

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.012

# 深施型液态施肥装置施肥过程高速摄像分析\*

王金峰 王金武 何剑南

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

**【摘要】** 在行星架转速 110 r/min、液泵压力 0.3 MPa、分配器阀芯孔直径 3 mm 和喷肥针孔直径 2 mm 的条件下,采用高速摄像对扎穴机构扎穴和喷肥工作过程进行拍摄。借助高速摄像及图像处理技术对扎穴和喷肥的运动规律进行分析后得出:喷肥针入土后开始喷肥到离土前停止喷肥的时间为 0.1 s、液态肥施肥损失率为 0.48%、喷肥针真实运动轨迹宽度变化 256 mm 和高度变化 502 mm。结果表明:扎穴机构扎穴过程和喷肥过程具有较好的同步性,且施肥损失率远小于 3.5% 的作业要求。

**关键词:** 液态施肥机 高速摄像 扎穴 喷肥 仿真

**中图分类号:** S224.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)04-0055-05

## High-speed Capture Analysis of Fertilization Process for Deep-fertilization Liquid Fertilizer Device

Wang Jinfeng Wang Jinwu He Jiannan

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

### Abstract

Based on the rotating rate of planetary frame of 110 r/min, the pressure of liquid pump of 0.3 MPa, the diameter of valve core hole of distributor of 3 mm, the diameter of spraying-fertilizer needle nozzle of 2 mm, the working processes of pricking hole and spraying fertilizer of pricking hole mechanism were shot by high-speed camera. The movement laws of pricking hole and spraying fertilizer were analyzed by high-speed camera techniques and image processing technology, which showed that the fertilization time was 0.1 s from spraying-fertilizer needle went into the soil and began spraying fertilizer to it went out of the soil and stopped spraying fertilizer, the fertilization loss rate was 0.48%, the change of real trajectory width was 256 mm, and the change of height was 502 mm. The results showed that the processes of pricking hole and spraying fertilizer of pricking hole mechanism had good synchronicities, and fertilization loss rate was far less than the operation requirement 3.5%.

**Key words** Liquid fertilizer applicator, High-speed camera, Pricking hole, Spraying fertilizer, Simulation

### 引言

深施型液态施肥机喷肥应满足喷肥针入土后喷施液态肥和离土前停止喷施液态肥。应用计算机仿真虽然能设计出满足上述作业要求的机构,但扎穴运动和喷肥过程属于高速运动,与扎穴动作相配合

的喷肥动作在高速运动过程中却难以记录或观察。目前,液态肥施肥过程的施肥损失率没有统一的计算方法,仅有应用测取肥效区域中土壤质量的方法来计算,测量工作比较繁琐,测量结果不容易检验<sup>[1-2]</sup>。

为了观察扎穴机构运动轨迹,检验扎穴过程与

收稿日期: 2011-05-20 修回日期: 2011-06-28

\* 国家自然科学基金资助项目(50875043)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20102325110002)

作者简介: 王金峰, 讲师, 博士, 主要从事田间作业机械研究, E-mail: jinfeng\_w@126.com

喷肥过程的同步性、分析和验证液态肥的施肥损失率,本文采用高速摄像对扎穴和喷肥的工作过程进行拍摄,借助高速摄像及图像处理技术对扎穴和喷肥的运动规律进行研究。通过图像加工和处理,得到喷肥针尖运动轨迹。观察喷肥过程,进一步揭示分配器通、断时间与喷肥针入土、离土时间之间的规律,便于优化分配器和喷肥针结构参数,从而降低施肥过程施肥损失率<sup>[3-5]</sup>。

## 1 系统选型

目前,高速运动物体图像数据采集的方法有高速摄影、高速摄像和普通摄像加特殊照明灯3种方法。3种方法均能够记录物体的高速运动过程,但普通摄像加特殊照明灯需要设计特殊的同步控制装置,主要用于某些需要获取瞬间图像の場合;高速摄影法是利用胶片分析技术对图片进行加工处理,工作量大、分析周期长、自动化程度低;高速摄像法是利用计算机对拍摄的图像进行处理,随着计算机处理器能力的增加、存储容量的增大、高速摄像法得到了广泛发展和应用<sup>[6-9]</sup>。因此,本文采用高速摄像对深施型液态施肥装置施肥过程进行分析。

## 2 材料与方法

### 2.1 施肥装置试验台结构和工作原理

深施型液态施肥装置试验台主要用于扎穴试验和喷肥试验,由试验台车、电动机、分配器、喷肥针、扎穴机构、液箱、过滤器、液泵和电磁流量计等部件组成,如图1所示。

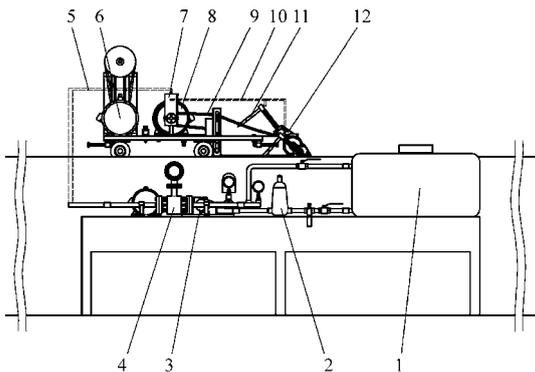


图1 深施型液态施肥装置试验台

Fig. 1 Test-bed of deep-fertilization liquid fertilizer device

1. 液箱 2. 过滤器 3. 液泵 4. 电磁流量计 5. 供液管 6. 电动机1 7. 分配器 8. 电动机2 9. 传动装置 10. 出液管 11. 喷肥针 12. 扎穴机构

试验台安装2台电动机,电动机1和电动机2的转速由变频器控制。电动机1控制试验台车在土槽的导轨上往复行驶。电动机2经传动装置控制扎穴机构和分配器。喷肥针固装在扎穴机构的摇臂

上,尾端与出液管连通,并随扎穴机构作特殊的运动。分配器通过转动凸轮与压力弹簧的配合使阀芯在阀套内连续进行往复直线运动,分配器阀芯孔连续反复将供液管与出液管接通或阻断,完成液态肥的喷施作业。分配器通过凸轮轮廓曲线保证喷肥针入土时喷肥,离土时停止喷肥。液箱固定在试验台架上,液箱与电磁流量计之间依次连接过滤器和液泵。从液泵口出来的高压液态肥经过2条支路,一条经过截止阀回到液箱,另一条通过电磁流量计、供液管、分配器和出液管后从喷肥针的喷孔喷出。

### 2.2 试验装置

施肥装置高速摄像系统主要由高速摄像机、照明灯、计算机和深施型液态施肥装置试验台组成。

#### 2.2.1 高速摄像机

高速摄像机采用KODAK公司生产的彩色CCD摄像机,系统容量为4GB,在分辨率为 $1024 \times 1024$ 下最大帧频可达1200帧/s,支持1000M以太网传输协议。本文施肥过程拍摄分辨率为 $1024 \times 1024$ ,帧频800帧/s,应用1000M以太网线与PC机进行通讯。

#### 2.2.2 照明灯

高速摄像机曝光时间非常短,必需采用特殊光源照明。光源对高速摄像机成像起重要作用,普通日灯光和自然光下采集的图像全黑,无法进行图像的识别和处理,而用新闻灯能采集到清晰图像。由于新闻灯的寿命短、安全性能差、不适合长期的拍摄,所以在拍完一个工作循环时,需要关闭新闻灯电源,避免长期使用。为了减少阴影的形成,本文在拍摄部位两侧布置了两盏新闻灯。

#### 2.2.3 计算机

计算机主要完成施肥过程图像的实时采集、保存,并对采集的图像进行处理,要求计算机有较高的配置。本文采用PC机作为高速摄像的计算机单元,CPU采用Intel ARD 2.13GHz,二级缓存4MB,内存2GB,硬盘容量为320GB,显示卡ATI HD 5650MB,使其具有较快的数据处理速度,适应图像采集和处理工作的要求。

#### 2.2.4 深施型液态施肥装置试验台

为了清晰地采集深施液态施肥装置喷肥过程的运动图像,高速摄像机与深施液态施肥装置均处于静止状态,扎穴机构处于工作状态。深施液态施肥装置试验台高速摄像拍摄位置如图2所示。

### 2.3 试验方法

调节行星架转速110r/min、液泵压力0.3MPa、选用分配器阀芯孔直径3mm、喷肥针孔直径2mm,

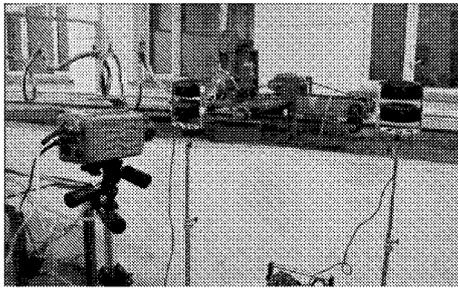


图2 深施型液态施肥装置试验台高速摄像拍摄位置  
Fig. 2 Capture position of high-speed motion camera for test-bed of deep-fertilization liquid fertilizer device

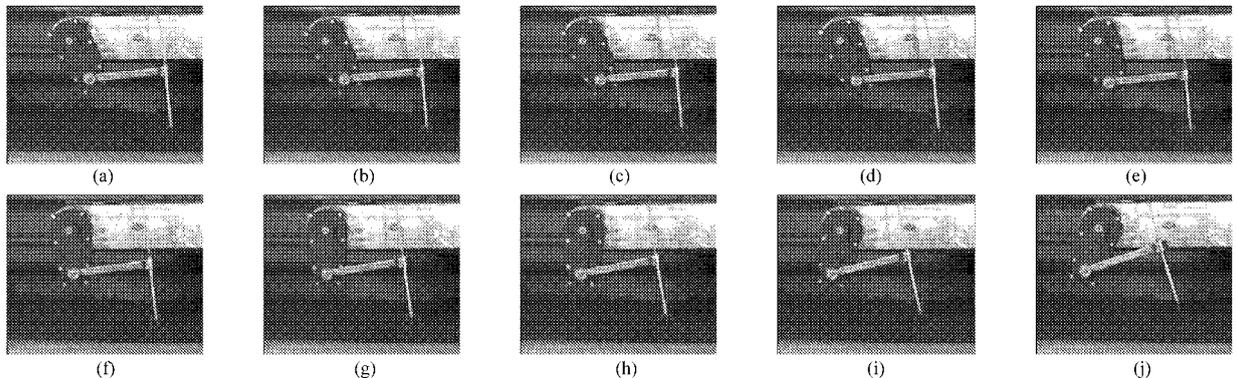


图3 液态肥喷施过程系列图片

Fig. 3 Series images of spraying process of liquid fertilizer

(a) 0.16 s (b) 0.17 s (c) 0.18 s (d) 0.19 s (e) 0.20 s (f) 0.21 s (g) 0.22 s (h) 0.23 s (i) 0.24 s (j) 0.25 s

图3记录的是喷肥针进入土壤区0.16~0.25 s内,液态肥从喷肥针孔喷出到停喷的过程。图片分析得出:喷肥针孔进入土壤时,分配器凸轮处于推程状态,阀芯克服弹簧力的作用逐渐将供液管与出液管接通,随着阀芯孔开度的逐渐增大,液态肥的流量也逐渐增大(图3a~3d);当0.20~0.22 s时,阀芯孔达到最大开度,液态肥流量达到最大值(图3e~3g);当凸轮处于回程状态时,在弹簧作用下阀芯逐渐将供液管与出液管阻断,随着阀芯开度的逐渐减小,液态肥的流量逐渐减小(图3h~3i);喷肥针孔离开土壤时,分配器阀芯孔处于封闭状态,喷肥针停止喷施液态肥,喷出的液态肥在重力作用下从喷肥针孔流出(图3j)。由图3可知,喷肥针喷肥过程与扎穴机构扎穴过程具有较好的同步性。行星架转速110 r/min,即扎穴机构转动一周时间0.55 s,液态肥的喷肥时间0.1 s,喷肥时间与停喷时间比为2:9。喷肥针喷肥孔未进入土壤时不能进行喷肥作业,所以喷肥针喷肥时间应小于喷肥针接触土壤的时间,喷肥时间与停喷时间比为2:9符合喷肥针入土时间和离土时间比为5:13的设计要求<sup>[4]</sup>。通过对液态肥喷肥过程分析表明,分配器的设计满足作业要求。

### 3.2 液态肥施肥损失

液态肥施肥损失率是衡量作业质量的重要指

标,为了观察液态肥的施肥损失情况和检验喷肥针的截止效果,选取高速摄像拍摄的6帧图片进行分析,图片时间间隔为0.03 s,如图4所示。

## 3 高速摄像分析

### 3.1 液态肥喷施过程

为清晰观察喷肥针喷肥过程与扎穴机构扎穴过程的同步性,检验分配器分配液态肥的规律,选取高速摄像拍摄的10帧图片进行分析,图片时间间隔为0.01 s,如图3所示。

图中,圆圈内的亮点为液态肥。在0.28 s时,分配器阀芯孔处于封闭状态,喷肥针停止喷施液态肥,滴状的液态肥表明喷肥针具有良好的截止效果(图4a);由于液态肥具有惯性,喷肥针阀座下腔室内的液态肥保持原有运动状态,沿着喷肥针尖的运动方向运动,使无序的滴状液态肥划出运动轨迹的形状(图4b~4d);在0.40 s时,液态肥的运动速度为零,在重力的作用下开始下落,最后落入土壤中(图4e~4f)。虽然喷肥针具有良好的截止效果,但喷肥针阀座下腔室内的液态肥会随喷肥针的运动而未喷施到预定的位置,造成施肥损失。在1:1比例的图片中,损失的滴状液态肥直径均小于2 mm,图4中的液态肥液滴数量为23滴,损失的液态肥体积0.096 mL。行星架转速110 r/min、液泵压力0.3 MPa、分配器阀芯孔直径3 mm、喷肥针孔直径2 mm时,施肥量为20 mL/次,损失的液态肥仅为施肥量的0.48%。而通过试验测试,施肥损失率的范围是0.28%~0.60%。高速摄像分析结果和试验结果均满足施肥损失率不超过3.5%的作业要求<sup>[1,10]</sup>,设计的分配器和喷肥针能够达到喷肥试验的设计要求。

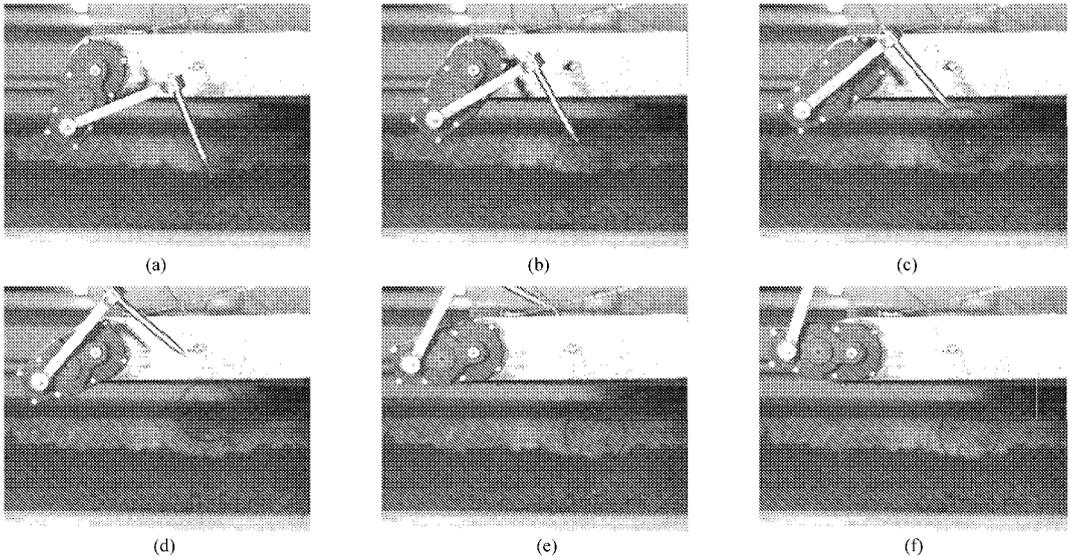


图4 液态肥施肥损失系列图片

Fig. 4 Series images of fertilization loss process of liquid fertilizer

(a) 0.28 s (b) 0.31 s (c) 0.34 s (d) 0.37 s (e) 0.40 s (f) 0.43 s

### 3.3 喷肥针尖运动轨迹

喷肥针尖运动轨迹直接影响扎穴质量<sup>[11-14]</sup>。为了观察喷肥针尖运动轨迹,选取高速摄像拍摄的90帧图片进行分析,图片时间间隔为0.006 s,得到喷肥针尖运动轨迹,如图5所示。

将获得的90帧图片导入 Adobe Photoshop 7.0 软件进行图片叠加处理,顺次连接喷肥针尖点得到羽化后的喷肥针尖运动轨迹(图5a);将89帧喷肥

针尖图层隐去,得到喷肥针尖真实运动轨迹,在1:1比例的图片中,喷肥针尖轨迹宽度变化256 mm,高度变化502 mm(图5b);ADAMS软件仿真得出的喷肥针尖运动轨迹x分量位置变化253.7 mm,y分量位置变化504.9 mm(图5c)。喷肥针尖真实运动轨迹与仿真运动轨迹高度和宽度近似,均呈“蘑菇”型,“蘑菇”型的运动轨迹既能满足作业要求,又可以获得较好的力学特性<sup>[4]</sup>。

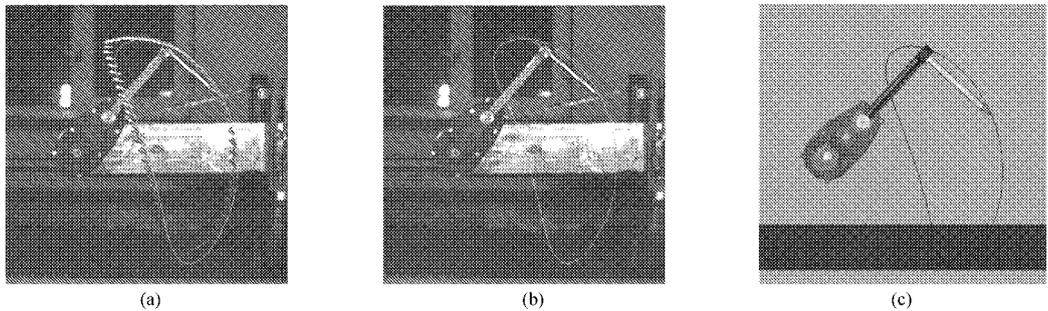


图5 喷肥针尖运动轨迹

Fig. 5 Trajectory of spraying-fertilizer needle-tip

(a) 叠加图片形成的运动轨迹 (b) 喷肥针尖真实运动轨迹 (c) 喷肥针尖仿真运动轨迹

## 4 结论

(1)喷肥针入土后开始喷肥到离土前停止喷肥的时间为0.1 s,与停喷时间比为2:9,小于喷肥针入土时间和离土时间比5:13,表明分配器的设计满足作业要求。

(2)喷肥针阀芯截止时,阀座下腔内具有惯性

的液态肥滴保持原有的运动轨迹而未施入预定位置造成施肥损失,损失的液态肥仅为施肥量的0.48%。

(3)通过对90帧图片进行分析,得到喷肥针真实运动轨迹,轨迹宽度变化256 mm,高度变化502 mm,与仿真运动轨迹高度和宽度近似,呈“蘑菇”型,有利于减小喷肥针离土时的阻力。

## 参 考 文 献

- Wang Jinwu, Ji Wenyi, Feng Jinlong, et al. Design and experimental investigation of the liquid fertilizer applicator [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 157 ~ 159. (in Chinese)
- 2 王金峰, 王金武, 葛宜元. 深施型液态施肥装置的设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 58 ~ 63.  
Wang Jinfeng, Wang Jinwu, Ge Yiyuan. Design and experiment on liquid fertilizer device of deep-fertilization [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 58 ~ 63. (in Chinese)
- 3 王金峰, 王金武, 葛宜元, 等. 深施型液态施肥机扎穴机构优化设计 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 52 ~ 55.  
Wang Jinfeng, Wang Jinwu, Ge Yiyuan, et al. Optimization design on pricking hole mechanism of deep-fertilization liquid fertilizer applicator [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 52 ~ 55. (in Chinese)
- 4 王金武, 王金峰, 鞠金艳. 深施型液态施肥机扎穴机构动力学优化 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 165 ~ 169.  
Wang Jinwu, Wang Jinfeng, Ju Jinyan. Dynamics optimization for pricking hole mechanism of deep-fertilization liquid fertilizer applicator [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 165 ~ 169. (in Chinese)
- 5 俞高红, 谢仁华, 赵匀. 椭圆齿轮传动后插旋转式分插机构运动分析与试验 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 45 ~ 48.  
Yu Gaohong, Xie Renhua, Zhao Yun. Kinematic analysis and experiment of backward rotary transplanting mechanism with elliptical gears transmission [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 45 ~ 48. (in Chinese)
- 6 李丽勤. 高速摄像目标提取跟踪系统研究与应用 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004.  
Li Liqin. Research and application of high-speed photography object extraction and tracking system [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 7 李心平, 马福丽, 高连兴. 玉米种子脱粒过程高速摄影观察分析 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 46 ~ 49.  
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. High speed photograph analysis on threshing process of corn seed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11): 46 ~ 49. (in Chinese)
- 8 衣淑娟, 蒋恩臣. 轴流脱粒与分离装置脱粒过程的高速摄像分析 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 52 ~ 55.  
Yi Shujuan, Jiang Enchen. High speed photography analysis on process of threshing of axial flow threshing and separating installation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 52 ~ 55. (in Chinese)
- 9 衣淑娟, 汪春, 毛欣, 等. 轴流滚筒脱粒后自由籽粒空间运动规律的观察与分析 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 136 ~ 139.  
Yi Shujuan, Wang Chun, Mao Xin, et al. Observation and analysis of motion rule of free kernel in threshing and separating space [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 136 ~ 139. (in Chinese)
- 10 Wang Jinfeng, Ju Jinyan, Wang Jinwu. Experimental study on pricking hole performances of deep application liquid fertilizer device [C] // 2011 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2011, 2: 71 ~ 76.
- 11 俞高红, 赵凤芹, 武传宇, 等. 正齿行星轮分插机构的运动特性分析 [J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 64 ~ 67.  
Yu Gaohong, Zhao Fengqin, Wu Chuanyu, et al. Analysis of kinematic property of separating-planting mechanism with planetary gears [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(6): 64 ~ 67. (in Chinese)
- 12 赵匀, 俞高红, 武传宇, 等. 机构数值分析与综合 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- 13 赵匀. 农业机械分析与综合 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- 14 刘亚华, 王金武, 王金峰, 等. 基于 Pro/E 及 ADAMS 液态施肥机扎穴机构的设计与仿真 [J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(2): 134 ~ 137.  
Liu Yahua, Wang Jinwu, Wang Jinfeng, et al. Design and dynamic simulation of liquid fertilizer applicator pricking hole mechanism based on Pro/E and ADAMS [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(2): 134 ~ 137. (in Chinese)
- 15 严海军, 初晓一. 喉管直径对文丘里施肥器性能影响的数值模拟 [J]. 排灌机械工程学报, 2011, 29(4): 359 ~ 363.  
Yan Haijun, Chu Xiaoyi. Numerical simulation for influence of throat diameter on Venturi injector performance [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(4): 359 ~ 363. (in Chinese)