

深水半潜式钻井平台设计、建造关键技术探讨

中国船舶工业集团公司第七〇八研究所 奚立康

随着世界经济快速增长，石油、天然气需求快速增加，内陆和近海油田潜在资源日趋减少和枯竭，美国和其他工业大国早在20年前就把石油、天然气开采的目光投向了深远海。我国政府也十分重视，在“十五”期间，国防科工委在高技术船舶科研计划中优先安排了“新型多功能半潜式钻井平台研制”科研项目，由上海外高桥造船有限公司和第七〇八研究所承担，对深远海石油、天然气开发装置进行了较深入的研究。“十一五”期间，国防科工委、国家科技部“863”计划再次投入研究经费，以我国南海油田的实质性开发项目为依托工程，对深远海油气开发装备的关键技术进行更深入的研究。本人参与了这些科研项目的立项和实施的管理工作，广泛地接触了我国有关的高等院校、中石油、中海油、石油装备研究所以及国外深水半潜式钻井平台方面的学者和专家，特别是，在深水半潜式钻井平台设计和建造领域的难点和关键技术作了十分深入细致的研究和探讨。本文就针对这些技术问题作些学术讨论。

目前世界上能在大于1500米水深进行深海钻探的装置只有钻井船和半潜式平台二种。而半潜式平台性能更加优良：具有极强的抗风浪能力、巨大的甲板面积和装载量、适应更广的水深范围。经过几十年的发展，目前全球共有约175座半潜式平台。最新型的深水半潜式平台(第六代)的工作水深已超过3000米，钻井深度超过12000米，甲板可变载荷超过10000吨，作业系统高度自动化、智能化，并且出现了双井架的配置。半潜式平台虽然被许多国家采用，但由于设计建造的技术密集和资金密集，世界上仅有少数国家能设计建造半潜式平台。开发设计集中在美国、瑞典、荷兰和挪威等；日本、韩国和新加坡通过引进技术和设计图纸，已成为半潜式平台建造的主要承担者。我国在上世纪80年代自主设计建造了工作水深200米的半潜式平台“勘探三号”；近年来建造了工作水深2000米的半潜式平台主体结构。

随着海上勘探开发向深水和远海发展，自行研制先进的深水半潜式钻井平台有很多难点，如：更





加恶劣的海况和近年来的平台倾斜和倾覆事故，隔水管系统涡激振动引起的疲劳等，对深水半潜平台的作业环境、水动力特性的准确预报以及结构设计和评估提出了更高的要求；需要更大的甲板空间和更大的可变载荷以存放相关的钻井设备（如隔水管）和存储更多的钻井液；钻井作业时保持平台位移的控制更加困难，锚泊定位系统应用受到限制，动力定位系统要消耗大量的燃油，必须采用有效、可行的措施，合理配置定位方式、动力、电站、及其冗余度；为保证有效地向钻井作业设备、定位系统设备、压载沉浮系统设备、生活系统设备以及平台的其它系统和设备提供动力，必须进行大容量动力系统的优化配置；对平台在各种工况下的性能有着极其重要影响的沉浮作业系统等配置，保证在有效的时间内转换（控制）平台的状态；深水钻井装置作业日费目前达 40 ~ 50 万美元，对作业效率和自动化程度提出了更高的要求；为提升大直径钻杆和提吊深水大型隔水管和大型深孔套管等需要，要求研制更大的提升能力和钻深能力的钻机；深海半潜式平台建造中，重量控制和精度控制也是一项非常关键的技术。

针对上述难点，深水半潜式钻井平台设计和建造的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、钻井系统集成与钻井设备技术、平台定位技术、结构强度与疲劳寿命分析技术、平台制造技术等。

●总体设计技术：总体设计是一项综合性技术，是深水半潜式钻井平台自主研制需要突破的关键环节。关键技术主要有：海洋环境条件和海洋工程地质等资料的研究和分析以确定设计环境条件、平台主要性能和技术参数的论证、平台型式及主尺度论证、平台总布置、平台定位方式论证、主要设备配置论证、平台重量、平台技术规格书确定等。同时还包括：

水动力性能预报技术：水动力性能计算分析是深水半潜式平台设计的重要基础。关键技术有：平台水动力性能计算分析、平台与线性、非线性波浪耦合水动力性能分析、特殊结构型式平台在深水恶劣海况下的水动力特性参数分析、非线性波浪载荷预报、气隙预报研究、平台主体 / 定位系统和隔水管的耦合水动力性能研究。

大水深平台水池模型试验技术：与运动响应特性相关的平台主尺度确定，定位系统设计等都需要水池模型验证。关键技术有：极端强非线性波浪和非定常风的模拟技术、深水系泊系统的等效水深截断技术、波浪爬升与砰击模型和适合半潜式钻井平台的混合模型试验技术、平台动力性能及伴流场的测量技术、隔水管涡激振动和动力定位试验设备的测试设备研制技术。

●平台系统集成技术：系统集成是利用计算机网络等技术，通过结构化的综合系统，将平台上各个独立的系统集成到相互关联的、统一和协调的系统之中，使信息和资

源达到充分共享,实现集中、高效、精确而便利的控制和管理。系统集成技术主要研究、解决各个系统之间的互连和互操作性等问题;研究、解决多厂商、多协议和面向各种应用的体系结构;研究、解决各类设备、子系统间的接口、协议、系统平台、应用软件等与子系统、环境、组织管理和人员配备相关的一切面向集成的问题。关键技术有:系统监控技术、系统安全技术、平台各系统与钻井系统一体化集成技术。

●钻井系统集成与钻井设备技术:平台不仅远离陆地,而且需在深水恶劣环境条件下正常作业和自存,在风、浪、流的作用下,产生垂荡、横荡、纵荡、横摇、纵摇、首摇等多自由度运动。又因平台的甲板面积和空间有限,故要求钻井设备外形尺寸小,钻井系统和重要设备更加安全可靠、自动化程度高。关键技术有:(1)平台钻井系统集成技术及提高平台钻井系统作业效率研究:钻井工艺流程研究、钻井系统和水下设备配置及与平台接口技术、钻井系统优化布置技术、管汇系统优化布置技术、泥浆净化系统技术、钻井设备系统集成技术、钻井设备实时监测技术;(2)双井架钻机技术:双井架自动化钻井装置技术、双井架技术、双井架钻井自动化作业技术;(3)钻柱升沉补偿装置与隔水管系统设计技术:钻柱升沉补偿技术、隔水管系统设计技术、隔水管紧急脱离及回接技术;(4)深水钻机系统钻井设备技术:9000kN

顶驱、6000HP绞车、钻井新型转盘、井口自动化工具、隔水管张紧器、隔水管系统、钻柱补偿器等技术。

●平台定位技术:平台作业水深600~3000米,定位技术复杂,研究锚泊定位、动力定位和动力定位+锚泊辅助三种定位方式的水深适应性。关键技术有:锚泊定位方式、动力定位方式、动力定位加锚泊辅助方式的水深适应性、可行性以及经济性分析;平台锚泊定位系统和动力定位系统研究与设计、平台锚泊定位系统等效模拟系统研制。

●结构强度与疲劳寿命分析技术:平台所处的环境条件恶劣,采用大量高强度钢,因此对强度分析和疲劳寿命分析技术提出更高要求。关键技术有:平台结构强度分析、平台疲劳寿命分析、深水恶劣海况下平台特殊结构型式主体结构强度分析、非线性波浪载荷作用下平台主体结构应力分析、平台立柱/横撑等结构碰撞研究、特殊结构型式平台结构关键部位疲劳寿命、特殊结构型式平台结构冗余度;

深水隔水管涡激振动特性分析与抑制技术:隔水管在海洋环境载荷的作用下,将产生涡激振动和疲劳,对隔水管造成破坏。隔水管与流体和平台之间还发生着复杂的相互作用,需要采用理论和试验相结合的方法研究隔水管涡激振动特性与抑制技术。关键技术有:隔水管在深水环境条件中的涡激振动的理论与试验技术、隔水管涡激振动的抑制技术、平台隔水管疲劳寿

命评估技术、流固耦合以及平台和隔水管耦合作用对隔水管涡激振动的影响、隔水管的浮力装置对隔水管涡激振动的影响、隔水管涡激振动和涡激振动抑制试验技术。

●平台先进制造技术:为了提高平台建造质量、生产效率和降低生产成本,必须掌握先进的制造技术。关键技术有:平台的总体建造方案、平台的建造精度控制技术、重量控制技术、平台重要设备安装和系统调试技术、平台数字化制造技术、三维虚拟样船构建技术、平台的单元模块化建造技术、大型分段/特型分段吊运方案、高强度/甚高强度大厚度板滚圆加工技术等。

专有焊接技术:深水半潜式平台采用大量高强度钢和甚高强度钢。高强度、大厚度、复杂节点的钢结构焊接技术是建造平台的关键技术。关键技术有:高强度和甚高强度大厚度钢材的焊接工艺、不同钢材连接焊接工艺、高强度钢/重要管节点结构焊接工艺、大厚度钢板焊接探伤和重要局部结构焊接残余应力控制技术。

为了早日实现自主设计和建造深远海半潜式钻井平台的夙愿,我国的专家和学者针对上述的众多平台关键技术已进行了不懈的努力,并初步跨入了这一领域的门槛。我们坚信:在国防科工委和科技部等有关部门的大力支持下,再经几年的努力,定能取得全面的攻克,获得更为丰硕的成果。