

变量喷洒全射流喷头副喷嘴优化与评价*

刘俊萍 袁寿其 李红 陈超 魏洋洋

(江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013)

【摘要】 为解决全射流喷头实现变量喷洒时由于压力变化而产生的水量分布不均匀问题,以 20PXH 型变量喷洒全射流喷头为研究对象,设计不同副喷嘴改善水量分布。通过射流理论分析设计了 8 种副喷嘴方案,测量了喷头径向水量分布,采用不同压力下喷灌强度差值分析的方法,得到方案 5 挡板式副喷嘴结构改善水量情况最好。通过测量不同挡板角度及不同压力下水量分布,以均匀性系数值最大为目标,以挡板角度及均匀性取值范围为约束条件,首次建立了变量喷洒全射流喷头喷洒均匀性的综合评价函数,并求得最佳挡板角度为 21.2° 。

关键词: 全射流喷头 变量喷洒 副喷嘴 优化模型 评价

中图分类号: S277.9⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)09-0098-04

Evaluation and Optimization of Variable Rate Complete Fluidic Sprinkler Vice Nozzle

Liu Junping Yuan Shouqi Li Hong Chen Chao Wei Yangyang

(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

According to the fact that water distribution of variable rate complete fluidic sprinkler is not uniformity under different pressures, 20PXH variable rates complete sprinkler was taken as the research model, and eight different schemes of vice nozzles were designed and analyzed by jet water theory. The water distribution was measured. The method of analyzing the test data by different sprinkler irrigation intensities under different pressures was applied, and the best scheme was obtained. The test for water distribution under different pressures and baffle angles was carried out. Taking maximal uniformity coefficient as the function objective, and the range of baffle angle and uniformity coefficient as the constraint conditions, the comprehensive evaluation function of variable rates of the complete sprinkler uniformity was created for the first time. The optimum baffle angle is 21.2° by derivative the function.

Key words Complete fluidic sprinkler, Variable spraying, Vice nozzle, Optimization model, Evaluation

引言

全射流喷头是全新的节水节能灌溉设备,其水力性能优秀,工作稳定^[1]。随着喷灌设备向多功能要求发展,精确灌溉已成为重要的发展方向^[2~3]。其中变域喷洒喷头适用于不同形状的喷洒地块及便于组合,起到很好的节水效果^[4~5]。全射流喷头的

变量喷洒是通过增设压力流量调节装置调节喷头工作压力实现的。压力调节时,若喷头在非设计工况下运行,存在喷洒均匀性下降问题。以喷头实现正方形喷洒为例,喷头喷洒的射程呈 4 个周期变化,压力也随着射程变化,但在工作压力比较低时,不同旋转角度下,径向的水量分布会有所差异,主要表现为在压力相对较低的范围内径向水量分布在靠近喷头

收稿日期: 2010-11-30 修回日期: 2011-01-05

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA100211)和江苏省研究生创新计划项目(CX09B_197Z)

作者简介: 刘俊萍, 博士生, 主要从事节水灌溉装备研究, E-mail: liujunping401@163.com

通讯作者: 袁寿其, 研究员, 博士生导师, 主要从事节水灌溉装备研究, E-mail: shouqi@ujs.edu.cn

1/3 倍射程内水量较少,末端水量较多,造成喷洒面不均匀问题,为组合喷灌带来不便。

为解决上述问题,针对全射流喷头射流元件形状改成本较高,本文通过在变量喷洒全射流喷头转体处设计不同形式及结构的副喷嘴来改善变量喷洒喷头的水量分布,通过差值分析及综合评价的方法,优化副喷嘴结构及参数。

1 结构方案

在变量喷洒全射流喷头转体处加设与喷头喷管方向一致,仰角为 10°的副喷嘴,其位置如图 1 所示。

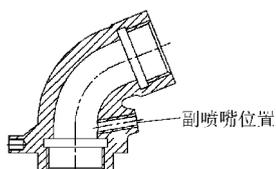


图1 副喷嘴位置示意图

Fig.1 Vice nozzle direction diagram

以 20PXH 型喷头为研究对象,设计 8 种方案的副喷嘴,如图 2 所示。

其中方案 1 为无副喷嘴,方案 2~3 出口为非圆形,方案 4~8 出口均为圆形,且有挡板,称为挡板式副喷嘴。挡板角度设为 α 。

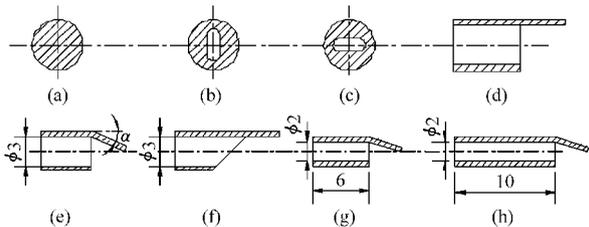


图2 各副喷嘴结构方案

Fig.2 Different structure schemes of vice nozzle

(a) 方案1 (b) 方案2 (c) 方案3 (d) 方案4
(e) 方案5 (f) 方案6 (g) 方案7 (h) 方案8

方案 1~8 副喷嘴的出口当量直径依次为 0、1.6、1.6、3.0、3.0、3.6、2.0、2.0 mm。

对上述设计的各种副喷嘴进行射流理论分析。水流经过副喷嘴后喷出,为无限空间射流。外界空气静止,因此为自由射流^[6]。

副喷嘴方案 1~3,由于水流射出后的重力作用,水流扩散。方案 3 由于射流出口为横扁形状,在三维空间坐标范围内,其射流结构为非对称结构,且核心段较薄,剪切层变大,容易扰动而使其尽快充分发展,因此,水射流射程受影响,使副喷嘴近处的水量增多,边界层宽度值变大,速度变小,射程变近。方案 4~8 在水射流与圆形出口相同的基础上,上端增设挡板,并使挡板向下倾斜,以在起始段起到阻挡水流的作用,使一定角度的射流核心区及混合区都受到挡板影响而改变水流方向。当水流射出撞击到挡板上时,水流散落在喷头近处,补充近处水量。

2 水量分布特性试验

测量全射流喷头不同副喷嘴方案,不同压力的径向水量分布,其结果可为变量喷洒中副喷嘴的选取提供依据。试验选取的压力分别为 0.27 MPa 和 0.15 MPa。采用基于 485 总线的自动测量系统,喷头全圆旋转,测量时间为 1 h^[7]。得到不同方案 and 不同压力下喷头的径向水量分布如图 3 所示。

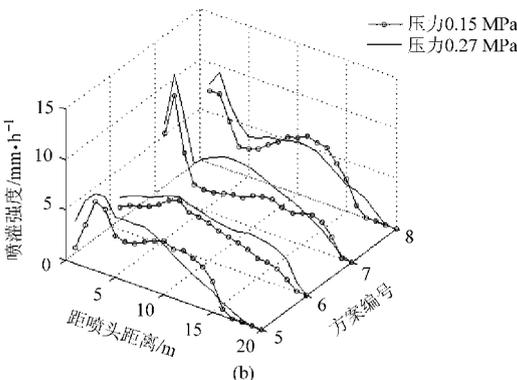
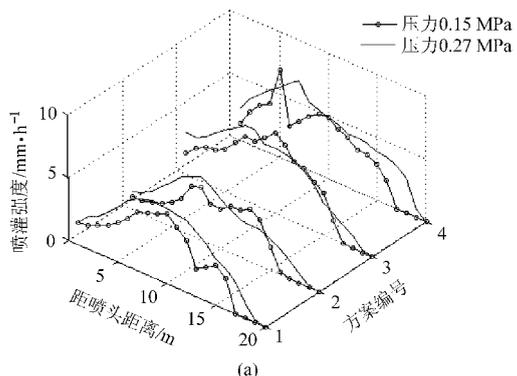


图3 不同方案、不同压力下的径向水量分布

Fig.3 Radial distribution of different schemes
(a) 方案 1~4 (b) 方案 5~8

3 试验结果分析

通过水量分布特性试验可以看出,两种压力的变化对水量分布影响较小,说明喷头在旋转过程中,即使压力调节装置调节压力,水量分布变化也较小。由此可认为各种副喷嘴方案中,径向水量分布差别较小的方案即为较优方案。8 种方案不同压力下的喷灌强度差值如图 4 所示(从上到下依次为方案 8~1)。

由图 4 可以看出,0.15 MPa 和 0.27 MPa 压力下,不同方案喷灌强度的差值不同,图中的纵坐标为喷灌强度的差值,其中方案 5 的差值变化较小,曲线较为平坦。说明在不同的工作压力下,采用方案 5 可避免由于变量喷洒中压力的变化而造成水量分布不均匀的情况,能够达到预期效果。

4 结构参数优化模型及评价

通过对 8 种方案的试验及分析,认为方案 5 结

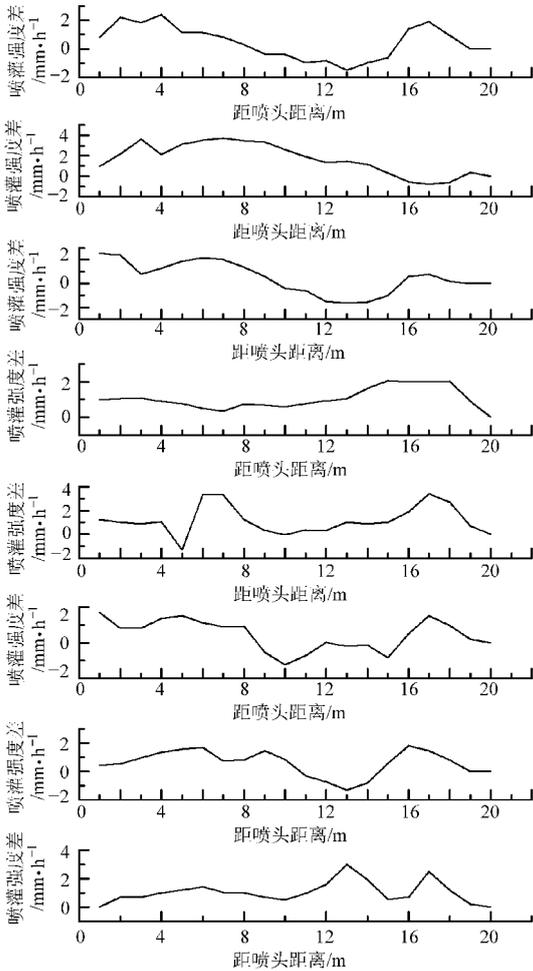


图4 8种不同方案在0.15 MPa和0.27 MPa下的喷灌强度差值

Fig. 4 Sprinkler irrigation intensity difference of 0.15 MPa and 0.27 MPa in different schemes

构能起到较好的改善喷洒均匀性的作用。因此对方案5的结构参数进一步优化,选择其最佳结构尺寸。

方案5副喷嘴挡板的角度对水量分布具有一定的影响,为了确定挡板的角度,对副喷嘴出口直径为3 mm,不同挡板角度情况下的副喷嘴结构分别进行水力性能试验,确定最佳结构尺寸。为了适应在变量喷洒中低压下喷洒,其工作压力分别设为0.15、0.27 MPa。设挡板长度为7 mm,选择挡板角度 α 分别为:17.5°、20.0°、22.5°、25.0°。试验得到不同角度下的径向水量分布如图5所示。

喷头喷洒的射程主要由喷头的主喷嘴决定,副喷嘴是为改善喷洒均匀性。因此,建立副喷嘴结构函数时,暂时忽略射程因素。径向水量点喷灌强度代表的面积不同,因此均匀性系数为^[8]

$$C_u = \left(1 - \frac{\Delta h}{h}\right) \times 100\% \quad (1)$$

其中 $h = \frac{\sum_{i=1}^n S_i h_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$ $|\Delta h| = \frac{\sum_{i=1}^n S_i |h_i - h|}{\sum_{i=1}^n S_i}$

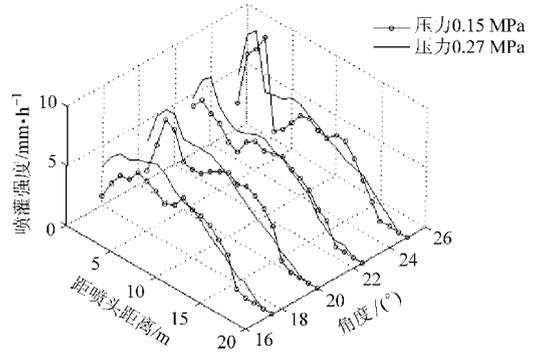


图5 不同挡板角度喷头径向水量分布

Fig. 5 Radial distribution of sprinkler in different baffles at vice nozzle

即
$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |h_i - h|}{\sum_{i=1}^n S_i h_i}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中 h_i ——某测点的喷洒水深, mm
 S_i ——某测点所代表的面积, m^2
 n ——测点数

由于变量喷洒喷头组合喷洒均匀性与压力变化产生的水量分布差异同等重要,因此,采用考虑组合水量分布均匀和不同压力下喷灌强度差值的综合评价函数

$$f(\alpha) = C_{ui}(\alpha) + C_{uj}(\alpha) \quad (3)$$

式中 $C_{ui}(\alpha)$ ——角度 α 的函数,由于压力越大水量分布越均匀,因此选取低压(0.15 MPa)为代表评价计算正方形组合布置下组合喷洒均匀性
 $C_{uj}(\alpha)$ ——角度 α 的函数,不同压力下喷灌强度差值产生的均匀性系数

该函数的约束条件为

$$\begin{cases} 17.5^\circ \leq \alpha \leq 25.0^\circ \\ 0 \leq C_{ui} \leq 1 \\ 0 \leq C_{uj} \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

根据式(4),分别计算工作压力0.15 MPa,在1倍射程组合间距下,不同挡板角度下的正方形组合喷洒均匀性系数,得到在挡板角度为17.5°、20.0°、22.5°、25.0°时,正方形组合喷洒均匀性系数 C_{ui} 依次为:0.760、0.770、0.785、0.770。

因此,正方形组合布置下喷洒均匀性系数随角度变化的回归函数为

$$y = -0.0010x^2 + 0.0443x + 0.2893 \quad (5)$$

其中极差 $R^2 = 0.8078$ 。

不同工作压力下径向喷灌强度差值如图6所示。

由图6可以看出,0.15 MPa与0.27 MPa下的差值越小,说明在该副喷嘴下,可减少由于压力产生的

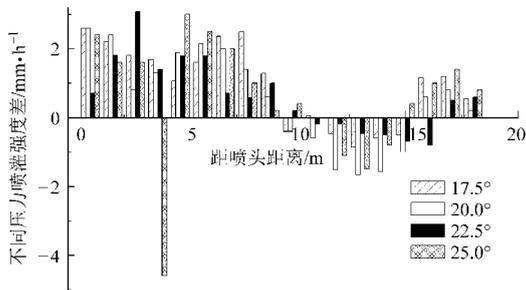


图6 0.15 MPa 和 0.27 MPa 下的点喷灌强度差值
Fig.6 Sprinkler irrigation intensity difference of
0.15 MPa and 0.27 MPa

喷洒不均匀问题。不同压力下喷灌强度的差值越接近于零,说明喷头在压力的变化中,通过该副喷嘴的改进能够保证喷洒均匀性。图6中副喷嘴挡板角度为 $20.0^\circ \sim 22.5^\circ$ 时,偏移 X 轴的变化幅度相对较小。在距离喷头 $0 \sim 10$ m时,低压下近处喷灌强度较小,高压处喷灌强度较大,在距离喷头 $10 \sim 15$ m之间时,低压下近处喷灌强度较大,高压处喷灌强度较小。在距离喷头大于 15 m时,由于喷头的压力不同,喷洒的射程不同,因此产生了 $y > 0$ 的情况。

若2个压力下的差值趋于平坦,说明压力对其的影响均匀,另外其差值在零附近,说明由于压力的不同产生的均匀性系数较高,即压力对水量分布的影响较小。因此,采用式(2)分别计算不同压力下喷灌强度差值产生的均匀性系数,得到在挡板角度

为 17.5° 、 20.0° 、 22.5° 、 25.0° 时,不同压力下喷灌强度差值产生的均匀性系数 C_{ij} 依次为:0.49、0.50、0.53、0.46。

因此,不同压力下喷灌强度差值产生的均匀性系数随角度的变化函数为

$$y = -0.0032x^2 + 0.1336x - 0.8740 \quad (6)$$

其中极差 $R^2 = 0.712$ 。

将式(5)和式(6)代入式(3),并简化,得到综合评价函数为

$$f(\alpha) = -0.0042\alpha^2 + 0.1779\alpha - 0.5847 \quad (7)$$

对该函数方程两边求导数,并将右式等于零,得到在最大综合评价均匀性系数值的情况下,最佳角度为: $\alpha = 21.2^\circ$ 。

5 结论

(1)分析设计了8种副喷嘴方案,采用了不同压力下水量分布喷灌强度差值的分析方法,得到挡板式副喷嘴结构改善水量情况较好的结论。

(2)测量了不同挡板角度及不同压力下的水量分布,建立了变量喷洒全射流喷头喷洒均匀性的综合评价函数,为喷头组合喷洒均匀性系数与不同压力下喷灌强度差值产生的均匀性系数之和,通过非线性回归及方程求导的方法,得到最佳挡板角度为 21.2° 。

参 考 文 献

- 朱兴业,袁寿其,李红. 全射流喷头与摇臂式喷头的对比实验[J]. 农业机械学报,2008,39(2):70~72,184.
Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Li Hong. Compared experiments between complete fluidic sprinkler and impact sprinkler [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 70~72, 184. (in Chinese)
- 韩文霆,吴普特,冯浩,等. 仿形喷洒变量施水精确灌溉技术研究进展[J]. 农业工程学报,2004,20(1):16~19.
Han Wenting, Wu Pute, Feng Hao, et al. Review on irrigated area profile modeling and variable-rate precision sprinkle irrigation technique [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1):16~19. (in Chinese)
- Li J, Kawano H. Simulating water-drop movement from noncircular sprinkler nozzles [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1995, 121(2):152~158.
- Han Wenting, Fen Hao, Wu Pute, et al. Variable-rate controlled sprinklers for precision irrigation [C] // 2007 ASABE Annual Meeting, Technical Papers, No. 072249.
- 严海军,郑耀泉. 园林灌溉喷头的水力性能测试分析及应用研究[J]. 排灌机械,2001,19(2):32~34.
Yan Haijun, Zheng Yaoquan. Test analysis on hydraulic performance and application study of sprinklers for gardens irrigation [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2001, 19(2):32~34. (in Chinese)
- 陆宏圻. 喷射技术理论及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.
- 严海军,徐成波,陆文红,等. 摇臂式喷头内流道流动分析与数值模拟[J]. 水利学报,2009,40(1):122~127.
Yan Haijun, Xu Chengbo, Lu Wenhong, et al. Numerical simulation of internal flow field in impact sprinkler [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(1):122~127. (in Chinese)
- GB/T 50085—2007 喷灌工程技术规范[S]. 2007.