

北部湾盆地徐闻 X3 井抗高温承压堵漏技术

李胜¹ 田璐¹ 薛玉志¹ 刘贵传¹ 睢文云²

1. 中国石化石油工程技术研究院 2. 中国石化江苏油田分公司石油工程技术研究院

李胜等. 北部湾盆地徐闻 X3 井抗高温承压堵漏技术. 天然气工业, 2011, 31(10): 73-77.

摘要 徐闻 X3 井是中石化在北部湾盆地部署的一口重点预探定向井, 该井渐新统涠洲组下部地层裂缝孔隙较为发育、地层承压能力低、钻井液漏失严重且井下温度高达 180 ℃, 导致部分堵漏材料高温后失效, 采用常规桥接堵漏和水泥浆堵漏效果不理想, 需研发出抗高温承压堵漏技术。为此, 通过实验室试验优选出抗高温架桥材料高强支撑剂 GQJ、抗高温纤维材料 SW, 以 SAN-2 工程分布理论为指导, 加入不同粒径的 CaCO_3 和云母作为片状填充材料, 并配合高失水剂 HH-1 及无机盐 CaO , 形成了抗高温承压堵漏配方, 室内模拟 0.5~4 mm 裂缝宽度承压能力高于 12 MPa。现场采用分段逐级堵漏法注入配制好的堵漏浆进行承压堵漏作业, 在地层复杂情况下将地层承压能力提升至 4.5 MPa, 徐闻 X3 井第三次开钻固井期间再未发生漏失。实践证明, 所研发的抗高温承压堵漏技术能够满足该井的固井施工要求, 取得了较好的应用效果。

关键词 北部湾盆地 渐新世 徐闻 X3 井 高温 承压堵漏 桥接堵漏 水泥堵漏 纤维 配方

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2011.10.017

徐闻 X3 井是中石化在北部湾盆地部署的一口重点预探定向井, 该井位于广东省徐闻县迈陈镇提姑村, 构造位置属北部湾盆地迈陈凹陷迈 10 块, 目的层为始新统流沙港组 ($E_2 l$)、渐新统涠洲组 ($E_3 w$), 均为砂泥岩地层, 储层以砂岩为主。该井属三开井身结构, 设计垂深 5 100 m, 斜深 5 664.16 m, 井斜 34.14 °, 水平位移 1 893.92 m; 第三次开钻预计井底温度为 187 °C, 该井钻至涠洲组三段下部井段 (4 684~4 881 m) 岩性以棕色含砾中砂岩为主夹薄层棕色泥岩, 钻井液漏失严重、承压堵漏难度大。

1 现场堵漏情况

1.1 桥接堵漏

徐闻 X3 井钻至涠洲组三段井深 4 737.75 m 时, 泵压由 13 MPa 下降至 7 MPa, 钻压从 14 t 降至 0 t, 井口泥浆失返, 所用钻井液密度为 1.29 g/cm³, 立即起钻至套管内并低泵冲连续灌浆, 最大漏速达 70 m³/h。现场配制 30 m³ 堵漏浆 [8% 土浆 + 6.7% KD-68 + 3% PE + 5% FST-1 + 6.7% CaCO_3], 泵入后替浆 43

m³, 观察液面无明显下降迹象, 后液面下降且井口观察不到, 继续井口灌浆, 后补充密度为 1.11 g/cm³ 左右的泥浆及清水建立循环, 并用 12 m³ 抗温泥浆封闭井底, 本次失返性漏失累计漏失泥浆量在 330 m³ 左右。

失返性漏失后为验证产能进行了中途试油作业, 钻电测口袋 (4 737.75~4 800 m) 共漏失泥浆 475 m³ 左右, 其间进行了 3 次桥接堵漏作业。

1) 第一次桥接堵漏: 将 20 m³ 堵漏浆 [5% 土浆 + 7% KD-68 + 3% PE + 5% FST-1 + 2% 单封 + 5% CaCO_3] 替至井底, 起钻至套管鞋内, 关封井器, 排量 2 min/冲, 从环空逐步憋压至 8.0 MPa, 稳压 7.4 MPa, 稳压时间为 1 h, 累计泵入泥浆 6.2 m³, 堵漏后循环泥浆漏速由堵漏前的 11 m³/h 降至 9.74 m³/h, 堵漏后钻进漏速为 14.32 m³/h, 钻进 4 737.75~4 751 m 井段漏失及消耗泥浆 128 m³ 左右, 考虑到沉砂对漏层具有掩盖性及堵漏材料粒度级配, 第二次桥接堵漏调整了堵漏配方。

2) 第二次桥接堵漏: 将 20 m³ 堵漏浆 [井浆 +

作者简介: 李胜, 1984 年生, 工程师, 硕士; 2009 年毕业于中国石油大学 (北京) 油气井工程专业并获得硕士学位; 主要从事油气层保护及钻井液工艺等方面的研究工作。地址: (100101) 北京市朝阳区北辰东路 8 号北辰时代大厦 518 室。电话: (010) 84988198。E-mail: lisheng.sripe@sinopetec.cn

1.2% 核桃壳(40~80 目)+1.2% 核桃壳(3~5 目)+1.25% 云母片(60 目)+1.25% 云母片(80 目)+2.5% 单封+2.5% FST-1+2.5% KD-68+2.5% PE]替入井底,起钻至套管鞋内,关封井器,环空逐步憋压至 9 MPa,最后稳压至 8.6 MPa,稳压 2 h 不降,累计泵入泥浆 5 m³,堵漏后循环泥浆漏速由堵漏前的 25.6 m³/h 降至 6.2 m³/h,堵漏后钻进漏速为 12.2 m³/h,钻进 4 751~4 800 m 井段漏失及消耗泥浆 217 m³ 左右,考虑到粒度级配及堵漏将挤入量,第三次桥接堵漏调整了堵漏配方。

3)第三次桥接堵漏:将 20 m³ 堵漏浆[井浆+1.2% 核桃壳(40~80 目)+1.25% 云母片(80 目)+5% FST-1+2.5% PE+5% CaCO₃]替入井底,钻具起至套管鞋内,关封井器,环空逐步憋压至 5 MPa 后,稳不住压,累计泵入泥浆 22 m³,堵漏后循环泥浆漏速由堵漏前的 9.4 m³/h 降至 3.6 m³/h。

上述 3 次堵漏前后漏速统计结果如图 1 所示,由图 1 可知每次桥接堵漏之后循环时漏速降低,钻进后漏速增高,说明新钻地层裂缝、孔隙较为发育,也存在一定程度的漏失,3 次桥接堵漏之后,正常钻进时漏速由 11 m³/h 降至 3.4 m³/h,说明桥接堵漏起到了一定的效果。

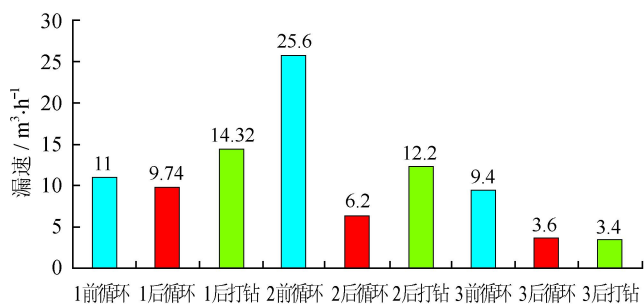


图 1 徐闻 X3 井 3 次桥接堵漏前后漏速分析图

钻至井深 4 800 m 后进行通井及电测作业,正常电测时漏速为 1 m³/h 左右,期间通井两次,循环时漏速介于 4.6~11.3 m³/h 不等,累计损失泥浆 185 m³ 左右。电测结束后,下钻循环泥浆及气测循环中均发生漏失,钻进井段 4 800~4 881 m 共漏损失泥浆 174.2 m³。

1.2 水泥浆堵漏

为有效封堵井深 4 737.75 m 失返性漏层,进行了水泥浆堵漏作业。下钻至井深 4 747 m 循环泥浆后注水泥(1 m³ 清水+1 m³ 缓凝液+10 m³ 水泥浆+0.5 m³ 清水),水泥浆最大、最小密度分别为 1.96 g/cm³、1.62 g/cm³,平均密度为 1.79 g/cm³,替浆 45.25 m³

(钻具组合内容积为 47.38 m³,考虑井径扩大率后,理论水泥塞面介于 4 583~4 747 m),起钻至井深 4 435 m 后循环泥浆,后关井憋压,最高达 7 MPa,最终稳压 4 MPa,挤入水泥 5.5 m³。扫塞下钻至井深 4 412 m 进行了第一次承压试验,立管挤泥浆,套管压力为 8.5 MPa,7 min 后降至 8.0 MPa,累计挤入泥浆 4.4 m³,卸压后返出 1.7 m³。继续下钻至 4 650 m 有遇阻现象(摩擦阻力 5~6 t),初步判断水泥塞段位介于 4 650~4 747 m,容积为 6 m³ 左右。扫塞至 4 680 m 进行了第二次承压试验,钻头位置为井深 4 666 m,套管挤泥浆,套压为 6.8 MPa,3 min 降至 6.3 MPa,挤入泥浆 2.4 m³。继续扫塞至 4 740 m 进行第三次承压试验,立管挤泥浆,套管压力为 6.8 MPa,7 min 后降至 6.3 MPa。

由于水泥浆堵漏效果未达到预计要求,后采用两段不同浓度、不同粒径配比的堵漏浆连续注入井内进行承压堵漏。细颗粒为主的堵漏浆在下、中细颗粒为主的堵漏浆在上。具体作业为:将钻具下至 4 738 m,连续泵入 10 m³ 中细颗粒为主的堵漏浆[4% 土浆+2% 核桃壳(20~40 目)+2% 核桃壳(40~80 目)+1% 云母(20 目)+1% 云母(60 目)+2% KD-68+2% 单封+2% PE+2% FST-1+2% HQ-10+2% CaCO₃]和 18 m³ 细颗粒为主的堵漏浆[4% 土浆+2% 核桃壳(40~80 目)+1% 云母(20 目)+2% 云母(60 目)+2% 单封+3% PE+3% FST-1+2% HQ-10+5% CaCO₃+1% 膨润土],并替浆 44 m³ (钻具内容积为 46 m³),钻具内保留 2 m³ (井深 4 313~4 740 m),可确保细颗粒为主的堵漏浆封住 4 470~4 740 m 裸眼井段,中细颗粒为主的堵漏材料在套管内。后起钻至套管内进行承压试验,套管压力由 6 MPa 逐渐增至 14 MPa,10 min 降至 7.5 MPa,后释放压力,期间累计泵入泥浆 14 m³,卸压后返吐 5.2 m³。静止堵漏 3 h 后继续承压堵漏,10 冲/min 的排量向环空中挤泥浆,挤入 14 m³ 泥浆,套压由 6 MPa 增至 8.3 MPa,停泵后,套压 1 min 内降至 7 MPa,35 min 降至 4.0 MPa,后释放压力继续扫塞,水泥塞扫至 4 770 m,4 770~4 783 m 为混浆带,说明水泥浆堵漏形成的水泥塞段为 4 650~4 770 m,循环时漏速由 1.27 m³/h 增至 2.93 m³/h。

2 堵漏难点分析

徐闻 X3 井涠洲组三段(4 737.75~4 881 m)井段漏失严重,从取心岩样上可以看出该层位灰色细砂岩及灰色含砾细砂岩微裂缝较为发育,裂缝方向以高角度—垂直方向为主,缝宽小于 2 mm,缝长以 5~20 cm

为主;且该地层地层孔隙压力低,依据试油数据,井深 4 404.19 m,垂深 4 047 m,地层温度为156 ℃,地层压力位 38.8 MPa,可计算出地层压力梯度系数为 0.95 MPa/100 m。井深 4 737.75 m 发生失返性漏失时钻井液密度为 1.29 g/cm³,压差较大,导致裂缝张开。通过对该井段桥接堵漏及水泥浆堵漏分析,认为该井段堵漏技术存在以下难点。

1)裂缝孔隙较为发育且漏层多、漏层复杂,以至于难以把握堵漏材料的粒径级配。前两次桥接堵漏,虽然分别承压至 7.4 MPa 和 8.6 MPa,但循环时依然存在漏失,认为第一次桥堵时沉砂将漏层掩盖,故第二次桥接堵漏时先循环井底然后泵入堵漏浆,堵漏后仍漏失,认为粒径级配不合理,堵漏材料在漏层外堆积、存在“封口”现象,故第三次承压时以细颗粒堵漏材料为主,结果全部漏失,承不住压。

2)地温梯度高,依据井深 5 974 m 电测温度达 211 ℃,地温梯度达3.6 ℃/100 m。计算井深 4 881 m 时井底温度高于180 ℃,以核桃壳为主的架桥材料在高温后,出现碳化现象,表面为黑色,有糊臭味,指甲壳可抠动,强度降低,有大颗粒变成小颗粒——由此反映本身堵好的堵塞层也容易再次发生漏失^[1]。

3)堵漏材料单一,现场储备的堵漏材料有核桃壳、云母、单封、棉子壳、碳酸钙、PE 等,单封、棉子壳、核桃壳等高温后部分失效,PE 中纤维有效含量较低,不能起到拉筋作用,难以形成网状结构,堵漏浆抗反吐能力差。水泥浆堵漏时水泥浆中没有加纤维材料,水泥浆滞留能力有限,不能完全形成有效封堵层。

4)堵漏工艺需完善,承压堵漏时承压时间短,并没有采用间歇关挤方式进行承压堵漏^[2],承压值不高时,并没有连续承压,直接开井卸压,且挤入漏层的堵漏浆有限,不能达到承压堵漏效果。

3 抗高温堵漏技术研发

涠洲组下部的流沙港组含有大段微裂隙发育的硬脆性黑色泥岩,地层压力系数较大,井壁稳定难度大,在同一裸眼段中存在多套复杂地层,井壁稳定、井控压井与防漏堵漏矛盾突出^[3]。为避免提前下套管封隔漏层,调整井身结构及钻具组合,针对该区的这一技术难题,需优选抗高温堵漏材料,形成抗高温桥堵配方,而对于抗180 ℃高温的堵漏配方则研究较少^[4-8]。

3.1 单剂优选实验

根据桥接堵漏封堵裂缝的要求,对以往钻井施工中常用的惰性堵漏材料,以及新选的长石、高强支撑剂Ⅱ型、高强支撑剂Ⅲ型、等进行了抗温、抗压等实验,结果见表 1。

从表 1 可以看出,石英、长石、核桃壳、高强支撑剂Ⅱ型、高强支撑剂Ⅲ型、陶粒等均具有较强的抗压强度和抗温性,是理想的惰性堵漏材料。但石英莫氏硬度高,对泵配件、钻具和循环系统损害较大。核桃壳在空气中的抗压强度虽然也可以达到 14 MPa 以上,但在水或泥浆中浸泡 24 h 以后,其强度仅在 6 MPa 左右,对于有较高承压要求的桥接堵漏,效果不太理想。云母虽然也有较高的抗压强度和抗温性,但因其形状多为片状特性,难以加工成 2 mm 以上的粗颗粒材料,作为填充材料比较理想,但作为架桥材料则容易出现桥接不稳的现象。陶粒虽然抗压能力、抗温能力高,但其密度太高,不容易悬浮,容易在堵漏浆中沉降,不易携带至漏层,因此也不宜作为桥接堵漏材料。

纤维材料主要有天然纤维、化学纤维。植物纤维是由植物的种子、果实、茎、叶等处得到的纤维,是天然纤维素纤维。矿物纤维是从纤维状结构的矿物岩石中

表 1 部分堵漏材料性能表

材料名称	密度 /g · cm ⁻³	熔点 /℃	莫氏硬度	抗压能力 /MPa		
				常温下	150 ℃热滚后	180 ℃热滚后
核桃壳	1.20~1.40	>148	3.0	14.0	6.0	2.0
云母	2.70~2.80	>148	3.0	17.6	17.6	17.6
蛭石	2.40~2.70	>148	1.0~1.5	5.6	5.6	5.6
石英	2.65	>148	7.0	24.0~28.0	24.0~28.0	24.0~28.0
长石	2.00~2.50	>200	5.0~6.0	22.0~25.0	22.0~25.0	22.0~25.0
石灰石	2.40~2.65	>200	3.0~5.0	18.0~22.0	18.0~22.0	18.0~22.0
高强支撑剂Ⅱ	1.30	>160	2.0~3.0	25.0	24.1	20.0
高强支撑剂Ⅲ	0.93	>180	2.0~2.5	25.0	23.5	20.0
陶粒	3.35	>200	—	52.0	52.0	52.0

获得的纤维,主要组成物质为各种氧化物,如二氧化硅、氧化铝、氧化镁等,其主要来源为各类石棉,如温石棉、青石棉等。化学纤维是经过化学处理加工而制成的纤维。可分为人造纤维和合成纤维两类。通过高温老化实验发现,大部分纤维材料抗温能力不够180℃,高碳纤维经180℃下热滚后,已产生高温熔化。SW-1、SW-II纤维材料虽也发黄、有烟味,但韧性无明显变化,故选用其,以期在封堵层中形成“拉筋”,加强封堵层的强度^[9-10]。

3.2 室内配方优选

通过材料优选确定以 GQJ-II型、GQJ-III型为主要架桥材料,SW-I、SW-II为纤维材料,不同粒径的 CaCO₃ 和云母作为片状填充材料,并配合高失水剂 HH-1 及无机盐 CaO,根据 Howard 和 Scott 的 SAN-2 工程分布理论^[11]确定了各种材料的粒径级配,形成抗高温堵漏配方,并用堵漏仪对 0.5~4 mm 之间的缝板进行承压堵漏效果评价。试验数据见表 2,通过实验数据可以看出,不同缝宽下承压能力均高于 12 MPa。

表 2 堵漏配方及封堵效果表

序号	裂缝宽度/mm	堵漏浆配方	封堵效果	
			承压/MPa	堵漏浆漏失量/mL
1	0.5	4% 土浆+10% CaCO ₃ (3% 20~40 目+4% 60~80	>12	69
2	1.0	目+3% 200 目以上)+5% 云母 (1% 20 目+2% 60	>12	91
3	2.0	目+2% 80 目)+5% GQJ (2% II 型+3% III 型)+	>12	102
4	3.0	2% HH-1+6% SW (3% SW-1+3% SW-II)+2%	>12	123
5	4.0	膨润土+2% CaO	>12	156

4 现场应用及效果分析

第三次开钻钻至井深 6 010 m 后,依据电测确定 4 685~5 115 m 井段为储层,故用水泥浆封固 5 200~5 350 m 井段,后扫塞至 5 235 m,考虑到井深 4 737.75 m 曾发生过失返性漏失,多次桥堵及水泥浆堵漏效果未达到预期效果,4 737.75 m 以下井段钻进过程中,钻井液消耗较大,存在一定程度的漏失,为避免三开固井时低密度水泥浆漏失,影响固井质量,故进行了承压堵漏施工。

2010 年 12 月 4 日 21:30 下钻至 4 450 m (垂深 4 085 m)循环 90 min 后关井做承压试验,立管压力加压至 5 MPa,停止加压后,降至 3 MPa,17 min 立压降为 2.4 MPa,开井泄压,累计泵入 2.1 m³ 泥浆。

4.1 堵漏浆的配制

结合现场实际情况,进行分段逐级堵漏,并对原堵漏配方进行微调,配制细颗粒堵漏浆 45 m³ [4% 土浆+8% CaCO₃ (4% 60~80 目+4% 200 目以上)+5% 云母 (1% 20 目+2% 60 目+2% 80 目)+5% GQJ-III +3% HH-1+6% SW (3% SW-1+3% SW-II)+2% 膨润土 (以 40 m³ 为基数加入堵漏材料材料)],配制中细颗粒堵漏浆 30 m³ [4% 土浆+9% CaCO₃ (3% 20~40 目+3% 60~80 目+3% 200 目以上)+5% 云母 (1% 20 目+2% 60 目+2% 80 目)+5% GQJ (1% II+4% III)+3% HH-1+6% SW (3% SW-1+3% SW-II)+2%

膨润土]。

4.2 堵漏施工

2010 年 12 月 5 日 12:17 先注入中细颗粒堵漏浆 25 m³,12:46 注入细颗粒堵漏浆 40 m³,13:30 开始替浆,13:45 替浆结束,替浆 30 m³,起钻前钻具内留 17 m³,起钻至 4 310 m。关井后先进行正挤,打压时推荐小排量替浆打压,正挤 8 次,预计钻具内细颗粒堵漏浆已替完,故更换为环空憋压,泄压时反吐量很少,反挤 21 次,最后正挤 1 次,泄压后反吐量少,累计 30 次,共挤入 38.15 m³,可稳压 4.5 MPa。

由于清水浸泡及试油抽吸作用,4 467.47~5 210 m 井段为大斜度井眼且大肚子井段多,4 467~4 800 m 井段平均井径扩大率高达 27%,钻屑沉积较多,堵漏材料聚集在大肚子井段下井壁外侧,形成堆积,不能有效进入漏层,具有一定假象承压能力,而大肚子上井壁承压能力有限,憋压过高易漏,细颗粒堵漏材料难以滞留,大颗粒堵漏材料不足难以架桥,影响了承压堵漏效果。

2010 年 12 月 13 日进行第三次开钻固井作业,先向环空替入 25.9 m³ 密度为 1.03 g/cm³ 的清水,然后泵入前置液 5 m³,其中 1 m³ 配浆水、4 m³ 隔离液,接着泵入密度 1.37 g/cm³ 的领浆 33 m³,1.85 g/cm³ 的尾浆 11 m³,最后泵入 2 m³ 后置液,替浆用 25 m³ 污水、35.7 m³ 井浆,替浆期间观察出口没有发生明显漏失,碰压达 10 MPa,达到固井设计碰压要求,电测表

明,该井第三次开钻固井质量合格,说明承压堵漏达到了一定效果,满足了固井施工要求。

5 认识及结论

1)北部湾盆地迈陈凹陷迈 10 块涠洲组三段裂缝孔隙较为发育,漏层多且复杂,井底温度高达 180°C ,部分堵漏材料失效,堵漏效果不理想。

2)高强支撑剂、SW 纤维材料抗温可达 180°C ,配合不同粒径级配的填充材料 CaCO_3 和云母,结合高失水剂 HH-1 及无机盐可形成抗高温堵漏浆。

3)徐闻 X3 固井前采用抗高温承压堵漏配方将地层承压能力提高至 4.5 MPa ,满足了第三次开钻固井要求。

4)高温承压堵漏技术难度大,需进一步深入研究抗高温承压堵漏材料及现场承压堵漏工艺。

参 考 文 献

- [1] 黄进军,罗平亚,李家学,等.提高地层承压能力技术[J].钻井液与完井液,2009,26(2):70-71.
- [2] 张军,罗健生,李智斌,等.承压堵漏技术在定向大斜度深井中的应用[J].天然气工业,2010,30(1):74-75.

- [3] 吴叶成,储书平,许春田.徐闻 X1 井钻井液研究与应用[J].钻井液与完井液,2006,23(4):54-55.
- [4] 徐同台,刘玉杰,申威,等.钻井工程防漏堵漏技术[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [5] 蒋希文.钻井事故与复杂问题[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [6] 陈新民,隋跃华,高建礼,等.新型随钻堵漏钻井液体系的研制[J].油气地质与采收率,2005,12(3):79-80.
- [7] 郑有成,李向碧,邓传光,等.川东北地区恶性井漏处理技术探索[J].天然气工业,2003,23(6):84-85.
- [8] 郑述全,欧云东,曾明昌,等.高含硫喷漏同存气井钻井与完井工艺技术研究[J].天然气工业,2006,26(9):65-67.
- [9] 王显光,苏长明,薛玉志,等.防漏堵漏新技术在缅甸 D 区块的应用[J].钻井液与完井液,2011,28(2):52-54.
- [10] 刘金华,刘四海,陈小峰,等.承压堵漏技术研究及其应用[J].断块油气田,2011,18(1):117-119.
- [11] LOEPPKE G E, GLOWKA D A, WRIGHT E K. Design and evaluation of lost-circulation materials for severe environments[J]. Journal of Petroleum Technology, 1990, 42(3):328-337.

(修改回稿日期 2011-08-02 编辑 居维清
特约编辑 杨 斌)