

对我国深水半潜式平台设计的几点浅见

方华灿

(中国石油大学(北京),昌平 102249)

摘要: 从满足深水钻井工艺要求,适应深水油气生产需要,迎头赶上世界先进水平出发,对我国进行深水用半潜式平台的设计,提出了在总体设计方面的几点浅见。

关键词: 深水;半潜式平台;钻井;生产;设计

中图分类号: U662 **文献标识码:** A

A FEW SUPERFICIAL VIEWS FOR THE DESIGN OF SEMISUBMERSIBLE PLATFORM IN DEEP WATER

FANG Hua-can

(Petroleum University of China (Beijing), Beijing 102249)

Abstract: The paper gives three fundamental principles, first is the requirements of drilling technology in deep water, second is the production demands of oil and gas in deep water, third is the way to catch up with the advanced level of the world. The paper puts forward six proposals for design of semisubmersible platform of deep water in our country upon the above concept.

Key words: deep water; semisubmersible platform; drilling; production; design

随着我国海洋石油工业向深海发展,深水勘探开发用的半潜式平台的设计与建造,已提到我国有关部门的重要议事日程上来了。目前,我国的中海油、中石油等几大石油公司,正在陆续启动深水用半潜式平台的设计与建造工程。前不久,中海油公司已与美国 F&G 公司签订了联合进行深水半潜式平台设计的合同,还与挪威 MH 公司签订了深水半潜式钻井平台钻井设备承包合同,标志着我国设计与建造深水半潜式平台工程已经正式开始。那么,围绕着深水半潜式平台的总体设计,如何才能做得更好呢?笔者拟于本文提出几点粗浅的看法,供参考及批评指正。

半潜式平台自 1963 年第一艘投产以来,发展迅速。从数量上来看,1970 年时,全世界拥有半潜式平台 25 座,只占移动式平台总量的 13.15%;但至 2004 年,全球半潜式平台即猛增至 183 座,而且占全球移动式平台的比例,也提高到 27.93%。尤其是在这些半潜式平台中,用于水深在 1829 m(6000 ft)以上的有 31 艘,而水深在 2286 m(7500 ft)以上的有 16 艘,其中,最大工作水深者已达 3048 m(10000 ft),这正说明:半潜式平台是深水海上油气勘探开发的最有发展前途的一种浮式平台。再从质量上来看,40 多年来半潜式平台已从 1963 年的第一座的第一代,不断改进提高,逐步发展到现在的第六代。如近年来,由法国建造的“赛得柯·快捷”号以及“塞得柯能源”号等均属于第五代半潜式平台;而近年新建成的“宾果 9000”系列的 4 艘,则属于第六代半潜式平台。这些第五、六代半潜式平台,有了很大改进提高,如“塞得柯·快捷”号等工作水深

已达 2590 m, 而“宾果 9000”系列的 4 艘工作水深又加深到 3000 m; 它们一般均配备了新一代的动力定位系统; 配备了新一代的先进钻井装备, 有的装设有电脑控制的静液压钻机, 有的具有功率高达 2200 HP 的大马力钻井泵; 它们均进一步提高了可变载荷的能力以及抗风暴的能力和长期的自持能力; 它们都注意节约钢材、降低造价, 进一步提高了经济性, 其中, 有的已使建造成本降低了约 30%, 由此可见, 第五、六代半潜式平台, 不仅在技术上, 而且在经济上均达到了一个新的先进水平。

综观上述, 在当前我国进行深水用的半潜式平台的设计, 应该遵循哪些指导原则呢? 笔者认为: 重要的有 3 条原则, 1) 满足深水钻井工艺要求。即深水钻井与近海不同的特殊工艺, 尤其是新的钻井工艺; 2) 适应深水油气生产需要, 无论是采用水下生产系统, 或是水面上的油气处理、生产等; 3) 迎头赶上世界先进水平。即不仅在技术上, 而且在经济上, 都要瞄准当前世界上最新的第五、六代半潜式平台的先进水平进行设计, 这样才能做到“迎头赶上”, 居于世界先进之林。本文即拟按照这 3 条指导原则, 提出 6 点看法, 进行探讨。

1 满足双梯度钻井工艺要求

近年来深水的钻井工艺不断发展创新, 首先是美国的 Baker Hughes 公司和 Transocean Sedco Forex 公司共同研制成深水双梯度钻井系统 DV(Deep Vission), 于 2001 年 11 月投入海洋深水钻井工程使用。继而, 壳牌(Shell)公司于 2002 年底, 及以 Conoco 公司为首的包括有英国 BP 公司及 HYDRIL 公司等 22 家公司联合研制成的深水双梯度钻井系统, 也在 2002 年投入应用。因此, 可以说, 双梯度钻井工艺是目前全球深水钻井的一种新工艺, 我国设计的用于深水的新的半潜式平台, 必须满足这一新工艺的要求。

1.1 双梯度及其意义

这里说的梯度是指压力梯度, 即钻井液的压力梯度。设钻井液的密度为 ρ_d , 而其液柱高度为 h_d , 重力加速度为 g , 则钻井液柱的压力 P_d 即为

$$P_d = \rho_d g h_d \quad (1)$$

自式(1)可看出, 钻井液的压力随液柱高度 h_d 而变化, 于是构成了钻井液压力梯度。

设若将此钻井液的压力梯度的参考点定在水面上平台处, 则其液柱高度应为水深 d 与钻井深度 h 之和, 即: $h_d = d + h$, 于是钻井柱压力梯度 P'_d 即应为

$$P'_d = \rho_d g (d + h) \quad (2)$$

但若将压力梯度的参考点定在海底处, 则钻井液柱高度 h_d 即是钻井井深 h ($h_d = h$), 于是, 这时钻井液液柱的压力梯度 P''_d 即应为

$$P''_d = \rho_d g h \quad (3)$$

通常在钻井时, 一方面要求钻井液的液柱压力的最小值 P_{dmin} 要大于油层的孔隙压力 P_p , 以压住油气, 防止井喷; 另一方面又要求钻井液的最大液柱压力 P_{dmax} 要小于地层的破裂力压力 P_l , 以防止地层被压裂, 发生井壁坍塌。自式(1)可看出, 控制钻井液柱压力的大小, 可使其满足既大于 P_p , 又小于 P_l , 在 h_d 一定时, 只能依靠调节 ρ_d 来实现。但是, 式(1)还表明, 当 h_d 较小时, 则 ρ_d 的调节范围大, 反之, 当 h_d 较大时, 则 ρ_d 的可调节范围较小。

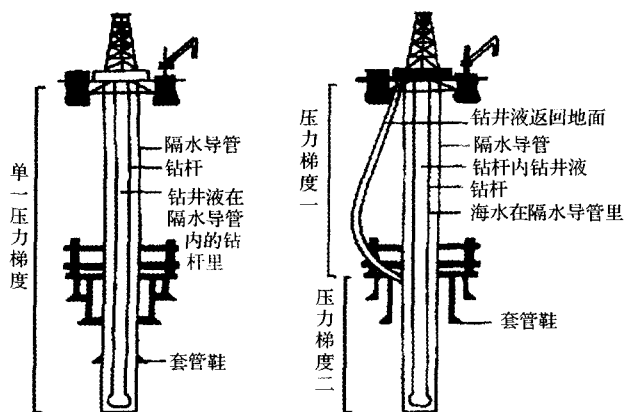
1.2 双梯度钻井工艺

通过上述, 可知, 要以水面上平台处及海底处, 作为两个参考点, 实现两个梯度(双梯度)钻井, 则在工艺上必须要使海底以上的隔水管柱与钻柱的环隙内充满海水, 而在海床开始至井眼的井底的环形空间内充满泥浆(钻井液)。这样, 钻井液(泥浆)从平台上钻井泵压送进入钻柱, 直至井底钻头处, 再自井底从钻柱与井壁(或套管)的环形空间向上返回, 这时, 钻井液携带着岩屑只是返回到海床处, 并不沿隔水管的环隙向上返回至平台, 而是通过装设在海床上的泵装置, 另经其他管线, 在处理岩屑之后, 泵送到平台上, 供钻井泵循环重复使用。这样, 就构成了具有压力梯度一和压力梯度二与常规钻井工艺不同的双梯度钻井工艺, 见图 1。

1.3 双梯度实现方案

为了双梯度钻井工艺的实现, 目前采用的方案有:

(1) 海底装设泵送系统方案 这种方案是在海床上的井口附近,装设一套包括钻井液泵和钻井液中的岩屑的清除设备以及废料分离装置等的钻井液泵送系统,钻井液泵可以是海底电潜泵、海底隔膜泵,或是海底离心泵。这样,即可通过泵首先将自井底至海床的井眼环空中的钻井液,举升到泥线处,然后再通过小直径的管线,将钻井液举升到平台上(见图1)。图2给出的是壳牌(Shell)公司研制的采用海底电潜泵的泵



(a) 常规钻井 (b) 双梯度钻井

图1 深水双梯度钻井新工艺与常规钻井工艺的对比

送系统。自海底井口的防喷器组(BOP)出口,被举升出的钻井液,通过海底一级处理设备,清除出岩屑,并分离出废料,然后,再借助由电潜泵组成的海底回输泵系统,将钻井液举升到平台上进行二级处理,处理后合格的钻井液,通过平台上的海面泵系统,由钻柱内重新注入井内。

最近,在这种方案的基础上,又发展出一种无隔水管深水双梯度钻井工艺 RD(Riserless Drilling),它是将隔水管柱取消,直接将钻柱穿透海水,进入海底井眼钻井,但仍然采用上述海底泵送系统,实施双梯度钻井。

(2) 注入轻质中空球的方案 这种方案是先将轻质中空球与钻井液在平台上混合好,用泵送至海底,经稀释后,再自海底用泵将其射入井眼的环空中,于是,自井底返回到环空中的钻井液因轻质中空球的射入,而改变密度,从而实现双梯度钻井。图3给出的是 Maurer 公司研制成的中空球双梯度钻井系统。

(3) 注入气体的双梯度方案 这种方案如图4所示,它是将气体(空气或氮气)在海底通过压气设备,在泥线附近经井口,注入到井眼的环空中,使其中自井底返回的钻井液的密度降低,从而实现双梯度钻井。

1.4 设计要求

根据上述,我国进行深水半潜式平台设计时,建议应满足:

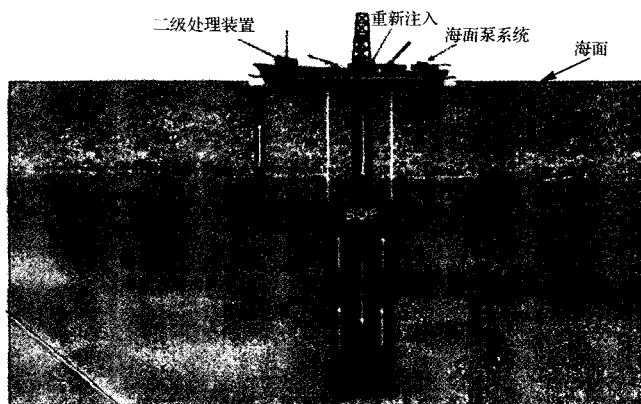


图2 Shell 公司研制的海底电潜泵泵送系统

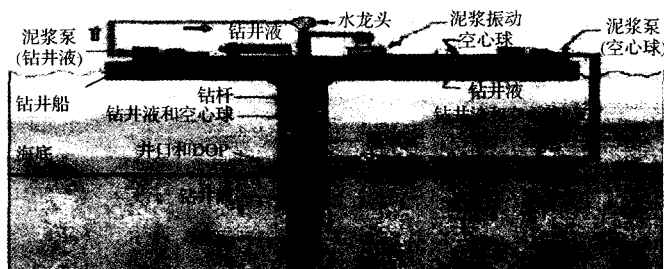


图3 一种中空球双梯度钻井系统

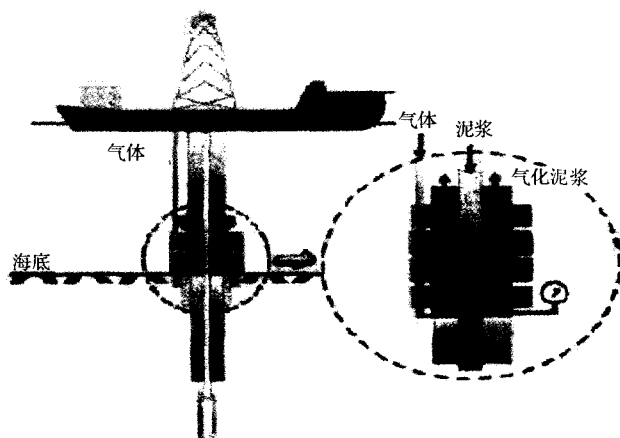


图4 LSU 注气双梯度钻井系统

(1) 半潜式平台甲板模块的布置及装备应符合采用的实现双梯度钻井工艺的方案的需要;(2) 设计中应考虑实现双梯度钻井的方案的选择,以及应配备的双梯度钻井系统装备(包括海底部分)的设计。

2 满足双作业钻机装备要求

对于深水钻井宜采用能够进行钻井或完井的双作业钻机。双作业钻机是具有双井架系统的钻机,如图 5。采用双作业钻机进行深水钻井是近年来的一项技术与装备的创新,目前全球已有 6 部双作业钻机,分别配备在深水海洋平台(船): Enterprise, Deep Seas, Deep Star, West Future 以及 Navis Explorer 号等 6 艘上。由于双作业钻机可以同时平行作业,因而可使非生产时间降低。通常钻勘探井可节约钻井时间 15%,钻生产井可节约钻井时间 30%。这样,对于深水钻井就尤为有利,因而,在新的一代半潜式深水平台,也配备了这种双作业钻机。

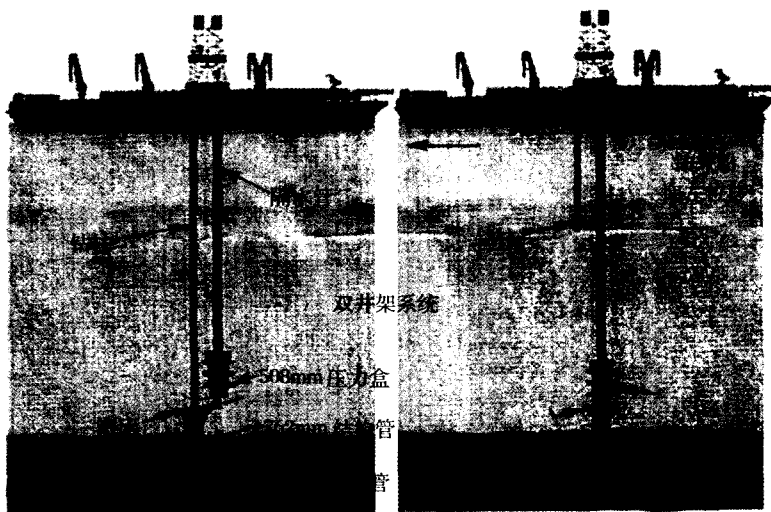


图 5 深水钻井用的双作业钻机

2.1 双作业钻机的类型

(1) 双井架常规钻机 这种类型的钻机仍是常规的,但在平台甲板上配备有双井架及两部钻机,如图 5 所示。钻机采用交流电驱动,绞车功率达 5000~6000 HP。

(2) 液压缸升降钻机 这种类型是以液压缸升降机代替了常规钻机中的绞车,同时,还以液压式顶部驱动装置取代了转盘。图 6 给出了液压缸升降式钻机的结构组成。

2.2 对设计的要求

- (1) 平台甲板的布置应考虑双作业钻机占有的面积及空间,并应优先考虑其所在的适合位置;
- (2) 尽早确定双作业钻机的类型,力争早日启动 Ram 型钻机的研制,并配备于平台上。

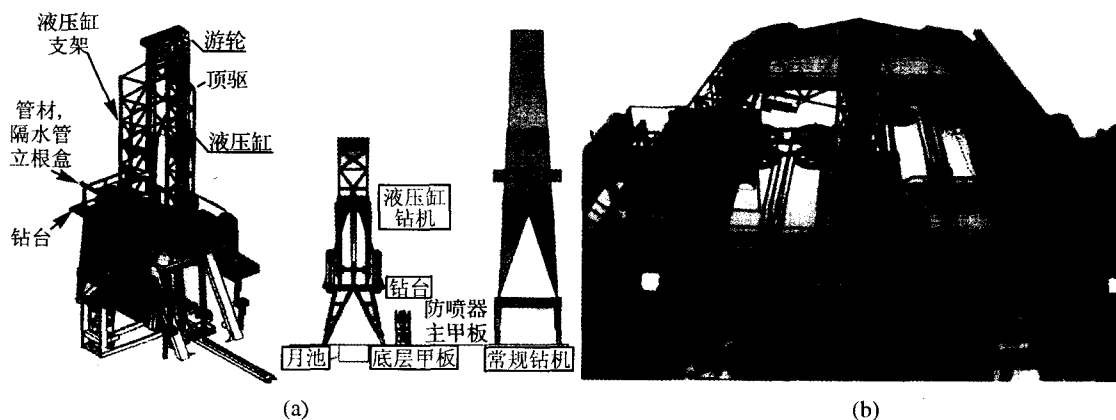


图 6 液压缸升降式钻机的结构组成

3 适应海底钻井底盘的需要

所谓海底钻井底盘就是位于海底一个井位处进行多口井钻井的井口及其钢结构基座。通常在深水油气田进入开发阶段时,均采用这种海底钻井底盘。因为它可以在建造或扩建生产平台的同时,在一个井位

处钻出多口生产井,待生产平台准备好后,即可自海底底盘上回接套管到生产平台上进行采油。这样,既缩短了油田开发建设周期,又进行早期生产,提高了经济效益。

3.1 海底钻井底盘的类型

(1) 整体式 如图7所示,整个底盘用大直径(约62 mm或更大)管材焊接成为一个整体的钢结构,上面有若干平行井排,每排中设有若干个井口。钻一口井的同时,另一口井可进行完井。

(2) 组装式 它与整体式的不同是将每一口井的井口基座(钢管构架)通过联锁机构,相互连接起来。这样,可随时根据需要增加井口,因而,既可用于勘探井,也可用于生产井,机动性好。

(3) 悬挂式组合底盘 HOST(Hanger Over Subsea Template) 它的特点是将整体式底盘分解成中心模块和若干个单井导向模块,之间以悬挂式连接起来,单井模块数量可视生产井的需要而定。一般单井模块的尺寸约为 $4.5\text{ m} \times 5.8\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,而半潜式平台的月池尺寸为 $5.5\text{ m} \times 6.0\text{ m}$,这样,模块即可通过月池吊升到甲板上,便于随平台拖航到井位处,然后下放到海底安装。图8给出的是我国南海钻5口井用的悬挂式组合钻井底盘。

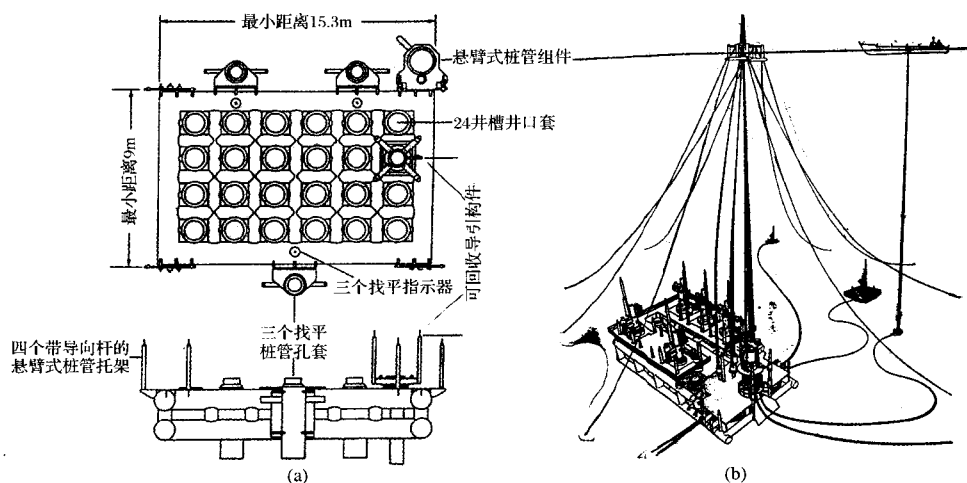


图7 整体式海底钻井底盘的结构组成及其生产系统

3.2 对设计的要求

(1) 平台的月池的尺寸应满足组合式海底钻井底盘的单个模块通过的要求;以便将底盘吊升至月池上方,放置于甲板上。

(2) 平台的支柱及底垫(浮箱)的结构和几何尺寸应满足整体式海底钻井底盘自拖船上进入平台下部空间,以便对准转盘,吊升下放到海底。

4 适应扩建成生产平台需要

钻勘探井之后发现油气,经评价后油气田有开采价值。这时,最经济的方案之一是将原半潜式钻井

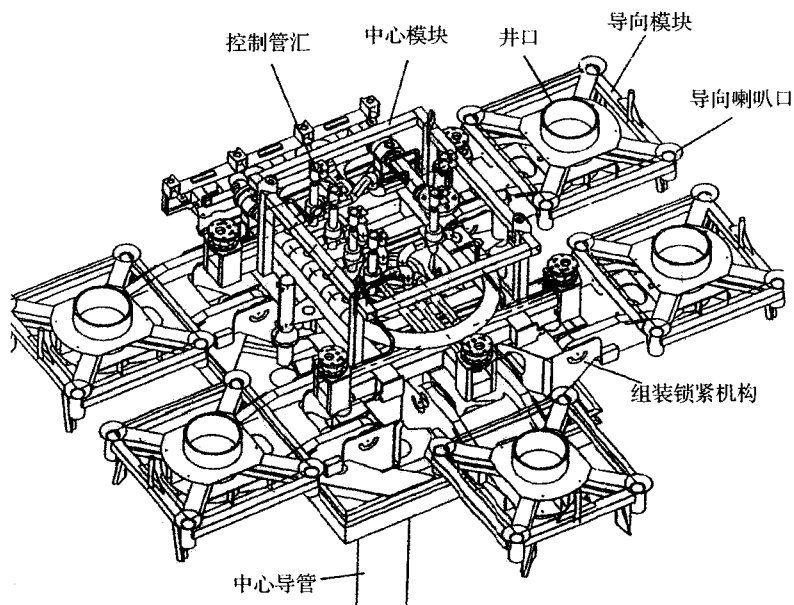


图8 我国南海钻5口井用的悬挂式组合海底底盘

平台,通过改造,扩建成为生产平台,而且还可进行早期生产,提高经济效益。对于深水的油气田来说,这种方案的优点尤为突出。采用这种方案对于半潜式平台的设计则有如下的要求:

(1) 采用模块化设计 所谓模块化设计,即将为了进行油、气、水处理的生产设施与装备,分解成若干个模块,而且橇装。这样,不仅有利于海上运输及吊装,而且有利于组合拼装,节约海上施工时间。

(2) 采用组装式设计 组装式又叫作拼装式,即进行油气生产的设施与装备的各个模块,采取拼装连接的办法。

(3) 采用悬臂式设计 这种设计就是以原有半潜式平台的甲板为基础,在扩建时采用悬臂式结构,如图9所示。这样,配合模块化设计,将有关模块分别组装,安放在同一个悬臂式模件(钢结构桁架)上,再将若干个悬臂式构架,围绕原来的钻井平台用专门设计的连锁机构,使之与平台甲板连接在一起,即可使平台扩建成靠钻井及生产两用的平台。

5 提高平台的可变载荷能力

可变载荷又称活载荷,通常包括:可消耗的供应品、管线和容器中的液体等。显然,平台的可变载荷能力的大小是半潜式平台的工作性能的一项重要指标,尤其是随着水深增加,位于远海的平台要求自持能力强,需要储备更多的物资,因而对平台可变载荷能力要求就更高。

5.1 描述可变载荷能力的指标

通常对平台可变载荷能力的定量描述,用以下两个指标:

- (1) 可变载荷与总排水量的比值 在同等的总排水量时,可变载荷越大,能力越强。
- (2) 可变载荷与平台自重的比值 相同平台自重时,可变载荷越大,能力越强。

5.2 提高可变载荷能力的趋势

表1给出了一部分半潜式平台的可变载荷能力的比较。从表1中可看出:

表1 部分半潜式平台的可变载荷能力的指标

平台名	钻井工作水深/m	总排水量/t	船身重/t	可变载荷/t	可变载荷与自重比值	结构接点数与横斜撑数之比	总排水量与自重比值	可变载荷与总排水量比值
白龙Ⅱ号	210	16 000	—	1 600	—	—	—	0.1
白龙Ⅲ号	300	21 000	6 500	2 500	—	36/16	—	0.119
南海2号	450	20 630	—	2 610	—	22/10	—	0.127
赛德柯600	150	20 000	—	3 000	—	—	—	0.15
赛德柯602	150	20 000	—	3 000	—	—	—	0.15
LIMCUN-NINGHAM	450	25 000	9 000	3 000	0.33	—	2.77	0.12
ZAPATA ARCTIC	600	32 000	9 000	4 500	0.5	—	3.55	0.14
勘探3号	200	21 180	—	1 600	—	28/13	—	0.076
DSS 20	450	20 000	7 100	3 500	0.493	4/2	2.82	0.175
PETROBRAS X VIII	800	36 000	10 000	甲板载荷 9 500	—	—	3.6	—

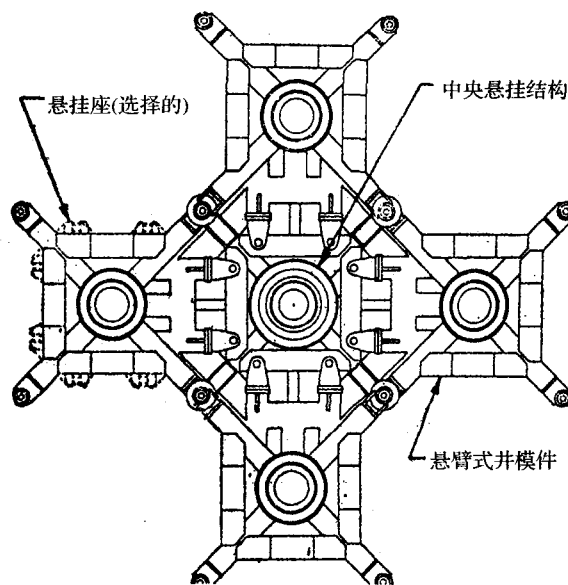


图9 扩建平台的悬臂式结构

(1) 可变载荷与总排水量的比值从 0.1 至 0.175 逐步提高,这是一个总的趋势。而且,随着向深水发展,这个指标更加提高。近年来新的第五、六代半潜式平台可变载荷不断增加,如半潜式平台 Deepwater Horizon 号,工作水深 3048 m(10000 ft),可变载荷已达 8200 t; PETROBAS X Ⅷ号可变载荷已达 9500 t,其与总排水量的比值为 0.26。

(2) 可变载荷与自重的比值也是逐趋增大,如 DSS20 型半潜式平台已增至 0.493。

鉴于上述,我国设计的深水半潜式平台建议应进一步提高上述两个指标,使可变载荷与总排水量的比值在 0.3 左右;可变载荷与自重的比值大于 0.5。

6 提高强度稳性及经济效益

笔者认为,我国设计的深水半潜式平台,不仅应在上述 5 个方面的技术上先进,而且还要在安全上以及经济上要赶上世界先进水平。为此,设计中应考虑:

(1) 提高强度 提高强度是保证平台安全与可靠性的一个重要方面。从近年来向深水发展的半潜式平台的趋向来看,为了使平台具有良好的船体安全性和抗风暴的能力以及较长时间的自持能力,以适应全球远海、超深水、全天候和较长时期的工作能力,均采取了一些提高强度的措施。如平台主结构采用高强度钢(X 60 和 X 80, $\sigma_s=420\sim550$ MPa),一些重要构件甚至用 $\sigma_s=700$ MPa 或更高达 $\sigma_s=827$ MPa(X 120 钢级, $\sigma_s=120\ 000$ PSI)者。这些高强度钢的主要特点是:相对含碳量低,韧性、可焊性得到改善;添加钒、铌、铝等微量合金和使晶粒变细的热处理,进一步提高强度、韧性;使用如锰、硅、镍、铬和铜等较大比例合金成分以及进行固溶强化处理,增加钢材强度;减少硫、磷等含量和控制其晶粒形态及密度的均质性能,消除裂纹等焊接缺陷。

(2) 增加稳性 增加浮式半潜式平台的稳性是增强平台抗风暴能力及长期自持能力,保证平台安全性的重要一环。近年来用于深水的半潜式平台设计中,如采取的立柱内双重壳、扁平 and 短的甲板上生活模块结构以及增强锚机和锚链系统和配备新一代动力定位系统等措施,均值得借鉴。

(3) 降低造价 高强度、稳性,长寿命及安全可靠性与降低造价相结合,即可使平台获得较高的经济效益。因此,在平台设计中,尽量使平台造价降低,就成为一个主要矛盾了。目前,最新的第六代用于深水的半潜式平台已能够做到减少 30% 的钻井时间,降低成本约 30%,这也是我国设计时要达到的指标。另外,它们所采取的诸如扁平矩形箱型结构的平台主甲板、尽量减少结构的焊接节点及拉筋的数量、采用矩形等截面的立柱和下沉垫;大力节约钢材以及配备液压缸升降式钻机等,努力降低装备的重量和成本等措施,也都值得我国在设计中降低造价时参考。

7 结语

本文对我国设计深水半潜式平台,以在技术上、安全上、经济上达到世界先进水平为目标,提出的满足深水钻井工艺要求、适应深水油气生产需要和迎头赶上世界先进水平 3 个指导原则以及满足双梯度钻井工艺要求、满足双作业钻机装备要求、适应海底钻井底盘需要、适应扩建成生产平台需要、提高平台的可变载荷能力、提高强度稳性及经济效益等 6 方面的具体建议,可供有关部门、单位参考,不吝赐教。

参考文献

- [1] Offshore [J]. 2006(7)(10), 2007(3).
- [2] World Oil [J]. 2006(4)(9).
- [3] 周宁为等. 中国海洋石油高新技术与实践[M], 北京:地质出版社, 2005.