

喷灌水量分布动态模拟与均匀性研究*

韩文霆^{1,2} 王玄¹ 孙瑜¹

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 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)

摘要: 为研究压力、喷头组合方式和插值方法对喷灌均匀系数 CU 和分布均匀系数 DU 这两个评价指标计算结果的影响规律,利用雨量筒径向间隔为 1 m 的 FY RB-471 型喷头无风喷洒试验数据,模拟出了喷头在不同压力下的水量分布情况。在喷头矩形组合方式和正三角形组合方式下,采用线性插值、立方插值、三次样条插值、距离插值和平面插值法计算了不同压力下的喷灌均匀系数和分布均匀系数。结果表明,采用三角形组合方式比矩形组合方式计算的喷灌均匀系数 CU 高 1.56~4.77 个百分点,同样,三角形组合方式比矩形组合方式计算的分布均匀系数 DU 高 4.26~9.19 个百分点;不同的插值方法对喷灌均匀系数与分布均匀系数的计算结果影响不明显,而压力是影响喷灌均匀系数的一个重要因素。

关键词: 喷灌 喷头 均匀系数 水量分布 动态模拟

中图分类号: S275.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0159-06

引言

喷灌是将灌溉水通过由喷灌设备组成的喷灌系统(或喷灌机具),形成具有一定压力的水,由喷头喷射到空中,形成水滴状态,洒落到土壤表面,为作物生长提供必要的水分。喷灌水量分布的均匀性是喷灌系统设计中必须考虑的因素,这是因为均匀程度过低会影响作物对土壤水分的利用,而均匀程度又与系统投资密切相关,高的均匀程度必然需要大的投资。

对喷头水量分布的研究早在 20 世纪 80 年代就已经开始,提出许多很有实际意义的理论并建立了相应较为准确的数学模型,其中有些模型转化为程序软件,实现了电算化^[1-7]。

目前关于喷灌水量分布的研究大都考虑风、坡地等影响因素^[8-16],没有综合考虑喷头工作压力、不同的喷头组合方式和插值方法对喷灌水量分布均匀性的影响。本文旨在利用单喷头无风喷洒径向试验数据,使用 Sprinkler 3D 和 SIUEW 1.0 两个喷灌均匀性分析软件,在不同工作压力和不同组合方式下运用不同的插值方法计算喷灌均匀系数 CU 和分布均匀系数 DU,从而建立喷头工作压力与喷头均匀性的模型,实现复杂工况下喷灌水量分布的模拟。

1 材料与方法

1.1 喷头试验系统

喷头试验在国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心的灌溉水力学大厅内进行,该试验场地长 80 m,宽 30 m。试验系统由提供固定压力 0~500 kPa 的调频泵及管道组成,如图 1 所示。

试验选用的喷头是喷洒角度可调的 FY RB-471 型喷头,试验程序和方法参照文献[17-19]。试验喷头安装在垂直固定的竖管上,试验中喷嘴安装高度为距地面 1.2 m,压力表距离喷嘴 25 cm,试验所用的雨量筒开口直径为 19 cm,高度为 23 cm,满足试验要求。雨量筒采用径向型布置方式,沿喷头喷洒方向,每间隔 1 m 均匀布置雨量筒,如图 2 所示。试验场平整,最大坡度小于 1%,室内无风。由于试验是在无风条件下进行的,可以认为各个方向与喷头相同距离远处的降水深基本相同,所以可用一条辐射线的数据代替其他方向辐射线的数据,从而减少试验工作量^[8]。

1.2 喷灌均匀系数和分布均匀系数计算方法

克里斯琴森最早提出了描述喷灌水量分布均匀程度的定量指标,并在世界各国得到广泛应用,我国制定的《喷灌工程技术规范》^[20]也采用了克里斯琴森均匀系数(CU)。克里斯琴森均匀系数描述的是

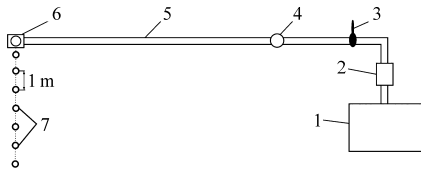


图1 试验系统原理图

Fig. 1 Diagram of experimental system

1. 储水槽 2. 离心泵 3. 阀门 4. 压力表 5. 输水管 6. 喷头
7. 雨量筒



图2 室内试验布置图

Fig. 2 Indoor sprinkler test site layout

各测点的水深与平均水深偏差的绝对值之和,它可以较好地表征整个田间水量分布与平均值偏差的情况,其喷头组合均匀度计算公式为

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |h_i - \bar{h}|}{\sum_{i=1}^n h_i} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中 C_u ——喷灌均匀系数

h_i ——第 i 个测点的降水深, mm

\bar{h} ——喷洒面积上各测点平均降水深, mm

n ——测点数目

Hart 和 Reynolds、Seni-wongse 等认为,如果田间绝大多数测点水深与平均值接近,个别测点水深与平均值偏差较大甚至为零(漏喷)时, C_u 难以反映这种情况,为了克服 C_u 描述水量分布均匀性时的上述缺点, Hart 和 Reynolds 提出了分布均匀系数 D_u (Distribution uniformity) 的概念,其定义为

$$D_u = \frac{\bar{x}'}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2)$$

式中 D_u ——分布均匀系数

\bar{x} ——平均灌水深度

\bar{x}' ——指大小排列的灌水深度低值的 $N/4$ 个测点水深的平均值

$$\bar{x}' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3)$$

式中 x_i ——第 i 个测点的水深

N ——测点数

与均匀系数 C_u 相比,分布系数 D_u 强调了灌

水深度较小的那一部分,有利于保证作物获得必要的最小灌水量,因此美国农业部推荐采用 D_u 来描述水量分布的均匀性^[21]。

对于径向布置的雨量筒喷洒试验,需用不同计算方法将实测径向降水深数据转换为网格点的水深,然后计算 C_u 和 D_u 。一般是根据喷头不同的组合方式和组合间距,通过二维插值,将单喷头圆形喷洒域的水量分布试验数据转换为多喷头组合的网格型数据,然后按照喷灌均匀系数和分布均匀系数的计算方法求得多喷头组合喷灌均匀系数和分布均匀系数。常用的二维插值方法包括距离插值法、平面插值法和两次插值法,其中两次插值法又有线性插值法、立方插值法和三次样条插值法。

距离插值法又称作反距离加权法,其插值原理是计算任意点的降水深,假设该点的降水深由离它最近的两条雨量筒射线上的 4 个点的实测降水深决定,距该点越近的对它的权重越大,越远则对该点的影响越小;平面插值法是假定平面上的 3 个点由空间中的 3 个点所决定,这 3 个点构成一个空间平面,根据解析几何原理可知,空间 3 点(不在同一直线)构成唯一的空间平面,只要知道三角形内所求点的地面坐标,就可通过平面方程求出该点的特征量(降水深);两次插值法分两步进行插值,首先通过径向插值法计算与某点到喷头距离相等雨量筒射线上的各点的降水深,再利用同一圆周上的各点的数据运用相同的径向插值法计算该点的降水深。

1.3 组合水量分布计算模型

目前在喷灌系统中,喷头的组合形式主要有矩形组合形式和三角形组合形式两种。至于哪种组合形式更好,目前还没有定论。一般认为,三角形组合形式经济性较好,而矩形组合形式更便于管理。若要对各种组合形式喷灌系统进行评价,必须获得该组合形式下的实测水量分布数据并根据该数据计算组合喷灌均匀系数和分布均匀系数。很明显,完成该工作十分困难,因此通常采用单喷头水量分布数据叠加的计算方法获得组合水量分布数据。对喷灌系统进行评价,是对整体喷灌区域进行评价,而不是局部范围。但若获得整体喷灌区域的喷洒数据是没有必要的,通常只需确定典型区域的水量分布即可。本文将两种组合方式的叠加计算方法均予以讨论。

对于矩形布置,其典型区域为相邻的 4 个喷头所围成的矩形区域(如图 3a 中喷头 1、2、3 和 4 所围成的阴影部分)。对于三角形布置,从理论上讲,其典型区域为相邻 4 个喷头围成的平行四边形(图 3b 中喷头 1、2、4、5 或喷头 2、3、4、5 所围成的平行四边

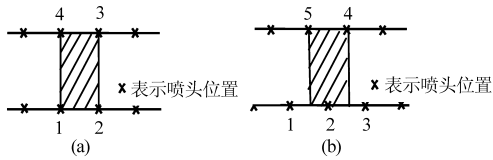


图 3 典型区域示意图

Fig. 3 Typical regional schematic

(a) 矩形布置 (b) 三角形布置

形区域), 但为了测定方便, 仍取矩形 (图 3b 中的阴影部分), 因为两种区域的水量分布对于喷灌均匀系数和分布均匀系数计算是完全等效的。

对典型区域的水量分布有影响的喷头称为有效喷头^[22]。有效喷头取决于布置形式、喷头间距及单喷头水量分布等因素。当这些条件已知时, 有效喷头很容易确定。例如, 在无风及平地条件下, 单喷头水量分布呈圆形。设其半径为 R 。对于矩形布置, 当喷头间距和管道间距大于或等于 R (喷头组合间距一般大于或等于 R , 且小于或等于 $1.4R$ 的范围内) 时, 有 4 个有效喷头, 分别为喷头 1、2、3 和 4 (图 4a)。对于三角形布置, 当喷头间距和管道间距均大于 R , 且小于 $2R$ (喷头组合间距一般都在这个范围内) 时, 有 5 个有效喷头, 分别为喷头 1、2、3、4 和 5 (图 4b)。

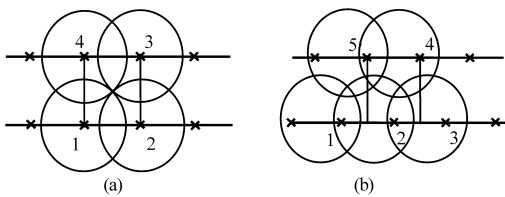


图 4 有效喷头示意图

Fig. 4 Effective sprinklers

(a) 矩形布置 (b) 三角形布置

由单喷头水量分布数据计算多喷头组合的喷灌均匀系数和分布均匀系数, 采用不同的计算方法会得到不同结果。本文使用 Sprinkler 3D 和 SIUEW 1.0 喷灌均匀性分析软件, 研究喷头在矩形组合方式和三角形组合方式下, 不同压力对喷头组合喷灌均匀系数和分布均匀系数计算结果的影响规律。

1.4 压力-水量分布计算模型

压力对喷头水量分布的影响从理论上难以推导, 对二者之间相关关系的研究较少。目前对二者的研究主要是对压力与喷头射程相关关系的研究。喷头水量分布可以视为连续变化系统, 其雨滴直径分布和水深分布是有规律可循的, 因此, 利用某一喷头在不同压力下的单条辐射线上的试验数据, 采用连续插值函数逼近方法, 可以建立压力-水量分布模型。

压力与水量分布相关关系可以分为压力与雨滴

粒径分布相关关系以及压力与喷洒水深相关关系^[23-25]。在无风条件下, 假设喷头喷洒域内某点的喷洒水深或粒径 z 只与该喷头的工作压力 x 以及该点至喷头的距离 y 相关, 则据此可建立一个关于压力 (X 轴)、至喷头距离 (Y 轴) 和喷洒水深 (Z 轴) 的三维模型, 如图 5 所示。其中, 压力 x 和至喷头距离 y 为自变量, 喷洒水深 z 为因变量。模型建立的过程即是将试验数据点 $m(x, y, z)$ 转换为水深 (或粒径) 曲面模型 $z=f(x, y)$ 的过程。根据已知所有数据点 $m(x, y, z)$ 进行二维插值即可计算出任意压力喷头任意距离的水深 (或粒径) 值。

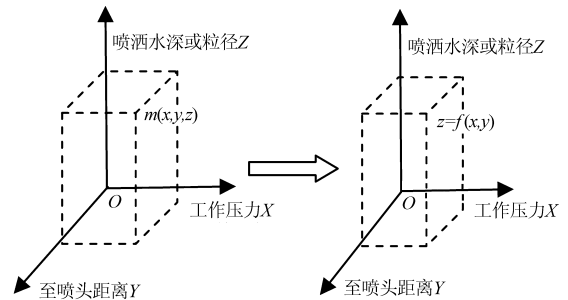


图 5 压力-水量分布模型的建立方法示意图

Fig. 5 Schematic diagram of pressure with water distribution model

二维插值是利用多个压力下径向辐射线上的已有降水深数据对压力及距离进行插值, 计算出任一压力下至喷头任意距离点的未知降水深或水滴直径, 二维插值计算过程如下:

在 m 个压力下做喷洒试验, 每个压力下一条辐射线上记录 n 个试验降水深数据, 则获得试验数据为 H_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)。设任意压力 p 下任意距离 R_1 的降水深数据为 h , 计算公式为

$$h = F_1(H_{ij}, p, R_1) \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中 F ——三次样条二维插值函数

p ——压力 R_1 ——距离

2 结果与分析

2.1 单喷头水量分布

表 1 为可调式全圆喷头 FY RB-471 型单喷头在不同压力喷洒试验中径向布置雨量筒的实测降水深数据。

表 1 中第 1 个数据为距离喷头 0.1 m 处的降水深, 为了计算方便, 用该值近似代替喷头所在位置的降水深; 在 8 m 处的降水深最少, 因此可以在软件中设置喷头的射程为 9 m。

图 6 为在 Sprinkler 3D 软件中模拟的不同压力下单条辐射线上雨量筒水量分布图, 该图通过三次

表1 FY RB-471型喷头在不同工作压力下的降水深

Tab.1 Precipitation depth date of FY RB-471 sprinkler under different operating pressures

mm/h

工作压力 /kPa	至喷头距离/m								
	0.1	1	2	3	4	5	6	7	8
200	0.776	3.723	4.953	3.623	1.607	0.931	0.465	0.332	0.211
240	0.731	4.233	5.906	4.598	1.994	1.097	0.620	0.343	0.222
280	0.820	4.377	5.839	4.809	2.150	1.163	0.676	0.355	0.211
320	1.064	4.510	6.814	5.363	2.493	1.263	0.709	0.355	0.155
360	1.374	4.587	7.125	6.404	2.870	1.463	0.776	0.332	0.188
400	1.440	4.875	7.834	6.914	3.989	1.573	0.942	0.476	0.166

样条二维插值,采用1/4倍插值间距获得。图7为压力在300 kPa,无风条件下的单喷头三维水量分布图,该图与图6共同反映了FY RB-471型喷头的水量分布情况。

从表1和图6可以看出该喷头在2 m处的水量分布较多。图8为在2 m处降水深随压力的变化曲线,可以看出压力在250~350 kPa时降水深变化不明显,说明该喷头在中压条件下工作较好。

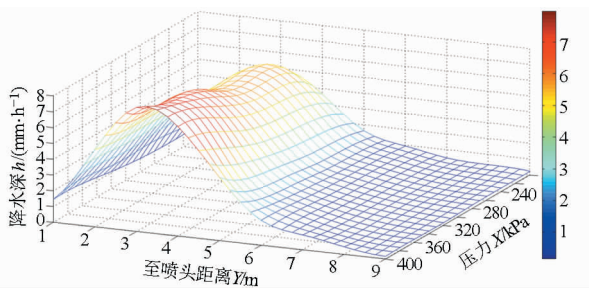


图6 压力水量分布图

Fig.6 Catch-can data showed with 3-D map in different pressure

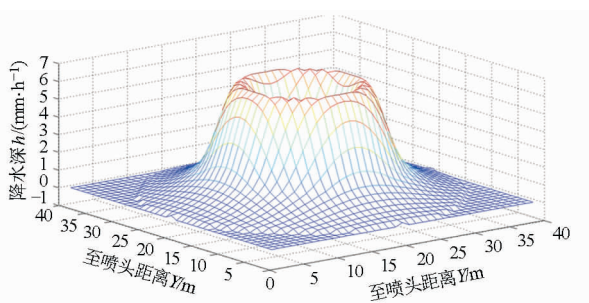


图7 300 kPa时单喷头三维水量分布图

Fig.7 Single sprinkler 3-D water distribution with 300 kPa

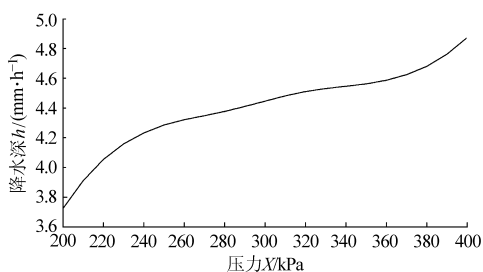


图8 2 m处不同压力的水量分布图

Fig.8 Water distribution of different pressures with 2 m

2.2 喷灌均匀系数和分布均匀系数

表1中第1个数据为距离喷头0.1 m处的降水深,为了计算方便,用该值近似代替喷头所在位置的降水深。将表1中的雨量筒实测降水深数据输入软件Sprinkler 3D和SIUEW 1.0中,采样间距为1 m,取1 m的计算网格点间距,采用线性插值、立方插值、三次样条插值、距离插值和平面插值在三角形组合方式和矩形组合方式(组合间距系数为1.2)下计算了克里斯琴森均匀系数CU和分布均匀系数DU。

2.2.1 不同插值方法下的喷灌均匀系数CU

图9为5种插值方法下喷灌均匀系数CU随工作压力的变化曲线,虽然插值方法不同,但在各种插值方法下喷灌均匀系数CU随压力变化的趋势是一致的。图9表明喷头在较低的工作压力下喷灌均匀系数的变化较大,并且在低压下的CU也较低,维持在68%以下;在中压300~360 kPa下的喷灌均匀系数CU变化不大,说明喷头在300~360 kPa下工作时,压力对喷灌均匀系数CU的影响不大;在400 kPa的高压下工作时,喷头的喷灌均匀系数CU也较高。

2.2.2 不同插值方法下的分布均匀系数DU

图10为5种插值方法下分布均匀系数DU随工作压力的变化曲线。从图中可以看出,在压力较低时,分布均匀系数DU随压力变化较大,在中高压下DU随压力变化较为平缓,但在360~400 kPa时喷头的分布均匀系数DU也较大。

综上所述,在计算过程中采用不同的插值方法,对计算结果有一定的影响。对于FY RB-471型喷头的这种相对平直的径向水量分布曲线来说,在不同插值方法下,尤其是采用线性插值、立方插值、三次样条插值和距离插值法,喷头径向水量分布曲线变化很小,因此对FY RB-471型喷头,除平面插值法外,其他插值方法对喷灌均匀系数和分布均匀系数计算结果影响较小。同时也可得出,采用三角形组合方式比矩形组合方式计算的喷灌均匀系数CU高1.56~4.77个百分点,分布均匀系数DU高4.26~

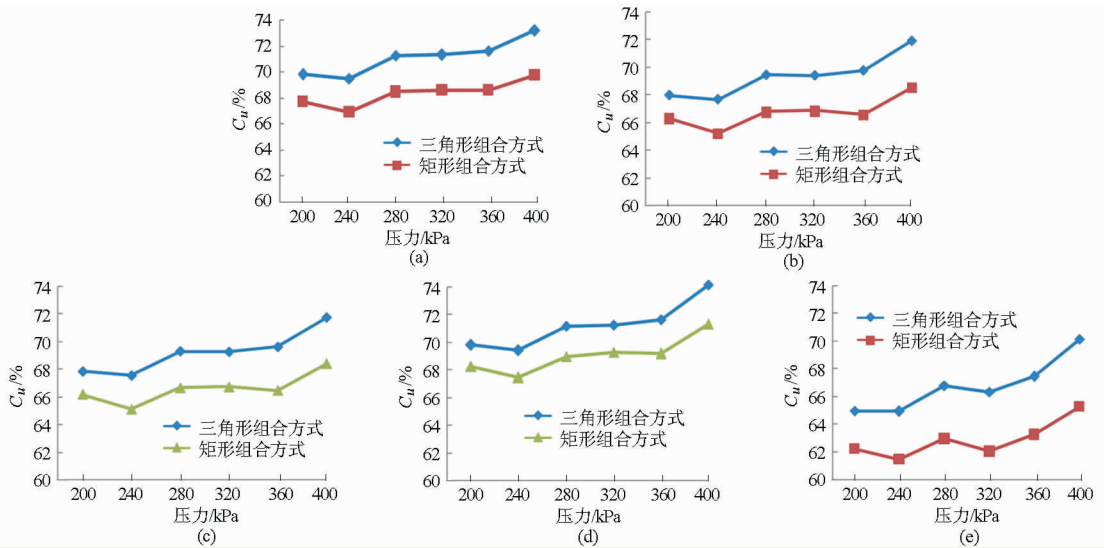


图 9 不同插值方法下喷灌均匀度随压力的变化曲线

Fig. 9 CU curves with pressure under different interpolation methods

(a) 线性插值 (b) 三次样条插值 (c) 立方插值 (d) 距离插值 (e) 平面插值

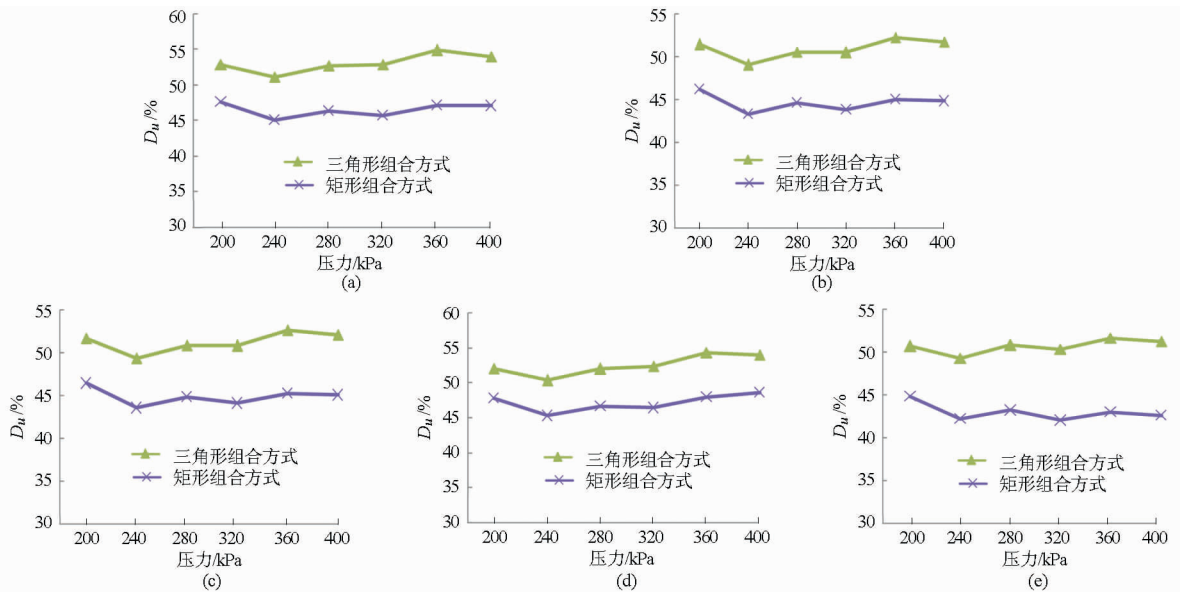


图 10 不同插值方法下分布均匀系数随压力的变化曲线

Fig. 10 DU curves with pressure under different interpolation methods

(a) 线性插值 (b) 三次样条插值 (c) 立方插值 (d) 距离插值 (e) 平面插值

9.19 个百分点。

3 结论

(1)用不同的插值方法和喷头组合方式计算喷头的组合均匀度与分布均匀系数,其结果基本一致。对于同一种插值方法,喷头的组合方式对其计算结果的影响都在 5 个百分点内;而不同的插值方法对喷头组合均匀系数和组合分布系数的计算结果和变化趋势没有显著影响,基本保持一致。

(2)不论是从喷灌均匀系数还是分布均匀系数的计算结果来看,喷头安装的组合方式对 CU 和 DU 都有一定的影响,喷头的三角形组合方式能够获得更好的水力性能。

(3)喷灌均匀系数 CU 和分布均匀系数 DU 虽然是都用来评价喷头的水力性能的重要指标,但是压力对喷灌组合均匀系数 CU 的影响较明显,而对组合分布均匀系数 DU 的影响不大。

参 考 文 献

1 Fukui Y, Nakanishi K, Okamura S. Computer evaluation of sprinkler irrigation uniformity [J]. Irrigation Science, 1980,2(1): 23-32.

- 2 Vories E D, von Bernuth R D, Mickelson R H. Simulating sprinkler performance in wind [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1987, 113(1): 119 - 130.
- 3 Seginer I, Nir D, von Bernuth R D. Simulation of wind-distorted sprinkler patterns [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1991, 117(2): 285 - 306.
- 4 Mateos L. Assessing whole-field uniformity of stationary sprinkler irrigation systems [J]. *Irrigation Science*, 1998, 18(2): 73 - 81.
- 5 Carrion P, Montero J, Tarjuelo J M. Applying simulation on sprinkling irrigation systems design: SIRIAS model [J]. *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, 2001, 17(3): 347 - 362.
- 6 Dechmi F, Playán E, Cavero J, et al. Coupled crop and solid set sprinkler simulation model. I: Model development [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2004, 130(6): 499 - 510.
- 7 Playn E, Zapata N, Faci J M, et al. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 84(1-2): 89 - 100.
- 8 黄修桥, 廖永诚, 刘新民. 有风条件下喷灌系统组合均匀度的计算理论与方法研究 [J]. *灌溉排水*, 1995(1): 12 - 18.
Huang Xiuqiao, Liao Yongcheng, Liu Xinmin. The compound uniformity of sprinkler irrigation system under wind condition: a study on its calculation theories and methods [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 1995(1): 12 - 18. (in Chinese)
- 9 黄修桥. 有风时的喷洒水滴运动规律及风对喷头射程的影响 [J]. *灌溉排水*, 1992(2): 1 - 7.
Huang Xiuqiao. Moving of spray droplet under wind condition and the effect of wind on spray distance of nozzle [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 1992(2): 1 - 7. (in Chinese)
- 10 陈大雕. 最优喷头组合形式选择方法的探讨(上) [J]. *喷灌技术*, 1984(2): 3 - 9.
Chen Dadio. The discuss of optimal combination nozzle selection method [J]. *Water Saving Irrigation*, 1984(2): 3 - 9. (in Chinese)
- 11 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(7): 12 - 20.
Chen Xuemin, Chen Dadio, Yuan Da. Slope sprinkler irrigation water application rate distribution calculation model and application [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1989(7): 12 - 20. (in Chinese)
- 12 郗志红, 练继建, 吴鑫淼, 等. 喷灌水量分布的遗传神经网络模拟与组合均匀度计算 [J]. *灌溉排水学报*, 2003, 22(3): 61 - 63.
Qie Zhihong, Lian Jijian, Wu Xinmiao, et al. Genetic neural network simulation and uniformity calculation of droplet distribution in sprinkling irrigation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, 22(3): 61 - 63. (in Chinese)
- 13 张志宇. 喷头水量分布的智能仿真与组合间距的优化 [D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
Zhang Zhiyu. Sprinkler water application rate distribution intelligent simulation and combination spacing optimization [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 14 韩文霆. 喷灌均匀系数的三次样条两次插值计算方法 [J]. *农业机械学报*, 2008, 39(10): 134 - 139.
Han Wenting. Calculation of sprinkler irrigation uniformity by double interpolation using cubic splines and linear lines [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(10): 134 - 139. (in Chinese)
- 15 向清江, 陈超, 恽强龙, 等. 一种数据转换方法及其在坡地组合喷灌中应用 [J]. *中国农村水利水电*, 2010(11): 76 - 78.
Xiang Qingjiang, Chen Chao, Yun Qianglong, et al. A method of data conversion and its application in sloping land sprinkler irrigation [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2010(11): 76 - 78. (in Chinese)
- 16 Han W T, Yao X M, Lao D Q, et al. A dynamic-simulation system for sprinkler water 3D-distribution using multiple tools integration [J]. *Journal of Convergence Information Technology*, 2013, 8(2): 170 - 176.
- 17 ANSI/ASAE. S330.1: Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes [S]. 2003.
- 18 GB/T 19795.1—2005 农业灌溉设备 旋转式喷头 第1部分: 结构与运行要求 [S]. 2005.
- 19 GB/T 27612.3—2011 农业灌溉设备 喷头 第3部分: 水量分布特性与试验方法 [S]. 2011.
- 20 GB/T 50085—2007 喷灌工程技术规范 [S]. 2007.
- 21 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)
- 22 韩文霆, 吴普特, 杨青. 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. Advances and comparisons of uniformity evaluation index of sprinkle irrigation [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(9): 172 - 177. (in Chinese)
- 23 Chen Xiangwei, Zhang Yang, Han Wenting, et al. A dynamic model for sprinkler irrigation water distribution [J]. *International Agricultural Engineering Journal*, 2013, 22(3): 31 - 38.
- 24 李永冲, 严海军, 徐成波, 等. 考虑水滴运动蒸发的喷灌水量分布模拟 [J]. *农业机械学报*, 2013, 44(7): 127 - 132.
Li Yongchong, Yan Haijun, Xu Chengbo, et al. Simulation of sprinkler water distribution with droplet dynamics and evaporation [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(7): 127 - 132. (in Chinese)
- 25 韩文霆, 崔利华, 吴普特, 等. 正三角形组合喷灌均匀度计算方法 [J]. *农业机械学报*, 2013, 44(4): 99 - 107.
Han Wenting, Cui Lihua, Wu Pute, et al. Calculation methods for irrigation uniformity with sprinklers spaced in regular triangle [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(4): 99 - 107. (in Chinese)

Effect of Sludge Return Crack Width on Separation Efficiency of Three-phase Separator in UASB Reactor

Hao Feilin¹ Shen Mingwei² He Yong² Feng Lei²

(1. College of Biology and Environmental Engineering, Zhejiang Shuren University, Hangzhou 310015, China

2. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The crack width of sludge return crack for the three-phase separator (TS) plays a key role in the separation process. To evaluate the effects of crack width on the separation efficiency of solid, liquid, gas in TS of USAB reactor, a 3-D CFD simulation was adopted based on Eulerian multi-phase model. Five typical crack width settings as 80 mm, 95 mm, 110 mm, 125 mm, 140 mm were investigated for a typical UASB reactor. The result shows that the average flow speed of three phases in the TS region was much higher than the UASB's designed up-flow speed, and the flow speed of solid phase exceeded that of gas and liquid. Circulation pattern turbulence dominated the liquid flow in TS region. The crack width had more obvious effect on solid phase than on gas and liquid. The separation efficiency was much effective for solid phase in five cases through one plate while only 60% for gas. The separation efficiency of gas and solid phases became lower with a wider crack gap. With the supplement of precipitation layer in the top of TS, the solid phase could separate completely, while the highest separation efficiency for gas was obtained with gap width of 95 mm.

Key words: Three-phase separator Sludge return crack width Multi-phase flow Anaerobic Simulation

(上接第 164 页)

Dynamic Simulation for Sprinkler Irrigation Water Distribution with Uniformity

Han Wenting^{1,2} Wang Xuan¹ Sun Yu¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shannxi 712100, China

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

Abstract: Distribution uniformity (DU) and Christiansen uniformity coefficient (CU) are two important indicators for evaluating the hydrodynamic performance and irrigating quality of sprinkler irrigation system. In order to research the impact of the pressure, sprinkler combinations and interpolation methods on the distribution uniformity and Christiansen uniformity coefficient, CU and DU were computed by linear interpolation, cubic interpolation, cubic spline twice interpolation, inverse distance weighting method and plane interpolation method with two combinations (rectangular and regular triangle), and 1m sampling space. Using the experimental data of FY RB-471 sprinklers without wind simulated the water distribution under different pressures. The results showed that CU calculated from rectangular combination data were less than from regular triangle combination data by 1.56% ~ 4.77%. Similarly, DU calculated from rectangular combination data were less than from regular triangle combination data by 4.26% ~ 9.19%. Different interpolation methods for the calculation results of CU and DU are not obvious, while the pressure is an important factor for affecting the sprinkler uniformity.

Key words: Sprinkler irrigation Sprinkler Uniformity coefficient Water distribution Dynamic simulation