

莺歌海中部区域硬质海底特征及其工程影响

陈岱新,郝高建,王 涛,陈冠军,李丰彩

(中海油田服务股份有限公司物探事业部工程勘察作业公司,天津 300451)

摘 要:通过对莺歌海中部区域调查资料的研究发现,该研究区存在起伏不平的硬质海底。多波束测深和旁侧声呐资料显示,其反射强度明显或略微强于周围底质,区域分布呈现不均匀性。硬质海底集中分布于地形等深线舌状体附近。地层剖面资料表明,硬质海底区域与浅部地层结构密切相关,即与 A 层很薄或者缺失而直接裸露 B 层有着密切关联。地质取样结果显示,A 层土质为非常软的褐灰色黏土,下伏 B 层为硬到坚硬的棕黄色粉质黏土(代表氧化沉积环境)。进一步研究表明,硬质海底区主要分布于埋藏古河道/古湖沼区域外、距离较近的边缘地带,二者呈现一定的相关性,证明了硬质海底区域为海退时期地层裸露而形成。通过对硬质海底特征的认识,分析、探讨其成因和工程影响,对海底管道路由设计、施工、维护运营,自升式钻井船插桩就位以及抛锚稳定性等具有一定的指导意义。

关键词:莺歌海中部区域;硬质海底;工程影响

中图分类号: P736;P751

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.09007

关于硬质海底的调查研究已经引起国内外不少学者的关注^[1],但对于莺歌海中部区域(图 1)硬质海底特征分析的报道相对较少。近年来,在研究区进行了约 6 860 km 地球物理测线和总进尺 4 664 m 的地质取样调查,获得了大量宝贵的资料,包括单/多波束测深、旁侧声呐、浅/中地层剖面、高分辨率数字地震、重力取样、地质钻孔取样和 PCPT(静力触探测试)等^[2]。研究区油气资源丰富,开展区域内硬质海底研究,无疑对该区域内油气资源的勘探开发以及海底管道工程的设计和施工有重要意义。本文通过研究调查资料,对该区域硬质海底的地形地貌特征、浅层地质特征、

沉积物特征有了一定的认识,并分析和探讨了硬质海底的成因和工程影响。

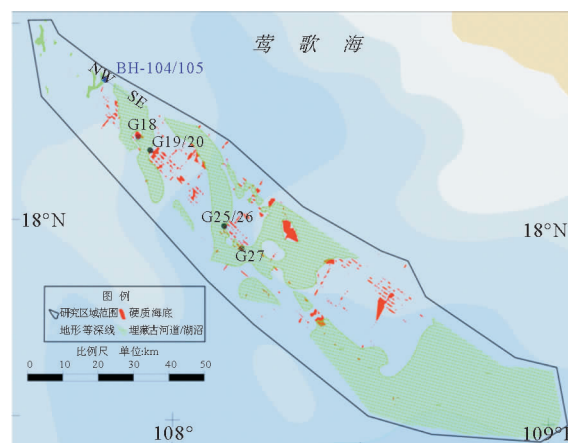


图 1 莺歌海中部区域位置

Fig. 1 Location of Yinggehai center zone

收稿日期:2016-05-04

基金项目:国家十二五重大专项“南海深水油气田开发示范工程”(2011ZX05056)

作者简介:陈岱新(1983—),男,工程师,主要从事海洋工程物探方面的工作。E-mail:chendx2@cosl.com.cn

1 硬质海底特征

莺歌海中部区域的硬质海底主要是硬到坚硬的棕黄色粉质黏土,强度较高,为更新世残留沉积^[1](晚更新世河湖沉积黏性土在第四纪海侵过程中的侵蚀残余)。周围区域主要是软到非常软的褐灰色黏土,为现代环境下的海相沉积^[1]。

硬质海底主要通过侧扫声呐地貌资料初步识别,结合单/多波束水深地形资料,多波束后散射强度图像^[3],地层剖面资料,并利用重力取样和地质钻孔取样的土质资料对比分析,最后综合判别而得。

1.1 水深地形

莺歌海中部区域水深为 60~100 m^[4],大体由 NW 往 SE 方向逐渐变深,地形等深线显示,海底存在舌状体向 SW 偏西方向延伸,硬质海底区域分布集中于地形等深线舌状体附近(图 1)。调查资料显示,调查区域内硬质海底与周边水深起伏高差为 0~9 m,大多数硬质海底区存在硬质凸起,海底起伏不平(图 2、3),有水深变化剧烈的,

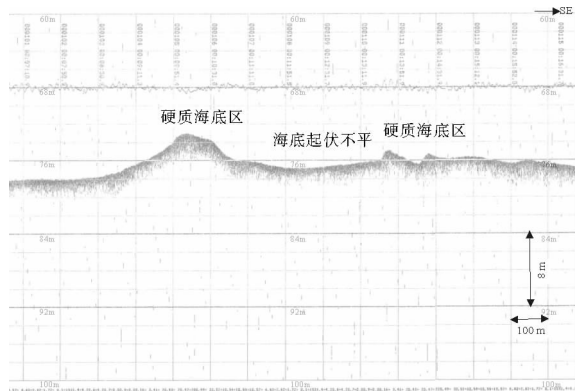


图 2 单波束水深海底地形剖面

Fig. 2 Single-beam topography profile map of seafloor

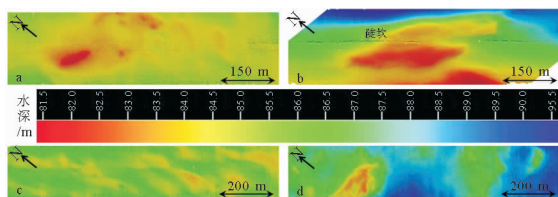


图 3 多波束水深海底地形

Fig. 3 Multi-beam topography map of seafloor

也有未见明显起伏的,局部硬质海底区域边缘还存在陡坎(图 2、3b)。

1.2 多波束后散射特征

通过对莺歌海中部区域的多波束资料进行处理,获取海底后向散射强度图像,比对该区域内海底后散射强度差异,可用于划分海底底质不同区域,结果显示硬质海底与周围软到非常软的黏土后散射强度差异较大(图 4a),一般情况下,硬质海底后向散射强度大于周围海底底质。通过对比同一区域的海底侧扫声呐资料(图 4b),以及硬质海底区域内、外海底表层样(图 4、5)和地质钻孔取样结果土质资料(表 1)之间的差异,反过来又印证了多波束海底后散射强度差异可用于划分海底底质不同区域。

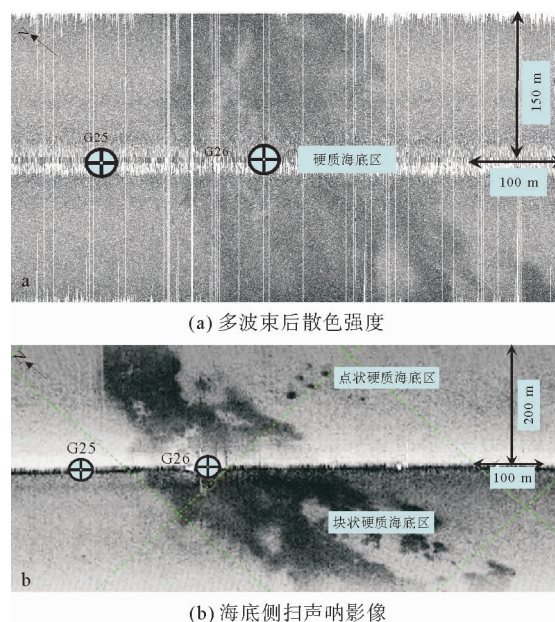


图 4 同一区域多波束后散色强度与海底侧扫声呐对比

Fig. 4 The contrast map between the results multi-beam backscatter and Side Scan Sonar in the same area



图 5 海底侧扫声呐影像图

Fig. 5 Side Scan Sonar data

1.3 海底地貌

通过解析研究区域的海底侧扫声呐地貌调查资料发现,莺歌海中部区域硬质海底呈现以下地

貌特征(图 4b、5):①硬质海底反射特征有强反射,也有弱反射;②硬质海底形态各异,有条带状、块状、斑状、斑块状、点状等;③硬质海底区域分布呈现不均匀性。

表 1 典型土质试验结果
Table 1 Test results of typical seafloor sediment sample

样品 编号	深度/m	天然含 水量/%	湿容重/ (kN/m ³)	不排水抗剪强度 试验/kPa			水深 /m	取样位置	土样描述	备注
				手动 十字 板	袖珍 贯入 仪	电动 十字 板				
G18	0.1			120	190		84.4	斑块状硬 质海底区	非常硬的棕黄色粉质黏土含粉土包,表层为 褐灰色粉质黏土含少量贝壳碎屑和砂粒	袋装样, 取样 3 次
	0.2	31	18.4	110	190	90.8				
G19	0.2	48	17.3	4.6			84.4	普通海底 底质区	非常软的褐灰色粉质黏土含粉土包,表层含 砂粒	柱状样
	0.7	45	17.4	5.2						
	1.2	41	17.9	7.6						
	1.6	60	15.8	6.2		6.5				
	2	64	16	6		5				
G20	0.2	49	17.4	5			84.4	条带状硬 质海底区	非常软的稍硬的浅棕灰色粉质黏土含粉土 包,1.0 m 以上含少量贝壳碎屑	柱状样, 取样 2 次
	0.6	32	18	35		20.2				
	1	33	18.8	35	50	31.4				
	1.3	32	17.9	28		39.2				
G25	0.2	43	17.5	5			88.8	普通海底 底质区	非常软的褐灰色粉质黏土含粉土包和少量 贝壳碎屑	柱状样, 取样 2 次
	0.7	42	17.8	8		6.7				
	1.2	43	17.3	7		6.9				
	1.6	41	17.9	8		8.1				
	2.1	59		12						
	2.6	66		13		6.3				
G26	0.2	43	18.9	6			88.4	块状硬质 海底区	硬的棕色粉黏土含粉土包,表层为褐灰色粉 质黏土含砂粒和贝壳碎屑	柱状样, 取样 2 次
	0.5	32	19	45	50	28				
	0.8	30		50	55	13.5				
G27	0.1	30	19	170	185	93	90.8	斑块状硬 质海底区	非常硬的绿灰色带棕黄色粉质黏土含粉土 包和少量贝壳碎屑	袋装样, 取样 3 次
	0.2			100	150					
BH104	0.2	58		5.6			80.5	普通海底 底质区	0~1.8 m 为非常软的褐灰色黏土含少量粉 土包和少量贝壳碎屑;1.8~2.8 m 为稍硬 的绿灰色黏土含粉土包;2.8~9.9 m 为硬 的浅棕黄色和棕黄色粉质黏土和黏土含粉 土包,少量锈斑及分散的绿灰色	终孔深度 9.9 m,截 取了浅层 资料
	0.7	68	16.26	6		3.3				
	1.5	64	17.01	6.2		3.85				
	1.9	39		40	30					
	2.2	56	16.64	12						
BH105	0.2	53	16.81	4.4		4.69	80.8	块状硬质 海底区	0~0.2 m 为非常软的褐灰色黏土含贝壳和贝 壳碎屑;0.2~2.4 m 为非常硬的浅棕色粉质黏 土含粉土包(2.0 m 以下含浅绿灰色和少量砾 石);2.4~9.5 m 为稍硬到硬的棕色和棕黄色 粉质黏土含粉土包、少量的锈斑及有机质	终孔深度 9.9 m,截 取了浅层 资料
	0.5	26	21.02	125	150					
	1.5	22	20.56	110	190	45				
	2.4	22	20.65	100	175	106.3				

1.4 浅层地质

图 1 中 NW—SE 地层剖面资料(图 6)表明,硬
质海底区域与 A 层很薄或者缺失而直接裸露 B 层
有着密切关联,存在 A 层的区域,未发现大面积的

硬质海底,A 层反射能量很弱,反射波层间差异小,
其底界面 R1 是反射较强的不整合面,下伏 B 层反
射能量相对较强,反射波层间差异明显;取样结果
显示,A 层主要为非常软的褐灰色黏土,下伏 B 层
主要为硬到坚硬的棕黄色粉质黏土(图 7 和表 1)。

地层剖面资料(图 6)和硬质海底区域分布(图 1)表明,硬质海底区主要分布于埋藏古河道/

古湖沼区域^[5]外,距离埋藏古河道/古湖沼区域较近的边缘地带,二者呈现一定的相关性。

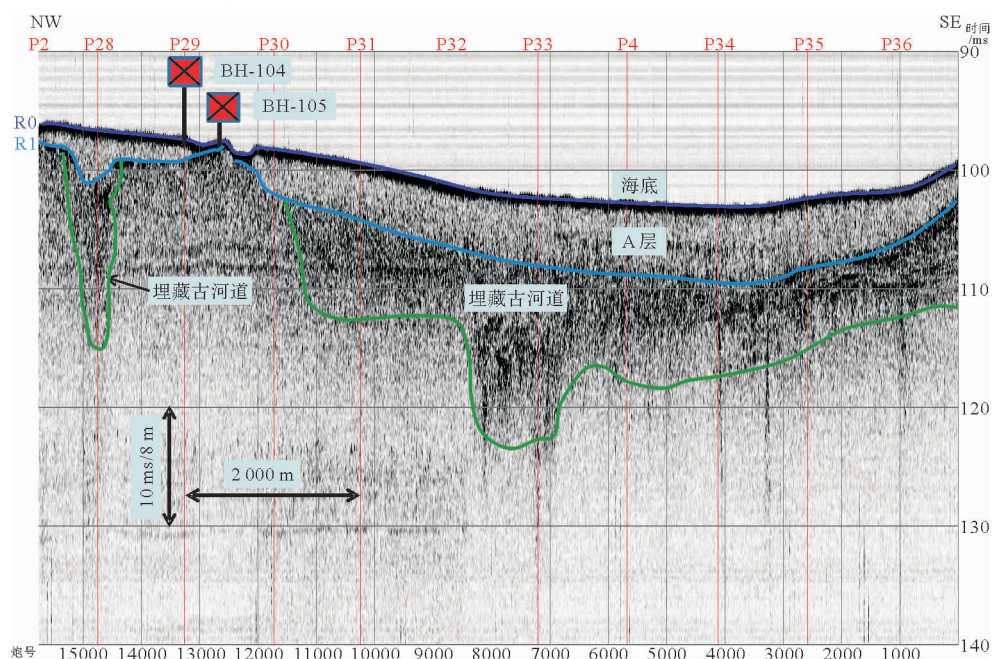


图 6 浅地层剖面

Fig. 6 Shallow profile



图 7 海底表层样照片

Fig. 7 Photograph of seafloor sediment samples

1.5 沉积物特征

在莺歌海中部区域进行了 162 个重力取样,

130 个 10 m 地质取样孔/PCPT, 20 个 140 m 地质取样孔/PCPT, 6 个 40 m 地质取样孔/PCPT, 总进尺约 4 664 m 的地质调查工作。

其中重力取样采用5 m长的取样钢管内衬PVC管,配重为720 kg,硬质海底区重力样28个,样长0.1~1.3 m;非硬质海底区重力样134个,样长1.4~3.8 m。

表1中,G19、G25和BH104位于普通海底质区域,G18位于斑块状硬质海底区,G20位于条带状硬质海底区,G26和BH105位于块状硬质海底区,G27位于斑块状硬质海底区,取样点概位见图1。对比发现硬质海底区域重力取样相对困难(表1),表现为取样次数相对多,取样长度相对短。取样结果显示莺歌海中部区域表层土(图7、表1)一般为非常软到软的褐灰色黏土和粉质黏土夹杂粉质细砂包和贝壳碎屑,代表现代还原沉积环境,硬质海底区域主要为棕黄色、棕色、棕灰色粉质黏土,部分含锈斑、有机质、姜结石、砾石、胶结砂岩块、砂包和贝壳碎屑,代表氧化沉积环境。对比发现硬质海底区域样品含水量相对小(约百分之二三十),湿容重相对大(普遍 $>18\text{ kN/m}^3$),抗剪强度相对大(手动十字板 $>24\text{ kPa}$,部分超过 96 kPa)。

2 成因探析

硬壳层的形成是循环荷载^[6]作用下海床粉质土固结过程中微结构逐渐调整、强度逐渐提高的结果,起主要作用的是孔隙比的变化和粒度成分的影响,其沿深度方向的不均匀性与具体的微结构状态有关。水动力对海床沉积物具有明显的改造作用,水动力导致细粒物质上涌,细粒物质的聚集导致土体级配变好,土体的黏聚力增大可能是硬层后生成因的重要微观物质基础。

地层剖面资料表明,硬质海底区域与浅部地层结构密切相关,即与A层很薄或者缺失而直接裸露B层有着密切关联,并且硬质海底区主要分布于埋藏古河道/古湖沼区域外、距离较近的边缘地带,二者呈现一定的相关性(图1、6)。因此,分析认为,海退时^[7,8]B层裸露,区域水动力变化对海床沉积物进行改造,海床沉积物发生固结压密、液化流变、侵蚀运移,以及伴随沉积物结构和物性发生变化^[9],部分区域改造为硬质海底,部分区域侵蚀再沉积为埋藏古河道/古湖沼。硬质海底区域土质资料一般为硬到坚硬的棕黄色粉质黏土,

明显区别于现代还原沉积环境下的非常软到软的褐灰色黏土,代表其沉积环境为氧化环境,进一步证明了硬质海底区域为海退时期地层裸露而形成。

3 工程影响

3.1 对海底管道铺设工程的影响

在硬质海底区域进行管道铺设施工时,地形起伏容易形成海底管道的自由悬跨。同时,由于硬质海底区域沉积物抗剪强度大(表1中手动十字板 $>24\text{ kPa}$,部分超过 96 kPa),不容易产生自然沉降,在水动力条件下容易造成管道的不稳定(漂移),而且硬质海底区域分布不均匀形成的差异沉降对海底管道的稳定性也会产生潜在的危害。

因此,首先要对海底管道预选路由进行前期踏勘,对海底管道路由方案进行比选,最终选择经过硬质海底区域最少,局部无明显地形起伏的路由作为详勘阶段海底管道路由推荐方案。详勘结束、确定最终管道路由后,对于局部难以避开的硬质海底区域,在管道铺设时需要提前对海底进行工程处理,如挖沟或加固,但是硬质海底区域挖沟困难和加固措施都不可避免地会增加工程造价。

管道铺设后,对于软黏性土、砂土和粉土,挖沟时管道会落入沟底,而硬的粉质黏土部位,挖沟后管道不会落入沟底,管道下土壤会形成一道土墙^[2],落入沟底的管道与支撑在土墙上的管道之间会形成悬跨,导致海底管道局部存在应力,长时间应力作用会导致海底管道疲劳,影响海底管道的寿命及安全运营。

3.2 对自升式钻井船插桩就位的影响

自升式钻井船在硬质海底区域插桩就位时,首先应考虑海底地形起伏不平对桩腿入泥可能产生的暂时性基础不稳定的影响。同时,硬质海底区域分布不均匀,沉积物抗剪强度差异较大,硬地层厚度也不均匀,自升式钻井船就位时,如果桩腿位于或部分横跨硬质海底区,桩腿间承载力差异都难以避免,需要特别注意硬质海底可能引起桩腿差异沉降给自升式钻井船带来的不利影响^[10],

尤其是硬质海底下伏地层的承载力往往比硬质海底小很多,类似于鸡蛋壳地层,一旦钻井船桩腿刺穿持力层硬地层后,风险不可小觑。

3.3 对桩基础导管架平台安装的影响

硬质海底区域海底地形往往起伏不平,直接影响防沉板的布防不平整,给导管架平台安装造成额外的工程负担和成本费用。

硬质海底区域硬黏土地层厚度不均匀,一般情况下对打桩影响不大,但如果硬黏土太厚、抗剪强度太大,也可能导致打桩困难,并且导管架桩刺穿硬黏土层后,由于下伏地层的承载力往往比硬质海底小很多,可能会导致溜桩现象。

3.4 对抛锚稳定性的影响

在硬质海底区域抛锚作业时,首先其海底地形起伏不平容易给抛锚带来一些不利影响。再者硬质海底区域底质抗剪强度大也不利于船舶锚的紧固,造成锚着困难,锚抓力小。同时部分硬质地层的浅表层有一层很薄的非常软的黏土,抗剪强度非常低,含水量高,这种底质同样不利于船舶抛锚作业。因此,硬质海底区域抛锚时,容易出现溜锚、走锚现象,甚至可能会产生安全事故。

为此,抛锚时一定要进行锚抓力测试,判断锚抓力够不够,抛锚后多绞锚链,拉紧测试锚牢固与否,并且抛锚完毕后加强值班,注意锚位变化、周边船舶情况和天气变化情况可能带来的不利影响等。

4 结论

通过对莺歌海中部区域大量调查资料的分析研究得出以下结论:

(1)硬质海底区域海底起伏不平。地貌资料显示其反射强度明显或略微强于周围底质,形态各异,区域分布呈现不均匀性,集中分布于地形等深线舌状体附近,其多波束后散射强度也和周围底质有明显区别。

(2)地层剖面资料表明,硬质海底区域与 A

层很薄或者缺失而直接裸露 B 层有着密切关联,并且硬质海底区主要分布于埋藏古河道/古湖沼区域外、距离较近的边缘地带,二者呈现一定的相关性。分析认为,海退时 B 层裸露,区域水动力变化对海床沉积物进行改造,部分区域改造为硬质海底,部分区域侵蚀再沉积为埋藏古河道/古湖沼。取样结果显示 A 层土质资料为现代还原沉积环境下的非常软的褐灰色黏土,下伏 B 层为氧化沉积环境下的硬到坚硬的棕黄色粉质黏土,进一步证明了硬质海底区域为海退时期地层裸露而形成。

(3)硬质海底对海底管道路由设计、施工、维护运营,自升式钻井船插桩就位,桩基础导管架平台安装以及抛锚稳定性等具有一定的不利影响。

参考文献:

- [1] 王琳. 乐东 22-1/15-1 油气管线路由区工程地质灾害研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2007.
- [2] 中国海洋石油总公司. Q/HS 3012-2012 海上平台场址和海底管道路由工程物探勘察[S]. 北京:石油工业出版社,2012.
- [3] Hughes C J E. Toward remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscattering: A case study from multiple overlapping GLORIA data[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1994, 19(1): 364-374.
- [4] 刘乐军,李培英,杜军,等. 莺歌海油气资源开发区工程地质和灾害地质特征[J]. 海洋科学进展,2004,22(4):455-464.
- [5] 李凡,董太禄,姜秀行,等. 莺歌海附近陆架区埋藏古河道及海平面变化[J]. 海洋与湖沼,1990,21(4):356-363.
- [6] 董好刚. 循环荷载导致黄河河口沉积物成分和结构变异的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2006.
- [7] 任美镔. 第四纪海面变化及其在海岸地貌上的反映[J]. 海洋与湖沼,1965,7(3):295-305.
- [8] 姚衍桃, Harff J, Meyer M, 等. 南海西北部末次盛冰期以来的古海岸线重建[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2009,7(6):753-762.
- [9] 郑杰文. 现代黄河三角洲沉积物波浪动力响应过程对其再悬浮控制作用研究[D]. 中国海洋大学,2013.
- [10] 年永吉. 南海东部平台场址和管道路由调查的认识[J]. 工程地球物理学报,2011,8(2):137-144.

(下转第 63 页)

APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS TO DETECTING SEA WATER OR SALINE WATER INTRUSION: A CASE STUDY OF ALLUVIAL-PROLUVIAL FAN OF LAIZHOU BAY

LIU Hongwei, HUANG Zhongfeng, GUO Xu, CHEN Sheming, DU Dong, SU Yongjun, MA Zhen
(Tianjin institute of Geology and mineral resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: Sea water and/or saline water intrusion is one of the main geological hazards in coastal areas, which seriously constrains economic development and ecological civilization of the areas to some extent. To find out the front of sea water and/or saline water is of significance to the management of the disaster. Geophysical methods have become an important technical mean to solve this problem attributing to the convenience of operation and continuous behaviour of data acquisition. This article is devoted to the principles of the geophysical methods of high-density resistivity and EH-4, taking the southern alluvial-proluvial fan of the Laizhou Bay as a study case. Results show that both ways are effective to detecting the intrusion fronts, and the results are basically consistent with the hydro-chemical data. Testing experiment proves that the geophysical technique of three-dimensional high-density resistivity could be effectively used to identify the spatial distribution of sea water and/or saline water invasion.

Key words: geophysics; front of sea water and/or saline water; Laizhou Bay

=====

(上接第 52 页)

CHARACTERISTICS OF HARD SEAFLOOR IN CENTRAL YINGGEHAI AND ITS ENGINEERING SIGNIFICANCE

CHEN Daixin, HAO Gaojian, WANG Tao, CHEN Guanjin, LI Fengcai
(Geotech, Geophysical-China Oilfield Services Limited, Tianjin 300451, China)

Abstract: Based on the survey data from the Central Yinggehai zone, some undulating hard seafloor is observed. The Side Scan Sonar and multi-beam data suggest that the reflection of the hard seafloor is distinct or slightly stronger than that in surrounding areas. The distribution of the hard seafloor changes from place to place, and mainly occurs with tongue-shaped topography. Stratigraphic profiles show that the hard seafloor is characterized by very thin layer A or without the layer A. Sampling results show that the layer A is very soft brown gray clay and the underlying layer B is hard to very hard brownish yellow silty clay, suggesting an oxidational depositional environment. Further study suggests that the hard seafloor consists of the deposits which deposited in the area out of paleo channels and lakes and distributed near the border. Evidence shows that the hard seafloor was formed during the regressive period. The characteristics and engineering significance of the hard seabed is also analyzed and discussed in this paper. The hard ground is important for constructions of submarine pipelines and various coastal construction programs.

Key words: Central Yinggehai; hard seafloor; engineering influence