

基于多目标决策分析的五家渠市水资源优化配置研究

文 静¹, 雷晓云¹, 朱连勇^{1,2}, 陈 坤¹, 余 磊³

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆塔里木大学 水利与建筑工程学院, 阿拉尔市 843300; 3. 新疆额河建管局, 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 针对五家渠市在快速发展社会经济时所面临的多水源、多用水户、工农业用水矛盾日渐突出等用水问题, 采用多目标决策的方法建立以缺水量最小和引水费用最小为目标函数的水资源优化配置模型, 对五家渠市未来规划年(2015、2030)的水资源进行规划配置, 成果分析表明优化配置的结果合理, 具有实用性和协调性等优点。

关键词: 水资源; 水资源优化配置; 多目标决策分析; 五家渠市

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)04-0034-04

Optimal allocation of water resources in Wujiaqu City based on analysis of multi-objective decision-making

WEN Jing¹, LEI Xiaoyun¹, ZHU Lianyong^{1,2}, CHEN Kun¹, YU Lei³

(1. College of Civil and Hydraulic Engineering, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China;

2. College of Hydraulic and Architectural Engineering, Xinjiang Tarim University, Alar 843300, China;

3. Xingjiang Ehe River Construction Authority, Urumqi 830052, China)

Abstract: Pointed to Wujiaqu City facing the water use problems with rapid development of socio-economic, mult water sources, multi-water users, increasing the water use contradiction between industry and agriculture, the paper adopted the multi-objective decision-making method to establish a water resources optimal distribution model with the objective function as minimum water shortage and water diversion costs. It carried out the water resources planning for the future planning years (2015, 2030) of Wujiaqu City. The results of optimal allocation is reasonable and has the advantages of practicality and coordination.

Key words: water resources; optimal allocation of water resources; decision-making analysis of multi-objective; Wu jiaqu City

五家渠市是新疆农六师的经济文化中心, 2009年该市的国民生产总值为 40.01 亿元, 占农六师国民生产总值的 52.61%, 是一个以农业发展为主的具有军垦特色的地区, 2004 年建市以来, 本着将五家渠市打造成乌鲁木齐的新型卫星城市的规划目标, 力求在科技兴农的基础上, 着手大力发展工业和第三产业。该市随着产业结构重心的转移, 用水重心也发生了相应的变化, 工农业用水的矛盾日益突显, 如何解决好各个用水部门的用水需求, 是五家渠市社会经济保持良好发展所面临的关键问题。因此, 针对上述问题, 本文在对五家渠市水资源的供需状况进行分析后, 采用多目标决策分析的方法建立

了水资源优化配置模型对该市未来规划水平年(2015 年、2030 年)的水资源进行优化配置。

1 研究区水资源概况

五家渠市现水源有乌鲁木齐河、头屯河、老龙河、其他河流(黑水桥, 东、西阴沟等内部河流)、外调水(“引额济乌”工程)及地下水, 规划年(2015 年、2030 年)随着“引额济乌”工程在 2010 年正式运行, “500”水库(“引额济乌”工程的尾端蓄水工程)通过西延干渠每年向五家渠市供水 1.22 亿 m³, 其中 0.42 亿 m³ 为新增水量, 为工业和农业用水, 其余的 0.8 亿 m³ 属置换水量, 分别置换乌鲁木齐河 0.5

收稿日期: 2012-03-11; 修回日期: 2012-05-11

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD38B05); 新疆水利水电工程重点学科基金资助项目; 新疆水文学及水资源重点学科基金资助项目。

作者简介: 文 静(1987-), 女, 甘肃人, 硕士研究生, 研究方向为水资源利用与管理。

通讯作者: 雷晓云(1961-), 女, 湖南人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源高效利用与技术研究。

亿 m^3 ,头屯河 0.3 亿 m^3 ,则规划年(2015 年、2030 年)五家渠市的地表水可利用量主要为老龙河、黑水桥及其他一些较小的内部河流湖泊的来水,根据五家渠市各上游河流 1954 – 2011 年的《历年逐月来水量统计表》的来水资料,用同频率法^[1]可计算出规划年五家渠市在保证率 75% 的地表可供总水量为 6 085.77 万 m^3 ;由于规划年乌鲁木齐河、头屯河不再向五家渠市供水,原河道、渠道对地下水的渗漏补给量将基本为零,则规划年五家渠市的地下水可开采量减少 15 880.71 万 m^3 。

根据社会经济发展和特性和各行业对水质和水量要求的不同,五家渠市的用水户可分为农业、工业、建筑业、第三产业、生活、生态环境,根据《五家渠市的总体规划》和《五家渠市 2003 – 2009 年统计年鉴》的历年数据,利用趋势外推法和定额分析法^[2]相结合求得各用水户的需水量,具体结果见表 1。

表 1 规划年五家渠市的水资源供需平衡分析表		万 m^3		
年份		2015	2020	2030
可供水量	地表水	6085.77	6085.77	6085.77
	地下水	15880.71	15880.71	15880.71
	外调水	12200.00	12200.00	12200.00
	合计	34166.48	34166.48	34166.48
需水量	农业	19830.72	19464.3	19106.86
	工业	6264.20	6884.81	7097.35
	建筑业	211.12	285.56	349.14
	第三产业	586.21	784.42	936.79
	居民生活	366.16	398.61	474.83
	生态环境	1857.01	2460.43	3009.26
	合计	29115.42	30278.13	30974.23
平衡情况	余(+)缺(-)	5051.06	3888.35	3192.25

注:余(缺)水量 = 总供水量 – 总用水量。

2 多目标决策分析法

在水资源规划利用中,如果需用几个目标全面、公开地权衡规划方案的取舍时,所考虑的这些目标集合称为多目标;任何一个面向可持续发展的水资源开发与管理系统目标至少有三个,即经济目标、社会目标和环境目标,要使这三个目标综合最佳,就是一个多目标决策分析问题^[3],其目的是在不可公度而又相互矛盾的目标之间,经过权衡、协调,求得满意的解决途径。多目标决策分析问题一般的数学表达式为^[4]:

$$\max(\min) Z = \{f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_n(\bar{x})\}^T \quad (1)$$

s. t. $\bar{x} \in S$

式中: $\bar{x}$ 为决策变量组成的向量; $f_n(\bar{x})$ 为目

标函数,分别代表经济、环境和社会方面的主要发展目标,是衡量某个水资源优化配置方案优劣与否的一组量度; S 是决策变量的可行域,由宏观经济系统和水资源系统内的诸多约束条件组成。

3 五家渠水资源优化配置模型

3.1 模型的建立

(1)水资源系统概化。五家渠市的水资源系统概化网络图见图 1。

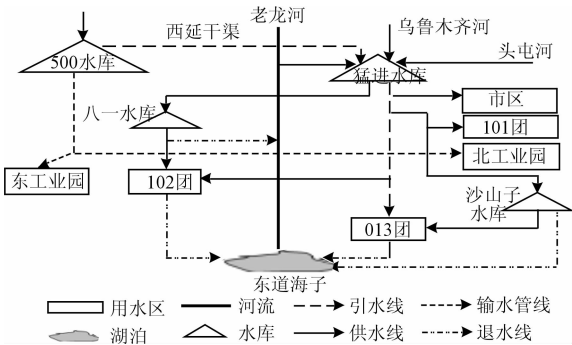


图 1 五家渠市水资源系统图

(2)决策变量。根据五家渠市水资源系统的供用水关系及模型求解的实际性和方便性,本文选择各水源向各用水户的供水量作为决策变量,表示为 x_{ij} ,其中 i 表示供水水源($i = 1, 2, 3, 4, 5$); j 表示用水户($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)。

(3)目标函数。考虑到五家渠市目前对作物产量影响因素尚无确切分析资料,难以取得分摊系数,故不考虑净效益目标函数;要想获取最大的效益,还要考虑投资力度的大小,所以本文选择用引水费用最小作目标函数;因缺乏水质监测资料,无法确定工业和生活废污水排放中污染因子的浓度、污水排放系数,故也不考虑污染物排放量最小的目标函数。所以本文的目标函数为:

缺水量最小,即供水量与需求量的偏差最小。

$$\min f_1(x) = \sum_{j=1}^6 (D_j - \sum_{i=1}^5 x_{ij}) \quad (5)$$

式中: D_j 为 j 用户的需水量,万 m^3 ,依据表 1 中的数据取值。

成本目标最小,即引水费用最小。

$$\min f_2(x) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^6 c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

式中: c_{ij} 为各水源的引水费用,元/ m^3 ,按照五家渠市各水源的水价取值。

4) 约束条件。可供水量约束:即各水源向各用水户的供水量之和不超过各水源的可供水量之和。

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq \sum_i^5 W_i \tag{7}$$

式中： W_i 为水源 i 的可供水量，万 m^3 ，依据表 1 中的数据取值。

用户需求能力约束：即各水源向各用水户的需水量之和不超过各用水户的需水量之和。

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq \sum_{j=1}^6 D_j \tag{8}$$

式中： D_j 为 j 用户需水量，依据表 1 中的数据取值。

水源输水能力约束：即各水源的供水量不超过各水源至各用水户的最大输水能力，其中，乌鲁木齐河、老龙河等地表河流的水量是进入到五家渠市的猛进水库，再下泄到各用水户的。

$$\sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq Q_{ij} \tag{9}$$

式中： Q_{ij} 为水源 i 至用水户 j 的输水能力，万 m^3 ，水库向农业和生态的供水量不超过水库的年供水量（猛进、八一、沙山子水库的年供水量为 16 540 万 m^3 ），“500”水库的供水量不超过输水管道的年输水量（年输水量为 1.22 亿 m^3 ），地下水的开采量不超过地下水的可开采量。

水质约束（主要指水库水质）：入库的水质污染物含量小于水库水质污染物含量的标准值。由于五家渠市水源之一的老龙河的水污染严重，致使该市境内水库的水质受到影响，富营养化严重，故将污染物排放量作为约束条件。污染物的含量根据目前水质的类别和参考《地表水环境质量标准》（GB 3838 - 2002）进行取值。

$$\sum_{i=1}^5 x_{i1} \cdot C_0 \leq \sum_{i=1}^5 x_{i1} \cdot C_s \tag{10}$$

式中： C_0 为入库的水质污染物 COD 的含量； C_s 为水库的水质污染物 COD 的标准含量，目前老龙河的水质为劣 V 类，COD 的含量为 64 mg/L，其余水源的水质为 III 类，COD 的含量为 20 mg/L；按照五家渠市的水资源利用规划，2015 年水库的水质要达到农业用水的水质 V 类，COD 的含量为 40 mg/L，2020 年以后水库的水质要达到一般工业用水的水质 IV 类，COD 的含量为 30 mg/L。

非负约束：

$$x_{ij} \geq 0 \tag{11}$$

3.2 模型的求解

采用传统方法对多目标水资源优化问题进行求解容易引起“维数灾”和增加问题的复杂度，不能很好评价解的优劣性，本文采用原理简单、具有全局收敛性能特点的粒子群智能优化算法来求解水资源优化配置模型，不但能提高计算的效率、增加求解的精度，还对解决复杂水资源系统的优化配置问题具有重要的作用。

以表 1 中五家渠市 2015、2030 年各用水户的需水量和可供水量的资料为依据，利用多目标决策分析的方法，在来水保证率为 75% 的情况下，建立了五家渠市水资源优化配置模型，并通过 matlab 软件编程实现粒子群优化算法，求解模型得出不同水平年下（2015、2030）五家渠市的水资源优化配置方案及目标值，具体见表 2、表 3。

表 2 五家渠市 2015 年水资源优化配置成果

万 m^3 ，万元

		农业	工业	建筑业	第三产业	生活	生态	合计
可供水量	老龙河	3203.98	0	0	0	0	889.78	4093.76
	黑水桥	826.92	0	0	0	0	68.00	894.92
	其他河流	801.00	0	0	0	0	74.00	875.00
	外调水	5828.8	6264.2	0	0	0	107.00	12200.00
	地下水	9170.02	0	211.12	586.21	366.16	718.23	11051.74
	合计	19830.72	6264.2	211.12	586.21	366.16	1857.01	29115.42
	需水量	19830.72	6264.2	211.12	586.21	366.16	1857.01	29115.42
平衡情况	余（+）缺（-）	0	0	0	0	0	0	0
	引水费用				7173.55			

注：余（缺）水量 = 总供水量 - 总用水量。

3.3 结果分析

五家渠市在需水方面，通过采用调整产业结构、调整种植结构、增加节水设施和提高节水技术等措施，在不降低经济效益和人民生活水平的前提下，抑

制了各用水户的需水增长势头；在供水方面，通过增加引水设施和引水量等措施，协调工农业的竞争性用水；在优化配置方法上，采用多目标决策分析法建立模型，根据水量平衡原则分析表 2、表 3 中水资源

优化配置的结果可知,从缺水量最小目标出发,五家渠市的水量分配均能满足需水的要求,未出现水资源短缺的状况;从引水费用最小目标出发,2030 年的引水费用较 2015 年增长了 861.1 万元,年平均增

长 57.41 万元,由此可见五家渠市引水费用的增长幅度较小,满足目标函数的要求,所以,本文的水资源优化配置结果是合理的。

表 3 五家渠市 2030 年水资源优化配置成果 万 m³,万元

		农业	工业	建筑业	第三产业	生活	生态	合计
可供水量	老龙河	3500.00					800.00	4300.00
	黑水桥	826.92					68.00	894.92
	其他河流	801.00					74.00	875.00
	外调水	4836.65	7097.35				266.00	12200.00
	地下水	9142.29	0	349.14	936.79	474.83	1801.26	12704.31
	合计	19106.86	7097.35	349.14	936.79	474.83	3009.26	30974.23
	需水量	19106.86	7097.35	349.14	936.79	474.83	3009.26	30974.23
平衡情况	余(+)缺(-)	0	0	0	0	0	0	0
	引水费用				8034.65			

注:余(缺)水量 = 总供水量 - 总用水量。

通过对优化配置方案的分析可知,五家渠市用水部门按分配的水量排列,农业配水所占的比例仍是第一,工业用水其次,但农业的配水量却呈逐年下降趋势,工业的配水量呈逐年增长的趋势,体现出本文在水资源优化配置时,考虑到在不降低农业效益的前提下,协调了各用水户的竞争性用水的特性,改善了工农业用水矛盾的问题,所以,本文的水资源优化配置结果具有实用性和协调性。

4 结 语

(1)针对水资源配置受众多不确定因素的影响限制,很容易使决策者陷入两难境地的问题,本文选择多目标决策分析法,综合考虑五家渠市经济和可持续发展等一系列影响因素,建立了五家渠市水资源优化配置模型,取得了较好的结果,体现了多目标决策分析法适用性强、考虑问题全面的优点。

(2)本文通过建立基于多目标决策分析的五家渠市水资源优化配置模型,为该市社会经济的可持续发展提供了坚实的后盾,在投资力度最小的情况下,使水资源利用获取最大效益,很好地协调了各用水户之间存在的用水矛盾,以避免出现水资源匮乏的局面。

参考文献:

[1] 詹道江,叶守泽. 工程水文学 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

[2] 杜芙蓉,杜长胜. 焦作市需水预测与水资源优化配置研究[J]. 水电能源科学,2009,27(4):25-28.

[3] 顾文权,邵东国,黄显峰,等. 水资源优化配置多目标风险分析方法研究 [J]. 水利学报,2008,39(3):339-345.

[4] 吕一兵,万仲平,胡铁松. 水资源优化配置的双层多目标规划模型 [J]. 武汉大学学报(工学版),2011,44(1):53-57.

[5] 李 丽,牛 奔. 粒子群优化算法[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.

[6] 李其峰,谢新民,付意成. 基于三次平衡的五家渠市水资源优化配置研究 [J]. 水电能源科学,2011,29(3):16-19.

[7] 黄 伟. 基于自适应遗传算法的水资源优化配置研究 [J]. 人民黄河,2010,32(8):63-64.

[8] 李颖智,佟元清,张森琦,等. 格尔木市水资源优化配置研究 [J]. 中国农村水利水电,2011(2):46-49.

[9] 黄金林,丁元芳,迟宝明. 岔路河流域水资源合理配置研究 [J]. 水土保持研究,2008,15(2):235-238.

[10] 富飞,贾志峰,朱红艳. 基于宽容约束的多目标水资源优化配置 [J]. 水资源与水工程学报,2011,22(2):77-81.