



加大三方面攻关力度 加速推动我国陆相页岩油革命

□李倩文 陈新军

我国陆相页岩油分布层系多、范围广、资源潜力大,对石油企业而言,实现陆相页岩油规模效益开发,推动我国陆相页岩油革命,是在现有油气资源禀赋下的必然选择。

近年来,各油田企业不断加大页岩油勘探开发力度,鄂尔多斯、准噶尔、松辽、渤海湾等盆地页岩油勘探开发相继取得重大突破,在资源评价、开发提产、理论研究、工程技术等方面取得了一系列重要进展,先后设立了新疆吉木萨尔、大庆古龙、胜利济阳3个国家级页岩油示范区。当前,我国陆相页岩油勘探开发已取得以下进展。

一是资源基础雄厚,储量丰富。中国石化矿区内页岩油地质资源量约占全国地质资源量的1/3,主要分布于渤海湾、江汉、苏北、鄂尔多斯、四川、南襄等7个盆地。截至2022年底,中国石化落实页岩油三级储量44亿吨,探明国内首个10亿吨级页岩油田大庆大油田;中国石化累计新增页岩油控制储量1.13亿吨。

二是产量快速增长,初步实现规模开发。我国陆相页岩油勘探开发先后经历了研究探索、勘探突破、试验攻关、开发建产等阶段,年产量快速增长,目前已初步实现规模开发。

三是理论认识不断发展和完善。在地质理论方面,从陆相产油理论到陆相生油理论的转变,实现了重大理论创新,“源储一体、全盆找油”的非常规石油地质理论取得成功实践;建立了页岩油地质评价标准,初步形成基于页岩油地质工程一体化甜点选区与目标评价优选体系,规范和指导我国页岩油勘探开发;形成了甜点精细评价与控制技术,优质甜点预测精度与钻遇率大幅提升;揭示了中低成熟度页岩油原位转化机理,依托基础实验确定了关键评价参数,评价出我国中低成熟度页岩油资源潜力。

四是工程技术水平显著提高。建立了符合页岩油特点的开发评价方法、技术标准,基本形成了以“长水平井、小井距、大井丛、立体式、细分切割体积压裂”为核心的体积压裂关键技术体系,创新形成了地质工程一体化体积开发部署技术,实现多层一次性动用;创新发展了长水平井、大井丛、立体式布井模式,工厂化、平台化工程作业模式,有效节约征地面积,提高单井产量和采收率,缩短钻井周期,降低开发投资。

我国页岩油快速发展成绩有目共睹,然而,由于我国陆相页岩油赋存地质条件复杂,无法完全复制美国理论与技术模式,要实现高质量勘探、规模效益开发,还面临技术、管理等诸多挑战。在当前油价长期震荡的形势下,要实现我国陆相页岩油的规模效益开发,建议从基础理论、开发技术、提产降本3个方面加大攻关力度,加速推动我国陆相页岩油革命。

加强基础理论研究,开展具有中国特色的陆相页岩油理论技术攻关。要积极探索陆相页岩产油机理,加快形成中高成熟度和中低成熟度两大类页岩油理论技术体系,集中研究陆相页岩油甜点和甜点层赋存机理和富集规律,深化相态与渗流等页岩油开发理论,创建陆相页岩油“体积开发”理论体系。

加强工程技术攻关,降低单井成本。应建立不同类型页岩油差异化最优靶层标准,集成多学科精细甜点优选技术,提高效益开发甜点钻遇率;优化大平台部署,打造具有示范区特色的高效工厂化作业模式标杆;提升钻井技术,降低单井成本;探索压裂、增能、补能一体化技术,提高采收率;加强开发参数个性化、地质工程一体化研究,强化精细体积开发,制定科学合理的开发技术策略,提高单井最终可采储量;加快地下实验室建设,深化开发规律再认识,支撑技术升级换代;推进智慧油田平台建设,提升综合效益。

创新组织管理方式,促进提产降本增效。要以国家级页岩油示范区建设为基础,以试点示范带动新技术应用,先行先试,提高我国页岩油勘探开发成效;加强地质工程经济一体化研究,缩减钻井周期,提升钻井作业效率,实现降本增效;贯彻全生命周期管理理念,推进页岩油的高效动用和有效组织;强化管理方式创新,鼓励合资合作和技术共享,加快智能化新技术运用,不断降低页岩油勘探开发成本,实现规模化、效益化的良性发展;完善相关配套政策,探索创新管理体制机制,加大财政支持和政策补贴力度,提升开发效益。

(作者单位:石油勘探开发研究院)

华东油气先后部署8口页岩油井,累计产油近8万吨,实现了不同埋深、层系、井型、区带的勘探突破,并架设页岩油储层改造专用电网,推动页岩油绿色高效立体开发

蹚出苏北盆地页岩油效益开发之路

能源经纬

□本报记者 沈志军 通讯员 花彩霞

“5月20日,风险探井海页1HF井日产页岩油超50吨,自4月初投产以来累计产油超千吨,标志着华东油气在苏北盆地海安凹陷率先实现重要突破。华东油气自2020年沙垛1斜井实现突破后,先后部署8口页岩油井,累计产油近8万吨,展现了苏北盆地良好的页岩油勘探开发前景。”华东油气勘探开发研究院副院长马晓东说。

近几年,华东油气不断深化页岩油勘探开发理论认识和实践创新,在苏北盆地蹚出了一条页岩油效益勘探开发之路。

地质工作者并没有拘泥于有机质丰度这个单一要素,而是对“有机质的丰富性、热演化的充分性、储集系统的优越性、体积裂变的可行性”等诸要素进行体系性识别,对“可生成、可保存、可动用”背后的机理进行抽象性思维,从层层迷雾和重重障碍中抽身,总结出符合苏北盆地实际的页岩油勘探客观规律。

敢于创新 揭开页岩油“面纱”

苏北盆地页岩油勘探起步较晚。20世纪70年代,苏北盆地有多口钻井在古近系阜宁组二段(阜二段)的页岩中钻遇油气显示,但由于当时普遍认为阜二段为生油层而非产油层,并未引起广泛关注。

2012年,华东油气加大了页岩油选区评价力度,部署实施了北港1井,但未获商业突破。

近年来,在强化基础研究、对比国内外页岩油成藏条件及富集规律的基础上,华东油气开展了对苏北盆地的老井复查和页岩油形成条件分析,深化了页岩油的“生—排—运—聚”机理研究。2020年以来,苏北盆地突出页岩油保存条件及可动性研究,按照“风险勘探突破、平面展开控储量、纵向评价求产能、不同井型试工艺”的部署思路,取得了阜二段页岩油勘探开发重大突破。

2020年,华东油气优选苏北盆地溱潼凹陷的深凹带部署实施了沙垛1斜井,该井

作为苏北盆地第一口页岩油专探井,在阜二段页岩中获高产油流,测试最高日产油量50.9吨,自喷生产两年多,累计产油1.53万吨,实现了苏北盆地陆相页岩油勘探重大突破。

沙垛1井突破以后,华东油气针对阜二段不同层系先后部署实施溱页1HF井、溱页2HF井。溱页1HF井实现了埋深超4000米页岩油勘探新突破,阜二段I亚段试获66.2吨/日高产油流;溱页2HF井试获113.1吨/日高产油流,日产原油量创苏北盆地新高,实现了阜二段新层系II亚段勘探重大突破。

不满于现有的页岩油勘探成果,华东油气从构造稳定区转探构造复杂区。

苏北盆地属于典型的陆相断陷盆地,经历多期构造运动,构造相对复杂,断裂发育,水平井成井困难。2022年,部署于溱潼凹陷的红201斜井和鲁1侧井,分别试获日产79.1吨和34.3吨高产油流。

勇于尝试 多井型勘探页岩油

沙垛1斜井突破后,华东油气紧接着从浅到深、从I亚段到II亚段、从构造稳定区转探构造复杂区、从溱潼到海安强化部署,实现了不同埋深、层系、井型、区带的勘探突破。

溱页1HF井为探索埋深超4000米深层页岩含油性,建立阜二段标准剖面,评价1000米水平段产能,自喷生产17个月,累计产油1.86万吨;帅页3-7HF井利用老井探索小井眼地质工程一体化技术降低成本,测试日产油36.4吨,自喷生产17个月,累计产油8459吨,推动页岩油效益开发。

上述井的实施实现阜二段I亚段页岩油勘探重大突破,2021年沙垛区块阜二段I亚段提交页岩油预测储量3100多万吨。2022年,华东油气立足溱潼凹陷深凹带,按照“平面展开控储量、纵向拓展求产能”的思路,持续深化地质条件研究,明确赵家庄地区缝网发育、地应力适中,为拓展页岩油储量规模,甩开评价深凹带东部,部署溱页2HF井;为落实构造复杂区含油性、地

应力特征及合理的开发技术政策,在时堰次凹实施鲁1侧井和红201X井。

溱页2HF井测试获日产超百吨高产,目前已自喷生产6个月,累计产油1.34万吨,证实苏北盆地阜二段中下部页岩具有较好的含油性,明确了深凹带是页岩油勘探的有利区带。

高性能水基钻井液助力降本增效

今年正月初四,华东油气部署在苏北盆地海安凹陷的风险探井海页1HF井顺利完井。“第二代高性能页岩水基钻井液SM-ShaleMud-II体系在海页1HF井应用再获成功,为页岩油效益、绿色开发作出贡献,我感到非常自豪。”中国石化石油工程技术研究院钻井工程技术研发中心主任师高书阳说。

钻井液是钻井的“血液”,其性能对钻井速度、钻井安全和油井投产后的产量有至关重要的影响。

油基钻井液是页岩油勘探开发的“宠儿”,可有效维持页岩水平井井壁的稳定性,保障顺利成井,但其成本高,后期环保处理费用是水基钻井液的4倍左右,给河道密布的苏北地区带来巨大的环保压力。

大胆尝试就是成功的一半。2021年1月,华东油气邀请工程院技术人员就帅页3-7HF井开展首次技术交流。华东油气提出利用老井侧钻超小井眼水平井的施工方案。

通过充分讨论,双方的专家达成一致意见,并成立帅页3-7HF井页岩油超小井眼水平井水基钻井液技术攻坚小组。技术人员在钻井现场经过4个多月挑灯夜战,共开展体系构建、性能优化、井壁稳定性评价等试验300余组,获取数据1000余个,最终完成了技术方案。

页岩油气高性能水基钻井液SM-ShaleMud-II体系在页岩油井帅页3-7HF井开展首次试验,完钻井深5132.66米,水平段长1361.66米,创直径118毫米井眼页岩油井并深最深、水平段最长和高性能水基钻井液钻进裸眼段最长等8项国内施工新

纪录。

钻井专家介绍,帅页3-7HF井成功完井,为苏北页岩油勘探开发探索出一种新模式——利用老井眼(停产井)实施侧钻小井眼水平井,比新钻井成本降低60%。溱页2HF井的成功,则验证了“二开制+水基钻井液”简化井身结构井的技术可行性。

储层改造步入电动时代

2022年9月7日,华东油气页岩油井溱页2HF井储层改造完成了11段的施工;2023年4月1日,苏北盆地海安凹陷首口页岩油井海页1HF井利用全电动泵完成了17段储层改造。泰州采油厂近40公里电网专线提供了电力保障,标志着华东油气页岩油储层改造步入电动时代。

相比传统的3000型柴油驱动压裂机组,电驱压裂设备功率更大,噪声降低20%以上,成本降低24%左右,可以24小时连续施工,环保、降本及提速提效效果明显,电驱压裂设备将有效促进页岩油绿色高效立体开发。

2021年12月,华东油气泰州采油厂调整出一个35千伏的电网出口供页岩油储层改造使用。电网线全长20.7公里,主线路58个。2022年4月,电网开工建设。

安全是所有工作环节的生命线。在监理单位常态化监理的基础上,采油厂建立“1+1”的工作模式,由现场管理小组和监督中队专人驻现场实施监督管理。“我们每天不到5点就起床,一天跑三四个来回,要200多公里。”监督中队安全监督胡晓刚说。

多方同心打下牢固基础加上安全监督有力保障,桩基施工工序不断被优化,多个作业面并行施工,最多的施工阶段有20台桩机同时施工。2022年7月,主体工程全部完工,提前计划28天完成施工任务,于8月21日正式通电,采油厂页岩油储层改造专用电网正式建成。

“电驱压裂设备在施工过程中表现出连续平稳及减少污染、降低成本、提高效率等优点,必将助力页岩油高效绿色开发。”现场施工技术人员说。

江苏油田页岩油压裂团队创新形成“密切割布缝+大排量大液量造缝增能”压裂技术,打破“等间距、大间距”常规布缝模式,寻找适合每口井的布缝方案

“一井一布缝”打通页岩油“高速公路网”

□徐博倩娟

初夏,在江苏油田花页7HF井场,数台压裂车轰然作响,正在为页岩油开发压开最后的通道。

2012年,江苏油田成立页岩油勘探团队。2022年,页岩油井花页1HF井、花2侧HF井率先在阜二段IV亚段新层系取得勘探突破,标志着苏北盆地高邮、金湖凹陷的12亿吨页岩油资源量被激活。

页岩油流动性较差,就像桂花糕上的桂花蜜一样,无法自然流动。如何能高效压开页岩油通道是页岩油效益开发必须面对的课题。

为页岩油打造“高速公路网”

面对资源量庞大的“聚宝盆”,江苏油田页岩油压裂团队创新形成了“密切割布缝+大排量大液量造缝增能”压裂技术,让页岩油在人工制造的数百毫米级“高速公路”上流出。

压裂团队加强理论研究和基础认识,得出了页岩油产量与改造体积正相关的结论。“既然压裂能让页岩油从微裂缝中渗出,那我们就人为制造更多的复杂缝,为页岩油打造出‘高速公路网’,让四面八方的页岩油通过各条‘公路’进入井筒,直至地面。”江苏油田工程院储层改造室副主任黄越说。

对于复杂缝的设计方案,江苏油田工程院副院长黄晓凯说:“我们坚持‘工艺技术追求极致’的理念,尽可能以页岩层甜点为核心,精准密切割布缝,并

通过大液量高排量注入,达到以液量换油量补能量的目的,更好、更多地把页岩油开采出来。”

量体裁衣定制布缝方案

若要人为制造复杂缝,需要反复研究致密储层岩石脆性、两向应力差异、微裂缝发育情况等因素。由于两向应力差异较大,不利于形成复杂裂缝,压裂团队制定布缝方案时需要几十个回合的试验和模拟。

在花页1HF井压裂时,布缝主要借鉴国内外油田,针对性不强,技术还有很大的提升空间。从第二口井开始,压裂团队通过“一井一布缝”方式,打破“等间距、大间距”的常规布缝模式,寻找每口井合适的布缝方案,提高缝之间的诱导应力,优化裂缝布局。花页7HF井布缝时,技术团队根据井况进行20组试验及12组诱导应力模拟、24组裂缝扩展模拟,通过精确计算指定32段197簇的压裂方案,布缝密度达11条/100米。

由于江苏油田断层、裂缝发育,裂缝延伸复杂,加砂难度大,地层压力系数低,技术团队创新形成了大排量大液量造缝增能技术。在提升能量方面,压裂团队采用大液量高排量注入,并通过二氧化碳增能的方式,补充地层能量,延长压裂稳产期;在加砂模式方面,首次创新压裂液液性组合思路,将铺砂模式由“低黏度、短段塞”升级为“变黏度、长段塞”连续铺砂模式,进一步提升砂量和综合砂液比。经施工模式创新,一

个长段塞的加砂量相当于以往4~5个短段塞的加砂量,单段砂量增加50%以上。

现场坐班打通“最后一公里”

在现场指挥室里,团队成员紧紧盯着屏幕上显示的各条压裂参数曲线,时刻关注着油井的施工状态。

“我们的页岩油储层断裂发育,地层情况异常复杂,需要紧盯现场,根据微地震监测数据,并综合各方面施工情况,及时作出判断和决策。”江苏油田首席专家李汉周说。

在造缝时,压裂团队希望缝不仅可以走得远,还能走得“稳”。花页7HF井比之前压裂的井更深,施工压力在85~95兆帕。为保证每段裂缝“不塌方”,投产前,油能顺利流动,他们想了很多办法。“我们提高加砂强度,让裂缝充填饱满,得到良好的支撑,从而扩大有效改造体积和泄油面积。”江苏油田工程院储层改造室主任金智荣说,他们制定“快提排量压开缝、变压裂液黏度延伸缝、大小粒径支撑剂组合充填缝”的调整方案,尽可能达到甚至超过设计加砂量。

铁打的团队,流水的井。一年多来,在每口井的压裂现场,都能看到压裂团队的身影。每一天压裂结束后,团队成员都会将当天的数据统计和施工过程分析总结在压裂日志上。“这是我们的‘藏经阁’,时常翻阅总结经验,对攻克施工‘卡脖子’难题大有好处。”金智荣表示。

页岩油开发评价井溱页1-102HF井储层施工现场。沈志军 摄