

滤饼固化剂在元页HF-1井的应用

孙坤忠¹, 何吉标², 曾鹏琿¹, 沈彬亮¹, 顾 军²

(1. 中国石化勘探南方分公司, 四川成都 610041; 2. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北武汉 430074)

摘 要: 为了提高页岩气井的固井质量, 在元页 HF1 井 $\phi 244.5$ mm 套管固井时试验应用了滤饼固化剂。采用元页 HF-1 井实际使用的钻井液和水泥浆, 根据自主建立的固井第二界面胶结强度评价方法, 评价了 GJ-I 型滤饼固化剂和 GJ-II 型滤饼固化剂对固井第二界面胶结强度的作用效果。评价结果表明, 在分别养护 3, 7, 15 和 30 d 的条件下, 采用滤饼固化剂的固井第二界面胶结强度比常规固井第二界面胶结强度分别提高了 629.03%, 222.37%, 241.43% 和 273.33%。现场固井试验后的声幅-变密度测井结果表明, 封固段相对声幅值 $\leq 15\%$ 的井段占全井段的 93.49%, 固井质量为优质。研究表明, 滤饼固化剂可大幅度提高页岩气井固井第二界面胶结强度, 可提高页岩气井的固井质量。

关键词: 页岩气井 固井第二界面 滤饼固化剂 现场应用 元页 HF-1 井

中图分类号: TE256⁺.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)05-0041-05

Application of Mud Cake Curing Agent in Well Yuanye HF-1

Sun Kunzhong¹, He Jibiao², Zeng Penghui¹, Shen Binliang¹, Gu Jun²

(1. Sinopec Exploration Southern Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China; 2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei, 430074, China)

Abstract: To improve the cementing quality of shale gas wells, mud cake curing agent was applied in the well cementing of $\phi 244.5$ mm casing in Well Yuanye HF-1. Based on the drilling fluid and cement slurry used in Well Yuanye HF-1 and API specification 10, the effects of mud cake curing agents (GJ-I and GJ-II) on bond strength at cement-formation interface was evaluated by the self-established evaluation method. The evaluation results showed that when the curing time was 3, 7, 15 and 30 days, compared with cementing without curing agent, the bond strength of cement-formation interface with mud cake curing agent remarkably increased by 629.03%, 222.37%, 241.43% and 273.33%, respectively. 72 hours after cementing, acoustic amplitude variable density logging (CBL/VDL) was carried out. The logging results showed that the proportion of cementing section with relative acoustic amplitude of less than 15% is 93.49%, indicating good cementing quality. The study showed that mud cake curing agent could greatly improve the bond strength at cement-formation interface and thus the cementing quality of shale gas wells.

Key words: shale gas well; cement-formation interface; mud cake curing agent; field application; Well Yuanye HF-1

元页 HF-1 井位于川东北元坝南部低缓断褶带构造, 是元坝地区的一口页岩气预探井。元坝地区地质构造复杂, 钻达目的层之前会钻遇多套含气层, 要求水泥浆返至地面且采用单级固井, 导致固井封固段很长, 给固井带来了极大的挑战, 固井后环空气窜问题尤为突出^[1-4]。固井第二界面胶结质量差是环空窜流的一个主要原因^[5-7], 因此可以通过井壁滤饼固化, 实现固井第二界面整体固化胶结, 提高固井质量, 防止环空气窜问题的发生。

MTC 方法通过改性钻井液和改变水泥浆实现

收稿日期: 2013-01-11; **改回日期:** 2013-08-26。

作者简介: 孙坤忠(1964—), 男, 四川成都人, 1985 年毕业于西南石油学院钻井工程专业, 高级工程师, 主要从事钻井与完井方面的技术研究工作。

联系方式: (023) 53366929, sunkunzhong@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目“钻井液/水泥浆不变条件下固井二界面泥饼固化机理与交联机制”(编号: 51174180) 和中国石化集团石油工程技术先导试验项目“川东北深井泥饼固化防气窜固井技术先导试验”(编号: JSG12013) 资助。

滤饼固化和界面交联^[8-12],但存在固化体脆裂问题;MTA方法^[13-14]通过改性钻井液但不改变水泥浆的方法来实现滤饼固化和界面交联,但受钻井液性能的限制,多应用于不深于2 500 m的浅井。而对中深井和深井的滤饼固化问题,迄今没有很好的解决方法。鉴于此,元页 HF-1 井 $\phi 244.5$ mm 套管固井采用了 GJ-I 型和 GJ-II 型滤饼固化剂,即在不改变钻井液及水泥浆的条件下,使井壁滤饼得以固化,以提高固井质量、有效解决环空气窜问题。

1 固井技术难点

根据钻遇地层特点、井身结构及油气显示情况,元页 HF-1 井 $\phi 244.5$ mm 套管固井主要存在以下技术难点^[15-17]:

1) 该井为水平井,套管下深 3 728.00 m,钻机负荷大,且下部 3 318.00~3 730.00 m 井段为增斜段,井斜角从 1.2° 增大到 71.0° ,大斜度定向井段岩屑易沉积形成岩屑床,固井时要考虑如何将套管顺利下入。

2) 封固段长,地层承压能力有限,防止坍塌、漏失是固井工作重点;裸眼段长、井眼尺寸大,顶替效率难以保证,且固井前的钻井液中含有约 5% 的原油等有机物质。

3) 在 3 131.00~3 611.00 m 井段(3 131.00~3 133.00 m, 3 136.00~3 151.00 m, 3 234.00~3 241.00 m, 3 378.00~3 379.00 m, 3 569.00~3 570.00 m 和 3 608.00~3 611.00 m) 有较好的油气显示,特别是 3 136.00~3 151.00 m 井段岩性为灰色细砂岩,含气层厚度达 15 m,需要考虑如何避免水泥浆候凝过程中地层流体侵入环空降低水泥环的胶结质量,引起固井第二界面窜槽甚至空套管。

4) 注水泥浆量大,注入时间长,水泥浆在裸眼井段上返过程中会发生脱水稠化,影响固井施工安全;施工时间长对固井设备性能要求高,地面施工难度大。

2 滤饼固化剂性能评价

2.1 试验材料和仪器

试验材料:元页 HF-1 井钻井液(金属离子聚合物钻井液,取样时钻井液密度为 1.55 kg/L ,漏斗黏度为 62 s,塑性黏度为 $28 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,静切力为 $4/10 \text{ Pa}$,动

切力为 16 Pa,滤饼厚度为 0.3 mm,API 滤失量为 2.5 mL,pH 为值 10);水泥浆,配方为嘉华 G 级油井水泥+0.1%~0.2%缓凝剂+2.5%降失水剂+44.0%水+0.1%消泡剂;GJ-I 型滤饼固化剂和 GJ-II 型滤饼固化剂;仿地井筒(平均渗透率 150 mD,平均孔隙度 18%)。

试验仪器: TG-3060A 型恒速搅拌机, TG-1280 型常压养护箱, WDW-Y10A 型电子万能压力试验机, TG-8040D2 型高温高压稠化仪, ZNN-D6 型六速旋转黏度计, ZNS 型中压失水量测定仪。

2.2 固井第二界面胶结强度试验

为验证 GJ-I 型滤饼固化剂和 GJ-II 型滤饼固化剂的对滤饼固化的作用效果,在模拟元页 HF-1 井地层物理特性的条件下,制作仿地井筒,进行固井第二界面胶结强度试验^[14,18]。

用元页 HF-1 井现场钻井液浸泡仿地井筒 3~4 h,刮除筒壁处虚滤饼,滤饼厚度控制为 0.3~0.5 mm。常规技术体系用清水浸泡井筒 140 s;而滤饼固化技术则先用 GJ-I 型滤饼固化剂溶液浸泡井筒 70 s,再用 GJ-II 型滤饼固化剂溶液浸泡井筒 70 s,然后灌注水泥浆,在 90°C 、常压条件下进行水浴养护,养护 3, 7, 15 和 30 d 后将样品取出,自然冷却至室温,然后分别在万能压力试验机上进行抗剪切力测试,测出抗剪切力,同时量出井筒高度,按式(1)计算得出固井第二界面胶结强度^[14]。滤饼固化技术与常规固井技术第二界面胶结强度对比结果见图 1。

$$p = \frac{10F}{\pi hD} \quad (1)$$

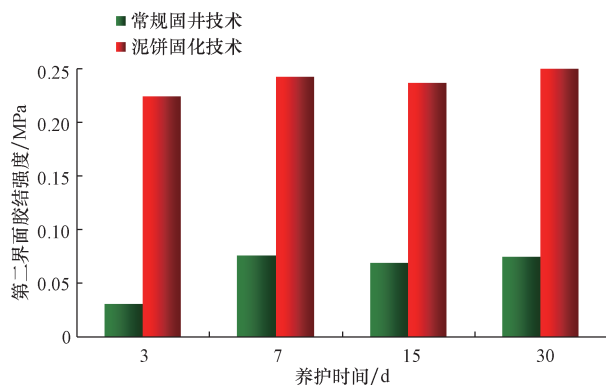


图 1 常规固井技术与滤饼固化技术固井第二界面胶结强度
Fig. 1 Comparison of bond strength at cement-formation interface between conventional slurry system and slurry system with mud cake curing agent

式中: p 为固井第二界面胶结强度, MPa; F 为抗剪切力, kN; h 为仿地井筒的高度, cm; D 为仿地井筒内径(均为 3.3 cm)。

由图 1 可知, 在养护 3, 7, 15 和 30 d 后, 采用滤饼固化剂的固井第二界面胶结强度比常规固井第二界面胶结强度分别提高了 629.03%, 222.37%, 241.43% 和 273.33%, 且随着养护时间的延长, 固井第二界面胶结强度逐渐提高。

2.3 滤饼固化剂与钻井液和水泥浆的配伍性试验

现场固井施工时, GJ-I 型和 GJ-II 型滤饼固

化剂位于钻井液和水泥浆之间, GJ-I 型滤饼固化剂直接接触钻井液(也可不接触); GJ-II 型滤饼固化剂直接接触水泥浆(必须)。检验滤饼固化剂与水泥浆、钻井液之间的配伍性对固井安全施工极其重要。

根据施工过程中滤饼固化剂、钻井液及水泥浆的实际施工工艺, 结合井底循环温度和井底压力进行试验方案设计。试验条件是: 井底循环温度 80℃, 井底压力 60 MPa, 固化剂、钻井液和水泥浆的接触时间为 90 min。配伍性试验方案及稠化时间见表 1。

表 1 配伍性试验方案及稠化时间

Table 1 Experimental scheme of compatibility and thickening time

方案	钻井液, %	隔离液, %	GJ-I 型滤饼固化剂, %	GJ-II 型滤饼固化剂, %	水泥浆, %	稠化时间
1				50	50	420 min 未稠化
2				10	90	420 min 未稠化
3			5	5	90	420 min 未稠化
4			10	10	80	480 min 未稠化
5			20	10	70	240 min/70 Bc
6			10	20	70	420 min 未稠化
7		10	10	10	70	420 min 未稠化
8	10	10	10	10	60	420 min 未稠化
9	20	20	20	20	20	324 min/70 Bc

注: 试验方案中各液体及试剂的加量为体积分数。

由表 1 可知, GJ-I 型滤饼固化剂、GJ-II 型滤饼固化剂与水泥浆、钻井液的配伍性良好, 稠化性能稳定, 完全符合安全施工的标准。仅当 GJ-I 型滤饼固化剂、GJ-II 型滤饼固化剂、水泥浆体积比 2:1:7 时, 稠化时间稍短, 即 70 Bc 的稠化时间为 240 min, 但能满足试验井的固井施工需要。

3 现场应用与效果分析

3.1 应用概况

元页 HF-1 井 $\phi 339.7$ mm 表层套管下深为 700.00 m, $\phi 244.5$ mm 套管下深为 3 728.00 m(完钻井深 3 730.00 m), 最大井斜角为 57.70°(井深 3 656.49 m 处), 最小井斜角为 1.20°(井深 3 338.93 m 处)。固井前钻井液性能为: 密度 1.60 kg/L, 漏斗黏度 65 s, 静切力 6/12 Pa, 动切力 16 Pa, 滤饼厚度 0.3 mm, API 滤失量 2.5 mL, pH 值为 9。领浆配方为嘉华 G 级油井水泥 + 3.000% SYJ-3 + 0.175% SYH-1 + 0.500% SYLG-1 + 0.175% SWX-1 + 42.500% 井场水; 尾浆配方为嘉华

G 级油井水泥 + 3.000% SYJ-3 + 0.125% SYH-1 + 0.500% SYLG-1 + 0.125% SWX-1 + 42.500% 井场水。

现场配制 GJ-I 型滤饼固化剂和 GJ-II 型滤饼固化剂溶液各 2 m³。施工时使用冲洗液 8 m³(密度 1.02 kg/L), 隔离液 8 m³(密度 1.70 kg/L), 冲洗液 8 m³(密度 1.02 kg/L), GJ-I 型滤饼固化剂溶液 2 m³(密度 1.11 kg/L), GJ-II 型滤饼固化剂溶液 2 m³(密度 1.05 kg/L), 水泥浆 170 m³(其中领浆 130 m³, 尾浆 40 m³, 平均密度 1.89 kg/L), 压塞液 4 m³, 替出钻井液 136.64 m³。整个施工过程正常顺利, 碰压成功, 水泥浆返至地面。

3.2 与邻井固井质量的对比分析

为有效评价试验井固井质量, 固井施工完毕后憋压候凝 72 h, 然后对元页 HF-1 井 $\phi 244.5$ mm 套管固井段进行声幅-变密度测井, 并与邻井元坝 9 井的 $\phi 244.5$ mm 固井质量进行对比分析^[19-22]。元页 HF-1 井(总封固段长 3 663.00 m)与邻井(总封固段长 3 053.00 m)的固井质量对比结果见表 2。

表2 元页 HF-1 井与邻井固井质量的对比

Table 2 Comparison of cementing quality between Well Yuanye HF-1 and offset well

井号	相对声幅值 $\leq 15\%$		15% $<$ 相对声幅值 $\leq 30\%$		相对声幅值 $> 30\%$		综合评价
	封固长度/m	所占比例, %	封固长度/m	所占比例, %	封固长度/m	所占比例, %	
元页 HF-1	3 424.30	93.49	216.40	5.91	22.30	0.60	优质
元坝 9	222.50	7.29	251.80	8.25	2 801.20	84.46	不合格

测井曲线解释结果表明, 试验井封固段相对声幅值小于 15% (优质) 的井段占 93.49%, 且固井第二界面胶结很好, 即套管波信号弱, 地层波信号强, 试验井固井第一、二界面胶结质量均为优质。而邻井封固段相对声幅值大于 30% (不合格) 的井段占 84.46%, 且 1 998.00~2 700.00 m 井段无水泥胶结, 套管接箍清晰可见, $\phi 244.5$ mm 套管固井的胶结质量为不合格。现场试验结果表明, 采用滤饼固化剂效果显著, 固井质量得到了很大提高。

3.3 气层封固段固井质量分析

录井资料表明, 元页 HF-1 井在 3 131.00~3 133.00 m, 3 136.00~3 151.00 m, 3 234.00~3 241.00 m, 3 378.00~3 379.00 m, 3 569.00~3 570.00 m 和 3 608.00~3 611.00 m 井段均有较好的油气显示, 其固井质量见表 3。

从表 3 可以看出, 气层井段测井相对声幅值均小于 15%, 固井第二界面固井质量为优质。特别是

表3 元坝 HF-1 井气层段固井质量评价结果

Table 3 Cementing quality of gas zone section in Well Yuanye HF-1

序号	井段/m	厚度/m	现场解释	固井质量评价
1	3 131.00~3 133.00	2	微含气层	相对声幅值 3%, 第二界面优质
2	3 136.00~3 151.00	15	含气层	相对声幅值小于 5%, 第二界面优质
3	3 234.00~3 241.00	7	微含气层	相对声幅值小于 15%, 第二界面优质
4	3 378.00~3 379.00	1	微含气层	相对声幅值小于 15%, 第二界面优质
5	3 569.00~3 570.00	1	微含气层	相对声幅值小于 5%, 第二界面优质
6	3 608.00~3 611.00	3	泥岩裂缝含气	相对声幅值小于 10%, 第二界面优质

3 136.00~3 151.00 m 含气层井段相对声幅值小于 5%, 3 608.00~3 611.00 m 泥岩裂缝含气井段相对声幅值小于 10%, 胶结质量均为优质。这充分说明, 滤饼固化剂对固井第二界面滤饼的作用效果显著, 使滤饼得以固化胶结, 实现了地层、滤饼和水泥环的整体固化胶结, 很好地封固了气层, 防止了气窜的发生, 达到了页岩气井优质固井的目的。

4 结论与建议

1) 室内评价结果表明, 滤饼固化剂可大幅度提高固井第二界面的胶结强度, 且其与水泥浆和钻井液之间的配伍性良好, 满足固井安全施工要求。

2) 元页 HF-1 井声幅-变密度测井解释结果表明, 无论是气层还是非气层, 固井第一、二界面的胶结质量均为优质, 表明滤饼固化剂可以显著提高固井质量, 为解决页岩气井固井质量低的问题提供了一种新方法。

3) 为了进一步验证滤饼固化剂对固井第二界面滤饼的固化作用效果, 建议继续开展相关现场试

验, 并进行深入系统的深井滤饼固化理论研究, 最终形成一种深井滤饼固化防气窜固井技术。

参 考 文 献

References

- [1] 牛新明, 张克坚, 丁士东, 等. 川东北地区高压防气窜固井技术[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 10-15.
Niu Xinming, Zhang Kejian, Ding Shidong, et al. Gas migration prevention cementing technologies in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 10-15.
- [2] 汤少兵, 刘爱萍, 谢承斌, 等. 影响四川地区天然气井固井质量的地质因素分析及对策[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(1): 72-77.
Tang Shaobing, Liu Aiping, Xie Chengbin, et al. Analysis on geologic factors affecting cementing qualities of natural gas wells in Sichuan Area[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(1): 72-77.
- [3] 张宏军. 深井固井工艺技术研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(5): 44-48.
Zhang Hongjun. Deep well cementing technology research and application[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(5): 44-48.
- [4] 刘振通, 吴洪波, 宋元洪, 等. Thingadong-1 复杂高压气井大尺

- 寸套管固井技术[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(4): 57-59.
- Liu Zhenlong, Wu Hongbo, Song Yuanhong, et al. Cementing technology in large casings of high pressure gas Well Thingadong-1[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(4): 57-59.
- [5] 顾军, 高德利, 石凤歧, 等. 论固井二界面封固系统及其重要性[J]. 钻井液与完井液, 2005, 22(2): 7-10.
- Gu Jun, Gao Deli, Shi Fengqi, et al. The two contacts cementing system in cementing job and its importance[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2005, 22(2): 7-10.
- [6] Gu J, Wang B, Yang B. The influences of interface missing and formation property on shearing strength at cement-formation interface[J]. Petroleum Science and Technology, 2011, 29(6): 633-639.
- [7] 钟沛, 刘浩亚, 杨亚馨, 等. 不同钻井液对固井二界面胶结强度的影响[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(1): 56-59.
- Zhong Pei, Liu Haoya, Yang Yaxin, et al. Research on effect of cement strength in second interface by different drilling fluid system[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012, 29(1): 56-59.
- [8] 徐滨. 矿渣 MTC 固井技术在大港油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(4): 23-24.
- Xun Bin. Applications of MTC cementing technology in Dagang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(4): 23-24.
- [9] 杨红歧, 黄树明, 林志辉, 等. 大港油田马东深层矿渣 MTC 固井技术[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(4): 20-22.
- Yang Hongqi, Huang Shuming, Lin Zhihui, et al. Applications of MTC cementing technology in Madong Deep Sections in Dagang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(4): 20-22.
- [10] 黄河福, 步玉环, 田辉, 等. MTC 固井液二界面胶结强度实验研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(6): 46-50.
- Huang Hefu, Bu Yuhuan, Tian Hui, et al. Bonding strength experiment of mud to cement fluid on the second interface[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2006, 30(6): 46-50.
- [11] 丁士东, 高德利, 胡继良, 等. 利用矿渣 MTC 技术解决复杂地层固井难题[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(2): 5-7.
- Ding Shidong, Gao Deli, Hu Jiliang, et al. Solving cementing challenges in complicate formations via the MTC technique[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005, 33(2): 5-7.
- [12] 崔龙兵. 沙 65 深井抗高温矿渣 MTC 固井技术[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(3): 20-21.
- Cui Longbing. MTC cementing techniques in Sha 65 Deep Well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(3): 20-21.
- [13] 顾军, 杨亚馨, 张鹏伟, 等. MTA 防窜固井技术原理及现场应用分析[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(1): 17-21.
- Gu Jun, Yang Yaxin, Zhang Pengwei, et al. Principle of anti-channeling cementing technology with MTA method and field applications in Daqing/Shenli/Henan Oilfields[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(1): 17-21.
- [14] 顾军, 秦文政. MTA 方法固井二界面整体固化胶结实验[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 226-231.
- Gu Jun, Qin Wenzheng. Experiments on integrated solidification and cementation of the cement formation interface based on mud cake to agglomerated Cake(MTA) method[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(2): 226-231.
- [15] 李真祥, 王瑞和, 高航献. 元坝地区超深探井复杂地层固井难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(1): 20-25.
- Li Zhenxiang, Wang Ruihe, Gao Hangxian. Technical challenges arising from cementing ultra deep wells in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 20-25.
- [16] 周仕明, 李根生, 方春飞. 元坝地区 $\phi 146.1$ mm 尾管固井技术难点与对策[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4): 41-44.
- Zhou Shiming, Li Gensheng, Fang Chunfei. Difficulties and countermeasures for $\phi 146.1$ mm liner cementing in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 41-44.
- [17] 闫联国, 周玉仓. 彭页 HF-1 页岩气井水平段固井技术[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(4): 47-51.
- Yan Lianguo, Zhou Yucang. Horizontal well cementing technology of shale gas Well Pengye HF-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(4): 47-51.
- [18] 顾军, 杨卫华, 秦文政, 等. 固井二界面封隔能力评价方法研究[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 451-454.
- Gu Jun, Yang Weihua, Qin Wenzheng, et al. Evaluation method for isolation ability of cement-formation interface[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 451-454.
- [19] 焦少卿, 管红滨, 郭小阳, 等. 川东三高气井固井水泥浆设计应注意的问题以及现场应用效果[J]. 天然气勘探与开发, 2010, 33(2): 60-63.
- Jiao Shaoqing, Guan Hongbin, Guo Xiaoyang, et al. Cementing slurry design for HT/HP and high H_2S content gas wells[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2010, 33(2): 60-63.
- [20] 卢振义, 诸华军, 王竺, 等. 吉林油田浅层气井固井防窜水泥浆体系[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(6): 58-60.
- Lu Zhenyi, Zhu Huajun, Wang Zhu, et al. Research on anti-channeling cement slurry in shallow gas wells of Jilin Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(6): 58-60.
- [21] 张兴国, 高兴原, 冯明. 固井质量影响因素分析[J]. 钻采工艺, 2002, 25(2): 10-14.
- Zhang Xingguo, Gao Xingyuan, Feng Ming. An analysis of the influence factors on cementing quality[J]. Drilling & Production Technology, 2002, 25(2): 10-14.
- [22] 姬铜芝, 刘正锋, 王子荣, 等. 固井声幅-变密度测井的影响因素分析[J]. 测井技术, 2002, 26(6): 486-489.
- Ji Tongzhi, Liu Zhengfeng, Wang Zirong, et al. Analysis of influencing factors of cement evaluation based on the CBL-VDL logging data[J]. Well Logging Technology, 2002, 26(6): 486-489.