

阻尼喷头动能分布试验及模型

刘俊萍，鲍亚，张前，袁寿其，刘兴发

(1. 江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013; 2. 江苏大学国家水泵及系统工程研究中心, 镇江 212013)

摘要: 针对阻尼喷头外流场水力学特性研究较少的问题, 该文研究了单位体积动能、动能强度与有无散水齿、不同喷嘴直径之间的关系。在工作压力分别为 175、200、250 和 300 kPa, 喷嘴直径分别为 3.6、4.0、4.4 和 4.8 mm 下, 采用激光雨滴谱仪对 Nelson R33 阻尼喷头的水滴直径、速度和数目等参数进行试验测试, 并对试验结果分析及模型建立。结果表明: 有无散水齿条件下的单位体积动能均有逐渐增大的趋势; 距喷头相同测点处, 单位体积动能随喷嘴直径的增大而减小; 给出了有无散水齿下不同喷嘴阻尼喷头单位体积水滴动能分布模型, 相关系数均在 0.94 以上; 在距喷头 0~4 m, 不同喷嘴直径的动能强度较小且差值不超过 0.002 W/m^2 , 在距喷头较远处, 不同喷嘴直径的动能强度差值较大, 最大差值达到 0.006 W/m^2 。有散水齿时, 动能强度在不同压力下波动均比较小, 差值不超过 5%。该结果为进一步研究阻尼喷头外流场水力学特性提供理论依据。

关键词: 喷头; 机械化; 模型; 阻尼喷头; 散水齿; 喷嘴直径; 单位体积动能; 动能强度

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.11.010

中图分类号: S277.9⁺⁴

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-11-0070-06

刘俊萍, 鲍亚, 张前, 袁寿其, 刘兴发. 阻尼喷头动能分布试验及模型[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 70—75.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.11.010 http://www.tcsae.org

Liu Junping, Bao Ya, Zhang Qian, Yuan Shouqi, Liu Xingfa. Experiment and model of kinetic energy distribution of damping sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(11): 70—75.
(in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.11.010 http://www.tcsae.org

0 引言

水滴打击强度是指单位受水面积内, 水滴对受力物体的打击动能, 是衡量喷灌系统优劣的重要指标之一^[1-3], 主要影响因素有: 水滴密度和水滴降落动量等^[4-6]。实践表明水滴打击强度对农作物生长及水土保持的研究具有重要的价值。水滴过大, 对作物冲击力较大, 容易使土壤板结, 水分对土壤的渗透率降低, 从而形成径流及冲蚀土壤。水滴过小, 使水滴在空中飞行时间过长, 从而造成消耗能量过多且蒸发损失严重的结果^[7]。

国内外学者对此做了大量研究, Thompson 等^[8]通过研究土壤表面结构的破坏程度与水滴落地动能之间的关系, 发现土壤入渗能力受喷灌强度、单位体积动能和动能强度等因素影响, 同时从水滴动能角度提出土壤保护的方法。Yan 等^[9]对折射式喷头外流场动能强度进行研究, 结果表明动能强度过大可造成土壤结皮, 也可使地表产生径流。Kincaid 等^[10]通过测量水滴直径和水滴速度等数据, 计算了不同类型喷头的动能强度, 发明了不同类型喷头的动能强度的在不同工况下的简便计算方法。巩兴晖等^[11]使用三维视频雨滴谱仪测量出 Nelson R3000

型旋转折射式喷头外流场的水滴直径和水滴速度, 建立了单个水滴动能、单位体积动能和动能强度与水滴直径函数关系。朱兴业等^[12]以全射流喷头为研究对象, 建立单位体积动能与压力数学模型, 同时建立单个水滴动能、单位体积动能、动能强度与水滴直径, 水滴速度之间的函数关系, 最后提出动能强度均匀性系数与组合间距之间有密切联系。李久生等^[13]研究方形和圆形喷嘴对喷洒水滴动能的影响, 结果表明压力一定的条件下, 圆形喷嘴形成的水滴所具有的动能高于同流量的方形喷嘴; 水滴总动能一定时, 相比于圆形喷嘴, 方形喷嘴可在更低的压力下工作, 具有较好的节能效果。

与传统喷头如摇臂式喷头相比, 阻尼喷头具有较好的均匀性、较低喷灌强度, 能广泛应用于果树苗木等经济作物、蔬菜花果等灌溉, 因此阻尼喷头越来越多地应用于实际工程中^[14]。本文以 Nelson R33 型阻尼喷头为研究对象, 采用激光雨滴谱仪测试有无散水齿和不同喷嘴直径条件下距喷头不同位置处的水滴直径与速度分布, 探讨单位体积动能、动能强度与有无散水齿、不同喷嘴直径之间的关系, 建立单位体积动能、动能强度分布模型, 为进一步研究阻尼喷头外流场水力学特性提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验在江苏大学流体机械工程技术研究中心的室内喷灌试验厅进行。该试验厅(直径 44 m, 高 18 m)为室内喷灌大厅, 能够满足试验在无风条件下进行的要求。

收稿日期: 2016-01-25 修订日期: 2016-04-09

基金项目: 国家自然科学基金(51309117); 江苏省农业科技自主创新资金(CX(14)2100); 江苏大学青年骨干教师培养工程和江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)。

作者简介: 刘俊萍, 女, 辽宁海城人, 副研究员, 硕士生导师。主要从事流体机械及排灌机械研究。镇江 江苏大学流体机械工程技术研究中心, 212013。Email: liujunping401@163.com

试验选用喷嘴直径分别为 3.6、4.0、4.4 和 4.8 mm 的 Nelson R33 阻尼喷头, 图 1 为阻尼喷头样机, 喷头参数如表 1 所示。喷头安装在距地面高度为 1.8 m 的垂直固定竖管上。喷头压力由精度等级为 0.4 的精密压力表读出, 试验选取的压力分别为 175、200、250 和 300 kPa。点喷灌强度测量采用射线法, 将直径为 20 mm、高度为 0.6 m 的雨量筒按照径向布置, 相邻雨量筒间隔为 1 m。水滴直径、水滴速度及相应水滴数目由德国 ThiesClima 公司的激光雨滴谱仪 (laser precipitation monitor, LPM) 测得, 激光雨滴谱仪由激光光学发射源产生一组平行光束, 位于接收端的光电二极管测量光强并转换成电信号^[15]。每间隔 1 min 连续观测水滴, 并输出水滴大小范围、降落速度范围及相对应的粒子数目的试验数据。测量粒径范围 0.16~8.0 mm; 粒子速度范围 0.2~20.0 m/s。为了减少测量试验误差, 采用正态分布“3δ 法则”进行处理^[16]。在喷头稳定运转后将 LPM 沿喷头射流方向径向布置, 测试点从距离喷嘴 1 m 处到水滴洒落的射程范围内, 以 1 m 间距测定各个位置上的水滴直径与速度。

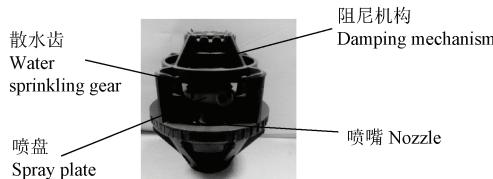


图 1 阻尼喷头样机
Fig.1 Prototype of damping sprinkler

表 1 Nelson R33 阻尼喷头性能参数表

Table 1 Performance parameter of Nelson R33 damping sprinkler

喷嘴直径 Nozzle diameter D/mm	不同压力下射程 The range under different pressure/m			
	175 kPa	200 kPa	250 kPa	300 kPa
3.6	12.0	12.5	13.2	14.3
4.0	12.3	12.9	13.3	14.2
4.4	12.9	13.2	13.3	14.2
4.8	13	13.6	14.5	15

1.2 计算方法

1.2.1 单位体积动能计算方法

通过 LPM 测得不同测点处的水滴直径及速度, 可计

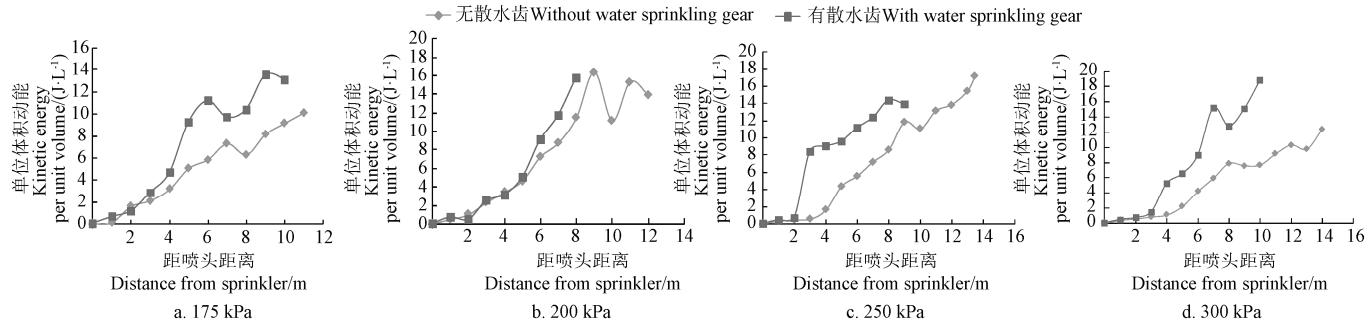


图 2 喷嘴直径为 3.6 mm 的喷头有无散水齿条件下单位体积动能分布

Fig.2 Kinetic energy per unit volume in different distances from sprinkler of nozzle diameter 3.6 mm of sprinkler with or without water sprinkling gear

从图 2 中可以看出, 有无散水齿条件下单位体积动能随着距喷头距离增加而均呈逐渐增大的趋势。在距喷

头距离为 0~3 m 时, 水滴单位体积动能差值较小。随着距喷头距离增加, 有散水齿条件下的单位体积动能高

$$E_{sd} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{1}{12} \pi \rho d_j^3 V_{d_j}^2}{1000 \sum_{j=1}^m \frac{1}{6} \pi W d_j^3} \quad (1)$$

式中 E_{sd} 为单位体积动能, J/L ; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; d_j 为水滴直径, mm ; V_{d_j} 为直径为 d_j 的水滴速度, m/s ; W 为 V_{d_j} 对应的粒子数; i 为直径为 d 的水滴速度级名; n 为 LPM 测量的粒子速度级数; m 为 LPM 测量的粒子直径级数; j 为水滴直径级。

1.2.2 动能强度计算方法

动能强度表示的是单位时间测点喷洒区域内的动能大小^[18]。取决于喷洒水滴直径大小、粒径速度以及喷灌强度, 动能强度是评价喷头喷洒效果、预测地表径流的重要参数, 其计算公式为^[12,19-24]

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m E_{sd,j}}{1000 \sum_{j=1}^m \frac{1}{6} \pi d_j^3} \times \frac{h_j}{3600} \quad (2)$$

式中 K 为至喷头距离 j 处的喷洒动能强度, W/m^2 ; $E_{sd,j}$ 为至喷头不同距离处的单位体积动能, J/L ; h_j 为至喷头不同距离处的喷灌强度, mm/h 。

2 结果与分析

2.1 单位体积动能

2.1.1 有无散水齿对单位体积动能的影响

Nelson R33 阻尼喷头中喷嘴直径 3.6 mm 的喷头在实际使用中应用较多的尺寸, 具有代表性。因此本文分析有无散水齿对单位体积动能的影响规律时, 以喷嘴直径 3.6 mm 为例进行分析。

图 2 为喷嘴直径 3.6 mm 的喷头有无散水齿条件下单位体积动能径向分布。

头距离为 0~3 m 时, 水滴单位体积动能差值较小。随着距喷头距离增加, 有散水齿条件下的单位体积动能高

无散水齿条件, 有无散水齿条件下的单位体积动能变化幅度增大。以 300 kPa 工作压力为例, 距喷头 1、5 和 9 m 处, 无散水齿时单位体积动能为分别为 0.37、2.18 和 7.58 J/L, 有散水齿时单位体积动能为分别为 0.45、4.50 和 15.11 J/L, 有无散水齿条件下的单位体积水滴动能大小差值分别为 0.07、2.32 和 7.53, 分别增加了 19%, 106%, 和 100%。这说明距喷头距离相同时, 散水齿可提高单位体积水滴动能; 距喷头距离相同时, 在近喷头处, 有无散水齿条件下单位体积动能差值均较小, 沿着径向距离增加, 单位体积动能差值有逐渐增大的趋势。

为了研究有无散水齿条件下阻尼喷头的单位体积动能径向分布规律, 建立单位体积动能与距喷头距离分布的数学模型。采用如下公式

$$E_{sd} = k_2 + \frac{k_1 - k_2}{1 + e^{\frac{r - k_3}{k_4}}} \quad (3)$$

式中 E_{sd} 为单位体积动能, J/L; r 为距喷头距离, m; k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 为拟合系数。

有无散水齿条件下喷嘴直径为 3.6 mm 的喷头的单位动能分布拟合相关系数均在 0.94 以上, 说明公式(3)能充分表达出阻尼喷头的单位体积动能径向分布规律。

为了研究有无散水齿条件下不同压力阻尼喷头的单位体积动能径向分布规律, 建立阻尼喷头单位体积动能、距喷头距离与工作压力关系的数学模型, 采用如下公式

$$E_{sd} = Z_0 + Be^{-\frac{C-r}{D}} + Ce^{-\frac{F-P}{G}} + He^{-\frac{C-r}{D} - \frac{F-P}{G}} \quad (4)$$

式中 E_{sd} 为单位体积动能, J/L; r 为距喷头距离, m; P , 喷头工作压力, kPa; Z_0 , B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 、 H 为拟合系数。

采用公式(4)对表 2 中的数据建立相应的模型, 分别得到有无散水齿条件下的公式, 如下

无散水齿

$$E_{sd} = 1.1 - e^{-\frac{5.7-r}{3.0}} - 14.7e^{-\frac{1.6-P}{7.5}} - 3.0e^{-\frac{5.7-r}{3.0} - \frac{1.6-P}{7.5}} \quad (R^2=0.901) \quad (5)$$

有散水齿

$$E_{sd} = -0.4 + 16.9e^{-\frac{4.4-1000-P}{28}} + 0.4e^{-\frac{2.5-P}{0.2}} + 2.0e^{-\frac{4.4-1000-P}{28} - \frac{2.5-P}{0.2}} \quad (R^2=0.913) \quad (6)$$

式中 E_{sd} 为单位体积动能, J/L; P 为喷头工作压力, kPa; r 为距喷头距离, m。

表 2 有无散水齿时喷嘴直径为 3.6 mm 的喷头的单位体积动能分布拟合系数表

Table 2 Fitting coefficient of kinetic energy unit volume of nozzle diameter 3.6 mm of sprinkler without or with water sprinkling gear

喷头是否带有 散水齿 Sprinkler with or without water sprinkling gear	工作压力 Work pressure P/kPa	单位体积动能分布拟合系数 Fitting coefficient of kinetic energy per unit volume				R^2
		k_1	k_2	k_3	k_4	
无散水齿 Without water sprinkling gear	175	-5.923	14.011	4.557	4.823	0.977
	200	0.202	14.766	6.093	1.440	0.947
	250	-1.030	15.991	7.191	2.261	0.987
有散水齿 With or without water sprinkling gear	300	-0.923	11.781	7.124	2.451	0.988
	175	-0.155	12.320	4.220	1.044	0.961
	200	-0.322	25.905	7.203	1.746	0.994
	250	-2.950	13.921	2.884	1.502	0.941
	300	-0.461	18.769	5.963	1.536	0.954

2.1.2 喷嘴直径对单位体积动能的影响

对于 Nelson R33 阻尼喷头, 喷灌系统中常规压力范围为 175~300 kPa, 在 300 kPa 下系统性能较优, 因此本文在分析喷嘴直径对单位体积动能的影响时, 以 300 kPa 为例进行分析。

图 3 为 300 kPa 下喷头不同喷嘴直径单位体积动能径向分布。

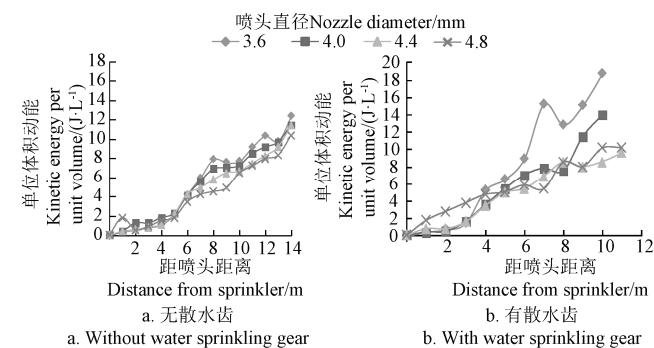


图 3 300 kPa 下喷头不同喷嘴直径单位体积动能径向分布

Fig.3 Kinetic energy per unit volume radial distribution of different nozzle diameters with or without water sprinkling gear under 300 kPa

从图 3 中可以看出, 喷头的喷嘴直径对单位体积动能的径向分布均有较大影响, 不同喷嘴直径的喷头单位体积动能随距喷头距离的增加而增加。

图 4 为 300 kPa 距喷头相同距离时有无散水齿下不同喷嘴直径单位体积动能径向分布。

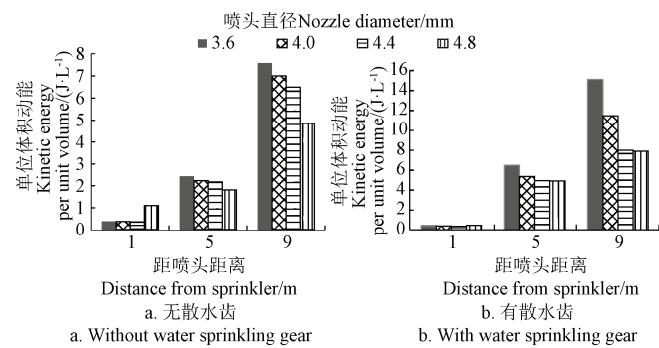


图 4 300 kPa 距喷头相同距离时有无散水齿下不同喷嘴直径单位体积动能径向分布

Fig.4 Kinetic energy per unit volume radial distribution of same distances of different nozzle diameters with or without water sprinkling gear under 300 kPa

图 4a 中, 以距喷头为 1、5 和 9 m 处为例, 1 m 处, 直径分别为 4.0、4.4 和 4.8 mm 喷嘴的喷头相对于直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头的单位体积动能分别减少 0.01、0.20 和 -0.70 J/L; 5 m 处, 直径分别为 4.0、4.4 和 4.8 mm 喷嘴的喷头相对于直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头的单位体积动能分别减少 0.20、0.25 和 0.63 J/L; 9 m 处, 直径分别为 4.0、4.4 和 4.8 mm 喷嘴的喷头相对于直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头的单位体积动能分别减少 0.60、1.10 和 2.73 J/L, 这说明远喷头处, 距喷头相同距离时, 单位体积动能随喷嘴直径的增加而减小。图 4b 中, 以距喷头为 1、5 和 9 m

处为例, 1 m 处, 直径分别为 4.0、4.4 和 4.8 mm 喷嘴的喷头相对于直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头的单位体积动能分别减少 0.06、0.07 和 -0.11 J/L, 5 m 处, 直径分别为 4.0、4.4 和 4.8 mm 喷嘴的喷头相对于直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头的单位体积动能分别减少 1.14、1.56 和 1.58 J/L; 9 m 处, 直径分别为 4.0、4.4 和 4.8 mm 喷嘴的喷头相对于直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头的单位体积动能分别减少 3.62、7.11 和 7.21 J/L, 这说明相比于无散水齿, 有散水齿时不同喷嘴直径的单位体积水滴动能在距喷头相同距离时, 单位体积水滴动能差值更大, 即有散水齿时喷嘴直径对单位体积水滴动能影响更大。

对阻尼喷头不同喷嘴直径下单位体积动能径向分布规律建立数学模型, 采用公式(3)。

由表 3 可看出有无散水齿条件下单位体积动能分布的拟合相关系数在 0.94 以上, 说明公式(3)也能充分表达出阻尼喷头有无散水齿条件下各个喷嘴直径下单位体积动能分布规律。

同时建立阻尼喷头单位体积水滴动能、距喷头距离与喷嘴直径关系的数学模型。采用公式(4)对表 3 中的数据建立相应的模型, 分别得到有无散水齿条件下的公式, 如下:

无散水齿

$$E_{sd} = -8.2 + 560.9e^{-\frac{79.01r}{54.5}} + 0.8e^{-\frac{4.0D}{0.2}} - 9895.6e^{-\frac{79.01r}{54.5} - \frac{4.0D}{0.2}} \quad (R^2=0.952) \quad (7)$$

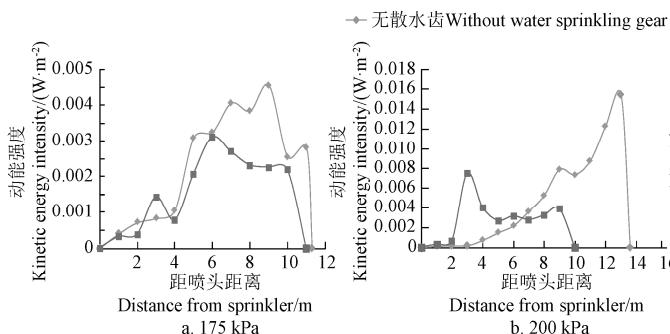


图 5 直径 3.6 mm 喷嘴的喷头有无散水齿时径向动能强度分布

Fig.5 Kinetic energy intensity radial distribution of sprinkler with or without water sprinkling gear with nozzle diameter 3.6 mm

从图 5 中可以看出, 有散水齿时, 动能强度随距喷头距离增大而逐渐增大; 无散水齿时, 随距喷头距离增大, 动能强度先增大后减小再增大, 最后迅速将为 0。有无散水齿条件下, 在测量点 0~2 m 范围内, 动能强度均较小且相差很小, 2 m 后, 动能强度相差逐渐变大。以 300 kPa 工作压力下为例, 无散水齿时, 最大动能强度分布在 14 m 处, 有散水齿时, 最大动能强度分布在 10 m 处。说明散水齿可使动能强度提前达到最大值。相比无散水齿, 有散水齿时, 动能强度在不同压力下波动均比较小。总体来看, 阻尼喷头在有无散水齿条件下动能强度均较小且波动不大, 差值不超过 5%。

2.2.2 喷嘴直径大小对动能强度的影响

图 6 为 300 kPa 不同喷嘴的喷头径向动能强度分布。

有散水齿

$$E_{sd} = -1.1 + 11.7e^{-\frac{5.91r}{3.9}} - 2.4e^{-\frac{4.0D}{0.01}} - 9895.6e^{-\frac{5.91r}{3.9} - \frac{4.0D}{0.01}} \quad (R^2=0.946) \quad (8)$$

式中 E_{sd} 为单位体积动能, J/L; D 为喷头的喷嘴直径, mm; r 为距喷头距离, m。

表 3 无散水齿时 300 kPa 下单位水滴动能分布拟合系数表

Table 3 Fitting coefficient of kinetic energy per unit volume without or with water sprinkling gear under 300 kPa

喷头是否带有 散水齿 Sprinkler with or without water sprinkling gear	喷嘴直径 Nozzle diameter D/mm	单位体积动能分布 拟合系数				R^2
		k_1	k_2	k_3	k_4	
无散水齿 Without water sprinkling gear	3.6	-1.357	12.016	7.03564	2.640	0.965
	4.0	-2.237	13.334	7.609	3.967	0.978
	4.4	-19.866	224.109	65.659	26.582	0.974
	4.8	-0.511	15.553	58.928	6.264	0.963
有散水齿 With or without water sprinkling gear	3.6	-0.573	18.867	5.961	1.566	0.948
	4.0	-9.355	255.370	56.919	10.130	0.966
	4.4	-0.512	9.485	5.011	1.797	0.983
	4.8	-14.328	893.642	95.313	23.596	0.952

2.2 动能强度

2.2.1 散水齿对动能强度的影响

图 5 为直径 3.6 mm 喷嘴的喷头有无散水齿时径向动能强度分布。

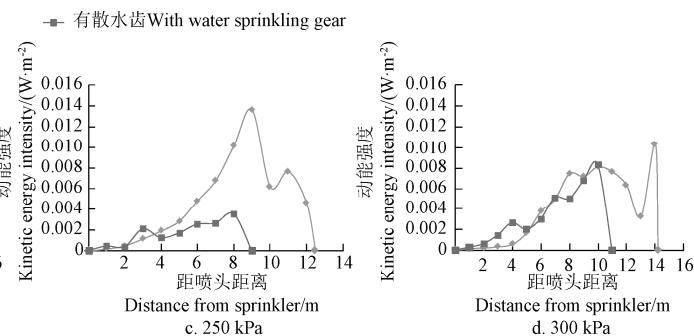


图 5 直径 3.6 mm 喷嘴的喷头有无散水齿时径向动能强度分布

Fig.5 Kinetic energy intensity radial distribution of sprinkler with or without water sprinkling gear with nozzle diameter 3.6 mm

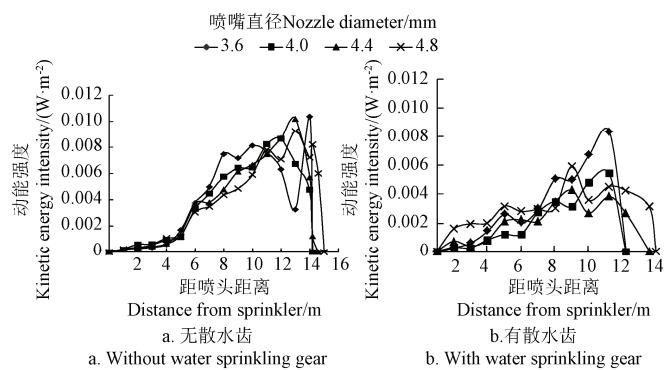


图 6 300 kPa 不同喷嘴的喷头径向动能强度分布

Fig.6 Kinetic energy intensity radial distribution of different nozzle diameters under 300 kPa

从图 6 可以看出, 不同喷嘴直径下, 随距喷头距离增大, 动能强度表现出逐渐增加后将为 0 的趋势。在距喷头 0~4 m, 不同喷嘴直径的动能强度较小且差值不超过 0.002 W/m^2 , 在距喷头较远处, 不同喷嘴直径的动能强度值相差较大, 最大差值达到 0.006 W/m^2 。图 6a 中, 以 1、5 和 9 m 为例, 直径为 3.6 mm 喷嘴的喷头动能强度分别为 0.0002 、 0.0017 和 0.0071 W/m^2 , 直径为 4.0 mm 喷嘴的喷头动能强度分别为 0.0002 、 0.0012 和 0.0064 W/m^2 , 相对于 3.6 mm 喷嘴的喷头分别减小 0.18% 和 27%; 直径为 4.4 mm 喷嘴的喷头动能强度分别为 0.0002 、 0.0013 和 0.0061 W/m^2 , 相对于 3.6 mm 喷嘴的喷头分别减小 0%、23% 和 30%; 直径为 4.8 mm 喷嘴的喷头动能强度分别为 0.0002 、 0.0012 和 0.0048 W/m^2 , 相对于 3.6 mm 喷嘴的喷头分别减小 0%、25% 和 43%。这说明无散水齿时, 距喷头较远处时, 距喷头相同位置处的动能强度随喷嘴直径升高而降低。从图 6b 可以看出, 1 m 处喷嘴直径为 4.8 mm 的喷头的动能强度最大, 喷嘴直径为 4.0 mm 的喷头的动能强度最小, 9 m 处喷嘴直径为 3.6 mm 的喷头的动能强度最大, 喷嘴直径为 4.4 mm 的喷头的动能强度最小, 这说明有散水齿时, 距喷头相同位置处动能强度与喷嘴直径没有明显关系。

3 结 论

1) 采用激光雨滴谱仪测试技术分析散水齿对单位体积水滴动能的影响规律。在 1、3 和 5 m 处有无散水齿条件下的单位体积水滴动能大小差值分别为 0.07、2.32 和 7.53, 分别增加了 19%、106% 和 100%, 说明距喷头相同距离时, 有无散水齿时单位体积水滴动能差值较大。

2) 建立有无散水齿下阻尼喷头单位体积水滴动能、距喷头距离与喷嘴直径的数学模型, 4 种喷嘴直径下的水滴动能与距喷头距离关系模型相同, 相关系数在 0.94 以上。

3) 阻尼喷头的散水齿与喷嘴直径对动能强度都有影响, 有无散水齿条件下的动能强度随距喷头距离增大的变化趋势不同。距喷头不同距离下的动能强度差值有逐渐变大趋势。在距喷头 0~4 m, 不同喷嘴直径的动能强度差值不超过 0.002 W/m^2 , 在距喷头较远处, 不同喷嘴直径的动能强度值最大差值达到 0.006 W/m^2 。

[参 考 文 献]

- [1] Agassi M, Morin J, Shainberg I. Effect of raindrop impact energy and water salinity on infiltration rates of sodic soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, 49(1): 186—190.
- [2] 袁寿其, 李红, 王新坤, 等. 喷微灌技术及设备[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [3] Lehrsch G A, Kincaid D C. Sprinkler irrigation effects on infiltration and near-surface unsaturated hydraulic conductivity[J]. Trans ASABE, 2010, 53(2): 397—404.
- [4] King B A, Bjorneberg D L. Characterizing droplet kinetic energy applied by moving spray-plate center-pivot irrigation sprinklers[J]. Trans ASABE, 2010, 53(1): 137—145.
- [5] Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Jiang Jianyuan, et al. Comparison of fluidic and impact sprinklers based on hydraulic performance[J]. Irrigation Science, 2015, 33(5): 367—374.
- [6] 刘海军, 康跃虎. 喷灌动能对土壤入渗和地表径流影响的研究进展[J]. 灌溉排水, 2002, 21(2): 71—75.
Liu Hajun, Kang Yuehu. Effects of droplets kinetic energy on soil infiltration rate and surface runoff under sprinkler irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2002, 21(2): 71—75. (in Chinese with English abstract)
- [7] 严海军, 刘竹青, 王福星, 等. 我国摇臂式喷头的研究与发展[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(1): 77—80.
Yan Hajun, Liu Zhuqing, Wang Fuxing, et al. Research and development of impact sprinkler in China [J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(1): 77—80. (in Chinese with English abstract)
- [8] Thompson A L, Regmi T P, Ghidley F, et al. Influence of kinetic energy on infiltration and erosion[C]//Soil erosion research for the 21st century. Proceedings of the International Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, 3-5 January, 2001. American Society of Agricultural Engineers, 2001: 151—154.
- [9] Yan H J, Bai G, He J Q, et al. Influence of droplet kinetic energy flux density from fixed spray-plate sprinklers on soil infiltration, runoff and sediment yield[J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(2): 213—221.
- [10] Kincaid D C. Spray drop kinetic energy from irrigation sprinklers[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(3): 847—853.
- [11] 巩兴晖, 朱德兰, 张林, 等. 旋转折射式喷头动能分布规律试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(12): 43—49.
Gong Xinghui, Zhu Delan, Zhang Lin, et al. Droplet kinetic energy of rotating spray-plate sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(12): 43—49. (in Chinese with English abstract)
- [12] 朱兴业, 刘兴发, 刘俊萍, 等. 全射流喷头喷洒水滴动能分布规律[J]. 农业工程学报, 2015, 31(15): 26—31.
Zhu Xingye, Liu Xingfa, Liu Junping, et al. Droplet kinetic energy distribution regulation of complete fluidic sprinkler [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(15): 26—31. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李久生, 马福才. 喷嘴形状对喷洒水滴动能的影响[J]. 灌溉排水, 1997, 16(2): 1—6.
Li Jiusheng, Ma Fucai. Effect of nozzle shape on the spray drop kinetic energy from sprinklers[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1997, 16(2): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [14] 巩兴晖, 朱德兰, 张林, 等. 基于 2DVD 的非旋转折射式喷头水滴直径分布规律[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 128—133.
Gong Xinghui, Zhu Delan, Zhang Lin, et al. Drop size distribution of fixed spray-plate sprinklers with two-dimensional video disdrometer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 128—133, 148. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘俊萍, 刘兴发, 朱兴业, 等. 摆臂式喷头与全射流喷头水滴分布对比试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 85—90.
Liu Junping, Liu Xingfa, Zhu Xingye, et al. Comparison of droplet size distribution experiments between complete fluidic sprinkler and impact sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 85—90. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王可法, 张卉慧, 张伟, 等. Parsivel 激光雨滴谱仪观测降水水中异常数据的判别及处理[J]. 气象科学, 2011, 31(6): 732—736.
Wang Kefa, Zhang Huihui, Zhang Wei, et al. The detection

- and elimination of abnormal data for the precipitation observed by Parsivel precipitation particle spectrometer[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2011, 31(6): 732—736. (in Chinese with English abstract)
- [17] Schnhuber M, Randeu W L., Urban H E, et al. Field measurements of raindrop orientation angles[J]. ESA SP, 2000, 444: 9—14.
- [18] King B A, Bjorneberg D L. Droplet kinetic energy of moving spray-plate center-pivot irrigation sprinklers[J]. Transactions of the ASABE, 2012, 55(2): 505—512.
- [19] Bautista-Capetillo C, Zavala M, Playán E. Kinetic energy in sprinkler irrigation: different sources of drop diameter and velocity[J]. Irrigation Science, 2012, 30(1): 29—41.
- [20] Playa'n E, Zapata N, Faci JM, Tolosa D, Lacueva JL, Pelegrín J, Salvador R, Sa'nclez I, Lafita A. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model[J]. Agric Water Manage, 2006, 84: 86—100.
- [21] 徐红, 龚时宏, 贾瑞卿, 等. 新型ZY系列摇臂旋转式喷头水滴直径分布规律的试验研究[J]. 水利学报, 2010, 41(12): 1416—1422.
Xu Hong, Gong Shihong, Jia Ruiqing, et al. Study on droplet size distribution of ZY sprinkler head[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(12): 1416—1422. (in Chinese with English abstract)
- [22] 朱兴业, 蒋建园, 刘俊萍, 等. 外取水射流喷头与全射流喷头的比较[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(2): 172—178.
Zhu Xingye, Jiang Jianyuan, Liu Junping, et al. Compared between outside signal fluidic sprinkler and complete fluidic sprinkler[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2015, 33(2): 172—178. (in Chinese with English abstract)
- [23] Li Hong, Yuan Shouqi, Xiang Qingjiang, et al. Theoretical and experimental study on water offset flow in fluidic component of fluidic sprinklers[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2011, 137(4): 234—243.
- [24] 朱兴业, 刘兴发, 刘俊萍, 等. 基于LPM的摇臂式喷头水滴分布试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(10): 908—914.
Zhu Xingye, Liu Xingfa, Liu Junping, et al. Droplets distribution research of impact sprinkler based on Laser Precipitation Monitor[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2015, 33(2): 172—178. (in Chinese with English abstract)

Experiment and model of kinetic energy distribution of damping sprinkler

Liu Junping, Bao Ya, Zhang Qian, Yuan Shouqi, Liu Xingfa

(1. Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technical, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. National Research Center of Pump, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: According to that there are few researches for the external spraying characteristics of damping sprinkler, the paper studied kinetic energy per unit volume and kinetic energy intensity of the sprinkler with or without water sprinkling gear under different nozzle diameters. In order to study the kinetic energy distribution and its model of damping sprinkler, hydraulic parameters of damping sprinkler were tested under the operating pressure of 175, 200, 250 and 300 kPa with different nozzle diameter of 3.6, 4.0, 4.4 and 4.8 mm, respectively. The laser precipitation monitor (LPM) was used to measure the drop diameter and velocity. The result showed that kinetic energy per unit volume of the sprinkler without or with water sprinkling gear was small at the test location between 0 and 3 m along the sprinkler. Meanwhile the difference of kinetic energy per unit volume of the sprinkler without or with water sprinkling gear was small as well. Kinetic energy per unit volume of the sprinkler with water sprinkling gear was larger than the one without water sprinkling gear when the distance from the nozzle increased. And the variation range of kinetic energy per unit volume increased with the increasing of the distance from the sprinkler. Without water sprinkling gear, the difference of kinetic energy per unit volume was small for different nozzle diameters at the same distance from the sprinkler, but it was bigger under the condition with water sprinkling gear. At the same location from the sprinkler, kinetic energy per unit volume decreased with the increase of nozzle diameter. The models of kinetic energy per unit volume and kinetic energy intensity distribution were established. The correlation coefficient of kinetic energy per unit volume distribution model was above 0.94. The correlation coefficient of kinetic energy intensity distribution model was above 0.90. Kinetic energy intensity of the sprinkler with water sprinkling gear increased when the distance from the sprinkler increased. Without water sprinkling gear, kinetic energy intensity increased firstly, then gradually decreased, next increased again, and finally decreased rapidly to 0. Water sprinkling gear could make kinetic energy intensity reach the maximum in advance. Kinetic energy intensity was small at the test location between 0 and 2 m along the sprinkler with or without water sprinkling gear. The difference of kinetic energy intensity became larger when the distance was over 2 m. Compared to the sprinkler with water sprinkling gear, kinetic energy intensity of the sprinkler without water sprinkling gear under different working pressure was relatively small. With the distance from the sprinkler increasing, kinetic energy intensity showed a trend of increasing gradually firstly and then dropping to 0. The kinetic energy intensity under different nozzle diameters was small when the distance from the nozzle was 0~4 m and the difference was less than 0.002 W/m². When the distance from the nozzle was further, the kinetic energy intensity of the sprinkler for different nozzle diameters was different greatly, and the maximum difference reached 0.006 W/m². There was no obvious relationship between kinetic energy intensity and nozzle diameter with water sprinkling gear when the location from the sprinkler is same. The result provides certain academic value for studying the damping sprinkler's external spraying characteristics.

Keywords: nozzle; mechanization; models; damping sprinkler; water sprinkling gear; nozzle diameter; kinetic energy per unit volume; kinetic energy intensity