

文章编号: 1000-6788(2009)02-0186-07

## 北京市丰台区土地利用结构多目标优化

王红瑞<sup>1</sup>, 张文新<sup>2</sup>, 胡秀丽<sup>2</sup>, 梁进社<sup>2</sup>, 赵励耘<sup>3</sup>, 冯启磊<sup>3</sup>, 王岩<sup>4</sup>

(1. 北京师范大学水科学研究院 - 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3. 北京师范大学数学学院, 北京 100875; 4. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

**摘要** 针对目前北京市丰台区土地利用中存在着城市建设用地规模扩张迅速, 耕地面积逐年减少等问题, 在设计区间数多目标优化算法的基础上, 建立了丰台区土地利用多目标优化模型, 确立了三个目标函数及其相应的约束条件, 并对丰台区土地利用结构的优化调整进行了计算分析, 结合相关政策分析设计了土地利用结构调整方案, 即适当扩展园地的面积; 需要继续减少农村居民点用地; 同时扩大城镇用地面积以适应城市化发展的需要; 进一步减少独立工矿用地; 交通和水利设施用地可以适当增加; 特殊用地面积保持不变等. 调整后的土地利用结构更能适应目前丰台区发展的需要.

**关键词** 土地利用; 不确定性; 多目标规划; 区间数; 北京丰台区

中图分类号 N94

文献标志码 A

## The multi-objective optimizing of land-use structure in Fengtai district in Beijing

WANG Hong-ru<sup>1</sup>, ZHANG Wen-xin<sup>2</sup>, HU Xiu-li<sup>2</sup>, LIANG Jin-she<sup>2</sup>,  
ZHAO Li-yun<sup>3</sup>, Feng Qi-lei<sup>3</sup>, WANG Yan<sup>4</sup>

(1. College of Water Science- Key Laboratory for Water and Sediment Sciences Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. College of Geography and Remote sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. College of Mathematics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

**Abstract** Adjustment of land use structure is an important part of land use planning. Now, many problems related to land-use are brought up in Fengtai district of Beijing, such as rapid expansion of construction land scale, reduction of cultivated area year by year and so on. After designing the method of interval number multi-objective optimization, three objective functions and corresponding constraint conditions were built. In addition, optimization adjustment of land use structure in Fengtai district was calculated and analyzed. According to related policies, the adjustment schemes of land use structure were presented, including expanding the area of garden plot, and urban land to meet the need of urbanization development, continuing to decrease rural residential land, industrial and mining land, increasing traffic and water conservancy facilities properly, and keeping the area of special land. The adjusted land use structure can meet requirements of the development of Fengtai district.

**Keywords** land use; uncertainty; multi-objective optimization; interval number; Fengtai district of Beijing

收稿日期: 2007-06-19

资助项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD20B06); 北京市自然科学基金 (8083027)

作者简介: 王红瑞 (1963-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 水文水资源, 环境规划评价.

## 1 引言

土地利用结构调整是一个规模庞大、结构复杂、影响因素众多的社会经济过程, 是土地利用规划的重要组成部分. 土地结构优化具有多目标、多层次、多关联、非线性等特点. 上个世纪 80 年代以来, 土地利用规划过程中广泛引入遥感、计算机和数学方法, 这对提高规划的科学性、工作效率和精确度起到了极大的推动作用.

国内外有众多学者开展了这方面的研究工作, 其中有特色的工作是英国 Strathelde 大学和苏格兰资源研究所提出了“提高人口承载力备择方案的 ECCO 模型”, 它通过系统动力学模型, 模拟不同备择方案下人口变化与承载力之间的动态变化关系, 可用于辅助作出合理规划土地的决策<sup>[1]</sup>; Bellamy 在澳大利亚北部通过数据库决策支持系统 (DSS) 评价农地资源规划的合理性, 包括成本、收益、风险和对环境的影响<sup>[2]</sup>; Capalbo 等应用计算机, 采用数学模拟的方法评价美国蒙大拿州旱地资源的规划问题, 尤其是土地利用规划对农场收益、环境和作物轮作系统的影响<sup>[3]</sup>. Verfura 等认为在美国威斯康星州 Dane 县的土地信息系统在自然资源受到威胁的地方, 可用于多用途规划, 为决策者提供信息<sup>[4]</sup>; Xiang 等应用 GIS 和多目标模型来预测土地利用中引起纷争的原因, 据此得出解决策略<sup>[5]</sup>; Stark 探讨了在德国应用 GIS 分析农场管理、土地利用规划中争地矛盾和保护土地, 以及公共事业的大工程对土地的需求<sup>[6]</sup>; Sharift 等探讨把土地利用动态规划作为农场土地配置的决策支持系统, 这个模型是由具有决策模型的 GIS 和综合规划模型组成<sup>[7]</sup>; Chuvieco 应用线性规划作为 GIS 分析工具, 对空间属性进行优化和变量组合, 并在西班牙进行土地利用规划试验<sup>[8]</sup>.

国内也有许多学者开展了这一方面的研究工作, 其中较有特色的工作有, 尹军等在建立土地资源数据库、土地多宜性评价、土地利用系统生态设计和土地利用布局讨论的基础上, 建立了河北徐水县多目标线性规划模型优化用地结构<sup>[9]</sup>. 胡小华等在评价多目标土地适宜性方法的基础上, 应用层次分析和 GIS 的空间分析功能开展了多目标土地适宜性评价<sup>[10]</sup>. 吴次芳等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<sup>[11]</sup>. 还有学者建立了基于多目标遗传算法的土地利用空间结构优化配置方法, 并开展了实例研究<sup>[12,13]</sup>.

国内外土地利用规划的发展目前呈现三个趋势: (1) 规划理论的复合化; (2) 规划内容的综合化; (3) 规划手段的信息化; (4) 规划主体的多元化.

## 2 北京丰台区土地利用现状与问题

受首都建设与发展的直接影响, 丰台区土地利用变化规模、速度都比较大, 区内土地利用状况极为复杂. “十五”期间, 随着城市化、工业化进程不断加快, 丰台区建设用地增加速度惊人, 现已超越农用地, 建设用地增加面积已超过规划同期建设用地的增加面积, 成为丰台区土地利用的主要类型. 未来 20 年, 北京市政府将丰台区定位为国际国内知名企业代表处聚集地、北京南部物流基地和知名的重要旅游地区. 丰台区作为北京西南板块的核心区域, 必须承担中心城区人口和产业转移的任务, 也是大兴和房山两个规划新城与中心城市的连接纽带. 社会经济的发展, 人口的膨胀以及丰台特殊的定位, 将使丰台区土地利用中的矛盾更加突出.

因此, 从丰台区社会经济和城市化迅速发展的实际出发, 研究丰台区各种功能用地的比例和空间结构及二者相互影响、相互作用的关系, 提出土地利用结构调整方案, 成为新一轮土地利用总体规划修编的重要组成部分.

丰台区是首都北京的西南大门, 其东邻朝阳区, 东南、西南与大兴县、房山区接壤, 北与崇文、宣武、海淀、石景山、门头沟区相邻. 2004 年丰台区实现地区生产总值 261.1 亿元, 人均 GDP 为 35176 元, 城镇居民人均可支配收入 13920.5 元, 农村居民人均纯收入 8480.6 元.

丰台区土地总面积为 30580.1ha, 根据土地利用结构调整的需要和数据的可操作性, 全区土地可分为耕地、园地、林地、其他农用地 (如畜禽饲养地、设施农业用地、农村道路用地等)、城镇用地、农村居民点用地、独立工矿用地、特殊用地、交通和水利设施用地等 9 个地类. 各类土地利用面积如表 1 所示.

目前, 丰台区土地利用中存在着城市建设用地规模扩张迅速, 耕地面积逐年减少, 独立工矿用地比例较大, 农村居民点用地布局分散, 土地集约利用水平较低等问题. 同时, 由于北京市绿化隔离带的建设和丰台区城市化进程的快速推进, 致使用地矛盾日益突出, 土地利用结构的调整势在必行.

### 3 土地利用的区间数多目标不确定性规划模型

本文选用区间数多目标规划方法来解决北京市丰台区土地利用结构多目标优化问题. 这是因为, 区间数多目标规划模型在建模过程中将实际系统中的不确定性因素直接反映在模型中, 通过模型的求解可以得到一组行为区间, 在实际进行决策时, 可以结合新的信息、个人偏好、实际情况、经验等在这一行为区间中确定具体行动方案. 这种方法得到的方案更具有可操作性<sup>[14,15]</sup>. 此外, 与常用的随机规划和模糊规划方法相比, 它在普通多目标规划模型中引入代表不确定性信息的区间数, 而无需考虑参数的概率分布和隶属度信息, 因此在数据获取、算法实现上有明显的优越性<sup>[16-18]</sup>. 基于以上考虑, 本文尝试将区间数多目标规划模型应用到丰台区的土地利用规划中.

区间数多目标线性规划模型的一般形式可以表示为:

$$\begin{aligned} \min f_k^\pm &= C_k^\pm X^\pm, k = 1, 2, \dots, \\ \max f_l^\pm &= C_l^\pm X^\pm, l = u + 1, u + 2, \dots, \\ \text{s.t. } A_i^\pm X^\pm &\leq b_i^\pm, i = 1, 2, \dots, \\ A_j^\pm X^\pm &\geq b_j^\pm, j = m + 1, m + 2, \dots, \\ X^\pm &\geq 0, \end{aligned}$$

其中,  $C_k^\pm \in R^{1 \times t}$ ,  $C_l^\pm \in R^{1 \times t}$ ,  $A_i^\pm \in R^{u \times t}$ ,  $A_j^\pm \in R^{m \times t}$ ,  $b_i^\pm \in R^u$ ,  $b_j^\pm \in R^m$ ,  $X^\pm \in R^{t \times 1}$ .

算法设计见图 1.

### 4 丰台区土地利用区间数多目标规划模型的建立

目前关于土地利用结构调整的研究中, 系统化的方法应用较多, 规划过程中的系统优化方法是以数学模型为主要手段的定量分析过程. 我国学者在这方面的研究大多采用单目标、或确定性规划模型<sup>[13,14,16]</sup>, 但许多实践表明, 仅仅只有模型是不够的, 把定量模型与定性分析辩证的结合是当前土地利用结构优化的最佳途径<sup>[19]</sup>.

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、社会效益和生态环境效益三个方面来综合体现, 即通过各种土地类型的合理组合, 力争达到一种最优化的综合效益<sup>[14,18]</sup>.

使有限的土地尽可能生产较多的产品和提供较多的服务永远是土地利用结构优化追求的主要目标, 因此首先确定经济效益目标. 从经济效益出发, 要求各种类型土地的产出达到尽可能大. 土地利用结构优化的合理性包括对生态环境改善的自然要求. 任何一种土地利用方式都必然与生态环境交流, 生态环境作为人类的共有资源而存在, 因而在充分考虑土地利用带给我们经济效益的同时, 不可忽视生态效益. 所以确定第二个目标生态效益目标. 对于此目标我们要求各种土地利用方式对生态环境所产生的不利影响尽可能小. 另外, 由于丰台区水资源贫乏, 对经济社会发展的制约日益明显, 因此, 从节约用水的角度考虑增加用水量目标, 要求土地利用结构调整后, 尽可能降低用水量.

#### 4.1 经济目标函数

本模型的第一个目标函数是经济收益最大化, 从优先级别上来说也最高, 经济目标函数是:

$$\max f_1^\pm = \max C_1^\pm X^\pm$$

其中,  $C_1^\pm$  为各种土地单位面积产值的区间数向量,  $X^\pm$  是由土地的面积变量所组成的区间数向量.

表 1 丰台区土地资源利用现状表 (2004 年)

土地类型	现状面积 (ha)	占总面积的比例 (%)
耕地 $x_1$	3840.0	12.6
园地 $x_2$	963.7	3.1
林地 $x_3$	3180.8	10.4
其他农用地 $x_4$	865.9	2.8
农村居民点用地 $x_5$	2823.56	9.23
城镇用地 $x_6$	3340.70	10.92
独立工矿用地 $x_7$	7714.77	25.23
特殊用地 $x_8$	2948.36	9.64
交通和水利设施用地 $x_9$	2515.1	8.22

### 4.2 生态目标函数

在尽可能减少对生态环境影响的前提下, 令经济收益最大化, 促进当地的可持续发展. 所以, 第二个目标函数是生态目标函数:  $\max f_2^\pm = \max C_2^\pm X^\pm$   
 其中,  $C_2^\pm$  是使用专家打分法对每种土地利用方式对生态环境所产生的影响的评估, 对自然生态越有好处, 分值越高, 所以, 生态目标也是最大化目标.

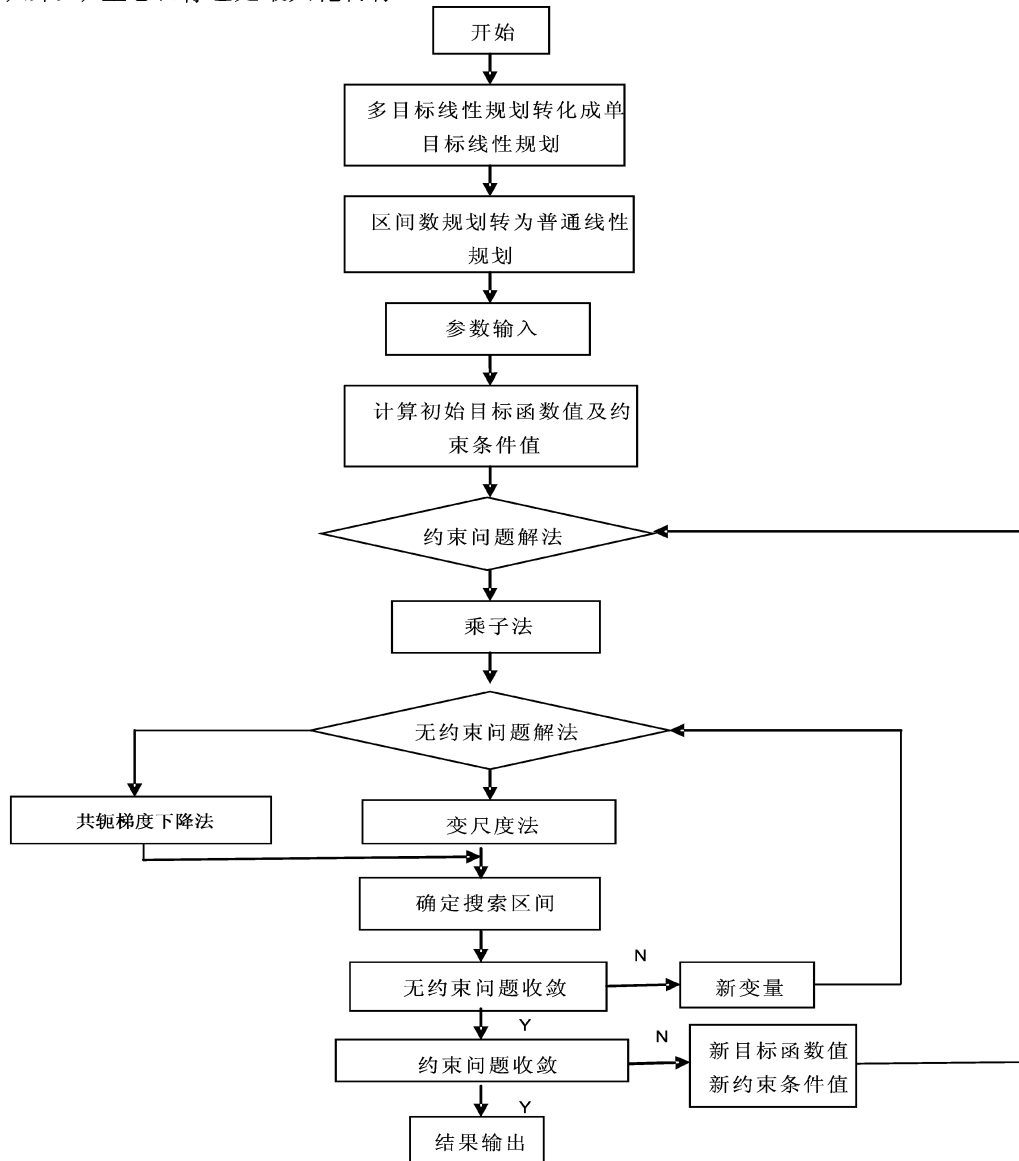


图 1 区间数多目标线性规划模型算法流程

### 4.3 用水量目标函数

丰台区社会经济发展目前进入高速发展时期, 但是水资源却明显贫乏, 制约着社会经济的发展, 所以根据丰台区的具体情况, 本文对用水量做目标规划, 以当地平均总供水量的区间数  $SY S^\pm$  为目标,  $d_1^\pm$  表示用水量相对于目标水量的正偏离,  $d_2^\pm$  表示负偏离, 此目标就是令  $d_1^\pm$  与  $d_2^\pm$  之和最小, 也就是令实际用水量与目标水量偏离最小, 所以, 第三个目标函数的设置是:

$$\min f_3^\pm = d_1^\pm + d_2^\pm$$

### 4.4 约束条件

#### 4.4.1 土地总面积约束

各土地利用类型面积之和应等于全县土地面积总和, 由于未开发利用土地的存在, 所以, 此约束中土地总面积的区间数上限是全县土地面积总和, 下限是全县面积减去未开发利用土地之后的值,  $SL^\pm = [28192.7, 30580.1]$ .

#### 4.4.2 人口总量约束

$$JZP^{\pm} \left( \sum_{i=6}^9 x_i \right) + NCP^{\pm} \left( \sum_{i=1}^5 x_i \right) \leq SP^{\pm}$$

其中,  $JZP^{\pm} = [47,51]$  为建设用地上人口密度区间数,  $NCP^{\pm} = [12,15]$  为农村人口密度的区间数,  $SP^{\pm} = [990000,1100000]$  为预测的人口总量可能达到的区间范围.

#### 4.4.3 宏观计划约束

由于北京城市扩展的需要, 城区向南扩展, 丰台区面临着快速城市化的要求, 建设用地扩展需要占用较多的农用地, 而农业结构调整也要占用一部分农田, 因此未来 15 年内农用地面积将大大减少, 但是基本农田要保持目前的水平. 所以未来农用地规划面积应该大于目前基本农田面积、园地、林地和其他农用地面积的总和  $XZL^{\pm}$ , 其中,  $XZL^{\pm} = 6344.4$ ,

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \geq XZL^{\pm}$$

#### 4.4.4 农产品需求约束

随着丰台区城市化进程的不断推进, 丰台区的耕地面积, 粮播比例和粮食自给率都不断下降, 因此未来 15 年内要满足以下要求:

$$LDC^{\pm} \times FZH^{\pm} \times LBB^{\pm} \times x_1 \div LZJ^{\pm} \geq LZX^{\pm}$$

其中,  $LDC^{\pm}$  为单位面积粮食单产,  $FZH^{\pm}$  为复种指数,  $LBB^{\pm}$  为粮播比,  $LZJ^{\pm}$  为粮食自给率,  $LZX^{\pm}$  为未来北京对丰台区农产品总的需求量, 并且据预测可确定  $LDC^{\pm} = [6300,6500]$ ,  $FZH^{\pm} = [1.5, 1.6]$ ,  $LBB^{\pm} = [0.46, 0.48]$ ,  $LZJ^{\pm} = [0.012, 0.018]$ ,  $LZX^{\pm} = [9800000,12200000]$ .

#### 4.4.5 市场经济约束

适应市场经济发展要求和城市化发展的需要, 城镇用地、交通用地和水利设施用地面积一般大于现状面积; 特殊用地涉及部队驻军用地以及军事工业用地等, 按照目前的需要来看用地面积应保持不变; 另外, 根据丰台区节约集约用地的需求, 独立工矿和农村居民点用地面积要小于现状面积.

$$x_6 + x_9 \geq XGL^{\pm} \quad x_5 + x_7 < 10538.33 \quad x_8 = 2948.36 \quad XGL^{\pm} = 5855.8$$

#### 4.4.6 目标约束

由于用水量目标为目标规划, 令偏离量最小, 则对应于此目标的约束条件是:

$$NYS^{\pm} \times (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) + YYS^{\pm} \times (x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9) - d_1 + d_2 = SYS^{\pm}$$

其中,  $NYS^{\pm}$  为农用地单位面积用水量的区间数,  $YYS^{\pm}$  为建筑用地单位面积用水量区间数,  $d_1$  为正偏离,  $d_2$  为负偏离,  $SYS^{\pm}$  为当地平均总供水量的区间数.

$$NYS^{\pm} = [69.36, 210], YYS^{\pm} = [142.38, 324.24], SYS^{\pm} = [1.63 \times 10^5, 3.43 \times 10^5]$$

#### 4.4.7 数学模型要求约束

$$x_n \geq 0, i = 1, \dots, 9$$

## 5 计算结果及分析

### 5.1 模型优化结果

首先, 由区间数单目标模型确定的目标希望水平如表 2 所示.

根据丰台区发展需要和丰台区政府相关政策, 在多目标规划中, 不同目标有不同的优先级, 经济目标为第一优先级, 生态环境目标和用水量目标为第二优先级, 平衡各个目标的需要、规划后, 每种土地利用类型应取得的面积如表 3 所示.

在平衡各目标需求后, 各个目标的目标值及其达成水平如表 4 所示.

表 2 目标希望水平表

目标	希望水平下限	希望水平上限
经济目标 (万元)	$5.78 \times 10^7$	$8.26 \times 10^6$
生态目标	$3.98 \times 10^6$	$4.38 \times 10^5$
用水量目标 (t)	$1.84 \times 10^5$	0

表 3 各类土地利用类型可取得的规划面积值

土地类型	规划后下限 (ha)	规划后上限 (ha)
耕地 $x_1$	2156.8	2938.3
园地 $x_2$	963.7	1125
林地 $x_3$	3940.5	6438.5
其他农用地 $x_4$	636.6	865.9
农村居民点用地 $x_5$	1415.5	2150.5
城镇用地 $x_6$	7102.5	8809
独立工矿用地 $x_7$	4480.5	5001.5
特殊用地 $x_8$	2948.36	2948.36
交通和水利设施用地 $x_9$	2515.1	2752.21

表 4 各个目标的目标值及达成水平

目标	上限	下限	达成水平下限	达成水平上限
经济目标	$2.21 \times 10^7$ 万元	$5.28 \times 10^6$ 万元	0	0.65
生态环境目标	$3.21 \times 10^6$ 万元	$2.90 \times 10^5$ 万元	0.47	1
用水量	$3.43 \times 10^5$ t	$1.73 \times 10^5$ t		

## 5.2 土地利用结构调整方案的讨论

1) 据优化计算结果, 耕地可调整的范围为 [2156.8, 2938.3]ha, 现状 3840.0ha 超出了上限范围, 因此, 结构调整后耕地的面积应该适当减少。

2) 园地面积的最优调整范围为 [963.7, 1125]ha, 园地的现状面积为 963.7ha, 等于最优调整范围的下限, 说明在目前的目标函数和约束条件下, 园地的面积可以基本保持不变或者略有增加。

3) 林地面积的调整范围为 [3940.5, 6438.5]ha, 林地现状面积为 3180.4ha, 低于调整范围的下限, 所以对于林地, 可以考虑作适当增加的调整方案。

4) 其他农用地的调整范围为 [636.6, 865.9]ha, 现状 865.9ha 等于调整范围的上限, 说明现在的其他农用地可适当减少, 所以, 对于田埂、水井等其他农用地的整理缩减还是有一定的空间的, 但其他农用地不可无限减少, 否则就会限制了农村经济的发展, 对于设施农业、农村道路、养殖水面、农田水利等用地应该有所保证。

5) 农村居民点用地的调整范围为 [1415.5, 2150.5]ha, 现状 2823.56ha 高于调整范围的上限, 说明未来土地利用结构调整过程中应适当减少农村居民点的用地面积。

6) 城镇用地的调整范围为 [7102.5, 8809]ha, 现状 3340.7ha 低于调整范围的下限, 说明未来土地利用结构调整过程中, 城镇用地的面积可以适当增加, 以适应城市化发展的需要。

7) 独立工矿用地的调整范围为 [4480.5, 5001.5]ha, 现状 7714.77ha, 高于调整范围的上限, 说明未来土地利用结构调整过程中应当减少独立工矿用地的面积, 且目前丰台区独立工矿用地的集约利用程度较低, 有必要提高其集约利用程度, 适当减少其利用面积。

8) 目前丰台区的特殊用地面积较大, 且布局较分散, 对丰台区土地集约利用水平的提高有一定程度的影响。因此, 将来若无特殊需要, 特殊用地的面积可保持现状 2948.36ha 不变。

9) 交通和水利设施用地的调整范围为 [2515.1, 2752.2]ha, 现状 2515.1ha, 等于调整范围的下限, 说明目前丰台区交通和水利设施用地面积较为合理, 但是随着城市建设的不断发展, 交通和水利设施的用地需求会不断增大, 所以未来土地利用结构调整中可以适当增加交通和水利设施用地面积。

## 6 结论

1) 丰台区土地利用区间数不确定性多目标规划的计算结果表明, 执行该规划后, 土地利用的经济效益最高可达  $2.21 \times 10^7$  万元, 最低为  $5.28 \times 10^6$  万元, 平均值为  $1.37 \times 10^7$  万元; 产生的生态环境效益最高为  $3.21 \times 10^6$  万元, 最低为  $2.90 \times 10^5$  万元, 平均值为  $1.75 \times 10^6$  万元; 用水量则可控制在  $1.73 \times 10^5 \sim 3.43 \times 10^5$  t 的范围之内。

2) 在丰台区未来的土地利用结构调整方案中, 应适当扩展园地的面积; 林地面积也可稍作增加; 其它农

用地面积不变或稍作缩减; 需要继续减少农村居民点的用地面积; 同时扩大城镇用地面积以适应城市化发展的需要; 进一步减少独立工矿用地的面积; 特殊用地的面积可保持现状 2948.36 ha 不变; 交通和水利设施用地可以适当增加。

3) 实例研究表明, 区间数多目标规划模型所得的方案与其它多目标模型相比<sup>[9,13,15]</sup>, 由于给出的解是一区间值, 则其方案更具有可操作性, 并且模型的建立可以根据实际情况灵活调整, 即利用区间数多目标规划模型研究和探讨土地利用规划中的不确定性问题是很有有效的。

## 参考文献

- [1] Steiner R F, Vanlie H W. Land conservation and development examples of land use planning: Projects and program[J]. Printed in the Netherlands, 2003: 5-151.
- [2] Bellamy J. Decsion Support for sustainable management of grazing Lands[J]. Agricultural Economics, 1995, 45(7): 342-348.
- [3] Capalbo M. The next American Metropolis[M]. Princeton, Princeton Architectural Press, 1993, 35-61.
- [4] Verfura S J. A multi-purpose land information system for rural resources planning[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 23(3): 45-51.
- [5] Xiang W N, Kaiser E J. Conflict prediction and prevention in rural land-use planning: A GIS approach[J]. Progress in Rural Policy and Planning, 1992, 1(2): 34-37.
- [6] Stark A. Analysis of planning data concerning land consolidation: using a geographic information system[J]. Soils and Fertilizers, 1993, 2(1): 26-32.
- [7] Sharift M A, Perloff H S. A decision support system for land use planning at farm enterprise level[J]. Agricultural Systems, 1994, 5(3): 365-372.
- [8] Chuvieco E. Intergration of linear programming and GIS for land use modeling[J]. Journal of Gerographical Information System, 2003, 3(2): 237-245.
- [9] 尹军, 刘文菊. 多目标土地利用总体规划方法研究 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 160-164.  
Yi J, Liu W J. Study on method of overall land use planning based on modelling multiple general-purposes[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(4): 160-164.
- [10] 胡小华, 陆诗蕾, 等. GIS 支持的多目标土地适宜性评价 [J]. 中国土地科学, 1995, 9(5): 33-37.  
Hua X H, Lu S L, Luo C X, Zhen D. Access of Multi-objective adaption for land use based on GIS. China Land Science, 1995, 9(5): 33-37.
- [11] 吴次芳, 华楠. 多目标突变决策方法及其在土地利用总体规划中的应用 [J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 11-16.  
Wu C F, Hua N. Multiobjective catastrophe strategic decision making method and its application in integrated land use planning[J]. Transactions of the CSAE, 1996, 12(2): 11-16.
- [12] 董品杰, 赖红松. 基于多目标遗传算法的土地利用空间结构优化配置 [J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(6): 53-57.  
Dong P J, Lai H S. A method of optimization allocation for land use spatial structure based on multi-objective genetic algorithm[J]. Geography and Geo-information Science, 2003, 19(6): 53-57.
- [13] 于苏俊, 张继. 遗传算法在多目标土地利用规划中的应用 [J]. 中国人口资源与环境, 2006, 16(5): 62-67.  
Yu S J, Zhang J. Multi-objective programming method for land use based on genetic algorithm[J]. China Population Resources and Environment, 2006, 16(5): 62-67.
- [14] Wang H F, Wang M L. A fuzzy multiobjective linear programming[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 6: 61-72.
- [15] Liu B D. Theory and practice of uncertain programming[DB/OL]. <http://www.orsc.edu.cn/~liu/up.pdf>.
- [16] 魏权龄, 应玫茜. 单变量多目标数学规划解的性质及解法 [J]. 应用数学学报, 1980, 3 (4) : 23-29.  
Wei Q L, Ying M Q. Characteristic and solution of multi-objective mathematic planning[J]. ACTA Mathematicae Applicatae Sinica, 1980, 3 (4) : 23-29.
- [17] Liu X W, Da Q L. A satisfactory solution for interval number linear programming[J]. Journal of Systems Engineering, 1999, 14 (2) : 123-134.
- [18] Stefan Chanas, Dorota Kuchta. Multiobjective programming in optimization of interval objective functions — A generalized approach[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 94: 594-598.
- [19] 严金明. 简论土地利用结构优化与模型设计 [J]. 中国土地科学, 2002, 16 (4) : 20.  
Yan J M. Studies on land use structure optimization and model designing[J], China Land Science, 2002, 16 (4) : 20.