

文章编号:1009-2722(2012)09-0054-07

埕岛海域移动式钻井平台 桩基适宜性分析

张 朋¹, 吴建政¹, 王 楠², 徐永臣², 朱龙海¹

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2 青岛海大工程勘察设计开发有限公司, 青岛 266100)

摘 要:利用埕岛海域 109 个井位的地质勘察资料, 对其海底地貌类型和海底表层沉积物类型进行了统计, 结果表明, 大多数井位海底微地貌类型为平滑海底地貌, 冲刷地貌、残留台地地貌和斑状地貌只是在局部海域出现; 研究区海底表层沉积物主要有粉土、粉质黏土、淤泥质粉质黏土和淤泥 4 种。依据不同海域的水深地形、海底地貌、地层分布特点和工程地质性质, 将研究区划分为 I 区、II 区、III 区和 IV 区。选取具桩靴和无桩靴平台, 使用 API 公式分析了在各海域的适宜性。具大桩靴平台在 I 区、II 区和 IV 区具有较好的适宜性, 在 III 区铁板砂较厚的区域就位时, 应满足刺穿分析, 同时避免在陡坡带或垆岗边缘地带就位。深插桩平台适合在各区就位, 宜选择 20~30 m 深度内的冲积相地层作为桩端持力层。

关键词:埕岛海域; 工程地质分区; 桩基适宜性

中图分类号:TE24; P539

文献标识码:A

埕岛海域位于东营市北部的近岸的浅海海域^[1], 1976 年黄河改道以后, 埕岛海域的沉积环境发生了明显的改变, 沉积格局由淤积变为侵蚀。海流、波浪等水动力因素对研究区的影响开始加强, 并对以前形成的海底地貌单元产生了侵蚀和破坏, 形成了形态各异的海底微地貌和较为复杂的浅地层工程地质条件^[2], 且区内蕴藏着丰富的油气资源, 所以历来是各路专家学者讨论的焦点, 研究区位于埕岛海域内(图 1)。前人对埕岛海域的冲淤演化规律、海底地貌、海洋地质灾害、沉积特征及沉积相等方面已经做了大量的研究。在桩基适宜性方面, 吴建政^[3]对黄河三角洲浅海域域插桩过程中地基稳定性进行了分析; 宋清峰等^[4]通过在埕岛海域不同地层条件下进行插拔桩, 分

析了对浅层土的扰动及恢复, 而很少有人对埕岛海域的不同区域的移动式钻井平台桩基适宜性进行研究。

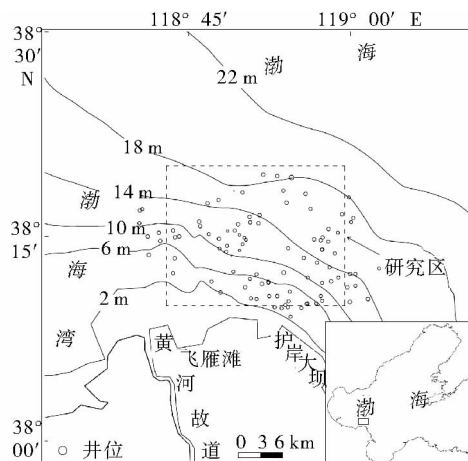


图 1 研究区位置

Fig. 1 The location of study area

收稿日期:2012-04-05

作者简介:张 朋(1986—), 男, 硕士, 主要从事海洋环境地质与工程方面的工作. E-mail: wenjianzp@163.com

根据研究区内不同区域水深地形、海底地貌、地层分布特点和工程地质性质,对其进行了工程地质分区,然后选取相应的承载力公式,对移动式钻井平台在埕岛海域不同区块的桩基适宜性进行了分析,为移动式钻井平台在埕岛海域不同区域的就位与作业提供参考,具有一定指导意义。

1 资料来源及方法

采用2000—2010年胜利油田109个井位的地质勘查资料(图1)。钻探取样使用0.5 m圆孔的GJ-150S型钻机。在现场,进行标准贯入实验和十字板剪切试验,对其进行力学性质测试。每个土样包装密封装箱后运到陆地实验室,在实验室试验中主要进行了常规试验、高压固结试验和粒度分析试验。黏性土和粒状土的抗剪强度主要是根据直剪、不固结不排水三轴压缩试验确定的。海底地貌调查使用英国GeoAcoustics公司生产的SS981型双频旁扫声纳仪,分辨率 <10 cm。定位方式采用美国Trimble公司生产的DSM232型动态实时差分定位系统。

2 区域特征

2.1 水深地形

在黄河通过山东境内流入渤海之前,研究区的水比较深,水深一般 >15 m。鹿洪友等^[5]通过比对1976年、1992年和1996年的水深地形资料,发现埕岛海域水深 >15 m的海底处于淤积状态,水深 <15 m的海区的水底处于冲刷状态,且季节变化规律已经超过长期的冲刷规律,成为海底冲刷淤积状态的主导因素。冯秀丽等^[6]认为埕岛海域在水深为10~12 m海底达到了冲刷淤积动态平衡。

研究区水深在1~20 m之间,地势西南高东北低。其中水深在1~4 m为浅海平缓区域,海底坡度在 $1/2\ 865\sim 1/1\ 433$ 之间;4~15 m为水深区域,海底坡度在 $1/1\ 145\sim 1/286.5$ 之间,可看出,水深变化比较明显的海域,海底坡度较大;在15~20 m的水深区域,海底坡度极小,水深变化不大。

2.2 海底地貌和底质特征

研究区海底各种微地貌类型相间分布,大多数井位海底微地貌类型为平滑海底地貌,冲刷地貌、残留台地地貌和斑状地貌只是在局部海域出现,说明埕岛海域的海底大都已进入一个稳定的阶段(图2)。研究区不同区域的灾害地质因素与海底地貌密切相关,一般来说,灾害地质因素是由其演化而产生。在研究区的中东部水深 <14 m的区域,海底地貌崎岖不平,滑坡、断陷等灾害地质因素较多,其他海域灾害地质因素较少。

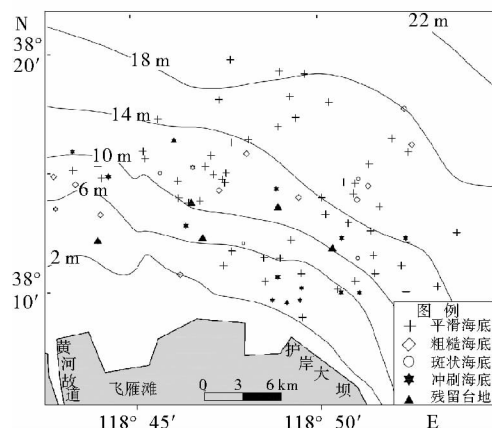


图2 海底微地貌

Fig. 2 Marine micro-morphological features

海底表层沉积物类型有4种,分别为粉土、粉质黏土、淤泥质粉质黏土和淤泥,其中以粉土和粉质黏土为主。粉土主要分布在研究区3~14 m的水深区域,淤泥、淤泥质粉质黏土和粉质黏土分布在研究区东部 >14 m的水深区和西南侧 <6 m的水深区(图3)。

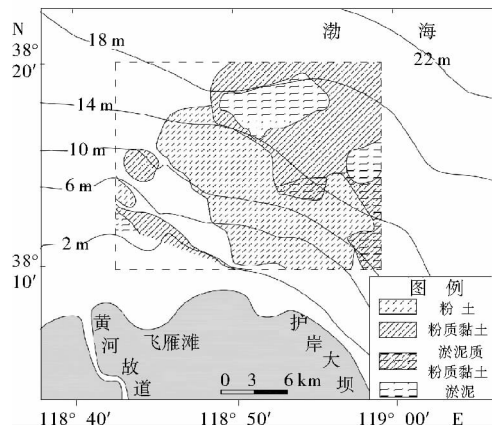


图3 埕岛海域沉积物类型分布

Fig. 3 Distribution of sediments

2.3 浅地层结构

喻上达等^[7]根据声学反射界面,将埕岛海域 40 m 深度内的地层分为 A、B、C 和 D 层。其中, A 层为黄河三角洲沉积,其上部以黄河三角洲水下砂体为主,其下为全新世海侵以来的浅海沉积和黄河三角洲细粒沉积物的混合堆积体,依据钻孔沉积物的成因、成分、物理力学性质及声学反射界面特征,可分为 A₀、A₁、A₂ 层;B 层以粉质黏土、粉土为主,属于河湖沼泽相沉积;C 层以粉砂、粉土为主,局部为粉质黏土层,属于河湖相沉积。

3 工程地质分区及特征

3.1 分区原则

研究区的水深地形、海底地貌及地层分布、不稳定性地质因素变化很大,各不同条件区块的工程性质具有明显的差异。为准确评价各区块对移

动式平台的适宜性,根据钻孔资料,依据各区块的水深地形、海底地貌、地层分布特点、工程地质性质及灾害地质因素进行工程地质分区(图 4)。

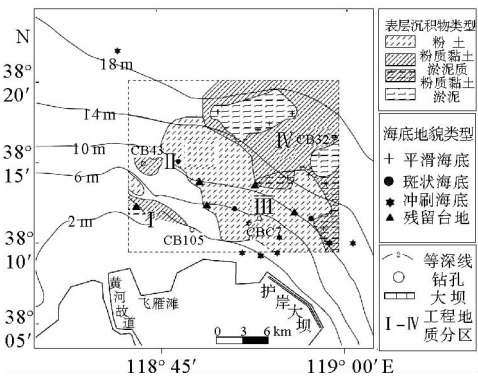


图 4 工程地质分区

Fig. 4 Engineering geological zones of study area

3.2 各区特征

I 区—IV 区浅部地层特征及规律总结见下表 1。

表 1 埕岛海域各区的浅地层特征
Table1 The shallow seismic characteristics of different zones

类别	I 区	II 区	III 区	IV 区
水深地形	水深 1~5 m, 地形较为平坦	水深 5~14 m, 存在高差较小的沟槽或垅岗	水深 3~14 m, 地形坡度比较陡峻	水深 14~20 m, 地形较平坦
表层沉积物类型	粉质黏土为主, 局部为淤泥	表层沉积物性质差异较大, 以粉土或粉质黏土为主	以“铁板砂”—粉土为主	以粉质黏土为主, 局部为淤泥、淤泥质粉质黏土
海底地貌	以粗糙海底地貌为主	海底以粗糙海底地貌为主, 局部有冲刷的海底地貌	区内的冲刷、斑状、残留台地海底微地貌类型发育比较广泛	多为平滑海底地貌
灾害性地质因素	灾害地质素较少	滑坡、断陷等灾害性因素较少	存在着严重的断陷、滑坡、冲蚀等灾害因素	灾害地质因素较少
工程地质特征	浅层以软土为主, 20 m 深度内有强度较大的粉土层(C 层)	浅层以粉质黏土和粉土为主, 12~13 m 深度以下有强度高的粉土、粉质黏土(B 层)	表层有强度较高的铁板砂(A1 层), 其下为软弱的粉质黏土或黏质粉土	表层以软弱的粉质黏土为主, 下部有强度较高的冲刷相地层(B 层)

4 桩基适宜性

4.1 平台及公式选取

选用无桩靴中油海一号和具桩靴的 SL5 号

自升式钻井平台:中油海一号桩径 2.1 m,单桩荷载 11 760 kN;SL5 号桩径 2.13 m,桩靴尺寸 8.30 m×8.30 m×1.37 m,地基承载力要求 12.06 MN。承载力公式一般使用 API 推荐自升式钻井平台极限承载力计算公式。无桩靴的钻井平台极限承载力公式为:

$$Q_d=Q_p+Q_t=qA+fA_s \tag{1}$$

具桩靴的钻井平台极限承载力公式为：

$$Q_d=qA+\gamma V \tag{2}$$

式(1)、(2)中:q 为单位面积桩端承载力,kPa;

A 为桩端面积,m²;

f 为单位表面摩擦力,kN;

A_s为桩侧表面积,m²。

一般来说土层是软土层和硬土层相间出现的,当硬土层下面是软土层时,为了防止钻井平台发生刺穿,需要计算软土层的极限承载力 q'和安全系数 F_s。

$$q'=\frac{6S_u(1+\frac{0.2D'}{B'})A_p'}{A_p}\leq q \tag{3}$$

式中:q'和 q 为承载力,kPa;

S_u 为软土层的不排水抗剪强度,kPa;

A_p'和 A_p 分别为等效基础和实际基础的面积,m²;

H 为实际基础面下的硬土层厚度,m;

B'和 B 分别为等效基础和实际基础的直径,m;

D'和 D 分别为等效基础和实际基础的深度,m。

F_s 需满足以下条件才能防止平台发生刺穿：

$$F_s=\frac{a}{b} \tag{4}$$

在硬土层中,a 为硬土层可以承受的最大承载力,b 为最大桩腿设计荷载,当 F_s≥1.5 时是适合钻井平台和钻井船插桩的;在软弱下卧层中,a 为软土层可以承受的最大承载力,b 为最大桩腿设计荷载,当 1.2≤F_s≤1.5 时是适合钻井平台插桩的。

4.2 钻孔选择

为了分析各区的桩基适宜性,从各个分区内选取比较有代表性的钻孔,如Ⅰ区的 CB105,Ⅱ区的 CB43、Ⅲ区的 CBG7 和Ⅳ区的 CB327(图 4),强度参数见表 2~5。

4.3 各区承载力特征分析

(1)具桩靴

Ⅰ区:A₀层桩靴承载力较低,粉土层承载力较高,存在一个较高值,其下为较软弱的 A₂层淤

表 2 CBG105 井位土层强度参数
Table 2 Soil intensity parameter at CBG105

岩土名称	层厚/m	有效重度 /(kN/m ³)	抗剪强度 /kPa	桩土摩擦 角/(°)
粉质黏土	3.9	9.1	15	25
粉土	2.9	9.4		
淤泥质粉 质黏土	4.1	7.3	10	28
黏土	3.7	7.8	15	
粉质黏土	6.2	8.5	25	
粉细砂	2.7	10		
粉质黏土	4.2	9.6	25	28
粉土	4.8	9.8		
粉质黏土	4	9.8	30	30
粉砂	3.5	10		

表 3 CBG43 井位土层强度参数
Table 3 Soil intensity parameter at CBG43

岩土名称	层厚/m	有效重度 /(kN/m ³)	抗剪强度 /kPa	桩土摩擦 角/(°)
淤泥	1.15	5	5	15
粉土	2.45	8.5		
黏土	2.9	7.5	18	
粉质黏土	6.3	8	20	20
粉土	4.2	9		
粉质黏土	3.5	9.2	25	25
粉土	1.3	9.5		
粉砂	1.8	10		30
细砂	16.4	10		32

表 4 CBG327 井位土层强度参数
Table 4 Soil intensity parameter at CBG327

岩土名称	层厚/m	有效重度 /(kN/m ³)	抗剪强度 /kPa	桩土摩擦 角/(°)
粉质黏土	8	6.5	15	25
粉砂	3	10		
粉土	7.95	10	10	15
粉砂	8	10		
粉土	9.5	9.8	25	28
粉砂	3.55	10		

表 5 CBG7 井位土层强度参数
Table 5 Soil intensity parameter at CBG7

岩土名称	层厚/m	有效重度 /(kN/m ³)	抗剪强度 /kPa	桩土摩擦 角/(°)
粉土	5.7	9.5		20
粉质黏土	6.9	8.6	18	20
黏土	3.2	7.5	20	
粉土	5.9	9.8		20
粉质黏土	6.2	9.2	25	22
粉土	3.9	9.8		
粉质黏土	4.3	9.6	32	22
粉土	2.1	10		
粉质黏土	1.8	9.6	35	

泥质粉质黏土，承载力较低，插桩至 A₁ 层时可能发生刺穿破坏。插桩至 B 层粉质黏土时，承载力达到 12.06 MN，可作为桩靴持力层。下部是强度较高的粉质黏土、粉土或粉细砂层(C 层)，桩靴承载力在 C 层砂层中，有明显的峰值。

Ⅱ区：A₀层桩靴承载力较低，A₁层粉土层，厚度较小，可能发生刺穿破坏。插桩至 A₂层粉质黏土时，承载力达到 12.06 MN，可作为桩靴持力层。B 层粉土和 C 层粉细砂层桩靴承载力较高。承载力曲线根据 B 层中黏性土和砂性土层位分布情况，呈波状变化。

Ⅲ区：表层为强度较大的 A₁层“铁板砂”—

粉土，厚度 3~6 m，桩靴承载力较高，经验算不会发生刺穿破坏，可作为桩靴持力层。A₂层为软弱的粉质黏土和粉土，粉质黏土层位桩靴承载力较低，粉土层位承载力较高，承载力曲线呈波状变化。B 层粉土和 C 层粉细砂层桩靴承载力较高。

Ⅳ区：A₀层为软弱的粉质黏土层，承载力较低。插桩至 A₁层时达到 12.06 MN 的要求，可作为桩靴持力层。A₂层位承载力曲线根据黏性土和砂性土层位分布情况，呈波状变化。下部为承载力较高 B 层粉土层和 C 层粉砂层。具桩靴在各区的承载力见图 5。

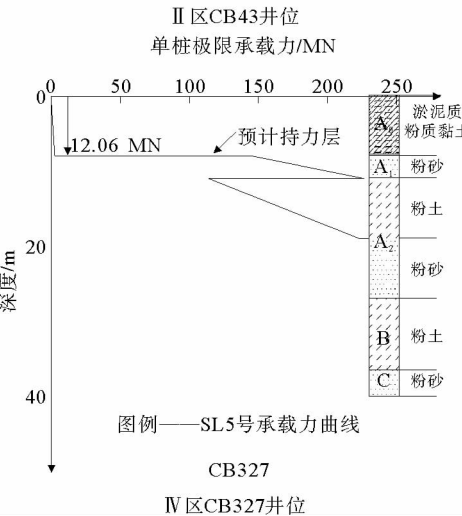
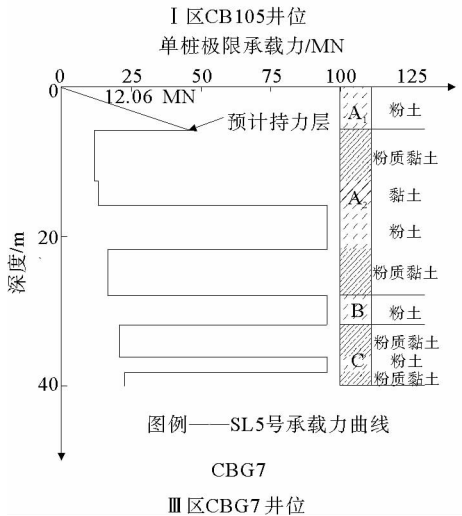
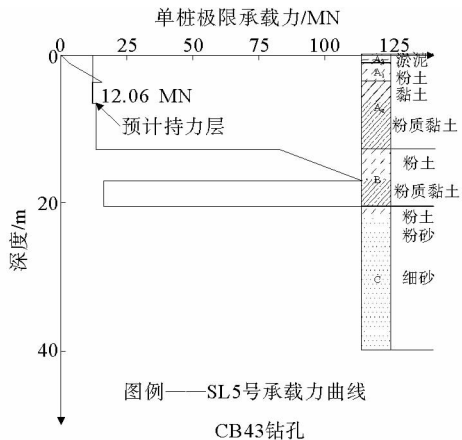
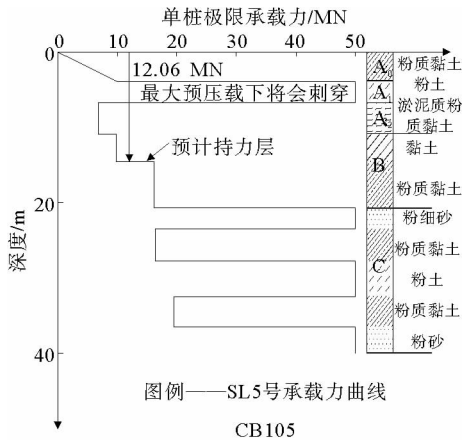


图 5 具桩靴极限承载力曲线

Fig. 5 Limit loading strength curves for piles with boot

(2) 无桩靴

无桩靴桩基础属于深插桩平台，在研究区 I—Ⅳ区内均可就位施工，在 B 层粉土或粉质黏

土层或 C 层粉土或粉砂层内，可找到良好的桩端持力层。B 层中的可塑状态的黏性土、中密—密实状态的粉砂、细砂层，均能提供较大的承载力。

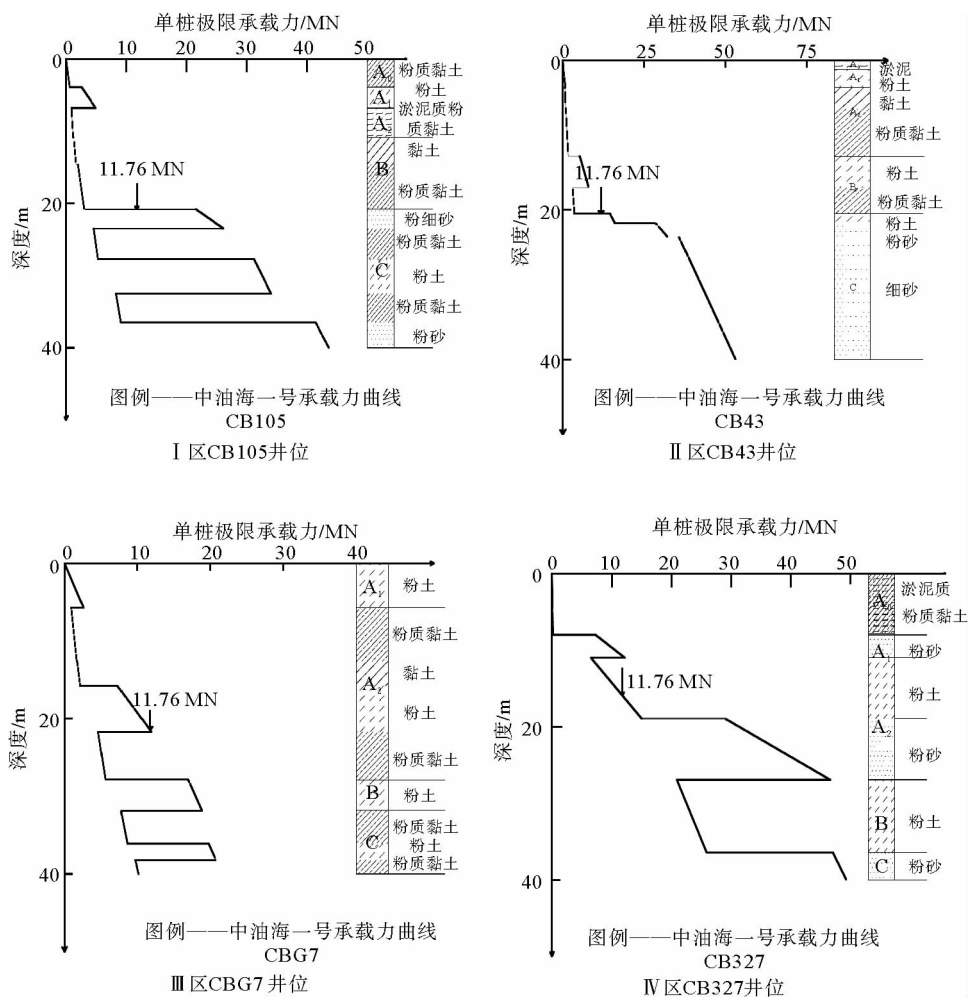


图 6 无桩靴极限承载力曲线

Fig. 6 Limit loading strength curves for boot-free pile

无桩靴在各区的承载力见图 6。

4.4 各区桩基适宜性分析

I 区:位于研究区西南侧 1~5 m 水深带,水深较浅,地形平缓。当采用桩基平台时宜选择 20 m 深度以内的 B 层湖沼相和或 C 层河湖相地层作为桩端持力层。I 区灾害性地质因素较少,属于研究区内稳定的区块。

II 区:位于研究区中西部 5~14 m 水深带。对桩基平台宜选择 12 m 深度以下的 B 层粉土、粉质黏土层作为桩靴的持力层。II 区滑坡、断陷等灾害性因素较少,为研究区内较稳定的区块。

III 区:位于研究区中东部 3~14 m 水深带,地形变化大。表层铁板砂 A1 层厚度差异大,铁

板砂较厚的区域具桩靴的钻井平台可以把 A₁ 层作为持力层;厚度较小的铁板砂将会发生刺穿破坏,应选用深度 15 m 左右强度较高的冲积相地层 B 层作为持力层。区内存在严重的断陷、滑坡、冲蚀等灾害因素,平台插桩平台时,宜选择垆岗中部或宽沟槽中部,避免在地形变化复杂带就位。对于深插桩平台宜选择插桩深度较大的可在 20~30 m 深度内找到桩端持力层。III 区为不稳定区块。

IV 区:位于 >14 m 水深带。表层覆盖有较软弱的 A₀ 层,无桩靴的桩基础宜选择下部的强度较大的冲积相地层 B 层作为持力层,具桩靴桩基础宜选择 A₁ 粉土层作为桩靴持力层。该区地质灾害因素较少,属于相对稳定区块。

5 结论

(1)研究区海底各种微地貌类型相间分布,大多数井位海底微地貌类型为平滑海底地貌,冲刷地貌和斑状地貌只是在局部海域出现。海底表层沉积物主要有4种类型:粉土、粉质黏土、淤泥、淤泥质粉质黏土,以粉土和粉质黏土为主。粉土主要分布在研究区3~14 m水深区域,淤泥、淤泥质粉质黏土和粉质黏土分布在研究区东部>14 m水深区域和西南侧<6 m水深区。

(2)具大桩靴平台在Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅳ区都具有较好的适宜性,宜选择20 m深度以内的B层湖沼相和或C层河湖相地层作为桩端持力层。具大桩靴平台在Ⅲ区铁板砂较厚的区域就位时,应满足刺穿分析,同时避免在陡坡带或垅岗边缘地带就位。深插桩平台适合在各区就位,宜选择20~30 m深度内的冲积相地层(B层)作为桩端持力层。

Ⅰ区滑坡、断陷等灾害性因素较少,属于研究

区内稳定的区块;Ⅱ区为较稳定的区块;Ⅲ区内存在着存在着严重的断陷、滑坡、冲蚀等灾害因素,为不稳定区块;Ⅳ区地质灾害因素较少,属于相对稳定区块。

参考文献:

- [1] 臧启运. 黄河三角洲近岸泥沙[M]. 北京:海洋出版社, 1996.
- [2] 成国栋. 现代黄河三角洲的演化与结构[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(增刊): 7-18.
- [3] 吴建政. 黄河三角洲浅海插桩工程地基稳定性分析[J]. 海洋地质与第四纪地质[J], 1996, 16(增刊): 15-23.
- [4] 宋清峰, 吴建政. 插拔桩对黄河水下三角洲浅层土的扰动及恢复研究[J]. 海岸工程, 2007, 26(2): 11-18.
- [5] 鹿洪友, 李广雪. 黄河三角洲埕岛地区近年海底冲淤规律及水深预测[J]. 长安大学学报, 2003, 25(1): 57-61.
- [6] 冯秀丽, 吴世强. 黄河三角洲埕岛近岸海域悬浮泥沙运动[J]. 海洋科学, 2003, 27(12): 66-70.
- [7] 喻上达, 吴建政. 埕岛油田移动式平台稳定性研究报告[R]. 青岛:胜利石油管理局海洋钻井公司, 地矿部海洋地质研究所青岛海洋地质工程勘察院, 1997.

SUITABILITY OF PILE FOUNDATION FOR MOBILE DRILLING PLATFORM IN CHENGDAO SEA AREA

ZHANG Peng¹, WU Jianzheng¹, WANG Nan², XU Yongchen², ZHU Longhai¹

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Development Institute of Exploration and Design Co. Ltd., Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The site survey data collected from the 109 wells in the Chengdao sea area indicate that the seabed of the study area is rather smooth. Erosional and mottle landscapes, and residual platforms occur only in local waters. Surface sediments of the study area are composed of silt, silty clay, soft silty clay and mud. The study area, based on water depth, geomorphology, spatial distribution and engineering geological properties of the bottom sediments of the 109 well sites, could be divided into four zones. Engineering suitability for pile boots and deep pile platform was evaluated for the zones. Results show that the first, second and fourth zones are suitable for big pile boots and platforms. As to the third one, further work, such as penetration testing, is required before the drilling platform to be constructed. And the area near slopes and ridges should be avoided. All the four zones are suitable for deep pile platforms if the foundation is deeper than 20~30 meters.

Key words: Chengdao sea area; engineering geological division; pile foundation suitability