

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.02.013

动量式流量计的开发研究

吴玉柏¹ ,张 华¹ ,黄 勇² ,肖海涛² ,陈 凤¹

(1.江苏省水利科学研究院 ,江苏 南京 210017 ;2.如皋市农田水利试验站 ,江苏 如皋 226551)

摘要 :为了降低量水成本、改进量水设施 ,研发了一种以拦水栅为测流装置、以动量守恒为原理的量水装置——动量式流量计 .采用理论分析、室内试验和现场测试的研究方法 ,推导出以拦水栅所受作用力为参数、以渠道水深和流速为变量的基本测流公式 ,并研制了动量式流量计产品 .现场应用结果表明 ,动量式流量计具有测流简单、精度高、成本低等优点 .

关键词 :动量式流量计 ;拦水栅 ;量水设施

中图分类号 :S274.4 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2011)02-0186-04

用水计量是灌区用水管理的基本要求 ,是实现计量用水、计划用水的基本手段 ,也是收取水费的基本依据^[1-3] .灌区量水可及时准确地测算出水源引入渠系和分配给各级渠道及各用水单位的水量 ,检查灌区用水户的灌水效率 ,加强田间水分管理 ,减少水量浪费 ,还可以准确评价各种措施的节水效果 ,促进节水措施的推广^[4-5] .

量水伴随着水力学的发展已有 100 多年的历史 ,经典的量水设施如文丘里管、巴歇尔量水槽至今仍是实验室的主要量水设施^[1-6-7] .随着灌溉用水管理的需要 ,不仅将实验室的量水设施用于渠道量水 ,而且发展了很多新的量水方法^[8-10] .概括来说 ,灌区量水设施可以分为利用水工建筑物量水、特设的量水设施量水和非接触式量水 .前两类量水设施虽然种类繁多 ,但都是以能量守恒原理为理论基础进行量水的 ;后一类量水设施则是基于声学、光学原理研制的^[11-13] .

虽然目前量水设施日趋多样化 ,但大都存在 2 个问题 (a)高档仪器仪表价格昂贵 ,一般的中小型农业灌溉渠道难以承受 (b)现有的量水设施 (如各种堰槽、分流式量水计等)精度低、性能不稳定^[14-15] .中小型灌溉渠道是农业灌溉主体 ,面广量大 ,因此 ,需要研制新型的价格低廉、性能稳定的量水设施 ,以满足中小型渠道量水的需要^[16] .

本文介绍一种以拦水栅为测流装置、以动量守恒为原理的量水设备——动量式流量计^[16] ,其无论是结构形式还是测流原理都与现有的量水设施不同 ,是量水设施家族的新成员 .

1 动量式流量计系统组成及拦水栅结构形式设计

动量式流量计主要由拦水栅、压力传感器和二次仪表构成 ,如图 1 所示 .关键部件为一可置于渠道内的拦水栅 ,拦水栅上设有一组栅条 ,栅条的数量和每根栅条的宽度可根据水流的具体情况来确定 .在拦水栅的上部和下部分别设有压力传感器 ,在水流作用下栅条可对压力传感器产生压力 ,压力传感器带有远传接口 ,可以接受并传送栅条在水流作用下产生的压力 ,并与可进行数据接收、处理、储存和输出的二次仪表连接 .二次仪表为数据接收、处理、储存和输出装置 ,它接收压力传感器的信息 ,根据信息推算渠道中水流的速度和深

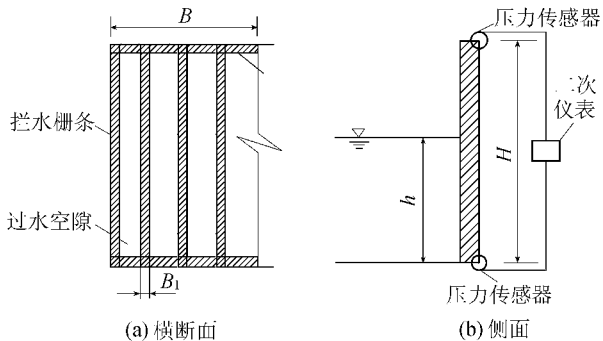


图 1 拦水栅横断面及侧面示意图

Fig. 1 Cross section and side view of water-blocking grid

度 利用流量公式计算渠中流量 根据流量和时间计算各个时段的用水量 根据水量和水价计算水费 并将上述信息和计算处理结果储存起来 根据需要输出或远传. 二次仪表可与打印输出设备连接 将所需数据打印出来.

根据不同类型的渠道 拦水栅可以设计成矩形(图 1) 梯形或者 U 形 材质为金属、混凝土、木材、塑料或玻璃钢等. 针对特定渠道 通过对不同几何尺寸、不同断面结构、不同材质的拦水栅进行对比试验 特别是对拦水栅格的宽度、间距进行试验比选, 确定拦水栅的最佳结构形式. 压力传感器是研制量水设备的重要部件, 其质量直接决定量水精度. 通过对比试验 对事先准备的几种传感器进行筛选 最终遴选出精度高、稳定性好的压力传感器. 同时对压力传感器的安装位置、支撑形式及远传接口进行试验研究.

现场安装过程中, 首先将对应渠道形状和尺寸的拦水栅固定嵌入到渠道中 通过螺栓、铰链等将压力传感器安装在拦水栅的 4 个角(根据对称原理 实际使用中只需在上下各设 1 只压力传感器即可) 然后通过信号电缆将压力传感器与二次仪表相连 二次仪表放置在渠道两边平坦干燥的地带 最后 通过二次仪表读取的压力数值可以推算出渠道中流过的水量及水深值. 图 2 为拦水栅在渠道中的安装形式.

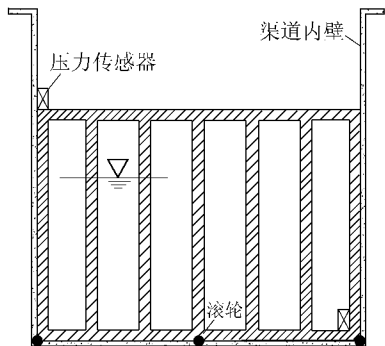


图 2 动量式流量计的现场安装示意图

Fig. 2 Installation of momentum type flow meter

2 基本公式推导

以矩形拦水栅为例 对动量式流量计的量水原理进行简单阐述. 由动量守恒定律推导出适用于流动恒定水流的动量方程为^[1]

$$\sum F = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \tag{1}$$

式中: $\sum F$ ——作用于控制体积内水体所受外力之和; ρ ——水的密度; Q ——水流流量; β ——动量校正系数, 一般取值为 1; v_1 ——水流入流速度, 即渠道内水流速度; v_2 ——水流出流速度, 即撞击到拦水栅后的水流速度.

根据式(1)得到水流作用在拦水栅上的动水压力为

$$F_d = \rho Q \frac{A_0}{A} (\alpha_1 v_1 - \alpha_2 v_2) \tag{2}$$

其中

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{Bh} \quad v_2 = 0 \quad A_0 = nB_1h \quad A = Bh$$

因此有

$$F_d = \rho \frac{\alpha_1 n B_1 Q^2}{B^2 h} \tag{3}$$

式中: A_1 ——渠道过水断面面积; A_0 ——淹没水中的栅条面积; A ——淹没水中的拦水栅总面积; α_1, α_2 ——系数 通过试验率定得到; h ——水深; B ——拦水栅宽度; B_1 ——每根栅条的宽度; n ——拦水栅数量.

由于迎水面、背水面都有静水压力, 两者大小不同, 假设迎水面静水压力为 F_Y , 背水面静水压力为 F_B , 其计算公式如下:

$$F_Y = \frac{1}{2} n B_1 \rho h^2 \tag{4}$$

$$F_B = \frac{1}{2} n B_1 \epsilon h^2 \tag{5}$$

式中 ϵ 为率定系数, 其取值根据不同的拦栅介质、栅条数量、宽度及渠道断面而不同.

通过压力传感器 测定栅条上端支撑力 F_1 , 下端支撑力 F_2 . 根据力及力矩平衡原理, 有

$$\begin{cases} F_1 H - \frac{h F_d}{2} - \frac{h F_Y}{3} + \frac{\epsilon h F_B}{3} = 0 \\ F_1 + F_2 - F_d - F_Y + F_B = 0 \end{cases} \tag{6}$$

式中 H 为拦水栅高度.

将式(3)~(5)代入式(6)得

$$F_1 H - \frac{\rho \alpha_4 n B_1 Q^2}{2 B^2} - \frac{n B_2 \rho h^3}{6} (1 - \epsilon^3) = 0 \quad (7)$$

$$F_1 + F_2 - \frac{\rho \alpha_1 n B_1 Q^2}{B^2 h} - \frac{n B_1 \rho h^2}{2} (1 - \epsilon^2) = 0 \quad (8)$$

整理后得

$$6 H (F_1 + F_2) - 12 F_1 H - n B_1 \rho h^3 (1 - 3 \epsilon^2 + 2 \epsilon^3) = 0 \quad (9)$$

式中 $H, \rho, n, B_1, B, \alpha_1$ 为确定值; F_1, F_2 可通过压力传感器测得; ϵ 为量水试验中率定的参数, 可通过重复试验模拟求得. 将上述已知量代入式(10)就可以得出 h , 再将 h 代入式(9)中即可解出 Q .

3 仪器率定及选型

通过理论推导公式可以看出, 渠道中的流速和水位最终只与 F_1 及 F_2 有关, 而 F_1 及 F_2 是通过压力传感器测量读出的数值. 对于不同的拦水栅、不同的渠道断面读出的是不同的数值, 在实际应用前需要针对不同规格的拦水栅进行率定. 现场率定试验分别在矩形渠道、梯形渠道及 U 形渠道中进行, 采用同样的方法、在同样的条件下进行 3 次试验, 便于分析比较. 率定后可以直接从二次仪表中读出实际水深及流量值.

针对目前渠道断面多为矩形、梯形或者 U 形的状况, 分别研制了 3 种渠道断面形式的拦水栅. 各种形式的拦水栅均采用不同的材料制作以便优选. 通过对比试验发现, 玻璃钢材质的拦水栅较之其他材质的拦水栅性能更为优越. 木质拦水栅具有用料方便、节省投资等优点, 但久置水中容易腐烂, 最终会影响测量精度; 金属质地的拦水栅容易发生锈蚀, 栅条表面容易变形, 导致测量误差增大. 塑料质地的拦水栅刚度不够, 在水流冲击下容易发生变形, 影响测量精度. 混凝土质地的拦水栅具有变形小、不易变质等优点, 但模具制作较为繁琐, 且成品质量不高. 玻璃钢质地的拦水栅虽然造价稍高, 但测量精度较高, 经久耐用. 通过不同断面形式的拦水栅对比试验发现, 矩形断面的拦水栅较之其他 2 种断面的拦水栅具有更为方便实用的特性. 梯形及 U 形断面的拦水栅制作比较复杂, 栅条数量不容易确定, 而矩形断面的制作、安装都比较简便, 且适用于各种断面形式的渠道. 通过实验室制作出试验样品后, 在江苏省防渗渠道比较普及的如皋市进行了现场试验. 主要进行了量水设施的制作、安装工艺、相关过滤技术问题以及量测效果校核工作, 其中在传感器的选型及二次仪表的研制方面做了大量的工作. 通过示范应用, 初步形成了一套制作、安装等工艺程序. 结果表明, 采用动量式流量计进行灌区量水是行之有效的.

4 结 语

在量水费用居高不下的背景下, 研制了以动量守恒原理进行量水的量水设施——动量式流量计. 该流量计以拦水栅作为测流装置, 通过压力传感器测定拦水栅的固定支撑力. 根据水力学中的动量守恒定律和外力平衡原理, 反推出渠道中的水流速度及水深. 无论是在原理方面, 还是在结构形式方面, 都是现有量水设备从未涉及的. 该设备结构简单, 造价低廉, 适应性广, 量测精度较高, 在中小型农田渠道量水中有着广阔的应用前景. 动量式流量计的出现, 开辟了一条新的量水途径, 丰富了量水手段, 对于促进量水手段和方法向多样性、简便化发展起到了很好的推动作用.

参考文献:

- [1] 李家星, 赵振兴. 水力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2001.
- [2] 范家炎, 史伏初, 郑浩杰. 灌区量水设备[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [3] 吉庆丰, 沈波. 灌区量水设施研究开发进展[J]. 灌溉排水, 2001, 20(4): 69-72. (JI Qing-feng, SHEN Bo. Irrigation facilities for research and development progress in the amount of water[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(4): 69-72. (in Chinese))
- [4] 陈敏毓, 王靖波. 灌区量水方法及应用对策[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(6): 39-42. (CHEN Min-yu, WANG Jing-bo. Irrigation district water method and application of countermeasure[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2000, 20(6): 39-42. (in Chinese))
- [5] 杨汉塘. 平原灌区田间渠道量水计研制[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19(4): 28-30. (YANG Han-tang. Plain irrigation district channel flow-meter development[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 1999, 19(4): 28-30. (in Chinese))
- [6] 刘焕方, 宗全利, 李强, 等. 灌区梯形量水堰测流改进研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 57-60. (LIU Huan-fang, ZONG

- Quan-li ,LI Qiang ,et al. Trapezoidal weir irrigation improvement of flow measurement[J]. Agricultural Engineering ,2005 ,21(1) :57-60. (in Chinese))
- [7] 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 Tong-chun. Analysis of flow-measuring facilities of irrigation district[J]. China Rural Water and Hydropower ,2005(2) :13-15.(Chinese))
- [8] 张建华,赵忠林,杨钱昌.明渠量水计量装置技术的开发应用[J].浙江水利科技,1996(4) :55-57.(ZHANG Jian-hua ,ZHAO Zhong-lin ,YANG Qian-chang. Water volume measuring device technology development and application[J]. Zhejiang Hydretechincs ,1996(4) :55-57. in Chinese))
- [9] SAMMANI Z ,MAGALLANEZ H. Simple flume for flow measurement in open channel[J]. J Irrig and Drain Engrg ,ASCE 2000 ,126(2) :127-129.
- [10] 吉庆丰,沈波,黄勇.即插式长喉道量水计的研究开发[J].农业工程学报,2003 ,19(6) :21-24.(JI Qing-feng ,SHEN Bo ,HUANG Yong. Portable long throated dollars in research and development[J]. Agricultural Engineering ,2003 ,19(6) :21-24.(in Chinese))
- [11] 曹建生,刘昌明,张万军.基于翻斗法的自动量水技术及其应用[J].水利水电科技进展,2005 ,25(2) :49-52.(CAO Jian-sheng ,LIU Chang-ming ,ZHANG Wan-jun. Dump method based automatic water measurement technique and application[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources ,2005 ,25(2) :49-52.(in Chinese))
- [12] 沈波,吉庆丰,黄勇.自记式长喉道量水计的开发和应用[J].水利水电科技进展,2003 ,23(5) :28-30.(SHEN Bo ,JI Qing-feng ,HUANG Yong. Self-recording-type long-throated dollars in development and application[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources ,2003 ,23(5) :28-30.(in Chinese))
- [13] 吕宏兴,刘焕芳,朱晓群,等.机翼形量水槽的试验研究[J].农业工程学报,2006 ,22(9) :119-123.(LV Hong-xing ,LIU Huan-fang ,ZHU Xiao-qun ,et al. Airfoil shaped flow flume tes[J]. Agricultural Engineering ,2006 ,22(9) :119-123.(in Chinese))
- [14] 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.(LV Hong-xing ,YU Guo-an ,CHEN Jun-ying ,et al. Semi-cylindrical simple rectangular channel measuring flume Tes[J]. Agricultural Engineering ,2004 ,20(6) :81-84.(in Chinese))
- [15] 朱凤书,马孝义,朱晓群,等.U形渠道抛物线形移动式量水堰板研究[J].农业工程学报,2002 ,18(3) :36-40.(ZHU Feng-shu ,MA Xiao-yi ,ZHU Xiao-qun ,et al. U-shaped channel of parabolic-shaped mobile weir plat[J]. Agricultural Engineering ,2002 ,18(3) :36-40.(in Chinese))
- [16] 吴玉柏,祁朝标,张华,等.动量式流量计及其测量方法:中国,ZL200410065837[P].2007-10-10.
- [17] 马孝义,王文娥,吕宏兴,等.U形渠道量水槽的性能分析与筛选研究[J].农业工程学报,2002 ,18(4) :44-49.(MA Xiao-yi ,WANG Wen-e ,LV Hong-xing ,et al. U-shaped channel capacity flume properties and selection[J]. Agricultural Engineering ,2002 ,18(4) :44-49.(in Chinese))

Development of momentum type flow meter

WU Yu-bai¹ , ZHANG Hua¹ , HUANG Yong² , XIAO Hai-tao² , CHEN Feng¹

(1. Jiangsu Water Conservancy Research Institute , Nanjing 210017 , China ;

2. Rugao Farmland Water Conservancy Test Station , Rugao 226551 , China)

Abstract : In order to reduce flow measurement cost and to improve flow measurement facilities , a momentum type flow meter was developed based on the momentum conservation principle by employing water-blocking grids as the flow measurement devices . By means of the theoretical analysis , laboratory and field tests , a fundamental formula for flow measurements was derived by regarding the forces acting on the water-blocking grids as the parameters and channel water depth and flow rate as the variables . The relevant product of the momentum type flow meter was manufactured . The results of field applications show that the momentum type flow meter is characterized by simplicity , high accuracy and low cost of flow measurements .

Key words : momentum type flow meter ; water-blocking grid ; flow measurement facility