

# Effect of Traveling Speed on Sprinkler Irrigation Performance of Lateral Move Irrigation System

Xingye Zhu<sup>1,2</sup>, Keji Lu<sup>2</sup>, Zhen Chen<sup>1</sup>, Zhijun Gao<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Farmland Irrigation Research Institute, CAAS/Key Laboratory of Water-Saving Agriculture of Henan Province, Xinxiang Henan

<sup>2</sup>Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

<sup>3</sup>Jiangsu Wangda Sprinkler Company Limited, Jintan Jiangsu

Email: zhuxy@ujs.edu.cn

Received: Apr. 5<sup>th</sup>, 2018; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2018; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

In order to identify influence law of trans locating speed of lightweight lateral move irrigation system and irrigation performance, a relationship between trans locating speed of lightweight lateral move irrigation system and irrigation performance at a rated combination space, installation height and rated operating pressure is established through the indoor sprinkler irrigation test by a developed lightweight lateral move irrigation system. The results show that when the pressure, sprinkler spacing and the height is 0.07 Mpa, 3 m and 1 m respectively, the speed ratio of lightweight lateral move irrigation system and moving distance have a certain impact on irrigation quantity. Irrigation quantity and speed ratio have the exponential function relationship, and we further established relationship about irrigation quantity, speed ratio, moving distance by regression analysis. It is concluded that moving distance on the influence of irrigation water significant probability is 0.74, which means that moving distance has no significant influences on irrigation quantity, and the speed ratio on irrigation performance has a significant probability impact of  $8.2e-7$ . Therefore, the speed ratio should be taken into account as an important factor in the application. This relationship is reasonable and reliable by analyzing the supplementary experiment and provides a theoretical basis for the calculation of irrigation quantity.

## Keywords

Lateral Move Irrigation System, Speed Ratio, Moving Distance, Irrigation Performance, Regression Analysis

## 轻小型喷灌机行走速度对灌水性能的影响

朱兴业<sup>1,2</sup>, 陆科骥<sup>2</sup>, 陈震<sup>1</sup>, 高志俊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国农业科学院农田灌溉研究所/河南省节水农业重点实验室, 河南 新乡

<sup>2</sup>江苏大学, 流体机械工程技术研究中心, 江苏 镇江

<sup>3</sup>江苏旺达喷灌机有限公司, 江苏 金坛

Email: zhuxy@ujjs.edu.cn

收稿日期: 2018年4月5日; 录用日期: 2018年4月20日; 发布日期: 2018年4月27日

## 摘要

为了研究轻小型平移式喷灌机组行走速度对灌水量的影响规律, 本文以自行研制的平移式喷灌机组为研究对象, 通过室内喷灌试验, 研究了轻小型平移式喷灌机组在喷头特定组合间距、安装高度以及特定压力下, 平移式喷灌机组的灌水量与运行速度的关系。结果表明: 在工作压力为0.07 Mpa, 喷头安装间距为3 m, 安装高度为1 m时, 轻小型平移式喷灌机运行速度比和运行距离对灌水量均有影响。灌水量与运行速度比成指数函数关系, 并进一步回归分析得出灌水量, 运行速度比, 运行距离的关系式。通过单因素方差分析, 得出喷灌机运行距离对灌水量影响的显著性概率为0.74, 运行距离对灌水量没有显著性影响, 而运行速度比对灌水量影响的显著性概率为 $8.2e-7$ 。因此, 在考虑农田的实际应用中时, 其运行速度比应作为重要因素。通过补充验证试验分析得出该关系式合理可靠, 为灌水量的计算提供了理论依据。

## 关键词

平移式喷灌机, 运行速度比, 运行距离, 灌水量, 回归分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着工业化、城镇化和农业现代化快速发展, 节水面临众多挑战, 尤其是农田灌溉用水, 节水灌溉技术是势在必行的, 具有全局、长远和根本的意义。喷灌以其节约用水、节省劳动力和适应性强等优点已经成为目前世界上广泛应用的高效节水灌溉技术之一[1]。当前, 水资源匮乏问题已经成为经济社会可持续发展的主要瓶颈, 威胁到社会的生存与发展, 因此推广高效节水灌溉技术是发展现代农业的必然选择[2]。喷灌水量与喷灌均匀性是评价喷灌质量好坏的重要标准, 因此在研究设计喷灌机时需要考虑这两个方面的因素。

仪修堂等[3]以中心支轴式喷灌机结构尺寸为约束条件, 以单位时间灌水深度和机组运行角速度为初始参数, 对喷头配置方法进行了系统研究, 建立了喷头配置数学模型。侯永胜[4]对多头低压结构形式轻小型移动式喷灌机的配套合理性进行了研究, 开发了多喷头轻小型喷灌机组优化配套软件。范永申[5]等对喷灌和软管灌溉两用轻小机组水量分布特性进行了研究, 计算了机组在配置喷灌和软管灌溉系统时的喷灌强度、均匀系数, 得出灌水量与运行速度成反比。朱兴业等[6]提出采用主成分分析法对喷灌机组进行综合评价的数学模型, 并对不同型号喷灌机组的综合技术指标进行了评价。袁寿其等[7]设计研发出一种轻小型喷滴灌两用机组, 对机组运行参数及田间水量分布特性进行了分析, 完成了机组的优化配置。田坤等[8]研制出一种新型的轻小型平移式喷灌机组并对其性能开展试验, 得出喷灌均匀性系数可达到

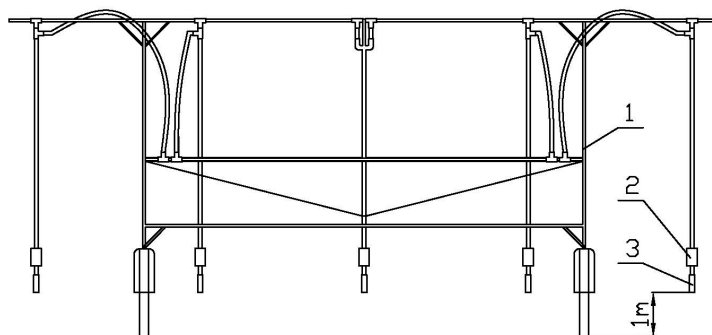
86.5%，分布均匀性系数可达到 80.9%的良好喷洒效果。曹华等[9]通过对轻小型喷灌机组的室内试验进行分析，建立了平移式喷灌机组行走速度、灌水定额与工作压力的关系式，并确定了水头损失与压力的关系，但是忽略了绞盘车层数变化对运行速度的影响。蔡仕彪等[10]提出了一种轻小型太阳能平移式喷灌机光伏配置方法，得出杨凌地区光伏阵列最佳布设倾角，为太阳能在农业机械领域的应用提供参考。Campo等[11]对比了小型地块不同管道布置方式、灌水器特点、运行参数对系统安装费及能耗费的影响。Rossi等[12]通过自动化灌溉管理的研究，发现减少灌溉时间可以调整灌溉水流深度，减少投资。

目前对于喷灌机组的研究，选取的评价指标基本都为喷灌均匀性[13] [14]与经济指标，对于喷灌机灌水量的研究较少。因此，研究灌水量与喷灌机运行速度比和绞盘车层数变化的关系，可为喷灌机在实际工作中达到额定灌水量提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料与装置

试验在江苏大学室内喷灌实验室进行，以自行研制的平移式喷灌机组为研究对象，试验机组示意图如图 1 所示。该机组搭载 NelsonD3000 喷头(蓝色喷盘、36 流道)，圆形喷嘴，喷嘴直径为 5.14 mm (26<sup>#</sup> 喷嘴)。喷头之间以间距 3 m 垂直于地面安装，高度为 1 m。喷头安装 Nelson 0.07 Mpa (10 Psi)的压力调节器，水量收集装置为高为 0.3 m，直径为 0.2 m 的雨量筒。本试验采用电动绞盘车间歇式控制轻小型平移式喷灌机的运行。



1: 喷灌机组, 2: 压力调节器, 3: 喷头

(a) 示意图



(b) 照片

**Figure 1.** Lateral move irrigation system  
**图 1.** 平移式喷灌机

## 2.2. 测试指标与测试方法

### 2.2.1. 喷灌水量的测试

雨量筒在轻小型平移式喷灌机行走方向上布置, 在运行方向上布置 3 排, 每排雨量筒共 9 个, 布置间距为 0.4 m。根据严海军[15]的研究, 此类低压折射式喷头安装间距为 2~4 m, 本次试验喷头安装间距为 3 m。为了完整的测试出灌水量随着运行距离增加, 在运行方向上灌水量的变化情况, 采用了局部加密的布置方式, 布置间距为 0.5 m, 如图 2 所示。雨量筒在喷灌机运行方向上布置测量喷洒水量。

### 2.2.2. 试验方法

平移式喷灌机运行周期设置为 60 s, 运行速度比设置为 15% (即行走 9 s, 停止 51 s 的工作方式, 全程喷洒), 30%, 45%, 60%, 75%, 90% 等 6 个水平下, 测试了 Nelson D3000 喷头在平移式喷灌机运行过程中不同速度比下的灌水量。试验进行 3 次, 取其平均值。

### 2.2.3. 平移式喷灌机灌水量与各因素的计算方法

喷灌机组在压力和安装间距一定的条件下, 其喷幅与喷灌机的出口流量为定值, 则轻小型平移式喷灌机的运行速度对灌水量有直接影响。喷灌机在工作时间  $t$  内的总灌水量为按照下式计算:

$$M = Qt = nqt \quad (1)$$

式中,  $M$  为喷洒水量,  $m^3$ ;  $Q$  为喷灌机总出水流量,  $m^3/h$ ;  $t$  为喷灌机工作运行时间,  $h$ ;  $n$  为喷头个数;  $q$  为单喷头流量,  $m^3/h$ 。

轻小型平移式喷灌机喷洒面积为

$$S = S_L vt \quad (2)$$

式中:  $S$  为喷洒面积,  $m^2$ ;  $S_L$  为喷灌机喷幅,  $m$ ;  $v$  为喷灌机行走速度,  $m/h$ 。

当喷灌机出水量一定时, 喷灌机所控制的喷洒地块平均受水量与速度成反比, 文中研究喷灌机跨度较小, 所配置喷头型号相同, 因此当喷灌机稳定工作时, 各喷头实际工作压力基本相同, 其平均灌水量为:

$$I = \frac{M}{S} = \frac{1000nq}{S_L v} \quad (3)$$

式中:  $I$  为喷灌机平均灌水量,  $mm$ 。

本文中采用了单因素方差方法对试验数据进行分析, 检验方差相等的多个正态总体均值是否相等, 进而判断各因素对试验指标的影响是否显著。

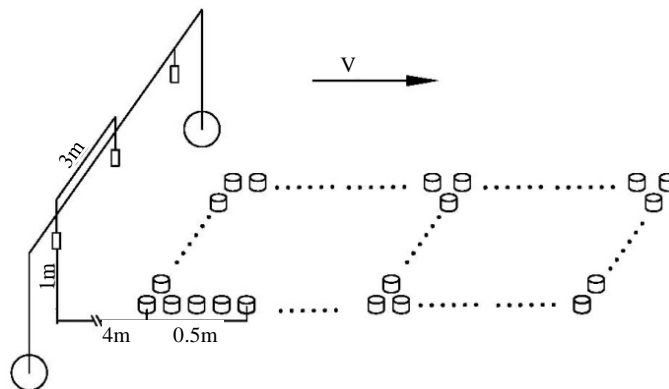


Figure 2. Schematic of sprinkler irrigation

图 2. 喷灌试验示意图

### 3. 试验结果与分析

#### 3.1. 平移式喷灌机运行距离变化对灌水量的影响

本试验采用电动绞盘车间歇控制平移式喷灌的运行，随着喷灌机运行距离不同，测量出喷灌机运行距离与牵引速度的变化，在相同的运行速度比率下，以平移式喷灌机出发点为原点，灌水量随着运行距离的变化如图 3 所示。

从图 3 可以看出运行距离对灌水量具有一定影响，以图 3 中运行速度比为 15%，30% 为例。在运行速度比为 15% 时，在运行距离从 4 m 到 10 m 处，灌水量分别为 237、219.5、214.8、216.5、203.2、189.3、214.7、194、185、188、178.7、171.2、157 mL，10 m 处的灌水量比 4 m 处的灌水量减少了 33.8%。在运行速度比为 30% 时，在运行距离从 4 m 到 10 m 处，灌水量分别为 121.3、113.8、127.3、113.2、114.5、114、105.2、103.3、104、97.2、111.2、104.5、100.7 mL，10 m 处的灌水量比 4 m 处的灌水量减少了 17%。

可以看出各个测点的灌水量随着运行距离的增大有逐渐减小的趋势，原因是由于随着平移式喷灌机的运行，牵引其运动的绞盘车上钢丝绳绕滚筒层数随着运行距离的增大而增大，钢丝绳的缠绕半径逐层增加，而绞盘车的运转角速度保持 3.4 rad/s 不变，牵引线速度由 53 mm/s 增加到 107 mm/s，所以平移式喷灌机运行速度随着运行距离增加逐渐增大。从而减少了作用于喷洒区域内的时间，因此出现了随着运行距离的增大，灌水量逐渐减小的趋势。其中，在每个相同的速度比下，随着运行距离的变化，在每一列上，有锯齿状的小波动，如在 15% 的运行速度比下，在 7 m 处，灌水量突然增大到 214.7 mL，主要原因是洒水车在每次启动过程中不稳定造成的；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量波动的重要因素。

#### 3.2. 平移式喷灌机不同速度比对灌水量的影响

在喷灌机工作运行过程中，为了达到预期的灌水量，往往需要设定喷灌机的运行速度比，选取 5 m，7 m，10 m 为例在测出不同运行速度比下的灌水量，以平移式喷灌机出发点为原点，其在不同运行速度比下的灌水量如图 4 所示。

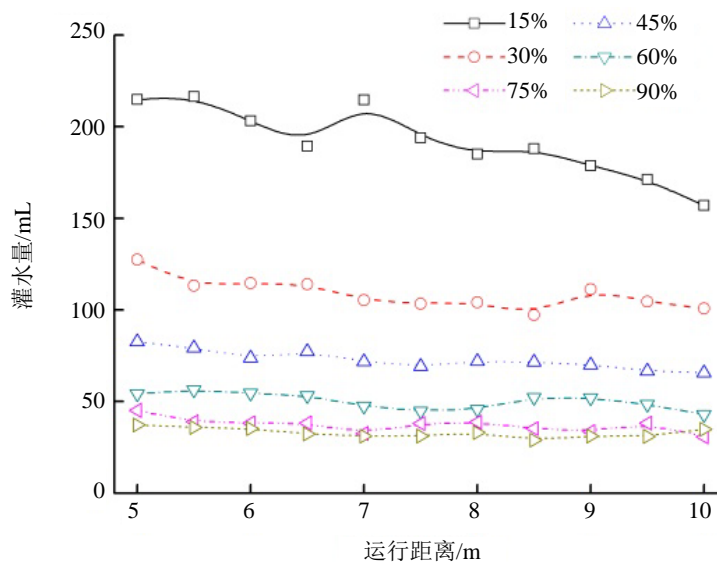
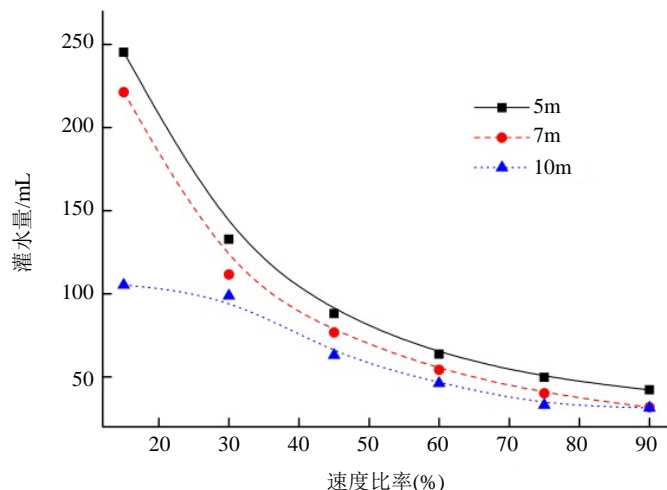


Figure 3. Irrigation quantity changes of irrigation system under various moving distance

图 3. 不同运行距离下喷灌机灌水量的变化



**Figure 4.** Distribution of irrigation quantity under various speed ratio  
**图 4.** 不同速度比率下灌水量分布

从图 4 可以看出, 运行速度比对灌水量影响较大, 以运行距离 7 m 为例, 运行速度比在 15% 到 90% 变化时, 对应的灌水量分别为: 221.3、111.6、76.7、54.2、40、31.6 mL, 随着速度比的增加, 在相同距离处, 其灌水量逐渐减少, 在 90% 的运行比下的灌水量比 15% 时灌水量减少了 85.7%。因为喷灌机全程喷洒, 随着速度比的增加, 作用于喷洒区域的时间越短, 其灌水量越少。在不同距离处, 随着喷灌机运行距离的增大, 灌水量也呈减小的趋势, 符合喷灌机灌水量受绞盘车牵引速度变化的影响规律。

根据最小二乘法原理对喷灌机在 3 个不同的运行距离下的灌水量分别进行了回归分析, 表达式如表 1 所示。在表 1 中,  $I$  表示喷灌机的灌水量(mL),  $k$  表示喷灌机运行速度比,  $k$  必须在 0~1 之间取值。结果表明, 各个距离下, 灌水量与运行速度比呈指数函数关系, 相关系数在 0.95 以上。

### 3.3. 灌水量模型建立

由式(3)可以知道, 当喷灌机安装喷头个数、压力、出水量一定时, 喷灌机的灌水量只与喷灌机的运行速度有关。而在实际工作中, 平均运行速度由喷灌机的运行速度比和牵引绞盘车上钢丝绳移动线速度共同决定。为了更好的反应不同运行速度对灌水量的影响情况, 对灌水量的数据进一步的分析, 建立了灌水量 - 运行速度比 - 运行距离的回归模型。

由前面所诉的不同运行速度比以及不同的运行距离均对灌水量有影响, 因此对本试验的测点数据进一步非线性回归分析, 通过最小二乘法拟合出灌水量与运行速度比和运行距离之间的关系模型。得出灌水量, 运行速度比, 运行距离的关系式为:

$$I = 30.583 + 589.199e^{-\frac{l}{13.948}} e^{-\frac{k}{0.211}} \quad (R^2 = 0.991) \quad (4)$$

式中:  $k$  为喷灌机运行速度比;  $l$  为到初始位置的距离, m。

为了探讨运行速度比与运行距离对灌水量是否具有显著性影响, 对其中运行速度比、运行距离各因素之间进行单因素方差分析, 方差分析如表 2 所示。

结果表明: 运行距离因素在置信度 0.05 的情况下, 其显著性概率为 0.74, 表明该因素不具有统计学意义, 对灌水量没有显著性影响。而运行速度比在置信度为 0.05 的情况下, 显著性概率为  $8.2e-7$ , 具有统计学意义, 表明运行速度比对灌水量有显著性影响。因此, 在实际应用中, 根据各类土壤、各种作物确定所需灌水量时, 喷灌机的运行速度比应该作为首要考虑的因素。

**Table 1.** Predictive equations for the estimation of irrigation quantity and speed ratio**表 1.** 灌水量与运行速度比的回归模型

运行距离/m	回归模型	R <sup>2</sup>
5	$I = 39.6699 + 433.8504e^{-k/0.1999}$	0.998
7	$I = 32.0572 + 403.0617e^{-k/0.1941}$	0.994
10	$I = 24.0393 + 273.8722e^{-k/0.2316}$	0.999

**Table 2.** Analysis of variance**表 2.** 方差分析表

因素	来源	自由度	平方和	均方和	F 值	显著性概率
运行距离	模型误差	2	2799.10	1399.55	0.31	0.74
	随机误差	15	67,869.74	4524.65		
	总和	17	70,668.85			
运行速度比	模型误差	5	66,230.65	13246.13	35.81	8.2e-7
	随机误差	12	4438.20	369.85		
	总和	17	70,668.85			

**Table 3.** Comparison of calculated and measured irrigation quota**表 3.** 灌水量计算值与实测值对比

距离 L/m	运行速度比/%	灌水量 I/mL		相对误差 $\sigma$ /%
		$I_c$	$I_e$	
6.5	20	163.8	173.8	6.1
	40	89.1	86.1	3.4
	70	47.8	44	7.9
9	20	156.3	150.4	3.8
	40	70.1	77	9.8
	70	37.5	41.8	11.5

### 3.4. 灌水量 - 运行速度比 - 距初始位置距离的关系式验证

为了对拟合结果进行试验验证分析, 补充了在不同运行距离与不同速度比下的试验, 其中运行速度比设定为 20%, 40% 以及 70% 等 3 个水平, 运行距离设置为 6.5 m, 9 m 等 2 个水平, 将式(4)计算得到的喷灌机灌水量与试验中雨量筒实测得到的灌水量对比, 结果如表 3 所示, 其中 L 为到初始位置的距离,  $k$  为运行速度比,  $I$  为灌水量,  $I_c$  为计算值,  $I_e$  为实测值,  $\sigma$  为相对误差, 从表 3 中可以看出, 运行距离越远, 运行速度比越大, 灌水量越小。其实测值与式(4)的模拟计算值的相对误差小于 12%, 表明该公式适用于不同运行速度与距离下灌水量的计算。

## 5. 结论

1) 本文通过分析试验数据, 得出了运行距离以及运行速度比对灌水量均有影响, 通过单因素方差分析, 发现运行距离对灌水量影响的显著性概率为 0.74, 即没有显著性影响。而喷灌机运行速度比对灌水量影响的显著性概率为 8.2e-7, 即在置信度为 0.05 的情况下具有显著性影响。因此, 应该根据需水量首要确定喷灌机的运行速度比。

2) 对试验数据通过最小二乘法非线性回归分析, 提出了灌水量 - 运行速度比的关系式, 在各个距离下, 灌水量与运行速度比呈指数函数关系。在相同的运行距离处, 灌水量随着运行速度比的增大逐渐减小。

3) 建立了灌水量, 运行速度比, 运行距离的关系式。对灌水量, 运行速度比, 运行距离的关系式在相同试验条件下, 通过改变运行速度比以及运行距离的实测值与拟合计算值进行对比, 表明拟合结果可靠, 可适用于灌水量与运行速度比, 运行距离的计算。

## 基金项目

江苏省重点研发计划(现代农业) BE2015316, 扬州市重点研发计划(现代农业) YZ2017050, 河南省节水农业重点实验室开放基金 FIRI2016-21, 西华大学流体及动力机械教育部重点实验室开放课题资助, szjj2016-067。

## 参考文献

- [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.
- [2] Zhu, X.Y., Chikangaise, P., Shi, W.D., *et al.* (2018) Review of Intelligent Sprinkler Irrigation Technologies for Remote Autonomous System. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, **11**, 23-30. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3557>
- [3] 仪修堂, 窦以松, 兰才有, 等. 中心支轴式喷灌机喷头配置方法及其数学模型[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2), 117-121.
- [4] 侯永胜. 多喷头轻小型移动式喷灌机组优化配套研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2007.
- [5] 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, 123.
- [6] 朱兴业, 袁寿其, 刘建瑞, 等. 轻小型喷灌机组技术评价主成分模型及应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 98-102.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 曹华, 郭凤台, 范永申. 轻小型喷灌机组的运行速率与压力水头损失[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(2): 179-184.
- [10] 蔡仕彪, 朱德兰, 葛茂生, 等. 太阳能平移式喷灌机光伏优化配置[J]. 排灌机械工程学报, 2017, 35(5): 417-423.
- [11] Campo, M.A., Zamarron, A. and Robles, C. (2009) Optimization of Cost Design and Energy Use of Plot Irrigation Systems in Navarra, Spain. *ASABE Annual International Meeting*, Nevada, 21-24 June 2009, 096483.
- [12] Rossi, M.J. and Ares, J.O. (2015) Efficiency Improvement in Linear-Move Sprinkler Systems through Moderate Runoff-Runon Control. *Irrigation Science*, **33**, 205-219. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0460-x>
- [13] Colaizzi, P.D., Evett, S.R. and Howell, T.A. (2010) Crop Production Comparison with Spray, LEPA, and Subsurface Drip Irrigation in the Texas High Plains. *ASABE Annual International Meeting*, Pittsburgh, 20 June 2010, IRR10-9704.
- [14] 万景红, 朱兴业, 田坤, 等. 平移式喷灌机组行走速率对喷灌均匀性影响[J]. 节水灌溉, 2016(9): 87-89 + 93.
- [15] 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]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2004.



**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)