

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.03031

东营港海域表层沉积物分布及其运移趋势

周永东, 陈沈良, 谷国传

(华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 根据 2008 年 10 月东营港海域表层沉积物粒度取样, 结合水文观测和相关波浪资料, 通过粒度分析以及粒径趋势矢量和掀沙动力等计算, 探讨了沉积物的分布特征及其运移趋势。研究表明: 东营港海域表层沉积物以黏土质粉砂为主, 由岸向海呈“粗-细-粗-细”的条带状分布, 相应地形成了沿岸最粗、近岸次细、远岸次粗和 offshore 最细的 4 个沉积区, 呈现出沉积物由粗沉积区向细沉积区运移的趋势; 引堤阻隔了两侧潮流运动和波浪传播的连续性, 引起引堤—引桥连接部位水流的辐聚或辐散, 对于来自 NE 向的常强浪, 引堤北侧为迎波区, 南侧为波影区, 致使沿岸和近岸的局部水动力场改变, 从而造成了引堤南北侧沉积物分布和运移的差异。进一步研究显示, 沉积物在总体上呈离岸运移, 与余流呈偏东向的离岸流动基本一致。

关键词: 沉积物; 粒度参数; 运移趋势; 东营港海域

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2009)03-0031-08

沉积物分布特征与水动力变化密切相关, 尤其在细颗粒泥沙海域, 海岸与水下地形的冲淤变化主要取决于水流作用下泥沙的沉降和再悬浮^[1], 加强淤质海域沉积物与水动力关系的研究, 将能更好地认识淤质海岸的冲淤变化和岸滩的演变规律。

东营港自 1984 年建港以来, 先后建设了 1840 m 引堤, 1450 m 南防波堤, 2008 年 7 月又竣工了连接引堤的 7020 m 引桥和海港主体码头等扩建工程。因建港需要, 自 20 世纪 80 年代以来, 先后已有不少学者对东营港海域的气象、水文、地貌和沉积动力等作过深入研究^[2-6], 但是对于一系列工程设施建成后的沉积物分布、运移与水动力关系的研究较少。为探讨东营港扩建后该海域沉积物的分布、起动和运移趋势, 本文主要根据 2008 年 10 月东营港海域大范围表层沉积物取样和水文观测资料, 并结合所收集的相关波浪资料, 进行深入分析, 为东营港海域开发利用提供科学依据。

1 研究区概况

东营港海域位于黄河三角洲的东北部, 地处渤

海湾与莱州湾交汇水域, 为 1972—1976 年黄河自刁口河流行水入海处(图 1)。海岸和水下地形地貌由当年行河入海泥沙堆积而成, 以细颗粒泥沙为主, 岸滩宽阔平缓, 坡度为 0.1%~0.15%。1976 年黄河尾间南徙后, 该海域河流直接供沙断绝, 遭受强烈冲刷, 随着时间推移, 泥沙运动逐渐趋向适应新的水沙环境, 岸滩由强烈蚀退步入了新的平衡剖面发育阶段^[5, 7-9], 随着东营港的扩建, 平衡剖面的塑造仍在持续。

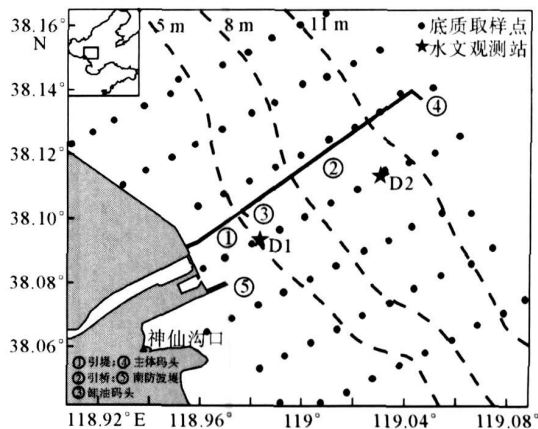


图 1 东营港海域及站位分布

Fig. 1 The Dongying Harbor area and the observation stations

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(200805063); 海洋沉积与环境地质国家重点实验室开放基金(MASEG200608); 河口海岸学国家重点实验室科研业务课题(2008KYYW06)

作者简介: 周永东(1984—), 男, 硕士生, 主要从事河口海岸地貌动力学与工程应用研究, E-mail: dd34520@163.com

收稿日期: 2009-01-21; 改回日期: 2009-04-12. 周立君编辑

东营港海域地处渤海内部, 黄海大浪不易传入, 海浪以当地风生浪为主。根据东营港气象站资料统计, 常风向为 S 向, 次常风向为 ENE 向; 强风向为 NE 向, 次强风向为 ENE 向。浪向与风向基本一

致,常浪向为 NE 向,频率 10.3%,次常浪向为 SE 向,频率为 8%;强浪向为 NE 向,最大波高为 5.2 m。该海域近邻无潮点,属正规日潮海区,潮差较小,平均潮差 0.70 m 左右;潮流属正规半日潮流性质,涨潮流方向为 SE 向,落潮流方向为 NW 向^[10]。

2 资料与方法

2008 年 10 月在东营港海域布设了 7 条采样断面,用帽式采泥器共采集 74 个沉积物样品(图 1)。对获取的样品用 Coulter LS100 粒度分析仪进行粒度分析,按照 Shepard 沉积物分类法进行分类,采用 McManus 公式^[11] 分别计算平均粒径(M_z)、中值粒径(M_d)、分选系数(S_0)、偏态(Sk)及峰态(K_G)5 种粒度参数。在此基础上,应用 Gao-Collins 粒径趋势分析法^[12] 分析每个采样点的沉积物运移趋势,据此绘制了东营港海域沉积物运移趋势图。

为探讨沉积物运移与水动力的关系,在采样期间的 2008 年 10 月 7—8 日于东营港引桥南侧 5 m (D1 测站)和 10 m (D2 测站)水深附近开展了 25 h 同步水文观测,采用声学多普勒流速剖面仪(瑞江 600K 型)获取潮流资料,运用线性插值和矢量合成等方法计算得到 25 h 全潮周期各整点的 6 层(表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层)流速数据,进而对各整点流速进行矢量合成得到各层余流数据,同时收集了中国科学院海洋研究所 1987 年 3 月至 11 月在该海域观测的波浪资料^[13]。依据潮流资料,采用窦国仁泥沙起动公式^[14] 计算沉积物起动流速。依据波浪资料,用佐藤公式^[15] 计算了不同波级下的沉积物全面推移临界水深,确定了不同波级波浪的掀沙范围。继而结合水下地形的冲淤状况,讨论了水动力及工程设施对沉积物分布、起动和运移的影响。

3 结果

3.1 沉积物特征与分布

依据粒度分析,74 个样品的中值粒径(M_d)为 3.23~8.04 Φ ,平均粒径(M_z)为 3.63~8.15 Φ (表 1),且 M_d 的均值比 M_z 的均值小 0.31 Φ 。按照 Shepard 法分类,该海域沉积物以黏土质粉砂为主,74 个样品中,61 个为黏土质粉砂,占样品总数的 82.43%,其余为砂质粉砂、砂-粉砂-黏土、砂、粉砂质黏土和粉砂质砂,依次占样品总数的 6.76%、

5.41%、2.70%、1.35%和 1.35%。

根据 McManus 公式计算的粒度参数分析,分选系数为 1.48~2.43,其中 70.27%分布于分选较差区间(1.00~2.00),其余的均属于分选差的范畴;偏态为 0.11~2.47,其中 60.81%的样品属于正偏,属于近对称和极正偏的分别占 2.7%和 36.49%;峰态为 1.81~3.11,绝大部分属宽平峰态,占样品总数的 91.89%,余者均属很宽的范畴。总体而言,东营港海域沉积物以黏土质粉砂为主,呈现出粒径较细、分选较差、正偏、峰态宽平的特征。

表 1 东营港海域沉积物粒度参数
Table 1 Grain size parameters of sediments
in the Dongying Harbor area

	中值粒径/ Φ	平均粒径/ Φ	分选系数	偏态	峰态
最大值	8.04	8.15	2.43	2.47	3.11
最小值	3.23	3.63	1.48	0.11	1.81
平均值	6.54	6.85	1.87	1.31	2.33

为探讨该海域沉积物各种粒度参数间的相互关系,分别作 M_z - M_d 、 M_z - S_0 、 M_z - Sk 和 M_z - K_G 散点图,并采用线性拟合求出各组的回归方程和相关系数(图 2)。其中, M_z 与 M_d 的相关关系最好($R=0.99$),在 74 个样品中,98.65%的样品呈现出中值粒径粗于平均粒径的特点,这与所有样品偏态为正值是一致的; M_z 与 S_0 的相关关系相对较差($R=-0.90$),呈现出分段的特征,即 $M_z<5\Phi$ 的 4 个样品因其粒径位于极细砂—粗粉砂的范围,比其他样品的分选相对较好, $M_z>5\Phi$ 的样品则表现出粒径变细分选变好的趋势,这与传统的以细砂为临界点,细的部分随着沉积物的变细分选性变差^[16] 的认识有所差异。 M_z 与 Sk 、 M_z 与 K_G 均存在着很好的相关关系,相关系数分别为 -0.94 和 -0.96。由于 M_z 与 M_d 、 S_0 、 Sk 、 K_G 都存在着很好的相关性,则可以认为:在研究区内沉积物各种粒度参数的分布与变化存在着很好的一致性,即呈现出随着粒径变细,分选变好,峰态变窄,偏态变小,趋近对称的变化规律。

图 3 是研究区内 4 种粒度参数的平面分布图,从中可见,平均粒径的分布具有如下特点:(1)沉积物粒径变化呈平行于岸线的条带状分布,由岸向海呈现出沿岸粗、近岸细、远岸粗和外海细的“粗-细-粗-细”的分布规律,总体上表现为向海变细的趋势,5 m 水深以浅的沿岸区和 8~11 m 水深的远岸区沉积物偏粗,5~8 m 水深的近岸区有细颗粒物质分布,11 m 水深以深的外海区沉积物逐渐变细;(2)

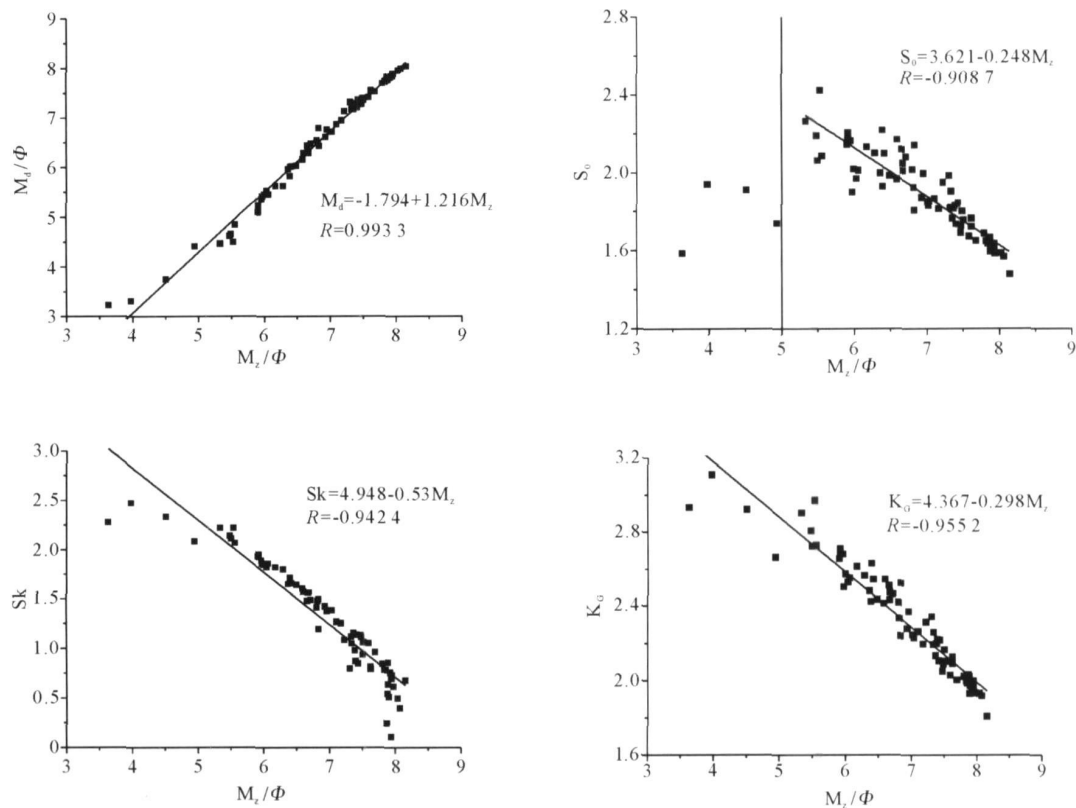


图 2 东营港海域表层沉积物粒度参数散点图

Fig. 2 Scatter diagram of grain size parameters of seafloor surficial sediments in the Dongying Harbor area

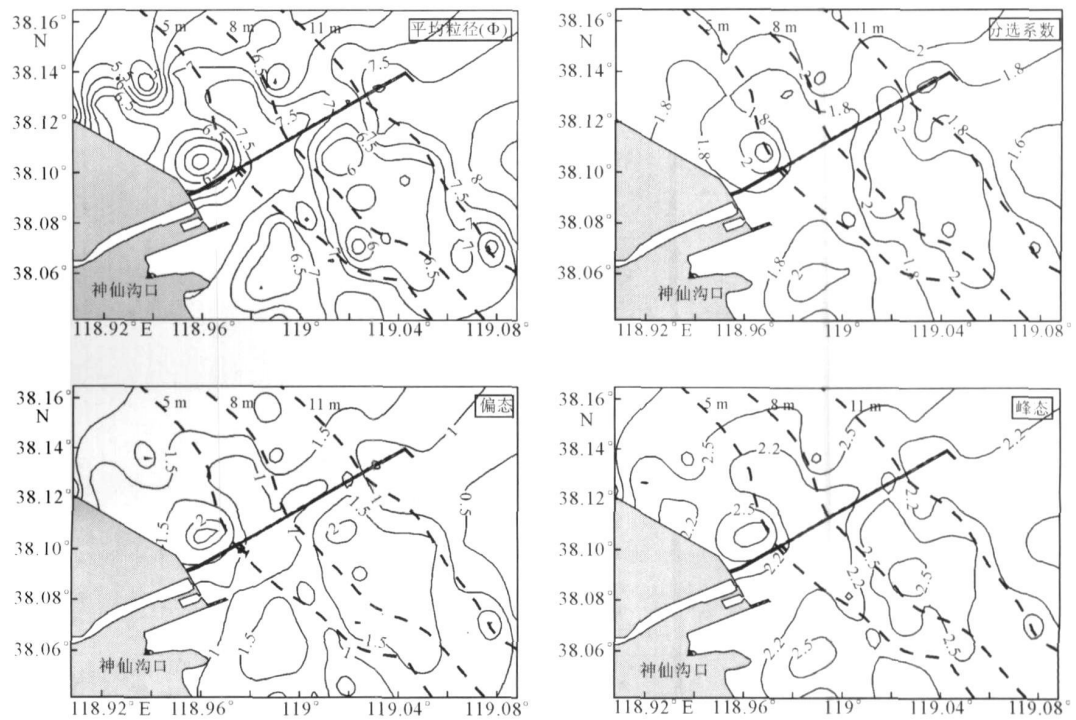


图 3 东营港海域沉积物粒度参数的平面分布

Fig. 3 Distribution of the sediment grain size parameters in the Dongying Harbor area

引堤-引桥南北侧的沉积物分布存在差异, 北侧是东营港海域呈现“粗-细-粗-细”分布的典型区域, 且沿岸区的粗颗粒沉积物比远岸区粗颗粒沉积物粗, 为该海域沉积物最粗($M_z \leq 5.5 \Phi$)的区域, 两个细颗粒沉积区相比, 外海区比近岸区更细。南侧有近岸区的细颗粒沉积物沿引堤延伸至沿岸, 直至废弃的神仙沟口, 致使沿岸的粗颗粒沉积区消失, 神仙沟口以南仍表现为“粗-细-粗-细”的带状分布; 远岸的粗颗粒沉积区向岸扩展, 致使近岸区的细颗粒沉积物带缩狭。由于分选系数、偏态、峰态与平均粒径都有着很好的相关性, 故它们的平面分布均与平均粒径分布存在着很大的相似性, 不再赘述。

3.2 沉积物的起动

研究^[2,9,17]表明: 运动于东营港海域的泥沙受现进行黄河口入海泥沙扩散的影响甚小, 主要是由该海域水下冲刷岸坡和侵蚀平原剥蚀物质的再悬浮所致。下文从波浪掀沙和潮流掀沙两方面讨论水动力对沉积物起动的的作用。

3.2.1 波浪掀沙

据 1987 年 3 月至 11 月波浪资料统计, 得到东营港海域的深水波要素(表 2), 结合该海域采集的 74 个沉积物样品的中值粒径, 按照佐藤公式计算不同波级下的全面推移临界水深:

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.4 \left(\frac{D_{50}}{L_0} \right)^{1/3} \cdot \frac{H_0}{H} \cdot \operatorname{sh} \left(\frac{2\pi h}{L} \right) \quad (1)$$

式中: H_0 、 L_0 为深水波的波高(m)和波长(m); D_{50} 为采样点的泥沙中值粒径(m), h 为全面推移临界水深(m); H 、 L 分别代表 h 处的波高(m)和波长(m)。我们认为在某一采样点, 当某一波级的波浪全面推移临界水深大于或等于该点实际水深时, 则该波级的波浪对该点具有掀沙作用。据此, 可计算得到东营港海域各级波浪的掀沙范围(图 4), 呈现出随着波级增大而逐渐向深水扩展的趋势。

3.2.2 潮流掀沙

实测资料(表 3)表明: 观测期间东营港海域落潮平均流速大于涨潮平均流速, 潮流历时为落潮长于涨潮, 呈现出落潮流占优势的特征。各站的余流

流向, 表、底层均较一致, D1 站为 NE 向, D2 站为 SE 向, 总体上均呈离岸向海流动。

表 2 东营港海域深水波要素(据文献[13])

Table 2 Parameters of the deep water waves in Dongying Harbor area(after reference[13])

<i>H</i> /m	<i>T</i> /s	<i>P</i> /%	<i>H</i> /m	<i>T</i> /s	<i>P</i> /%
0.1	1.7	8.82	2.1	6.5	0.52
0.3	3	25.83	2.3	6.4	1.03
0.5	3.5	25.99	2.5	6.8	1.03
0.7	4	13.28	2.7	6.9	0.46
0.9	4.3	10.48	2.9	6.5	0.11
1.1	4.9	4.35	3.1	5.8	0.17
1.3	5.1	3.13	3.3	5	0.11
1.5	5.2	0.86	3.5	6	0.11
1.7	5.6	2.4	3.7	5.5	0.06
1.9	5.8	1.26			

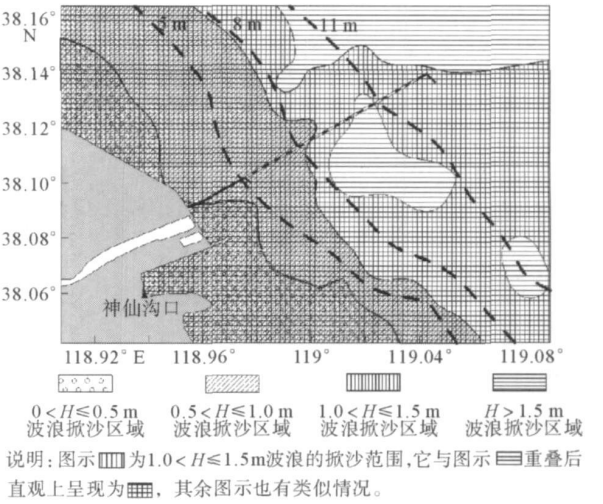


图 4 东营港海域各级波浪的掀沙范围

Fig.4 Areas where waves can start up sediment in the Dongying Harbor area

为探讨潮流能否掀起底沙, 现采用窦国仁泥沙起动公式计算 D1 和 D2 站的沉积物起动流速, 并与实测流速进行对比:

$$\frac{v_E}{g} = \frac{\gamma_s - \gamma_B}{\gamma_B} d \left(6.25 + 41.6 \frac{H}{H_a} \right) + \left(111 + 740 \frac{H}{H_a} \right) \frac{H_a}{d} \delta \quad (2)$$

表 3 东营港海域潮流和余流特征(2008 年 10 月 7—8 日)

Table 3 Characteristics of tidal current and residual current in Dongying Harbor area

测站	涨潮平均流速 /(m/s)	落潮平均流速 /(m/s)	涨潮平均流向 /(°)	落潮平均流向 /(°)	落潮流历时 /h	涨潮流历时 /h	表层余流流速 /(cm/s)	底层余流流速 /(cm/s)	表层余流流向 /(°)	底层余流流向 /(°)
D1	0.37	0.41	174	1	13.98	11.02	10	8	72	59
D2	0.35	0.37	158	331	13.02	12	6	2	127	114

式中, v_E 为垂线平均起动流速 (m/s), g 为重力加速度, γ_s 为泥沙容重 (N/m^3), γ_b 为水的容重 (N/m^3), H 为水深 (m), 取 D1、D2 站的平均水深分别为 6.08 m 和 10.53 m, H_a 为用水柱高度表示的大气压力 (m), δ 为一个水分子厚度 (3×10^{-10} m), d 为泥沙中值粒径 (m), 取 D1、D2 站的沉积物中值粒径分别为 $7.88 \Phi (4.23 \times 10^{-6}$ m) 和 $7.41 \Phi (5.87 \times 10^{-6}$ m), 代入公式 (2) 计算, 求得两站的起动流速 v_E 分别为 1.98 m/s 和 2.12 m/s。这与两站实测垂线平均流速 0.18~0.64 m/s 和 0.15~0.66 m/s (图 5) 相比, 所需的起动流速均大于实测流速, 即沉积物不能起动, 故在通常情况下潮流不能掀起底沙。

3.3 沉积物运移趋势

Gao 和 Collins 在 McLaren 等人的工作基础上提出了一种二维的粒径趋势分析方法, 通过对相邻点的平均粒径、分选系数和偏度大小的比较, 可推断出沉积物的运移趋势。该方法已被广泛地应用于河口、海岸、潮汐汉道、浅海等多种沉积环境的沉积物运移研究, 并通过英国 Christchurch 湾、British Columbia 湾, 法国西南部的潮间带及中国渤海湾曹妃甸等地的应用和验证, 效果均较佳, 也曾 在黄河三角洲的飞雁滩和孤东海域有过相关的应用, 同样取得了较好的效果^[18-21]。

现应用 Gao-Collins 粒径趋势分析法计算, 求得每个采样点的沉积物运移趋势矢量长度及方向, 剔除边界点矢量后绘成图 6。从中可见, 东营港海域的沉积物运移趋势具有如下特征: (1) 在总体上呈现出沉积物由粗颗粒沉积区向细颗粒沉积区运移的趋势, 换言之, 粗沉积区的细物质被运移到细沉积区, 与之响应, 在细沉积区往往形成运移趋势的汇聚区, 如引桥北侧的近岸细沉积区, 在粗沉积区常出现运移趋势的辐散区, 如引桥南侧的远岸粗沉积区; (2) 结合图 3 分析, 两个粗沉积区中沿岸区粗于远岸区,

两个细沉积区也为近岸区粗于外海区, 而引堤南侧的沿岸粗沉积区被近岸细沉积区所占据, 与之响应, 除引堤-引桥南侧的沿岸区和近岸区外, 沉积物多呈离岸运移的趋势, 这与根据实测潮流推算得到的余流呈偏东向离岸流动相一致。

4 讨论

根据各级波浪掀沙范围 (图 4) 和深水波要素 (表 2) 可知, 波高 ≤ 0.5 m 的波浪是该海域常见浪, 频率达到 60.64%, 对应的波浪掀沙范围为 5 m 水深以浅的沿岸区, 波浪多在该区破碎并扰动底部泥沙, 使细颗粒物质不易沉积, 导致沉积物粗化, 形成了沿岸粗颗粒沉积区。结合沉积物运移趋势 (图 6) 分析, 沿岸区引堤北侧的沉积物主要向东离岸运移。

波高 ≤ 1.0 m 的波浪掀沙范围表现为引堤北侧宽, 南侧相对较窄 (图 4), 沉积物分布为北侧粗南侧细 (图 3), 造成这种分布的原因是: 引堤为抛石斜坡堤结构^[17], 对于沿岸泥沙沉积而言, 其作用类似于丁坝; 又因该海域的常浪向和强浪向均为 NE 向, 引堤北侧为迎波区, 常遭受波浪的强烈扰动, 使细颗粒物质被冲刷搬离, 引堤南侧因引堤的隐蔽作用, 常形成波影区而有利于细颗粒物质落淤。此外, 引堤的存在阻隔了呈南北向流动的涨落潮水流, 致使在引堤-引桥连接部的一定范围内, 造成水流辐聚或辐散, 涨潮时引桥北侧水流辐聚, 南侧辐散, 落潮时反之, 这无疑将加强引堤-引桥连接部南北侧以及沿岸区和近岸区的细颗粒物质交换, 从而形成了近岸细颗粒沉积区向南穿过引桥, 朝沿岸扩展, 直伸至废弃的神仙沟口, 导致此处沿岸粗颗粒沉积区消失。上述分析结果与相关研究^[9]得到的引堤北侧海底发生强烈侵蚀和岸滩后退, 引堤南侧则由强烈侵蚀逐渐转变为弱冲弱淤, 以及东营港内航道淤积的事实^[17]是相符的。

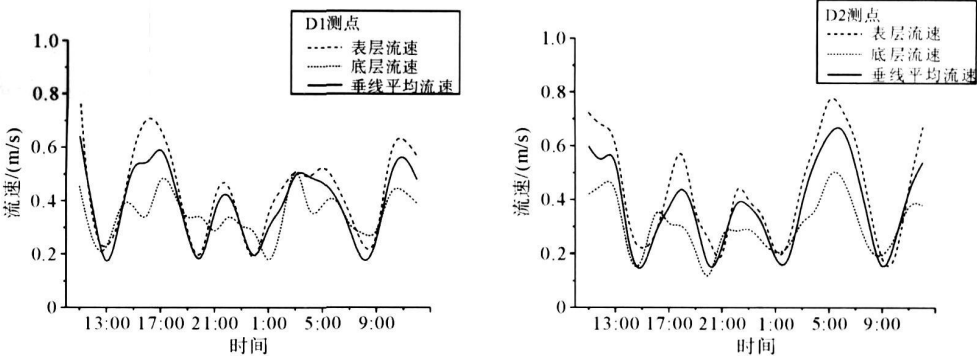


图 5 东营港海域潮流流速过程线

Fig. 5 Tidal current velocity variations in the Dongying Harbor area

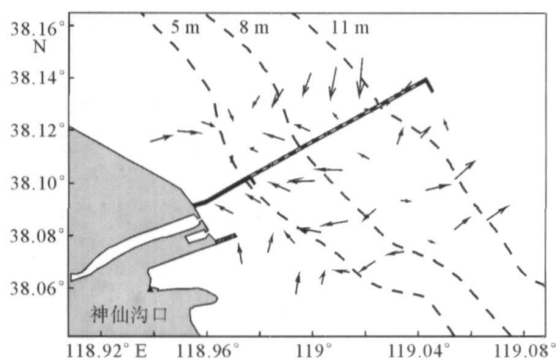


图6 东营港海域沉积物运移趋势

Fig. 6 Sediment transport tendency in the Dongying Harbor area

11 m 水深以深的外海区为细颗粒沉积区, 平均粒径(M_z)等值线多与等深线呈垂直分布, Φ 值由西北向东南增大(图3), 反映出沉积物由西北向东南变细的趋势, 这与整个渤海湾存在着泥沙运动的逆时针环流相吻合。结合波浪掀沙(图4)分析, 波高 > 1.0 m 的大浪才能将该区底沙掀起, 因大浪发生频率低(15.6%), 故该区在一年的大部分时间里都不易受波浪掀沙影响, 以接受由岸向海运移的细颗粒沉积物为主, 从而形成细颗粒物质沉积区。

对于黏土质粉砂海岸, 其表层沉积物分布通常呈现为由岸向海逐渐变细的规律, 与波浪掀沙频率由岸向海逐渐降低相一致, 而东营港海域的沉积物却出现了“粗-细-粗-细”的带状分布, 与常态不同。究其原因, 主要与平衡剖面的中立点位置有关, 据有关研究: 该海域平衡剖面的中立点位于 10 ~ 12 m 水深的深水区^[9], 通常在邻近中立点的向岸部位, 在同强度的波浪作用下易受冲蚀, 使沉积物粗化, 因此导致原本由岸向海逐渐变细的沉积物分布, 出现了沿岸粗、近岸细、远岸粗、外海细的分布。相比较而言, 沿岸粗沉积区的物质比远岸粗沉积区的粗, 近岸细沉积区的物质也比外海细沉积区的粗, 仍隐含着由岸向海变细的分布规律。由此也可认为: “粗-细-粗-细”的分布格局, 是在原本由岸向海沉积物逐渐变细的床面上, 因工程设施引起局部水动力场发生变化, 在重建海滩剖面的过程中, 经风浪改造而成的。

5 结论

(1) 东营港海域共分布有 7 种沉积物类型, 其中主要为黏土质粉砂, 占 82% 以上, 并呈现出粒径较细, 分选较差, 正偏, 峰态宽平的特征; 各种粒度参数

与平均粒径的相关性很高, 它们的平面分布均与平均粒径分布具有很好的一致性, 反映出随着粒径变细, 分选变好, 峰态变窄, 偏态变小, 趋近对称的变化规律。

(2) 表层沉积物分布由岸向海呈现出“粗-细-粗-细”的条带状分布, 与黏土质粉砂海岸由岸向海变细的常态分布有异, 这主要与研究区平衡剖面的中立点位于 10 ~ 12 m 水深的深水区有关, 邻近中立点的向岸部位受到强烈冲蚀, 沉积物粗化而形成了远岸粗沉积区, 从而出现了沿岸最粗、近岸次细、远岸次粗和外海最细的粗细相间的分布格局。

(3) 引堤在一定程度上阻隔了南北两侧潮流运动和波浪传播的连续性, 引起了引堤-引桥连接部位水流的辐聚或辐散, 对于来自 NE 向的常强浪, 北侧形成迎波区, 南侧为波影区, 改变了沿岸和近岸区的局部水动力场, 从而造成了引堤北侧粗、南侧细的沉积物分布差异。

(4) 沉积物具有从粗沉积区向细沉积区运移的趋势, 总体上呈现离岸运移, 与余流偏东向的离岸流动相一致。

参考文献 (References)

- [1] 陈沈良, 李向阳, 俞航, 等. 潮流作用下洋山港水域悬沙和底沙的交换[J]. 海洋学研究, 2008, 26(1): 11-17. [CHEN Shenliang, LI Xiangyang, YU Hang, et al. Exchange between suspended sediments and bed sediments under tidal current action in the Yangshan Harbor waters[J]. Journal of Marine Sciences, 2008, 26(1): 11-17.]
- [2] 耿秀山, 吴世迎. 黄河海港动力地貌条件的初步探讨[J]. 地理学报, 1988, 43(4): 299-310. [GENG Xiushan, WU Shiying. Preliminary approach to the dynamical geomorphical conditions of Huanghe seaport[J]. Acta Geographica Sinica, 1988, 43(4): 299-310.]
- [3] 叶和松, 房宪英, 黄易畅. 黄河海港海域潮流、余流分析[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(2): 31-36. [YE Hesong, FANG Xianying, HUANG Yichang. Analysis of tidal and residual currents in the sea area of Huanghe seaport[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1989, 7(2): 31-36.]
- [4] 姚静娴, 张美芳. 黄河海港气象特征分析[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(3): 60-65. [YAO Jingxian, ZHANG Meifang. Analysis on meteorological characteristics of Huanghe seaport[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1989, 7(3): 60-65.]
- [5] 房宪英, 叶和松. 黄河海港水动力特征与泥沙运动关系探讨: I. 海流与泥沙运动关系[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(3): 66-74. [FANG Xianying, YE Hesong. A study on the relations of hydrodynamic characteristics and sediment transport: I. the relations of current and sediment transport[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1989, 7(3): 66-74.]

anography of Huanghai and Bohai Seas, 1989, 7(3): 66-74.]

[6] 吴秀杰, 田素珍. 黄河口五号桩海域海浪的基本特征[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(3): 37-42. [WU Xiujie, TIAN Suzhen. The basic characteristics of wave in the Yellow River estuary Pile No. 5 sea area[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1989, 7(3): 37-42.]

[7] 王以娇, 张延廷. 黄河海港的风暴潮[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(2): 15-20. [WANG Yijiao, ZHANG Yanting. The storm surge in the Huanghe seaport[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1989, 7(2): 15-20.]

[8] 李培英, 吴世迎, 臧启运, 等. 黄河海港地区潮滩地貌及其侵蚀淤变化[J]. 海洋学报, 1992, 14(6): 74-84. [LI Peiying, WU Shiying, ZANG Qiyun, et al. Tidal flat geomorphology and its erosion and deposition variations in the Yellow River harbor region[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1992, 14(6): 74-84.]

[9] 吴世迎, 申宪忠. 黄河三角洲五号桩海区泥沙冲淤变化的初步研究[J]. 海洋与海岸带开发, 1991, 8(4): 57-63. [WU Shiying, SHEN Xianzhong. A preliminary study on variations in sediment scour and silting in the Yellow River Delta Pile No. 5 sea area[J]. Ocean and Coastal Zone Development, 1991, 8(4): 57-63.]

[10] 臧启运. 黄河三角洲近岸泥沙[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 28-36. [ZANG Qiyun. Sediments in Offshore of the Yellow River Delta[M]. Beijing: China Ocean Press, 1996: 28-36.]

[11] Mcmanus J. Grain Size Determination and Interpretation [M]. Techniques in Sedimentology, Oxford: Backwell, 1988: 63-85.

[12] Gao S, Collins M B. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”[J]. Sedimentary Geology, 1992, 81: 47-60.

[13] 李平, 朱大奎. 波浪在黄河三角洲形成中的作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(2): 39-46. [LI Ping, ZHU Dakui. The role of wave action in the formation of Yellow River Delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1997, 17(2): 39-46.]

[14] 窦国仁. 论泥沙起动流速[J]. 水利学报, 1960(4): 44-60. [DOU Guoren. Incipient motion of coarse and fine sediment [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1960(4): 44-60.]

[15] 佐藤昭二, 田中则男. 波浪作用下水平床面上泥沙运动 [C] // 第九届海岸工程会议论文集, 1962: 95-100. [Satou Syouji, Tanaka Norio. Sediment transport under the effect of wave on flat bed[C] // Proceeding of the 9th Coastal Engineering Conference, Japanese Civil Academy, 1962: 95-100.]

[16] 杨世伦. 海岸环境和地貌过程导论[M]. 北京: 海洋出版社, 2003: 24. [YANG Shilun. Introduction of Coastal Environment and Morphological Processes[M]. Beijing: China Ocean Press, 2003: 24.]

[17] 李文涛. 东营港内航道淤积问题分析[J]. 海岸工程, 2001, 20(1): 1-8. [LI Wentao. Analysis on the Dongying Harbor inner waterway silting problem[J]. Coastal Engineering, 2001, 20(1): 1-8.]

[18] 程鹏, 高抒. 北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净输运趋势[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 604-615. [CHENG Peng, GAO Shu. Net sediment transport patterns over the north-western Yellow Sea based upon grain size tendency analysis [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31(6): 604-615.]

[19] 李为华, 李九发, 戴志军, 等. 黄河三角洲飞雁滩表层沉积物对水动力的响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(1): 17-21. [LI Weihua, LI Jiufa, DAI Zhijun, et al. Response of coastal sediment to the hydrodynamic conitions in the Feiyan Beach in the northern Yellow River Delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(1): 17-21.]

[20] 李向阳, 陈沈良, 胡静, 等. 黄河三角洲孤东海域沉积物及水动力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(1): 43-49. [LI Xiangyang, CHEN Shenliang, HU Jing, et al. Sediment characteristics and hydrodynamics of nearshore Gudong in the Yellow River Delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2008, 28(1): 43-49.]

[21] 汪亚平, 高抒. 胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移趋势[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 449-458. [WANG Yaping, GAO Shu. Sediment distribution and transport patterns in Jiaozhou Bay and adjoining areas[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(4): 449-458.]

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND TRANSPORT
TENDENCY OF SEAFLOOR SURFICIAL SEDIMENTS
IN THE DONGYING HARBOR AREA

ZHOU Yongdong, CHEN Shenliang, GU Guochuan

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on data of waves, tidal currents and grain size parameters of seafloor surficial sediments measured at the Dongying Harbor area in October 2008, spatial distribution pattern and grain size trend of seafloor sediments were analyzed. The analysis results show that main type of seafloor sediments at Dongying harbor area is clayey silt, the grain size distribution pattern of which is coarse-fine-coarse-fine from coast to sea. These sediments are transported from the coarse-particle zones to the fine-particle zones. The approach embankment and approach bridge obstruct the propagation of tidal currents and waves, and a convergent or divergent flow is formed at the joint part of them. Variation of the local flow field leads to different sediment distributions and transportation patterns between the south and north zones of the approach embankment. A further study shows that transportation of the seafloor sediments is from coast to sea, which is similar to the residual current in direction.

Key words: sediment; grain size parameters; transport tendency; Dongying Harbor area