

灌区水资源实时优化调配决策软件研制

徐建新¹, 白雪梅¹, 沈 晋², 邱 林¹

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450008; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对北方水资源短缺的特点, 在一定农作物种植比例条件下, 将有限水资源分配给各种作物, 进行非充分灌溉, 使有效水资源发挥最大效益。并以模拟技术为手段, 以控制作物不同生育期土壤最低含水率为方法, 结合降水的随机性, 进行灌区优化配水过程设计及可实施自修正的灌溉决策软件研制。

关键词: 灌区; 水资源; 实时修正; 优化配水; 决策软件

中图分类号: S 274.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2003)02-178-06

我国北方水资源短缺, 随着城市化进程的加快和生产的发展, 工农业、生活、生态用水量都急剧增加, 使本来就短缺的水资源问题更加严重。对作物进行非充分灌溉, 利用计算机建立灌溉管理决策支持系统, 是当前重要研究内容之一。未来用于农业灌溉的用水量不可能大量增加, 解决水资源短缺的有效途径是提高管理水平。研究过程中, 结合典型灌区实例, 重点研究在已定农作物种植比例情况下, 将有限的水资源量优化分配给各种作物, 并依据来水(降水)过程的变化对灌溉过程利用模拟技术进行实时修正控制。

1 典型区基本情况

某灌区, 位于河北省平原南部, 属于漳卫河冲积平原的汇流三角地带, 灌区内地势平坦, 土壤肥沃, 适合农作物生长, 属温带大陆性季风气候区。灌区的多年平均降水量为 560 mm, 降水过程具有北方地区降水特点。灌区主要地表水源为漳卫河来水, 20 世纪 80 年代以来, 河道径流量明显减少, 其中 7~10 月份河道径流量占年径流量的 90% 以上, 且以洪水形式出现, 与当地降水相遇, 难以利用。灌区地下水多年平均埋深 13 m, 地下水矿化度 1.0 g/L, 给水度 0.06 左右。此灌区为扬水灌区, 泵站设计提水能力为 5 m³/s。灌溉方法为明渠输水大田畦灌, 灌水定额高达 1500~1800 m³/hm²。灌区控制面积为 73 km², 灌溉面积为 4667 hm², 主要农作物及种植比例分别为冬小麦 65.5%, 春播棉 11%, 春玉米 23.5%, 夏播棉 10%, 夏玉米 55%, 复种指数 1.655。在 P=75% 年份地表水总可供利用量为 1650 万 m³。

2 有限水资源在作物间优化分配

以灌溉效益最高为目标, 进行水资源优化分配, 通过对典型灌区实验数据分析, 决定采用二次抛物线型水分生产函数。具体求解过程中, 首先建立不同频率年灌水量-粮食产量函数关系式, 然后利用投入产出关系再建立灌水量与灌溉效益函数, 再建立作物单位灌水量的边际效益函数。通过分析得出结论, 即单位水量所产生效益将随灌水量的增加而逐渐降低。结果表明, 对于单一作物在总灌水量所产生的效益未达到最高效益之前,

收稿日期: 2002-01-17; 修订日期: 2002-04-30

基金项目: 国家“863”高科技资助项目(2002AA2Z4290); 2002年河南省创新人才基金资助项目

作者简介: 徐建新(1954-), 男, 辽宁沈阳人, 华北水利水电学院教授, 主要从事灌区现代化管理理论与技术、灌排发展战略研究。

以平均分配水量的方式进行灌溉,获得效益最大。

本文主要研究在农业种植结构不变条件下,有限水资源合理分配,获得灌区总效益最大的问题,研究中采用动态规划法,并以上述灌区为例。优化求解过程:首先将总供水量按每10万 m^3 为一个计算单元进行离散,然后利用已建立的灌水量-灌溉效益函数公式,根据作物种植面积,求解出不同作物的灌溉效益,建立不同作物灌溉效益与灌水量表,最后利用动态规划数学模型,以有限水资源在全灌区获总效益最大为目标,逐阶段进行优化配水计算。优化结果见表1。

表1 水量优化分配结果统计

Table 1 Statistics of optimized water allocation

作物类型	分配水量/ 万 m^3	灌溉定额/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	灌溉效益/万元	单方水效益/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$
夏玉米	420	1634	178.5	0.42
春玉米	280	2550	297.8	1.06
春播棉	110	2144	128.1	1.16
夏播棉	40	856	26.3	0.65
冬小麦	800	2615	1048.8	1.31

在多种作物间确定水量分配份额后,如何实施供水过程,以及在来水(包括降水)过程与设计典型年发生时,如何进行供水过程修正,是本文的主要研究内容。

3 灌区优化配水过程设计及实施过程软件

3.1 优化配水设计原则

进行灌区水资源在作物间的优化分配,只是完成了灌区优化供水的第一步。优化方案的具体实施还需依靠渠系的实际供水过程来完成。在进行灌区实际供水过程设计中,应遵循以下原则:

(1) 各作物实际供水量以优化分配水量为依据;

(2) 由于各种作物实际供水量均在最高效益点供水量左侧,故单一作物的灌溉过程以产量最高为目标,利用 Jensen 模型进行推求, Jensen 模型形式为

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

(3) 作物在非充分灌溉条件下的土壤计划湿润层含水率控制在田间持水率与凋萎系数之间,即

$$Q_{田} \quad Q_i > Q_{凋} \quad (2)$$

(4) 设计灌水定额必须符合农业生产实际,而且不能发生深层渗漏;

(5) 必须充分利用雨水资源,不能由于灌溉而使降水产生额外径流;

(6) 灌溉过程设计必须满足供水量约束和渠系输水能力约束条件;

(7) 应在保证作物生存条件下使作物生育时段末,土壤计划湿润层含水量接近最低含水率。

在最优方案设计中,采用模拟模型方式,以水量平衡为基本原理,在获得预测降水过程后,通过调整次灌水定额、各生育阶段土壤计划湿润层最低含水率来预测作物耗水过程和灌水时间。整个供水过程通过编制系统软件来完成,在输入各生育阶段作物灌水定额和最低含水率下限后,即可预测作物全生育期的灌水时间,灌水量、弃水量和作物实际产量与最高产量比值。然后以初步设计灌溉方案为基础,从计划湿润层土壤含水率变化过程线图,确定修正指标通过数次设计方案的修正即可获得实际产量与充分灌溉时产量比值最高的结果。当实际降水过程与预测结果不同时,可对供水过程和最低含水率进行实时修正,以期获得更高作物产量,此方法适用于各种降水频率的作物灌水过程设计。

3.2 单一作物供水过程软件研制

单一作物灌溉制度设计:灌区作物充分供水条件下阶段耗水量、阶段减产指数、作物生育时段及所取典型

年 ($P = 75\%$) 降水量, 作物种植情况见 (图 1)。



图 1 灌区基本情况数据库

Fig.1 Database of the irrigation area

以总水量优化分配所得各作物灌溉定额为依据, 利用水量平衡方程在计划湿润层含水量小于 0.7 倍田间持水率时, 对作物按非充分供水条件下的耗水量进行修正。通过数次试算一般可得典型区作物灌水定额及时间的典型结果 (如表 2)。在作物生育阶段, 典型作物对应土壤计划湿润层含水量变化见图 2。

表 2 典型作物灌溉制度统计

Table 2 Statistics of irrigation practice for typical crops

作物名称	灌水次数	灌溉定额/mm	时段末 W _实 /W _田	实际产量与最高产量比值
夏玉米	2	163	0.78	0.972
春玉米	4	255	0.58	0.932
春播棉	3	210	0.50	0.881
夏播棉	2	85	0.55	0.928
冬小麦	4	261	0.50	0.787

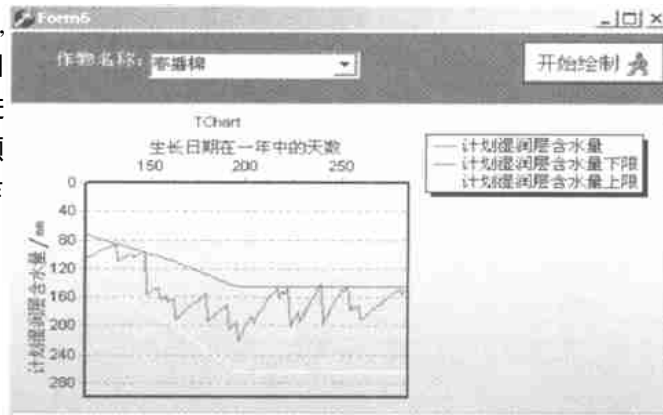


图 2 春播棉土壤计划湿润层含水量变化过程曲线

Fig. 2 Soil moisture change in the root zone for the spring cotton

3.3 渠系灌溉过程设计

在灌区单一作物灌溉制度设计基础上, 尚需对灌区渠系供水过程设计。现仅进行灌区干、支渠供水过程设计。设计中取干渠向支渠供水方式为续灌, 支渠以下渠道为轮灌。灌溉渠系设计到支渠为止。

3.3.1 干渠供水过程设计

渠系灌水过程设计, 对已建灌区, 其干渠以设计输水流量为控制条件, 求得某种作物一次灌溉所需时间, 然后以原设计作物灌水时间为终止灌水时间向前推算起始灌水时间, 在多种作物需同一时段进行灌溉时, 则将灌溉起止时间再向前提。若原设计中土壤计划湿润层最低含水率取值较高时, 也可适当向后延时, 但必须保证计划湿润层含水率高于凋萎系数。若供水流量小于渠道设计流量, 则实际供水时间按下式进行计算。

$$T_{实} = \frac{T_{设} Q_{设}}{Q_{实}} \quad (3)$$

3.3.2 支渠供水过程设计

由于干渠向支渠输水采用续灌方式,所以各支渠总供水量之和应等于干渠末端供水量。各干渠向各支渠的供水量可按支渠某种作物种植面积与干渠控制该种作物总面积比值进行计算,但对不同支渠应采用不同的渠系水有效利用系数计算实际供水量和向各支渠的供水时间。各支渠的作物灌溉起始、持续时间计算方法与干渠相同。

以各级渠道设计过水流量为限制条件(总干渠毛设计流量为 $5 \text{ m}^3/\text{s}$),以作物种植面积作为流量分割依据,以设计作物灌水时间为最后一天灌水时间,进行各支渠灌水始末时间及供水流量计算。求得各支渠初步灌水始末时间及流量,典型支渠计算结果如图3所示。



图3 典型支渠供水过程计算结果统计

Fig.3 Statistics of water supply for typical branch canal

3.3.3 实际供水过程修正

前面已进行了灌区及各支渠灌水率初步设计,然而在实际灌溉实施中,将有一些问题与实际情况有差别,具体处理方法如下:

(1) 来水流量达不到设计流量时,此时渠道受灌溉需水要求限制,次灌溉总水量应保持不变。因此,必须进行供水时间调整,调整方法仍可采用式(3)进行。

新增加的灌水时间应以前移初始灌水时间为主,若一次灌溉过程持续时间较长,且原设定土壤最低含水量值较高时,也可将灌水终止时间后移,但必须保证灌区最后一天灌溉作物的土壤计划湿润层含水率仍大于凋萎系数。

(2) 初设灌水率图中将有部分作物灌水时间重合,此时也应通过前移灌水时间来进行调整。系统实施优化灌溉过程设计流程见图4。

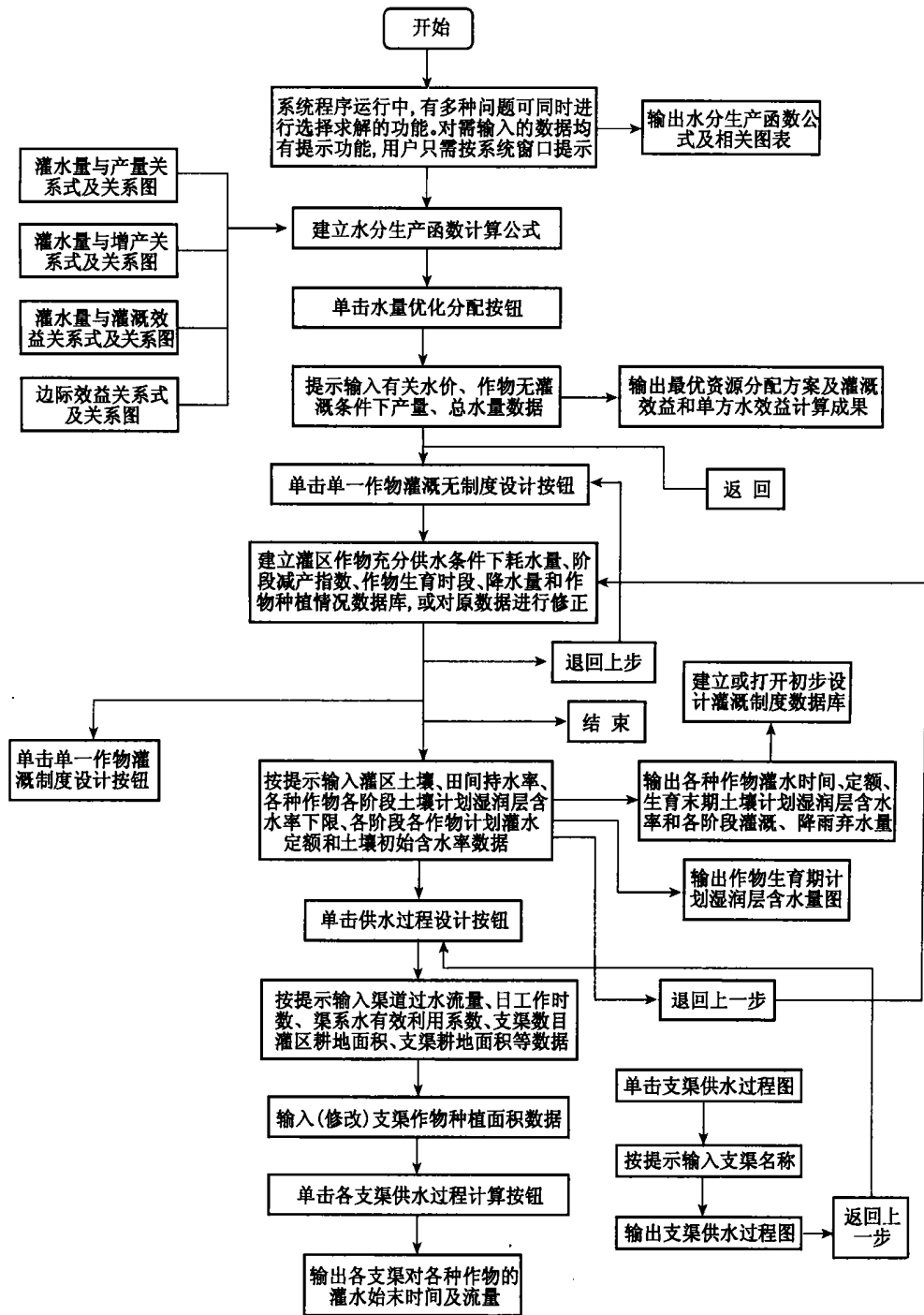


图 4 系统实时优化灌溉过程流程

Fig. 4 Flowchart for the real-time optimization irrigation

4 结果分析

将各种作物优化分配水量与最高效益点的灌水量值相比可看出：所有作物优化分配水量灌溉定额均小于达到最高效益点所需水量，说明优化分配所有水量的单方水灌溉效益均大于供水成本。在各作物间，冬小麦分配总水量和灌溉定额均是最大的，其单方水效益也是最高的，而夏播棉和夏玉米由于作物需水过程和降雨过程藕合性较好，作物在无灌溉情况下相对产量较高，故优化分配的单方水灌溉定额较小，单方水的经济效益也较低。

本软件其主要思路是遵循土壤计划湿润层水量平衡原理，以灌区有限水资源获得最大效益为目标通过调解各种作物各生育阶段的最低含水量下限和灌水定额，来确定灌水时间。然后通过检查土壤计划湿润层含水量变化过程及最末时段计划湿润层含水量来确定修正方案。

该成果经在典型区使用达到了预期效果。

参考文献：

- [1] 徐建新. 区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统软件研制[D]. 西安:西安理工大学, 2000.
- [2] 徐建新, 等. 季节性河道引水灌区优化配水研究[J]. 灌溉排水, 2000, (2): 22 - 26.

Decision-making software for real-time optimal allocation of water resources in irrigation area

XU Jian-xin¹, BAI Xue mei¹, SHEN Jin², QIU Lin¹

(1. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract : Based on the shortage of water resources in the north of China , under the condition of definite crops planting scale , the limited water resources were allocated to different crops in deficit irrigation ways , which aims to get maximum benefit. By means of simulative technique and the method of controlling the lowest water content rate of soil in different growth period , considering the randomness of rainfall , the irrigation decision-making software was developed for the optimal water allocation and real-time self-adjustment in irrigation practice.

Key words : irrigation area ; water resources ; real-time self-adjustment ; optimal water allocation ; decision-making software