

一次上返固井技术在天然气井中的应用^{*}

魏周胜¹ 周兵¹ 李波¹ 蒋新立² 李正国²

(1.长庆石油勘探局工程院 2.中国石化华北石油局井下作业大队)

魏周胜等.一次上返固井技术在天然气井中的应用.天然气工业,2007,27(8):69-71.

摘要 一次上返固井技术是解决天然气井长裸眼段固井的一项技术,优点在于缩短了钻井周期,降低钻井成本,消除了因使用分级箍而造成套管串承压能力降低等问题,气层段固井质量也得到了有效保证。一次上返固井技术主要难点是固井现场施工注灰量大,水泥浆性能要求高,固井过程中易发生泵压过大、憋泵、留水泥塞等复杂情况。通过地质分析和现场调研,进行了大量试验,在搞清地层岩性及地层压力的情况下,成功研制出了GSJ低失水、稳定性好的漂珠低密度水泥浆体系和目的层使用的GSJ防气侵水泥浆体系及相配套的现场施工固井工艺技术,在大牛地气田成功应用于11口井的现场施工,目的层段固井质量优质率达100%,低密度段封固质量达到设计要求。由此在大牛地气田形成了一次上返固井相配套的井口压力控制及防漏控制工艺技术,获得了大牛地气田最低地层漏失压力、气层压力数据资料,为大牛地气田全面推广一次上返固井提供了技术支撑。

关键词 注水泥 固井 一次上返 天然气 压力控制 大牛地气田

鄂尔多斯盆地天然气井固井方式可采用分级固井、正注反挤、一次上返固井及尾管固井技术。其中一次上返固井技术应用井数较少,其主要原因是现场施工风险大,固井成功率相对较低,且一次上返固井所必需具备以下条件:井深小于3000 m;地层压力数据资料可靠;钻井施工过程中无明显漏失现象发生。同时,一次上返固井具有一定的独特性:①固井用灰量大、施工时间长;②现场施工压力高、顶替过程易出现复杂情况;③水泥浆性能要求高,特别是低密度水泥的稳定性及失水量是重要性能指标;④简化了井身结构、提高了套管的气密性及耐压性;⑤缩短了建井周期、降低了钻井成本(固井水泥浆成本增加)。

2005年我们从研究低密度及常规密度水泥浆性能、施工过程中顶替方式设计、井口压力控制入手,进行了11口井一次上返现场固井试验,现场应用效果良好,其中 $\varnothing 215.9\text{ mm} \times \varnothing 139.7\text{ mm}$ 9口井, $\varnothing 215.9\text{ mm} \times \varnothing 177.8\text{ mm}$ 2口井。

一、基本情况

1.大牛地气田地质特征

大牛地气田构造位置属于鄂尔多斯盆地陕北斜

坡北部,区域上为一平缓西倾大单斜。上古生界气藏埋深2300~2850 m(井深2400~2950 m),主要目的层段为二叠系下石盒子组、山西组,石炭系太原组,气藏属低孔、致密气藏。

2.地层压力

气田储层属于低压砂岩气藏,最小压力系数为0.0084 MPa/m,最大为0.0102 MPa/m,平均为0.0099 MPa/m。在大牛地气田固井计算时,地层空隙压力梯度考虑到安全系数应取0.0112 MPa/m为准;经过近九十多层的压裂数据的推算,其破裂压力梯度值比较正常。破裂压力梯度在0.017~0.0198 MPa/m之间。因此,设计时每口井气层段破裂压力梯度应以0.016 MPa/m计算;通过地层漏失测定试验,地层破裂压力最低点应在刘家沟组,其破裂压力梯度在0.0125~0.0130 MPa/m之间。因此,设计时每口井上部层段破裂压力梯度应以0.0125 MPa/m计算。

二、大牛地气田所应用的水泥浆体系

1.大牛地气田常规密度水泥浆体系

在天然气井固井中,气层段固井质量好与坏决

^{*} 本文为中石化华北分公司重点科研项目“塔巴庙区块全封固一次上返固井技术研究”(编号:HBK2003-12)的研究成果。本文作者还有中国石化华北石油局井下作业大队的周勇。

作者简介: 魏周胜,1966年生,高级工程师;1988年毕业于西北师范大学化学系化学专业;长期从事水泥浆体系技术研究,长庆石油勘探局工程院固井所副所长,局钻井专业一级学术带头人。地址:(745100)陕西省西安市未央区长庆兴隆园小区。电话:(029)86596503。E-mail:wzswq@126.com

定天然气井固井的成败的标准。从理论上说,封固气层段用水泥浆体系防窜性能优劣,主要体现在失水量越小,其防窜性能就会大大提高,这一结论无论在室内评价,现场固井质量分析,都得到了充分的证明^[1,2]。

2.大牛地气田低密度水泥浆体系

低密度水泥浆性能主要由以下几方面要求来确定:①由地层最低承压能力来确定低密度水泥浆密度;②低密度水泥浆流动稳定性与体系流变性的关系;③低密度水泥沉降稳定性与抗漏失能力的关系^[3,4]。

其主要性能如下:应用条件为 65~75℃/20~35 MPa;密度为 1.18~1.25 g/cm³;滤失量为小于 50 mL/30 min(65℃,6.9 MPa);初稠为小于 20 Bc;自由水为小于 0.1%;水泥石强度为大于等于 3.4 MPa/24 h·65℃;稠化时间为大于 250 min。

三、防漏控制研究与设计

1.水泥浆压力设计计算

根据气田的地质资料及钻井设计要求,在入井水泥浆柱设计时,综合考虑气层位置、地层压力、地层破裂压力、刘家沟组及延长组最低破裂压力进行了如下水泥浆柱设计^[4]:

尾浆段:密度为 1.89 g/cm³;长度为 300~350 m。

领浆段:密度为 1.75 g/cm³;长度为 150~200 m。

低密度段:密度为 1.22 g/cm³;长度返至井口。

气层段地层压力:0.0112 MPa/m×2900 m=32.48 MPa。

气层段破裂压力:0.0155 MPa/m×2900 m=44.95 MPa。

水泥浆柱压力(2900 m):(350 m×1.89 g/cm³+150 m×1.75 g/cm³+2400 m×1.22 g/cm³)×0.00981=37.79 MPa。

对于井底动摩阻压力要求小于:44.95×95% MPa-37.79 MPa=4.19 MPa。

对于刘家沟组层动摩阻要求小于:28.60×95% MPa-26.33 MPa=0.84 MPa。

2.水泥浆流变性能及动摩阻计算

通过室内水泥浆体系流变参数的测定,针对不同的流型分别计算出水泥浆的临界流速与排量,结合现场情况计算出施工时的动摩阻,设计顶替方式。

(1)漂珠低密度水泥体系现场灰样流变性能计算

按 API 方案进行制浆用六速旋转黏度计进行测定,数值见表 1。

• 2 •

表 1 按 API 方案制浆用六速旋转黏度计测定数值表

转速(r/min)	3	6	100	200	300	600
仪器读数	1.5	6.5	16.5	35	60.5	112
剪切速率(L/s)	5.11	10.5	170	341	511	1050
剪切应力(Pa)	0.77	3.32	8.43	12.77	30.91	57.23

注:条件为 65℃/常压/20 min;密度为 1.22 g/cm³。

依据表 1 数据进行回归分析得出,幂律模式的相关系数为 0.9973,宾汉塑性模式的相关系数为 0.9974。由回归分析得出的幂律模式的流变参数为:n=1.180,k=0.020 Pa·sⁿ。

(2)常规密度水泥浆体系现场灰样流变性能计算

依据表 2 数据进行回归分析得出,幂律模式的相关系数为 0.9936,宾汉塑性模式的相关系数为 0.9789。由回归分析得出的幂律模式的流变参数为:n=0.6817,k=0.5824 Pa·sⁿ。

表 2 按 API 方案制浆用六速旋转黏度计测定数值表

转速(r/min)	3	6	100	200	300	600
仪器读数	7.00	12.0	36.5	61.5	86.5	122
剪切速率(L/s)	5.11	10.5	170	341	511	1050
剪切应力(Pa)	3.57	6.13	18.65	31.42	44.20	62.34

注:条件为 70℃/常压/20 min;密度为 1.89 g/cm³。

根据上述数据,设定以 50 L/s(紊流)、20 L/s(层流)、5 L/s(塞流)的排量进行替注,计算套管环空流动阻力值见表 3。

表 3 套管环空流动阻力值表

流体类型	段长(m)	实际雷诺数	流态	摩阻压力梯度(Pa/m)	摩阻压力(MPa)
低密度	2100	1700	紊流	1313.14	2.7576
			层流	405.19	0.8509
			塞流	176.35	0.3703
纯水泥	500	9000	紊流	1935.68	0.9678
			层流	1276.5	0.6383
			塞流	644.0	0.3220

通过计算可以得出,在一次上返固井中,当顶替开始时,低密度水泥浆返高已超出漏失层 1000 m,漏层的压力已很接近漏失压力,采用紊流顶替是不可取的,必须采用低排量,即塞流顶替^[5]。

从以上分析得出一次上返固井顶替程序应采用泥浆泵单泵顶替+水泥车小排量顶替方式。

四、现场施工及实例

井号 :D10-5,完钻井深为 2844 m,前置液 6 m³、1.22 g/cm³ 低密度水泥浆 101 m³、1.75 g/cm³ 过渡水泥浆 5 m³、1.88 g/cm³ 常规密度水泥浆 11 m³,井队泥浆泵以平均 25 L/s 的排量替浆 20.7 m³,然后由水泥车以 5 L/s 的排量替至 12.3 m³ 碰压。替浆量与压力、排量关系曲线见图 1。现场施工数据统计 情况见表 4。

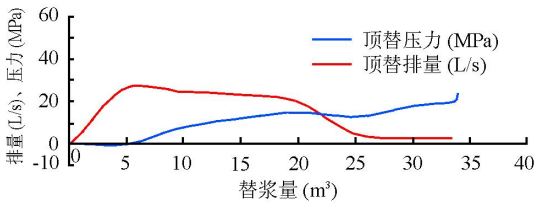


图 1 替浆量与压力、排量关系曲线图

表 4 现场施工数据统计表

井号	井深 (m)	水泥浆量 (m ³)	现场施工现象及水泥实际返高
D35-2	2614	117	小排量顶替,水泥返出正常,实测水泥返高地面
DP35-1	2653	93	小排量顶替,水泥返出正常,实测水泥返高地面
D28-3	2701	142	泥浆泵 55 L/s 速度顶替,发生井漏,水泥车低排量顶替,井口不返浆,实测水泥返高 147 m
D28-4	2651	139	顶替前水泥已返出井口,小排量顶替,返出正常,实测水泥面井口
D28-5	2653	96.5	实测水泥返高 48 m
D12-1	2600	89	钻井过程中有井漏现场,固井时发生井漏,水泥面实测 1200 m
D10-1	2766	142.7	水泥返出正常,实测水泥返高地面
D10-2	2731	99	井口泥浆返出正常,水泥量不足,水泥未返出地面
D10-5	2844	117	水泥返出正常,实测水泥返高地面
D47-2	2491	83.1	该区块井漏现象严重,固井时发生井漏,水泥面实测 700 m
D60-1	2892	115	水泥返出正常,实测水泥返高地面

五、结 论

(1)一次上返施工过程中,水泥浆产生的摩阻远远大于理论计算值,所以在施工中控制顶替排量、降低井口施工压力,是预防井漏发生必要手段。

(2)如果在钻井施工中有漏失现象发生的井,不能采用一次上返固井工艺施工。

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] 黄柏宗.国内外油井水泥和外加剂现状及发展趋势[J].

钻井液与完井液,1995,12(6).

[3] 郭小阳.低压易漏长裸眼井注水泥工艺研究[J].天然气工业,1998,18(5):40-44.

[4] 魏周胜.超低密度早强水泥浆在天然气井固井中的应用[J].石油钻采工艺,2002,24(6).

[5] 丁士东.塔河油田紊流、塞流复合顶替固井技术[J].石油钻采工艺,2002(1).

[6] 李荣,孟英峰,罗勇,等.泥页岩三轴蠕变实验及结果应用[J].西南石油大学学报,2007,29(3):57-59.

(收稿日期 2006-12-18 编辑 钟水清)