区域水规划方案多属性递阶群决策

王志良[1], 门宝辉[2], 邱 林[1], 裴源生[3]

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450045; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要: 区域水资源规划方案的优选过程通常是一个多属性、群决策过程。在对该领域研究现状综述的基础上, 提出了多属性递阶群决策的概念, 建立了 6 类数据的灰类白化函数, 构建了包括基层 A、专家层 B 和高级管理层 C 的 3 层群决策模型, 并给出了具体的算法步骤, 在 EXCEL 上编制了通用程序。实例计算结果表明, 该模型真实地反映了水资源规划方案优选的过程, 结论合理, 求解思路清晰。

关 键 词: 水资源; 多属性; 群决策; 优化调配; 区域水规划方案

中图分类号: TV212; N941.15 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2005)03-0391-06

区域水资源规划方案制定过程是一个分层、递阶、群决策问题。参与决策者有基层人员, 有领域专家层, 有行业高级管理层。在决策的过程中, 各层决策者对于备选方案的意向具有差异性, 比如基层人员关心的是不同的方案的投入产出, 专家可能会从技术经济的可行性方面审视方案。主管部门会从方案实施后的社会效应及投资规模等方面给出对各个备选方案的意见。要做到科学、合理地综合各层意向, 确定各方均能接受的规划方案, 必须在水资源配置决策理论方法上予以创新, 这是因为目前群决策理论在水资源领域的应用研究成果不多, 研究也不够深入。

1991 年袁嘉祖将评价指标分为技术、经济和社会效果 3 个层次, 运用灰层次决策方法对水库正常蓄水位方案进行决策研究[1]。由于在灰层次决策中, /层次0 的含义是指决策者处于 3 个不同的层次中, 而非指标是分层次的, 因此对问题的处理值得商榷。1992 年李祚泳等将灰层次决策方法应用于水环境评价, 对湖泊富营养化的等级进行了评价, 其结果与灰色模糊评价方法所得结果一致[2], 说明此法在环境评价中有效。由于水环境评价方法较多, 加上水环境评价群决策必要性不强, 以及人们对 / 灰理论0 的怀疑, 使得灰层次决策方法未能在实际工作中受到重视。

为了寻求适于水资源规划的决策方法, 该领域科学工作者一直在进行不懈的努力。1995 年史慧斌等对多目标决策模型的切比雪夫算法进行了改进, 引入了群决策的概念, 研制出了多目标群决策方法, 并将其应用于华北宏观经济水资源规划的多目标优化模型[3], 在迭代过程中, 通过不断求解使各决策者不满意度最小的方案, 最终得到满意的结果。这是国内最早对水资源规划进行群决策进行研究的文献, 影响也很大, 其后有些省市水资源规划进行多目标求解时, 均采用此法, 如 1997 年高振宇将契贝雪夫群决策方法应用于北京市水资源系统分析中, 最大限度地模拟代表不同部门利益的决策者构成的真实决策过程[4]; 1998 年英若智等运用此法提出了河北省基于宏观经济的多目标群决策模型[5], 虽然该法为水资源规划群决策问题提供了一种思路, 但其局限性也是明显的, 如涉及的决策者均是平等的, 没有层次。实际水资源规划工作中, 均是对离散的多属性方案进行决策, 而非对连续空间的多目标进行决策, 因此该法在实践中并没有得到推广。还有一类基于多层属性

收稿日期: 2004-03-03; 修订日期: 2004-05-30

基金项目: 国家 / 十五0 科技攻关课题资助项目 (2001BA610A-02); 河南省教育厅科技攻关资助项目 (20025700003); 河南省创新人才基金资助项目 (CX2002-01); 河南省骨干教师培养计划; 华北水利水电学院青年科研基金资助项目

作者简介: 王志良(1966-), 男, 河南舞阳人, 副教授, 博士, 主要从事水文、水资源及水环境建模与优化等方面研究。
E-mail: wzl@ucwu.edu.cu

的 / 群决策0，其中心思想是 / 加权平均0，将不同决策者关于决策方案或者方案属性的偏好进行由下而上集结[6]。尽管这类方法简单直观，但学术价值不大，因为实际的决策过程非常复杂，使用此类法时对其进行了过度的简化。

从水资源规划群决策研究现状来看，要么是对规划方案决策过程不熟悉，构建了与实际情况不符的决策模型，要么是找不到适用的数学模型。如果对灰理论不抱什么偏见的话，灰层次决策的思路倒是值得借鉴，不过难点是如何构建决策模型，特别是各灰类白化函数的建立。本文拟在此方面做一些探讨。

1 多属性递阶群决策模型

111 基本概念

基层技术人员、领域专家层和高级管理层构成水资源规划的三决策层，分别记为A、B、C。A 层决策者要依据现有的技术经济水平对备选方案的决策准则给出属性值。B 层决策者要依据渊博的专业知识对备选方案给出各自的偏好。C 层决策者依据社会效应及投资规模对备选方案给出偏好值。假定考虑的灰类共有 K 类，我们的任务就是首先构建各层的灰类白化函数 $f_k(x)$ (k= 1, 2, , , K)，建立各决策层关于灰类的意向矩阵，然后由低向高得出联合决策[7]。

定义 1: 设决策对象 A 的一属性 P 对应的变量为 x，对于某一灰类 k，建立一实值函数 $f_k(x)$，如果函数值能反映评价对象与灰类 k 的靠近程度，则称 $f_k(x)$ 为 A 的属性 P 对应于灰类 k 的灰类白化函数。一般地，$f_k(x)$ 的值限定在区间[0, 1]。

定义 2: 设备选方案为 A_1，A_2，，，A_M，方案属性为 D_1，D_2，，，D_N，x_{nm}(n= 1, 2, , , N; m= 1, 2, , , M) 表示第 n 个方案对应的第 m 个属性值。则称 $X_{N@M}=\{x_{nm}\}_{N@M}$为基层A 的决策矩阵。

其中

$$X_{N@M}=\begin{bmatrix} x_{11} & , & x_{1M} \\ s & & s \\ x_{N1} & , & x_{NM} \end{bmatrix} \tag{1}$$

定义 3: 令 $f_k(x)$ (k= 1, 2, , , K) 为第 k 灰类白化函数，则称 x_{nm}的灰统计值 $D_\lambda(m, k)$ 构成的矩阵为 A 层意向阵 D_λ，$D_\lambda=\{D_\lambda(m, k)\}_{M@K}$。

其中

$$D_\lambda(m, k)=\frac{\sum_{n=1}^{N} f_k(x_{nm})}{\sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N} f_k(x_{nm})} \tag{2}$$

$$D_A=\begin{bmatrix} D_A(1, 1) & , & D_A(1, K) \\ s & & s \\ D_A(M, 1) & , & D_A(M, K) \end{bmatrix} \tag{3}$$

定义 4: 设 B 层决策者有 L 位，分别为 P_1，P_2，，，P_L，P_l(l= 1, 2, , , L) 对方案 A_m 的满意度为 y_m，则称 $Y_{L@M}$为B 层决策矩阵。

$$Y_{L@M}=\begin{bmatrix} y_{11} & , & y_{1M} \\ s & & s \\ y_{L1} & , & y_{LM} \end{bmatrix} \tag{4}$$

类似于定义 2 可以得到 B 层意向矩阵

$$D_B = \begin{bmatrix} D_B(1,1) & , & D_B(1,K) \\ s & & s \\ D_B(M,1) & , & D_B(M,K) \end{bmatrix} \tag{5}$$

定义 5: 设 C 层决策者对各方案的偏好值为 z_m, 则 C 层的决策矩阵为

$$Z_{1@M} = \{z_1, z_2, , , z_M\} \tag{6}$$

同理可得 C 层的意向矩阵 D_C

$$D_C = \begin{bmatrix} D_C(1,1) & , & D_C(1,K) \\ s & & s \\ D_C(M,1) & , & D_C(M,K) \end{bmatrix} \tag{7}$$

112　决策模型

如何聚集上述定义中三个递阶的决策层次对应的意向矩阵, 从聚集结果中得到决策结果是建立递阶群决策模型的关键。设决策结果为 m^*, 则

$$m^* = F(X, Y, Z) \tag{8}$$

式中　1[m^* [M, X、Y、Z 的含义同上。

建模过程将围绕显式或隐式函数 F(X, Y, Z) 展开。本文的想法是首先求综合 A、B、C 三个决策层意向的矩阵 L_{ABC}, 然后对 L_{ABC} 进行适当的运算求解出 m^*。

L_{ABC} 应是综合 A、B、C 三决策层的结果, 一种简单的处理方法是将 A、B、C3 层的意向矩阵进行简单的加权平均, 即

$$L_{ABC} = \frac{D_A + D_B + D_C}{3} \tag{9}$$

亦即

$$L_{ABC} = \{D_{ABC}(m, k)\}_{M@K} = \{[D_A(m, k) + D_B(m, k) + D_C(m, k)]/3\}_{M@K} \tag{10}$$

写成矩阵的形式如下

$$L_{ABC} = \begin{bmatrix} D_{ABC}(1,1) & , & D_{ABC}(1,K) \\ s & & s \\ D_{ABC}(M,1) & , & D_{ABC}(M,K) \end{bmatrix} \tag{11}$$

定义 6: 由式(11) 决定的矩阵 L_{ABC} 称为 A、B、C 三层的联合意向矩阵。

为了做出最终的决策, 把联合决策中同一方案对应的各灰类意向值相加作分母, 该方案的优类意向值作分子, 商作为不同方案之间判定优劣的依据, 选择最大商对应的方案作为推荐方案。该方案可能不是最优方案, 但却是各方均能接受的方案。这种思想源于 TOPSIS 中的 / 相对接近度0, 这里称 / 商0 为 / 群相对满意度0, 并记为 $D_{ABC}(m)$, 即

$$D_{ABC}(m) = \frac{D_{ABC}(m, 1)}{\sum_{k=1}^{K} D_{ABC}(m, k)} \tag{12}$$

则

$$m^* = \max_{1 \le m \le M} \{D_{ABC}(m)\} \tag{13}$$

式(11)、式(13) 构成递解群决策模型。

113　建模及解模步骤

(1) 根据提供的资料, 计算各层决策矩阵 X, Y, Z(式(1)、式(4)、式(6));

(2) 建立各种数据的灰类白化函数 $f_k(x)$ (k= 1, 2, , , K), 按式(2) 计算各层意向矩阵 D_A、D_B 和 D_C

(式(3)、式(5)、式(8));

(3) 按式(9)、式(10)、式(11)计算A、B、C三层的联合决策矩阵 L_{ABC};

(4) 按式(12)计算A、B、C群相对满意度;

(5) 根据式(13)计算结果确定最终的推荐方案 m^*。

2 应用实例

关中地区是西部重点经济开发区, 目前面临严重的水资源问题。为使该地区经济发展和生态环境相协调, 水资源得到持续利用, 国家/九五0攻关课题组提出了水资源开发利用的几种模式[8](表1)。这里我们假设水资源的开发利用模式对应上文中的规划方案, 表1即为A层技术人员给出的决策矩阵。表1中零方案的含义为: 以现状供水为基础, 同时保持现有用水水平及污水回用水平。低方案只考虑在现状条件下提高节水水平和污水处理回用率, 不考虑当地开源及区外调水。中方案考虑节水、污水回用及当地开源。高方案在中方案的基础上加强黄河过境水的开发利用, 同时增加区外调水。表2为B层专家人员的偏好矩阵。表3为C层高级管理层的偏好矩阵。

表1 技术层决策矩阵(关中水资源2010年预测数据)

Table 1 Decision2making matrix of technical layer(forecasted data of water resources in 2010 at Guanzhong plain)

方 案	承载人口/万人	GDP/亿元	粮食产量/10^4t	BOD排放量/10^4t	可供水量/10^8m^3
零方案	1050167	1508151	396101	28187	541547
低方案	1404175	2016190	552182	20108	581635
中方案	2325120	3377120	685139	20111	901780
高方案	2366100	3397152	873109	30139	1031600
期望值	2387168	3428117	886150	20111	113198

注: 表1数据从文献[8]整理得到, 原粮食产量期望值881650疑有误, 本文改为886150。

表2 专家层决策矩阵

Table 2 Decision2making matrix of technical layer of expert layer

方 案	专家1	专家2
零方案	20%	30%
低方案	60%	70%
中方案	50%	20%
高方案	10%	10%

表3 管理层决策矩阵

Table 3 Decision2making matrix of technical layer of manage layer

方 案	管理者
零方案	10%
低方案	40%
中方案	80%
高方案	30%

这里假定有优、劣两种灰类。对应于6种数据, 建立6种优灰类白化函数, 见式(14)、式(15)。

$$f_1(a_i, x) = \begin{cases} \dfrac{x}{a_i} & x \ I \ [0, a_i] \\ 1 & x > a_i \end{cases} \tag{14}$$

式中 a_1= 2387168, a_2= 3428117, a_3= 88615, a_5= 113198, a_6= 85%。a_1、a_2、a_3, a_5分别表示承载人口、GDP、粮食产量、可供水量的目标值下限; a_6为B层、C层共有的目标值下限。至于属性/BOD排放量0 属于成本型指标, 其优灰类白化函数如下式所示:

$$f_1(a_4, x) = \begin{cases} 0 & x > La_4 \\ L- \dfrac{x}{a_4} & x \ I \ [a_4, La_4] \\ 1 & x \ I \ [0, a_4] \end{cases} \tag{15}$$

式中 a_4= 201106为BOD理想排放量的目标上限; L\1取值根据具体情况而定, 本文取2。

类似地, 可以建立6种劣灰类函数, 见式(16)、式(17)。

$$f_2(b_4, x) = \begin{cases} \dfrac{x}{b_4} & x \in [0, b_4] \\ 1 & x > b_4 \end{cases} \tag{16}$$

式中　$b_4 = 2a_4$, 表示 BOD 排放量超过 b_4 时, 该属性提供的信息表明方案为劣的把握度为 1; 其他 5 种指标的劣灰类白化函数为

$$f_2(b_i, x) = \begin{cases} 0 & x > a_i \\ \dfrac{a_i - x}{a_i - b_i} & x \in [b_i, a_i] \\ 1 & x \in [0, b_i] \end{cases} \tag{17}$$

式中　$b_1 = 1.050167$, $b_2 = 1.508151$, $b_3 = 396101$, $b_5 = 5.415469$, $b_6 = 40\%$; a_i 的含义同上, $i = 1, 2, 3, 5, 6$。

把第 2 步计算得到的各层意向矩阵 D_A、D_B 和 D_C 列于表 4 的第 2、3 列, 4、5 列, 6、7 列; 第 3 步联合决策的结果列于 8、9 列; 第 4、5 步计算结果分别列于第 10、11 列。排序结果表明, 中方案为最终的群决策结果, 即 $m^* = 3$。

表 4　各层意向矩阵及决策结果

Table 4　Intent matrix of every layer and result decision2making

方　案	A 层意向		B 层意向		C 层意向		群意向		群相对满意度	群决策排序结果
	优类	劣类	优类	劣类	优类	劣类	优类	劣类		
零方案	0.133	0.167	0.123	0.177	0.112	1.100	0.123	0.181	0.122	4
低方案	0.148	0.152	0.163	0.137	0.147	1.100	0.153	0.163	0.146	2
中方案	0.177	0.123	0.132	0.168	0.194	0.111	0.168	0.134	0.166	1
高方案	0.182	0.118	0.111	0.189	0.135	1.100	0.142	0.169	0.138	3

3　分析与结论

从计算结果来看, 本文提出的递阶群决策模型及计算方法是合理的, 因为排序结果反映了各层的综合意愿, 符合实际。中方案之所以成为最优方案, 是由于与零方案、低方案、高方案相比, 高级管理层对其最为偏爱, 专家层对其偏好也较高, 方案对应的几个属性除了 BOD 排放量外, 值都较优。高方案由于不受高层管理者、专家的偏爱, 加上环境指标最劣, 尽管对应的几个社会经济属性值较高, 但排序并不靠前。

本文是对水资源管理中递阶群决策问题的初步研究成果, 模型略显粗糙, 需要进一步改进的地方还有不少。比如, A 层各属性在决策者心目中的重要程度不同, A、B、C 三决策层在实际决策过程中的决策地位并不一样。前者涉及到属性权重, 后者涉及到决策者权重。又比如, 文中的灰类只分了优、劣两类, 实际问题中灰类可能会更多。

区域水资源问题的解决越来越呈现出多属性、群决策等特征[9], 但正如引言中所指出的那样, 该领域高水平的研究成果几乎难以见到。本文提出的建模、解模思路清晰合理, 方法简单, 不仅可在理论研究方面起到抛砖引玉的作用, 而且在实际工作中具有应用的价值。

参考文献:

[1] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 215- 221.

[2] 李祚泳, 邓新民, 张辉军. 湖泊富营养化的灰色层次决策法综合评价[J]. 上海环境科学, 1992, 11(3): 17- 21.

[3] 史慧斌, 翁文斌, 蔡喜明, 等. 求解多目标模型交互的切比雪夫方法的原理和应用[J]. 系统工程理论与实践, 1995, 15(9): 27- 35.

[4] 高振宇. 北京市宏观经济水资源多目标分析系统研究[J]. 北京水利, 1997(4): 4- 8, 37.

[5] 英若智, 卢双宝. 河北省宏观经济水规划群决策支持系统简介[J]. 水利经济, 1998, 16(5): 43- 45, 50.

[6] 付 微, 孟 波. 一种模糊多目标群决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 1996, 18(12): 8- 13.
[7] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002. 180- 241.
[8] 蒋晓辉, 黄 强. 关中水资源与社会经济、环境协调发展模式研究[J]. 中国农村水利水电, 2001(1): 21- 24.
[9] 王志良1 水资源管理多属性决策与风险分析理论方法及应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2003.

Multiple2attribute hierarchy group decision2making on regional water planning scheme[X]

WANG Zhi2liang[1], MEN Bao2hui[2], QIU Lin[1], PEI Yuan2sheng[3]

(1l North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450045, China;

2l Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3l China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The optimize choice of region water resource planning scheme is a process with multi2attribute and group decision2making (MAGDM)1 On base of summarizing the recent research of this field, the conception of MAGDM is put forward and a grayed classified function including six kinds of data is built1 The decision2making model includes the basic layer (A), expert layer (B) and the high2manage layer (C), meanwhile the concrete calculation step is explained1 The current program is reality in Excel1 The calculated result of the case shows that this model reflects the process for optimium choice water resources planning scheme. The thought of how to solve the model is clear and its conclusion is reasonable1 This research result is both original in theory and valuable in practice for choosing to optimum water resource planning scheme1

Key words: water resources; multiple2attribute; group decision2making; optimization allocation; regional water planning scheme

X The study is financially supported by the Key Scientific Research Programme in the 10th Five2year plan of China(2001BA610A202)