

塔里木盆地顺北地区二叠系随钻堵漏技术

肖绪玉¹, 史东军², 李国楠¹, 于培志¹

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中石化华北石油工程有限公司西部分公司, 新疆 轮台 841600)

摘要:井漏的发生不仅给钻井工程带来损失,也为油气资源的勘探开发带来极大困难。顺北地区二叠系火成岩发育,地层破裂,钻井时井下复杂主要表现为漏失。目前,该区块二叠系井漏现象频发,导致坍塌掉块,造成该区块井下复杂高发,给施工进度带来非常不利的影响。针对此问题,开展了顺北地区二叠系随钻堵漏技术研究,结合顺北1-1、1-5和1-6井的钻井实践以及二叠系地层特点,分析了该区块的二叠系钻进难点,总结了随钻堵漏技术具体的施工措施。为了应对地层可能出现较大漏失的情况,优选出了用于堵1、3和5 mm缝板的堵漏配方。

关键词:二叠系;井漏;随钻堵漏;顺北地区

中图分类号:TE254;P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)10-0037-05

Plugging while Drilling Technology for Permian in Shunbei Area of Tarim Basin/XIAO Xu-yu¹, SHI Dong-jun², LI Guo-nan¹, YU Pei-zhi¹ (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. West Company, North China Petroleum Engineering Co., Ltd., SINOPEC, Luntai Xinjiang 841600, China)

Abstract: Well leakage brings not only losses to drilling engineering, but also great difficulties to the exploration development of oil gas resources. Permian igneous rock developed in the northern part of Shunbei area with formation fractures, leakage in drilling process is the main complex downhole situation. At present, Permian leakage happens frequently, which causes collapsing and block falling and has adverse effects on construction progress. To solve this problem, the research on plugging while drilling technology for Permian in Shunbei area is carried out. Combined with the drilling practice of wells SHB 1-1, SHB 1-5 and SHB 1-6 and considering Permian strata characteristics, this paper analyzes the drilling difficulties of Permian in this block and summarizes the concrete construction methods of plugging while drilling technology. In order to cope with the possible large leakage, plugging formulas are optimized for the boards with seams of 1, 3 and 5mm respectively.

Key words: Permian; well leakage; plugging while drilling; Shunbei area

随着石油天然气勘探开发,井漏问题日益突出^[1-3],井漏可能引起井塌、卡钻、井喷等其它钻井事故,给钻井工作带来了诸多不便。因此全面认识钻井堵漏技术的发展现状和关键技术,对解决工程中的实际问题有重要意义。目前,顺北地区二叠系井漏现象频发,导致次生垮塌甚至井下工程事故,造成该区块井下复杂高发,给施工进度带来了非常不利的影响。顺北地区二叠系火成岩发育,裂缝较多,所以渗漏严重。为确保安全快速生产,使钻井施工适应该地区井下的复杂情况,需要提出合理的有针对性的随钻技术对策。通过分析顺北地区漏失井和未漏失井的现场施工过程,总结提出了二叠系随钻堵漏施工措施和二叠系随钻堵漏钻井液维护措施,希望能对该区块同类井的随钻堵漏施工起到一定的

借鉴和帮助作用。

1 地质概况

顺北地区位于新疆沙雅县境内,构造位置位于塔里木盆地北部坳陷的中西部,紧邻塔指跃满区块,总面积为3126 km²。该区块采用二开井身长裸眼钻穿白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系等多套地层,顺北地区二叠系地层数据如表1所示。

由表1可知,二叠系埋深4400~5100 m,层厚480~520 m,上部以英安岩为主(厚约200 m),下部以凝灰岩为主,该区块二叠系火成岩发育,地层破裂压力低^[4-5],二叠系层厚较大,钻井时井下复杂主要表现为漏失。

收稿日期:2016-11-27; 修回日期:2017-08-11

基金项目:中石化西北局“顺北1井区二叠系随钻防漏及堵漏技术现场应用及评价”(编号:34400007-15-ZC0607-0080)

作者简介:肖绪玉,男,汉族,1989年生,硕士研究生在读,地质工程专业,北京市海淀区学院路29号,xyx626@yeah.net。

通讯作者:于培志,男,汉族,1962年生,教授,工学博士,北京市海淀区学院路29号,yupz@cugb.edu.cn。

表 1 顺北地区二叠系数据

井别	统	代号	层段/m	层厚/ m	岩 性 简 述	钻井液密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
SHB1 井	中统	P ₂	4530 ~ 5010(中完 5082)	480	上部为灰白、灰色、灰绿色凝灰岩,中下部为灰绿色英安岩、黑、灰绿、褐、棕红色(晶屑、玻屑)凝灰岩、凝灰质泥岩、凝灰质砂岩	1.23 ~ 1.24
SHB1-1 井	中统	P ₂	4424 ~ 4875(中完 5036)	451	上部为绿灰色、浅红色英安岩夹棕褐色泥岩;下部为灰色凝灰岩夹灰色凝灰质砂岩	1.24 ~ 1.25
SHB1-5 井	中统	P ₂	4408 ~ 4858(中完 6850)	450	上部为灰绿、深灰色英安岩,下部为黑色、灰绿色凝灰岩	1.24
SHB1-6 井	中统	P ₂	4471 ~ 4885(中完 6469)	414	上部为灰绿、深灰色英安岩,下部为黑色、灰绿色凝灰岩	1.24 ~ 1.25

2 二叠系钻进难点分析

顺北地区二叠系以英安岩、凝灰岩为主,地层破碎,微裂缝发育,承压能力低,能够安全钻进的泥浆密度窗口小,对当量钻井液密度的变化比较敏感。二叠系地层易发生裂缝性漏失,如果钻井液性能不合理或钻井工艺措施不当就可能发生漏失。钻井难点主要表现为以下几点。

(1)二叠系安全密度窗口较小,钻进时钻井液的密度需要控制在 1.24 g/cm^3 左右。

(2)二叠系英安岩和凝灰岩发育,英安岩和凝灰岩存在较多微裂缝,易发生漏失。

(3)由于二叠系易剥蚀掉块,存在井塌和卡钻的风险,所以钻进过程中对钻井液的抑制和携岩能力有较高的要求。

(4)钻进过程中为长裸眼,随钻难度大,下钻压力“激动”大容易压漏地层,从顺北地区井来看绝大部分的漏失和复杂发生在下钻过程中和下钻完成后开始钻进初期。

实际钻井过程中顺北地区二叠系反映出的最大问题是易发生井漏,且一旦发生井漏,则多为反复井漏,堵漏困难,不但延缓工期,而且还会耗费大量人力物力。

3 聚合物随钻堵漏剂(PSD)合成

实验筛选随钻堵漏配方中两个关键的随钻堵漏剂:聚合物随钻堵漏剂(PSD)和竹纤维。其中竹纤维是河南某石油助剂有限公司的产品,PSD 由实验室合成。合成过程如下:

将 1.4 mol 丙烯酸甲酯和 1.4 mol 丙烯酸钠加入 100 g 蒸馏水中,充分溶解并升温至 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 1 h ,加入 0.2 g 过硫酸钾,保温 2 h ,停止加热降至常温,得到凝胶状产物,将产物取出,用造粒机造粒,干燥,干燥后颗粒直径约为 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。

4 室内堵漏配方实验评价

前期准备工作中,为了评价聚合物随钻堵漏剂(PSD)、成膜随钻堵漏剂(CMJ)和随钻堵漏剂竹纤维的封堵效果,进行了砂床堵漏实验。为了应对地层可能出现较大漏失的情况,用 QD-A 型堵漏仪器优选了堵漏配方,优选出了用于堵 $1、3$ 和 5 mm 缝板的堵漏配方。

4.1 砂床堵漏实验评价

实验采用 $20\sim40$ 目石英砂作为模拟介质,仪器为无渗透砂床滤失仪,实验压力 0.69 MPa ,封堵材料加入钻井液体系中,在 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下热滚 16 h 。钻井液体系为: $3\%\sim4\%$ 膨润土 + 0.2% 纯碱 + 2% 磺化褐煤(SMC) + 3% 褐煤树脂(SPNH) + 0.3% 阳离子乳液聚合物(DS-301) + $0.5\%\sim0.7\%$ 抗温抗盐降滤失剂(RHTP-2) + 3% 阳离子乳化沥青(RHJ-3) + 0.5% 高效硅醇抑制剂(DS-302) + 0.5% 聚胺 + 5% 氯化钾(KCl)。随钻堵漏体系配方:钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙(CSC-100) + 1% 聚合物随钻堵漏剂 PSD + 1% 竹纤维。砂床实验结果如表 2 和图 1 所示。

表 2 砂床实验结果

序号	0.69 MPa		
	时间/min	侵入深度/cm	漏失状态
1	瞬时滤失	6.5	无漏失
2	10	7.2	无漏失
3	20	7.5	无漏失
4	30	7.5	无漏失



图 1 砂床表面形成的封堵层

由表 2 数据可知,30 min 堵漏钻井液体系进入砂子的最大深度为 7.5 cm,这说明堵漏钻井液体系的封堵效果良好,图 1 中砂床表面形成的封堵层致密、有韧性也能说明这一点。

4.2 封板堵漏实验评价

QD-A 型堵漏仪器评价不同缝宽下的堵漏配方,配方如下:

配方 1:钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙(800 目) + 2% PSD + 3% 竹纤维 + 3.5% 复合随钻堵漏剂(FHD-1)(用于堵 1 mm 缝板)。

配方 2:钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙(800 目) + 2% PSD + 3% 竹纤维 + 8% FHD-1(用于堵 1 mm 缝板)。

配方 3:钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙(800 目) + 2% PSD + 3% 竹纤维 + 2% FHD-1 + 3% 复合堵漏剂(FHD-2)(用于堵 3 mm 缝板)。

配方 4:钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙(800 目) + 2% PSD + 3% 竹纤维 + 10% FHD-1 + 10% FHD-2 + 8% 大颗粒架桥堵漏剂(用于堵 5 mm 缝板)。

实验结果见表 3、图 2 和图 3。

表 3 堵漏实验数据

裂缝宽度/mm	配方编号	堵漏浆体积/mL	压力/MPa	累计漏失量/mL	封堵状态	封堵结果
1	1	3500	0	125		
			0.69	450	稳压 10 min	堵漏
			3.5	470	稳压 10 min	成功
			6.9	1500	稳压 10 min	
1	2	4000	0	0		
			0.69	10	稳压 10 min	堵漏
			3.5	10	稳压 10 min	成功
			6.9	30	稳压 10 min	
3	3	3200	0	75		
			0.69	150	稳压 10 min	堵漏
			3.5	200	稳压 10 min	成功
			6.9	200	稳压 60 min	
5	4	4000	0	0		
			0.69	30	稳压 10 min	堵漏
			3.5	50	稳压 10 min	成功
			6	70	稳压 60 min	

由表 3、图 2 和图 3 可知,所优选出的用于封堵不同缝宽的 4 个配方均能有效封堵裂缝,在二叠系地层钻进时,可以根据漏失量选择合适堵漏配方。

(1)在二叠系钻进过程中,如果只有渗漏,漏失速度 $<1.5 \text{ m}^3/\text{h}$,则只用随钻堵漏配方。随钻堵漏体系配方:钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙(CSC-100)

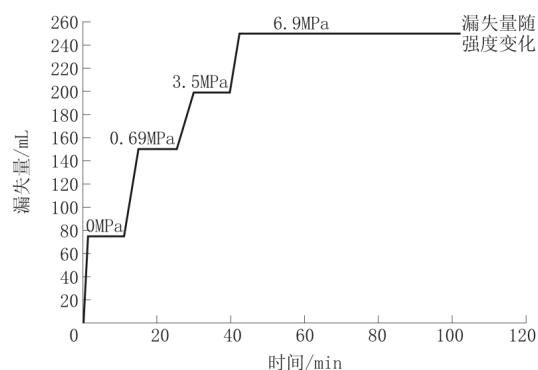


图 2 3 mm 缝板堵漏实验漏失量情况

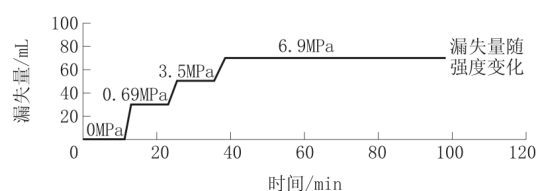


图 3 5 mm 缝板堵漏实验漏失量情况

+ 1% 聚合物随钻堵漏剂 PSD + 1% 竹纤维。

(2)在二叠系钻井过程中,如漏速不大(低于 $5 \text{ m}^3/\text{h}$),则强行钻穿二叠系,井浆中要有 9.5% 的堵漏材料,具体配方见配方 1。

(3)如漏速在 $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$,可增大堵漏剂浓度或及时调整堵漏材料颗粒级别,强钻过程中适当降低排量,最好保持在 $20 \sim 25 \text{ L/s}$,采用边补量边钻进的方法钻穿漏层,在补充钻井液量时要加足各种处理剂,保持钻井液性能的稳定,井浆中要有 14% 的堵漏材料,具体配方见配方 2。

(4)漏失速度为 $10 \sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$,采用静止堵漏。配制堵漏稠浆 $30 \sim 40 \text{ m}^3$,加入凝胶堵漏剂 PSD、竹纤维随钻堵漏剂、超细碳酸钙、复合随钻堵漏剂 FHD-1 和复合堵漏剂 FHD-2,下钻至井底后,将堵漏稠浆送至漏失位置,起钻至安全井段,静止堵漏 4 ~ 8 h。堵漏剂中要有较大颗粒的架桥材料,具体配方见配方 3。

(5)针对于漏速 $\geq 20 \text{ m}^3/\text{h}$,采用承压堵漏。配制 2 段稠浆,前面一段稠浆加入配方 4 中堵漏材料配置成堵漏浆,后面一段稠浆中加入 20% 承压堵漏材料,将上述稠浆送至漏失层,静止堵漏。

5 顺北地区二叠系漏失情况

顺北 1-1 井钻进过程中在 2015 年 3 月 14 日 5:52 钻进至井深 4557.53 m 时,钻遇二叠系凝灰岩和英安岩的裂缝,发生了裂缝性漏失,井口失返。钻

井液密度 $1.24 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ 。先后经过十余次堵漏(主要采取随钻桥堵、承压堵漏、打水泥塞、化学堵漏),都未能有效封堵漏层。最后通过全井使用堵漏浆,暂时性封堵住地层。顺北1-1井漏失及堵漏情况见表4。

表4 顺北1-1二叠系堵漏情况

漏点位置/m (共8个)	堵漏工艺	堵漏效果
4557、 4571、 4588、 4593、	桥浆堵漏25次	(1)桥浆循环堵漏;漏层不易封实,易复漏;(2)前13次堵漏浆以中粗—细颗粒为主,效果较差;加入特粗、粗颗粒材料后,堵漏效果有所改善
4610、 4620、	水泥堵漏1次 化固堵漏1次	(3)水泥、化固堵漏;因沉砂干扰,井底的漏层未能有效封堵
4636、 4643	堵漏浆钻井	(4)全井眼采用堵漏浆(浓度12%)打钻,多次调整配方,强钻至二开中完

由表4可知顺北1-1井泥浆漏失量较大,另外顺北1-2和1-4井均发生了漏失,1-2、1-4井和顺北1-5井的直线距离约为5 km。顺北1-5和1-6井二叠系均未发生漏失。顺北1-5井于2016年1月19日(井深4408.00 m)进入二叠系上统啊恰群(P_2),于2016年1月31日(井深4858.00 m)进入石炭系下统卡拉沙依组,二叠系井段长达450 m。顺北1-6井于2016年1月18日(井深4471.00 m)进入二叠系上统啊恰群(P_2),于2016年1月28日(井深4885.00 m)进入石炭系下统卡拉沙依组,二叠系井段长达414 m。顺北1-5和1-6井在钻进二叠系期间,保持补加随钻堵漏剂,使堵漏剂的浓度维持在5%~9%,起钻前配一罐封闭浆,泵入二叠系井段对地层进行封堵,封闭浆配方:井浆+1%聚合物凝胶PSD+1%~4%竹纤维。在钻进二叠系期间,顺北1-5和1-6两口井都只有正常的渗漏消耗,渗漏消耗速度 $<1.5 \text{ m}^3/\text{h}$,整个二叠系井段未发生漏失,安全钻达了下一个地层。结合顺北1-1、1-5和1-6井的钻井实践以及二叠系地层特点,总结提出了二叠系随钻堵漏施工措施和二叠系随钻堵漏钻井液维护措施。

6 二叠系钻井施工体会

6.1 二叠系随钻堵漏和钻井液维护

针对二叠系地层特点,在二叠系地层钻井施工过程中,应以随钻堵漏技术为主,配合静止堵漏技术完成二叠系井段钻井施工,待穿过二叠系地层后,采用承压堵漏浆在二叠系全井段进行承压堵漏施工,

以满足志留系井段钻井施工的要求。二叠系钻进过程中,以防漏为主,既要防漏又要堵漏。在揭开二叠系地层前以及二叠系未漏失地层前,必须保证体系中加入适量的随钻堵漏剂^[6]。二叠系火成岩地层重点在于提高钻井液的封堵性能和地层的承压能力。

6.2 二叠系随钻施工措施

本着“提前预防,封堵微裂缝”原则,采取“控制钻井液合适密度、保持钻井液良好流动性、强化随钻封堵”并配合工程技术措施,具体施工措施有以下几个方面。

(1)二叠系钻进过程中,需要加大清理沉砂罐底的频率,2天清理一次。

(2)提前封堵和随钻堵漏,在进入二叠系前50~100 m,按照井浆量一次性追加2%~3%超细碳酸钙(500~800目)、1%聚合物凝胶PSD、1%~3%竹纤维和3%高软化点沥青,提高钻井液的封堵性能。

(3)起钻对二叠系封堵^[7-8]:利用起下钻的时机对二叠系进行封堵。起钻前配一罐封闭浆,泵入二叠系井段对地层进行封堵,封闭浆(浓度10%)配方:井浆+1%聚合物凝胶PSD+3%~4%竹纤维+1%~2%单封+3%高软化点沥青。

(4)钻进中,维持钻井液较好的流变性能,控制粘度48~52 s、塑性粘度22~25 mPa·s、动切力4~6 Pa,严格控制起下钻速度,保证每根立柱起下时间控制在65 s以上,尽量减小井内压力“激动”,预防压漏地层。

(5)加强液面监测,10 min监测一次。液面报警装置监测和人工计量检测同时进行,并与地质录井紧密配合,做好井漏的预防和预报。

(6)下钻分段循环,防止一次性下钻到底开泵困难或开泵循环发生井漏,循环排量最大不超过正常排量1/2,循环点选择在井眼稳定井段。

(7)在二叠系以下地层钻进也必须适当控制钻时,降低环空岩屑浓度也即降低环空当量密度,防止压漏地层。

6.3 随钻堵漏钻井液维护措施

在保证钻井液性能满足钻进要求的基础上,增强钻井液的封堵性能,维护过程中尤其要注意使用低分子量优质聚合物作降滤失剂,保持较低的钻井液粘度,具体维护措施如下。

(1) 揭开火成岩之前 50 ~ 100 m, 保证振动筛和离心机的正常运行, 严格控制钻井液中的固相, 使固相含量 $\leq 10\%$ 。振动筛更换为较粗的筛布 (20 ~ 40 目), 减少随钻堵漏材料被振动筛筛除。

(2) 随钻堵漏浆钻进, 用烧碱调整钻井液 pH 值, 使 pH 值保持在 10 ~ 11, 防止堵漏剂过早地发酵失效。

(3) 随钻堵漏浆钻进期间, 钻井液中部分膨胀堵漏材料 PSD 被振动筛筛除, 要及时添加随钻堵漏剂, 保证钻井液中随钻堵漏剂超细碳酸钙、聚合物随钻堵漏剂和竹纤维大约都是 1%。

(4) 控制钻井液的密度, 密度控制在 $1.23 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ 。此密度区间既可以防止钻井液漏地层, 又可以保证钻井液平衡地层压力。

(5) 由于钻井液中堵漏材料的增多, 所以每天需要向钻井液中加入 150 kg 润滑剂, 保持泥饼粘滞系数 ≤ 0.09 , 降低摩阻。

(6) 控制钻井液粘切, 保持良好流动性; 钻进中, 控制粘度 48 ~ 52 s、塑性粘度 22 ~ 25 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 、动切力 4 ~ 6 Pa, 降低环空流动阻力。

7 结语

顺北地区二叠系火成岩发育, 裂缝较多, 随钻堵漏剂的加入提高了钻井液的封堵性能, 地层刚打开时, 有较多的细颗粒物质和可变形充填离子进入地层内部, 封堵地层的微裂缝, 有效减少了钻井液的渗

漏, 同时提高了地层的承压能力, 使安全密度窗口增大, 为安全钻进提供了保障。在钻井液性能维护方面, 使用低分子量优质聚合物作降滤失剂, 降低了钻井液液相粘度, 有效降低了循环当量密度的增加值。下钻采用分段循环的方式, 有效防止了压力“激动”, 降低了井漏发生的风险。

优选的随钻堵漏配方为: 聚磺钻井液体系 + 1% 超细碳酸钙 (CSC - 100) + 1% 聚合物随钻堵漏剂 (PSD) + 1% 竹纤维。经现场验证, 该配方效果良好。

参考文献:

- [1] 郑新权, 汪海阁. 中国石油钻井技术现状及需求[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(2): 1 - 4.
- [2] 宋碧涛, 刘亚, 薛芸, 等. 江苏油田堵漏试验评价技术研究及其应用[J]. 小型油气藏, 2007, (1): 50 - 53, 78.
- [3] 杨小波, 郭煜锴. 巴西深海盐下探井 PAO DE ACUCAR 井堵漏技术探索[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, (4): 160.
- [4] 刘晓平. 塔河油田二叠系承压堵漏难点分析及堵漏新技术应用[J]. 西部探矿工程, 2013, (4): 63 - 68.
- [5] 刘崇建, 黄柏宗, 徐同台, 等. 油气井注水泥理论与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 347 - 364.
- [6] 杨力. 彭水区块页岩气水平井防漏堵漏技术探讨[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(5): 16 - 20.
- [7] 万云祥. 金跃地区超深、长裸眼井漏特点及技术对策[J]. 石油化工, 2014, 6(31): 34 - 35.
- [8] 王宏超. 低密度膨胀型堵漏浆在湘页 1 井的应用[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(4): 43 - 46.