

异形喷嘴变量喷头水力性能试验*

魏洋洋 袁寿其 李 红 向清江 陈 超
(江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013)

【摘要】 在分析喷嘴出口前压力与喷嘴面积、射程之间关系的基础上,阐述了异形喷嘴变量喷洒喷头结构形式及工作原理。对变量喷头进行了水力性能试验,并绘制了单喷头水量分布等值线图。试验表明:异形喷嘴变量喷头运行可靠,能够实现正方形和三角形喷洒域,与圆形喷嘴的摇臂变量喷头相比其喷洒性能良好,改善了喷灌均匀性。

关键词: 异形喷嘴 变量喷洒 水力性能
中图分类号: S275.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)07-0070-05

Hydraulic Performance Experiment of the Variable-rate Sprinkler with Non-circle Nozzle

Wei Yangyang Yuan Shouqi Li Hong Xiang Qingjiang Chen Chao
(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

On the basis of analyzing the relationship between pressure before the nozzle and nozzle area, radius of throw, a new type of variable-rate sprinkler was developed by using activity pieces and non-circle nozzle device on an impact sprinkler. The structure and working principles were presented. Experiment of hydraulic performances was conducted and analyzed. The water distribution isoline of single nozzle was plotted by using Matlab. Results showed that the variable-rate sprinkler with non-circle nozzle was able to operate reliably, and the triangle wetted area and square wetted area was obtained. Compared with the traditional variable-rate sprinkler, the variable-rate sprinkler with non-circle nozzle has better hydraulic performance and the spray uniformity is improved.

Key words Non-circle nozzle, Variable-rate application, Hydraulic performance

引言

旋转式喷头实现变域喷洒有几种途径,如改变工作压力、改变喷头仰角、改变喷嘴面积等。经过对国内外变量喷头的结构进行总结与分析,发现这些喷头往往存在结构较复杂、运行不稳定、喷洒均匀性较差等问题^[1-4]。异形喷嘴即非圆形喷嘴是国内外近年来逐渐推广应用的一种新型喷嘴,它具有改善喷头雾化状况和提高单喷头水量分布均匀性等优点。

本文以喷嘴面积变化与喷头工作性能的关系为重点研究对象,试验研究异形喷嘴变量喷头喷洒出的水量在一个方形和三角形区域内的分布情况,以解决目前全圆或扇形旋转喷头存在的超喷、漏喷等问题。

1 异形喷嘴变量喷头结构及原理

在 PY₂₀、PY₂₃₀ 型喷头的基础上设计了异形喷嘴变量喷头(图1),将相应的全圆摇臂喷头的喷嘴更换为异形喷嘴调节装置(图2)而成,这样不但

收稿日期: 2010-09-21 修回日期: 2010-10-09
* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA100211)
作者简介: 魏洋洋,硕士生,主要从事流体机械及工程研究,E-mail: yangyang261987@163.com
通讯作者: 袁寿其,研究员,博士生导师,主要从事排灌机械及流体机械研究,E-mail: shouqi@ujs.edu.cn

降低了制造成本,而且扩大了原有喷头的使用范围,它具有改善出射水流雾化状况和提高单喷头水量分布均匀性等优点。

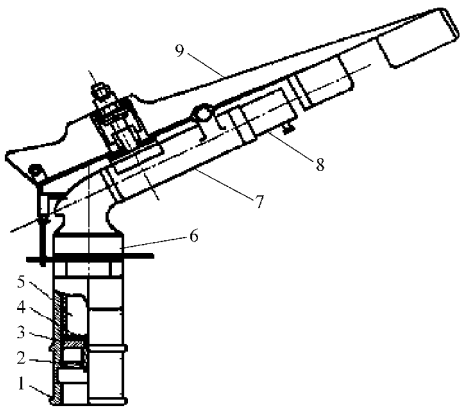


图 1 异形喷嘴变量喷头结构示意图

Fig. 1 Structure of variable-rate sprinkler with non-circle nozzle devices

1. 转体连接座 2. 支撑杆 3. 静片 4. 动片 5. 空心轴 6. 旋转密封机构 7. 喷管 8. 异形喷嘴调节装置 9. 摇臂机构

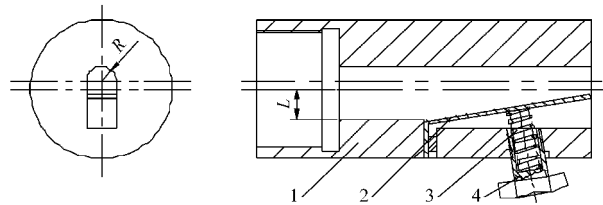


图 2 异形喷嘴调节装置结构示意图

Fig. 2 Structure of non-circle nozzle devices

1. 出口流道 2. 挡水板 3. 调节弹簧 4. 空心螺栓

异形喷嘴变量喷头工作时,摇臂机构打击喷头使其转动,同时安装在转体下方压力/流量调节装置内的动、静调节片(图 3)作相对运动,进口流道过流面积发生相应变化,喷头流量与压力随之变化;水流流经异形喷嘴装置,弹簧的伸缩量随来流压力大小而变化。

水压稳定时,水流对挡水板的作用力恒定,喷嘴出口截面积不变;水压增大,水流对挡水板的作用力增大,超过弹簧弹力,弹簧被压缩,挡水板向下移动,喷嘴出口截面积增大;水压变小,喷嘴相应出口截面积变小,实现出口截面积变化与压力同时变化,从而提高喷洒均匀性,扩大压力变化范围^[5]。

2 水力性能试验

样机试验在江苏大学流体机械工程技术研究中心室内喷灌试验厅进行。该试验厅直径 44 m,高 18 m,室内场地没有障碍物,排除了风的干扰,试验数据测量具备良好的条件。试验设备包括异形喷嘴变量喷头、管路系统、水泵机组、喷头性能微机自动测试系统等。

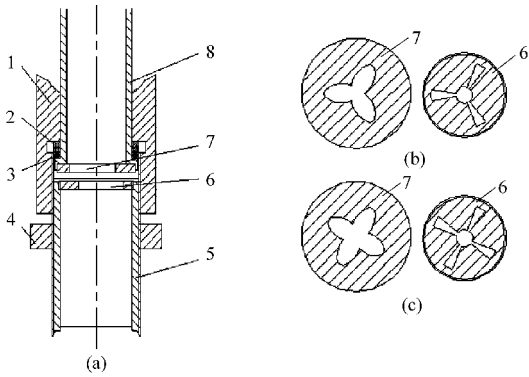


图 3 压力/流量调节装置结构形式

Fig. 3 Structure of regulating devices

(a) 剖面图 (b) 三角形喷洒域用调节片 (c) 正方形喷洒域用调节片

1. 转体连接座 2. 四氟垫圈 3. O 型垫圈 4. 并帽 5. 连接管 6. 静调节片 7. 动调节片 8. 空心轴

2.1 变域喷洒试验

喷洒域是指喷头喷洒水量的分布范围和形状,其形状特征首先决定于喷头的工作原理。对于全圆旋转摇臂式喷头,借助于水流对摇臂的冲击力带动喷头做 360°均匀旋转,在射程不发生变化的情况下,其喷洒域为一圆形。因此,喷洒域的大小决定于喷头射程,喷洒域的形状决定于喷头的射程变化^[6~9]。

为了研究射程随压力及喷嘴出口面积的变化情况,进行了变量喷头的射程试验,由挡水板的位置实现不同的出口面积,由手动调节阀门控制喷头工作压力。该喷头的喷嘴形式如图 2 所示,中间挡水板上下移动进而调节出口面积,从而改变射程。根据等面积设计原则,分别设计应用在 PY₂20、PY₂30 型喷头的异形喷嘴装置上,其中 R 为基圆孔半径(直径记为 D), L 为挡水板的移动距离。试验中,喷嘴的出口面积最小值为异形喷嘴半圆的面积,最大面积选择与圆形喷嘴的面积相同,但为了试验数据的连续性,计算出最大位置后,将 L 值向最近数值圆整。设计参数如表 1 所示。

表 1 异形喷嘴装置设计参数				
Tab. 1 Parameters of non-circle nozzle mm				
喷嘴型号	$D(L)$			
PY ₂ 20	7(5)	6(6)	5(8)	
PY ₂ 30	9(6)	8(7)	7(9)	6(11)

试验时,固定异形喷嘴装置内挡水板的位置和基圆孔直径,挡水板起始位置为最上端,即 $L = 0$ mm 处;然后挡水板间隔 1 mm 依次向下移动 1 mm,压力范围为 0.1 ~ 0.5 MPa,每隔 0.05 MPa 测量一个数据点,依次对 PY₂20、PY₂30 型不同设计参数的异形喷嘴装置进行试验。对试验数据进行分析,绘制出不

同喷嘴面积下的压力与射程的关系曲线。图 4 为变量喷嘴的射程随工作压力及喷嘴出口面积变化的关系曲线。

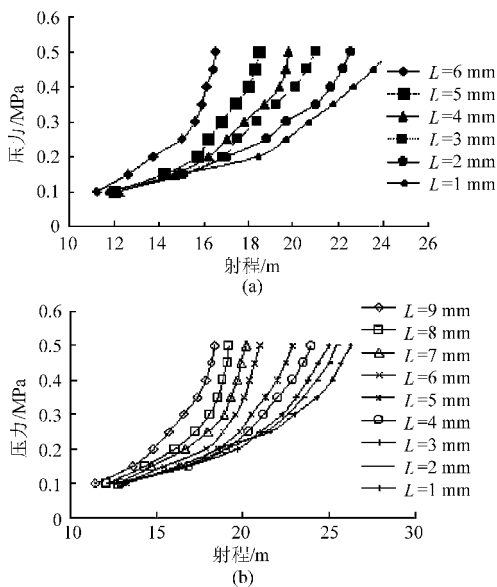


图 4 不同喷嘴面积下的压力/射程曲线

Fig.4 Relationship between pressure and radius

(a) PY₂₀ 型 ($R=3\text{ mm}$) (b) PY₃₀ 型 ($R=3.5\text{ mm}$)

通过图 4 可知：

(1)PY₂₀ 型异形喷嘴变量喷头射程最小值为 11.2 m,射程最大值为 24.2 m;PY₃₀ 型异形喷嘴变量喷头射程最小值为 11.4 m,射程最大值为 26.3 m。这样大的射程变化范围,只要喷头进口处的动、静片匹配合理,喷头可实现任意形状喷洒域的喷洒。

(2)对于某一喷洒域的喷洒,例如三角形喷洒域或正方形喷洒域,只要选定了喷洒域射程变化范围,同时选定了喷头工作压力范围,就能够依据图 4 的关系曲线选定喷嘴出口面积的变化范围。而喷嘴出口面积的变化和来流压力直接相关,因此根据出口面积变化情况,可以确定喷头进口处动、静片的结构尺寸。即根据射程关系曲线,只要选定了喷头的工作性能参数,就能确定变量喷洒喷头的主要结构参数。

(3)相比于仅调节喷头工作压力的变量喷洒喷头,异形喷嘴变量喷头可实现喷头在较大压力变化范围和较大流量变化范围内工作,其水力性能可以更好地与喷头的射程变化相匹配,从而提高喷头的喷洒均匀性。

2.2 水量分布试验

为验证该变量喷头水力性能是否满足使用要求,对其进行试验验证。变量喷洒喷头在旋转的过程中,由于射程是不断变化的,所以其周向雨量分布和径向雨量分布是不均匀的,故采用方格网布置雨量筒。试验过程测试范围为 180°,测试时间为 1 h。

对所得试验数据进行分析,在该异形喷嘴变量

喷头射程范围内建立网格点,确定网格点对应的水量分布数据,利用 Matlab 语言编制程序、绘制水量分布等值线图,更直观地表示喷灌强度和均匀程度^[10~11]。图 5 和图 6 分别为 PY₂₀ 型异形喷嘴变量喷头和 PY₃₀ 型异形喷嘴变量喷头的水量分布等值线图。

由图 5、6 可以看出, PY₂₀ 型异形喷嘴变量喷

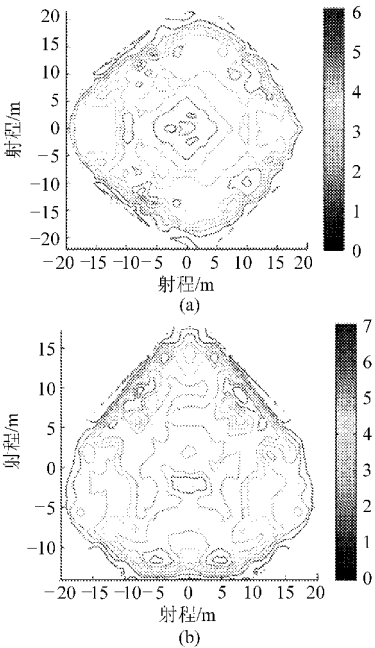


图 5 PY₂₀ 型喷头的水量分布等值线图

Fig.5 Water distribution of variable-rate sprinkler(PY₂₀)

(a) 正方形喷洒域 (b) 三角形喷洒域

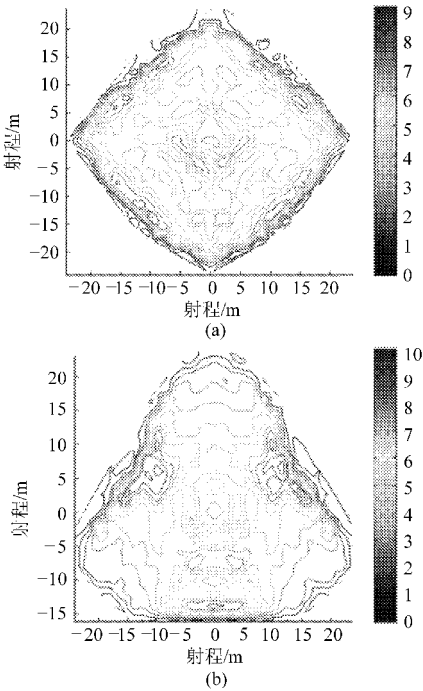


图 6 PY₃₀ 型喷头的水量分布等值线图

Fig.6 Water distribution of variable-rate sprinkler(PY₃₀)

(a) 正方形喷洒域 (b) 三角形喷洒域

头和 PY₂30 型异形喷嘴变量喷头均能实现正方形和三角形喷洒域;正方形喷洒域最大喷灌强度均小于三角形喷洒域最大喷灌强度;正方形喷洒域和三角形喷洒域均在射程最短处存在最大喷灌强度;正方形喷洒域水量分布均匀程度高于三角形喷洒域水量分布均匀程度。

2.3 末端水滴直径试验

水滴打击强度是喷头水力性能的重要参数。喷头工作时,喷洒水滴直径沿射程径向呈递增趋势,在喷射半径末端出现水滴直径最大值,一般存在打击强度较大,故只测试其末端水滴直径。

目前常用色斑法测量水滴直径。基于“水滴在同一材料上形成的色斑大小与水滴的直径大小成正比”和水滴密度不变的假定,要事先率定水滴直径与色斑直径的关系,试验选择胭脂红及石灰粉 1:100 配比的滤纸进行率定。色斑大小率定的精确与否直接影响到以后水滴测量的品质^[12~13]。研究表明,率定公式为二元多项式,经过非线性多元回归得到水滴实际直径 d 和滤纸色斑直径 D_b 之间的关系如图 7 所示,相关系数 $R^2=0.9106$ 。

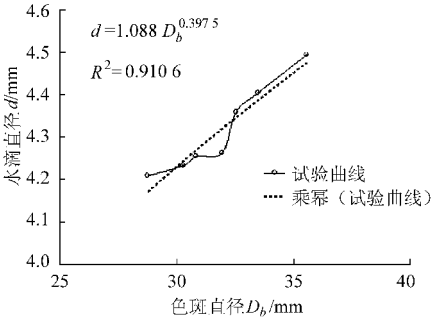


图 7 水滴直径的率定
Fig. 7 Verify of water-drop

试验在 PY₂20 型和 PY₂30 型异形喷嘴变量喷头正常工作时进行,图 8 所示为喷洒域水滴直径各 3 个位置测量点,结果如表 2 所示。

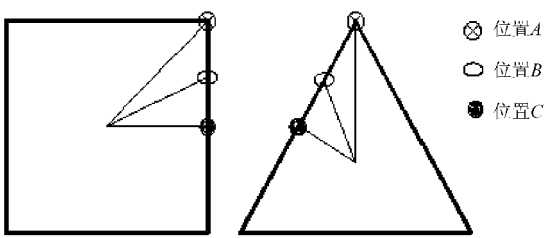


图 8 水滴直径测试位置
Fig. 8 Position of test

表 2 末端平均水滴直径

Tab. 2 Average diameter of water-drop mm						
位置	PY ₂ 30 型摇臂式变量喷头			PY ₂ 20 型摇臂式变量喷头		
	圆形	三角形	正方形	圆形	三角形	正方形
A	4.51	4.15	4.02	3.99	3.65	3.55
B	4.88	4.30	4.17	4.38	3.82	3.74
C	6.05	4.45	4.23	5.33	4.01	3.88

由表 2 可以看出,异形喷嘴摇臂变量喷头的末端水滴直径比圆形喷嘴摇臂变量喷头的末端水滴直径小,即异形喷嘴摇臂变量喷头喷灌强度减小,尤其在射程最近位置,显著改善了水滴打击强度。

3 结论

(1) 对样机进行了射程试验,证明在一定压力范围内利用弹簧调节挡水板位置改变喷嘴出口面积,进而改变射程是可以实现的,表明用异形喷嘴装置可以实现变域喷洒。

(2) 对样机进行了室内喷洒试验,异形喷嘴变量喷头运行可靠、使用不同的压力/流量调节装置能够实现正方形和三角形喷洒域,基于水量分布试验数据,利用 Matlab 软件绘制了单喷头水量分布等值线图,直观表现了喷灌水量分布均匀程度;利用色斑法测量末端水滴直径,结果表明异形喷嘴变量喷头末端水滴直径小于圆形喷嘴变量喷头的末端水滴直径,从而减小了水滴对作物的打击强度。

参 考 文 献

1 韩鑫,郝培业. 方形喷洒域摇臂式喷头喷洒机理分析[J]. 农业机械学报,2005,36(3): 40~43.
Han Xin, Hao Peiye. Analysis of spraying mechanism of a whirl sprinkler with square spray field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 40~43. (in Chinese)

2 韩文霆,吴普特,冯浩,等. 非圆形喷洒域变量施水精确灌溉喷头综述[J]. 农业机械学报,2004,35(5): 220~224.
Han Wenting, Wu Pute, Feng Hao, et al. Variable-rate sprinklers for precision irrigation on Irregular boundary area [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5): 220~224. (in Chinese)

3 Michael D Dukes, Calvin Perry. Uniformity testing of variable-rate center pivot irrigation control systems [J]. Precision Agriculture, 2006,7(3): 205~218.

4 宰松梅,翟国亮,温季,等. 旋转式微喷头的研制和性能测试[J]. 节水灌溉,2008(7): 20~23.
Zai Songmei, Zhai Guoliang, Wen Ji, et al. Development and performance test of rotating micro-spray nozzle[J]. Water Saving Irrigation, 2008(7): 20~23. (in Chinese)

- 5 魏洋洋,袁寿其,李红,等. 簧片式异形喷嘴喷头的射程试验研究[J]. 节水灌溉,2010(2): 20~23.
Wei Yangyang, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Experimental study on throw radius of sprinkler with reed type shaped nozzle [J]. Water Saving Irrigation, 2010(2): 20~23. (in Chinese)
- 6 韩文霆,吴普特,冯浩,等. 变量喷头实现均匀喷灌的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(10):13~16.
Han Wenting, Wu Pute, Feng Hao, et al. Theoretical study on variable-rate sprinklers for high uniformity precision irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 13~16. (in Chinese)
- 7 King B A, Kincaid D C. A variable flow rate sprinkler for site-specific irrigation management [J]. Transactions of the ASAE, 2003, 20(6): 765~770.
- 8 李小平. 喷灌系统水量分布均匀度研究[D]. 武汉:武汉大学,2005.
- 9 范兴科,吴普特,冯浩,等. 全圆旋转摇臂式喷头的非圆形域喷洒[J]. 灌溉排水学报,2006(2):58~61.
Fan Xingke, Wu Pute, Feng Hao, et al. Non-circular spray region of the round rotator rocker arm sprinkler [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006(2):58~61. (in Chinese)
- 10 袁寿其,朱兴业,李红,等. 基于 MATLAB 全射流喷头组合喷灌计算模拟[J]. 排灌机械, 2008, 26(1): 47~52.
Yuan Shouqi, Zhu Xingye, Li Hong, et al. Simulation of combined irrigation for complete fluidic sprinkler based on MATLAB [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(1):47~52. (in Chinese)
- 11 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 CSAE, 2006, 22(1): 23~26. (in Chinese)
- 12 徐向舟,张红武,朱明东. 雨滴粒径的测量方法及其改进研究[J]. 中国水土保持,2004(2):22~25.
Xu Xiangzhou, Zhang Hongwu, Zhu Mingdong. Study on measuring method of particle size of raindrop and its improvement [J]. Soil and Water Conservation in China, 2004(2): 22~25. (in Chinese)
- 13 李红,任志远,汤跃,等. 喷头喷洒雨滴粒径测试的改进研究[J]. 农业机械学报,2005,36(10):50~53.
Li Hong, Ren Zhiyuan, Tang Yue, et al. Measurement and amelioration of the test to raindrop size of sprinklers [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(10): 50~53. (in Chinese)
- 14 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)

(上接第 55 页)

参 考 文 献

- 1 Chu S, Dong R, Katz J. Relationship between unsteady flow, pressure fluctuations, and noise in a centrifugal pump. Part A: use of PDV data to compute the pressure field [J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 1995, 117(1): 24~35.
- 2 Barrio R, Blanco E, Parrondo J, et al. The effect of impeller cutback on the fluid-dynamic pulsations and load at the blade-passing frequency in a centrifugal pump [J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2008, 130(11): 111 102~111 112.
- 3 Dong R, Chu S, Katz J. Effect of modification to tongue and impeller geometry on unsteady flow, pressure fluctuations and noise in a centrifugal pump [J]. ASME Journal of Turbomachinery, 1997, 119(3): 506~515.
- 4 Yang Min, Wang Fujun, Qu Lixia. Performance improvement of double-suction centrifugal pump by using CFD [C] // Proceeding of IAHR 24th Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Foz do Iguassu, Brazil, 2008.
- 5 Byskov R K, Jacobsen C B, Pedersen N. Flow in a centrifugal pump impeller at design and off-design conditions-Part II: large eddy simulations [J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2003, 125(1): 73~83.
- 6 Nagahara T, Inoue Y, Sato T, et al. Investigation of the flow field in a multistage pump by using LES [C] // Proceedings of the ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, Houston, USA, 2005: 1 321~1 329.
- 7 丛国辉. 双吸离心泵站水力稳定性研究[D]. 北京:中国农业大学,2007.
Cong Guohui. Study on hydraulic stability of double-suction centrifugal pump station [D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 8 施卫东,冷洪飞,张德胜,等. 轴流泵内部流场压力脉动性能预测与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(5):44~48.
Shi Weidong, Leng Hongfei, Zhang Desheng, et al. Performance prediction and experiment for pressure fluctuation of interior flow in axial-flow pump [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5): 44~48. (in Chinese)