

# 川西地区碎屑岩深井钻井提速的配套钻井液技术

张军 彭商平 杨飞 于志纲 何志强

四川仁智油田技术服务股份有限公司

张军等.川西地区碎屑岩深井钻井提速的配套钻井液技术.天然气工业,2011,31(11):74-77.

**摘要** 为解决四川盆地西部地区碎屑岩深井出现的钻井周期长、钻速低等问题,从钻井液的类型、组成和性能入手,在调研国内外资料的基础上,分井段评价了川西地区所用钻井液各参数(钻井液密度、钻井液固相、钻井液流变性及钻井液滤失性)对钻井速度的影响程度,依托中国石油化工集团公司的各级科研成果,研发了适合中浅层钻井提速的无黏土相钻井液、“三低”(低密度、低黏切、低固相)和“三强”(强抑制、强包被、强封堵)聚合物钻井液等钻井液体系,形成了以预防和减少深井井下复杂情况和钻井事故为目标的稳定井壁、防漏堵漏、润滑防卡等技术。上述技术在川西地区新21-1H、新916-1井等多口井集成应用后,中浅层钻井速度明显提高,中深层井下复杂情况及钻井事故发生率明显降低,缩短了钻井周期,达到了钻井提速的预期目标。

**关键词** 四川盆地西部 中深井 提高机械钻速 无黏土相钻井液 聚合物钻井液 缩短钻井周期

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.11.019

川西地区作为中国石化西南油气分公司油气勘探、开发的主战场,通过几年来的不懈努力,目前已建成年产量近  $20 \times 10^8 \text{ m}^3$  的天然气生产基地<sup>[1]</sup>。然而,由于中深井钻速低、井下复杂情况多发、钻井周期长造成的钻井高成本已成为制约该区天然气进一步勘探开发的瓶颈<sup>[1]</sup>。随着提高钻井速度目标的提出,加之涡轮钻具、旋转导向等钻井新技术的应用,目前的钻井液体系已不能满足要求<sup>[2]</sup>,亟待研发新型钻井液来适应该区天然气勘探开发生产的需求。

川西地区浅层泥岩混层黏土矿物含量高,水化分散性强,易坍塌井径扩大或者水化膨胀缩径;中深层泥页岩硬脆,微裂隙发育,上覆层岩层压力和水平应力大,易剥落掉块;上三叠统须家河组多压力系统,存在异常高压,碳质页岩、煤岩层理发育,岩石强度低,易掉块;须四段、须二段裂缝发育,发生井漏时具有漏速大、突发性强、处理难度大等特点<sup>[3]</sup>。

## 1 钻井液的组成和性能对钻速的影响

针对川西地区中深井出现的钻井周期长、钻速低

这一问题,从钻井液的类型、组成和性能入手,在调研国内外资料的基础上,分井段评价川西地区所用钻井液各参数对钻井速度的影响程度,找出其主导因素,以便根据分析结果研究有利于提高钻井速度的钻井液技术<sup>[4]</sup>。

### 1.1 钻井液密度对钻速的影响

通过理论分析和现场实际所钻井资料分析可以看出,在同一地质条件、同一地层压力和同一钻井液类型的前提下,钻井液密度越高钻井机械钻速越低。X201井钻井液密度最高仅为  $1.30 \text{ g/cm}^3$ ,其钻井速度最高达到了  $12.64 \text{ m/h}$ ,如图1所示。

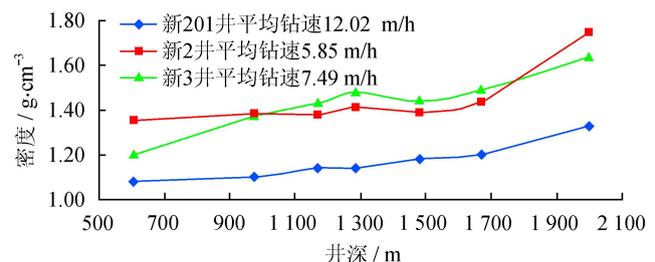


图1 钻速与密度的关系曲线图

**基金项目:**中国石油化工集团公司科研项目(编号:SG0962)、中国石油化工集团公司科研项目(编号:P08030-T01)。

**作者简介:**张军,1970年生,高级工程师,硕士;毕业于西南石油大学油田化学专业;现任四川仁智油田技术服务股份有限公司副总裁兼钻井液事业部总经理。地址:(621000)四川省绵阳市临园路西段53号地税大厦副楼仁智公司。电话:(0816)2544027。E-mail:zhangj@rzyt.cn

## 1.2 钻井液固相对钻速的影响

大量钻井实践表明,钻井液中固相含量增加是引起钻速下降的一个重要原因。此外钻井液对钻速的影响还与固相的类型、固相颗粒尺寸和钻井液类型等因素有关。

## 1.3 钻井液流变性对钻速的影响

从实钻资料可以看出(图2),川西地区在3 000 m以前,提高钻井液动塑比有利于提高钻井机械钻速,但是随着井深的增加,3 000 m以后,尽管钻井液动塑比有效提升,但是钻井机械钻速仍然很低,并且随着井深的增加呈降低的趋势。

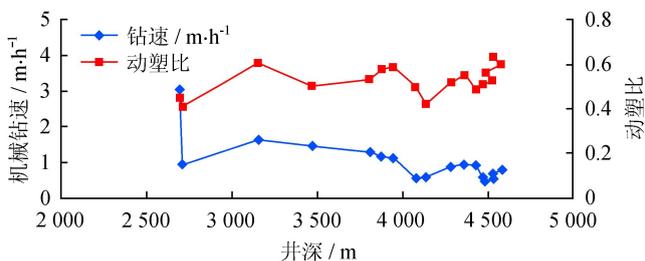


图2 新3井钻井液动塑比、钻速与井深关系曲线图

注:井深2 002.00~4 542.35 m,钻头直径241.3 mm,钻井液密度1.84~2.16 g/cm<sup>3</sup>

## 1.4 钻井液滤失性对钻速的影响

现场实践表明,对于水基钻井液来说,一般情况下钻井液滤失量越高,钻井速度也越高。降失水剂一般都增大液相黏度,当降失水剂浓度减小时,失水量大,钻井液液相黏度降低,因而钻速增加;Darley 通过研究认为,影响钻速的失水主要是在井底最初的瞬时失水,瞬时失水大且岩屑压持压力小,在井底就形不成泥饼,钻速就快;反之,如瞬时失水小且岩屑压持力较大,井底就容易形成泥饼,钻速就慢<sup>[5]</sup>。

## 2 中浅层提速钻井液体系

在提速钻井液方面,着重从研究低固相钻井液、无黏土相钻井液、液体欠平衡钻井液等做了相应工作。

### 2.1 无黏土相钻井液技术

通过对无黏土相钻井液的抑制封堵性能和抗温性能实验评价,在钻井液中加入快速成膜剂和低荧光封堵防塌剂后更易于抑制井壁的水化分散和膨胀。形成的无黏土相钻井液体系,性能如表1所示。从表1可以看出,无黏土相钻井液具有密度低、动塑比高、失水大等特点。

表1 无黏土相钻井液体系性能表

体系	测试条件	$\rho/g \cdot cm^{-3}$	$FV/s$	$PV/mPa \cdot s$	$YP/Pa$	$G_1/G_2$	pH值	$FL/mL$
无黏土相 钻井液	老化前	1.04	49	18	9	2.5/3	8.5	30
	老化后	1.04	39	7	5	1.5/2	8.5	45

注:在60℃温度下老化16 h,45℃下测定。

### 2.2 液体欠平衡钻井液技术

结合川西地区沙溪庙组到须五段的地层特点,在液体欠平衡方面,研究了“三低”(低密度、低黏切、低

固相)聚合物钻井液和“三强”(强抑制、强包被、强封堵)聚合物钻井液。“三低”、“三强”钻井液性能如表2所示。

表2 “三低”、“三强”钻井液性能表

体系	$\rho/g \cdot cm^{-3}$	$FV/s$	$PV/mPa \cdot s$	$YP/Pa$	$G_1/G_2$	pH值	$FL/mL$	回收率	膨胀率	$FA_{30}/cm$	备注
“三低”、“三强” 钻井液	1.21	61	18	8.5	4/20	8.5	5.5	—	—	—	老化前
	1.21	46	19	5.5	1.5/8	8.5	9.0	98.44%	0.37%	4	老化后

注:在80℃温度下滚动16 h,55℃下测定;砂床总长25 cm。

## 3 中深层井下复杂情况的预防及处理

在川西地区复杂地质条件下,深井复杂和事故多、周期长,钻井费用高。统计表明,2008年川西地区新场及大邑区块深井钻井中的复杂及事故率分别为22.68%和19.27%,深井平均钻井周期为280 d,平均机械钻速

为2.15 m/h,纯钻利用率40.92%,造成钻井周期长、成本高、效率低。通过项目“川西深井井下复杂及事故的预防与处理钻井液技术先导试验”的研究,形成一系列有效预防与处理复杂及事故的钻井液配套工艺技术。

### 3.1 井壁稳定技术

从川西地区近几年施工深井的井下复杂情况剖面

可以看出,井壁失稳情况在侏罗系沙溪庙组、千佛崖组,三叠系须五段、须四段、须三段等地层表现最为突出<sup>[6]</sup>。

1)由于第二次开钻(以下简称二开)井段的技术套管只封隔至上沙溪庙的顶部,致使第三次开钻(以下简称三开)裸眼井段长,大段泥岩(沙溪庙组、千佛岩组、须五段)在施工中是长期浸泡在钻井液中,井壁在滤液长时间的侵蚀和自身的水化而剥落,造成井壁不稳定,主要考虑使用高效抑制剂聚胺或有机硅井壁稳定剂等提高钻井液的抑制性,降低泥页岩的水化膨胀、分散,稳定井壁。

2)该地区千佛崖组到白田坝组地层砾石层、交接面以及裂隙发育,易漏失,白田坝组可能遇到盐水层,因此该段除了提高钻井液的抑制性外,还要增强钻井液的封堵效果,加入封固剂或成膜封堵剂来提高钻井液对微裂缝的封堵能力,降低钻井滤液向地层裂隙的侵入<sup>[7]</sup>。

3)须五段、须三段夹碳质泥岩和煤层,易发生剥落、掉块,造成井塌、卡钻等井下复杂情况,形成“大肚子”、“糖葫芦”等极不规则井眼,应采用控制合理钻井液密度和加强封堵来进行防塌。

4)对于须二段,大邑地区井壁失稳较突出,首先要控制好钻井液密度,再考虑使用封堵材料。

### 3.2 防漏堵漏技术

针对川西地区深层井段裂缝发育、易出现井漏的情况,采取了“防漏为主,专项堵漏为辅”的原则。

1)防漏措施主要采取随钻钻井液中加入防漏材料的技术措施,非储层段随钻防漏使用 RZK-01、RZF-1 等防漏材料。

2)储层段随钻防漏主要针对 1 mm 以内的裂缝或孔喉尺寸,推荐使用 RF-2、RD-2、FRD-1 等高酸溶性防漏堵漏材料。

3)对于返吐性复杂性井漏,则采用水泥浆堵漏和桥堵配合高失水堵漏复合堵漏技术(如新 7 井、新 301 井采用此技术成功解决了返吐性井漏的问题)。

### 3.3 润滑防卡技术

1)为了防止钻井过程中的阻卡,可加入新型润滑剂 RZH220、原油、特效润滑剂、RZH102 以及新型乳化剂 NFR-2,提高钻井液的润滑性和抗温能力。

2)针对大斜度定向井或水平井,在斜井段要提高钻井液的携屑能力,同时通过在井浆加入增黏剂或超级清扫剂配制清扫液,及时清洁井眼。

3)通过采用高承压挤堵技术,可消除新场沙溪庙组 C 层发生压差卡钻的隐患,同时该技术也有助于解

决大邑须家河组局部高渗透地层引起的阻卡问题(如新 923-1 井、大邑 301 井)。

## 4 提速集成技术的应用

钻井作业是一个系统工程,除了选用有利于提高钻井速度的钻井液体系,钻井过程中往往也会面临多种井下复杂情况的出现。因此,只有对各项技术进行综合应用,才能对使用效果作出全面的评价。配合川西深井提速的集成技术在新 21-1H、新 916-1 井、新 209 井等井进行了综合应用,验证了研究成果。

### 4.1 典型现场试验井情况

新 916-1 井是部署在川西地区新场构造 T53 地震反射层鼻状构造南翼的一口定向勘探井,该井钻至斜深 4 030 m 全井完钻,完钻层位须三段。

钻井液方面使用了“三低”“三强”钻井液体系,使用并延长了无黏土相钻井液使用井段,该井无黏土相钻井液使用井段为 400~1 854 m,期间钻井液性能优良, *FV* 控制在 43~46 s, *FL* 控制在 6~3.6 mL,固相含量控制在 10%~33%。

在井壁稳定方面,二开蓬莱镇组和遂宁组泥岩易缩径卡钻,钻井液维护重点是提高其包被抑制能力,防垮塌和缩径,在钻井液中除了抑制包被剂 FA-367、KPAM 复配使用外,还加入了 2% 有机硅井壁稳定剂提高体系的抑制性能。此外,根据地层压力预测和气显示情况及时调整钻井液密度,始终保持近平衡钻进,防止了蓬莱镇组和遂宁组泥岩地层的缩径。针对须家河组页岩层理、裂隙发育,井壁失稳可能出现较为严重的坍塌,钻井液中加入了 1% RST-2、1% 井壁封固 RGH,对页岩微裂隙进行封堵,阻止滤液浸入地层,防止井壁剥落坍塌。该井二开井段平均井径扩大率仅为 2.45%,三开井段平均井径扩大率为 8.51% (设计值小于 12%),井身较好,在钻进过程中本井没有出现井壁垮塌的现象。

针对钻进中千佛崖组与白田坝组、须五段界面易漏失,采用加入 3%~4% 裂缝暂堵剂 RF-2 防止了渗透性、微裂缝漏失的发生。在下套管至井深 4 014 m 时发生了漏失,漏速介于 0.7~20 m<sup>3</sup>/h,采用的堵漏配方为:井浆+2% RF-1+2% RF-2+2% RD-2+1% FRD-1+2% FRD-2,共泵入堵漏浆 68 m<sup>3</sup> 进行挤堵,挤入堵漏浆 0.7 m<sup>3</sup>,一次性堵漏成功。

本井由于是一口定向井,为了预防卡钻事故的发生,在二开进入遂宁组后开始加入润滑剂 RZH220、乳化剂 NFR-2,维持钻井液具有优良的润滑防卡性能。井深 3 008.42 m 开始定向造斜,造斜过程中加大润滑

剂的用量,至3 258.23 m造斜顺利完毕。第一次测井在3 192 m遇阻,第四次测井在3 060 m和3 160 m遇阻,对3 000 m以上井段进行常规项目测井后,加大扶正器尺寸通井,测井顺利。在每次通井过程中,对井眼轨迹变化较大的井段和摩阻较大井段重点划眼,钻井液维护时加入固体润滑剂RZH102保证测井的顺利。从通井情况看,起下钻上提摩阻20~25 t,下放摩阻6~10 t,无严重阻卡点,划眼时返砂正常,返出少量由钻具运动擦刮井壁剥落的掉块,井内无垮塌,钻井液性能满足了工程要求;从测斜数据看,测井遇阻井段3 150~3 200 m方位变化较大(28.59°~16.31°),用满眼扶正器通井后,测井顺利,说明该段井眼轨迹对测井影响较大。

从本井时效分析结果可知,全井钻井总台时为2 121.5 h,台月效率为1 366.10 m/台月,高于设计值15.94%;纯钻率为57.31%,高于设计值15.26%;全井平均钻速为3.31 m/h,高于设计值0.61%。事故率为0,钻井周期为88.4 d,平均机械钻速为3.31 m/h,实现了以须四段为目的层的4 000 m定向深井105 d完钻的提速奋斗目标,并较提速目标提前16.60 d,创造了川西地区4 000 m定向深井钻井周期最短纪录(施工进度如图3所示)。

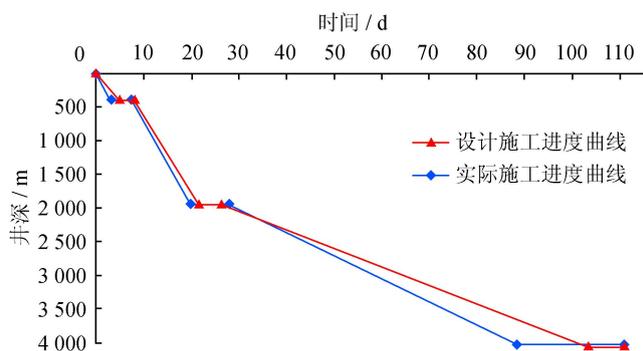


图3 新916-1井钻井施工进度图

#### 4.2 试验效果评价

通过将项目研究形成的井壁控制、防漏堵漏、润滑防卡等技术在新21-1H井、新916-1井、新209井、新10井、大邑103井的综合应用,配合工程上的旋转导向和涡轮钻井技术,有效验证了项目室内实验研究成果。现场5口试验井的集成技术应用效果较为理想,最高事故率为6.76%,平均事故率控制在2.01%左右;最高复杂情况为4.58%,平均复杂情况1.02%。据统计,而非试验井的平均事故率为7.60%,平均井下复杂情况为8.99%,与非试验井相比均取得明显

的效果。从已完钻的试验井来看,相比提速目标缩短钻井周期18.65%,说明多项研究成果的集成应用在现场试验过程中取得了阶段性的成果,值得推广应用。

#### 4.3 技术经济效果分析

通过在川西地区深井应用配合提速的钻井液技术后,在中浅层及须家河地层组配合钻井新技术使机械钻速得到了明显的提高,井下复杂情况明显减少,相比提速目标缩短钻井周期18.65%,节约了大量非生产时间。新增成本中除钻井上使用新工艺增加成本外,钻井液方面增加了15%~20%的成本,但总体上节约了钻井方面的成本,经济效益得到了较明显的提高。

### 5 结论

1)为了提高川西地区碎屑岩深井钻井速度,首先在蓬莱镇组、遂宁组等浅层井段使用无黏土相钻井液、“三低”“三强”钻井液等钻井液体系有利于提高全井的平均机械钻速。

2)预防与处理好川西深井井下复杂情况及事故是提速的关键,重点从井壁稳定、防漏堵漏及润滑防卡等3个方面采取有效的技术措施。

3)采用同时在一口井集成使用有利于提速的钻井液技术,可使川西地区碎屑岩深井的平均事故率和井下复杂情况明显降低,实现了钻井提速目标,值得推广应用。

#### 参 考 文 献

- [1] 徐进,夏家祥,葛永芳.川西合兴场构造钻探深井的几点认识[J].石油钻探技术,1999,27(5):17-18.
- [2] 曹伟,安凤山,王允诚,等.致密砂岩天然气藏地质特征—川西深井钻探的启示[J].矿物岩石,1998,(3):39-44.
- [3] 刘伟,李丽,吴建忠,等.川西地区须家河组致密气藏钻井提速新思路[J].天然气技术,2009,3(2):34-36.
- [4] 钟卫,赵怀德,李建山.提高川西地区中深井及深井钻井效率探讨[J].石油钻探技术,2004,32(6):16-18.
- [5] 徐进.川西地区高压天然气深井钻井完井技术[J].石油钻探技术,2005,33(5):68-71.
- [6] 徐进,郑国生,何仿元,等.开发川西致密碎屑岩气藏的钻井完井液技术[J].石油钻探技术,1999,27(4):23-24.
- [7] 樊朝斌,补成中,高如军.川西深层欠平衡钻井井壁稳定的几个问题[J].石油地质与工程,2007,21(1):57-59.