

复合式吸肥装置结构与性能试验

穆永航¹ 李莉¹ 孟繁佳¹ 王俊衡² N Sigrimis³
(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 中国农业大学农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083;
3. 希腊雅典农业大学农业工程系, 雅典 11855, 希腊)

摘要: 设计了一种新型复合式吸肥装置,并对其吸肥性能进行检测,与传统单文丘里管进行对比以验证其可行性。试验结果表明:在吸肥初始阶段,复合式吸肥装置喉部真空负压随进出口压力差的增大而降低,吸肥流量增大。吸肥流量随真空负压的绝对值增大呈线性增大趋势;当进出口压力差达到 0.28 MPa 左右时,真空负压降到最低值而不再发生变化,与此同时吸肥流量达到最大值;与单文丘里管相比,复合式吸肥装置由于使用过程中压力损失及水头损失,其单管吸肥流量较单文丘里管吸肥流量略有减小,但由于吸肥管数的增加,吸肥量可成倍增加。因此,在复合式吸肥装置进口处调节进口压力变化,在 0.02 ~ 0.28 MPa 的正确进出口压力差工作区间下控制复合式吸肥装置,可达到精确施肥的目的。

关键词: 复合式吸肥装置; 文丘里; 结构设计; 性能检测; 精确施肥

中图分类号: S224.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0280-05

Structure Design and Performance Test of Combined Fertilizer Absorption Device

Mu Yonghang¹ Li Li¹ Meng Fanjia¹ Wang Junheng² N Sigrimis³

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China
3. Department of Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Athens 11855, Greece)

Abstract: A new compound suction fertilizer device based on Venturi principle was developed to improve the efficiency of fertilizer absorption. The new device was made up with one Venturi tube and a suction cavity. The size of Venturi tube was chosen according to the GB/T 2624—2006. The suction cavity was covered on the Venturi tube. The performance of new device was tested to compare with traditional equipment. The result showed that the vacuum negative pressure at throat of compound fertilizer suction device was decreased from zero to -0.71 MPa with the increase of pressure difference between inlet and outlet from 0.02 MPa to 0.32 MPa. Moreover, the absorption flux was increased linearly with the increase of absolute value of vacuum negative pressure. When the pressure difference between inlet and outlet reached 0.28 MPa, the vacuum negative pressure was dropped to the lowest value of -0.71 MPa, and then the absorption flux reached its maximal value. The total amount of fertilizer could be increased by number of suction pipes, so that it can improve the efficiency by several times compared with the conventional single Venturi tube, although the single suction absorption flux of compound device was

slightly reduced due to the pressure loss. In conclusion, the new compound fertilizer suction device could be precisely changed by changing the inlet pressure when inlet and outlet pressure difference was between 0.02 MPa and 0.28 MPa, which could be useful for precise control.

Key words: combined fertilizer absorption device; Venturi; structure design; performance test; precision fertilization

引言

随着人们对栽培管理认识的提高以及水资源紧缺和化肥、农药减施等生态环境的客观要求,按需灌溉的水肥一体化灌溉模式已成为未来发展的必然趋势。高效的节水灌溉技术对农业灌溉具有积极促进的作用^[1],水肥一体化灌溉施肥是将灌溉与施肥紧密联系的农业技术^[2],其中,施肥装置的选择直接影响灌溉与施肥的效果。常用的施肥装置有压差式施肥器、注肥泵、比例施肥器、文丘里施肥器等^[3]。其中,文丘里施肥器结构简单、造价低廉、使用方便能满足一般用户对于复合冲施方式的需求,因而得到广泛应用。根据封闭式水肥一体化灌溉系统^[4]和实际作物需要,吸肥装置利用文丘里施肥器施肥原理,提出新的结构设计以达到更好的施肥效果。

目前,我国对文丘里施肥器的研究,主要集中在3个方面。一是对文丘里管内部结构进行软件模拟仿真,以优化结构参数^[5-7];二是对现有文丘里施肥器通过性能检测试验来确定更加合理的工作控制参数,其研究更针对文丘里施肥器的应用^[8-9];三是自行加工文丘里施肥器,研究结构参数对吸肥性能的影响^[9-10]。国外主要研究方向是通过应用试验和数值模拟的方法对文丘里管进行结构优化和性能提升等^[11-14]。

在封闭式水肥一体化灌溉系统中,要做到精确施肥,按需供给的灌溉模式,需要改变传统复合肥的冲施方式^[15],根据不同作物不同生长阶段的需求,通过多种单元素纯肥实时混合或提高复合肥吸肥量的方式提高施肥效率。本文根据水肥一体化自动灌溉设备需求,提出一种采用多输入单输出方式的复合式吸肥装置,对该装置的吸肥性能进行检测试验,并与传统单文丘里管进行对比,验证其可行性。以此来达到对多输入对象精确施肥、合理控制的目的。

1 材料与方法

1.1 文丘里吸肥原理

当水流通过文丘里管管道最窄处时,动态压力达到最大值,静态压力达到最小值,液体的速度因为通道横截面面积减小而上升。整个水流都要在同一时间内经历管道缩小过程,因而压力也在同一时间

减小,形成一个“真空负压区”,进而产生压力差,这个压力差可用于测量或者给喉管连接的肥液提供一个外在吸力,从而将肥液吸入管内与水混合。文丘里吸肥器及文丘里内部结构如图1所示。

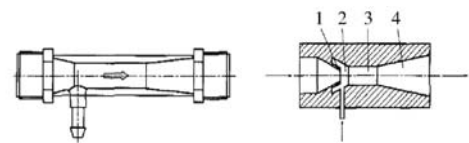


图1 文丘里吸肥器及内部结构图

Fig.1 Diagram of Venturi structure

1. 喷嘴 2. 吸入室 3. 混合室 4. 扩散管

在标准大气压下,若不考虑吸肥管的水头损失,根据实际液体恒定流的连续性方程及能量方程可以推导出吸肥总流量的计算公式^[16]

$$q = A \sqrt{-2g(h + P_2/\gamma)} \tag{1}$$

式中 q ——吸肥装置的吸肥流量, m^3/h
 h ——吸肥装置喉部中心距肥液面的垂直高度, m
 A ——吸肥管横截面积, m^2
 P_2 ——喉部压力, MPa
 γ ——流体体积力, N

由式(1)可知,在吸肥管横截面积和吸肥高度不变的情况下,吸肥管通过的流体体积不变,且为定值,吸肥流量只与喉部真空负压有关,显然,当 $h + P_2/\gamma \geq 0$ 时装置不能吸肥,会出现倒流现象。在出口压力不变的条件下,当进口压力达到一定值后,喉部开始产生负压,并随进口压力的逐渐增大,喉部的负压逐渐降低,当进口压力超过一定值后,喉部负压降到最低值而不再变化。

1.2 复合式吸肥装置结构设计

在现有单文丘里管基础上进行结构改装,所使用的单文丘里管内部结构参数均按照国标 GB/T 2624—2006 进行设计制造,结构参数均在标准结构参数范围内,复合式吸肥装置机械结构如图2、3所示。该装置由进水段、吸肥腔和出肥段3部分组成,进水段与出肥段通过吸肥腔连接;进水段包括依次连通的进水管、收缩管和喷嘴,喷嘴位于吸肥腔内,出肥段包括依次连通的混合室、扩散管和出肥管,混合室远离扩散管的一端与吸肥腔连通,喷嘴与混合室相对设置,吸肥腔上设置有多个吸肥孔,多个吸肥

孔可用于将多种单元素纯肥同时吸入到吸肥腔内,构造全新的吸肥方式。

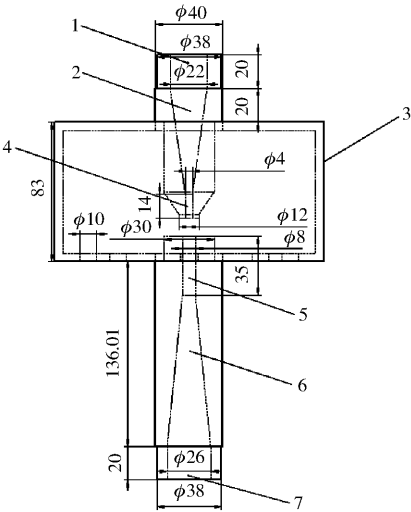


图 2 复合式吸肥装置结构图(单位:mm)
Fig. 2 Structure of combined fertilizer absorption device(Units:mm)

1. 进水管 2. 收缩管 3. 吸肥腔 4. 喷嘴 5. 混合室 6. 扩散管 7. 出肥管

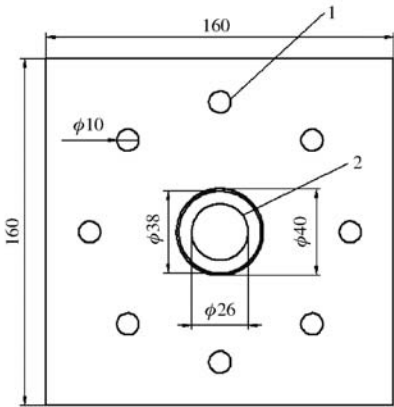


图 3 吸肥腔仰视图(单位:mm)
Fig. 3 Vertical view of suction cavity(Units:mm)

1. 吸肥孔 2. 底面圆形孔

该复合式吸肥装置在工作运行中,进口段通入有压恒定流,水流进入收缩段后,随着断面逐渐减小,水流的压强增大,水流速度也随之增大。由文丘里管原理,喉部产生的真空负压与外界气压形成压差,利用压强差将单元素纯肥经过吸肥孔所连接的各吸肥管吸入主管道中,与水流进行掺混,构成水肥混合液,通过出肥段排出。

1.3 对比检测试验装置与方法设计

试验装置设计如图 4 所示。将相同结构参数的复合式吸肥装置、单文丘里管连接至管路中,进水段前连接进口流量计、调节阀和进口压力表,出水段连接调节阀、出口流量计和出口压力表;吸肥腔中其中一个吸肥孔连接真空表,其余连接流量计,流量计下方各连接两通电磁阀,使其能方便地调节需要的检

测状态,吸肥管插入肥料桶中。单文丘里管与复合式吸肥装置并联,保证试验中各项控制参数相同,同样进口段连接流量计、调节阀和压力表,吸肥管连接流量计、电磁阀,出口段连接调节阀、流量计和压力表。其中,整个试验装置可以检测复合式吸肥装置工作时的真空负压、肥液吸入量、进出口压力、进出口流量;可以检测单文丘里管工作时的肥液吸入量、进出口压力、进出口流量。对相应的控制参数进行检测,并依据此数据进行对比分析。

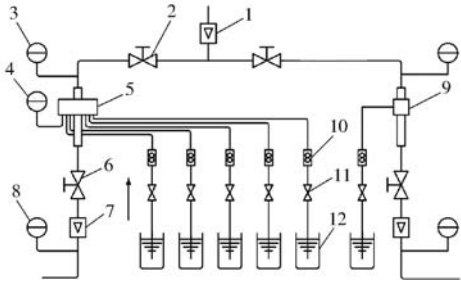


图 4 试验装置图
Fig. 4 Structure of experiment unit

1. 进口流量计 2. 调节阀 3. 进口压力表 4. 真空表 5. 复合式吸肥装置 6. 调节阀 7. 出口流量计 8. 出口压力表 9. 单文丘里管 10. 流量计 11. 开关阀 12. 肥液桶

复合式吸肥装置和单文丘里管 2 条通路分别试验,一条通路试验,另一条通路关闭。针对复合式吸肥装置,首先通过调节进口处调节阀的开度来控制两装置的进口压力变化。在实际使用中一般为非自由出流条件,因此在模拟实际情况时由于文丘里管长度较短,在试验中不考虑整个装置的水头损失。试验时将出口压力设定为 0.10 MPa,进口压力水平设定从 0.10 MPa 开始,以 0.02 MPa 梯度递增,直至达到 0.42 MPa;在每一个压力水平下,记录当前吸肥装置进口流量、喉部真空负压、吸肥流量;在每个进口压力水平下重复测量 4 次,取其平均值作为最终结果。针对复合式吸肥装置,要改变吸肥管开启个数,试验选取 1、2、3、4、5 个吸肥管同时吸肥。得出不同吸肥管数下,真空压力与进口压力的关系、吸肥流量与真空压力的关系。试验利用常温清水模拟肥液介质,通过不断对肥料桶加水,使两装置喉部与肥液面水平高度差保持在 650 mm 左右,上下浮动不超过 50 mm,在各测量仪表稳定后读取数据,并根据吸肥量适当调整试验时间。

2 结果与分析

2.1 吸肥流量与进出口压力差的关系

单文丘里管与复合式吸肥装置不同吸肥管数工作时的单管吸肥流量随进出口压力差的变化过程如图 5 所示。

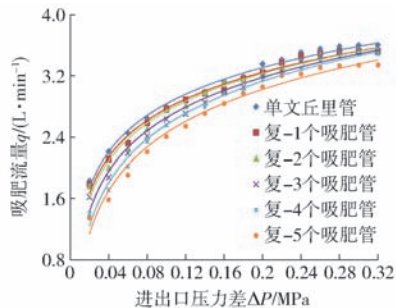


图5 吸肥流量随进出口压力差的变化过程

Fig.5 Changing of fertilizer absorption flow with pressure drop of inlet and outlet

由图5可知,在吸肥初始阶段,吸肥流量增长速度较快,随着进出口压力差的增大呈对数函数增大,但吸肥流量并非无限增大,在压力差达到0.28 MPa左右时,增长速率逐渐趋于平稳,且达到吸肥流量的最大值。对于复合式吸肥装置,在同等压力差水平下,随着吸肥管数的增加,单管吸肥流量减小,压力损失、水力损失增加,因此造成单管吸肥流量减小的现象。单文丘里管变化趋势与复合式吸肥装置相同,在同等压力差水平下,略高于复合式吸肥装置的单管吸肥流量,单文丘里管的吸肥流量达到稳定后,最大吸肥流量为3.602 L/min,复合式吸肥装置单管最大吸肥流量随吸肥管数增加依次为3.521、3.519、3.517、3.491、3.344 L/min。

2.2 喉部负压与进口压力的关系

单文丘里管吸肥与复合式吸肥装置在不同个数吸肥管同时吸肥时,喉部真空负压随进出口压力差的变化过程如图6所示。

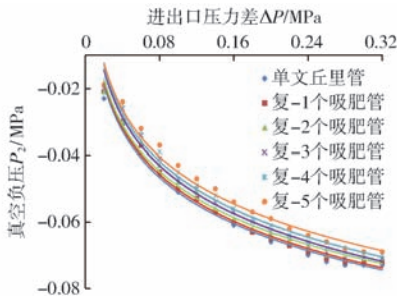


图6 真空负压随进出口压力差的变化过程

Fig.6 Changing of vacuum negative pressure with pressure drop of inlet and outlet

由图6可知,在吸肥初始阶段,喉管真空负压随进出口压力差的不断增大呈对数函数降低,单文丘里管与复合式吸肥装置变化趋势相同。随着进出口压力差的不断增大,喉部真空负压并非无限减小。当压力差达到0.28 MPa左右时,喉部真空负压达到最低值并开始稳定。根据图中曲线可得回归模型及决定系数,如表1所示。

由表1可知,复合式吸肥装置在1、2、3、4、5个

表1 喉部真空压与进出口压力差的回归模型

Tab.1 Regression model of vacuum negative pressure and pressure drop of inlet and outlet

试验条件	回归模型	决定系数 R^2
单文丘里管	$y = -0.02\ln x - 0.0972$	0.9871
复-1个吸肥管	$y = -0.02\ln x - 0.0968$	0.9914
复-2个吸肥管	$y = -0.02\ln x - 0.0953$	0.9882
复-3个吸肥管	$y = -0.02\ln x - 0.0955$	0.9836
复-4个吸肥管	$y = -0.02\ln x - 0.0941$	0.9824
复-5个吸肥管	$y = -0.02\ln x - 0.0918$	0.9766

吸肥管同时吸肥时,真空负压(负值)随吸肥管数增多而升高,吸肥能力降低,这是由于试验中当吸肥管数增多时,存在压力损失和水力损失而造成的。

2.3 吸肥流量与真空负压的关系

在吸肥流量与真空负压关系试验中,为方便观察试验结果,将真空负压均取绝对值,负压越小表示压差越大,吸力越大。吸肥原理即为通过产生的真空负压与外界大气压形成压强差,利用压强差将肥液吸入喉部。试验中,通过改变进口压而获得真空负压的变化,从而影响吸肥流量。图7为单文丘里管吸肥情况下及复合式吸肥装置在不同个数吸肥管同时吸肥条件下,单管吸肥流量随真空负压绝对值变化的变化曲线。

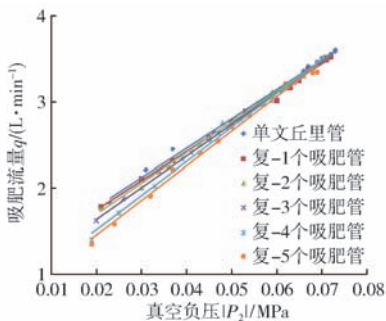


图7 吸肥流量随真空负压绝对值变化的变化曲线

Fig.7 Changing curves of suction amount with absolute value of negative pressure

由图7可知,单文丘里管及复合式吸肥装置在不同吸肥管数下,单管吸肥流量与真空负压绝对值关系具有相同趋势,且均呈线性正相关关系,真空负压越大,压差越大,产生的吸力越大,吸肥流量随之增大。由于在试验中,吸肥管数的增加导致水力损失、压力损失同时增多,因此在真空负压绝对值较低时,出现了误差。

3 结论

(1)该复合式吸肥装置在吸肥初始阶段,当进出口压差达到0.28 MPa左右时,真空负压降到最低值而不再发生变化,与此同时吸肥流量达到最大值时也不再变化。

(2)通过与单文丘里管比较,复合式吸肥装置在开启不同数量吸肥管时,由于水力损失以及压力损失而造成吸肥流量有少量减小,但复合式吸肥装置可同时开启多路管道进行吸肥,更适用于水肥一体化灌溉施肥机的多元素肥料混合机制,吸取复合肥时,可根据用量调整吸肥管数,达到成倍增加吸肥量的效果,提高吸肥效率。

(3)该复合式吸肥装置的合理工作进出口压差在0.02~0.28 MPa之间。试验结果为其精确运行提供了理论依据与实践基础,同时建立了可控参数(进口压力、真空负压等)与基本性能之间的关系。在使用此装置时,可根据需要来选取正确工作区间内的进出口压力差,获取其最佳控制方式。

参 考 文 献

- 1 吴普特,冯浩,牛文全,等. 中国用水结构发展态势与节水对策分析[J]. 农业工程学报,2003, 19(1): 1-6.
WU Pute,FENG Hao,NIU Wenquan,et al. Analysis of developmental tendency of water distribution and water-saving strategies [J]. Transactions of the CASE,2003, 19(1): 1-6. (in Chinese)
- 2 刘永华,沈明霞,蒋小平,等. 水肥一体化灌溉施肥机吸肥器结构优化与性能试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 76-81.
LIU Yonghua,SHEN Mingxia,JIANG Xiaoping,et al. Structure optimization of suction device and performance test of integrated water and fertilizer fertigation machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 76-81. (in Chinese)
- 3 吴玉发. 水肥一体化自动精准灌溉施肥设施技术的研究和实现[J]. 现代农业装备,2013(4): 46-48.
- 4 韩启彪,冯绍元,黄修桥,等. 我国节水灌溉施肥装置研究现状[J]. 节水灌溉,2014(12): 76-79.
HAN Qibiao,FENG Shaoyuan,HUANG Xiuhao,et al. Research on fertilizer injection units in saving-water irrigation in China[J]. Water Saving Irrigation, 2014(12): 76-79. (in Chinese)
- 5 冯瑞珏,洪添胜,李加念,等. 文丘里施肥器控制性能试验分析[J]. 灌溉排水学报,2011, 30(6): 11-14.
FENG Ruijue,HONG Tiansheng,LI Jianian,et al. Experiment and analysis on control performance of Venturi injector[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(6): 11-14. (in Chinese)
- 6 严海军,初晓一,王敏,等. 微灌系统文丘里施肥器吸肥性能试验[J]. 排灌机械工程学报,2010, 28(3): 251-255.
YAN Haijun,CHU Xiaoyi,WANG Min,et al. Injection performance of Venturi injector in micro-irrigation system[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2010, 28(3): 251-255. (in Chinese)
- 7 王淼,黄兴法,李光永. 文丘里施肥器性能数值模拟研究[J]. 农业工程学报,2006, 22(7): 27-31.
WANG Miao,HUANG Xingfa,LI Guangyong. Numerical simulation of characteristics of Venturi injector[J]. Transactions of the CSAE,2006, 22(7): 27-31. (in Chinese)
- 8 韩启彪,黄兴法,刘洪禄,等. 6种文丘里施肥器吸肥性能比较分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 113-117.
HAN Qibiao,HUANG Xingfa,LIU Honglu,et al. Comparative analysis on fertilization performance of six Venturi injectors[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 113-117. (in Chinese)
- 9 严海军,陈燕,初晓一,等. 文丘里施肥器结构参数优化对吸肥性能的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2013, 31(2): 162-166.
YAN Haijun,CHEN Yan,CHU Xiaoyi,et al. Influence of optimization of structural parameters on injection performance of Venturi injector[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2013, 31(2): 162-166. (in Chinese)
- 10 严海军,陈燕,徐云成,等. 文丘里施肥器的空化特性试验研究[J]. 排灌机械工程学报,2013, 31(8): 724-728.
YAN Haijun,CHEN Yan,XU Yuncheng,et al. Experimental investigation on cavitation characteristics of Venturi injector[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering,2013, 31(8): 724-728. (in Chinese)
- 11 VILLALOBOS R, MONTOTOYA E. Operation setting nomograms for unidrench Venturi injector[J]. Agronomia Colombiana, 2010, 28(2): 303-318.
- 12 STEVEN R. A dimensional analysis of two phase flow through a horizontally installed Venturi flow meter[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2008, 19(6): 342-349.
- 13 OZKAN F, OZTURK M, BAYLAR A. Experimental investigations of air and liquid injection by Venturi tubes[J]. Water and Environment Journal, 2006, 20(3): 114-122.
- 14 READER-HARRIS M J, BRUNTON W C, GIBSON J J, et al. Discharge coefficients of Venturi tubes with standard and non-standard convergent angles[J]. Flow Measurement and Instrumentation,2001, 12(2): 135-145.
- 15 孔令阳. 文丘里施肥器工况及性能参数研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2013.
- 16 孔令阳,范兴科. 文丘里施肥器吸肥性能试验研究[J]. 节水灌溉, 2013(7): 4-6.
KONG Lingyang,FAN Xingke. Experimental study on fertilizer suction performance of Venturi injector[J]. Water Saving Irrigation, 2013(7): 4-6. (in Chinese)