

多波束测深系统在东营海域渠底测量中的应用

张德凯, 朱利超, 王家晖

(山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014)

【摘要】 海域取水渠道作为沿海工业设施的重要组成部分, 其渠底地形的高精度、高效率测量对保障工程运行安全具有重要意义。与传统海洋测绘技术手段相比, 多波束测深系统在海洋测绘中展现出显著优势。文章简述该系统的工作原理与硬件组成, 并以东营某发电厂冷却水取水渠道为研究对象, 采用海卓 MS400U 测深系统获取渠底点云数据, 通过 ArcGIS 建立 0.2 m 分辨率渠底 DEM, 直观呈现渠底地形现状, 应用成果可为渠底高程分析、清淤计算等提供可靠数据支持。

【关键词】 多波束测深系统; 渠底扫测; DEM 重建

【中图分类号】 TV221

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2026)-06-0009-03

Application of Multibeam Echosounder System in Canal Bottom Survey of Dongying Sea Area

ZHANG Dekai, ZHU Lichao, WANG Jiahui

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., LTD, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: As an important part of coastal industrial facilities, the high-precision and high-efficiency survey of channel bottom terrain of sea water intake channels is of great significance to ensure the safe operation of projects. Compared with traditional marine surveying and mapping technical methods, the multibeam echosounder system presents remarkable advantages in marine surveying and mapping. This paper briefly introduces the working principle and hardware composition of the system. Taking the cooling water intake channel of a power plant in Dongying as the research object, the Haizhuo MS400U echosounder system is adopted to acquire point cloud data of the canal bottom, and a 0.2 m resolution DEM of the canal bottom is established by using ArcGIS to intuitively present the current terrain of the canal bottom. The application results provide reliable data support for canal bottom elevation analysis and dredging calculation.

Key words: Multibeam echosounder system; Canal bottom scanning survey; DEM reconstruction

海域取水渠道作为沿海工业设施（如发电厂、海水淡化厂等）的核心输水结构，其渠底地形的稳定性与输水效率直接关系到工程运行安全。在长期运行过程中，受海洋潮汐、泥沙输移及生物附着等因素影响，渠底容易出现淤积、地形异常或结构变形等问题，轻则增加能耗，重则引发取水口堵塞或设备损坏。因此，高精度、高效率的渠底地形测量技术成为工程风险防控的关键支撑。

当前，常用的水下地形测量技术主要包括单波速测深系统与多波束测深系统两种。单波束测深系统仅能获取沿测量路线的一排水深点，数据

密度低，难以捕捉狭窄渠底的局部地形突变，无法实现对既定渠道渠底地形的全覆盖测量；而多波速测深系统采用条带覆盖测量模式，实现了由“线-面”测量的关键跨越，凭借其高分辨率、全覆盖、高效率^[1]的技术优势，成为现代海洋测绘的重要工具，并在河道测量^[2]、航道养护^[3]、海岛地形测量^[4]、大坝水下结构监测等多领域展现广阔的应用前景和价值。文章以东营某发电厂的冷却水取水渠道为对象，系统阐述多波束测深系统在渠底地形测量中的技术流程及适配性，并建立水下

收稿日期：2025-12-22

作者简介：张德凯（1996—），男，工程师

DEM 模型,为渠底地形分析、淤积清理提供数据支撑。

1 多波束测深系统原理及组成

1.1 系统原理

多波束测深系统是利用声波遇到障碍物反射的原理。工作时,通过换能器发射基阵,将一定宽度的扇形照射声波发射至水底,换能器接收基阵反射回来的声波信号,经过对回波信号的恰当处理形成多个波速,同时获得多个采样点的水深值,如图 1 所示。作业时,每条航带间保持一定的重叠度,从而快速实现对大面积水域水底的全覆盖扫描采样。

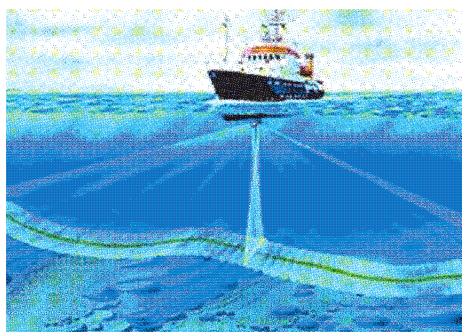


图 1 多波束测深系统扫描原理示意图

1.2 系统组成

多波束测深系统是集现代信号处理技术、高性能计算机技术、高分辨显示技术、高精度导航定位系统、数字化传感器技术等多种技术手段于一体的多传感器复杂组合系统,主要由多波束测深仪、表面声速仪、声速剖面仪、姿态仪、GNSS 定位设备、供电系统、采集计算机及控制采集软件、后处理软件等组成。各部分主要功能如下:

1)多波束测深仪。文章采用北京海卓同创科技有限公司生产的 MS400U 型,体积小、功耗低,整机集成高精度姿态及定位系统、声速测量系统,所有位置姿态数据标准格式实时输出。工作频率为 400 kHz,条带宽带为 512 波速,测深深度为 0.2~200 m,深度分辨率为 0.75 cm,工作模式为等角测量、等距测量。

2)声速剖面仪。配套使用海卓 SVP1500,运用“时间飞跃”技术进行声速测量,精度可达 0.05 m/s,集成高精度压力传感器,深度测量精度为 0.15 m。

3)潮位仪。持续监测水位,与多波束测深数据同步,用于潮汐校正,提高测量精度。

4)软件系统。现场采集软件海测通 2024、显控软件 HydroQuest,后处理软件 HYPACK MAX。

2 应用测量实例

2.1 测区信息与转换参数

发电厂位于东营港经济开发区的防浪堤内,东临渤海。取排水渠道由海域取水明渠、陆域取水明渠和陆域排水明渠三部分组成。文章以海域取水明渠为研究对象,两侧设置有扭王字块体组成的挡沙堤,长约 2 500 m,渠底宽约 70 m,渠底设计高程为-6.0 m。作业时平面坐标系统与施工保持一致,采用 1980 西安坐标系,高斯-克吕格投影按 3°分带,中央子午线 118.5°,高程基准为 1985 国家高程基准。

由于多波束测深仪海卓 MS400U 内置的高精度 GNSS 接收数据为通用 GGA 数据,与要求的坐标系统不一致,需进行坐标转换,以测出准确成果。为此,将测区附近施工保留的 4 个 WGS-84 参考椭球下 C 级卫星定位点的大地坐标转换为 1980 西安坐标与 1985 国家高程,依据布尔莎七参数转化模型获得测区转换七参数。计算得到点位平面最大残差为 0.019 m,点位最大高程残差为 0.004 m,符合《工程测量标准》(GB 50026—2020)中规定的“转换参数选取不少于 4 个已知点,求取的平面精度不应大于 0.02 m,高程精度不应大于 0.03 m”的要求。

2.2 外业数据采集

1)测线规划。取水渠道呈长条形状,沿水流方向平行于防沙堤布设,测线间距 20 m,同时测线数据之间保持最少 30%的覆盖。

2)设备安装。对需要使用的测深仪、潮位仪、电脑主机、连接线、测量船等进行安全检查,确认无误后进行安装。采用船舷焊接式结构,将安装支架稳固地焊接于船舷,并在法兰杆的下端装配多波束测量探头。同时,采用前向、后向及兜底三向缆绳协同拉紧的加固方案,通过多向受力紧固装置,有效抑制测量过程中探头的位移振动,保障设备稳定性和数据采集质量。

3)数据采集。测量前,在合适位置放置潮位仪实时监测潮位变化。测量船按照设计航线对测区进行全覆盖水深测量。测量过程中,使用海卓 SVP1500 进行声速剖面测量,并通过显控软件

HydroQuest 实时显示船速、坐标、水深等信息,实时监控测深条带、海底地形剖面图、回波强度图像,检查是否存在数据缺失、异常噪声、重叠不足等问题。主测区完成后,选择地形变化较大区域,按测线间距 20 m 进行匀速往返测量,获取 4 条校准测量数据,用于对横摇偏差、纵摇偏差、艏向偏差校准。

2.3 数据处理

采用美国 HYPACK MAX 软件进行多波束内业数据处理,对野外采集的导航数据及各传感器数据进行检查、处理和成果输出。

- 1)新建项目,导入数据;
- 2)依据规范和设备使用要求,计算横摇、纵摇、艏摇校准值,设备应用 PPS 技术,时间延迟为 0 s;
- 3)进行声速和潮位改正;
- 4)使用 SWEEP 功能窗口对测量数据逐条带删除噪声点;
- 5)使用断面编辑窗口,对所有数据进行断面噪声点删除,删除条带编辑中遗漏的假数据,确保测量数据准确性;
- 6)成果输出,包括潮位数据、声速数据及渠底点云数据。

2.4 数据分析

采用南方 CASS、ArcGIS 软件对渠底点云数据进行处理,构建海域取水明渠渠底 DEM 模型,直观展示渠底地形现状。

1)剔除渠底点云异常值。在点云数据中,存在因水下漂浮物、边缘石块反射等导致的异常高程点,通过将点云数据转为 CASS 可识别的 .dat 格式,然后在 CASS 中建立三角网并绘制 0.5 m 间距的等深线,查找等深线异常的点状圈图及周围高程平滑情况,对异常高程值进行剔除。

2)制作渠底 DEM 数字模型。打开 ArcGIS 导入点云数据及渠道范围 DXF,利用 3D-Analyst 中 TIN 工具建立渠底 TIN 模型,创建时使用渠道范围线约束,以保证数据的准确性。然后,利用 TIN 转栅格工具建立 0.2 m×0.2 m 的海域取水渠道渠底 DEM,并在符号系统中对高程值进行区间配色。建模结果示意图如图 2 所示。

由图 2 分析可知:

1)渠道两侧靠近防沙堤区域呈红色,高程高

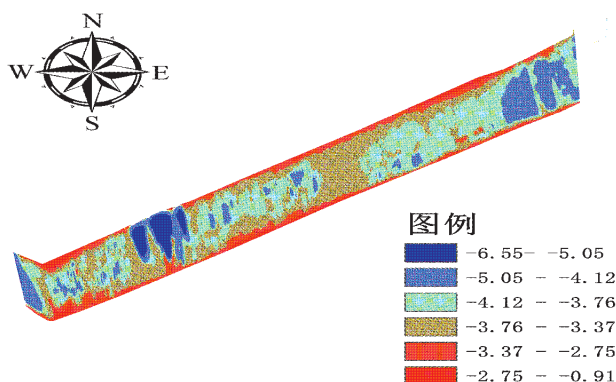


图 2 海域取水明渠渠底 DEM 示意图

于-2.75 m,向渠内逐渐呈浅绿、蓝色,表示渠底高程逐渐降低,与实际情况相符合。

2)渠道东北渠尾段呈浅蓝色,渠底高程在-5.0 m 左右。

3)渠道西南段有 3 个较明显的深坑,面积分别为 1 685 m²、2 283 m² 和 845 m²。

4)由渠底颜色分布可知,大面积渠底高程要高于设计高程-6.0 m,淤积较为严重,利用 ArcGIS 中的栅格计算功能,初步得到该渠道清淤量为 345 291 m³。

3 结 语

多波束测深系统采用条带式扫描测量的方式,能够实现水下地形的高效率、全覆盖测量。在大量水下测量中具有明显技术优势。文章以东营某发电厂为例,采用海卓 MS400U 系统作为技术手段,验证了多波束测深系统在海域取水渠道渠底扫描的可行性。通过建立 0.2 m 分辨率渠底 DEM 模型,直观展示渠底淤积分布、淤积位置,并在 GIS 初步计算得到渠道挖方量 345 291 m³。

参考文献

- [1] 易远钦,苏庆.多波束测深系统在海洋航道测量中的应用研究[J].珠江水运,2025(2):117-119.
- [2] 张林.多波束测深系统在长江河道测绘中的运用[J].云南水力发电,2025,41(1):20-23.
- [3] 薛武申,刘俊,刘颖.多波束测深系统在内河航道养护水深测量中的应用实践[J].港口航道与近海工程,2024,61(4):79-82.
- [4] 孙栋,丁仕军,李晓红,等.基于多波束测深系统在海岛(礁)地形测量中的应用[J].测绘通报,2024(11):90-96.

(责任编辑 崔春梅)