

供给

责任编辑:李佳欣
电话:59963261
邮箱:
jlx@sinopec.com
审校:张春燕
版式设计:巩宝贵



周“油”列国
油事精彩

井网调整撬动老区新生

老油气田开发进入中后期,高含水、高递减、剩余油高度分散,传统“打井堆数量”的模式难以为继。正如企业需要二次创业突破瓶颈,老油气田同样需要一场深刻的自我变革。井网调整,正是这场变革的“手术刀”——从“数量加密”转向“质量加密”,从平面布井转向立体开发,主动重塑地下流场,唤醒沉睡储量。本版专题呈现老油气田通过流场重塑、立体开发、动态协同,把“采不出的储量”变成“产得出的产量”。

从“数量加密”到“质量加密”

老油气田“二次创业”中的井网调整与价值跃升

□石油勘探开发研究院高级专家 李广超

国内老油气田历经数十年开发,普遍面临采出程度高、含水率高、成本高企的困境,剩余油高度分散,效益开发难度持续加大。井网调整与重构已成为高含水老油气田挖掘剩余油的关键抓手。推动老油气田井网调整从单纯的“数量加密”向以“剩余油精准动用”为核心的“质量加密”转变,需要在开发理念、调整模式、井网形态、井型等方面深刻变革,助力老油田焕发新活力。

行业共识 由粗放加密转向精准锚定

老油气田的井网调整与重构遵循着相似的核心逻辑与共性做法。其核心逻辑是对高度分散的剩余油

进行“微创手术”式的精准锚定。依托精细油藏描述、三维地质建模、油藏数值模拟及动态监测等手段,重塑对油藏地质特征与非均质性的认知,精准锁定剩余油“甜点”区。

差异化重塑地下“交通线”是重要途径。井网是油藏流场的“交通线”枢纽。老油气田井网调整摒弃传统均匀布井思路,强调“因地制宜、分区施策”,以适配储层非均质性和剩余油分布特点。平面上,通过矢量化井网重构、井网转换等方式重新规划地下渗流流线,扩大平面波及范围;纵向上,推动非主力层独立成网,激活低效层段,破解层间动用难题。

充分利用复杂结构井优势。水平井、大位移井、多分支井、超短半径井等复杂结构井,能够显著提高采收率、降低开发成本,突出“少井高产”理念,已成为老油气田增产上产、降本增效的重要选项。

坚持“地质-工程-经济”一体化,实现综合效益最大化。老油气田井网调整与重构通常结合老井侧钻、层间利用、油井转注、关停并扶躺等措施,盘活关停井、低效井等存量资源;强化注采结构优化,补齐注采失衡短板;配套分层注水、堵水调剖、酸化压裂等工艺。通过一体化融合,充分释放井网调整的综合效应。

推动二次采油与三次采油井网协同优化。中国石油提出“二三结合”技术模式,将二次采油与三次采油的井网协同调整,实现水驱井网与化学驱井网的最优衔接,使各类油层剩余油动用有序转换,从而实现提高采收率和经济效益最大化。该技术已在大庆、大港等油田推广应用。

总之,老油气田的井网调整与重构,不仅是技术手段的革新,更是开发理念的升华。通过重塑地下流场,为资源枯竭边缘的老油气田找到新的增长方向,将“负担”转化为“富矿”。

理念跃升 由被动适应转向主动重塑

率先推动老油气田开发理念从“密度驱动”转向“流场驱动”,实现井网从被动适应油藏向主动重塑流场的跨越。传统井网调整通常采用均匀布井,追求整体提高井网密度,通过缩小井距来提升储量控制程度和采收率。然而,油田进入特高含水期后,剩余油高度分散,这种做法容易陷入“打井越多、效益越差”的恶性循环。

“流场驱动”则要求“藏调井配、井藏协同”,其核心逻辑是通过井网重构主动改变地下驱替流场,让驱替流体适配剩余油分布——油在哪里,水就驱到哪里,从而解决平面波及不足、纵向动用不均、流道无效循环等问题。胜利油田孤东西区北单元通过上下两套层系实施井网转换,

依托原有老井、加密少量新井,由反七点井网转为行列式井网,实现大角度液流转向。实施后,单元日产量上升45.9%,吨油运行成本降低25%,采收率提高2.1个百分点。主动重塑流场已成为老油气田“二次创业”的主导思路。

调整模式从单纯的井网调整升级为“网-剂-油”动态协同,从“找剩余油富集区”转变为“造剩余油富集区”。传统模式通常在产油期间进行一两次集中调整,形成“水驱基础井网+加密井网-三次采油井网”的固定演化路径,且三次采油井网和驱油体系相对固定,含水谷底期较短。中国石化上游企业提出将全过程固定驱替流场转变为动态优化驱油系统,变化学驱前的一次性井网调整为化学驱期间的持续动态调整,主动培育剩余油动态富集的“油墙”,并适时调整井网予以采出,实现三次采油与二次调整(“3+2”)协同增效。胜利二区东三5单元矿场实施后,新井初期平均日产量11.2吨,是水驱调整新井的4倍以上,化学驱见效谷底期由3年延长到8年,“3+2”技术叠加提高采收率达15.6个百分点,最终采收率突破60%。2022年以来,该模式已在胜利、河南、中原等油田的13个化学驱单元推广。

形态升级 由规则井网转向空间差异

老油气田井网形态从相对规则的平面井网拓展为非规则差异化的立体空间井网,实现井网与剩余油分布的精准匹配。传统井网调整多遵循五点法、反九点法、反七点法等规则几何井网,井距相对均匀、层系笼统,难以适应非均质性和剩余油高度分散的特点,常常出现“有油的地方没井,有井的地方没油”。

非规则差异化的立体空间井网彻底

打破了传统规则井网的束缚,实现“一层一井网,一段一策略”。以塔河缝洞型碳酸盐岩油藏为例,其储层空间结构如同“地下桂林山水”,缝洞体集体立体分布,传统平面规则井网难以适用。西北油田创新提出“空间结构井网”理念,以岩溶系统为基本单元,针对不同储集体类型和空间配置关系,构建差异化的立体井网模式。塔河油田S48单元按此理念建成4注9采“顶驱腰采”空间结构井网,单元日产量从80吨一路跃升至200吨,实现翻倍增长。T402、AD22等单元的空间结构井网重构也已初见成效,该技术目前已成为塔河油田进一步提高采收率的重要方向。

在井型方面,从以直井为主转变为多井型协同调整,实现“一井多控、少井高产”的技术跨越。传统井网调整以直井为主,直井控制储量有限。进入特高含水期后,钻遇剩余油“甜点”的概率不足30%,部分新井投产后即高含水,经济效益差。多井型协同调整则充分利用水平井、大斜度井、侧钻井、分支井等复杂结构井,通过精准设计井眼轨迹,靶向控制多个目标,在实现“一井多控、少井高产”的同时,大幅节约土地和建井成本。“十四五”期间,集团公司老油气田实施老井侧钻3700多口,新钻水平井1500多口。

通过实施“质量加密”调整,中国石化老油气田在“十四五”期间每年新建原油产能约150万吨,占常规原油新建产能的55%以上,有力支撑了原油产量稳定。从“数量加密”到“质量加密”,不仅是井网形态和技术手段的升级,更是老油气田二次创业中开发思维方式的深刻转变,将曾经的“产量包袱”转化为“效益富矿”。展望未来,随着地质工程一体化的不断深入和数智化技术的全面赋能,井网调整必将为老油气田高质量开发注入更加强劲动力。



西北油田T410317钻井施工现场。石立斌摄

企业实践

胜利油田：“3+2”技术开辟特高含水期开发新路径

□邵明浩 代俭科 李超君

截至目前,胜利油田在胜二区东三5、孤东东区北、孤东九区等16个单元迭代应用“3+2”技术,累计实施油井超200口,单井峰值日产量达7.2吨,累产油超50万吨。

“3+2”的核心,是三次采油加上二次调整。在化学驱实施的过程中,抓住“油墙”形成的最佳时机,通过动态调整井网和驱油体系,高效地把这堵“油墙”采出来。

要理解“3+2”,胜利油田勘探开发研究院采收率试验室经理赵方剑有一套生动的比喻。他说,就像一个扫地过程,通过往地下注入聚合物、表面活性剂等化学药剂,把分散的剩余油一点一点往前聚拢,推到油井附近的时候,油会聚集成一堵厚厚的“油墙”。

如果此时井网是固定的,这堵“油墙”就只

能慢慢等待被采出。如果迟迟不开辟新的采出通道,已经聚起来的“油墙”会随着地下压力场的变化再次消散,机会将白白错过。

胜利油田孤东采油厂的技术人员面对特高含水阶段的巨大压力,不间断优化流场、重构造注采关系,并将实践提炼上升为“3+2”技术体系,在胜二区东三5单元进行了首个矿场试验验证。4口加密新井打下去,平均含油饱和度达到45.3%,比化学驱前的老井高出9~14个百分点,单井初产日均12.8吨,用实实在在的数据证明了“油墙”的存在和可采性。

“培育壮大‘油墙’,就像养孩子,要把他养得白白胖胖。”赵方剑介绍,驱油药剂怎么配、注采井网怎么布,都需要根据“油墙”成长的阶段动态调整,让井网、驱油剂和剩余油三者之间实现完美匹配。

于是,“二次调整”的内涵从井网调整拓展

为两个层面:一是井网的动态调整,在注入井和采出井之间寻找最佳位置部署加密井,甚至是措施层,构建新的泄油通道;二是驱油体系的动态优化,把过去单一的大段塞拆分为多个不同组合的段塞,根据“油墙”所处的不同阶段精准施策。

过去编制化学驱方案,井网和注入参数一旦定下来就不会轻易变动。如今新编制的化学驱方案,都要为后期“3+2”技术实施预留空间,地面配注站的能力、罐容、注入管线,甚至是海上的井槽和平台,都要考虑后续加密调整的需求。

胜利油田不仅建成了适用于高温高盐油藏的化学驱理论体系,还将化学驱和井网调整升级为全周期协同增效的有机整体。“3+2”技术已经在河南、江汉等油田推广应用,为那些已经进入开发后期、含水率高的陆相老油田提供了一条延长经济寿命、持续效益稳产的新路。

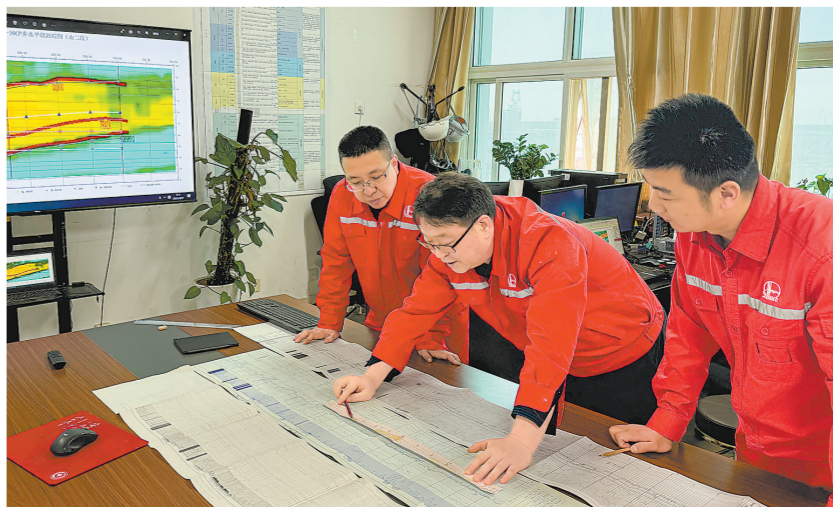
□宋翔宇 吴建彪

6月3日,华北油气大牛地气田直井动用区加密调整井组DK13-P12/13已实现每日5万立方米连续稳定生产一年,累计产气2015万立方米。在大牛地气田,像这样的加密调整井还有300余口。这是华北油气贯彻落实集团公司二次创业部署、坚决打好能源保供攻坚战生动实践,也为同类“三低”气田提高采收率提供了借鉴。

大牛地气田地处鄂尔多斯盆地,是华北油气主力区块,以低渗透砂岩气藏为主要开发类型,具有低渗、低压、低丰度的典型特征。自2005年规模化建产以来,早期的“直井多层合采”和“水平井分层动用”开发模式重在“冲产量、建规模”。经过井网完善和一次加密调整后,剩余气不再大面积成片分布,而是像土豆一样孤立、零散地分布在砂体中,储量动用不充分、老井产量递减快、产能接替不足等问题日益凸显。

为把这些零散的“土豆”捡起来,盘活老区剩余储量、延缓产量递减、提升气田整体采收率,华北油气立足气田地质特征与生产实际,将开发方式由“撒大网”式的大井距开采转向“精准捕捞”式的井网加密优化调整,井网间距由开采初期的700~800米逐步优化为“十四五”期间的500米左右。

要加密,首先得知道往哪儿打。技术人员由“大尺度”研究转向“小区域”集中攻关。“针对剩余气更加分散、规模更小的现状,我们将气藏描述由复合砂体转向单砂体精细刻画,并震融合形成了三大沉积类型单砂体精细描述技术,将气田14套复合砂体细分为29套单砂体。这些单砂体分布图相当于为井位部署提供了‘导航地图’,让我们能够找出剩余‘甜点’,确保把分散的井间剩余气吃干榨净。”华北油气勘探开发研究院大牛地天然气开发研究所所长任广磊说。



华北油气技术人员正在进行气井水平段跟踪调整。
刘隆隆摄

西北油田：空间结构井网唤醒沉睡储量

□张俊张伟

经过20多年高效开发,传统“依靠产能建设,通过打井来实现稳产”的粗放模式难以为继。西北油田针对油气富集区深化注采井网重构,从“被动找油”到“主动增油”,在地下数千米的缝洞层中推进一场深层次的开发变革。

告别“数量堆砌”：老油田突围倒逼开发思路根本转变

长期以来,国内老油田稳产普遍依赖平面布井、加密井位的传统方式,靠新增井数弥补老井递减。这种“拼数量、堆规模”的模式,在开发中后期弊端日益凸显。

西北油田塔河油田属于国内独有、开发难度极大的超深层缝洞型碳酸盐岩油藏。地下溶洞、暗河、断裂纵横交织,储层非均质性极强,剩余油隐蔽分散。以往相对单一的平面均匀布井,仅能动用表层、主流通道的剩余油,大量边角缝洞、深部储层的剩余油长期沉睡。

“十四五”期间,新井5年阶段递减最高达37.6%,单井可采储量持续走低。西北油田深刻认识到,老油田转型突围,必须推动井网加密从“数量型覆盖”转向“质量型提升”。

精耕“立体开发”：空间结构井网重构开发逻辑

针对缝洞油藏独特地质特征,西北油田创

新形成空间结构井网重构核心技术,成为老油田二次创业的制胜密码。

这套技术彻底打破平面开发思维束缚,跳出单层、单井、单一流线治理模式。针对风化壳、复合、断控三类主力油藏,建立纵向分层动用、横向分区调控、立体协同驱替的全新开发体系。井网不再是简单的地面点位叠加,而是精准匹配地下缝洞系统、适配剩余油分布的立体化采油体系。

具体实践中,西北油田形成差异化精准治理策略:对风化壳油藏推行“顶部注气、腰部采油、底部排水”气水复合驱模式;对复合油藏推行“远端注气、源头排水”调控模式;对断控油藏坚持“避开主力高渗断裂、侧翼精准堵水调流”思路,实现“一藏一策、精准加密”。

以风化壳油藏S48单元为例,由原有“4注9采”平面粗放井网,优化迭代为“5注8采5引流”立体完善井网,单元日产量从110吨稳步攀升至216吨,成为增效样板。同样,曾多年治理无效的S76“双低单元”,通过精细化定量注采调整、分级配气、提液调流,日产量从6吨提升至29吨。

变“负担”为“富矿”：质量加密激活存量巨大潜力

井网质量的系统性升级,彻底重塑了老油田开发逻辑,实现了从“被动找油”到“主动增油”的根本性转变。

过去,油田开发主要被动寻找显性储量,资源接替不足时往往依靠向外拓展新区、增加井位。如今,通过空间结构井网重构,油田主动重塑地下油气运移路径、扩大驱替波及体积,依托变排量、变压差、变井别动态调控技术,激活原本呆滞、零散、难动用的剩余资源——把“采不出的储量”变成“产得出的产量”、把“低效关停区块”变成“稳产增效阵地”。

四区作为塔河主力风化壳开发区块,历经三轮质量化井网迭代升级,累计新增可动用储量605万吨。今年以来,7个重点单元精准治理,区块日产量由479吨提升至556吨,成功扭转长期产量递减态势。

规模化压裂气顶驱立体井网进一步夯实成效。标杆TK699井组累计产气4650万立方米,配套腰部大泵调流优化,井组日产量由15吨跃升至100吨,采收率较传统方案提升4.7个百分点。

今年一季度,塔河油田月度自然递减率控制在2.6%,同比下降0.9个百分点。西北油田的实践证明:老油田不是资源枯竭,而是开发潜力未充分释放;老区不是稳产负担,而是存量巨大的宝藏油田。

站在二次创业新起点,西北油田将持续迭代空间结构井网技术体系,加快盘活39个大型未动用缝洞体、千万吨级低效沉睡储量,让超深层老油田持续焕发新生机。