

微喷灌田间管网的优化研究

田新苗¹, 郝新梅^{1*}, 马孝义², 柳 焯²

(1. 中国农业大学, 北京 100083; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要:出水口的位置不同,田间管网布置方案也不同,从而影响田间管网的投资费用,以往的研究大多忽略了出水口位置对管网投资的影响。**【目的】**探究在自压供水条件下,出水口位置对田间管网建设费用的影响。**【方法】**分别对出水口位于地块一角、地块一边、地块中间3种情形建立以毛管长度、支管管径为决策变量,以微喷灌田间管网总投资最小为目标的优化模型,采用变径设计,选用遗传算法求解。**【结果】**与传统规范设计方案相比,出水口位于地块一角、一边和中间的模型优化方案,管道投资分别降低了20.0%、9.5%、23.9%。对比规范设计结果,出水口位于地块一边的管网投资最小,比出水口位于地块一角的布置方案投资降低了13.4%,出水口位于地块中间比位于一角时布置方案投资降低了7.2%;对比模型优化结果,出水口位于地块中间比出水口位于地块一角和出水口位于地块一边时田间管网投资分别降低了11.8%、9.9%。**【结论】**模型优化结果节省投资明显,模型优化结果显示出水口位于中间毛管双向布置时投资最省。

关键词:微喷灌; 田间管网; 优化设计; 遗传算法

中图分类号:S274.2

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180426

田新苗,郝新梅,马孝义,等.微喷灌田间管网的优化研究[J].灌溉排水学报,2019,38(4):63-70.

0 引言

田间管网的投资一般占微灌工程总投资的30%~60%^[1],合理布置田间管网对节省工程投资有十分重要的意义。最初学者们大多以年费用最小^[2]或材料最省^[3]为目标,利用线性规划、非线性规划、动态规划、微积分等计算方法合理分配田间管网允许水头差在支管和毛管中的比例来优化田间管网的设计^[4-5]。随着计算机技术的进步和优化算法的发展,越来越多的学者将智能算法运用到研究中^[6-7]。Walters等^[6]首次将遗传算法应用于管网系统的优化设计。此后周荣敏等^[8]提出了一种用于管网优化布置的改进的遗传算法,即单亲遗传算法。马孝义等^[9]也提出了一种基于整数编码遗传算法的树状管网两级优化方法。姚慰炜等^[10]采用自适应遗传算法对环状管网进行优化设计。郭铭等^[11]在滴灌支管轮灌小区管网优化布置研究方面采用遗传算法。除此之外其他研究者也提出了不同的算法用于管网优化设计^[12-13]。但分配田间管网允许水头的方法会受到地形坡度、管网布置、允许压差等指标的综合影响,目前还没有一个通用的公式可以求解各种地形下的分配比例问题,因此应用当前解析式求得的分配比例并不十分可靠。最近也有学者提出以灌水器出水口的最大压差不超过田间管网允许水头差作为约束对灌水小区进行管网优化^[14],可以避免上述存在的水头差分配问题。

但在实际工程中往往地块面积是固定的,出水口数目和位置也是随机的。实际工程按规范^[15]设计,根据地块形状及出水口的位置来确定支管和毛管的布置形式,根据种植的作物种类、土壤性质、农业技术及管理等因素确定灌水器型号、毛管间距等;再按照市场上的标准管径选择合适的毛管规格,计算地面坡度为零时的毛管允许最大孔数,确定毛管长度;按出水口流量、系统工作时间、土壤需水情况计算工作制度,确定轮灌组;计算通过支管的最大流量,根据经济流速推算出支管管径,从而完成整个田间管网的布置。实际上不同出水口位置会影响田间灌水器的压差,而且毛管经济孔口数公式仅适用于平坦地块。针对这些问题,兹采

收稿日期:2018-08-07

基金项目:国家重点研发计划重点专项(2017YFC0403201)

作者简介:田新苗(1995-),女,山东聊城人。硕士研究生,主要从事灌溉排水理论与新技术。E-mail: tianxin_miao@163.com

通信作者:郝新梅(1974-),女,山西汾阳人。副教授,主要从事农业水土工程。E-mail: haox@cau.edu.cn

用不分配田间允许水头差的方法,建立不同出水口位置时以田间管网总投资最小为目标的优化模型,运用遗传算法求解,分别与不同出水口情形下规范得出的设计方案比较,以评价模型的有效性。同时分析比较模型求解的结果,以探究出水口位置对田间管网投资的影响。

1 微喷灌田间管网优化

管网优化包括布置优化和管径优化2部分^[16]。布置优化主要是确定支管的长度、毛管的长度和毛管的间距。在已知的地块上,根据种植的作物种类、土壤性质、农业技术及管理等因素可以确定灌水器流量和间距、毛管的间距等技术参数^[17]。通过毛管上的灌水器个数 n 控制毛管的长度,从而决定支管的条数。在本文中地块的形状、大小为已知,种植作物、土壤情况假设为已知,则田间管网的布置优化实际上就是对1条毛管上灌水器个数 n 的优化。管径优化主要是确定毛管管径和支管管径。毛管上2个灌水器之间的管道为1个管段,支管上2条毛管之间的管道为1个管段。所有毛管都采用同一规格的管径,支管采用变径设计,每一个管段选用一种标准管径。因此,本研究中田间管网的管径优化主要是优化支管各管段管径。

1.1 出水口的布置

以一个均匀坡度长宽比为6:4的长方形地块为例,出水口可能的位置为:在地块地势最高的一角处,干管沿长边方向布置,支管、毛管单侧布置,如图1(a)所示;在地块地势较高的长边处,干管沿长边方向布置,支管双侧布置,毛管单侧布置,如图1(b)所示;在地块中心处,干管沿短边方向布置,支管、毛管双侧布置,如图1(c)所示。图中 I_1 、 I_2 分别指的是地块的横向坡度与纵向坡度。

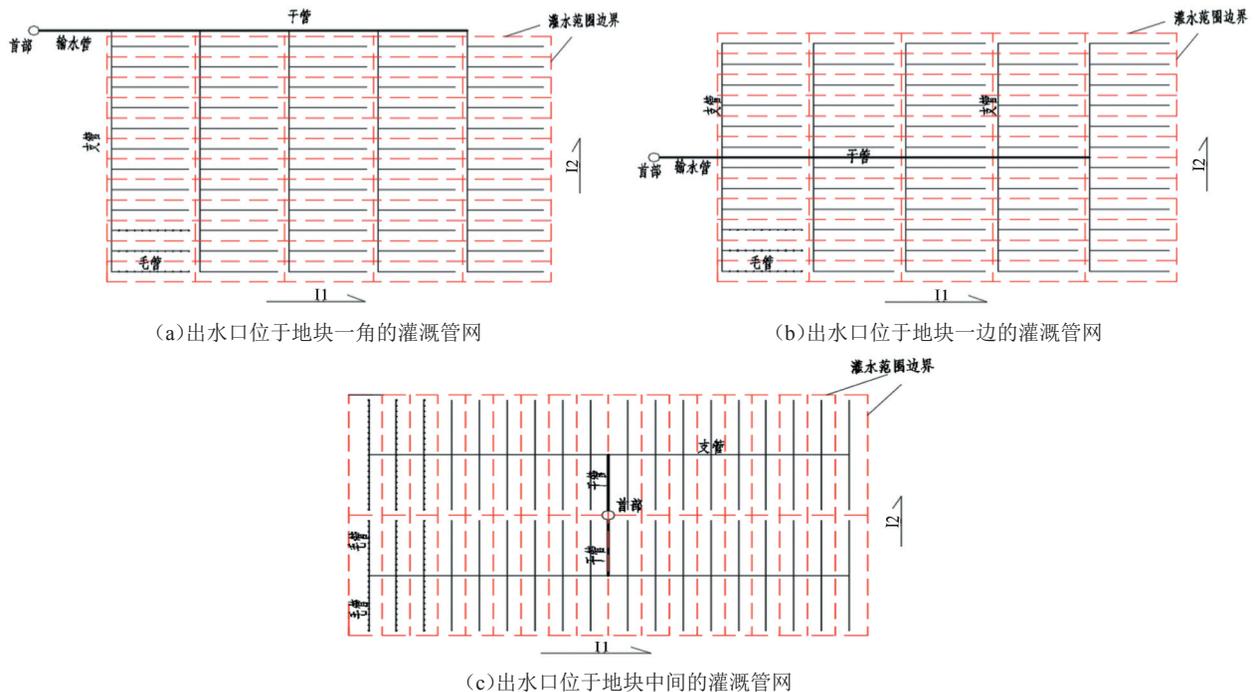


图1 不同出水口位置的灌溉管网布置图

1.2 目标函数

1.2.1 出水口位于地块一角的目标函数

毛管间距,即支管各管段的长度,灌水器型号、间距可以由种植的作物种类、土壤性质、农业技术及管理等因素确定。毛管长度可以由灌水器的个数确定,进而可以确定支管的个数。因此,以支管各管段管径和1条毛管上灌水器个数为决策变量,以田间管网投资最小为目标函数建立出水口布置于一角的田间管网优化模型如式(1)所示,即:

$$\min F = \left(NL_m C_1 + L_0 C_2 + \sum_{i=1}^{N-1} L_i C_{2j} \right) N_{支}, \quad (1)$$

式中: F 为田间管网总投资(元); N 为1条支管上的毛管条数; L_m 为毛管长度, $L_m = (n-1)S_c + S_{c0}$ (m);其中 n 为1条毛管上的灌水器个数, S_c 为灌水器的间距(m); S_{c0} 为毛管入口到第1个灌水器的距离(m); L_0 为支管第一管段

长度,即从支管入口处到第1条毛管之间的距离(m); L_i 为支管其余各管段的长度,即毛管间距(m); C_{2j} 为第 j 种支管管道单价(元/m); C_l 为毛管单价(元/m); $N_{支}$ 为地块中的支管个数。

1.2.2 出水口位于地块一边的目标函数

出水口布置于地块一边时支管双向布置,需要确定支管的最佳位置。我们规定顺水流方向,左手边为左侧,右手边为右侧,支管最佳位置的确定可以通过左右两侧支管上的毛管个数来确定。因此以右侧毛管上灌水器的个数、支管各管段的管径作为决策变量。目标函数为田间管网中支管与毛管投资之和最小(式(2)),即:

$$\min F = \left(NL_m C_1 + L_0 C_{2j} + \sum_{i=1}^{N_L-1} L_i C_{2j} + \sum_{i=1}^{N_R-1} L_i C_{2j} \right) N_{支}, \quad (2)$$

式中: N_L 为左侧支管上毛管的个数; N_R 为右侧支管上毛管的个数;其余符号同前。

1.2.3 出水口位于地块中间的目标函数

出水口布置于地块中间时,毛管、支管均双向布置。这种布置方式除了要确定支管、毛管的长度和支管的最佳位置外,还要确定左、右侧毛管的长度。因此,以右侧毛管上的灌水器个数、右侧支管上的毛管个数、支管各管段的管径为决策变量的目标函数如式(3)所示。

$$\min F = \left((N_L + N_R)(L_{ml} + L_{mr})C_1 + 2L_0 C_{2j} + \sum_{i=1}^{N_L} L_i C_{2j} + \sum_{i=1}^{N_R} L_i C_{2j} \right) N_{支}, \quad (3)$$

式中: L_{ml} 为左侧毛管长度(m), $L_{ml} = S_{e0} + (n_1 - 1)S_e$; L_{mr} 为右侧毛管长度(m), $L_{mr} = S_{e0} + (n_r - 1)S_e$; S_{e0} 为毛管入口到第一个灌水器之间的距离(m); N_L 为左侧毛管上灌水器的个数; N_R 为右侧毛管上灌水器的个数; S_e 为两侧毛管上灌水器的间距(m);其余符号同前。

1.3 约束条件

合理分配压差也可以保证田间管网的灌水均匀度^[5],但目前尚无通用的解析式可以表达各种地形条件下的分配比例问题。因此采用文献[18]中的方法,将灌水器的最大水头差控制在允许水头差范围内。

1)田间管网允许水头差约束^[18]如式(4)所示。

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} \leq [\Delta H], \quad (4)$$

式中: ΔH 为田间管网实际水头差(m); $[\Delta H]$ 为田间管网允许水头差(m); H_{\max} 、 H_{\min} 为田间管网中灌水器最大压力水头与最小压力水头(m);其中灌水器的相对压力水头按式(5)计算:

$$H_k = H_0 + \sum_{i=1}^{I(k_1)} \left(\frac{I_1 S_i}{\sqrt{I_1^2 + 1}} - \alpha f S_i \frac{Q_i^m}{D_i^b} \right) + \sum_{i=1}^{I(k_2)} \left(\frac{I_2 l_i}{\sqrt{I_2^2 + 1}} - \alpha f l_i \frac{Q_i^m}{D_i^b} \right), \quad (5)$$

式中: H_k 为第 k 个灌水器的相对压力水头(m); H_0 为支管入口压力(m),取为0; $I(k_1)$ 为从支管入口到田间管网中第 k 个灌水器所经历的支管管段数; $I(k_2)$ 为从支管入口到田间管网中第 k 个灌水器所经历的毛管管段数; I_1 、 I_2 为支管、毛管方向的地形坡度,顺水流方向上坡为负,下坡为正; S_i 为支管第 i 段管长(m); l_i 为毛管第 i 段管长(m); Q_i 为第 i 管段中通过的流量(m^3/h); D_i 为第 i 管段的管径(mm); α 为考虑局部水头损失增大系数,一般取值为1.05~1.3^[5]; f 为与沿程阻力有关的参数; b 为管径指数。

2)管径约束。支管顺水流方向前一段管道所选标准管径应大于等于后一段管道所选标准管径。

$$D_{i,j} \geq D_{i+1,j}, \quad (6)$$

式中: $D_{i,j}$ 为第 i 段管道所选用的第 j 种标准管径(mm); $D_{i+1,j}$ 为第 $i+1$ 段管道所选用的第 j 种标准管径(mm)。

3)流速约束。支管中的流速应该满足经济流速:

$$0.5 < v_i < 3, \quad (7)$$

式中: v_i 为支管第 i 段管段的流速(m/s)。

2 编码及适应度函数的设计

应用遗传算法求解管径优化问题时,若采用二进制编码, L 位二进制只能表示 2^L 个管径规格,难以满足规格化管径的要求,存在编码冗余和易产生不可行解的问题,会加长求解时间,增加求解难度^[9],因此本文采用整数编码的方式求解。出水口位于地块一角的田间管网优化设计的决策变量为 $(D_1, D_2, D_3, \dots, D_N, n)$ 共 $N+1$ 个,出水口位于地块一边的田间管网优化设计的决策变量为 $(D_1, D_2, D_3, \dots, D_N, n_R, N_R)$ 共 $N+2$ 个,出水口

位于地块中间的田间管网优化设计的决策变量为 $(D_1, D_2, D_3, \dots, D_N, n_R, n_L, N_R)$ 共 $N+3$ 个, n_R, n_L, N_R 都是整数, 将 $D_1, D_2, D_3, \dots, D_N$ 与其管径序号一一对应形成一个有序的整数数列, 并将约束条件转化为罚函数与待解的目标函数 $f(x)$ 共同构成适应度函数 $Fit(f(x))$ 。罚函数法的基本思想是对在解空间中无对应可行解的个体计算其适应度时处以一个罚函数, 从而降低该个体的适应度, 使个体遗传到下一代群体中的概率减小^[19]。构造的适应度函数如下:

$$F_{fit} = F + 10^5 \times (\text{pu sh } H + \text{pu sh } V) \times e^{\sum_{i=1}^N \min\{0, (D_i - D_{i,i})\}}, \quad (8)$$

$$\text{pu sh } H = \max\{0, (\Delta H - [\Delta H])\}, \quad (9)$$

$$\text{pu sh } V = \max\{\max\{0, (v - 3)\}, \max\{0, (0.5 - v)\}\}, \quad (10)$$

式中: F_{fit} 为适应度值; F 为目标函数值; ΔH 为灌水器的最大水头差(mm); $[\Delta H]$ 为田间管网允许水头差(mm); i 为支管管段数; D_i 为第 i 段管段的优选管径(mm)。

3 实例应用

北方某灌区属大陆性半湿润半干旱气候, 土壤类型是中壤土, 土壤体积质量为 1.4 g/cm^3 , 灌区种植果树, 采用微喷灌灌水方式, 地块长 750 m , 宽 500 m , 沿短边方向的地形坡度 $I_1=1/20$, 沿长边方向的地形坡度 $I_2=1/500$, 坡度均匀。根据以往经验并且考虑当地气候条件选择设计耗水强度为 6 mm/d , 土壤计划湿润比为 50% , 土壤计划湿润层深度为 0.8 m , 田间持水率为 25% , 土壤相对含水率上限为 90% , 土壤相对含水率下限为 70% (上述含水率均为体积含水率), 灌溉水利用系数取 0.9 。根据该灌区的气候、土壤以及作物种植情况, 选择内径 17.6 mm 、单位造价 0.6 元/m 的毛管。毛管间距, 即支管各管段长度为 4 m ; 灌水器的设计流量为 $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ 灌水器允许水头偏差为 5.5 m ; 灌水器工作压力为 20 m ; 灌水器间距, 即毛管各管段长度为 4 m ; 田间管网进口压力水头为 25.5 m , 井的出水流量为 $110\sim 120 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

经计算, 设计灌水周期 T 为 4 d 。设计灌水定额为 26.67 mm , 1 次灌水延续时间为 11 h , 取系统日工作时间 C 为 22 h , 则系统最大轮灌组为 8 , 以此进行田间管网系统优化设计。所选毛管单价为 0.6 元/m , PE支管单价见表1。

表1 PE支管单价

参数	PE管1	PE管2	PE管3	PE管4	PE管5	PE管6	PE管7	PE管8
管道内径/mm	27.4	35.4	58.4	69.2	83	101.6	115.4	147.6
管道外径/mm	32	40	63	75	90	110	125	160
承压值/MPa	1	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
管道单价/(元 m^{-1})	2.7	3.43	5.52	8.28	11.98	17.64	22.82	37.72

3.1 参数选择

遗传算法中, 种群规模取 100 个, 最大遗传代数 200 代, 交叉概率为 0.95 , 变异概率为 $1/NVAR$ ($NVAR$ 为算法中的变量个数), 代沟取 0.8 。假设支管在地块中等间距布置, 即每条支管上毛管的长度都相等, 不考虑干管的影响, 那么田间管网优化时每条支管的优化布置都应该相同, 因此只选取 1 条典型支管进行优化。当出水口布置于一角时, 支管沿短边方向单侧布置, 地块宽 500 m , 灌水器的间距为 4 m , 即控制范围的半径是 2 m , 则毛管的间距为 4 m , 支管长度 498 m , 1 条支管上的毛管数为 125 灌区实行轮灌制度, 有 8 个轮灌组, 最远轮灌组共有 16 根毛管, 15 段支管管径, 如图2所示。管网运行的最不利工况是最远轮灌组或者毛管数最多的轮灌组灌水时, 所以选择此工况为设计的极限状态。此时最远轮灌组之前的 110 个管段均不小于第 111 个管段, 且流量损失可以忽略不计, 因此把前 110 段支管管段作为 1 个管段, 即简化为 1 个决策变量。则支管管径的决策变量个数为 16 个, 本例采用整数编码, 将表1中的管材按内径从小到大排列并编号。每个毛管上灌水器的个数也作为 1 个决策变量, 这个变量的取值为 $15\sim 25$ ^[14], 综上本例中共有 17 个优化变量。

同理, 出水口布置于一边时, 由于支管双侧布置, 需要确定支管最佳位置, 新增变量 N_R (右侧支管上毛管个数); 出水口布置于中间时, 支管和毛管均双侧布置, 新增变量 n_R, n_L, N_R 。

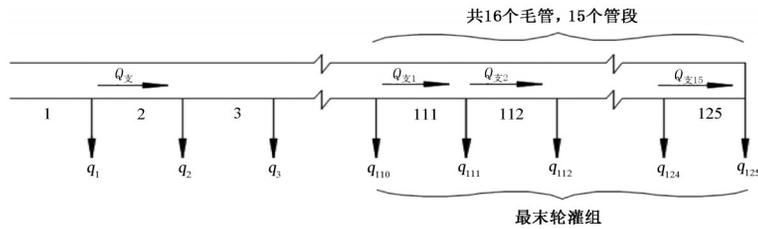


图2 典型支管优化设计输水状态示意图

3.2 优化结果分析

将有关数据带入模型进行优化计算,得出出水口位于田块一角时的田间管网管道投资最小的管网布置及管径组合优化方案见表2。按照规范方法计算,采用相同的灌水器型号和毛管型号。毛管最大允许孔口数公式为:

$$N_m = \left[\frac{(m+1)h_d H_v}{kaSq_d^m} \right]^{\frac{1}{m+1}} + 0.52, \quad (11)$$

式中: m 为流量指数; h_d 为灌水器工作水头(m); H_v 为设计允许水头偏差率; k 为水头损失加大系数; a 为经验系数, $a=1.006 \times 10^5 D^{-(0.123 \lg D + 4.88)}$,其中 D 为毛管直径(mm); S 为灌水器间距(mm); q_d 为灌水器设计流量(L/h)。代入算例数据得 N_m 为27.5,因此取1条毛管上灌水器个数为27,毛管长度为106 m。支管管径估算公式为:

$$D = 1000 \times 1.13 \sqrt{\frac{Q}{v}}, \quad (12)$$

式中: D 为支管的管径(mm); Q 为支管的最大流量(m^3/s); v 为经济流速(m/s)。取经济流速为1.3 m/s,计算得管径为68.7 mm,选择外径75 mm的PE管,田间管网单位面积投资为2 303.91 元/ hm^2 。

表2 出水口布置于一角的田间管网优化设计结果与规范设计结果对比

地块面积/ hm^2	方法	投资/(元 hm^2)	支管管段数	支管长度/m	毛管上灌水器个数/个	毛管长度/m	顺水流方向支管各管段管径
37.5	模型	1 843.00	125	498	24	94	1-110段:63 111-125段:63、63、63、63、63、63、63、40、40、40、40、32、32、32、32
	规范	2 303.91	125	498	27	106	75

注 表中所选的毛管内径为17.6 mm,单价为0.6元/m。

由表2知,优化的田间管网单位面积投资最小为1 843.00 元/ hm^2 ,毛管上有24个灌水器,总长为94 m,顺水流方向,前117个支管管段管径为63 mm,118~125段管径变小,节省了管材。由图3可知,田间管网中灌水器的最大压力为25.48 m,最小压力为20.49 m,最大压差为4.99 m,小于田间管网最大允许压差5.5 m。如图4所示,最远轮灌组各灌水器的压力值能达到灌水均匀度的要求,优化设计结果合理。模型求解结果比传统规范设计结果投资减小了20%,这是由于规范设计没有对支管管段分段优化,以极限状态设计所有管段,导致管材浪费,投资增加。

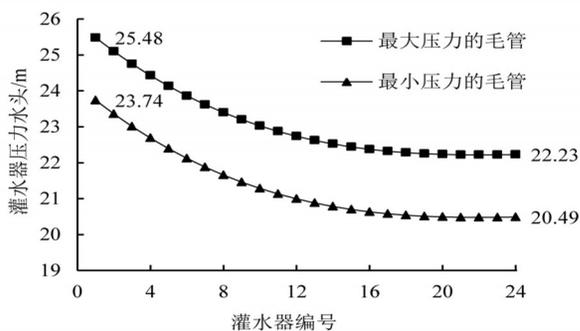


图3 典型毛管灌水器压力分布图

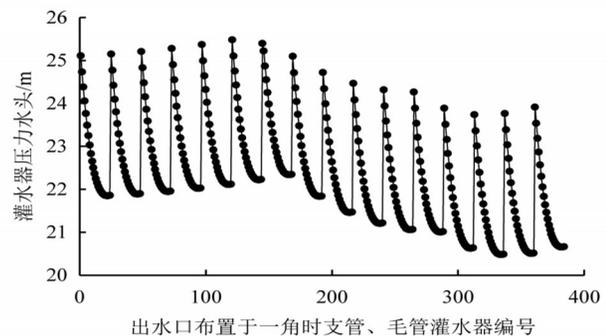


图4 最远轮灌组内各灌水器的压力分布图

同样地,出水口布置于地块一边的田间管网优化结果见表3。规范求得的毛管最大孔口数不变,支管双向布置时最大流量减小,估算的管径为48.6 mm选择外径为63 mm的PE管,长度为496 m,经计算田间管网单位面积管道造价为1 995.08 元/ hm^2 。

表3 出水口布置于一边的田间管网优化设计结果与规范设计结果对比

方法	地块面积/hm ²	投资/(元 hm ²)	左侧支管管段数	左侧支管长度/m	顺水流方向左侧支管各管段管径	毛管上灌水器个数		毛管长度/m	右侧支管管段数	右侧支管长度/m	顺水流方向右侧支管各管段管径
						左侧	右侧				
模型	37.5	1 805.55	62	246	1-55段:40; 56-62段:40、32、32、 32、32、32、32	24	94	63	250	1-56段:63; 57-63段:63、40、40、 40、40、40、32	
规范	37.5	1 995.08	62	246	63	27	106	63	250	63	

注 表中所选的毛管内径为17.6 mm,单价为0.6元/m。

由图5可知,优化的田间管网灌水器的最大压力为24.85 m,最小压力为19.42 m,最大压差为5.43 m,小于田间管网最大允许压差5.5 m。如图6所示,最远轮灌组各灌水器的压力值能达到灌水均匀度的要求,优化设计结果合理。田间管网单位面积投资最小为1 805.55元/hm²,模型求解结果比传统规范设计结果投资减小了9.5%。

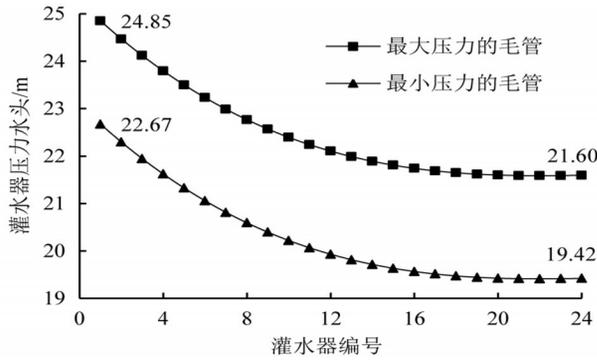


图5 典型毛管灌水器压力分布图

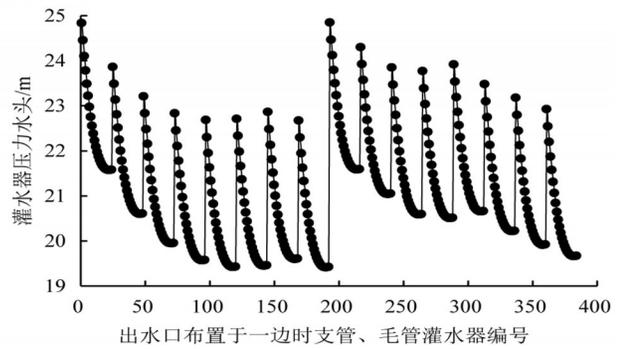


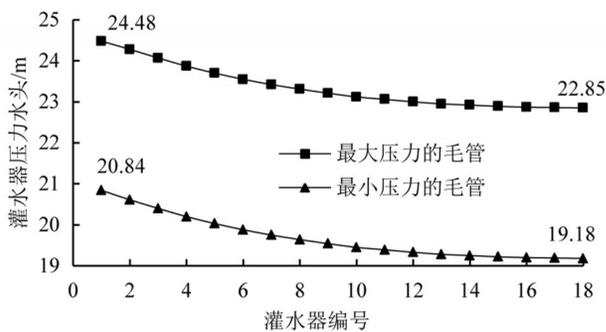
图6 最远轮灌组内各节点的压力分布图

当出水口布置于地块中间时优化结果见表4,且输出了轮灌组内各节点的压力值,其中左、右侧所有毛管中最大、最小压力毛管上的水头分布如图7所示。按规范方法计算,选用相同的毛管和灌水器型号,左侧毛管灌水器个数为15,长度为58 m,右侧毛管上灌水器个数为16个,长度为62 m;支管不分段优化,按经济流速和支管最大流量计算得支管管径为62.7 mm,选择外径为75 mm的PE管,支管长度为496 m,计算得田间管网单位面积管道造价为2 138.00元/hm²。

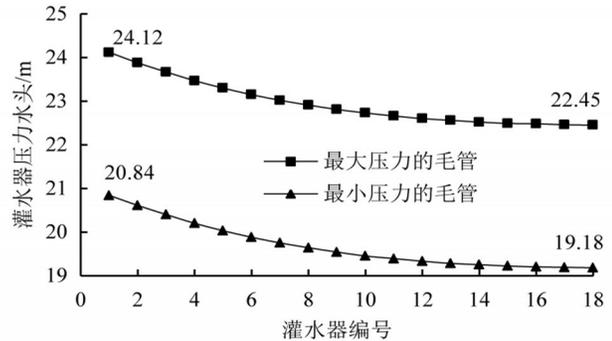
表4 出水口布置于中间的田间管网优化设计结果与规范设计结果对比

方法	地块面积/hm ²	投资/(元 hm ²)	左侧支管管段数	左侧支管长度/m	顺水流方向左侧支管各管段管径	毛管上灌水器个数				右侧支管管段数	右侧支管长度/m	顺水流方向右侧支管各管段管径
						左侧	右侧	左侧	右侧			
模型	37.5	1 625.95	63	250	1-55段:40 56-62段:40、40、 32、32、32、32	18	18	70	70	62	246	1-56段:40 57-63段:40、40、 40、40、40、32、32
规范	37.5	2 138.00	63	250	75	15	16	58	62	62	246	75

注 表中所选的毛管内径为17.6 mm,单价为0.6元/m。



(a)右侧典型毛管灌水器压力分布



(b)左侧典型毛管灌水器压力分布

图7 典型毛管灌水器压力分布图

由图7可知,优化的田间管网中灌水器的最大压力24.48 m,最小压力为19.18 m,最大压差为5.30 m,小于田间管网最大允许压差5.50 m。如图8所示,最远轮灌组各灌水器的压力均能达到灌水均匀度的要求,

优化设计结果合理。模型求解的单位面积田间管网管道造价为1 625.95元/hm²比传统规范设计结果投资减小了23.9%。

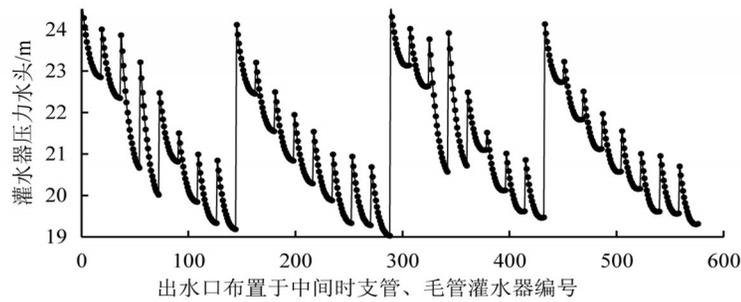


图8 最远轮灌组内各灌水器的压力分布图

4 讨论

与按规范求得的田间管网布置方案相比,出水口布置于地块一角、出水口布置于地块一边、出水口布置于地块中间的优化模型管网造价分别降低了20.0%、9.5%、23.9%。这是由于规范设计没有对支管管段分段优化,以极限状态设计所有管段,浪费管材,导致投资增加。

如果采用规范设计,出水口位于地块一边的管网投资最小,比出水口位于地块一角的布置方案投资降低了13.4%;出水口位于地块中间比位于一角时布置方案投资降低了7.2%。这是因为出水口位于一边时,支管双向布置,二侧同时灌水,轮灌组相同的情况下,其中一侧支管通过的最大流量减小,支管管径也相应减小,投资降低。当出水口位于中间时,虽然支管也双向布置,但是毛管也是双向布置,单侧支管中的流量减少幅度小,因此没有减小支管管径。但支管沿长边布置,其数量上要比支管沿短边布置少,所以投资也有所降低。采用优化模型的结果则表明,出水口位于地块中间时田间管网投资最小,其比出水口位于地块一角和出水口位于地块一边时田间管网投资分别降低了11.8%、9.9%,出水口位于地块一边比位于一角时田间管网投资降低了2.0%,出水口位于地块中间且毛管双向布置时田间管网投资最省。

5 结论

本研究探究了3种出水口位置的田间管网优化模型,采用变径设计,得到满足约束条件的田间管网投资费用最低的管道组合方式。与按规范求得的田间管网布置方案相比,出水口布置于地块一角、出水口布置于地块一边、出水口布置于地块中间的优化模型管网造价分别降低了20.0%、9.5%、23.9%。节省投资效果显著。当出水口位于地块中间且毛管双向布置时田间管网投资最省。

参考文献:

- [1] 白丹. 微灌田间管网的混合整数规划模型[J]. 农业机械学报, 1995, 26(1):45-49.
- [2] 魏永曜, 王雪珍. 树状输配水管网的优化设计[J]. 水利学报, 1992(5):9-19.
- [3] 杨建康, 陈学敏. 微灌系统田间管网允许压力差的最优分配方法[J]. 水利学报, 1990(7):31-36.
- [4] 张林, 范兴科, 吴普特, 等. 均匀坡度下考虑三偏差的滴灌系统流量偏差率的计算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4):7-14.
- [5] 白丹. 微灌田间管网的优化[J]. 水利学报, 1996(8):59-64.
- [6] WALTERS G A, LOHBECK T. Optimal layout of tree networks using genetic algorithms[J]. Engineering Optimization, 1993, 22(1): 27-48.
- [7] WALTERS G A, SMITH D K. Evolutionary design algorithm for optimal layout of tree networks[J]. Engineering Optimization, 1995, 24(4):261-281.
- [8] 周荣敏, 林性粹. 应用单亲遗传算法进行树状管网优化布置[J]. 水利学报, 2001(6):14-18.
- [9] 马孝义, 范兴业, 赵文举, 等. 基于整数编码遗传算法的树状灌溉管网优化设计方法[J]. 水利学报, 2008(3):373-379.
- [10] 姚慰炜, 马孝义, 王向伟, 等. 自适应遗传算法在环状管网水力计算中的优化设计[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4):85-88.
- [11] 郭铭. 基于遗传算法的滴灌支管轮灌小区管网优化布置研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2):72-76.
- [12] 陈际旭, 徐淑琴, 周豪. 基于萤火虫算法的滴灌管网优化设计研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(9):48-55.
- [13] 付玉娟, 蔡焕杰, 张旭东. 基于图论和列队竞争算法的环状管网优化设计[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4):81-84.
- [14] 李援农, 朱锋. 基于最大控制面积和最低费用的微灌小区管网优化[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23):80-87.
- [15] 李代鑫. 最新农田水利规划设计手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [16] GOLDBERG D L. Computer-aided pipeline operation using genetic algorithms and rule learning part i: genetic algorithms in pipeline optimization [J]. Engineering With Computers, 1987, 3(1):35-45.

- [17] 汪志农. 灌溉排水工程学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [18] 李援农, 马朋辉, 胡亚瑾, 等. 灌区自压微灌独立管网系统优化设计研究[J]. 水利学报, 2016, 47(11):1 371-1 379.
- [19] 雷英杰, 张善文. 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2013.

Optimizing the Field Pipe Network of Micro-sprinkler Irrigation System

TIAN Xinmiao¹, HAO Xinmei^{1*}, MA Xiaoyi², LIU Ye²

(1.China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: **【Objective】**Most existing study on optimizing micro-irrigation pipe network did not consider the outlet position despite its importance. This paper aims to elicit this for the pipe network under natural pressure. **【Method】**We analyzed three scenarios assuming the outlet was on corner, on one side, and on center of the field; the objective of the optimization was to minimize the investment with the length and diameter of both capillary and branch pipes as the decision variables. The optimization problem was solved using the genetic algorithm. **【Result】**Compared to standard design protocol, the optimized results obtained from the proposed model reduced the costs of the pipelines by 20%, 15.2% and 23.9%, when outlet was on corner, one-side outlet and center of the field respectively. The one-side outlet was the cheapest for pipe network, saving 7.6% and 7.2% compared to the corner and central outlet respectively. We chose unidirectional capillary layout for the outlet at the corner and on one side, and the bidirectional one was used for outlet in the middle. For the field network, the cheapest is central outlet, saving 11.8% and 9.9% respectively, compared to corner and side outlet respectively. **【Conclusion】**Application of the optimization model can save costs of field pipe network, and for the three scenarios we examined, the central outlet was most economically efficient.

Key words: micro-irrigation; field network; design optimization; GA

责任编辑:赵宇龙