

供应保障

责任编辑:秦紫函
电 话:59964339
邮 箱:
qinzh@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:王 强

周“油”列国
油事精彩

江苏油田采油一厂员工在清理油嘴,保障页岩油井平稳运行。 陈亚洁 摄

专家观点

苏北盆地页岩油资源
潜力正在加速释放

□石油勘探开发研究院非常规油气研究所页岩油室副主任 李 鹏

页岩油作为我国重要的非常规油气资源,已成为保障能源安全的关键领域。苏北盆地是东部典型的中新生代陆相断陷盆地,近年来,通过理论创新与技术突破,页岩油勘探开发取得系列标志性成果。3月,溱潼油田成为我国首批陆相断陷盆地页岩油田之一,标志着苏北盆地页岩油勘探开发迈入新阶段,资源潜力加速释放。

苏北盆地具有多凹陷、多断裂的特点,自下而上发育泰州组二段、阜宁组二段和阜宁组四段3套页岩层系。“十四五”资源评价显示,苏北盆地页岩油资源量超24亿吨,主要分布在高邮、溱潼、金湖和淮安凹陷。2020年,溱潼凹陷深四带沙垛1井试获峰值日产油50.9吨,实现苏北盆地阜二段页岩油战略突破。随后,花页1HF井、花2侧HF井、铜页1HF和海页1HF井相继突破,进一步拓展了阜二段勘探区域。此外,2024年高邮凹陷永106直斜井与永108侧水平井的突破,标志着阜四段有望成为苏北盆地第二个亿吨级页岩油增储阵地。

针对苏北盆地断裂复杂的特点,技术团队构建了“稳定构造区水平井、复杂构造区定向井”两种勘探开发部署模式,实现资源高效动用。同时,率先开展二氧化碳吞吐试验,沙垛1井试验阶段产油10180吨、增油7738吨,提高采收率3.6个百分点,为同类油藏开发提供了新路径。

苏北盆地的页岩油勘探开发已取得显著成效,未来应进一步拓展勘探范围,加强对新区新层系的勘探评价,寻找新的储量增长点。同时,应关注国内外页岩油行业的发展动态,借鉴先进经验,不断提升自身的勘探开发水平,在理论创新、技术研发、成本控制、绿色发展等方面持续发力,为我国能源安全和经济社会发展作出更大贡献。

苏北盆地页岩油勘探开发迈入新阶段

江苏油田:突破深凹区页岩油 再添亿吨级新阵地

□本报记者 徐博諒闻
通讯员 周进峰 王进涛

近期,江苏油田页岩油团队勘探开发统筹部署,地质工程一体化进一步深化阜四段纵向“甜点”层认识,积极优化完善永页3井组方案。目前,江苏油田已在阜四段部署3口井,累计产油超1.9万吨,产气超600万立方米。

苏北盆地页岩油资源丰富,地质资源量达15.86亿吨,主要分布于阜二段和阜四段。在阜二段复杂断块页岩油取得突破的基础上,江苏油田将勘探思路由阜二段复杂断块向阜四段拓展。2024年12月,苏北盆地高邮凹陷阜四段页岩油勘探重大突破获集团公司油气勘探重大发现一等奖,并入选中国石化2024年十大油气勘探发现成果。

精雕细刻
石头缝里寻宝藏

页岩油是指以页岩为主的页岩层系中所含的石油资源,作为非常规油气资源,因低渗透、流动性差而极难开采。江苏油田主力探区苏北盆地素有“地质家考场”之称,其地质构造具有“小碎贫散”特征,历经数十年的勘探开发,老油田稳产难度加大,常规油气勘探下行压力逐渐显现。因此,江苏油田提出了由常规油藏勘探向“油气并举、常非并进”转变,重点加强非常规区带评价和“甜点”预测。

2011年,页岩油团队从基础研究着手,不断夯实资料基础、加强页岩油理论与技术攻关,逐渐发现了页岩油“藏身之地”——主要分布在苏北盆地的高邮凹陷、金湖凹陷,并揭开了阜二段页岩油神秘面纱。

2022年2月,花页1HF井成为江苏油田首口正式投产的页岩油井。按照“点上突破、层上拓展、面上展开”思路,团队在阜二段先后部署页岩油井17口,探索不同区带、层段、井型页岩油产能。

目前,阜二段投入生产的有13口井,其中7口井累计产油超1万吨,3口井累计产油超2万吨、1口井累计产油超4万吨;新增页岩油控制储量超5100万吨、预测储量超2000万吨,证实苏北盆地页岩油具备良好的勘探开发前景。

精益求精
地层深处锁定“甜点”

在阜二段复杂断块页岩油取得突

破的基础上,科研人员加强阜宁组页岩油差异富集主控因素研究。他们认为阜二段位于斜坡区,而阜四段位于深凹区,两者特性不同。深凹区的阜四段断层少,构造更为稳定,发育异常高压,具备页岩油勘探的有利条件。

“阜四段紧邻常规油气勘探目的层,具有非常有利的‘常非兼探’条件。”江苏油田勘探开发研究院副院长段宏亮说。

2024年4月,江苏油田在高邮凹陷部署了首口“常非兼探”永106井,获日产油14.5吨、气1560立方米,一举取得苏北盆地江苏探区高邮凹陷阜四段页岩油勘探战略性突破,激活阜四段页岩油4.16亿吨资源量,进一步拓展了优质资源上产新阵地。

之后,页岩油团队又部署了永108斜井,以评价该区戴南组砂岩上倾尖灭圈闭含油气情况,并加深钻探兼获取阜四段页岩油资料,依托国家重点实验室开展岩矿、地化、储层等33项5597样次实验分析,深化阜四段页岩油评价。

“我们认为阜四段具备良好的页岩油物质基础。”江苏油田专家刘世丽介绍。相较阜二段埋深适中、断裂发育、断块破碎的特质,阜四段页岩长英质含量更低,裂缝发育程度低;页岩纹层和层理更发育、渗透率更高、油品更好,原油流动性更优;双向应力差小,压裂易形成复杂缝网。

他们针对有利的岩相类型,建立了阜四段“泥生全灰白云富”的页岩油富集模式,落实5套“甜点”层,明确勘探潜力,指导阜四段多井型井位部署实施。

2025年4月,江苏油田进行勘探开发一体化部署,采用平面正对、纵向交错井网的方式,在永页3井组多层立体部署6口评价井,深化阜四段纵向“甜点”层认识,落实开发技术政策及配套压裂工艺参数。

经评价,阜四段页岩油具有开井压力高、见油早、油气比高、含水率稳定下降的特点,水平井产能与阜二段相当,具有较好的经济效益,是苏北盆地第二个亿吨级页岩油资源阵地。

科技赋能
精准施策提高效益

突破来自技术创新。

页岩油储存在微小的页岩缝隙中,是最难开采的油藏之一。页岩层被不同时期的断层相互切割,提高页岩油开采效益成为关键。“我们提出断块型页岩油勘探思路,根据断块差异,将断块型页岩油分为连续稳定型、微



江苏油田首口页岩油井花页1HF井生产现场。 陈亚洁 摄

专家点评:

江苏油田工程院副院长
黄晓凯:

江苏油田苏北盆地发育3套页岩层系,页岩油地质资源量超15亿吨,其中阜二段和阜四段页岩厚度大、分布广,油气显示丰富,是勘探开发重点层系。目前,江苏油田投产的页岩油井累计产油20余万吨。

针对阜二段页岩储层断裂发育、非均质性强的特点,技术团队以EUR(评估的最终可采储量)最大化为目标,攻关形成“穿层密切割强化增能”压裂技术,加砂强度从2.6吨/米提升至5.2吨/米,达到国内先进水平;千米水平段EUR提高46%,单井投资控制在4500万元以内。

同时,江苏油田页岩油勘探向埋深大于4000米的阜四段拓展。高邮凹陷阜四段优质页岩储层埋藏深,垂深4000~5000米,岩性组成、天然裂缝、地层压力等关键地质条件较阜二段有着根本性的差别。技术团队攻关形成了深层直斜井“细分段、密分簇、控流量、强加砂”复杂缝网压裂技术、深层水平井“超密切割、聚能压裂、暂堵转向”体积压裂技术。

目前,江苏油田在阜二段和阜四段都取得了页岩油勘探重大突破,初步形成了苏北盆地页岩油勘探开发关键技术系列,但如何实现从单井勘探突破到井组效益建产的跨越,还面临着EUR差异大、窜通风险高、单井成本进一步降低难等风险挑战。下一步,江苏油田将强化地质工程一体化攻关,建立阜二段、阜四段差异化压裂技术,同时开展空间井网设计、立体压裂布缝、拉链式压裂、综合优化降本等研究,力争建立满足大平台井组压裂技术体系,实现井组高效开发。

断层切割型、跨断块多‘甜点’型三类,精准施策,提高开采效益。”江苏油田工程院副院长黄晓凯说。

苏北盆地高邮凹陷页岩油埋深超3500米,压力大、储存空间比头发丝还细微,给工艺技术带来了极大挑战,能否找到“甜点”层和适应性工程工艺技术成为效益开发的关键。

面对重重挑战,页岩油压裂团队立足自主攻关创新,开启非常规压裂技术破冰之旅。

技术团队针对苏北盆地“断块型”页岩油勘探难点,创建以岩相划分和分类评价为核心的“甜点”层综合评价技术,加强断层精细描述与水平井轨迹设计技术,随钻地质导向技术、优快钻完井技术和体积压裂改造技术攻关与试验,能够精细识别和刻画20米级小断层,确保水平井跨断层有利层钻遇率、优快钻完井和压裂改造效果。

“页岩油不同于常规油藏,需要利用非常规手段人工制造油藏开发通道,通过更大的排量、更高的液量把页岩压碎,在地层深处形成‘多条高速公路和无数羊肠小道’的裂缝网络,把页岩油开采出来。”江苏油田工程院储层改造室主任金智荣说。

在布缝模式方面,技术团队打破“等间距、大间距”的常规布缝模式,采用按照页岩层“甜点”精准密切割布缝的方式,提升压裂产能。在加砂模式方面,他们创新思路,将铺砂模式由“低黏度、短段塞”模式迭代升级为“变黏度、长段塞”连续铺砂模式,提升砂量和综合砂液比。在提升能量方面,采用大液量高排量注入,并采用二氧

化碳增能的方式,补充地层能量,延长压裂周期。

2022年4月,江苏油田第一次在苏北盆地应用全电驱压裂模式,对花2侧HF井进行了压裂作业,节约20%动力费。2023年6月,花页7HF井在“大规模造缝增能、复合暂堵转向、全尺度支撑”主体工艺基础上,创新开展一体化建模、一体化设计、一体化施工,创苏北盆地页岩油单井加砂量、加砂强度、压裂垂直深度、注二氧化碳总量四项施工纪录。2024年4月,江苏油田首口全自主施工的“常非兼探”页岩油井永106井压裂放喷投产。同时,攻关实现了微地震采集设计、数据处理、综合解释自主化,完成永108侧井等5口页岩油井的微地震检测工作。2024年12月,首次在花页10HF井成功应用瘦身井钻井技术,打开提速降本新空间,实现降本15.7%。

阜四段开发以来,页岩油团队创新运用深层水平井复杂缝网压裂技术,支撑多层系、多井型实现压裂高产,此外,认真总结页岩油井生产规律,探索建立“控压生产”技术,制定“焖井—排液见油—达峰稳产—递减”分阶段全周期工作制度,推动页岩油绿色高效开发。

在勘探实践基础上,科研团队不断深化理论创新和技术迭代升级,形成了混积页岩“甜点”描述与预测技术、优快钻并配套技术、密切割体积压裂关键技术、开发关键技术的苏北盆地页岩油勘探开发关键技术系列,逐步掌握断块型页岩油开采技术,成本持续降低。

华东油气:溱潼凹陷中低演化区页岩油取得勘探突破

□本报记者 沈志军
通讯员 花彩霞 张璇璐 俞亮亮

截至7月1日,华东油气在泰州境内部署的页岩油重点探井——溱页3HF井累计自喷生产380吨,产油5700吨。该井于2024年8月8日自喷日产超20吨工业油流,标志着苏北盆地新类型页岩油勘探取得重要突破,进一步扩大了页岩油资源规模,也为资源的高效开发提供了重要的技术支撑和实践经验。

溱潼凹陷位于苏北盆地东南部,地质构造复杂,油气资源丰富。近年来,华东油气加大风险勘探力度,加强页岩油基础地质研究,发现阜二段页岩具有较好的生烃潜力和储集条件。

2020年,华东油气在中高演化成熟区部署实施沙垛1井,试获日产

50.9吨高产油流,实现了苏北盆地陆相页岩油勘探的重大突破。2020~2024年,随着勘探逐步深入,中高演化区页岩油已实现规模勘探,页岩油井实现了高产稳产,累计产油超34万吨,累计产油超万吨单井13口,提交探明地质储量4000余万吨。

然而,中低演化区页岩油资源尚未得到有效开发。溱页3HF井的成功突破,正是对这一区域页岩油资源潜力的有力验证。

溱页3HF井是苏北盆地溱潼凹陷中低演化区的一口重点探井,目的层为阜二段页岩。该井的成功得益于精细化勘探策略的实施和工程工艺技术的创新。

在地质评价方面,科研团队通过高密度三维地震资料、测井资料和实验模拟,对阜二段页岩的岩相、物性、

含油性及可动性进行了全面分析,明确了页岩富集的主控因素。研究发现,中低演化区页岩热演化成熟度一般为0.7%~0.8%,但有机质含量较高,富含葡萄藻、底栖藻无定形等生烃能力很强的成烃母质,生烃热模拟演化显示具有“早生烃、高转化”特征,具有较大的生油潜力,且随着埋藏变浅,储集物性变好,为页岩油富集提供了良好的储集空间。

在钻井工艺方面,设计采用“高效PDC(聚晶金刚石复合片)钻头+大扭矩螺杆+强化水力参数”提速工艺,实现旋转导向/LWD(随钻测井)组合导向,采用高性能水基钻井液确保目的层井壁稳定,优质页岩钻遇率100%,固井质量优秀,满足后续施工需要。近年来,科研团队加强技术研究,形成了苏北页岩油钻完井工程工艺技术,

在构造复杂区迭代形成“二级变径+水基钻井液+偏心扩眼器”定向井钻井技术体系,在构造稳定区迭代形成“三级结构+高性能水基+精细控压”水平井钻井技术体系,在完钻井深加深的情况下,钻井周期分别缩短31%、27%。

在储层改造工艺方面,针对苏北页岩油张性应力背景、纹层发育特点,创建了独有的组合缝网高效储层改造技术;针对不同构造分区,形成了针对性差异化储层改造设计模板,复杂区形成直斜并拟水平井储层改造工艺,稳定区形成水平井立体支撑储层改造工艺,推动页岩油高效建产。

试油过程中,科研人员通过精细的试油设计和动态监测,成功获得稳定工业油流。目前,溱页3HF井日产油15.5吨,进一步证实了中低演化区页岩油开发的可行性。

专家点评:

华东油气勘探开发研究院院长
高玉巧:

溱页3HF井的成功突破是我国页岩油勘探领域的一项重要成果,具有重要的科学意义和实践价值。

首先,打破了传统观念中对中低演化区页岩油资源潜力的低估,为页岩油勘探指明了新的方向。中低演化区页岩油的研究不仅丰富了页岩油藏理论,也为类似地区的勘探提供了新的思路。

其次,溱页3HF井的成功实践展示了我国在页岩油勘探技术方面的显著进步。水平井和多级缝网改造技术的应用,体现了我国在非常规油气资源开发领域的技术实力。特别是针对中低演化区页岩油的地质特点和开发难点,科研团队通过技术创新和精细施工,成功实现了工业油流的突破,为页岩油开发提供了宝贵的技术经验。

此外,这一成果对于保障我国能源安全、优化能源结构具有重要意义。页岩油作为重要的非常规油气资源,其高效开发将有效降低我国油气资源的对外依存度,增强能源自给能力。同时,页岩油开发的推进也将带动相关产业链的发展,促进区域经济增长。

然而,页岩油开发仍面临诸多挑战。中低演化区页岩油的成藏机制复杂,原油流动性差,开发成本较高。未来应继续深化地质研究,优化开发技术,推动页岩油资源绿色、高效开发。



溱页3HF井储层改造施工现场。沈志军 摄