

SHUILI LIANGCE JISHU LUNWEN XUANJI

中国水利学会水利量测技术专业委员会 编

水利量测技术



论文选集

(第十集)



黄河水利出版社

水利量测技术论文选集

(第十集)

中国水利学会水利量测技术专业委员会 编

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本论文选集是从第十六届全国水利量测技术综合学术研讨会应征论文中选编的,内容涵盖了模型试验、原型观测、大坝安全监测及标准化等有关内容,充分展示了近年来水利量测技术领域所取得的最新成果。可供从事水利水电科学技术研究的技术和管理人员、大专院校师生以及其他行业中从事有关量测技术研究的工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利量测技术论文选集. 第十集/中国水利学会水利量
测技术专业委员会编. —郑州:黄河水利出版社,2016. 8
ISBN 978 - 7 - 5509 - 1524 - 4

I. ①水… II. ①中… III. ①水利工程测量 - 文集
IV. ①TV221 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 199784 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371 - 66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsicbs@126.com

承印单位:郑州红火蓝焰印刷有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17

字数:390 千字

印数:1—1 000

版次:2016 年 8 月第 1 版

印次:2016 年 8 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

编辑委员会

主任委员 唐洪武

委 员 (以姓氏笔画为序)

王兴奎 王国新 冷元宝 李 云

李丹勋 陈建国 陈 红 杨胜发

房纯纲 周 杨 林 俊 郑 源

柳淑学 胡 或 贾永梅 徐国龙

唐洪武 龚壁建 戴光清

主 编 唐洪武 陈 红

前 言

第十六届全国水利量测技术综合学术研讨会于2016年9月23日在成都四川大学召开,此次会议共收到四十余篇学术论文,经专家评审,将部分优秀论文收录到本论文集,用于展示近年来水利量测技术领域所取得的最新成果。

此次会议论文涉及新型传感器、堤坝隐患探测技术及仪器、水利水电工程安全监测仪器及系统、水利水电工程施工质量检测、控制技术及仪器、室内试验及原型观测新技术及仪器设备、量水技术及仪器、水文要素观测及系统自动化技术、水质监测新仪器及系统自动化技术、土壤墒情测试技术、水信息采集和处理有关技术等方面,既涵盖了传统接触式测试技术,又涵盖了新型光电、图像、超声波等非接触式测量技术,有效拓展了水利量测技术发展领域。论文不仅涉及最新的有关试验研究方面的量测技术,而且提供了大量工程建设和运行管理方面的测量仪器实践经验,以及水利信息化的应用经验,具有较高的学术水平和实用价值。特别欣慰的是,此次会议论文还有大量研究生作者,这为我国水利量测技术发展培养了接班人和生力军。

然而,当前现代流体测试技术在测量精度、操作便利性、数据交互标准化等方面仍面临着大量挑战:①传统接触式测量,干扰了流体形态,不利于精细水利研究,急需发展非接触式测量技术;②测流测沙传感器精度仍受到多种因素干扰,限制了对水沙参量的感知能力;③无线数据交互过程中仍存在数据丢包或串并等错误,限制了多点、大容量数据无线交互技术的应用;④数据智能化分析欠缺,急需融合水利专业相关理论对数据进行校核和评估;⑤尚无通用性大数据分析平台,数据测试与深入分析分离,影响到测试效率及成果水平。借助全国水利量测技术综合学术研讨会,一方面展示水利量测技术最新成果,另一方面努力吸引更多年轻人参与交流,共同为我国水利量测技术的快速发展贡献一份力量。

本书编辑委员会

2016年7月

目 录

模型试验技术

河工模型断面水面边界激光快速扫描测量	胡向阳 许 明 张文二等(3)
河工模型试验综合搭载测桥的研制	黄海龙 王 驰 赵日明等(9)
一种河工模型多用途搭载平台的研制	王 驰 霍晓燕 黄海龙等(14)
激光测距传感器在泥沙浓度场的研究	霍晓燕 夏云峰 王 驰等(19)
模型试验中粒子图像表面流场测量系统检测方法研究	陈 诚 夏云峰 黄海龙等(24)
基于时空图像的河流水面成像测速方法研究	张 振 顾朗朗 陈 哲等(29)
斜向波作用下斜坡海床上埋置管线三维冲刷试验研究	程永舟 李典麒 鲁显赫(42)
基于水声速自标定的高精度超声动态水位传感器	吴 俊 舒岳阶 丁姓奇等(53)
滁州紫薇北路排涝泵站水工模型试验中的流量调节与脉动压力检测系统	武 锋(62)
上下游直段长度对弯道水流影响的试验探究	白若男 段炎冲 李丹勋(68)
宽视场高频 PIV 技术在明渠流中的应用	陈启刚 齐梅兰 李丹勋(73)
基于图像测速技术的复杂自由水面流场观测方法	曹列凯 段炎冲 任海涛等(82)
PIV 的技术推演及在运动测量中的应用研究	杜 海 孟 娟 李木国等(90)
廊道排沙水流特性试验研究	段炎冲 曹列凯 李丹勋(101)
大型斜伸轴流泵模型压力脉动试验研究	何中伟 郑 源 阚 阚等(107)

原型观测技术

淤积泥沙密度声学探测方法研究	杨 勇 李长征 郑 军等(115)
南京水文实验站 ADCP 流量测验方法改进研究	韦立新 蒋建平 曹贯中(120)
振动式取样技术在三门峡库区的应用	郑 军 陈 豪 谢 波等(127)
4G 与 VPN 技术在地下水动态监测系统中的应用	陈 俊 邢方亮 王 磊等(132)
基于声学原理的卵砾石输移原型观测技术研究	田 蜜 郭 琦 杨胜发等(143)
基于无人机图像采集的河道流速测量应用	郑 钧 王希花 刘俊星等(152)
通用型水利信息物联感知通信服务平台设计	程闯闯 唐宏进 王 秋(159)
浅地层剖面系统在浙江省“五水共治”淤积调查工作中的应用研究	张 杰 肖文涛 李最森等(166)
基于 GIS 的大型灌区信息化管理研究与应用	雷 雨 金有杰 谢红兰(172)
基于物联网的灌区信息采集与监控系统研究	谢红兰 李 东 王海妹(180)

安全监测技术及其他

- 测缝计在毛滩河三层岩水电站大坝安全监测中的应用 谢红兰 张忠举(191)
- 混凝土面板堆石坝的面板接缝止水修复探讨 杨玉波 姚成林 邓中俊等(198)
- 水电站发电引水隧洞的检查与维护 贾永梅 邓中俊 杨玉波等(205)
- 分布式传感光纤监测黄河堤防应变的布设方案探讨 ... 张清明 徐 帅 周 杨(212)
- 弹性波 CT 检测技术在高压摆喷防渗墙连续性检测中的应用
..... 李延卓 李姝昱 颜小飞(217)
- 利用固液耦合离散元实现大坝沉降裂缝或不同分区非协商变形缝的集中渗流冲蚀
模拟 智 斌 姚成林 李维朝(225)
- 稳态表面波法在压力钢管回填灌浆质量检测中的应用
..... 邓中俊 姚成林 杨玉波等(235)
- 大坝变形安全监控指标拟定的混合法 李姝昱 黄红粉 李延卓等(242)
- 国内外超声流量计技术标准的主要技术参数对比分析
..... 徐 红 邓湘汉 刘晓辉等(248)
- 超声波对浮游生物的影响综述 李聂贵 郭丽丽 谢红兰等(257)

模型试验技术

河工模型断面水面边界激光快速扫描测量*

胡向阳¹ 许明¹ 张文二¹ 马志敏²

(1. 长江科学院, 武汉 430100; 2. 武汉大学电子信息学院, 武汉 430072)

摘要 针对河工模型大范围流速的自动采集系统水面边界快速测量的需要, 研制出了一种基于激光扫描原理的水面边界快速测量装置, 该装置采用高分辨率线阵式 CCD 和激光三角法原理, 实现了模型断面水面边界的快速扫描测量, 并已成功应用于河工模型大范围流速同步采集与应用示范项目中。该方法具有测量速度快、精度高、无接触等优点, 不失为河工模型水面边界快速测量的很好解决方案。

关键词 河工模型试验; 激光扫描测量; CCD 应用; 模型水面边界

Laser Scanning Measurement of the Water Surface Boundary in River Model

HU Xiangyang¹, XU Ming¹, ZHANG Wener¹, MA Zhimin²

(1. Changjiang River scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;
2. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract According to the fast measuring need of the water surface boundary in a wide range of flow velocity automatic acquisition for a physical model, a device of fast testing the surface boundary based on laser scanning principle is developed. The device adopts the high-resolution line matrix CCD and laser triangulation principle, implements the rapid scanning measurement of the water surface boundaries, and has been successfully applied to the synchronization acquisition of a wide range of flow velocity in physical model. The method has advantages of high speed and precision of measurement, and non-contact measuring. It, after all, is a good solution of the rapid measurement of water boundary in physical model.

Key words River model test; Laser scanning measurement; CCD application; Model water surface boundary

河工模型大范围流速同步采集与应用示范项目是国家重大科学仪器设备开发专项的子项目, 其任务是实现河工模型大范围流速的自动快速采集。实现这一目标, 首先要解决模型断面流速的自动快速测量, 而要实现模型断面多路流速快速自动采集, 又必须预先知道断面水面边界的准确位置, 也就是说, 事先应当完成断面水面边界的自动测量, 测量系统才能根据已知的水面边界信息, 正确地实现各垂线流速仪的水平定位, 进而完成断面垂线流速的自动采集。其次, 过水面积、断面流量的计算都需要知道断面水面边界的准确坐标。实际上, 断面水面边界自动测量在河工模型测量系统中有着许多的应用。例如, 在模

* 基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ070055)。

型水下地形超声扫描过程中,需要事先知道断面水面的范围和位置,才能正确控制测量探头的自动入水和控制扫描测量的范围;在表面流场的成像测量时,需要根据模型断面水面边界信息,完成水面与河岸图像边界的分割,以便表面流场信号的分析提取。水面边界测量应用的实例很多,不一一例举。

遗憾的是,目前还未见到一种自动、快速、准确测量模型水面边界的方法和相关的应用报道,实际模型测量过程中主要依靠人工目测或采取现场人工定位的方法,将流速仪定位到相应位置,再进行流速采集,显然无法满足断面流速自动、快速测量的要求。

所以,要实现大范围流速同步自动采集的任务,必须先解决模型断面水面边界的自动测量。同时,模型断面水面边界的测量方式和测量速度也将影响系统的测量效率和系统的自动化程度。因此,寻求断面水面边界的快速自动测量的方法、研制相应的测量装置,也是本子项要解决的问题之一。

1 测量方案分析

为较好解决模型断面水面边界的测量,寻求最好的解决方案,本项目先后对阻抗、超声、图像测量及激光测量方法进行了分析和试验验证。

1.1 阻抗点式测量

阻抗点式测量即利用阻抗电极并配合力传感器,根据事先设定的步距,沿模型断面方向逐点施测。这种方法有两个弱点:一是分辨率低,水面边界的识别精度取决于设定的测量步距,步距太密,测量耗时太多;二是只能采用逐点测量模式,所以测量速度慢,难以满足水面边界快速测量的要求。

1.2 超声扫描

超声扫描即利用高频气介式超声探头沿断面方向进行扫描,测得超声波传感器与在岸坡或水面的距离,分析距离的变化情况可以确定水面的位置和水面的边界。

该方法的优点是实现水面边界的快速扫描,并适合断面多个孤立水域边界的自动识别,但由于气介式超声波声束的开束角比较大,地形分辨率比较低,所以岸坡地形扫描的数据偏差比较大,不宜作为地形测量的结果使用。同样,因为如此,水面边界识别的误差也相对较大。

1.3 图像测量

图像测量与人工目测的原理相同,即利用视频摄像头对水面边界进行成像,并根据水面边界图像信号的变化确定水面的边界。这一方法原理上似乎可行,但试验证明,该方法实际影响因素很多,如岸边和洲滩的坡度、模型沙颜色、周围的光照、水面的浮沙等都会影响水面边界的正确判别,特别是在岸坡很平缓的情况下,水面边界的图像信号的差别并不明显,有时人眼都很难判别,何况计算机只是在几种规定算法下做出的判断,难免出错,可靠性比较低。

1.4 激光 CCD 扫描测量

激光扫描测量方法利用激光微距测量原理,实现水面和岸坡的无接触快速扫描,直接获取断面岸坡的高度和水面的高度,通过数据分析处理即可得到水面边界和岸坡地形,具有测量精度高、光斑小、分辨率高、速度快、适应性好的特点,能同时测量水上岸坡地形,所

以不失为水面边界快速识别的有效方法。

2 激光扫描测量原理

激光微距测量单元主要由半导体激光器、线阵式 CCD 传感器、光学聚焦系统和信号处理电路组成,见图 1。

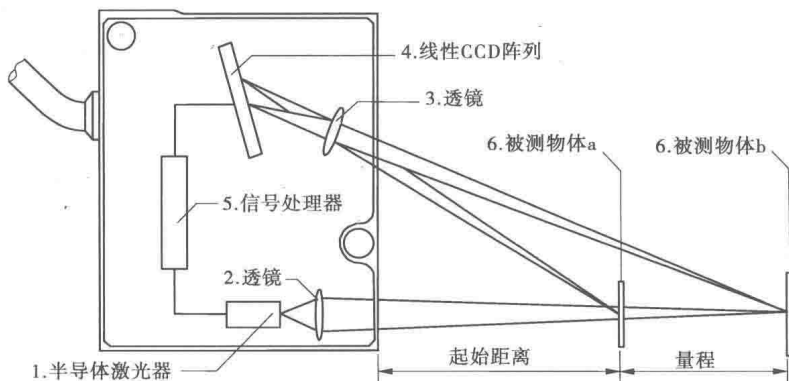


图1 激光微距测量单元组成

激光器发出的激光束经透镜2聚焦准直,得到精细的光束,投射到被测界面,形成细小明亮的光斑,透镜3将被测界面反射的光斑成像到CCD阵列的相应单元。CCD阵列是一种线阵式图像传感器,光斑的像单元受光斑激发形成与光斑强度对应的电脉冲输出。而光斑在CCD阵列中的位置与被测界面位置相对应,构成特定三角几何关系。利用像距与物距之间的三角关系就可计算出被测界面的位置,也即激光三角法测距^[1]。图2给出了激光三角法测量物距与相距的几何关系。

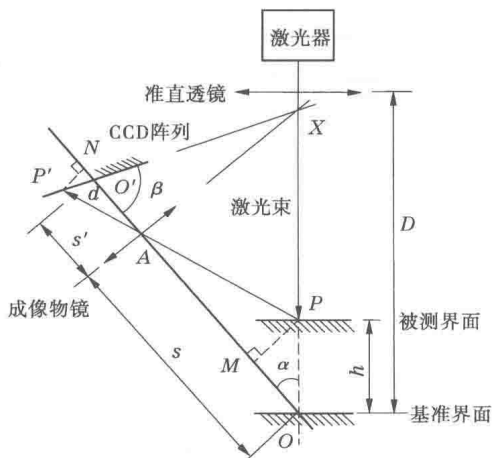


图2 激光三角法测量原理图

图2中: O 为测量激光光轴与成像物镜光轴的交点(测量参考点); D 为激光出光平面至被测表面参考点的距离; α 为测量激光光轴与成像物镜光轴的夹角; β 为检测器激光接受表面与成像物镜光轴的夹角; h 为被测界面高度; s 和 s' 为物距和像距; d 为检测器上成

像点的位移,即像移。

从图 2 不难看出, $\Delta P'NA \sim \Delta PMA$, 即有:

$$\frac{P'N}{AN} = \frac{PM}{AM}$$

根据几何关系,将有关参数代入得:

$$\frac{d \sin \beta}{h \sin \alpha} = \frac{s' + d \cos \beta}{s - h \cos \alpha}$$

化简得:

$$h = \frac{d s \sin \beta}{s' \sin \alpha + d \sin(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

式中: s, s', α, β 均为结构常数; d 为对应被测界面的影像位移,由 CCD 阵列读出。

由式(1)可以计算出被测界面的位置。实测界面位置 h 与像位移 d 的关系曲线见图 3。

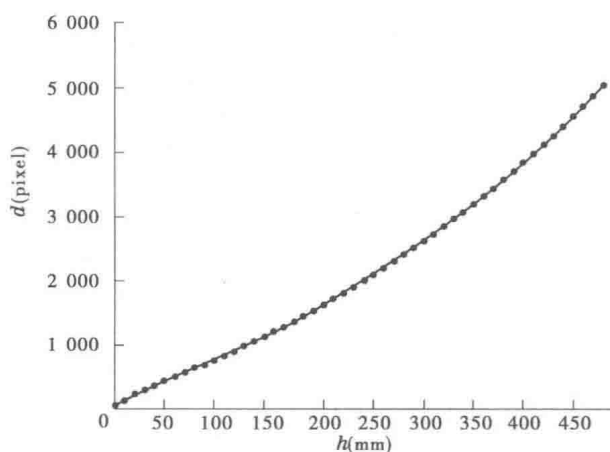


图 3 实测界面位置 h 与像位移 d 的关系曲线

3 水面信号的特征与水面边界信号的提取

实际上,激光投射到水面和无水床面的信号特征是不一样的。当激光投射到无水岸坡上时,形成单个较强的光斑,CCD 输出较强的单个脉冲信号,见图 4(a),其中横坐标为 CCD 阵列对应的像数单元位置,垂直坐标为输出脉冲的幅度。系统计算出该光斑的垂直距离就可得到岸坡地形的高度;当激光投射到水面时,通常会形成两个强弱不同的光斑,见图 4(b)。这是由于水面反射性比较弱,形成的水面光斑也比较弱,大部分激光进入水体,水流清澈时会在床底形成较强的光斑。可见,当激光照射在无水面时,只有一个光斑,而照射到水面时,会形成强弱不同的两个光斑,且水面光斑的位置在水下床面光斑之前。根据这一特点,分析 CCD 输出的脉冲信号的个数和强弱情况,就可以确定当前光斑是水上岸坡地形还是水面和水下床面地形,进而提取出整个水面线。图 4(c)是经过放大整形后输出的光斑脉冲信号。

设 δ 为 CCD 像单元的间距, N_i 为水面光斑对应的脉冲中心像单元数,则总像位移为: $d = N_i \delta$,代入式(1)得:

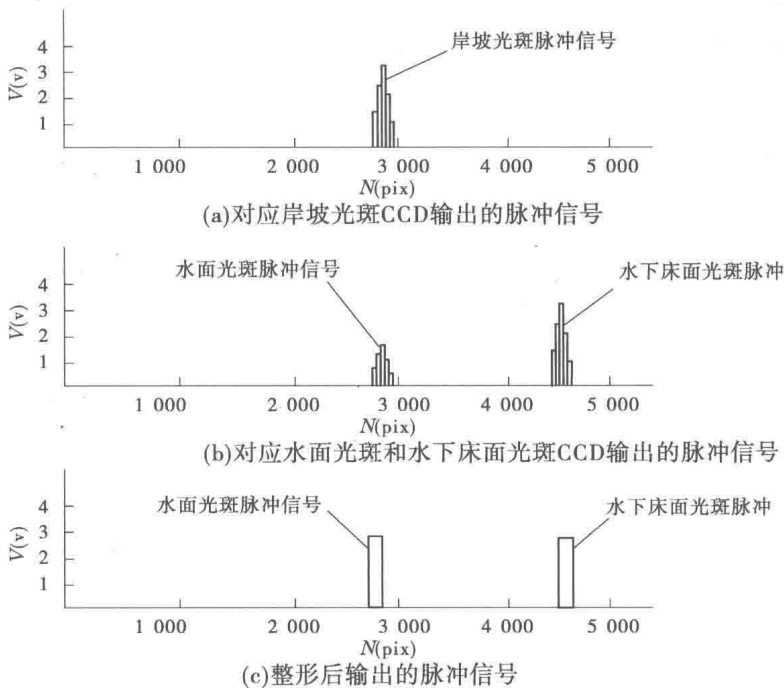


图4 不同界面 CCD 输出脉冲信号特性

$$h = \frac{N_t \delta s \sin \beta}{s' \sin \alpha + N_t \delta s \sin(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

由此可以计算出水面和岸坡地形的位置,水面线与岸坡的交界处即为断面水面边界。

4 测量系统硬件设计

激光水面边界扫描测量单元由 CCD 线阵式传感器、CCD 驱动电路、水平扫描驱动电路、水平行走机构、水平位置传感器、无线通信接口、微处理器等部分组成,见图 5。

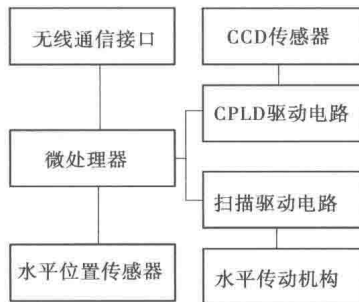


图5 水面边界激光扫描测量系统硬件组成

CCD 图像测量单元包含半导体激光器、光学聚焦单元和高分辨率的线阵式 CCD 图像传感器。系统采用松下 1501D 线阵 CCD 传感器,有效像素为 5 000 单元,设计有效量程为 500 mm,最高分辨率为 0.1 mm/pix,最低分辨率为 0.2 mm/pix,精确率定后测量精度可达 0.5 mm。CCD 驱动电路采用 CPLD 可编程逻辑器件^[2,3],主要完成 CCD 图像传感器

信号采样和信号读出所需要的各种时序信号产生。

扫描驱动电路主要完成水平行走机构的控制与驱动,从而实现激光测量系统的沿断面方向的水平扫描测量。水平位置传感器采用高精度绝对式编码器,可以实时给出激光测量系统的断面方向的水平位置,精度优于 1 mm。

微处理器采用高性能嵌入式系统,负责控制协调各单元的工作,从而完成 CCD 信号读出、扫描行走控制和信号的后处理、传输。该单元与上位测量系统采用无线网络通信方式,进行指令和数据交换,进而实现与地形流速测量系统的数据共享和联合工作。

激光水面边界自动测量系统测量过程是,由微处理器控制行走机构沿断面方向进行扫描,每隔 1 cm 采集一次 CCD 图像传感器的光斑信号,读取水面或岸坡的位置。完成断面扫描后,系统自动分析提取水面线和岸坡地形,进而得到水面边界,如图 6 所示。

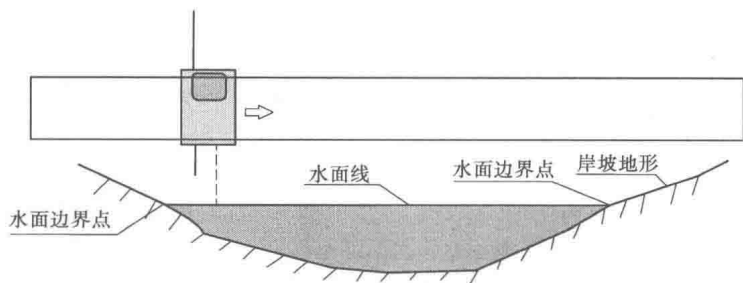


图 6 水面边界激光扫描测量

5 结 语

激光水面边界扫描测量已成功应用于国家重大仪器专项子项目“长江防洪模型大范围流速同步采集与应用示范”系统中,实现了模型断面水面边界的自动、准确测量和多路流速传感器的自动定位,促进了大范围流速自动测量系统的成功研制与应用。该方法还具有无接触测量、精度高、速度快、密度高、测量可靠等特点,能实现单一水域和含洲滩的复杂水域多重边界的自动识别,不失为模型水面边界自动测量的先进有效手段。

参 考 文 献

- [1] 田原颢,谭庆昌. 基于激光三角测距传感器的最优设计[J]. 微计算机信息, 2008(5).
- [2] 项大鹏,杨江,杨建. 基于 CPLD 的线阵 CCD 驱动时序电路设计[J]. 大地测量与地球动力学, 2010(z2).
- [3] 赵震方,刘治华,李建鹏. 一种新型 CCD 的驱动时序产生方法[J]. 机床与液压, 2010(22).

【作者简介】 胡向阳(1964—),女,教授级高级工程师,主要从事河道治理研究和科研条件建设等工作。E-mail:huxiangyang9789@163.com。

河工模型试验综合搭载测桥的研制^{*}

黄海龙 王 驰 赵日明 霍晓燕

(南京水利科学研究院, 南京 210029)

摘 要 针对现有河工模型量测仪器搭载测桥自动化程度低、定位精度不高、满载挠度较大、安全性能不足、搭载能力有限的缺点, 本文介绍了一种河工模型试验自动综合测量仪器搭载测桥的研制方法, 该测桥由桥体、行走机构、六角轨道、控制系统、低压供电系统等组成, 实现该搭载测桥 X 向定位精度小于 2 mm, 满载情况下挠度小于 1 mm, 安全供电并且能够本地及远程实时控制。

关键词 河工模型; 量测仪器; 搭载测桥

The Research of the Comprehensive Carrying Test Bridge of the River Physical Model Experiment

HUANG Hailong, WANG Chi, ZHAO Riming, HUO Xiaoyan

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029)

Abstract There are many shortcomings of the existing carrying test bridge of the river physical model experiment, such as the low automation level, low positioning accuracy, strength full load deflection, insufficient safety performance, limited carrying capacity. This paper instruct a comprehensive carrying test bridge of the river physical model experiment. It consists of the bridge, hexagon track, travelling mechanism, low voltage power supply system and other components. This carrying test bridge can realize that the X direction positioning accuracy of can reach 1 mm, the load defection is less than 1 mm and have the safe power supply system. It also has the local control and remote control function.

Key words River physical model; measuring instrument; Carrying test bridge

1 引 言

流速仪、含沙量测量仪及地形仪等仪器是目前国内外河工物理模型试验使用到的量测仪器, 对揭示流体、泥沙运动、地形冲刷规律具有重要意义, 为重大水利工程的决策和实施提供科学依据^[1]。这些量测仪器在河工模型试验测量时都需要沿测量断面移动测量, 目前常用的仪器设备搭载方式是采用简易的测桥或支架等搭在模型试验断面上, 人工移动测桥或支架至需要测量的断面, 这种方法定位精度低且费时费力。国内现有的测桥系

^{*} 基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ070055)。

统^[2,4],其设计双面测桥,一面用于测量地形,另一面用于测量流速,其搭载能力及搭载仪器设备种类有限,测桥 X 向断面定位精度虽然比人工移动方式提高了很多,但仍不能满足日益深入的河工模型试验测量需要,同时搭载仪器设备较多时,测桥的挠度也随之增大。由于模型试验现场工人操作水平有限、安全意识不高且实际试验时模型易发生漏水等情况,现有测桥采用 AC220V 供电方法,因此采用这种高压供电方式,安全性能不足。

本文根据“我国大型河工模型智能测控系统”项目研发需要,研制河工模型试验综合搭载测桥,实现各类量测仪器的搭载和同步测量,该综合搭载平台包括测桥、轨道、行走系统、控制系统等部分。该综合搭载平台可搭载地形仪^[5,6]、水位仪、无线测速仪、含沙量测量仪等河工模型常用的量测设备。

2 桥体设计

河工模型量测参数如地形、流速、含沙量等都需要沿测量断面移动测量,受现有河工模型地形测量方法限制,地形仪不能与其他河工模型量测仪器共同置于同一工作面,为减少测桥数量及降低成本,本文采用传统双工作面的桥体,即一面用于搭载地形仪,另一面用于搭载量测仪器定位装置,可供搭载其他河工模型量测仪器。

桥体采用笼形设计结构,前后侧面采用 W 形交叉对称的斜拉刚体结构,能提供多点弹性支撑,使主梁弯矩、挠度显著减小,且跨越能力较强,能较好地克服桥体因自重产生的挠度形变问题,即使测桥满载时,测桥的挠度 $< 1\text{ mm}$ 。同时斜索拉力的水平分力为主梁提供预压力,即使在悬臂工作状态下,通过调整斜拉结构索力使主梁受力均匀合理,提高主梁的加载抗裂性能,保障测桥的稳定和安全。测桥上下底面则采用“日”字形结构,方便在内部空间挂载各种仪器设备和控制驱动机箱等(见图 1)。

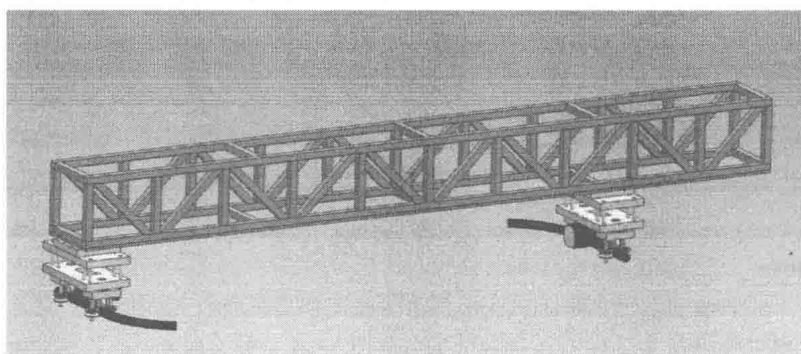


图1 测桥结构示意图

3 行走机构

测桥的行走机构为沿模型纵向(X 向)自动行走机构,如图 2 所示,行走机构采用 V 槽方向滑轮、承重从动轮、主动轮以及基座、轮座,中间接板,动静旋转板,平面推力轴承等构成,能够适应模型不规则复杂地形条件的准确定位。V 槽滑轮与滑轮座组成运动自由体,该自由体下端的滑轮与配套设计的六角轨道实现无缝卡接,上端与基座之间使用大直径屏幕推力轴承连接,在测桥运动中起引导作用,承重从动轮垂向于导轨,起到测桥主体