

泾惠渠灌区地表与地下水优化调度研究*

李永杰

马孝义

康绍忠

(陕西省水利厅)

(西北农业大学农业水土工程研究所)

摘 要 在考虑泾惠渠灌区各县区水资源、农业生产、渠系工程现状差异基础上,利用大系统分解协调模型和模糊技术研究该灌区地表、地下水联合优化调度模型,得出其丰、平、枯年水资源利用方案,并与现有用水方案比较分析,表明该研究结果切合实际,可操作性较好。

关键词 泾惠渠灌区 大系统分解协调模型 模糊数学 优化调度

泾惠渠位于陕西省关中平原中部,是一个灌溉 9 万 hm^2 的渠井双灌灌区。灌区水源泾河丰枯变差大,引水枢纽无调蓄能力,且近年来泾河上游用水量激增,河流来水减少,加上灌区农业用水又高度集中,使灌区供水矛盾十分突出,地下水严重超采,合理利用灌区地表、地下水资源已成为迫切需要解决的问题^[1,2]。从 50 年代开始国外学者就采用线性规划、随机动态规划、参数规划、模拟技术、大系统分解协调、组合模型等研究水资源优化问题。80 年代以来,我国学者也利用线性规划、非线性规划、动态规划、大系统分解协调、灰色规划等来研究我国不同灌区水资源优化调度^[3~6]。但现有的研究大多将灌区地表水、地下水、生产水平视为均一,不考虑其地区分布特征。而泾惠渠灌区面积大,各地自然条件、生产水平不能一概而论,为此本文试图在考虑地区差异基础上,采用模糊技术和大系统优化理论来研究灌区水资源调度问题。

1 数学模型

灌区水资源优化调度应考虑到灌溉对经济、生态和社会等方面影响。为此确定优化目标为:经济目标,灌区灌溉总经济效益最大;生态环境目标,水资源的开发有利于改善农业生产环境;社会目标,保证灌区群众基本生活需求。后两目标较难用一个理想指标反映,本文研究水资源利用对其影响,故分别采用允许地下水开采量和分区基本灌溉面积反映。采用多目标规划的约束法,将后两目标处理成约束条件,多目标问题简化为单目标问题。

1.1 第一层数学模型

1.1.1 目标函数

各子区的灌溉净效益最大。即

$$\max J_F = J_{GF} - J_{CA} - J_{CR} - J_{CP} \quad (1)$$

式中, J_F 、 J_{GF} 、 J_{CA} 、 J_{CR} 、 J_{CP} 分别为子区年灌溉净效益、毛效益、农业投资、运行管理费、提水费,万元。

1) 年毛效益:灌区引水主要用于灌溉冬小麦、棉花、夏玉米,子区毛效益简化为

$$J_{GF} = A \cdot (X_w \cdot C_w \cdot Y_w + X_c \cdot C_c \cdot Y_c + X_m \cdot C_m \cdot Y_m) \quad (2)$$

收稿日期: 1998-06-30

* 国家自然科学基金资助项目

李永杰,高级工程师,西安市尚德路 陕西省水利厅, 712000

式中, A 为子区灌溉面积; Y_w 、 Y_c 、 Y_m 、 C_w 、 C_c 、 C_m 分别为小麦、棉花、玉米的播种比例和单价。据灌区统计资料确定, 见表 1。

表 1 泾惠渠灌区主要农作物种植比例、平均产量及农产品单价

Tab 1 Percentage of crops planting, average yield and prices of agricultural products						
子区(县、区)	泾阳	三原	高陵	临潼	阎良区	单价/元 · kg ⁻¹
A/hm^2	2 459	1 56	1 715	1 422	0 916	
小麦 $Y_w/\%$	70 4	81 1	77 1	85 3	78 5	
棉花 $Y_c/\%$	52 1	76 4	80 3	79 8	37 7	
玉米 $Y_m/\%$	12 7	1 74	2 10	4 81	13 6	
小麦 $\bar{Y}_w/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	5040	4657 5	6890	5775	5077 5	2 16
棉花 $\bar{Y}_m/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	870	480	487 5	465	892 5	22 44
玉米 $\bar{Y}_c/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	5175	4605	6952 2	5715	5325	1 64

Y_w 、 Y_c 、 Y_m 分别为小麦、棉花、玉米单产, kg/hm^{-2} , 由作物水分生产函数连加模型

$$(1 - \frac{Y}{\bar{Y}}) = \prod_{j=1}^J K_j (1 - \frac{E_{Tj}}{E_{Tj}}) \tag{3}$$

式中, Y 、 \bar{Y} 、 J 、 K_j 分别为各种作物实际产量、最高产量、生育阶段、作物第 j 阶段的产量反应系数, 其中最高产量根据灌区统计资料确定, 反应系数据泾惠渠统计资料确定。 E_{Tj} 、 E_{Tj} 分别为各种作物腾发量、潜在腾发量, E_{Tj} 据泾惠渠试验站资料确定, 在假定各阶段有效降雨, 灌水全部腾发, 不为下阶段储水时, 即

$$E_{Tj} = P_j + M_{qj} + M_{pj} \tag{4}$$

式中, P_j 、 M_{qj} 、 M_{pj} 分别为各种作物第 j 阶段的有效降雨量、渠灌水量、井灌水量。

2) 年农业投资 J_{CA} 农业投资主要包括种子、化肥、农药等投入费用。

$$J_{CA} = A \cdot (C_{dw} \cdot Y_w \cdot Y_w + C_{dc} \cdot Y_c \cdot Y_c + C_{dm} \cdot Y_m \cdot Y_m) \tag{5}$$

式中, C_{dw} 、 C_{dc} 、 C_{dm} 分别为小麦、棉花、玉米农业投资系数, 据陕西省统计资料确定, 见表 2。

3) 年运行管理费 J_{CR} 它主要包括行政管理费、管理人员工资、维修养护费等。

$$J_{CR} = C_u \cdot W \tag{6}$$

式中, W 为总种植面积, hm^2 ; C_u 为年单位面积运行费, 元 $/\text{hm}^2$, 据灌区历年资料分析确定, 见表 2。

表 2 灌区农业投资系数及年运行管理费系数

Tab 2 Agricultural investment coefficient and annual running cost coefficient					
子 区	泾阳	三原	高陵	临潼	阎良区
$C_{dw}/\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$	1 146	1 146	1 146	1 162	1 184
$C_{dc}/\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$	0 952	0 952	0 952	0 964	0 964
$C_{dm}/\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$	0 75	0 75	0 75	0 780	0 79
$C_u/\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$	96	96	96	99	99

4) 年提水费 J_{CP} 提水费用主要是动力费, 因渠灌为自流灌溉, 仅考虑井灌提水费。

$$J_{CP} = C_p \left(\frac{W_w}{\eta_p} \cdot \prod_{i=1}^I M_{wpi} + \frac{W_c}{\eta_p} \cdot \prod_{j=1}^J M_{cpj} + \frac{W_m}{\eta_p} \cdot \prod_{k=1}^K M_{mpk} \right) \tag{7}$$

式中, C_p 、 η_p 分别为井灌提水费用系数(元 · m^{-3}), 井灌水有效利用系数, 各子区基本相同 $C_p = 0 055$, $\eta_p = 0 85$ 。 I 、 J 、 K 分别为小麦、棉花、玉米的生育阶段, M_{wpi} 、 M_{cpj} 、 M_{mpk} 分别为小麦、棉花、玉米在第 i 、 j 、 k 生育阶段的井灌水量(m^3/hm^2)。

1. 1. 2 约束条件

1) 引泾水量的约束 子区某年份引泾水量不超过全灌区分配给子区的水量。即,

$$\frac{A}{\eta_i} (\gamma_w^I M_{wqi} + \gamma_c^J M_{cqi} + \gamma_m^K M_{mqk}) = T_{MU} \quad (8)$$

式中, T_{MU} 为分配给该子区的引泾水量, η_i 为渠灌水利用系数, 据灌区资料 $\eta_i = 0.53$, M_{wqi} , M_{cqi} , M_{mqk} 分别为小麦、棉花、玉米在 i, j, k 生育阶段的每 hm^2 渠灌水量。

2) 地下水开采量约束 子区在某年份地下水使用量不超过地下水可开采量。即,

$$J_{SW} \leq J_{WA} \quad (9)$$

式中, J_{WA} 为地下水可开采量, 计算见式(14), J_{SW} 为地下水使用量。

$$J_{SW} = \frac{W}{\eta_i} (\gamma_w^I M_{wpi} + \gamma_c^J M_{cpj} + \gamma_m^K M_{mpk}) \quad (10)$$

1.2 第二层数学模型

本层优化目的是对全灌区 5 个子区的计算水量进行协调, 以达到最大的灌溉净效益。

1.2.1 目标函数

$$\max B = \sum_{n=1}^N \frac{F_{MU_n}}{A_{MU_n}} \cdot T_{MU_n} \quad (11)$$

式中, B 为全灌区灌溉净效益, 万元; A_{MU_n} 为第一次替代分配给 n 子区水量, 万 m^3 ; F_{MU_n} 为 n 子区用水量 A_{MU_n} 时产生的效益, 万元; T_{MU_n} 为分配给 n 子区水量, 万 m^3 , N 为子区数。

1.2.2 约束条件

1) 引泾水量约束 某年份全灌区引泾水量不得超过泾河可供水能力。

$$\sum_{n=1}^N T_{MU_n} \leq L_{MU} \quad (12)$$

式中, L_{MU} 为泾河某年份可引水量, 万 m^3 。

2) 子区分配水量约束 它应大于子区最小供水量, 且不超过子区作物需水总量。

$$T_{\min_n} \leq T_{MU_n} \leq T_{\max_n} \quad (13)$$

式中, T_{\max_n} 为 n 子区作物需水总量, 万 m^3 ; T_{\min_n} 为 n 子区最小供水量, 万 m^3 , 由不同年份 n 子区的基本灌溉面积与灌关键水时的单位面积灌水量确定。

2 灌区不同年份水文气象基本资料的模糊确定及模型求解

2.1 灌区丰水、平水、枯水年的模糊聚类计算及代表年的降水分配过程

灌区水文、气象要素既受控于流域水文气象、自然地理、植被覆盖等确定因素, 又具有随机性和模糊性, 为此采用模糊聚类分析划分降雨丰、平、枯年, 确定其均值见表 3。

表 3 灌区丰平枯年最优划分结果

Tab 3 Optimal classification of wet, normal and dry year

类别	年 份															降雨量均值/mm
丰水年组	1953	1955	1957	1963	1974	1975	1980	1982	1983	1987						705.7
平水年组	1954	1956	1958	1959	1961	1962	1964	1965	1966	1969	1973	1978	1981	1988	1989	548.1
枯水年组	1960	1967	1968	1970	1971	1972	1976	1977	1979	1984	1985	1986				417.0

本文研究中, 首先计算不同丰枯年份的月、旬降雨量平均值, 再采用模糊相似优先比法确定灌区降雨代表年, 而后由代表年资料同倍比缩入, 确定降水分配过程, 见表 4。

2.2 有效降雨量、作物需水量和地下水开采量的确定

作物生育期内有效降雨量按表 4 给出降雨量资料推算, 作物需水量根据泾惠渠灌溉试验

站资料确定。就其一水文年份而言,灌区地下水可开采量 J_{WA} 可用式(14)计算

$$J_{WA} = W_O + W_P + W_Y + W_I - W_B \tag{14}$$

式中, W_O 、 W_P 、 W_Y 、 W_I 、 W_B 分别为地下水初始开采量、降雨补给量、侧向入渗补给量、灌溉水补给量、潜水蒸发量。初始开采量

$$W_O = \mu A_p (H_{\max} - H_{\min}) \beta \tag{15}$$

式中, μ 、 A_p 、 H_{\max} 、 H_{\min} 分别为给水度、宜井土地面积(hm^2)、最大、最小地下水埋深(m),分子区据泾惠渠现有成果确定。 β 为可开采系数,由干旱程度确定,越干旱,可开采储存地下水量越多,即 β 越大,丰水年和平水年 $\beta = 0$,枯水年取 $\beta = 0.33$ 。降雨补给量、侧向入渗量、灌溉水补给量、潜水蒸发量在考虑不同子区基础上,据不同年份的降雨量、地下水埋深、渠灌、井灌入渗系数等确定,计算从略。

表 4 灌区不同水文年份降水量分配过程

Tab. 4 Rainfall distribution of different hydrological year																		mm	
水文年 代表年		10月			11月			12月			1月			2月			3月		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
丰水年	1974	0.8	5.0	2.0	27.4	9.5	6.2	13.6	0.7		2.0	2.2	0.9	1.4	1.3	1.2	5.0	10.7	11.6
平水年	1964	66.0	26.9	14.5	4.9	3.3	5.3	9.8	0.2	0.8			0.9		6.2	1.4	2.0	21.1	19.1
枯水年	1984	3.6	19.6	12.1	2.0	8.9	5.2	6.1	15.0		0.6		3.0	1.1	3.4		5.1		3.0
水文年 代表年		4月			5月			6月			7月			8月			9月		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
丰水年	1974	16.0	23.5	11.6	9.6	65.7	76.4	8.6	3.5	25.2	5.6	53.3	23.9		10.0	52.4	68.9	28.9	47.4
平水年	1964	15.9	21.2	39.7	12.1	23.1	3.6	25.8	3.2	45.0	95.7	28.5	11.3	13.7	13.8	15.7	39.0		9.8
枯水年	1984	12.3	21.9	4.4	6.5	49.0	9.9	15.1	15.3	12.6	6.7	15.3	1.4	11.1	7.4	36.3	4.5	93.0	10.0

2.3 模型的求解及结果

对上述线性规划模型,采用单纯形法,其决策变量及约束条件过多,计算量过大,且易造成计算误差累积,为此采用大系统分解协调方法求解,枯水年计算结果见表 5。将计算结果与泾惠渠现行运行方案比较分析,表明该优化方案符合灌区实际,且可操作性好。

表 5 枯水年份各子区各种作物井、渠灌优化灌水总量

Tab. 5 Optimal gross irrigation water amount from the well and channel for different crops in typical dry years

		万 m ³									
作物	生育期	渠 灌					井 灌				
		泾阳	三原	高陵	临潼	闫良	泾阳	三原	高陵	临潼	闫良
小麦	苗 期	133	85	93	77	50					
	营养生育期	379		2224	1844		3189	2023			
	开 花 期	1372	871	957	794	511					
	产品成熟期	2634	1671	1836	1522	981					
棉花	苗 期	111	71	78	64	42					
	营养生育期	353	224	246	204	132					
	开 花 期	7517	4768	5241	4346						
	成 熟 期										
玉米	苗 期		95	104	86	56	149				
	营养生长期			99	82	53	142				
	开 花 期	1652	1048			238			1152	956	378
水稻	产品盛花期		1576	2217	151	1727	4637	1366	1016	2530	
	成 熟 期	1210		843	6700	4507		768			

3 结 论

1) 利用模糊技术求出灌区丰、平、枯年的降雨特征值及月旬分配, 具有较好的代表性。

2) 考虑灌区自然、水资源、作物布局等差异, 将全灌区按县区划分为 5 个子区, 用大系统优化技术进行全灌区水资源优化调配, 能准确地反映灌区实际, 并有利于方案实施。

3) 灌区优化结果表明, 因井灌提水费较高, 三种水文年份均应以渠灌为主, 井灌为辅。

本文研究结果是在泾惠渠灌区现在用水管理现状基础上得出的, 随着用水管理制度改革、灌区企业化管理和运行机制转换, 该文研究还需进一步深化。

参 考 文 献

- 1 N Buras 著. 水资源科学分配 戴国瑞译 北京: 水利电力出版社, 1984
- 2 Yu W, Y Y Haines Multilevel optimization for conjunctive use of ground and surface water. *Water Res Res* 1974, 10(4): 1677~ 1684
- 3 李寿声, 汤瑞凉 灌溉工程地面水和地下水联合运用 华东水利学院学报, 1983(4): 1~ 11
- 4 郭元裕等 湖北四湖地区除涝排水系统规划大系统优化模型和求解方法 水利学报, 1984(11): 1~ 14
- 5 袁宏源 地面水与地下水联合利用的数学模型 武汉水利电力学院学报, 1984(4): 157~ 167
- 6 贾全昌 井渠灌溉调配的多目标灰色局势决策 水利学报, 1990(5): 38~ 51

Study on the Optimal Conjunctive Use of Surface and Underground Water in Jinghui Irrigation Region

Li Yongjie

(Water Resource Department of Shaanxi Province, Xi'an)

Ma Xiaoyi Kang Shaozhong

(Institute of Agricultural Soil and Water Engineering, Northwest Agricultural University)

Abstract By considering the water resources, agriculture and channel system condition of different counties or zones in Jinghui irrigation region, the large system decomposition-coordination model and fuzzy method were applied to study the optimal model of surface and underground water utilization. The irrigation region optimal operation schemes of wet, normal and dry years were computed. In Comparison with the present schemes used in the irrigation regions, the result indicated that the optimal result is practical and feasible.

Key words Jinghui irrigation region, large system decomposition-coordination model, fuzzy mathematics, optimal cooperation