

张正苹, 成自勇, 沈国云, 等. 黄河流域向甘肃省可供水资源优化配置研究[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(2): 105-109.

黄河流域向甘肃省可供水资源优化配置研究

张正苹¹, 成自勇¹, 沈国云², 张 芮¹

(1 甘肃农业大学 工学院, 甘肃 兰州 730070; 2 甘肃省景泰川电力提灌管理局, 甘肃 景泰 730400)

摘要:【目的】构建水资源优化配置模型。【方法】以黄河流域向甘肃省可供水资源为研究对象,通过多年供需水量平衡分析,采用水资源管理决策支持系统中的最优化技术,构建水资源优化配置模型。【结果和结论】模型计算结果显示:近期2020年和远期2030年水资源配置分别为52.75和64.52亿m³,其中农业用水较前10年分别减少2.8和0.7亿m³,其他行业用水不同幅度增加。预测该配置方案能满足该地区社会经济与生态环境发展对水资源的要求。

关键词:黄河流域; 水资源; 供需平衡; 优化配置; 最优化技术

中图分类号: S336

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2014)02-0105-05

Optimal water resources allocation of the Yellow River basin for Gansu Province

ZHANG Zhengping¹, CHENG Ziyong¹, SHEN Guoyun², ZHANG Rui¹

(1 Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2 Jingtaichuan Electrical Lifting Irrigation Administration Bureau of Gansu Province, Jingtai 730400, China)

Abstract:【Objective】To construct an optimal water resources allocation model.【Method】This study chose the water resources of the Yellow River for Gansu Province as the research object. The optimal technique of water resources management decision support system was used to construct the model of optimal allocation of water resources through years of water supply and demand balance analysis.【Result and conclusion】Model calculation results showed that in the 2020 and forward 2030 time period, water resources allocation would be 5.275 billion cubic meter and 6.452 billion cubic meter respectively, including a reduction in agricultural water for 280 million cubic meter and 70 million cubic meter compared to their last decade's respectively, and other industry water consumption would increase to some extent. This scheme can meet region's socioeconomic and ecoenvironmental development demands for water resources according to the prediction.

Key words: the Yellow River basin; water resources; supply and demand balance; optimal allocation; optimization technique

水资源配置是指在流域或特定的区域范围内,遵循有效性、公平性和可持续性原则,利用各种工程和非工程措施,按照市场经济规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、保障有效供给、维护和改善生态环境质量等手段和措施,对多种可利用水资源在区域间和各用水部门间进行调配^[1]。随着社会经济的

不断发展、人口的不断增加、城镇化率的提高,甘肃省需水量不断增加,尤其是兰州新区、兰白经济区、游牧民族定居供水、陇东能源基地的规划与开发等对水资源的需求,水资源供需矛盾日趋严重,生态环境将面临严峻的考验,严重制约着该地区的可持续发展。通过水资源优化配置提高水资源利用率,实现

收稿日期:2012-12-31 优先出版时间:2014-01-03

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20140103.0830.023.html>

作者简介:张正苹(1988—),女,硕士,E-mail:zhzp0723@126.com;通信作者:成自勇(1956—),男,教授,E-mail:chengzy@gsau.edu.cn

基金项目:甘肃省教育厅研究生导师项目(0902-02)

水资源可持续利用,是21世纪我国的水利工作的首要任务^[2].对有限的水资源进行合理配置,实现高效利用是缓解水资源短缺、供需矛盾的必要手段^[3-4].

本研究以《甘肃省地级行政区用水总量控制指标研究》^[5]、《甘肃省地级行政区用水效益控制指标研究》^[6]相关研究为基本依据,以甘肃省水资源供需平衡分析为基础,结合黄河流域实际情况,构建了黄河流域向甘肃省可供水资源优化配置模型,通过求解模型,得到该流域规划水平年的最优配水量,可为相关部门提供参考.

1 研究区概况

甘肃地域辽阔,省内分属黄河、长江、内陆河三大流域,水资源时空分布不均、各地气候条件差异明显、地貌特征各有不同^[7].其中黄河流域包括黄河干流(包括支流庄浪河、大夏河、祖厉河及直接入干流的小支流)、洮河、湟水、渭河、泾河、北洛河等6个水系,年径流量大于1亿 m^3 的河流有36条,其中黄河干流10条、洮河水系12条、湟水水系1条、渭河水系7条、泾河水系6条.黄河流域自产水资源量为125.16亿 m^3 ,入境水资源量为239.64亿 m^3 ,出境水量为341.08亿 m^3 .黄河流域向甘肃省供水包括武威市、兰州市、白银市、临夏州、定西市、天水市、平凉市、庆阳市和甘南州等9个地级行政区.供水系统见图1.

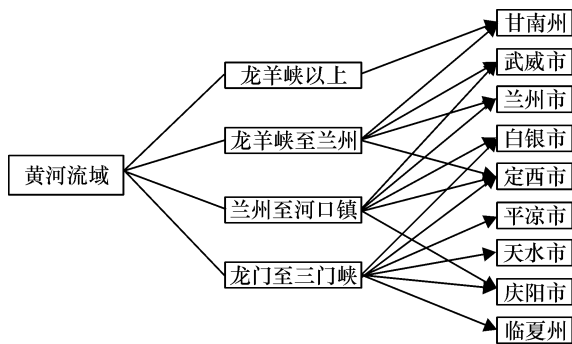


图1 黄河流域向甘肃省地级行政区供水系统

Fig.1 A water supply system of the Yellow River basin for the prefecture-level administrative region in Gansu Province

2 模型构建

本研究将黄河流域可供水分区作为研究区,根据甘肃省多年平均供需水量和用水发展趋势,采用水资源管理决策支持系统中的最优化技术,建立一个分别以城镇生活用水、农村生活用水、工业用水、农业用水、生态用水为寻优目标,以地表水、地下水供水量为约束条件,以寻优目标的最优化为目标的水资源优化配置模型^[8-9],通过求解模型,确定近期

(2020年)和远期(2030年)最优供水方案,将水资源在各分区不同用水部门间进行最优化配置.

2.1 变量设置

共设有4个分区,每个分区参与优化的用水行业有城镇生活用水、农村生活用水、工业用水、农业用水、生态用水共5个行业,分别用 $x_{i_c}, x_{i_r}, x_{i_i}, x_{i_a}$ 和 x_{i_e} 表示第 i 分区上述各用水行业分配的水量($i=1, 2, \dots, 4$).水资源分为地表水资源和地下水资源,用 S 表示使用地表水源,用 G 表示使用地下水源.

2.2 约束条件

在建立模型时考虑了如下约束条件.

地表水约束:一个流域的地表水可供水量与河流的水文特性和河道上的引、蓄水工程的规模、质量以及管理措施等许多因素有关.计算中各用水行业用地表水量不能超过可供水量,因而形成如下约束条件:

$$X_{i_{cs}} + X_{i_{rs}} + X_{i_{is}} + X_{i_{as}} + X_{i_{es}} + D_s^- - D_s^+ = W_{i_s}, \quad i=1, 2, \dots, 4.$$

式中: D_s^+, D_s^- 分别表示所用地表水量之和超过和不足地表水可供水量的差值,即正偏差、负偏差.根据目标规划理论 $D_s^+ \geq 0, D_s^- \geq 0$,且 $D_s^+ \cdot D_s^- = 0$; W_{i_s} 表示第 i 分区地表水可供水量.

地下水约束:要求地下水开采量不能超过该流域内地下水可开采量.如果破坏了这一关系,过量开采地下水就会产生一系列环境负效应.因此,必须加以限制.数学表达式为:

$$X_{i_{cg}} + X_{i_{rg}} + X_{i_{ig}} + X_{i_{ag}} + D_g^- - D_g^+ = W_{i_g}, \quad i=1, 2, \dots, 4.$$

式中: D_g^+, D_g^- 分别表示所开采地下水水量之和超过和不足地下水可开采量的差值,且 $D_g^+ \geq 0, D_g^- \geq 0$, $D_g^+ \cdot D_g^- = 0$; W_{i_g} 表示第 m 分区地下水可开采量.

2.3 寻优目标

2.3.1 城镇生活用水目标 城镇生活用水有如下式成立:

$$X_{i_{cs}} + X_{i_{cg}} + D_c^- - D_c^+ = N_{i_c} \cdot F_{i_c}, \quad i=1, 2, \dots, 4.$$

式中: D_c^+, D_c^- 分别表示城镇生活用水量之和超过或不足可供水量的差值,且 $D_c^+ \geq 0, D_c^- \geq 0, D_c^+ \cdot D_c^- = 0$; F_{i_c} 为第 i 分区城镇生活用水标准(m^3 /年); N_{i_c} 为该区域预测的城镇用水人口总数.

2.3.2 农村生活用水目标 农村生活用水有如下式成立:

$$X_{i_{rs}} + X_{i_{rg}} + D_r^- - D_r^+ = N_{i_r} \cdot F_{i_r}, \quad i=1, 2, \dots, 4.$$

式中: D_r^+, D_r^- 分别表示农村生活用水量之和超过或不足可供水量的差值,且 $D_r^+ \geq 0, D_r^- \geq 0, D_r^+ \cdot D_r^- = 0$; N_{i_r} 为预测的第 m 分区内农村饮水的人口总数; F_{i_r} 为第 m 分区内农村生活用水标准(m^3 /年).

2.3.3 工业用水目标 假设第*i*分区工业的万元产值耗水量(m^3)为 Q_{i_1} ,工业用水部门预期达到的总产值为 P_{i_1} , D_1^+ 、 D_1^- 分别表示工业用水量之和超过或不足供水量的差值,且 $D_1^+ \geq 0, D_1^- \geq 0, D_1^+ \cdot D_1^- = 0$;对第*m*区工业用水的目标方程为:

$$X_{i_{IS}} + X_{i_{IC}} + D_1^- - D_1^+ = Q_{i_1} \cdot P_{i_1}, i = 1, 2, \dots, 4.$$

2.3.4 农业用水目标 设第*i*分区的灌溉定额分别为 F_{i_A} ;期望达到的耕地面积为 N_{i_A} ; D_A^+ 、 D_A^- 分别表示农业用水量之和超过或不足供水量的差值,且 $D_A^+ \geq 0, D_A^- \geq 0, D_A^+ \cdot D_A^- = 0$.有如下公式成立:

$$X_{i_{AS}} + X_{i_{AG}} + D_A^- - D_A^+ = N_{i_A} \cdot F_{i_A}, i = 1, 2, \dots, 4.$$

2.3.5 生态用水目标 生态用水主要指城镇公园绿地用水、河道冲沙、河流天然植被以及防护林带等用水,设第*i*分区生态需水量为 W_{i_E} , D_E^+ 、 D_E^- 分别表示生态用水量之和超过或不足供水量的差值,且 $D_E^+ \geq 0, D_E^- \geq 0, D_E^+ \cdot D_E^- = 0$.对生态用水有下式成立:

$$X_{i_{ES}} + D_E^- - D_E^+ = W_{i_E}, i = 1, 2, \dots, 4.$$

2.4 各目标优先级别的确定

在实际计算时,各个具体目标需要根据它在区域经济结构和长远规划中的相对重要性,确定优先级别.拟定了下列5级目标:

第1级目标(P1)为满足水量约束条件.地表水利用量要小于地表水可利用量,地下水的开采量要小于地下水允许开采量,其他供水量不能超过可供

用水量,这一级目标反映了水资源开发利用必须要满足其承载能力,否则将产生环境负效应或可供水量难以满足的情况,即 $P1: \min Z_1 = D_S^+ + D_G^+$.

第2级目标(P2)为满足城市生活用水要求,即城市生活用水的不满足量最小. $P2: \min Z_2 = D_C^-$.

第3级目标(P3)为满足农村生活用水要求,即农村生活用水的不满足量最小. $P3: \min Z_3 = D_R^-$.

第4级目标(P4)为满足工业用水要求,即工业用水的不满足量最小. $P4: \min Z_4 = D_I^-$.

第5级目标(P5)为满足农业用水要求,即农业用水的不满足量最小. $P5: \min Z_5 = D_A^-$.

第6级目标(P6)为满足生态用水要求,即生态用水的不满足量最小. $P6: \min Z_6 = D_E^-$.

2.5 目标函数的确定

由以上各目标优先级别的确定,目标函数可以表示为: $\min Z = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6$.即目标规划数学模型.

3 模型求解与结果分析

3.1 参数选择

模型中涉及的社会经济指标、需水量和供水量,其他系数主要有万元产值耗水量、生活用水标准、灌溉定额、用水效益系数等,来自于《甘肃省地级行政区用水总量控制指标研究》和《甘肃省地级行政区用水效率控制指标研究》中提供的资料.如表1~3所示.

表1 黄河流域2020和2030年年需水量预测表

年份	水资源分区	农业	工业	城镇生活	农村生活	生态	合计
2020	龙羊峡以上		0.01	0.01	0.14		0.16
	龙羊峡至兰州	6.38	6.40	2.15	1.12	1.18	17.23
	兰州至河口镇	6.47	5.20	2.02	0.58	0.54	14.81
	龙门至三门峡	6.31	8.60	2.66	1.96	1.03	20.56
	小计	19.16	20.21	6.84	3.80	2.75	52.76
2030	龙羊峡以上		0.01	0.01	0.17		0.19
	龙羊峡至兰州	7.37	8.97	2.70	1.27	1.59	21.90
	兰州至河口镇	6.12	8.17	2.48	0.66	0.73	18.16
	龙门至三门峡	5.05	12.15	3.60	2.27	1.39	24.46
	小计	18.54	29.30	8.79	4.36	3.70	64.52

表2 黄河流域2020和2030年为甘肃省供水总量统计表

水资源分区	2020年			2030年		
	地表水	地下水	小计	地表水	地下水	小计
龙羊峡以上	0.15	0.01	0.16	0.18	0.01	0.19
龙羊峡至兰州	15.57	1.66	17.23	20.24	1.66	21.90
兰州至河口镇	13.16	1.65	14.81	16.51	1.65	18.16
龙门至三门峡	17.10	3.46	20.56	21.00	3.46	24.46
合计	45.98	6.78	52.76	57.74	6.78	64.52

表3 甘肃省黄河流域2010年用水指标统计表
Tab.3 Statistics of water indicators of Gansu province in 2010

人均用水量/ (m ³ ·人 ⁻¹)	GDP用水量/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	农田灌溉 用水量/(m ³ ·hm ⁻²)	生活用水量/(L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)		工业增加值用水量/ (m ³ ·万元 ⁻¹)
			城镇	农村	
344	135	5 865	159	49	41

3.2 模型求解

水资源管理决策支持系统是以水资源开发利用的管理决策为主要内容,根据研究区社会经济及自然地理条件,在综合利用各种信息和数据的基础上研究与开发的.水资源管理决策可用图2所示流程概化.将模型有关约束条件存入模型数据库中,打开

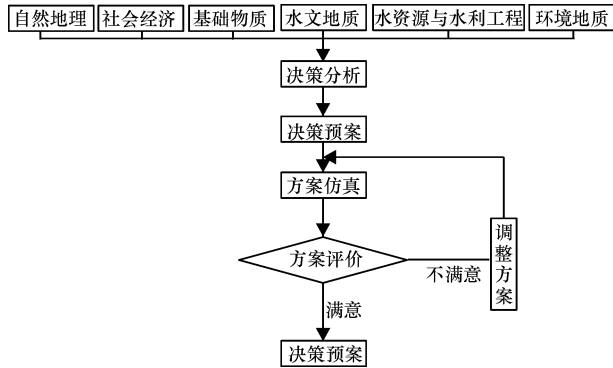


图2 水资源管理决策流程图

Fig.2 Water resources management decision flow chart

表4 2020年黄河流域向甘肃省可供水资源优化配置表

Tab.4 Water resources optimal allocation of the Yellow River basin for Gansu Province in 2020

水资源供水区	供水水源	城镇生活	农村生活	工业	农业	生态	合计
龙羊峡以上	地表水	0.01	0.13	0.01			0.15
	地下水		0.01				0.01
龙羊峡至兰州	地表水	1.93	1.01	5.98	6.02	1.18	16.12
	地下水	0.22	0.11	0.67	0.66		1.66
兰州至河口镇	地表水	1.84	0.37	5.05	5.78	0.54	13.58
	地下水	0.18	0.21	0.57	0.69		1.65
龙门至三门峡	地表水	2.41	1.67	7.03	3.99	1.03	16.13
	地下水	0.25	0.29	1.53	1.39		3.46

表5 2030年黄河流域向甘肃省可供水资源优化配置表

Tab.5 Water resources optimal allocation of the Yellow River basin for Gansu Province in 2030

水资源供水区	供水水源	城市生活	农村生活	工业	农业	生态	合计
龙羊峡以上	地表水	0.01	0.16	0.01			0.18
	地下水		0.01				0.01
龙羊峡至兰州	地表水	2.48	1.16	8.30	5.71	1.59	19.24
	地下水	0.22	0.11	0.67	0.66		1.66
兰州至河口镇	地表水	2.30	0.45	7.60	5.42	0.73	16.81
	地下水	0.18	0.21	0.57	0.69		1.65
龙门至三门峡	地表水	3.35	1.98	11.15	3.64	1.39	21.51
	地下水	0.25	0.29	1.53	1.39		3.46

水资源管理决策支持系统模型库,点击目标规划模型,输入有关参数,系统将自动计算出不同供水区、不同产业部门水量配置结果.水资源配置结果见表4~5.

3.3 模型计算结果分析

3.3.1 供需平衡分析 本研究确定的2020、2030年黄河流域向甘肃省供水量分别为52.76和64.52亿m³,超过了黄河流域向甘肃省可供水30.4亿m³的分水指标(按照“87”分水制,耗水率按0.61计算),考虑省内南水北调工程调水量,同时2020年前甘肃省黄河流域分水指标增加,才能满足经济社会发展对水资源的需求;地下水总量控制指标为6.78亿m³,未超过地下水可开采量18.8亿m³.由模型配置结果可知,在75%的保证率下,无论是2020年还是2030年,可供水资源的优化分配实现了在保证人民生活、工业发展、农业供水的同时,还能满足生态与环境用水的需求,有利于社会经济发展和生态与环境保护的统一.

3.3.2 用水结构分析 将规划年2020年、2030年甘肃省各用水行业需水量与现状年2010年需水量进行比较,结果见表6。

表6 甘肃省现状年与规划水平年需水总量增量比照表

Tab.6 Gansu Province planning annual water demand incremental compared with the present year 亿 m³

行业	2010年	2020年 需水量	增量 ¹⁾	2030年 需水量	增量 ²⁾
城镇生活	4.09	6.84	2.75	8.79	1.95
农村生活	2.22	3.80	1.58	4.37	0.57
工业	15.10	20.84	5.74	29.83	8.99
农业	21.33	18.53	-2.80	17.83	-0.70
生态	1.16	2.75	1.59	3.70	0.95
合计	43.90	52.76	8.86	64.52	11.76

1) 2020年与2010年比; 2) 2030年与2020年比。

由表6可以看出,确定的2020年需水量较2010年用水量增加8.86亿m³,其中城镇生活用水增加2.75亿m³,农村生活用水增加1.58亿m³,农业用水减少2.8亿m³,工业用水新增5.74亿m³,生态用水增加1.59亿m³。确定的2030年需水总量较2020年用水量增加11.76亿m³,其中城镇生活用水增加1.95亿m³,农村生活用水增加0.57亿m³,农业用水减少0.7亿m³,工业用水新增8.99亿m³,生态用水增加0.95亿m³。该模型确定的配置水量,使得用水结构更加合理,水资源效益进一步提高。

4 讨论与结论

在水资源严重短缺的今天,正确分析各用水部门的需水量和可供水量,科学合理的配置水资源,是实现区域内经济社会可持续发展和能源开发的根本保障,对于协调好资源、社会、经济和生态环境的动态关系和实现社会、经济、环境和资源的可持续发展有着至关重要的作用^[9-11]。甘肃省地处干旱气候区,生态与环境脆弱,水资源贫乏,时空分布不均,属资源性缺水区。近十年来,人类活动对水资源系统产生了强烈影响,同时由于水资源开发利用中缺乏统一规划和科学管理,使城市产生了地下水位持续下降、水质污染等问题;灌区出现水质恶化、土壤盐渍化等

一系列环境负效应,严重影响了经济的发展,加剧了水资源不足的供需矛盾,造成了严重的社会危害^[12]。因此,加强水资源科学管理势在必行,黄河流域向甘肃省可供水资源管理决策支持系统可为水资源科学管理与决策提供辅助依据。

系统中采用的多目标水资源管理模型,实现了分析者与决策者之间的信息交流,使决策者在整个水资源决策过程中,从定义模型的目标与约束到分析理解结果都更主动。

水资源管理决策支持系统是一项复杂的系统工程,在我国起步尚晚,缺乏经验,需进一步完善水资源管理决策支持系统的基本数据,加强本系统的实践应用,进行检验、改进和完善。

参考文献:

- [1] 辛朋磊,陈建标. 基于全局优化的南通市水资源优化配置研究[J]. 人民长江,2012,43(17):55-60.
- [2] 汪恕诚. 水权和水市场:谈实现水资源优化配置的经济手段[J]. 水电能源科学,2001,19(1):1-5.
- [3] 姚荣. 基于可持续发展的区域水资源合理配置研究[D]. 南京:河海大学,2005:10-15.
- [4] 吴泽宁,索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报,2004,23(2):1-5.
- [5] 牛最荣,常继清,赵清,等. 甘肃省地级行政区用水总量控制指标研究[M]. 兰州:甘肃人民出版社,2012.
- [6] 陈文,凡炳文,常继清. 甘肃省地级行政区用水效益控制指标研究[M]. 兰州:甘肃人民出版社,2012.
- [7] 程玉菲,李元红,刘佳莉,等. 甘肃省水利发展的制约因素研究[J]. 人民黄河,2012,(10):62-65.
- [8] 王浩. 黄淮海流域水资源合理配置[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [9] 李慈君. 水资源与环境系统管理模型研究现状[J]. 水文地质工程地质,1990(3):23-27.
- [10] BURAS N. Scientific allocation of water resources[M]. New York: American Elsevier Publishing Company, 1972.
- [11] NORMAN J, DULLEY D T, HOWELL W F, et al. Optimal intra seasonal irrigation water allocation[J]. Water Resour Res, 1971,7(4):770-788.
- [12] 王文科,王钊,孔金玲,等. 水资源管理决策支持系统与水源优化利用:以关中地区为例[M]. 北京:科学出版社,2007

【责任编辑 霍欢】