

胶乳水泥固井技术在 LG 地区 X 井的应用^{*}

邹建龙^{1,2} 姚坤全³ 汤少兵² 赵宝辉² 王翀² 魏伟³

1. 天津大学化工学院 2. 中国石油集团海洋工程有限公司固井事业部 3. 中国石油西南油气田公司

邹建龙等. 胶乳水泥固井技术在 LG 地区 X 井的应用. 天然气工业, 2009, 29(10): 69-71.

摘要 LG 地区 X 井是一口开发井, 属于大斜度定向深井, 最大井斜为 64.78° , 完钻井深为 6 990 m。该井 $\varnothing 127.0$ mm 尾管固井具有井底温度高、封固井段长、井斜大、间隙小、油气活跃、易漏失等难点, 对固井水泥浆性能要求高, 固井质量难以保证。针对上述固井难点, 采用耐高温防气窜胶乳并结合新型聚合物缓凝剂, 研发了一套适合高温长封固井段固井的胶乳防气窜水泥浆体系。实验和应用结果表明, 该水泥浆流动性好、浆体稳定、滤失小、稠化时间易调、过渡时间短、顶部水泥强度发展快, 综合性能良好。该套胶乳水泥浆体系结合相应的固井工艺措施, 有效地解决了 LG 地区 X 井 $\varnothing 127.0$ mm 尾管固井过程中易出现的层间互窜、压漏地层、顶替效率差、顶部水泥浆超缓凝等固井难题。

关键词 深井 超深井 定向井 高温 尾管固井 胶乳水泥

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.10.021

0 引言

X 井主要目的层为二叠系长兴组和三叠系飞仙关组。X 井为大斜度开窗侧钻定向井, 第五次开钻用 $\varnothing 149.2$ mm 钻头从 $\varnothing 177.8$ mm 尾管(下深 6 095 m) 5 535.72 m 处开窗侧钻至 6 990 m 完钻。该井井身结构为 $\varnothing 660.4$ mm 钻头 $\times 92$ m ($\varnothing 508.0$ mm 套管 $\times 91.7$ m) + $\varnothing 444.5$ mm 钻头 $\times 790$ m ($\varnothing 339.7$ mm 套管 $\times 788.77$ m) + $\varnothing 311.2$ mm 钻头 $\times 3 566$ m ($\varnothing 244.5$ mm 套管 $\times 3 564.4$ m) + $\varnothing 215.9$ mm 钻头 $\times 6 097$ m ($\varnothing 177.8$ mm 尾管 $\times 3 398 \sim 6 095$ m) + $\varnothing 149.2$ mm 钻头 $\times 6 990$ m ($\varnothing 127.0$ mm 尾管 $\times 4 850 \sim 6 989$ m)。电测资料表明, $\varnothing 127.0$ mm 尾管固井时井底循环温度为 141°C , 静止温度为 156°C 。X 井井底温度高、封固井段长, 环空浆柱水泥石易超缓凝; 井斜大、环空间隙小、套管难以居中, 顶替效率低; 井漏、油气活跃, 固井时易漏、易窜, 固井质量难以保证。针对 X 井 $\varnothing 127.0$ mm 尾管固井技术难题, 开展技术攻关, 研发了一套高温防漏、防气窜胶乳水泥浆体系, 可满足高温深井、超深井固井工程的需求。

1 固井难点及固井方案

1.1 固井难点

1) 套管不易居中, 顶替效率难以保证。该井属于大斜度开窗侧钻定向井, 间隙小, 井斜大(最大井斜为 64.78°), 裸眼段长(1 454.28 m), 裸眼段夹杂着石膏层, 下套管摩阻大, 套管容易发生粘卡和挤毁。套管偏心将造成注替过程中的指进现象, 水泥浆窜槽严重, 严重影响水泥环层间封隔效果。

2) 地层承压能力低, 易漏失。进入长兴组储层后, 由于裂缝及孔隙发育, 用密度为 1.22 g/cm^3 的钻井液钻入产层时发生井漏。为防止固井时发生井漏, 必须采用低密度水泥浆体系固井。

3) 油气显示好, 易窜槽。长兴组油气显示活跃, 要求水泥浆具有良好的防气窜能力。此外, 由于环空间隙小, 井斜大, 套管易贴边, 环空水泥环较薄, 水泥环应具有较好的抗冲击破坏能力。

4) 井眼深, 温度高。常规水泥浆外加剂由于高温稀释作用而导致悬浮能力失效, 难以保证水泥浆的高温稳定性, 这个问题在大斜度井、低密度水泥浆中更为突出。

5) 尾管上下温差大, 易超缓凝。该井封固段长,

^{*} 本文为中国石油天然气集团公司科技项目“天然气气固井水泥环封隔性能研究”(编号: 2008A-2304)的部分研究成果。

作者简介 邹建龙, 1974 年生, 高级工程师, 博士研究生; 1999 年毕业于天津大学材料学专业, 获工学硕士学位, 现从事固井技术研究工作。地址: (300451) 天津市塘沽区津塘公路 40 号。电话: (022) 66315612。E-mail: zjlonger@sina.com

尾管上下静止温差达 54 ℃。由于固井施工时间长,水泥浆中需要加入大量缓凝剂,水泥浆返至环空顶部时很容易导致长期不凝,出现超缓凝现象。

1.2 固井方案

采用 $\varnothing 127.0$ mm 尾管悬挂固井,悬挂器位置为 4 850 m,重合段长为 685.72 m;采用防漏、防窜、增韧低密度+加砂常规密度的两凝胶乳水泥浆体系,4 850~6 400 m 井段采用密度为 1.35 g/cm³ 的高

强低密度缓凝胶乳水泥浆封固,6 400~6 990 m 井段采用密度为 1.88 g/cm³ 的快干加砂胶乳水泥浆封固。稠化时间要求:领浆为 430~460 min,尾浆为 180~210 min。

2 胶乳水泥浆组成及性能

2.1 胶乳水泥浆组成

高温胶乳水泥浆组成^[1-4]见表 1。

表 1 高温胶乳水泥浆组成表

| 材 料 | 主要成分 | 功 能 |
|---------------|------------------|-------------------------|
| 胶乳 BCT-800L | 丁苯胶乳 | 防气窜、防腐蚀、降滤失、增韧 |
| 降失水剂 BXF-200L | AMPS 多元共聚物 | 降滤失、适度分散、有利于直角稠化 |
| 缓凝剂 BCR-230L | AMPS 低聚物 | 调节水泥浆稠化时间、有利于尾管顶部水泥强度发展 |
| 消泡剂 D50、G603 | — | 抑泡、消泡 |
| 硅粉 | SiO ₂ | 防止高温下水泥石强度退化 |
| 增强剂 PZW-A | 超细混合材料 | 提高水泥浆稳定性和水泥石强度、降低水泥石渗透率 |
| 漂珠 | — | 降低水泥浆密度 |

2.2 胶乳水泥浆性能

2.2.1 常规性能

高温胶乳水泥浆分为领浆和尾浆,低密度领浆按紧密堆积原理设计^[5-6],各项实验性能见表 2。

表 2 水泥浆常规性能表

| 类型 | 密度 (g/cm ³) | 温度 (℃) | 上下密度差 (g/cm ³) | <i>n</i> | <i>K</i> (Pa·s ^{<i>n</i>}) | 失水量 (mL) | <i>t</i> (min) |
|----|-------------------------|--------|----------------------------|----------|--------------------------------------|----------|----------------|
| 领浆 | 1.35 | 141 | 0.04 | 0.85 | 0.37 | 46 | 440 |
| 尾浆 | 1.88 | 141 | 0.02 | 0.83 | 0.48 | 48 | 196 |

由表 2 可知,水泥浆浆体稳定,滤失量小,流性指数(*n*)高,稠度系数(*K*)较低,有利于实施提高顶替效率的工艺技术措施。

2.2.2 稠化时间的影响因素

分别考察了缓凝剂加量(占灰重)、密度波动、隔离液及钻井液污染对水泥浆稠化时间的影响,稠化条件均为 141 ℃×100 MPa(见表 3~5)。

从表 3 可知,稠化时间与缓凝剂加量呈较好线性

表 3 缓凝剂加量对领浆稠化时间的影响表

| BCR-230L 加量(%) | <i>t</i> _{10 Be} (min) | <i>t</i> _{100 Be} (min) |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 3.0 | 432 | 440 |
| 3.3 | 477 | 484 |
| 3.6 | 540 | 548 |

表 4 密度波动对水泥浆稠化时间的影响表

| 类型 | 密度 (g/cm ³) | <i>t</i> _{10 Be} (min) | <i>t</i> _{100 Be} (min) |
|----|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 领浆 | 1.35 | 432 | 440 |
| | 1.40 | 359 | 366 |
| 尾浆 | 1.88 | 193 | 196 |
| | 1.93 | 161 | 164 |

表 5 隔离液、钻井液污染对领浆稠化时间的影响表

| 混浆类型 | 体积比 | <i>t</i> _{10 Be} (min) | <i>t</i> _{100 Be} (min) |
|-----------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 领浆、隔离液 | 95 : 5 | 445 | 455 |
| | 70 : 30 | >430 | >430 |
| 领浆、钻井液 | 70 : 30 | 297 | 310 |
| 领浆、隔离液、钻井液 | 70 : 10 : 20 | 310 | 325 |
| 领浆、领浆药水、隔离液、钻井液 | 70 : 5 : 10 : 20 | >430 | >430 |

关系,在稠化时间超长(超过 7 h)情况下缓凝剂量增大 20% 仍能做稠,说明 BCR-230L 缓凝剂作用温和,不敏感,不会出现长期不凝的情况。此外,过渡时间短(均低于 10 min),接近直角稠化,有利于防止气窜的发生。

从表 4 可知,在水泥浆密度波动时,稠化时间随之波动,领浆稠化时间缩短 74 min,尾浆稠化时间缩短 32 min,均在可接受范围,没有出现急剧变短的情况,为现场固井施工提供了安全保证。

固井施工时间加起钻、正循环洗井的时间为 370 min,附加安全时间 60~90 min。从表 5 可知,领浆

与隔离液混合后稠化时间足够长,可保证施工安全;如果领浆与钻井液接触,则稠化时间缩短较多,表明领浆和钻井液应避免直接接触;加入部分隔离液后稠化时间仍偏短,再加入少量领浆药水,则稠化时间超过430 min。所以在固井施工时隔离液的量应足够多,并可考虑在隔离液前后加适量领浆药水。

2.2.3 强度性能

领浆先在稠化仪中按稠化实验条件升温,到141℃后稳定60 min,然后在60 min内将温度降至90℃,从稠化仪中取出,放入超声波强度测试仪中,在102℃(喇叭口温度)下养护观察水泥石强度发展趋势,同时观察静胶凝强度发展。此外,按同样程序将领浆和尾浆在高温高压强度养护仪中养护,养护温度分别为102℃和156℃(井底静止温度),测试24 h和48 h抗压强度,实验结果见表6。

表6 水泥浆强度性能表

| 类型 | 温度(℃) | 24 h 抗压强度(MPa) | 48 h 抗压强度(MPa) |
|----|-------|----------------|----------------|
| 领浆 | 102 | — | 8.0 |
| 尾浆 | 156 | 18.2 | 29.8 |

从表6可以看出:领浆48 h内在喇叭口的强度就已大于3.5 MPa,达到8.0 MPa,具有快速的强度发展性能,尾浆24 h强度也大于14 MPa,可满足工程需求。超声波实时监测领浆强度发展结果表明,32 h时强度开始发展,48 h时强度达到7.0 MPa,静胶凝过渡时间(48~240 Pa)为18 min。

2.2.4 防气窜性能

如何评价水泥浆的防气窜能力是一个争议较多的问题,虽无定论,但普遍认为防气窜水泥最好具备下列条件:水泥浆失水低,控制在50 mL/30 min以下;稠化曲线过渡时间短,控制在10 min以内;静胶凝强度发展快。该胶乳水泥浆在失水控制、稠化过渡时间、静胶凝强度发展等方面均满足这些要求,此外,胶乳水泥体系自身的特点^[1-2]也保证了该水泥浆具有良好的防气窜性能。

从上述实验结果可以看出:设计的高温防漏防窜胶乳水泥浆流动性好、浆体稳定、滤失小、稠化时间与缓凝剂掺量线性关系较好、过渡时间短、抗压强度发展快且高,具有良好的综合性能,可以满足X井 $\varnothing 127.0$ mm尾管固井施工要求。

3 现场应用

2008年9月24日实施固井作业。注入缓凝药水4 m³、密度为1.30 g/cm³隔离液20 m³、密度为1.35 g/cm³缓凝水泥浆13 m³、密度为1.88 g/cm³速凝水泥浆5 m³,泵注排量为0.6~1 m³/min,替浆总量为55.7 m³,碰压正常,环空憋压5 MPa候凝。整个施工过程顺利,没有发生漏失。测井结果:统计井段为4 858~6 935 m,其中水泥胶结优良井段为40.56%,中等井段为50.43%,差井段为9.01%,7个储层均封隔良好。

4 结论

1)针对X井高温、小间隙、大斜度、漏失、多产层等特点,设计了高温防漏防气窜胶乳水泥浆体系,结合相应的固井施工工艺措施,有效地解决了该井 $\varnothing 127.0$ mm尾管固井过程中易出现的层间互窜、压漏地层、顶替效率差、水泥环薄且分布不均匀、顶部水泥浆易超缓凝等固井难题,固井施工顺利安全,固井质量合格。

2)高温胶乳水泥技术在四川油气田深层大斜度小间隙尾管固井中的成功应用,将有力地促进四川油气田深层天然气的勘探开发步伐,同时该井的成功经验可为以后的高温深井、超深井固井提供良好的范例。

参 考 文 献

- [1] 靳建洲,孙富全,侯薇,等.胶乳水泥浆体系研究及应用[J].钻井液与完井液,2006,23(2):37-39,46.
- [2] 中国石油天然气集团公司钻井承包商协会.钻井承包商协会论文集[C].北京:石油工业出版社,2007.
- [3] 邹建龙,屈建省,吕光明,等.新型固井降失水剂BXF-200L的研制与应用[J].钻井液与完井液,2005,22(2):20-23.
- [4] 邹建龙,朱海金,谭文礼,等.新型抗盐水泥浆体系的研究及应用[J].天然气工业,2006,26(1):56-59.
- [5] 黄柏宗.紧密堆积理论优化的固井材料和工艺体系[J].钻井液与完井液,2001,18(6):1-9.
- [6] 黄柏宗.紧密堆积理论的微观机理及模型设计[J].石油钻探技术,2007,35(1):5-12.

(收稿日期 2009-03-07 编辑 钟水清)