

超深水钻井平台与超深井钻井设备 CPPEI

廖谟圣

(中国石油和石化工程研究会海洋石油和石化工程专业委员会, 上海 200233)

摘要: 简述了全球油价变化对促进深水油藏发现及全球超深水钻井平台和超深井钻井设备的发展; 第 5~6 代钻井平台(船)及其上钻井设备的主要特点; 提出了对发展我国超深井钻井平台和超深井钻井设备的建议。

关键词: 油价、超深水油藏、超深水钻井平台(船), 超深井钻井设备, 技术特点, 建议。

超深水(Ultra-Depth Water, 简称 UDW)和超深井钻井(Ultra-Depth Drilling, 简称 UDD)是近十余年来海洋石油钻井不断向深水和深地层钻井而形成、用以界别普通深水和普通钻井井深区别的概念。一般以 $\geq 400\text{m}$ – $\leq 1500\text{m}$ 为深水, $\geq 1500\text{m}$ (或 5,000ft)为超深水(UDW);一般钻井深度能力 $\geq 15,000\text{ft}$ (即 4,500m)– $\leq 25,000\text{ft}$ (即 7,620m)为深井钻井; $\geq 25,000\text{ft}$ (即 $\geq 7,620\text{m}$)为超深井钻井(UDD)。

1、世界油价飙升与超深水油藏不断发现促进了超深水平台和超深井钻井设备的发展

1.1 全球油价飙升对促进海洋石油平台发展的回顾

1950~1970 年, 由于石油钻采技术的迅速发展, 陆地和近海勘探大量发现油气储量, 石油产量剧增, 油价低达每桶约 2 美元, 工业发达国家纷纷弃煤用油, 加上汽车工业特别是家用汽车迅猛发展, 大量耗油促使产油和炼油大增, 至 1971~1980 年, 由于中东战争等因素, 油价攀升至每桶约 32 美元, 驱使海洋石油工业的大发展, 海洋石油钻井平台(含钻井设备)的设计建造从 1975 年的 304 艘, 至 1985 年高达 772 艘; 1981~1996 年, 由于油价从 1981 年开始下跌的延后效应, 海洋石油钻井采油不景气, 投入海上勘探开发钻井逐年减少, 海上移动式钻井平台从 1985 年的 772 艘, 至 1996 年下降至 567 艘, 各石油设备制造厂商也大幅度萎缩或合并, 海上新平台建造也较少, 多数采用旧平台更新改造的方法, 以适应钻井水深和钻井深度向深部推进的需求; 1997~2004 年, 由于世界各国政

治经济的诸多因素、科学技术的进步以及中东伊拉克对科威特战争和相继而至的两次美伊战事等原因,油价又逐渐上升,至 2004 年初上升至每桶约 35 美元,2005 年,最高达 70 美元, 2007 年 11 月,油价每桶突破 90 美元,至 2008 年 1 月,油价每桶高达 100 美元,至 2008 年 3 月 5 日,油价每桶达 104.52 美元;至 2008 年 3 月 13 日,油价每桶一度突破 110 美元而达 110.02 美元,同年 4 月 16 日,油价每桶再达 114.93 美元(央视新闻)。海上移动式钻井平台从 1996 年的 567 艘至 2002 年上升至 670 艘,2003 年至 2007 年,各年依次为 677 艘、678 艘、673 艘、641 艘和 654 艘(参见《World Oil》2007 年 10 月号);2006 年,世界工作水深 $\geq 5,000\text{ft}$ (1,524m)的超深水钻井平台(船)共 111 艘,包括 83 艘超深水半潜式钻井平台和 28 艘超深水钻井船。

从以上不难看出,油价的攀升是促进向深水、超深水勘探开发石油和发展深水、超深水钻采平台的主要原因。

1.2 全球主要深水产油国发现油藏汇总及增长预测

据《World Oil》2007.05 报道;巴西在深水发现油藏居世界之首,约为 21,000 百万桶(33.39 亿 m^3)油当量;其余为美国墨西哥湾,约为 17,000 百万桶(27.03 亿 m^3)油当量;第 3 位为安哥拉,约为 13,000 百万桶(20.67 亿 m^3)油当量;第 4 位为尼日利亚,约为 9,000 百万桶(14.31 亿 m^3)油当量;第 5 位为澳大利亚,约为 8,000 百万桶(12.72 亿 m^3)油当量;其余第 6~10 位分别为埃及(约为 4,900 百万桶-7.79 亿 m^3 油当量)、挪威(约为 4,000 百万桶-6.36 亿 m^3 油当量)、马来西亚(约为 3,000 百万桶-4.77 亿 m^3 油当量)、印度尼西亚(约为 2,800 百万桶-4.45 亿 m^3 油当量)和印度(约为 2,500 百万桶-3.97 亿 m^3 油当量)。详见图 1。

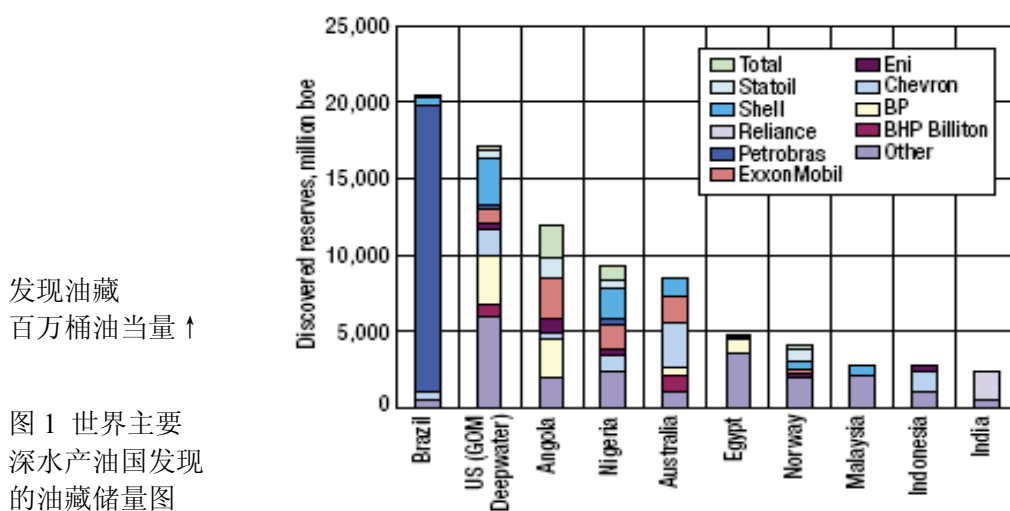


图 1 资料来源:《World Oil》2007 年 5 月号

从图 1 可知,在深水发现油藏的世界著名石油公司中,巴西国家石油公司(Petrobras)亦居首位,达 19,000 百万桶(30.21 亿 m^3)油当量,英国石油公司(BP)、壳牌石油公司(Shell)、美国雪佛龙石油公司(Chevron)和埃克森-美孚石油公司(ExxonMobil)深水发现油藏各均在 8,000 百万桶(12.72 亿 m^3)油当量上下。

2004 年以来全球主要深水油气生产国家(海域)油气生产逐年增长及预测见图 2:从图 2 可见,深水油气生产量最多首推巴西,其次分别为美国的墨西哥湾、安哥拉、尼日利亚和印度尼西亚。而这些国家从 2004 年至预测的 2009

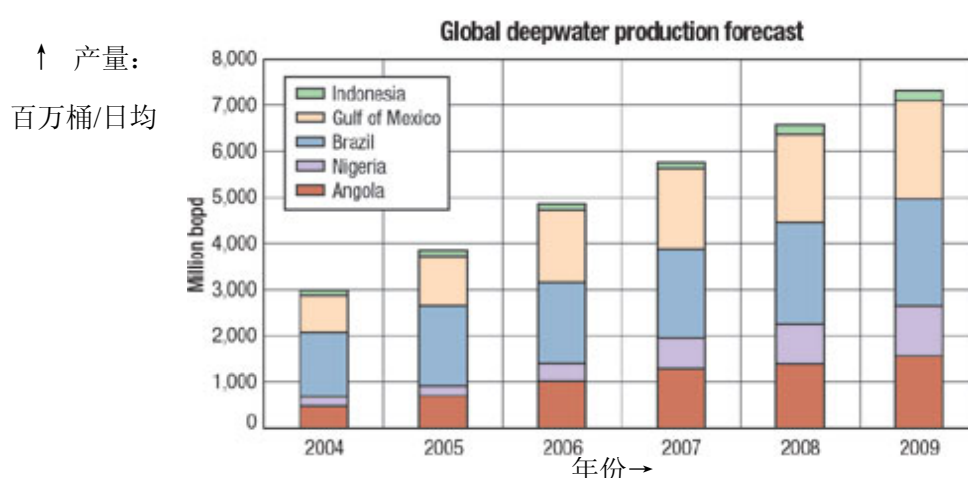


图 2 2004 年以来全球主要深水产油国深水油气生产逐年增长示意

年均在逐年增长,这些国家 2004 年总产量约达 3 百万桶/d(折合 1.74 亿 m^3 /年,约占全球深水产油量的 80%以上),2006 年总产量约达 4.9 百万桶/d(折合 2.84 亿 m^3 /年),比 2004 年增长 63%;预计 2009 年约达 7.3 百万桶/d(折合 4.24 亿 m^3 /年,比 2004 年增长 143%。

1.3 全球深水油气逐年增长促进了超深水钻井平台和超深井钻井设备的发展

目前适用于超深水钻井的平台主要是半潜式钻井平台和钻井船。

由于上述深水油藏令人鼓舞的发现,一方面是由于设计建造和使用深水和超深水钻井平台和钻井设备,而深水油藏的大量发现与预测,反过来又促进了超深水钻井的平台和超深井钻井设备的发展。

半潜式钻井平台在 1996 年全世界拥有 132 艘,1997 年增至 147 艘,1998 年再增至 165 艘,2000 年增至 170 艘,2001 年为 173 艘,2002 年达 175 艘,2003 年降至 172 艘,2007 年为 162 艘。但深水钻井平台增加,2006 年末统计,≥5,000ft

的超深水半潜式钻井平台总计达 83 艘，其中新建和在建的 31 艘半潜式平台中，工作水深在 6,562ft(2,000m)以上达 29 艘，占总数的 93.5%；工作水深在 10,000ft(3,048m)以上达 18 艘，占了总数的 51.6%；最深工作水深为 12,500ft(3,810m)。

在 1996 年，全世界拥有钻井浮船 63 艘，1997 年增至 70 艘，1998 年再增至 82 艘，比 1996 年增加 30.2%，一反前几年钻井浮船停滞或负增长的局面；2000 年降至 79 艘，2001 年为 64 艘，2002 年为 65 艘，2003 年为 63 艘，2006 年为 64 艘（包括钻井驳船 26 艘——见《World Oil》2007 年 10 月号）。其中 1998 年新建或在建的钻井浮船多达 21 艘，2003 年新建和在建的钻井浮船降为 6 艘，而 2006 年新建和在建的钻井浮船共 8 艘，工作水深均达 10,000-12,000ft(3,048m-3,658m)，也都是超深水钻井平台。

近十余年以来，超深井钻井设备的发展也特别迅速，钻机绞车的功率已从 3,000hp 迅速发展到了 4,000hp、4,500hp、5,000hp、6,000hp 乃至 7,200hp；钻井深度能力从 25,000ft(7,620m)、30,000ft(9,144m)迅速发展到了 35,000ft(11,430m) 乃至 40,000ft(12,200m)。其生产数量也随超深水钻井平台的增长而增加。

2、超深水第 5~6 代钻井平台（船）及其上钻井设备的主要特点浅见

2.1 国外第 1~5 代半潜式钻井平台和钻井浮船及其上设备的年代与特点

根据国外众多的资料及笔者数十载实践经验，对国外第 1~5 代半潜式钻井平台和钻井浮船及其上设备的年代与特点作如下综合浅见表述，详见表 1：

表 1 国外第 1~5 代半潜式钻井平台和钻井浮船及其上设备的年代与特点综合汇总表

序号	项目	数据范围及主要特点					
		第 1 代	第 2 代	第 3 代	第 4 代	升级改造 (多改造为第 4 代)	第 5 代
1	出现年份	1970 年前	1971~1978 年	1974~1984 年	1985~1995 年	1992~1999 年	2000 至今
2	半潜平台结构或型式	矩形、将陆上装备移置至海上	三角形、五角形、矩形等各种型式	从多种型式向矩形过渡	矩形 6~12 立柱、十字形等		矩形、少立柱、少节点和斜撑
3	可变载荷(t)，半潜平台：	≤2000	2000~3000	3000~4000	4000~7000	同左	≥7000
	钻井船：	≥3000	5000~8000	5000~12000	8000~15000		10000~23000

4	泊位方式, 半潜平台: 钻井船:	锚泊 锚泊或 DP-1	锚泊 +DP-1 锚泊或 DP-1/DP-2	锚缆与锚链 组合 +DP-1 或 DP-2 锚泊或 DP-2/DP-3	锚缆与锚 链组合 +DP-2 或 DP-3 DP-2 或 DP-3	同左	DP-3 DP-3
5	主机功率,	5000~ 12000	6000~ 18000hp	8000~24000 hp	9000~ 28000hp		20~40mw (27200~ 54400hp)
6	钻井深度(ft)	≤20000	20000~ 25000	25000~ 30000	≥ 30000~350 00	同左	≥35000~ 40000
7	工件水深(ft)	≤600	600~1200	≤3000	≥3500~ 5000	4000~ 10000	≥ 7500~12 500
8	钻机最大驱动 功率(hp)	≤2000	2000~ 3000	≥3000	3000~ 4500	同左	双套钻机 每套 4500~ 7200hp
9	泥浆泵台数/单 机最大功率	2~3 台 /800~ 1000p	2~3 台 /1300hp	2~3 台 /1600hp	3 台/1600~ 1700hp		3~5 台 /2200hp
10	顶部驱动能力 (t)	无 TDS	无 TDS	个别装备 TDS	普遍装备 TDS	装备 TDS	双套 TDS
11	钻机、泥浆泵等 的主要驱动方式	柴油机机 械驱动和 部分 DC-DC	DC-DC	DC-DC 和 部 分 AC-SCR- DC	AC-SCR-D C	AC-SCR- DC	AC-GTO- AC(交流 变频驱 动)
12	钻井水下设备 工作通径(in)/ 工作压力/控制 方式	13 ⁵ / ₈ 和 18.75 双 套/5000~ 7500psi/ 气-液	13 ⁵ / ₈ 和 18.75 双 套 /7500psi/ 气-液和 部分电- 液	16 或 18.75/7500~ 10000psi~/ 气-液或电- 液编码	少数 16 多数 18.75 单套 /10000psi/ 电-液编码	18.75/ 10000psi/ 第3代多 路传输控 制	18.75in/ 15000psi- 第4代多 路传输控 制
13	半潜式代表船 型	Blue Water No.1	1、Tor Viking 2、Ocean Century	1、JW McLean 2、Dolphin	1、Ocean Quest 2、Jack Bates	Noble Paul Wolff	Horizon
14	钻井船代表船 型		700 Series	Winner	Paul B ILOYD	Diamond Ocean Baroness	Frontier

2.2 国外第 1~5 代钻井平台（船）举例

各代钻井平台举例如下：

（1）国外第 1 代钻井平台（船）

1962 年，世界第一艘半潜式钻井平台“碧水 1 号（Blue Water No.1）”在美国投入使用。

1953 年，美国将一艘巡逻艇改装为世界第一艘钻井浮船“沙玛瑞克斯号（SUBMAREX）”，采用悬臂式钻井井架，首次在加州岸外进行浮式钻井。

（2）国外第 2 代钻井平台（船）

“Tor Viking 号”五角形半潜式钻井平台于 1973 年建成，是世界石油杂志（World Oil）2000 年 12 期报道中建成最早、未升级改造的半潜式钻井平台。钻井工作水深为 1,200ft (366m)，钻井深度为 18,000ft (5,486m)。可变载荷 2,280t；船体尺寸为长 336ft (102.4m) X 宽 325ft (99.0m)。

“大洋世纪(Ocean Century)号”矩形半潜式钻井平台于 1973 年建成，亦未升级改造的半潜式钻井平台。钻井工作水深为 800ft (244m)，钻井深度为 25,000ft (7,620m)；可变载荷 2,240t；主发动机功率为 3 台 X2,200hp；船体尺寸为长 180ft (55m) X 宽 138ft (42.0m)；锚泊为 8 个链径 2 3/4 in，锚重 13.6t。

（3）国外第 3 代钻井平台（船）

由挪威阿克集团于 1974 年建成的“大洋解放者号(Ocean Liberator)”半潜式钻井平台，钻井工作水深为 600ft (183m)，钻井深度为 25,000ft (7,620m)；我国的南海 2 号亦是早先设计的 Aker H-3 型（挪威阿克集团于 1974 年建成，工作水深 302m，钻井深度 7,620m）。

“JW Mclean 号”半潜式钻井平台于 1974 年建成，1992 和 1996 年完成升级改造，钻井工作水深为 1,250ft (381m)，钻井深度为 25,000ft (7,620m)；钻机为 OW E-3000 型 2,000hp，转盘通径 49.5in，泥浆泵为 2 台 OWS 1700PT 型 1,700hp；升级改造的顶驱为 Varco TDS-4S，可变载荷 3,968t；主发动机功率为 4 台 GM 16-645-E8 型，总功率为 8,000hp；船体尺寸为长 210ft (64m) X 宽 140ft (42.7m) 矩型 6 立柱平台；锚泊为 10 个链长 4,000ft \ 链径 3in，锚重 15t。

（4）国外第 4 代钻井平台（船）

“Ocean Quest 号”半潜式钻井平台于 1973 年建成，1996 年完成升级改造。

钻井工作水深为 3,500ft (1,067m), 钻井深度为 25,000ft (7,620m); 钻机为 Eamsco C3 型 3,000hp, 顶驱为 Varco TDS-4S, 泥浆泵为 3 台 Na't12-P-160 型 1,600hp; 可变载荷 5,000t; 主发动机功率为 5 台 Cat3516 型, 1,815hp, 总功率为 9,000hp; 船体尺寸为长 320ftX 宽 320ft 宽十字型 8 立柱平台; 锚泊为 4 台双滚筒锚绞车, 链长 3,000ft\链径 3.25in, 锚缆长 8,600ft, 缆径 3.5in。

“Jack Baqtes 号”半潜式钻井平台于 1986 年建成, 1996 年完成升级改造。钻井工作水深为 4,000ft (1,219m), 钻井深度为 30,000ft (9,144m); 钻机为 Eamsco C3 型 3,000hp, 顶驱为 Varco TDS-4H; 泥浆泵为 3 台 Oilwell A1700PT 型 1,700hp/台; 可变载荷 6,016t; 主发动机为 2 台 Wartsila 12V32+2 台 Wartsila 8R32 和 1 台 Wartsila 4R32D; 船体尺寸为长 370ft (64m)X 宽 255ft (42.7m) 矩型 4 立柱平台; 为 8 点锚泊系统, 缆长 10,000ft\缆径 95mm 和链长 3,000ft\链径 90mm, 锚重 15t。

(5) 国外第 5 代钻井平台 (船)

2003 年建成的《全球圣塔菲(GlobalSantaFe, 简称 GSF)开发钻井者 1 号(GSF Development Driller 1)》和全球圣塔菲(GlobalSantaFe, 简称 GSF)开发钻井者 2 号(GSF Development Driller 2)》半潜式钻井平台。长 68.28m×宽 68.28m×型深 36m; 可变载荷 7,000mt; 工作水深 2,286m, 可加深至 3,048m; 钻深 11,430m (37,500ft); 钻机功率 7,000hp; 该两同型号平台均由新加坡 Jurong 船厂建造。

“发现者企业号 (Discoverer Enterprise)”钻井船于 1999 年建成, 为第 5 代钻井船。钻井工作水深为 10,000ft (3,048m), 钻井深度为 35,000ft (10,668m); 钻机为双套 Eamsco EH V 型 5000hp, 泥浆泵为 4 台 Nat'l 14-P-220 型 7,500psi 2,200hp, 顶驱为 Varco TDS-8s, 650t; 可变载荷 20,000t; 主发动机为 4 台 Wartsila 18V32 LNE 9,772hp+2 台 Wartsila 12V32 LNE 6,515hp, 共 6 台 6,700KVA 11,000V 发电机组, 总功率 52,000hp-40,200KVA; 船体尺寸为长 835ft (254.5m)X 型宽 125ft (38.1m)X 型深 62ft (18.9m); 动力定位为 DP903 DP 系统; 工作海区为墨西哥湾。与“发现者企业号 (Discoverer Enterprise)”钻井船同型号和同参数的还有“发现者深海号 (Discoverer Deep Seas)”钻井船 (2001 年建成) 和“发现者先锋号 (Discoverer Sprit)”钻井船 (2001 年建成), 以上 3 艘均由西班牙 Astano 船厂建造 (世界石油杂志 (World Oil) 2003 年 12 期报道, Transocean

Co.推荐资料)。

2.3 对国外第 6 代钻井平台（船）及钻井设备的浅见

目前，关于世界第 6 代半潜式钻井平台和钻井船（以下简称钻井平台（船））已有一些零星报道。随着岁月推移与技术进步，出现第 6 代钻井平台（船）是顺理成章之事。据笔者之见，第 6 代钻井平台（船）有如下有别于第 5 代钻井平台（船）的主要点如下：

- （1）第 6 代钻井平台（船）出现时间在 2000 年甚至 2003 年及其以后。
- （2）第 6 代钻井平台（船）钻井工作水深大都在 10,000ft (3,048m) ~ 12,500ft (3,810m) 乃至更深。
- （3）钻井深度 $\geq 35,000\text{ft}$ (10,668m) ~ 40,000ft (12,200m) 乃至更深；钻机为双套，钻机主绞车功率 $\geq 5000\text{hp}$ ~ 7200hp 乃至更大。
- （4）半潜式钻井平台大多为正方形或矩形，立柱多为 4-6 立柱、矩形截面、无斜撑、少节点。
- （5）钻机、顶驱和泥浆泵的驱动方式多为交流变频驱动或静液驱动。
- （6）立管多为竖直排列并有专供立管吊运的吊机（行车）。
- （7）动力定位系统多为 DP3 或更高级。

3、第 5~6 代钻井平台（船）上的超深井钻井设备及其主要技术特点

3.1 第五、第六代钻井平台(船)配备超深井钻井设备举例

新发展的第五、第六代半潜式平台配备超深井钻井设备具有代表性的是：

（1）2006 年由 Noble Corporation 公司拥有的“Noble Danny Adkins”号半潜式平台，设计者_类级：Bingo 9000，由中国大连船厂建造（已完成船体建造），并计划于 2009 年完成改造，改造后的主要参数：工作水深：12,000 ft(3,656m)；钻井深度：37,000 ft(11,278m)。

（2）业主：PetroMena AS；钻井平台名称：“石油钻井装置 1 号(PETRORIG I)”；设计者_类级：F&G ExD / class ABS + A1 + CDS + DPS-2；计划于 2009 年完成建造交货。主要参数：工作水深：10,000 ft(3,048m)；钻井深度：40,000 ft(12,200m)。

（3）地处我国江苏南通、由中国与韩国合资的江苏韩通船舶重工有限公司（世界石油杂志 2006 年 12 期报道为中国 Hantong 船厂）承担建造、舍凡钻井公

司(Sevan Drilling)拥有的“舍凡钻工(Sevan Driller)”号半潜式平台,工作水深达当前创纪录的 12,500ft(3,810m);中部具有双井架的、钻深能力亦达当前创纪录的 40,000ft(12,200m)超深井钻机;其船体为特殊的园形结构,具有可储存原油 150,000bbl(23.85 万 m³)的能力,故实际上成为半潜式 FPSO;是世界第一艘 SSP (即舍凡稳定性(减摇)钻井平台,英文为 Sevan Stabilized platform drilling unit),由巴西国家石油公司美洲公司与舍凡钻井公司签订了 6 年的钻井合同、用于墨西哥湾的钻井采油,计划于 2009 年第一季度建成投产。

新发展的第五、第六代钻井浮船具有代表性的是:

(1) 由西班牙奥斯坦诺(Astano)船厂于 2000 年建成的“发现者精神号(Discoverer Spirit)”钻井浮船及其姊妹船“发现者企业号(Discoverer Enterprise)”和“发现者深海号(Discoverer Deep Seas)”均是双井架、双套钻机的巨型钻井船,每艘船上均配有双套 Emsco EH V 5,000Hp 的钻机,钻深能力均为 10,668m(35,000ft);其工作水深分别为 2,590m(8,500ft)和 2,438m(8,000ft),但均可改装加深至 3,048m(10,000ft)。

(2) .由韩国三星船厂于 2000 年 3 月建成的“Belford Dolphin”号(“海军勘探者 1 号(Navis Explorer 1)”),工作水深 3,048m,钻深 11,278m;钻机主绞车功率为 Hitec 6,600hp。

(3) “GLOMAR CR.LUIGS 号”钻井浮船。其工作水深,为 3,658m (12,000ft, 原为 9,000ft, 为北爱尔兰 Harland & Wolff 船厂于 1999 年建造),钻深能力为 10,668m(35,000ft)。

3.2 国外第五、第六代钻井平台(船)配备超深井钻井设备的主要厂商

(1) 美国国民油井瓦科公司(National OilWell Varco)

美国国民油井瓦科公司是目前世界上最大的石油钻机成套设备制造商,她最早创建的美国国民供应公司(National Supply Co.)制造钻机成套设备已逾 80 年历史,10 年前,在美国国民公司的基础上,先与美国油井公司合并称为美国国民-油井公司,随后包揽了美国大陆-艾姆斯科公司,美国瓦科公司近年也加入美国国民油井公司集团。但这些世界上著名的石油钻机成套设备制造商仍然生产各具特色的石油钻机成套设备。兹分别简述如下:

①美国国民供应公司

美国国民供应公司生产适于 UDW 和 UDD 的绞车功率分别为: 3,000、4,000、

5,000 (Nat'l 2040 型 5,000Hp)、7,200 hp; 生产适于 UDW 和 UDD 的顶部驱动系统(TDS)的有 PS2-1000、HPS 1000 2E AC 2S、PS-2-1250 及 PS-500A (辅)等; 生产适于 UDW 和 UDD 的三缸泥浆泵产品主要有: 12—P—160 (1,600HP)、14—P—220 (2,200HP)。

②美国大陆-艾姆斯科公司(Continental-Emsco)

美国大陆-艾姆斯科公司生产适于 UDW 和 UDD 的绞车功率分别为: 3,000、4,000、5,000 hp (Emsco EH V 型); 生产适于 UDW 和 UDD 的三缸泥浆泵产品主要有: FB—1600 (1,300HP 和 1,600HP) 和 FC—2200 (2,200HP)。

③美国瓦科公司(Varco)

美国瓦科公司近年也加入美国国民油井瓦科公司集团, 该公司生产适于 UDW 和 UDD 的绞车功率 3,000、4,500 和 6000hp; 生产适于 UDW 和 UDD 的顶部驱动系统 (TDS) 的有 TDS-8SA、750 t, TDS-4S 和 TDS-6S 等。

(2) 美国埃里斯-威廉姆斯工程公司(Ellis Williams Engineering Co.)公司

美国埃里斯-威廉姆斯工程公司(Ellis Williams Engineering Co.)生产的 E-2200 和 EH-2200 型两种 2200hp 三缸单作用泥浆泵均是轻重量长寿命泥浆泵, 轴承平均的使用寿命 $\geq 100,000$ hr。

(3) 德国威尔士公司

德国威尔士公司生产适于 UDW 和 UDD 的钻机绞车功率有 3,000、3,750、4,500、5000 和 6000hp。泥浆泵其液力端的工作压力均达到 51.7Mpa (7,500 psi) —69Mpa (10,000psi), 驱动功率为 2,200-3,000hp。

(4) 挪威海事液压公司 (Maritime Hydraulic)

挪威海事液压公司 (简称 MH) 生产适于 UDW 和 UDD 的钻机是无绞车液压升降钻机(又称 Ram 钻机); 生产适于 UDW 和 UDD 的顶部驱动系统 (TDS) 的有 DDM-650, 650t、MH DDM-1000-AC-2M (1,150 hp x 2 个交流马达) 等。

(5) 美国 Cameron、Hydril、Shaffer 公司和 Vetco\Drilquip 公司

美国 Cameron、Hydril 和 Shaffer 公司生产适于 UDW 和 UDD 的主要是石油钻井防喷器(以下简称 BOP)组及其控制系统。用于浮动式钻井的水下 BOP 组通径 18.75in, 封井压力 69Mpa(10,000PSI)、103.5Mpa(15,000PSI); Hydril 公司已有

138Mpa(20,000psi)的双联闸板和三联闸板 BOP(含全封剪切闸板 BOP、可切断 13 3/8in 以下的套管和 6-5/8in、S-135 钻杆,操作压力超过 2,700psi);单或双联、通径 18.75in,封井压力 34.5Mpa(5,000PSI)、69Mpa(10,000PSI)环形(万能)BOP 以及相应的联结器及套管头(井口头)组、隔水管(立管)系统;

美国 Cameron、Hydril 和 Shaffer 公司还生产适于 UDW 和 UDD 浮动式钻井的钻井水下设备控制系统及水面钻柱运动补偿器及张紧器系统。

Vetco、Drilquip 公司主要生产各型相应的联结器及套管头(井口头)组。

3.3 国外第五、第六代钻井平台(船)配备超深井钻井设备的主要技术特点

(1) 钻井设备的动力源为长寿命、少维修、低排放(电脑控制的电喷技术)的大功率柴油发电机组;

(2) 钻井设备(含钻机绞车、转盘、TDS 和泥浆泵等)采用大功率(钻机绞车驱动功率一般 $\geq 3,000\text{hp}$ ~7,200hp;单台泥浆泵驱动功率一般 $\geq 2,200\text{hp}$;TDS 功率一般 $\geq 1,000\text{hp}$)、数控变频驱动技术;而静液驱动由于驱动马达尺寸小、重量轻、旋转惯性力小、恒功率调速范围大、便于安全控制负荷等一系列优点,也是采用和发展的重点。

(3) 钻井设备(含钻机绞车、转盘、TDS 和泥浆泵等)采用双套装备,便于采用梯度钻井工艺技术以明显节约钻井施工时间。

(4) 浮动式钻井的水下钻井设备配备了五高性能:

①高抗弯能力的联结器和套管头:为适应超深水钻井,.防喷器组下联结器和套管头均采用了高抗弯能力的设计,如维高(Vetco)公司 18-3/4 in ExF H4 型联结器的抗弯载荷:3.1 百万 ft-lbs;卡姆伦(Cameron)生产的卡爪式连接器在 10,000psi 工作压力和 2,000 千磅拉力下的弯矩(ft-lb)为 10.3 百万 ft-lbs。

②高强度和耐压浮力块的隔水管:为适应超深水钻井,相应研制了高强度和耐压浮力块的隔水管。

③高张紧力的隔水管张紧器;如 Shaffer 的双缸型隔水管张紧器张紧力达 250 千磅(补偿行程 66ft)。

④高可靠度的 BOP 组第 4 代数字编码控制系统。

⑤高可靠度 ROV。配合海底 BOP 控制,发展了适应海底用 ROV 控制(配合海底蓄能器)的控制系统等。

(5) 浮动式钻井的水面钻柱运动补偿器系统采用游车型或天车型大补偿能

力(600,000 lbs(2,670kN)~1,000,000 lbs(4,450 kN))和长补偿行程(20ft (6.1m)~25 ft(7.62m))。

(6) 浮动式钻井的立管采用专用立式(或卧式)储存的起重、运送和排放系统。

4、对发展我国超深水钻井平台(船)及超深井钻井设备的建议

4.1 我国对发展超深水钻井平台(船)及超深井钻井设备已有良好起步,但要保持和发展这一良好势头

目前我国正在设计、建造的超深水钻井平台(船)主要有:

我国正由 708 所与上海外高桥造船厂设计、建造 3000m 工作水深的半潜式钻井平台;

中国船舶重工集团公司大连造船新厂建造了 BG9000 型 4 艘超深水半潜式钻井平台;

由中国与韩国合资的江苏韩通船舶重工有限公司承担建造、舍凡钻井公司(Sevan Drilling)拥有的“舍凡钻井(Sevan Driller)”号半潜式平台,工作水深达当前创纪录的 12,500ft(3,810m);中部具有双井架的、钻深能力亦达当前创纪录的 40,000ft(12,200m)超深井钻机;是世界第一艘 SSP(即舍凡稳定性(减摇)钻井平台;

由上海船厂与美国 Frontter 公司签订于 2007 年 3 季末以后开始建造 4~5 万吨动力定位深水钻井船。

以上均是我国跨入超深水钻井平台建造的重要标志,希望继续保持和发展这一良好势头,切勿再导 30 年前自行设计、建造勘探 3 号后停滞约 30 年不再自行设计、建造浮式钻井平台(船)的覆辙。因为有了超深水钻井平台(船)的不断建造,才有船上配置超深井钻机的不断需求。而我国宝鸡石油机械有限责任公司自行设计、制造用于当今世界顶级深井的 ZJ120/9000DB 型 12,000m 超深井钻机也于 2007 年末成功下线(名义钻深范围 9,000~12,000m;最大钩载:9,000kn;绞车最大输入功率:6,000hp);还生产了用于 12,000m 超深井钻机配套的 F-2200HL 泥浆泵(最大功率为 2,200hp,最高工作压力为 52Mpa,最大排量为每秒 77.65 升),这些设备经相应改装后均可用于海上超深水、超深井钻井。这都是值得可喜可贺的良好起步,希望继续保持和发展这一良好势头。

继续保持和发展这一良好势头的重要举措是瞄准国内特别是国际市场,积极

参与国际市场竞争,在投标竞争超深水钻井平台(船)的同时,要将配套国内生产的在钻井平台(船)配套通用设备和浮式钻井专用设备一并考虑进去。

4.2 在钻井平台(船)的设计、建造方面要赶超韩国

我国在设计建造 $\geq 3,000\text{m}$ 工作水深的半潜式钻井平台和钻井浮船方面与韩国存在着差距,而韩国在承担建造 $\geq 3,000\text{m}$ 工作水深的钻井平台(船)方面的数量和水平居世界之首。故与韩国存在的差距在某种意义上即是与世界先进水平的差距。主要表现在:

(1) 在承担国外建造 $\geq 3,000\text{m}$ 工作水深的半潜式钻井平台和钻井浮船的数量、水平方面(如动力定位钻井浮船):

(2) 在承担国外建造的专业技术队伍、科研设计力量、技术后方雄厚实力方面;

(3) 在承担国外建造的生产组织、质保制度、建造施工效率方面;

(4) 在设计建造与施工动力定位系统方面。

我们要迎头赶上,即起直追。相信用五年左右的时间,缩小上述差距,在数量、水平方面,力争超过韩国而成为世界之冠;并向自主研究设计方面,与美国并驾齐驱。

4.3 在钻井平台配备装备方面要自主设计制造赶上甚至超过当代技术水平的专业技术装备

我国在建造平台、船体吨位总量方面目前仅次于韩国而居世界第2位,但在自行设计建造用于平台、船上的主机、特别是浮式钻井专用设备方面几乎还是空白,需要花巨资向美国等国购买这些专业设备。据不完全统计,单纯建造平台、船体结构及舾装方面的费用仅占整个平台(船)总造价的15~30%,其余70~85%的费用则是平台(船)配套通用和专用设备及其相应的仪表管缆等。对这些通用和专用设备,建议由国内自行开发研制。主要包括:

在钻井平台(船)配套通用设备方面,主要有:

(1) 单机功率 $\geq 1,000\text{kW}$ 、低油耗、良排放(具有电喷装置)、长寿命柴油发电机组;

(1) 功率 $\geq 1,000\text{kW}$ 的交流变频电机控制系统;

(2) 单机功率 $\geq 2,000\text{kW}$ 、低油耗、长寿命柴油消防泵组;

(3) 平台(船)上的动力定位及深水锚泊系统等。

在钻井平台(船)配套浮式钻井专用设备方面,主要有:

- (1) 钻井深度能力为 9,000m 和 12,000m 的海洋石油变频电驱动钻机及单机功率 $\geq 2,200\text{hp}$ 的钻井泥浆泵;
- (2) 适应钻井深度能力为 9,000m 和 12,000m 的变频电驱动或静液驱动顶部驱动装置 (TDS);
- (3) 通径为 18.75in、压力为 69Mpa(10,000psi)和 103.5Mpa(15,000psi)的防喷器组(包括环形 BOP 和双联或三联闸板 BOP 及相应的联结器);
- (4) 上部适应 18.75in 联结器、压力为 69Mpa(10,000psi)和 103.5Mpa(15,000psi)的海底井口头(套管头)系统;
- (5) 隔水管(立管)系统(包括下隔水管组、隔水管本体组件、伸缩隔水管、泥浆出口管)及导流器组件。
- (6) 浮式钻井专用设备的控制系统(包括常规水深的电-气-液-液控制系统、深水常规浮式钻井专用设备的多路传输控制系统和深水水面 BOP 控制系统三种。而深水常规浮式钻井专用设备的多路传输控制系统还包括一套声学应急安全防护系统);
- (7) 额定补偿能力为 600 千磅 (2,670kN) 和 800 千磅 (3,560kN)、偿器行程为 15ft(4.6m)、20ft(6.1m)、25ft(7.6m)钻柱运动补偿器系统;
- (8)额定张紧能力为 14 千磅(62.3kN)、16 千磅(71.2kN)和 60 千磅(267kN)、80 千磅 (356kN)、120 千磅 (534.1kN), 偿器行程为 40ft(12.2m)、50ft(15.2m) 和 66ft(20.1m)的导向绳和隔水管(立管)张紧器系统。

主要参考文献:

- 1、《World Oil》2000 年 12 期。
- 2、Transocean Co.推荐资料。
- 3、《World Oil》2003 年 12 期。
- 3、《World Oil》2006 年 12 期光盘资料。
- 4、《World Oil》2007 年 5 月号、10 月号。
- 5、《中国海洋平台》2006 年第 3 期:“2000—2005 年国外深水和超深水钻井采油平台简况与思考(廖谟圣)”。
- 6、《石油矿场机械》2007 年第 9 期:“世界石油设备发展的新特点及机遇与挑战(廖谟圣)”。
- 7、《海洋石油开发》(廖谟圣执笔)中国石化出版社 2006 年 3 月出版。