

水下工程平面定位控制系统

李涛章¹, 刘雨泉¹, 吴永新², 陈云武¹, 王建龙¹

(1. 南京市长江河道管理处, 江苏 南京 210036; 2. 南京市水利局, 江苏 南京 210008)

摘要 针对大江大河水流环境下的水下工程平面精确定位难题, 进行水下工程平面测量定位系统应用性研究。将水下电视技术和多阵元基阵的短基线水声定位技术相结合, 解决了传统水声定位精度低的问题。采用多基元短基线定位方法进行快速定位检测, 搜寻并确认目标, 处理、记录、显示成果, 获得了满足工程精度要求的水下平面定位系统, 保证了水下工程的质量。

关键词 水下工程; 多阵元基阵; 水声定位; 平面定位系统

中图分类号: P225.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-764X(2007)06-0037-04

Plane positioning control system for underwater projects // LI Tao-zhang¹, LIU Yu-quan¹, WU Yong-xin², CHEN Yun-wu¹, WANG Jian-long¹ (1. Nanjing Changjiang River Management Department, Nanjing 210036, China; 2. Nanjing Water Conservancy Bureau, Nanjing 210008, China)

Abstract: Aiming at the difficulty in accurate plane positioning of underwater projects in large rivers, a study was performed on the application of plane measurement and positioning system to underwater projects. The combination of video technology with the short baseline acoustic positioning technology based on multi-array-elements base overcame the low precision of the conventional acoustic positioning. By adoption of the short baseline positioning method of multi-base elements for rapidly positioning, detecting, searching and determining the objects, and software for processing, recording, and displaying the result, an underwater plane positioning system which could meet the requirement of engineering precision was obtained, and the quality of underground projects was ensured.

Key words: underwater project; multi-array-element base; acoustic positioning; plane positioning system

1 水下工程平面定位现状及问题

1.1 现状

江河治理工程必须采用水下平面定位, 一般的做法是在水面以上通过仪器进行平面测量定位, 再加上一个预估的偏离值。人为因素和水的作用使水下工程定位出现很大的偏差或误差, 不能保证工程质量, 严重的甚至会使水下工程失效。因水下定位技术的限制, 水下工程设计只能采用增加工程量的做法来保证工程的可靠性, 或加大面积, 或增加厚度, 都增加了工程投资。因此, 寻求一种科学、实用、有效的水下工程高精度定位方法成为当务之急。

水中能量传播有多种形式, 其中声波是唯一具有良好传导性的能量形式^[1]。第二次世界大战以来, 水声物理、水声工程已经成为水声学研究的综合性尖端技术。基于水声工程理论的水声定位应用研究发展迅速, 其中一个分支是目前应用非常广泛的

水声定位技术, 即基线定位方法。它利用多个阵元接收信号, 通过求解定位方程获得目标的定位信息。按照接收基阵的尺寸或应答器基阵的基线长度, 将水声定位技术分为长基线、短基线和超短基线定位 3 类^[2]。无论哪类定位方法, 都需要设置同步信标或应答器转发声波信息。这就给水下工程动态的、实时的定位应用带来一系列难题, 如定位目标的水下声学特征不明显, 无法判别; 信号水下埋设困难; 信号采集困难, 受干扰严重; 实时显示困难、误差太大、费用太高等, 都成为研究工程高精度定位难以逾越的障碍。现有的水声定位仪器设备暂未投入到工程实际中, 应用于浑水、流速大、流向不定等大江大河环境下的水声定位设备及理论更未见报道。

1.2 问题的提出

混凝土板铰链沉排是大江大河护岸整治的一种行之有效的形式, 其相邻排体之间的搭接是判别工程质量的关键^[3]。沉排是从水边线逐步下放到水下

基金项目 江苏省重点水利科技项目(2002004), 南京市科技发展计划项目(200301054)

国家专利 国家发明专利(ZL200410065409.8), 国家实用新型专利(ZL200420109318.5)

作者简介 李涛章(1963—), 男, 江苏海安人, 高级工程师, 从事水利工程应用技术研究。E-mail: lltzt110@126.com

水利水电科技进步 2007 27(6) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://hkb.hhu.edu.cn

· 37 ·

的,原来是利用三点一线原理进行定位,在水面排体边沿和岸上设置固定标杆,由人工观测加上因侧向水流影响造成的排体漂移预估值进行定位。这样,人为经验操作和复杂的水流条件决定了这种定位只能粗略估计,只能靠事后补沉排进行补救,损失很大。现有水声定位理论和定位设备又存在局限性,这与水下工程高精度定位的要求不相适应,迫使人们进行相关研究开发。急需解决的问题有:水下定位方法和理论在江河水流中的实际应用;江河特殊水下环境信号的收发、处理、显示与判别;实时动态定位检测影响工程施工作业。

2 定位系统方法与原理

2.1 定位系统方法

目前,水下定位采用水声基线定位方法,通常所测得的目标坐标都是相对于某一参照物而言,并不真正给出目标的大地几何坐标,不能直接应用于工程中。找出目标并检测目标相对于接收基阵的基线坐标上的垂直投影位置,进而解决目标的三维定位是本次研究的基本思路。

经过探索、试验、甄选,确定了采用水声短基线定位方法:首先搜寻和辨别水下目标,在目标处发射声波信号,在船舷侧悬挂多阵元的短基线水声定位线阵,系统接收并处理信号,确定目标在水面基线阵坐标系上的垂足至原点的值。用设在目标位置的水声发射换能器取代同步信标或应答器的工作方式进行。用自行设计的6阵元(水听器)基阵提高定位精度。

2.2 系统原理

本水声定位系统是利用多个阵元接收信号,通过求解定位方程获得目标位置的信息。系统原理的主要内容为:设置并控制水下电视移动搜寻确认目标(可视),将6阵元组成的基阵安装在船舷一侧,使之呈直线、水平、等间距布置,基阵平行于船艏艉,基阵中心为基阵坐标系的原点。在水下目标处设置发射水声波的信号换能器,发射信号。6道声波接收阵元得到6个接收水声信号的时间差为 Δt_i 。计算机软件控制信号的收发、采集、转换,求解目标在基阵坐标上的垂直投影坐标值。定位检测时,控制船舶沿基线方向移动,使目标在坐标系的垂足趋近于原点,完成定位。其定位方程为

$$x - x_i = \frac{c^2 t_i \Delta t_{ij}}{d} \quad (i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, i \neq j) \quad (1)$$

式中: x 为目标在水平基线坐标系上的坐标值; x_i 为*i*阵元坐标; c 为水下目标所在深度附近的江河浑水平均声速; t_i 为各个阵元接收信号的时间延时值;

Δt_{ij} 为相邻两个阵元间的时间差; d 为阵元间距(本系统中阵元在基线坐标系上间距相同)。

进行6阵元基阵短基线水声定位系统误差分析,将定位方程(1)两端求导,得到误差方程如下:

$$(x - x_i)dx = (x - x_i)dx_i + \frac{c^2 t_{ij}}{d} dt_i + \frac{2ct_i t_{ij}}{d} dc \quad (2)$$

式中: dx 为目标在坐标系中的位置误差; dx_i 为*i*阵元在坐标系中的位置误差; dc 为声速误差; dt_i 为信号传输时间测量误差。由于短基线系统的基阵尺度较小,各基元位置的测量误差 dx_i 对定位精度影响很大。

2.3 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,在水面附近设置多阵元基阵接收声波信号,将图像、声波、水深等信息通过电缆输入计算机,计算机软件处理系统信息、显示定位曲线,以指导工程施工移位。图1、图2为定位工作原理图。

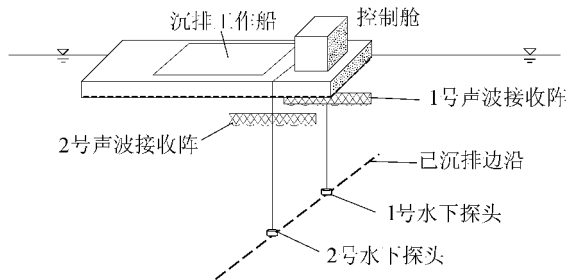


图1 水下铰链沉排定位工作原理示意图

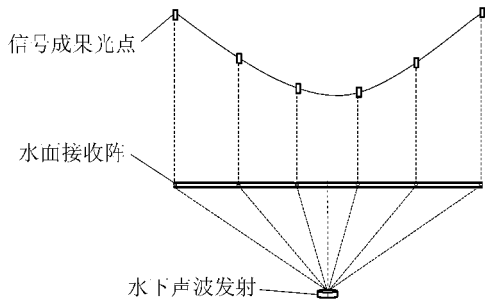


图2 6道声波定位原理示意图

3 定位系统的构成

3.1 水下电视系统

工程施工定位过程需要显示水下目标的视频,观察探头沿已沉排边沿的移动情况,找到已沉排排体边沿位置。图像通过电缆传输到计算机,操作员操控探头水平或垂直移动,直至目标清晰可见。在

水声定位发射的同时记录图像 采用 SD-2 型黑白电视、SD-3 型水下彩色电视可满足系统设计要求 ,技术性能指标见表 1。

3.2 水声定位系统

2 套 6 道水声定位系统负责交替进行水声信号的发射、接收和处理。系统中的计算机处理水声定位信息。在水下目标位置发射声波 ,水面多阵元接收基阵(水听器阵)测量水声信号到达 ,通过时差曲线判读目标相对投影位置与基线原点的偏离值 ,实时操控指挥沉排船移位。

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。水面接收基阵设置固定在船侧 ,呈水平、等间距、直线状分布 ,基阵中心设置在拟沉排边沿 ,平行于船艏艉。在定位检测前需进行标准校验。图 3 为水声定位曲线示意图。

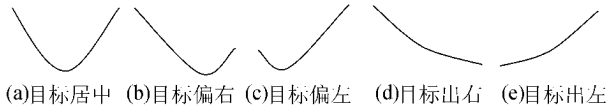


图 3 水声定位曲线

3.3 计算机系统

计算机处理系统将水下电视视频、水声声波定位数据、水深信息通过自主编制的 CG400 处理软件进行处理、显示和记录。计算机系统安装在沉排船控制室 ,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。自动定位系统工作流程见图 4。

3.4 移船、移探头传动系统

移船、移探头系统均安装在沉排控制室并集成在同一操控面板上 ,实现定位、移位、沉排操作于一体。探头的平移和垂直移动是通过设置在沉排船岸侧圆弧滑板下方的轨道以及设在机舱的液压绞车完成 ,操作工操控液压绞车移动探头和收放电缆 ,直至搜寻到目标。沉排船的平面定位控制依靠安装于沉排船上的全液压定移位系统完成 ,操作工操控该定移位系统的机械传动作业。

在实际定位及施工操作过程中 ,可先根据岸设标杆估测进行沉排船初定位 ,操控移动组合探头 ,搜寻目标(已沉排体边沿)操控水声定位系统定位 ,计算机测读定位数据并显示成果 ,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。探头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。

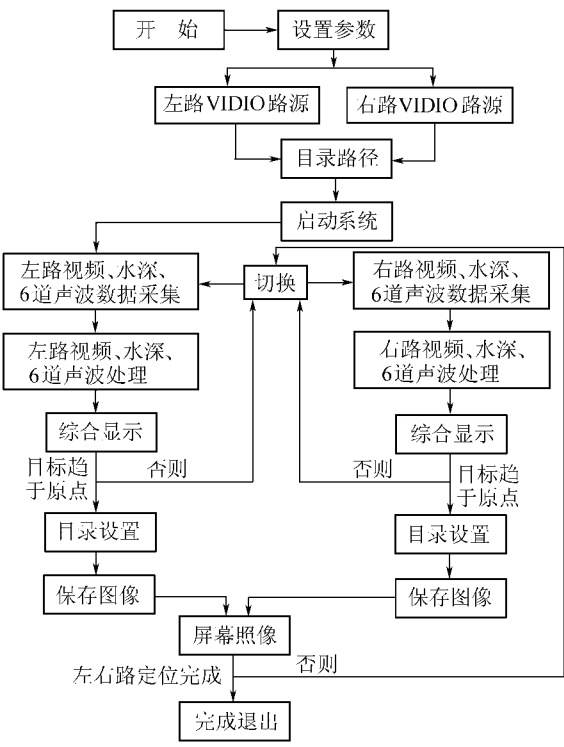


图 4 定位系统工作流程

3.5 全船监视指挥系统

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电视探头分别传到控制室的电视荧屏上 ,而且可以自由切换。操作员综合各种信息进行操控沉排作业、船体定移位操作、水下定位探头移动 ,协调指挥沉排施工各部分工作顺利进行。

4 工程应用

4.1 定位成果

水下工程平面定位控制系统于 2004 年在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 ,使用本定位系统为后 26 块。经工程实际操作检验 ,各项指标均符合设计要求 ,实现了对目标的平面定位。

表 1 水下电视系统相关技术性能指标

型号	视频输出/ V _{pp} -PAL	清晰度/ TVlines	观察视角/ (°)	灵敏度/ lux	信噪比/ dB	工作深度/ m	观测距离/ m	探头直径/ mm	探头长度/ mm
SD-2	1	570	100	0.000 3	46	200	0.1 ~ 0.7	70	220
SD-3	1	570	90	0.100	46	100	0.1 ~ 0.5	70	220

4.2 应用情况

目前,在确定定位系统的定位精度方面尚无标准的检测仪器和设备。因长江特殊的水环境,也没有合适的检测、检验设备条件和方法。为了检验其定位精度,制订了定点对比方案,即在排体边沿设置标志点,将声波定位检测成果与沉排后对应点的潜水探摸成果进行逐点对比,检验是否达到工程精度要求。

本工程以上下游排体间搭接宽度为定位检测指标,将各检测线上固定点处的排体搭接宽度值与对应点的潜水探摸搭接宽度值进行对比,见表2。

表2 水下平面定位控制检测成果与潜水探摸检测成果对比

测点号	1线差值/ cm	2线差值/ cm	3线差值/ cm	4线差值/ cm
1				
2	2			3
3	5	3	5	5
4	5	2	4	5
5	3	2	5	5
6	7	5	8	8
7	10	6	8	8
8	10	14	11	9
9	7	19	19	20
10	6	12	21	21
11	12	15	22	15
12	11	22	17	19
13	13	16	24	21

注:以沉排上端为起点,沿排长方向间隔5.6m为1个测点。

由表2可知,对比误差平均值为10.65cm,标准偏差为6.637cm,最大值为24cm,最小值为2cm。该成果与使用定位系统前相比,沉排定位精度明显提高,所沉排全部搭接,搭接宽度全部达到规范 and 设计要求。

4.3 定位精度分析

由多阵元基阵的短基线水声定位的误差方程(式2))进行该系统定位误差分析。系统定位误差与目标在坐标系中的误差 dx_i 、 i 阵元在坐标系中的位置误差 dx_i 、水体平均声速误差 dc 、信号传输时间测量误差 dt_i 有关。由于本系统基阵尺度小,各基元位置的测量误差对定位精度影响很大,应对基阵进行标准校验,确定各基元的实际位置。本系统是在目标位置发射声波,阵元测量的是同一信号到达时间,加上水深仪数据参与取值计算,其时间测量误差相对较小。本工程短基线定位系统作用距离较小,一般为80m以内,声速测量误差中声速梯度变化微小,声线弯曲修正可以忽略。本系统因不需采用同步时钟,也就没有时间基准误差,因到达时间测量不准带来的测量误差可用式(3)计算^[4-5]:

$$\Delta T = \frac{1}{B \sqrt{S/N}} \tag{3}$$

式中: B 为信号带宽,Hz; S/N 为功率信噪比。

定位精度影响因素还应考虑所测环境的流速和流态、水体杂质、水深、接收阵的姿态和组合方式等,需分别采取相应的对策加以修正或消除。

5 结 论

a. 水下工程平面定位系统基于现有水下电视技术、水声定位技术、短基线定位方法进行巧妙而实用的组合,是一个多学科综合应用系统,它解决了水下工程目标动态搜寻、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。本系统2007年7月获得名称为“水下目标自动定位方法及其系统”国家发明专利证书,专利号ZL200410065409.8,还获得名称为“水下目标自动定位系统”的国家实用新型专利证书,专利号ZL200420109318.5。

b. 6阵元基阵的短基线水声定位系统是本系统定位的关键技术,它在短基线水声定位技术的基础上进行了应用型开发研制,确立了适应水下工程的水下平面定位方案,包括发射探头,水面水平接收阵,水深探测,水声信息的传输、收集、处理等,应用了数据采集、软件处理、综合信息显示的技术。

c. 本系统实现了操控一体化和自动化协调与沟通,是系统形成的重要环节,它将沉排作业、水下定位、水面定位、沉排船移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。

d. 本系统基于沉排工程施工及水下空间定位进行研发,解决了浑水和紊流河流中精确定位的问题。水下目标在水面的垂直投影位置建立在水面实时定位平面上,具有广泛的应用意义,适应水下工程的水下平面定位,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。

参考文献:

[1]曹全林,关平.超短基线水声定位系统[J].声学技术,1995,14(2):61-66.

[2]吴永亨,周兴华,杨龙.水下声学定位系统及其应用[J].海洋测绘,2003,23(4):18-21.

[3]李涛章,刘雨泉,叶松,等.铰链混凝土板沉排新技术与施工实践[J].人民长江,2002,33(8):26-28.

[4]刘伯胜,雷家煜.水声学原理[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1993.

[5]田坦,刘国枝,孙大军.声纳技术[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2000.

(收稿日期 2007-04-29 编辑 骆超)