

文 23 储气库固井工艺技术研究与应用

董胜祥（中国石油集团工程研究院有限公司，北京 102200）

高 飞（中国石油新疆油田分公司开发公司，新疆 克拉玛依 834099）

徐 壮（西安康布尔石油技术发展有限公司，陕西 西安 710021）

王建伟（大庆油田有限责任公司采气分公司（储气库分公司），黑龙江 大庆 163000）

郭海涛（国家管网集团中原储气库有限责任公司，河南 濮阳 457001）

摘 要：2021 年-2023 年国家管网集团中原储气库有限责任公司文 23 储气库二期工程建设共部署 24 口注采井，其中定向井 22 口，水平井 2 口。储气库投产后，每年均进行高压注气和采气，储气库要满足 30-50 年安全使用要求，因此储气库井注采对固井质量提出了更高要求。本文主要从文 23 储气库钻完井固井施工技术难点、技术措施等方面展开叙述，通过钻井液体系、井眼的准备情况、套管安全下入的措施、选用的固井水泥浆体系、套管固井技术措施在现场的实际应用，通过电测数据得出固井合格率 100%，解决了文 23 储气库的固井施工技术难题，保障了固井施工安全及储气库建设对固井高质量的工程要求。

关键词：储气库；固井工艺

文 23 储气库工程是国家“十三五”重点工程，项目位于河南省濮阳市文留镇东北，是华北地区天然气设施的重要组成部分，于 2019 年正式投产运营，为我国中东部地区天然气安全平稳供应提供了有力保障，对改善大气环境质量、调节能源使用结构和提高人民生活水平具有积极意义。

文 23 储气库工程主要是利用已经枯竭的文 23 气田，工程分两期建设，设计总库容量 104 亿立方米，储气库工作气量 40.31 亿方，可以满足 2000 万户家庭用气；最大调峰能力 3600 万方/天，注采站总占地约 127 亩；配套 12 台国内注气压力最高，功率最大的电驱动往复压缩机。

2021 年-2023 年文 23 储气库新部署 22 口注采定向井和 2 口注采水平井，对固井施工提出了更高的要求。本文通过对文 23 储气库二期工程 24 口井套管完井的工艺技术、地质条件进行详细的分析，总结形成了较为完善、可靠的固井技术措施和固井施工方案，为类似储气库的建设提供示范和技术借鉴，保障储气库建设和国家能源安全。

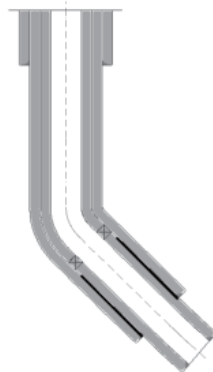
1 文 23 储气库基本情况

文 23 气田位于河南省濮阳县文留镇，构造上位于东濮凹陷中央隆起带北部文留构造文 23 块。根据本区钻井揭示，本区自上而下钻遇的地层有第四系平

原组，上第三系明化镇组、馆陶组；下第三系东营组、沙河街组及中生界地层。

根据文 23 气田文 109 井、文 61 井和文 22 井取芯测定的孔隙度和渗透率资料，得到各层段的孔隙度和渗透率值。总体上，ES₄³⁻⁸ 储层物性要明显好于 ES₄¹⁻² 砂组，储层物性中-差，主要为中-低渗储层。ES₄³⁻⁴ 的物性较好，ES₄⁵⁻⁶ 物性次之，ES₄¹⁻² 最差。从文 109 井向南到文 22 井，ES₄³⁻⁴ 物性变差，而 ES₄⁵ 有好的趋势。文 109 井 ES₄¹⁻² 孔隙度 8.86%-10.32%，平均空气渗透率 0.27-1.77mD，为低孔低渗储层；ES₄³⁻⁸ 实测孔隙度 11.4%-13.86%，平均渗透率 3.79-17.12mD，为低孔中低渗储层。文 23 气田整体上属中-低渗透层。

1.1 井身结构



一开：
井眼：Φ508mm×500m
套管：Φ406.4mm×4.99m
水泥封固段：0~499m

二开：
井眼：Φ330.2mm×2732m
套管：Φ273.05mm×2.730m
水泥封固段：0~2730m

三开：
井眼：Φ235mm×3075m
套管：Φ177.8mm×(0~2025m)
+ Φ177.8mm×(2025~3073m)
+ 回接 Φ177.8mm (0~2025m)
水泥封固段：0~3073m

图 1

1.2 钻井液性能

文 23 储气库三开地层压力系数低，层间压力变化大，易发生漏失，采用微泡钻井液体系，钻井液性能见表 1。

表 1 钻井液性能表

常规性能							流变性能		k _f	低密度固相含量 %	膨润土含量 g/L
密度 g/cm ³	滤失量 mL	泥饼 mm	含砂量 %	pH 值	静切力 Pa		塑性 粘度 MPa.s	动切力 Pa			
					10s	10min					
1.15-1.38	≤ 5	<0.5	<0.5	8-10	1-8	2-20	15-45	6-30	<0.15	<10	25-50

2 储气库固井难点分析

文 23 储气库施工区域地层压力系数低，地层承压能力有限，钻进过程中易发生漏失的情况；在下套管和固井过程中井筒液柱压力增加，注替水泥浆过程中易发生漏失，影响水泥浆返高和固井质量；尾管悬挂处环空间隙较小，流动阻力大，易憋堵，导致井漏。

文 23 储气库井二开采用 Φ330.2mm 的钻头，盐层井段下入 Φ273.05mm 的套管，壁厚 Φ15.11mm，套管刚度大，厚壁套管正常下入困难；Φ273.05mm 套管受本体自重影响，居中度差易造成套管贴边严重，顶替效率低，导致水泥环无法完全填充封固，影响固井质量。

文 23 储气库井二开裸眼段较长，钻遇易漏地层，施工泵压和排量受到限制，提高顶替效率困难；部分井段井径存在不规则、典型的“糖葫芦”、“螺旋”井眼的情况，顶替效率差，影响固井质量。

文 23 储气库井二开对盖层（盐层）固井质量要求高，对水泥浆性能要求高；同时封固段长，顶底部温差大，水泥石顶部强度发展慢，影响固井质量。盐层井段长度达到 700 米以上，大段盐层容易污染水泥浆，影响水泥石强度，水泥浆体系设计难度大；由于水泥浆的减轻剂材料和水泥密度差较大，浆体容易沉降，不稳定，所以水泥浆的综合性能要求高。

3 储气库井水泥浆体系的选择

二开盐层段上部采用低固相聚合物钻井液，主要材料为：膨润土、Na₂CO₃、包被絮凝剂、LV-CMC、COP-HFL/LFL、ZYRH-1；钻进过程中用 HP 乳液和 NH₄-HPAN 配制胶液进行补充维护，提高钻井液的抑制性，钻进中加大聚合物的加量，严格控制坂含和固相含量。每钻进 200 米加入 3% 随钻堵漏剂、3% 封堵剂增加钻井液封堵性能，提高地层防漏能力。

二开盐层井段采用饱和盐水钻井液，主要材料

为：井浆、COP-HFL/LFL、LV-CMC、SMP、SMC、NaOH、ZYRH-1、NaCl（饱和）；进入盐层盐前清理地面循环系统泥砂，配制胶液补充钻井液量，加入 LV-CMC 和 COP-HFL/LFL 或其它中分子抗盐聚合物降滤失剂，充分循环，然后与井内老浆混匀，加盐至饱和，将钻井液转化为饱和盐水钻井液。饱和盐水钻井液具有良好的抑制性，滤失量较小，泥饼薄且韧性好，有利于井眼稳定，避免盐膏污染。

三开采用微泡钻井液体系，主要材料为：膨润土、近油基基液、PAC-LV、超支化乳液、HXC、HP、表面活性剂 VES、SMP、SMC、磺化沥青、改性纤维封堵剂、超细钙、纳米封堵剂、KCl、NaOH、加重材料；三开井段地层渗透性好、地层亏空，容易发生漏失，且三开井段为目的层，同时要求做好油储层保护工作。通过加入聚胺抑制剂、聚醚胺基烷基糖苷等强抑制剂以及改性纤维封堵剂、液膜强化剂等材料，提高钻井液的防塌性能。以固体润滑剂、生物改性润滑剂等改善钻井液的润滑性。保持封堵防塌处理剂含量，达到稳定井壁的目的。

4 储气库井提供安全下入技术措施

下套管前做地层承压试验，用密度 1.37g/cm³ 钻井液，井口加压至 8MPa。具体承压流程：通井时钻井液充分循环一周，循环排量为钻进排量的 1.2 倍。停泵，关半封防喷器，井口缓慢加压至 5MPa，稳压 20min，若压力不降，再分别缓慢加压到 6MPa、7MPa、8MPa（每次稳压 30min），若压力下降，则进行堵漏。固井前调整好钻井液性能，在保证井下安全的前提下，尽量降低粘切，降低含砂量，使之具有良好的稳定性和流变性。通井起钻应及时灌满钻井液，保持井眼液柱压力，防止井涌井塌。采用双扶钻具结构对电测井径较小的井段和起下钻有阻卡井段、狗腿度大的井段进行短程起下钻和划眼，充分循环洗井，增长钻井液与井壁接触时间，确保井下无掉块、无沉砂、无键槽，起下钻畅通无阻后方可下入套管。做好设备检查工作。检查、准备下套管工具：吊卡、大钳、卡瓦、灌泥浆管线等；下套管前对所有设备、仪表全面检查，保证安全可靠，运转正常；泥浆泵要求上水良好，高压管汇无刺漏；认真检查悬吊系统，井口、游车、天车一条线，确保下套管安全。

5 储气库井套管居中度设计

二开井段，为提高套管居中度，采用整体式弹性扶正器，并优化扶正器加法，严格按照要求下套管扶正器：2000m 至井口 2 根套管加 1 只整体式弹性扶正器，

2000m 至井底 1 根套管加 1 只整体式弹性扶正器。

三开井段, 重叠段与裸眼段使用刚性旋流扶正器, 具体安放要求如下: 悬挂器以下每 1 根套管加 1 只刚性旋流扶正器。

回接套管, 回接筒以上 200m, 每根套管加 1 只铝合金刚性旋流扶正器, 其余井段每 2 根套管加 1 只铝合金刚性旋流扶正器。经固井软件模拟结果表明套管居中度保持在 80% 以上, 且有效降低了套管下放摩阻, 确保了套管顺利下入。

6 储气库固井主要技术措施

钻井施工现场备足堵漏和压井材料, 对后效严重的井, 必须先进行压井, 达到静态平衡后, 再进行地层承压堵漏试验。

二开下套管前, 钻井液筛除堵漏剂后, 进行地层承压试验。静态承压试验要求 2200m 处当量密度不低于 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 为合格。动态承压试验要求动态承压循环排量以 $70\text{L}/\text{s}$ 循环两周不漏失为合格。

三开下套管前, 筛除堵漏剂后, 做好地层静态承压试验, 套压不低于 8Mpa , 井底当量密度不低于 $1.64\text{g}/\text{cm}^3$ 。动态承压要求 $45\text{L}/\text{s}$ 循环不低于 1 周, 不漏失为合格。验证承压能力, 防止固井施工时发生井漏, 降低对产层的污染。

通井时, 对不规则井段反复划眼后, 充分大排量循环洗井不低于两周, 确保井眼干净, 在钻井液内加入润滑剂, 并调整好钻井液性能, 确保套管一次性下至设计井深。严格控制套管和钻具下放速度, 尾管在进入裸眼之前每立柱下放时间不少于 60s, 尾管进入裸眼后每立柱下放时间不少于 120s, 并安排专人观察井口返浆情况, 如有井漏失, 先堵漏后固井。

采用与外加剂配伍性好的 G 级水泥, 优选减轻剂材料, 优选性能稳定、配伍性好、保证大温差下水泥石强度的外加剂体系。优选水泥浆配方, 采用双密度三凝水泥浆体系。上部采用防漏防窜高强低密度体系, 低密度水泥浆返到地面; 为保证盐层段封固质量, 下部采用双凝抗盐弹韧性水泥浆体系。催凝段水泥浆稠化时间 = 施工时间 + $10 \sim 30\text{min}$, 以快封盐, 提高封固质量。为提高固井质量, 采用“三同一”原则, 即同一批号水泥、同一批号外加剂、同一水源, 避免不同批次水泥、外加剂和水源对水泥浆性能的影响。

固井施工期间, 严格控制施工排量 (不得大于循环排量), 要求排量平稳提降, 杜绝骤升骤降。根据前置液及低密度水泥浆返出情况和高密度水泥浆进入裸眼及时调整替浆排量: 替浆前期排量为 $50\text{L}/\text{s}$, 后

期根据实际泵压和稠化时间, 改用单泵替浆; 最后 $20 \sim 30\text{m}^3$ 顶替排量 $8 \sim 13\text{L}/\text{s}$, 以降低循环摩阻, 减少漏失风险。要求各岗位紧密配合, 确保注水泥作业连续进行。如果回压凡尔失灵, 候凝期间要派专人观察井口压力变化, 按要求放压, 发现异常及时采取措施。

为提高替浆准确率, 简化替浆工艺, 形成稳定的替浆排量, 采用清水进行替浆, 并采用独立的泥浆罐进行人工计量, 减少计量误差。替浆排量 $33\text{L}/\text{s}$, 碰压后, 悬挂器顶封必须在厂家的指导下进行胀封。替浆过程中遇到异常高压时, 首先以防漏为主, 降低排量或采用水泥车顶替。顶封胀封后, 迅速组织人员卸水泥头, 进行悬挂器后续作业。提出中心管后, 憋压循环出多余水泥浆, 再循环洗井 2 周, 起钻要求边起钻边灌浆。若施工过程中发生漏失, 原则上不胀封顶封, 为挤水泥建立通道。

7 现场实施及固井质量情况

2021 年 11 月 -2023 年 9 月文 23 储气库现场钻完井施工定向井 22 口, 水平井 2 口, 共完井 24 口, 固井质量合格率达到 100%, 满足了文 23 储气库注气开采的固井质量要求。

8 结论

领浆采用防漏防窜高强低密度体系, 中间浆、尾浆采用抗盐弹韧性水泥浆体系, 该体系水泥石具有低弹性模量, 高强度的特点, 能够很好的满足文 23 储气库建设。固井施工属于一次性的作业施工, 如固井作业失败, 补救的措施无法保证固井质量, 因此在固井施工前一定要做好水泥浆性能实验及设备的维护保养, 选择适合本区块的水泥浆体系, 保证储气库固井施工顺利进行, 规避固井风险, 避免发生固井事故, 提高储气库固井施工质量。

参考文献:

- [1] 刘自广. 文 23 枯竭砂岩型储气库微泡钻井液技术 [J]. 钻探工程, 2022(2):103-105.
- [2] 周龙, 谢银涛, 徐景林, 李瑜, 奥宁, 闫琪. 提高固井质量的措施 [J]. 石化技术, 2022(12):97-99.
- [3] 刘湘永, 薛英刚. 呼图壁储气库水平井完井固井工艺的技术研究与应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021(5):45-47.
- [4] 秦文政, 张彦华, 高飞, 孙超, 党文辉. 呼图壁储气库水平井关键技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020(15):145-147.
- [5] 袁明阳, 吴洪涛, 卢家孝, 邓鹏. 低温易漏储气库固井技术的改进创新实践 [J]. 石化技术, 2023(9):76-78.