

基于 COM 组件技术的渠系配水编组决策通用化软件研究

赵文举¹, 马孝义¹, 任洪艺¹, 赵西安²

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 陕西省石头河水库灌溉管理局, 陕西 杨凌 712100)

摘要:针对国内外开发的渠系优化配水软件存在通用化程度不高的问题,以 VB、MATLAB 等多种编程工具为开发平台,并基于 COM 组件技术研制了可脱离 MATLAB 和 VB 编程工具运行环境的渠系配水优化编组通用化软件,实现了渠系层状树形结构图、空间布局概化图和渠道特征参数数据库等的交互使用,使用户可以方便地完成复杂渠系的空间布局搭建和渠道特征参数的设置。对软件的实例测试表明,本软件编程速度快、程序简洁、界面直观、求解速度快、结果可靠性高,能方便地用于渠系配水优化辅助决策。

关键词:灌溉渠系;优化调度;决策软件;COM 组件;MATLAB7.0

中图分类号:S274.3;TP311.52 文献标识码:A 文章编号:1008-0864(2008)04-0082-07

Studies on Current Software for Optimal Irrigation Water Distribution Based on COM Component Technology

ZHAO Wen-ju¹, MA Xiao-yi¹, Ren Hong-yi¹, ZHAO Xi-an²

(1. Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area, Ministry of Education, Northwest A & F University, Shaanxi Yangling 712100; 2. Shitouhe Reservoir Irrigation Management Bureau of Shaanxi Province, Shaanxi Yangling 712100, China)

Abstract: Aiming at improving the low currency of optimal water irrigation distribution software, on the platform of VB, MATLAB, etc., a current software based on COM component for optimal irrigation canal system of water distribution is developed, which can operate without MATLAB and VB environment. This software can make the irrigation canal system a layer tree view map, dynamically link to canal system space-layout map and canal parameters database. Its users can easily edit the complex irrigation system structure and space-layout maps, modify the characteristic parameters of irrigation canals. Its test results show that this software has advantages of fast-programming, concise programs, friendly man-machine interface, high computing speed and with stable and reliable results. So this software can be conveniently used in assisting decision-making for optimal water distribution system.

Key words: irrigation canal system; optimal allocation; decision software; COM component; MATLAB7.0

目前我国大多数灌区仍采用手工编制的用水计划进行渠系水量调配,这难以做到统筹优化,易造成渠系输水时间长,配水流量小,局部无效弃水和水量浪费等问题。因此,研究渠系优化配水的编组问题,开发通用化决策支持软件,对减少灌溉渠系输水损失,提高灌区管理水平具有重要意义。

目前,国内外对渠系优化编组问题进行了较多研究,但大多研究只是对模型及求解算法的改

进^[1~7]。结合典型灌区实例已经初步开发了多种灌区灌溉用水管理软件^[8~10],由于需要考虑作物的腾发量、有效降雨量、灌溉时间、灌水量预报等多种因素,而且主要针对某一具体灌区或渠系而编制,目前尚未形成较为通用化的软件系统,难以在广大灌区推广应用。马孝义等用 VC++ 语言开发了易于快速搭建且通用性较强的渠系配水软件^[11],但研究对象局限于下级渠道配水流量相等

收稿日期:2008-04-11;修回日期:2008-07-02

基金项目:国家自然科学基金项目(50479052),国家科技支撑计划项目(2006BAD11B04),西北农林科技大学青年学术骨干计划资助。

作者简介:赵文举,博士研究生,主要从事农业水土工程方面研究。E-mail: zhaowenju@yahoo.com.cn。通讯作者:马孝义,教授,博士,博士生导师,主要从事农业水土工程方面研究。E-mail: xiaoyimasl@yahoo.com.cn

基础上的渠道优化配水模型,与绝大多数渠系实际配水要求不相符合,普适性欠缺,且编程工作量大,系统求解的稳健性有待提高。针对上述问题,本文在分析下级渠道设计流量不等时的渠系优化配水模型及求解方法的基础上,研究了灌区复杂渠系空间结构和渠系特征参数的图示概化方法,基于 MATLAB 配水模型的快速求解方法和 VB 与 MATLAB 无缝集成方法,研制了将 VB、MATLAB 等多种软件高效集成且可脱离编程工具运行环境的渠系配水优化编组通用化软件。通过两个灌区配水实例对软件进行的验证,表明该软件优化编组效果好、通用性强、优化性能好、可靠性高,可满足不同灌区配水优化编组管理需要。

1 软件的研制思路与实现过程

由于灌溉渠系结构十分复杂,在研制通用化渠系配水优化编组软件时,首先必须用简洁通用的图表概化灌区渠道的布局 and 渠道特征参数,特别是各级渠道的上、下级渠道水流配送关系,以便用户可根据渠系情况方便地搭建渠系布局图和上、下级渠系关系图,输入各级渠道特征参数等;其次要建立一套所需参数少,通用性强的渠系优化配水模型,研制出一套快速、可靠的模型求解方法,并能将渠系特征的相关数据和配水信息传递到模型中,根据灌溉配水过程中的各种主要约束条件和配水要求,自动确定优化配水模型中的各项参数,求解并输出。

由于灌溉输配水渠系空间布局十分复杂,为了清晰地反映渠系的布局特征,在布局概化图中去掉了与配水无关的各类设施,仅反映各级灌溉输配水渠系,并把渠系中具体的各条渠道抽象成线段,通过渠首、渠尾的相对坐标确定其位置,这样用渠系布局概化图即可清晰地反映渠系空间分布。为了进一步清晰表征渠系上下级水流配送关系,本研究利用层次树状结构表征上下级渠道的配水关系,并用渠系特征数据库表征渠系的特征参数,这样可为用户提供一个形象直观的工作环境,使用户可以根据具体渠系情况自动搭建用于配水优化编组的数字渠系。如图 1 所示,A 为菜单栏区;B 为树状结构图;C 为数据库区;D 为平

面布局概化图;E 为状态栏区。为应用方便,可将渠道名称、下级渠道数、流量、桩号、渠道长度和渠系水利用系数等参数输入渠道特征参数数据库,同时设置渠道位置桩号参数以避免实际渠道为折线时直接用渠首、渠尾的相对坐标计算渠道长度与实际渠道长度不符的问题。

为方便用户在输入、修改并设置渠道特征参数时不致出错,本软件采用多视图交互技术,将上述可视化图和数据库集成在同一界面中,实现上述各视图之间的数据共享。利用结构构造树,可明确的显示渠系结构的层次和上、下级水流配送关系。在树状结构图中双击某节点,可进行展开与收缩;在结构图中某节点上单击鼠标右键,则弹出右键菜单,可完成修改渠系属性或删除某条渠系,如在结构图中添加、删除某一条渠道,则相应的渠道特征参数数据库、渠系概化布局图也自动添加、删除这一条渠道。若在渠道特征参数数据库增加一条记录,结构图也会自动添加一条渠道。

2 渠系配水优化编组原理及其求解方法

灌区渠系优化配水是一个十分复杂的问题,为了简化研究,本文重点研究各下级渠系配水水量已确定的情况下,如何通过合理安排灌区渠系的配水过程,减少输水损失这一问题,并由此建立数学模型。其建模思想为:在各下级渠道配水水量满足农田灌溉要求,配水时间在规定的轮期内,在任一时刻各下级渠道的配水流量之和等于上级渠道的配水流量,并使上、下级渠道配水流量尽可能分别在其设计流量的 0.6~1.2 倍之间变化,在满足渠道配水水位要求并防止渠道过流溃决等条件下,以整个渠系输水损失最小为目标,建立数学模型:

设上级渠道的设计流量为 Q_u ;其上有 n 条下级渠道,其设计流量和配水流量分别为 $q_j, q_j, j=1, 2, \dots, n$ 。以轮期内所有配水时段的上、下级渠道的输水渗漏损失总量最小为目标建模,即:

$$\text{Min } W = W_u + W_d \quad (1)$$

$$W_u = \sum_{i=1}^T f(A_u, m_u, q_u, l_u, t_u) \quad (2)$$

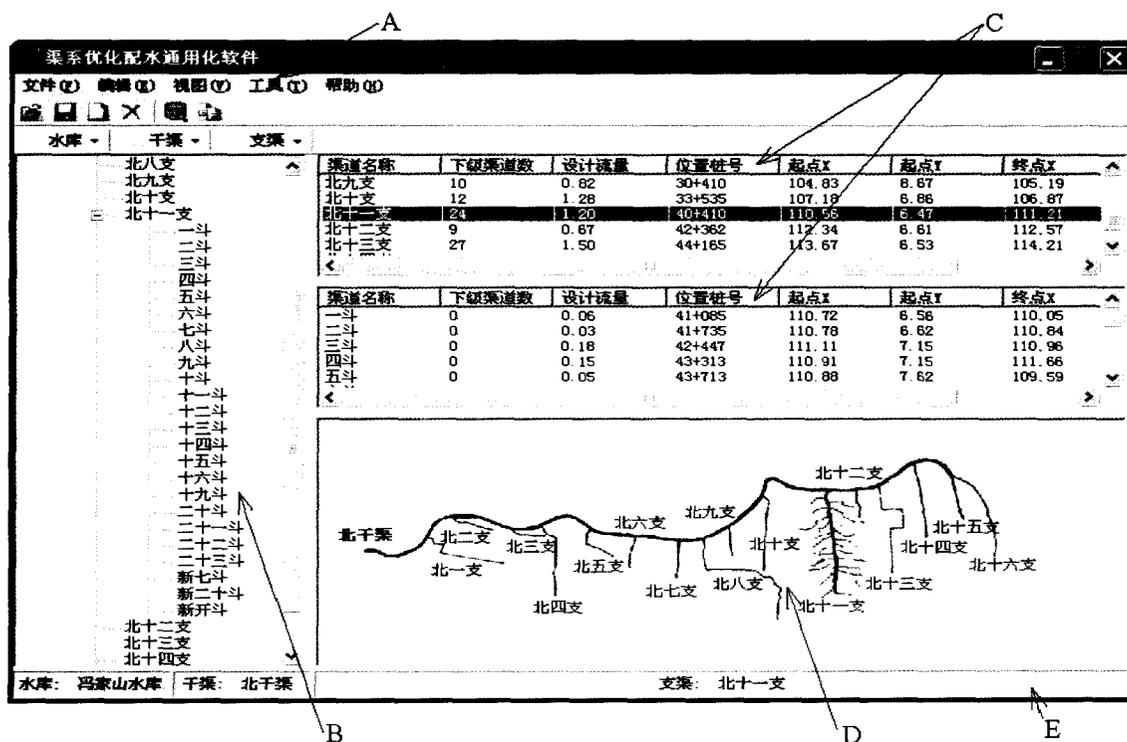


图1 渠系配水优化编组可视化软件主界面

Fig.1 Main window of visualized software for irrigation system distribution optimal operation.

- A. 菜单栏区; B. 树状结构图; C. 数据库区; D. 平面布局概化图; E. 状态栏区
 A. Section of menu bar; B. Picture of tree structure; C. Section of database; D. Picture of plane layout; E. Section of status bar.

$$W_d = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N f(A_j, m_j, q_j, l_j, t_j) \quad (3)$$

式中: W 、 W_u 、 W_d 分别为轮期内整个渠系段及上、下两级渠道的输水损失总量(m^3); q_u 、 q_j 分别为上、下级渠道的配水流量(m^3/s); A_u 、 A_j 、 m_u 、 m_j 分别为上、下级渠道的渠床透水系数和指数; l_u 、 l_j 、 t_u 、 t_j 分别为上、下级渠道输水长度(m)和配水时间(d)。

渠道渗漏损失水量的计算公式为:

$$W = f(A, m, q, L, t) = [A \cdot L \cdot q^{(1-m)} \cdot t] / 100 \quad (4)$$

模型的约束条件主要有:

下级渠道配水流量约束:任一下级渠道配水流量为其设计流量的 α_j 倍,且 α_j 在 0.6 ~ 1.2 之间取值。

$$q_j = \alpha_j q_{sj} \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (5)$$

$$0.6 \leq \alpha_j \leq 1.2 \quad (6)$$

轮期约束:各下级渠道配水开始时间 t'_j 和结束时间 t''_j 应在轮期 T 内, t_j 为配水时间。

$$0 \leq t'_j \quad (7)$$

$$t'_j = t''_j - t_j \quad (8)$$

$$t''_j \leq T \quad (9)$$

水量约束:任一下级渠道的配水流量与引水时间 t_j 之积等于该渠道的需配水量 W_j 。

$$W_j = \alpha_j q_{sj} \cdot t_j \quad (10)$$

水量平衡要求:任一时段上级渠道实配流量 q_j 等于该时段 i 内配水的各下级渠道配水流量之和。

$$q_i = \sum_{j=1}^N \alpha_j q_{sj} \cdot x_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, T) \quad (11)$$

$$\text{当 } t'_j \leq i \leq t''_j \text{ 时, } x_{ij} = 1; \text{ 反之, } x_{ij} = 0 \quad (12)$$

上级渠道流量约束:任一时段上级渠道实配流量 q_i 接近于其设计流量并小于其最大允许流量(一般为设计流量的 1.2 倍)。

$$q_i \approx Q_u \quad (13)$$

$$0.6 Q_u \leq q_i \leq 1.2 Q_u \quad (14)$$

通过上文分析可以看出,本文建立的灌溉渠系配水优化编组决策模型是一个多约束非线性的优化问题,应用传统方法求解难度大且存在着对所给初始解依赖大、容易陷入局部最优解等问题。而近年来广泛应用的遗传算法,由于它借鉴生物界自然选择和遗传机制来完成各种模型参数的寻优,是一种高度并行、随机、自适应全局概率搜索算法,搜索过程稳健,搜索结果具有很强的鲁棒性^[12]。为此,本文采用遗传算法作为模型的求解工具。在分析模型决策变量的相关关系和模型特点的基础上,以下级渠道配水流量与其设计流量比值 α_j 及配水结束时间 t_j^* 作为决策变量进行编码,选择采用 GA 中最常用的轮盘赌法,以保证在进化过程中适应度较大的染色体以较大的概率参与选择。交叉运算采用单点交叉方式,变异运算采用概率变异法进行来完成模型的求解^[13]。

3 基于 MATLAB 和 VB 混合编程的优化配水编组软件设计方法

在渠系配水决策编组通用化软件中模型的稳健可靠求解是最为关键的内容。用遗传算法求解模型时,若利用 VB、C 等语言编程,具有工作量大且程序运行的稳定性也难以保证等问题,而 MATLAB 是一种集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体的高性能编程工具,它提供的各种工具箱为各种数学处理提供了强大、稳健、快速的编程工具。为此,本文选用 MATLAB 作为模型求解和配水过程图形显示的编程工具。但 MATLAB 也存在应用程序不能脱离自身工作环境,界面的功能相对较弱等问题。为有效缩短开发周期、优化系统性能,本文将 MATLAB 模型快速求解与 VB 渠系特征显示化功能有效地集成在一起,开发出灌溉渠系通用化配水优化编组软件。VB 和 MATLAB 接口编程的方法主要有利用 ActiveX、利用 DDE 技术、通过编写 M 文件、利用 MatrixVB、COM 组件技术;它们存在的主要问题是:利用 Active X、DDE 和利用 M 文件直接生成 EXE 等方法,存在难以脱离 MATLAB 运行环境或数据通讯功能不强等问题,而利用 MatrixVB 虽很方便实现 MATLAB 与 VB 的接口,但需要额外安装

MatrixVB,且 MatrixVB 函数功能有限,利用 COM 组件技术生成 COM 组件时需借用 C++ 编译器,但 COM 生成器可“量身定做”自身所需的组件,灵活性强,生成的组件比 Matrix VB 小得多,特别是 COM 生成器它能把 MATLAB 开发的算法作为独立的 COM 组件,运行不依赖 MATLAB 环境的独立程序,可直接被 VB、VC++ 或其他支持 COM 的语言所引用,运行速度快,不需代码转换,可读性好^[14,15]。为此,综合考虑编程语言工具能否支持遗传算法工具箱、执行速度、能否脱离 MATLAB 单独运行等,选择 MATLAB 组件和 VB 联合编程的方法来完成通用化软件的设计。其中模型求解、配水决策方案的图形化输出由 MATLAB 实现,渠系结构特征和空间概化图模块、数据导入和表格化输出等功能由 VB 实现。

本软件设计流程为:利用 MATLAB 遗传算法工具箱研制渠系优化配水编组模型的求解和配水决策方案图形化显示模块,利用 MATLAB 7.0 并借用 C++ 编译器将其生成 COM 组件。在 VB 编制渠系配水优化编组可视化软件主程序中,将研制的模型求解 COM 组件、渠系特征参数输入模块集成,最终生成灌区用水通用化决策软件。

基于 MATLAB 的模型求解 COM 组件在 VB 总体软件集成的编程方法为:编写基于 MATLAB 的配水决策 M 函数文件;在 MATLAB 工作环境中执行 comtool,进入 MATLAB COM Builder 界面;新建一个工程,载入 M 文件,编译即生成 M 文件所对应的 COM 组件;在 VB 编程环境中调用接口函数引入 COM 组件。将模型求解 COM 组件集成到基于 VB 的通用化软件工程中,形成脱离 MATLAB 工具运行的通用化决策软件。

由于在用 MATLAB 求解模块中传输渠系特征参数和用水信息(配水水量,配水轮期,上、下级渠道设计流量和输水长度等参数)具有一定的难度,将各级渠系特征参数和用水信息从数据库中由 VB 控制转化为临时 txt 文件,并由 VB 控制将 txt 数据导入到配水决策的 COM 组件中,用优化计算按钮完成优化计算,并在输出结果栏图形化输出三组优化的上、下级渠道配水流量过程,供用户比较分析各种编组方案的优劣,从而选择最终的编组方案。点击导出按钮将最终编组方案导出并保存到指定的配水结果 EXCEL 表,以方便用

户使用优化结果或进一步处理后在其他软件中调用。为了软件的简洁性,运算结束后,软件自动删除运算中产生的临时txt文档。

4 软件的验证与分析

4.1 实例一

用陕西省冯家山灌区北干十一支渠共24条斗渠2005年春灌某轮期的实际配水过程,对软件进行测试。该支渠设计流量 Q_u 为 $1.2\text{m}^3/\text{s}$,各斗渠设计流量在 $0.03\sim 0.18\text{m}^3/\text{s}$ 之间变化,渠床土

壤为中壤土,A取1.9,m取 $0.4^{[16]}$ 。

按照上述操作,在图1的软件主界面设置渠系特征参数和用水信息后,运行求解模块。由于上、下级渠道的长度和信息较多,采用动态导入方式,将相关信息导入求解模块,可在3~5min内完成软件的求解运算。由优化决策确定上级渠道(北干十一支渠)的输水过程,下级渠道(各斗渠)配水起始、结束时间和配水流量,其中配水时间以12h为一个时段表达。运行求解模块后,取出一组求解结果,如图3所示。从图2、图3可看出,

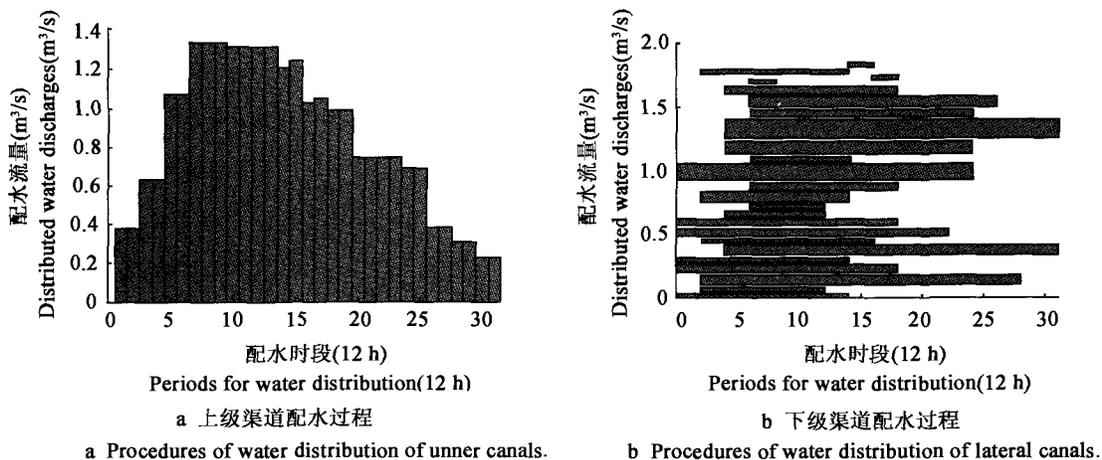


图2 采用经验方法编制的上、下级渠道配水过程

Fig.2 Delivery scheduling of branch water distribution and lateral channels by traditional method.

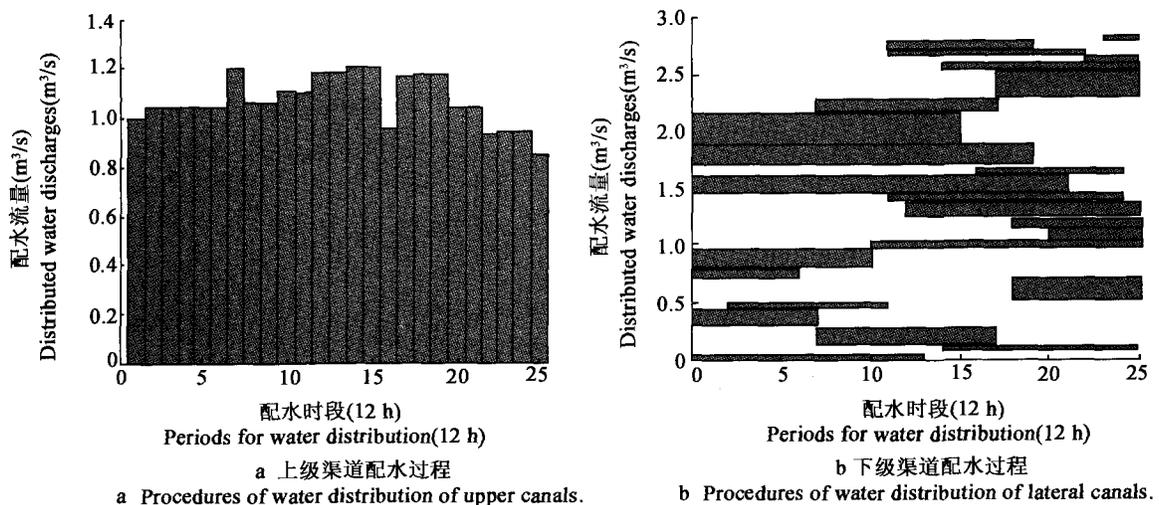


图3 采用优化方法编制的上、下级渠道配水过程

Fig.3 Delivery scheduling of branch water distribution and lateral channels by optimal method.

经验配水过程上级渠道各时段实配流量起伏大, 且有多个时段实配流量大于其设计流量或小于最小允许流量; 优化方案的上级渠道配水流量均匀, 便于实际配水, 配水时间也减少了 6 个时段(72 h)。经验配水过程中下级渠道配水时间集中, 总体流量较小, 且多个下级渠道实配流量大于其设计流量或小于最小允许流量, 而优化方案的下级渠道配水流量均在其允许的流量范围内, 优化决策的配水效果要优于经验配水方案。

4.2 实例二

用陕西省石头河灌区西干渠 2005 年冬灌某轮期实际配水过程, 对软件进行测试。该轮期共对 14 条支斗渠进行配水, 该干渠设计流量 Q_u 为 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 各支斗渠设计流量在 $0.2 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 之

间变化, 渠床土壤为中壤土, 经验配水过程如图 4 所示。

按照上述操作, 在软件主界面设置渠系特征参数和用水信息后, 运行求解模块, 取出一组求解结果, 如图 5 所示。对照图 4 和图 5 可以看出, 经验配水过程上级渠道各时段实配流量起伏大, 且小于最小允许流量; 优化方案的上级渠道配水流量均匀, 便于实际配水, 配水时间也减少了 8 个时段(96 h), 下级渠道配水流量均在其允许的流量范围内。

通过以上两个实例对软件测试表明: 该软件通用性强、优化性能好、可靠性高、可满足不同灌区的渠系配水优化编组决策。

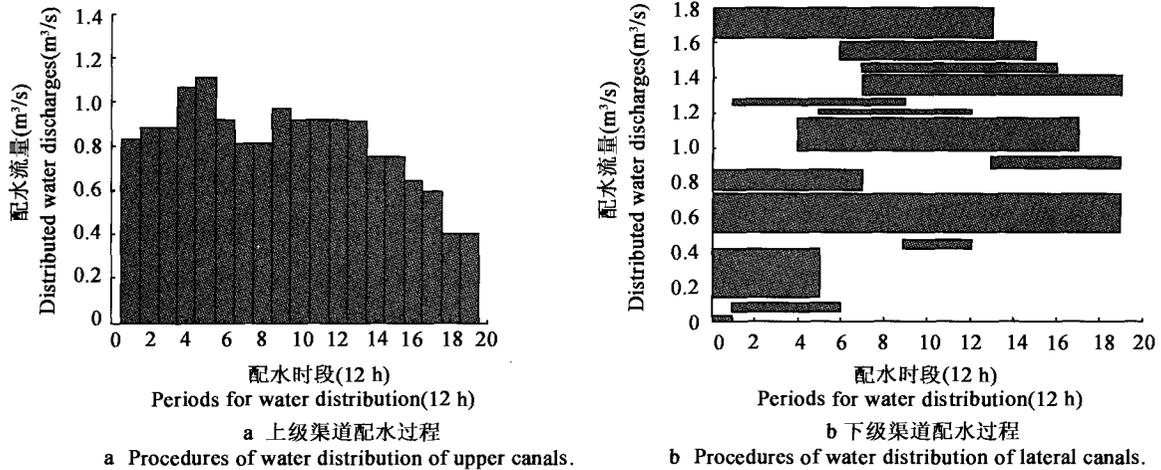


图 4 采用经验方法编制的上、下级渠道配水过程

Fig. 4 Delivery scheduling of branch water distribution and lateral channels by traditional method.

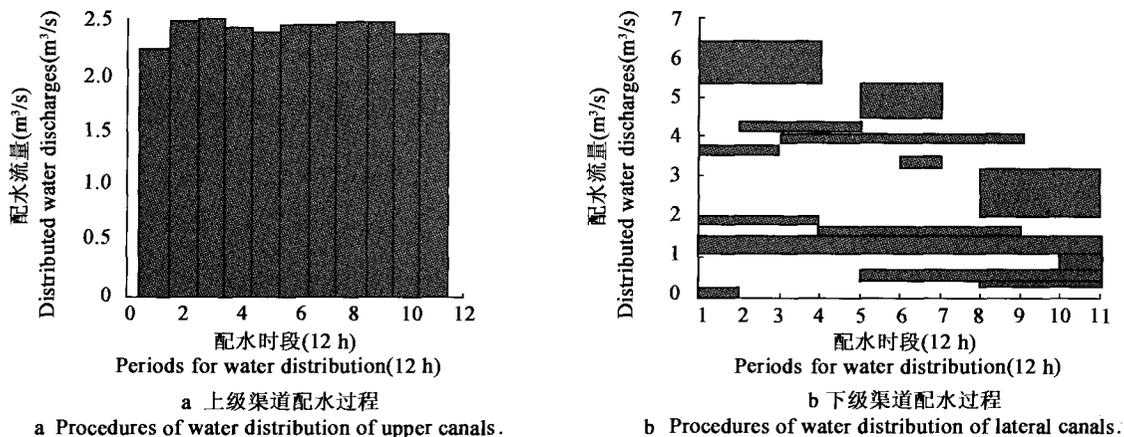


图 5 采用优化方法编制的上下级渠道配水过程

Fig. 5 Delivery scheduling of branch water distribution and lateral channels by optimal method.

5 结论

本研究所开发软件利用渠系层状树形结构图、空间布局概化图、渠道特征参数数据库等直观地表达出复杂渠系的上下级关系、空间布局和特征参数,并实现了上述图形与数据库的交互使用,使用户可以方便的完成渠系的空间布局搭建渠道特征参数的输入与修改。具有操作简单、可视性强的优点。在分析渠系配水优化编组模型及求解算法的基础上,重点研究 VB 与 MATLAB 的无缝集成方法,在此基础上开发灌区渠系配水优化编组的通用化软件。通过两个实例对软件进行了测试,验证表明,该软件图形界面直观,模型求解收敛速度快,运算结果稳健,通用性强,优化性能好,可靠性高,能够脱离 MATLAB 和 VB 等编程工具运行,能方便快速地实现灌区渠系配水优化编组的计算机辅助决策。

参 考 文 献

- [1] Suryavanshi A R, Reddy J M. Optimal operating schedule of irrigation distribution system [J]. *Agricultural Water Management*, 1986, 11 (1): 23-30.
- [2] 王 智,朱凤书. 灌溉渠系流量最优调配的 0-1 规划模型 [J]. *灌溉排水*, 1992, 11(3): 8-13.
- [3] Reddy J M, Wilamowski B, Cassel-Sharmasarkar F C. Optimal scheduling of irrigation for lateral canal [J]. *ICID*, 1999, 48 (3): 1-12.
- [4] 吕宏兴,熊运章,汪志农. 灌溉渠道支斗渠轮灌配水与引水时间优化模型 [J]. *农业工程学报*, 2000, 16(6): 43-46.
- [5] 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.
- [6] 宋松柏,吕宏兴. 灌溉渠道轮灌配水优化模型与遗传算法求解 [J]. *农业工程学报*, 2004, 20(2): 40-44.
- [7] 张国华,张展羽,邵光成,等. 基于粒子群优化算法的灌溉渠道配水优化模型研究 [J]. *水利学报*, 2006, 37(8): 1004-1008, 1014.
- [8] 顾世祥,李远华,崔远来,等. 灌溉管理应用软件的研究现状及前景 [J]. *灌溉排水*, 1999, 18(1): 61-64.
- [9] 孟桃平,雷存伟,尚得功,等. 红旗渠灌区自动化管理系统开发与实践 [J]. *中国农村水利水电*, 2001, 3: 13-16.
- [10] 徐建新,白雪梅,沈 晋,等. 灌区水资源实时优化调配决策软件研制 [J]. *水科学进展*, 2003, 14(2): 178-183.
- [11] 马孝义,于国丰,李安强,等. 渠系配水优化编组通用化软件的研发与应用 [J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 119-123.
- [12] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等. 遗传算法及其应用 [M]. 北京:人民邮电出版社, 1996.
- [13] 赵文举,马孝义,刘 哲,等. 基于自适应遗传算法的灌溉渠系优化配水模型研究 [J]. *系统仿真学报*, 2007, 19(22): 5137-5140.
- [14] 苏金明,刘 宏,刘 波. MATLAB 高级编程 [M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [15] 杨高波,亓 波. 精通 MATLAB 7.0 混合编程 [M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [16] 汪志农. 灌溉排水工程学 [M]. 北京:中国农业出版社, 2000.

金三思 服务生物科技

北京金三思生物科技有限公司成立两年来,一直致力于基因测序研究,取得了可喜的成就。现拥有 ABI3730XL 世界最先进的 DNA 测序仪和生物信息高新技术分析平台。具备良好的实验操作环境,并拥有一批高学历、高素质的生物技术专业人员。能够提供高质量、快速的 DNA 测序服务。测序结果可在 24~48 h 通过 E-mail 发到客户指定的邮箱,随后提供测序报告单、彩色峰形图谱。价格为 35 元/反应。

DNA 化学合成是金三思公司服务的一个重要组成部分,我们拥有具有良好核酸背景的研究人员,多年精湛的合成技术和广泛的生产经验;我们的合成业务包括常规合成、硫代、各种修饰、特殊碱基、全基因合成等,我们将以可靠的质量、

快捷的服务、合理的价格、完善的产品线和全程的技术支持来争取您的关注。价格为 1.30 元/碱基。

本公司还推出高质量的 M-MLV 反转录酶和 dNTP。M-MLV 反转录酶价格为 150 元/4 000 U, 10 mmol/L dNTP Mix 价格为 35 元/0.5 mL。

北京金三思生物科技有限公司客服部

联系人:魏峰

地 址:北京市海淀区清河安宁庄路 4 号 11 号
办公楼 212 室

电 话:010-51617279, 51617272,
13910417550

E-mail: manager@genesci.com.cn

详情请登陆网站:<http://www.genesci.cn> 查询。