

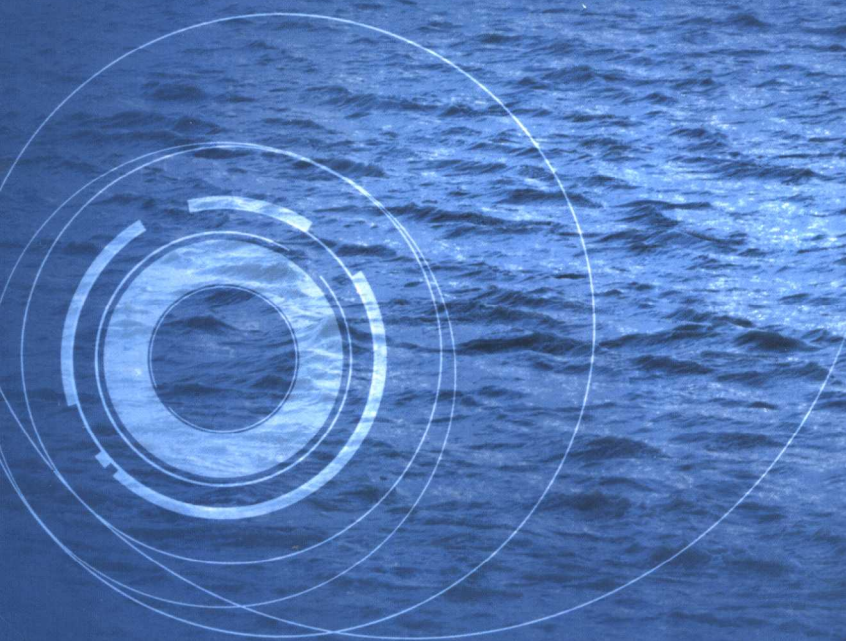
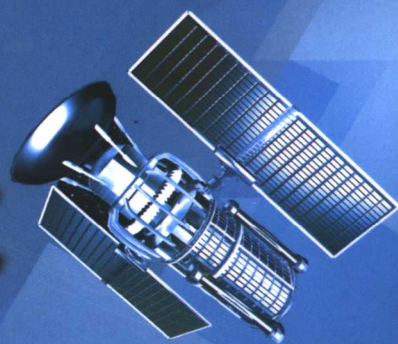
SHUILI LIANGCE JISHU LUNWEN XUANJI

中国水利学会水利量测技术专业委员会 黄河研究会 编

水利量测技术

论文选集

(第五集)



黄河水利出版社

内 容 提 要

本论文选集是从“第十一届全国水利量测技术综合学术研讨会”的应征论文中选编的,内容涵盖了水利水电科学技术研究、原型观测、施工质量监督等方面的信息获取、传输,控制系统的硬件和软件,包括传感技术、原型观测技术、水利水电信息化技术、试验研究测试技术等方面的新成果和经验总结,具有较高的实用价值,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.第五集/中国水利学会水利
量测技术专业委员会,黄河研究会编.—郑州:黄河水利
出版社,2006.9

ISBN 7-80734-120-3

I. 水… II. ①中…②黄… III. 水利工程量测—
文集 IV. TV221-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 097056 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19.75

字数:456 千字

印数:1—1 000

版次:2006 年 9 月第 1 版

印次:2006 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-120-3/TV·474

定价:45.00 元

编辑委员会

主任委员:陈炳新

委 员(以姓氏笔画为序):

王兴奎 卢惠章 刘晓燕 冷元宝

李业彬 张建中 房纯纲 尚宏琦

贺秀正 柳淑学 唐洪武 徐基丰

常晓辉 龚壁建

主 编:李业彬 房纯纲

前 言

水利量测技术是水利水电科学技术的重要组成部分,在水利水电事业的发展中起着重要作用,在过去制定的水利科技发展五年规划中都有反映。

为了交流科研成果,促进水利量测技术水平的提高,中国水利学会水利量测技术专业委员会每两年举行一次水利量测技术全国综合学术研讨会,从2~3次研讨会的论文中精选部分论文公开出版发行,虽然出版的论文能扩大交流面,但也存在时效性问题,使得有的成果特别是一些创新性成果失去了最佳面世时间。第十一届水利量测技术全国综合学术研讨会筹备会研究决定,从本届研讨会的应征论文中选编成论文选集,在研讨会前出版发行,以提高论文的时效性,促进学术交流。

本选集选编论文 50 篇,内容包括水利水电建设、工程管理、防洪、水土保持、水资源合理配置等方面的传感、原型观测、水利水电信息、试验研究测试、新技术应用等,是紧密结合生产及科研实际的新成果和经验总结,具有较高的使用和参考价值,内容十分丰富,反映了我国水利量测技术的发展现状,它的出版将会有力地推动我国水利量测技术的发展。

本书编辑委员会

2006 年 7 月

目 录

传感技术

水下自动定位控制系统

..... 李涛章 刘雨泉 吴永新 陈云武 王建龙 姚 飞 胡 宁(3)

磁致位移传感器测量冰厚的原理及应用..... 王 昕 程言峰 雷瑞波 李志军(9)

激光三维扫描技术在模型地形数字化中的应用研究

..... 杨 勇 黄建通 王 锐 冷元宝(13)

基于空气、冰、水电容差异的冰层厚度检测系统研究

..... 秦建敏 郭宏亮 程 鹏 赵 凯(18)

浑水脉动流速仪的研制 陈 瑞 王兴奎(24)

红外巡堤查水报警器的研制与试验

..... 柴青春 鲁学玺 贺素娟 郭利敏 赵 茹(30)

线胀测试仪研制 芦晓东 侯文昌 杨 勇 赵圣立(36)

激光水位仪的研制与应用 华 涛 王兴奎(41)

CSY-Ⅲ型流速流向仪 蔡守允 戴 杰 姜英山 张定安(48)

基于补偿电极的对称四极直流电阻率法物理模拟 李长征 毕 生 瓮晶波(54)

原型观测技术

聚束直流电阻率法及其在黄河根石探测上的应用研究 ... 王 锐 杨 勇 王家映(63)

2006年范县汛前黄河根石探测成果分析及建议

..... 柴青春 张 华 孙晓兵 姚广朝 顾洪华(69)

低扬程大流量泵站单机流量测量 郑 源 赵宗引 须伦根(72)

辽东湾近岸堆积冰表面形态测量方法 王 昕 孔祥鹏 雷瑞波 李志军(79)

高喷墙堆石围堰渗漏检测 ... 姚成林 房纯纲 贾永梅 鲁 英 王会宾 梁轶飞(84)

基于实测资料的金钗湾滑坡体变形规律分析

..... 毕 生 朱赵辉 赵圣立 鲁立三(90)

土坝心墙及基础渗漏检测 贾永梅 姚成林 房纯纲 李 平 王会宾(96)

宝泉沥青混凝土面板堆石坝坝料力学特性试验研究

..... 刘治龙 于玉贞 孙 逊 张丙印(102)

人工边坡锚索加固中锚固力的测量及其变化特征..... 黄小红 李亦明(107)

高密度电法在堤防隐患探测上的应用 吕红花 王 军(113)

小浪底大坝堆石体填筑施工及质量监控

..... 李海晓 沈细中 张俊霞 王笑冰 李 莉(117)

水利水电信息化技术

网络智能化在光学垂线坐标仪中的应用研究

..... 王 琦 陈 红 唐洪武 徐友仁 郭 琦(125)

基于 PROFIBUS 的开放式全分布监控系统在水电站的应用 杨里平 方彦军(131)

一种新型的全天候河道水情测报系统 张宝莉 赵 凯 侯 煜 秦建敏(138)

数据挖掘技术在水电站电力设备运行监测中的应用 习 博 方彦军(143)

GPS RTK 高程测量试验误差分析 彭玉明 高志斌 晏黎明(149)

无线传感器网络在区域性水文监测中的应用 刘经宇 方彦军(155)

山东黄河水情自动测报系统的应用实践 张仰正 杨 俊(161)

GIS 新技术及其在数字水利中的应用与发展

..... 张彦丽 胡跃斌 刘小春 刘振西(165)

试验研究测试技术

钱塘江河口模型测控技术及应用 李红燕 邵盛伟(173)

非接触六自由度实时测量技术研究 李木国 邓 姿(177)

变坡水槽自动测控系统 丁胜奇(187)

长江防洪模型量测控制系统 吴新生 许 明 魏国远(194)

水沙分离式自动加沙控制系统的研制 武 锋 马 浩 虞邦义(200)

分水口水力特性的试验研究 彭 浩 张永良 马吉明(204)

计算机技术在模型试验流量与水位测控中的应用 雷川华 贺昌海(211)

综 述

黄河水库河道淤积测验技术发展十年回顾 胡跃斌 张彦丽(217)

探讨几个电磁法探测堤坝渗漏隐患的技术问题 房纯纲 贾永梅(222)

Starflow 超声波流量计的对比实验研究

..... 李聂贵 陈 红 唐洪武 徐友仁 刘泽山(228)

关于无喉道槽的讨论 李善征 刘侠玲 张春义(236)

南海东风水库大坝安全监测系统设计

..... 刘 敏 袁明道 郭 波 潘展钊 廖文来(246)

土壤水分含量测量技术 李 刚 李端有(252)

洪水作用下堤坝险情及探测方法初探 李海晓(258)

浅论水资源水量监测技术及应用 刘 文 袁秀忠 赵新生(263)

长线传输对水工模型量测与控制系统信号传递的影响与抑制 李晓飏(269)

山东引黄涵闸远程实时监控系统的建设和运行	张仰正 李民东 刘 静(274)
----------------------------	------------------

其 他

一种在粒子测速系统中的优化计算方法	李木国 杜 海 崔 恒(283)
广西上程水电站地下厂房开挖过程数值模拟	张锦鑫(289)
混凝土抗渗仪自校验方法的改进	张 凯 郑光和 周永海 魏 民(296)
抛物线形渠道测流断面面积的计算方法	马艳菊(300)

传 感 技 术

水下自动定位控制系统

李涛章 刘雨泉 吴永新 陈云武 王建龙 姚 飞 胡 宁

(南京市长江河道管理处, 南京 210011)

[摘 要] 水下工程精确定位是长江水流环境条件下的一大难题, 由于没有可应用的设备, 精度不能满足工程要求。本课题从长江整治工程的诉求出发进行了应用性研究, 将水声定位、水深探测、水下电视、机械传动和计算机软件技术融于一体, 解决了搜寻并确认水下目标、投影定位、信息处理、成果记录、实时检测等方面的难题, 并将系统应用于沉排工程, 研制出实用的综合系统, 工程实际定位精度满足要求, 有力地保证了沉排工程质量。本文介绍了水下自动定位控制系统工作原理和应用实例。

[关键词] 水下定位; 自动控制; 水声工程; 水下电视

1 水下工程定位现状

江河治理、水下工程离不开水下平面定位, 传统的做法是在水面进行测量定位加上预估偏差值。人为因素使定位结果误差大、无法检验。因此, 工程设计必须预留很大因误差富余工程量, 或加大面积, 或增加厚度。其结果是大大增加水下工程投资, 工程质量得不到保证。沉排工程就是护岸整治工程中减少富余工程量的行之有效的措施之一。同样, 沉排施工水下定位一直沿用水面上三点一线的定位方式, 精度差, 定位不准确, 完全凭经验指挥作业。因为水流、水深变化、扰流、水上移动作业等多种因素的影响, 从水面沉放的排体往往离开定位垂直位置向下游平移一个不确定的距离, 上下游两块排体之间是否搭接以及搭接量无法估计和确定。而排体上下游之间搭接与否是沉排质量控制的关键, 排体间往往留出淘刷的空隙, 造成水下岸坡变形失稳, 甚至护岸失效。随着整治工程建设迅猛发展, 水下工程科技的日新月异, 寻求一种科学、合理、有效同时又满足沉排等水下工程精度的水下工程定位方法成为当务之急。

水下定位有多种系统理论和检测方法, 因检测目的不同, 有声学、电学、磁学和光学等方面的应用, 但真正应用于像长江水浑、流速大、流向不定的水介质条件下的定位还没有实用设备, 尤其应用于沉排等水下工程, 达到工程施工精度的方法是一个空白。本课题顺应成几何级增长的水下工程定位的迫切需要, 进行了应用研究、开发, 取得了良好的效果。以下是基于沉排工程进行研究的情况。

2 水中定位难题

沉排有多种结构形式, 其中预制混凝土板铰链排具有一定的代表性。排体是由带钢

筋环纵横相连的混凝土板成矩阵式排列的护岸结构,排体在水下的边沿声学、磁学、电学和光学特征不明显。其事先信号设置、精确检测、动态同步、数据处理等都非常困难。难以事先埋设,或不易采集,或干扰严重,或误差太大,或费用太高,同时还面临实时同步检测、即时提供定位数据、自动控制等难题。

3 技术方面需要解决的问题

- (1)水下定位方法和理论在长江浑水中的实用;
- (2)长江特殊水下环境信号的干扰或飘移;
- (3)工程定位高精度要求;
- (4)水下目标的电学、磁学、声波边界特征的判别;
- (5)边界信号事先设置成本高,检测不同步或无法重复使用;
- (6)实时动态定位不能影响工程施工作业;
- (7)不能及时直接显示,记录定位成果困难。

为此,我们在努力探寻一种切合实际的方法,以满足长江水流条件、工程定位精度、动态实时检测、给出可视结果、操作简便、记录成果、方便沉排施工等要求。2002年,课题组曾经在安徽芜裕河段沉排现场进行了电法水下定位等试验,2003年在南京进行了声波定位试验研究,取得了相关的经验和成果。

4 定位系统方法与原理

4.1 定位系统方法

首先搜寻和辨别水下目标,在目标处动态设置声波信号,研制声波定位仪确定目标在水面的投影位置。经过探索、试验、甄选,确定选取水下电视搜寻水下目标,研制实用的水声定位仪进行平面投影定位。

4.2 系统原理

在沉排施工工程中,用水下电视搜寻水下目标(已沉排边沿),同时操控自主研制的声波仪在目标处发射声波信号,水面设置声波接收阵接收多道初至信号,编制信号处理软件显示信号初至的时差和相位差,从而确定目标在水面与拟沉排边沿特征点中心的投影偏移值,移动船只使之与拟沉排边沿特征点渐近。其中,声波在水中的传播速度约为1500 m/s,系统自动采集水深数据,消除目标到水面间的行程共有时值。声波接收阵的排列方式与精度相关。

4.3 定位系统的建立

建立水下定位综合系统,包括水声定位系统、水下电视搜寻系统、测深系统、计算机处理系统、机械传动系统。将水下电视探头、水深测量探头、声波发射装置进行组合,通过传动系统,控制搜寻定位目标(可视),在目标处发射定位声波,在水面附近设置多道声波接收装置系统,将图像、声波定位、水深信息通过电缆送入声波仪计算机处理系统,显示定位曲线,指导工程施工移位。图1和图2分别是水下铰链沉排、六道对称声波定位工作原理示意图。

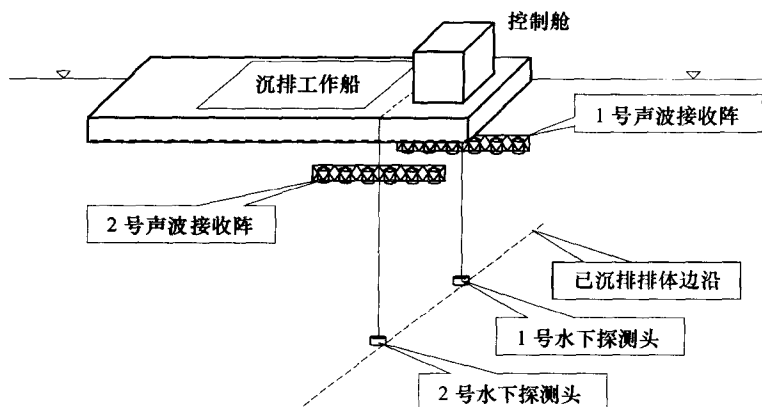


图1 水下铰链沉排定位工作原理示意

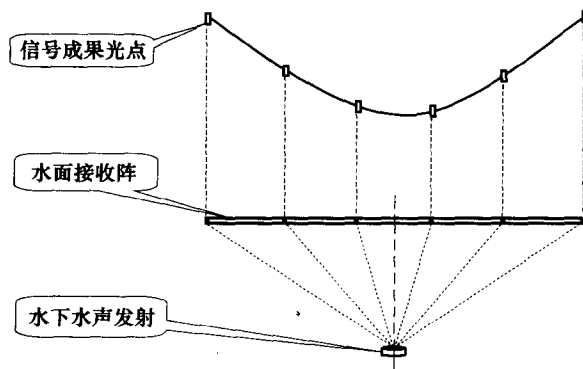


图2 六道对称声波定位工作原理示意图

5 定位系统简介

5.1 水下电视系统

水下电视系统搜寻定位目标——水下已沉排排体边沿,本沉排边沿为钢筋环端部。图像通过电缆传到计算机显示,操作员操控制探头水平或垂直移动,直至目标清晰可见。采用SD-2型、SD-3型水下彩色电视,满足系统设计要求。其技术指标见表1。

表1 SD-2型、SD-3型水下彩色电视技术指标

型号	SD-2型	SD-3型
类型	彩色	黑白
清晰度(TVL)	470	600
灵敏度(Lux)	1	0.003
视场角(°)	90°	90°
镜头方式	定焦距,手动光圈,自动白平衡控制	定焦距,手动光圈,自动白平衡控制
工作深度(m)	100	200
观测距离	清水1~4 m,浑水0.1~0.5 m	清水1~6 m,浑水0.1~0.7 m
照明光源	内置	内置
白平衡	自动	自动
探头体积(mm)	Φ70×300(包括照明灯)	Φ70×300

5.2 水声定位系统

专门研制两套水声定位仪,负责水声发射接收定位。仪器中的计算机,通过电缆处理水声定位信息。在水下目标位置发射声波,水面拟沉排特征位置的接收阵接收水声初至信号,通过时差和相位差曲线,判读目标相对投影位置与中心(拟沉排特征点)的偏离值,操控指挥沉排船移位。其中水深探测提供数据,用于精确判读。声波发射器与水深探头和水下电视探头集成在同一个铅鱼内,在水下电视确认目标后,控制发射声波。水面接收阵中心设置在沉排船侧,拟沉排边沿特征位置。图3为水声定位成果显示操控图。

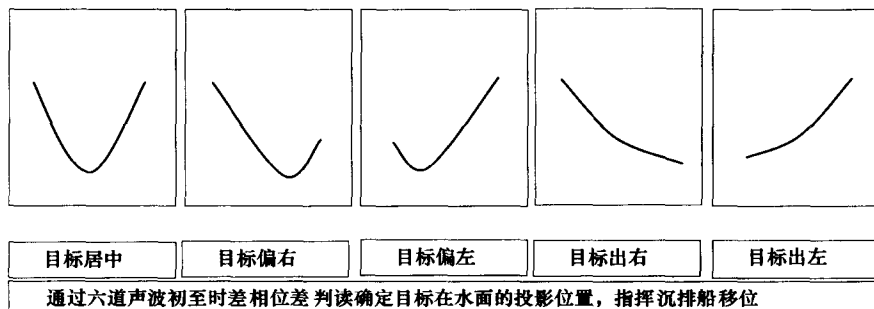


图3 水声定位成果显示操作图

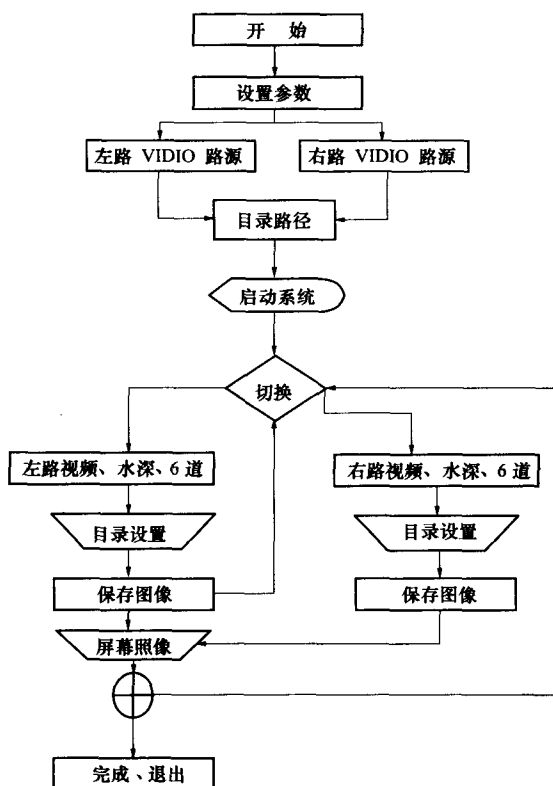


图4 自动定位系统工作程序流程图

5.3 计算机系统

计算机处理系统将水下电视视频、迟滞声波定位数据、水深信息通过自主编创的CG400处理软件进行处理、显示和记录。计算机系统装在沉排船控制室,操作员根据计算机成果显示,操控探头或沉排船移位和实时记录定位数据。

自动定位系统计算机工作程序流程图见图4。

5.4 移船、移探头传动系统

沉排船定移位系统、探头移位系统均安装在沉排船控制室并集成在同一操控面板上,以实现定移位多位操作于一体。沉排施工平面控制,依靠安装于沉排船全液压定移位系统完成,操作工在沉排控制室操控沉排船的绞车机械传动作业。探头的平移和垂直移动通过设置在沉排船岸侧圆弧滑板下方的轨道以及专门液压绞车完成,操作工同样

操控液压绞车移动探头和收放电缆,直至搜寻到目标。定位后进行沉排船移位操作。

沉排时,可先根据岸设标杆估测进行沉排船初定位,操控液压绞车移动组合探头,搜寻目标(已沉排体边沿),操控水声水下定位系统定位,计算机测读定位数据,自动处理显示,确定排体偏移数据,操控沉排船定移位系统进行渐近式逐步精确定位,记录定位成果。继而操控沉排操作。沉排船定移位、探头定移位、水声定位、沉排作业均在控制室进行,这样有利于系统协调指挥,并均通过专门设计的液压机械传动系统完成。探头和相关电缆的机械传动设置在沉排一侧圆弧滑板下方,空间上处于已沉排和拟沉排之间,能够实测上下两块排之间的相对位置,对沉排不构成干扰和影响。

5.5 全船监视指挥系统

为保证沉排、移船、水下定位等操作控制正常进行,沉排船装配了完善的视频监视系统,沉排时甲板机械操作、探头传动机械运转操作、动力仓机械运行操作等,均通过设置在相应位置的电视探头分别传到控制室的电视荧屏上,而且可以进行自由切换。操作员综合各种沉排作业、船体定移位操作、水下定位探头移动、计算机处理显示以及船体各处的电视图像等信息,协调指挥沉排各部分工作顺利进行。

6 试验与仪器研制

2002年4月进行了长江多种定位方法的试验,筛选出搜寻目标水声定位方案。从此进行了多系统的分别研制工作:精心设计整个系统、分系统、各组件,分别订购、订制、建造和加工各部分设备,各分系统分别进行检测、改造、调试,将综合系统安装于沉排工作船上,特别是定位信息处理软件进行专门设计加工和仪器的人机界面设置固化。然后对综合系统进行生产性检验、调试,取得了满意的成果。

7 应用实例

本系统于2003、2004年长江南京河段二期整治工程铜井河口护岸工程铰链排护岸施工中投入应用,指导沉排施工,该工程沉排107块排,使用定位系统的为后26块。经工程实际应用操作检验,定位检测探头移位操作自如,耗时少,能正常进行动态检测,不影响沉排作业。操作员根据显示器图像直观地进行沉排作业和检测探头的移位操作、沉排船移位操作。系统在沉排方向应用两路定位系统,其定位切换简便易行,实现对目标的平面定位。计算机信息处理、图像显示、成果记录等操作简单明了,施工定位精度满足20cm等设计要求。工程结束后,权威监测部门对水下沉排进行排体搭接检测和潜水探摸。结果显示,沉排质量明显提高,所沉排体全部搭接,没有排体未搭接现象,搭接宽度全部达到规范和设计标准。

8 定位精度估计

本系统进行水下自动定位检测,相关的影响因素有:环境流速、水体中的杂质、水深变化、接收阵的位置、接收阵的组合方式、流态变化等。系统采用的对策有:水声速与流速的对比、区域内一致性、共有行程的消除、双系统方案、接收阵平面固定位置关系、同点多次定位取值等。其中,流速:0.5~2.0 m/s;水声速:1 500 m/s,平均误差值<1/1 000;水深误

差,取用 1/1 000 大气压精度的显示,误差值为厘米级。经过分系统定位试验、生产性试验、工程实用检测,其综合定位误差值为 20 cm,满足设计目标要求。

9 几点体会

(1)本系统是基于现有技术进行提炼组合,多学科综合应用型系统,它克服了水下工程目标的动态设置、信号发射、信号回应等无法解决的难题。应用先进的水下电视检测技术,解决了水下目标的确认问题,实现了工程动态实时检测,是系统技术的必要条件。

(2)水声定位仪是本系统定位的关键技术,它在水声定位技术的基础上进行了应用型开发研制,确立了专门的水下平面定位方案。包括发射探头,接收阵,水深探测,水声信息的传输、收集、处理等,应用了数据处理、软件开发、信息的显示技术。

(3)本系统进行了操控一体化和自动化的协调与沟通,是系统形成的重要环节,它将沉排作业、水下定位、水面定位、沉排船定位等集成在沉排控制室综控台上,使复杂的沉排作业过程变成相对简单的仪器操作。

(4)本系统研究涉及学科有:水声学水声定位技术;水下电视及成像技术;水深精密检测;声波信息发射、传输、接收、转换、处理技术;计算机软件技术;液压传动;机电一体化及自动控制技术。

10 适用范围及研究展望

10.1 适用范围

本系统研究虽然基于沉排工程过程及空间定位复杂性进行研发,其实几乎所有水下工程进行水下平面定位都可以应用,不同之处在于接收阵布置方案的不同和组合探头的传动操控方式的变化。对于危险性大、人无法涉足的水下区域的定位特别实用。例如水下工程病险检查,水下工程修补,水下地貌勘察等。

10.2 研究展望

本系统研究将继续在扩大应用范围、提高检测作业的机动性、与 GPS 水面定位结合等方面继续深入探讨。在水声定位信号设置方面,将研究更易于发射、同步控制和更经济实用的仪器,或者去电缆化、去探头化。

本系统 2004 年申报了一项国家发明专利“水下目标自动定位方法及其系统”,现正在审查之中。同时申报了一项实用新型专利“水下目标自动定位控制系统”,2006 年 2 月获得专利证书。

【作者简介】 李涛章,男,1963 年生,南京市长江河道管理处总工程师,高级工程师。
E-mail: litz110@126.com, litz110@hotmail.com。

磁致位移传感器测量冰厚的原理及应用^{*}

王 昕¹ 程言峰² 雷瑞波¹ 李志军¹

(1. 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 大连 116024;

2. 北京航天神州测控仪器有限公司, 北京 100071)

[摘 要] 研究冰的生长过程, 对减少水利工程及海岸和近海工程中冰灾害是非常有益的, 这就要求对冰厚的生消过程进行精确连续观测。本文对接触式磁致位移冰层厚度测试仪的组成进行了概述, 说明了接触式磁致位移冰层厚度测试仪的测量原理, 并以两个实例——低温实验室试验和野外试验, 得出该仪器可以在低温下长期正常运行。冰的生长过程, 具有很好的低温适用性和运行稳定性。

[关键词] 河冰; 海冰; 厚度; 测量

1 前 言

在水利工程以及海岸和近海工程领域中, 由冰冻引起的冰坝、冰塞及冰凌现象, 严重影响着水利设施和水上交通运输的正常营运。因此, 研究冰的生消过程, 对于防治与减轻冰灾害是非常有益的。在我国冰的物理力学性质以及数值模型方面, 人们已经作了大量的研究工作, 而对于数值模拟正确性最有力的检验便是实测资料, 为了验证模型需要连续测量冰厚值。我国传统的冰厚测量以人工钻孔测量为主, 这种方法劳动强度大、工作效率低, 在结冰期和融冰期, 出于安全考虑而难以实现。国际上发展的非接触物理探测已有几十年历史, 它们对于大面积冰厚评估意义重大, 所以在极地和亚极地的水文水资源、气候与环境研究中被广泛应用。对于在海洋和水利工程中的应用, 因它们的准确性还不能满足工程设计、安全运行和管理的要求, 而显不出优越性, 目前还处于探索阶段。寻求一种精度高、自动化程度高的测量技术是近年我们努力的方向。本文介绍获国家发明专利的“接触式自动测量冰、雪厚度变化过程的方法”(ZL03111668.X)中磁致位移冰层厚度测试仪的原理和现场以及实验室应用的情况。

2 设备概述

接触式磁致位移冰厚测量设备主要由四部分组成: 仪器箱、测量杆、智能电池组、充电适配器。仪器箱和测量杆是该设备的主要部分, 它们之间通过连接电缆和导气管相连, 智

^{*} 国家自然科学基金重点项目(40233032)、科技部基础性工作和社会公益研究专项(2003DEB5J057)、长江学者和创新团队发展计划资助(1RT0420)。

能电池组放在仪器箱里,负责对整套设备进行供电和记录数据,它通过充电适配器与 PC 相连传输数据和对电池组进行充电。仪器的主要技术指标为:①冰厚测量的读数分辨率 0.2 mm;②温度测量精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;③测量环境温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$;④可调测量时间间隔为 10 ~ 60 min。

3 测量原理

冰厚的测量由测量杆进行,测量杆示意如图 1 所示。它对冰厚的测量是通过磁致伸缩液位传感器完成的,分别通过上下两个磁环测量冰的上下表面。首先,上磁环通过测杆上方的微型卷扬器牵引,当测量时,卷扬器旋转,放下上磁环,控制电路和程序不断读取传感器的上磁环位置数据,当上磁环数据不再变化时,认为已经接触到冰层表面,卷扬器停止工作。记录数据并将上磁环卷回原来位置。下磁环带有一个气囊,气囊通过导气管和仪器箱内的汽缸组合连接,汽缸在电动机的驱动下,压力变化,使气囊的体积也随之发生变化,从而带动下磁环上下运动,以测量冰的下表面位置。最后通过求上下表面的相对位置差得出积雪和冰厚变化值,结合初始位置数据,得到雪、冰的绝对厚度值。

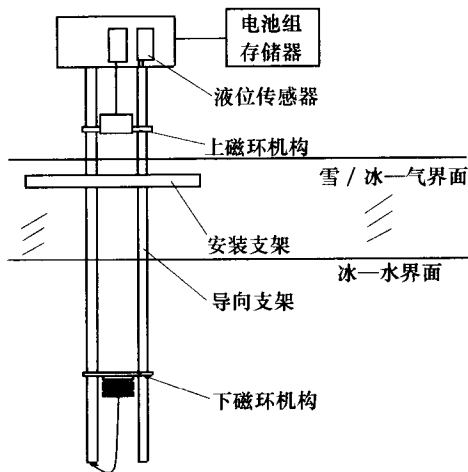


图 1 测量杆示意图

4 实验室应用

在 2005 年 2 ~ 6 月期间,在低温环境实验室进行淡水冰生长过程试验,其目的是为了研究淡水冰的生长过程及影响淡水冰生长的因素,用来验证 Stefan 冰生长模型。低温试验分别在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行。冰的厚度测量使用磁致位移传感器方法、热电阻丝方法和钻孔测量,这些方法用于相互校正。在每个温度试验时,还在磁致位移传感器测量间隔 10 min、30 min、60 min 三种情况下进行测量,图 2 是磁致位移传感器方法测试的一条冰生长过程线。低温环境实验室试验表明该设备在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中运行正常,但测量时由于少数点的浮筒没有上浮,控制箱读取的数据为浮筒原始位置的数据,造成测试数据成为奇异点,通过对每次试验的奇异点进行统计计算,得到这种现象的次数占总测量数据的 17%,这些数据的存在,不影响对图 2 过程曲线的分析。从图 2 的数