

## 供应保障

责任编辑:秦紫函  
电 话:59964339  
邮 箱:  
qinzh@sinopec.com  
审 校:张春燕  
版式设计:王强



周“油”列国  
油事精彩

## 充盈储气仓库 增添保供底气



## 阅读提示

随着气温逐渐转暖,2024~2025年供暖季即将结束。储气库通过释放储存的天然气,确保了供暖和居民用气稳定,发挥了重要的调峰保供作用。

储气库通常指天然气地下储气库,是将天然气注入地下储集空间而形成的人造气藏,集季节调峰、应急供气、战略储备等功能于一身,而我国面临建库地质构造复杂、储层物性差、压力低等难题。“十四五”期间,中国石化攻关形成了储气库高效建库关键技术,有力支撑了12座储气库安全建设和高效运行,有力保障了我国天然气能源稳定供给。

## 天然气分公司

打造储气库  
建设运行“双高地”

周冰 摄

张晨辉

等运行关键技术。截至2024年底,文96储气库最高库存量达到6.55亿立方米,超过设计库容近0.6亿立方米,在中国石化气藏型储气库领域开了先例。

金坛储气库是中国石化第一座盐穴储气库。天然气分公司健全完善了盐穴储气库选址、钻完井、溶腔、不压井作业、采气运行等全链条建设及生产管理体系。

为保障华北地区天然气调峰保供需求,天然气分公司于2009~2019年建设投用了文96储气库和文23储气库一期工程。2020年起,天然气分公司针对文96储气库自主开展达容完善、井场无人值守改造、运行模式调整等建设工作,逐步形成了弱边气藏型储气库达容达产配套关键技术等建库技术,以及生产一体化优化与智能决策



实验,模拟了注气驱水、吞吐携液、泵抽等不同方式,以及物性、注气速度等对排水扩容的影响规律,明确了注气驱液比吞吐携液可以更好地实现库容恢复。在此基础上制定了文13西储气库分区、分类排液扩容对策,即注入水水侵区采用驱替井网气驱排液,混合水侵和边水水侵区采用气驱排液,同时在区带单元内提出细分连通单元、分区注采的井网部署模式,形成文13西排液建库优化方案。

方案实施的第二周期,文13西储气库注气能力提升明显,采气量自0.27亿立方米提升到0.53亿立方米;排液量由0.43万立方米提升至1.12万立方米,提升160%。动态库容稳步提升,第二周期建成3.1亿立方米,达容情况优于国内同类型储气库。

## 凝析气藏开启新篇

早期凝析气藏建库过程中,未将提高凝析油采收率与储气调峰能力协同考虑,笼统注采凝析油采出程度低,造成资源浪费。石油勘探开发研究院与西北油田研究员没有因循守旧,通过持续攻关,创新形成强边底水高含油凝析气藏提采协同建库技术,开启了凝析气藏注气提采、协同建库的新篇章。

研究之初,研究人员面临凝析气藏多周期注采多相-多阶段渗流机理认识不清、高含油凝析气藏多轮次注采相态变化无法表征、强边底水高含油凝析气藏协同建库技术对策无先例可循三大难题。攻关团队从实际问题出发,集思广益、精准施策,通过开展提采-协同-储气全周期渗流模拟试验,揭示了兼顾高速调峰-控水-增油三功能的参数影响机理;建立了多周期热力学参数场时变的相平衡新模型,改进组分数值模型,创新形成了基于凝析油气动态相平衡的时变数值模拟技术;建立了基于水侵、反凝析、岩石变形的时变库容预测新模型,开展分阶段注采井网部署、分阶段合理运行压力研究,逐步形成了强边底水高含油凝析气藏协同建库参数预测技术。

这些新技术有效赋能西北油田大涝坝储气库(一期)的建设,新增工作气量2亿立方米,提高凝析油采收率19.9个百分点。

## 石油勘探开发研究院与胜利油田勘探开发研究院组成联合攻关团队,围绕永21气藏地质与开发特征开展细致入微的分析研究。

## 专家观点

□中国石油勘探开发研究院 贾跃伟 张广权

储气库通常指天然气地下储气库,是将天然气注入地下储集空间而形成的人造气藏,集季节调峰、应急供气、战略储备等功能于一身。

气藏型储气库是主流建库类型,具有规模大、成本低的优点。国外储气库选址以浅层简单构造、中高渗储层、整装枯竭气藏为主,并相应形成了一套完整的库址筛选评价与建库技术体系,在密封性评价、注采能力评价、库容参数设计、技术对策及方案设计技术等方面较成熟。全球近70%的储气能力分布在美国和欧洲。

我国建库地质条件呈构造复杂、储层物性差、压力低等特点。中国石化可建库目标地质条件普遍面临埋藏深、构造破碎、非均质性强、水淹严重、流体分布复杂等问题。面对建库目标类型复杂多样的难题,中国石油勘探开发研究院与中原油田、胜利油田、东北油气、西北油田、天然气分公司等企业组成联合攻关团队,攻关研究形成复杂油藏气藏建库与运行关键技术,支撑集团公司在“十四五”期间先后完成卫11、文13西、文24、清溪、孤西、永21、白龙、龙凤山北201、大涝坝、朱家墩等10座气藏型储气库的建设工作,实现储气能力质的飞跃。

## 水淹禁区突围成功

边底水气藏在开发过程中通常伴随着水体的逐渐侵入,此类气藏天然气资源的开发枯竭往往意味着水体对储层空间的占据。位于胜利油田的永21气藏就是典型的完全水淹枯竭底水气藏。“如何将占据储层空间的水体清理出去,给未来注入的天然气‘腾地方’,是此类气藏改建储气库的关键。”集团公司首席科学家曾大乾表示,“我们先后明确了两大建库关键问题,一是地质体密封能力究竟如何,二是建库参数与技术对策该怎样设计。”

中原储气库群建库关键技术支撑建成了以文23、文96、卫11等为代表的百亿立方米储气规模的中原储气库群,调峰气量能满足8000万户家庭的过冬用气需求。

## 石油勘探开发研究院与胜利油田勘探开发研究院组成联合攻关团队,围绕永21气藏地质与开发特征开展细致入微的分析研究。

在密封性评价方面,研究人员从气藏复杂断背斜构造特征出发,建立了涵盖储层、盖层及断层的高精度流体-固体耦合地应力模型,综合运用盖层、断层多尺度力学、渗流完整性及流体封闭边界分析方法,研究形成复杂断块型储气库承压能力评价技术,系统评价了永21气藏密封能力,明确了储气库运行上限压力高于原始地层压力40%,有力支撑了永21储气库高效建库技术对策的制定。

在建库技术对策设计方面,攻关团队基于多周期气水互驱库容参数时变机理研究成果,建立分区带时变库容预测模型,创新形成水淹气藏储气库优化技术,建立了低部位排水、高部位注气协同作业建库模式,实现了快速建库与有效控水,顺利建成我国第一座完全水淹气藏型储气库。

## 排液扩容提升效益

边底水砂岩气藏经历长期衰竭式开发,导致不同区域水侵特征差异极大。此类极复杂水侵气藏改建储气库是常规技术理论难以解决的技术难题。中原油田文13西气藏就是一个复杂水侵建库对象。“在建库之初,我们建立时变数值新模型,通过预测气水分布和水侵量,将气藏划分出3种水侵模式,即注入水水侵、混合水侵和边水水侵。”中原油田专家王志宝说,“如此复杂的水侵枯竭气藏,只有因地制宜、分区而治才能实现建库目标,分区注采排液优化技术就是我们的法宝。”

攻关团队首先开展了长岩芯排水扩容模拟

## 中原储气库群

研发关键技术  
应对复杂地质挑战

本报记者 杨敏  
通讯员 田洪维

截至目前,中原油田管辖的卫11、文13西、文24、清溪、白9等5座储气库当期采气量超过2亿立方米,实现了本轮周期安全平稳超计划运行。”中原油田勘探开发研究院卫11储气库动态跟踪小组成员张凯瑞说。

中原油田专家王志宝说:“建库目标受资源禀赋影响,物性差、断块碎、埋藏深、气水关系复杂,多为复杂断块、低渗、边底水、高含凝析油气藏等新类型,挑战性极强。”

针对复杂类型储气库存如“注得进”“存得住”“采得出”等技术难题,研究人员精细地质研究,深化建库机理认识,强化工艺配套研发,创新形成了复杂地质条件的多类型储气库建库关键技术。

## 胜利油田永21储气库

“少井高产”  
将水淹气藏变废为宝

本报记者 于佳  
通讯员 王迪 贾玉涛

为缓解天然气供需矛盾,近年来胜利油田认真贯彻国家战略方针和集团公司有关部署,加快推进地下储气库建设。

2021年,胜利油田建成国内首座强边底水储气库——永21储气库,设计库容4.96亿立方米,截至目前累计注气1.4亿立方米,储气库达容后每年将有2.38亿立方米天然气储存及供应能力。

永21储气库是利用永21水淹废弃气藏改建而成,地下构造就像一个倒扣的碗。如何在注气过程中保持适当压力,既不破坏气藏,又把气藏里的水顺利驱出去,以及如何在采气过程中不把水一起带出来,成为永21储气库建设中最大的难题。

储气库采气强度是常规气藏开发的10倍以上。针对储气库高速注采气需求,为确保建库过程中快速驱水且有效控制压力,胜利油田设计了两口排水井,在注气过程中,利用排水井辅助降压,使气藏始终维持安全压力状态。同时,他们合理控制注气速度和阶段累计注气量,确保天然气不突破气水前缘位置,防止注气过程中发生气窜。

胜利油田还树立“少井高产”理念,改变直井注采的常规模式,注采井全部设计为水平井,通过增大井筒与地层的接触面积,实现在采出同样气量的情况下强度小、采得多,确保采气过程中不带出水。

此外,他们开展了大量研究,探索出永21储气库的最佳承载压力、注气速度及合理采气量,实现了永21地下储气库的科学设计。

## 排液扩容提升效益

边底水砂岩气藏经历长期衰竭式开发,导致不同区域水侵特征差异极大。此类极复杂水侵气藏改建储气库是常规技术理论难以解决的技术难题。中原油田文13西气藏就是一个复杂水侵建库对象。“在建库之初,我们建立时变数值新模型,通过预测气水分布和水侵量,将气藏划分出3种水侵模式,即注入水水侵、混合水侵和边水水侵。”中原油田专家王志宝说,“如此复杂的水侵枯竭气藏,只有因地制宜、分区而治才能实现建库目标,分区注采排液优化技术就是我们的法宝。”

攻关团队首先开展了长岩芯排水扩容模拟

边底水砂岩气藏经历长期衰竭式开发,导致不同区域水侵特征差异极大。此类极复杂水侵气藏改建储气库是常规技术理论难以解决的技术难题。中原油田文13西气藏就是一个复杂水侵建库对象。“在建库之初,我们建立时变数值新模型,通过预测气水分布和水侵量,将气藏划分出3种水侵模式,即注入水水侵、混合水侵和边水水侵。”中原油田专家王志宝说,“如此复杂的水侵枯竭气藏,只有因地制宜、分区而治才能实现建库目标,分区注采排液优化技术就是我们的法宝。”

攻关团队首先开展了长岩芯排水扩容模拟

## 东北油气孤家子储气库

低成本快速建成  
首座碳中和储气库

张凯 摄

本报记者 张万东

投,以及全生命周期成本最低。数字智能管理引领。孤家子储气库生产现场安装了气体检测仪、温度传感器、压力传感器等智能监控设备,通过中控自动化管理系统,实现“数据自动采集、异常自动报警、电子监控巡检”的运行模式。

绿色低碳运行。东北油气在孤家子储气库全面推行绿色低碳理念,在注采站利用分布式光伏、风力发电系统供电,在注采井场利用“风光互补+储能”方式全部实现新能源替代网电。

现场管理标准化。东北油气梳理设备设施、流程标识、阀门标识、操作规程等现场标准化化工序。目前,储气库初步建成设备设施管理标准化、工艺流程标准化、消防设施管理标准化、现场操作标准化的站库,站场标准化建设水平稳步提高。