

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2017.03.012

新型滴灌双向流道参数化设计研究

王新端, 白丹, 郭霖, 何靖

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对双向流道挡水件中后部存在较大低流速区的问题,对原有结构改进后提出新型双向流道结构。为了研究新型双向流道结构参数对其水力性能的影响,选取5个关键参数作为试验因素。采用均匀试验设计方法,设计8组试验方案制作流道样件,分别在不同水头压力下测得各流道样件出流量,计算其流态指数及流量系数。采用通径分析定性地分析各结构参数对水力性能的影响效应。利用多元线性回归分析,建立了流态指数和流量系数与5个结构参数之间的量化模型,并通过试验验证了其准确性和可行性。结果表明,挡水件底部高度是流态指数的主要增进因子,而分水件与上挡水外壁的距离是其主要限制因子;挡水件垂直部分高度是流量系数的主要决策变量,且各参数都为增进因子。建立的量化关系模型效果显著,准确性高,定量地揭示了流道结构参数与其水力性能的关系,对设计性能良好的双向流道有一定指导意义。

关键词: 滴灌;双向流道;水力性能;参数化设计;通径分析;回归分析

中图分类号: S275.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2017)03-0321-05

Parameterized design of a new bidirectional flow channel in drip irrigation

WANG Xinduan, BAI Dan, GUO Lin, HE Jing

(School of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The bidirectional flow channel is a new kind of channel for drip irrigation emitter, which is mainly composed of the dividing water object and the blocking water object. It has the advantages of simple structure, easy manufacturing, and good energy dissipation performance. The main working principle of the bidirectional flow channel is mixing the forward flow and the backward flow by the objects mentioned above with the energy dissipation performance of the bidirectional flow channel enhanced. However, for the original design, there is a large low velocity area within the V-shape wall which has a negative effect on the hydraulic performance or on the anti-clogging performance. To solve this problem, the structure of flow channel is redesigned by means of changing the placing ways of dividing water and the blocking water object. As to the new flow channel, the effect of structural parameters on hydraulic performance is investigated based on the path analysis. The results indicate that the height of the bottom of blocking water object is the most important decision variable for the flow index and that rather the distance of dividing water object and the upper boundary is the limit factor. All of the structural parameters are the increasing factors for the flow coefficient, and among them the height of vertical section of blocking water object is the most important decision variable. The regression models for flow index and flow coefficient to 5 structural parameters are established by the multivariable regression method, which are both verified to be able to forecast the relationship between the flow rate and pressure loss for the emitter with bidirectional flow channel. These conclusions obtained in this paper have a certain guiding significance for designing a bidirectional flow channel possessing good hydraulic performance.

Key words: drip irrigation; bidirectional flow channel; hydraulic performance; parameterized design; path analysis; regression analysis

收稿日期: 2016-03-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51279156)

作者简介: 王新端,男,博士生,研究方向为节水灌溉技术。E-mail:wxdcyan@163.com

通讯作者: 白丹,男,教授,博导,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail:baidan@xaut.edu.cn

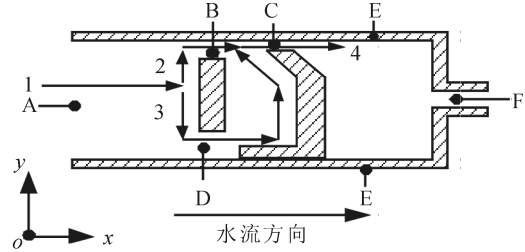
滴头作为滴灌系统关键部件,当毛管中有压水流通过其内部复杂几何结构时形成水头损失,充分消耗毛管中多余压力,使得水流最终稳定且均匀地滴入土壤,达到节水目的。滴头水力性能优劣决定着整个滴灌系统灌水均匀度、使用寿命等问题^[1-4]。Gilaad^[5]指出滴头流道的内部几何结构、结构的尺寸大小及材料等因素共同影响其水力性能的优劣。Wei^[6]研究表明,滴头流道形式对其水力性能的优劣具有重要影响,认为开发新的流道结构形式,依靠流道自身结构提高水力性能,是提高滴头性能的新途径。基于上述研究结果,国内学者研发了分形流道^[7]、绕流流道^[8]、分流式流道^[9]和双向流道^[10-11]等具有不同几何结构的流道形式。

双向流道是由分水件将来流分成正、反向两股,在挡水件的作用下这两股流向相反的水流相遇混掺,充分地利用水流混掺消耗有压水流多余能量,提高流道水力性能。田济扬等^[12-13]通过试验和CFD(Computational Fluid Dynamics)数值模拟针对其提出的双向流道结构进行研究,结果表明其具有良好的水力性能,有一定的应用前景。然而,由文献^[13]的流速矢量图可以明显看出,在流道“V”字型挡水件的中后部,水流流速很低,水流基本处于“静滞”。这主要是由于“八”字型分水件将流道来流分成的三股水流,中间一股流量大、流速高且主要流经“V”字型挡水件来进行流向转变。然而“V”字型挡水件近似“漏斗”状的设计,使得其中后部截面急剧下降,水流流动空间骤减,最后导致水流流速很低,水流基本处于“静滞”。这直接影响后续与另外两股水流的混掺效果,影响流道水力性能;并且水流流速低,水流挟沙能力大大降低,容易造成水流中的泥沙等固体颗粒沉积,不利于流道抗堵。针对上述问题对流道结构进行修改,以期研发出性能优良的双向流道。

本文以修改后的双向流道为研究对象,分析流道各结构参数对流道水力性能的影响,基于均匀试验设计构建试验方案;利用通径分析和回归分析方法,从定性、定量两个角度揭示流道结构参数对其水力性能的影响,以期为提高双向流道的结构设计和水力性能优化提供参考。

1 流道结构设计

新型双向流道的设计,以充分利用水流混掺的消能机制为目标,改变流道分水件、挡水件放置方式,提出另一种结构形式,见图1。



A.进水口; B.分水件; C.挡水件; D.过水通道; E.边避; F.出水口; 1.来流; 2.正向水流; 3.反向水流; 4.混掺水流

图1 新型双向流道结构及其水流运动方式

Fig.1 Structure and water flow motion of new bidirectional flow channel

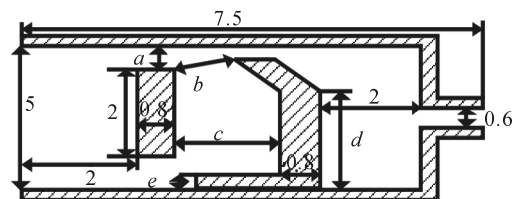
有压水流1进入流道以后,由分水件分成正向水流2和反向水流3,水体结构被破坏,同时过流截面突缩,产生局部水头损失,消耗水流多余能量。正向和反向两股水流汇合后产生对流和混掺,两股水流连续不断地进行能量交换和重新分配以适应新形成水流的流动状况,水体紊动程度增加,产生较大的局部水头损失,消耗较多水流多余能量。混掺后的水流3流经挡水件齿尖端后,过水断面突扩,再次产生局部水头损失,进一步消能。最后由出水口流出流道。

分水件由原来“八”字型改为矩形,且分流后两股水流的过水通道尺寸相当,避免了原有“八”字型分水件中间过水通道尺寸过大,造成分流后水流流量相差太大,影响混掺效果的问题。挡水件由原来“V”字型改为带齿“L”形,一方面使水流转向,产生相遇混掺;另一方面,过水通道截面前后变化不大,有利于水流通过,避免了“V”字型挡水件近似“漏斗”状的设计而导致较大低流速区。

2 流道几何结构参数及试验方案设计

2.1 流道结构参数

通过对双向流道工作机理的分析,取 a, b, c, d, e 5个结构参数作为关键参数(见图2),暂不考虑流道深度影响(将其设为定值)。



图中数字为各部件尺寸,单位为mm;字母表示各结构参数。 a .分水件与上挡水外壁的距离; b .流道最小宽度; c .流道宽度; d .挡水件垂直部分高度; e .挡水件底部高度

图2 流道关键几何参数及各部件尺寸

Fig.2 Key geometry parameters and each part size of the emitter

2.2 试验方案及结果

图2所示为一个双向流道单元,根据滴头工作压力和实际流量要求,对流道结构参数进行取值。为了减少试验工作量,并提高试验方案的代表性,采

用均匀试验设计法安排流道结构参数方案。均匀设计相比正交设计试验次数较少,且能保证试验方案具有普遍性和代表性,适合于多因素、多水平的试验设计。试验设计方案见表1。

表1 均匀设计方案及水力性能指标
Tab.1 Uniform design scheme and hydraulic performance index

试验方案	流道结构参数					流态指数	流量系数
	a/mm	b/mm	c/mm	d/mm	e/mm		
1	0.6	0.5	0.7	1.2	0.55	0.501 8	1.414 5
2	0.65	0.65	1.1	0.8	0.2	0.487 5	1.397 7
3	0.7	0.8	1.5	0.4	0.45	0.495 8	1.393 5
4	0.8	0.45	1	0.9	0.35	0.488 3	1.400 2
5	0.85	0.6	1.4	0.5	0.3	0.490 9	1.396 8
6	1	0.4	1.3	0.6	0.15	0.490 1	1.396 8
7	1.1	0.7	0.8	1.1	0.05	0.485 0	1.433 0
8	1.15	0.85	1.2	0.7	0	0.486 1	1.422 5

根据表1的8种流道结构参数方案,利用激光精雕机加工流道样件(雕刻精度0.02 mm),为了保证试验结果的可靠性,根据每一种结构参数方案,制作了3个相同的流道样件作为一组。对每种试验方案测试不同水头压力下滴头流道出流量。工作压力取30 kPa、50 kPa、70 kPa、90 kPa、100 kPa、110 kPa、130 kPa和150 kPa共8个压力点,测试时间5 min,每组中流道样件流量之差小于2%,流道在每个压力点的流量取其对应的3个流道样件平均值。利用滴头压力-流量关系: $q=kh^x$,其中: q 为灌水器流量,单位为L/h; h 为工作压力,单位为kPa; k 为流量系数; x 为流态指数。

计算出不同流道结构的水力性能指标:流态指数和流量系数,结果见表1。

3 流道几何结构参数对水力性能影响分析

3.1 流道几何结构参数对水力性能影响的途径分析

途径分析可用于分析多个自变量与因变量之间的关系。当自变量数目较多,某些自变量通过其它自变量间接地对因变量产生影响,利用途径分析能够将这种间接影响,即间接效应,分离出来,进而得到某一自变量对因变量的直接影响,即直接效应,依此判断不同因素在一个总的相关变量系统中造成的不同效应,为最终统计分析提供准确依据。此分析方法已在遗传育种等多学科领域中得到了广泛应用^[14]。滴头流道各几何结构参数之间的相互耦合作用,共同影响滴头的水力性能,为此引入途径分析方法,从而准确地分析出各结构参数对水力性能的

影响效应,结果见表2。

将流道几何参数对水力性能指标的影响效应分为直接作用(b_i)和间接作用($r_{ij}b_j$)两部分。由表2可看出,影响流态指数 x 的直接作用 $|b_c| > |b_a| > |b_b| > |b_d|$,而总作用 $|r_{cy}| > |r_{ay}| > |r_{by}| > |r_{dy}|$ 。影响流量系数 k 的直接作用 $|b_d| > |b_b| > |b_c| > |b_a| = |b_e|$,而总作用 $|r_{dy}| > |r_{cy}| > |r_{ay}| = |r_{ey}| > |r_{by}|$ 。上述分析可知,流道结构参数对流道水力性能指标直接作用和总作用并不一致,因此需要通过计算决策系数(R),最终判别其综合作用。 R 值为正时,表示结构参数为水力性能指标的增进因子,即随着结构参数值的增加水力性能指标值也增加;反之亦然。 R 值为负时,表示结构参数为水力性能指标的限制因子,即随着结构参数值的增加水力性能指标值减小;反之亦然。 R 的绝对值大小决定结构参数对水力性能指标的影响大小。

从 x 的角度来看, c, d, e 为增进因子,而 a, b 为限制因子。 $|R_{(c)}^2| > |R_{(a)}^2| > |R_{(b)}^2| > |R_{(d)}^2| = |R_{(e)}^2|$ 表明 e 是主要决策变量,而 a 是主要的限制因子,即适当减小挡水件底部高度,同时增加分水件与上挡水外壁的距离可以降低流态指数系数。减小 e 值,过水宽度增大,增加了流道反向水流流量;增大 a 值,分水件与上挡水外壁的距离增加,正向水流流量增加; a, e 值的改变使得正、反向水流流量增加,加剧了正反两股水流之间的混掺,水流紊流程度增加,局部水头损失增大,水流动能下降,使得流量对压力变化敏感程度降低,从而降低流态指数。另一方面,混掺流量增加,过水通道水流流速增大,增强了挡水件后面

水流的扩散消能效果,从而降低流态指数。

从 k 的角度来看, a, b, c, d, e 都为增进因子。 $|R_{(d)}^2| > |R_{(c)}^2| > |R_{(e)}^2| = |R_{(a)}^2| > |R_{(b)}^2|$, 表明 d 为主要决策变量, 其值的变动直接影响流道流量的变化。相对其它参数只是改变流道过水截面尺寸, d 值增加, 平直流道的长度增加, 水流流动平稳, 流道局部水头损失系数减小流速增加, 从而流量增加。

设计水力性能优良的滴头流道, 一般要求流态指数较小且流量波动较小, 因此综合各结构参

数对流态指数和流量系数的影响, 在流道设计时应适当减小 e 值, 同时增加 a, d 值, 提高流道水力性能。

利用通径分析, 定性地研究了流道结构参数对水力性能指标的影响效应, 能够对双向流道结构的设计提供指导。但要快速预测滴头水力性能与结构参数的内在关系, 优化流道结构, 缩短研发周期, 降低研发成本, 仍需建立数学模型, 从定量角度揭示它们的关系。

表 2 结构参数对水力性能影响的通径分析
Tab. 2 Path analysis of the influence of structural parameters on hydraulic performance

通径	流态指数 x				流量系数 k			
	直接作用 b_i	间接作用 $r_{ij}b_j$	总作用 r_{iy}	决定系数 $R_{(i)}^2$	直接作用 b_i	间接作用 $r_{ij}b_j$	总作用 r_{iy}	决定系数 $R_{(i)}^2$
a 对 y		b 0.021 9				b 0.116 1		
		c -0.002 3				c -0.018 8		
	0.261 2	d -0.002 3	-0.697 1	-0.432 4	0.219 6	d 0.043 4	0.580 0	0.206 5
		e -0.975 6				e 0.219 6		
b 对 y		a 0.068 1				a 0.057 2		
		c -0.008 8				c -0.072 0		
	0.084 0	d -0.008 8	-0.233 8	-0.046 3	0.445 7	d -0.160 3	0.329 7	0.093 7
		e -0.368 4				e 0.057 2		
c 对 y		a 0.018 3				a 0.015 4		
		b 0.022 6				b 0.120 1		
	-0.032 5	d -0.032 5	-0.087 7	0.004 6	-0.267 2	d -0.529 3	-0.645 6	0.273 6
		e -0.063 7				e 0.015 4		
d 对 y		a -0.018 3				a 0.016 8		
		b -0.022 6				b -0.126 1		
	0.032 5	c 0.032 5	0.087 7	0.004 6	0.566 5	c 0.249 7	0.723 8	0.499 1
		e 0.063 7				e 0.016 8		
e 对 y		a -0.225 2				a -0.219 6		
		b -0.027 3				b -0.116 1		
	1.131 8	c 0.001 8	0.883 0	0.717 7	-0.219 6	c 0.018 8	-0.580 0	0.206 5
		d 0.001 8				d -0.043 4		

注: y 为水力性能指标; $x_i (i=a, b, c, d, e)$ 分别代表结构参数 a, b, c, d, e ; b_i 为 x_i 的偏回归系数; r_{ij} 为 x_i 与 $x_j (j=a, b, c, d, e)$ 的相关系数; r_{iy} 为 x_i 与 y 的相关系数; $R_{(i)}^2$ 为 x_i 对 y 的决策系数。

3.2 流道几何结构参数对水力性能影响的回归分析

3.2.1 回归模型的建立

从表 2 可以看出, 5 个结构参数对滴头水力性能指标 x, k 的影响程度不同, 现假设 x, k 与 5 个结构参数均呈幂函数关系, 形式如下:

$$x = ma^{\alpha_1} \cdot b^{\alpha_2} \cdot c^{\alpha_3} \cdot d^{\alpha_4} \cdot e^{\alpha_5} \quad (1)$$

$$k = na^{\beta_1} \cdot b^{\beta_2} \cdot c^{\beta_3} \cdot d^{\beta_4} \cdot e^{\beta_5} \quad (2)$$

其中: m, n 为常数项; $\alpha_i, \beta_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 为幂指数项; a, b, c, d, e 为流道几何结构参数。

对表 1 试验数据进行回归分析得到 x, k 与结构

参数之间表达式:

$$x = 0.470 6a^{-0.030 1} \times b^{-0.025 3} \times c^{-0.135 5} \times d^{-0.098 7} \times e^{-0.001 1} \quad (3)$$

该模型的回归系数显著性检验 F 统计量值为 107.178 5, 对应显著性水平 $Sig=0.009 < 0.05$, 认为所建立的模型有效;

$$k = 1.420 8a^{0.023 4} \times b^{0.012 5} \times c^{-0.051 6} \times d^{-0.014 2} \times e^{-0.002 0} \quad (4)$$

该模型的回归系数显著性检验 F 统计量值为 140.822 4, 对应显著性水平 $Sig=0.007 < 0.05$, 认

为所建立的模型有效。

3.2.2 回归模型验证

为了验证回归模型可靠性,在几何结构参数的取值范围内,选择尺寸 $a=0.5\text{ mm}$, $b=0.45\text{ mm}$, $c=0.6\text{ mm}$, $d=1.0\text{ mm}$, $e=0.25\text{ mm}$ 参数组合方案加工试验样件,进行水力性能试验,测量 $0.3\sim 0.15\text{ MPa}$ 水头压力内各压力点的流量值,计算得压力-流量关系式: $q=1.3989h^{0.5001}$ 。

利用回归方程(3)~(4),得到验证样件压力-流量关系式: $q=1.4214h^{0.5262}$ 。验证样件流态指数、流量系数的计算值和试验值相对误差分别为 5.22% 、 1.61% ,表明回归模型能够准确地反映流道几何结构参数与水力性能的关系。因此,在新型双向流道的研发过程中,可以利用上述模型进行预研和评测,进而降低试验成本,缩短研发周期,加快研发进度。

一般地,滴头流道的水力性能主要由其流态指数 x 和流量系数 k 来评价,其中, x 反映流量对压力变化的敏感性; k 反映流量波动的大小。设计水力性能优良的滴头流道,一般要求流态指数较小且流量波动较小,因此可以利用建立的流态指数 x 和流量系数 k 与结构参数的模型作为目标函数,以流态指数 x 和流量系数 k 值最小化为目标进行双目标优化设计,进而用于双向流道的参数化设计,为设计研发水力性能优良的双向流道提供理论基础。

4 结 论

1) 提出双向流道另一种结构形式,解决原有双向流道易产生较大低流速区的问题,流态指数在 0.49 左右,水力性能较好,有一定应用前景。

2) 通径分析表明流道挡水件底部高度是流态指数的主要增进因子,而分水件与上挡水外壁的距离是其主要限制因子;挡水件垂直部分高度是流量系数的主要增进因子。流道设计时适当减小挡水件底部高度,同时增加分水件与挡水外壁的距离及挡水件垂直部分高度,可降低流道流态指数,减小流量波动,水力性能更优良。这一结果有助于指导双向流道结构的设计。

3) 建立了流态指数、流量系数与 5 个结构参数的数学模型,并通过试验验证了其可靠性,为新型双向流道的设计研发提供指导。

参考文献:

[1] 喻黎明,梅其勇. 迷宫流道灌水器抗堵塞设计与 PIV 试验 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 155-160.

YU Liming, MEI Qiyong. Anti-clogging design and experimental investigation of PIV for labyrinth-channel emitters of drip irrigation emitters [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 155-160.

[2] LI Guangyong, WANG Jiandong, ALAM M, et al. Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance [J]. American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2006, 49(3): 637-643.

[3] LI Yunkai, YANG Peiling, XU Tingwu, et al. CFD and digital particle tracking to assess flow characteristics in the labyrinth flow path of a drip irrigation emitter [J]. Irrigation Science, 2008, 26(5): 427-438.

[4] 刘璐,牛文全, ZHOU B. 细小泥沙粒径对迷宫流道灌水器堵塞的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 87-93.

LIU Lu, NIU Wenquan, ZHOU B. Influence of sediment particle size on clogging performance of labyrinth path emitters [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(1): 87-93.

[5] GILAAD Y, KRYSTAL L, ZANKER K. Hydraulic and mechanical properties of drippers [C]// Proceedings of the 2nd International Drip Irrigation Congress, Riverside, USA: University of California, 1974.

[6] WEI Qingsong, SHI Yusheng, LU Gang, et al. Study of hydraulic performance of the eddy channel for drip emitters [J]. Irrigation and Drainage, 2006, 55(1): 61-72.

[7] 李云开,杨培岭,任树梅,等. 分形流道设计及几何参数对滴头水力性能的影响 [J]. 机械工程学报, 2007, 43(7): 109-114.

LI Yunkai, YANG Peiling, REN Shumei, et al. Effects of fractal flow path designing and its parameters on emitter hydraulic performance [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(7): 109-114.

[8] 魏青松,史玉升,芦刚,等. 内镶式滴灌带绕流流道水力性能研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 83-89.

WEI Qingsong, SHI Yusheng, LU Gang, et al. Hydraulic performances of the round-flow channel in an inline drip-tape [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(10): 83-89.

[9] 苑伟静,魏正英,楚华丽,等. 分流式灌水器结构优化设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(17): 117-124.

YUAN Weijing, WEI Zhengying, CHU Huali, et al. Optimal design and experiment for divided-flow emitter in drip irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(17): 117-124.

(下转第 332 页)

- 162-164.
LIU Xiuting, PAN Hongxia. Realization of self-adaptive fuzzy-neural control system based on Matlab [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2010 (3): 162-164.
- [13] 马细霞, 穆浩泽, 郭慧芳. 基于小波-ANFIS的水库月径流预报模型 [J]. 水电能源科学, 2008, 26(1): 26-29, 74.
MA Xixia, MU Haoze, GUO HuiFang. Reservoir monthly runoff forecast model based on Wavelet-ANFIS Analysis [J]. Water Resources and Power, 2008, 26(1): 26-29, 74.
- [14] 许爱德, 樊印海, 李自强. 基于 GA-ANFIS 的开关磁阻电机建模 [J]. 电机与控制学报, 2011, 15(7): 54-59.
XU Aide, FAN Yin Hai, LI Ziqiang. Modeling of switched reluctance motor based on GA-ANFIS [J]. Electric Machines and Control, 2011, 15(7): 54-59.
- [15] 徐晓刚, 徐冠雷, 王孝通, 等. 经验模式分解(EMD)及其应用 [J]. 电子学报, 2009, 37(3): 581-585.
XU Xiaogang, XU Guanlei, WANG Xiaotong, et al. Empirical mode decomposition and its application [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(3): 581-585.
- [16] 刘霖雯, 刘超, 江成顺. EMD 新算法及其在应用 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(2): 446-447, 464.
LIU Linwen, LIU Chao, JIANG Chengshun. Novel EMD algorithm and its application [J]. Journal of System Simulation. 2007, 19(2): 446-447, 464.
- [17] 于德介, 杨宇, 程军圣. 一种基于 SVM 和 EMD 的齿轮故障诊断方法 [J]. 机械工程学报, 2005, 41(1): 140-144.
YU Dejie, YANG Yu, CHENG Junsheng. Fault diagnosis approach for gears based on EMD and SVM [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2005, 41(1): 140-144.

(责任编辑 周 蓓)

(上接第 325 页)

- [10] 白丹, 田济扬, 宋立勋. 双向流弧形滴灌带: 中国, ZL201220007024.6 [P]. 2012-09-05.
- [11] 白丹, 宋立勋, 党志良. 双向流滴灌带: 中国, ZL201220006857.0 [P]. 2012-09-05.
- [12] 田济扬, 白丹, 任长江, 等. 滴灌双向流渠道灌水器水力特性分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 89-94.
TIAN Jiyang, BAI Dan, REN Changjiang, et al. Analysis on hydraulic performance of bidirectional flow channel of drip irrigation emitter [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(20): 89-94.
- [13] 田济扬, 白丹, 于福亮, 等. 基于 Fluent 软件的滴灌双向流渠道灌水器水力性能数值模拟 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 65-71.
TIAN Jiyang, BAI Dan, YU Fuliang, et al. Numerical simulation of hydraulic performance on bidirectional flow channel of drip irrigation emitter using Fluent [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(20): 65-71.
- [14] 袁志发, 周静芋, 郭满才, 等. 决策系数——通径分析中的决策指标 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(5): 131-133.
YUAN Zhifa, ZHOU Jingyu, GUO Mancai, et al. Decision coefficient—the decision index of path analysis [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2001, 29(5): 131-133.

(责任编辑 王绪迪)