

文章编号: 0253-2697(2007)01-0115-04

中国南海深水油气田开发工程模式及平台选型

谢彬^{1,3} 张爱霞² 段梦兰^{3,4}

(1. 中国海洋石油总公司深水工程重点实验室 北京 100027; 2. 大连理工大学船舶工程学院 辽宁大连 116023;

3. 长江大学机械工程学院 湖北荆州 434023; 4. Ocean Engineering Dept, Federal University of Rio de Janeiro, RJ 68501 Brazil)

摘要:介绍了国外深水油气田开发的状况,对国外典型的深海油田开发工程模式进行了对比分析。根据国内海洋工程资源现状、技术与装备状况以及南海的环境条件,提出了适宜中国南海深水油田开发的工程模式。在此基础上,考察了国际上所应用的不同种类的深水钻井及采油平台,分析了各类平台的结构特点及应用状况,提出了中国南海深水油气田平台结构选型的方案,并探讨了我国深水平台技术研究的重点攻关方向。

关键词:中国南海;深水油气开发;工程模式;钻井船;张力腿平台;半潜式平台

中图分类号:TE52

文献标识码:A

Engineering mode and platform selection for deepwater oilfield development in South China Sea

Xie Bin^{1,3} Zhang Aixia² Duan Menglan^{3,4}

(1. CNOOC Key Laboratory for Deepwaters, Beijing 100027, China; 2. School of Naval Architecture

Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China; 3. School of Mechanical Engineering, Yangtze University,

Jingzhou 434023, China; 4. Ocean Engineering Department, Federal University of Rio de Janeiro, RJ 68501, Brazil)

Abstract: The exploration and development of abroad deepwater oilfields were introduced. The most appropriate development mode applicable to deepwater oilfield of the South China Sea was investigated by comparing the current typical engineering modes for deepwater oilfield development in the world according to the actual environmental conditions of the South China Sea, as well as the current and near future technical capability and equipment state of the China National Offshore Oil Corporation. The structures of typical deepwater platforms were analyzed. The selection scheme of deepwater platforms in the South China Sea was suggested. The key technologies for development of deepwater platform in the South China Sea were discussed.

Key words: South China Sea; deepwater oil-gas development; engineering mode; drilling platform; tension leg platform; semi-submersible platform

随着海洋开采范围的日益扩大,深海石油开发已成为石油工业的重要前沿阵地^[1]。20世纪70年代前,世界海洋油气开采平台仅建在低于100 m水深的海域,80年代初水深达到300 m,预计到2010年,海洋石油作业水深将超过3 500 m。同时,陆上及浅海石油资源的日趋枯竭迫切要求发展深海开采技术,深水平台技术已成为石油工业发展的必然趋势^[1-2]。

1 美国和巴西深水油气田开发模式

美国和巴西的深水油气田开发规模和深水技术水平居世界领先地位,并在生产实践中逐步形成了适合本国海域特点的较为成熟的深水油气田开发工程模式。

由于美国对浮式生产储油装置的限制,采出的海上油气只能通过海底管道输送上岸,所以墨西哥湾建立了发达的海底管道和管网,干线和支线纵横交错,为平台外输管线的接入和油气外输创造了便利条件,从而形成了“浮式钻采平台-水下井口/水下生产系统-海底管网”的油气田开发工程模式,简称“美国模式”。

巴西石油公司针对其海域大陆架的特点,通过技术研究和生产实践,形成了“半潜式平台-水下井口/水下生产系统-浮式生产储油卸油装置/浮式储油卸油船(FPSO/FSO)”的油气田开发工程模式,简称“巴西模式”。这种模式充分利用了3种设施的特点,将钻采、生产、储存和外输等多种功能组合起来,基本成为巴西深海石油开发的标准模式。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目“深水油气田开发工程共用技术平台的研究”(2004AA617010)资助。

作者简介:谢彬,男,1962年8月生,1989年毕业于大连理工大学工程力学系,获工学硕士学位,现为中国海洋石油总公司深水工程重点实验室副主任,高级工程师,主要从事海洋工程的结构设计、研究和项目管理工作。E-mail: xiebin@cnooc.com.cn

2 中国南海深水油气田开发工程模式

我国南海的深水海域蕴藏着丰富的油气资源。勘探结果表明,海南岛周围形成了北部湾盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地和珠江口盆地4个储油(气)构造,海南大陆架蕴藏着极其丰富的海洋油气资源,有着广阔的深海油气开发前景。

将“美国模式”和“巴西模式”进行对比可以发现:“美国模式”属于半海半陆式,大多采用干式采油树钻采平台,如深水张力腿式平台(TLP)和深吃水柱筒平台(SPAR)等,采出的油气通过海底管线输送上岸。其优点是可以充分借用浅水干式树钻采平台的实践经验,便于井口设施维护和修理。而“巴西模式”属于全海式,大多采用湿式采油树钻采平台-半潜式平台,利用FPSO进行原油储存和外输。

目前国内海洋油田开发模式主要包括全海式、半海半陆式和混合式。根据目前世界上深水平台技术发展的特点和趋势,结合国内海洋油气工业的实际情况,中国南海的深水油气田开发模式借鉴了美国与巴西的成功经验,即“浮式钻采平台-FPSO-水下井口/水下生产系统”的中国南海深海油田开发工程模式,简称“南海模式”(见图1),并将此组合系统及其单元作为今后

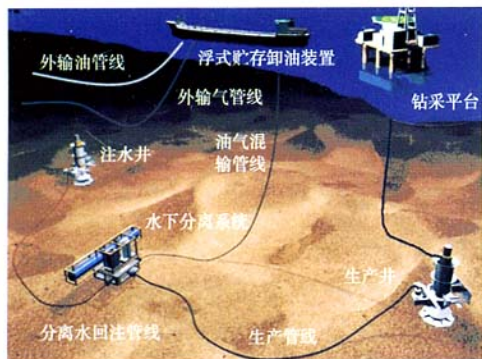


图1 “南海模式”简图

Fig.1 Schematic showing of the engineering mode for South China Sea

研究的重点方向。“南海模式”体现出以下特点:①适应国内海底管网缺乏的现状;②部分借鉴“巴西模式”成功的经验,部分借鉴墨西哥湾的经验,浮式平台型式选择可灵活多样;③充分发挥国内FPSO的资源优势。浮式钻采平台有多种类型,应根据工程实际情况进行充分论证,合理选择。

3 国外典型深水平台的结构型式及特点

3.1 深水半潜式钻井和采油平台

半潜式平台于1960年以后投入使用,一般由上部

甲板结构、立柱、浮筒、系泊系统、悬链式立管(外输/输入)和桩基础/锚构成,其典型的结构如图2所示。其中立柱、浮筒、主甲板之间常常有若干斜撑,用以改善

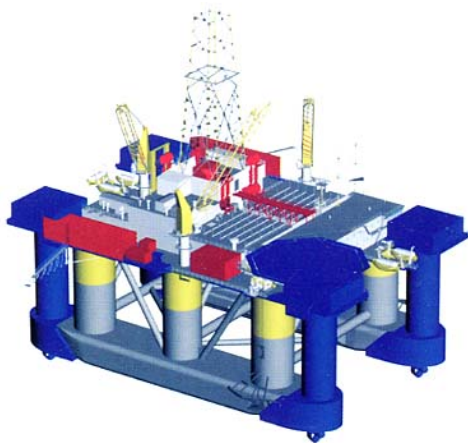


图2 新型半潜式平台

Fig.2 New type semi-submersible platform

主要支撑结构的受力状况。浮筒的作用是保持足够的浮力支撑上部组块、系泊系统和立管等的重量。系泊系统是把浮式平台锚泊在海底的桩基础或锚上,使平台在环境力作用下的运动性能控制在允许的范围,平台的运动也可通过推进装置进行动力定位。

半潜式平台采用扩展式锚泊,不需要特殊转塔锚固系统,半潜式钻井平台可容易地被改造成为采油生产平台,极大地减少了油田的开发成本。相对于FPSO等其他浮式装置,半潜式钻井平台稳定性较好,易于连接钢制悬链式立管,移动灵活,可在超深水使用,作业可靠。半潜式生产平台兼有钻井、修井作业功能和适应多海底井和卫星井采油,工作场地宽阔、工作水深范围广、适应深海钻井及采油等特点。特别是深水多功能半潜式平台,可以在大范围水深下同时具备钻井、修井、生产、生活等多种作业功能。因此,半潜式平台仍是今后海上石油勘探开发最有发展前途的关键装备之一。

3.2 深水钻井船和浮式生产储油卸油装置

3.2.1 深水钻井船

钻井船是移动式钻井装置中机动性最好的一种,它移动灵活,停泊简单,适用水深范围大,特别适于深海水域的钻井作业。钻井船主要由船体和定位设备两部分组成。船体用于安装钻井和航行动力设备,并为工作人员提供工作和生活场所。在钻井船上设有升沉补偿装置、减摇设备、自动动力定位系统等多种措施来保持船体定位。自动动力定位是目前较先进的一种保持定位的方法,它直接采用推进器及时调整船位。

3.2.2 浮式生产储油卸油装置

浮式生产储油卸油装置(FPSO)将集油计量、油气水处理、储油、装卸运输4种功能综合在一个油轮上实现。在一条改装或专门建造的船甲板上安装有油、气、水处理系统、供电设备以及生活设施,浮船多由塔式锚泊系统定位,船上有旋转伸缩接头与输油立管相连接。该装置机动性和运移性好,适于深水采油。在深水域中具有较大的抗风浪能力,并具有大产量的油、气、水生产处理能力和原油储存能力。由于FPSO可以由超级油轮改装而成,而且储油能力大,设备利用率高,输出原油成本低,因而相对于各类生产平台具有建造周期短、投资少、回收早、可以重复使用、利于保护环境、对重量不敏感且操作空间较大以及可安置生产和操作系统设备等优越性。尤为适宜于那些中小油田、边际油田和水深200 m以上海上油田的开发生产。我国目前已经有13艘FPSO投入使用。

3.3 深水张力腿平台

深水张力腿平台(TLP)具有以下特点:①对上部重量十分敏感,造价随水深的增长而增长;②垂向运动受到约束,平台的稳定性好;③可采用干式采油树,操作、维护及维修简单,费用较低,石油开采和钻井过程中各种数据的采集便捷。

目前张力腿平台分为^[3-4]:传统式TLP,海之星TLP,MOSES TLP,伸张式TLP。后3种型式相对于传统式张力腿平台可统称为新型TLP。传统式张力腿平台由4个立柱和4个连接的浮体组成,立柱的水切面较大,自由浮动时的稳定性较好,并通过张力腿固定于海底。海之星只有一个立柱,因而易于建造。这种结构对上部组块的限制较大,自由漂浮时结构稳定性也很差。MOSES张力腿平台结构由下部浮体和4根立柱组成,张力腿连接到浮体上,浮力主要由浮体提供。其主要特点是:动力反应性能好,效率很高;立柱间距的减小可以降低波浪的挤压作用,减小甲板主梁的跨距,从而减轻甲板重量。其缺点是自由漂浮时其稳定性受到一定限制。伸张式张力腿式平台是在传统式张力腿式平台上延长了张力腿支撑结构,使结构的动力性能改善,但自由漂浮时稳定性较差。新型TLP的出现,使得TLP在安装技术及成本等方面有所改善,从而提高了TLP在各种浮式钻采平台中的竞争力。

3.4 深吃水柱筒式平台

随着近海油气工业朝着深水和超深水发展,深吃水柱筒式平台(Spar)已成为最富吸引力的平台之一^[5-6]。1987年,Edward E. Horton在柱形浮筒和张力腿平台概念的基础上提出了一种用于深水的生产平

台,即第一代柱筒式平台。它可用于钻井/修井、采油生产和储油,且非常适合于500~3 000 m水深。自从1996年第一座Spar平台安装以来,Spar技术已经从第一代典型柱筒式(Classic Spar)设计演变到第二代桁架式(Truss Spar)和第三代蜂窝式平台(Cell Spar)。

柱筒式平台由上部组块、柱筒式浮体、系泊缆、顶部浮筒式井口立管、悬链式立管(外输/输入)和桩基础构成。浮体的作用是保持足够的浮力以支撑上部组块、系泊缆和悬链式立管的重量,并通过底部压载使浮心高于平台重心,形成“不倒翁”的浮体性能^[7-10]。系泊缆一般是由锚链、钢缆、锚链构成,其作用是把浮式平台锚泊在海底的桩基础上,使平台在环境力作用下在允许的范围内运动。顶部浮筒式井口立管由自带浮筒支撑。柱筒式平台一般是采油生产平台,目前有13座已投产,2座在建,都在墨西哥湾。

柱筒式平台被广泛应用于水深较大的油田。它的主要特点如下:①可支持水上干式采油树,可直接进行井口作业,便于维修,井口立管可由自成一体的浮筒或顶部液压张力器支撑。②其升沉运动与张力腿式平台相比要大得多,但与半潜式或浮(船)式平台比较仍然很小。平台的重心通常较低,其运动相对减小,特别是转动。③对上部重量的敏感性相对较小。通常上部结构的增加会导致主体部分的增加,但对锚固系统的影响不敏感。④机动性较大。通过调节系泊系统可在一定范围内移动及进行钻井,较容易重新定位。⑤对特别深的水域,其造价比张力腿式平台低。

典型的柱筒式平台长度通常在200 m以上。浮力由上部“硬舱”提供;中部“软舱”起连接整体的作用;下部是固定式压载,主要起到降低重心作用。第二代桁架式Spar的上部浮力系统和下部压载系统与第一代相似,中部“软舱”由桁架取代。这样不仅减少了钢结构重量,同时也减少了水流阻力,对锚固系统的设计提供了帮助。所以桁架式柱筒平台目前已取代了典型的柱筒平台,被广泛使用。近几年的10个柱筒式平台全为桁架式。第三代多筒式柱筒平台是由几个直径较小的筒体组成一个大的浮筒来支撑上部结构,于2004年安装投产(位于墨西哥湾),正被用在Red Hawk项目上,作业水深为1 615 m。

4 中国南海深水油气田平台选型的建议

深海及超深海水域开采面临的是深海水深和高压低温环境及由此带来的船体系统、钻井系统、水下生产系统、系泊系统、海底管线、立管系统及流动保障设施等一系列技术难题。我国南海夏季台风频繁,冬季季

风不断,具有强风大浪环境特征,因此在南海的深水开发工程模式中,应选择适合其海域特点及工程需要的浮式钻采平台。

平台选型还须考虑油藏情况、生产规模、钻井/完井方式、修井方式、采油方式(干式/湿式)、油田水深、原油储藏和外输方式、井口数量、油品性质、海洋环境、工程地质和施工船舶的能力等诸多因素。为了对各种各样的深水浮式平台作出选择,须对各种平台型式的特点、性能和能力进行综合分析及对比。

根据平台类型的各方面性能特点,综合考虑以上因素,对我国南海深水油田浮式钻采平台选型的建议是:①在 1 500 m 以内的深水范围应以常规张力腿平台或半潜式平台作为首选,尽快形成国内自主的综合能力(研究、设计、制造和安装能力),同时进行新型 TLP 平台的自主研发。②在 1 500 m 以上的超深水范围应以半潜式平台作为首选,尽快形成国内自主研究、设计、制造和安装能力的综合能力,同时进行新型 Spar 平台或其他新型深水平台的自主研发。

5 结束语

中国南海深水油气田开发有着广阔的前景,我国应通过制定近、中、远期的发展计划选择适合我国实际情况的工程模式,即浮式钻采平台-FPSO-水下井口/水下生产系统。针对工程模式的系统及其单元进行前瞻性的研究,同时尽快建立国内必要的研究设施和工程装备。为此提出以下建议:

(1) 进行全面系统地研究“南海模式”,选择和确定与之关联的深海设施及其相关技术作为研究和开发的主攻方向。

(2) 以浮式钻采平台综合工程技术研究和开发作为技术发展重点,加强对传统式张力腿平台的研究,启动半潜式平台技术研究,掌握深水浮式平台设计中的应用中的关键技术,形成深水浮式钻采平台综合工程能力。

(3) 对深水条件下 FPSO 的系泊系统、船体结构及总体性能进行试验研究及数值模拟研究,使之可以与浮式钻采平台联合应用于深海环境作业。

(4) 研究水下井口与水下生产系统总体设计及关

键技术以及与浮式钻采平台及 FPSO 联合使用及作业的技术集成系统。

(5) 通过对外合作和技术引进,结合自主研究与设计开发,争取形成新型 TLP 及 Spar 平台的自主知识产权,打破国外的技术垄断。

参 考 文 献

- [1] 谢彬,段梦兰,秦太验. 海洋深水立管的疲劳断裂与可靠性评估研究进展[J]. 石油学报,2004,25(3):95-100.
Xie Bin, Duan Menglan, Qin Taiyan. Advance of research on fatigue fracture and reliability assessment of deepwater risers[J]. Acta Petrolei sinica, 2004, 25(3): 95-100.
- [2] 段梦兰,陈永福,李林斌,等. 海洋平台结构的最新研究进展[J]. 海洋工程,2000,18(1):86-90.
Duan Menglan, Chen Yongfu, Li Linbin, et al. Recent development of offshore platform structures[J]. The Ocean Engineering, 2000, 18(1): 86-90.
- [3] API RP 2T—1997. Recommended practice for planning, designing, and constructing tension leg platforms[S]. 2nd Edition, Houston: [s. n.], 1997.
- [4] Norwegian Technology Standards Institution. NORSOK Standard—1998 Special design provisions for tension leg platforms, design of steel structures[S]. Norway: [s. n.], 1998.
- [5] Halkyard J E. Status of spar platforms for deepwater production systems; Proceedings of the Sixth(1996) International Offshore and Polar Engineering Conference, LA, USA, May 26-31, 1996 [C]. ISOPE, 1996: 262-269.
- [6] Wang J, Berg S, Luo Y H, et al. Structural design of the truss spar—an overview; Proceedings of the Eleventh(2001) International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway, June 17-22, 2001[C]. ISOPE, 2001: 354-361.
- [7] Finn L D, Maher J V, Gupta H. The cell spar and vortex induced vibrations[R]. OTC 15244, 2003: 1-6.
- [8] Gupta H, Finn L, Weaver T. Effects of spar coupled analysis[R]. OTC 12082, 2000: 629-638.
- [9] Colby C. Coupling effects for a deepwater spar[R]. OTC 12083, 2000: 639-645.
- [10] Irani M B, Rouckout T, Johnson R P. Dynamics of a spar platform; Proceedings of the Tenth(2000) International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle, USA, May 28-June 2, 2000[C]. ISOPE, 2000: 261-268.

(收稿日期 2006-05-15 改回日期 2006-06-29 编辑 黄小娟)