

偏心文丘里灌溉分水测流装置水力模拟研究

张璇

扬州大学 江苏扬州 225000

摘要: 对于平原灌区, 各级渠道满足水位控制的要求是非常重要的, 水头损失大对灌溉极其不利, 因此在平原灌区选择水头损失小的量水设备至关重要。本文提出一种以偏心文丘里管作为涵管的偏心文丘里灌溉分水测流装置。通过 FLOW-3D 数值模拟研究验证偏心文丘里灌溉分水测流装置中偏心文丘里管的适用性以及适宜的缩径比, 并进一步分析比较不同管径偏心文丘里管水力性能的优劣。

关键词: 偏心文丘里管; 数值模拟; 流出系数; 流量计

Study on Hydraulic Simulation of Eccentric Venturi Irrigation Flow Measuring Device

Xuan Zhang

Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225000

Abstract: For plain irrigation areas, it is crucial for channels at various levels to meet the requirements of water level control. High head loss is extremely detrimental to irrigation. Therefore, it is essential to select water measurement devices with minimal head loss for plain irrigation areas. This paper proposes an eccentric Venturi tube as a diversion conduit for an eccentric Venturi irrigation water measurement device. The applicability of the eccentric Venturi tube in the eccentric Venturi irrigation water measurement device and the appropriate contraction ratio are verified through numerical simulations using FLOW-3D. Furthermore, the hydraulic performance of eccentric Venturi tubes with different diameters is analyzed and compared.

Keywords: eccentric venturi tube ; numerical simulation ; outflow coefficient ; flowmeter

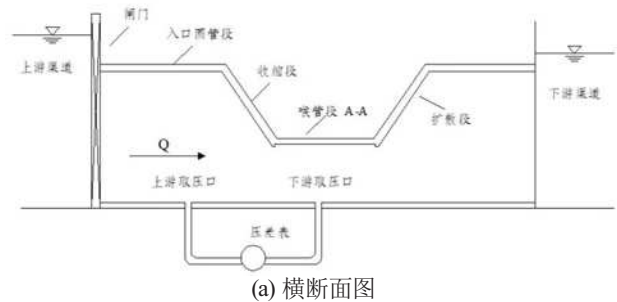
引言

我国作为农业大国, 农业用水总量占据了全国用水总量的一半以上, 而农业用水紧缺和农业用水效率低的局面依然存在^[1,2], 因此加强节水灌溉工程建设具有重要意义。其中, 量水装置的合理选择有助于提供较为准确的用水量依据, 从而实现灌溉用水总量的控制, 合理分配灌溉用水量, 对实施节水灌溉工程建设具有重要作用^[3,4]。现有的灌区渠道量水设备一般水头损失都较大, 在淹没出流时量水精度较差。本文提出的偏心文丘里灌溉分水测流装置, 是根据偏心文丘里管流量计用于低压管道灌溉测流时, 测流精度高、水头损失小的原理, 将此结构用于灌区渠道测流中, 在偏心文丘里管处于淹没出流的情况下探究其测量精度并选择出适宜的缩径比。

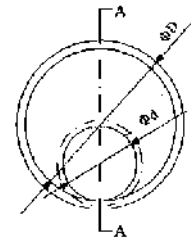
一、偏心文丘里灌溉分水测流装置测流试验

1. 偏心文丘里管结构形式

试验用两个 DN200 偏心大小头连接而成入口圆管段直径 D 为 200mm, 缩径比 β 为 0.5 的偏心文丘里管。试验用偏心文丘里管各部分尺寸如图 1 所示。入口圆管段的取压断面与收缩段入口相距 $0.5D$, 喉管的取压断面设置在后管段的中部。将取压孔设置在文丘里管壁面距管底 $1/2D$ 处, 高压取压孔与低压取压孔均在同一个水平面上。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接。



(a) 横断面图



(b) 纵断面图

图 1 偏心文丘里管测流装置结构示意图

2. 试验装置

试验装置由轴流泵、管径 DN200 的偏心文丘里管节流装置、矩形渠槽、矩形薄壁量水堰、回水系统等几部分组成。其中, 轴流泵出口接流量调节阀, 水流通过紊流板进入进水池。试验渠道为矩形渠槽, 矩形渠槽宽为 35cm, 槽深 50cm。渠槽的设置矩形量水堰测量渠道流量, 矩形堰高度为 16cm。在偏心文丘里管上下游以及矩形量水堰上游位

置分别安装水位测针，测针的精度为 0.1mm。

3. 计算及试验结果

试验中，待水位稳定后，偏心文丘里管的出流流量与矩形堰的过水流量相同，因此偏心文丘里管的实际体积流量利用矩形堰测量，计算公式为：

$$q_v = Q = mb\sqrt{2gH^3/2}$$

$$H = H_0/100 + 0.0012$$

$$m = 2/3(0.605 + 0.08H/P)$$

式中： q_v 为管内实际流量； Q 为矩形堰流量，单位为 m^3/s ； m 为堰板流量系数； b 为坎宽，单位为 m ； g 为重力加速度， $9.81m/s^2$ ； H 为修正后的堰上水头，单位为 m ； H_0 为堰上水头，单位为 m ； P 为堰底板至堰顶距离，单位为 m 。

经过计算，不同工况下的实际流量分别为 $0.0113m^3/s$ 、 $0.0119m^3/s$ 、 $0.0123m^3/s$ 、 $0.0126m^3/s$ 、 $0.0133m^3/s$ 、 $0.0138m^3/s$ 、 $0.0143m^3/s$ 、 $0.0149m^3/s$ 、 $0.0158m^3/s$ 、 $0.0167m^3/s$ 。

二、数值模拟方法及适用性分析

1. Flow-3D 模型建立

使用 Flow-3D 计算流体力学软件对偏心文丘里管测流装置的流场进行仿真分析，该软件的使用大致分为四个步骤：

(1) 模型建立。使用 SolidWorks 软件建立新型偏心文丘里管测流装置的实体模型。偏心文丘里管的相关尺寸参数与试验装置中的实物模型相同。

(2) 网格划分。设置一个网格区块即可，设置网格单元尺寸为 0.015。

(3) 流体介质与物理参数。流体介质选用 $20^\circ C$ 的液态水，不可压缩。实际情况中水流处于紊流状态，因此采用 RNG $k-\epsilon$ 湍流模型。选择重力方向为 Z 轴方向，设置重力加速度为 $-9.81m/s^2$ 。数据输出时间间隔为 0.5s，时间步长设置为 $10^{-7} \sim 10^{-10}$ ，根据偏心文丘里管不同的模拟情况而定。

(4) 边界条件设置。计算域所有边界均需要设置边界条件。进口边界条件设为流速 (Specified velocity) 进口，根据给定流量值。出口边界条件设为自由出流 (Outflow)，其余均设为对称边界 (Symmetry)^[5]。

2. 实流试验与模拟计算出流系数比较

偏心文丘里管是由于流体通过收缩段时因流通面积的突然收缩而导致流速增大，压力降低，从而使入口圆管段断面与喉管断面产生压力差，故它们都可以通过测定偏心文丘里管前后的压差来计算管道中的流量。在已知相关参数的条件下，根据流体的连续性原理和能量方程即可推导出流量压差两者之间的关系式，计算公式如下：

$$C = \frac{4Q\sqrt{1-\beta^4}}{\epsilon\pi\beta^2 D^2} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}}$$

式中： Q 为水流流量，单位为 m^3/s ； C 为流出系数，定义为通过文丘里管的实际流量值与理论流量值的比值，无量纲； β 为缩径比； D 为入口圆管内径， m ； Δp 为入口圆管与喉管断面压力差，单位为 Pa ； ρ 为水流密度，取值为 $1000kg/m^3$ ； ϵ 为水的液体膨胀系数，取 $\epsilon=1$ 。

设定 10 种不同工况，模拟计算相应的流出系数。比较试验值与模拟值 (见表 1)，可知不同流量工况下的流出系数实测值与模拟值之间的相对误差都比较小，表明数值模拟与实流试验两者结果吻合度较高，所建 Flow-3D 模型可以用于偏心文丘里管流量数值模拟分析。

表 1 不同流量工况下流出系数试验值与模拟值比较

工况	试验流出系数 C1	模拟流出系数 C2	相对误差 %
1	0.9729	0.9767	0.391
2	0.9611	0.9690	0.818
3	0.9767	0.9707	0.620
4	0.9596	0.9708	1.151
5	0.9530	0.9729	2.047
6	0.9561	0.9709	1.527
7	0.9600	0.9742	1.463
8	0.9686	0.9711	0.251
9	0.9652	0.9722	0.714
10	0.9641	0.9783	1.457

三、偏心文丘里管适宜缩径比分析

1. 流出系数稳定性

根据模拟计算，不同流量下各偏心文丘里管流出系数如图 2 所示。

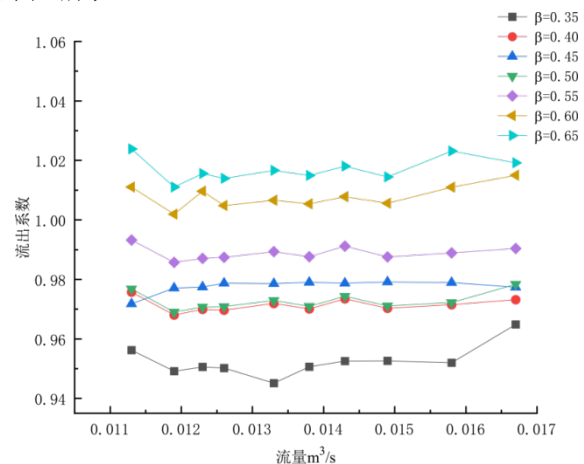


图 2 不同流量下各偏心文丘里管流量计流出系数

由图 2 可知，随着偏心文丘里管缩径比的增大，其平均流出系数总体呈增大趋势，且相较于 1、6、7 号偏心文丘里管，2、3、4、5 号偏心文丘里管在不同流量下流出系数值的标准差更小，测流更加稳定。流出系数与管道内雷诺数的大小、缩面积比、取压方式及管道情况等众多因素有关。

2. 压力损失分析

压力损失受水流动力粘度、平均流速、管道直径与厚度等多种因素影响，本文主要研究偏心文丘里管缩径比和流量这两个方面。为了较为准确地测得永久性压力损失，上、下游取压断面分别距离偏心文丘里管 0.1m、0.87m，取压点设在偏心文丘里管的中轴线上。

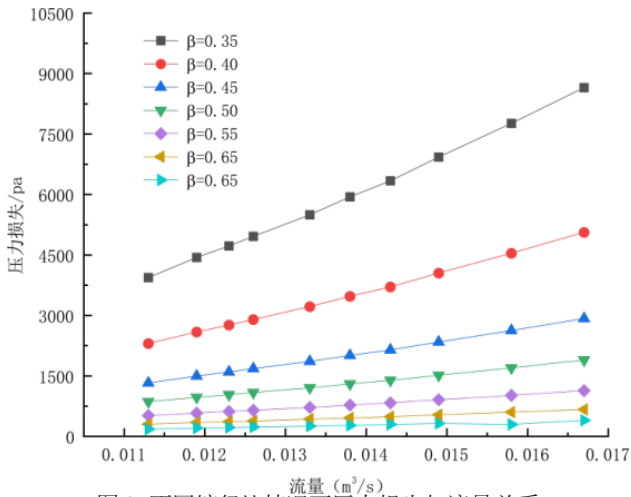


图3 不同缩径比情况下压力损失与流量关系

图3为不同缩径比情况下压力损失与流量的关系。随着水流流量的增大,各偏心文丘里管流量计的压力损失随之增大,其中1、2号偏心文丘里管的压力损失随流量变化更为明显。相同流量下,偏心文丘里管缩径比越小,造成的水头损失越大,且随着缩径比的增大,各偏心文丘里管间压力损失的差距逐渐缩小。

综合分析7种不同缩径比的偏心文丘里管的流出系数及压力损失,可知2、3、4、5号偏心文丘里管所对应的流出系数均满足偏心文丘里管流量计的测量精度和稳定性的

要求,造成的水头损失也较小,因此可确定偏心文丘里管的适宜缩径比范围为0.45~0.55。

四、结论

本文根据文丘里原理提出了一种偏心文丘里灌溉分水测流装置。该装置克服了标准文丘里管上游侧易游堵的缺陷,具有推广价值。研究表明:(1)在测流的稳定性及精度方面,偏心文丘里管均能满足要求;(2)偏心文丘里管适宜缩径比为0.45~0.55;(3)在一定的流量范围内,选择缩径比较大的偏心文丘里管,可以在减小压力损失的同时,使水流流态能够尽快地恢复到稳定状态。

参考文献:

- [1] 郝树荣,任瑞英,郝树刚.灌区量水技术的发展与展望[J].人民黄河,2003(11):41-43.
- [2] 郝晶晶,马孝义,王波雷,张建兴,范严伟.灌区量水设备的研究应用现状与发展趋势[J].中国农村水利水电,2008(04):39-41+45.
- [3] 谢崇宝,高占义,朱嘉英.灌区量水技术与设备发展现状及趋势[J].节水灌溉,2003(06):27-28.
- [4] 俞双恩,左晓霞,赵伟.我国灌区量水现状及发展趋势[J].节水灌溉,2004(04):35-37.
- [5] 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(04):60-65.DOI:10.13522/j.cnki.gggs.2020406.