

灌溉渠系配水优化模型的研究

汪志农 熊运章

(西北农业大学水利与建筑工程系, 陕西杨陵·712100)

摘 要 本文介绍了两种适用于半干旱地区某次配水的优化模型, 第 1 种以作物水分生产函数为基础, 以全灌区净灌溉增产值最大为目标函数; 第 2 种以某次灌水全灌区的水费收入最高为目标函数。这两种配水模型用陕西省洛惠渠灌区 1989, 1990 年夏灌的实际用水资料进行了验证。可供各自流引水灌区在渠系水量调配中实际应用。

关键词 半干旱地区, 渠系配水优化模型, 作物水分生产函数, 充分灌, 非充分灌

中图分类号 S274.3

灌区优化配水的目的是应用优化技术, 对灌溉水量的时、空分配作出最优决策, 以寻求全灌区或灌溉管理部门最大的经济效益。在半干旱地区, 由于来水量与作物田间需水量之间的供需矛盾突出, 如何作好有限水量的调配, 充分发挥单位水量的经济效益, 是灌溉用水管理中一个实用而有待迫切解决的问题。多年来国外已对灌溉水量的优化调配作了不少的研究^(1~3)。近几年国内对此也进行了深入地研究^(4~8)。但现有的研究工作大都偏重于用水单位的灌溉效益, 并多以作物全生育期的水分生产函数为基础。对大部分自流引水灌区来说, 由于河源来水受诸多因素影响, 每一轮期的渠首引水量是随机变化的; 同时作物田间需水量也受气象因子的影响。因此, 在灌溉用水管理中比较实用的是要解决某一次灌水的优化问题。特别是对半干旱地区, 由于河源来水量不足, 供需矛盾紧张, 因而对某一次灌水的优化问题显得更为迫切, 也更具有实用价值。为此, 根据我国北方自流引水灌区, 特别是地处陕西关中泾、洛、渭三大灌区多年计划用水的经验, 开发出以下两种不同目标函数的实用型线性优化配水模型。

1 某次灌水全灌区净灌溉增产值最大

1.1 模型的建立

对缺水灌区, 在某次灌水中往往只能充分灌溉一部分面积, 而可能有一部分面积灌不上水, 也可能有部分面积灌水不足(或称非充分灌溉)。为此根据作物产量与各生育阶段相对蒸发蒸腾量的关系, 即 JENSEN 相乘模型:

$$Y_a = Y_m \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (1)$$

式中: Y_a, Y_m ——分别为某作物实际的与潜在的产量(kg/hm^2); ET_i, ET_{mi} ——分别为第 i 阶段作物实际的与潜在的蒸发蒸腾量(m^3/hm^2); λ_i ——为第 i 阶段缺水对产量影响的敏感指数; n ——某作物全生育期划分的生育阶段数。

收稿日期: 1992-06-24.

可分别推算出某作物在 k 阶段充分灌溉条件下的灌溉增产量:

$$\Delta Y_1 = Y_k - Y'_k = Y_m \cdot \prod_{i=1}^{k-1} \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\mu} \cdot \left[1 - \left(\frac{ET''_k}{ET_{mk}} \right)^{\mu} \right] \quad (2)$$

以及此作物在 K 阶段非充分灌溉条件下的灌溉增产量:

$$\Delta Y_2 = Y_k - Y'_k = Y_m \cdot \prod_{i=1}^{k-1} \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\mu} \cdot \left[\left(\frac{ET'_k}{ET_{mk}} \right)^{\mu} - \left(\frac{ET''_k}{ET_{mk}} \right)^{\mu} \right] \quad (3)$$

式中: Y_k, Y'_k ——分别为 k 阶段充分灌溉及非充分灌溉条件下某作物预计的产量 (kg/nm^2); Y''_k ——为 k 阶段不灌水条件下某作物的预计产量 (kg/nm^2); ET'_k, ET''_k ——分别为 k 阶段非充分灌及不灌水条件下某作物实际的蒸发蒸腾量 (m^3/hm^2)。

由于 k 阶段灌水时, 以前各阶段的实际灌水情况(或缺水状况)是已知的, 因此可令: $PE = Y_m \cdot \prod_{i=1}^{k-1} \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\mu}$ 为一已知数而使(2)式和(3)式得到简化。

1.2 目标函数

$$\begin{aligned} \text{MAX} B_1 = & \sum_{j=1}^{\text{GZS}} \{ [\Delta Y_1(j) \cdot X(j,1) + \Delta Y_2(j) \cdot X(j,2)] \cdot P - SF(j) \cdot [m_1(j) \cdot X(j,1) \\ & + m_2(j) \cdot X(j,2)] / [TXS(j) \cdot DXS(j)] - PL \cdot [X(j,1) + X(j,2)] \cdot GL \} \quad (4) \end{aligned}$$

式中 B_1 ——某次灌水全灌区净灌溉增产值(元); $\Delta Y_1(j), \Delta Y_2(j)$ ——分别为 j 单位某作物充分灌与非充分灌的增产量 (kg/hm^2); $X(j,1), X(j,2)$ ——决策变量, 分别为 j 单位某作物充分灌、非充分灌的面积 (hm^2); P ——作物产品单价(元/ kg); $m_1(j), m_2(j)$ ——分别为某作物充分灌及非充分灌灌水定额 (m^3/hm^2); $SF(j)$ ——用水单位的综合水费单价(元/ m^3); $TXS(j), DXS(j)$ ——分别为田间水和斗渠水的有效利用系数; PL, GL ——分别为灌溉单位面积所需的工日(d/hm^2)及每个灌水工日应付的工资(元/ d); GZS ——全灌区下属用水单位(管理站或干支渠分水口)的数目。

1.3 约束条件

$$(1) \text{面积约束:} \quad X(j,1) + X(j,2) \leq m_j(j,c) \quad (5)$$

$$(2) \text{水量约束:} \quad \sum_{j=1}^{\text{GZS}} [m_1(j) \cdot X(j,1) + m_2(j) \cdot X(j,2)] / [TXS(j) \cdot DXS(j) \cdot \text{GZXS}(j)] \leq QL \cdot T \cdot 86400 \cdot \eta_g \quad (6)$$

$$(3) \text{流量约束:} \quad \{ [m_1(j) \cdot X(j,1) + m_2(j) \cdot X(j,2)] / [TXS(j) \cdot DXS(j)] + W(j) \} / \text{GZXS}(j) \leq Q_2(j) \cdot T_1 \cdot 86400 \quad (7)$$

$$(4) \text{最小灌溉面积约束:} \quad X(j,1) + X(j,2) \geq \text{MIN}(j) \cdot m_j(j,c) \quad (8)$$

$$(5) \text{非负约束:} \quad X(j,1) \geq 0, X(j,2) \geq 0 \quad (9)$$

式中 $m_j(j,c)$ ——为某次灌水 j 单位作物 c 的种植面积; $\text{GZXS}(j)$ —— j 单位干支渠水的有效利用系数; Q_L ——某轮期渠首引水流量 (m^3/s); T ——某次灌水的用水天数; η_g ——总干渠水的有效利用系数; $W(j)$ ——本渠段应给下一渠段输送的水量 (m^3); $Q_2(j)$ —— j 单位干支渠的正常流量 (m^3/s); T_1 —— j 单位本次灌水实际的用水天数; $\text{MIN}(j)$ ——单位最小灌溉面积约束系数。

2 某次灌水整个灌溉管理部门的水费收入最高

2.1 模型的建立

目前各灌区一般均将配至斗口的水量作为起征水费的核算水量。要使有限的水量通过优化调配,达到全灌区的水费收入最高,就必须使干支渠的输水损失降至最小,而到达斗口的计费水量最大。因此在建模时须注意:(1)干支渠水的利用系数;(2)各用水单位的综合水费及浮动水费单价。

2.2 目标函数

$$\text{MAX}B_2 = \sum_{j=1}^{GZS} SF(j) \cdot X(j) \quad (10)$$

式中 B_2 ——某次灌水全灌区的水费收入(元); GZS ——全灌区用水单位(管理站或干支渠分水口)数目; $SF(j)$ —— j 单位的综合水费单价(元/ m^3); $X(j)$ ——决策变量,某次灌水 j 单位的斗口水量(m^3)。

2.3 约束条件

$$(1) \text{面积约束: } X(j) \cdot \text{TXS}(j) \cdot \text{DXS}(j) / m(j) \leq \sum_{k=1}^c m_j(j, k) \quad (11)$$

式中 $m(j)$ —— j 单位综合的灌水定额(m^3/hm^2); c ——同时灌水的作物数目。

(2)水量约束:

$$\sum_{j=1}^{GZS} X(j) / \text{GZXS}(j) \leq Q_L \cdot T \cdot 86400 \cdot \eta_{\text{总}} \quad (12)$$

$$(3) \text{流量约束: } [X(j) + W(j)] / \text{GZXS}(j) \leq Q_2(j) \cdot T_1 \cdot 86400 \quad (13)$$

(4)最小灌溉面积约束:

$$X(j) \cdot \text{TXS}(j) \cdot \text{DXS}(j) / m(j) \geq \sum_{k=1}^c [\text{MIN}(j) \cdot m_j(j, k)] \quad (14)$$

$$(5) \text{非负约束: } X(j) \geq 0 \quad (15)$$

以上介绍的这两种优化配水模型均已开发出通用的计算机软件,此软件可自动计算并输入各模型参数,通过反复迭代,列表打印出渠系优化配水方案。若选择第 1 种优化模型,将打印出全灌区某次灌水的净增产效益,并按渠系布置分别打印出各单位充分灌溉、非充分灌溉的面积,灌水定额以及斗口水量和配水比例等。若选择第 2 种优化模型,将打印出本次灌水全灌区最高的水费收入、各单位的灌溉面积、斗口水量、正常流量、放水时间及配水比例等。可随渠首来水流量的变化,自动进行渠系轮灌组的划分,并确定出各组的配水流量与放水时间,以保证渠系优化配水方案的正确实施。

这两个模型及相应的计算机软件均用陕西省洛惠渠灌区 1989、1990 年夏灌的实际用水资料进行了验证。洛惠渠管理局反映良好,认为渠系优化配水方案结合灌区用水实际,为全灌区渠系配水提供了有实用价值的决策方案,而且按此优化方案实施,在提高灌区的水费收入,节水增产,扩大灌溉面积等方面效益也十分显著。

3 结论与讨论

1) 本文所提出的两种不同目标函数的优化配水模型,均可用来解决灌区用水管理中

某一次灌水,灌溉水量的渠系调配问题。

2)以某次灌水全灌区净灌溉产值最大为目标函数的优化配水模型,需以作物与各生育阶段相对蒸发蒸腾量关系的水分生产函数为建模基础,而且各阶段缺水对产量影响的敏感指数,其值的精度及大小对配水决策有较大影响。因此建议各地的灌溉试验站应深入持续地开展主要作物水分生产函数的田间试验研究,为今后逐步推广优化配水,实行节水型的灌溉农业提供科学依据及基本参数。

3)本文介绍的第1种模型可直接用于某次灌水向单一作物配水的情况,当同一时段有多种作物需要灌溉时,模型将分别依据各作物在本次灌水中对充分灌与非充分灌两种灌水状况灌溉增产值的大小来安排供水的先后次序。

4)这两种优化模型的优化准则不同,因而最终提供的优化配水方案也有所不同。在生产实际中,可供灌溉管理部门抉择。如何兼顾这两个优化准则,即采用多目标决策方法来寻求均衡受益,这是今后需进一步开展的工作。

5)模型中还涉及到各主要作物在不同土壤及水文地质条件下的灌水定额、有效降雨量、地下水补给量、作物实际蒸发蒸腾量的计算,以及各级渠道水的有效利用系数的确定等问题。为此希各灌区要切实抓好基础资料的施测、分析与总结工作。

参 考 文 献

- 1 Barrett J W H, Skogerboe G V. Crop production function and the allocation and use irrigation water. *Agricultural Water management*, 1980; 3(1), 53~65
- 2 Paudyal G N, A Das Gupta. A nonlinear chance constrained model for irrigation planning. *Agricultural water management*, 1990; 18, 87~100
- 3 Rao N H, Sarma P B S. Optimal multicrop allocation of seasonal and intraseasonal irrigation water. *Water Resources Research*, 1990; 26(4), 551~559
- 4 姚崇仁. 缺水灌区作物灌溉定额确定方法探讨. *水利学报*, 1989; (12), 54~62
- 5 王玉坤. 冬小麦经济灌溉定额分析. *水利学报*, 1989; (2), 46~52
- 6 牛崇恒. 经济用水灌溉制度的原理与制定方法. *灌溉排水*, 1989; (2), 9~15
- 7 高正康. 冬小麦灌溉方案优化的探讨. *灌溉排水*, 1988; (2), 20~24
- 8 沈佩君, 袁俊光, 郭元裕等. 引丹灌区优化调度的模型及方法. *水利学报*, 1991; (3), 1~9

Optimal Models for Water Allocation in Irrigation Canal System

Wang Zhinong Xiong YunZhang

(Department of Hydraulic and Construction Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi)

Abstract This paper introduces two kinds of optimal models of water allocation in a certain irrigation suitable to semiarid region. The first model is based on crop water production with the maximum net increased irrigation incomes for the objective function; the second takes the maximum of water fee benefits for a certain irrigation in a whole irrigation area for the objective function. These two water allocation models were verified by the actual water use data of Luohuiqu Irrigation system and applied to the irrigation area by gravity for water allocation in canal systems.

Key words semiarid area, optimal model for water allocation in irrigation canal system, crop water production function, adequate irrigation, limited irrigation