

“十二五”国家重点图书
船舶与海洋出版工程

深水半潜式钻井平台 关键技术研究

谢 彬 杨建民 主编



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

“十二五”国家重点图书
船舶与海洋出版工程

深水半潜式钻井平台 关键技术研究

谢 彬 杨建民 主编



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

内容提要

本书是国家 863 计划课题“3 000 米水深半潜式钻井平台关键技术研究”的研究成果汇编。该课题由中海石油研究中心牵头,联合国内知名高校、造船企业和研究所,采用产、学、研、用相结合的方式开展技术攻关,突破了 36 项关键技术,部分成果达到国际先进水平。本书集中反映了该课题在深水半潜式平台关键技术研究方面的成果,对从事海洋工程技术研究的科研和技术人员有很高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

深水半潜式钻井平台关键技术研究 / 谢彬,杨建民

主编. —上海:上海交通大学出版社,2013

ISBN 978-7-313-10456-4

I. ①深… II. ①谢… ②杨… III. ①海上平台—海上钻进—研究 IV. ①TE52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 246768 号

深水半潜式钻井平台关键技术研究

主 编:谢 彬 杨建民

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:上海万卷印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:651 千字

版 次:2014 年 4 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-10456-4/TE

定 价:150.00 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:30.00

印 次:2014 年 4 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:021-56928211

编 委 会

顾 问 曾恒一 陈 伟 李家春 欧进萍

主 编 谢 彬 杨建民

副主编 李小平 王 琦 滕 斌 李和娣

编 委 (按姓氏笔画为序)

卫 卫	马网扣	马 涛	王世圣
王延涛	王俊荣	邓 鹏	白艳彬
朱 航	乔冬生	刘 科	刘海霞
刘 鲲	许亮斌	杨立军	李家春
李 鹏	吴小鹏	宋吉宁	张立武
张建侨	张 威	陈 刚	陈伟民
范会渠	欧进萍	赵建亭	赵 静
姜福茂	唐国强	谢文会	谢 彬
潘方豪			

序

中国南海蕴藏着极为丰富的油气资源,约占中国油气总资源量的 1/3,其中 70%蕴藏于深水区域。但中国南海海洋环境条件十分恶劣,夏季台风频繁,冬季季风不断,使中国南海深水油气的勘探和开发面临许多挑战,为了解决南海深水油气田开发所急需的装备问题,自 2006 年 1 月起中国海洋石油总公司开始启动我国第一座深水半潜式钻井平台的研究工作。深水半潜式钻井平台作为一种可重复使用的移动式钻井装置,以其性能优良、抗风浪能力强、甲板面积和装载量大、适应水深范围广等优点广泛应用于世界各个海域,它将是今后数十年海上石油勘探钻井最具有发展前途的装备。多年来深水半潜式钻井平台的设计与建造技术一直由国外几个发达国家垄断,我国在这方面基本上处于空白状态,为打破国外的技术垄断,研制具有自主知识产权的深水半潜式钻井平台技术对我国海洋工程技术的发展具有重要的现实意义,对我国海洋油气工业迈进深水具有重要的战略意义。在国家科技部支持下,国家 863 计划课题“3 000 米水深半潜式钻井平台关键技术研究”于 2006 年正式立项,由中海石油研究中心牵头,联合国内知名高校、造船企业和研究所,成立课题攻关团队。采用产、学、研、用相结合的方式开展技术攻关,经过四年的不懈努力,课题组圆满完成课题任务,顺利通过国家科技部验收,课题组被国家科技部评为“十一五”国家科技计划执行优秀团队。

“3 000 米水深半潜式钻井平台关键技术研究”课题以海洋石油“981”建造工程为依托,以解决平台设计与建造中的关键问题为目标,研究与实际应用相结合,通过攻关,突破了 36 项关键技术,部分研究成果达到国际先进水平。本书收录几十篇课题论文的内容,集中反映了课题在深水半潜式钻井平台关键技术研究方面所获得的主要成果,对于从事海洋工程技术研究的科研和技术人员有很高的参考价值。

目前我国已经建成“海洋石油 981”钻井平台和“海洋石油 201”深水铺管起重船等顶级深海装备,随着大型深水勘探和开发装备的陆续投入使用,使中国在深海油气开采装备上取得了跨越式发展。南海深水油气田的开发将极大地推动我国海洋工程技术的科技进步,希望本书的出版能使广大的海洋工程研究和技术人员从中获益。

目 录

1 综述	1
1.1 3 000 米水深半潜式钻井平台关键技术综述	1
1.2 深海半潜式钻井平台的发展	6
1.3 南海环境和深水平台	12
1.4 海洋工程中极端环境事件的研究进展	19
1.5 半潜式平台水动力性能研究综述	24
1.6 深水半潜式钻井平台锚泊定位系统简述	35
1.7 半潜式平台水动力性能及运动响应研究综述	42
2 环境载荷研究	51
2.1 梯度风作用下 HYSY - 981 半潜式平台风载荷与表面风压分布研究	51
2.2 HYSY - 981 半潜式平台井架风压数值模拟与风洞实验	58
2.3 南海内孤立波演化模型及其应用	67
2.4 深水半潜式钻井平台关键部位的波浪载荷敏感性分析	71
3 平台水动力性能分析	81
3.1 水动力分析在海洋结构物设计中的应用	81
3.2 3 000 米水深半潜式钻井平台的运动性能研究	90
3.3 深水半潜式平台运动响应预报方法的对比分析	97
3.4 两种典型深水半潜式钻井平台运动特性和波浪载荷的计算分析	104
3.5 半潜式平台垂向运动低频响应特性	110
3.6 风浪作用下 HYSY - 981 半潜式平台动力响应的数值模拟	118
3.7 深吃水半潜式平台垂荡响应数值分析	131
4 平台结构强度分析	141
4.1 深水半潜式钻井平台总体强度计算技术研究	141
4.2 深水半潜式钻井平台总体强度分析	146
4.3 深水半潜式钻井平台波浪载荷预报与结构强度评估	154

4.4	深水半潜式钻井平台典型节点强度研究	162
4.5	深水半潜式钻井平台节点疲劳寿命谱分析研究	168
4.6	深水半潜式钻井平台典型节点谱疲劳分析	177
4.7	深水半潜式钻井平台简化疲劳分析	185
4.8	半潜式平台关键点的疲劳可靠性分析	195
4.9	深水半潜式钻井平台冗余强度评估	200
5	立管涡激振动分析与实验	207
5.1	深海柔性立管涡激振动经验模型建立及应用	207
5.2	亚临界雷诺数下圆柱受迫振动的数值研究	216
5.3	采用改进尾流振子模型的柔性海洋立管的涡激振动响应分析	226
5.4	细长柔性立管涡激振动响应形式影响参数研究	235
5.5	三根附属控制杆对海洋立管涡激振动抑制作用的实验研究	243
5.6	柔性立管涡激振动实验的数据分析	252
5.7	质量比对柔性立管涡激振动影响的实验研究	261
5.8	大长细比柔性杆件涡激振动实验	269
5.9	基于光纤光栅传感器的细长柔性立管涡激振动实验	278
6	平台定位技术	287
6.1	吃水对半潜式钻井平台系泊张力的影响	287
6.2	深水悬链锚泊系统静力分析	296
6.3	弹性悬链线方程参数变换法及其工程应用	303
6.4	深水悬链锚泊线阻尼计算	308
6.5	深水复合锚泊线动力特性比较分析	321
6.6	深海半潜式平台锚泊系统等效水深截断模型试验设计	333
6.7	深海半潜式平台码头系泊方案分析	346
7	平台钻井技术	357
7.1	深海半潜式钻井平台钻机配置浅析	357
7.2	深水半潜式钻井平台钻井设备配置方案探讨	369
7.3	深水钻井过程中钻具和钻材用量研究	374
7.4	深水钻井平台钻机大钩载荷计算方法	380
7.5	浮式钻井装置钻柱运动补偿系统研究	388
8	平台设计与建造技术	395
8.1	3 000 米水深半潜式钻井平台三维虚拟仿真设计	395
8.2	深水半潜式钻井平台甲板可变载荷及相关储存空间设计方法	399

8.3	深海半潜式钻井平台的总布置	407
8.4	深海半潜式钻井平台的重量控制	413
8.5	动力定位 DP-3 在钻井平台上的设计与应用	423
8.6	深水半潜式钻井平台振动噪声预报全频域方法	434
8.7	焊接工艺对 EQ56 高强钢接头性能的影响	446
8.8	海洋平台用 EQ70 高强钢焊接性研究	451
8.9	深水半潜式钻井平台生活楼整体吊装方案	456
索引		468

1 综 述



1.1 3 000 米水深半潜式钻井平台 关键技术综述

1.1.1 引言

海上深水油气田的开发依赖深水海洋工程装备,3 000 m 深水半潜式钻井平台是实施海上深水油气田的开发必备装备之一。我国南海蕴藏着丰富的油气资源,目前在我国南海深水已有了重大的油气发现。为提高我国深水油气的开发能力,开展深水半潜式钻井平台的研究和开发是非常有必要的。

几十年来,世界上海洋工程技术装备一直在发展,随着向深海进军,海洋工程技术装备更是趋向大型化,更注重其安全性与经济性。一些造船大国在建造高技术、高性能船舶的同时,同步开发并建造海洋工程技术装备,多种类型的深海钻井平台,拥有量越来越多,设计与建造水平也越来越高。目前国外海洋油气钻探与开采装置已由原先 10~25 m 水深的座底式钻井平台发展到当今的水深 3 000 m 的深水半潜式钻井平台。

半潜式钻井平台作为一种可重复使用的移动式钻井装置,以其性能优良、抗风浪能力强、甲板面积和装载量大、适应水深范围大等优点成为国外研究的热点之一,它将是今后数十年海上石油勘探钻井最具有发展前途的设备。随着水深越大,离岸越远,该型平台更能充分显示其优越性,因此,半潜式钻井平台被被誉为 21 世纪海洋开发最关键的设备,其在浮式海洋石油钻井装置中所占的比例也越来越高。相关的统计还表明:世界上目前正在使用的钻井平台约为 580 座,其中自升式钻井平台 380 座,半潜式钻井平台 160 座,钻井船 40 艘。这些平台大部分是 20 世纪 80 年代建造。目前最新型的第六代深水半潜式钻井平台工作水深已超过 3 000 m,钻井深度为 9 000~12 000 m,甲板可变载荷为 7 000~10 000 t,而且作业自动化、智能化程度高,并且配备动力定位、双井架系统等先进设备,能够胜任在恶劣的海洋环境条件下钻探工作。

由于深水半潜式钻井平台设计、建造的技术和资金的密集,目前世界上仅少数国家,如美国、瑞典、荷兰和挪威等国,具有设计、建造深水半潜式钻井平台的能力。我国目前尚没有深海平台的应用,其中导管架平台的应用仅限于 200 m 水深以内,设计建造过 300 m 水深以内的第二代的半潜式钻井平台。大连造船新厂建造了 Bingo 9000 半潜式钻井平台主体结构,但主要技术与图纸是从国外引进的。

我国深水油气田的开发处于前期勘探时期,受深水钻井装备的限制发展速度较慢。要加速发展我国深水油气田的开发,就必须充分吸收和消化国外深水半潜式钻井平台关键技术,借鉴深水半潜式钻井平台设计、制造等方面国外成功的经验,在此基础上研制适应我国深水油气田环境的半潜式钻井平台。为此中海油联合国内知名高校和研究院、所,首先研究了目前在国外比较流行的几种深水半潜式钻井平台,对深水半潜式钻井平台设计和建造的关键技术和难点进行了研究和探讨,为申请和开展国家 863 项目“深水半潜式钻井平台关键技术”打下一个良好的基础。由中海石油研究中心牵头的国家 863 项目组集合了国内知名高校和院、所的优势研究资源,基于前期的研究成果,分专题对深水半潜式钻井平台关键技术进行了研究和攻关。经过一年多的研究实践获得了许多有价值的成果,也对深水半潜式钻井平台设计和建造要解决的关键技术问题和技术难点有了更加深入的认识。根据深水半潜式钻井平台设计和建造的要求,深水半潜式钻井平台关键技术主要涉及以下几个方面: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,以及平台建造技术、模型试验技术等。

1.1.2 总体设计技术

总体设计是对深水半潜式钻井平台的综合性规划,是一个非常重要的阶段,该阶段的工作基本确定了平台的各项性能指标、主要功能和总费用。所涉及的关键技术主要有:设计标准的选用;海洋环境条件和海洋工程地质条件的分析和研究,以确立平台自存、操作和连接工况的设计环境条件;平台主要功能、主要性能指标和主要设备参数的论证和确定;平台远离基岸作业需要更大甲板空间和可变载荷,最大的可变载荷的论证确定;平台定位和锚泊形式的选择与研究确定;主要设备配置方案的拟定等。

平台总体方案设计在总体设计中占有较大的份额,是深水半潜式钻井平台设计必须解决的关键技术之一,在总体方案设计中要确定平台的船型与主尺度、结构形式和总布置,其中平台的总布置涉及平台各系统设计的方方面面,是一个工艺流程确立、功能区块划分、系统布置规划、设备参数落实、结构设计协调等综合设计过程。平台的总布置作为深水半潜式钻井平台要解决的关键技术涵盖多个关键技术点,如可变载荷的分类与布置、双井架系统、隔水管存放方式、机舱数目与布置等。

总体设计确立了深水半潜式钻井平台的诸项设计目标,各项目标的实现要通过深入的研究,采用计算分析、模型实验和对比研究等技术手段,去解决各个相关的关键技术问题,以达到总体设计的最终要求。

1.1.3 系统集成技术

系统集成技术是将深水半潜式钻井平台的各个独立的系统集成到相互关联、统一和协调的系统之中,成为一个整体,使它们能够精确、高效地发挥作用,同时也便于统一的控制与管理。按照系统的功能整个深水半潜式钻井平台系统可以划分为五大系统:钻井系统、公用电力和电站系统、动力定位系统、压载系统、安全和防护系统,

其中各大系统又由多个子系统构成。系统集成需要解决各系统之间的相互关联与操作,各类设备、子系统间的接口,以及多厂商、多协议和面向各种应用的体系结构等问题。系统集成技术所涉及的关键技术主要有:钻井系统集成技术、公用电力和电站系统集成技术、DP-3 动力定位系统集成技术、压载系统集成技术、安全和防护系统集成技术。

钻井系统集成是对八个关键子系统进行集成设计并优化,以满足深水半潜式钻井作业流程的需求。八个关键子系统包括:钻井模块系统、管材处理系统、BOP 与采油树处理系统、升沉运动补偿系统、水下器具系统、高低压泥浆系统、泥浆配置及净化系统、泥浆材料存储及输送系统。钻井系统集成要求在有限的甲板面积和空间内,按照钻井工艺流程完成所有设备的优化布置,并实现自动高效的钻井作业。所包含的关键技术主要有:作业流程优化技术,钻井系统设备和水下设备优化配置技术,管汇系统优化布置技术,管材处理自动化技术,高效、安全的 BOP 与采油树处理技术,钻井管柱的升沉运动补偿技术,水下器具设计与 BOP 控制技术,高低压泥浆系统设备配置与泥浆存储、输送、分配技术,泥浆配置与净化系统的集成设计技术、泥浆材料存储及输送系统集成技术。其中钻井管柱的升沉运动补偿技术是一个技术难点,要通过计算分析来选择合适补偿装置,以保证钻井作业的安全。

公用电力和电站系统集成是对半潜式钻井平台公用电力和电站系统的设备进行合理配置,以及系统的布置优化,并进行相关辅助系统的集成设计。主要关键技术有:半潜式钻井平台电站配置技术,该技术能保证在最恶劣的情况下使用六台发电机满足 DP3 的要求;动力装置、配电板设备选型技术;电站系统的布置技术。通过对公用电力和电站系统集成技术的研究,实现半潜式钻井平台公用电力和电站系统的一体化集成设计和优化。

DP-3 动力定位系统集成是对动力定位控制系统、动力定位系统冗余和推进控制器系统的一体化集成设计和优化。动力定位控制系统接收计算机根据平台的数学模型和姿态控制输出控制信号,进而操作全回转推进器克服环境变化的力量,使平台保持选定的航向和位置。根据 IMO DP3 的要求,动力定位系统冗余设计有冗余的主 DP 系统和非冗余的后备 DP 系统,并配有手动的单手柄操作系统。推进控制器系统的设计可独立手动操作每一台全回转推进器,也可接受来自 DP 的控制信号实现对推进器的自动控制。DP-3 动力定位系统将三个子系统集成在一起完成平台位置控制,并具有动力定位系统冗余,使平台的定位实现了高效、自动和安全。DP-3 动力定位系统关键技术包括:动力定位控制系统集成与设备配置技术、动力定位系统冗余集成与设备配置技术、推进控制器系统集成与设备配置技术、动力定位能力分析技术。动力定位能力分析技术是 DP-3 动力定位系统集成的基础。

压载系统集成是通过平台压载工况的压载配置研究与计算分析,进行压载系统的配置,以及系统和布置的优化设计和集成。压载系统集成要解决的关键技术问题包括:平台各种工况的压载配置、压载水舱的优化布置、压载系统优化、压载系统的规范化设计、压载泵及相关设备的配置选型、压载泵舱的布置优化、压载系统计算分析技术。半潜式钻井平台的沉浮作业与压载调平要通过压载系统来完成,它关系到

平台功能实现和平台安全,因此压载系统的集成技术与其他集成技术同样重要。

安全和防护系统由集成中央控制系统、电站管理系统(PMS)、平台监控系统(VMS)、安全关断系统(包括火气探测系统(F&G)和应急关断系统(ESD))、隔水管监视系统、钻井监控系统构成。其中集成中央控制系统是一个模块化的分布式监控系统,用于实现对平台各主要系统运行状态的集中监视,并根据需要实施必要的控制。电站管理系统(PMS)用于实现对平台主电站的自动控制和自动启动备用机组、自动并车、负荷分配、优先卸载以及重载询问功能,并与动力定位系统密切配合,既确保能提供足够的电力满足动力定位的需求,又控制全船负荷以避免主电站过载而导致电网失效、解列。平台监控系统(VMS)对平台各主要机械系统、平台姿态、HVAC、电力系统等进行监控,在出现各类非正常情况或故障进行报警,并需要对重要设备和阀门进行遥控操作。安全关断系统通过火气探测系统(F&G)对火灾或气体泄漏的报警和确认,并根据预设的逻辑执行风闸、防火门的关闭,启动消防系统等;应急关断系统(ESD)可手动和自动执行对平台各级关断,隔离和限制各类灾害以保护人员、维护平台安全。隔水管监视系统在钻井时监视隔水管的张力、相对平台的夹角等参数,根据需要监视隔水管在水下的形状,给出超限报警以保障钻井作业的安全。并将上述信息传给DP系统,作为DP控制的输入参数。钻井监控系统对钻井工艺系统各参数进行监视,可对必要的设备进行自动或手动控制,以保障钻井系统的正常运行。该系统通常相对独立,由钻井设备厂商成套提供。安全和防护系统是利用计算机网络技术建立各系统之间的联系,通过信息搜集、逻辑判断、指令输出与接收实现对各系统的控制与管理。安全和防护系统集成所涉及的主要关键技术包括:信息处理技术、各执行系统的监控技术、系统软硬件的配置技术等。

1.1.4 平台定位技术

深水半潜式钻井平台的定位方式包括锚泊定位、动力定位和组合定位三种方式。在不同的环境条件和水深下,合理选择定位方式对于平台的位移控制和降低燃油消耗起决定性作用。平台的定位方式的选择是建立在平台定位能力分析的基础上,通过定位能力分析,可以确定锚泊与动力定位组合的适用水深及平衡点,锚泊定位与动力定位所需要的环境条件,以及锚泊定位与动力定位设备的选型与配置。平台定位所涉及的关键技术包括:锚泊定位、动力定位和组合定位水深适应性和经济性分析技术,三种定位方式所需系统的设计技术,以及平台定位系统等效模拟技术。

1.1.5 总体性能分析技术

总体性能分析是对深水半潜式钻井平台的水动力性能与运动性能进行预报,采用数值模拟的方法,计算平台在不同装载条件和海况条件下,平台的固有运动周期、最大短期运动响应幅值、气隙等,通过对计算结果的分析对平台总体性能是否能达到设计要求作出判断。为获得较为准确的计算结果,考虑到平台系统是一个系统,以及二阶波浪力的影响,还要进行平台系统的非线性耦合分析。目前某些船级社已开发出进行非线性耦合分析的软件,如挪威船级社的DeepC,法国BV船级社

的 HydroSTAR,但由于影响参数的选取因素众多,计算结果虽能达到一定精度,但仍然有许多没有解决的问题。深水半潜式钻井平台总体性能的分析要进一步获得准确的结果还要解决以下难点:在风、浪、流联合作用下,系泊、立管与浮体的耦合效应;二阶波浪力的计算与低频慢漂运动的预报;各种非线性因素对平台运动与载荷响应影响的比较;非线性水动力计算数值的稳定性分析、立管涡激振动特性与抑制等。

1.1.6 结构强度与疲劳寿命分析技术

结构强度与疲劳寿命分析是应用数值分析的方法,考虑不同的载荷组合工况,对深水半潜式钻井平台进行结构应力分析与疲劳寿命分析,并按照规定对平台结构强度和疲劳寿命进行校核。立管属细长构件它们的损伤机理与浮体结构有比较明显的差异,因此结构强度和疲劳寿命分析方法也不同。

结构强度分析所涉及的主要关键技术有:波浪载荷的传递技术、总体结构建模技术、子模型结构分析技术、强度评估的规范适应性分析。平台结构疲劳强度分析基于疲劳累积损伤原理,在此基础上产生了各种疲劳分析方法,如全概率疲劳寿命计算方法、谱疲劳分析方法等。理论上采用不同的疲劳寿命分析方法应当获得相同的结果,但是往往所得到差异较大的计算结果,这可能与热点的选取以及应力传递函数的计算精度关系很大。因此要获得较为准确的疲劳寿命计算结果必须要解决的问题包括:疲劳热点的分析、应力函数的计算分析、S-N 疲劳曲线的适应性分析。在波浪和流的联合作用下,钻井立管或隔水管将产生涡激疲劳,钻井立管或隔水管疲劳寿命评估技术要解决流固耦合以及平台和立管耦合作用机理,因此也是平台的关键技术难点。

1.1.7 其他关键技术

深水半潜式钻井平台的设计建造是一项投资巨大、多种技术综合应用的复杂工程,所涉及的关键技术很多,每一项关键技术要包含多个关键技术难点。除以上所述关键技术外,平台建造技术与深水模型试验技术也是必须研究的关键技术。平台建造技术也包含多项关键技术环节,掌握了这些关键技术环节,对于提高建造质量、生产效率和降低成本有积极的意义。数值计算结果必须通过模型试验来验证,因此平台深水模型试验是确定平台主尺度、验证动力定位设计的必要技术手段,深水模型试验技术也是必须研究和掌握的关键技术。

1.1.8 结论

深水半潜式钻井平台关键技术研究对于打破国外在深水技术领域的垄断、形成具有自主知识产权的核心技术有重要的意义。国家 863“深水半潜式钻井平台关键技术”项目组集合了国内著名院、所和高校分专题对上述关键技术开展了研究,并结合实际工程项目,理论与成果应用相结合,使研究成果得到及时应用,迅速转化生产力。相信经过广大研究人员不懈地努力,以及国家科技部、中海油等有关部门的大力支持,一定能够突破关键技术难点,全面掌握深水半潜式钻井平台的关键技术。

参考文献

[1] 刘海霞. 深海半潜式钻井平台的总布置[J]. 中国海洋平台, 2007, 22(3): 7-11.
[2] 赵建亭. 深海半潜式钻井平台钻机配置浅析[J]. 船舶, 2006(4): 37-45.

1.2 深海半潜式钻井平台的发展

1.2.1 引言

海洋占地球表面积 70.9%, 平均深度约为 3 730 m, 90% 以上的水深为 200~6 000 m, 大量海域面积的资源尚待开发, 尤其是石油、天然气等重要经济、战略物资, 以解决社会发展面临的巨大能源压力。据地质学家预测, 海底石油天然气总储量为 1 000~2 500 亿 t。

海洋油气勘探开发通常按水深区分: 500 m 以内为常规水深, 500~1 500 m 为深水, 超过 1 500 m 为超深水。由于大量的油气资源在更深水域中被发现, 国际上海洋油气资源的开发已从近海向深海发展。目前海洋油气钻井工作水深达 3 051 m, 海底采油水深达 2 196 m, 海洋勘探井深达 9 210 m, 海洋采气井深达 7 393 m, 海洋采油井深达 7 089 m。2001 年在超过 1 000 m 水深海域的探井数多达 130 口^[1]。这些数据正在随技术的发展进一步提高。

坐底式平台、重力式平台、导管架平台、自升式平台等主要作业于浅海区域, 随着油气勘探开发日益向深海推进, 张力腿平台也显示出其局限性, 钻井船和半潜式平台成为主要选择。半潜式平台在波浪中的运动响应、对恶劣海况的适应性、自持力等方面有一定的优越性, 在深海油气开发中承担着至关重要的角色^[2, 3]。

1.2.2 半潜式平台技术特点分析

半潜式平台自 20 世纪 60 年代初出现以来, 得到了较大的发展和应用, 近期发展情况如表 1.2.1 所示^[4]。

表 1.2.1 世界半潜式钻井平台数量

年 份	1996	1997	1998	2000	2002
数 量	132	147	165	170	175

在分析研究文献[5]所辑录的多艘半潜式钻井平台基础上, 列出第五代、第六代深海半潜式钻井平台典型技术参数(见表 1.2.2)。

现就新一代深海半潜式钻井平台的主要技术特点和发展趋势说明如下^[5, 6, 7]。

1) 工作水深显著增加

1998 年新建和在建的 19 艘半潜式平台中, 17 艘工作水深超过 1 524 m(5 000 ft);

表 1.2.2 深海半潜式钻井平台技术参数

平台名称	建造年份	改装年份	入级	作业海域	最大作业水深 (ft)	最大钻井深度 (ft)	拖航吃水 (ft)	作业吃水 (ft)	平台长度 (ft)	平台宽度 (ft)	可变载荷 (t)	井架 (ft)	大钩载荷 (kips)	总功率 (hp)	最大航速 (kn)	推进器 (hp)	定位方式
Mitsubishi MD503	1982	1998	ABS	巴西	3 937	29 520	22	66	343	220	3 283	40×40	1 000	7 800	7	2×3 000	常规锚泊
CS 45	1999		DNV	北海	5 000	30 000	32	77	386	229	5 800	84×36	1 300	44 000	11	8×4 350	动力定位
Odyssey	1988	1999	ABS	墨西哥湾	5 500	30 000	26	80	390	233	7 835	40×40	1 800	18 120	12	4×2 700	常规锚泊
Victory	1973	2002	ABS		7 000	35 000	41.5	74.5	324	327	5 500	48×46	2 000	12 940	4		常规锚泊
Trendsetter	1986	1997	ABS	英国西海岸	7 500	30 000	29	80	370	255	6 014	40×40	2 000	20 000	7	2×7 000	常规锚泊
Modified Enhanced Pacesetter	1981	1999	DNV	巴西	7 500	30 000	23	60	417	233	5 500		1 500	50 400	6	4×32004 ×4 800	动力定位
Aker H - 3.2 Mod	1988	2000	DNV	墨西哥湾	7 500	30 000	26	75	320	238	6 600	50×50	2 000	53 083	10	8×4 000	动力定位
Development driller	2004		ABS		7 500	37 500	26.9	49.2	324	258	7 716	52×57	3 000	40 766	8	8×4 300	动力定位
Ensco 7500	2000		ABS	墨西哥湾	8 000	35 000	23	60	240	248	8 000	40×46	1 928	30 000	8.3	8×3 000	动力定位
Sedco Express	2001		ABS	西非	8 500	25 000	29.5	65.5	349	226	11 464	167×39	2 057	35 700	10	4×9 383	动力定位
EVA - 4000 TM	1982	1998	ABS	巴西	8 900	30 000	32.3	79	341.62	328.3	5 500	40×40	1 928	43 000	6	6×5 000	动力定位
Bingo 9000	2002		DNV	加拿大	10 000	30 000	39.4	77.9	397	279	7 400	40×40	2 000	61 200	7	6×7 375	动力定位
IHI - RBF Exploration	2001		ABS	墨西哥湾	10 000	30 000	28.9	75.5	396	255.9	8 000	48×48	2 000	56 323	7.5	8×7 345	动力定位

2002 年末现有和在建的 175 艘半潜式平台中,31 艘工作水深超过 1 829 m(6 000 ft),16 艘工作水深超过 2 286 m(7 500 ft),其中 IHI - RBF Exploration, Deepwater Horizon, Eirik Raude(Bingo 9000 系列)工作水深达 3 048 m(10 000 ft)。

未来 20 年内,工作水深达 4 000~5 000 m 的半潜式平台有望出现。

2) 适应更恶劣海域

半潜式平台仅少数立柱暴露在波浪环境中,抗风暴能力强,稳性等安全性能好。大部分深海半潜式平台能生存于百年一遇的海况条件,适应风速达 51.4~61.7 m/s(100~120 kn),波高达 16~32 m,流速达 1.0~2.1 m/s(2~4 kn)。

半潜式平台在波浪中的运动响应较小,钻井作业稳定性好,在作业海况下其运动幅值可为升沉 ± 1 m,摇摆 $\pm 2^\circ$,漂移为水深的 1/20。

随着动力配置能力的增大和动力定位技术的新发展,半潜式平台进一步适应更深海域的恶劣海况,甚至可望达到全球全天候的工作能力。

3) 可变载荷增大

采用先进的材料和优良的设计,半潜式平台自重相对减轻,可变载荷不断增大,以适应更大的工作水深和钻深。

平台可变载荷与总排水量的比值,南海 2 号为 0.127, Sedco 602 型为 0.15, DSS20 型为 0.175,新型半潜平台将超过 0.2。甲板可变载荷(含立柱内可变载荷)将达万吨,平台自持能力增强。同时甲板空间增大,钻井等作业安全可靠提高。

4) 外形结构简化,采用高强度钢

半潜式平台外形结构趋于简化,立柱和撑杆节点的形式简化、数目减少。立柱从早期的 8 立柱、6 立柱、5 立柱等发展为 6 立柱、4 立柱,现多为圆立柱或者圆角方立柱。斜撑数目从 14~20 根大幅降低,以至减为 2~4 根横撑,并最终取消各种形式的撑杆和节点。下浮体趋向采用简单箱形,平台甲板主体也为规则箱形结构,且甲板结构出现层高 1~2 m 的双层底。

2001 年建成的深海半潜平台 Bingo 9000,结构组成包括箱形上甲板结构、6 个圆角方立柱、2 个箱形浮体、立柱底部 2 组 K 字形水平撑共 6 根、垂向斜撑 4 组共 8 根。更新式的半潜平台,结构组成包括箱形上甲板结构、4 或 6 个圆角方立柱、2 个箱形浮体、立柱底部 2 根水平横撑。2004 年建成的深海半潜平台 BP SSEDHOSE,结构组成包括箱形上甲板结构、4 个圆角方立柱、4 个箱形浮体(口形),完全取消了撑杆和节点。新一代半潜平台的典型外形如图 1.2.1 和图 1.2.2 所示。

新型半潜平台的立柱数目减少了,但立柱横截面积的增大提高了平台稳性。撑杆、K 型和 X 型等节点的减少以至取消,降低了焊接、建造工艺难度,减少了疲劳破坏,提高了平台寿命。口形浮体的出现提高了强度,增大了平台装载量,但导致航行阻力增大,故一般置于大型驳船上拖航移位。

平台建造正越来越多地使用高强度钢。在过去 10 年里,高强度钢($\sigma_s = 420 \sim 460$ MPa)的使用占海上工程结构钢的 25%~50%,目前正进一步普及化。甚高强度钢($\sigma_s = 700 \sim 827$ MPa)已用于建造平台的重要结构,超高强度钢($\sigma_s \geq 1\,000$ MPa)可望投入实际应用。