

# The Effect of Drip Irrigation Emitter Channel Structural Parameters of the Triangular Type on Its Hydraulic Performances

Ye Tang<sup>1</sup>, Minjie Wang<sup>1\*</sup>, Ming Lan<sup>2</sup>, Guojun Ding<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>Xinjiang Tianye (Group) Co., Ltd., Shihezi Xinjiang

Email: \*tyaxmx@mail.dlut.edu.cn

Received: May 3<sup>rd</sup>, 2018; accepted: May 17<sup>th</sup>, 2018; published: May 24<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

As the key part of the drip irrigation system, drip irrigation emitter channel structure is important to its hydraulic performances and anti-clogging performance. Computational fluid dynamics (CFD) was used to simulate the flow field distribution of the in-line drip irrigation emitter channel of the triangular type. The shape parameters of the channel were defined, and the influence of each parameter change on hydraulic performance of the drip irrigation emitter was analyzed. The study indicates that the flow rate increases with the increase of the channel height and the fillet radius of the tooth tip, also increasing with the decrease of the angle of the tooth tip and the distance of the opposite tooth tips, and the flow rate changes with the emitter draft angle are not obvious. The result shows that the flow index of the drip irrigation emitter decreases with the increase of the emitter draft angle, the angle of the tooth tip and the distance of the opposite tooth tips, also decreasing with the decrease of the fillet radius of the tooth tip, and the flow index is unrelated to the changes of the height of the channel.

## Keywords

Drip Irrigation, Flow Field, Anti-Clogging Performance, Hydraulic Performances, Channel Structure

---

## 三角形灌水器形状参数对其水力性能的影响

唐叶<sup>1</sup>, 王敏杰<sup>1\*</sup>, 兰明<sup>2</sup>, 丁国军<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大连理工大学机械工程学院, 辽宁 大连

<sup>2</sup>新疆天业集团, 新疆 石河子

Email: \*tyaxmx@mail.dlut.edu.cn

---

\*通讯作者。

## 摘要

灌水器作为滴灌系统的核心部件，流道结构设计对其水力性能和抗堵性能具有较大影响。本文基于流体力学(CFD)，采用ANSYS Fluent软件对三角形内镶式灌水器内部流场进行了模拟分析，并提取了其流道形状的几何参数，针对每个参数对灌水器水力性能的影响进行了分析。结果表明：灌水器的出口流量随着流道高度增加、齿尖圆角增大、齿尖角度减小和齿尖距离减小而增大，灌水器成型加工产生的脱模斜度对出口流量的影响较小。灌水器的流态指数随着齿尖圆角减小、脱模角度增大、齿尖角度增大和齿尖距离增大而减小，流态指数对流道高度的变化并不敏感。

## 关键词

滴灌系统，灌水器流场，抗堵性能，水力性能，流道结构

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

滴灌系统内灌水器流道的几何结构是影响其水力性能和抗堵性能的重要因素。Ozekici 等[1]通过 CFD 结合快速打印的方式，对迷宫式灌水器内流场压力损失做了分析，发现水头压力损失主要是由局部压力损失引起的。Adina 等[2]通过实验，认为流道几何结构与灌水器的抗堵性能有直接关系，需要使流道截面足够大，并且保证流道内流场不能有太大面积的低速区。陈瑾等[3]通过研究发现提高灌水器流量需要考虑流道的建模要素与流量的关系。李云开等[4]认为由于各个齿尖处的流体压力损失相同，故流场压力随着长度方向递减。魏青松等[5]认为灌水器的流态指数不随流道截面积和单元数的变化而变化，而流量系数则随截面积增大而增大，随单元数增多而减小。李萍等[6]通过 CFD 模拟分析，将方形迷宫式流道结构更改为锯齿形迷宫式，发现流场内回流区增多，增强了对灌水器壁面的冲击力，且对其水力性能影响不大。

综上所述，关于灌水器流道形状对其水力性能的影响研究均建立在二维平面模型基础上，没有考虑流道高度方向相关形状参数，对模拟结果分析也未从流场分布变化来解释其水力性能改变的根本原因。为此，本文对三角形灌水器流道从三维角度提取相应的形状设计参数，并分析了灌水器流量、流态指数与其流场特性的关联，为三角形灌水器形状参数选用提供参考建议。

## 2. 灌水器流场数值模拟

### 2.1. 三角形灌水器

内镶嵌式三角形灌水器应用比较广泛，其结构如图 1 所示，其流道在高度方向存在一定成型加工产生的脱模斜度。

### 2.2. 网格划分与湍流模型的选择

利用 ICEM CFD 软件，对圆弧型灌水器流道绘制最大尺寸为 0.2 mm 的六面体网格，如图 2 所示。

灌水器内的流体介质为常温水，视其为不可压缩的连续流体，在流道内的流动为定常流动，本文选用标准  $k-\epsilon$  湍流模型和标准壁面函数对流场进行模拟分析。

### 2.3. 边界条件设置

利用 ANSYS Fluent 对灌水器内流场进行模拟分析，选取入口压力 100 kPa，出口压力 0 kPa (标准大气压)，采用 TR200 粗糙度仪测量得到的壁面粗糙度为  $0.2 \mu\text{m}$ ，选择壁面无滑移的边界条件、Simple 算法、二阶迎风的离散格式进行求解。

### 2.4. 流场模拟结果与分析

流场模拟结果如图 3 所示，流场主要由主流速区域、涡流区、低速区(死角)组成。主流速区呈 S 型走向，两侧分布着涡流，起到减压、消能的作用，其涡流区外侧和流道轮廓产生的间隙以及涡流中心区构成了流场中的低速区。

## 3. 灌水器形状参数对其水力性能的影响

### 3.1. 形状参数化

在保证灌水器整体大小不更改的情况下即灌水器每个齿形长度  $L$  和齿数不变的情况下，提取其形状设计参数，平面形状设计参数：齿尖圆角  $R$ 、齿尖角度  $\alpha$ 、齿尖距离  $Y$ ，高度方向形状设计参数：拔模斜度  $\gamma$ 、流道深度  $H$ ，如图 4 所示。



Figure 1. Drip irrigation emitter of the triangular type  
图 1. 三角形灌水器

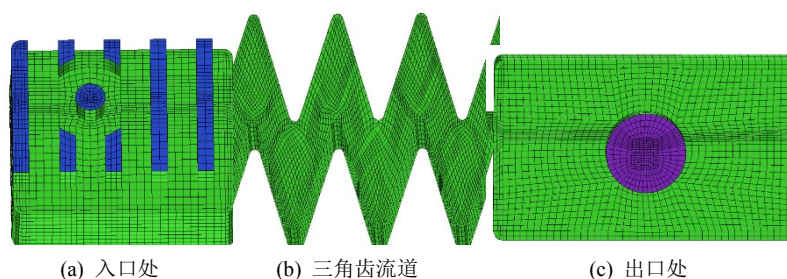


Figure 2. Model after grid partition  
图 2. 网格划分后模型

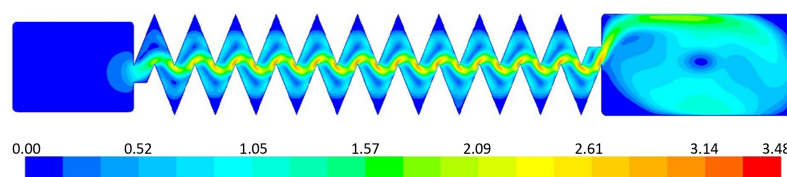


Figure 3. Fluid velocity distribution  
图 3. 三角形灌水器流场分布

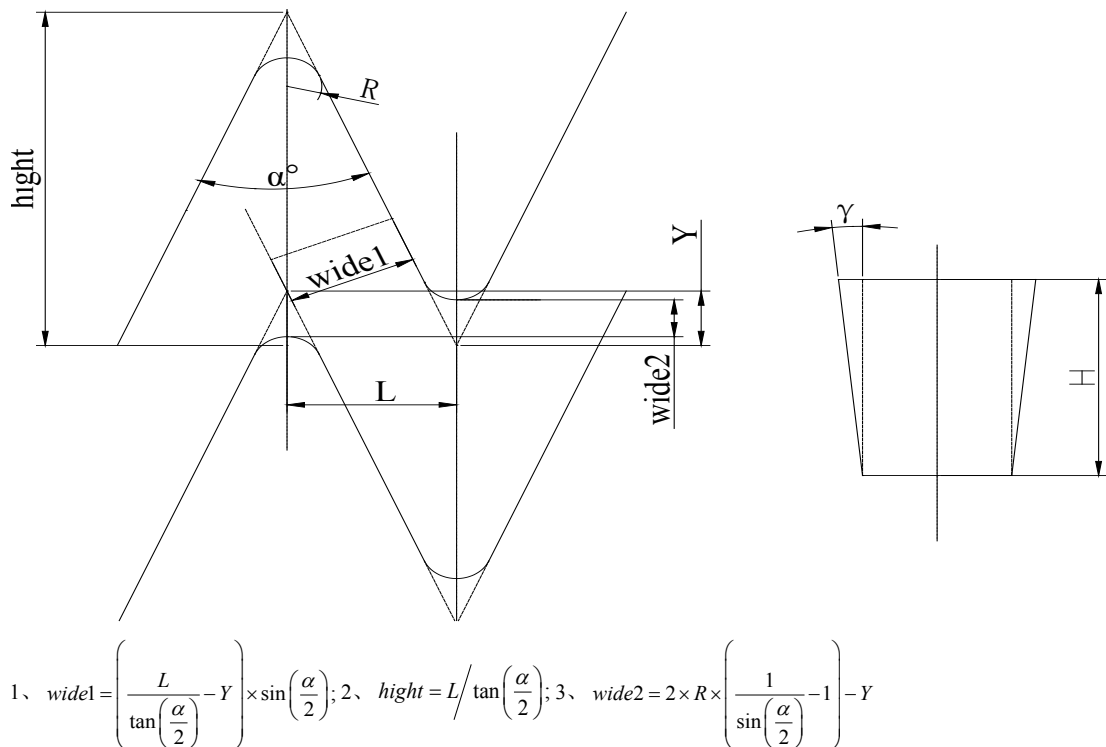


Figure 4. Channel structural parameters of drip irrigation emitter of the triangular type  
图 4. 渠道外形尺寸参数

### 3.2. 形状参数对水力性能影响

滴灌带上具有多个灌水器出口, 各个灌水器的入口压力由于水流在主管中局部压力损失, 必然存在一定的差异, 这也将导致每个灌水器出口流量也会不同, 因此设计出灌水器出口流量对入口压力变化不敏感的流道结构是灌水器流道结构设计的难点。灌水器流量与压力的关系式为  $q = k \cdot h^x$ , 其中,  $q$  表示灌水器的流量;  $h$  表示压力水头,  $k$  表示灌水器的流量系数。  $x$  表示流态指数, 表示灌水器出口流量对入口压力变化的敏感度, 决定灌水的均匀度, 是评价灌水器水力性能的重要参数[7]。

#### 3.2.1. 齿尖圆角 R

在  $\alpha = 32^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $H = 1 \text{ mm}$ ,  $Y = 0.52 \text{ mm}$  情况下, 更改灌水器流道形状参数  $R$  的数值通过 fluent 进行模拟分析, 获得结果如图 5 所示。

#### 3.2.2. 齿尖角度 $\alpha$

在  $R = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $H = 1 \text{ mm}$ ,  $Y = 0.52 \text{ mm}$  情况下, 更改灌水器流道形状参数  $\alpha$  的数值通过 fluent 进行模拟分析, 获得结果如图 6 所示。

#### 3.2.3. 齿尖距离 Y

在  $\alpha = 32^\circ$ ,  $R = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $H = 1 \text{ mm}$ , 情况下, 更改灌水器流道形状参数  $Y$  的数值通过 fluent 进行模拟分析, 获得结果如图 7 所示。

#### 3.2.4. 脱模角度 $\gamma$

灌水器流道侧壁由于注塑成型工艺要求必然存在一定的斜度即脱模角度, 在  $\alpha = 32^\circ$ ,  $R = 0.1 \text{ mm}$ ,  $H = 1 \text{ mm}$ ,  $Y = 0.52 \text{ mm}$  情况下, 更改灌水器流道形状参数  $\gamma$  的数值通过 fluent 进行模拟分析, 获得结果如图 8 所示。

### 3.2.5. 流道高度 H

以下是在  $\alpha = 32^\circ$ ,  $R = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $Y = 0.523$  情况下, 更改灌水器流道形状参数 H 的数值通过 fluent 进行模拟分析, 获得结果如图 9 所示。

### 3.3. 结果分析

通过以上模拟结果, 发现三角形灌水器形状参数对其水力性能有直接影响, 结果表明:

灌水器的出口流量随着流道高度增加、齿尖圆角增大、齿尖角度减小和齿尖距离减小而增大, 出口流量对灌水器脱模角度的变化不明显。灌水器的流态指数随着齿尖圆角减小、脱模角度增大、齿尖角度增大和齿尖距离的增大而减小, 流态指数对流道高度变化不明显。

齿尖圆角在  $0.05 \text{ mm}$  之内, 流量和流态指数变化较小, 控制圆角大小为  $0.05 \text{ mm}$  能够提升灌水器性能的稳定性和灌水的均匀度; 脱模角度的设计能够在保证灌水器稳定性能同时有效提升灌水均匀度; 齿尖角度设计在  $40^\circ$  左右时, 流量随齿尖角度变化不明显, 同时可以得到较好的灌水均匀度; 齿尖距离设计

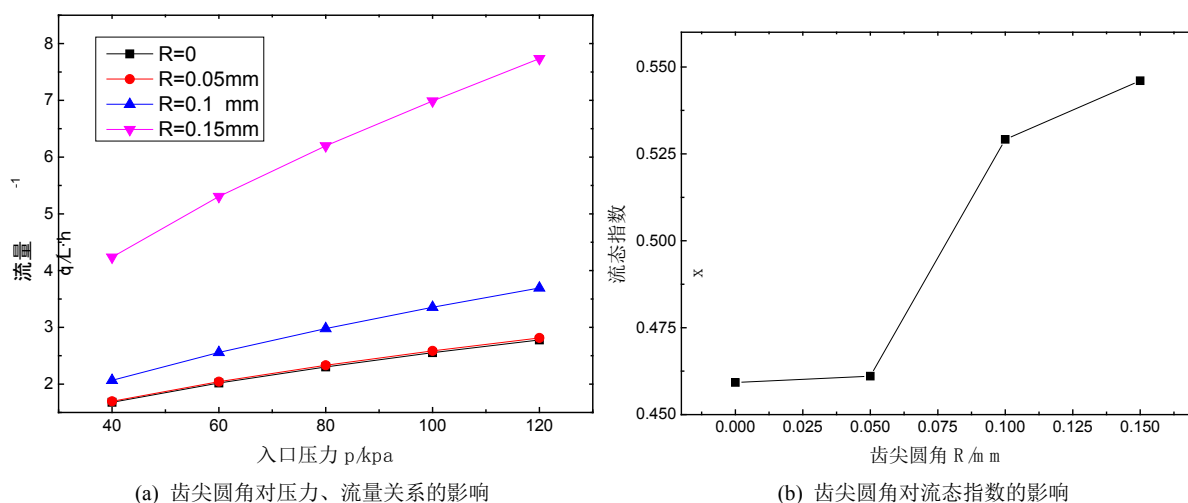


Figure 5. Influence of the fillet radius of the tooth tip on hydraulic performances

图 5. 齿尖圆角对灌水器水力性能的影响

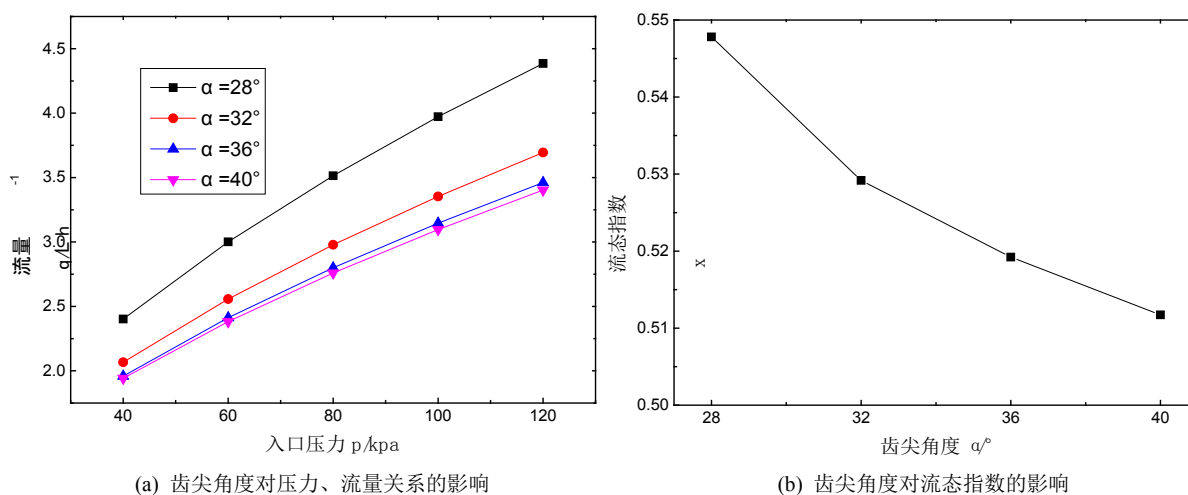


Figure 6. Influence of the tooth tip angle on hydraulic performances

图 6. 齿尖角度对灌水器水力性能的影响

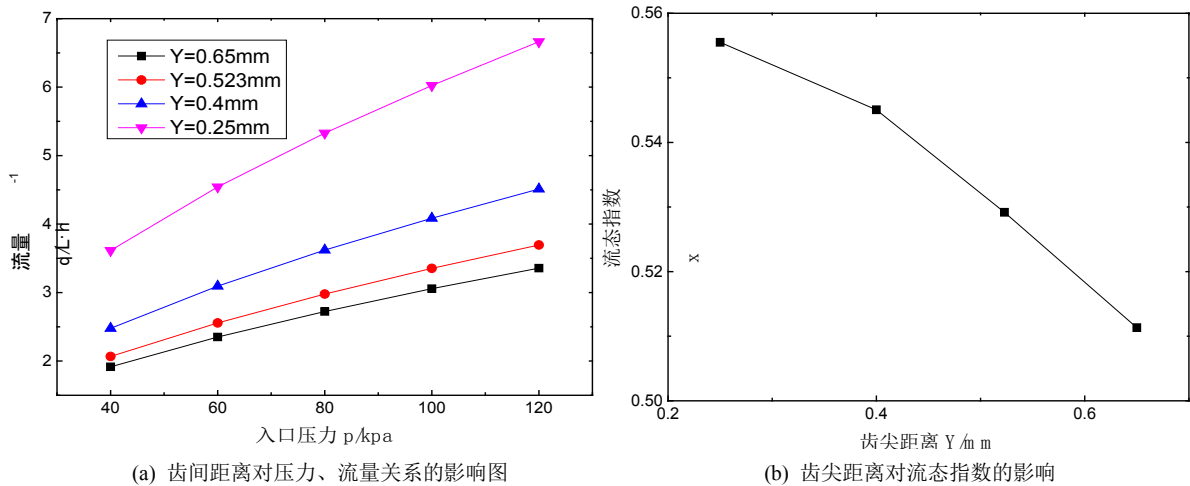


Figure 7. Influence of the distance of the opposite tooth tip on hydraulic performances

图 7. 齿间距离对灌水器水力性能的影响

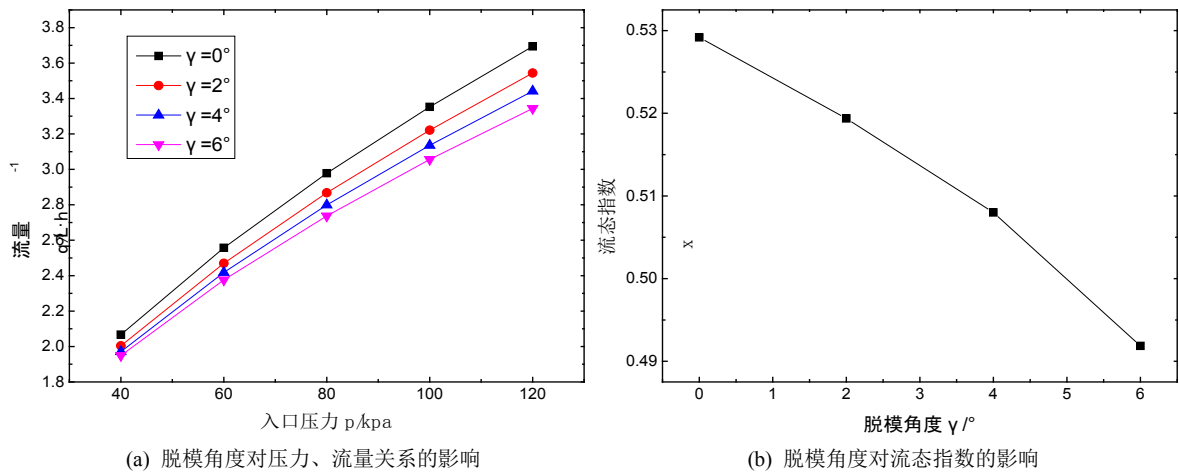


Figure 8. Influence of the emitter drift angle on hydraulic performances

图 8. 脱模角度对灌水器水力性能的影响

为 0.65 mm 能够在流量和原产设计相差不大的情况下，得到较好的灌水器均匀度；增加流道高度可以在保证灌水均匀度的条件下，线性增大出口流量。

从流道宏观外形角度看，流道实际宽度(wide1, wide2, high 三个参数)增大会导致灌水器流量提升，而三角形区域内涡流强度和面积则决定了流态指数大小，齿尖圆角变小和齿尖角度增大将直接导致三角形区域即涡流区域面积增大，而齿尖距离增大会导致涡流强度的提高。

## 4. 三角形灌水器水力性能实验

### 4.1. 实验装置

水力性能实验是为了测试不同压力情况下，灌水器出口流量的数值，来计算其流态指数，获得该灌水器的使用性能指标。参考国标[8] [9]设计实验装置如图 10 所示。

### 4.2. 实验方案

接通水路后，由主管接出 5 条滴灌带，每条滴灌带上保证有 5 个灌水器出口，利用调压开关和压力

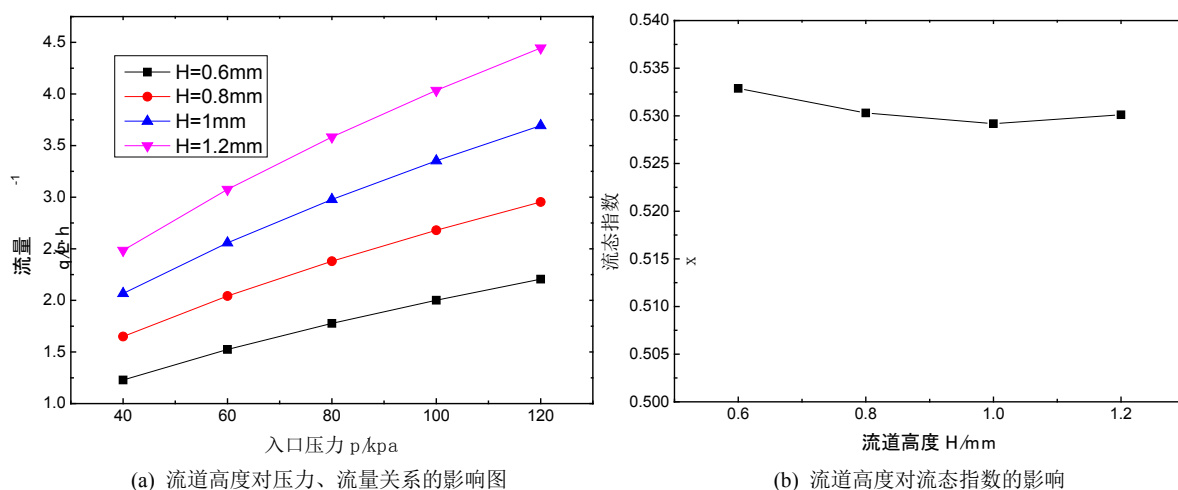
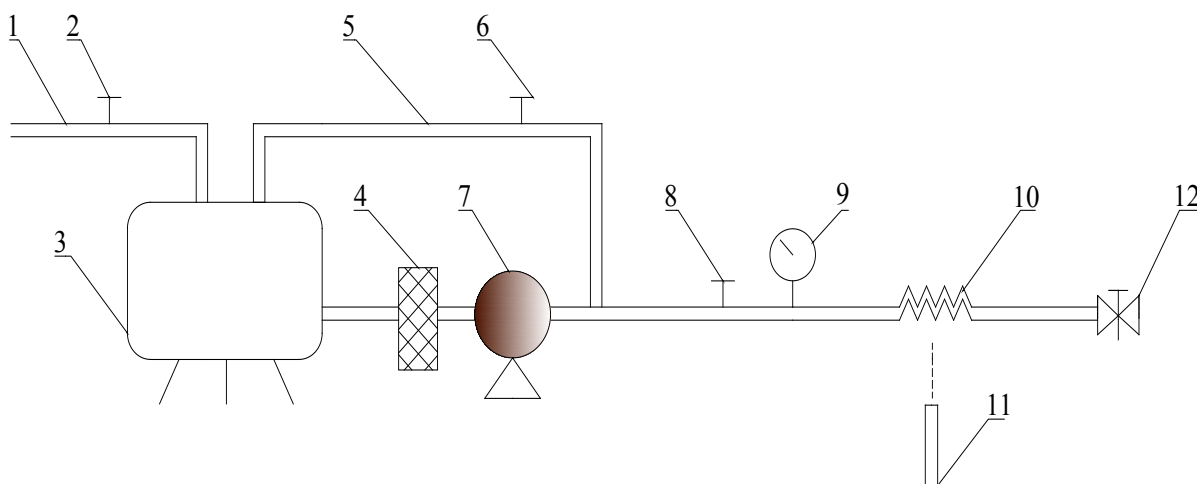


Figure 9. Influence of the channel height on hydraulic performances

图 9. 流道高度对灌水器水力性能的影响



1、进水管；2、阀门开关；3、水箱；4、120目叠片过滤器；5、回流管；6、8、调压阀；7、285W全自动自吸泵；9精密压力表；10、三角形内镶式滴灌带；11、量筒；12、排气阀

Figure 10. Experimental device diagram

图 10. 实验装置图

表, 将工作压力分别调至 40 kpa, 60 kpa, 80 kpa, 100 kpa, 120 kpa, 待水流稳定通入 5 分钟后, 利用量筒同时获取 25 个灌水器出口在这五个工作压力下的流量, 并且记录。按照流量大小给 25 个灌水器进行编号, 其中 1 号灌水器流量最小, 25 号流量最大, 参考 GB/T17188-1997 内试验方法, 提取四个灌水器试验结果, 分别为 3 号, 12 号, 13 号和 23 号灌水器, 并取其平均值, 计算流量与压力的关系。

### 4.3. 实验结果与分析

由于灌水器在制造过程中均存在一定程度上的形状误差, 即每个阵列的齿形在尺寸上均不相同。因此在建模过程中取其各个部位形状参数的平均值, 最终取得形状参数为  $\alpha = 16^\circ$ ,  $R = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\gamma = 4^\circ$ ,  $H = 1 \text{ mm}$ ,  $Y = 0.523$ 。对其流场进行模拟, 在不同入口压力下, 获取其出口流量, 绘制压力、流量曲线图, 实验结果和模拟结果如图 11 所示。

从实验结果和模拟结果观察, 两者相差 5%~10%, 证明了模拟结果的可靠性。产生的结果误差主要

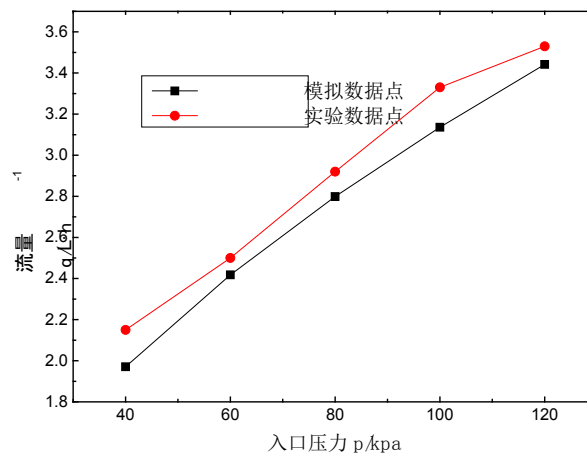


Figure 11. Hydraulic performance curves of the experiments and simulation results

图 11. 模拟和实验水力性能结果

是由于计算模型尺寸和试验制件尺寸差异导致的。

## 5. 结论

1) 灌水器的出口流量随着流道高度增加、齿尖圆角增大、齿尖角度减小和齿尖距离减小而增大，出口流量对灌水器脱模角度的变化不明显。灌水器的流态指数随着齿尖圆角减小、脱模角度增大、齿尖角度增大和齿尖距离的增大而减小，流态指数对流道高度变化不明显。

2) 为三角形灌水器形状参数选择提供建议如下：将灌水器的齿尖圆角大小控制在 0.05 mm 之内；齿尖角度设计为 40°；齿尖距离设计为 0.65 mm。增加流道高度可以在保证灌水均匀度的条件下，线性增大出口流量；脱模角度的设计能够在保证灌水器稳定性同时有效提升灌水均匀度，可根据需求设计相应的流道高度和脱模角度。

3) 通过水力性能实验，从实验结果和模拟结果观察，两者相差 5%~10%，主要由灌水器建模时，计算模型尺寸和试验制件尺寸的差异导致。实验数据证明了模拟结果的可靠性。

## 参考文献

- [1] Ozekici, B. and Ronald, S. (1991) Analysis of Pressure Loss in Toutuous-Path Emitter. America Society of Agriculture Engineering.
- [2] Adin, A. and Sacks, M. (1991) Dripper-Clogging Factors in Waste Water Irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **117**, 813-826. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1991\)117:6\(813\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117:6(813))
- [3] 陈瑾, 张昕, 李光永, 等. 齿形迷宫流道结构参数对滴头流量影响的数字试验研究[C]//北京农业工程学会. 北京都市农业工程科技创新与发展国际研讨会: 2015 年卷. 北京: 水利水电出版社, 2015.
- [4] 李云开, 刘世荣, 杨培岭, 任树梅, 林雄财. 滴头锯齿型迷宫流道消能特性的流体动力学分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 49-52.
- [5] 魏青松, 史玉升, 芦刚, 董文楚, 罗金耀, 黄树槐. 内镶式滴灌带绕流流道水力性能研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 83-87.
- [6] 李萍, 王月, 王龙业, 廖带根. 基于 ANSYS/CFD 的灌水器迷宫流道抗堵优化设计[J]. 石油化工高等学校学报, 2012, 25(5): 68-70.
- [7] 刘春景, 唐敦兵, 何华, 等. 滴灌三角形迷宫滴头水力性能稳健性分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 67-72.
- [8] 金宏智, 张咸胜. GB/T17188-1997 农业灌溉设备滴灌管技术规范和试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [9] 王综武, 岳兵, 朱温如, 梁彦芳. SL/T67.1-1994 微灌灌水器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.



**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2324-8696，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[mos@hanspub.org](mailto:mos@hanspub.org)