

文章编号:0559-9350(2019)04-0488-09

摇臂式喷头喷嘴结构改进及水力性能试验研究

王子君^{1,2}, 惠鑫¹, 黎耀军¹, 严海军¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 势加透博(北京)科技有限公司, 北京 100012)

摘要: 为了降低摇臂式喷头在工程应用中的运行成本、提高喷灌质量, 本文针对8034D摇臂式喷头主、副喷嘴结构进行了优化改进, 并研究了喷嘴结构改进后对喷头流量、径向水量分布和组合喷灌均匀度的影响。结果表明, 主喷嘴内腔锥度角对喷头流量的影响呈显著水平, 内腔锥度角越大, 喷头流量越小; 当工作压力相同时, 改进副喷嘴结构对喷头流量的影响不大。随着测点与喷头水平距离的逐渐增加, 不同内腔锥度角和圆柱段长度下的径向喷灌强度均呈递减趋势。组合2(1 mm#54°主喷嘴与改进后副喷嘴组合)在4种组合方式中的喷灌均匀性较好, 其在喷头正方形布置下7种组合间距(12 m×12 m~18 m×18 m)时的平均喷灌均匀系数为87.8%, 其中17 m×17 m时的喷灌均匀系数峰值达到89.3%。综合考虑喷灌质量和经济性两方面, 在实际工程设计时, 建议8034D摇臂式喷头主、副喷嘴的组合方式优先选用组合2, 喷头工作压力设置为250 kPa, 且组合间距以17 m×17 m为宜。

关键词: 摇臂式喷头; 喷嘴结构改进; 喷头流量; 径向水量分布; 组合喷灌均匀度

中图分类号: TV131

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.20180660

1 研究背景

喷头是喷灌系统中的重要组成部件之一, 其水力性能将直接影响喷灌工程质量的优劣^[1]。在众多喷头设备当中, 摇臂式喷头因其工作范围广, 运行性能稳定, 规格种类齐全等优点, 近年来在农业生产, 尤其是在大田作物灌溉中得到了广泛应用^[2]。但在应用过程中, 出现了喷灌系统运行成本过高, 喷灌均匀性较低等诸多问题, 从而使得喷头的应用效果大打折扣。基于以上问题, 国内外学者从喷头自身结构的角度出发进行了大量的改进研究^[3-7], 尤其是优化对喷头水力性能影响较大的喷嘴结构。如李久生^[8]对摇臂式喷头方形喷嘴的水力性能展开了研究, 认为方形喷嘴不仅具有一定的节能效果, 而且可以改善喷头的雾化程度和水量分布。李英能等^[9]研究了异形喷嘴的设计原理和方法, 得出适用于不同异形喷嘴的最佳设计方案。刘俊萍等^[10]根据水射流原理, 设计出了PY系列摇臂式喷头一种新型结构的副喷嘴, 并分别对副喷嘴改进前后的水量分布进行了对比试验, 结果表明改进副喷嘴后其喷灌均匀系数有所提高, 在不同组合间距下均在80%以上。除了试验研究外, 国内外许多学者还将CFD技术应用到喷嘴结构的改进研究^[11-16]。严海军等^[17]利用Fluent软件对PY₁40摇臂式喷头喷嘴的内部流场进行了模拟, 发现减小喷嘴出口扩散角可改善喷嘴出口流态, 提高喷头流量。刘中善等^[18]通过CFD数值模拟建立了圆锥形喷嘴各结构参数与流量系数的定量关系。张前等^[19]运用ANSYS软件对喷头在低压工况下的内流场进行了三维仿真模拟, 结果表明倒U形喷嘴有利于提高喷头射程, 改善喷灌均匀性。从上述研究可知, 改进喷嘴结构能够显著改善喷头水力性能, 提高喷灌质量, 但摇臂式喷头种类繁多, 不同型号喷头的喷嘴结构改进方案可能存在较大差异, 因此关于摇臂

收稿日期: 2018-07-17; 网络首发时间: 2019-04-15

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20190411.1457.002.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201502); 国家自然科学基金项目(51621061); 国家863计划项目(2011AA100506)

作者简介: 王子君(1991-), 工程师, 主要从事流体机械研究。E-mail: wangzijun120512@163.com

通讯作者: 严海军(1974-), 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉技术与装备研究。E-mail: yanhj@cau.edu.cn

式喷头喷嘴结构的改进研究还需进一步完善。

综上所述，本文以目前工程中应用较广的8034D摇臂式喷头为研究对象，对其主、副喷嘴结构进行优化改进，并研究喷嘴结构改进后对喷头流量、径向水量分布和组合喷灌均匀度的影响，从而提出改善喷头水力性能优化方案，以期对摇臂式喷头的优化运行管理提供参考。

2 喷嘴结构与改进

2.1 主喷嘴结构改进 本文选取的8034D摇臂式喷头是用高强度铜合金制造，喷头安装双喷嘴，主喷嘴仰角为 27° ，副喷嘴为 25° ，如图1所示。其主喷嘴为圆锥形结构(图2)，其中 D_1 为进口直径， D_2 为出口直径， L 为圆柱段长度， θ 为内腔锥度角， α 为扩散段倒角。喷头出厂时主喷嘴 D_1 为9.3 mm， D_2 为4.4 mm， L 为4.9 mm， θ 为 54° ， α 为 30° 。



图1 8034D摇臂式喷头

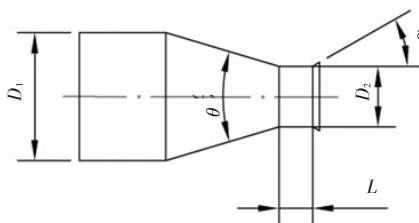


图2 原主喷嘴内部结构

关于主喷嘴结构的改进主要是对其圆柱段长度和内腔锥度角两因素的改进，其目的是为了探讨这两个因素对喷头水力性能的影响。在主喷嘴结构改进方案中，将圆柱段长度 L 设计为1、3和5 mm三个水平，内腔锥度角 θ 设计为 42° 、 48° 、 54° 和 60° 四个水平，其设计改变的依据是在原主喷嘴结构参数的基础上进行上下取值的结果。其他参数与原主喷嘴相同，共加工12个主喷嘴，如图3所示。为了叙述方便，将 L 为1 mm、 θ 为 42° 的主喷嘴表示为1 mm# 42° ，以此类推。

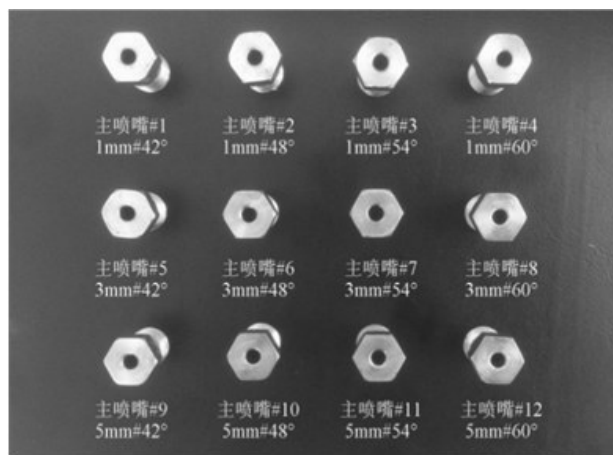


图3 主喷嘴结构改进方案

2.2 副喷嘴结构改进 8034D摇臂式喷头出厂时副喷嘴结构如图4所示，其出口直径为2.4 mm，内部为圆锥形结构，出口处为偏心扩散段，且在喷嘴侧面有斜切口，加工较麻烦。为此，本文设计出比原副喷嘴结构更为简单且方便加工的异形副喷嘴方案，其内部为圆筒形结构，在喷嘴侧面加设直切口，如图5所示。改进后的副喷嘴进口直径为6.5 mm，与出厂副喷嘴相同，出口中心圆直径 d_2 、矩形宽度 b 和切口长度 S 分别选取1.8、0.8和3.0 mm。

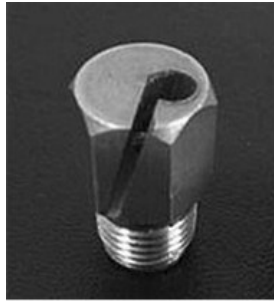


图4 8034D摇臂式喷头原副喷嘴

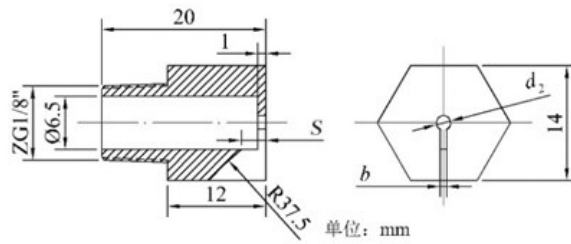


图5 副喷嘴结构改进方案

3 试验方法

3.1 试验装置 本文在 250、300 和 350 kPa 3 种工作压力下分别对不同主、副喷嘴结构组合时的喷头进行喷灌水量分布试验。试验在中国农业大学水利与土木工程学院喷头水力性能自动测试系统上完成。试验参照标准 GB/T 50085-2007^[20]。自动测试系统由雨量筒、挡水罩、试验控制柜、回水槽、喷头安装竖管和供水系统等 6 部分组成，如图 6 所示，其工作原理是通过沿射流方向以 0.5 m 等间距布置的雨量筒收集喷头喷洒出的水量并转换成喷灌强度，从而获得喷头的径向水量分布数据。其中雨量筒形状为红酒杯状，其承水口直径为 150 mm，高度为 0.43 m，雨量筒上边缘与喷嘴的垂直距离为 1.0 m。雨量筒收集的喷水量由其下方的 BK-3A 型称重传感器(精度为 0.6 g)自动采集，喷头工作压力采用 0.4 级精密压力表监测，喷头流量采用 LDTH 型电磁流量计(精度为 0.2%)测得。每组水量分布试验重复 3 次，每次测试时间为 1 h。

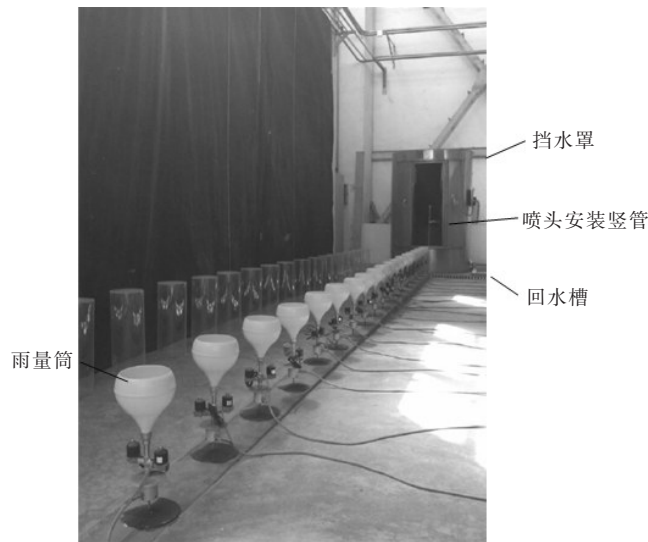


图6 喷头水力性能自动测试系统

3.2 喷灌均匀系数计算 采用克里斯琴森均匀系数 CU 作为评价喷灌均匀性的标准^[20]，其计算公式为

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

式中： CU 为克里斯琴森均匀系数； n 为典型区域内测点数； h_i 为典型面积内测点的喷洒水深，mm； \bar{h} 为典型面积内各个测点的平均喷洒水深，mm。

4 结果与分析

4.1 喷嘴结构改进对喷头流量的影响

4.1.1 主喷嘴结构改进对喷头流量的影响 图7给出了喷头工作压力为250 kPa, 各内腔锥度角下不同圆柱段长度时的喷头流量情况。从图中可以看出, 随着内腔锥度角的逐渐变大, 任一圆柱段长度下的喷头流量总体呈下降趋势, 这与Li等^[21]的研究结果相似。这是因为当圆柱段长度固定时, 内腔锥度角变大, 主喷嘴内产生脱壁、回流等不良流态加剧, 影响水流速度, 从而导致喷头流量下降。当内腔锥度角为42°时, 各圆柱段长度下的喷头流量最大, 其流量值均不低于1.50 m³/h; 当内腔锥度角为60°时, 各圆柱段长度下的喷头流量均最小, 其流量值平均在1.35 m³/h左右。

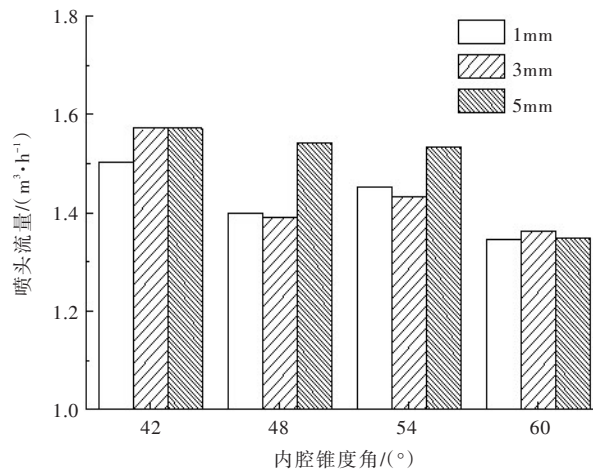


图7 各内腔锥度角下不同圆柱段长度时的喷头流量

为了单独比较圆柱段长度和内腔锥度角两因素改进后对喷头流量的影响情况, 图8和图9分别给出了喷头工作压力为250、300和350 kPa, 圆柱段长度为5 mm不同内腔锥度角和内腔锥度角为54°不同圆柱段长度下的喷头流量-压力关系。从图中可以看出, 当主喷嘴圆柱段长度和内腔锥度角一定的情况下, 喷头流量随工作压力的增大而增大。从图8可以看出, 在3种工作压力下, 内腔锥度角改进后的喷头流量与原主喷嘴相比均有所下降, 且内腔锥度角为60°下的喷头流量下降幅度最大, 最大可达13.7%。从图9可以看出, 3种工作压力下测得的圆柱段长度为3 mm时的喷头流量均最大, 超过原主喷嘴流量的平均幅度为1.6%, 而其他2种圆柱段长度(1 mm和5 mm)下的喷头流量均小于原主喷嘴。分析认为当圆柱段长度过小时, 主喷嘴出口附近扰流加大, 影响出口流速, 使得喷头流量下降; 而当圆柱段长度过大时, 水流所受的沿程阻力增大, 从而导致喷头流量也呈下降趋势。

为了更清楚地了解主喷嘴圆柱段长度和内腔锥度角两因素对喷头流量的影响程度, 表1给出了这两因素对喷头流量影响的方差分析。从表中可以看出, 在95%的置信度下, 主喷嘴内腔锥度角对喷头流量的影响呈显著水平, 而圆柱段长度对喷头流量的影响则不显著。

4.1.2 副喷嘴结构改进对喷头流量的影响 图10给出了喷头工作压力为250、300和350 kPa, 原副喷嘴和副喷嘴结构改进后的喷头流量对比情况。从图中可以看出, 原副喷嘴和副喷嘴结构改进后的喷头流量均随着工作压力的增大而逐渐增加, 且当工作压力相同时, 副喷嘴结构改进后的喷头流量和原副喷嘴相比变化较小, 从而表明当工作压力一定时, 改进副喷嘴结构对喷头流量的作用不大。虽然改进副喷嘴结构对喷头流量影响较小, 但改进后的副喷嘴比原副喷嘴结构更简单, 方便加工, 可降低喷头的制造成本。

4.2 喷嘴结构改进对喷头水量分布的影响

4.2.1 主喷嘴结构改进对喷头水量分布的影响 图11和图12分别给出了喷头工作压力为250 kPa时, 内腔锥度角为54°的不同圆柱段长度和圆柱段长度为5 mm的不同内腔锥度角下的径向水量分布情

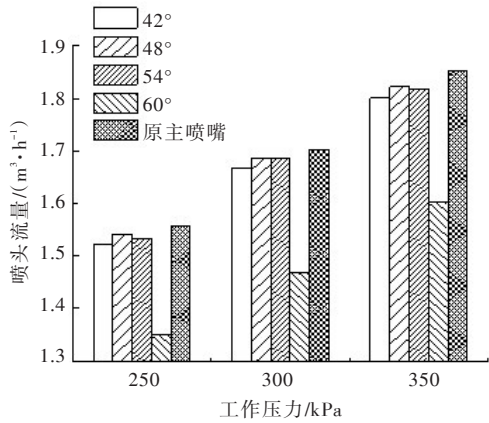


图8 主喷嘴圆柱段长度为5mm不同内腔锥度角时喷头流量-压力关系

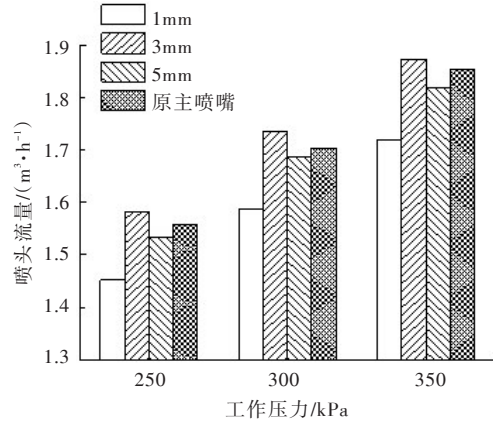


图9 主喷嘴内腔锥度角为54°不同圆柱段长度时喷头流量-压力关系

表1 主喷嘴圆柱段长度和内腔锥度角两因素对喷头流量影响的方差分析

差异源	SS	df	MS	F	P
圆柱段长度	0.0122	2	0.0061	3.254	0.187
内腔锥度角	0.0590	3	0.0197	10.458	0.0161
误差	0.0113	6	0.0019		
总和	0.0825	11			

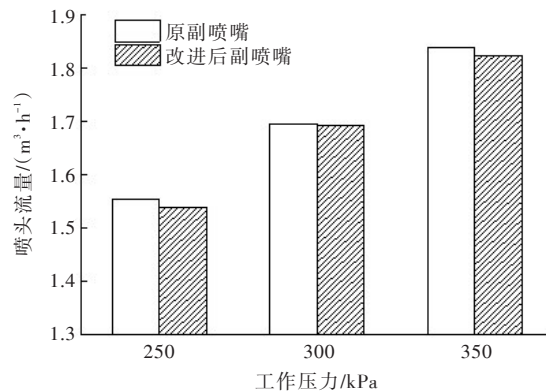


图10 不同工作压力下原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头流量对比

况。总的来说，随着测点与喷头水平距离的逐渐增加，不同内腔锥度角和圆柱段长度下的径向喷灌强度均呈递减趋势。从图11中可以看出，当内腔锥度角为54°时，比较不同圆柱段长度发现，主喷嘴结构改进后的喷头在近处(测点与喷头的水平距离 < 5 m)和中部(测点与喷头的水平距离在5 ~ 10 m)的喷灌强度均大于原主喷嘴，而射流末段(测点与喷头的水平距离 > 10 m)的喷灌强度相较原主喷嘴有所偏小。从图12还可以看出，圆柱段长度为5 mm时不同内腔锥度角下喷灌强度沿径向的变化趋势均与原主喷嘴较接近，表明圆柱段长度一定时，改进主喷嘴内腔锥度角对喷头径向水量曲线的形状影响不大。

4.2.2 副喷嘴结构改进对喷头水量分布的影响 为了评价副喷嘴结构改进对喷头水量分布的影响，试验对比了改进前、后副喷嘴与原主喷嘴组合下的喷头水量分布情况。图13给出了喷头工作压力分别为250、300和350 kPa下，原副喷嘴和副喷嘴结构改进后的喷头水量分布对比结果。从图中可以看出，在3种工作压力下，副喷嘴结构改进后喷头在近处的喷灌强度均显著增大，在中部又迅速下降到原副喷嘴喷灌强度以下，在射流末段其喷灌强度和原副喷嘴下的喷灌强度基本相等。这主要是由于副喷嘴结构改进后其出口流速下降，水流动能有所减小，从而导致近处水量较为集中，而远处水量相较减少。此外，副喷嘴结构改进后的喷头射程相比原副喷嘴略变短。从图中还可看出，当工作压

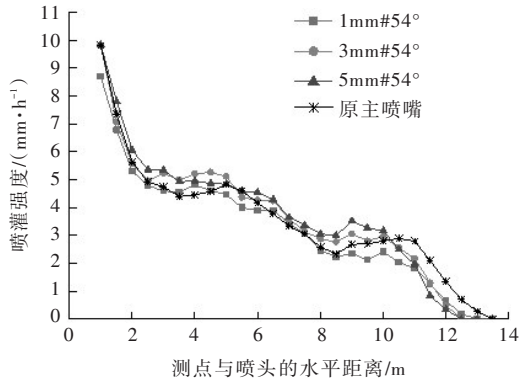


图 11 内腔锥度角为 54°时不同圆柱段长度下的径向水量分布

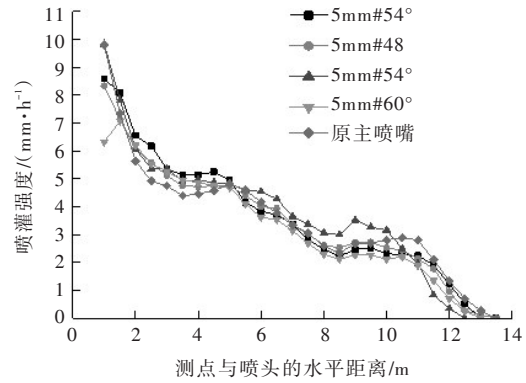


图 12 圆柱段长度为 5mm 时不同内腔锥度角下的径向水量分布

力为 250 kPa 时，副喷嘴结构改进后喷头在近处的喷灌强度峰值为 9.1 mm/h；随着工作压力的逐渐增大，峰值不断提升，当工作压力增至 350 kPa 时，峰值达到 10.6 mm/h。因此从降低喷灌强度峰值的角度考虑，建议副喷嘴结构改进后喷头工作压力以 250 kPa 为宜。

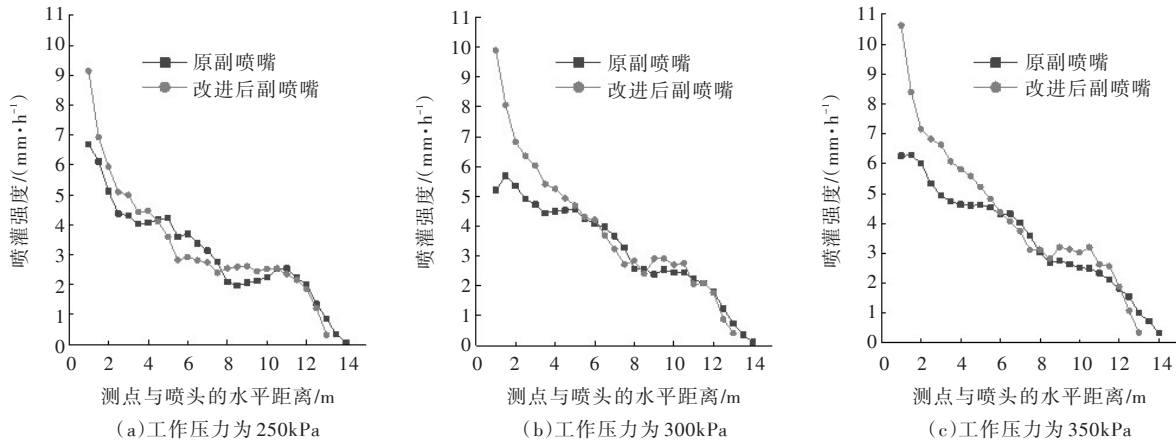


图 13 不同工作压力下原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头水量分布对比

4.3 喷嘴结构改进对组合喷灌均匀度的影响

4.3.1 主喷嘴结构改进对组合喷灌均匀度的影响 试验测得不同工况下的喷头射程范围在 13~14 m，以主喷嘴结构改进后的喷头径向水量分布数据为基础，通过自编软件分别求得喷头正方形布置下 7 种组合间距 (12 m×12 m ~ 18 m×18 m) 时的喷灌水量分布情况，并计算得到对应的喷灌均匀系数。

表 2 喷头工作压力为 250kPa 主喷嘴结构改进后喷头在不同组合间距下的喷灌均匀系数

组合间距/m	不同主喷嘴结构的组合喷灌均匀系数/%												
	1mm#42°	1mm#48°	1mm#54°	1mm#60°	3mm#42°	3mm#48°	3mm#54°	3mm#60°	5mm#42°	5mm#48°	5mm#54°	5mm#60°	原主喷嘴
12×12	88.8	94.5	89.8	90.8	89.3	90.2	87.6	90.2	90.5	90.4	85.7	91.6	90.1
13×13	87.3	93.6	89.8	90.3	87.6	88.6	86.4	90.2	88.4	89.1	85.3	90.6	89.1
14×14	89.7	93.5	91.1	90.0	87.0	87.0	88.6	92.0	87.8	89.9	87.9	91.3	89.4
15×15	91.8	92.3	91.2	88.6	87.3	86.1	90.4	91.6	87.7	90.8	89.6	90.9	87.8
16×16	89.5	90.2	88.9	86.3	87.8	83.8	88.7	86.7	88.1	90.0	85.9	88.7	87.2
17×17	84.3	86.2	87.0	82.6	89.3	80.0	85.9	86.2	87.6	84.3	82.5	85.9	88.2
18×18	78.3	80.7	81.2	78.0	85.0	76.3	80.4	80.1	82.2	81.8	80.2	79.7	84.6
平均值	87.1	90.1	88.4	86.7	87.6	84.6	86.9	88.1	87.5	88.0	85.3	88.4	88.1

表2给出了喷头工作压力为250 kPa, 主喷嘴结构改进后不同组合间距下的喷灌均匀系数情况。从表中可以看出, 各工况下的组合喷灌均匀系数均在76%以上, 且随着喷头间距的不断增大, 组合喷灌均匀系数基本呈先降低后升高再降低的趋势。如3 mm#42°时, 喷头间距为12 m×12 m下的组合喷灌均匀系数为89.3%, 当喷头间距增至14 m×14 m时其组合喷灌均匀系数下降到87.0%, 而继续增至17 m×17 m时又回升到89.3%, 说明主喷嘴结构改进后喷头在大的组合间距下依然有获得较好喷灌均匀度的可能。

4.3.2 副喷嘴结构改进对组合喷灌均匀度的影响 图14给出了喷头工作压力分别为250、300、350 kPa, 原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头在不同组合间距下的喷灌均匀性对比情况。可以看出, 当喷头工作压力为250 kPa时, 如图14(a)所示, 原副喷嘴和副喷嘴结构改进后组合喷灌均匀系数随喷头间距的不断增大均有先降低后回升再降低的趋势。而且还发现, 副喷嘴结构改进后喷头间距在14 m×14 m~17 m×17 m时的组合喷灌均匀系数要明显优于原副喷嘴, 说明改进副喷嘴结构有助于改善喷头在低压大组合间距下的喷灌均匀性。当喷头工作压力为300 kPa时, 如图14(b)所示, 原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头在不同组合间距下的喷灌均匀系数均有所提升, 且原副喷嘴提升幅度更大。当喷头工作压力为350 kPa时, 如图14(c)所示, 在不同喷头间距下副喷嘴结构改进后的组合喷灌均匀系数相较于原副喷嘴偏低。因此, 不建议副喷嘴结构改进后喷头在高压下运行。

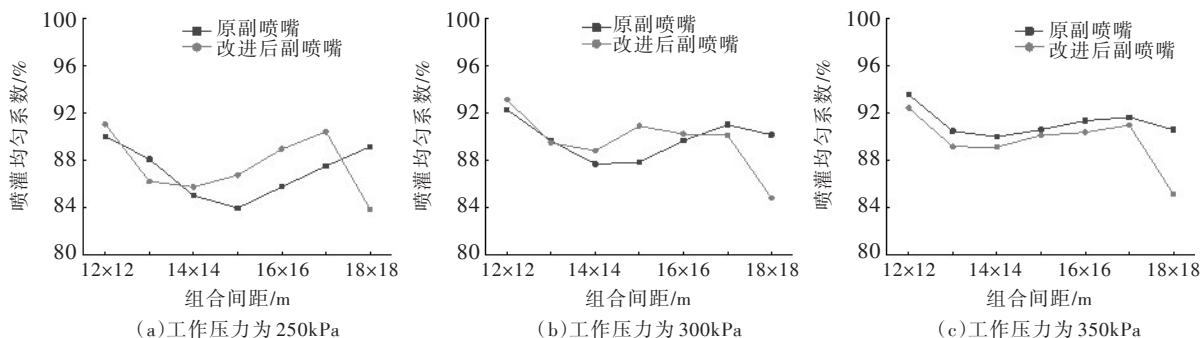


图14 不同工作压力下原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头组合喷灌均匀系数对比

从图中还可看出, 3种工作压力时原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头在不同组合间距下的组合喷灌均匀系数均在83%以上, 符合规定固定式喷灌系统不低于75%的标准^[20], 均能满足喷灌质量要求, 但是从经济性的角度考虑, 较低的喷头工作压力可降低喷灌系统的运行成本。综上所述, 在实际工程设计时, 建议8034D摇臂式喷头工作压力设置为250 kPa。

4.3.3 主、副喷嘴结构改进对组合喷灌均匀度的影响 从表2中选取平均喷灌均匀系数最高的4种主喷嘴(1 mm#48°、1 mm#54°、3 mm#60°和5 mm#60°)与改进后的副喷嘴一一组合, 为便于分析, 分别将其命名为组合1、组合2、组合3和组合4, 并与原喷嘴进行对比。

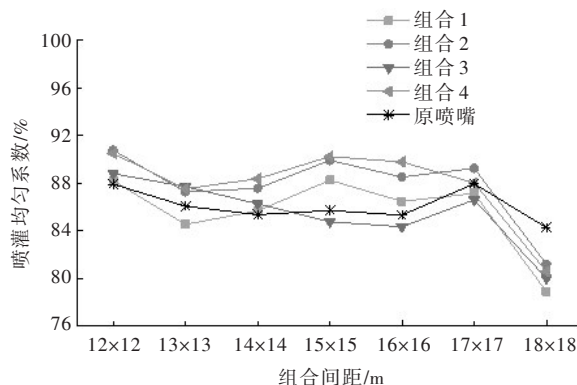


图15 5种组合方式在不同喷头间距下的喷灌均匀系数

图15给出了喷头工作压力为250 kPa, 不同组合间距下的喷灌均匀系数情况。从图中可以看出,

除了喷头间距为 18 m×18 m 以外, 组合 2 和组合 4 在其他喷头间距下的喷灌均匀系数均显著高于原喷嘴。在这 2 种组合方式中, 组合 4 的喷灌均匀性要稍优于组合 2, 其在各喷头间距下的平均喷灌均匀系数达到 87.9%, 相比原喷嘴时喷灌均匀系数 86.1% 提高了 2.1%。但由前面主喷嘴结构改进对喷头流量的影响研究来看, 内腔锥度角为 60° 时的喷头流量最小, 意味着喷头能量利用率最低^[22]。综合考虑喷头组合喷灌均匀性和能量利用率, 选择喷头流量较大且喷灌均匀性较好的组合 2 作为 8034D 摇臂式喷头主、副喷嘴的最佳组合方式, 其在各喷头间距下的平均喷灌均匀系数为 87.8%。此外, 从图中还可观察到, 4 种组合在喷头间距为 17 m×17 m 时喷灌均匀系数均达到较大喷头间距下的峰值, 其中组合 2 在该喷头间距下的喷灌均匀系数为 89.3%。因此在进行喷灌系统设计时, 建议喷头间距以 17 m×17 m 为宜。

5 结论

(1) 主喷嘴内腔锥度角对喷头流量的影响呈显著水平, 内腔锥度角越大, 喷头流量越小; 当圆柱段长度和内腔锥度角一定时, 喷头流量随工作压力的增大而增大。随着测点与喷头水平距离的逐渐增加, 不同内腔锥度角和圆柱段长度下的径向喷灌强度均呈递减趋势。主喷嘴结构改进后喷头在大的组合间距下依然有获得较好喷灌均匀度的可能。

(2) 当工作压力相同时, 改进副喷嘴结构对喷头流量的作用不大。在不同工作压力下, 副喷嘴结构改进后喷头在近处的喷灌强度显著增大, 在中部又迅速下降到原副喷嘴喷灌强度以下, 而在射流末段时其喷灌强度和原副喷嘴下的喷灌强度基本相等。3 种工作压力时原副喷嘴和副喷嘴结构改进后喷头均具有良好的组合喷灌均匀性, 喷头间距为 12 m×12 m ~ 18 m×18 m 下的组合喷灌均匀系数均在 83% 以上。

(3) 组合 2 的喷灌均匀性较好, 其在各喷头间距下的平均喷灌均匀系数为 87.8%, 其中喷头间距为 17 m×17 m 时的喷灌均匀系数峰值达到 89.3%。综合考虑喷灌质量和经济性两方面, 在实际工程设计时, 建议 8034D 摇臂式喷头主、副喷嘴的组合方式优先选用组合 2, 喷头工作压力设置为 250 kPa, 且喷头组合间距以 17 m×17 m 为宜。

参 考 文 献:

- [1] 许一飞. 国外农业高效用水的研究应用及发展趋势[J]. 节水灌溉, 1997(4): 30-33.
- [2] 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.
- [3] DEBOER D W. Sprinkler application pattern shape and surface runoff[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(5): 1217-1220.
- [4] 许正典, 向清江, 邹晨海, 等. PY30 摇臂喷头掺气状况下性能对比[J]. 排灌机械工程学报, 2017, 35(6): 547-552.
- [5] 汤攀, 李红, 陈超, 等. 考虑工作压力的垂直摇臂式喷头可调结构参数优化与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 99-107.
- [6] 邢浩男, 杨启良, 喻黎明, 等. 方形喷洒域喷灌装置的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(22): 84-91.
- [7] 袁寿其, 魏洋洋, 李红, 等. 异性喷嘴变量喷头结构设计及其水量分布试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 149-153.
- [8] 李久生. 摇臂式喷头方形喷嘴水力性能的研究[J]. 灌溉排水学报, 1987(3): 15-25.
- [9] 李英能, 李久生. 节能异形喷嘴水力性能的研究及其研制[J]. 灌溉排水学报, 1990(2): 43-50.
- [10] 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.

- [11] 王乐勤, 林思达, 田艳丽, 等. 基于 CFD 的大流量喷嘴喷射性能研究[J]. 流体机械, 2008, 36(11): 17-22.
- [12] SALEWSKI M, STANKOVIC D, FUCHS L. Mixing in circular and non-circular jets in crossflow[J]. Flow, Turbulence and Combustion, 2008, 80(2): 255-283.
- [13] BRINKERHOFF J R, YARAS M I. Direct numerical simulation of a square jet ejected transversely into an accelerating, laminar main flow[J]. Flow, Turbulence and Combustion, 2012, 89(4): 519-546.
- [14] 王玄, 李广, 郭聪聪, 等. 摇臂式喷头副喷嘴仰角及位置参数的优化[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 89-95.
- [15] KIM S C. Numerical analysis of a liquid sheet flow around a simplified sprinkler head using a CFD model[J]. Fire Science and Engineering, 2016, 30(6): 111-117.
- [16] TAN R C, KHAFAR M H A, ABDULLAH N I S, et al. Parametric study on flow dispersion of water sprinkle[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 243(1): 12-46.
- [17] 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.
- [18] 刘中善. 折射旋转式喷头的设计机理与试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [19] 张前, 袁寿其, 刘俊萍, 等. 低压喷头喷嘴优化设计及内部流场数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(5): 449-454.
- [20] GB/T 50085-2007. 喷灌工程技术规范[S].
- [21] LI J, KAWANO H. Sprinkler performance as affected by nozzle inner contraction angle[J]. Irrigation Science, 1998, 18(2): 63-66.
- [22] 龚时宏. 喷灌系统能量利用率的分析计算及提高措施[J]. 水利水电技术, 1991(3): 51-55.

Optimization of nozzle structure and investigation on hydraulic performance of impact sprinkler

WANG Zijun^{1, 2}, HUI Xin¹, LI Yaojun¹, YAN Haijun¹

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Xeca Turbo Technologies (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: In order to reduce the operating cost of impact sprinkler in engineering application and improve the quality of sprinkler irrigation, this paper focused on the improvement of main and secondary nozzle structure of the 8034D impact sprinkler, and the effects of the improved nozzle structure on sprinkler flow rate, radial water distribution and the uniformity coefficient of combined sprinkler irrigation. The results showed that, conical angles of inner cavity had a significant effect on sprinkler flow rate, the larger the conical angles of inner cavity, the smaller the sprinkler flow rate. At the same working pressure, the improved secondary nozzle structure had little effect on the sprinkler flow rate. With the increasing of the horizontal distance between the measured point and the sprinkler, the radial water application rate at different conical angles of inner cavity and the cylinder lengths was decreasing. The uniformity of sprinkler irrigation of the combination 2 were better among the four combinations, the average uniformity coefficient of seven kinds of combined space in a square arrangement of sprinkler was 87.8%, and the peak of the uniformity coefficient reached 89.3% when the sprinkler spacing was 17m×17m. Taking the irrigation quality and cost into account, the main and secondary nozzles of the 8034D impact sprinkler choosing combination 2 at the sprinkler operating pressure of 250 kPa and the sprinkler spacing of 17m×17m.

Keywords: impact sprinkler; improvement of nozzle structure; sprinkler flow rate; radial water distribution; uniformity coefficient of combined sprinkler irrigation

(责任编辑: 李福田)