

自压软管沿程压力水头分布研究

刘焕芳¹, 孙海燕², 苏 萍², 蔡小超²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003)

摘要 根据水力学原理建立了软管沿程水头损失的一般方程, 得出了软管沿程压力水头的计算公式, 给出了确定最大和最小压力水头位置及大小的方法, 从计算结果与试验实测结果的对比看, 具有一定的合理性。计算公式在与试验条件类似或基本一致的条件下可以用于实际计算, 为判断软管滴头出流能否满足流量允许偏差率或计算微灌均匀系数提供了依据。

关键词 自压软管 压力水头 水头损失 微灌

中图分类号 :TV135.3

文献标识码 :A

文章编号 :1006-7647(2006)01-0010-03

Study on pressure head distribution along the gravity flexible hoses // LIU Huan-fang¹, SUN Hai-yan², SU Ping², CAI Xiao-chao² (1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. College of Hydraulic and Constructional Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract :Based on the principle of hydraulics, the general equation for head loss and the formula for calculation of pressure head along the flexible hoses were worked out, and the method for determination of the maximum and minimum heads and their positions was given. The comparison of the calculated results with the measured data demonstrates that the method is of certain reasonability, and can be used for practical calculation under the condition that is similar to or accords with the experimental condition, providing a basis for judgment of whether the outflow from droppers of flexible hoses can meet the allowable deviation ratio of flow rate and for calculation of the uniformity coefficient of micro-irrigation.

Key words :gravity flexible hose; pressure head; head loss; micro-irrigation

自压软管微灌技术是在生产实践中探索创造的一种节水灌溉技术, 在新疆得到了大面积推广应用。该技术主要通过灌溉渠道与大田的水位差和地面的自然坡降, 利用干管、支管、毛管三级软管实现自流灌溉。自压软管微灌与传统的地面灌溉相比, 不必占用大量耕地修建田间土渠, 节省了有限的土地资源, 有效地提高了土地的利用效率; 同时节约了用水, 降低了劳动强度, 可以实现规模化灌溉。自压微水头软管的水力性能受地形和软管加工技术的影响很大, 同时它要求软管内水流的压力水头变化范围比较小。如果自压软管的沿程压力水头变化大, 则不但灌水均匀度会降低, 而且在压力水头较高处软管有可能因为超过容许应力而破坏, 导致系统失效。为此笔者进行了自压软管水力性能试验, 结合理论分析了自压软管压力水头沿长度的变化规律, 以期能够指导自压软管微灌技术的设计、施工和运行管理。

1 试验概况

自压微水头软管水力性能试验是在新疆天业

股份有限公司质量监督检测中心进行的, 试验中的主要变化参数为滴孔间距、首部自压水头和软管铺设坡度, 按以下组合安排试验组次: ①滴孔间距 $S = 0.15\text{ m}$ (I), 0.20 m (II); ②首部自压水头 $H = 0.20\text{ m}$, 0.30 m , 0.40 m , 0.50 m ; ③坡度 $i = -0.1\%$, 0% , 0.05% , 0.1% , 0.3% , 0.6% , 0.9% ; ④软管管径 $D = 0.047\ 746\ 5\text{ m}$ (折径为 0.075 m); ⑤出水孔孔径 $d = 0.001\ 2\text{ m}$ 。

为了保证测试结果的代表性, 每一组试验设 3 次重复, 取其平均数据进行最后的成果分析。

试验中截取 50 m 软管, 封堵尾端, 调节自压水头与铺设面坡度, 构成试验装置如图 1 所示, 从软管首端开始每隔 5 m 设一固定观测断面, 在每个观测断面安装测压管, 用自动安平水准仪校准每一测压管的相对零点, 当软管流量稳定后, 量测并记录每个观测断面的测压管高度。

2 软管水力特性分析

2.1 软管沿程水头损失的计算

软管中水流为沿程变量流, 一般说来, 沿程泄水

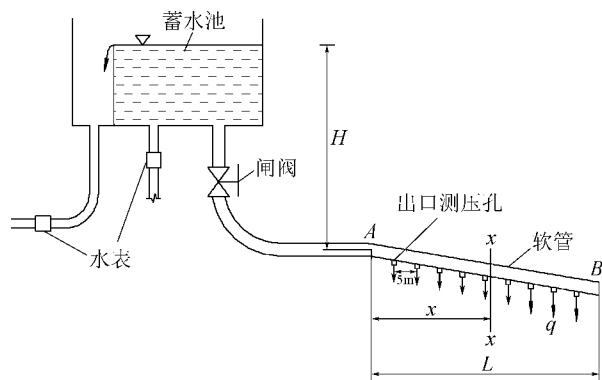


图1 自压软管水力特性试验装置示意图

的流量是不均匀的,也就是说,流量沿软管流程的变化是一个以距离为参数的复杂函数。从微灌的要求来说,软管沿程滴头的出水量越均匀越好,在满足微灌流量均匀度要求下,流量偏差较小,滴孔间距远小于毛管计算长度,因此理论上可假设软管中水流沿程连续,且为均匀泄流。以软管首孔处的断面为坐标原点,则距原点 x 处的管段流量为

$$Q_x = \left(1 - \frac{x}{L}\right)Q = q\left(N - \frac{2x}{S}\right) \quad (1)$$

式中: q 为均匀泄流时滴孔出流量, m^3/s ; Q 为软管首孔断面处流量, m^3/s ; L 为管长, m ; N 为软管孔口数, $N = \frac{2L}{S}$ (软管孔口为激光对穿孔,一个位置有上下两个出水口); S 为孔口间距, m 。

软管壁薄、质软并具有一定的弹性,软管过水断面随充水压力而发生复杂的微小变化,但对软管内流速影响很小,可以假定软管管径沿程不变,因此软管内流速沿程也为线性变化:

$$v_x = \left(1 - \frac{x}{L}\right)\frac{Q}{A} = \left(1 - \frac{x}{L}\right)v_0 \quad (2)$$

式中: v_x 为距软管首孔 x 处的管内流速, m/s ; v_0 为坐标原点处的流速, m/s ; A 为软管横断面面积, m^2 ,可用式(3)计算:

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 \quad (3)$$

其中 D 为软管管径, m 。

由于软管流量沿程不断变化,水流属变量流,因此水头损失沿管长的变化应为曲线形式。有压管道沿程水头损失的基本表达式是达西-韦斯巴赫(Darcy-Weisbach)公式,在一微小管段 dx 上的沿程水头损失^[1,2]是:

$$dh_f = \lambda \frac{dx}{D} \frac{v_x^2}{2g} \quad (4)$$

式中: dh_f 为 dx 管段上的沿程水头损失, m ; λ 为沿程阻力系数。

沿程阻力系数 λ 值与管壁的粗糙度和雷诺数有关。由于塑料软管中水流的流态除末端可能处于层

流外,软管大部分属于光滑管紊流,因此可以用布拉修斯(Blasius)公式直接导出计算沿程水头损失的公式。

通过积分,可得软管沿程总水头损失为

$$H_f = \int_0^L dh_f = \frac{1}{m+1} f \frac{Q^m}{D^b} L \quad (5)$$

式中: H_f 为软管沿程总水头损失, m ; D 为软管管径, m ; m 为流量指数, $m = 1.75$; b 为管径指数, $b = 4.75$; f 为摩阻系数,当水温 10°C 时(规范), $f = 8.4493 \times 10^{-4}$,当水温 14.5°C 时, $f = 8.18 \times 10^{-4}$ 。采用两种摩阻系数计算总水头损失的相对误差为 3.3% 。

同理,可得软管首孔断面至 x 处计算断面的沿程水头损失 h_f 为

$$h_f = \int_0^x dh_f = H_f \left[1 - \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m+1}\right] \quad (6)$$

这就是沿程均匀泄流软管沿程水头损失的一般方程。

对于软管微灌,由于软管壁薄、质软并具有一定的弹性,软管过水断面随充水压力而变化,因此,实际的软管沿程水头损失不仅取决于雷诺数、流量及管径,而且受工作压力的影响,此外还与软管铺设地面的平整程度及软管铺设的顺直状况有关。在工程设计中,地面软管的水头损失应根据软管布置的顺直程度及铺设地面的平整程度乘以一个水头损失扩大系数,一般该系数可取 $1.1 \sim 1.5$ 。

2.2 软管沿程压力水头的确定

根据能量方程可得软管任意断面处(距离坐标原点 x 处)的压力水头公式为

$$\frac{p_x}{\gamma} = H + ix - \frac{v_x^2}{2g} - \xi \frac{v_0^2}{2g} - H_f \left[1 - \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m+1}\right] \quad (7)$$

当 $x = 0$ 时,可得首孔断面的压力水头为

$$h_0 = \frac{p_0}{\gamma} = H - (\xi + 1) \frac{v_0^2}{2g} \quad (8)$$

由式(7)和式(8)可得任意断面处的压力水头为

$$h = \frac{p_x}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + ix - \frac{v_0^2}{2g} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 - H_f \left[1 - \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m+1}\right] \quad (9)$$

当 $x = L$ 时,可得软管末端的压力水头为

$$h_N = \frac{p_N}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + iL - H_f \quad (10)$$

利用式(8)、式(9)和式(10)就可计算软管首孔断面、任意断面和末端断面的压力水头,由此即可为判断软管滴头出流能否满足流量允许偏差率或计算微灌均匀系数提供依据。

如果忽略流速水头,则可得软管沿程压力水头的近似计算公式为

$$h = \frac{p_x}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + ix - H_f \left[1 - \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m+1}\right] \quad (11)$$

对式(11)沿流程求导,并令 $\frac{dh}{dx}=0$,可得软管压力水头最小点的相对位置为

$$\frac{x}{L}=1-\left[\frac{iL}{H_f(m+1)}\right]^{1/m} \tag{12}$$

令
$$j=\frac{iL}{H_f(m+1)}=\frac{iD^b}{fQ^m} \tag{13}$$

则压力水头最小点的相对位置可根据 j 值选用式(14)和式(15)之一计算:

$$x/L=0 \quad (j \geq 1) \tag{14}$$

$$x/L=1-j^{1/m} \quad (0 < j < 1) \tag{15}$$

当 $j \leq 0$ ($i \leq 0$) 时,式(12)无解,但根据实践分析逆坡情况下压力水头最小点出现在末端最后一孔,即

$$x/L=1 \tag{16}$$

而压力水头最大点的相对位置可根据 j 值选用式(17)和式(18)之一计算:

$$x/L=1 \quad (j \geq 1) \tag{17}$$

$$x/L=0 \quad (j < 1) \tag{18}$$

分析式(11)和以上各式可以看出,当 $i \leq 0$ (逆坡) 时,最大工作水头在软管首端第一孔,最小工作水头在软管末端最后一孔;当 $i > 0$ (顺坡),且 $j \geq 1$ 时最大工作水头在软管末端最后一孔,最小工作水头在软管首端第一孔;当 $i > 0$ (顺坡),且 $0 < j < 1$ 时最大工作水头在软管首端第一孔,最小工作水头在软管末端或软管中间某一位置,即相对位置为: $x/L=1-j^{1/m}$ 。上述结果同 Gillespie^[3]、张国祥^[4]、王金如^[5]等对加压滴灌管道压力水头分布的研究成果是一致的。

由于沿程压力水头是连续变化的,而且 $\frac{d^2h}{dx^2}>0$,即压力水头曲线是一上凹曲线,因此可分别计算首孔压力水头 $\frac{P_0}{\gamma}$ 、末端压力水头 $\frac{P_N}{\gamma}$ 及当 $0 < j < 1$ 时由式(15)所确定位置的压力水头,然后即可确定软管最大工作水头 $\frac{P_{max}}{\gamma}$ 和最小工作水头 $\frac{P_{min}}{\gamma}$ 。

3 分析成果的初步实验验证

软管沿程水头损失、沿程压力水头及流量的计算都是以能量方程为依据的,在推导或建立相应的计算公式时,曾假设软管中水流沿程连续且为均匀泄流。因此,当流量偏差率较大时,计算结果与试验结果对比的偏离程度就大;当流量偏差率较小时,计算结果与试验结果对比的偏离程度相应就小。试验表明,软管中水流不可能出现沿程连续且为均匀泄流的情况,因此上述计算公式是否正确,能否用于工程设计,就有待试验来验证。

现以试验条件为依据,取 $D=0.0477465\text{ m}$, $L=$

50 m , $S=0.15\text{ m}$,根据不同水头、不同坡度,计算出软管流量 Q ^[6],然后计算沿程总水头损失 H_f ,最后计算压力水头最小点的位置,将计算结果与试验压力最小点位置的结果均列入表 1。

表 1 实测与计算压力最小点位置的对比 m

h	$i=-0.1\%$	$i=0\%$	$i=0.05\%$	$i=0.1\%$	$i=0.3\%$	$i=0.6\%$	$i=0.9\%$
0.2	50(50)	45(50)	35(32)	25(24)	20(10)	0(0)	0(0)
0.3	50(50)	40(50)	35(35)	30(29)	15(15)	0(5)	0(0)
0.4	50(50)	45(50)	35(37)	35(31)	20(18)	0(8)	0(2)
0.5	50(50)	45(50)	35(38)	35(33)	20(21)	0(11)	0(5)

注 括号中为计算值。

考虑到压力水头曲线在最小点附近变化转为平缓,试验中每隔 5 m 设一压力水头观测断面,因此由表 1 可知计算结果与试验实测结果基本上是吻合的。这说明计算公式在与试验条件类似或基本一致的条件是可以用于实际计算的。

4 结 论

自压软管微灌技术在干旱灌溉农业区有广泛的应用前景,本文根据软管中水流沿程连续且为均匀泄流假设,用布拉修斯公式建立了软管沿程水头损失的一般方程,根据能量方程得出了软管沿程压力水头的计算公式,给出了确定最大和最小压力水头位置及大小的方法。从计算结果与试验实测结果的对比看,具有一定的合理性,计算公式在与试验条件类似或基本一致的条件是可以用于实际计算的,为判断软管滴头出流能否满足流量允许偏差率或计算微灌均匀系数提供了依据。

致谢 本文得到了新疆生产建设兵团水利局顾烈烽高工、黄凯申高工的指导,张志新研究员、胡卫东工程师等参与了试验,在此对提供过帮助的单位 and 专家表示真诚的感谢。

参考文献:

[1] 吕宏兴,裴国霞,杨玲霞.水力学[M].北京:中国农业出版社,2002:148-151.
[2] 付琳,董文楚,郑耀泉.微灌工程技术指南[M].北京:水利电力出版社,1988.
[3] GILLESPIE V A, PHILLIPS A L, WU Pau-I. Drip irrigation design equation[J]. Journal of Irrigation Drainage Division, 1979, 105(3): 247-257.
[4] 张国祥.微灌毛管水力计算曲线图及其应用(均匀管坡)微灌水力设计计算方法探讨之四[J].喷灌技术, 1990(2): 17-63.
[5] 王金如.均匀坡下微灌毛管水力设计的平均水头法[J].喷灌技术, 1992(3): 26-32.
[6] 刘焕芳,孙海燕,苏萍,等.微灌自压软管合理铺设长度的确定[J].农业工程学报, 2005(2): 46-50.

(收稿日期 2005-04-14 编辑 熊水斌)