

渐缩式比例施肥器的设计与试验

鄢碧鹏, 王磊, 郑春来, 叶飞

(扬州大学 环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要:【目的】解决压差施肥罐施肥质量浓度随时间衰减的问题。【方法】采用在压力罐中设置可变形的肥袋, 压力罐、肥袋与主管连接点中间设置减压阀的方法, 研制了一种通过压力罐向管道注肥的渐缩式比例施肥器, 实现了比例施肥。理论分析了其并联特性, 在此基础上试制了样机, 开展了性能试验, 测试了4种管道工况下施肥质量浓度变化。【结果】可变形肥袋起到了水肥分隔、水肥等量置换作用, 其水力系统为并联管道系统, 当结构形式一定时, 施肥比例是常数, 其仅与2个支路管径以及局部损失系数有关, 不受来水管道压力、流量变化影响, 同一工况、不同时刻出水管道肥液质量浓度最大偏差为4.7%, 来水管道工况变化时平均质量浓度最大偏差为3.5%, 属于均匀施肥, 施肥器的最大水头损失为0.47 m, 施肥比例可在0~10%范围内调节。【结论】研制的渐缩式比例施肥器具有施肥质量浓度稳定、水头损失小, 适合各种管道压力的特点, 可应用于设施农业喷灌、滴灌系统加药、施肥。

关键词:施肥器; 比例施肥; 可变形肥袋; 设施农业

中图分类号:S275.6

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2019116

鄢碧鹏, 王磊, 郑春来, 等. 渐缩式比例施肥器的设计与试验[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(11): 36-41.

0 引言

通过灌溉设施进行施肥, 可以将水肥同步供应给作物, 实现水肥资源的高效利用, 对缓解我国农业水资源短缺、降低农业面源污染有重要意义^[1-2]。向压力管道注入液态肥料, 一般采取机械注入和压差式2种工作方式, 机械注入消耗电力, 需要配套的控制系統保证施肥比例^[3]。压差式施肥器一般在管道上设置减压阀, 利用压差工作, 目前有文丘里施肥器、水力驱动活塞泵、自压注入、压差施肥罐4种形式^[4]。文丘里施肥器水头损失大, 存在倒吸现象, 吸肥量小, 只能在支管上小面积应用^[5], 水力驱动活塞泵能实现比例投加, 但价格高、启动压差大、不适合低压管道^[6], 自压注入施肥利用地形高差完成随水施肥, 施肥比例无法控制, 压差施肥罐肥液质量浓度随时间衰减, 施肥不均匀^[7]。从应用情况来看, 以上压差式施肥器都只能在一定范围内使用。

目前对施肥器的研究主要集中在文丘里施肥器水力特性、水动注肥装置以及智能施肥设备的研发等方面, 严海军等^[8]开展了文丘里施肥器的吸肥性能试验, 程千等^[9]、严海军等^[10]采用数值模拟和高速摄像方法研究了文丘里施肥器的空化特性, 分析了影响因素。范兴科等^[11]推导确定文丘里施肥器在不同的出口压力条件下实现稳定吸肥, 进水口端所必需的最小工作压力和喉部临界流速的计算公式。张建阔等^[12]研究了双吸肥口文丘里施肥器性能, 王森等^[13]通过数值模拟方法优化了文丘里施肥器的结构参数。在水动注肥装置方面, 江苏大学团队开展了系统的研发工作, 李百军等^[14]、李凯等^[15]研制了新型水动注肥装置, 分析了其施肥性能, 杨俊燕等^[16]、杨大森等^[17]研制了新型射流施肥泵和活塞式施肥器并进行了性能试验, 田明元等^[18]设计了挤压注入式施肥喷药装置, 采用更换管嘴的方法调节比例, 具有水头损失小, 注入流量恒定等优点, 在滴灌系统中试用, 取得满意的效果。在智能施肥设备的研发方面, 水肥信息自动采集、智能控制系统研发成为研究热点^[19], 不同灌溉施肥方式、施肥量对作物生长影响研究也取得了一定成果^[20-21]。

兹在前人研究基础上, 为解决现有压差式施肥器能耗大、施肥质量浓度不稳定等问题, 研制一种渐缩式比例施肥器^[22]。

收稿日期:2019-07-15

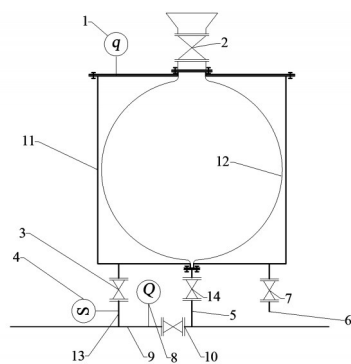
基金项目:江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2015061-07)

作者简介:鄢碧鹏(1964-), 教授, 主要从事流体机械研究。E-mail: bpyan@yzu.edu.cn

1 结构和工作原理

1.1 渐缩式比例施肥器结构

图1为渐缩式比例施肥器的结构和样机图。如图1所示,施肥器由内置肥袋的压力罐、进罐支管、出肥支管、排水支管以及安装在主管道上的减压阀构成。压力罐上部设有加肥口和排气阀,下部设置的进罐支管和出肥支管与主管连接,排水支管与大气相通,进罐支管上安装有调节阀,并设有流动指示器,出肥支管和排水支管上安装开关阀,压力罐内的肥袋上下开口,上部接加肥管,下部接出肥支管,通过肥袋,肥液与罐内水体隔离。



(a)结构



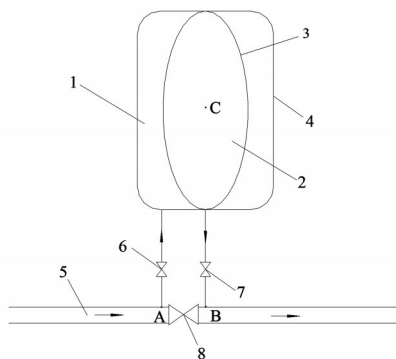
(b)样机

1. 排气阀;2. 加肥口;3. 进水调节阀;4. 流动指示器;5. 出肥支管;6. 排水支管;7. 排水阀;
8. 流量计;9. 主管;10. 减压阀;11. 压力罐;12. 肥袋;13. 进罐支管;14. 出肥阀

图1 渐缩式比例施肥器结构与样机

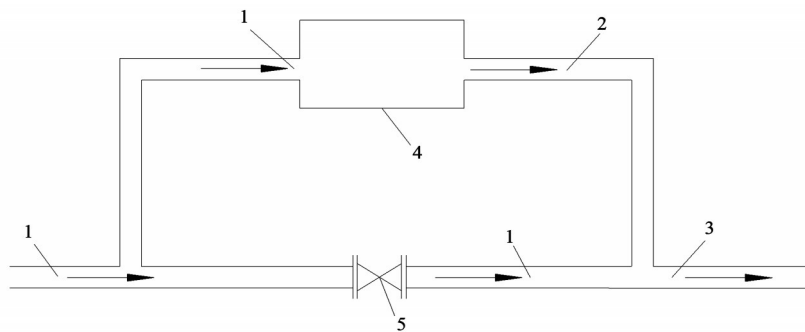
1.2 工作原理

新型施肥器可简化为图2(a)所示水力系统,减压阀设置在压力罐、肥袋出口连接主管2点中间,形成微小压差,当水充满罐体时,压力罐中任意一点C的总水头(能量)大于肥袋连接主管B点的总水头,肥液可以缓缓进入主管。施肥过程分3步完成,即添加肥液、向压力罐充水、水充满后开始施肥,均用阀门控制。施肥器在工作过程中,流进压力罐中的水和流出肥袋中的肥液体积相等,压力罐和肥袋起到了水肥分隔、水肥等量置换的作用,如图2(b)所示。通过流动分析可知,流体沿A-C-B线路流动时经历了同样高度的上升和下降过程,C点相对主管高度(位置水头)的影响可以抵消,因此施肥器的水力性能与压力罐的高度以及压力罐底部和主管之间的高差无关,不存在重力影响因素,可根据需要制作各种容积大小的施肥器。施肥结束后压力罐中的水通过排水支管排空后施肥器才能再次使用,为了节约水资源,可将排出的水用来配置肥液,循环利用。



1. 水;2. 肥液;3. 肥袋;4. 压力罐;5. 主管;6. 进水调节阀;7. 出肥阀;8. 减压阀

(a)施肥器的工作原理



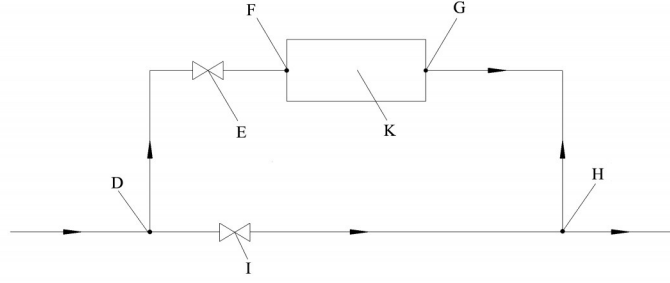
1. 水;2. 肥;3. 水肥;4. 压力罐;5. 减压阀

(b)水肥等量置换示意图

图2 渐缩式比例施肥器的工作原理

1.3 并联工作时水力学特性分析

由于施肥器在工作过程中流进压力罐中的水和流出肥袋中的肥液体积相等,尽管前后物质不同,从水力学观点看其流动是连续的,即如图3所示并联管道系统。



D. 等径三通; E. 进水调节阀; F. 进罐节点; G. 出罐节点; H. 变径三通; I. 减压阀; K. 压力罐

图3 施肥器并联管道系统

由图3可知,施肥器由2条支路并联运行,一条是D-E-F-G-H,DF段进水,GH段出肥;另一条是D-I-H,水肥在H点汇合,其中D为进罐支管连接主管的等径三通、H为出肥支管连接主管的变径三通,E为进水调节阀,F为流体进压力罐断面突然扩大的节点,G为流体出压力罐断面突然减小的节点,I为减压阀,以上节点都存在局部水力损失。管道的水力损失为沿程损失与局部损失之和,则D-E-F-G-H支路水力损失为:

$$\nabla h_1 = \lambda_1 \frac{l_1 v_1^2}{d_1 2g} + (\varepsilon_D + \varepsilon_E + \varepsilon_F) \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{l_2 v_2^2}{d_2 2g} + (\varepsilon_G + \varepsilon_H) \frac{v_2^2}{2g}, \quad (1)$$

式中: ∇h_1 为D-E-F-G-H支路水力损失(m); d_1 为DF段管径(m); l_1 为管长(m); v_1 为流速(m/s); d_2 为GH段管径(m); l_2 为管长(m); v_2 为流速(m/s); ε_D 、 ε_E 、 ε_F 、 ε_G 、 ε_H 为对应节点局部损失系数, λ_1 、 λ_2 为对应管道的沿程损失系数。

D-I-H支路水力损失为:

$$\nabla h_2 = \lambda_3 \frac{l_3 v_3^2}{d_3 2g} + (\varepsilon_D + \varepsilon_I + \varepsilon_H) \frac{v_3^2}{2g}, \quad (2)$$

式中: ∇h_2 为D-I-H支路水力损失(m); 支路管径为 d_3 (m); 管长为 l_3 (m); 流速为 v_3 (m/s); ε_D 、 ε_H 、 ε_I 为对应节点局部损失系数, λ_3 为沿程损失系数。

式(1)中流速存在如下关系:

$$v_1 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 v_2. \quad (3)$$

并联管道2个支路上的水力损失相等,即:

$$\nabla h_1 = \nabla h_2. \quad (4)$$

将式(3)代入式(1)并令右边系数之和为 k_1 , (包含了沿程损失系数、局部损失系数、管径、管长), 式(2)右边系数之和为 k_2 , 则式(4)可转化为:

$$k_1 \frac{v_2^2}{2g} = k_2 \frac{v_3^2}{2g}. \quad (5)$$

2条并联支路上的流量分别为:

$$q = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot v_2, \quad (6)$$

$$Q = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot v_3, \quad (7)$$

式中: q 为D-E-F-G-H支路流量(m^3/s); Q 为D-I-H支路流量(m^3/s)。

由式(5)一式(7)可得:

$$\frac{q}{Q} = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \cdot \frac{d_2^2}{d_3^2}, \quad (8)$$

根据工作原理,连接施肥器的来水和出水管中流量均为 $Q+q$, 来水进入施肥器后流经主管的流量为 Q , 流经进罐支管的流量为 q , 水进入压力罐后停留在罐中, 置换出相同流量的肥液再注入主管, 结果就是将流量为 q 的肥液注入流量为 Q 的水中, 参照比例泵对施肥比例的定义^[6], q/Q 即为渐缩式比例施肥器的施肥比例。

由式(8)可知,施肥比例仅和施肥器管径、管长、沿程损失和局部损失系数有关,当施肥器结构形式一定

时,施肥比例是常数,由于施肥器内部管道短(小于0.5 m),沿程损失占总损失的比例非常小,可以忽略,因此影响施肥比例的主要因素是管径和局部损失系数。施肥比例与来水管道压力无关,只要有压差存在,施肥器就能工作,因此施肥器能够适应各种压力管道系统,特别适用低压滴灌系统精准施肥,且当管道流量变化时,施肥器可根据来水管道流量自动调节施肥量,保持施肥比例不变,施肥质量浓度稳定。

1.4 关键部件设计

1)施肥比例控制与调节设计。施肥器采用了结构控制和档位调节相结合方法控制施肥比例。在结构设计时,通过调整管径比控制最大的施肥比例,样机主管和进罐支管采用DN15,出肥支管DN6,通过等径和变径三通连接成并联管道,局部损失系数由《给水排水设计手册》^[23]得出,在进水调节阀全开的条件下,按照式(8)计算得出样机理论上最大施肥比例为10.65%。由于出肥支管管径(DN6)太小,调节困难,在进罐支路上设置了DN15十档调节阀,即图1中阀门3为调节阀,阀门14为开关阀(仅起开关作用)。通过调节进水阀改变局部损失系数,实现调整出肥量,形成0~10%范围内10个施肥比例,每档对应的施肥比例由试验标定。

2)施肥进程判断部件设计。施肥进程分3个阶段,即添加肥液、向压力罐充水、充满后开始施肥。添加肥液时打开加肥阀,添加结束后关闭,然后打开进水阀向压力罐充水,罐中的气体由排气阀排出,压力罐充满后进水自动停止,此时打开出肥控制阀开始注肥,注肥时压力罐中的流动状态为同步进水和出肥,注肥结束时进水和出肥也同步停止,管道恢复了自然流动状态。分析施肥进程,发现向压力罐充水和施肥过程中进罐支路上存在流动,压力罐充满以及施肥结束后进罐支路上流量为0,因此在进罐支管上设置DN15的流动指示器(或电磁流量计),如果流动指示器指示流量为0,说明压力罐已经充满或注肥结束,针对这一特点,利电子水表进行二次开发,研制了带蜂鸣器的电子流动指示器,保留其流量累积功能,增加了蜂鸣功能,触发蜂鸣条件是电子水表中转桨连续转动超1 s后又停止转动,代表进罐支路上先流动后静止的变化过程,蜂鸣器可以手动复位,首次发出蜂鸣时表示压力罐已充满,可以打开出肥控制阀开始注肥,再次发出蜂鸣时表示施肥结束,该原理为自控方案打下了基础。

3)样机的制造。样机压力罐采用圆柱型,直径0.3 m,高0.4 m,压力罐和肥袋的容积为28 L,主管、进罐支管、排水支管采用DN15,出肥支管采用DN6的管径,同时在水管上设置了电子流量计和DN15的减压阀,选择高密度聚乙烯(High Density Polyethylene)作为肥袋材料,厚度2 mm,压力罐上下设计了2个固定肥袋的法兰,法兰在压力罐外侧,利用卡箍将肥袋固定在加肥管和出肥管上,下法兰和出肥阀采用硬管连接,然后通过软管和主管连通,由于肥袋和软管具有一定的伸缩性,打开法兰后很容易拆卸或安装肥袋。

2 施肥器性能试验

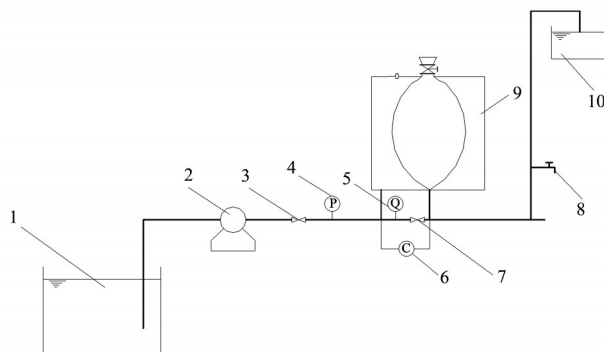
2.1 试验材料与方法

对制作的样机展开性能试验,试验内容包括肥器施肥浓度是否稳定、施肥质量浓度与来水管道上的压力和流量的关系、装置产生的压差等。试验装置如图4所示,水源由1台小型离心泵抽水提供,系统中设置了蝶阀、流量计、压力表、压差计、取样口,出水箱。水泵型号为IS50-32-250,额定扬程20 m,流量6.3 m³/h,转速1 400 r/min,功率1.5 kW。

选用农业中普遍使用的磷酸二氢钾液态肥作为试验材料,用钾离子量表示施肥质量浓度,施肥罐内初始肥液质量浓度保持在3.57 mg/L不变,每次试验添加相同体积的肥液,K⁺质量浓度使用6400A火焰光度计(上海生析超声仪器有限公司)测定,该仪器对钾离子的检测限为0.004 mmol/L,响应时间小于8 s,钾离子测定灵敏度为1 μg/mL偏转满度。

由于相同体积的肥液在不同工况下完成施肥时间不同,每个工况试验2次,第1次测试施肥完成时间,从压力罐充满水打开出肥阀开始计时,当进罐支路上流动计显示为0时(此时施肥完成)计时结束,第2次试验在不同时刻取样检测钾离子量,分别在施肥完成时间的1/5、2/5、3/5和4/5时取样,每个工况采集4个水样,来水管道流量、压力、装置压差由系统仪表读数,样机主管上的流量由电子流量计读取,出肥流量按加肥体积除以施肥时间,施肥比例按出肥流量除以主管流量计算,选择实测质量浓度的相对偏差代表施肥质量浓度的稳定性,先计算绝对偏差(实测值与平均值之差),再计算相对偏差(绝对偏差与平均值之比),由此得到试验数据的最大相对偏差。

试验时先将调节阀固定在五档,调节水泵出口后面的蝶阀改变管道工况,共试验4个工况,模拟不同来水管道压力和流量,测试出水管道中肥液质量浓度,然后在工况1条件下标定每档施肥比例。



1. 试验水箱; 2. 水泵; 3. 蝶阀; 4. 压力表; 5. 流量计; 6. 压差计; 7. 减压阀; 8. 取样口; 9. 施肥器; 10. 出水箱

图4 施肥器性能试验系统

2.2 结果与分析

从表1可以看出,同一工况、不同时刻取样口肥液质量浓度基本稳定,4个工况的最大相对偏差分别为3.1%、4.7%、1.1%、2.3%,施肥比例在4.47%~4.75%之间变化,变幅较小,平均质量浓度最大偏差为3.5%,均小于5%,属于均匀施肥。4个工况装置的最小压差为2.0 kPa,最大压差为4.7 kPa,均小于5 kPa,即水头损失小于0.5 m。理论上施肥比例是一个常数,施肥质量浓度恒定,但试验结果表明,施肥质量浓度还存在一定偏差,可能是管道流量波动时压力罐的反应滞后以及仪器检测误差所致。

表1 不同来水管道压力、流量下的施肥质量浓度

工况	流量/ (L·h ⁻¹)	压力/m	装置 压差/kPa	肥液流量/ (L·h ⁻¹)	施肥 比例/%	实测质量浓度/(mg·L ⁻¹)				平均质量浓 度/(mg·L ⁻¹)	最大相对 偏差/%
						1	2	3	4		
1	550	8.00	4.70	24.56	4.47	0.168	0.167	0.158	0.158	0.163	3.1
2	475	10.50	3.50	21.99	4.62	0.172	0.160	0.163	0.175	0.168	4.7
3	380	12.30	2.40	18.05	4.75	0.173	0.175	0.175	0.172	0.173	1.1
4	315	14.60	2.00	14.24	4.52	0.168	0.167	0.175	0.175	0.171	2.3

试验标定的十档调节阀对应的施肥比例分别为9.8%、7.8%、7.3%、6.1%、4.5%、3.2%、2.1%、1.5%、0.9%、0,基本能满足生产上需要,但没能实现整数比例调节,精确控制需要安装电磁调节阀进行无级调节。

如果肥袋破损,施肥器就等同于压差施肥罐,虽然能完成随水施肥,但肥液质量浓度会随时间衰减,不能做到精准施肥,检测肥袋是否破损,可以在添加肥液后打开排水阀,观察是否有肥液排出,由此判断肥袋的完整性。

3 讨论

渐缩式比例施肥器和压差施肥罐同为并联管道系统,2个支路的流量比为常数,前者将质量浓度不变的肥液注入主管,可实现比例施肥,后者注入的水肥混合液质量浓度随时间衰减,无法保证施肥质量浓度稳定。通过在压力罐中设置可变形的肥袋,将水肥分隔,使施肥器兼具压差施肥罐结构简单和水动比例泵比例注肥的优点。试验得出的比例施肥结论与田明元等^[18]的挤压注入式施肥喷药装置一致,但在肥液添加方式、比例调节、进程控制等方面做了较大的改进。

施肥过程中肥袋上任意一点在垂直和水平方向上内外压力相等,它的渐缩变形是随着肥袋内部肥液体积减小、外部水的体积增大做的伴水变形,不是外力挤压作用的结果,这与文献[18]分析结果不一致。在作者前期研发的隔膜左右运动型和肥袋渐扩型施肥器中,肥袋在施肥结束后贴合在压力罐内壁上,在管道口出现局部集中受力现象,肥袋容易破损,采用向中间渐缩的方式肥袋贴合后停留在压力罐中间,不与罐体接触,降低了对肥袋材料强度要求,但对材料的耐腐蚀性能和强度还要进一步研究。

文中将施肥比例定义为出肥支管中的肥液流量与主管中水的流量比,实际上是体积比,而生产上常用质量浓度的概念,比例调节对操作人员来说还不够清晰,出水管道中的肥液质量浓度和肥液的初始质量浓度以及施肥比例有关,需进一步研究其简易换算关系。

渐缩式比例施肥器仅在实验室做了初步试验,还需要在设施农业现场进行中试,开展系列化、标准化研究,并开发了低压自动控制系统,实现了管道流量、压力、混合后施肥质量浓度自动采集,加肥、施肥过程中阀门自动控制以及施肥比例的数值化调节。

4 结 论

1)渐缩式比例施肥器施肥质量浓度最大相对偏差小于5%,施肥质量浓度稳定,施肥比例不受来水管道流量、压力变化影响,装置水头损失小于0.5 m,是一种操作简单、制造成本低的高效节能施肥装置。

2)装置在同一工况、不同时刻出水管道的肥液质量浓度最大偏差为4.7%,工况变化时出水管道的肥液平均质量浓度最大偏差为3.5%,施肥比例可在0~10%范围调节,能够满足生产实际需要。

参考文献:

- [1] 张承林,郭彦彪.灌溉施肥技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 易文裕,程方平,熊昌国,等.农业水肥一体化的发展现状与对策分析[J].中国农机化学报,2017,38(10):111-115.
- [3] 赵春江,郭文忠.中国水肥一体化装备的分类及发展方向[J].农业工程技术,2017,37(7):10-15.
- [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(1):76-79.
- [5] 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.
- [6] 韩启彪,吴文勇,刘洪禄,等.三种水力驱动比例式施肥泵吸肥性能试验[J].农业工程学报,2010,26(2):43-47.
- [7] 孟一斌,李久生,李蓓.微灌系统压差式施肥罐施肥性能试验研究[J].农业工程学报,2007,23(3):41-45.
- [8] 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.
- [9] 程千,黄修桥,李浩,等.文丘里施肥器空化特性数值模拟[J].排灌机械工程学报,2018,36(1):88-92.
- [10] 严海军,王子君,陈燕.文丘里施肥器空化过程高速摄像分析[J].排灌机械工程学报,2014,32(10):901-905,920.
- [11] 范兴科,孔令阳.滴灌系统中文丘里施肥器的选配方法[J].灌溉排水学报,2014,33(1):26-29.
- [12] 张建阔,李加念,吴昊,等.基于双吸肥口的低压文丘里施肥器设计与试验[J].农业工程学报,2017,33(14):115-121.
- [13] 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.
- [14] 李百军,王晓宁.水动施肥装置的设计与试验[J].江苏大学学报(自然科学版),2002,23(2):9-12.
- [15] 李凯,毛罕平,李百军.混药混肥装置控制性能分析[J].农业机械学报,2003,34(1):50-53.
- [16] 杨俊燕.一种新型施肥器的设计[J].机械设计,2016,33(12):90-92.
- [17] 杨大森,李红,骆志文.活塞式比例施肥器性能对比试验[J].节水灌溉,2015(11):47-50.
- [18] 田明元,祖正学,牟占生,等.微灌管道挤压注入式施肥喷药装置的研究应用[J].灌溉排水,1992,11(2):50-53.
- [19] 刘永华.温室精准灌溉施肥系统关键技术研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [20] 付蕾,魏珉,李岩,等.不同灌溉施肥方式对日光温室甜椒生长、产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(8):8-14.
- [21] 张勇康,刘淑慧,卢垚杰,等.滴灌施肥对盐碱土壤盐分运移及草木樨生长的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(3):43-49.
- [22] 鄢一新,鄢碧鹏.差压隔膜式加药装置:ZL201410330199.4[P].2016-03-02.
- [23] 林选才,刘慈慰.给水排水设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.

Design and Test of the Shrinking Proportional Fertilizer Applicator

YAN Bipeng, WANG Lei, ZHEN Chunlai, YE Fei

(College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: 【Objective】The purpose of this paper is to find a solution of the problem of fertilizer concentration decline with time in pressure difference tank. 【Method】A gradually shrinking proportional fertilizer applicator with injecting fertilizer into pipeline was developed, which can be used for proportional fertilization. The adopted was application method to put a deformable fertilizer bags into the pressure tank, in the middle of the connect line of the fertilizer bag, with the main pipeline. Based on the theoretical analysis of its parallel characteristics, a prototype was developed to test the changes of fertilizer concentration under four different pipeline conditions. 【Result】The deformable fertilizer bag can separate water and fertilizer, and had an equivalent replacement for the fertilizer and water. It acted as a parallel pipeline system. When the structure of the hydraulic system was decided, the fertilizer proportion was a constant that was only related to the diameter of two branches and the local resistance coefficient. The maximum deviation of fertilizer concentration in the main outlet pipe was 4.7% under the same working condition and in different time. The maximum deviation of the average concentration was 3.5% when the working condition of the incoming water pipeline changed. That was uniform fertilization. The maximum head loss of the fertilizer applicator was 0.47 m, and the fertilization proportion can be adjusted in the range of 0~10%. 【Conclusion】The developed gradual shrinkage proportional fertilizer applicator has the characteristics of stable fertilizer concentration and low head loss, while it was also suitable for various pipeline pressures. It can be applied to facility agriculture sprinkling irrigation, drip irrigation system dosing and apply fertilizer.

Key words: fertilizer; proportional fertilization; deformable fertilizer bag; facility agriculture

责任编辑:陆红飞