

低压滴灌小孔出流孔前压力变化研究

王 宏¹, 李援农¹, 洪 明², 蒋耿民¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 为了研究低压滴灌毛管压力变化规律, 本试验对 $\Phi 16$ 孔口式滴灌管在不同的入口水头 (0.5~2.0 m) 和不同管道铺设长度 (20、40、60 m) 状态下沿程压力进行了测定。结果表明, 运用规范中给定的计算结果与试验测试结果进行比较, 相差较大, 规范中的沿程水头损失计算公式不能满足孔口式滴灌管在低压条件下的损失。在管道长度为 20 m 和 40 m, 工作水头为 0.5 m 时, 试验测试水头损失约为规范公式计算结果的 30 倍多, 但随着入口工作水头的增加, 两者之间的比值有趋于减少的趋势。同时, Excel 软件的拟合表明, 低压滴灌孔口式出流沿程压力分布符合以入口水头为基本参数的指数函数关系, 并给定了相关参数的经验取值范围, 其中水头损失修正系数 $k=1.004\sim 1.0183$; 指数修正系数 θ 的取值为 0.004 到 0.021。

关键词: 低压滴灌; 毛管; 毛管水头损失

中图分类号: S274.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0174-05

受世界水资源紧缺的影响, 滴灌系统自上个世纪 60 年代问世以来, 其节水节能效果被世人广泛认可, 技术得到了广泛推广。目前, 滴灌是各种灌水方法中用水量最省、灌水效率最高的一种, 因此受到各国的重视^[1], 但由于受投入产出规律的影响, 主要用于经济附加值较高的作物, 被称为“灌溉中的贵族”。国内外的学者研究表明: 滴灌系统工作压力是影响滴灌工程投资与运行费用最为关键的因素^[1,2], 滴灌灌水器工作压力常为 8~12 m, 这固然提高了系统的地形适应能力, 但较高设计水头所付出的高投资和高能耗在地势较平坦的地区存在一定的能量浪费^[2]。因此, 对于地势平坦或者小型温室以及庭院经济, 重力式滴灌投资更省, 效益更高, 对小型温室及庭院经济非常适用^[3], 在发展中及第三世界国家的家庭式分散农业节水技术推广中有较大前景^[4]。重力式滴灌具有投资少, 耗能少等优点。王伟等^[5]通过对温室大棚的试验研究表明低水头滴灌系统运用于温室更节省投资。由滴灌的出流量计算公式可知灌水器的流量取决于该出流孔前的工作水头和该出流孔的流态指数, 为了获得较高的灌水均匀度, 需尽量保持沿程各个出流孔的工作水头都一致或者变化幅度在许可的范围内。而目前对于小孔出流滴灌管的各个出流孔前压力分布还没有具体的研究, 因此有必要对小孔出流滴灌管的沿程压力分布进行试验研究。

1 试验方法

1.1 试验装置

本试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室完成, 试验装置如图 1 所示, 主要由高位溢流箱、阀门、量子调压阀、滴灌管和测压排等组成。出流小孔用 3 200 rad/min 高速台钻打孔, 为防止射流在出流孔两侧约 2 cm 处套与滴灌管同样管径宽约 2 mm 的橡胶垫, 在橡胶垫外套长度约为 5cm 的橡胶套, 孔口处理见详图 2。胡笑涛^[6]、洪明^[7]等人的研究表明, 对于管径 $D>6$ mm 的塑料管, 用直径小于 1 mm 的针头测压时能获得较好的效果。本实验将直径为 0.8 mm 的针头从滴灌管的下侧垂直向上插入 (插入滴灌管内部部分长度为滴灌管半径长), 详细布置见图 2。为准确测压, 每个测压点布置在出流孔前 2.5 cm 处, 忽略测压点到出流孔间的沿程水头损失, 该测压值作为对应出流孔的入口水头, 测压管分别布置在滴灌管的入口、中间和尾部, 其中对于 20 m 和 40 m 的滴灌管入口处共 5 个测压点, 中间布置 5 个, 末尾布置 4 个, 每个测压点均在出流孔前; 对于 60 m 的滴灌管则分别在入口处布置 5 个测压点, 20 m 处布置 5 个, 40 m 处布置 4 个, 末端布置 2 个测压点。

1.2 试验水平

试验管道外径为 $\Phi 16$, 内径为 13.68 mm PE 管, 出流孔孔径为 0.9 mm, 出流孔间距 S 为 1 m; 管

长分别采用 20、40、60 m 三个水平; 入口水头分别取为 0.5、1.0、1.5、2.0 m 四个水平。

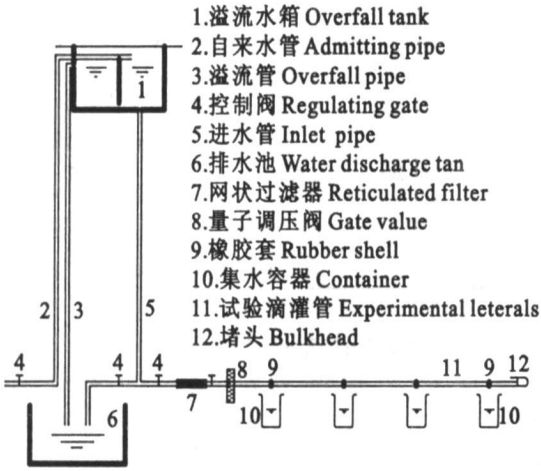


图 1 实验布置

Fig.1 Layout of experiment equipment

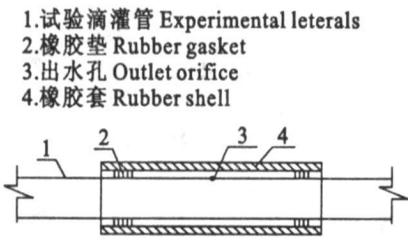


图 2 孔口处理

Fig.2 Layout of treatment of orifices

1.3 试验方法

在保证溢流箱溢流的条件下打开 4 号阀门, 通过调节阀门控制入口水头, 由于入口水头难以控制到标准设计工作水头, 以不超过设计水头的±6%作为实际调试入口水头时的工作水头。在工作水头稳定后读取各个测压管的压力值, 由于滴灌管内存在气泡的影响, 测压值存在一个小幅的变化范围, 为保证数据的准确性, 每隔 10 min 读数 1 次共 3 次并取平均值作为该测压管的值; 同时通过集水容器收集 30 min 内各个出流孔的流量。

2 试验结果及分析

2.1 沿程水头损失

低压滴灌管仍属于有压管道, 对于有压管道的沿程水头损失, 可利用达西—韦斯巴赫 (Dacy — Weisbach) 公式^[8,9]计算:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \tag{1}$$

其中 $f = 0.316 \times Re^{-0.25}$ (2)

式中, h_f 为沿程水头损失(m); f 为沿程水头损失系数; V 为管道过水断面平均流速(m/s); L 为管道长度(m); D 为管道内径(m); Re 为雷诺数。对于雷诺数为 4 000 ~ 10 000 时, 沿程水头损失系数通过伯拉修斯(Blasius) 公式(2) 计算。

对于等间距多孔口出流, 由于沿程存在流量损失以及水头损失可以通过多孔口出流修正系数 F 进行^[10] 修正:

$$F = \frac{N \left[\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right] - 1 + \frac{S_0}{S}}{N - 1 + \frac{S_0}{S}} \tag{3}$$

或 $F = \frac{1}{m+1} \left(\frac{N+0.48}{N} \right)^{m+1} \quad [N \geq 3] \tag{4}$

式中: F 为多孔系数; m 为流量指数; N 为多孔管总孔数; S 为孔距(m); S_0 为管进口至首孔的距离(m)。

本次计算采用(4) 式, 因此沿程水头损失可以表达为:

$$\begin{aligned} H_f &= F \cdot h_f = \frac{0.017 Re^{-0.25} L V^2}{(m+1) D} \left(\frac{N+0.48}{N} \right)^{m+1} \\ &= \frac{0.017 \mu^{0.25} D^{-1.25} V^{1.75} L}{m+1} \left(\frac{N+0.48}{N} \right)^{m+1} \end{aligned} \tag{5}$$

工程中通常综合考虑出流孔和沿程流量和水头的减少, 当出流孔数多于 3 个时, 利用下式计算:

$$h'_f = \frac{f S q_d^m}{d^b} \left[\left(\frac{N+0.48}{m+1} \right)^{m+1} - N^m \left(1 - \frac{S_0}{S} \right) \right] \tag{6}$$

式中, h'_f 为等距多孔管沿程水头损失(m); q_d 为单孔设计流量(L/h); d 为管道内径(mm); b 为管径指数; 其余同上。

考虑到试验水温与公式中的水温不一致, 以及局部水头损失, 对原公式修正如下:

$$h_f = h'_f \cdot \alpha \cdot k \tag{7}$$

式中, h_f 为沿程总水头损失(m); α 为温度修正系数; k 为考虑局部水头损失时的加大系数, 根据测试结果取值为 1.2。

将 1.2 中的参数代入式(7) 绘制在不同条件下理论计算水头损失, 将所得到的水头损失与试验结果进行对比, 如表 1 所示。

由表 1 可以看出, 用规范中给定的毛管沿程水头损失计算公式与实测值相差较大, 试验测试值均大于理论计算结果, 说明通常运用于常压水头(工作水头为 8~12 m) 的沿程总水头损失计算公式对于低压滴灌孔口式出流毛管水头损失计算已不再适合。因此, 有必要重新对原有的公式在低压条件的进行必要的修正, 以满足实践当中的需要。

表 1 沿程水头总损失的试验测试值和理论计算值

Table 1 The measured value and the theoretical value of pressure losses

项目 Item	管长 Length of lateral(m)											
	20			40				60				
工作水头(m) Working head	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	
试验测试值(m) Measured value	0.1370	0.1487	0.1550	0.3032	0.3740	0.3845	0.7467	0.2750	0.3180	0.4833	0.5787	
理论计算值(m) Theoretical value	0.0038	0.0096	0.0173	0.0084	0.0182	0.0325	0.0915	0.0173	0.0321	0.0827	0.1153	

2.2 沿程压力方程的趋势

图 3 中,坐标横轴为滴灌毛管沿程铺设长度(m);纵轴为工作水头(m)。图 a、b、c 分别为毛管铺设长度为 20 m、40 m 和 60 m。由图可知,对于同样长度的滴灌管,随着入口工作水头的增加,沿程水头

总损失在增大;同时这种损失增大也随着管道长度的增长而增大。对照图 3 中 a~c,可以得出,对于同样的工作水头,随着管道铺设长度的增加,水头损失在增大。

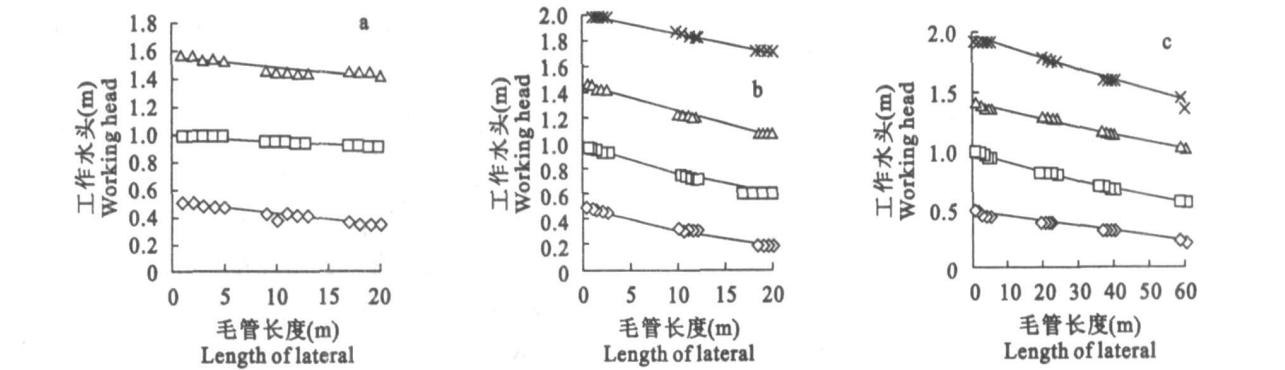


图 3 不同工作水头沿不同毛管铺设长度的压力变化

Fig.3 Variation of pressure under different working head and different length of lateral

表 2 沿程压力变化关系

Table 2 The variation of pressure relationship

入口水头 Inlet head	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
20 m	$y=0.520e^{-0.021x}$	$y=1.002e^{-0.005x}$	$y=1.556e^{-0.005x}$	
40 m	$y=0.524e^{-0.026x}$	$y=0.990e^{-0.013x}$	$y=1.475e^{-0.008x}$	$y=2.028e^{-0.004x}$
60 m	$y=0.4985e^{-0.0128x}$	$y=0.9851e^{-0.0094x}$	$y=1.4068e^{-0.0054x}$	$y=1.9769e^{-0.0055x}$

对滴灌管沿程压力的变化用 Excel 进行拟合,在相关系数大于 0.9 的情况下,沿程压力与管道沿程符合指数关系(图 3 所示),对所拟合的指数方程(表 2 所示)分析结果表明:沿程压力是以入口压力为基数的一个变化数,可以用公式表达为:

$$h_i = kh_0e^{-\theta_i} \tag{8}$$

其中, h_i 为距入口处任一出流孔前的压力(m); k 为入口压力的修正系数,在出流孔为 0.9 mm、入口压力在 2 m 以内时,经计算其取值范围为:1.004~1.0183; h_0 为入口压力(m); θ 为与入口压力、管长

和出流孔大小相关的一个系数,在上述情况下, θ 的取值为 0.004 到 0.021。

对于相同长度的滴灌管,在入口水头增加的同时,沿程压力分布曲线趋于平缓。对于非压力补偿式的灌水器,灌水器的流量主要取决于该灌水器的工作水头,滴灌管中某灌水去器的出流量可通过下式计算:

$$q = kh^x \tag{9}$$

式中: q 为灌水器流量(L/h); k 为流量系数; h 为毛管工作压力(m); x 为流态指数。

由上式及试验所得沿程压力分布可知: 在入口工作水头为 0.5~2.0 m 时, 随着入口工作水头的增大, 管道损失在增大, 但同时灌水均匀度亦随着入口水头的增大而增大的, 即均匀度与入口水头呈正相关。

2.3 理论计算与试验之间的关系

图 4 中图 a、b、c 分别为毛管长度为 20 m、40 m 和 60 m 时, 不同的入口工作水头(m)为横轴; 试验测定水头损失(m)与理论计算水头损失(m)之比为纵轴。由图可以看出在入口工作水头较低(0.5 m)情况下, 理论计算水头损失与试验测定相差较

远, 其中入口水头为约 0.5 m 时, 20 m 和 40 m 长度的滴灌管实际水头损失是理论计算的 35 倍以上, 60 m 长度时为 15 倍以上。随着工作水头的增加两者之间的差距在不断减少, 当工作水头升高到 2 m 时, 40 m 和 60 m 长度的滴灌管实际水头损失与理论计算结果相差约为 5 倍。说明规范中给定的公式对于常压(工作水头为 8~12 m)情况较为合适, 随着水头的降低理论计算与试验测定的差异在扩大, 规范中给定的公式对于低压滴灌水头总损失与理论计算存在较大的误差, 不再适合, 这与前面得出的结论一致。

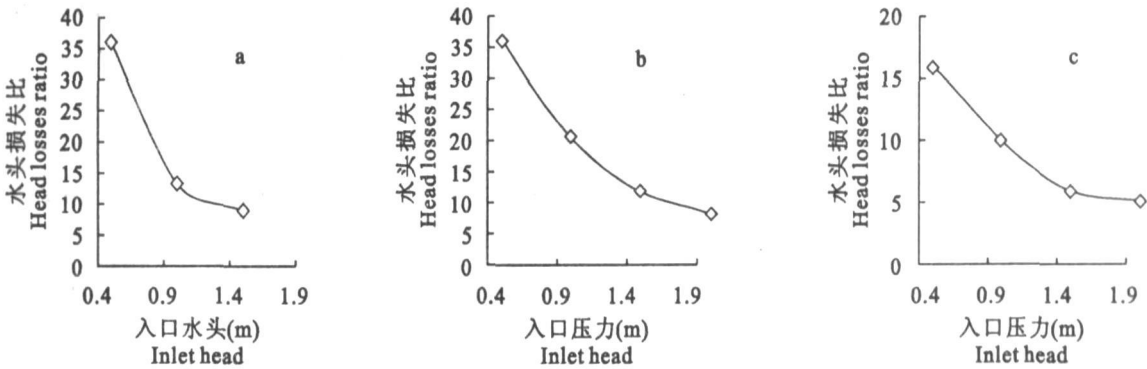


图 4 不同入口工作压力条件下实测水头损失与理论计算值之比值
Fig. 4 The ratio of the measured value to the theoretical value under the different inlet head

3 结论与讨论

通过对低压滴灌孔口式出流滴灌管的沿程压力变化的分析, 结果表明运用规范给定公式的计算结果与试验测试结果有较大的偏差, 理论计算结果偏小于试验计算的值。这表明对于低压滴灌孔口式出流沿程总水头损失通过常水头(8~12 m 工作水头)计算沿程水头损失公式已不再合适, 需要重新对原公式进行修正或者建立新的表达式。通过 Excel 软件对沿程压力分布进行拟合, 结果表明低压滴灌孔口式出流沿程压力分布符合以入口水头为基本参数的指数关系。不同入口工作水头与试验水头损失和理论计算水头损失比之间的关系说明试验测试水头损失与理论计算水头损失比值随着入口水头(在 0.5~2.0 m 范围内)的增大, 两者之间的比值有趋于减少的趋势。

参 考 文 献:

[1] 牛文全, 吴普特, 范兴科. 低压滴灌系统研究[J]. 节水灌溉, 2005, (2): 29—32.

[2] 张国祥, 吴普特. 滴灌系统滴头设计水头的取值依据[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 20—22.

[3] 刘婴谷. 中国加入 WTO 的喷(微)灌设备市场[J]. 中国农村水利水电, 2002, (2): 64—67.

[4] 唐 莲, 孙学平, 张卫兵. 微灌技术及设备进展[J]. 宁夏农学院学报, 2003, (2): 82—85.

[5] 王 伟, 李光永, 段中琐. 低水头滴灌系统研究[J]. 节水灌溉, 2000, (3): 36—39.

[6] 胡笑涛. 地下滴灌管水均匀度试验研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 2001.

[7] 洪 明, 李援农, 邵莉芳, 等. 低压 PE 滴灌毛管水头损失试验[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 232—235.

[8] 吕宏兴, 裴国霞, 杨玲霞. 水力学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 109—151.

[9] 水利部农村水利司, 中国灌溉排水发展中心. 节水灌溉工程实用手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 313—334.

[10] SL 103—95. 水利行业规范:《微灌工程技术规范》[S].

Analysis of changes of pressure before the orifices in laterals under low pressure drip irrigation

WANG Hong¹, LI Yuan-nong¹, HONG Ming², JIANG Geng-min¹

(1. Collage of Hydraulic and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Collage of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumchi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: In order to study the variation law of low pressure trickle irrigation laterals, under 0.5~2.0 m work head and different laterals with the length of 20, 40 and 60 m, orifice outlet drip irrigation laterals' linear pressure with a diameter of $\Phi 16$ are measured. The results show that there are great differences between calculation results calculated by formula according to the specifications and measured value. Linear head loss calculation formula in specifications can not meet the orifice outlet drip irrigation laterals' head losses calculation under low pressure condition. Head losses of measured values is bigger than that calculated by formula for more than 30 times under condition of 0.5 m work head and lateral with the length of 20 and 40 m, and the ratio of them has the tendency of reducing with the increasing of inlet work head. After fitting by excel, it shows that pressure distribution carried with laterals conforms to an exponent function relation which considers inlet pressure as a basic parameter, and gives the experimental value range of related parameters as: head losses correction coefficient $k=1.004\sim 1.0183$ and exponent correction coefficient $\theta=0.004\sim 0.021$.

Key words: low pressure trickle irrigation; lateral; lateral head loss

(上接第 162 页)

Effect of salt and PEG to antioxidant enzymes activity and MDA concentration of *Luffa cylindrical* Roem

LI Yan^{1,2}

(1. Biology Department of Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China;

2. Laboratory of Plant Stress Research, Life Science College, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: The activity of anti-oxidant enzymes (Superoxide dismutase(SOD), Peroxidase(POD), Catalase (CAT)), parameters of oxidative stress malondialdehyde(MDA), soluble sugar(SS) and chlorophyll content of shoots were investigated in *L. cylindrical*. The seedlings of *L. cylindrical* were treated with varying NaCl(0, 50, 100, 150 mmol/L) and PEG (0, 10%, 15%, 20%) stress. The activities of SOD, POD and CAT showed different developing tendencies with the increase of the concentration of NaCl or PEG in shoots of *L. cylindrical*, but it was higher under stress conditions than control. MDA concentration of shoots increased than decreased under salt stress condition, but it was higher under stress conditions than control, MDA concentration of shoots decreased under PEG stress condition. SS concentration of shoots increased than decreased under salt stress condition, but it increased with PEG concentration increased obviously. Chlorophyll content of shoots decreased under stress conditions. The stress tolerance of *L. cylindrical* under salt and PEGr stress condition are probably due to its ability to exhibit high SOD, POD and CAT enzyme activities and osmotic adjust action of soluble sugar.

Key words: NaCl; PEG; antioxidant enzymes; MDA; SS