

文章编号: 1001- 4500(2005)02- 0006- 06

Spar 平台的发展趋势及其关键技术

张帆, 杨建民, 李润培

(上海交通大学, 上海 200030)

摘 要: 深海油气资源的大量开发加速了对适应深水环境的平台结构物的需求。Spar 平台是一种用于深海环油气开采、生产、处理加工和储存的海洋结构物。本文介绍 Spar 平台的发展趋势及其关键技术的研究, 包括平台动力响应、系泊系统、疲劳分析、耦合分析以及垂荡板和侧板的设计研究。

关键词: Spar 平台; 发展趋势; 关键技术

中图分类号: P75

文献标识码: A

1 前言

在过去的二十年中, 人们对石油的需求量急剧增长。随着陆上石油资源的日趋枯竭, 油气资源开发正在不断地向海洋发展。据估计, 海底石油储量约为 1350 亿 t, 占世界总储量的 2/3。目前, 世界上已发现的海上油气田有 1600 个, 已有 200 多个油气田投入生产。然而, 这些已探明的海洋石油储量 80% 以上在水深 500 m 以内, 而全部海洋面积中 90% 以上的水深在 200 m 至 6000 m 之间, 所以大量的海域面积还有待查明。此外, 世界上除了少数海域外, 大部分地区的近海油气资源也已经不能满足增长的需求, 因此, 油气资源开发向深海发展已成为必然趋势。

随着人类石油勘探逐渐向深水领域扩展, 涌现出一些新型的适应深海海洋环境的平台。为了减小波激运动, 往往将这些新型结构物的自然频率设计得远离波浪功率谱的最大频率。Spar 平台即为这种用于深海石油的开采、生产、处理加工和储存的平台结构形式之一。与其他平台形式相比, Spar 平台具有以下特点^[1]:

- 可以应用于深达 3000m 水深处的石油生产;
- 具有较大的有效载荷;
- 刚性生产立管(Rigid steel production risers)位于中心井内部;
- 由于其浮心高于重心, 因此能保证无条件稳定;
- 与其它浮体结构相比, 具有更好的运动特性;
- 壳体可以为钢结构或是水泥结构;
- 可以低成本储藏石油;
- 系泊系统的建造、操纵和定位较为容易;
- 立管等钻井设备能装置在 Spar 内部, 从而得到有效的保护。

正因为 Spar 平台具有上述特点, 它能够很好地满足深度为 500m 至 3000m 水域中石油的生产和储存, 已经逐渐变成最具有吸引力和发展潜力的平台形式之一, 被很多石油公司列为新一代的海洋石油开采平台。Spar 平台的发展如图 1 所示。

2 Spar 平台的发展

2.1 传统 Spar 平台(Classic Spar)

收稿日期: 2005-01-04

作者简介: 张帆(1981-), 男, 博士研究生, 从事船舶与海洋工程方面的研究。

基金项目: 国家自然科学基金专项基金项目(50323004)

Spar 的概念对人们来说并不陌生, 它的技术在 30 年前就在海洋工程中得到应用, 那时 Spar 是一种储油和卸油的浮筒。1987 年, Edward E. Horton 在柱形浮标(Spar)和张力腿平台概念的基础上提出一种用于深水的生产平台, 即单柱平台(Spar Platform), 并于 1996 年应用于墨西哥的 Neptune(水深 588m)。传统 Spar 平台如图 2 所示。

Spar 平台主要由四个系统组成^[2]: 顶部模块、壳体、系泊系统和立管(生产、钻探、输油等)。

顶部模块是一个多层桁架结构, 它可以用来进行钻探、油井维修、产品处理或其它组合作业。用来支撑钻探设备和生产设备的生产钻探甲板及中间甲板与固定平台的甲板很接近, 井口布置在中部。

传统 Spar 的主体是一个大直径、大吃水的具有

规则外形的浮式柱状结构。水线以下部分为密封空心体, 以提供浮力, 称为浮力舱, 舱底部一般装压载水或用以储油(柱内可储油也成为 Spar 的显著优点), 中部由锚链呈悬链线状锚泊于海底。

主体中有四种形式的舱。第一种是硬舱, 位于壳体的上部, 它们的作用是提供平台的浮力。中间部分是储存舱。在平台建造时, 底部为平衡/稳定舱(Trim/stability tank), 当平台已经系泊并准备开始生产时, 这些舱则转化为固定压载舱, 它们主要用来降低重心高度。最后, 还有一些压载舱, 用于吃水控制。

Spar 通过半张紧的钢悬索系泊系统来定位。系泊索包括海底桩链, 锚链和钢缆组成。锚所承受的上拔载荷由打桩或负压法安装的吸力锚来承担。导缆孔通常位于硬舱的下部。系泊结构不仅与载荷大小有关, 还与水深有关。在设计 Spar 的系泊系统时, 通常使其在一根系泊索断开的情况下可以抵御百年一遇恶劣海况。系泊系统可以预先安装好, 在壳体就位后进行连接。

Spar 的立管系统主要由生产立管、钻探立管、输出立管以及输送管线等部分组成。由于 Spar 的垂荡运动很小, 因此它可以支持顶端张紧立管(Top tensioned riser, TTR)和干集油树(Dry trees)。由于每个立管通过自带的浮力罐提供张力支持, 因此立管的轴向载荷与壳体运动解耦, 同时使得平台对水深也不是很敏感。Spar 底部接头(Keel joint)的设计, 使得 Spar 和立管之间可以有相对运动。浮力罐从接近水表面一直延伸到水下一定深度。在一些情况下, 浮力罐超出硬舱底部。在中心井内部, 由弹簧导向承座提供这些浮罐的横向支持。柔性海底管线(包括柔性输出立管)可以附着在 Spar 的硬舱和软舱的外部, 也可以通过导向管拉进桁架内部, 继而进入到硬舱的中心井中^[2]。

2.2 桁架式 Spar 平台(Truss Spar)

第二代的桁架式 Spar 的概念是 Deep Oil Technology (DOT) 公司和 Spar International 公司从 1996 年起经过大量的工作, 历时 5 年后提出的, 并于 2000 年 2 月份第一次应用于 Nansen/Boomvang 油田。

与传统 Spar 相比, 桁架式 Spar 的最大优势在于其建造时对钢材的用量大大降低, 从而能有效的控制建造费用, 因此得到广泛的应用。

桁架式 Spar 的设计概念是应用桁架结构代替传统 Spar 柱体的中部结构(Midsection)。作为连接顶部硬舱和底部软舱的结构, 这个桁架部分是一个类似于导管架(jacket)结构的空空间钢架, 同传统 Spar 的金属圆柱中部结构相比, 可以节省 50% 的钢材。桁架式 Spar 通常由无内倾立腿, 水平撑杆, 斜杆和垂荡板(Heave plate)组成。桁架中的管状部件在整个 Spar 的使用过程中均产生浮力。垂荡板通常由带支架(Girders)的刚性金属结构组成, 通过水平撑杆支撑, 它的设计已成为桁架设计的一部分。通过增加垂直和正交的撑杆来减小垂荡板之间的跨距。垂荡板的主要作用是增加 Spar 平台垂直运动的附加质量和阻尼, 同时也为顶端张紧立管和刚性立管(Steel Catenary Risers, SCRs)提供侧向支撑。通过将桁架腿柱构件伸长至顶部硬舱壳体结



图 1 Spar 平台的发展

构中, 来连接桁架和硬舱。硬舱和桁架结构通常是分开建造的, 通过焊接交叉部分的腿柱连接在一起。在作业时, 桁架结构、垂荡板和结点均受到波浪和 Spar 运动的连续动力载荷^[3]。因此, 在结构分析和设计的过程中, 必须充分考虑桁架和结点的结构强度和疲劳。桁架式 Spar 平台如图 3 所示。其特点如下:

- 中部结构和软舱部分使用较少的钢材料, 建造较为便宜;
- 总体吃水减小, 使得单部分的建造和运输变得可行(降低了建造和运输的难度);
- 通过阻尼板减小了垂荡运动, 在长周期涌中都具有较好的响应;
- 由于中部结构为开放式(open)的撑杆, 降低了环流造成的拖曳载荷;
- 壳体的涡激振荡(Vortex Induced Vibration, VIV)响应减小了;
- 刚性立管可以从开放式的桁架中间穿过而无需穿过硬的壳体。

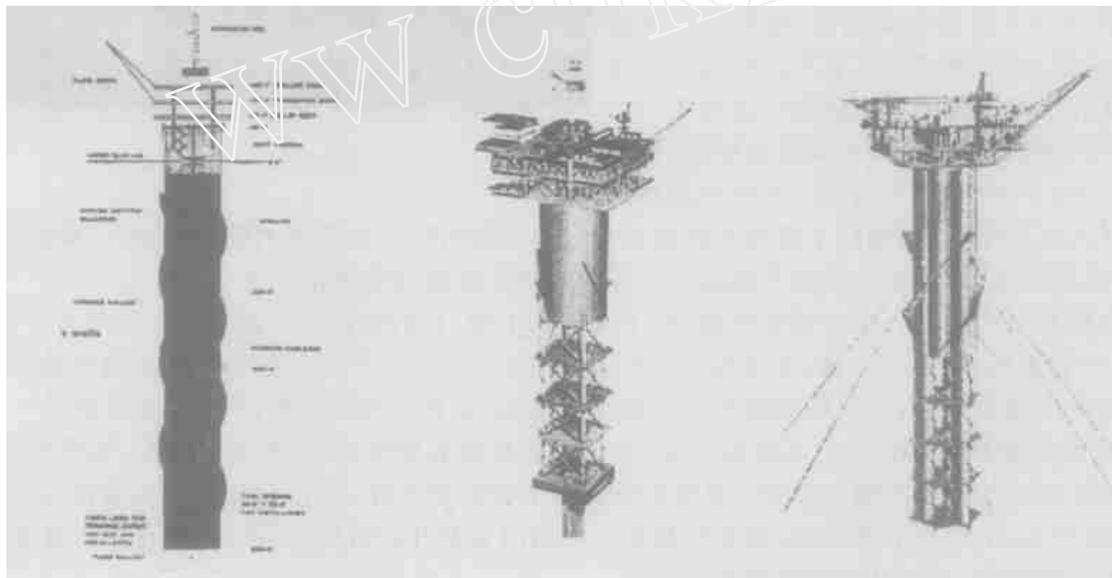


图 2 传统 Spar 平台

图 3 桁架式 Spar 平台

图 4 多柱式 Spar 平台

2.3 多柱式 Spar 平台^[4] (Cell Spar)

由于传统 Spar 和桁架式 Spar 的主体部分都包含大直径的圆柱体, 对建造工艺的要求很高。因此, 一种新型的, 被称作多柱式 Spar 的平台被设计出来, 目前正在 Texas 建造。多柱式 Spar 的最大优点在于, 同现有的 Spar 平台相比, 它降低了建造难度, 经济性较好。这种新型 Spar 平台的壳体由一束圆柱体组成, 称为 Cell, 由很多处在它们空隙间的水平的和垂直的结构单元连接起来。如图 4 所示。

多柱式 Spar 的上部结构由六个外圆柱围绕一个中心圆柱组成。这些上部圆柱提供整体所需浮力。Spar 的下部通过将外圆柱中的三个延伸到底部(延长的部分称为圆柱腿)来构成。压载舱包含在这些圆柱腿的底部, 从而确保平台具有足够的稳性。同大多数已经投入使用的 Spar 平台一样, 由于浮心高于重心, 多柱式 Spar 同样是无条件稳定的。

垂荡板装圆柱腿上, 能提供较大的垂荡附加质量和附加阻尼。因此, 多柱式 Spar 也是一种低垂荡的平台, 适合刚性立管。由于多柱式 Spar 没有干集油树, 因此, 并不需要中心井, 在这种情况下, 中心圆柱体提供浮力。

在建造过程中, 圆柱体由滚压机制成, 并通过自动焊接机焊接在一起, 同时, 内部的环形加强构件也由相同的自动焊接机焊接到圆柱体部件上。而这种工艺在压力舱和固定平台的制造过程中已经使用多年。

当需要更大直径的中心井时, 可以考虑更多的外圆柱, 例如 8 根或者更多。

但是, 多柱式 Spar 中的其它一些结构的设计还有待进一步的解决。例如, 由于多柱式 Spar 具有组合外表面, 传统 Spar 上使用的侧板不能应用于多柱式 Spar。

3 关键技术的研究

目前对 Spar 平台的研究主要集中在平台动力响应、系泊系统、疲劳分析、垂荡板 (Heave plate) 和侧板 (Strake configuration) 的设计研究以及平台主体与系泊系统、平台构件之间的相互作用的耦合分析, 同时, 浮力罐与支架间的碰撞问题近年来也成为研究的热点问题之一。

3.1 动力响应

同其它形式平台的动力响应一样, 对 Spar 平台运动响应的研究主要考虑垂荡运动、纵荡/横荡、纵摇/横摇、首摇和涡激振荡。

对于没有回复力的三个运动——纵荡、横荡和首摇, 由于 Spar 壳体具有柱形结构, 所以通常受到很小的首摇激励力, 首摇运动因此可以忽略不计。而 Spar 的半张紧系泊装置使其水平刚度比较大, 因此位置漂移比较小。通常在设计 Spar 时, 对于完整系泊状态, 要求漂移小于 4% 水深; 对于有损坏的系泊状态, 漂移小于 6% 水深。

Spar 的纵摇/横摇刚度由 GM 值 (重心和稳心的距离) 决定。对于纵摇/横摇运动性能的要求通常来自于立管和顶层模块的设计。一般设计要求在百年一遇的风暴中, Spar 的最大组合纵摇/横摇角小于 10° ; 纵摇/横摇固有周期在 50~80s 之间。Spar 的壳体设计通常由对最大纵摇/横摇的要求决定^[2]。对于一些海况较好的海域, 纵摇/横摇较小, 因此壳体设计通常由稳性要求决定。

目前, Spar 平台的垂荡运动和涡激振荡是两个受到比较广泛关注的研究方向。

Spar 的垂向刚度主要来自于它的水线面面积。系泊系统的垂向刚度与静水压力引起的刚度相比可以忽略不计。由于 Spar 平台的圆柱体形状以及恒定的横截面积 (传统 Spar), 它的阻尼和自然周期较小, 在长周期涌的条件下, 将产生一个线性激励垂荡共振运动。从而使得一阶波浪力比二阶差频波浪力变得更为重要^[5]。在共振的情况下, 垂荡响应会急剧地增大, 并会产生纵摇耦合运动^[6]。

Spar 平台上具有较多的圆柱形构件, 在一定的雷诺数范围内, 旋涡自主体上周期性地脱落, 造成作用在弹性主体上的周期激振力, 产生涡激振荡。这是一种十分典型的流固耦合问题。在旋涡脱落的激振力作用下, 如果柱体的自振频率和激振频率接近, 就会产生共振, 产生大幅度的变形和运动。试验发现, 当来流的无量纲速度处于一定的范围内时, 旋涡脱落的频率不再随来流速度而增加, 而是和柱体的自振频率保持一致, 从而产生锁定 (Lock-in) 效应。锁定效应扩大了共振范围, 引起结构的大幅度振动, 同时由于波浪质点的往复运动, 造成圆柱前后都有旋涡脱落, 流动和受力情况更为复杂。

对 Spar 来说, 环流和它们产生的旋涡会在海平面下保持较高的速度, 在整个 Spar 壳体上产生很大的应力。涡激振荡会对系泊系统和立管产生疲劳损害, 减少整个平台的疲劳寿命, 同时增大壳体上的拖曳力。试验表明, 平台上的圆柱形结构物, 如立管、浮筒等最容易受到涡激振荡的影响, 而且其它形状的构件也会产生不同程度涡激振荡。同时, 风暴流同样可以使 Spar 产生较大的涡激振荡。

Haslum 和 Faltinsen (1999) 指出, 减小波频响应有三种途径: 一是增加系统的阻尼; 二是增加垂荡自然周期, 使之离开波能量的范围; 三是减小垂荡激励力^[7]。为了增加阻尼, 传统 Spar 壳体上使用了螺旋状的侧板。实验研究表明, 通过在 Spar 壳体上加装螺旋状的侧板, 可以有效的减小涡激振荡^[8]。对于桁架式 Spar, 除了在它的上部壳体外使用侧板外, 在下部桁架部分安装垂荡板, 通过垂荡板增大 Spar 的垂荡附加质量。侧板和垂荡板的研究目前受到了较为广泛的关注。

3.2 垂荡板和侧板的研究

正如前面所提到的, 由于吃水较深, 传统 Spar 平台具有较长的垂荡自然周期, 通常为 25s 以上。在大多数海况下, 这一频率远离了波浪频率范围, 因而垂荡运动并不明显。然而, 在某些海洋环境下 (例如西非), 一年中的长涌工况占据了一定比例, 这些涌浪的周期峰值处在 23~25s 的范围内, 甚至可以达到 30s。而风暴中的波周期为 5~20s。在这种情况下, 必须考虑到 Spar 平台与长周期涌产生共振的可能性。

Haslum 和 Faltinsen (1999) 解释了 Spar 一阶和二阶垂荡激励的机理, 以及减小它的方式。从设计的角

度考虑, Spar 的垂荡可以通过下述方式减小:

- 消谐(Detuning)——使垂荡自然频率远离波能量的范围;
- 增加系统的阻尼。

Spar 的垂荡自然周期可以通过改变结构吃水、质量和附加质量或增加水线面积来实现。但是, 增加吃水会导致系统质量的增加, 从而影响其它方面的设计, 增加了成本。而通过在 Spar 的底部加装一个类似与圆盘或是台阶一样的附属物, 就可以增加阻尼和附加质量。

Krish P. Thiagarajan et al (2002) 研究了垂荡板的形状对传统 Spar 平台垂荡响应的影响。他们通过理论计算和试验研究, 得出: 附加质量系数同垂荡板的直径成正比; 垂荡阻尼比与直径的平方成正比; 垂荡板直径最小为典型垂荡幅度的 4 倍, 从而得到最大阻尼效应。为了得到最大阻尼, 需减小垂荡板的厚度以满足结构物和疲劳强度的要求。同时认为系泊引起的垂荡阻尼必须得到研究。

理论分析和试验研究表明, 在 Spar 壳体上安装侧板能够有效地减小 V IV 响应。Ro-sik Park et al (2002) 通过数值计算, 研究了侧板的螺距、高度和数目的变化对 Spar 运动响应的影响。他们认为, 对不同数目和螺距的螺旋状侧板, 纵荡运动在高频时受到的影响比低频时大。当侧板的高度增加到 9m 以上时, 随着侧板螺距的减小, 垂荡附加质量在高频时受到较大的影响。当螺距比较小的时候, 阻尼系数在高频区域产生无规律的变化。Spar 浮筒的动力特性和稳定性会受到螺旋的数目、螺距、高度和环绕方式的影响。

Radboud van Dijk et al (2003) 通过模型试验研究了优化侧板装置的方法。实验表明, 加装侧板可以明显地减小 V IV 响应。由于实际情况的限制, 侧板的设计并不是在所有的流方向上都有效。因而, V IV 在某些方向上仍将存在。同时由于 V IV 对微小的艏向变化都很敏感, 需引入很小的艏向增量。在锁定的情况下, 无侧板 Spar 的重心(CoG)的运动轨线类似于数字 8 的形状。这一运动方式在其它发生 V IV 的结构物上也可以观察到。而装有侧板的 Spar 的运动轨线明显不同, 可描述为半圆圈或“香蕉形”。

多柱式 Spar 作为一种新的 Spar 平台形式, 它的很多关键技术需要重新研究。由于多柱式 Spar 上部的外表面并不能形成一个规则的圆柱体, 因此, 在已有的 Spar 上使用的侧板不能应用于多柱式 Spar。L. D. Finn et al (2003) 提出了两种新型的侧板形式。通过实验发现, 在多柱式 Spar 上安装侧板能有效地减小它的 V IV 响应。在上体(upper hull)上使用 14% 的侧板, 同时在圆柱腿上用 10% 的侧板能使 V IV 响应变得很低。侧板中间的缝隙和侧板表面的不规则会降低 Spar 的 V IV 性能。支柱(Stanchion)的设计是一种新的侧板形式的尝试, 它重量轻, 建造容易, 可以降低的 V IV 响应。

3.3 系泊系统

一组典型的 Spar 系泊系统由甲板锚、钢索或尼龙缆以及锚链组成。系泊腿是半张紧的。系泊锚链可以对称或是不对称地分布在壳体的周围。目前对 Spar 系泊系统的研究主要集中在降低 V IV 方面。

正如前文所述, 为了减小 Spar 的 V IV 响应, 在它的壳体上安装了螺旋状的侧板。然而, 从建造和运输的角度考虑, Spar 的侧板并不能完全覆盖它的表面, 而只能在壳体一端截断或是降低高度。侧板的不对称性和 Spar 外部的其它附属物会导致 Spar 的运动响应具有方向性。进出立管和位于中心井内的顶端张紧立管导致更大的方向系泊强度。V IV 引起的方向强度和阻尼增加会影响系泊系统的最大载荷。Alan Magee et al (2003) 研究了存在 V IV 时 Spar 系泊系统设计的关键技术。考虑到了 Spar 系泊和 V IV 响应之间的相互作用, 以及环流的方向分布。文中介绍和讨论了两种在 V IV 响应下, 计算 Spar 系泊锚链载荷的分析技术(DRIVESM 和 FORCE-IT)。通过分析认为, 两种技术同模型试验测量的系泊响应力十分吻合, 可以用来计算系泊锚链的极限强度和疲劳环境, 而且对包括传统 Spar 和桁架式 Spar 在内的各种 Spar 形式均有效。

Radboud R. T. van Dijk et al (2003) 将桁架式 Spar 在剪切流中的涡激运动同水池试验的结果进行了比较。模型试验的结果表明, 系泊系统的选择和流的分布对 Spar 的 V IV 响应都具有重要的影响。如果在整个 Spar 深度方向都是恒定的流速, 水池试验能很好地反映实际情况。如果流速随 Spar 深度方向变化, 可以考虑流中的测量。但是, 如果用到高速剪切流, 则必须考虑尺度效应对 Spar 运动的影响。

3.4 疲劳分析

针对 Spar 平台的疲劳强度分析主要集中在 Spar 上的关键节点。这些节点主要包括顶部模块同 Spar 壳体间的连接, 桁架同硬舱/软舱间的连接等, 同时, 垂荡板的研究也是值得关注的问题。疲劳分析表明, 这些节点相对于设计要求来说, 具有较短的疲劳寿命。

当波频运动和低频运动同时产生疲劳破坏时, 低频损害往往被忽略。Michael Y. H. Luo et al (2003) 分析了顶部模块同 Spar 壳体间的连接处, 低频运动在疲劳破坏中所占的分量, 同时讨论了低频破坏在其它关键节点(如桁架-硬舱、桁架-软舱连接)处的情况。通过对不同方法的比较, 得出对于顶部模块-壳体连接, 谱分析法能准确地预计疲劳破坏。时域分析表明, 90% 的顶部模块-壳体连接疲劳破坏是由波频运动引起的。对于桁架-硬舱/软舱连接, 如果疲劳破坏计算仅考虑波频运动的因素, 那么根据不同海况, 计算结果将会比实际情况低 20% ~ 50%。

从运动的角度来说, 垂荡板会带动大量的水同壳体一起运动, 从而使垂荡自然周期长于波周期。拖曳力提供垂荡阻尼的主要部分。在结构上, 垂荡板提供桁架的平面强度和立管的侧向支撑。Roger R. Lu et al (2003) 讨论了垂荡板的水动力特性。为了结构分析, 将平板离散为与整个平板强度和动力学性能等效的很多子平板(Sub-plate)的组合。通过时域分析得到子平板上的载荷分布。这些载荷可以给出最大和最小压力, 从而进行强度设计和压曲检验。压力载荷的时间关系可用来进行强度分析, 这在平板在 Spar 正常使用和短期湿拖(wet-tow)时都是十分重要的。

4 结语

随着海洋石油的开采逐渐向深海的方向发展, Spar 平台在运动响应和建造等方面的优势使其受到广泛的关注和研究。从第一座 Spar 平台建成投入使用以来, 它已经由第一代传统 Spar 向第二代桁架式 Spar 和新型多柱式 Spar 的方向发展。Spar 平台的研究热点主要集中在平台运动响应、垂荡板和侧板的设计、系泊系统、疲劳分析、平台主体与系泊系统耦合分析以及平台构件之间的相互作用等问题, 同时, 浮力罐与支架间的碰撞问题近年来也成为研究的热点问题之一。

参考文献

- [1] Agarwal A K, Jain A K. Nonlinear Coupled Dynamic Response of Offshore Spar Platforms under Regular Sea Waves [J]. Ocean Engineering 2003, 30: 517-551.
- [2] 徐琦. Truss Spar 平台简介[A]. 2002 年度海洋工程学术会议[C], 2002.
- [3] Wang J, Luo Y H, Lu R. Truss Spar Structural Design for West Africa Environment[A]. OMAE2002-28245, Proc of OMAE'02[C], Oslo, Norway.
- [4] Finn L D, Maher J V, Gupta H. The Cell Spar and Vortex Induced Vibrations[A]. Offshore Technology Conference, OTC 15244[C], Houston, Texas, 2003.
- [5] Tao Longbin, Kay Yeong Lim, Krish Thiagarajan. Heave motion characteristics of Spar platform with alternative hull shapes[A]. OMAE2001/OT-1135, Proc of OMAE'01[C], Rio de Janeiro, Brazil.
- [6] Jun B Rho, Hang S Choi, Woo C Lee, Hyun S Shin, In K Park. Heave and pitch motions of a Spar platform with damping plate[A]. Proc of 12th International Offshore and Polar Engineering Conference[C], Kitakyushu, Japan, pp198-201.
- [7] Haslum H A, Faltinsen O M. A lternative shape of Spar platforms for use in hostile areas[A]. Offshore Technology Conference, OTC 10953[C], Houston, Texas, 1999.
- [8] Radboud van Dijk, Allan Magee, Steve Perryman, Joe Gebara. Model test experience on vortex induced vibrations of Truss Spars[A]. Offshore Technology Conference, OTC 15242[C], Houston, Texas, 2003.
- [9] Thiagarajan K P, Datta I, Ran A Z, Tao L B, Halkyard J E. Influence of heave plate geometry on the heave response of Classic Spars[A]. OMAE2002- 28350, Proc of OMAE'02[C], Oslo, Norway.
- [10] Ro-Sik Park, Sang-Dong Kim. A study on kinematical stabilities of the cylinder type Spar buoy[A]. Proc of 12th International Offshore and Polar Engineering Conference[C], Kitakyushu, Japan, 2002, pp202-208.

(下转第 24 页)

在密砂和硬土中,一般不需要严格的预压。对于软黏土,预压的意义重大。在软黏土中,桩靴会发生较大的入泥,正常情况下,足够的预压是抵御地基土承载能力失效破坏最有效的方法。

对于软土覆盖在硬土上的情况,适量的预压可以使桩靴落到硬土层上,与硬土层部分接触,这时,允许桩靴入泥深度适当增加,但需要认真核算拔桩能力。

通常水平方向泥土对桩靴侧面的压力能够挡住外界水平力的作用。这时,所需要的预压就是用 γ_m 乘以设计的垂直力。

参考文献

- [1] DnV. Classification notes No. 30 4 [S]. Foundations, 1992
 [2] 华南理工大学. 地基及基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
 [3] Hambly E C, Imm G R, Stahl B. Jackup Performance and Foundation Fixity Under Developing Storm Conditions[J]. OTC 6466, 1990

THE ANALYSIS OF JACKET PRELOAD LOAD

GONG Min^{1,2}, TAN Jiahua¹

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030; 2. Shengli Petroleum Bureau, Tonyin, 257237 China)

Abstract The method, procedure and significance of preload for jackup are analyzed. The method which confirms the preload is given.

Key words: jackup, preload, foundation, stability

(上接第 11 页)

- [11] Allan Magee, Anil Sablok, Joe Gebara. Mooring design for directional spar hull VIV [A]. Offshore Technology Conference, OTC 15243, Houston[C], Texas, 2003
 [12] Radboud R. T. van Dijk, Arjan Voogt, Paul Fourchy, Saadat Mirza. The effect of mooring system and sheared currents on vortex induced motions of Truss Spars [A], OMAE2003-37151, Proc. of OMAE'03[C], Cancun, Mexico
 [13] Michael Y H Luo, Jim J Wang, Roger R Lu. Spar Topsides-to-Hull Connection Fatigue - Time Domain vs. Frequency Domain [C].
 [14] Roger R. Lu, Jim J. Wang, Ellen Erdal. Time Domain Strength and Fatigue Analysis of Truss Spar Heave Plate [A]. Proc. of 13th International Offshore and Polar Engineering Conference [C], Honolulu, Hawaii, USA, pp272-279.

A REVIEW ON THE TECHNICAL DEVELOPMENT OF SPAR PLATFORM

ZHANG Fan, YANG Jianmin, LI Runpei

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030 China)

Abstract Oil and gas exploration in deep water has accelerated the need of ocean structures suitable for these depths. A spar platform is such a compliant floating structure used for deep water for the drilling, production, processing and storage of ocean deposits. This paper gives a review on the technical development of spar platform, including the research on dynamic response, mooring system, fatigue and coupled analysis and the design of heave plate and strake configuration.

Key words: Spar platform, technical development