编辑：王雯婧　电话：6896544　版式：王兆国　克拉玛依日报　2025年9月16日　星期二　农历七月廿五

玛湖勘探开发项目部CCUS团队：

戈壁“碳”路破难题　致密砾岩焕新生



玛湖勘探开发项目部CCUS重大试验项目经理部成员对玛湖1现场生产情况展开讨论。



技术人员正在玛湖1生产现场巡检设备。



玛湖勘探开发项目部CCUS重大试验项目经理部成员正在讨论工作。



玛湖勘探开发项目部玛湖CCUS青年突击队合影。

本版图片均由玛湖勘探开发项目部CCUS重大试验项目经理部提供

克拉玛依融媒记者 叶子
通讯员 管晶 王涛

在准噶尔盆地西北缘的玛湖油区，一支平均年龄仅32岁、党员占比高达83%的年轻团队——新疆油田公司玛湖勘探开发项目部CCUS重大试验项目经理部（含CCUS青年突击队），正以“敢啃硬骨头 勇闯新禁区”的劲头，攻关强敏感致密砾岩油藏CO_2混相驱开发这一世界级难题。从团队组建到技术突破，从难题攻坚到成果落地，他们用青春热血书写着能源绿色开发的玛湖答卷。

以青春之力，筑就CCUS攻坚堡垒

随着国家“双碳”目标推进，新疆油田将CCUS-EOR作为绿色低碳转型、高质量发展的核心方向，玛湖1井区上乌尔禾组近2亿吨强敏感致密砾岩油藏是关键阵地。2024年，玛湖勘探开发项目部组建CCUS重大试验项目经理部，并于同年6月成立6人的CCUS青年突击队（35岁以下占87%），旨在打造新疆油田首支CCUS全专业管理团队。

组建初期，团队面临“全专业空白”困境，核心技术无成熟经验借鉴。半年内，团队梳理出地质油藏、动态分析、注采工艺等五方面15项核心课题，联合多单位构建“地质—工程—管理”一体化协作机制，奠定攻关基础。

推进中，团队创新构建重大试验项目管理模式，通过“领导、管理、运维小组”三级管理体系实现“方案制定—现场实施—反馈迭代”闭环管理。实施环节，团队建立“每日分析、周会讨论、派发工单、实时反馈”高效运行机制，通过管理体系与运行机制“双引擎”驱动项目高效运行。

截至目前，团队成果显著：技术上完成新疆油田CCUS四项首次试验，实现致密砾岩CO_2连续稳定驱替，初步证实CO_2驱开发可行性，逐步构建地质油藏、动态分析、注采工艺、现场运维、体系建设全流程技术体系；团队建设上获新疆油田公司机关2024年度“优秀青年突击队”，1人获中国石油集团“青年突击手”，1人获新疆油田公司技术座谈会一等奖，培养三级副管理干部2名、三级工程师（Ⅰ类）1名、在职博士1名；科技成果上获厅局级科技成果一等奖1项、二等奖1项，厂处级一等奖1项，并申报国家发明专利2项，发表核心期刊论文5篇。

强水敏致密砾岩油藏的“四大挑战”

相较于国内其他油田CCUS项目多针对砂岩油藏，玛湖1井区上乌尔禾组油藏为典型强敏感致密砾岩油藏，独特的岩性条件与储层特性，让团队面临“无经验可借鉴、无理论可照搬”的困境，具体可概括为四大难题：一是储层致密、原油赋存孔喉小，玛湖1平均渗透率<1mD，原油主要赋存在亚微米、纳米孔中，气驱需要更大压差，稳定驱替关系构建困难；二是储层非均质性极强，导致CO_2平剖面波及不均，储层动用程度低且易气窜；三是储层强敏感，无法开展常规水气交替，注入端调剖技术尚未配套；四是采出端原油含水率低，井底热容贡献小，井筒结蜡频繁，极大影响连续生产。

致密砾岩储层的孔隙如“迷宫”，大小差异达100倍以上，且存在大量砾缘微裂缝和部分高渗条带。注入CO_2后，易沿高渗透带（“窜马路”）快速窜流，绕开低渗透区（“窄胡同”），导致储层纵向原油动用程度低，同时部分采油井出气量骤增。而且物性较差区域井受CO_2偏流逸散影响，受到CO_2驱替作用弱，压力、产量快速递减，见效难度极大。

与传统油藏不同，玛湖1上乌尔禾组油藏储层遇水即膨胀，CO_2驱开发常用的“水气交替”调剖技术完全无法适用——注入水会引发粘土膨胀运移，堵塞孔隙通道，导致储层渗透率大幅下降。这一特性也限制了油藏开发方式的选择，非常规油藏开发利器“水平井体积压裂”适应性差，压后压力、产量递减快，难以实现效益开发。

受无法开展常规水气交替和CO_2驱特性影响，玛湖1采油井产出液含水率低、热容小，再加上液体在往井筒上部运移中CO_2减压膨胀大幅吸热，导致井筒中原油蜡、沥青等重质组分极易析出，附着在管壁后堵塞井筒，极大影响正常生产。同时，井筒产出液到达井口后压力很高，为保障地面管线安全，需要通过油嘴节流来控制压力，但CO_2在节流过程中会膨胀大量吸热，导致管线温度骤降至-50℃以下，引发油嘴、阀门、管线冻堵，轻则影响生产效率，重则引发安全事故。初期因缺乏针对性防冻堵措施，几乎无法正常生产，给现场运维带来了极大挑战。

靶向施策，逐个破解“卡脖子”难题

针对强水敏致密砾岩油藏CO_2驱开发四大难题，团队坚持“地质工程一体化”理念，联合科研院所持续开展技术攻关，从注采调控、工艺创新到设备研发，形成一系列针对性解决方案，且部分措施已落地见效。

为解决储层非均质性导致的CO_2波及难题，团队通过“精细刻画”与“动态调控”双管齐下。

在储层描述方面，首次开展三级构型单元多尺度非均质性分析，地质研究人员在岩心库驻场近2个月，通过岩心精细描述实现砂体构型反演，进而构建出三维高精度地质模型，相当于给地下油藏画了“三维导航图”，清晰掌握CO_2流动路径。

在动态调控方面，团队通过压裂形成“人造缝网”，缩短注采距离、提高压力梯度，促使物性较差区域油井见效，降低平面非均质性影响。针对注入端纵向矛盾，团队已联合采油工艺研究院（监理公司）研发分层注气工具，通过机械分注的方式提高CO_2波及范围，计划10月进入现场试验。

针对强水敏无法开展水气交替调剖的难题，团队联合相关研究单位，积极开展适应性化学调剖剂和CO_2增稠剂攻关研发。目前已研发了一套“抑水化”的CO_2有机乳液泡沫化学调剖剂体系，各项性能指标达标，该体系可减少CO_2与储层的不良反应，避免储层膨胀堵塞，同时提升CO_2在低渗透区的波及效率，预计将为强水敏油藏CO_2高效驱替提供新路径。

团队按照“多源防控、清防结合”思路，攻关形成“高频次机械清蜡+热洗+挤溶蜡剂+连管解堵”组合拳工艺，针对不同蜡堵程度差异化开展应用，保障油井连续生产。为实现“标本兼治”，降低现场运维工作量，团队同步推进两项创新试验：一是开展“井筒电加热试验”，从源头提升井筒温度，抑制蜡质沉积，试验井电缆通电后各项指标运行正常，已平稳运行2个多月，基本证实了工艺可行性，目前正开展工艺优化，论证新能源供电方案；二是研发“防蜡油管”，通过特殊涂层减少蜡质附着，目前已完成油管涂层，即将进入现场试验。

为应对井口CO_2节流冻堵，团队自主研发“二级节流电加热撬”装置，通过分级节流、同步加热，有效控制管线温度，避免冻堵发生。目前12台装置已在采油井全部应用，运行稳定，基本解决了冻堵问题。另外，团队还针对装置移动不便、数控机制复杂、制造成本高等问题，开展“简化设计”，预计优化后设备占地面积减少30%，成本将降低60%以上，更能适应戈壁现场作业需求，可在扩大试验区规模推广。

致密砾岩焕生机，赋能能源战略

经过一年半攻关，玛湖1 CCUS试验区取得显著成效：截至目前，试验区井组日产油已达到55吨/天且保持稳定，大多数井实现了连续稳定驱替；累注碳17.9万吨，相当于植树42万棵，实现“增油”与“减碳”双重效益。技术层面，团队已初步形成致密砾岩CO_2驱高渗条带刻画、动态分析、压裂引效、封窜调剖等全流程技术体系，完成10余项创新技术试验，部分技术填补了新疆油田空白，为后续规模推广奠定了坚实基础。

从油藏开发角度看，该项目首次实现“强水敏致密砾岩油藏有效动用”，为玛湖1井区近2亿吨储量开发提供可行技术途径，打破了“强水敏致密砾岩难动用”的认知，对国内同类油藏开发具有重要借鉴意义。

从新疆油田公司发展角度看，该项目是新疆油田建设CCUS产业链的核心试验，团队打造的“CCUS技术策源地和人才基地”，已培养一批全专业技术骨干，为公司“2112”四大工程提供了技术与人才支撑，助力新疆油田向“5000万吨现代化综合性能源公司”迈进。

从国家能源战略角度看，该项目践行“双碳”目标与“能源安全”战略，通过CCUS技术实现传统油田绿色转型，既提升原油采收率，又减少碳排放，为我国西北能源基地低碳发展提供“玛湖方案”，对保障国家能源安全、推动区域绿色发展具有重要战略意义。

站在新起点，玛湖勘探开发项目部CCUS团队将继续以“一马当先 决胜玛湖”的斗志，以“技术挺在前面”的理念，持续深化技术攻关，向着“试验区日产油百吨、2亿吨储量效益开发”的目标奋进。在广袤的戈壁上，这支年轻的“碳”路者队伍，正用创新与坚守，让世界最大强敏感致密砾岩油藏焕发绿色生机，为我国能源事业书写更多“玛湖奇迹”。