

# 土壤调查对平台结构设计的影响

郭 薇 王俊勤

中海石油研究中心,北京,100027

**摘 要** 结合油田开发工程实例,分析工程土壤调查内容及其调查结论对平台结构设计的影响。

**关键词** 工程物探 工程地质调查 海洋水文调查 平台结构设计 土壤液化 桩基础

根据海洋石油总公司等同采用的 API 规范《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法——工作应力设计法》规定,为得到既安全又经济的设计,对任何尺度的海洋石油结构都必须进行建造现场的土壤条件调查,以确定海底地形、地貌、土层状况及其物理性质和工程海洋性质。

土壤调查包括海洋平台场址及海底管道路由范围内的工程物探调查、工程地质调查和海洋水文调查等内容。本文阐述土壤调查中各项内容的调查目的、调查需要完成的主要项目,并结合渤海油田开发工程实例,分析调查结果对平台结构设计的影响。

## 1 工程物探调查

工程物探调查的目的,是为地基土壤和可能影响工程场地的周围区域的地质状况提供评价资料;提供有关海底塌陷、陡坡、不规则及粗糙地貌、火山泥浆、泥团、坍塌形态、沙浪、滑坡、断层、挤入构造、冲刷表面、沉积土中气泡、气体渗漏、覆盖的峡沟以及土层厚度侧向变化的存在证据;提供平台场址和管道路由范围内的海底地形和地质特性等资料;为地基土壤和可能影响工程现场的周围区域的灾害性地质评价提供资料;为将来的钻井船作业、平台安装、管道线路的设计和施工提供充足的数据。

需要调查的内容主要有:平台场址和管道路由区域范围内的水深、地形测量和表面土测试分析等。

## 2 工程地质调查

工程地质调查的目的,是提供作业海区沉积物的分布情况、沉积土的物理力学性质和土的腐蚀性,以及平台场址影响桩基础承载能力的土层物理力学性质,并进行工程分析。

调查的项目有:钻孔取样,土样测试和分析。

工程地质调查报告中提交的平台结构设计和施

工作业需要用到的资料主要有:1) 钻孔土的分层情况和各土层的设计参数;2) 与可能选用的隔水导管和桩的直径相应的极限承载力曲线;3) 桩的轴向和侧向荷载—变位特性  $T-z$ 、 $Q-z$  和  $p-y$  曲线;4) 防沉板设计参数;5) 桩的可打入性分析;6) 土壤液化分析。

## 3 海洋水文调查

与土壤调查一起完成的工作还有海洋水文调查。水文调查的目的,是用水位实测资料和潮汐曲线变化图校正工程物探调查中得到的水深数据,分析、验证海图水深基准面位于平均海平面以下的位置等设计参数,给出不同基准面的相互关系图;用实测海流资料以及结合物探、钻探资料,对海床稳定性进行分析评价;用实测水位资料进行水深校准,以确定平台场址的准确水深及甲板高程和靠船件高程。水文调查前后的水深误差有时可达到 1.5 m。

水文调查包括验潮和测流 2 项:验潮是为了确定平均海平面与海图水深的关系;测流是为了根据海水流速校核测点位置,而底层流速的测量则是为海底稳定性的定性分析提供数据。

经过水文调查的修正,可取得工程场址的正式的水深和潮位数据。

## 4 土壤调查结果对平台结构设计的影响

现在油田开发的工期都比较短。一般在整体开发设计阶段,由于平台场址尚未确定,未进行土壤调查,设计中只能参考现有的、附近地区的土壤资料,待经调查获得实际场地土壤资料后,再对设计方案进行校核、修正。以设计桩基结构平台为例,不同土壤条件的选择将会导致桩的入泥深度的改变、桩径的变化、甚至桩腿数量的变化。在水文调查后,由于设计水深进行了调整,平台的下部结构也会变化。

#### 4.1 对桩基础设计的影响

不同的土壤条件对桩基础设计的影响很大,下面以渤海绥中 36-1 期工程和曹妃甸 11-1/11-2 油田平台的结构设计为例,说明土壤条件落实前后的设计方案变动。

##### 4.1.1 绥中 36-1 期 WHP3、4 井口平台

在 ODP 整体开发工程概念设计阶段,由于没有场址的工程地质钻孔资料,绥中 36-1 期 WHP3、4 井口平台桩的入泥深度只得参考附近绥中 36-1 B 平台的工程地质资料进行估算,桩的直径定为 1 219 mm,入泥深度定为 65 m。

由于实测土壤条件比 ODP 阶段假设得差,在绥中 36-1 期工程详细设计阶段,桩的直径增加到 1 372 mm,入泥深度增加到 80 m。桩的钢材重量也从 ODP 阶段的 4 600 kN,增加到 6 180 kN,相差 1 580 kN。

##### 4.1.2 曹妃甸 11-1/11-2 油田 期平台

曹妃甸 11-1/11-2 油田 期开发工程包括建造 1 座井口集输平台(WGP-A)、1 座井口平台(WHP-A)、1 座软刚臂单点系泊系统(SPM)、1 艘浮式生产储油外输油装置(FPSO)以及平台间的海底管道和电缆。场地位置图见图 1。

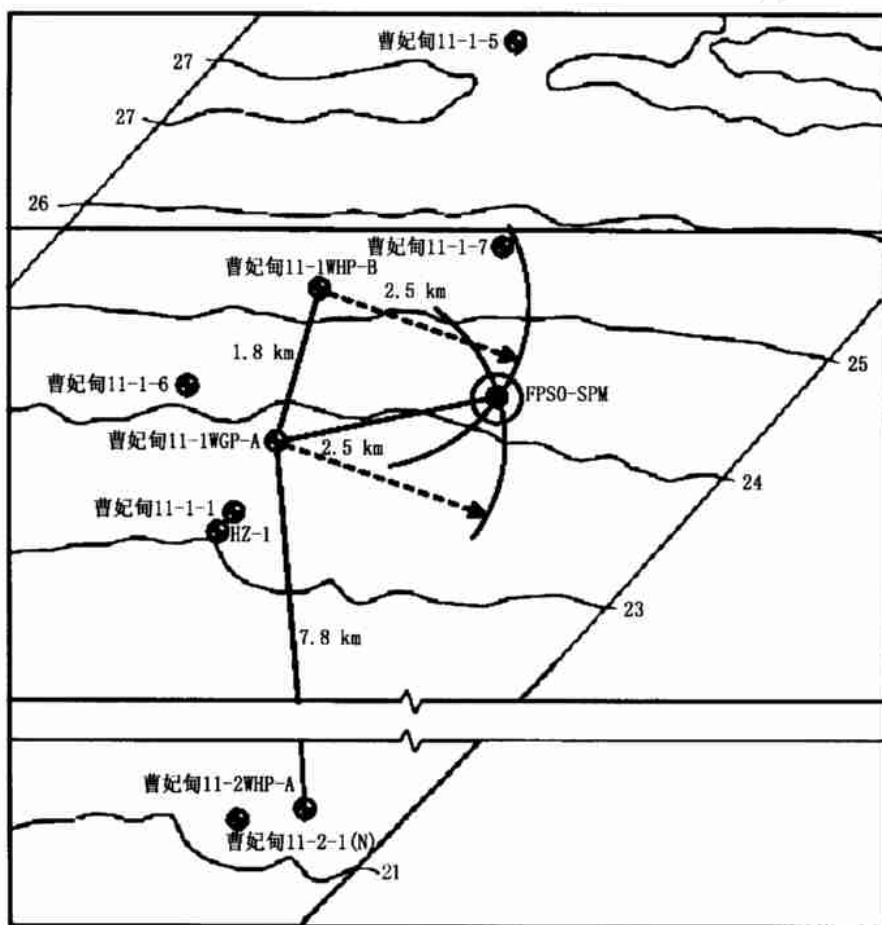


图 1 曹妃甸 11-1/11-2 油田场地理位置图

曹妃甸 11-1/11-2 油田土壤调查报告(CDF 11-1/11-2 Soil Investigation and Site Survey Report, 2002-05)表明:虽然 WGP-A、WHP-A 和 SPM 3 个场址相距很近,且 WGP-A 与 SPM 相距仅 2.5 km,但海底土层特性的变化较大。例如,SPM 处泥面以下 0~120 m 范围内可划分为 13 层明显的土层,而 WGP-A 平台处泥面以下 0~120

m 范围内可划分为 22 层明显的土层(图 2)。它们的桩的承载力变化也较大,以 1 372 mm 桩的承载力为例,要达到 30 MN 的极限承载力,桩的入泥深度在 WGP-A 平台处需达到 63 m,在 WHP-A 平台处需达到 59 m,在 SPM 处需达到 74 m。显然 WHP-A 平台场址的土壤承载能力较好,SPM 场址的土壤承载能力较差。

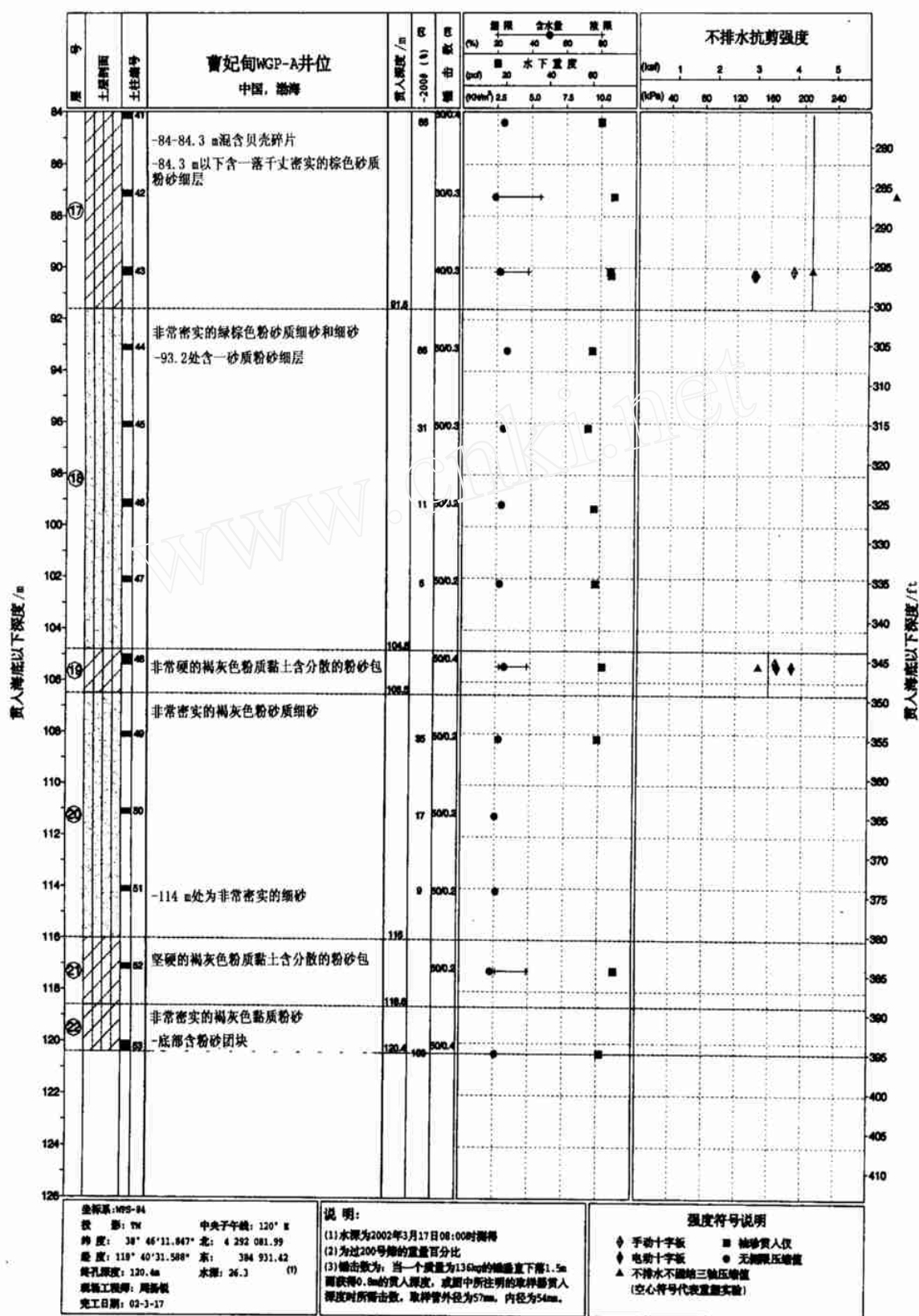


图2 曹妃甸 11-1/11-2 油田 WGP-A 平台井位钻孔图表

在 ODP 报告中,由于缺少各场址的土壤数据,在平台桩的入泥深度设计中采用了曾在该地作业的自升式钻井平台地质调查报告中承载力最差的浅层钻孔土壤数据。该钻孔位置在 WGP - A 平台西南 8.4 km,在 WHP - A 平台西南 1.2 km;土壤数据取自泥面以下 0 ~ 40 m。设计中假定 40 m 以下的土壤条件与 40 m 处相同,由此得到的设计桩径为 1 219 mm。调查后,用新的土壤数据重新计算了桩的入泥深度,结果表明:对于 WHP - A 平台,桩的入泥深度原为 50 m,用新的土壤数据计算的入泥深度将不到 50 m;对于 WGP - A 平台,桩的入泥深度原为 65 m,用新的土壤数据计算的入泥深度将增加到 72 m,增量 10%。这表明,由于假设的土壤条件与新的土壤数据接近,桩的入泥深度变化不大。本次设计没有包括 SPM 导管架的设计。

#### 4.2 对隔水导管设计的影响

不同的土壤条件对隔水导管的设计也有影响,下面是土壤条件落实前后,曹妃甸 11 - 1/11 - 2 油田隔水导管入泥深度的变化。

在 ODP 阶段,隔水导管的入泥深度选用了秦皇岛 32 - 6 油田隔水导管的入泥深度 35 m。用新的土壤数据计算后,WGP - A 平台隔水导管的估计入泥深度为 42 m,隔水导管的重量从 10.9 MN,增加到 12.0 MN,相差 1.1 MN;WHP - A 平台隔水导管的估计入泥深度为 46 m,隔水导管的重量从 5.41 MN,增加到 6.20 MN,相差 7.9 MN。

#### 4.3 土壤液化的可能性

当受到强烈的振动、爆炸冲击和地震时,地表受到扰动,颗粒状土壤可能会发生液化。对于浅基础,这种影响更大。最易发生液化的土质有砂土和淤泥质土。当土壤发生液化时,它会部分失去强度并产生永久变形;当它变得像流体一样时,就会完全失去强度,发生巨大的侧向位移。决定土壤液化程度的因素,有土壤自身的特性,扰动的强度等。

根据 API 规范规定,对于有地震活动的区域,设计平台时应该考虑平台场地海床以下土壤可能由液化产生的不稳定性问题。以曹妃甸 11 - 1/11 - 2 油田期工程为例,研究土壤液化可能性的工作可分为 3 个步骤:1)确定可能液化的土层;2)用业主提供的海底面地震水平加速度峰值,评价可能液化的土层的地震液化可能性;3)提供因土壤液化而修正的  $p - y$  曲线,或定量地考虑液化对土壤承载能

力的影响。

初步判断,在曹妃甸 11 - 1/11 - 2 油田期工程 3 座平台场址泥面以下 0 ~ 12 m 处的砂土,有液化的可能性。经试验分析确定,在 200 年一遇的 7.5 级地震的条件下,土壤不会液化;但在 1 000 年一遇的 8.0 级地震的条件下,该场址土壤将产生液化。这表明,在下一阶段进行结构地震韧性分析时,需要考虑土壤液化对导管架基础的影响,对土壤液化后的承载能力需要进行进一步研究。

#### 4.4 场址水深和潮位变化

表 1、表 2 为曹妃甸 11 - 1/11 - 2 油田期工程在水文调查修正前后的场址水深和潮位对照表,可见实测水深和潮位与原设计采用的数据是有一定的差别的。

表 1 曹妃甸 11 - 1/11 - 2 油田水深对照表 m

场 址	从海图基准面起算	
	修正前	修正后
WGP - A 平台	24.0	23.9
WHP - A 平台	21.5	21.4
SPM	24.0	24.0

注:修正前 ODP 阶段采用的水深出自《曹妃甸 11 - 1 - 1 自升式钻井船地质调查最终报告》,2001 - 04。

表 2 曹妃甸 11 - 1/11 - 2 油田潮位对照表 m

潮 位	从海图基准面起算	
	修正前	修正后
最低天文潮	- 0.03	0.19
平均较低低水位	0.83	1.05
平均低水位	1.07	1.29
平均海面	1.45	1.67
平均高水位	1.78	2.00
平均较高高水位	1.91	2.13
最高天文潮	2.26	2.48
海图基准面	0.00	0.00

注:潮位数据取自《曹妃甸 11 - 1 和 11 - 2 油田环境条件设计参数报告》,2001 - 12。

#### 5 结束语

场址的场地调查数据隶属于设计基础条件,对工程的影响非常大,特别是水深、灾害地质和基础承载力数据,都是海洋石油工程结构设计必不可少的基础资料,应及时获取,以免影响整个工程的进度。

(收稿日期:2002 - 11 - 19;编辑:张金棟)

ice is presented , it can be employed in the prediction of vibration excited by ice jacket platform.

Key Words: jacket platform , vibration excited by ice , self-excited theory

## Development of the Technological Calculation Simulator for Two-Phase Flow in Gas-Liquid

Hybrid Pipeline ..... *Liu Wu , Zhang Peng , Li Min , Cheng Fujuan* (20)

Abstract : According to the basic rule of fluid mechanics and in combination with the latest domestic and foreign research results of two-phase flow theoretically and experimentally , a new simulator TFTCS has been successfully developed , which covers the hydraulics calculation , thermodynamic calculation and flow regime prediction. The TFTCS can be used for technology calculations in the oil/ associated gas or condensate gas transmission pipeline of offshore , desert and hilly zone. The software 's structures , functions and ranges of application are presented in this paper , and simulative calculation is made on submarine wet gas pipeline of JZ 20 - 2 oilfield with TFTCS. The results are examined by comparing with producing data of JZ 20 - 2 oilfield or through a comparison calculation with the same kind software PIPHASE overseas. The example analysis shows that the TFTCS , being easy to use and having reliable calculation results , can satisfy the need of oil-gas hybrid pipeline engineering design calculation and operation management.

Key Words: two-phase flow , technology calculation , program design , simulator

## Application of Gas Chromatography Instrument in the Offshore Gas Field

..... *Wang Qiang , Jin Dexian , Wang Min* (23)

Abstract : Gas chromatograph is widely used to measure the gas components of the natural gas. There are  $C_1$  ,  $C_2$  ,  $C_3$  ,  $C_4$  ,  $C_5$  ,  $C_6$  ,  $CO_2$  and  $N_2$ . This paper shows how the components are measured by gas chromatograph , based on the experience of Dongfang gas field development project.

Key Words: gas chromatography , chromatographic column , plunger valve , heat conductor monitor

## Effect to the Platform Structure Design by the Soils Investigation ..... *Guo Wei , Wang Junqin* (26)

Abstract : By description of the content included in the soils investigation and site survey , the paper analysis the effect of soils investigation and site survey to the platform structure design through the oil fields developments in Bohai bay.

Key Words: soils investigation , site survey , hydrographic survey , platform structure design , soil liquefaction , pile design

## DRILLING AND PRODUCTION ·

### Theory and Method of Rational Working System Design During HTHP Testing of Gas Well

..... *Li Xiangfang , Sui Xiuxiang , Tang Dezhaoh , Zhong Hua , Wei Haiming , Chen Yan* (30)

Abstract : The deficiency of traditional design theory in working system is analyzed ; the parameter characters in formation , well bore and earth surface are studied. And the relation between oil pressure at well head and producing pressure differential at bottom hole is analyzed , too. This paper points out that working system during testing should be determined according to rational producing pressure differential. As a result , the formation parameters can be effectively gained and deformation damage and sand production of formation can be avoided in time of larger producing pressure differential of gas well during HTHP testing. The theory and method of working system design during HTHP testing of gas well are provided in the paper.

Key Words: gas well at HTHP , testing , working system

### Application of Horizontal Well During the Tail Development of Linpan Oilfield

..... *Wang Xindong , Jiang Haijun , Ling Mingyou ,  
Li Sanqi , Zhang Bangjun , He Xinhua , Zhou Lijun* (33)

Abstract : Aim the development character of the different petroleum reservoir and the rules of the remaining oil , based on the study of construction and reservoir rock and the rule of displacement of oil by water , the paper introduces the technology preponderance of horizontal well during the later period of the reservoir development. The result shows that the technology of horizontal well can improve the productivity and the development effect of the reservoir.

Key Words: horizontal well high water cut , bottom water reservoir , unit of flowage , antithetic ridge

### Analysis of Sub-Sea Pipe High Pressure Caused by High Viscosity Oil in the Transportation Process

..... *Liu Guangcheng , Liu Lifeng* (37)

Abstract : Sub-sea pipeline transportation is the most common method used in offshore oil exploitation. In case of the high pressure encountered in the transportation for referring to the virtual condition of SZ 36 - 1 field , we take consideration of main influence factors , such as the viscosity , temperature and water content to probe the relevant resolutions.