

## 科技创新助推储气库产业高质量发展

经过20余年攻关,我国地下储气库建设取得了重大理论技术创新,实现了复杂地质条件下的储气库规模建设,开创了我国储气库建设工业化之路。在近日召开的第三届中国储气库科技创新与产业发展国际高峰论坛上,与会专家探讨储气库新技术、行业发展趋势、面临技术瓶颈等内容,并提出方法和建议。

□本报记者 刘继宝 秦紫函

在世界地缘政治深刻持续演化的进程中,储备成为各方博弈的焦点。人类维持生命需要粮食储备,经济社会发展需要能源储备,而天然气储备正是新时代高质量发展的主要保障。

我国地下储气库建设起步较晚,经过20余年攻关取得了重大理论技术创新,实现了复杂地质条件储气库规模建设,开创了我国储气库建设工业化之路,为天然气安全供应作出了重大贡献。预计“十四五”末,我国储气库将建成年工作气量350亿~400亿立方米,占年天然气消费量比例6%~7%。

## 补齐产业链关键短板

我国是世界第三大天然气消费国,需要大量进口天然气,对外依存度很高,若国外气源中断或天然气管网出现问题,地下储气库就将发挥保障国家能源安全的作用。

我国天然气消费除传统冬季保供高峰外,夏季也是高峰。在“双碳”目标下,天然气发电成为有效的电力峰谷调节手段之一,每到夏季,江浙粤等燃气发电占比较高的省份,用电负荷及天然气消耗量同步陡升,储气库的调峰作用日益显现。

目前,美国已建成地下储气库工作气量1360.8亿立方米/年,占美国天然气年消费量的17.48%。欧盟已建成地下储气库工作气量1131亿立方米/年,占欧盟天然气年消费量的24%。2022年,我国天然气消费量3663亿立方米,已建成储气库工作气量仅占消费量的5.5%,远低于全球12%的平均水平,有限的调峰能力,无法满足国内日益增长的调峰需求。

对此,中国工程院院士黄维和表示:“储气能力建设仍然是整个天然气产业链的关键短板。面对新形势和新任务,需要进一步统筹部署,加强科技攻关,加快新库建设,完善管理机制,推

动我国储气库产业高质量快速发展。”

黄维和介绍,我国天然气未来可能的高峰消费量将在6500亿~7000亿立方米/年,而储气能力要达到15%以上,也就是说,储气能力要从百亿立方米级向千亿立方米级升格,才能保证我国天然气用气安全和国家能源安全。

国家能源局《2023年能源工作指导意见》指出,要以地下储气库为主,沿海LNG储气库为辅,推进储气设施集约布局,并加快地下储气库开工建设。“要加快开发、大力推进地下储气库建设,深入研究我国储气库建设的规律,攻关适合我国复杂地质条件的储气库建设与运营管理技术,特别是在关键核心技术装备上加快实现自主可控。”世界石油大会理事会副主席李鹭光说。

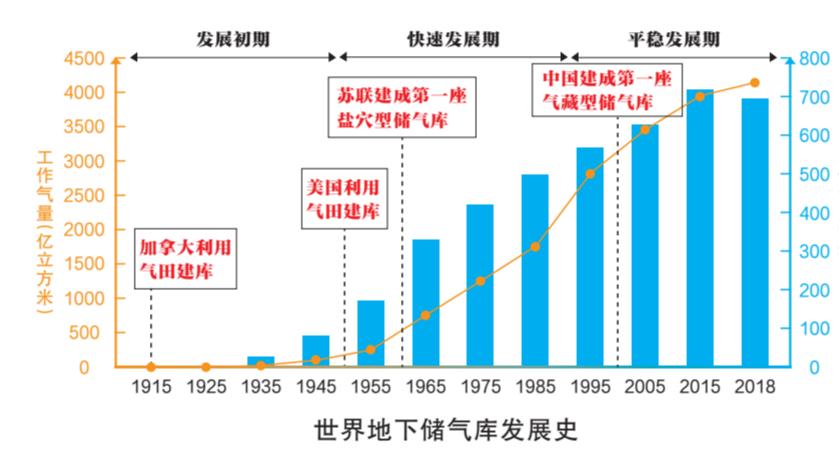
## 技术创新夯实“安全底气”

中国复杂地质条件是储气库面临的一大挑战,国外的技术经验不适合,亟须建立适应地质破碎、埋藏深、非均质性强、油水分布复杂的建库理论方法与参数设计技术。

中国石油学会天然气专业委员会主任马新华介绍,国内储气库建设存在四个难题:复杂断块储气库动态密封性评价困难,复杂储气库短期高速注采渗流机理认识难,交变荷载、大排量注采工艺建库工程核心技术与装备攻克难,安全风险实时预警难。因此,要攻克交变荷载下断层和盖层动态密封理论,建立新的评价方法和标准,指导科学选址;

揭示复杂地质条件短期高速注采渗流机理,解决设计精度差的难题;攻克井筒密封和地面处理能力,适应高效灵活注采工艺;创新风险识别、实时预警技术,实现“地质-井筒-地面”三位一体实时预警。

针对技术发展方向,专家指出,一定要发展库容高效用技术,提高在役库容利用效率,形成地质工程一体化提



运的工程配套技术,另外,库群整体应协同优化,建立全生命周期“井-井组-库-库群”协同优化配产配注。二要突破油藏等新类型建库技术,扩展建库新领域,包括油藏建库、盐穴建库、水层矿坑等。三要创新储气库工程技术,大幅提高注采与处理能力,钻完井方面主要攻关大尺寸、多分支水平井与储层改造等大幅度提高单井产能钻完井工程技术,地面处理技术主要攻关脱水脱氯含硫等高效大规模、高弹性地面采气处理技术与核心装备。四要推动智能化转型,提升储气库管理水平和运行效率,包括数字孪生模拟、智能生产运行、安全运行管控等。五要开发储氢、储能等新技术,扩展储气库功能。

## 完善标准加速智能化发展

储气库运行风险高,安全风险评估、管控一直是行业专家学者研究的重要领域。2015年,美国加利福尼亚州阿利索峡谷储气井场发生泄漏,50亿立方英尺的甲烷泄漏,相当于50万辆汽车一年的尾气排放,造成了严重的生态灾难、能源供给灾难,为行业敲响了警钟。

根据国家能源局规划,国内未来将形成东北、华北、西北、中西部、西南和中东部六大储气中心,储气库将超50

座,年工作气量将超过1000亿立方米。这种规模化建设亟须相应标准的支撑。

储气库专业技术委员会副主任委员周刚指出,尽快完善相关标准成为储气库产业发展的当务之急。随着业务发展,气藏型储气库从中高渗、高丰度转向了中低渗、低丰度,盐穴型将从层状、高品位岩层转向低品位、多夹层,建库难度进一步加大,气田开发与储气库协同建设、气驱采油和储气库协同模式等新理念、新模式建库方式,都需要标准支持。“我们要加强技术标准体系建设与研究,吸纳国际知名储气库经验,全面提升国内储气库建设标准的质量与水平。”何刚说。

同时,在大数据、人工智能、物联网等技术推动下,数字化、智能化成为储气库高质量发展的主要抓手,国内各储气库正在积极推进智能化改造。目前,中国石化正高标准进行储气库全生命周期数字化平台建设,旨在通过储气库地质、工程、设计“一体化”,形成从选址、设计、施工、生产等全方位储气库建设运营软件群,固化建设与生产程序,推进地下储气库建设的数字化转型。中国石油等也在加速智能化进程,通过技术升级,监测储气库运行情况,使生产运行系统处于受控状态。

## 地质储氢是储能优先发展方向

中国工程院院士 杨春和

氢能是可以快速再生和零排放的替代燃料,被称作21世纪的“终极能源”。2030年,我国可再生氢气总量将达500万吨;2050年,氢能将在交通运输、储能、工业、建筑等领域广泛使用,产值将超过10万亿元,我国将进入氢能社会。

然而,材料储氢、物理储氢和吸附储氢等已有的氢能存储方式无法满足氢能大规模利用需求。如今,地质储氢是国际上氢能存储重点发展方向,是氢能大规模储备的有效途径,是我国储能优先发展方向。

地质储氢是大规模、安全、经济的储氢方式,储氢地质体包括盐穴、含水层、枯竭油藏和衬砌的硬岩洞等,涉及多场多相多尺度耦合等复杂情况,需要采矿工程、工程地质和储能等学科深度交叉融合。

盐穴储氢被誉为最安全经济的大规模储氢方式,储能密度是压气蓄能25倍,储能规模亿千瓦时级以上,能实现电网级调峰。我国盐岩资源丰富、地理位置优越,具有渗透率低、分布广和易溶于水等特征,是大规模储氢优良地质体,可利用水溶腔技术在盐岩地层中溶解形成大型地下溶腔,注入氢气排出卤水。欧美发达国家利用盐穴进行大规模纯氢储氢,例如美国的克莱门斯盐穴储氢库和莫斯盐穴储氢库。

油气藏储氢具有容积大、地质认识程度高、密封性好、分布广等特点,可利用地下和地面的原有设施,减少建设投资成本。衬砌的硬岩洞储氢可利用人工开挖岩洞、矿井巷道、采空区等。但这两种储氢方式尚未有成熟经验。

## 中国石化统筹布局加快地下储气库建设

□贾跃伟 张广权

“十一五”期间,中国石化开始布局地下储气库建设,并在“十二五”实现突破,建成96座储气库。该储气库由中原油田文96枯竭砂岩气藏改建而成,是中国石化第一座储气库,2012年投产以来,已经历10个完整注采周期。

集团公司统筹谋划布局,组织科研单位及各油田分公司,围绕大华北地区、长江经济带,以及西北、东北、东南沿海地区,先后开展规划设计、库址筛选、方案设计等工作。

截至2022年底,中国石化先后建成文13西、卫11、永21等储气库,累计形成储气能力达35亿立方米。

按照中国石化储气库建设规划,“十四五”末将形成库容150亿立方米,储气能力占比天然气销售量将达8.5%。

与欧美发达国家和地区以整装枯竭气藏或大型海相盐穴改建储气库不同,我国可建目标地质条件普遍具有埋藏深、断裂发育、非均质性强、水淹严重、凝析油含量高等问题,同时,中国石化建库目标类型多样,包括复杂断块边底水型、高压裂缝碳酸盐岩型及凝析气藏协同型等。

针对上述难点,中国石化先后开展科技攻关项目及导向项目研究,形成多项储气库建库关键技术,研发了国内首个储气库智能筛选平台,

全面支撑库址资源筛选评价;形成复杂断块储气库圈闭动态密封性评价技术,有效规避储气库易形成断层漏气和盖层漏气的风险,确保储气库长期安全运行;建立了凝析气藏注气提采协同建库模式,填补了技术空白;完成水淹气藏储气库建库关键指标设计技术;形成了复杂地质条件储气库工程技术系列,在超低压长段气藏防漏、老井利用与多级封堵及注采工程关键技术上取得长足进步。

同时,储气库发展面临着两方面的难题:一是伴随着首批库址资源逐渐建成投产,现有优质枯竭气藏库址资源正逐步减少;二是目前运行储气库多为新投产类型储气库,注采运行规律尚不明确,少数储气库运行指标偏低。

为实现中国石化储气库中长期发展规划,需在以下三个方面持续发力:一是把握重点储气库方案编制工作重心,攻关气顶油藏、凝析气藏建库技术;二是优选在产油气田与储气库协同建库目标,研究调峰气井工作制度,延长油气田稳产期及储气库生命周期;三是抓住地下储氢、空气储能技术发展窗口期,研究储气库与新能源融合发展新路径,抢占技术研发高地。

(作者单位:石油勘探开发研究院)

## 天然气分公司

## 推进数字化管理经营创效

□张晨辉

4月下旬,文96储气库自控系统改造及丛式井场无人值守改造工程正有序推

进。“井场无人值守改造项目是提高自动化运行程度的关键。”天然气分公司中原储气库管理处经理腰世哲介绍,“今年是推进储气库经营创效的第一年,文96储气库就是第一站。”

2022~2023年冬季保供期间,文96等9座储气库累计采气超18亿立方米,全面保障所供区域民生用气需求。接下来,天然气分公司将完善储气库经营优化方案,合理安排采注计划,有序推进数字化管理提升和储气库经营创效工作,提升储气库“快注快采”能力,确保各储气库切实发挥储能调峰作用的同时,实现经营创效。

## 中原油田

## 科学注采为调峰保供“固好粮”

□杨敏 李军

“卫11储气库日注气量达313万立方米,预计今年增加工作气量1.9亿立方米。”5月6日,中原油田储气库管理处技术人员安丽说。

中原油田科学指导注采运行,对储气库注采运行进行周分析和月分析,针对注气动态变化,实时调整生产制度。“此外,我们科学优化开井顺序,以期有效提高工作气能力。”储气库管理中心研究所所长凡俊介绍。

卫11储气库受边水影响,储气库管理中心加强气藏动态监测,完善建立储层、井筒、地面一体化分析模型,根据不同井所处的构造位置及储层发育不同,优化选取注采井开井顺序的最优方案,减小水影响,防止地层压力快速下降。“自2021年10月投注以来,卫11储气库累计注气7.33亿立方米,于2022年12月开始采气,累计采气1.83亿立方米,均达到方案设计指标。”储气库管理中心副经理杜远宗说。

## 江苏油田

## 加快朱家墩储气库建设

□刘继宝

5月6日,江苏油田朱家墩储气库首口储气井完井后,第二口井朱储平1井已钻至2905米,两口老井封堵工程也已完成,项目正在加速推进。

朱家墩储气库以江苏油田朱家墩气藏为基础建设,建成运行后,最大日调峰能力将达410万立方米,可满足820万户家庭的日用气需求,与已经投注的金坛储气库进一步提升长三角地区天然气季节调峰和应急储备能力。

朱家墩储气库建设采用“水平井+常规井”部署方案,充分发挥水平井“大吞大吐”优势,力争气库利用率达到50%。钻井施工采用“井工厂”模式,将3口注采井部署在同一井场。已经完钻的朱储1-1井,垂深3835米,是目前国内枯竭砂岩气藏垂深最深的储气库井。

## 胜利油田

## 保障储气库安全平稳注气运行

□于佳

5月5日,胜利油田永21储气库项目部副经理宋杨和同事们一起把所有设备流程和设备安全检查了一遍。经过多日的设备维护与检修,永21储气库即将迎来又一次注气运行。

永21储气库是山东省第一座储气库,也是全国首座强边底水水淹废弃气藏改建的储气库,有效工作气量2.38亿立方米,若满载运行,可满足约500万户家庭日用气。

胜利油田自2003年起开展地下储气库研究,根据“注得进、存得住、采得出”的建设条件,选取永21块为储气库建设地址。为保证永21块储气库顺利实施,科研人员对该块实际地质特征,明确储气库安全运行上限压力与库容量,同时根据气藏水淹情况,确定增压扩容、“多注少采”逐步扩容等建库方式,确保储气库投产运行。

## 江汉油田

## 全力确保工控系统正常

□谢江陈爽

“画面清晰了,现在能看清储气库现场区域了。”5月3日,江汉油田水电分公司网络安全运行中心员工王萍、范寿俊,在江汉储气库进行机房精密设备日常清洁时,发现运维大屏有一小块图像断断续续,通过排查和调整,储气库视频监控图像恢复正常。

今年以来,水电分公司强化江汉储气库工控系统设备维护保养及巡检等工作,加强日常管理,确保储气库生产正常运行。

该公司日常巡检“不断线”,严格检查机房电源可靠性、设备运行情况、空调工作状态、视频监控图像流畅等,查看机房防火、防雷、防盗等措施,对电源薄弱点进行重点检修、防护。同时,他们对PLC机架、通信机架、SCADA系统及相关仪表设备、工业电视监控系统分部等进行全方位检查,确保正常运行。