

## 轻小型喷滴灌两用机组管路的优化配置及性能试验

袁寿其, 胡 斌, 王新坤, 朱兴业, 涂 琴

(江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013)

**摘 要:** 为解决现有机组配置不尽合理、能耗高的问题, 设计研发一种轻小型喷滴灌两用机组, 可实现喷灌和滴灌 2 种灌水方式。机组采用喷滴灌双工况泵 50ZB-25C, 配置灌水器为双喷嘴摇臂式喷头 15PY2 及额定流量为 2.7 L/h 的内镶式滴灌管。采用理论计算与试验验证相结合的方法, 对机组运行参数及田间水量分布特性进行了分析。在理论分析中, 应用遗传算法, 以低能耗、高效率为目标进行管路的优化配置并计算机组运行参数, 确定机组配置 7 个 15PY2 喷头及 34 条滴灌管时为最佳配置, 与单一(额定)工况相比, 能耗降低 9.4%。在最佳配置下进行室外试验, 结果表明, 机组运行参数试验值与理论计算值相吻合, 相对误差仅为 1.08%~2.40%, 主要受风速及地形坡度影响。机组喷灌均匀系数可达 80.0%, 滴灌均匀系数达 93.6%, 均高于国家标准, 机组性能优越。

**关键词:** 喷滴灌; 两用机组; 优化配置; 室外试验; 均匀系数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.03.008

中图分类号: S277.9<sup>+</sup>4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-03-0056-07

袁寿其, 胡 斌, 王新坤, 等. 轻小型喷滴灌两用机组管路的优化配置及性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 56-62.

Yuan Shouqi, Hu Bin, Wang Xinkun, et al. Optimum configuration and performance experiment of sprinkler-drip dual-purpose irrigation machine [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 56-62. (in Chinese with English abstract)

### 0 引 言

轻小型喷滴灌两用机组可根据不同作物或不同地形等多目标用水需求, 自如地进行喷滴灌 2 种灌溉方式的转换, 拓展轻小型机组的适应功能<sup>[1-3]</sup>。

机组的合理配置能有效降低机组能耗、提高机组性能。刘洪禄等<sup>[4]</sup>、侯永胜<sup>[5]</sup>均对轻小型灌溉设施配套进行了探讨。王新坤等<sup>[6]</sup>以低能耗为目标, 应用遗传算法对轻小型灌溉机组进行优化设计, 提高机组性能。而衡量和评价机组在灌溉小区的灌水质量则取决于灌溉机组的水量分布特性<sup>[7]</sup>。在 2 种灌溉模式中, 喷洒均匀系数均为衡量水量分布特性的重要技术参数。国内外学者对灌溉均匀系数均进行了大量的研究。Christiansen<sup>[8]</sup>最早提出以克里斯琴森均匀系数  $C_u$  作为喷灌水量分布均匀程度的定量指标并得到广泛应用。Fukui 等<sup>[9]</sup>提出了喷灌均匀系数的计算机评价方法。韩文霆等<sup>[10]</sup>等指出应根据评价和研究目的的不同, 选用相应的喷灌系数对均

匀性进行综合评价。朱兴业等<sup>[11]</sup>采用理论与试验相结合的方法, 研究了旋转式射流喷头结构参数及组合间距对喷打均匀性的影响。在滴灌设计中, Sadler 等<sup>[12]</sup>通过试验分析了开挖法对地下滴灌灌水均匀性和灌水器流量测试结果的影响。Dogan 等<sup>[13]</sup>经试验分析研究, 在滴灌系统中, 水温对滴灌均匀性影响不大, 但对管中水量分布有重要影响。魏青松等<sup>[14]</sup>运用水力学公式、数值模拟和快速原型试验研究了绕流流道滴灌带的水力性能, 并建立了设计流量与流道结构参数之间的计算模型。范宗良等<sup>[15]</sup>提出了一种在实际应用过程中分析评价滴灌带灌水均匀性的方法, 以方便使用者更好地进行滴灌带的选用及滴灌系统的设计。

中国现有研究多集中于单一工况机组或大型固定式喷滴灌机组, 对轻小型移动式喷滴灌机组研究尚属初步阶段。本文自主研发的轻小型喷滴灌两用机组为满足机组运行开发双工况泵, 体现其优越性。后进行了喷灌、滴灌 2 种运行模式下的优化配置, 设计思路为按喷灌工况最高效率点进行设计, 后经调压进行滴灌系统双工况设计, 以此达到机组高效率、低能耗的设计目标, 为机组双工况设计提供参考。最后为验证机组运行进行了田间试验, 分析了机组在 2 种不同运行模式下的水量分布特性及影响因素, 为进一步完善机组配置方式、提高机组整体性能提供重要依据<sup>[16]</sup>。

收稿日期: 2013-07-15 修订日期: 2013-12-21

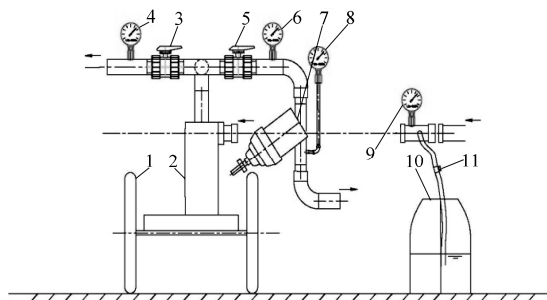
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2011AA100506); 江苏大学第 12 批科研立项资助项目(12B068); 中国博士后科学基金(2013M530239)。

作者简介: 袁寿其(1963—), 男, 汉族, 上海市人, 研究员, 博士生导师。研究方向流体机械及排灌机械研究。江苏 江苏大学流体机械工程技术研究中心, 212013。Email: shouqi@ujs.edu.cn

## 1 轻小型喷滴灌两用机组结构与工作原理

### 1.1 机组结构与工作原理

如图 1 所示, 机组主体部分包括小推车、柴油机、自吸泵、施肥桶及过滤器。小推车的一端固定装有自吸泵, 自吸泵的一侧配有柴油机, 柴油机与自吸泵为轴承连接, 为自吸泵运转提供动力。进水管上侧面安装吸肥管, 通过阀门, 经软管连入施肥桶, 用阀门来控制施肥的流量, 施肥桶设在小车外部, 置于地面上。进水管上安装真空表, 用以测量真空度。自吸泵出水管处经管道分支连接滴灌通路及喷灌通路。滴灌通路上接有控制阀门、压力表及过滤设备, 喷灌通路上同样接有控制阀门及压力表。



1. 小推车 2. 喷滴灌双工况泵和柴油机 3. 喷灌阀门 4. 压力表  
5. 滴灌阀门 6. 压力表 7. 过滤器 8. 压力表 9. 真空表 10. 施肥桶 11. 施肥阀门  
1. Wheelbarrow 2. Pump and diesel engine 3. Control valve of sprinkler irrigation 4. Pressure gauge 5. Control valve of drip irrigation 6. Pressure gauge 7. Filter 8. Pressure gauge 9. Vacuum gauge 10. Fertilization tank 11. Control valve of fertilization

图 1 轻小型喷滴灌两用机组结构简图

Fig.1 Structure diagram of sprinkler-drip dual-purpose irrigation machine

当机组喷灌工况运行时, 开启喷灌阀门, 关闭滴灌阀门, 通过接头连接喷灌支管, 机组实现喷灌工况运行; 反之, 滴灌工况运行。

该设计机组适宜灌溉面积为  $3 \text{ hm}^2$  左右。该机组可根据不同作物或不同地形的需求自如地进行喷、滴灌 2 种灌溉方式的转换, 改变了目前常规机组灌水形式单一的现状, 提高了机组的适应能力。

### 1.2 设计指标

1) 机组能耗: 两用机组能耗与机组在单一工况能耗相比, 应降低  $5\% \sim 10\%$ ;

2) 喷灌均匀系数: 根据《喷灌工程技术规范》规定, 在设计风速下, 喷灌均匀度不应低于  $75\%$ , 取灌溉均匀系数  $0.75$  以上;

3) 滴灌均匀系数: 《微灌工程技术规范》规定, 微灌均匀系数不应低于  $0.8$ 。

## 2 轻小型喷滴灌两用机组优化配置

### 2.1 喷滴灌双工况泵

林中卉等<sup>[17]</sup>、Tarjuelo 等<sup>[18]</sup>、Moreno 等<sup>[19]</sup>均验

证得到, 灌溉机组中泵的性能对机组的优化配置及节能降耗均起到重要作用。

因此, 喷滴灌两用机组中的双工况泵是整个机组的核心, 为实现喷滴灌两用机组的运行, 需要设计一种自吸泵, 同时能满足喷灌、滴灌 2 个工况下的扬程需求, 即用于喷灌工况时, 扬程高; 用于滴灌工况时, 扬程低, 而流量变化不大, 即流量-扬程曲线陡峭。

江苏大学在原有自吸泵型号 50ZB-30C 基础上, 采用 DOE 试验设计及析因分析法, 创新设计出喷滴灌双工况泵 50ZB-25C。经过权威部门的检测, 图 2 为 50ZB-25C 型双工况泵的性能曲线图。50ZB-25C 的基本参数见表 1。

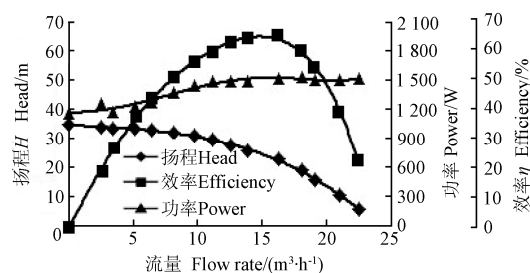


图 2 50ZB-25C 型双工况喷灌泵水力性能曲线

Fig.2 Characteristic curves of 50ZB-25C pump

表 1 50ZB-25C 型喷灌泵基本参数

Table 1 Parameters of 50ZB-25C pump

流量 Flow rate/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	扬程 Head/m	转速 Speed/ ( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	效率 Efficiency/ %	自吸时间 Self-priming time/s
15	25	3000	66	59

由性能曲线可以看出, 该泵具体较陡的流量-扬程曲线, 能更好地满足机组在喷、滴灌 2 个工况下运行。它具有结构新颖、体积小, 便于移动等优点。与 JB/T 6664.1-2004 行业标准相比较, 开发的双工况自吸喷灌泵效率比国家标准规定值同比提高  $10\%$ , 自吸时间缩短  $41 \text{ s}$ , 本身具有优越性。

### 2.2 喷滴灌两用机组优化配置

对于喷滴灌两用机组, 灌水器的选择和配置主要有 2 种, 一种是配置双喷嘴摇臂式喷头沿管道方向安装; 一种是安装内镶式滴灌管。灌水器的配置除应满足喷、滴灌各自系统的运行外, 还需考虑 2 个系统间的相互匹配, 选择理论上合适的灌水器。

灌水器的具体参数见表 2、表 3。所选灌水器均为符合国家机械行业标准的常用灌水器类型。

表 2 喷头参数

Table 2 Parameters of sprinkler

型号 Type	喷嘴直径 Sprinkler diameter/mm	工作压力 Pressure/kPa	流量 Flow rate/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	喷头射程 Sprinkler range/m
15PY2	5.0×3.0	250	1.94	14.6

表 3 滴灌灌水器参数

Table 3 Parameters of dripper

毛管直径 Capillary pipe diameter/mm	工作压力 Pressure/ kPa	流量 Flow rate/ (L·h <sup>-1</sup> )	滴头间距 Dripper spacing/m	毛管间距 Capillary pipe spacing/m
2.71	10	2.71	0.3	0.9

在进行机组配置时,采用遗传算法,以能耗最低为目标,以额定工况点为基准,合理进行喷、滴灌管道的布置及计算,使喷、滴灌 2 个工况点位于最高效率点的两侧,机组在较高效率下运行。经优化计算及配置,机组初步配置参数见表 4。

表 4 机组配置参数

Table 4 Parameters of machine configuration

地块长 Length/m	地块宽 Width/m	面积 Area/hm <sup>2</sup>	干管直径 Main pipe diameter/ mm	喷头数 Sprinkler number	毛管数 Capillary pipe number
105	255	2.68	65	7	34

机组的初步配置确定后,则需计算出机组在两种不同工况下的运行参数,运行工况为水泵的扬程-流量特性曲线与管路特性曲线的交点。水泵的扬程-流量曲线已通过试验测得,管路特性曲线则需要通过水力计算<sup>[6,20]</sup>。

2 种布置方式下的水力计算均为假设一系列的末端压力  $h_0$  值进行试算,由管道末端向进口逆推进行水力计算,计算可得各灌水器的压力及流量以及管路进口压力及流量。

经理论计算后,确定机组不同工况下的运行参数,见表 5。

表 5 机组运行参数

Table 5 Operational parameters of machine

	流量 Flow rate/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	扬程 Head/m	效率 Efficiency/%	轴功率 Axle power/kW
单一(额定)工况设计 Rated condition	15.00	24.5	66.0	1.52
喷灌工况 Sprinkler condition	13.03	27.7	65.1	1.51
滴灌工况 Drip condition	16.14	22.6	65.0	1.53

### 2.3 能耗分析

机组的运行工况确定后,在该工况下机组的能耗<sup>[21]</sup>为:

$$E = \frac{QHT}{367\eta_b\eta_d}, T = \frac{M}{Q\eta_p} \quad (1)$$

对于已确定灌溉面积为  $A=2.68 \text{ hm}^2$ ,取单一(额定)工况和喷灌工况的灌溉定额  $m=4\ 200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,滴灌工况  $m=3\ 000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,则:

$$E = \frac{HAM}{367\eta_b\eta_d\eta_p} \quad (2)$$

式中:  $E$  为机组的能耗,  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ;  $T$  为机组运行时间,

$h$ ;  $M$  为 1 个灌溉季节的灌水量,  $\text{m}^3$ ;  $\eta_b$ ,  $\eta_d$  分别为水泵、柴油机的运行效率;  $\eta_p$  为田间喷洒水利用系数。

假定喷、滴灌各灌溉总面积的 50%,按最高效率点为单一工况时的额定工况进行对比。1 个灌溉季节能耗计算的具体参数和结果见表 6。

表 6 能耗计算具体参数与结果

Table 6 Results of energy consumption calculation

	面积 Area/ hm <sup>2</sup>	灌溉定额 Irrigation quota/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	扬程 Head/m	效率 Efficiency/ %	能耗 Energy consumption /(kW·h)
单一(额定)工况设计 Rated condition	2.68	4200	24.5	66.0	1140
喷灌工况 Sprinkler condition	1.34	4200	27.7	65.1	652
滴灌工况 Drip condition	1.34	3000	22.6	65.0	381

由式(2)计算可知,1 个工况(额定)设计的能耗为  $E_1=1140 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ;当按 2 个工况设计时,  $E_2=1\ 033 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

计算出两用机组工作时的能耗降低为:

$$\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\% = 9.4\%$$

结果表明,两用机组工作时能耗降低 9.4%。

### 3 轻小型喷滴灌两用机组性能试验及结果

在理论计算中,因计算结果无法考虑输水管中水流压力的变化和外界自然因素干扰(如风和、温度、地形等),采用室外试验验证的方法检验结果准确性,确保理论计算具有实际意义。

#### 3.1 试验概述

试验在江苏大学草坪花园内对该机组进行室外试验。图 3 为室外试验现场照片。试验时,除试验用轻小型喷滴灌两用机组 1 台、管道、喷头及滴灌管外,还有 0.4 级不同量程压力表、集雨筒、盛水盘、流量计、风速仪、转速仪及量筒等设备。

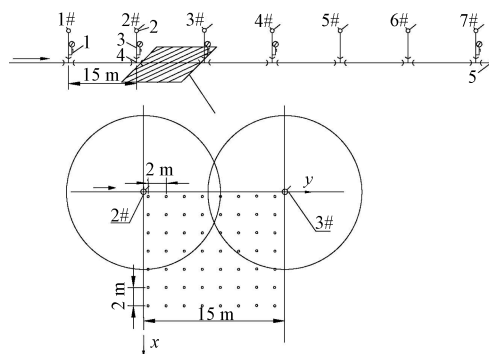


a. 管道布置  
a. Piping layout  
b. 50ZB-25C 双工况泵  
b. 50ZB-25C pump

图 3 机组室外试验

Fig.3 Outdoor tests of unit

参照 GB/T50085-2007<sup>[22]</sup>搭建喷灌试验测试装置。图 4 为喷灌工况试验布置示意图。

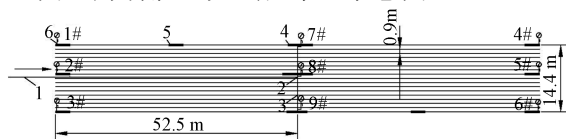


1. 压力表 2. 15PY 喷头 3. 喷头竖管 4. 三通 5. 堵头  
1. Pressure gauge 2. Sprinkler 3. Sprinkler riser 4. Tee 5. Plug  
图4 喷灌试验布置示意图

Fig.4 Set test disposal schematic diagram of sprinkler irrigation condition

在试验过程中,采用0.4级压力表测量水泵进出口压力、转速仪测量水泵转速,通过调节动力机功率保证水泵在设计喷灌工况点运行。同样采用0.4级精密压力表测量部分喷头工作压力,用以验证机组喷灌工况运行参数理论计算结果与机组配置是否合理。试验时,在机组稳定运转10 min后开始测量数据,每隔10 min中测量1次,共进行3次测量;把3次测量平均值作为最终试验数据。

参照 GB/T50485-2009<sup>[23]</sup>搭建滴灌试验测试装置。图5为滴灌工况试验布置示意图。



1. 共用主管道 Main pipeline 2. 三通接头 Tee 3. 滴灌辅管 Auxiliary pipe 4. 滴头 Dripper 5. 盛水盘 Platter 6. 压力表 Pressure gauge  
图5 滴灌试验布置示意图

Fig.5 Set test disposal schematic diagram of drip irrigation condition

在试验过程中,采用0.4级压力表测量水泵进出口压力、转速仪测量水泵转速,通过调节动力机功率保证水泵在设计滴灌工况点运行。合理选取6条滴灌带,采用0.4级压力表测试辅管入口、毛管入口、毛管末端工作压力,用以验证机组滴灌工况理论计算结果及配置合理与否。

试验时,在机组稳定运转10 min后进行数据测量,每隔3 min中测量1次,共进行3次测量;把

3次测量平均值作为最终试验数据。

测量机组运行参数的同时,还需分别测量机组稳定运行后喷灌、滴灌均匀系数。喷灌工况时,选择2#与3#喷头之间的较为平坦的空地,布置集雨筒,测定该区域内雨量分布。集雨筒布置为横、竖向间隔均为2 m。测定30 min后各集雨筒内水深。

机组喷灌均匀系数依据国家标准 GB/T50085-2007<sup>[22]</sup>,采用 Christiansen 计算公式:

$$C_u = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |h_i - h|}{nh} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $C_u$  为水量分布均匀系数,%;  $h_i$  为各测点的喷灌水深, mm;  $h$  为平均水深, mm;  $n$  为集雨筒数量。

滴灌工况时,在选取的6条滴灌带首、中、末端依据地形选取一定数量的滴头,在其下方设置盛水盘,测试滴灌工况运行10 min每个滴头的流量。

机组滴灌均匀系数根据国家标准 GB/T50485-2009<sup>[23]</sup>规定,对已建成的微灌系统宜采用灌水均匀系数进行灌水均匀性的评价,灌水均匀系数应按下列公式计算:

$$C_u = 1 - \frac{\overline{\Delta q}}{q} \quad \overline{\Delta q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}| \quad (4)$$

式中:  $C_u$  为微灌均匀系数,%;  $\overline{\Delta q}$  为灌水器流量的平均偏差, L/h;  $q_i$  为各灌水器流量, L/h;  $\bar{q}$  为灌水器流量平均值, L/h;  $n$  为所测灌水器数目。

### 3.2 试验结果与分析

#### 3.2.1 机组运行参数

由表7可知,喷灌工况时,泵进口处负压为2.6 m,出口处压力水头为24.8 m,因此水泵扬程为  $H=27.4$  m。由该泵性能曲线上查得,  $Q=13.26$  m<sup>3</sup>/h,  $N=1.516$  kW,  $\eta=65.3\%$ 。试验得到机组运行参数与理论计算结果基本相符。各个喷头压力值的相对误差为1.08%~2.40%,试验结果与理论计算结果具有较好的一致性。误差主要为风速及地形坡度造成的影响。最大误差产生于1#喷头处,这是由于1#喷头地势较高,压力表读数降低引起。各个喷头的工作压力接近喷头的额定工作压力,机组运行稳定,机组配置7个喷头较为合理。

表7 喷灌工况试验结果与计算结果对比

Table 7 Comparisons between experimental and theoretical results of sprinkler irrigation condition

	泵进口压力 $p_{in}$		泵出口压力 $p_{out}$		各测点压力 $p_m$		
	Pump inlet pressure/MPa	Pump outlet pressure/MPa	1#	2#	3#	4#	7#
试验平均值 Average value	-0.026	0.248	0.244	0.242	0.241	0.239	0.238
计算值 Calculated value		0.274	0.250	0.247	0.245	0.244	0.243
相对误差 Relative error/%		1.08	2.40	2.04	1.63	2.05	2.06

由表 8 可知,滴灌工况时,泵进口处负压为 3.6 m,出口处压力水头为 18.4 m,因此水泵扬程为  $H=22.0$  m。由该泵性能曲线上查得,  $Q=16.45$  m<sup>3</sup>/h,  $N=1.531$  kW,  $\eta=64.4\%$ 。由此可见,试验得到机组运行参数与理论计算结果基本相符误差产生主要

因为主要受地形坡度及水分蒸腾量的影响。辅管所在位置地势高,毛管末端地势低,压力表读数也依据地行坡度发生变化。各个滴头的平均工作压力接近滴头的额定工作压力,各滴头能稳定运行,机组运行平稳,配置 34 条滴灌管为合理配置。

表 8 滴灌工况试验测量数据

Table 8 Experimental data of drip irrigation condition

转速 Speed/(r·min <sup>-1</sup> )	泵进口压力 $p_m$ Pump inlet pressure/MPa	泵出口压力 $p_{out}$ Pump outlet pressure/MPa	各测点压力 $p_m$ Pressure at every measuring point/MPa								
			1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
3000	-0.036	0.184	0.102	0.095	0.095	0.088	0.092	0.091	0.11	0.112	0.11

### 3.2.2 机组水量分布

表 9 中数据为机组在单个工作位置上喷灌所测得的水量分布。但在实际灌溉中,组合喷灌的水量分布还需要考虑在相邻的工作位置上喷洒水量对该区域的影响。因为每个工作位置上机组的工作状态及水量分布形式基本一致,可采用叠加法获得该测量区域的水量分布。

经计算得到,当机组配置 7 个喷头时,喷灌均匀系数为  $C_u=80.0\%$ 。因为试验在室外进行,受风速影响,当风速较大时,可适当调整喷洒高度,喷灌均匀系数也能保证在 80% 以上,满足灌溉要求,机组配置合理。

表 10 中数据为机组在单个工作位置上滴灌灌

水所测得的水量分布。经计算得到,当机组配置 34 条滴灌管时,滴灌灌水均匀系数为  $C_u=93.6\%$ ,同样满足滴灌灌溉要求。

表 9 喷灌工况水量分布集雨筒集水深

Table 9 Experimental data of sprinkler irrigation condition

排数 Row number	不同集雨筒号集水深 Depth of measuring points /m							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.25	2.75	3.25	3.38	3.25	2.38	1.65	2.75
2	1.88	2.60	3.20	3.25	3.13	2.55	1.70	2.13
3	2.00	2.60	3.00	3.13	3.00	2.50	1.25	1.13
4	1.55	2.63	3.13	3.25	2.80	2.50	1.45	1.25
5	1.50	2.00	2.63	3.38	2.25	2.00	1.40	1.30
6	1.38	1.55	1.65	1.63	2.13	1.38	1.80	1.75
7	1.18	0.88	0.75	0.63	0.95	1.25	1.38	1.45

表 10 滴灌工况水量分布各测点流量

Table 10 Flow of measuring points

不同滴灌管编号流量 Flow of measuring points/(L·h <sup>-1</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1#	2.54	2.56	2.89	3.14	2.54	2.81	2.82	3	2.93	3
	2.75	2.73	2.78	2.85	2.78	2.78	2.73	2.84	2.74	2.75
	2.62	2.86	2.84	2.81	2.62	2.86				
2#	2.73	2.84	2.75	3	2.73	2.7	2.84	2.84	2.84	2.73
	2.73	2.78	2.78	2.73	2.7	2.78	2.73	3	2.95	3
3#	2.56	2.18	2.84	2.95	2.95	2.95	2.95	2.67	2.89	3
	2.73	2.56	2.51	2.73	2.56	2.78				
4#	2.7	2.82	2.81	2.7	2.7	2.67	2.7	2.75	2.73	2.73
	2.59	2.62	2.59	2.4	2.37	2.37	2.35	2.35	2.32	2.44
5#	2.78	2.78	2.78	2.84	2.75	2.75	2.78	2.75	2.84	2.78
	2.37	2.4	2.4	2.4	2.37	2.35	2.48	2.45	2.18	2.1
6#	2.78	2.73	2.73	2.73	2.78	2.78				
	2.62	2.67	2.67	2.62	2.56	2.67	2.62	2.73	2.73	2.73
	2.51	2.56	2.56	2.56	2.29	2.51	2.51	2.45	2.4	2.51

## 4 结 论

1) 开发了一种喷滴灌两用轻小型机组,共用机组主体部分与部分主管道,可根据不同作物或不同地形的需求自如地进行喷、滴灌 2 种灌溉方式的转换,机组能耗低,喷洒均匀度高。

2) 采用理论计算和试验相结合的方式,深入研究喷滴灌两用机组的运行工况,完成机组优化配置。当机组配置 7 个 15PY 喷头,34 条滴灌管时,

与单一额定工况相比,机组能耗降低 9.4%。

3) 在室外试验中,对喷滴灌两用机组灌水均匀系数进行分析。喷灌工况均匀系数为 80.0%,滴灌工况均匀系数为 93.6%,高于国家标准,机组性能优越。

### [参 考 文 献]

- [1] 袁寿其,李红,施卫东,等. 新型喷灌设备设计理论与技术[M]. 北京:机械工业出版社,2011.

- [2] 范永申, 黄修桥, 仵峰, 等. 喷灌和软管灌溉两用机组水量分布特性与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 74—77.  
Fan Yongshen, Huang Xiuhao, Wu Feng, et al. Experiment and analysis on water distribution uniformity of machine of sprinkling irrigation and hose irrigation dual purpose[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(11): 74—77. (in Chinese with English abstract)
- [3] 潘中永, 刘建瑞, 施卫东, 等. 轻小型移动式喷灌机组现状及其与国外的差距[J]. 排灌机械, 2003, 21(1): 25—28.  
Pan Zhongyong, Liu Jianrui, Shi Weidong, et al. Status of lightweight and small size movable sprinkler irrigation set and its gap with advanced countries[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2003, 21(1): 25—28. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘洪禄, 汪宝会, 杨竹心, 等. 田间喷管结合灌水技术体系的研究[J]. 农业工程学报, 1998, 4(12): 93—97.  
Liu Honglu, Wang Baohui, Yang Zhuxin, et al. Study on sprinkler-pipe conveying irrigation system in field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 1998, 4(12): 93—97. (in Chinese with English abstract)
- [5] 侯永胜. 多喷头轻小型移动式喷灌机组优化配套研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2007: 4—5.  
Hou Yongsheng. Study on Optimizing of Configuration for the Small-scale Movable Sprinkler Irrigation Equipment (SMSIE) with Multiple Sprinkler[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2007: 4—5. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王新坤, 袁寿其, 朱兴业, 等. 轻小型移动喷灌机组低能耗遗传算法优化设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 58—62.  
Wang Xinkun, Yuan Shouqi, Zhu Xingye, et al. Optimization of lithe-small movable unit sprinkler system using genetic algorithms based on energy consumption indicators[J]. Transactions of the CSAM, 2010, 41(10): 58—62. (in Chinese with English abstract)
- [7] 严海军. 基于变量技术的圆形和平移式喷灌机水量分布特性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.  
Yan Haijun. Study on Water Distribution Uniformity of Center Pivot and Lateral Move Irrigation Systems Based on Variable Rate Technology[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [8] Christiansen J E. Irrigation by sprinkling[R]. Bulletin 670, California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, California, 1942.
- [9] Fukui Y, Nakanishi K, Okamura S, Computer evaluation of sprinkler irrigation uniformity[J]. Irrigation Science, 1980, 1(2): 23—32.
- [10] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CASE), 2005, 21(9): 172—177. (in Chinese with English abstract)
- [11] 朱兴业, 刘俊萍, 袁寿其, 等. 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, et al. Effect on spraying uniformity based on geometrical parameters and combined spacing of rotational fluidic sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(6): 66—72. (in Chinese with English abstract)
- [12] Sadler E J, Camp C R, Busscher W J. Emitter flow rate changes caused by excavating subsurface microirrigation tubing[C]// In: Proc.5<sup>th</sup> Int'l Microirrigation Congress. St Joseph, Mich: ASAE, 1995.
- [13] Dogan E, Kirnak H. Water temperature and system pressure effect on drip lateral properties[J]. Irrigation Science, 2010, 28: 407—419.
- [14] 魏青松, 史玉升, 芦刚, 等. 内镶式滴灌带绕流渠道水力性能研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 83—86.  
Wei Qingsong, Shi Yusheng, Lu Gang, et al. Hydraulic performances of the round-flow channel in an in-line drip-tape[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 2006, 22(10): 83—86. (in Chinese with English abstract)
- [15] 范宗良, 王瑛, 王刚, 等. 滴灌带灌水均匀度的田间测试评价方法[J]. 排灌机械, 2000, 18(4): 20—22.  
Fan Zongliang, Wang Ying, Wang Gang, et al. Test and evaluating on the irrigation equality degree of dripline PC in the field[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2000, 18(4): 20—22. (in Chinese with English abstract)
- [16] 胡斌, 袁寿其, 王新坤, 等. 喷滴灌两用轻小型机组设计及能耗分析[J]. 节水灌溉, 2013(7): 65—68.  
Hu Bin, Yuan Shouqi, Wang Xinkun, et al. Design and energy consumption of sprinkler-drip dual-purpose irrigation machine[J]. Water Saving Irrigation, 2013(7): 65—68. (in Chinese with English abstract)
- [17] 林中卉, 丘传忻. 喷灌系统加压泵的优化选型[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 118—122.  
Lin Zhonghui, Qiu Chuanxin. Optimization and selection of pressure increasing pump for sprinkle irrigation system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 1996, 12(4): 118—122. (in Chinese with English abstract)
- [18] Tarjuelo J M, Moreno M A. Energy analysis of irrigation delivery systems: Monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency[J]. Irrigation Science, 2010, 28(5): 445—460.
- [19] Moreno M A, Medina D. Optimal design of center pivot systems with water supplied from wells[J]. Agricultural Water Management, 2012, 107(3): 112—121.

- [20] 王新坤, 蔡焕杰. 微灌毛管水力解析及优化设计的遗传算法研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 55—58. Wang Xinkun, Cai Huanjie. Study on genetic algorithms of hydraulic analysis and optimum design for micro-irrigation laterals[J]. Transactions of the CSAM, 2005, 36(8): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王新坤, 袁寿其, 刘建瑞, 等. 轻小型喷灌机组能耗计算与评价方法[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(3): 247—250. Wang Xinkun, Yuan Shouqi, Liu Jianrui, et al. Energy consumption calculation and evaluation methods for light and small unit sprinkler system[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2010, 28(3): 247—250. (in Chinese with English abstract)
- [22] 中华人民共和国水利部. GB/T50085-2007 喷灌工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [23] 中华人民共和国水利部. GB/T50485-2009 微灌工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.

## Optimum configuration and performance experiment of sprinkler-drip dual-purpose irrigation machine

Yuan Shouqi, Hu Bin, Wang Xinkun, Zhu Xingye, Tu Qin

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

**Abstract:** As the water shortage is becoming more and more serious, water-saving irrigation has become an important part of agriculture modernization. Raising the level of agricultural mechanization and improving the utility ratio of water are necessary ways to access agriculture modernization. Light weight and small size movable sprinkler irrigation machines have been widely used as new important agricultural equipment. However, most studies have focused on the light and small sprinkler machine which worked under a single loading case or a large-scale fixed sprinkler-drip dual-purpose irrigation machine. In order to realize a reasonable configuration and low energy consumption, a new light small-moving type of machine with a dual purpose of sprinkler irrigation and drip irrigation was introduced, which made the changes of irrigation mode available in accordance with the growth status of different crops or various terrains. The dual-operation irrigation pump 50ZB-25C was used, which was designed by a DOE experiment design and factorial analysis by Jiangsu University. And the 15PY2 impact-drive sprinkler with double nozzles and drip irrigation tube with the rated flow of 2.7 L/h were selected. The running parameters and the water distribution uniformity of the machine were studied by both theoretical analysis and outdoor experiments. In theoretical analysis, the reasonable configuration and optimization design of the system could use the advantages in reducing the energy consumption and maximizing the efficiency of the machine. Finally, the best configuration was determined by using the genetic algorithm for the objective function of minimal energy consumption and high efficiency, the number of the sprinklers was 7, and the number of the drip irrigation tubes was 34. Compared with the rated condition which the machine works under, the energy consumption was reduced by 9.4% under the best configuration. The outdoor experiments were carried out under this configuration. The experimental results of the operation parameters were consistent with the theoretical values, the relative error of which was 1.08%-2.40%, mainly affected by the wind and terrain slope. It showed that the genetic algorithm had both theoretical and practical significance in the design of the sprinkler irrigation machine. The water distribution uniformity of the machine was also studied by the experiments and the uniformity coefficient of both the sprinkler irrigation and drip irrigation were tested out. The sprinkler uniformity coefficient was 80.0%, and drip irrigation uniformity coefficient reached 93.6%, which were higher than those of the official standard. The data indicated that the machine has superior performance and can help to raise the level of agricultural mechanization in China.

**Key words:** agricultural machinery; experiment; optimization; sprinkler and drip irrigation; dual-purpose machine; optimum configuration; uniformity coefficient

(责任编辑: 刘丽英)