

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106667

基于 PLC 技术的视频测流方法检验装置及实验^{*}

徐浩 欧阳鑫

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院 昆明 650500)

摘要:为解决在实际水文测量中,无法评判视频测流测量结果的问题,需要一种特定的检验装置检验各种测流方法的准确性。利用可编程逻辑控制器(PLC)设计一种面向开放场景的非接触式流量流速测量结果检验装置,通过该装置进行各种视频测流方法测量结果的检验,从而为视频测量提供一种新的标定方法。首先设计了一种面向开放场景的非接触式流量流速测量结果检验装置;然后,用高帧摄像机拍摄不同帧率的实验视频;最后,用3种主流视频测流算法测量实验视频流速,测量结果与真实数据作对比,结果为3种视频测流算法测量结果误差均在20%以上。实验结果表明,在低流速状态下,如今主流视频测流方法都存在较大误差。

关键词: 视频测流;帧率;检验装置;低流速;PLC;标定方法

中图分类号: TP23 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Test device and experiment of video current measurement method based on PLC technology

Xu Hao Ouyang Xin

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to solve the problem that it is impossible to evaluate the results of video flow measurement in the actual hydrological measurement, a specific test device is needed to test the accuracy of various flow measurement methods. This paper designs a non-contact flow velocity measurement result inspection device for open scene by using programmable logic controller (PLC). Through this device, the measurement results of various video flow measurement methods are inspected, thus providing a new calibration method for video measurement. Firstly, designs a non-contact flow velocity measurement device for open scenes; secondly, high frame cameras are used to capture experimental videos with different frame rates; finally, three mainstream video flow measurement algorithms are used to measure experimental video flow velocity, and the measurement results are compared with real data, the results show that the error of the three algorithms is more than 20%. The experimental results show that the mainstream video current measurement methods have great errors in low velocity.

Keywords: video flow measurement; frame rate; inspection device; low flow rate; PLC; calibration method

0 引言

传统测流方法多为接触式测流方法,如转子式流速仪^[1]、铅鱼测流法^[2]等,接触式测流方法具有很大的局限性,操作困难;后又发展了非接触式测流方法,如声学时差法^[3]、雷达测速仪^[4]、视频图像法等,其中声学时差法仪器部署困难,受环境影响较大,雷达测速仪同样对环境条件要求比较严格,为解决环境影响以及简化测量硬件部署,发展了视频图像法。

如今主流的视频测流算法大致有3种,分别是光流法^[5]、

大尺度粒子图像测速(LSPIV)^[6]、时空图像测速(STIV)^[7]。

光流是指空间运动物体在观测成像面上的像素运动的瞬时速度^[8],光流法是把检测区域的图像变为速度的矢量场,每一个向量表示了景物中一个点在图像中位置的瞬时变化。在测流上应用方法是跟踪角点,利用角点在相邻帧之间的位移量来计算水流的流速。

20世纪90年代,Fujita等^[6]在粒子图像测速(PIV)^[9]技术的基础上,通过放大了粒子尺度的方式,改进了一种大粒子图像测速(large-scale PIV,LSPIV)方法。LSPIV在实际应用中首先用摄像机采集待测河流表面图像,矫正图像视角

收稿日期:2021-05-12

^{*} 基金项目:云南省重点研发计划(2018BA070)项目资助

后划分河面流场待测量的分析区域,根据河面示踪物的运动情况进行运动矢量估计,最终进行断面流量估计得出流量。

STIV是一种高空间分辨率的一维时均运动矢量估计方法^[10]。它利用水流示踪物在三维时空域中运动的连续性,采用平行于顺流方向的测速线作为分析区域,在图像空间和序列时间组成的时空图像中检测和示踪物运动相关的纹理方向特征,直接估计指定空间方向上的时均运动矢量^[7]。尽管STIV仅能测量一维流速,但相比LSPIV,其空间分辨率能够达到单像素水平,并且算法效率是互相关的10倍以上,因此近年来被开发用于从微尺度血管到大尺度河流下时均流速的测量^[11-17]。其中根据纹理方向检测方法的不同可分为基于粒子形态学特征提取的方法^[11]、基于直线检测的方法^[12-15]以及基于局部窗求平均的方法^[16]等。

在实际水文测量中,无法评判视频测流测量结果,为解决这一问题,利用可编程逻辑控制器(PLC)设计一种面向开放场景的非接触式流量流速测量结果检验装置,通过该装置进行各种视频测流方法测量结果的检验,从而为视频测量提供一种新的标定方法。

本文所有实验测量视频为同一实验场景所拍摄的不同帧率的低流速状态下的实验视频,用多种视频测流方法测量不同帧率下的实验视频,检验在何种帧率下测流结果最接近真实数据,以及对比各种测流方法测量低流速的误差。

1 实验平台设计

尽管非接触式明渠水流监测技术能够提高水文测验及水利量测的效率及安全性,但这些方法在原理上通常是基于示踪物能够紧密跟随局部水流运动的假设,并通过流速系数将水面流速转换为深度平均流速用于流量估计,加之仪器本身和测量环境的影响,敏感因素众多,需要以标准方法为参考对其进行评估^[18],因此,需要设计一种可直观测量真实流速的实验平台来检验视频测流的准确性,在流体力学中明渠均匀流可直观计算流体的平均流速。

1.1 平台设计理论基础

明渠流动是指水流在人工修建活自然形成的沟槽或渠道中的流动,其具有与大气相接触的自由表面,由于自由表面上各点的相对压强为零,所以又称为无压流动^[19]。自然界和实际工程中常见的人工渠道、无压管道、天然河道以及隧洞中的水流都属于明渠流动。

本文设计实验平台的理论基础是设计一个满足明渠均匀流条件的实验平台,通过明渠均匀流基本公式计算实验平台的真实流速。

明渠均匀流基本公式:

水力半径:

$$R = \frac{A}{b + 2h_0 \sqrt{1 + m^2}} \quad (1)$$

谢才系数:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (2)$$

流量计算:

$$Q = AC \sqrt{Ri} = f(b, m, i, n, h_0) \quad (3)$$

已知流量 Q 和过水断面面积 A ,可计算断面平均流速 v :

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

其中, m 为边坡系数;粗糙系数 n 根据渠壁材料确定;水深 h_0 指过水断面上渠底最低点到水面的距离; b 为渠底的底宽; A 过水断面面积,根据横断面形状决定;比降 i 等于渠底线与水平线夹角 θ 的正弦,即 $i = \sin\theta$ (渠底高程沿程降低, $i > 0$ 称为正坡底或顺坡;渠底高程沿程不变, $i = 0$,称为平坡;渠底高程沿程抬高, $i < 0$,称为逆坡或反坡),明渠流动要求 $i \geq 0$,即比降为顺坡或平坡。

1.2 设备的工作流程及模式

水箱中注满水,自动模式下,控制器开启电磁阀,开启水泵,控制可伸缩控制水槽支架调节高度,调节比降,模拟自然河道,控制流速,控制器控制电磁阀开度调节流量,整个实验平台可以正常运转了。非接触式流量流速测量技术装置测量的流速流量,和实际流速流量做比较。

1) 自动控制模式

(1)选择自动控制模式。

(2)按下“自动”按钮,装置开始运行,运行状态指示灯亮起。

(3)电磁阀开启,水泵开启。

(4)根据需求调整电磁阀阀门开度,水槽比降。

(5)程序计算实际流速,非接触式流量流速测量技术装置测量流量流速,两组数据在控制面板上显示。

(6)本次装置运行过程完成。

2) 手动控制模式

手动控制模式一般用于各个模块的调试或者维修使用,单独调试检测单元、水循环控制单元、坡度控制单元、流量控制单元,但是只要注意水箱有水的情况下开启水泵时一定要确定电磁阀时打开的状态,否则水管会爆裂。

1.3 设备的结构及要求

平台装置主要由机械部分和控制部分,其中机械结构部分包括:控制器1、电磁阀2、电磁流量计3、水槽4、水箱5、水泵6、软管7、可伸缩控制水槽支架8、固定水槽支架9、非接触式流量流速测量技术装置10、滑动导轨11、挡板12;控制部分包括:检测单元、水循环控制单元、坡度控制单元、流量控制单元,装置整体结构如图1所示。

控制器1接入电磁流量计3的数据信号线,自动实时读取电磁流量计3流量数据。

控制器1接入水泵6的控制信号线,控制器1控制启停水泵6电源的接通和断开,控制整个平台水体循环运行。

控制器1接入可伸缩控制水槽支架8的控制信号线,

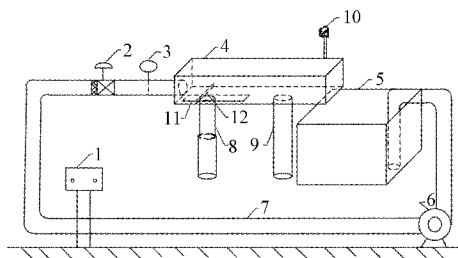


图 1 装置整体结构图

控制器 1 调整可伸缩控制水槽支架 8 中电机的电路触点转换,进而调整电机正反转,实现可伸缩控制水槽支架 8 的抬升和下降,进而控制水槽 4 的比降,模拟真实河道坡度,最终实现水流速度的控制,在整个装置用于模拟不同流速。

控制器 1 接入电磁阀 2 的控制信号线,控制器 1 切换控制信号,电磁阀 2 接收到信号后调节阀门的开度,通过控制电磁阀 2 阀门开度调节流量。

添加挡板 12 的原因是为了缓冲水流冲击,使水槽 4 中的水流尽可能是均匀流速。

该设备正常工作需具备以下要求:

- 1) 开启水泵时确定电磁阀处于开启状态。
- 2) 硬件的互锁与软件程序的互锁相同。
- 3) 手动状态可单独调试各控制单元。
- 4) 自动状态下不可单独调试各控制单元。

1.4 控制系统

1) 控制系统的组成

控制系统是整个实验平台的控制中心,完成系统的加电以及控制命令的发送,设备运行状态的采集,以及检查数据的显示,主要包括控制面板检测单元、水循环控制单元、坡度控制单元、流量控制单元等组成。

电气控制柜面板分成 3 个区域。上面部分为程序计算所得的真实值和非接触式流量流速测量技术装置测得的测量值;中间部分为状态显示灯,平时为绿色,工作时为黄色;下面部分操作面板,提供装置输入指令。设备外接电源的电缆安装插头与柜体上的插座相连进行供电。外接数据线通过柜体上的数据接口进行连接。电气控制柜面板如图 2 所示。

上位机通过无线控制系统 PLC 进行数据交换,通过高清接口连接非接触式流量流速测量技术装置,将 PLC 获取的电源状态、运行状态、控制模式状态、水泵启停状态等状态信息显示在屏幕上,将实际测量值和非接触式流量流速测量技术装置测量值显示在屏幕上,将控制指令发送给 PLC 和摄像头。上位机发送的控制指令与通过电气控制柜操作面板按钮发送的指令一致。上位机与 PLC、摄像头之间的数据连接示意图如图 3 所示。

控制面板有个指令按钮(旋钮),自动/手动旋钮、水泵、测量、电磁阀、杆升、杆降按钮。手动模式通常为调试和维修时使用,单独调试检测单元、水循环控制单元、坡度控制

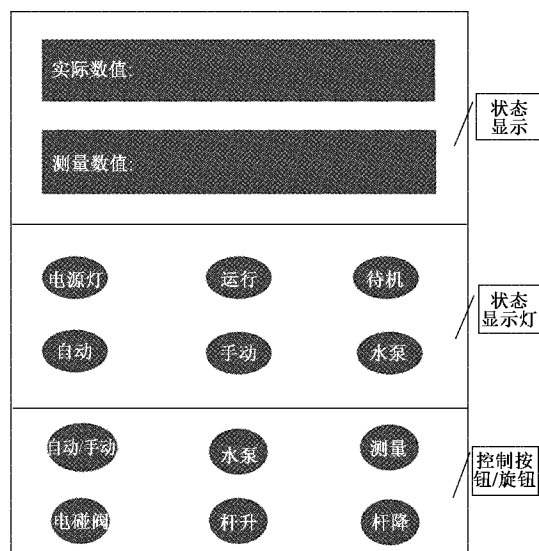


图 2 控制器面板

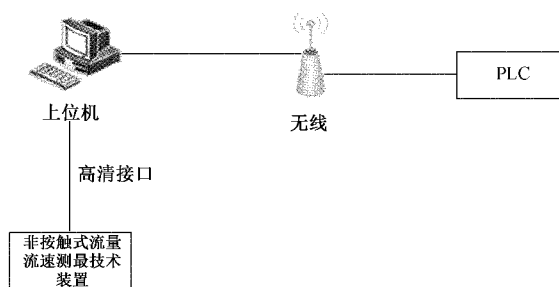


图 3 数据连接图

单元、流量控制单元,但是只要注意水箱有水的情况下开启水泵时一定要确定电磁阀时打开的状态,否则水管会爆裂;自动模式为装置正常运行时的状态,自动状态时水泵开启,水体自动循环,装置运行时可以调节电磁阀阀门开放的大小来控制流量,调节可伸缩控制水槽支架来控制水槽的比降,通过程序可计算得到实际流速可断面流量,非接触式流量流速测量技术装置测量水体流速和断面流量,均可在控制面板上显示。

2) 控制系统的工作原理

逻辑控制流程针对检验装置运行过程中发生的自动运行模式、手动运行模式等信息进行逻辑判断,并进行相应处理。逻辑控制流程如图 4 所示。

控制系统采用 PLC 控制器,通过接口电路接收用户指令,按照用户指令执行手动或者自动运行过程,通过接口给电磁阀、水泵、升降驱动装置发送工作指令,实时获取各设备的工作状态,并将工作模式、设备状态及检测结果显示在显示屏和指示灯上,控制系统的示意框图如图 5 所示。

2 实 验

2.1 视频标定

本文视频测流实验采用 3 种算法进行实验,分别是光

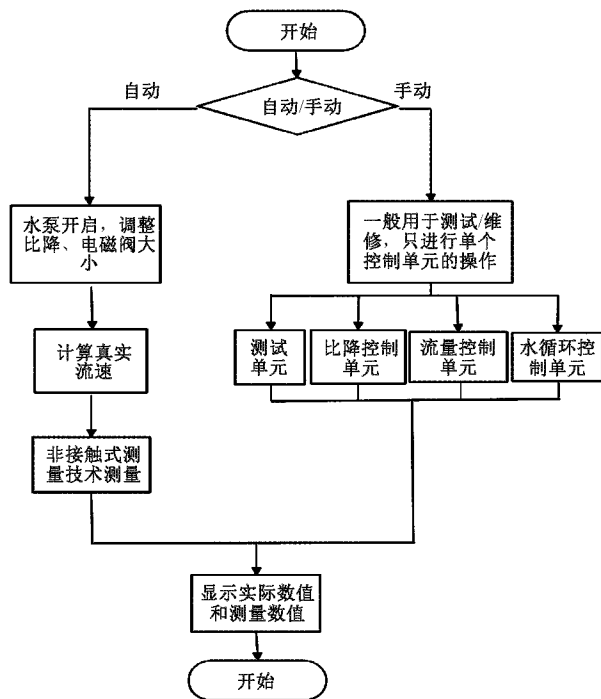


图4 逻辑控制流程图

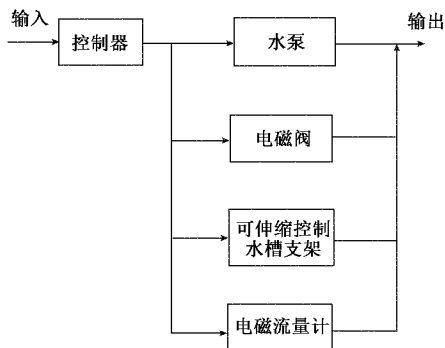


图5 控制系统示意框图

流法、大尺度粒子图像测速(LSPIV)和时空图像测速(STIV),光流法和LSPIV视频标定示意图如图6所示,STIV视频标定示意图如图7所示。

2.2 实验结果对比及分析

本文通过比较各种视频测量方法的客观性能指标来确定各种方法测量结果的准确性,选择的主要指标包括:测量结果和误差。

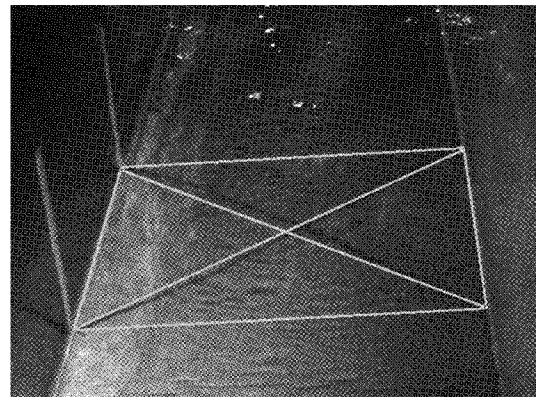


图6 光流法与LSPIV标定示意图



图7 STIV标定示意图

为排除测流实验时外在因素影响,实验在实验室这一近乎密闭空间进行,忽略风速对实验结果的影响。

测量结果为各方法测量不同帧率实验视频的实验结果,误差为各方法中最接近真实流速的帧率视频测量结果与真实流速间的误差。

$$\beta = \frac{v_1 - v_0}{v_0} \quad (5)$$

式中: β 为误差; v_1 为测量结果; v_0 为真实流速。

实验中采用的视频是低流速情况下同一流速的不同帧率视频,分别为100、200、300、400、500、600帧/s,视频时间为15s。

将真实流速与光流法、LSPIV、STIV的测量结果作比较,如表1所示,表中数据是通过各种测流方法对不同帧率的实验视频进行测量的结果,测量结果单位为m/s。

表1 实验结果对比

测流方法	帧率					
	100 帧/s	200 帧/s	300 帧/s	400 帧/s	500 帧/s	600 帧/s
光流法	0.147	0.151	0.131	0.149	0.151	0
LSPIV	0.176	0.159	0.149	0.139	0.166	0.169
STIV	0.183	0.161	0.162	0.164	0.144	0.151
真实流速	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107

如表2所示,表中数据是各测流方法最小误差,最小误差为不同帧率视频测量结果中最接近真实流量的测量结果与真实流量间的误差。

表2 各测流方法的最小误差

测流方法	光流法	LSPIV	STIV
最小误差所在帧率/(帧/s)	300	400	500
最小误差/%	22.4	29.9	34.6

低流速的状态下各测量方法测流结果与真实流速存在误差较大,这也是现今水文测量领域中存在的一个研究难点,视频测流方法难以准确测量低流速状态下的流速值。

3 结 论

基于PLC技术的一种面向开放场景的非接触式流量流速测量结果检验装置,实现对非接触式流量流速测量方法的检验。利用该装置可以实现对不同测流方法的检验,测量值与真实值直观比较,精确计算测量误差。

该装置简单方便,更高效,可以通过调整电磁阀开度来控制流量,从而控制流速,验证各测流方法在不同流速下的测试结果,同时本文采用的拍摄装置为高帧摄像机,可以拍摄不同帧数的视频用以测验,更全面测试各种方法的鲁棒性。在低流速情况下,各测流方法测流结果并不理想,这也是水文测量领域未来需要解决的一个难题。

本文所用过水水槽为矩形过水槽,导致过水面为规则的过水面,只能适用于实验室检验各测流方法的准确性,未来研究中会完善过水水槽,模拟真实天然河道,方便后续实验的有序进行。

参考文献

- [1] 姚永熙. 国内外转子式流速仪检定方法分析[J]. 水文, 2012, 32(3): 1-5, 92.
- [2] 吴锦生, 王剑平. 智能铅鱼水文信息测量系统的研制[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(5): 146-150.
- [3] 钟维斌. 时差法流量监测系统的建立与实践应用分析[J]. 水资源开发与管理, 2018(7): 17-22.
- [4] 秦福清. 雷达波流速仪在中小河流流量测验中的应用分析[J]. 水利信息化, 2012(4): 42-48.
- [5] 邵绪强, 杨艳, 刘艺林. 流体运动估计光流算法研究综述[J]. 中国图象图形学报, 2021, 26(2): 355-367.
- [6] FUJITA I, MUSTE M, KRUGER A. Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications [J]. Journal of Hydraulic Research, 1998, 36(3): 397-414.
- [7] 严锡君, 张振, 陈哲, 等. 基于FHT-CC的流场图像自适应运动矢量估计方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(1): 50-58.
- [8] 张拯, 贾鹤萍. 光流算法研究[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(7): 105-109.
- [9] 陈根华, 詹斌, 王海龙, 等. 粒子图像测速发展综述[J]. 南昌工程学院学报, 2019, 38(3): 90-96.
- [10] 张振, 王慧斌, 严锡君, 等. 时空图像测速法的敏感性分析及不确定度评估[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(7): 1763-1771.
- [11] FUJITA I, KOSAKA Y, HONDA M, et al. Tracking of river surface features by space time imaging[C]. 15th International Symposium on Flow Visualization, 2012: 25, 28.
- [12] CHAO S H, HOLL M R, KOSCHWANEZ J H, et al. Velocity measurement in microchannels with a laser confocal microscope and particle linear image velocimetry[J]. Microfluidics & Nanofluidics, 2005, 1(2): 155-160.
- [13] KEMPCZYNSKI A, GRZEGORZEWSKI B. Estimation of red blood cell aggregate velocity during sedimentation using the Hough transform[J]. Optics Communications, 2008, 281(21): 5487-5491.
- [14] DREW P J, BLINDER P, CAUWENBERGHS G, et al. Rapid determination of particle velocity from space-time images using the Radon transform[J]. Journal of Computational Neuroscience, 2010, 29(1): 5-11.
- [15] SHENG Y, MASSEY M, SHAPIRO N, et al. A novel line detection method in space-time images for microvascular blood flow analysis in sublingual microcirculatory videos[J]. Proceedings, 2013, 12(4): 828-831.
- [16] FUJITA I, WATANABE H, TSUBAKI R. Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry(STIV)[J]. International Journal of River Basin Management, 2007, 5(2): 105-114.
- [17] FUJITA I, NOTOYA Y, SHIMONO M. Development of UAV based river surface velocity measurement by STIV based on high-accurate image stabilization techniques[C]. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, 2015: 1-10.
- [18] 徐立中, 张振, 严锡君, 等. 非接触式明渠水流监测技术的发展现状[J]. 水利信息化, 2013(3): 37-44, 50.
- [19] 李蕊. 梯形明渠特征水深直接计算方法研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2008.

作者简介

徐浩, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: xuhao781048482@qq.com

欧阳鑫(通信作者), 讲师, 主要研究方向为机器学习算法、机器视觉、形式语义。

E-mail: 812120164@qq.com