

文章编号:1001-4500(2007)02-0001-04

# Spar 平台及其总体设计中的考虑

石红珊,柳存根

(上海交通大学,上海 200030)

**摘 要:**回顾了 spar 平台的发展,对其今后趋势进行展望,并与张力腿平台进行比较,最后提出 Spar 平台总体设计阶段的几点考虑。

**关键词:**Spar 平台;张力腿平台;总体设计

**中图分类号:**P752

**文献标识码:**A

随着陆上石油资源日趋枯竭,海洋石油成为人类重要的能源来源之一,已探明的海洋石油储量 80% 以上在水深 500m 以内,除了少数海域外,大部分地区的近海油气资源已日趋减少,向深海开发油气已成必然趋势,深海平台技术也成为国际海洋工程界的一个热点。许多新型适应深海海洋环境的平台结构不断涌现,如顺应式平台、张力腿平台、浮式生产储油装置、Spar 平台等。Spar 平台由于其灵活性好、建造成本相对较低、运动性能优良,在各种深海采油平台中脱颖而出。

南海海域是世界四大油气聚集地之一,石油可采量约为 100 亿 t,占我国油气资源总量的 1/3,而其中 70% 蕴藏于深水。我国海洋石油目前的开发水深仅仅在 200m 水深范围,深海平台技术与先进国家存在较大差距。目前我国正积极致力于适宜南海环境的深海采油平台结构的研究,由于南海环境与墨西哥环境的相似,以及 Spar 平台在墨西哥湾的成功应用,Spar 平台成为南海深海采油平台首选形式之一。

## 1 Spar 平台的发展回顾及展望

### 1.1 Spar 平台发展回顾

Spar 平台在 1987 年之前被作为浮标、海洋科研站、海上通信中转站、海上装卸和仓储中心等辅助系统使用。1987 年 Edward E. Horton 设计了一种特别适合深水作业环境 Spar 平台,被公认为现代 Spar 生产平台的鼻祖。

1996 年,Kerr-McGee 公司的 Neptune Classic Spar 建成并投产,完成了 Spar 从设计构思向实际生产的转变。随后在 1998 年和 1999 年 Genesis Classic Spar 和 Hoover Classic Spar 相继建成投产。

2001 年,Classic Spar Deep Oil Technology (DOT)公司和 Spar International 经过大量研究工作,提出桁架式 Spar——Truss Spar 的概念,并应用于 Nansen/Boomvang 油田。解决了 Classic Spar 由于其主体尺寸较大、有效载荷能力不高、平台建造成本较大等问题。主要采用开放式桁架结构代替 Classic Spar 中段部分,其间分层设置减少平台波浪运动的垂荡板(heave plate),与 Classic Spar 相比,Truss Spar 的最大优势在于其钢材用量大大降低,从而能有效地控制建造费用,因此得到广泛的应用。

由于 Classic Spar 和 Truss Spar 平台主体体积庞大,对主体建造场地要求较高,使得主体均在欧洲和亚洲造船发达国家制造,然后用特种船舶运输到作业海域进行组装,因此运费昂贵,且安装困难。2004 年 Edward E. Horton 设计了新一代的多柱式 Spar——Cell Spar,并成功应用到 Red Hawk 油田。此种 Spar 的主体由若干小型中空等直径的圆柱体捆绑组成,每个单独圆柱体的体积相对较小,对建造场所要求不高,而且便于多方协同建造,由于单个柱体体积相对较小,便于运输到平台作业海域组装。

综上所述,目前 Spar 平台已经发展了 3 代,共 14 座平台,具体统计见表。

收稿日期:2006-11-30

作者简介:石红珊(1982-),女,硕士研究生,从事船舶与海洋工程方面的研究。

基金项目:上海科委重大科研基金项目(05DJ14001)

表 Spar 平台主要数据统计表

名 称	主体尺度		主体质量 /kN	设计载重 /t	系泊缆		水深 /m	海底 基础	建成时间 /年	类型
	长度/m	直径/m			材料	数量/根				
Neptune	215	22	12906	59930	钢	6	588	桩基	1997	Classic
Genesis	215	37	26703	90000	钢	14	793	桩基	1998	Classic
Hoover	215	37	3500	180000	钢	12	1463	桩基	1999	Classic
Nansen	166	27	12000	87500	钢	9	1120	桩基	2001	Truss
Boomvang	166	27	12000	87500	钢	9	1052	桩基	2002	Truss
Horn Mountain	170	32	14600	86000	钢	9	1646	吸力	2002	Truss
Medusa	168	29	11300	>48900	钢	9	678	吸力	2003	Truss
Devils Tower	179	29	<11300	>48900	钢	9	1710	吸力	2004	Truss
Gunnison	167	30	13797	107700	钢	9	960	吸力	2004	Truss
Holstein	227	45	37000	239900	钢	16	1308	吸力	2004	Truss
Mad Dog	169	39	20000	163290	尼龙	11	1347	吸力	2004	Truss
Front Runner	168	29	>11300	>60000	钢	9	1067	吸力	2004	Truss
Constitution	169	30	14800	107700	钢	9	1512	吸力	2005	Truss
Red Hawk	171	20	7200	15200	尼龙	6	1500	吸力	2004	Cell

1.2 Spar 平台展望

(1)作业水深不断增加 上表显示,第一座 Spar 平台——Neptune Spar 的作业水深只有 588m,此后 Spar 平台的应用水深不断增加,到目前为止,Devils Tower 的应用最深达到 1710m。

(2)形式逐渐多样化 Spar 平台已经发展了 3 代,目前各国正在积极开展适应本国深海油田地理条件和环境条件的新型结构形式的研究。近期,美国 Novellent LLC 公司与上海交通大学海洋工程国家重点实验室合作,对该公司设计的一种 Spar 平台形式——几何形 Spar(Geometric Spar, G-spar)概念进行了模型试验研究。

(3)应用地域不断扩大 近年来,Amoco 石油公司、大不列颠石油联合公司(BP)、Texaco 公司及世界其它石油工业巨头都在积极开展对 Spar 平台技术的研究论证,以期在不久的将来把 Spar 采油平台应用到英国的西舍德兰群岛、挪威的北海油田以及西非的安哥拉沿海和南美巴西沿海。我国的科研工作者正在致力于深海平台的研究,不久在中国南海也将出现类似于 Spar 平台的深海作业平台。

2 Spar 平台结构组成

以 Truss Spar 为例详细介绍 Spar 平台的各个组成部分。

2.1 顶部甲板模块

Spar 平台甲板模块通常由两层至四层矩形甲板结构组成,用来进行钻探、油井维修、产品处理或其它组合作业,井口布置在中部。一般设有油气处理设备、生活区、直升机甲板以及公共设施等,根据作业要求,也可在顶层甲板上安装重型或轻型钻塔以完成平台的钻探、完井和修井作业。

2.2 主体结构

平台主体提供主要浮力,并保证平台作业安全。从上到下主要分为硬舱、中段、软舱(见图)。硬舱是一个大直径的圆柱体结构,中央井贯穿其中,设置固定浮舱和可变压载舱,为平台提供大部分浮力,并对平台浮态进行调整。中段为桁架结构,在桁架结构中设置两至四层垂挡板,增加平台的附加质量和附加阻尼,减少平台在波浪中的运动,提高稳性。软舱主要设置固定压载舱,降低平台重心,同时为 Spar 平台“自行竖立”过程提供扶正力矩。此外,主体外壳上还安装两至三列螺旋侧板结构,减少平台的涡激振动,改善平台在涡流中的性能。

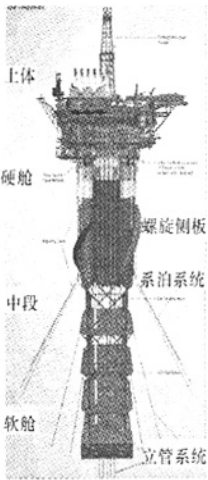


图 Spar 平台组成

## 2.3 立管系统

Spar 的立管系统主要由生产立管、钻探立管、输出立管以及输送管线等部分组成。由于 Spar 的垂荡运动很小,可以支持顶端张紧立管(TTR),每个立管通过自带的浮力罐或甲板上的张紧器提供张力支持。浮力罐从接近水表面一直延伸到水下一定深度,甚至超出硬舱底部。在中心井内部,由弹簧导向承座提供这些浮罐的横向支持。柔性海底管线(包括柔性输出立管),可以附着在 Spar 的硬舱和软舱的外部,也可以通过导向管拉进桁架内部,继而进入到硬舱的中心井中。由于立管系统位于中央井内,因此在主体的屏障作用下不受表面波和海流的影响。

## 2.4 系泊系统

系泊系统采用的是半张紧悬链线系泊系统,下桩点在水平距离上远离平台主体,由多条系泊索组成的缆索系统覆盖了很宽阔的区域。系泊索包括海底桩链,锚链为钢缆或聚酯纤维组成。导缆器安装在平台主体重心附近的外壁上,目的是减少系泊索的动力载荷。起链机是对系泊系统进行操控的重要设备,分为数组,分布在主体顶甲板边缘的各个方向上,锚所承受的上拔载荷由打桩或负压法安装的吸力锚来承担。

# 3 Spar 平台与张力腿平台(TLP)比较

(1)运动特性 Spar 平台的垂荡板使平台的附加质量增大,同时水线面面积相对较小,其垂荡周期在 30s 左右,在常见的海况中仍然有很好的运动性能。TLP 由于张力腿钢筋束的约束作用,其垂荡周期很小,仅 2~3s,基本上没有垂荡运动。

Spar 平台采用半张紧装置使其水平刚度比 TLP 大,位置漂移比 TLP 要小。

Spar 平台纵横摇运动与 TLP 相比较,其固有周期为 50~100s, TLP 由于张力腿提供很大刚度,其纵横摇运动很小,固有周期小于 4s。

(2)稳定性 Spar 平台的重心远远低于浮心,因此,其具有无条件稳定性。由于 Spar 不是从系泊系统获得稳性,即使系泊系统失效,也不会倾覆,因此,其在所有安装阶段都是稳定的。

(3)灵活性 Spar 平台由于采用半张紧悬链线系泊索动态定位,十分便于拖航和安装,可重复使用,适宜边际油田,同时可以通过调节系泊索的长度使平台进行一定范围内的移动,便于重新定位。TLP 是通过张力腿系统锚固定在地基基础上来定位,重新定位困难。

(4)经济性 Spar 平台采用系泊索固定,其造价不会随着水深的增加而急剧提高,而 TLP 在深海领域,由于张力腿系统自重过大以及基础的设计安装难度较大,导致成本增加。如 Horn Mountain Truss Spar 工作水深 1646m,总体造价为 6 亿美元,而 Shell 石油公司在 910m 水深重建成的 Brutus TLP 项目,耗资 7.5 亿美元。由此可见,Spar 平台的价格优势明显。

# 4 Spar 平台总体设计中的几点考虑

## 4.1 顶部甲板模块质量控制及设备布置

顶部甲板模块质量减小相应地会减少主体底部压载量,进而减少平台总排水量、系泊载荷,从而减小主体尺寸、系泊索尺寸及降低平台造价,因此在进行顶部模块设计时应尽量减小顶部模块的质量。甲板上设备的布置要满足安全和工艺流程的前提下,尽量布置紧密,以减小甲板尺寸、平台质量和降低造价。

## 4.2 主体尺寸确定及舱室划分

以 Truss Spar 为例,主体尺寸包括圆柱体直径、硬舱、中段、软舱的高度、垂荡板层数及间距等。主体尺寸确定及舱室划分主要考虑以下因素:①提供足够的浮力;②具备足够的静稳性,即 GM 值;③垂荡板的层数和间距保证平台具有较好的垂荡性能;④具备足够的回复力;⑤具有足够的干舷,减少波浪对甲板的撞击作用;⑥软舱的高度保证平台在扶正过程中具有足够的回复力矩;⑦具有良好的抗沉性;⑧中央井面积。

在总体设计的初始阶段可以参照现有平台的参数进行确定,据统计,主体直径为 20m 左右,长度为 160m 左右,干舷为 15m 左右,硬舱约为总长的一半,设置 2~4 层的垂荡板,其间距为 20m 左右,软舱高度根

据压载量确定。

#### 4.3 立管形式的选择及布置

Spar 平台立管系统设计中的主要问题是中央井内立管的布置形式及其之间的间距,中央井的尺寸由立管的数目决定,立管一般采用  $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、或  $5 \times 5$  的布置形式,立管之间的间隙随工作水深的增大而变大,经统计,一般规律为:水深  $h < 2000\text{ft}$  时,间隙为  $10''$ ;  $h < 4000\text{ft}$  时,间隙为  $12''$ ;  $h < 6000\text{ft}$  时,间隙为  $14''$ 。

#### 4.4 系泊系泊材料的选择及布置

系泊系统设计中涉及到材料的选择和布置两个问题。Spar 平台缆索主要有钢丝绳和聚酯纤维两种。相比较而言,聚酯纤维具有减轻系泊系统重量、提高有效载荷、降低平台造价的优点,但是其成本较高,只有在水深超过  $1500\text{m}$  才具有价格优势。Spar 平台系泊索主要采用群组式布置,一般有  $2 \times 3$ 、 $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$  的形式,其中  $3 \times 3$  形式由于其材料最省、 $120^\circ$  的夹角定位具有很大的空间,可设置多根立管,得到广泛应用。此外也可根据平台实际的作业环境条件,在某些方向上增加或减少系泊索的数目。

### 5 结论

回顾 Spar 平台的发展历程,其在结构上不断地改进和性能不断优化,在深海采油平台领域发展迅速,并向水深更深、形式多样、应用地域更广的方向发展。它与张力腿平台一起被称为深水采油平台的两大主力平台,同时又比张力腿具有较好的稳性、灵活性和经济性。目前,我国正处于寻找适宜南海环境的深海采油平台结构的研究阶段,Spar 平台作为首选平台形式受到各方面的关注,文中总结了在方案设计阶段需要注意的几个问题,希望对今后 Spar 平台研究有参考价值。

#### 参考文献

- [1] 徐琦. Truss Spar 平台简介[A]. 2002 年度海洋工程学术会议论文集[C]. 2002.
- [2] 张帆,杨建民,李润培. Spar 平台的发展趋势及其关键技术[J]. 中国海洋平台, 2005(2): 6—11.
- [3] 张智,董艳秋,芮光六. 一种新型的深海采油平台 Spar[J]. 中国海洋平台. 2004(6).
- [4] R S Glanville, J E Halkyard, R L Davies. Neptune project: Spar history and design considerations[A]. Offshore Technology Conference (OTC—8382) [C], 1997, Houston, Texas.
- [5] Marshall DeLuca. Deep developments taking shape. Offshore Engineer, April 02, 2003[EB/OL]. www.oilonline.com
- [6] Marshall DeLuca. Red Hawk spreads its wings. Offshore Engineer, April 02, 2003[EB/OL]. www.oilonline.com
- [7] J. Wang, Y. H. Luo, R. Lu. Truss Spar Structural Design for West Africa Environment[A]. OMAE2002—28245, Proc of OMAE02, Oslo, Norway.
- [8] L. D. Finn, J. V. Maher, H. Gupta. The Cell Spar and Vortex Induced Vibrations[A]. Offshore Technology Conference, OTC 15244[C], Houston, Texas, 2003.

## THE SPAR PLATFORM AND CONSIDERATIONS IN CONCEPT DESIGN

SHI Hongshan, LIU Cungen

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Spar platform is considered one of the platforms for deep water in the South China Sea. This paper reviews the development of Spar platform, expects its development direction, compares it with the TLP, and summarizes some considerations in concept design.

**Key words:** spar platform, tension leg platform, concept design.