

文章编号: 1007-6492(1999)01-0046-04

复杂系统的灰色综合评估研究

贺北方¹, 吴泽宁¹, 杨建水¹, 李军², 蔡传瑞²

(1. 郑州工业大学水利与环境工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省信阳市水利局, 河南 信阳 464000)

摘要: 复杂系统具有多目标、多层次、多关联、动态和信息不完备等特点. 根据复杂系统的特点和评价要求, 运用灰色系统理论方法, 在灰色聚类分析的基础上, 建立了灰色综合评估模型. 实例应用表明: 此模型和方法是可行和实用的, 可广泛应用于复杂系统评估.

关键词: 复杂系统; 灰色系统理论; 聚类分析; 综合评估

中图分类号: O 212 **文献标识码:** A

0 引言

综合评估(评价)是系统分析的基本方法之一,有着广泛的应用.许多领域由于采用了综合评估的实用模型而取得了很好的经济效益和社会效益.复杂系统的综合评估是研究系统发展战略、制定系统协调发展规划的基础,是选择系统最优方案和评价被评对象优劣的有效方法.鉴于复杂系统具有多目标(指标)、多层次、多关联、动态、信息不完备等特点,其综合评估有一定困难.灰色系统理论^[1]善于处理贫信息系统,它能在短资料、少信息条件下建模、预测和决策.因此,本文根据复杂系统的特点及综合评估的要求,运用灰色聚类分析方法建立了灰色综合评估模型,并给出了应用实例.

1 灰色聚类分析

在进行复杂系统的灰色综合评估时,首先应确定评价指标体系,并根据各评价指标的特点和属性,将其划分为若干层次,建立递阶层次结构.然后运用灰色聚类分析方法形成灰色聚类矩阵,进行灰色综合评估.

灰色聚类分析(决策)以灰数的白化函数生成为基础,将收集到的分散信息按照灰类进行归纳,以判断聚类对象所属灰类.

记 $i = 1, 2, \dots, n$ 为聚类对象; $j = 1, 2, \dots, m$ 为聚类指标; $k = 1, 2, \dots, K$ 为聚类灰数. d_{ij} 为第 i 个聚类对象对于第 j 个聚类指标的样本值. $D =$

$(d_{ij})_{n \times m}$ 为样本矩阵.

f_{jk} 为第 j 个聚类指标的 k 灰类的白化函数, $f_{jk} \in [0, 1]$. 为了消除各方案指标间单位及数值相差太远的影响,引入折算系数 γ_k

$$\gamma_k = \frac{d_k}{d_{kj}} \quad (1)$$

式中: d_k 为白化函数 f_k 等于 1 时的阈值; d_{kj} 为各指标 j 的各灰类的特征白化值. 优灰类的特征白化值为该类指标 j 中的最优值; 劣灰类的特征白化值为该类指标 j 中的最低值; 若有其它灰类,其灰类的特征白化值可由以上两种特征白化值内插求得.

令 η_k 为第 i 个方案属于 k 灰类的灰色统计数

$$\eta_k = \sum_{j=1}^m f_{jk}(d_{ij} \times \gamma_k) \quad (2)$$

式中: $d_{ij} \times \gamma_k$ 是将样本值 d_{ij} 用折算系数 γ_k 进行折算; $f_{jk}(d_{ij} \times \gamma_k)$ 是用折算后的值查不同灰类的白化函数图得到的相应灰类 k 的白化函数值.

设 q_k 为第 i 个方案属于 k 灰类的聚类系数,它反映第 i 个方案属于 k 灰类的程度,

$$q_k = \frac{\eta_k}{\sum_{k=1}^K \eta_k} \quad (3)$$

灰色聚类矩阵 $\sigma = (q_k)_{n \times K}$,

灰色聚类行向量 $q = (q_1, q_2, \dots, q_K)$,

若 q_k^* 满足

$$q_k^* = \max_{1 \leq k \leq K} \{q_k\} = \max_k (q_1, q_2, \dots, q_k, \dots, q_K),$$

称聚类对象(或方案) i 属于灰类 k^* . 即在聚类行向量中找出最大聚类系数,该最大聚类系数所属

收稿日期: 1998-10-02; 修订日期: 1998-12-28

作者简介: 贺北方(1940-),男,河南省长葛县人,郑州工业大学教授,主要从事水资源系统分析和优化方面的研究.

类别即聚类对象*i* 所属灰类.

2 灰色综合评估

复杂系统的灰色综合评估, 由于评价指标划分为若干层次, 需将上述求得的灰色聚类矩阵按准则层的目标进一步综合, 有如下综合评估模型:

$$B_i = W \times R_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

式中: *W* 为准则层各目标的权重向量, 可采用层次分析法或经验予以赋值; *R_i* 为*i* 方案的灰色评价矩阵, *R_i* = (*r_k⁽ⁱ⁾*)_{*L* × *K*}, *L* 为准则层目标个数; *B_i* 是第*i* 个方案的综合评价向量, *B_i* = (*b_{i1}*, *b_{i2}*, ..., *b_{iK}*) .

灰色综合评价矩阵 *B* 为

$$B = (b_{ik})_{n \times K} .$$

此综合评价矩阵 *B* 综合反映了不同方案隶属于不同灰类 *k* 的程度. *b_{i1}* 为*i* 方案属于优灰类 (*k* = 1) 的程度, 其值的大小可以综合反映方案的优劣. 因此可按 *b_{i1}* 值的大小选取最优方案

$$b_i^* = \max_{1 \leq k \leq n} \{b_{i1}\} . \quad (5)$$

3 应用实例

某综合利用水库具有防洪、发电、城市供水等综合利用效益^[2~3]. 该水库正常蓄水位选择时拟定了 5 个比较方案, 试进行灰色综合评价, 以选择最适宜的正常蓄水位方案.

3.1 评价指标体系及层次结构

根据该水库工程的实际情况, 将评价指标体

系划分为 3 个方面 17 个指标, 其递阶层次结构如图 1, 各指标样本值见表 1.

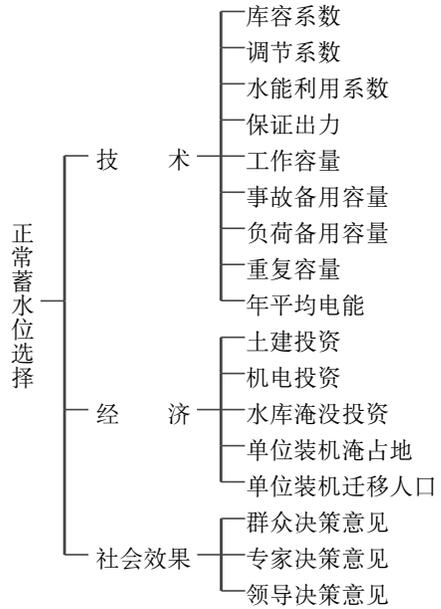


图 1 评价指标体系

3.2 确定白化函数

将技术、经济、社会效果 3 类指标的样本值按优、劣 (即 *k* = 1, 2) 两个灰类分别确定其白化函数如图 2.

图 2 中 *f_k^(l)* (*k* = 1, 2; *l* = I, II, III) 为准则层第 *l* 准则 (方面) 的第 *k* 灰类的白化函数. 其中图 2(a), (b) 为技术指标的优、劣灰类的白化函数; 图 2(c), (d) 为经济指标优、劣灰类的白化函数图; 图 2(e), (f) 为社会效果指标的优、劣白化函数图.

表 1 各方案的评价指标值

项 目	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
正常蓄水位/m	195	199	205	211	215
库容系数/%	0.52	0.60	0.73	0.87	0.98
调节系数/%	0.82	0.83	0.86	0.89	0.91
水能利用系数/%	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
保证出力/万 kW	7.9	8.4	9.25	10.05	10.65
工作容量/万 kW	12.6	13.4	14.8	16.0	16.6
事故备用容量/万 kW	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3
负荷备用容量/万 kW	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
重复容量/万 kW	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
年平均电能/亿 kWh	7.8	8.3	9.0	9.6	9.9
土建投资/万元	8235	8660	11312	12100	12622
机电投资/万元	2506	2580	2594	2670	2748
水库淹没投资/万元	1886	2020	2283	2490	2733
单位装机淹占地/(亩/万 kW)	1495	1682	1915	2135	2330
单位装机迁移人口/(人/万 kW)	532	632	733	942	1104
群众决策意见/%	43	40	11	5	1
专家决策意见/%	60	35	5	0	0
领导决策意见/%	10	30	0	10	50

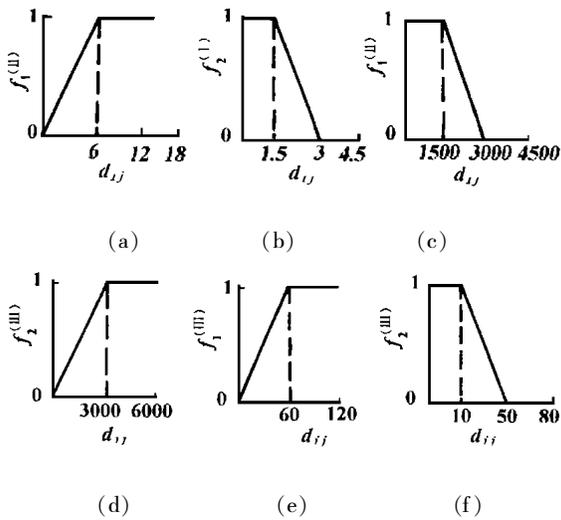


图2 白化函数图

3.3 计算折算系数 γ_{kl}

$$\gamma_{kl} = \frac{d_{kl}}{d_{kj}^{(l)}} \quad (6)$$

式中: d_{kl} 为白化函数等于 1 的界值; $d_{kj}^{(l)}$ 为各种指标 j 的各灰类的特征白化值. 据式 (6) 可求得折算系数 $\gamma_{kl}, k=1, 2; l=I, II, III$.

3.4 计算灰色统计数

$\eta_k^{(l)}$ 为第 i 方案属于 k 灰类的灰色统计数

$$\eta_k^{(l)} = \sum_{j=1}^m f_k^{(l)}(d_{ij}^{(l)} \times \gamma_{kl}) \quad (7)$$

$i=1, 2, \dots, m; k=1, 2; l=I, II, III$.

式中: $d_{ij}^{(l)}$ 为准则层评价指标的样本值(表 1). 现以第 2 个方案($i=2$)为例, 说明 $\eta_k^{(l)}$ 的计算方法.

对于技术指标($l=I$), 由样本值 $d_{ij}^{(I)}$ 组成的行向量 $d_2^{(I)}$ 为

$$d_2^{(I)} = (0.6, 0.83, 0.96, 8.4, 13.4, 1.1, 5.2,$$

$$1.5, 8.3),$$

技术指标的优、劣灰类的折算系数 γ_{kl}

$$\gamma_{11} = (6.12, 6.6, 6.06, 0.56, 0.36, 4.62,$$

$$1.15, 3.0, 0.606),$$

$$\gamma_{21} = (2.89, 1.83, 1.58, 0.19, 0.119, 1.50,$$

$$0.298, 0.0, 0.19),$$

将 $d_2^{(I)}$ 分别乘以 γ_{11} 的折算系数后, 查图 2 可得第 2 个方案的优灰类的白化函数值

$$f_1^{(I)} = (0.612, 0.913, 0.97, 0.784, 0.804, 0.847, 1.0, 0.75, 0.84).$$

再将 $d_2^{(I)}$ 乘以 γ_{21} , 查图 2 可得第 2 个方案劣灰类的白化函数值为

$$f_2^{(I)} = (0.84, 0.99, 0.99, 0.94, 0.94, 0.90, 1.0, 0.0, 0.94),$$

按式 (7) 可得第 2 个方案分别属于优、劣灰类的灰色统计数 $\eta_{2k}^{(I)}$:

$$\eta_{21}^{(I)} = \sum_{j=1}^9 f_1^{(I)}(d_2^{(I)} \times \gamma_{11}) = 7.52,$$

$$\eta_{22}^{(I)} = \sum_{j=1}^9 f_2^{(I)}(d_2^{(I)} \times \gamma_{21}) = 7.54.$$

同理可求得其它 $\eta_k^{(I)}$ 值.

3.5 求灰色聚类系数及灰色聚类矩阵

灰色聚类系数 $\alpha_k^{(l)}$ 反映按准则层的技术、经济、社会效果 3 个方面, 分别进行灰色聚类分析而求得的第 i 方案隶属于第 k 个灰类的程度.

$$\alpha_k^{(l)} = \eta_k^{(l)} \setminus \sum_{k=1}^K \eta_k^{(l)}. \quad (8)$$

灰色聚类矩阵 $\alpha = (\alpha_k^{(l)})_{n \times K}, l=I, II, III$;

$$\sigma_I = (\alpha_k^{(I)})_{5 \times 2} = \begin{bmatrix} 0.482 & 0.518 \\ 0.499 & 0.501 \\ 0.532 & 0.468 \\ 0.553 & 0.447 \\ 0.548 & 0.452 \end{bmatrix};$$

$$\sigma_{II} = (\alpha_k^{(II)})_{5 \times 2} = \begin{bmatrix} 0.597 & 0.403 \\ 0.553 & 0.447 \\ 0.471 & 0.529 \\ 0.389 & 0.611 \\ 0.321 & 0.679 \end{bmatrix};$$

$$\sigma_{III} = (\alpha_k^{(III)})_{5 \times 2} = \begin{bmatrix} 0.616 & 0.384 \\ 0.608 & 0.392 \\ 0.080 & 0.920 \\ 0.077 & 0.923 \\ 0.298 & 0.702 \end{bmatrix}.$$

灰色聚类矩阵提供了较丰富的决策信息, 它展现了被评对象(或比较方案)在准则层不同目标方面的优势及薄弱环节, 并为灰色综合评估提供了依据.

3.6 灰色综合评估

将求得的灰色聚类矩阵, 按工程投资少、经济效益高、社会效果好 3 个目标进行灰色综合评估:

$$B_i = W \times R_i, \quad i=1, 2, \dots, 5.$$

式中: $W = (w_I, w_{II}, w_{III})$ 为准则层技术、经济、社会效果三目标的权重向量; R_i 为第 i 个方案的灰色评价矩阵, 它可由灰色聚类矩阵 α 求得.

例如, 第 1 个方案($i=1$)时,

$$B_1 = W \times R_1 = W \times (\alpha_k^{(I)}) =$$

$$(0.35, 0.35, 0.30) \times \begin{bmatrix} 0.482 & 0.518 \\ 0.597 & 0.403 \\ 0.616 & 0.384 \end{bmatrix} = (0.5624, 0.4376),$$

其它方案 $i = 2, 3, 4, 5$ 可类似求得. 则灰色评价矩阵 B

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5624 & 0.4376 \\ 0.5506 & 0.4494 \\ 0.3535 & 0.6465 \\ 0.3528 & 0.6472 \\ 0.3936 & 0.6064 \end{bmatrix} \quad \text{为各}$$

灰色综合评价矩阵 $B = (b_{ik})_{n \times k}$ 反映了不同方案 i 隶属于不同灰类 k 的程度. b_{i1} 为 i 方案属于优灰类 ($k = 1$) 的程度, 因此可按 b_{i1} 的大小, 选取最优方案

$$b_{i^*1} = \max_{1 \leq i \leq 5} \{b_{i1}\} = 0.5624, \\ i^* = 1.$$

即第 1 个方案 ($Z_{蓄} = 195.0 \text{ m}$) 为最优方案. 同时可由灰色综合评价矩阵 B 排出不同方案的类属顺序和名次. 对本例而言, 5 个比较方案的名次顺序为 1, 2, 5, 3, 4.

显然, 上述结论是相对于图 2 的白化函数及

设定权向量而言的. 若两者有变化, 其评估结论可能有变化, 这正是灰色系统理论的“非唯一性”思想.

4 结束语

复杂系统不仅具有多目标、多层次、多关联、动态等属性, 而且具有信息不完备的特点. 本文运用灰色系统理论方法, 建立了灰色综合评估模型. 此模型不仅体现了复杂系统多目标、多层次的特点, 而且能在短资料、少信息条件下建模和评估. 评价结果既能对被评对象的整体性能进行综合评价, 又能展现被评对象在各评价指标方面的优劣状况, 明确努力方向. 此灰色综合评估模型和方法具有相当广泛的适应性.

参考文献

- [1] 贺北方, 刘正才. 灰色系统理论方法与应用 [M]. 北京: 气象出版社, 1995.
- [2] 罗斌成. 灰色系统新方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1993.
- [3] 贺北方, 涂 龙. 水库模糊随机优化调度研究 [J]. 郑州工学院学报, 1995, 16(2): 72-78.

Study on Grey Comprehensive Assessment of Complicated System

HE Bei-fang¹, WU Ze-ning¹, YANG Jian-shui¹, LI Jun², CAI Chuan-trui²

(1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Hydrotechnic Bureau of Xinyang City, Xinyang 46400, China)

Abstract : Complicated system has the characteristics of multiobjective, multi-correlation, dynamic state and imperfect information. In this paper, according to the characteristics and requirement of the system, a grey comprehensive assessment model is established by means of grey system theory and method based on grey cluster analysis. The application shows that the model is practicable and feasible and it can be widely applied in complex system assessment.

Key words : complicated system; grey system theory; cluster analysis; comprehensive assessment