

多波束测深系统在水下地形测量中的应用研究

麻定很

(珠海市测绘院,广东 珠海 519015)

摘要 针对目前应用方法存在测量精度较低的问题,提出了一种新的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法。在进行测量之前,需要进行测量技术书的编写,并做好质量控制措施。对探头支架等设备进行安装。利用多波束测深系统对现场进行测量。根据测量得到的各通道采样的原始数据,计算声线经过的传播时间与水平距离,采取迭代法对测量数据进行解算。解决了测量精度较低的问题,提升测量精度。实验研究结果表明:设计的应用方法不仅可以提升水位、水深的测量精度,还能够准确地对声速剖面进行测量,研究结果可应用于多种场景的水下地形测量,应用范围较广。

关键词 多波束测深系统;船体坐标系;水下地形测量;声速剖面;测量技术书;迭代法

中图分类号 P229 **文献标识码** A **文章编号** 2095-7319(2021)03-0021-05

0.引言

当前世界各国都致力于建设各种水运工程,包括水下钻探、海底输油管道、海底电缆等。在这些工程中,测量水下地形是一个基础的步骤。在深水港构建、沿海深水岸线开发时,同样需要细致、全面、高精度的水下地形图^[1]。可以说测量水下地形对于航海业以及多种行业来说都是不可或缺的一步。在这些行业的发展中,对测量水下地形的详细性与精度也提出越来越高的要求。多波束测深系统的发展源头是单频测深系统,是一种分辨率高、精度高、效率高的新型测量技术。相较于单波束测深仪,其具备自动化成图、数字化记录、高精度、高速度、大范围等优势,近年来应用的范围越来越广^[2]。因此,在水下地形测量中对多波束测深系统进行应用。

对于多波束测深系统在水下地形测量中的应用,国外目前整体研究已经较为成熟,很多系列化多波束测深系统产品相继问世,并掌握了水下地形测量中多波束测深系统的成熟

应用技术。目前国外应用比较广泛的一种方法是结合CORS的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法。国内对于多波束测深系统进行开发与研究是从八十年代开始的,目前自主研发的产品仍然较少,对其应用的研究也是在近几年才取得了一定成果。有学者在研究中提出一种结合差分GPS技术的应用方法,获得广泛应用。对于目前应用较多的这些方法,由于存在测量精度较低的问题,因此设计一种新的应用方法。

1.设计应用方法

1.1准备工作

在进行测量之前,需要做好两方面的准备工作,一方面是测量技术书的编写;另一方面是做好质量控制措施。

测量技术书的编写具体包括编写以下几方面的要求:首先是测量精度等级方面的要求。相关标准具体(如表1所示):

表1 测量精度等级方面的相关标准

等级	四级	三级	二级	一级
区域	非沿岸的内部海区	水深小于两百米的那些沿岸海区或者海区	水深小于一百米的那些推荐航道、航道、港口入口、港口	重要锚地、浅水港口以及航道
水平位置精度	±150m	±20m	±5m	±2m
水深精度(改正后)	b:0.023 a:1.0m	b:0.023 a:1.0m	b:0.013a:0.5m	b:0.0075 a:0.25m
覆盖率	—	—	≤100%	100%
测深模型精度	b:0.05 a:5.0m	b:0.05 a:2.0m	b:0.026 a:1.0m	100%覆盖
测线最大间距	平均4倍精度	三到四倍平均水深	两到三倍平均水深	100%覆盖

注:测深模型精度、水深精度、水平位置精度的置信度均为95%

定位技术方面的要求具体如下:定位误差的范围需要控制在相邻两个波束间的距离以内。

测深技术方面的要求具体如下:需要对各个误差源、天气状况、海况等提出具体要求^[3]。

测线布设与覆盖要求具体如下:需要根据测区的实际水文状况进行测线布设与覆盖要求的制订。

其中,四种等级测区的具体扫幅宽度要求具体(如图1所示):

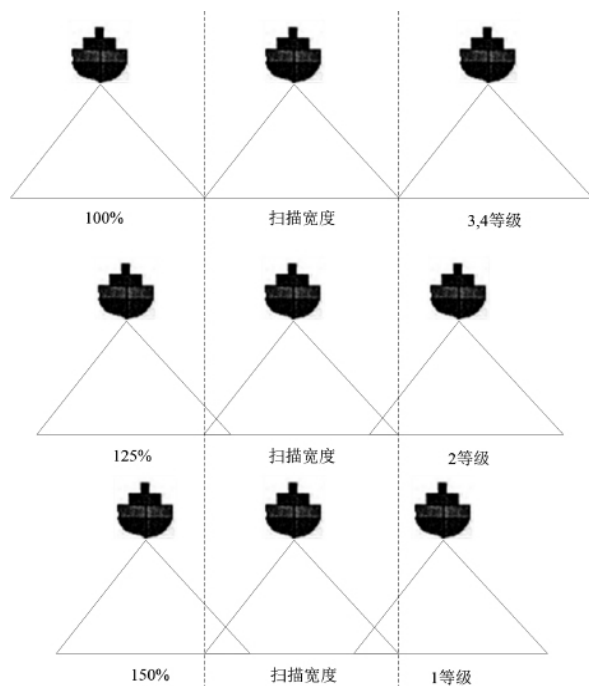


图1 四种等级测区的具体扫幅宽度

质量控制措施具体包括在安装设备之前,实施多波束测深系统的稳定性实验,共进行8h,当精度符合要求后,自检声速剖面仪、光纤罗经,确保数据均符合要求。检验GPS设备,保障技术指标均符合要求。以及审议测线布设方案等。

1.2 安装设备

首先安装多波束测深系统的探头支架,在安装中,固定支架使船体和支架成为一个整体,让探头的接收和发射位置能够更好地反映船体姿态。尽量垂直固定探头的支杆,使发射探头与船中央轴线保持平行。

通过 ZJCORS 实施平面定位。对于未覆盖通讯信号以及信号较为弱小的地区,对CORS 临时控制网进行构建来实施平面定位。

罗经在安装时在右侧船舱中固定,方向朝着船艏,确保工作平台、探头、罗经的姿态一致。

利用线缆将多波束测深系统的各部分连接成整体,包括后处理系统、控制系统、运动传感器、光纤罗经、GPS 设备、处理器等^[4]。

接着构建船体坐标系,具体步骤如下:

(1)保障各种系统设备均与船体保持一致的摇晃;

(2)将水面与探头支架交界中心点作为参考原点;

(3)将Z轴方向整理为垂直向上方向,将Y轴方向整理为船航行方向,将X轴方向整理为船右舷方向。量取多波束探头、GPS天线、罗经的具体位置(相比参考原点来说)。具体量取方法为来回进行两次量取后,取两次测量的平均值作为最终测量值。

然后对控制系统进行设置,并对多波束系统实施安装校准。

1.3 测量水下地形

利用多波束测深系统对现场进行测量,具体测量步骤包括:观测水位、测量水深以及测量声速剖面^[5]。

观测水位的具体步骤如下:每隔5km对水位观测点进行设置,与水文站的实际水位观测数据相结合,利用系统软件实施水位修正。采用的方法为线性多站内插法,最终获取水下地形点的对应高程测量数据。

测量水深的具体步骤如下:首先实施测区边界的测量,接着依据设定路线实施全覆盖测量,并选择适合进行坝前校准的地区测量^[6]。

测量声速剖面的具体步骤如下:(1)根据水深分层图,将水深、声速变化较大之处定为测量投掷点。对声剖仪的实际下沉速度进行控制,缓慢进行其下放,避免仪器沉入淤泥中;(2)对仪器进行回收,在计算机中拷贝测量的数据,利用声速剖面软件进行编辑,在处理数据时还需要修正声线弯曲。

1.4 解算测量数据

根据测量得到的各通道采样的原始数据,计算声线经过的传播时间与水平距离,采取迭代法对测量数据进行解算。

为对多波束数据进行更准确计算,共引入3种三维坐标系,其中包括波浪、测船以及大地坐标系。第一种坐标系的示意图具体(如图2所示):

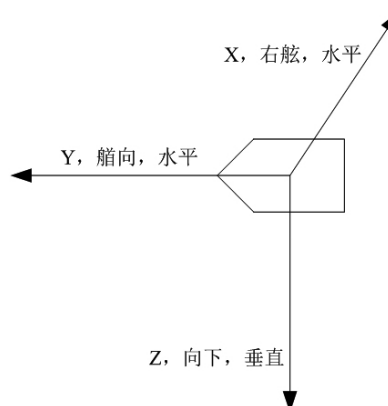


图2 补偿器波浪坐标系

在图2的坐标系中,坐标原点是传感器中心。

大地坐标系使用的是海道测量中常用的1954。

而测船坐标系的轴向和图1坐标系是一致的,只是原点的设置是在船的一个定点上,通常选择的是船的重心处。

当处于理想条件时,涌浪滤波器、声基阵、GPS天线等测量设备与测量船会达到中心上的重合,但在实际情况中这种理想条件很难达成,因此首先需要修正测量数据。

在坐标系里,设声基阵中心往下的深度为 d 。根据测量获得 R 横摇值、 θ 预成波束角、 P 纵摇值等原始数据,如式(1)所示:

$$\begin{cases} d = r \cos P \cos(\theta + R) \\ r = \frac{c \cdot T_p \cdot \cos \theta}{2} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, c 为声速; r 为行程; T_p 为声信号实际传播时间。

根据斯涅尔定律可得,如式(2)所示:

$$\begin{cases} \frac{\cos \alpha}{c(z)} = \frac{\cos \alpha_0}{c_0} = \text{常数} \\ n(z) = \frac{c_0}{c(z)} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, $c(z)$ 为夹角处的声速; c_0 为声线出射处,夹角处声速对应值; α 为水平坐标; α_0 为声线出射处夹角对应值。

对声线经过的传播时间与水平距离进行计算,如式(3)所示:

$$\begin{cases} t = \int_{x_0}^z \frac{c_0 dr}{n(z) \sqrt{c_0^2 - c(z)^2 \cos^2 \chi_0}} \\ r' = \cos \chi_0 \cdot \int_{x_0}^z \frac{c(z) dr}{n(z) \sqrt{c_0^2 - c(z)^2 \cos^2 \chi_0}} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, x_0 为掠射角; t 为声线经过的传播时间; r' 为水平距离。

式(3)是关于掠射角与深度的积分式,难以直接通过时间获得相关测量值,因此采取迭代法对其进行解算。

对式(3)实施离散化处理:将声速的层数设为层,传播轨迹分别用 $n(z_0), n(z_1), \dots, n(z_2), n(z_n)$ 来表示,则声速剖面具体(如图3所示):

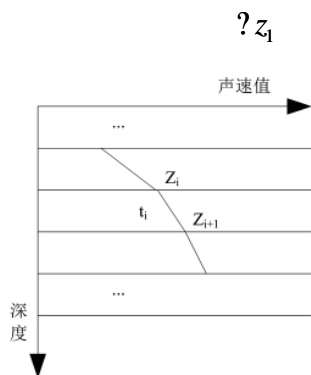


图3 声速剖面

在图3的声速剖面中,各层间的深度间隔分别为 Δz_1 ,

$\Delta z_2, \dots, \Delta z_n$ 那么对于第 i 层声速剖面来说,如式(4)所示:

$$\begin{cases} t_i = \frac{c_0 \Delta z_i}{n(z_i) \sqrt{c_0^2 - c(z_i)^2 \cos^2 \chi_0}} \\ r'_i = \frac{n(z_i) \Delta z_i \cos \chi_0}{\sqrt{c_0^2 - c(z_i)^2 \cos^2 \chi_0}} \\ i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, t_i 为第 i 层声速剖面的声线传播时间; r'_i 为第 i 层声速剖面的声线传播水平距离。

则如式(5)所示:

$$\begin{cases} t = \sum_{i=1}^n t_i \\ r' = \sum_{i=1}^n r'_i \end{cases} \quad (5)$$

通过式(5)即可进行测量参数的解算,具体包括水位、水深以及声速剖面的解算。

2. 实际应用

2.1 研究区域

对于设计的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法,利用其进行某处的实际水下地形测量。实际选取区域为某水电站处,通过该处的水下地形测量进行水电站断面淤积分析以及库容量计算。该水电站的断面布置图具体(如图4所示):



图4 水电站的断面布置图

2.2 实验多波束测深系统选择

实验中使用的多波束测深系统型号为Atlas Fansweep 20,该系统具体构成设备为CTD输出显示设备、信号控制电子柜、探测器设备、电罗经、信号处理电子柜、工作站硬件、运动传感器、工作站软件、声速剖面仪软件、声速剖面仪硬件、接收换能器、发射换能器、定位系统等。

2.3 实验方法

对设计的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法的性能进行测试,具体测试项目为水位、水深以及声速剖面的测量精度。为使测试结果更有说服力,选择现有的两种应用方法作为实验中的对比项,进行性能测试对比实验,丰富实验结果。这两种方法分别为结合CORS、结合差分GPS技术的应用方法。深入分析3种应用方法的性能测试实验结果,获取实验结果。

2.4 实验结果

2.4.1 水位测量精度实验结果

分别对设计的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法与结合CORS、结合差分GPS技术的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法的水位、水深以及声速剖面的测量精度进行测试。首先是测试水位测量精度,利用Atlas Fansweep 20对实验水电站处的水位进行测量,获取3种方法的水位测量精度实验数据,具体(如表2所示):

表2 3种方法的水位测量精度实验数据

测量面积/m ²	平均水位测量精度/%		
	设计的应用方法	结合CORS的应用方法	结合差分GPS技术的应用方法
100	92.3254	82.3745	76.3214
150	91.2547	80.3254	72.3214
200	92.3254	78.3265	75.6589
250	86.2541	79.2156	74.2547
300	90.3210	80.3201	79.3245
350	91.3021	81.3210	78.3210
400	90.3210	79.3214	76.3011
450	90.3021	78.3021	78.3210
500	89.3241	76.3021	76.3021

在表2中,3种方法水位测量精度实验数据表明:设计多波束测深系统在水下地形测量中应用方法的平均水位测量精度最高可达92.3254%,能够达到很高的水位测量精度,整体高于结合CORS、结合差分GPS技术的多波束测深系统在水

下地形测量中的应用方法,实现了水位测量精度的提升。

2.4.2 水深测量精度实验结果

接着测试3种方法的水深测量精度,具体实验结果(如表3所示):

表3 水深测量精度具体实验结果

测量面积/m ²	平均水深测量精度/%		
	设计的应用方法	结合CORS的应用方法	结合差分GPS技术的应用方法
100	95.3654	86.3012	89.3201
150	94.3214	89.3325	91.3021
200	94.2014	88.2014	90.3216
250	92.3254	82.3021	91.3201
300	94.3265	82.3021	82.3265
350	93.2615	80.3265	88.3320
400	93.0124	81.3624	86.3021
450	92.3026	81.3021	85.3021
500	90.3227	81.3265	86.3214

根据表3的水深测量精度具体实验结果,设计多波束测深系统,在水下地形测量中应用方法的平均水深测量精度最高可达95.3654%,整体水深测量精度最高,实现了水深测量精的提升。

2.4.3声速剖面测量精度实验结果
最后测试3种方法的声速剖面测量精度,所获取的实验数据具体(如表4所示):

表4 声速剖面测量精度实验数据

测量面积/m ²	平均声速剖面测量精度/%		
	设计的应用方法	结合 CORS的应用方法	结合差分 GPS 技术的应用方法
100	92.3625	90.2014	84.2135
150	93.2014	86.3265	82.0123
200	90.2136	85.2014	85.3244
250	86.3320	83.2014	79.6156
300	88.3215	86.3214	83.3214
350	86.3025	85.3201	83.1247
400	89.3264	89.3214	82.3625
450	88.3214	85.3265	83.3021
500	87.3652	86.3214	81.3021

表4的声速剖面测量精度实验数据表明:设计的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法的声速剖面测量精度整体高于其他2种应用方法。
综上所述,设计的多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法实现了多方面测量精度的提升。

在对多波束测深系统在水下地形测量中的应用方法进行研究的过程中,通过迭代法对测量数据进行解算,使测量结果更加精密。在研究过程中,尽管取得一定的研究成果,也存在很多疏漏,在今后的研究中,将会尽力消除这些疏漏,完善研究成果。

3.结束语

参考文献:

[1]韩贤权,黎建洲,刘源,等.多波束测深在漾头水电站下游冲坑测量中的应用[J].人民长江, 2020(11):120-124.
[2]李铁,周丰年,赵建虎.多波束系统安装偏差整体校准的地形特征匹配方法[J].测绘学报,2019(4):114-121.
[3]黎建洲,刘源,邹双朝.多波束测深技术在长江某水厂取水管现状检查中的应用[J].长江科学院院报,2019(12):43-46.
[4]宋珏琛,李江海,雷雨婷,等.多波束测深技术在洋中脊构造地貌解译中的应用[J].高校地质学报,2019(2):251-258.
[5]张静远,徐振烺,王新鹏.基于TERCOM算法的水下地形辅助导航误差研究[J].海军工程大学学报,2020(5):48-53.
[6]王皓冉,汪双,陈永灿,等.无人测量系统在消力池水下地形测量中的应用[J].水力发电学报,2019(12):13-20.

作者简介:

麻定很(1983—),男,广西靖西人,武汉大学,助理工程师。研究方向:测绘工程测量。

