

[综述]

深海半潜式钻井平台的发展^{*}

刘海霞

(708研究所 上海 200011)

[关键词] 深海;油气开发;半潜式钻井平台

[摘 要] 介绍深海油气勘探开发的现状,从工作水深、海况适应性、可变载荷、结构、材料、装备、功能等多方面分析了第五、第六代深海半潜式钻井平台的发展特点和趋势,并在现场调研的基础上对新一代半潜式钻井平台 Global Santa Fe Development Driller进行了技术说明。

[中图分类号] U674.38+1 [文献标识码] A [文章编号] 1001-9855(2007)03-0006-05

Development of deep-sea semi-submersible drilling unit

Liu Haixia

Keywords: deep-sea; exploitation of oil and gas; semi-submersible drilling unit

Abstract: In this paper, the current situation of exploitation deep-sea oil & gas exploitation is introduced. The development feature and trend of the fifth and sixth generation deep-sea semi-submersible drilling unit is being analyzed from aspects of operation water depth, adaptability to sea conditions, variable loads, structure, material, equipment, function. The technical characteristics of Global Santa Fe Development Driller—a new-style semi-submersible drilling unit is presented based on field research.

1 前 言

海洋占地球表面积 70.9%,平均深度约为 3 730 m,90%以上的水深为 200 m~6 000 m,大量海域面积的资源尚待开发,尤其是石油、天然气等重要经济、战略物资,以解决社会发展面临的巨大能源压力。据地质学家预测,海底石油天然气总储量约 2 500亿吨。

海洋油气勘探开发通常按水深区别:500 m以内为常规水深,500 m~1 500 m为深水,超过 1 500 m为超深水。由于大量的油气资源在更深水域中被发现,国际上海洋油气资源的开发已从近海向深海发展。目前海洋油气钻井工作水深达 3 051 m,海底采油水深达 2 196 m,海洋勘探井深达 9 210 m,海洋采气井深达 7 393 m,海洋采油井深达

7 089 m。2001年在超过 1 000 m水深海域的探井数多达 130口^[1]。这些数据正在随技术的发展进一步提高。

坐底式平台、重力式平台、导管架平台、自升式平台等主要作业于浅海区域,随着油气勘探开发日益向深海推进,张力腿平台也显示出其局限性,钻井船和半潜式平台成为主要选择。半潜式平台在波浪中的运动响应、对恶劣海况的适应性、甲板可变载荷、自持力等方面有一定的优越性,在深海油气开发中承担着至关重要的角色^[2,3]。

2 半潜式平台技术特点分析

半潜式平台自 20 世纪 60年代初出现以来,得到了较大的发展和应用,近期发展情况见表 1^[4]。

* [收稿日期] 2006-8-21

[作者简介] 刘海霞(1978.10-),女,汉族,山东人,工程师,主要从事海洋工程总体设计研究。

表 1 世界半潜式钻井平台数量

年 份	1996	1997	1998	2000	2002
数 量	132	147	165	170	175

在分析研究文献 [5]所辑录的 62艘半潜式钻井平台基础上,列出第五、第六代深海半潜式钻井平台典型技术参数 (见表 2)。

表 2 深海半潜式钻井平台技术参数

平台名称	建造年份	改装年份	入级	作业海域	最大作业水深 (ft)	最大钻井深度 (ft)	拖航吃水 (ft)	作业吃水 (ft)	平台长 (ft)	平台宽 (ft)	可变载荷 (t)	井架 (ft)	大钩载荷 (kips)	总功率 (hp)	最大航速 (kn)	推进器 (hp)	定位方式
Mitsubishi MD503	1982	1998	ABS	巴西	3 937	29 520	22	66	343	220	3 283	40 ×40	1 000	7 800	7	2 ×3 000	常规锚泊
CS 45	1999	—	DNV	北海	5 000	30 000	32	77	386	229	5 800	84 ×36	1 300	44 000	11	8 ×4 350	动力定位
Odyssey	1988	1999	ABS	墨西哥湾	5 500	30 000	26	80	390	233	7 835	40 ×40	1 800	18 120	12	4 ×2 700	常规锚泊
Victory	1973	2002	ABS	—	7 000	35 000	41.5	74.5	324	327	5 500	48 ×46	2 000	12 940	4	—	常规锚泊
Trendsetter	1986	1997	ABS	英国西海岸	7 500	30 000	29	80	370	255	6 014	40 ×40	2 000	20 000	7	2 ×7 000	常规锚泊
Modified Enhanced Pacesetter	1981	1999	DNV	巴西	7 500	30 000	23	60	417	233	5 500	—	1 500	50 400	6	4 ×3 200 4 ×4 800	动力定位
Aker H - 3. 2 Mod	1988	2000	DNV	墨西哥湾	7 500	30 000	26	75	320	238	6 600	50 ×50	2 000	53 083	10	8 ×4 000	动力定位
Development driller	2004	—	ABS	—	7 500	37 500	26.9	49.2	324	258	7 716	52 ×57	3 000	40 766	8	8 ×4 300	动力定位
EnSCO 7500	2000	—	ABS	墨西哥湾	8 000	35 000	23	60	240	248	8 000	40 ×46	1 928	30 000	8.3	8 ×3 000	动力定位
Sedco Express	2001	—	ABS	西非	8 500	25 000	29.5	65.5	349	226	11 464	167 ×39	2 057	35 700	10	4 ×9 383	动力定位
EVA - 4000 TM	1982	1998	ABS	巴西	8 900	30 000	32.3	79	342	328	5 500	40 ×40	1 928	43 000	6	6 ×5 000	动力定位
Bingo 9000	2002	—	DNV	加拿大	10 000	30 000	39.4	77.9	397	279	7 400	40 ×40	2 000	61 200	7	6 ×7 375	动力定位
IH HRFB Exploration	2001	—	ABS	墨西哥湾	10 000	30 000	28.9	75.5	396	256	8 000	48 ×48	2 000	56 323	7.5	8 ×7 345	动力定位

现就新一代深海半潜式钻井平台的主要技术特点和发展趋势说明如下 [5,6,7]。

2.1 工作水深显著增加

1998年新建和在建的 19艘半潜式平台中,17艘工作水深超过 1 524 m (5 000 ft); 2002年末现有和在建的 175艘半潜式平台中,31艘工作水深超过 1 829 m (6 000 ft), 16艘工作水深超过 2 286 m (7 500 ft),其中 IH HRFB Exploration、Deepwater Horizon、Eirik Raude (Bingo 9000 系列) 工作水深达 3 048 m (10 000 ft)。

未来 20年内,工作水深达 4 000 m ~ 5 000 m 的半潜式平台有望出现。

2.2 适应更恶劣海域

半潜式平台仅少数立柱暴露在波浪环境中,抗风暴能力强,稳性等安全性能良好。大部分深海半潜式平台能生存于百年一遇的海况条件,适应风速达 100 kn ~ 120 kn,波高达 16 m ~ 32 m,流速达 2 kn ~ 4 kn。

半潜式平台在波浪中的运动响应较小,钻井作

业稳定性好,在作业海况下其运动幅值可为升沉 ±1 m,摇摆 ±2 °;漂移为水深的 1/20。

随着动力配置能力的增大和动力定位技术的发展,半潜式平台进一步适应更深海域的恶劣海况,甚至可望达全球全天候的工作能力。

2.3 可变载荷增大

采用先进的材料和优良的设计,半潜式平台自重相对减轻,可变载荷不断增大,以适应更大的工作水深和钻深。

平台可变载荷与总排水量的比值,南海 2号为 0.127, Sedco 602型为 0.15, DSS20型为 0.175,新型半潜平台将超过 0.2。甲板可变载荷 (包含立柱内) 将达万吨,平台自持能力增强。同时甲板空间增大,钻井等作业安全可靠性能提高。

2.4 外形结构简化,采用高强度钢

半潜式平台外形结构趋于简化,立柱和撑杆节点的型式简化、数目减少。立柱从早期的 8立柱、6立柱、5立柱等发展为 6立柱、4立柱,现多为圆立柱或者圆角方立柱。斜撑数目从 14 ~ 20根大幅降低,

以至减为 2~4 根横撑,并最终取消各种形式的撑杆和节点。下浮体趋向采用简单箱形,平台甲板主体也为规则箱形结构,且甲板结构出现层高 1 m~2 m 的双层底。

2001 年建成的深海半潜平台 B ingo 9000,结构组成包括箱形上甲板结构、6 个圆角方立柱、2 个箱形浮体、立柱底部 2 组 K 字形水平撑共 6 根、垂向斜撑 4 组共 8 根。更新式的半潜平台,结构组成包括箱形上甲板结构、4 或 6 个圆角方立柱、2 个箱形浮体、立柱底部 2 根水平横撑。2004 年建成的深海半潜平台 BP SSEDHOSE,结构组成包括箱形上甲板结构、4 个圆角方立柱、4 个箱形浮体(口形),完全取消了撑杆和节点。新一代半潜平台的典型外形见图 1、图 2。

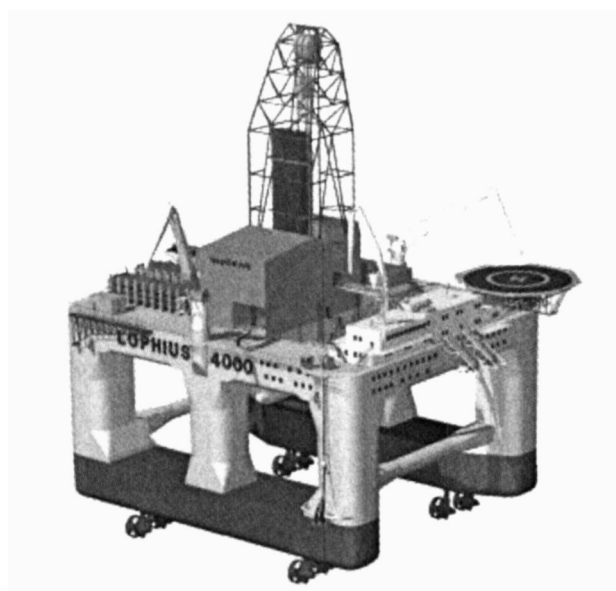


图 1 六立柱半潜平台

立柱数量适当减少,而增大立柱截面积,可提高稳性。撑杆、K型和 X型等节点的减少以至取消,降低了焊接、建造工艺难度,减少了疲劳破坏,提高了平台寿命。口形浮体的出现提高了强度,增大了平台装载量,但导致航行阻力增大,故一般置于大型驳船上拖航移位。

平台建造正越来越多地使用高强度钢。在过去 10 年里,高强度钢($\sigma_s = 420 \text{ MPa} \sim 460 \text{ MPa}$)的使用占海上工程结构钢的 25%~50%,目前正进一步普及化。甚高强度钢($\sigma_s = 700 \text{ MPa} \sim 827 \text{ MPa}$)已用于建造平台的重要结构,超高强度钢($\sigma_s = 1000 \text{ MPa}$)可望投入实际应用。

采用强度高、韧性好、可焊性好的高强度和甚高

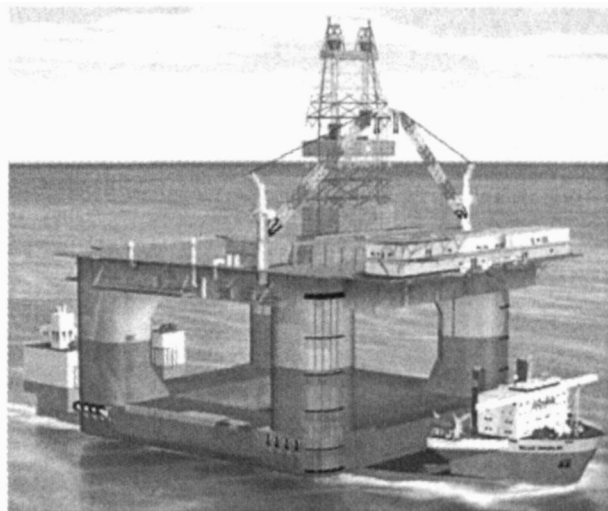


图 2 四立柱半潜平台置于驳船上拖航

强度钢,以减轻平台钢结构自重,提高可变载荷与平台钢结构自重比,提高总排水量与平台钢结构自重比。如平台总排水量与钢结构自重的比值,DSS 20 型为 2.82, PETROBAS X 为 3.6,新型半潜平台将超过 4.0。

2.5 装备先进化

深海半潜式平台装备了新一代的钻井设备、动力定位设备和电力设备,监测报警、救生消防、通讯联络等设备及辅助设施和居住条件也在增强与改善,平台钻井作业的自动化、效率、安全性和舒适性等都有显著提高。

超深井海洋钻机具有更大的提升能力和钻深能力,钻深达 10 700 m~11 430 m,电动绞车功率达 3 728.5 kW~5 369.04 kW(5 000 hp~7 200 hp),60.5 in 大通径转盘与之配套使用。液缸升降型钻机、全静液传动钻机、全自动控制钻机成为海上石油钻井装备发展的重要方向。

新一代的顶驱系统以交流变频驱动取代 AC-SCR-DC 驱动,静液驱动的比率有所提高,并出现了短尺寸紧凑型组合顶驱。变频电驱动、大功率的高压泥浆泵得到应用,并发展了一种特轻型泥浆泵,该泵为静液驱动、无曲轴、无连杆、可调排量与压力型。防喷器组工作压力更大,闸板 BOP 封井工作压力达 138 MPa,环形(万能)BOP 达 69 MPa。BOP 尺寸和重量进一步降低,配置更安全。并发展了高压旋转 BOP,以及适应深水的特殊水下设备控制系统。

深海半潜平台配备大功率的主动力系统和高精度的动力定位系统(DPS-3),动力定位采用先进的局部声纳定位系统和差分全球定位系统(DGPS)等。

电力设备有单机功率达 3 800 kW、性能优越、寿命长的柴油发电机组和 800 kW 以上变频机组，单机功率大于 300 kW、性能优良、运转可靠、启动便捷的应急发电机组等。

2.6 多功能化、系列化

深海半潜式平台的造价较高，如 BP SSEDHOSE 造价为 4.4 亿美元。最大程度地利用平台在实际运营中受到关注，许多平台具有钻井、修井、采油、生产处理等多重功能。配有双井系统的平台，可同时进行钻修井作业，钻井平台上增加油、气、水生产处理装置及相应的立管系统、动力系统、辅助生产系统、生产控制中心等，即成为生产平台。平台利用率提高降低了深海油气勘探开发的成本。

部分平台具有一定批量性，如 Amethyst 系列 6 艘，Bingo9000 系列 4 艘，Sedco Express West Venture 系列 3 艘，Development Driller Odyssey，Sedco 700，Victory 等系列各 2 艘。小批量的系列化，缩短了设计建造周期，减少了设计建造成本。

3 新式半潜平台 Global Santa Fe Development Driller I II 介绍^[8,9]

半潜式钻井平台 Global Santa Fe Development Driller 系列共两艘，由 Friede & Goldman 设计、PPL Shipyard 承建，于 2004 年交付，作业海域为墨西哥湾和巴西海域，入级符号 ABS A1，AMS，CDS，DPS-2。

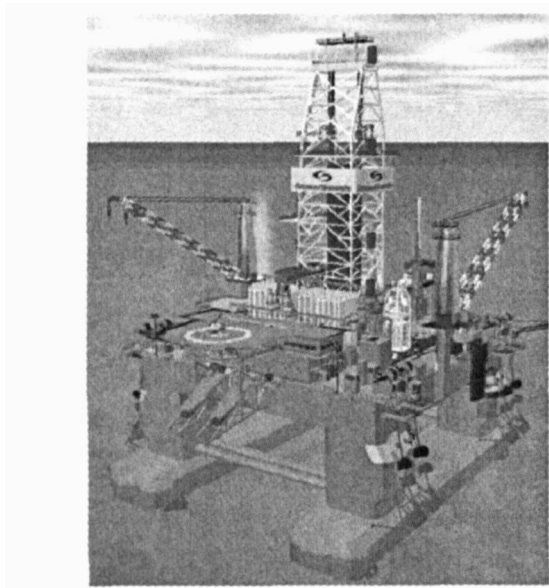


图 3 GSF Development Driller 半潜平台

3.1 平台主参数

表 3 主尺度

作业水深	2 286 m (7 500 ft)
钻井深度	11 430 m (37 500 ft)
平台总长 × 总宽 (m)	115.70 × 90.40
浮体长 × 宽 × 高 (m)	98.82 × 20.12 × 8.54
立柱长 × 宽 × 高 × 角半径 (m)	15.86 × 15.86 × 18.86 × 3.96
主甲板长 × 宽 (m)	74.42 × 74.42
至主甲板高 (m)	36.0
钻台长 × 宽 (m)	17.1 × 23.5
至钻台高 (m)	45.7
井架长 × 宽 × 高 (m)	15.85 × 17.37 × 68.96
作业状态	吃水 20.0 m ~ 17.0 m 排水量 46 389 t ~ 43 257 t
自存状态	吃水 15.0 m 排水量 41 168 t
拖航状态	吃水 8.2 m 排水量 32 985 t
最大甲板可变载荷	7 000 t

表 4 储存能力

压载水	14 678 m ³	重晶石 / 土粉	295 m ³
钻井水	1 456 m ³	水泥	480 m ³
海水	775 m ³	泥浆原料	5 500 袋
饮用水	708 m ³	燃油	3 248 m ³
泥浆	1 093 m ³	原油	729 m ³
备用泥浆	1 892 m ³		

表 5 作业环境

风 速 (kn)	作业状态 (墨西哥湾)	作业状态 (巴西海域)	自存 状态	拖航 状态
	41	47	76	/
流 速 (kn)	2.7	3.3	0.6	/
有义波高 (m)	5.06	6.9	13.1	4.4
波周期 (s)	10.5	14.6	14.0	10.0

3.2 平台特点

- 1) Development Driller 平台结构组成为双浮体、4 圆角方立柱、4 杆形横撑和上层甲板结构。考虑到一横撑损毁时的平台安全性，首尾立柱底部各设 2 个横撑。上层甲板结构为 8.6 m 高的箱形体，含 1.7 m 高的双层底，可设管线，并有利于结构强度。平台采用高强度钢，主船体用钢为 AH36、EH36，局部更高。全部钢材重 15 000 t，空船重 28 000 t。
- 2) 充分利用立柱内空间，布置有备用泥浆舱、绞车舱、饮用水舱、污油舱等。隔水管立放于甲板，与卧式放置相比节省甲板面积，明显提高作业效率。
- 3) 钻井系统、推进系统、锚绞机均为交流变频电驱动，控制、维修更方便高效。采用主动式升沉补偿系统，钻柱的升沉补偿由绞车自身完成，能随波浪

响应,可实现恒速下管。

单井架双钻井系统,主系统钻井,辅系统接管,以减少停工时间,提高作业效率。相应的大井口槽(42.7 m × 8.5 m, 140 ft × 28 ft)对结构要求较高。主系统大钩载荷 1 000 t,液压绞车功率 5 219.9 kW (7 000 hp),顶驱载荷 1 000 t,主转盘 60.5 in。辅系统大钩载荷 500 t,液压绞车功率 3 355.7 kW (4 500 hp),顶驱载荷 500 t,转盘 49.5 in。

隔水管张紧系统,6组张紧器、12根张紧索,单个张紧器补偿能力 250 kips。

4台泥浆泵三用一备,功率 1 640.50 kW (2 200 hp),额定工作压力 7 500 Pa。

配有多种起重处理设备以适应不同需要。2台甲板起重机分别位于左右舷,静载负荷 150 t × 21.6 m,动载负荷 100 t × 21.6 m。1台折臂式起重机用于管子处理系统,负荷为 10 t × 35 m, 15 t × 25 m。1台隔水管龙门起重机,负荷为 40 t。2台BOP龙门起重机,承载为 100 t。

4)双系统定位,动力定位 DPS-2辅以 8/12/16点锚泊定位。

动力定位配 8套 3 200 kW 吊舱推进器,具有专门优化的倾斜角度,最小化的易损件,低维修率,简单的水下安装方式,更高的效率。锚绞车备于平台主甲板,部分锚链由抛锚作业辅船提供。飓风时用 12/16点锚泊定位,平台经受百年一遇的墨西哥湾飓风时,仍可实现安全定位。双定位系统提高了平台正常作业的可靠性。动力定位耗能多,精度高,用于钻井作业;锚泊定位耗能少,精度低,可靠性高,用于生产、修井作业等。

5)8台主发电机 3 800 kW, 11 kV, 60 Hz。1台应急发电机 1 450 kW, 480 V, 60 Hz。

2套 11 kV 中压主配电板, 30套 480 V 低压配电板,和应急配电板。

平台自动化、网络化程度高,全船综合系统 I/O 约 12 000点。

6)采用新的建造工艺,根据平台功能分块,不同区块可同时施工,缩短了建设周期。GSF Development Driller I建造、调试约为 25个月,船体用时仅占 20%。上下体连接时,用压载水调节法取代浮吊吊重法,提高了精度。

4 结 语

1)良好的平台设计是多种矛盾因素相互平衡、

综合协调的结果。例如选用材料都为高强度钢,则不利于疲劳、板稳定性、刚度、腐蚀等方面。动力定位系统精度过高,平台对恶劣风浪缺乏一定的实时应变,为避免甲板上浪而损失相当的吃水,而且动力定位功率需增大、经济性亦差。

2)由于深水或超深水勘探作业费用巨大,目前有能力(无论是资金或技术实力)进行深海石油勘探开发的公司主要有 BP、Shell、Exxon、Mobil、Chevron、Texaco、Petrobras等大石油公司。近年来,各大石油公司在深海领域的投资不断增加。2001年全球在深海的石油开发投资超过 110亿美元,尚不包括勘探及评价投资;2003年现有深海油田及新项目的投资超过 150亿美元。可见,向海洋和深海要油气,发展新一代以半潜平台为代表的移动式钻采装置是世界油气工业发展必不可少的重要一环。

3)目前我国油气勘探开发集中在浅海、近海区域,深海开发技术能力与国际水平差距较大,尤其是动力定位钻井船和深海半潜式钻井平台的研制。自 1984年国内自行研制的半潜式钻井平台“勘探三号”投入使用后,技术研究工作未见实质性进展。为了解决当前经济发展面临的能源危机,我国正在大力发展深海勘探技术,现已专门立项进行新型半潜式钻井平台的研制,旨在完成目标平台(钻井作业水深为 2 500 m ~ 3 000 m,钻井深度为 9 000 m ~ 10 000 m)的初步设计和建造方案,这将在一定程度上促进我国深海勘探开发的技术进步。

[参考文献]

- [1] 廖谟圣. 三论我国海洋石油工业技术装备之国产化[J]. 中国海洋平台, 2004, 19(4): 1~7.
- [2] Robert E. Randall著,包丛喜译. 海洋工程基础[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2002.
- [3] 安国亭、卢佩琼. 海洋石油开发工艺与设备[M]. 天津:天津大学出版社, 2001.
- [4] 廖谟圣. 国外超深水钻采平台的发展给我们的启迪[J]. 中国海洋平台, 2003, 18(5): 1~5.
- [5] 半潜式钻井平台主要性能参数[R]. 中国船舶工业第708研究所档案信息中心, 2003.
- [6] 张阳春等. 石油钻采设备 - 第三轮国内外技术发展水平跟踪与分析[M]. 北京:中国石油和石油化工设备工业协会钻采机械专业委员会, 2000.
- [7] 当前世界上大型、先进的半潜式钻井平台[J]. 中国海洋平台, 2002, 17(3): 46.
- [8] 新型多功能半潜式钻井平台研制 - 赴新加坡技术考察总结汇报[R]. 中国船舶工业第708研究所, 2005.
- [9] Fleet overview/newbuilds construction/development driller <http://www.globalsantafe.com/>