

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

(第七集)



黄河水利出版社

水利量测技术论文选集

(第七集)

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“第十三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、安全监测等方面的信息获取、传输,控制系统的硬件和软件,包括原型技术、试验技术、安全监测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. 第七集/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, 2010.9

ISBN 978 - 7 - 80734 - 875 - 7

I. ①水… II. ①中… III. ①水利工程量测 - 学术会议 - 文集 IV. ①TV221 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 157682 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66024331 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: hhsjcbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:21.75

字数:500千字

印数:1—1 000

版次:2010年9月第1版

印次:2010年9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 陈建国

陈 红 房纯纲 林 俊 郑 源

柳淑学 胡 或 龚壁建 戴光清

顾 问 陈炳新 李业斌 卢惠章 徐基丰

主 编 唐洪武 陈 红

前 言

水利量测技术是水利水电技术中最富有活力,与当代最新技术结合最紧密的技术领域。它涵盖的内容已从最初的室内试验研究技术,发展为现今包括室内试验、工程原型观测、工程建设施工、水情测报、工程勘探、工程安全监测等方面技术,是大量应用当代高科技和信息化的一门学科。

中国水利学会水利量测技术专业委员会从20世纪80年代建立起,就致力于通过学术交流和技术培训等活动,推动我国这一领域技术的发展和提高。每隔一年的全国性综合学术讨论会不仅是学术成果的检阅,也有力地促进了不同行业有关水利量测技术的交流。会议的论文选集更是这一领域技术发展的一个重要记录。

2010年的综合学术讨论会在大连理工大学举行。这次会议交流的论文内容十分丰富,不仅有最新的有关室内试验研究方面的量测技术及大量工程勘探、工程建设和安全运行等方面的技术,还有水利信息化的应用和实践经验,其中既有软件也有硬件,包含的技术范围较过去历次学术讨论会有所扩大,例如近些年来,随着人们对覆冰和冰凌对水利工程的破坏作用和对河流安全威胁的重视以及国家极地科研工作的开展,水利量测技术工作者的研究领域已延伸向与冰有关的问题,并提出了不少好成果。交流的论文中有不少属科技前沿成果,具有很高的学术水平和应用价值。

本论文选集是本专业委员会编辑的系列论文选集的第七集,它收集了本次会议的主要论文。我们相信它的出版将进一步促进和扩大技术交流,为我国水利量测技术的发展发挥重要的作用。

本书编辑委员会
2010年7月

目 录

原型技术

CCD 监视船舶侧翻冰厚度误差的实验研究	李志军 刘 晋(3)
多筒蒸散仪法及其在湿地蒸散研究中的应用	许士国 马 涛 张数鹏(10)
实验地貌的观测方法	王书芳 徐向舟 徐飞龙(16)
基于空气、冰与水电阻特性差异实现河道冰情的连续自动在线测量	秦建敏 程 琦 李学春 等(23)
水库冰盖模拟极限破坏的试验研究	李 锋 张小鹏 高 泰 等(30)
水库淡水冰三点弯曲试验研究	韩红卫 彭旭明 李佳民 等(37)
S1 型湖冰断裂韧度的试验研究	李 锋 陈 凯(43)
红旗泡水库冰的摩擦系数试验研究	禹精瑞 姜连杰 田 文 等(49)
黄河内蒙古防凌分洪区布设研究初探	邓 宇(53)
黄河三角洲海域冰情时空分布与冰级特征	王相玉(57)
基于 MATLAB 工具箱的 BP 神经网络模型在年径流预报中的应用	张傲妲 冀鸿兰 陈守煜 等(64)
黄河下游丁坝冲刷坑量测及分析	张宝森 李建忠 张 攀 等(69)
水下驱赶泥沙观测技术研究	杨 勇 牛长喜 鲁立三 等(78)
水库排沙管道吸泥头浓度控制模型试验研究	吴国英 赵秀凤 宋莉莹(82)
锦州港海域水文要素观测及调和分析	曹媛媛 倪文军(87)
基于时域反射仪的盐碱土与细砂垂向含水率对比测定试验	戴长雷 吕雅洁 李欣欣 等(94)
深海 Spar 平台升沉板阻尼的试验研究	王春宝 柳淑学 滕 斌 等(101)
中国第 4 次北极科考冰情可视监测系统快速固定方法	常 婷 柳 鹏 傅先平(107)
流速仪和五孔探针在大型低扬程泵站测流中的应用	郑 源 韩更生(111)
混流式机组效率及振动试验研究	郑 源 翟晓娟(116)
混凝土磨蚀计及其测量方法	戴晓兵 李延农 刘路平 等(121)
最新“瑞智”型相控阵河流 ADCP 简介及新功能验证探讨	席占平 弓增喜 席东杰 等(125)

试验技术

激光多普勒流速仪 PMT 值影响试验研究	陈 红 李聂贵 王 浩(139)
瞬态脉冲干扰及其抑制方法浅析	武 锋 冯 毅(143)
船模航迹摄像定位测控仪的研发与应用	严 伟 周 赤(148)

基于 FPGA & DSP 构建船舶导航系统	张洪平 孙文君 苏维嘉	(153)
船模试验非接触式测量系统研究	孙 亮 倪文军	(159)
红外热像仪测量环境水温时图像校正及误差修正研究	李迎燕 任明轩 贺益英 等	(164)
基于图像处理和 PTV 技术的浮冰运动检测系统	夏丽娟 任明轩 郑 钧 等	(169)
PTV 匹配算法的对比分析	胡 涛 周才磊 辜伟芳 等	(176)
静水中运动气泡变形特性的测量研究	白云艳 邵建斌 曹 锋 等	(183)
HCS-W 型红外测沙仪	王娅娜 蔡 辉 马洪蛟	(190)
移动式模型试验自动加沙系统设计与应用	栗克国 倪文军 李志飞	(195)
拟焦模型沙水下休止角测量	宋莉莹 吴国英	(199)
动床实体模型试验地形测量新技术	崔 萌 周 杨	(203)
河工模型水文参数自动测控系统研制	马志华 马劲松 刘 利	(207)
深水 S 型托管架现场监测系统设计	宋学舟 李 欣 张向锋 等	(218)
深水 S 型托管架室内模型试验测试技术	侯英昱 赵冬岩 谢 鹏 等	(223)
基于以太网的波浪模拟运动控制器	王 磊 江显群 何启莲 等	(228)
基于双向轴流泵的四面开边界潮汐模拟系统	窦春晖 倪文军	(233)
基于数控雕刻机的河工模型断面板自动加工系统	胡向阳 张 雨 张文二 等	(238)
基于 MSP430 和 MC55 的多参数遥测终端设计	江显群 高 丽 何启莲 等	(243)
基于 LabVIEW 虚拟仪器的潮汐模型测控系统	张宏伟 吴华林 郭文华	(248)
变频器-潜水泵组合生潮系统数学模型的建立	吴华良	(254)
轴流式水轮机组辅助设备仿真研究	郑 源 翟晓娟	(260)
基于 RS485 的流速智能采集系统	路 云 鲁娟娟 明晓煜	(266)
基于小威龙流速仪的多路流速采集系统	倪文军 窦春晖 彭 刚	(271)
ADCP 在实际应用中存在问题分析	张 攀 翟广宇	(276)

安全监测技术

大坝安全监测系统软件功能的探讨	秦淑芳 陈健祥 许志刚 等	(283)
导管测扭仪的研制与工程应用	房纯纲 鲁 英 贾永梅 等	(290)
时移电法与堤防安全监测	王 锐 李长征 周 杨	(298)
可控源音频大地电磁法探测大坝渗漏地质构造	贾永梅 姚成林 房纯纲 等	(303)
堤防工程安全评价单元划分方法研究	张清明 徐 帅 周 杨	(310)

其 他

水文测报新技术在国家防汛抗旱指挥系统一期工程中的应用	张维华	(317)
徐闻县农村安全用水对策	陈运河 吴创福 高 丽	(323)
水运工程建设检测设备计量检定体系浅析	曹媛媛 倪文军	(329)
水库机电设备和供水设施运行管理探讨	潘世峰 李 珏 吴创福 等	(333)

原型技术

CCD 监视船舶侧翻冰厚度误差的实验研究*

李志军 刘 普

(大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 大连 116024)

摘 要 利用船侧 CCD 设备观测海冰厚度的方法在国内外海冰冰情调查中得到了广泛的应用, 而对其进行误差分析所做的工作较少。本文通过对船侧 CCD 海冰厚度观测系统的实验室模拟, 对关键参数海冰翻转的三维角度和 CCD 拍摄距离的改变对船侧 CCD 观测海冰厚度误差的影响进行了深入研究。发现船侧冰层断面处在 CCD 摄像头的视场中心, 判断冰层断面时选择小张角的断面, 均可减少观测误差。拍摄距离增大会使观测误差值离散程度增大, 因此要尽量减小拍摄距离或者增大 CCD 焦距。

关键词 CCD; 冰厚度; 误差; 实验研究

1 前言

海冰面积约占地球表面积的 5%, 对海冰的观测和研究一直是世界各国地球科学研究和工程应用的重要内容。

表征海冰冰情的重要参数有冰厚度和冰密集度^[1]。冰密集度的观测可以依靠卫星、飞机和船舶等平台进行遥测。而随着数字摄影技术的发展, 在船上利用数码图像设备观测冰厚和冰密集度的技术也越来越成熟^[2]。例如 1988 年 Muramoto 等将摄像技术应用到走航海冰观测的实践中, 对海冰密集度和浮冰分布进行了摄像观测^[3], 1999 年 Worby 等对该项技术进行了补充, 描述了利用船侧摄像设备捕捉船侧翻冰的断面, 从而自动监测海冰厚度。利用此技术对船舶走航期间的冰厚度进行观测具有很高的自动化性和高分辨率, 以及精度优于传统的裸眼观测, 所以在各国的冰情调查中得到广泛应用^[4]。我国在第 19 次南极科考中首次应用此技术进行走航海冰观测^[5], 之后在第 2 次、第 3 次北极考察^[6]和第 21 次、第 22 次南极考察中也相继应用, 并获得大量有效的冰厚数据。另外, CCD 成像技术也被应用到基于渤海海洋平台的海冰厚度监测^[7], 并有学者探讨了以船舶为平台利用 CCD 成像技术对渤海海冰进行观测的应用前景^[8]。

船侧 CCD 观测海冰厚度的方法应用已久, 但是对通过这种方法获得的海冰厚度数据与海冰厚度真实值进行比较并分析其误差尚未涉及, 而在考察船走航过程中进行实地测量海冰断面的做法也不现实, 由此对 CCD 监视船舶侧翻冰厚度的误差进行实验室模拟研究具有很高的应用价值。

本文基于 CCD 成像技术, 在实验室中对船舶走航 CCD 监测系统进行了模拟, 通过对实

* 基金项目: 国家自然科学基金(40930848), 国际极地年中国行动计划项目, 第 4 次北极考察项目。

验条件的人为控制,针对海冰断面翻转角度和 CCD 与冰面的距离,通过改变其大小来研究这些参数对船侧 CCD 观测海冰厚度误差的影响。同时利用船侧 CCD 观测海冰厚度的误差大小,对走航观测得到的海冰厚度值进行评估。

2 测量系统及原理简介

船舶航行在高密集度有冰海区时,冰层被破冰船压弯破碎,破碎的冰块沿船外侧滑动,并随着船体宽度的增加在船中部的外侧位置发生翻转,使破碎冰层的完整断面露出水面。若能够拍摄到这样的冰断面,就可从中提取海冰厚度信息^[4]。图 1 为船侧 CCD 观测系统的装置图,图 2 为船侧 CCD 摄影观测系统的实物全貌。

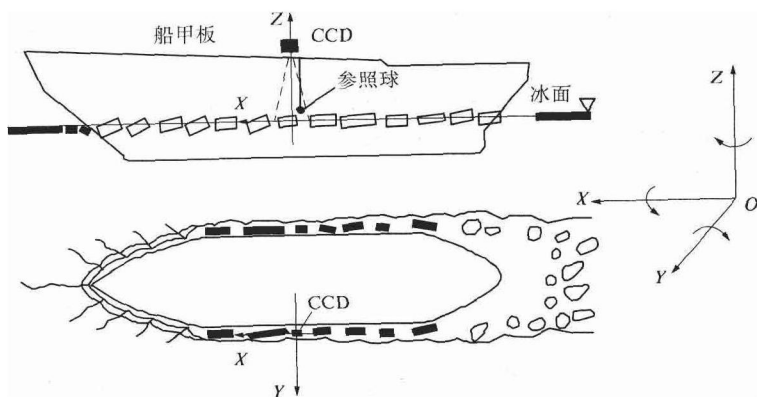


图 1 船侧 CCD 观测装置

为了获取冰厚度的绝对值,需在船侧水线附近放置一个已知直径的小球作为参照物,使 CCD 拍摄到的图片中包含破碎冰块断面和参照球^[6],如图 2 和图 3 所示。提取海冰厚度的具体方法是在得到的海冰断面图像中标示出冰厚度、积雪厚度和参照球直径的线段。以图 3 为例,AB 为冰厚度,BC 为冰上积雪厚度,DE 为参照球直径,已知参照球直径为 d ,则冰观测厚度为 $AB \cdot d/DE$,积雪厚度为 $BC \cdot d/DE$ 。从而获得考察船走航海域的海冰厚度和冰上积雪厚度。

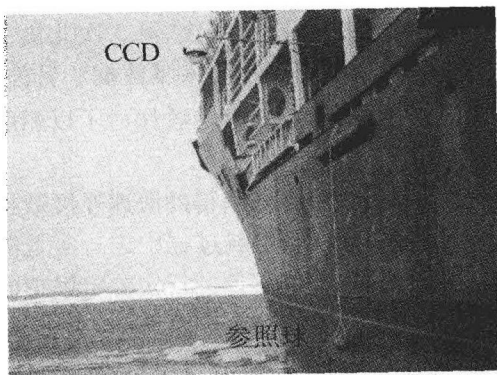


图 2 船侧 CCD 观测系统全貌

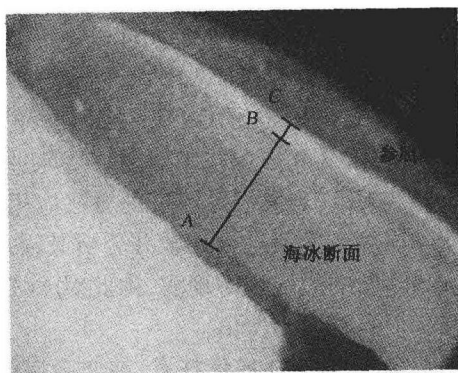


图 3 冰层断面图像

3 实验室模拟技术

依照上述的 CCD 监视船舶侧翻冰厚度的现场应用情况,在实验室中对 CCD 观测系统进行模拟布置。先将船舶侧翻冰断面的翻转运动描述为空间直角坐标系 XYZ 内的刚体运动,坐标系 $OXYZ$ 如图 1 所示,海冰翻转运动中绕上述 X 、 Y 、 Z 三轴的旋转角度分别定义为 α 、 β 、 γ , α 、 β 、 γ 角度值的连续改变实现船侧海冰断面的翻转。在实验室运用六自由度旋转平台实现 α 、 β 、 γ 值的改变,使冰断面模型有类似于海冰断面翻转的效果。CCD 拍摄距离的变化是通过在实验中调整摄像机拍摄高度来实现的。采用 500 万像素 JVC - GZ - MG575AC 型数码摄像机,CCD 物理焦距固定为 6.3 mm。图 4 ~ 图 6 为实验室中的观测系统布置图,图 7 和图 8 分别为旋转平台的实物图和结构分解图。平台主要由 A、B、C、D、E 等 5 部分组成(图 8),A 部分与 B 部分通过 X 轴进行连接且能绕 X 轴自由转动,B 部分与 C 部分在 Y 轴处使用销钉 E 连接并能绕 Y 轴自由转动,C 部分安装在 D 部分上并能绕 Z 轴自由转动。整体的观测系统示意图如图 9 所示。



图 4 实验室观测系统全貌

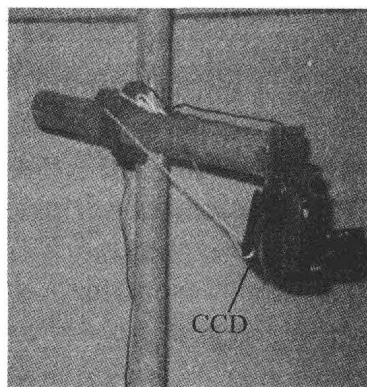


图 5 实验室中的 CCD 装置



图 6 模型断面图像

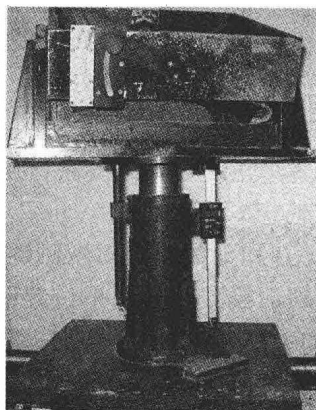


图 7 旋转平台实物图

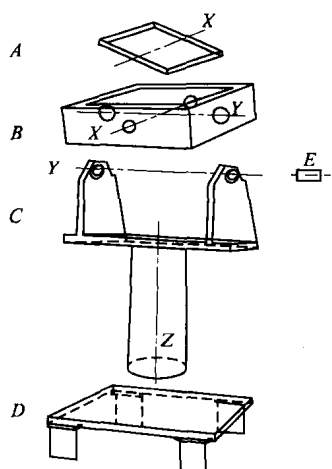


图8 旋转平台结构

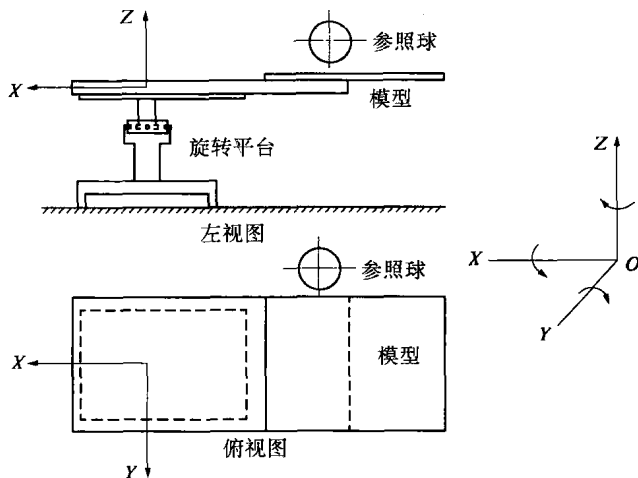


图9 观测系统示意图

实验中所选用的冰断面模型的尺寸为:宽 68 cm(以此尺寸为冰断面模型的厚度),长 94 cm。参照球直径为 30 cm。参照球与水平位置时的冰断面模型之间的距离为 29 cm。

实验中 CCD 拍摄距离 H 选择为 3 m、4 m、5 m、6 m、7 m 和 8 m 等共 6 个距离,旋转平台绕 X 、 Y 、 Z 三个轴的转动角 α 、 β 、 γ 的变化区间均设置为 $[-20^\circ, 20^\circ]$ (从各轴正方向看向坐标原点,平台顺时针转动为各角改变的正方向),在各高度下,将 $[-20^\circ, 20^\circ]$ 的变化区间划分为 -20° 、 -15° 、 -10° 、 -5° 、 0° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 共 9 个刻度点,分别将三个旋转角调整到这些刻度点来完成实验操作。

实验最终获得了 6 个 CCD 拍摄距离下的观测资料,每个高度下 α 、 β 、 γ 有 729 个角度组合,共计 4 374 个角度组合。分析视频资料时,每个角度组合截取 3 张图片,得到对应的冰模型断面值,再取其均值,即为此角度组合下的冰模型厚度测量值 l_1 。利用直尺测量模型,获得冰模型厚度真实值 l_2 。定义相对误差 $\delta = |l_1 - l_2| \times 100 / l_2$,分析相对误差,获得了角 α 、 β 、 γ 的改变和 CCD 拍摄距离变化对观测误差的影响。

4 实验结果分析

分析 3 个角度和 6 高度联合变化所产生的相对误差,发现整体误差范围是 25.51% ~ 0.000 24%。以下作为特例,介绍角度变化和高度变化相对误差的特点。

4.1 角 α 、 β 和 γ 的改变对观测误差的影响

使冰断面模型处于水平位置即角 α 和 β 的值均为 0° ,改变角 γ 的值,得到误差变化曲线(见图 10)。从图 10 中可以看到,数据有一定的分散性,但总体上误差是随着 γ 角度的增大而增大,分析这 6 条曲线,8 m 数据不规律,也验证了上述拍摄距离增大会造成误差离散性增大。另 5 条曲线的最小值均处在 $[-20^\circ, -5^\circ]$ 之间。观察实验室模拟系统的布置,发现 γ 角度在 $[-20^\circ, -5^\circ]$ 区间段时,模型所处位置为 CCD 摄像头的视场中心附近,而区间 $[-5^\circ, 20^\circ]$ 远离 CCD 摄像头的视场中心。这样的布置会造成图像的几何畸

变^[9]。图像的几何畸变属于 CCD 的系统误差。为了验证此观点,在处于水平位置且角 γ 为 0° 时的模型断面中取 7 个不同位置的断面值(见图 11),3 人处理同一组图片,获得了 3 组不同的误差数据,得到误差变化的柱状图(见图 12)。位于视场中心附近的拾取点 3 和 4 的误差较其他点要小,证明图像存在几何畸变,即 CCD 存在系统误差。CCD 的系统误差不能消除,在实际应用时只能尽量减小其造成的影响。由此在应用此技术进行海冰断面观测时应尽量使冰断面处于 CCD 摄像头的视场中心,以减少图像几何畸变带来的系统误差。

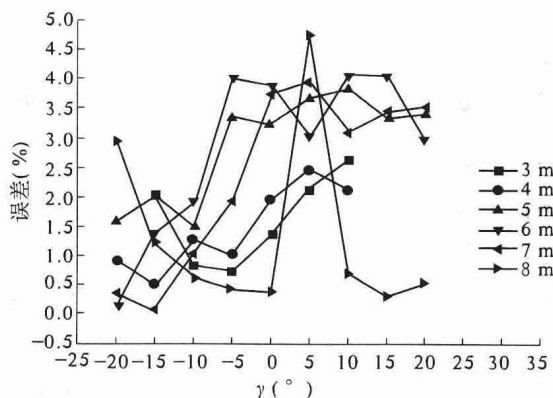


图 10 角度 γ 改变引起的误差变化

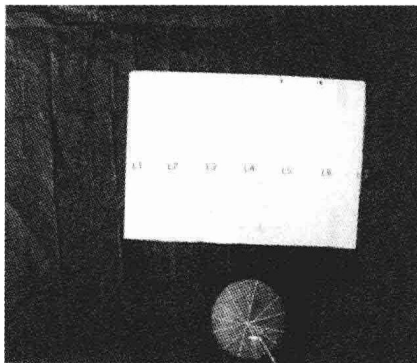


图 11 断面拾取点位置示意图

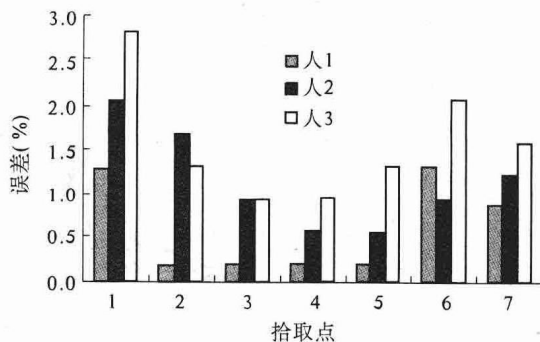
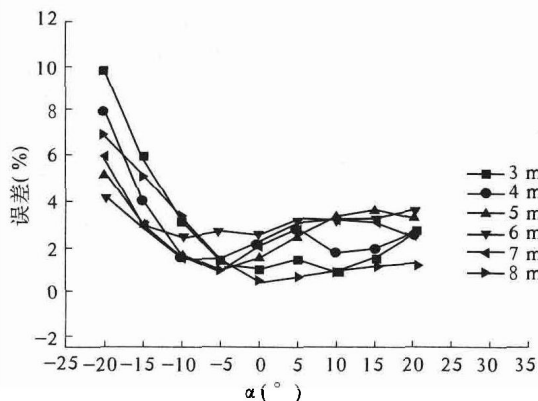
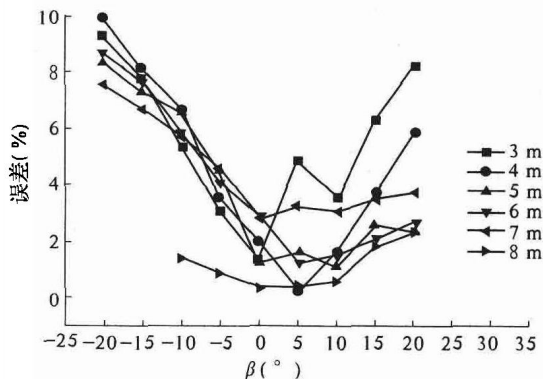


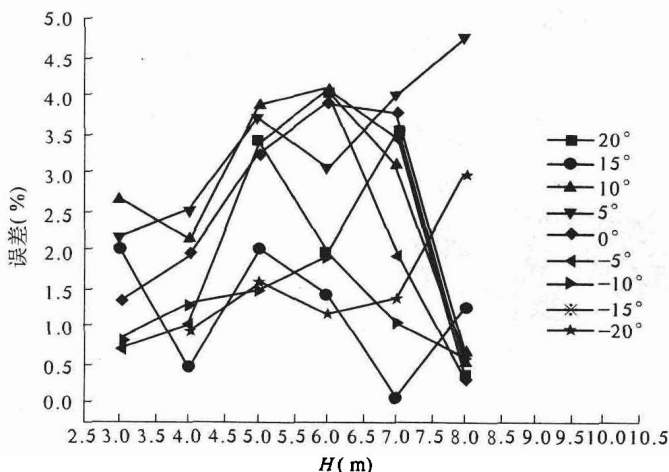
图 12 误差变化柱状图

观察参数 α 值改变对观测误差的影响时的前提条件是将 β 和 γ 值均调为 0° , 观察参数 β 值时也对 α 和 γ 值均调为 0° , 分析后得到误差变化曲线(见图 13、图 14)。图像反映曲线的最低值出现在 α 和 β 处于 $[-5^\circ, 5^\circ]$ 之间。因此,从船侧 CCD 现场拍摄海冰断面厚度资料中提取海冰断面时应尽量选择断面张角小的冰层断面图像,以减少断面张角带来的误差。

图 13 角度 α 改变引起的误差变化图 14 角度 β 改变引起的误差变化

4.2 CCD 拍摄距离 H 变化对观测误差的影响

在分析 CCD 拍摄距离变化对观测误差的影响时,前提是设定冰断面模型处于水平面内,即角 α 和 β 值为 0,只考虑 γ 角度改变在不同拍摄距离下的误差(见图 15)。从图 15 可以发现误差值的分布在 $H=3$ m 或 4 m 时较稳定,而在 5~8 m 时误差分布具有很大的离散性。原因在于 CCD 拍摄距离增大,而 CCD 焦距没有改变,在得到的图像里冰断面模型的尺寸所占像素范围变小,为了获取其边界而把图片放大,由此边界变得模糊;人为判断边界时具有很大的随机性,也由此使得到的观测误差离散率增大。因此,在实际应用时,应尽量减小 CCD 拍摄距离,或者是在能已知 CCD 焦距的情况下,增大焦距,使图像中的冰层断面所占像素范围增大,以减少人为判断边界带来的误差。

图 15 CCD 拍摄距离 H 改变引起的误差变化

5 结论

(1) CCD 摄像机安装时,应尽量使船侧冰层断面处在摄像头视场中心附近,以减小由图像几何畸变造成的系统误差。判断冰层断面时选择断面张角较小的图像,以减小观测

误差。

(2) CCD 拍摄距离增大会使观测误差结果离散程度增大,减小 CCD 拍摄距离或者增大 CCD 的焦距使图像中的冰层断面所占像素增大,可减少人为判断冰层断面边界带来的误差,使误差结果分布稳定。

(3)在未来的工作中,计划将角 α 、 β 和 γ 三个参数综合考虑来分析观测误差,并对 CCD 拍摄距离的改变与这三个参数进行结合,可减小三个参数和 CCD 拍摄距离分离研究所带来的局限性,以求对冰层断面翻转和 CCD 拍摄距离改变造成的观测误差有深入了解。

参 考 文 献

- [1] 卢鹏,李志军,哈斯·克里斯蒂安.从船侧倾斜拍摄图像中提取海冰密集度的方法[J].大连海事大学学报,2009,35(2):15-18.
- [2] Shimoda H, Endoh T, Muramoto K, et al. Observations of sea ice conditions in the Antarctic coastal region using shipboard video cameras[J]. Antarctic Record, 1997, 41(1):355-365.
- [3] Muramoto K, Endoh T, Kubo M, et al. Sea ice concentration and floe size distribution in the Antarctic using video image processing[C]. Singapore, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1997:414-416.
- [4] Worby A. A technique for making ship-based observations of Antarctic sea ice thickness and characteristics[R]. Research Report No. 14, Hobart, Australia, May 1999, 3-4.
- [5] 李志军.中国第19次南极科学考察中海冰调查技术介绍[J].冰川冻土,2003,25(2):210-213.
- [6] 卢鹏,李志军,董西路,等.基于遥感影像的北极海冰厚度和密集度分析方法[J].极地研究,2004,16(4):317-322.
- [7] 毕祥军,于雷,王瑞学,等.海冰厚度的现场图像测量方法[J].冰川冻土,2005,27(4):564-567.
- [8] 雷瑞波,程言峰,郭井学.利用 CCD 成像技术进行渤海海冰观测探讨[J].海洋预报,2008,25(4):72-77.
- [9] 王玉秀,李晓久.非接触式人体测量系统中图像几何畸变的校正[J].天津工业大学学报,2003,22(4):33-36.

多筒蒸散仪法及其在湿地蒸散研究中的应用

许士国¹ 马 涛¹ 张数鹏²

(1. 大连理工大学建设工程学部, 大连 116024;

2. 辽中县河务管理处, 沈阳 110200)

摘 要 结合湿地环境特点, 本文提出了一种可同时测量不同种类或同一种类不同状态的湿地植被蒸散量(ET)和水面蒸发量(E_w)的实测方法——多筒蒸散仪法。在介绍该方法工作原理的基础上, 结合 2009 年在白洋淀湿地的应用实践, 对多筒蒸散仪法的实用效果进行了分析, 研究了白洋淀湿地芦苇群落和香蒲群落的蒸散耗水规律。该方法为湿地水循环的精细考察提供了一种新的手段, 具有造价低、精度高、易维护、数据发布方便等特点。

关键词 多筒蒸散仪; 白洋淀湿地; 蒸散发; 芦苇; 香蒲

1 前言

植被蒸腾和土壤蒸发作为水量平衡的主要通量, 在土壤—植物—大气系统 (SPAC) 中占有极为重要的地位。而在湿地环境条件下, 植被蒸腾作用由于不受供水条件的限制, 更是湿地区域水循环的重要影响因子之一^[1]。植被蒸散信息的缺乏, 往往导致在湿地规划设计研究中不能得到精确的水量平衡评价结果^[2]。

随着人们对湿地植被蒸腾作用越来越多的关注, 水生植物蒸散耗水量的确定方法也相继发展起来, 总体而言, 可分为直接法和间接法两种^[3]。间接法多是通过对各种微气象数据的观测, 利用经验公式间接推求蒸散发量。其缺点在于: 首先, 微气象数据不能包含不同物种间蒸散特性差异^[1]。其次, 由于缺乏足够的实测资料, 致使许多蒸散发估算模型无法进行参数率定。就实践而言, 人们更加关心实际蒸散发, 因此蒸散实测方法研究越来越引起研究者的重视。

在湿地环境中, 挺水植物种类多样且分布情况复杂, 不同种类或同一种类不同状态的植物分布面广, 导致在监测过程中需要布设的监测点多而分散。现有研究方法大多不能反映植物不同生长状态的蒸散差异, 从而在尺度扩展方面存在较大误差。考虑到湿地这种特殊的环境, 本文介绍了一种在湿地环境中适用的高精度, 能够对多物种、多状态的水生植物蒸散量以及水面蒸发量同时直接测量的方法——多筒蒸散仪法, 为湿地水循环及湿地工程应用研究提供技术支持。

2 多筒蒸散仪的工作原理

多筒蒸散仪由一组蒸(散)发监测筒、连通管和一个数据处理系统组成。各测筒材质为具有一定强度, 不易发生变形的硬质塑料, 其规格相同: 筒高 120 cm, 壁厚 1.5 ~ 2 mm,