

High Pressure Gas Well Cementing Technology of Irregular Borehole in Shaximiao Formation in Western Sichuan

Xiaolong Ma

Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co. Ltd., the Cementing Company, Puyang Henan
Email: mmbieku@126.com

Received: Mar. 12th, 2020; accepted: Apr. 15th, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

At present, the exploration and development of the western Sichuan area is the focus of Sinopec for the natural gas at the Shaximiao formation. The horizontal completion is used in this area with 700 - 1000 m horizontal section. The potash lime water-based drilling fluid is used for the development of shale in this area, resulting in wellbore instability, severe fall-block and borehole diameter enlargement ratio more than 33%, and the difficult problem in the Shaximiao formation, such as the activity and widely distribution of the natural gas and pressure stability, causing lower cementing excellent rate and more well with wellhead pressure after cementing. By developing double expansion high density cement slurry system through analyzing the cause of gas channeling, optimizing the flushing fluid, spacer fluid and drilling tool structure for tail pipe transportation, applying more efficiency displacement technology, pressure stability and anti-channeling technology, the excellent and good rate of producing formation reach up to 92.7% when these measures used in 33-9HF well and the cementing quality improves. The practice solves the problem of wellhead pressure after cementing, meets the need of the Shaximiao formation exploration in western Sichuan and can provide certain reference function for the same type of cementing.

Keywords

Western Sichuan, Shaximiao Formation, High Density Cement Slurry, Displacement Efficiency, Cementing

川西沙溪庙组不规则井眼高压气井固井技术

马小龙

中石化中原石油工程有限公司固井公司, 河南 濮阳
Email: mmbieku@126.com

收稿日期: 2020年3月12日; 录用日期: 2020年4月15日; 发布日期: 2020年6月15日

摘要

川西沙溪庙组是目前中石化勘探开发的重点天然气工区, 该工区采用水平井完井, 水平段长700~1000 m, 由于该工区泥页岩发育, 采用钾石灰水基钻井液钻井, 导致井壁失稳, 掉块严重, 井径扩大率可达33%以上, 而且沙溪庙组气层活跃, 分布广, 压稳困难等难题, 导致固井质量优良率低, 固井后井口带压井占比多。通过对气窜原因进行剖析, 研发双膨胀高密度水泥浆体系, 优选冲洗液和隔离液, 优化尾管送入钻具结构, 应用提高顶替效率措施、压稳防气窜等工艺技术, 经高庙33-9HF井应用, 产层优良率达到了92.7%, 提高了固井质量较好的解决了井口带压等难题, 满足了川西沙溪庙组地层的开发的需要, 能为同类型井固井提供一定的借鉴作用。

关键词

川西, 沙溪庙组, 高密度水泥浆, 顶替效率, 固井

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

川西地区天然气开发是中国石化西南地区油气勘探开发重要地区之一, 目前重点开发高庙子、中江区块, 主要目的层为上、下沙溪庙组。上沙溪庙组完钻井深 2800~3300 m, 下沙溪庙组, 完钻井深 3700~4100 m, 水平段 700~1000 m, 由于地层压力系数高, 泥岩发育, 井壁稳定性差, 钻完井施工难度大[1]-[7]。部分井固井后就有不同程度带压, 如江沙 301-4HF 环空带压达 9.4 MPa, 江沙 102-1HF 井环空带压达 2.5 MPa, 高沙 305HF、江沙 103HF、江沙 33-1HF 等均有不同程度的带压, 须进行短回接施工后方可进行投产作业, 费时耗力, 严重影响了后期开发的需要。针对上述难题, 通过对气窜原因进行剖析, 通过优选高密度冲洗隔离液, 研发了高密度双膨胀防窜水泥浆体系, 优化固井施工工艺, 通过现场应用, 较好的解决了固井后井口带压情况, 提高了固井质量[1]-[7], 满足了沙溪庙组地层开发的需求。

2. 影响固井质量的主要难点

2.1. 顶替效率低

- 1) 钻井采用钾石灰聚磺水基钻井液体系, 泥页岩易水化分散, 导致井壁失稳, 掉块严重, 最大掉块

达 12 cm, 见图 1。井径不规则且扩大率大, 经推算高庙 33-9HF 井井径扩大率达 33.6%, 导致水泥浆上返速度低, 钻井液不能有效驱替;



Figure 1. Gaomiao 33-4HF and Gaomiao 33-9HF well fall-block
图 1. 高庙 33-4HF 与高庙 33-9HF 井掉块

2) 水平段摩阻大, 下套管困难, 为了增加下套管配重, 将全井下套管固井改为尾管固井工艺, 送入采用 $\phi 139.7$ mm 或 $\phi 127$ mm 加重钻具, 钻具水眼减小, 再者尾管坐挂后过流面积减小, 导致注替排量不能有效提高;

因此, 顶替效率低是制约固井质量提高的主要矛盾。

2.2. 钻井液密度高, 携砂困难, 影响胶结质量

压稳地层所需钻井液密度一般 $1.85\sim 1.95$ g/cm³ 就可满足钻井要求, 但为了携砂钻进中钻井液密度要高于 2.05 g/cm³, 而且粘度高、切力高, 方可满足要求, 这导致施工泵压高, 环空返速低, 大斜度井段岩屑不易被钻井液或前置液携带出来; 由于起下钻摩阻大, 钻井液中一般加入 5%~10% 原油降低摩阻, 沉砂、油膜影响了一、二界面的胶结质量[8]。

2.3. 气层段长而且活跃, 压稳困难

大部分井进入水平段后, 槽面有超过 35% 针尖状气泡, 部分井大斜度段就有气层显示, 由于无井径数据, 尾浆附加量不能过大, 领浆会下降至水平段, 导致领浆全井段失重, 发生气窜。

2.4. 高密度水平井固井, 对水泥浆各项性能要求高

设计水泥浆密度 $2.10\sim 2.15$ g/cm³ 要求析水为 0 mL, 失水小于 50 mL, 沉降稳定性小于 0.03 g/cm³, 抗压强度大于 14 MPa, 水泥石不收缩, 因此, 水泥浆设计困难。

3. 固井关键技术措施

3.1. 高密度双膨胀水泥浆体系的研发

G 级油井水泥颗粒粒径为 100 μm 左右, 水化所需的水量为 25% 左右, 而在配制水泥浆所需的最小水灰比为 44%, 因而水泥颗粒之间存在许多自由水, 水泥凝固后形成很大的胶空状现象, 固井后最终会导致水泥石体积收缩, 造成水泥石与套管的剥离, 产生微间隙, 在高压气井中易形成通道导致气窜, 因此, 需在水泥浆中加入膨胀剂解决水泥石收缩性。

通过实验优选晶格膨胀剂和气锁膨胀剂, 晶格膨胀剂通过与水泥反应生成钙矾石, 钙矾石晶体的成

长会吸水引起水泥石体积膨胀；气锁膨胀剂是铝粉通过包被剂包裹，在一定温度下与水泥反应可生成 H_2 ，可补充水泥石体积收缩，另可起到降低水泥浆“失重”的作用，在晶格膨胀剂和气锁膨胀剂的双重作用下，有效控制了水泥石的收缩，两种膨胀剂加入高密度和常规水泥浆[9]中，其配方如下：

领浆：JHG + 40%赤铁矿粉 + 1.5%晶格膨胀剂 + 1.3%气锁膨胀剂 + 2.5%降失水剂 + 1.5%缓凝剂 + 0.5%分散剂 + 3.0%纳米填充剂 + 1.0%弹塑剂 + 0.45%水；

尾浆：JHG + 1.5%晶格膨胀剂 + 1.3%气锁膨胀剂 + 2.5%降失水剂 + 0.5%缓凝剂 + 0.5%分散剂 + 3%纳米填充剂 + 1.0%弹塑剂 + 0.42%水，水泥浆性能见表 1。

Table 1. Performance of high-density double-expansion cement slurry system

表 1. 高密度双膨胀水泥浆体系性能

| 密度 g/cm^3 | API 失水 mL | 析水 mL | 48 h 强度 MPa $100^\circ C \times 20.7 MPa$ | 六速旋转读数 $93^\circ C \times 20 min$ | 稠化时间, min $85^\circ C \times 50 MPa$ | 膨胀率 | 上下密度差 g/cm^3 |
|----------------|--------------|----------|--|--------------------------------------|---|-------|-------------------|
| 2.15 | 30 | 0 | 25.2 | -/174/134/76/8/6 | 245 | 0.01% | 0.01 |
| 1.93 | 28 | 0 | 38.1 | -/265/186/116/15/14 | 95 | 0.03% | 0 |

从上表可以看出该领尾浆体系膨胀率均为正值，失水小于等于 30 mL，自由水为 0，强度大于 14 MPa，上下密度差也能控制在 $0.02 g/cm^3$ 范围内，满足于沙溪庙组地层固井的需求。

3.2. 高密度前置液的优化

西南工区所应用的驱油隔离剂有 4 种，通过评价优选出性价比较高的作为使用目标。

实验方法：将 320 目水砂纸在钻井液中浸泡 15 min，用捆扎带固并在流速粘度计转轴上，再将所配隔离液经 $85^\circ C$ 养护 20 min 后，使用六速粘度计 300 转/min 对试样冲洗 10 min，对比砂纸的洁净程度，优选出所需隔离液体系。

方案 1：400 g 水 + 2.5%悬浮剂 + 200%重晶石粉 + 5%驱油剂，4 种驱油剂效果测试结果见图 2。

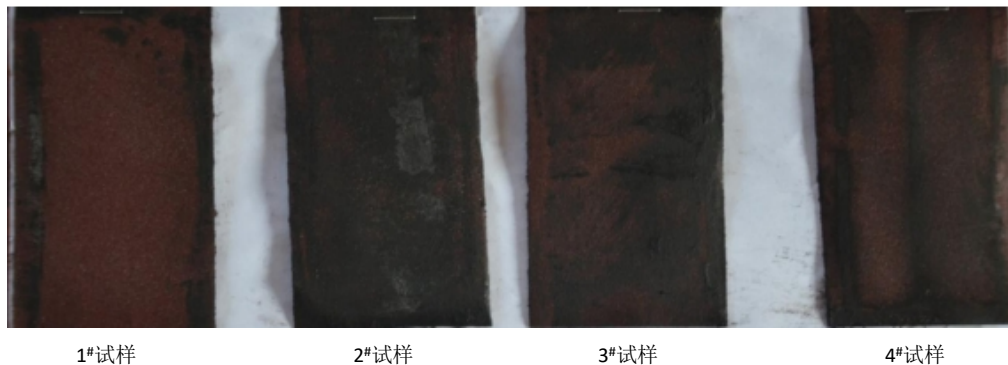


Figure 2. Evaluation test results of scheme 1

图 2. 方案 1 评价测试结果

从评价效果来看，1#试样和 4#试样冲洗效果较好，2#和 3#试样冲洗效果较差。

为增加隔离液的物理冲刷，在隔离液中加入石英砂。石英砂颗粒越大，对井壁的冲刷效果越明显，但大颗粒容易产生沉降，需要增加悬浮稳定剂的加量，同时也会使隔离液稠度增加，不利于泵送。因此，选择在隔离液中加入 80~120 目石英砂，并通过试验观察隔离液的流变性能、沉降稳定性及冲刷能力来确定石英砂的加量，结果见表 2。

Table 2. Effect of different dosage of quartz sand on isolation fluid
表 2. 不同加量的石英砂对隔离液的影响

| 隔离液密度 g/cm ³ | 配方 | 密度差 g/cm ³ | 冲刷能力 |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|------|
| 2.10 | 水 + 2.5%悬浮剂 + 220%重晶石粉 | 0.03 | 弱 |
| | 水 + 2.5%悬浮剂 + 208%重晶石粉 + 10%石英砂 | 0.02 | 一般 |
| | 水 + 2.5%悬浮剂 + 196%重晶石粉 + 20%石英砂 | 0.02 | 较好 |
| | 水 + 2.5%悬浮剂 + 186%重晶石粉 + 30%石英砂 | 0.02 | 较好 |

由表 2 可以看出, 加入石英砂可以提高隔离液的冲刷能力, 而加入过多的石英砂则会导致隔离液稠度增加、流动性变差, 影响泵送, 所以石英砂较为合适的加量为 20%。用与方案 1 相同的试验方法评价方案 2, 结果见图 3。

方案 2: 400 g 水 + 2.5%悬浮剂 + 196%重晶石粉 + 20%石英砂(80~120 目) + 5%驱油剂

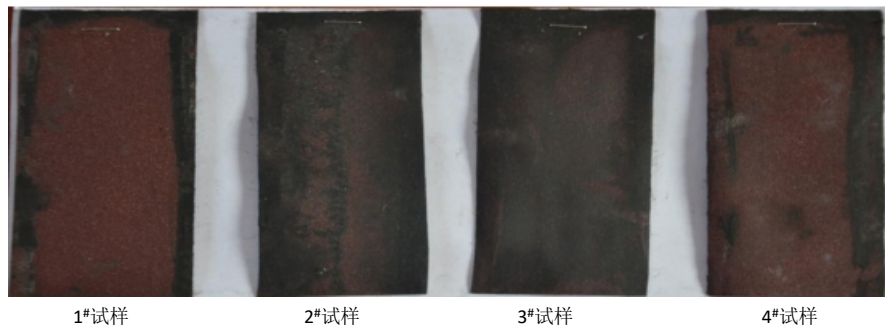


Figure 3. Evaluation test results of scheme 2
图 3. 方案 2 评价测试结果

从试验结果可以看出 1#试样和 4#试验冲洗效果比方案 1 有所改善, 主要是由于石英砂的加入, 增加了物理冲刷效果, 物理和化学冲洗的相互作用下提高了冲刷效果。

通过上述实验, 优选 1#试样中的悬浮稳定剂和清油型冲洗剂, 悬浮稳定剂主剂由高分子聚合物、表面活性剂、热稳定剂按比例组成, 其室内最高密度可配 2.30 g/cm³, 沉降稳定性小 0.03 g/cm³。清油型冲洗剂含有大量复合表面活性剂, 可与烃链分子形成分子间力, 降低界面张力, 渗入油膜内部, 产生润湿、逆乳化、亲水增溶作用, 加速油膜的分离, 使油膜分散悬浮于冲洗隔离液中, 从而将其清除; 常规加重剂一般选用 4.0~4.2 g/cm³ 重晶石, 但为了增加物理冲刷效果, 加入 80~120 目密度 2.65 g/cm³ 石英砂, 石英砂按 20% 比例加入, 可使沉降稳定性与物理冲刷均满足设计要求。

其冲洗液配方为: 水 + 2%悬浮剂 + 5%清油型冲洗剂; 密度 2.10 g/cm³ 加重配方: 水 + 196%重晶石 + 20%石英砂 + 3% WH-2 + 5% WH-5, 性能见表 3。

Table 3. High density increases the performance of the isolator
表 3. 高密度加重隔离液性能

| 密度 g/cm ³ | 六速旋转读数 93℃ × 20 min | 68℃ × 50 MPa 混浆稠化时间实验, min | | | | 冲洗效率 % | 上下密度差 g/cm ³ |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-----------|----------------------------|
| | | 1:1 | 1:1:1 | 7:2:1 | 1:2:7 | | |
| 2.10 | 192/123/96/64/13/9 | >300 | >300 | >300 | >300 | >95 | 0.01 |

说明: ① 混浆实验比例顺序为领浆: 隔离液: 钻井液; ② 冲洗效率是用 320 目水砂纸固定在六速黏度计外筒, 68℃ 在钻井液中浸泡 20 min, 用 300 r/min 在隔离液中冲洗 10 min, 与原砂纸进行对比。

由于大量表面活性剂对领浆、钻井液不同比例混浆实验均可大于领浆自身稠化时间，上下密度差小于 0.03 g/cm^3 ，冲洗效率大于 95%，满足了隔离液设计要求。

3.3. 提高顶替效率措施

1) 通井时，在井斜 $40^\circ\sim 50^\circ$ 和 $70^\circ\sim 89^\circ$ 以 30 L/min 排量做分段循环和短程起下钻，旋转活动钻具，以破坏岩屑床；通井到底后，用 15 m^3 密度与钻井液相当，粘度 150 S 以上并加入 $1\%\sim 2\%$ $10\sim 15 \text{ mm}$ 长纤维的稠钻井液循环一周，将井内沉砂携带干净。

2) 优化钻具结构，采用 $\phi 139.7 \text{ mm}$ 加重钻具加 $\phi 139.7 \text{ mm}$ 钻具送入，替换原 $\phi 127 \text{ mm}$ 钻具，以降低循环摩阻，增大循环排量；

3) 下完套管后循环时改善钻井液的流动性能，动切降至 10 Pa 以内，粘度 $\leq 65 \text{ S}$ ，施工前注入 30 m^3 粘度 $\leq 50 \text{ S}$ 、动切 $\leq 8 \text{ Pa}$ 、 $\text{PH} \leq 8$ ，具有抗钙性、冷却、不含油的先导泥浆，提高顶替效率；

4) 采用双车大排量注灰，使注灰过程水平段的上返速度大于 0.9 m/s ，确保水平段在注灰过程中达到紊流；

5) 水平段和大斜度段采用整体式弹性扶正器，水平段大斜度段每 2 根套管加 1 只、直井段每 3 根加 1 只装刚性螺旋扶正器。

3.4. 防气窜技术措施

1) 实际了解钻井过程中掉块情况，与同类型井做参考，再不测井径的条件西啊，确保尾浆能有效封至气顶，领浆返出悬挂器；

2) 拔出中心管，采用大于 40 L/min 排量循环，利用循环摩阻对下部水泥浆加压；

3) 如回压凡尔正常，未井漏，则不留上塞，防止钻穿水泥塞后，尾管内压力突然释放，套管快速收缩，水泥环弹性变化速度慢，易造成微间隙；

4) 水泥浆循环干净后第一时间加回压，回压值应考虑水泥浆全井段失重，最终回压值应大于或等于该失重值。

4. 现场应用

研发的双膨胀水泥浆体系和优选的前置液体系以及相关工艺技术首先在高庙 33-9HF 井产层固井得到应用，该井采用 $\phi 215.9 \text{ mm}$ 钻头钻至 4046 m ，悬挂器位置 2191.8 m ，与上层 $\phi 244.5 \text{ mm}$ 套管重叠 294.02 m ，尾管下深 4045.5 m ，固井施工过程为：1) 下完套管后 29 L/s 循环 4 h ；2) 投球，憋压 15 MPa 坐挂，倒扣 30 圈成功，憋球座 18 MPa ；3) 管线试压 35 MPa ；4) 注入密度 2.07 g/cm^3 先导浆 30 m^3 ；5) 注冲洗液 1 m^3 ，密度 2.10 g/cm^3 隔离液 15 m^3 ；6) 注密度 2.15 g/cm^3 领浆 50 m^3 ，密度 1.93 g/cm^3 尾浆 31 m^3 ；排量 $2.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ，泵压 $31\sim 26 \text{ MPa}$ ；7) 压胶塞 3 m^3 ；8) 替浆 40.32 m^3 ，排量 $1.7\sim 1.6 \text{ m}^3/\text{min}$ ，泵压 20 MPa ；9) 水泥车替 2 m^3 ，至碰压，压力 30 MPa ；10) 拔出中心管循环；11) 加回压 12 MPa ；关井候凝 48 h 。

经电测解释固井质量全井优良，优质 75%，良好 17.7%，优良率 92.7%，中等胶结 2.4%。

该区域施工的江沙 312 井、江沙 102-8 井、高沙 307-1、江沙 201-4HF 等固井质量均评定为良好，较好的解决了川西沙溪庙组地层不规则井眼高密度气井固井质量低的难题。

5. 结论

1) 通井时破坏岩屑床，应用稠浆加长纤维携砂，优化冲洗液隔离液体系，提高注替排量是提高顶替效率的有效手段；

2) 性能良好的双膨胀水泥浆体系，尤其是水平井中析水为 0，水泥石自身膨胀，是防止气窜，保证

固井质量的前提:

3) 确保尾浆返高, 最大限度的考虑水泥浆失重, 利用拔出中心管后, 大排量循环和环空加回压技术是压稳设计的关键。

基金项目

中原石油工程公司推广项目“中高温油井水泥降失水剂和缓凝剂推广应用”, 编号: 2018208T。

参考文献

- [1] 秦德威, 邹传元, 张明华, 邹洁. 马蓬 75-1H 大位移水平井固井技术[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(11): 159-162+9-10.
- [2] 刘伟. 彭水地区海相页岩气水平井固井技术[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(1): 83-87+7.
- [3] 杨波, 张猛, 赵金青. 聚合物驱油田固井水泥浆体系优选及应用[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(8): 114-116+0+2.
- [4] 刘成贵. 非常规油气水平井固井关键技术研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2013(2): 48-51.
- [5] 朱礼平, 李群生, 张继尹, 黄敏. 川西沙溪庙组水平井固井技术难点及对策[J]. 钻采工艺, 2014(1): 18-20+10.
- [6] 王红科, 靳剑霞, 王野, 任路, 任强, 刘音, 曹洪昌, 赵福祥. 吐哈油田大间隙、不规则井眼固井技术实践[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(8): 35-38.
- [7] 胡永胜, 张世玉, 何文博. 深井长封固段、小间隙、不规则井眼固井完井技术研究[J]. 石化技术, 2015, 22(1): 60-61.
- [8] 舒秋贵, 罗德明, 焦建芳, 邓天安. 泥页岩层不规则井眼环空注水泥顶替理论与技术[J]. 钻采工艺, 2012, 35(4): 29-31+123.
- [9] 侯献海, 步玉环, 郭胜来, 罗勇, 王雪英. 纳米二氧化硅复合早强剂的开发与性能评价[J]. 石油钻采工艺, 2016(3): 322-326.