

LG 地区超深井固井工艺技术^{*}

刘世彬 宋艳 李兵 徐峰

川庆钻探工程公司井下作业公司

刘世彬等.LG 地区超深井固井工艺技术.天然气工业,2009,29(10):65-68.

摘 要 LG 地区气井的井筒条件复杂,大尺寸套管固井、多套压力体系的长封固段固井、高压气层的油层套管固井难度极大。为解决以上难题,通过优化固井施工程序,进而从水泥浆的体系、套管的安全下入、附件的优选与应用、现场施工技术措施等方面进行了研究,摸索出 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 技术套管采用插入法或双胶塞法固井; $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 单级长封固段固井,用合理的浆柱、两凝防漏早强水泥浆达到了封隔地层、防止气窜的目的; $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 尾管固井,其须家河组气层显示相当活跃,采用两凝或三凝的抗硫、早强、直角稠化、防气窜、防漏失的双密度水泥浆体系保证了油气层的封固质量; $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 尾管段含高压气层,采用抗高温早强、复合多功能纤维的加砂抗硫水泥浆成功地实现了高压气层的封隔; $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管回接固井,采用低失水、早强、微膨胀的水泥浆保证了回接固井质量。

关键词 深井 双胶塞法固井 插入法固井 套管 尾管 注水泥 微膨胀水泥浆

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.10.020

LG 地区固井中存在 3 大技术难题制约气田的开发:长裸眼段固井、高压气井小间隙固井、回接固井。笔者在认真总结 LG 地区已固井的基础上,分析了目前该地区的固井难点,通过优化固井施工程序,进而从水泥浆的体系、套管的安全下入、附件的优选与应用、现场施工技术措施等方面进行了研究,并提出了保证 LG 地区固井质量的技术措施。现场实践取得了显著效果,基本上解决了以上难题,形成了系统、成熟的 LG 地区固井技术。

1 LG 地区固井难点

1.1 长裸眼长封固段固井

LG 地区深井地质条件相对较复杂,为确保钻至设计井深,对井身结构进行了简化,多采用长裸眼钻井工艺技术。长裸眼单级固井存在的问题是:混浆严重、施工压力高,不利于安全施工,易憋漏、憋破地层;温差大,同体系水泥浆所处的候凝环境差异大,水泥浆设计困难。如 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 套管下深 3 000~4 000 m,多套压力体系并存,超过 1/3 的井在固井中发生了漏失,致使水泥浆低返,只能采用正注反打水水泥浆进行补救,保证不了固井质量。 $\varnothing 177.8\text{ mm}$

套管悬挂固井,封固段为 3 000 m,上下温差为 50~70℃,水泥浆从高温段到低温段,易在喇叭口形成超缓凝、窜槽,固井上塞下沉。

1.2 高压气井小间隙固井

LG 地区飞仙关组、长兴组气层埋藏超过 6 000 m,压力为 70 MPa,气层的物性较好,渗透率较高,气窜危险。 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管环空间隙为 19.0 mm,封固段长 2 000~3 000 m, $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 套管环空间隙为 11.0 mm,封固段长约 1 000 m。井深、封固段长、间隙小、循环摩阻大、施工泵压高、水泥浆与井壁接触时间短、顶替效率差、混浆严重、水泥环薄、强度低、不能满足水泥浆有效填充尺寸要求。固井施工既要防止漏失又要确保压稳油气水层,防漏、防气窜难度大。由于该气田产出气中含有 H_2S ,如果发生气窜,腐蚀套管,埋下事故隐患。

1.3 长回接固井

$\varnothing 177.8\text{ mm}$ 、 $\varnothing 127.0\text{ mm}$ 尾管固井后,若喇叭口窜气,则 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 回接固井难度大,插入工具不密封、环空微间隙都可能导致窜气。加之,回接固井是套管里固套管,水泥浆的失水没地方去,影响胶结质量。

^{*} 本文为中国石油天然气集团公司科技攻关项目(编号:07G2030206)“LG 地区安全快速钻井现场试验”的研究成果。
作者简介 刘世彬,1973 年生,工程师;1997 年毕业于原西安石油学院;现从事固井科研和现场服务工作。地址:(610051)四川省成都市二环路北四段瑞丰巷 6 号。电话:13880783272。E-mail:lsbw@wlnx@163.com

2 固井工艺技术

2.1 长封固段固井工艺技术

1) $\varnothing 339.7$ mm 套管固井技术。① $\varnothing 339.7$ mm 套管采用插入法或双胶塞法固井工艺,防止套管内窜槽,解决顶替量过大、替量记录难、顶替时间长等问题;②消除钻井液性能对固井质量的影响,在套管下完后稀释钻井液并充分循环,固井前再注入部分稀释钻井液,并注入大量的前置液,清洗井壁、冲刷厚滤饼,提高顶替效率^[1-5];③提高水泥浆的固相含量,降低水灰比,降低水泥石的渗透率;并采用两凝水泥浆,在保证施工安全的前提下,缩短尾浆的稠化时间,延长领浆的稠化时间,压稳地层流体;④大排量注水泥浆和顶替,避免顶替排量低,顶替效率低,固井质量差;同时设计井口返出 15 m^3 水泥浆,提高水泥浆与井壁的接触时间。

2) $\varnothing 339.7$ mm 套管空井固井技术。①空气钻井,岩屑不易清除干净,井底易沉砂,且空气钻井完下套管,浅层较疏松、井壁不稳定、易垮塌,大尺寸套管不易下到位。因此,必须做好固井并眼准备工作。②注水泥浆过程“U”型管效应严重,为减小对井壁的冲刷时间,宜采用插入固井。③采用领浆+尾浆的方式,直接泵注水泥浆。④进行全掏空状态下的套管抗挤强度校核计算、浅井条件下套管上浮的校核计算、防止替空的静液压力平衡校核计算、回压凡尔的反向承压校核计算等,确保施工安全。⑤增加水泥浆量,设计多返水泥浆 15 m^3 ,增加水泥浆接触时间,确保固井质量;⑥因无法判断漏层,为确保水泥浆全井封固,准备反打水泥浆预案。

3) $\varnothing 244.5$ mm 套管固井技术。①下完套管前,做承压试验,保证固井时不漏失,为大排量注替提供保证。②上部采用气体钻井,井径扩大率大,采用刚性扶正器,其外径大于 $\varnothing 295.0$ mm,安放位置依据电测情况调整,提高套管居中度。③水泥浆量按电测裸眼井径 $5\% \sim 10\%$ 附加,设计返出 15 m^3 水泥浆,增加水泥浆接触时间。④钻井液性能满足固井要求,适当降低黏度和切力。施工隔离液量不少于 30 m^3 ,密度略高于钻井液密度,黏度为 $40 \sim 50\text{ s}$ 、切力为 $1 \sim 2/3 \sim 5$;冲洗液量在保证并眼安全稳定的前提下控制在 $8 \sim 12\text{ m}^3$ 。⑤在水泥浆中加入合理颗粒级配的活性超细胶凝材料和适量纤维,保证水泥浆具有防漏治漏的能力。⑥采用双胶塞固井技术,减少混浆现象,提高封固段水泥浆浆体纯度。⑦利用软件优化注水泥设计,确定合理的注替排量、压力。

在井下不漏失的条件下,固井注水泥浆排量不低于 33 L/s ,替浆排量为 $40 \sim 50\text{ L/s}$,并根据现场情况作相应的调整。⑧憋压候凝采用从井口反挤水泥浆方式。⑨设计中应包含反注水泥浆的施工预案。 $\varnothing 244.5$ mm 套管固井发生漏失需根据下套管、循环、施工情况,确定漏层位置,调整技术措施。LG1井,钻井液密度低,漏层不明确,采用正注反灌,固井质量差;LG9井,钻井液中气窜严重,钻井液密度高,没发生井漏,但在下套管过程中发生井漏失返,环空并眼条件和钻井液性能差,采用正注反打,固井质量差;LG11井,套管下到位正常循环,在水泥浆出套管鞋时,发生井漏,漏层位置明确,采用正注反打固井工艺,固井质量得到保证;LG10井,在套管快下完时发生井漏,漏层位置不明确,采用正反注水泥工艺,固井质量一般。

2.2 高压气井小间隙固井工艺技术

1) $\varnothing 177.8$ mm 尾管固井工艺技术。①井深,含硫化氢,固井套管和附件要具有一定的抗硫能力,套管丝扣具有气密性能。②做承压试验提高并眼承压能力,保证固井不漏失,为大排量注替和憋压候凝提供保证。③采用两凝、三凝多密度水泥浆,要求水泥浆沉降稳定性好、抗硫、早强、直角稠化、防气窜、防漏失、防超缓凝。两凝界面要根据地层压力系数、油顶和温度综合考虑。④套管扶正器选用刚性扶正器,重合段外径为 210 mm ,裸眼段外径为 205 mm 或 $\varnothing 210.0\text{ mm}$,安放位置由电测井径、井斜、方位角确定。⑤水泥浆量按电测裸眼井径 20% 附加,设计返出 10 m^3 水泥浆,增加水泥浆接触时间。⑥注水泥浆之前注入抗污染隔离钻井液 20 m^3 ,其密度不低于钻井液,黏度为 $40 \sim 50\text{ s}$ 、切力为 $1 \sim 2/3 \sim 5$ 、低黏切和 $6 \sim 8\text{ m}$ 冲洗液。⑦在井下不漏失的条件下,固井注水泥浆排量不低于 18 L/s ,替浆排量不低于 25 L/s ,并根据现场情况作相应调整。

2) $\varnothing 127.0$ mm 尾管固井工艺技术。①产层高含硫,固井套管和附件要具有一定的抗硫能力,套管丝扣具有气密性能。喇叭口上 50 m 安装 2 根 $\varnothing 177.8$ mm 耐蚀合金套管, $\varnothing 127.0$ mm 套管采用耐蚀合金套管。②要求水泥浆能抗高温、早强、直角稠化,水泥浆中加入石英砂强度稳定剂和复合多功能纤维且要具有抗硫能力,避免水泥浆在喇叭口发生超缓凝。③油气层多且活跃,易发生窜气,水泥浆须能防气窜,采取两凝不渗透水泥浆,在水泥浆瞬时失水后形成薄膜,阻止水泥浆进一步失水。④选用刚性扶正器,重合段外径为 148 mm ,裸眼段外径为

146 mm 或 $\varnothing 148.0$ mm,安放位置由计算机软件计算,保证套管居中度。⑤水泥浆量按电测裸眼井径20%附加,设计返出 6 m^3 水泥浆,增加有效接触时间。⑥防漏措施。水泥浆设计在保证返高的前提下,应降低液柱压力。尾浆在保证施工安全的前提下,尽量缩短水泥浆的稠化时间,减少漏失时间。⑦注水泥浆之前注入 20 m^3 密度不低于钻井液的低黏切、抗污染隔离钻井液和 $4\sim 6\text{ m}^3$ 冲洗液。⑧作地层承压试验来提高井眼承压能力,在井下不漏失的条件下,固井注水泥浆排量为 $10\sim 15\text{ L/s}$,替浆排量不低于 $5\sim 20\text{ L/s}$,并根据现场情况作相应调整;同时采用憋压候凝。

2.3 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管长回接固井工艺技术

1)采用双胶塞固井技术,减少混浆,提高固井质量。

2)采用常规密度水泥浆,外加剂考虑低失水、早强、微膨胀、多功能纤维。

3)采用两凝水泥浆,并设计缓凝水泥浆量,井口返出量大于 10 m^3 ,增加有效接触时间。

4)注入低黏切、抗污染隔离钻井液 20 m^3 和 20 m^3 清水大排量冲刷井壁,提高胶结质量。

5)固井注水泥浆排量不小于 18 L/s ,替浆排量不低于 30 L/s ,并根据现场情况作相应的调整。

3 水泥浆体系的研究与优选

3.1 长封固段水泥浆体系

长封固段单级固井设计的关键是浆柱结构和水泥浆设计。利用低密度水泥浆降低环空液柱压力,正确选择水泥浆的试验条件,严格控制水泥浆性能,同时排除温差效应对水泥石强度的影响,防止超缓凝发生。 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 套管固井采用原浆或促凝水泥浆,提高水泥石早期强度。 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 、 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管固井地层压力系数纵横变化大(低值为1.27,高值为1.90),可根据每一口井的实钻情况,确定浆柱结构和水泥浆体系。若单一的水泥浆体系难以满足封固要求,则采用常规、低密度相结合的水泥浆柱。同时,采用两凝、三凝结构,严格控制水泥浆性能,使水泥浆具有一定的防漏、治漏、防窜能力。

1)速凝水泥浆配方。 $\text{SDP-1}\times 2.0\% + \text{SD18}\times 0.7\% + \text{SD35}\times 0.4\% + \text{CaCl}_2\times 1.0\% + \text{SD52}\times 0.2\%$ 。加入降失水剂SD18、膨胀剂SDP-1和速凝剂 CaCl_2 ,满足 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 套管固井的需要。

2)低密度早强水泥浆体系配方。漂珠低密度水泥 $\text{SD66}\times 1.5\% + \text{SD35}\times 0.6\% + \text{SDP-1}\times 3.0\% +$

$\text{SD18}\times 1.2\% + \text{D21}\times 0.07\% + \text{CXB6-1}\times 1.3\%$ 。微硅低密度水泥 $\text{SDP-1}\times 3\% + \text{SD18}\times 1.2\% + \text{CXB6-1}\times 2\% + \text{SD52}\times 0.3\% + \text{SD21}\times 0.235\%$ 。利用颗粒级配原理合理设计减轻剂的比例和加量关系,调整水泥浆密度,满足现场施工的需要。该水泥浆体系具备强度高、防窜性能好,特别强化了水泥浆防漏治漏功能。

3)常规水泥浆体系配方。 $\text{SD18}\times 1.1\% + \text{SDP-1}\times 2\% + \text{SD66}\times 1.5\% + \text{SD21}\times 0.06\% + \text{SD52}\times 0.2\% + \text{SXY-2}\times 0.5\% + \text{CXB6-1}\times 0.7\%$ 。优化水泥浆性能,加入早强剂CXB6-1、纤维SD66、膨胀剂SDP-1,改善水泥石内部结构,堵塞颗粒空隙,加速水泥浆水化反应,提高了水泥石防腐、防气窜能力,减小了水泥石的强度衰退,现场运用效果明显。

3.2 防气窜水泥浆体系

防气窜水泥浆体系的主要出发点就是利用紧密堆积理论,减小水泥石的渗透率,克服水泥石易收缩的基本物理特性,同时要求水泥石要有很好的韧性和强度。防气窜水泥浆体系的基本配方:

1)玻璃微珠低密度水泥浆。 $\text{SDP-1}\times 2.0\% + \text{SD18}\times 1.1\% + \text{SD21}\times 0.85\% + \text{SD66}\times 1.5\% + \text{SXY-2}\times 0.5\% + \text{SD52}\times 0.2\%$ 。运用于深井低密度固井中,加入石英砂,防止强度衰退;采用玻璃微珠(120 MPa)或国产漂珠(80~120目)作为减轻剂,通过减轻剂,与水泥、超细水泥等合理匹配,配制出不同密度的低密度的水泥浆。

2)常规密度水泥浆。 $\text{SDP-1}\times 2.0\% + \text{SD18}\times 1.2\% + \text{SD21}\times 0.25\% + \text{SD66}\times 1.5\% + \text{SXY-2}\times 0.4\% + \text{SD52}\times 0.2\% + \text{SD15}\times 0.3\%$ 。

以上两种水泥浆中均加入降失水剂SD18,利用其成膜性,在水泥环和地层之间形成一层不渗透膜,有效地制止气体侵入水泥浆,同时加入纤维、膨胀剂,提高了水泥石的弹性,防止了水泥石收缩产生裂纹,实现防气窜的功能。

3.3 优质高效前置液

为提高水泥与井壁的胶接强度需设计对井壁清洗效果好的前置液,最大限度地清除井壁上的滤饼。通过LG2、LG3井的现场运用前置液($20\sim 30\text{ m}^3$)的情况说明,能显著地提高固井质量。其中LG3井 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管悬挂固井更是取得了优质率为95.96%的质量。通过对LG地区固井技术的攻关,运用旋转尾管、预应力固井、胶乳体系水泥浆、高抗污染隔离($\varnothing 127.0\text{ mm}$ 套管悬挂)等新固井技术显著提高了该区固井质量。目前,LG地区的固井质量

中好为 45.05%、中为 39.10%、差为15.85% ,明显好于川渝气区内其他区块井的固井质量。

4 结论与建议

1)解决大尺寸套管固井窜槽的主要措施是插入式和双胶塞固井,固井井眼的准备,加扶正器使套管居中,充分循环,使用大量的前置液或稀释钻井液,大排量注水泥和顶替是提高固井质量的前提。套管附件质量是保证固井质量的关键,引入新型固井工具(如带管外封隔器的悬挂器)来防漏、防窜,在重点井、复杂井显得尤为重要。水泥浆加入适量纤维、膨胀剂,利用颗粒级配、紧密堆积原理,保证水泥浆具有防气窜、防漏治漏能力是提高固井质量的有效措施。

2)合理的浆柱结构,不同的水泥浆体系能较好地解决高渗透油气田长封固段的封固问题。

3)避免某井 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管悬挂固井超缓凝现象的发生,须深入开展长封固段、大温差水泥浆体

系的研究分析,积极与科研院所合作,调研国内外添加剂,并取样进行单剂检验、体系评价等来解决目前所遇到的生产技术难题。

参 考 文 献

[1] 刘崇建.油气井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001.

[2] 刘崇建,刘孝良,刘乃霞,等.提高小井眼水泥浆顶替效率的研究[J].天然气工业,2003,23(2):46-49.

[3] 吴应凯,石晓兵,陈平,等.低压易漏地层防漏堵漏机理探讨及现场应用[J].天然气工业,2004,24(3):81-83.

[4] 杨震,邓少贵,范宜仁,等.非正交坐标系下斜井泥浆侵入数值模拟[J].西南石油大学学报,2007,29(6):97-100.

[5] 何世明,何平,尹成,等.井下循环温度模型及其敏感性分析[J].西南石油学院学报,2002,24(1):57-60.

(修改回稿日期 2009-07-01 编辑 钟水清)