

Cementing Technology for Shale Gas Horizontal Wells in the South Block of Pingqiao, Fuling

Xuehai Wang

Engineering Technology Branch of Sinopec East China Petroleum engineering Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

Fuling Pingqiao South Block is the main production area of Fuling Shale Gas Field Phase II production capacity construction. Due to the complex formation structure in this area, there are many cave and fissure formations encountered during Shale gas drilling, during the production casing cementing completed later, it is easy to cause annular air channeling due to good gas logging in the target layer, long primary cementing section and high leakage risk. In view of the complex actual working conditions of shale gas wells in this area, the requirements for cementing construction are high. In addition to the basic performance of cement slurry, the cement sheath is required to have the mechanical characteristics matching the formation lithology, with good elasticity and toughness, so as to ensure the good sealing characteristics of the annulus.

Keywords

Pingqiao South block; shale gas; cementing; cement slurry; elasticity and resilience

涪陵平桥南区块页岩气水平井固井技术

王学海

中石化华东石油工程有限公司工程技术分公司, 中国·江苏扬州 225000

摘要

涪陵平桥南区块是涪陵页岩气田二期产能建设的主力产区。由于该地区地层结构复杂, 页岩气钻井过程中钻遇溶洞和裂隙地层较多, 后期完成的生产套管固井中, 面临目的层气测好易引起环空气窜, 一次封固段长, 漏失风险大的问题。针对该地区页岩气井复杂的实际工况, 对固井施工要求较高, 除要求水泥浆满足基本性能外, 同时要求水泥环具有与地层岩性相匹配的力学特征, 具有较好的弹韧性, 以此保证环空良好的封固特性。

关键词

平桥南区块; 页岩气; 固井; 水泥浆; 弹韧性

1 引言

涪陵平桥南区块是涪陵页岩气田二期产能建设的主力产区。与常规油气资源开采相比, 页岩气由于自身储集空间及生成的特殊性, 页岩气藏具有自生自储、储层超致密、自然产能低、生产周期长等储层特征, 孔隙度和渗透率极低。此外, 页岩储层的矿物组成最为常见的粘土矿物遇水易发生膨胀, 使页岩具有水敏性强、易膨胀、易垮塌的特点。页岩气藏的这些储层特征使得平桥南区页岩气在钻完井工程方面具有以下 3 个方面的主要特征^[1]: ①长水平段水平井; ②采用油基钻井液钻进; ③后期大型压裂储层改造。

2 高效洗油冲洗前置液技术

在页岩气水平井钻进过程中, 油基钻井液会在井壁上

形成泥饼, 下入套管循环泥浆过程中, 油基钻井液会在套管表面形成一层油膜。固井水泥浆和油性泥饼以及油膜不具有相容性, 使得水泥环和套管以及地层无法达到良好胶结效果。因此, 要求前置液能够高效冲洗油性泥饼和油膜, 并有效携带部分岩屑和泥饼至地面。采用具有润湿反转作用的洗油冲洗液 SCW 体系。该体系冲洗液分子可以从油基钻井液表面渗入, 产生溶胀作用, 削弱了油饼的内聚力和结构力, 同时在水力机械作用下, 拖拽油饼和油膜, 达到较好的冲洗套管和井壁的作用。为了有效驱替高粘度的油基泥浆, 采用具有一定粘度的加重隔离液, 充分利用重晶石粉颗粒的摩擦冲刷作用, 进一步洗净井壁和套管上的油膜, 同时利用重晶石粉加重, 可以有效控制井筒内浆体密度, 将油基钻井液和水泥浆有效隔离并且防止大段水基隔离液冲洗造成井壁失稳。

SCW 洗油隔离液的配方为: 水+15% SCW-D+3% SCW-A+0.3% SCW-H+1% DZX+90%~100% 重晶石粉(重晶石粉加量根据要求密度可调)。

【作者简介】王学海(1990-), 男, 中国江苏南京人, 本科, 工程师, 从事固井工艺技术研究。

高效洗油前置液的浆柱结构为：4m³冲刷液+30 m³加重隔离液+4m³冲刷液。

固井施工中，注水泥浆时冲刷液已经出环空，为了保证冲刷液在环空内达到紊流顶替，要求注水泥浆过程中排量不得小于1.6 m³/min。实验室评价前置液冲洗效果如图1所示。



(a) 圆筒外壁冲洗（一界面） (b) 砂纸冲洗（二界面）

图1 SCW 冲洗液效果评价

3 SFP 弹韧性防气窜水泥浆体系

平桥南区页岩气目的层位龙马溪组属于硬脆性地层，天然的溶洞裂缝发育较好，因此在页岩气水平井钻井过程中容易发生漏失，钻井液密度窗口窄。该地区生产套管固井采用双凝双密度水泥浆柱结构，确保压稳气层，以防气窜、防漏失。技术套管鞋以上200m至井底采用1.88 g/cm³ SFP弹韧性水泥浆封固，井口至技术套管鞋以上200m处采用漂珠低密度弹韧防窜水泥浆封固。

3.1 低密度弹韧防窜水泥浆体系

低密度弹韧防窜水泥浆体系主要由漂珠减轻剂调整，浆体密度一般在1.50~1.60 g/cm³，为了满足后期压裂施工要求，降低井口环空带压风险，体系中添加适量弹性材料 SFP和纳米二氧化硅乳液 SCLS。

水泥浆配方：嘉华 G 级纯水泥 +13%~16% 漂珠 +10% 微硅 +4%~6% 弹性材料 +6% 降失水剂 +4%~6% 纳米二氧化硅乳液 +0.3%~0.5% 缓凝剂 +62% 现场水。

该低密度水泥浆体系浆体易混合，强度高，稳定性好，浆体高温高压养护破碎小，完全满足施工要求并为后期压裂施工提供条件，性能指标如表1所示。

3.2 SFP 弹韧性水泥浆体系

平桥南区页岩气主要采用多级压裂技术进行储层改造，射孔产生的高温高速冲击力以及随后进行的大排量高压加砂均会对套管—水泥环—地层产生巨大作用，三者会发生相应形变，由于水泥石属于脆性材料，弹性变形能力有限，会发生本体破坏以及胶结面的破坏。为了满足压裂施工要求，页岩气固井水泥环不仅需要较高的强度，同时必须具有较好的弹韧性。通过在水泥浆中添加适量的弹性材料，改善水泥环的弹韧性能，保证水泥环在循环压力的作用下能够有效封固环空，降低环空带压风险。

在平桥南区块页岩气水平井固井中使用的常规密度水泥浆主要为 SFP 弹韧性水泥浆体系，主要具有以下优点：

- ①弹韧性水泥石弹性模量为3~6GPa；
- ②24h水泥石抗压强度>14MPa，抗拉强度较常规水泥石提高100%以上。

配方：嘉华 G 级水泥 +3.5% 降失水剂 +2% 纳米乳液 +5%~8% 弹性材料 +0.5% 分散剂 +0.1%~0.2% 缓凝剂 +38% 现场水。

水泥浆基本性能如表2所示。

由于弹性材料在超过60℃条件下，具有微膨胀特性，在水泥浆胶凝强度大于240Pa后检查水泥浆的体积收缩，72小时评价实验显示为0.015%的微体积膨胀，未发生收缩现象。高温高压养护水泥石测得弹性模量为5.8GPa（图2所示），满足页岩气水平井压裂施工对固井水泥石力学性能的要求，能够有效封固水平段，降低环空带压风险。

表1 低密度水泥浆性能

井号	实验条件		密度 /g·m ⁻³	API 失水 /mL	自由液 /mL	流动度 /cm	稠化时间 /min
	T/°C	p/MPa					
JY194-4HF	95	55	1.55	37	0	21	336
JY10HF	90	50	1.53	38	0	22	352
JY199-2HF	95	57	1.55	40	0	21	306

表2 SFP 弹韧性水泥浆性能

井号	实验条件		密度 /g·m ⁻³	API 失水 /mL	自由液 /mL	流动度 /cm	稠化时间 /min
	T/°C	p/MPa					
JY194-4HF	95	55	1.88	35	0	20	232
JY10HF	90	50	1.90	34	0	19	228
JY199-2HF	95	57	1.88	37	0	20	226

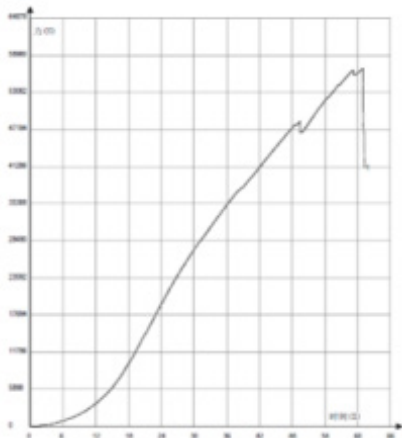


图2 SFP 弹性水泥石弹性模量为 5.8GPa

研究分析认为采用弹性模量低的弹性水泥浆体系，在试压和分段压裂时，套管膨胀加载于水泥环；在相同的变形条件下，水泥环的弹性模量越小，水泥环中产生的应力包括压应力和拉应力越低。在降低水泥环弹性模量而没有严重降低水泥环极限强度的情况下，试压和压裂时水泥环更不易达到其抗拉强度而发生拉伸破坏，或达到其屈服抗压强度而产生塑性变形，进而引起多次压裂下的疲劳破坏。

4 配套固井工艺技术

4.1 提高顶替效率工艺技术

顶替效率是提高页岩气井界面胶结质量最重要的因素。顶替效率受到井眼条件、钻井液以及水泥浆性能、施工参数等条件的影响。针对平桥区块页岩气水平井实际工况，提出提高顶替效率的固井技术，形成配套的工艺技术措施^[2]。

4.1.1 钻井液性能调整措施

页岩气井的复杂地质因素导致水平井钻井过程中容易出现垮塌掉块现象。清洁井眼是获得良好固井质量的前提，完钻固井前可通过钻井液性能来保持井壁稳定，并通过采用提高钻井液粘度，循环钻井液，达到清洁井眼的目的。

固井时，为了提高冲洗液冲洗效率和顶替效率，要求钻井液的粘度和切力相对较低。因此在固井施工前，保证基本压稳的前提下，可根据实际工况改善钻井液流变性能，保证钻井液性能能达到低粘、低切、低失水，便于高效驱替。

4.1.2 提高套管居中度措施

水平井具有较大的井斜角，套管在井下由于自身重力因素，往往偏向下井壁，造成套管偏心，套管偏心严重，环空液体流速不均匀，从而造成固井顶替效率低，影响固井质量。

为了提高水泥浆的顶替效率，要优化扶正器，提高套管居中度。鉴于页岩气井水平段较长，水平段选择整体式弹性扶正器，该扶正器下入过程中不易损坏，且不会对井壁造成损坏，同时为了保证套管居中度，水平段扶正器安放间距为 1 只整体式扶正器 1 根套管。造斜段由于侧向力较大，选择树脂旋流扶正器和整体式弹性扶正器交替安放的方式，安放间距为 1 只扶正器 1 根套管，使用二者交替方式既可以保

证套管在造斜段的居中度同时也可以保证套管的安全下入。直井段每 4 根套管安放 1 台树脂旋流扶正器，保证基本居中的同时，可以利用扶正器的旋流作用，进一步提高顶替效率。经软件模拟计算，以上扶正器安放方式可以保证全井筒套管居中度达到 70% 左右，这与 API 规范要求一致。其中，如图 3 所示为焦页 10HF 井生产套管居中度。

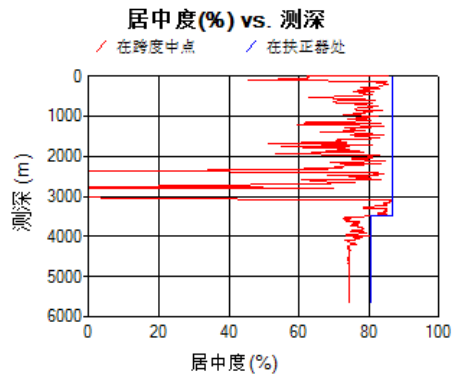


图3 焦页 10HF 井生产套管居中度

4.2 预应力固井技术

环空间隙是层间油气窜流的主要通道，是导致固井水泥环丧失密封能力的主要原因。因此，在固井作业过程中要采取必要措施防止环空间隙的产生。

固井施工过程中，在水泥凝固之前，可以给予套管一个向内的挤压力，由于水泥凝固不可避免要发生微收缩。此时，套管在弹性变形范围内试图恢复到原始状态，从而恰好弥补了由于水泥环收缩形成的微环隙，能够保证水泥环和套管的良好胶结。从而防止了环空间隙的产生^[3]。

5 结论

① SCW 洗油冲洗隔离液体系的应用以及合理的前置液浆柱结构能够大大提高了对油基钻井液的冲洗驱替效率，满足了提高固井胶结质量的要求。② 采用低密度弹性防窜水泥浆体系 + SFP 弹性水泥浆体系两段式浆柱结构，满足了平桥区块页岩气井生产套管固井要求，SFP 弹性材料的应用大大降低了水泥石的弹性模量，提高了水泥环抗冲击能力，满足了页岩气井后期大型压裂生产的要求。③ 通过钻井过程后期调整钻井液性能、优化套管扶正器安放数量和位置以及采用预应力固井等技术，从而使页岩气井固井施工安全有效进行，提高了固井质量，为后期大型压裂施工的进行提供了有效的保障。

参考文献

- [1] 张林晔,李政,朱日房.页岩气的形成及开发[J].天然气工业,2009,29(1):124-126.
- [2] 刘伟.彭水地区海相页岩气水平井固井技术[J].石油天然气学报,2014,36(1):83-87.
- [3] 孙坤忠,陶谦,周仕明,等.丁山区块深层页岩气水平井固井技术[J].石油钻探技术,2015,43(3):55-60.