

鄂北工区水平井提速提效技术探讨

闫永辉

(中国石化集团华北石油局五普钻井公司,河南 新乡 453700)

摘要:随着鄂北工区大牛地气田的持续建产,水平井规模应用已成为气田开发的重点技术。但由于地层岩性变化、可钻性差异,泥岩稳定性,低破裂压力层段漏失,钻井液润滑和携岩能力,岩屑床的清除,以及钻遇泥岩煤层发生坍塌掉块等问题和不可控因素,对水平井钻井提速提效产生了不利的影响。系统分析了影响水平井提速提效的“瓶颈”问题,提出较为完善的技术方案,以实现水平井施工安全、快速、高效钻进的目的。

关键词:水平井;提速提效;岩屑床;轨迹控制;钻井液;鄂北工区大牛地气田

中图分类号:TE243 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2013)06-0043-05

Discussion on the Improvement of Drilling Speed and Efficiency for Horizontal Well in Northern Erdos Work Area / YAN Yong-hui (Wupu Drilling Company of North China Petroleum Bureau, Sinopec, Xinxiang Henan 453700, China)

Abstract: Along with the sustainable construction and production in Daniudi gas field in Northern Erdos work area, the large scale application has become the major technology in gas field development. But because of the unfavorable factors of lithological changes, rock drillability differences, instability of mud stone and leakage in light fracture and low pressure reservoir; the uncertain factors of lubrication performance of drilling fluid, cuttings carrying capacity and the removal of cutting bed; as well as the collapsing block-falling in drilled mudstone coal seam and some others, there were still many difficulties to improve the drilling efficiency. Based on the systematically analysis on these bottlenecks, the technical schemes were put forward.

Key words: horizontal well; increasing speed and efficiency; cuttings bed; trajectory control; drilling fluid; Daniudi gas field in Northern Erdos work area

1 制约鄂北工区水平井提速提效的因素

1.1 地质因素

鄂北区块钻遇地层自上而下岩性变化大,岩石可钻性差异大,机械钻速低,复杂情况多,施工周期长,影响钻井速度和井下安全。

- (1) 第四系和白垩系地层易坍塌和漏失。
- (2) 白垩系二马营组以上地层易斜。
- (3) 侏罗系安定、直罗泥页岩易水化膨胀,形成缩径,引起卡阻复杂情况。
- (4) 侏罗系延安、延长组砂岩易发生缩颈性卡钻和渗漏。
- (5) 三叠系和尚沟、刘家沟组存在低破裂压力层段,地层破裂压力梯度当量密度 $1.3 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 。石炭二叠系的部分煤层和煤系地层存在低破裂压力层段($1.35 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$),易发生井漏复杂情况。
- (6) 二叠系石千峰和上石盒子组地层不稳定,泥页岩易剥落、坍塌、掉块。泥、页岩的分散、水化、剥落是井壁失稳的主要原因。
- (7) 二叠系山西组、石炭系太原组煤层、泥岩易

发生坍塌,砂岩石英含量高(部分可达 80% 以上)研磨性极强,可钻性差。

(8) 石炭系本溪组含铁质结核,奥陶系马家沟组云岩、灰岩可钻性差,易发生钙化和漏失。

1.2 鄂北工区水平井施工难点

1.2.1 一开阶段施工“瓶颈”与难点

- (1) 第四系散砂层坍塌卡钻。
- (2) 井斜超标。
- (3) 表层套管下入困难。

1.2.2 二开上直井段“瓶颈”与难点

- (1) PDC 钻头的早期损坏。
- (2) 井斜超标,正位移过大,缩短斜井段靶前位移。
- (3) 泥浆密度过高,影响钻井效率。

1.2.3 二开斜井段“瓶颈”与难点

- (1) 钻井参数不合理达不到单弯螺杆理想的造斜率。钻压大,转速低,增斜率高,反之,增斜率则低。
- (2) 钻井液润滑性差,引起滑动钻进时,钻柱与

收稿日期:2012-12-27; 修回日期:2013-04-27

作者简介:闫永辉(1967-),男(汉族),河南郑州人,中国石化集团华北石油局五普钻井公司生产技术部副主任,钻井工程专业,从事钻井技术工作,河南省新乡市洪门,yyh674@163.com。

井壁摩擦产生的轴向摩阻和钻井液的吸附产生严重托压现象。

(3) 钻进上石盒子组泥岩时, 钻井液密度未能及时平衡地层压力, 使泥岩段井壁失稳。

(4) PDC 造斜钻头效果不明显, 需进一步研究。

1.2.4 水平井段“瓶颈”与难点

(1) 钻遇泥岩、煤层, 井壁失稳。

(2) 水平井钻井液携岩差, 形成岩屑床。

(3) 润滑性不好、摩阻大、托压严重, 钻进效率低。

2 水平井提速提效技术方案

2.1 一开井段(约 400 m)

2.1.1 钻头

选择 $\varnothing 311.2$ mm 江汉产 GA114 牙轮钻头。

2.1.2 钻具组合

$\varnothing 311.2$ mm 牙轮 + $\varnothing 203$ mm DC $\times 3$ + $\varnothing 178$ mm DC $\times 2$ + $\varnothing 159$ mm DC $\times 12$ + $\varnothing 127$ mm HWDP + $\varnothing 127$ mm DP 串。

2.1.3 钻井参数

$\varnothing 203$ mm DC 入井时采用 0 ~ 10 kN 钻压, 以水力冲击和旋转为主, 转速 80 ~ 60 r/min; $\varnothing 178$ mm DC 和 $\varnothing 159$ mm DC 入井时每根加压 5 ~ 8 kN, 逐步加压至 160 kN, 转盘转速 100 ~ 120 r/min, 钻井排量 40 ~ 45 L/s。

2.1.4 一开重点技术措施

(1) 使用大排量钻进 (45 L/s), 使用预水化膨润土浆;

(2) 每钻进 100 ~ 150 m 时测斜一次, 发现异常及时纠斜并加密测点。

2.2 二开上直井段(约 2200 m)

2.2.1 钻头

选择 $\varnothing 215.9$ mm PDC 钻头 (GD1605T 或 M1655FC)。

2.2.2 钻具组合及钻井参数

(1) $\varnothing 215.9$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 172$ mm 1° 或 1.25° 单弯螺杆 + $\varnothing 214$ mm 扶正器 + $\varnothing 172$ mm 无磁 DC $\times 1$ + $\varnothing 159$ mm DC $\times 12$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 15$ + $\varnothing 127$ mm DP 串 (401 ~ 1500 m)。

钻压 40 ~ 80 kN, 转速螺杆 + 45 ~ 50 r/min, 排量 30 L/s, 泵压 10 MPa 以上。

钻遇含砾岩层钻井参数: 钻压 30 kN 以内, 转速调低, 排量 18 L/s 左右。

(2) $\varnothing 215.9$ mm 钻头 + $\varnothing 172$ mm 无磁 $\times 1$ +

$\varnothing 178$ mm DC $\times 2$ + $\varnothing 159$ mm DC $\times 10$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 15$ + $\varnothing 127$ mm DP 串 (1500 ~ 2200 m)。

钻井参数: 钻压 6 ~ 14 kN, 转速 75 ~ 85 r/min, 排量 30 L/s。

2.2.3 上直井段重点技术措施

(1) 使用螺杆 + PDC 钻具复合钻进, 在上部井段实现快速钻井。

(2) 控制好钻井液密度, 1500 m 之前 1.05 g/cm³, 2200 m 之前 1.07 g/cm³。

2.3 二开斜井段(造斜率 4.95°/30 m)

2.3.1 钻头

选用牙轮钻头或 PDC 钻头。

2.3.2 钻具组合

$\varnothing 215.9$ mm 钻头 + $\varnothing 172$ mm 1.5° 单弯螺杆 + $\varnothing 178$ mm MWD 无磁循环短节 $\times 1$ + $\varnothing 172$ mm 无磁 DC $\times 1$ + $\varnothing 159$ mm 无磁转换接头 $\times 1$ + $\varnothing 127$ mm 无磁承压 DP $\times 1$ + $\varnothing 127$ mm HWDP + $\varnothing 127$ mm DP 串。

2.3.3 钻井参数

钻压 80 ~ 120 kN, 转速螺杆 + 35 ~ 40 r/min, 排量 30 ~ 32 L/s, 泵压 10 ~ 15 MPa。

2.3.4 斜井段重点技术措施

(1) 做好地层预测(如泥岩、煤层等), 有针对性的进行钻井液调整维护和工程技术措施, 在钻遇特殊地层时, 尽可能采用复合钻井方式快速穿过, 减少钻具在泥岩段和煤层段的活动次数, 减少钻具对井壁的机械碰撞。跟踪分析井眼轨迹状况, 做好轨迹的超前预测, 超前制定下步作业预案, 确保后期施工顺利及技术套管的顺利下入。

(2) 斜井段钻至盒 1 段前将钻井液密度逐步提高至 1.20 g/cm³ (密度走设计上限, 严格控制失水在设计下限), 并视岩屑情况及时调整。钻井液密度需逐步提高, 提高幅度 ≥ 0.02 g/cm³ 为宜, 直至钻进石盒子组易塌泥岩逐步提高至不低于 1.20 g/cm³。

(3) 测井结束后, 使用 2 根 $\varnothing 178$ mm DC 进行模拟通井, 通井中要操作平稳, 遇阻进行点划, 直至消除阻卡。

(4) 起下钻穿越煤层和上石盒子泥岩时控制速度, 防止抽吸和“激动”造成井壁失稳。避免在煤层定点循环。

2.4 三开水平井段

2.4.1 钻头

PDC 钻头 (GD1605T 或 P5235MJH)。

2.4.2 钻具组合

Ø152.4 mm 钻头 + Ø120 mm 1.0° 单弯螺杆 + Ø120 mm 无磁 DC × 1 + LWD(自然伽玛) + Ø88.9 mm 无磁承压 DP × 1 + Ø88.9 mm DP + Ø88.9 mm HWDP + Ø88.9 mm DP 串

2.4.3 钻井参数

钻压 80 ~ 120 kN, 转速螺杆 + 35 ~ 40 r/min, 排量 30 ~ 32 L/s, 泵压 19 ~ 21 MPa。

2.4.4 三开水平段重点技术措施

(1) 积极与钻井液服务、定向服务、录井人员沟通、配合, 做好地层预测, 钻井液性能维护和井眼轨迹控制, 降低水平井段的摩阻。发现泥岩及时汇报, 立即采取控制措施。

(2) 使用螺杆水平段钻进时, 要严格按照螺杆推荐参数执行, 防止钻井参数过大, 导致螺杆早期损坏。

(3) 注意观察钻进过程摩阻情况, 及时采取措施清除岩屑床。每钻进完一个立柱, 在开泵的情况下大幅度活动钻具 2 ~ 3 次, 达到破坏岩屑床的目的, 适时进行短程起下钻一次, 确保井眼畅通。

(4) 钻遇泥岩段超过 50 m, 立即提高钻井液密度和抑制性, 防止泥岩段垮塌。

3 水平井钻井液技术与阶段技术要点

3.1 一开井段钻井液技术

一开使用钾铵基聚合物钻井液体系, 用 K-PAM 和 K-HPAN 复配稀胶液补充, 维护钻井液的抑制性和携岩能力, 确保砂层不出现坍塌; 随着井深的增加, 控制失水、适当降低粘切防止井壁厚泥饼引起的起下钻不畅, 确保井内安全; 完钻后, 充分循环, 将井内的岩屑循环干净, 用稠塞封下部井段保证下套管和固井作业的顺利进行。

3.2 二开直井段钻井液技术

二开采用低固相钾铵基聚合物钻井液体系, 此体系易控制和维护、性能稳定、防塌抑制性强、润滑性好、水眼粘度低、固相含量低、瞬时失水高、絮凝能力强, 钻屑易清除。

控制降低钻井液密度和有害固相, 2200 m 以前控制密度 $> 1.07 \text{ g/cm}^3$, 确保钻井效率大幅提升。石千峰组上部井段采取勤补少补的原则进行补充, 以防粘切过高而引起 PDC 钻头泥包。

3.3 二开斜井段钻井液技术

二开斜井段采用钾铵基聚磺钻井液体系, 定向造斜前将钻井液中劣质固相彻底清除, 在循环浆内加入固体润滑剂降低泥饼粘滞系数, 加大包被抑制

剂和降滤失剂的用量, 控制 pH 值, 保证井眼稳定, 通过提高动切力, 保证携岩性, 避免大斜度井段岩屑下滑形成岩屑床; 通过加入磺化沥青、防塌剂、超细碳酸钙、单向压力封闭剂对地层裂隙进行封堵, 并提高密度至 1.22 g/cm^3 , 平衡泥岩和煤层的坍塌应力, 防止泥岩、煤层坍塌; 调整好流变参数, 提高钻井液的粘度、切力、动塑比。下套管前, 在循环浆内加入 1% 的润滑剂降低泥饼粘滞系数, 井内循环干净后, 用稠塞封闭下部井段, 确保下套管的顺利。

3.4 测井及下套管钻井液技术

对存在“大肚子”的井眼先用循环浆配制 20 m^3 左右粘度 100 s 以上的稠浆携带岩屑, 保证井眼清洁, 然后用粘度 80 s 以上的稠浆进行封闭, 然后起钻测井及下套管作业。

模拟通井时, 钻井液性能无特殊情况不作大幅度调整, 通井到底和套管下到底后建立正常循环后, 加入配置好的丹宁稀释剂进一步降低粘切, 以确保固井顺利。

3.5 水平井段钻井液技术

三开水平段使用钾铵基聚合物钻井液体系。使用 K-PAM 和铵盐调整钻井液的粘度和切力, 保持较高的动切力、动塑比及流型, 保证钻井液有良好的携岩性和悬浮性, 防止岩屑床的形成。用 HV-CMC 提高钻井液粘度, 减少进入地层的钻井液滤液; 用磺化沥青和润滑剂, 提高钻井液防塌润滑性; 及时补充 K-PAM、K-HPAN、 NH_4 -HPAN, 来加强钻井液的抑制性, 抑制泥岩的水化膨胀掉快; 用超细碳酸钙、无荧光防塌剂以及磺化沥青提高钻井液的防塌封堵能力; 用 K-HPAN、 NH_4 -HPAN 和 CMC 降低失水; 加入烧碱, 调节 pH 值防止泥浆发酵。使用好固控设备, 尤其是确保高速离心机的使用率, 及时清除钻井液中的有害固相。控制钻井液密度 $> 1.06 \text{ g/cm}^3$ 。若钻遇大段泥岩将钻井液密度提高至 1.15 g/cm^3 并及时添加 2% ~ 3% 防塌剂以利于井壁的稳定。

4 现场实践与效果

2012 年采取上述技术在鄂北工区大牛地气田进行了多口水平井施工, 水平井提速提效效果明显。下以 DPH-30 井为例说明施工效果

4.1 一开井段提速效果

DPH-30 井一开 403.00 m, 使用江汉产 Ø311.2 mm GA114) 钻头, 纯钻时间 12 h, 平均机械钻速 33.58 m/h , 一开周期 2.19 天。

钻具组合: $\varnothing 311.2$ mm 钻头 + $\varnothing 203$ mm DC $\times 3$ + 165 mm DC $\times 18$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 3$ + $\varnothing 127$ mm DP 串。

2012年在DPH-30井应用一开阶段提速技术方案后效果明显,推广应用至后续5口井综合指标有一定的提高。

4.2 直井段提速效果

二开上直井段第一趟钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm PDC 钻头 + 1° 或 1.25° 单弯螺杆 + $\varnothing 214$ mm 扶正器 + $\varnothing 172$ mm 无磁 DC $\times 1$ + $\varnothing 159$ mm DC $\times 12$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 15$ + $\varnothing 127$ mm DP 串(403 ~ 1190 m)。

实现了高效快速钻进,机械钻速达 47.7 m/h。

第二趟钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm 钻头 + $430 \times 4A10$ + $\varnothing 172$ mm 无磁 DC $\times 1$ + $4A10 \times 410$ + $\varnothing 212$ mm 扶正器 + $\varnothing 165$ mm DC $\times 13$ + $410 \times 4A11$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 6$ + $\varnothing 127$ mm DP 串。

实现了快速钻井技术和防斜的双重效果,最大井斜为 1.82° ,钻速达 18.38 m/h。

DPH-30井直井段使用2只GD1605钻头钻达造斜井深2100 m,上直井段总进尺1697 m,纯钻时间66 h,钻速 25.71 m/h,周期为4.69天。

2012年在DPH-30井应用直井段提速技术方案后效果明显,推广应用至后续5口水平井综合指标有很大的提高。尤其是机械钻速提高幅度达 18.58% 。上直段大都实现2只钻头完成。

表1为方案改进前后指标对比。

表1 2011年与2012年部分井上直段技术数据对比

年份	上直段周期 /天	机械钻速 /($m \cdot h^{-1}$)	进尺 /m	纯钻时间 /h
2011	5.68	15.82	1819.75	115
2012	6.18	18.76	1942	103.5

4.3 斜井段提速效果

斜井段主要采用复合加滑动钻进方式,比例3:2左右,在基本满足扭方位、增井斜要求,平均增斜率在 $4.5^\circ/30$ m 左右,效果较好,井眼轨迹平滑,起下钻基本没有阻卡现象。

造斜钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 172$ mm 螺杆 (1.5°) + MWD 接头 + $\varnothing 172$ mm 无磁钻铤 + $\varnothing 127$ mm DP $\times 30$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 24$ + $\varnothing 127$ mm DP 串。

稳斜钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm PDC + 410×430 双母 + 无磁悬挂 + $\varnothing 172$ mm 无磁 DC $\times 1$ + $\varnothing 127$ mm DP $\times 24$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 24$ + $\varnothing 127$ mm DP 串。

该钻具组合稳斜效果较好,井斜变化率 $< 1^\circ/30$

m。

侧钻钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 172$ mm 螺杆 (1.5°) + MWD 接头 + $\varnothing 172$ mm 无磁钻铤 + $\varnothing 127$ mm DP $\times 30$ + $\varnothing 127$ mm HWDP $\times 24$ + $\varnothing 127$ mm DP 串。

采用 1.5° 螺杆加牙轮钻头,通过控时钻进工艺,一次性侧钻成功。

DPH-30井斜井段长918 m(含导眼349 m),纯钻时间239.8 h,机械钻速 3.83 m/h,周期18.19天。

2012年在DPH-30井应用斜井段提速技术方案施工,取得较好的效果,推广应用至后续5口井施工综合指标有一定的提高。通过技术完善和钻头优选,在4口井有导眼施工,造斜段增加277 m的情况下,提速提效取得显著进步,机械钻速提高 23.4% 。表2为方案改进前后指标对比。

表2 2011年与2012年部分井斜井段技术数据对比

年份	斜井段周期 /天	机械钻速 /($m \cdot h^{-1}$)	进尺 /m	纯钻时间 /h
2011	18.14	2.99	586	196
2012	19.74	3.69	863.6	243

4.4 水平段使用效果

水平段钻进在动力钻具上加一个欠尺寸扶正器,降低了复合钻进时的增斜率,效果较好。但要勤活动钻具防止粘卡的发生。

水平段钻具组合: $\varnothing 152.4$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 127$ mm 螺杆 (1.25°) + $\varnothing 147$ mm 稳定器 + MWD 接头 + $\varnothing 120$ mm 无磁钻铤 $\times 3.5$ + $\varnothing 88.9$ mm DP $\times 69$ + $\varnothing 88.9$ mm HWDP $\times 26$ + $\varnothing 88.9$ mm DP 串。

施工过程及时调节钻井液流型,保持较高粘切、动塑比 > 0.5 ,增强了体系护壁能力及悬浮携带能力。配合工程短起下钻、倒划眼等措施有效清除岩屑床,保证井眼畅通。

DPH-30井水平段1200 m,机械钻速 9.96 m/h,水平段周期7.74天。

2012年在DPH-30井应用水平段提速方案取得效果后,推广应用至后续5口井综合指标与2011年相比,进步巨大,施工周期下降了2.09天,周期缩短 23.5% ,机械钻速提高了 39.45% 。表3为方案改进前后指标对比。

表3 2011年与2012年部分井水平段技术数据对比

年份	水平段周期 /天	机械钻速 /($m \cdot h^{-1}$)	进尺 /m	纯钻时间 /h
2011	8.89	8.34	1024.34	122.82
2012	6.8	11.23	1200	104.95

4.5 特作周期

DPH-30井特作周期由于井眼状况好,生产组织、工序衔接好,周期仅为7.20天。影响特作的主要环节是:从软测井、硬测井到模拟通井,到下套管固井等,这些工作的无缝衔接是特作阶段关键点,也是钻井液处理的关键点。

2012年在DPH-30井施工时通过井眼技术准备、抓好生产组织、工序衔接等措施,特种作业时间大幅下降,将这种模式推广应用至后续5口井,在增加导眼回填、固井候凝工序的情况下特种作业时间与2011年相比周期缩短5.96%。

表4为模式改进前后指标对比。

表4 2011年与2012年部分井特作周期数据对比

年份	特作周期/天	备注
2011	7.88	无导眼
2012	7.41	5口井4口有导眼

5 结论与建议

(1)直井段提速采用复合钻进为主,低密度优质钻井液、优选钻头和优化参数提高直井段机械钻

速。

(2)斜井段第一只牙轮钻头的使用效果,直接影响后期PDC的使用。

(3)水平段重视钻头和螺杆选型,减少起下钻次数,提高水平段钻进速度。

(4)根据地质临井资料提前合理控制轨迹,保证气层砂体钻遇率。

(5)水平井钻井液必须具有良好的携砂性、润滑性及防塌性,才能有效地提高水平井钻井速度。

参考文献:

- [1] 余中岳. DF2井施工难点及技术对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 43-45.
- [2] 张国海. 苏里格53区块水平井综合提速技术[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(5): 92-95.
- [3] 柯学, 冉照辉, 陈建, 等. 苏里格气田77区块优快钻井配套技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 5-10.
- [4] 冯朋鑫, 李进步, 等. 水平井技术在苏里格低渗油气藏中的应用[J]. 石油化工应用, 2010, 29(8).
- [5] 宁印平, 薛波, 等. 鄂尔多斯盆地延长区块天然气勘探钻井液技术改进与应用[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(2): 126-128.

(上接第37页)

6 结语

(1)优化钻孔结构,采取下活动套管法施工,可以提高施工进度;针对不同的孔段采取合理冲洗液配方,并综合应用惰性材料和水泥封孔堵漏,能减少孔内事故率,提高效率,节约生产成本。

(2)在易造斜地层,采取绳索取心液动潜孔锤技术可以减少钻孔弯曲度,提高钻孔质量。

(3)在钻进施工中,技术人员应该时时了解孔内情况,并积极观察岩心,掌握第一手资料。并综合利用各种钻探技术手段,解决遇到的钻进问题,可以起到事半功倍的效果。

(4)在破碎无胶结的碎石矿层取心,多功能孔底反循环单动双管取心是较好的方法之一。

(5)初步形成的钻探工艺组合,仍存在钻探周

期长、效率较低、成本提高等实际问题,需要进一步研究解决关键技术难题的基础上,探讨钻探工艺方法的最佳优化组合。

参考文献:

- [1] 王建华, 苏长寿, 左新明. 深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J]. 勘察科学技术, 2011, (6): 59-64.
- [2] 杨树伟, 李国志. 科右中旗查干楚鲁矿区钻探施工中护壁堵漏的几点体会[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(7): 18-21.
- [3] 陈全明, 毛雅杰. 湘河大泉钒矿复杂地层钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 21-23.
- [4] 王扶志, 张志强, 宋小军. 地质工程钻探工艺和技术[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2008.
- [5] 李之军, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔断层的泥孔段泥浆体系的研究和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 13-15, 19.
- [6] 周亮. 煤系地层护壁堵漏钻井液配制技术探讨[J]. 中国煤炭地质, 2009, (9).