

文章编号: 1007-4929(2016)09-0166-03

# 基于 Matlab GUI 的滴灌毛管优化设计程序研究

张旭东<sup>1</sup>, 王传全<sup>2</sup>, 迟道才<sup>1</sup>, 孙仕军<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866 2. 山东黄河河务局, 济南 250011)

**摘要:** 滴灌工程设计中, 科学合理布设滴灌带对节水成效和工程投资都具有十分重要的影响。为提高滴灌规划设计的效率及优化效果, 最大限度增大毛管铺设长度、减少滴灌工程建设单位投资, 在现有滴灌水力模型的基础上, 采用 Matlab GUI 和遗传算法工具箱相结合的方法, 对毛管优化设计过程进行模块化程序设计。经验证, 该优化程序界面友好, 计算可靠, 不仅大大减少了人工计算量, 对当前滴灌工程规划设计和推广也有重要帮助。

**关键词:** 滴灌; Matlab GUI; 优化设计; 双向毛管; 节水灌溉

中图分类号: S275.6 文献标识码: A

## Optimal Design Program of Drip-irrigation Tape Based on Matlab GUI

ZHANG Xu-dong<sup>1</sup>, WANG Chuan-quan<sup>2</sup>, CHI Dao-cai<sup>1</sup>, SUN Shi-jun<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China,

2. Yellow River River Service Bureau of Shandong, Jinan 250011, China)

**Abstract:** The arrangement and design of drip irrigation tape is very important during the construction of water-saving irrigation engineering, because the drip irrigation tape investment accounts for a large proportion. In order to improve the efficiency of drip irrigation planning and design, efforts must be focused on how to increase the tape length laid on the field and at the same time, reduce the unit investment. On the basis of related hydraulic model of drip irrigation, the combination of Matlab GUI and genetic algorithm toolbox, the modular program of optimization design process of capillary was made to save the manual calculation. It was verified that the optimization program has the properties of friendly interface, reliable calculation, which can provide guidance for current drip irrigation planning and design.

**Key words:** drip-irrigation; Matlab GUI; optimal design; two-way tape; water-saving irrigation

## 0 引言

为了保障国家粮食安全和水资源安全, 2012 年以来, 国家在东北四省区实施了“节水增粮行动”项目, 同时推动东北地区农业发展方式的转型。在节水增粮计划实施过程中, 东北地区的玉米膜下滴灌面积也迅速增加, 截止到 2014 年, 辽宁省的玉米膜下滴灌面积已经发展到了 18.23 万  $\text{hm}^2$ , 吉林、黑龙江和内蒙古地区发展面积则更大。一般情况下每年每公顷滴灌带费用占到整套滴灌设备费用的 60% 左右<sup>[1]</sup>; 而且在滴灌工程规划设计中, 毛管设计的计算量大、步骤繁琐, 设计人员对此会花

费很多时间和精力。目前, 关于优化算法本身在优化设计中的应用及算法效率问题<sup>[2-4]</sup>, 众多学者做了相关的研究, 也发展了一些辅助设计系统<sup>[5,6]</sup>, 但相对系统规模而又易于推广的程序并不多见。

本研究基于 Matlab GUI 界面, 利用毛管水力学数学模型, 后台采用遗传算法工具箱, 编制程序进行毛管优化设计。该程序开发了毛管水力解析、单向毛管优化设计、双向毛管优化设计、等流量灌水器毛管水力解析与优化设计、微灌田间管网水力解析与优化设计等 5 个模块。每个模块可解决相关的若干问题, 如双向毛管优化设计模块可解决最佳支管位置、双向毛

收稿日期: 2016-07-10

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项项目(201303125); 辽宁省教育厅项目(L2014268, 2009A630)。

作者简介: 张旭东(1979-), 男, 讲师, 博士, 主要从事节水灌溉理论与技术和农业节水方面的研究。E-mail: zxxddd@126.com。

通讯作者: 孙仕军(1969-), 男, 副教授, 博士, 主要从事水资源综合利用和农业节水方面研究。E-mail: sunshijun2000@yeah.net。

管管径、双向毛管极限长度的优化等。程序操作方便、界面友好,能够提高设计效率和设计的合理性,可作为滴灌规划设计的辅助工具。本文以东北地区膜下滴灌双向毛管长度的优化设计为例说明模型的构建。

## 1 毛管铺设长度数学模型

### 1.1 基本原理

滴灌管网系统是由多个灌水小区组成,每个灌水小区中由

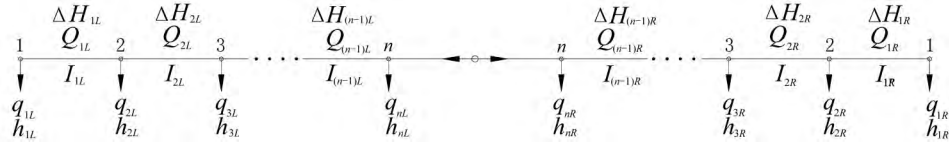


图1 双向毛管示意图

据水力学知识可知<sup>[7]</sup>:

$$q_1 = k h_1^x$$

$$Q_1 = q_1$$

$$\Delta H_1 = \alpha f \frac{Q_1^m}{d^b} S - S I$$

式中:  $q$  为毛管滴头流量, L/h;  $h$  为灌水器压力水头, m;  $k$  为流量系数;  $x$  为流态系数;  $\Delta H$  为水头损失, m;  $\alpha$  为局部水头损失扩大系数, 本文取 1.1;  $f$  为摩阻系数;  $Q$  为管道流量, L/h;  $d$  为管道内径, mm;  $m$  为流量指数;  $b$  为管径指数;  $S$  表示两滴头之间的距离, m;  $Q, \Delta H$  的下标 1 表示滴头 1 和滴头 2 之间的管段;  $I$  为毛管沿地形方向的纵坡。

根据递推关系, 采用倒推法求得该毛管上其他各滴头的流量和压力, 因此, 对于  $i=2, 3, \dots, n$ , 有:

$$\begin{aligned} h_i &= h_{i-1} + \Delta H_{i-1} \\ q_i &= k h_i^x \\ Q_i &= Q_{i-1} + q_i \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Delta H_i = \alpha f \frac{Q_i^m}{d^b} S - S I \quad (2)$$

进一步求得毛管的平均流量、灌水均匀度系数及流量偏差率。灌水均匀度用克里斯琴森均匀系数法计算:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (3)$$

$$C_u = 1 - \frac{\overline{\Delta q}}{\bar{q}} \quad (4)$$

$$\overline{\Delta q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}| \quad (5)$$

式中:  $\bar{q}$  为灌水器平均流量, L/h;  $C_u$  为灌水均匀系数(灌水均匀度);  $\overline{\Delta q}$  为灌水器平均流量偏差, L/h。

灌水均匀系数根据工程由设计人员决定, 一般滴灌的灌水均匀系数应该大于 80%。

毛管上每个灌水器的流量会因为水头而变化, 通常存在最大流量与最小流量, 这种流量差异, 一般采用流量偏差率来表示:

$$q_v = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_d} \quad (6)$$

式中:  $q_v$  为流量偏差率;  $q_{\max}, q_{\min}$  分别为灌水小区中灌水器最大和最小流量, L/h;  $q_d$  为灌水器设计流量, L/h。

一根支管和多条毛管组成, 每条毛管上又有几十个甚至上百个灌水器, 在管道中水流流动, 水与灌水器之间相互摩擦, 产生水头损失, 所以灌水器的出水流量一般都是不相同的。以双向布置的毛管为例进行分析, 如图 1 所示。图 1 中, 规定以顺支管水流方向划分左右侧毛管, 位于支管右侧的毛管为右侧毛管, 位于支管左侧的毛管为左侧毛管; 下标 L 表示左侧毛管, R 表示右侧毛管; 为叙述方便, 以下对于左右侧毛管相同情况下, 省略 L 和 R。首先假设毛管末端的压力水头初始值  $h_1$  为已知, 根

通常用灌水器设计允许流量偏差率来校核设计结果是否合理。根据《微灌工程技术规范》要求, 一个灌水小区内的设计允许流量偏差率应小于等于 20%。

### 1.2 模型建立

滴灌带铺设长度等于各灌水器间距之和加上第一个灌水器到滴灌带首部之间的距离, 若滴头间距固定, 则毛管铺设长度随灌水器数量(确定灌水量)而确定。因此, 根据几何关系即可确定双向毛管有效极限铺设长度。而在双向毛管极限长度中, 还要满足支管处的分流点压力水头相同, 可构造双向毛管极限长度优化数学模型<sup>[8]</sup>:

$$f = \text{Max}(n_L + n_R) \quad (7)$$

同时满足约束条件:

$$\text{s. t. } \begin{cases} 1 - \frac{\overline{\Delta q}}{\bar{q}} \geq C_u \\ \bar{q} - q_d = 0 \\ |H_L - H_R| = 0 \\ h_{\min} \leq h_i \leq h_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $n_L, n_R$  分别为左侧和右侧毛管孔口数;  $H_L, H_R$  分别为左右侧毛管进口压力值, m;  $h_{\max}, h_{\min}$  分别为灌水器的允许最大和最小工作压力水头, m; 其余字母含义同上。

## 2 程序设计

### 2.1 GUI 界面和后台算法

本研究采用 Matlab 提供的标准 GUI 模板开发界面。后台的优化算法使用遗传算法工具箱(GA), 利用 Matlab 优化工具箱稳定高效的性能, 数据传递采用 varain、varaout 和 save、load 相结合的形式, 在调用遗传工具箱之前, 运用罚函数理论将双面毛管极限长度优化数学模型转换为无约束非线性规划。

### 2.2 设计思路与程序处理

程序设计时先构架主程序, 再对滴灌毛管优化的不同问题编制相应子程序以供主程序调用。以双向毛管长度的优化为例, 用户可以向该界面输入已知参数, 调用编制好的通用优化算法程序, 由子程序控制优化过程和优化结果。

双向毛管极限长度子程序的运行界面包括“优化过程”、“保存数据”、“流量偏差率计算”、“重新设置”等 4 个按钮。“优化过程”会使优化过程显示在新窗口中; 为便于检查和编制设

计说明书,“保存数据”按钮将每个滴头的压力,流量以及统计特征值全部保存成一个数据表,并存储为 xls 格式;“流量偏差率”按钮则选出毛管的最大与最小流量值,由式(6)计算流量偏差率,小于 20%即符合设计要求,不符合则需重新进行优化;“重置”将用户输入的全部参数设置为内部预设初始值。据上,用户只需根据具体工程的基本性能参数,对程序预设值进行修改,就能够方便、迅捷地得出设计优化结果。

### 3 程序验证

国内某大型节水企业内镶式滴灌带,其性能参数为:管径  $d=16\text{ mm}$ ,壁厚  $0.2\text{ mm}$ ,设计工作压力为  $100\text{ kPa}$ ,滴头间距  $S=0.3\text{ m}$ ,灌水器设计流量  $q_d=2.7\text{ L/h}$ ,流量压力关系式: $q=0.78 h^{0.596}$ 。滴灌带沿地形纵坡  $I=0.01$  进行铺设,上坡为正,下坡为负,设左侧上坡,右侧下坡,设计灌水均匀度  $C_u=0.95$ 。需计算滴灌带极限长度,确定最佳支管位置、各孔口的压力、流量。

分析可知,应由双向毛管极限长度子程序求解。该模型属于有约束的非线性规划,需利用惩罚函数,将其转换为无约束规划,得到适应度函数。调用 ga.m 时设置种群数为 100,交叉率为 0.9,最大遗传代数为 100。运行所编制的程序,程序运行后优化结果如表 1 所示。

表 1 双向毛管长度优化结果

$n_L/\text{个}$	$n_R/\text{个}$	$n/\text{个}$	$L/\text{m}$	$\bar{q}/(\text{L}\cdot\text{h}^{-1})$	$C_u$	$q_v/\%$
211	248	459	157.5	2.702	0.970	14.029

优化结果显示:灌水器平均流量为  $2.702\text{ L/h}$ ,相对误差

(上接第 165 页)

(3)安达市的农业灌溉需水量为  $5\ 560.88\text{ 万 m}^3$ ,其中喷灌需水量为  $4\ 762.8\text{ 万 m}^3$ ,膜下滴灌需水量为  $798.08\text{ 万 m}^3$ 。在水资源约束下的节水灌溉发展面积阈值为节水增粮行动后地下水可开采量  $1\ 198.96\text{ 万 m}^3$ ,拟定的 5 种节水灌溉发展模式(100%喷灌、90%喷灌+10%膜下滴灌、80%喷灌+20%膜下滴灌、70%喷灌+30%膜下滴灌、60%喷灌+40%膜下滴灌)下可发展灌溉面积阈值分别为  $1.23$ 、 $1.34$ 、 $1.44$ 、 $1.55$  和  $1.65\text{ 万 hm}^2$ 。

参考文献:

- [1] 康绍忠. 水与粮食安全[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 880—885.
- [2] Turrall H, Burke J, Faures J. FAO water reports No 36: climate change, water and food security[R]. Rome: FAO, 2001:174.
- [3] Piao S, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China[J]. Nature, 2010, 7 311(467):43—51.
- [4] 黄修桥. 灌溉用水需求分析与节水灌溉发展研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- [5] 薛小杰, 黄强, 惠决河, 等. 基于径向基函数神经网络与改进遗传算法的黄河流域需水预测[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3):

$0.074\%$ , 满足设计灌水流量要求;灌水均匀度  $0.970$ , 大于设计灌水均匀度系数  $0.95$ , 流量偏差率为  $14.029\%$ , 低于国家规范要求, 表明该优化结果满足优化设计的要求。

### 4 结论

基于 GUI 界面,采用 Matlab GUI 和遗传算法工具箱相结合的方法,对滴灌毛管优化设计过程编制了程序,充分发挥了两者的优点。双向毛管长度的优化验证结果表明,该程序具有操作简单和计算效率高及可视化好等优点,其结果满足相关规范要求,能够大大减少滴灌工程设计的工作量,为水利设计人员进行滴灌工程设计提供参考与帮助。该程序未来如果能结合空间布置和地理信息系统设计,将有更大的应用空间。

参考文献:

- [1] 赵炳南,朱凤文,刘莹. 滴灌带的重复利用研究[J]. 节水灌溉, 2012, (1):75—76.
- [2] 付玉娟,蔡焕杰,张旭东,等. 基于列队竞争算法的变权值树状管网优化布置[J]. 水利学报, 2008, 39(12):1 321—1 326, 1 333.
- [3] 张国祥,申亮. 微灌灌水小区水利设计的经验系数法[J]. 节水灌溉, 2005, (6):20—23.
- [4] 鞠学良,吴普特, W R Paul, 等. 基于能坡线法的微灌双向异径毛管设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12):47—54.
- [5] 王留运. 微灌系统毛管与微管灌水器的水力学计算及设计程序[J]. 节水灌溉, 1999, (6):14—17.
- [6] 欧建峰,金兆森. 微灌工程规划设计专家系统的研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版)2002, (6):14—17.
- [7] GB/T 50485-2009, 微灌工程技术规范[S].
- [8] 王新坤. 微灌管网水力解析及优化设计研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [9] 83—85.
- [6] 刘小花,袁宏源,洪林,等. 水资源利用随机预测模型研究[J]. 中国农村水利水电, 2002, (12):70—72.
- [7] 甘红,刘彦随. 中国东北农业灌溉水资源保障及空间差异分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10):31—35.
- [8] 关于支持黑龙江省 吉林省 内蒙古自治区 辽宁省实施“节水增粮行动”的意见(财农[2011]502号)(EB/OL). <http://nys.mof.gov.cn/zhengfuxinxi/>.
- [9] 中国灌溉排水发展中心, 黑龙江省安达市水务局. 黑龙江省安达市“节水增粮行动”实施方案(2012—2015年)[R]. 2012.
- [10] 黑龙江省水利水电勘测设计研究院. 黑龙江省安达市节水增粮行动水资源论证报告[R]. 2013.
- [11] Smith M. CROPWAT—a computer program for irrigation planning and management[Z]. FAO irrigation and drainage paper 46. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992: 20—21.
- [12] Doll P, Siebert S. Global modeling of irrigation water requirements[J]. Water Resources Research, 2002, 38(4):1—8.
- [13] Li Y, Yang X G, Ye Q, et al. Variation characteristics of rice water requirement in middle and lower reaches of Yangtze River during 1961—2007[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(9):175—183.