

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

(第九集)



黄河水利出版社

国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ070055)和  
国家自然科学基金项目(51309083)资助

# 水利量测技术论文选集

(第九集)

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、冰测量技术与仪器、土壤墒情测试技术、水信息采集和处理有关技术等内容,既涵盖了港工、河工、土工等传统领域,又涵盖了冰、土壤墒情等新领域,有效拓展了水利量测技术应用领域。本书可供从事水利水电科学技术研究的技术和管理人员、大专院校的师生以及其他行业中从事有关量测技术工作的人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水利量测技术论文选集(第九集)/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,2014. 8  
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0886 - 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(2014)第 194348 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:hhslebs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.25

字数:375 千字

印数:1—1 000

版次:2014 年 8 月第 1 版

印次:2014 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 房纯纲

周 扬 林 俊 杨胜发 郑 源

柳淑学 胡 或 贾永梅 徐国龙

唐洪武 龚壁建 戴光清

顾 问 陈炳新 李业彬

主 编 唐洪武 陈 红

# 前 言

水利量测技术是水科学发展的基础,支撑着水利工程学科基本理论研究和科技应用,具有专业面广、学科交叉多等特点。水利量测技术相对本学科的发展存在一定的滞后,不能很好地满足现代水科学研究需要。中国水利学会水利量测技术专业委员会一直致力于促进全国水利量测技术的发展,自20世纪80年代,每两年举办一次全国性水利量测技术综合学术研讨会,总结水利量测先进技术、规划水利量测技术发展方向、交流实践经验,有效推进了水利量测技术的发展。

目前,传统水利量测技术面临巨大的挑战,表现在:①缺乏精细传感器技术;②含沙量等泥沙参量测量技术落后;③缺乏大范围非接触式高精度全场测量技术;④光学、声学等自主知识产权测试仪器严重缺乏,核心技术均受制于国外;⑤缺乏行业性仪器及数据标准,系统兼容性、可移植性差,等等。因此,一方面,传统水利量测技术需要进一步借助其他学科专业技术,提高自身适用性和通用性;另一方面,还需要不断融合光学、声学、雷达等技术,创新设计新型量测方法和仪器,提高水利测量精度。

第十五届全国水利量测技术综合学术研讨会正是在当前水利形势和研究工作深入开展需要的背景下召开的,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与控制技术及仪器、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、冰测量技术与仪器、土壤墒情测试技术、水信息采集和处理有关技术等方面,既涵盖了港工、河工、土工等传统领域,又涵盖了冰、土壤墒情等新领域,有效拓展了水利量测技术应用领域。

此次会议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,具有很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。

冀望全国同侪借助水利量测技术综合学术研讨会这个交流平台,共同努力促进我国水利量测技术的快速发展。

本书编辑委员会  
2014年6月

# 目 录

## 前 言

## 试验技术

国家重大科学仪器专项“我国大型河工模型试验智能测控系统开发”研究进展

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| .....                        | 夏云峰 陈 诚 王 驰等(3)        |
| 泥沙颗粒图像测试技术研究.....            | 陈 红 唐立模 陈 扬(17)        |
| 变频器开环控制浑水流量在泥沙模型试验中的应用 ..... | 吴华良 罗朝林 丘谨炜(23)        |
| 单片机的直流充放电电容检测应用于波高仪的研究       | ..... 黄海龙 房红兵 王 驰等(28) |

金沙江向家坝水电站长河段非恒定流物理模型测控系统

|                                      |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| .....                                | 丁姓奇 吴 俊 舒岳阶(33)  |
| 不同材料泥沙磨损特性的研究 .....                  | 杨春霞 郑 源 周大庆等(44) |
| 智能 PTV 流场测量方法研究.....                 | 陈 诚 夏云峰 黄海龙等(49) |
| 一款改进型超声波地形测量系统的研发与应用 .....           | 王 磊 陈若舟 邢方亮(53)  |
| 浮式刚体运动过程六自由度实时量测系统 .....             | 金 捷 黄海龙 王 驰等(57) |
| 具有侧向补偿的激光无线高精度测沙仪 .....              | 王 驰 黄海龙 霍晓燕(64)  |
| 三维地形测量方法研究 .....                     | 陈 诚 夏云峰 黄海龙等(69) |
| 高精度水位仪及无线测试系统 .....                  | 王 驰 黄海龙 霍晓燕等(73) |
| 旋翼式流速仪传感器优化分析研究 .....                | 黄海龙 王 驰 金 捷等(79) |
| 流速测量中转速计量技术综述 .....                  | 黄海龙 王 驰 周良平(84)  |
| 基于 VC++ 的 Vectrino 流速仪数据采集系统设计 ..... | 孙 超 李最森(90)      |
| 利用超声技术(ADV)测量悬移质泥沙浓度的最新进展 .....      | 李 健 金中武(95)      |
| 基于 PIV 技术的新型水下流场测量系统 .....           | 左炳光 曹 森(101)     |

## 原型技术

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 河流水面成像测速中的时均流场重建方法研究 .....  | 张 振 郑胜男 韩磊等(113)        |
| 激光测距式无线水位遥测系统的设计与应用 .....   | 武 锋 陈新建(123)            |
| 多波束测深系统在某跨海大桥桥墩局部冲刷监测中的应用   | ..... 魏荣灏 史永忠 李最森等(128) |
| 地面三维激光扫描技术及其在水利工程中的应用 ..... | 徐云乾 袁明道(134)            |
| 大通水文站利用 ADCP 测沙的探索 .....    | 胡 纲 王 华(140)            |
| 长江泥沙观测新技术与应用实例 .....        | 韦立新 蒋建平 于 浩等(148)       |
| 三门峡库区典型断面深层淤积泥沙物理特性分析 ..... | 常晓辉 郑军 高连生等(154)        |

|                            |                |       |
|----------------------------|----------------|-------|
| 基于 GIS 的黑龙江省降雨量三种空间插值方法研究  | … 龚文峰 张 静 梁晰雯  | (160) |
| 基于 MSP430 智能遥测终端大容量数据存储的实现 | … 覃朝东 江显群      | (168) |
| 水库冰面变形微观观测研究               | … 贾青 李志军 杨 宇等  | (173) |
| 基于无线传感器网络的水质监测系统研究         | … 张 慧 黄跃文 郭 亮  | (178) |
| 水位自动采集设备选型及处理方法的分析研究       | … 史东华 陈 卫      | (184) |
| 通用比降面积法流量测验系统软件设计与实现       | … 周 波 张国学 李 雨  | (188) |
| GPS-RTK 技术在山洪灾害调查中的应用      | … 邓长涛 范光伟 林 威  | (193) |
| 农灌机电井地下水监测仪的分析与设计          | … 齐 鹏 戴长雷 彭 程等 | (199) |
| 大深度基础混凝土防渗墙施工质量检测技术应用研究    | … 邓中俊 姚成林 贾永梅等 | (205) |
| 核磁共振法在山区找水                 | … 贾永梅 姚成林 邓中俊等 | (213) |
| 冻土墙情野外试验分析与设计              | … 祝岩石 伍根志 商允虎等 | (221) |
| 低扬程轴流泵站效率测试分析与运行建议措施       | … 黄 立 江显群 刘 涛等 | (227) |
| 灌浆流量检测精度研究                 | … 郭 亮 黄跃文 张 慧等 | (231) |
| 基于 CFD 的氧化沟推流器优化           | … 姜 镐 郑 源 宋晨光等 | (235) |
| 湖泊水库中水华藻类的去除方法概述           | … 李聂贵 徐国龙 郭丽丽等 | (243) |

# 试 验 技 术





# 国家重大科学仪器专项“我国大型河工模型试验智能测控系统开发”研究进展\*

夏云峰 陈 诚 王 驰 黄海龙 金 捷 周良平

(南京水利科学研究院,水文水资源及水利工程科学国家重点实验室,南京 210029)

**摘 要** 随着经济社会快速发展,水利水运工程建设进程加快,对工程科学研究水平提出更高要求,河工模型试验一直是开展水利水运工程研究的重要方法,而测控技术是河工模型试验研究的关键,模型试验研究的科学水平在很大程度上取决于测控系统的精度。近年来,随着新技术的不断发展,河工模型试验测控技术得到了快速提升。本文简述了国家重大科学仪器开发专项“我国大型河工模型试验智能测控系统开发”的项目背景、国内外研究现状、主要研究内容及在关键量测仪器无线化、非接触测量及控制系统等方面取得的研究成果。

**关键词** 仪器专项;河工模型;测控系统;无线化;非接触

## Advances in the national key scientific instrument and equipment development project “the development of intelligent measurement and control system for large-scale river model test in china”

Xia yunfeng Chen cheng Wang chi Huang hailong,  
Jin jie Zhou liangping

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources  
and Hydraulic Engineering,

Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstracts** With the rapid development of economy and society, the process of hydraulic engineering construction was speeded up and results in a more serious requirement on the level of scientific research on engineering. The river model test is an important method for research on hydraulic engineering. The measurement and control technology is the key to river model test. The scientific level

\* 基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ070055)、交通运输部重大科技专项(201132874640)、国家自然科学基金资助项目(51309159)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(Y214002、Y212009)。

of river model test depends on the accuracy of measurement and control system. In recent years, with the development of the new technology, the technology of measurement and control in river model test and control has been rapidly improved. The project background, research status at home and abroad, main research contents and advances in the wireless, non-contact measurement of the key measuring instruments and control systems are described in this paper.

**Key words** Instrument project, river model, measurement and control system, wireless, non-contact

## 1 引言

国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)在重点领域及其优先主题中明确提出,要加强水资源优化配置与综合开发利用,重点研究长江、黄河等重大江河综合治理及南水北调等跨流域重大水利工程治理开发的关键技术。2011年中央一号文件也明确提出,“十二五”期间继续实施大江大河治理,并基本完成重点中小河流重要河段的治理,并指出要强化水利科技支撑,加强基础研究和技术研发,力争在水利重点领域、关键环节和核心技术上实现新突破。

河工模型试验一直是开展水利水运工程研究的重要研究方法。近年来,我国在长江、黄河、珠江、汉江、赣江、湘江等河流的河床演变、河道及航道整治、跨河建筑物等有关问题的研究中均开展了大量的河工模型试验。在葛洲坝、三峡、小浪底等大型水利水电工程的建设中,为了配合规划、设计、施工及管理工作,也开展了大型的河工模型试验研究。特别是由于黄河问题的复杂性,诸多问题的研究更有赖于河工模型试验的手段。如何科学、高效地开发利用河流海岸资源,抵御自然灾害,协调开发利用与资源及环境保护之间的关系成为水利科学研究中的热点和难点问题。

为了解决我国河流治理、水运工程、防洪抗旱等工程决策中的关键技术问题,需要开展大量的河工模型试验。而模型试验研究水平的提高在很大程度上依赖于测控技术的创新和突破。

本文介绍了国家重大科学仪器开发专项“我国大型河工模型试验智能测控系统开发”的项目背景、项目主要研究内容、国内外研究现状及项目在关键量测仪器无线化、非接触测量及控制系统方面取得的研究成果。

## 2 项目背景

为贯彻落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》和《国家“十二五”科学和技术发展规划》,提高我国科学仪器设备的自主创新能力和自我装备水平,支撑科技创新,服务经济和社会发展,中央财政设立了国家重大科学仪器设备开发专项。

2011年由南京水利科学研究院牵头,联合长江科学院、河海大学、南京瑞迪建设科技有限公司共同承担的国家重大科学仪器设备开发专项“我国大型河工模型试验智能测控系统开发”作为首批试点项目获准立项。

本项目的总体目标是:开发出具有自主知识产权并适用于中国国情的成套水动力及泥沙关键参数量测仪器和量测技术,实现大型河工模型试验智能测控系统关键技术的突

破,显著提升大型河工模型试验研究水平,为水利工程、防洪抗旱、环境保护、水资源高效利用、河流海岸开发与治理等领域重大科学问题研究提供先进的技术支撑和科学依据。通过产学研结合,建立产业化示范基地,形成批量生产能力,并将产品推广应用于我国水利、交通、能源、海洋、工矿企业、军工、高校等领域,使大型河工模型试验量测仪器及智能测控系统市场占有率大于60%。初步形成相关仪器应用技术规范,为业务部门及相关研究机构提供成熟稳定的高端产品。

### 3 项目主要研究内容

项目的研究内容主要由关键量测仪器、控制系统、试验分析系统三部分组成,其中关键量测仪器主要包括流速仪、PTV 流场测量系统、水位仪、波高仪、压力总力仪、六分量仪、地形仪、测沙仪等,控制系统主要包括潮汐控制系统、波浪控制系统、加沙控制系统,试验分析系统主要包括数据后处理、可视化控制及动态仿真显示(见图1)。

## 4 国内外研究现状

### 4.1 关键量测仪器

#### 4.1.1 流速仪

旋浆式流速仪主要有电阻式、电感式、光电式三种,国内开展此项研究较早的是南京水利科学研究院,目前模型试验中采用较多的是南京水利科学研究院自行研制的光电式旋浆流速仪<sup>[1]</sup>。但该仪器对水流有一定干扰,对于低于旋浆起动流速的小流速无法测量,流速流向同步测量技术还不成熟,模型试验中流速测点较多,布线较复杂。

热线热膜流速仪能够测得瞬时流速,对水流干扰较小,使用方便,但对水质有较高的要求,必须清洁无杂质,否则由于杂质沉淀在金属丝表面,会改变热耗散率,将造成测量误差<sup>[2]</sup>。因此,热线热膜流速仪通常应用于空气动力学试验,在模型试验含沙水流中应用较少。

电磁流速仪是根据法拉第电磁感应定律制成的,将水流作为导体来测量水流速度的流速仪(日本 VM-801HA、荷兰 P-EMS 等)。电磁流速仪传感器较小,对水流扰动小,可用来测瞬变流速和流向,可测量水质差别较大情况下的流速,但易受附近电磁场的干扰,目前用于模型试验还比较少。

声学多普勒流速仪 ADV 是基于超声波的多普勒效应来测量流速的,可测量三维流速,动态响应快,测量精度高,但由于其结构复杂,价格昂贵,使用条件苛刻,大部分用于水槽试验研究,较少应用于物理模型试验。

#### 4.1.2 流场测量系统

在河工模型试验中,采用粒子图像测量技术 PIV 测量表面流场可以获取河流泥沙工程中的流速分布信息,从而可以对河流水动力结构进行研究,为工程方案提供科学依据<sup>[3-4]</sup>。河工模型试验中的 PIV 技术与水槽试验中的常规 PIV 技术的区别主要在于:①测量区域比常规 PIV 大得多,通常摄像头架设的位置离测量区域较远,为了满足图像处理的要求,所采用的示踪粒子粒径较大;②照明系统通常采用普通光源(甚至可以是自然光)照明,而常规 PIV 需要专门的激光片光源进行照明。

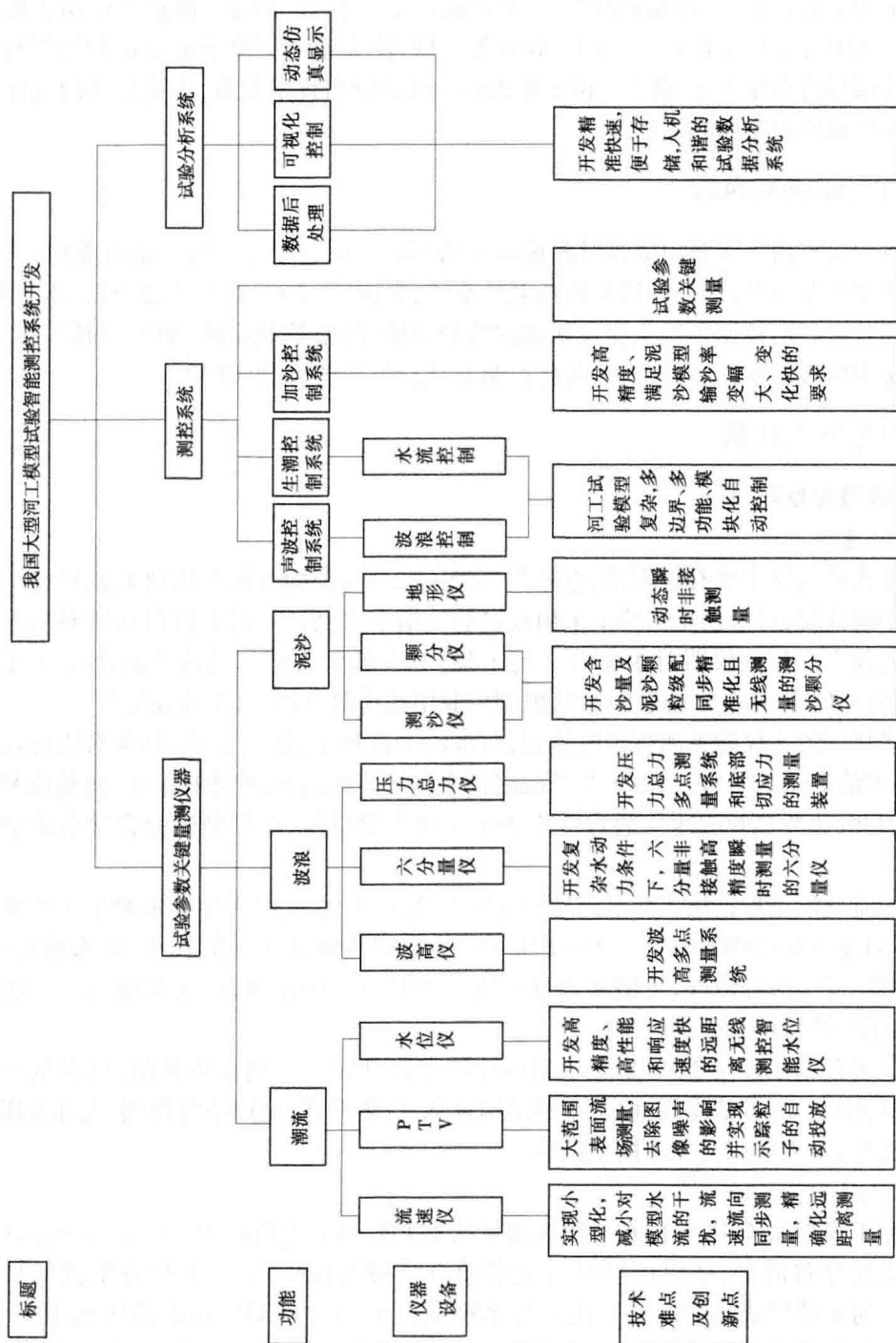


图1 我国大型河工模型试验智能测控系统总体结构

国内科研人员根据粒子图像测速的基本原理,已成功开发出应用于大型河工模型表面流场测量的粒子示踪测速系统:清华大学研制的 DPTV 系统、河海大学研制的物理模型表面流场粒子测速系统、中国科学院力学研究所研制的 DPIV 系统、北京尚水信息技术股份有限公司开发的 VDMS 流场实时测量系统、南京水利科学研究院研制的 LSPTV 流场测量系统、珠江水利科学研究院开发的流场测量系统等。

河工模型表面流场测量技术的研究已经取得了较多的成果,并得到广泛的应用。但仍存在一些问题,需要进一步深入研究:①采用视频线有线传输,布线复杂,传输的数据量大;②安装及标定过程复杂;③在大范围复杂水流条件下,进一步提高流场提取及处理性能;④示踪粒子目前大都采用人工投放,对水体干扰较大。

#### 4.1.3 水位仪

水位是物理模型试验中必不可少的水力要素。目前,应用于模型试验的水位测量仪器主要有:水位测针、跟踪式水位仪、数字编码探测式水位仪、振动式水位仪、光栅式水位仪、超声波水位仪等。

水位测针是一种古老的水位测量工具,由于测针稳定可靠且精度较高,所以沿用至今,但测量费时较多,不易同时测量多点水位。跟踪式水位仪、数字编码探测式水位仪、振动式水位仪及光栅式水位仪都是采用步进电机跟踪水位进行测量的水位仪,只是采用的传感器不同。由于功能强、精度高,这些跟踪式的水位仪在模型试验中得到了较为广泛的应用。其缺点是机械传动部分易于磨损而产生误差,此外由于受步进电机驱动速度的限制而使水位跟踪速度受到影响。超声波水位仪应用超声波反射原理测量水位,跟踪速度快,并可实现多点水位同步测量,但测量精度易受环境温度等影响。

#### 4.1.4 地形仪

由于河工模型地形数据的重要性和采集精度,以及采集效率的高标准要求,传统的测针或钢尺测量法,以及采用经纬仪和水准仪的地形测量方法已经不能满足需要。近年来,随着激光技术、超声波技术、光学技术等先进技术的发展,逐渐发展了光电反射式地形仪、电阻式冲淤界面判别仪、跟踪地形仪、超声地形仪、激光扫描仪等。河工模型地形测量技术正在从人工、接触式、单点测量向自动、非接触式、多点测量方向发展<sup>[5-7]</sup>。

光电反射式地形仪、电阻式冲淤界面判别仪及自动跟踪地形仪使河工模型地形测量从传统的测针法、钢尺测量法及经纬仪和水准仪等人工测量方法发展到自动测量,但由于需要探头接触测量面,所以都属于接触式的单点测量方法,对地形有一定的干扰,测量效率比较低。超声地形仪采用超声波技术,实现了地形的无接触测量,但测量精度有待进一步提高,特别是在有斜坡等的复杂地形,以及含沙量较大时,测量误差较大。

目前,地形测量系统主要可分为接触式和非接触式两类。接触式主要有武汉大学研制的阻抗式地形测量系统、黄河水利科学研究院研制的浑水地形测控系统。非接触式主要有北京尚水信息技术股份有限公司、天津水利科学研究院开发的超声波地形测量系统等。

#### 4.1.5 测沙仪

含沙量测量方法中,传统的直接测量法利用天平直接测量沙和水的质量,测量结果精确。但缺点是需要预先取水样,不能实现在线实时测量和自动化测量,无法满足现代水利工程泥沙模型实验的要求。间接测量法指借助于现代传感器技术,将水体含沙量转换为

相关的电信号量,通过对这些电信号的测量来间接测量含沙量。间接测量法主要包括振动测量法、超声测量法、光电浊度测量法和 $\gamma$ 射线测量法<sup>[8-10]</sup>。其中,基于振动测量法和 $\gamma$ 射线测量法的测沙仪外形体积较大,主要用于天然水域的含沙量测量,无法用于室内泥沙模型试验含沙量的测量。超声测量法和光电浊度测量法主要利用超声波或光波在浑水中传输时会被吸收和散射,进而传感器检测到超声波或光波强度变化来测得含沙量。目前研制、应用最广的也是这两类测沙仪。但还存在一些缺点和不足:①当含沙量较低时,电路噪声和环境噪声对其影响较大,测量结果精度较低;②测量结果与悬浮颗粒的粒径大小、颗粒密度有关,需预先测量率定标准曲线。

#### 4.1.6 波高仪

波高和水位在水利工程模型试验中是必不可少的水力要素,二者在测量要求上有所不同,水位对测量的精度要求较高,而波高需要能敏捷可靠地反映瞬时的波浪幅度变化(波浪要素有波高、周期和波长)。测量波高的仪器和传感器应具有频响快、灵敏度高、体积小、防水性能好等特点。目前,测量波高的仪器较多,通常有电阻式波高仪、电容式波高仪等。南京水利科学研究院研制的计算机波高测量系统采用先进的电容式波高传感器、高集成运算放大器和计算机硬、软件技术研制而成,现已广泛应用于水工、河工和港工物理模型试验中。

#### 4.1.7 压力仪

在水利工程的物理模型试验中,需要测量脉动水压力和波压力,该类仪器和传感器应具有频响快、灵敏度高、体积小、防水性能好等特点。目前,测量类型较多,如应变片式、电感式、霍尔效应式和压电式等,但应用最广泛的有应变片式压力传感器和压电式压力传感器。

压电式压力传感器的灵敏度系数比应变片式压力传感器灵敏度系数要大50~100倍。欧、美等发达国家的压力传感器比较先进,丹麦水工研究所生产的Druck-PDCR压力仪具有误差小、采样频率高、尺寸小、稳定性好等优点,适合进行风暴潮、波浪综合作用试验时结构物上波浪压力的测量,而且可以准确测量破波冲击波压力。现瑞士和美国的一些电子公司将压电式压力传感器的惠斯登测量电桥、电压放大器(差动放大器)和温度补偿电路集成在一起,做成超大规模的集成电路芯片,大大提高了测量精度和可靠性。

#### 4.1.8 六分量仪

六自由度仪亦称六分量仪,主要应用于海洋与近岸工程物理模型试验中,对系泊浮式结构在港工水池中模拟天然风、浪、流动力作用下,刚体模型运动量数据的量测与分析。国内外六自由度仪主要有以下类型:①机械接触式;②光电跟踪式;③陀螺加速度仪;④非接触低频磁转换。

机械接触式的优点是造价较低,适用于长度较大(5~7 m)和自重较重(数百千克)的大件浮体;缺点是仪器自重偏大(约为10 kg),触臂长度无法在较宽范围内调整,使用中仪器随浮体同步运动时产生的抵触反作用力影响运动量的真实性,仪器与浮体组成的同一载体共同接受外动力作用力时附加的机械惯性较大。光电跟踪式的特点是整机质量较轻,采样速度较快,硬件材料和元器件相对经济;避免了机械式六自由度仪自重对浮体运动的影响。陀螺加速度仪的试验数据后期处理工作量很大,并且多次积分与合成计算将



附带出过程连续累计误差,在浮体上三个轴向分别装配一个一维加速度仪进行量测也存在着浮心质点容积被放大的问题,若选用一个整体型三维加速度仪,造价很高。南京科学研究院 2011 年起试研发一款采用低频磁转换量测原理的六自由度仪。以空间虚拟运动跟踪定位系统,通过非接触发射—捕捉—接收—再发射的快速传输,将处理后的 DSP 数字信号输入仪器。

## 4.2 控制系统

### 4.2.1 潮汐控制系统

潮汐控制方式主要有尾门控制、双向泵控制、潮水箱控制等<sup>[11]</sup>。

尾门控制系统由尾门、水位仪、水位控制接口和计算机组成。水位自动控制时,计算机控制系统按率定的调节规律控制驱动放大器和开关电路的导通闭合时间,即控制尾门的位移量,尾门开闭度经位移传感器分别通往中央控制室和尾门控制台的位置显示器,尾水位的变化由控制点水位仪采集反馈到计算机内,与给定水位值比较,再进行计算调节,形成一个闭环自动控制系统。

双向泵控制系统由计算机控制 1 台或多台双向泵的进出流量,从而达到模拟潮汐的目的,双向泵式潮汐仪主要适用于潮差较小和水流条件较复杂情况。

潮水箱式系统的原理是由空气压缩机在潮汐箱内形成压缩气体,通过伺服电机控制气压调节阀,使箱内水体被压出或吸入,从而控制模型中水面的变化,形成需要的潮汐水流。潮水箱式潮汐仪模拟精度高,稳定性好,但结构较复杂。

### 4.2.2 波浪控制系统

对波浪的模拟分为规则波的模拟和不规则波的模拟,而不规则波也可分长峰不规则波和短峰不规则波,短峰不规则波是最能反映真实状况的,模拟波浪是通过造波机实现的。国内外造波机的造波方式主要有摇板式、冲箱式、活塞式、转筒式和气动式等,其基本原理都是通过造波部件的机械运动对水体施加振动产生波浪,其需求的机械运动是符合时域波浪信号的往复光滑变速运动,对驱动的要求是功率大、伺服响应要快,位置和速度跟踪精度要高。

在室内波浪物理模型试验中,在水槽或水池内利用造波机进行波浪模拟,从而进行波浪物理模型试验,是港口工程设计的主要依据。造波控制系统从功能上可分为:

(1)对波浪进行数值模拟,根据要求算出规则波或不规则波对应冲箱运动位置的时间序列。

(2)对算出的运动位置(小线段)按一定的算法插补出每个插补周期对应的冲箱位置,并采用带速度前馈的 PID 控制算法使电机带着冲箱完成插补间的运动。

(3)用波高仪采集造出的波,规则波可检验其波高周期是否符合要求,不符合再进行补偿再造波;对于不规则波,则要对采集的时间序列进行处理,得到其功率谱,并与目标谱比较,如果未达到要求,再用迭代法算出新的造波机运动时间序列,直到满意。

### 4.2.3 加沙控制系统

目前,加沙控制主要是在河工模型中添加底沙和悬沙。而加沙方式可分为人工加沙和自动控制两类。人工加沙是在加沙循环管上开设一定数量大小不同的孔口,通过人工调节各孔口开度和组合来控制模型的进口加沙量。



自动加沙系统必须根据泥沙物理模型试验,满足输沙率变幅大和变化快的要求,潮汐水流输沙率在一个周期内处于变化之中,加沙量要求随潮汐水流适时变化。根据模型控制范围,计算出输沙率的变幅及试验过程的加沙量,从而选用适当的加沙设备,以满足输沙率变幅大的要求。

自动加沙控制系统主要由加沙系统和控制系统组成。加沙系统包括搅拌池、浑水搅拌设备、上水泵、稳水池、输沙管道、供水泵;自动控制系统由人机界面、控制器以及变频器等组成。

## 5 项目研究成果

### 5.1 无线流速仪

无线流速仪(见图2)系统基于低功耗无线传感网络,可以实现将流速测杆采集到的数据通过无线射频信号发送到无线网关,并且能接受基站发送的控制命令,然后做出相应的响应。将信号采集、处理及传输集成模块化,实现多路远程无线流速测量,无线流速测量能实现同时采集200根流速杆,最远距离为400 m,采集速度及精度不低于有线流速仪数据采集系统,同时充分考虑了无线终端的移动性和低功耗要求。流速测量范围:1~200 cm/s,测量精度1%。

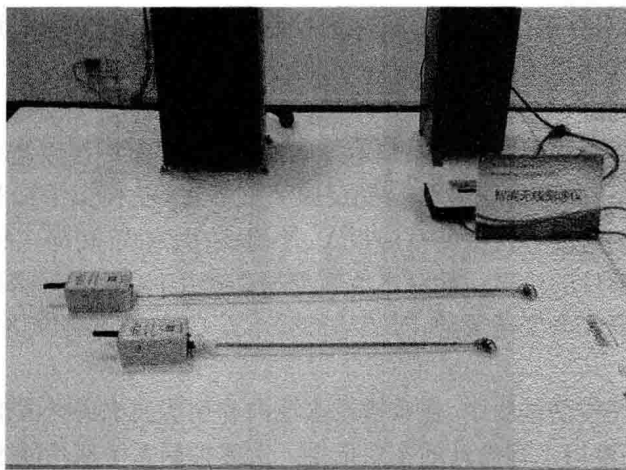


图2 无线流速仪

### 5.2 ADV 三维流速仪

声学多普勒流速仪 ADV(见图3)是基于超声波的多普勒效应来测量流速的,可测量三维流速,动态响应快,测量精度高,目前大都是从国外进口,价格昂贵,维护成本高。

本项目已完成前期的开发及实验测试,换能器支架主要用来固定超声探头,并自由调节超声探头角度,中心探头位置固定,其他探头可以空间360°调整,在空间位置上等距、等角度均匀分布。信号产生电路和信号放大功率输出电路将脉冲信号传送至换能器,然后通过切换将换能器接收到的反射波通过放大运算电路,再通过AD转换为数字信号传递给DSP,利用DSP核对数据信号进行FIR滤波和FFT变换,然后利用ARM核做简单数据运算,计算水的流速。已经完成5 MHz测速仪一维发射电路与接收电路,信号采集及