

Research and Application of Cementing Technology in Pingqiao South Block

Xiaoli Li

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

Abstract

The main difficulties of cementing construction in Pingqiao south block are: it is difficult to enter the casing, High bottom hole temperature, The sealing quality of low density cement slurry is difficult to guarantee, The replacement efficiency is low, The cement plug length is required to be high. This paper analyzes the main causes of the difficulties, and then overcomes the difficulties by optimizing the technical measures, the optimization of cement slurry formula and the adjustment of the ground construction technology, so as to achieve the purpose of high quality and high efficiency construction. At present, the overall high quality rate of shale gas project in the south block of Pingqiao has reached more than 95%.

Keywords

Pingqiao south; cement slurry formula; cementing; replacement efficiency

平桥南区块固井技术研究与应用

李晓黎

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

平桥南区块当前固井施工主要难点有: 套管下入难度大、井底温度高、水泥浆低密度领浆封固质量难以保证、顶替效率低、水泥塞长要求高。论文通过对难点存在的主因进行分析, 再通过技术措施上的优化、水泥浆配方的优选、地面施工工艺的调整来克服难点, 以达到高质高效施工的目的。目前, 页岩气项目在平桥南区块所施工产层的总体优质率已达到 95% 以上。

关键词

平桥南; 水泥浆配方; 固井; 顶替效率

1 引言

平桥区块及周边是华东油气分公司页岩气勘探开发的重点区块, 通过近年来技术攻关, 形成了较为完善的钻完井工程配套技术。平桥区块地质条件复杂, 气层显示活跃, 泥浆密度高, 同时该区块地层承压能力薄弱, 在钻井及后期完井作业过程中发生漏失几率大, 研选适合各开次防气窜水泥浆体系, 建立全井长效密封固井工艺, 形成适合平桥及周边页岩气井长效密封固井技术, 对实现页岩气资源的高质高效开采具有很强的现实意义^[1]。

2 固井难点

2.1 套管不易入井

由于平桥南区块部署生产井目的层多在龙马溪组, 钻井

施工过程中小河坝组井漏多发, 龙马溪组时有井下垮塌等复杂情况, 且井身轨迹调整频繁, 水平段常达 1000m 以上, 最大井斜有时达到 100° 以上, 造成井身质量差, 这些是造成下套管过程中易阻卡的主要原因。

2.2 水泥浆配方设计困难

2.2.1 水泥浆体系的抗高温性能要求高

平桥南区块地温梯度达 2.5°C /100m, 产层套管固井的井底循环温度一般在 100°C ~130°C, 该温度属于固井施工的高温范畴, 因此要求水泥浆和前、后置液具有较高的抗高温性能。

2.2.2 领浆密度低, 防漏与封固质量矛盾突出

为减小漏失风险, 领浆使用低密度水泥浆。由于低密度水泥浆水灰比高, 易产生塑性收缩, 受井下高温高压影响, 水泥浆膨胀性能变低, 在候凝过程中产生环空微间隙, 影响

【作者简介】李晓黎 (1983-), 男, 中国江苏扬州人, 本科, 从事石油工程研究。

固井质量。同时低密度水泥石硬脆性较强，后期扫堵塞会对水泥石有一定的冲击，使得硬脆性水泥石胶结劣化。

2.3 顶替效率低下

由于平桥南区块小河坝组胶结性较差，井壁稳定性差，致使钻井施工中易出现垮塌等复杂情况，因此造成该井段的井径较大，因此在正常循环时，此井段靠近井壁附件的泥浆基本上不参与循环，导致此井段井壁附近的岩屑难以携带干净；其次，由于深井施工需要，钻井液的密度比较高，该区块固井时为了降低漏失风险，前置液密度仅比钻井液密度高 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ，前置液密度的局限一定程度上限制了顶替效率的提高；同时由于钻井液粘度高和切力大，致使固井施工过程中的流动阻力增大，环空返速减小，难以实现较高的顶替效率。

2.4 水泥塞长要求高

由于甲方综合考虑施工工艺及成本，近年产层套管多使用滑套工具，滑套工具距离阻流环位置多在 20m 左右，这就要求水泥塞长不能超过 20m，否则滑套工具即被固死，因无法打开而失效。

3 技术措施

3.1 降低套管遇阻的方法

3.1.1 模拟套管刚度的钻具组合通井

针对套管下入困难的现状，首先是做好通井工作，钻具组合中加入 2~3 个刚性扶正器，对钻进摩阻异常井段以及全角变化率比较大的井段，反复提拉，达到修整井壁，破除台阶的目的，同时通井到底后采用大排量循环，排量通常不小于固井施工时的最大排量 ($1.8\text{m}^3/\text{min}$)，一方面可以充分携砂，也起到了动态验漏的目的；另一方面，起钻前调整好钻井液性能，减小摩阻，降低套管遇阻几率。

3.1.2 合理使用套管扶正器

在套管入井过程中，套管所受的摩擦阻力主要影响因素有：摩擦系数、接触面积、正压力、滑动速度。套管下入过程中，所受的正压力基本不变，同一材质在同一井段的情况下，摩擦系数恒定，而下入速度也可以近略视为常值。综上，套管下入摩阻大小主要决定因素在于套管与井壁的接触面积。

$$f_{\text{摩擦阻力}} = \mu \times F \times S \times V$$

其中， μ 为摩擦系数； F 为正压力； S 为接触面积； V 为滑动速度。

套管受力如图 1 所示。

要达到有效减小套管与井壁的摩擦阻力的目的，减少接触面积应该是最简便有效的手段。通过软件模拟，在合理的安放套管扶正器后，尽量避免套管与井壁的面接触，将主要接触方式转变为扶正器与井壁的点接触，实际原理类同与将滑动摩擦转换成滚动摩擦，套管下入摩阻降低明显，现场实际应用中也验证了这一结果 [2]。

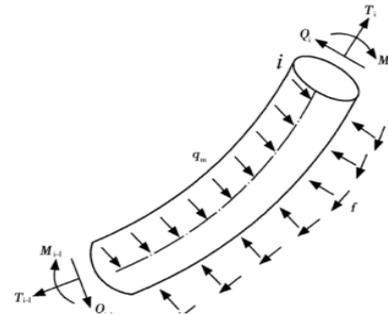


图 1 套管受力示意图

套管扶正器的合理安放对提高套管居中度也有着重要意义，为确保套管居中度，提高顶替效率，我们采用软件反复模拟扶正器的最佳安放位置，从现场应用及软件模拟情况看：封固段内井斜小于 30° 三根套管安装一只树脂旋流扶正器，井斜在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间的，每两根套管安装一只树脂旋流扶正器，井斜大于 60° 至 A 靶点井段每根套管安装一只树脂旋流扶正器，A 靶点至井底位置每根套管安装一只整体式弹性扶正器，同时引进新型滚珠扶正器，在井身轨迹特别不利于下套管的井段，使用新型滚珠扶正器，这种安放方案一方面可以有效降低套管入井时的摩阻，同时也能确保套管居中度达到施工要求。

3.2 水泥浆配方设计

3.2.1 优选长期密封的低密度水泥浆体系

经过室内大量实验，最终确定了满足长期密封要求的水泥浆配方：G 级水泥 +17% 漂珠 +10% 微硅 +4% 弹性材料 +4% 液硅 +5% 降失水剂 + 缓凝剂 + 水。

具体如表 1、图 2、图 3 所示。

从强度发展曲线看出，性能不变，水泥浆塑态在 8h 结束，抗压强度开始发展；水泥石强度发展至 48h，抗压强度为 15MPa 。从体积收缩发展曲线可以看出领浆低密度水泥浆在 1h 开始停止体积收缩。低密度水泥石的弹韧性等各项性能更好，静胶凝强度无变化，收缩膨胀率经过实验评价为零，

表 1 该配方的相关性能数据

实验密度 (g/cm ³)	流变	失水 (ml)	自由液 (%)	沉降稳定性 (g/cm ³)	稠化时间 (min)
1.55	冷: > 300/189/138/80/11/8 热: 224/138/99/57/9/7	33	0	0.02	394

无体积收缩,能满足封固重叠段的需要。

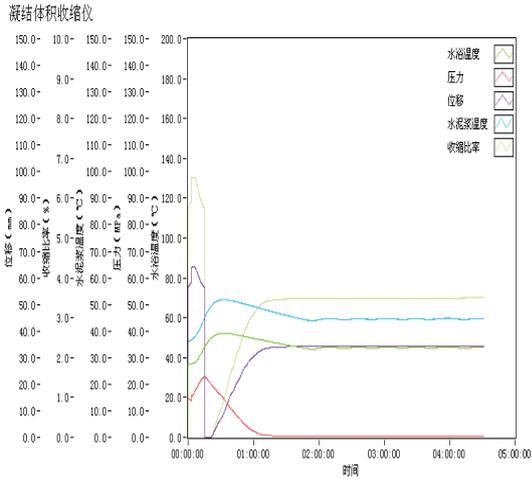


图 2 体积收缩曲线

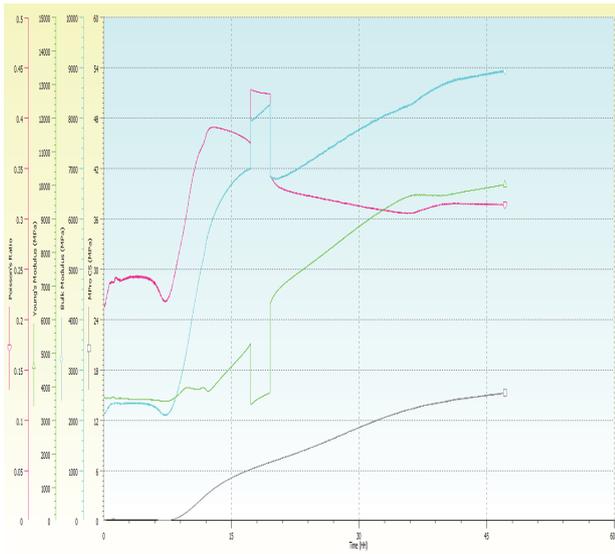


图 3 静胶凝轻度发展曲线

3.2.2 该配方的优点

第一,低密度水泥浆选用减轻材料主要为天然漂珠,与其他减轻剂相比,该微珠主要优势在于:重量轻、体积大、热导率低、抗压强度高、抗温性能好、流动性好。

第二,采用微硅、水泥和天然漂珠共同组成了三元紧密堆积体系,该体系以均匀分布的漂珠、水泥、微硅颗粒为主体,其中漂珠作为骨架颗粒,是体系的一级颗粒,水泥作为二级颗粒,充填漂珠间隙,微硅作为三级颗粒,填充于前两种颗

粒间隙,形成了初步级配的三元体系。

第三,体系中加入纳米材料液硅和弹性材料,以此提高低密度水泥石的弹韧性,减小低密度水泥石的收缩,预防产生环空微间隙。通过调整优化,水泥浆流变值冷浆 600R/min 为大于 300, 300r/min 为 200 左右,低转速为 10 左右;高温养护后 600R/min 为 250 左右,低转速为 10 左右,水泥浆达到这样的流变效果,水泥浆流动性好。

第四,使用抗高温纳米材料(液硅)以及抗高温抗盐降失水剂,除达到水泥浆良好的防窜效果,更重要的是具有良好的膨胀特性,对水泥水化过程中的体积收缩量予以补充,充分满足环空尤其是套管重叠段的封固效果。

3.3 改进驱油前置液提高顶替效率

首先对隔离液评价方法进行改进;油基泥浆含堵漏材料较多,冲洗不干净。改进前评价冲洗效果时用六速粘度仪 300R/min, 600/min 冲洗,改进后使用 200r/min 冲洗。

同时优化了隔离液流变参数;根据水泥浆流变参数和油基泥浆调整隔离液流变参数,调整隔离液流变参数与油基泥浆相近或大于油基泥浆。适当增加冲洗剂的有效成分,进一步增强隔离液冲洗性能,来应对油基泥浆受污染情况下冲洗。

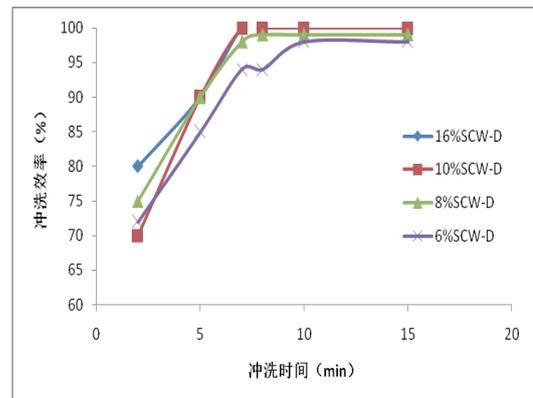


图 4 冲洗液冲洗时间敏感性评价 (300rpm)

图 4,图 5 为不同 SCW-D 加量条件下前置液的加量敏感性评价和返速敏感性评价。图示表明:随着 SCW-D 加量的增加,前置液的冲洗能力明显增加,在低返速下前置液能有效清除泥饼。

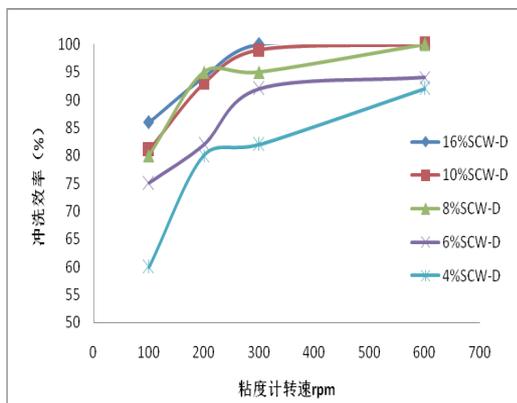


图5 冲洗液冲洗速度敏感性评价 (7min)

SCW-D 加量达到 16% 时 300rpm 转速下 (0.54m/s), 前置液 7 分钟清洗效率能够有效达到 100%, 且无油膜或油斑, 因此针对易漏页岩气井 16%SCW-D 为前置液的理想加量。

实验室模拟清洗 7min 后前后对比见图 6。



图6 实验室模拟清洗 7min 后前后对比

3.4 新型压塞液的研发

新型抗高温压塞液配方: 3%~5% 二糖溶液 ($C_{12}H_{22}O_{11}$) + 2%~4%DZH (具体加量根据实际施工温度来选择)。

新型压塞液的优点:

- ①总体配制成本低, 配制简单快捷;
- ②冲洗液高温下所具有优异的超缓凝性能, 降低了形成长塞的概率;
- ③新型压胶塞液现场应用后, 有效避免了留长塞现象。

3.5 综合措施预防漏失

对于漏失井, 特别是水平井段漏失井, 按照水泥浆与泥

浆的密度差 $+0.1g/cm^3$ 。

当量密度计算承压值, 用堵漏泥浆进行承压后, 筛掉堵漏浆, 大排量循环验漏, 用清浆承压至水泥浆与泥浆的密度差。对于钻进过程无漏失井, 承压至水泥浆与泥浆的密度差, 然后大排量循环验漏, 起钻下套管。

同时经与甲方协商讨论, 水泥浆返至 1000m, 一方面降低前置液返出量, 利于环保, 一方面降低漏失风险^[3]。

4 现场应用效果

通过将以上的固井技术措施在平桥南区块进行推广应用, 页岩气项目完成了固井质量 96% 优秀率的技术指标。具体统计数据如表 2 所示。

表 2 平桥南区块近期固井质量统计表

焦页 211-2HF	2019 年 11 月 30 日	优秀
焦页 209-S1HF	2019 年 12 月 7 日	优秀
大石 2HF	2019 年 12 月 11 日	优秀
胜页 2-4HF	2019 年 12 月 13 日	优秀
胜页 2-5HF	2019 年 9 月 16 日	优秀
胜页 2-6HF	2019 年 10 月 27 日	优秀
焦页 210-2HF	2020 年 1 月 23 日	优秀
胜页 20-2HF	2020 年 2 月 27 日	优秀
焦页 210-1HF	2020 年 2 月 28 日	优秀
焦页 204-1HF	2020 年 1 月 2 日	优秀
焦页 204-3HF	2019 年 9 月 26 日	优秀
焦页 204-4HF	2020 年 3 月 24 日	优秀
胜页 9-1HF	2020 年 3 月 9 日	优秀
大石 1-1HF	2020 年 3 月 9 日	良好
胜页 3-1HF	2020 年 4 月 7 日	优秀
焦页 203-1HF	2019 年 7 月 30 日	优秀
焦页 203-2HF	2019 年 12 月 20 日	优秀
焦页 203-3HF	2020 年 5 月 26 日	优秀
胜页 2-8HF	2020 年 3 月 10 日	优秀
胜页 2-7HF	2020 年 4 月 9 日	优秀
胜页 2-2HF	2020 年 5 月 2 日	优秀
D1-4-14HF	2020 年 4 月 22 日	优秀
D1-6-14HF	2020 年 5 月 10 日	优秀

5 结论与认识

第一,通过水泥浆体系及前置液、压塞液的优化,可以有效减小固井时漏失风险,提高冲洗及顶替效率,确保固井质量。

第二,合理的选择施工参数,科学安放套管扶正器,可以有效提高顶替效率,降低套管下入摩阻,提升整体水泥环封固质量。

第三,页岩气固井总体工艺复杂,需从理论上加深对该

区块固井质量和施工过程的认识和理解。

参考文献

- [1] 丁保刚,王忠福.固井技术基础[J].注水泥设计,2011(11).
- [2] 刘世彬,宋艳,李兵,等.LG地区超深井固井工艺技术[J].天然气工业,2009(10).
- [3] 匡立新,刘卫东,甘新星,等.涪陵平桥南区块页岩气水平井钻井提速潜力分析[J].石油钻探技术,2018(4).