

水量订单制度下黄河下游灌区 水资源实时分配模型及管理软件开发

马建琴, 张振伟, 邱 林

(华北水利水电学院, 河南 郑州 450011)

摘 要: 针对黄河下游引黄灌区水量订单随意性大、水资源利用率低的问题, 本文紧密结合当前调度管理制度, 基于实时灌溉预报与模糊聚类理论, 提出了黄河下游灌区水资源实时分配管理模型, 模型包括考虑土壤墒情、雨水资源及天气情况影响的作物需水预测模型和灌区实时水量订单模型两部分内容。在典型灌区, 进行了模型的应用, 并开发了相应的水资源管理软件; 应用结果的合理性表明了模型的正确性, 该模型可广泛用于黄河下游灌区的用水管理和调度。

关键词: 引黄灌区; 水量订单; 水资源利用率; 实时分配; 模糊聚类分析

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0163-06

黄河水资源的日益短缺给沿黄地区的经济和社会发展均造成了巨大的损失, 下游地区的缺水问题尤为严重。农业是引黄的用水大户, 为缓解沿黄特别是下游地区的水资源短缺问题, 亟需对引黄灌溉水资源进行优化调度, 提高水的利用效率和生产效率。

黄河水资源调度是一个复杂的非结构性问题, 涉及大量的指标和不确定性因素。过去对黄河水资源的分配研究, 多是围绕黄河干流进行的宏观研究^[1~4], 一般是基于数学规划或仿真手段建立数学模型, 通过优化或模拟技术进行优化调度研究, 缺乏针对区域的微观黄河水资源分配研究。另外, 由于实际的运行调度体制和理论研究间的巨大差异, 往往导致理论成果与实际调度的严重脱节。因此, 在现行调度体制下如何有效地提高水管理水平和水资源利用效率是关系沿黄地区可持续发展的一个重要课题, 但相关的研究还未见到。

黄河下游地区自 2001 年开始实行水量订单制度以提高引黄水的利用效率, 避免水资源浪费和下游断流问题。目前水量订单的制订基本是基于经验和申请者的主观意志, 订单往往比实际需水量值大很多^[5], 造成水管理部门难以按订单值供水; 加之水资源的优化分配涉及到诸多不确定性因素, 现有水量订单的制定办法极不利于水资源的有效利用。在现有调度体系下, 制定实时的需水预测, 充分利用

雨水资源, 实时申报水量订单对目前紧缺的黄河水资源具有特殊的意义。

紧密结合黄河下游地区的调度体制和水量订单制度, 本文提出了黄河下游引黄灌区水资源实时分配和管理模型, 模型充分考虑了土壤墒情、雨水资源及天气情况等的影响, 建立了实时的作物需水预测模型和灌区实时水量订单模型, 并基于模糊聚类理论提出了缺测资料地区不同天气情况对作物需水量影响的确定方法。结合典型灌区进行模型应用并开发了相应的用水管理软件, 该软件能够根据灌区来水情况给出用水建议, 为引黄灌区水资源优化利用及实时调度提供决策参考, 为提高引黄灌区水资源利用效率做出理论指导和建议。模型和软件可广泛用于黄河下游灌区的管理和调度。

1 引黄灌区实时需水预测及水量订单模型

1.1 作物实时需水预测模型

作物需水量是灌区需水预测的基础, 已知气象资料时常采用修正的彭曼公式^[6] 计算参考作物需水量 ET_0 。

$$ET_0 = \frac{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} R_n + E_a}{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (1)$$

式中: $\frac{P_0}{P}$ 为气压订正项, P_0 为海平面标准大气压, P

收稿日期: 2008-06-14

基金项目: 河南省骨干教师资助项目; 华北水利水电学院高层次人才启动项目

作者简介: 马建琴(1973—), 女, 河南郑州人, 工学博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农业水资源可持续利用, 区域水资源优化配置等方面的研究。

为计算地点的实际气压(hPa); Δ 为饱和水汽压 ~ 温度曲线上的斜率(hPa/°C); γ 为湿度计常数; R_n 为太阳净辐射(mm/d); E_a 为干燥力。

但在实时需水预测过程中, 由于气象资料的不可完全预知性, 式(1) 中部分参数不能确定, 因此需要寻求合适的方法进行作物需水量的计算。

由于研究区域缺乏资料, 文中据华北三个地区的长期历史气象记录^[7], 用式(1) 计算出逐年、月的 ET_0 , 按晴、云、阴、雨 4 种天气类型进行分类统计, 发现在同一地区的相同月份内, 相同天气类型下 ET_0 的数值十分稳定, 适于采用模糊聚类的方法进行聚类分析, 得到不同天气类型的聚类中心 s 。用 s 值对多年平均相应时段进行实时修正, 预报出面临阶段在相应天气状况下的参考作物需水量 ET_0' (mm/d), 聚类中心的确定办法见本文天气类型对作物需水量影响的聚类分析部分。

$$ET_0' = s \cdot ET_0 \quad (2)$$

采用半经验公式进行作物需水量 ET 的计算,

$$ET = ET_0' \cdot K_c \cdot K_w = s \cdot ET_0 \cdot K_c \cdot K_w \quad (3)$$

式中: K_c 为作物系数, 由作物种类和生育阶段确定; K_w 为土壤水分修正系数, 由面临阶段的土壤平均含水率确定。

1.2 作物实时灌溉预报

常规灌溉用水计划是根据历史资料, 依据典型水文年制定的“静态”用水计划。若面临年实际的气象、水文情况与历史典型年差异较大, 则难以有效地指导用水^[8]。“动态”用水计划是以实时灌溉预报为依据的动态取水、配水与灌水计划, 是利用实时监测信息, 通过灌溉模拟做出最优灌溉决策的实时灌溉调控措施^[9], 能够有效地提高灌区水资源利用率。考虑降水过程和气象条件的随机性和不可重复性, 以及引黄灌区水资源的紧缺性, 本研究中水量订单的制定以实时灌溉作为依据。

结合引黄灌区灌溉面积相对集中、规模较大的特点, 研究中采用正推法。首先依据气象部门提供的预报时段的天气情况, 如天气类型、降水预测等, 和由灌区管理部门提供的面临阶段初土壤墒情数值等一系列实时的监测数据和预测值作为输入, 结合当地的气象水文情况, 通过计算机模拟, 推算出面临阶段末的土壤含水率值, 用该值和作物生长所需的最低土壤含水率进行对比, 预测作物在面临阶段所需的灌水量及日期, 并发布灌溉预报。根据来水及灌溉要求不同分为充分与非充分灌溉两种情况进行

测报和用水管理。

作物需水量的实时预报和处理方法是实时灌溉预报的基础, 依据面临阶段的天气状况预测及其模糊聚类中心, 按照式(3) 实时预报作物需水量后, 按以下方法进行实时灌溉预报。

1) 充分灌溉条件下作物需水量计算。

对于水稻, 泡田定额 m_i (mm) 按式(4) 确定^[10]。

$$m_i = h_0 + s_i + e_i t_i + p_i \quad (4)$$

式中: h_0 为插秧时田面所需的水层深度(mm); s_i 为时段内渗漏水量(mm); t_i 为泡田期日数(d); e_i 为 t_i 时期内水田田面平均蒸发强度(mm/d); p_i 为 t_i 时期内的降雨量(mm)。

生育阶段的灌水量 m_i (mm) 的确定:

$$h_{i-1} + P_i + m_i - S_i - ET_i - C_i = h_i \quad (5)$$

式中: h_{i-1} 、 h_i 分别为时段初、末田面水层深度(mm); P_i 为时段内降雨量(mm); C_i 为时段内排水量(mm); ET_i 为时段内作物需水量(mm), 以实时预报值作为输入。

模拟过程中根据灌区实际, 确定出水稻各生育阶段淹灌的适宜水层上、下限, 降水后最大蓄水深度及渗漏量, 逐旬计算。在各个计算时段末, 根据灌区遥感信息系统的实测值对计算值进行修正, 作为下一时段的初始值。

对于旱作物, 播前灌溉定额 m_i ($m^3/667m^2$) 为:

$$m_i = 667 H_i \cdot (\theta_{\max} - \theta_0) \cdot n \quad (6)$$

式中: H_i 为土壤计划湿润层深度(m); $\theta_{\max}$ 为田间持水率; θ_0 为播前计划湿润层土层内的平均含水率; n 为 H 土层内的土壤孔隙率(%)。

生育阶段灌溉定额 m_i ($m^3/667m^2$) 确定公式为:

$$W_i = W_{i-1} + 0.667 P_{0i} + W_T - 0.667 ET_i + K_i + m_i \quad (7)$$

式中: W_{i-1} 、 W_i 分别为时段初、末土壤中的含水量($m^3/667m^2$); P_{0i} 为时段内有效降雨量(mm); W_T 为由于计划湿润层的增加而增加的水量($m^3/667m^2$), 按式(8) 计算; K_i 为计算时段内地下水补给量($m^3/667m^2$)。

$$\begin{aligned} W_T &= 667 \cdot (H_i - H_{i-1}) \cdot n \cdot \theta \\ &= 667 \cdot (H_i - H_{i-1}) \cdot n \cdot \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: H_{i-1} 、 H_i 分别为时段初、末计划湿润层深(m); θ_{i-1} 、 θ_i 分别为时段初、末土壤含水率; θ 为计划湿润层土层内的平均含水率。

2) 非充分灌溉条件下作物需水量计算。

水资源的短缺和用水争端的日益激烈必将消减农业用水量,导致灌区水资源不再能满足作物充分灌溉的需要。在灌区实际管理中,遇到的多是非充分供水条件下作物的灌溉用水管理问题。在非充分灌溉条件下,作物实时灌溉预报方法为:

水稻:根据气象部门的短期天气预报获得面临阶段的降雨量和主要天气类型,按照生长期水量平衡方程式(5)进行预报,考虑各生育阶段非充分灌溉条件下适宜水层的上、下限 $h_{\max}$ 、 $h_{\min}$,阶段末根据实际的田间水深对计算值进行修正。

旱作物则依据来水情况和灌水程度,用式(9)计算。研究中分别按不同的模拟情况预测未来时段内农田土壤水分下降到土壤水分控制下限的时间,以及达到所需灌溉程度的灌水量;每一计算时段结束时以实测的土壤含水率值进行修正,作为下一计算时段的初始含水率。

$$m_i = 667 \cdot n \cdot H_i \cdot (\theta - \theta_i) \cdot \theta_{\max} \tag{9}$$

式中: θ 是灌溉所要达到的土壤含水率,以占田间持水率 $\theta_{\max}$ 的百分数表示,研究中分别按不同的模拟情况进行确定;操作中只要输入灌溉所要达到的非充分灌溉百分率,系统通过逐旬模拟计算输出灌溉预报结果。

1.3 灌区总需水量计算

根据灌区的作物种植结构、作物生育期灌溉水量、各级渠系以及田间的水量损失、各干渠的控制灌溉面积进行渠系水量和总闸口的取水量计算和预报。逐旬灌区需水总量 $W_t(10^4 \text{ m}^3)$ 为

$$W_t = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^l m_j A_{ij} / k \tag{10}$$

式中: c 为干渠个数; l 为作物种类; m_j 为第 j 种作物在该旬灌水量($\text{m}^3/667\text{m}^2$); A_{ij} 为第 j 种作物在第 i 个干渠中的控制灌溉面积(667 hm^2); k 为灌区水利利用系数。

闸口全年总需水量 $W(10^4 \text{ m}^3)$ 为

$$W = \sum_{t=1}^{36} W_t \tag{11}$$

1.4 水量订单及水费管理

针对黄河管理部门调水配水和水费管理的实际需求进行了需水订单和水费管理方面的工作。依据前面的水量计算得到不同时段的需水量订单向水务管理部门申报,包括旬、月引黄水量定单、年度用水量订单以及实际的月用水量情况等,并作为历史数

据存储在数据库中。

水费管理部分主要包括应征水费、实征水费、欠费和欠费滞纳金四部分。根据黄河用水水价的相关管理条例和现行的水价征收方案,考虑不同的用水部门和用水时段,忙时与闲时的水价差异,基于实际用水统计计算出相应的水费和水费管理报表。

2 天气类型对作物需水量影响的模糊聚类分析

制定水订单的过程中需要预测面临阶段在预测天气类型下的参考作物需水量 ET_0' 。由于研究区域缺乏长期的气象纪录而无法预知 ET_0' ,因此研究中根据邻近地区的长期气象记录及各年逐月 ET_0 值在晴、云、阴、雨 4 种天气类型下的统计^[7],知同一地区的同一月份内,相同天气类型的 ET_0 数值相对稳定,适于进行分类研究。本文引入模糊聚类的方法^[10,11] 寻求不同天气类型下 ET_0 的聚类中心,在实时需水预测模型中对 ET_0 进行修正。表 1 是我国华北 3 个地区的不同天气类型下多年平均逐旬的 ET_0 。

设 $i x_{kj}$ 为不同天气类型下的 ET_0 , i 表示不同的地区, $i = 1, 2, 3$; k 表示天气类型, $k = 1, 2, \dots, 4$; j 为月份, $j = 1, 2, \dots, 12$;由表 1 得到 i 地区 j 月份 k 种天气类型 $i x_{kj}$ 的特征值矩阵:

当 $i = 1$ 时, ${}_1 x_{kj} = \begin{bmatrix} 1 x_{11} & 1 x_{12} & \cdots & 1 x_{1,12} \\ 1 x_{21} & 1 x_{22} & \cdots & 1 x_{2,12} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 x_{41} & 1 x_{42} & \cdots & 1 x_{4,12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.94 & \cdots & 0.46 \\ 0.39 & 0.83 & \cdots & 0.42 \\ 0.35 & 0.69 & \cdots & 0.40 \\ 0.31 & 0.61 & \cdots & 0.29 \end{bmatrix}_{4 \times 12}$

对该矩阵进行规格化,得到相对隶属度矩阵

$$R = \frac{i x_{kj}}{\max i x_{kj}} \tag{12}$$

$\max i x_{kj}$ 为 i 地区 j 月份的指标特征值最大值。

得到 i 地区 j 月份 k 种天气类型下作物 ET_0 对晴天 ET_0 的相对隶属度矩阵

$$i r_{kj} = \begin{bmatrix} i r_{11} & i r_{12} & \cdots & i r_{1,12} \\ i r_{21} & i r_{22} & \cdots & i r_{2,12} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ i r_{41} & i r_{42} & \cdots & i r_{4,12} \end{bmatrix} \tag{13}$$

表 1 华北不同地区不同天气类型下多年平均 ET_0

月份 Mon.	望都 Wangdu				藁城 Gaocheng				临西 Linxi			
	晴 Clear	云 Cloudy	阴 Overcast	雨 Rainy	晴 Clear	云 Cloudy	阴 Overcast	雨 Rainy	晴 Clear	云 Cloudy	阴 Overcast	雨 Rainy
1	0.53	0.39	0.35	0.31	0.49	0.45	0.36	0.25	0.68	0.64	0.44	0.35
2	0.94	0.83	0.69	0.61	1.06	0.88	0.67	0.42	1.03	0.99	0.79	0.48
3	2.06	1.72	1.41	0.90	2.15	1.77	1.22	0.89	2.77	1.97	1.24	1.01
4	4.21	3.09	1.98	1.41	3.76	2.93	2.44	1.29	4.09	3.57	2.84	1.40
5	5.84	4.99	3.70	2.48	4.75	4.50	3.41	1.60	5.07	4.58	3.57	2.00
6	6.30	5.17	4.09	2.93	5.75	5.07	3.87	2.30	6.41	5.21	4.12	2.98
7	5.05	3.94	3.24	2.66	5.16	4.38	3.41	2.29	5.66	4.43	3.28	2.47
8	4.23	3.28	2.56	2.47	4.07	3.48	2.97	1.87	4.44	3.85	2.70	2.10
9	2.88	2.15	1.67	1.41	2.90	2.46	2.19	1.47	3.12	2.68	1.90	1.57
10	1.78	1.52	1.23	0.92	1.85	1.54	1.33	1.11	2.05	1.77	1.42	1.06
11	0.77	0.73	0.67	0.51	0.70	0.60	0.57	0.50	0.89	0.76	0.68	0.49
12	0.46	0.42	0.40	0.29	0.38	0.30	0.19	0.17	0.57	0.53	0.40	0.35

$i = 1$ 时, ${}_1r_{kj} = \begin{bmatrix} {}_1r_{11} & {}_1r_{12} & \cdots & {}_1r_{1,12} \\ {}_1r_{21} & {}_1r_{22} & \cdots & {}_1r_{2,12} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ {}_1r_{41} & {}_1r_{42} & \cdots & {}_1r_{4,12} \end{bmatrix}$

$= \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & \cdots & 1.00 \\ 0.74 & 0.88 & \cdots & 0.91 \\ 0.66 & 0.73 & \cdots & 0.87 \\ 0.58 & 0.65 & \cdots & 0.63 \end{bmatrix}_{4 \times 12}$

假设按对晴天 ET_0 的相对隶属度进行分类, 即 $c = 2$, 则其模糊聚类矩阵为:

${}_i u_{hj} = \begin{bmatrix} {}_i u_{11} & {}_i u_{12} & \cdots & {}_i u_{1,12} \\ {}_i u_{21} & {}_i u_{22} & \cdots & {}_i u_{2,12} \end{bmatrix}$ (14)

其中: $\sum_{h=1}^2 {}_i u_{hj} = 1$ (15)

$0 \leqslant {}_i u_{hj} \leqslant 1$ (16)

$\sum_{j=1}^n {}_i u_{hj} > 0$ (17)

设 k 种天气类型下 ET_0 的模糊聚类中心矩阵为:

$s_{hk} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \\ \cdots & \cdots \\ s_{k1} & s_{k2} \end{bmatrix}$

则 j 月份样本与不同天气类型 ET_0 聚类中心 h 间的差异, 可用广义欧氏权距离 $\parallel w_i(r_j - s_h) \parallel = \left\{ \sum_{k=1}^m [w_i({}_i r_{kj} - s_{kh})]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$ 表示, m 为天气类型总数。以 u_{hj} 为权重得到样本 j 与类别 h 间的加权广义欧氏权距离

$F(u_{hj}) = {}_i u_{hj} \cdot \parallel w_i(r_j - s_h) \parallel$ (18)

用迭代求解的方法求解最优模糊聚类中心矩阵

s :

1) 给定 ${}_i u_{hj}$ 与 s_{kh} 所要求满足的计算精确度 ϵ_1 、 ϵ_2 ;

2) 假设一个满足约束条件(15) ~ (17), 矩阵元素不全部相等的初始模糊聚类矩阵 u_{hj}^0 ;

3) 将 u_{hj}^0 代入式(19) 求对应的初始模糊聚类中心矩阵 s_{kh}^0 ,

$s_{kh}^0 = \frac{\sum_{j=1}^n u_{hj}^{0^2} \cdot w_i^2 \cdot {}_i r_{kj}}{\sum_{j=1}^n u_{hj}^{0^2} \cdot w_i^2}$ (19)

4) 将 s_{kh}^0 代入式(20) 求一次近似模糊聚类矩阵

u_{hj}^1

$u_{hj}^1 = \frac{1}{\sum_{h=1}^2 \frac{\sum_{i=1}^m [w_i({}_i r_{kj} - s_{kh}^0)]^2}{\sum_{i=1}^m [w_i({}_i r_{kj} - s_{ih})]^2}}$ (20)

5) 将 u_{hj}^1 代入式(19) 求一次近似模糊聚类矩阵 s_{kh}^1 ;

(6) 逐个比较 u_{hj}^l 、 u_{hj}^0 以及 s_{kh}^1 、 s_{kh}^0 的对应元素, 若 $\max |u_{hj}^l - u_{hj}^{l-1}| \leqslant \epsilon_1$, 且 $\max |s_{kh}^l - s_{kh}^{l-1}| \leqslant \epsilon_2$, 则迭代结束, s_{kh}^l 为最优聚类中心矩阵 s , 否则 $u_{hj}^0 = u_{hj}^l$, 重复(3) 至(6) 的步骤直至满足精度要求, 文献[11] 已经证明了迭代的收敛性。

经模糊聚类计算, 得到云、阴、雨 ET_0 对于晴天 ET_0 的模糊聚类中心分别为 0.823、0.647 和 0.570。

3 研究区模型应用

3.1 渠村灌区基本情况

渠村引黄灌区位于濮阳市,设计灌溉面积12.88 万 hm^2 ,其中正常灌区 4.97 万 hm^2 ,补水灌区7.90 万 hm^2 。粮食作物主要有小麦、玉米、水稻,复种指数 1.78,小麦、玉米种植面积占耕地面积的 70%左右。灌区多年平均降雨量581.0 mm,多年平均蒸发量 1663 mm。灌区内多年平均水资源量为3.982 亿 m^3 ,人均水资源量为 253 m^3 。灌区除水资源紧张外,还存在着以下问题:

- 1) 调蓄工程少,灌区降雨利用率很低;灌区工程布置见图 1。
- 2) 水资源缺少统一管理,用水条件好的灌区大量引黄灌溉,致使地下水位偏高,土壤存在次生盐碱的威胁,而引黄灌溉条件相对差的补水区,大部分土地利用井水灌溉,引起地下水位下降并产生大面积漏斗,带来了一定的环境问题。
- 3) 水资源浪费严重。群众节水意识差,耕作方式粗放,采用大水漫灌的灌水方式,灌溉用水浪费现象十分普遍。
- 4) 维护工作滞后。由于管理机构不健全,水费过低致使工程维护、改造经费短缺,加剧了工程的老化和水资源的浪费。

3.2 渠村灌区水资源管理

灌区实行水量订单管理制度,结合灌区管理部门的要求需实时申报水量订单,采用本文的管理模型和软件系统时首先按模糊聚类的方法确定不同天气对作物蒸腾蒸发量的影响,采用引黄灌区实时需水预测及水量订单管理模型进行模拟计算,公式(4)~(9)计算不同供水条件下的作物灌水量,灌水日期 t 按照式(21)计算。

$$t = \frac{W_i - W_{i-1}}{ET_i - K_i} \tag{21}$$

由公式(10)、(11)计算水量订单,输出水量订单与报表并进行水费管理。为验证结果的正确性,选择几种历史典型年制定冬小麦、夏玉米和水稻的灌溉日期和灌水定额,与历史灌溉制度进行比较,旱作物的预报精度在 80%以上,水稻的精度在 85%以上。基本上满足作物灌溉日期、定额的预报要求,能够在灌区指导农业生产。

4 系统软件的编制与应用

为方便灌区管理部门的日常管理,采用 Visual Basic6.0 作为开发工具,编制了具有友好用户界面

和完善数据管理及计算功能的“渠村引黄灌区需水量预测及水资源管理决策支持系统”。

整个决策支持系统主要由登录系统、文件操作、数据库管理、充分灌溉水量调度、非充分灌溉水量调度系统、水务管理系统及基本资料数据库组成,主界面见图 2。

进行水量调度时,考虑充分灌溉和非充分灌溉水量调度两种情况,并分别按水文典型年和实时不同来水方式进行调度。实时调度以旬为时段,依据来水情况选择灌溉需要达到的灌水程度,按照边预测边修正,滚动决策的方式,计算作物灌溉制度及闸口取水量,生成水务管理报表和水费管理报表。该软件可以将数据库表格自动导入到 Excel 电子表格中,更为方便和直观。



图 1 灌区渠道布置

Fig.1 The canal layout of Qucun irrigation area

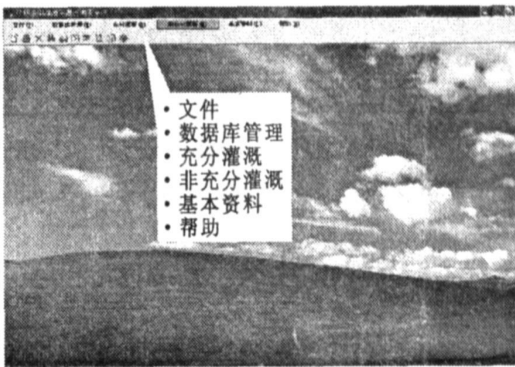


图 2 管理系统主界面

Fig.2 Main interface of the management system

5 结论及展望

针对引黄灌区理论与实际调度存在的巨大差

异,及黄河流域缺乏微观用水规划等问题,本文结合典型灌区进行研究,提出了当前调度体制下作物实时需水预测、天气类型对作物蒸腾蒸发影响的确方法以及水量实时订单的制定模型和方法,并将理论成果在渠村灌区进行应用,编制了界面友好的水资源管理决策支持软件,为生产提供有效的科学帮助,可为引黄灌区水资源管理提供决策参考。

受资料情况限制,更为细化的管理将是下一步研究的方向。具体有:

① 在河道系统建立完善的实时水情监测和管理系统,建设水资源实时监控系统,提高水资源利用率。② 加强灌区数据库建设,如用水户的需水量、可供水量、河道水质等。③ 对管理软件进行校验工作,使模型能够更好地模拟灌区实际,指导生产。④ 考虑灌区的良性发展,水量订单的工作还要重视自然、资源、环境、社会与经济的协调,重视水资源开发所产生的经济效益与水环境保护所产生的社会效益间的平衡,提高供水的可靠性。

参考文献:

[1] 唐德善. 黄河流域多目标优化配水模型[J]. 河海大学学报,

1994(1):46—52.

- [2] 黄 强,沈 晋. 黄河干流水库调度及智能决策支持系统[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1996.
- [3] 王 煜,黄 强,王义民,等. 黄河干流水量调配分解协调组合模型的构造研究[J]. 水科学进展. 2004, (5):387—390.
- [4] 黄文政,黄 强,刘昌明,等. 黄河三门峡以下流域水资源调配研究[J]. 水利学报, 2005, (6):721—726.
- [5] 马正国. 河南黄河河务局出台订单供水新规定[EB/OL]. 中国水利网. <http://2004.chinawater.com.cn/newscenter/shmt/20030829/200308290113.asp>.
- [6] Allen R G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation [J]. Irrig Drain Eng, 1996, 122 (2): 97—106.
- [7] 茆 智,李远华,李会昌. 实时灌溉预报[J]. 中国工程科学, 2002, 4(5):24—33.
- [8] J A de Vos, P J T van Bakel, I E Hoving, et al. Waterpas-model: A predictive tool for water management, agriculture, and environment [J]. Agricultural water management, 2006, 86:187—195.
- [9] Kanyal. Khatri, Smith R J. Toward a simple real-time control system for efficient management of furrow irrigation [J]. Irrigation and drainage, 2007, (56):463—475.
- [10] 郭元裕. 农田水利学(第三版)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
- [11] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1998.

The management system for real time allocation of the irrigation water resources in the lower reaches of the Yellow River according to the present water rules

MA Jian-qin, ZHANG Zhen-wei, QIU Lin

(North China University of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, He'nan 450011, China)

Abstract: Aimed at the liberty of water order and the low water use efficiency, with close linking to the management rules of the Yellow River water and based on real-time irrigation forecast and the fuzzy cluster theory, a management system is developed for allocation of the irrigation water resources in the lower reaches of the Yellow River, including crops water demands sub-model and real-time water order sub-model. The factors of soil moisture, rainfall and weather types are thought of in the crops water requirement sub-model. The management systems and the software are used in Qucun irrigation area, and the results are reasonable. The system can be used to improve the water use efficiency and give suggestions to the operators.

Key words: irrigation area with Yellow River water; water order; water use efficiency; real time allocation; fuzzy cluster analysis