

供给

责任编辑:程强
电话:59963258
邮箱:
chengq@sinopec.com
审校:张春燕
版式设计:孔宝贵



周“油”列国
油事精彩

压驱:一场地下革命

胜利油田创新压驱注水技术唤醒沉睡储量,5年累计实施1300多井次,增油超160万吨,压驱技术成为低渗透油藏的开发主导技术,并在中原、东北、江苏、河南、华东、江汉等油气田推广70余个井组

□本报记者 于佳
通讯员 王若昕 荆林 孙成龙

3月的黄河三角洲,春风唤醒冰封的大地。而在地下3000米深处,一股股高压水流正在唤醒沉睡的石油储量。

在胜利油田渤南油田五区,原油正以每日150吨的速度喷涌而出。而在10年前,这个数字仅是30吨。

这个曾被贴上“低效”标签的老区块,正用连续3年负递减的成绩验证一个事实:地下并非没有油,只是过去方法不对。

打破教科书“铁律”

2020年,胜利油田东胜公司牛21-斜4井组,一台压裂车组的轰鸣声打破了荒原的沉寂。高压水流以每日上千立方米的速率,注入“磨刀石”般的致密储层。

43天后,结果令人震惊。这口井“喝”掉6万立方米水,相当于过去11年的注水量,地层能量快速恢复,单井日产量恢复至初产的0.8倍。第一口压驱注水井,成了。

这场试验的种子,源于2019年的一次考察。当东胜公司考察组在新疆吐哈三塘湖油田看到致密储层采用高压注水吞吐、日注水量高达1000立方米时,一个大胆设想就此萌生——“磨刀石”能不能注水,实现致密储层驱替开发?

他们创新性地将超压注水理念用到低渗透油藏的驱替开发。这与常规注水截然不同——利用大排量高压泵注设备,在高于或接近地层破裂压力条件下,将致密地层“撕”开裂缝,把注水从“渗”变成“灌”,实现大排量注水驱油。

然而,“铁律”横亘在前。在胜利油田勘探开发研究院搞了多年低渗透油藏开发的专家们,起初对这项技术并不看好——注水压力不能突破地层破裂压力,这是教科书上的铁律,更是业内的共识。

面对摆在眼前的效果,胜利油田选择边实施、边研究、边完善。“那时候压驱虽然效果显著,但技术还不成熟。”勘探开发研究院低渗透室主任贾艳平说。

2021年,压驱技术开始在胜利油田规模推广,贾艳平和同事们从怀疑者变成参与者。当一个个井组相继“复苏”,质疑声逐渐变成了推广声。

5年间,这项技术在胜利油田累计实

施1300多井次,增油超160万吨,已然成为低渗透油藏的开发主导技术。

“就像给干涸的土地先浇透水,再播种,庄稼自然长得得好。”胜利油田压驱项目组油田高级专家王建说,胜利油田有近10亿吨储量属于低渗透储量,这项技术不仅彻底消除了低渗透油藏“注不进水”的困扰,更可大幅提高油藏采收率,给油田开发带来革命性变革。

一个区块的复活

2021年,李清清刚接手渤南五区时心里直打鼓:偌大的区块,单井日产量仅7.9立方米,自然递减率高达9.7%,开发陷入“注不进、采不出”的僵局。

渤南油田是以低渗透油藏为主的亿吨级油田。渤南五区是典型代表,地质储量2000多万吨,开发60多年来,由于层系多、储层非均质等原因,储量动用不均衡——有的区域已水窜,有的区域仍“喝”不进水。以主力层9砂组特低渗透层为例,采出程度只有14.9%,剩余储量790万吨。自上世纪90年代以来,多次开发调整均收效甚微,到2016年日产量仅30吨。

“那时候感觉守着是一座金山,却找不到打开山门的钥匙。”胜利油田河口采油厂地质研究所单元区长李清清说。

转机出现在2021年。河口采油厂将压驱技术引入该区块,在仅投产6口新井的条件下,日产量就跃升至60吨,采收率提高4.2个百分点。

“当时看着产量曲线往上走,手都是抖的。”李清清记忆犹新。

渤南五区因为压驱“复活”,更因压驱技术的迭代升级焕发持久活力。

起初,“压驱”只是破解了“注不进水”的难题,但新的问题接踵而至:“水灌进去了,如何均衡驱替?波及范围够吗?不同层系、不同井网怎么适配?”科研人员清醒地认识到:打开大门只是开始,让这项技术为复杂的低渗透油藏发挥更大作用,才是真正的考验。

一场从实践到理论再到实践的螺旋式升级就此展开——

开发理念率先转身:从“先采后补”的治病救急,转向“先注后采”的强身健体;从突破“高压不能注水”的禁区,到确立“大井距同样高效、先注后压效果更好”的新认知。

机理研究纵深推进:科研团队揭示“增注、驱扩、波及”的压驱机理,破解高压水如何在地下织就驱替网络。

技术体系迭代成熟:创建压驱水量、井网适配等设计方法,制定施工技术标准,经过“矿场—理论—矿场”反复迭代,最终形成“超前压驱、立体压驱、差异压驱”三类技术模式,为不同类型低渗透油藏量身定制高效驱油方案。

得益于不断成熟完善的压驱技术体系,李清清和团队为渤南五区找到了专属方案。他们结合不同区域地质特征和剩余油分布,实施差异压驱:对水道中心的老油井,调整流线,改变液流方向;对水道侧缘能量不足的油井,精准压驱补能,重建驱替系统。

“就像给不同病人开不同的方子,有的需要活血化痰,有的需要补气养血。”李清清说。实施后,渤南五区日产量大幅提升至150吨,采收率再提高7.4个百分点。

“压驱”出圈

如今,压驱注水不仅成为胜利油田低渗透油藏的主导开发技术,还走出胜利,在中原、东北、江苏、河南、华东、江汉等油气田落地生根,累计推广70余个井组。

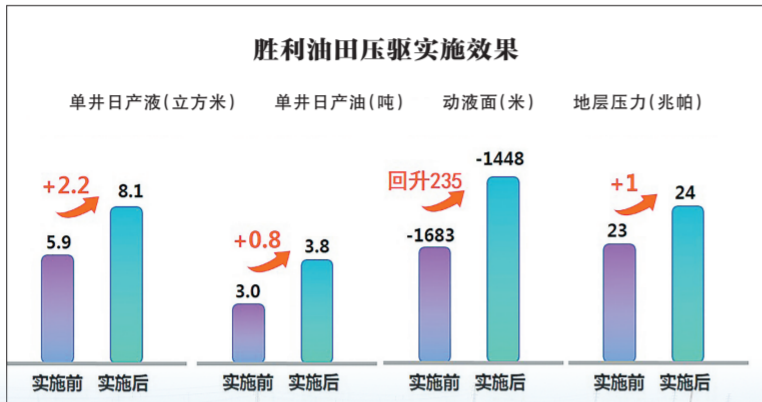
王建表示,压驱复活了很多像渤南五区这样的老区块,未来还要继续打圈升级,让它发挥更大作用。

针对老区水窜、新区动用难等问题,胜利油田将打出组合拳:一方面让高压水与多种介质、工艺、方式协同发力,把井网、缝网、驱替体系一体优化,从单纯“补水”转向“精准供能”高效驱油,实现新老区齐头并进、规模效益开发;另一方面创新“压驱+”复合技术,通过调驱、注二氧化碳等手段,大幅提高采收率,让压驱开发更均衡、更高效。

2026年,胜利油田计划在84个单元部署压驱井组245个,年注水量800万立方米。“十五五”期间,将持续保障压驱注入规模。

贾艳平和同事们仍在忙碌,分析哪口井可以压驱、哪个单元还能提产。“每一口井都是一把锁。”她说,“我们要做的,就是让压驱这把钥匙打开更多的锁。”

窗外,黄河三角洲的抽油机依旧叩击着大地,更多低效区块在压驱的作用下,也将迎来自己的春天。



3月10日,胜利油田河口采油厂顺利推进义252-斜13井压驱作业。今年以来,该厂累计实施压驱井28口,注水23.2万立方米,增油1218吨。
吴木水 丁洁 摄影报道

东北油气:均衡压驱注水解“三难”

东北油气针对低渗透油藏常规注水突出问题,打破固有认识,引进压驱注水技术,创新形成均衡压驱注水技术,并以深化油藏认识为基础,攻关难动用储量,创新注入模式,逐步迭代形成均衡压驱+特色技术路线,为油田开发注入新动能。2022年以来,累计实施均衡压驱注水17个井组,覆盖储量379万吨,日增油28.3吨,累计增油近3万吨,提高采收率4.1个百分点,吨油耗水34.1立方米,投入产出比1:5.6。

□本报记者 张万东 通讯员 王科战

东北油气所辖油气田低渗透油藏占比83.5%,注水开发有“三难”,即注不进、能量低、采收差。面对困局,该公司技术人员坚持以效益产量为目标,多方学习调研,打破常规注水压力不能超过地层破裂压力的认知,引入微压驱注水技术。

他们结合油田地质特征、井网、井距、主应力方向、注水注气见效情况等,进一步量体裁衣、迭代提升,创新形成均衡压驱注水技术。

该技术以近破裂压力、变排量注水产生微裂缝网,全过程同步注采、动态调控,从而实现协同、均衡驱替。

2022年,他们在SW801井开展先导试验,注水压力由30兆帕升至39.6兆帕,日注水量由5立方米提高到300立方米,实现大井距有效建驱,最高日增油14.6吨,首年即增产1786吨,成果喜人。

先导试验取得突破后,技术人员深入解

剖油藏,强化基础研究,针对不同油藏类型建立选井标准,形成“建驱增油、扩大波及、补能促混相”三种压驱模式,全力推动增储上产。在SN142块,技术人员通过在边部大量快速注水增加水路,使各水路匀速推进,实现日增油3.7吨,累计增油超3700吨。

在SW8+SW10块,均衡压驱在实现增油的同时出现水窜问题,技术人员通过合理的注入—停注—再注入周期循环调控,给能量均衡留出时间,有效控制含水上升,9个井组累计增油1.7万吨,提高采收率4.9个百分点。

在DB33块,技术人员提高注水压力,加大注水量,补能时间较常规注水缩短达12.8年,地层压力提升5.7~10.4兆帕,达到混相压力的1.2倍以上,为后续拉大井距、开展气驱补足能量。

在此基础上,东北油气组织技术人员继续深入研究压驱机理,优化迭代升级技术。他们开展对外合作,优化完善均衡压驱数值模拟方法,依托建驱数模开展压驱气水协同

技术及应用研究,明确了气水协同对剩余油分布的影响机制,再通过优化注入参数,形成有效控制含水上升、扩大波及范围的均衡压驱+技术,进一步提高采收率。

2024年以来,针对腰英台油田特低渗透重质油藏二氧化碳难混相、七棵油田均压驱水窜等问题,东北油气探索实施常规注水、均衡压驱+调驱、均衡压驱+二氧化碳等复合增效技术共6个井组,迭代均衡压驱技术,提高采收率1.9个百分点。

其中,DB33-4-2井组应用均衡压驱+二氧化碳技术见到初步效果,注入二氧化碳段塞0.93万吨,有4口井见效,平均单井日增油1吨,含水率下降6.3个百分点。

均衡压驱注水技术在低渗透油藏应用以来,东北油气注水产量占比逐年提升,成为稳产增产主力军。未来,东北油气计划结合风光绿电,推进均衡压驱柔性注水,探索大排量二次压驱技术经济可行性,为油田开发持续注入新动能。

江汉油田:焕新压驱技术赋能高效开发

压驱技术作为高效补能增油的核心手段,历经多轮迭代升级,已成为老油田挖潜增效、未动用储量有效动用的关键支撑。近年来,江汉油田围绕多类型油藏适配、监测体系创新、装备工艺升级三大核心方向持续攻关,推动压驱技术不断突破瓶颈,为油田持续稳产与效益开发注入强劲技术动力。截至2025年底,江汉油田压驱注水已累计实施59井次,注水67.8万立方米,增油2.54万吨,投入产出比1:2.7。



江汉油田压驱注水作业现场。
李东勇 摄

□蒋婧雨 李婉芊 梁琦 周敏

“不同补能需要的油藏就像不同体质的病人,不能用同一种药方。低渗透油藏缺能量、薄差层油藏难波及、常规油藏水窜快,必须针对性定制压驱方案。”江汉油田石油工程技术研究院压驱项目负责人徐峰表示。

针对低渗透油藏常规措施动用效果差、注采井距大引效难的问题,技术团队研发“压驱+压裂引效”技术模式,建立井组不同位置油井差异化压裂缝长定量设计方法,实现边角井压裂缝长与压驱带长带精准匹配,让压驱能量有效覆盖边角区域。

针对注水压力高、油水置换效果差的开发痛点,推出“压驱+驱油剂”技术模式,筛选出具备优良界面性能和润湿改善特性的驱油剂,有效提升洗油效率,扩大水驱波及范围。

针对注采井网不完善、高部位补能难的问题,创新“反向压驱+渗析剂”技术模式,筛选渗析效率高、耐水解性强的专用渗析剂,配套缝井措施强化油水置换效果,成功破解非主流线方向引效难题。

技术人员根据不同类型油藏特点,持续丰富分层和弓形井分段压驱等多场景应用,实现增能量、扩波及、建驱替、提可采,综合有效率达81%,为不同特征油藏量身打造了差异化、精准化的开发治理方案。

例如,他们在老15井区老15-斜10井组开展高压油藏分层压驱开发试验,应用“压驱+全支撑压裂”技术后,油井老15-斜9井日产量由0.5吨提至7.2吨,且生产形势稳定。

要保障压驱效果,就需要实时掌握压驱注水过

程中油藏动态变化,以科学优化施工参数。传统压驱监测多依赖后期解释分析,难以及时捕捉地层能量变化与裂缝扩展状态,易造成参数调整后、地层窜流甚至水驱低效循环等不可逆损失。针对这一痛点,技术团队成功突破单芯信号传输等关键瓶颈,创新研发“钢管电缆+直读式压力”监测系统,实现压驱评价从事后分析到实时感知的跨越。

该监测系统性能指标领先,耐压60兆帕、耐温125摄氏度,可连续稳定工作超过24个月;单次作业可同步开展压恢监测、生产监测,单井监测成本平均降低16万元。依托实时监测数据,技术人员可精准调控压驱注水压力,有效规避裂缝窜流与水驱低效循环。

压驱工艺在规模化应用过程中,注水管柱长期处于高压、间歇注入和长时间运行的严苛工况,其可靠性与耐久性一直是技术攻关的焦点。

技术团队通过升级水力密封材质,设计双密封结构、优化密封间隙及抗扭剪切设计,显著提升密封过盈与抗剪切能力;针对套漏、腐蚀等行业痛点,完善套管保护与防腐工艺,推出易脱手锚爪插管式、玻璃钢插管式等多种适配不同工况的注水管柱。

“我们研发5种新型压驱管柱,完善形成长效压驱注水管柱体系,在40口井成功应用后,管柱失效下降15%,施工成本降低25%。”油田专家刘军说。

此外,技术团队还开展射孔工艺革新,创新采用首段连油射孔、二三段泵送射孔联作模式,大幅减少作业工序,优选电驱注水方案,相比柴驱注水,单井节约费用超7万元。

江苏油田:差异化压驱精准提能量

压驱注水作为水驱开发的一项变革性技术,已成为低渗透特低油藏的主导开发技术。近年来,江苏油田针对致密油新区油藏、零散能量不足区块、高压欠注油藏等不同类型油藏,深入开展超前压驱、增能吞吐压驱、“酸压+压驱增注”等差异化压驱模式,推动一批储量实现效益动用。截至目前,13个井组实施后累计注水33.2万立方米,增油1.16万吨。其中,超前压驱实施两个井组,投产后将进一步释放产能,提升效益。

□本报记者 王庆辉 通讯员 廖伟 王磊

针对致密油新区油藏,江苏油田采取超前压驱模式,快速补充地层能量,建立有效驱替,提高单井产量,延长自喷周期,实现“早见效、稳增产”。

永48-4井组是该油田首个超前压驱试验井组。技术人员以“少井多产”为目标,地质工程一体化全方位优化压驱方案。

在井网优化方面,针对复杂断块断层多、储层变化大等难题,综合考虑应力、断层边界、非均质性、储层岩性对注水流线方向的影响,设计优化井网,实现“少井多控”,用最少的井组覆盖最大的开发面积。

在参数优化方面,结合经济效益拐点,研究合理升压幅度,形成不同物性油藏合理压力水平图版,为参数设定提供科学依据。

在工艺优化方面,按照“初期小排量蓄能,逐步提排量造缝”思路,精准控制井底压力略高于地层破裂压力,既保证近井底带均衡起裂,形成多簇微裂缝,扩大驱油波及范围,又有

效规避单一裂缝导致的水窜风险,实现均衡驱替,最大程度提高井组采收率。

永48-4井组于2025年2月开始压驱注水,阶段注入总量7.38万立方米。压驱投产后,对应6口油井均见到注水响应,初期即实现日增油15吨,单井最高含水率控制在30%以内,取得显著增油成效。

江苏油田接着在沙103-1井组推广该模式,分两段压驱,设计注水量16万立方米。目前,已注水10.7万立方米,油井压力水平稳步提升。预计投产后,新井产能比同断块老井提升3倍。

对于零散分布、缺乏常规注水补能条件的区块,江苏油田创新采用“油井增能吞吐压驱”模式,核心是将“补能、增压、驱油”融为一体,在补充地层能量的同时,充分发挥压驱的驱油效能,全面提升零散区块整体产能,破解此类区块“能量不足、产量递减快”的困境。

金湖凹陷河8断块地层压力低、产量递减快、采收率偏低,河8-2井实施蓄压一体化措施后日增油0.7吨,邻井河8-3井同步步

效,日增油2吨。

对于储层堵塞严重、高压欠注的水井,江苏油田创新采用“酸压+压驱增注”工艺,核心是通过酸压和压驱两项工艺“双剑合璧”,解除储层堵塞、疏通渗流通道。

高6-21井组试验后,注入压力降低5兆帕,显著提升了注水效率。该组合工艺无须动管柱,且主要针对近井地带,酸压和压驱用量少,具有低成本优势。

为加快推广压驱技术,江苏油田工程技术团队还创新了分层压驱与常规注水一体化管柱工艺,推动压驱技术从“能应用”向“划得来”跨越。

作为东部老油田,低渗、特低渗、致密油藏占江苏油田未开发储量的78%,压驱技术大有可为。为进一步促进压驱工艺提效,江苏油田今年专门设立“揭榜挂帅”项目“深层致密油均衡压驱工艺研究与应用”,重点攻关压驱高强度封窜、同步分层压驱注水等关键技术,推动压驱技术持续迭代升级,为低渗、特低渗油藏效益开发提供技术保障。