

# 测控一体式分水农门试验与水力特性探索

刘鸿涛<sup>1,2</sup>, 李晓军<sup>3</sup>, 周双<sup>4</sup>, 李锦锦<sup>1,2</sup>, 赵瑞娟<sup>5</sup>, 赵虎<sup>6</sup>, 张福军<sup>6</sup>

(1.长春工程学院 水利与环境工程学院, 长春 130012; 2.吉林省水工程安全与灾害防治工程实验室, 长春 130012; 3.中水东北勘测设计研究有限责任公司, 长春 130012; 4.中国灌溉排水发展中心, 北京 100054; 5.松辽水利委员会, 长春 130012; 6.永吉县星星哨水库灌区管理中心, 吉林 132214)

**摘要:** 【目的】设计一种一体式量控建筑物—测控一体式分水农门, 探究其在梯形渠道上的量水性能。【方法】利用农门控制蝶阀和圆管组合而成测控一体式分水农门(以下简称分水农门), 研究不同流量 $Q$ 、不同农门控制蝶阀开度 $\theta$ 下的分水农门各项水力特性以及流量公式。【结果】①通过拟合设计分水农门流量公式计算出的流量与实测流量平均误差为4.34%, 流量量测误差小于 $\pm 5\%$ , 满足灌区量水精度要求。②分水农门中输水管道部分“最优测点”位于管道整体长度0.475~0.575处。③分水农门主要是在水流经过蝶阀时产生局部水头损失和沿程水头损失, 水头损失介于29.54%~38.89%。【结论】当流量在30~65 m<sup>3</sup>/h时, 不同流量工况和蝶阀开度下分水农门满足灌区量水精度要求, 可在灌区末级渠道进行水量计量。

**关键词:** 量水设施; 灌区量水; 测流原理; 水力特性

中图分类号: S274.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023143

OSID: 

刘鸿涛, 李晓军, 周双, 等. 测控一体式分水农门试验与水力特性探索[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(2): 25-30.

LIU Hongtao, LI Xiaojun, ZHOU Shuang, et al. Hydraulic characteristics of the integrated water distribution farm gate[J].

Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(2): 25-30.

## 0 引言

【研究意义】灌区量水是实现灌溉用水科学调度、按量计收水费的重要基础<sup>[1]</sup>。而灌区水量计量方法作为灌区量水的基础, 不仅是促进节约用水的有效手段, 更是灌区及水利工程实现计划用水以及促进灌溉方法改进的重要依据。目前灌区常用的水量计量方法有水工建筑物量水、特设量水设备量水、自计仪表与水尺计量<sup>[2-3]</sup>。斗(农)渠量水是实现“供水到户”的关键环节, 我国北方灌区斗(农)渠量水设施薄弱, 开展量水工作较为困难, 因此, 研究具有结构简单且可集水量的量测和控制于一体的量水设施成为当前灌区改革的首要任务<sup>[4-5]</sup>。【研究进展】我国有关灌溉测流的历史源远流长, 最具代表性的测流设施当属“水则”, 都江堰起初就是采用水则来作为水位标志。吴润兰等<sup>[6]</sup>以测控一体闸在夏灌、秋灌和冬灌为研究对象, 研究得出不同灌溉季节测控一体闸的测流精度, 其测流原理是水力学。在夏灌和秋灌期间平均测流精度可达95.09%,

冬灌时由于温度较低, 平均测流精度较低仅为58.03%。王家琪等<sup>[7]</sup>基于薄壁堰测流原理设计出一种过流式水位流量可调新型渠道测流装置, 该装置可取代渠道进水闸和节制闸, 具备水位调控和流量量测功能。林俊<sup>[8]</sup>针对灌区渠系水量计量及监测控制一体化系统开展研究, 创新性将流量量测与闸门控制结合, 通过闸门开度调节流量, 在自由出流工况下, 测流相对误差最大为1.39%, 淹没出流工况下, 相对误差最大为4.52%。高军等<sup>[9]</sup>提出了一种测控一体化闸门, 它能实现精确水位流量计量、远程实时监控、水量记录等功能, 提高了灌区信息化水平, 促进农业节水和农业可持续高质量发展。陈土成等<sup>[10]</sup>针对特设量水设施缺少调控功能和传统闸门全开时测流精度低的问题, 设计出一种以机翼形量水槽作闸墩的新型量水闸门, 实现闸槽联合测流, 自由出流和淹没出流的最大测流误差分别为2.98%和4.92%。故研究既满足灌区测流精度又可实现对水流调控的量水设施已成大势所趋。

我国是农业大国, 农业发展和水资源息息相关, 但随着经济发展, 有关水资源短缺的问题逐渐显露。测流灌区进行农业用水合理分配以及采取各种节水措施的基础性和关键性工作。目前, 灌区普遍使用的量水设施有闸门和量水槽, 但在实际应用中存在

收稿日期: 2023-04-03 修回日期: 2023-10-14

基金项目: 吉林省预算内基本建设资金(创新能力建设)项目(2023C030-2)

作者简介: 刘鸿涛(1979-), 男, 教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事智慧灌溉、水工仿生优化等方面的研究。E-mail: 576609094@qq.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

许多问题,如节制闸、分水闸<sup>[11]</sup>等渠系建筑物可以同时兼顾流量测量和调控,但当闸门全开时处于堰流状态,闸门无法测流,精度过低;特设量水设施<sup>[12-18]</sup>以及量水仪表有较高的测流精度,但不能调控流量。【切入点】因此,有必要研究出一种集测量和控制于一体的量控建筑物且满足灌区对新型量水设施的测流精度要求。【拟解决的关键问题】为此,本文将蝶阀和圆管组合成测控一体式分水农门,研究不同蝶阀开度和流量对分水农门测流精度的影响,为进一步灌区实际应用提供理论基础。

## 1 材料与方 法

测控一体式分水农门是安装于渠道中轴线上的量水设施,它通过法兰盘将蝶阀与输水圆管组合到一起继而实现对渠道流量的测量和控制的目的。在梯形渠道适当位置修筑测控一体式分水农门,明渠水流经过蝶阀进入圆管时,此时水流只受到重力作用自由出流,不受下游水流条件影响,圆管内具有单一的流量-水位关系。在模型试验过程中,可以利用数显水位测针和连通器原理得到渠道上游及圆管内水位,再依据能量守恒方程和质量守恒方程推演出渠道流量<sup>[19]</sup>。试验的主要系统组成结构有农门控制蝶阀(由阀体、碟板、控制杆 3 个部分组成)、法兰盘、输水圆管、一字型挡墙以及上下游渠道。在试验中通过调整蝶阀开度来控制渠道流量,蝶阀开度为  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ,农门控制蝶阀的尾部通过法兰盘与输水圆管相连接,并辅以混凝土一字型挡墙砌筑于渠道上,这样既可以稳固测控一体式分水农门,同时又可以使渠道内水流完全通过蝶阀及圆管出流至梯形渠道下游。

### 1.1 试验装置与设计方法

试验在长春工程学院水利馆进行。梯形渠道水力性能优良,施工简便,目前依旧是灌区最为广泛应用的末级渠道形式<sup>[20]</sup>,因此试验渠道选用混凝土材质的梯形渠道,总长 20 m,渠深 0.36 m,顶宽 1.36 m,底宽 0.60 m,坡比 1:1。农门控制蝶阀距梯形渠道进口断面 2 m,圆管总长 4 m,直径 0.3 m,农门控制蝶阀同输水圆管组合的分水农门中轴线与渠道中轴线保持一致。试验系统主要由泵房 1、阀门 2、电磁流量计 3、稳水池 4、测控一体式分水农门 5、梯形渠道 6、翻板闸门 7、排水池 8、回水渠道 9、蓄水池 10 等组成。试验装置平面布置见图 1,测控一体式分水农门实物见图 2。

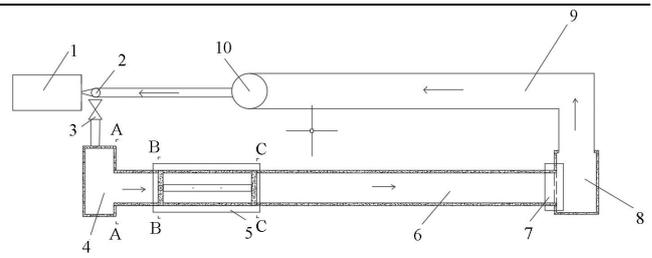


图 1 试验装置平面布置

Fig.1 Plane layout of test equipment



图 2 测控一体式分水农门

Fig.2 Measurement and control integrated water distribution farm gate

在渠道上游、分水农门、渠道下游共设置 22 个测流断面。其中渠道上游设置 1 个测流断面,分水农门设置 18 个测流断面,渠道下游设置 3 个测流断面,依次编号为 1~22。梯形渠道上游测流断面 1 和下游测流断面 20、21、22 采用 SX40-1 型数显水位测针进行渠道断面水位量测(利用水准仪读取梯形渠道 0.5 m 处作高程为基准点,以该基准点所在直线为基准平面),SX40-1 型数显水位测针分辨率为 0.01 mm; 0~200 mm 时,准确度为  $\pm 0.04$  mm; 200~400 mm 时,准确度为  $\pm 0.06$  mm; 400 mm 全长误差  $\leq 0.1$  mm。而分水农门的 18 个测流断面的水位则通过读取测排玻璃管中水位获得。为了方便布置,将梯形渠道进口位置断面设为 AA(测压管序号为 a),分水农门蝶阀进口断面设为 BB(测压管序号为 b),出口断面设为 CC(测压管序号为 c),试验各控制断面距断面 AA 的长度如表 1 所示。试验中下游的翻板闸门可用于改变闸前水深,观测输水圆管的出口位置水流淹没状态以及梯形渠道上游水位变化情况,渠道实际流量由电磁流量计测得(精度为 0.1%),同时辅助使用超声波流量计进行校核。

### 1.2 流量公式推导过程

测控一体式分水农门在进行流量量测时,由渠道底部及圆管底部的测排管可以直接读出该断面的总水头,即渠道、圆管断面所对应的压力水头和位置水头,最后根据水流的能量方程、连续性方程,由水头差 ( $h_1-h_2$ ) 与断面流量间的关系推算出渠道的流量  $Q$ 。

伯努利方程为：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \quad (1)$$

连续性方程为：

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2)$$

试验中利用水准仪读取离渠底 3.5 cm 处高程作为基准点，该基准点所在直线即为基准面；假设动能修正系数  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ，渠道损失主要以局部水头损失为主，由式 (1)、式 (2) 可求出式 (3)：

$$h_1 + \frac{\alpha v_1^2 A_1^2}{2g A_1^2} = h_2 + \frac{\alpha v_2^2 A_2^2}{2g A_2^2} + \zeta \frac{v_2^2 A_2^2}{2g A_2^2} \quad (3)$$

$$\text{即：} h_1 + \frac{\alpha Q^2}{2g A_1^2} = h_2 + \frac{\alpha Q^2}{2g A_2^2} + \zeta \frac{Q^2}{2g A_2^2} \quad (4)$$

化简得出测控一体式分水农门流量计算式为：

$$Q = \frac{1}{\sqrt{(\alpha + \zeta) \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - \alpha}} A_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (5)$$

式中： $h_w$  为水头损失 (m)； $\alpha$  为测控一体式分水农门流量系数； $\zeta$  为局部水头损失系数 (二者可通过试验数据拟合确定)； $h_1$  为上游渠道断面测压管水头 (m)； $A_1$  为上游渠道过水断面面积 ( $\text{m}^2$ )； $h_2$  为圆管“最优水头”断面测压管水头 (m)； $A_2$  为圆管“最优水头”过水断面面积 ( $\text{m}^2$ )； $g$  为重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ )，取值 9.81。

表 1 各控制断面所在位置

Tab.1 Location of each control section

测压管序号	距进水断面 AA 的距离/cm	测压管序号	距进水断面 AA 的距离/cm
a、0、12	462	-	-
1	100	13	482
b	200	14	502
2	262	15	522
3	282	16	542
4	302	17	562
5	322	18	582
6	342	19	602
7	362	c	645
8	382	20	845
9	402	21	1 345
10	422	22	1 745
11	442	-	-

## 2 结果与分析

### 2.1 渠道上游水头和流量、蝶阀开度的关系

图 3 为不同流量工况和不同蝶阀开度下测控一体式分水农门的上游水头和流量的关系。由图 3 可知，上游水头受试验流量和蝶阀开度影响较大，同一流量工况下，蝶阀开度越大，上游水头则越小，不易产生壅水情况，蝶阀开度越小，上游壅水越严重；当控制蝶阀开度保持不变时，随着流量的增大，上游水头也逐渐增大；当渠道流量达到  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  时上游水头变化程度较小，趋于稳定。

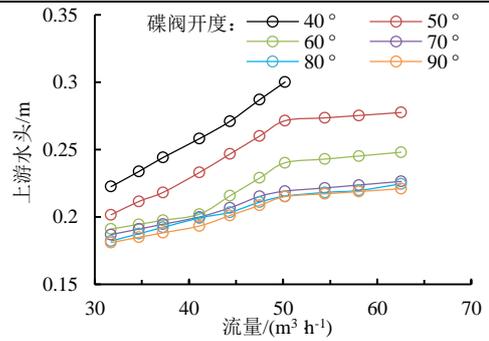


图 3 不同蝶阀开度下上游水头与流量关系

Fig.3 Relationship between upstream pressure head and flow rate under different opening degrees of butterfly valve

### 2.2 测控一体式分水农门“最优测点”分析

在不同蝶阀开度下分析 18 个测点的测排压力水头，拟合流量-水位公式。然后将原流量-水位曲线与拟合曲线进行对比分析，发现在第 9、第 10、第 11、第 12 断面共 4 个测点上拟合程度  $R^2$  高达 0.99，因此将这 4 个测点确定为  $h_2$  即输水圆管内“最优测点”，将第 10 断面与上游渠道断面建立连续性方程，可拟合得到相关流量系数。图 4、图 5 为测控一体式分水农门在不同蝶阀开度下“最优测点”处水位和流量的关系曲线。

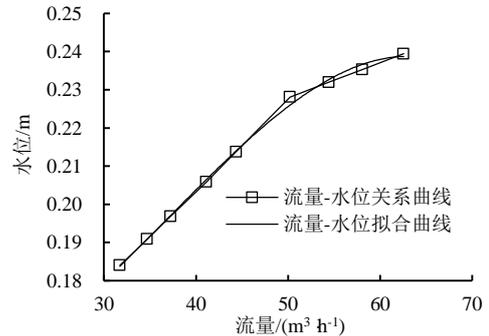


图 4 蝶阀 50° 翻板闸门 90° 时渠道第 9 测点流量-水位关系

Fig.4 Disc valve 50° flap gate 90° channel flow-water level relationship diagram of 9th measurement point

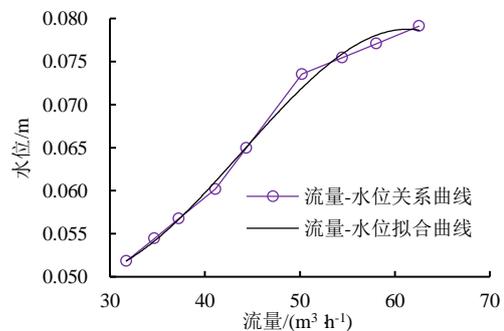


图 5 蝶阀 60° 翻板闸门 67.5° 时渠道第 10 测点流量-水位关系

Fig.5 Disc valve 60° flap gate 67.5° channel flow-water level relationship of 10th measurement point

本次模型试验过程中受限于实验室供水流量，圆管内均为无压状态，通过对比梯形渠道流量和输水圆管水位发现渠道流量和圆管内水位具有较好的

相关关系，这说明分水农门满足能量守恒定律的测流原理。调整固定蝶阀开度为 90°，通过调节梯形渠道尾部的翻板闸门开度来改变闸前水深，图 6 为 4 种翻板闸门开度所对应的圆管“最优测点”与流量的关系。由图 6 可知，流量一定情况下，翻板闸门开度越小，圆管压力水头越大；当保持翻板闸门开度不变时，圆管压力水头随着流量的增大逐渐增大。

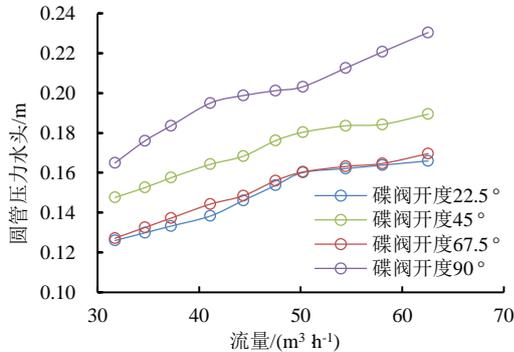


图 6 圆管压力水头与流量的关系

Fig.6 Relationship between pressure head in round pipe and flow rate

表 2 测控一体式分水农门流量公式及参数表

Tab.2 Flow formula and parameter table of measurement and control integrated water diversion farm gate

序号	渠道类型	蝶阀开度/(°)	$\alpha$	$\zeta$	最优水头/l	流量公式
1	梯形渠道	90	-41.249	48.609	0.50	$Q = \frac{1}{\sqrt{(-41.249+48.609)(\frac{A_1}{A_2})^2+41.249}} A_1 \sqrt{2g(h_1-h_2)}$
2	梯形渠道	80	-40.270	47.900	0.50	$Q = \frac{1}{\sqrt{(-40.27+47.900)(\frac{A_1}{A_2})^2+47.900}} A_1 \sqrt{2g(h_1-h_2)}$
3	梯形渠道	70	-40.026	47.925	0.50	$Q = \frac{1}{\sqrt{(-40.026+47.925)(\frac{A_1}{A_2})^2+47.925}} A_1 \sqrt{2g(h_1-h_2)}$
4	梯形渠道	60	-39.988	50.011	0.45	$Q = \frac{1}{\sqrt{(-39.988+50.011)(\frac{A_1}{A_2})^2+39.988}} A_1 \sqrt{2g(h_1-h_2)}$

### 2.4 分水农门测流精度

将试验过程中的测压管水位  $h_1$ 、 $h_2$  代入式 (6)，得到分水农门在不同蝶阀开度下通过流量-水位公式计算的流量。由图 7 可知，渠道实测流量和通过公式计算得出的流量平均误差为 4.34%，根据《灌溉渠道系统量水规范》(GB/T 21303-2017) 的标准，当流量量测精度小于  $\pm 5\%$  时，满足灌区量水精度的要求<sup>[21]</sup>，故测控一体式分水农门的测流精度符合要求。当渠道流量为 30~65  $m^3/h$  的明渠自由流时，可应用测控一体式分水农门进行水量计量。

### 2.5 水头损失

测控一体式分水农门产生水头损失的主要原因在于渠道中间设置农门控制蝶阀，当水流流经该部分时产生局部水头损失，相较于局部水头损失而言沿程水头损失虽然很小，但不可忽略不计。图 8 为分水农门水头损失与流量的关系。由图 8 可知，水

### 2.3 拟合流量公式

测控一体式分水农门是基于伯努利方程和连续性方程来推导得出理论流量-水位公式，然后通过软件对试验数据进行拟合分析处理，得出流量系数。表 2 为当蝶阀直径为 0.30 m，圆管长为 4.0 m 时测控一体式分水农门在不同开度下所对应的流量公式，其中  $L$  为圆管长度。将试验过程中量测的梯形渠道上游测点水位及圆管“最优水头”分别代入流量式 (5) 中，拟合相关系数。根据不同渠道工况，所对应测控一体式分水农门的流量系数不同，其中  $\alpha$  为 -39.988~-41.249， $\zeta$  为 47.790~50.011。

将蝶阀不同开度的流量系数  $\alpha$ 、 $\zeta$  取平均值其中  $\alpha = -40.383$ ， $\zeta = 48.611$ ，得出测控一体式分水农门流量计算式为：

$$Q = \frac{1}{\sqrt{(40.383+48.611)(\frac{A_1}{A_2})^2+40.383}} A_1 \sqrt{2g(h_1-h_2)} \quad (6)$$

头损失受流量和蝶阀开度的影响较大，在同一流量下，蝶阀开度越小，水头损失相对越大，尤其当蝶阀开度  $< 50^\circ$  时水头损失更大；当保持蝶阀开度不变时，水头损失随着流量的增大而增大。

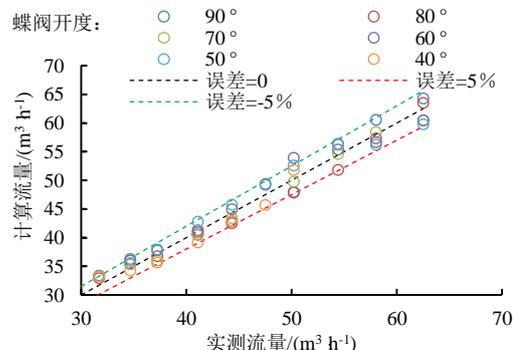


图 7 计算流量与实测流量误差图

Fig.7 Error diagram of calculated flow rate and measurement flow

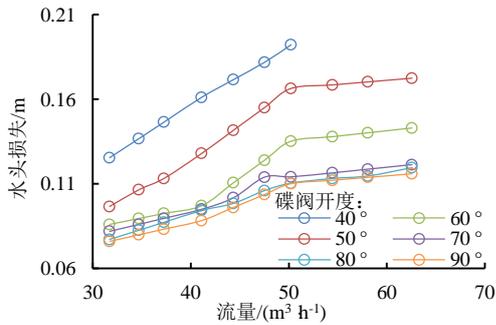


图 8 不同碟阀开度下水头损失与流量关系

Fig.8 Correlation between head loss and flow of disc valve with different opening degrees

### 3 讨论

测控一体式分水农门属于特设量水设施。特设量水设施<sup>[15,17-18]</sup>及量水仪表能够达到较高测流精度,其中,量水槽具有测流精度高、水头损失小等特点,如:机翼形量水槽等<sup>[12,19]</sup>;量水堰在自由出流(上下游水位差较大)条件下具有较高的测流精度<sup>[5]</sup>;明渠量水仪表具有较高的测流精度,需要一定数量具备明渠测流知识的工作人员。测控一体式分水农门工作水头损失较大,占上游水头的 33.69%,比量水槽水头损失(占上游水头的 10%~15%)大的多<sup>[13,19]</sup>,这主要是由于管阀结构导致流线交错产生较大的局部水头损失,分水农门的管段长度使得沿程水头损失不能忽略;量水堰自由出流工况,淹没度通常 $<0.7$ <sup>[5]</sup>,与分水农门上下游水位关系接近。量水槽的工作基于临界流原理<sup>[22]</sup>,在淹没出流的工况测量误差加大,淹没度过大将导致量水槽不能工作<sup>[5,19]</sup>;分水农门的工作基于能量守恒原理,在自由出流和淹没出流工况下均可工作<sup>[5]</sup>。分水农门兼具控制和量水功能,降低管理难度,用于一些穿渠堤位置分水,并不会带来额外的水头损失,且增加了量水功能。

分水农门碟阀开度越小,垂直水流方向的投影面积越大,分水农门的过流能力越低,导致其上游壅水,对上游水头影响明显;因分水农门由圆形碟阀和圆管组合而成,水深介于 0~15 cm 时,单位水深增加的过水断面面积逐渐增加,水深介于 15~30 cm 时,单位水深增加的过水断面面积逐渐减小,当流量 $>50 \text{ m}^3/\text{h}$  时,上游水头和圆管内压力水头随流量增大而增大的幅度减小。分水农门碟阀开度越小,水流经过碟阀时流线弯转越大,水流掺混越剧烈,产生的局部水头损失越大,当分水农门碟阀开度 $>50^\circ$  时,水流掺混剧烈程度降低;过水断面面积随水深增加而增大,当流量 $>50 \text{ m}^3/\text{h}$  时,流速降低,水头损失随流量增大而增大的幅度减小。

### 4 结论

1) 通过试验数据对流量系数进行率定得,  $\alpha = -40.383 \ 25$ ,  $\zeta = 48.611 \ 25$ , 所得水位-流量公式(式(6))平均测流误差为 4.34%, 满足灌区量水规范要求。

2) 分水农门的输水圆管“最优水头”位置在管道整体长度介于 0.475~0.575 处, 此处为建立水位-流量公式最佳断面位置。

3) 分水农门水头损失占上游水头的比例平均为 33.69%, 主要是因为碟阀开度较小时, 通过农门控制碟阀时局部水头损失过大, 当碟阀越接近全开状态, 水头损失则越小。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

#### 参考文献:

- [1] 杨春蕾, 蔡守华, 王滇红, 等. 灌区量水技术发展历程及研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(S2): 34-38.  
YANG Chunlei, CAI Shouhua, WANG Dianhong, et al. Review on research of discharge measuring technique in irrigation district[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(S2): 34-38.
- [2] 刘鸿涛, 于明舟, 龙昱帆, 等. 灌区水量计量的方法与应用[J]. 东北水利水电, 2019, 37(9): 21-24, 59, 72.  
LIU Hongtao, YU Mingzhou, LONG Yufan, et al. Method and application of water quantity measurement in irrigation area[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2019, 37(9): 21-24, 59, 72.
- [3] 麦文慧. 含沙水渠道测控一体化闸门测流分析及其数值模拟[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.  
MAI Wenhui. Flow gauging analysis and numerical simulation of measurement and control integrated gate in silt content water channel[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020.
- [4] 蔡勇, 李同春. 灌区量水设施分析研究[J]. 中国农村水利水电, 2005(2): 13-15.  
CAI Yong, LI Tongchun. Analysis of flow-measuring facilities of irrigation district[J]. China Rural Water and Hydropower, 2005(2): 13-15.
- [5] 王长德. 量水技术与设施[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.  
WANG Changde. Water measurement technique and measure[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2006.
- [6] 吴润兰, 谢崇宝, 高虹, 等. 测控一体闸测流精度校验与分析[J]. 中国农村水利水电, 2011(8): 124-127, 131.  
WU Runlan, XIE Chongbao, GAO Hong, et al. Calibration and analysis to measurement accuracy of the flumegate[J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(8): 124-127, 131.
- [7] 王家琪, 吕宏兴, 周美林, 等. 过流调控型渠道测流装置试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(9): 24-27.  
WANG Jiaqi, LYU Hongxing, ZHOU Meilin, et al. Study on flow controlled channel measurement device[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(9): 24-27.
- [8] 林俊. 灌区渠系水量计量及监测控制一体化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.  
LIN Jun. Study on the integration of water discharge measurement and monitoring control in irrigation canal[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [9] 高军, 谈晓珊, 周亚平, 等. 测控一体化闸门在灌区的研究与应用[J]. 中国农村水利水电, 2020(9): 45-48.  
GAO Jun, TAN Xiaoshan, ZHOU Yaping, et al. Study and application of the integrated monitoring and controlling gates in irrigation

- districts[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2020(9): 45-48.
- [10] 陈土成, 王文娥, 胡笑涛, 等. 机翼型闸墩量水闸门水力性能试验研究[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(9): 185-194.  
CHEN Tucheng, WANG Wen'e, HU Xiaotao, et al. Experiment on hydraulic performance of the airfoil-shaped-pier measuring sluice[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(9): 185-194.
- [11] 刘鸿涛, 黄金林, 贾振国, 等. 测控一体分水管阀: CN203383198U[P]. 2014-01-08.
- [12] 刘鸿涛, 赵瑞娟, 宋一梦, 等. 翼柱型量水槽应用于梯形渠道性能试验研究[J]. *节水灌溉*, 2019(11): 6-9.  
LIU Hongtao, ZHAO Ruijuan, SONG Yimeng, et al. Experimental research on the performance of wing pillar-shaped measuring flume in trapezoidal channel[J]. *Water Saving Irrigation*, 2019(11): 6-9.
- [13] 刘鸿涛, 牛炎, 于明舟, 等. 翼柱型量水槽在 3 种常用渠道上的应用性能对比试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(9): 88-94.  
LIU Hongtao, NIU Yan, YU Mingzhou, et al. Comparative experimental study on application performance of wing pillar-shaped measuring flume in three common channels[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(9): 88-94.
- [14] 刘鸿涛, 于明舟, 牛炎, 等. 梯形渠道翼柱型量水槽试验研究与数值模拟[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(9): 101-107.  
LIU Hongtao, YU Mingzhou, NIU Yan, et al. Experimental study and numerical simulation of wing pillar-shaped measuring flume in trapezoidal channel[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(9): 101-107.
- [15] 冉聃颖, 王文娥, 胡笑涛. 梯形喉口无喉道量水槽水力性能试验研究[J]. *水力发电学报*, 2017, 36(9): 82-90.  
RAN Danjie, WANG Wen'e, HU Xiaotao. Hydraulic performance experiment of trapezoidal cut-throated flume in trapezoidal channel[J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2017, 36(9): 82-90.
- [16] 刘鸿涛, 牛炎, 于明舟, 等. 翼柱型量水槽水力特性分析与对比[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(10): 83-89.  
LIU Hongtao, NIU Yan, YU Mingzhou, et al. Comparative analysis on hydraulic characteristics of wing pillar-shaped measuring flume[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(10): 83-89.
- [17] 刘鸿涛, 屈忠义, 向丹丹. 矩形渠道翼形量水槽仿生优化试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2022, 41(9): 140-146.  
LIU Hongtao, QU Zhongyi, XIANG Dandan. Bionic optimization of wing-shaped flume for rectangular channel based on experimental study[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2022, 41(9): 140-146.
- [18] 吕宏兴, 余国安, 陈俊英, 等. 矩形渠道半圆柱形简易量水槽试验研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(6): 81-84, 119.  
LYU Hongxing, YU Guoan, CHEN Junying, et al. Experimental research on simple semicircular cylinder measuring-flume in rectangular canal[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(6): 81-84, 119.
- [19] 刘鸿涛. 机翼形量水槽应用研究与设计[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.  
LIU Hongtao. Applied research and design of airfoil-shaped measuring flume[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2008.
- [20] 戚玉彬, 张月云, 贺光华, 等. 灌区小型梯形渠道圆直形量水槽试验[J]. *人民黄河*, 2021, 43(10): 154-156, 160.  
QI Yubin, ZHANG Yueyun, HE Guanghua, et al. Test of circular straight measuring flume for small trapezoidal channel in irrigation area[J]. *Yellow River*, 2021, 43(10): 154-156, 160.
- [21] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化委员会. 灌溉渠道系统量水规范: GB/T 21303—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [22] 宋一梦. 常用灌区渠道机翼柱形量水槽模型试验与数值模拟研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2019.  
SONG Yimeng. Experiment and numerical simulation research on wing pillar-shaped measuring-flume in common irrigation channels[D]. Changchun: Changchun Institute of Technology, 2019.

## Hydraulic characteristics of the integrated water distribution farm gate

LIU Hongtao<sup>1,2</sup>, LI Xiaojun<sup>3</sup>, ZHOU Shuang<sup>4</sup>, LI Jinjin<sup>1,2</sup>, ZHAO Ruijuan<sup>5</sup>, ZHAO Hu<sup>6</sup>, ZHANG Fujun<sup>6</sup>

(1. School of Water Conservancy and Environmental Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China;

2. Jilin Province Water Engineering Safety and Disaster Prevention Engineering Lab, Changchun 130012, China;

3. China Water Northeastern Investigation, Design and Research Co., Ltd, Changchun 130012, China; 4. Irrigation and Drainage Development Center of China, Beijing 100054, China; 5. Songliao Water Resources Commission, Changchun 130012, China;

6. Yongji County Xingxing Shao Reservoir Irrigation Area Management Center, Jilin 132214, China)

**Abstract:** 【Objective】 In view of the lack of integrated facilities for measuring and controlling flow of Doudou (agricultural) channel in irrigation area, an integrated quantity control building-Measurement and Control Integrated Water Distribution Farm Gate was designed to explore its performance on trapezoidal channel. 【Method】 Using the combination of agricultural gate control disc valve and circular pipe to form an integrated water distribution gate (hereinafter referred to as the water distribution gate), the hydraulic characteristics and flow formulas of the water distribution gate under different flow rates and different opening of the agricultural gate control disc valve are studied by model test. 【Result】 ①The flow formula of Water Distribution Farm Gate was fitted and designed. The average error of the flow calculated by the formula was 4.34% compared with the measured flow, and the measurement error of flow was less than  $\pm 5\%$ , which met the water accuracy requirements of irrigation area. ②The “optimal water head” of Water Distribution Farm Gate is between 0.475 and 0.575 L in the overall length of the pipeline. ③The water distribution gate mainly produces local head loss and head loss along the distance when the water flow passes through the disc valve, and the range of head loss is 29.54% to 38.89%. 【Conclusion】 When the flow rate is in the range of 30 - 65 m<sup>3</sup>/h, under different flow conditions and disc valve opening degree, the water metering can be carried out in the final channel of the irrigation area. Therefore, Water Distribution Farm Gate has a high prospect of popularization and practical application value in the future.

**Key words:** water measuring facilities; irrigation area measuring water; current measuring principle; hydraulic characteristics

责任编辑: 白芳芳