

【水利水电工程】

# 改进集对分析同一度方案优选模型及应用研究

骆原<sup>1</sup>, 齐青青<sup>1,2</sup>

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450045; 2. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:**集对分析在传统定性分析的基础上定量地描述评价对象各目标间的同、异、反联系度,可用于研究有联系系统联系、预测、控制、转化等问题。针对现有集对分析同一度方案优选模型的不足,以对立度概念为基础构建标准评价集合,改进现有的同一度计算模型,并应用改进后的模型进行了实例检验。结果表明:改进方法既考虑了同一度又考虑了对立度,弥补了原模型的不足,提高了模型的科学性与合理性。

**关键词:**集对分析; 方案优选; 同一度; 标准评价集; 贴近度

**中图分类号:** TU472.99      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3969/j.issn.1000-1379.2010.10.059

集对分析是中国学者赵克勤于1989年提出的一种处理不确定性的新数学理论和系统分析方法<sup>[1]</sup>,其最基本的概念是集对和联系度,其中集对是指具有一定联系的2个集合所组成的对子。集对分析的基本思路是在一定问题背景下,对1个集合对子的特性展开分析,对集对在该特性上的联系进行同、异、反分类定量刻画,从而建立这2个集合在指定问题背景下的同、异、反联系度。

集对分析在传统定性分析的基础上定量地描述评价对象各目标间的同、异、反联系度,并用于方案综合评价,从而使方案评价工作思路清晰、方法简便、准确度高。现行基于集对分析的方案综合评价研究中常采用同一度进行方案直接或间接优选排序,但是有些文献构建的同一度存在不足<sup>[2-7]</sup>,降低了方案优选结果的合理性。为此,笔者试图采取相应措施对其进行改进。

## 1 集对分析理论

集对分析按照集对的某一特性展开分析,对集对在该特性上的联系进行分类定量刻画,得到集对在某一问题背景下的联系度:

$$\mu = a + bi + cj \quad (1)$$

式中: $a$ 为两个集合的同一程度,即同一度; $b$ 为两个集合的差异不确定程度,即差异度; $c$ 为两个集合的对立程度,即对立度; $i$ 为差异标记符号或相应系数,取值为 $[-1, 1]$ ; $j$ 为对立标记符号或相应系数,规定取 $-1$ 。

根据定义, $a, b, c$ 满足归一化条件 $a + b + c = 1$ 。这种刻画是对确定性与不确定性的定量描述,其中 $a, c$ 是相对确定的,而 $b$ 是相对不确定的。这种相对性是客观对象的复杂性和可变性以及人对客观对象认识与刻画的主观性和模糊性造成的。

## 2 集对分析同一度方案优选模型及其不足

在集对分析中,两个集合的同一性一般是指两个集合共同

具有某些特性的情况,其同一度在不计较特性权重的情况下,就是这两个集合共同具有的特性个数与这两个集合特性总数的比值<sup>[1]</sup>。但是当两个集合恰好是两个非负有理数时,它们的同一度就是较小的有理数与较大有理数的比值,例如1与3的同一度为 $1/3$ 。

### 2.1 集对分析同一度方案优选模型

设有 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 个方案,每个方案有 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 个指标,各指标的单位可以相同,也可以不同。构建 $m$ 个评价对象、 $n$ 个评价指标间的判断矩阵 $R$

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

每个指标均有一个指标值,记为 $f_{ipk}$ ,表示第 $i$ 个方案第 $k$ 个指标的值。其中:某些指标是效益型指标,如产品寿命、经济效益等,以取大值为优;而某些指标是成本型指标,如投资总额、生产成本等,以取小值为优。

为了提高方案决策的可靠性,取理想方案 $A_0$ 与可行方案 $A_i$ 为一对子,就这一集对作同、异、反决策分析,找出与理想方案最接近的方案,并对可行方案进行优劣排序。现行基于集对分析的方案综合评价步骤如下:

(1) 确定理想方案 $A_0$ 。根据给出的 $m$ 个方案,确定一个理想方案 $A_0$ ,该理想方案将作为各方案的比较基准。规定理想方案 $A_0$ 中各目标取值应是各类目标的最优值,即对效益型指标取最大值,对成本型指标取最小值,理想方案各指标的指标值记为 $f_{opk}$ 。

(2) 计算同一度 $h_y$ 。计算被评价方案各指标值 $f_{ipk}$ 与理想方

收稿日期:2010-05-12

基金项目:华北水利水电学院高层次人才引进计划项目(200926);河南省教育厅自然科学研究计划项目(2009A570002);河南省青年骨干教师资助计划项目(2009GGJ3-061)。

作者简介:骆原(1988--),男,江西抚州人,主要从事水利水电工程学习和研究工作。

E-mail:603217312@qq.com

表2 原模型计算的各方案指标同一度

方案	C <sub>1</sub> 可靠性	C <sub>2</sub> 造价	C <sub>3</sub> 施工难度	C <sub>4</sub> 工期	C <sub>5</sub> 环境影响
A <sub>1</sub>	0.700	0.810	1.000	0.778	0.889
A <sub>2</sub>	0.900	0.895	0.800	0.875	0.800
A <sub>3</sub>	0.800	1.000	0.889	1.000	1.000
A <sub>4</sub>	1.000	0.694	0.889	0.700	1.000

案A<sub>0</sub>。各对应指标值f<sub>optk</sub>的同一度h<sub>ij</sub>组成被评价方案指标与理想方案A<sub>0</sub>。对应指标的同一度矩阵H:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ h_{m1} & \dots & h_{mn} \end{bmatrix}$$

矩阵H中的元素h<sub>ik</sub>为被评价方案指标值f<sub>ipk</sub>与理想方案A<sub>0</sub>。对应指标值f<sub>optk</sub>的同一度。根据同一度的定义,无论理想方案A<sub>0</sub>。中各个指标值是大于还是小于被评价方案中各对应指标的指标值,h<sub>ik</sub>的计算一律是较小的指标值除以较大的指标值,即

$$h_{ik} = \frac{f_{ipk}}{f_{optk}} \quad (f_{ipk} > f_{optk}) \quad (3)$$

$$h_{ik} = \frac{f_{optk}}{f_{ipk}} \quad (f_{ipk} < f_{optk}) \quad (4)$$

(3) 计算理想方案与实际方案的贴近度。权重系数根据专业知识或由专家打分确定,也可以采用层次分析法确定。设各指标的权重ω=(ω<sub>1</sub>,ω<sub>2</sub>,...,ω<sub>n</sub>),则各被评价方案A<sub>i</sub>与理想方案A<sub>0</sub>。的贴近度矩阵为

$$R = H\omega^T = \begin{pmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_m \end{pmatrix} \quad (5)$$

R中的元素r<sub>i</sub>即第i个待评价方案与理想方案A<sub>0</sub>。的贴近度,即

$$r_i = \sum_{k=1}^n h_{ik}\omega_k \quad (6)$$

(4) 优劣排序。根据R中m个r<sub>i</sub>值的次序确定m个被评价方案的优劣次序。

## 2.2 现有集对分析同一度方案优选模型的不足

现有集对分析同一度方案优选模型的不足在于同一度的计算仅简单地用较小的指标值除以较大的指标值。当指标之间数据尺度变化大、最大值和最小值差别大时,该算法有一定不足。以文献[2]中数据为例,某大厦地下室2层,根据地层条件和周边环境条件,拟订了4种支护方案,即方案A<sub>1</sub>φ1000悬臂钻孔灌注桩、方案A<sub>2</sub>φ1200人工挖孔灌注桩+旋喷桩、方案A<sub>3</sub>土钉锚喷网和方案A<sub>4</sub>φ800锚拉钻孔灌注桩。优化支护方案的主要依据是可靠性、造价、施工难度、工期、环境影响以及对其他工序的影响,其中造价和工期为定量指标,按定额或实际要求计算,其余为定性指标,由经验丰富的专家按其相对重要程度用0~1间的数值进行量化确定。按上述方法,4种支护方案的量化指标见表1。

由表1可以看出,5类指标间数据的数量级分别是10<sup>-1</sup>、10<sup>2</sup>、10<sup>-1</sup>、10<sup>1</sup>、10<sup>-1</sup>,C<sub>1</sub>为越大越优指标,C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>和C<sub>5</sub>均为越小越优指标。按原模型计算得到的各方案指标同一度见表2。

表1 方案分析评价表

方案	C <sub>1</sub> 可靠性	C <sub>2</sub> 造价	C <sub>3</sub> 施工难度	C <sub>4</sub> 工期	C <sub>5</sub> 环境影响
A <sub>1</sub>	0.7	210	0.8	45	0.9
A <sub>2</sub>	0.9	190	1.0	40	1.0
A <sub>3</sub>	0.8	170	0.9	35	0.8
A <sub>4</sub>	1.0	245	0.9	50	0.8

注:表中混凝土锚喷网支护的工期不包括开挖时间。

由表2可以看出,5类指标数据数量级差别较大,最大值与最小值变化尺度大的指标,同一度变化较小,在评价时,劣势指标所在方案的劣势被弱化;最大值与最小值变化尺度小的指标,同一度变化较大,致使劣势指标所在方案的劣势被强化。例如,造价数据数量级为10<sup>2</sup>,最大值与最小值变化尺度大,A<sub>4</sub>同一度为0.694,其劣势与A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>相比被弱化,而施工难度指标数据数量级为10<sup>-1</sup>,最大值与最小值变化尺度小,A<sub>2</sub>施工难度指标的同一度为0.800,其劣势与A<sub>1</sub>相比被强化。在3个指标权重相同或接近的情况下,优选方案中,A<sub>2</sub>将在优选方法上受损,而A<sub>4</sub>将在优选方法上受益,该模型容易造成方案优选结果的失真。

同一度算法把被评方案指标与理想方案指标的数据起点都默认为0,然而集对分析中同一度与对立度概念表达一个系统整体,同一标准点到对立标准点距离最大,在该系统中,当参评点离对立标准点越远(不超过同一标准点)、离同一标准点越近(可以重合)时,参评点的同一度就越高。由此可以得出,同一度算法中被评方案指标与理想方案指标的数据起点都是对立标准点,而不是0,即同一度为被评方案指标到对立标准点的距离除以同一标准点到对立标准点的距离。原同一度算法把对立度标准点上的数据视为同一度的一部分,大幅度缩小了劣势指标所在方案的劣势,造成方案优选结果失真。如A<sub>2</sub>方案中施工难度和环境影响两个指标都与对立度标准点重合,根据集对分析理论,其同一度本应为0,而原模型中计算其同一度都为0.8,大幅度缩小了A<sub>2</sub>方案的劣势。

## 2.3 模型改进

按照同一度为被评方案指标到对立标准点的距离除以同一标准点到对立标准点的距离,笔者对原模型的前两步进行了改进。

(1) 建立决策矩阵和标准评价集合。根据给出的m个方案确定出一个最优方案A<sub>0</sub>和最劣方案C<sub>0</sub>。最优方案A<sub>0</sub>中各指标的取值应该是被评的m个方案中各类指标的最优值,即对于效益型指标取同类指标中的最大值,对于成本型指标取同类指标中的最小值。记最优方案A<sub>0</sub>中第k个指标的值为f<sub>optk</sub>,同一列向量为a。最劣方案C<sub>0</sub>中各指标的取值为被评m个方案中各类指标的最劣值,即对于效益型指标取同类指标中的最小值,对于成本型指标取同类指标中的最大值。记最劣方案C<sub>0</sub>中第k个指标的值为f<sub>optk</sub>,对立列向量为c。标准评价集合由同一列向量和对立列向量构成,即S=(a,c)。

(2) 计算同一度。将式(3)、式(4)改写为

$$h_{ik} = \frac{f_{ipk} - f_{optk}}{f_{optk} - f_{optk}} \quad (f_{ipk} > f_{optk}) \quad (7)$$

$$h_{ik} = \frac{f_{optk} - f_{ipk}}{f_{optk} - f_{optk}} \quad (f_{ipk} < f_{optk}) \quad (8)$$

### 3 实例检验

以文献[2]中数据为例,进行检验。

#### 3.1 建立评价矩阵和确定标准集合

根据给出的4种方案,建立评价矩阵和标准集合:

$$A = \begin{pmatrix} 0.7 & 210 & 0.8 & 45 & 0.9 \\ 0.9 & 190 & 1.0 & 40 & 1.0 \\ 0.8 & 170 & 0.9 & 35 & 0.8 \\ 1.0 & 245 & 0.9 & 50 & 0.8 \end{pmatrix}, S = (a, c) = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.7 \\ 170 & 245 \\ 0.8 & 1.0 \\ 35 & 50 \\ 0.8 & 1.0 \end{pmatrix}$$

#### 3.2 计算同一度

4种基坑支护方案的可靠性同一度由式(8)求得,造价、施工难度、工期和环境影响的同一度由式(7)求得。各方案指标同一度见表3。

表3 改进模型计算的各方案指标同一度

方案	C <sub>1</sub> 可靠性	C <sub>2</sub> 造价	C <sub>3</sub> 施工难度	C <sub>4</sub> 工期	C <sub>5</sub> 环境影响
A <sub>1</sub>	0.000	0.467	1.000	0.333	0.500
A <sub>2</sub>	0.667	0.733	0.000	0.667	0.000
A <sub>3</sub>	0.333	1.000	0.500	1.000	1.000
A <sub>4</sub>	1.000	0.000	0.500	0.000	1.000

由表3可以看出,每类指标中都有同一度1.000,这与相关指标与同一标准点重合有关,符合建立标准集合时取最优值为同一列向量的事实;每类指标中都有同一度0.000,这与相关指标与对立标准点重合有关,符合建立标准集合取最劣值为对立列向量的事实。

#### 3.3 计算各方案贴近度

文献[2]中给出各评价方案的权重  $\tilde{\omega} = (0.30, 0.20, 0.20, 0.20, 0.10)$ 。根据式(5)、式(6)和各指标权重,计算各被评价方案与理想方案A<sub>0</sub>的贴近度r,见表4,其中r<sub>0</sub>为文献[2]计算的贴近度。

表4 各方案贴近度

方案	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
r	0.410 0	0.480 1	0.699 9	0.500 0
r <sub>0</sub>	0.817 0	0.864 0	0.918 0	0.8570

#### 3.4 方案优劣排序

由表4各方案贴近度可知,4种支护方案的优劣排序为A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>1</sub>,即土钉锚喷网支护方案为最优方案。改进后的优选结果与文献[2]的优选结果(A<sub>3</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>4</sub>、A<sub>1</sub>)较为一致,差别在于A<sub>2</sub>与A<sub>4</sub>排序换位。

两种方法权重相同,文献[2]的同一度计算仅考虑同一度,没考虑对立度,大幅度缩小了A<sub>2</sub>方案在施工难度与环境影响方面的劣势,致使优选结果失真。采用改进后的模型既考虑同一度又考虑了对立度,弥补了原模型未考虑对立度(或将对立度取值为零)的不足。

### 4 结论

改进的基于集对分析同一度方案优选模型既考虑了同一度又考虑了对立度,弥补了原模型未考虑对立度(或将对立度取值为零)的不足。改进后同一度确定方法比原方法在固定比较区间内分析更为有效,提高了模型的科学与合理性。应用改进后集对分析同一度方案优选模型对文献[2]中实例进行优选,4种支护方案的优劣排序:土钉锚喷网 > φ800 锚拉钻孔灌注桩 > φ1200 人工挖孔灌注桩 + 旋喷桩 > φ1000 悬臂钻孔灌注桩,即土钉锚喷网支护方案为最优方案。

#### 参考文献:

- [1] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2000.
- [2] 冯玉国,王渭明. 基于集对分析同一度的基坑支护方案综合评价[J]. 岩土工程学报,2008,30(9):1389-1392.
- [3] 周健,史秀志. 基于集对分析同一度的采空区处理方案研究[J]. 金属矿山,2009(6):10-13.
- [4] 宋慈勇,赵新宇,张泽中,等. 基于熵权的集对分析同一度评价模型[J]. 人民黄河,2010,32(1):85-86.
- [5] 郑辉,汪波. 动态集对贴近度分析在服务企业竞争力评价中的应用[J]. 中国农机化,2007(5):44-47.
- [6] 罗党,孙利. 基于集对分析同一度的投资优化模型[J]. 华北水利水电学院学报,2010,31(1):101-102.
- [7] 杨尚阳,张龙杰,杨婵婵,等. 基于集对分析同一度的公路路线方案优选模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2008,8(3):115-119.

【责任编辑 吕艳梅】