

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.025

插入式滴灌管局部阻力相邻影响研究^{*}

王亚林 朱德兰 张 林 陈俊英 刘柯楠
(西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为研究插入式滴头局部阻力间的相互影响,以 $\phi 16$ 插入式滴灌管为研究对象,设置6种滴头间距进行灌水试验,同时采用CFD模拟并分析验证。在此基础上对 $\phi 20$ 滴灌管进行了模拟研究。结果表明:滴头局部阻力相邻影响系数模拟结果与试验结果基本吻合;滴头局部阻力相邻影响系数随滴头间距的减小而减小;滴头前后扰动范围和流速分布的变化是滴头局部阻力产生相邻影响的主要原因;滴灌设计中,当滴头间距小于0.5 m时,应考虑滴头局部阻力间的相邻影响,相邻影响系数取值范围为0.9~1.0。

关键词: 滴灌管 插入式滴头 局部阻力系数 相邻影响系数 数值模拟

中图分类号: S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)11-0187-08

Local Resistance Interaction in Trickle Laterals Equipped with Integrated On-line Emitters

Wang Yalin Zhu Delan Zhang Lin Chen Junying Liu Kenan
(Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In drip irrigation design, calculation method of emitter local resistance coefficient is different with different arrangements and the local resistance interaction is existed under some conditions. Local resistance interaction of emitters was appeared when the emitter spacing was less than a critical value, at this time, the emitter local resistance was different from local resistance in independent emitters. Local resistance coefficient would be calculated separately with different methods and different emitter spacings. Based on this, water filling tests of $\phi 16$ drip pipe with six kinds of emitters spacings were conducted to investigate the interaction of local resistance in trickle laterals of on-line emitters. Meanwhile, the CFD software was applied on numerical simulation and verification. On this basis, $\phi 20$ drip pipes were simulated. The results showed that the simulated values were in agreement with the experimental values for local resistance interactive coefficient of emitters. The local resistance interactive coefficient reduced with the decreasing emitters spacing. The changes of disturbance range and velocity distribution near the emitters were the main reasons for local resistance interaction in trickle laterals. Local resistance interaction of emitters should be taken into account when the emitter spacing was less than 0.5 m. In this case, the values of interactive coefficient were varied from 0.9 to 1.0.

Key words: Drip irrigation pipe On-line emitter Local resistance coefficient Interactive coefficient Numerical simulation

引言

于安装、适应性强等优点而被大量使用。滴灌设计时,灌水均匀度是评价滴灌设计是否合理的重要指标,而准确计算滴灌管局部水头损失是确定灌水均

插入式接头作为毛管与滴头传统连接,因其易

收稿日期: 2015-07-08 修回日期: 2015-09-02

^{*} “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD29B02)、高等学校学科创新引智计划(111计划)资助项目(B12007)、新疆维吾尔自治区科技计划资助项目(201130104-1)和中国科学院西部之光人才培养计划资助项目

作者简介: 王亚林,博士生,主要从事节水灌溉理论与新技术、工程水力学与泥沙研究,E-mail: gmxh535@163.com

通讯作者: 朱德兰,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与新技术研究,E-mail: dlzhu@126.com

匀度的基础。因此,有必要对插入式滴灌管局部水头损失进行研究。

目前,不少学者分析研究了插入式及内镶式滴灌管局部水头损失系数,但大多没有考虑滴头局部阻力间的相互作用^[1-4]。Provenzano等^[5-6]、Bagarello等^[7]对内镶式滴头局部水头损失系数进行了研究,认为滴头局部水头损失系数只与滴头相对形状有关。Guillermo等^[8]通过试验与CFD模拟研究了插入式滴灌管总局部水头损失规律,得到包含滴头个数在内的滴头总局部水头损失经验公式。王亚林等^[9]考虑温度对毛管局部水头损失的影响,通过量纲分析得出了内镶式滴灌管局部水头损失表达式。仇振杰等^[10]针对3种间距的 $\phi 16$ 毛管,研究了插入式滴头局部水头损失系数,认为滴头局部阻力系数与滴头间距成反比。Provenzano等^[11]、石喜等^[12]通过CFD模拟对管道水流流动特性进行相关研究,认为CFD具有很高的准确性,且通过流场可视化可呈现局部水流湍动形态。白兆亮等^[13]研究了管道孔板之间局部阻力的相互作用,认为孔板间距对局部阻力影响很大,当间距小于一定值时,总局部阻力系数不再随孔板个数的增多而增大。贺益英等^[14]、赵懿珺等^[15]、陈晓等^[16]对弯管相邻影响进行了研究,认为形变件综合局部水头损失并不等于单独两局部水头损失之和。庄茜等^[17]对桩群圆柱绕流进行了模拟研究,认为桩群中各桩具有相互遮蔽作用,桩群阻力并非单桩阻力的简单叠加。《实用流体阻力手册》^[18]中提到圆管中两个相邻圆柱存在相邻影响,认为圆柱总阻力小于圆柱单独存在时的阻力之和。

以上研究主要集中在管道形变件的局部阻力相邻影响,滴灌管中滴头间局部阻力相邻影响很少涉及,或只针对特定毛管做了定性描述而没阐述其形成机理。本文以 $\phi 16$ 和 $\phi 20$ 插入式滴灌管为研究对象,采用试验和CFD模拟相结合的方法研究滴头局部阻力间的相邻影响,通过观察滴灌管水流流场分布规律探讨局部阻力相邻影响发生机理,以期了解滴灌管水力特性和管网水力计算提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验在西北农林科技大学灌溉水力学大厅中进行,试验装置主要由供水箱、离心泵、变频稳压器、精密压力表、电子秤、滴头、毛管组成,如图1所示。供水箱由外接水源持续供水,试验所用插入式滴头选用秦川公司生产的 $\phi 4$ 毛管直通接头,因试验需封

堵滴头,故接头并未连接滴头,而以 $\phi 4$ 软管将其直接封堵。试验选用 $\phi 16$ PE毛管,内径为12.63 mm,管长为8.5 m,毛管经打孔器打孔后将滴头插入。试验通过称量法计算毛管流量,每次测量时间为100 s,电子秤精度为1 g。采用压力表记录毛管首末端压力,压力表精度为0.1 kPa。用温度计测量水温,温度范围为9~11℃。

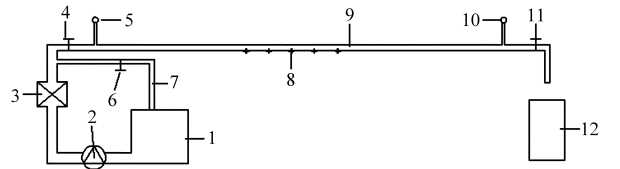


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Layout of experimental platform

1. 供水箱 2. 离心泵 3. 变频稳压器 4、6、11. 阀门 5、10. 精密压力表 7. 回水管 8. 接头 9. 毛管 12. 集水箱

1.2 试验设计

试验首先测量无滴头时毛管沿程水头损失,通过毛管首末端阀门控制毛管流量,首部压力水头范围为0.41~6.32 m。测量结束后将毛管拆卸并在距毛管首端2、4、6 m处依次打孔并插入滴头,作为滴头间距为2 m的滴灌管。另取一毛管并在距首部3.5 m和4.5 m处各插一滴头,作为滴头间距1 m的滴灌管,每次测试结束后在滴头中央增插滴头依次得到间距为0.5、0.25、0.125、0.062 5 m的滴灌管。共进行7组测试,试验设计如表1所示。

表1 不同滴头间距滴灌管设计方案

Tab. 1 Drip irrigation pipes with different spacings			
编号	滴头个数	滴头间距/m	毛管内径/mm
1	0		12.63
2	3	2	12.63
3	2	1	12.63
4	3	0.5	12.63
5	5	0.25	12.63
6	9	0.125	12.63
7	17	0.062 5	12.63

1.3 数值模拟

通过Gambit软件作与试验所用滴灌管比例为1:1的网格模型,以实测毛管流速作为模拟入口初始条件,以实测水温均值10℃作为模拟水温,对应运动粘滞系数为 $1.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。为保证计算精度,采用非结构网格并在滴头插入处进行加密处理,网格数为 $1.26 \times 10^6 \sim 2.79 \times 10^6$ 。在 $k-\varepsilon$ 模型中,Realizable $k-\varepsilon$ 模型在模拟计算不规则壁面及分离回流等强旋流时有较高的精度^[19],本文选用Realizable $k-\varepsilon$ 模型对毛管水流流场进行计算, k 方程和 ε 方程分别为

$$\frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + \rho \varepsilon \quad (1)$$
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon}^* G_k - C_{2\varepsilon} \rho \varepsilon) \quad (2)$$

式中 u_i ——流速在 x 方向的分量, m/s
 ρ ——流体密度, kg/m³ k ——湍动能
 μ_{eff} ——流体粘滞系数 ε ——耗散速率

$C_{2\varepsilon}$ ——与浮力有关的系数
 $C_{1\varepsilon}^*$ ——常数, 取 1.44
 G_k ——由平均速度梯度引起的湍动能产生项
 α_k ——湍动能 k 的湍流普朗特数, 取 1.0
 α_ε ——耗散率 ε 的湍流普朗特数, 取 1.2

图 2a 为插入式滴灌管实体图, 图 2b 为网格模型, 图 2c 为滴头插入几何示意图, 其中 a 、 b 、 c 、 d 长度分别为 3.34、4.02、4.43、5.30 mm。

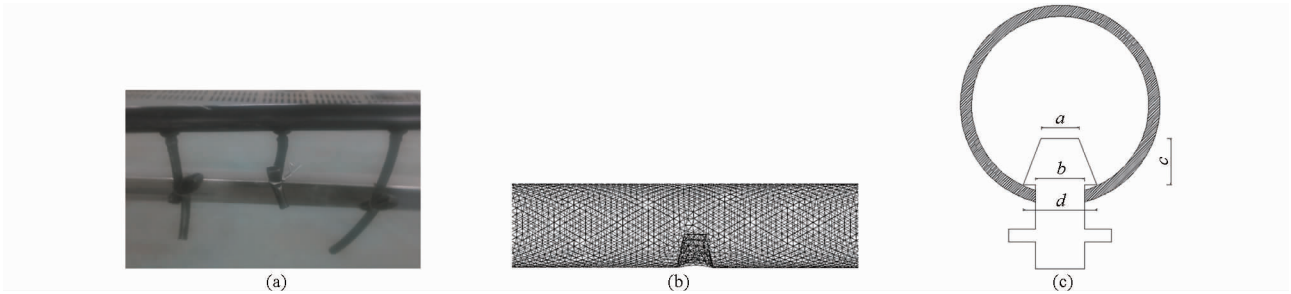


图 2 滴灌管几何模型和网格模型
Fig. 2 Geometric model and grid mesh model of drip irrigation pipes
(a) 滴灌管 (b) 网格模型 (c) 几何模型

毛管出口与大气相连, 出口条件选择自由出流, 毛管近壁区流动采用标准壁面函数法处理, 控制方程通过 SIMPLEC 算法求解。为比较管径与滴头局部阻力相邻影响系数的关系, 将 $\phi 4$ 滴头集成于 $\phi 20$ 毛管, 毛管内径为 17.1 mm, 管长为 8.5 m, 建立网格模型并模拟, 滴头间距和初始条件与 $\phi 16$ 滴灌管相同。

2 结果与分析

2.1 滴头局部阻力相邻影响模拟验证分析

滴灌管总水头损失包括毛管沿程水头损失和滴头局部水头损失, 毛管沿程水头损失通过 Darcy-Weisbach 公式计算^[2], 滴头局部水头损失计算式为

$$h_j = \frac{\Delta h - h_f}{n} \quad (3)$$

式中 h_j ——滴头局部水头损失, m
 Δh ——滴灌管总水头损失, m
 h_f ——毛管沿程水头损失, m
 n ——滴头个数

滴头局部水头损失系数计算式为

$$\zeta = h_j \frac{2g}{v^2} \quad (4)$$

式中 ζ ——滴头局部水头损失系数
 g ——重力加速度, m/s²
 v ——毛管水流流速, m/s

管道形变件局部阻力研究可分为两种情况: 当形变件单独存在或各形变件相距较远时, 可认为局部阻力相互独立; 当形变件距离较近时, 形变件综合

阻力产生相互影响, 总阻力不再等于独立存在时各阻力之和。一般认为管道相邻形变件间距小于管径 20~30 倍时, 形变件的局部阻力会发生相互影响^[20]。在滴灌中当滴头间距为 2 m 时滴头间已很远, 可认为此时滴头各自相互独立, 此时的滴头局部阻力系数为 ζ_0 , 当滴头间距较近, 滴头局部阻力发生相邻影响时的局部阻力系数为 ζ_1 , 则滴头局部阻力相邻影响系数 C 可定义为

$$C = \frac{\zeta_1}{\zeta_0} \quad (5)$$

C 越接近于 1, 滴头局部阻力间的相邻影响越小, C 越偏离 1, 滴头局部阻力间相邻影响越大。

为比较模拟结果与实测结果的吻合程度, 图 3 为间距 s 分别为 0.25、0.125 m 时滴灌管总水头损失试验与模拟对比结果。从图中可看出, 插入式滴灌管总水头损失试验结果与模拟结果变化趋势基本吻合, 其中间距为 0.25 m 时, 试验与模拟平均相对偏差为 6.8%, 间距为 0.125 m 时平均相对偏差为 8.9%。

图 4 列出 5 种间距下滴头局部阻力相邻影响系数模拟值与试验值。从图中可看出, 滴头局部阻力相邻影响系数均随雷诺数的增大而略微减小。间距为 1、0.5、0.25 m 时滴头局部阻力相邻影响系数试验值波动较大, 间距为 0.125、0.062 5 m 时滴头相邻影响系数试验值波动较小, 这主要是由于间距为 1、0.25、0.125 m 时, 滴灌管中滴头个数较少, 局部水头损失占总水头比值较小, 在相同压力表精度下, 其测点偏差较大; 而间距为 0.125、0.062 5 m 的毛管滴头

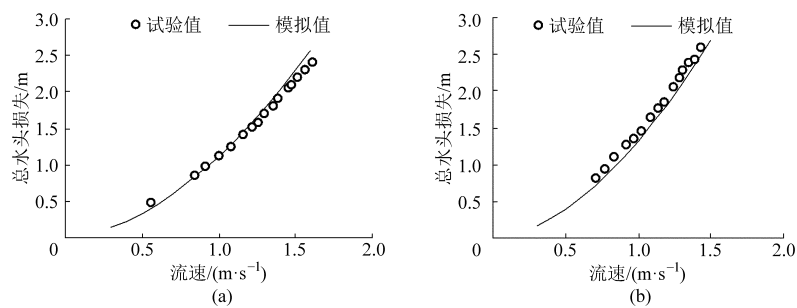


图3 毛管总水头损失模拟值与试验值

Fig.3 Experimental and numerical values for total head loss in trickle laterals

(a) $s = 0.25\text{ m}$ (b) $s = 0.125\text{ m}$

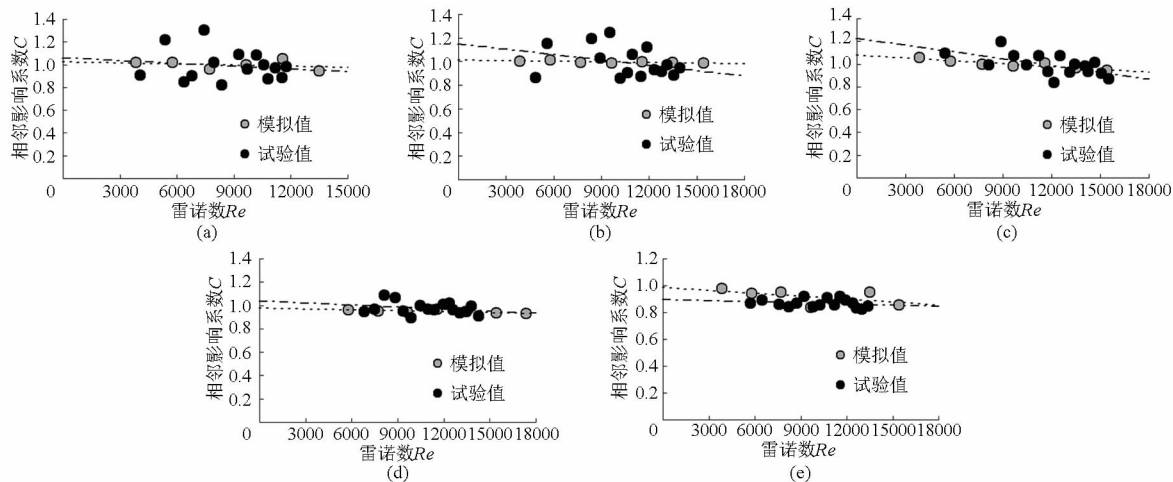


图4 不同间距下滴头局部阻力相邻影响系数模拟值与试验值

Fig.4 Comparative analysis between experimental and numerical values for local loss interactive coefficient of emitters with different spacings

(a) $s = 1\text{ m}$ (b) $s = 0.5\text{ m}$ (c) $s = 0.25\text{ m}$ (d) $s = 0.125\text{ m}$ (e) $s = 0.0625\text{ m}$

个数较多,局部水头损失占总水头比值较大,使其测定偏差较小。模拟值离散偏差较小的原因主要是模拟中压力表输出精度为0.000 1 m,而试验中所用压力表精度为0.01 m,导致模拟较试验离散偏差更小。除去试验本身偏差,可认为模拟基本可反映滴头相邻影响系数变化规律。

为定量比较相邻影响系数模拟与试验偏差,现取不同间距下各雷诺数对应相邻影响系数均值,结果见表2。从表中可看出,5种间距下,相邻影响系数试验与模拟均值相对偏差均小于0.1,在间距为1 m时相对偏差最小,为0.007,在间距为0.062 5 m时偏差最大,为0.056。滴头局部阻力相邻影响系数试验值与模拟值均随滴头间距的减小而减小,相

邻影响系数模拟与试验变化趋势基本吻合。模拟与试验相比,模拟可避免试验中偶然误差等不可控因素影响,省工省时且可通过可视流场观察滴头前后水流湍动特性。

2.2 扰动范围和流速分布

水流遇到滴头前沿管轴线方向均匀流动,遇到滴头后水流流向发生改变,出现垂直于管轴线的分速度,远离滴头后水流恢复至均匀流动,流速方向发生改变的范围实质即为水流扰动范围,而流速方向的任何改变均会出现垂向的分速度,故可通过水流垂向流速分布观察滴头附近水流扰动范围。垂向流速等于零,代表此处水流未受滴头干扰,水流处于均匀流动状态。垂向流速不为零,代表水流受到滴头干扰,水流处于扰动状态。垂向流速越大,水流流速改变量越大,扰动越剧烈。图5列出了独立滴头及相邻滴头在毛管水流流速为2 m/s时的扰动状态。从图中可看出,独立滴头时,滴头上游和下游均发生水流扰动。滴头上游扰动范围较小,主要出现在滴头迎面和滴头顶部之间位置,且扰动剧烈。滴头下流水流扰动区域较大,并沿水流方向向后延伸,但扰

表2 滴头局部阻力相邻影响系数模拟与试验偏差					
Tab.2 Deviation of experimental and numerical values for local loss interactive coefficient of emitters					
间距/m	1	0.5	0.25	0.125	0.062 5
模拟均值	0.998	0.996	0.995	0.949	0.917
试验均值	0.991	0.986	0.984	0.975	0.868
相对偏差	0.007	0.010	0.011	0.027	0.056

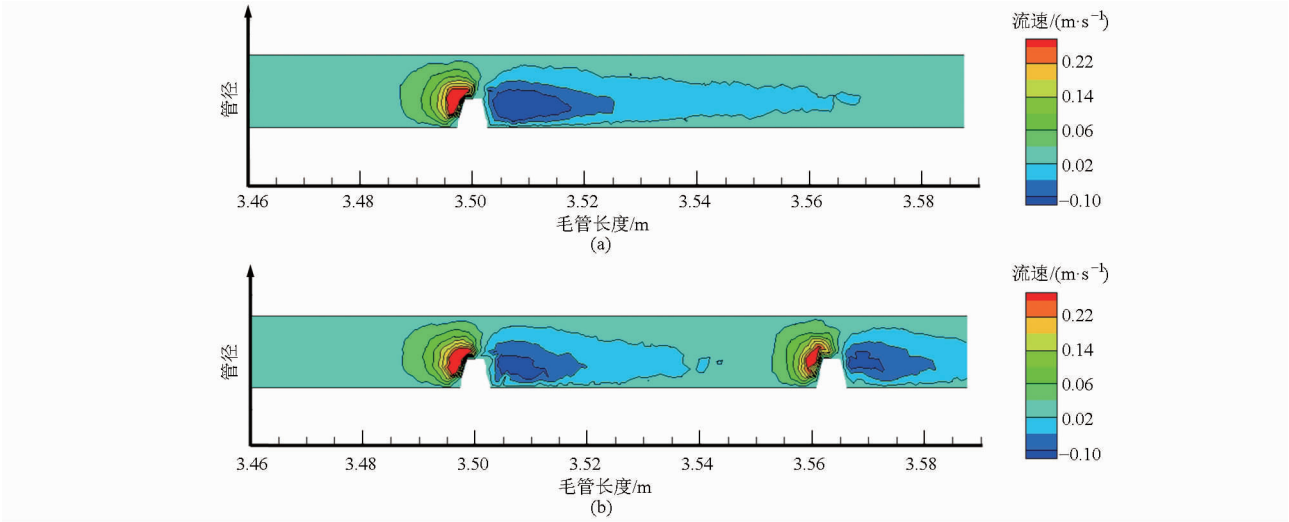


图 5 毛管水流扰动范围
Fig. 5 Disturbance range in trickle laterals
(a) 独立滴头 (b) 相邻滴头

动剧烈程度较上游低;当存在相邻滴头时,滴头下游和上游水流扰动范围较独立滴头时减小。

图 6 为独立滴头及相邻滴头水流流速分布。从图中可看出,独立滴头时,毛管水流流经滴头前,流速以管轴线为中心呈对称分布,最大流速发生在管轴线处。水流流经滴头时,在水平及垂直方向绕过

滴头后流速重新分布,在毛管上部形成高速区,最大流速处于管轴线上方,经一段距离后流速逐渐恢复成对称分布状态。存在相邻滴头时,滴头之间水流流速始终未恢复至对称分布状态,最大流速始终处于管轴线上方。

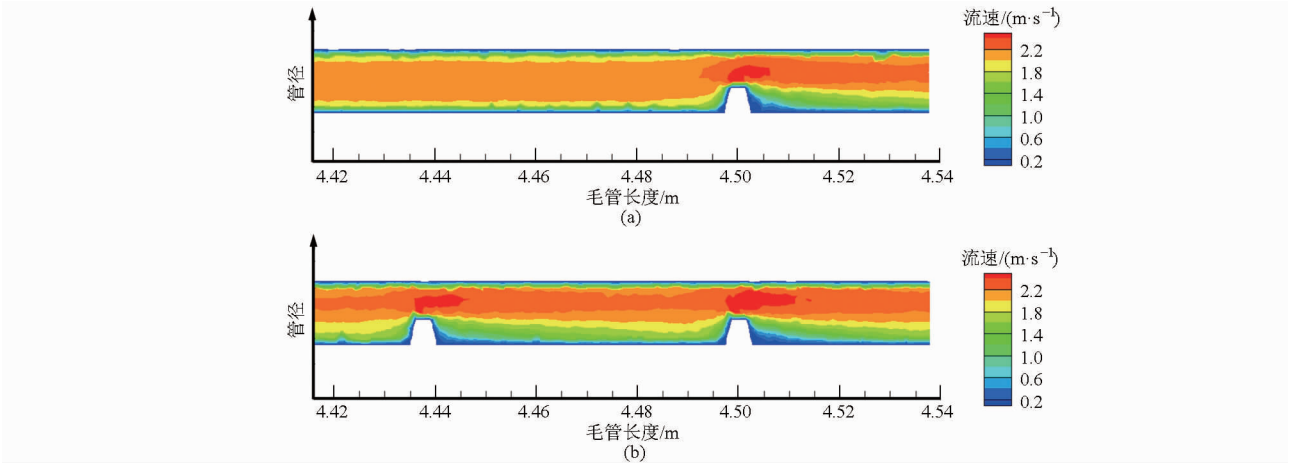


图 6 毛管水流流速分布
Fig. 6 Velocity distribution in trickle laterals
(a) 独立滴头 (b) 相邻滴头

2.3 相邻影响系数影响因素分析

为分析雷诺数及滴头间距对滴头局部阻力相邻影响系数影响显著性水平,将 2 种毛管局阻相邻影响系数对各影响因素进行方差分析。以 $P = 0.05$ 作为显著性检验标准,表 3 列出了方差分析结果。

从表 3 中可看出 2 种毛管中滴头间距对应的 P 值均小于 0.01,表明滴头间距对相邻影响系数影响非常显著。雷诺数对应的 P 值均大于 0.05,表明雷诺数对相邻影响系数的影响较小。方差分析结果表明局部阻力相邻影响系数主要受滴头间距的影响,

表 3 影响因素方差分析

Tab. 3 Variance analysis of influence factor			
毛管编号	影响因素	F	P
$\phi 16$	Re	2.775	0.109
$\phi 20$	Re	0.617	0.440
$\phi 16$	s	19.171	<0.001
$\phi 20$	s	95.450	<0.001

注: F 为统计量; P 为显著性检验指标。

雷诺数对其影响可忽略不计。现取同一间距下各雷诺数对应的相邻影响系数均值作为此间距下的相邻影响系数,研究不同滴头间距下相邻影响系数的变

化规律。图 7 为 2 种滴灌管局部阻力相邻影响系数随滴头间距的变化关系。

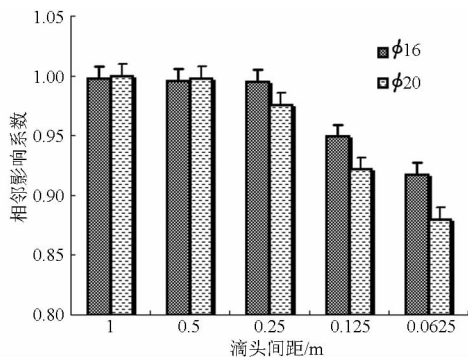


图 7 滴头相邻影响系数随滴头间距的变化

Fig. 7 Relationship between local loss interactive coefficient of emitters and emitter spacing

从图 7 中可看出 2 种滴灌管相邻影响系数 C 均随滴头间距的减小先基本不变后逐渐减小。对于 $\phi 16$ 滴灌管,当滴头间距大于 0.5 m 时 C 取值约为 1 且基本保持不变,当滴头间距小于 0.5 m 时 C 随滴头间距的减小而减小,其最小值为 0.923。对于 $\phi 20$ 滴灌管,当滴头间距大于 0.5 m 时 C 基本处于 1 附近,当滴头间距小于 0.5 m 时 C 随滴头间距的减小而减小,其最小值为 0.904,且 C 值减小速率要快于 $\phi 16$ 滴灌管。相同间距下管径较大时滴头相邻影响更大,这主要是由于在较小尺寸毛管中滴头引起的扰动受管壁的抑制作用更强,水流扰动影响范围减小,相邻滴头间水流扰动的相互抑制作用减弱,导致管径较小时滴头局部阻力相邻影响较管径较大时更小,相邻影响系数较管径较大时更大。将上述结果进行回归分析得到滴头局部阻力相邻影响系数与滴头间距的关系

$$C = 1.01s^{0.031} \quad (6)$$

式(6)的相关系数 $R^2 = 0.82$,滴头间距 s 的取值范围为 $[0.063 \text{ m}, 0.5 \text{ m}]$ 。上述结果表明,针对所研究滴灌管,在滴头间距大于 0.5 m 时滴头局部阻力相邻影响很微弱,通常可忽略不计;当滴头间距小于 0.5 m 时,滴头间相邻影响已较明显,计算局部水头损失时要考虑滴头间相邻影响,若忽略其影响,可使滴头局部水头损失计算结果偏大。针对所研究滴灌管,滴头局部阻力相邻影响系数取值范围约为 0.9 ~ 1.0,具体取值可通过式(6)对其进行估算。

3 讨论

通过 CFD 模拟结果观察滴头附近水流扰动形态及其发展趋势,结合能量转换规律,分析了滴头相邻影响系数分别与滴头前后扰动范围、流速分布和扰动强度的关系,现对其分别讨论。

因素 1:下游滴头会抑制上游滴头尾部扰动区域的发展,减小能量损失。水流在流经滴头时,在滴头阻挡下出现扰动,滴头首部扰动影响范围较小,主要出现在滴头迎面和滴头顶部之间位置,水流绕过滴头后脱离圆柱体并以涡团形式向后运动形成尾部扰动区,扰动区水流剧烈混搅并消耗大量水流能量。当滴头间距较小时,上游滴头形成的尾部扰动区来不及充分发展,便进入下游滴头迎面扰动区,上游滴头尾部扰动区及下游滴头迎面扰动区均没有充分发展,扰动区域的抑制会减小水流能量损失。因此,滴头间距较小时,滴头局部水头损失下降,相邻影响系数减小。文献[18]研究表明,管道局部水头损失主要来自尾部涡流的能量消耗。故滴头附近水流扰动范围的抑制是滴头局部阻力相邻影响产生的主要原因。

因素 2:流经上游滴头的水流流速未完成重新分布便通过下游滴头,减少了能量损失。滴头独立时,水流在未遇到滴头前流速均匀分布,流经滴头后原状态被打乱,经一段距离后逐步恢复均匀分布状态。近代紊流测量结果表明流速的调整变化需消耗水流能量^[21],滴头间距较小时,水流流经滴头流速改变后,未完成再分布即进入下游滴头流速调整区,减少了能量损失,导致滴头水头损失下降,相邻影响系数减小。

因素 3:滴头迎面水流紊动强度增强使滴头形状阻力增大。部分研究表明^[18]管道中圆柱体迎面水流初始紊动强度会影响圆柱体的形状阻力,圆柱体形状阻力与迎面水流稳定强度成正相关。滴头间距较小时,受上游滴头尾部涡流的影响,下游滴头的迎面水流紊动强度越大,而滴头迎面水流紊动强度增强会增大滴头形状阻力,导致滴头局部阻力增大。

3 个因素共同作用导致滴头局部阻力产生相邻影响。在滴头间距大于 0.5 m 时,3 个因素对滴头局部阻力影响均很小,滴头阻力间相邻影响可忽略不计。当滴头间距小于 0.5 m 时,滴头局部阻力相邻影响主要来自滴头间扰动范围的抑制作用。与因素 1 相比,因素 2 和因素 3 对滴头局部阻力相邻影响作用较小,表现为滴头局部阻力相邻影响系数减小。赵懿珩等^[15]研究了两弯管局部阻力相邻影响随间距的减小出现了先减后增的规律,导致两弯管相邻影响增大的原因在于弯管出口出现最大挤压断面,间距减小会增大两挤压断面水流动能,水流动能的增大会增加弯管水头损失,而此时弯管间水流扰动范围的抑制作用相对较弱。文献[18]研究了圆管内 0.04 ~ 0.4 m 5 种间距的圆柱体相邻影响规律,圆柱体位于管道中轴线一侧,得到 5 种间距时的

相邻影响系数为 0.79 ~ 0.97, 因其间距较本文滴头间距小, 故所得相邻影响系数较小, 但其变化趋势与本文结果基本一致。当雷诺数增大时, 滴头相邻影响系数随雷诺数的增大而略微减小。这主要是由于雷诺数增大时, 滴头尾部涡流区扰动强度及扰动范围相应增大, 下游滴头对上游滴头尾部扰动区的抑制作用增强, 使得局部阻力相邻影响系数略微减小。

在滴灌设计中, 并非所有布置方式下的滴头局部阻力计算方法都无差别, 在部分工况下存在滴头局部阻力的相互影响。当滴头间距小于某一临界值时, 滴头局部阻力产生相邻影响, 此时滴头局部阻力不同于滴头独立时的局部阻力, 应根据所选滴头的插头尺寸和毛管管径, 确定发生相邻影响时的滴头间距临界值, 并采用不同的方法分别对各间距范围内的局部阻力进行计算。针对所研究滴灌管, 当滴头间距大于 0.5 m 时滴头阻力间相邻影响可忽略不计, 在滴头间距小于 0.5 m 时出现滴头间的相互影响, 并得出了相邻影响系数的估算表达式。由于本文采用易于实现的方法, 选用一种市场上常见的 $\phi 4$ 接头集成于 $\phi 16$ 和 $\phi 20$ 毛管作为研究对象, 所得结论并不能代表所有的滴灌管类型。因不同的接头尺寸会产生不同的扰动范围, 而滴头局部阻力相邻影响主要与接头引起的水流扰动范围有关, 当接头尺寸更大或插入深度更深时, 毛管水流扰动范围增大, 发生相邻影响的滴头间距临界值要大于 0.5 m, 此时多数工况下要考虑滴头局部阻力间的相邻影响。

若忽略此影响, 将使管网水头损失计算结果大于实际值, 导致滴灌设计时的投资成本增大。考虑市场上滴头类型的多样性及形状的复杂性, 受试验条件和试验周期限制无法对每个滴头进行研究。故本文只选取一种代表性的滴头, 发现在某一间距范围内确实存在滴头局部阻力的相邻影响。通过对比相邻滴头与独立滴头速度场与湍动场的差异, 分析了局部阻力相邻影响产生的原因, 研究结果也可在一定程度上反映滴头局部阻力相邻影响的变化规律和发生机理。

4 结论

(1) 模拟与试验相比, 滴头局部阻力相邻影响系数模拟结果与试验结果变化规律基本一致。CFD 数值模拟可呈现滴头附近水流扰动状态, 揭示滴头局阻相邻影响发生机理。

(2) 滴头局部阻力相邻影响系数主要受滴头间距影响, 雷诺数对其影响可忽略不计。2 种滴灌管相邻影响系数均随滴头间距的减小而减小。水流扰动范围和流速分布的变化是滴头局部阻力相邻影响产生的主要原因。

(3) 针对所选滴灌管在滴灌设计时, 当滴头间距大于 0.5 m 时, 滴头局部阻力相邻影响可忽略不计, 滴头间距小于 0.5 m 时, 滴头局部阻力相邻影响系数取值范围为 0.9 ~ 1.0, 可通过拟合表达式估算滴头局部阻力相邻影响系数。

参 考 文 献

- Neto O R, Miranda J H, Frizzone J A, et al. Local head loss of non-coaxial emitters inserted in polyethylene pipe[J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(3): 729 - 738.
- Gurol Y. Total energy loss assessment for trickle lateral lines equipped with integrated in-line and on-line emitters[J]. Irrigation Science, 2010, 28(4): 341 - 352.
- Valiantzas J D. Modified Hazen - Williams and Darcy - Weisbach equations for friction and local head losses along irrigation laterals[J]. 2005, 131(4): 342 - 350.
- Danieli B Z, Jose A F, Osvaldo R N. Dimensional analysis approach to estimate local head losses in microirrigation connectors [J]. Irrigation Science, 2014, 32(3): 169 - 179.
- Provenzano G, Pumo D. Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2004, 130(4): 318 - 324.
- Provenzano G, Pumo D, Pietro D D. Simplified procedure to evaluate head losses in drip irrigation laterals[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2005, 131(6): 525 - 532.
- Bagarello V, Ferro V, Provenzano G, et al. Evaluating pressure losses in drip-irrigation lines[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1997, 123(1): 1 - 7.
- Guillermo P S, Luis H S, Pablo G A, et al. Real local losses estimation for on-line emitters using empirical and numerical procedures[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2006, 132(6): 522 - 530.
- 王亚林, 朱德兰, 张林. 基于量纲分析的内镶圆柱式毛管局部水头损失研究[J]. 水利学报, 2015, 46(5): 602 - 611. Wang Yalin, Zhu Delan, Zhang Lin. Dimensional analysis for estimating the local head losses in trickle laterals equipped with integrated in-line emitters[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(5): 602 - 611. (in Chinese)
- 仇振杰, 朱德兰, 张林. 滴头插入对滴灌毛管水头损失影响试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2013, 31(3): 265 - 269. Chou Zhenjie, Zhu Delan, Zhang Lin. Experimental study on effect of on line emitter on head loss in drip irrigation laterals [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2013, 31(3): 265 - 269. (in Chinese)

11 Provenzano G, Pietro D D, Guillermo P S. New computational fluid dynamic procedure to estimate friction and local losses in coextruded drip laterals[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2007,133(6):520 – 527.

12 石喜,吕宏兴,朱德兰,等. PVC 三通管水流阻力与流动特征分析[J].农业机械学报,2013,44(1):73 – 79.
Shi Xi, Lü Hongxing, Zhu Delan, et al. Flow resistance and characteristics of PVC tee pipes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(1):73 – 79. (in Chinese)

13 白兆亮,李琳. 有压输水管道孔板局部阻力相邻影响试验[J].水利水电科技进展,2015,35(2):28 – 31.
Bai Zhaoliang, Li Lin. Test on local resistance adjacent influence of pressure water pipe[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2015,35(2):28 – 31. (in Chinese)

14 贺益英,赵懿珺,孙淑卿,等. 弯管局部阻力系数的试验研究[J].水利学报,2003,34(11):54 – 58.
He Yiyong, Zhao Yijun, Sun Shuqing, et al. Experimental study on local loss coefficient of bend in pipeline[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2003,34(11):54 – 58. (in Chinese)

15 赵懿珺,贺益英. 直角 Z 形组合双弯管流动特性的研究[J].水利学报,2006,37(7):778 – 783.
Zhao Yijun, He Yiyong. Hydraulic characteristics of Z-type pipe combination with two similar rectangular bends[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2006,37(7):778 – 783. (in Chinese)

16 陈晓,赵懿珺,贺益英,等. 90°弯管 Z 形组合局部阻力特性研究[J].人民黄河,2015,37(5):107 – 111.
Chen Xiao, Zhao Yijun, He Yiyong, et al. Numerical simulation investigation of local resistance characteristics of Z-type combination with two 90° bends[J]. Yellow River,2015,37(5):107 – 111. (in Chinese)

17 庄茜,李绍武,祁泽鹏. 基于有限体积法的群桩绕流数值模拟[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2015,48(5):447 – 454.
Zhuang Qian, Li Shaowu, Qi Zepeng. Numerical simulation for flow around pile group based on FVM[J]. Journal of Tianjin University:Science and Technology,2015,48(5):447 – 454. (in Chinese)

18 华绍曾,杨学宁,编译. 实用流体阻力手册[M].北京:国防工业出版社,1985.

19 韩文霆,Nguyen Van Lanh,徐琳. 摇臂式喷头内流道流场数值模拟[J].农业机械学报,2011,42(8):58 – 64.
Han Wenting, Nguyen Van Lanh, Xu Lin. Investigations on internal flow characteristics of impact sprinkler based on numerical simulation method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(8):58 – 64. (in Chinese)

20 贺益英,赵懿珺,孙淑卿,等. 输水管线中弯管局部阻力的相邻影响[J].水利学报,2004,35(2):17 – 20.
He Yiyong, Zhao Yijun, Sun Shuqing, et al. Interaction of local between bends in pipe line [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2004,35(2):17 – 20. (in Chinese)

21 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.



(上接第 186 页)

26 Mooney S J, Morris C. Morphological approach to understanding preferential flow using image analysis with dye tracers and X-ray computed tomography[J]. Catena, 2008, 73(2): 204 – 211.

27 陈晓冰,张洪江,程金花,等. 基于染色图像变异性分析的优先流程度定量评价[J].农业机械学报,2015,46(5):93 – 100.
Chen Xiaobing, Zhang Hongjiang, Cheng Jinhua, et al. Quantitative evaluation of preferential flow development degree based on dyed image variability analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 93 – 100. (in Chinese)

28 Katuwal S, Norgaard T, Moldrup P, et al. Linking air and water transport in intact soils to macropore characteristics inferred from X-ray computed tomography[J]. Geoderma, 2015, 237 – 238: 9 – 20.

29 Tobella A B, Reese H, Almaw A, et al. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso[J]. Water Resources Research, 2014, 50(4): 3342 – 3354.

30 Ghestem M, Sidle R C, Stokes A. The influence of plant root systems on subsurface flow: implications for slope stability[J]. Bioscience, 2011, 61(11): 869 – 879.

31 Pagenkemper S K, Athmann M, Uteau D, et al. The effect of earthworm activity on soil bioporosity-investigated with X-ray computed tomography and endoscopy[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 146(A): 79 – 88.

32 冯杰,郝振纯. CT 扫描确定土壤大孔隙分布[J].水科学进展,2002,13(5):611 – 617.
Feng Jie, Hao Zhenchun. Distribution of soil macropores characterized using computed tomography[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(5): 611 – 617. (in Chinese)