

深海海洋工程装备技术发展现状及趋势

王 颖, 韩 光, 张英香

(中国船舶重工集团公司第七一四研究所, 北京 100192)

摘 要: 深海开发对我国海洋工程的可持续发展具有极为深远的战略意义。介绍了几种主要深海海洋工程装备的发展现状及趋势, 包括深海钻采平台及辅助装备、水下工程装备、深海运载与作业装备、超大型海洋浮式结构物等, 并对国际深海海洋工程装备的整体发展趋势进行了总结与展望。

关键词: 海洋工程装备; 深水平台; 水下系统; 深潜器; 超大型海洋浮式结构物

中图分类号: P751 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-7649(2010)10-0108-06 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2010.10.028

The development of deep water ocean engineering equipments and technology

WANG Ying, HAN Guang, ZHANG Ying-xiang

(The 714 Research Institute of CSIC, Beijing 100192, China)

Abstract: Deep sea exploitation is of strategic significance to sustainable development of ocean engineering in our country. This paper briefly introduces the development of equipments for deep water exploitation. Special attention is paid to deep water drilling and production platforms, subsea systems, deep-sea transportation and operating equipments, and very large floating structures (VLFS). The overall trends of the world ocean engineering equipments and technology are summarized in the end.

Key words: ocean engineering equipments; deep water platform; subsea system; deep sea vehicle; VLFS

0 引 言

近年来,世界经济的高速发展使能源和资源问题日益突出,世界范围内的海洋资源争夺战也有愈演愈烈之势,原油价格的高企催生了海洋油气开发的热潮。因而,世界对海洋装备的需求也不断高涨,全球海洋装备业的前景非常乐观。随着陆地及近海油气资源逐渐减少,为满足强劲增长的能源需求,世界先进国家将油气资源的开发重点投向了深海,深海油气钻采技术及装备已成为国际海洋工程界的研发热点。

海洋工程装备制造已成为为海洋开发及国防建设提供技术装备支持的战略性新兴产业;发展海洋工程装备是国家海洋开发的首要任务与战略重点。当前,世界海洋石油装备技术正向深水、大型化、集约化、智能化、清洁化和水下生产体系发展,我国在海洋工程

技术方面特别是深海装备领域与世界先进国家仍存在一定差距,密切跟踪国际深海海洋工程装备技术的发展现状及趋势是我国大力发展海洋开发事业必须先期进行的工作。

目前,国际上的深海海洋工程装备主要包括以下几类:深海钻采平台及辅助装备、水下工程装备、深海运载与作业装备、超大型海洋浮式结构物等。本文将针对这几类重要海洋工程装备,从主要特征、发展现状、关键技术问题、技术发展趋势等方面进行系统介绍。

1 深海钻采平台及辅助装备技术发展现状与趋势

深海钻采平台及辅助装备是目前深海海洋工程装备的主体,包括各类浮式钻井平台、生产平台、浮式

收稿日期: 2010-07-27; 修回日期: 2010-07-29

作者简介: 王颖(1982-),女,博士,从事海洋工程市场、产业及技术研究。

生产储油卸油船、钻井船、各类海洋工程辅助船等。

1.1 半潜式平台的技术发展趋势

半潜式平台是深水浮式海洋平台中的一种常见类型,由于具有水线面面积小、抗风浪能力强、甲板面积和可变载荷大、钻机能力强及具有多种作业功能等特点,在世界范围内的深海油气开发中得到广泛应用。其结构形式特征为:主体由数个圆形或方形截面的立柱(column)与下部浮箱(pontoon)连接而成,用以支撑上部模块,适用水深范围为 80 ~ 3 000 m^[1]。

半潜式平台的关键技术主要包括总体设计技术、系统集成技术、平台定位技术、总体性能分析技术、结构强度与疲劳寿命分析技术、平台建造技术以及深水模型试验技术等^[2]。

目前,半潜式平台已经发展到第六代。发展的主要特点是:

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。

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 ~ 350 MPa(相当 36 250 ~ 50 750 PSI)。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 σ_s 为 827 MPa 的钢材。

3) 更大的甲板可变载荷(甲板可变载荷达 10 万 t 及以上)、更大的平台主尺度,以及更大的钻井物资(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) 采用节点少、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、抗风暴能力及较长的自持能力,以适应全球远海、超深水、全天候和长时间的作业需求。

6) 更大的工作水深。预计未来 20 年内将有工作水深达 4 000 ~ 5 000 m 的半潜式平台出现。

7) 装备大功率(绞车功率达 6 000 ~ 7 200 HP 及以上)的新一代先进钻井设备,装备新一代的动力定位设备和大功率变频发电设备。

目前,我国自行建造的第六代 3 000 m 深水半潜式钻井平台“海洋石油 981”已顺利出坞。该钻井平台代表了当今世界海洋石油钻井平台技术的最高水准,具有勘探、钻井、完井与修井作业等功能,填补了中国海底油气勘探和深水装备领域的空白,计划于

2011 年投入使用。

1.2 张力腿平台技术发展趋势

张力腿平台(Tension leg platform, TLP)是在半潜式平台的基础上发展起来的一种深水顺应式平台。它的浮体结构与半潜式平台类似,每个柱形浮体下由数根张紧索固定于海底,通过收紧张紧索,使浮体的吃水比静平衡浮态时大,导致浮力大于重力,剩余浮力由张紧索的张力予以平衡,其垂向运动在张力腿的作用下得到了很大的改善。适用水深范围为 600 ~ 1 200 m。主要优点为:干井口,易于采用悬链式立管,浮体与上部模块一体化可在建造码头边进行,以降低海上安装费和维护费等。

1990 年后, TLP 平台技术发展呈现出多样化的特点。该类平台的技术进步并不是一味追求大水深、大吨位,而是紧密结合实际需要,致力于发展在不同水深、不同油田规模情况下最合适的平台类型。目前,全世界的 TLP 已经形成了一套从深水到超深水、从中小油田到大型油田的完整的平台体系,其关键技术研究如下^[3]:

1) 研究张力腿平台的非线性动力响应,尤其是会危及平台安全的长周期慢漂运动,以及高频力和高阶脉冲力。

2) 寻求更为经济有效的张力腿平台结构型式,以适应超深水(2 500 m 以上)海域或极深海边际油田的开发需要。

3) 张力腿平台系索系统的研究,尤其是张力腿的极限承载能力、疲劳断裂以及维修问题;张力腿平台的吸力式锚固基础的研究。

1.3 立柱式平台技术发展趋势

立柱式平台(Spar)的主体由单个或多个竖直柱形浮体与下部桁架及压载舱组成,以支撑上部模块,由半张紧分布式系泊系统定位,适用水深范围为 550 ~ 3 000 m。

1996 年,世界上第 1 座 Spar 平台问世,作业于墨西哥湾 588 m 水深海域。截至 2009 年 6 月,全球共有 17 座 Spar 平台建成投产,除 1 座 Kikeh Truss Spar 在东南亚马来西亚海域,其余全部分布在墨西哥湾海域运营,其中包括 3 座 Classic Spar, 13 座 Truss Spar, 1 座 Cell Spar。

与其他海洋采油平台相比较, Spar 平台具有特别适宜于深水作业,在深水环境中运动稳定、安全性良好、灵活性好、经济性好等优点。凭借这些优势, Spar 平台成为极具竞争力的深海平台类型,进入了繁荣发

展时期。目前,壳牌公司最新的 Perdido Truss Spar 进一步打破了深水作业记录,已于 2008 年 8 月在墨西哥湾深达 2 438.4 m 的超深水区域安装就位,并于今年 3 月投入运营。

近年来,相继提出一些改进的 Spar 平台概念并进行了结构、疲劳、水动力等各方面性能的研究。如美国 Novellent LLC 公司于 2000 年提出几何形 Spar (Geometric Spar, G-Spar)^[4] 的概念,上海交通大学海洋工程国家重点实验室于 2006 年提出多柱桁架式 Spar (Cell-Truss Spar, CT-Spar)^[5] 概念等。除此之外,在 Spar 平台的基础上,又衍生出了一些交叉型的新型平台概念,如 AGR DDS 公司提出的多柱式浮式平台 (Multi-Column Floater, MCF), Durward International 公司提出的 MinDOC3, 巴西石油公司提出的 MonoBR 等,如图 1 所示。

Spar 平台的关键技术问题主要包括平台的动力响应、疲劳分析、垂荡板及侧板的设计、平台主体与系泊系统及平台构件之间的耦合作用、涡激运动研究等^[6]。随着对 Spar 平台探索和研究的不深入,其主要发展趋势为进一步改进结构形式,改善运动性能,降低建造成本,使这一拥有强大竞争力的平台类型得到长足的发展。

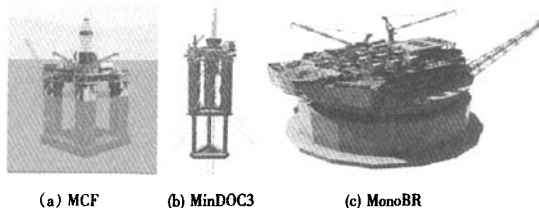


图 1 Spar 衍生出的新的平台概念

Fig. 1 New concepts of platforms derived from the Spar

1.4 FPSO 技术发展趋势

FPSO (Floating Production Storage and Offloading system) 即浮式生产储油卸油船,作为海洋油气开发系统的组成部分,一般与水下采油装置和穿梭油轮组成 1 套完整的生产系统。由于其集储油、卸油及生产为一体的优点,自 1977 年第 1 套 FPSO 使用以来,发展非常迅速,已成为当今世界海上油气开发生产的主流设施^[7]。

随着科技发展和海上作业难度加大,海洋油气开采工程对装置的大型化、自动化、专用化方面的要求增加,同时国际海事组织 (IMO) 对涉海船舶产品的安全、环保等方面的要求也越来越严格,当前 FPSO 设

备的技术发展主要体现在以下几方面:

1) 建造技术向模块化发展

早期建造的 FPSO 基本上都是在船体结构建成后,在甲板上安装各种生产设备、主电站和热站等,建造 1 艘 FPSO 通常需要 20 个月或更长时间。现在, FPSO 建造已开始采用模块化生产工艺,从而实现了船体结构和上部设施同时建造施工,大大缩短了建造周期。

2) 定位与系泊技术有了新的发展

新一代 FPSO 装置的系泊多为转塔式多点辐射状系泊,有的还在首尾配备了多个侧向推进器,采用当前性能最先进的三级动力定位技术 (DP-3)。多点系泊采用锚链和钢缆相组合,也有采用高防腐蚀的高强度聚脂纤维和锚链相组合的方式。

3) 原油生产能力不断加强

随着 FPSO 建造技术的发展,以及 FPSO 配套设备性能的提高,当前 FPSO 的原油生产能力正不断加强。巴西国家石油公司 (PETROBRAS) 近年新建或改建的“巴油 31”“巴油 33”“巴油 35”“巴油 37”“巴油 38”和“FPSO6”“N'KOSSA NKP”,其储油能力均达到 31.8 万 m³,其中最大 1 艘载重吨达 28.5 万 t,船的主尺度长 344.2 m,宽 54.3 m,型深 28.3 m,最大吃水深度达到了 22 m。

4) 增加新功能

LNG-FPSO (浮式液化天然气生产储卸船,如图 3 所示) 技术就是在原 FPSO 型上增加新功能的 1 例。LNG-FPSO 是指配备有天然气液化、储存等整套加工设备的浮式装置,由外部单点系泊系统将船体定位在海上。其结构与 LNG 运输船类似,共分 4 个区:居住区;LNG 储罐;工艺装置及凝析油储罐、公用工程系统与卸载系统;火炬塔、系泊装置。海底管道通过柔性提升管连至系泊系统,向海上 LNG 装置提供原料。

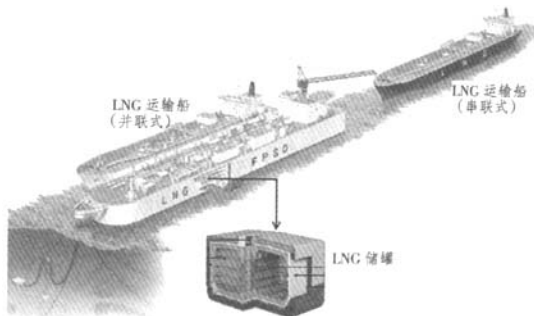


图 2 LNG-FPSO 卸载锚泊方式

Fig. 2 Offloading and mooring system of LNG-FPSO

另外,国外一些海洋石油公司和装备厂商也在不断探索,尝试将油气钻井设备并入 FPSO,变为 FDPSO(D 为 Drilling 的第 1 个字母),提出了浮式生产钻井系统(FDPSO)的新概念(如图 3 所示),即在浮式生产系统的基础上加上钻井的功能:浮式生产系统(FPSO)+张力腿钻井甲板(TLD)。该装置采用类似张力腿平台的技术用拉索将钻井甲板系于海底,甲板载荷则通过舷外的重块系统平衡,重块位于水下 100 m,以避免波浪作用并减少摆动。该装置的优点是:钻井甲板几乎没有升沉运动;FDPSO 船体的升沉、纵摇和横摇运动对钻井甲板没有影响;没有吃水变化的限制;采油树和防喷器可方便地放在钻井甲板上等。



图 3 FDPSO

Fig.3 FDPSO

FPSO 的主要关键技术有:

① 船型性能与结构强度研究

FPSO 长期固定在某一海域工作,需要适应海上的环境条件,就要有良好的船体形状。同时,它还要能抗御 100 年一遇的载荷,船体结构的疲劳寿命一般为 40~50 年,所以,船体可靠性、关键结构强度与节点疲劳分析是十分关键的。另外,由于海洋工程装置的严重海损事故,结构设计准则亟待研究。

② 特殊结构与安装技术研究

FPSO 系泊系统相关结构、模块支撑结构、火炬塔等都属于 FPSO 的特殊结构,对 FPSO 的安全性至关重要。FPSO 非常特殊的系泊系统,是少数国际公司的垄断技术。而特殊系泊系统与 FPSO 船体的连接技术是十分关键的。另外,FPSO 上部模块的质量大、重心高,它的支撑结构与 FPSO 船体之间的连接结构也非常关键。因此,必须在研究国外这些特殊结构设计(包括选材、焊接、探伤等)、制造与安装技术的同时,自主开发这些特种设备与系统,探索新的设计

理念。

1.5 钻井船的主要技术和发展趋势

钻井船是采用锚泊系统或动力定位系统,使船锚碇于海底井口上方进行钻井的装置。早期形式为钻井驳船,多用旧船改装,只适用于浅海风浪较小的海域。现代钻井船多为专门设计,全部钻井和生活设施都在船上,能自航并有向大型化发展的趋势。主要特点是移动灵活、适应水深大、自持能力强。当前,钻井船技术特征及发展趋势主要体现在如下几方面:

1) 作业能力向更大的工作水深发展。在未来 20 年间,将突破 4 000 m 乃至 5 000 m。

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 8 000 HP,海洋勘探能力将突破 12 000 m。

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

4) 开发能适应各种气候和水文条件的钻井船。能在最恶劣的气候条件下,包括极地区和赤道区环境下,进行快速有效的钻井作业。

5) 降低深水钻井作业的成本,主要措施是采用双井架技术,可同时进行 2 口井的钻井。这种技术可使 1 个超深海洋油气开发项目的成本降低 40%。

2 水下工程装备

海洋石油水下工程装备主要包括钻井隔水管系统、井口井控设备、采油树、水下管汇系统、水下基盘、控制系统、增压系统及水下处理系统等。海洋石油水下装备最早于 20 世纪 60 年代在北海油田开始应用。目前,世界各大石油公司在深海领域的投资不断增加,各国对水下工程装备的需求迅速上升。从技术现状来看,欧美等发达国家经过 50 余年的发展,拥有长期的研制经验和专利技术,实现了专业化分工生产。

随着水深的增加,对海洋石油水下装备的要求也越来越高,各种新技术层出不穷,特别是控制技术已逐步发展为全部电控,大大简化了控制系统。总的来说,水下工程装备的发展趋势主要表现在以下几个方面^[8]:

- 1) 向模块化和标准化方向发展;
- 2) 随着水深增加,高温、高压深水项目越来越多;
- 3) 故障自动恢复智能控制系统;
- 4) 水下设备水面远程操作控制;
- 5) 水下发电和传输技术将得到应用;

6) 水下处理和压缩系统将逐步得到推广,等。

对于水下工程装备来说,关键技术问题主要在于水下系统的安装与维修技术。水下生产系统的安装难度大,费用高,技术性强。需要开发深海安装与维修作业潜器及工具,进一步提高深海设施安装作业技术。

3 深海运载与作业装备

深海运载与作业装备主要包括深潜器和深海空间站等。深潜技术是进行海洋开发的必要手段,世界海洋油气资源勘探、深海科学考察主要依赖水面船与各类海洋平台,操纵各类潜器完成。如缆控无人探测器(ROV)、深海拖曳测绘系统(TMS)、无人无缆自制深潜器(AUV)和载人深潜器(HOV)等。深海开发的大量采样、勘探和作业等任务,须由携带各种装置、设备和科技人员到达深海复杂环境的各类深海运载器完成。

1) 缆控潜器 ROV 可长时间大功率作业。目前我国已具备全海域深度 ROV 研制能力,当今主要任务是提高元器件与材料的国产化率,提高其可靠性,研制并提供功能配套的水下作业工具。如图 4 所示。

2) 自制式无人潜器 AUV 自身携带能源,具备相当的智能。适用于各类大深度、远距离的军民海洋探测、侦察作业等,如图 5 所示。

3) 载人深潜器 HOV 由技术人员驾驶进入海洋深处,在现场直接观察、分析、评估和捕捉实际信息,及时判断决策,有效操作机械手高效作业。主要用于勘探、测绘、采样、水下补给、系统及装置的安装与检修等。我国自主研发的 7 000 m HOV 如图 6 所示。

4) 深海载人空间站由主体模块和功能模块 2 部分组成。由于不受海面风浪影响,可发挥如下作用:深海探测平台,水下研究试验平台,水下作业与控制中心,水下综合保障基地等。



图 4 缆控潜器 ROV

Fig. 4 Remotely operated vehicle (ROV)

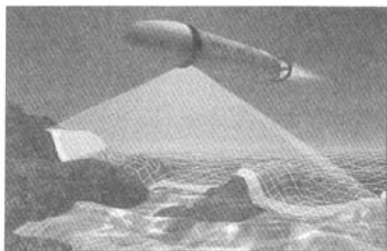


图 5 自制式无人潜器 AUV

Fig. 5 Autonomous underwater vehicle (AUV)



图 6 我国自主研发的 7 000 m HOV

Fig. 6 7000 m human occupied vehicle (HOV)

目前,德国极地研究人员计划利用潜水机器人探测南极陆架冰边缘下面的海洋世界;美国正在投资建造新型的深潜器,其设计下潜深度为 6 500 m,可潜到世界上 99% 海洋的海底;加拿大和美国为建立世界上最大的海洋观测网开展了一项名为“海王星”的联合计划,该计划将用 1 条 3 000 km 长的光缆将 30 个海底实验室连接起来,以便研究靠近加拿大和美国海岸的“胡安·德富卡”海地板块。在深海运载与作业装备领域,我国已开展总体技术的探索与部分关键技术的攻关,充满机遇与挑战。

4 超大型海洋浮式结构物技术发展现状与趋势

面对地球人口急剧膨胀,陆上资源供应已趋极限这一形势,人类活动开始向广阔的海洋延伸,由此,国际海洋工程界掀起了研究超大型浮式结构物(VLFS)的热潮。所谓超大型浮式结构物(VLFS,如图 7 所示)是指那些尺度以千米计的浮式海洋结构物,以区别于目前尺度以百米计的船舶和海洋工程结构物,如海洋平台等。VLFS 具有综合性、多用途的功能特征,它的出现将对某一区域的社会、经济活动乃至政治、军事格局产生决定性的影响^[9]。

根据超大型海洋浮式结构物的特点以及国外的研究经验,在开发 VLFS 的过程中需要解决一系列的

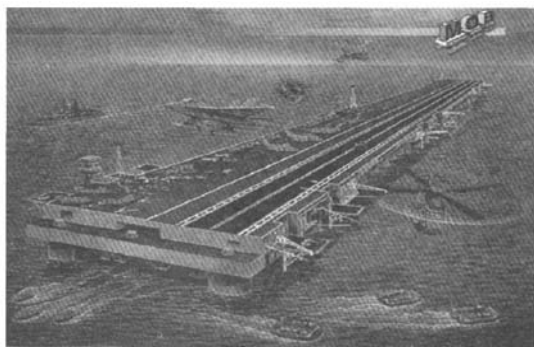


图 7 VLFS 概念

Fig. 7 VLFS concept

理论问题和工程实际问题。其关键技术问题及发展趋势如下:

1) 选型和概念设计

选型问题是决策问题,需要全面考虑各种因素。一般来说,选型时需要考虑的因素有:用途;对性能的要求;全寿命期内的经济成本;国内的工业基础;对环境和生态的影响。

2) 动力特性预报

根据 VLFS 的特点,其动力特性的预报方法与一般的海洋结构物有很大的区别,从而决定了动力特性预报是 VLFS 研发过程中需要解决的 1 个关键技术问题。具体来说,VLFS 动力特性的预报需要解决如下几个方面的问题:

- ① VLFS 的水弹性响应;
- ② VLFS 的非均匀海洋环境激励;
- ③ VLFS 连接构件上的载荷;
- ④ VLFS 系泊装置的动力响应计算;
- ⑤ 带半潜式消波堤的 VLFS 的动力特性分析;
- ⑥ VLFS 在海啸/孤立波作用下的动力响应分析;
- ⑦ 快速高效的 VLFS 动力特性数值计算方法;
- ⑧ VLFS 动力特性的模型试验技术。

3) 设计和建造

目前,VLFS 的设计还没有完整的规范可以遵循,主要是根据功能的要求先进行设计,然后采用直接算法或模型试验法对结构的安全性进行评估。如何建立相应的设计规范、开发快速方便的设计软件一直是研究的重点。

在近海建造 VLFS 过程中的连接操作可能在露天条件下进行,必须采用严格的技术进行水密及真空处理。水下连接技术对于 VLFS 的维修保养非常重

要,因此需要在考虑成本和可靠性的前提下研究更合适的水下连接方法。

4) 可服役性、耐久性和可维性

最近对 VLFS 在波浪中的弹性变形研究表明,VLFS 边缘的垂向位移大于其他部位,这一点对可服役性来说是个重要问题。目前通常采用的减小边缘垂向位移的方法主要有:在其四周建造消波堤,在底部悬挂浸入水中的阻尼板,在边缘安装浸入水中的墙,以及系泊系统的主动控制等。VLFS 也可能发生由潮汐引起的垂向位移,可通过 GPS 测量,采用补偿位移的主动控制系统进行补偿。

当 VLFS 用作浮动机场时,其形态控制十分重要。特别是半潜式 VLFS 在拼装或单元替代过程中,必须采用适当方法进行形态恢复和形态控制。

耐久性对 VLFS 来说是十分重要的。与常规的海洋钻井平台相比,VLFS 要求的寿命极长,有的甚至要超过 100 年,因此入水部分的防腐性能非常重要。有些 VLFS 的设计采用了钛合金衬层,浸水区的防腐涂层和阴极保护也可提高其耐久性。

VLFS 的维护包括保持结构和功能的安全性,需要在其生命周期的每一环节内明确维护目的、制定维护策略,建立相关的数据库。必须对其结构部件进行经常性的监测和检查,在整个服役期内是否适合于继续服役需要不断地进行评估。

除此以外,对于 VLFS 来说,超长期耐用技术的研究除了其本身材料的选用、防腐保护材料和维护系统以外,在综合考虑这些因素的基础上进行结构动力响应的计算和安全性评估也是十分必要的。如果再考虑到在局部受到破坏的情况下生存,其问题就更加复杂。

5) 事故载荷及风险评估

VLFS 是基础设施的重要部分,紧急情况下的安全性需要得到保证,对于 VLFS 来说,重大事故主要有来自飞机的撞击及与船舶的碰撞。另外,由疲劳裂纹引起的浸水、浸水所产生的结构应力、甲板上局部结构的屈曲以及随后的逐渐破坏也是需要引起重视的问题。

事故情况下的载荷一般来说是很大的,是否将结构设计成具备抵抗事故的能力,需要从经济性和社会影响 2 个方面综合考虑;需考虑事故发生的概率和后果,这就是风险分析的内容。因此,对 VLFS 进行风险评估也是十分重要的研究方向。

(下转第 124 页)

2 系统软件设计

布放前先要测水深,根据水深确定系留索长度,漂浮平台系统采用水面整体吊布,入水后锚先后拉直支撑浮体和飘浮平台,支撑浮体和飘浮平台之间预先留出长 10 m 的索。到达设定的水深后,系统上电工作,进入工作流程,在一定时间后,采样平台深度并记录,内波测量系统开始上电工作,离合器打开,漂浮平台在正浮力作用下快速上浮,同时内波测量系统将记录下的数据传输给控制中心,储存于大容量数据处理存储器,平台到水面后,控制中心给离合器断电并根据设定将数据传输给岸站数据接收系统,从而完成测量数据的传输。水面工作完成后,控制中心控制止动器打开,同时给电机上电,收放络车以一定的速度收索,飘浮平台下沉,内波测量系统(CTD)将记录下的数据传输给控制中心,储存于大容量数据处理存储器。到达初始布放水深时,给止动器和电机断电,平台稳定停留一段时间后,进入下一个测试流程,如此

往复循环直到测量结束。软件流程如图 3 所示。

海洋内波的生成与混合是海洋中普遍存在的现象,对于大洋中的质量、动量、能量输送及全球气候变化起着重要的作用。海洋内波的产生对工农业经济的发展以及军事方面都有极大影响。随着社会的发展,科学技术的提高,海洋开发、海洋利用以及海洋调查越来越得到国家的重视。海洋钻井平台及其他海洋工程每年都在大批量的建造,而海洋开发和海洋工程的发展,都需要海洋调查和海洋监测的支持,海洋内波便是其中参数之一。因此对海洋内波的研究和测量具有非常重要的学术意义和实际应用意义。

参考文献:

- [1] 赵进平. 发展海洋监测技术的发展与思考[M]. 北京: 海洋出版社, 2001.
- [2] 栾桂冬, 张金铎, 金东阳. 传感器及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [3] 徐爱钧. 智能化测量控制仪器原理与设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.

(上接第 113 页)

6) 环境及生态影响

VLFS 在设计和建造过程中需要考虑的另一个重要问题就是环境及生态问题, 包括对周围海洋物理条件的影响、对环境质量的影响、对海洋和近岸生态的影响以及美观性考虑等。

5 结 语

国际海洋工程装备的总体发展趋势可归结为以下几点: 一是深水化, 向深海领域发展是大势所趋; 二是大型化, 海上装备向大型化发展, 以提高运营经济性、安全性和可靠性; 三是环保化, 在海洋工程装备制造中大量使用环保新材料、新技术; 四是自动化, 随着科技的发展, 设备趋于集成化和智能化。

参考文献:

- [1] 张威. 深海半潜式钻井平台水动力性能分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- [2] 谢彬, 王世圣, 冯玮, 付英军. 3000 m 水深半潜式钻井平台关键技术综述[J]. 高科技与产业化, 2008, (12): 34-36.

- [3] BROWN D T, CHATJIGEORGIOU I K, et al. Floating Production Systems [C]. 16 th International Ship and Offshore Structures Congress, Southampton, UK, 2006.
- [4] 范菊, 黄祥鹿. 深海几何形单柱式平台的运动分析[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(2): 172-176.
- [5] ZHANG F, YANG J M, LI R P, CHEN G. Coupling effects for cell-truss spar platform: comparison of frequency-and time-domain analyses with model tests [J]. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 2008, 20(4): 424-432.
- [6] 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, 20(2): 6-11.
- [7] BIASOTTO P, ROUHAN A, et al. Survey and Inspection management for FPSOs [A]. Proceedings of 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering [C]. OMAE, 2004, Vancouver, British Columbia, Canada. OMAE2004-51433.
- [8] 任克忍, 王定亚, 周天明, 等. 海洋石油水下装备现状及发展趋势[J]. 石油机械, 2008, 36(9): 151-153.
- [9] 李芬, 邹早建. 浮式海洋结构物研究现状及发展趋势[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007, 27(5): 682-686.

作者：[王颖](#)，[韩光](#)，[张英香](#)，[WANG Ying](#)，[HAN Guang](#)，[ZHANG Ying-xiang](#)
作者单位：[中国船舶重工集团公司第七一四研究所](#)，北京，100192
刊名：[舰船科学技术](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名：[SHIP SCIENCE AND TECHNOLOGY](#)
年，卷(期)：2010, 32(10)

参考文献(9条)

1. [李芬;邹早建](#) [浮式海洋结构物研究现状及发展趋势](#) 2007(05)
2. [任克忍;王定亚;周天明](#) [海洋石油水下装备现状及发展趋势](#)[期刊论文]-[石油机械](#) 2008(09)
3. [BIASOTTO P;ROUHAN A](#) [Survey and Inspection management for FPSOs](#)
4. [张帆;杨建民;李润培](#) [Spar平台的发展趋势及其关键技术](#)[期刊论文]-[中国海洋平台](#) 2005(02)
5. [ZHANG F;YANG J M;LI R P;CHEN G](#) [Coupling effects for cell-truss spar platform:comparison of frequency-and time-domain analyses with model tests](#) 2008(04)
6. [范菊;黄祥鹿](#) [深海几何形单柱式平台的运动分析](#)[期刊论文]-[上海交通大学学报](#) 2007(02)
7. [BROWN D T;CHATJIGEORGIOU I K](#) [Floating Production Systems](#) 2006
8. [谢彬;王世圣;冯玮;付英军](#) [3000 m水深半潜式钻井平台关键技术综述](#)[期刊论文]-[高科技与产业化](#) 2008(12)
9. [张威](#) [深海半潜式钻井平台水动力性能分析](#) 2006

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jckxjs201010028.aspx