

坡地上灌水器流量均等微灌双向毛管设计方法*

蒋树芳¹ 康跃虎¹ 曲 强²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054)

【摘要】 根据最佳支管位置位于左右两侧毛管最小压力水头相等处的定义,结合能量廓线法推导出确定最佳支管位置的简易计算方法,并提出一种满足允许的最大压力水头和最小压力水头的微灌系统双向毛管设计方法。通过对多种存在条件的模拟计算,确定了最佳支管位置计算公式的最终形式、适用条件及其优化试算方式。利用该方法,能简便快速地设计各种坡地条件下微灌系统(灌水器流量均等)双向毛管。

关键词: 微灌 双向毛管 灌水器流量均等 设计

中图分类号: S275.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)07-0082-04

Designing Paired Laterals of Micro-irrigation System with
Emitter in Homologous Discharge Rate on Slope Field

Jiang Shufang¹ Kang Yaohu¹ Qu Qiang²

(1. Key Lab of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China 2. China Irrigation and Drainage Development Center, Beijing 100054, China)

Abstract

Based on the definition of the best submain position locations in which the same minimum pressure exists in uphill and downhill laterals, a method was developed for designing micro-irrigation paired laterals with emitters at homologous discharge rate, allowable maximum and minimum pressure along laterals were conditions needed to satisfy. When the designed emitter discharge, emitter space and one or two parameters (length, diameter or pressure head) of a paired lateral were provided, the unknown parameters and the best submain position could be designed at any field slope conditions. The results show that the final solutions can be obtained quickly and reasonably.

Key words Micro-irrigation, Paired lateral, Uniform-water-discharge laterals, Design

引言

对于灌水器流量均等的微灌系统,其水力学设计的主要任务是根据灌水器允许的最大压力和最小压力及毛管的耐压来确定毛管的长度、内径或操作压力^[1~2]。在灌水器流量均等的双向毛管设计中,确定最佳支管位置是微灌系统设计的关键环节。国内外学者在最佳支管位置确定以及微灌系统双向毛管设计方法方面进行了许多相关的研究工作^[3~5]。近年来,随着计算机技术的发展,遗传算法^[6~7]等也

应用到微灌双向毛管的设计中。相关研究通过从图解^[8~10]、试算、经验系数^[11]或者计算机模拟等不同方法获取双向毛管最佳支管位置,进行微灌双向毛管设计。

本文考虑能量廓线法^[3]具有计算简便的特点,仍是目前微灌毛管设计中最为普遍使用的设计方法之一,在借鉴前人的研究成果,根据最佳支管位置位于左右两侧毛管最小压力水头相等处的定义^[3],结合能量廓线法,推导求解最佳支管位置的简易公式计算法,并在此基础上,提出满足允许最大压力水头

收稿日期: 2010-09-06 修回日期: 2010-10-11

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11B02-03)、中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCZX2-YW-N-003)、北京市科技计划资助项目(D0706007040191-06)和中国科学院百人计划资助项目

作者简介: 蒋树芳,助理研究员,主要从事精准灌溉与农业水资源高效利用研究,E-mail: jiangsf@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 康跃虎,研究员,博士生导师,主要从事微灌系统水力学、农田水循环及现代节水灌溉理论和技术研究,E-mail: kangyh@igsnrr.ac.cn

和最小压力水头,灌水器流量均等的微灌系统双向毛管设计方法。

1 方法提出与公式推导

能量廓线法具有计算简便的特点,是微灌毛管设计中最为普遍使用的设计方法之一。在设计由普通灌水器组成的微灌系统中,由于该方法有灌水器沿毛管的分布是连续的和沿毛管的灌水器流量都相同的两个假设,而对计算精度有所影响,但用来设计灌水器流量均等的微灌毛管时,只有灌水器沿毛管分布连续这一假设,而且当灌水器数量较多时,其影响可忽略不计,因此,计算精度大大提高^[1]。根据能量廓线法,并满足允许的最大压力水头(H_{amax})和允许的最小压力水头(H_{amin})的要求,推导出灌水器流量均等的微灌毛管的一系列设计公式^[1~2]。

毛管入口压力计算公式为^[1]

$$H_{in} = \begin{cases} H_{amin} + IL_1 + \frac{0.363\ 6KL_1^{2.75}}{S^{1.75}D^{4.75}}q^{1.75} & \text{(上坡)} \\ IL_2 + H_{amin} + \frac{5.31(-I)^{1.57}D^{2.71}S}{\nu^{0.14}q} - C_2L_2 & \text{(下坡)} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $C_2 = 0.363\ 6C_1\ K = 0.024\ 6\nu^{0.25}$

$$C_1 = -\frac{K}{D^{4.75}}(Nq)^{1.75}$$

式中 I ——地面坡度,即沿毛管方向单位坡长地面高程的降低率。平地条件下, I 为 0;上坡条件下, I 取正值($I > 0$);下坡条件下, I 取负值($I < 0$)

L_1 ——上坡毛管长度,m

L_2 ——下坡毛管长度,m

S ——灌水器间距,m K ——系数

D ——毛管内径,m

q ——灌水器流量, m^3/s

C_1 、 C_2 ——系数 N ——灌水器个数

ν ——水粘滞系数

毛管上任意一点 l 的压力水头可表示为^[1]

$$H_l = H_{in} - Il + C_2L \left[1 - \left(1 - \frac{l}{L} \right)^{2.75} \right] \quad (2)$$

式中 l ——任意毛管长度,m

L ——毛管总长度,m

下坡条件下最低压力位置的计算公式为^[2]

$$l_{min} = L_2 - S \left(\frac{-ID^{4.75}}{K} \right)^{1/1.75} \frac{1}{q} \quad (3)$$

根据最佳支管位置位于左右两侧毛管最小压力水头相等处^[3]的定义,如果左右两侧毛管最小压力水头相等时,下坡毛管长度 L_2 定义为最佳支管位置

长度(BSP),根据该最佳支管位置的定义和式(1),经过计算机反复模拟,最终确定的最佳支管位置长度为

$$L_2 = \left\{ \frac{S^{1.75}D^{4.75}}{-0.363\ 6Kq^{1.75}} \left[-\frac{0.363\ 6Kq^{1.75}}{S^{1.75}D^{4.75}}(L-L_2)^{1.75} + \frac{5.31(-I)^{1.57}D^{2.71}S}{\nu^{0.14}q} - Il \right] \right\}^{1/2.75} \quad (4)$$

式中 I 取负值。式(4)采用试算法求解。试算法计算步骤为:

- (1) 用 L_b 替换方程右边的 L_2 ,式(4)表示为
- (2) 令
- (3) 令
- (4) 输入已知参数,根据式(5)计算 L_2 。
- (5) 如果

$$\frac{|L_2 - L_b|}{L_2} \leq \varepsilon \quad (6)$$

ε 为一个很小的正数。 L_b 即为 L_2 的解。否则,让

$$T = \frac{L_2 + L_b}{2} \quad (7)$$

从步骤(3)起重新计算,直到满足条件,求出最终解为止。

需要说明的是当 $I \leq -\frac{K}{D^{4.75}}(Nq)^{1.75}$ 时,沿毛管的能量廓线最大压力位于毛管的末端,最小压力水头位于毛管的入口^[1~2],沿毛管的压力水头能量廓线无极值点。同时计算下坡最低压力水头的式(3)是由式(2)微分得到,因此式(3)无解。此时毛管设计即为单向毛管。式(9)取上一轮试算参数与试算结果的中值进入下一轮计算,能加快当坡度偏大时最佳支管位置长度计算公式的收敛速度。

2 设计步骤

在灌水器流量均等的微灌双向毛管设计中,主要有 3 种设计情况:①在已知毛管内径、毛管长度、沿毛管坡度的条件下,根据允许的最大压力和最小压力,设计毛管的操作压力及最佳支管位置长度。②在已知毛管操作压力、毛管长度的条件下,根据允许的最大压力和最小压力,设计毛管的内径和最佳支管位置长度。③已知毛管内径、沿毛管坡度以及毛管操作压力的条件下,根据允许的最大压力和最

小压力,结合实际地块大小设计毛管的长度和最佳支管位置长度。

运用上述的设计方法及计算公式,可对坡地上灌水器流量均等的微灌双向毛管进行设计。

2.1 最佳支管位置与操作压力水头设计步骤

在均匀坡地上,当双向毛管总长度(L)、下坡坡度(负值)、毛管内径、灌水器流量、毛管间距等给定的条件下,设计双向毛管的最佳支管位置长度和操作压力水头的步骤为:

(1) 计算 C_1 , 比较 I 和 C_1 , 如果 $I > C_1$, 继续步骤(2)。如果 $I \leq C_1$, 则该毛管设计为单向毛管。

(2) 用式(4)计算下坡毛管的长度, 即最佳支管位置长度。

(3) 计算上坡毛管的长度

$$L_1 = L - L_2 \tag{10}$$

(4) 计算双向毛管的操作压力水头

$$H_{in} = H_{amin} - IL_1 + \frac{0.363\ 6KL_1^{2.75}}{S^{1.75}D^{4.75}}q^{1.75} \tag{11}$$

(5) 计算下坡毛管末端的压力水头

$$H_{end} = H_{in} - IL_2 - \frac{0.363\ 6KL_2^{2.75}}{S^{1.75}D^{4.75}}q^{1.75} \tag{12}$$

式中 H_{end} ——毛管末端压力水头, m

(6) 如果 $H_{end} \leq H_{amax}$, 则步骤(4)计算出的操作压力和最佳支管位置长度为所要求的解, 否则就要对毛管长度或内径进行调整。

在非均匀坡度的坡地上, 首先计算沿毛管的平均坡度, 然后按照该双向毛管的设计方法设计毛管的操作压力水头和最佳支管位置长度, 然后用式(2)计算每个灌水器位置上的压力水头以检查是否满足 H_{amax} 和 H_{amin} 的要求。如果最小压力低于 H_{amin} , 则直接给操作压力水头增加上最小压力水头和该最低压力水头的差值。如果最大压力高于 H_{amax} 或按照最低压力水头调整了操作压力水头后会出现最大压力水头高于 H_{amax} 的情况, 则需要对毛管长度或内径进行调整。

2.2 最佳支管位置与毛管内径设计步骤

在均匀坡地上, 当双向毛管总长度、操作压力水头、下坡坡度(负值)、灌水器流量和毛管灌水器间距等给定的条件下, 设计双向毛管内径和最佳支管位置长度的步骤为:

(1) 根据市场上毛管管材内径的信息, 选择一组毛管由小到大的内径 $D_1, D_2, D_3, \dots, D_m$ 。

(2) 选择毛管内径为 D_1 , 计算 C_1 , 比较 I 和 C_1 , 如果 $I > C_1$, 继续步骤(3)。如果 $I \leq C_1$, 则该毛管设计为单向毛管即可。

(3) 用式(4)计算下坡毛管的长度。

(4) 用式(10)计算上坡毛管的长度。

(5) 计算双向毛管的最低压力水头

$$H_{min} = H_{in} + IL_1 - \frac{0.363\ 6KL_1^{2.75}}{S^{1.75}D^{4.75}}q^{1.75} \tag{13}$$

式中 H_{min} ——毛管的最低压力水头, m

(6) 用式(12)计算下坡毛管末端的压力水头。

(7) 如果步骤(5)计算出的最低压力 $H_{min} \geq H_{amin}$, 步骤(6)计算出的下坡毛管末端的压力水头 $H_{end} \leq H_{amax}$, 则步骤(2)选择的毛管内径和计算出的最佳支管位置长度(L_2)为所要求的解。否则, 选择内径为 D_2 , 从步骤(1)开始重复计算, 如果 D_2 不满足要求就选择 $D_3, D_4, \dots$, 直到找到满足要求的毛管内径, 得到最终的解。

在非均匀坡度的坡地上, 首先计算沿毛管的平均坡度, 然后按照该双向毛管的设计方法设计毛管的内径和最佳支管位置长度, 然后用式(2)计算每个灌水器上的压力水头以检查是否满足 H_{amax} 和 H_{amin} 的要求。如果满足要求, 该计算结果就是毛管内径及其相应的最佳支管位置长度的解, 否则, 需要调整毛管操作压力或毛管内径和毛管长度。

2.3 毛管长度设计步骤

在已知毛管操作压力、毛管内径以及地形坡度、灌水器流量、灌水器间距的条件下设计毛管长度, 根据实际设计环境, 存在毛管长度受地块限制和不受地块限制两种情况。

2.3.1 不受地块大小限制

如果沿毛管方向地块的大小不用考虑, 分别设计支管左右两侧的毛管长度即可。

(1) 对式(1)进行移项变换得

$$L_1 = \left[\frac{-S^{1.75}D^{4.75}(IL_1 - H_{in} + H_{amin})}{0.363\ 6Kq^{1.75}} \right]^{1/2.75} \tag{14}$$

$$L_2 = \left\{ \frac{S^{1.75}D^{4.75}}{0.363\ 6Kq^{1.75}} \left(H_{in} - H_{amin} - \frac{5.31(-I)^{1.57}D^{2.71}S}{\nu^{0.14}q} - IL_2 \right) \right\}^{1/2.75} \tag{15}$$

(2) 利用式(15)计算下坡毛管的长度。

(3) 利用式(3)计算下坡毛管最小压力位置 l_{min} 。

(4) 将 l_{min} 代换式(2)中的 l , 计算下坡毛管最小压力水头 H_{lmin} 。

(5) 利用式(12)计算下坡毛管的末端压力。

(6) 如果步骤(4)计算的最小压力水头 $H_{lmin} \geq H_{amin}$, 步骤(5)计算的 $H_{end} \leq H_{amax}$, 则计算出来的长度就是要求的解, 否则就需要调整毛管的内径或操作压力水头。

2.3.2 受地块大小限制

如果沿毛管方向地块边长固定,设计步骤为:

(1) 采用上述不受地块限制影响的设计方法,分别设计支管左右两侧的毛管长度 L'_1 和 L'_2 ,并计算出双向毛管的极限长度 $L_{\max}$ ($L'_1 + L'_2$),将该长度作为极限长度。

(2) 计算沿毛管方向的支管单元数量 M ,确定 M 的方法为:

令

$$M' = \text{INT} \left(\frac{L_{\text{land}}}{L_{\max}} \right)$$

(16)

式中 L_{land} ——沿毛管方向地块的长度,m

如果 $M' L_{\max} \geq L_{\text{land}}$,则 M 等于 M' ;如果 $M' L_{\max} < L_{\text{land}}$,则取 M 等于 $M' + 1$ 。

(3) 计算实际毛管长度

$$L = \frac{L_{\text{land}}}{M}$$

(17)

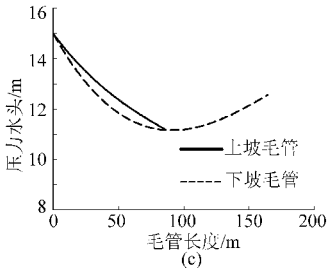
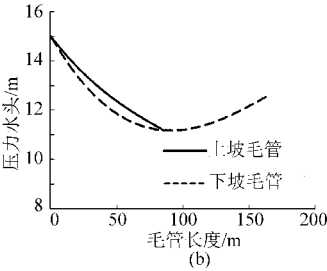
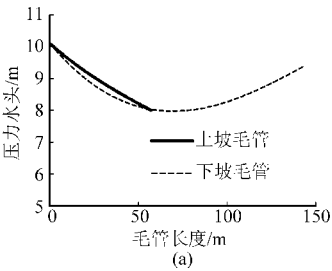


图 1 毛管沿程压力水头分布廓线

Fig. 1 Relationship of pressure heads between the uphill and downhill laterals

(a) 算例 1 (b) 算例 2 (c) 算例 3

表 1 算例 1~3 已知参数

Tab.1 Parameters of examples 1 to 3

算例	已知参数								求解
	L/m	S/m	D^*/mm	$q/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	I	$H_{\min}/\text{m}$	$H_{\max}/\text{m}$	H_{in}/m	
1	200	0.3	16	3.83×10^{-7}	-0.03	8	25		H, L_2
2	250	0.3		3.83×10^{-7}	-0.03	8	25	15	D, L_2
3	500^{**}	0.3	16	3.83×10^{-7}	-0.03	8	25	15	L_1, L_2, M

注: * 壁厚均为 0.4 mm,假定市场上所提供的壁厚为 0.4 mm 的毛管管径有 8、10、12、14、16、20、25 mm。* * 指地块边界长度。

表 2 计算结果

Tab.2 Results of examples 1 to 3

算例	L_2/m	H_{in}/m	D/mm	L_1/m	M
1	142.88	10.12			
2	164.15		16		
3	164.15			85.85	2

4 结束语

基于最佳支管位置位于左右两侧毛管最小压力水头相等处的定义,结合能量廓线法,推导出最佳支管位置的简易计算方法,并在此基础上提出了满足允许的最大压力水头和最小压力水头的灌水器流量均等微灌双向毛管设计方法。在微灌系统最佳支管

(4) 用式(4)计算下坡毛管的长度(最佳支管位置长度)。

(5) 毛管总长度为上坡毛管长度与下坡毛管长度之和。

3 双向毛管设计算例

运用上述的方法,根据设计步骤,算例 1、2、3 (图 1)分别对已知毛管管径大小、毛管长度、毛管操作压力 3 者中的 1 个参数或 2 个参数的条件下,设计其中未知的参数和最佳支管位置长度,设计参数见表 1,计算结果如表 2 所示。从设计的毛管沿程压力水头分布廓线图(图 1)可以看出,所有上坡毛管的最小压力水头与其相应的下坡毛管最小压力水头相等,所有沿程毛管的压力水头均满足允许的最大压力水头及最小压力水头的要求。

位置计算公式的推导中,通过对不同设计条件下各种存在的可能情况进行模拟计算,最终确定通用的最佳支管位置长度计算公式形式(式(4)),以及其适用的限定条件 $\left(I \leqslant -\frac{K}{D^{4.75}}(Nq)^{1.75} \right)$,并在该公式的试算过程中提出取均值进行试算的优化计算方式。运用该方法只要使用计算器或 Excel 就能完成各种坡地条件下微灌系统(灌水器流量均等)双向毛管的设计,简单快速地实现在已知地形坡度、灌水器流量、灌水器间距,以及毛管管径大小、毛管长度、毛管操作压力 3 者中 1 个参数或 2 个参数的条件下,设计其中未知的参数和最佳支管位置。

Ma Fusheng, Kang Shaozhong, Wang Mixia, et al. Effect of regulated deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of pear-jujube tree in greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1):37~43. (in Chinese)

10 郭相平,刘展鹏,王青梅,等. 利用投影寻踪分类模型评价玉米旱后生理补偿效应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6):22~25.

Guo Xiangping, Liu Zhanpeng, Wang Qingmei, et al. Comprehensive evaluation on compensatory effects of rewatering after PEG stress based on PPC-RAGA model [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(6): 22~25. (in Chinese)

11 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

12 Walker R. Entropy and the evaluation of labor market interventions [J]. Evaluation, 2007, 13(2):193~219.

13 Lall A, Sekar V, Ogihara M, et al. Data streaming algorithms for estimating entropy of network traffic [J]. Performance Evaluation Review, 2006, 34(1):145~156.

14 周惠成,张改红,王国利. 基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法及应用[J]. 水利学报,2007,38(1):100~106.

Zhou Huicheng, Zhang Gaihong, Wang Guoli. Multi-objective decision making approach based on entropy weights for reservoir flood control operation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(1):100~106. (in Chinese)

15 李慧伶,王修贵,崔远来,等. 灌区运行状况综合评价的方法研究[J]. 水科学进展,2006,17(4):544~449.

Li Huiling, Wang Xiugui, Cui Yuanlai, et al. Comprehensive evaluation methods for irrigation district [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4):543~548. (in Chinese)

16 郑健,蔡焕杰,王健,等. 日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数[J]. 农业工程学报,2009,25(10): 30~34.

Zheng Jian, Cai Huanjie, Wang Jian, et al. Path analysis of yield components and water production function of watermelon in greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10):30~34. (in Chinese)

17 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 北京:世界图书出版公司,2000.

18 郑健. 温室小型西瓜高用水机理及灌溉模式研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2009.

Zheng Jian. Research on high efficient water use mechanism and irrigation model of mini-watermelon in greenhouse [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2009. (in Chinese)

(上接第 85 页)

参 考 文 献

1 康跃虎. 微灌系统水力学解析和设计[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1999.

2 Kang Y H, Nishiyama S, Kawano H. A simple method of designing uniform-water-application drip irrigation system[J]. Journal of JSIDRE, 1995, 63(2):33~41.

3 Keller J, Bliesner R D. Sprinkle and trickle irrigation[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

4 Wu I P, Gitlin H M. Energy gradient line form drip irrigation laterals[J]. ASCE Journal of the Irrigation and Drainage Division, 1975, 101(4): 323~326.

5 张志新,王建东,李鑫,等. 虚拟节点有限元法解析滴灌支管水力学计算[J]. 农业机械学报,2009, 40(3):99~102.

Zhang Zhixin, Wang Jiandong, Li Xin, et al. Finite element method for hydraulic design of drip irrigation submain units with virtual emitter system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3):99~102. (in Chinese)

6 王新坤,蔡焕杰. 微灌坡地双向毛管最佳支管位置遗传算法优化设计[J]. 农业工程学报,2007,23(2):31~35.

Wang Xinkun, Cai Huanjie. Optimal design for the best submain position of micro-irrigation on slope with paired laterals by genetic algorithms [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 31~35. (in Chinese)

7 王新坤,蔡焕杰. 微灌毛管水力学解析及优化设计的遗传算法研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8):54~58.

Wang Xinkun, Cai Huanjie. Study on genetic algorithms of hydraulic analysis and optimum design for micro-irrigation laterals [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 54~58. (in Chinese)

8 张国祥. 微灌毛管水力计算曲线图及其应用(均匀坡度) [J]. 喷灌技术,1991(2): 17~22.

9 李蔼铿. 微机图解法的多口出流管道水力设计[J]. 喷灌技术, 1990(4): 8~11.

10 李蔼铿. 多口出流管道水力设计的微机诺谟图原理的研究[J]. 水利学报, 1994(2): 1~8.

Li Aikeng. Computerization of nomogram for hydraulic design of multi-outlet pipe [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1994(2): 1~8. (in Chinese)

11 张国祥. 微灌毛管水力学设计的经验系数法[J]. 喷灌技术, 1991(1): 4~8.