

平地向坡地转换喷灌水量分布计算模型研究

张林¹ 惠鑫² 陈俊英²

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对坡地喷灌水量分布实测困难问题,以坡地喷头射程计算公式为基础,依据喷头射流方向总水量守恒原理,构建了喷灌水量分布由平地转换到坡地的计算模型,并通过试验验证了模型的正确性。利用该模型,分析了喷头布置方式、喷头间距、工作压力和坡度等对坡面喷灌水量分布的影响,结果表明,三角形布置有利于坡地单喷头水量分布的叠加,且其组合喷灌均匀度略高于方形布置;随着喷头间距的增大,组合喷灌均匀度呈下降趋势;喷头低压运行时,组合喷灌均匀度相对较低,不能满足喷灌均匀性的要求,随着喷头工作压力的增大,组合喷灌均匀度逐渐增大;在一定坡度范围内,不同坡度对水量分布和组合喷灌均匀度的影响较小。因此,在坡地喷灌系统设计时,若选用雨鸟 LF1200 型喷头,建议采用三角形布置,喷头间距宜为 1.0 ~ 1.2 倍平地喷头射程,喷头工作压力宜选用 300 kPa。

关键词: 坡地喷灌; 水量分布; 喷头射程; 计算模型

中图分类号: S275.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)07-0252-09

Calculated Model for Transforming Sprinkler Water Distribution from Flat Ground into Sloping Land

ZHANG Lin¹ HUI Xin² CHEN Junying²

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

Abstract: It is difficult to measure water distribution for sprinkler irrigation on sloping land. Based on the formula for calculating sprinkler range on sloping land, according to the principle of water balance along spray direction, a calculated model for transforming sprinkler water distribution from flat ground into sloping land was proposed and validated by an experiment. The effects of sprinkler layout, sprinkler spacing, operating pressure and slope on sprinkler water distribution on sloping land were analyzed by using the model. The results showed that water distribution for the sprinkler triangular arrangement was more uniform than that for square layout, and the combined sprinkler irrigation water application uniformity for the sprinkler triangular arrangement was slightly higher than that for square layout. The combined sprinkler irrigation water application uniformity was decreased with the increase of sprinkler spacing. When the sprinkler was operated at low pressure, the combined sprinkler irrigation water application uniformity was relatively low, and the low uniformity cannot meet the requirement of sprinkler irrigation uniformity. The combined sprinkler irrigation water application uniformity was increased with the increase of sprinkler pressure. The effect of slope on water distribution and the combined sprinkler irrigation water application uniformity was insignificant within a certain slope. Therefore, if the Rainbird LF1200 sprinkler was used in the sprinkler irrigation system design on sloping land, it was recommended that the sprinkler spacing should be 1.0 ~ 1.2 times as the spraying range on flat ground with the triangular arrangement, and the sprinkler operating pressure should be 300 kPa.

Key words: sprinkler irrigation on sloping land; water distribution; sprinkler range; calculated model

收稿日期: 2017-05-05 修回日期: 2017-06-08
基金项目: 国家自然科学基金项目(51779246、51409244)、陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016KTZDNY-01-03)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD22B01-02)
作者简介: 张林(1981—),男,副研究员,主要从事节水灌溉理论与设备研究,E-mail: zl0211wy@163.com
通信作者: 陈俊英(1975—),女,副教授,主要从事节水农业和水土资源高效利用研究,E-mail: cjyrose@126.com

0 引言

喷灌均匀度是喷灌系统设计的一个重要参数,单喷头水量分布是喷灌均匀度计算的最基本资料之一^[1-3]。关于喷灌水量分布和均匀度计算方面,以往的研究较多^[4-13]。朱兴业等^[4]采用 Matlab 语言编制程序,对不同喷头组合间距下的水量分布及均匀系数进行了模拟仿真计算,初步提出了旋转式射流喷头在正方形布置时的最佳组合间距。严海军等^[5]对两种园林地埋式喷头组合喷洒性能进行了模拟试验,结果表明,在最大零漏喷范围内,喷灌均匀系数与组合形式关系不大,主要取决于喷头结构及其径向水量分布。TARJUELO 等^[6-7]分别研究了喷头在无风和有风条件下水量分布的影响因素,结果表明,风速对水量分布的影响显著。MANTOVANI 等^[8]和 LI^[9]分析了喷灌均匀性对作物产量的影响。ZHANG 等^[10]、MATEOS^[11]均对大田尺度下喷灌均匀性进行了研究,初步建立了大田尺度下喷灌系统均匀度计算模型。这些研究对喷灌系统设计及技术推广应用起到了重要作用。但纵观这些研究,主要以平地喷灌为主。随着喷灌技术逐步向丘陵山区发展,坡地喷灌系统设计成为当前急需解决的重要技术问题。

坡地喷灌水量分布对于坡地喷灌系统设计至关重要,但受地形影响,实测坡地喷灌水量分布往往比较困难,而平地水量分布获取相对简单,因此有学者试图通过一些方法将喷灌水量分布由平地转换到坡地,从而便于坡地喷灌研究。陈学敏等^[14]基于动力学原理推导出水滴运动方程,并结合水量平衡原理,构建出坡地喷灌水量分布计算模型,但模型假定水流在喷嘴出口处就完全碎裂,这与实际不太相符,影响了计算结果的准确性。向清江等^[15]以射流轨迹计算公式^[16]为基础,采用网格变换的方式实现了平地 and 坡地之间水量分布数据的转换,但该方法在假定射流的射程损失时过于简化,因此数据转换准确性还需进一步验证;张以升等^[17]以弹道理论为基础,考虑水滴运动蒸发,建立了坡地喷灌水量分布计算模型,但该模型做了较多假设,使得模型只能在较为理想的状态下使用,不具有普适性。

针对上述问题,本文以坡地喷头射程计算公式^[18]为基础,根据喷头射流方向总水量守恒原理,构建喷灌水量分布由平地转换到坡地的计算模型,并通过试验验证模型的正确性。最后利用该模型,分析喷头工作压力、布置方式和间距等对坡地喷灌水量分布的影响,以期能为坡地喷灌系统设计提供一定的科学依据。

1 现有基础

引用文献[18]推导出的坡地喷头射程计算公式

$$R_{up} = R_0 \cos\beta(1 - \tan\beta \cot(\theta + \beta)) \tag{1}$$

$$R_{down} = R_0 \cos\beta(1 + \tan\beta \cot(\theta - \beta)) \tag{2}$$

式中 R_{up} ——喷头在上坡方向的射程,m

R_{down} ——喷头在下坡方向的射程,m

R_0 ——喷头在平面上的射程,m

β ——投影角,即喷射水流运动轨迹线在坡面上的投影线和平地上的投影线之间的夹角,(°)

θ ——喷射水流运动轨迹线与平地的夹角,即射流末端水滴落地角度,(°)

已知地形坡度,给定喷头在坡面上的旋转角,可计算出投影角

$$\beta = \pm \frac{180}{\pi} \arctan(i \sin\alpha) \tag{3}$$

式中 i ——地形坡度

α ——喷头旋转角,(°)

当 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ 时, β 取正号;当 $180^\circ < \alpha < 360^\circ$ 时, β 取负号。

2 单喷头水量分布由平地向坡地转换的计算模型

2.1 模型构建思路

在喷头工作参数(如压力等)不变的条件下,喷头出流量会保持不变,假定喷头旋转速度均匀,那么无论是平地或坡地,不同旋转角下沿喷头射流方向上总水量保持不变。已知地形坡度,根据上述坡地喷头射程计算公式,可以获得不同喷头旋转角下的坡面射程;结合平地上实测的喷头径向水量分布数据,基于沿喷头射流方向总水量守恒原理,利用喷头坡面射程与平地射程比例,将平地实测水量转换为坡地水量,进而获得整个坡面水量分布。

2.2 平地和坡地之间的坐标转换

2.2.1 上坡方向坐标转换

如图 1 所示,曲线 $O'M'_nM_n$ 为上坡方向喷头射流运动轨迹,射流在平面上的落点为 M_n ,在上坡面对应的落点为 M'_n ,假定 M_n 在平面上的坐标为 (x_n, y_n) (其横、纵坐标轴所在平面为平地地面)、 M'_n 在上坡面上的坐标为 (x'_n, y'_n) (其横、纵坐标轴所在平面为坡面),通过对图 1 解立体几何可知 M_n 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x_n = R_0 \cos\alpha \\ y_n = R_0 \sin\alpha \end{cases} \tag{4}$$

M'_n 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x'_n = R_{up} \cos\beta \cos\alpha \\ y'_n = \frac{R_{up} \cos\beta \sin\alpha}{\cos(\arctan i)} \end{cases} \quad (5)$$

平地直线 OM_n 上任意点 M_{n-1} 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x_{n-1} = \frac{l_{OM_{n-1}}}{R_0} x_n \\ y_{n-1} = \frac{l_{OM_{n-1}}}{R_0} y_n \end{cases} \quad (6)$$

在上坡面与点 M_{n-1} 相对应的点 M'_{n-1} 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x'_{n-1} = \frac{l_{OM_{n-1}}}{R_0} x'_n \\ y'_{n-1} = \frac{l_{OM_{n-1}}}{R_0} y'_n \end{cases} \quad (7)$$

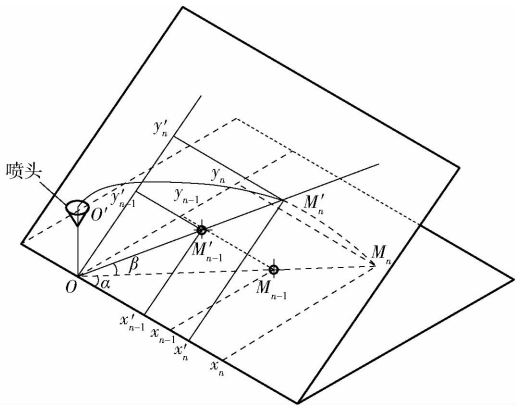


图1 上坡方向平-坡坐标转换示意图
Fig.1 Sketch of coordinate transformation from flat ground to sloping land in uphill direction

2.2.2 下坡方向坐标转换

如图2所示,曲线 $O'M_mM'_m$ 为下坡方向喷头射流运动轨迹,射流在平地上的落点为 M_m ,在下坡面对应的落点为 M'_m ,假定 M_m 在平地上的坐标为 (x_m, y_m) 、 M'_m 在下坡面上的坐标为 (x'_m, y'_m) ,则 M_m 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x_m = R_0 \cos\alpha \\ y_m = R_0 \sin\alpha \end{cases} \quad (8)$$

M'_m 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x'_m = -R_{down} \cos\beta \cos\alpha \\ y'_m = -\frac{R_{down} \cos\beta \sin\alpha}{\cos(\arctan i)} \end{cases} \quad (9)$$

平地直线 OM_m 上任意点 M_{m-1} 的横、纵坐标为

$$\begin{cases} x_{m-1} = \frac{l_{OM_{m-1}}}{R_0} x_m \\ y_{m-1} = \frac{l_{OM_{m-1}}}{R_0} y_m \end{cases} \quad (10)$$

在下坡面与点 M_{m-1} 相对应的点 M'_{m-1} 的横、纵

坐标为

$$\begin{cases} x'_{m-1} = \frac{l_{OM_{m-1}}}{R_0} x'_m \\ y'_{m-1} = \frac{l_{OM_{m-1}}}{R_0} y'_m \end{cases} \quad (11)$$

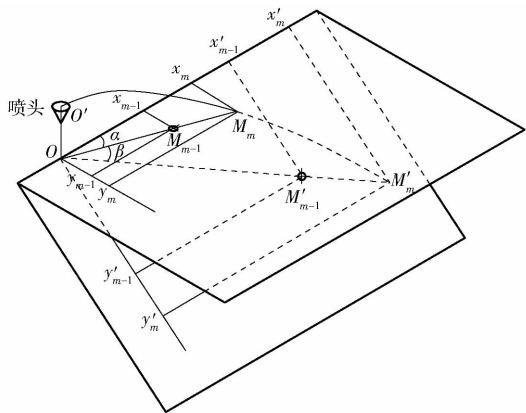


图2 下坡方向平-坡坐标转换示意图
Fig.2 Sketch of coordinate transformation from flat ground to sloping land in downhill direction

2.3 平地水量向坡地上的转换

2.3.1 上坡方向水量转换

由沿喷头射流方向总水量守恒原理可知,平地直线 OM_n 上的水量与上坡面直线 OM'_n 上的水量相等,因此可将平地直线 OM_n 上的水量折算到上坡面直线 OM'_n 上。引入折算系数 λ ,上坡方向水量折算系数 λ_{up} 为

$$\lambda_{up} = \frac{R_{up}}{R_0} \quad (12)$$

地面上的喷灌水量是已知的,假定平地直线上点 M_n 处和任意点 M_{n-1} 处的喷灌强度分别为 P_n 和 P_{n-1} ,则上坡面对应点 M'_n 处的喷灌强度 P'_n 为

$$P'_n = \frac{P_n}{\lambda_{up}} = \frac{P_n R_0}{R_{up}} \quad (13)$$

任意点 M_{n-1} 在上坡面对应点 M'_{n-1} 处的喷灌强度 P'_{n-1} 为

$$P'_{n-1} = \frac{P_{n-1}}{\lambda_{up}} = \frac{P_{n-1} R_0}{R_{up}} \quad (14)$$

2.3.2 下坡方向水量转换

同上,下坡方向水量折算系数 λ_{down} 为

$$\lambda_{down} = \frac{R_{down}}{R_0} \quad (15)$$

假定平地直线上点 M_m 处和任意点 M_{m-1} 处的喷灌强度分别为 P_m 和 P_{m-1} ,则下坡面对应点 M'_m 处的喷灌强度 P'_m 为

$$P'_m = \frac{P_m}{\lambda_{down}} = \frac{P_m R_0}{R_{down}} \quad (16)$$

任意点 M_{m-1} 在上坡面对应点 M'_{m-1} 处的喷灌强

度 P'_{m-1} 为

$$P'_{m-1} = \frac{P_{m-1}}{\lambda_{\text{down}}} = \frac{P_{m-1} R_0}{R_{\text{down}}} \tag{17}$$

通过上述方法,可将实测平地径向射线上的水量转换到坡地上,进而获得整个坡面上的水量

分布。

2.4 模型的计算

应用 Eclipse 作为开发工具,对坡地喷灌水量分布计算进行程序化处理,图 3 为喷灌水量分布由平地向坡地转换计算程序流程图。

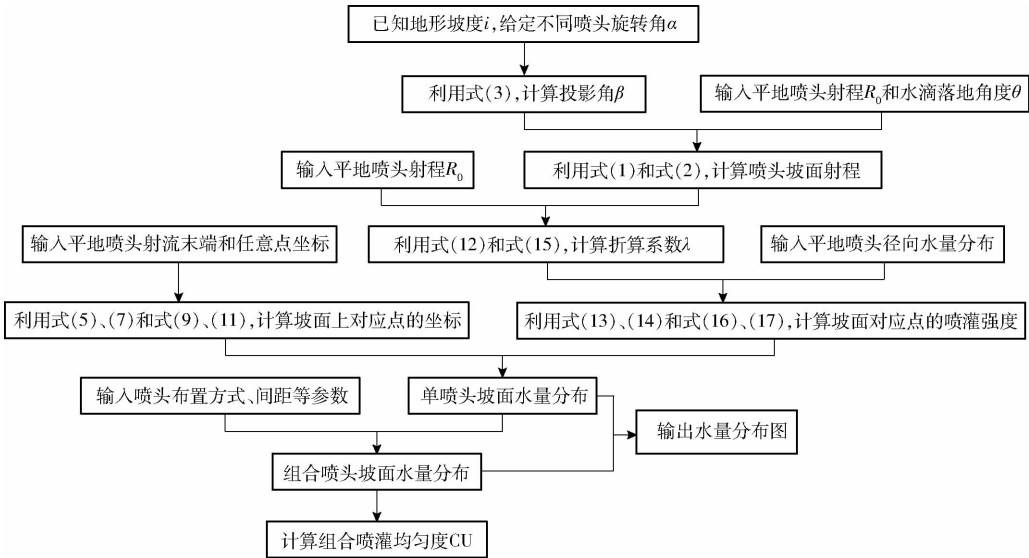


图 3 喷灌水量分布由平地向坡地转换计算程序框图

Fig. 3 Programming flow chart for transforming sprinkler water distribution from flatground into sloping land

3 模型验证

3.1 验证试验

为了验证水量分布转换模型的正确性,在西北农林科技大学灌溉水力学实验厅测试单喷头在不同坡度和压力下的水量分布。试验装置由高度可调支架和钢槽、雨量筒、压力传感器、变频恒压供水节能控制柜、加压泵、不锈钢水箱、PVC 管和阀门等组成,如图 4 所示。

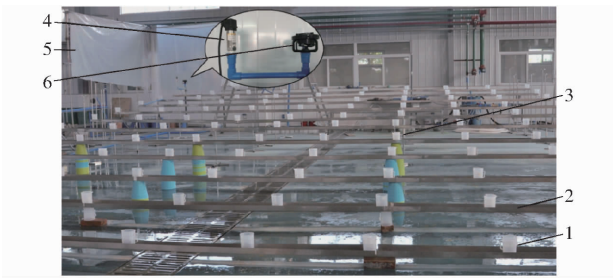


图 4 坡地喷灌水量分布试验装置图

Fig. 4 Experimental setup for sprinkler water distribution on sloping land

1. 雨量筒 2. 钢槽 3. 高度可调节支架 4. 压力传感器 5. 挡水薄膜 6. 喷头

测试喷头为雨鸟 LF1200 型喷头,喷嘴尺寸为 2.18 mm,喷射仰角为 17°,工作压力范围为 170 ~ 410 kPa。喷灌的地形坡度通过高度可调支架和宽 0.15 m 的钢槽实现,试验前,根据拟试验的坡度,计算不同控制点的高程,调节可调支架高度,将钢槽架

设在支架上,进而形成试验所需的坡面。为了减小坡长,降低坡高,便于试验操作,将测试喷头分别铅直布置于坡面底端和顶端,安装高度为 30 cm(厂家推荐的安装高度)。试验时,先将喷头布置于坡面顶端,记录其向下坡喷洒的水量分布,然后在压力等其他试验条件完全一样的情况下,再将喷头布置于坡面底端,记录其向上坡喷洒的水量分布,将上坡和下坡的水量分布数据合在一起即为该喷头在整个坡面上的水量分布。为了防止喷头喷洒出的水滴四处乱溅,损坏其他试验设备,在喷头周围安装一道弧形挡水薄膜。压力传感器为西安新敏 CYB 型(量程为 0 ~ 500 kPa,精度 0.1%),将其安装在喷头进口处,并用防水塑料袋包裹,压力传感器与采集器连接,每隔 5 s 采集一次压力数据,最后求平均值。雨量筒高度为 14.0 cm,开口直径为 10.6 cm,将雨量筒布置在钢槽中,采用网格线法布置,网格在地面上的投影间距为 1 m × 1 m,共布置 12 行,每行 11 个雨量筒,共布置 121 个,观测记录雨量筒中水的体积,并转换成水深,从而获得每个测点处的喷灌强度(测点水深与喷灌时间的比值)。

试验因素为喷头工作压力和地形坡度。在厂家推荐喷头工作压力范围内选 3 个水平,分别为 200、300、400 kPa,地形坡度有 3 个水平,分别为 0.05、0.10、0.15,共测试 9 组,每次测试 1 h,每组重复 3 次,每个测点处的喷灌强度取 3 次测试的平均值。

3.2 模拟与实测结果对比分析

限于篇幅,选择其中3组(压力200 kPa、坡度0.05;压力300 kPa、坡度0.10;压力400 kPa、坡度0.15)实测水量分布与模拟结果进行对照,将这3组

分别记为 P200I0.05、P300I0.10 和 P400I0.15。图5给出了模拟与实测水量分布的对照结果。坐标(0,0)为喷头位置,纵坐标正方向为坡面的上坡方向,纵坐标负方向为坡面的下坡方向。

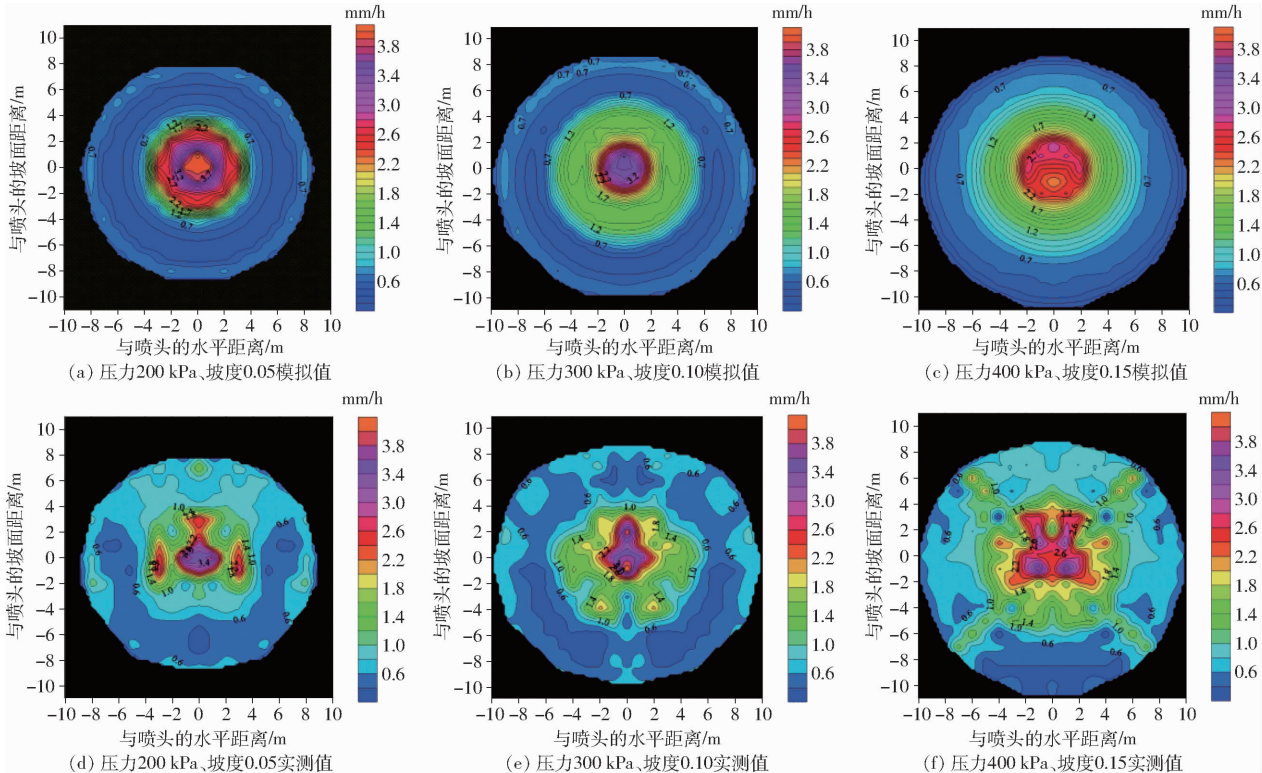


图5 单喷头水量分布模拟值与实测值对比

Fig.5 Comparisons of simulated and measured water distributions for single sprinkler

从水量分布图来看,模拟与实测的水量分布图形均为“鸡蛋形”,上部扁而宽,下部长而尖。从水量分布规律来看,模拟与实测的水量分布均为喷头附近水量较多,远离喷头水量较少,上坡方向水量相对集中,下坡方向水量相对稀疏。从喷灌强度峰值来看,模拟的3组(P200I0.05、P300I0.10、P400I0.15)喷灌强度峰值分别为4.05、3.65、2.91 mm/h,实测的分别为3.97、3.98、3.29 mm/h,其相对偏差为2.20%、8.32%和11.47%。从喷灌强度平均值来看,模拟的3组(P200I0.05、P300I0.10、P400I0.15)喷灌强度平均值分别为1.00、0.96、0.98 mm/h,实测的分别为0.91、0.87、1.05 mm/h,其相对偏差为10.30%、10.20%和

7.12%。图6给出了模拟与实测的喷灌强度频率的对比情况。从图中可以看出,模拟的不同压力和坡度下各级喷灌强度的频率与实测值基本吻合。综上,总体而言,模拟结果能够较好地反映坡地喷灌水量分布规律。模拟与实测结果之所以出现差异,一是因为坡地喷头射程公式计算出的坡面射程与实测值之间有一定误差,二是喷灌水量由平地转换到坡地时,采用了均匀折算。

4 模型应用

4.1 喷头布置方式对坡面水量分布的影响

图7给出了喷头工作压力为300 kPa、间距为

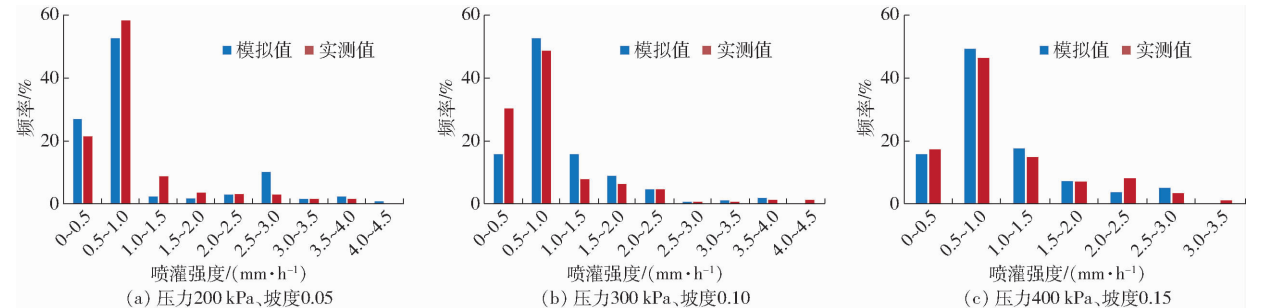


图6 模拟与实测喷灌强度频率对比

Fig.6 Comparison of simulated and measured spray intensity frequency values

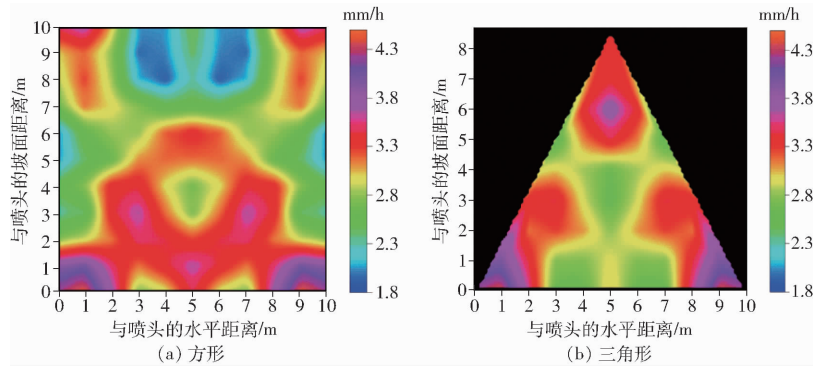


图 7 不同喷头布置方式下组合喷头坡面水量分布

Fig. 7 Water distributions for combined sprinklers with different sprinkler layouts on sloping land

R_0 、坡度为 0.15 时 2 种布置方式（方形和三角形）下组合喷头坡面水量分布情况。在方形布置下，4 个喷头分别位于方形 4 个顶点，如图 7a 所示，在喷头附近和方形喷洒区域中偏下位置的圆环上水量分布较多，其各点喷灌强度均大于 3.1 mm/h，且该区域占整个方形喷洒区域面积的 43.8%；相邻两喷头之间的水量分布相对较少，尤以方形上部两喷头之间的水量最少，这是因为方形上部两喷头之间的水量主要是以单喷头下坡水量叠加而成，而单喷头下坡水量分布较上坡稀疏。在三角形布置下，3 个喷头分别位于三角形 3 个顶点，如图 7b 所示，喷头附近水量分布较多，三角形喷洒区域中的其他地方水量相对较少。另外，方形和三角形布置方式下的组合喷灌均匀度 CU（用 Christiansen 方法^[19] 计算）分别为 84.2% 和 86.0%，三角形布置的 CU 略高于方形布置，说明三角形布置更利于坡地单喷头水量分

布的叠加。因此，在坡地喷灌系统设计时，若仅从喷灌均匀性角度考虑，建议优先采用三角形布置方式。

4.2 喷头间距对坡面水量分布的影响

图 8 给出了喷头工作压力为 300 kPa、坡度为 0.15、三角形布置方式下不同喷头间距对坡面水量分布的影响。从图 8 中可以看出，不同间距下喷头附近水量较多，且随着喷头间距的增大，水量分布越来越不均匀，4 个喷头间距下（ $0.8R_0$ 、 R_0 、 $1.2R_0$ 、 $1.4R_0$ ）的组合喷灌均匀度 CU 分别为 88.7%、86.0%、80.4% 和 77.1%。当喷头间距为 $0.8R_0$ 时，虽然组合喷灌均匀度 CU 高达 88.7%，能满足喷灌质量要求，但是较小的喷头间距，将会增加喷灌系统中的喷头数量，导致系统成本上升。因此，在坡地喷灌系统设计时，若选用雨鸟 LF1200 型喷头，综合考虑喷灌均匀性和系统成本两个因素，建议喷头间距选用 1.0 ~ 1.2 倍平地喷头射程为宜。

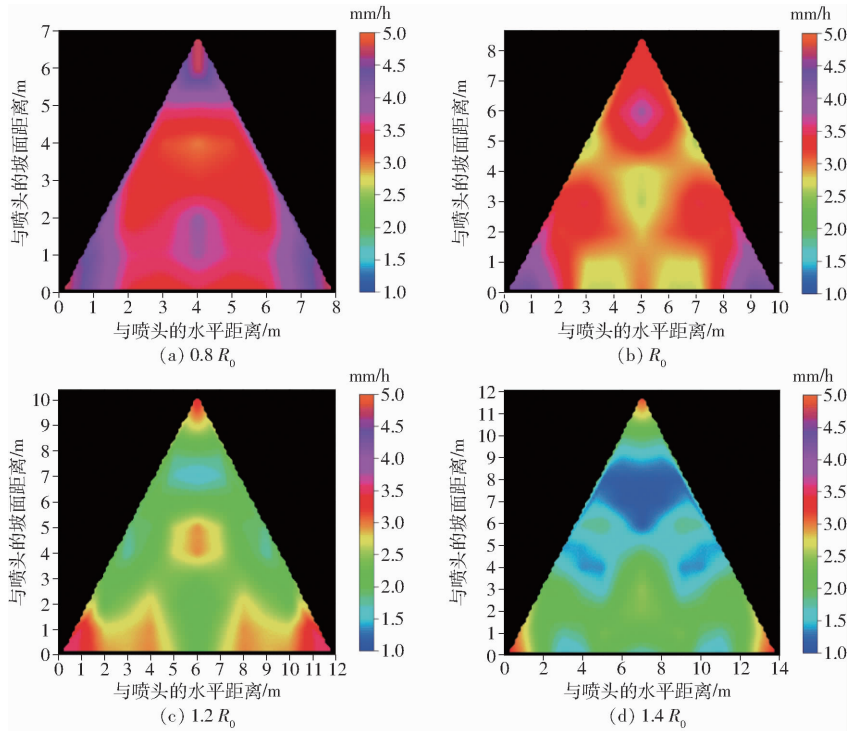


图 8 不同喷头间距下组合喷头坡面水量分布

Fig. 8 Water distributions for combined sprinklers with different sprinkler spacings on sloping land

4.3 坡度对坡面水量分布的影响

图 9 给出了喷头工作压力为 300 kPa、间距为 R_0 、三角形布置方式下坡度对组合喷头坡面水量分布的影响。从图 9 中可以看出,不同坡度下的组合喷洒水量分布极为相似,均是三角形下部两喷头附近水量分布较多,其他地方水量相对较少,这与单喷头水量分布叠加有关,三角形下部两喷头附近水量主要是由单喷头上坡水量叠加而成,而上坡水量分布较下坡水量分布集中,尤

以上坡喷头附近水量最多。另外,随着坡度的逐渐增大,组合喷灌均匀度 CU 有所降低,坡度为 0.10、0.20 和 0.30 所对应的 CU 分别为 86.1%、84.5% 和 82.0%,均能满足喷灌均匀性要求,说明在一定坡度范围内,地形坡度对坡面水量分布及组合喷灌均匀度的影响较小,因此在实际坡地喷灌系统设计时,当地形坡度不是特别陡峭时,应重点考虑喷头工作压力、间距和布置方式等其他参数的选取。

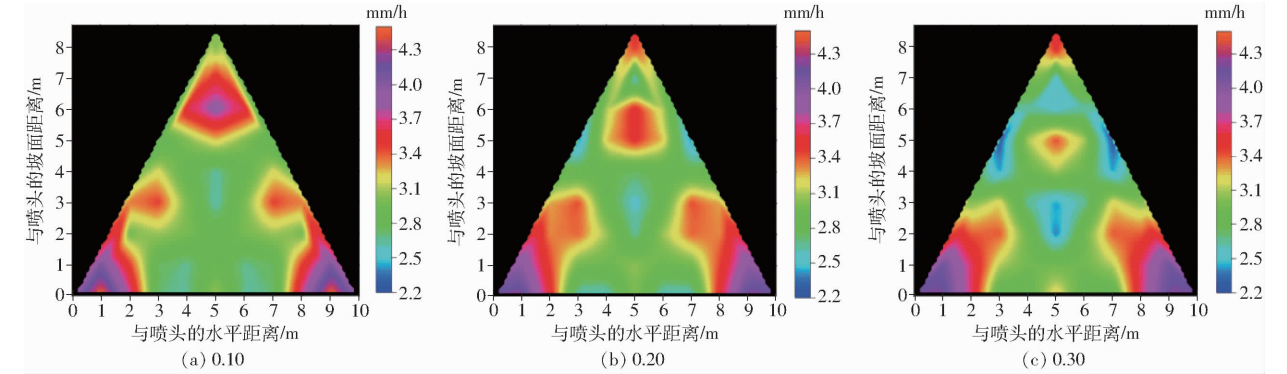


图 9 不同坡度下组合喷头坡面水量分布
Fig. 9 Water distributions for combined sprinklers under different slopes

4.4 喷头工作压力对坡面水量分布的影响

图 10 给出了喷头间距为 R_0 、坡度为 0.15、三角形布置方式下不同工作压力对组合喷头坡面水量分布的影响。从图 10 中可以看出,当喷头工作压力为 100 kPa 时,其水量分布极不均匀,喷头附近水量较

多,其喷灌强度可达到 2.8 mm/h 以上,三角形中部水量普遍较少,其喷灌强度基本处于 1.0 ~ 2.8 mm/h 之间,且 CU 仅为 44.6%;随着喷头工作压力的逐渐增大,当工作压力为 200 kPa 时,喷头附近喷灌强度在 2.8 mm/h 以上的区域增大,占整个三角形喷洒

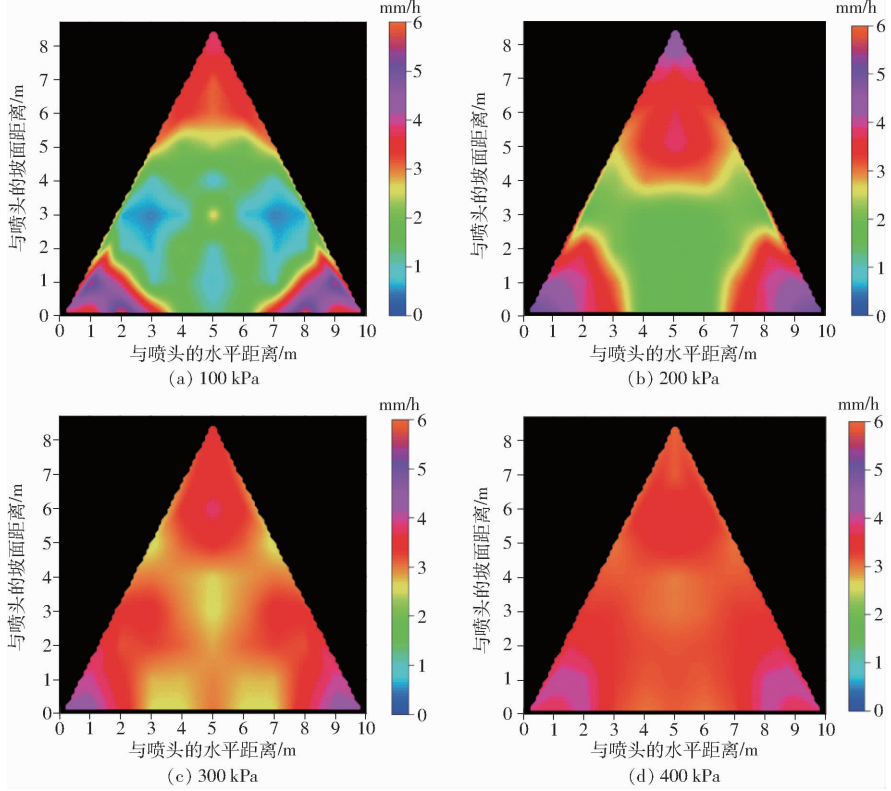


图 10 不同喷头工作压力下组合喷头坡面水量分布
Fig. 10 Water distributions for combined sprinklers with different sprinkler pressures

区域的比例达到 56% ,较工作压力为 100 kPa 时增加了 16% ,CU 虽有所增加,达到 64.5% ,但仍低于国家《喷灌工程技术规范》中规定的 75% 的标准^[20],不能满足灌溉要求。因此,从灌溉质量考虑,不建议雨鸟 LF1200 型喷头在低压下运行。当喷头工作压力增大至 300 kPa 时,水量分布相对均匀,CU 达到 86.0% ,均匀度较高,能够满足灌溉要求。当喷头工作压力进一步增大至 400 kPa 时,水量分布更为均匀,且 CU 高达 89.7% 。虽然更高的工作压力有助于提高喷灌均匀性,但是工作压力的增大意味着喷灌系统运行费用的上升,因此综合考虑喷灌均匀性和经济性,在坡地喷灌系统设计时,建议雨鸟 LF1200 型喷头工作压力选用 300 kPa 较为合适。

5 结论

(1)以坡地喷头射程计算公式为基础,根据喷头射流方向总水量守恒原理,构建了喷灌水量分布由平地转换到坡地的计算模型,且模型模拟的水量

分布与实测水量分布基本吻合,其相对偏差在 10% 左右,说明该模型具有一定的准确性,模拟结果能够较好地反映坡地喷灌水量分布规律。

(2)基于雨鸟 LF1200 型喷头,应用该模型分别研究了喷头布置方式、喷头间距、地形坡度和工作压力等因素对坡地喷灌水量分布和组合喷灌均匀度的影响,结果表明,三角形布置下的喷灌水量分布均匀性略高于方形布置;随着喷头间距的增大,组合喷灌均匀度呈下降趋势;低压条件下,组合喷灌均匀度相对较低,不能满足灌溉质量要求,随着喷头工作压力的增大,组合喷灌均匀度逐渐增大;一定坡度范围内,坡度对坡面喷灌水量分布和组合喷灌均匀度的影响较小。

(3)在坡地喷灌系统设计时,若选用雨鸟 LF1200 型喷头,建议喷头布置方式优先选用三角形,喷头间距宜选用 1.0 ~ 1.2 倍的平地喷头射程,且喷头工作压力不易过低,应在厂家推荐的工作压力范围内选用 300 kPa 为宜。

参 考 文 献

- 1 李久生,饶敏杰. 喷灌水量分布均匀性评价指标的试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 78 - 82.
LI Jiusheng, RAO Minjie. Evaluation methods of sprinkler water nonuniformity[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(4): 78 - 82. (in Chinese)
- 2 韩文霆,吴普特,杨青,等. 喷灌水量分布均匀性评价指标比较及研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 172 - 177.
HAN Wenting, WU Pute, YANG Qing, et al. Advances and comparisons of uniformity evaluation index of sprinkle irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9): 172 - 177. (in Chinese)
- 3 李小平. 喷灌系统水量分布均匀度研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- 4 朱兴业,刘俊萍,袁寿其. 旋转式射流喷头结构参数及组合间距对喷洒均匀性的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 66 - 72.
ZHU Xingye, LIU Junping, YUAN Shouqi. Effect on spraying uniformity based on geometrical parameters and combined spacing of rotational fluidic sprinkler[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(6): 66 - 72. (in Chinese)
- 5 严海军,郑耀泉. 两种园林地理式喷头组合喷洒性能的模拟试验[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 84 - 86.
YAN Haijun, ZHENG Yaoquan. Simulating sprinkler performance of two combined pop-up sprinklers[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 84 - 86. (in Chinese)
- 6 TARJUELO J M, MONTERO J, VALIENTE M, et al. Irrigation uniformity with medium size sprinklers part I: characterization of water distribution in no-wind conditions[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(3): 665 - 675.
- 7 TARJUELO J M, MONTERO J, CARRIÓN P A, et al. Irrigation uniformity with medium size sprinklers part II: influence of wind and other factors on water distribution[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(3): 677 - 689.
- 8 MANTOVANI E C, VILLALOBOS F J, ORGAZ F, et al. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity of crop yield[J]. Agricultural Water Management, 1995, 27(3 - 4): 243 - 257.
- 9 LI J S. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system[J]. Agricultural Water Management, 1998, 38(2): 135 - 146.
- 10 ZHANG L, MERKLEY G P, PINTHONG K. Assessing whole-field sprinkler irrigation application uniformity[J]. Irrigation Science, 2013, 31(2): 87 - 105.
- 11 MATEOS L. Assessing whole field uniformity of stationary sprinkler irrigation systems[J]. Irrigation Science, 1998, 18(2): 73 - 81.
- 12 韩文霆,王玄,孙瑜. 喷灌水量分布动态模拟与均匀性研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 159 - 164. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141125&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.025.
HAN Wenting, WANG Xuan, SUN Yu. Dynamic simulation for sprinkler irrigation water distribution with uniformity[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 159 - 164. (in Chinese)
- 13 刘俊萍,袁寿其,李红,等. 摇臂式喷头组合喷洒均匀性的改进[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 107 - 111.
LIU Junping, YUAN Shouqi, LI Hong, et al. Combination uniformity improvement of impact sprinkler[J]. Transactions of the

CSAE, 2011, 27(7): 107 – 111. (in Chinese)

14 陈学敏, 陈大雕, 袁达. 坡地喷灌水量分布计算模型及其应用[J]. 水利学报, 1989, 20(7): 12 – 20.
CHEN Xuemin, CHEN Dadio, YUAN Da. A model for simulating application pattern of the sprinkler on sloping land [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1989, 20(7): 12 – 20. (in Chinese)

15 向清江, 陈超, 魏洋洋. 变射程喷头在坡地喷灌中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 115 – 119.
XIANG Qingjiang, CHEN Chao, WEI Yangyang. Application of sprinkler with variable range of spray in sloping land [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 115 – 119. (in Chinese)

16 蒋定生. 山丘区梯田喷灌系统中支管路最佳位置的选择[J]. 水利学报, 1982, 13(9): 52 – 57.

17 张以升, 张林, 朱德兰, 等. 基于弹道理论坡地喷灌水量分布模拟及均匀度计算[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 59 – 66.
ZHANG Yisheng, ZHANG Lin, ZHU Delan, et al. Simulation of water distribution and calculation on water application uniformity for sprinkler irrigation on sloping land based on ballistic theory [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(13): 59 – 66. (in Chinese)

18 蒋定生, 黄国俊, 帅启富, 等. 关于坡地喷灌的试验研究[J]. 节水灌溉, 1985(2): 23 – 27.

19 严海军, 马静, 王志鹏. 圆形喷灌机泵注式施肥装置设计与田间试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 100 – 106.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150914&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.014.
YAN Haijun, MA Jing, WANG Zhipeng. Design and field experiment on fertilizer injection device in center pivot irrigation system [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 100 – 106. (in Chinese)

20 喷灌工程技术规范: GB/T 50085—2007[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.