

东胜气田刘家沟组井漏与堵漏措施分析

孙庆春^{1,2}

(1. 西安石油大学石油工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 中石化华北石油工程有限公司五普钻井分公司, 河南 新乡 437000)

摘要:自2013年东胜气田步入开发以来,随着水平井逐渐增多而井漏事故频发,单井堵漏时间大体占钻井周期的8%~50%,极大地制约了提速提效。主要漏层为刘家沟组,钻井液密度低时发生渗透性漏失,漏速约为 $3\sim 5\text{ m}^3/\text{h}$,当钻井液密度高时,发生裂缝性漏失,漏速 $20\text{ m}^3/\text{h}$ 直至井口失返。裂缝会随井内液柱压力的增加而扩大延伸,极易造成井漏的反复。刘家沟组恶性漏失严重制约了该工区钻井的提速提效。通过对J58P13H井井漏特点与堵漏效果分析,探索复合堵漏法、大裂隙膨胀堵漏材料和膨胀管堵漏法等,在裂缝性漏失堵漏中的适应性,以便在东胜气田试验推广。

关键词:井漏;稠浆堵漏;桥塞堵漏;化学固结堵漏;东胜气田

中图分类号:TE28 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)02-0053-04

Analysis on Plugging Measures for Leakage in Liujiagou Formation of Dongsheng Gas Field/SUN Qing-chun (1. College of Petroleum Engineering, Xi'an Shiyu University, Xi'an Shaanxi 710065, China; 2. Wupu Drilling Company of North China Petroleum Bureau, SINOPEC, Xinxiang Henan 453700, China)

Abstract: Dongsheng gas field stepped into the development period in 2013. Along with gradual increase of horizontal well construction, lost circulation accidents occur frequently, single well plugging time in drilling cycle was roughly 8%~50%, which greatly restricted the drilling efficiency. The main leakage zone was in Liujiagou formation, the permeability loss happened when drilling fluid density was low with $3\sim 5\text{ m}^3/\text{h}$ leakage velocity and crack leakage occurred when drilling fluid density was high with $20\text{ m}^3/\text{h}$ leakage velocity until annular return lost. The cracks would expand with the increase of the borehole liquid column pressure, which would cause repeated lost circulation. By the analysis on the leakage characteristics in J58P13H and plugging effect, the adaptability of the composite plugging method, plugging materials for large crack expansion and expansion pipe plugging method in fractured leakage plugging were explored in order to promote these methods in Dongsheng gas field.

Key words: lost circulation; dense slurry; bridging plug; chemical consolidation plugging; Dongsheng gas field

1 区域施工概况

东胜气田区域断层局部发育,漏层多位于属中生界三叠系下统的和尚沟组、刘家沟组,岩性主要为浅棕灰色细砂岩与灰绿、棕色泥页岩不等厚互层。泥岩主要以石英和粘土矿物为主,粘土矿物中以高岭石、伊利石和伊蒙混层为主,水敏性较强,易水化膨胀导致井壁垮塌^[1]。且刘家沟组泥页岩孔隙度高、成岩差、颗粒间粘结力差、强度低,受地壳运动而形成裂缝、风化作用形成溶孔或其他层间疏松而形成漏失通道,钻井液滤液侵入造成泥岩水化膨胀,加剧了层理和微裂缝的发展,而易发生漏失^[2]。由于该段存在以上地质特性,工程压力“激动”造成井漏

的几率大大增加。

2 J58P13H井堵漏概况

J58P13H井钻至2574下m刘家沟组,浅棕色泥岩发生失返性井漏。井漏时钻井液性能为:粘度24s,密度 $1.09\text{ g}/\text{cm}^3$,失水量 $5.6\text{ mL}/30\text{ min}$,泥饼厚度0.2mm,含砂量0.3%,pH值9,静切力1Pa(10s),2Pa(10min), $PV=10\text{ mPa}\cdot\text{s}$, $YP=4.5\text{ Pa}$,坩土含量22%,固相含量6%。

2.1 稠浆静止或憋压堵漏

现场配置堵漏稠浆,堵漏浆配方:土粉+单向压力封闭剂+超细碳酸钙+FD-1+FD-2+QD-1。

收稿日期:2015-09-22; 修回日期:2015-11-27

作者简介:孙庆春,男,汉族,1987年生,石油与天然气工程专业,硕士研究生在读,从事石油钻井技术与管理工作,河南省新乡市红旗区洪门五普大院宏图小区四号楼1楼西户,1410593917@qq.com。

第一次泵入堵漏浆静止观察 13 h 液面不降,开泵循环观察发生失返性漏失,再次泵入堵漏浆后关井憋压,稳压 3.5 MPa,堵漏成功。钻至 2660 m 时再次漏失,漏速 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。关井挤堵漏浆后开井静止观察 4 h 确定无漏失后恢复钻进。钻至 2700 m 钻井液密度提至 $1.12 \text{ g}/\text{cm}^3$ 再次发生漏失,漏速 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 。关井挤堵漏浆后静止观察 8 h 液面不降,开泵循环观察,钻井液密度 $1.14 \text{ g}/\text{cm}^3$ 排量由 $19 \text{ L}/\text{s}$ 提至 $22 \text{ L}/\text{s}$ 时发生漏失,漏速 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2.2 桥浆堵漏

稠浆堵漏无效后改用桥塞堵漏浆,桥塞堵漏配方:原井浆+可变形随钻承压堵漏剂+花生壳+棉籽壳泵入堵漏浆至漏层后关防喷器挤堵漏浆,0.5~1 h 后开防喷器活动钻具。共堵漏 4 次,关井挤堵漏浆 25 次,挤入堵漏浆 160.7 m^3 。开井静止观察 6 h 液面不降。起钻更换钻具组合每 100~150 m 分段循环下钻到底后循环加重,排量 $25 \text{ L}/\text{s}$ 、密度从 $1.20 \text{ g}/\text{cm}^3$ 加至 $1.21 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时发生漏失。

2.3 凝胶堵漏

桥塞堵漏之后井内液面距离井口 50 m,但是无法建立循环。向井内注入粘度 19 s、密度 $1.52 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的可控凝胶 31.7 m^3 ,可控凝胶堵漏配方:清水+可控凝胶+纤维+地层压力增强剂。

替堵凝胶漏浆至设计位置后起钻,候凝 36 h 后下钻扫塞过程中放空,扫至 2465 m 失返。再次注粘度 33 s、密度 $1.52 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的可控凝胶 20 m^3 ,关井挤堵漏浆 14.8 m^3 后起钻,候凝 36 h 后下钻扫塞,探塞顶 2598 m,开泵循环失返,第三次循环降低钻井液密度至 $1.16 \text{ g}/\text{cm}^3$,注可控凝胶 22.6 m^3 ,关井挤可控凝胶 16.2 m^3 ,候凝 36 h 后探塞顶 2282 m。划眼到底后恢复钻进,堵漏成功。

3 漏失原因分析

由刘家沟组地层岩心可以看出,刘家沟组地层破碎,层理裂隙异常发育(见图 1),存在纵向破碎带(见图 2),电成像测井显示刘家沟组诱导性扩展裂缝发育,最宽处约 10 mm。

由于筒中工作液压力大于地层孔隙中的流体压力,导致钻井液滤液进入刘家沟地层,而刘家沟地层岩石内含有大量的粘土矿物尤其是水敏性粘土矿物,与钻井液滤液接触后,会产生水化作用,一方面影响岩石的力学强度,另一方面影响岩石的应力



图 1 刘家沟组岩心层理发育



图 2 刘家沟组存在纵向裂缝

分布,使地层破裂压力急剧降低,钻井液滤失量越大,侵入地层越深,地层强度的降低也越明显。

另一方面,钻井液固相颗粒在岩石表面形成一层滤饼,对井壁的孔隙、微裂缝具有封堵作用,阻止钻井液的液相继续侵入地层。随着井内压力的增加,使井壁岩石上产生微裂纹,随着注入压力继续增加,裂纹开启宽度不断增加并形成新的裂缝。而滤饼将横跨在裂纹开口处,阻挡钻井液介质与压力向裂纹深部传递。此时,岩石和滤饼的强度共同抵抗井内压力,岩石仍表现为未被压裂。井内压力继续增大,井壁上的滤饼将发生破坏,井内流体压力将向裂纹内传递,此时,地层岩石很容易被压裂,直到裂纹尺寸发展到致漏尺寸时,漏失出现。可见,实际地层破裂压力是地层承压能力与滤饼强度之和。若钻井液能以较小滤失量在井壁形成一层致密的滤饼,将地层岩石和钻井液隔离,这样就可以减少钻井液相对井壁地层岩石的直接浸泡,从而较少地降低初始地层承压能力。

由此可知,当钻井液造壁性不佳时,钻井液滤液会在井筒正压差作用下滤失进入井壁地层,渗流效应对地层承压能力有显著影响,井壁地层渗流能力不同,井筒液柱压力的扩散程度不同,钻井液造壁性越差,井筒液柱压力扩散程度越好,地层承压能力越低^[3]。

4 堵漏效果分析

滤饼的致密程度与钻井液中固相颗粒的分布有密切关系。因此,可以通过调整钻井液中的固相颗粒分布进而调整钻井液的造壁性能。同时钻井液的流变性也影响着钻井液的滤失量,钻井液的液相粘度越大,其滤失量也相应减小。钻井液的粘度和切力越大,钻井液在漏失通道内的流动阻力越大,漏失压力亦随之增高。现场在钻井液中加入的单向压力封闭剂、复合堵漏剂、超细碳酸钙等材料,就是希望通过提高钻井液的造壁性,调整它的流变性来堵漏。但是这种堵漏方法对于孔隙性漏失,成功率较大^[4],但是堵漏后孔壁承压能力没有提高,所以对于刘家沟组地层的裂缝性漏失的效果不好。

4.1 桥塞堵漏效果分析

桥塞堵漏利用花生壳与棉花籽加工而成的堵漏材料配合凝胶在近井壁或进入地层内部一定深度的喉道处先堆积、桥接形成桥梁,再用纤维材料构成拉筋,小颗粒材料填充逐渐形成泥饼,把裂缝分隔为两部分。随着裂缝“隔离部分”内的流体向地层的渗透,“隔离部分”内的压力会逐渐耗散,裂缝趋于闭合。裂缝闭合时将人工封堵隔层产生压缩作用,这时人工隔层会对裂缝壁面地层产生压应力,使井壁岩石周向应力增大,从而提高了井壁地层的承压能力。这也是目前较为普遍采用的堵漏方法。

这种方法可以在一定程度上提高地层的承压能力。但是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就不易进入,在漏层表面形成堆积。形成“封门”效应。当时是堵住了,但是开泵循环或者转动转盘途中钻具刮蹭井壁,很容易再次发生井漏。其次这些堵漏材料不具有膨胀性或只有微小的膨胀量,堵漏材料难以在深部地层形成堵塞隔墙,特别是刘家沟组地层承压能力低,由于井筒压力增加,裂缝尺寸继续增加,堵漏材料不能稳定的滞留在漏层当中,致使堵塞不牢。由于上述原因,J58P13H井刘家沟地层桥塞堵漏效果不佳。

4.2 凝胶堵漏效果分析

桥塞堵漏之后井内可见液面,距离井口50 m,但是无法建立循环。现场选择化学固结堵漏,将可控凝胶挤入漏失通道内一定深度后,通过发生物理化学反应,堵漏浆液逐渐凝固,封堵漏失通道,胶结岩体软弱结构面而提高岩体强度或形成高强度结构

体^[5-6],从而提高地层承压能力,在凝胶中加入纤维类物质和速凝剂,通过添加纤维类物质,降低凝胶在裂缝中的流速,同时在裂缝尖端及时滞留并与地层形成胶结。但是在注凝胶之前无法建立循环,只能保持压力平衡。判断此压力为地层的破漏压力,由于凝胶密度为 1.52 g/cm^3 大于钻井液密度,在注水泥期间,当凝胶返出环空之后,液柱压力升高,压力平衡被打破,钻井液与凝胶同时被打入地层,堵漏凝胶受到钻井液置换、稀释的干扰,难以在近井壁周围凝固形成有效的堵塞隔墙,堵漏效果难以保证。这也是前两次注可控凝胶堵漏效果不好的原因。

同时另一方面,不管是注可控凝胶还是在替浆时都会产生波动压力,考虑到波动压力的存在,在第三次注可控凝胶之前通过循环降低钻井液密度至 1.16 g/cm^3 建立循环,在可控凝胶返至漏点150 m以上之后,液柱压力大于地层破漏压力,地层破裂水泥浆进入地层并一直维持在井筒内漏点以上150 m塞面,这样避免了可控凝胶与泥浆置换、稀释造成堵漏效果不好。停泵之后,“激动”压力消失,地层裂缝闭合,裂缝内可控凝胶返吐一部分,下钻探塞面在漏点以上近300 m。

5 建议试验其他堵漏方法

5.1 复合堵漏法

由上述分析可以判断,刘家沟裂缝性地层可通过堵漏材料进入地层胶结岩体软弱结构从而提高地层的承压能力,由此为化学固结堵漏提供依据。但是由于刘家沟组裂缝较大,水泥等材料极易流失,需要采取复合堵漏法提高堵漏成功率。即采用先注桥塞剂在裂缝中架桥降低漏速然后再注入水泥堵漏,花生壳和棉花籽等天然材料的膨胀系数低,虽然不能提高刘家沟组地层的承压能力,但是可以起到架桥的作用同时使水泥滞留在裂缝中,水泥凝固提高地层的承压能力。

5.2 KPD-KPSD堵漏方法

KPD堵漏为可控膨胀专程堵漏,在钻进中一旦发现漏失,使用常规堵漏浆验证漏层位置,验证之后起钻更换光钻杆钻具,光钻杆钻具下至堵漏下深位置,注入KPD短起钻至堵漏顶界100 m(见图3),推挤KPD进入漏层。在泵注推挤力作用下堵漏浆进入漏失层位后,与裸露岩石表面接触时立即吸附在接触面上;刚性颗粒在不规则的漏层通道内不断堆

积架桥;纤维材料在刚性架桥物的阻挡下进一步形成滞留阻挡层;失去外力作用后由于堵漏浆自身流动性能较差,即会流动困难或停止流动;由于堵漏浆具有锁水膨胀功能,在凝结时体积基本不收缩,有效地避免了因凝固时体积收缩导致漏失通道恢复而产生复漏问题;在地层温度、压力的作用下,快速凝结;凝固后地层、堵漏材料混为一体即达到了胶结封堵的目的。在 KPD 堵漏的基础上,产生了 KPSD 堵漏,即可控膨胀随钻堵漏,基本操作过程与 KPD 相似。

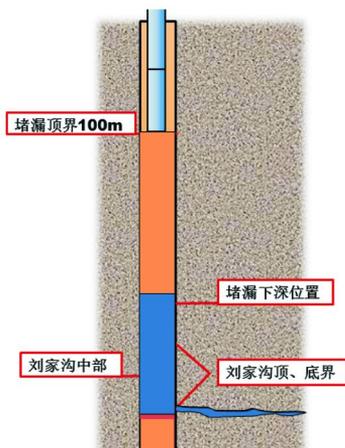


图3 KPD 堵漏示意

5.3 大裂隙堵漏剂膨胀堵漏

常规桥塞堵漏材料膨胀率低,粒度大的堵漏材料很难进入裂缝,粒度小的材料虽然能进入裂缝但是无法长久地滞留于裂缝之中,堵漏效果不好。因此选择颗粒大小合适的堵漏材料是堵漏成功与否的关键所在。如果可以选择的堵漏材料以小颗粒形式进入裂缝之中,在裂缝中又能通过膨胀使堵漏材料稳定地滞留于地层之中,必然会大大地提高桥塞堵漏的成功率。在鄂西北地区神农架矿区使用过大裂隙堵漏剂^[7]遇水后能迅速膨胀,形成不规则状凝胶体,且能迅速扩张至自身体积的400~500倍。通过堵漏材料的快速膨胀、扩张,对各种较大裂缝(隙)的漏失地层起到填充、溶胀、封堵作用,达到堵漏的目的。

5.4 使用膨胀管^[8]对井漏井段进行封闭隔离

强行钻穿刘家沟组地层之后用膨胀管进行封闭、隔离。膨胀管技术的基本原理是将具有良好的塑性变形能力和较高的机械强度的无缝钢管压制小于井眼直径的波纹状截面管柱,将管柱下入预定井段利用水力或机械力使其产生永久塑性变形而将其内径扩大到需要的尺寸,膨胀管可快速、有效地封闭复杂地层,解决漏失问题。

6 结论

J58P13H 井的堵漏经验改变了以往对于刘家沟组的错误认识,刘家沟组地层容易破碎,地层承压能力低,一旦诱导性裂缝发育很难堵漏成功,漏失反复是常见情况。单纯的堵漏而没有提高地层的承压能力效果有限,堵漏过程中采用了化学固结堵漏法,封堵漏失通道、胶结岩体软弱结构面而提高岩体强度取得了很好的效果,为以后处理此类井漏提供了经验。同时在以后的钻井施工中也可以现场试验复合堵漏、KPD-KPSD 堵漏、大裂隙堵漏剂膨胀堵漏、膨胀管封闭隔离等堵漏方法。

参考文献:

- [1] 李文明,向刚,王安泰,等. 苏里格气田大位移水平井钻井液技术[J]. 石油钻采工艺,2012,34(3):33-35.
- [2] 林英松,蒋金宝,秦涛. 井漏处理技术的研究及发展[J]. 断块油气田,2005,12(2):4-7.
- [3] 康毅力,许成元,唐龙,等. 构筑井周坚韧屏障:井漏控制理论与方法[J]. 石油勘探与开发,2014,41(4):473-479.
- [4] 臧艳彬,王瑞和,张锐. 川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J]. 石油钻探技术,2011,39(2):60-64.
- [5] 王贵. 提高地层承压能力的钻井液封堵理论与技术研究[D]. 四川成都:西南石油大学,2012.
- [6] 陈星星. 涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.
- [7] 王政敏,张宝河,刘鸣. 大裂隙堵漏剂在神农架矿区复杂地层钻进中的试验应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):25-28.
- [8] 张德龙,翁炜,黄玉文,等. 波纹管堵漏技术及其在地质钻探领域的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):28-30,52.