



奋进新征程 建功新时代 | 牢记嘱托 再立新功 再创佳绩 喜迎二十大

在国际油价开始断崖式下跌的2014年,石勘院就清醒认识到,致密油是未来资源接替的重要油藏类型,而鄂尔多斯盆地是致密油攻关的主战场。因此成立致密油开发团队,8年来攻关形成一系列关键技术,为鄂尔多斯盆地西南缘致密油效益开发提供了支撑



逆市攻关致密油效益开发关键技术

□蒲军 郭秀娟 方文超

2014年,国际油价断崖式下跌,鄂尔多斯盆地西南缘致密油开发按下了“暂停键”。在这样的背景下,石油勘探开发研究院组织成立致密油开发攻关团队,经过8年艰苦攻关,形成了一系列致密油效益开发关键技术。

今年初,石勘院华北中心受华北油气委托,先后牵头设计论证了JH55P4、JH55P5两口井,投产均获高产油流,稳定日产油18-20吨,截至目前,分别累计产油2900多吨、2300多吨。这两口井的成功实施,验证了团队技术的可靠性,更增强了实现致密油效益开发的信心。

致密油是块硬骨头

“纳米级喉道占比高,其大小仅为头发丝直径的1/1000”“储层致密,覆压渗透率不到0.1毫达西”“流度极低,一般小于0.1毫达西/毫帕·秒”“自然产能低或无自然产能”是致密油的显著标签。

近年来,随着世界能源需求急剧增长及石油工业技术高速发展,过去无人问津的致密油也成为石油开发的重要接替领域,全世界致密油步入革命性发展的黄金时代。长庆油田自2011年起拉开了“在磨刀石上跳舞”的序幕,逐渐建成年产油气当量达6000万吨的超大型特低渗透致密油气田。

可是,鄂尔多斯盆地西南缘致密油开发却步履维艰,因处于盆缘,与盆内的长庆油田相比,地质条件更加复杂:三角洲平原原沉积,河道窄,砂体变化快,储层物性差、非均质性极强;构造运动更加强烈,多尺度裂缝发育,对油气富集和油井产能有重要影响;烃源岩厚度小,生烃强度小,油气充注程度低,经过多期调整与聚集,油水分布极其复杂。

鄂尔多斯盆地的成藏富集模式是什么?断裂到底起着什么样的作用?储层的含油性可动性怎么样?“甜点”的评判标准是什么?如何实现高效开发?一连串问题亟待研究人员解决。

鄂尔多斯盆地作为致密油攻关的主战场,逐步推进效益建产是相当长一段时间的

重点工作。在这样的背景下,致密油开发攻关团队正式成立。“致密油是未来资源接替的重要油藏类型,是块硬骨头,但正是因为难,我们才更要去干,这是我们研究人员的使命和职责!”集团公司高级专家刘传喜说。

基础研究有突破

致密油流动速度慢,室内试验不好做,一条渗流曲线就要测数月,试验仪器也无法满足长时间高精度测试与计量要求,结果误差大。试验数据是开发地质和油藏工程研究的基础资料,数据测不准,难以保证研究成果的可靠性。

“国际上提出的数字岩芯技术,不仅可以看到岩芯内部结构脉络,还可以在此基础上开展数值模拟,定量分析岩芯内部流体流动规律,计算岩芯孔渗物性、毛管曲线和相渗曲线等参数,成为岩芯分析的重要补充手段。”团队成员苟斐斐博士说。2015年,数字岩芯与微观渗流机理基础研究小组成立。

当时,该技术研究在国际上也才刚刚起步,没有成熟的方法和经验可以参考。团队成员经过7年的不懈努力,逐渐掌握了数字岩芯基础理论,并创新研发了直接基于数字岩芯的孔喉定量表征技术和微米级多孔隙介质流动高效并行模拟技术,搭建了具有自主知识产权的数字岩芯分析云平台,计算效率和精度都大幅领先于国内外研究机构,成为致密油岩芯分析的“撒手锏”。

地质研究成体系

“地基不牢,地动山摇。”基础地质研究便是油气田开发的“地基”。

2014年起,致密油开发团队长期坚持“多专业联合攻关、大兵团协同作战”理念,集合了地质、地震、测井、油藏等专业的青年技术骨干,瞄准致密油地质储层、裂缝与含油性描述难题,攻关形成了致密油藏精细描述系列技术,为重新认识鄂尔多斯盆地地质特征提供了有力手段。

在基岩储层非均质性表征方面,他们从微观孔隙结构类型及成因出发,形成了沉

积-成岩联合约束的致密砂岩储层质量表征技术,实现“微观”与“宏观”的有效融合,刻画了2-4米单期河道内部基岩储层非均质性特征,有效储层预测符合率可达85%。

在多层次裂缝表征方面,他们形成了多信息融合的裂缝分级描述与预测方法,并在裂缝带形成机制、发育特征、双带结构及连通性认识的基础上,提出了裂缝带并置识别方法,实现了裂缝带外部轮廓和内部结构定量刻画。

在含油性表征方面,他们基于直井-水平井相结合的非阿奇饱和度和解释技术,提出基岩储层含油饱和度采用“井点控制、模式约束”预测,裂缝带含油饱和度采用动态验证的技术思路。

随着地质研究工作持续推进,他们对鄂尔多斯致密油成藏富集模式的认识也发生了变化:储层含油非均质性强,但平均仅为45%,油气富集区也并非大面积连续分布,而是沿中小尺度控制断裂带和优质储层呈条带状分布。“断裂带就是我们今后建产开发的核心目标。”石勘院首席专家云金表说。

2021年,他们确定了鄂尔多斯致密油储量分类评价指标,落实“甜点”分布和规模,建立起储量动用序列,致密砂岩油藏描述行业标准、企业标准也应运而生。

油藏研究见深度

“致密油是非常规油藏,有独特的‘脾气’,必须量身定制一套油藏工程分析技术。”刘传喜说。

然而,随着致密油地质特点与控产因素慢慢清晰,团队清醒地认识到致密油油藏工程研究面临三大困难:一是动态缝网定量表征难,在开发过程中,随地层应力变化,人工缝网会发生形变,定量表征与刻画缝网动态变化特征是油气藏数值模拟和产能预测的重要前提,但当时国内外都没有相关技术;二是高效油藏数值模拟难,团队前期主要采用成熟商业软件开展致密油藏数值模拟研究,但对致密油地质及油藏特征模拟适用性较差;三是整体方案优化设计难,致密油是典型的低品位边际油藏,效益开发更加强调和重视

“油藏-压裂”整体方案优化设计,但当时缺少相关技术。

2015年,团队成员围绕致密油油藏工程技术难题开始进行系统攻关,历时7年,研发出致密油开发全周期复杂缝网定量表征技术,为缝网压前预测、压后评估和生产期动态变化定量分析提供了坚实的技术保障;开发致密油藏多组分多相流数值模拟技术,计算效率大幅提升,计算时间仅为商业软件的1/10;搭建的“油藏-压裂”一体化优化平台填补了中国石化在该领域的技术空白。

效益开发现曙光

2020年,石勘院决定成立华北地区勘探开发研究中心,组织科研人员靠前支撑。

华北中心成立以来,致密油开发团队年均驻现场220余天,与华北油气深度融合,双方“一家人、一条心、一起干”,建立起兄弟般的情谊。他们以技术促生产,在鄂尔多斯盆地井位部署、储量计算、方案编制等方面作出重要贡献,被华北油气评价为“最好的合作团队和研究成果”。

近年来,集团公司强调效益开发导向,对致密油井位论证与审查批复也更加严格,实现“少井高产”成为大家追求的共同目标。为了提高布井成功率,致密油开发团队与华北油气研究人员经常一起加班加点。

2021年,为评价涇河油田早胜断裂带长81段断裂发育及储层展布情况,致密油开发团队受华北油气委托,承担了JH55P4、JH55P5两口重点井的论证与设计工作。实钻中,两口井均成功钻遇断缝带,砂岩钻遇率均为100%,预测垂深与实钻仅相差0.5米。

2022年,好消息不断传来,通过双方共同努力,涇河油田开始取得突破,与此同时,团队还牵头详细论证了涇河断缝带的开发对策,编制了涇河油田涇河55井区滚动建产方案,部署新井13口,预计新建年产能4.8万吨。



涇河油田JH2P43井大规模压裂施工现场。刘威武 摄

关键技术

高精度数字岩芯定量表征与分析云平台

研发了直接基于数字岩芯图像的高精度孔喉定量表征技术,计算精度大幅提高;自主开发了微米级多孔隙介质流动高效并行算法,流动模拟效率提升10倍以上;采用“云计算+云存储”模式,搭建了具有自主知识产权的数字岩芯分析云平台,为岩芯分析提供了新的技术手段。

致密油藏精细描述技术系列

攻关沉积-成岩联合约束的储层质量表征方法,实现了“微观”与“宏观”的有效融合,刻画了2-4米单期河道储层非均质性特征;研发多信息融合的裂缝分级描述与预测方法,实现了“千米级”到“米级”的多尺度定量表征;形成致密砂岩含油非均质性评价方法,含油饱和度和解释精度大幅提高;建立鄂尔多斯致密油储量分类评价标准,落实了“甜点”分布和规模。

致密油藏开发全周期复杂缝网定量表征技术

建立了压裂缝网正演模拟方法、多信息约束的压裂缝网反演方法、生产期动态缝网构建方法及复杂缝网质量评价参数体系,自主研发了致密油藏压裂缝网定量表征软件,实现了致密储层压前缝网预测、压后效果评估及生产期缝网定量表征。

致密油“油藏-压裂”交互优化数值模拟技术

研发高质量非结构化网格剖分方法、多尺度复杂裂缝分级处理方法、基岩-裂缝动态耦合模拟方法,形成了高性能致密油藏多组分多相流数值模拟技术;建立交互优化数学模型,搭建了致密油“油藏-压裂”交互优化平台,为致密油一体化模拟与优化设计提供了手段。

华北油气与石勘院华北中心、经纬公司、地球物理公司等单位联合攻关,深入研究断缝体理论,并完善相关工艺技术,在致密砂岩油藏开发中取得突破

戳破致密油开发的“窗户纸”

本报讯 记者马献珍 通讯员付绪凯 严飞黎小伟报道:截至7月底,华北油气部署在涇河油田的4口油藏评价井均获得日产油20吨以上的高产,稳产时间超过一年,标志着断缝体理论在鄂尔多斯盆地南部致密砂岩油藏开发应用中取得新突破。

在盆地南部勘探开发初期,研究人员忽略了盆地区块中断裂、裂缝的重要作用,导致开发方案的地质基础不牢,油藏开发方案实施后效果差,油井单井产能低、累产低、采收率低。

“这就好比用糯米、大枣包成的粽子,以前我们仅仅在‘糯米’中找石油,而忽视了‘大枣’才是最重要的‘甜点’。”华北油气采油一厂副厂长李俊鹿介绍,“最典型的就是涇河油田HH26井,初期日产油超30吨,但接下来部署在周边的5口井均是低效井,后来才发现只有HH26井打在了‘大枣’上,其他井则

打在了‘糯米’中。”

2018年,华北油气总地质师何岐峰带领研究团队开展专题研究,根据盆地油藏地质特点,结合油井生产规律,总结提出了“断缝体”油藏概念,断缝体就好比储藏原油的“大枣”。研究人员于是转变思路,以断缝体油藏甜点作为主要开发对象。

采油一厂与石勘院华北中心、经纬公司等单位联合攻关。2021年,华北中心系统开展断缝体油藏地质综合研究,形成了断缝体井震识别与描述技术,实现了断缝体三维空间量化表征;开展断缝体油藏开发对策研究,编制了断缝体油藏滚动建产方案,据此部署的多口油井获得突破。

随着断缝体研究的深入,油藏的开发工艺技术也随之改变。“以前是‘绕着走’,现在是‘顶着上’,钻遇断缝体后,我们采用密度较小的泡沫钻井液,不会导致井漏,还保护了储

层。”华北油气油气开发评价专家白兴盈介绍,“为能够准确找到断缝体,我们部署水平井命中率更高、针对性更强,不再追求上千米长水平段,设计几十米穿越断缝体即可。”

涇河油田JH55P4井水平段长度为470米,在薄砂岩中砂岩钻遇率达到了100%,并采用筛管完井,自然投产日产油20.2吨,液面在井口,投产以来生产稳定。

“往年的压裂施工,不但投入高,还会伤害储层,现在钻遇断缝体,只需要做简单的酸化处理。”李俊鹿说。在涇河油田JH2P9井,他们运用储层型强酸溶堵剂和油层段筛管完井方式,使断缝体得到有效保护,油井自然投产获高产。

3月,华北油气首次在涇河油田JH55P5井试验选择性分段固井工艺获得成功。使用该工艺,既可防止水泥浆污染气层,又可实现层、段间封隔,为断缝体裸眼投产与后期能

量补充提供了技术保障。

通过地质地震一体化研究,华北油气与石勘院华北中心、地球物理华北分公司等单位实施“大兵团”作战,涇河油田砂体分布预测准确率大幅提高,断缝体的刻画更加精准;通过地质工程一体化攻关,工程人员采取的工艺方法更有效,开发人员的想法得以实现,油井的单井产能随之大幅提高,涇河油田低成本规模建产成为可能。

以断缝体理论为指导,华北油气对往年施工的老井进行全面排查。“今年我们梳理出100多口有地质潜力的老井,通过重新补孔压裂,沟通断缝体,让老井重焕青春。”白兴盈说。

涇河油田JH17P11井日产油仅0.55吨,于2016年关停。通过断缝体精准刻画,采取补孔作业,该井初期日产量高达20吨,目前日产量稳产在13.9吨,断缝体油藏差异化评价现场试验取得重大突破。



涇河油田补水增能作业现场。马献珍 摄