

泡酸解卡技术在 TZ4SH 井的实践与认识

邓昌松, 宋周成, 李兴亭, 申川峡, 马小龙
(中石油塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:水平井卡钻采用泡酸解卡,在塔里木油田塔中区块被证明是最迅速有效的方式。该方法解决了一批水平井卡钻事故,解卡成功率达100%。TZ4SH井解卡作业创造了塔中泡酸解卡多个第一,第一次在非奥陶系地层进行泡酸解卡作业,第一次泡酸地层碳酸盐含量低于90%,第一次使用土酸作业但解卡失败,第一次泡酸作业中发生井壁失稳。实践表明,泡酸解卡不是将卡点的阻碍物完全溶解而是溶解部分阻碍物后使其松动,减弱其对钻具活动的影响。泡酸解卡不仅对卡点岩性及其含量有要求,还要求考虑卡点岩石的胶结强度、井壁稳定性等因素。

关键词:水平井卡钻;解卡;酸化;钻井事故;塔里木盆地

中图分类号:TE285 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)06-0038-03

Practice and Understanding of Stuck Pipe Releasing Technology by Acid Soaking in Well TZ4SH/DENG Chang-song, SONG Zhou-cheng, LI Xing-ting, SHEN Chuan-xia, MA Xiao-long (Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla Xinjiang 841000, China)

Abstract: It is well known that stuck pipe releasing with acid soaking is the most rapid and effective way in Middle Tarim block of Tarim oilfield, a number of pipe sticking accidents have been solved with success rate of 100%. The sticking releasing operation in well TZ4SH is the first time to use acid soaking in non Ordovician strata with the carbonate content less than 90%. The practice shows that the acid soaking does not mean to completely dissolve the obstruction at the sticking point, but to partly dissolve obstruction to reduce the interference to drilling tool. For stuck pipe releasing with acid soaking, not only the lithology and the carbonate content in the sticking point should be learned, but also the cementing strength, borehole wall stability and some other factors should be considered.

Key words: sticking in horizontal well; sticking releasing; acidification; drilling accident; Tarim basin

泡酸解卡就是使被卡钻具与地层之间的粘合物、地层岩屑或泥饼中的碳酸盐组分,发生酸化反应或发生钠膨润土转为氢膨润土的脱水反应,致岩石裂解、疏松、破碎利于钻具活动从而使被卡钻具解卡^[1-2]。塔里木油田塔中区块水平井的水平段长平均达1000 m以上,一旦发生卡钻事故,处理难度大,可运用手段少,造成经济损失巨大^[3]。此前发生在奥陶系超深水平井的卡钻事故均可通过浸泡浓度15%的盐酸顺利解卡,而TZ4SH井是一口发生在石炭系的水平井卡钻事故。第一次在该层系采用泡酸解卡技术,无可借鉴经验。本次操作存在未知的作业风险,但丰富了泡酸解卡技术内容给石炭系水平井钻采卡钻提供了宝贵经验。沙漠腹地运输不便的情况下,事故共损失时间2.05 d,显示了泡酸解卡技术对于水平井卡钻事故有巨大的应用前景。

1 TZ4SH 井工程概况

TZ4SH井是塔里木盆地中央断裂带东端构造上的一口水平开发井,钻探目的层为石炭系巴楚组生屑灰岩段。采用三开井身结构、裸眼完井方式,三开采用 $\varnothing 171.4$ mm钻头从3644 m开始钻进,水平段A点斜深3763 m、垂深3531.92 m,B点设计井深4820 m,实钻至4744.43 m发生卡钻。卡钻后经过2次泡酸解卡作业,井下情况变得非常复杂,不满足继续钻进的条件,只得提前完钻。三开钻井液采用聚磺防塌钻井液体系,钻井液主要性能:密度 1.12 g/cm^3 ;漏斗粘度55 s;塑性粘度 $16 \text{ mPa}\cdot\text{s}$;屈服度 4.5 Pa ;初切力 1.5 Pa ;终切力 5 Pa ;pH值11;API失水量 2.8 mL ;API泥饼厚度 0.5 mm ;摩擦系数0.06;含水量89%;含油量4%;固相含量7%;含砂量0.1%;膨润土含量 37 g/L ;110℃下的HTHP失水量 11 mL ,HTHP泥饼厚度 1 mm ;Cl⁻含量 4600 mg/L ;Ca²⁺含量 80 mg/L ;六速旋转粘度计的测量数

收稿日期:2016-07-24;修回日期:2017-04-17

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”子课题“塔里木盆地库车前陆冲断带油气开发示范工程”(编号:2011ZX05046)

作者简介:邓昌松,男,汉族,1981年生,油气井工程专业,硕士,从事油气钻探工程的监督与管理工作,新疆库尔勒市,dcs023@163.com。

据:Φ3为3,Φ6为4,Φ100为11,Φ200为17,Φ300为26,Φ600为43。

钻进至井深4744.43 m,发现随钻伽马仪器无信号。上提钻具至井深4740 m,接着下放钻具至井深4742.50 m,停泵静止12 min,重新开泵10 min后捕获随钻伽马仪器信号。捕获信号后开转盘,转盘扭矩从6 kN·m上涨至10 kN·m并被憋停。在原悬重1000 kN、正常摩阻80~100 kN的情况下,上提钻具至悬重1314 kN未提开,下放钻具至原悬重正转20圈、下压至悬重400 kN仍未解卡。尝试采用最大上提钻具至悬重1600 kN、正转最大圈数40圈、下压钻具悬重至350 kN的方式,连续活动钻具均不能解卡。活动钻具期间,排量、泵压正常,钻井液无漏失现象。在长时间活动钻具无效的情况下,综合考虑地层岩性、技术可行性、经济性等因素,决定在该层系首次尝试使用泡酸解卡技术。

2 卡钻原因分析

在塔里木盆地开发石炭系、志留系油气储层的井称为碎屑岩井,其井身结构几乎均为直井;而水平井一般布置在奥陶系等埋藏深度达6300 m以深的碳酸盐岩储层。因此,该井的邻井全都是直井,可收集有价值的邻井资料有限、可借鉴的经验少。钻探直井时遇石炭系地层快速通过,几乎未发生任何卡钻事故。因此,对石炭系地层特性缺乏足够认识,水平段钻进防卡措施落实不到位^[4]。人员防卡钻风险意识淡薄,以超深水平井的技术经验判断相对浅层的水平井难发生卡钻。钻时快,井底未返出的岩屑增多形成岩屑床,使得水平段摩阻增大,托压严重。钻进中未及时采取短起下、打稠浆携砂等措施破坏岩屑床,更严重地是测斜前上提、活动钻具距离过短,未充分活动钻具至正常状态就停泵。在这种高卡钻风险情况下,钻具静止、重新停开泵捕捉仪器信号时间过长,多种因素下最终导致卡钻事故的发生。

3 泡酸解卡方案

泡酸的原理是利用氢氟酸、盐酸能与岩石中的石英、粘土、钙质物等发生反应,使卡点附近阻塞物溶解或体积缩小,利于钻具活动解卡。酸液与碳酸盐岩、粘土、砂岩等岩石反应的化学方程式如下^[5]。

与碳酸盐反应: $2\text{HCl} + \text{CaCO}_3 = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} +$

$\text{CO}_2 \uparrow$ 以及 $2\text{HF} + \text{CaCO}_3 = \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 。

与砂岩主要成分 SiO_2 反应: $\text{SiO}_2 + 6\text{HF} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

与粘土反应: $36\text{HF} + \text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 = 4\text{H}_2\text{SiF}_6 + 12\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_3\text{AlF}_6$ 。

卡钻地层为石炭系生屑灰岩段(其上部为中泥岩段、下部为下泥岩段),岩性为泥质灰岩,碳酸盐含量60%~70%,符合泡酸解卡的最基本条件,但在选择酸液是盐酸还是土酸的问题上需要进一步实验论证。

受钻井现场环境限制,钻井液工程师只能对酸液反应进行初步定性分析。根据文献[5]研究结果,浓度15%的盐酸被公认为溶解地层、提供导流能力最强,因此,酸液中的盐酸浓度定为15%。土酸中盐酸与氢氟酸常用比例为4:1,土酸中氢氟酸浓度定为3.7%。各取100 g卡点周围地层的岩屑倒入2个铁盘中,分别倒入土酸和盐酸进行对比分析。反应后静置2 h,倒出残液、过滤反应残留物再分别滴入土酸和盐酸,看残留物是否继续溶解,如果不反应说明岩屑中可反应成分已反应完全。然后将反应残留物过滤,观察滤纸上过滤物的形态。实践表明,土酸浸泡过的岩屑反应彻底,滤纸上几乎无残留物;盐酸浸泡过的岩屑在滤纸上留下一层有泥质感细微物,该残余物可与氢氟酸反应^[6-8]。

根据实验结果,综合考虑采用密度1.07 g/cm³的土酸进行作业,酸液配方:15%盐酸+3.7%氢氟酸+2%缓蚀剂+1%铁离子稳定剂+1%助排剂+1%破乳剂。

4 泡酸解卡施工

4.1 第一次泡酸解卡作业

注酸管线试压30 MPa合格后,注密度1.03 g/cm³、粘度120 s前置液5 m³;排量0.7 m³/min,注密度1.07 g/cm³土酸17.5 m³,泵压18 MPa;接着排量0.5 m³/min,注清洗酸液车的清水1.5 m³,泵压11 MPa;然后注密度1.03 g/cm³、粘度120 s后置液5.6 m³。前、后置液作为隔离液主要由大分子材料加淡化水配成。注完酸液后,提排量至0.8 m³/min替钻井液2.7 m³时,泵压突然由14.7 MPa上升至26 MPa,分析认为是井壁失稳引起垮塌所致。随后将排量降至0.5 m³/min,泵压降至24 MPa,继续替液至5.2 m³时,钻井液出口失返。保持该排量,累计

替液 15.7 m^3 , 漏失钻井液 9.9 m^3 。替液结束, 立即上提钻具至悬重 1600 kN , 下压钻具至悬重 400 kN , 正转 39 圈, 反复如此活动未解卡。浸泡 1 h 后仍未解卡, 再次泵入 3.3 m^3 钻井液未返。接着大吨位活动钻具 30 min, 排量 $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$, 开泵循环 6 min 后出口见返, 泵压 19 MPa 。循环 3 h 后, 钻井液出口见前置液、后置液及混浆返出, 未见残酸返出。此后每小时释放扭矩后上提钻具至悬重 1400 kN , 放至原悬重正转 20 圈后下压至悬重 400 kN 。持续循环、活动钻具, 2 h 后井漏停止。排量 $0.9 \text{ m}^3/\text{min}$ 泵入密度 $1.02 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、粘度 31 s 的钻井液 10 m^3 , 泵压 22 MPa ; 随后排量 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 泵入密度 $1.25 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、粘度 153 s 的稠浆 5 m^3 携砂, 泵压升至 24 MPa 。稠浆返至地面, 振动筛处无返砂, 决定改用固井泵大排量循环携砂。固井泵排量 $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$, 泵压 35 MPa , 泵入钻井液 33 m^3 后, 固井泵盘根刺漏。修好固井泵后, 先用排量 $1 \text{ m}^3/\text{min}$, 泵压 22 MPa , 泵入井浆 7 m^3 , 再将排量提至 $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 时固井泵盘根再次刺漏, 振动筛处仍未见返砂。固井泵第三次开泵, 排量 $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$, 泵压 32 MPa , 在大排量循环下出口返出少量细砂、石墨粉及乳化沥青。第一次泡酸解卡失败, 不间断活动钻具, 准备第二次泡酸作业。

鉴于第一次泡酸失败, 第二次改用盐酸进行浸泡。酸液配方为: 15% 盐酸, 2% 缓蚀剂, 1% 助排剂, 1% 铁离子, 1% 破乳剂, 酸液密度 $1.07 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。为满足泡酸后安全作业, 顶替钻井液中加入 2% 玻璃微珠、5% 润滑剂。

4.2 第二次泡酸解卡作业

注酸管线试压合格, 注密度 $1.12 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、粘度 100 s 前置液 5 m^3 ; 排量 $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$, 注密度 $1.07 \text{ g}/\text{cm}^3$ 酸液 21 m^3 , 泵压 16 MPa ; 排量 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$, 用清水冲洗酸车的混合液 1.5 m^3 , 泵压 8 MPa ; 注密度 $1.12 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、粘度 100 s 后置液 5 m^3 。排量 $0.8 \text{ m}^3/\text{min}$, 泵压 22 MPa , 替钻井液至 7.5 m^3 时出口流量变小, 降排量替钻井液至 8.5 m^3 时出口失返, 替钻井液至 8.8 m^3 时停泵, 漏失钻井液 2.5 m^3 。5 min 后开泵, 排量 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$, 泵压 11 MPa , 出口未返。活动钻具, 悬重恢复正常, 开动转盘扭矩恢复正常, 钻具解卡。循环 30 min 后出口见返, 累计漏失钻井液 22.3 m^3 。排量 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$, 泵压 17 MPa , 见前置液、后置液及混浆返出, 未见残酸返出。继续循环、井漏逐渐停止, 裸眼段注入封闭浆, 转入正常作业。

4.3 解卡成功原因分析

第一次泡酸未达预期目的, 分析认为:

(1) 钻井液密度 $1.12 \text{ g}/\text{cm}^3$ 低于坍塌压力系数 1.21, 液柱压力对井壁的支撑作用不够, 井壁在钻井液长期浸泡、负压差下, 岩石发生塑性破坏, 产生剥落和裂纹。隔离液和酸液密度低于原钻井液密度、作业泵压也低于钻进时泵压使环空压耗减小, 作用于井壁的压力降低, 加剧裂纹的形成和扩展, 井壁严重失稳。

(2) 泡酸加剧岩石的这种不稳定性, 酸液沿裂缝运移, 引起井壁垮塌、泵压突升, 作用于井壁的压力突增, 地层被憋漏, 酸液大量进入漏层, 未能进入卡点。

(3) 土酸溶解性强、穿透力大, 反应速度过快, 使酸液作用时间和距离变短, 导致泡酸失败^[9]。

第二次采用的泡酸原理是盐酸虽不能与二氧化硅等发生反应, 但溶解碳酸盐的同时可将来自滤饼、岩屑床、地层泥岩的钠膨润土转变为氢膨润土, 使其脱水、体积缩小。盐酸进一步深入卡钻部位继续反应, 给钻具活动提供更多有效空间, 利于钻具解卡^[10]。其次考虑裸眼地层压力敏感, 泡酸作业时控制好排量、泵压。替液是关键, 替液的排量影响到泵压, 泵压关系到环空压耗、影响作用在井壁的压力。隔离液密度对液柱压力影响大, 为了井壁稳定, 需要让隔离液密度不低于钻井液密度。同时为了防止因漏失量大, 酸液不能到达卡钻地层, 需要加大附加酸液用量。

5 结论

(1) 泡酸在水平井解卡方面有许多的优势, 但采用泡酸解卡的依据除了岩性及其含量外, 还需要考虑岩石的胶结强度、地层裂缝及充填物、井底压差等因素, 预防作业中发生井壁失稳, 引发新的复杂情况。

(2) 目的层欠平衡钻进发生卡钻事故, 首先应将钻井液密度提至平衡地层压力的当量密度, 在确保井壁稳定后再着手处理解卡作业。结合钻进时井壁稳定性, 考虑裸眼地层压力敏感, 决定泡酸时酸液与隔离液密度和粘度、替液的排量、泵压。对于敏感性地层, 适当加大酸液量, 做好防漏、防地层回吐应急预案。

(下转第 44 页)

大,没有进行实际应用。其它1号、4号、5号、6号4组配方配制的泥浆进行生产应用。从应用效果来看,均能满足岩盐地层泥页岩缩径膨胀、钾盐矿层溶蚀、砂砾岩松散破碎、坍塌和掉块等护壁需要。4组卤水泥浆配方适岩性见表6,应用效果见表7。

表6 优选4组卤水泥浆配方及适岩性

名称	配方	适用地层
钠基膨润土低固相卤水泥浆	卤水 + 4% 钠土 + 1% GTQ + 1% GPNA + 0.3% BBJ	易缩径泥页岩
多功能剂(MBM)低固相卤水泥浆	卤水 + 4% 钠土 + 0.6% HV - CMC + 3% MBM + 1% GPNA	易掉块砂砾岩
抗盐共聚物(GTQ)低固相卤水泥浆	卤水 + 5% 钠土 + 1% GTQ + 1.5% GPNA	易溶蚀钾盐矿层
羧甲基淀粉(CMS)低固相卤水泥浆	卤水 + 4% 钠土 + 2% CMS + 0.8% HV - CMC + 1% PAC - LV	易坍塌卵砾岩

注:为了保证泥浆稳定性能,添加NaOH使pH值控制在9~10。

表7 应用前后效果对比

泥浆类型	平均机械钻速/ (m·h ⁻¹)	平均孔径 扩大率/%	划眼损 失率/%	泥浆成本/ (元·m ⁻³)
普通低固相泥浆	1.015	7.83	3.05	731.3
卤水泥浆	1.195	4.36	1.41	503.8

4 结论及存在问题

研究的卤水泥浆配方,利用卤水钾盐同离子效应抑制钾盐类矿物的溶解;较低滤失量减少泥浆自由水侵入孔壁,解决了孔壁膨胀缩径现象;泥浆密度调节范围大,能满足平衡地层压力需要;具有良好流变性,悬浮和携带岩粉能力强;选用泥浆处理剂种类少,配制方便简单;卤水可就地取材,成本费用低。

(上接第40页)

(3)泡酸过程中发生井壁垮塌、引发井漏及失返,采用大排量循环是为了防止因液柱压力下降而再次井壁垮塌及预防垮塌物堆积堵塞环空。环空畅通后需用固井泵车等设备大排量循环稠浆携砂,尽可能将垮塌物携带出井筒,保证井眼畅通为后续处理作业创造条件。

(4)泡酸在酸液的选择及影响酸液反应速度和作用距离的酸液浓度、泵排量、地层温度压力等因素需要进一步研究。

参考文献:

[1] 陈在君,刘顶运,韦海防,等. 泡酸解除 GP25-17 井卡钻事故[J]. 钻井液与完井液,2009,26(1):85-86.

通过工程实际应用,能满足青海盐溶地层钻探需要,工程质量均达到设计要求,取得较好效果。但是,在应用中存在一些问题需要进一步研究和探索。

(1)现场配制海泡石和凹凸棒石卤水泥浆与实验室配制泥浆小样性能指标两者差异较大,除现场与实验室使用的抗盐土不是一个批次外,有无其它因素影响需进一步研究分析。

(2)泥浆性能调整或转换作业时,因现场未配置固控净化设备,泥浆重复利用率低,造成泥浆材料的浪费。

(3)针对盐溶地层开展适岩性泥浆研究,对于我们是一个新课题,研究思路、方法谬误之处,望批评指正。

参考文献:

[1] 王正浩,等. 岩盐地层钻探中卤水泥浆的应用研究[R]. 河南郑州:河南省煤田地质局一队,2015.
 [2] 胡继良,陶士先,纪卫军. 破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32,64.
 [3] 万秀梅,王平全. 抗高温高密度近饱和盐水泥浆钻井液室内研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2010,12(2):86-88.
 [4] 刘翠娜,纪卫军,李晓玮,等. 盐水钻井液配制方法对其性能的影响[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):33-36.
 [5] 张孝华,罗兴树. 现代泥浆实验技术[M]. 山东东营:石油大学出版社,1999.
 [6] 张庆海,姚桂山,等. 盐矿钻探技术工艺[M]. 北京:地质出版社,1992:66-94.
 [7] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:石油工业出版社,2001.
 [8] 张西营,马海州,高东林,等. 柴达木盆地西台吉乃尔盐湖矿区水文化学特征[J]. 盐湖研究,2007,15(2):12-20.

[2] 杨飞,彭商平,何志强,等. 碳酸盐岩井眼酸化解卡液技术研究[J]. 天然气工业,2013,33(1):95-100.
 [3] 张坤,李明华,万永生,等. 有效解除水平井段压差卡钻技术:在磨溪地区钻井中的应用[J]. 天然气工业,2007,27(7):56-58.
 [4] 刘德胜,胡欣峰,王文勇,等. 酸化解卡方法解除伊朗 TBK-8 井卡钻事故[J]. 钻井液与完井液,2006,23(6):77-78.
 [5] J. M. 廷斯利. 完井酸化压裂——外国完井技术丛书4[M]. 罗知翔,朱恩灵,译. 北京:石油工业出版社,1986:33-123.
 [6] 何银坤,邓昌松,张小红,等. 泡酸解卡在碳酸盐超深水平井的应用[J]. 钻采工艺,2015,38(1):105-108.
 [7] 邓昌松,何银坤,冯少波,等. 泡酸解卡在塔中11井的应用与认识[J]. 石油钻采工艺,2015,37(5):120-123.
 [8] 王宝亮. 修井作业中解除水泥卡钻事故措施探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量,2011,31(12):235-236.
 [9] 许京国,葛滨海,王建俊,等. 酸化解卡工艺在柳109井的实践与认识[J]. 石油钻采工艺,2014,36(1):91-94.
 [10] 于永刚,聂占业. 溶酸解除卡钻事故[J]. 钻采工艺,2002,25(6):99-101.