

松辽盆地大陆科钻二开段大井眼钻井液技术

郑文龙^{1,2}, 乌效鸣^{1,2}, 黄聿铭³, 王稳石³, 吴笛^{1,2}, 黄河^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北武汉 430074;

2. 岩土钻掘与防护教育部工程研究中心, 湖北武汉 430074;

3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

[摘要]CCSD-SK2 井是一口钻穿松辽盆地白垩纪陆相沉积地层的中国大陆科学钻探井。二开段先以 216mm 口径钻至 2806.20m, 然后进行 444.5mm 口径扩孔。泥页岩地层大井眼钻进过程中粘土矿物含量高且易造浆, 砂砾岩层渗透性强易粘卡, 井壁稳定控制与钻屑携带难度大。选用了钾铵聚合物钻井液体系和聚磺钻井液体系, 通过正交实验确定了钻井液配方。将钻井液控制在合适的密度、较低的失水量以及较强的封堵性, 有效实现了井壁稳定; 保持适当的环空返速、较高的动塑比以及定期打稠塞举砂等措施, 有效实现了井眼净化。1086.45m~1147.56m 与 1182.74m~1256.01m 井段累计收获岩心 130.90m, 取心率达到 97.41%, 平均机械钻速为 0.84m/h; 最终顺利钻至 2806.20m。

[关键词] 松辽盆地 科学钻探 大井眼 钻井液 井壁稳定 携岩

[中图分类号] TE254 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2016)05-0931-06

DOI:10.13712/j.cnki.dzykt.2016.05.014

Zheng Wen-long, Wu Xiao-ming, Huang Yu-ming, Wang Wen-shi, Wu Di, Huang He. Drilling fluid technology applied in a large hole of the second spudding of the scientific drilling well in the Songliao basin [J]. *Geology and Exploration*, 2016, 52(5): 0931-0936.

大陆科学钻探是人类探索地球奥秘的最直接途径, 被誉为深入地球内部的“望远镜”(许志琴, 2004)。我国作为国际大陆科学钻探计划的发起国之一, 已经在大陆地区实施了江苏东海县大陆科钻工程(CCSD)、青海湖环境钻探工程(CESD)、汶川地震断裂带科学钻探工程(WFSD)以及白垩纪松辽盆地资源与环境深部钻探工程(CCSD-SK)等(王达, 2002; 李之军等, 2009; 苏德辰等, 2010; 张金昌等, 2010)。目前正在施工的松辽盆地科学钻探工程松科 2 井东孔为我国第一口钻穿白垩纪陆相沉积地层的大陆科学钻探井, 也是继前苏联科拉超深井(12262m)和德国 KTB 超深井(9101m)等科钻井之后我国第一深科学钻探直井, 设计井深 6400m(郑文龙等, 2015)。该井的实施将对于开展白垩纪沉积环境和气候研究、实现油气勘探新突破、提升深部钻探技术具有重要意义(邹长春等, 2016)。

作为钻井工程的一部分, 钻井液在确保安全、快速钻进等方面具有重要的作用(代国忠等, 2010; 胡

继良等, 2012; 郑文龙等, 2015)。针对不同的钻进工艺及地层情况, 钻井液设计及性能调整各不相同(张培丰等, 2008; 张培丰, 2012; 张统得等, 2012; 代国忠等, 2014)。

松辽盆地徐家围子地区开采井多在 4000m 以内, 地层稳定性差且地温梯度高达 4.1℃/100m(孔凡军等, 2005)。以往使用过多种钻井液体系, 如有机硅钻井液、硅酸盐钻井液、甲酸盐钻井液、油包水钻井液等, 虽取得了较好的钻进效果, 但是普遍存在成本较高的现象(石德勤等, 2002; 毛伟汉等, 1997; 王波等, 1997)。尤其是对于超深井而言, 井身结构复杂且钻进周期长, 大口径钻进过程中普遍存在环空返速低, 钻井液处理量大且井眼清洁及固相含量控制困难等实际情况(王树永等, 2007; 薛建国等, 2008)。

二开段将钻穿嫩江组、姚家组、青山口组、泉头组及登娄库组上部。地质设计显示, 泉二段顶部存在断层等复杂地质条件, 围岩坍塌应力大; 青山口组

[收稿日期] 2016-07-20; [修改日期] 2016-08-25; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 地质调查项目“松辽盆地资源与环境深部钻探示范”(编号: 12120113017600) 资助。

[第一作者] 郑文龙(1988 年-), 男, 中国地质大学(武汉)博士研究生在读, 主要从事钻井液与压裂液方面研究工作。E-mail: 15138480305@163.com。

湖相沉积地层,灰绿色页岩发育,易发生剥落坍塌,井漏、划眼等复杂情况发生的几率较高(侯杰等,2015;李瑞营等,2015)。

1 井身结构与钻进工艺

CCSD-SK2 设计井深为 6400m,属于超深井,井身结构如表 1 所示。其中,一开以 444.5mm 口径成孔,再以 660mm 钻头扩孔至 450m,下 $\Phi 508$ mm 套管固井;二开先以 216mm 成孔,期间于 1074m ~ 1134m(嫩江组一段)及 1185m ~ 1245m(嫩江组二段)井段进行取心钻进,之后采用 444.5mm 钻头扩孔至 2806.20m,下 $\Phi 340$ mm 套管固井;三开以后采取“同径取心,一次成孔”的钻进方案进行连续取心。岩心直径要求不小于 90mm,全井平均岩心采取率不低于 95%。在综合比较各类取心钻具性能优缺点后,最终选择了勘探技术研究所自行研发的 KT-298 型号单动双管取心钻具进行取心工作,驱动方式为转盘+螺杆钻具复合驱动。

表 1 井身结构与套管规格

Table 1 Well structure and casing size

开次/	井深/m	井径/mm	套管规格/mm
一开	0 ~ 450	$\Phi 660$	$\Phi 508$
二开	450 ~ 2840	$\Phi 445$	$\Phi 340$
三开	2840 ~ 4500	$\Phi 311$	$\Phi 245$
四开	4500 ~ 5800	$\Phi 216$	$\Phi 178$
五开	5800 ~ 6400	$\Phi 152$	裸眼

2 钻井液技术难点

二开施工顺序为:先以 216mm 成孔,完成设计取心任务后再以 444.5mm 扩孔。扩孔深度在国内首次超过 2800m,尚无经验可借鉴。在充分考虑成井工艺、扩孔难度、地质构造、地层特性等因素后,确定该井钻井液技术难点主要有:

(1) 小口径 216mm 成孔阶段,上部一开套管直径为 508mm。上下两部分井段井径相差悬殊,不同井段的泥浆返速相差较大,如何实现钻屑顺利返排至关重要。

表 2 聚合物钻井液配方正交实验

Table 2 Orthogonal tests of polymer drilling fluid formulation

序号	KPAM	NH ₄ HPAN	LV-CMC	AV/mPa·s	PV/mPa·s	YP/Pa	FL/ml
1#	0.1%	0.2%	0.1%	8	7	1	22
2#	0.1%	0.4%	0.3%	9	7	2	4.5
3#	0.1%	0.6%	0.5%	12.5	11	1.5	3.5
4#	0.2%	0.2%	0.3%	15.5	10	5	7

(2) 地层粘土矿物含量高,造浆能力强,流变性调整困难。嫩江组及泉四段、登娄库组下部的泥岩粘土矿物含量达到 60% 以上,水敏性强,钻进过程中易水化分散,导致粘切急剧上涨,造成钻井液固相污染严重。钻井液处理量大,尤其是粘切高时,固相控制难度大。

(3) 泉四段存在断层破碎带,长时间大井眼钻进过程中,发生掉块、垮塌的风险大,井眼难以保持稳定,且存在掉块卡钻风险。

(4) 部分层段夹杂强渗透砂砾岩,在压差作用下易形成虚厚泥皮,容易导致起下钻困难和粘附卡钻。

(5) 先导孔的存在导致后续扩孔阶段井壁失稳的风险大。井径大且裸眼段长,前期成孔过程中钻井液滤液侵入地层导致围岩强度下降,在扩孔阶段极易发生剥落掉块。此外,初次成孔形成的泥皮在扩孔时被破坏,在钻具扰动及液流冲击作用下进一步分散,导致无用固相急剧增大。

3 钻井液体系与配方的确定

为有效解决上部地层造浆引起的流变性能恶化及大井眼快速钻进条件下携岩困难的问题,选用了具有强絮凝能力和良好剪切稀释性的低固相聚合物钻井液体系;为应对泥页岩水化剥落、坍塌的问题,采用了具有良好封堵防塌能力的聚磺钻井液体系。其中,聚磺钻井液是由聚合物钻井液转换而来,即在聚合物钻井液的基础上添加部分磺化材料,并补充聚合醇、FT-1、QS-2 等封堵性粒子,即可达到良好的防塌与抗温效果。

3.1 钾铵聚合物钻井液配方设计及性能评价

选择 KPAM、NH₄HPAN、CMC-LV 作为主要处理剂进行正交实验。其中 KPAM 作为絮凝包被剂,能对钻屑起到良好的絮凝、包被作用,可有效防止钻屑进一步分散;NH₄HPAN 作为聚合物降失水剂,兼具一定的降粘效果;CMC-LV 作为降失水剂,兼具一定的提粘效果。部分正交试验数据如表 2 所示。

续表 2

Continued Table 2

序号	KPAM	NH ₄ HPAN	LV – CMC	AV/mPa ·s	PV/mPa ·s	YP/Pa	FL/ml
5#	0.2%	0.4%	0.5%	19	14	5	7
6#	0.2%	0.6%	0.1%	12.5	9	3.5	8
7#	0.3%	0.2%	0.5%	33	24	9	4.5
8#	0.3%	0.4%	0.1%	18.5	12	6.5	7.5
9#	0.3%	0.6%	0.3%	23.5	17	6.5	6.5
I	9.8	18.8	13	AV			
II	15.7	15.5	16				
III	25	16.2	21.5				
R	15.2	3.3	8.5				
I	10	11.2	12.5	FL			
II	7.33	6	6				
III	6.2	6	5				
R	3.8	5.2	7.5				

注: I ,II ,III 分别为某种处理剂在同一加量时对应 AV/FL 的均值; R 为该单种处理剂不同加量时对应 AV/FL 均值的级差值; 基浆为 4% NV – 1 + 0.24% Na₂CO₃ + 0.1% NaOH。

由上表可知 ,三种处理剂中 ,KPAM 对粘度影响的极差值 R 最大 ,说明其对粘度影响最大; CMC – LV 对失水量影响的极差值 R 最大 ,说明其对失水量的影响最大。综合考虑流变性与失水量等性能 ,确定配方 9# 为最优配方。在此基础上继续加入重晶石粉 ,将密度调整至设计密度 1.15g/cm³ ,此时钻井液大致配方为: 4% NV – 1 + 0.24% Na₂CO₃ + 0.1% NaOH + 0.3% KPAM + 0.6% NH₄HPAN + 0.5% CMC – LV + 重晶石粉 ,记为 10#。配方 10# 在室温下的主要性能见表 3。

表 3 聚合物钻井液配方 10# 基本性能

Table 3 Parameters of polymer drilling fluid formulation 10#

配方	ρ/ g/cm ³	AV/ mPa ·s	PV/ mPa ·s	YP/ Pa	GEL/ Pa/Pa	FL ml
10#	1.15	22.5	15	7.5	1/4	6.7

此外 ,为进一步评价该配方的抑制性 ,分别进行了膨胀量测试与泥页岩滚动回收试验。所用样品为井深 1285m 左右的钻屑 ,其矿物组分大致为: 伊蒙混层占 65% ,绿泥石占 5% ,伊利石占 5% ,非粘土类矿物(石英、长石等) 占 25%。在相同的试验条件下 ,清水与钾铵聚合物钻井液的热滚回收率分别为 36.2% 与 76.8% ; 24h 线性膨胀百分比分别为 32.5% 与 12.5%。说明该钻井液具有较好的抑制钻屑水化分散的能力。

3.2 聚磺钻井液配方设计及性能评价

在钾铵聚合物钻井液配方的基础上 ,通过添加 QS – 2、FT – 1 等材料提高泥浆的封堵能力 ,实验结果见表 4; 补充适量的 RH – 30 作为润滑剂以提高润滑性并消泡 ,实验结果见表 5; 添加 SMC、SMP 等磺化材料以进一步控制失水量 ,并提高其抗温能力。

表 4 FT – 1 与 QS – 2 对流变性和失水造壁性能的影响

Table 4 Influence of FT – 1 and QS – 2 on rheology and wall building properties

配方	ρ/g/cm ³	AV/mPa ·s	PV/mPa ·s	YP/Pa	GEL/Pa/Pa	FL ml
10#	1.15	22.5	15	7.5	1/4	6.7
10# + 2% QS – 2	1.15	23	15	8	1/4	5.6
10# + 2% FT – 1	1.15	22	16	6	1/4	5.2
10# + 2% QS – 2 + 2% FT – 1	1.15	22	16	6	1/4	4.4

由表 4 可知 ,FT – 1 与 QS – 2 的加入对流变性影响不大 ,但均具有一定的降失水能力。这是因为 ,二者都能改善泥浆中固相颗粒的粒径级配 ,实现物

理性封堵以提高造壁能力; QS – 2 作为刚性颗粒 ,在造壁过程中起到骨架作用; FT – 1 良好的压缩变形能力和一定的吸附能力 ,使得造壁性能得到进一步

改善。两者加量在 2% 时均可实现良好的降失水效果。

润滑剂 RH-30 为复合类型的润滑剂,主要成分包括矿物油,以及斯盘 80、十二烷基苯磺酸钠、OP-10 等表面活性剂,能显著改善泥浆的润滑性能。

表 5 润滑剂 RH-30 对润滑性能的影响

Table 5 Influence of different adding amounts of RH-30 on lubricity

RH-30 加量(%)	K_s	K_f
0	0.22	0.13
1	0.14	0.11
2	0.12	0.10
3	0.11	0.10

由表 5 可知,当润滑剂 RH-30 的加量增大至 2% 时,钻井液已达到良好的润滑效果,再提高其加量对润滑性能也没有更大提升,所以选定 RH-30 的加量为 2%。

为提高钻井液的抗温能力,补充 SMC、SMP 等磺化材料。实验发现,当 SMC 与 SMP 的加量分别为 2% 时即可实现抗 120℃ 的能力,实验数据见表 6。此时钻井液配方为 4% NV-1 + 0.24% Na_2CO_3 + 0.1% NaOH + 0.3% KPAM + 0.6% NH_4HPAN + 0.5% CMC-LV + 2% FT-1 + 2% QS-2 + 2% RH-30 + 2% SMC + 2% SMP,记为 11#。

表 6 聚磺钻井液配方性能表

Table 6 Parameters of polysulfonate drilling fluid formulation 11#

配方	$\rho/\text{g}/\text{cm}^3$	$AV/\text{mPa}\cdot\text{s}$	$PV/\text{mPa}\cdot\text{s}$	YP/Pa	$GEL/\text{Pa}/\text{Pa}$	FL/ml
11#	1.15	26	19	7	2/5	3.2
120℃ 热滚后	1.15	22	17	5	1/4	3.8

注:热滚条件为 120℃ × 16h。

由上表可知,聚磺钻井液流变性能良好,失水量较低;在 120℃ 条件下加热滚动后粘度略降;失水量略微增加;总体性能变化不大,考虑到井底预计温度在 120℃ 以内,所以该配方满足抗温要求。

4 现场应用

(1) 成孔阶段

二开开钻时,首先放掉一部分钻水泥塞时受污染严重的井浆,然后补充 NaHCO_3 以清除泥浆中游离的钙离子。通过补充 0.2% KPAM 与 0.8% NH_4HPAN 胶液以有效絮凝、包被钻屑,并控制粘度上

涨。到达取心段后,补充 0.2% CMC-LV 与 0.3% NH_4HPAN 进一步降低失水量;添加 2% FT-1 与 2% QS-2 等增强封堵造壁能力;添加 2% RH-30 以提高润滑性。整个取心过程中,钻井液性能稳定,井内未发生明显的掉块,圆满完成了取心任务。取心结束后,随井深增加,井底温度逐渐升高,预计 2840m 时井底温度将达到 120℃ 左右。为此,补充 2% SMC 和 2% SMP 以提高钻井液的抗温能力。此时钻井液大致性能为:密度 1.28 g/cm^3 ,塑性粘度 22 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,动切力 9.5 Pa,初切力 2.5 Pa,终切力 11Pa;滤失量 4.5ml 左右,极压润滑系数 0.12 左右。

(2) 扩孔阶段。扩孔过程中,初次成孔阶段形成的泥皮严重分散,导致钻井液粘切上涨较快。为此,通过添加生石灰以改善粘土颗粒的分散状态,保持部分粘土颗粒适度絮凝,从而提高钻井液的固相容量限。此时钻井液的大致性能为:密度 1.28 g/cm^3 ,塑性粘度 20 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,动切力 11Pa,初切力 4 Pa,终切力 15Pa,滤失量 2.4ml,极压润滑系数 0.12 左右。

(3) 复杂情况处理。钻至青山口组时,出现下钻遇阻情况,划眼时返出大量掉块。为进一步提高井壁稳定性,补充沥青、聚合醇、QS-2 等封堵类材料对微孔隙进行有效充填,增强泥浆的造壁性能;其次,将钻井液密度从 1.18 g/cm^3 提高到 1.28 g/cm^3 ,粘度由 50s 提高到 65s 左右。随后井内掉块逐渐减少,井下恢复正常,起下钻也顺畅。

钻至 2483.68m 时发生漏失,建立正常循环后振动筛筛出大量泥饼状物质,接着出现大量掉块,最大的直径约 20mm 左右。钻井液进行处理过程中最大渗漏速度 6.4 m^3/h ,平均渗漏速度约 2.3 m^3/h 。恢复正常钻进时,累计漏失量为 71.8 m^3 。整个漏失过程未专门配制堵漏浆,说明泥浆具有良好的自堵能力。

(4) 取心效果。按照地质设计,分别在 1086.45m ~ 1147.56m 及 1182.74m ~ 1256.01m 进行取心作业,共完成了 18 个回次取心钻进,累计进尺 134.38m,收获原状岩心 130.90m,岩心采取率为 97.41%,满足了环境科学钻探岩心采取率不低于 95% 的要求,平均机械钻速达到 0.84m/h。

5 结论

(1) 两种钻井液体体系的选用针对性强且兼容性强,能快速实现不同泥浆体系的转换,流变性、失水造壁性、抑制性等综合性能易于调控,方便现场处理

与维护。

(2) 强造浆地层钻进过程中应增大聚合物类材料使用, 从而有效絮凝、包被钻屑, 防止钻屑进一步分散; 适当提高排量增强井壁冲刷强度, 可减轻钻屑在井壁上的粘附。

(3) 钻进硬脆性泥页岩地层及强渗透砂岩层时, 补充 FT-1、聚合醇、QS-2 等可有效提高泥浆的造壁性能, 从而减少滤液侵入, 提高井壁稳定性。

(4) 为保证大口径扩孔时钻屑携带顺利, 除充分考虑钻井液的密度、粘切、流型等因素外, 工程上配合短起下及定期打稠塞举砂也十分有用。

[References]

- Dai Guo-zhong, Zhang Ya-xing, Lai Wen-hui, Zhu Qing. 2010. Study on solid-free drilling fluid of PVM polymer and its application [J]. *Geology and Exploration* 46(6): 1127-1132 (in Chinese with English abstract)
- Dai Guo-zhong, Zhang Ya-xing, Shi Gui-cai, Liu Wei-xing. 2014. Application of the crosslinking and low solid type mud in pile foundation engineering at the Wuhan greenbelt center [J]. *Geology and Exploration*, 50(1): 173-177
- Hou Jie, Liu Yong-gui, Li Hai. 2015. Application of high-performance water-based drilling fluid for horizontal wells in tight reservoirs of Daqing Oilfield [J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 43(4): 59-65 (in Chinese with English abstract)
- Hu Ji-liang, Tao Shi-xian, Shan Wen-jun, Liu San-yi. 2012. Overview of ultra-deep well high-temperature drilling fluid technology and discussion of its research direction [J]. *Geology and Exploration* 48(1): 0155-0159 (in Chinese with English abstract)
- Kong Fan-jun, Yang Zhi-guang, Zhang Shu-rui, Liu Yong-gui, Han Fu-bin. 2005. Test research on combined drilling techniques under conditions of high temperature and deep well in Xujiaweizi [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 11: 51-53 (in Chinese with English abstract)
- Li Rui-ying, Wang Feng, Chen Shao-yun, Liu Jin-wei. 2015. ROP improvement in deep formations in the Daqing Oilfield [J]. *Petroleum Drilling Techniques* 43(1): 38-43 (in Chinese with English abstract)
- Li Zhi-jun, Chen Li-yi, Jia Jun, You Jian-wu, Cao Qi-you. 2009. Research and application of drilling fluid system for fault gouge section of the hole WFSD-1 of Wenchuan earthquake fault Scientific Drilling Project [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 12: 13-15, 19 (in Chinese with English abstract)
- Mao Wei-han, Zeng Ding-lie, Li Lian-jun, Ren Xi, Gai Xi-feng. 1997. Application of JGN-A drilling fluid in Daqing Oilfield [J]. *Drilling fluid & Completion fluid*, 14(5): 44-46 (in Chinese)
- Shi De-qin, Liu Zhi-ming, Gong Yu-jie, Geng Xiao-guang. 2002. Development of drilling fluid technology during the "Ninth-Five-Year" plan in Daqing Oilfield [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 19(2): 33-37 (in Chinese with English abstract)
- Su De-chen, Yang Jing-sui. 2010. Advances of international continental scientific drilling program [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(6): 873-886 (in Chinese with English abstract)
- Wang Bo, Ren Xi, Li Xin-kuan. 1997. Application of organic silicon drilling fluid in Tainan area of Daqing Oilfield [J]. *Petroleum Drilling Technology*, 25(3): 22-23, 60 (in Chinese)
- Wang Da. 2002. Summary on progress of Chinese continental scientific drilling project (CCSD) [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 06: 47-53 (in Chinese)
- Wang Shu-yong, Pei Jian-zhong, Xiang gang, Liu Quan-jiang, Li Wen-ming. 2007. Drilling fluid in large hole of well Shengke-1 [J]. *Petroleum Drilling Techniques* 35(6): 37-39 (in Chinese with English abstract)
- Xu Zhi-qin. 2004. The scientific goals and investigation progresses of the Chinese Scientific Drilling Project [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(1): 1-8 (in Chinese with English abstract)
- Xue Jian-guo, He Zhen-kui, Hu Jin-peng, Sun Zhong-wei, Li Jian, Yang Jin-shan, Li Zhong-hong. 2008. Large hole drilling fluid technology for Well Bishen-1 [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid* 25(5): 35-37, 86 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jin-chang, Xie Wen-wei. 2010. Status of scientific drilling technology for ultra-deep well [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(6): 887-894 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Pei-feng. 2012. In-situ distribution and its effects on borehole stability in the Longmenshan earthquake fault zone [J]. *Geology and Exploration* 48(2): 379-386 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Pei-feng, Wang Da. 2008. Mud properties and depression mechanism study on bentonite used in CCSD-1 [J]. *Geological Science and Technology Information*, 27(1): 103-107 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Tong-de, Chen Li-yi, Liu Xu-san, Zhang Wen-sheng, Zhang Zheng. 2012. Mud system design and application in the WFSD-3 of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 09: 41-44 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Wen-long, Wu Di, Xiao Chang-bo, Lu Yu-bei. 2015. Drilling fluid technology suitable for core drilling in deep salt beds [J]. *Geology and Exploration*, 51(5): 977-983 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Wen-long, Wu Xiao-ming, Zhu Yong-yi, Wang Wen-shi, Zhang Lin-sheng, Xu Jie. 2015. Drilling fluid technique for special drilling technology in SK-2 Well [J]. *Oil Drilling & Production Technology* 37(3): 32-35 (in Chinese with English abstract)
- Zou Chang-chun, Xiao Liang, Niu Yi-xiong, Hou Jie, Peng Cheng. 2016. General design of geophysical logging of the CCSD-SK-2 East Borehole in the Songliao Basin of Northeast China [J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences (Beijing); Peking University)* 23(3): 279-287 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 代国忠, 张亚兴, 赖文辉, 朱青. 2010. PVM 聚合物无固相钻井液研究与应用 [J]. *地质与勘探* 46(6): 1127-1132
- 代国忠, 张亚兴, 史贵才, 刘卫星. 2014. 交联型低固相泥浆在武汉绿地中心桩基工程中应用 [J]. *地质与勘探* 50(1): 173-177

- 侯杰,刘永贵,李海. 2015. 高性能水基钻井液在大庆油田致密油藏水平井中的应用[J]. 石油钻探技术, 43(4): 59-65
- 胡继良,陶士先,单文军,刘三意. 2012. 超深井高温钻井液技术概况及研究方向的探讨[J]. 地质与勘探, 48(1): 0155-0159
- 孔凡军,杨智光,张书瑞,刘永贵,韩福彬. 2005. 徐家围子深井高温复合钻井技术的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 11: 51-53
- 李瑞营,王峰,陈邵云,刘金玮. 2015. 大庆深层钻井提速技术[J]. 石油钻探技术, 43(1): 38-43
- 李之军,陈礼仪,贾军,尤建武,曹其友. 2009. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 12: 13-15, 19
- 毛伟汉,曾定烈,李连君,任希,盖喜凤. 1997. 用于大庆油田的 JGN-A 钻井液[J]. 钻井液与完井液, 14(5): 44-46
- 石德勤,刘志明,弓玉杰,耿晓光. 2002. 大庆油田“九五”期间钻井液技术发展[J]. 钻井液与完井液, 19(2): 33-37
- 苏德辰,杨经绥. 2010. 国际大陆科学钻探(ICDP)进展[J]. 地质学报, 84(6): 873-886
- 王波,任希,李馨宽. 1997. 有机硅钻井液在大庆油田太南地区的应用[J]. 石油钻探技术, 25(3): 22-23+60
- 王达. 2002. 中国大陆科学钻探工程项目进展综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 10: 47-53
- 王树永,裴建忠,向刚,刘全江,李文明. 2007. 胜利 1 井大井眼钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 35(6): 37-39
- 许志琴. 2004. 中国大陆科学钻探工程的科学目标及初步成果[J]. 岩石学报, 20(1): 1-8
- 薛建国,何振奎,胡金鹏,孙中伟,李剑,杨金山,李忠宏. 2008. 泌深 1 井大井眼钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 25(5): 35-37+86
- 张金昌,谢文卫. 2010. 科学超深井钻探技术国内外现状[J]. 地质学报, 84(6): 887-894
- 张培丰. 2012. 龙门山地震断裂带地应力分布及其对井壁稳定的影响-以 WFSD-2 井为例[J]. 地质与勘探, 48(2): 379-386
- 张培丰,王达. 2008. 科钻一井钻井液用膨润土性能及分散机理[J]. 地质科技情报, 27(1): 103-107
- 张统得,陈礼仪,刘徐三,张文生,张正. 2012. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-3 孔泥浆技术的设计与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 19: 41-44
- 郑文龙,乌效鸣,吴笛,肖长波,卢予北. 2015. 深部盐岩层绳索取心钻井液技术研究与应用[J]. 地质与勘探, 51(5): 977-983
- 郑文龙,乌效鸣,朱永宜,王稳石,张林生,许洁. 2015. 松科 2 井特殊钻进工艺下钻井液技术[J]. 石油钻采工艺, 37(3): 32-35
- 邹长春,肖亮,牛一雄,侯颖,彭诚. 2016. 松辽盆地科学钻探工程松科 2 井东孔测井设计[J]. 23(3): 279-287

Drilling Fluid Technology Applied in a Large Hole of the Second Spudding of the Scientific Drilling Well in the Songliao Basin

ZHENG Wen-long^{1, 2}, WU Xiao-ming^{1, 2}, HUANG Yu-ming³, WANG Wen-shi³, WU Di^{1, 2}, HUANG He^{1, 2}

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;

2. Engineering Research of Rock-Soil Drilling and Excavation Protection, Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430074;

3. Institute of Exploration Technology, Langfang, Hebei 065000)

Abstract: The well CCSD-SK2 is the main borehole of the China Scientific Drilling Project in the Songliao basin which is designed to penetrate Cretaceous strata. The second section of this well was drilled to 2806.20m with 216mm diameter, and then the diameter of the hole was expanded to 444.5mm. During drilling, high-content of clay can result in mud in the shale formation and sticking often occurs when drilling to sandy conglomerate with strong permeability. Besides, borehole stability and cutting transportation are difficult to be controlled. To solve these problems, a polymer drilling fluid system and polysulfonate drilling fluid system were employed. The drilling fluid formulation was confirmed through an orthogonal test. Measures were taken to ensure borehole stability, such as maintaining proper density, controlling low fluid loss and strong plugging capacity. Hole cleaning and stability were realized by maintaining a proper annular velocity and high dynamic-plastic ratio. Cores of 130.90m were recovered in the interval of 1086.45m~1147.56m and 1182.74m~1256.01m, respectively, and the core recovery is nearly 97.41%. Finally, the second section of this well was drilled down to 2806.20m as designed successfully.

Key words: Songliao basin, scientific drilling well, large hole, drilling fluid, borehole stability, cutting transportation