

# 用多目标多层次灰色局势决策 优选河流梯级开发方案

马细霞

( 郑州工业大学水环系)

**摘 要** 本文在简要介绍灰色系统局势决策的基础上,应用多目标多层次灰色局势决策方法,对河流梯级开发的多种组合方案进行了优化选择。实例分析表明,该文所提出的方法是正确的。

**关键词** 灰色系统; 梯级开发; 优化; 局势决策

**中图分类号** TV213.2

在河流梯级开发规划中,开发方案的确定,关系到如何以最经济、合理的方式利用水能资源。由于影响因素很多,且因素的数量、各因素作用的强弱、因素间的关联性等往往不能确切掌握,使经验方法确定开发方案遇到了困难。根据灰色系统理论,将上述因素视为灰因素,利用该理论的局势决策解决问题,则是一种直观而有效的方法。

## 1 多目标、多层次灰色局势决策方法

### 1.1 多目标灰色局势决策方法

决策是人们对自已将要实施的行动方案所作出的决定。决策是一个过程。一般说来,决策包括:面对存在的问题或“事件”,提出几种可能解决问题的办法或“对策”,经过比较,选择出最好的办法或“最优对策”。选择的标准要有一个“准则”、“尺度”(这就叫“目标”)。在既定目标下,要比较方法之好坏,即“对策”的高下,还要看某种办法或对策的实施效果如何。归纳起来,决策共有四个要素:“事件”、“对策”、“效果”和“目标”。

通常,称“事件”和“对策”的组合为局势,即

局势 = ( 事件, 对策)

若事件记为  $a_i$ ,  $i$  为事件的序号 ( 编号),  $i=1、2、\dots、n$ ; 对策记为  $b_j$ ,  $j$  为对策序号,  $j=1、2、\dots、m$ 。则局势记为  $S_{ij}$ 。

$$S_{ij} = (a_i, b_j) \quad (1)$$

对事件  $a_i$ , 有对策  $b_j$ , 从而有效果  $C_{ij}$ 。  $C_{ij}$  用效果测度  $\gamma_j$  表示,  $\gamma_j \in [0, 1]$ 。  $\gamma_j / (a_i, b_j)$  称为决策元, 以下简记为  $\gamma_j$  ( $i=1、2、\dots、n$ ;  $j=1、2、\dots、m$ )。若事件与对策

的二元组合所形成的局势有  $q$  个目标, 则局势  $(a_i, b_j)$  对第  $K$  个目标  $(K=1, 2, \dots, q)$  有效果测度  $\gamma_j^{(K)}$ 。为此, 可以组成决策矩阵  $D^{(k)}$

$$D^{(k)} = \begin{bmatrix} \gamma_1^{(K)} & \gamma_2^{(K)} & \dots & \gamma_m^{(K)} \\ \gamma_1^{(K)} & \gamma_2^{(K)} & \dots & \gamma_m^{(K)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1}^{(K)} & \gamma_{n2}^{(K)} & \dots & \gamma_{nm}^{(K)} \end{bmatrix} \tag{2}$$

因有  $q$  个目标, 故有  $q$  个决策矩阵  $D^{(k)}$ 。对第  $i$  个事件、第  $j$  个对策的  $q$  个目标, 有综合效果测度  $\gamma_j^{(\bullet)}$

$$\gamma_j^{(\bullet)} = \bigotimes_{k=1}^q W_k \cdot \gamma_j^{(k)} \tag{3}$$

式中,  $W_k$  为各目标的权重, 且  $\sum_{k=1}^q W_k = 1$ 。由此得  $n$  个事件、 $m$  个对策、 $q$  个目标的综合决策矩阵  $D$ :

$$D = \begin{bmatrix} \gamma_1^{(\bullet)} & \gamma_2^{(\bullet)} & \dots & \gamma_m^{(\bullet)} \\ \gamma_1^{(\bullet)} & \gamma_2^{(\bullet)} & \dots & \gamma_m^{(\bullet)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1}^{(\bullet)} & \gamma_{n2}^{(\bullet)} & \dots & \gamma_{nm}^{(\bullet)} \end{bmatrix} \tag{4}$$

利用 (4) 式, 便可进行最优对策决策和最优事件决策。最优决策就是针对某事件  $a_i$ , 取  $D$  中第  $i$  行综合效果测度  $\gamma_j^{(\bullet)}$  的最大值所在列的对策  $b_j$ 。 $\gamma_j^{(\bullet)}$  的最大值为:

$$\gamma_j^* = \max_j \gamma_j^{(\bullet)} = \max_j \{ \gamma_1^{(\bullet)}, \gamma_2^{(\bullet)}, \dots, \gamma_m^{(\bullet)} \} \tag{5}$$

最优事件, 就是针对某对策  $b_j$ , 取第  $j$  列  $\gamma_i^{(\bullet)}$  最大值所在行的事件  $a_i$ 。其最大值为:

$$\gamma_j^* = \max_i \gamma_j^{(\bullet)} = \max \{ \gamma_j^{(\bullet)}, \gamma_j^{(\bullet)}, \dots, \gamma_j^{(\bullet)} \} \tag{6}$$

效果测度  $\gamma_j$  的计算方法很多 (参见文献 [1]), 根据不同的问题选用不同的算法。本文根据样本值与效果的关系, 采用上限和下限效果测度方式。从各目标的样本值中求出最大值  $x_{\max}^{(k)}$ 、最小值  $x_{\min}^{(k)}$

$$x_{\max}^{(k)} = \max_k \{ x_{ij}^{(k)} \} \tag{7}$$

$$x_{\min}^{(k)} = \min_k \{ x_{ij}^{(k)} \} \tag{8}$$

若第  $K$  个目标的样本值愈大, 效果愈好 (大), 则用上限效果测度  $\overline{\gamma_j^{(k)}}$

$$\overline{\gamma_j^{(k)}} = \frac{x_{ij}^{(k)}}{x_{\max}^{(k)}} \tag{9}$$

若第  $K$  个目标样本值愈大, 效果愈小, 则用下限效果测度  $\gamma_j^{(k)}$

$$\gamma_j^{(k)} = \frac{x_{\min}^{(k)}}{x_{ij}^{(k)}}, \quad (x_{ij}^{(k)} \neq 0) \tag{10}$$

梯级开发方案优选, 需要考虑的因素 (目标) 很多, 且因素间还存在着不同的层次, 若应用上述方法求解, 则权重难以细致分配, 即使一一定出了权重, 由于要满足归一化条件, 每个因素所得权重必然很小, 这样可能淹没某些单因素的评价, 得不出满意的结果。遇到这种情况, 应把因素 (目标) 集合按某些属性分成若干类, 先对每一类 (目标较少) 进行综合, 得出低层次的综合决策矩阵, 再对该综合结果进行类之间的高层次综合, 从而得出总体的综合决策矩阵, 并由此选出最优对策。基于上述思路, 本文提出在河流梯级开发方案优选时应用灰色系统的多目标多层次灰色局势决策方法。

1.2灰色系统多目标多层次灰色局势决策法

该法实际上是对多目标灰色局势决策法的进一步改进, 使之更全面化、精确化。在叙述该法之前, 首先给出数学上集合划分的定义。

定义: 给定集合  $V$ , 若  $P$  是把  $V$  分成  $n$  个子集的一种分法, 且满足:

$$\begin{aligned} \bigcup_{i=1}^n V_i &= V \\ V_i \cap V_j &= \Phi \quad (i \neq j) \end{aligned} \tag{11}$$

则称  $P$  是对  $V$  的一个划分。 $V$  在  $P$  划分之下得到的集合记为  $V/P = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ , 其中  $\cup, \cap$  分别表示集合的并、交运算;  $\Phi$  表示空集。

设给定目标集  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_q\}$ , 共  $q$  个单目标, 对  $V$  按其中各单目标之属性分类, 即按上述定义对  $V$  作  $P$  划分, 可得到第二级目标  $V/P = \{V_1, V_2, \dots, V_L\}$  且  $V_i \cap V_j = \Phi (i \neq j), \bigcup_{i=1}^L V_i = V$ , 其中,  $V_i = \{V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{ik}, \dots, V_{iki}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, L$ 。显然,  $V_i$  含  $K_i$  个单目标,  $V$  共有  $q = \sum_{i=1}^L K_i$  个单目标。

设  $V_i$  内诸目标的权重分配为  $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}, \dots, a_{iki})$ ,  $a_{ik} \in [0, 1]$ , 且  $\sum_{k=1}^{K_i} a_{ik} = 1$ 。

对第二级  $V_i$  内的诸目标, 其效果测度为

$$\begin{aligned} \gamma_{jl}^{(1)} &= a_{i1} \cdot \gamma_{jl}^{1(1)} \\ \gamma_{jl}^{(2)} &= a_{i2} \cdot \gamma_{jl}^{1(2)} \\ \gamma_{jl}^{(ki)} &= a_{ik} \cdot \gamma_{jl}^{1(ki)} \end{aligned}$$

综合效果测度为

$$\gamma_{jl}^{(\sum vi)} = \sum_{k=1}^{k_i} \gamma_{jl}^{1(k)} \tag{12}$$

由此得出  $V_i$  内诸目标综合决策矩阵:

$$D^{(Vi)} = \begin{bmatrix} \gamma_{11}^{(\bullet Vi)} & \gamma_{12}^{(\bullet Vi)} & \dots & \gamma_{1m}^{(\bullet Vi)} \\ \gamma_{21}^{(\bullet Vi)} & \gamma_{22}^{(\bullet Vi)} & \dots & \gamma_{2m}^{(\bullet Vi)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{n1}^{(\bullet Vi)} & \gamma_{n2}^{(\bullet Vi)} & \dots & \gamma_{nm}^{(\bullet Vi)} \end{bmatrix} \tag{13}$$

因第二级目标  $V/P = \{V_1, V_2, \dots, V_L\}$ , 故有  $L$  个  $D^{(Vi)}$ , 即  $L$  个第二级 (低层次) 综合决策矩阵。设第二级目标集  $V_1, V_2, \dots, V_L$  的权重分配为  $W_1, W_2, \dots, W_L$ , 则运用类似的方法对  $L$  个  $D^{(vi)}$  进行综合, 其综合效果测度为:

$$\gamma_j^{(\Sigma)} = \bigotimes_{L=1}^L W_{L'} \cdot \gamma_j^{VL'}$$

由此得整体综合决策矩阵 ( 即所有目标的综合决策矩阵) :

$$D = \begin{bmatrix} \gamma_1^{(1)} & \gamma_2^{(1)} & \cdots & \gamma_m^{(1)} \\ \gamma_1^{(2)} & \gamma_2^{(2)} & \cdots & \gamma_m^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_n^{(L)} & \gamma_n^{(L)} & \cdots & \gamma_{nm}^{(L)} \end{bmatrix} \tag{14}$$

利用整体综合决策矩阵 D, 便可作出最优对策决策和最优事件决策。

2 实例分析与计算

为说明方法起见, 今以四川省大渡河规划为例, 用多目标多层次灰色局势决策优选河流梯级开发方案。

大渡河径流主要由降雨形成, 部分由融雪及冰川补给。径流变化平稳, 水量丰沛, 是我国规划设想的十大水电基地之一。

大渡河水能资源主要集中在双江口至铜街子段内 ( 规划段), 据各综合利用部门要求及规划河段资源特点, 其梯级开发主要任务为发电, 并将整个河段规划为16个梯级, 其中必须修建2到3个调节性能较大的水电站, 以便充分利用水能资源, 发挥大水库在梯级运行及电力系统运行中的作用。大渡河梯级开发规划以独松, 瀑布沟的高、低坝变化组合有4个比较方案, 如下表1所示 ( 表中独、瀑代表独松、瀑布沟)。

表1 大渡河梯级开发组合方案

项目 \ 方案 ( 目标) \ 单 位		I ( 独低、瀑高)	II ( 独高、瀑高)	III ( 独高、瀑低)	IV ( 独低、瀑低)
装机容量	万千瓦	1740	1780	1650	1610
保证出力	万千瓦	737. 5	939. 7	852. 1	633. 1
年发电量	亿度	1006. 6	1067. 3	1000. 9	936. 8
单位千瓦淹地	亩/千瓦	0. 004669	0. 004787	0. 003419	0. 003257
单位千瓦移民	人/千瓦	0. 008146	0. 008170	0. 005661	0. 005572
总投资	万元	3361818	3558818	3432818	3241818
单位千瓦投资	元/千瓦	1932	1999	2080	2014
单位电度投资	元/度	0. 334	0. 333	0. 343	0. 346
装机利用小时	时	5785	5996	6066	5819
调节性能		( 5)	( 5)	( 4)	( 2)
工程难度		( 4)	( 2)	( 3)	( 5)
综合效益		( 5)	( 5)	( 4)	( 3)

运用本文提供的方法，取目标集  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_{12}\}$ ,  $V_i$  ( $i=1, 2, \dots, 12$ ) 的含义见表2。根据  $V$  中各单目标的属性，对  $V$  作  $P$  划分 (分类，见表2) 得  $V/P = \{V_1, V_2, V_3\}$ 。其中， $V_1 = \{V_1, V_2, \dots, V_5\}$  含  $K_1=5$  个目标； $V_2 = \{V_6, V_7, V_8, V_9\}$  含  $K_2=4$  个目标； $V_3 = \{V_{10}, V_{11}, V_{12}\}$  含  $K_3=3$  个单目标。 $V_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) 的含义如表2所示。

表2  分层 ( 打分) 方案及权重分配

第一层			第二层		
序号	评价指标	V/P 的 权重 A	序号	评价指标 ( 目标)	各 $V_i$ 的权重 A
I	总动能经济指标 $V_1$	0.400	1	$V_1$ 总投资	0.350
			2	$V_2$ 年发电量	0.200
			3	$V_3$ 保证出力	$A_1$ 0.200
			4	$V_4$ 装机容量	0.150
			5	$V_5$ 装机利用小时	0.100
II	单位经济指标 $V_2$	0.350	1	$V_6$ 单位千瓦淹地	0.150
			2	$V_7$ 单位千瓦移民	0.150
			3	$V_8$ 单位千瓦投资	$A_2$ 0.350
			4	$V_9$ 单位电度投资	0.350
III	其它指标 $V_3$	0.250	1	$V_{10}$ 调节性能	0.450
			2	$V_{11}$ 工程难度	$A_3$ 0.350
			3	$V_{12}$ 综合效益	0.200

根据对各指标相对重要程度的分析及各类权重须满足归一化的条件，经10位专家评分确定出  $V_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) 及  $V/P$  的权重分配  $A$ ，见表2。

因决策事件为确定开发方案，故只有一个事件， $n=1$ ；有四个组合方案即对策，故  $j=4$ ；决策目标共12个，即表2中  $V_1 \sim V_{12}$ ，其中  $V_1、V_6 \sim V_9、V_{11}$  用下限效果测度； $V_2 \sim V_5、V_{10}、V_{12}$  用上限效果测度，按式 ( 9 )，( 10 ) 求得  $\gamma_j^{(k)}$ 。因  $i=1$ ，故所得各目标决策矩阵为行向量，见表3中第1~12栏。

据表2权重、表3中的决策向量，不难得出第二级综合决策向量：

$D^{(V_1)} = (0.9251, 0.9677, 0.9385, 0.8919)$

$D^{(V_2)} = (0.9062, 0.8926, 0.9554, 0.9726)$

$D^{(V_3)} = (0.930, 0.790, 0.730, 0.650)$

表3 各单目标 (V<sub>1</sub>~V<sub>12</sub>) 的决策矩阵 (行向量)

目 标 方 案		I (独低、瀑高)	II (独高、瀑高)	III (独高、瀑低)	IV (独低、瀑低)
V <sub>1</sub>	总投资 V <sub>1</sub>	0.9643	0.9109	0.9444	1.0000
	年发电量 V <sub>2</sub>	0.9431	1.0000	0.9378	0.8777
	保证出力 V <sub>3</sub>	0.7848	1.0000	0.9068	0.6737
	装机容量 V <sub>4</sub>	0.9775	1.0000	0.9270	0.9045
V <sub>2</sub>	装机利用小时 V <sub>5</sub>	0.9537	0.9885	1.0000	0.9593
	单位千瓦淹地 V <sub>6</sub>	0.6976	0.6804	0.9526	1.0000
	单位千瓦移民 V <sub>7</sub>	0.6840	0.6820	0.9843	1.0000
	单位千瓦投资 V <sub>8</sub>	1.0000	0.9665	0.9288	0.9593
V <sub>3</sub>	单位电度投资 V <sub>9</sub>	0.9970	1.0000	0.9708	0.9624
	调节性能 V <sub>10</sub>	1.0000	1.0000	0.8000	0.4000
	工程难度 V <sub>11</sub>	0.8000	0.4000	0.6000	1.0000
	综合效益 V <sub>12</sub>	1.0000	1.0000	0.8000	0.6000

各目标综合决策向量： $D = (0.9197, 0.8970, 0.8923, 0.8597)$ 。显然， $\gamma_j^* = \max_j \gamma_j = 0.9197$ ，故独松低，瀑布沟高方案为最优开发方案。此结论与水利部成勘院进行详尽实际分析所得结果一致。

3 结语

- 3.1 本文介绍用多目标多层次灰色局势决策方法优选河流梯级开发方案，较传统方法、多目标灰色局势决策法及模糊综合评判法等更能如实反映具体问题的实际特性，可体现专家们的真实愿望，发挥规划决策中人的主观能动性，全面、合理、简单易行。
- 3.2 本文所述方法可用于多方案、多对策、多目标的决策，这是其它方法所无法比拟的。

参 考 文 献

1 邓聚龙. 灰色控制系统. 华中工学院出版社. 1987年

2 邓琦等. 水资源灰色系统预测与决策. 测绘出版社. 1989

3 陈健康. 用模糊多因素多层次综合评判模型优选河流梯级开发方案. 成都科技大学研究生毕业论文. 1986年

The Application of Multiobjective and Multistage  
Grey Situation Decision to the Optimal Selection of  
River Serial Developing Schemes

Ma Xixia

(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** On the basis of intruducing briefly grey system situation decision, this pa-  
per applies multiobjective and multistage grey situation decision to the optimal selection of  
river serial developing schemes, gives a real example and gains a good result.

**Keywords** Grey system; serial developing; optimization; situation decision