

2.3 DP35-1 井、DF1 井和 DF2 井固井数据分析对比见表 3

表 3 DP35-1 井、DF1 井和 DF2 井对比表

对比项目	井号	DP35-1	DF1	DF2
钻井液性能	钻井液粘度（范氏）s	30	270 以上	76
	钻井液比重	1.09	1.28	1.19
	钻井液失水 ml	5	3.4	3.6
	钻井液滤饼 mm	0.3	0.3	0.3
	初切/终切	2/4	18/27	6/13
前置液设计	前置液类型	清水	120s	50s
	前置液占环空高度 m	200	100	150
紊流排量	设计紊流排量 l/s	33	50	76
	实际紊流排量 l/s	33-35	22	45
	环空上返速度 m/s	1.5	0.93	1.0
扶正器	是否加扶正器	否	否	是
液柱压力和 平衡固井设计	流动摩阻 MPa	9.0	10.3	4
	静压差 MPa	8.7	0	3.5
	静液柱压力 g/cm ³	1.35	1.27	1.354
	压稳当量密度 g/cm ³	1.21	1.215	1.236
固井质量评价	固井质量（尾浆段）	很好	一般	一般
	固井质量（低密度段）	很好	很差	很差

从表 1~3 的对比数据可以得出以下结论：

① 大牛地气田所施工的水平井井身结构相似，只是井眼大小、套管尺寸不同导致井壁与套管之间的环状间隙大小不同，而 DP35-1 井和 DF1 井的固井质量不同说明井身结构不是影响固井质量的主要因素。

② 以上 3 口井所选用的水泥浆（常规浆）体系滤失量、析水、沉降稳定性和流动性基本相同，完全能够满足水平井固井的要求，说明该水泥浆体系适应大牛地气田的水平井固井。

③ 对比钻井液性能发现 DP35-1 井的泥浆粘度和静切力明显优于 DF1 井和 DF2 井，说明钻井液性能是影响固井质量的一个重要因素。

④ 在前置液的性能和用量方面，DF1 井和 DF2 井所配制的前置液粘度高，流动性变差，设计量少，不利于提高紊流顶替效率。

⑤ 除了 DP35-1 井替浆排量达到紊流要求外，DF1 井和 DF2 井的替浆排量较低，按照表 1 提供的环容计算，水泥浆在环空的实际上返速度只有 1.0m/s 左右，难以实现紊流顶替。

⑥ 虽然 DP35-1 井和 DF1 井没有加放扶正器，但是 DP35-1 井的固井质量仍然很好，说明我们采用的替浆液（1.09g/cm³）和水泥浆（1.9g/cm³）形成了密度差，使管柱在大斜度井段和水平井段处于悬浮状态，保证了套管的居中度，达到了“漂浮”固井的目的。

⑦ 从平衡压力固井技术的应用看,3口井的静液柱压力当量密度基本保持在 1.35 g/cm^3 (地层破裂压力 1.6 g/cm^3)以内,不可能压漏地层;尾浆在失重的情况下井底静液柱压力当量密度保持在 1.20 g/cm^3 (地层压力 1.15 g/cm^3)以上,能够压稳气层。

⑧ 从尾浆段和低密度段的封固质量来看:DF1井和DF2井的声幅表现出越靠近井底位置的固井质量越好,这点可以说明,低密度水泥浆流动性比较好,对井壁上的虚泥皮有一定的清除效果。

3 大牛地气田水平井固井工艺技术措施

3.1 井眼准备

钻井队在完钻通井时要充分循环泥浆,循环排量不低于钻进时的最大排量,循环时间不低于2周,彻底将井底和水平井段沉积的岩屑循环干净;对不规则的井段采取短起下钻划眼,保证井眼畅通;在大斜度井段和水平段注入3%左右的塑料球,降低摩阻,为套管的顺利入井创造条件。

下完套管后必须通过大排量循环泥浆的方式清除井壁和套管壁上形成的虚泥皮,循环排量不低于钻进时的1.2—1.5倍,循环时间不低于2周;在压稳不漏的情况下调整钻井液的性能,使固井前的泥浆性能达到“三低一薄”,即低粘、低切、低失水和薄泥饼,以达到提高顶替效率的目的。

3.2 套管扶正器的选择和安放

由于大斜度井段和水平井段管柱的重力方向发生改变使弹性扶正器在管柱径向压力的作用下易发生变形,扶正效果变差,但是,刚性扶正器在随套管入井时的摩阻很大,不利于套管顺利入井,因此,采用弹性和刚性扶正器交互使用的方法既可以尽量降低摩阻,又可以提高对套管的扶正作用。弹性扶正器的类型以双弓最好,这种扶正器的扶正效果比较好,而刚性扶正器尽量选用旋流式扶正器,可以提高顶替效率。

在大斜度井段和水平段扶正器的安放数量尽量使套管居中度达到67%以上,即:每3根套管安放2个扶正器。在压力允许的情况下尽量降低替浆液的密度,使套管在浮力作用下处于漂浮状态,有利于套管居中。

3.3 水泥浆性能的优化

大牛地气田的水泥浆体系具有很好的防气窜效果,作为水平井固井的水泥浆体系,该浆体的失水低、析水为零、静置不分层、膨胀效果和流动性好。水泥浆体系的控制指标见表4。

3.4 替浆排量的确定

按照大牛地气田水平井的井眼条件和目前的水泥浆体系,替浆排量必须保证低密度水泥浆的上返速度在 $1.3\sim 1.5\text{ m/s}$ 时才能达到紊流,按照井身结构1中的环空容积计算的替浆排量为 $31\sim 351\text{ /s}$,按照井身结构2中的环空容积计算的替浆排量为 $60\sim 701\text{ /s}$ 。

3.5 前置液的设计

前置液、泥浆和水泥浆三者之间必须有良好的相容性,前置液的比重应该低于低密度水泥浆的比重,对于钻井液比重低于 1.3 g/cm^3 的井,一般在清水中加入适量的表面活性剂作为冲洗液更有利于达到紊流,设计用量按照其与井壁的接触时间不低于 $7\sim 10\text{ min}$ 计算。

表 4 大牛地气田水平井固井水泥浆体系性能要求

水泥浆性能		控制范围	控制的目
水泥浆 比重	低密度	大于泥浆比重，小于常规浆比重	利于顶替泥浆，实现平衡压力固井
	常规浆	1.9	水泥石的强度高，渗透率低
稠化（可泵）时间		按照施工所需的时间确定	确保安全施工
稠化方式		直角稠化	防止候凝期间发生气侵、气窜
失水		小于 50ml	保护气层；施工安全；降低水泥石体积收缩率；改善浆体的析水和稳定性
析水		小于 0.1%，尽量达到 0	防止水平井段上侧形成自由水通道
流动度		大于 220mm	有利于提高顶替效率；便于配浆
流动性（n 值）		0.7~0.85	容易达到紊流
膨胀效果		大于 0.2%	提高水泥石的致密性
浆体稳定性		静置后上下密度差不超过 0.03	防止分层影响水泥石致密性