

文章编号: 1001- 4500(2003)05- 0001- 05

国外超深水钻采平台的发展给我们的启迪

廖谟圣

中图分类号: P74

文献标识码: D

地球表面积约为 5.11 亿 km^2 , 海洋占了 70.9%, 占了我们人类生活和活动面积与空间的三分之二以上。海洋平均深度为 3730m, 海深 3000~ 6000m 占海洋总面积的 73.83%, 而大陆架水深为 0~ 200m, 仅占海洋总面积的 7.49%。不难看出, 向深海要石油, 即向深水域发展海洋石油钻井采油装备, 是今后较长时间发展的必然趋势。由于固定式采油平台工作水深超过 100m 之后, 造价越来越昂贵, 其允许经济极限工作水深大约小于 450m。发展移动式、特别是浮式钻井采油平台显得特别必要; 加上某些边际油田的开发, 需要发展移动式采油平台, 以节省建造昂贵的固定式采油平台的投资, 使之能重复使用, 从而解决了开采边际油田的经济性与可行性, 这也是世界上移动式采油平台能得到迅速发展的重要原因之一。

据 2002 年在巴西召开的世界石油大会报导, 油气勘探开发通常按水深加以区别: 水深 400m 以内为常规水深, 400~ 1500m 水深为深水, 超过 1500m 为超深水。

仅在 2001 年, 在超过 1000m 水深的海域的探井数就多达 130 口; 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作业的公司主要有 BP、Shell、Exxon-Mobil、ChevronTexaco、Petrobras 等几家比较大的石油公司。

近年来, 各大石油公司在深海领域的投资有不断增加的趋势。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 年的投资将会超过 150 亿美元。

可见, 向海洋和深海要油气, 发展新一代的移动式钻采平台, 是世界油气工业发展必不可少的重要一环。

1 当前海洋石油钻井、采油的部分世界纪录

(1) 海洋石油(含天然气, 下同)钻井工作水深达 2964m。2001 年 10 月 28 日, 美国联合油用越洋《Sedco Forex Discoverer》号浮船在墨西哥湾的 Alaminos Canyon 903 区块二号井, 创水深达 2964.8m (9727ft) 之世界纪录(2001 年 5 月, 该船在同一区块的一号井创水深达 2955m 的世界纪录, 破了 2000 年在该海湾由 BHP 公司创水深 2695m 的世界纪录)。

(2) 据美国《E&P》杂志 2003 年 3 月号报导: 2001- 2002 年先后创造了多项海洋钻井深度纪录。

1) 2001 年 12 月 12 日, 美国马拉松(Marathon)石油公司用 Noble 的钻井装置在花园礁(Garden Banks) 515 区块, 创造了垂深为 8087m (26532ft) 的钻深纪录;

2) 2002 年 1 月 19 日, 马拉松石油公司用全球圣塔菲(Global Santa Fe)的钻井装置在步行者山脊(Walker Ridge)的 30 号区块, 创造了斜深为 8547m (28034ft) 的钻深纪录;

3) 2002 年 4 月 4 日, 美国雪夫隆(Chevron)用《Transocean Sedco Forex》的钻井装置在绿色峡谷(Green Canyon) 640 号区块创造了垂深为 8659m (28411ft) 的钻深纪录;

4) 2002 年 6 月 4 日, 勘探和开发主权公司(Dominion E&P)用全球海洋(Global Marine)的钻井装

收稿日期: 2003-07-14

作者简介: 廖谟圣(1935-), 男, 中国石油和石化工程研究海洋石油和石化工程专业委员会成员。



置,在密西西比海沟(Mississippi Canyon)773 号区块创造了垂深为 8512m (27929ft)的钻深纪录;

5) 2002 年 7 月 16 日,壳牌近海(Shell Offshore)公司用《Hemerich & Payne》的钻井装置在密西西比海沟 809 区块的 A-10 号井,完成钻井深达 8809m (28901ft)的钻深纪录;

6) 2002 年 12 月 7 日,BHP 公司用全球圣塔菲公司的钻井装置在绿色峡谷 610 号区块,创造了钻深为 8332m (27377ft)的纪录。

又据《世界石油(World Oil)》杂志 2003 年 2 月号报导:2002 年,美国雪夫隆(Chevron)在绿色峡谷(Green Canyon)640 号区块打破了其创造的纪录,钻井垂深达 9210m (30217ft)。此深度可视为当前钻井最深世界纪录。

(3) 海洋采油井最深记录达 7088.73m (23257ft),是于 2001 年,壳牌近海(Shell Offshore)石油公司在外陆架(OCS)-G11553 的花园礁(Garden Banks)602 区块的 A-4 井创造的记录(《世界石油(World Oil)》杂志 2003 年 2 月号)。

(4) 海底采油水深世界记录。2002 年秋季,马拉松(Marathon)石油公司在美国新奥尔兰(New Orleans)东南 225km (140m ile)海域的 348 区块,水深为 2196m (7200ft),成功进行了海底完井作业。

据 2002 年 12 月世界石油杂志的最新报导:巴西石油公司在巴西近海的坎婆斯(Campos)盆地,采用哈里波顿(Halliburton)公司的 SeaLink 海底-水面电液系统,在水深为 2741m (8993ft)处,完成了深水钻杆测试(DST),为深水采油创造了良好条件。

2 世界海洋深水钻井平台(船)的发展近况

2.1 深水半潜式钻井平台

2.1.1 深水半潜式钻井平台的新发展简述

1996 年,在全世界拥有半潜式钻井平台 132 艘,1997 年增至 147 艘,1998 年再增至 165 艘,2000 年增至 170 艘,2002 年末为 175 艘。

据 2002 年末统计,全世界现有和正建造的 175 艘平台中,有 31 艘工作水深在 1829m (6000ft)及以上,其中 2286m (7500ft)及以上的有 16 艘(含 10000ft 2 艘),最深工作水深为《Deepwater Horizon》和《Eirik Raude》(Bingo 9000 系列)其工作水深均为 3048m (10000ft)。

2.1.2 当前世界上较典型的深水、大型、先进的半潜式钻井平台

(1) 友人与金人(Friede & Goldman) EXD 设计的第五代半潜平台开发钻井者 1 号《Development Driller 1(原名 Rig 184)》和开发钻井者 2 号《Development Driller 2(原名 Rig 185)》,计划 2003 年建成。工作水深 2286m (7500ft),钻深能力 11430(37500ft),可变载荷 7000t,生活模块可住 152 人,钻机主绞车为交流变频 7000HP。

(2) 《卡江快捷号(Cajun Express)》半潜平台。工作水深 2591m (8500ft),钻深能力 10668m (35000ft),工作水深可升级改造至 3048m (10000ft)。该平台与《赛德柯快捷号(Sedco Express)》《赛德柯能源号(Sedco Energy)》系采用同一设计(即 Sedco Express 2000),后两者在法国建造,除工作水深为 1829m (6000ft)、可升级改造至 2286m (7500ft)外,其余参数均与在新加坡建造的《卡江快捷号》相同。

该三艘平台钻机主绞车功率均为 Hitec AHD 6400HP,各装有四台推进器,每台 7MW,航速可达 12kn,工作海区分别为墨西哥湾、巴西和尼日利亚海域,均于 2000 年建成。

(3) 《深水地平线号(Deepwater Horizon)》半潜平台。工作水深 3048m (10000ft),钻深能力 9144m (30000ft),可变载荷 8200t,生活模块可住 152 人,钻机主绞车为 6600HP,防喷器组(BOP)为 18 $\frac{3}{4}$ in、压力 15000psi,顶部驱动系统(TDS)为 Varco TDS-8s AC,动力定位系统为 8 \times 5000kW 平推进器,DP-3 级,6 \times 7000kW AC 发电机组。

(4) 《NOBLE CLYDE BOUDREAU X》号半潜平台。工作水深 3048m (10000ft),钻深能力 10670m (35000ft),可变载荷 7000t,生活模块可住 150 人,钻机主绞车为 4000HP,转盘通径 60 $\frac{1}{2}$ in,泥浆泵为 4

×2200HP, BOP 待定, 工作海区为世界范围内。将于 2004 年一季度完工。

2.1.3 第五、第六代半潜式平台新发展的主要特点

(1) 采用优良的设计, 其可变载荷与总排水量的比值将超过 0.2 以上(过去, DSS20 型半潜平台可变载荷与总排水量的比值为 0.175), 总排水量与自重的比值将超过 4.0(目前, PETROBAS XVIII 平台的总排水量与平台自重比值为 3.6)。

(2) 平台主结构采用甚高强度钢。通常大多数海上工程项目用钢的屈服强度(σ_s)为 250~350MPa(相当 36250~50750PSI), 目前, 甚高强度钢($\sigma_s=700$ MPa)已用于制作平台的重要结构等, 甚至使用 $\sigma_s=827$ MPa(×120 钢级=120000PSI)的钢材。

现代高强度钢($\sigma_s=420\sim550$ MPa, 相当 ×60 和 ×80)的主要特点是:

相对低的含碳量, 以改善其韧性和可焊性; 通过添加钒、铌、铝等微量合金和使晶粒变细的热处理, 提高其强度与韧性; 使用诸如锰、硅、镍、铬和铜等较大比例合金成份和进行固溶强化处理以增加钢材的强度; 大大减少硫磷含量及控制其晶粒形态和密度的均质性能, 消除诸如层状裂纹等焊接缺陷。

综上所述, 这种钢的综合特点是: 强度高、韧性好、可焊性好, 以致目前达 40mm 厚的 $\sigma_s=500$ MPa 钢板仍具有良好的焊接性能。

(3) 大的甲板可变载荷(甲板可变载荷达 10 万 t 及以上)和大的平台主尺度及大的钻井物资(水泥粉、粘土粉、重晶石粉、钻井泥浆、钻井水、饮用水和燃油等)储存能力。

(4) 少节点、无斜撑的简单外形结构以减少建造费用。

(5) 良好的船体安全性和抗风暴能力及长的自持能力, 以适应全球远海、超深水、全天候和较长期的工作能力。

(6) 更大的工作水深。可预料未来 20 年内将有工作水深达 4000~5000m 的半潜式平台出现。

(7) 装备大功率(绞车功率达 6000~7200HP 及以上)的新一代的先进钻井设备, 装备新一代的动力定位设备和大功率变频发电设备。

2.2 深水钻井浮船

2.2.1 深水钻井浮船的新发展简述

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, 2000 年 79 艘, 2001 年末为 64 艘。但深水钻井浮船的建造仍然强劲。如在 1996~1999 年间共新建造 21 艘钻井船中, 13 艘钻井浮船的工作水深为 2500~3353m (8200~11000ft)。

2.2.2 当前世界上大型、先进的石油钻井浮船

(1) 西班牙奥斯坦诺(Astano)船厂 2000 年建成的《发现者精神号(Discoverer Spirit)》浮船, 是一艘具有双井架、双套钻机的巨型钻井船, 其钻井工作水深为 3048m (10000ft), 钻井深度能力为 10668m (35000ft)。与该船采用越洋企业增强级(Transocean Offshore Enterprise Class Enhanced)同一设计的《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 Emco EH V 5000HP 的钻机, 钻深能力均为 10668m (35000ft), 其工作水深分别为 2590m (8500ft) 和 2438m (8000ft), 但均可改装加深至 3048m (10000ft)。

(2) 由韩国三星船厂于 2000 年 3 月建成的《海军勘探者 1 号(Navis Explorer 1)》钻井浮船, 工作水深 3048m (10000ft), 钻深能力 11000m (36000 ft) 为当今最深者。船的主尺度长 201m (660 ft), 宽 40m (131 ft), 型深 19.5m (64 ft), 可变载荷 15000t, 生活模块可住 130 人, 钻机主绞车功率为 Hitec AHD 6600HP。

(3) 《GLOMAR C. R. LUGS》号钻井浮船, 工作水深是目前最深的一艘船, 为 3658m (12000 ft, 原为 9000 ft), 为北爱尔兰 Harland & Wolff 船厂于 1999 年建造, 钻深能力为 10668m (35000 ft)。

2.2.3 深水钻井浮船发展主要特点

(1) 向更大的工作水深发展。在未来 20 年间, 将突破 4000m 乃至 5000m。

(2) 配备性能更先进、钻井深度能力更强的海洋石油钻机。钻机绞车功率将突破 8000HP, 海洋钻深能力将突破 12000m。

(3) 钻井船性能将更先进, 可变载荷、主尺度、功率配备等都将更大, 自持力、抗风浪能力将更强等。

3 世界上海洋深水采油(生产)装置的发展近况

3.1 移动式海上采油(生产)装置概况

移动式海上生产(采油)装置(Mobile Offshore Production Unit, 简称MOPU)发展的主要类型有四类: 即浮(船)式生产储油卸油系统(Floating production Storage and offload system, 简称FPSO), 半潜式平台生产系统(含张力腿平台生产系统), 自升式平台生产系统及驳船式生产系统(简称BFPSO)。这四类生产系统除其本身主体(浮船式、半潜式、自升式及驳船式结构以及其内的生产分离处理、动力、锚泊、储存等装备)外, 还有海底完井或水面完井系统等。

1998 年, 全世界有MOPU 共 125 艘, 其中浮(船)式FPSO 共 67 艘, 占总数的 53.6%, 半潜式生产平台有 38 艘(含强力腿平台 4 艘), 为总数的 30.4%, 占第二位, 自升式生产平台, 共有 20 艘, 占 16%。2001 年 10 月, 全世界有MOPU 共 145 艘, 较 2000 年增长 1.4%, 较 1998 年增长 16%, 在 2001 年 145 艘中, 船式FPSO 为 86 艘(比 2000 年增加 8 艘, 比 1998 年增加 19 艘), 半潜式 36 艘(比 2000 年减少 3 艘, 比 1998 年减少 2 艘), 自升式 18 艘(比 2000 年减少 3 艘, 比 1998 年减少 2 艘), 驳船式 5 艘(与 2000 年无变化)。

世界上MOPU 工作最多的国家当首数巴西, 共 31 艘, 包括世界上最大的半潜式 18 艘, (其一艘P-36 已于 2000 年失火沉没) 与 13 艘浮船型FPSO, 继续居第二位者为英国, 共 17 艘MOPU (包括 12 艘浮船型FPSO、4 艘半潜式和 1 艘自升式), 挪威仍位居第三, 共 14 艘MOPU (包括 6 艘浮船型FPSO 和 8 艘半潜式), 我国紧居第四, 共 11 艘MOPU (包括 10 艘浮船型FPSO 和 1 艘半潜式), 随后依次为尼日利亚(9 艘), 澳大利亚(7 艘), 越南(5 艘), 印尼(4 艘)和安哥拉(4 艘)。现今MOPU 分布在 30 个国家工作。

3.2 当前世界最大的深水采油(生产)装置

据《World Oil》2001 年 10 月号报道: 当前世界最大的采油驳船“Grasso 1”号(BFPSO), 其载重量高达 343000t, 原油储存能力 $31.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (2000000bbl), 操作水深 1350m (4429ft), 由波依格/斯脱尔特近海公司(Buoygues Offshore/Stolt Offshore)设计, 韩国现代重工建造, 于 2001 年末投入安哥拉近海的 Grasso 1 油田采油。操作者为法国道达尔-菲纳-埃尔夫石油公司(Total Fim Elf)。该油由有 23 口生产井、14 口注水井和 2 口气举生产井。其生产处理能力为: 原油 $31800 \text{ m}^3/\text{d}$ (200000bopd), 天然气 300 百万 m^3/d (106MM cfd), 压缩天然气 8 亿 m^3/d (283MM cfd), 水处理能力 $28.62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ (180000bpd), 注水能力 $62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ (390000bpd)。生活模块可居住 140 人。船体主尺度: 长 300m (984ft), 宽 59.44m (195ft), 型深和吃水尺度不详。具有 16 点锚泊系统。

当前世界最大的浮船式FPSO“A gban i”号, 拟用于尼日利亚近海A gban i 油田采油, 其设计载重量高达 400000t, 原油储存能力 $31.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (2000000bbl), 工作水深 1500m (4920ft), 2001 年末报道正在设计中。设计生产处理能力为: 原油 $31800 \text{ m}^3/\text{d}$ (200000bpd), 天然气 73600 万 m^3/d (260MM cfd), 压缩天然气和注水能力不详, 生产水处理能力 $19.08 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ (120000bpd)。

3.3 深水采油(生产)装置的发展趋势

(1) MOPU 的工作水深继续增加, 2500~ 3000m 水深的FPSO 将很快出现。

(2) 随着海上大型油气田的勘探发现, FPSO 的载重量将突破 40 万 t (向 50 万 t 迈进), 原油储存能力将突破 $32 \times 10^6 \text{ m}^3$ (向 $40 \times 10^6 \text{ m}^3$ 迈进), 相应船的主尺度和载重吨位增加。

(3) MOPU 的原油、生产水的处理能力和注水能力增强。

(4)增加了天然气的处理和转换成压缩天然气或液化天然气的能力。

(5)随着深海海底完井井口、注气与注水井增多,FPSO的多路旋转接头的油、气、水和电的通路增多,使用性能和寿命增强。

(6)MOPU 锚泊能力和动力配置能力增大,动力定位技术等均有新的发展,抗风暴能力增强(适应全天候的生产能力)。

4 国外超深水钻采平台的发展给我们的启迪

我国现有半潜式钻井平台共5艘,包括自行设计建造的《勘探三号》,工作水深仅为200m,其余4艘:《南海2号》《南海5号》《南海6号》和《勘探四号》,均从国外进口,工作水深最深为457m。我国现有MOPU共11艘,紧居世界第四,尚不包括最近(2003年6月22日)从上海外高桥船厂建成的15万吨、具有当代技术水平的FPSO,但其工作水深仅为105m(用于南海番禺油田采油)。据此情况,严格地讲,均为常规水深,没有超过100m的深水平台,更谈不上2500~3000m的超深水平台了。我国在近30年内,没有自行设计和建造超深水平台(除大连船厂根据国外设计建造了工作水深2500m,钻深能力9144m(30000ft)的宾果9000(Bingo 9000)系列共4艘(Bingo 9000-1、Bingo 9000-2、Bingo 9000-3、Bingo 9000-4)半潜式平台的船体建造外)。对比国外深水和超深水钻井和采油平台的快速发展,对于我国这样一个海洋大国,实感自愧。为适应向海深3000~6000m(占海洋总面积的73.83%)的深海要石油,发展深水域海洋石油钻井采油装备,已经成为国际竞争的重要一环。也是今后较长时间发展的必然趋势。因此建议:

(1)加大海洋油气资源的勘探开发力度,向海洋和深海要油气,以减少进口石油和天然气逐年大幅增长的趋势。

(2)研究开发具有自主知识产权的石油和石化技术与装备。主要应研究设计工作水深3000m及以上、钻深能力超过9000m的半潜式钻井平台和相应的FPSO。同时,抓紧研究开发具有自主知识产权的与上述平台配套的石油和石化技术与装备。

(3)大力开拓国外市场。利用我国加入WTO的好时机,大力开拓国外勘探、钻井、采油、油田建设和石油石化工程建设承包等市场(主要指伊朗、伊拉克、卡塔尔、科威特、阿联酋、委内瑞拉、墨西哥、印度尼西亚、马来西亚等),从国外获得更多的油气份额,以减少进口油气所支出的巨额外汇。

(4)组建上海“海洋工程技术装备开发与建造技术中心”显得十分迫切与必要。

参考文献

- [1] 廖谟圣 当今国外石油天然气技术装备的发展趋势[J] 石油矿场机械, 2002, (1).
- [2] 廖谟圣等 石油采钻设备——国内外技术发展水平跟踪与分析[M] 中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会, 1993
- [3] 廖谟圣等 石油采钻设备——第三轮国内外技术发展水平跟踪与分析[M] 中国石油和石化工程设备工业协会钻采机械专业委员会, 2000
- [4] 廖谟圣 海洋油气工业的发展与新一代的移动式钻采平台[J] 中国海洋平台, 2002(1).
- [5] 廖谟圣 展望21世纪前期的世界海洋石油钻采技术与设备[A] 见:面向二十一世纪钻掘工程学术论文集[C] 探矿工程, 1999
- [6] World Oil 2001(10), 2002, 2003(1-3).

重要更正:

2003年第4期第1页《试论建立移动式钻井平台法律体系的必要性》一文,作者简介:潘斌(1980-),男,上海交通大学船舶与海洋工程学院F9801201班学生。特此更正。