



牢记嘱托 再立新功 再创佳绩 献礼党的二十大

萌生新认识 方得大突破



2021年,中国石化国内上游企业大打高质量油气勘探进攻仗,取得一批重大油气勘探发现成果,新增油气探明储量超过2020年,发现成果的数量和质量均创“十三五”以来新高,实现“十四五”开门红,全方位提升了能源供给保障能力。

油气勘探的重大突破,一般指具有战略引领意义的首次发现,并展现出可规模接替的潜力。今日起,本版推出一系列专题,剖析2021年度油气勘探重大发现的历程及启示。首先推出的是来自2021年油气勘探突破4个特等奖获奖项目的启发——“萌生新认识 方得大突破”,其中胜利油田页岩油重大突破此前已整版报道,可右侧扫码回顾。

“一盆凉水”
浇出地质新认识

项目:顺北地区4号断裂带新区带油气勘探重大突破

获奖:集团公司2021年油气勘探突破特等奖

意义:顺北41X、42X、43X、44X等4口千吨探井取得突破,实现了顺北4号断裂带的整体控制,展现了顺北地区北东向断裂带良好的勘探潜力,落实资源量超两亿吨油当量。



顺北44X井钻井现场。

唐德旨 摄

□本报记者 王福全 通讯员 毛庆言 李弘艳

站在珠峰顶能看清山脚一棵树

西北油田顺北探区地下有18条断裂带,如同18条潜伏的油龙。1号、5号断裂带勘探成功后,科研人员的目光聚焦到4号断裂带上。

4号断裂带长约60公里,是1号断裂带的3倍,且在地质上非常相似,预测油气规模远大于1号断裂带。

但勘探4号断裂带并非易事。国内外走滑断裂带的描述精度多为千米级,而顺北断裂带属于板内稳定构造带内的小型走滑断裂带。想在断裂带上部署井位,需要将断裂解析精细到米级。这相当于站在珠穆朗玛峰顶能看清山脚一棵树。

寻找油气常用的三维地震方法遇到了新问题。顺北探区位于塔克拉玛干沙漠,4号断裂带地表沙丘呈蜂窝状,人造地震波穿过厚度不均的沙层,传播到地下七八千米深的储集体后,再返回地面时,能量大幅衰减。西北油田开展联合攻关,研发出“三带一”立体成像技术和地震信号吸收补偿技术,高清还原了地下原始情况。

在此基础上,科研人员将对断裂带的认识从静态认识逐渐推进到动态认识,从平面分段推进到立体解析,形成并深化了断裂精细解析技术,推演出断裂带几亿年来的活动情况,从而摸清了它的发育特征和规模潜力。

断裂带内部并非像高速公路一样畅通无阻

在断裂精细解析技术的支撑下,科研人员优选部署了顺北41X井、42X井。

但正当大家信心满满等待收获时,一盆凉水浇了下来。2020年11月,顺北41X井酸压测试,未能形成规模产能。

科研人员逐一分析断裂带的油气储运条件,大胆提出了新的地质认识:断裂带内部并非像高速公路一样畅通无阻,在油气运移的横向和纵向通道上,可能分布着不规则的障碍物,导致出现了非均质性。

也就是说,油藏内部存在隔层或断层,导致油气藏身的“房间”之间不连通或低效连通,各自储存着不同成分的原油。

为验证这一新认识,科研人员数十次对比修正顺北41X井地质模型,终于模拟出与实际地震剖面基本一致的正演剖面,得到了准确的规模储集体分布地质模型。

依据新的地质模型和地震资料,他们发现,顺北41X井深部存在较大规模的洞穴型储集体,且连通性好,决定加深350米侧钻。2021年3月,顺北41X井获得突破,成为4号断裂带上第一口千吨井。

“顺北41X井进一步证实了走滑断裂带断续缝洞型储集体垂向具有非均质性,首次确认‘主断裂面+串珠’是高产井主要反射特征,这对于我们在4号和周边断裂带的勘探具有重要指导意义。”西北油田勘探开发研究院顺北项目部主任韩俊说。

一体化赢得“双丰收”

2021年8月26日,顺北44X井在4号断裂带北段再获日产油当量超千吨。这其中,一体化协同实现高质量钻井功不可没。

针对顺北地区特殊复杂的地质结构,西北油田成立了地质工程一体化联合攻关组,搭建了一体化沟通平台,地质、地震、钻井、油藏、储运等多个专业间形成协商互助的工作机制,资料成果共享、相互答疑解惑,更好地优化钻井方案、推动钻井提速。

在顺北44X井钻至目的层前,科研团队对顺北42X井、41X井仔细分析,得到4号断裂带高产井的反射特征。基于此,他们发现顺北44X井原选择的浅部目标地震特征和高产井特征存在差别,而断裂带深部却有着与高产井特征相同的异常反射体,于是果断提出将原靶点加深117米,扩大了勘探成果。

由于多专业间协同良好,顺北44X井的设计钻井周期由邻井的220~270天缩短至200天;实钻在6次取芯的情况下,仅用184天就完钻,实现地质突破和工程提效“双丰收”。

▶ 启示:

西北油田副总经理、总地质师云露:顺北41X等4口千吨井的突破,是西北油田始终坚持强化基础研究、强化技术攻关、强化目标评价,深入推进勘探开发、地质工程一体化的结果,是持续迭代勘探技术、持续优化勘探部署、持续一体化运行的结果。

改变老认识
优化页岩油评价标准

项目:溱潼凹陷阜二段页岩油新领域勘探重大突破

获奖:集团公司2021年油气勘探突破特等奖

意义:华东油气部署的3口页岩油探井均获高产,首次实现苏北盆地陆相页岩油勘探重大突破,揭示了基质型页岩油藏良好的勘探前景,开辟了苏北盆地原油资源战略接替阵地。

□本报记者 沈志军 通讯员 花彩霞

“源岩”突破的“火种”被点燃

华东油气苏北老探区勘探面积小、勘探程度高,常规油气增储上产面临储采失衡的严峻挑战。

从2012年起,华东油气就把目光投向非常规领域——主力烃源岩层系阜宁组二段,初步评价认为,苏北盆地华东探区阜二段泥页岩厚度大、含油性好,裂缝发育区具有较好的勘探潜力。

2014年,华东油气在金湖凹陷部署探井北港1井,在阜二段钻遇油层43.9米,压裂试获日产5.9吨工业油流。2016年,他们对阜二段钻探水平井,试获日产22吨高产油流。但好景不长,由于该区块构造复杂、压力系数不高,油井产量递减快,阜二段勘探工作一度停滞。但是,实现阜二段“源岩”突破的“火种”已悄然埋下。

近几年,受国内外众多页岩油勘探突破的鼓舞,科研人员心中的“火种”被点燃,开启了新一轮的评价研究。他们深化页岩油基础研究,认为构造稳定、成熟度较高、具有异常高压的溱潼凹陷深凹带具有页岩油突破的可能,优选沙垛地区部署实施风险探井沙垛1井,于2020年初通过论证。

坚定回归本“源”找油采油的信心

沙垛1井于阜二段泥页岩钻遇良好油气显示。科研人员开展了一系列研究,选取35米甜点层精心设计该井的大斜度段钻井方案,并成功避免阜宁组地层因井壁失稳而垮塌。

页岩油井高产的关键是储层改造。科研人员凭借近年来深耕页岩气的经验,预测页岩油储层改造的压力会在100兆帕左右,据此配置了140兆帕等级的井口装备。

2020年11月,沙垛1井完成7段储层改造施工。华东油气储层改造专家熊炜说:“这口井实际施工压力始终在100兆帕左右,高压力等级装备使得储层改造顺利实施。针对该井加砂困难的问题,我们优化射孔簇数、提升液体携砂性能、采用低砂比短段塞加砂工艺,收效明显。”

沙垛1井压裂后初期日产油超50吨,连续自喷生产400多天,累计产油1万多吨。该井的高产稳产,打破了陆相页岩油产量递减快、自然产能低的认识,证实基质型页岩油可实现高产稳产,坚定了科研人员回归本“源”找油采油的信心:阜二段一旦大有作为,苏北老区将焕发新生。



华东油气帅页3-7HF井压裂施工现场。

沈志军 摄

重大突破犹如拨开云雾见天日

2021年,科研人员开启了新一轮探索,分别部署了埋深超4000米的溱1井和帅页3-7HF井。

7月,溱页1井顺利完钻,阜二段取芯进尺超401米,刷新中国石化单井连续取芯最长纪录。华东油气勘探开发研究院副院长马晓东说:“该井取芯成功,建立了苏北盆地阜二段页岩油‘铁柱子’剖面,落实了甜点层段,对拓展页岩油资源接替阵地具有重要意义。”

8月,帅页3-7HF井顺利完钻,创直径118毫米井眼页岩油井最深、水平段等8项国内施工纪录。

10月下旬至11月中旬,溱页1HF井、帅页3-7HF井压裂后分别试获日产油55吨、26吨的高产。目前,两口井在自喷生产过程中含水率持续下降,日产有望创新高。

至此,华东油气在溱潼凹陷部署的3口页岩油探井在阜二段均获高产油流,初步落实有利区面积420平方千米、资源量3.5亿吨,开辟了苏北盆地原油资源战略接替新阵地。

这一重大突破犹如拨开云雾见天日,科研人员认识到,页岩如同浸满油气的多层“海绵”,既是生油层又是储油层,他们从寻找常规油气资源转向寻找生成油气的页岩源头,有种“众里寻他千百度,蓦然回首,那人却在,灯火阑珊处”的感觉。

▶ 启示:

华东油气勘探开发管理部经理余文端:溱潼凹陷阜二段总有机碳含量明显低于松辽盆地青山口组和渤海湾盆地沙河街组,溱潼页岩油勘探成功在一定程度上优化了陆相页岩油的评价标准,奠定了苏北盆地页岩油大发展的基础,提振了中国东部诸多陆相小盆地页岩油勘探突破的信心。

打破“北美教条”
页岩有效厚度突破“下限”

项目:鄂西渝东地区二叠系吴家坪组海相页岩气新层系勘探重大突破

获奖:集团公司2021年油气勘探突破特等奖

意义:红页1HF井压裂测试日产气8.9万立方米,揭示了湖北西部—重庆东部地区二叠系海相页岩气良好的勘探前景,实现新层系重大突破。

□夏梅

一次“偶然”打破沉寂

湖北西部—重庆东部地区二叠系形成于2.5亿年前,属于生烃条件好的海相页岩,虽然后期经历了翻天覆地的变化,但因其致密性好,天然气保存相对完好,是油气富集层系。但二叠系页岩气勘探在国内尚处于空白阶段。

涪陵页岩气田于2012年发现,当时勘探的重点是志留系龙马溪组,对其他层系的研究并不深入。“只知道二叠系有气,气多不多、好不好,并不清楚。”江汉油田勘探管理部天然气勘探室主任刘新民说。

2016年,为寻找新的产建阵地,科研人员开始研究红星地区二叠系,对二叠系的生烃条件、厚度等有了较全面的认识。

可3000多米的埋深,让科研人员犯了难。“地质认识不到位,深层页岩气钻井、压裂技术工艺跟不上”,技术的限制让二叠系勘探未热先冷。

一次“偶然”打破了勘探沉寂。2018年,常规气井枫1井在二叠系吴家坪组钻遇良好油气显示,给了科研人员信心。他们在复查老井、多次分析资料的基础上,针对二叠系这一新层系提请部署风险探井——红页1HF井。



红页1井钻井现场。

宋国梁 摄

突破“下限”,在薄储层里“淘”气

红页1井的最大争议,也是二叠系勘探的难点——储层薄。

“此前,国内外都将30米作为页岩气有效厚度下限。”刘新民说,“涪陵页岩气田优质储层厚度达到38米,而红星区块二叠系储层厚度不足20米。”

科研人员开展大量野外剖面调查,对老井进行复查,发现二叠系的吴家坪组、茅口组具有与涪陵气田志留系相似的海相页岩地层特征,虽然厚度薄,但其总有机碳含量甚至更高。他们开展多轮次研讨,逐项排除争议,打破了页岩厚度必须大于30米的“北美教条”,红页1HF井通过论证。

2019年11月,该井导眼井和水平井是一个项目,而红页1HF井是分开的两个项目,说明大家对于新层系风险的顾虑并没有完全消除。”刘新民说。

导眼井完钻后,岩芯取样、分析测试、测井解释、储层预测……一系列研究结果证实了科研人员的预测:吴家坪组具有高有机碳丰度、高孔隙度、高含气量、高含气饱和度的“四高”地质特征。

“总有机碳含量越高说明生油气能力越强、油气丰度越高。”刘新民说,以此为支撑,江汉油田结合地质、工程“双甜点”,针对红页1HF井吴家坪组二段钻探水平井,水平段长1615米。

在3300米地下走一条1600多米长的钢丝

“水平段靶窗为吴二段中下部,厚度仅有6米。”江汉油田勘探开发研究院技术人员陈绵琨说,这是红星地区实钻的第一口二叠系水平井,地震资料精度不足,加上储层薄,水平段地质导向难度无异于“在3300米地下走一条1600多米长的钢丝”。

钻井过程中,科研人员跟踪研究,及时调整钻井轨迹,实现优质页岩气层钻遇率达95.6%。

“储层脆性矿物质含量在80%~90%,想要压开地层形成页岩气逸出的‘高速公路’,对压裂工艺提出更高要求。”陈绵琨说,科研人员反复论证,提出新的储层改造思路,即采用多段少簇射孔,提升单簇造缝能力,加大长缝和宽缝的扩展力度,形成通畅的采气通道。同时,采用交联冻胶压裂液体系,提高造缝效率和支撑剂携带能力。

2020年12月19日,红页1HF井测试日产气8.9万立方米,试采1年多来日稳产4万立方米以上,累计产量超2000万立方米。该井成功试采,填补了国内二叠系页岩气勘探开发空白。

红页1HF井取得突破后,江汉油田向南甩开,部署了红页2HF、3HF、4HF井和红页茅1井,目前,红页2HF、3HF井已完钻,均获良好油气显示。如今,红星这一常规天然气区块已提交非常规气预测储量1050亿立方米。

▶ 启示:

江汉油田勘探管理部经理郭战峰:我们首次提出川东地区二叠系吴家坪组二段发育深水陆棚相优质页岩,创新改变了优质页岩厚度须大于30米的传统认识,为高有机质丰度薄层页岩气勘探提供了新思路,对推动四川盆地乃至中国南方二叠系页岩气勘探开发利用具有重要意义。