

# 象山港进港航道外干门浅段试挖槽浮泥观测研究

许宝华 王真祥

(长江水利委员会 长江口水文水资源勘测局, 上海 200136)

**摘要:**采用 SILAS 走航式水底浮泥连续密度测量系统、双频测深系统, 结合  $\gamma$  定点浮泥测量, 实现了浮泥密度、厚度及其变化的精确探测。相对传统方法, 这些新的测控技术不但大大增加了采样点的密度, 同时还提高了测点密度剖面每层采样点的密度测量精度。走航式浮泥密度剖面测量提供了高密度的测区密度剖面成果, 这对于真实准确地反映挖槽区的浮泥密度垂直分布以及浮泥厚度平面分布提供了非常可靠的数据。

**关键词:**淤泥厚度; 浮泥密度; SILAS 系统; 象山港

**中图分类号:** U617.6 **文献标识码:** A

## 1 概述

象山港位于浙江省中部沿海, 舟山群岛六横岛的西侧, 为保证航道开发的顺利进行, 积累相关经验, 需要对拟开挖的航道段进行试挖试验研究, 以了解航道开挖后对周边水流条件的影响程度及回淤强度, 特别是台(大)风对航槽淤积的影响。为获得试挖段及周围海床泥沙的运动特点、认识底泥及底质的现状, 论证航道开挖的可行性和稳定性, 进一步评估新开挖航道及其维护, 开展试挖槽区海床淤泥密度等相关要素的观测和分析显得非常必要。

## 2 浮泥观测

### 2.1 基于双频测深仪的淤泥厚度观测

测深仪是利用水声原理进行工作的。声波自换能器发射, 在海底不同界面(海水与浮泥层, 浮泥层和硬底等界面, 与淤泥密度有关)产生反射和透射。由于不同介质对不同频率的声波能量吸收能力不同, 导致不同界面反射的不同频率的声波能量也不同, 测深仪接收所有界面的反射声波, 但只处理能量最强的反射声波, 而把其他界面的反射声波作为噪声过滤, 所以不同频率的声波可以测量不同反射界面的深度。实际测量时, 高频声波大部分从浮泥层上界反射回来, 部分穿透浮泥层的声波被浮泥吸收, 其记录的是浮泥层至换能器的深度。低频声波在浮泥中衰减较少, 其穿透浮泥层到达固结粘土层(硬底), 从硬底反射的声波信号强于其他界面的反射信号, 所以, 记录的是硬底至换能器的深度。

对双频测深仪, 首要正确选择双频频率, 高频采用 200 kHz 时, 当浮泥容重大于  $1.05 \text{ g/m}^3$  时, 能产生反射, 但穿透率差; 在  $18 \sim 24 \text{ kHz}$  的频率范围内, 浮泥容重小于  $1.25 \text{ g/m}^3$  时能产生反射, 正确地反映浮泥的下界面。综合各种因素, 采用 24 kHz

和 200 kHz 合一换能器, 能正确探测浮泥层上下界面。

本项目采用了加拿大 KNUDSEN 公司生产的 320 M ECHO-SOUNDER 双频测深仪进行淤泥厚度测定。实测时, 采用 Trimble R7 GPS 按 GPS-RTK 模式进行平面定位, TSS 运动传感器和电罗经测定船体姿态及航向, 利用 HYPACK V6.2 软件进行数据采集。

### 2.2 基于 SILAS 系统的浮泥密度观测

SILAS 走航式适航水深测量系统是利用双频测深仪和 Densitune 音叉振动密度计测得的水底沉积层密度变化来确定适航水深的, 所以可利用该系统测量淤积层密度的变化来确定淤积层的分布。该方法在航线与柱面上连续获取底泥层的密度剖面, 在底泥不受任何扰动的情况下, 客观、真实、高精度地测定其密度值, 成果具有复现性。走航式的连续采集保证了密度采集的高效性。在低频测定底泥密度的同时, 高频也将水深测出, 故能保证水深测量点及底泥密度测量点点位完全重合。底泥测量的测定精度取决于密度划分的精度, 而 SILAS 系统密度划分误差的主要来源是测深仪的测深误差、Densitune 音叉振动密度计标定误差及密度计的密度测定误差和操作过程引起的误差。对系统本身而言, SILAS 系统反射信号强度、信号增益、时变增益反映了相对密度值准确性。系统工作时每秒至少采样 8 次, 进行内部自我检核, 以排除异常信号, 确保仪器观测稳定可靠。就 Densitune 音叉振动密度计而言, 其测定精度为  $\pm 4.6 \text{ g/L}$ , 相对误差小于 1%, 稳定性小于  $\pm 0.0005 \text{ g/a}$ 。

SILAS 系统启动时必须进行一些参数的设置, 如水温、声速等, 尤其是声速的调整。实际作业中, 声速根据水温、水质(如透明度)的变化及时调整, 以消除声速误差对测深的影响。SILAS 系统测量时, 沿断面行进, 行进中利用 GPS-RTK 系统和 SILAS 系统连续获取测量点的平面位置、高程和地下水层信息。每个区域选取一、二个点, 用 Densitune 音叉振动密度计测定密

度值,同时采集底泥样和海水,以便进行该区域密度计的绝对密度值率定。将采集点的平面位置标在数字图上,避免漏测、重测。

### 2.3 基于 $\gamma$ 射线密度仪的浮泥密度剖面观测

本项目采用双管叉式  $\gamma$  射线密度仪进行淤积物容重探测。该仪器测量原理为:当射线穿过浮泥层时,其透射  $\gamma$  射线强度随浮泥层容重的增大而按指数规律衰减。在  $\gamma$  射线透射容重调查的同时,根据布设的测点位置进行底质取样,采用锥式取样,同时记录定位坐标。样品处理完成后,放入冷藏柜中保存,待运回实验室分析。

实际测量时,利用 GPS RTK 进行测点的导航和定位,到达测区设计点时,将探头缓慢放入水中,下沉速度  $2 \sim 3$  cm/s,仪器每秒钟自动采集记录  $\gamma$  射线计数率,并计算出该浮泥层平均密度值,同时通过压力传感器记录相应水深。压力传感器的安装位置位于放射源上方  $0.5$  m 处,使其保持位于浮泥层上方的海水中,以避免海底浮泥密度变化对水深测量的影响。若浮泥层厚度大于  $0.5$  m,则根据浮泥层具体密度值进行水深校正,以保证浮泥层厚度测量精度优于  $5$  cm。为防止仪器在触及海底时发生倾斜,在钢丝绳上安装了拉力传感器,在探头触及海底时拉力传感器显示值会有显著变化,据此可判断探头已到达海底,此时可结束测量。

## 3 浮泥观测资料处理

浮泥观测资料处理主要包括双频资料、SILAS 系统资料、 $\gamma$  射线密度仪资料的处理以及不同密度下浮泥分布图的绘制。

(1) 双频数据处理。由于双频测量采用无验潮水深测量模式,其高、低频测量数据可采用与单波束回声测深相同的处理过程,根据处理的结果,计算出测点淤泥厚度。

(2) SILAS 系统数据处理。利用 SILAS 系统编辑测线海床地层的模拟反射信号柱面信息,对各航线音叉振动密度计现场测定的固定点密度值精度进行率定,建立密度计密度和反射信号强度之间的对应关系,进而通过对反射信号的量化分析,获得整个测点柱形剖面不同层面的密度值,进而根据密度的分级来确定浮泥的存在状况及厚度。

(3)  $\gamma$  射线密度仪数据处理。根据现场取得浮泥样本在室内配制多个已知密度的不同标样,再使用  $\gamma$  射线密度仪分别测量上述已配制好的密度标样,并记录相应的  $\gamma$  射线衰变计数率,建立密度与计数率的回归方程,结合  $\gamma$  射线密度仪入水后深度变化曲线和回归方程来计算浮泥、淤泥厚度。

## 4 浮泥特性分析

根据对历次双频测深仪、SALIS 系统、 $\gamma$  射线密度仪的测量数据进行比较后发现,双频测深仪与 SALIS 系统测量的泥质层厚度基本一致,双频测深仪测深范围更大,能清晰地反映出海床软质层剖面状况,适合航道的适航水深测量,不足之处是双频测量数据难以界定淤泥和浮泥的泥质特性;就浮泥测量而言,SALIS 系统与  $\gamma$  射线密度仪在相同位置测量的浮泥厚度基本一致,都能精确地测定浮泥密度及其它特性。但  $\gamma$  射线密度仪在设计上采用了测绳垂吊的操作方式,易受到风浪、水流等影响,精确定位较为困难,且只能获得单个点的密度垂线梯度。因此,本项目以 SALIS 系统观测成果作为浮泥特性分析的基本数据,以双频测深仪、 $\gamma$  射线密度仪测值做合理性检查。

## 5 浮泥观测精度

本项目浮泥采用 SILAS 系统观测成果。对 SILAS 走航测线,外业抽查时重复了 3 条断面,采用音叉密度计抽检了 5 个测点,抽检点的淤泥厚度较差见表 1。

表 1 音叉震动密度计测量点检测成果

检测点坐标		测淤泥	已知淤泥厚度	差值/
纵坐标/m	横坐标/m	厚度/m	(图上量取)/m	m
3279440.7	505439.4	0.30	0.33	-0.03
3279288.6	505700.5	0.41	0.48	-0.07
3279296.3	505974.9	0.20	0.17	0.03
3278879.2	506059.9	0.10	0.19	-0.09
3279216.9	505827.9	0.50	0.56	-0.06

表 1 表明,淤泥厚度观测结果的精度较高。

为检验 SILAS 系统浮泥观测成果的可靠性,现场观测中,还同步使用  $\gamma$  射线定点淤泥密度剖面仪与 SILAS 走航浮泥测量系统进行了同点观测,两系统观测结果统计如表 2 所示。

表 2 浮泥厚度观测结果比较

点位坐标		浮泥厚度/m		较 差	点位坐标		浮泥厚度/m		较 差
东 坐标	北 坐标	$\gamma$ 系 统 测	SILAS 测		东 坐标	北 坐标	$\gamma$ 系 统 测	SILAS 测	
506355.49	3279155.13	0.16	0.14	-0.02	505821.96	3278966.24	0.21	0.13	-0.08
506312.16	3279064.76	0.15	0.15	0.00	505860.89	3279280.07	0.15	0.10	-0.05
506269.39	3278974.64	0.10	0.13	0.03	505817.83	3279189.81	0.24	0.33	0.09
506183.17	3278794.08	0.12	0.13	0.01	505774.77	3279099.56	0.14	0.08	-0.06
506221.90	3279107.82	0.16	0.16	0.00	505637.32	3279275.93	0.29	0.32	0.03
506135.78	3278927.31	0.13	0.14	0.01	505594.26	3279185.68	0.27	0.26	-0.01
506092.72	3278837.06	0.19	0.25	0.06	505460.95	3279138.48	0.10	0.17	0.07
506088.59	3279060.63	0.22	0.22	0.00	505499.87	3279452.31	0.08	0.17	0.09
506045.81	3278970.48	0.23	0.21	-0.02	505413.75	3279271.80	0.13	0.11	-0.02
506041.40	3279193.94	0.15	0.17	0.02	505452.68	3279585.62	0.16	0.17	0.01
505955.28	3279013.44	0.13	0.16	0.03	505366.56	3279405.12	0.13	0.23	0.10
505951.14	3279237.01	0.13	0.21	0.08	505362.42	3279628.69	0.21	0.11	-0.10
505908.08	3279146.75	0.26	0.31	0.05	505319.36	3279538.43	0.18	0.19	0.01
505865.02	3279056.50	0.15	0.15	0.00	505276.30	3279448.18	0.28	0.31	0.03

从表 2 可以看出,浮泥厚度观测的结果是可靠的。

## 6 结语

基于现代测控技术实现淤泥密度和厚度分布的精确探测替代了传统的基于钻探采样确定淤泥厚度和密度的探测方法,采用了目前国际上较流行的 SILAS 走航式水底淤泥连续密度测量系统,结合  $\gamma$  定点浮泥测量系统,实现了浮泥密度、厚度及其变化的探测。

淤泥、浮泥的变化和输移方向的判定需要多期观测数据的比较,尤其浮泥,因其具有较强的流动性及可变性,受水文、地质、地形及气候的影响较大,为有效了解及正确掌握拟建工程区域的浮泥状况及变化特性,开展多期、大范围的浮泥专项调查是必要的。

### 参考文献:

- [1] 亢文强,谢津平,鲁志文. SILAS 系统在太湖湖底淤泥调查中的应用. 地质找矿论丛, 2005(4).

(编辑:刘忠清)