

灌溉渠系优化配水研究

贾玉平, 汪志农, 王业娟

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 介绍了灌溉渠系优化配水模型的研究进展, 并从模型参数、输配水技术和管理体制等方面分析了优化配水难以在灌区实施的原因, 指出实行优化配水还必需加强田间试验, 完善渠道量水设施, 提高量水技术, 建立适应现行管理体制的配水模型, 同时继续推进灌溉管理体制改革的。

关键词: 优化配水模型; 灌溉渠系; 灌区

中图分类号: S274.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0135-03

Study on Optimal Water Allocation of Irrigation Canal System

JIA Yu-ping, WANG Zhi-nong, WANG Ye-juan

(College of Hydraulic and Architectural Engineering, Northwest Science & Technology
University of Agriculture & Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract The present research situation of optimal water allocation of irrigation canal system is described and the existing problems, in practice from the aspects of the model parameter, the technique of water's conveyance and distribution, irrigation management system, are analyzed. Finally, the advice about more field experiments, improving water measure equipment and technique is put forward. At the same time, the optimal water allocation model should fit with the present irrigation management system and the irrigation management system should be perfected continuously to practise the optimal allocation of irrigation water resources.

Key words: optimal water allocation model; irrigation canals system; irrigation district

我国水资源严重不足, 人均水资源量约为 $2\ 280\text{ m}^3$, 只有世界平均水平的 26%, 为世界上 13 个缺水国家之一。随着我国人口的增长和社会经济的发展, 需水量会不断增加, 水资源供需矛盾必将日益加剧。而我国农业用水量占全国总用水量比重高达 72% 左右, 其中 90% 用于灌溉。因此, 实行节水灌溉, 高效利用灌溉水资源是农业可持续发展的必由之路。现阶段, 我国农业用水浪费现象严重, 灌溉水利用率仅只有 40% 左右, 与发达国家的 70% ~ 90% 相差甚远。粮食作物的灌溉水利用效率, 即灌溉 1 m^3 水增产的粮食平均为 1 kg 左右, 而发达国家可达 2 kg, 以色列甚至可达 2.3 kg。由此可见, 提高灌溉水的利用率和利用效率是我国农业灌溉所面对的最紧迫的问题。

在我国, 灌溉水量的不合理调配以及输、配水管理技术落后, 是造成灌溉水的利用率和利用效率低下的一个重要原因。国内外对最优灌溉制度(灌溉水量在作物各生长阶段的分配)与最优种植比例(依据可得灌溉水量确定各种作物的种植面积)研究的较多, 但是, 由于实际情况的复杂性, 作物

种植面积、种类的不确定性以及降雨的随机性, 它很难指导某一次灌水工作。因此, 在作物种植面积及其比例已知条件下, 研究某次灌水的水量优化分配问题具有十分现实的意义。

1 灌溉渠系优化配水模型的研究现状

我国灌区渠系大都由多级渠道组成, 其中, 干、支渠称为骨干渠系, 斗渠及斗渠以下各级渠道都称为田间渠系。在灌溉过程中, 干、支渠一般实行续灌, 田间渠系实行轮灌。轮灌渠道与续灌渠道优化配水需要建立不同的数学模型进行求解。

1.1 骨干渠系优化配水

骨干渠系优化配水指在田间各种作物种植面积已定情况下, 当渠首实引水量小于灌溉需水量时, 将有限的水量在不同地块、不同作物之间进行分配, 以取得某种指标最优。这类问题的求解, 一般是以 Jensen (1968) 作物水分生产函数为基础建立数学模型, 利用系统工程优化技术, 寻求最优的

灌溉面积和配水流量。

(1) 建模基础。因为作物在生育期不同阶段的水分亏缺对产量的影响程度不同, 因此, 采用作物全生育期的水分生产函数为建模基础。一般有两类, Jensen 相乘模型和 Black 相加模型。目前, 前者多被采用。

(2) 模型种类。骨干渠系优化配水模型主要有线性规划模型、非线性规划模型、动态规划模型和大系统递阶模型。线性规划求解起来比较简单, 拥有较成熟的计算机程序, 所以应用较多。姚崇仁(1989)建立了寻求各次灌水不同土壤类型、不同灌水定额下的灌溉面积的线性规划模型^[1]。该模型考虑了作物前一生育期的灌水状况对本次灌水的影响, 引入减产系数的概念, 以不同土壤类型上不同水分亏缺状况(不灌水, 充分灌水和非充分灌水)的面积为决策变量, 寻求灌区最大的净收益。由于减产系数随土壤类型、作物种类和灌水定额的不同而异, 而且又受前次灌水状况的影响, 所以在实际运用时较难确定。汪志农、熊运章(1993)分别以全灌区净灌溉增产值最大和某次灌水全灌区水费收入最高为目标建立了两种适用于半干旱灌区某次配水的优化模型^[2]。第一个模型在目标函数上有所改进, 以净灌溉增产值最大为目标, 省去了对不灌水面积的求解, 降低了决策变量的数量。该模型和姚崇仁(1989)提出的数学模型都是针对某种作物在某生育阶段的灌水提出的, 没有详细论述多种作物同时争水的情况。第二个模型实际上是追求到达斗口的计量水量最大, 即干支渠上的输水损失达到最小。Sheng- Feng Kuo, Gary P. Merkley 等人(2000)以全灌区取得净效益最大为目标, 给出了不同灌溉面积上不同作物种类的最优灌溉面积的数学模型^[14]。上述各模型的求解, 均需给定非充分灌溉条件下的灌水定额, 而其最优灌水定额的确定, 各作者都没有对其进行说明。上述优化配水的数学模型, 都是以不同灌水状况下的灌溉面积为决策变量的线性规划模型。非线性规划和动态规划较线性规划复杂, 求解较难, 应用不多。周祖昊、袁宏源(2002)给出了水库灌区, 由多水源供水, 种植多种作物, 在有限供水条件下的非线性规划模型, 以不同子区不同作物的灌水量为决策变量来追求灌区最大的灌溉效益^[3]。Robin Wardlaw, Jonathan Barnes(1999)提出了灌溉水量在复杂渠系网络中分配的非线性优化模型^[13]。E. C. Kipkorir, D. Raes 等人(2001)建立在供水不足情况下, 用于短期配水决策的动态规划配水模型^[12]。作者假设作物实际与潜在蒸发蒸腾量的比值等于作物实际灌水量与需水量的比值, 将灌溉面积分成 NF 个种植同种作物的田块, 以分配给各田块上的水量为决策变量, 以各田块可用于分配的水量为状态变量进行求解。大系统递阶模型可以把一个大系统分成若干子系统, 减少原问题的维数, 简化系统的复杂性, 还可以处理多目标优化问题。

(3) 目标函数。骨干渠系优化配水模型有单目标和多目标两种形式。目前, 单目标的优化模型应用较多, 一般是追求全灌区的经济效益最高、减产损失最少或灌溉管理部门的水

费收入最高。白宪台、马学强等人(1995)针对欧阳海灌区塘库结合的特点, 建立了干渠优化配水的大系统多目标递阶模型^[4]。该模型分两层, 第一层, 按配水段划分子系统, 以子系统亏水度最小为目标, 解决在大系统分配一定流量下, 各子系统内部多种水源联合优化调度问题; 第二层, 以全灌区收益均衡和全灌区亏水度最小为目标, 解决大系统(干渠)向各子系统优化配水方案。

(4) 决策变量。决策变量可选用不同灌水状况下的面积或灌水子区所分配的水量。以不同灌水状况下的面积为决策变量, 可求出每次灌水不灌水、充分灌和非充分灌的面积, 但前提条件是已知非充分灌的灌水定额, 非充分灌的灌水定额确定是否合理会直接影响优化结果。以灌水量为决策变量, 可直接求得各灌水子区所得的水量。

1.2 田间渠系优化配水

田间渠系优化配水指在配水渠道及下级渠道过水能力一定条件下, 为满足某次灌水要求, 对配水渠道所辖的下级渠道进行编组排序, 使总的配水时间不超过配水渠的配水周期, 又使配水渠的流量过程线与下级渠道闸门的开关次序相匹配, 以使水量损失最小。这类问题一般是通过优化轮灌组合, 以渠系总的配水时间最短或水量损失最小为目标, 建立 0-1 整数规划模型进行求解。

A. R. Suryavanshi 和 J. Mohan Reddy (1986) 以配水渠道的总投资最小为目标建立了 0-1 整数规划模型^[11]。作者假设配水渠道由若干条子渠组成, 配水渠道上的每个出水口可从任意一条子渠引水, 则要使工程总投资最小(即配水渠道的断面尺寸最小)就得使同时输水的子渠数达到最少。王智、朱凤书(1992)针对配水渠道“定流量, 变时间”的运行方式, 采用同样的假设, 以配水渠道的输水损失总量(即各输水子渠输水损失之和)最小为目标, 采用割平面法求解了同时供水的子渠个数及出水口轮灌组合^[5]。周振民等人(1992)对山东陈垓引黄灌区北二干共 18 条支渠进行分析, 以灌溉净效益最大为目标, 建立了作物最优种植面积的数学模型, 并给出了各类作物最优种植面积确定条件下, 使北二干每次灌溉灌水时间最短的优化配水模型^[6]。采用试算法, 以各支渠为计算单元, 在尽量保证干渠以最大过水能力引水的情况下, 调整支渠的灌水顺序和引水流量, 使干渠灌水时间最短。吉光泽(1992), 张文渊(1999)分别采用 0-1 整数规划法讨论了轮灌农渠最佳组合问题^[7~8]。吕宏兴等人(2000)建立了适用于支渠以下各级配水渠道的 0-1 整数规划模型, 并提出了各轮灌组引水时间均一化处理办法, 使配水渠道进水闸能在同一时间关闭^[9]。骆莉、袁宏源(2000)改进了配水渠道轮灌组合的 0-1 规划模型, 在使渠系输水损失最小的基础上, 以论灌组数最少为目标函数, 并用遗传算法进行了优化计算^[10]。

田间渠系优化配水, 实际上是对灌区各级渠道流量进行优化调度。通过划分轮灌组和调配流量使上下级渠道水流能很好地衔接, 尽量减少无效弃水, 并使上级渠道的输水时间

趋向最小。对该问题,许多学者针对配水渠道“定流量,变时间”的运行方式进行了大量的研究,即认为下级渠道从上级渠道引取规定水量,且各渠道间引水流量相同。但,在实际配水过程中,下级各渠道的引水流量不一定都完全相同,有的渠道引水流量可能偏大或偏小,所以,对引水流量不同的配水渠道的优化组合问题,还需进行进一步研究。

2 应用中存在问题

虽然国内外许多学者对渠系优化配水问题进行了大量的研究,但优化配水在我国灌区的实施仍具有一定难度。

(1) 缺少适合当地的作物水分生产函数。作物产量对缺水的敏感指数 λ 受地区环境(气候、土壤、灌溉技术和管理水平)的影响,而且在作物生育期的各阶段也不相同,所以 λ 的值随空间、时间的变化而变化。随着近几年农业产业结构的调整,种植结构发生了很大变化,灌区作物种植种类明显增多。由于缺乏对当地各类作物水分生产函数或其参数的研究,使得优化配水无法进行或使用的水分生产函数与实际有一定差距,影响了配水模型的优化结果。

(2) 渠道量水设施不完备以及输、配水管理技术落后是阻碍优化配水顺利实施的又一原因。在我国灌区,特别是在田间渠系,缺少量水设施或量水设施破烂,无法准确确定配水渠道的流量,而且我国灌区输配水工作都由人工进行,受配水人员工作经验、积极性和责任心的限制,渠道闸门往往不能按时启闭,造成大量水量损失。

(3) 我国灌区现行的管理体制不利于优化配水的实施。目前,我国大部分灌区都属于自收自支的单位,经济效益是

整个灌区工作的中心。水费是灌区经济收入的重要组成部分,所以灌区更关心的是卖出水的多少,而对农业增产效益关心甚少。在进行灌溉时,管理局根据各下属管理站前几年实用水量分配本次灌水的水量,或者根据各管理站的灌溉面积按固定比例分配水量。这种配水方式使灌溉水的利用效率降低而且也不符合优化配水的原则。

3 改进措施

(1) 灌区宜加强田间试验,做好基本资料的收集与整理工作,推导出适合当地的作物生育期各阶段水分亏缺对产量的敏感指数。另外,还应继续探索更加符合实际的水分生产函数,为优化配水模型提供理论基础。

(2) 完善渠道量水设施,研究开发方便实用的测流仪器,提高量水技术,为实施优化配水提供技术支持。

(3) 建立优化配水模型应该和我国灌区现行的管理体制联系起来。现有的骨干渠系优化配水模型,或追求农业效益最好,或追求灌溉管理部门水费收入最高,没有权衡双方利益。理论上,灌溉管理部门与农民的利益并不矛盾,灌区卖出去的水越多,水费收入越高,粮食增产量也越大。所以,建立既能提高粮食产量,又能增加灌溉管理部门经济效益的优化配水模型是可以做到的。

(4) 继续推行灌区管理体制,引入市场机制,建立合理的水价形成机制和有效的水费计收方式,促进灌溉水资源优化配置。

(5) 骨干渠系配水应与田间渠系配水统一考虑,联合调度,达到优化配置灌溉水资源的目的。

参考文献

- [1] 姚崇仁 确定干旱缺水灌区作物灌溉面积的线性规划模型[J]. 农田水利与小水电, 1989, (5): 9- 11.
- [2] 汪志农, 熊运章 适用于半干旱灌区某次配水的优化模型[J]. 河海水利, 1993, (2): 19- 22.
- [3] 周祖昊, 袁宏源 有限供水条件下灌区优化配水[J]. 中国农村水利水电, 2002, (5): 5- 7.
- [4] 白宪台, 马学强, 等 欧阳海灌区干渠优化配水的递阶模型和求解技术[J]. 水利学报, 1995, (12): 1- 10.
- [5] 王智, 朱凤书 灌溉渠系流量最优调度的0-1规划模型[J]. 灌溉排水, 1992, 11(3): 8- 13.
- [6] 周振民 陈垓引黄灌区渠系优化配水研究[J]. 农田水利与小水电, 1992, (6): 19- 23.
- [7] 张文渊 灌区水量优化分配与轮灌农区最佳组合管理技术[J]. 农业与技术, 1999, 19(1): 7- 11.
- [8] 吉光泽 引黄灌区渠系优化配水技术[J]. 水利水电技术, 1992, (8): 45- 47.
- [9] 吕宏兴, 熊运章, 汪志农 配水渠道轮灌组合优化模型与引水时间的均一化处理[J]. 中国农村水利水电, 2000, (1): 46- 48.
- [10] 骆莉, 袁宏源 配水渠道轮灌组合优化模型及其遗传算法[J]. 中国农村水利水电, 2000, (10): 11- 13.
- [11] A R Suryavanshi, J Mohan Reddy Optimal operation schedule of irrigation distribution systems[J]. Agricultural Water Management, 1986, (11): 23- 30.
- [12] E C Kipkorir, D Raes, J Labadie Optimal allocation of short-term irrigation supply[J]. Irrigation and Drainage System, 2002, (15): 247- 267.
- [13] Robin Wardlaw, Jonathan Barnes Optimal allocation of irrigation water supplies in real time[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1999, (6): 345- 354.
- [14] Sheng- Feng Kuo, Gary P Merkle. Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm[J]. Agricultural Water Management, 2000, 45(3): 243- 266.