

责任编辑:秦晓函
电 话:59964339
邮 箱:
qinzih@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:赵博



周“油”列国
油事精彩

不懈探秘寒武系 精诚所至“金石”开

西南油气率先在国内取得寒武系新类型、新层系、新领域页岩气勘探重大突破



向更多类型更广领域进军



党的二十大报告强调,要深入推进能源革命,加大油气资源勘探开发和增储上产力度,为我国能源产业高质量发展提供了根本遵循。

当前,国际能源市场波动加大,能源供应短缺加剧,再次体现了能源安全的极端重要性。今年的全国两会强调立足国内,持续加强重要能源勘探开发和增储上产,更加凸显了能源饭碗必须端在自己手里的重要性。

“双碳”目标下,中国石化全力增强绿色能源供给能力,天然气作为最清洁的化石能源,是向新能源转型的重要桥梁。

随着国内常规天然气勘探开发难度和成本越来越高,资源供给增速有限,页岩气因资源量巨大,成为天然气储量的主要依靠。

我国页岩气勘探开发经历了20年的探索,在东部页岩油、四川盆地页岩气取得长足进步,支撑了国内稳油增气。2022年,四川盆地页岩气产量占盆地总产量的1/3,首次超过200亿立方米,占全国天然气产量近1/10。

我国页岩气研究和勘探起步于本世纪初,以2012年涪陵页岩气田的发现为标志,页岩气勘探开发进入快速发展时期,相继在涪陵、长宁、威远、南川、泸州取得页岩气快速突破,实现规模建产,在页岩气成藏理论、工程技术方面取得重大进展。我国是美国、加拿大之后,全球第三个实现页岩气规模开发的国家。

2022年,西南油气部署在井研一区块为地区,针对寒武系筇竹寺粉砂质页岩的金石103HF井压裂测试获产25.86万立方米/日,估算探区筇竹寺组资源量3878亿立方米,率先在国内取得寒武系新类型、新层系、新领域页岩气勘探评价重大突破。

寒武系新类型页岩气的突破意义重大:一是实现四川盆地页岩气勘探开发从龙马溪组单一层系向多层系的转变,改变了只在富有机质黑色页岩中寻找页岩气的传统思维与方法,大大拓展了页岩气勘探开发领域;二是创新形成的页岩气成藏富集机理,对其他层系页岩气、致密气的成藏富集具有示范作用,有利于天然气勘探开发领域的进一步扩大。

作为中国石化最大的天然气勘探开发企业,西南油气将深入学习贯彻党的二十大精神,贯彻落实党组决策部署,立足大盆地、聚焦大目标、寻求大突破,扎实推进“深地工程·川渝天然气基地”建设,在页岩气勘探开发、稳产上产等方面继续攻关,以更高质量的天然气勘探开发成果保障国家能源安全。

(薛婧 整理)

链接

筇竹寺组与规模开发的龙马溪组有何不同?

寒武系筇竹寺组和志留系龙马溪组是四川盆地海相页岩气勘探的两大主力层系。筇竹寺组地层形成时间比龙马溪组地层早约1亿年。龙马溪组富有机质页岩形成于深水陆棚,筇竹寺组新类型页岩则形成于浅水陆棚,不同的沉积环境使两套页岩有明显差异。

龙马溪组富有机质页岩呈黑色,水平层理明显,可以看见大量笔石、有孔虫、放射虫、海绵骨针等生物化石,有机碳含量在2%~4%之间,生烃物质基础丰富。矿物组成以硅质矿物(石英、长石)和黏土矿物(伊利石、伊蒙混层、绿泥石)为主,其中硅质矿物含量占40%~50%,黏土矿物含量占30%~40%,且有机质含量与硅质含量呈明显的正相关性。储集空间类型丰富,以有机孔和无机孔为主,发育少量微裂缝,储集物性表现出中孔隙度、特低渗透率的特征。

与龙马溪组相比,筇竹寺组新类型页岩为深灰-灰色粉砂质页岩、夹泥质、灰质纹层,局部发育包卷层理,见少量朵氏昆明虫、小遵义虫等生物化石,揭示水体环境相对较浅,有机碳含量低于1%,生烃能力较弱。矿物组成与龙马溪组页岩类似,但硅质矿物含量在60%~70%,黏土矿物含量15%~30%,黏土矿物以绿泥石和伊利石为主,伊蒙混层较少。受有机碳含量影响,储集空间类型以无机孔和微裂缝为主,有机孔占比不足5%,储集物性表现出低孔隙度、特低渗透率的特征。

□薛婧 邓正仙

最是一年春好处。3月27日,在一片生机勃勃的新绿之中,西南油气针对寒武系筇竹寺组粉砂质页岩部署的第二口评价井——金山1HF井正进行第20段压裂施工,将进一步评价新区新类型页岩气藏潜力。

四川盆地海相发育两套优质页岩,上部五峰-龙马溪组页岩于2012年率先取得突破,而下部寒武系页岩一直未取得突破。涪陵、威远、綦江、永川产能建设和开发评价如火如荼,相比之下,位于四川省乐山市井研县-犍为县的寒武系筇竹寺组地层显得“先天不足”——黑色页岩厚度比不上、品质比不过。面对这个巨大难题,突破点在哪里?希望又在哪里?

“先天不足”还是“得天独厚”?

故事的起点是5亿多年前的寒武纪。许多大陆被浅海覆盖,在几百万年间,几乎是“同时”且“突然”地出现了大量具有坚硬外壳、门类众多的海生无脊椎动物,其中三叶虫最为常见。这就是古生物学和地质学上的一大悬案——寒武纪生命大爆发,在此时,繁华绽放又匆匆陨落的生命被砂石掩埋,层层堆叠、沉积、升华成大自然对人类的丰厚馈赠——油气。

“抽丝剥茧”——西南油气勘探开发研究院非常规油气研究所党支部书记董晓霞介绍,“在寒武系筇竹寺组沉积层形成、演化过程中,地壳就像个面团,被频繁隆起、拉张,拉张槽逐渐形成:隆起时上部地

层变薄,海水退低;拉张时地层凹陷,沉积物填充,深水覆盖,周而复始形成‘浅水陆棚-深水陆棚’夹叠的页岩地层,以书页的形态记录着几亿年前的生命史诗。”

在页岩中,大量小孔径、连通性较好的有机质孔为油气提供储集、移动的空间,形成有效的页岩储集层。页岩气勘探一般是将页岩是否富含有机质作为靶区和目标层选择的主要依据。因此,深水陆棚沉积形成的富含有机质黑色页岩一直是地质家眼中的不二之选,北美地区如此,涪陵、威远等龙马溪组大型页岩气田也是如此,实现了页岩气的勘探开发。

得天独厚的“寒武纪生命大爆发”为筇竹寺组提供更富含有机质的黑色页岩,但遗憾的是,1200平方公里工区内多口井钻探显示,这套页岩不发育,工区内筇竹寺组似乎“先天不足”。

黑色页岩还是粉砂质页岩?

受龙马溪组页岩气勘探经验的影响,科研人员一直紧盯筇竹寺组黑色页岩层。

早在2012年,筇竹寺组就被科研人员捕捉到了蛛丝马迹。井研一区块首口常规气井——金石1井,在筇竹寺组直井段联合测试获产2.88万立方米/日。

2015年,西南油气部署了针对筇竹寺组的专属探井——金页1HF井,优选黑色页岩为勘探目标实施水平井,获产5.95万立方米/日,取得该层系勘探突破,证实黑色页岩段是一套高效、优质的烃源岩,但厚度仅有15米,难以实现商业突破。

2017年,第二口筇竹寺组专属井金页2



西南油气员工正在金石103井进行安全检查。

任远均 摄

□薛婧 江飞亚

“精心呵护、精细管理、精准控产量控压……”说起确保金石103HF井平稳生产,采气四厂油气田开发专家卜淘如数家珍。该井是西南油气部署在井研一区块的首口粉砂质页岩专属井。

作为页岩气规模开发向新区、新层系、新领域领域纵深推进的“先锋”评价井,金石103HF井的开采情况是准确评价气藏开发潜力的重要支撑,也是确定区块整体开发对策的重要参考。2022年10月,金石103HF井投产,没有开采经验可借鉴,摆在技术人员面前的第一道题就是摸清气井“脾性”,实现精准控产控压。

他们按照试采要求,严格执行6万立方米/日的配产制度,实时跟踪气井动态数据,定期开展静压监测,分析流量和压力变化情况,做到既控制产量,又控制压力下降速度,同时满足试采要求和用户需求。

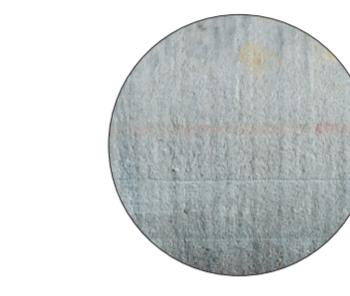
“一般用来调产的油嘴孔径都是4毫米、5毫米这种整数的类型,但这口井比较特殊,精准控制产量是个大难题。”卜淘说。

精心呵护“先锋”评价井

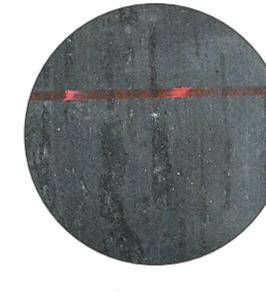
为了保证气井监测评价效果,金石103HF井采用控产控压方式生产,但是下游是民用,用气量不稳定,白天多、夜间少,且整体用量较少,使用4毫米孔径油嘴,气不够用,使用5毫米孔径油嘴,气用不完,只能烧掉一部分,造成油气资源浪费。经过分析研判和现场试验,他们为气井量身定做了4.5毫米孔径的专属油嘴,完美解决了精准便捷控制产量的问题。

该井采用临时输气流程生产一直比较稳定,可是好景不长,接入正式输气流程仅一个月,气井就“闹起脾气”导致紧急关停。

“我们在巡检过程中发现水套加热炉盘管穿孔刺漏,经过拆解取样分析,认为是井筒出砂造成的。”卜淘说。非常规页岩气井在储层改造过程中,需要进行大规模体积压裂施工,注入大量砂支撑起人工缝。气井生产过程中,一定量的细砂会被高速



粉砂质页岩岩芯



黑色页岩岩芯

井完钻,黑色页岩厚度依然不稳定,勘探进程渐入冷线。科研人员意识到,在富含有机质的黑色页岩中寻找页岩气,在井研一区块为工区“此路不通”,只能潜心研究、默默坚守。

2019年,西南油气组织科研人员再评价老井,在老资料中找出路。科研人员发现,在距下部黑色页岩200多米的上部粉砂质页岩发现天然气显示。

为了弄清这是一套什么样的地层,西南油气果断决策:那就打一口井系统取芯。2020年,金石103井完钻,筇竹寺组300米地层系统取芯完成,深埋地下几千米的岩芯实物资料直观呈现在科研人员眼前。

他们发现“富有机质”的黑色页岩最厚只有15米,且横向分布并不稳定,而“贫有机质”却物性好、含气性好的粉砂质页岩层段,厚度在80~100米。这一发现让科研人员眼前一亮,如果这些巨厚的粉砂质页岩层段连片稳定分布,是不是也有天然气大潜力?

他们反复梳理老井资料,开展井间对比研读,该工区5口井的单井图和对比图上都能“看见”粉砂质页岩层片连片稳定分布。科研人员欣喜不已:这是一套隐藏在筇竹寺组中上部、不同寻常的非常规目标层,面积广、厚度大。

厚度够了,够不够“肥”?页岩的含气性是评价页岩气资源潜力和衡量目标层系是否具有开采潜力的重要参数。这种新类型低有机质粉砂质页岩气前景如何,在国内并无先例可以借鉴,科研人员只能依托勘探先导项目攻关,稳步推进勘探实践。

他们充分挖掘常规兼探井实物资料价值,开展大量试验分析,确定其含气饱和度

超50%,这无疑给科研人员吃下一颗定心丸。

2022年9月,首口粉砂质页岩专属井——金石103HF井成功实施2005米长水平段,压裂测试获日产天然气25.86万立方米商业气流,估算探区筇竹寺组资源量3878亿立方米,率先在国内取得寒武系新类型、新层系、新领域页岩气勘探评价重大突破,展示了寒武系筇竹寺组页岩气规模增储的巨大潜力。

绘制页岩气形成过程“手翻书”

从传统页岩气勘探的角度来看,这套粉砂质页岩不是优质烃源岩,低孔隙度、特低渗透率的物性,也达不到储集层的标准;储集空间中有机孔占比低,与页岩高有机孔发育的特点也不相符。但实钻资料却证实这套粉砂质页岩含气性很好,用传统的勘探思路和方法不能很好地解释“为什么”。

科研人员持续深化基础地质研究,建立新的层系模型,深化成藏规律认识,开展新层系页岩气形成条件研究,用200余张地质图件,绘制了筇竹寺期页岩气形成过程“手翻书”,描绘出黑色页岩与粉砂质页岩“一母同胞、相爱相生”的动人故事。

首先是油气来源。这套粉砂质页岩横向、纵向都存在富有机质黑色页岩,具有靠近优质烃源岩的先天优势。黑色页岩段在生成油气的过程中常会出现异常高压,类似“水满自溢”。这种天然驱动力,使粉砂质页岩产生微小裂缝,就像在水杯里插入一根根极细的吸管,油气进入“吸管”,逐步向储集层推进。随着迁移距离增加,驱动压力逐渐降低,油气受“自封闭作用”得以在粉砂质页岩内滞留、聚集、成藏。

其次是保存条件。粉砂质页岩生成油气虽少,但可以优先占据储集空间,为后期相邻黑色页岩生成的大量油气运移、聚集所需空间提供保护;这套粉砂质页岩与相邻黑色页岩相比,具有相对更高的渗透率和更大厚度,有利于油气规模运移;井研一区块为区块位于拉张槽西斜坡,坡面平缓、没有断层,甚至少见裂隙,油气没有向上移动到龙王庙组等常规储层的通道,“被迫”滞留在孔隙度相对较好的粉砂质页岩层。

“原地早油占孔,深部疏导富集”的粉砂质页岩气藏富集条件形成。在此基础上,科研人员首创适应筇竹寺组粉砂质页岩储层的评价参数指标体系,优中选优落实最优靶区,筇竹寺组页岩气勘探迈出新步伐。

截至目前,金石103HF井投产近半年,累计产气超1000万立方米,第二口粉砂质页岩专属井金山1HF井正进行压裂施工,只在富有机质黑色页岩中寻找页岩气的传统思维被打破,四川盆地页岩气勘探开发从龙马溪组单一层系向多层系转变,页岩气勘探领域进一步扩大。

除砂机理和防砂工艺,从页岩气试气开发模式、工艺技术、采输流程建设等方面综合考虑,采取多项措施有效管控出砂刺漏问题。

他们在流程前端安装旋流除砂器,将滤网精度从0.1毫米调整为0.06毫米,将大部分砂拦截到沉砂装置中,为输气流程换上“N95口罩”,提升流程防砂能力;通井扫塞时采用大尺寸油嘴,加注泡排药剂,通过放喷携砂的方式,“催吐”井底沉砂;将二级节流变为三级节流,逐步降低气流压力和气体温度,为压力下降装上“台阶”,严格控制气体携砂流速,减小出砂对薄弱部位的冲蚀;加强气井出砂情况监测,定期对弯头、三通等易受冲蚀部位进行壁厚检测,提前更换显著减薄的设备配件;足量储备油嘴、油嘴套、密封件等易损设备配件,同时进行典型案例经验分享,提升员工技能储备及应急处置能力。

在西南油气采气四厂员工的精心呵护下,截至3月20日,金石103HF井累计生产天然气超1000万立方米,井口弹性产率超200万立方米/兆帕,为该地区勘探开发评价奠定了坚实基础。