

绿色低碳技术：多元协同奏响油田低碳转型新乐章

在碳减排的时代命题下，一系列绿色低碳技术正崭露头角。从基础材料的突破到整体系统的优化、从单一设备的改良到全流程的再造，这些低碳解决方案展现了科技赋能环保的无限可能。这些创新不仅消除了高能耗、高排放的行业痛点，更以自然为师，用科技智慧实现了效率与环保的双赢。本版展现了油田企业通过科技创新推动绿色发展的生动实践，敬请关注。

西北油田：以自然为师“破题”攻关低碳技术

□张 俊 陈 苗 吴林筱

利用超导体理念研发钨合金加热装置替代传统加热炉，实现降耗减排；仿照大自然呼吸研发二氧化碳空气源热泵技术，利用空气能量加热；模拟人工心脏搏动对混输泵进行升级改造，实现高气油比混输增压输送……近年来，西北油田石油工程技术研究院地面工程研究所从生活中获取灵感，创新探索出一系列绿色低碳新技术，为实现国家“双碳”目标和绿色油田建设不断贡献智慧和力量。三大绿色低碳新技术为西北油田可持续发展注入无限生机。

钨合金加热技术：用超导理念实现节能革新

“传统加热炉就像竭泽而渔的‘吃气大户’，不仅存在设备效率低、天然气能耗高等问题，而且会向大气排放二氧化碳和氮氧化物。”地面工程研究所副主任师高多龙站在采油一厂TK408井旁，望着呼呼燃烧的水套加热炉，算起了“节能减排账”。2024年初，他带领绿色低碳节能团队调研时发现，燃气加热炉的热气顺着烟囱白白溜走，输送的原油却时常因温度不够导致凝管。

“节能减排，核心在于降低热能传递损耗。能不能像超导材料减少电阻那样，让热能接近零损耗传递？”一次技术研讨会上，高多龙精准抓住症结。刚入职的硕士吴林筱立刻扎进一线，带着这个想法跑遍胜利油田、长庆油田，终于在胜利油田东强机电设备有限公司找到突破口：一种钨合金加热技术，在可实现变电流技术的新型钨合金材料基础上，利用短路、漏磁、涡流三位一体电热转换，让电能更高效地转变为热能。

可引进之路并不平坦。“这项技术到咱们沙漠里能扛住严寒酷暑和硫化氢腐蚀吗？”采油一厂的技术管理员杨帆起初犯嘀咕。吴林筱带着设备住进试验井场板房，白天顶着冷冽的寒风调试设备参数，晚上在灯下整理试验数据，终于让设

备在液量波动的工况下稳定运行。

2025年春，TK408中质油井和TK6127稠油井的试验评价数据显示：100千瓦负荷下，钨合金加热技术较传统加热炉投资降低28%以上，能耗降低22%，碳排放量减少53%。相当于一口井一年少烧10万立方米天然气，每年减少4000辆汽车的尾气排放量。

二氧化碳热泵技术：以自然循环实现低碳升级

解决了中低负荷加热难题，高负荷井场的“高耗能”又成了新的“卡脖子”环节。2024年统计显示，传统电磁加热器虽然热效率超90%，但年运行费用比传统加热炉高1.8倍。“节能不能只算‘减排账’，更要算‘经济账’。”地面工程研究所副所长黎志敏把新能源团队拉到会议室，又一次开展了头脑风暴。

“自然界中的水通过植物根系被吸收，又通过植物叶片蒸腾完成循环往复的能量交换，热能是不是也能通过某种方式循环利用？”地面工程研究所技术研究室主任孙永尧一句话点醒众人。团队顺着这个思路调研，发现清华大学研发的二氧化碳空气源热泵，能像大树通过叶片呼吸一样，把空气中的低品位热能“泵”成高品位热能。

可新疆冬季夜间温度低至零下20摄氏度，热泵会不会罢工？黎志敏带着冯盼等技术员在TK155井搭建试验棚，把温度计绑在设备上，24小时轮班记录数据。在凌晨两点最冷的时候，设备制热效率下降，冯盼在清华大学能动系工程热物理所党支部书记、副所长祝银海的远程指导下，一点点调整二氧化碳制冷剂流量，终于实现在低于零下20摄氏度的环境温度下设备稳定运行。

“这技术就像给油田装上‘空气充电宝’！”黎志敏看着数据赞叹。与200千瓦加热炉相比，能耗下降56%；与电磁加热器相比，每年减少用电10万千瓦时。目前，该技术已入选《国家重点节能低碳技术推广目录》，成为油田名副其实的

“会呼吸的节能器”。

液压式混输技术：以“强心”逻辑实现绿色集输

“顺北、雅克拉凝析气藏的低压气井就像‘气短的病人’，这种压力低、气油比高的工况，螺杆泵、柱塞泵、双腔泵和传统压缩机都应付不了。”地面工程研究所所长钟荣强在顺北801井调研时，看着井口油压不断降低直皱眉，这类低压油气集输成了亟待解决的难题。

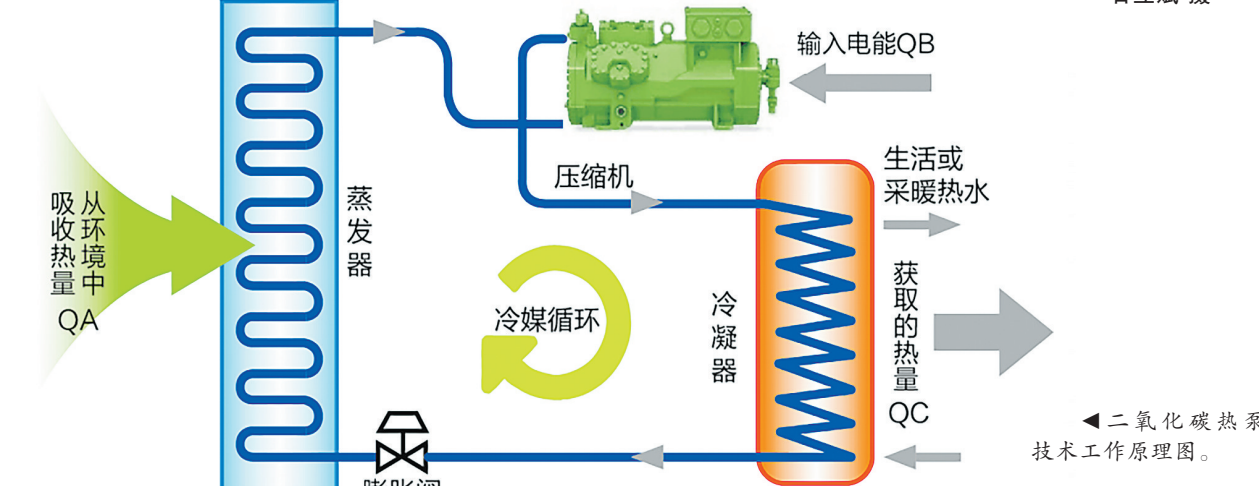
地面工程研究所技术员田剑在查阅心脏瓣膜置换资料时突发奇想：给泵升级换代，像增强心肌收缩力一样提升泵血效率，同时让进液缸和排液缸同轴，如同优化心脏的血流路径，形成能量循环利用的闭环，可以大大降低能耗。

然而第一台样机在试验时频频卡壳，油气混合物在缸内形成气锁，就像心脏里淤积了阻碍血流的气栓。他们联合采油四厂的老师傅在泵体上开了个“排气窗”，如同给心脏加装排气瓣膜，问题迎刃而解。经过半年优化，塔河7口井的实战数据显示：液压混输技术集输液量提升10%，能耗降低19%，对比传统集输方案，不仅节省工程投资10%以上，每年还节省用电30万千瓦时。

“现在这些泵就像油田的‘强心脏’，把零散的油气稳稳‘泵’进集输管网。”田剑眼里闪着光，拍着轰鸣的设备说。

“我们的技术创新，都藏在生活细节里。”西北油田高级专家姚彬说，“钨合金加热技术借鉴了超导体低损耗原理，二氧化碳热泵技术模仿了自然‘能量循环’，液压式混输技术改造灵感来自人工心脏的搏动，把这些原理创新性地运用到绿色低碳技术中，就拥有了破题的关键。”

下一步，西北油田将持续评价太阳能光热利用、采出水余热利用、压缩机余热利用等技术，充分利用地域优势资源，逐步提高新能源比例，建成全产业链低碳示范油田，为传统能源行业转型提供了可靠的“西北方案”。



◀二氧化碳热泵技术工作原理图。

新闻会客厅

绿色低碳供热技术未来3~5年将迎来规模应用爆发



祝银海
清华大学能动系工程热物理所
党支部书记、副所长、长聘副教授

问：目前国内绿色低碳供热技术发展状况如何？

答：近年来，在“双碳”目标驱动和政策密集支持下，我国绿色低碳供热技术已进入“多元突破、场景落地”的快速发展期，呈现出技术多元化、应用规模化、政策体系化的特点。

从技术类型看，当前国内绿色低碳供热技术形成了“以热泵为核心，余热回收、可再生能源供热为补充”的格局。

政策体系方面，除《推动热泵行业高质量发展行动方案》外，地方层面也出台了针对性措施；河北对工业热泵项目给予30%的投资补贴，江苏将余热回收纳入绿色工厂评价指标，山西试点“光伏+热泵”供暖电价优惠政策。这些政策推动技术应用从试点走向规模化，2024年工业领域低碳供热技术普及率较2020年提升了23个百分点。

不过，行业发展仍面临挑战：一是高温领域技术瓶颈，现有热泵在150摄氏度以上供热场景（如炼化反应釜）能效比不足2，难以替代燃气锅炉；二是核心部件依赖进口，如二氧化碳压缩机的精密轴承主要来自德国、日本，国产化率不足30%；三是成本问题，跨临界二氧化碳热泵初期投资比传统电加热高50%-80%，部分中小企业难以承担。

总体而言，国内绿色低碳供热技术已进入“技术突破—政策激励—场景验证”的良性循环，随着高温热泵、国产化部件等技术的成熟，未来3-5年将迎来更大规模的应用爆发。

问：绿色低碳供热技术如何助力企业高质量发展？

答：我国作为制造业大国，工业能耗约占社会总能耗的2/3，其中供热环节是能耗与碳排放的“重灾区”。以石油石化行业为例，其生产链条长、工艺复杂，从原油开采到炼化加工，多个环节依赖高温供热：原油集输中，因油井分布分散、管线跨度大，需持续加热以防止原油凝固，传统水套炉加热技术不仅能耗高，每台设备年碳排放可达数百吨，还存在热效率低（通常不足80%）、燃料浪费严重等问题。

绿色低碳供热技术对企业高质量发展的助力，体现在三个维度：一是降本增效，通过高效利用能源（如热泵技术能效比可达3以上，即1千瓦时可产生3千瓦时的电当量的热量），直接降低企业能源支出；二是合规升级，随着“双碳”目标推进，碳排放权交易、碳关税等政策逐步收紧，企业采用低碳供热技术可减少碳配额支出，规避“高碳惩罚”；三是竞争力提升，在全球产业链绿色转型的背景下，采用绿色低碳供热技术的企业能更好满足国际市场的“碳足迹”要求。

因此，绿色低碳供热技术不仅是企业响应国家政策的必然选择，更是降本、提质、增效的核心抓手，为企业高质量发展注入持久动力。

（张俊 吴林筱 整理）

江汉油田：光热+多能互补助力绿色生产

□谢江 汪睿 罗建科 赵春

8月11日，江汉油田江汉采油厂广斜77井场上，油田首个“光热+多能互补”清洁能源装置用两小时将储油罐油液温度由28摄氏度提高至50摄氏度，达到原油拉运油温要求，原油装卸顺利完成。

油井多能互补储罐加热技术通过两排集热器，利用太阳能给储油罐加热，加热时间由8小时缩短为2小时，一次加热用电能耗由320千瓦时降为30千瓦时，大大降低能耗和成本。

该技术由江汉油田创新联盟负责人张义铁带领技术团队攻关研发，通过“光热+空气源+井口伴生气低氮燃烧+电加热”等多能互补模式，力争实现油气生产清洁能源替代。

团队优先选择光热作为热源，利用太阳能集热器将太阳能转化为热能存储至蓄热罐，系统运行时通过换热器对拉油罐内原油加热，太阳能不足以满足需要时，再依次启动低氮燃烧器和电加热设备。

该技术原先主要用于稠油举升节能，创新联盟成员集思广益，在原技术的基础上升级拓展应用范围，将其用于边远站拉油点。

他们前期以“光热+低氮燃烧+电加热”初步匹配江汉油田老区特有的应用场景，后续根据需要再集成空气源等其他技术。经过反复比对论证，技术方案敲定，在两个月紧张施工后，油田首个“光热+多能互补”清洁能源装置示范项目成功落地。

随后，团队经过一年时间的改良和试验，太阳能加热从原来通过电加热棒套管内水循环导热模式改为铜棒、集热槽导热模式，即使遭遇突发情况也不影响正常运行，项目技术路线经过优化后，更加适应江汉油区生产环境。

6月19日，利用油井多能互补储罐加热技术研制的广斜77井“光热+多能互补”清洁能源装置试运行，相关参数正常，正式投入生产，标志着江汉油田光热运用示范初战告捷。

张义铁介绍，该技术装置采用自动化、信息化技术，实现能源系统的智能识别、智能选择参数、自动调控等功能，通过实施优化能源配置、提高多种能源利用效率及加强运维管理等措施，减少对单一能源的依赖，可以大幅降低油井生产过程中的能耗，助力油田绿色低碳转型。

截至目前，该技术应用已减少电耗4000多千瓦时。团队将跟踪技术装置运行参数，对其技术性、经济性进行总结，适时再引进空气源技术，对技术系统进一步集成，待条件成熟后，将优先挑选耗电量高的站点进行推广试验。

近年来，江汉油田大力应用绿色低碳技术，助力降碳减排。在涪陵工区投入使用背压阀进站测试技术，实现气井边测试边进站生产，让原本放空燃烧的页岩气进入采气生产流程。今年以来，江汉油田已在涪陵页岩气田34口井运用该技术，累计回收天然气600多万立方米、减少二氧化碳排放1300多吨。

在江汉老区，选择伴生水量最大的王场联合站，充分挖掘联合站余热资源，利用开展地面工程优化简化提效契机，应用“余热+光伏”技术提升电气化水平，代替现有加热炉及生产用电，推动生产过程化石能源消耗逐步由新能源替代，实现净零排放，每年替代天然气超30万立方米、消纳绿电800万千瓦时，碳减排4500吨。

在清河工区，投用“一机双井”智能液压抽油机，通过双井能量互馈技术，储能缸将抽油杆下降时的动能转化为液压能储存，再通过双向液压泵驱动另一口井的抽油杆上升，实现能量循环利用，避免空抽损耗，实际节电率在30%以上。

中原油田：系列绿色技术提效显著降耗明显

□杨 敏 龚旗林

中原油田以科技创新为引擎，大力推广应用钨合金管式石油加热装置、液压式油气混输泵等核心绿色低碳技术，并系统整合其他成熟节能减排方案，构建起全方位、多层次的绿色低碳生产体系。

“这一系列技术革新不仅显著提升了油气开发效率，更在降低能耗、减少碳排放、推动可持续发展方面取得了突破性进展。”中原油田石油工程技术研究院副院长向俊科说。

钨合金管式石油加热装置：电热转换的绿色革命

在中原油田濮城采油厂120号计量站，钨合金管式石油加热装置正高效运行。来自油井的原油经集输管线进入装置，通过钨合金管的高效传热，原油黏度显著降低，蜡质附着沉积难题得到有效解决，从源头上保障了输送畅通。

油气集输加热环节长期面临能耗高、污染重的挑战。传统燃气加热炉热效率低，排放大量二氧化碳与氮氧化物，是油田碳减排的“硬骨头”。中原油田瞄准关键领域，在东濮老区率先引进应用钨合金管式石油加热装置，实现了加热工艺的颠覆性变革。

“该装置的核心优势在于超高能效与低碳排放。通过精密电磁设计，热转换效率大幅提升，实测数据表明，较传统工艺能耗降低30%以上，碳排放量减少41%~53%。仅120号计量站，年节约天然气就达6.3万立方米，运维成本也显著下降。”濮城采油厂生产指挥中心主任魏超勇算了一笔账。

此外，该装置的材料革新与环境适

应性也令人惊喜。钨合金具有高密度、高强度、耐高温氧化的特性，且该装置采用模块化设计，可满足不同井场的灵活部署需求，尤其解决了偏远井区冬季集输冻堵难题，大幅减少了扫线频次与人工干预强度。

这一技术的成功应用，彻底扭转了集输加热高碳模式，为油气田每年节约标准煤数千吨，成为绿色发展的生动实践。

液压式油气混输泵：多相流高效驱动的“心脏升级”

油气混输是油田生产的“血脉系统”。然而，随着油田开发进入中后期，油井分散、管网复杂，传统混输泵面临增压流程长、能耗高、适应性差等难题，尤其在低渗透区块的复杂介质输送中力不从心。

中原油田借鉴先进工业理念，创新研发并部署液压式油气混输泵，对集输系统实施了一场高效“心脏升级”，显著增强了对高含气、高黏度、强腐蚀等复杂介质的适应能力。

以文72-平1井为例，作为该断块末端油井，其集输管线长达3.5千米，外输压力一度高达2.2兆帕，经常需要扫线以维持集输管线畅通，保障油气正常外输。技术人员在该井场新建液压式混输装置后，井口回压大幅降至0.07兆帕。

“该井回压降低，增加了泵的沉没度，减少了抽油泵和井下管柱漏失，提高了机采系统效率，大大延长了检泵周期。”文留采油厂技术管理室副主任聂兴说。

该装置同时实现了输送效率跃升与能耗降低。在文72南断块油藏的验证中，集输液量提升10%，能耗降低19%，

工程投资节省10%以上，彻底解决了偏远井区因管线长、回压高导致的“躺井”问题，充分释放了单井产量，还降低了支线穿孔风险和维保成本。

这一技术的规模化应用，成功突破了长期制约油气田稳产上产的输送瓶颈，每年为两大主力产区节约电量数百万千瓦时，成为支撑油气田绿色开发的核心装备。

构建绿色矩阵：多元技术协同驱动低碳转型

今年上半年，中原油田低碳发展领域捷报频传：绿发电电量突破2亿千瓦时，完成全年奋斗目标任务的62%；采出水余热利用节气115万立方米，超额实现半年目标；绿氢产销量达100吨，完成全年计划的56%……一串串亮眼数据，是油田以绿色转型为笔，在能源革命浪潮中写下的生动答卷。

在中原油田光伏电站，自动化除草清洗机器人穿梭作业，光伏板在智能设备的擦拭下愈加光亮。“引入智能化运维设备后，电站运维效率提升50%，系统效率从82.4%提高至85.2%。”运维人员介绍。通过搭建光伏智能运维系统，远程监控、故障预警、效率分析实现“一键掌控”。

在明一、明二中转站，余热利用项目建设正酣；在黄庄变电站，新能源高比例接入优化项目跑出“加速度”；在绿氢生产产线中，纯度达99.999%的氢气源源不断产出……从图纸到现场，从规划到落地，一个个重点项目高效推进，一项项创新技术让油气生产越来越绿色低碳。

“我们正聚力攻关核心技术，力争让更多国产化绿色装备在油田落地生根。”中原油田新能源开发中心经理张诚说。