

技术

责任编辑:魏佳琪
电话:59963398
邮箱:weijq@sinopec.com
审校:张春燕
版式设计:王强



周“油”列国
油事精彩

海域

油气增储上产重要增长极

海陆之辨

陆上勘探向深
海上勘探向远

□石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所 王再铎

陆地和海洋都蕴藏着丰富的油气资源。二者的勘探原理基本相同,都要寻找圈闭构造、油气来源、储层条件等,但作业环境、技术体系、成本、风险各异。

首先是作业环境与平台基础不同。陆上勘探以地表为作业面,依托道路、井场和地面集输系统,可调动重型钻机与卡车,工作场景看得见、摸得着。海洋勘探依赖浮式或固定式平台,作业空间受限,设备必须能抗腐蚀、抗风浪,需要动态定位钻探船和海底防喷器等专用设备。

其次是勘探技术与精度控制不同。陆上常用地震勘探器布设障碍物、地形、建筑物等影响较大,需要动态调整。海洋勘探则以拖缆地震勘探为主,受场地影响较小,震源气枪阵列和长达10公里的拖缆能快速覆盖广阔海域,但受洋流和偏移误差影响,深层成像难度比陆地勘探更大。陆上探井可直接取芯验证,效率很高;海洋探井多依赖随钻测井与远程数据传输。

最后是成本与风险差异比较大。3000米的陆上探井造价通常在

数千万元,深水探井总投资基本过亿元。陆上风险来自地质构造复杂性和水文干扰,海洋则叠加风暴、海底滑坡等特殊灾害,一旦井喷或平台倾覆,救援难度极高,水污染修复难度极大。陆上勘探征地、场地改造等费用较高,海洋勘探主要是钻井平台建设。

海陆勘探各有主攻方向。陆上勘探追求“更深”,侧重超深层与非常规资源。如中国石化顺北油气田(新疆塔里木盆地)是超深层勘探的代表,顺北84X井完钻并深超过8900米,攻克了高温高压与破碎性储层难题;中国石化的庆城页岩油(鄂尔多斯盆地)则通过长水平井段与体积压裂实现了页岩油商业化开发。海洋勘探主攻“更远”,向深水、超深水及高温高压领域拓展。如中国海油的“深海一号”大气田(陵水17-2),最大水深超过1500米,最大并深超过5000米,连续3年天然气年产量保持30亿立方米以上。陆上与海洋,均在长期勘探实践中形成了各自独立的学科方向和技术体系,共同构成我国能源安全的“双通道”。

深浅之界

浅水钻探扎根海床
深水钻探浮于海面

□石油工程技术研究院钻井工程技术研发中心 张祚祥

在海洋油气领域,水深是划分技术体系的第一道门槛。业界通常将500米作为浅水与深水的分界线,1500米以上则界定为超深水。

浅水与深水作业最直观的区别在于装备的“站姿”。固定式平台凭借扎根海床的结构,在浅水区稳定性好、应用成熟,但受结构型式制约,无法适应深水环境。钻井船、半潜式平台等浮式钻探装备作业水深范围广、抗风浪能力强、机动性能好、甲板面积和装载容量大、作业效率高,成为深水及超深水油气钻探的主流装备。目前,浮式钻井平台已发展至第七代,作业水深可达3658米,钻井深度达15240米,配置高效双井架、双井口、双提升系统和DP3闭环动力定位系统,可在全球约95%的海域作业。

在浅水固定式平台作业中,防喷器、井口等装置置于平台面上,称为“干式井口”。设备安装维护方便,改造成本低,工艺与陆地则区别不大。深水浮式平台则不同,受安全性和经济性限制,防喷器、井口装置大多置于海底,通过隔水管与平台连接,称为“湿式井口”。水下装置同时承受海水腐蚀、海底低温和井筒高压作用,对材质的抗腐蚀、抗高压、抗低温能力,以及结构强度、密封耐久性均提出极高要求。防喷器组通过电液系统远程控制并采用模块化设计,以满足水下机器人辅助装配需求。在环境稳定性较好的深水水域,也可将水上防喷

器与小直径高压隔水管、水下断开系统结合使用,大幅减少隔水管质量和体积,降低平台性能要求,日费可减少50%~60%。

浅水与深水钻井的另一个区别体现在浅部地层作业。深水沉积过程中,部分上覆岩层被海水替代,导致浅部地层松散、破裂压力低、密度窗口窄。常规的“钻井-下套管-固井”方式效率低、风险大。目前深水钻井普遍采用喷射方法下入导管,一趟钻完成钻眼及下导管两项作业,既节约大量时间,又降低表层作业风险。

国外自20世纪70年代启动深水钻完井实践,已形成成熟技术体系,最大钻探水深达3628米(安哥拉48号区块Ondjaba-1井),油气田开发作业水深达3000米。我国目前已具备超深水半潜式钻井平台自主设计建造能力,在深水隔水管、水下防喷器等关键装置研发上取得重大进展,形成了深水钻完井及开发总体方案设计、安全高效钻完井关键技术体系。2010年以来,“海洋石油981”等深水半潜式平台陆续投用,南海荔湾、流花、陵水等深水油气田成功实施钻探,国内首个自管超深水大气田“深海一号”投产,南海钻完井作业最大水深达2619.35米(荔湾22-1-1井)。至此,我国已具备3000米级超深水钻完井、1500米级超深水油气田开发工程技术能力,实现了海洋油气勘探开发从浅水、深水迈向超深水的重大跨越。

向海图强

【上海海洋石油局】

技术创新激活深海油气潜力

推动自营区块实现超千万吨规模储量扩容,建成国内海上首个千亿方低渗透大型气田

□丁亚洲 祝朝

近日,勘探八号钻井平台承钻的一口超深大位移水平井顺利完钻,完钻井深7300米,刷新平台投产以来最深作业纪录,创造又一亮眼成绩。近年来,上海海洋石油局持续攻克深海勘探难题,在储量发现、钻井施工、核心技术研发等方面接连取得关键进展,为保障国家能源安全提供了坚实支撑。

南海北部湾区域自1982年启动油气勘探以来,长期被业界判定为“资源潜力小、商业勘探价值低”。如今,就是这样一片不被看好的低效探区,却被上海海洋石油局科研团队彻底激活。2024年7月,海3斜井试获日产油气1010立方米油当量;2025年3月,海301井再创佳绩,两个层系分别试获日产1108立方米、167立方米油当量。两口千万级高产探井不仅证实了海3构造整体含油潜力,而且有力推动了自营区块实现超千万吨规模储量扩容升级,让昔日“勘探禁区”蝶变为中国石化首个中深海自营油田核心建设阵地。

钻井装备是深海作业的关键支撑。作为中国石化自动化、集成化、智能化水平领先的自升式钻井平台之一,勘探八号自

2022年投产以来屡创佳绩,创下国内海域6000~6500米深层水平井最短钻井周期纪录;刷新海域表层并眼最快进尺纪录,平均机械钻速达206米/小时。依托先进的国产定向钻井系统,该平台实现钻头岩层精准导航,年度内设备使用率两次位列国内中深海钻井平台前列,得到甲方高度认可,多次获评“服务质量优秀奖”。

科技自主创新是破解深海开发难题的核心手段。面对世界公认的开发“硬骨头”——海上深层低渗透气藏,上海海洋石油局2020年组建攻关团队,历时5年,解决了海上4000米以深低渗透储层的“甜点”描述难题,形成了低渗透气藏合理井网密度设计技术,储量控制程度达90%,建成了国内海上首个千亿方低渗透大型气田,相关技术系列荣获集团公司科技进步一等奖。同时,科研团队成功研发国内领先的OBN(海底节点)五维地震处理解释技术体系,填补了中国石化海洋物探高端技术空白,大幅提升了断裂识别精度,为北部湾高产井开发方案优化提供了有力支撑。

以自主创新为引擎,向深海要能源。上海海洋石油局持续突破技术壁垒,激活深海能源潜力,为海域油气增储上产、保障国家能源安全注入源源不断的动力。

【胜利油田海洋采油厂】

浅海油田勘探开发独具特色

连续10年规模增储超千万吨,探明储量5.44亿吨,累计产油8150万吨

□胜利油田海洋采油厂厂长 王志伟

在渤海湾南部水深5~20米极浅海海域,胜利油田海洋采油厂扎根于此,历经多年探索攻关,走出了一条从无到有、由弱到强的创新发展之路。作为中国石化唯一浅海油田开发单位,该厂管理着埕岛和新北两个油田,已发现明化镇组、馆陶组、东营组等7套含油气层系,探明储量5.44亿吨,累计产油8150万吨。

勘探方面,该厂坚持“拓展领域、储量接替”思路,逐步实现了从构造油藏向岩性油藏、从埋北低凸起向垦东凸起等广阔区域、从陆相砂泥岩向海相及碳酸盐岩等复杂储层的持续拓展。每一次领域拓展,都得益于技术的重大突破。目前,该厂始终将技术创新作为推动油田开发的核心动力,攻关形成了三大核心技术系列、15项关键核心技术,其中,复杂岩性油藏、岩性油藏精准识别、海相储层评价等技术大幅提升了勘探成功率和储量发现效率。近年来,该厂在埕岛主体周边、垦东凸起等中深层重点区域取得一系列突破性成果,多次斩获集团公司油气重大突破一等奖、商业发现一等奖,连续10年规模增储超千万吨。

钻完井方面,该厂遵循“一体化协同、提质增效”理念,与胜利石油工程深化战略合作,构建“目标同向、责任共担、合作共赢”的

紧密合作机制。该模式聚焦钻井、完井全流程管控,形成“事前一体化攻关+方案优化、事中24小时在线动态优化+精细质量管控、事后系统总结+持续迭代”的闭环管理体系,实现了钻完井工作的精准化、高效化推进。面对海上钻完井难度大、成本高、效率低等痛点,技术团队结合极浅海地质特点,优化钻完井参数、改进工艺,相继打造出多口百吨高产井。

开发方面,该厂秉持“创新驱动、效益优先”理念,在没有先例可借鉴的情况下,走出了一条独具特色的浅海油田开发之路。开发初期,该厂率先采用半陆半海开发模式,坚持少井高产、安全简捷、海陆结合,有效降低了边际油田的开发成本,打破了“边际油田无效”的传统认知。同时,该厂始终将技术创新作为推动油田开发的核心动力,攻关形成了精细油藏描述、井网整体调整、注水开发优化、剩余油挖潜等多项核心技术,推动注水开发从“粗放式”向“精细化”转变,有效提高了采收率与开发效益。

经过数十年不懈努力,海洋采油厂年产量从1993年投产初期的10万吨逐步攀升至2014年的300万吨,2025年更是达到363万吨的历史高位,持续保持稳产高产态势,为国内外同类油田效益开发提供了宝贵的技术储备与实践参考。

阅读提示

海洋,覆盖地球71%的面积,蕴藏着全球约34%的油气资源。随着陆地油气勘探日趋成熟,海洋正成为全球能源版图上最具潜力的领域。从水深不足5米的滩浅海到深邃黑暗的3000米超深水,每一次下探都是对技术极限的挑战,每一口探井都可能改写区域能源格局。向深蓝迈进,为能源求索。茫茫大海上,一场面向未来的能源开拓之旅仍在继续。

上海海洋石油局勘探八号平台。
陈炳超摄

深蓝征程

海洋油气成为
全球能源增长“稳定器”

□石油勘探开发研究院无锡所海域研究中心 杨俊

当前,全球海洋油气发展呈现深水引领、气为主导、低碳转型的鲜明趋势。

国际层面,深水、超深水海域已成为全球油气储量增长核心来源。近3年,全球超半数新增探明石油储量来自深水领域,深水项目占据全球顶级油气新发现的主导地位。同时,全球海洋油气投资持续精准导航,年度内设备使用率两次位列国内中深海钻井平台前列,得到甲方高度认可,多次获评“服务质量优秀奖”。

科技自主创新是破解深海开发难题的核心手段。面对世界公认的开发“硬骨头”——海上深层低渗透气藏,上海海洋石油局2020年组建攻关团队,历时5年,解决了海上4000米以深低渗透储层的“甜点”描述难题,形成了低渗透气藏合理井网密度设计技术,储量控制程度达90%,建成了国内海上首个千亿方低渗透大型气田,相关技术系列荣获集团公司科技进步一等奖。同时,科研团队成功研发国内领先的OBN(海底节点)五维地震处理解释技术体系,填补了中国石化海洋物探高端技术空白,大幅提升了断裂识别精度,为北部湾高产井开发方案优化提供了有力支撑。

以自主创新为引擎,向深海要能源。上海海洋石油局持续突破技术壁垒,激活深海能源潜力,为海域油气增储上产、保障国家能源安全注入源源不断的动力。

技术装备升级是海洋油气发展的核心支撑,整体呈现深水化、绿色化、大型化、智能化趋势。国际上,万米级深海脐带缆、水下采油树等核心技术装备逐步成熟,可适配超深、高温高压深海环境;低碳氢能钻井平台、超大型浮式生产储卸油装置(FPSO)、一体化智能开采装备持续迭代,大幅提升深海开发效能。国内海洋油气装备实现跨越式发展,“深海一号”超深水浮式平台、“璇玑”智能钻井系统、海基二号深水导管架、水下生产系统等核心领域实现自主可控,多项技术达到国际领先水平,为我国海洋油气产业升级、海洋强国建设筑牢了技术根基。

从产能前景来看,海洋油气将持续担当全球能源增长的“稳定器”与“加速器”。预计2030年全球海洋原油产量在49亿~50亿吨,年均增速1.5%~2%;海洋天然气产量增速更快,年均增速4%~5%,有望突破1.8万亿~2万亿立方米。国内海洋油气2030年前后有望成为最大油气增量来源,预计海洋原油产量在8000万~8500万吨,天然气产量在450亿~500亿立方米,对国家能源安全保障具有重大意义。

深水钻完井迈向
智能绿色新时代

□石油工程技术研究院钻井工程技术研发中心 张辉

随着海洋油气勘探开发向超深水迈进,行业正面临前所未有的技术考验。除常规作业风险外,高温高压、窄密度窗口、复杂地层、超硬岩等难题叠加,使得深水油气资源开发呈现高技术、高风险、高投入、高回报的特征。当前深水钻完井装备技术水平难以完全满足安全高效开发需求,在安全、效率、智能、环保等方面仍存在短板,对关键装备、工具、工艺技术及井筒工作液体系提出更高要求。

首先,深水钻井装备加速向智能化、多功能化发展。在信息化、数字化、自动化和智能化技术驱动下,叠加海洋风浪流及深水作业高风险影响,钻井装备正加速向智能型、少人化乃至无人化方向发展。未来深水钻完井将呈现两大新模式:一是依托智能系统,在陆地或其他安全区域远程操控钻井平台;二是将钻机直接置于海底,从源头规避风、浪、流等恶劣环境。目前部分国家已启动水下钻完井装备研发。同时,钻井平台在满足常规钻井技术需求的基础上,正拓展地质勘探、海洋勘察、大洋科考、海洋资源利用等多功能、多目标作业能力,重点研发适应超深水高风险水域和复杂地层的新型钻井装备。

其次,利用智能化钻完井技术提升作业安全与效率。海上作业空间有限、设备复杂、环境恶劣,威胁人员安全,又影响工作效率。智能化钻完井技术通过集成物联网、大数据和人工智能,实现全流程智能感知与自主决策,推动安全高效作业。一方面,利用智能钻完井装备的视觉感知与自动化控制系统,实现平台少人化,降低人员安全风险;另一方面,借助智能钻完井决策系统,实时分析井下数据,自动优化钻井参数,实现智能闭环钻井,提升作业安全性与成功率。

最后,绿色环保技术成为行业发展必然要求。深海生态系统脆弱、恢复缓慢,一旦发生油气泄漏或污染事件,将造成长期生态影响。在“双碳”背景下,国内外对海洋环保法规和技术标准日益严格。目前行业正从多个维度发力:利用钻井平台环保设备及废弃物回收利用、处理与回注技术,减少废弃物排放;应用绿色环保井筒工作液,降低环境负面影响;提升深水低成本钻完井技术水平,延长油气井寿命,减少作业量,降低对海洋生态系统的扰动;发展海洋环境污染监测及事故应急响应技术,最大限度减少污染事件影响。