

采油厂节能降碳创新发展的实践与探索

张梦月 刘雅楠 路倩

胜利油田有限公司河口采油厂 山东东营 257200

【摘要】在产业调整和能源转型的影响下，如何在油田智能化建设普及发展的前提下，形成依托于智能化体系的油田智能柔性生产系统，从而进一步激发石油作为中国主要能源，在保障能源安全、维护社会稳定中起到重要作用，是所有石油行业企业应重点关注的焦点问题之一。本文以胜利石油管理局某采油厂为例，阐述了该企业在节能降碳创新发展方向的实践与探索，特别是智能柔性生产系统的技术路线与膜法脱碳技术的应用，为石油行业的绿色可持续发展提供了一定的参考。

【关键词】能源；智能化；柔性生产；膜法脱碳技术

1 智能柔性生产系统

1.1 柔性生产的背景及意义

近年来，胜利油田在碳排放总量和强度持续下降的基础上，统筹保障国家能源安全和绿色低碳发展，以保障油气清洁高效开发为目标，扎实推进勘探开发全过程节能降碳减排，不断优化调整产能、产液、注采结构，实施地上地下、注采输一体化能效提升工程，加快构建绿色低碳发展的油气开发体系，实现系统化节能降碳。

油气柔性生产是指充分利用油田的产能优势，逐渐形成内部柔性可调的平衡资源，并使其能够与外部的电力网络产生高效率的交互作用，互相支持。将油田“源、荷”之间的最优匹配及反向运行作为经营资源，通过使用如负荷聚合商、虚拟电厂运营商等新的方式来参与到外部电力系统的需求反应和补充服务中去，努力让电力需求侧响应能力提升至总容量10%，从而实现在增加能量的同时减少费用，每度的成本降低了10%。

1.2 柔性生产的建设与实践

柔性生产作为能耗与碳排放双控的一项主要任务，某采油厂通过集柔性加温、柔性举升、柔性压驱、直流母线群控为一体的柔性生产现场的建设与实践，开启了柔性生产“因时而变、按需而调、峰停谷启、智能温控”的新型管控模式。目前，该采油厂49座注水站中，有25座站实现了柔性注水。长期以来这些注水站一直遵循着以一种单一的方式运作直到结束。然而现在，这种单一路径已经被转变为“因时而变、按需而调”的柔性调节曲线。

该采油厂1971年投入开发的某区块具有油藏类型多、

低产能、水井注入压力高等特点，其中注采系统用电占比98%，非常适合推行柔性生产。自2020年开始，该公司已经制定了一套全面的策略，涵盖四个主要方面：即柔性注水、柔性压驱、柔性举升和柔性加温四大方面，并在此基础上发展出诸如按照时间来分压力变排量注水等模式，从而实现了集输、采油和注水三个环节的有效整合。

柔性注水，是以满足水量充足、井口状况适宜、压力控制适中、能力和需求相适应的条件下实施柔性注水策略，充分利用峰谷电价差异，谷期多注、峰期少注，实现节电降费。柔性注水根据电网定价机制，选取两个时段作为峰谷时段，根据井况，确定合理的柔性注水模式；并且在保证配注数量不变的前提下，对压力不超过限制且能保持供需平衡的要求下，构建了分时分压算法和分时恒压变排量算法两种计算模型，求取注水站理论上最佳柔性工作制度；然后把计算出的操作方案发送到实际应用平台，同时追踪观察实时的运作数据，然后进行同步微调，纠正理论误差，进一步优化运营流程；最后，“动态优化”则是针对井口状态和地下油田的变化趋势，不断改进和完善柔性操作计划，使其能够长期稳定运转。经过实践验证，该石油公司的十座柔性注水站点每天可调度用水量达307立方米，使得每度的电费降低了4.3%，一年节省下来的电费达到了四十二万六千元。

柔性举升同样效果明显。当石油从地下被提取至地表的过程中，由于不同的抽油机的参数（例如冲程与次数）及产生的液量和消耗电力的情况也各有差异。通过采用“日度总冲数不变”的分时调整频率策略，我们实现了正常持续

生产的油井以“峰慢谷快”的方式运行，间开油井以“峰停谷启”的方式来执行柔性举升措施。截至目前，已有60口油井成功进行了这种方式的举升工作，使得每度发电成本降低幅度达到了16%以上。

1.3 智能联控平台应用

某采油厂智能联控平台于2021年年初开始前期探索实验，年底正式研发。目前已实现数据上线设备253套，按照分类注水系统56套，集输系统159套，采油系统37套，绿能1套，涉及不同应用场景16个。采油厂全面摸排各单位生产用电特点，结合峰谷电价分布曲线，调整油水井生产制度，主要通过尖峰期降低变频器频率，减小变频器输出功率，峰期节电，谷期时适当提高变频器频率，补充尖峰期减少的产液量。

该采油厂在注水、加热、压驱、举升等耗能终端，配备306台流量计量、压力调控和流量采集设备，以实时的形式获取各种生产信息，从而支持其智能监控系统的运行^[1]。在工控平台，借助泵井联动、智能温控等算法，对采集到的数据整体分析后输出生产操作指令。以前，管理主要依赖于直觉，没有精确的参数或有效的方法来确定最佳方案，因此调整的效果往往需要在很久之后才能被评估出来。如今，借助于信息技术与智能化工具，已成功构建了一套完善的系统优化策略和模式，推动了能源管理方式的转变，最终实现油田运营收益的最优化。

目前大力发展的泵井联动技术是基于分时电价差异，结合信息化的软件和硬件设备来完成对泵井控制系统的远端设定，同时实现了现场泵井之间的联动自动化调整。这种技术的应用能够实行分时分压注水，而智能调优技术则能使其适应各种工作环境的需求，从而达到最佳的效果。此外，相变储热及智能化温度控制技术也使得供暖系统能在高峰时段和低谷时段之间做到百分之百的调节，这不仅有效地节省能源，还降低了成本。

2022年，该采油厂通过智能联控平台共计应用100口井，经过阶段跟踪，系统运行稳定，各项参数实现可视化管理，平均单井能耗费用下降约1.02万元/年，合计实现节约电费 $100 \times 1.02 = 102$ 万元/年。现在，智能平台能够实时获取数据，并通过对示功图、动液面和产液量等变化的分析计算，自动调整油井生产参数。目前已经执行了1563次智能优化。

2 创新装备和技术的应用

2.1 膜法脱碳技术应用

二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）是应对全球气候变化的关键技术之一，是实现“双碳”目标的重要路径，受到越来越多能源公司的重视。为紧跟国家在“CCUS”领域发展方向，2022年12月，全国首套CCUS膜法脱碳工业化试验装备在该采油厂井场试验成功，处理前原料天然气二氧化碳含量为24.83%，处理后天然气中二氧化碳含量降至3.43%，处理后捕集的二氧化碳纯度为98.36%，可用于油田驱油增产。

膜分离法是一种新兴的高效绿色分离技术，它利用不同气体组分在压差驱动下透过膜的速率差异实现分离^[2]。对于天然气脱碳过程，CO₂在膜的渗透侧富集，CH₄在膜的渗余侧富集^[3]。膜分离过程不发生相变，具有能耗低、操作简单、设备占地面积小等优点。因此，膜分离脱碳技术受到广泛关注，被认为是分离领域最重大的技术进展之一。膜材料是膜分离技术的核心。

相较于传统的醇胺法脱碳技术，伴生气的处理方法由化学改为物理法，高效膜处理效率较现有工艺提高了30%。采用CCUS膜法脱碳技术不仅实现了安全环保、质量效益双提升，还具有能耗低、投资少、占地小、可撬装化、无化学污染物、无废物排放等优势。

膜法脱碳技术未来将成为采油厂油气资源开发及净化处理优选解决方案，对该区域乃至胜利油田的绿色低碳高质量发展起到积极的推动作用。

2.2 信息自动化技术应用

(1) 针对抽油机生产过程中，电动机被拖动产生电流回馈能量浪费的现象，通过研究抽油机能流特性，应用超级电容及DC/DC充放电控制技术，开发了馈能回收变频控制装置，实现每个冲次过程能量回收就地利用，目前已在该采油厂稠油、高渗透等不同油藏应用，分别在工频、变频、直流母线群控三种生产场景共推广应用82井次，取得了平均节电率16.5%的节能效果。

(2) 针对大型离心泵站阀损大、能耗高等问题，采油厂首次引进1000KW功率6000伏高压变频控制技术，目前已在某注水站平稳运行2年，阀损大幅降低，泵干压差由原来的约2MPa降低至约0.3MPa，实现年节约50万元。

(3) 应用光伏和储能融合技术，试制完成了集数据

和视频采集于一体的绿电装置，解决了地理位置较偏、不具备供电条件的生产场景信息化覆盖难题，填补部分生产场景因供电原因无法实施信息化提升的空白，提高了该类场景的生产管理和综治管理水平，降低了工人巡检工作量。目前已在采油厂注水井、气井等共6口井推广应用。某集输站库自2020年采出水余热利用技术和2021年光伏利用技术建成投产后，在节能减排、绿色环保等方面成效显著。通过采出水余热技术应用“吸收式热泵机组+板式换热器”工艺，由采出水余热替代站内部分燃气供热热源，碳中和程度达到80%；光伏发电项目占地面积为11500m²，每年可产生大约124万千瓦时“绿电”，减排二氧化碳756吨，实现能耗优化运用。

3 优化运行管理

(1) 优化生产运行管理。采油厂注重对输送电费的监督核算与分析，下半年存在夏季、秋季、冬季三个季节峰平谷变化，及时采取削峰填谷优化运行，根据季节变换、油品温度变化等情况，在执行优化运行方案的基础上，保障各点在最佳工况。

(2) 优化设备运行管理。采油厂积极做好设备预测性维保，总结每台设备的特点和规律，合理制定预知维保计划，认真安排好每台设备的维保时间，建立相关台账，确保设备性能优良、高效低耗运转，通过降低运行设备能耗，提高资源利用率，将提质创效、节能降耗融入设备运行全过程。

(3) 优化用电运行管理。结合生产实际，采油厂对用电参数进行实时监控，以便可以更及时准确的发现问题。分类制定节电措施和治理措施，明确责任目标，确保各项措施有效推进。在日常工作中，员工从空调的温度调节、开关使用、人走灯灭等方面的小事做起，真正把节能意识融入到日常管理中、细化到实际工作中。

4 提高全员意识

为了激励发供电全环节主动响应智慧能源管控策略，推进柔性生产组织方式变革，2022年6月，胜利油田发布了《关于构建胜利油田电力发供用平衡激励补偿机制的通知》，为柔性生产试点区域提供柔性电价政策—油田分时段用电价格激励机制。截至目前，油田15家开发单位、近2000口油水井落实柔性举升、间开、注水措施，柔性生产工作初见成效。

该采油厂围绕“节能降碳，你我同行”和“积极应对气候变化，推动绿色低碳发展”两大主题，认真组织开展全国节能宣传周和全国低碳日活动。开展多载体多渠道宣传，组织安排节能低碳和绿色发展专题学习，通过晨会时间概略讲解、平台工作群推送有关节能低碳相关政策、法律法规、典型案例等营造氛围形成声势，引导员工树立节能低碳和绿色发展理念，进一步提高全员节能降碳意识与相关知识储备。同时，该采油厂紧密结合集团公司《2023年绿色低碳“补短板、强弱项”专项行动方案》，组织对注采站辖区现场“跑冒滴漏”全面检查，发现问题立即整改，及时闭环不留隐患；单井拉油作业环节做好装卸油过程管控，严格执行液下装车，控制流速，减少VOCs挥发；生产中产生的废旧皮带和废玻璃钢等固废及时转运清理；倡导干部员工日常生活中多采用“低碳生活方式”，低碳衣着、低碳饮食、低碳出行。

通过一系列活动，干部员工认识到节能降碳是实现绿色发展的重要手段，在日常生产生活中的点点滴滴积极践行绿色低碳方式，为绿色低碳高质量贡献绿色力量。

5 结语

未来，该采油厂将结合信息化手段继续积极研究新能源和绿色低碳技术。目前主要有以下几点思路：

(1) 研究探索光热替代燃气加热技术，助力实现双碳目标。利用光热配套电辅热技术，通过信息自动化控制，替代目前的燃气实现对油井井口的产液或掺水加热。

(2) 完善推广基于光伏储能的多功能数据采集装置。针对气井、分注井以及长停井等在地理位置较偏、不具备供电线路的现场，利用多功能数据采集系统实现对生产参数和视频信号采集。

(3) 推广应用新型高温热泵技术，实现油田采出液的伴生地热利用。

参考文献：

- [1] 赵永杰, 刘鹏, 赵闯等. 油井分时优化节能技术研究与应用[J]. 石油石化节能, 2021, 11 (02): 17-19+7-8.
- [2] 行洁. LNG脱重烃工艺技术研究[J]. 化工管理, 2021, (22): 158-159.
- [3] 凌凡. 煤制天然气合成气中CO₂分离方法与特性研究[D]. 上海交通大学, 2015.