

辽东半岛东部庄河海域海岸带工程地质特征及开发适宜性分析

杜 星^{1,2}, 孙树珩³, 宋玉鹏^{1,2*}, 颜秉英³, 张旭升³,
董立峰^{1,2}, 周其坤^{1,2}, 宋丙辉^{1,2}

(1. 自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 山东 青岛 266061;

3. 辽宁水文地质工程地质勘察院有限公司, 辽宁 大连 116037)

摘 要:辽东半岛东部庄河海域分布有大量的人类工程活动设施, 研究其工程地质特征和开发适宜性有助于提升海洋工程开发的安全和效率。利用海洋高精度地球物理调查、海底沉积物表层取样和历史工程地质数据收集等方法获取的各类调查数据, 对庄河海域海岸带工程地质特征进行了系统分析。调查资料分析结果表明, 研究区水深在 11.5~15.6 m、坡度较小、海底地形较为平坦、存在 4 个连续声学反射界面; 海底存在软弱土层、埋藏古洼地和埋藏古河道等不良地质因素。表层沉积物液塑限性质测试结果表明, 研究区海底沉积物较为稳定, 不需考虑软土的震陷问题。综合分析研究区各类地质影响因素, 认为研究区各类环境指标较为稳定, 适宜开展海洋工程开发活动, 但是具体施工时需要重点考虑探测到的各类不良地质因素。

关键词:辽东半岛; 海岸带; 工程地质特征; 地球物理探测; 开发适宜性

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-3682(2022)03-0242-08

doi: 10.12362/j.issn.1002-3682.20220408001

引用格式:杜星, 孙树珩, 宋玉鹏, 等. 辽东半岛东部庄河海域海岸带工程地质特征及开发适宜性分析[J]. 海岸工程, 2022, 41(3): 242-249. DU X, SUN S H, SONG Y P, et al. Analysis of engineering geological characteristics and exploitation suitability of coastal zone in the Zhuanghe sea area in the eastern Liaodong Peninsula[J]. Coastal Engineering, 2022, 41(3): 242-249.

海岸带是人类开发强度最大的地区之一, 目前全世界约有 1/2 的人口集中在距离海岸线 50 km 的海岸带范围内^[1]。随着我国海洋开发战略的稳步进行, 各类沿岸工程的建设也日益增多, 如何对海岸带开展工程地质特征综合研究以及开发适宜性评价显得尤为重要。近年来, 学者们围绕海岸带工程地质特征及开发利用开展了众多研究工作。吴振等^[2]基于莱州湾海岸带工程地质调查数据对工程地质特征及特殊问题进行了分析, 将研究区土层结构划分为 9 层; 宋晓帅等^[3]考虑地形地貌、地质构造、岩土体类型及工程地质特征, 将莱州湾海岸带划分为 3 大区域; 黄声春和许巧娟^[4]阐述了汕头地区海岸类型、分布及工程地质特征, 并阐述了综合开发利用沿海滩涂资源的意义; 龚旭东等^[5]通过对侧扫声呐、浅地层剖面和海底取样等实测资料的详细分析, 揭示了辽东湾北部浅海区的自然地质状况和复杂的海洋工程地质特征。虽然对不同区域的海域工程地质特征进行了研究和分区, 但是采用的手段相对单一, 例如数值分析方法^[6-9]、底质类型分析^[10]、地球物理调查手段^[11-12]等, 使用多种勘测手段综合调查分析的研究仍然较少。由于地质领域的综合评价问题具有多解性, 因此单一的研究手段可能会突出某种影响因子的影响效果, 进而导致整体评价的不准确, 而使用多种手段综合分析可以增加综合评价的准确性和普适性。

收稿日期: 2022-04-08

资助项目: 地方科研项目——辽东半岛东部海岸带地质灾害风险评价及区划; 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——真实海洋波浪动力条件下海底沉积物波致孔压响应及液化研究 (GY0222Q05)

作者简介: 杜 星(1991—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事海洋灾害地质方面研究. E-mail: duxing@fio.org.cn

* 通信作者: 宋玉鹏(1979—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事海洋工程地质方面研究. E-mail: songyupeng@fio.org.cn

(李 燕 编辑)

辽东半岛东部庄河附近海域分布有海上风电、海底管道、海面筏式养殖和海底底播养殖区域等多种人类工程活动区,是海岸带开发的重要区域,工程地质特征和开发适宜性分析对该海域尤为重要。本文以辽东半岛东部庄河海域为研究区,在搜集以往工程项目的钻孔资料基础上,使用高精度地球物理调查和海底沉积物取样等方法对研究区进行工程地质综合研究,并结合地质、水文、气象因素探究研究区的开发适宜性。研究成果不仅对海岸带工程地质特征及开发利用的方法研究具有科学意义,还可以对辽东半岛东部海岸带工程建设提供科学指导。

1 研究区概况

研究区位于辽宁大连庄河石城岛西南侧海域(图 1),距离岸边 12 km 左右,海域面积共计 35 km²。研究区多年平均气温为 8.9 ℃,其中 8 月平均气温最高,为 23.3 ℃,1 月最低,−8.1 ℃,累年极端最高气温为 34.7 ℃(1979 年 5 月 20 日),最低气温为 23.2 ℃(1983 年 2 月 21 日)^[13]。研究区内太古界地层为最古老的地层,其变质年龄大约为 25 亿 a,局部混合岩化作用强烈。下元古界分为下、上亚群,角度不整合于太古界地层之上。新生界地层中,研究区沿岸缺失第三纪,存在下、中、上更新统,全新统较为发育,冲积、洪积主要发育于大小河流主流堆积阶地的河漫滩上,而海积、冲海积主要分布于沿海地带。研究区周边断裂构造不甚发育,其中规模较大的主要为北东向的庄河断裂。庄河断裂在银家窝进入海域,推测其走向为平行海岸线向西南方向延伸,总体上中生代活动强烈,新生代以来活动性减弱,第四纪以来无明显活动^①。

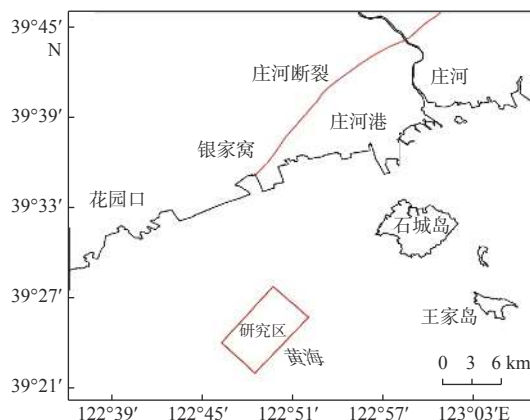


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

2 数据和方法

收集研究区内的历史工程地质数据,并开展高精度地球物理探测和表层沉积物取样工作进行数据补充。综合分析水文、气象、工程地质钻探、地球物理探测等资料,对研究区工程地质特征和开发适宜性进行研究。

2.1 数据

1)历史工程地质数据:重点收集了研究区内已开展的相关项目的钻孔资料^①,共收集到 13 个钻孔的资料,包括钻孔经纬度坐标、钻孔柱状图、各土层的土工试验成果等。

2)高精度地球物理探测数据:包含了庄河海域的水深、侧扫和地层剖面数据。地球物理探测数据于 2020 年 11 月由自然资源部第一海洋研究所(以下简称海洋一所)调查人员分别使用加拿大 Knudsen 公司的 KNUDSEN 320M 双频回声测深仪(工作频率:24~200 kHz;双频换能器测深范围:高频 0.2~2 000 m、低频 0.5~5 000 m,发射功率:2 kW;声速:1 400~1 600 m/s;可调测深精度:±0.1%;分辨率:1 cm)、美国 Edgetech 公司的 Edgetech4200MP 双频侧扫声呐系统(工作频率:100~410 kHz;最大工作水深:1 000 m;最大单侧扫宽:600 m)和荷兰 Geo Marine Survey 公司的 GEO-SPARK 1 000 浅地层剖面探测系统获取。

① 上海勘测设计研究院有限公司. 国家电投大连市花园口(400 MW)海上风电场工程地质勘察报告, 2019.

3)表层沉积物数据:共有30组研究区海底表层沉积物样品。表层样品于2020年11月由海洋一所调查人员在庄河海域利用箱式取样器采集和测试。测试仪器分别为国产液塑限联合测定仪和德国新帕泰克快速湿法粒度仪 HELOS-QUIXEL 激光粒度分析仪,测试的数据包括沉积物样品的稠度指标(液限、塑限)和颗粒组成情况。取样站位见图2。

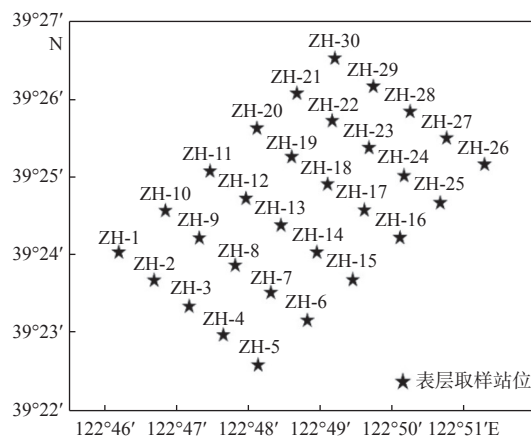


图2 研究区表层沉积物样取站位

Fig. 2 Stations of the surface sediment sampling in the study area

2.2 方法

1)地球物理特征分析:利用测量得到的地球物理数据资料,对研究区水深、海底地貌、地层结构特征和不良地质作用等方面进行分析,绘制各类要素分布图,进而开展研究区工程地质特征分析和海底稳定性评价。

2)海底地层层序划分:利用收集到的钻孔资料,结合地球物理调查的结果,对研究区海底地层层序进行详细划分。

3)表层沉积物分布划分:基于研究区内取样获得的表层样物理力学特性测试情况,划分研究区的表层沉积物类型,进而开展海底沉积物液化、震陷评估。

4)工程地质特征及开发适宜性分析:结合地球物理探测资料、收集到的历史钻孔资料和表层沉积物测试结果,考虑研究区及其邻近海域现有和将来拟建工程设施,对研究区工程地质特征和开发适宜性进行综合分析。

3 结果与分析

3.1 水深、地形地貌

双频回声测深仪和双频侧扫声呐现场探测结果显示(图3),研究区地势总体上为西北高、东南低,水深等深线大致与海岸线平行。整个研究区地势平坦,水深(11.5~15.6 m)变化较小,海底平均坡度约为0.08%(坡度角约0.05°),最大坡度不足0.2%(坡度角约0.11°)。研究区表层沉积物以粉砂质砂、砂质粉砂和砂质泥为主,海底未见潮流沙脊、沙波、冲刷槽等四级地貌类型。

在研究区内,对海底地貌影响较大的是海底底播

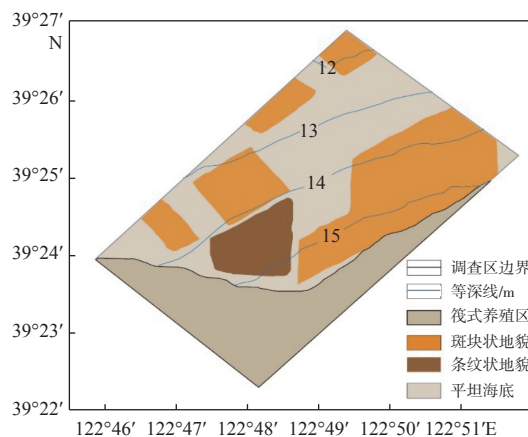


图3 研究区水深及海底地貌

Fig. 3 Bathymetry and seafloor geomorphology in the study area

养殖。受海底存在多个底播养殖区域的影响,研究区海底存在大范围的斑块状海底地貌和条纹状海底地貌,其中条纹的方向与养殖区边界平行,斑块状海底地貌和条纹状海底地貌在各个养殖区内的存在具有较大的随机性,未发现明显的分布规律,应与底播养殖的类型有关。

3.2 浅地层结构

根据对声学地层剖面的分析和解译(相位、波形特征、振幅和连续性等对比),结合收集到的研究区工程地质钻探资料,在研究区海底面以下至声学剖面记录的有效范围内共确定了4个连续声学反射界面(图4),分别代表不同沉积环境和物质成分的分界面(标记为R0、R1、R2、R3)。依据这4个反射界面可将浅地层剖面划分为4个主层序(层序I、层序II、层序III、层序IV)。

层序I: 反射界面R0和R1之间的地层,为高海面时期形成的沉积体,层内反射较弱、平行层理或无层理。收集到的工程地质钻探资料和本次调查的表层沉积物资料研究显示,本层以淤泥质粉砂、粉砂质砂、砂质粉砂和砂质泥为主。层序I在整个研究区广泛发育,厚度为8~10 m,大致呈由岸向海逐渐变薄的趋势。

层序II: 反射界面R1和R2之间的地层。根据沉积层的沉积特征以及收集到的工程地质钻孔资料分析可知,该层沉积物以粉质黏土为主,偶有粉砂或中砂夹层,层序内部复杂,呈水平反射结构、斜层理反射结构和杂乱发射结构。推测R2界面为末次冰期低海面时期形成的侵蚀界面,下切洼地和沟谷为河流或潮流作用形成。层序II地层为低海面时期的河流充填或湖泊相沉积物,或者为冰后期海平面上升时形成的充填沉积物。由于长期受陆相河流作用或海平面上升过程中的海岸高能环境影响,沉积层物质混杂,浅地层反射信号杂乱。

层序III: 反射界面R2和R3之间的地层。根据收集到的工程地质钻探资料,研究区内层序III地层的岩性以粉砂、中砂、粗砂为主,偶有粉质黏土夹层。推测本层为陆相层,以基岩风化为物源的残积物、坡积物为主。

层序IV: 反射界面R3以下的地层,为基岩。对研究区R3反射界面,即基岩顶面深度进行了统计分析,结果显示:与覆盖层相对应,R3界面标高变化较大,在55~102 m埋深(低于目前海平面),总体上呈现由西南、东北两侧向测区中部,尤其是测区中部偏北方向逐渐变深的趋势。

3.3 不良地质作用

研究区除因海底贝类养殖造成的斑块状地貌和条纹状地貌外,大部分海区为平坦海底,海底表面未发现活动沙丘、沙波、潮流沙脊群、滑坡、崩塌、沟谷等不良地质作用类型,在浅地层剖面探测资料中也未发现抛泥区、浅层气、泥底辟等不良地质作用(图5)。研究区的不良地质作用类型主要包括软弱土层、埋藏古洼地和埋藏古河道、冲刷侵蚀导致的出露基岩等。

软弱土层即本次研究区的层序I,在研究区内该层下底面界面分布在现有海平面以下21~26 m处,平均深度23 m,该层厚度为8~10 m。根据收集到的工程

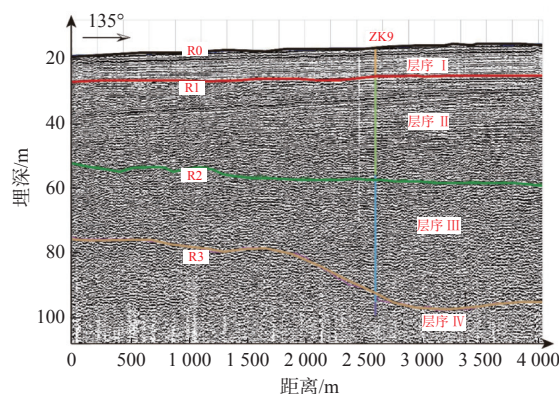


图4 研究区典型浅地层剖面

Fig. 4 A profile of typical shallow stratigraphy in the study area

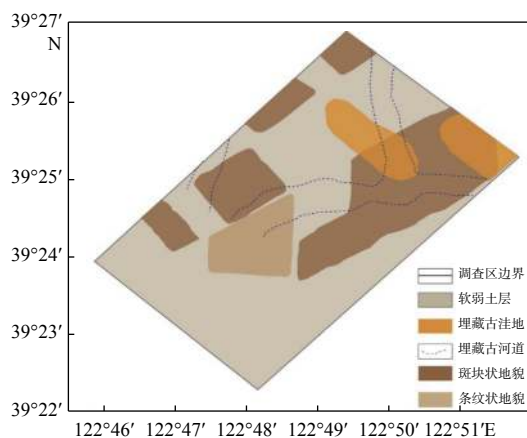


图5 研究区不良地质作用分布

Fig. 5 Distribution of the adverse geological factors in the study area

地质钻孔资料和本次调查取得的表层沉积物样品测试结果,本层沉积物以淤泥质粉砂、淤泥质粉砂质砂、淤泥质砂质粉砂为主,属高压缩性土。层序I在海底表面以下 3.5 m 范围内,钻具自沉现象极其明显,土体强度极低,属于软弱土层。在海洋工程建设中,如果选为持力层则极易造成海底构筑物的下沉破坏,具有较大的灾害隐患。

埋藏古洼地主要分布在研究区的层序II地层中。研究区的东南部为末次冰期低海面时期形成的侵蚀洼地,后被河流或湖泊相沉积物充填,内部沉积物呈斜层理反射。在该埋藏古洼地附近,存在多条埋藏古河道,其断面大致呈U字型或V字型下切至下伏地层中。无论是埋藏古洼地还是埋藏古河道,其中的充填沉积物都具有沉积构造复杂、结构多变的性质,与周边土层在物理力学性质方面存在较大的差异,为不良工程地质因素,可能给工程建设带来巨大隐患。尤其是选择该层作为桩基础持力层时,应该进行不良地基处理。

3.4 浅表层沉积物性质

对研究区表层沉积物使用Folk定名法^[14]进行了沉积物定名,样品粒度测试结果(图6)显示:海底表层沉积物主要包括粉砂质砂(zS)、砂质粉砂(sZ)和砂质泥(sM)3种类型。粉砂质砂是本研究区分布最广泛的沉积物类型,约占沉积物面积的70%以上;砂质粉砂分布面积次之,约占总面积的20%;砂质泥分布最少,仅占总面积的8%左右。

为进一步探究研究区海底沉积物物理力学性质,利用室内液塑限联合测定仪对30个取样站位(图2)的海底表层土开展了液塑限性质测试,测试结果如表1所示。

结合沉积物粒度分析与液塑限测试结果,根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[15]进行了沉积物工程分类。结果显示海底表层土多属粉土和粉质黏土。据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[15],当地震烈度分别为7度、8度和9度时,饱和粉土的黏粒质量分数分别不小于10%、13%和16%时,可判为不液化土。由表1可知,研究区ZH-01~ZH-10、ZH-18、ZH-23、ZH-25以及ZH-30取样站位处海底表层沉积物中黏粒质量分数低于10%,具有一定的液化潜在可能,后续尚需进一步评估海底土的液化可能性。另外,《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[15]规定地震烈度为8度和9度时,塑性指数小于15以及天然含水量大于0.9倍液限且液性指数大于0.75的饱和粉质黏土可判为震陷性软土,由于研究区对应地震烈度不高于8度,因此不用考虑软土的震陷问题。

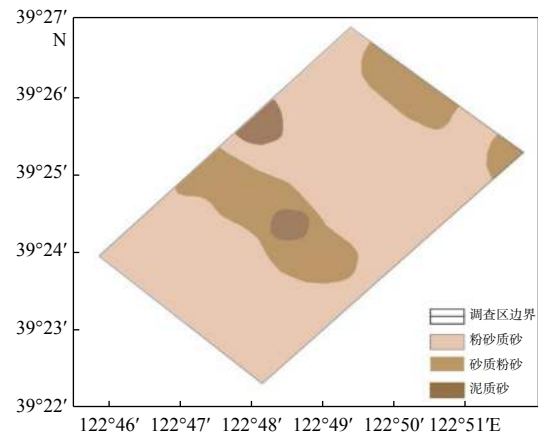


图6 研究区海底表层沉积物类型平面分布
Fig. 6 Horizontal distribution of surface sediment types on the seafloor of the study area

表1 海底表层土液塑限测试结果

Table 1 Results of the liquid-plastic limit tests of the seafloor surface sediment in the study area

样品编号	试验编号	液限/%	塑限/%	塑性指数	黏粒含量/%
庄河 01#	ZH-01	26.57	17.12	9.45	7.1
庄河 02#	ZH-02	26.39	16.68	9.71	5.9
庄河 03#	ZH-03	25.90	15.92	9.98	8.3
庄河 04#	ZH-04	25.33	17.75	7.58	6.5
庄河 05#	ZH-05	27.80	17.96	9.84	6.0
庄河 06#	ZH-06	24.75	17.65	7.10	6.8

续表

样品编号	试验编号	液限/%	塑限/%	塑性指数	黏粒含量/%
庄河 07#	ZH-07	24.78	17.69	7.09	6.1
庄河 08#	ZH-08	24.95	17.11	7.84	5.6
庄河 09#	ZH-09	24.66	17.40	7.26	7.0
庄河 10#	ZH-10	26.30	18.29	8.01	8.8
庄河 11#	ZH-11	29.05	16.43	12.62	16.2
庄河 12#	ZH-12	30.62	17.34	13.28	18.6
庄河 13#	ZH-13	27.93	15.82	12.11	21.1
庄河 14#	ZH-14	29.22	17.79	11.43	18.5
庄河 15#	ZH-15	28.10	18.79	9.31	15.7
庄河 16#	ZH-16	26.87	17.85	9.02	10.6
庄河 17#	ZH-17	26.39	15.99	10.40	11.3
庄河 18#	ZH-18	—	—	—	5.8
庄河 19#	ZH-19	28.99	19.10	9.89	13.7
庄河 20#	ZH-20	28.64	17.33	11.31	20.1
庄河 21#	ZH-21	27.24	17.45	9.79	12.8
庄河 22#	ZH-22	28.61	18.70	9.91	12.5
庄河 23#	ZH-23	27.93	19.02	8.91	9.3
庄河 24#	ZH-24	27.98	17.58	10.40	10.0
庄河 25#	ZH-25	27.75	17.57	10.18	6.5
庄河 26#	ZH-26	35.05	18.75	16.30	18.2
庄河 27#	ZH-27	30.33	20.50	9.83	13.2
庄河 28#	ZH-28	30.89	19.06	11.83	18.3
庄河 29#	ZH-29	29.76	18.76	11.00	16.5
庄河 30#	ZH-30	27.42	16.46	10.96	9.7

注: 液限对应圆锥入土深度为 10 mm 时的含水率; —代表土样属粗粒土, 未测试其液塑限。

3.5 开发适宜性探讨

研究区水深范围为 11.5~15.6 m, 地势比较平坦, 平均坡度约为 0.08%, 海底分布大量底播养殖, 存在较大范围的海底斑块状微地貌和波纹状微地貌, 高度约 0.3 m。虽然底播养殖会对海底地形地貌造成一定影响, 但由于范围较小不会对后续工程开展造成较大影响。研究区浅地层探测资料显示未发现区域断裂通过, 未发现大规模冲刷沟、浅层气、海底塌陷、滑坡、底辟等不良地质作用, 浅地层结构比较稳定, 适宜海上风电、海底管道电缆等海洋工程建设。

需要注意的是研究区海底浅表层存在厚度约 8~10 m 的软弱土层, 以淤泥质粉砂质砂等高压缩性土为主, 土体强度低, 不宜作为海上风电及其附属结构设施的天然地基持力层, 相应地可采用桩基穿越该软弱土层以实现开发利用目的。考虑到人工鱼礁对海底硬质底质的要求, 在研究区也不适于建设人工鱼礁型海洋牧场, 宜于采用底播养殖方式开展有关生产经营活动。海底软弱土层中进行海底管道电缆建设时需着重评估其下沉或上浮的可能性, 有针对性地开展防范措施。

另外,研究区内分布的软弱土层结构性较差,抗冲刷能力较弱,而相关海洋工程建设将可能改变原有海洋环境的水动力条件,使得海工基础周围可能存在严重的冲刷现象,对基础稳定性产生一定的影响。因此,工程设计阶段需对海床冲刷可能性及冲刷深度进行研究,提出相应的防护措施和建议。

研究区东南部分区域存在埋藏古洼地和多条埋藏古河道,主要分布在海底第Ⅱ层序地层中。其中的充填沉积物具有沉积构造复杂、结构多变的性质,与周边土层在物理力学性质方面存在较大的差异,为不良工程地质因素。埋藏古洼地和埋藏古河道可能给海上风电等海洋工程建设带来隐患,尤其是选择作为持力层时,应防止出现桩基穿刺或倾斜,必要时应进行适当地基处理,以确保风电桩基稳定。

4 结 论

本文利用历史钻孔资料分析、高精度地球物理探测、表层沉积物取样等方法对辽东半岛东部庄河海域工程地质特征及开发利用对策进行了研究。综合考虑海底沉积物类型、结构、海域不良地质因素等方面,分析了研究区工程地质特征,并探讨了开发利用对策。结果表明,研究区海底沉积物以粉砂质砂为主,地势较为平坦,较为适宜进行工程开发活动,但仍存在埋藏古河道、古洼地等不良地质现象;研究区总体工程地质条件较好,开展海洋开发活动时,宜根据具体工程设施建设情况,规避不良地质作用,选择适宜的基础形式及埋设深度,预防潜在风暴潮、海冰等水动力灾害影响。

参考文献 (References):

- [1] 李志强. 雷州半岛海岸带生态环境脆弱性初探[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(10): 3. LI Z Q. Study on ecological environment vulnerability of coastal zone in Leizhou Peninsula[J]. *Resource Development & Market*, 2008, 24(10): 3.
- [2] 吴振, 王松涛, 祝子惠. 莱州湾海岸带工程地质特征及特殊问题分析[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(9): 1-9. WU Z, WANG S T, ZHU Z H. Coastal engineering geological characteristics of Laizhou Bay and some special problems[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2018, 34(9): 1-9.
- [3] 宋晓帅, 王松涛, 吴振, 等. 莱州湾海岸带工程地质分区及其特征[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(1): 43-52. SONG X S, WANG S T, WU Z, et al. Division of engineering geological zones for coastal zone of Laizhou Bay[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(1): 43-52.
- [4] 黄声春, 许巧娟. 汕头地区海岸带岩土工程地质特征[J]. 西部探矿工程, 2007(11): 98-99. HUANG S C, XU Q J. Geotechnical engineering geological characteristics of coastal zone in Shantou area[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2007(11): 98-99.
- [5] 龚旭东, 魏宏伟, 开发庆. 辽东湾北部浅海区海洋工程地质特征[J]. 海岸工程, 2006, 25(2): 8. GONG X D, WEI H W, QI F Q. Characteristics of marine engineering geology in the northern Liaodong Bay shallow water area[J]. *Coastal Engineering*, 2006, 25(2): 8.
- [6] 姜波, 冯秀丽, 田动会, 等. 埤北海域工程地质分区及模糊数学稳定性评价[J]. 海洋科学, 2018, 42(4): 18-27. JIANG B, FENG X L, TIAN D H, et al. Engineering geological zoning of Chengbei sea area and stability assessment using fuzzy mathematics[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(4): 18-27.
- [7] 王涛. 胶州湾地区工程地质稳定性灰色模糊综合评价研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007. WANG T. Study on gray-fuzzy comprehensive evaluation of regional engineering geological of Jiaozhou Bay area[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2007.
- [8] 魏巍, 李培英, 马媛, 等. 珠江口海域工程地质环境质量综合评价区划[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(6): 58-62. WEI W, LI P Y, MA Y, et al. The evaluation and subdivision of engineering geo-environment in the Pearl River Estuary[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2013, 32(6): 58-62.
- [9] 陈刘浩, 吴朝东, 高晓兵. 鱼山海域不同埋深厚层软弱土的工程地质特点[J]. 水运工程, 2021(5): 151-154, 165. CHEN L H, WU C D, GAO X B. Engineering geological characteristics of thick soft soil under different buried depths offshore in the Yushan area[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2021(5): 151-154, 165.
- [10] 王晓磊. 黄河三角洲埤北典型海域工程地质环境及粒度指示性分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014. WANG X L. The analysis of engineering geological environment and particle size indication in the northern Chengdao Sea area of Yellow River Delta[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [11] 李涛, 赵庆英, 陈荣华, 等. 宁波洋沙山近岸海域浅部地层特征与不良工程地质现象[J]. 东海海洋, 2004, 22(3): 18-27. LI T, ZHAO Q Y, CHEN R H, et al. The geological characteristics in the off-shore area near Yangshashan of Ningbo[J]. *Donghai Marine Science*, 2004, 22(3): 18-27.

- [12] 杨木壮, 梁修权, 王宏斌, 等. 南海北部湾海洋工程地质特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000(4): 49-54. YANG M Z, LIANG X Q, WANG H B, et al. Characteristics of marine engineering geology in the Beibu Gulf of the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000(4): 49-54.
- [13] 朱强男. 大连市海底地质灾害易损性评价研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2011. ZHU Q N. Study on the evaluation of vulnerability to submarine geological hazards in Dalian[D]. Qingdao: Qingdao University, 2011.
- [14] 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.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 23-25. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for seismic design of buildings: GB 50011—2010[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2010: 23-25.

Analysis of Engineering Geological Characteristics and Exploitation Suitability of Coastal Zone in the Zhuanghe Sea Area in the Eastern Liaodong Peninsula

DU Xing^{1,2}, SUN Shu-heng³, SONG Yu-peng^{1,2}, YAN Bing-ying³, ZHANG Xu-sheng³,
DONG Li-feng^{1,2}, ZHOU Qi-kun^{1,2}, SONG Bing-hui^{1,2}

(1. First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;

2. Laboratory for Regional Oceanography and Numerical Modeling, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266061, China;

3. Liaoning Hydrogeology and Engineering Geology Survey Institute Co., Dalian 116037, China)

Abstract: A large number of human engineering activity facilities are distributed in the Zhuanghe sea area in the eastern Liaodong Peninsula. Therefore, studies on the engineering geological characteristics and exploitation suitability in the Zhuanghe sea area can be helpful for improving the safety and efficiency of offshore engineering exploitations. Based on the data obtained by high-precision marine geophysical surveys, surface sediment sampling and collection of historical engineering geological data, the engineering geological characteristics of the coastal zone in the Zhuanghe sea area are analyzed systematically. The results indicate that at the water depth ranging from 11.5 m to 15.6 m in the study area the seafloor has a small slope and a relatively flat terrain, and under the seafloor there are four continuous acoustic reflection interfaces and some adverse geological factors such as soft soil layers, buried ancient depressions and river channels. The results of the liquid-plastic limit property tests of the surface sediment indicate that the seafloor sediment in the study area is relatively stable and the sinking problem of the soft soils can be ignored. Through the comprehensive analysis of all geological impact factors in the study area, it can be believed that the various environmental indicators in the study area are relatively stable and suitable for carrying out the marine engineering exploitation activities. However, all the detected adverse geological factors should be considered and focused on in the specific construction process.

Key words: Liaodong Peninsula; coastal zone; engineering geological characteristics; geophysical exploration; exploitation suitability

Received: April 8, 2022