

高效桥塞堵漏技术在川西马井构造的应用

王方博, 王兴忠, 龚德章

(中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院, 四川 德阳 618000)

摘要:川西马井构造上部地层裂隙发育, 地层承压能力低, 布井密集, 钻井时易与邻井气层窜通, 发生漏失, 甚至造成复杂型井漏。虽然常规桥塞堵漏亦能堵漏成功, 但由于地层承压能力低而易发生复漏和反吐, 堵漏一次成功率低。为提高堵漏效果和一次成功率, 在原有堵漏技术的基础上, 引入高效堵漏剂, 通过室内配方优化及施工工艺完善, 形成了高效桥塞堵漏技术。现场试验表明该技术堵漏一次成功率高, 堵漏效果良好, 为低承压力地层、易漏失层以及易与邻井气层窜通等造成的复杂型井漏提供了新的堵漏思路, 对解决其它复杂井漏也具有一定的指导意义。

关键词: 钻井; 堵漏; 桥塞; 漏失; 马井构造

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)08-0006-05

Application of Efficient Bridge Plug Technology in Majing Structure of Western Sichuan/WANG Fang-bo, WANG Xing-zhong, GONG De-zhang (Sinopec Southwest Petroleum Engineering Company Limited Drilling Engineering Research Institute, Deyang Sichuan 618000, China)

Abstract: Because of fracture development in upper layer of Majing structure in Western Sichuan with low formation bearing capacity and dense well spacing, channeling with adjacent wells is easily occur in drilling process and lost circulation is often encountered, even leading to complex loss circulation. Although conventional bridge plug can be effectively used, the repeated leakage and flowing backward frequently occur for the poor formation bearing capacity with low one-time success rate. In order to improve plugging effect and one-time success rate, on the basis of the original plugging technology, efficient plugging agent was introduced, through the formula optimization in laboratory and construction process improvement, efficient bridge plug technology has been formed. The field test shows that the technology has high one-time success rate and good plugging effect, which provides a new method to solve the above mentioned complex lost circulation and has certain guiding significance for dealing with complex lost circulation.

Key words: drilling; plugging; bridge plug; lost circulation; Majing structure

0 引言

川西马井构造是中石化西南油气分公司的主力产天然气区块。该区块地层裂缝发育, 地层渗透性好, 钻井时极易发生井漏。近几年, 随着在该区块布井数量的不断增加, 井眼极易与临井气层窜通, 进一步增加了漏失的几率, 严重的井漏极大地制约了该区块的开发及提速提效。采用常规桥浆堵漏虽能成功, 但常规桥浆堵漏材料自身的可变形性较差, 稍大于漏层孔隙裂缝或是与漏层孔隙裂缝形状不匹配的颗粒不易进入, 在漏层表面形成堆积, 并未深入漏层; 此外, 这些堵漏材料不具有膨胀性或只有微小的膨胀量, 在外力的作用下不易稳定地滞留在漏层当中^[1]。因此, 传统桥堵材料封堵漏层后, 由于其材料的缺陷性, 在压力“激动”条件下会发生“回吐”, 封堵强度逐渐降低甚至完全失效, 另外桥堵剂的承压能力受井温影响较大, 一些纤维状、颗粒状材

料易在高温下氧化, 强度降低, 易复漏^[2]。由于上述原因, 传统桥浆堵漏存在一次堵漏成功率低、后续施工过程中易复漏等问题, 造成钻井周期延长, 大量钻井液漏入地层破坏油气储层, 同时钻井成本大大增加^[3]。故此, 有必要探索一种新型的高效堵漏技术。

1 高效桥塞堵漏技术基本原理、配方试验及现场施工工艺

1.1 高效桥塞堵漏技术基本原理

高效桥塞堵漏技术是在常规桥塞堵漏技术的基础上引入新型高效堵漏材料(NTS), 解决井漏难题。其特点在于既可有常规堵漏材料成本低、堵漏施工方便快捷等特点, 又可提高堵漏成功率。

高效堵漏剂 NTS 是一种短纤维及片状材料组成的复合型堵漏材料, 以片状材料为主; 片状材料是一高压实、高强度的抗温材料, 吸水后在一定时间内

收稿日期: 2015-11-18; 修回日期: 2016-03-01

作者简介: 王方博, 男, 汉族, 1971 年生, 副主任师, 工程师, 长期从事钻井液技术管理与研究工作, 四川省德阳市金沙江西路 699 号钻井工程研究院 1101 室, 497051903@qq.com。

大幅度膨胀;短纤维材料经过改性、接支大量阳离子基团,与地层有强吸附特性。

采用高效桥塞堵漏技术堵漏,其主要机理为:其一,颗粒滞流架桥,即利用常规堵漏材料及高效堵漏材料颗粒在裂缝中翻滚架桥,高效堵漏材料表面的阳离子易吸附在地层裂缝通道表面,形成滞流,进而快速架桥,一旦架桥,为紧随其后的颗粒提供了架桥屏障;其二,楔入膨胀承压。不同级配的颗粒迅速堆积,高效堵漏剂中的片状颗粒能很好地楔入到前面堆积的颗粒中,在压差作用下使片状颗粒楔紧,同时,此片状颗粒材料迅速膨胀,形成稳定高承压层;其三,封门加固。高效堵漏材料中阳离子基团纤维很快覆盖在漏失层段表面,其表面的阳离子基团很好地吸附在漏失层段表面,封门加固,提高承压能力。

高效桥塞的堵漏机理如图 1 所示。



图 1 高效桥塞堵漏机理图

1.2 堵漏配方的优化及筛选

1.2.1 实验条件及要求

实验仪器:DL-A2 型高温高压动静态堵漏仪。

实验要求:实验温度 65 ℃;钻井液密度 1.5 g/cm³;主要针对 2 mm 裂缝堵漏。

承压方式:从 2 MPa 开始加压,每 2 MPa 为梯度向上加压,直到不能稳压为止;堵漏剂总加量 25%~30%。

主要堵漏剂选用:KSD-1、SY-5、核桃壳(2 mm 以下,多级复配)、GT-1(多目数刚性封堵剂)、NTS。

1.2.2 堵漏浆配方优化及筛选

配方优化及筛选要求:以马井构造常用的钻井液体系为基浆,在此基础上加入常规堵漏材料,以封堵 2 mm 裂缝为主,进行常规堵漏材料粒径筛选及搭配,材料筛选搭配好后,配成常规堵漏钻井液为基础堵漏浆,在此基础上加入高效堵漏剂 NTS 进行承压能力改造,增强其承压能力。

1.2.2.1 基础堵漏浆配方

若要对裂缝的封堵,应合理选取桥接堵漏材料的种类、浓度与粒度级配^[4]。根据 Howart 和 Scott 的 SAN-2 工程分布理论^[5],确定封堵 2 mm 左右的裂缝的桥接材料的粒度级配如图 2 所示。

最终确定的基础堵漏浆配方为:基浆 + 5% GT-1 + 4% KSD-1 + 4% SY-5 + 7% 核桃壳(各粒级搭配)。

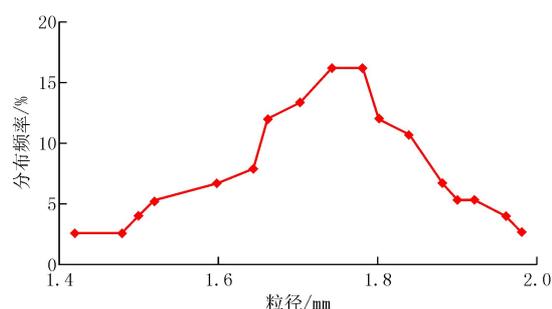


图 2 常规堵漏浆堵漏材料粒径选择分布图

1.2.2.2 高效桥塞堵漏浆配方

为加强基础堵漏浆的承压能力,在其中加入高效堵漏剂 NTS,据承压能力确定最终堵漏配方,各配方承压能力如表 1 所示。

表 1 承压堵漏情况

配方编号	配方	封堵承压能力
1	基础堵漏浆 + 1% NTS	最高承压 4 MPa
2	基础堵漏浆 + 3% NTS	最高承压 14 MPa
3	基础堵漏浆 + 5% NTS	最高承压 21 MPa,稳压 20 min 后未产生压力下降
4	基础堵漏浆 + 7% NTS	最高承压 21 MPa,稳压 20 min 后未产生压力下降

对于配方 3 和配方 4,实验最大承压 21 MPa,当压力升至 21 MPa 时并未产生漏失跟压力下降的现象,并稳压 20 min 后未产生压力下降或发生漏失,受仪器限制很难做到更大的承压,故实际承压可能更大。据表 1 试验结果,最终选择配方 3 为最终堵漏配方,即:基浆 + 5% GT-1 + 4% KSD-1 + 4% SY-5 + 7% 核桃壳 + 5% NTS,堵漏效果如图 3 所示。实验表明该配方能封堵 < 2 mm 裂缝的漏失。



图 3 横裂缝和竖裂缝的堵漏效果图

1.3 堵漏施工工艺

1.3.1 堵漏浆的配制

首先,配制时调整好钻井液性能,因为堵漏钻井液不论堵漏剂浓度高低,首先要保持有较好的流动性,很好的分散及悬浮能力,防止堵漏剂在替入和静止时上窜或沉淀,产生堵漏剂的不均和堆积,造成在憋压过程中憋压不实,使之在憋压过程中不能有效地将堵漏剂挤入地层^[6],故堵漏钻井液粘度控制在40~50 s之间,初切力保持在2~4 Pa,防止加入堵漏剂浓度过高后堵漏钻井液泵送困难,同时壁免粘切过低,较粗颗粒的堵漏材料吸水后聚集沉淀。配制体积要求要封闭漏层以上至少200 m以上,钻杆内预留量在3 m³以上,以便挤堵。

其次,配制时用配浆漏斗加入堵漏材料,以便使用堵漏材料能很好地分布到堵漏钻井液中,禁止直接倒入堵漏钻井液中,致使堵漏材料结块或飘浮在钻井液上部。配制时先加入常规堵漏材料,最后加入高效桥塞堵漏材料。

1.3.2 施工要求

高效桥塞堵漏施工要求排量控制在10~20 L/s;堵漏钻具为光钻杆;注堵漏浆、替浆等作业过程中都要保持井内钻具转动或上下活动(转动时速控制在10~30 r/min),防止钻具粘卡,如特殊需要需停止转动时要尽可能缩短停止时间。

1.3.3 施工流程

施工时,将钻具下至漏层上5~10 m,注入配好的堵漏浆,据情况在钻杆水眼内留堵漏浆3~5 m³,注入高效堵漏浆后起钻到漏层上100 m左右,关井挤堵,挤注排量控制在10 L/s以下,挤注附加压力2~3 MPa,分多次挤注,使堵漏浆尽可能多地挤注入地层。每次挤注完成后稳压15 min以上,卸压要缓慢卸压,不可过快,一次卸压最多不可超过1.5 MPa。最终挤注完成后关井憋压2 h以上,再卸压,起钻至堵漏桥塞上部,大排量循环观察,不漏后下钻到漏层,边活动钻具,边循环排堵漏材料。

2 川西马井构造井漏原因分析

2.1 马井构造地层简表

2.2 井漏基本情况

在该区块部署的井主要是浅井及中深井,井漏主要集中在表层及中上部井段。表层井漏采取下导管封隔解决。中上部井漏主要发生在其主产层聚中

表2 马井构造地层简况

地层系统		预计底	岩性描述
系	组	代号	
第四系		Q	100 黑褐色耕植土及黄色粘土,大部为杂色砂砾石层
第三系		N	200 杂色砂砾岩,顶底均为不整合接触
	灌口组	K _{2g}	350 上部棕红色泥岩夹石膏团块,中下部石膏岩与棕红色泥岩互层,下部棕褐色膏质细粒岩屑砂岩与棕褐色泥岩不等厚互层
	夹关组	K _{2j}	570 棕褐色中粒岩屑砂岩夹同色泥岩,底部米为灰色砾岩
白垩系	古店组	K _{1g}	750 棕褐色细粒、中粒岩屑砂岩与棕红色泥岩互层
	七曲寺组	K _{1q}	950 棕褐色细粒岩屑砂岩与棕红色泥岩互层,以泥岩为主,底部砂岩含砾
	白龙组	K _{1b}	1060 褐灰色含砾细粒岩屑砂岩与褐棕色泥岩互层
	苍溪组	K _{1c}	1060 上部以棕褐色泥岩为主,夹同色细粒岩屑砂岩,中部、下部棕褐色砾岩、含砾中细粒岩屑砂岩与棕红色泥岩互层
	蓬莱镇组	J _{3p}	2060 棕褐色砂质泥岩夹浅灰、浅绿砂岩,有一层厚4 m的绿灰、褐灰色细粒岩屑石英砂岩夹灰色砾岩
	遂宁组	J _{3sn}	2375 砖红色泥岩夹褐灰色细砂岩
侏罗系	上沙溪庙组	J _{2s}	2940 棕褐色泥岩夹褐灰色细砂岩,底为一层厚约6.5 m的细砂岩
	下沙溪庙组	J _{2x}	3110 棕褐色泥岩夹灰、绿灰色细砂岩,下部砂岩增多
	千佛崖组	J _{2q}	3180 棕、灰、绿灰等杂色泥岩及细砂岩,底为约10 m的含砾细一中砂岩
	白田坝组	J _{1b}	3400 杂色泥岩夹粉、细砂岩,下部偶见黑灰色泥岩

井段,属该构造的上部开发层段,井漏发生率为30%;井漏集中在马井构造的西南翼及北西翼。漏速:1~45 m³/h到失返,统计分析2012年至2015年9月在该区块发生井漏的36口井,漏失量在25.34~530.5 m³/井不等,平均漏失量为54.45 m³/井。

漏失层段主要为蓬莱镇及沙溪庙组地层。

2.3 井漏类型

对该构造6口井的测井曲线(见图4),漏失层段所取37块岩心(见图5)进行了详细分析;并对井漏跟踪分析18井次,结合本区块为加大开发力度,在生产前一般都经过大型酸化压裂的事实,认为:中部井段漏失类型主要为裂缝性漏失及诱导裂缝漏失。

2.4 井漏原因分析

该构造发生裂缝性漏失及诱导裂缝漏失的原因主要在于:

- (1) 存在裂缝或诱导裂缝,地层承压能力低;
- (2) 对漏层认识不足,堵漏配方选择不合理;

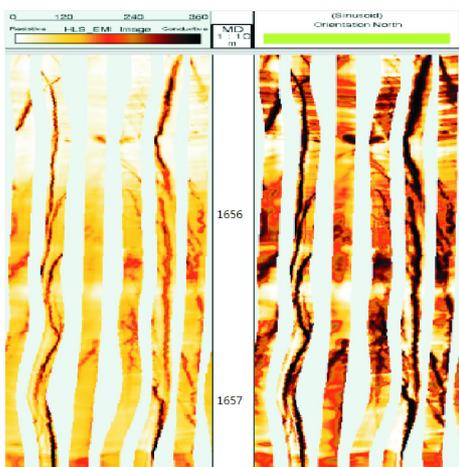


图4 测井曲线图(地层诱导裂缝)



图5 岩心照片(地层岩心裂缝)

(3) 承压堵漏施工工艺运用不当,尤其是承压时间及挤入漏层的堵漏浆量不够,挤入深度浅,堵漏浆仅在井壁上形成堆积,经过起下钻刮拉井壁后,形成的堵漏层再次被刮掉;

(4) 复合堵漏剂颗粒配比不合理,堵漏剂颗粒偏小或过大,或大颗粒比例过多,小颗粒量不足,架桥颗粒挡在砂岩孔喉的外面,无法进入地层内部,此为造成堵漏一次成功率不高及反复漏失的主要原因^[7];

(5) 为达到天然气增产目标,同一层位同一井场往往部署多口井,且完钻后还进行加砂压裂,使得地层裂缝延伸更长、更宽、连通性更通畅,导致正钻井的钻井液漏入生产井中;

(6) 缺乏专用的高效材料与方法^[8]。

3 现场应用

3.1 SF37井现场应用

3.1.1 常规桥塞堵漏施工

实施高效桥塞堵漏前,井内反复发生3次漏失,第一次井漏失返、挤堵成功后,又发生一次渗漏及一次压井(钻井液密度由 1.4 g/cm^3 提高到 1.5 g/cm^3)

后的井漏,一共进行了2次常规桥浆挤堵和1次随钻堵漏,结合邻井新浅121-1采气井情况,分析认为漏层为同一层位,堵漏情况如下。

(1) 第一次井漏堵漏情况。

2012年9月25日18:20钻进至1010.92 m发生井漏,井口失返,漏失 10.9 m^3 ,19:00配浓度为20%堵漏钻井液 35 m^3 ,期间环空吊灌 3.8 m^3 ,19:20注堵漏钻井液 14.8 m^3 ,井口返出 1.3 m^3 ;19:40注堵漏钻井液 16.5 m^3 ,返出 8.5 m^3 ,20:10关井挤堵 3.6 m^3 ,套压稳定在 1.5 MPa ,21:00关井静止堵漏,22:00开井循环,排量由 18 L/s 逐渐提至 30 L/s ,未漏失。

堵漏配方:7%KSD-1+7%SY-1+6%SY-5。

堵漏方法:常规桥浆挤堵。

(2) 第二次井漏情况。

2012年9月26日13:30—14:30发生渗透性漏失,累计漏失钻井液 10.5 m^3 ,加入随钻堵漏剂后漏失量慢慢减少,后正常钻进,无漏失。17:30在邻井新浅121-1井施工的采气队员工来SF37井现场,怀疑SF37井漏窜至新浅121-1井,因新浅121-1井井内出钻井液约 10 m^3 ,与SF37井9月26日下午漏失量基本吻合,本次井漏共计漏失钻井液 10.5 m^3 。

堵漏方法:加入2%随钻堵漏剂随钻堵漏。

(3) 第三次井漏。

2012年9月26日钻进至井深1154.25 m,发现液面上涨 0.86 m^3 ;21:18关井,21:40观察井压,关井套压 0 MPa ,关井立压 0 (钻具中带回压凡尔);22:10开井循环观察,液面无变化,继续钻进至井深1155.05 m时,全烃由 2.163% 增至 58.6% ,关井,关井套压 4 MPa ,关井立压 0 (钻具中带回压凡尔);随后开泵闭路循环除气(入口密度 1.43 g/m^3 ,出口密度 1.41 g/m^3),点火,焰高 10 m 左右,焰底部呈淡蓝色,中上部呈桔红色,进行压井作业,以每周增加 0.03 g/m^3 速度压井,直至火焰熄灭(入口密度 1.50 g/m^3 ,出口密度 1.49 g/m^3),套压降至 0 MPa ,开井循环,发现井内出现漏失,漏速 $28 \text{ m}^3/\text{h}$,27日加入堵漏钻井液静堵后在漏层上部低排量循环堵漏观察,井内恢复正常,未漏失,共计漏失 35.67 m^3 ,加大排量循环钻井液,不漏,调整钻井液性能,恢复钻进。

堵漏配方:7%KSD-1+7%SY-1+6%SY-5。

堵漏方法:常规桥浆静止堵漏。

3.1.2 常规堵漏反复井漏的原因

(1) SF37井与新浅121-1井轨迹最近距离仅为11.29 m; SF37井漏失层位与新浅121-1井采气层位窜通。

(2) 堵漏配方不合理, 颗粒偏小, 纤维含量太多。

(3) 堵漏工艺不合理, 挤堵量少, 挤堵承压时间太短。

3.1.3 高效桥塞堵漏施工

3.1.3.1 施工过程

SF37井于2012年9月27日上午10:33钻进至井深1204.60 m, 发现液面上涨 0.81 m^3 , 10:36关井, 10:50立、套压均为0 MPa, 点火除气后于12:00开井循环, 发现漏失钻井液 19.1 m^3 , 14:30配高效堵漏浆, 期间环空吊灌 4.6 m^3 , 15:10开始高效堵漏施工, 注高效堵漏浆 22 m^3 , 井口返出 7.8 m^3 , 井下漏失 18.8 m^3 , 16:30关井挤堵3次, 最大关井套压2 MPa, 累计挤入漏层 8.2 m^3 , 关井静止堵漏, 18:30循环观察, 无漏失, 高效桥塞堵漏成功。

3.1.3.2 施工效果

SF37井高效桥塞堵漏一次成功, 堵漏至完井及固井期间均无漏失, 无反吐。固井前为防止固井时的漏失, 对地层进行承压试验, 憋压6.85 MPa, 稳压30 min不降, 即当量密度达到 2.0 g/cm^3 地层不漏。应用常规水泥浆固井一次成功(水泥浆最高密度达 1.98 g/cm^3), 未发生漏失。

3.2 HP13-2井的应用

3.2.1 HP13-2井基本情况

HP13-2井于2015年8月15日以粘度49 s, 密度 1.50 g/cm^3 的钻井液钻进至井深1704 m(层位: 蓬莱镇组)发生井漏, 最大漏速 $29.84\text{ m}^3/\text{h}$, 平均漏速 $18.5\text{ m}^3/\text{h}$, 共漏失钻井液 25.6 m^3 。HP13-2井是同一钻井平台在第一口井HP13-1井试气产量较好的情况下部署的第2口定向开发井, 预计该平台共布4口定向井, 从不同方位定向钻进至同一主产气层。考虑到同一平台布井数量较多, 为提速提效, 减少处理井漏复杂的时间, 决定采用高效桥塞堵漏技术堵漏。

3.2.2 施工过程

小排量注高效堵漏钻井液 20 m^3 , 替堵漏钻井液到位, 井口返出 8.5 m^3 , 井下漏失 21.5 m^3 , 挤堵3次, 共挤入 4.5 m^3 , 最大挤堵关井套压2.5 MPa。

3.2.3 施工效果

挤堵完成后, 将循环排量提高到 28 L/s 循环不漏, 做承压试验, 憋压8.5 MPa, 稳压30 min不降, 堵漏一次成功, 在后续的钻进及固井过程中未再发生漏失。

3.3 推广应用

在马井构造的MJ19井、MP25-3井、MP25-6井等井在蓬莱镇组地层发生井漏后, 直接应用高效桥塞堵漏技术, 堵漏均是一次成功, 一次成功率达100%, 且无复漏、无反吐; 承压试验都接近各井的最大地层破裂压力。其中, MP25-6井承压能力经验证达14 MPa。

4 结论与建议

(1) 高效桥塞堵漏技术以新型高效堵漏剂为基础, 适用于小于2 mm的裂缝、诱导裂缝等易发生恶性漏失的地层, 且有较好的堵漏效果。

(2) 高效桥塞堵漏技术堵漏可提高漏失层段的承压能力, 楔入地层后不易反吐, 堵漏工艺简便、经济实用, 能提高一次堵漏成功率, 避免在同一漏失层段的反复堵漏作业, 缩短处理复杂情况的时间。

(2) 高效桥塞堵漏技术对钻井时钻井液密度低, 地层承压能力低, 固井时易漏失的井有很好的应用前景; 并能解决与邻井易窜通的复杂井漏。

参考文献:

- [1] 张歧安, 徐先国, 董维, 等. 延迟膨胀颗粒堵漏剂的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2006, 23(2): 21-24.
- [2] 李广国, 范落成. 托普台区块二叠系堵漏技术探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2013, 39(8): 116-118.
- [3] 陈曾伟, 刘四海, 林永学, 等. 塔河油田顺西2井二叠系火成岩裂缝性地层堵漏技术[J]. 钻井液与完井液, 2014, 31(1): 40-43.
- [4] 刘金华, 刘四海, 陈小锋, 等. 承压堵漏技术研究及其在断块油田的应用[J]. 断块油田, 2011, 18(1): 116-118, 125.
- [5] Gelan E Loeppke, David A Glowka and Elton K Wright. Design and evaluation of lost-circulation materials for severe environments[J]. Journal of Petroleum Technology, 1990, 42(3): 328-337.
- [6] 陶梦蛟. 承压堵漏技术在阿雷斯油田的应用[J]. 化工管理, 2015, (18): 94-94.
- [7] 孙明光. 塔河油田盐上裸眼承压堵漏技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2): 91-94.
- [8] 王中华. 复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J]. 中外能源, 2014, 19(1): 39-48.