

文章编号:1673-9469(2009)04-0049-03

## 漳滏河灌区节水灌溉制度优化

王海峰<sup>1</sup>, 李春燕<sup>2</sup>, 张海<sup>3</sup>, 韩福莲<sup>3</sup>

(1. 河北工程大学 水电学院, 河北 邯郸 056021; 2. 邯郸水文水资源勘测局, 河北 邯郸 056000; 3. 邯郸市水利局, 河北 邯郸 056000)

**摘要:**漳滏河灌区地下水超采严重,进行水资源合理配置刻不容缓。根据供水水源的现状对该灌区进行分区,采用水分生产函数的 Jensen 相对值模型,建立单一作物灌溉制度二维动态优化模型,对灌区灌溉制度进行优化。通过灌溉制度的优化达到节约水资源的目的,为缓和该区水资源短缺和作物生产之间的矛盾提供了方法。

**关键词:**漳滏河灌区;灌溉制度;水分生产函数;优化;模型

**中图分类号:** X832

**文献标识码:** A

## Optimization of water saving irrigation in Zhang Fu river irrigation area

WANG Hai-feng<sup>1</sup>, LI Chun-yan<sup>2</sup>, ZHANG Hai<sup>3</sup>, HAN Fu-lian<sup>3</sup>

(1. College of Water Conservancy and Electric Power, Hebei University Of Engineering, Hebei Handan 056021, China; 2. Handan Hydrology and Water Resource Survey, Hebei Handan 056000, China; 3. Handan Water Conservancy Bureau, Hebei Handan 056000, China)

**Abstract:** As the groundwater has been over-exploited seriously in the Zhang-Fu river irrigation area, it is urgent to achieve a rational resource allocation and optimize irrigation scheduling. This research divided the irrigation area into 3 parts according to the water-supply source, Jensen model was selected as the moisture content production function, and the two-dimensional dynamic optimized model of sole crop irrigation scheduling were established. The way of saving water resources by optimizing irrigation scheduling is feasible to relieve the conflict between the shortage of water resources and crop production.

**Key words:** Zhang-Fu river irrigation area; irrigation scheduling; moisture content production function; optimization; model

漳滏河灌区位于河北省邯郸市中部,地处半湿润半干旱区,属北温带大陆性季风气候,冬冷夏热,四季分明。灌区控制面积达 493.6 万亩,设计灌溉面积 304.5 万亩,有效灌溉面积 201 万亩。两条总干渠最大引水能力 150 m<sup>3</sup>/s。多年来漳滏河灌区地表水源不足,地下水超采严重,形成大面积地下水下降漏斗,部分地区发生地面沉降<sup>[1]</sup>,长期超采地下水且不能及时补充,该地下含水层的含水特性已被破坏。

### 1 漳滏河灌区水资源分区

根据漳滏河灌区的地形地貌、水文地质条件

和地表水的供水特点,将灌区分为三个子区,均为渠井结合灌溉模式,其中 I 区的可利用水资源包括当地径流拦蓄量、地下水、漳河引水和滏阳河引水;II 区、III 区可利用水资源包括当地径流拦蓄量、地下水和滏阳河引水。通过滏阳河引水,各子区可实现地表水及地下水联合调配。

假设各个子区所种作物相同,均为春播棉、夏玉米和冬小麦三种作物,把每个子区视为相对独立的子系统,系统概化如图 1 所示。

### 2 节水灌溉制度设计

在一定品种、耕作、施肥水平下,由于作物产

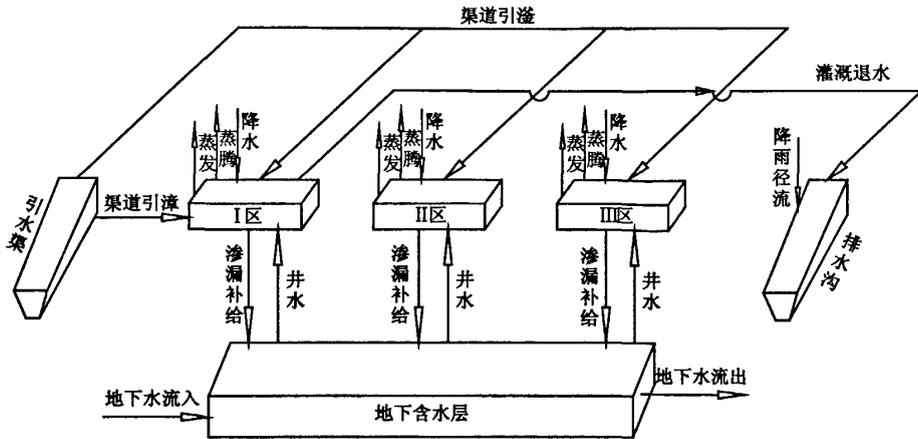


图1 系统概化图

Fig.1 Simple hydrologic system

量及其对水的需求量有密切关系,因此通过水分生产函数来确定给定供水量条件下的节水灌溉制度是实施节水技术改造的重要依据。

### 2.1 水分生产函数研究

国内外许多灌溉工作者已围绕这一问题进行了多年田间灌溉技术的试验研究,提出了节水灌溉制度的各种优化数学模型<sup>[2-8]</sup>。其中绝对值模型没有考虑水分的时间分配不同对作物产量的影响;相对值模型中的相加模型孤立了各阶段缺水对总产量的影响,因此研究选用被广泛应用的相对蒸发量作自变量与相应阶段敏感指数进行表征的 M.E.Jensen 模型<sup>[7]</sup>,见式(1)。

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{ET_a}{ET_m} \right)_i^{\lambda_i} \quad (1)$$

式中  $ET_a$ —实际蒸发蒸腾量;  $ET_m$ —最大蒸发蒸腾量;  $\lambda_i$ —作物不同阶段缺水对产量的敏感指数(幂指数型),  $i$ —生育阶段划分序号。

由于  $ET_a/ET_m \leq 1.0$ , 一般  $\lambda_i \geq 0$ , 故  $\lambda_i$  值愈大, 将会使连乘后的  $Y_a/Y_m$  愈小, 即表示对产量的影响愈大; 反之  $\lambda_i$  愈小, 即表示对产量的影响愈小。  $\lambda_i$  成为相乘模型的关键性指标。

相乘模型在理论上的有效性, 在于各阶段缺水时乘函数假定的成立, 即认为每阶段缺水不仅对本阶段产生影响, 而且经过连乘式的数学关系反应多阶段缺水对产量的总影响, 相乘模型的特点在于用乘函数考虑了多阶段间的阶段效应(即相互影响), 对总产量的反应具有灵敏度高特点。

### 2.2 漳滏河灌区灌溉制度优化模型

采用二维动态规划模型实现漳滏河灌区灌溉制度的优化设计。

1) 阶段变量: 根据农作物生长过程, 将其全生育期以旬为单位划分为  $N$  个阶段, 阶段变量为  $i = 1, 2, \dots, N$ , 其编号与自然生长阶段顺序一致。

2) 决策变量: 决策变量为各阶段的灌水量  $d_i$  及实际蒸发量  $ET_a$ 。

3) 状态变量: 状态变量有两个, 一是各阶段初可用于分配的水资源量  $q_i$ , 另一是计划湿润层内可供农作物利用的土壤水量  $S_i$ , 见式(2)。

$$S_i = 667n \times H(\theta_i - \theta_w) \quad (2)$$

式中  $\gamma$ —土壤空隙率, 以占土壤的体积百分数计;  $H$ —土壤计划湿润层深度(m);  $\theta_i$ —计划湿润层内土壤平均含水率, 以占土壤空隙的百分数计;  $\theta_w$ —土壤含水率下限, 该值大于凋萎系数, 一般取田间持水率的 0.55~0.6 倍。

4) 系统方程: 系统方程是描述系统在运动过程中状态转移的方程, 由于本系统有两个状态变量, 系统方程如下:

水量分配方程。若对第  $i$  个生长阶段采用决策  $d_i$  时, 可表达为

$$q_{i+1} = q_i - d_i \quad (3)$$

式中  $q_i, q_{i+1}$ —分别为第  $i$  及  $i+1$  阶段初系统可用于分配的水量;  $d_i$ —第  $i$  阶段的灌水量。

土壤计划湿润层内的水量平衡方程。

$$S_{i+1} = S_i + d_i + P_i + K_i - E_i - ET_{ai} \quad (4)$$

式中  $S_i$ 、 $S_{i+1}$ —分别为第  $i$  阶段、第  $i+1$  阶段初土壤中可供利用的水量;  $d_i$ —第  $i$  阶段的灌水量;  $P_i$ —第  $i$  阶段的有效降雨量;  $K_i$ —第  $i$  阶段的地下水补给量, 由于该灌区地下水位低于 5 m, 所以  $K_i$  取 0;  $E_i$ —第  $i$  阶段的渗漏量, 对于旱田,  $E_i$  取 0;  $ET_{ai}$ —第  $i$  阶段的实际蒸发量。

所以, 土壤计划湿润层内的水量平衡方程对于该模型实际应为

$$S_{i+1} = S_i + d_i + P_i - ET_{ai}$$

5) 目标函数: 作物水分生产函数采用 Jensen 模型, 以单位面积实际产量与最高产量比值最大为目标, 见式(5)。

$$F = \max\left(\frac{Y}{Y_m}\right) = \max\left[\prod_{i=1}^N \left(\frac{ET_{ai}}{ET_m}\right)^{\lambda_i}\right] \quad (5)$$

式中  $\lambda_i$ —第  $i$  阶段作物敏感性指数;  $ET_m$ —正常灌溉条件下, 第  $i$  阶段蒸发量, 即第  $i$  阶段的最大耗水量。

6) 约束条件:

$$0 \leq d_i \leq q_i \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i = Q_k \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$ET_{\min i} \leq ET_{ai} \leq ET_{\max i} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$S_{\min i} \leq S_i \leq S_{\max i} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$\beta_w \leq \beta_i \leq \beta_f \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

式中  $Q_k$ —全生育期可用于分配的净水量, 即由协调层分给第  $k$  种作物的净水量;  $\beta_f$ —田间持水率。

7) 初始条件: (1) 假定作物播种时的土壤含水率为已知, 即已知  $S_1 = 6.67\gamma \cdot H(\beta_1 - \beta_w)$ 。(2) 第  $k$  种作物, 第一生育阶段初可用于分配的有效水量为该种作物全生长期可用于分配的水量, 即  $q_1 = Q_k$ 。

递推方程

$$F_i^*(q_i, S_i) = \max_{d_i} \left\{ \left( \frac{ET_{ai}}{ET_m} \right)^{\lambda_i} \times F_{i+1}^*(q_{i+1}, S_{i+1}) \right\} \quad (6)$$

$$F_N^*(q_N, S_N) = \max_{d_N} \left( \frac{ET_{aN}}{ET_{mN}} \right)^{\lambda_N}$$

### 3 结语

根据以上模型, 在对漳滏河灌区进行分区的基础上, 确定了灌区水分生产函数的相对值模型, 建立了单一作物灌溉制度二维动态优化模型, 并对灌区灌溉制度进行了优化。通过灌溉制度的优化达到节约水资源的目的, 是解决该区水资源短缺和合理利用水资源问题确实可行方法。同时本文成果可为研究类似灌区问题提供参考依据。

### 参考文献:

- [1] 路振广, 曹祥华. 节水灌溉工程综合评价指标体系与定性指标量化方法[J]. 灌溉排水, 2001, 20(1): 72-75.
- [2] 郭元裕, 李寿生. 灌排工程最优规划与管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994.
- [3] 邱林, 徐建新, 陈南祥, 等. 区域水资源可持续利用管理理论与应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [4] 郭元裕. 农田水利学(3版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [5] 陈守煜. 工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1998.
- [6] 周名耀, 蔡勇, 顾鹤鸣, 等. 农田水分管理决策支持系统研究[J]. 扬州大学学报, 2000, 3(4): 44-48.
- [7] 刘文兆. 水源有限条件下作物合理灌溉定额的确定[J]. 水利学报, 1998, 29(9): 75-80.
- [8] 方红远, 王浩, 甘泓. 水资源合理配置及其水量调控模式[J]. 水利发展研究, 2003, 3(6): 14-18.

(责任编辑 马立)