排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2017 年 4 月 Apr. 2017 | 第 35 卷 第 4 期 Vol. 35 No. 4
doi:10.3969/j.issn.1674-8530.16.0052

平移式喷灌机组的研制及性能试验

田坤，朱兴业，万景红，鲍亚
（江苏大学国家水泵及系统工程技术研究中心，江苏 镇江 212013）


田坤

摘要： 针对目前国内外喷灌机组的研究发展趋势，研制了一种新型平移式喷灌机组. 该机组采用异形连接机构，实现装置的快速连接、拆卸；采取多跨特殊桁架连接，可以根据地形需求，灵活改变跨数，避免机组的过喷和漏喷现象；桁架的特殊开槽方式，可以根据作物需水要求，灵活改变喷头安装高度与间距，减少喷灌的漂移蒸发损失，提高喷灌的均匀性；搭载的低压折射式喷头，降低了系统工作压力，节省了机组能耗. 采用间歇式控制系统，实现机组的自动化作业，满足了现代化农业精准灌溉的要求. 对该机组的性能进行试验，结果表明：喷头工作压力在 0.07 MPa，安装间距为 3 m，高度为 1 m 时，喷灌均匀性系数达到 86.5%，分布均匀性系数达到 80.9%. 与现有产品相比，该机组易拆卸、适应性广、节水、节能、均匀性高，应用前景可观.

关键词： 喷灌；平移式喷灌机组；快速装拆；间歇式控制系统；喷灌均匀性
中图分类号： S277.9 **文献标志码：** A **文章编号：** 1674-8530(2017)04-0357-05

田坤，朱兴业，万景红，等. 平移式喷灌机组的研制及性能试验[J]. 排灌机械工程学报，2017，35(4)：357-361.

TIAN Kun，ZHU Xingye，WAN Jinghong，et al. Development and performance test of lateral move irrigation system[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME)，2017，35(4)：357-361.(in Chinese)

Development and performance test of lateral move irrigation system

TIAN Kun，*ZHU Xingye*，*WAN Jinghong*，*BAO Ya*
(National Research Center of Pumps，Jiangsu University，Zhenjiang，Jiangsu 212013，China)

Abstract：A novel lateral move irrigation system was introduced based on the development trend of sprinkler irrigation system at home and abroad at present. The unit adopted the special connecting to realize the fast connection and disassembly of the device. The span number was flexibly changed for avoiding excessive spray and spray leakage phenomena of the unit with more special truss connections according to the terrain demand. The truss was equipped with special slotted manner which could change the nozzle installation height and spacing flexibility according to the crop water requirement. It also could reduce floating and evaporation loss of sprinkler irrigation and improve the sprinkler irrigation uniformity. A low-pressure and spray-plate sprinkler nozzle equipped reduced the system pressure and saved energy consumption. The lateral move irrigation system adopted the intermittent control system to realize automation operation of the unit and fulfilled the requirements of modern farming precision irrigation. By analyzing the performance of the unit，the results show that when the pressure，sprinkler spacing and the height are 0.07 MPa，3 m and 1 m respectively，the sprinkler irrigation uniformity coefficient reaches 86.5% and the distribution uniformity coefficient reaches 80.9%. Compared with existing products，the unit has the advantages of easy disassembly，extensive adaptability，

收稿日期： 2016-03-10；**网络出版时间：** 2017-04-01
网络出版地址： http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20170401.1017.026.html
基金项目： “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0400202)；江苏省重点研发计划项目(BE2015316)；中国博士后基金特别资助项目(2016T90428)；江苏高校优势学科建设工程资助项目
作者简介： 田坤(1991—)，男，四川绵阳人，硕士研究生(hctkun@163.com)，主要从事流体机械及排灌机械研究.
朱兴业(1982—)，男，浙江永康人，副研究员，博士生导师(zhuxy@ujs.edu.cn)，主要从事流体机械及排灌机械研究.

water saving, energy saving and high uniformity, so it has considerable prospects of applications.
Key words: sprinkler irrigation; lateral move irrigation system; fast disassemble and connection; intermittent control system; irrigation uniformity

喷灌以其适应性广、易于机械化作业等优点已经成为当下世界上应用最广泛的节水灌溉技术之一[1]. 喷灌机作为实现节水灌溉的主要灌溉装备,近年来已经得到了广泛应用,目前中国主要有大型喷灌机、中型卷盘式喷灌机和轻小型喷灌机等主要机型. 其中,大型喷灌机由美国在20世纪50年代初发明,早期以液压驱动和水力驱动为主;1965年出现电力驱动圆形喷灌机;20世纪70年代出现了平移式喷灌机,可实现矩形地块的灌溉;随着能源的日趋紧张,20世纪70年代,采用中低压摇臂式喷头灌溉,工作压力有所降低. 20世纪80年代后期,又出现了下悬式低压喷洒器,工作压力进一步降低;20世纪90年代,出现了变量精确喷灌技术,能够根据专家决策系统或用户经验输入的基本变量参数,改变或随机变化灌溉系统的结构参数和性能参数,达到实时、精确灌溉的目的. 中型卷盘式喷灌机在欧洲具有50多年的发展历史,已有各种用途的系列化机型,具有机动性强、维护保养方便、使用寿命长等特点. 这种机型在20世纪90年代引入中国,随着中国水资源的日益短缺和农业灌溉的节水需求,2010年左右开始大量生产,从年生产量几百台到2013年已经达到近万台,应用以中国北方和中原地区为主. 小型移动式喷灌机是中国特有的一种机型,将其与移动铝管或者薄壁钢管喷灌系统一起统称为人工拆移管道式喷灌系统.

大型喷灌机投资高,设备复杂,关键部件依赖进口[1],且不适应中国复杂多变的地形结构和广大偏远的丘陵地区;国内中型卷盘式喷灌机水涡轮和传动机构效率不高,整机寿命远不及国外机型,整机能耗高于国外机型10%左右,机械控制不精确导致喷灌质量不高,基本没有智能化灌溉功能. 目前,国内市场上的轻小型喷灌机普遍存在的问题:结构笨重、在输水过程中水头损失较大、系统压力需求较高、搬移劳动强度大等,上述问题限制了该类喷灌机的推广使用. 此外,喷灌水量分布均匀性是衡量喷灌质量的重要标志之一[2],是喷灌系统规划设计中的重要参数. 而喷头的组合间距[3]以及安装高度对喷灌水量分布均匀性有重要影响,但是目前市场上的喷灌机一旦成型,喷头安装位置相对固定,或者喷头的移动较为困难[4].

文中针对中国目前喷灌机组灌水效率低、装备适应性差、喷灌质量不高等问题,研制具有适应性广、均匀性好、安装维护方便以及能定点定量喷洒的平移式喷灌机组,以推动节水产品的升级换代,提升中国节水灌溉水平.

1 平移式喷灌机组的结构与特点

1.1 结构与原理

平移式喷灌机组主要包括洒水车、间歇式控制系统. 洒水车采用固定带槽桁架与可拆卸带槽桁架连接,通过桁架的快速装拆,改变了目前喷灌机组喷幅恒定的喷洒模式,同时增加了机组的适应性. 外载供水管的支管通过固定于带槽桁架的调距装置实现了喷头安装间距、高度可调,提高了该机组对各类低压折射式喷头的适应性,同时提高了喷洒均匀性. 自动控制系统采用平移式喷灌机组间歇式控制系统及控制方法,根据平移式喷灌机组所需的运行和停止时间设定好时间定时器,按照设定的周期、运行和停止参数输出信号,时间定时器输出的开启和关闭信号控制电动绞车的开启和关闭,从而控制洒水车的运行、停止,达到定点、定量喷洒的效果,提高了该机组的喷灌质量.

1.1.1 平移式喷灌机组洒水车

该洒水车采用固定带槽桁架和快速装拆带槽桁架连接,桁架之间通过固定片快速装拆,固定桁架两端通过支撑杆对称地固定支撑,保证机组稳定性. 洒水车顶端的中部为固定桁架,两端为快速装拆带槽桁架,连接完成后的桁架通过支撑杆固定,支撑杆下端是洒水车车轮,车轮通过高度调节螺栓,实现机组高度的调节. 机组外载主供水管固定在洒水车中部,通过三通管连接支管,支管(软管)通过带槽桁架上的调距装置,便于喷头安装间距和安装高度的调节. 供水PE管通过供水三通连接主供水管,主供水管固定在支撑杆中部,通过支管三通向各橡胶支管供水,支管三通出口处连接支管阀门,为了准确地控制喷头的工作压力,在每个阀门出口处配备压力表,支管出口端连接配重装置与低压折射式喷头. 机组搭载低压折射式喷头,由于桁架上的调距装置,使得机组可以配置各类不同喷洒

半径的低压折射式喷头. 平移式喷灌机组洒水车结构图如图 1 所示.

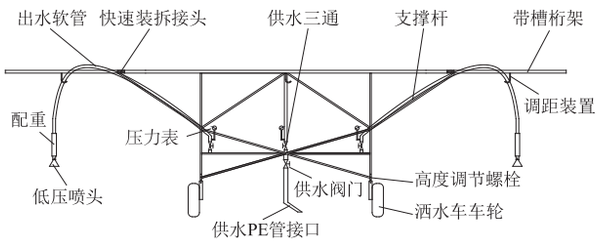


图 1　平移式喷灌机组洒水车结构图

Fig. 1　Structure diagram of lateral move irrigation system

1.1.2　平移式喷灌机组间歇式控制系统

平移式喷灌机组间歇式控制系统,主要包括牵引绞车、时间定时器. 时间定时器可以设置开启、断开的时间间隔,同时设置运行周期. 牵引绞车连接着洒水车,绞车上设有拖动按钮和松开按钮,拖动按钮的作用是拉动拖移线,将平移式喷灌机组往绞车方向移动;松开按钮的作用是将拖移线从绞车上松开,从而可以人工使平移式喷灌机组远离绞车,为拖动平移式喷灌机组进行准备. 工作时根据需水量设定时间定时器的运行周期、开启与断开时间间隔,通过时间定时器的开启、断开控制牵引绞车的运行、停止时间,控制灌水量,达到定点定量喷洒效果,提高喷灌质量. 平移式喷灌机组间歇式控制系统示意图如图 2 所示.

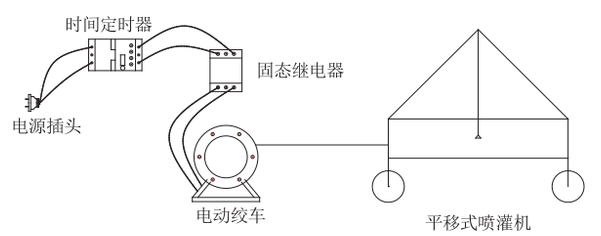


图 2　间歇性平移式喷灌机组控制系统示意图

Fig. 2　Intermittent translational sprinkler irrigation control system diagram

1.2　主要功能与特点

1）该机组可以配置低压折射式喷头,工作压力较低,降低了机组能耗.

2）轻小型平移式机组由能快速装拆的桁架连接,便于拆卸. 可以根据地块形状增减跨数,达到不重喷,不漏喷,提高机组的适应性以及喷洒分布的均匀性.

3）机组喷头安装配置高度可调,适应不同作物在不同生育期的灌溉需求. 同时可以减少喷灌过程中的蒸发飘逸损失,提高喷洒效率.

4）机组喷头间距可调,改变了目前轻小型喷灌机组一旦成型,喷头安装间距固定的缺点. 间距可调使得该机组对喷头的适应性增强,可以适应各类不同喷洒半径的折射式喷头,同时也能很好地提高喷洒均匀性.

5）间歇式控制系统能够在平移式喷灌机组工作过程中,实现精确控制移动到下一个工作位置上的运行时间,从而保证平移式喷灌机组达到最优工况效果,可应用于喷灌作业中.

6）轻小型平移式喷灌机组,结构紧凑、重量轻、易拆卸、操作简单可靠.

2　平移式灌溉机组的水力性能分析

2.1　试验装置及方案

试验在江苏大学喷灌大厅实验室进行. 以江苏大学自行研制的轻小型平移式喷灌机为试验研究对象,该轻小型平移式机组搭载 Nelson D3000 喷头、蓝色喷盘(36 流道)、圆形喷嘴,喷嘴直径为 5.14 mm(26#喷嘴),喷头测试高度为 1 m. 根据严海军[5]的研究,此类低压折射式喷头安装间距为 2 ~ 4 m,本试验设置安装间距为 3 m,喷头数为 3 个,试验喷头工作压力为 0.07 MPa. 行喷式喷灌机组行走速度对平均灌水量有直接影响,因此文中选取周期为 60 s、行止比率为 2∶1(运行 40 s,停止 20 s)的速度比率进行试验.

在轻小型喷灌机组的行走方向上布置雨量筒,雨量筒高 30 cm,雨量筒直径为 20.5 cm,为确保在试验过程中每个测点均有 2 个喷头的喷洒区域在此叠加,在行走方向上间距为 0.5 m 布置 1 个测量点,共 2 列. 每间隔 2.5 m 加密布置 1 排测试点,共 3 排. 试验布置如图 3 所示.

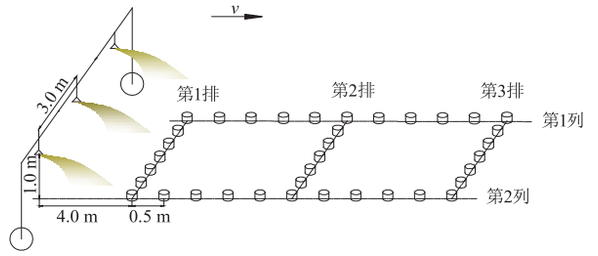


图 3　喷灌试验示意图

Fig. 3　Schematic of sprinkler irrigation test

通过上述试验装置及方案,测量出各测点的喷灌水深,计算出组合喷灌均匀度 CU、分布均匀性系数 DU、标准偏差 SD_D.

喷灌均匀度是指水量在喷灌面积上分布均匀程度. 目前国内外常用的是克里斯琴森均匀系数[6],计算公式为

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

式中:h_i 为每个测点的喷灌水深,mm;h 为喷灌面积上的平均喷灌水深,mm.

在喷灌过程中,绝大多数测点与平均喷灌水深接近,少数测点喷灌水深与平均值偏差较大时,克里斯琴森均匀系数 CU 是难以反映这种情况的,因此,CRIDDLE 等[7]提出分布均匀性系数. 分布均匀性系数描述的是部分测点水深的平均值与总水深均值的比值,解决了如果田间存在绝大多数测点水深与平均水深值接近而个别测点水深较小的情况[8]. DU 反映田间水量分布灌水深度较小那一部分的情况,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 DU 来描述水量分布的均匀性[9]. DU 所反映的结果比喷灌均匀系数的物理意义更加明确. 其定义:如果田间测点总数为 N,则以测点喷灌水深最小的 $N/4$ 个测点水深的平均值与 N 个测点水深平均值之比,计算公式为

$$DU = \frac{h^*}{h} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:h^* 为 $N/4$ 个最小水深测点的平均值,mm.

在喷灌过程中,在描述各个测点与平均喷灌水深的偏离程度,用标准偏差表示,符号为 SD_D,计算公式为

$$SD_D = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(h_i - h)^2}. \quad (3)$$

2.2 试验结果及分析

2.2.1 纵向水量分布规律

定义轻小型平移式喷灌机组运行方向为纵向,在喷头工作压力为 0.07 MPa,行止比率为 2∶1 的速度下,测量纵向方向上喷洒区域 5 m 内的不同测点处喷灌水深,试验进行 3 次,数据取其平均值,其一次行走的喷灌水深如图 4 所示,其中 h 为灌水深度,l 为离初始位置距离.

从图 4 可以看出,在喷灌机组运行起点处,喷灌水深达到最大值,在行走方向上最远处趋于最小值. 在初始位置处,喷灌机组刚刚启动,速度最小,作用时间最长,在同样的试验条件下,喷灌水深达到峰值;在喷灌机组移动方向上,随着距离的增加,控制喷灌机组运动的绞车,由于其旋转角速度不变,牵引绳绕满绞车滚筒层数增加,导致线速度增大,从而使得喷灌机组运行速度增大,使作用于纵向方向上的喷灌时间相对减少,导致在纵向方向上呈总体减小的趋势. 在每一列上,有锯齿状的小波动,主要原因是洒水车在每次启动过程中不稳定;雨量筒受水时,洒水车刚好处于停止状态,且瞬时喷灌强度达到最大值也是造成灌水深度波动的重要因素. 在纵向方向上,2 列测点平均喷灌水深基本一致且变化趋势较缓,表明该机组运行稳定,波动较小.

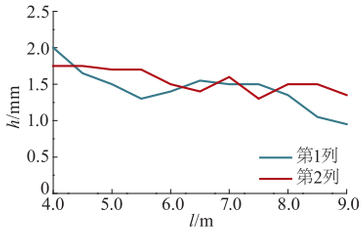


图 4 纵向方向上的喷灌水深

Fig. 4 Irrigation water depth in longitudinal direction

2.2.2 横向水量分布规律及组合喷灌均匀性

横向测点布置以中间位置喷头为中心,两边对称布置. 在 0.07 MPa 的工作压力下,测得轻小型平移式喷灌机组横向宽度 1.5 m 的喷灌水深,在此测试宽度中,每个测点均有 2 个喷头喷洒水量叠加,其余测点雨量筒受水不受喷幅重叠影响,在喷洒相邻地块是可重叠的. 其 1 次行走的喷灌水深如图 5 所示,其中 L 为距中心位置喷头的距离,m.

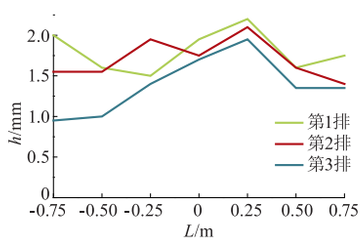


图 5 横向方向上的喷灌水深

Fig. 5 Irrigation water depth in transverse direction

从图 5 可以看出,第 1 排(4.0 m)、第 2 排(6.5 m)、第 3 排(9.0 m)处的灌水深度 h 总趋势依次减小,符合纵向方向上灌水深度随着距离初始位置越远,灌水深度越小的规律. 在横向上,在距离中间喷头 0,0.25 m 处测点的灌水深度达到最大值,主要是由于 D3000 喷头的喷洒水量主要集中在喷头射程的最外侧部分的 1/3 ~ 1/4 处[5,10],在中心区域,由于喷头喷洒水量的集中叠加,导致中心部分喷灌水深显著增

加,出现峰值. 同一排测点的灌水深度在理论上是相等的,但在试验中,个别数据出现高值或者低值,最大的达到 2.20 mm,最小的仅有 0.95 mm,造成这个结果的主要原因:一是试验地面不平,使得雨量筒开口不垂直向上,致使部分喷洒水喷到雨量筒外圈而溅到被测点外面;二是 Nelson D3000 喷头(锯齿状喷盘)组合喷洒时喷头射流的影响剧烈,水量分布集中点的位置因射流轨迹的变化而产生偏移[11].

组合喷灌均匀度是喷灌系统中一项重要设计参数,均匀度达标与否,不仅对作物生长造成一定影响,而且还会造成水洼,从而浪费水资源[12]. 将试验测量数据进行计算,结果如表 1 所示,表中 S 为间距,P 为压力,H 为高度,σ 为速度比. 从表 1 中可以看出,在该试验条件下,机组的喷灌均匀性系数达到了 86.5%,满足了中国《喷灌工程技术规范》(GB/T50085—2007)要求的行喷式喷灌系统的 85%,表明该机组具有良好的喷灌均匀性. 分布均匀系数 DU 达到了 80.9%,其值接近于 1,反映出该机组低于平均值的测点水深数据对均匀系数的影响较小,表明该机组具有良好的分布均匀性,能够在局部灌溉不足或灌溉有严格控制的地块进行作业.

表 1　喷灌机组综合水力性能

Tab. 1　Sprinkler irrigation unit integrated hydraulic performance

S/m	P/MPa	H/m	σ/%	CU/%	DU/%	SD_D
3	0.07	1	33.3	86.5	80.9	0.28

3　结　论

1) 该机组结构紧凑、适应性好、灵活性高,能实现机组灵活拆卸,同时实现间歇式控制,设计科学合理,成本低,丰富了中国平移式喷灌机组的种类,应用前景良好.

2) 机组喷洒均匀性好,在喷头工作压力为 0.07 MPa,组合间距为 3 m,安装高度为 1 m 的试验条件下,组合均匀性系数达到了 86.5%,分布均匀系数也达到了 80.9%,且运行情况稳定,波动小.

3) Nelson D3000 喷头组合喷洒时,喷头射流影响较大,水量分布集中点会产生偏移,使得在平移式喷灌机组喷洒过程中水量分布出现突变峰值,因此在组合喷头配置时,应该考虑到这种情况.

参考文献(References)

[1] 袁寿其,李红,王新坤. 中国节水灌溉装备发展现状、问题、趋势与建议[J]. 排灌机械工程学报,2015,33(1):78 – 92.
YUAN Shouqi, LI Hong, WANG Xinkun. Status, problems, trends and suggestions for water-saving irrigation equipment in China[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2015, 33(1):78 – 92. (in Chinese)

[2] 李世英. 喷灌喷头理论与设计[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.

[3] CHEN D, WALLENDER W W. Economic sprinkler selection, spacing, and orientation[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(3):737 – 743.

[4] 王综武. 略谈我国的卷管式绞盘喷灌机的开发和应用[J]. 节水灌溉,1998(1):31 – 34.
WANG Zhongwu. A brief talk about the development and application of travelling sprinkler in China [J]. Water saving irrigation, 1998(1):31 – 34. (in Chinese)

[5] 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研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.

[6] CHRISTIANSEN J E. Irrigation by sprinkling [R]. Berkeley, California: University of California, 1942.

[7] CRIDDLE W D, DAVIS, CLAUDE H, et al. Methods for evaluating irrigation system[M]. USDA Soil Conservation Setrice Handbook, 1956.

[8] 韩文霆. 喷灌分布均匀系数研究[J]. 节水灌溉,2008(7):4 – 8.
HAN Wenting. Research on distribution uniformity coefficient for sprinkler irrigation systems [J]. Water saving irrigation, 2008(7):4 – 8. (in Chinese)

[9] 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)

[10] 巩兴晖. 移动式喷灌机折射式喷头水量及动能分布规律研究[D]. 陕西:西北农林科技大学,2015.

[11] 葛茂生,吴普特,朱德兰,等. 相邻喷头射流相互作用对喷洒特性的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(9):100 – 106.
GE Maosheng, WU Pute, ZHU Delan, et al. Effect of jets interaction on spray characteristics between adjacent sprinklers[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9): 100 – 106. (in Chinese)

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

(责任编辑　徐云峰)