

围海工程围区规划中多目标线性模型应用研究

陈德春¹, 汪乐强¹, 郑 兴²

(1. 河海大学交通学院、海洋学院, 江苏 南京 210098; 2. 大连理工大学土木建筑设计研究院, 辽宁 大连 116023)

摘要:在线性规划理论的基础上, 结合围海工程围区开发实际, 提出多目标决策线性规划数学模型。在建立多目标线性规划的数学模型中, 引进了权系数法和优先层次法, 并综合两者的特点以使模型的解能达到最优。对福建省莆田后海围区农业开发实例进行研究, 结果表明, 应用多目标线性规划数学模型求解围区农业区最优规划面积是可行的。

关键词:围海工程; 多目标线性规划; 权系数法; 优先层次法

中图分类号: P748 X221.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2006)03-0325-04

围海工程的围区建设规划涉及社会、政治、经济、人口等一系列相关因素。在围区规划过程中, 需充分考虑当地的经济发展水平、工业和农业发展需要以及自然环境等因素, 这些因素构成了一个复杂的系统, 它们之间又存在着相互制约和相互促进的关系。由于在围区规划中涉及许多关键目标, 如围区经济效益、土地合理利用、工业生产所需原料、人口增长对粮食需求的增长、投资回报、就业问题等, 因此围区规划是一个多目标决策问题。在众多目标中, 有些指标是动态变化的, 可用预测模型来确定其发展趋势, 有些目标则是相互矛盾的, 不易协调, 难以决策。因此, 需要建立多目标线性规划模型, 通过求解规划模型来确定围区开发最佳方案。

1 多目标线性规划模型^[1]

对于有 m 个目标函数: $f_i(x)$ ($i = 1, \dots, m$ ($m \geq 2$)), 在约束条件 $x \in X$ 下, 逼近其对应的目标值 $\hat{f}_i(x)$ ($i = 1, \dots, m$) 的表达式为

$$\text{AGP} \quad V\text{-appr}(x) \rightarrow \hat{f}(x) \quad (1)$$

式中 $V\text{-appr}$ 表示向量的逼近。

模型 AGP 称为逼近目标规划模型。求解模型 AGP 的解可归结为数值极小化问题, 即

$$\text{AGP1} \quad \min D[f(x), \hat{f}] \quad (2)$$

式中 D 为向量空间 R^m 中 $f(x)$ 和 $\hat{f}$ 间的距离。本文采用最常见的距离表示形式 $D[f(x), \hat{f}] = \sum_{i=1}^m |f_i(x) - \hat{f}_i|$,

并将模型 AGP1 等价化为

$$\text{AGP2} \quad \min f = \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) \quad \begin{cases} x \in X \\ f_i(x) - d_i^+ + d_i^- = \hat{f}_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ d_i^+ d_i^- = 0 \\ d_i^+ \geq 0, d_i^- \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 d_i^+ 和 d_i^- 表示 $f_i(x)$ 关于 $\hat{f}_i$ 的正、负偏差变量。模型 AGP2 的目标函数则为偏差变量的线性函数, 它较模型 AGP1 的绝对值形式易于求解。本文应用综合权系数法和优先层次的方法来解除 AGP2 中含有偏差变量相乘的约束条件 $d_i^+ d_i^- = 0$ 。

1.1 权系数法^[1]

在模型 AGP2 的目标函数 $\sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-)$ 中,根据 $f(x)$ 重要程度的不同,引入相应的权系数 $w_i^+, w_i^- (\geq 0 \text{ } i = 1 \dots, m)$,得到带有权系数目标规划的一般数学模型

AGP3

$$\min f = \sum_{i=1}^m (w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-) \begin{cases} x \in X \\ f(x) - d_i^+ + d_i^- = \hat{f}_i \quad (i = 1 \dots, m) \\ d_i^+ \geq 0, d_i^- \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 w_i^+ 和 w_i^- 分别表示正偏差变量 d_i^+ 和 d_i^- 在问题 AGP3 中的重要程度; w_i^+ 越大,表示对应的目标函数 $f(x)$ 从大于 $\hat{f}_i$ 而接近于 $\hat{f}_i$ 越重要; w_i^- 越大,表示对应的目标函数 $f(x)$ 从小于 $\hat{f}_i$ 而接近于 $\hat{f}_i$ 越重要。

1.2 优先层次法^[2]

根据决策者对各目标函数 $f(x)$ 侧重程度的不同,将其分别归属到若干个不同优先层次中进行求解.对要求第一位达到的目标赋予优先因子 P_1 ,次位的目标赋予优先因子 $P_2 \dots$,规定 $P_k \gg P_{k+1} (k = 1, 2, \dots, K)$,表示 P_k 比 P_{k+1} 有更大的优先权,即首先保证 P_1 级目标的实现,这时不考虑次级目标; P_2 级目标是在实现 P_1 级目标后的基础上再考虑的,依此类推。

1.3 综合权系数法和优先层次法的目标线性规划模型

在绝对约束条件 $x \in X$ 下,综合权系数法和优先层次法将多目标线性规划模型转化为

$$\min f = [P_s \sum_{i=1}^{r_s} (w_{si}^+ d_{si}^+ + w_{si}^- d_{si}^-)]_{s=1}^L \begin{cases} x \in X \\ f_i^s(x) - d_{si}^+ + d_{si}^- = \hat{f}_i^s \quad (s = 1 \dots, L; i = 1 \dots, r_s) \\ d_{si}^+ \geq 0, d_{si}^- \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\sum_{i=1}^{r_s} (w_{si}^+ d_{si}^+ + w_{si}^- d_{si}^-) (s = 1 \dots, L)$ 为偏差目标; $f_i^s(x) - d_{si}^+ + d_{si}^- = \hat{f}_i^s (i = 1 \dots, r_s)$ 为目标约束条件。

目标规划的目标函数是按各目标约束的正、负偏差变量和赋予相应的优先因子而构造的,当每一个目标值确定后,决策者的要求是尽可能缩小偏离目标值,其表达的基本形式有3种:

- a. 要求恰好达到目标值,即正、负偏差都要尽可能地小 $\min f = f(d^+, d^-)$.
- b. 要求不超过目标值,允许达不到目标值,即正偏差变量要尽可能地小 $\min f = f(d^+)$.
- c. 要求超过目标值,即超过量不限,但必须是负偏差变量要尽可能地小 $\min f = f(d^-)$.

2 应用研究

福建省莆田后海围海工程位于兴化湾西南侧,毗邻莆田县埭头、北高、东礅3镇.围区总面积 2 020 hm²,海堤总长 2 613 m,保护范围涉及3镇 6.5 万人口。

围区内有农业区 953 hm²,需种植多种经济作物,为工业及人民生活提供必需的生产和生活资料.以往围区规划用单目标线性规划模型,以投资利润最大化为最终目标,结果只能单纯地反映投入与产出的关系^[3].建立多目标的规划模型可以更加合理地解决围区开发中的问题.莆田后海围区规划的主要目标是在协调与满足生产和生活需求的同时,尽可能使农业区的经济效益最大,也就是要研究农业区各经济作物种植面积合理分配的问题。

2.1 现状分析

分析 1996~2001 年农业区多种经济作物的产量,以及工业生产和人民生活对这些品种的需求量,预测围区各种经济作物目标值,并作为多目标决策规划中第1优先级8个目标的目标值.预测围区各种经济作物目标值为:棉花 55 t,花生 1 200 t,大麦 1 000 t,小麦 1 000 t,大豆 400 t,绿豆 55 t,蔬菜 250 t,山芋 3 500 t。

根据历年农业经济情况预测得出的围区农作物的复种面积为 282.7 hm²,净效益为 205 万元,投资成本为 1 050 万元^[2],将预测结果作为多目标决策规划中第2、第4、第5优先级目标的目标值。

2.2 建立多目标体系

综合考虑当地的自然、社会、经济状况,对多个目标进行筛选,并构成目标体系.该体系主要包括以下5个优先级13个目标:

第 1 优先级含 8 个主要目标,依次为棉花、花生、大麦、小麦、大豆、绿豆、蔬菜和山芋的供需平衡.根据对当地情况的调查,可确定出各作物的重要程度指标 w_i^- ,这里因棉花、大麦、小麦、蔬菜为重要的生产和生活资料,赋予权重 2,其余的作物赋予权重 1.

第 2 优先级为土地面积,即围垦区耕地面积限制,要求尽可能充分利用现有土地和围垦区耕地复种面积限制.由于耕地面积是硬约束,重要程度要大于复种面积,因此赋予耕地面积目标的权重为 2,复种面积的权重为 1.

第 3 优先级是在满足第 1 级和第 2 级条件情况下得到的投资回报率尽可能大.可取 8 种经济作物投资回报率的平均值作为目标值.由围区农作物的预测值可计算出 $\bar{k} = 0.19$.目标函数即为 $\sum_{i=1}^8 (a_i - b_i \bar{k}) x_i = 0$,其中 a_i 为各作物单位净效益, b_i 为各作物投资成本.

第 4 优先级是在满足以上优先级情况下实现净效益最大,并尽可能超过预期值.

第 5 优先级是在满足以上优先级情况下使投资成本最小,并尽可能小于预期值.

2.3 确定多目标决策变量及规划模型的基本参数

根据规划要求,需要确定每种农作物所需的土地面积.本模型中用 x_i 表示相关农作物占地面积,则 $x_1, x_2, \dots, x_8$ 依次为棉花、花生、大麦、小麦、大豆、绿豆、蔬菜和山芋的种植面积.

应用灰色预测^[4]方法对当地经济作物的产量、净效益成本进行了预测,并将预测结果作为规划模型的基本参数.

2.4 确定和求解多目标规划模型

2.4.1 建立多目标规划模型

根据上述主要目标和约束及相应的系数,依据式(5)建立多目标规划模型

$$\begin{aligned} \min \quad & P_1(2d_1^- + d_2^- + 2d_3^- + 2d_4^- + d_5^- + d_6^- + 2d_7^- + d_8^-) + P_2(2d_9^+ + 2d_{10}^- + d_{10}^+) + \\ & P_3(d_{11}^-) + P_4(d_{12}^-) + P_5(d_{13}^+) \end{aligned}$$

式中: d_i^+, d_i^- ——正、负偏差量; P_i ——目标的优先层次.

2.4.2 模型求解^[5]

多目标规划模型求解运用单纯形法且经 Fortran Powerstation 编程运算,所得的各农作物种植面积规划值^[6-7]分别为:棉花 65.5 hm²,花生 153.6 hm²,大麦 72.9 hm²,小麦 64.5 hm²,大豆 43.6 hm²,绿豆 33.3 hm²,蔬菜 413.1 hm²,山芋 106.8 hm².

2.5 计算结果分析

$P_1:d_i^- = 0, i = 1, 2, \dots, 8$,说明第 1 优先级目标均已达到,其中花生比规划目标值多产 359.294 t,蔬菜比规划目标值多产 10.226 t,超额完成目标值.

$P_2:d_9^-, d_9^+ = 0$,说明土地资源被充分利用,不超过也不浪费; $d_{10}^-, d_{10}^+ = 0$,说明没有超过复种面积规划约束值,恰好达到第 2 优先级规划目标.

$P_3:d_{11}^-, d_{11}^+ = 0$,说明预期的投资回报率目标值恰好能达到.

$P_3:d_{12}^- = 0, d_{12}^+ = 18373$,说明规划净效益目标值由于受到上级目标值的制约而无法达到,比目标值少了 1.8373 万元,只有 203.1627 万元.

$P_4:d_{13}^- = 167885, d_{13}^+ = 0$,说明规划投资值超过预计的目标值 16.7885 万元,共需 1066.7885 万元.

综上所述,通过建立多目标线性规划模型求解围区农业区规划面积,能够满足规划所提出的基本要求,规划所期望的目标均能达到,计算结果是规划模型的满意解,表明该模型应用于围海规划是可行的.

3 结 论

本文提出的多目标线性规划模型弥补了单目标线性规划模型的不足.对某围区农业土地合理利用的研究表明:(a)该模型能够处理相互矛盾的具有不同优先权等级的多目标规划问题;(b)根据决策者的愿望,对目标函数进行不同的组合与排序,可以得到不同意义下的最优化方案;(c)通过综合权系数和优先层的方法求解规划模型中的非线性项是可行的,得到的满意解可用于分析和比选各种方案,为决策者提供关键的数据.

参考.

参考文献：

[1]王挺.应用多目标规划实现衰老矿井资源优化开发[J].江西煤炭科技,2005(1):61-63.
[2]杜瑞成,闫秀霞.系统工程[M].北京:机械工业出版社,1999:56-70.
[3]陈吉余.中国围海工程[M].北京:中国水利水电出版社,2001:110-122.
[4]邓聚龙.灰色预测与决策[M].武汉:华中理工大学出版社,1986:83-91.
[5]程利军.模糊优化的多目标规划解法[J].滨州师专学报,1999(2):19-21.
[6]徐士良.FORTRAN常用算法程序集[M].北京:清华大学出版社,1992:394-414.
[7]何光渝,高永利.Visual Fortran常用数值算法集[M].北京:科学出版社,2002:384-405.

Application of multi-objective linear programming model to layout of reclamation projects

CHEN De-chun¹, WANG Le-qiang¹, ZHENG Xing²

(1. College of Traffic, College of Ocean, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Design and Research Institute of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract:From the real situation of exploitation in reclaimed area, a mathematical model of multi-objective linear programming was put forward based on the theory of linear programming. In this model, the weight coefficient method and priority analytical hierarchy process were introduced to obtain the optimal solution. Case study on agricultural exploitation in Houhai reclaimed area in Putian City of Fujian Province shows that the model is feasible for optimal planning for reclamation projects.

Key words:reclamation project; multi-objective linear programming; weight coefficient method; priority analytical hierarchy process

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊
全国水利系统优秀期刊 华东地区优秀期刊 江苏省优秀期刊
《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号:28-244,CN32-1439/TV,ISSN1006-7647,双月刊)

《水利水电科技进展》主要刊登与水科学、水工程、水资源、水环境等学科有关的科技论文,设有水问题论坛、研究探讨、工程技术、专题综述、国外动态、科技简讯等栏目,适合与水科学、水工程、水资源、水环境等有关的科学研究人员、工程技术人员、科技管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号:28-244,2006年每期定价8元,全年6期共计48元。读者亦可直接向编辑部订阅。欢迎个人和单位直接汇款订阅或函索订单。编辑部地址:210098南京市西康路1号河海大学《水利水电科技进展》编辑部。联系电话:025—83786335,E-mail:jz@hhu.edu.cn,http://kbb.hhu.edu.cn。汇款时务请注明“订水利水电科技进展”。