



山东半岛南部丁字湾口外海底沉积物粒度时空变化及影响因素

王伟, 汤世凯, 胡艳萍, 王红艳, 石洪源, 战超

Spatio-temporal variation and influencing factors of seafloor sediment grain size off the mouth of Dingzi Bay of Southern Shandong Peninsula

WANG Wei, TANG Shikai, HU Yanping, WANG Hongyan, SHI Hongyuan, and ZHAN Chao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021050601>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

全新世中国大河三角洲沉积演化模式转化及其对人类活动的响应

Changes of evolution models of China's large river deltas since Holocene and their responses to anthropogenic activities

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 77

福宁湾海域夏季大潮期悬浮泥沙输运特征及控制因素

Characteristics and controlling factors of suspended sediment transportation in summer spring tide in Funing Bay

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 53

莱州湾表层沉积物重金属分布特征、污染评价与来源分析

Spatial distribution of heavy metals in the surface sediments of Laizhou Bay and their sources and pollution assessment

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 67

南海北部陆坡神狐海域SH-CL38站位的粒度特征及沉积记录

Sediment grain size characteristics of the Core SH-CL38 in the Shenhu area on the northern continental slope of the South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 90

江苏中部海岸晚第四纪沉积物的粒度与磁化率特征及其古环境意义

Characteristics of grain size and magnetic susceptibility of the Late Quaternary sediments from core 07SR01 in the middle Jiangsu coast and their paleoenvironmental significances

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 210

渤海湾西岸晚更新世以来的沉积环境演化及碳埋藏评价

Environmental evolution and carbon burial assessment of the west coast of Bohai Bay since Late Pleistocene

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 194



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王伟, 汤世凯, 胡艳萍, 等. 山东半岛南部丁字湾口外海底沉积物粒度时空变化及影响因素 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(2): 70-80.

WANG Wei, TANG Shikai, HU Yanping, et al. Spatio-temporal variation and influencing factors of seafloor sediment grain size off the mouth of Dingzi Bay of Southern Shandong Peninsula[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(2): 70-80.

山东半岛南部丁字湾口外海底沉积物粒度时空变化及影响因素

王伟^{1,2}, 汤世凯^{1,2}, 胡艳萍^{1,2}, 王红艳³, 石洪源³, 战超³

1. 山东省海洋地质勘查院, 烟台 264004

2. 山东省第三地质矿产勘查院, 烟台 264004

3. 鲁东大学海岸研究所, 烟台 264025

摘要: 对丁字湾口外浅海区平行海岸线及垂直海岸线方向上的 11 个柱状沉积物进行了粒度和²¹⁰Pb放射性活度测试, 分析了沉积物类型和粒度参数变化特征并计算了沉积速率, 结合丁字湾地貌演变、流域人类活动变化, 分析了人类活动对丁字湾口外滨海段沉积物粒度演变的影响。海底柱状沉积物可划分 7 种类型, 水平方向上平均粒径 Φ 值从三角洲中心向四周整体呈现逐渐增大的趋势, 垂直方向上平均粒径 Φ 值呈现不规则变化特征。沉积物分选性属于较好—中等, 偏态为近对称—正偏, 峰态为尖锐。不同沉积物类型及特征参数揭示沉积时期相应的水动力环境, 砂、含砾砂和粉砂质砂及其较小的平均粒径 Φ 值揭示相对较强的水动力环境, 砂质粉砂、粉砂、黏土和泥及其较大的平均粒径 Φ 值揭示了相对较弱的水动力环境。受不同水动力环境影响, 三角洲顶端和前缘平均沉积速率分别为 0.51 和 1.19 cm/a。与 1980 年前相比, 1980 年以后人类对滩涂围垦等活动影响强度加大, 海湾纳潮空间、入海泥沙流量和流速均减小, 在人类影响范围区域内的沉积物颗粒具有总体向上变细的趋势。

关键词: 落潮三角洲; 粒度参数; 沉积速率; 人类活动; 丁字湾; 山东半岛南部

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021050601

Spatio-temporal variation and influencing factors of seafloor sediment grain size off the mouth of Dingzi Bay of Southern Shandong Peninsula

WANG Wei^{1,2}, TANG Shikai^{1,2}, HU Yanping^{1,2}, WANG Hongyan³, SHI Hongyuan³, ZHAN Chao³

1. Marine Geological Exploration Institute of Shandong Province, Yantai 264004, China

2. No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Yantai 264004, China

3. Coast Institute of Ludong University, Yantai 264025, China

Abstract: 11 columnar sediment samples are collected off the mouth of Dingzi Bay for grain size analysis and ²¹⁰Pb radioactivity measurement. With the results, the sediments are classified and grain size parameters and sedimentation rate calculated. Combined with the geomorphologic evolution of Dingzi Bay and the change in human activities in the Wulong River Basin, the influence of human activities on the evolution of sediment grain size in the coastal section out the Wulong River estuary is discussed. The results suggested that the columnar sediments may be divided into seven types, and the mean grain size (Φ) in the horizontal direction shows a trend of increase from the deltaic center to all directions as well as an irregular pattern in vertical direction. The sediment sorting changes from good to medium, with a near-symmetric-positive skewness and sharp kurtosis. Sediment types and their diagnostic parameters may be used as tools to reveal depositional environments. Sand, gravelly and silty sand and their small Φ -values suggest relatively strong hydrodynamic environments, while sandy silt, silt, clay and mud and their large Φ -values indicate relatively weak hydrodynamic environments. The average sedimentation rate at the top and front of the delta was 0.51 cm·a⁻¹ and 1.19 cm·a⁻¹, respectively. Human activities in beach reclamation and others increased since 1980, which have caused the decrease in tidal space, sediment discharge and velocity into the sea. As the results, the overall trend of sediment particles in the human-influenced area becomes finer.

资助项目: 山东省地质矿产勘查开发局项目“山东半岛重点海湾地质环境与开发保护评价”(HJ202101); 山东省财政项目“山东半岛蓝色经济区重点规划区 1:5 万海岸带综合地质调查(丁字湾)”(鲁勘字(2016)69 号); NSFC-山东联合基金(U1706220); 国家自然科学基金“最近 40 年来风暴潮对黄河清水沟河口沙嘴地貌演变影响研究”(41901006)、“最近 50 年来莱州湾东部侵蚀砂岸动力地貌演变研究”(41471005)

作者简介: 王伟(1981—), 男, 高级工程师, 研究方向为海岸带地质与海岸沉积, E-mail: wangwei-2005@sohu.com

通讯作者: 战超(1986—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为海岸地貌, E-mail: zhanchao0226@163.com

收稿日期: 2021-05-06; **改回日期:** 2021-09-07. 周立君编辑

Key words: ebb tide delta; grain size parameters; sedimentation rate; human activity; Dingzi Bay; southern Shandong Peninsula

山东半岛南岸全新世最大海侵期间,海水沿河谷(沟谷)侵入半岛陆地内部形成了若干溺谷,实际上是山溪性入海河流的河口段,因河流入海水沙有限,河道口窄肚宽,在海洋动力控制下成为具有潟湖性质的河口湾。经过其上游河流泥沙长期充填,这些海湾最迟在 20 世纪 70 年代以前就已演变成大型潮汐汉道系统^[1-2],由狭窄的河口河道、树枝状潮汐汉道、宽平的潮间滩涂及潮上低地组成,低地后缘为埋藏的古海蚀崖,海湾水深除局部潮汐汉道外均不到 6.0 m,若按照国际湿地公约的界定均属于湿地范畴。其中,位于青岛及烟台两市间、五龙河尾间的丁字湾规模最大,形态最典型(图 1),该海湾地区近几十年来经济发展快,人类活动影响大,这种宽阔滩涂、潮汐汉道式海湾对人类活动影响反应更为灵敏,其动力地貌演变特征对人类活动影响有着更为显著的表现。同时堆积在海湾的沉积物除了保留物源的信息外,还保留着人类活动对沉积物粒度影响的信息。

近些年来,前人对丁字湾的入海径流泥沙、动力、地貌特征、滩涂开发活动及其演变已有较多研究^[1-6],取得了一系列的成果。然而由于研究侧重方向不同,在沉积物粒度参数特征、粒径大小变化等方面,研究内容较少,精度较低;在沉积物同位素地

质学方面的研究,例如沉积物中²¹⁰Pb 放射性比活度的垂直分布、沉积速率等方面也缺乏相关成果;同时在研究区也缺乏将沉积物粒度与沉积年代学相结合分析沉积环境变化的相关研究。因此通过分析海湾沉积物的粒度参数特征及粒度时空分布,一方面能够直观有效地反演该时期沉积物所处的沉积环境和沉积动力等条件,揭示沉积演变规律^[7-10],同时可以了解在历史沉积时期围海养殖、航道疏浚等人类工程建设活动对沉积地貌、粒度变化的影响^[3,11-16]。

本文对丁字湾口外近岸浅海区域 11 站柱状沉积物样品进行粒度分析,并对其中 2 站柱状样进行²¹⁰Pb 比活度测试,计算粒度参数、沉积速率,划分沉积物类型,分析粒度参数空间分布,并通过与历史资料相结合,探讨丁字湾口外滨浅海海域海底沉积环境、沉积物侵蚀淤积演变规律以及流域人类活动在沉积物粒度记录中的响应,其结果可深化在全球变化背景下,暖温带山地河流、河口海岸沉积环境与地貌演变研究。

1 研究区概况

丁字湾位于山东半岛南部,是半岛最大最典型

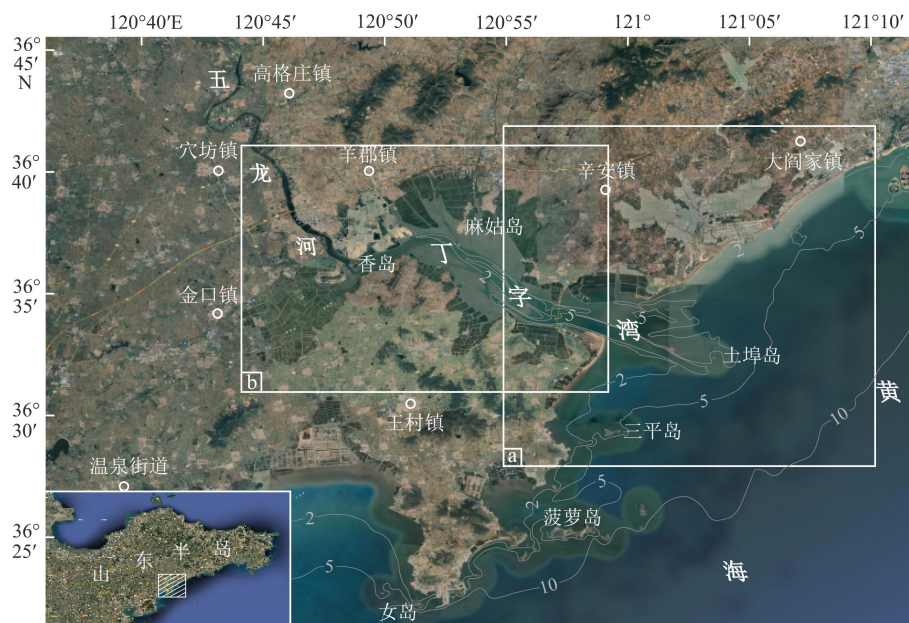


图 1 山东半岛丁字湾地理位置图

a 为图 2 位置, b 为图 8 位置。

Fig. 1 Location map of Dingzi Bay of Shandong Peninsula

a-Figure.2 location, b-Figure.8 location.

的溺谷河口-潮汐汉道海湾,高潮时面积 143.75 km²、潮间带面积 119.01 km²、湾口宽度 6.0 km,呈口小肚大的形状,潮汐类型为正规半日潮,最高潮位 4.27 m,最低潮位 -0.5 m。潮流的主要运动形式为北西-南东向往复式流,湾内流速大于湾外。海浪浪向东南,夏季受台风影响在湾口外常形成大浪,波高一般大于 1.5 m,最高可达 3.5 m^[2,4,17]。汇入丁字湾的河流有五龙河、白沙河等,沉积物来源除了河流输入以外,还有海岸侵蚀来沙和人工来沙,沉积物类型多样,沉积环境复杂。入该湾的五龙河在各入湾河流中规模也最大(长度 128 km,流域面积 2806.3 km²),且从 1952 年开始设有各入湾河流中唯一的水文观测站——团旺水文站,拥有最近 60 年的河流水文连续观测记录资料。研究区域位于丁字湾的湾口以外,为五龙河河口的口外滨海段,发育了以湾口为顶端的落潮三角洲,其地形以轴部高两翼低、上下游低中部高为特征,最高处高出上游潮汐汉道底部约 10 m,实际上为落潮流控制下形成于口门以外的五龙河河口大型拦门沙体。人工地貌类型则主要有养殖池、水田、盐田等。

丁字湾海岸类型、地貌过程和海湾开发利用在各个同类海湾中颇具代表性。丁字湾是著名的古金口港所在,该港在青岛、烟台开埠以前是胶东半岛最重要的商港,直到 20 世纪上半叶才因为淤积严重而遭废弃。近 50 年来,丁字湾潮间滩涂和潮上湿地普遍被围垦,湾内 5 个岛屿中的 4 个因自然淤积和人工建坝而与陆地相连,海湾潮流运动的边界条件因而相应改变,尤其以 1980 年麻姑岛连岛大坝修建前后变化最为剧烈。与此同时,入湾河流五龙河流域内气候以及土地利用/土地覆被变化显著,各级河道上建设了大量水库(塘)、拦河坝和人工水源地,大量地面径流及地下水被开发利用,河流下游及河口水文水动力条件也相应改变。以上种种人类活动,必然会深刻影响到河口拦门沙及落潮三角洲的动力、沉积条件,进而改变其动力沉积与动力地貌过程。

2 样品采集与测试

根据丁字湾口外落潮三角洲(拦门沙)轴部高两翼低、上下游低中部高的特征,考虑到不同水深的地貌部位其动力、沉积速率也不同,于 2017 年 5 月在丁字湾口外浅海区平行海岸线和垂直海岸线方向上,采用震动活塞式柱状取样器进行取样,共采集 11 站柱状沉积物样品,相邻样品间距约

2.5 km,柱状样长度均大于 2 m。丁字湾周边相邻海域的沉积速率数值^[18-20]均小于 1 cm/a,多分布于 4~8 mm/a,为了解研究区的沉积速率以及三角洲不同部位的沉积差异,对分别位于三角洲顶端和前缘的 HZ20 及 HZ24 开展²¹⁰Pb 的分布模式及沉积速率研究。对 HZ20、HZ24 两柱状样,按照 4 cm 间距分段切割,进行²¹⁰Pb 放射性比活度测试,对 11 站柱状样,按照 4 cm 间距分段切割,进行沉积物粒度测试,结合计算获得的 HZ20、HZ24 两站沉积速率值,研究丁字湾近半个世纪的沉积变化,具体采样站位见图 2。

沉积物粒度分析由山东省第四地质矿产勘查院实验测试中心采用济南微纳颗粒仪器股份有限公司生产的 Winner2008 激光粒度分析仪进行,误差精度为 0.01%,分析流程按照海洋地质地球物理调查规范^[21]进行。测试结果按照 Folk 等^[22-23]的方法进行沉积物的分类、定名。采用矩法公式^[24-26]对沉积物进行粒度参数计算,用粒度参数分级进行定性描述(表 1)。

²¹⁰Pb 放射性比活度测试由南京师范大学同位素实验室完成,分析步骤如下:称取样品 50~80 g,放入烘箱中,在 100℃ 下恒温 24 小时。烘干的样品准确称重后装入测量盒中,密封 15 天,再置入仪器的测量室中测量。测量仪器分别为欧洲 Canberra 公司生产的 BE3830 型高纯锗探测器和 DSC1000 数字分析器组成的 γ 能谱仪,用来测量²¹⁰Pb、²²⁶Ra。²²⁶Ra 测量所用射线为 ²¹⁴Bi 的 609.3keV γ 射线;²¹⁰Pb 测量所用射线为 46.5keV γ 射线。流程按照土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法^[28]进行。测试结果采用恒定初始放射性浓度模式(CIC 模式),利用放射性衰变方程,通过作图得到深度 H 和 $\ln N$ 拟合线,其斜率即为 S/λ ,然后根据斜率获得沉积速率 S ^[18-20,29]。

3 结果

3.1 沉积物类型与层序

根据研究区内 11 站柱状沉积物样品粒度分析结果,分别沿垂直海岸线方向(A-B 剖面)和平行海岸线方向(C-D 剖面)(图 2)绘制柱状沉积物类型剖面分布图(图 3、图 4)。从图中可以看出海底柱状沉积物类型可划分为含砾砂、砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂、黏土和泥等 7 种类型。

丁字湾口外滨海不同的海域受控于不同的沉积水动力环境,各站位沉积物类型不同,从 A-B 剖

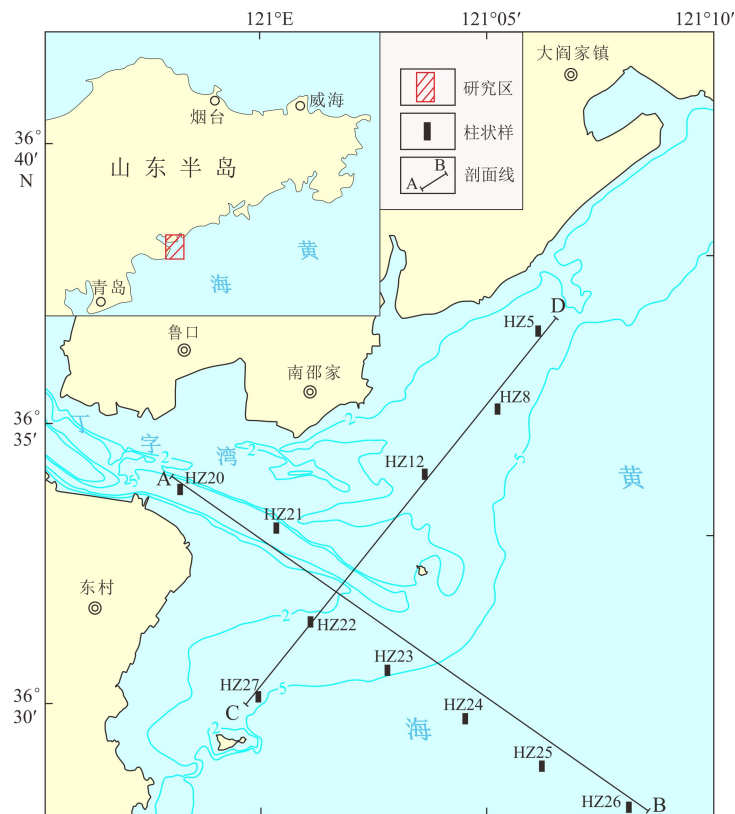


图 2 丁字湾口外海域柱状样站位分布图

Fig.2 Location of columnar sediment sampling sites

表 1 沉积物粒度参数分级^[27]

Table 1 Classification of grain size parameters

分选系数	定性描述	偏态系数	定性描述	峰态系数	定性描述
<0.35	分选极好				
0.35~0.50	分选好	>1.30	极正偏	<1.70	很平坦
0.50~0.71	分选较好	0.43~1.30	正偏	1.70~2.55	平坦
0.71~1.00	分选中等	-0.43~0.43	近对称	2.55~3.70	中等 (正态)
1.00~2.00	分选较差	-0.43~-1.30	负偏	3.70~7.40	尖锐
2.00~4.00	分选差	<-1.30	极负偏	>7.40	很尖锐
>4.00	分选极差				

面图中可以看出,除 HZ20 以外,由 HZ21 至 HZ26 在远离海岸水平方向上沉积物颗粒逐渐变细。同样在 C-D 剖面图中,以中央潮汐汉道为界,沿两侧水平方向上沉积物颗粒逐渐变细。可以看出在平面上沉积物向四周边缘粒度逐渐变细,这一特征与此处发育的水下扇形三角洲海底地貌相吻合,指示了由湾口向四周水动力环境逐渐减弱的现象。

同样,在不同的历史沉积时期,各柱状样在垂向上亦形成不同的沉积组合(韵律),A-B 剖面中, HZ20 柱状样下部为砂,上部为粉砂质砂-黏土(泥)沉积韵律组合; HZ21 柱状样下部为含砾砂,上部为

砂; HZ22 柱状样下部为含砾砂,上部为砂夹粉砂质砂; HZ23 柱状样沉积物类型单一,以砂为主,夹砂质粉砂; HZ24 柱状样主要为粉砂-黏土(泥)的沉积韵律组合,顶部发育少量砂; HZ25 柱状样上部为粉砂,下部为黏土(泥)。 HZ26 柱状样上部为粉砂夹黏土,下部为黏土(泥)。 C-D 剖面中, HZ27 柱状样上部为粉砂-泥(黏土)沉积韵律组合,下部为粉砂质砂; HZ22 柱状样下部为含砾砂,上部为砂夹粉砂质砂; HZ12 柱状样沉积物类型单一,主要为含砾砂; HZ5 和 HZ8 柱状样沉积物类型一致,为黏土。

由以上沉积组合(韵律)可以发现,垂直海岸方

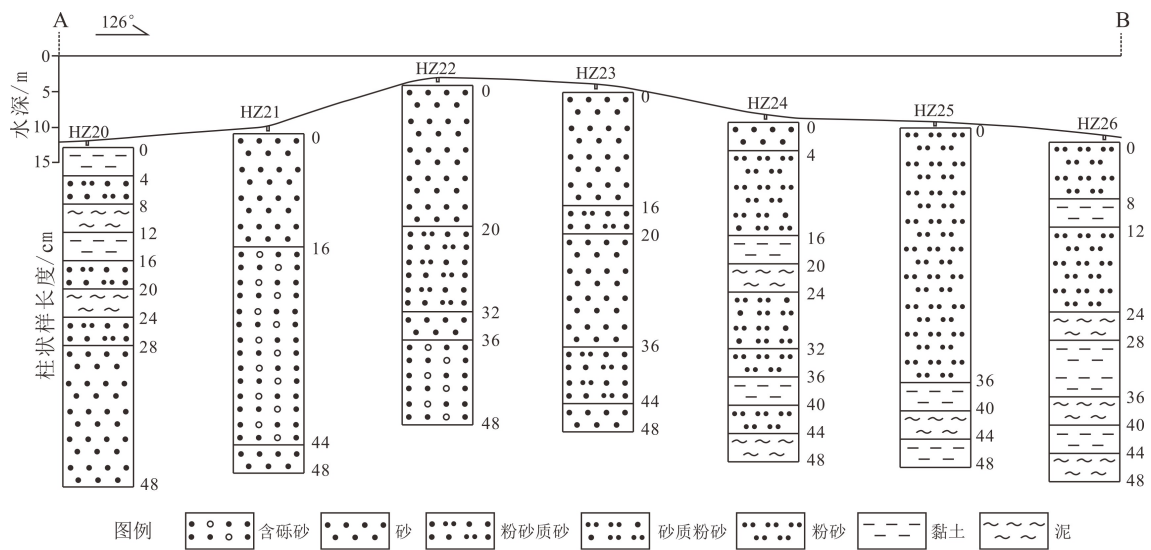


图3 A-B剖面各站位沉积物类型组合

Fig.3 Sediment type assemblages of each station in A-B section

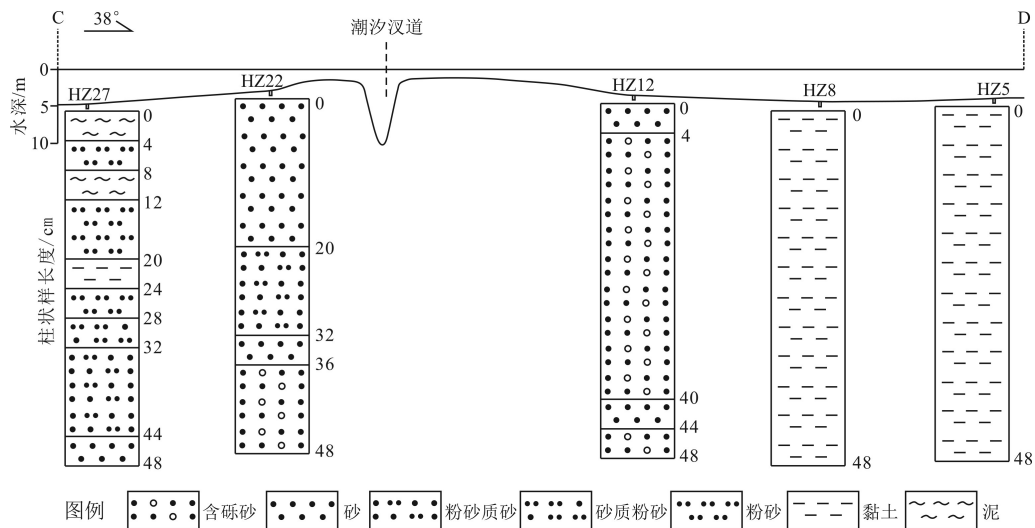


图4 C-D剖面各站位沉积物类型组合

Fig.4 Sediment type assemblages of each station in C-D section

向上, HZ23 所处的海域沉积环境动力相对稳定, 并以此为界, 两侧海域具有不同的沉积动力环境, 近岸的 HZ20-HZ22 海域早期沉积环境动力强于晚期, 远岸的 HZ24-HZ26 所处海域则相反, 早期沉积环境动力弱于晚期。平行海岸方向上, 潮汐汉道西南海域处于早期强、晚期弱的水动力环境; 潮汐汉道东北沉积动力环境变化不大, 靠近潮汐汉道处于较强的动力环境, 远离潮汐汉道处于较弱的沉积环境。

3.2 沉积物粒度参数

粒度参数分析结果见图 5、图 6。平均粒径表示粒度分布的集中趋势, 能指示源区物质的远近程度和搬运介质的动力大小^[23-24,30-31]。A-B 剖面各站位平均粒径变化范围不同, 其中, HZ21、HZ22 和

HZ23 平均粒径及变化范围幅度均较小, 分别为 $0.71 \sim 1.89\Phi$ (平均值 1.23Φ)、 $1.30 \sim 3.24\Phi$ (平均值 2.32Φ)、 $2.55 \sim 3.48\Phi$ (平均值 2.92Φ); HZ25、HZ26 平均粒径 Φ 值较大, 但变化范围幅度小, 分别为 $6.57 \sim 8.61\Phi$ (平均值 7.38Φ)、 $7.02 \sim 8.74\Phi$ (平均值 7.98Φ); HZ24 平均粒径及变化幅度大, 为 $2.54 \sim 8.37\Phi$ (平均值 6.35Φ), 由下至上整体表现为逐渐减小; HZ20 下部平均粒径及变化幅度均较小, 为 $1.53 \sim 2.22\Phi$ (平均值 1.74Φ), 上部变化范围大, 为 $2.22 \sim 8.35\Phi$ (平均值 5.85Φ), 表现为粒径大小交替分布的特征。水平方向上除了 HZ20 异常外, 由 HZ21 至 HZ26 方向平均粒径平均值逐渐增大, 颗粒逐渐变细, 反映了远离海岸方向搬运介质动力逐渐降低。垂直方向上 HZ20 早期沉积动力环境相对较

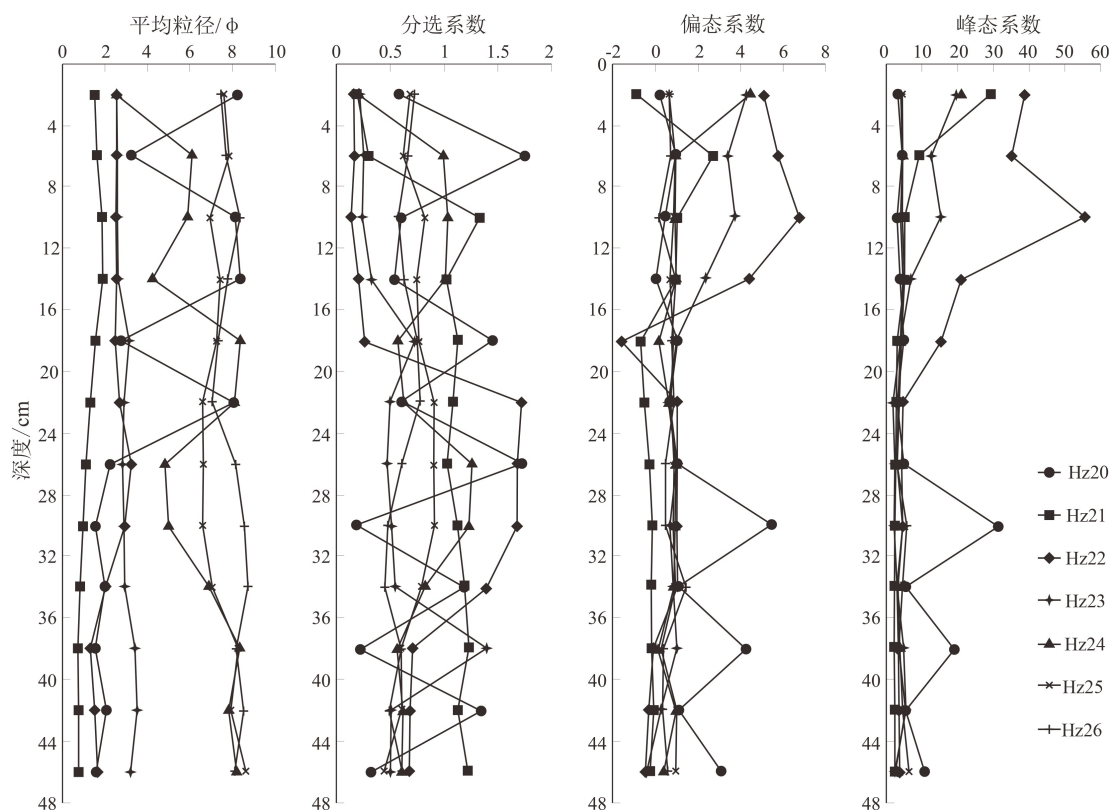


图 5 A-B 剖面中沉积物粒度参数变化

Fig.5 Variation of sediment grain size parameters in A-B section

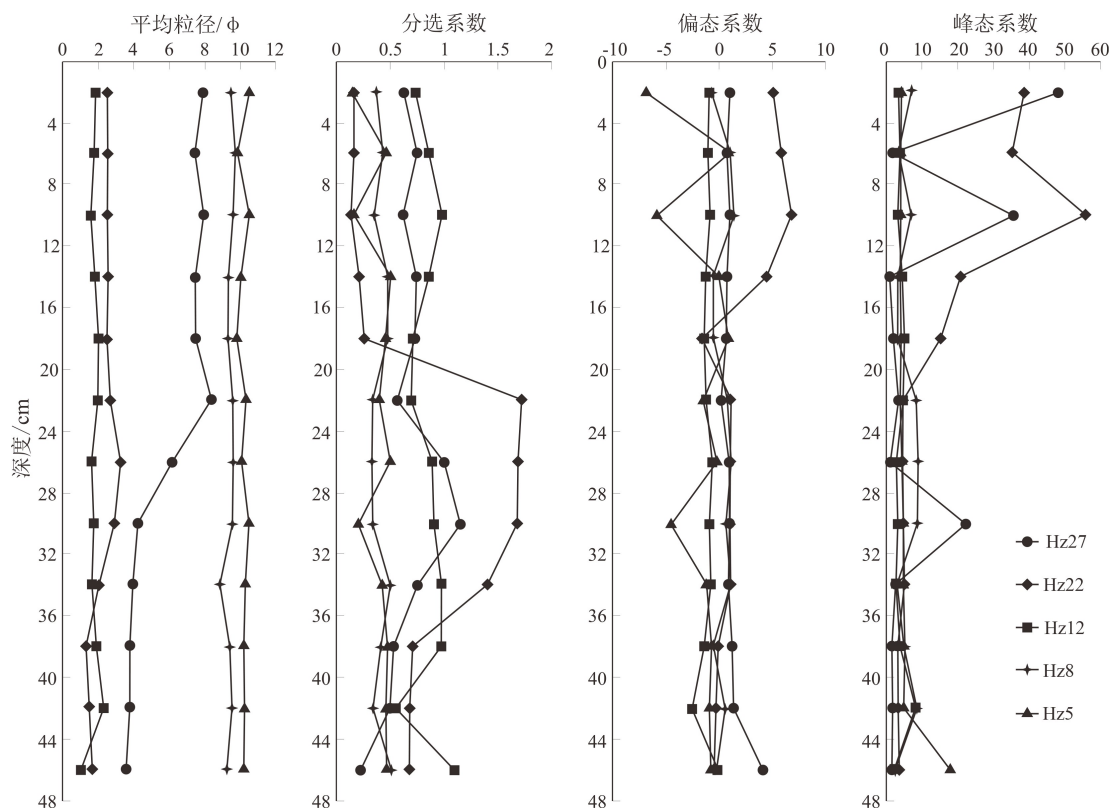


图 6 C-D 剖面中沉积物粒度参数变化

Fig.6 Variation of sediment grain size parameters in C-D section

强且稳定,后期在相对强和弱的沉积动力环境中交替变化, HZ24 沉积动力环境整体呈现强弱交替变化特征。其余各站位, HZ21-HZ23 沉积动力环境相对较强且较稳定, HZ25-HZ26 沉积动力环境整体相对较弱,后期较前期略强。

C-D 剖面中各站位平均粒径 Φ 值及变化范围也各不相同,分别为 HZ27 平均粒径 3.55~8.36 Φ (平均值 5.99 Φ), HZ22 平均粒径 1.30~3.24 Φ (平均值 2.32 Φ), HZ12 平均粒径 1.00~2.30 Φ (平均值 1.76 Φ), HZ8 平均粒径 8.83~9.70 Φ (平均值 9.41 Φ), HZ5 平均粒径 9.79~10.48 Φ (平均值 10.18 Φ), 水平方向表现为由潮汐汉道向两侧平均粒径 Φ 值逐渐增大的趋势,指示了搬运介质动力向两侧逐渐降低。垂直方向上表现为 HZ27 水动力环境明显减弱外,其余站位水动力环境变化不大, HZ12、HZ22 沉积动力环境相对较强且稳定, HZ5、HZ8 沉积动力环境相对较弱且稳定。

沉积物的分选系数代表着沉积物颗粒大小的均匀程度^[23-24,30-31],反映了水环境动力对颗粒的分选程度, A-B 剖面中 HZ20-HZ24 分选系数范围值较大,分别为 0.17~1.75(平均值 0.87)、0.19~1.33(平均值 1.00)、0.13~1.72(平均值 0.78)、0.21~1.40(平均值 0.51)、0.21~1.26(平均值 0.79)。HZ25 和 HZ26 分选系数范围较小,分别为 0.44~0.91(平均值 0.73)、0.45~0.78(平均值 0.61)。根据表 1 中分选系数分级及定性描述, A-B 剖面分选性属于较好—中等级别,表明从物源区到沉积区,搬运路径的增大导致分选系数变小、分选性变好。

C-D 剖面中各站位分选系数变化也不尽相同, HZ5 和 HZ8 分选系数范围小,分别为 0.14~0.50(平均值 0.39)、0.32~0.51(平均值 0.40); HZ12、HZ22 和 HZ27 分选系数范围较大,分别为 0.55~1.10(平均值 0.85)、0.13~1.72(平均值 0.78)和 0.22~1.15(平均值 0.68)。根据表 1 中分选系数分级及定性描述可知, C-D 剖面分选性属于好—中等级别,并表现为由剖面中间向两侧分选系数逐渐变小、分选性变好的趋势。

偏态能够判别粒度曲线的对称程度,反映颗粒被改造程度。偏态为正时,沉积物粒径偏向粗粒,偏态为负时,沉积物粒径偏向细粒^[23-24,30-31]。A-B 剖面中除 HZ20 下部和 HZ22 上部偏态异常外,各柱状样整体偏态值上下较为一致,范围为-0.90~4.46,剔除异常后总体平均值为 0.79,偏态定性描述为正偏,颗粒粒径集中在粗粒的一侧。C-D 剖面中偏态值范围为-6.86~6.80,平均值 0.11,偏态定性描述

为 0 值两侧近对称分布,粗、细颗粒含量近似一致。

峰态是衡量粒度分布曲线的宽窄尖锐程度^[23-24,30-31],峰态规律同偏态相近, A-B 剖面中 HZ20 下部和 HZ22 上部峰态值异常,其余各柱状样峰态变化范围不大。整体峰态范围为 1.91~55.76,剔除异常后总体平均值为 3.93,峰态定性描述为尖锐。C-D 剖面中 HZ22 和 HZ27 上部峰态值异常,整体范围为 1.03~55.76,剔除异常后总体平均值为 4.13,峰态定性描述为尖锐。

3.3 沉积速率

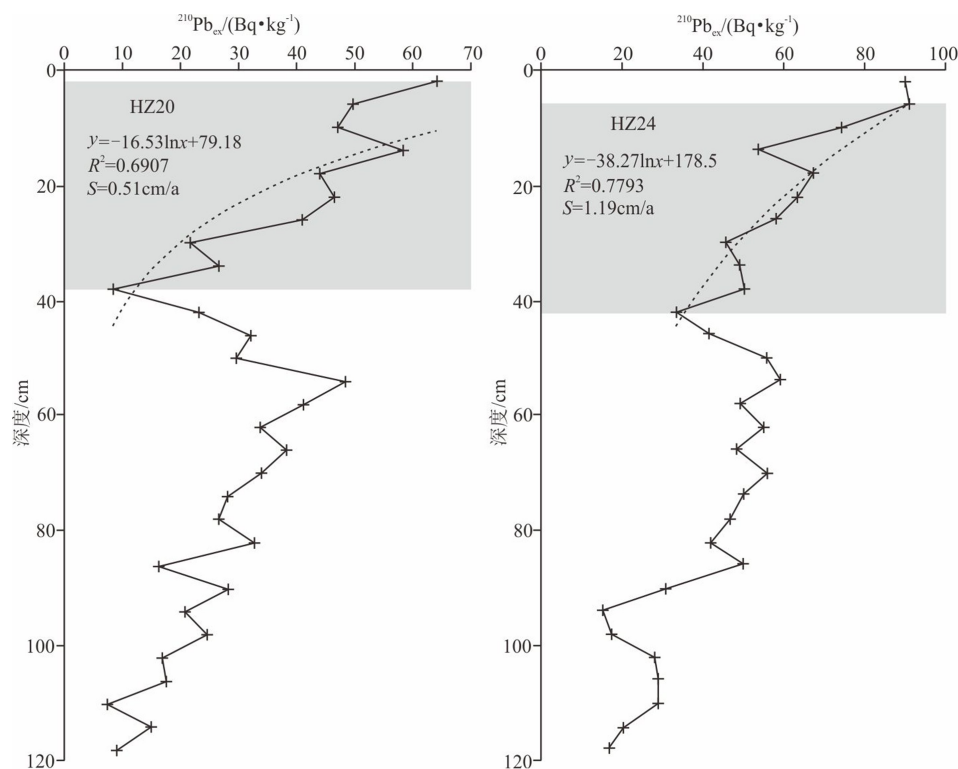
结合丁字湾历史水深资料^[17]和 2015 年 10 月中国航海图书出版社出版发行的海阳港区及附近海图,研究区等深线位置自 1950 年以来尚未发生明显变化,可认为选取的两个站位是连续性沉积,选用 ^{210}Pb 测年方法计算沉积年龄是合适的。HZ20 柱状样中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 随深度分布变化如图 7 所示, 38 cm 以上层位 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 随深度有明显的指数衰减趋势,该深度内为 ^{210}Pb 的衰变段, 38~54 cm 层位 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 有随深度增加趋势, 54 cm 以下层位 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 又呈降低趋势。由此可知本次采集的沉积物柱样长度未达到 ^{210}Pb 本底层。因此选取 38 cm 以浅的 10 个样品,根据线性拟合结果,计算该柱状样 2~38 cm 层位的平均沉积速率为 0.51 cm/a。这一计算层位沉积历时 75 年左右,年代跨度为 1940—2017 年。

HZ24 柱状样中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 随深度分布变化如图 7 所示, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 在表层 6 cm 内活度异常,表明扰动层发育,可能由于底栖生物扰动作用所致。6~42 cm 层位 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 随深度有明显的指数衰减趋势,该深度内为 ^{210}Pb 的衰变段, 42 cm 以下层位 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 活度值分布规律性差,同样采集的本沉积物柱样长度未达到 ^{210}Pb 本底层。因此选取 6~42 cm 层位的 10 个样品,根据线性拟合结果,计算该柱状样 6~42 cm 层位的平均沉积速率为 1.19 cm/a。这一计算层位沉积历时 37 年左右,年代跨度为 1980—2017 年。

两站位沉积相同厚度的沉积物,沉积历时不同,与分别处于不同的沉积水动力环境密切相关, HZ20 整体处于相对高能水动力环境,易侵蚀冲刷,而 HZ24 站位相反,整体处于相对较弱水动力环境,易接受沉积。

4 讨论

对丁字湾口外滨海而言,在丁字湾落潮流控制下发育了大型落潮三角洲(拦门沙),落潮流强弱及

图 7 钻孔 HZ20 和 HZ24 柱状沉积物 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 垂直分布曲线Fig.7 Vertical distribution curve of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$

其携带泥沙数量、沉积物粒度粗细受丁字湾纳潮量和五龙河入湾水沙制约,此外还受人类活动尤其是工程建设活动的深刻影响。

历史资料表明,1980年以前,五龙河流域降雨充沛,且人类工程活动建设(水库)主要集中于五龙河上游,植被破坏,大量山地来源沉积物进入五龙河,入海径流、泥沙量明显增大,尤其是粗颗粒泥沙比例较大。1980年以后,五龙河流域降水量显著减少,受到水库等水利设施的围截,入海径流、泥沙量也相应显著减少^[3]。同时,80年代初人类开始对湾内滩涂进行围垦,1970年前后丁字湾沿岸有少量的盐田,1981—2000年,养殖池面积剧增,以新修建养殖池或其他类型地貌向养殖池转换为主^[5],尤其是盐田和潮滩等从80年代开始显著减少。2000年以后,养殖池面积增速放缓,人类活动的影响逐渐减弱,海湾地貌格局趋于稳定,变化不大,这在不同年份的海湾地貌资料上有着很好的反映(图8)。

这些诸多人类活动深刻影响着原有的地貌边界条件、动力过程及其演化趋势,进一步影响着丁字湾沉积过程及沉积物粒度变化情况。1980年以前,丁字湾总体受人类活动影响较小,五龙河径流量、输沙量较大,海湾处于由落潮不对称向涨潮不对称转换^[3,5-6],海湾地貌属于潮汐汉道窄深、两侧潮

间滩涂宽广的空间分布格局,纳潮量较大,涨潮历时长于落潮历时,涨潮流速小于落潮流速,沉积物主要表现自然沉积。在强劲落潮流冲刷、五龙河携带的泥沙搬运距离较短以及外海传来的波浪在此变形及破碎、水流能动性等因素共同作用下,落潮三角洲范围成为高能水动力沉积环境,近岸湾口处三角洲顶端的 HZ20 下部(图3中该站位 24 cm 以下)砂、粉砂质砂等较粗粒沉积物是这一沉积时期很好的响应。向三角洲前缘方向外海海域水深增大,五龙河携带的泥沙搬运至此距离增大,落潮流能量降低,且潮流流速随水深递增而明显减小, HZ24 底部(图3中该站位 44 cm 以下)的泥质沉积物相对较细。

1980年以后,沉积物在自然条件沉积的前提下,受到了人类活动的深刻影响。丁字湾滩涂围垦导致海湾纳潮空间显著减小,细颗粒泥沙的淤积空间变小,海湾涨潮历时变短,落潮历时变长,涨潮流流速加大,落潮流流速变小^[32],水动力作用受限,再加上此时五龙河入湾径流、泥沙量都迅速减少^[7],近岸湾口处三角洲顶端的 HZ20 上部(图3中该站位 24 cm 以上)沉积物较下部明显变细,垂直方向上呈粗细交替变化,位于三角洲前缘海域的 HZ24 则受涨潮流及波浪作用,其中上部(图3中该站位 44 cm

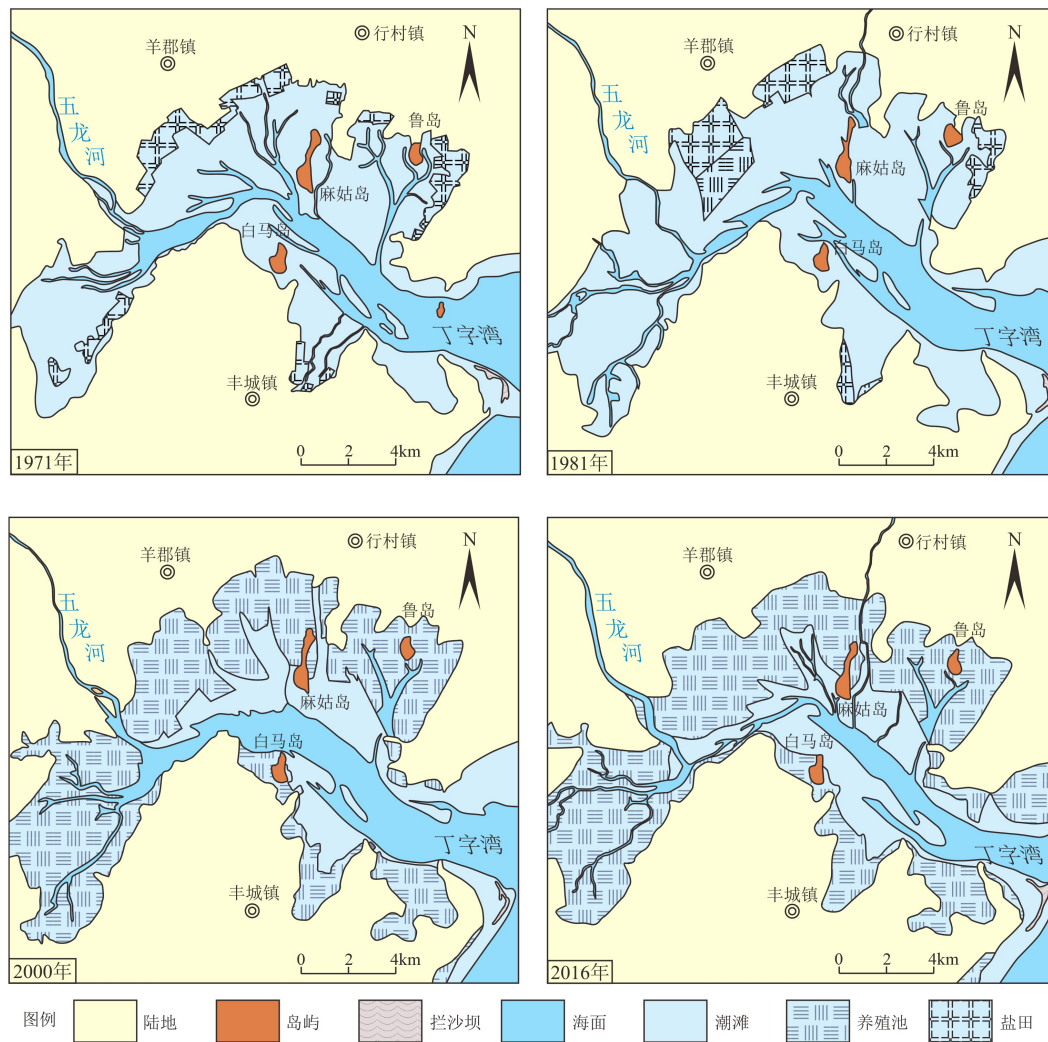


图8 丁字湾沉积地貌演化示意图

1971年和1981年海湾地貌图修改自文献[5,32],2000年和2016年海湾地貌分别根据美国陆地卫星TM、L8多波段遥感图像绘制。

Fig.8 Schematic maps of sedimentary landform evolution of Dingzi Bay

The 1971 and 1981 gulf topography maps modified from references [5, 32], the 2000 and 2016 gulf topography maps based on US Landsat TM, L8 multi-band remote sensing imagery.

以上)沉积物较底部略粗,垂直方向上也呈粗细交替变化。

5 结论

(1)丁字湾口外浅海区海底48 cm深度内发育含砾砂、砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂、黏土和泥等7种沉积物类型。平均粒径 Φ 值由三角洲顶端向前缘、潮汐汉道向两侧方向逐渐增大,分选性属于较好—中等级别,偏态为正偏或近对称分布,峰态为尖锐型。沉积环境水动力强度由湾口向湾外、由中央潮汐汉道向两侧海域逐渐降低。历史沉积时期三角洲东北翼及前缘以外的海域为较弱且稳定的沉积动力环境,三角洲内潮汐汉道周边海域为

较强且稳定的沉积动力环境,三角洲顶端、前缘及西南翼海域为强弱交替不稳定沉积动力环境。

(2)对位于落潮三角洲顶端及前缘的HZ20和HZ24柱状样进行 ^{210}Pb 放射性比活度分析,HZ20样品最近80年以来的沉积速率为0.51 cm/a,揭示三角洲顶端(潮汐汉道)发育于高能水动力环境,易遭受侵蚀冲刷;HZ24样品最近40年以来的沉积速率为1.19 cm/a,揭示三角洲前缘发育于相对低能水动力环境,易接受沉积。

(3)最近40年以来的流域气候和海湾滩涂围垦深刻影响丁字湾动力地貌、沉积动力及沉积物粒度演化模式。1980年以前,人类活动影响有限,海湾沉积物以自然沉积为主,在落潮流主导下潮汐汉道及周围海域沉积颗粒较粗,三角洲前缘外海域沉积

颗粒较细。1980 年以后,丁字湾滩涂遭围垦严重,海湾纳潮空间显著减小,五龙河入湾径流、泥沙量也都迅速减少,潮汐汉道及上游其水动力影响降低,潮汐汉道及相邻两侧海域沉积物明显变细,三角洲前缘及外海域受波浪作用叠加影响沉积物略微变粗,垂直方向上均呈粗细交替变化。

参考文献 (References)

- [1] 夏东兴,刘振夏. 中国海湾的成因类型[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(2): 185-191. [XIA Dongxing, LIU Zhenxia. Classification of bays in China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21(2): 185-191.]
- [2] 张忍顺,李坤平. 黄渤海沿岸海湾-溺谷型潮汐汉道的地貌结构[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(4): 1-10. [ZHANG Renshun, LI Kunping. Geomorphological structure of Bay and Drowned-Valley type tidal inlet along coasts of the Huanghai and Bohai seas [J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1994, 12(4): 1-10.]
- [3] 田清,王庆,战超,等. 最近60年来气候变化和人类活动对山地河流入海径流、泥沙的影响:以胶东半岛南部五龙河为例[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(5): 891-899. [TIAN Qing, WANG Qing, ZHAN Chao, et al. Impact of climate change and human activities on the runoff and sediment load discharged into the sea from mountainous rivers during the last 60 years: a case study of Wulong river in southern Jiaodong Peninsula [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(5): 891-899.]
- [4] 陈聚法,周诗贻,马绍赛. 丁字湾水文环境特征[J]. 黄渤海海洋, 1997, 15(1): 58-63. [CHEN Jufa, ZHOU Shilai, MA Shaosai. The hydrological conditions of Dingzi Bay [J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1997, 15(1): 58-63.]
- [5] 战超,王庆,夏艳玲,等. 胶东半岛南部典型海湾地貌过程对滩涂养殖的响应[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 283-291. [ZHAN Chao, WANG Qing, XIA Yanling, et al. The response of geomorphic process to aquaculture on tidal flat in typical tidal inlet bays along the southern Jiaodong Peninsula [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(2): 283-291.]
- [6] 孙英兰,张越美. 丁字湾物质输运及水交换能力研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 1-6. [SUN Yinglan, ZHANG Yuemei. A numerical model of pollutant transport and seawater exchange in Dingzi Bay [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(1): 1-6.]
- [7] 杨世伦. 长江口沉积物粒度参数的统计规律及其沉积动力学解释[J]. 泥沙研究, 1994(3): 23-31. [YANG Shilun. Statistic features for grain-size parameters of the Yangtze River estuary and their hydrodynamic explanation [J]. *Journal of Sediment Research*, 1994(3): 23-31.]
- [8] 赵建春,戴志军,李九发,等. 强潮海湾近岸表层沉积物时空分布特征及水动力响应:以杭州湾北岸为例[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 1043-1051. [ZHAO Jianchun, DAI Zhijun, LI Jiufa, et al. Study on the characteristics of temporal and spatial changes in properties of surface sediment on near-shore seabed of strong-tide bay: a case from the north bank of Hangzhou Bay in Shanghai [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(6): 1043-1051.]
- [9] 高抒, Collins M. 沉积物粒径趋势与海洋沉积动力学[J]. 中国科学基金, 1998, 12(4): 241-246. [GAO Shu, Collins M. The use of grain size trends in marine sediment dynamics [J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 1998, 12(4): 241-246.]
- [10] 汤世凯,于剑峰,李金鹏,等. 丁字湾近岸海域表层沉积物粒度特征及沉积动力环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(2): 70-78. [TANG Shikai, YU Jianfeng, LI Jinpeng, et al. Grain size characteristics and dynamic environment of surface sediments on the near shore seabed of Dingzi Bay [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(2): 70-78.]
- [11] 程知欣,刘月,李富祥,等. 近百年来人类活动对鸭绿江口河床演变影响的粒度沉积记录[J]. 辽东学院学报:自然科学版, 2012, 19(2): 89-93. [CHENG Zhixin, LIU Yue, LI Fuxiang, et al. Grain size sedimentary records representing influence of human activities on riverbed evolution in Yalu River Estuary during recent 100 years [J]. *Journal of Eastern Liaoning University: Natural Science*, 2012, 19(2): 89-93.]
- [12] 赵华云,戴仕宝,杨世伦,等. 流域人类活动对三角洲演变影响研究进展[J]. 海洋科学, 2007, 31(12): 83-87. [ZHAO Huayun, DAI Shibao, YANG Shilun, et al. Progress in studying on the delta evolution influenced by the human activity [J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(12): 83-87.]
- [13] Hao X M, Chen Y N, Xu C C, et al. Impacts of climate change and human activities on the surface runoff in the Tarim river basin over the last fifty years [J]. *Water Resources Management*, 2008, 22(9): 1159-1171.
- [14] 许炳心. 流域降水和人类活动对黄河入海泥沙通量的影响[J]. 海洋学报, 2003, 25(5): 125-135. [XU Jiongxin. Sediment flux into the sea as influenced by the changing human activities and precipitation: example of the Huanghe River, China [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(5): 125-135.]
- [15] 王兆印,程东升,刘成. 人类活动对典型三角洲演变的影响: II 黄河和海河三角洲[J]. 泥沙研究, 2006(1): 76-81. [WANG Zhaoyin, CHENG Dongsheng, LIU Cheng. Delta processes and management strategies in China: II The Yellow and Haihe River deltas [J]. *Journal of Sediment Research*, 2006(1): 76-81.]
- [16] 王庆,杨华,仲少云,等. 山东莱州浅滩的沉积动态与地貌演变[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 749-756. [WANG Qing, YANG Hua, ZHONG Shaoyun, et al. Sedimentary dynamics and geomorphic evolution of the Laizhou Shoal [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 749-756.]
- [17] 王文海. 中国海湾志: 第四分册(山东半岛南部和江苏省海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 73-94 [WANG Wenhai. Bays in the South Shandong Peninsula and Jiangsu Province [M]. Beijing: China Ocean Press, 1993: 73-94.]]
- [18] 李凤业,高抒,贾建军,等. 黄、渤海泥质沉积区现代沉积速率[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(4): 364-369. [LI Fengye, GAO Shu, JIA Jianjun, et al. Contemporary deposition rates of fine-grained sediment in the Bohai and Yellow Seas [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(4): 364-369.]
- [19] 胡邦琦,李国刚,李军,等. 黄海、渤海铅-210沉积速率的分布特征

- 及其影响因素[J]. 海洋学报, 2011, 33(6): 125-133. [HU Bangqi, LI Guogang, LI Jun, et al. Spatial variability of the ^{210}Pb sedimentation rates in the Bohai and Huanghai Seas and its influencing factors [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 33(6): 125-133.]
- [20] 李凤业, 宋金明, 李学刚, 等. 胶州湾现代沉积速率和沉积通量研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 29-33. [LI Fengye, SONG Jinming, LI Xuegang, et al. Modern sedimentation rate and flux in the Jiaozhou Bay [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(4): 29-33.]
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12763.8-2007 海洋调查规范 第8部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-94 [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 12763.8-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 8: Marine geology and geophysics survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-94.]
- [22] 何起祥, 李绍全, 刘健. 海洋碎屑沉积物的分类[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 115-121. [HE Qixiang, LI Shaoquan, LIU Jian. Classification of marine clastic sediments [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2002, 22(1): 115-121.]
- [23] Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand [J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13(4): 937-968.
- [24] 卢连战, 史正涛. 沉积物粒度参数内涵及计算方法的解析[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(6): 54-60. [LU Lianzhan, SHI Zhengtao. Analysis for sediment grain size parameters of connotations and calculation method [J]. *Environmental Science and Management*, 2010, 35(6): 54-60.]
- [25] Collias E E, Rona M R, McManus D A, et al. Machine Processing of Geological Data[R]. Washington, USA: Department of Oceanography, University of Washington, 1963: 119-120.
- [26] 刘志杰, 公衍芬, 周松望, 等. 海洋沉积物粒度参数3种计算方法的对比研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(3): 179-188. [LIU Zhijie, GONG Yanfen, ZHOU Songwang, et al. A comparative study on the grain-size parameters of marine sediments derived from three different computing methods [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(3): 179-188.]
- [27] Blott S J, Pye K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments [J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2001, 26(11): 1237-1248.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 11743-2013 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 1-6 [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 11743-2013 Determination of radionuclides in soil by gamma spectrometry[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014: 1-6.]
- [29] 许冬, 初凤友, 杨海丽, 等. 北部湾现代沉积速率[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(6): 17-26. [XU Dong, CHU Fengyou, YANG Haili, et al. Modern sedimentation rates in the Beibu Gulf [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(6): 17-26.]
- [30] 肖志建, 李团结, 廖世智. 伶仃洋表层沉积物特征及其泥沙运移趋势[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(4): 58-65. [XIAO Zhijian, LI Tuanjie, LIAO Shizhi. Surface sediment characteristics and transport trend in Lingdingyang Bay of the Pearl River Estuary [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2011, 30(4): 58-65.]
- [31] 宫少军, 赵卫, 乔吉果, 等. 渤海湾西部海域底质特征及其沉积环境分析[J]. 天津科技大学学报, 2017, 32(3): 50-57. [GONG Shaojun, ZHAO Wei, QIAO Jiguo, et al. Characteristics of western Bohai Bay Sea bottom sediment: Sedimentary environment analysis [J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 2017, 32(3): 50-57.]
- [32] 田清. 最近 60 年来胶东半岛气候变化和人类活动对五龙河口(丁字湾)动力地貌演变的影响[D]. 鲁东大学硕士学位论文, 2012 [TIAN Qing. Impact of climate change and human activity on the dynamic geomorphical evolution of the estuary of Wulong River (Dingzi Bay) in Jiaodong Peninsula[D]. Master Dissertation of Ludong University, 2012.]