

基于物元可拓模型的水资源开发利用综合评价

李立铮 ,董增川

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,江苏 南京 210098)

摘要 :针对当前水资源日益短缺、开发过度的现状 ,将物元理论应用于水资源开发利用综合评价的领域 ,并以黑河中游为例 ,选取该地区 6 个子区域作为待评物元。通过合理优选评价指标 ,建立了该地区水资源开发利用指标体系及物元可拓评价模型 ,并结合模糊综合评判法对本次评价结果进行了对比验证。实例研究表明 :运用物元可拓模型对水资源开发利用现状进行综合评价是可行的 ,结论是可靠的。

关键词 :物元可拓模型 ;水资源 ;开发利用 ;评价指标

中图分类号 :TV213.9 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2007)S2-0030-03

水是 人类及一切生物赖以生存、必不可少的重要物质 ,是工农业生产、经济发展和环境保护不可替代的宝贵资源^[1]。进入 21 世纪 ,随着社会经济的飞速发展和全球水资源量的日益短缺 ,不少地区出现了因水资源过度开发而带来的生态环境恶化、水事矛盾加剧等问题。而现行水利规划通常只注意社会和经济对水的需求 ,易忽略水与天然生态系统的关系 ,往往导致不合理地开发利用水资源 ,使局部地区水资源开发利用过度 ,产生负面影响^[2]。由此可见对水资源开发利用现状进行客观综合地评价 ,不仅是合理规划和配置水资源的基础 ,同时也是一个涉及了生态、社会、经济等复杂大系统中多目标协调的问题。在此 ,笔者基于我国学者蔡文提出的可拓学理论^[3] ,在借鉴以往成果的基础上 ,将黑河中游地区子区域、水资源评价指标以及指标量值构造为待评物元和同征物元体 ,并建立了该地区水资源开发利用的物元可拓评价模型 ,实现了对该地区水资源现状定性、定量的评价 ,为黑河流域水资源可持续利用提供了参考依据。

1 物元可拓模型

1.1 物元与同征物元体

给定事物的名称 N ,它关于特征 c 的量值为 V ,以有序的三元组 $R=(N ,c ,V)$ 作为描述事物的基本元 ,简称物元。一个事物有多个特征 ,若事物 N 以 n 个特征 $c_1 ,c_2 ,\cdots ,c_n$ 和相应的量值 $v_1 ,v_2 ,\cdots ,v_n$

来描述 ,则可以表示为

$$R=(N ,c ,V)=\begin{bmatrix} N & c_1 & V_1 \\ & c_2 & V_2 \\ & & \\ & & \\ & c_n & V_n \end{bmatrix} \tag{1}$$

物元的概念正确地反映了事物质与量之间的关系 ,可以更贴切地描述客观事物变化的过程。若有以上 m 个相同特征 $c_1 ,c_2 ,\cdots ,c_n$ 的物元 $R_1 ,R_2 ,\cdots ,R_m$,则称

$$R=\begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \cdots & V_m \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & V_{11} & V_{12} & & V_{1m} \\ C_2 & V_{21} & V_{22} & & V_{2m} \\ & & & & \\ C_n & V_{n1} & V_{n2} & \cdots & V_{nm} \end{bmatrix} \tag{2}$$

为 m 个同征物元体^[4]。

1.2 经典域、节域和待评物元

若有上述同征物元体 $R_1 ,R_2 ,\cdots ,R_m$,其同类特征的量值以区间的形式表示 ,即

$$R=\begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \cdots & V_m \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & a_{11} ,b_{11} & a_{12} ,b_{12} & & a_{1m} ,b_{1m} \\ C_2 & a_{21} ,b_{21} & a_{22} ,b_{22} & & a_{2m} ,b_{2m} \\ & & & & \\ C_n & a_{n1} ,b_{n1} & a_{n2} ,b_{n2} & \cdots & a_{nm} ,b_{nm} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中: N_j 表示所划分的第 j 个评判类别; C_i 表示第 i 个评判指标; $V_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ 为 N_j 关于 C_i 所规定的量值范围, 即各类别关于对应的评价指标所取的数值范围, 简称经典域。

$$R_p=(P,c,V_p)=\left[\begin{array}{ccc}P&c_1&V_{1p}\\&c_2&V_{2p}\\&&\vdots\\&c_n&V_{np}\end{array}\right]=\left[\begin{array}{ccc}P&c_1&a_{1p},b_{1p}\\&c_2&a_{2p},b_{2p}\\&&\vdots\\&c_n&a_{np},b_{np}\end{array}\right]\quad(4)$$

其中 P 表示类别的全体, $V_{ip} = \langle a_{ip}, b_{ip} \rangle$ 为 P 关于 C_i 所取得量值的范围, 即 P 的节域。

对待评事物 P 把所检测得到的数据或结果用物元 $R_0=(P,c,V)$ 表示, 即对待评事物检测所得的具体数据称为事物 P 的待评物元。

1.3 距的计算

为定量描述物元的特征, 将实变函数中距离的概念拓展为距, 分别表示点与区间的距离, 其计算公式如下:

$$\begin{cases} \rho(v_i,V_{ij})=|v_i-(a_{ij}+b_{ij})/2|-(b_{ij}-a_{ij})/2 \\ \rho(v_i,V_{ip})=|v_i-(a_{ip}+b_{ip})/2|-(b_{ip}-a_{ip})/2 \end{cases}\quad(5)$$

式中 $i=1,2,\dots,n$ $j=1,2,\dots,m$, 其中 v_i 为指标实测值。

1.4 关联函数值

关联函数是表示物元的量值为实数轴上一点时, 物元符合取值范围要求的程度, 其计算公式如下:

$$K_j(v_i)=\begin{cases} -\frac{\rho(v_i,V_{ij})}{|V_{ij}|} & v_i\in V_{ij} \\ \frac{\rho(v_i,V_{ij})}{\rho(v_i,V_{ip})-\rho(v_i,V_{ij})} & v_i\notin V_{ij} \end{cases}\quad(6)$$

关联函数 $K_j(v_i)$ 的取值范围是整个实数轴, 实际上刻画的是待评事物各指标关于各评价等级 j 的程度。

1.5 AHP 法确定权系数

在评价一个事物 N 的优劣时, 通常以权重来衡量这个评价指标的重要程度, 在此表示为 $W=(w_1,w_2,\dots,w_n)$ 。由于一个评价体系由众多指标构成, 为避免决策者在结构复杂或方案较多时逻辑推理上的失误, 本文采用专家打分和层次分析法相结合的方式, 即首先以专家打分为依据, 根据各评价因素的

相对重要性构造出判断矩阵, 再建立层次分析结构并结合和积法得出各评价指标的相对权重, 最后在合成前归一, 即

$$\sum_{i=1}^n w_i=1\ (w_i\geq 0,\ i=1,2,3,\dots,n)\quad(7)$$

1.6 计算等级隶属度

若指标 c_i 的权系数为 w_{ij} , 则

$$K_j(P_0)=\sum_{i=1}^n w_{ij}K_j(v_i)\ (j=1,2,\dots,m)\quad(8)$$

$K_j(P_0)$ 为待评物元 P_0 关于等级 j 的隶属度。若 $K_j=\max K_j(P_0)$, 则待评对象 P_0 属于等级 j , 此时对于待评价事物的等级已确定, 并可以定量比较。

2 实例研究

黑河位于我国西北干旱区的河西走廊, 全长 821 km, 流域面积共 12.83 万 km^2 , 是我国第二大内陆河。黑河横越祁连山、河西走廊、阿拉善高原三大地貌单元, 气候特征及生态环境具有明显的地理分带性^[6]。黑河中游地区包括甘肃省张掖市的民乐、山丹、甘州、临泽和高台共五县区, 是整个黑河流域的中心所在, 土地面积 2.56 万 km^2 , 年平均气温 7.6℃, 年平均降水仅 140 mm 左右, 而蒸发量高达 1700 mm, 是依赖灌溉的农业经济区^[7]。

近年来, 随着黑河中游地区人口的迅猛增加及经济的快速发展, 缺水矛盾凸现, 水资源开发利用程度的不断提高严重破坏了生态平衡, 导致中下游河道断流、湖泊干涸、草场退化、土地沙漠化等问题。黑河出现的一系列问题引起许多水利管理者及水利学者的关注: 国务院于 2001 年批准实施《黑河流域近期治理规划》; 一些研究人员利用模糊综合评判模型对黑河中游水资源开发的阶段潜力进行了研究等。笔者在此应用物元可拓模型对黑河中游水资源开发利用进行综合评价也具有一定的理论意义和现实意义。

2.1 水资源开发利用评价指标

影响水资源开发利用评价的因素有很多, 因此, 所选取的综合评价指标要能够全面客观地反映该地区的水资源开发利用状况。在此, 根据黑河中游水资源特征, 参照水资源开发利用评价指标体系, 选取了山丹、民乐、甘州、临泽、高台、中游 6 个子区域的 8 个评价指标: ①水资源利用率 I_1 ; ②不同地域灌溉定额的灌溉率 I_2 ; ③重复利用率 I_3 ; ④人均占有水量 I_4 ; ⑤生态环境用水率 I_5 ; ⑥平均渠系水利用系数 I_6 ; ⑦供水量模数 I_7 ; ⑧开发利用程度 I_8 。详见表 1。

2.2 水资源开发利用评价等级

水资源系统是自然和社会相互作用的动态系统, 其开发利用程度随着社会需求及经济技术水平

表 1 黑河中游地区水资源开发利用评价指标数值集								
地区	$I_1/\%$	$I_2/\%$	$I_3/\%$	$I_4/(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})$	$I_5/\%$	I_6	$I_7/(10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$I_8/\%$
山丹	118.53	4.28	144.0	669	4.07	0.59	2.50	86.03
民乐	64.77	9.85	30.0	1813	4.68	0.59	6.89	64.37
甘州	38.41	11.82	42.6	3349	1.56	0.61	21.70	39.61
临泽	77.99	11.05	42.6	1766	33.59	0.59	7.85	36.80
高台	122.82	4.33	55.0	746	33.73	0.59	9.83	118.99
中游	58.74	10.73	42.6	1350	6.84	0.59	9.44	51.55

的提高而不断增加。在这里,结合黑河中游地区水资源开发利用现状,给定了 8 个指标不同量值下的 3 个评价等级,分别表示水资源开发利用的 3 个不同阶段:I 级表示水资源开发利用尚处于初始阶段,该阶段水资源开发规模小,开发利用程度低,发展缓慢,经济处于耗水型阶段;II 级表示水资源开发利用处于发展阶段,该阶段水资源开发已具有一定的规模,经济类型应由耗水型逐步向节水型过渡,并应开始重视水资源的综合管理;III 级表示水资源开发利用处于饱和阶段,该阶段水资源开发利用程度已接近极限,利用率高,开发潜力小,经济类型应以节水型为主^[8]。详见表 2。

2.3 建立物元可拓评价模型

步骤 1:由式(3)根据表 2 构造经典域矩阵 $R_{I-I-III}$ 和节域矩阵 R_P

$$R_{I-I-III} = \begin{bmatrix} I & I & II & III \\ I_1 & 0.20 & 20.60 & 60.122.8 \\ I_2 & 0.15 & 15.50 & 50.100 \\ I_3 & 0.50 & 50.80 & 80.144 \\ I_4 & 3000.3349 & 1050.3000 & 0.1050 \\ I_5 & 5.33.73 & 2.5 & 0.2 \\ I_6 & 0.0.55 & 0.55.0.73 & 0.73.1 \\ I_7 & 0.10 & 10.15 & 15.21.7 \\ I_8 & 0.30 & 30.70 & 70.118.9 \end{bmatrix} \quad (9)$$

表 2 各评价指标等级								
等级	$I_1/\%$	$I_2/\%$	$I_3/\%$	$I_4/(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})$	$I_5/\%$	I_6	$I_7/(10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$I_8/\%$
I	0~20	0~15	0~50	3000~3349	5~33.73	0~0.55	0~10	0~30
II	20~60	15~50	50~80	1050~3000	2~5	0.55~0.73	10~15	30~70
III	60~122.8	50~100	80~144	0~1050	0~2	0.73~1	15~21.7	70~118.9

表 3 山丹县各指标关于 3 个等级的距									
等 级		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8
I	$\rho(v_i, V_{ij})$	98.53	-4.28	94	2331	0.93	0.04	-2.5	-32.96
	$\rho(v_i, V_{ip})$	-4.29	-4.28	0	-669	-4.07	-0.41	-2.5	-32.96
II	$\rho(v_i, V_{ij})$	58.53	10.72	64	381	-0.93	-0.04	7.5	16.03
	$\rho(v_i, V_{ip})$	-4.29	-4.28	0	-669	-4.07	-0.41	-2.5	-32.96
III	$\rho(v_i, V_{ij})$	-4.3	45.7	0	-381	2.07	0.14	12.5	-16
	$\rho(v_i, V_{ip})$	-4.29	-4.28	0	-669	-4.07	-0.41	-2.5	-32.96

$$R_P = \begin{bmatrix} I & I & -III \\ I_1 & 0.122.8 \\ I_2 & 0.100 \\ I_3 & 0.144 \\ I_4 & 0.3349 \\ I_5 & 0.33.73 \\ I_6 & 0.1 \\ I_7 & 0.21.7 \\ I_8 & 0.118.9 \end{bmatrix} \quad (10)$$

步骤 2:由式(2)根据表 1 确定待评的同征物元矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_6 \\ C & V_1 & V_2 & \dots & V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \text{山丹} & \text{民乐} & \text{甘州} & \text{临泽} & \text{高台} & \text{中游} \\ I_1 & 118.53 & 64.77 & 38.41 & 77.99 & 122.82 & 58.74 \\ I_2 & 4.28 & 9.85 & 11.82 & 11.05 & 4.33 & 10.73 \\ I_3 & 144 & 30 & 42.6 & 42.6 & 55 & 42.6 \\ I_4 & 669 & 1813 & 3349 & 1766 & 746 & 1350 \\ I_5 & 4.07 & 4.68 & 1.56 & 33.59 & 33.73 & 6.84 \\ I_6 & 0.59 & 0.56 & 0.61 & 0.59 & 0.59 & 0.59 \\ I_7 & 2.50 & 6.89 & 21.7 & 7.85 & 9.83 & 9.44 \\ I_8 & 86.03 & 64.37 & 39.61 & 36.80 & 118.99 & 51.55 \end{bmatrix} \quad (11)$$

步骤 3:由式(5)计算各指标实测值关于 3 个等级的距,并根据式(6)计算出各指标的关联函数值。在此,以山丹县为例,计算结果分别见表 3 和表 4,并据此依次计算出民乐、甘州、临泽、高台、中游地区各指标的关联函数值。

步骤 4:用层次分析法计算权系数^[7]。首先根据评价指标的相对重要性采用专家打分的方法构造判断矩阵,其次用层次分析结合和积法算出权重分配为:A=(0.30 0.03 0.18 0.03 0.05 0.11 0.03 0.27)。

Δh = H1 - H2 = (A1^5/3 / (X1^2/3 + A2^5/3 / X2^2/3))^2 + hj (16)

式中:H1,H2分别为上游和下游断面的水位高程;A1,A2分别为上游和下游断面的过流面积;X1,X2分别为上游和下游断面的湿周;Q为河渠的过水流量;ΔL为两断面间的距离;hj为由于计算河段的扩散产生的局部水头损失,hj=ξv2^2/2g,v2为下游断面的平均流速,ξ为水头损失系数。

4.2 洪水事件组合

考虑3种组合:①由PMP引起的上游水库溃坝和区间PMF相遇;②由相当运行基准地震震动引起的上游水库溃坝与1/2可能最大降雨引起的洪水相遇;③由相当极限安全地震震动引起的上游水库溃坝与P=4%的洪水相遇。

4.3 厂址处壅高

溃坝洪水波进入富水水库后,采用式(16),由入

库断面向水库中的厂址所在断面演算,分析溃坝洪水的壅高影响。当PMP引起的上游溃坝洪水与PMP引起的区间洪水相遇时,计算得到厂址处水位约抬高2.90m;当地震引起的上游水库溃坝与区间1/2可能最大暴雨引起的区间洪水相遇时,计算得到厂址处水位约抬高4.15m;当地震引起的上游水库溃坝与4%的区间洪水相遇时,计算得到厂址处水位约抬高4.67m。

参考文献:

[1]孙文初,刘霞,李伦.溃坝洪水流量计算方法浅析[J].广东水利水电,1999(3):3-6.
[2]铁道部第三勘测设计院.桥渡水文[M].北京:中国铁道出版社,1993:363.
[3]谢任之.溃坝水力学[M].山东:山东科学技术出版社,1993.
[4]武汉水利电力学院水力学教研室.水力计算手册[M].北京:水利出版社,1980:494.

(收稿日期:2006-10-08 编辑:骆超)

(上接第32页)

表4 山丹县各指标的关联函数值

K(vi)	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8
KI	-0.96	0.29	-1.00	-0.78	-0.19	-0.09	0.25	-0.63
KII	-0.93	-0.71	-1.00	-0.36	0.31	0.22	-0.75	-0.33
KIII	0.07	-0.91	0.00	0.36	1.04	0.52	1.87	0.33

步骤5:由式(8)计算待评物元即6个子区域关于各评价等级的隶属度,并确定评价等级见表5。同时,将评价结果与模糊综合评判法的评价结果相比较[7],结论基本一致。

表5 各地区评价等级隶属度

地区	KI(P0)	KII(P0)	KIII(P0)	maxK(P0)	物元可拓模型确定评价等级	模糊综合评判法确定评价等级
山丹	-0.6952	-0.5816	0.3315	0.3315	III	III
民乐	-0.2275	-0.0662	-0.2127	-0.0662	II	II
甘州	-0.1960	-2.8377	-0.3771	-0.1960	I	II
临泽	-0.1811	-0.1443	-0.2021	-0.1443	II	II
高台	-0.5862	-0.5476	-0.1148	-0.1148	III	III
中游	-0.2146	0.1156	-0.2564	0.1156	II	II

3 结 语

水资源开发利用涉及自然、社会、生态等复杂大系统的协调发展,由以上应用可以看出,物元可拓模型可以从定性和定量两个角度解决这类不相容问题,并且思路清晰,计算简单,物元模型在区域水资源开发利用综合评价中,不仅可以得到和模糊综合评判一致的结果,同时其与层次分析法相结合更具

有一定的科学性,它不是笼统地计算综合评价值,而是对研究对象由表及里逐层计算,逐层剖析,使结论更趋于客观实际;另外,与模糊综合评判或单一的层次分析法相比,物元模型中采用的关联函数能更加真实地反映各指标对各等级的归属情况,使结论更具有科学性。

参考文献:

[1]董增川,刘凌.西部地区水资源配置研究[J].水利水电技术,2001,33(3):1-4.
[2]World Water Assessment Programme.The United Nations world water development report:water for people,water for life[M].Washington,D.C.:UNESCO Publishing,2002.
[3]蔡文.可拓论及其应用[J].科学通报,1999,44(7):673-682.
[4]蔡文.物元模型及应用[M].北京:科学技术出版社,1994.
[5]韩宇平,阮本清,解建仓,等.物元模型及其在区域水资源综合评判中的应用[J].中国农业大学学报,2003,18(1):31-36.
[6]魏余广,白福,张太岭.黑河流域水资源及现阶段合理开发利用[J].冰川冻土,2006,28(4):486-491.
[7]张凯,韩永翔,张勃,等.黑河中游水资源开发利用的阶段潜力研究[J].地理科学,2006,26(2):179-185.
[8]潘峰,梁川,王志良,等.模糊物元模型在区域水资源可持续利用综合评价中的应用[J].水科学进展,2003,14(3):271-275.

(收稿日期:2007-03-12 编辑:熊水斌)