

自升式平台分段延时插桩法 在浅层气海域的应用^{*}

陈建强¹,李明海¹,张锡良¹,郅中东¹,胡尹菲²,胡稳成²,周晓昱³

(1. 中石油 海洋工程有限公司钻井事业部,天津 大港 300280; 2. 中石油 渤海钻探第一钻井公司,天津 大港 300280; 3. 中石油 大港油田第一采油厂,天津 大港 300280)

摘 要:海底浅层气一般指海床浅地层内聚集的气体,是一种典型的海洋灾害地质类型,施工作业时一旦发生灾害,将对生命财产造成不可估量的损失。本文通过介绍海底浅层气的性质和危害,同时对辽东湾浅层气海域的进行工程物探资料分析,结合浅层气海域地层物性的特点,针对带桩靴的自升式平台在浅层气海域桩的插桩过程中存在的风险,提出了自升式平台分段延时插桩方法。并通过实践,指导中油海6平台在该海域的成功插桩,验证了该方法在浅层气海域插桩的可行性,同时实现了桩靴式自升式平台在该区块作业的零突破,具有一定的指导意义。

关键词:自升式平台;分段延时插桩法;浅层气海域;辽东湾

中图分类号: P75

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2015.04.005

海底浅层气是一种海洋灾害地质类型,一般指海床浅地层内聚集的气体,该气体有时以含气沉积物存在,有时以超常压状态的气囊出现,有时候甚至直接向海底喷逸^[1]。我国在建设杭州湾大桥前期地质勘探过程中,曾多次发生浅层气强烈井喷现象;在美国墨西哥湾、英国北海、印尼爪哇海、阿拉斯加海、波斯湾、加勒比海等水域进行海洋油气资源勘探开发时,由于对浅层气调查不足,都曾造成严重灾害^[2]。

我国近海分布着大面积的浅层气,在自升式平台进行石油勘探开发中,插桩作业时平台的桩脚若穿过浅层高压气囊,则会引起地基土体冲垮、气体喷逸,平台倾覆及起火燃烧的风险^[3]。然而目前尚未见无关于自升式平台在浅层气海域插桩作业文献,因此,本文通过分析浅层气地层的性质和特点,以及自升式平台插桩作业的特性,提出了针对浅层气海域的分段延时插桩方法,进而指导中油海6平台在辽东湾浅层气海域成功插桩。

1 海底浅层气的性质和危害

1.1 浅层气的性质

浅层气根据成因可分为2种类型^[1]:1)生物成因,大量陆源碎屑物质在海底沉积时,

^{*} 收稿日期:2015-03-20

作者简介:陈建强(1986-),男,工程师,主要从事海洋石油钻探方面研究。E-mail:chenjq_1986@163.com

(陈 靖 编辑)

带来了丰富的生物碎屑和有机质,甲烷菌从腐烂的有机物中分解出甲烷,形成含气沉积物。2)热成甲烷成因,是在海底以下较大深度,在高温高压下由于干酪根裂解,形成许多碳氢化合物,其性质取决于原始有机物质的特性和生油岩所处的温度与压力。

浅层气形成后随时随刻都在运移与聚集。一般浅层气沿着水平和上倾方向运行,在高渗透性沉积物—砂性土中聚集。有时浅层气被低渗透性淤泥类土覆盖,就形成一层含气沉积物层。含气沉积物层中浅层气在某些部位又相对富集。热成甲烷气体有时沿着岩层孔隙、裂隙、断层面上升、运移、聚集。如果浅部地层的封闭条件和存储条件很好时,就为浅层气的富集创造了有利条件,可以聚集形成高压气囊、气团和气层。

1.2 浅层气的危害

海底浅层气的存在会影响海上工程施工和构筑物安全。浅层气对海底沉积物胶结、硬度、强度等均产生较大影响,使海底构筑物地基条件发生改变,导致地质灾害事件发生。如果沉积物中含有浅层气,随着含气量的增加会引起土体膨胀,孔隙压力增大,有效应力降低,从而破坏了土体的骨架结构,增大了土的压缩性,降低了土的抗剪强度^[3]。浅层气的存在可以造成海底坍塌和滑坡,使输油管线悬空甚至断裂损坏^[4]。含气沉积物还会增强海底管线的腐蚀性。钻探施工中海底高压气囊是导致井喷的重要原因^[3]。国际海岸考察理事会(ICES)报导在工程地质钻探过程中有22%的井喷是由浅层气造成的^[5]。在早期勘探活动,一旦钻杆或桩脚穿通浅层高压气囊,则会引起井口地基土体冲垮、气体喷逸,平台倾覆及起火燃烧^[3]。由于浅层气的分布经常是不均匀的,气压大小不等会造成地层承载力的差异,特别是在浅层气释放过程中,会加大地层工程性状的差别,引起地层的不均匀沉降,破坏构筑物的基础而引发多种工程危害。

2 辽东湾浅层气海域工程物探分析

我国近海海底分布着大面积的浅层气,在辽东湾、山东半岛滨浅海、长江口、北部湾、琼东南近海、黄河水下三角洲外海海底,存在大面积以生物成因为主的浅层气;而黄海、东海、南海陆架油气资源区数百米地层中的浅层气受断裂控制,分布有热成成因的浅层高压气囊和气团^[3]。

据资料显示^[6],辽东湾滩海地区共发现特征明显的浅层气区有43处之多,载气面积最大者可达280 000 m²,最小者仅2 500 m²;多呈不规则状分布,顶面埋深在0.5~15 m范围内,而3~5 m居多,一般延展宽度50~300 m不等;在浅地层上显示反射灰度明显比周围弱,颜色较浅,沉积层理中断,地层反射被掩盖或异常,图谱似云雾状,上升到海底面以下高度不等,相当数量的浅层气区位于古河道或具有洼地填充沉积特征的古沼泽地带。

本次选取的研究区块为中油海6平台在辽东湾海域实施的一口勘探井。该区块为分布浅层气的海域,之前尚无桩靴式平台插桩作业历史。

2.1 工程物探分析

在调查区域内的中浅地层剖面资料(海底至海底以下100 m以内地层资料)上发现1处与浅层气有关的异常反射区,命名为A1(图1)。A1在调查区域内分布范围较大,几乎占据整个调查区域,只在调查区域的西北部边缘没有发现异常反射区。在数字地震资料

解释深度范围内(海底以下 890 m/1 000 ms),异常反射区基本上遍布整个调查区,而且顶部埋深变化幅度较大,基本上在海底以下 7~160 m 变化。



图 1 地质特征图

Fig. 1 The geological characteristics

根据井场工程物探资料初步分析表明:在预定井位及其周围调查范围内的海底至数字地震资料解释深度范围内(海底以下 890 m/1 000 ms 的地层内),存在影响钻井船就位和作业的灾害性地质现象,主要包括:

1) 预定井位位置位于与浅层气有关的异常反射区 A1 的内部,异常反射区的顶部埋深较浅,约为 7~16 m,局部存在浅层气溢出的可能,到异常反射区的边缘最近距离约为 481 m,浅层气对钻井船就位和作业具有潜在的危害影响;

2) 由于调查区域地层中存在大范围的异常反射现象,部分地层受声学屏蔽影响而呈现空白反射或杂乱反射,致使在解释深度范围内断层解释不完全,或者在异常反射区内无法判别是否存在其他断层,建议钻井船在作业时对可能钻遇断层及断裂带而造成的不利影响给予密切关注;

3) 调查区域内的浅部地层(海底以下 7~160 m)中存在大范围的弥散型浅层气,强度和压力大;中深部地层(海底以下 160~890 m)中浅层气的含量可能随深度的增加而逐渐增大,预定井位位于“烟囱状”空白反射的边缘,推测该深度地层中可能存在压力较大的浅层气,建议将预定井位移出异常反射区的影响区。

2.2 平台插桩分析

中油海 6 平台为三桩腿自升式平台,桩腿长 72.1 m,桩腿直径 3.20 m,桩靴为正八边形,其直径为 9.20 m,高 1.65 m,底面积 70.12 m²。设计桩脚入泥深度 10 m,工作最大水深 40 m。平台风暴自存状态时,最大单桩支撑荷载 31 680 kN,平台预压状态下最大单桩支撑荷载 29 050 kN。根据钻孔试验所提供的土层强度设计参数(表 1),进行平台插桩分析。

表 1 土层强度设计参数

Table 1 The designed parameters of soil strength

层 序	土质描述	深度/m	水下容重	黏性土设计抗剪强度	粒状土设计抗剪强度
			/kN·m ⁻³	C _k /kPa	Φ _k /°
1	粉质细砂	0.0~1.6	8.5		15
2	粉质黏土	1.6~10.3	8.0	7	
3	粉质黏土	10.3~14.4	8.0	22	
4	粉质黏土	14.4~22.0	8.5	35	
5	粉质黏土	22.0~28.1	9.0	55	
6	粉质黏土	28.1~30.3	9.0	85	

注:空白表示无数据

根据分析计算(图 2),平台预计插桩深度为 22.5 m,而浅层气顶部约为 7~16 m。因此插桩过程中,桩脚入泥越深,浅层气的潜在风险就越高,同时较深的插桩对施工结束后的拔桩作业将造成较大的困难。

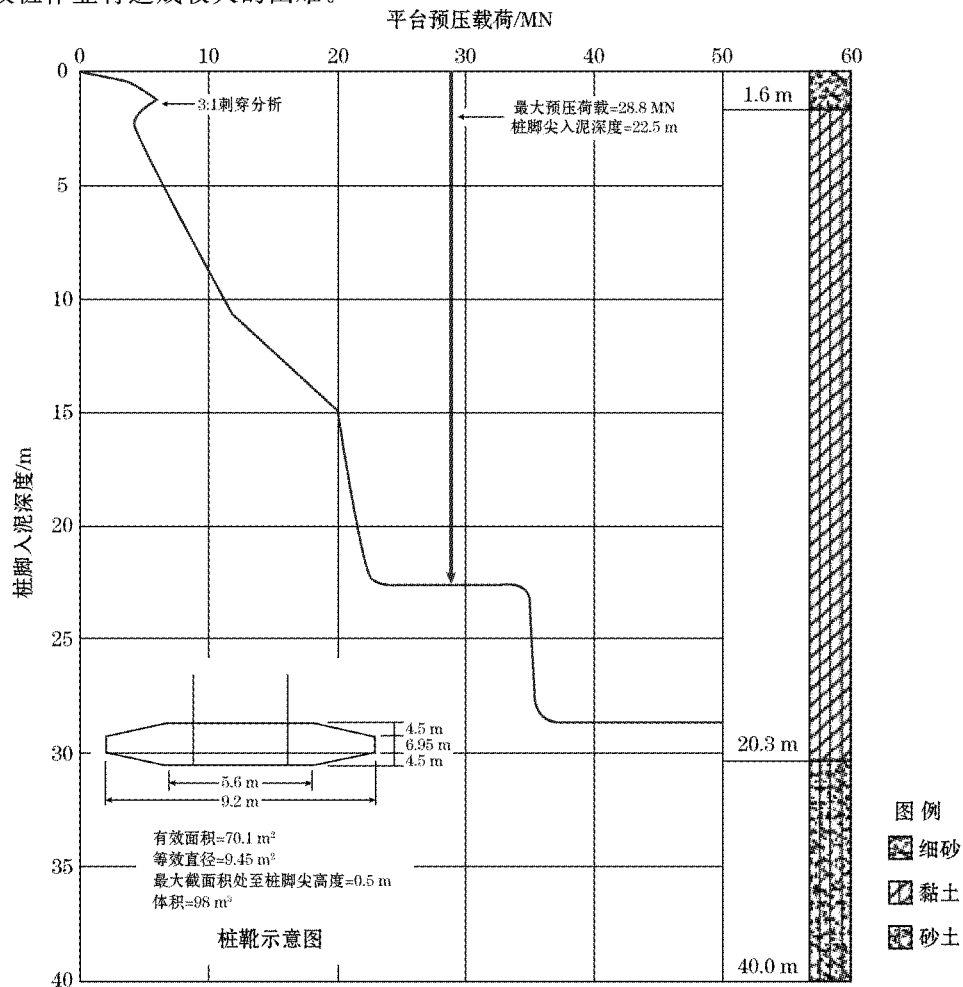


图 2 极限桩脚载荷与桩脚入泥深度关系曲线

Fig. 2 Relationship between the ultimate load of pile foot and the depth of pile foot into mud

3 分段延时插桩法

分段延时插桩法是在平台插桩过程中,根据地层的土质情况以及浅层气的埋深,有针对性地将插桩过程中的间隔时间延长,即桩腿每入泥一定深度,停止下桩、压载,观察一段时间后再继续插桩压载作业,直至到达持力层为止。分段延时插桩主要特点如下:

1)平台插桩压载过程分为3个阶段:初压、轮番压、整体压。根据钻孔地质资料,再结合工程物探资料中浅层气的埋深情况,进行对比分析,确定危险地层段,在插桩压载的每一阶段根据桩腿入泥情况进行有针对性的延时插桩;

2)桩腿进入危险地层段后,每下入一定深度,通过延时期对海面的观察,能较好地掌握浅层气的外溢情况。观察人员对海面有无气泡、气泡的大小、气泡分布面积、持续时间、及空气中有害气体含量进行严密监控。若无气泡或气泡消失,继续下桩。任一桩腿下放过程中,若海面出现不可控气体涌出,立即启动相关应急程序,停止插桩作业,拖航至其他井位作业。

3)针对浅层气地层土的孔隙压力及压缩性大,地层有效应力和抗剪强度较低的特点,采用延时插桩法,在对各桩腿进行轮番插桩压载过程中,随着载荷的逐渐增加和压载过程的间断,桩端土因冲剪破坏产生的超孔隙水压力能够较快的消散,桩靴下土层在桩载荷作用下排水、排气固结,土的抗剪强度及有效应力逐步恢复和提高,地层的内摩擦角、压缩模量等参数都会有不同程度的提高^[7]。桩靴下的地层将会体现出较高的承载能力,从而减少插桩深度。桩腿入泥深度较浅,一方面能减少浅层气的危害,另一方面有利于作业结束后的拔桩作业。

在实际作业过程中,平台插桩的情况:

第一阶段:初压,即依靠平台自身重量进行初步压载。作业时间为2014-05-15—20。

平台就位结束后,2014-05-15T05:30开始插桩作业,插桩顺序为先插艏桩,再插尾桩。当艏桩入泥12 m后(对地压力1 387 t),停止艏桩插桩作业,静止观察38 h;然后进行尾桩插桩作业,当船尾两桩腿入泥分别为13.7和13.8 m后,静止观察66 h。最终的各桩腿入泥深度及对地压力分别为:1#桩腿13.7 m(1 757 t)、2#桩腿13.8 m(1 574 t)、3#桩腿14.7 m(1 940 t)。在整个插桩过程中,依据钻孔资料,预计浅层气顶部为泥面下7 m。桩腿下放从接触泥面开始,每下放1 m,停止下桩,观察海面15 min。至入泥5 m开始,桩腿每下放20 cm,停止下桩,观察海面15 min。累计静止观察时间为120 h。插桩过程中,见少量不连续气泡,直径1.0~1.5 cm,气泡分布面积0.5 m²(图3)。

第二阶段:轮番压,即3个桩腿进行轮番压载,循环渐进。作业时间2014-05-21—23。

将平台降至气隙1 m,首先对1#桩腿进行压载,打压载水过程中,压载舱水位每次打水0.5 m静止观察30 min,并记录桩腿入泥、支撑力、气隙、水深等数据,如果入泥没有变化,继续打压载水。1#桩腿的对地压力从2 250 t逐渐增加至2 706 t,桩腿入泥深度从14.1 m增加至14.5 m后无变化。1#桩腿压载结束后用同样的方式对2#、3#桩腿进行压载作业。最终各桩腿入泥深度及对地压力为:1#桩腿14.1 m(2 706 t)、2#桩腿14.3 m(2 731 t)、3#桩腿14.7 m(2 730 t)。期间累计静止观察时间为30 h。压载过程中见少量不连续气泡。

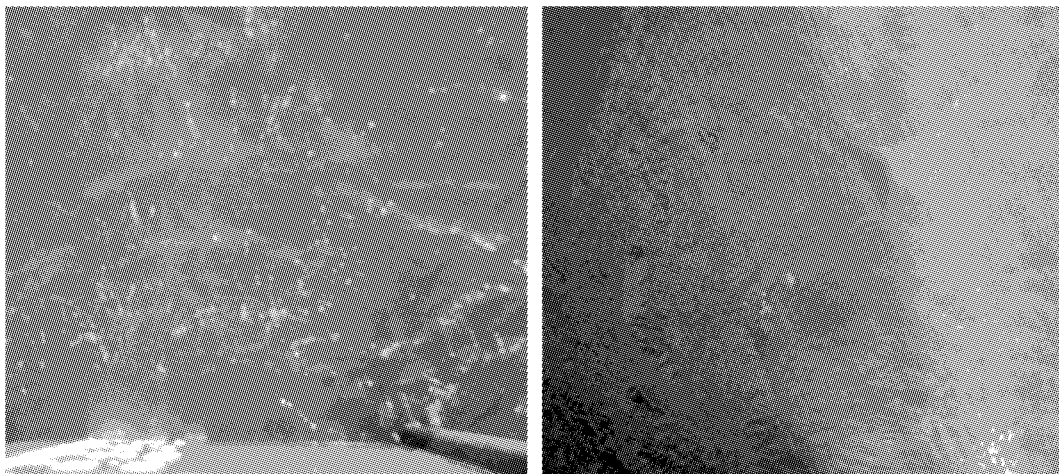


图3 插桩过程中海面气泡情况

Fig. 3 The sea-bubble status during the platform piling

第三阶段:整体压,即将全部压载舱打满水进行整体压载。作业时间 2014-05-24—26。

将平台剩余压载舱全部打满海水,这个过程中每打满一个舱室,静止观察半小时,记录桩腿入泥、支撑力、气隙、水深等数据,如果入泥没有变化,继续打压载水。最终各桩腿入泥深度及对地压力为:1#桩腿 14.5 m(3 262 t)、2#桩腿 14.3 m(3 262 t)、3#桩腿 14.7 m(3 206 t)。累计静止观察时间为 32 h,期间未见气泡,压载结束。

此次插桩压载总共历时 11.2 d,是桩靴平台在该区域的首次插桩成功,为该区域探明储量打下了良好基础。

4 结论与建议

中油海 6 平台通过分段延时插桩方法在该区块插桩成功,验证了该方法在浅层气海域插桩作业的可行性。插桩过程中,通过对初压、轮番压、整体压三个阶段进行延时观察,较好地掌握了插桩过程中浅层气的外溢情况,对浅层气产生的危害有较好的预防和控制作用;而且平台最终的插桩深度比预计深度浅,也验证了延时插桩对桩靴下部地层土体承载力有一定增强作用。因此该方法在实际操作中,具有一定的指导意义。

根据作业期间的实际情况,提出以下建议,以供同类平台作业时参考:

1)详实准确的井场工程物探资料是指导插桩作业的前提,根据工程物探资料,若在平台预计插桩深度的地层范围内可能存在压力较大的浅层气,建议将预定井位移出异常反射区的影响区。

2)起拖前,制定关于针对该区块浅层气插桩的专项应急预案,同时针对该浅层气区域插桩、压载作业风险,进行有针对性的各类应急演练。

3)若插桩过程中,海面监测人员在甲板监测出有毒、有害可燃气体,立即停止插桩作业,现场进行持续监测,待甲板有毒、有害及可燃气体测量值减少或消失,则转入正常插桩作业。若海面出现不可控气体涌出,则平台迅速进行拔桩,组织撤离。

4)平台进行插桩作业过程中,主拖轮不能解拖,随时应对突发情况,同时安排另一艘

守护船在平台上风向进行待命。

5)平台在浅层气海域插桩作业前,建议在井位周围打孔排气,以释放浅层气,减小潜在的危害。

参考文献:

- [1] 叶银灿,陈俊仁,潘国富,等. 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.
- [2] 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.
- [3] 李萍,杜军,刘乐军,等. 中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):70-73.
- [4] 王雅丽,王明田. 浅层气探测及其海洋工程响应[J]. 中国造船,2005,46(增刊):120-125.
- [5] 蔡秋荣. 海底浅层气—灾害还是资源? [J]. 海洋地质,2002,(3):77-80.
- [6] 金尚柱. 辽河油田浅海油气区海洋环境(上、下册)[M]. 大连:大连海事大学出版社,1996:523-524.
- [7] 陶常飞,吴建政,开发庆,等. 曹妃甸浅滩表层砂体插桩深度研究[J]. 海岸工程,2008,27(4):54-59.

Application of Segmented Time Delay Method for Jack-up Platform Piling in the Sea-Areas With Shallow Gas

CHEN Jian-qiang¹, LI Ming-hai¹, ZHANG Xi-liang¹, BING Zhong-dong¹,
HU Yin-fei², HU Wen-cheng², ZHOU Xiao-yu³

(1. CNPC Offshore Engineering Company Limited Drilling Division, Dagang 300280, China;

2. CNPC Bohai Drilling Engineering First Drilling Company, Dagang 300280, China;

3. CNPC Dagang Oilfield First Oil Production Company, Dagang 300280, China)

Abstract: The shallow gas is one of the typical marine geological hazard types. Once such a hazard happens, immeasurable loss would be caused to the life property. In the present paper, the characteristics of the nature and harm of shallow gas and the property of formation in the sea areas with shallow gas are introduced, and the engineering geophysical data obtained in the shallow gas area of the Liaodong Bay and the risks probably occurring when jack-up platform with pile shoes piles in the shallow gas areas are analyzed. Based on all these, a segmented delay time method is proposed for jack-up platform piling in the shallow gas areas. By using this method, the CPOE6 Platform has piled successfully in the Liaodong Bay, which not only verifies the feasibility of the method, but also realizes a zero breakthrough for jack-up platform piling in this block area.

Key words: jack-up platform; segmented time delay method; sea area with shallow gas; Liaodong Bay