

大连市水资源配置方案的多目标综合评价

何 斌 , 王国利 , 黄 旭

(大连理工大学土木水利学院 , 辽宁 大连 116024)

摘要 : 针对大连市区域发展和水资源开发利用的特点 , 建立了水资源配置评价指标体系。以此为基础 , 应用灰色关联分析、多目标模糊优选和模糊可变评价等 3 种方法来优选和评价大连市水资源配置方案。通过对评价结果的综合比较分析 , 得出了满意决策 , 为大连市水资源合理配置决策提供科学依据。

关键词 : 水资源配置 ; 多目标评价 ; 评价指标体系 ; 大连市

中图分类号 : TV213.9 **文献标识码** : A **文章编号** : 1006-764X(2009)S1-0001-03

水资源合理配置是水资源综合利用的关键环节 , 直接影响水资源综合利用的效果^[1]。实际上 , 不同的水资源配置方案会相应地产生不同的经济、社会和环境影响。由于水资源配置问题的复杂性 , 往往需要依据符合区域实际特点的评价指标体系 , 通过优化模型求取配置方案^[2]。但是 , 其复杂性并不在优化模型本身 , 而在于模型对实际水资源特点的反映上。因此 , 对复杂的水资源配置问题 , 往往需要 2 个或多个决策模型的相互印证才能较好地避免决策的主观性与盲目性 , 取得满意决策^[3-5] , 使水资源配置研究成果更好地指导或应用于区域水资源管理 , 为决策提供更切实可行的依据。

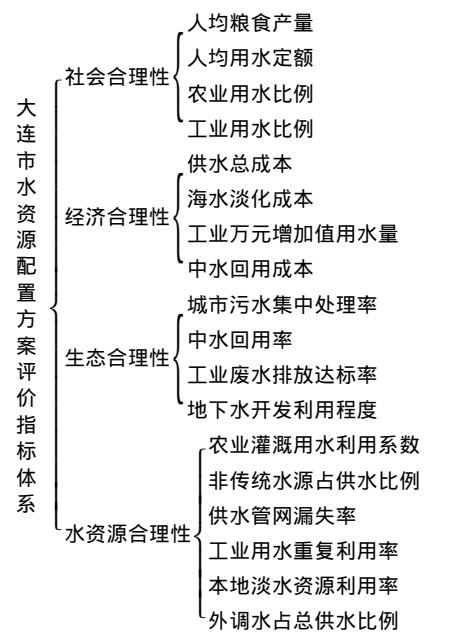
根据大连市水务发展“十一五”规划 , 大连市境内水资源总量为 32.83 亿 m³ , 人均水资源量仅为全国人均水平的 1/4 , 属资源型缺水地区。目前 , 大连市地表水和地下水的现状(2004 年)供水能力为 12.61 亿 m³ (2008 年地表水和地下水实际总供水量为 12.7 亿 m³) , 在现状的用水效率和现有的水源工程供水能力下 , 大连市的城市水资源供需矛盾较为突出 , 随着经济增长速度加快 , 人民生活水平提高 , 水量供需矛盾会越来越突出。引碧入连等供水工程一直是大连市的生命线工程 , 正在建设的辽宁省东水西调工程也将于 2010 年竣工 , 更对大连市的水资源配置提出了新的要求。笔者以大连市水资源的配置为工程背景 , 建立大连市水资源合理配置方案评价指标体系 , 并通过多种决策模型对水资源配置方案进行综合分析 , 为大连市的水资源合理开发利用

提供满意决策。

1 评价指标体系

根据大连市区域(含金州以南地区、普兰店市、瓦房店市、庄河市、长海县和长兴岛临港工业区)发展和水资源开发利用的特点 , 参考全国水资源综合规划技术细则、大连城市发展规划及大连市水务发展“十一五”规划等资料 , 从水资源合理配置的社会合理性、经济合理性、生态环境合理性、水资源开发利用合理性等 4 方面准则出发 , 建立如表 1 所示的大连市水资源合理配置方案评价指标体系^[6]。

表 1 大连市水资源配置方案评价指标体系



用最小方差法筛选并去除在不同方案中指标值不变的指标后(如农业部分指标由于指标值没有变化所以已被剔除),所选取的评价指标为:①工业用水比例 x_1 :工业用水量/总供水量(%) ;②中水回用成本 x_2 :中水回用量 $\times$ 单方回用成本(百万元) ;③外调水供水成本 x_3 :外调水利用总量 $\times$ 单方向调水成本(百万元) ;④地下水开发利用程度 x_4 :地下水利用量/地下水资源总量(%) ;⑤中水回用率 x_5 :中水回用量/污水排放量(%) ;⑥污水处理率 x_6 :污水处理量/污水排污总量(%) ;⑦非传统水源(中水、海水等)占总供水比例 x_7 :非传统水源供水量/总供水量(%) ;⑧本地淡水资源利用率 x_8 :本地淡水资源利用量/本地水资源总量(%) ;⑨外调水量占总供水比例 x_9 :外调水利用量/总供水量(%)。

2 多目标评价模型

2.1 灰色关联分析法^[2 7]

灰色关联分析是一种多因素统计分析方法,它以各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序。其分析步骤为:①确定参考序列和比较序列;②变量序列无量纲化;③求差序列、最大差和最小值;④计算关联系数;⑤计算关联度;⑥依据关联度做出排序判断。其中,关联度的计算是灰色关联分析的核心内容,是通过 n 个关联系数来反映比较样本 A_i 与参考样本 A_0 的关联程度 R_i ,即

$$R_i = \sum_{j=1}^n \xi_{ij} w_j \tag{1}$$

式中: ξ_{ij} 为反映第 i 个比较样本 A_i 与参考样本 A_0 在第 j 个指标的关联程度的指标; w_j 为第 j 个指标的权重。

2.2 多目标模糊优选模型^[3 8]

多目标模糊优选模型,就是综合考虑各目标的重要性 and 各方案对所有目标的效用值后,将候选方案与构造出的最优方案进行比较,以最大优属度准则确定最满意的方案。其中,决策方案相对优属度模型为

$$u_j = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [w_i (1 - r_{ij})]^p}{\sum_{i=1}^m (w_i r_{ij})^p} \right\}^{2/p}} \tag{2}$$

式中: u_j 为第 j 个方案的相对优属度; r_{ij} 为方案 j 的第 i 个目标的相对优属度; w_i 为第 i 个目标的权重; p 为距离参数, $p = 1$ 为海明距离, $p = 2$ 为欧氏距离。

2.3 模糊可变评价方法

在工程实际中,许多评价目标的标准具有渐进的、区间的概念,这是传统的系统模糊决策理论与模

型所无法解决的。最近,陈守煜等^[4 9]提出的可变模糊系统决策方法,能够更科学、合理地确定样本指标对各级指标区间的相对隶属度函数,合理地确定出样本的评价等级并提高其可靠性。模糊可变评价方法的分析步骤如下:

a. 已知待评价样本的 m 个指标特征值向量为 $x = (x_i)$,依据 c 个级别的标准值区间矩阵为 $I_{ab} = ([a, b]_{bh})$;

b. 根据 I_{ab} 构造变动区间的范围值特征矩阵为 $I_{cd} = ([c, d]_{bh})$;

c. 依据对指标 i 的物理分析与实际情况,确定指标 i 级别 h 的 M 矩阵为 $M = (M_{ih})$;

d. 应用相对差异函数模型,根据矩阵 I_{ab}, I_{cd}, M 中的对应数据计算指标 i 级别 h 相对隶属度矩阵为 $\mu_{\Delta}(x) = (\mu_{\Delta}(x_i)_h)$;

e. 应用模糊优选评价模型计算样本对级别 h 的综合相对隶属度,即

$$u'_h = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [w_i (1 - \mu_{\Delta}(x_i)_h)]^p}{\sum_{i=1}^m (w_i \mu_{\Delta}(x_i)_h)^p} \right\}^{\alpha/p}} \tag{3}$$

式中: u'_h 为样本关于级别 h 的非归一化的综合相对隶属度; α 为模型优化准则参数; m 为识别指标数。

f. 将综合相对隶属度 u'_h 归一化后为 u_h ,应用级别特征值公式评价样本的等级,即

$$H = \sum_{h=1}^c u_h h \tag{4}$$

3 多目标综合评价

3.1 配置方案的生成

通常用水户用水需求具有一定弹性,在弹性范围内用户可以通过节水和其他措施缓解用水不足,少量的缺水一般不会造成大的损失,但超出用户需求弹性范围的深度缺水却会造成重大损失。工程上常用允许破坏深度来定义用水户需求弹性范围的阈值,以确保用水户不发生深度缺水^[10]。在用水允许破坏深度阈值范围内,缺水量与缺水损失之间近似为线性关系,即用水户缺水量的最小对应缺水损失的最小。因此,在对大连市用水户划分供水优先级基础上,确定大连市水资源合理配置的目标为:按照用水优先级,在各用水户用水允许破坏深度阈值范围内,系统的缺水总量最小。在考虑供水破坏深度、生态需水等约束后,采用线性规划的单纯形法求解,并通过水资源供需平衡分析,根据实际情况对原方案进行合理调整,得到不同约束条件下 2010 水平年大连市水资源配置合理的推荐方案及相应的指标评价标准区间^[6],如表 2 所示。

表 2 诸方案下各单项指标值及分级标准值								
评价 指标	评价方案					指标标准值		
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	1 级	2 级	3 级
x_1	26.76	27.74	27.74	27.74	27.74	≥ 40	20~40	≤ 20
x_2	142.2	135.94	139.88	136.54	144.24	≤ 100	100~200	≥ 200
x_3	1099.92	869.88	846.24	1080	1080	≤ 600	600~1200	≥ 1200
x_4	77.86	86.29	86.29	76.04	75.87	≤ 25	25~60	≥ 60
x_5	39	33	34	33	34	≥ 40	15~40	≤ 15
x_6	90	88	90	88	90	≥ 70	50~70	≤ 50
x_7	16.24	16.06	16.30	16.09	16.58	≥ 20	10~20	≤ 10
x_8	35.22	35.94	35.94	32.15	34.62	≤ 30	30~60	≥ 60
x_9	11.46	9.19	8.94	11.40	11.40	≥ 10	5~10	≤ 5

3.2 指标权重的确定

在多目标评价模型中,指标权重是指标重要性大小的反映,也是难于定量描述的问题。为比较不同权重下模型的差异,在如表 2 所示的评价指标体系中,选取了二元比较模糊决策分析法^[4]和熵值赋权法^[5]确定指标权重,分别得到归一化后的主、客观权重为

$$w_1=(0.150,0.077,0.087,0.203,0.109,0.109,0.059,0.109,0.098)=(w_i)_1$$

$$w_2=(0.006,0.015,0.365,0.099,0.115,0.003,0.004,0.046,0.348)=(w_i)_2$$

3.3 综合评价

a. 针对表 2 所示的 5 个水资源配置方案,分别采用灰色关联分析模型和多目标模糊优选模型进行综合评价,结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 模糊优选法综合评价值				
方案	w_1		w_2	
	综合评价值	排序	综合评价值	排序
1	0.581	3	0.510	3
2	0.283	5	0.327	5
3	0.379	4	0.457	4
4	0.740	2	0.613	2
5	0.829	1	0.700	1

表 4 灰色关联分析法综合评价值				
方案	w_1		w_2	
	综合评价值	排序	综合评价值	排序
1	0.639	3	0.622	3
2	0.531	5	0.541	5
3	0.591	4	0.598	4
4	0.743	2	0.695	2
5	0.817	1	0.776	1

综合分析 2 种模型的评价结果可知,2 个模型的评价结果都表明方案 5 最佳,另外几个方案的排序也相同,在一定程度上说明方案排序的可靠性。

b. 为了更好地分析各方案的优劣性,还采用模糊可变评价方法对水资源配置方案进行综合评价。针对指标体系中的各指标,分别确定了分级区间,用以定性评价各指标的好坏。如表 2 所示,1 级表明在此状况下社会发展情况较为乐观,2 级表明水资

源配置可以满足规划期间大连市的社会发展,3 级状况较差,水资源利用的各项指标尚未达到规划指标,应及早采取应对措施。

参照上述指标标准值和大连市的实际情况,确定标准值区间矩阵 I_{ab} 与范围值矩阵 I_{cd} ,以及点值 M 矩阵,如表 5 所示。由式(3)、式(4),分别采用 $\alpha = 1, p = 1; \alpha = 1, p = 2; \alpha = 2, p = 1; \alpha = 2, p = 2$ 等 4 组参数变换模型,采用权重 w_1 分别计算各个方案的评价等级(见表 6)。

表 5 标准值区间矩阵 I_{ab} 与范围值矩阵 I_{cd} 以及点值 M 矩阵

评价指标	I_{ab}		
x_1	[100,40]	[40,20]	[20,0]
x_2	[0,100]	[100,200]	[200,400]
x_3	[0,600]	[600,1200]	[1200,1800]
x_4	[0,25]	[25,60]	[60,100]
x_5	[100,30]	[30,15]	[15,0]
x_6	[100,70]	[70,50]	[50,0]
x_7	[100,20]	[20,10]	[10,0]
x_8	[0,30]	[30,60]	[60,100]
x_9	[100,10]	[10,5]	[5,0]
评价指标	I_{cd}		
x_1	[100,20]	[100,0]	[40,0]
x_2	[0,200]	[0,400]	[100,400]
x_3	[0,1200]	[0,1800]	[600,1800]
x_4	[0,60]	[0,100]	[25,100]
x_5	[100,15]	[100,0]	[30,0]
x_6	[100,50]	[100,0]	[70,0]
x_7	[100,10]	[100,0]	[20,0]
x_8	[0,60]	[0,100]	[30,100]
x_9	[100,5]	[100,0]	[10,0]
评价指标	M		
x_1	100	20	0
x_2	0	200	400
x_3	0	1200	1800
x_4	0	60	100
x_5	100	15	0
x_6	100	50	0
x_7	100	10	0
x_8	0	60	100
x_9	100	5	0

表 6 大连市水资源配置方案评价等级						
方案	$\alpha = 1, p = 1$	$\alpha = 1, p = 2$	$\alpha = 2, p = 1$	$\alpha = 2, p = 2$	稳定范围	最终评价等级
1	1.44	1.44	1.82	1.80	1.44~1.82	1~2
2	1.15	1.15	1.05	1.07	1.05~1.15	1
3	1.16	1.16	1.06	1.08	1.06~1.16	1
4	1.12	1.12	1.02	1.01	1.01~1.12	1
5	1.14	1.14	1.05	1.05	1.05~1.14	1

模糊可变评价方法的计算结果表明,方案 2~5 的评价等级为 1 级,均可以满足 2010 年大连市社会经济较好的发展,方案 1 评价等级为 2 级,说明该方案在一定程度上能满足 2010 年大连市社会经济发展,但发展潜力相对较小。(下转第 18 页)

统计显示,以实测洪峰流量的 20% 作为误差评价标准,赛江白塔水文站模型率定合格率 82.7%, 检验合格率 85.7%;汀溪造水水文站模型率定合格率 78.6%, 检验合格率 71.4%。结果表明模型满足洪水预报要求。

3 结 语

陡涨河流雨洪非线性的复杂性与作业预报要求的简单性是实用模型构建的一个难点。笔者针对使用需求进行模型设计,并视台风暴雨特点,将分布式结构与集总式演算相结合,采用错时段单元净雨输入,跳跃洪水过程直接建立流域雨峰与出口断面洪峰的响应关系,初步实现了复杂问题的简单模拟和实用计算。

在河道流量演算中,根据洪峰状态下流量沿程衰减现象,借鉴了物质衰减公式的形式,使流域出口断面的洪峰流量集成计算变得十分简单,便于实际预报作业。虽然文中尚未对洪峰流量沿程衰减公式进行数学上的严格证明,但笔者认为,根据相似类比原理,其隐含的物理基础是共通的,有待日后进一步揭示。

笔者构建的陡涨中小河流实用雨洪预报模型经福建东南沿海代表性流域的应用检验,结果表明预

(上接第 3 页)

c. 综合以上 3 个模型的评价结果可知:方案 5 比较合理,3 个评价模型的评价结果中均把该方案评为优等方案,方案 4 亦具有较好的合理性,也可以通过进一步修正后使之更合理。

4 结 语

水资源配置涉及大量的经济、社会、环境和资源利用等决策问题,是一个复杂的决策过程,具有不确定性,经常需要解决不同层次、不同目标、不同用户间的相互竞争和冲突问题。因此,实践中往往需要通过多个模型和方法,对已经生成的水资源配置方案进行综合评价与分析,才能更好地避免决策的人为性和盲目性,最终生成满意决策。本文针对大连市水资源配置问题的实际情况,建立了多目标评价指标体系,该指标体系能较好地反映规划水平年大连市水资源的发展状况和趋势。在此基础上,采用 3 个评价模型对配置方案进行综合评价,形成了比较一致的评价结果,为大连市的水资源合理配置提供了科学依据,也可为其他地区的水资源配置决策提供一定参考。

报精度满足实用要求,操作简便,可以在该区域的洪水预报中使用。

致谢 福建省宁德水文水资源勘测分局林成勇、陈胜晶同志参加了雨洪资料摘录和模型率定工作,谨此致谢。

参考文献:

[1] 李克先,陈胜晶.福建赛江“桑美”骤发洪水浅析与思考[J].水文,2007(4):94-96.
[2] 张东辉,张金存,刘方贵.关于水文学中非线性效应的探讨[J].水科学进展,2007,18(5):776-782.
[3] 世界气象组织(WMO).水文实践指南第二卷[M].赵珂经,等译.北京:水利电力出版社,1988.
[4] 中华人民共和国水利部水文局.水文情报预报规范培训教材[R].北京:中华人民共和国水利部水文局,2001.
[5] 芮孝芳.水文学原理[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
[6] 长江水利委员会.水文预报方法[M].2版.北京:水利电力出版社,1993.
[7] 王国安.水文定理、定律和假说初探[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
[8] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984.
[9] SL250—2000,水文情报预报规范[S].

(收稿日期:2008-09-11 编辑:高建群)

参考文献:

[1] 尚松浩.水资源系统分析方法及应用[M].北京:清华大学出版社,2006.
[2] 陈守煜.区域水资源可持续利用评价理论模型与方法[J].中国工程科学,2001,3(2):33-38.
[3] 陈守煜.复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M].长春:吉林大学出版社,2002.
[4] 陈守煜.水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法[M].大连:大连理工大学出版社,2005.
[5] 张先起,梁川.基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报,2005,36(9):1057-1061.
[6] 黄旭.大连市水资源合理配置及其方案综合评价研究[D].大连:大连理工大学,2008.
[7] 谷红梅,郭文献,徐建新,等.区域水资源开发利用程度的灰色关联分析评价[J].人民黄河,2006,28(1):47-51.
[8] 冯峰,许士国.基于模糊优选理论的水资源效益评价体系[J].水利水电科技进展,2008,28(2):35-38.
[9] 陈守煜,柴春岭.区域水资源可持续利用评价的模糊可变评价方法[J].水利水电科技进展,2007,27(5):1-5.
[10] 尹正杰,胡铁松,崔远来,等.水库多目标供水调度规则研究[J].水科学进展,2005,16(6):875-880.

(收稿日期:2008-08-24 编辑:高建群)