

深层水平井双聚胺基钻井液技术研究与应

刘永贵^{1,2}, 张 洋², 徐用军¹

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 大庆钻探工程公司钻井工程研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘要:针对大庆油田深层致密气埋藏深, 储层砾岩、火山岩裂缝发育, 水敏性强, 钻井过程中易发生漏失、垮塌、缩径及高温钻井液性能变差等复杂, 且深层水平井钻进会带来摩阻、携岩和储层污染及使用油基钻井液存在成本高、后期环保压力大等难题, 在分析总结前人研究成果及经验基础上, 从致密气藏地质特征及深层水平井钻井难点出发, 明确了钻井液技术对策, 通过开展聚胺和聚醚多元醇“双聚”抑制、封堵防塌剂的研究, 配合自主研发的新型高效随钻封堵材料, 研发出一套适合于深层致密气藏水平井施工的双聚胺基钻井液技术。室内研究及现场应用表明, 该钻井液具有较强的封堵防塌、井眼清洁和润滑防卡能力, 抗温达 180 ℃ 以上, 有效地解决了深层水平井漏失、垮塌、携屑、润滑问题和储层保护问题, 保证了深层水平井的顺利施工, 创造了大庆油田深层水平井钻井周期最短 (109 d), 井深最深 (5048 m), 水平段最长 (969.22 m), 井底温度最高 (180 ℃) 等几项新纪录, 完全满足了徐家围子地区深层致密气藏的钻探需求, 为深层水平井安全、快速、高效钻井提供了技术保障。

关键词:致密气藏; 深层水平井; 双聚胺基钻井液; 抑制性; 裂缝发育; 大庆油田

中图分类号: P634.6; TE254+.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)10-0011-06

Research and Application of Double Poly Amine Drilling Fluid Technology in Deep Horizontal Well/LIU Yong-gui^{1,2}, ZHANG Yang², XU Yong-jun¹ (1. Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150001, China; 2. Daqing Petroleum Administrative Bureau Drilling Engineering Technology Research Institute, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: According to the complex geological conditions of deep tight gas reservoir in Daqing oilfield, fracture developing in conglomerate and volcano rocks in the reservoir and strong water sensitivity; leakage, collapse, diameter shrinkage and drilling fluid property degradation while drilling at high temperature; friction, cuttings carrying and reservoir pollution in deep horizontal well drilling, as well as the high cost and late environmental protection pressure caused by the use of oil-based drilling fluid, on the basis of the analysis and summary of the previous experience, starting from the geological characteristics in tight gas reservoir and difficult points of deep horizontal well drilling, the technical measures for drilling fluid were clear. Though the study on inhibition of polyamine & polyether polyol and anti-sloughing plugging agent and working with new efficient independent developed drilling sealing material, a set of double poly amine drilling fluid technology was developed, which is suitable for horizontal well construction in deep tight gas reservoir. The laboratory studies and field application show that this drilling fluid system has ability of strong sealing & anti-collapse, hole cleaning, lubricating and sticking prevention, it can be used at the temperature more than 180℃. A series of complex problems and the reservoir protection in deep horizontal well drilling were effectively solved. New records were created for deep horizontal well drilling in Daqing oilfield, the shortest drilling cycle (109 d), the deepest depth (5048 m), the longest horizontal section (969.22 m) and the highest working temperature (180 ℃) at the hole bottom, which completely satisfy the requirements of drilling in deep tight gas reservoir in Xujiaweizi area and provide the technical support for safe, fast and efficient drilling in the deep horizontal well.

Key words: tight gas reservoir; deep horizontal well; double poly amine drilling fluid; inhibitory; fracture developing; Daqing oilfield

1 概况

致密气是继页岩气之后全球非常规油气勘探开发的又一新热点。大庆油田致密气藏分布范围广、

储量丰富, 主要分布于徐家围子断陷营城组、沙河子组和火石岭组等深部地层, 岩性复杂多变, 主要以致密砂岩、砂砾岩和火山岩为主, 夹少量粉砂岩及泥

收稿日期: 2015-01-09; 修回日期: 2015-06-17

基金项目: 中石油集团公司科研项目“特殊工艺钻井完井配套技术研究与应用”(编号: 2013T-0308-001)

作者简介: 刘永贵, 男, 汉族, 1973年生, 经理、高级工程师, 哈尔滨工业大学在读博士, 从事钻井液体系、防漏堵漏、钻井液助剂材料合成研究和现场技术服务工作, 黑龙江省大庆市八百垅钻井工程研究院, liuyonggui@cnpc.com.cn。

岩,裂缝较为发育。针对深层致密气成藏特征,致密气开发以长水平段、丛式水平井布井为主,但水平井尤其是深层水平井具有高难度、高投入、高风险的特点,施工时钻井液非常重要。优良的钻井液,是深层水平井安全钻井成功的保证,它不但要稳定井壁、清洁井眼,还需对井筒和钻柱起到高效的润滑作用,以减少扭转阻力和轴向阻力,而且对储层应起到良好的保护作用。由于致密气地层埋藏深,火山岩裂缝发育、水敏性强,在钻井过程中,易发生井漏、垮塌、缩径及高温钻井液流变性变差等问题,2000年以来采用欠平衡、气体钻井技术来提高勘探发现率和提高钻井速度^[1-4],但近几年来,由于深层水平井水平段较长,还会带来摩阻、携岩及储层污染等一系列的难题,从而增大了产生井下复杂情况的概率。因此,在致密气藏水平井钻井中多采用油基钻井液解决井壁稳定、润滑防卡和井眼净化等问题,但存在成本高、后期环保压力大等难点^[5-11]。针对上述难题,研究人员以自主研发的新型高效微裂缝封堵材料为核心,通过开展聚胺和聚醚多元醇“双聚”抑制剂、润滑剂及其它配套处理剂研究,研发出一套双聚胺基钻井液体系,实现了强抑制、强封堵、强包被、低滤失、低固相、抗高温(180℃)的目标,在徐家围子地区XS21-H1等4口井现场试验过程中,成功解决了地层温度高、井壁稳定性差、井径扩大率大等难题,有效保证了深层致密气藏水平井的顺利施工。

2 钻井液技术难点及对策

2.1 技术难点

根据大庆油田致密气藏地质特征,深层水平井钻井液施工存在以下几方面技术难点。

(1)井壁稳定问题。深部致密气地层岩性复杂多变,砾岩、火山岩胶结性差,富含伊利石、绿泥石等粘土矿物,易发生表面水化,且微裂缝、裂缝较为发育,钻进过程中易造成层间散裂,导致井壁失稳,要求钻井液具有良好的抑制粘土水化膨胀和裂缝封堵能力。

(2)井眼清洁问题。深层水平井中,井斜角在30°以上的造斜段到水平段是井眼清洁的危险区,环空中岩屑的总浓度较大,同时,小井眼环空间隙小、泵压高,因排量受到限制,施工中易形成岩屑床,使钻井液在井眼中的流动阻力增加,要求钻井液具有良好的携屑和悬浮能力。

(3)润滑防卡问题。深层水平井造斜段和水平段钻柱和井壁接触面积大,井段长,客观上造成摩阻增大、承压严重、加压困难,导致钻井速度慢、周期长,同时易发生卡钻,为减小扭矩、降低摩阻、避免疲劳损害、卡钻及其它事故的发生,要求钻井液具有良好的润滑防卡能力。

(4)储层保护问题。深层水平井中,由于井眼长距离地横穿储层,钻井液和储层的接触时间和接触面积增加,导致钻井液对储层的损害程度增大,同时,较高的井底温度会促进各类化学反应,加剧钻井液对储层的损害,要求钻井液具有良好的储层保护能力。

(5)流变控制问题。深层水平井建井周期长,地温梯度高(为3.8~4.2℃/100m),完钻井底温度高达160℃以上,钻井液受高温作用时间长,易导致钻井液流变性能变差,严重时将引起井下复杂和事故的发生,要求钻井液具有良好的抗温能力。

2.2 技术对策

针对上述技术难点及要求,通过研发和优选不同类型处理剂提高体系的抑制、封堵防塌能力、润滑防卡能力、井眼清洁能力及储层保护能力。

(1)利用颗粒级配与可变形材料软化封堵协同作用的原理,研制新型高效随钻封堵材料,配合聚醚多元醇的“浊点效应”,提高体系孔隙、裂缝封堵防塌能力,预防和减少钻井液漏失。

(2)利用聚胺抑制剂与高分子包被抑制剂“多元协同”作用,提高体系整体抑制能力,同时,改善水基钻井液的流变性,保证钻井液具有较高的动塑比和较好的流型,提高体系携屑和悬浮能力。

(3)通过低荧光乳化润滑剂与白油的复配,借助于其复合润滑机理,使钻柱和井壁之间形成一层具有滚动和滑动双重作用的复合润滑膜,降低扭矩和摩阻,提高体系润滑防卡能力。

(4)利用不同粒径超细碳酸钙和软化点与油层温度相匹配的沥青类处理剂复配作为油层保护剂,同时,有针对性地优选降低水锁损害和润湿反转的表面活性剂,提高体系储层保护能力。

(5)通过不同类型抗高温降滤失剂之间的复配,降低钻井液的API和HTHP滤失量,减少滤液对地层粘土矿物的水化作用,同时提高钻井液的抗高温能力,使钻井液保持良好的流变性。

3 双聚胺基钻井液技术研究

3.1 研制新型高效随钻封堵材料提高封堵防塌能力

针对目前随钻封堵材料存在着对钻井液性能影响大、对漏层孔隙及裂缝尺寸依赖性强等缺点,通过堵漏机理分析,利用颗粒级配和可变形材料软化封堵协同作用的原理,优选出可变形材料、纤维材料、可膨胀材料及填充材料,研制出新型高效微裂缝随钻封堵材料。不同目数砂床实验及配伍性评价结果(见表 1、表 2)表明,该随钻封堵材料可不依赖于漏层孔隙及裂缝尺寸进行封堵,适用范围广、堵漏效率高,与研发的双聚胺基钻井液具有良好的配伍性,可用于渗透性、裂缝性地层随钻防漏堵漏,且酸溶率高达 64%,在酸化后被破坏而解堵,达到保护储层的目的,既可用于非储层堵漏又可用于储层堵漏。

表 1 新型高效随钻封堵材料封堵效果评价数据

配方	实验条件	漏失砂床	侵入深度/cm
基浆	老化前	10 ~ 20 目	全部穿透
基浆 + 3% 封堵材料			5.6
基浆	老化后	10 ~ 20 目	全部穿透
基浆 + 3% 封堵材料			5.8
基浆	老化前	20 ~ 40 目	全部穿透
基浆 + 3% 封堵材料			2.8
基浆	老化后	20 ~ 40 目	全部穿透
基浆 + 3% 封堵材料			2.9
基浆	老化前	40 ~ 60 目	全部穿透
基浆 + 3% 封堵材料			3.4
基浆	老化后	40 ~ 60 目	全部穿透
基浆 + 3% 封堵材料			3.3

注:基浆为双聚胺基钻井液,老化温度为 180 ℃。

表 2 新型高效随钻封堵材料与钻井液配伍性评价数据

配 方	实验条件	Ø600	Ø300	Ø200	Ø100	Ø6	Ø3	初切/终切/Pa
基浆	老	54	37	30	20	6	5	3/9
基浆 + 3% 封堵材料	化前	62	43	36	26	7	6	4/10
基浆	老	50	32	25	16	4	3	2.5/7
基浆 + 3% 封堵材料	化后	60	40	31	20	5	4	3.5/8.5

注:基浆为双聚胺基钻井液,老化温度为 180 ℃。

同时,采用微裂缝封堵评价装置进行模拟实验后,利用奥林巴斯光学显微镜对岩心切片样本进行了微观观察,如图 1 所示。从图中可以发现,不同粒径颗粒能够进入到微裂缝深部,并根据不同裂缝尺寸大小进行富集,可有效封堵微裂缝,降低钻井液漏失,配合聚醚多元醇的“浊点效应”,当井底温度高于浊点温度时,聚合醇从钻井液中析出,形成的“微

粒”可对新型高效随钻封堵材料形成骨架后的微孔隙进行填充、堵塞,进一步封堵地层孔隙、微裂缝,提高钻井液的封堵防塌能力。

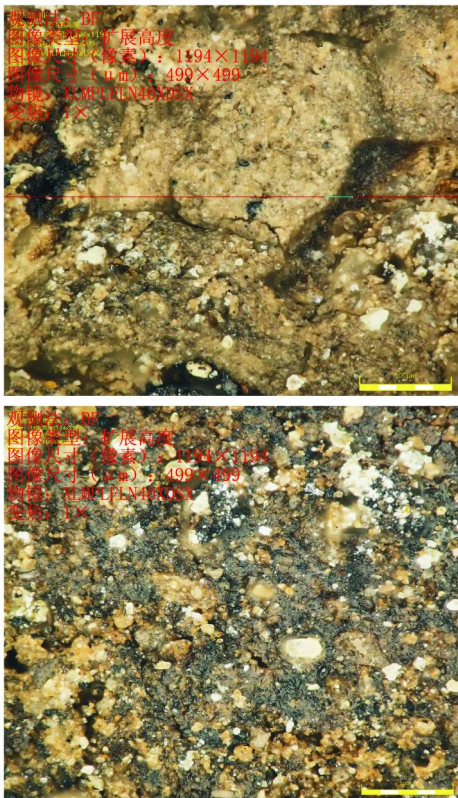


图 1 新型高效随钻封堵材料模拟评价切面微观显示图

3.2 研选低荧光乳化润滑剂配合白油提高润滑防卡能力

通过低荧光乳化润滑剂与白油的复配,借助于白油在钻柱与井壁上形成的油膜与低荧光乳化润滑剂组分中极性基团形成的吸附膜,二者“协同增效”,可在钻柱和井壁之间形成一层具有滚动和滑动双重作用的复合润滑膜,进一步降低扭矩和摩阻,提高体系润滑防卡能力。通过实验优选出低荧光乳化润滑剂最优加量 3%,同时进行与白油的复配实验,从图 2 可以看出,随白油加量的增大,极压润滑系数逐渐减小,当加量 > 8% 后,曲线趋于平缓,说明白油加量在 8% ~ 10% 范围内时,二者复配即可将极压润滑系数降低至 0.12 以内,能够满足深层水平井润滑防卡的需求。

3.3 研选胺基聚醇和高分子包被抑制剂提高携屑和稳定井壁能力

针对深层水平井携带岩屑和井壁稳定问题,通过对比评价实验,优选出抑制能力突出的泥页岩

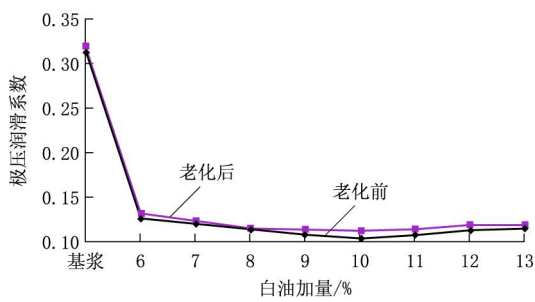


图2 极压润滑系数随不同白油加量的变化曲线(老化温度 180 ℃)

抑制剂胺基聚醇及具有包被和调节流型双重作用的高分子包被抑制剂,室内研究表明,二者复配使用可实现携带岩屑与稳定井壁的双重作用,能够满足深层水平井钻井需要。其中,胺基聚醇有机结合了聚胺和聚醚多元醇二者的优点,不仅具有阳离子强吸附、强抑制、作用时间长等优点,而且克服了阳离子对钻井液严重絮凝、增加滤失量的缺点,能够抑制地层孔隙表面粘土中的活跃易水化基团,吸附覆盖在表面,防止活性易水化粘土的膨胀,且其特殊的分子结构可嵌入粘土晶层间,依靠氢键作用,将粘土片层束缚在一起,缩小层间距;同时,高分子包被抑制剂以聚合物链或者链束在粘土粒子上包裹,既可阻止水分子进入,也可以阻止粘土水化膨胀、分散,二者在发挥协同抑制作用稳定井壁的同时,高分子包被剂能够将体系动塑比保持在 0.45 以上,维持钻井液具有较强的悬浮能力和携岩能力,避免了岩屑床的形成。

室内利用 XS902 井登娄库组紫红色泥岩对不同类型钻井液抑制性进行了评价(见图3),评价结果表明,研发的双聚胺基钻井液回收率高达 90.4%,与油基钻井液的 92.2% 最为接近,远高于其它钻井液体系,说明该钻井液具有与油基钻井液相当的抑制能力,能够有效抑制地层粘土及岩屑的水化膨胀分散,可满足深层水平井钻井液施工对抑制性的需要。同时,从高温高压流变性实验(见图4)结果中可以看出,随着温度、剪切速率的升高,钻井液剪切应力变化平稳,证明在高温高压高速剪切稀释情况下,双聚胺基钻井液体系性能优良,能够满足深层水平井携屑要求。

3.4 研选油层保护剂与表面活性剂提高储层保护能力

针对深层气藏储层损害方式,采用几种不同粒径超细碳酸钙和软化点与油层温度相匹配的沥青类

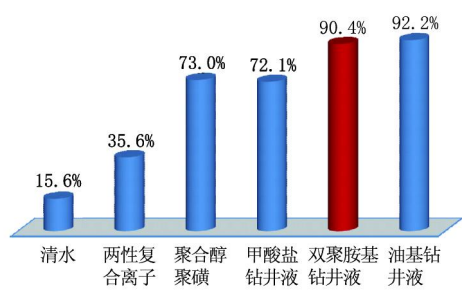


图3 双聚胺基钻井液与其它钻井液泥页岩滚动回收率对比图

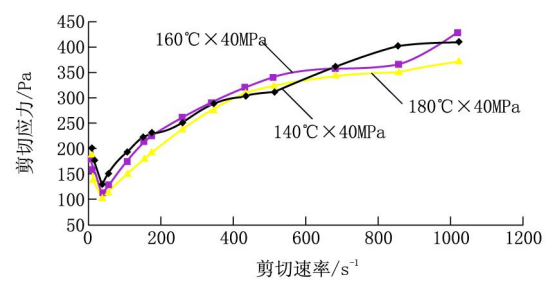


图4 高温高压条件下剪切应力随剪切速率变化关系曲线

处理剂复配作为油层保护剂,对油层孔隙、微裂缝进行快速封堵,避免液相和固相对油层造成损害,有针对性地优选了表面活性剂,降低了表面张力,减小了“贾敏效应”对储层的损害程度,二者有机结合,可显著提高体系储层保护能力。表3 为添加油层保护剂与表面活性剂的双聚胺基钻井液对低渗岩心的损害实验数据,从数据中可以看出,研制的双聚胺基钻井液岩心渗透率恢复值在 75% ~ 80% 之间,较普通水基钻井液的 60% ~ 65% 有较大提高,能够满足深层水平井对储层保护的施工要求。

表3 岩心损害评价实验			
测试项目名称	损害前渗透率/ (10 ⁻³ μm)	恢复后渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	渗透率恢复值/ %
双聚胺基钻井液体系	15.400	11.540	74.94
	11.320	9.120	80.56
	9.210	7.320	79.48
	7.360	5.910	80.30
	4.692	3.707	79.00
	2.340	1.850	79.06

3.5 研选抗高温降滤失剂提高抗温抗污染能力

针对深层水平井井底温度高,钻井周期长,易导致钻井液流变性变差的问题,分别优选了磺化类降滤失剂 JS - II 和中分子量聚合物类降滤失剂 ZY - 1。聚合物降滤失剂 ZY - 1 中含有抗温单体 AMPS,可进一步对羟基、酰胺基等基团提供高温保护,从而提高体系整体抗温能力。同时,ZY - 1 可提高滤液

粘度,在井壁上形成较为致密的吸附膜,阻止或减缓水相进入地层,降低滤失量,二者复配使用可有效提高体系抗温和降滤失能力。从钻井液抗污染性(见表 4)及耐温性(见表 5)评价数据中可以看出,双聚胺基钻井液抗岩屑侵 20% 以上,抗污染能力较强;高温热滚 72 h 后,粘切变化平稳,表明该体系抗高温达 180 ℃,并具有较强的热稳定能力,能够满足深层致密气藏钻探需要。

表 4 双聚胺基钻井液抗污染评价数据

钻井液配方	钻井液性能	
	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa
1 号:双聚胺基钻井液	20	10.0
2 号:双聚胺基钻井液 + 10% 钻屑	21	9.0
3 号:双聚胺基钻井液 + 20% 钻屑	22	9.5

表 5 双聚胺基钻井液热稳定性评价数据

钻井液 配方	高温热滚条件	钻井液性能	
		塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa
双聚 胺基 钻井 液	高温热滚前	20	10
	180 ℃ × 16 h	19	9
	180 ℃ × 24 h	16	7
	180 ℃ × 48 h	15	6
	180 ℃ × 72 h	15	5

4 现场试验

通过在大庆油田徐家围子地区 XS21 - H1、XS9 - H3、XS23 - H1 和 XS903 - H1 等 4 口井的现场实践证明,研发的双聚胺基钻井液性能稳定(见表 6),具有较强的封堵防塌、井眼清洁和润滑防卡能力,有效解决了深层水平井漏失、垮塌、携屑、润滑问题和储层保护问题,达到了失水量低、固相低;流型好,剪切稀释性好;适当的携岩能力、适当的触变性和适当的流态,即“两低、两好、三适当”的水平,与同区块邻井用油基钻井液相比(见图 5),平均钻进周期缩短 40 d 以上,平均井径扩大率仅为 4.41%,明显低于油基钻井液的 5.50%,创造了大庆油田深层水平井钻井周期最短(109 d),井深最深(5048 m),水平段最长(969.22 m),井底温度最高(180 ℃)等几项新纪录,效果显著。

- 取得的效果主要体现在以下几个方面:
- (1) 钻井液的 API 和 HTHP 滤失量低,始终维持在 2.0 mL/30 min 和 10.0 mL/30 min 以下,减少了滤液对地层粘土矿物的水化作用;
 - (2) 钻井液性能稳定,动塑比适中,携岩能力强,

表 6 XS9 - H3 等 4 口井现场钻井液性能参数

井号	井深/ m	初切/终 切/Pa	塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	$FL_{HTHP}/[(\text{mL} \cdot \text{min})^{-1}]$ (30 min)	极压润 滑系数
XS21 - H1	3912	7/10.5	23	17.5	9.8	0.098
	4955	8/12.5	24	19.5	9.6	0.081
XS9 - H3	3945	7.5/13	20	18.5	9.2	0.106
	4910	6/14.5	19	15.0	8.4	0.102
XS23 - H1	3808	5/13	23	16.0	9.4	0.083
	5048	5.5/15.5	21	18.0	9.2	0.094
XS903 - H1	3960	5/14.5	18	14.0	9.4	0.101
	4755	5/15	20	17.5	9.8	0.092

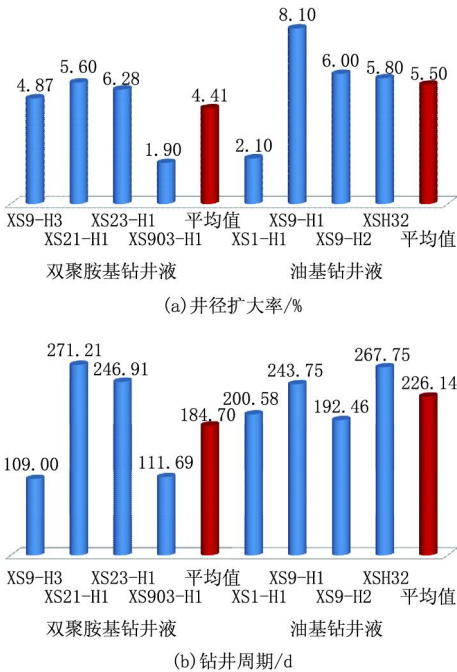


图 5 平均井径扩大率与平均钻进周期对比数据图

- 有效避免了造斜段和水平段岩屑床的形成;
- (3) 钻井液抑制和封堵防塌能力突出,能够有效抑制泥页岩的水化膨胀分散,并对孔隙、裂缝实施有效封堵,稳定井壁,钻进过程中未出现任何因钻井液而引起的井塌、卡钻和漏失等井下复杂;
 - (4) 钻井液极压润滑系数始终控制在 0.12 以下,具有较强的润滑防卡能力,未发生压差卡钻事故;
 - (5) 钻井液抗温、耐温能力突出,中途测试过程中,在井底 180 ℃ 高温条件下,钻井液静止 17 d,井下未发生复杂与事故,具有良好的热稳定性和抗温性;
 - (6) 钻井液储层保护能力优良,岩心渗透率恢复值在 75% 以上,大幅度降低了钻井液对储层的伤害程度。

5 结论

(1) 创新研制出可不依赖于漏层孔隙及裂缝尺寸进行封堵的新型高效随钻封堵材料,具有适用范围广、堵漏效率高、酸溶率高及与钻井液配伍性好等优点,能够进入裂缝深部实施有效封堵,既可用于非储层堵漏又可用于储层堵漏。

(2) 针对大庆油田致密气藏地质特征及深层水平井钻井难点,以聚胺和聚醚多元醇“双聚”抑制、封堵防塌剂为核心处理剂,配合研制的新型高效随钻封堵材料,开发出一套双聚胺基钻井液体系,并通过现场试验形成了深层水平水基钻井液技术。

(3) 室内研究及现场实践表明,研发的双聚胺基钻井液体系抗温高达 180℃,抗岩屑侵在 20% 以上,极压润滑系数始终控制在 0.12 以下,具有较强的抑制、封堵防塌能力,井眼清洁能力,润滑防卡能力和储层保护能力,达到了“两低、两好、三适当”的水平,各项性能与油基钻井液接近,可满足深层水平井现场施工作业要求。

(4) 双聚胺基钻井液体系抑制、封堵防塌效果显著,成功解决了深层水平井漏失、垮塌、携屑、润滑问题和储层保护问题,井壁稳定,井径规则,能够满

足大庆油田深层致密气藏水平井钻井需要,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 刘永贵,周英操,等.欠平衡钻井环空岩屑对井底负压的影响[J].石油学报,2005,26(6):96-98.
- [2] 周英操,高德利,等.欠平衡钻井环空多相流井底压力计算模型[J].石油学报,2005,26(2):96-99.
- [3] 刘永贵,王洪英.徐深气田气体钻井破岩机理的初步研究[J].石油学报,2008,29(5):773-776.
- [4] 刘永贵,周英操,等.深层多压力层系气层判断新方法[J].石油钻采工艺,2005,27(2):1-3.
- [5] 马勇,崔茂荣.加重剂对水基钻井液润滑性能的影响研究[J].天然气工业,2005,25(10):58-60.
- [6] 徐同台,洪培云.水平井钻井液与完井液[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [7] 沈伟.大位移井钻井液润滑性研究的现状与思考[J].石油钻探技术,2001,29(1):25-28.
- [8] 刘永贵,罗桂秋,等.影响徐家围子深探井钻井速度的因素分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(7):56-58.
- [9] 潘永强,刘永贵,梁勇,等.深层水平井有机硅聚磺钻井液研究与应用[J].中国石油和化工标准与质量,2012,(2):29-30.
- [10] 汪海阁,刘希圣.水平井段钻井液携带岩屑的实验研究[J].石油学报,1995,16(4).
- [11] 韩来聚.胜利低渗油田长水平段水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2012,40(3):7-11.

(上接第10页)

保证扭矩的变化稳定在一定范围内,这一点在深孔钻进中至关重要。在施工中,没有发生过断钻杆、脱扣事故,这一成功经验,对今后其他深部钻孔施工具有非常好的指导意义。

(5) 河元背深钻 CUSD2 孔的竣工,锻炼了我所钻探队伍深部钻探的施工能力,积累了深部钻探的施工经验,培养了作风优良、技术精湛的深钻团队,为以后其它深孔钻探施工奠定了基础。

参考文献:

- [1] 刘晓阳,李大昌,叶雪峰.中国铀矿第一科学深钻施工概况[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):297-304.
- [2] 陈师逊.中国岩金第一深钻施工情况介绍[J].地质装备,

2013,(6):21-25.

- [3] 朱江龙,刘跃进,等.我国深孔钻探装备的发展与展望[J].地质装备 2013,(6):9-14.
- [4] 李生海.高效长寿命孕镶金刚石阶梯钻头在再里地区的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):121-123.
- [5] 朱恒银,蔡正水,等.赣州科学钻探 NLS D-1 孔施工技术研究与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):1-7.
- [6] 孙建华,陈师逊,刘秀美,等.小直径特深孔绳索取心口径系列及钻柱方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):1-5,17.
- [7] 廖国平,刘国经,李胜达,等.绳索取心冲击回转钻具组合设计及应用试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):31-35.
- [8] 胡郁乐,张晓西,邓柏松,等.深部钻探绳索取心孕镶金刚石钻头的关键技术[J].金刚石与磨料磨具工程,2011,31(4):54-57.