

# T 型三通管水力特性的数值模拟与试验研究

陈江林, 吕宏兴<sup>\*</sup>, 石 喜, 朱德兰, 王文娥

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 杨凌 712100)

**摘 要:** 为研究 T 型三通管水流的流动特性, 该文进行了试验研究和数值模拟。试验中使用压力传感器监测管道动水压强, 数值模拟采用 SIMPLEC 的求解方法求解 Navier-Stokes 方程和  $\kappa-\epsilon$  湍流方程。分析不同工况下水头损失的产生机理, 得到了不同分流比、入口流速、管径比对水头损失系数的影响: 单管通水时水头损失系数比双管通水时的水头损失系数约大 1.01~1.94 倍, 当入口雷诺数  $Re$  相同时垂直支管的水头损失系数比水平支管的水头损失系数约大 2.20~2.55 倍, 不同管径比对垂直支管的水头损失系数影响不明显, 水平支管的水头损失系数随管径比的增大而减小。研究表明, 数值模拟结果与试验结果吻合较好, 得出的结果对工程有指导意义。

**关键词:** 管道, 模拟, 试验, 水头损失系数, 分流比, 管径比

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.05.013

中图分类号: S224.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-05-0073-05

陈江林, 吕宏兴, 石 喜, 等. T 型三通管水力特性的数值模拟与试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 73-77.  
Chen Jianglin, Lü Hongxing, Shi Xi, et al. Numerical simulation and experimental study on hydrodynamic characteristics of T-type pipes[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 73-77. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

随着国民经济的发展, 灌溉技术发挥着越来越重要的作用。三通管道是树状灌溉管网中最基本的连接单元之一, 其水力特性的研究对管网优化起着重要的作用。国内在三岔管的水流流动方面的研究已有不少成果, 例如李玲、杨校礼等<sup>[1-4]</sup>针对三岔管在发电和抽水 2 种工况, 对其内水流的流动进行数值模拟和试验研究, 李嵩铿<sup>[5]</sup>建立了简洁的有限元总体方程式对大型微灌系统的水力问题进行分析计算, 赵凤娇等<sup>[6]</sup>提出了喷灌系统水力解析新方法——改进前进法 (EFSM), 周荣敏等<sup>[7]</sup>用遗传算法和神经网络方法对树状管网进行优化布置与优化设计, 但可参考的有关 T 型三通管研究方面的文献却相对较少; 国外在 T 型三通管研究方面做了很多工作, 亦取得了许多成绩, 但是所选的试验管径和流速大小很少针对灌溉输水管道<sup>[8-11]</sup>。本文通过试验研究, 同时结合数值模拟, 对 T 型三通管道的水头损失系数及流态进行分析, 得到了 T 型三通管道的水力特性规律及能量耗散机理。

## 1 试验设备和方法

试验在西北农林科技大学北校区水工厅进行, 试验

管材采用直径为 75 mm 的 PVC 管。试验在图 1 所示的循环供水系统进行 (定义三通分流前的进水管段为主管, 垂直于主管的支管为垂直支管, 平行于主管的支管为水平支管), 试验过程中利用潜水泵向高位水箱供水, 水箱水位保持恒定值并向试验管道供水, 水流经主管流过三通管, 再经支管流出后由回水渠流入水池。流量大小可用主管上的阀门或支管上的阀门加以调节, 流量用支管末端的三角形薄壁堰测量, 用安装在三通管上游 IFM4080K 型的电磁流量计 (上海光华爱而美特仪器有限公司) 进行校核。试验段前后断面上安装 BSCYG9010 型精度为 0.1% 的压力传感器 (宝鸡市亚克液压测控有限公司) 用以测量试验段的压强, 压力信号由配有 PCI8602 型数据采集仪 (北京阿尔泰科技发展公司) 的 PC 计算机进行采集, 测压孔沿管道侧壁中心线布置, 测点布置见图 2。其中三角形薄壁量水堰的流量计算公式为

$$Q = C_e \frac{8}{15} \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh_e^{\frac{5}{2}}}$$

式中:  $C_e$  为三角形薄壁量水堰的流量系数, 为 0.577;  $\theta$  为三角堰的角度, 其值为  $60^\circ$ ;  $h_e$  为堰上水头。

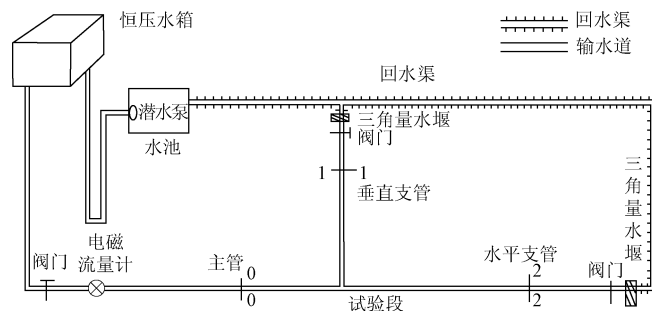


图 1 三通管道试验布置图

Fig.1 Layout of tee pipeline experiment

收稿日期: 2011-07-21 修订日期: 2011-08-28

基金项目: 国家“863”计划项目 (2010AA10A302); 国家自然科学基金资助项目 (50909083)。

作者简介: 陈江林 (1984—), 女, 云南保山人, 主要从事有压管水力特性的研究工作。杨凌 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 712100。

Email: chenjianglin0523@yahoo.com.cn

\*通信作者: 吕宏兴 (1955—), 男, 陕西陇县人, 教授, 博士生导师, 主要从事水力学方面研究。杨凌 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 712100。Email: lvhongxing@nwsuaf.edu.cn

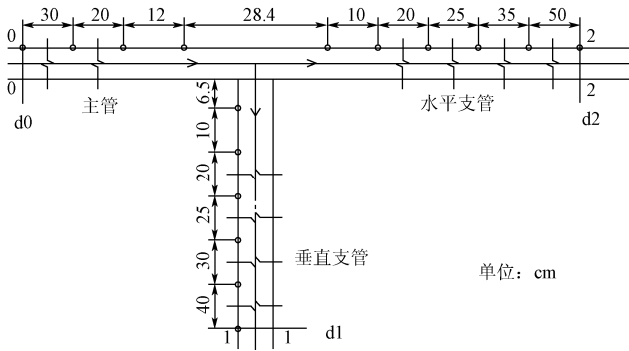


图2 三通管道压强测点布置图

Fig.2 Point arrangement for pressure measurement of tee pipeline

## 2 数值求解方法

连续性方程

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

动量方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u'_i u'_j})$$

式中,  $\rho$  为流体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $u_i, u_j (i,j=1,2,3)$  为各时均速度分量,  $\text{m/s}$ ;  $P$  为流体的时均压力,  $\text{N/m}^2$ ;  $\mu$  为流体的动力黏度,  $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ ;  $\delta_{ij}$  是“Kronecker delta”符号(当  $i=j$  时,  $\delta_{ij}=1$ ; 当  $i \neq j$  时,  $\delta_{ij}=0$ )<sup>[12]</sup>;  $k$  为湍动能;  $\overline{u'_i u'_j}$  为未知 Reynolds 应力分量。

因为在三通管内水流存在漩涡流动, 流线弯曲程度较大, 所以选用 RNG $\kappa$ - $\epsilon$  湍流模型<sup>[12-13]</sup>

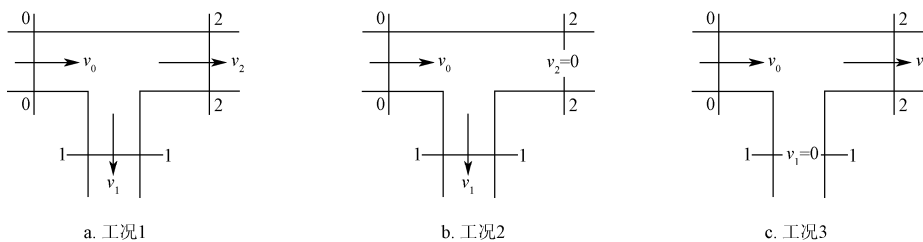
$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \alpha_\kappa \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_\kappa + \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\epsilon}^*}{\kappa} G_\kappa - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{\kappa}$$

式中,  $k$  为湍动能;  $\epsilon$  为湍动耗散率;  $\alpha_\kappa, \alpha_\epsilon$  分别为与湍动能  $k$  和耗散率  $\epsilon$  对应的 Prandtl 数, 值均为 1.39;  $t$  为时间,  $s$ ;  $G_\kappa$  是由于平均速度梯度引起的湍动能  $k$  的产生项,

$$G_\kappa = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \text{ 其中 } \mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\epsilon}, C_\mu=0.0845;$$

$C_{1\epsilon}^*$  为修正系数,  $C_{1\epsilon}^* = C_{1\epsilon} - \frac{\eta(1-\eta/\eta_0)}{1+\beta\eta^3}$ , 其中  $\eta_0=4.377$ ,



注:  $v_0, v_1, v_2$  分别为不同截面的流量

图4 典型工况示意图

Fig.4 Schematic diagram of typical operating cases

$$\beta=0.012, C_{1\epsilon}=1.42, \eta = (2E_{ij} \cdot E_{ij})^{1/2} \frac{\kappa}{\epsilon}, E_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right);$$

$C_{2\epsilon}$  为经验常数, 值为 1.68;  $\mu_{eff}$  为修正的湍动黏度,  $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ 。

三通管的入口断面满足如下边界条件

$$u = const, v = w = 0, \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

三通管的出口断面满足如下边界条件

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = 0, p = const$$

壁面采用无滑移条件, 近壁区使用标准壁面函数<sup>[14-15]</sup>。

为减小上下游边界对计算域的影响, 计算模型的前后计算尺寸分别大于对应管径 10 倍<sup>[16]</sup>。图 3 展示了管径比为 1:1 的三通管网格划分, 在三通段采用非结构网格, 在主管与支管中采用结构网格。方程的离散采用有限体积法, 应用 QUICK 格式<sup>[17-18]</sup>, 速度场与压力的耦合计算采用 SIMPLEC 算法<sup>[19]</sup>。

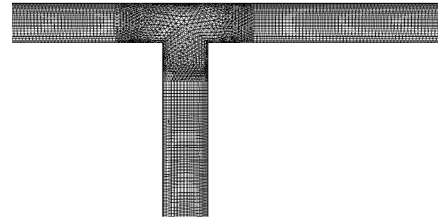


图3 计算域网格图

Fig.3 Meshes of computation domain

## 3 数值求解结果与分析

### 3.1 水头损失分析

在试验过程中发现在入口断面 0—0 流动过程基本稳定, 在主管断面 2—2 和支管断面 1—1 处基本为充分发展的流动, 所以在处理数据时选取断面 0—0、断面 1—1、断面 2—2 处的压强值来计算水头损失系数, 并定义主管支管分流比  $q$  为  $Q_1/Q_0$ ,  $Q$  为流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 管径比为  $d_1/d_0$ ,  $d$  为直径,  $\text{m}$ 。

根据实际工程中可能出现的供水情况将三通管道供水分为 3 种典型工况, 见图 4: 1) 工况 1: 双管同时供水; 2) 工况 2: 垂直支管单管供水; 3) 工况 3: 水平支管单管供水。各工况下水头损失系数, 垂直支管部分的以 0—0 断面与 2—2 断面之间计算, 水平支管部分的以 0—0 断面与 1—1 断面之间计算。

水头损失按能量方程计算<sup>[20]</sup>

$$Z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} + h_{wi}$$

其中

$$h_{wi} = \zeta_i \frac{v_0^2}{2g}, \text{ 即 } \zeta_i = \frac{2g \cdot h_{wi}}{v_0^2} \quad (i=1, 2)$$

式中,  $Z$  为位置水头,  $m$ ;  $P$  为测点压强,  $N/m^2$ ;  $\gamma$  为水的体积质量,  $kg/(m^2 \cdot s^2)$ ;  $v_0$  为主管入口流速,  $m/s$ ;  $h_w$  为水头损失,  $m$ ;  $\zeta$  为水头损失系数。考虑到实际应用中管道的不淤流速和经济流速, 本试验及计算模型的入口流速在  $0.5 \sim 3.5 m/s$  之间, 即入口雷诺数  $Re$  在  $3\ 365 \sim 23\ 557$  之间, 相关的试验结果及数值模拟结果见图 4 至图 7。

图 5 为工况 1 时, 水头损失系数  $\zeta_{0-1}$ 、 $\zeta_{0-2}$  随不同分

流比、不同入口雷诺数  $Re$  的变化趋势图。从图中可以看出试验值和模拟值基本上吻合, 水头损失系数的相对误差最小值为 5%、最大值为 38%。 $\zeta_{0-1}$ 、 $\zeta_{0-2}$  随着分流比的增大先减小再增加: 分流比在 0.2 附近时  $\zeta_{0-1}$  达到最小, 分流比在 0.2~0.5 附近变化时, 其对  $\zeta_{0-1}$  的影响不大; 分流比在 0.5 附近时  $\zeta_{0-2}$  达到最小, 分流比在 0.45~0.6 附近变化时, 其对  $\zeta_{0-2}$  的影响不大。当分流比相同时, 入口雷诺数  $Re$  小的工况的水头损失系数  $\zeta_{0-1}$ 、 $\zeta_{0-2}$  比入口雷诺数  $Re$  大的工况的  $\zeta_{0-1}$ 、 $\zeta_{0-2}$  大, 当入口雷诺数  $Re$  为 3365 的时候水头损失系数最大, 入口雷诺数  $Re$  在  $10\ 096 \sim 23\ 557$  时其对水头损失系数的影响相对较小。当入口雷诺数  $Re$  相同且分流比也相同时, 水头损失系数  $\zeta_{0-1}$  远远比  $\zeta_{0-2}$  要大, 约为 1.88~3.47 倍。

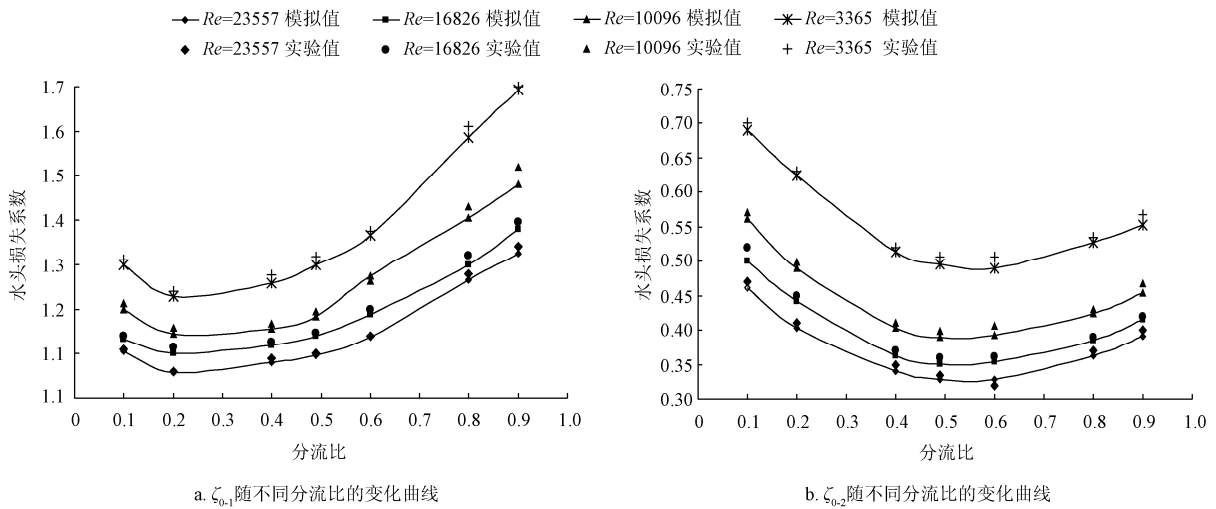


图 5 工况 1 时分流比对水头损失系数的影响

Fig.5 Impacts of water split ratio on head loss coefficient under case 1

图 6 为工况 2、工况 3 时, 水头损失系数随着不同入口雷诺数  $Re$  的变化趋势图。从图中可以看出试验值和模拟值基本上吻合, 工况 2 供水时水头损失系数的相对误差最小值为 10%、最大值为 48%, 工况 3 供水时水头损失系数的相对误差最小值为 6%、最大值为 32%; 水头损失系数随着入口雷诺数  $Re$  的增大而减小, 当  $Re > 10\ 000$  时, 入口雷诺数  $Re$  对水头损失系数的影响情况变小; 当入口雷诺数  $Re$  相同时工况 2 的水头损失系数比工况 3 的

水头损失系数大得多, 约大 2.20~2.55 倍, 最大差值可达到 1.014。对比工况 1、工况 2 和工况 3 可以发现单管供水时的水头损失比双管供水时的水头损失大 1.01~1.94 倍。

通过以上试验与数值模拟的对比可以看出两者吻合较好, 为节省时间、人力物力, 本文在探索水头损失系数随不同管径比的变化规律时不再进行试验, 而是利用经过验证的数值模型进行计算分析。计算中取入口流速

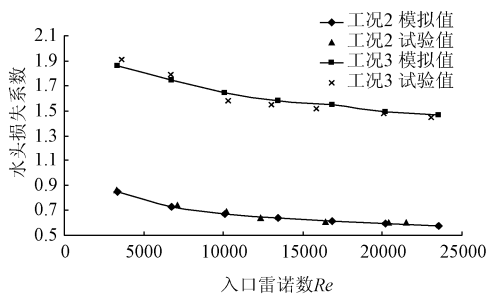
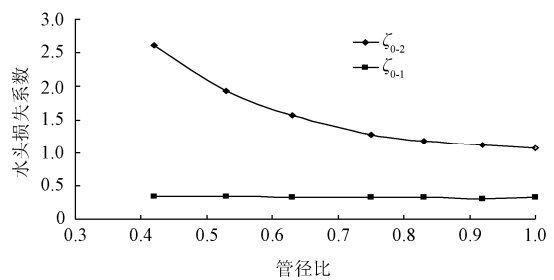


图 6 工况 2 与工况 3 时水头损失系数随入口雷诺数  $Re$  的变化曲线图

Fig.6 Curves of head loss coefficient changing with entrance  $Re$  under cases 2 and 3



注: 图中  $\zeta_{0-1}$  表示断面 0-0 与断面 1-1 间的水头损失系数,  $\zeta_{0-2}$  表示断面 0-0 与断面 2-2 间的水头损失系数

图 7 工况 1 时水头损失系数随不同管径比的变化曲线  
Fig.7 Curves of head loss coefficient changing with different diameters ratio under case 1

为 3 m/s, 分流比为 0.3, 主管直径  $d_0$ 、水平支管直径  $d_2$  不变, 改变垂直支管直径  $d_1$ , 计算结果见图 7。从图中可以看出管径比对  $\zeta_{0.1}$  的影响非常不明显,  $\zeta_{0.1}$  随管径比的变化曲线几乎是一条直线;  $\zeta_{0.2}$  随着管径比的增大呈不断减小的趋势, 当管径比大于 0.75 时,  $\zeta_{0.2}$  减小的趋势变缓, 变化曲线几乎接近一条直线。

### 3.2 数值模拟流场分析

3 种工况下, 三通管过管轴线的水平面水流流场数值计算结果见图 8, 图中密集部分表示网格剖分较密, 流速表示为轴向流速方向。

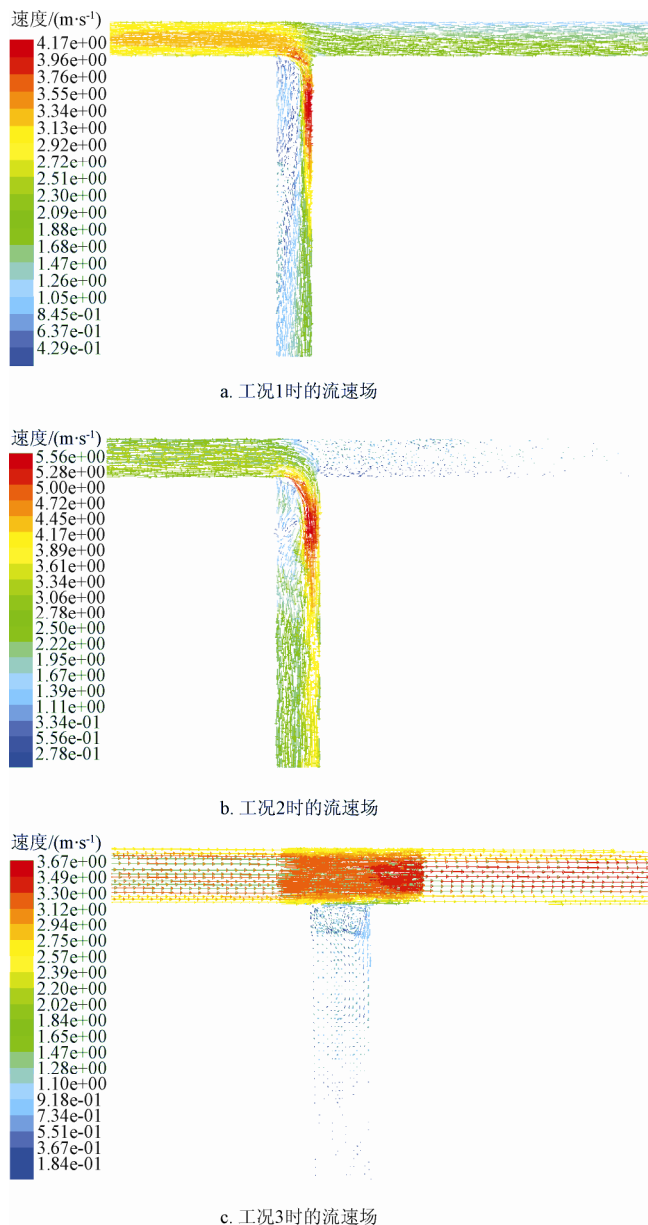


图 8 各工况下三通管数值计算管轴线平面流速场

Fig.8 Simulated axial plane velocity fields of tee pipe under various operating cases

1) 工况 1 时总体水流流速分布比较均匀。水流流经三通管后流入水平支管的水体动水压强升高, 下侧流速较大, 上侧流速较小, 出现高流速区与低流速区之分,

总体流速较入口流速变小, 水流流动比较平顺; 流入垂直支管的水流在水平支管的高压力下改变方向发生强烈弯曲流向支管, 右侧流速较大, 左侧流速较小, 压强变小并出现分离区, 与此同时伴随着大量的漩涡产生。该工况的水头损失主要来源于离心力造成的流速分布变化的损失、流动方向的改变的损失及漩涡引起的水头损失, 因此该工况垂直支管产生的水头损失较大, 水平支管产生的水头损失较小。

2) 工况 2 时水流紊动最大。主管水流在三通处撞击水平支管停滞水体, 然后强烈弯曲改变流向进入垂直支管中, 在不过流支管中因撞击和剪切诱发而出现较大的旋涡区; 进入垂直支管时流速开始增大, 在支管右侧流速达到最大, 同时支管左侧出现较大的分离区, 此区内流速、压强较小, 二次流现象明显, 在近主管处产生回流。该工况的水头损失主要来源于流动方向的改变的损失及漩涡引起的能量损失, 因此该工况产生的水头损失最大。

3) 工况 3 时直管水流流速比较分布均匀。当水流经过支管时, 因剪切作用使支管内的水体发生紊动, 很少的一部分流动水流从支管右侧进入, 引起较弱的旋涡区。该工况的水头损失主要来源于沿程水头、由漩涡引起的水头损失, 因此该工况所产生的水头损失相对较小。

## 4 结论

本文通过试验和数值模拟方法来研究 T 型三通管的水力特性, 3 种工况下水头损失系数的试验值与模拟值的相对误差最小值为 5%, 最大值为 48%, 数值计算与试验结果吻合较好, 结果表明所建立的数值计算模型适合三通管道计算, 并可初步得出 T 型三通管的以下特征: 1) 双管供水时, 垂直支管的水流流动比较平顺, 但水平支管的水流发生强烈弯曲流, 并出现分离区, 产生大量的漩涡, 所以在相同的情况下垂直支管的水头损失系数比水平支管的水头损失系数约大 1.88~3.47 倍, 分流比在 0.5 附近时总的能量损失最小, 所以工程上供水最好在分流比为 0.5 附近运行。2) 单管供水时, 水流紊动最大, 在相同流速的情况下, 垂直支管的水头损失系数比水平支管的水头损失系数约大 2.20~2.55 倍。3) 单管供水时的水头损失比双管供水时的水头损失约大 1.01~1.94 倍。4) 不同管径比对垂直支管的水头损失系数影响不明显, 水平支管的水头损失系数随管径比的增大而减小, 为使水头损失较小工程设计时管径比应大于 0.75。

### [参 考 文 献]

- [1] 李玲, 李玉梁, 黄继汤, 等. 三岔管内水流流动的数值模拟与试验研究[J]. 水利学报, 2001, 32(2): 49-53.  
Li Ling, Li Yuliang, Huang Jitang, et al. Numerical simulation and experimental study on waterflow in Y-type tube[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 32(2): 49-53. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘沛清, 屈秋林, 王志国, 等. 内加强月牙肋三岔管水力特性数值模拟[J]. 水利学报, 2004, 35(2): 42-46.  
Liu Peiqing, Qu Qiulin, Wang Zhiguo, et al. Numerical simulation on hydrodynamic characteristics of bifurcation

- pipe th internalcrescentirb[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(2): 42—46. (in Chinese with English abstract)
- [3] 毛根海, 章军军, 程伟平, 等. 卜型岔管水力模型试验及三维数值计算研究[J]. 水力发电学报, 2005, 24(2): 17—20. Mao Genhai, Zhang Junjun, Cheng Weiping, et al. Experimental study and 3-D numerical simulation on water flow in Y-type pipe[J]. Hydroelectric Power Journal, 2005, 24(2): 17—20. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨校礼. 三岔管水流数值模拟及水流特性研究[D]. 天津: 天津大学, 2004. Yang Xiaoli. Three Bifurcation Pipe Flow Numerical Simulation and Flow Characteristics[D]. Tianjin: Tianjin University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李嵩铿. 滴灌树状管网水力计算的有限元法[J]. 农业工程学报, 1992, 8(3): 53—59. Li Aikeng. Finite Element Method for Tree-shape Network Hydraulic Calculation of Drip Irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1992, 8(3): 53—59. (in Chinese with English abstract)
- [6] 赵凤娇, 王福军. 管道式喷灌系统水力解析的改进前进(EFSM)算法[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 73—76. Zhao Fengjiao, Wang Fujun. Extended forward step method for hydraulic analysis of pipeline sprinkler irrigation system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(7): 73—76. (in Chinese with English abstract)
- [7] 周荣敏, 雷延峰, 林性粹. 压力输水树状管网遗传优化布置和神经网络优化设计[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 73—76. Zhu Rongsheng, Hu Ziqiang, Fuqiang. Numerical simulation of pressure fluctuation in double-blade pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(1): 73—76. (in Chinese with English abstract)
- [8] Costa N P, Maia R, Proenca M F. Edge effects on the flow characteristics in a 90 deg tee junction[J]. 2006, 128(11): 1204—1217.
- [9] Pérez-García J, Sanmiguel-Rojas E, Viedma A. New experimental correlations to characterize compressible flow losses at 90-degree T-junctions[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2009, 33: 261—266.
- [10] Perez-Garca J, Sanmiguel-Rojas E, Hernandez-Grau J. Numerical and experimental investigations on internal compressible flow at T-type junctions[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2006, 31(2): 61—74.
- [11] Zachary B. Sharp, Michael C. Johnson P E M. ASCE. Energy losses in cross junctions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 136(1): 50—55.
- [12] 王福军. 计算流体动力学分析: CFD 软件原理与应用[M]. 清华大学出版社, 2004.
- [13] Herbert Niessner and Ennio Codan. Significance of truckenbrodt's energy and momentum coefficients for loss calculation in ramified pipe systems[J]. Journal of Water Resources Planning And Management, 2010, 217(10): 449—450.
- [14] 郭婷婷, 李少华, 许忠, 等. 两种近壁湍流模式对横向紊动射流尾流场的影响[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2006, 21(1): 49—53. Guo Tingting, Li Shaohua, Xu Zhong, et al. On the two near-wall turbulence models for simulating turbulent jets' wake in crossflow[J]. Journal of Hydrodynamics, 2006, 21(1): 49—53. (in Chinese with English abstract)
- [15] 施卫东, 董颖, 马新华, 等. 流道截面形状对旋涡泵内部流动影响的数值模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 21—23. Shi Weidong, Dong Ying, Ma Xinhua, et al. Numerical simulation of the effect of channel section shape on the inner flowing of vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(3): 21—23. (in Chinese with English abstract)
- [16] Romero-Gomez P, Ho C K, Choi C Y. Mixing at cross junctions in water distribution systems. I: Numerical study[J]. Journal of Water Resources Planning And Management, 2008, 134(3): 285—293.
- [17] Austin R G, van Bloemen Waanders B, McKenna S, et al. Mixing at cross junctions in water distribution systems.II: Experimental study[J]. Journal of Water Resources Planning And Management, 2008, 285(5): 295—302.
- [18] Guohui Gan, Saffa B. Riffat. Numerical determination of energy losses at duct junctions[J]. Applied Energy, 2000, 67(3): 331—340.
- [19] Ulrica Renberg, Fredrik Westin, Hans-Erik Angstrom. Study of junctions in 1-D & 3-D simulation for steady and unsteady flow[J]. SAE International, 2010, 33: 261—266.
- [20] 吕宏兴, 裴国霞, 杨玲霞. 水力学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

## Numerical simulation and experimental study on hydrodynamic characteristics of T-type pipes

Chen Jianglin, Lü Hongxing<sup>\*</sup>, Shi Xi, Zhu Delan, Wang Wene

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to research flow characteristics of T-type pipeline, experiments and numerical simulations were conducted. Pressure sensors were used to monitor the dynamic water pressure of the pipeline, and SIMPLEC method was applied to solve the Navier-Stokes equations and the  $\kappa$ - $\varepsilon$  turbulence equation in Numerical simulation. Mechanism of pressure loss under different operating cases were analyzed, and impacts of different split ratios, entrance velocities, length-diameter ratios on head loss coefficient were obtained. The head loss coefficient of single tube was 1.01-1.94 times larger than that of double-pipe. The pressure loss coefficient of vertical branch pipe was 2.20-2.55 times larger than that of horizontal branch pipe given same inlet  $Re$ . The influence of different length-diameter ratio on head loss coefficient of the vertical branch pipe was not obvious, while the head loss coefficient of the horizontal branch increased with decrease of length-diameter ratio. The numerical simulation results accord with the experimental results well, and they are instructive to project applications.

**Key words:** pipe, computer simulation, experiments, head loss coefficient, split ratio, length-diameter ratio