

日照港西部海域海底地形与表层沉积特征^{*}江 飞^{1,2}, 李安龙^{1,2*}, 庄振业^{1,2}

(1. 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003)

摘 要:利用单波束测深仪和蚌式取样器进行了日照石臼港扩建码头西侧约 50 km² 海域 1:2 000~1:10 000 的水深地形测绘和底质分析工作。调查结果表明,日照港西部海域可分 4 个水深区,其地形和沉积特征如下:1)航道区,浅水航道区等深线平行于码头岸线,水深>11 m,经过疏浚已形成向南倾斜的四级阶梯地形,疏浚中心处水深 24 m。航道区底质以分选中等的砾砂为主;2)港池区,水深<6 m,等深线与港池岸线平行,水深向南渐增,海底地形平坦,坡降比 3‰。底质以分选较好的粉砂和砂质粉砂为主,近岸有少量分选较差的泥质砂质砾;3)涛雒-付疃河口区,水下三角洲地形明显,5 m 以浅等深线呈弧形向东南方向凸出,坡降比最大可达 14.2‰,底质类型为分选极好的砂和粉砂质砂;4)浅海区,海底地形平坦,平均坡降比 1.9‰,6~10 m 等深线呈 NE-SW 向平行向外海增大,近南扩码头端向东偏转,底质类型为分选好的砂质粉砂和粉砂,并呈平行于海岸线向深水区呈粗-细-粗的带状分布。底质类型分布与水深条件基本吻合,但深水区出现的底质粗化现象,分析认为可能与南扩码头的潮流作用有关,海底沉积物呈向南运移趋势。

关键词:日照港西部海域;海底地形;沉积特征

中图分类号: P736

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2016.03.004

日照石臼港位于山东半岛南翼,北邻青岛董家口港,南毗岚山港,港阔水深,不冻不淤,是我国新兴的天然深水大港,已成为新欧亚大陆桥东方桥头堡和国家“一带一路”战略构想的重要战略支点^[1]。随着现代物流业和航运业的快速发展,日照港货物吞吐量的日益增加和货种结构不断调整,现有港口功能已不能满足城市发展和结构优化的需要,制约着港口的发展。因此在新的规划中,建设“南散北集、港城协调、集约发展、绿色高效”的新型现代化港区,设计现有集装箱泊位以南土地用于石臼港新泊位的建设。2015 年一期新泊位建成后,其邻近海域的水文特征、地质、地貌等多项条件已发生很大变化,2010 年以前的海域已围成陆。为此,我们对日照石臼港南扩码头竣工后能够影响其功能发挥的西部海域进行了 1:2 000~1:10 000 的单波束水深测量和底质取样调查,根据调查资料探讨

^{*} 收稿日期:2016-04-27

资助项目:福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室基金项目——人工填海对下游海滩的环境影响研究 (CIMTS-201501)

作者简介:江 飞(1990-),男,硕士研究生,主要从事海洋工程地质方面研究. E-mail:545246018@qq.com

^{*} 通讯作者:李安龙(1972-),男,博士,副教授,主要从事海洋工程地质和灾害地质方面研究. E-mail: anlongli@ouc.edu.cn

(陈 靖 编辑)

了日照港西部海域海底地形和沉积物特征。

1 研究区概况

研究区($119^{\circ}24'21''\sim 119^{\circ}31'46''\text{E}$, $35^{\circ}15'46''\sim 35^{\circ}20'15''\text{N}$)位于日照石臼港与涛雒河口之间的近岸海域(图 1),海域面积约 50 km^2 ,水深为 $0\sim 20\text{ m}$,由西向东逐渐变深,海底地形自西北向东南呈倾斜地势—东部和南部较低、西北部和西部较高。研究海域波浪类型是以风浪为主的混合浪。常风向为 N 向,常浪向为 E 向^[2],潮汐性质分别属规则半日潮和不规则半日潮。受地形影响,东部和南部海域,潮流流速大,大致在 $1.0\sim 1.9\text{ m/s}$;中部海域潮流情况复杂,潮流流速最大约为 0.4 m/s ^[3]。研究区西侧有付疃河和涛雒河注入,根据日照海洋站记载,付疃河年均径流量为 $25.3\times 10^5\text{ m}^3$,年均输沙量 $1.87\times 10^4\text{ t}$,涛雒河年均径流量约为 $20.2\times 10^4\text{ m}^3$,年均输沙量约为 $2.54\times 10^3\text{ t}$ ^[4],由于河流泥沙的输入,河口地形受河流作用明显。

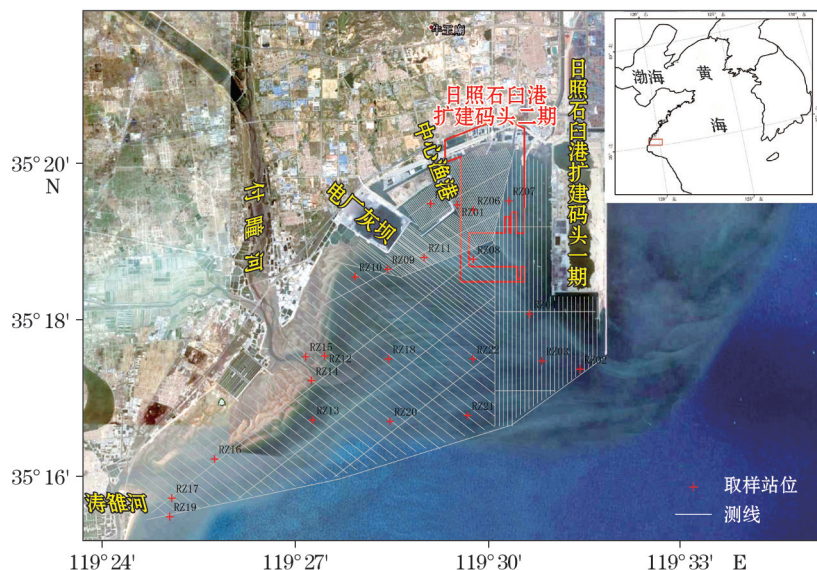


图 1 研究区位置、水深测线布设及底质取样站位图

Fig. 1 Locations of the study area, the layout of the bathymetric survey line and the stations for bottom sediment sampling

研究区大地位置位于沂沭断裂带中部,岸线方向受青岛-海阳断裂构造线控制,呈 NNE—SSW 走向^[5]。受构造运动和人为作用的影响,研究区海岸类型为河口三角洲突滩海岸和人工海岸。港区近岸沉积物以泥、砂质泥和砂为主,并伴随有大量钙质结核出现,物源主要为河流入海携带和海岸侵蚀物质以及残留沉积物质^[6]。

2 数据获取与处理方法

2015-10-02-21,中国海洋大学进行了日照石臼港西部海域海底地形和底质调查。研究海域位于日照石臼港扩建码头西侧,近岸以电厂灰坝南为界,其西侧为付疃-涛雒河

口三角洲区,东侧为渔港和石臼港港池区。码头南端西为航道区,其他海域为正常浅海区。本次水深调查采用广州中海达仪器有限公司研制的 HD-370 型数字变频单波束测深仪,定位采用 S35 差分定位系统,导航为测深仪自带中海达导航软件。坐标系采用 WGS84 坐标系,地图投影采用高斯-克吕格投影,3°分带,水深基准面采用国家 85 高程基准面。测深线布设港池区按 1:2 000,其他区域按 1:10 000 进行(图 1)。内业整理则是对单波束测得的高精度水深数据进行汇总核对后,首先应用中海达软件对数据进行回放,修正去噪和剔除假信息,再进行声速改正和潮位改正,得到高精度水深值,最后再通过 Surfer、AutoCAD 和 ArcGIS 等绘图软件将水深数据转绘成海底地形图和等深线图。表层底质取样采用蚌式抓斗,此次调查获得沉积物样品 22 个(图 1),粒度分析采用筛分法和移液法相结合的方法。沉积物粒度参数采用福克-沃德公式计算,命名采用福克-沃德三角分类图(图 4),对于含砾土使用 A 模板,细粒土采用 B 模板。沉积物类型分布图、粒度参数等值线图等图形均在 ArcGIS 平台和 Surfer 平台下完成。

3 调查结果与分析

3.1 海底地形特征

测深结果表明,测区水深 0~24 m,等深线基本与未修建新码头的自然岸线平行。水深变化较大的区域出现在海陆交汇地带和新建码头的航道疏浚区,海底坡度较大,其余区域海底平坦,平均坡度 0.1°。根据测量结果,可将测区海域分成 4 个区:

1)航道区:日照石臼港扩建大码头航道浅水区边缘陡峭,坡度直立,等深线平行于码头岸线,自北向南已形成约 500 m 宽呈向南倾斜的四级阶梯地形(图 2),其中陡坎地形分别出现在水深 8.0~11.0 m,12~14.0 m,17.0~19.0 m,20.0~22.0 m 之间,其他区域为较为平坦的台地。航道深水区疏浚中心水深 24 m,等深线围绕中心呈半椭圆形,开口向南,口门水深已达 23 m(图 3)。

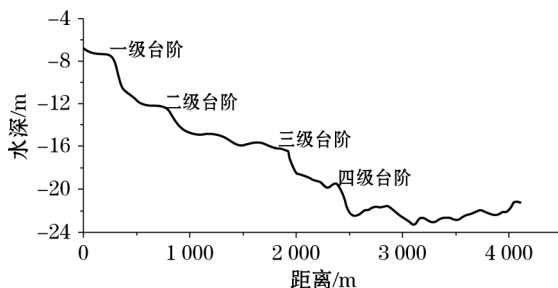


图 2 航道中轴线的水深剖面图

Fig. 2 Water depth profile of axis of channel

2)电厂灰坝-日照石臼港拟扩建码头二期港池区,码头周围海域低潮时池底露出水面,进港渔船需乘进港。等深线与港池岸线平行,水深向南渐增,海底地形平坦,坡降比 3‰。中心渔港内部海底地形平坦,水深为 4.0~6.0 m,等深线呈 NE—SW 向平行于渔港防波堤,在中心渔港东南侧为平行于防波堤,深度为 5.0~6.0 m,宽 240 m 的进港航道。

3) 涛雒-付疃河口区,水下三角洲地形明显,5 m 以浅等深线呈弧形向东南方向凸出。由于涛雒河和付疃河搬运的大量物质堆积在河口,使涛雒-付疃河河口三角洲外缘界线呈明显的扇形向浅海方向突出 0.5~1.5 km。扇顶位于涛雒-付疃河河口中间,指向东南,扇缘东侧和西侧向陆缩进,西扇面积大于东扇。而 0~5 m 等深线之间地带构成水下三角洲前缘斜坡区,坡度在付疃河口区最陡(图 4),坡降比为 8.9‰~14.2‰。扇东侧水下斜坡区平均坡降比为 3.5‰,扇西侧水下斜坡区平均坡降比为 6.1‰。

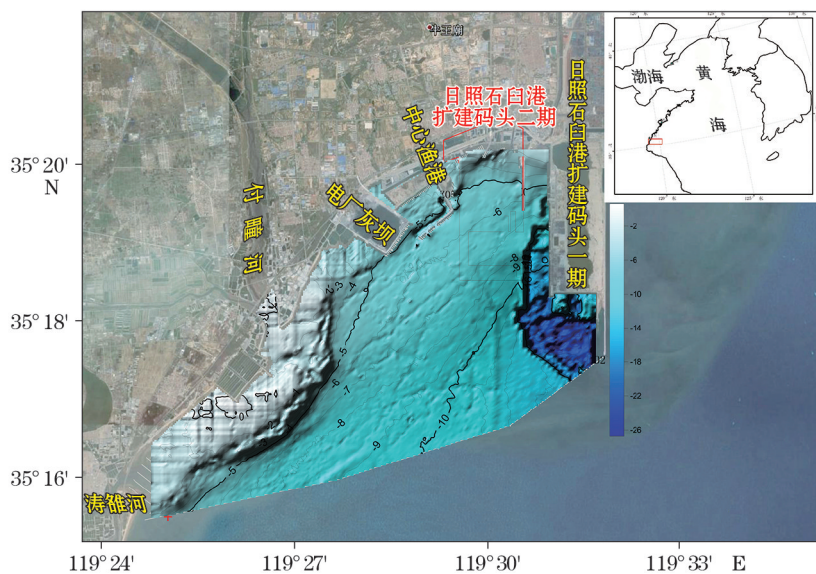


图 3 研究区水深地形图

Fig. 3 Bathymorphological map of the study area

4) 浅海区,位于河口区、电厂灰坝-日照石臼港和航道以外的区域,6~10 m 等深线呈 NE-SW 向平行向外海增大,10 m 以深等深线向东偏转。此区海底地形平坦(图 4),平均坡降比 1.9‰。

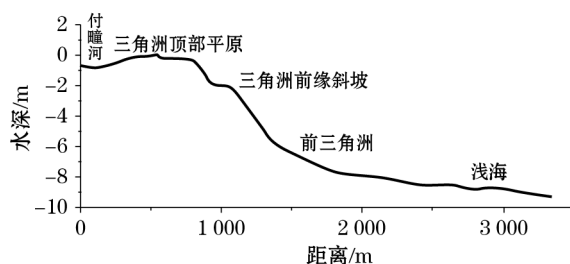


图 4 付疃河口三角洲的典型剖面图

Fig. 4 Typical water depth profile of Futuan estuarine delta

3.2 沉积物类型及分布

将所有粒度分析成果投影到沉积物粒度三角分类图(图 5)中,得到研究区底质类型,然后在 ArcGIS 中勾绘底质类型的平面分布图(图 6)。由图 3 可知,调查区底质类型共有

10 种类型:泥质砂质砾(msG)、砾质砂(gS)、含砾砂((g)S)、含砾泥质砂((g)mS)、砂(S)、粉砂质砂(zS)、砾质泥质砂(gmS)、泥质砂(mS)、砂质粉砂(sZ)和粉砂(Z)。

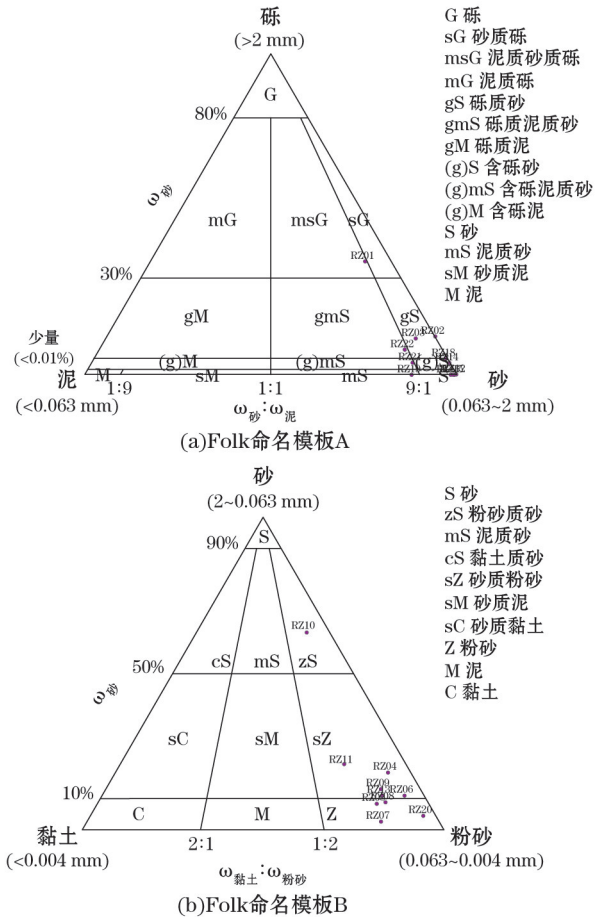


图5 研究区底质分类图

Fig. 5 Classification of the bottom sediments in the study area

研究区表层沉积物特征分布(图6)如下:

1)泥质砂质砾(msG):分布于中心渔港外西侧防波堤附近,其中砾石组分含量36%,砂粒组分含量57%,粉砂含量7%。中值粒径1.43 mm,为本地区最粗的沉积物类型,分选系数1.26,分选差,这可能与防波堤处波浪作用强劲但潮流作用微弱有关。

2)砾质砂(gS):分布在一期码头南端正在疏浚的海域,其中砂粒组分超过80%,砾石组分含量在10%左右,没有粘粒组分,分选系数0.71~0.73,分选中等,偏态正偏,峰态尖锐,说明该区经疏浚波扬后底质受到了码头南端的强绕流冲刷,细粒组分被冲刷带走,留下较粗的物质组分。

3)含砾砂((g)S):分布在付疃河口区,砂粒含量超过90%,大部分为粗砂粒级,中值粒径0.54 mm,分选系数0.38,分选良好,正偏,峰态尖锐,说明该区波浪和潮流作用较强。

4)含砾泥质砂((g)mS)和砾质泥质砂(gmS):分布在大码头南端的疏浚区西侧海域,砂粒组分 86%,砾石组分 3.8%,粉粒组分 10.2%。与码头南端沉积物相比,细粒成分有所增加。

5)砂(S):分布在付疃河口三角洲南北两侧海岸区,砂粒组分含量超过 98%,几乎为单一组分,分选良好,峰态尖锐,可能与海岸带波浪作用强劲有关。

6)粉砂质砂(zS):分布在付疃河口北侧-电厂灰坝海岸区,其中砂粒 63%,粉砂 30%,粘粒 7%,分选较好,正偏,峰态平坦。该区为灰坝西侧的波影区,水动力较弱,所以在底质中出现了黏粒组分。

7)泥质砂(mS):分布在涛雒河口水下三角洲南侧扇缘,其中细砂组分约 88%,粉粒组分约 12%,分选极好,这可能与涛雒河的粗粒物质大部分沉积在河口海岸附近,而细粒组分与沿岸流的作用下产生了向南方向的搬运有关。

8)砂质粉砂(sZ):与等深线平行且呈条带状分布在本区浅海平原区,为本区分布最广的沉积物类型。其中所有样品的粉砂组分都超过 60%,砂粒 10%~20%,出现了较多的黏粒组分,在 5%~17%之间。分选良好,峰态尖锐,属正常的浅海沉积。

9)粉砂(Z):与等深线平行且呈条带状分布在研究区中间地带,粉粒组分超过 77%,砂粒组分不到 10%,样品中出现了较多的黏粒组分,在 4%~16%。分选良好,峰态尖锐,属正常的浅海沉积。

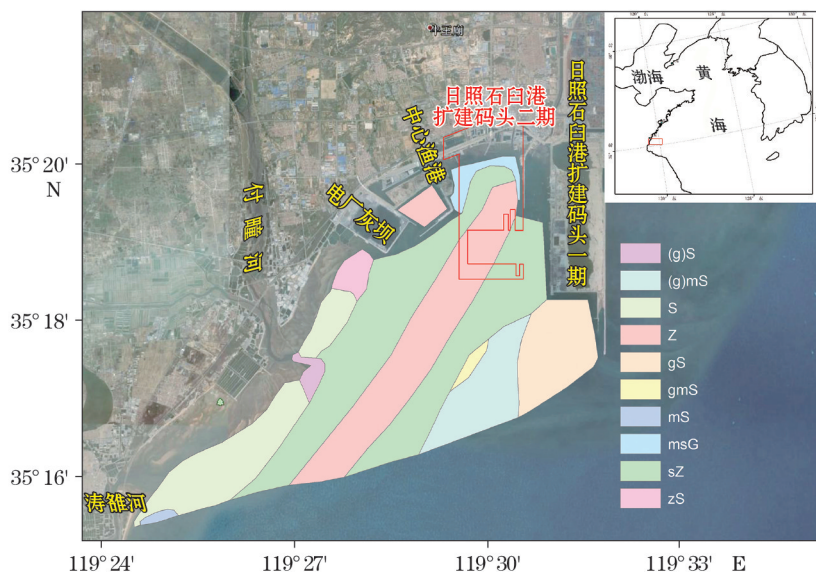


图 6 研究区沉积物类型分布

Fig. 6 Distribution of the sediment types in the study area

3.3 表层沉积特征与物源分析

3.3.1 中值粒径(D_{50})和平均粒径(M_z)

沉积物粒度的主要特征是中值粒径(D_{50})和平均粒径(M_z),其值的大小代表了水动力条件平均动能的强弱。水动力较强时,粗粒物发生沉积,细粒物被继续搬运,而在弱水

动力环境下正好相反。

由图7可知,中值粒径为0.15~0.64 mm,平均粒径为0.10~0.91 mm。粗粒部分主要分布在付疃河口和石臼港大码头南端的疏浚区,沉积物类型为含砾砂和砾质砂。在中心渔港外防波堤附近的少量沉积物为研究区发现的最粗物质,主要类型为泥质砂质砾,中值粒径为1.43 mm,平均粒径为1.55 mm。从总体上看,平均粒径和中值粒径分布从西向东具有大-小-大的条带状格局分布规律,沉积物也相应的具有粗-细-粗的条带状分布特征。按照沉积物机械分异原理,正常浅海,水深越大,沉积物应越细,但研究区在大码头端西侧深水区出现底质粗化现象。从谷歌影像上悬沙场的浓度分布(图8)来看,一期码头修建后出现明显的挑流作用,海底沉积物出现向西运移的趋势;本区常浪向为东向浪,码头端部形成海岬,导致该区波浪辐聚,波高增大,掀沙作用增强,底质粗化是在强劲的水动力作用下再分选的结果。

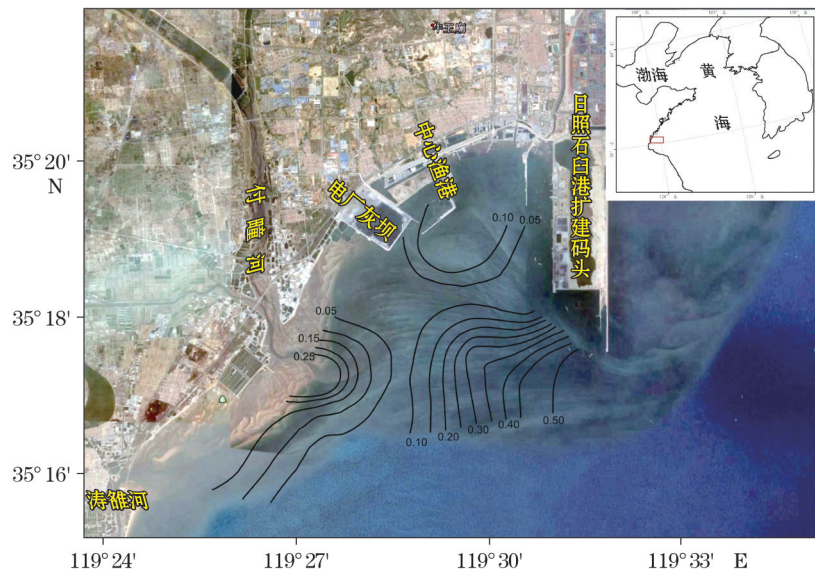


图7 研究区沉积物中值粒径(D_{50})(mm)分布

Fig. 7 Median diameter (D_{50})(mm) of the sediments in the study area

3.3.2 分选系数(σ_1)

分选系数(σ_1)指示了底质粒度的分选情况(即颗粒大小的均匀性)和水动力环境的波动情况;其值越小,分选越好,主粒级百分含量就越高,对应的水动力环境也就更稳定;反之,分选就差,水动力环境不稳定^[7]。

本研究区取得的沉积物分选系数分布如图8所示,除中心渔港防波堤后沉积物分选系数大于1,沉积物分选较差;付疃河口区和疏浚区沉积物分选系数为0.46~0.73,分选好。而付疃河口三角洲外到疏浚区之间的平坦海底,沉积物分选系数小于0.35,分选极好,说明此区海底沉积物已经过了较长时间的水动力分选,海底比较稳定。但码头西侧沉积物分选系数等值线出现与码头绕流相对应的分布现象,越靠近大码头南端,沉积物分选越差,这是与码头修建后,沿岸流绕过码头端辐散导致沉积物出现沿水流路径的重新分选。

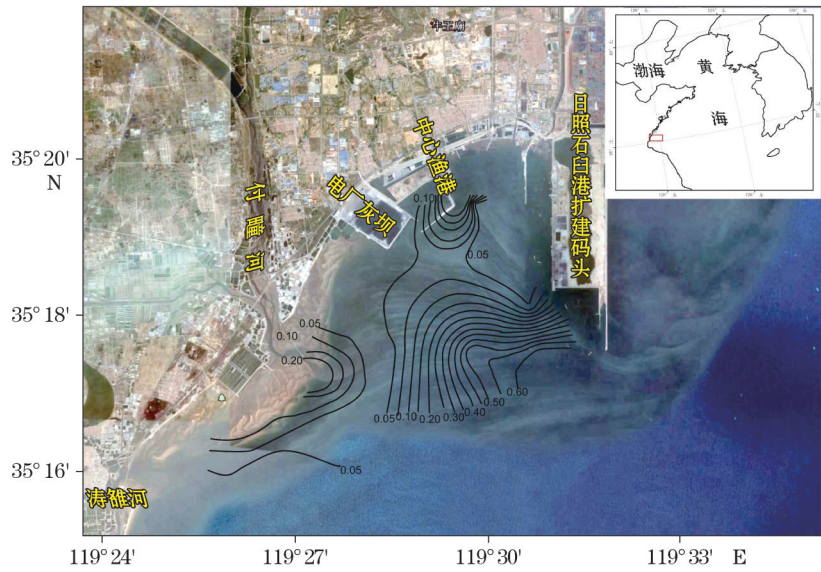


图 8 研究区沉积物分选系数(σ_i)分布

Fig. 8 Sorting coefficient (σ_i) of the sediments in the study area

3.3.3 偏态(S_{Ki})

偏态可判别粒度组分分布的对称性,反映了沉积过程中能量的变异。负值代表沉积物粒度分布于细端;正值代表沉积物粒度分布于粗端部分。研究偏态对了解沉积物的成因有一定的作用^[8]。

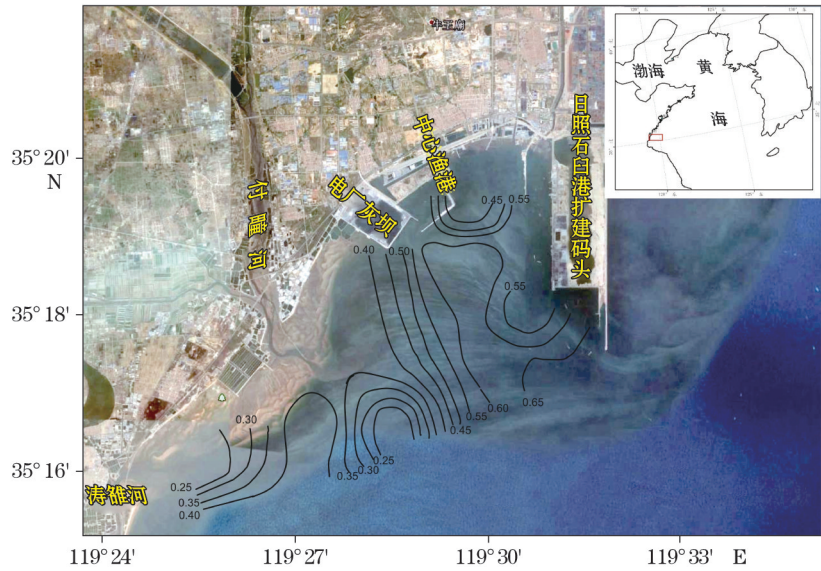


图 9 研究区表层沉积物偏态(S_{Ki})分布

Fig. 9 Skewness (S_{Ki}) of the surface sediment in the study area

本研究区获得的沉积物偏态分布如图9所示。由图9可知,本区沉积物偏态均大于0,表现为正偏。除个别站位偏态值小于0.3外,大部分值在0.3~0.6,表明粒度频率曲线形状不对称,主要粒级(主峰)偏于粗粒一侧,细粒一侧有一低的尾部,沉积物以粗组分为主,只含少量细组分,所以说明研究区海域水动力总体较强,沉积物中可能接受了其他地方来源的细粒沉积物,航道疏浚区内可能接受更多的其他地方带来的沉积物。

3.3.4 峰态(Kg)

峰态(Kg)是用来度量粒度分布曲线两极端分选与中央部分分选的比率,可以反映出分布曲线的峰凸程度。峰态是寻找双峰曲线的重要线索。如果峰态值很小,代表相应沉积物没有经过改造作用就直接进入了沉积环境,且新的沉积环境对它的改造作用也十分有限,几种物质直接混杂在了一起,导致分布曲线呈宽峰、多峰或鞍状分布^[9]。

本研究区获得的沉积物峰态分布如图8所示。由图8可知,本区沉积物峰态值均为1.0~3.0,高值区主要集中在付疃河河口和向海延伸区域。峰态尖锐,属不正常的偏态和峰态,其值的出现说明沉积物是双峰或多峰的物源的混合沉积物,说明现在本区沉积物是多物源供应物,既有河流来沙,也有沿岸泥沙经过大码头绕流后在本区沉积。

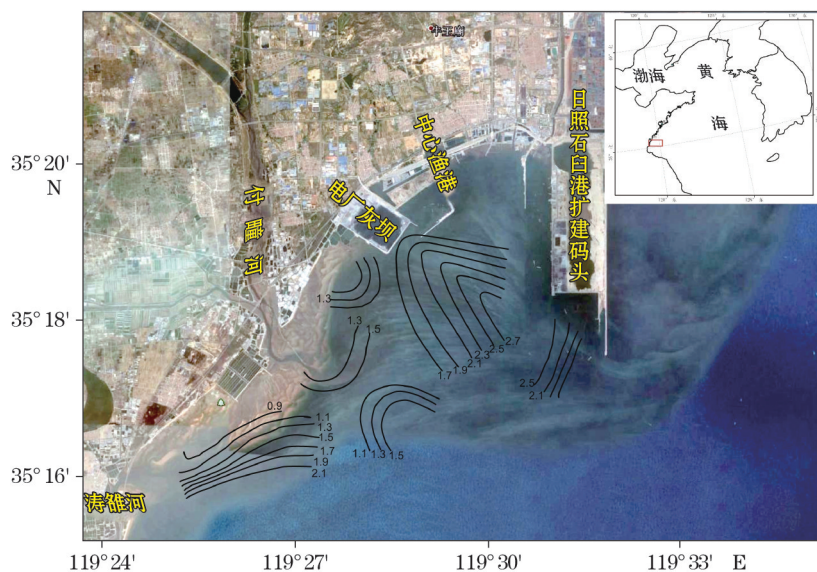


图10 研究区表层沉积物峰态(Kg)分布

Fig. 10 Kurtosis(Kg) of the surface sediment in the study area

4 结论

根据以上分析得出以下几点结论:

1)日照港西部海域水深为0~24 m,大于15 m水深的区域主要出现在疏浚区,其余测区内等深线呈NE—SW向与未建码头时的岸线平行,水深向海逐渐增加。受新建码头和航道疏浚的影响,等深线出现近南扩码头端向东偏转的现象。

2)研究区底质主要 10 种沉积物组成,且与等深线平行呈条带状分布着砂质粉砂-粉砂-砂质粉砂-含砾砂-砾质砂等沉积物类型。水深浅物质粗,分选良好;水深增大,沉积物逐渐变细,分选良好。深水区受人工疏浚和新建码头的影响,出现了沉积物粗化现象。

3)整个研究区底质沉积特征与水深条件基本吻合,但人类工程活动区沉积物参数特征分异明显,浅海深水区出现底质粗化现象可能与南扩码头的挑流作用有关,海底沉积物呈向南运移趋势。

参考文献:

- [1] 晏洋. 基于通航安全分析的日照港石臼港区防波堤工程优化方案研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009.
- [2] 谷洪钦,卢晓东. 日照发电厂水文气象勘测概述[J]. 山东电力技术,2002,4(1):27-29.
- [3] 杨彩云,刘桂海. 日照港石臼港区深水航道改扩建工程乘潮水位研究[J]. 港工技术,2015,52(2):20-22.
- [4] 侯国本,李吉士,丁东,等. 日照港群[M]. 北京:海洋出版社,1996.
- [5] 褚智慧. 日照市海滩沉积地貌及质量评价[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
- [6] 宋红瑛,刘金庆,印萍,等. 日照近海表层沉积物粒度特征与沉积环境[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2016,46(3):96-104.
- [7] 韩华玲,陈静,孙千里,等. 埃及 Faiyum 盆地沉积物中粒度和磁化率对风沙活动的指示意义[J]. 湖泊科学,2011,23(2):303-310.
- [8] 董延钰,金芳,黄俊华. 鄱阳湖沉积物粒度特征及其对形成演变过程的示踪意义[J]. 地质科技情报,2011,30(02):57-62.
- [9] 黄银洲. 鄂尔多斯高原近 2000 年沙漠化过程与成因研究[D]. 兰州:兰州大学,2009.

Seafloor Topography and Surface Sediment Characteristics in the Western Sea Area of the Rizhao Port

JIANG Fei^{1,2}, LI An-long^{1,2}, ZHUANG Zhen-ye^{1,2}

(1. Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education,
Qingdao 266003, China;

2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The bathymetric and bottom sediment data are of great significance for port channels, anchorage planning and environmental assessment after the port construction. However, there is a lack of such data for the southward-expanded waters of the Rizhao Port. In order to provide helpful suggestions for the rational layout in the southward-expanded waters of the Rizhao Port, bathymetric survey and bottom sediment investigation were carried out in the western 50 km² waters of the southward-expanded sea area of the Rizhao Port by using single beam echo sounding and clam type sediment sampler. The results show that the western sea area of the Rizhao Port can be divided into four water depth zones, in which the seafloor topography and sediment characteristics can be described as the followings: 1) the Channel Zone; the shallow channel zone is about 500 m wide and has a water depth deeper than 11 m. The isobathic lines there are parallel to the dock water front and four grades of stepped topography inclining southward are formed. In the dredging center of deep channel the water depth reaches to 24 m and around the dredging center the isobathic lines show a semielliptical shape with an opening to the south. At the entrance of the opening the water depth is 23 m. The bottom sediments in this zone are dominated by medium sorted gravelly sand; 2) In the Harbor Basin Zone, which includes the nearshore area from the southern Rizhao Port to the ash dam of power plant and is highly concentrated with fishing harbors, the water depth is shallower than 6 m and increases gradually toward the south. The isobathic lines are parallel to the harbor shoreline. The seafloor is even, with a gradient ratio being 3‰. The bottom sediments are dominated by well sorted silt and sandy silt, with small amount of poor sorted muddy and sandy gravel occurring in the nearshore area; 3) In the Estuary Zone from the Taoluo River to the Futuan River, underwater delta topography is evident. The isobathic lines shallower than 5 m show an arc-shape and protrude south-eastward, with the maximal gradient ratio being 14.2‰. The bottom sediments in this zone consist mainly of excellently sorted sand and silty sand; 4) In the Shallow Water Zone, the seafloor is even, with the average gradient ratio being 1.9‰. The 6~10 m isobathic lines extend parallel toward the offshore along the northeastern direction and then deflect eastward near the southward-expanded dock. The bottom sediments are mainly composed of well sorted sandy silt and silt and show a coarse-fine-coarse banded distribution toward the deep waters and parallel to the coastline. The sediment distribution is basically consistent with the water depth conditions. However, the coarsening of sediment in the deep waters may probably be due to the current deflection caused by the southward-expanded dock. The bottom sediments tend to move southward.

Key words: western waters of the Rizhao Port; bathymetric survey; analysis of bottom sediment; seafloor topography; sediment characteristics