

江汉油田深化地质工程融合,推进压裂技术迭代升级,实现深层压得开、薄层打得准、长段控得稳

技术

责任编辑:季佳欣
电话:59963261
邮箱:
jix@sinopec.com
审校:张春燕
版式设计:王强

□本报记者 夏梅 通讯员 赵春 李婉芊

单井EUR是指油气并最终可采储量,直接反映单井产能潜力、开发效益和资源动用水平,提升单井EUR就是夯实资源基础、增强可持续发展能力。

页岩油气被称为“人工气藏”,需通过压裂改造破碎页岩,形成油气流动通道,才能释放储层产能,而压裂、射孔等工艺技术的先进程度,直接决定储层改造效果,进而影响单井EUR。江汉油田针对不同区块特点,攻关压裂工艺技术,提高技术适配性,持续提升页岩油气新井EUR。目前,涪陵区块单井EUR相比前期提升22.6%,复兴区块单井EUR同比提升42.8%,红星区块单井EUR同比提升10.3%。



周“油”列国

油事精彩

强化压裂攻关 激活页岩潜能



江汉油田复兴区块兴页L186-6-1HF井压裂现场。

李东勇 摄



江汉油田技术人员现场指导地质导向工作。

李东勇 摄

专家视点

精准压裂让地下储层从“黑箱”变“玻璃体”

□石油工程技术研究院高级专家 卞晓冰

目前传统的“经验式、规模化”压裂模式较难满足国内页岩油气效益开发的要求,单纯的“大流量、大砂量”并不等于“大产量”,更不等于“大EUR”。国内外实证案例逐步验证了这一点:单井改造强度翻倍,但EUR仅提升50%;压裂规模过大易导致套管变形,造成EUR巨大损失;井距加密带来的井间干扰(压窜通)频发,严重侵蚀了改造效果。规模化压裂虽然解决了“有没有”问题,但在降本增效的大背景下,迫切需要解决的是“好不好”的问题。

页岩油气开发呈现“早期高产、递减快、长期低产”的特征,单井EUR已成为衡量页岩油气效益开发的“总开关”,“精准压裂”应运而生,其核心在于将地质“甜点”(基质孔隙度、总有机碳、渗透率等)与工程“甜点”(可压性、应力场)进行三维耦合识别,建立精准三维地质模型,实时校正井部署和射孔位置,将水平段精准地“导入”优质储层。精准压裂要求在高储层厚度区域适当加密段簇,在差层区域适当稀疏,以实现“好层多改造、差层不浪费”的目标。特别对于多套砂体叠置的页岩,传统的均匀布簇往往导致裂缝扩展受阻或层间压窜,而精准压裂通过差异化布簇和暂堵转向技术,可实现段簇间的均衡起裂和均衡改造。北美通过智能化技术初步实现了精准压裂,就在于对“地质工程一体化”理念的极致追求。哈里伯顿通过Octiv™ Auto Frac服务、SmartFleet智能压裂系统、ZEUS™ IQ智能压裂平台三项服务完成在智能压裂领域的布局;Octiv™ Auto Frac服务实现了自动化控制泵注流程,减少人为操作误差;SmartFleet系统集成井下传感测量,实时三维可视化界面和地面控制系统,通过实时观察裂缝扩展情况即时调整压裂参数;ZEUS™ IQ智能压裂平台将自动化压裂硬件(如Octiv)和实时监测软件(如Sensori)深度融合实现实时数据监测,无须人工干预即可自主地、动态地优化压裂参数。通过三维建模与实时反馈相结合,北美智能压裂将地下储层从一个不可见的“黑箱”变成了一个透明的“玻璃体”,为压裂的精确作业奠定了坚实基础。

精准压裂不是一个简单的技术升级,而是一次全链条的思维革命,旨在打破“地质是理论、工程是实践”的壁垒,智能压裂则是实现地质认识精准传导的必由之路。通过构建基于大数据和机器学习的压裂参数智能优化平台,实现“压裂即编程”,通过历史大数据的学习,预测最佳的压裂参数组合,进一步压缩成本,同时实现压裂施工过程的实时风险预警、后期产量的动态预测及施工参数的动态优化调整。

智能压裂技术走入现场只是一个新的起点,页岩油气效益开发还需进一步解决EUR优化及精准压裂难题。目前,国内智能压裂软件如FracAgent V1.0已初步具备智能化的压裂设计与决策、施工过程实时监测与预警,以及闭环反馈调控功能,达到了在关键环节实现“点状突破”的起步探索水平。下一步,将持续推进智能压裂技术链构建,攻克高精度实时监测与诊断技术,实现地下裂缝透明化;发展自主可控且泛化能力强的核心算法模型,打造智慧“大脑”;构建一体化智能装备与井下工具体系,强健“四肢”;实现全链条数字孪生与自主闭环控制,形成完整的“神经系统”。针对非常规储层精准发力,实现降本增效的目标。

向深,测试产量三连跳

3月18日,超深层红页7HF井已连续稳定生产800余天,累计产气量超过3000万立方米。

在红星地区,埋深大于4500米资源量占比超过66%,是勘探开发的重点方向。然而,一深万难。“红星区块储层薄,灰岩多、夹层多。岩石硬,工程本身难度大。”江汉油田石油工程技术研究院储层改造专家张凡介绍。尤其是往深层走,高储量、多夹层带来的难点问题更为凸显。

埋深大,叠加储层硅质含量高带来一系列压裂难题。“我们开展地质工程一体化

攻关,工程向地质延伸看岩芯,地质向工程延伸深化压裂现场,开展已压裂井回观性评价,一段一分析、一井一总结,确定了更加精细差异化工艺化方案。”张凡表示。技术人员协同攻关,迭代形成“适度密切割+高/稳排量+动态控压+粒径分级高加砂”主体工艺,实现了深层高储量多夹层页岩由压不开到压得好的提升,关键参数大幅提升,埋深从3300米到3900米再到大于4500米不断突破,测试产量实现三年三级跳,单井EUR持续提升。

向薄,精准压开“泥巴”

前不久,兴页L255-6-1HF井测试获

得每日160.45吨高产工业油气,成为复兴区块第六口百吨井。在该井压裂过程中,团队破解高黏土、强塑性问题,集成“超密切割+超大排量+超高加砂”工艺突破应力隔夹层,实现精准压裂,提升优质储层动用率。

复兴地区侏罗系地层隔夹层发育复杂,优质页岩储层厚度仅12~15米,且黏土含量高,储层改造面临诸多挑战。技术人员把复兴区块页岩比喻成泥巴,而在又薄又黏的泥巴里,打造出既宽又长还能持久的复杂缝网,非常考验技术手段。

该油田聚焦“缝控储量提升、工艺参数适配、缝网支撑优化”三大目标,持续探索新技术新工艺,推广以“密切割+大排量+差

异化限流+缝结暂堵+小粒径支撑”为核心的压裂工艺。通过高排量、高液量压裂参数,增加打开地层的力量,同时选用小粒径支撑剂提高加砂强度,采取密切割和暂堵的方式,形成复杂人工缝网,最大限度地沟通油藏。

“我们通过攻关压裂技术,优化压裂工艺参数,强化施工精准控制,让储层改造效果与单井EUR提升形成强关联。”该油田油气产建管理中心完井管理室主任吴魏说,目前复兴区块中单井EUR相比开发初期提升48.2%。

向长,精准织缝避“蛛网”

涪陵页岩气田开发初期单井EUR的水平段只有1007.9米,现在普遍在2500米左右,最长达到5412米。”吴魏介绍。水平井压裂改造是实现页岩储层效益开发最有效的手段,理论上水平段越长、改造体积越大,单井动用可采储量也越高。

随着水平段增长,如何分段、精准压裂保障施工顺利进行,既收到预期储层改造效果,又降低对邻井的负面影响,是必须要克服的难题。尤其是在气田老区,地下井网如蜘蛛网,井与井之间最近的仅有30米,新井压裂时容易和老井缝网沟通,一旦压窜了,后果不可逆。

为实现精准压裂,变邻井互扰为互促,技术人员借助缝网数模一体化技术,让地下情况透明化,摸清邻井人工缝网走向、储层改造效果、每个小层开采情况、剩余气分布和多少,在立体缝网中有为的放矢,明确每一段的压裂规模、设计参数,最大程度释放产能。

同时,技术人员借助气藏管理平台,针对不同区块特点,在施工过程中根据埋深设置压力梯度变化预警参数,实时监控邻井压力变化,确保变化幅度保持在合理范围内。

从深层突破到薄层深耕再到长段织网,江汉油田正以技术之力不断解锁地下潜能,以工艺迭代支撑单井EUR持续提升。

石化机械:用高可靠装备撬动页岩油气增产新空间

□李方森 吴州

3月13日,江汉油田涪陵页岩气田焦页171平台压裂施工现场,由石化机械公司研制的175兆帕电动压裂装备机组正高效运转。在120兆帕超高压工况下,装备实现18~22立方米/分钟排量精准调控,超高压储层改造作业有序推进。这套专为页岩油气超高压压裂施工打造的电动压裂装备机组,凭借高可靠性、强适配的核心性能,实现超高压储层改造作业与网络构建,为页岩气并最终可采储量(EUR)提升筑牢装备根基,也成为涪陵页岩气田超高压储层开发的关键技术支撑。

涪陵页岩气田深层储层埋深多超3500米,地质构造复杂、地应力分布不均,施工压力常达到120兆帕超高压区间,传统压裂装备机组安全裕度低、工况适配性不足,难以实现储层的体积化高效改造。此前工区部分井施工中,曾因装备机组无法稳定适应超高压工况,出现裂缝延伸不充分、改造效果不佳等问题,直接影响到单井产能与最终可采储量。

针对超高压压裂施工装备瓶颈,石化机械四机公司组建专项技术攻关团队,聚焦超高压电动压裂装备机组开展核心研发,打造出高度适配工区地质特征的175兆帕电动压裂成套装备机组,实现三大核心技术突破。一是迭代升级5000型电动压裂液力端,优化SCF5000泵柱塞结构,在功率不变前提下实现压力等级跃升,精准匹配120兆帕超高压施工需求;二是构建全电动压裂装备机组体系,替代传统驱动模

式,在稳定保障超高压压裂施工的同时,显著降低设备能耗与噪声,兼顾高效施工与绿色环保;三是研制配套175兆帕高压管汇系统,采用高强度合金材料,安全系数提升2倍以上,有效规避超高压施工风险,筑牢了施工安全屏障。

此次焦页171平台的超高压施工作业,是该套机组在涪陵工区的又一次应用。其在120兆帕超高压工况下实现7×24小时连续稳定作业,将支撑剂高效输送至地层深处,助力形成更复杂、更延伸的裂缝网络,有效扩大油气泄流面积,让超高压储层改造更充分、更高效。目前,石化机械175兆帕电动压裂装备机组已在涪陵页岩气田凤来、平桥等区块多口井推广应用,在西南工区创下140兆帕超高压施工、单段最大液量4120立方米的工区纪录,已成为油田深层页岩气高效开发的核心标配装备。

面对向更深、更高压、更复杂储层开发的趋势,石化机械将紧盯提升页岩油气田EUR核心目标,持续深化超高压压裂装备核心技术攻关,不断提升装备智能化、适配性、可靠性与安全性。推进装备机组智能化升级,依托智能控制平台实现施工参数动态协同优化;研发高适配性的超高压管汇及配套工具,提升装备整体可靠性与使用寿命;构建装备健康自诊断体系,实现故障预判和远程维护。一系列技术创新将持续释放涪陵页岩气田EUR潜力,为我国非常规油气资源规模化高效开发、实现稳产高产注入强劲动力。

经纬公司:搭建压裂增产的“联通桥”

□赵春国 董明达 许瑾

近日,经纬公司江汉测录井分公司安全、高效完成了焦页152平台5口井分段桥塞多簇射孔联作施工任务,射孔一次成功率100%。

“射孔和压裂是油气增产改造中密不可分两个关键环节,尤其在页岩气、致密油等低渗透储层开发中,二者协同作用决定压裂效果与开发效益,最终带动EUR的提升。”经纬公司射孔工程专家潘国说。

具体到江汉油田涪陵、复兴等页岩气区块,如果说压裂是页岩气藏开发的“疏通术”,那么射孔就是整套手术链条的第一道切口,也是实现优化压裂增产增效的“联通桥”。

江汉油田焦页45平台是集团公司开展页岩气同步压裂的试验平台,施工效率预期目标10段/日以上,该平台4口井,其中焦页45-25HF井为套损补修井。江汉测录井分公司射孔项目部针对首次同步拉链压裂工艺实施风险分析、优化完善生产组织方案和技术保障措施,历时30天完成201段多簇射孔施工,全平台施工泵送成功率、射孔效率均达100%,同步拉链压裂期间施工效率保持12段/日以上,并且创集团公司单日压裂速度最高16段/日新纪录,超额20%实现集团公司下达的预期目标。

面对重重难关,江汉测录井分公司总结经验,成立同步射孔项目组,优化措

施方案,在首次实施“2+2”队伍24小时倒班模式施工的基础上,科学筹划打好四张王牌。

打好智能牌。应用智能化集成化技术装备,首次应用智能绞车面板和80系列模块化射孔工艺,一方面实现了作业深度提醒和参数报警功能,信息化辅助绞车司机施工,提高电缆起下安全性,另一方面简化了装配操作和质控节点,提高现场装配质量和效率。

打好好优牌。全面做好套修井施工保障,优选73毫米系列射孔器材,保证有效射孔穿透与可靠桥塞密封,并通过为刀筒头设计加装限位角和实施分级减阻控制方案,确保工具顺利通过缩径套管。

打好安全牌。强化现场吊装安全管控,针对同步压裂平台场地限制及压裂射孔交叉施工工艺复杂等实际,采取“外侧先安装、内侧先拆卸”轮流吊装方案,并由值班干部统一协同指挥,确保现场吊装安全有序作业。

打好精益牌。树立“精益管理”工作理念,精细规划场地,制定“镜像摆放、共用装枪区”的方案,在有限的场地内科学完成设备摆放,达到同步泵送作业条件。同时采取主辅队管理模式,明确各队职责,确保平台施工井然有序。

值得一提的是,目前射孔新技术也不断在现场应用。今年2月,江汉测录井分公司在江汉盆地潜江凹陷17-斜6井首次应用外置式高能气体压裂射孔新技术,该井日产量提升2.5倍。

江汉石油工程:给页岩油气藏做疏通

□朱洪

“压裂曲线就像地层的‘心电图’,我们要做的就是从这些跳动的波纹里,读懂地下几千米页岩油藏的‘心思’。”在江汉油田复兴区块兴页L213-6-1HF井的压裂现场,江汉石油工程井下测试公司压裂专家豆瑞杰介绍道。

页岩油气藏埋深地下,渗透率极低,油气就藏在这些致密岩石的“毛细血管”里。如何把这些卡在微米级缝隙中的资源高效释放出来,是提升单井最终可采储量(EUR)的关键。今年以来,井下测试公司聚焦江汉油田涪陵、复兴、红星三大区块,攻关形成一系列增产新技术,助力20余口井获得高产突破,单井EUR整体提升11%。

“这口井的黏土矿物含量超过50%,地层压力系数也偏低,常规压裂就像用水大

去冲一块吸满水的海绵,效果有限。”在兴页L186-6-1HF井,井下测试公司技术团队创新开展了二氧化碳逆序扩体压裂技术先导试验,负责现场压裂施工的技术人员宋全友介绍道,“我们先用水基压裂液造主缝,再用二氧化碳打开分支缝,让岩石产生更多裂缝,后用水基压裂液携砂,就像先建主干道再修辅路,交通才能畅通无阻。”这一套组合拳打下来,较传统工艺增产效果提升24.8%,能量波及面积扩大13.2%,为复兴区块页岩油藏开发打开了新路。

而在焦石坝老区,一批开发多年的气井正面临产量递减的困境。如何让这些老井重焕生机?重复压裂技术给出了答案。该公司技术团队自主研发成型套管扶正器、机液一体化丢手装置等核心工具,建立了重建井筒重复压裂技术体系。在焦页20-1HF井,他们采用“控破裂+暂堵转向”

工艺进行差异化设计,测试日产量达11.2万立方米,单井EUR预计增加0.3亿立方米。曾经的低效井,重新焕发青春。

单井产量在提升,压裂效率还能不能再快一步?在焦页45西平台,该公司率先试验“1套低压-1套机组-2套高压-2口井”的同步压裂新工艺,12天完成144段压裂,创下单日压裂16段的全新纪录。“就像两个手术团队协同作战,既要各司其职,又要默契配合,才能收到1+1>2的效果。”豆瑞杰介绍道。

在地下深处,压裂液如同“流动的手术刀”。针对红星区块纵向非均质性强、天然裂缝发育的特点,技术团队研发了FLICK-2S超分子低摩阻一体化压裂液。“它就像给地层配了一款多功能营养液,既能降低输送阻力,又能根据裂缝发育情况智能切换黏度,让支撑剂精准进入目标位置。”豆瑞

杰说。该体系在红页9HF、红页11HF等井应用36井次,累计用液超230万立方米,施工排量提高2~4立方米/分钟,加砂强度提高34%。

与此同时,针对复兴页岩油储层黏土含量高、温度低的特点,该技术团队历经4次技术迭代,形成页岩油渗吸驱油一体化压裂液体系。“就像用洗洁精清洗油污,这种压裂液能主动‘吸附’原油,让油滴从岩石表面脱落,不仅采得快,更要采得多。”豆瑞杰解释,“它解决了黏土遇水膨胀堵塞孔隙的难题,让更多原本卡在微孔里的原油有机会流出来,直接拉高了单井的最终可采储量。”该体系在兴页L213-6-1HF等井应用,日产量突破200立方米,预测EUR较邻井提升30%以上,助力2025年复兴区块平均日油气当量突破100吨,较2023年提升近一倍。