



河北省秦皇岛32-6亿吨级大型稠油油田。视觉中国供图

稠油的特性导致其开采难度较大,但也不能因此而放弃它。数据显示,在世界剩余石油资源中,约有70%都是稠油。我国渤海稠油资源十分丰富,截至2021年底,渤海共发现49个稠油油田,稠油探明地质储量占渤海海域总探明石油地质储量的一半以上。

## “注采一体”让海上稠油开采不再“愁”

◎通讯员 李孟龙 杨阳 本报记者 操秀英

中国海洋石油集团有限公司(以下简称中国海油)近日发布消息称,由中国海油研发的、具有我国自主知识产权的稠油热采电潜泵注采一体化技术在渤海油田现场试验成功。该技术将大大降低稠油热采开发的经济门槛,解决当前我国海上稠油开发所面临的“经济、高效”挑战,标志着我国海上稠油进入了规模化开发新时代。

什么是稠油?海上稠油开发难在哪里?稠油热采电潜泵注采一体化技术又将如何改变稠油开发现状?带着这些问题,科技日报记者采访了中海油研究总院相关专家。

### 世界剩余石油约70%是稠油

“稠油开发,难于上青天”,这是石油人的共识。”中海油研究总院采油设计室主任于继飞说。

稠油,顾名思义,是一种比较黏稠的石油。中海油研究总院副总工程师兼总工程师(钻完井)李中解释道,因其黏度高、密度大,国外一般都称之为重油,国内则习惯称之为稠油。

如果把稠油和稀油对比来看,可以直观地看到稀油像水一样流动,而稠油却很难流动,这是稠油黏度高的特性造成的。

稠油的特性导致其开采难度较大,但也不能因此而放弃它。数据显示,在世界剩余石油资源中,约有70%都是稠油。我国渤海稠油资源十分丰富,截至2021年底,渤海共发现49个稠油油田,稠油探明地质储量占渤海海域总探明石油地质储量的一半以上。

根据现有行业标准,按照流体性质和地质油藏条件对稠油油藏进行分类,可以分为普通稠油、特稠油和超稠油。

“目前稠油开发主要采用蒸汽吞吐的方式对稠油油藏进行开采,通过向稠油油藏中注入高温蒸汽,再关井进行焖井作业,利用高温蒸汽使近井地带的原油充分降黏、扩散。”李中介绍道。

简单来说,稠油很稠,所以需要给它“蒸桑拿”,让它流动起来,方便采出。

需要注意的是,稠油在“蒸桑拿”时,井内温度较高,为避免海上油藏常用开采设备——电潜泵系统,及部分关键

井下工具在高温环境中失效,须待油藏充分冷却后,将注热管柱更换为装配有电潜泵系统及关键井下工具的采出管柱,再进行油气资源的采出作业。

### 海上稠油开采难度大

目前,陆上稠油开采技术已相对成熟,但海上稠油开采依然困难重重。

为何换了个地方,稠油开采就变得更难了?于继飞解释道,首先,埋深超过900米的稠油储量占渤海稠油总储量的93%,这些稠油所在位置具有较高的地层压力,导致注入压力较高,初期需要采用吞吐降压开发。其次,海上稠油开发所采用的是水平井开发,斜深超过2000米,沿程热损失大,而如果采用陆地常规设备,蒸汽注入井底千度几乎为零,即不含有水分,便不能有效发挥蒸汽的热效应。

此外,由于稠油黏度范围跨度大、开发方式多样等原因,目前常用的大井距水平井均衡驱替、高温监测、注采调控等关键技术仍存在诸多瓶颈与挑战。同时,海上平台空间小,承重和吊装能力均受限,导致注汽设备体积受限,摆放难度大。

“以上的种种因素,再结合海洋环境的影响,使得陆上油田已有的成熟热采技术在海上油田存在较大的应用局限性。”于继飞说。

“海上稠油储量虽然丰富,但开采难度较大。目前动用程度非常有限,亟须加快推进对海上特色稠油开发模式的探索,形成稠油规模化热采对实现渤海油田未来的产量接替意义重大。”李中说。

近年来,中国海油先后在南堡35-2油田、旅大21-1油田、旅大27-2油田等先导试验区实施试验性热采作业。试验表明采用电潜泵开采渤海稠油是可行的,但常规工艺上利用的是注采两趟管柱,即一趟管柱注热,待冷却后,再将注热管柱更换为装配电潜泵及关键井下工具的采油管柱。管柱一节一节下井,再一节一节提起,来回一趟需要耗费不少时间,不但成本较高,效率还低。如果能把“注”和“采”功能合二为一,岂不是省时省力?

### 解“稠”还需“内外兼修”

注采“二合一”的想法很美好,但问题也接踵而至。

作为采油核心设备的电潜泵及关键井下工具,耐高温能力差,在高温注热条件下极易“中暑”失效,这成为了注采管柱一体化工艺的“拦路虎”。

工欲善其事必先利其器。中国海油自主研发的海上稠油热采电潜泵注采一体化技术主要解决的就是井下设备的“防暑降温”问题。

“稠油热采电潜泵注采一体化技术的核心在于如何保证井下设备高温不失效和注热时不损坏电泵系统的电气部件。”李中说。

为此,于继飞带领团队深入现场调研实际情况,精准分析问题关键点,从整体工艺方案入手,率先蹚出一条“新路”。科研团队在“十三五”未开展新工艺探索,不到3年时间,成功研发出以国产耐250℃高温电泵为核心的新型注采一体化设备及工具,攻克了安全控制系统、监测系统、高温井口穿越与密封系统、耐350℃高温电缆等多项装备的耐高温技术难题,提高了设备耐高温能力,从根本上解决了设备高温失效问题。

此外,科研团队还设计研发了小直径隔热油管、泵前单流阀等,有效阻止环境热量进入,给热采核心设备——电潜泵建立了单独的适宜环境,再结合环空注氮措施,进行强制对流换热,相当于在工作室中安装了“空调”。

“以上措施有效降低了稠油热采注采一体化核心设备电潜泵的工作温度,确保其在注采过程中安全、稳定运行。同时形成基于该技术的高温高压方案设计能力、非标零部件加工制造能力和平台作业实施能力。”于继飞表示。该技术满足了350℃高温蒸汽注热工况,实现了一个注采周期内注采两次作业到一次作业的重大跨越,两个吞吐轮次内可节省井下作业成本约70%。

日前,中国海油在旅大21-2油田开展矿场试验,完成了下生产管柱、安全阀试压、封隔器验封、注热、焖井、放喷、电泵运行等10余项测试作业,全面验证了电潜泵注采一体化技术的适用性、安全性和功能可靠性。这项技术可在渤海、南海东部、南海西部等海域稠油油田推广应用,推动海上稠油油田的规模化经济开发。

“未来,我国能源安全供给将面临更大挑战。”李中说,海上稠油的高效开发是保障渤海油田稳产3000万吨、上产4000万吨的重要途径,中海油研究总院将继续发挥科研人员的创新性和担当性,坚持以实际需求为目标,持续提升攻关能力,为助力中国油气产量再创历史新高打造崭新的样本。

平时,调相机处于“休眠”状态。当电压下降时,它能增加无功输出补偿“缺口”;在电压上升时,它能吸收多余的无功功率;当直流系统电压发生严重跌落故障或是交流变直流换相失败时,也能以强大的“爆发力”迅速恢复系统电压和直流功率。

培恒说。

### 全方位“诊疗”保障设备稳定运行

与人的体检一样,电网设备也需要定期检修保养。为提升每台调相机长周期运行质效,国网青海省电力公司对其定期“把脉问诊”。2022年底前,国网青海省电力公司率先完成特高压青南换流站1号、2号、4号调相机及柴达木换流站2号调相机的检修工作,计划今年9月份开展特高压青南

换流站3号调相机检修工作。此次柴达木换流站1号调相机检修计划37天,对调相机本体、调变组保护及自动化系统、励磁系统等11个作业面开展473项检修工作。

调相机由定子、转子、冷却器、轴承等设备组成。转子被称为调相机的“大轴”,是一个几十吨重的大金属棒,也是检修调相机的重点设备。

“本次工作中的难点之一就是转子抽出检查。因为调相机定子铁芯与转子护环单侧距离只有几厘米,对于巨大的转子来说,稍有不慎就可能造成转子及定子产生严重损伤,严重时还要返厂维修,影响检修工期。”柴达木换流站站长李志玮介绍说。“为此,我们提前组织技术骨干实地勘察、测量,规划转子及附件摆放位置,标出承重梁位置,演练转子抽穿过程及细节;工作中,我们密切观察每一个步骤,及时指挥协调转子角度,保证转子与定子不发生‘亲密’接触。”

为确保检修工作顺利进行,国网青海超高压公司统筹安排参检人员,强化安全、质量、技术、进度、效益等环节管控,压紧压实安全责任,深度融合技术监督,做好全过程质量管控,加强施工标准管理,严格执行验收质量管控,保证安全管控力度不减,确保在今夏用电高峰来临前完成设备维护与校验,确保电网安全稳定度夏,保障青海“绿电”安全可靠输送。

## 新看点

### 绿电装机将破百万 霍林郭勒大力发展循环经济

◎本报记者 张景阳 通讯员 白楠楠

5月14日,记者从内蒙古自治区霍林郭勒市政府获悉,该市“后续火电灵活性改造消纳新能源试点项目”中的30万千瓦风电项目首次吊装成功。这标志着该项目正式进入风机大规模安装阶段,项目全容量并网后,霍林郭勒市循环经济绿电装机将突破百万。

此次火电灵活性改造试点项目采用的风力发电机组是内蒙古自治区迄今为止首台变压器上置型的6.7兆瓦双馈式风力发电机组,预计将于2023年8月正式投产。

根据项目负责人的介绍,作为全球首个“煤—电—铝”循环经济绿色产业集群,该项目依托霍林郭勒地区丰富的风能、太阳能和煤炭资源,按照“以煤发电、以电炼铝、以铝带电、以电促煤”的总体思路,将建设包括年消耗1000万吨劣质煤的180万千瓦火电装机、60万千瓦风电装机、15万千瓦光伏装机、86万吨电解铝产能以及配套自备电网、监控指挥中心,实现劣质褐煤就地消纳,构建高载能产业清洁发展的示范区。

项目投产后,霍林郭勒市循环经济示范工程的绿电装机将达到105万千瓦,占总装机的37%,将大大提升绿电消纳比例及产业能源结构布局,每年可输送清洁能源35亿千瓦时,节约标煤约100万吨,减少各类氧化物排放约1200万吨,持续促进霍林河区域经济绿色高质量发展。

同时,该项目实施企业将以“源网荷储”多能互补关键技术研究为课题,建设经济环保、安全可靠的新型现代化智能电网,促使“煤电铝”向“绿电铝”华丽转身,对霍林河地区的经济效益、社会效益、环保效益具有积极推动作用。

近年来,霍林郭勒市开展火电灵活性改造、光伏制氢、新型储能、智慧矿山、智慧制造等项目,持续打造“霍林河循环经济”示范工程升级版,同时运用“风—光—火—储”多能互补和“源—网—荷—储”一体化模式,以清洁低碳、高效安全的现代能源体系,打造新型绿色产业链条,实现清洁能源的大比例消纳,为“霍林河循环经济”的高质量发展提供持续动力。

### 甘肃新能源占比超53%

### 由“风光大省”向“风光强省”迈进

新华社讯(记者王铭禹)记者从国网甘肃省电力公司获悉,截至4月30日,甘肃发电装机容量突破7000万千瓦大关,达7071万千瓦,其中新能源装机占比达53.8%,成为省内第一大电源。今年前4个月,全省发电量657亿千瓦时,其中新能源发电量206亿千瓦时,占比超过三成,达31.4%。

甘肃省风、光资源禀赋突出,已建成酒泉千万千瓦级风电基地,张掖、金昌、武威、酒泉4个百万千瓦级光伏发电基地。近年来,国网甘肃省电力公司率先成立省级电源服务中心,建立线上、线下新能源接网一站式服务体系,以专项对接、专班服务形式,高效保障新能源项目并网发电。“十四五”以来,甘肃省新增发电装机容量1451万千瓦,其中新能源新增1437万千瓦,占比达99%,年均增速达20%以上。根据甘肃“十四五”新能源发展规划,今年全省新能源发电项目还将新增并网装机容量1200万千瓦。

随着“双碳”目标和全国统一电力市场建设稳步推进,甘肃省新能源开发利用持续提速,稳步由“风光大省”向“风光强省”迈进。

### 新疆年内首个

### 超高压电网工程建成投运

科技日报讯(通讯员岳华刚 伍建波 记者朱彤)5月14日,记者从国网新疆电力有限公司获悉,凤凰—乌北Ⅱ回750千伏输电工程于日前正式建成投运。这是新疆2023年投运的首个超高压电网工程。

凤凰—乌北Ⅱ回750千伏输电工程是落实国家“双碳”目标的重点项目,是乌北—凤凰—乌苏—博州—伊犁输电工程的重要组成部分,也是乌昌地区750千伏双环网的重要一环。工程起自凤凰750千伏变电站,止于乌北750千伏变电站,线路长度151千米,新建铁塔328基。凤凰—乌北Ⅱ回750千伏输电工程投运后,将提高伊犁—乌昌输电能力和电网系统安全稳定性、保障乌鲁木齐地区供电可靠性。

该工程线路途经之处地形地貌复杂,有林地、草场、农田、池塘等,作业范围广、施工难度大、安全风险高,高空坠落、机械伤害等危险点并存,是新疆电网基建史上停电持续时间最长、作业规模最大、参建人员最多、三级及以上安全风险最多、管控难度最大、组织管理最复杂的“六最”停电施工作业。

为推进工程建设,国网新疆电力统筹内部资源,协调优质管理队伍,加大各项资源投入,成立前期协调工作小组,形成“手拉手、一对一”的工作机制,及时推进前期工作。

“为确保停电改接作业顺利实施,我们在作业开始前组织人员多次实地踏勘,开展现场风险辨识,编制专项施工方案,为施工作业提供技术支撑。施工过程中,按照工作任务划分15个作业面,抽调公司骨干力量驻点督查,从安全、质量、进度等方面进行过程管控。”工程负责人褚忠凯说。

据悉,2023年,新疆续建、新建超高压工程15项,线路长度3158.4千米,变电容量2100万千瓦,建设规模达到新疆历史之最,超高压电网建设驶入“快车道”,预计年内还将投运凤凰—乌苏—博州—伊犁Ⅱ回、凤凰—亚中—达坂城Ⅱ回等8项750千伏输电工程。

## 绿电输送系统“稳定器”体检进行时

◎本报记者 张蕴 通讯员 董庆芳

5月12日,位于青海省海西蒙古族藏族自治州高原戈壁滩上的±400千伏柴达木换流站调相机厂房里一片繁忙景象,国网青海超高压公司集合各专业力量,正在对1号调相机进行“全面体检”,确保青海省“绿电”稳定输送。

柴达木换流站是青藏联网工程直流系统的起点,也是西北主电网的重要枢纽,一站紧密连接青海、西藏、新疆三省区,是青海省西部地区最重要的绿色电能“集散地”,承担着国内西北、西南电网清洁能源交换和西藏电网平衡的重任。

### 远距离输电靠它“稳定”电压

调相机被誉为新能源送出系统的“稳定器”“压舱石”,是一种旋转无功补偿装置,可根据系统需要快速自动调节无功功率,是提高电力系统输电电能稳定性的关键设备。目前,国网青海省电力公司已在2座直流换流站建成6台300兆瓦调相机,总装机容量达1800兆瓦,其中±800千伏特高压青南换流站4台,±400千伏柴达木换流站2台。

青海省新能源资源品种全、品种优、储

量大,未利用土地面积广袤且地势平坦,新能源大规模开发条件好。但由于新能源具有波动性和随机性等特征,对电力系统的资源调配能力、抗扰动能力提出了更高要求,对电网的功率平衡、抗冲击能力等提出了新的挑战。青海省建成的6台调相机可有效解决青海省直流输电系统和风光新能源大规模接入电网带来的无功功率不稳定问题,保障青藏联网、青豫直流等工程的安全保障和资源优化配置能力,对青海省更大范围消纳新能源、加快推动能源转型发展具有重大意义。

平时,调相机处于“休眠”状态,但它时刻“苦练内功”,六七十吨重的转子以每分钟3000转的速度高速旋转,振动范围小于头发丝半径。当电压下降时,它能增加无功输出补偿“缺口”;在电压上升时,它能吸收多余的无功功率;当直流系统电压发生严重跌落故障或是交流变直流换相失败时,也能以强大的“爆发力”迅速恢复系统电压和直流功率,提高电力系统的稳定性,改善供电质量。

“自青海省的6台大型调相机全面建成投运以来,青豫直流、青藏联网工程累计输送了363.47亿千瓦时电能,为青海省‘绿电’稳定输送作出了积极贡献。”国网青海超高压公司运维检修部副主任郭