

# 迷宫灌水器水流流态试验

李治勤<sup>1,2</sup>, 马静<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048; 2. 太原理工大学水利科学与工程学院, 太原 030024)

**摘要:** 为分析迷宫灌水器流道内水流流态及其相互转换的临界雷诺数, 该文对 5 种流道尺寸的模型中水流流动现象进行观测与分析, 并进一步分析了迷宫流道内水流水头损失与断面平均流速之间的关系以及相应断面尺寸直流道内水流沿程水头损失与断面平均流速之间的关系。结果表明: 迷宫灌水器不断转折的流道对水流有很大的干扰, 可以使其中水流在雷诺数为 41.5 时就失去稳定转变为过渡区; 迷宫流道进口段单元中可能出现层流, 出现层流的单元数占总单元数的 10%~12%。从整体来看, 可认为迷宫灌水器中水流流态为紊流或过渡区; 与经典雷诺试验结果不同, 迷宫流道中水流水头损失与断面平均流速的 2.0~2.5 次方成比例; 迷宫灌水器的流态指数可达到 0.4~0.5; 该试验迷宫流道中水流过渡区与紊流区相互转换的临界雷诺数为 87.5~125.0。

**关键词:** 流态, 雷诺数, 损失, 灌水器, 迷宫流道

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.016

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0082-05

李治勤, 马静. 迷宫灌水器水流流态试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 82-86.

Li Zhiqin, Ma Jing. Experiment on flow pattern in labyrinth emitter[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 82-86. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

在诸多的节水型灌水技术中, 滴灌是水的利用率最高、最为节水的一种灌水技术<sup>[1]</sup>。灌水器是滴灌的关键设备, 现有研究表明, 迷宫式流道可以使其中的水流紊乱, 达到稳定水压和消能的目的<sup>[2]</sup>, 降低流态指数, 具有较优越的水力性能, 因而目前灌水器大都采用迷宫式流道。

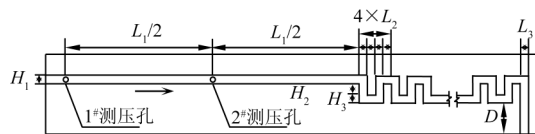
目前, 迷宫灌水器的水力性能和结构性能已有了很大提高, 但由于其流道尺寸小、结构复杂, 现有的资料多倾向于宏观水力学特性的研究<sup>[3-6]</sup>, 对流道内部水流流动特性的微观分析研究较少<sup>[7-8]</sup>。近年来, 随着计算流体力学(CFD)的迅速发展, 数值模拟方法已成为深入研究灌水器性能的一种新手段<sup>[9-15]</sup>。

由于迷宫灌水器内部水流流态对灌水器性能有很大影响<sup>[7,16]</sup>, 其二, 采用数值模拟方法对灌水器性能进行研究时也将首先遇到层流模型与紊流模型的选择问题。因而, 迷宫灌水器内水流流态及其转换的临界雷诺数就成为灌水器研究中的一个关键问题。这方面的研究成果目前还不多, 现有成果对此也还没有一个定论<sup>[9,17-19]</sup>。为此, 本文拟对迷宫灌水器内水流流态进行试验研究, 旨在探索迷宫灌水器内水流流态及其转换的临界雷诺数。

## 1 试验模型与系统

试验模型用有机玻璃制作, 首先在一块有机玻璃板上刻

出流道, 再将另一块有机玻璃板覆盖在其上封闭流道。模型流道由两部分组成, 一部分为直流道, 另一部分为迷宫流道, 直流道与迷宫流道横断面均为矩形, 其示意图如图 1。

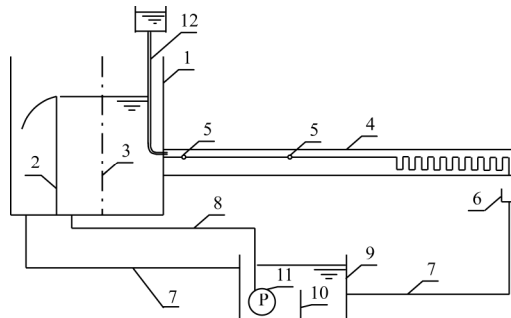


注:  $H_1$  为直流道宽度, mm;  $L_1$  为直流道长度, mm;  $L_2$  为迷宫流道横向宽度及间距, mm;  $H_2$  与  $H_3$  为迷宫流道垂向间距与宽度, mm;  $L_3$  为迷宫流道出口宽度, mm; 4 个  $L_2$  流道组成一个迷宫单元,  $D$  为迷宫流道出口长度, mm。下同。

图 1 模型流道示意图

Fig.1 Sketch map of model channel

试验系统示意图如图 2。水流由自循环供水器经供水管路进入恒压水箱, 恒压水箱中水位通过活动溢流板进行调节, 水箱中水流在某一恒定水位作用下先后进入试验模型的直流道与迷宫流道。从模型迷宫流道滴出的水由集水槽收集后沿回水管路回到自循环供水器中。



1. 恒压水箱 2. 活动溢流板 3. 稳压孔板 4. 模型 5. 测压孔 6. 集水槽 7. 回水管路 8. 供水管路 9. 自循环供水器 10. 隔板 11. 水泵 12. 有色水供给器

图 2 试验系统示意图

Fig.2 Sketch map of experiment system

收稿日期: 2011-11-14 修订日期: 2011-12-10

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(2008011054)

作者简介: 李治勤(1965-), 男, 山西平遥人, 太原理工大学水利科学与工程学院, 副教授, 博士研究生。山西省太原市迎泽西大街 79 号 太原理工大学水利学院(030024)。农业工程学会会员: 李治勤(14078)

Email: lzq\_lzq@163.com

有色水供给器高度可根据试验情况自由调节, 恒压水箱有效工作水头为 0~26.0 cm。

## 2 试验方案与方法

试验的主要目一是通过观测和比较迷宫流道与直流道内有色水线的形状判断迷宫流道内水流流态; 二是根据观测的流态并结合水头损失与水流断面平均流速之间的关系确定流态转换的临界雷诺数。

测量的物理量有 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>测压孔的压力和流道中水流流量, 其中 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>测压孔的压力直接用测压管量测; 水流流量用秒表与小量筒量测。

试验时首先启动自循环供水器并将活动溢流板调节至最高位置, 待恒压水箱中水位稳定后开始按下列步骤进行试验:

1) 量测流量并读取 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>测压孔测压管水面读数, 观测并记录直流道与迷宫流道中有色水线形状;

2) 逐渐缓慢降低活动溢流板高度, 使恒压水箱中水位缓慢降低, 每降低至某一水位, 待恒压水箱中水位稳定后重复第 1) 步的工作;

3) 当恒压水箱中水位降低至流道中水流流量接近零后, 逐渐缓慢升高活动溢流板高度, 使恒压水箱中水位缓慢升高, 记录每个水位时的流量、1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>测压孔测压管水面读数及有色水线形状。

4) 当恒压水箱中水位升至最高后, 结束本次试验, 更换模型, 重复上述 1)~3) 步的工作。

本文共对 5 种流道尺寸的模型进行了测试, 各模型流道尺寸如表 1 所示。考虑有色水线的可见性, 模型流道最小深与宽确定为 3 mm×3 mm。

表 1 试验模型流道尺寸  
Table 1 Channel dimension of experimental model

序号	模型型号 (深×宽)/(mm×mm)	L <sub>1</sub> /mm	L <sub>2</sub> /mm	L <sub>3</sub> /mm	H <sub>1</sub> /mm	H <sub>2</sub> /mm	H <sub>3</sub> /mm	D/mm	迷宫单元长/mm	迷宫单元数	迷宫段长/mm
1	5×5	820	5	5	5	10	5	25.0	20	15	305
2	4×4	801	4	4	4	10	4	27.0	16	20	324
3	3×3	822	3	3	3	10	3	29.0	12	25	303
4	4×5	820	5	5	5	10	5	25.0	20	15	305
5	3×5	820	5	5	5	10	5	25.0	20	15	305

## 3 结果与分析

### 3.1 迷宫流道内水流流态

当恒压水箱中水位由高到低缓慢变化时, 迷宫流道内开始时不出现有色水线, 当水位降低至某一水位时, 迷宫流道进口段第 1 个迷宫单元中会隐约出现有色水线, 随着水位的继续降低, 第 1 个单元中有色水线会变得较清晰, 继而第 2、第 3 个迷宫单元中相继出现有色水线。但在对上述所有模型的试验中, 有色水线最多会发展至第 3 个迷宫单元, 直至流道中水流流量接近零, 包括第 4 个迷宫单元在内以后的迷宫流道中均未出现有色水线; 随着试验的进行, 恒压水箱中水位逐渐缓慢升高, 此时迷宫流道中有色水线从第 3 个迷宫单元开始到第 1 单元相继抖动、分叉, 消失, 当水箱中水位达到某一较高水位时, 整个迷宫流道内均见不到有色水线。而在恒压水箱中水位由高到低、再由低到高的全部变化过程中, 直流道内均有有色水线并始终保持直线。

试验中观测到的另一现象是, 流道横断面尺寸为 3 mm×3 mm 模型中出现有色水线的迷宫单元数接近 3 个, 5 mm×5 mm 模型中出现有色水线的迷宫单元数不到 1.5 个, 前者较后者为多, 但二者出现有色水线的迷宫单元数占各自总迷宫单元数的比例相近, 分别为 12% 与 10%。此外, 3 mm×3 mm 模型中有色水线较其它模型中较为稳定、清晰。

对上述现象进行分析, 笔者认为, 当恒压水箱中水位较低时, 流道中水流雷诺数较小, 水流黏性力对流体微团的作用大于水流惯性力对流体微团的作用, 因而直流道中出现有色水线, 水流为层流; 当水流进入迷宫流

道后, 受到转折流道的干扰, 但此干扰在进口段还相对较小, 因而在第 1 个迷宫单元中仍会出现有色水线, 水流仍保持层流状态, 随着水流向迷宫流道出口流动, 转折流道对水流的干扰越来越大, 最终导致层流失稳, 水流成为紊流, 有色水线消失。当流道断面尺寸较小时, 水流雷诺数较低, 水流黏性力的作用相对较大, 抗干扰能力较强, 这就是为什么小断面尺寸的模型中出现有色水线的单元数要多于较大断面尺寸模型中出现有色水线的单元数以及前者中有色水线较为稳定、清晰的原因。另一方面, 当恒压水箱中水位较高时, 流道中水流雷诺数较大, 水流黏性力对流体微团的作用相对较弱, 尽管水流在直流道中能保持层流, 但进入迷宫流道后, 稍受转折弯道的干扰, 即失去稳定成为紊流, 于是, 在迷宫流道中就不会出现有色水线。

从上述试验现象及分析可以推论, 对滴灌使用的迷宫灌水器来说, 虽然其断面尺寸比本文模型最小断面尺寸小近 1/3 左右, 但其一般的工作水头为本文模型试验水头的 10~40 倍, 所以可认为其中水流为紊流; 即使进口段个别迷宫单元中会出现层流, 但从其在总迷宫单元数中所占比例来看, 至多可认为水流为过渡区。

### 3.2 迷宫流道水头损失与水流断面平均流速的关系

为与雷诺试验结果对比以进一步分析迷宫流道中水流流态, 图 3 给出了流道尺寸分别为 5 mm×5 mm、5 mm×4 mm、5 mm×3 mm、4 mm×3 mm 及 3 mm×3 mm 模型直流道内水流沿程水头损失与断面平均流速之间的关系(图 3a、c、e、g、i)以及迷宫流道内水流水头损失与断面平均流速之间的关系(图 3b、d、f、h、j)。经使

用能量方程分析, 迷宫流道内水流水头损失  $h_w$  即为流道进口处压力, 可由 2#测压孔压力与 1#、2#测压孔之间管道沿程损失求出, 而直流道内水流沿程水头损失  $h_f$  则为 1#、2#测压孔测压管水头差。

当恒压水箱中水位由高到低缓慢变化时, 数据沿曲线  $ABCD$  下落, 当恒压水箱中水位由低到高缓慢变化时, 数据沿曲线  $DEBA$  上升, 二者在  $B$  点汇合后基本落在直线  $AB$  上。当流道内水流断面平均流速大于  $B$  点对应流速时, 迷宫流道内有色水线消失, 说明整个迷宫流道内水流流态均为紊流; 当流道内水流断面平均流速小于  $B$  点对应流速时, 迷宫流道进口段个别单元中出现有色水线, 其余单元中不出现有色水线, 说明此时进口段个别迷宫单元内水流流态为层流, 其余迷宫流道内水流流态为紊流, 从整个迷宫灌水器来说, 可认为此时水流为层流与紊流相互转换的过渡区; 而无论流道内水流断面平均流速大于  $B$  点对应流速还是小于  $B$  点对应流速, 直流道内均出现有色水线, 说明直流道内水流流态始终能保持层流。在恒压水箱工作水头范围内,  $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  模型迷宫流道中水流处于过渡区, 故图 3j 中没有出现  $AB$  段。

表 2 给出了各模型直流道内水流沿程水头损失与断面平均流速以及迷宫流道内水流水头损失与断面平均流速之间 (即图 3 中  $AB$  段) 的关系, 同时还给出了试验最小雷诺数及  $B$  点对应的雷诺数。

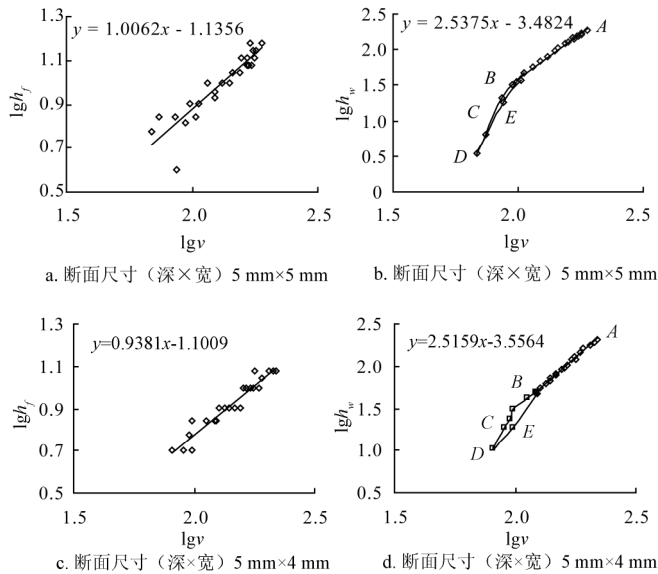
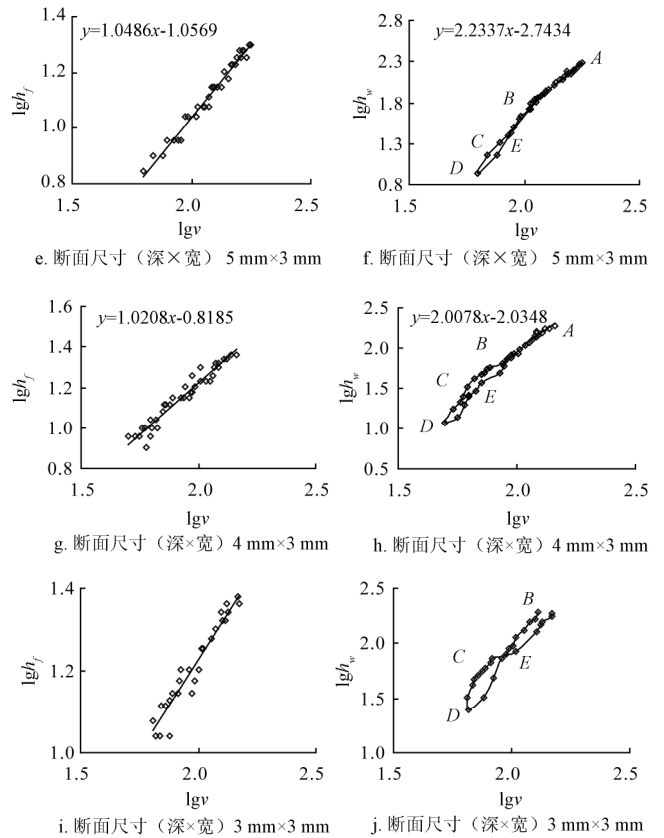


表 2 水头损失与断面平均流速关系及雷诺数

Table 2 Relationship between head loss and cross-section average velocity and Reynolds number

序号	模型型号 (深×宽)/(mm×mm)	直段流道 $h_f-v$ 关系	迷宫段流道 $h_w-v$ 关系	$B$ 点雷诺数 $Re$	最小雷诺数 $Re$
1	$5 \times 5$	$\lg h_f = 1.0062 \lg v - 1.1356$	$\lg h_w = 2.5375 \lg v - 3.4824$	120.0	77.87
2	$5 \times 4$	$\lg h_f = 0.9381 \lg v - 1.1009$	$\lg h_w = 2.5159 \lg v - 3.5564$	125.0	82.93
3	$5 \times 3$	$\lg h_f = 1.0486 \lg v - 1.0569$	$\lg h_w = 2.2337 \lg v - 2.7434$	105.0	55.75
4	$4 \times 3$	$\lg h_f = 1.0208 \lg v - 0.8185$	$\lg h_w = 2.0078 \lg v - 2.0348$	87.5	41.51
5	$3 \times 3$	$\lg h_f = 0.9108 \lg v - 0.5957$			43.15

注: 在恒压水箱工作水头范围内,  $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  模型中水流处于过渡区。雷诺数  $Re = \frac{vR}{\nu}$ ,  $v$  为水流断面平均流速,  $\text{m/s}$ ;  $R$  为水力半径,  $\text{m}$ ;  $\nu$  为水的黏性系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ 。



注:  $v$  为水流断面平均流速,  $\text{mm/s}$ ;  $h_f$  为直流道内水流沿程水头损失,  $\text{mm}$ ;  $h_w$  为迷宫流道内水流水头损失,  $\text{mm}$ 。

图 3 水头损失与断面平均流速之间的关系曲线

Fig.3 Relationcurves between head loss and cross-section average velocity

根据图 3 及表 2, 可知: 1) 由于直流道中水流流态始终为层流, 其沿程水头损失与流速的 1 次方成比例, 与雷诺试验结果相同; 迷宫流道中水流水头损失与流速的 2.0~2.5 次方成比例, 这与雷诺试验结果不同, 主要是因为迷宫流道中水头损失主要为局部水头损失; 2) 根据迷宫灌水器流态指数与断面平均流速指数之间的关系<sup>[20]</sup>, 该迷宫灌水器的流态指数为 0.4~0.5。如果能进一步增加对水流的干扰, 使水流在更长的流道中保持为紊流, 其流态指数可能会更小, 这与文献<sup>[21]</sup>通过水力试验计算出流道宽度为 0.8 和 1.0  $\text{mm}$  的复杂分形流道中流态指数

可降低到 0.33 的结果得以相互印证。3) 迷宫流道断面尺寸较大时,  $AB$  段长度较长, 说明水流在流道内保持完全紊流的时间较长; 4) 迷宫灌水器不断转折的流道对水流有很大的干扰, 可以使其中水流在雷诺数为 41.5 时就失去稳定转变为过渡区; 5) 水流过渡区与紊流相互转换的临界雷诺数不稳定, 该结果也与雷诺试验“上临界雷诺数不稳定”结果相同。在本试验情况下, 该临界雷诺数为 87.5~125.0。

#### 4 结 论

1) 迷宫灌水器不断转折的流道对水流的干扰很大, 可以使其中水流在雷诺数为 41.5 时就失去稳定转变为过渡区。

2) 迷宫流道进口段单元中可能出现层流, 出现层流的单元数占总单元数的 10%~12%。从迷宫灌水器整体来看, 可认为其中水流流态为紊流或过渡区。

3) 与雷诺试验结果不同, 迷宫流道中水流水头损失与断面平均流速的 2.0~2.5 次方成比例。

4) 迷宫灌水器的流态指数可达到 0.4~0.5。

5) 在本试验情况下, 迷宫流道中水流过渡区与紊流区相互转换的临界雷诺数为 87.5~125.0。

#### [参 考 文 献]

- [1] 滕流慧, 聂建平. 我国节水灌溉技术的现状及发展前景[J]. 水利水电技术, 1997, 28(3): 52—54.  
Teng Liuhui, Nie Jianping. Development status and prospect of water-saving irrigation technique in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1997, 28(3): 52—54. (in Chinese with English abstract)
- [2] 郑耀泉. 讨论我国滴头性能技术指标和结构形式的选择问题[J]. 灌溉排水, 1992, 11(2): 8—13.  
Zheng Yaoquan. The selection of dripper's technical performance parameters and structure in China[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1992, 11(2): 8—13. (in Chinese with English abstract)
- [3] 喻黎明, 吴普特, 牛文全, 等. 迷宫流道转角对灌水器水力性能的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 63—67.  
Yu Liming, Wu Pute, Niu Wenquan, et al. Influence of angle of labyrinth channels on hydraulic performance of emitter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 63—67. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘春景, 唐敦兵, 郑加强, 等. 滴灌梯形迷宫滴头流道水力性能响应曲面法优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 46—51.  
Liu Chunjing, Tang Dunbing, Zheng Jiaqiang, et al. Optimization of hydraulic performance for drip irrigation trapezoidal labyrinth channel of emitter using response surface methodology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 46—51. (in Chinese with English abstract)
- [5] 仵峰, 李王成, 李金山, 等. 地下滴灌灌水器水力性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 85—88.  
Wu Feng, Li Wangcheng, Li Jinshan, et al. Hydraulic characteristics of emitter in soil of subsurface drip irrigation system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 85—88. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王晓愚, 白丹, 李占斌, 等. 地下滴灌灌水器水力要素试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 6—10.  
Wang Xiaoyu, Bai Dan, Li Zhanbin, et al. Experimental study on hydraulic characteristics of emitter under subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(10): 6—10. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王尚锦, 刘小民, 席光, 等. 迷宫式滴头内流动的有限元数值分析[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 43—46.  
Wang Shangjin, Liu Xiaomin, Xi Guang, et al. Numerical simulation of flows inside a drip faucet by finite element method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2000, 31(4): 43—46. (in Chinese with English abstract)
- [8] 金文, 张鸿雁. 灌水器内流道流场 Micro-PIV 试验分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 12—17.  
Jin Wen, Zhang Hongyan. Micro-PIV analysis of flow fields in flow channel of emitter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 12—17. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王福军, 王文娥. 滴头流道 CFD 分析的研究进展与问题[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 188—192.  
Wang Fujun, Wang Wen e. Research progress in analysis of flow passage in irrigation emitters using computational fluid dynamics techniques[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(7): 188—192. (in Chinese with English abstract)
- [10] 颜廷熠, 仵峰, 宰松梅. 滴头流道内部水流流动机理研究的进展与问题[J]. 节水灌溉, 2008(5): 19—22.  
Yan Tingyi, Wu Feng, Zhai Songmei. Advance and problems of research on inner flow mechanism in the flow passage of emitter[J]. Water Saving Irrigation, 2008(5): 19—22. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王新坤, 李亚飞. 单翼迷宫灌水器进口流场数值模拟与结构优化[J]. 排灌机械, 2009, 27(1): 60—63.  
Wang Xinkun, Li Yafei. Numerical calculation and structural optimization for inlet flow field of single wing labyrinth drip irrigation emitter[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2009, 27(1): 60—63. (in Chinese with English abstract)
- [12] 常莹华, 牛文全, 王维娟. 滴灌灌水器迷宫流道的内部流体数值模拟与流动分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(2): 203—208.  
Chang Yinghua, Niu Wenquan, Wang Weijuan. Numerical simulation and flow analysis of labyrinth path of drip irrigation emitters[J]. Journal of Northwest A and F University: Nat. Sci. Ed, 2009, 37(2): 203—208. (in Chinese with English abstract)
- [13] 芦刚, 史玉升, 魏青松, 等. 基于两相流模拟的高抗堵滴灌灌水器开发方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(7): 118—121.  
Lu Gang, Shi Yusheng, Wei Qingsong, et al. A development method for high anti-clogged drip emitters based on

- two-phase flow simulations[J]. Huazhong University of Science and Technology: Nature Science Edition, 2007, 35(7): 118—121. ( in Chinese with English abstract )
- [14] 喻黎明, 吴普特, 牛文全, 等. 迷宫流道内固体颗粒运动的 CFD 模拟及 PIV 验证[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 45—51.  
Yu Liming, Wu Pute, Niu Wenquan, et al. CFD numerical simulation and PIV verification about the movement of solid particles in labyrinth channel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 45—51. (in Chinese with English abstract)
- [15] 牛文全, 吴普特, 喻黎明. 基于含沙量等值线的迷宫流道结构抗堵塞设计与模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 14—20.  
Niu Wenquan, Wu Pute, Yu Liming. Anti-clogging experimental investigation and optimized design of micro-channels of emitter based on isoline of sand content[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(5): 14—20. ( in Chinese with English abstract)
- [16] 王尚锦, 刘小民, 席光, 等. 农灌用新型迷宫式滴头内流动特性分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 61—63.  
Wang Shangjin, Liu Xiaomin, Xi Guang, et al. Numerical simulation of flows inside a drip faucet by finite element method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 61—63. ( in Chinese with English abstract )
- [17] 杨培岭, 雷显龙. 滴灌用灌水器的发展及研究[J]. 节水灌溉, 2000(3): 17.  
Yang Peilin, Lei Xianlong. Development and study on drip irrigation emitters[J]. Water Saving Irrigation, 2000(3): 17. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李永欣, 李光永, 邱象玉, 等. 迷宫滴头水力特性的计算流体动力学模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 12—16.  
Li Yongxin, Li Guangyong, Qiu Xiangyu, et al. Modeling of hydraulic characteristics through labyrinth emitter in drip irrigation using computational fluid dynamics[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(3): 12—16. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李云开, 杨培岭, 任树梅, 等. 滴灌灌水器迷宫式流道内部流体流动特性分析与试验研究[J]. 水利学报, 2005(7): 886—890.  
Li Yunkai, Yang Peilin, Ren Shumei, et al. Experimental study on flow characteristics in labyrinth path emitters[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005(7): 886—890. (in Chinese with English abstract)
- [20] Li Zhiqin, Li Lin. The influence of the sectional form of labyrinth emitter on the hydraulic properties[C]// International Conference, AICI 2011, Yaiyuan, China, 2011.
- [21] 雷显龙. 滴头分形流道设计及其水力特性的试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.  
Lei Xianlong. Design of Fractal Flow Path for Emitters and Experiment Study on Its Hydraulic Performance[D]. BeiJing: China Agricultural University, 2001. (in Chinese with English abstract)

## Experiment on flow pattern in labyrinth emitter

Li Zhiqin<sup>1 2</sup>, Ma Jing<sup>2</sup>

(1. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. College of Water Resources and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** In order to analyze the flow pattern and the critical Reynolds number of flow pattern conversion to each other in the runner of the labyrinth emitter, the tests of the water flow for the model with five different sizes of runner were conducted, the phenomena of water flow were observed and analyzed, the relationship between the head loss and average velocity in the labyrinth runner was analyzed, and the relationship between friction loss and average velocity along the straight runner that with the same section size as the labyrinth runner was analyzed. The results show that: The labyrinth path has great disturbance on the flow, making the laminar flow change into the transition region when Reynolds number is 41.5; the laminar flow may occur in the labyrinth units at the entrance section which accounts for 10%-12% of the whole labyrinth units. as a whole, the flow pattern can be regarded as turbulence or transition region; unlike the classical Reynolds test, the head loss in the labyrinth path is proportional to the 2.0-2.5th power of average velocity of section; the flow pattern index of labyrinth emitter can be 0.4-0.5; and the critical Reynolds number of flow state conversion between transition region and the turbulence ranges from 87.5 to 125.0 in the test.

**Key words:** flow patterns, Reynolds number, losses, emitter, labyrinth channel