



确保“十四五”开好局 以优异成绩庆祝建党100周年

核心阅读

页岩是生油岩,是油气的源头。过去,按照常规石油地质理论,油气生成后运移至满足条件的储层可以成藏,地质家寻找的也都是这类油藏;如今,地质家将目光从源外转向源内,直接在油气的源头开采油气。胜利油田创新建立陆相断陷盆地页岩油成藏富集模式,研发形成

以合成基钻井液体系为核心的优快钻井技术,以及多尺度组合缝网压裂技术,实现济阳坳陷页岩油勘探重大突破,近日首批上报页岩油预测储量4.58亿吨。

本版文图由徐永国 王维东 贾玉涛 代俭科 朱克民提供

源,妙不可言

胜利油田勘探从源外找常规油藏转向源内找页岩油藏

在地下沉睡数千万年后,渤海湾盆地济阳坳陷页岩油终见天日,胜利油田近日首批上报页岩油预测储量4.58亿吨。

页岩是生油岩,是油气的源头。过去,按照常规石油地质理论,油气生成后运移至满足条件的储层可以成藏,地质家都是寻找这类油藏;如今,地质家的目光从源外转向源内,直接在油气的源头开采油气。

但是,页岩是最复杂最致密的岩石之一,想要岩中取油并不容易。胜利油田高级专家王学军说,三大技术创新令页岩油破“壳”而出:创新建立陆相断陷盆地页岩油成藏富集模式,揭开了页岩油的“庐山真面目”;研发形成以合成基钻井液体系为核心的优快钻井技术,使得3300米深、水平段超2000米以上的水平井得以高效钻进;形成了多尺度组合缝网压裂技术,为页岩油流出制造了毫米级的“高速路网”,极大提升单井产能。

业界视点 Industry Vision

陌生的老朋友

在胜利油田勘探开发研究院科研楼大厅,两条1米长的砂岩、页岩岩芯整齐摆放。

该院专家唐东说,页岩就像千层酥,油气就蕴藏在层层书页一般的岩石中,就像千层酥中的黄油和糖粉。

页岩油看似新朋友,其实胜利油田与其结缘已近50年。自1972年以来,胜利油田多口探井在页岩段见油气显示,对45口井测试,其中30多口井初产达到工业油气流标准,累计产油超过7万吨。这表明,济阳坳陷页岩油气具备极大勘探潜力。

但是,胜利油田早中期勘探以常规油气为主,即使发现页岩油气也不会作为重点。随着勘探进入中后期,常规资源勘探难度增大,致密油气地质与工程技术不断进步,页岩油气逐步进入视野。

虽是老朋友,但彼此还很陌生。国内外页岩油以轻页岩油为主,而胜利油田页岩油时代新、埋藏深,成熟度相对较低,油稠,勘探开发难度极大。

2006年以后,胜利油田部署并完钻了4口系统取芯井,深入研究页岩油气。2011年,在渤南洼陷实施第一批共计3口水平专探井,但受当时地质认识和工程技术所限,未获突破。

胜利油田不气馁不放弃,从“十二五”末开始,先后承担国家、集团及油田级页岩油攻关课题40余项,针对济阳坳陷断陷盆地富有机质页岩的“储集性、含油性、可动性和可压性”开展攻关研究。

2018年4月,胜利油田成立了页岩油项目组,推动页岩油地质工程一体化、多专业协同作战。

经过持续攻关,胜利油田科研人员“因地制宜”地提出了济阳坳陷页岩岩相划分方案,解决了页岩类型复杂和分布预测困难等问题,建立了“有没有页岩油”“有多少页岩油”“有多少可流动的页岩油”及“有多少现有技术下可动用的页岩油”的综合评价参数体系。

“常规油气藏的储集空间是微米级的,而页岩油存储在纳米级孔隙中。”唐东说,两者的储集空间就像黄豆和芝麻的区别,常规岩芯肉眼可区分岩性变化,而页岩油岩芯肉眼根本无法区分。

借助扫描电子显微镜,科研人员形成了多手段、量化的逐级放大多尺度储集空间定量表征技术,建立起了济阳页岩油陆相多级缝网网络的储集空间发育模式,揭开了页岩油“蜗居”地下的“藏身之地”。

他们还建立了游离油定量评价技术方法系列,为页岩油资源潜力评估、页岩油选区评价和页岩油综合评价提供了技术支持。



牛页1-平2井压裂现场。

压出地下高速路网

与北美海相页岩油相比,胜利油田济阳坳陷陆相页岩油勘探开发存在诸多难题:北美海相页岩油沉积时间早,有两三亿年的历史,成熟度高,储层脆性强;济阳坳陷页岩油只有几千万年历史,成熟度低,储层塑性强,地层压不开、撑不住,而且,济阳坳陷中等成熟度页岩油普遍埋深大于3500米,钻完井、压裂等工程实施难度大,投资大,风险大。

胜利页岩油能够破“壳”而出,离不开高科技的加持。从地质评价到地球物理预测,再到钻完井与压裂,胜利油田取得一系列突破。尤其是压裂。在胜利油田页岩油重点实验室进行的页岩油流动模拟可以看到:页岩纳米级、微米级孔隙中饱含的页岩油,能够从微裂缝中渗出。压裂,就是更多地制造这种微裂缝。胜利油田创新集成“体积压裂+高导流通道压裂”工艺,形成了独具特色的组合缝网压裂技术。

“高导流通道压裂是利用纤维和砂子的簇式支撑作用,扩大裂缝改造体积,增大泄油面积,提升主裂缝的导流能力,相当于建了一条高速公路,而体积压裂相当于在油藏中建立无数羊肠小道。”胜利油田石油工程技术研究院压裂所副经理张淑源说,二者集成形成了互联互通的交通网,让页岩油得到充分释放。

截至目前,胜利油田实施页岩油直斜井20余口,预计九成以上累计产量超千吨;5口页岩油水平专探井,初期日产油当量均超百吨。其中,樊页平1井峰值日产油达171吨,创国内页岩油单井日产最高纪录。

时隔两年,胜利油田井筒工艺高级专家周广清依然记得樊页平1井蔚为壮观的压裂场面,当时他即兴写下《压裂》一诗:“集成创新勇发展,组合缝网舞翩跹。二氧化碳驱油气,弱酸缓释巧破岩。石英陶粒坚如磐,乳液契合入缝端。群车千里一日还,页岩油气见春天。”

为有源头活水来

据初步测算,因为页岩油突破,济阳坳陷油气资源总量增长了40%以上。

胜利油田勘探相关负责人表示,济阳坳陷页岩油取得战略突破,是我国石油勘探开发新的里程碑,展现了济阳坳陷页岩油巨大的发展空间和潜力,开辟了新的资源接替阵地。

资源是油田企业生存发展的根基。胜利油田发现60年来,能够连续9年稳产3000万吨、长期效益稳产2340万吨,就是因为有资源接替这一“源头活水”。

过去,常规油气藏一直是胜利油田的勘探开发主战场。未来,从常规转向非常规、从顺源找油转向进源找油,是勘探大势。

唐东说,业内普遍认为,只有中高成熟度的页岩油才有开发价值,Ro(镜质体反射率,最重要的有机质成熟度指标)小于0.9%的不具有开发价值,而济阳坳陷页岩油资源以中低成熟度为主,樊页平1井页岩油Ro只有0.8%,突破了页岩油可动下限,证明中低成熟度页岩油具有巨大的商业开发潜力。

常规油气属于运移成藏,需要具备“生、储、盖、圈、运、保”六大地质条件,任何一个条件研究不清,打井都有可能落空;页岩油是在生油母岩里,资源丰富,只要明确富集高产规律,就可“直接到锅里吃饭,不用等盛在碗里再吃饭了”。

目前,胜利油田正加快创建页岩油国家级开发示范区。其中,牛庄洼陷8层楼20口水平井的大平台立体开发先导试验正加快方案编制,2022年初开始现场实施。

胜利油田主要负责人表示,他们正攻关发展更长水平段、保层、立体开发技术,创新应用“井工厂”模式,预计“十四五”期间新增页岩油探明地质储量1亿吨,建成年产能100万吨,在45美元/桶的油价下实现效益开发,为保障国家能源安全再立新功、再创佳绩。



页岩油重点探井樊页平1井压裂施工现场。

页岩油百科

什么是页岩油

以页岩为主的页岩层系中所含的石油资源。与常规油气藏不同,页岩油的开采是直接到生油母岩中提取。油气蕴藏在层层书页一般的岩石中,就像千层酥中的黄油和糖粉。

胜利油田济阳页岩油,是指位于济阳坳陷沙三下、沙四上亚段烃源岩层系内,以烃源岩基岩为主要储集层,包含单层厚度小于等于5米的砂岩或碳酸盐岩等非烃源岩储集层所赋存的油气。

济阳页岩油的特征

不利特征:时代新,属于古近系沙河街组;埋藏深,有利区埋深一般大于3500米;成熟度较低,有利区Ro(镜质体反射率,最重要的有机质成熟度指标)多在0.7%~0.9%;油质较稠,以黑油(中质油)为主,国内外以轻质油为主。

有利特征:厚度大,富有机质页岩连续厚度多在300~400米,陡坡深洼区则超千米;地层压力高;地层天然裂缝较发育。如此,济阳页岩油水平专探井初产、累产高,直/斜井压裂求产也可获得30~70吨的日初产。

济阳页岩油勘探开发历程

(1)勘探偶遇阶段(1972~2005年)

早在1972年,沾化凹陷渤南洼陷的义18井就在泥页岩中偶然发现了工业油气流,当时称为泥岩裂缝油气藏。在此阶段,多口井钻遇泥页岩层段发生井涌或见油气显示。部分工业油流井进行了试采,其中罗42井日产油117吨,累计产油1.3万吨。

(2)主动探索阶段(2006~2013年)

受北美页岩革命启发,胜利油田加快页岩油研究与勘探步伐。复查发现济阳坳陷320余口探井在泥页岩中见油气显示,其中30余口井获工业油气流。2010~2012年,钻探5口页岩系统取芯井,累计取芯1144米。2011~2013年,相继部署一批专探井,探索裂缝型与基岩型页岩油,但效果均不理想。

(3)创新突破阶段(2014年至今)

研究建立了页岩油“储集性、含油性、可动性和可压性”四性21参数综合评价体系,形成了针对页岩油突破目标优选的评价方法。2019年以来实施的3口页岩油风险探井均获得成功:义页平1井突破了济阳中等成熟页岩油技术产能,樊页平1井突破了济阳中等成熟页岩油商业产能,渤页平5井突破了济阳高成熟度页岩油商业产能。其中,樊页平1井峰值日产油超200立方米、日产量超1.4万立方米,创国内页岩油单井日产最高纪录。

地质认识突破性进展

(1)首次提出陆相页岩岩相划分方案,揭示了岩相空间发育规律,实现了陆相断陷盆地页岩岩相的地质预测。

(2)突破了有机孔是页岩主要储集空间的认知,济阳成化-丰成化环境页岩主要发育无机孔-缝网络,富有机质纹层/层状灰质页岩是有利的岩相类型。

(3)突破了Ro值0.9%是页岩油富集可动勘探开发下限的认知,极大拓展了陆相断陷盆地页岩油有效勘探空间,济阳中等成熟度页岩油资源潜力大。

(4)突破了页岩内中质油可动性差的认知,断陷盆地地层压力高、微裂缝发育使得济阳页岩油具有较好可动性,具备高产稳产的条件。

(5)破解了富碳酸盐纹层状页岩可压性差的难题,攻关形成组合缝网压裂改造新技术,大幅扩大了人工裂缝控储体积。

配套技术重大进展

- (1)页岩油甜点目标优选评价技术。
- (2)甜点要素地质-地球物理预测技术。
- (3)钻完井及压裂等工程工艺配套技术。

济阳页岩油资源量有多少

胜利油田探索形成了国内第一个页岩油资源评价标准“陆相页岩油资源评价方法”。据此初步评价,济阳坳陷拥有基岩页岩油资源量41亿吨,其中高成熟度(Ro>0.9%)页岩油资源量7亿吨,中成熟度(Ro在0.9%~0.7%)页岩油资源量20亿吨,低成熟度(Ro在0.7%~0.5%)页岩油资源量14亿吨。

未来展望

“十四五”期间,胜利油田规划探明页岩油储量1亿吨、控制预测储量10亿吨,新建年产能100万吨,2025年产量达到50万吨,“十四五”末平衡油价达到45美元/桶。