

双向步进式全射流喷枪水力性能试验^{*}

李红¹ 王超¹ 杨炎财² 陈超¹

(1. 江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013; 2. 工装自控工程(无锡)有限公司, 无锡 214072)

【摘要】 对核心部件射流元件依靠水流的科恩达效应驱动并控制喷头步进转动的 PXS_B 型双向步进式全射流喷枪的水力性能进行了研究。分析了影响喷枪射程、射高、水量分布的主要因素, 试验分析了工作压力及射流元件结构参数对喷枪主要水力性能的影响规律, 获得双向步进全射流喷枪最佳工作结构尺寸, 为建立双向步进式全射流喷枪设计方法提供了依据。通过国内外大中型旋转式喷枪的水力性能对比, 表明双向步进式全射流喷枪结构简单、喷洒性能优良。

关键词: 喷灌机 喷枪 双向步进 水力性能 试验

中图分类号: S277.9⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)03-0091-05

Experiment of PXS_B Two-ways Step Running Complete Fluidic Rain Gun

Li Hong¹ Wang Chao¹ Yang Yancai² Chen Chao¹

(1. Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Nihon KOSO Co., Ltd., Wuxi 214072, China)

Abstract

PXS_B two-ways step running complete fluidic rain gun is a new type of large-middle rotary sprinkler. The key component of the sprinkler, fluidic element, provides the driving force and controls the movement of the sprinkler based on Coanda effect. Hydraulic performance of the rain gun was tested. The main influencing factors to the range, height and rainfall distribution were analyzed. The influences of the working pressure and the structure parameters on the main hydraulic performance of the rain gun under its working states have been obtained by the experiments. The best geometrical size was achieved at the experiments, which provided a basis in building the design method of the two-ways step running complete fluidic rain gun. A comparison of hydraulic performance was made between the complete fluidic rain gun and the other large-middle rotary sprinkler. According to the results, the two-ways step running complete fluidic rain gun has better performance than the others.

Key words Sprinkler, Rain gun, Two-ways step running, Hydraulic performance, Experiment

引言

大中型旋转式换向喷枪主要设置于大型喷灌机的末端, 也可用于电厂、煤矿、矿山、港口等喷水除尘。进口直径为 60、80 mm 的喷枪国内曾于 20 世纪 70 年代末研制过, 但一直未投入生产; 40、50 mm 直径的喷枪虽经两次列项研究, 至今质量不过关, 可靠性差, 尤其是换向机构^[1]。“九五”期间中国农机院

曾研制过进口直径 60 mm 以上的摇臂式喷头, 但至今, 工业生产中应用的大中型喷枪主要还是从美国、法国、意大利等国家进口。国外产品质量好, 但价格昂贵。当前大中型旋转式喷枪的研制仍是国内喷枪研究的重点^[2]。

双向步进式全射流喷枪是我国研制的节水灌溉和工业防尘降尘产品, 独特的工作原理使得喷枪结构十分简单, 类似对称的正反步进转动特性带来优

越的水力性能。李红等^[3]从工作原理和结构创新设计等方面对双向步进式全射流喷枪进行了介绍。与传统的摇臂式喷枪相比,双向步进式全射流喷枪具有结构简单、成本低廉、性能稳定等优点。

喷枪在研制过程中,主要以射流附壁理论为依据,通过反复试验,完善产品的性能。喷枪的工作参数如工作压力、流量,性能参数如射程、水量分布等是工程设计规划的几个重要参数。本文对双向步进式全射流喷枪工作条件、结构参数对其工作性能的影响进行研究。

1 性能试验

试验在江苏大学流体机械工程技术研究中心的喷灌大厅内进行,该大厅为圆形,直径 44 m,排除了风力干扰的影响。试验研究了工作压力及射流元件主要参数对喷枪射程、射高及水量分布的影响。测试系统采用基于 RS485 总线的分布式自动测试方案,测量数据准确、可靠。

2 影响射程的主要因素

喷头射程 R 即喷洒湿润圆半径,它决定着某个位置上的喷灌面积、喷灌效率、喷灌强度等,是喷灌系统设计中一个很重要的指标^[4]。国家标准 GB/T 19795.1—2005《农业灌溉设备 旋转式喷头 第 1 部分:结构和运行要求》中规定:射程是指在正常旋转情况下,喷头中心线距测出的灌水强度为某一数值的那个点的距离^[5]。

对于摇臂式喷头,国内外的研究表明,其射程主要取决于工作压力以及喷嘴直径的尺寸。但影响射程的因素较多,如喷枪仰角、流道结构形式、旋转速度等^[4-7]。由于全射流喷枪独特的工作原理,影响其射程的主要因素有工作压力 p 、导管长度 l 、信号接嘴深度 L_d 、射流元件体安放角 θ 、补气孔直径 d 等^[8]。双向步进全射流喷枪及其射流元件示意图如图 1 及图 2 所示。

2.1 工作压力对射程的影响

PXSB50 型全射流喷枪在不改变其他参数的情况下,工作压力在 400 ~ 520 kPa 范围内,射程与工作压力的对应关系如图 3 所示,射程随着工作压力的增大而增大。由于双向步进频率的差异,在相同的工作压力下,反向步进频率小于正向步进频率,故反向射程均大于正向射程。

2.2 主要结构参数对射程的影响

(1) 导管长度

双向步进式全射流喷枪的导管长度包括正向导管长度 l_1 、反向导管长度 l_2 和信号导管长度 l_3 。工

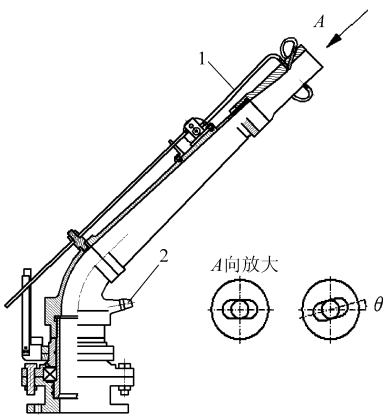


图 1 喷枪及射流元件体安放角度示意图
Fig. 1 Schematic diagram of rain gun and the installation angle
1. 导管 2. 副喷嘴

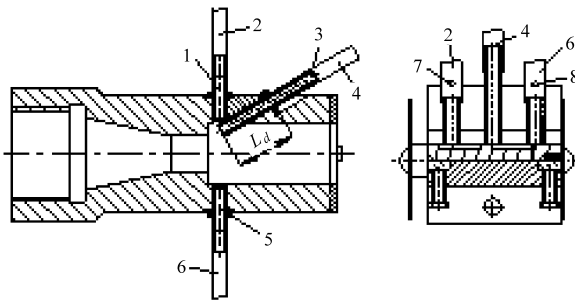


图 2 射流元件结构示意图
Fig. 2 Structure of fluidic element
1. 反向接嘴 2. 反向导管 3. 信号接嘴 4. 信号水管 5. 正向接嘴 6. 正向导管 7. 反向补气孔 8. 正向补气孔

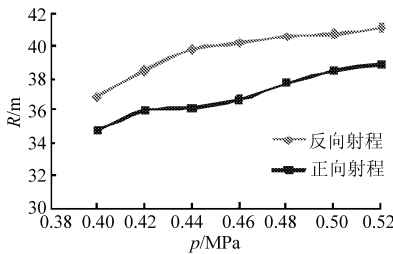


图 3 工作压力与射程关系曲线
Fig. 3 Relation of range sum and pressure

作压力不变时,双向步进式全射流喷枪的射程主要由喷枪转动的步进频率确定,而导管的长度是影响喷枪步进频率的主要因素。试验时,保证工作压力不变,得出导管长度与射程之间的关系曲线。

从图 4 可知,在喷枪正常工作的范围内,信号水管长度 l_3 加长,正反向射程呈上升趋势,但反向射程要比正向射程大些。若保持信号水管长度不变,增加正向导管长度,正向射程变大,增加反向导管长度,反向射程变大。

(2) 信号接嘴深度

信号接嘴深度通过附壁频率影响喷枪射程。图 5 为信号接嘴深度与射程关系曲线。信号接嘴深

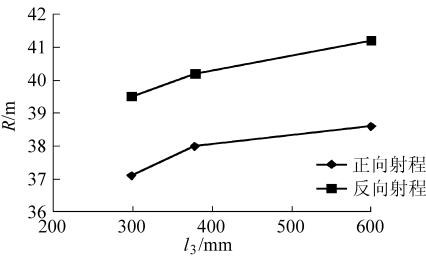


图 4 信号水管长度与射程关系曲线

Fig. 4 Relation of range sum and signal water pipe length

度加深,信号流加强,取水时间变短,附壁频率加快,射程减小。

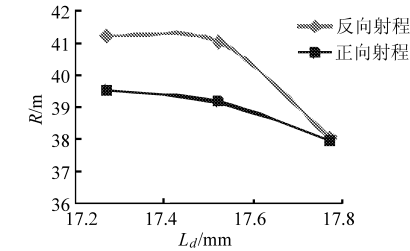


图 5 信号接嘴深度与射程关系曲线

Fig. 5 Relation of range sum and signal junction depth

在一定工作压力下,调节信号接嘴深度 L_d 对射程的影响。当信号接嘴插入深度过大时,喷枪步进角度过大,步进频率过高,主射流被严重破坏,射程急剧下降。

(3) 补气孔尺寸

PXSB50 型全射流喷枪正向导管和反向导管分别开有正向补气孔和反向补气孔。补气孔直径 d 的大小对喷枪的步进稳定性影响较大,对正向射程 R_1 、反向射程 R_2 也有一定的影响,如图 6 和图 7 所示。其中 d_1 和 d_2 分别为正向和反向补气孔直径。

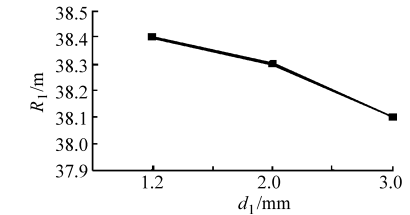


图 6 正向补气孔直径与射程关系曲线

Fig. 6 Relation of range sum and positive air compensating hole diameter

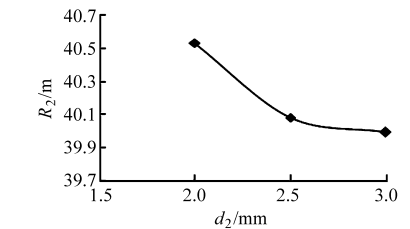


图 7 反向补气孔直径与射程关系曲线

Fig. 7 Relation of range sum and reverse air compensating hole diameter

不论正向步进还是反向步进,补气孔直径加大,都会使喷枪的步进频率加快,直射时间缩短,射程变小。这是由于末端信号水流含气量较高,作用区内信号水流与信号气流的交替加快,导致附壁频率加快,从而影响射程。

(4) 射流元件体安放角

表 1 为改变射流元件体安放角所得到的喷头射程。

表 1 射流元件体安放角与射程关系		
Tab. 1 Relation of range sum and installation angle of the fluidic element		
安放角 $\theta/(\text{°})$	正向射程 R_1/m	反向射程 R_2/m
15	38.3	40.2
0	38.4	40.6
-15	38.1	40.5

由表 1 得知,在工作压力和其他条件一定的情况下,安放角 θ 变化时,喷枪射程变化不明显。究其原因,步进频率是影响全射流喷枪射程的主要因素,而 θ 变化对步进频率影响很小,因此射程的变化不明显。当喷枪的步进力矩过大,导致步进角偏大时,可通过调节射流元件体的安放角减小喷枪的步进角,以优化喷枪的水量分布。

3 影响射高的主要因素

喷枪射高是水流喷射最高点与喷嘴间的垂直距离。对大中型旋转式喷枪而言,其喷射高度是其水力性能的重要指标之一。在进行粉尘抑制时,喷枪运动轨迹必须越过物料。影响喷枪射高的主要因素有工作压力、喷枪仰角和喷嘴直径。

如图 8 所示,在测量喷枪射高 H 时,主要采用经纬仪测量射流最高点相对仪器的倾斜角度 α ,使仪器高度和喷枪出口 A 点高度一致,距地面高度为 L ,再测量出地面距离 D ,最后计算出 $H = D \tan \alpha$ 。

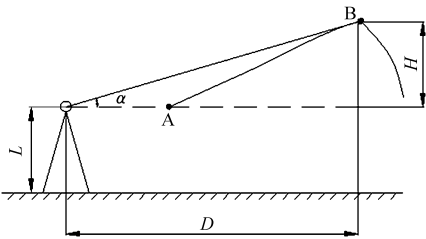


图 8 喷枪射高测量原理图

Fig. 8 Measurement principle of the spray height

由图 9 可知,PXSB50 型全射流喷枪当仰角为 44° ,喷嘴直径一定,压力范围为 $400 \sim 520 \text{ kPa}$ 时,射高随着工作压力的增大而增大。

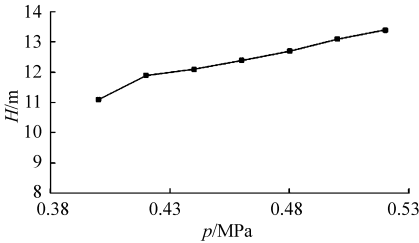


图 9 工作压力与射高关系曲线

Fig. 9 Relation of spray height and pressure

4 影响水量分布的主要因素

喷头水量分布的均匀性^[9-10]是衡量喷头水力性能的重要指标。对于旋转式喷枪,影响其水量分布的因素很多,除风力之外,还包括喷枪转速,喷头仰角,副喷嘴等。对于全射流喷枪,影响其水量分布的主要因素有工作压力、喷嘴直径、导管长度、信号接嘴深度、副喷嘴、补气孔尺寸等。

4.1 工作压力对水量分布的影响

工作压力对水量分布的影响主要体现在以下两个方面:一方面,工作压力的变化会直接影响到射程;另一方面,工作压力的变化也会使喷枪水量集中的位置发生变化。图 10 所示为双向步进式全射流喷枪在不同压力下的水量分布,其中 h 为每小时的喷洒水深。压力较高时,射流裂变加剧,射程增加不明显,中部和近处水量分布差距增大。压力如果降低,则水流裂变不充分,水滴直径的统计平均值增大,近处水量分布变小。

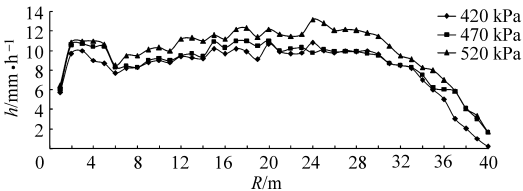


图 10 不同压力下的水量分布

Fig. 10 Water distribution under different pressures

4.2 主要结构参数对水量分布的影响

(1) 导管长度

由于双向步进式全射流喷枪结构的特殊性,正反向导管长度成为影响步进频率的主要因素之一,而步进频率又会影响到全射流喷枪的水量分布。导管长度越长,其步进频率越低,则喷枪中近处水量越多。试验中工作压力为 500 kPa,分别改变正、反向导管的长度 l_1 和 l_2 ,结果见图 11 和图 12。导管加长,步进频率低,喷枪水量大多落在后部;导管变短,则步进频率高,水量分布在近中部。

(2) 信号接嘴深度

信号接嘴深度也是影响水量分布的主要因素,插入深度大,信号水流量变大,取水时间短,直射时

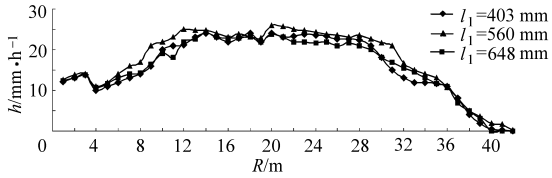


图 11 不同正向导管的水量分布

Fig. 11 Water distribution under different positive pipe lengths

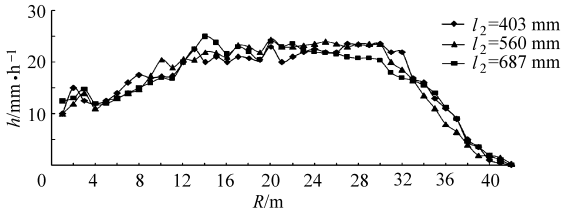


图 12 不同反向导管的水量分布

Fig. 12 Water distribution under different reverse pipe lengths

间短,附壁频率加快,水量分布在近中部。同时,由于插入深度加大,对主射流的破坏增大,主射流容易散开,射程减小,又使水量分布集中在喷枪附近,增加了近处水量分布,500 kPa 工作压力下试验结果如图 13 所示。

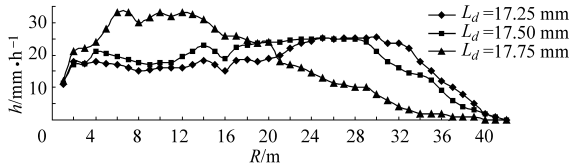


图 13 不同信号接嘴深度的水量分布

Fig. 13 Water distribution under different fetching tube lengths

(3) 射流元件体安放角

在导管长度一定的情况下,喷枪安放角越大,则全射流喷枪内部对喷枪的旋转力矩越小,每次步进转动角度越小,从而影响到全射流喷枪的水量分布。由图 14 可知,射流元件体安放角 θ 越大,双向步进式全射流喷枪的水量落在中后部的越多。

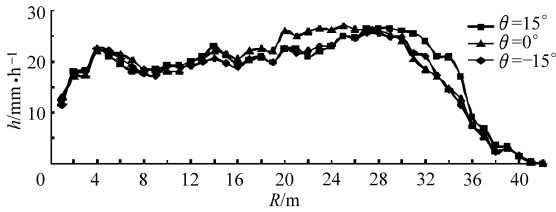


图 14 不同安放角度的水量分布

Fig. 14 Water distribution under different installation angles of the fluidic element

(4) 盖板位差

双向步进式全射流喷枪盖板的尺寸和结构是影响水量分布的重要因素。试验时采用腰圆形盖板,用 3 种位差尺寸进行对比试验。这 3 种型号盖板的

位差如表 2 所示。试验得到 500 kPa 下水量分布曲线如图 15 所示。由图中可看出,盖板位差较小时,近处水量增多;水量分布最优的盖板位差组合是 C3,最差组合为 C2。

表 2 不同盖板左右位差组合
Tab.2 Different cover board gaps

盖板组合序号	左位差 b_1/mm	右位差 b_2/mm
C1	2.32	2.06
C2	2.45	2.28
C3	2.20	2.08

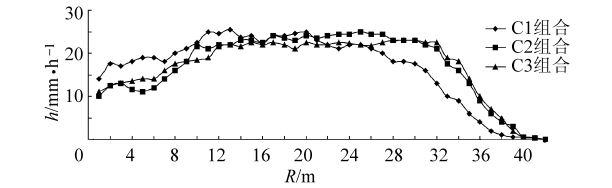


图 15 不同盖板位差的水量分布

Fig. 15 Water distribution under different gaps on the cover board

(5) 副喷嘴
摇臂式喷枪一般均配置副喷嘴,这样可获得比较优良的水量分布性能。对于 PXS50 型全射流喷枪而言,由于它的流量较大,水柱较粗,喷枪近处水量较小,使其喷洒均匀性受到一定的影响,若在喷体上装一副喷嘴,则喷枪可达到较好的水量分布。安装副喷嘴的主要作用是使喷枪近中部的水量增多,从而得到优良的水量分布。

试验对比了装有副喷嘴和不装副喷嘴的大喷枪的水量分布情况,500 kPa 下水量分布曲线如图 16 所示。

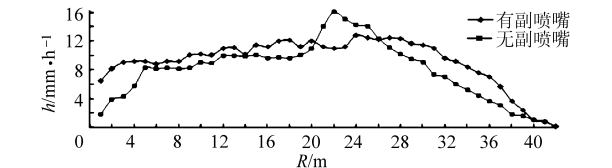


图 16 有、无副喷嘴的水量分布

Fig. 16 Relation of water distribution and the vice-nozzle

5 对比试验

通过试验可知,PXS50 型双向步进式全射流喷头的各结构参数均有一定的范围。经过反复试验可得出喷头最佳工作时的各主要结构参数。

通过 PXS50 型双向步进式全射流喷枪、PXH50 型隙控式全射流喷枪和 PY50 型金龙摇臂式喷枪试验对比,得出各水力参数对比如表 3 所示。

随着射程的增加,消耗的功率也在增加。只有

表 3 全射流喷枪与摇臂式喷枪流量、射程和射高对比
Tab.3 Comparison of different rain guns

型号	喷嘴直径 D/mm	额定工作 压力 p/kPa	喷枪流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	喷枪射 程 R/m	喷枪射 高 H/m
PXS50	18 * 4	500	31.25	41.4	13.2
PXH50	18	500	31.18	39.5	11.1
PY50	18 * 6	500	31.84	39.5	10.9

喷嘴直径和工作压力的最优组合,才能得到某一射程的最小消耗功率。从表 3 可知,PXS50 型在达到某一射程时,其喷嘴直径和工作压力的组合为最优,消耗功率最低。

图 17 为各类喷枪水量分布对比。由图中可知,双向步进式全射流喷枪的喷洒均匀性最佳,各点的雨量分布基本一致。在实际的喷洒过程中,达到某一均匀喷洒要求,双向步进式全射流喷枪喷灌的时间最短,所消耗的能量最低,能很好地达到节水节电的目的。

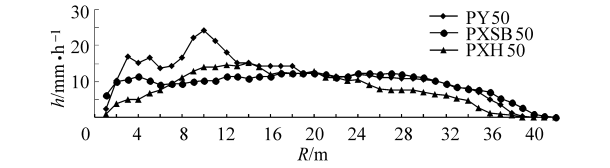


图 17 各类喷枪水量分布对比

Fig. 17 Comparison of the water distribution between different rain guns

6 结论

(1)对双向步进全射流喷枪水力性能进行了试验研究。得到了喷枪射程、射高、水量分布与其工作压力及结构参数之间的关系。

(2)相同工作压力下,喷枪反向射程均大于正向射程。在喷枪正常工作范围内,导管长度增加,射程加大。信号接嘴插入深度或补气孔加大,喷枪射程变小。当信号接嘴插入深度过大时,射程急剧下降。

(3)当仰角和喷嘴直径一定时,射高随着工作压力的增大而增大。

(4)喷枪压力高于正常工作范围或导管长度减短,均会造成远处水量变少,中部或近处水量集中。信号接嘴插入深度加大或减小盖板位差,会增加近处水量分布。当喷枪的步进力矩过大,导致步进角偏大时,可通过调节射流元件体的安放角减小喷枪的步进角度,以优化喷枪的水量分布。

(5)通过试验得到喷枪最佳工作尺寸,通过与其他类型喷枪进行对比试验,证明了双向步进全射流喷枪性能最佳。

- reflectance technique [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 124 ~ 128. (in Chinese)
- 6 蔡健荣, 汤明杰, 吕强, 等. 基于 siPLS 的猕猴桃糖度近红外光谱检测[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 250 ~ 253.
Cai Jianrong, Tang Mingjie, Lü Qiang, et al. Near infrared determination of sugar content in kiwifruits based on siPLS [J]. Food Science, 2009, 30(4): 250 ~ 253. (in Chinese)
- 7 McGlone V A, Kawano S. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy [J]. Postharvest Biology and Technology, 1998, 13(2): 131 ~ 141.
- 8 吕强, 汤明杰, 赵杰文, 等. 近红外光谱预测猕猴桃硬度模型的简化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1768 ~ 1771.
Lü Qiang, Tang Mingjie, Zhao Jiewen, et al. Study of simplification of prediction model for kiwifruit firmness using near infrared spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(7): 1768 ~ 1771. (in Chinese)
- 9 Polesello A, Giangiacomo R, Dull G G. Application of near infrared spectrophotometry to the nondestructive analysis of foods: a review of experimental results [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1983, 18(3): 203 ~ 230.
- 10 严衍禄. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004: 17 ~ 59.
- 11 刘洁, 李小昱, 李培武, 等. 基于近红外光谱的板栗水分检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 338 ~ 341.
Liu Jie, Li Xiaoyu, Li Peiwu, et al. Determination of moisture in chestnuts using near infrared spectroscopy [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 338 ~ 341. (in Chinese)
- 12 李君霞, 闵顺耕, 张洪亮, 等. 水稻糙米粗蛋白近红外光谱定量分析模型的优化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(5): 833 ~ 837.
Li Junxia, Min Shungeng, Zhang Hongliang, et al. The PLS calibration model optimization and determination of rice protein content by near-infrared reflectance spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(5): 833 ~ 837. (in Chinese)
- 13 刘燕德, 罗吉, 陈兴苗. 可见/近红外光谱的南丰蜜桔可溶性固形物含量定量分析[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(2): 119 ~ 122.
Liu Yande, Luo Ji, Chen Xingmiao. Analysis of soluble solid content in Nanfeng mandarin fruit with visible near infrared spectroscopy [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2008, 27(2): 119 ~ 122. (in Chinese)

(上接第 95 页)

参 考 文 献

- 1 李岚清. 行走式节水灌溉[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- 2 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1 ~ 6.
Kang Shaozhong, Cai Huanjie, Feng Shaoyuan. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving in the future [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 1 ~ 6. (in Chinese)
- 3 李红, 杨炎财, 向清江, 等. PXS B 型双向步进式全射流喷头的原理及结构设计[J]. 排灌机械, 2008, 26(5): 59 ~ 63.
Li Hong, Yang Yancai, Xiang Qingjiang, et al. Theory and structure design of two-way step running complete fluidic sprinkler of PXS B type [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(5): 59 ~ 63. (in Chinese)
- 4 李世英. 喷灌喷头理论与设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- 5 GB/T 19795.1—2005 农业灌溉设备 旋转式喷头 第1部分: 结构和运行要求[S].
- 6 脱云飞, 杨路华, 柴春岭, 等. 喷头射程理论公式与试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 23 ~ 26.
Tuo Yunfei, Yang Luhua, Chai Chunling, et al. Experimental study and theoretical formula of the sprinkler range [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(1): 23 ~ 26. (in Chinese)
- 7 Cuming K D. Irrigation control system [P]. United States Patent US4. 1990: 934 ~ 952.
- 8 李红, 陈超, 谢福祺, 等. 全射流喷头水力尺寸对运转可靠性的影响[J]. 中国农村水利水电, 2007(1): 22 ~ 24.
Li Hong, Chen Chao, Xie Fuqi, et al. Effects of fluidic sprinkler's hydraulic size on its running reliability [J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(1): 22 ~ 24. (in Chinese)
- 9 Dawit Zerihum, Zhi Wang, Suman Rimal, et al. Analysis of surface irrigation performance terms and indices [J]. Agricultural Water Management, 1997, 34(1): 25 ~ 46.
- 10 John D Valiantzas. Hydraulic analysis and optimum design of multi-diameter irrigation laterals [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2002, 128(2): 78 ~ 86.
- 11 朱兴业, 袁寿其, 李红, 等. 全射流喷头转折角喷管运动力学分析与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 69 ~ 74.
Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Mechanical analysis and experiment on effuser with turning angle for complete fluidic sprinkler [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 69 ~ 74. (in Chinese)