

# 灌溉水资源优化调配的熵权系数模型研究

汤瑞凉<sup>1</sup>, 郭存芝<sup>2</sup>, 董晓娟<sup>3</sup>

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 河海大学技术经济学院, 江苏南京 210098;  
3. 山西省运城地区水利局, 山西运城 034300)

**摘要** 针对灌溉水资源的优化调配问题,应用熵权系数法的基本原理,综合考虑农业可持续发展的经济效益、社会需要和生态效益要求,提出了对方案进行多准则综合评价的熵权系数优化模型,以确定农业最优种植模式及相应的灌溉水量.并举一实例,具体说明了模型的应用.

**关键词** 灌溉 水资源 优化调配 熵权系数 模型

中图分类号 S27      文献标识码 A      文章编号 1000-1980(2000)01-0018-04

我国水资源总量居世界第 6 位,但人均占有量仅为世界人均占有量的 1/4,居世界第 110 位,加上时空分布的不均,水资源供需矛盾突出,尤以北方地区为重.农田灌溉是一用水大户,研究灌溉水资源的优化调配问题,做好灌溉水资源的优化调配工作,充分发挥有限水资源的作用,创造尽可能多的灌溉效益,意义十分重要.

在以往的灌溉水资源优化调配研究中<sup>[1,2]</sup>,多以灌溉净效益年值最大为目标,建立非线性规划或线性规划模型,作出最优水量调配和作物种植的计划安排.多年来,前述模型在指导我国灌溉水资源优化调配的实践中发挥了其应有的作用,创造了不可低估的经济效益.但前述模型只考虑经济效益,忽略了农业系统总目标的其它两个重要方面——社会需要、生态效益,与农业可持续发展的要求相对照,存在一定的欠缺<sup>[3]</sup>.因而,本文试图在总结过去研究成果的基础上,提出综合考虑经济效益、社会需求和生态效益的灌溉水资源优化调配多指标综合评价模型.

在多指标综合评价中,确定指标权重的方法主要有主观赋权法和客观赋权法两种.前者根据评价者的主观看法确定指标权重,后者根据各指标的联系程度或各指标所提供的信息量确定指标权重,有熵值法、主成分分析法、因子分析法、复相关系数法等.本文结合熵值法与主观赋权法进行探讨.

## 1 熵权系数法的基本原理

熵的概念源于热力学,表示不能用来做功的热能,为热能的变化量除以温度所得的商,后由申农(C. E. Shannon)引入信息论,现已在工程技术、社会经济等领域得到了更多的应用<sup>[4,5]</sup>.

在信息论中,信息是系统有序程度的一个度量,熵是系统无序程度的一个度量,二者绝对值相等,符号相反.当系统可能处于几种不同状态,每种状态出现的概率为  $p_i (i = 1, 2, \cdots, m)$  时,该系统的熵定义为

$$E = - \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i \tag{1}$$

显然,当  $p_i = \frac{1}{m}, i = 1, \cdots, n$ , 即概率相等时,熵取得最大值为

$$E_{\max} = \ln m \tag{2}$$

设有  $m$  个待评项目,  $n$  个评价指标,形成原始指标数据矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ,对于某个指标  $r_j$ ,有信息熵

$$E_j = - \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \tag{3}$$

其中

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}$$

易见,某个指标的信息熵越小,表明其指标值的变异程度越大,提供的信息量越大,在综合评价中所起的作用越大,则该指标的权重也应越大;反之,某个指标的信息熵越大,表明其指标值的变异程度越小,提供的信息量越小,在综合评价中所起的作用越小,则该指标的权重也应越小.所以,可以根据各个指标值的变异程度,利用信息熵这一工具,计算各指标的权重,为多准则综合评价提供依据.

2 被灌溉作物的熵权系数评价

设已选定评价被灌溉作物的指标共  $n$  个,被灌溉作物的种类共  $m$  种, $m$  个种类对应  $n$  个指标的指标值构成评价指标值矩阵

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \tag{4}$$

第  $j$  个指标下第  $i$  种作物的指标值的权重  $P_{ij}$  为

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \tag{5}$$

第  $j$  个指标的熵值为

$$E_j = - \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \tag{6}$$

记

$$e_j = \frac{1}{\ln m} E_j \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \tag{7}$$

第  $j$  个指标的客观权重为

$$\theta_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \tag{8}$$

易见,  $0 \leq \theta_j \leq 1, \sum_{j=1}^n \theta_j = 1$ .

为全面反映评价指标的重要性,考虑决策者的经验判断能力,将决策者对各指标给出的主观权重  $w_1, w_2, \cdots, w_n$  与客观权重  $\theta_j (j = 1, 2, \cdots, n)$  相结合,最终确定各指标的权重为

$$r_j = \frac{\theta_j w_j}{\sum_{j=1}^n \theta_j w_j} \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \tag{9}$$

记矩阵  $R$  中每列的最优值为  $r_j^*$ ,对该矩阵的所有元素作标准化处理得

$$d_{ij} = \begin{cases} \frac{r_{ij}}{r_j^*} & \text{指标 } j \text{ 的值越大越好} \\ \frac{r_j^*}{r_{ij}} & \text{指标 } j \text{ 的值越小越好} \end{cases} \tag{10}$$

这样,各种被灌溉农作物的综合评价系数(熵权评价值)  $\lambda_i$  可表示为

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n r_j d_{ij} \quad (j = 1, 2, \cdots, m) \tag{11}$$

3 灌溉水资源优化调配的熵权系数模型

以  $m$  种农作物的种植面积  $x_1, x_2, \cdots, x_m$  为决策变量,以熵权评价值  $\lambda_i$  为效益系数,以综合评价效益  $z$  最大为目标,可建立灌溉水资源优化调配的熵权系数模型如下:

目标函数

$$\max z = \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \cdots + \lambda_m x_m$$

(12)

约束条件：

a. 水量约束

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 + \cdots + c_m x_m \leq c$$

(13)

式中： $c_i$ ——第  $i$  种作物的单位面积灌溉需水量； $c$ ——可用于农田灌溉的水资源总量。

b. 耕地面积约束

$$x_1 + x_2 + \cdots + x_m \leq A$$

(14)

式中： $A$ ——总耕地面积。

c. 各作物种植面积约束

$$\alpha_i A \leq x_i \leq \beta_i A \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$

(15)

式中： $\alpha_i, \beta_i$ ——第  $i$  种作物的最小、最大可能种植比例。

d. 非负约束

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$

(16)

实际应用中可根据实际情况对模型进行调整,如增加或减少约束条件等。

4 模型应用举例

某灌区种植的需灌溉的农作物主要有甲、乙、丙、丁四种,以经济效益、社会需要、生态效益为评价指标,构造评价矩阵如表 1 所示.表中经济效益指标值为灌溉效益分摊值(单位:元/hm<sup>2</sup>) 社会需要指标值为农产品的商品产量比例 生态效益指标值根据作物生长对土壤改良、农田有机质和养分含量改善以及空气净化的贡献由10分制打分法取得.由此计算出各指标的熵权信息如表2.最终可得四种作物的熵权评价值 $\lambda_i$ 分别

表 1 评价指标

Table 1 Evaluation index

| 作物类型 | 评价指标 |        |      |
|------|------|--------|------|
|      | 经济效益 | 社会需要/% | 生态效益 |
| 甲    | 2619 | 80     | 6    |
| 乙    | 832  | 50     | 7    |
| 丙    | 1579 | 30     | 2    |
| 丁    | 3411 | 70     | 4    |

表 2 熵权信息

Table 2 Entropic information

| 熵权信息       | 评价指标  |       |       |
|------------|-------|-------|-------|
|            | 经济效益  | 社会需要  | 生态效益  |
| $e_j$      | 0.920 | 0.960 | 0.931 |
| $\theta_j$ | 0.423 | 0.212 | 0.365 |
| $w_j$      | 0.400 | 0.300 | 0.300 |
| $r_j$      | 0.494 | 0.186 | 0.320 |

为 0.840,0.557,0.390,0.839.据此,结合其它有关资料,以平水年为例,可得该灌区的灌溉水资源优化调配的熵权系数模型如下：

$$\max z = 0.840x_1 + 0.557x_2 + 0.390x_3 + 0.839x_4$$

(17)

$$\text{s. t. } \left\{ \begin{array}{l} 1\,700x_1 + 1\,900x_2 + 1\,500x_3 + 2\,150x_4 \leq 1\,727.3 \times 10^4 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 14\,000 \\ 1\,600 \leq x_1 \leq 4\,581 \\ 830 \leq x_2 \leq 3\,652 \\ 650 \leq x_3 \leq 3\,725 \\ 2\,100 \leq x_4 \leq 6\,359 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \end{array} \right.$$

(18)

求解上述模型,可得该灌区甲、乙、丙、丁四种作物的最优种植面积分别为 4 581 hm<sup>2</sup>,830 hm<sup>2</sup>,650 hm<sup>2</sup>,3 224.6 hm<sup>2</sup>,相应的灌溉水量分别为 778.77 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,157.7 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,97.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,693.29 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>.

5 结 语

本文针对灌溉水资源的优化调配问题,提出了灌溉水资源的优化调配的熵权系数优化模型.该模型克服了以往研究中多以灌溉净效益年值最大为目标、忽略农业系统总目标的其它两个重要方面——社会需要、生态效益——的欠缺,供有关部门决策参考.

参考文献：

[1] 汤瑞凉,高正夏,贾有斌.灌溉水资源的优化调配[A].见 徐文德主编.中国水资源研究论文集[C].北京:中国科学技术出版社,1992.201~206.

[2] 郭存芝.北方干旱地区灌溉水资源优化调配研究[D]:[学位论文].南京:河海大学,1997.

[3] 张象枢.农业系统工程概论[M].济南:山东科学技术出版社,1987,107~186.

[4] 杜纲,岳松涛.房地产开发投资决策的熵权系数优化模型[J].数理统计与管理,1999,18(1):45~49.

[5] 郭显光.改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J].系统工程理论与实践,1998,18(12):98~102.

An Optimazition Model with Entropic Coefficients  
for Management in Irrigation Water Resources

TANG Rui-liang<sup>1</sup>, GUO Cun-zhi<sup>2</sup>, DONG Xiao-juan<sup>3</sup>

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;  
2. College of Technical Economics, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;  
3. Bureau of Water Conservancy of Yuncheng District, Yuncheng 034300, China)

**Abstract：**Based on the optimal management of irrigation water resources,by use of the principle of entropic coefficient method, and with consideration of the economic benefit,social demand and ecological benefit of sustainable agricultural development, an optimization model with entropic coefficients is proposed in this paper and is applied to a real management problem of irrigation water resources.

**Key words：**irrigation ; water resources ; optimal management ; entropic coefficients ;model