

旋转折射式喷头动能分布规律试验^{*}

巩兴晖¹ 朱德兰^{1,2} 张林^{2,3} 张以升¹ 杨雯¹ 葛茂生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. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要:以圆形及平移式喷灌机常用的 Nelson R3000 型旋转折射式喷头(绿色喷盘,4 流道)为研究对象,应用 2DVD 测试 100、150 和 200 kPa 工作压力下的水滴粒径和速度,计算并分析了水滴直径与单个水滴动能之间的关系,单位体积水滴动能和动能强度沿射程的变化趋势。结果表明:单个水滴动能与水滴直径的 3.65 次方呈正比关系,随着至喷头距离的增加,测点单个水滴动能最大值、最小值及平均值增大;距喷头相同测点处,测点单个水滴动能最大值和平均值随着压力的增加而减小;单位体积水滴动能随着至喷头距离的增加呈指数关系增大;距喷头相同测点处,单位体积水滴动能随工作压力的增大而减小,并随着至喷头距离的增大差异增大;距喷头 0~6 m 范围内,3 个工作压力下动能强度均小于 0.02 W/m²,且差异较小;6 m 至喷洒范围末端,3 个工作压力下动能强度出现最大值,分别为 0.117 2、0.082 7 和 0.052 2 W/m²,在距喷头距离相同测点处,动能强度随工作压力升高而减小。

关键词:喷头 水滴直径 水滴动能 动能强度 工作压力

中图分类号: S275.5; TV131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0043-07

引言

喷灌是以单个水滴的形式洒落到土壤表面,水滴落地时具有动能会对土壤造成打击,造成土壤表面压实,土壤团聚体离散,形成的细小土壤颗粒堵塞土壤表层毛孔,致使孔隙率降低,进而降低入渗率,形成地表径流^[1-3]。

国内外学者研究发现,喷洒水滴打击土壤表面时的动能与地表径流的产生有密切关系^[4-10]。Thompson 等^[4]以粉砂壤土为研究对象,发现土壤入渗能力随着喷灌强度、单位体积动能和动能强度的增加而减小。Kohl 等^[5]以喷嘴直径为 3.97 mm 的摇臂式喷头为研究对象,对多个工作压力下的喷灌强度和水滴粒径进行测试,计算了喷头射程方向上的单位体积动能,发现单位体积水滴动能随着压力的减小而增大。李久生^[6]利用面粉法测得圆形和方形喷嘴的水滴分布,用水滴运动方程确定水滴落地时的速度,计算了单位质量水滴沿射程方向不同位置处的动能,分析了喷嘴形状对喷洒水滴动能分布的影响。刘海军等^[7]分析总结了喷灌动能的计

算方法,并提出了减小水滴打击地面动能,改善土壤结构,增加土壤的入渗水量的措施。Yan 等^[8]以 Nelson D3000 型单喷头为研究对象,探讨了不同动能强度对地表径流、土壤结皮等的影响,指出动能强度能够很好地评估水滴打击对土壤的影响。King 等^[9]对喷灌机中常用喷头的动能强度进行了试验,指出动能强度的变化规律与喷头的类型密切相关。

近年来国内喷灌机需求量快速增长,旋转折射式喷头越来越多地应用于实际工程中^[10]。本文以国内圆形和平移式喷灌机中广泛应用 Nelson R3000 型旋转折射式喷头(绿色喷盘,4 流道)为研究对象,应用三维视频雨滴谱仪测试其在 100、150 和 200kPa 工作压力下的水滴粒径与速度沿射程的分布,计算单个水滴动能、单位体积水滴动和动能强度,探讨单个水滴动能与水滴直径关系、单位体积水滴动能及动能强度沿射程方向的变化规律。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验在西北农林科技大学中国旱区节水农业研

收稿日期: 2014-07-01 修回日期: 2014-08-08
^{*}“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD29B02)、国家工程技术研究中心再建资助项目(2011FU125Z27-1)和教育部、国家外国专家局“111”计划资助项目(B12007)
作者简介: 巩兴晖, 博士生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究, E-mail: pennygxh@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技术研究, E-mail: dlzhu@126.com

究院灌溉水力学实验厅进行,实验厅内无风,室温 18℃。选用圆形和平移式喷灌机中常用的 Nelson R3000 型旋转折射式喷头(绿色喷盘,4 流道),喷嘴为圆形,直径 4.76 mm(图 1)。喷头测试高度 2.5 m。喷头工作压力设 100、150 和 200 kPa 3 个水平。



图 1 Nelson R3000 型喷头及绿色喷盘
Fig.1 Nelson R3000 sprinkler with green plates used in investigation

1.1.1 径向水量分布测试

喷头水量分布测试^[10-14]装置主要由水箱、水泵、流量计、喷头支架、压力表和自动雨量计等组成。管路压力由 0.4 级精密压力表(西安仪表厂)读出,流量通过电磁流量计(EMF5000,量程 0.289 5 ~ 28.95 m³/h)测量得出,雨量筒采用 HOBO RG3-M 型自记雨量筒,雨量筒精度 1%,分辨率 0.02 mm,筒高 25.7 cm,内径 15.2 cm,外径 17 cm。雨量筒采用径向布置,雨量筒间距为 1 m,各工作压力下在稳定运转 10 min 后开始数据测量,测量时间为 1 h。试验参照 GB/T 19795.2—2005^[15]、GB/T 22999—2008^[16]进行。

1.1.2 水滴粒径与速度测试

应用奥地利 Gratz 应用系统研究机构研制的视频雨滴谱仪(Two-dimensional video disdrometer, 2DVD)对水滴粒径与速度进行测试^[17-21],2DVD 测量区域为 100 mm×100 mm,测定雨滴的最小直径为 0.19 mm,速度精度为±4%^[22-23]。将 2DVD 沿喷头射流方向径向布置,测试区域从距离喷嘴 1 m 处到水滴洒落的射程范围内,以 1 m 间距测定各测点位置处的水滴直径和速度,试验布置见图 2。2DVD 广泛应用于降雨水滴和降雪等测试中,喷灌水滴测试与降雨等天气测试不同,为确保测试精度,分析发现 2DVD 测试原理与 LPM(Laser precipitation monitor)、OPS(Optical spectrophluviometer)等激光测试法相似^[24-25],借鉴激光法测试喷头水滴直径试验方案,测试时通过对 2DVD 原始测试数据实时监控,保证各测点位置处不少于 10 000 个测试水滴,各工作压力试验重复 3 次。2DVD 测试水滴直径原理详见文献^[21]。

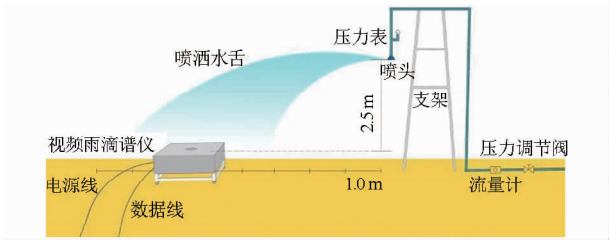


图 2 水滴直径测试试验布置
Fig.2 Experimental setup for drop characterization

1.2 计算方法

1.2.1 单个水滴动能

喷灌是以单个水滴的形式降落到地面,水滴降落到土壤表面时具有一定的速度,必然具有一定的动能,不同粒径、不同的速度的水滴对土壤造成的打击不同。通过 2DVD 测得至喷头不同距离处水滴的直径及速度,计算各测点单个水滴落地时的动能为^[5]

$$K_{ed} = \frac{1}{12} \pi d^3 \rho_w v^2 \tag{1}$$

式中 K_{ed} ——单个水滴动能,J
 d ——水滴直径,m
 ρ_w ——水的密度,kg/m³
 v ——水滴速度,m/s

1.2.2 单位体积水滴动能

单位体积水滴动能是喷灌整个过程中,至喷头不同距离测点处单个水滴动能总和与总体积的比值,研究表明喷灌的单位体积水滴动能对土壤入渗有较大影响,其计算公式为^[7-8,26]

$$K_{ev} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{12} \pi d_i^3 \rho_w v_i^2}{1\,000 \sum_{i=1}^n \frac{1}{6} \pi d_i^3} \tag{2}$$

式中 K_{ev} ——水滴单位体积动能,J/L
 i ——各测点测试水滴系列中的个数

1.2.3 动能强度

喷灌喷头动能强度的大小取决于喷洒水滴的粒径、速度以及喷灌强度,表示的是单位时间测点喷洒区域内的动能大小。动能强度分布能够较好地反映喷灌系统中降水的能量分布,对研究喷灌过程中地表径流和土壤侵蚀效果较好,其计算公式为^[8,26]

$$S_{pj} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{12} \pi d_i^3 \rho_w v_i^2}{1\,000 \sum_{i=1}^n \frac{1}{6} \pi d_i^3} \frac{\rho_j}{3\,600} \tag{3}$$

式中 S_{pj} ——至喷头不同距离测点处的喷洒动能强度,W/m²
 ρ_j ——至喷头不同距离测点处的喷灌强度,mm/h

j ——距喷头不同距离处的测点

2 结果与分析

2.1 单个水滴动能

喷洒水舌在空中掺气碰撞粉碎后形成不同直径的水滴降落到地面完成喷灌。水滴具有一定的

速度,对土壤表面造成的打击不同,单个水滴动能是以每个水滴为研究对象,对喷灌的动能分布规律进行研究。表 1 列出了 Nelson R3000 型旋转折射式喷头在 100、150 和 200 kPa 工作压力下,至喷头不同距离测点单个水滴动能最大值、最小值和平均值。

表 1 距喷头不同距离测点处水滴动能最大值、最小值和平均值

Tab.1 The maximum, minimum and average values of drop kinetic energy from measured drop data from different distances of sprinkler operating pressure at 100, 150 and 200 kPa										
工作压 力/kPa	水滴 动能	距喷头中心点距离/m								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	最大值	7.45×10^{-6}	1.86×10^{-5}	2.36×10^{-5}	5.26×10^{-5}	1.49×10^{-4}	2.16×10^{-4}	8.74×10^{-4}	9.48×10^{-3}	
	最小值	4.00×10^{-10}	4.00×10^{-10}	5.00×10^{-10}	5.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	6.00×10^{-9}	2.01×10^{-7}	9.57×10^{-6}	
	平均值	5.70×10^{-8}	1.72×10^{-7}	9.49×10^{-7}	5.09×10^{-6}	1.65×10^{-5}	2.06×10^{-5}	8.76×10^{-5}	9.67×10^{-4}	
150	最大值	7.05×10^{-6}	1.68×10^{-5}	2.20×10^{-5}	5.01×10^{-5}	1.36×10^{-4}	2.05×10^{-4}	3.49×10^{-4}	3.86×10^{-3}	8.88×10^{-3}
	最小值	4.00×10^{-10}	4.00×10^{-10}	5.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	9.50×10^{-9}	5.00×10^{-8}	4.81×10^{-4}
	平均值	6.00×10^{-8}	1.43×10^{-7}	1.15×10^{-6}	4.34×10^{-6}	1.38×10^{-5}	1.89×10^{-5}	3.33×10^{-5}	7.63×10^{-5}	1.51×10^{-3}
200	最大值	6.86×10^{-6}	1.45×10^{-5}	1.75×10^{-5}	3.13×10^{-5}	1.10×10^{-4}	1.12×10^{-4}	1.46×10^{-4}	9.71×10^{-4}	2.40×10^{-3}
	最小值	4.00×10^{-10}	4.00×10^{-10}	4.00×10^{-10}	5.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	6.00×10^{-10}	3.89×10^{-8}	2.66×10^{-5}
	平均值	5.30×10^{-8}	4.10×10^{-8}	3.57×10^{-7}	1.49×10^{-6}	3.81×10^{-6}	4.16×10^{-6}	1.13×10^{-5}	4.54×10^{-5}	2.62×10^{-4}

从表 1 可以看出,各工作压力下,沿射程方向,随着至喷头距离的增加,水滴动能的最大值、最小值和平均值均增大。工作压力对单个水滴动能有影响,距喷头相同距离测点处,单个水滴动能最大值和平均值随着压力的增加而减小,相对于 100 kPa 工作压力,150 kPa 在 1 m 与 8 m 测点处最大值分别减小了 5.43% 和 59.25%,平均值在 1 m 测点处增大了 5.26%,8 m 处减小了 92.11%,200 kPa 在 1 m 与 8 m 测点处最大值分别减小了 7.9% 和 89.75%,平均值分别减小了 7.02% 和 95.31%,即随着距喷头距离的增加,各测点水滴动能最大值和平均值的差异增大。3 个工作压力下,单个水滴动能最小值在 0~6 m 测点处,随工作压力变化产生的差异较小,从 8 m 测点开始至射程末端,随工作压力的变化差异值大,且随工作压力的增加而变小。

图 3 绘出了 3 个工作压力下单个水滴动能和水滴直径的变化关系,并根据最小二乘法原理对 3 个工作压力下水滴动能与水滴直径数据进行回归分析,得到了水滴动能与水滴直径的关系式及决定系数。从图 3 可以看出,3 个工作压力下水滴动能与水滴直径的 3.73、3.71 和 3.68 次方呈正比关系,决定系数在 0.96 以上。将 100、150 和 200 kPa 工作压力下,各测点位置处水滴数据全部绘于图 3d 中,进行统一回归分析,其关系式及决定系数见图 3d。从图 3d 中可以看出,整体回归的决定系数 R^2 并未减小,说明工作压力对单个水滴动能与水滴直径的关系影响较小。因此将图 3d 中公式整理后,得到

100、150 和 200kPa 工作压力下,Nelson R3000 型旋转折射式喷头(绿色喷盘,4 流道)水滴落地时单个水滴动能与水滴直径的关系表达式为

$$K_{ed} = \frac{27d^{3.65}}{400\,000} \quad (R^2 = 0.976)$$

(4)

2.2 单位体积水滴动能沿射程分布

在喷洒过程中,喷灌水滴以稳定的动能连续不断的打击喷洒范围内的土壤,对土壤特性造成影响。单位体积动能是测点位置处,所有水滴动能和与水滴体积的比值。很多学者利用单位体积水滴动能研究喷灌对土壤入渗的影响^[6]。图 4 绘出 100、150 和 200 kPa 工作压力下,Nelson R3000 型喷头沿射程方向的单位体积动能。

从图 4 可以看出,随着离开喷头距离的增加,单位体积水滴动能呈指数关系增大,达到最大值后在末端迅速减小为 0。100、150 和 200 kPa 工作压力下,分别在 8.64、9.0 和 10.0 m 处达到最大值 40.32、35.46 和 33.83 J/L。工作压力对单位体积水滴动能沿射程的分布具有一定的影响,以距喷头 1 m 和 8 m 测点处为例,在距离喷头 1 m 位置处,100、150 和 200 kPa 工作压力下对应的单位体积水滴动能分别为 2.43、2.28、2.10 J/L,与 100 kPa 相比,150、200 kPa 工作压力对应的单位体积动能减小了 6.2% 和 13.6%。在距离喷头的 8 m 位置处,100、150 和 200 kPa 工作压力下对应的单位体积水滴动能分别为 32.96、24.34 和 16.75 J/L,与 100 kPa 相比,150 和 200 kPa 工作压力对应的单位体积水滴动

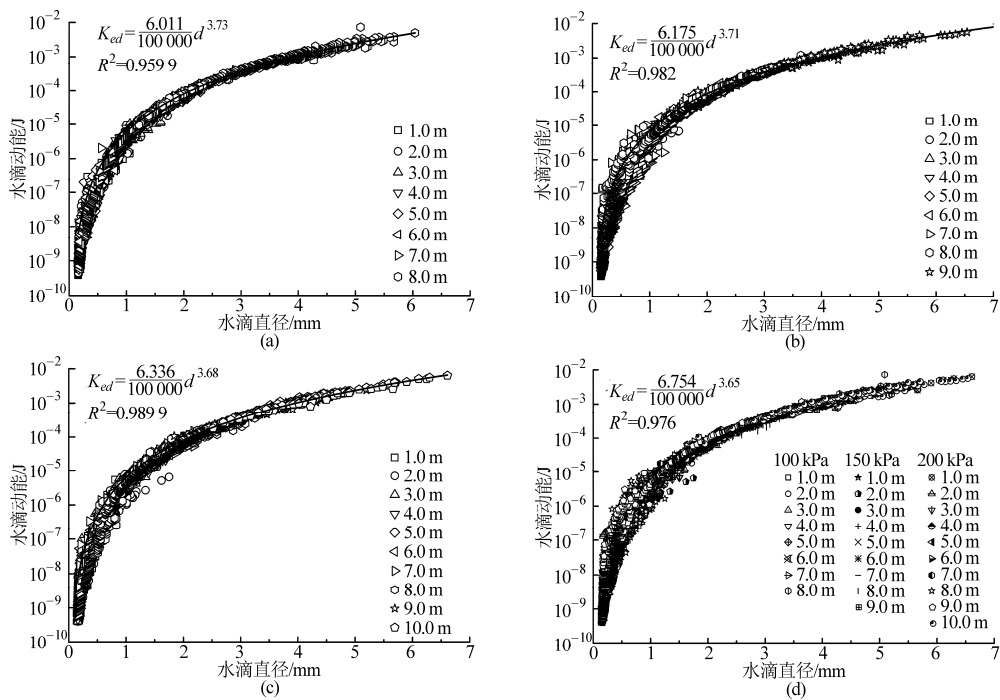


图3 水滴动能与水滴直径分布关系

Fig.3 Relationship between drop kinetic energy and drop diameter obtained from measured drop data under operating pressure at 100, 150, 200 kPa and all
(a) 100 kPa (b) 150 kPa (c) 200 kPa (d) 所有

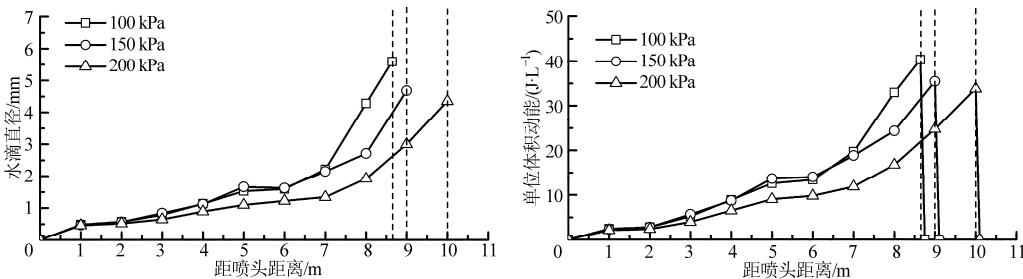


图4 沿射程方向水滴直径和单位体积水滴动能分布

Fig.4 Values of drop diameter and kinetic energy per unit drop volume as a function of distance from measured drop data under operating pressure at 100, 150 and 200 kPa

能减小了 26.15% 和 49.18%，即至喷头距离相同时，单位体积水滴动能随着压力的升高而减小，并且在近喷头处，各工作压力下单位体积动能差异较小，随着射程的增加差异逐渐增大。将沿射程方向各测点的体积加权平均水滴直径绘于图 4。从图 4 可以看出，单位体积水滴动能受到水滴直径影响较大，在近喷头处水滴直径较小，具有的单位体积水滴动能亦较小，随着至喷头距离增加，水滴直径增大，单位体积动能随之增大。

单位体积水滴动能在达到最大值之前沿射程方向变化规律与喷头水滴直径变化趋势相同。因此根据最小二乘法原理对 3 个工作压力下单位体积动能沿射程变化规律进行回归分析，表达式及决定系数见表 2。表 2 中 r 表示测点至喷头的距离 (m)。

表 2 单位体积水滴动能沿射程方向分布规律回归模型

Tab.2 Predictive equations for estimation of kinetic energy per unit volume of water application from distance of Nelson R3000 sprinkler with green plate

工作压力/kPa	回归模型	R^2
100	$K_{ed} = 1.652e^{0.37r}$	0.972
150	$K_{ed} = 1.829e^{0.34r}$	0.963
200	$K_{ed} = 1.550e^{0.31r}$	0.989

2.3 动能强度沿射程分布

动能强度能够较好地反映喷灌系统中降水的能量分布，是研究和预测地表径流的重要参数，当 $S_p > 0.6 \text{ W/m}^2$ 时，降水达到天然降水的暴雨级别，容易诱发地表径流的产生^[9,27-28]。图 5 绘出了至喷头不同距离测点的动能强度。

从图 5 中可以看出，在 100、150 和 200 kPa 工作

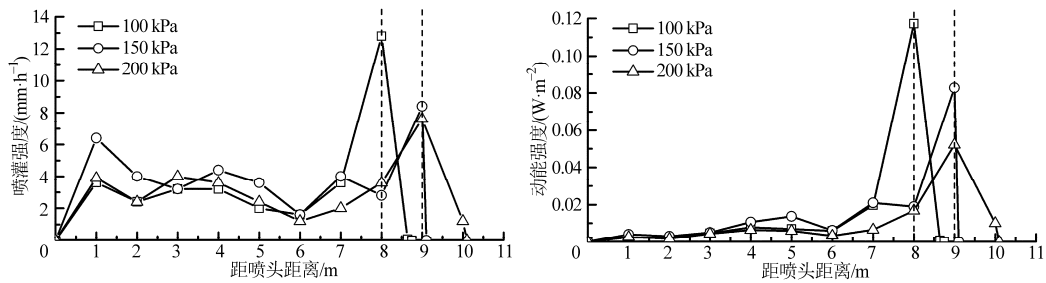


图 5 沿射程方向动能强度和喷灌强度分布

Fig. 5 Values of water distribution and specific power as a function of distance from measured drop data under operating pressure at 100, 150 and 200 kPa

压力下,动能强度分别在 8.0、9.0 和 9.0 m 处达到最大值,然后在射程末端减小为 0。100、150 和 200 kPa 工作压力下,最大值分别为 0.117 2、0.082 7 和 0.052 2 W/m²。工作压力对于喷洒动能强度具有一定的影响。至喷头距离相同测点处,随着工作压力的升高,动能强度减小,在至喷头距离 6 m 以内的各测点差异较小,从 6 m 至喷洒范围末端动能强度差异变大。

将 3 个工作压力下径向水量分布变化趋势绘于图 5。从图 5 中可看出,3 个工作压力下,测点 0 ~ 6 m 范围内,喷灌强度在 0 ~ 6 mm/h 内发生波动,动能强度波动不明显且均小于 0.02 W/m²。至喷头距离 6 ~ 11 m 范围内,3 个工作压力下径向水量分布分别在 8.0、9.0 和 9.0 m 测点处出现喷灌强度的峰值,动能强度在相同测点位置处出现峰值。

动能强度由测点处的单位体积水滴动能和喷灌强度决定,距喷头距离较近测点处,由于水滴动能较小,较大的喷灌强度值不会造成动能强度的增大,产生地表径流的可能性较小。随至喷头距离的增加,单位体积动能增大,在接近喷洒范围末端位置处,喷灌强度峰值会造成动能强度增大,极易诱发地表径流的产生。因此在喷头选择和设计时,应选取射程

末端喷灌强度较小的喷头,或设计喷头时应使喷灌强度沿射程方向沿程减小,避免过大的喷灌强度在射程末端出现,引起动能强度的增大,以减小地表径流产生的可能性。

4 结论

(1) Nelson R3000 型旋转式折射喷头(绿色喷盘,4 流道)单个水滴动能与水滴直径的 3.65 次方呈正比关系。随着至喷头距离的增加,测点单个水滴动能最大值、最小值和平均值均增大。相同测点处,单个水滴动能最大值和平均值随着压力的增加而减小。

(2) 单位体积水滴动能随着至喷头距离的增加呈指数关系增大,在射程末端达到最大值。100、150 和 200 kPa 工作压力下,距喷头较近测点处差异较小,随着射程的增加差异变大。

(3) 距喷头距离 0 ~ 6 m 测点位置处,动能强度至均小于 0.02 W/m²,产生地表径流的可能性较小,且 3 个工作压力下差异较小;6 m 至喷洒范围末端,3 个工作压力下动能强度出现最大值,分别为 0.117 2、0.082 7 和 0.052 2 W/m²,且在距喷头距离相同测点处,动能强度随工作压力升高而减小。

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 Agassi M, Bloem D, Ben-Hur M. Effect of drop energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion[J]. Water Resources Research, 1994, 30(4): 1187 - 1193.
- 3 Assouline S, Mualem Y. Modeling the dynamics of seal formation and its effect on infiltration as related to soil and rainfall characteristics[J]. Water Resources Research, 1997, 33(7): 1527 - 1536.
- 4 Thompson A L, James L G. Water droplet impact and its effect on infiltration[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(5): 1506 - 1510.
- 5 Kohl R A, DeBoer D W, Evenson P D. Kinetic energy of low pressure spray sprinklers[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(5): 1526 - 1529.
- 6 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.
- 7 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 Haijun, 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)
- 8 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.

9 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.

10 严海军, 肖建伟, 李文颖, 等. 圆形喷灌机低压阻尼喷头水滴直径分布规律的试验研究[J]. 水利学报, 2014, 54(4): 467–473.
Yan Haijun, Xiao Jianwei, Li Wenying, et al. Droplet size distributions of low-pressure damping sprinklers used in center-pivot irrigation systems[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 54(4): 467–473. (in Chinese)

11 Kincaid D C. Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(3): 847–853.

12 DeBoer D W. Drop and energy characteristics of a rotating spray-plate sprinkler [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2002, 128(3): 137–146.

13 魏洋洋, 袁寿其, 李红, 等. 异形喷嘴变量喷头水力性能试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 70–74.
Wei Yangyang, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Hydraulic performance experiment of the variable-rate sprinkler with non-ciecle nozzle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 70–74. (in Chinese)

14 陈超, 袁寿其, 李红, 等. 异形喷嘴对变量喷头水力性能的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 111–115.
Chen Chao, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Effect of non-circle nozzle on hydraulic performance of impact variable-rate sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 111–115. (in Chinese)

15 GB/T 19795.2—2005 水量分布均匀性和试验方法[S]. 2005.

16 GB/T 22999—2008 旋转式喷头[S]. 2008.

17 李久生. 谈平均水滴直径的计算方法[J]. 喷灌技术, 1987(4): 21–23.

18 李久生. 喷洒水滴直径测试方法的研究[J]. 排灌机械, 1993(1): 45–47.

19 白更, 严海军, 王敏. 喷洒水滴直径面粉测定法改进[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 76–80.
Bai Geng, Yan Haijun, Wang Min. Measuring sprinkler droplet size with modified flour methodology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 76–80. (in Chinese)

20 DeBoer D W, Monnens M J, Kincaid D C. Measurement of sprinkler droplet size[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(1): 11–15.

21 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. (in Chinese)

22 李红, 任志远, 汤跃, 等. 喷头喷洒雨滴粒径测试的改进研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(10): 50–53.
Li Hong, Ren Zhiyuan, Tang Yue, et al. Measurement and amelioration of the test to raindrop size of sprinklers [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(10): 50–53. (in Chinese)

23 Kruger A, Witold F Krajewski. Tow-dimensional video disdrometer: a description[J]. Journal of Antmospheric and Oceanic Technology, 2002, 19(5): 602–617.

24 King B A, Winward T W, Bjorneberg D L. Laser precipitation monitor for measurement of drop size and velocity of moving spray-plate sprinklers[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2010, 26(2): 263–271.

25 Montero J, Tarjuelo J M, Carrión P. Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropluviometer[J]. Irrigation Science, 2003, 22(2): 47–56.

26 Schönhuber M, Randeu W L, Urban H E, et al. Field measurements of raindrop orientation angles[J]. ESA SP, 2000, 444: 9–14.

27 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.

28 Thompson A L, Regmi T P, Ghidey F, et al. Influence of kinetic energy on infiltration and erosion[C]// Soil Erosion Research for the 21st Century. Proceedings of the International Symposium, American Society of Agricultural Engineers, 2001: 151–154.

Droplet Kinetic Energy of Rotating Spray-plate Sprinkler

Gong Xinghui¹ Zhu Delan^{1,2} Zhang Lin^{2,3} Zhang Yisheng¹ Yang Wen¹ Ge Maosheng¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The specific power has often been used in evaluating the influence of water droplet impact on soil surface. A Nelson R3000 rotating spray-plate sprinkler was selected and the drop size, drop velocity were tested under 100,150 and 200 kPa by 2DVD. The relationship between drop kinetic energy and drop

size, kinetic energy applied per unit drop volume and distances along the sprinkler, specific power and distances along the sprinkler were analyzed. Results indicated that there were proportional relation between the kinetic energy and drop size, and the maximum value of drop kinetic energy from test location increased with the distances along the sprinkler increased. At the same location from the sprinkler, the maximum and average values of drop kinetic energy decreased with the increase of working pressure. The kinetic energy per unit volume increased with the distances along the sprinkler increased, and the change between kinetic energy per unit volume and distances along the sprinkler met exponential function. At the same location from the sprinkler, the kinetic energy per unit volume decreased with the increase of working pressure. At the test location between 0 ~ 6 m along the sprinklers, the specific power values were less than 0.02 W/m² and the differences were small when operating pressure values were set at 100, 150, 200 kPa. At the test location from 6 m to the end of the sprinklers, the maximum values of the specific power were 0.117 2, 0.082 7 and 0.052 2 W/m², and the value of the specific power decreased with the increase of working pressure.

Key words: Sprinkler Drop size Droplet kinetic energy Specific power Operating pressure

(上接第 36 页)

Design and Experiment of Hydro-pneumatic Spring of Tractor Cab Suspension

Zhu Sihong¹ Li Ke¹ Li Chaoquan² Lü Baozhan³ Xu Gang¹

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. Bayuquan Subsidiary Company, Angang Company Ltd., Yingkou 115007, China

3. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Based on the requirement of CF700 tractor cab suspension parameters, the elastic force and damping force model of hydro-pneumatic spring was established using fluid mechanics theory. The key parameters of hydro-pneumatic spring were calculated, and the damping adjustable hydro-pneumatic spring was designed. The effect of the excitation, throttle valve size and check valve size on the output force were studied by experiments. Test result is shown that the damping force can be in a large range of adjustment. The throttle valve size had influence on output force of both compression and rebound stroke, while the check valve size just had influence on the output force of compression stroke, and the throttle valve size had more obvious influence on the output force. The effectiveness of design ideas and methods were verified, and the research base of tractor cab hydro-pneumatic suspension was provided.

Key words: Tractor Cab suspension Hydro-pneumatic spring Design Experiment