

超细水泥封堵技术在吐哈油田储气库的应用

鲁显兵¹ 王海波² 段绪成² 赵振勇² 陈俊¹

(1. 安东石油技术(集团)有限公司, 北京 100020)

(2. 中国石油集团吐哈油田公司, 新疆 吐鲁番 839009)

摘 要: 储气库老井井筒封堵主要包括两个部分, 一是储气层射孔井段底界至人工井底段的生产套管的密封处理, 二是储气层射孔井段顶界以上的生产套管的密封处理。储气库老井储层的封堵主要采用“高压挤堵、带压候凝”的施工工艺, 即通过井口加压, 将堵剂有效挤入封堵层, 随后带压关井直至候凝期结束。储层封堵的核心技术是堵剂体系, 目前堵剂体系目前仍以超细水泥为主, 本文主要介绍了“承留器+封堵剂”等挤封工艺, 并为同类储气库封堵提供借鉴经验。

关键词: 储气库; 超细水泥; 封堵剂体系; 挤封工艺; 吐哈油田

0 引言

吐哈油田温吉桑储气库群, 位于新疆鄯善县境内, 由温西一、丘东和温8等三个枯竭气藏改建而成, 是中国第一座低孔低渗低产强非均质性复杂气藏型储气库群, 也是西气东输管线重要的配套工程。该工程总投资70亿元, 设计总库容56亿 m^3 , 工作气量20亿 m^3 , 预计2025年现场工程建设全部完成并陆续投运, 吐哈温吉桑储气库(群)项目是中国石油集团公司的重点工程, 也是吐哈油田公司战略转型、打造新的效益增长点的重要举措。

温吉桑储气库(群)主要功能定位:

一是满足中国石油吐哈油田周边用气需求, 促进地方经济发展;

二是参与西气东输调峰;

三是作为吐哈油田战略转型接替。

温吉桑储气库要利用一些废弃老井, 根据储气库建设安全、环保的要求, 必须对废弃的部分老井进行封井。如果废气井封堵失效, 地下油、气、水层将沟通, 天然气沿窜槽进入非储气层, 导致天然气资源大量流失。严重的会导致井口漏气, 着火爆炸, 给安全生产带来隐患, 储气库老井的封堵对储气库安全经济运行意义重大。

1 封堵体系选择

用于封堵的水泥浆体系主要研究水泥浆是否满足“能施工, 流得动, 堵得住”3个要求。封堵水泥的性能评价包括密度、稳定性(游离液)、API失水、流变性(流动度)、抗压强度高温高压稠化时间、渗

透率、弹性模量、电镜观察、干灰粒径分布等。堵剂体系的综合性能将直接决定储层的封堵效果, 必须通过一系列室内实验筛选、调整、优化堵剂体系内各添加剂的合理配比以保证最佳封堵效果。储气库具有高低交变应力、多注采周期、长期带压运行的工况特点, 综合经济因素考虑, 封堵剂体系目前仍以超细水泥为主, 主要原因是超细水泥注入性能好, 可以顺利挤入地层, 比起树脂体系更经济, 此外其固化后强度高, 能够满足储气库注采压差要求。但是, 必须合理添加一定比例的添加剂以优化超细水泥浆整体性能, 保证封堵效果。

1.1 封堵剂体系配方

超细水泥浆体系用于封堵老井产层和井筒, 影响井筒封堵效果的重要影响因素是水泥石的抗冲击破坏性能以及水泥石固化产生的微环隙。其中, 井筒内水泥石易在注采气交变载荷作用下被破坏, 导致封堵失败, 而水泥石固化产生的微环隙易引起气体窜流。评价封堵体系的性能, 实验结果表明, 复合超细水泥浆体系的稳定性和注入性较好, 抗压强度高, 满足油田封堵产层的要求; 流体阻隔性能和力学形变能力良好, 水泥石的渗透率较低、壁面胶结强度高, 满足矿场井筒封堵强度的要求。吐哈油田储气库封堵体系目前采用弹性微膨胀固井水泥体系, 体系配方为: 超细水泥+膨胀剂+放窜剂+降失水剂+缓凝剂+减阻剂+水, 液固比为0.56。

1.2 封堵剂体系性能

水泥浆的性能评价包括密度、稳定性(游离液)、

表 1-1 储气库封堵体系性能要求

密度	游离液	滤失量	流动度	抗压强度 (24h)	抗压强度 (48h)	气相渗透率	稠化曲线, min
1.80g/cm ³	0ml	<50ml	≥ 20cm	≥ 14MPa	≥ 14MPa	<0.05×10 ⁻³ μm ²	> 300min 线性正常

表 1-2 储气库封堵体系实验结果

配方	G 级超细水泥 + 膨胀剂 + 放窜剂 + 降失水剂 + 缓凝剂 + 减阻剂 + 现场水, 60℃						
密度	游离液	滤失量	流动度	抗压强度 (24h)	抗压强度 (48h)	气相渗透率	稠化曲线, min
1.80g/cm ³	0ml	46ml	22cm	16.6MPa	20.8MPa	0.038×10 ⁻³ μm ²	355min

API 失水、流变性（流动度）、抗压强度高温高压稠化时间、渗透率等。按照 GB 19139-2012《油井水泥试验方法》测定密度、流变性、API 失水、稠化时间、渗透率和抗压强度；按 SY/T 5434-2009《碎屑岩粒度的测定》分析堵剂粒径；严格执行油勘【2012】32 号油气藏型储气库钻完井技术要求（试行）要求（见表 1-1），试验结果见表 1-2。

2 封堵工艺

在调研储气库老井封堵工艺的基础上，针对堵剂突进不能均匀进入的问题，采用多层多尺度动态注入工艺。根据挤堵注入压力情况动态调整堵剂段塞体系，形成“一段一调整”，多段塞实时动态封堵工艺，以达到储气库气层封堵的要求。考虑到吐哈储气库地层实际情况，提出了分段挤堵、逐次试压的老井封堵工艺。下部地层每层均采用“水泥承留器”挤封工艺，挤注工艺根据地层吃入量的不同可分为直接挤入法和先替后挤法。

直接挤入法适合于地层吃入量大，施工压力低于 20 MPa 的挤水泥或循环封窜施工。两种方法施工前都必须进行试挤验封和确保施工管柱悬重正常。挤注完毕，上提管柱，起出插管，套阀关闭。这样既保证了下部水泥浆挤入井段的封固质量，又确保上部管柱安全。最上部挤封地层封堵根据封堵方量的情况采用“低替高挤”或“高替高挤”挤封工艺，利用油管将水泥浆注入套管，然后关闭油管，从套管将水泥浆挤入地层，达到封堵地层的目的。

2.1 封堵量的确定

在井筒进行刮铣作业清理干净井筒后，首先对封堵目标层位进行吸水测试，排量 100-200L/min、300-350L/min、400-450L/min 各挤 3min，分别记录单位压差下的吸入量，依据吸入指数确定堵剂用量、挤注排量。封堵剂用量根据吃水量确定挤灰半径，根据吐哈油田的经验一般选择吃水量小于 200L/min，挤入半径为 500mm，吃水量 200-350L/min，挤入半径为 800mm，吃水量大于 350L/min，挤入半径为 1000mm。

地层挤入量计算公式如下，其中挤入段长度确定为射孔段长度上下各考虑 1m 的余量，保证地层计入量：

$$V = \pi \times [(R+r/2)^2 - (r/2)^2] \times (L+2) \times \gamma \div 1000$$

V—计入量体积，单位为 L；

R—挤入半径，单位为 mm；

r—套管内径，单位为 mm；

L—射孔段长度，单位为 m；

γ—孔隙度

3 现场应用

应用案例 I：温 13-6 井（井口坐标 X：4770668.45，Y：16304835.85）是温八区块一口采油井。

2017 年 2 月 9 日开钻，4 月 2 日完钻，4 月 16 日完井，完钻井深 3556m，油层套管尺寸 127mm。

2017 年 5 月新投压裂。射孔 X32，下泵单采 X32。投产后日产液 31.5 方，日产油 6.42 吨，含水

75%。

2019年6月断脱检泵。检泵前日产液11.5方，日产油3.0吨，含水68%；检泵后日产液10.3方，日产油2.94吨，含水65%。

2020年6月补层。补层S13，下泵合采S13X32。措施前日产液7.8方，日产油2.19吨，含水66%；措施后日产液16.2方，日产油2.11吨，含水84%。

2022年11月检泵。断脱检泵。检泵前日产液4.2方，日产油0.8吨，含水77%；检泵后日产液3.9方，含水99%。

2023年3月补层压裂。补层压裂X21-1，下泵合采S13X21-1X21-3X32。措施前日产液4.0方，日产油0.03吨，含水99%；措施后日产液5.8方，日产油1.7吨，含水64%。

截止2023年9月8日，该井累计产液3.4万方、产油0.7万吨、产水2.6万方。

封堵步骤：处理井筒，G级水泥打底塞3240-3530.38米，塞面3240米；探灰塞面；超细水泥挤封37号层（3218-3221m），桥塞挤封；探塞面；超细水泥挤封34号层（3051-3054、3061-3064m），桥塞挤封；探塞面；超细水泥挤封32号层（2999.2-3001.2、3003-3005m），桥塞挤封；探塞面、G级水泥打底塞2470-2889米，塞面2470米；探灰塞面；低替高挤，超细水泥挤封12、13号层（2449-2454、2458.8-2460.8m），塞面2399m；探塞面、试压；下1000米油管完井。

应用案例Ⅱ：温13-4井（井口坐标X：4771346.98，Y：16306818.74）是温八区块的一口老井，

2017年3月29日开钻，5月3日完钻，5月12日完井，完钻井深3568m，油层套管尺寸127mm。

2017年5月18日-5月26日新投。射孔X22-1（2943.0-2945.0米，2948.0-2951.0米），自喷单采X22-1完井。投产后日产液30.7方，日产油23.8吨，含水5%，日产气5445方。

2017年8月17日-8月20日补层。补层X21-2（2902.0-2905.0米）、X22-1（2953.0-2957.0米），下泵合采X21-2X22-1完井。措施前日产液15.3方，日产油11.8吨，含水5%，日产气2326方；措施后日产液23.5方，日产油18.2吨，含水5%，日产气2904方。

2021年11月15日-11月18日检泵。断脱检泵。检泵前日产液9.6方，日产油2.5吨，含水68%，日产气450方；检泵后日产液10.3方，日产油2.9吨，

含水65%，日产气600方。

2022年6月23日-6月25日检泵。漏失检泵。检泵前日产液6方，日产油1.2吨，含水76%；检泵后日产液8.4方，日产油2.2吨，含水68%。

2023年10月29日-11月4日检泵。漏失检泵。

截止2024年2月26日该井累产液3.1万方，累产油1.1万吨，累产气235万方，累产水1.8万方。

封堵步骤为：处理井筒，33号层普通水泥挤封后，探塞面、下封隔器对30、29、28、27号层测地层吸水量，对27号层上部套管试压；超细水泥对目标层（30号层，2824-2833m）第一次桥塞挤封，承留器位置2814m左右，探塞、钻塞试压，填砂至2816m；超细水泥对目标层（29号层，2806-2811m）第二次桥塞挤封，承留器位置2796m左右，探塞、钻塞试压，填砂至2797m；超细水泥对目标层（28号层，2788-2792m）第三次桥塞挤封，承留器位置2778m左右，探塞、钻塞试压，填砂至2760m；超细水泥对目标层（27号层，2743-2746、2752-2755m）第四次低替高挤，塞面2693m左右，探塞、钻塞、刮壁、试压、清砂；超细水泥注水泥塞（2693-2843m），塞面2693m左右，探塞面，试压下1000米油管完井完井。

截止2024年4月底，吐哈温吉桑储气库温8老井区域共封堵87井次，最高挤注压力32Mpa，最大施工方量为14m³，共使用超细水泥封堵剂量471m³，未出现安全事故，试压全部合格。表明超细水泥浆体系用于老井产层的封堵科学有效，形成的水泥石无收缩，强度高满足储气库的封堵要求。并形成了只需要修井作业队作业，不需要固井队的封堵工艺模式，现场操作方便，确保储气库的安全建设运行。

参考文献：

- [1] 张俊瑾. 枯竭裂缝型储气库老井封堵技术. 石油工业技术监督, 2022, 12.
- [2] 覃栋优, 刘江华, 王斌, 雷先志. 呼图壁储气库老井封堵体系及封堵工艺研究与应用. 油田化学, 第33卷第4期 2016, 12, 25.
- [3] 曹洪昌, 王野, 田惠, 等. 苏桥储气库群老井封堵浆及封堵工艺研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2014, 31(2): 55-58, 99.
- [4] 鲜明, 李然, 廖长平, 郑渊云. 桥塞挤水泥工艺在塔里木油田的应用. 承德石油高等专科学校学报, 第14卷第三期 2012, 9.