不仅应结合优化配置方案的落实, 促使区域产业结构的升级和优化布局。而且, 还须依靠科技进步和健全市场机制, 促使土地利用微观生产要素的合理比配。

2.2 展望

在土地利用结构优化过程中涉及大量空间信息的采集、存储、分析、查询和决策。常规的数据采集方法和处理方式已不在适应海量数据的分析、管理, 甚至所确定的土地利用结构难以满足持续农业发展的需要。近年来, 随着网络技术、遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和全球定位系统 (GPS) 的迅猛发展, 世界各国土地资源管理部门均高度重视这些技术在土地管理中的应用。未来土地利用优化模型将会更加充分利用遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和全球定

位系统 (GPS) 和国际互联网 (INTERNET) 技术等作为支撑技术体系, 获取土地信息 (包括属性数据如土地自然属性、社会经济属性、地类、权属等, 矢量数据如土地单元的区位、地理坐标、空间构型等)、存储、更新、分析、交流和应用等方面。

参考文献

- [1] Plummer L N. 水岩相互作用地球化学模型的回顾与展望 [J]. 周文斌译. 华东地质学院学报, 1993, 16(2): 128-135
- [2] 左军. 多目标决策分析 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1991
- [3] Smith C S, McDonald G T, Thwaites R N. TM: Assessing the sustainability of agricultural land management [J]. Journal of environmental management, 2000(60): 267-288
- [4] Sarker R A, Quaddus M A. Modelling a nationwide crop planning problem using a multiple criteria decision making tool [J]. Computer & industrial engineering, 2002(42): 541-553
- [5] Zander P, Kachele H. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development [J]. Agricultural systems, 1999, 59: 311-325
- [6] 王万茂, 但承龙. 海门市土地利用结构优化研究 [J]. 国土与自然资源研究, 2003, 1(1): 44-46
- [7] 修贵, 王博. 多目标决策在土地利用规划中的应用 [J]. 农业现代研究, 1994, 15(4): 226-228
- [8] Yin Y, Xu X. Applying neural net technology for multobjective land use planning [J]. Journal of environmental management, 1991, 32: 349-359
- [9] Yin Y, Pierce J. Integrated resource assessment and sustainable land use [J]. Environment management, 1993, 17(3): 319-327
- [10] Wang X, Sheng Y, Huang G H. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level [J]. Landscape and urban planning, 2004(66): 61-74
- [11] 郑新奇, 阎弘文, 徐宗波. 基于 GIS 的无棣县耕地优化配置 [J]. 国土资源遥感, 2001(2): 53-56
- [12] 周宗丽, 宁大同, 杨志峰. 三峡库区秭归县土地资源优化配置 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1999(4): 536-541
- [13] Yin Y, Pierce J T, Love E. Designing a multisector model for land conversion study [J]. Journal of environmental management, 1997(83): 195-215
- [14] 赵小敏, 王人潮, 吴次芳. 土地利用规划的系统力学仿真 [J]. 浙江农业大学学报, 1996(2): 143-148
- [15] 赵庚星, 王人潮, 尚建业. 黄河三角洲垦利县土地利用的系统动力学仿真模拟研究 [J]. 浙江农业大学学报, 1998(2): 141-147
- [16] 刘彦随. 山地土地结构格局与土地利用优化配置 [J]. 地理科学, 1999, 19(6): 504-509
- [17] 刘彦随. 土地利用优化配置中系列模型的应用——以乐清市为例 [J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 26-31
- [18] Forman R T T, Godron M. Landscape ecology [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986. 1-40
- [19] Forman R T T. Land mosaics: the ecology of landscape and regions [M]. Cambridge: Cambridge university press, 1995
- [20] Carsjens G J, Knaap W V D. Strategic land-use allocate: dealing with spatial relationships and fragmentation of agriculture [J]. Landscape and Urban Planning 2002(58): 171-179
- [21] David M, Eligius M T, Martin K, et al. A framework to study nearly optimal solutions of linear programming models developed for agricultural land use exploration [J]. Ecological Modeling, 2000(131): 65-77
- [22] Seppelt R, Voinov A. Optimization methodology for land Use patterns using spatially explicit landscape models [J]. Ecological modeling, 2002 151: 125-142