

川东分枝定向井钻井液技术

王实其*

(四川石油管理局川东钻探公司)

内容提要 本文针对川东定向斜井和地层特点,介绍了使用复合乳化磺化钻井液的井眼净化、摩阻控制、防塌和防漏堵漏等技术。总结了川东分枝定向井工艺技术规范,并通过现场实例予以充分论证。

主题词 四川东部 定向井 复合乳化泥浆 井眼净化 摩阻控制 页岩坍塌 防漏堵漏

川东地腹形态复杂,高陡构造多,地层倾角大,断层多,在钻井过程中常因钻遇陡带或断层不能钻达目的层位。近年来利用原直井进行的分枝定向钻井技术在川东的勘探开发过程中取得了较为明显的效果。实践证明这一技术是提高川东勘探效益,增储上产的迫切需要。

面临的特殊问题

川东分枝定向井一般是从原直井眼的嘉陵江组开窗定向侧钻,目的层为阳新统和石炭系,须钻经下三叠统嘉陵江组,飞仙关组,二叠系乐平统,阳新统和石炭系等地层,至志留系10~20m完钻。这些地层的特点是:①嘉陵江组为气层,并含有大段石膏,易污染钻井液,有的构造还含有大段岩盐或高压盐水体;②飞仙关组为气层,孔隙发育,渗透性好,易形成厚泥饼缩径;③乐平统长兴组为气层,下部龙潭组为大套凝灰质页岩和碳质页岩;④阳新统上部为高压气层,底部梁山组为凝灰质页岩;⑤石炭系是低压主产气层,压力系

数1.20~1.40,为针孔状白云岩。龙潭组、梁山组是川东深部易塌层,据我公司不完全统计,近几年因龙潭组和梁山组垮塌而卡钻的有13井次,造成全井报废2口(桐村1、龙会1井);垮塌而未造成严重后果的则不计其数,直接经济损失达2千多万元;⑥各层之间压力系数悬殊,因受套管程序限制,在同一裸眼存在多个高低不同的压力系统,必须使用重泥浆,最高密度可达2.10~2.30g/cm³,在碳酸盐岩裂缝性气藏中钻进,常常喷漏并存;⑦井深,温度高,完钻井深多数在4000~4500m,最深达5171m,井底温度高达100~140℃。由此可见,川东分枝定向井不仅与其它地区定向井一样面临井眼净化,摩阻控制等共同的技术难题,而且在井壁稳定,防漏堵漏以及流变性调控方面具有更大难度。为此,钻井工程在设计上采取长曲率半径,使其最大井斜控制在30°左右,且采用直井段,增斜段,稳斜段,自然降斜段四段制剖面,尽量把定向斜井的不利因素降至最低限度。钻井液选用复合乳化磺化体系,利于充分发挥其功

能优势。

川东分枝定向井钻井液技术

1. 采取综合措施净化井眼

(1) 钻井液密度低于 $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ 时, 重视提高动塑比值携砂, 其方法是, 首先将原井内泥浆搬含补充至 $30\sim 40\text{g}/\text{L}$, 加 $3\%\sim 4\%$ KHM, 然后加入 CaCl_2 $0.3\sim 0.5\%$ 即可。当钻井液密度大于 $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ 后, 与岩屑的密度差值减小, 钻井液自身的悬浮能力增强, 且高密度钻井液自身的塑性粘度已很大, 故不强调动塑比值, 而只强调适当切力和静切力, 在满足悬浮携砂的前提下, 把动、静切力控制在较低数值。

(2) 在发现扭矩增大, 起钻或静止测斜前, 坚持上下活动钻具, 破坏已形成的岩屑床。

(3) 工程措施配合用适当排量洗井, 使环空返速 $\geq 0.85\text{m}/\text{s}$, 例如在 $\varnothing 215.9\text{mm}$ 井段用 $22\sim 24\text{L}/\text{s}$ 排量洗井即可达到上述环空返速。

2. 降低摩阻, 防止粘卡

(1) 选用抗盐、抗钙、抗高温的高效处理剂 SMP, SMP 在搬土上吸附后改善了亚微米粒子的级配, 同时 SMP 具有相当强的水化基团, 使粘土表面增加了足够多的水化膜, 其泥饼具有良好的可压缩性, 再配以 KHM (或 SMC), 其失水造壁性能更加优良, 泥饼薄而韧, 是分枝定向斜井钻井液的两种基础处理剂。

(2) 柴油。有润湿钻具表面和改善泥浆流动性的特点, 能增加高密度钻井液的润滑性。

(3) 使用表面活性剂, 表面活性剂是川东大斜度井必加的防粘卡剂。近几年应用了 SP-80、CP-233、AS、SD-1 等。尤其是 SP-80 和 SD-1 混合加入效果更好, 它们均为非离子型表面活性剂。前者亲油, 后者亲水, 与柴油混合加入, 可在井壁表面形成一个

油膜层, 降低泥饼摩擦系数。

(4) 液体润滑剂和固体润滑剂配合加入。液体润滑剂常用的有 FK-10 和 FRH, FK-10 是以植物油为主体配以多种非离子型表面活性剂加工而成的新型液状产品, 适用于各种水基钻井液, 加量以 2% 为宜, 加量过大过筛困难; FRH 是以沥青为主体经化学加工而成的液状产品, 加量以 $2\%\sim 4\%$ 为宜, 实践证明这两种液体润滑剂对钻井液润滑效果显著。固体润滑剂前几年常用石墨粉和塑料小球, 因石墨粉毒性大, 现逐渐被新开发的玻璃微珠取代。因为固体润滑剂不过筛, 成本高, 故一般在钻完进尺后再加入, 便于完井作业 (电测、通井、下套管) 的顺利进行。

(5) 强化固控。坚持“筛、沉、除、淘、捞”五字作业方针, 对无用固相进行全方位控制。使用直线振动筛 \rightarrow NcS 除砂器 \rightarrow NcN 除泥器固控匹配系统。使用时间达到: 振动筛 100% , 除砂器 70% , 除泥器 50% 。每一个钻头彻底淘一次尖头罐和一号沉砂罐, 每天至少测一次含砂量, 通过这些措施, 使含砂量 $\leq 0.3\%$, 这不仅对降低 K_f 既科学又经济, 而且对稳定钻井液流变性能, 延长处理周期, 避免高密度钻井液因固含过高, 导致处理频繁体积膨胀发挥了重要作用。

3. 防塌是成败的关键

二叠系龙潭组、梁山组页岩的防塌是川东分枝定向井成败的关键。

(1) 塌层理化性质分析。为弄清上二叠统龙潭组及下二叠统梁山组页岩坍塌原因, 给防塌工作提供有力证据, 我们分别就龙潭组、梁山组取心送西南石油学院泥浆中心实验室进行理化分析, 其结果见表 1。龙潭组、梁山组页岩吸附等温线见图 1。毛细管吸收时间 (CST) 见图 2。

(2) 电镜及薄片分析。电镜分析发现, 龙潭组、梁山组页岩中在伊利石, 高岭石以及伊一蒙混层出现的地方, 微裂缝和微空隙相当

表 1 川东龙潭组、梁山组页岩特性

层位	岩样	页岩的矿物组成(%)					密度 (g/cm ³)	膨胀(%)		回收率 (%)	吸水性 (%)	亚甲基蓝 (g/100g 岩样)
		高岭石	绿泥石	伊利石	伊蒙混层	混层比		2h	8h			
龙潭组	灰质页岩	12.74	10.19	40.07	36.99	20	2.69	7.03	7.43	97.8	1.1	9.29
龙潭组	炭质页岩	5.68	30.32	40.00	24.00	30	2.65	4.59	5.14	93.4	1.0	6.33
梁山组	页岩	48.87	11.54	19.21	20.38	35	2.62	13.3	14.5	96.7	0.9	4.14

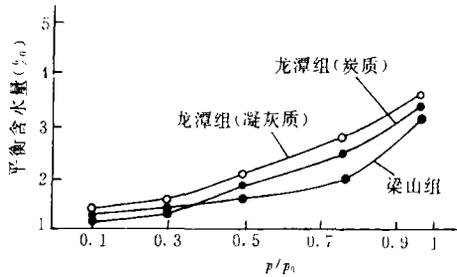


图 1 龙潭组、梁山组页岩的吸附等温线

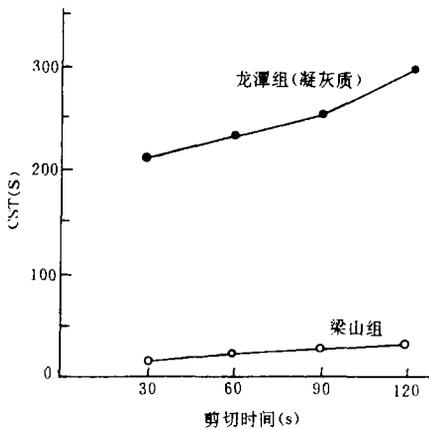


图 2 龙潭组、梁山组页岩 CST 与剪切时间的关系

发育;火山灰和火山碎屑的总含量以梁山组页岩最大占 97%、龙潭组(炭质页岩)次之占 65%~70%、龙潭组(凝灰质页岩)最小占 63%。粘土矿物主要由火山灰和火山碎屑组成,因此,火山灰和火山碎屑总含量的大小反映了龙潭组、梁山组页岩中粘土含量的多少。

(3)对塌层理化分析的认识。①龙潭组页岩的粘土矿物成份以伊利石、伊蒙混层为主。梁山组页岩的粘土矿物成份以高岭石和伊蒙混层为主,龙潭组、梁山组页岩均不含纯蒙脱石,亚甲基蓝指数低,回收率高;②相对分压为 0.755 时的平均含水量为 1.1%~1.8%,即有一定的吸水膨胀性;③CST 与时间的关系曲线表明,梁山组页岩的分散性最小,且随时间延长无明显变化;龙潭组页岩分散性相对较大,且随时间延长而增大。由此得出:龙潭组、梁山组页岩属低活性、低分散的硬脆性地层,且由于这些页岩处于陡带或断层附近,受构造应力作用强烈,致使微裂缝和微空隙相当发育,国内外大量资料表明,这种地层比蒙脱石含量高的地层坍塌更为严重。

(4)防塌措施。①严格执行设计的钻井液密度,钻井液密度是平衡井壁侧压力的首要参数,特别是在地层倾角陡,构造应力大,微裂缝发育的龙潭组、梁山组页岩层斜井段,更应重视钻井液密度的防塌作用;②注重钙离子浓度控制,见图 3。由图 3 可见,当 Ca²⁺ 浓度达到 183~250mg/L 以上,CST 值变化甚小。且如果 Ca²⁺ 浓度过大,不利于重泥浆流变性能调控,还可能加剧硬脆性页岩的水化膨胀和分散作用^[2]。故 Ca²⁺ 浓度控制在 150~250mg/L 为佳。③适当添加含 K⁺ 处理剂。K⁺ 可减少伊蒙混层粘土不同晶层的膨胀差,对井壁页岩有强的抑制作用,K⁺ 与 Ca²⁺ 协同作用,比单一离子的防塌作用强得多。故用 kHm 代替 SML,KOH 代替 NaOH,以及添加

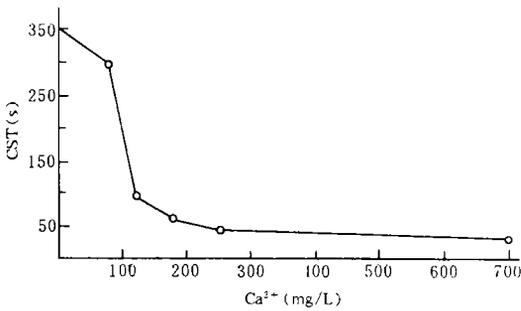


图 3 [1]Ca²⁺对川东龙潭组页岩 CST 的影响

K₂Cr₂O₇ 等都是有效手段。④加入沥青类力学稳定剂,封堵页岩微裂缝。⑤严格控制 HTH-PB,减少向地层失水。⑥工程措施配合,在易塌层使用小一级钻铤,尽可能简化钻具结构,并坚持划眼钻进。

4. 防漏与堵漏是该技术的重要组成

文献[3]认为:随井斜角增大,地层压裂梯度降低,因此斜井的井漏发生率比直井更高,对此,采取了以下措施:

(1)全面认真分析邻井和原直井的 dc 指数,钻井液使用密度及各种资料,从而确定合理的钻井液密度。若是气层,则以平衡气层压力为前提;若是非气层,则以稳定井壁为原则。

(2)优选高密度钻井液流变参数,减少循环回压。

(3)严格操作规程,控制下钻速度在 1.50~2.0m/s,降低激动压力。

(4)实行逐级加重,即逐渐提高钻井液密度。控制加重速度,每循环一周其加重幅度不超过 0.05g/cm³。

(5)对漏失敏感地层,在井内泥浆中预加 2%单向压力封闭剂 DF-1 进行“屏蔽”暂堵。

(6)一旦发生井漏,先起钻至套管鞋静止观察,吊罐,间断小排量循环,这对非垂直性裂缝漏失井有较好防漏效果。如仍漏,则弄清

漏层性质及井段,采用相应的堵漏措施。若是气层,则用酸溶性好的堵剂 PCC 或 DF-1,若是非气层,则用桥接剂或桥接剂与水泥浆复配堵。其浓度视漏速大小而定,见表 2。常用配方见表 3。核桃壳是封堵裂缝的骨架材料,在以上三种堵液中都是必加的颗粒状堵料。

表 2 漏速与堵液浓度推荐表

漏速 (m ³ /h)	堵剂浓度 (%)	桥接剂 浓度	DF-1 浓度	PCC 浓度
<10		6~8	3~5	5~7
10~30		8~10	4~7	10~12
30~60		10~16	6~10	14~16
>60		>18	>10	>18

表 3 堵液常用配方推荐表

堵剂	常用配方
桥接剂	颗粒状:片状:纤维状=2:1:1
DF-1	井内泥浆+3%~10%DF-1+1.5%~5%核桃壳
PCC	基浆(清水或清水+3%~5%土)+5%~16%PCC+2.5%~8%核桃壳

5. 工艺技术规范

经室内大量实验和 4 年来分枝定向钻井实践,分枝定向钻井液工艺技术已基本规范化:

(1)配方组成。以预水化搬土浆体积为 100 计,各种处理剂的常用量及作用见表 4。

表4 川东分枝定向钻井液处理剂加量

处理剂	加量 (%)	作用
SMP-1	4~6	抗高温抗膏盐降失水剂
KHM (SMC)	3~5	抗高温降失水剂和稀释剂
SMK	1~2	抗高温抗膏盐稀释剂
NaOH (KOH)	0.4~0.6	控制 pH 值
SP-80	0.4~1	亲油乳化剂
SD-1	0.2~0.3	亲水乳化剂
CaCl ₂	0.3~0.5	提供 Ca ²⁺
沥青类	2~4	力学稳定剂
液体润滑剂	2~3	降低泥饼 Kf
固体润滑剂	1~2	降低泥饼 Kf

(2)性能控制范围。重泥浆以弱凝胶工艺技术为基础,但考虑大斜度井携砂和井眼净化困难,动、静切力适当放宽,其性能控制范围见表5。

(3)维护处理。复合乳化磺化钻井液在钻进中应保持较好的乳化状况。小型维护处理每2~3次补充一次柴油,SP-80;大型处理则每次补充之。使柴油保持含量达6%~12%,SP-80含量0.5%~1%,井浆密度低,井浅取低限;井浆密度高,井深取高限。常规性能每班测,HTHP性能正常情况下8~10d作一套全分析,井下复杂则加密测,性能若超标,及时加入有关处理剂予以调整合格。

表5 川东分枝定向钻井液性能控制范围

密度 (g/cm ³)	粘度 (s)	API		PV (mPa·s)	YP (Pa)	pH 值	切力(Pa)		HTHP			堰含 (g/L)
		B (mL)	K (mm)				(10s)	(10min)	B (mL)	K (mm)	Kf (45')	
1.30~1.50	30~40	<5	≤0.5	10~20	5~10	9~11	2~5	5~10	≤15	<3	≤0.15	35~30
1.50~1.80	35~50	<5	0.5	20~30	10~15	9~11	5~8	6~12	≤15	≤3	≤0.15	30~25
1.80~2.00	45~70	<5	0.5	30~40	10~20	9~11	5~10	8~15	≤15	≤3	≤0.15	25~20
>2.00	50~80	<5	0.5~1	40~50	15~25	9~11	7~12	10~20	≤15	≤3	≤0.15	20~18

现场应用实例及效果

(1)七里6-1井。七里6-1井是在阳新统钻遇陡带,后又因电测仪掉井无法打捞而设计的分枝定向井。该井位于七里峡构造北倾没端近轴部,阳新统处于两条逆断层之间且离断层很近,地层破碎,压力异常。设计主探石炭系,兼探二叠系,实际完钻井深4068m,最大井斜17°30',水平位移312.54m。

用密度2.10g/cm³、T45s泥浆自原直井H3430m(P₁³)定向侧钻,钻至H3938.29m(P₁²)后效气侵,密度2.10~1.82g/cm³、T61

↗135s,循环排气加重至2.18g/cm³,T55s恢复正常。钻至H3961.74m(梁山组),加重处理泥浆,密度2.18↗2.27g/cm³井漏,漏速2.4~19m³/h,经降密度至2.23g/cm³静止后,用小排量间断循环停漏。钻至H3966.53m(梁山组)垮塌卡钻,经分析为地层破碎,泥浆液柱压力不能平衡井壁侧压力所致。解除卡钻后,加重至2.31g/cm³,安全钻过梁山组进入石炭系(H3998m)下∅177.8mm套管固井,但从H3967.73m开始至H3998m多次发生井漏,漏速最大27m³/h,一般14.4m³/h,因梁山组属非气层井漏,故先后共用浓度9%~12%桥接泥浆堵3次均成

功,其余井漏采用起钻至套管鞋静止观察自动停漏。

(2)池35—1井。该井位于大池干构造老湾高点北段偏东翼,主探石炭系,兼探三、二叠系,是因池35井在 P_1^2 钻遇陡带后未达到地质目的而设计的分枝定向井。池35—1最大井斜 $30^\circ 50'$,水平位移638.98m,在 P_1^3 获61.95万 m^3/d ,产气于H4193m(P_1^3)提前完钻。该井由于严格执行定向井钻井液工艺技术规范,全井无塌无卡,钻井液性能优质稳定,处理周期长。特别是自定向侧钻H2945m(Tc^2)至H3990m(P_1^3),钻进时间长达90天而井浆一直未进行过大处理,只是进行小型维护处理和因自然消耗而补充少量新泥浆。

(3)月东1—1井。该井位于明月峡构造新民潜伏高点,在构造北段东翼12、13号断层之间,地面倾角 60° ,主探石炭系、兼探二叠系。因月东1井在乐平统长兴组(P_2^2)钻遇陡带不能钻达目的层位至H4890.96m完钻,故决定利用原直井定向侧钻实现地质目的,改井号月东1—1。月东1—1顺利地钻达目的层石炭系,完钻井深5171m,最大井斜 $26^\circ 42'$,获83万 m^3/d 大气。该井是目前四川最深的一口定向斜井,地层异常复杂,难度特大,由于措施得当,钻井液质量优良,获得以下效果:①井眼净化和防塌效果好,岩屑返出代表性强,每次下钻沉砂均未超过2m;②石炭系 $\varnothing 152.4mm$ 钻头取心18筒次,进尺71.72m,获岩心70.98m,收获率99%,梁山组掉牙轮、掉电测仪器,打捞磨铣处理顺利,

钻至H5052m(P_1^2)柴油机因故突然熄火,钻具静止40min未粘卡;③月东1直井在 $T_1f \sim P_2$ 漏失密度 $1.63 \sim 1.68g/cm^3$ 钻井液520 m^3 ,而月东1—1斜井在同层位,钻井液密度高于直井只漏失密度 $1.65 \sim 1.73g/cm^3$ 钻井液150 m^3 。

川东通过分枝定向钻进,获得了一批工业气井,促进了地质探明储量和井口产能的逐年上升,为勘探开发裂缝性、断块气藏提供了新的途径。钻探实践充分表明,按照川东分枝定向井钻井液工艺技术规范严格执行,完全适应高陡构造井斜 30° 左右的深井钻探要求。但是,随着勘探领域的不断扩展以及寻找深部气藏为主的战略转变,勘探难度越来越大,从分枝定向井逐步向定向井发展,井斜和井深也越来越大,对钻井液技术的要求也必将越来越高,因此,不断完善和提高定向井钻井液工艺技术水平,仍然是川东钻井液工作者面临的重大课题。

参 考 文 献

- 1 王实其、李昌全、张敬荣. 川东硬脆性页岩防塌钻井液的优选. 钻井液与完井液, 1992; (4)
- 2 邱正松、李健鹰等. 钾与钙离子对硬脆性泥页岩防塌作用机理的实验研究. 钻井液与完井液, 1990; (1)
- 3 Aadnoy B S *et al.* Stability of highly inclined boreholes. SPE 16

(本文收稿 1992—11—25)



DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

Liu Jubao, Zhang Xuehong and Liu Yang; **Interstice Element Method Used to Analyze the Deformation of Drilling String by Force in Directional Well**, NGI 13(4), 1993; 44~49

On the basis of contact nonlinear theory, friction interstice element of multi-directional contact was designed and appropriate computer procedure was programmed. The result of carrying out the programme shows that the interstice element method can properly and conveniently describe the contact state of drilling string and the well wall, and also can work out variable inclination force and variable direction force on the bit and the deformation of drill string by force. Thus, an effectual computing method is supplied to analyze the deformation of drilling string by force.

Subject Headings: directional well, interstice element, finite element, analysis of drilling string by force.

Wang Shuqi; **Technique of Drilling Fluid in Multiple Directional Well in East Sichuan**, NGI 13(4): 50~55

In accordance with the characteristics of deviated wells and the strata in East Sichuan, this paper describes that compound emulsified and sulphonated drilling fluid was used in borehole cleaning, frictional drag control, anti-collapse, leakage prevention and stopping lost circulation. The technique standard of the multiple directional drilling technology in East Sichuan was summed up and verified through field examples.

Subject Headings: East Sichuan, directional well, compound emulsified slurry, borehole cleaning, frictional drag control, shale collapse, leakage prevention and stopping lost circulation.

Zhang Donghui; **Inquiring Into the Problem of Cementing in Highly-Deviated Wells**, NGI 13(4): 56~58

In the light of characteristics of highly-deviated wells, a method of solving problems is expounded. Many aspects such as how to raise the fluid displacement efficiency, lessen channeling and improve the quality of well plugging and well cementing have been inquired and discussed in this paper.

Subject Headings: highly-deviated well, well cementation, cementing, rheological parameter.

Hu Jianzhou, Li Chunguan and Cheng Yiping; **Production Test and Completion Technique by One Trip String in Moxi Gas Field**, NGI 13(4), 1993; 59~64

The details of string structure, technique procedures, field testing by one trip string production test and completion technique are described in this paper, which is of reference value on production testing work in gas field, especially in sour gas fields.

Subject Headings: middle part of Sichuan, Moxi gas field, hydrogen sulfide, production test, one trip string.