

中国石化油气开发企业探索在三次采油高峰期实施井网二次优化,变传统的“找剩余油富集区”为“造剩余油富集区”,通过“网-剂-油”协同增效,实现大幅度提高采收率

# “3+2”协同提高采收率技术是技术创新,更是思维变革

## “3+2”技术的提出

传统化学驱期间井网和驱油体系相对固定,含水变化呈现漏斗形,谷底平台期是提高采收率的主导阶段,通常持续3~5年。胜利油田孤岛东区南Ng3~4化学驱矿场实施过程中,见效初期优化注采、谷底平台期局部加密新井、平台延续期侧钻避水,含水谷底期延长至8年,采收率突破60%,达到61.7%,由此提出“3+2”(三次采油高峰期实施井网二次优化)协同提高采收率技术。

## “3+2”技术内涵

针对传统化学驱井网和驱油体系相对固定、谷底平台期短的问题,变化学驱前一次井网调整为化学驱期间适时井网调整,变全程固定驱油体系为动态多段组合体系,变常规小段塞为强化大段塞,主动培育、优化壮大及高效动用“油墙”,见效初期、谷底平台期、含水回返期全过程“网-剂-油”协同增效,保持全生命周期流场处于最佳状态,最大程度延长谷底平台期,实现三次采油和二次采油协同增效,大幅度提高采收率。

## “3+2”技术协同增效机理

**剂-网协同增效:**剂强化网的控油效果,网扩大剂的动用范围。数值模拟研究发现,井网加密调整可以转变液流方向、增加驱替压力梯度,在高波及程度条件下,波及体积提高5%。可视化物理模拟实验表明,驱油剂可强化井网流线对剩余油的携带效果。剂-网协同作用提高采收率5.6个百分点。

**油-网协同增效:**“油墙”是井网调整的基础,井网是“油墙”高效采出的条件。化学驱

过程中剩余油分布呈现“分散-聚集-再分散”的动态变化特征,抓住“油墙”聚集形成的时机,优化调整井网提高采收率。

**剂-油协同增效:**剂驱替培育壮大“油墙”,“油墙”增阻强化剂波及作用。随着驱油体系波及范围扩大,孔隙中的剩余油被驱替聚集形成“油墙”。储层动态非均质性得到改善,“油墙”保持壮大和稳定,进一步增加了渗流阻力,促进驱替相扩大波及。

## “3+2”技术矿场实施效果

胜利油田胜二区东35单元2018年8月实施二元复合驱。该单元在实施二元驱前,综合含水率高达97.6%,水驱调整新井初产每日只有1~2吨。化学驱累计注入0.27PV(孔隙体积倍数)后,综合含水率下降到89.8%,整体进入谷底平台期。矿场实行“3+2”调整,油井间、水井间加密新井,将五点法井网转变成行列式井网,井距由360米加密为180米,排距由254米加密为150米,井网储量控制程度由89.6%提高至98%。新井平均单井初产每日8.8吨,是水驱调整井的4倍以上,平均综合

含水率64.1%(老井平均综合含水率91.1%)。油井排上新钻井的含油饱和度上升9.0~14.2个百分点。同时,驱油体系由二元复合驱转变为非均相复合驱,数模预测谷底平台期由3年延长到8年,采收率在原二元复合驱方案提高8.1个百分点的基础上再提高7.5个百分点,最终采收率达到60.5%。

2022年以来,中国石化在13个单元应用“3+2”技术,在化学驱基础上再提高采收率3~7.5个百分点,整体提高采收率15~20个百分点,成为采收率突破60%的主导技术。

## “3+2”技术攻关方向

如何抓住“油墙”形成的有利时机,实现全周期“网-剂-油”协同增效,还需要攻克几个难题:一是摸清化学驱不同阶段“油墙”在什么地方,需要明确“油墙”的动态演变规律和分布特征;二是针对不同阶段主要矛盾,通过驱油体系-工艺-注采一体化优化减缓含水率回返,培育、壮大及高效动用“油墙”,需要攻关全过程“网-剂-油”协同增效技术政策界限和协同优化措施;三是不同见效阶段驱油体系变化、段塞增大及井网调整等均会影响“油墙”的培育和壮大,需要深化“3+2”协同提高采收率机理研究,指导技术优化提升。

石勘院提高采收率技术研究所 张 莉 提供



周“油”列国  
油事精彩



胜利采油厂采油管理二区设备管理人员精准分析注聚压力。张道宇 摄

## 胜利油田：人造“甜点”，延续黄金采收期

□张道宇

开发60多年的老油田,如何打破“自然递减魔咒”?胜利油田胜利采油厂采油管理二区胜一区沙二1~3单元给出了答案:去年至今,通过“3+2”井网精调技术,该单元综合含水率从94.28%降至92.63%,峰值日增油44.3吨,数模预测采收率提高16个百分点。

数据背后,是老油田开发范式从“广种薄收”到“精雕细琢”的革新。

胜一区沙二1~3单元自1965年投入开发,历经天然能量、注水开发、加密调整、聚合物驱等多轮开采。2016年实施聚后非均相复合驱开发后,单元迎来见效高峰,同时也面临含水回返的严峻挑战。如何扼住含水回返,延续黄金采收期?

“老油田不是开发末期的‘鸡肋’,而是藏着剩余油的‘富矿’,关键要找到开采的‘金钥匙’。”采油管理二区经理、党总支副书记冯益富指出了技术革新

面对聚驱后含水率回升的难题,他们开展油藏精细描述联合攻关。技术人员从海量动态数据中发现:注聚在0.15至0.45PV区间,油井排剩余油饱和度可达35.5%以上。如果在这个时间段加密新井,初期单井日产油可稳定在5.5吨以上,是常规阶段采油的2.2至4.5倍。“就像找到了油藏的‘代谢旺盛期’,此时加密,事半功倍。”管理区副经理曹翠指着数模成果图解释。

基于这一规律,该管理区“3+2”井网加密方案精准落子,即在原井网基础上,优选剩余油滞留位置增布新井,进行二次井网调整,将剩余油富集优势转化为产能增长优势。

对于东部主力区块,技术人员实施“井网加密战”,300米井距内新增井数达原井网的60%,注采强度提升42%,单井控制储量优化至5.9万吨,快速释放高峰产能。在西部边远区块,他们开展“流线重塑战”,通过调整注采方向,

使驱替波及半径扩大20%,唤醒沉睡的边部剩余油。纵向上,他们则实施“靶向狙击”,在280米井距的“盲区”中,优选双潜力层厚度超6米的“甜点”区布井,实现“开钻一口,成功一口,增效一口”。今年初,新井ST12XN154投产后喜获日产油12.7吨。去年至今,他们共部署新井14口,累计产油1.51万吨。

“每口井的坐标都精确到米,就像给油藏做微创手术。”技术管理室经理路培说,这种分区分层策略,让新井成功率达100%。

“3+2”精调技术不仅是井数的增加,更是流场体系的重构与升级。12口新油井与9口调整井组成“新骨架”,配合5口油井补孔改层、4口水井重分层,注采井网实现从“双向驱替”到“多向包围”的转变。

与此同时,他们推行“三线管理法”:对老流线实施“限流降压”,减少无效循环;对弱流线采取“增注提能”,激活低效区域;对新流线开展“定向培育”,打通深层通道。“现在注入水像有了导航,直奔剩余油富集区”,在技术员宋广龙展示的流线模拟图上,红色驱替带已深入储层腹地。

采油管理二区“3+2”精调技术的实施,使油水井数比从2.8优化至2.2,三向及以上注采对应率提升24个百分点,含水率曲线成功由快速回返的“V”形转为稳步下降的“W”形。“这不仅是技术的胜利,更重塑了老油田开发的思维。”冯益富坦言。

### ■点评

胜利油田胜利采油厂专业顾问 李健康:化学驱“3+2”调整技术是胜利油田的重点攻关项目,体现了极致开发的思路创新。通过主动培育、壮大动态剩余油富集区(油墙),适时调整井网、重构流场、均衡注采,高效动用、采出“油墙”,实现三次采油和二次采油的协同增效。胜一区沙二1~3单元精细调整取得成效,探索出一条提高老油田采收率的新途径。

## 中原油田：变“寻”为“造”，建剩余油富集区



□杨静丽 王 璇 郭焕玲

截至目前,位于中原油田明16块的明225侧2井已平稳生产14个月,日产油6吨,从一口关停井成功逆袭为高产井。这是“3+2”协同提高采收率技术带来的显著成效。

“通俗来说,该技术就是做两件事:聚油成墙和调网采油。”中原油田勘探开发研究院提高油气采收率研究所副所长卢久涛解释,“我们先注入聚合物,把分散的油像‘赶羊’一样聚集起来,形成一道富集的‘油墙’,在此基础上,适时调整井网布局,改变地下流体流动路径,实现均衡开采。”

“油墙”是井网调整的基础,而合理的井网又是高效采出“油墙”的关键。在聚合物驱油过程中,剩余油会经历“分散-聚集-再分散”的动态变化。“聚合物驱油并不是注入量越大效果越好。”卢久涛说,明16块聚合物驱不同阶段的剩余油数值模拟分布图清晰显示了这一过程。

在注入0.12PV的聚合物溶液时,零散的原油开始汇集,形成初步的“油墙”;当注入量达到0.25PV时,“油墙”达到最厚、含油浓度最高;此后继续注入,“油墙”会逐渐被推散。因此,精准掌握注入时机和排量至关重要。

针对明16块非均质性强、层间差异大、常规配水器机械剪切严重的难题,工艺技术团队研制地面分注器、井间差异化注入工艺、大压差分层注聚工艺,确保聚合物注入更精准。

此外,地质人员通过数值模拟发现,井网优化调整能够改变地下液流方向,聚合物可进一步提高驱替压力扩大波及体积,即使在较高水淹条件下,仍可使波及体积提升5个百分点,实现“剂-网”协同发力。

中原油田员工在明16块注聚站配置调驱溶液。全 江 摄

明225H井因套管破损关停,聚合物驱促使地下剩余油重新富集。2024年7月,该井侧钻后日产油达7吨。

目前,明16块聚合物驱已进入“6注9采”整体实施阶段,日产油增加7.7吨,综合含水率下降6.7个百分点,开发形势持续向好。

中原油田油藏大多高温高盐,中高渗透油藏水驱开发油田平均含水率达96.17%,与其他驱油技术相比,二氧化碳驱驱油具有适用范围大、提高采收率幅度大等显著优点。

“在地层中注入二氧化碳,形成剩余油‘二次富集’区域,再通过部署新井或实施补孔措施等,重构注采井网,从而达到增产目的。”提高油气采收率研究所副所长郑晶晶解释。

通过对濮1-64井、濮1-66井两口井稳定注气,形成了剩余油的二次富集,再通过补孔、调整优化流线方向,濮70井初期日增油10吨,目前仍保持5吨以上的稳定日产量。

针对二氧化碳驱驱气窜、增油差异大等问题,科研团队深化增油机理认识,同时与石勘院联合攻关二氧化碳多元封窜技术,确定封窜提效方向及对策。他们还依托参数优化和矢量调整,创新提出“五段差异调控”理念,形成涵盖油、气、地质、工艺等多方法协同的全流程调控体系,并编制了复杂断块油田注二氧化碳开发技术规范。

目前,基于“3+2”模式的高温高盐油藏二氧化碳驱驱油技术已在中原油田19个区块、46个井组推广应用,覆盖地质储量2100余万吨,累计注气87万吨、增油19万吨。

### ■点评

中原油田勘探开发研究院数值模拟专家 郭立强:特高含水老油田水驱可动剩余油大幅减少,传统且被动的“找剩余油、采剩余油”的方式已逐渐不适应进一步提高采收率的需要。而变被动为主动,通过“3+2”协同开发模式,由“找剩余油富集区”变为“造剩余油富集区”,将是大幅提高采收率的主要方向。目前油田三采效果均印证了这一点。随着研究不断深入,“3+2”协同提高采收率模式将会有更大的应用空间,也会收到更好的效果。



▲河南油田研究院开发研究中心科研人员分析双河区域三采区块增油潜力。杨光辉 摄

## 河南油田：“聚鱼成群”，高效采出剩余油

□本报记者 常焕芳 通讯员 杨光辉

H3-137井原来日产油只有0.4吨,应用“3+2”技术后,日产油增加到了5.1吨。看来,思路一调整,新技术应用成效就会显著增强。”近日,河南油田水驱油藏工程研究专家张连锋和科室人员一起分析“3+2”技术的阶段应用成效,强调转变开发思路的重要性。

“3+2”技术,就是在三次采油过程中利用二次井网重构技术定向动用剩余油,充分延长增油高峰期。

目前,河南油田有化学驱动用区块29个,覆盖储量9500多万吨。历经30多年三次采油开发,三次采油区块的剩余油分布更加零散、隐蔽。在剩余油富集时,依靠传统的三次采油技术,通过给油藏注入化学剂,可以等“鱼”入网。但是,经历多年三次采油开发,地下通道发生了很大变化,有的像“高速公路”畅通无阻,有的像“羊肠小道”崎岖坎坷,导致注入的化学剂顺着优势通道窜流,有的地方被“淹”,有的地方“旱情”严重,继续等“鱼”入网,往往等来一场空,探寻新的开发技术势在必行。

从去年开始,河南油田转变开发思路,一边优化驱油体系,提高驱油性能,一边运用“太极拳法”,通过“推、拉、压”等方式,调整地下的流线流场,使驱油剂均衡推进,从而将零散分布的剩余油引导、培育、壮大,直至形成“油墙”,达到“聚鱼成群”的目的。

“最终目的是集中捕鱼,也就是高效采出剩余油。采的时机也非常重要,不能急,也不能慢。”张连锋介绍。

“聚鱼成群”为顺利采出剩余油创造了良好的环境和条件,但是,受地下油藏复杂条件的影响,采油时机也因井、因层、因油藏而异。只有实现“网-

剂-油”全程协同配合,才能实现“油墙”动用最佳、均衡驱替最优、效果保障最强。

在井网高含水、层层高含水、剩余油高度分散的单元,河南油田在优化驱油体系促进均衡驱替、扩大化学剂波及面的基础上,通过注入和开采交叉进行的耦合注采方式调井、调层,主动封堵高含水、高窜流层段,在剩余油重新富集形成“油墙”且尺度最大时,重新打开油井采出“油墙”。其中,下二门H2IV油组双5-420井日产油由0.8吨上升到7.2吨。

针对剩余油尺度小、高度分散、无井控制的区域,河南油田通过控强提弱、耦合注采等技术,主动培育、壮大“油墙”,根据“油墙”富集位置,部署靶向调整井、侧钻井,高效动用“油墙”。其中,调整井T6-249井日产油达16吨、侧钻井K4521井日产油达7吨。

该技术在先导试验区取得成功,应用范围不断扩大,有效延长了三次采油增油高峰期,助力三次采油区块产量持续攀升。截至今年8月底,河南油田累计实施“3+2”技术22井次,日增油62.9吨,阶段增油1.12万吨。

### ■点评

河南油田水驱油藏工程研究专家 张连锋:

地下剩余油是动态变化的,而且呈日趋复杂的态势。只有研究透剩余油的富集规律,才能有的放矢采出效益油。河南油田创新应用“3+2”协同增效技术,正是根据剩余油的变化规律,动态匹配井网与驱油剂协同作用,有效破解了剩余油分布零散、驱替效率低的难题。这也启示我们,延长增油高峰期,提升开发效益,不能一味走传统路径,必须解放思想,持续开拓新路径。