

确保“十四五”开好局 以优异成绩庆祝建党100周年

中国石化2020年“十条龙”出龙项目之“龙门山前雷口坡组气藏勘探开发关键技术研究”

山前带地质构造复杂,潮坪相天然气成藏机理不清,西南油气迎难而上,历经三次认识创新,正确识别川西雷口坡组气藏类型,开展天然气富集规律、储层预测、开发和钻井工程等关键技术研究,在肥瘦相间的“五花肉”储层中找到效益建产目标,探明储量超千亿立方米,成为中国石化在四川盆地发现的第三个海相大气田



扫码看川西气田视频

掀开川西潮坪相气藏神秘面纱

西南油气攻关龙门山前雷口坡组气藏勘探开发关键技术

累计探明储量超千亿立方米

本报讯“十三五”期间,西南油气提交川西气田雷口坡组气藏天然气探明储量1140亿立方米,实现超深层潮坪相白云岩天然气勘探重大商业突破,成为中国石化继普光气田、元坝气田之后在四川盆地发现的第三个海相大气田。这是中国石化“十条龙”项目“龙门山前雷口坡组气藏勘探开发关键技术研究”取得的重大成果。

“川西气田雷口坡组潮坪相规模储层难寻、烃源不足,且埋藏超深、高含硫,效益开发不具备条件。”西南油气总经理郭彤俊说,面对这谁都不愿意碰的硬骨头,西南油气敢于挑战,经过多年攻关创新,终于掀开其神秘面纱,在川西找到了规模商业储量。

山前带地质构造复杂,潮坪相天然气成藏机理不清,新区带、新类型的高含硫天然气勘探开发面临诸多新难题,西南油气整合科研力量,解放思想、创新思维,展开川西雷口坡组天然气富集规律、储层预测、开发和钻井工程等关键技术研究。

科研人员系统研究发现,潮坪相白云岩储层就像肥瘦相间的五花肉,储层与非储层相互夹杂,层薄且多。他们研究潮坪相碳酸盐岩气藏富集规律,评价优选有利勘探、建产区带,通过目标处理、岩石物理分析、地震预测技术等研究,精细刻画储层,落实“甜点”目标。

“地质认识的突破及预测技术的创新,让我们如同拿起放大镜,气藏面貌更加清晰地展现出来。”科研人员宋晓波说。

接下来是如何把“五花肉”里的含气层取出来。西南油气系统开展酸性气藏超深大斜度井、水平井井身结构、安全优快钻井、长效



川西气田钻井施工现场。

袁 鹏 摄

封隔固井等关键技术研究,形成了雷口坡组气藏分段完井与储层深度改造关键技术。2020年,彭州3-4D井分3段酸压,较2015年鸭深1井常规笼统酸压产量提高3倍。

通过多学科、多领域、多方法联合攻关,西南油气取得川西雷口坡组潮坪相碳酸盐岩成藏机理与高产富集规律新认识、高含硫气藏效益开发关键技术、效益开发经济与技术政策等成果,找到了打开川西气田神秘宝

藏的金钥匙。

应用上述创新成果,西南油气发现了川西海相大气田,落实了彭州、新场、马井3个产能建设区;实钻储层预测吻合率达89.2%,含气性识别吻合率达75%,完钻5口井均达到设计产能;钻井周期缩短24.2%,钻完井综合成本降低20.2%,固井质量优良率提高15.8%;共申请专利28项、发表论文41篇。

本版文字由袁 鹏提供

攻关故事:三次更新认识方得正果

早在2006年初,普光气田勘探开发正如火如荼,当时还是四川盆地海相油气勘探“新兵”的西南油气勘探开发研究院勘探三所,正协助开展普光气田的勘探评价工作,接到了一项重要任务——开展川西海相研究。

他们面临的第一个问题就是“找什么”。“研究区不同,经历的构造运动也不同,沉积背景更是迥异,川西这张崭新的画卷,究竟该从何处着墨?研究工作是依葫芦画瓢,还是另起炉灶?”时任勘探三所所长许国明满脑子问号。

“不妨借鉴邻区勘探经验,尝试寻找‘礁滩型’储层吧。”老专家周康康提议。

第一张“礁滩的饼”很快画好了,但初期研究并不顺利,实钻结果与前期认识存在偏差。科研人员石国山分析认为:“四川盆地雷口坡组总体为局限-蒸发台地沉积,仅局部发育台内浅滩,在川西雷口坡组寻找大规模礁滩储层的勘探思路不适合。”

“后续研究发现,川西地区整体处于印

支期古岩溶斜坡带,有利于规模岩溶储层发育,同时有其他有利成藏条件加持,可以在寻找‘岩溶型’储层上下功夫。”许国明说,这就是储层认识的“第二张饼”,他们据此在川西地区北部、中部、南部预测的岩溶储层发育带部署了3口探井。

勘探结果出乎意料。部署的时候,他们认为龙门山前带处于古岩溶下斜坡区,普遍认为岩溶储层发育略差,加之龙门山前带受多期构造挤压,断裂发育,气藏保存条件也存在风险。但偏偏是这口风险最大的井——彭州1井,2014年测试获天然气无阻流量331万立方米/日的高产,从而发现了川西气田。

科研人员不禁对前期储层类型的判断产生怀疑,岩溶型储层认识能否站得住脚?

“只有弄清优质储层类型、形成机理、在川西拗陷如何展布、气藏是否连片等关键点,才有可能把问题真正弄懂说清。”科研人员宋晓波说。

西南油气随即成立储层研究小组,立足

优化部署,提高了储量动用程度。

基于目前的工程工艺技术水平,他们将水平段长从800米优化到1200米,大幅扩大水平井的控制范围。

建模数模是优化气藏开发方案的必备利器。“潮坪相气藏的建模少先例,为了将地下储层及流体的非均质性三维可视化呈现,模拟地下流体在复杂孔隙结构中的流动过程,预测气井的产量及储量动用情况,必须攻克这个难关。”西南油气勘探开发研究院副院长王勇飞说。

他们组建地质建模与数模攻关团队,联合石勘院,解决了潮坪相气藏开发指标预测与方案优化的难题。他们将每个井台、每口井在不同生产期的产气量、产水量、储层动

关键技术:

雷口坡组天然气富集区
与目标评价技术

全盆加强沉积、岩相、储层形成条件等一系列基础地质研究,开展了半年多的攻关。

“不是滩相储层,也不是岩溶储层,川西雷口坡组是一种全新类型——潮坪相白云岩孔隙型储层,具有厚度大、分布广、储集性能优的特点!”攻关团队大胆提出新认识,并以此为指导,陆续在龙门山前构造带、新场构造带、马井鼻状构造带获得天然气勘探突破。

雷口坡组从早期以寻找滩相和岩溶储层为主,到现在以潮坪相储层为目标,这一重要的认识转变不仅支撑了川西海相大气田的发现,而且改变了川西乃至四川盆地中下三叠统天然气勘探的思路,对海相碳酸盐岩油气勘探具有重要理论意义。

关键技术:

雷口坡组气藏综合评价
及开发技术

用情况全都展示出来,像“沙盘推演”一样探寻最优方案,最终寻得技术与经济平衡的最优解,确定了一个井场打几口井最优。

井场部署方案不断优化升级,从最初的11个减至9个,再减到6个,最终优化成利用两个井场集中部署,每个井场部署5~6口开发井,每口井从上到下像穿糖葫芦一样,把地下多个储层连成一体,形成立体开发局面,实现井场数量和地面投资双降。

攻关故事:“庖丁解牛”细切薄储层

关键技术:

雷口坡组储层预测技术

川西雷口坡组气藏储层薄,单层厚度多小于10米,纵向储层与非储层相互夹杂,就像肥瘦相间的“五花肉”,要想找到“肥肉”储层,必须有娴熟的分辨技术。

但现有地震资料单储层响应特征微弱,与非储层特征差异不明显,薄储层有效预测难度大。

“雷四段150米的地层包含5套小层,这5套小层都集中在一个波长内,在一个波长内分辨5套小层,难度太大。”富有激情的地球物理团队迎难而上,多学科结合、多轮次探讨,“圆桌会议”“世界咖啡”成了他们交流的新方式,“头脑风暴”“六帽思维”成了他们思考的新模式。在不断的碰撞中,他们初步形成了雷四段薄储层预测法,就像“解牛术”,尺度由粗到细,层层剥离,直至储层真容浮出水面。

首先是宏观控制,就像将看起来一样的牛腩和牛腩分开。他们主要采用高分辨率识别方法,实现雷口坡组自上覆地层马一段“楚汉分界”,雷四上下储层有效分段。

然后是分层剥离,先将牛肉带骨整块切

出,然后根据肉的形态特点来剔骨。这里是利用储层与隔层相互夹杂的特点,“先分后合”构建多构型储层,分段剥离聚集型、分散型、均匀分布型三类构型,明确储层内幕识别标志及方法。

接着是挑肥拣瘦,引进多域高精度叠前地震刻画技术,实现储层基质孔隙度、裂缝孔隙度等精确表征。

最后是价值最大化开发,根据不同部位和不同纹理来细切牛肉。他们基于地震辨识机理研究成果,明确可预测波形响应特征,开展波形结构相控反演技术应用研究,逐层细分5套小层,高精度定量表征每套白云岩储层。

应用这项技术,实钻储层预测吻合率达89.2%、含气性识别吻合率达75%,有力支撑了雷口坡组储量提交和开发部署。

攻关故事:到听得见炮声的一线搞创新

关键技术:

雷口坡组气藏钻完井
及投产关键技术

“气藏深、薄、小,传统模式不再适用,创新是破局的关键。”西南油气专家张国东说。

西南油气科研人员深入钻井现场,到听得见炮声的一线解决制约安全快速钻井的卡脖子难题。

“多下一层套管就意味着需要更大的钻头、更多的套管,以及更长的钻井时间”“钻头破岩效率低,钻井速度慢”……他们对每套地层的坍塌压力、承压能力建立模型,构建岩性特征与工程关系图表,研发新型防塌钻井液体系,解决长裸眼井段易塌难题,将钻井开次缩减至三开,减掉大尺寸套管用量,井身结构明显“瘦身”。

钻头是“攻城重器”,为提高破岩效率,科研人员与施工队伍紧密结合,分段优选适合须家河组、小塘子组等难钻地层的钻头。

为确保井眼轨迹“瞄准”最优目标,科研人员精细刻画地质目标,优选利于控制、阻力最小的“直-增-稳-增-平”井身轨迹,结

合完井改造需求,攻关形成超6000米井深旋转导向为主、螺杆定向为辅的精确中靶轨迹控制技术,钻井周期大幅缩短。

高含硫气井完井投产工具一直被国外大公司垄断,成本高昂。攻关团队先后研发油管悬挂器、泵送式油管堵塞器、分段封隔器等一系列关键工具,推广应用后单井完井管柱节约成本上百万元。

通过自主创新,他们研发形成集储层降破、酸压、测试、井下密封及长期投产等功能于一体的分段投产管柱及投产技术,实现长井段储层均匀改造和充分动用。目前,已测试开发井具有日产气35万~40万立方米的稳产能力,较前期增产2~3倍。

成藏科普

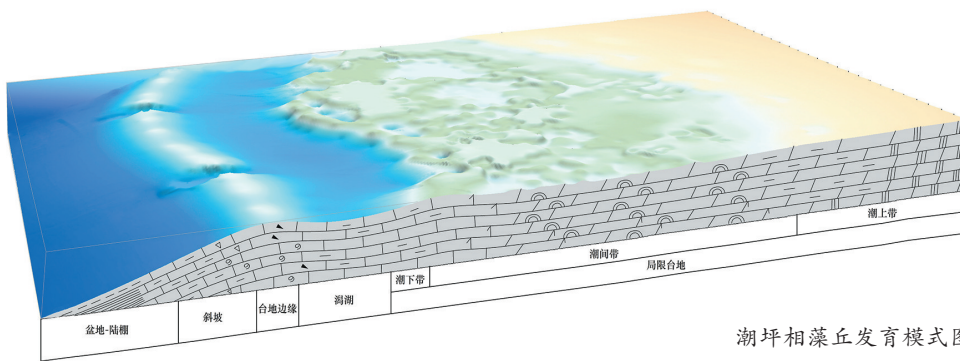
潮坪相油气是怎样生成的

距今2.4亿年前,包括四川、湖北、贵州、广西在内的广大地区都处于海洋环境。川西地区海水清澈湛蓝,在月亮引力的作用下,潮水起起落落,特别适合藻类大量繁殖。富含有机质的藻类死亡后富集于水底。这个时期天气炎热,海水蒸发后,厚大的膏岩形成,就像给藻类盖上了一个密封性极佳的巨大盖子。

潮坪浅水环境不仅适合藻类繁殖,而且有利于白云岩沉积,这是一种油气勘探极力寻找的岩石类型,即使经历了上亿年时间,

在五千米深的地下依然保留孔隙,成为天然气储藏的空间。

又过了2000万年,海水退出,沧海变桑田,海量的藻类聚集在黑暗地下,等待一次华丽的蜕变。随着上覆地层越来越厚,地下温度和压力增加,藻类所含的有机质开始释放大量黑色的原油分子,进一步裂解生成甲烷等烃类气体,这就是被誉为“蓝金”的清洁能源天然气。它们通过断层、裂缝等通道进入白云岩的孔隙,就像进入卧室安静睡去,等待人类有朝一日将自己唤醒。



潮坪相藻丘发育模式图