



页岩气喜添新层系 展现万亿规模潜力

□翟常博 邓 模

我国页岩油气资源丰富,是常规油气资源量的3倍,发展潜力巨大。涪陵页岩气田的发现,有力带动了国内页岩气勘探开发。四川盆地志留系页岩气已实现商业开发,是北美之外全球最大的页岩气产层。全国共发现8个海相页岩气田,探明储量2.9万亿立方米,均来自四川盆地志留系五峰组-龙马溪组页岩。页岩气产业快速发展,探索品质优、分布广、埋深适中的页岩气勘探新层系迫在眉睫。

二叠系自下而上发育3套海相页岩,分别为茅口组、吴家坪组和大隆组,分析测试表明3套页岩均表现出“富碳、高脆、高含气”的特点,与志留系和寒武系页岩相比,还具有埋深较浅、热演化程度较低的优势。以往多将二叠系的3套页岩作为传统的优质烃源岩来研究,经过不断开展老井复查和回顾性评价,发现二叠系页岩层气测活跃,展现出作为页岩气新产层的勘探潜力。2019年,中国石化在鄂西渝东红星地区建南构造部署了第一口二叠系页岩气风险探井红页1井,2020年该井在吴家坪组水平井压裂试获日产天然气8.9万立方米,实现了我国二叠系海相页岩气勘探首次重大突破。

此后,四川盆地及周缘二叠系页岩气勘探开发捷报频传,在多地、多层系不断取得新突破,如中国石油部署在梁平地区的大页1H井吴家坪组测试日产气32.06万立方米,中国石化部署在达州市的雷页1井大隆组测试日产气42.66万立方米、部署在红星地区茅口组的红页茅1HF井测试日产气6.45万立方米。目前红星地区已有6口井稳定试采且达到商业开发标准,培育形成了二叠系吴家坪组、茅口组“两层楼”立体勘探开发新场面,对四川盆地新区新层系页岩气勘探具有示范和引领作用,有望在涪陵志留系之后,形成又一个万亿立方米规模增储阵地。

接下来,需要持续深化储层非均质性评价、裂缝起裂及延伸规律研究,优化工艺参数,大力提升页岩气产能;进一步完善页岩气区带评价方法,优选盆内深层和盆缘中浅层有利区带和勘探目标,加强风险勘探,全力拓展二叠系页岩气勘探新阵地。

(作者单位:石油勘探开发研究院)

改写评价标准 带来巨大机遇

□刘计勇

与已实现商业开发的川东(涪陵)志留系页岩气相比,鄂西二叠系页岩气具有“一薄三复杂”特点,即页岩厚度薄、岩性岩相复杂、构造变形复杂、地形地貌复杂。

二叠系页岩气勘探缺乏相适应的基础理论、关键技术和配套工艺,主要面临以下四方面难题:一是复杂沉积相带薄层页岩气富集机理尚不明确,精准评价难;二是二叠系页岩岩相复杂、非均质性强,页岩精细表征难;三是地表地下双复杂、页岩厚度薄,地质工程“双甜点”精准预测难;四是薄层页岩硬度高、隔夹层多,优快钻进及有效压裂难。

二叠系页岩独特的“斜坡-陆棚频繁交互”薄层优质页岩发育新模式,将页岩有利相带由传统认识的深水陆棚相拓展到斜坡-陆棚相。“滞留闭塞-火山缺氧”是吴二段富碳的主控因素;“上升洋流-生物耦合”是茅四段富碳的主控因素,生烃强度每平方米大于10亿立方米,有了薄层页岩也能形成大型页岩气藏的新认识。

与志留系页岩的高硅特征不同,二叠系页岩整体表现出“高发、高模量”的特征,给压裂施工带来一定的影响。针对这种情况,江汉油田提出新思路,初期酸液开道溶解碳酸盐岩矿物、降低施工压力,然后注入压裂液破裂岩石造缝,酸岩反应与水力压裂协同,实现有针对性的增产改造。

在以往的海相页岩勘探中,页岩厚度在30米以上的储层才被认为有商业勘探开发价值。鄂西二叠系页岩厚度普遍较薄,部分页岩单层厚度甚至不到10米,二叠系页岩气勘探突破重新定义了页岩气勘探有利区评价标准,打破了页岩有效厚度的下限,改写了行业标准,给二叠系海相页岩气勘探,甚至我国南方页岩气勘探带来巨大机遇。

(作者为江汉油田勘探开发研究院天然气勘探所副所长)

“逐梦”二叠系 “红星”耀南方

江汉油田在红星地区取得二叠系超深层页岩气勘探重大突破,为我国南方页岩气勘探带来巨大机遇

能源经纬

□谢江 陈晓辉 刘媛媛 姜建琼

2023年12月,江汉油田在鄂西渝东红星地区部署的红页7HF井测试获日产32.35万立方米高产气流,取得二叠系超深层页岩气勘探重大突破,对推动该地区二叠系深层超深层规模增储具有重大意义,有望在涪陵志留系之后,落实又一个新区新层系万亿立方米规模增储阵地。

突破下限寻找新层系

红星地区的油气勘探工作始于20世纪70年代,勘探人员先后发现石炭系、长兴组、飞仙关组、须家河组等12套含气层系,但一直没有获得大的突破。

红星地区二叠系形成于2.5亿年前,属于生烃条件好的海相页岩,虽然后期历经沧海桑田,但天然气保存相对完好,是油气富集层系。

涪陵页岩气田发现后,为寻找新的产建阵地,夯实稳产基础,江汉油田对红星地区二叠系进行两轮整体评价。“到野外看剖面、测剖面,取样分析化验,对该层系的页岩气指标描述了一遍。”江汉油田勘探管理部副经理李雄说,“经过研究,我们对二叠系的生烃条件、厚度等有了新的认识,也有了极大信心。”

但超过3000米的埋深,让科研人员再次犯难。地质认识不到位,深层页岩气钻井、压裂工艺技术跟不上,二叠系的勘探未热先冷。打破沉寂局面的一次偶然。2018年,常规天然气探井枫1井“路过”二叠系吴家坪组钻遇良好油气显示。“国内外都将30米作为页岩气有效气层厚度下限,低于这个标准,页岩气就无法效益开发。”江汉油田勘探开发研究院副总地质师刘皓天说,“红星区块二叠系储层不足20米厚,是否值得加大勘探力度?”

科研人员从鄂西到渝东开展大量野外剖面调查,利用录井、测井资料对页岩品质及含

气性进行评价,发现吴家坪组、茅口组虽然厚度薄,但页岩品质优于涪陵志留系,红页1HF井顺利通过论证。

2019年11月,红页1HF井开钻。在3300米深的地下打页岩气水平井,对科研人员来说是一次新的挑战。

钻进过程中,科研人员根据随钻伽马实时进行地层对比、物探资料修正和地质模型计算,及时调整钻井轨迹,最大程度保证钻头在最优层段穿行,最终该井优质页岩气层钻遇率达95.6%。

“相较志留系,吴家坪组脆性矿物、碳酸盐岩含量高,岩石强度大、硬度高,要压开地层形成页岩气流动通道,对压裂工艺技术提出了更高要求。”江汉油田工程技术研究院非常规油气开发专家肖佳林说。面对前所未有的难题,科研人员反复论证,提出储层改造工艺新思路,通过提升人工造缝能量、加大长缝和宽缝的扩展力度,形成通畅的采气通道。

2020年12月,红页1HF井完成试气,测试日产气8.9万立方米,并保持稳定生产。该井成功试采,填补了国内二叠系页岩气勘探开发空白。

快速展开锁定新阵地

红页1HF井突破后,二叠系勘探下一步该如何展开?科研人员开展大量基础研究,对该地区与二叠系有关的老井并进行地质资料复查,精细研究测井和地震资料,按照页岩气勘探开发标准对二叠系进行重新再分析、再认识,发现二叠系优质页岩储层在整个区块大面积连片分布。

“虽然分布广,但是要实现高效开发,还需进一步勘探,在地下要找到‘最甜’和‘更甜’的位置,在地面要能控制储量分布范围。”江汉油田勘探开发研究院天然气勘探所副所长刘计勇说。

为深化红星地区资源潜力评价,夯实天然气增储上产基础,江汉油田按照“展开建

南、突破三星、准备新区新层系新类型”的思路,以“整体部署、分步实施、综合评价”为原则,根据预测、控制、探明三级储量对井距的要求,围绕红页1HF井,在不同方向快速部署红页2HF、红页3HF、红页4HF、红页5HF、红页茅1HF、红页茅2HF等6口探井,开展红星地区建南区块吴家坪组页岩气整体评价,以及三星区块、建南区块茅口组页岩气预探,进一步扩大红星区块勘探成果。

“我们结合地质、地球物理及工程研究,细化地质和构造基础研究,对整个红星地区地下‘甜点’层及‘甜点’区再认识。”刘计勇说,“每口井的井位部署都非常谨慎,一方面要证实分析和认识的准确性,另一方面要掌握和摸清该地区不同区块的地下情况,为三级储量的提交筑牢数据基础。”

2021年,红页2HF井测试获日产气15.2万立方米,同时,位于区块北边的红页3HF井测试获日产气11.5万立方米。先天条件不足的红页4HF井,页岩储层最薄,只有13米,构造最复杂、储层改造难度最大,也测试获日产气8.63万立方米。

这些探井的相继成功锁定了千亿立方米的增储阵地,有效控制地面上整个区块,基本掌握地下的地质情况,红星地区页岩层薄、灰岩夹层分布等情况展现在科研人员面前,并积累了不同储层改造所对应的工程工艺技术,为后续勘探工作提供了有力支撑。

2022年9月,距红页1HF井突破不到两年,江汉油田挑选整个区块中页岩厚度大、含气性好的有利地区,按照探明储量提交的要求,论证部署9口井,启动红星增储工程,作为江汉油田油气勘探“1号工程”统筹推进。

红星地区勘探开发迎来了新局面。

提产攻关见到新成效

对油气井的提产攻关是勘探工作中的重要环节。良好储层是基础,有效改造是关键。经过红页2HF、3HF、4HF等井的成功,

江汉油田初步掌握红星地区页岩储层压裂改造工艺方式和方法。在红星增储工程中,大量攻关工作围绕提产展开。

到底是什么因素影响储层压裂改造效果?如何才能让气井获得更高产量?为强化增储效果,来自地质、地球物理、油气藏工程、压裂等专业的20名专家及骨干人员联合开展已钻井回顾性评价和地质工程一体化攻关。

红页3-2HF井就是最好的印证。通过精细地质研究,科研人员坚信红页3-2HF井通过改造能够实现高产。他们利用一个多月时间,对前期施工井的曲线、难度等进行分类分析,重新定义红页3-2HF井的地质和工程“双甜点”位置。

“地质‘甜点’意味页岩气品质好、含气量高,工程‘甜点’则意味页岩气层压裂难度小、容易改造。”肖佳林介绍。在红页3-2HF井钻井和压裂工程中,科研人员改变以前地质“甜点”占主导的方式,开展交叉研究、双向评价,通过调整靶窗为地质工程“双甜点”层,更有利于工程施工,提高钻井穿层率,降低压裂施工难度,让人造裂缝延伸更顺畅,以此获得对储层更好的改造效果,让气井实现高产。

2023年8月,红页3-2HF井测试获日产23.8万立方米高产气流,是同平台红页3HF井的两倍,也是目前红星地区二叠系吴家坪组埋深最大、测试产量最高的探井。该井的测试成功,证实了红星地区二叠系吴家坪组吴二段深层页岩可获高产。

在红页3-2HF井的经验指导下,后期实施的红页24HF、35HF、26HF、7HF等井,压裂效果均得到较大提升,为红星增储工程顺利完成提供了强有力保障。

目前,江汉油田正朝着红星地区二叠系深层继续探索,在茅口组部署的风险探井红页茅1HF井试获日产6.45万立方米气流,首次取得国内二叠系茅口组页岩气勘探突破,有望形成继吴家坪组后又一个千亿立方米增储阵地。

“每口井遇到的问题都风格迥异”

个性化管理保障气井稳定生产



江汉油田员工正在巡检集输装置。

宋国梁 摄

大,产量和井口压力波动大,外输压力和产量平稳控制难度大,利旧管线压损大、易堵塞等问题。技术人员对该井日夜“监护”,投产后加密测压及分析气水样,通过日跟踪、周讨论、月分析,保障该井平稳度过试采期。

试采过程中,红页2HF井一直采用套

管生产,一度出现了井口压力即将与输压持平的状况。采气一厂摸索提产带液制度,当产量、压力出现异常波动时,安排人员到现场通过提产、降产、投泡棒、放喷、间开等方法排出井底积液,并制定了间歇生产制度,减少单次放喷时长,延长周期开井时间,保

障了该井连续生产。

后来,红页1-2HF、红页1-3HF、红页3HF、红页4HF等气井相继试采。“虽然同为红星页岩气井,但每口井遇到的问题都风格迥异。”采气一厂技术中心主任银照炉说,必须解决气井易水淹、压力低等问题,延长其生命周期,实现稳产增效。

“每口井都是宝贝,要让他们多产气,就得精心呵护。”采气一厂副厂长罗林波说,“我们以稳产量、降递减为目标,持续加强红星地区气井精益化、个性化管理,优化‘一井一策一工艺’管理制度,实施全过程动态跟踪监测,深化分析气井稳产规律,形成了一套‘定产返排、提产间排、泡沫助排、气举强排’排采工艺。”

该厂技术中心与采气站采取“技术+操作双结对”方式,及时调整配产和排液制度,优化生产制度、动态监测和资料录取等工作,实现气井安全平稳生产,取全取准相关数据和资料,为探索红星地区气井生产规律打牢了基础。

针对红星地区页岩气并含硫化氢、地层压力系数低、气井产水量高等问题,技术人员对红页1HF井采用“变密度动态压井+预置泡排”压井作业方式,配套“泡排+”措施增产效果明显,目前累计产气超3000万立方米;对红页2HF井由作业前辅助泡排间歇式生产优化为自喷连续稳定生产,按照定产6万立方米/日试采,已连续稳定生产超一年。