

文丘里施肥器喉部负压的影响因素分析

孔令阳^{1,3}, 范兴科^{1,2*}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了了解文丘里施肥器的工况特性, 通过理论分析与试验测定, 研究了进、出口压力, 喉部水流流速和局部水头损失系数对喉部负压的影响及变化规律。喉部负压的变化随进口压力的增大呈负相关线性函数递减, 当喉部负压降到最低值 -0.09 MPa 后, 进口压力的增大将不再影响喉部负压变化; 出口压力对水流通过喉部有阻滞作用, 从而影响喉部负压的产生。出口压力越大, 喉部负压的产生以及达到最小负压所需的进口压力越大; 喉部水流流速对喉部负压的产生及变化与进口压力对其影响相似; 对于不同的局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 , ξ 值越大, 喉部负压随进口压力的增大而降低的速度越缓慢, 达到最小值 -0.09 MPa 时所需的进口压力越高。

关键词: 文丘里施肥器; 喉部负压; 进口压力; 出口压力; 变化规律; 影响因素

中图分类号: S224.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)06-0078-05

Analysis on the influencing factors of throat negative pressure for Venturi injector

KONG Ling-yang^{1,3}, FAN Xing-ke^{1,2*}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to understand the characteristics of Venturi injector, this paper has researched the pressure of inlet and outlet, flow velocity of the throat, the influences and change regularity of the coefficient of local head loss to the throat negative pressure by the theoretical analysis and experimental measuring. The result showed that: The change of the throat negative pressure was submitted the decreasing negative linear correlation function, followed with increase of the inlet pressure. After the throat negative pressure decreased to the minimum value -0.09 MPa, the throat negative pressure will be no any impact by the inlet pressure increasing. There was some blocking function by outlet pressure to the throat water flow, so it will be influenced the generation of the throat negative pressure, the more outlet pressure, the more inlet pressure needed to produce the throat negative pressure and to reach the minimal negative pressure. The flow velocity of the throat to the production and change of the throat negative pressure was the similar effect as the inlet pressure. With regard to the different local water head loss coefficient as ξ_1 and ξ_2 , the more of the ξ value, the slower of the reduced velocity as the throat negative pressure with the increase of the inlet pressure, the higher of the inlet pressure needed, when reached the minimal value of -0.09 MPa.

Keywords: Venturi injector; throat negative pressure; inlet pressure; outlet pressure; change regularity, influencing factors

文丘里施肥器由于其简单的结构设计、低廉的成本、便捷的使用方法等优点被广泛地应用于微灌系统施肥^[1]。目前国内对文丘里施肥器的研究主要体现在优化结构参数方面和吸肥性能方面, 王森^[2-5]等根据计算流体力学(CFD)的数值计算方

法, 对文丘里施肥器的各结构参数进行数值模拟, 分析其结构参数与性能之间的影响关系, 并得出优化性能的结构参数; 孟庆国^[6-7]根据文丘里施肥器的工作原理, 详细介绍了文丘里施肥器的工作特点和组成, 改进设计了文丘里施肥器; 孙艳琦^[8-11]等研

收稿日期: 2013-05-25

基金项目: 国家高技术研究发展技术(863)“农作物水肥高效利用生理调控及施肥产品研制”(2011AA1005A4)

作者简介: 孔令阳(1987—), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail: kly0802@163.com。

* 通信作者: 范兴科(1964—), 男, 陕西宝鸡人, 研究员, 主要从事节水灌溉新技术和灌溉产品开发。E-mail: gjzfxk@vip.sina.com。

究了文丘里施肥器的结构参数对水力性能和吸肥性能的影响关系。目前国内对文丘里施肥器喉部负压的影响因素方面研究较少,本研究主要从文丘里施肥器的工作原理方面切入,通过对不同结构类型的文丘里施肥器进行测试,分析文丘里施肥器喉部负压的变化规律及影响喉部负压变化的主要因素,为优化文丘里施肥器的结构设计提供理论依据。

1 试验材料与方法

试验选用两种不同结构类型的文丘里施肥器,

表 1 文丘里施肥器主要结构参数

Table 1 Structural parameters of Venturi injector

型号 Type	喉部结构特征 Structural characteristics of the throat	进口直径/mm Inlet diameter	喉部直径/mm Throat diameter	入口锥角/° Inlet angle	出口锥角/° Outlet angle
W ₁	中心轴对称先收缩后放大 Center of symmetry, first contraction, after amplification	25	7	40	20
W ₂	向上偏心先收缩后放大 Eccentric upward, first contraction, after amplification	25	7	20	10

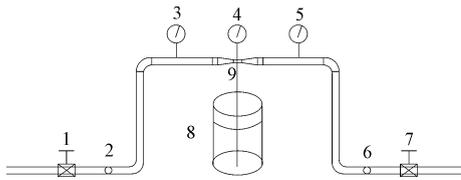


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Schematic representation of experimental device

- 1. 进口阀门; 2. 水表 1; 3. 压力表 1; 4. 真空表; 5. 压力表 2; 6. 水表 2; 7. 出口阀门; 8. 储肥桶; 9. 文丘里施肥器
- 1. Inlet value; 2. Water meter 1; 3. Pressure meter 1; 4. Negative pressure meter; 5. Pressure meter 2; 6. Water meter 2; 7. Outlet value; 8. Store fertilizer setup; 9. Venturi injector

试验出流条件分为自由出流(出口压力为 0 MPa)和非自由出流(出口压力为 0.10 MPa)。在自由出流条件下,调节进口压力控制阀,使进口压力以 0.02 MPa 为梯度,从 0 MPa 升至 0.20 MPa;在非自由出流条件下,调节进出口控制阀门使进口压力以 0.02 MPa 为梯度,从 0.10 MPa 升至 0.30 MPa,当压力稳定后,分别测量对应压力表和真空表的读数来获得喉部负压和进口压力。通过水表和秒表结合测算对应进口压力条件下的进口流量,并利用实际液体恒定总流能量方程,结合进口与喉部之间的压差与局部水头损失系数计算喉部流速。

2 理论分析

根据实际液体恒定总流能量方程^[12-13],对于文丘里施肥器的进口断面 P1、喉部断面 P2、出口断面 P3 之间存在以下关系:

分别命名为 W₁、W₂,文丘里施肥器采用 Pro - E 设计,利用激光快速成型技术(RP)完成试验样件加工,主要结构参数见表 1。本试验在室内完成,管路系统采用串联的方式安装文丘里施肥器,连接管道采用 Φ32 mm 的 UPVC 管,试验用水为地下水,通过潜水泵加压,循环供水。在文丘里施肥器的进水管、出水管处分别安装水表(精度 0.0001 m³)、压力表(量程 0 ~ 0.40 MPa,精度 0.4 级);在文丘里施肥器喉部安装真空表(量程 -0.10 ~ 0 MPa,精度 0.4 级)。试验装置如图 1。

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

$$= z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_{1-3} \quad (1)$$

式中, z₁、z₂、z₃ 分别表示文丘里施肥器进口断面 P1、喉部断面 P2、出口断面 P3 的位置势能(m); p₁、p₂、p₃ 分别表示文丘里施肥器的进口压力、喉部压力、出口压力(Pa); v₁、v₂、v₃ 分别表示通过文丘里施肥器进口断面、喉部断面、出口断面的平均流速(m · s⁻¹); h₁₋₂ 为文丘里施肥器 P1 到 P2 断面间的沿程水头损失与局部水头损失之和(m); h₁₋₃ 为文丘里施肥器 P1 到 P3 断面间的沿程水头损失与局部水头损失之和(m); γ 为流体比重(N · m⁻³)。

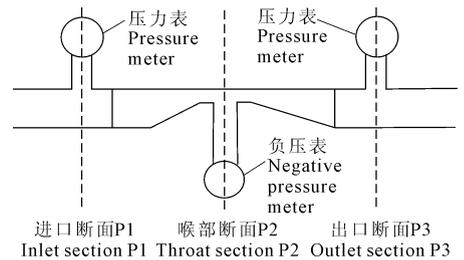


图 2 文丘里施肥器试验分析典型断面图

Fig. 2 Cross-section diagram of Venturi injector

由于文丘里施肥器所涉及的输水管道很短,沿程阻力损失极小,可忽略不计,所以式(1)中所涉及的水头损失 h₁₋₂ 和 h₁₋₃ 主要为局部水头损失,其大小可由下面对应的公式求得:

$$h_{1-2} = \xi_1 \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

$$h_{2-3} = \xi_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} h_{1-3} &= h_{1-2} + h_{2-3} = \xi_1 \frac{v_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{v_2^2}{2g} \\ &= (\xi_1 + \xi_2) \frac{v_2^2}{2g} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, ξ_1 为收缩段的局部阻力系数, ξ_2 为放大段的局部阻力系数, 查局部阻力系数表^[6-7] 可得。

在实际应用中文丘里施肥器一般采用水平安装, 各断面位置势能相等, 即 $z_1 = z_2 = z_3$ 。对于文丘里施肥器, 进出口管径相同, 在吸肥量很小的情况下, 进出口的流量基本一致, 也就存在 $v_1 \approx v_3$, 大多数情况下其小于 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 有 $\frac{v_1^2}{2g} \approx \frac{v_3^2}{2g} \leq 0.2 \text{ m}$ 。在滴管系统中, 施肥器前端的供水压力水头一般都大于 10 m , 相比之下其值对计算结果影响很小。为了便于分析, 简化计算, 施肥器进出口两端的动能水头可以忽略不计。这种情况下, 对于喉部断面 P2 与进口断面 P1 和出口断面 P3 之间, 由式(1) 分别可简化并推导得出以下关系式:

$$\begin{aligned} \frac{p_2}{\gamma} &= \frac{p_1}{\gamma} - \left[(1 + \xi_1) \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right] \\ &\approx \frac{p_1}{\gamma} - (1 + \xi_1) \frac{v_2^2}{2g} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{p_2}{\gamma} &= \frac{p_3}{\gamma} + \left[(\xi_2 - 1) \frac{v_2^2}{2g} + \frac{v_3^2}{2g} \right] \\ &\approx \frac{p_3}{\gamma} - (1 - \xi_2) \frac{v_2^2}{2g} \end{aligned} \quad (6)$$

从(5) 式可以看出, 与喉部(断面 P2) 处压力相关的因素有: 进口压力、喉部的水流动能以及前端收缩段产生的水头损失。但从(6) 式可以看出, 出口压力和喉部后端断面放大段产生的水头损失对喉部的压力也有关系。分析其原因主要是由于在恒定流条件下, 文丘里施肥器进口的压力水头和喉部前端的断面收缩变化是喉部动能迅速增大继而产生负压的主导因素; 其出口压力水头虽然不增加喉部水流动能, 但对喉部水流具有阻滞作用, 影响压能向动能的转化; 而喉部后端的放大断面则影响水流形态, 从而

影响喉部负压的稳定性, 进而影响管路水头损失。因此, 对文丘里施肥器喉部压力及其变化有影响的主要因素为: 进出口处的压力水头、喉部动能水头和喉部前后收缩及扩大段的局部水头损失, 而局部水头损失大小则与喉部的流速和前后两端的局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 有关。

3 喉部负压的影响因素分析

3.1 进出口压力对喉部负压的影响

由(5) 式和(6) 式联立并且通过进口断面和喉部断面关系式可以推导出喉部压力与进出口压力的关系式如下:

$$p_2 = p_1 - \frac{1 + \xi_1}{\xi_1 + \xi_2} (p_1 - p_3) \quad (7)$$

由(7) 式可以看出, 对于同一文丘里施肥器, 在局部水头损失系数不变的前提下, 当出口压力 $p_3 \neq 0$, 即非自由出流时, 喉部的压力与进口压力及进出口压差有关。当出口压力 $p_3 = 0$, 即自由出流时, 喉部的压力只与进口压力有关。理论上, 给出一个进口压力 p_1 , 只要满足 $p_1 < [(1 + \xi_1)/(\xi_1 + \xi_2)](p_1 - p_3)$, 文丘里施肥器的喉部就会出现负压。当出口压力固定不变时, 喉部压力与进口压力呈线性关系, 但实际却并非完全如此, 因为负压的变化是有限度的, 不会低于 -0.1 MPa 。

对于文丘里施肥器 W_2 , 假设其收缩和放大段的局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 在试验过程中保持不变(在试验条件下变化较小), 查阅对应条件下的局部水头损失系数表可得: $\xi_1 \approx 0.20$, $\xi_2 \approx 0.15$ 。分别在不同出口压力条件下进行试验, 出口压力分别设计为 0 MPa (自由出流条件)和 0.10 MPa (非自由出流条件)。调节进出口控制阀门使进口压力以每 0.02 MPa 为梯度, 从 0 MPa 分别升至 0.20 MPa 和 0.30 MPa , 分别测量 W_2 的喉部负压和进口压力。图 3 为 W_2 在两种出流条件下喉部产生的负压随进口压力变化的过程曲线。

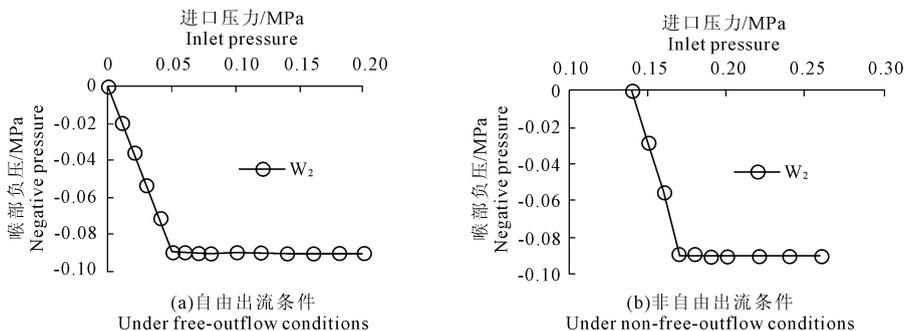


图 3 两种出流条件下 W_2 喉部负压随进口压力变化的规律

Fig. 3 Regularity of throat negative pressure with inlet pressure change under two outflow conditions

由图3(a)可以看出,在自由出流条件下,即 $p_3 = 0$ 时,开始供水加压后, W_2 的喉部随之出现负压,即使进口压力很低,喉部也有负压存在,随着进口压力的增大,喉部负压呈线性减小,但是当喉部负压减小到 -0.09 MPa 时出现转折,对应的进口压力为 0.05 MPa, 负压值趋于稳定状态,不再随进口压力的增大而降低;由图3(b)可以看出,在非自由出流条件下,开始供水加压后喉部并没有立刻出现负压,而是在进口压力达到 0.14 MPa 时喉部才产生负压,在这之后,喉部负压的变化趋势与自由出流状态相似,也是随着进口压力的增大,喉部负压呈线性减小,当喉部负压减小到 -0.09 MPa 时出现转折,对应的进口压力为 0.17 MPa, 负压值趋于稳定,不再随进口压力的增大而降低。二者不同之处在于负压降低过程中,随着进口压力的增大,自由出流条件下,喉部负压减幅缓慢,而非自由出流条件下,喉部负压下降较迅速。这说明当试验用文丘里施肥 W_2 的出口压力确定后 ($p_3 = 0$ MPa 和 $p_3 = 0.10$ MPa), 喉部处从开始产生负压到负压减小到 -0.09 MPa 时(理论上喉部负压最低可以减小到 -0.10 MPa,但实际上由于能量损失等其它原因,对于试验用文丘里施肥器 W_2 ,其喉部负压能达到的最小值为 -0.09 MPa), 喉部负压随进口压力的增大呈负相关线性函数递减,当然出口压力不同时,喉部开始产生负压所需的进口初始压力不同,出口压力越高,开始产生负压所需的进口初始压力越大,但是当喉部负压达到最小值后,进口压力的增大不再对喉部的负压大小产生影

响。由此可见,在不同的工作条件下,进出口压力对文丘里施肥器喉部负压的产生和变化影响不同。

3.2 喉部水流流速对喉部负压的影响

流速是反映液体动能大小的一个重要指标,对于相同的过流量,流速越大,液体所具有的动能就越大;当过流管道的管径相同时,流速越大,单位时间内通过管道同一断面的流量就越大,液体所具有的动能就越大。文丘里施肥器特殊的过流结构,即喉部断面面积通常远小于进口断面面积,使得压力水流从文丘里施肥器的进口推进到喉部时,水流流速会迅速增大,这就表明水流在喉部处的动能迅速增大。由于喉部处的能量源于进口能量的传递,喉部断面 P2 处的总能量等于进口总能量减去水头损失,当进口断面 P1 处的总能量确定时,喉部断面 P2 处的总能量也是确定的,当流体的总能量一定时,喉部处流体的动能越大,则对应断面处流体的压能就越小,理论上当喉部流体的动能超过某一临界值后,喉部流体的压能就会表现为负压。

以文丘里施肥器 W_2 为例,分别测定文丘里施肥器 W_2 在不同进口压力下的进口流量和喉部负压,假设文丘里施肥器的局部水头损失系数 ξ_1 只与结构有关,不随流速大小的变化而变化,根据断面 P1 与断面 P2 之间的压差及局部水头损失系数 ξ_1 ,通过(5)式计算喉部实际流速,分析喉部流速变化对喉部负压产生的影响。下图4为在两种出流试验条件下, W_2 的喉部负压随喉部水流流速的变化过程曲线。

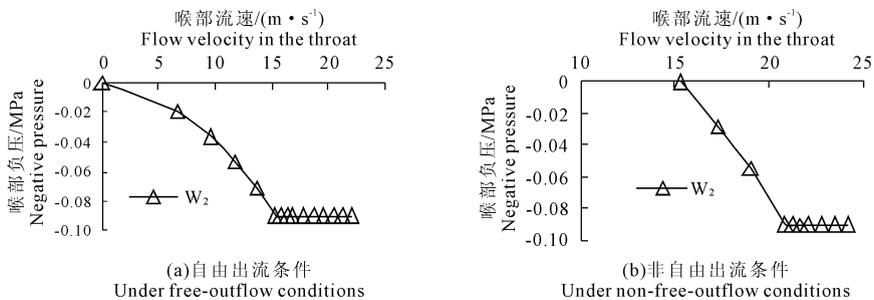


图4 两种出流条件下 W_2 喉部负压随喉部流速变化的规律

Fig. 4 Regularity of throat negative pressure with throat flow velocity change under two outflow conditions

由图4(a)可以看出,在自由出流条件下,随着喉部水流流速从0开始逐渐增大,喉部的压力也是从0开始逐渐降低,但不是直线降低,而是抛物线型降低,与喉部负压受进口压力的影响相似,当负压降低到 -0.09 MPa (试验用文丘里施肥器喉部负压所能达到的最低值)后,随着进口压力的增大,喉部流速继续增大,但喉部负压不再发生变化。由图4(b)

可以看出,在非自由出流条件下,由于受出口压力的影响,喉部需要足够的动能去抵消出口压力和水流从喉部到出口产生的局部水头损失,所以喉部产生负压时的初始流速也不再是从0开始,对于文丘里施肥器 W_2 ,当进口压力为 0.14 MPa 时,喉部开始产生负压的喉部流速达到 $15.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (根据(5)式计算的喉部实际平均流速,大于断面平均流速)。喉部开

始产生负压后,随着喉部流速的增大,喉部负压快速降低,变化过程接近直线。产生这种结果的主要原因有两方面:一是由于动能与流速的平方关系,当总能量线性增加时,喉部动能二次抛物线型增大,喉部压能也就近乎线性减小;另一方面可能与局部水头损失系数的变化有关。当负压降低到最低值 -0.09 MPa(对应的喉部流速为 $20.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,喉部实际平均流速)后,不再随流速的增大而变化。根据喉部流速变化与喉部负压的变化关系也可以看出,喉部负压的产生和变化与喉部过流量没有直接关系,对于给定的文丘里施肥器,只要进口压力和喉部流速达到必须的条件,喉部就会有对应的负压产生。

3.3 局部水头损失系数对喉部负压的影响

局部水头损失系数对文丘里施肥器喉部负压的影响实际上是水头损失对其影响的一种间接反映,由于管壁及结构对水流产生的摩擦阻力及扰动形成水头损失。对于不同的文丘里施肥器,根据式(7)可知,在进出口压力分别相同的条件下,如果喉部前后收缩段和放大段局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 不同时,喉部处产生的负压也将不同。根据相关水力学资料,局部水头损失系数的大小主要取决于其喉部的结构设计,其它因素影响相对较小,因此将管径尺寸一致、喉部结构不同的文丘里施肥器 W_1 和 W_2 (经查表, W_1 的局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 分别约为 0.4 和 0.35; W_2 的局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 分别约为 0.2 和 0.15) 进行有压过流试验,分别测量其进口压力和喉部负压,分析不同局部水头损失系数对其喉部压力变化规律的影响。图 5 为 W_1 和 W_2 的喉部负压随进口压力的变化过程曲线。

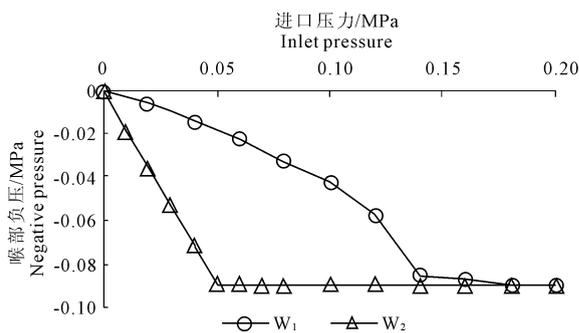


图 5 W_1 和 W_2 的喉部负压随进口压力的变化规律

Fig. 5 Change regularity of throat negative pressure with the inlet pressure

由图 5 可以看出:在自由出流试验条件下,即出口压力为 0 MPa 时,当系统开始加压,进口处压力较低时,文丘里施肥器 W_1 和 W_2 的喉部即出现负压,并且喉部负压均随进口压力的增大基本上呈负相关

线性函数递减,直到 W_1 和 W_2 的喉部负压均递减至负压可能达到的最小值 (-0.09 MPa) 后保持不变,不再随着进口压力的继续增大而降低。 W_2 的规律性较好, W_1 的规律性较差,其原因可能由于 W_1 喉部前端的对称收缩结构及表面不是很光滑造成喉部水流的强烈扰动,测试结果可能产生误差,使得 W_1 的喉部负压随进口压力的变化不是呈现直线降低,规律不如 W_2 的明显。二者最大区别在于喉部负压减小变化的过程,随着进口压力的增大, W_2 的喉部负压降低较快,当进口压力只有 0.05 MPa 时,喉部负压就降低到最小值 -0.09 MPa; 而 W_1 的喉部负压降低较慢,当进口压力达到 0.18 MPa 时,喉部负压才降低到最小值 -0.09 MPa。对于 W_1 和 W_2 , 在试验条件下, W_1 达到最小喉部负压值时所需的进口压力是 W_2 达到最小喉部负压值时所需的进口压力的 3 倍以上,远大于 W_2 。分析其原因主要是由于二者结构不同, W_1 的局部水头损失系数较大,水流通过时会产生相对较大的水头损失,造成出口总能量相对较小,相应的流速和流量减小,从而影响到喉部的流速减小,使得喉部产生的负压较小。由此可以看出,文丘里施肥器喉部前后的局部水头损失系数对喉部负压的产生、变化过程均有明显的影响,局部水头损失系数不同,其喉部负压达到最小值所需的进口压力不同。局部水头损失系数越大,则其达到最小喉部负压值时所需的进口压力将越高。

4 结论与讨论

通过对文丘里施肥器喉部压力理论关系式的推导,确定喉部负压的影响因素,通过有压过流试验,分析文丘里施肥器喉部负压随各影响因素的变化规律。得出以下结论:

(1) 文丘里施肥器进口压力是喉部产生负压的前提并起主导作用,出口压力对水流通过喉部有阻滞作用,从而影响喉部负压的产生,出口压力越大,喉部负压的产生以及达到最小负压所需的进口压力越大,喉部负压的变化随进口压力的增大呈负相关线性函数递减,当喉部负压降到最低值后,进口压力的增大将不再影响喉部负压变化。

(2) 水流通过文丘里施肥器时,进口压能逐渐转化成喉部的动能,在文丘里施肥器喉部两端的局部水头损失系数不变的条件下,喉部负压随对应断面水流流速的增大呈抛物线状(从缓慢到快速)逐渐降低,直到负压降低到最低值后,不再随流速的增大而变化。

围内,可为工程换填优化设计提供参考;换填方案有效地消减了渠道衬砌板冻胀变形的不均匀,随着换填深度的增加,衬砌板整体变形逐渐一致,大大减少了渠道衬砌因冻胀变形分布不一致的破坏。

3) 本文计算对工程实际应用提供参考,换填时应严格控制砂砾石土中粉黏粒的含量,尽量保证换填料中粉黏粒含量小于 5%。为了防止渠道中泥土进入换填垫层,可在砼衬砌板下铺设一层无纺布,以起到反滤和防止水流挟带粘土颗粒进入砂砾石垫层,以确保砂砾石换填处理的防冻效果和使用寿命。

参 考 文 献:

- [1] 李安国.我国渠道防渗工程技术综述[J].防渗技术,2000,6(1):1-4,16.
- [2] 何武全.我国渠道防渗工程技术的发展现状与研究方向[J].防渗工程,2002,8(1):31-33,46.
- [3] 张 茹,王正中.季节性冻土地区衬砌渠道冻胀防治技术研究进展[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):236-240.
- [4] 程满金,申利刚,步丰湖,等.聚苯乙烯保温板在衬砌渠道防冻胀中的应用研究[J].灌溉排水学报,2011,30(5):22-27.
- [5] 申利刚,程满金,杨宏志,等.渠道衬砌铺设聚苯乙烯板保温防冻害试验研究[J].内蒙古水利,2001,(3):12-14,29.
- [6] 朱 强,付思宁,武福学.砂-砂砾换基防治渠道冻胀的研究[J].冰川冻土,1988,10(4):400-408.

- [7] 朱达夫,林素馨.混凝土衬砌渠道用风积砂作防冻胀垫层的探讨[J].冰川冻土,1986,8(3):239-244.
- [8] 申利刚,张海生,白雪英,等.衬砌渠道换填风积砂防冻胀试验研究[J].内蒙古水利,2001,(2):29-30.
- [9] 王正中,刘旭东,陈立杰,等.刚性衬砌渠道不同纵缝削减冻胀效果的数值模拟[J].农业工程学报,2009,25(11):1-7.
- [10] 王正中,沙际德,蒋允静,等.正交各向异性冻土与建筑物相互作用的非线性有限元分析[J].土木工程学报,1999,32(3):55-60.
- [11] 童长江,管枫年.土的冻胀与建筑物冻害防治[M].北京:水利电力出版社,1985.
- [12] 朱临楠.高原冻土区不同下垫面的附面层研究[J].冰川冻土,1988,10(1):8-14.
- [13] 刘晓燕,赵 军,石 成,等.土壤恒温层温度及深度研究[J].太阳能学报,2007,28(5):494-498.
- [14] 徐学祖,陶兆祥,傅素兰.典型融冻土的热学性质[C]//中国科学院兰州冻土研究所集刊编辑委员会.中国科学院兰州冰川冻土沙漠所集刊(第 2 号),北京:科学出版社,1981:104-112.
- [15] 张 洁,徐 伟,钟建驰.润扬大桥南锚碇超深基坑围护冻结法施工温度场全过程的数值模拟[J].建筑施工,2004,26(1):15-17.
- [16] 安维东,吴紫汪,马 巍.冻土的温度、水分应力及其相互作用[M].兰州:兰州大学出版社,1989.
- [17] 中华人民共和国水利部.《渠系工程抗冻胀设计规范》(SL23-2006)[S].北京:中国水利水电出版社,2006.

(上接第 82 页)

(3) 对于进口和喉部管径相同的文丘里施肥器,若喉部两端收缩比和放大比不同,即局部水头损失系数 ξ_1 和 ξ_2 不同,当压力水流通过时,其喉部产生的负压达到最小值时所需的进口压力不同。局部水头损失系数越大,则其达到最小负压值时所需的进口压力将越高。

本文主要从水力学原理出发,研究了文丘里施肥器进出口压力、喉部流速和喉部两端局部水头损失系数对喉部负压的产生及变化影响,并未涉及结构参数,如喉部两端收缩比和放大比对喉部负压的影响研究,所得相关结论均为文丘里施肥器试验测定所得,对于文丘里施肥器的相关工作条件,如压力条件、流量条件,还需在实际应用中进一步试验验证。建议在文丘里施肥器的结构设计中,充分考虑喉部两端收缩比和放大比与局部水头损失系数的关系确定合理的设计参数;针对已经选定的文丘里施肥器,结合进出口压力、流速与喉部负压的关系,配置相关滴灌工作条件。

参 考 文 献:

- [1] 李久生,张建君,薛克宗.滴灌施肥灌溉原理与应用[M].北京:

- 中国农业科学技术出版社,2003:16-20.
- [2] 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,(7):27-31.
- [3] 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,(4):359-363.
- [4] 陈作炳,豆海建,陈思维,等.文丘里管流场的数值研究[J].中国水泥,2005,(4):58-60.
- [5] 邱振宇,鲍安红.施肥器结构参数对施肥浓度影响的数值研究[J].农机化研究,2012,(4):42-45.
- [6] 孟庆国.文丘里施肥器改进设计和应用[J].现代农业装备,2005,(22):97-98.
- [7] 金永奎,夏春华,方部玲.文丘里施肥器系列的研制[J].中国农村水利水电,2006,(5):14-16.
- [8] 孙艳琦,牛文全.文丘里管结构参数对其水力性能的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(2):211-218.
- [9] 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,(3):251-255.
- [10] 冯瑞珏,洪添胜,李家念,等.文丘里施肥器控制试验分析[J].灌溉排水学报,2011,(12):11-14.
- [11] 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等.基于脉宽调制的文丘里变量施肥装置设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(8):105-110.
- [12] 李家星,赵振兴.水力学(上)[M].南京:河海大学出版社,2001.
- [13] 张也影.流体力学[M].北京:北京教育出版社,1992.