

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.04.018

区域外调水水权分配模型及应用

吴 丽¹,何 斌¹,周惠成¹,邵宏胜²

(1.大连理工大学土木水利学院,辽宁 大连 116024;2.大连市水务局,辽宁 大连 116001)

摘要 提出外调水水权分配的 5 项原则,以此建立外调水水权分配的多目标优化模型。该模型综合考虑了城镇生活、生产、生态用水,并且体现了水权分配的公平性、高效性、可持续发展等原则。通过确定各目标函数权重,将该多目标模型转化为单目标优化模型进行求解。目标函数权重的确定采用综合赋权法,应用熵权法确定各目标函数的数学权重,再结合决策者意向得出经验权重,最后通过线性加权得出综合决策的权重。该权重确定方法既尊重了客观实际又考虑了决策者的意向,使得模型应用更加灵活。最后,将该模型应用到大连市外调水水权分配中,结果显示该模型具有较好的实用价值,可以用来指导区域调水工程规划及水资源优化配置。

关键词 外调水 水权分配 熵权法

中图分类号 :TV213.9 ;F407.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2009)04-0067-06

Study and application of water rights allocation model for regional transferred water//WU Li¹, HE Bin¹, ZHOU Hui-cheng¹, SHAO Hong-sheng²(1. School of Civil Engineering and Architecture, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China ;2. Dalian Water Resources Bureau, Dalian 116001, China)

Abstract :Five allocation principles for water rights allocation of transferred water are proposed. On this basis, the multi-object optimal allocation model is established for regional transferred water rights. The domestic water, process water and ecological water are comprehensively considered in the model, and it fully addresses fairness, effectiveness, and sustainable development of water rights allocation. In order to solve the model, the multi-object optimization model is transformed into a single-object one with a weighted method by the determination of the weights of objective functions. The weights of objective functions are determined by the comprehensive weight method. The objective weights are obtained using the entropy weight method, and the subjective weights are obtained by analyzing the intention of decision-makers. The weights of the comprehensive decision are obtained by the linear weighting method. The model not only considers the real situation but also the intentions of the decision-makers, which makes it more flexible. Finally, the model is applied to water rights allocation in Dalian. The result shows that the model is valuable in practice, and it can be used to guide the planning of regional water transfer engineering and the optimal allocation of water resources.

Key words :transferred water ;water rights allocation ;entropy weight method

水权是指在法律约束下形成的、受一定条件限制的、对国家所有的水资源的用益物权,是一项建立在水资源国家或公众所有基础上的他物权^[1]。水权初始分配是为了水资源可持续开发利用,水资源所有权的代表者中央政府授权各流域机构在区域政府进行充分协调论证的基础上,综合考虑区域人口、环境、资源和经济等多方面因素,对流域可配置水资源总量进行行政区间(或区域取水点)的水权配置^[2]。由于外调水输水工程费用较高,外调水的分配不但要体现公平,更要充分体现外调水的价值,因此确定合理的外调水分配模型尤为重要。

从初始水权的获取方式来看,国外主要分为以下几种 :①滨岸权体系 ;②占有优先权体系 ;③混合或双重水权体系 ;④比例水权体系^[3]。我国除《中华人民共和国水法》第三条规定的情形外,均实行取水许可制度^[4]。从初始水权的分配理论来看,国内外学者也十分关注水权初始分配的问题,Wang 等^[5]提出了水权分配的 3 种数学模型并进行比较 ;裴源生等^[6]对黄河置换水量的分配构建了水权分配指标体系,并应用层次分析和模糊决策相结合的方法进行水权分配 ;吴凤平等^[7]、葛敏等^[8]运用多目标模糊优选模型和多目标规划模型对初始水权进行第 1 层和

第2层的分配[9]王学凤等[9]研究了水资源使用权分配研究模型,并运用遗传算法对其求解;苏青等[10]根据河流水权的特点,总结了河流水权分配应考虑的因素,并建立了比例型水权分配模型。但是上述水权获取方法和分配理论研究只针对传统的流域(区域)水权分配,在分配时综合考虑城镇及农村的生活、工业、农业、生态等各项用水,而外调水具有调水工程施工难度大、水质优、成本高的特点,主要用于城镇生活及工业,应用传统方法对外调水进行分配容易造成资源浪费。目前国内外学者对外调水的水权研究较少,外调水的分配基本为按需分配。因此,水量分配较多的地区多为人口多、经济发展快的地区,而人口少、经济发展较慢的地区水量分配就相应较少。这种水资源分配模式存在着一定的不公平性,会加大地区间发展的差异,不利于社会经济的和谐发展。

因此,笔者借鉴传统水权分配原则,分析提出外调水水权分配原则及量化方法,建立了相应的多目标优化分配模型,然后通过确定各目标权重将多目标优化问题转化为单目标优化问题进行求解。为了能够合理地确定各目标函数的权重,通过分析选取不同的指标来反映各目标函数,运用熵权法[11]确定其数学权重,并结合领导偏好得出综合决策权重。最后,将模型应用到大连市外调水工程中,对大连市2010年、2020年的外调水水权进行分配。

1 外调水水权的分配原则

目前国内学者提出的初始水权分配原则主要为有效性原则、公平性原则和可持续性原则,但是上述原则并不完全符合外调水的分配。外调水的分配应考虑以下5个方面:①应优先保证各区的生活用水;②应尽量尊重受水区传统水权分配结构;③在分配过程中要尽量体现公平性,促进整个受水区和谐发展;④外调水一般水质较好,成本和运行费用较高,因此受水区特别强调外调水的宏观合理配置和高效利用;⑤通过协调、合理利用不同类型水源,使区域达到可持续发展。综上所述,文中对外调水水权分配考虑以下5项原则:保障基本生活用水原则、尊重现状原则、公平性原则、高效性原则、可持续发展原则。

a. 保障基本生活用水原则。人类的生存和发展是第一位的问题,基本生活用水关系到人类的生存权,必须优先保障,《中华人民共和国水法》中也将保证城乡居民生活用水放在用水优先顺序的首位。外调水初始水权的分配必须在生产和生活用水之间进行合理的分配。

b. 尊重现状原则。尊重现状原则要求以现状用

水为基础,文中外调水的尊重现状是指在对外调水水权进行初始分配时应以区域现状水权为依据,尽量体现现状用水结构。这是因为:第一,传统水权的分配结构是政府经过综合考虑各类影响因素进行宏观调控所得的结果,是多年实践的结果,有其一定的必然性;第二,传统水权的分配是在现有水利工程设施的基础上形成的,为了充分发挥现有水利工程的效益,不宜轻易改变现状用水结构。为使水权分配更加合理,在外调水分配过程中,要扣除不合理的用水部分,对现状水权进行合理界定,在维护社会稳定、降低水权分配操作难度的基础上对区域进行分水。

c. 公平性原则。水资源是人类生活、生产不可或缺的最基本的自然资源,因此将初始水权公平地分配给各个分区是至关重要的。在此用各分区分配水量对计算基准年实际用水量的缺水率与分水后人均水量差异最小原则来释义公平性。即在所评价方案实施年中,各个区域的人均缺水量、人均分水量之间的最大差异值最小为评价原则,使外调水水权的分配相对均匀。

d. 高效性原则。水资源作为经济资源的一种,其初始分配应该是追求经济效益最大化。外调水分配的高效性是指包括经济效益和社会效益在内的总体效益高效。前面的保障基本生活用水反映了社会效益,而且由于调水工程施工难度大,外调水水质好、成本高的特性,外调水的分配更应体现水资源的稀缺性,使水资源的投入与产出达到最大。故外调水满足基本生活用水后主要用于工业生产,高效主要是指工业用水效率高。

e. 可持续发展原则。可持续发展是一项经济和社会发展的长期战略。它是在以人为本的基础上,主要体现为资源和生态环境的可持续发展、经济可持续发展和社会可持续发展3个方面。要保证受水区水资源的可持续发展,除了要满足该区域的经济、社会需水,还要保障区域的生态环境用水,达到经济、社会、资源和环境的协调发展。保障基本生活用水原则使各受水区的居民生活用水得到保障,体现了“以人为本”;公平性原则体现了代内发展的可持续性,为体现代际发展的可持续性,在模型中加入水量分配约束来限制水资源的过度开发利用;高效性原则使得分配的水资源发挥最大社会和经济效益,体现了社会、经济的可持续发展;对于生态环境的可持续性,由于直接将外调水分配于生态用水容易造成资源浪费,文中为保障生态用水,可将水质较差的工业用水或就近的中水用于保护生态环境,而工业缺水部分由外调水来补充,且通过污水排放约束达到环境的可持续发展。通过协调,使不同类型

的水源得到合理利用,实现社会、经济、生态的可持续发展。

2 外调水水权的分配模型

2.1 目标函数

根据保障基本生活用水原则,要优先满足各分区的基本生活用水,所以外调水分配中可分配水量首先应减去基本生活用水的缺水量,即 $W_a = W_{mw} - \sum_{i=1}^n W_{li}$,其中 W_a 为外调水分配量; W_{mw} 为外调水总量; W_{li} 为外调水分配方案中分配到各分区的生活用水量。

根据可持续发展原则分析生态需水量,其缺水部分由工业用水中水质较差的水或中水来满足。故文中缺水量主要指工业用水缺水量。

以保障基本生活用水原则及可持续发展原则为基础,以尊重现状原则、公平性原则和高效性原则量化值综合最大为目标函数: $\max f_j(W), j=1,2,3$ 。

目标 1 尊重现状目标:用调水后与调水前各分区的用水比例之比值 R_i 进行衡量。

$$f_1(W) = \frac{\min_{i=1,\dots,n} R_i}{\max_{i=1,\dots,n} R_i} \tag{1}$$

其中

$$R_i = \frac{(W_{ai} + W_{li} + W_{pi}) / \sum_{i=1}^n (W_{ai} + W_{li} + W_{pi})}{W_{pi} / \sum_{i=1}^n W_{pi}}$$

式中: W_{ai} 为第 i 区域外调水分配量; W_{pi} 为第 i 区域现状水权界定的用水量。 R_i 越趋于 1,说明 i 区域的用水比例变化越小, $f_1(W)$ 趋于 1,表明分水后各区域的用水比例变化均达到最小,方案实施难度最小。

目标 2 公平性目标:以外调水分配各区域缺水程度(用人均缺水量来表示)或人均分水量比例来量化。

当外调水水量小于区域总缺水量时,公平性目标用分水后人均缺水量来表示。

$$f_2(W) = \frac{\min_{i=1,\dots,n} W_{si}}{\max_{i=1,\dots,n} W_{si}} \tag{2}$$

其中 $W_{si} = \frac{W_{ri} - (W_{ai} + W_{li} + W_{pi})}{P_i}$

式中: W_{si} 为外调水分配后各区域的人均缺水量; W_{ri} 为第 i 区域的需水量; P_i 为各分区规划年的人口数。 $f_2(W)$ 趋于 1,说明每个区域的缺水程度相当,认为外调水水权分配方案是相对公平的。

当外调水水量大于区域总缺水量时,公平性目标用分水后人均分水量来表示。

$$f_2(W) = \frac{\min_{i=1,\dots,n} W_{pai}}{\max_{i=1,\dots,n} W_{pai}} \tag{3}$$

其中 $W_{pai} = \frac{(W_{ai} + W_{li} + W_{pi})}{P_i}$

式中: W_{pai} 为外调水分配后各区域的人均分水量。 $f_2(W)$ 趋于 1,说明每个区域的人均分水量相当。

目标 3 高效性目标:外调水分配工业用水效率最大。

$$f_3(W) = \sum_{i=1}^n W_{ai} W_{gi} \tag{4}$$

为了便于模型求解,将式(4)无量纲化处理,得到

$$f_3(W) = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ai} W_{gi} - W_{mw} \min_{i=1,\dots,n} W_{gi}}{W_{mw} \max_{i=1,\dots,n} W_{gi} - W_{mw} \min_{i=1,\dots,n} W_{gi}} \tag{5}$$

式中: W_{gi} 为区域 i 的单方水工业产值。 $f_3(W)$ 越大,说明该初始水权分配方案下区域整体的工业用水效率越高。

2.2 约束条件

考虑可持续发展原则,外调水分配的约束主要是考虑可分配水总量控制、用水户需水限制、污水排放约束、输水管网约束及非负约束,约束条件分别为可分配水总量约束

$$\sum_{i=1}^n (W_{ai} + W_{li}) = W_{mw} \tag{6}$$

用水户需水限制

$$D_{imin} \leq W_{ai} + W_{pi} \leq D_{imax} \tag{7}$$

式中: D_{imax}, D_{imin} 分别为第 i 区域最大需水量和最小需水量。

污水排放约束

$$p_{ai} W_{ai} + p_{li} W_{li} \leq W_{ui} \tag{8}$$

式中: p_{ai}, p_{li} 分别为第 i 区域的工业、生活污水排放率; W_{ui} 为第 i 区域的污水排放标准。

输水管网约束

$$W_{ai} \leq T_{ci} \tag{9}$$

式中: T_{ci} 为第 i 区域的外调水输水能力,当外调水输水工程在区域 i 没有输水管网时, T_{ci} 设为零。

非负约束

$$W_{ai} \geq 0 \tag{10}$$

2.3 模型求解

多目标规划的求解方法有很多种,笔者采用目前常用的加权法将多目标模型转化为单目标模型进行求解。

2.3.1 目标函数权重系数的确定

目前确定目标权重的方法可分为数学赋权法、经验赋权法和综合赋权法 3 类。水权分配应综合考虑区域各影响因素及领导决策,所以应采用综合赋

权法来确定权重。首先根据数学赋权法来确定数学权重,然后结合领导偏好,运用模糊二元对比排序法^[12]确定经验权重,最后结合数学权重及经验权重得出各目标函数的权重系数。

熵权法是一种按照系统信息熵来确定权重的数学赋权方法,它能客观反映指标所包含的信息,消除各指标权重计算的人为干扰。根据目标函数的指标信息,选取熵权法来确定各目标权重。计算步骤如下:

a. 构建由 n 个评价事物、 m 个评价指标组成的判断矩阵 $R = (x_{ij})_{nm}, i = 1, 2, \cdots, n, j = 1, 2, \cdots, m$ 。

b. 将判断矩阵归一化处理,得到归一化判断矩阵 $B = (b_{ij})_{nm}$:

对于越大越优型指标

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \tag{11}$$

对于越小越优型指标

$$b_{ij} = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \tag{12}$$

式中: $x_{j\max}, x_{j\min}$ 分别为 j 指标序列的最大值与最小值。

c. 根据熵的定义,可以确定评价指标的熵为

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} \left(\sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \right) \tag{13}$$

其中

$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}$$

当 f_{ij} 趋于零时, $\lim(f_{ij} \ln f_{ij}) = 0$ 但当 $f_{ij} = 1, f_{ij} \ln f_{ij} = 0$, 这显然与熵所反映的信息无序化程度相悖,故需对 f_{ij} 加以修正^[13], 将其定义为

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1 + b_{ij})} \tag{14}$$

d. 计算评价指标的熵权 v :

$$V = (v_j)_{1 \times j}$$

其中

$$v_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^m H_j} \tag{15}$$

且

$$\sum_{j=1}^m v_j = 1$$

经验权重的确定方法有专家打分法、层次分析法、模糊排序法等,考虑领导偏好,采用模糊二元对比排序法确定经验权重 $U = (\mu_j)_{1 \times j}$, 用线性加权法将经验权重、数学权重组合,得到各目标函数的权重系数 $w_j = \alpha v_j + \beta \mu_j$, 其中 α, β 分别为经验权重、数学权重的线性加权系数。

2.3.2 单目标优化模型的求解

分析上述多目标模型可以看出,该模型各目标

函数均无量纲,故可直接对其进行加权,得到单目标

优化模型: $\max F(W) = \sum_{g=1}^3 w_g f_g(W)$ 。结合上述约束条件,运用 matlab 的 psearchtool 工具箱,选择遗传算法全局搜索,可计算得出水权分配方案。

3 实例分析

大连市境内水资源总量为 32.83 亿 m^3 , 其中地表水资源量为 32.51 亿 m^3 , 人均占有量为 575 m^3 , 仅为全国人均占有量的 1/4; 地下水资源量为 7.08 亿 m^3 , 两者之间的重复计算水量为 6.76 亿 m^3 。大连市属资源型缺水地区, 地下水超采严重, 地表水的开发利用率已达到 40%, 接近国际公认的水资源利用警戒线。由《大连市水务发展‘十一五’规划》可知, 2010 年、2020 年大连市缺水较为严重, 需加大中水及海水等的利用, 并拟建大伙房输水应急工程及引洋入连供水工程来满足近期大连市需水要求。预计大伙房输水应急工程 2010 年向大连市输水 18 332 万 m^3 , 到 2020 年输水 28 800 万 m^3 , 其受水区为金州以南地区、瓦房店市、普兰店市、长兴岛临港工业区、松木岛化工产业园区, 预计引洋入连供水工程 2020 年向大连市输水 11 047 万 m^3 , 其主要受水区为金州以南的 6 个区和 5 个对外开放先导区。

根据大连市水资源的供需预测, 首先分析大连市的城镇生活用水情况及各目标函数的指标信息, 然后根据该指标信息, 应用熵权法结合领导偏好确定各目标函数的权重系数, 最后计算得出外调水水权分配的各单目标分水方案与多目标综合分水方案。

a. 分析大连市本地淡水资源是否满足城镇生活用水需求。由《大连市水务发展‘十一五’规划》可知, 2010 年、2020 年大连市本地淡水资源加上海水淡化供给城镇生活用水的水量不能全部满足各分区的城镇生活用水需求, 见表 1。

表 1 大连市城镇生活用水供需情况 万 m^3

分 区	2010 年		2020 年	
	需水量	供水量	需水量	供水量
金州以南地区	34 172	40 355	48 655	43 517
瓦房店市	2 891	3 296	6 079	3 676
普兰店市	2 089	2 033	5 220	2 033
庄河市	2 004	5 797	6 023	5 797
长海县	211	129	562	129
长兴岛	429	2 065	1 073	3 946
松木岛	66	0	584	0
合计	41 862	53 675	68 196	59 098

根据表 1 分析大连市城镇生活缺水情况, 由外调水分配的保障基本生活用水原则以及外调水输水管网限制, 大伙房输水应急工程不向庄河市和长海

县供水,计算出大连市 2010 年、2020 年满足基本生活用水后可用于分配外调水分别为 18 210 万 m³ 和 27 876 万 m³。

以 2005 年作为基准年,2010 年、2020 年作为规划水平年,根据上述外调水分配原则,对大连市外调水进行水权分配。根据大连市水资源供需预测,大连市的人口、工业用水效益及水资源供需情况见表 2。

表 2 大连市各分区指标

水平年	分区	人口/ 万人	工业用水 增加产值/ (元·m ⁻³)	供水量/ 万 m ³	缺水量/ 万 m ³
2010	金州以南地区	328.5	487.8	56 018	-12 036
2010	瓦房店市	44.0	395.3	4 122	-1 501
2010	普兰店市	31.8	512.8	2 773	-1 763
2010	庄河市	30.5	833.3	4 539	2 889
2010	长海县	4.7	534.8	161	-91
2010	长兴岛	8.4	497.5	2 877	-3 957
2010	松木岛	1.4	625.0	860	-1 873
2010	合 计	449.3	421.9	71 350	-18 332

水平年	分区	人口/ 万人	工业用水 增加产值/ (元·m ⁻³)	供水量/ 万 m ³	缺水量/ 万 m ³
2020	金州以南地区	440.0	625.0	63 789	-20 761
2020	瓦房店市	75.7	483.1	5 144	-4 041
2020	普兰店市	65.0	625.0	3 227	-4 801
2020	庄河市	75.0	1 020.4	7 006	-979
2020	长海县	10.0	649.4	232	-401
2020	长兴岛	17.3	625.0	5 788	-8 817
2020	松木岛	10.0	769.2	1 779	-3 697
2020	合 计	693.0	561.8	86 965	-43 497

由表 2 可知,大连市 2010 年、2020 年缺水量均小于拟调水量,故模型中公平性原则选择公式(4)来量化。

b. 权重的确定。模型中尊重现状、公平性及高效性 3 个原则的权重可分别依据分水前各分区水平年的供水量、人均缺水量和工业用水效益计算求得。首先以水平年 2010 年各项指标预测结果,运用式(11)和式(12)计算可得归一化判断矩阵 B:

$$B = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.02 & 0.21 \\ 0.93 & 0.01 & 0.00 \\ 0.96 & 0.02 & 0.27 \\ 0.88 & 0.00 & 1.00 \\ 1.00 & 0.01 & 0.32 \\ 0.94 & 0.35 & 0.23 \\ 0.99 & 1.00 & 0.52 \end{bmatrix}$$

然后根据判断矩阵 B 由式(13)确定评价指标的熵为

$$H = (0.9899 \quad 0.9811 \quad 0.9886)$$

由式(15)可计算各目标函数的权重,得出

$$V = (0.251 \quad 0.467 \quad 0.282)$$

由人均缺水量指标可以看出,2010 年各分区人均缺水量相差较大,通过熵权法计算结果可以看出

公平性原则权重最大,尊重现状与高效性原则权重相当,这与上述应特别关注公平性原则相吻合。

若决策注重公平性原则,则上述权重结果基本符合要求 若决策注重尊重现状或高效性原则,则应适当加大尊重现状或高效性原则权重。以注重高效性原则为例,则模型目标排序为:高效、现状、公平。根据模糊二元对比,高效性目标与尊重现状目标相比,处于‘明显’与‘显著’之间;与公平性目标相比,处于‘较显’与‘明显’之间,由语气算子与相对隶属度之间的关系表^[6],可得 3 个目标的权向量为(0.434 0.338 1),通过归一化得出经验权重为(0.245 0.191 0.564)。因为在确定经验权重时,决策者对各目标的偏好已体现出来,故在确定综合权重的时候,将数学及经验权重同比例加权,取 α, β 均为 0.5,通过线性加权法最终得到综合决策的权重系数为(0.248 0.329 0.423),为便于表述,将该权重对应的分配方案表示为综合决策方案 1。同理,可得到当决策者对各目标的偏好为‘现状、公平、高效’或‘公平、高效、现状’时的经验权重,通过加权可得到综合决策的权重系数分别为(0.416 0.325 0.259)和(0.226 0.503 0.271),将它们对应的分配方案分别记为综合决策方案 2,3。如果决策者对主客观的偏好变化,可将数学及经验权重比例进行调整。

c. 计算结果。分别根据上述各分配原则,以预测方案的节水方案作为需水能力下限约束,以基本需水方案作为上限约束,结合调水工程输水管网及输水能力情况,通过遗传算法全局搜索,得到 2010 年各分配原则下大连市外调水水权分配结果,然后根据所得数学权重及综合权重计算上述多目标模型,得到多目标综合考虑的分配结果,见表 3。

由于外调水输水管网限制,大伙房输水应急工程不对庄河市和长海县供水。由于大连市各分区人口、经济等发展相差悬殊,加上用水户需水限制,应用各分配原则分别进行水权分配时,各目标函数的量化值达不到最优值 1。且当决策者对各目标的偏好发生变化时,除瓦房店市外,其水权分配方案均发生变化。

同理可得出 2020 年大连市外调水分配方案。其中 2020 年大伙房输水应急工程及引洋入连供水工程的水权分配是首先根据上述各分配原则分配大伙房输水应急工程水量,然后再根据相同原则及步骤分配引洋入连供水工程水量,在此只给出当注重高效性原则时的综合赋权法的分配结果,见表 4。

d. 结果分析。比较表 3 中的数学决策方案与综合决策方案,综合决策方案 1(当决策人注重高效性原则时),相对数学决策方案而言,金州以南地区

表 3 2010 年大连市不同权重的外调水水权分配结果

分区	数学决策方案		综合决策方案						“十五”规划分水方案	
			方案 1		方案 2		方案 3			
	分配水量/ 万 m ³	比例/%	分配水量/ 万 m ³	比例/%	分配水量/ 万 m ³	比例/%	分配水量/ 万 m ³	比例/%	分配水量/ 万 m ³	比例/%
金州以南地区	10 104	55.12	10 065	54.90	10 304	56.21	10 077	54.97	9 238	50.39
瓦房店市	1 201	6.55	1 201	6.55	1 201	6.55	1 201	6.55	1 501	8.19
普兰店市	1 541	8.41	1 582	8.63	1 524	8.31	1 540	8.40	1 763	9.62
长兴岛	3 711	20.24	3 707	20.22	3 589	19.58	3 730	20.35	3 957	21.59
松木岛	1 775	9.68	1 777	9.70	1 714	9.35	1 784	9.73	1 873	10.22
合 计	18 332	100.0	18 332	100.00	18 332	100.00	18 332	100.00	18 332	100.00

注 由熵权法确定的数学权重所对应的分水方案记为数学决策方案。

表 4 大连市各水平年外调水水权分配结果 万 m³

分区	2010 年	2020 年	
	大伙房输水	大伙房输水	引洋入连
金州以南地区	10 065	11 468	6 985
瓦房店市	1 201	4 041	0
普兰店市	1 582	4 262	405
庄河市	0	0	736
长海县	0	0	433
长兴岛	3 707	5 332	2 620
松木岛	1 777	3 697	0
合 计	18 332	28 800	11 047

及长兴岛的分配水量减少,而普兰店市与松木岛的分配水量则增加,各分区水资源利用高效性增加,而公平性则相对降低 综合决策方案 2(当决策人注重尊重现状原则时),相对数学决策方案,除金州以南地区分配水量增加、瓦房店市分配水量不变外,其余地区分配水量均减少,水权分配后的用水比例与现状相差较小,但高效性与公平性较差 综合决策方案 3(当决策人注重公平原则时),长兴岛与松木岛的分配水量增加,金州以南地区与普兰店市的分配水量减少,水权分配较为公平。

根据表 3 中 2010 年多目标综合配水结果可以看出,综合决策方案 1 计算结果与‘十一五’规划分水方案比较,变化较大的是金州以南地区,增加了 827 万 m³,其他分区分配水量与规划分水量基本接近,而且方案 1 与规划分水方案相比,工业产值增加了 7 700 万元,表明该优化模型有利于外调水的高效利用。

由表 4 可以看出,大伙房输水应急工程主要用于金州以南地区、瓦房店市、普兰店市、长兴岛、松木岛 5 个分区的供水;引洋入连供水工程主要用于金州以南地区、普兰店市、庄河市、长海县、长兴岛 5 个分区的供水。该分配结果既考虑了工程实际情况,也考虑到了大连市现状用水情况,计算结果较为合理,可以用来指导调水工程规划及大连市水资源的优化配置。

4 结 语

外调水水权分配工作是一项较新的工作,虽然

国内外目前有一些传统水权初始分配的理论探讨和经验可以借鉴,但是在实施中由于跨流域引水工程输水管网及用水户承担能力等的限制,使得外调水的水权分配不同于传统的水权分配。

借鉴传统水权分配,提出了外调水水权分配的保障基本生活用水、公平性、尊重现状、高效性及可持续发展 5 项原则,并以保障基本生活用水及可持续发展原则为基础,建立了以公平、高效、尊重现状为目标的外调水水权分配的多目标优化模型。该模型综合考虑了各分区的用水现状及经济发展,不仅做到了尊重现状用水结构、各分区平水分水,而且体现了外调水水质好、成本高的特点,做到了高效用水。在模型求解时,采用加权法将多目标优化问题化解为单目标优化问题进行求解,运用熵权法确定各目标函数的数学权重,然后根据决策人意向确定经验权重,通过线性加权最终得出综合决策的权重。该权重确定方法既尊重了客观实际又考虑了领导偏好,使得模型的应用更加灵活。最后将该模型应用到大连市外调水水权分配中,结果显示该模型具有较高的实用价值。由于目前该模型只应用到大连市的外调水水权分配当中,可能有其他问题考虑不周,需在实践中继续完善。

参考文献:

[1] 刘斌. 关于水权的概念辨析 [J]. 中国水利 :A 刊, 2003 (1) 32-33.
[2] 刘颖慧. 区域水权制度改革的研究 [D]. 大连 :大连理工大学, 2004.
[3] 吴季松. 水务知识读本 [M]. 北京 :中国水利水电出版社, 2003 321-324.
[4] 林洪孝, 彭绪民. 城市水权分配机会的多目标规划模型 [J]. 水利学报, 2005, 36(4) 452-455.
[5] WANG Li-zhong, FANG Li-ping, KEITH W. Hipel, mathematical programming approaches for modeling water rights allocation [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2007(1) 50-59.

(下转第 94 页)

- [25] 刘云贺,俞茂宏,王克成. 流体-固体瞬态动力耦合有限元分析研究[J]. 水利学报,2002,18(2) 85-89.
- [26] 刘云贺,俞茂宏,陈厚群. 流体固体动力耦合分析的有限元法[J]. 工程力学,2005,22(6) 1-6.
- [27] 宋崇民,张楚汉. 水坝抗震分析的动力边界元方法[J]. 地震工程与工程振动,1988,8(4) 14-25.
- [28] 黄玉盈,金涛,倪樵,等. 变水深坝-库系统耦振分析的边界元-有限元混合法[J]. 固体力学学报,1998,19(3) : 245-51.
- [29] TJHEN L S, YU G Y. Application of BEM/FEM coupling procedure to dynamic fluid-structure interaction problems[J]. International Journal of Computational Engineering Science, 2002,3(4) 425-433.
- [30] 杜修力,王进廷. 动水压力及其对坝体地震反应影响的研究进展[J]. 水利学报,2001,17(7) 13-21.
- [31] 王进廷. 高混凝土坝-可压缩库水-淤砂-地基系统地震反应分析研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2001.
- [32] 杜修力,陈厚群,侯顺载. 拱坝系统三维非线性地震波动分析[J]. 地震工程与工程振动,1996,16(3) 39-47.
- [33] DU Xiu-li, ZHANG Yan-hong, ZHANG Bo-yan. Nonlinear seismic response analysis of arch dam-foundation systems-par I dam-foundation rock interaction[J]. Bulletin of Earthquake Engineering,2007,5(1) 105-119.
- [34] 李小军,廖振鹏,杜修力. 有阻尼体系动力问题的一种显式解法[J]. 地震工程与工程振动,1992,12(4) 74-79.
- [35] 江春波,邢秀英,张庆海. 用分步有限元法求解三维不可压缩流动[J]. 清华大学学报:自然科学版,2004,44(8) 110-113.
- [36] 江春波,徐照明,李秀丽. 求解不可压缩流动的分步有限元格式[J]. 清华大学学报:自然科学版,2002,42(2) : 278-280.
- [37] NOH C E L. A time-dependent two-space-dimension coupled Eulerian-Lagrangian code [J]. Methods in computational Physics,1964,3 123-144.
- [38] 岳宝增,刘延柱. 带自由液面 Navier-Stokes 流动问题的 ALE 分步有限元方法[J]. 水动力学研究与进展:A 辑,2003,18(4) 463-469.
- [39] 陈大宏,李炜. 自由表面流动数值模拟方法的探讨[J]. 水动力学研究与进展:A 辑,2001,16(2) 216-223.
- [40] NOMURA T. ALE finite element computations of fluid-structure interaction problems [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,1994,112 291-308.
- [41] 岳宝增,刘延柱,王照林. 非线性流固耦合问题的 ALE 分步有限元数值方法[J]. 力学季刊,2001,22(1) 34-39.
- [42] YANG R, TSAI C S, LEE G C. Procedure for time-domain seismic analysis of concrete dams [J]. Journal of the Engineering Mechanics, ASCE,1996,122(2) 116-122.
- [43] BERMUDEZ A, DURAN R, RODRIGUEZ R. Finite element solution of incompressible fluid-structure vibration problems [J]. International Journal for Numerical Methods in

- [44] 王进廷,杜修力,张楚汉. 重力坝-库水-淤砂-地基系统动力分析的时域显示有限元模型[J]. 清华大学学报:自然科学版,2003,43(8) 1112-1115.
- [45] SORIA A, CASADEI F. Arbitrary Lagrangian-Eulerian multicomponent compressible flow with fluid-structure interaction [J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids,1997,25 1263-1284.
- [46] 张建海,陈大鹏. 考虑固体与几何非线性的固液耦合系统瞬态有限元分析[J]. 计算结构力学及其应用,1995,12(4) 451-461.

(收稿日期 2008-08-30 编辑 方宇彤)

(上接第 72 页)

- [6] 裴源生,李云玲,于福亮. 黄河置换水量的水权分配方法探讨[J]. 资源科学,2003,25(2) 32-37.
- [7] 吴凤平,葛敏. 水权第一层次初始分配模型[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(2) 216-219.
- [8] 葛敏,吴凤平. 水权第二层次初始分配模型[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(5) 592-594.
- [9] 王学凤,赵建世,王忠静,等. 水资源使用权分配模型研究[J]. 水科学进展,2007,18(2) 241-245.
- [10] 苏青,施国庆,吴湘婷. 流域内区域间取水权初始分配模型初探[J]. 河海大学学报:自然科学版,2003,31(3) : 347-350.
- [11] 邱菀华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社,2001 95-98.
- [12] 陈守煜. 工程模糊集理论及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998 64-69.
- [13] 唐恒,杜发兴. 基于熵权的模糊物元水资源承载力评价模型[J]. 中国农村水利水电,2006(12) 33-39.

(收稿日期 2008-09-25 编辑 骆超)

· 简讯 ·

2009 水资源与可持续发展高层论坛将在 武汉大学国际学术交流中心举行

由中国工程院和中华人民共和国水利部共同主办的“2009 水资源与可持续发展高层论坛”将于 2009-09-22 至 2009-09-24 在湖北武汉大学国际学术交流中心举行。会议主题为水资源与可持续发展。会议议题如下:①水资源时空变异及其配置。包括分布式水文模型,气候变化及人类活动影响下的水资源变化,水资源配置与可持续发展 3 个方面。②农业水资源高效可持续利用。包括农业用水效率,控制排水、湿地及其环境效应,参与式灌溉管理体制 3 个方面。③流域管理与河流健康。包括水土保持与泥沙治理,水体营养负荷与富营养化,经济发展与河流健康 3 个方面。④水能资源开发与环境保护。包括大坝的环境及生态效应,水能资源的可持续开发,多目标水库的平衡利用 3 个方面。会议网站: <http://www.ches.org.cn/huiyi/y20090217-1.doco> (本刊编辑部供稿)