编辑:李芳 电话:6238752 版式:范东 克拉玛依日报 2025年7月4日 星期五 农历六月初十

新疆油田公司采油院“六大军团”攻坚2000万吨 系列报道之二

给油泵“消泡” 让驱油“精准” 为管柱“护甲”

CCUS技术攻关破解地下油藏“水土不服”

——新疆油田年注碳50万吨背后的技术攻坚战

新疆油田成功开展首口CCUS注气井井下泄漏监测现场试验。

本版图片由采油工艺研究院(监理公司)提供

新疆油田公司CCUS注入井复合解堵增注效果喜人。

新疆油田开展首口二氧化碳注气井环空带压光纤测试。

新疆油田开展首口二氧化碳驱水平井气窜封堵现场试验。

研发团队正在讨论CCUS开发方案内容。

科研人员现场讨论气窜治理方案。

●对付“泡沫可乐”抽油难！地下注的二氧化碳太多，油像“摇晃过的可乐”泡沫(气)多油少，普通抽油泵被“气锁”吸不动油。专家发明了高效“消泡器”(气液分离工具)，让原油顺利抽上来，单井产量和效率明显提升

●堵住“短路”气，增产又均衡！二氧化碳在地下像“抄近道”(气窜)乱跑，导致注气不均、油井产量悬殊。专家研发出“堵漏黄金搭档”(控窜引效技术)，用特殊材料堵住“近道”，把气逼向难采油的区域，让更多油井有效增产

●给千米深井穿上“护甲”！二氧化碳遇水变“隐形酸”，加上低温结蜡、结垢，严重腐蚀损坏油管。专家打造了“三重防护护甲”(防腐防垢体系+实时监测仪)，大幅降低腐蚀结垢，延长设备寿命，省钱又安全

克拉玛依融媒记者
王雨萱 高宇飞 侯婧婧
通讯员 易勇刚 高迎春

在“力争2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和”的国家战略引领下，CCUS(碳捕集、利用与封存)技术已成为平衡能源供给生态保护的关键枢纽。

在此基础上，新疆油田公司创新构建“碳源掌控、注碳运行、动态分析与跟踪调控”一体化管理模式，自2017年起在准噶尔盆地东、西部开展CCUS技术试验。截至2024年底，新疆油田年注碳量已从10万吨跃升至50万吨，成为全国注碳规模最大的CCUS油田之一。

但随着项目扩展至玛湖1、夏77等七大油藏，技术难题逐渐显现：抽油泵因高浓度二氧化碳“气锁”频繁故障，注气井因气窜“短路”波及不均，井下管柱在强腐蚀环境中“伤痕累累”。

面对这些制约“地下碳宝库”高效运转的枷锁，新疆油田公司采油工艺研究院(监理公司)(以下简称“采油院”)组建数十名专家及技术骨干组成的科研团队踊跃参战，在数百次实验攻关中，于高气液比举升、增产增注技术、复杂工况防腐三大领域取得突破性进展，助力CCUS实现从试验到规模效益的历史性跨越。

举升突破，“消泡神器”破解“泡沫可乐”困局

地下深处的石油，并非如河流般顺畅流淌。它们往往“蛰伏”在数千米深的岩层孔隙缝隙里，开采难度大，常规注水开发常常面临“水注不进，油采不出”的困境。

于是，采油院科研团队将目光投向了二氧化碳驱油技术。

超临界二氧化碳具有独特的性能：密度接近液体，黏度却像气体，分子结构小、扩散性强。这些特性使其更容易渗入低渗透储层细微的孔隙中。

“我们的目标是让二氧化碳与原油充分混相，发挥其特有的补充地层能量、扩散效应和黏度降低作用，将‘藏匿’的原油有效驱动出来，提高油田的最终采收率。”采油院一级工程师陈森说。

说干就干，科研攻关迅速展开。2020年，八区530井区二氧化碳驱先导试验区投入运行。

随着二氧化碳持续注入地层，试验取得了初步成效：二氧化碳成功与孔隙中的原油互溶，显著增强了原油的流动性，区块整体产量获得了明显提升。

然而，随着二氧化碳注入量的不断增大，新的技术瓶颈开始显现——油井产出物的气液比持续攀升，带来了棘手的“泵效危机”。

陈森形象地解释道：“这就像用力摇晃一瓶可乐再开盖，泡沫(气体)喷涌而出，但瓶底的液体(原油)却倒不出来。”

在试验区油井中，伴随原油产出的高浓度二氧化碳气体远超常规油井，形成“高气液比”。气体在抽油泵内极易形成“气锁”，如同泵腔被泡沫塞满，有效原油难以进入泵筒，导致抽油泵的有效容积利用率(泵效)大幅降低，单井产量随之锐减。

“常规举升工具就像小孔径吸管，对付普通‘饮料’还行，遇到‘泡沫可乐’就吸不动了。”陈森补充道。

为了破解这一难题，恢复油井高效生产，科研团队对市面上现有的多种工具进行了大量实验评估，效果均不理想。

面对缺乏成熟经验可借鉴的局面，团队决心自主研发能够高效分离气液的专用工具。

关键性突破在于针对二氧化碳的独特物性对工具进行结构再造：科研人员精心优化了工具内部流道设计，创新性地耦合重力沉降与旋流离心分离原理，显著强化气液分离的效率。

“升级后的新型工具如同给抽油泵装上了高效的消泡器，其适用的气液比范围从原先的500大幅提升至1000。”陈森说。

现场应用成效显著，数据证明了技术的可靠性。

2024年8月26日，新疆油田公司在八区530二氧化碳驱试验区成功应用“气液置换防气泵+多效复合气锚”组合工艺技术3井次，单井平均日产液量增加1.76吨，平均泵效提高8.73%。同时，单独应用多效复合气锚工艺技术2井次，单井平均日产液量增加1.48吨，平均泵效提高6.25%。

技术攻坚的背后，是戈壁滩上的“笨功夫”。实验过程中，科研人员克服诸多技术难题，不断优化实验方案，确保数据准确可靠。经过反复验证，气液置换防气泵和防气锁低漏失抽油泵在高气液比时可防气锁、改善进液，多效复合气锚分气效果突出。

为了验证工具适应性，团队在零下20℃的严寒中连续驻井，每天记录上百组压力、气液比数据。

如今，举升技术已在7个油藏逐步推广，不仅提升了原油产量，更保障了二氧化碳驱油与封存的顺畅运行，减少频繁修井，维持生产连续性和封存稳定性。

增产增注，“黄金搭档”治服二氧化碳“短路病”

新疆油田砾岩油藏储量规模大。

砾岩油藏储层结构复杂：砾石大小形状差异巨大，孔隙像迷宫般不规则，石油分布极不均匀，不同区域流体流动能力(渗透率)差异悬殊，具有储层渗透率低、非均质性强、水敏性强等特征。

“要让二氧化碳在此类油藏有效驱油，两大难题横亘眼前：注气井‘欠注’，二氧化碳‘注’不进去；采油井见效差异大，部分井高产，部分却‘无动于衷’。”采油院采油所工程师陈神根说。

“自八区530二氧化碳驱先导试验区开展注气以来，部分采油井出现不见效、生产效果差等问题。”陈神根说，“问题在于地下油藏如同布满裂缝和孔洞的迷宫，二氧化碳易沿高渗透带‘短路’窜逸(气窜)，无法均匀波及目标区域，相邻油井生产差异悬殊。”

面对困局，采油院采油所技术团队联合开发公司、采油二厂、勘探开发研究院等单位，经过大量的技术调研和缜密论证，分析地质工程条件并优选试验井，创新性提出了针对二氧化碳驱的控窜引效一体化技术，堪称“堵漏黄金搭档”。

该体系巧妙结合“增稠流体”与“耐酸泡沫”两种材料，专门用于封堵油气井中的泄漏缝隙(封窜)，将二氧化碳变黏稠。

“高黏度的增稠流体和持久的泡沫协同作用，能有效封堵复杂地层中的窜流通道，满足油田现场严苛的封窜需求。”陈神根补充道。

技术成功的核心更在于精准“引效”。

团队创新性融合油藏地质等多源信息，精准定位出需要改造的目标层位，针对性实施分层压裂，在压裂过程中巧妙运用“暂堵转向”技术。

“增稠后二氧化碳的流动性降低，无法再快速沿渗透率较低、原油更难被驱动的区域，扩大波及范围，达到引油增产的目的。”陈神根进一步解释。

该技术开展现场试验以来，科研人员全程进行现场指导、跟踪分析和复盘总结，不断进行技术迭代和升级。

截至2024年8月7日，控窜引效一体化技术在八区530二氧化碳驱试验区已开展15井次，阶段累计产油13735吨，措施井日产油达到52吨。其中，2024年实施9井次，平均日产油3.2吨，阶段累产油1183吨，措施效果持续向好。

玛湖1井区上乌尔禾组油藏地质储量大，为典型强敏感致密砾岩，常规水平井体积压裂建产存在压力递减快、采收率低等问题，部分生产井开井试产表现出压力维持难度大、稳产时间短等问题，总体驱替见效不明显。

科研人员在借鉴前期八区530二氧化碳驱各类引效经验基础上，选择MHD1008井优先开展压裂引效试验。

通过分析MHD1008井与邻井连通状况，设计采用小规模解堵压裂降低后期气窜风险；结合地层特征、储层物性等，设计采用投球滑套机械分层组合二次加砂压裂工艺，控制裂缝高度，提高储层纵向改造程度；采用防膨压裂液，并控制入井液量，最大限度保护储层。

三防突破，特种“护甲”抵御千米深井“复合伤害”

二氧化碳遇水形成的碳酸，堪比“隐形酸液”，对井下金属管柱腐蚀性极强。

同时，低温高压下原油中的蜡质易析出结块，水中矿物质(钙、镁离子)与二氧化碳反应生成的碳酸盐垢，如同“水泥”般层层淤积。

传统靠定期加药“打针”的化学防护方式，不仅成本高、管理难，效果也常不尽如人意。

“二氧化碳试验区采油井主体采用定期添加防蜡防垢药剂、机械清蜡等常规清防蜡防垢方法，应用效果不佳且成本偏高。”采油院采油所高级工程师熊启勇说。

CCUS工程环境下的井筒(油管、套管等)，可谓是在“地狱模式”中工作，要时刻防腐防垢防蜡。

面对这一行业顽疾，采油院成功研发出一套高效经济的综合防护技术，为油田安全装上“三重保险”。

“我们创新研发出专用复合防腐防垢体系，使关键管材N80钢的年腐蚀速率降至0.0117毫米的极低水平，同时阻垢率高达88.56%，大幅延长了核心设备的使用寿命。”熊启勇说。

为进一步降低成本，团队开发出可替代传统油基产品的水基环空保护液，在确保防护效果(N80管最大年腐蚀速率0.0167毫米)的前提下，实现综合成本直降60%以上。

为实时掌握井下“健康状况”，科研人员就腐蚀实时监测技术原理、设备结构、数据通讯、入井工艺等多方面开展方案论证，形成基于电阻探针原理的井下多点实时监测技术方案，经过反复实验迭代升级，成功研制出一套井下腐蚀在线监测仪器样机。

2024年11月，科研团队将井下腐蚀在线监测仪器放置于八区530二氧化碳混相驱先导试验区。

与行业同类技术相比，该监测系统在监测精度(分辨率达0.01微米)、测量点数(3个点位)等方面均显示出显著优势，实现井下腐蚀速率实时监测技术重大突破。

“腐蚀是二氧化碳驱技术应用面临的关键共性问题，此前主要通过井下挂片(环)、井口铁离子浓度检测方式分析井下腐蚀状况，但以上方法均无法实现腐蚀速率实时监测，腐蚀规律分析及加药制度缺乏依据。”陈森说。

该监测系统可耐温120摄氏度、耐压40兆帕，测量误差小于5%；采用双通道模拟数字转换器，实现高精度数据采样；实现3000米无损通信，确保数据传输的可靠性；使用整体铸造、一体成型工艺，保证装置密封性能……

2024年12月10日，八区530二氧化碳驱采油井80538井特种合金防垢防蜡工具入井并成功完井，标志着新疆油田公司首口CCUS区块采油井特种合金防垢防蜡工具现场试验取得圆满成功。

高气液比举升、增产增注、复杂工况三防……三大核心技术的突破，如同精准打通了“地下碳银行”运行的关键“经脉”，阶段累计增油10165吨，降低产气101万方，注气井增注1.6万吨，产生经济效益1884万元，为八区530、玛湖1、夏77等试验区安全、高效运行提供技术支撑。

这项融合“捕碳”智慧与“驱油”效益的绿色科技，正驱动着新疆油田年注50万吨碳的庞大系统高效运行，成为保障国家能源安全与实现“双碳”目标的重要减排引擎。