

◆ 海底调查与研究 ◆

北黄海大鹿岛附近海域海洋牧场本底地质环境分析^{*}杜梦迪^{1,2}, 张建兴^{1,3}, 宋永东^{1,3}, 栾振东^{1,2,3**}, 阎军^{1,3}

(1. 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东青岛 266071)

摘要:为推进北黄海北部特色滩涂型海洋牧场建设,本研究对北黄海大鹿岛附近海域海洋牧场本底地质环境开展调查评估,利用高分辨率声学探测设备获取研究海域的精密水深数据和浅地层剖面数据;利用现场和实验室结合的方法测定海水理化参数;利用筛析法、激光粒度仪测试方法确定沉积物类型和粒度特征,最终通过分析研究区海底地形地貌、海水水质状况和沉积物分布特征对本底地质环境进行评估。结果显示:目标海域测量水深为1-29 m,平均水深为16 m,海底地形整体表现为平缓的近岸缓坡,地貌以水下侵蚀堆积地貌为主;海底浅地层剖面中U1声学地层清晰连续,全区可追踪,厚度约6 m且变化不大;海水水质良好,主要处于Ⅱ类海水水质标准;表层沉积物类型均为砂,沉积物组分变化不大,砂组分占绝对优势,表层沉积物空间分布主要与沉积物物源条件及辽南沿岸流、海域潮流等因素有关。综合分析认为,北黄海大鹿岛附近海域水深适宜,地形较为平坦,水质环境良好,以砂质浅滩沉积为主,适于滩涂型海洋牧场的构建。

关键词:海洋牧场 海底地形地貌 沉积特征 水文环境 北黄海 大鹿岛

中图分类号:P736.21 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2022)04-0717-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20220919.012

我国是海洋大国,海域面积十分辽阔,海洋资源得天独厚,渔业产量常年位居世界首位^[1,2]。然而,当前我国海域渔业正面临着渔业资源衰退和海洋生态环境污染等问题,传统渔业方式已难以满足渔业资源可持续发展和海洋环境现状的要求。现代海洋牧场是传统渔业转型的新动力,既可以实现海洋环境保

护,又能保证渔业资源高效产出^[3],是应对我国渔业资源衰退和海洋生态环境恶化的一个重要举措,是当前乃至今后较长时期内海洋渔业发展的一个重要方向。

在目前海洋牧场快速发展的背景下,我国浅海近岸海洋牧场建设项目不断增加。丹东是国家级海洋

收稿日期:2021-12-01

* 中国科学院先导专项子课题(XDA19060402, E0B435101T, XDA22050502)和中国科学院科技服务网络计划(STS)区域重点项目“丹东特色滩涂型海洋牧场构建技术及示范应用”(KFJ-STQYD-189)资助。

【作者简介】

杜梦迪(1998-),女,在读硕士研究生,主要从事海洋声学探测及海洋三维可视化研究,E-mail:dumengdi@qdio.ac.cn。

【**通信作者】

栾振东(1976-),男,正高级工程师,硕士生导师,主要从事深海探测技术及海底地形地貌研究,E-mail:luan@qdio.ac.cn。

【引用本文】

杜梦迪,张建兴,宋永东,等.北黄海大鹿岛附近海域海洋牧场本底地质环境分析[J].广西科学,2022,29(4):717-725.

DU M D,ZHANG J X,SONG Y D,et al. Analysis of Background Geological Environment of Marine Ranching near Dalu Island in the North Yellow Sea [J]. Guangxi Sciences,2022,29(4):717-725.

牧场示范区之一,近年来,在丹东大鹿岛附近海域海洋牧场等海上工程项目逐渐增多,因此有必要对研究海区进行海洋地质环境综合调查。声学探测技术已成为海洋调查最常用和最成熟的手段,获取高分辨率的海底地形地貌资料和海底底质信息资料是进行海底地质环境综合调查的首要内容,也是保障海洋牧场建设顺利进行的重要前提。此外,表层沉积物调查是了解海底底质类型和沉积环境的重要方法。

虽然前人已经对北黄海海底地形地貌^[4-6]和沉积特征^[7-11]进行了相关方面的调查和研究,但先前的研究多集中在北黄海西部、山东半岛和辽东半岛等近岸海域,而对北黄海北部海域研究较少,且前人的研究多基于大范围海区,对北黄海大鹿岛附近小目标区域精细测量的研究欠缺,无法为研究区内海洋牧场建设提供可靠的指导。因此,本研究对丹东大鹿岛附近海域海底地形地貌、海洋水质环境及沉积特征开展了详细研究,有助于对海域内海洋牧场资源环境进行系统评估,对丹东地区新型海洋牧场的构建具有一定的参考意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北黄海位于中国东部陆架最北端,是典型的半封闭陆缘海,环绕山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛,西北通过渤海海峡与渤海相邻,南以成山角与朝鲜长山串

的连线与南黄海相接^[5]。北黄海海底整体呈“簸箕”状,海底相对平缓,平均水深为38 m,最大水深可达86 m,黄海海槽为水深最深处,由中央海槽向外水深逐渐变浅^[12]。研究区位于北黄海北部大鹿岛附近海域(图1),水深较浅,最大水深为29 m,地形较为平坦。在构造上,研究区属于海洋岛隆起构造单元,北部与辽东隆起相邻,南部与北黄海盆地相接。

据统计发现,北黄海沉积物的来源有两类:一类来自沿岸河流,另一类来自海洋。径流在陆相沉积物的输送中起着重要的作用,辽东半岛近岸河流汇入北黄海的输沙量可达 $7 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,其中鸭绿江和大洋河占输沙量的80%^[12,13]。海洋的沉积物主要来自渤海和南黄海,通过海洋环流进行物质输送和物质循环。黄河虽然不直接汇入北黄海,但是因其巨大的人海水沙量,被认为是北黄海陆架沉积的主要物源,占北黄海总沉积物的66%–80%^[14]。

北黄海的潮汐类型以规则半日潮为主,辽东半岛自旅顺至鸭绿江河口的北黄海沿岸均为规则半日潮;潮差分布呈由东北向西南逐渐减小的趋势,鸭绿江口大潮平均潮差为5 m,至成山角潮差不到1 m^[15]。研究区属于正规半日潮,潮差为4–5 m,潮流流速较大,流速为 $0.6-1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。北黄海的潮流强盛,海流较弱,海区内环流主要由辽南沿岸流和黄海暖流两支组成^[10],其中本研究区域受辽南沿岸流的影响较大。

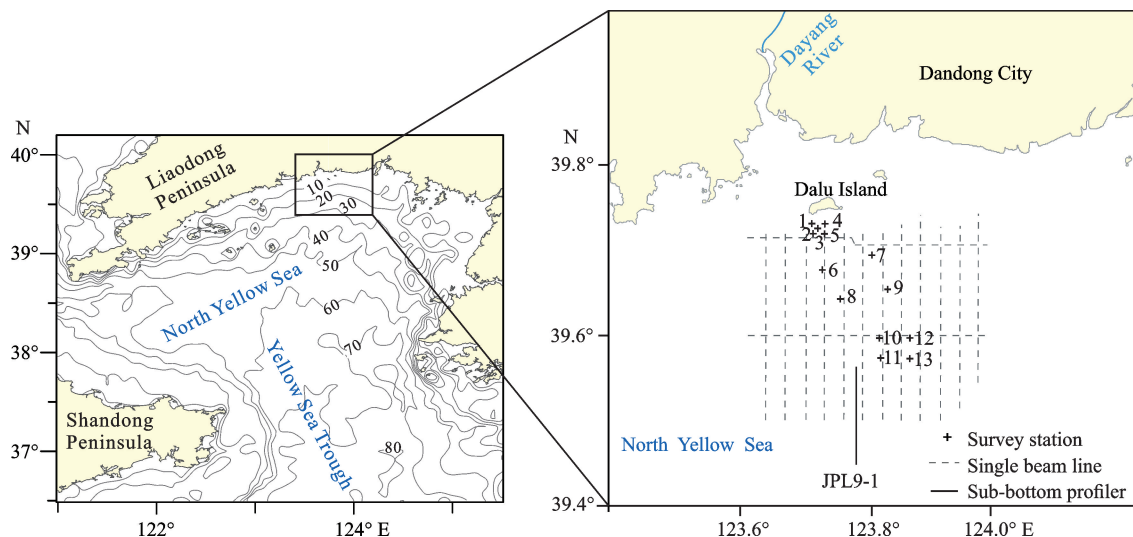


图1 研究区位置与调查站位

Fig. 1 Location of the study area and survey station

1.2 数据来源

利用HY1601单波束测深系统、SBP/AAE浅地层剖面系统、声学多普勒流速剖面仪(Acoustic

Doppler Current Profiler, ADCP)、温盐深(Conductivity Temperature Depth, CTD)测量系统和表层沉积物取样等调查手段对研究区开展综合地质环境调

查, 获得研究区水深数据、浅地层剖面数据、海水理化数据和表层沉积物样品等资料。

1.3 方法

1.3.1 单波束地形测量

调查前需对研究区进行测线布设, 单波束测量布设按照垂直于等深线的原则, 测区共包含 12 条主测线和 2 条联络线, 主测线布设间隔为 3.3 km, 联络线垂直于主测线进行布设, 如图 1 所示。获取的水深数据利用 CARIS HIPS & SIPS 软件进行数据处理, 进行姿态校正、声速校正和潮位校正, 并剔除噪声和干扰等异常数据, 得到高分辨率水深数据, 后经 Surfer 等成图软件绘制研究区的水深图及地形剖面图。浅地层剖面数据通过 SonarWIZ 软件进行成图和分析, 最终导出较高分辨率的浅地层剖面图像。

1.3.2 海水理化性质测定

海水理化环境调查和沉积物取样站点见图 1。为掌握研究海域的海洋水质环境, 于 2020 年秋季 11 月在北黄海南部大鹿岛附近海域共设置 13 个站点, 在各调查站点利用 CTD 测量系统和 HQ4300 多参数水质分析仪(美国 HACH 公司)进行水温、盐度、溶解氧含量、浊度、叶绿素含量、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐等理化参数的测量。海水样品的采集、保存与检测分析均严格按照《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007)^[16]的要求进行。根据测定的海水理化参数以及近年来北黄海海水环境状况, 选择溶解氧、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐和铵盐中 N 的总量, 单位: mg/L)、活性磷酸盐这 3 个项目对海域内海水水质状况进行系统评价, 水质标准采用《海水水质标准》(GB 3097-1997)^[17], 详见表 1。

表 1 水质参数评价标准

Table 1 Evaluation standards of water quality parameters

类别 Category	溶解氧(mg/L) Dissolved oxygen (mg/L)	无机氮(以 N 计) Inorganic nitrogen (as N)	活性磷酸盐 (以 P 计) Reactive phosphate (as P)
I	>6	≤0.2	≤0.015
II	>5	≤0.3	≤0.030
III	>4	≤0.4	≤0.030
IV	>3	≤0.5	≤0.045

1.3.3 沉积物粒度测定

为查明研究区的沉积物特征, 在调查区进行表层沉积物采集, 首先利用锚式采泥器抓取各站点底质样本, 然后进行室内实验分析。测量前先加入六偏磷酸

钠分散, 然后经超声波振荡分散后上机测试, 沉积物粒度组成采用筛析法和 CILAS-1190 激光粒度仪(法国 CILAS 公司)联合进行测量。粒度实验结果在基于 MATLAB 的粒度分析软件 AnalySize 中进行分析计算, 并按照 Shepard 沉积物分类方法对沉积物进行定名。粒级标准采用尤登-温德华氏等比制 Φ 值粒级标准, 沉积物的命名采用 Shepard 的沉积物粒度三角图解法^[18]。沉积物的平均粒径(M_z)、分选系数(δ)、偏态(Sk)和峰态(Ku)通过 Folk 和 Ward 粒度参数公式计算, 具体如下:

$$M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3,$$

$$\delta = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6.6,$$

$$Sk = [(\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{84} - \Phi_{16})] + [(\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{95} - \Phi_5)],$$

$$Ku = (\Phi_{95} - \Phi_5)/2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25}),$$

式中, $\Phi = -\log_2 D$, D 为沉积物粒径(mm)。

2 结果与分析

2.1 地形地层特征

2.1.1 海底地形地貌特征

本次调查利用单波束测深系统获得的水深数据绘制出研究区高分辨率水深地形图, 结果如图 2 所示。研究海域水深较浅, 水深为 1-29 m, 平均水深为 16 m, 最深处位于研究区南部, 最浅处位于西北部大鹿岛近岸区域, 在 123.7°-123.9° E 内发育有 NE-SW 向沙脊, 海底地貌以水下侵蚀堆积地貌为主。区域整体地形较为平坦, 表现为典型的近岸缓坡地形, 坡向由北向南。从 A-A' 与 B-B' 的海底地形剖面图可以看出, 总体坡度小于 12‰, 水深 5 m 内地形起伏较为平缓, 坡度小于 10‰; 水深大于 5 m 坡度变

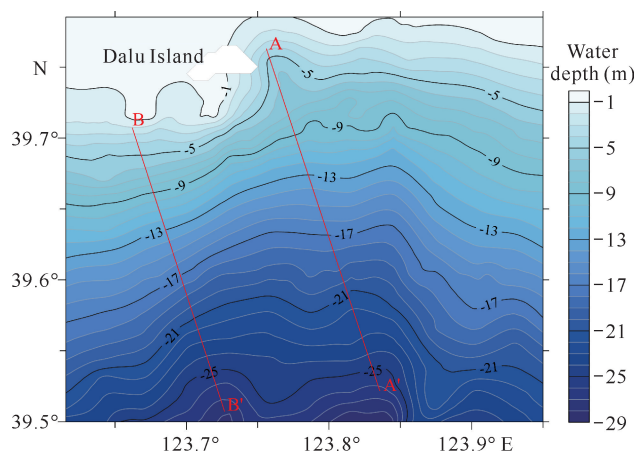


图 2 研究区地形图

Fig. 2 Topographic map of the study area

陡, 坡度为 12.5‰(图 3)。

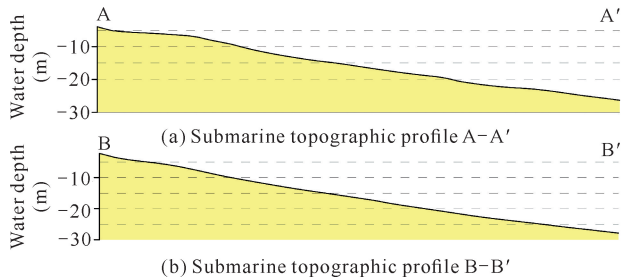


图 3 海底地形剖面图

Fig. 3 Submarine topographic profile

2.1.2 浅地层剖面特征

根据北黄海东北部的 JPL9-1 高分辨率浅地层剖面的反射特征, 结合海底表层沉积物取样结果, 可以分析出区域内海底浅地层结构、沉积层厚度和分布范围。由图 4 可知, 在浅地层剖面图像上, 以海底反射面 R_0 和声学反射面 R_1 为分界面, 可以划分为 U1 和 U2 上下两套声学地层。其中 U1 声学地层振幅强、连续性好、全区可追踪, 与下伏地层呈侵蚀不整合接触, 厚度约为 6 m, 其厚度在研究范围内变化不大, 层间具有平行反射结构, 无明显构造变形, 以加积反射层为特征, 沉积物以砂、粉砂和黏土为主, 为全新世以来的陆架环境海相沉积^[19]。U2 声学地层与 U1 声学地层的地震相特征明显不同, U2 层声学信号较

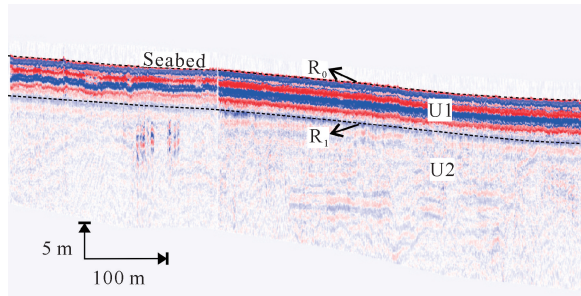


图 4 北黄海东北部海域 JPL9-1 浅地层剖面图

Fig. 4 JPL9-1 sub-bottom profile in the northeastern part of the North Yellow Sea

表 2 海水理化参数和营养盐含量

Table 2 Physicochemical parameters and nutrient salt content of seawater

站位 Station	水层 Water layer	水深(m) Water depth (m)	温度(°C) Temperature (°C)	溶解氧 (mg/L) Dissolved oxygen (mg/L)	盐度 Salinity	浊度 (NTU) Turbidity (NTU)	叶绿素 (μg/L) Chlorophyll (μg/L)	无机氮 (mg/L) Inorganic nitrogen (mg/L)	活性磷酸盐 (mg/L) Reactive phosphate (mg/L)
1	Surface	0.22	5.72	10.15	26.03	32.41	1.69	0.279	0.007
	Middle	1.51	5.85	10.05	25.89	22.29	2.07	0.279	0.007
	Bottom	3.69	6.37	9.84	26.33	222.72	4.62	0.279	0.007
2	Surface	0.38	6.51	9.69	26.24	13.31	1.03	0.256	0.005
	Middle	2.26	6.49	9.75	26.27	13.45	1.49	0.256	0.005

弱, 说明上覆地层含有粗粒物质, 阻挡了部分声学信号的传播, 且该层信号较复杂, 连续性较差, 厚度为 10–15 m, 近岸方向厚度逐渐减小, 发育有明显的信号异常区。U1 层为本次浅地层划分的主要声学地层, 该地层的岩性和分布受全新世以来的海平面变化和潮流因素的控制。

2.2 海水水质状况

调查水域各站位表、中、底 3 层海水的水文和营养盐情况如表 2 所示。从调查结果可以看出, 温度为 3.23–12.94°C, 最大值出现在 10 站位, 最小值出现在 9 站位, 各站位海水温度随水深增大而升高; 溶解氧浓度为 8.13–12.25 mg/L, 最大值出现在 9 站位, 最低值出现在 13 站位, 海域溶解氧的平均含量为 9.48 mg/L, 各站点溶解氧含量随水深增大而逐渐降低; 底层水盐度为 26.33–29.88, 变化不大, 平均值为 28.05; 浊度为 1.88–222.72 NTU, 浊度变化较大, 最大值出现在 1 站位, 最小值出现在 12 站位; 叶绿素含量为 0.30–4.62 μg/L, 最大值出现在 1 站位, 最小值出现在 10 站位; 无机氮(以 N 计)含量为 0.170–0.439 mg/L, 最大值出现在 5 站位, 最小值出现在 12, 13 站位; 活性磷酸盐含量为 0.004–0.008 mg/L, 最大值出现在站位 10, 最小值出现在 3, 6, 8 站位。调查海区海水温度与盐度空间分布规律趋于一致, 由大鹿岛沿岸向海方向逐渐增大, 溶解氧、浊度和叶绿素的空间分布特征与之相反; 无机氮和活性磷酸盐含量基本稳定, 变化不大。

分析表明, 北黄海大鹿岛附近海域的溶解氧含量均符合 I 类海水水质标准; 75.0% 区域的无机氮符合 II 类水质标准, 16.7% 区域的无机氮符合 I 类水质标准, 8.3% 的无机氮符合 IV 类水质标准; 各站位活性磷酸盐含量均符合 I 类海水水质标准。综合分析, 大鹿岛附近海域海水水质良好, 主要符合 II 类海水水质标准, 符合海水养殖的水质要求。

续表

Continued table

站位 Station	水层 Water layer	水深(m) Water depth (m)	温度(°C) Temperature (°C)	溶解氧 (mg/L) Dissolved oxygen (mg/L)	盐度 Salinity	浊度 Turbidity (NTU)	叶绿素 ($\mu\text{g/L}$) Chlorophyll ($\mu\text{g/L}$)	无机氮 (mg/L) Inorganic nitrogen (mg/L)	活性磷酸盐 (mg/L) Reactive phosphate (mg/L)
	Bottom	4.47	6.89	9.45	26.67	24.53	1.78	0.256	0.005
3	Surface	0.31	6.42	9.65	26.43	23.70	1.95	0.210	0.004
	Middle	1.75	6.44	9.51	26.41	23.99	1.78	0.210	0.004
	Bottom	3.81	6.49	9.55	26.42	62.84	2.78	0.210	0.004
4	Surface	0.36	6.81	11.19	0.48	7.54	1.21	0.282	0.006
	Middle	1.78	6.99	9.32	26.74	34.05	1.92	0.282	0.006
	Bottom	3.49	7.02	9.32	26.76	26.89	1.91	0.282	0.006
5	Surface	0.30	6.52	10.00	26.52	13.15	0.93	0.439	0.007
	Middle	2.17	6.72	9.73	26.48	13.10	1.49	0.439	0.007
	Bottom	4.14	7.01	9.35	26.78	54.97	1.79	0.439	0.007
6	Surface	0.52	8.89	10.83	0.45	6.60	1.59	0.260	0.004
	Middle	5.61	9.77	8.70	28.11	4.44	0.56	0.260	0.004
	Bottom	11.43	10.05	8.82	28.22	8.03	0.53	0.260	0.004
7	Surface	0.61	8.23	11.01	0.46	5.98	0.98	0.245	0.006
	Middle	6.38	10.03	8.69	28.14	3.86	0.47	0.245	0.006
	Bottom	12.96	10.57	8.65	28.39	4.12	0.48	0.245	0.006
8	Surface	0.23	8.60	11.36	0.41	17.86	0.99	0.242	0.004
	Middle	8.53	10.81	8.54	28.63	2.52	0.49	0.242	0.004
	Bottom	16.38	11.15	8.92	28.82	7.64	0.49	0.242	0.004
9	Surface	0.23	3.23	12.25	0.27	28.56	1.99	0.281	0.007
	Middle	7.55	10.74	8.51	28.53	2.62	0.35	0.281	0.007
	Bottom	15.26	11.18	9.00	28.76	3.35	0.36	0.281	0.007
10	Surface	0.23	11.01	8.64	28.91	2.50	0.55	0.200	0.008
	Middle	10.06	11.67	8.39	29.15	2.22	0.62	0.200	0.008
	Bottom	20.43	12.94	8.22	29.88	2.28	0.30	0.200	0.008
12	Surface	0.22	11.25	10.23	0.35	22.39	1.30	0.170	0.005
	Middle	10.99	12.49	8.19	29.58	1.88	0.36	0.170	0.005
	Bottom	20.37	12.57	8.18	29.63	1.89	0.50	0.170	0.005
13	Surface	0.23	9.13	10.93	0.32	26.32	1.46	0.170	0.005
	Middle	11.91	12.23	8.47	29.60	1.98	0.68	0.170	0.005
	Bottom	22.48	12.89	8.13	29.88	4.09	0.48	0.170	0.005

2.3 沉积特征

2.3.1 表层沉积物类型与分布

由表 3 可知,研究区表层多为黑色砂质沉积物,底质类型均为砂质沉积,沉积物类型无明显的空间变化。各采样点之间的粒度参数差异不大,其中,砂的组分为 89.29% - 96.85%,粉砂含量次之,黏土最

少。平均粒径的分布为 2.65 - 2.98 Φ ,平均值为 2.83 Φ ;分选系数为 0.42 - 0.79,平均值为 0.53;偏态均为正偏,平均值为 0.22;峰态的平均值为 1.20。根据 Shepard 分类命名方法,北黄海表层沉积物均为砂,砂的含量很高,均大于 89%,调查区各站位表层沉积物分类和命名详见图 5。

表3 研究区表层沉积物组分含量及粒度分析结果

Table 3 Results of component content and grain size analyses of surface sediments in the study area

站位 Station	黏土(%) Clay (%)	粉砂(%) Silty sand (%)	砂(%) Sand (%)	定名 Nanning	平均粒径 (Φ) Median particle size (Φ)	分选系数 Sorting coefficient	偏态 Skewness	峰态 Kurtosis
1	0.47	4.54	94.99	Sand	2.88	0.53	0.22	1.11
2	0.50	4.18	95.32	Sand	2.89	0.51	0.21	1.05
3	0.64	7.18	92.17	Sand	2.98	0.65	0.33	1.51
4	0.48	3.16	96.36	Sand	2.88	0.46	0.18	0.98
5	0.45	2.87	96.68	Sand	2.95	0.45	0.14	0.96
6	0.61	5.78	93.61	Sand	2.87	0.61	0.28	1.22
7	0.43	3.00	96.57	Sand	2.78	0.49	0.14	1.12
8	0.51	3.44	96.05	Sand	2.80	0.49	0.15	1.06
9	0.75	9.96	89.29	Sand	2.90	0.79	0.41	1.67
10	0.50	4.36	95.14	Sand	2.81	0.53	0.21	1.15
11	0.38	2.76	96.85	Sand	2.65	0.42	0.15	1.16
12	0.44	3.15	96.41	Sand	2.72	0.46	0.16	1.16
13	0.44	5.14	94.41	Sand	2.72	0.56	0.31	1.50

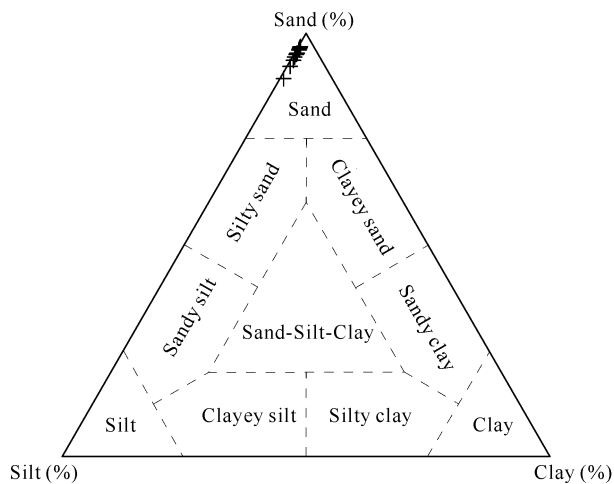


图5 研究区表层沉积物分类与定名

Fig. 5 Classification and naming of sediments samples in the study area

2.3.2 沉积物粒度参数空间分布

从图6可以看出,研究区沉积物组分的空间变化不大,3,6,9号站位黏土与粉砂占比略高,但整体上砂的组分占绝对优势,沉积物粒径较粗。其他粒度参数中,分选系数、偏态和峰态的空间分布关系较为类似,这三者与平均粒径的空间变化规律相反。其中,测区南北两侧平均粒径较大,而测区的西北角和东部9号站位附近平均粒径偏小,整体变化趋势为由3,6,9号站位的较小值向南北两侧逐渐增大。相反地,测区内3,6,9号站位附近粒度参数表现为分选系数偏

大,偏态偏正,峰态偏大;而测区南北两侧分选系数较小,偏态偏负,峰态偏小。

3 讨论

3.1 研究区沉积物粒度参数特征

沉积物的粒度参数及其空间分布是沉积物的基本属性之一。沉积物粒度参数是以一定数值定量地表示沉积物的粒径频率分布^[20],是用来研究沉积物的沉积特征及沉积环境的统计学方法。粒度参数可以指示沉积物的物源条件、水动力条件等信息,其空间分布特征是沉积物物质循环和外动力运输的结果。本研究发现,沉积物的来源主要与平均粒径和分选系数密切相关,而沉积环境主要反映在偏态和峰态上^[21]。结合研究区沉积物粒度参数分析,研究区沉积物分选较好,呈正偏态和中等尖锐峰态,峰态的数值变化较大。

3.2 沉积物类型及成因分析

已有的研究表明北黄海北部沉积物类型主要为砂、粉砂质砂和砂质粉砂,且呈自鸭绿江口向西粒径变细的趋势^[22-25],其中砂质沉积物占绝大比例,主要分布在123.3°E以东的海域^[10]。由此可见,本研究对北黄海大鹿岛附近海域表层沉积物类型的研究结果与前人的研究结果能较好地吻合。

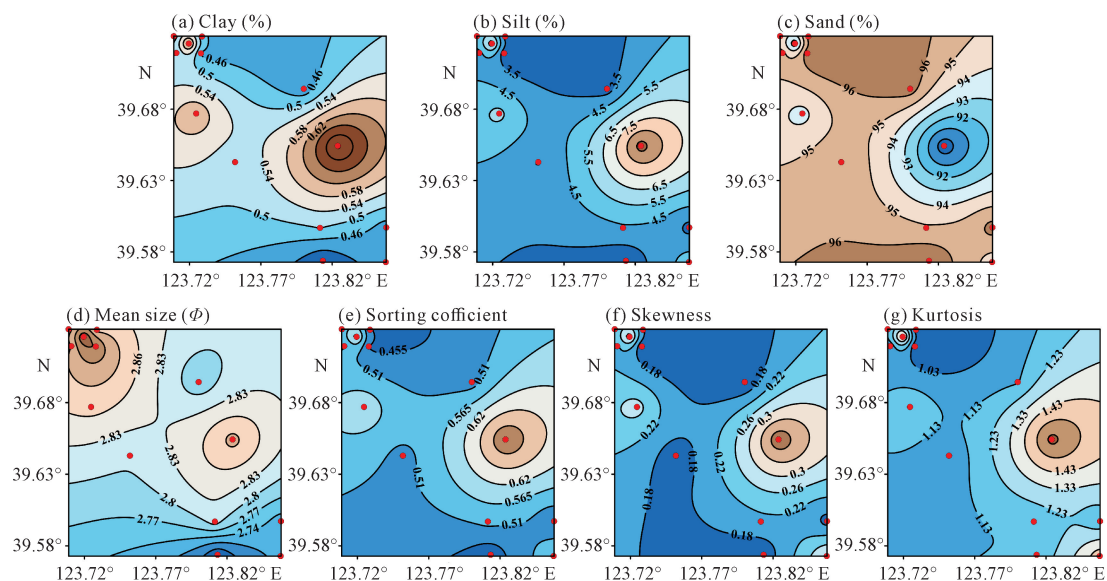


图6 研究区表层沉积物组分含量及粒度参数空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the component content and grain size parameters of surface sediments in the study area

沉积物粒度参数和分布特征与沉积物的物源条件、水动力条件等多种因素有关。北黄海的沉积物主要为陆源沉积,其沉积物源主要来自黄河、鸭绿江等沿岸河流^[14,26,27],另外还包括近岸和海底侵蚀。北黄海西部沉积物主要来源以黄河入海物质为主,东部沉积物以鸭绿江入海物质为主。研究区属于北黄海北部区域,根据其粒度分析结果和沉积物类型,推测其砂质沉积的主要物源为鸭绿江等沿岸河流的入海物质。

研究区砂质沉积形成与辽南沿岸流及区域内强潮流环境密切相关,海底地形地貌、古环境及海平面变化对其也具有一定影响。辽南沿岸流由鸭绿江和沿岸河流冲淡水组成,一直沿辽东半岛东南岸由鸭绿江口流向渤海,方向终年稳定不变。夏季降雨导致鸭绿江径流量增加,辽南沿岸流流速超过 10 cm/s,冬季受东北风影响,长山列岛海域流速也接近 10 cm/s^[28],主要为北黄海北部近岸海域分布的砂质沉积提供了物质来源。区域内强的潮流环境对砂质沉积的形成也起到重要作用,辽东半岛东南岸高速的潮流可以为河流携带入海的悬移物质的抬升和搬运提供动力,推动粗粒物质的分选富集,促进砂质沉积的形成。北黄海北部近岸区海底地形较为平坦,有利于沉积物的稳定输运与沉积,故研究区的沉积组分及空间分布特征也较为稳定。古气候及海平面变动对沉积特征的形成也具有一定的影响,北黄海长期处于滨海相环境,末次盛冰期以来的沉积被持续地侵蚀和改造,细颗粒物被搬运,粗颗粒物被留在原

地^[26],因此在北黄海地区形成了大量的砂质沉积。

本研究依据北黄海大鹿岛附近表层沉积物类型、粒度参数及空间分布特征,分析了沉积物的物质来源和水动力条件,并总结出了研究区沉积特征的形成原因,分析认为研究区内沉积物整体粒度较粗,以砂质沉积为主,其物质来源主要为鸭绿江等沿岸河流的入海物质;沉积特征还受到辽南沿岸流、海洋潮流、海底地形地貌及古气候等多种因素的影响。

3.3 海洋牧场本底地质环境分析与评估

为促进海洋牧场的选址与建设,从水深地形、水质环境、海底底质类型等 3 个方面对研究区海洋牧场本底地质环境进行分析与评估。第一,从水深地形条件来看,一般而言,水深适宜、地形平坦的区域有利于海洋牧场工程的顺利开展,考虑到光照和温度对人工鱼礁的影响以及波浪对海洋牧场构建物的冲刷作用,海洋牧场的海区一般位于水深 5-30 m 的海域^[29]。北黄海大鹿岛附近海域平均水深为 16 m,地形为典型的近岸缓坡地形,适于海洋牧场的构建和布局。第二,从水质环境来看,海水水质是海洋牧场选址的一个重要环境参数,养殖水域的海水环境应满足不受污染,透明度好,不浑浊,水质应符合渔业水质标准^[30]。大鹿岛附近海域海水主要处于国家 II 类海水水质标准,透明度较好,水温适宜,理化环境优越,营养盐含量丰富,具有沿岸河流携带的丰富有机质,适于多种海洋生物的生长,尤其是丹东海域的优势种中国蛤蜊 (*Macra chinensis*) 的活动受水温影响显著,在一定温度范围内,中国蛤蜊的跳跃频率和跳跃高度随水温

的升高呈上升趋势。调查海域海水的温度等环境参数适合中国蛤蜊的活动和生长, 该海域具备建设丹东特色海洋牧场海水水质环境。第三, 从海底底质类型来看, 在选择海底底质时一般选取海底表层含有薄层泥沙的较硬质底质, 而避免人工鱼礁投放后因底质太软而沉入海底, 大鹿岛附近海域表层沉积类型均为硬质砂质沉积, 淤泥含量较少, 该海域的海底底质类型有利于人工鱼礁的投放和海洋牧场构建物的布设。

综合多种环境因素对大鹿岛附近海域的海底地质环境进行综合评估, 最终可为丹东特色滩涂型海洋牧场的选址、布局和建设提供科学指导。

4 结论

本研究对北黄海大鹿岛附近海域海底地形地貌、海水水质状况、沉积物类型及分布等方面进行了地质环境综合调查和分析, 得出了以下结论: (1) 北黄海大鹿岛附近海域水深较浅, 平均水深为 16 m。区域整体地形较为平坦, 表现为典型的近岸缓坡地形, 地貌以水下侵蚀堆积地貌为主; (2) 浅地层剖面资料显示, 研究区海底面以下沉积物为松散的砂质沉积物, U1 声学地层信号清晰连续, 全区可追踪, 沉积层厚度约 6 m 且分布稳定, 为全新世以来的陆架环境海相沉积; (3) 北黄海大鹿岛南部海域海水水质良好, 主要处于 II 类海水水质标准, 该区域水质环境符合海水养殖的水质要求; (4) 研究区表层沉积物类型均为砂质沉积, 大部分海域沉积物分选较好。研究区沉积物类型及分布是沉积物物源和水动力环境等多种因素共同作用的结果。研究区沉积物主要来源于大洋河和鸭绿江等沿岸河流的入海物质, 沿岸流、海洋潮流及古气候对沉积物分布具有明显控制作用; (5) 研究海域地形地貌和沉积物反映出北黄海大鹿岛附近海域为地形平坦的近岸砂质浅滩沉积且海水水质较好, 整体工程环境良好, 适于进行丹东滩涂型海洋牧场的构建。

参考文献

- [1] 杨红生, 章守宇, 张秀梅, 等. 中国现代化海洋牧场建设的战略思考[J]. 水产学报, 2019, 43(4): 1255-1262.
- [2] 陈勇. 中国现代化海洋牧场研究与建设[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(2): 147-154.
- [3] 杨红生, 霍达, 许强. 现代海洋牧场建设之我见[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(6): 1069-1074.
- [4] 林美华. 黄海海底地貌分区及地貌类型[J]. 海洋科学, 1989, 13(6): 7-15.
- [5] 金翔龙, 喻普之. 北黄海地质构造特征研究[J]. 海洋科学, 1979(S1): 92-94.
- [6] 刘晓瑜, 冯秀丽, 陈义兰, 等. 北黄海海底麻坑群形态的定量研究及控制因素[J]. 海洋学报, 2018, 40(3): 36-49.
- [7] 李红军, 刘月, 程岩, 等. 鸭绿江口沉积粒度特征及其对沉积环境演化的指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(3): 58-66.
- [8] 冉隆江, 石勇, 高建华, 等. 鸭绿江河口地区沉积物的粒度变化及影响因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(2): 31-42.
- [9] 马晓红, 韩宗珠, 艾丽娜, 等. 中国渤黄海的沉积物源及输运路径研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(6): 96-101.
- [10] 韩宗珠, 王一冰, 孙苑高, 等. 黄海表层沉积物的矿物组成特征及其物源分析[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(4): 10-19.
- [11] CHENG Z X, JALON-RÓJAS I, WANG X H, et al. Impacts of land reclamation on sediment transport and sedimentary environment in a macro-tidal estuary [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2020, 242: 106861.
- [12] 秦蕴珊, 李凡, 徐善民, 等. 南黄海海水中悬浮体的研究[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(2): 101-112.
- [13] 刘强, 高建华, 石勇, 等. 北黄湖北部表层沉积物中多环芳烃的分布特征及控制因素分析[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(1): 53-58.
- [14] LIU X M, QIAO L L, ZHONG Y, et al. Pathways of suspended sediments transported from the Yellow River mouth to the Bohai Sea and Yellow Sea [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2020, 236: 106639.
- [15] 刘爱菊, 尹逊福, 卢铭. 黄海潮汐特征 [I] [J]. 黄渤海海洋, 1983, 1(2): 1-7.
- [16] 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. 海洋监测规范: 第 4 部分 海水分析: GB 17378. 4 - 2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] 国家环境保护局. 海水水质标准: GB 3097 - 1997 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [18] SHEPARD F P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios [J]. Journal of Sedimentary Research, 1954, 24(3): 151-158.
- [19] 陈晓辉, 李日辉, 徐晓达. 北黄海浅层声学地层[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 17-22.
- [20] 李近元, 宫士奇, 栾振东, 等. 南日岛东部海底地形地貌及沉积特征[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(12): 11-16.
- [21] 李富祥, 张春鹏, 王路, 等. 基于表层沉积物粒度特征的鸭绿江口沉积环境分析[J]. 海洋科学, 2014, 38(5): 100-106.
- [22] 张剑, 李日辉, 王中波, 等. 渤海东部与黄海北部表层沉积物的粒度特征及其沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(5): 1-12.
- [23] QIAO S Q, SHI X F, WANG G Q, et al. Sediment accumulation and budget in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea [J]. Marine Geology, 2017, 390:

- 270-281.
- [24] 密蓓蓓, 王中波, 蓝先洪, 等. 山东—辽东半岛周边海域沉积物粒度特征对元素化学成分的制约[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(5): 54-62.
- [25] 王伟, 李安春, 徐方建, 等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): 525-531.
- [26] 李艳. 北黄海末次冰消期以来沉积特征及物源环境指示[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2011.
- [27] 程鹏. 北黄海细颗粒物质的沉积特征与输运过程[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2000.
- [28] 陈晓辉. 北黄海陆架晚第四纪地层结构与物源环境演变研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2014.
- [29] 冯英明, 许丙彩, 郝义, 等. 日照市海洋牧场示范区人工鱼礁选址适宜性分析[J]. 山东国土资源, 2020, 36(1): 44-50.
- [30] 国家环境保护局. 渔业水质标准: GB 11607 - 1989 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.

Analysis of Background Geological Environment of Marine Ranching near Dalu Island in the North Yellow Sea

DU Mengdi^{1,2}, ZHANG Jianxing^{1,3}, SONG Yongdong^{1,3}, LUAN Zhendong^{1,2,3}, YAN Jun^{1,3}

(1. CAS Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China)

Abstract: In order to promote the construction of characteristic beach-type marine ranching in the northern part of the North Yellow Sea, a survey and assessment of the background geological environment of marine ranching near Dalu Island in the North Yellow Sea was carried out in this study. High-resolution acoustic sounding equipment was used to obtain precise bathymetric data and shallow stratigraphic profiles of the study area. The physicochemical parameters of seawater were determined by the combination of field and laboratory methods. Sieving analysis and laser particle size testing were used to determine the sediment type and particle size characteristics. Finally, the background geological environment was assessed by analyzing the submarine topography, seawater quality and sediment distribution characteristics of the study area. Results show that the measured water depth of the target sea area is 1 – 29 m, with the average water depth of 16 m. The overall performance of submarine topography is generally a gentle near-shore slope, and the landform is dominated by underwater erosion accumulation landform. The U1 acoustic strata in the seafloor profile is clear and continuous, traceable throughout the area, with a thickness of approximately 6 m and little variation. The seawater quality is good, mainly in Category II seawater quality standard. The types of surface sediments are all sand, and the composition of sediments does not change much. The composition of sand is absolutely dominant. The spatial distribution of surface sediments is mainly related to the sediment source conditions and the factors such as the coastal current in southern Liaoning and the tidal current. The comprehensive analysis shows that the water depth near Dalu Island in the North Yellow Sea is suitable, the terrain is relatively flat, the water quality environment is good, and the deposition are mainly sandy shoal, which is suitable for the construction of beach-type marine ranching.

Key words: marine ranching; submarine topography; sedimentary characteristics; hydrological environment; North Yellow Sea; Dalu Island

责任编辑: 唐淑芬