

## 喷灌和软管灌溉两用轻小机组特性

范永申<sup>1</sup>, 黄修桥<sup>1</sup>, 仵峰<sup>1</sup>, 李金山<sup>1</sup>, 段福义<sup>1</sup>, 郁枫<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003; 2. 浙江省海宁市马桥街道农业技术服务中心, 浙江 海宁 314419)

**摘要:** 介绍了一种新型喷灌和软管灌溉两用轻小机组的结构和工作原理, 该新型灌溉机组由绞盘车提供行走动力和压力水源, 通过喷水车进行喷洒灌溉。机组可配置喷灌和软管灌溉两种不同的灌水系统, 满足了不同作物在不同生育期对水分的要求; 喷水车安装有高度调节装置, 始终使灌水器处于最佳灌水高度; 机组上采用低压折射式喷头和软管洒水带等低压灌水系统, 使机组的工作压力降低了30%。通过对该机组水涡轮特性、运行特性、喷洒特性的分析, 确定了该机组的技术参数。喷洒试验表明, 新型灌溉机组可克服受风影响较大的弱点, 减少灌溉水分的漂移损失, 灌水均匀度可达90%。

**关键词:** 轻小机组; 喷灌; 软管灌溉; 水涡轮; 特性

**中图分类号:** S277    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1005-6254(2008)04-0052-05

## Characteristics of dual purpose sprinkling irrigation and hose irrigation machine

FAN Yong-shen<sup>1</sup>, HUANG Xiu-qiao<sup>1</sup>, WU Feng<sup>1</sup>, LI Jin-shan<sup>1</sup>, DUAN Fu-yi<sup>1</sup>, YU Feng<sup>2</sup>

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453003, China; 2. Agriculture Technique Service Center, Maqiao Street of Haining City, Haining, Zhejiang 314419, China)

**Abstract:** A new type of light weight and small size machine with sprinkling irrigation and hose irrigation was introduced. The machine's set of remotion and pressure water are provided by a capstan car, and sprinkling irrigation by a sprinkler car. The machine has sprinkling irrigation and hose irrigation system, and can satisfy different farm crops in different growth time at the request of water. The sprinkler car set can adjust the height of machine, which makes the sprinkler to always work in the best sprinkling height. The machine adopts lower press refraction type sprinkler and hose tube for lower press irrigation system, which makes the machine's work press to drop 30%. By studying the machines water turbine characteristic, amovement characteristic, and insufflations characteristic, the machine's technical parameters were determined. Test results show that the new machine may reduce the influence of sprinkling uniformity degree by wind, reduce the water loss, and irrigation uniformity degree can be increased by 90%.

**Key words:** light weight and small size machine; sprinkling irrigation; hose irrigation; water turbine; characteristic

随着国家农业产业结构的调整和农业个体承包制的深入发展, 我国出现了适度规模经营的农场和新的管理机制, 对灌水技术又有了新的要求<sup>[1]</sup>。因

此,亟待开发一种可根据作物需水规律和地块宽度, 来实现多目标利用的轻小型灌溉机组, 以满足新形势下农业经营模式<sup>[2,3]</sup>。国外研究学者早在上世纪

收稿日期: 2008-03-20

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA100211); 国家科技支撑项目(2006BAD11B05)

作者简介: 范永申(1975—), 男, 河南濮阳人, 助理研究员(ngsfans@126.com), 主要从事节水灌溉技术及灌溉设备研制开发研究。

黄修桥(1961—), 男, 湖北汉川人, 研究员, 博士生导师(hhxqq@public.xxptt.ha.cn), 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。

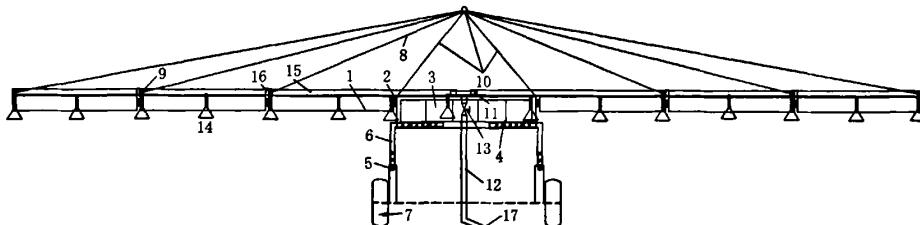
就对喷灌机组进行了特性研究<sup>[4-8]</sup>,包括水涡轮特性、运行特性、调速特性、水力特性等,为喷灌机组的设计和研制提供了较好的理论基础。

目前,国内外对喷灌机组的研究多注重在降低能耗上,而对机组多目标利用状况和适应能力研究不够,多数机组灌溉方式单一,喷幅固定,已远不能满足新形势对机组的要求。在“十一五”国家“863”计划项目和科技支撑项目的资助下,中国农业科学院农田灌溉研究所研制出一种喷灌和软管灌溉两用轻小机组,可根据地块宽度、作物不同生育期或多目标来利用需水状况,调整灌溉机组的喷幅和灌溉水量,提高灌溉机组的利用率和适应能力。分析喷灌和软管灌溉两用轻小型机组的特性,是从理论上验证机组的整体性能和系统配套是否科学,因此对机组的研制具有重要的意义。

## 1 机组结构与工作原理

该喷灌和软管灌溉两用轻小机组,包括喷水车和绞盘车。喷水车为桁架式结构,分为固定式桁架和嵌套式伸缩桁架,桁架间的连接采用嵌套式连接,可根据灌溉地块宽度快速调节桁架宽度,改变了目前

常用喷灌机定尺寸喷幅的模式。每跨桁架的外侧用带挂钩的拉绳与喷水车固定桁架上的拉绳挂钩固定架相连,保证每跨桁架的稳定。在轻小机组桁架上安装高度调节装置,可根据不同作物或作物不同生育期的生长状况进行调节喷洒高度,减少了喷洒水分的漂移损失,提高了灌水均匀度。机组上采用低压折射式喷头和软管洒水带等低压灌水系统,使机组的工作压力降低了30%,改变了目前常规喷灌机组灌水形式单一的现状,提高了灌溉轻小机组的适应能力。桁架上的喷灌系统采用低压折射式喷头,供水管采用薄壁铝管;在每跨桁架连接处,供水管均采用快速承插连接,便于喷灌系统在桁架上的调整和安装。软管灌溉系统采用软管洒水带,软管洒水带安装方向和方式与喷灌系统相同。喷水车中间跨为固定桁架,通过底部的套管与支撑柱的水平段承插相连,通过调轮距螺栓固定,在支撑柱上装有高度调节螺栓调节桁架的高度,支撑下部为喷水车车轮。供水前管和固定桁架焊接在一起,一端接供水阀门,另一端接供水PE软管;供水阀门上端接供水三通,供水三通两端接喷灌供水管或软管洒水带,喷灌供水管下部悬挂折射式喷头。喷灌和软管灌溉两用轻小机组喷水车结构见图1,绞盘车结构见图2。



1. 伸缩式机翼桁架 2. 快速接头 3. 固定式桁架 4. 调距轮距螺栓 5. 高度调节螺栓 6. 支撑柱 7. 喷水车车轮  
8. 两端带挂钩拉绳 9. 桁架末端挂钩孔 10. 拉绳挂钩固定架 11. 供水三通 12. 供水管 13. 供水阀门  
14. 折射式喷头 15. 喷灌供水管或软管洒水带 16. 嵌套式连接 17. 供水PE管接口

图1 喷灌和软管灌溉两用轻小机组喷水车结构示意图

Fig. 1 Sketch map of structure of sprinkling car of light weight and small size machine of sprinkling irrigation and hose irrigation dual purpose

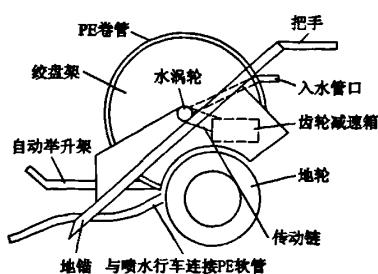


图2 绞盘车结构示意图

Fig. 2 Sketch map of structure of capstan car

工作时,有压水源通过绞盘车入水管口进入水涡轮,齿轮减速箱通过传动链控制水涡轮的转速,水涡轮通过同心轴带动绞盘架的转动,因此PE软管也随着绞盘架的转动而缠绕在绞盘架上,从而牵引着喷水车运行。当需改变喷幅时,将喷灌供水管最外端的快速接头打开,卸下最外端喷头和供水管即可。由于喷头工作时有一定的间距,因此喷灌变幅只能是喷头工作间距的整数倍,同时需改变机组进口流量。而当采用软管灌溉方式时,由于软管洒水带为连续洒水,当需改变喷幅时,只需将不同长度的软管洒

水带变换即可。由于本机组在工作过程中需不断变换压力和流量,因此需用变频器来改变水泵运行状态,以达到灌溉时所需求。

## 2 特性分析

### 2.1 水涡轮特性

喷灌和软管灌溉两用轻小机组喷水车移动的动力来自绞盘车上主流管一侧的水涡轮机驱动装置,水涡轮是该机组的核心部件之一。水涡轮机体积较小,转轮直径约 500 mm,它的过水断面大,运行可靠,控制流量便于调速,但其增加了管路中的水力损失。工作时,压力水进入涡室冲击转轮叶片,通过转轮轴和无极变速装置将动力传至减速箱,然后由链轮系统带动绞盘缓慢转动,作功后的压力水回到主流管由喷头喷出<sup>[9]</sup>。由于该机组使用了节能水涡轮,减小了水力损失,降低了运行成本。

### 2.2 运行特性

喷灌和软管灌溉两用轻小机组在工作前,首先要根据灌溉地块的宽度,调节喷水车桁架宽度,其次根据灌溉作物及其生长状况选择适宜的灌水方式和调节喷水车桁架高度,调整喷水车轮距,防止车轮碾压作物。灌溉时,无论灌溉地块形状如何,都应根据 PE 卷管的长度和喷水车的最大幅宽划分成条带状,在每个条带地块的中间处预设给水栓,将喷灌的软管灌溉两用轻小机组安装后,用拖拉机或其他动力机把喷水车拖至条带地块的端头,接上压力水源即可进行灌溉。

喷灌与软管灌溉两用轻小机组主要有两种运行形式,一种是移动式灌溉,即喷水车在喷水的同时,喷水车也在缠绕于绞盘上的软管牵引下缓缓向绞盘车方向移动;另一种是定点灌溉,此方式工作时类似于半固定式灌溉模式。

移动式灌溉方式,影响喷洒质量和机械性能的关键是保持喷水车能匀速移动、均匀喷洒。影响匀速移动的因素较多,但最重要的只有两个,一个是卷盘上软管缠绕直径的变化,一个是卷盘上软管(含其中水体)重量的变化<sup>[10]</sup>。

喷灌和软管灌溉两用轻小机组采用改变驱动功率的办法来调整卷盘的转速,以达到喷水车匀速行走的目的。卷盘角速度的变化率用下式表示<sup>[10]</sup>:

$$\delta_{\omega} = \frac{\sum |\omega_z| / n}{\omega} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $\omega_z$  为软管的内、外层的中间层的角速度偏差

值;  $n$  为软管缠绕层数;  $\omega$  为中间层的角速度, rad/min.  $\omega$  由下式计算:

$$\omega = v/R_z$$

式中  $v$  为喷水车移动速度;  $R_z$  为中间层的半径。

卷盘上负载的变化率用下式表示:

$$\delta_p = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $F_{\max}$  为卷盘最大牵引力,  $F_{\max} = Gf$ ,  $G$  为软管和管中水的重量,  $f$  为滑动摩擦因数;  $F_{\min}$  为卷盘最小牵引力,即每个喷灌作业快结束时,即管道在地面最短时的牵引力。

定点灌溉方式类似于半固定式灌溉方式,即把喷水车移至某一位置进行灌溉,此地块灌水结束后移至下一地块。由于喷头及洒水带出水量受压力影响,随着压力的降低,灌溉幅宽和流量也逐渐减小,为了保证灌水均匀度,通常采用改变机组移动间距的方法加以补偿。

平均喷灌强度表示为<sup>[11]</sup>

$$I = \frac{Q}{S_L S_m} \quad (3)$$

式中  $I$  的单位为 mm/h;  $Q$  为喷灌机流量, m<sup>3</sup>/h;  $S_L$  为喷灌机喷幅, m;  $S_m$  为喷灌机移动间距, m。

喷灌机流量  $Q$  通常表示为下式:

$$Q = xq = xK_d \sqrt{H} \quad (4)$$

式中  $x$  为喷灌机安装喷头数;  $q$  为单喷头流量, m<sup>3</sup>/h;  $K_d$  为喷头流量系数;  $H$  为喷头工作压力水头, m。

将式(4)代入式(3)中,并写成  $S_m$  的显函数形式,即:

$$S_m = \frac{xK_d \sqrt{H}}{IS_L} \quad (5)$$

式(5)即为采用定点灌溉时的机组移动距离。

### 2.3 喷水车喷洒特性

喷灌和软管灌溉两用轻小机组灌水方式有两种。以喷灌方式工作时,在喷水车上配置低压折射式喷头,工作压力为 0.2 ~ 0.25 MPa,射程 3 ~ 5 m,流量为 1.5 m<sup>3</sup>/h,喷灌管进口压力为 0.3 ~ 0.35 MPa,机翼桁架全部展开时共 12 个喷头,此时喷幅为 36 m。

当行走喷洒时,由于受绞盘直径和 PE 软管缠绕层数的影响,行走速度为 15 ~ 16.5 m/h,每小时喷

灌强度为

$$I_{\max} = \frac{Q}{S_L v_{\max}} \times 1000 = \frac{1.5 \times 12}{36 \times 15} \times 1000 = 33.3 \text{ mm/h} \quad (6)$$

$$I_{\min} = \frac{Q}{S_L v_{\min}} \times 1000 = \frac{1.5 \times 12}{36 \times 16.5} \times 1000 = 30.3 \text{ mm/h} \quad (7)$$

当机组用于软管灌溉时,由于软管洒水带流量较小,每米长流量为  $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ,系统供水流量要比喷灌时小,机翼全部展开时流量为  $10.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,每小时平均喷洒强度为

$$I = \frac{Q}{S_L v} \times 1000 = \frac{0.3 \times 36}{36 \times 15.75} \times 1000 = 19.05 \text{ mm/h} \quad (8)$$

式中  $v$  为平均移动速度.

机组喷灌均匀系数的计算公式与一般管道式喷灌系统、轻小型喷灌机、绞盘式喷灌机和滚移式喷灌机等机组或系统的计算公式相同,参照标准 ASAE 436.1<sup>[12]</sup>,采用 Christiansen 公式计算:

$$C_{UC} = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N h_i - \bar{h}}{\sum_{i=1}^N h_i} \right) \quad (9)$$

式中  $C_{UC}$  为克里斯琴森(Christiansen)喷灌均匀系数;  $N$  为用于数据分析的雨量筒个数;  $h_i$  为第  $i$  雨量筒收集的喷灌水水深,mm;  $\bar{h}$  为雨量筒收集水水深的算术平均值,mm.  $\bar{h}$  可按下式计算:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^N h_i}{N} \quad (10)$$

经试验知,软管灌溉均匀度要比喷灌时稍差,但其在机组移动方向上均匀度要好,可达到 90%,也可满足灌溉需要.

该喷水车安装有高度调节装置,始终使灌水器处于最佳灌水高度,克服了受风影响较大的弱点,减少了灌溉水分的漂移损失,提高了灌水均匀度和利用效率. 机组上采用低压折射式喷头和软管洒水带等低压灌水系统,降低了机组的工作压力,节省了能耗,降低了机组的运行成本.

### 3 结 论

通过对喷灌和软管灌溉两用轻小机组的特性分析,得到如下几点结论:

1) 该机组水涡轮特性较好,水力损失小,降低

了能耗.

2) 绞盘转速变化率小,满足了喷水车在田间行走时基本处于匀速的要求,保证了灌水均匀度,提高了灌水效果.

3) 机组上可安装两种灌水系统,拓展了机组的适用范围,满足了不同作物、不同生育期内对灌溉水分的需求,喷洒强度适中,均匀度高.

总体而言,该机组结构紧凑、简单,设计科学合理,功能强,适应能力高,实现了高度可升降、喷幅可调、喷灌和软管灌溉两用等多功能的目标,提高了喷灌设备的适应能力,拓宽了喷灌机组的发展空间.

### 参 考 文 献 (References)

- [1] 仵 峰,宰松梅,李王成. 喷灌发展与土地经营模式的思考[J]. 节水灌溉,2003(2):16~18.  
WU Feng, ZAI Song-mei, LI Wang-cheng. Considering of sprinkling irrigation development and glebe management mode[J]. Water Saving Irrigation, 2003(1):16~18. (in Chinese)
- [2] 王综武. 略谈我国的卷管式绞盘喷灌机开发和应用[J]. 节水灌溉,1998(1):31~34.  
WANG Zong-wu. A brief talk about the development and application of travelling sprinkler in China[J]. Water Saving Irrigation, 1998(1):31~34. (in Chinese)
- [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 Zhong-yong, LIU Jian-rui, SHI Wei-dong, et al. Status of light weight 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)
- [4] Tarjuelo J M, Montero J, Honrubia F T, et al. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area [J]. Agricultural Water Management (S0378~3774), 1999,40(2/3):315~331.
- [5] Keller J, Bliesner R D. Sprinkle and Trickle Irrigation [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [6] Valiantzas J D. Hydraulic analysis and optimum design of multidiameter irrigation laterals[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering (S0733~9437), 2002, 128(2):78~86.
- [7] Ramalan A A, Hill R W. Strategies for water management in gravity sprinkle irrigation systems[J]. Agricultural Water Management (S0378~3774), 2000, 43(1):51~74.
- [8] Wallender W W, Ohira, S. Abbreviated sprinkle irriga-

- tion evaluation[J]. *Transactions of the ASAE* (S0001 - 2351), 1987, 30(5): 1430 - 1434.
- [9] 杜 厉. 星雨卷盘式喷灌机特性分析[J]. 中国农村水利水电, 2000(6): 57 - 58.
- DU Li. Analysis on characteristics of xing-yu capstan type sprinkler [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2000(6): 57 - 58. (in Chinese)
- [10] 许一飞, Francis TESTA. 软管卷盘式自动喷灌机特性分析[J]. 节水灌溉, 1996(3): 39 - 45.
- XU Yi-fei, Francis TESTA. Analysis on characteristics of hose capstan type self-motion sprinkler [J]. *Water Saving Irrigation*, 1996(3): 39 - 45. (in Chinese)
- [11] 仵 峰, 范永申, 宰松梅, 等. 低压可调幅式喷灌机研制[J]. 节水灌溉, 2004(3): 16 - 17.
- WU Feng, FAN Yong-shen, ZAI Song-mei, et al. Manufacture of sprinkling irrigation machine with low water pressure and adjustable spraying range [J]. *Water Saving Irrigation*, 2004(3): 16 - 17. (in Chinese)
- [12] American Society of Agricultural and Biological Engineers. ANSI/ASAE S 436. 1 - 1996 *Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles* [S]. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1996.

(责任编辑 张文涛)

(上接第38页)

- HUANG Zhong-fu, JIANG Zhe, ZHAO Bin-juan, et al. Application of wavelet analysis to early-stage cavitation diagnosis for centrifugal pumps [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2005, 23(2): 4 - 7. (in Chinese)
- [6] 倪永燕, 潘中永, 李 红, 等. 出口压力波动特性在离心泵汽蚀检测中的应用[J]. 排灌机械, 2006, 24(5): 40 - 43.
- NI Yong-yan, PAN Zhong-yong, LI Hong, et al. Application of characters of discharge pressure fluctuation to monitor of centrifugal pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2006, 24(5): 40 - 43. (in Chinese)
- [7] Alfayez L, Mba D, Dyson D. The application of acoustic emission for detecting incipient cavitation and the best efficiency of a 60 kW centrifugal pump: case study [J]. *NDT & E International*, 2005, 38: 354 - 358.
- [8] Escaler X, Egusquiza E, Farhat M, et al. Detection of cavitation in hydraulic turbines [J]. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2006, 20: 983 - 1007.
- [9] Farge M, Schneider K. Coherent vortex simulation (CVS), a semi-deterministic turbulence model using wavelets [J]. *Flow, Turbulence and Combustion*, 2001, 66(4): 393 - 426.
- [10] Henshaw T L. 遠心ポンプのNPSHを予測する [J]. ターボ機械, 2001, 29(10): 7 - 17.
- [11] 查 森. 叶片泵原理及水力设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(责任编辑 张文涛)