

科威特油区修井作业与经济效益评价

王凌霄 (中石化西南石油工程有限公司湖南钻井分公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 根据《科威特分公司全方位市场开发方案》要求, 为促进分公司业务开展, 拓宽市场渠道, 鼓励全员参与市场开发, 发挥分公司资源优势。科威特修井中常常涵盖固井作业, 本文就固井作业中不同的水泥浆体系, 在性能、优缺点、费用等多方面进行分析, 旨在提高作业效率, 降低作业风险, 降本增效, 为提高修井作业固井质量提供数据参考。

关键词: 科威特; 修井; 经济效益; 效益评价; 费用

科威特油区具有丰富的石油资源, 油气储量高, 含油层位多, 修井作业是保证油区稳定生产的重要环节。固井作业较为常见, 多数原因为原产层产量降低、含水增多, 封堵原产层水层, 更换新产油层, 以增加产量。一般甲方设计中要求将现有油层全部封堵, 并对原产油层及新增产层进行射孔。在科威特修井固井作业中, 水泥浆是主要材料, 它对井眼的稳定性和防止地层流体泄漏起到重要的作用。主要用于封堵、加固井壁, 提高井的稳定性和防止油气泄漏。目前, 科威特油区主要应用了两种修井作业水泥浆体系: 普通乳胶水泥浆 Latex 和超细颗粒 Ultra-Fine 水泥浆。本文将分析这两种水泥浆体系的优缺点、费用情况, 并通过案例分析与应用效果评价, 探讨其适用性。

1 科威特油区地质与工程概况

科威特油区的地质条件复杂, 主要石油储层为砂岩和石灰岩。由于长期开采, 油区地层压力下降, 井壁容易失稳, 地层流体易发生泄露。此外, 科威特地区气候极端, 夏季高温、干燥, 冬季低温、多风沙。这种恶劣的环境对修井作业的水泥浆体系提出了更高的要求。本报告将分析在科威特修井固井作业中使用的两种常见水泥: “LATEX” 乳胶类水泥超细颗粒 Ultra-Fine 水泥浆, 并评估它们的优缺点及费用情况。

2 修井作业水泥浆体系种类及其应用

2.1 科威特修井队常用水泥灰的类型

修井施工的固井作业中所用的水泥均为“G”级水泥灰, “LATEX” 乳胶类水泥, 按照井眼内漏失量大小, 通常可以分为常用水泥类型有: “HFL” “MFL” “LFL” 三种类型。

① “LFL” -low fluid loss, 当渗透率小于 1BPM 时使用; “MFL” -medium fluid loss, 当渗透率在 1-4BPM 时使用; “HFL” -high fluid loss, 当渗透率大于 4BPM 时使用; ②而 “Ultra-Fine”, 为渗透率极低,

小于 1BPM 或者地层无渗透, 只有压降时使用; ③一般情况下, 在这二种水泥灰中, “LATEX” 适用于第一次和相对高漏失量井段固井; “Ultra-fine” 顾名思义, 超细颗粒水泥, 则适用于渗透率极差的地层, 该水泥的成本较高。

相对而言, “LATEX” 为施工现场较为常用的水泥灰, 其成本也没有 “Ultra-fine” 那么高。

2.2 修井现场的水泥灰选择

2.2.1 BG-1027D 井眼背景

2015 年 10 月完钻的南部油区 BG-1027 井为双管自喷井, 于 2022 年 08 月更换电泵, 产量为 1405/ 每天, 含水率 50%, 后电泵再次发生故障, 井筒内 9 5/8” 套管下深 5240FT。

2.2.2 原射孔层位

地层	射孔井段	段长	弹 / 英尺	备注
Wara	4302 - 4307	5	12	Open
Wara	4314 - 4318	4	12	
Wara	4324 - 4326	2	12	
Wara	4330 - 4343	13	12	
Wara	4392 - 4404	12	12	
Wara	4420 - 4430	10	12	

2.2.3 修井液密度

地层	油层压力	平衡地层密度 (PPG)	附加 500 psi 压力需要密度 (PPG)	修井液密度
Wara	1540 psi /4210 FT	7/0	7.5	8.4 PPG brackish Water

2.2.4 固井管柱

31/2"STINGER+31/2"EUE (L-809.3PPF) 油管 *40 根 + 变扣接头 (31/2"EUE 公 x31/2"IF 母) +31/2" (G105-13.3PPF) 钻杆 *102JTS。

2.3 固井作业分析

第一次固井作业前, 测试地层渗透率为 900PSI 压力下, 地层漏失 3.5 桶每分钟, 使用 40.0 bbl of 15.8 ppg "LATEX" 水泥固井, 候凝 10 小时。

第二次固井作业前, 测试地层渗透率为 900PSI 压力下, 5 分钟压力降低 200PSI, 地层无漏失, 使用 35.0bbl of 13.0 ppg "Ultra-Fine" 水泥固井, 候凝 18 小时。

第三次固井作业前, 测试地层渗透率为 900PSI 压力下, 5 分钟压力降低 200PSI, 地层无漏失。打 20 桶 12% 盐酸 +3% 氢氟酸混合酸液, 地层泡酸 1 小时后, 发现地层完全失返, 漏失量较大, 打 50.0 bbl of 15.80 ppg "LATEX" 水泥固井, 候凝 15 小时。

第四次固井作业前, 更换固井公司 NAPESCO, 测试地层渗透率为 900PSI 压力下, 5 分钟压力降低 400PSI, 地层无漏失, 使用 35.0 bbl of 12.5 ppg "Ultra-Fine" 水泥固井, 候凝 20 小时。

第五次固井作业前, 测试地层渗透率为 900PSI 压力下, 5 分钟压力降低 300PSI, 地层无漏失, 使用 50.0 bbl of 13.0 ppg "Ultra-Fine" 水泥固井, 候凝 18 小时。

第五次固井失败后, 由于地层多次试压不成功, 甲方改变设计, 决定第六次固井后, 放弃下部层位, 不在地层试压, 直接下完井管柱完井, 第六次固井作业前, 测试地层渗透率为 900PSI 压力下, 5 分钟压力降低 400PSI, 地层无漏失, 使用 30.0 bbl of 13.0 ppg "Ultra-Fine" 水泥固井, 候凝 15 小时。

科威特北部油区的 "Maddud" 地层多为石灰岩, 为高渗透率地层, 通常在 2-3BPM, 一般使用 "LATEX" 水泥固井, 后续再考虑用 "Ultra-fine" 水泥。

科威特南部油区的 "UB MD LB Burgan" 地层多为砂岩和页岩, 为低渗透率地层, 通常在 0.3-1BPM, 可选择 "LFL Latex" 和 "Micro-fine" 更为合理。

"WARA" 地层同 "Maddud" 地层一样多为石灰岩, 为高渗透率地层, 通常在 1-2BPM, 首选 "LFL Latex" 水泥灰。

通常情况下 75% 的可能性在两次固井能成功固井, 一般情况下在尝试 4 次固井失败后, 会考虑其他方式完井, 比如说换层位, 或直接封住水层后开采其他油层, 或者下双封隔器隔离水层。

根据 BG-1027 井固井的统计, 第一次打水水泥塞时由于渗透率较大 (3.5 桶没分钟), 地层孔隙度大, 一般会选用本身分子颗粒较大的 LFL 水泥或者 MFL 的 "LATEX" 乳胶状水泥; 而在渗透率较小甚至没有渗透率, 只有压力降的情况下, 意味着地层孔隙度小, 优先尝试 "Ultra-Fine" 的超细颗粒水泥, 如果 "Ultra-Fine" 依然无法成功堵漏, 则会选用表面活性剂或者 12%HCL-3%HF 的酸对地层, 进行酸洗, 扩大地层孔隙度后, 再根据注入渗透率来选着不同的水泥。

后续固井作业中, 在地层渗透率差别不大的情况下, 只可能微调水泥浆中的细小成分, 来调节泥浆比重, 来尝试封堵地层。比如第四次固井时, 虽然采用的为 12.5 PPG 的水泥浆, 但其主要成分依然与 13.0 PPG 的 "Ultra-Fine" 基本一致。

3 修井作业水泥浆体系的经济效益评价

修井作业水泥浆体系的经济效益评价是一个综合性的过程, 需要考虑多个因素, 如材料成本、施工成本、作业效率、封隔效果以及油气井的生产效益等。

3.1 材料成本

不同的水泥浆体系所使用的原材料价格存在差异。普通硅酸盐水泥是最为常用的水泥品种, 其价格相对较低。粉煤灰、矿渣等掺和料的价格也相对较低, 因此粉煤灰水泥浆体系和矿渣水泥浆体系在材料成本方面具有一定的优势。聚合物水泥浆体系中使用的聚合物材料价格相对较高, 但其用量较少, 因此在一定程度上也可以控制材料成本。

3.2 施工成本

施工成本包括设备租赁费用、人工费用、水电费等。不同的水泥浆体系在施工过程中的工艺要求和施工难度也有所不同, 从而影响施工成本。例如, 聚合物水泥浆体系的施工工艺相对较为复杂, 需要专业的设备和技术人员进行操作, 因此施工成本相对较高。而普通硅酸盐水泥浆体系的施工工艺相对较为简单, 施工成本相对较低。

3.3 作业效率

作业效率是衡量修井作业经济效益的一个重要指标。不同的水泥浆体系在固化时间、流动性等方面存在差异, 从而影响作业效率。例如, 粉煤灰水泥浆体系和矿渣水泥浆体系的固化时间相对较长, 需要较长的候凝时间, 从而影响作业效率。而聚合物水泥浆体系的固化时间相对较短, 可以缩短作业周期, 提高作业效率。

3.4 封隔效果

封隔效果是修井作业的关键目标之一，直接影响到油气井的生产效益。不同的水泥浆体系在封隔性能方面存在差异。普通硅酸盐水泥浆体系具有较高的强度和稳定性，能够提供较好的封隔效果。聚合物水泥浆体系具有较好的柔韧性和粘结强度，能够更好地适应井壁的变化，提高封隔效果。粉煤灰水泥浆体系和矿渣水泥浆体系在封隔性能方面也具有一定的优势，但相对而言不如普通硅酸盐水泥浆体系和聚合物水泥浆体系。

3.5 油气井的生产效益

修井作业的最终目的是保障油气井的正常生产，提高油气井的生产效益。不同的水泥浆体系对油气井的生产效益影响也不同。良好的水泥浆体系能够有效地封隔井眼，减少油气泄漏和地层损害，提高油气井的采收率。例如，聚合物水泥浆体系能够提高水泥浆与井壁的胶结能力，减少油气窜流的风险，从而提高油气井的生产效益。

4 案例分析

4.1 工程概况

该修井作业位于某油田，井深为 3000m，井底温度为 120℃，地层压力为 30MPa。修井作业的主要目的是对井眼进行封隔，恢复油气井的生产能力。

4.2 矿渣水泥浆体系

水泥浆配方：普通硅酸盐水泥 + 矿渣 + 水 + 外加剂

施工方案：将矿渣作为掺和料加入到普通硅酸盐水泥浆中，提高水泥浆的耐久性和抗硫酸盐侵蚀能力。采用注水泥工艺进行施工。

4.3 聚合物水泥浆体系

水泥浆配方：普通硅酸盐水泥 + 聚合物 + 水 + 外加剂

施工方案：在普通硅酸盐水泥浆中加入适量的聚合物材料，提高水泥浆的柔韧性和粘结强度。采用特殊的注水泥工艺进行施工，确保聚合物水泥浆能够均匀地分布在井壁上。

4.4 经济效益分析

4.4.1 材料成本分析

普通硅酸盐水泥浆体系：普通硅酸盐水泥的价格为每吨 500 元，水的价格为每吨 5 元，外加剂的价格为每吨 2000 元。按照水泥浆配方计算，每立方米水泥浆的材料成本为 800 元。

粉煤灰水泥浆体系：普通硅酸盐水泥的价格为每

吨 500 元，粉煤灰的价格为每吨 100 元，水的价格为每吨 5 元，外加剂的价格为每吨 2000 元。按照水泥浆配方计算，每立方米水泥浆的材料成本为 650 元。

矿渣水泥浆体系：普通硅酸盐水泥的价格为每吨 500 元，矿渣的价格为每吨 150 元，水的价格为每吨 5 元，外加剂的价格为每吨 2000 元。按照水泥浆配方计算，每立方米水泥浆的材料成本为 700 元。

聚合物水泥浆体系：普通硅酸盐水泥的价格为每吨 500 元，聚合物的价格为每吨 10000 元，水的价格为每吨 5 元，外加剂的价格为每吨 2000 元。按照水泥浆配方计算，每立方米水泥浆的材料成本为 2500 元。

4.4.2 油气井的生产效益分析

普通硅酸盐水泥浆体系：修井作业完成后，油气井的产量恢复到了原来的 80%，预计每年可增加产量 500t，按照每吨原油价格 5000 元计算，每年可增加收益 250 万元。

粉煤灰水泥浆体系：修井作业完成后，油气井的产量恢复到了原来的 75%，预计每年可增加产量 400t，按照每吨原油价格 5000 元计算，每年可增加收益 200 万元。

矿渣水泥浆体系：修井作业完成后，油气井的产量恢复到了原来的 75%，预计每年可增加产量 400t，按照每吨原油价格 5000 元计算，每年可增加收益 200 万元。

聚合物水泥浆体系：修井作业完成后，油气井的产量恢复到了原来的 90%，预计每年可增加产量 600t，按照每吨原油价格 5000 元计算，每年可增加收益 300 万元。

5 Latex 和 Ultra-Fine 水泥优缺点总结

综上所述，在科威特油田的修井和固井作业中，水泥浆的选择不仅仅是一个技术问题，更是一个经济和效率的综合考量。科威特油田的固井作业是一个复杂的过程，需要综合考虑地层特性、水泥浆的性能、成本控制以及可能的技术创新。在这个过程中，作业团队的经验和判断至关重要，他们需要在不断变化的地质条件和技术挑战中找到最佳的解决方案，以确保油井的安全和高效运行。

参考文献：

- [1] 王新纯. 修井施工工艺技术, 石油工业出版社 [M], 2005, 6.
- [2] 杨育升. 低密度水泥浆体系在莱州湾区块的应用研究 [J]. 中国化工贸易, 2014, 5.