

深海浮式结构物与其系泊缆索的 耦合动力分析

Coupled Dynamic Analysis of
Deepwater Floating Structure and the Mooring system

王兴刚 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

深海浮式结构物与其系泊 缆索的耦合动力分析

王兴刚 编著

上海交通大学出版社

内容提要

本书阐述了应用边界元方法和 Morison 公式对深海浮式结构物进行水动力分析,应用几何非线性有限元方法计算系泊缆索张力,并在时域内对深海浮式结构物及其系泊缆索进行耦合动力分析的基本理论和数值方法。

本书对海洋工程、船舶工程、港口与海岸工程等专业科研和设计人员具有参考和借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

深海浮式结构物与其系泊缆索的耦合动力分析/王兴刚编著. —上海:上海交通大学出版社,2014

ISBN 978-7-313-12215-5

I. ①深… II. ①王… III. ①海上油气田—浮式建筑物—系泊—缆索—动力学分析 IV. ①TE951

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 240865 号

深海浮式结构物与其系泊缆索的耦合动力分析

编 著:王兴刚

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:凤凰数码印务有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

字 数:194千字

版 次:2014年12月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-12215-5/TE

定 价:68.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:12

印 次:2014年12月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:025-83657309

前 言

海洋蕴藏着丰富的资源,对海洋油气资源的开发和利用逐渐向深水甚至超深水发展。为了保证海洋平台等长期在海上作业的浮式结构物在大多数海洋环境作用下可以正常工作并抵御各种海洋环境荷载,准确模拟系泊系统的运动时间历程和可靠性分析显得非常重要。本文应用边界元方法和 Morison 公式对浮式结构物进行水动力分析,应用几何非线性有限元方法计算系泊缆索张力,并在时域内对浮式结构物及其系泊缆索进行了耦合分析。无论浅水域还是深水域都会产生波群,其对海工结构物尤其是系泊浮体具有较强的破坏力,会在结构物自身频率附近产生共振,对结构物造成严重的威胁或破坏。本书数值模拟了具有不同群性的波浪历程,并对波群作用下浮式结构物与其系泊系统进行了耦合动力分析。

本书基于势流理论,应用三维分布源法求解边界积分方程,采用满足自由水面条件和海底条件的 Green 函数,只需在物体表面划分网格;同时利用对称性减少了计算量,缩短了计算时间;采用扩展的边界积分方程法消除了频域计算中的不规则频率问题;根据 Cummins 的理论,通过快速傅里叶变换,将频域计算结果变换到时域,得到浮体在波浪中的时域运动方程。

在深水或超深水环境下,系泊缆索的惯性和阻尼会对上部结构产生很大影响,同时系泊缆索在大变形、大预张力条件下,缆索变形的非线性效应不能忽略,本书基于全量的拉格朗日表述和两节点的等参单元,应用几何非线性有限元方法和 Newmark 方法建立了缆索动力分析的数值模型。应用该模型系统地考察了缆索材料、水深、顶端激励幅值、顶端激励频率、初张力和顶角等因素对缆索动张力的影响。

建立了联合应用边界元方法/莫里森公式和几何非线性有限元方法等对风、浪、流联合作用下深海系泊系统进行耦合动力响应分析的计算模式。针对不同海

洋环境作用下的深海系泊系统,深入研究了水深、波高、周期、谱峰因子、流速、风速以及不同风、浪、流入射方向等对浮式结构物运动响应及其系泊缆索张力的影响。

首次研究了波浪群性对深海浮式系泊系统的影响。天然海浪经常出现一连串波高超过某一临界值的波构成,即所谓“群”,海浪群性是海浪场的一种重要特性。要判明海浪群性的大小,仅以海浪频谱为依据是不够的,波包线是描述海浪群性的重要工具,海浪群性的大小和波包谱的形状是密不可分的。实测的波面资料可通过 Hilbert 变换得波包线,进而可得波包谱。给定波浪要素、群高参数 GFH 和群长参数 GLF 后即可结合频谱和波包谱准确地模拟具有不同群性的海浪。本书还对不同群性的海浪作用下浮式结构物与其系泊系统进行了耦合动力分析,研究了群性参数的不同取值对波面、浮式结构物的运动响应以及系泊缆索张力的影响。

由于作者水平有限、时间仓促、书中存在的不足之处,敬请读者批评指正。

本书由水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院专著出版基金资助出版,谨此表示感谢。

2014 年 6 月 20 日

目 录

1 绪论 / 1

- 1.1 研究背景和意义 / 1
- 1.2 深海浮式平台的特点和发展现状 / 4
 - 1.2.1 浮式生产储油船(FPSO) / 4
 - 1.2.2 半潜式平台(semi-submersible platform) / 7
 - 1.2.3 张力腿平台(TLP) / 8
 - 1.2.4 立柱式平台(Spar) / 9
- 1.3 系泊系统耦合分析 / 12
- 1.4 本书主要工作 / 24

2 系泊缆索动力分析 / 26

- 2.1 坐标系定义 / 27
- 2.2 系泊缆索控制方程及其边界条件 / 28
- 2.3 几何非线性有限元法 / 30
- 2.4 数值算例 / 36
 - 2.4.1 算例验证 / 36
 - 2.4.2 参数敏感度分析 / 37
- 2.5 本章小结 / 39

3 耦合动力分析理论基础 / 41

- 3.1 基本假定和坐标系定义 / 42
- 3.2 控制方程和定解条件 / 42

- 3.3 Green 函数法和对称性的利用 / 43
 - 3.4 消除不规则频率 / 51
 - 3.5 波浪作用力 / 52
 - 3.6 波浪漂移阻尼力 / 57
 - 3.7 Morison 公式 / 58
 - 3.8 广义质量矩阵和静水回复力矩阵 / 58
 - 3.9 风力 / 59
 - 3.9.1 风速断面 / 59
 - 3.9.2 脉动风谱 / 60
 - 3.9.3 风速和风力 / 63
 - 3.10 浮体运动方程 / 63
 - 3.10.1 频域运动方程 / 63
 - 3.10.2 时域耦合动力方程 / 64
 - 3.11 数值算例 / 65
 - 3.11.1 漂浮方箱 / 65
 - 3.11.2 截断圆柱 / 67
 - 3.11.3 半潜圆球 / 67
 - 3.11.4 漂浮半球 / 68
 - 3.11.5 Classic Spar / 69
 - 3.12 本章小结 / 74
- 4 卸载浮标系统耦合动力分析 / 75**
-
- 4.1 文献回顾 / 75
 - 4.2 四锚卸载浮标系统 / 76
 - 4.3 黏性阻尼力 / 77
 - 4.4 规则波作用下卸载浮标系统耦合动力分析 / 77
 - 4.5 本章小结 / 86

5 Classic Spar 平台耦合动力分析 / 87

- 5.1 Classic Spar 平台及其系泊缆索 / 87

- 5.2 环境条件 / 88
- 5.3 规则波作用下 Classic Spar 平台耦合动力分析 / 88
- 5.4 不规则波作用下 Classic Spar 平台耦合动力分析 / 95
 - 5.4.1 谱峰因子 γ 的影响 / 96
 - 5.4.2 二阶平均波浪力的影响 / 97
 - 5.4.3 初张力的影响 / 98
 - 5.4.4 刚度 EA 的影响 / 99
- 5.5 本章小结 / 100

6 DDMS 平台耦合动力分析 / 101

- 6.1 DDMS 平台及其系泊缆索 / 101
- 6.2 环境条件 / 103
- 6.3 网格划分和水动力系数 / 104
- 6.4 不规则波作用下 DDMS 平台耦合动力分析 / 106
- 6.5 不规则波和流作用下 DDMS 平台耦合动力分析 / 115
- 6.6 不规则波、流和风作用下 DDMS 平台耦合动力分析 / 118
 - 6.6.1 共线情况 / 119
 - 6.6.2 非共线情况 / 124
- 6.7 波浪群性的影响 / 129
 - 6.7.1 波群 / 129
 - 6.7.2 波群作用下 DDMS 平台耦合动力分析 / 133
 - 6.7.3 波群、流和风作用下 DDMS 平台耦合动力分析 / 145
- 6.8 本章小结 / 157

结论 / 160

附录 A Filon 积分法 / 165

参考文献 / 167

索引 / 180

1.1 研究背景和意义

海洋蕴藏全球超过 70% 的油气资源,2009 年海洋石油产量已占全球石油总产量的 33%,天然气产量占全球天然气总产量的 31%,由于陆上储量发现已经很困难了,预计到 2020 年海洋石油和天然气的产量占比会增加到 35% 和 41%。全球近十年发现的大型油气田中,海洋油气田已占 60% 以上,尤其是 300 m 以上的深水海域,尚有 2 000 亿桶未探明油气储量。新增原油产量中海上石油占 50%。

20 世纪 70 年代末期,国外的油气勘探开始挺进深水领域。20 世纪 80 年代中期以来,随着科学技术的进步,世界各国对能源的需求不断增长,但陆地上和浅海区油气田的发现难度增大,人们的目光很自然地投向了深水区,尤其是当巴西的坎波斯(Camps)盆地发现了 Albacora Marlin 等大型油气田之后,深水勘探更是不断升温,现已成为最热的勘探领域。目前,世界上除了已形成的南美巴西、墨西哥湾和西非 3 个勘探热点外,大西洋两岸的英国、挪威、加拿大、南非、摩洛哥、毛里塔尼亚、纳米比亚和阿根廷,地中海沿岸的埃及、以色列和土耳其,亚太地区的印度、印度尼西亚、澳大利亚和新西兰等国家也都在积极开展深水区油气田的勘探和开发,勘探领域已从水深 300 m 的陆坡区扩展到了 3 000 m 的深水区。

截至 2009 年,全球深海石油的产量只占到了 7% 左右,如图 1.1 所示。根据来自《世界深水报告》的资料预测,未来 44% 的油气储量将来自深水海域,而现在已开发的仅占 3%,可见其潜力是巨大的。未来海洋勘探开发需求增长较快的地区主要集中在西非、巴西墨西哥湾和亚太地区。以巴西为例,巴西国内探明海上油气储量为 16 亿 t 油当量,其中 300~500 m 水深占 56%,水深超过 1 500 m 的占 23%。

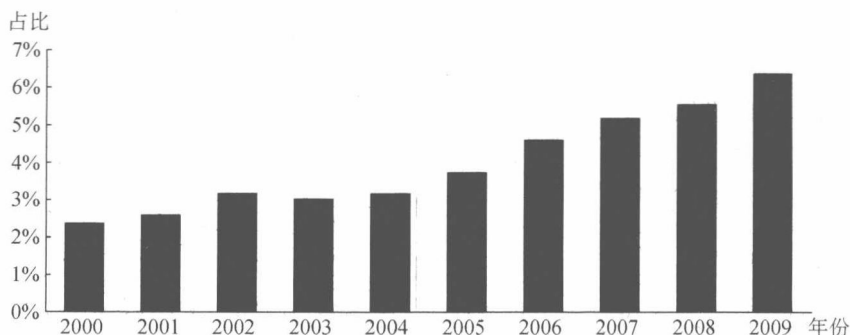


图 1.1 全球深海石油的产量占总供给的比例逐渐在增加

(资料来源:IEA、中投证券研究所)

我国石油对外依赖度已经达到 50% 以上,能源安全已经引起国家高度重视。根据第三次石油资源评价结果,我国石油资源量为 1 072.7 亿 t,其中海洋石油资源量 246 亿 t,占全国石油资源总量的 23%;海洋天然气资源量为 16 万亿 m^3 ,占总量的 30%。但由于受深海装备技术和勘探能力不足影响,我国海洋石油探明程度为 12%,海洋天然气探明程度为 11%,远低于世界 73% 的平均水平。我国南海蕴藏着丰富的油气资源和天然气水合物资源,石油地质储量约为 230 亿~300 亿 t,占我国油气总资源量的三分之一,其中 70% 蕴藏于深海区域。南海北部的“可燃冰”储量达到我国陆上石油总量的一半左右,据测定,1 m^3 “可燃冰”可释放出 200 m^3 甲烷气体,其能量密度是煤的 10 倍,常规天然气的 2~5 倍。南海领域周边国家每年从南海开采走的石油是 1.5 个大庆的产量。中国目前还没有深海钻井平台,即 2 500~3 000 m 的第六代全自动定位的钻井平台。新出的“十二五”规划将海洋工程装备纳入其中,定名为《“十二五”期间海洋工程装备发展规划》,期间将会有两或三个深水油气田要建成投产,总投资将超过 2 500~3 000 亿元人民币,2015 年南海深水区总产量 2 500 万 t 油当量,2020 年 5 000 万吨油当量,相当于一个大庆油田。

按照国际惯例,一般将水深不超过 400 m 的水域称为常规水深,400~1 500 m 的水域称为深水海域,大于 1 500 m 的水域为超深水。南海水深一般在 500~2 000 m,属深水作业区。目前研究表明南海深水油气主要集中在以下几个区域:珠江口盆地珠二坳陷和琼东南盆地中央坳陷的深水陆坡区(荔湾 3-1 深水油气田所在区域)、潮汕坳陷陆坡区和台西南盆地深水区、西沙海槽陆坡区和莺歌海盆地深水

区、南沙南部海域深水区、南沙西部海域深水区^[1]。

我国海洋油气勘探开发业务起步晚,深海油气开发技术与国外相比还有非常大的差距。目前,我国已开发的深海油气田最深仅为 300 m,铺管最深仅为 300 m。我国深海油气开发的装备和技术都非常欠缺,深海区特殊的自然环境和复杂的油气储存条件使我国深海油气开发面临诸多技术难题。技术上的巨大差距是我国深水油气田开发面临的最大挑战。2006 年 Husky 公司和中国海洋石油总公司在珠江口盆地水深 1 500 m 处发现了荔湾 3-1 天然气田,拉开了我国深水油气勘探的序幕;2009 年底发现的流花 34-2 完钻井深达 3 449 m,海域水深约 1 145 m;2010 年 2 月中国海洋石油总公司在南海东部海域的珠江口盆地发现流花 29-1 气田完钻井深达 3 331 m,海域水深约 720 m,这是中国海洋石油总公司在南海海域发现的第三个大型深海气田,标志着我国深水油气勘探取得重大突破。

海洋资源开发逐渐向深海领域挺进,作为深海油气资源开发的主要工具,浮式海洋平台一般都要通过系泊系统长期系泊于恶劣的海洋环境中作业,而不像船舶那样,在遇到恶劣海况时可以避航。而且海上油气生产作业要求平台具有低幅运动特性。因此,在设计系泊于深海的浮式海洋平台时,对各种海洋环境载荷作用下浮式结构物与其系泊缆索进行准确的耦合动力分析,正确确定浮体运动响应和系泊缆索张力显得十分重要。

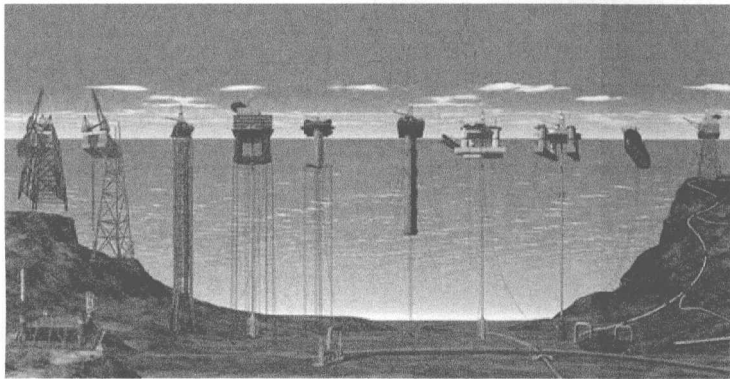


图 1.2 各种平台的典型形式

1.2 深海浮式平台的特点和发展现状

早期的海上石油开发主要是面向近海,随后的几十年海洋石油平台的工作水深由浅水发展到深水,又发展到超深水中。海上油田的开发从海岸到 500 m 的水深花了很长时间,然而从 500 m 水深到 1 500 m 水深却仅仅用了十几年的时间。如此快的发展速度得益于深海平台技术的不断发展和更新。图 1.2 给出了各种平台的典型形式;图 1.3 给出了各种平台的相对总投资;图 1.4 给出了不同平台的适用水深范围。海洋平台长期系泊于恶劣的海洋环境中,属于“高风险、高投资、高技术”的三高工程,因此各类平台须适用于各自的特定海况。导管架海洋平台具有适应性强、安全可靠、结构简单、造价低的优点,所以在大陆架海域中得以广泛的应用,但随着工作水深的增大,其自重和工程造价将大幅增大,已经不适应深海油气开发。由于深海环境相对更为恶劣而且投资成本加剧,近二十多年来,海洋工程界在降低投资及减少海上结构物的受力方面不断进行开发研究和技术创新,卓有成效地开发出许多类型的浮式海洋平台,其中,实际应用于深海油气开发并获得巨大成功的主要有以下四种形式:浮式生产储油船(floating production, storage and offloading system, FPSO),半潜式平台(semi-submersible platform),张力腿平台(tension leg platform, TLP)和立柱式平台(Spar)。

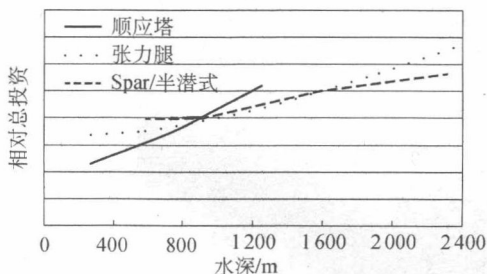


图 1.3 相对总投资

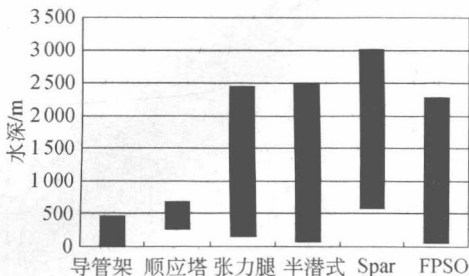


图 1.4 适用水深范围

1.2.1 浮式生产储油船(FPSO)

FPSO 是集海上油气生产、储存、外输、生活、动力于一体的海洋工程结构物,自 1977 年第一套 FPSO 使用以来,经过几十年的发展,它已成为海上油气开发的

一种重要设施。从外形上看,它和油船十分相似,但实际上与一般船舶却非常不同。FPSO 与海上油气平台井口相连,将采集的原油储存在舱内,经过加工处理再向外输出,所以 FPSO 主甲板上安装了生产处理设施和动力系统等复杂的公用设施。

我国 FPSO 的发展相对较晚。1986 年,中国海洋石油总公司在开发我国北部湾油气中首次应用 FPSO——“南海希望”号,该 FPSO 是由一艘载重量 17 万 t 的油船改装而成。我国自行设计建造的 FPSO 是在 1989 年,由 708 研究所设计、沪东造船厂建造的“渤海友谊”号。此后又有多艘 FPSO 在渤海和南海油田投产。2004 年 10 月,我国自行设计建造的最新最大吨位 FPSO“海洋石油 113”号在渤海 BZ25-1 油田投产作业,标志着我国 FPSO 的设计建造水平已跨入世界先进行列。我国当前服役的 FPSO(包括 FSO)数量已经达到世界第一,FPSO 支持着我国海上石油百分之八十的产能,被称为我国的海上石油舰队。主要在渤海、南海服役,其中服役环境多处处在浅水中。在蓬莱 19-3 油田有 40 万 t 级的大型 FPSO,在流花 11-1 油田有工作在 300 多米水深的胜利号,也是我国目前所处水深最深的油田。

FPSO 的主要特点和发展趋势是^[2]:建筑成本低,建设周期短,是一种相对廉价的结构,具有较好的经济效益;无需推进动力,长期系留海上,机动性、运移性和结构稳定性好,并且运输方便;作业水深逐年增大、抗风暴能力增强,当前 FPSO 的最大作业水深已经达到 2 000 m,新设计的 FPSO 目标水深为 3 000 m。以上 FPSO 的适应风暴大都为 50 年或 100 年一遇,有相当数量属于非解脱型(即大风暴来临时,仍然系泊在采油原位而无须将船用液压连接脱卸机构快速解脱来躲避大风大浪);工作面开阔,可在甲板上装卸油,具有大产量的油、气和水生产处理能力以及较大的原油储存能力,目前世界上正在服役的最大 FPSO 储油能力已经达到 35 万 t;原油、生产水的处理能力增强;增加天然气的处理和转换成压缩天然气外输的能力;锚泊能力和动力配置能力也增强,动力定位技术等均有新的发展,适应海况能力增强。FPSO 的缺点是在水线面面积较大,在风浪流作用下的动力响应亦较大;系统复杂,高危险,安全性要求高。

FPSO 的概念还包括:

FSO(floating storage and offloading),与 FPSO 的不同之处在于 FSO 上没有生产模块,不能对开采出的油进行处理,更适合于油品较好或岸上有相关设施

的海域。

FPU(floating production unit)和常规船只类似,能够处理从水下井口输送过来的油气,但没有储油能力。开采出来的天然气部分被用作 FPU 的燃料,其余的天然气和处理后的原油一起通过管道输送到终端上。FPU 锚泊系统可采用常规锚链线、人造合成纤维锚链线或动态定位技术。

LNG - FPSO (liquefied natural gas-floating production storage and offloading)是浮式液化天然气生产、储存、卸载装置。近年来,随着油价的不断上涨和人们环境保护意识的不断增强,世界能源结构在逐渐发生变化,天然气正在逐渐成为最受欢迎的能源之一。LNG - FPSO 集液化天然气的生产、储存与卸载于一体,简化了海洋天然气的开发过程,投资节省、建造周期缩短、资金回收加快。而且 FPSO 远离人口密集区,对生活环境影响较小,能够有效避免陆上 LNG 工厂建设可能对环境造成的污染等问题。此外,当开采的气田枯竭后,该装置能够方便地迁移到新的气田进行生产,尤其适用于开发边际气田。LNG - FPSO 船壳结构与 LNG 运输船相似,由单点系泊系统长期系泊于作业海域,海底管道通过柔性立管连至系泊系统,开采的天然气由井口平台经单点输送至海上的 LNG - FPSO,经过上部模块液化处理后,储存进 LNG 液舱内。目前 LNG - FPSO 装置发展亟待解决的问题有以下四个方面^[3]:海上天然气液化装置流程的选择与优化;海上天然气液化装置优化组合和紧凑化设计;海上 LNG 储存和卸载技术;关键设备、设施海上生产适应性研究。

FPDSO(floating drilling production, storage offloading)是由瑞士 SBA 公司提出的设计方案,它把油气钻井设备并入 FPSO 装置中,即在 FPSO 的中部开口,增设张力腿钻井甲板(LTD),用张力筋键将钻井甲板系于海底,采油树及防喷器均置于钻井甲板上,使得系统就既可用于钻井、采油,又能进行生产处理及储运。目前建成并投入生产的有两座^[3]:世界上第一座 FDPSO(见图 1.5)由新加坡吉宝船厂将一艘 VLCC 改造而成,于 2009 年 8 月在西非 Murphy 油田正式生产,其储油能力达到 1.3 百万桶/日(MMb/d),处理能力达到 40 000 b/d。第二座 FDPSO 即 SEVAN DRILLER(见图 1.6)由南通中远船务工程集团有限公司建造,主船体采用圆筒型,于 2009 年 11 月成功交付,该平台服务于墨西哥湾海域。

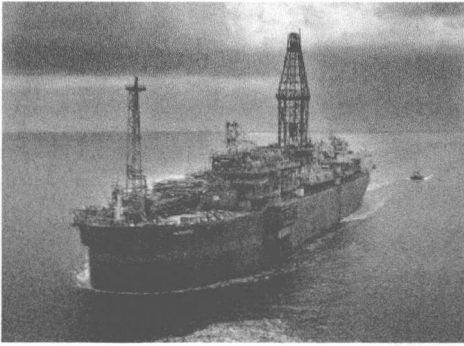


图 1.5 驶往 Azurite 途中的 FDPSO



图 1.6 FPSO Sevan Driller

1.2.2 半潜式平台(semi-submersible platform)

半潜式平台通常由上部甲板、立柱和浮箱以及立柱之间或者浮箱之间的横撑构件所组成,同时平台还通过锚链、立管与海底相连。下部浮箱提供拖航和作业时所需的浮力,一般有双下浮箱和环形下浮箱两种形式,内设舱室,可装载油、压载水和系泊等设备。浮箱和上部甲板通过立柱连接。平台作业时,浮箱和部分立柱沉入水下,大大减小了水线面面积以及波浪载荷,其较大的水线面惯性矩提供了平台作业时所需要的稳性。上部甲板为设备存放和人员居住工作的主要场所,甲板中间开有月池,方便平台钻井采油。

半潜式平台的主要优点:浮体与上部模块一体化可在建造码头边进行从而降低海上安装费用;由于下体都浸没在水中,故其横摇和纵摇的幅值都很小,有较大影响的是水平面内的运动和垂荡运动;可采用数量较多的柔性立管;半潜式平台在波浪上的运动相应较小,不仅可用于钻井,还可用于供应船铺管船、生产平台和海上起重船等;半潜式平台能应用于多井口海底井和较大范围内卫星井的采油;半潜式平台作为生产平台使用时,可在钻探出石油后即迅速转入采油,特别适用于深水条件下较小的石油储量。半潜式平台的主要缺点:仅适用于湿井口;维护费用较高;运动容易引起疲劳,造成立管损伤;对荷载变化承受能力较小。

Scarabco9, AkerH-6e, GVA7500, MSCDSS21 等作为目前世界上最先进的第六代半潜式平台相继诞生,作业水深达 2 550~3 600 m,钻井深度大于 9 144 m(30 000 ft)。第六代半潜式平台的主要特点可总结如下^[4]: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,总排水量与自重的比值将超过 4.0;平台主结构采用高强度钢;大甲板可变载荷、大平台主尺度及大钻井物资

储存能力;少节点、无斜撑的简单外形结构以减少建造费用;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;更大的工作水深,可预料未来 20 年内将有工作水深达 4 000~5 000 m 的半潜式平台出现;装备大功率(绞车功率达 6 000~7 200 hp(英制马力)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。

2010 年 2 月 26 日,国产首座第六代深水半潜式钻井平台——“海洋石油 981”(见图 1.7)在上海外高桥造船有限公司顺利出坞,这标志着我国在具有当今世界最先进水平的海洋工程主流装备领域中实现了重大突破。该平台是中国首次自主设计、建造的第六代深水半潜式钻井平台,代表了当今世界海洋石油钻井平台技术的最高水平,具有勘探、钻井、完井和修井作业等多种功能,最大作业水深 3 000 m,钻井深度可达 10 000 m。平台稳性和强度按照南海恶劣海况设计,可在中国南海、东南亚、西非等深水区作业,设计使用寿命 30 年。



图 1.7 海洋石油 981

随着海洋油气开发逐渐从浅水发展到深水,半潜式平台将会得到更加广泛的应用,如建立离岸较远的海上电站或海上工厂等,这对加大海洋资源的开发力度并防止内陆和沿海的环境污染具有十分重要的意义。

1.2.3 张力腿平台(TLP)

张力腿平台实质上是将半潜式平台的悬链式系泊系统用刚性张力腿代替,依据船体的浮力使张力腿始终处于伸张状态。由于张力腿的刚性作用使平台位移很小,其垂荡自然周期一般在 2~4 秒,远低于海况的特征周期,而纵荡自然周期

在 100~200 秒,远大于海况的特征周期,从而可避免在波浪中的共振现象,因此 TLP 在波浪作用下具有较好的运动性能和较强的抵抗恶劣环境的能力;TLP 可采用干式采油树;方便悬链式立管 SCR 的安装;可在码头进行上部船体集成,具有较低的维护成本。但由于张力腿平台可变载荷小,在水深增大时,张力筋腱重量的增加将限制平台的大小并使其成本急剧增大,因此张力腿平台仅在 600~1 200m 水深条件下具有较强的竞争力;TLP 平台甲板对上部荷载变化敏感;主动船体系统水平位移受风浪流影响较大;对偏移钻井不友好;张力键易疲劳。

传统的张力腿平台应用时间长、分布广、数量多,但其对更深的海域不能充分适应。再综合了边际油田平台和传统张力腿平台技术之后,发展了适应更深海域的 SeaStars 张力腿平台(见图 1.8),并且通过了 1 829 m 水深模型测试。此平台由一个垂直悬浮的圆柱体结构和三根矩形截面的水平浮筒组成,目前完成详细设计的 SeaStars 张力腿平台最深水达 2 743 m。1994 年 MOEC 公司与三井 Mitusi 公司历时五年完成了新式张力腿平台 MOSES 的开发工作,总体而言 MOSES 张力腿平台(见图 1.9)承载效率高、建造成本低、工作性能优良。此外 ABB 公司提出了延伸式张力腿平台(extended tension-leg platform, ETLP,见图 1.10),位于墨西哥湾的延伸式张力腿平台工作水深达 1 433 m,打破了其他类型的张力腿平台创造的深度。

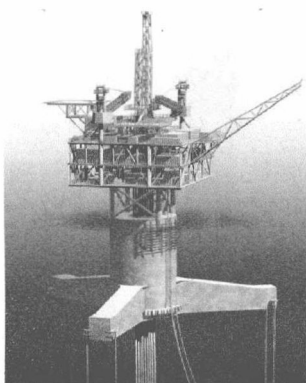


图 1.8 SeaStar TLP

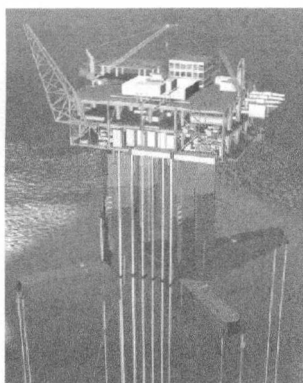


图 1.9 MOSES TLP

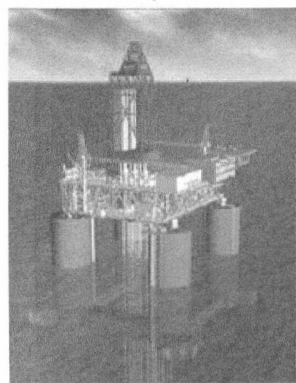


图 1.10 Extended TLP (ETLP)

1.2.4 立柱式平台(Spar)

Spar 是在柱形浮标和张力腿平台概念的基础上提出的一种用于深水的生产