

南黄海西部某风电场区 浅层气特征与分析

陈岱新,丁宗国,郝高建,柯萃干,余 稳

(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 300459)

摘 要:通过对南黄海西部某风电场区调查资料的分析,发现大量浅层气,主要表现为连续地层反射波发生间断,反射杂乱,部分地层反射波被屏蔽且延伸到深部地层中,局部地层反射波因声速异常导致下拉,反射高频衰减迅速,分辨率降低等。该区域内未发现断层,浅层气封存较好,推测为生物成因沼气,弥散浅层气埋深最浅约 5 m,高压气囊顶部埋深最浅约 272 m,地质浅孔钻遇高压气风险小。根据浅层气的特征,对其成因、压力和灾害进行了分析和探讨。

关键词:南黄海;浅层气;反射波;生物成因气

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.04008

伴随着我国南黄海西部风电场项目的蓬勃发展,为探明区域内各风机站位间的连井剖面 and 海底地质灾害分布情况,保障 PCPT(原位静力触探试验)测试时作业船舶的安全,采用浅地层剖面仪(TOPAS PS 18)、中地层剖面仪(SPARKER)和高分辨率数字地震系统,对重点区域进行了约 164 km 地球物理测线。通过分析调查资料发现,该区域存在大量浅层气,综合 PCPT 钻孔测试结果进行解释,对浅层气的特征有了一定认识,并分析和探讨了浅层气的成因、压力和灾害影响。

1 风电场区地质概况

风电场区域位于古黄河口(图 1),属于含有丰富有机质的三角洲和滨海相沉积^[1,2],河口区域快速沉积,为微生物的生存和繁殖创造了有利

物质和环境基础。该区域断层发育稀少^[3,4],有利于气体聚集成藏,尤其是第四系中上部发育了一套滨海相黏土层,作为区域性盖层非常有利于浅层气形成和富集^[5]。

2 浅层气的特征识别

通常,利用浅剖、单道和多道地球物理测线剖面解释浅层气的存在,与其有关的异常反射波特征^[6-11]主要包括:强振幅、极性反转、地层绕射、地层下弯、声学屏蔽和低频波形等。这些特征可能是浅层气的成因,但也可能是岩性、地层突变等原因引起,需要通过测井、地质钻孔取样或 PCPT 进一步证实。

本文通过对风电场区域调查资料的分析,识别出该区浅层气的特征,主要表现为连续地层反射波发生间断,地层反射杂乱,部分地层反射波被屏蔽且延伸到深部地层中,局部地层反射波因声速异常导致下拉,地层反射高频衰减迅速,地层分辨率降低等,最后通过钻孔 PCPT 测试证实了浅层气的存在。

收稿日期:2018-01-30

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,主要从事海洋工程勘察中物探调查和研究工作。E-mail:chendx2@cosl.com.cn

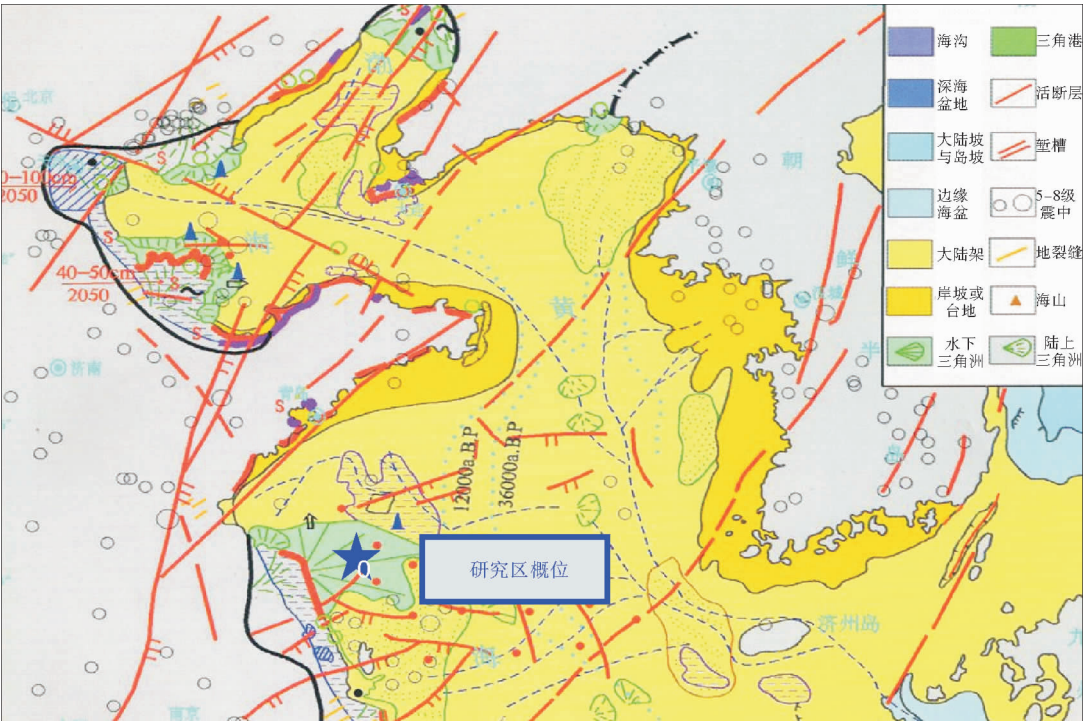


图 1 研究区域位置图(据文献[1])

Fig.1 Location map of Wind Farms in the South Yellow Sea(from reference [1])

2.1 浅剖资料上的浅层气特征

通过分析风电场区内浅剖资料(图 2、3),发现地层反射波存在强反射、空白或杂乱反射等与浅层气相关的异常反射波特征。顶部埋深最浅约 5 m,局部有气烟囱,在黏土地层中形成毛刺状,

比渤海蓬莱区块封存好,未见浅层气泄露海底,海水中未见气体羽状流,未发现断层。

浅层气呈现强反射,浅剖反射浓度反映含气量与压力的大小,空白带代表含气沉积物。当反射层侧向过渡到含气带时,可以见到这些反射层向下偏移,这是由于含气量增加、声速减小所致(图 2)。

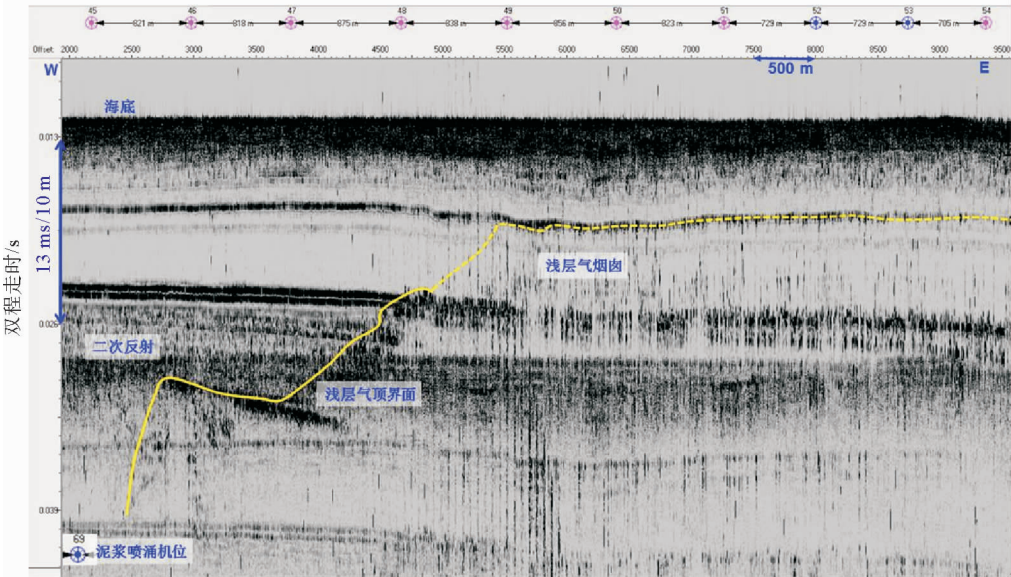


图 2 浅地层剖面图

Fig.2 Sub-bottom shallow seismic profile

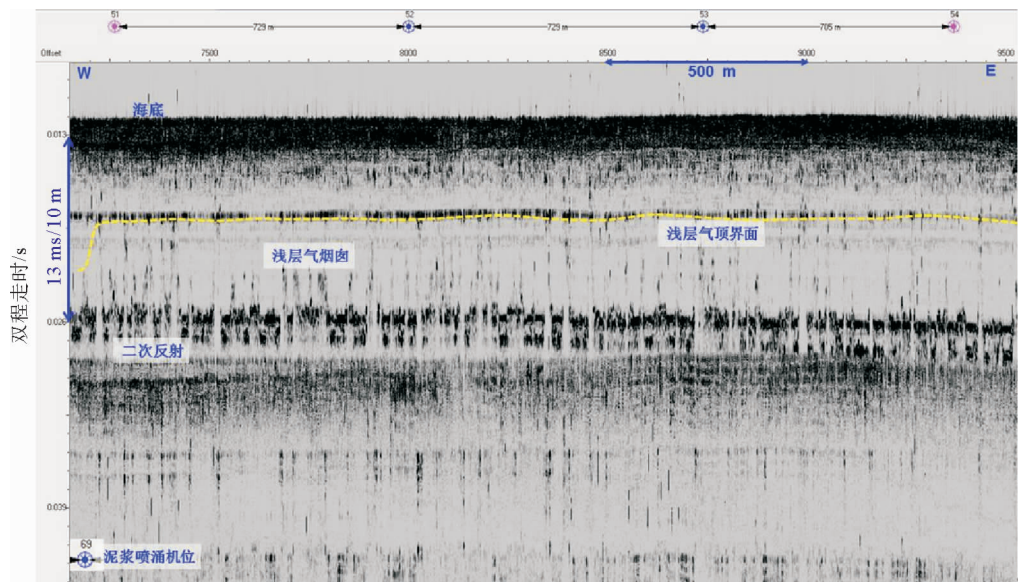


图 3 浅地层剖面图

Fig. 3 Sub-bottom shallow seismic profile

2.2 电火花资料上的浅层气特征

通过分析风电场区内电火花资料(图 4),发现地层反射波存在极性反转,同相轴振幅加强,空白或杂乱反射,气层段低频波形,声速异常导致地层下拉等与浅层气相关的异常反射波特征,未发现断层。浅层气的顶部埋深主要分 2 种,其中振

幅加强区的顶部埋深约 12~16 m,空白和杂乱反射区的顶部埋深不易识别,需借助浅地层剖面资料,并且该浅层气的特征容易与地层主要为砂质沉积的特征混淆。风电场区内浅部含气地层的高压特征不明显,反映为存在连续地层反射波,可以判定为弥散的浅层气。

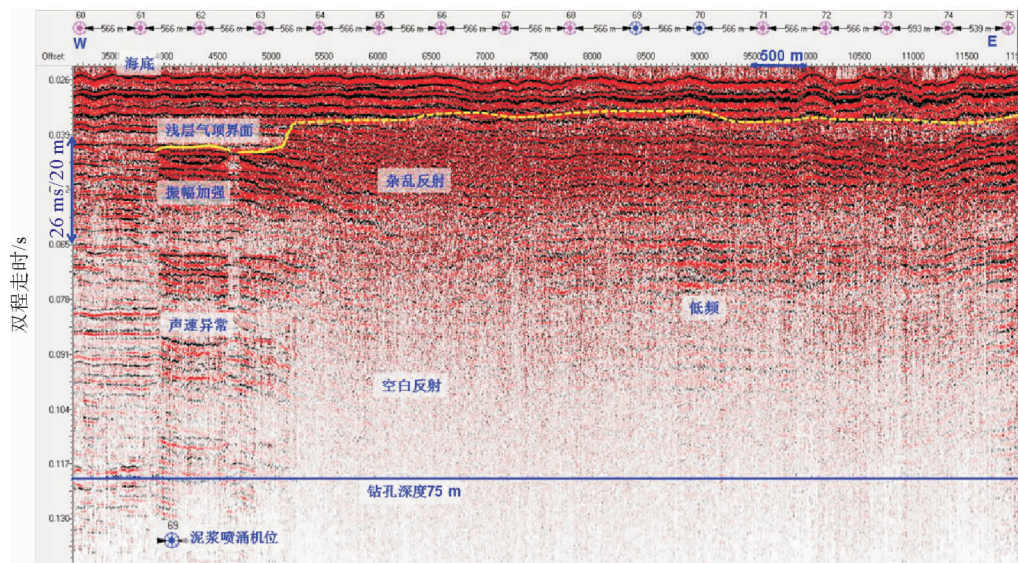


图 4 电火花地层剖面图

Fig. 4 Sparker stratigraphic profile

2.3 数字地震资料上的浅层气特征

通过仔细判读风电场区内数字地震资料(图 5、图 6),浅部地层发现弥散气,表现为极性反转,同相轴振幅加强,杂乱反射,气层段低频波形,声

速异常导致地层下拉等与浅层气相关的异常反射波特征。未发现断层,弥散气下伏清晰的高压气囊顶部界限埋深约在 320~550 ms(272~467 m)之间变化,推测浅部弥散的浅层气主要是通过地层扩散、渗滤形式运移和散失而形成。局部有

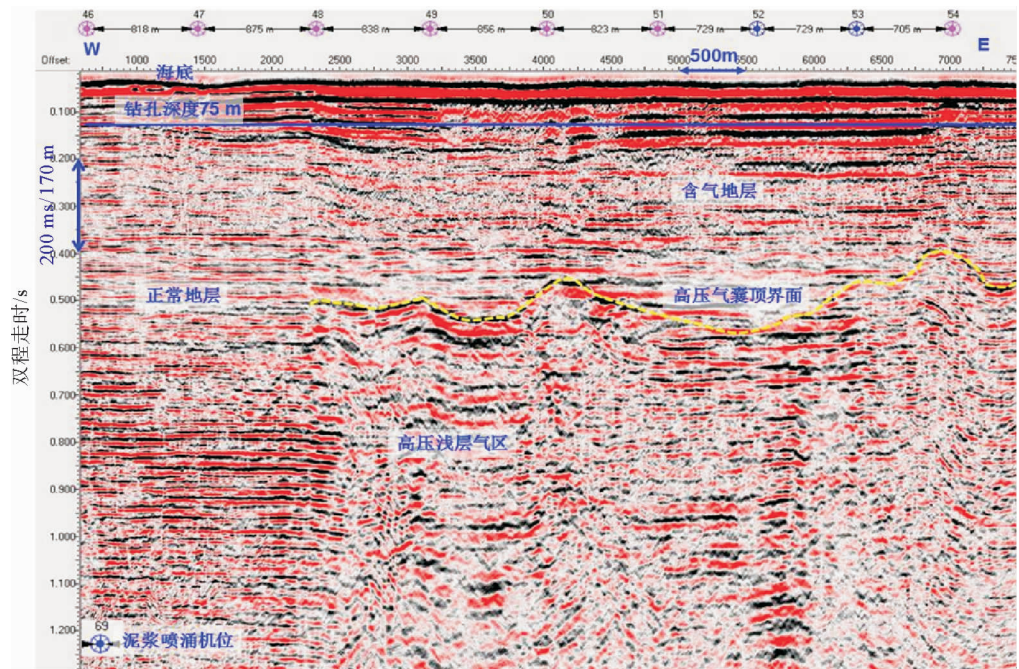


图 5 高分辨率数字地震剖面
Fig. 5 High resolution digital seismic profile

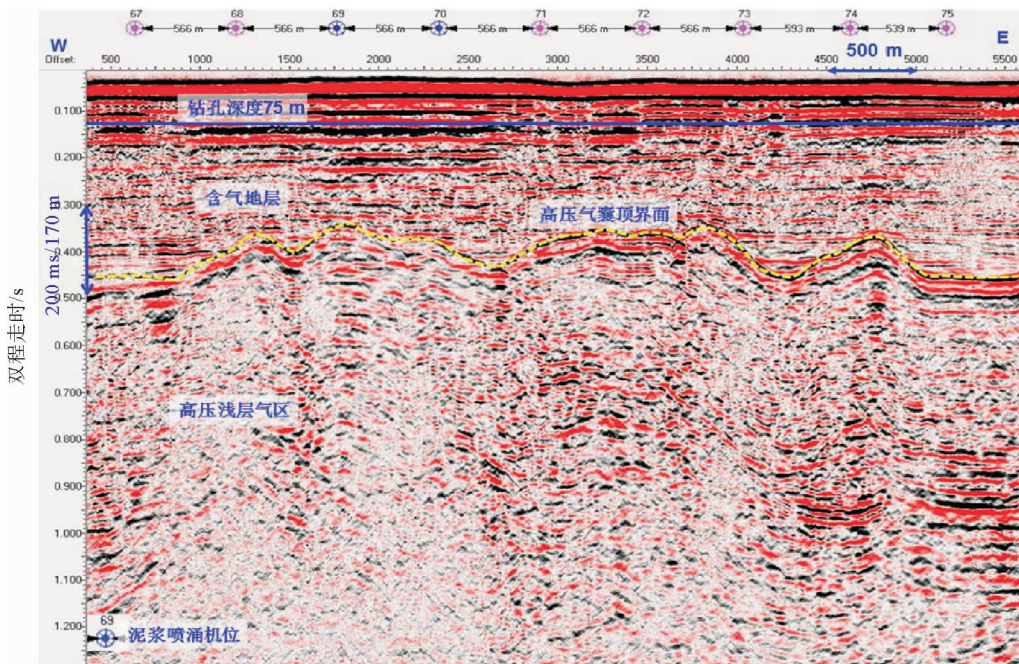


图 6 高分辨率数字地震剖面
Fig. 6 High resolution digital seismic profile

气烟囱,特征不太明显,规模不大。钻孔及 PCPT 测试深度为 75 m,地质浅孔钻遇高压气风险小。钻孔发生泥浆喷涌的站位主要位于同相轴振幅加强区。

2.4 钻孔 PCPT 测试时浅层气特征

采用 SMST 液压顶驱钻机完成风电场区 65 个站位的钻孔 PCPT 测试,其中在 37 井、38 井、52 井、53 井、69 井、70 井共 6 个站位处,提钻约 40 m 时发生了泥浆喷涌现象,浅层气溢出,现场未检测到硫化氢气体含量,综合判断为甲烷气。

其中 69 井站位作业时,泥浆从钻杆顶部剧烈喷出,并伴随大块黏土和喷气声(图 7),喷至钻台。38 井站位作业时,泥浆从钻杆顶部剧烈喷出,伴有砰砰的响声,时间约为 5 min,混杂粉质细砂,喷至钻台、司钻房及上层甲板。



图 7 钻井时泥浆喷涌情况

Fig. 7 Hole blowout during drilling

为此,船队集思广益,进行讨论并优化了钻井工艺^[12],大致如下:

(1)根据地层情况增加洗井眼频率,尤其是浅层的黏性土层,以尽可能扩大井眼,保持环空通畅,利于井孔内浅层气扩散;

(2)在完成作业起钻之前,加注重泥浆充满钻杆和环空,增加泥浆的静压力;

(3)根据 PCPT 测试的地层情况,在重点地

层(一般为 30~45 m 之间的砂层)范围内,起钻时提前接上顶驱,进行泥浆循环和划眼起钻,将钻杆起到可以卸的位置,观察泥浆压力判断是否有气压,如果有浅层气则持续泥浆循环将浅层气体从钻杆外的环空带出,避免从钻杆内喷出的风险,直到气压接近零为止,再起钻,有效减少起钻的抽活塞作用。

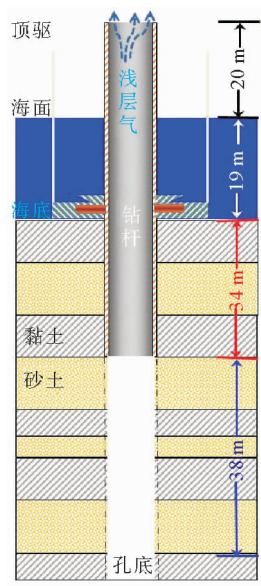


图 8 钻井泥浆喷涌示意图

Fig. 8 Sketch map of hole blowout

由于优化后的钻井工艺和相应的应急措施安排,泥浆喷涌及浅层气溢出情况得到有效控制,但此工艺增加了单井的作业时间和泥浆消耗,作业成本上升,作业效率降低。

3 风电场区浅层气

3.1 风电场区浅层气的成因

众所周知,生物成因气的重要条件是有机物的快速堆积和保存完好^[13,14],并在还原环境下经厌氧菌吞食和分解,最终变成由甲烷组成的可燃气体。一般生物成因气埋藏较浅,主要分布于河口与大陆架海区,我国沿海各大河口及大陆架海区均广泛分布^[8,15]。

风电场区第四纪全新世主要生气层为海积冲

积物,海底浅表层的海相沉积层中的粉土、黏土是良好的区域性盖层^[5]。推测风电场区内的浅层气是在第四纪的几次海进、海退中,交替沉积了多套富含有机质物质的淤泥层和砂层,其中的有机腐蚀质产生生物气,经过运移、富集,储存在临近的砂层透镜体或砂层顶部,形成的浅层气藏。

3.2 风电场区浅层气压力预估

钻井和 PCPT 测试过程中未发生泥浆喷涌和浅层气溢出现象,6 次井涌和浅层气溢出都是发生在提钻约 40 m 左右,分析可能是钻井过程中由于泥浆循环压力及泥饼作用,对地层中浅层气进行了一定程度的封存,提钻时一般不进行泥浆循环,再加上类似抽活塞作用力,浅层气溢出到井口并聚集形成一定压力而产生泥浆喷涌。

以 38# 站位泥浆喷涌为例,如图 8 所示,钻井泥浆采用 $\rho=1.05\text{ g/cm}^3$,泥浆喷涌高度约 $h=73\text{ m}$,根据公式: $P=\rho gh$,测算地层中浅层气压力约 7.67 Pa。

3.3 风电场区浅层气灾害分析

风电场区内浅层气的灾害主要包含^[16,17]:含浅层气的沉积物本身往往是不利地层基础,会影响钻井施工作业,同时对风机的桩基础也会造成危害^[6,18]。

(1)含浅层气的沉积物往往是不利基础

浅层气引起海底土质膨胀,土的骨架受到破坏,减慢了土层固结作用,增大了土层的压缩性。Whelan 等^[19]对海底淤泥中所含的甲烷浓度和沉积物的抗剪强度之间的关系进行研究,表明,由于重力作用产生固结,松散的海底沉积物抗剪强度会随深度增大,而含浅层气的土层中增长率减小,表明浅层气降低土层的抗剪强度。

在外载荷重下,含浅层气土层发生蠕变,并可能导致各向异性滑动,而浅层气释放后,将产生相对较大的沉降量,导致地层基础的下沉或失稳。因此,含浅层气的沉积物往往具有高压缩和低强度特征,是不利的地层基础。

(2)浅层气影响钻孔施工

钻孔作业过程中钻遇含浅层气地层时,由于卸荷作用,气体会逸出甚至强烈井喷,当气量较多、气压较高时,其间歇性喷出势必影响孔壁稳定

性,泥沙涌入发生孔内坍塌、埋钻等,甚至造成作业平台沉陷、倾覆甚至发生火灾,严重威胁作业人员安全。在杭州湾大桥水上搁滩钻孔作业时^[13],曾遇气体间歇喷溢,钻探船被频繁抬起后坠落,粉细砂土质发生液化,导致作业设备被掩埋。

(3)浅层气对风电场桩基造成危害

当聚集的高压浅层气溢出时,含气地层压力急剧下降,气体对地层产生冲刷,扰动含气土层及上覆或下伏地层。由于浅层气分布往往不均一,气体压力大小不等,地层承载力存在差异,尤其是在浅层气溢出时,产生不均匀沉降,导致桩基础稳定性存在差异。

4 总结与认识

(1)工程地质钻孔前,工程物探势必先行;

(2)发现大量浅层气,其特征主要表现为连续地层反射波发生间断,反射杂乱,部分地层反射波被屏蔽且延伸到深部地层中,局部地层反射波因声速异常导致下拉,反射高频衰减迅速,分辨率降低等;

(3)浅层气封存较好,弥散浅层气埋深最浅约 5 m,高压气囊顶部埋深最浅约 272 m,地质浅孔钻遇高压气风险小;

(4)未发现断层,深部热解气难以通过断层向上运移,主要为生物成因沼气;

(5)高压气囊下浅层气压力高,可进行经济评价确定其商业开采价值^[20]。

参考文献:

- [1] 张志忠,顾兆峰,刘锡清,等.南黄海灾害地质及地质环境演变[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(5):16-21.
- [2] 鹿凯,宋召军.南黄海灾害地质因素及分区[J].海洋地质动态,2005,21(7):9-12.
- [3] 詹文欢,刘以宣,钟建强,等.南海南部活动断裂与灾害性地质初步研究[J].海洋地质与第四纪地质,1995,15(3):1-9.
- [4] 李凡,于建军,蒋秀珩,等.南黄海灾害性地质研究[J].海洋地质与第四纪地质,1991,11(4):11-22.
- [5] 陈少平,孙家振,沈传波,等.杭州湾地区浅层气成藏条件分析[J].华东地质学院学报,2003,26(4):352-356.
- [6] 叶银灿,陈俊仁,潘国富.海底浅层气的成因、赋存特征及其对工程的危害[J].东海海洋,2003,21(1):27-36.
- [7] 顾兆峰,张志珣,刘怀山.南黄海西部地区浅层气地震特征[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(3):65-74.

[8] 李 萍,杜 军,刘乐军,等.我国近海海底浅层气分布特征[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(1):69-74.

[9] 孔祥淮,刘 健,杜远生,等.南黄海西部滨浅海区灾害地质因素特征及分布规律[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(2):43-52.

[10] 夏 真,马胜中,石要红.伶仃洋海底浅层气的基本特征[J].第四纪研究,2006,26(3):456-461.

[11] 李西双,刘保华,郑彦鹏,等.黄东海灾害地质类型及声学反射特征[J].青岛海洋大学学报,2002,32(1):107-114.

[12] 谭振华,陈 红,沙 东,等.大港滩海(浅海)区浅层气井喷原因分析及预防技术探讨[J].天然气地球科学,2005,16(3):369-373.

[13] 陈 庆,张洪沙,崔永昆.上海周边海域潜在的浅层气灾害及其防治措施[J].上海地质,2012,100:8-12.

[14] 陈少平,孙家振,沈传波.杭州湾入海口处浅层气成因与类型[J].重庆石油高等专科学校学报,2003,5:30-31.

[15] 蒋维三,叶 舟,郑华平,等.杭州湾地区第四系浅层天然气的特征及勘探方法[J].天然气工业,1997,17(3):20-23.

[16] 闫章存,刘燕平,曲 伟,等.辽东湾葵花岛构造区浅层气分布特征、成因探讨及工程影响[J].海岸工程,2007,26(3):1-9.

[17] 冯铭璋,季 军.上海地区浅层气地质灾害评估[J].上海地质,2006,4:44-47.

[18] 项培林,成利民,王如金.浙江省三北浅滩浅层天然气地质灾害[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(2):38-42.

[19] Whelan N T, Coleman J M, Suhayda J N, et al, Acoustical penetration and shear strength in gas-charged sediment [J]. Marine Geotechnology, 1977, 2:147-159.

[20] 严经芳,孙国中,茹桂荣,等.浙江沿海平原第四系浅层天然气成藏条件及勘探前景[J].天然气工业,1998,18(3):16-19.

CHARACTERISTICS AND ANALYSIS OF SUBMARINE
SHALLOW GAS AT THE SOUTH YELLOW SEA

CHEN Daixin, DING Zongguo,HAO Gaojian,KE Cuigan,SHE Wen
(Marine Survey & Geotech Operating Company, Geophysical-COSL,Tianjin 300459,China)

Abstract: Marine geological survey data, which was collected from a wind farm, indicates that there is a great quantity of submarine shallow gas in the South Yellow Sea. On seismic profiles, the shallow gas is characterized by various features, such as the sudden interrupt of continuous reflection, random reflection, gas blocks, lower resolution and quick attenuation of high frequency components. No fault has been found in the research area, and thus the submarine shallow gas is well preserved. Data suggests that the gas is a kind of methane biogenetic gas. The depth of the diffuse gas is about 5 m, while the top of high pressure zone is about 272 m. Therefore, a 75 m drilling hole is beyond the high pressure zone. The submarine shallow gas has no risk and impact to submarine engineering programs in the region.

Key words: the South Yellow Sea; submarine shallow gas; reflection wave; mathane biogenetic gas