

偏心文丘里流量计的试验与数值模拟

蔡守华, 盛媛茜, 沈亚龙

(扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 【目的】克服传统的文丘里流量计用于低压管道输水灌溉系统测流时上游侧容易产生淤积的问题。【方法】以直管段管径 DN100、缩径比为 0.35 的偏心文丘里管为例, 分别进行了实际测流试验及基于 FLOW-3D 的数值模拟研究, 并对偏心文丘里管压力差及流出系数进行了对比分析。【结果】数值模拟的流出系数与试验流出系数基本一致, 利用 FLOW-3D 进行偏心文丘里流量计模拟分析是可行的; 偏心文丘里流量计流出系数的相对误差小于 5%, 能满足低压管道输水灌溉量水要求。【结论】偏心文丘里流量计在低压管道输水灌溉量水领域有较好的应用前景。

关键词: 管道量水; 偏心文丘里管; 数值模拟; 流出系数; 流量计

中图分类号: S274.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020406

OSID:



蔡守华, 盛媛茜, 沈亚龙. 偏心文丘里流量计的试验与数值模拟[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(4): 60-65.

CAI Shouhua, SHENG Yuanqian, SHEN Yalong. Experiment and Numerical Studies on Eccentric Venturi Flow Meter[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(4): 60-65.

0 引言

【研究意义】低压管道输水是农业灌溉输水的主要形式之一^[1-2], 而量水设备作为低压管道输水灌溉系统的重要附属设施, 其选型应与管道输水灌溉的投资水平、测流环境、水质特点等测流环境相适应^[3-4], 然而目前为低压管道输水灌溉专门研发的量水设备还很少, 因此研制经济适用的量水设备对于保障管道输水灌溉的健康发展具有重要的现实意义。【研究进展】目前低压管道输水灌溉系统多采用工业或民用领域输水管道测流装置。通常使用的量水设备主要包括水表、文丘里流量计、孔板流量计、电磁流量计、超声波流量计、管道式分流量水计等^[5]。电磁流量计、超声波流量计价格较高, 测流精度受安装环境条件影响较大^[6-7]。孔板流量计结构简单, 但水头损失较大, 对于以地表水为水源的管道输水灌溉, 水流中泥沙等杂质质量较大^[8], 孔板上游侧容易形成泥沙等杂质淤积。20 世纪 80 年代末, 林性粹^[9]提出一种采用活动式闸板的圆缺孔板量水装置, 目前在市政上对于脏污介质流体流量计量, 为防止一般的节流式流量计装置上游侧产生淤积, 建议采用无底坎的圆缺孔板流量计^[14-15]。近年张旭^[10]提出了一种偏心孔板节流式量水装置。这 2 种量水装置虽解决了标准孔板流量计上游侧易淤积的问题, 但水力条件不佳, 水头损失较大。【切入点】传统的文丘里流量计水流顺畅

平稳, 压力损失较小, 相较于孔板等测流装置, 其节能降耗效果更佳^[11-13], 但是应用于以地表水为水源的管道输水灌溉时, 因为喉管段明显抬高, 水流中泥沙及其他推移质易在其上游侧收缩段前形成淤积, 从而影响装置流场分布和测流精度。【拟解决的关键问题】为解决上述问题, 同时又保留文丘里管水头损失较小的优点, 本文提出一种新型偏心文丘里管测流装置, 并通过实际试验及数值模拟分析该装置应用于低压管道输水灌溉系统测流的可行性。

1 偏心文丘里管的结构与测流原理

1.1 偏心文丘里管的结构

传统的文丘里管由入口圆管段、收缩段、喉管段和扩散段组成, 一般入口圆管段长等于入口圆管管径, 喉管段长等于喉管管径, 其结构如图 1(a) 所示。传统文丘里管收缩段呈轴对称径向收缩, 喉管段明显抬高, 这种结构容易对灌溉输水管道中的固体粗颗粒污物形成拦截淤积, 从而影响文丘里管的正常测流。偏心文丘里管的组成结构与普通文丘里管基本相似, 也是由入口圆管段、收缩段、喉管段和扩散段组成, 但是改变了入口收缩方式和出口的扩散方式, 即其收缩段集中向圆管底部呈偏心收缩, 直至与喉管段相接, 扩散段向上部呈偏心扩散, 喉管段长与喉管直径相等, 其结构如图 1(b) 所示。偏心文丘里流量计消除了底坎, 明显提高了杂质通过能力, 避免在喉管段前发生淤堵。偏心文丘里管的结构参数主要包括喉管段缩径比(喉管直径 d 与入口圆管直径 D 之比)、收缩锥角 α_1 及扩散锥角 α_2 等。

收稿日期: 2020-07-21

基金项目: 江苏省水利科技项目(2016013)

作者简介: 蔡守华(1964-), 男, 江苏如东人。教授, 主要从事农田水利及水生态工程方面的研究。E-mail: caish@yzu.edu.cn

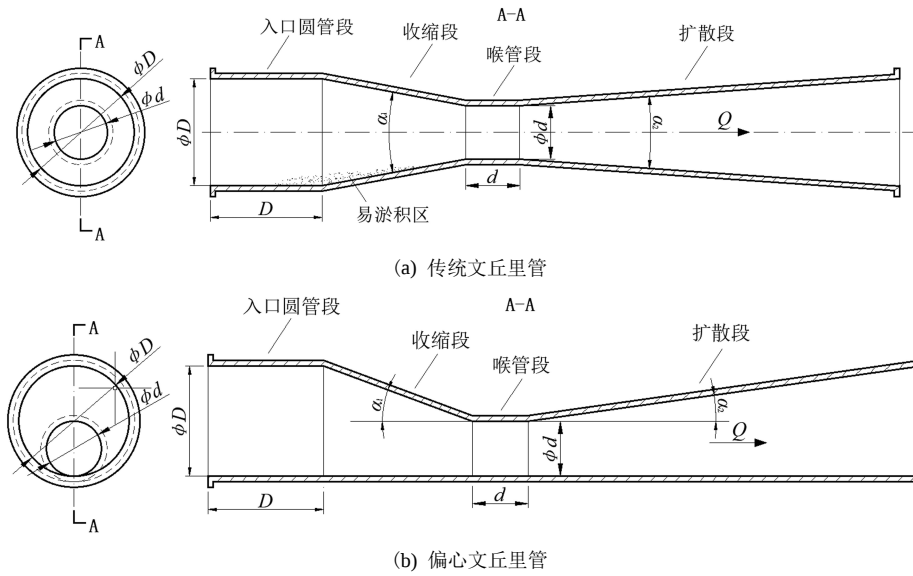


图1 传统文丘里管与偏心文丘里管结构对比

Fig.1 Schematic diagram of classical Venturi tube and eccentric Venturi tube

1.2 测流原理

偏心文丘里流量计是以偏心文丘里管替换普通文丘里管而形成的一种测流装置，其结构形式与普通文丘里流量计有所差别，但测流原理基本相同，仍属于差压类量水设备^[16]。当水流流经偏心文丘里管收缩段时，过流面积逐渐减小，流速增加，压力下降，在喉管段压力降到最低值。经此节流作用，偏心文丘里管的入口圆管断面与喉管段断面必定存在着一定压力差，由流体的连续性方程和能量方程可推导出流量计算式^[17-18]：

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} \beta^2 D^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (1)$$

式中：\$Q\$ 为管道流量 (\$\text{m}^3/\text{s}\$)；\$\beta\$ 为喉管段缩径比；\$D\$ 为入口圆管内径 (\$\text{m}\$)；\$\Delta P\$ 为入口圆管与喉管断面的压力差 (\$\text{Pa}\$)；\$\rho\$ 为流体密度，取 \$\rho=1\,000\,\text{kg}/\text{m}^3\$；\$\varepsilon\$ 为液体膨胀系数，对于不可压缩性流体取 \$\varepsilon=1\$；\$C\$ 为流出系数，定义为通过文丘里管的实际流量与理论

流量的比值。

流出系数 \$C\$ 是差压式流量计节流件的重要参数之一，一般与节流装置的材质、形状、尺寸、加工精度、取压位置、雷诺数等诸多因素有关^[19]，差压式流量计在使用前必须进行流出系数的测定。对于本文研究的偏心文丘里管测流装置而言，只有当其流出系数为一常数或接近常数时，流量与压差之间的抛物线关系趋于稳定（如式（1）所示），才可以用于管道测流。

2 偏心文丘里管测流试验

2.1 试验装置

试验用偏心文丘里管入口圆管段管径 \$D\$ 为 \$100\,\text{mm}\$，缩径比 \$\beta\$ 取 \$0.35\$。依据国家标准《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量》GB/T 2624.4—2006 规定，喉管段长度宜等于喉管段管径 \$d\$，因此喉管长度与喉管管径均取 \$35\,\text{mm}\$。试验用偏心文丘里管各部分尺寸如图 2 所示。

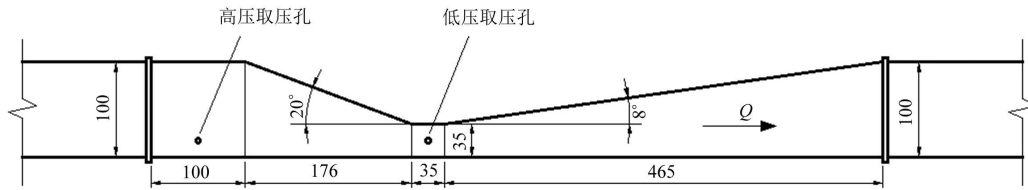


图2 试验用偏心文丘里管结构尺寸（单位：mm）

Fig.2 Structural dimensions of eccentric Venturi tube (unit: mm)

试验装置由供水水箱、水泵、流量调节阀、输水管道、偏心文丘里管、差压计、电磁流量计、矩形水槽、矩形薄壁量堰、出水池及回水管等部分组成，如图 3 所示。其中，水泵型号为 100ZB-34，配套电机功率 \$0.75\,\text{kW}\$，水泵出口接流量调节阀；输水管道采用 UPVC 管材，公称直径 \$110\,\text{mm}\$，壁厚 \$4.8\,\text{mm}\$；偏心文丘里管采用不锈钢板材制作，测其入口圆管段

内径 \$100\,\text{mm}\$，收缩段长 \$176\,\text{mm}\$，喉管段长 \$35\,\text{mm}\$，扩散段长 \$465\,\text{mm}\$，入口锥角 \$20^\circ\$，出口锥角 \$8^\circ\$，各尺寸与数值模拟几何模型完全一致；差压计通过导压管连接至偏心文丘里管；电磁流量接偏心文丘里管下游侧管道，管道出口接矩形水槽，水槽长 \$1\,530\,\text{mm}\$，宽 \$300\,\text{mm}\$，高 \$480\,\text{mm}\$，内置稳流板；水槽末端设矩形薄壁量堰，量水堰堰宽 \$300\,\text{mm}\$，堰高 \$152\,\text{mm}\$，

用有机玻璃板制作；回水管（DN200UPVC 管）位于输水管下方，连接出水池与供水水箱。



图3 偏心文丘里管测流装置实物图

Fig.3 Eccentric Venturi tube flow-measuring test device

2.2 试验方案

2.2.1 试验目的

测定不同流量工况下偏心文丘里管入口圆管与喉管断面的压力差，计算流出系数，分析在设定的流量变化范围内，偏心文丘里管测流装置的流出系数值是否保持稳定；同时将试验结果与后面进行的数值模拟结果进行比较，分析数值模拟与试验结果是否一致，从而判断利用 FLOW-3D 软件进行偏心文丘里管数值模拟的可行性。

2.2.2 取压位置

将制作好的偏心文丘里管通过法兰与上下游输水管道平顺连接，如图3所示。入口圆管的取压断面与收缩段入口相距 $0.5D$ ，喉管的取压断面设在距喉管段进口 $1/2d$ 处。考虑到将取压孔设于节流装置顶部可能会因水流中掺入少量空气而影响压差的测量，设于装置底部在实际应用中又容易被泥沙淤塞，因此将取压孔设在偏心文丘里管侧壁，高压取压孔与低压取压孔处于同一水平面上，均位于距管底 $1/2d$ 处（图2），2个取压孔通过导压管分别与压差变送器的高压接口和低压接口相连（图3）。

2.2.3 试验过程

偏心文丘里管测流装置试验的流量范围设为 $2.55 \sim 5.51 \text{ L/s}$ 。试验前先检查试验设备（尤其是水泵）能否正常、稳定运行，确认无误后，调节流量控制阀使初始流量处于一个较小值，开启电源运行水泵，利用流量调节阀控制输水管道流量，待流量调节至设定值并处于相对稳定的状态后，输水管道的实际流量值可由电磁流量计和薄壁堰测量得出（取二者平均值），入口圆管与喉管断面的压差值可由差压计读出。绘制实测流量值与压力差的关系曲线，并由式（1）计算偏心文丘里管测流装置的流出系数。

3 偏心文丘里管测流数值模拟

3.1 SolidWorks 建模

本文使用 SolidWorks 软件建立偏心文丘里管测流装置几何模型。由于偏心文丘里管测流装置的核心部分是偏心文丘里管，因此建立的几何模型以偏心文

丘里管为主。几何模型中的偏心文丘里管各部分尺寸与上文实际试验装置中的偏心文丘里管实物尺寸（图2）完全一致。为减少网格数，节省仿真计算时间，上游侧输水管只截取 200 mm ，下游侧出水管只截取 400 mm ，而后在数值模拟中通过设置边界条件来弥补。使用 SolidWorks 建立的三维几何模型如图4所示，并以 STL 格式保存。

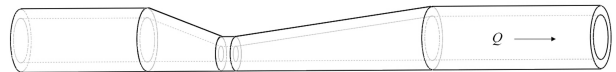


图4 偏心文丘里管几何模型

Fig.4 Geometric model of an eccentric Venturi tube

3.2 FLOW-3D 数值模拟

3.2.1 网格划分

将 STL 格式几何模型导入 FLOW-3D 软件，然后进行网格划分。计算域总长 1.376 m ，宽 0.14 m ，高 0.14 m 。采用笛卡尔坐标系，结构化网格，网格区块数为 1，网格单元尺寸为 0.005 m ，对喉管段及其附近的网格进行加密处理，经加密的网格单元最大纵横比约为 2.0，生成的网格单元总数约 21.4 万。网格划分过程中采用 FAVOR 技术检查模型是否失真，经检验网格的质量满足要求。

3.2.2 边界条件

Y 方向上水流的边界条件采用设定流速进口，自由流出口，入口速度值根据上文试验中测得的 13 个流量值换算得到，其余方向（包括 X、Z 方向）因无跨边界出流均设置为对称边界。

3.2.3 物理模型与参数设置

在液体数据库中加载标准大气压下 20°C 液态水，其密度、黏度等均为默认值。在物理模块的选项中，激活重力与惯性参考系模型，将 Z 轴方向上的重力加速度值设置为 -9.81 m/s^2 ；激活黏度与湍流模型，考虑液体的黏滞力，勾选黏性流选项。水温 20°C 时的运动黏度 ν 取 $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ ，根据圆管水流雷诺数公式计算不同流速下偏心文丘里管入口直管段与喉管段的雷诺数。通过计算可知，入口直管段的最小雷诺数超过 30 000，喉管段的最小雷诺数超过 90 000，说明偏心文丘里管内部水流流动的雷诺数远在 2 000 之上，可视为不可压缩流体的湍流流动，因此选用 RNG $k-\epsilon$ 湍流模型，并勾选壁面剪切边界条件的无滑移或部分滑移选项。

根据研究内容的需要在输出模块中勾选输出变量，本文数值模拟所选的输出参数主要包含流体速度、水力数据、压力等，所选数据输出时间间隔为 0.2 s ，并在数值选项中设置时间步长为 10^{-7} s 。

4 试验与数值模拟结果及对比分析

4.1 网格无关性检验

网格无关性检验目的在于观察网格密度变化对

数值模拟结果影响的敏感程度。主要通过改变网格单元的大小，观察 FLOW-3D 计算结果的变化，如果变化幅度很小，则说明网格划分数量满足要求。选择 3 种不同网格单元的尺寸，分别为 0.004、0.005、0.006 m，对应的网格数量分别为 41.8 万、21.4 万、12.1 万。再选择 5 种不同流量分别进行模拟研究，观察测点压力差的变化，得到不同网格数量下的模拟结果，见表 1。

表 1 不同网格数量下的模拟结果

Table1 Simulation results with different number of grids

流量 $Q/$ ($L s^{-1}$)	压力差 $\Delta P/Pa$			最大偏差 $\Delta C_{max}/Pa$	最大相对误差 $\delta_{max}/\%$
	网格数	网格数	网格数		
	12.1 万	21.4 万	41.8 万		
2.55	3 838	3 822	3 805	33	0.87
3.24	6 185	6 179	6 173	12	0.19
3.99	9 387	9 371	9 356	31	0.33
4.76	13 304	13 280	13 286	24	0.18
5.51	17 808	17 744	17 757	64	0.36

从表 1 可以看出，采用 3 种网格数量所得到的测点压力差偏差很小，各测点基本吻合，最大相对误差最大不超过 0.87%，因此采用 0.005 m 网格行模拟是合理的。

4.2 试验与模拟结果对比分析

通过偏心文丘里管试验及数值模拟，得到各不同入口流量（即不同入口流速）条件下的压力差，然后根据装置尺寸参数、流量及压力差等数据，利用式(1)计算各流量下的流出系数值。

将试验与模拟所得的有关数据分别绘制流量与压差关系曲线图、雷诺数（入口圆管）与流出系数散点趋势图，如图 5 和图 6 所示。随着入口流量的逐渐增加，偏心文丘里管入口圆管与喉管断面的压力差随之增大，试验与模拟得到的压差值在数量大小及变化趋势上均有着比较高的吻合度；试验流出系数在总体上略大于模拟值，模拟流出系数随雷诺数变化情况相对平稳，而试验条件下易受诸多内外因素的影响，流出系数在 0.954 4 与 0.964 6 之间有微小波动，但该波动幅度极小，可以认为流出系数较为稳定。

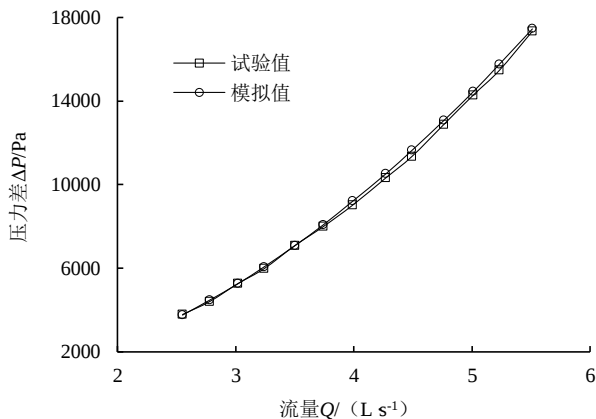


图 5 流量与压力差相关关系

Fig.5 Correlation of discharge and pressure difference

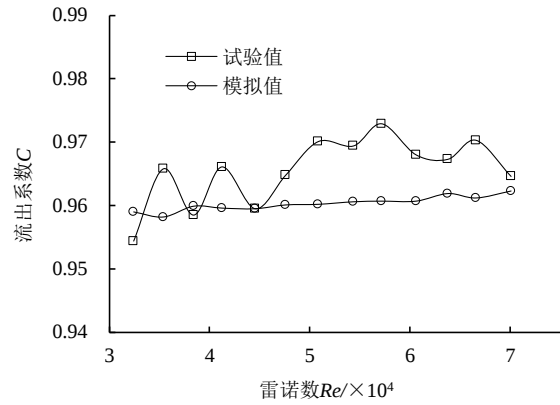


图 6 雷诺数与流出系数相关关系

Fig.6 Correlation of Reynolds number and outflow coefficient

对试验结果与模拟结果进一步对比分析可知，流出系数模拟值的标准差比试验值小，即模拟流出系数结果更加稳定，但二者平均流出系数的相对误差仅有 0.540 2%，流出系数试验值与模拟值的最大相对误差是 1.254 0%，也在 5%之内。另外各流量工况下流出系数的模拟均值为 0.960 3，试验均值为 0.965 5，其标准差分别为 0.108 2%、0.506 6%，标准差均小于误差允许值 5%。由于存在一定的观测误差，同时从偏于保守考虑，初步判定偏心文丘里流量计的出流系数不小于 0.960。上述结果表明，试验与数值模拟的结果在变化规律上基本一致，在数值大小上也比较接近，因此运用 FLOW-3D 软件进行偏心文丘里管的数值模拟是可行的；同时模拟试验与实际试验所得的流出系数标准差均小于 5%，因此偏心文丘里管测流装置满足管道输水灌溉测流精度的要求。

5 讨论

为适应低压管道输水灌溉量水需要，林性粹^[9]提出将圆缺孔板流量计用于低压管道输水灌溉用水计量。圆缺孔板流量计的开孔部分位于管道下部，因而有利于脏污物及泥沙通过。但是，与偏心文丘里流量计相比，圆缺孔板流量计仍具有一般孔板流量计所具有的水头损失大的缺点，并且在固体颗粒杂质或泥沙较多的情况下，孔板容易磨损，需要频繁的检查维护。

对于节流差压式流量计，流出系数可反映流阻的大小。一般节流装置突变越小、流阻越小，则流出系数越大。本文所研究的偏心文丘里流量计，流出系数试验值和模拟值均达 0.95 以上。而根据戴祯建^[20]对数十台楔形孔板流量计的流出系数进行的标定，其流出系数只有 0.72 左右。因此相对于孔板流量计，偏心文丘里流量计在节能降耗方面具有显著的优越性。

在各种节流差压式流量计中，文丘里流量计水头损失最小，其差压绝大部分可以得到恢复。赵万星等^[21]利用能效测试模型，以 DN600 管道满管流状态为研究对象，分别测量了文丘里管和孔板在不同流量条件下的能效水平，结果表明文丘里管的能耗远小于孔

板,文丘里管和孔板的能耗比为1:24.89~1:42.06,并且流量愈大,二者能耗差愈大。孙延祚^[22]对包括文丘里流量计和孔板流量计在内的10种流量计在内径为80 mm的管道中进行了水头损失对比试验,结果表明文丘里流量计的水头损失最小,其水头损失约为孔板流量计水头损失的11.9%。

总之,偏心文丘里流量计保持了传统文丘里流量计水头损失小以及圆缺孔板流量计或楔形孔板流量计上游侧不易淤积的优点,又克服了传统文丘里流量计上游侧易淤积及孔板流量计水头损失大的缺点,因而是多泥沙杂质水体较为理想的测流装置。

6 结论

1) 本文的新型偏心文丘里管测流装置,其特征是收缩段偏心收缩,底部顺直而不隆起,解决了传统文丘里流量计应用于以地表水为水源的管道输水灌溉测流时,管喉管段前易产生淤积的问题。

2) 对相同尺寸的偏心文丘里管分别进行了实际测流试验及数值模拟,结果表明模拟与试验所得的压差值、流出系数及其变化规律均高度吻合,可以利用FLOW-3D软件对偏心文丘里管进行数值模拟分析。

3) 模拟与试验所得的流出系数标准差均小于5%,测流精度满足管道输水灌溉量水要求,在以地表水为水源的低压管道输水灌溉地区具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 白静,谢崇宝.灌溉输水管道现状及发展需求[J].中国农村水利水电,2018(4):34-39.
BAI Jing, XIE Chongbao. Current situation and development demand of irrigation water pipeline[J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(4): 34-39.
- [2] 朱林.低压管道输水灌溉优势及应用[J].河南水利与南水北调,2018,47(9):24-26.
ZHU Lin. Advantages and applications of low-pressure pipeline irrigation[J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2018,47(9): 24-26.
- [3] 刘云涛,吕波.低压管道输水工程附属设施的质量评定[J].水利与建筑工程学报,2012,10(6):183-186.
LIU Yuntao, LYU Bo. Quality assessment method for ancillary facilities of low pressure pipeline water conveyance schemes[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2012, 10(6): 183-186.
- [4] 庞博,王凯胜,刘英杰.南水北调南干渠大管径输水管道流量计的性能比较和分析[J].北京水务,2016(z1):9-12.
PANG Bo, WANG Kaisheng, LIU Yingjie. Performance comparison and analysis of flow meters for large diameter water conveyance pipeline in south main channel[J]. Beijing Water, 2016(z1): 9-12.
- [5] 灌溉渠道系统量水规范. GB/T 21303—2017[S].
- [6] 周维博,党育宏,陈新明.文丘里管量水计在浑水低压管道输水灌溉系统中的应用[J].灌溉排水,1994,13(3):44-47.
ZHOU Weibo, DANG Yuhong, CHEN Xinming. Application of Venturi

- flowmeter in low-pressure pipeline irrigation system with muddy water[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1994, 13(3): 44-47.
- [7] 王秋良,吴文勇,王振华,等.灌区超声波流量计应用研究进展[J].灌溉排水学报,2018,37(S1):16-21.
WANG Qiuliang, WU Wenyong, WANG Zhenhua, et al. Research progress of ultrasonic flowmeter in irrigation district[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(S1): 16-21.
- [8] 张英普,王玉宝,何武全,等.浑水管道输水灌溉系统防淤堵技术研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(12):230-234.
ZHANG Yingpu, WANG Yubao, HE Wuquan, et al. Research on anti-clogging technology of muddy water pipeline conveyance and irrigation system[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2010, 38(12): 230-234.
- [9] 林性粹.低压管灌中圆缺孔板量水装置的试验研究[J].水资源与水工程学报,1990,1(4):27-35.
LIN Xingcui. Experimental research of water measuring device of round orifice plate in low-pressure pipe irrigation[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 1990, 1(4): 27-35.
- [10] 张旭.差压式孔板流量计末级渠道测流研究[D].扬州:扬州大学,2019.
ZHANG Xu. Research on the flow measurement of the final stage of differential pressure orifice flow meter[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019.
- [11] SELIVANOV L V. Application of venturi tubes[J]. Measurement Techniques, 1972, 15(1): 173-174.
- [12] KATHEDER H, SÜSSER M. Discharge coefficient of a classical venturi tube for measuring liquid helium flow[J]. Elsevier, 1989, 29(11).
- [13] 刘伟,张尚,赵彬如,等.流量法测量文丘里管流量系数的误差研究[J].山西水利科技,2013(4):52-55.
LIU Wei, ZHANG Shang, ZHAO Binru, et al. Research on errors of flow coefficient by flow measurement in Venturi tube[J]. Shanxi Hydrotechnics, 2013(4): 52-55.
- [14] 卓卫周,李昱,孙纳.污水流量计量仪表的选型[J].化工自动化及仪表,2014,41(4):455-458.
ZHUO Weizhou, LI Yu, SUN Na. Selection of sewage flow meters[J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2014, 41(4): 455-458.
- [15] 苏彦勋,梁国伟,盛健.流量计量与测试 第2版[M].北京:中国计量出版社,2007:169.
SU Yanxun, LIANG Guowei, SHENG Jian. Flow measurement and testing, 2nd Edition [M]. Beijing: China Metrology Press, 2007:169.
- [16] 李浙齐,田颖,傅杰.谈节流式流量计的测量原理[J].化工高等教育,2012,29(5):82-84,103.
LI Zheqi, TIAN Ying, FU Jie. Measuring principle of throttle flowmeter[J]. Higher Education in Chemical Engineering, 2012, 29(5): 82-84, 103.
- [17] ZACHARY B. SHARP, MICHAEL C. JOHNSON, STEVEN L. Barfuss. Effects of abrupt pipe diameter changes on Venturi flowmeters[J]. American Water Works Association, 2016, 108(8): 433-441.
- [18] 李琼,齐鄂荣.文丘里管流动特性的实验研究[J].中国农村水利水电,2007(11):65-67.
LI Qiong, QI E'rong. Experiment study on flow characteristic in Venturi tube[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(11): 65-67.
- [19] 林棋,姜晨.基于ANSYS-CFX的文丘里管水力特性数值研究[J].石油工业技术监督,2014,30(6):41-45.
LIN Qi, LOU Chen. Numerical simulation study of hydraulic characteristics of venturi tube using ANSYS-CFX[J]. Technology

- Supervision in Petroleum Industry, 2014, 30(6): 41-45.
- [20] 戴祯建. 楔形流量计在脏污流体测量中的应用[J]. 自动化仪表, 2007, 28(s1):74-76.
- DAI Zhenjian. Application of wedge flowmeter in sewage fluid measurement[J]. Process Automation Instrumentation, 2007, 28(s1): 74-76.
- [21] 赵万星, 郑伟, 王刚, 等. 差压式流量计能效测试的研究和应用[J]. 计量技术, 2016(1): 28-29.
- ZHAO Wanxing, ZHENG Wei, WANG Gang, et al. Research and application of energy efficiency test of differential pressure flow meters [J]. Measurement Technique, 2016 (1): 28-29.
- [22] 孙延祚. 为实现节能降耗亟待推广应用流量测量新技术[J]. 中国仪器仪表, 2007(6): 35-39.
- SUN Yanzuo. Promotion and application of new flow measurement technology to reduce energy consumption[J]. China Instrumentation, 2007(6): 35-39.

Experiment and Numerical Studies on Eccentric Venturi Flow Meter

CAI Shouhua, SHENG Yuanqian, SHEN Yalong

(College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: 【Background】 Low-pressure pipe irrigation has become increasingly popular in China, while there is a lack of flow meters suitable for measuring water flow in low-pressure pipes. 【Objective】 Given that traditional Venturi flow meter used for flow measurement in low-pressure pipe irrigation system is prone to silting on its upstream side, this paper presents a new eccentric Venturi flow meter to ameliorate this defect and improve measurement accuracy. 【Method】 A FLOW-3D numerical model was established to simulate water flow in the eccentric Venturi tube, with the straight pipe diameter DN100 and diameter reduction ratio 0.35. The model was compared with experimental measurements. 【Result】 The discharge coefficient calculated from the numerical model was consistent with the discharge coefficient obtained from experimental measurements, proving that the model is able to simulate water flow in the eccentric Venturi pipe. The relative error of the eccentric Venturi flow meter is less than 5%, meeting the requirements for measuring water flow in irrigation pipes. 【Conclusion】 The eccentric Venturi flow meter has a potential application in measuring water flow in low-pressure pipe irrigation systems. It is accurate even when water flowing in the pipes is muddy having high sediment concentration.

Key words: Pipe-flow measurement; eccentric Venturi tube; numerical simulation; discharge coefficient; flow meter

责任编辑：赵宇龙