



核心阅读

侏罗纪,恐龙开始主宰世界。侏罗纪时期形成的地层,就是侏罗系。侏罗纪,四川盆地主体为湖泊。因此,四川盆地侏罗系主要是湖相沉积。在晚侏罗世沉积的沙溪庙组,就发现了马门溪龙,这种恐龙全长约22米,体躯高将近7米,颈长相当于体长的一半。

虽然恐龙称霸陆地,但侏罗系的油气并非来自恐龙,而是来自湖泊中的浮游和游泳生物,大量动植物遗体被埋藏,经过千百万年的地质演化,最终形成多套几十米到上百米厚的富有机质页岩。

其中,川东南地区邻近湖盆中心,发育东岳庙段、大安寨段和凉高山组3套暗色泥页岩沉积,是页岩油气勘探的有利地区。

同时,在凉高山组沉积时期,受盆地周缘造山活动影响,该区局部发育三角洲河道沉积,呈鸭肠状散布于暗色优质泥页岩中,具有近源成藏的有利条件,是致密砂岩勘探的有利目标。

2021年,勘探分公司、江汉油田就在川东南复兴地区凉高山组获得页岩油气和致密油气两个重大突破。

在川西中江地区,侏罗系自流井组泥页岩较薄,其侏罗系沙溪庙组的天然气主要来自更下方的三叠系须家河组泥页岩。西南油气历经25年滚动勘探开发,建成了侏罗系复式千亿立方米大气田——中江气田。

本版今日集中展示这3个勘探发现的历程和启示,带您领略不一样的侏罗纪地质公园,敬请关注。

侏罗纪地质公园  
油气的“摇篮”



▲沉积相图显示,四川盆地在侏罗纪时期主体为湖泊。

“半深湖”中找甜点

项目:四川盆地侏罗系新层系页岩油气勘探重大突破  
获奖:集团公司2021年油气勘探突破一等奖

意义:2021年初,勘探分公司部署在川东南复兴地区的泰页1井,在侏罗系凉高山组页岩层获工业油气流,取得四川盆地侏罗系湖相页岩油气勘探重大突破,探索形成了湖相高效压裂关键技术。

□本报记者 王孝祥  
通讯员 付小平 贺彦

从“浅湖”跳向“半深湖”

拿着一筒取自泰页1井2562米深处的灰黑色岩芯,勘探分公司页岩气项目部经理刘若冰说,用放大镜能看到丰富的微裂缝与孔隙,刚从地下取出来时放进水里,会“咕嘟咕嘟”地冒气泡。

他说,这套页岩气“粮仓”大约形成于1.5亿年前的半深湖静水环境,地质上称为“半深湖”沉积。

在四川盆地钻探油气,中浅层的侏罗系是必经地层。前期,多口常规探井路过以“浅湖”沉积为主的大安寨段时钻遇良好油气显示,因此,勘探分公司最初以大安寨段页岩层为钻探目标,但受地质认识和勘探技术制约,多年来未获实质突破。

刘若冰说:“相比海相页岩,四川盆地湖相页岩禀赋先天不足,横向不稳定、纵向厚度薄,勘探难度更大。”

越是艰难越向前。2018年以来,勘探分公司攻关团队依托中国石化重大科研专项,重新梳理四川盆地侏罗系6条实测剖面、30条观测剖面、100多口钻井的资料和数千米地震勘探资料,运用多种手段开展定性分析和定量研究,提出湖相页岩油气富集的新认识:“半深湖”优质页岩是基础,保存好且地层超压是保障,微裂缝发育是关键。

他们对比研究发现:大安寨段页岩泥质含量高、灰岩夹层多,压裂改造难度大,导致前期钻探失利;凉高山组页岩脆性指数较高、层理缝发育,压裂后易形成复杂缝网。由此,勘探从“浅湖”跳向“半深湖”。

大海捞针找“甜点”

所谓“甜点”,就是含气性最好、压裂效果最佳的页岩气储层。凉高山组属于新领域,没有系统取芯资料,地质“甜点”在哪?2019年

启示:

勘探分公司页岩气项目部经理刘若冰:扎实的基础研究,是勘探突破的前提。借鉴但不完全照搬海相页岩气成功经验,加强地质认识创新和技术方法创新,形成适用有效的地质理论和技术方法,是勘探突破的关键。地质与工程一体化,是勘探突破的保障。

“鸭肠子”里寻粮仓

项目:复兴地区侏罗系凉高山组新层系致密油气勘探重大突破  
获奖:集团公司2021年油气勘探突破一等奖

意义:2021年,川东南复兴地区涪陆1井、忠1井相继在侏罗系凉高山组河道砂岩储层取得油气勘探突破,拓展了四川盆地陆相致密砂岩勘探领域,形成了侏罗系“常非并举”立体勘探局面。

□本报记者 王孝祥  
通讯员 贺彦 黎承银

发现“鸭肠子”

指着涪陵地区凉高山组三维地震反演图上纵横分布的红色“鸭肠子”,勘探分公司物探研究院陆相室主任屈大鹏说:“这就是河道砂岩储层,这些‘鸭肠子’里藏着大家伙。”

四川盆地陆相油气勘探的主战场一直是三叠系的须家河组。近年来,川西、川中地区在中浅层侏罗系取得油气勘探突破,为开拓陆相新领域提供了借鉴。前期所有海陆相油气井钻探都要经过侏罗系,积累了较丰富的认识。2018年,科研人员在涪陵地区侏罗系凉高山组发现了优质烃源岩,带来了一连串意想不到的收获。

勘探分公司抽调科研力量“进驻”侏罗系,科研团队立足整个四川盆地侏罗系致密油气新领域开展了新一轮攻关研究,发现并落实川北巴中、川南涪陵和黔江等3个千亿立方米的凉高山组河道砂岩资源阵地,并首选涪陵地区侏罗系凉高山组,落实了上、中、下3个河道砂岩有利圈闭。哪一个圈闭最有利?这就需要精细刻画“鸭肠子”。

刻画“鸭肠子”

“泰来601井的河道砂认出来了没有?”

2019年,勘探分公司在涪陵复兴地区部署泰页1井,主探凉高山组二段泥页岩,兼探凉高山组河道砂岩。该井论证汇报时,没想到专家针对该地区刚完钻的海相探井提问。

鸦雀无声的会场突然有人小声说:“没有识别到。”

“打都打到了,还没认出来?”专家的调侃让在场的科研人员赧颜。勘探分公司勘探研究院陆相室主任刘明事后分析,须家河组的河道砂岩至少五六米厚,容易识别。而

泰来601井打到的凉高山组河道砂岩单层厚度10米左右,且砂、泥岩交错,地震能量相互干涉,识别难度大。为清晰刻画深埋地下近3000米的“鸭肠子”,勘探分公司成立了地质、物探联合攻关组,平面上利用古地貌恢复、河道趋势分析、等时切片分析等物探技术方法,还原古河道真实面貌;空间上采用主组分分析技术,标记时、空砂体发育情况,使一条条长三五十公里、宽一两公里的古河道在电脑上奔流起来。

河道外形刻画清晰了,攻关组又开展多属性反演和微相分析,同时创新引入深度学习神经网络技术,逐步认清河道内部储层发育情况。

攻关组还在泰来601井地震剖面上—毫米—毫米地切片观察砂体平面分布,摸清了凉高山组二段3个河道砂岩圈闭储层发育情况,最终确定中部圈闭成藏条件最优越。

打开“鸭肠子”

2020年一季度,在一次线上讨论中,两个攻关组产生了分歧。一组认为,涪陵地区凉高山组烃源岩大面积分布,选点应在北部埋深相对较浅的地区。另一组认为,虽然烃源岩厚度相近,但不同位置的烃源岩品质及油气显示相差较大,优质烃源岩主要发育在南部地区,选点应在南边。

两个攻关组开展线上头脑风暴,深入研讨,最终明确优质烃源岩主要分布在南部地区,并论证部署了涪陆1井。2021年5月,涪陆1井试获稳定工业油气流,取得复兴地区凉高山组河道砂岩勘探重大突破。

同时,江汉油田在该地区实施的忠1井,也在该层系试获工业油气流。

涪陆1井突破后,勘探分公司深入研究,甩开部署涪陆101井,并在巴中地区侏罗系河道砂岩储层部署实施了巴中1HF井,力争取得新突破。2022年,他们计划向南甩开部署涪陆2井,进一步扩大含气面积。

启示:

勘探分公司油气勘探管理部经理段金宝:勘探思路创新是突破的关键。多套砂体叠置发育,整体处于向斜区,如何纵向选层、横向选带是部署的关键。我们按照“保存、压力选区、近源选层、微相优储选点”的部署思路,优选部署水平井开展产能攻关,地质与工程专业紧密结合,最终取得勘探突破。

“古河道”中建气田

项目:川西侏罗系天然气勘探重大商业发现  
获奖:集团公司2021年规模储量商业发现一等奖  
意义:西南油气经过25年的滚动勘探开发,建成了侏罗系多层系立体成藏的复式大气田——中江气田,累计探明储量超千亿立方米,对我国致密砂岩气勘探开发具有重要指导借鉴意义。

□陈晨 操延辉 黎平

油气怎么会倒灌?

四川盆地天然气资源丰富,纵向上含气层系众多。

过去,根据“气往地质构造高处富集”的传统认识,西南油气勘探目标主要集中在构造高部位,但因地质认识不清、工程技术受限,勘探一直未取得突破。

2012年,在复查区域老井资料时,科研人员发现,中江地区多口井兼探的侏罗系有较好油气显示,但该区域处于斜坡上,地质构造的“低点”怎么会有较好油气显示?

继而,西南油气组建评价攻关团队,针对中江斜坡带40多套砂体逐层分析,开展地质、工程、综合评价等研究,发现中江斜坡带具有良好的勘探前景。

那么,油气是怎样“倒灌”到构造低点的?“也许是天然气已经富集后,该地层又经挤压才形成斜坡状。”攻关团队推测。他们多方法联合开展断层定时定量演化分析,以及时空配置关系分析,不断修正地层模型,重建了侏罗系油气动态成藏过程。

演示画面显示,侏罗系地层随着数百万年的地壳活动,左边逐渐抬升,右边已成藏部分逐渐降低,形成了现在的斜坡地层。

在此基础上,科研人员创新提出“叠覆型致密砂岩气区”地质新认识,建立源、相、位的“三元控藏”选区评价标准,改变了油气只在近断层、高部位富集的观点,大大拓展了勘探区域。

“迷雾”散开。2013年,西南油气按新思路部署高庙32井、中江16H井,先后在侏罗系下沙溪庙组获得商业产能,拉开了侏罗系致密砂岩气勘探的大幕。

这河道也有“成都味道”

相较于毛毯一样层状分布

的油气藏,中江地区致密砂岩气藏保存在条带状的河道砂体里。这河道也有“成都味道”,如同火锅里的鸭肠,细长且弯曲,歪歪斜斜藏于地层之中。

“精准识别出这一根根埋于地下两千米‘鸭肠’,才能做到‘指哪打哪’,实现高效开发。”科研人员杨映涛说。

2015年以来,科研人员根据不同类型河道砂岩储层的地球物理响应特征,开展了上百次技术试验,逐步优选出AVO分析、优势偏移叠加、高分辨率反演等技术手段,形成河道砂岩“甜点”地球物理预测技术体系。

利用该技术体系,他们刻画出11套砂组、18套小层砂体和113条河道,明确了该区域河道沉积期次和空间展布特征。一条条河道如同树叶的脉络,把中江地区连成一片。

“金钥匙”打开“气粮仓”

找到“粮仓”后,西南油气工程技术人员针对侏罗系致密砂岩储层低孔、低渗、隐蔽性强的特点,创新形成水平井精细分段大规模体积压裂改造技术,进一步提高裂缝复杂性、增大有效改造体积,如同一把“金钥匙”,打开了川西侏罗系天然气“粮仓”的大门。

2021年,中江气田沙溪庙组6口水平井实施体积压裂后,平均试获日产量15.5万立方米。

更进一步,西南油气建立地面地下高效利用的多层系立体开发模式,通过“一场多井、一井多层”立体部署,实现储量动用最大化、产能最大化、成本最低化。

2014年至今,西南油气一体化高效部署勘探井、开发井近300口,高产井层出不穷,储产量快速增长,建成了千亿立方米大气田——中江气田。目前,该气田年产气能力10亿立方米,已累计产气52.9亿立方米。

启示:

集团公司高级专家李书兵:勘探要真抓苗头,创新认识,才能助推老区持续获得新突破;科研要勇解难题,创新技术找“甜点”,才能支撑高效益开发;工程要取“啃硬骨头”,创新工艺,才能保障资源规模动用。