



洋山深水港区进港外航道 台风期适航水深研究*

万 军, 李太春, 张 伟

(上海达华测绘有限公司, 上海 200136)

摘要: 为了减小航道维护的工程量, 减少台风期所造成的损失, 开展洋山深水港区进港外航道台风期适航水深研究。通过对航道及其附近浅滩底质及浮泥样品的密度、盐度、颗分分析, 并进行航道沉积物的沉降特性试验、流变特性试验以及泥沙起动试验等内容研究, 提出洋山港区航道的适航密度, 并应用SILAS走航式适航水深测量系统成功获得了适航水深测量成果, 在淤泥质港口的维护应用中具有较好的推广价值。

关键词: 适航水深; 密度; 流变特性; SILAS

中图分类号: U 652.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0156-05

On navigable depth of outer approach channel of Yangshan deepwater port within typhoon period

WAN Jun, LI Tai-chun, ZHANG Wei

(Shanghai Dahua Surveying & Mapping Co., Ltd., Shanghai 200136, China)

Abstract: In order to reduce the maintenance volume and the loss caused by the typhoon, we carried out a study on the navigable depth of the approach outer channel of Yangshan deepwater port area within the typhoon period. Based on the density, salinity and particle analysis of the bottom sediment and mud sample in the channel and shoal, and a research on the waterway sediment characteristics of settlement, rheological property and sediment incipient, we put forward the navigable density of waterway in Yangshan port area, and gain the seaworthiness bathymetry applying the SILAS measure system, which has good promotional value in the maintenance of silty port.

Key words: navigable depth; density; rheological property; SILAS

洋山深水港区位于长江口和杭州湾交会处南汇嘴岸外约30 km的东海崎岖列岛海域, 距上海市中心约86 km, 其进港主航道人工疏浚段长约11 km (图1)。由于受到长江口区域沙量下泄入海扩散并与杭州湾湾口外海域频繁进行的水沙交换的影响, 洋山港进港外航道水沙运动极为复杂, 尤其在遭受台风影响时航道回淤会大幅增加, 因此针对台风影响引起航道骤淤进行适航水深进行研究, 能充分利用回淤泥沙中密度较小、对航行的影响不大的部分, 减小航道维护的工程量、改善航道水

深条件, 减少台风期所造成的损失。

1 港口泥沙淤积概况

1.1 自然条件分析

洋山海域潮流类型属规则半日浅海潮流性质, 潮流运动呈典型往复流形态, 主航道最大平均流速流向为涨潮流 2.00 m/s (281°), 落潮流 2.22 m/s (107°)^[1]; 主航道自西向东分为3段, 地质调查表明位于中段的人工疏浚段地层以亚黏土或淤泥质亚黏土为主^[2]; 海区受冬、夏季风影响, 全

收稿日期: 2011-12-20

*基金项目: 上海市科委科研项目 (09231200505)

作者简介: 万军 (1970—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋测绘、工程测量。

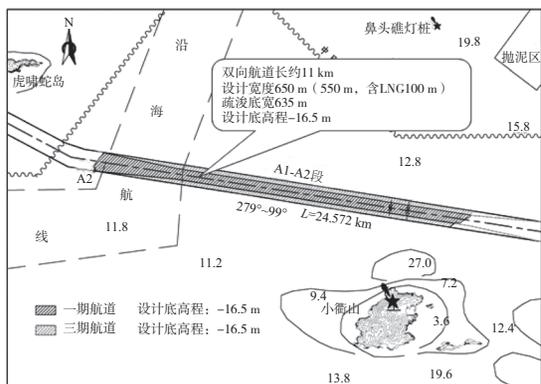


图1 洋山深水港区进港外航道总平面

年多偏N和偏SE向风,风向季节变化明显,4—8月多偏SE向风,9月至翌年2月多偏N向风,3月份冷暖空气交替频繁,以SE和N向风为主^[3]。在2005年至今,洋山海区先后受到“麦莎”等十余个台风的影响,导致航槽不同程度的淤浅,底质取样分析表明,主要为浮泥淤积。

1.2 泥沙来源

洋山港的西面为杭州湾水域,因此杭州湾的泥沙运动、潮流特性、历史演变趋势关系到航道淤积。杭州湾淤积的泥沙来自上游和口外两个方面,其中以口外长江外海来沙为主。据沉积物分析表明,表层沉积物中的细砂主要来源于本海区岛上的岩石风化产物,粉砂来源于长江口和杭州湾,也受外海来沙的影响,黏土主要来源于长江入海泥沙。对航道淤积起控制作用的是在风浪潮流综合作用下的泥沙悬扬搬移所致,属间接性泥沙来源^[3-4]。

2005—2009年洋山海区先后受到多次台风影响,以2007年“韦帕”和“罗莎”台风影响较大,航槽分别平均淤浅约0.32 m和0.51 m,2008—

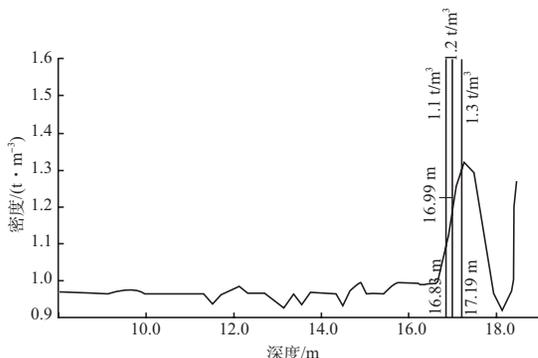


图2 实测泥沙垂线密度分布

2010年影响相对较小,航槽淤浅0.1~0.2 m,根据底质取样分析,主要是浮泥淤积。以“罗莎”台风期实测泥沙垂线密度分布为例,见图2。

2 适航水深介绍

2.1 适航水深的定义

适航水深是指海平面到高频测深值以下能确保航行安全的浮泥之间的距离,适航厚度为适航淤泥容度界面与高频测深仪反射面之差^[5],相互关系见图3。

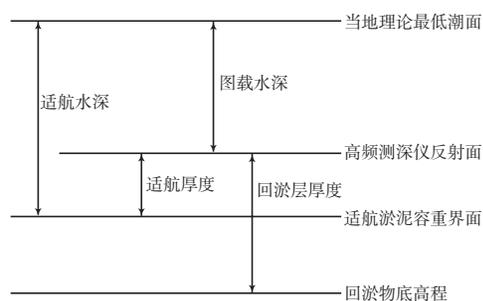


图3 适航水深概念

2.2 适航水深的界定

目前国内、外的许多港口、航道已广泛开展了适航水深的研究与应用,其确定适航水深界面的标准一般采用浮泥密度作为参数,如:荷兰鹿特丹欧罗港将密度取 1.2 t/m^3 ;泰国曼谷苏里南港将浮泥密度取 1.23 t/m^3 ;法国Bordean港将浮泥密度取 1.3 t/m^3 。

洋山港进港外航道适航淤泥密度界面同样选用密度作为确定适航水深下界面的参数。通过综合考虑回淤物质的矿物成分、有机质及颗粒级配的组成,并进行表层沉积物的沉降特性试验、流变特性试验进而确定该区域的适航密度。

3 适航水深确定

3.1 表层沉积物分析

确定适航水深,必须了解航道表层沉积物的物理特性。为此在洋山港进港外航道布置了20个取样点(图4),其中航槽内8个,边滩12个,各点间距约4 km。样品分析分别采用密度计法和激光粒度分析仪(图5)法,以保证数据的准确性。

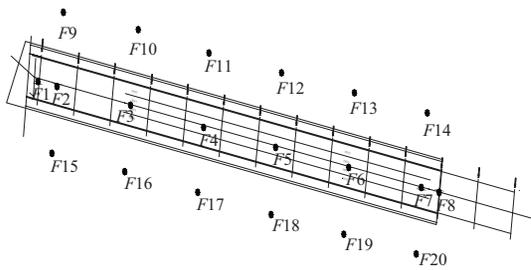


图4 洋山港航道取样点



图5 EyeTech激光粒度仪

《淤质海港适航水深应用技术规范》规定，港口使用适航水深，其前提是淤质海港。对洋山港回淤物质样品的分析可知，其中值粒径变化范围为0.013 ~ 0.023 mm，粉性泥沙占76.9%，因此就港口回淤物质而言，洋山港区可定性为淤质港口，从而论证了适航水深应用的可行性。

3.2 沉降特性试验

海水中细颗粒泥沙絮凝沉降的沉速是标志泥沙运动特征的一个重要物理量，其运动规律和特征与含沙浓度、海水含盐度以及水温有着密切关系。根据黄建维等^[6]的试验结果，随着黏性泥沙在水中含沙量的不同，按其沉降性态和机理之不同，大致可以区分为絮凝沉降段、制约沉降段、群体沉降段、密实段4个性质不同的区段。

采用比重法，对取自航道的海水进行了含盐度测量，密封的海水在试验室内存放130 d，使水中的泥沙及其它悬浮物与水体分离，然后在比重瓶中分别装入海水与蒸馏水进行称量，计算得出海水的平均含盐度为1.68%。

沉降试验中，使用T. McLaughlin^[7]的“重复深度吸管法”，通过测定不同时间的含沙浓度的分布，即可求出不同位置的泥沙平均沉速。沉降试验装置采用有机玻璃制作的圆筒，自下向上每隔0.2 m开一小孔，并安装软管。试验时，由快到

慢设置不同的时间间隔分别在试验筒的20, 60, 100, 140和180 cm高度上取水样，采用光电测沙仪和比重瓶分别测定浑水体含沙浓度。选取航道中的F3泥样作为此次沉降的研究对象，总共进行了9组不同初始含沙浓度 ($S_0=0.42 \sim 3.37 \text{ kg/m}^3$) 的试验，试验水温在7°C ~ 9°C间变化。试验结果表明，随着含沙量增大，中值沉速会随之增大，但当含沙量大于1.82 kg/m^3 时，中值沉速变化不大，多在0.024 ~ 0.030 cm/s。

3.3 流变特性试验

流变特性试验采用上海衡平仪器仪表厂生产的NDJ-5S数显黏度计。其工作原理为：由电机经变速带动转子作恒速旋转，当转子在液体中旋转时，液体会产生作用在转子上的黏度力矩，液体的黏度越大，该黏性力矩也越大；反之，液体的黏度越小，该黏性力矩也越小。该作用在转子上的黏性力矩由传感器检测出来，经计算机处理后得出被测液体的黏度。

试验对象为航道内的8个取样点(F1 ~ F8)，泥样的中值粒径 d_{50} 在15.49 ~ 18.91 μm ，其中F2样本点最小，F7样本点最大。试验时，选取淤泥样品，采用天然海水，调制成从1.08 ~ 1.35 t/m^3 不同的密度，每个样本进行约15个不同密度的试验，并记录样本温度，根据试验结果点绘黏度与密度的关系曲线图(F2测点曲线图见图6)。

试验表明，当密度较小时，黏度随密度的变化较慢；当密度较大时，黏度随密度的变化较

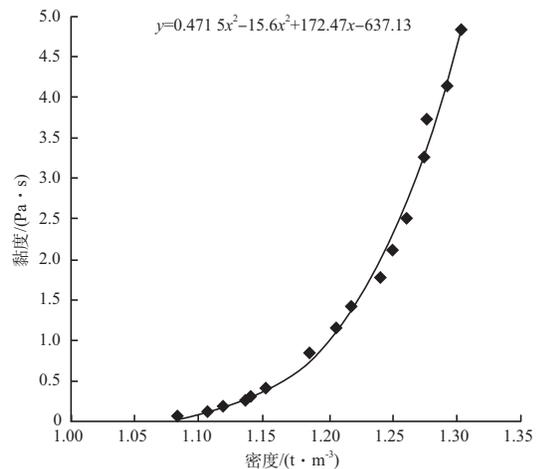


图6 F2测点淤泥密度与黏度的关系

快。对于同一样品的淤泥,在同一密度下,不同转速下的淤泥动力黏度有较大差别,转速越慢,其动力黏度越大。

3.4 适航密度确定

由于船舶在淤泥底面上航行,淤泥的剪切率(以及泥-水界面可能出现的内波阻力)将直接影响航速和船舶的操作行为。对通航水道而言,应选择简易的物理量作为确定适航水深的依据,如上所述,一般以淤泥的适航密度作为度量标准,适航密度需通过淤泥的流变特性试验加以确定,研究表明淤泥在低剪切率向高剪切率转变时的起始刚度和动力黏泥系数随密度变化均有一个明显的转折段,通常以该段转折最突出处所对应的淤泥密度值作为适航密度。

本文试图以黏度-密度关系曲线的斜率变化来确定转折点。

为确定黏度-密度关系曲线的斜率,首先要确定黏度-密度关系的曲线方程。经试配,三次多项式的曲线方程与试验的点子非常吻合,以F2泥样的曲线方程为例:

$$\eta=0.472\rho^3-15.6\rho^2+172.48\rho-637.13 \quad (1)$$

式中: η 为淤泥的动力黏度; ρ 为淤泥的密度。

可以解得: $\rho_{f_1=6}=1.166 \text{ t/m}^3$ 。

航道中8个样本点黏度曲线中斜率为1时的密度在1.160~1.198 t/m^3 变化,平均为1.174 t/m^3 。根据对洋山港区航道淤泥颗粒特征、沉降特征、密实特征的分析,以本次航道黏度特征的试验为基础,结合已有研究成果,考虑到浮泥粒径较淤泥要细些,因此以航道中较细的淤泥样本F2作为适航水深初选值,即1.166 t/m^3 作为适航密度。

4 应用实例

4.1 SILAS^[8]

SILAS测量系统是荷兰SILAS公司的专利产品,目前在荷兰、法国等国家得到了很好的应用,为航道、港口等部门解决适航水深问题提供了有力的工具。该系统利用测深仪向泥层发射低频信号,声波穿透水、泥交界面至未开挖的原土层,能够连续不断采集到淤泥层各界面上的反射

声波强度,生成淤泥层表面、适航厚度界面、开挖层界面的可视图像(图7),并能够结合流变特性等试验结果,得到实用的适航水深图。

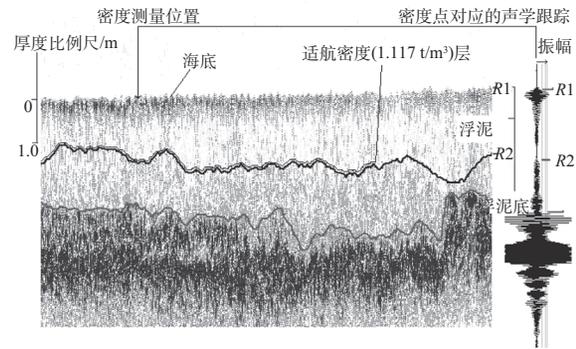


图7 与适航密度对应的连续界面

一套完整的SILAS走航式适航水深测量系统由以下几部分组成(图8):①低频测深仪(不高于24 kHz);②带A/D转换卡的PC计算机;③STEMA公司SILAS数字化声学数据采集及处理软件;④单点密度标定设备。

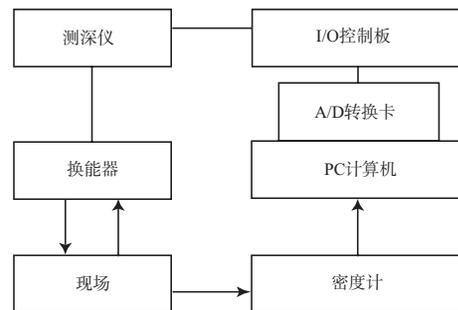


图8 系统结构

4.2 适航水深测量

2007年10月洋山港进港外航道发现浮泥存在,使用SILAS现场采集资料并在每个区域选取2~3个代表点位进行密度垂线测量。

测量系统包括:1)320M测深仪;2)Densitune音叉密度计(图9);3)SILAS走航式适航水深测量系统;4)RBN-DGPS定位仪;5)抓斗式取泥器;6)电子天平。

将事先率定好的反射波强度与淤泥密度的关系输入处理系统,即可确定出不同淤泥密度界面的位置。图10为SILAS处理图像,显示了淤泥层表



图9 Densitune音叉式振动密度计

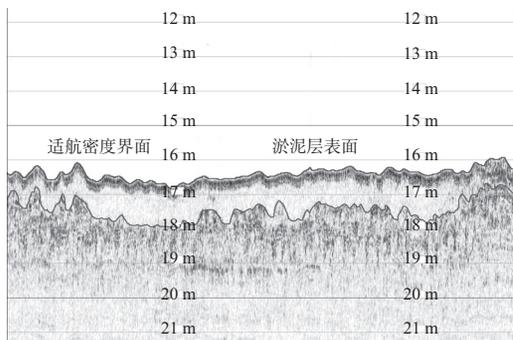


图10 SILAS处理图像

面、适航密度界面（淤泥密度 1.166 t/m^3 ）等可视图像。

2007年“罗莎”台风期挖槽平均淤浅约0.5 m，其中主航道W17+000 ~ W23+000平均淤积厚度0.9 m，局部区域W19+000 ~ W22+000中部淤积近1.5 m。通过对主航道W17+000 ~ W23+000区域适航水深测量，发现可利用适航深度约1 m。浮泥在疏浚以及水流作用下20 d后消散，进一步验证了适航水深的利用周期及价值。

5 结语

通过对洋山深水港区进港外航道及其附近浅滩底质及浮泥样品的密度、盐度、颗分分析，并进行航道沉积物的沉降特性试验、流变特性试验以及泥沙起动试验等内容研究，提出了洋山港区航道的适航密度基准为 1.166 t/m^3 ，并应用SILAS走航式适航水深测量系统成功获得了适航水深测

量成果，在淤泥质港口的水深维护应用中具有较好的推广价值。

洋山深水港区进港外航道台风期适航水深适航密度的确定，为适航水深测量提供了依据，将适航水深用于航道运行的管理，一方面可适当增大航道的通航能力；另一方面，可有效降低疏浚施工的工作量，大大节省能耗的同时，或有效降低疏浚对环境的扰动与破坏。随着我国航运经济快速发展，通航里程越来越长，如果能将该项目研究成果推广到其它航道，每年可增加的水上航运能力均有较大的增加，大大降低商船与疏浚船舶的能源消耗；疏浚施工量的减少，也是对自然环境的间接保护，隐含的经济效益与社会效益都非常可观。该项目研究方式、研究方法、研究成果在淤泥质港口的深水维护市场上具有较大的推广价值。

同时，为充分掌握港口的泥沙回淤和密度变化规律，建议应加强港口回淤监测，进一步探求港口泥沙回淤的时空分布规律。

参考文献:

- [1] 张志林, 朱巧云, 陈建民, 等. 崎岖列岛堵汊工程对洋山深水港区冲淤影响分析[J]. 长江科学院院报, 2010(12): 9-15, 20.
- [2] 赵庆英, 陈荣华, 王小波, 等. 洋山港内及航道水域沉积环境分析[J]. 海洋工程, 2005(2): 77 - 81.
- [3] 阎新兴. 上海洋山港区的自然条件及泥沙来源分析[J]. 水道港口, 2000(3): 33 - 36.
- [4] 左书华, 李蓓, 杨华. 洋山港建设时期海域通道冲淤变化特征分析[J]. 水道港口, 2009(1):14 - 19.
- [5] JTJ/T 325—2006 淤泥质海港适航水深应用技术规范[S].
- [6] 黄建维. 海岸与河口黏性泥沙运动规律的研究和应用[M].北京:海洋出版社, 2008: 2-5.
- [7] Laughlin M, Jr R T. The settling properties of suspensions[J]. J Hydraul Div Amer Soc Civil Eng Proc, 1959, 85 : 9-41.
- [8] 焦永强, 万军. SILAS测量新技术在长江口深水航道工程中的应用[C]//第三届长三角科技论坛(测绘分论坛)暨'2006江苏省测绘学术年会论文集. 南京: 江苏省测绘学会, 2006: 25-28.

(本文编辑 武亚庆)