

带流速自校正的智能明渠流量测量装置

杨楠¹, 衣巍², 崔丹², 邬年华¹

(1. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 济南鲁纺仪佳自控技术有限公司, 济南 山东 250000)

摘要: 由于广泛使用的明渠呈开口形状, 且水渠中的水位高度又是一个变化值, 这给明渠的水流量测量带来很大困难. 本文介绍了一种带流速自校正的智能明渠流量装置, 能根据所测量明渠中水的液位值, 自动调整流速传感器在水中的高度, 并自动校正出整个明渠两个截面的平均流速, 从而实现明渠水位高度、瞬时流量和累计流量的准确测量.

关键词: 明渠流量测量; 流速; 自校正

中图分类号: TV122

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701(2017)02-0093-05

0 引言

随着最严格水资源基本管理制度具体目标的建立, 对用水的计量监测提出了明确要求. 由于各种制约因素, 目前我国大部分地区取用水的流量监测计量率并不高, 尤其是对于从主要江河调水后各干渠的水量分配调度计量研究不多. 由此, 迫切需要研究一种能广泛适用于明渠水流量测量的装置, 为水资源的合理分配和节能利用提供可行的计量手段.

在各种形式的明渠中, 因为梯形渠道凭借其挟沙能力大、基本建设成本低等特点, 已在灌区被广泛使用^[1]. 本文基于梯形明渠的断面形状, 并依据梯形渠道断面流速分布规律, 通过探讨梯形明渠断面各点流速和平均流速的关系, 将成熟的电磁流速测量技术、精密机械定位调节技术和计算机复杂数据运算技术结合在一起, 开发一种高精度、低价位的带流速自校正功能的智能明渠流量测量装置.

1 明渠流量测量的关键指标分析

以梯形明渠为例, (见图1), 首先计算水流的截面积 S 如公式(1); 然后, 根据明渠中水流的截面积与平均流速, 即可计算出整个明渠水流的瞬时流量^[2].

$$S = \frac{W_1 - W_2}{2H_1} H_2^2 + (W_2 - H_2) \quad (1)$$

式中: S ——水流的截面积(m^2);

W_1 ——明渠上沿宽度(m);

W_2 ——明渠底部宽度(m);

H_1 ——为下底至上沿高度(m);

H_2 ——渠中水深(m).

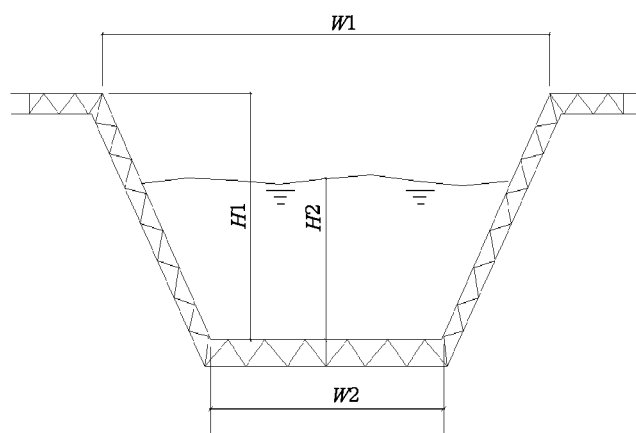


图1 梯形明渠的截面

1.1 明渠水流分布特性

明渠中水流速不是一个等值, 水流的纵截面与横截面流速分布均呈非线性特性. 水流纵截面底部流速最小, 水面部分流速最大, 整个纵截面的流速值分布呈指数特性^[3], 其特性见图2. 水流横截面靠水渠两边的水流流速最小, 中间最大, 整个横截面的流速值分布呈抛物线特性, 其特性见图3.

收稿日期: 2016-12-30

项目来源: 江西省水利厅科技项目(KT201306).

作者简介: 杨楠(1979-), 男, 大学本科, 工程师.

1.2 明渠水流流速平均点分析

本文明渠选点在江西省赣抚平原水利工程管理局(以下简称“赣管局”)罗家集站六干渠。该明渠断面为标准梯形,渠深3.00 m,渠道上宽13.00 m,渠道底宽5.00 m,渠道通直无弯道,渠道两边为自然顺坡,坡度标准,渠道的3个表面的粗糙度在该渠道段内保持不变,且在该渠道没有突出构筑物对水流形成干扰。

每一个明渠都有特有的流速分布特性,当明渠的液位变化较大时,流速特性分布变化也大。由于水流流速分布点的连续性,根据水渠中一个关键点的流速值,按照水流的流速分布特性可以分析出其它点的流速值。图4为水渠中央垂线渠底到水面之间的水流流速曲线。当渠中的水流液位确定后,在水流中央的纵截面上会有一个平均流速点G点,即为水渠中央水流流速平均点,位于水深1.10 m处。

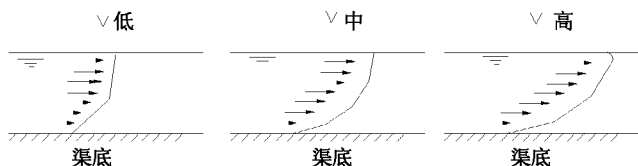


图2 明渠中水流纵截面的流速值分布特性

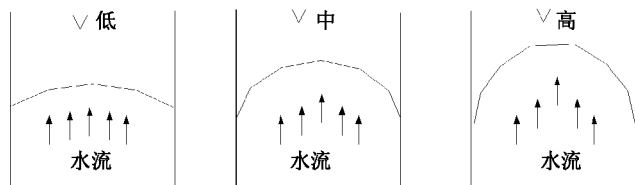


图3 明渠中水流横截面的流速值分布特性

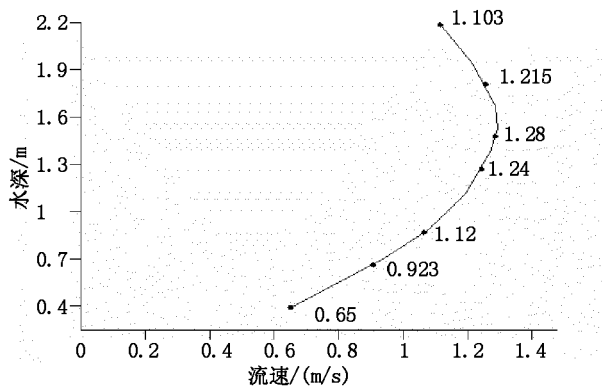


图4 水渠中央点从渠底到水面的纵截面流速分布曲线

水渠中水流的横截面流速分布是比较复杂的,图5是水深1.10 m水层从渠两边到中央间距测量出来的水

流流速分布曲线。水流的流速呈抛物线形式^[4],并且以水渠的中央为轴线基本相互对称。通过数学建模,可以计算出该明渠在1.10 m水深处水流横截面的平均流速为0.47 m/s。

通过对梯形明渠水流速度分布规律的分析研究,渠道中央垂线两侧的流速分布基本对称,且最大流速也发生在水渠中央垂线上,然后随着偏离中央垂线而整体衰减。所以流速点的数据采集可自梯形明渠中央垂线至渠道壁每隔0.50 m布设一条测速垂线,每条垂线自渠底到水面每间隔0.40 m设一个流速测点。在不同的流量和不同水深条件下进行全部水流流速数据组合采集,确保整体流速数据库的完整性和可靠性。

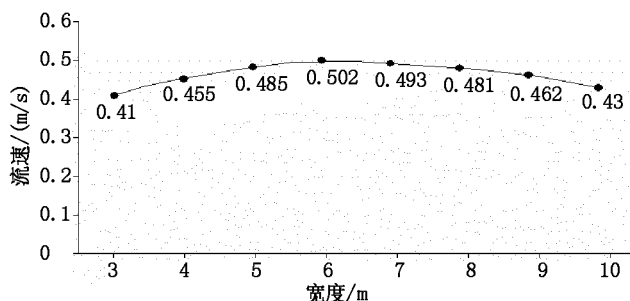


图5 水渠中央点从渠两边的流速分布曲线

1.3 明渠水流截面流速的建模

根据水渠中水流纵截面流速的规律性,依据明渠的物理尺寸和手工测得的流速相关数据,可建立与特定明渠水流纵截面平均流速的数学模型,最终得出的水流纵截面平均流速拟合计算公式为:

$$\frac{u}{v_{hl}} = a(y_l/h)^2 + b(y_l/h) + c \quad (2)$$

式中: u —流速传感器测得的瞬时速度(m/s);
 v_{hl} —水流纵截面流速的平均速度(m/s);
 y_l —流速传感器在渠中距水面的距离(m);
 h —渠中的水深(m);
 a 、 b 、 c —修正系数。

根据明渠水流横截面流速点分布分析,横断面每层水流流速分布以水渠中央为轴线呈对称性,所以对明渠横断面平均流速分析时可以只做轴线一边的探讨。根据水渠中水流横截面流速的规律性,同样依据明渠的物理尺寸和手工测得的相关数据,可建立与特定明渠水流横截面平均流速相关的数学模型,最终得出的水流横截面平均流速拟合公式:

$$\frac{v_{总}}{v_{hl}} = a(z/y_l)^3 + b(z/y_l)^2 + c(z/y_l) + d \quad (3)$$

式中: $v_{\text{总}}$ —明渠水流平均流速(m/s);
 v_{ht} —明渠水流横截面平均流速(m/s);
 z —明渠宽度(m);
 y_t —流速传感器距明渠中央的距离(m)。

当根据式(2)确定了特定明渠水流纵截面的流速抛物线上平均流速点所处水层高度之后,即可按照式(3)再进行明渠水流横截面流速抛物线上的平均流速点拟合计算,为了保证流量测量的准确,最后需要同人工所测量的整个明渠两个水流截面流速分布数据库来对照确定 a 、 b 、 c 、 d 等修正系数,最终确定整个明渠水流的平均流速。

2 智能明渠流量测量装置

带流速自校正功能的明渠流量测量装置结构如图6,由电磁流速传感器、超声波水位传感器、角位移电动

执行机构和主控箱组成。主控箱采用嵌入式数据处理微机作为主控单元,配有 AI、AO、DI、DO 等 I/O 通道,配有 RS485 和 TCP/IP 二种通讯接口和 3G 无线传输模块,配有触摸屏,箱体防护等级为 IP64。其中超声波水位传感器安装在明渠桥面底部一个固定支架上,电磁流速传感器由两个支杆固定在明渠中央垂线上,可以在角位移电动执行机构的带动下进行上下位置移动,主控箱箱体为墙挂式,通过箱体正面的触摸屏进行人机对话,在嵌入式数据处理微机内安装有明渠流量测量的专用软件和数据库。触摸屏除了能够显示全部明渠流量相关参数之外,还具备初始参数设置,通过密码权限,仅有授权人员方可操作。

针对梯形明渠水流量测量中的几个不确定性因素,如何实现明渠的液位测量,水流的流速测量,流速传感器的位置测量和位置调节,是进行带流速自校正的智能明渠流量测量装置研究的关键点。

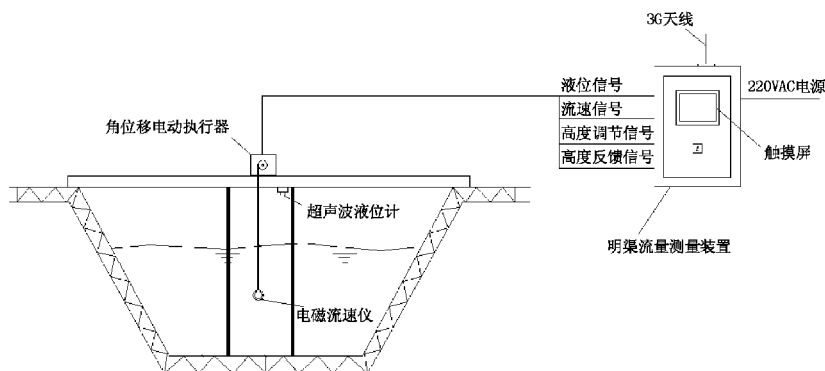


图6 带流速自校正功能的明渠流量测量装置组成图

2.1 明渠的水位测量

由于明渠中水质的特殊性,选用与水流非接触的超声波液位传感器,传感器安装在明渠中央的水面上端,距水面大于0.50 m,测量精度为 ± 1.0 mm,满足明渠流量计的测量精度要求。

2.2 明渠中水流速的测量

电磁流量计已被广泛应用于测量水的流量,主要体现在测量精度高,无阻力,可靠性高等方面。电磁流量计的测量原理是将水流作为电导体流过磁场中作切割磁力线运动时,会产生感应电势,感应电势的大小与导体在磁场中作垂直于磁场方向运动的速度成正比,感应电势的大小由下式确定:

$$E_x = B \times D \times V_{\text{水}} \quad (4)$$

式中: E_x ——感应电势(V);

B ——磁感应强度(Cs);

D ——管道内径(m);

$V_{\text{水}}$ ——水流的平均流速(m/s)。

从式(4)可以得出,当磁感应强度 B 和管道内径 D 确定后可以作为一个常数,电磁流量计的感应电势与水流的平均流速成正比,将特制的电磁流速传感器放置在明渠中可以实现在放置点的水流流速精确测量。

2.3 明渠流速传感器在明渠中的高度调节和位置测量

由于明渠中从渠底到水面每一层的水流速是不相等的,因此水中的测量点高度需要电磁流速传感器进行调节,并将测量点高度反馈给计算机。

采用一台高精度的角位移电动执行器,电动执行器通过一根钢丝绳与水下电磁流速传感器连接。电动执行器接收计算机发出的调节信号,带动电磁流速传感器在明渠水中进行全高度范围的位置移动,可以将明渠中央自渠底到水面各点的水流速测量出来,电动执行器同时将电磁流速传感器的各点位置高度信号反馈给计算机。

2.4 明渠流速传感器在明渠中的流速自动校正

明渠流量测量装置的关键技术之一在于明渠的流

速自动校正,流速自动校正分两个内容,一个是明渠水流纵截面的流速自动校正;另一个是明渠水流横截面的流速自动校正。两者全部由嵌入式数据处理微机自动完成。

明渠水流纵截面的流速自动校正通过配套机电装置完成。流速传感器安装在明渠中央,通过一台高精度的角位移电动执行器带动钢丝绳拉着流速传感器在明渠中央进行上下任意高度变化。在实际应用中,由嵌入式数据处理微机发出指令驱动电动执行器工作,拉动流速传感器从明渠的渠底开始,每间隔一个设定高度停留一次,测出每个间隔高度稳定的流速后再进行下一个高度点的流速测量,直至测出整个明渠全部高度位置的流速值。嵌入式数据处理微机将流速传感器测得的流速值与高度值进行平均值整合,计算出明渠中央水流纵截面流速平均值的高度点,再次驱动电动执行器动作,将流速传感器定位在该高度点上,流速传感器在明渠水中高度位置可通过电动执行器位置反馈信号测得。在正常测量工作中,当明渠的水位发生大于±200 mm 的液位变化时,由水面上的超声波液位计测量,嵌入式数据处理微机会再次发出明渠水流纵截面的流速平均点自动校正动作命令,重复进行一次水流纵截面流速平均点的高度校正,使流速传感器始终位于明渠中央水流平均值的高度点上。

明渠水流横截面的流速自动校正则完全通过数学建模完成。如前所述,明渠中每一层水流的流速分布均

呈抛物线特性,当流速传感器在明渠中央测出水流纵截面的平均流速 v_{hl} 后,由计算机将 v_{hl} 代入水流横截面的流速自动校正拟合公式,求出该水层横截面的平均流速 v_{ht} 值,再将 v_{ht} 值代入明渠流量计算公式,由此得出整个明渠的瞬时流量和累积流量。

3 带流速自校正的明渠流量测量装置的应用

将整套带流速自校正的智能明渠流量计装置在江西省赣抚平原水利工程管理局罗(简称赣管局,下同)家集站六干渠进行了综合测试。该明渠断面为标准梯形,渠深3.00 m,渠道上宽13.00 m,渠道底宽5.00 m,渠道通直无弯道,渠道两边为自然顺坡,坡度标准,渠道的三个表面的粗糙度在该渠段内保持不变,且在该渠段没有突出构筑物对水流形成干扰,满足明渠流量测量装置对明渠流量测量的基本物理条件。按照流速测点对明渠前后直渠段的条件要求,明渠流量测量装置安装在明渠上面的铁桥上。

为了进一步验证本套测量装置系统的稳定性和高精度,采用装置自动测试的断面流量和人工测量的断面流量进行数理分析,以系统误差、标准差、随机不确定度等数据来得出渠道流速仪器自动测量数据与人工测量数据对比的相关性^[5]。

表 1 赣管局罗家集站 2016 年 8 月份渠道瞬时流量统计表

日期	时间	渠道水位读数/(h/m)		测量断面平均流速 仪器显示/(m/s)	瞬时流量/(m ³ /s)		差值
		人工	仪器自记		人工	自记	
2016-8-1	10	19.55	19.56				
2016-8-2	10	19.56	19.57		3.31	3.29	-0.02
2016-8-3	10	19.53	19.52		3.36	3.35	-0.01
2016-8-4	10	19.54	19.55		3.29	3.30	-0.01
2016-8-5	10	19.59	19.61	19.9	3.31	3.31	0
2016-8-6	10	19.61	19.62	0.9	3.38	3.38	0
2016-8-7	10	19.60	19.62	31.7	3.44	3.45	0.01
2016-8-8	10	19.62	19.62	0.1	3.42	3.40	-0.02
2016-8-9	10	19.64	19.63	97.8	3.31	3.31	0
2016-8-10	10	19.75	19.76	0.1	3.51	3.50	-0.01
2016-8-11	10	19.73	19.73		3.48	3.47	-0.01
2016-8-12	10	19.77	19.76		3.72	3.74	0.02
...	...	...	...	...	...	...	...
2016-8-31	10	19.57	19.57		3.29	3.29	0
2016-9-1	10	19.58	19.57		3.33	3.32	-0.01
平均值					3.49	3.49	
系统误差		0					
标准差		0.09					
随机不确定度		0.16					

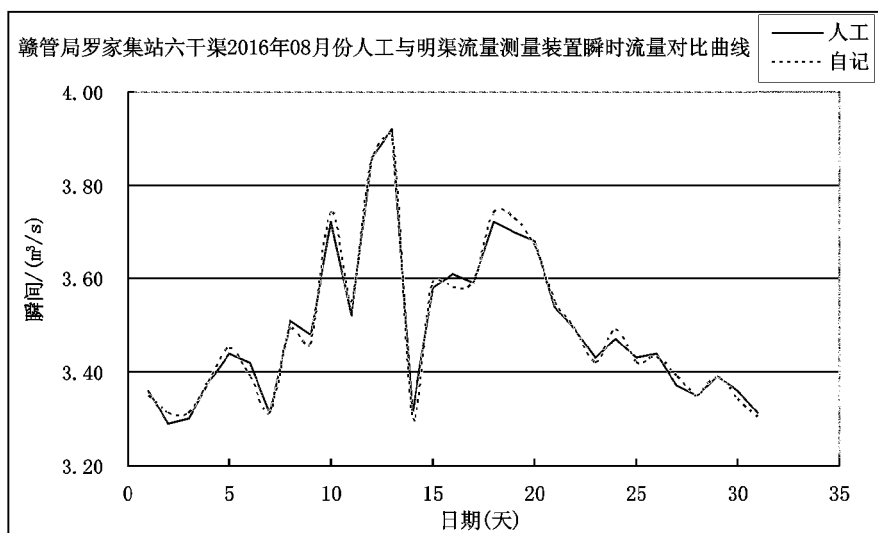


图7 瞬时流量对比曲线

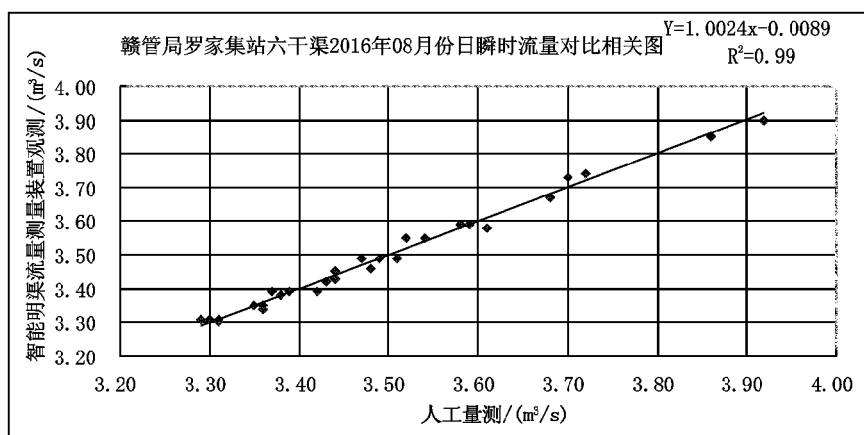


图8 瞬时流量相关性图

表1是江西省赣抚平原管理局罗家集站2016年8月份用带流速自校正的明渠流量测量装置得到的渠道流量与人工测量得到的渠道流量统计表(截取部分)。图7为该月份人工与仪器自动测量流量对比曲线,图8为人工测量与自动测量的相关性图。

统计分析结果显示,明渠流量测量装置的系统误差为0.00(人工(Y)和自记(X)所得差值的中值);标准差为0.09;随机不确定度为0.16。表明明渠流量测量装置能完全替代人工进行每日流量的测量。

4 结 语

经过应用测试,本套带流速自校正的明渠流量测量装置在传感器选型应用和整套装置的系统组成上符合

对标准明渠流量测量的基本要求,尤其是利用水渠中央的变流速测点自动调节,对水流横截面流速进行数学建模,通过一套在线自动校正的专用软件,实现对明渠中心不同水层的流速自动测量、自动建库、数学建模、自动流速平均点定位,科学地实现对标准梯形明渠流量的在线测量。在非标准明渠的流连自动测量,本装置暂不适用需对明渠水流分布特性进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘鸿涛,李延和,黄金林. 梯形渠道断面平均流速与单点流速关系研究[J]. 水利科技与经济,2011,17(6):5~6.
- [2] 王家琪,吕宏兴,周美林. 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.
- [3] 韩金旭,蔡大应,李敬茹. 明渠水流流层平均流速分布规律及其应用[J]. 中国农村水利水电,2015(6):116~118.

(下转第116页)