

# 层析分析法模糊综合评判在灌区节水潜力分析中的应用

黄永奇, 陈子平, 张练和, 孙春敏, 邓镇宁

(广东省水利水电科学研究院, 河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广东 广州 510635)

**摘要:** 应用层析分析法对广东省德庆县黄铜降水库灌区的节水潜力进行了分析, 建立了灌区节水潜力评价指标体系及评价模型。结果显示, 目前黄铜降水库灌区节水处于中级发展状态, 有较大节水潜力可挖。应用该方法对灌区节水潜力进行评价, 方法简便、结果合理, 可为灌区节水改造项目管理与制定方案提供科学依据。

**关键词:** 灌区; 节水潜力; 层次分析法; 评价模型

**中图分类号:** S274    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1008-0112(2014)05-0052-04

灌区节水潜力研究对节水农业发展具有重要影响。段爱旺等分析了农业节水的 2 个实现途径, 在此基础上, 定义了狭义节水潜力及广义节水潜力<sup>[1]</sup>; 邓良斌在分析广东节水潜力时指出发展水稻浅晒晒技术<sup>[2]</sup>, 可节水约 3.5 亿 m<sup>3</sup>; 雷波等提出了基于灌区尺度将不同节水措施实现的灌溉节水量分为“毛节水量”和“净节水量”, 用于区分目前关于“工程节水量”和“真实节水量”的争论<sup>[3]</sup>; 王艳阳等在极端气候条件下进行关中灌区农业节水潜力研究, 采用 95% 频率的年降水量作为极端气候条件, 采用狭义节水潜力理论, 分析关中地区主要灌区节水潜力<sup>[4]</sup>; 尹剑等综合以往研究计算农业节水潜力的方法和经验, 对典型作物进行资源型和效率型农业节水潜力分析<sup>[5]</sup>。

目前区域农业节水潜力的定量研究和综合评价研究仍存在不足<sup>[6]</sup>。传统的节水潜力评价指标主要是灌溉水利用系数<sup>[7]</sup>。越来越多的学者认为使用传统的灌溉水利用系数需充分认识研究对象的边界特点, 指出传统灌溉水利用系数概念在用于水资源开发管理时不适用<sup>[8-9]</sup>。层次分析法是指将决策问题的有关元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性分析和定量分析的相结合的多目标决策分析方法<sup>[10]</sup>。层次分析法(The Analytic Hierarch Process, AHP)是美国运筹学家、皮茨堡大学教授 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出来的, 它是对复杂问题作出决策的一种简易的新方法, 它特别适用于那些难于完全用定量进行分析的复杂问题, 能把半定性、半定量问题转化为定量

计算行之有效的方法, 使评价趋于科学化<sup>[11-12]</sup>。模糊综合评价法是对受多种因素影响的事物做出全面评价的一种十分有效的多指标评价方法<sup>[13]</sup>。

## 1 层次分析法矩阵构建及步骤

### 1.1 构造两两比较判断矩阵 A

对每一个层次中各个元素的相对重要性进行判断, 通常采取对因子进行两两比较的办法建立判断矩阵 A。设  $a_{ij}$  表示因子  $a_i$  和  $a_j$  对因素的影响大小之比, 构成矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , 称 A 为判断矩阵<sup>[3]</sup>。矩阵 A 具有性质:

$$a_{ij} > 0; \quad (1)$$

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

### 1.2 求解特征向量和特征值

对解特征向量和特征值, 采用方根法进行计算, 其主要步骤如下:

$$\text{令判断矩阵 } A = (a_{ij})_{i \times j} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n); \quad (3)$$

### 1.3 层次单排序一致性检验

计算每一个判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$ , 以及该特征值对应的特征向量,

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij} \omega_j}{\omega_i} \quad (4)$$

并对该向量进行归一化处理得到向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 。该向量反映了各因子对某一因素的影响权重, 称为权向量。

收稿日期: 2014-03-21; 修回日期: 2014-04-10

作者简介: 黄永奇(1980), 男, 硕士, 工程师, 主要从事水利水电工程规划与设计、水土保持、农业水土工程与农业水资源研究等。

先求各行元素的几何平均值:

$$b_i = (\prod_{j=1}^m a_{ij})^{1/m}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

再把  $b_i$  归一化, 即求得指标  $x_j$  的权重系数:

$$w_j = b_j / \sum_{k=1}^m b_k, j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

判断权重的一致性:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

式中  $CI$  为判断矩阵一致性指标;  $CR$  为判断矩阵的随机一致性比率;  $n$  为矩阵阶数。

其中,  $RI$  为平均随机一致性指标, 可以根据判断矩阵的阶数对随机一致性  $RI$  进行取值, 1~8 阶重复计算 1 000 次的平均随机一致性指标如表 1。

表 1 平均随机一致性指标

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8
$RI$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41

由于 1、2 阶正互反矩阵总是一致矩阵, 故  $RI = 0$  时, 可定义  $CR = 0$ 。当  $CR < 0.10$  时, 可以接受判断矩阵, 否则, 需要对判断矩阵做修正。

对其用加权平均模型  $M(\cdot, +)$ , 计算可得综合评判为

$$A \cdot R = B \in J(V) \quad (9)$$

根据模糊综合评判采用 5 个等级划分进行量度, 即优、良、中、差、劣 5 个等级, 建立(决策)评语集  $V$ , 然后按下列赋予值标准进行量化(见表 2)。

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} \quad (10)$$

表 2 等级划分量化

等级	劣	差	中	良	优
取值范围	$0 < V_5 \leq 0.1$	$0.1 < V_4 \leq 0.3$	$0.3 < V_3 \leq 0.6$	$0.6 < V_2 < 0.8$	$0.8 \leq V_1 < 1$

## 2 黄铜降灌区节水潜力分析

### 2.1 评价指标体系的建立

黄铜降水库灌区是广东省德庆县 4 宗中型灌区之一, 位于广东省德庆县莫村镇, 距德庆县县城 66.5 km, 设计灌溉面积为 0.073 hm<sup>2</sup>。灌区境内属丘陵地带, 地势北高南低。灌溉主要水源为悦城河、黄铜降水库、黄惊坑水库及区间集水。

根据指标体系建立的原则, 针对灌区的水土资源状况、灌溉水资源利用率、灌区种植结构、管理状况、工程状况、作物产出(经济效益)、生态环境效应等情

况作出评价分析, 进而评价灌区节水潜力改造程度。

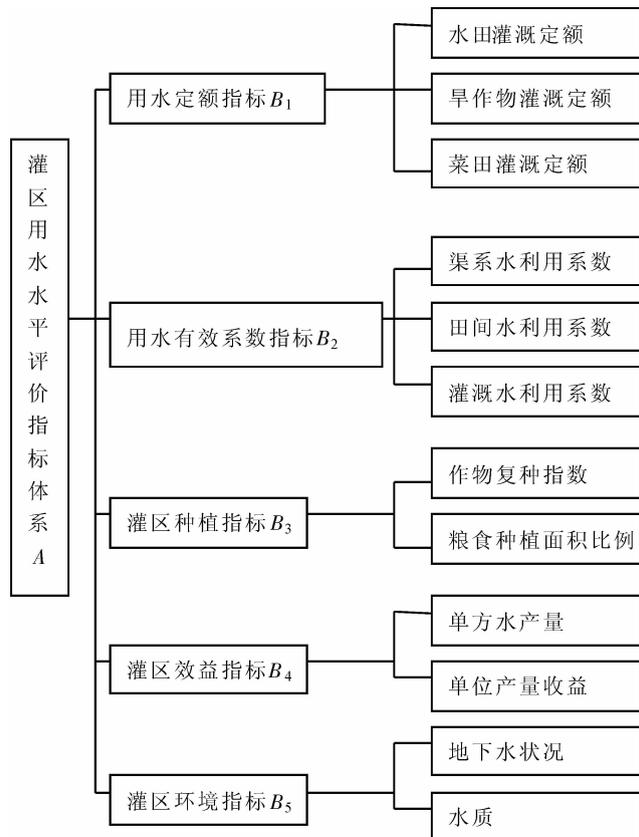


图 1 评价指标体系层次结构

### 2.2 指标权重的确定

本文参考有关调查结果, 结合灌区实际情况, 首先按照上述公式来确定各因子对该因素的影响权重。然后判断权重的一致性。 $CR$  值小于 0.1, 说明所得权重满足一致性检验。如果权重不满足一致性, 则须重新调查构造二元判断矩阵再确定权重。

表 3 灌区评价指标 A-B 判断矩阵

$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$B_1$	1	1/2	3	1/2
$B_2$	2	1	4	1
$B_3$	1/3	1/4	1	1/4
$B_4$	2	1	4	1

由式 3~式 8 计算得出  $CR = 0.0077 < 0.1$ , 所以判断矩阵有满意的一致性, 可以接受判断矩阵。

下面对  $B-C$  指标确定权重。

对反应灌区用水定额指标的进行比较, 结果见表 4:

表4 农业用水定额指标的判断矩阵  $B_1 - C$

$B_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$C_1$	1	1/5	1/2
$C_2$	5	1	5
$C_3$	2	1/5	1

由式3~式8计算得出  $CR = 0.0808 < 0.1$ , 所以判断矩阵有满意的一致性, 可以接受判断矩阵。

同理, 对反应灌区的第2个指标进行比较, 为简化计算过程, 直接写出判断矩阵以及计算结果(见表5)。

表5 用水有效系数指标判断矩阵  $B_2 - C$  及权重计算

$B_2$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$w_i$
$C_4$	1	1	1	0.3333
$C_5$	1	1	1	0.3333
$C_6$	1	1	1	0.3333

$\lambda_{max} = 3, CI = 0, RI = 0.52, CR = 0 < 0.1$ , 判断矩阵有满意的一致性, 可以接受判断矩阵

对反应灌区的第3个指标进行比较, 判断矩阵以及计算结果(见表6)。

表6 灌区种植结构判断矩阵  $B_3 - C$  及权重计算

$B_3$	$C_7$	$C_8$	$w_i$
$C_7$	1	3	0.5
$C_8$	1/3	1	0.5

因为二阶矩阵总是具有一致性, 所以不需要进行检验

对反应灌区的第4个指标进行比较, 判断矩阵以及计算结果(见表7)。

表7 灌区效益判断矩阵  $B_4 - C$  及权重计算

$B_3$	$C_9$	$C_{10}$	$w_i$
$C_9$	1	2	0.75
$C_{10}$	1/2	1	0.25

因为二阶矩阵总是具有一致性, 所以不需要进行检验

### 2.3 层次总排序及评价结果

利用同一层次中所有层次单排序的结果, 就可以计算针对上一层次而言本层次所有因素重要性的权值, 这就是层次总排序。 $B$ 层对于 $A$ 层的总排序就是矩阵 $A$ 权值。因为判断矩阵都为一致性矩阵, 所以层次总排序的计算结果有满意的一致性。评价指标的权重分配向量 $W$ 为:

$$W = (0.0196, 0.1321, 0.0234, 0.098, 0.098, 0.098, 0.0308, 0.0308, 0.2377, 0.079)$$

因为以上所有判断矩阵都为一致性矩阵, 所以层次总排序的计算结果有满意的一致性。所用数据来自

广东省一年三熟灌溉定额(广东省水利水电科学研究院)、广东省德庆县黄铜降水库灌区续建配套与节水改造工程可行性研究报告(2013年)、广东省农村统计年鉴(2013年见表8)。

表8 灌区节水潜力评价指标值(2013年)

指标	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
数值	772	226	371	0.45	0.75	0.62	196.5	0.74	1.33	1.29

根据评价标准对各层各指标评价等级的隶属度进行计算, 得出单因素评判矩阵, 对灌区的节水潜力进行模糊综合评判, 得出最终评判结果,  $W_{总} = 0.435$ 。从综合评判结果看, 按照等级量化标准, 处于中级发展状态, 黄铜降水库灌区有较大的节水潜力可控。

### 3 结论

本文运用层次分析方法, 以广东省德庆县黄铜降水库灌区为例, 对灌区节水潜力进行分析与评价, 建立评价指标体系, 根据评价标准对各层各指标评价等级进行计算, 得出单因素评判矩阵, 对灌区的节水潜力进行模糊综合评判。从综合评判结果看, 黄铜降水库灌区节水处于中级发展状态, 节水潜力较大, 与实际情况吻合, 能真实反映黄铜降水库灌区节水潜力状况。应用层次分析方法对灌区节水潜力进行评价, 方法简便、结果合理, 可为灌区节水改造项目管理与制定方案提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 段爱旺, 信乃途, 王立祥. 节水潜力的定义和确定方法[J]. 灌溉排水, 2002, 21(2): 25-35.
- [2] 邓良斌. 广东省节水潜力分析[J]. 广东水利水电, 2004(2): 59-60.
- [3] 雷波, 刘钰, 许迪. 灌区农业灌溉节水潜力估算理论与方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 10-14.
- [4] 王艳阳, 王会肖, 刘海军, 等. 极端气候条件下关中灌区农业节水潜力研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2012(5): 577-581.
- [5] 尹剑, 王会肖, 刘海军. 关中地区典型作物农业节水潜力研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2013(S1): 205-209.
- [6] 赵西宁, 王玉宝, 马学明. 基于遗传投影寻踪模型的黑河中游地区农业节水潜力综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(1): 104-110.
- [7] 崔远来, 熊佳. 灌溉水利用效率指标研究进展[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 590-598.
- [8] 张义盼, 崔远来, 史伟达. 农业灌溉节水潜力及回归水利用研究进展[J]. 节水灌溉, 2009(5): 50-54.
- [9] 陈红梅. 关于区域综合节水水平评价方法的研究[J]. 广东水利水电, 2006(2): 62-65.

