

基于逐步宽容约束法的广州花都区 土地利用优化配置研究*

陈梅英¹, 刘毅华², 董玉祥¹, 郑荣宝³

- (1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;
2. 广州大学地理科学学院, 广东 广州 510405;
3. 广东工业大学管理学院, 广东 广州 510520)

摘要:以逐步宽容约束(GECM)方法为基础,构建多目标线性规划模型,以社会、经济和生态效益为系统约束,设置涉及土地面积、土地利用结构、宏观计划、资源及技术约束等8个方面的GECM约束条件,对广州市花都区土地利用结构进行优化配置研究,研究表明花都区2008年的用地水平接近2020年合理用地的规模,研究结果可为花都研究区土地资源合理利用提供建议。

关键词:土地利用;多目标规划;逐步宽容约束;花都区

中图分类号: F301.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2011)01-0138-05

Multi-objective Programming Optimal Allocation Model of Urban Land-use Planning

CHEN Meiyang¹, LIU Yihua², DONG Yuxiang¹, ZHENG Rongbao³

- (1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. School of Geography Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510405, China;
3. College of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Adjustment of land-use structure is essential to land-use planning, which is of great importance to promote intensive, efficient and sustainable utilization of urban land resources. Using the Gradual Easy Constraint Method (GECM), a multi-objective programming model was built and solved with the interactive adjustment method. This model aims at social, economic and ecological benefits, in which land area, land-use structure, macro programs, resources and technical are set as GECM constraints. The results show that the level of land in 2008 almost reach the rational demand in 2020. This can provide some useful information for decision-makers.

Key words: land use; multi-objective planning; gradual easy constraint method; Huadu district

土地利用空间结构优化配置是土地利用规划的重要内容,也是土地利用规划编制的一个难点。加强土地利用结构的优化配置,既可实现土地供需平衡,又能在土地利用效率最大化的约束下实现最佳土地利用决策方案,对促进我国土地资源的集约、高效和持续利用有着特殊意义和实践价值^[1-2]。

如何按客观规律的要求进行合理的土地利用结构配置,这其中包括社会、生态、技术与经济等方面的问题,需要综合处理各种因子的协调关系,使其组成一个达到最优水平的完整体系,各用地部门的用地数量和比例结合成统一结构,必须求助于系统优化的方法^[3]。其中,多目标规划的概念自

* 收稿日期: 2010-02-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771003), 教育部科学技术重点基金资助项目(108171); 国家科技支撑计划基金资助项目(2006BAJ05A10)

作者简介: 陈梅英(1972年生),女,博士研究生; E-mail: gtcmy@163.com

1961年由美国数学家查尔斯和库柏首先提出后, 相关的研究已经深入进行^[4-10]。然而, 越来越多的实践证明, 简单的以数学模型为主要实现手段的定量分析过程无法满足土地利用规划的实际需求^[11-15]。依靠多目标线性规划模型, 将定性分析与定量模型相结合形成符合现实情况的约束条件, 以此实现土地利用结构优化配置解决了传统方法无法解决的难题^[16-18]。

研究区广州市花都区位于东经 112°57' - 113°28', 北纬 23°15' - 23°37', 地处广州市西北部。作为广州市的山地区, 土地利用以农用地和建设用地区为主, 二调数据表明农用地为 59 027 hm², 建设用地区为 23 446 hm², 未利用土地为 14 431 hm², 分别占总土地面积的 60.91%、24.20%、14.89%。近年来花都区经济发展较快, 成为广州市经济增长的重要区域, 土地利用变化也较为激烈, 用地矛盾较为突出, 2008 - 2020 年广州市土地利用总体规划纲要中下达给花都区的建设用地规模是 24 441 hm², 而现状已经将近突破, 未来能够利用土地空间不足必将影响花都区社会经济的可持续发展, 对其土地利用结果进行科学、合理的优化对当地社会经济发展具有十分重要的意义。

本文拟采用多目标线性规划中逐步宽容约束 (GECM) 方法, 对花都区土地利用结构的调整进行定性、定量分析, 并结合花都区的实际发展规划, 综合考虑社会、经济、生态等因素, 提出土地利用结构优化调整方案, 以实现土地资源科学、合理、高效利用和土地生态系统的相对平衡, 提高土地资源的利用效率和综合效益^[19-22]。

1 研究方法

1.1 多目标逐步宽容约束法模型原理

对于一个复杂的多目标最优化问题, 要根据它的特点构造出一个恰当的评价函数表达式是相当困难的。因此, 以分析者的求解和决策者的决策相结合的求解过程, 采用分析阶段反复交替进行的求解多目标最优化问题的方法, 属于解多目标最优化问题的交互规划方法。

该方法的求解过程包括分析和决策 2 个阶段: 在分析阶段, 分析者按理想点法对模型求解, 把得到的解所对应的一组参考目标值和理想目标值基础上的, 最优满意的目标给出使其目标值做出让步的宽容量, 以换取不满意目标的改善, 再把这些信息提供给分析者以及需求解。如此反复, 逐步以满意目标的宽容让步换取不满意目标的改善, 最后求得

决策者对该目标均满意的解^[23]。

1.2 模型计算步骤

若考虑多目标极大值问题 $\max_{x \in X} f(X) - X$, 其中 $x = (x_1, \dots, x_n)^T$, $X \subseteq R^n$ 是紧集, $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))^T$, 并且各分目标为线性函数 $f_i(x) = c_i^T x = \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j, i = 1, \dots, m$ 。在目标函数约束集 X 上极大值各分目标函数 $f_j(x) (j = 1, \dots, m)$, 设得极大点 $x^{j*} : f_j(x^{j*}) = \max_{x \in X} f_j(x), j = 1, \dots, m$ 。

逐步宽容约束法的计算步骤:

第 1 步: 分目标极大值。求 x^{j*} 使 $f_j(x^{j*}) = \max_{x \in X} f_j(x), j = 1, \dots, m$ 。若 $x^{1*} = \dots = x^{m*}$, 则输出绝对最优解 $x^* = x^{j*} (i = 1, \dots, m)$, 否则进行第 2 步。

第 2 步: 列出目标列表。计算 m^2 个目标值 $f_{ij} = f_i(x^{j*}), i, j = 1, \dots, m$, 由此, 得到

$$f_i^* = f_{ii}, i = 1, \dots, m;$$

$$f_i^\Delta = \max_{1 \leq j \leq m} f_{ij}, i = 1, \dots, m。$$

第 3 步: 给定初始约束集。令 $x^1 = x, k = 1$ 。

第 4 步: 计算权系数 w_0, \dots, w_m 。

第 5 步: 求解辅助问题, 求解极大值问题

$$\begin{cases} \max \lambda \\ \text{s. t. } x \in X \\ w_i \left(\sum_{j=1}^n c_{ij} x_j - f_i^* \right) \leq \lambda, (i = 1, \dots, m) \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$

得最优解 $(x^k, \lambda^k)^T$, 其中 w_i 是第 i 项权系数。求解上述极大值的辅助问题, 设得到最优解 $(x^T, \lambda)^T$, 由极大模理想点法可知, 当 $w_i \geq 0 (1, \dots, m)$ 时, 为目标函数的若有效解。

第 6 步: 比较目标值。由决策者对当前的参考目标值 $f_1(x^k), \dots, f_m(x^k)$ 和理想目标值 f_1^*, \dots, f_m^* 进行比较, 分 3 种情况: ① 若对所有的目标均满意, 输出 $x = x^k$; ② 若对所有的目标均不满意, 或 $k = m$ 仍对一些目标不满意, 则无满意解, 停止迭代; ③ 若 $k < m$, 对目标 $f_{sk} (1 \leq sk \leq m)$ 表示满意, 进行第 7 步。

第 7 步: 构造新约束集。有决策者对满意目标 f_{sk} 给出最大宽容量 $\Delta S_k > 0$, 然后做新约束集 $X^{k+1} = \left\{ x \in X^k \mid \begin{cases} f_{sk}(x) \leq f_{sk}(x^k + \Delta S_k) \\ f_i(x) \leq f_i(x^k), i \neq S_k \end{cases} \right\}$ 。令 $a_{sk} = 0, k = k + 1$, 转第 4 步。

上述分析阶段和决策阶段的交替进行, 直至逐

步完成宽容约束的求解。

1.3 基于多目标逐步宽容约束法下的土地利用结构优化模型建立

土地利用结构优化的目标最终是要通过土地利用的经济效益、社会效益和生态效益 3 个方面来综合体现的,即通过各种土地类型的合理组合,力争所有目标达到一种最优化的综合效益^[24-25]。

土地的经济效益,要求各种类型地类的产出量达到最大化,也是土地利用结构优化的主要目标。土地生态效益,要求尽量减少土地利用方式变更过程中对生态环境所产生的不利影响;在充分考察土地利用带来经济生态效益的同时,注重社会效益是

十分必要的。

1.3.1 目标要求 把花都区土地利用经济效益确定为系统的首要目标,生态效益、社会效益等作为系统约束,根据土地利用分类标准选择 16 个二级地类(水田 x_1 、旱地 x_2 、菜地 x_3 、园地 x_4 、林地 x_5 、牧草地 x_6 、其他农用地 x_7 、城镇用地 x_8 、农村居民点 x_9 、独立工矿 x_{10} 、特殊用地 x_{11} 、交通运输用地 x_{12} 、水利建设用地 x_{13} 、荒草地 x_{14} 、难以利用土地 x_{15} 、水域 x_{16})为基础,根据专家打分法确定各地类社会效益、经济效益和生态效益的贡献率作为其权重,并以权重作为其目标函数的系数,得出花都区土地利用优化配置目标函数表(表 1)。

表 1 花都区土地利用优化配置目标函数表
Table 1 Objective function table of optimal land use in Huadu

模型目标	函数构建
社会效益	$\text{Max}F1 = x_2 + 0.98x_3 + 0.9x_4 + 0.45x_5 + 0.14x_6 + 0.6x_7 + 0.78x_8 + 0.78x_9 + 0.3x_{10} + 0.45x_{11} + 0.7x_{12} + 0.3x_{13} + 0.15x_{14} + 0.1x_{15} + 0.4x_{16}$
经济效益	$\text{Max}F2 = 0.12x_1 + 0.1x_2 + 0.2x_3 + 0.25x_4 + 0.08x_5 + 0.07x_6 + 0.2x_7 + x_8 + 0.6x_9 + x_{10} + 0.4x_{11} + 0.85x_{12} + 0.45x_{13} + 0.05x_{14} + 0.04x_{15} + 0.1x_{16}$
生态效益	$\text{Max}F3 = 0.5x_1 + 0.42x_2 + 0.42x_3 + x_4 + x_5 + 0.49x_6 + 0.4x_7 + 0.45x_8 + 0.4x_9 + 0.45x_{14} + 0.47x_{15} + 0.45x_{16}$

1.3.2 约束条件 从建设生态城市的角度,以寻求城市扩张与资源保护为出发点,根据土地利用系统特点,按照规划区域内的地域分异规律,设置涉及土地面积、土地利用结构、宏观计划、资源及技术约束等 8 个方面的 GECM 约束条件。

1) 土地总面积约束 $\sum_{i=1}^{16} x_i = M$, 式中规划区土地总面积 M 为 96 780 hm^2 ;

2) 宜耕地面积约束 $x_i \leq \text{YNL}$, 根据花都区耕地适宜性评价结果,最大宜耕地面积为 45 126 hm^2 , $\text{YNL} < 45\ 126\ \text{hm}^2$;

3) 水域面积约束 $\sum_{i=14}^{16} x_i \leq \text{DL}$, 式中规划区水域面积 DL 为 1 052 hm^2 ;

4) 宏观计划约束: ①大农业约束 $\sum_{i=1}^{16} x_i \geq \text{ANL}$, 式中规划区计划最低大农业用地面积 ANL 为 59 206 hm^2 ; ②耕地最小面积约束 $x_1 \geq \text{AF}$, 式中规划区基本农田保护面积 AF 为 15 760 hm^2 ; ③林地最小面积约束 $x_5 \geq \text{ML} \times \kappa' / \kappa$, 式中规划区规划期内林地覆盖率 κ' / κ 为 32%; ④农业部门用地比例约束 $x_1 : x_2 : x_3 : x_4 : x_5 : x_6 = l_1 : l_2 : l_3 : l_4 : l_5 : l_6$, 式中 $l_1 : l_2 : l_3 : l_4 : l_5 : l_6$ 为规划区规划期

内农业部门用地结构比例;

5) 城乡建设现状约束 $\sum_{i=8}^{13} x_i \geq \text{UL}$, 式中 UL 为城乡建设用地计划面积,根据《花都区城市发展总体规划》城乡建设用地规划需求,预测 2020 年花都区总人口为 180 万,按规划人均建设用地面积 160 m^2 计,需要建设用地面积 28 800 hm^2 ,将此数据定为 2020 年城乡建设用地计划面积数量;

6) 人口约束 $\gamma_A \times \sum_{i=1}^7 x_i + \gamma_U \sum_{i=8}^{13} x_i \leq M_{\gamma(v)}$, 式中 γ_A , γ_U 分别为规划区农用地和城镇用地人口预测密度(人/ hm^2),规划区 v 年预测总人口 $M_{\gamma(v)}$ 为 180 万;

7) 资源约束: ①用电量约束 $\varphi_A \times \sum_{i=1}^7 x_i + \varphi_U \sum_{i=8}^{13} x_i \leq M_{\varphi(v)}$, 式中 φ_A , φ_U 分别为规划区农用地和城镇用地用电量($\text{kW} \cdot \text{h}$)/ hm^2),规划区 v 年预测供电总量 $M_{\varphi(v)}$ 为 311.20 $\text{kW} \cdot \text{h}$; ②用水量约束 $\theta_A \times \sum_{i=1}^7 x_i + \theta_U \sum_{i=8}^{13} x_i \leq M_{\theta(v)}$, 式中 θ_A , θ_U 分别为规划区农用地和城镇用地用水量(m^3)/ hm^2), $M_{\theta(v)}$ 为规划区 v 年预测供水总量 20 526.11 m^3 ; ③资金投入约束 $\sum_{u=1}^{16} \sum_{i=1}^{16} \omega_{ui} x_i + \zeta_{(in)} - \zeta_{(out)} \geq M_{\omega(v)}$, 式中 ω_{ui} 为规划

区单位面积土地资金投入量 (万元/hm²), $\zeta_{(in)}$ 为资金投入量, $\zeta_{(out)}$ 为资金调出量 (万元); $M_{\omega(v)}$ 为规划区 v 年资金需求总量 (万元)

8) 数学模型约束 $x_i \geq 0, i = 1, \dots, 16$, 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 表示共 16 种地类。

2 结果与分析

以 2008 年花都区二调数据为基础年份, 考虑其实际的需要, 计算结果将建设用地不作细分, 选择了耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、建设用地、未利用地等 7 个地类。规划各类土地总面积为 96 780 hm², 规划调整年限为 2008 - 2020 年。

将数据导入 DPS 中并编辑公式进行运算, DPS 允许用户采用自然的数学语言描述方式来求解线性规划问题。首先定义目标函数, 在目标函数前加上“最小”或“min”, 然后再定义约束条件, 并把它们定义成公式块, 如果该函数无界或不存在有限值

的最优解, 系统会提示用户给出需宽容的目标函数的序号及其该目标函数的宽容值, 以便继续分析, 分析完成, 如果求解成功, 这时给出结果, 并给出其目标函数值。输出结果见表 2, 从中可看出花都区土地利用结构的最优解, 将优化后的土地利用结构和现状土地利用结构作一比较, 结果见表 2。

从表 2 可以看出, 优化配置后的 2020 年土地利用结构与 2008 年变化不大, 耕地、园地、其它农用地、未利用地分别为 15 760、7 916、11 191、1 495 hm², 与 2008 年二调数据相比, 变化率分别为 4.92%、-2.68%、-2.40%、-0.75%。林地、建设用地分别为 31 008、28 800 hm², 与 2008 年现状相比, 增加了 -4.68%、5.89%。研究结果表明 2008 年花都区建设用地规模已经快达到 2020 年的合理用地规模, 且需要保证耕地面积要求耕地面积增加 4 761 hm², 耕地保护压力较大, 未来预留发展用地不足的矛盾将日益突出。

表 2 花都区土地利用结构现状和优化比较

Table 2 Comparison between land use actuality and optimization result in Huadu

代表意义	现状面积/hm ²	比重/%	优化面积/hm ²	比重/%	面积差/hm ²	变化比例/%
耕地	10 999	11.36	15 760	16.28	4 761	4.92
园地	10 509	10.86	7 916	8.18	-2 593	-2.68
林地	35 541	36.72	31 008	32.04	-4 533	-4.68
牧草地	900	0.93	610	0.63	-290	-0.30
其他农用地	13 511	13.96	11 191	11.56	-2 320	-2.40
建设用地	23 097	23.87	28 800	29.76	5 703	5.89
未利用地	2 223	2.30	1 495	1.54	-728	-0.75
总计	96 780	100.00	96 780	100.00	0.00	0.00

从实际看, 2008 年花都区人均建设用地达 321 m², 已经远远超过了合理范围值, 未来花都区土地利用的战略重点需要从外延型扩展向内部消化转变, 在保持当前用地规模情况下已经可满足社会经济发展的需要。这就需要对花都区土地利用空间结构进行优化和协调, 以提高土地利用技术水平, 优化配置土地资源与空间资源, 合理保护耕地资源, 促进土地使用向集约化和高效化发展。

通过以上分析可得出, 以经济效益与生态环境效益为目标的花都区土地利用优化配置, 可以在充分考虑土地面积、环境、人口、资源和技术的条件下, 对原有土地利用结构进行适当调整, 既符合当地经济的可持续发展, 也可满足各项生产对土地的需求, 计算结果可为花都区新一轮土地利用总体规划提供参考。

3 结 论

1) 本文以多目标线性规划中的逐步宽容约束 (GECM) 法为核心建立模型, 并将其应用到广州市花都区土地利用规划的案例研究中。在对 GECM 模型的建立、求解和论证过程中采用分析者求解和决策者抉择相结合的方式进行分析, 从而保证了模型的实用性和可靠性。同时, GECM 模型协调处理了各区域、部门和组织之间的目标冲突, 从而实现了土地利用空间格局的合理配置。因此, 应用 GECM 模型来确定土地利用结构将可能成为未来土地利用规划领域的有效方法。

2) 采用构建逐步宽容约束 (GECM) 可以很好的对土地利用结构优化配置进行研究, 通过得出的最优解为决策者提供最佳选择, 并可以控制约束条件获得不同的优化方案, 增强了土地管理工作

在数据和空间上对土地利用结构优化的灵活控制。该方法客观性强,可以不受规划师主观性的影响和限制,且灵活性高,操作简便,容易实现。

3) 本文采用逐步宽容约束(GECM)对花都区土地利用结构优化配置进行了有益的尝试,通过土地利用结构方案与基期(2008年)实际相比较,认为当前花都区的土地利用现状已经快要达到2020年建设用地的规模,走内部挖潜道路将成为花都区土地利用的必然趋势。

参考文献:

- [1] 任奎,周生路,张红富,等. 基于精明增长理念的区域土地利用结构优化配置—以江苏宜兴市为例[J]. 资源科学,2008, 30(6):912-918.
- [2] 吕春艳,王静,何挺,等. 土地资源优化配置模型研究现状及发展趋势[J]. 水土保持通报,2006, 26(2):21-26.
- [3] MAKOWSKI D, HENDRIX M E, VAN K M, et al. A framework to study nearly optimal solutions of linear programming models developed for agricultural land use exploration[J]. Ecological Modelling, 2000, 131(1): 65-77.
- [4] 刘彦随. 区域土地利用优化配置[M]. 北京:学苑出版社,1999.
- [5] 刘彦随. 区域土地利用系统优化调控的机理与模式[J]. 资源科学,1999, 21(4):60-65.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 康慕谊,姚华荣,刘硕. 陕西关中地区土地资源的优化配置[J]. 自然资源学报,1999, 14(4):363-367.
- [9] 陈梅英,郑荣宝,王朝晖. 土地资源优化配置研究进展与展望[J]. 热带地理,2009, 29(5):466-471.
- [10] 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):44-46.
- [11] LIU Jiyuan, LIU Mingliang, ZHUANG Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use in china during 1995-2000[J]. Science in China: Series D, 2003, 11(4): 86-89.
- [12] 胡宝清. 区间目标规划与模糊目标规划[J]. 模糊系统与数学,2004, 18(1):218-223.
- [13] 王红瑞,张文新,胡秀丽,等. 土地利用区间数多目标规划模型及其应用[J]. 农业工程学报,2008, 24(8):68-73.
- [14] 王汉花,刘艳芳. 基于生态位与约束CA的土地资源优化配置模型研究[J]. 中国人口·资源与环境,2008, 18(2):97-102.
- [15] REN Fuhu. A training model for GIS application in land resource allocation, isprs [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 12(52): 261-265.
- [16] 席一凡,杨茂盛,尚耀华. 遗传算法在城市土地功能配置规划中的应用[J]. 西北建筑工程学院学报:自然科学版,2001, 18(4):190-194.
- [17] GILBERT K C, HOLMES D D, ROSENTHAL R E. A multiobjective discrete optimization model for land allocation[J]. Mgmtsci, 1985, 31(12): 1509-1522.
- [18] DIAMOND J T, ALLOCATION J L. Efficient land allocation[J]. Journal of Urban Planning and Development, 1989, 151(2):81-96.
- [19] 王新生,姜友华. 模拟退火算法用于产生城市土地空间布局方案[J]. 地理研究,2004, 23(6):727-735.
- [20] 吴泽宁,索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报,2004, 23(2):1-5.
- [21] 罗鼎,许月卿,邵晓梅,等. 土地利用空间优化配置研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2009, 28(5): 791-797.
- [22] 黎夏,叶嘉安. 基于神经网络有元胞自动机及模拟复杂土地利用系统[J]. 地理研究,2005, 24(1):19-26.
- [23] 陈晓宏,陈永勤,赖国友. 东江流域水资源优化配置研究[J]. 自然资源学报,2002, 17(3):366-372.
- [24] WANG X H, HUANG G H, YU S. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level [J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 66(2): 61-74.
- [25] 刘彦随,方创琳. 区域土地利用类型的胁迫转换与优化配置—以三峡库区为例[J]. 自然资源学报,2001, 16(4):334-339.