

连续油管冲砂解堵在水平井中的应用

俞宏伟¹ 姜一超²

(提高石油采收率国家重点实验室,中国石油勘探开发研究院¹,北京 100083;中国石油华北油田公司采油五厂²)

摘要 冀东油田 G104 区块拥有水平井 110 多口,油藏岩石颗粒胶结疏松,出砂严重;原油属普通稠油,胶质沥青质含量高,凝固点低,导致了水平井筛管段严重堵塞及近井地带导流能力的下降,直接影响了产量。只能依靠除砂、解堵技术来恢复该区的产量。针对该问题,采用外径 4.45 cm 连续油管 + RotoPulseSM 旋转脉冲喷射工具 + 一步酸、半加强型砂盐酸体系进行冲砂、筛管清洗和近井酸化解堵对该区 6 口水平井实施了作业。作业后产液量和产油量是作业前的 1.8 倍以上,作业有效期超过 200 d,增产效果明显。

关键词 水平井 连续油管 冲砂解堵 受力分析

中图法分类号 TE358.1; **文献标志码** B

近几十年来,连续油管(Coiled Tubing,以下简称 CT)技术的应用领域不断扩大,对一些常规技术难于处理的问题,运用 CT 技术可迎刃而解,被誉为“万能作业设备”^[1]。国外,连续油管用于冲砂、洗井、诱喷助排、酸化、扩眼、完井、集输、射孔、钻井等井下作业已有较长的历史,每年实施达 1 500 井次以上,最大下入深度达到了 6 248.4 m。而我国目前的连续油管技术则主要用于冲砂、洗井、诱喷助排、酸洗、酸化等一些简单的井下作业^[2]。

CT 冲洗解堵便是其中的一项主要技术,可以用来解决一些复杂的井下管柱被堵卡的情况,比如稠油的凝结堵卡,严重结蜡的自喷井,这类井既无法建立循环又不能起出井下管柱,常规方法处理起来难度大、耗时长、费用高,而且作业效果不理想,对储层损害严重。

CT 冲洗作业,适用于在不压井、不动管柱的情况下实施尺寸大于连续油管外径的各类管内或过管作业,在有井口防喷器的情况下允许负压作业,有利于保护油气层,且整体为密闭循环系统,环保性好;施工过程简单快捷,安全可靠,能极大地提高

作业效率,降低劳动强度和作业费用^[3]。

冀东油田 G104 作业区油藏岩石颗粒胶结疏松,井筒出砂严重;原油属普通稠油,凝固点低,导致水平井筛管段严重堵塞。采用外径 4.45 cm 连续油管 + RotoPulseSM 旋转脉冲喷射工具 + 一步酸、半加强型砂盐酸体系进行冲砂、筛管清洗和近井酸化解堵可以解决此问题。

1 油井出砂及筛管堵塞原因分析

1.1 出砂

G104 区块油藏的储集岩主要是含粒不等粒砂岩,碎屑组分中石英含量为 44.1%,储层物性好,属高孔高渗储集层^[4]。平均孔隙度大于 30%,平均渗透率为达西级别。胶结物含量少,以孔隙式胶结为主,胶结疏松。因筛管防砂级别不够,较小岩石颗粒可以通过筛管进入井筒,造成部分井水平段砂埋,从而导致水平段有效长度缩短。

1.2 筛管堵塞

G104 区块油藏原油具有“三高一低”的特点,即原油密度高、黏度高、胶质沥青质含量高和凝固点低。地下原油密度为 0.911 g/cm³;地下原油密度为 90.34 mPa·s。胶质沥青质物质的长期堆积导致近井地带的导流能力逐渐下降。同时,这些物质

2011 年 8 月 30 日收到

第一作者简介:俞宏伟(1982—),男,工程师,博士,研究方向:二氧化碳驱提高石油采收率技术,E-mail:yhongwei@petrochina.com.cn。

附着于筛管外表面或进入筛管砾石填充部分,导致筛管堵塞,截断了流体通道,将部分流体遮挡于井筒之外。

出砂和筛管堵塞问题在该区 110 多口水平井中普遍存在,地层能量得不到有效发挥,严重影响了产量。

2 作业前准备

2.1 ZY1 井简介

该井为冀东油田第一口水平井,2003 年 7 月完钻,完钻井深 2 210 m,水平段长 207 m,油层厚度 139 m。丝堵位置 2 189 m,筛管完井井段 2 000—2 150 m。井轨迹如图 1 所示。

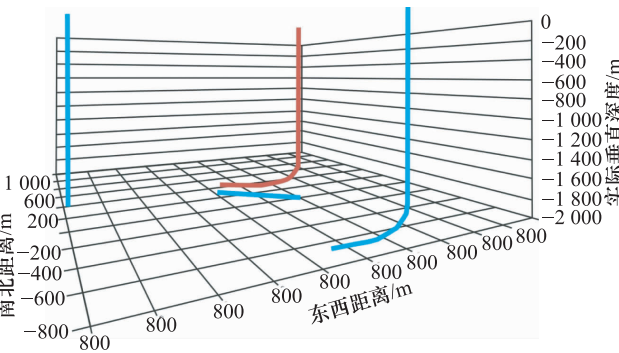


图 1 ZY1 井轨迹曲线

2.2 设计分析与计算

水平井冲砂解堵作业的关键问题是分析连续油管在井筒中的受力情况以确定其下入长度,施工前应对 CT 的抗拉强度、压曲载荷和安全性进行综合考虑,除了自身的抗弯曲性能外,水力作用对连续油管的受力也有一定影响,主要表现在浮力、压差和水力喷射反作用力等方面。

连续油管进入水平段后,在重力作用下依靠于管壁上,随着下入长度的增加摩擦力逐步增大,相应所需的轴向推力也在增大,受力达到一定的临界压力后,连续油管在水平管内就会产生弯曲,并存在正弦弯曲和螺旋弯曲两个临界点,当受力达到后者时,连续油管产生螺旋弯曲,随着推力的增大,连续油管就会在摩擦力的作用下锁死,如继续加压,

可能压折连续油管,因此,在施工中必须予以避免。连续油管在井筒中的受力通过下面两式计算。

正弦弯曲:

$$F_1 = [2EqL/(R - r)]^{1/2}。$$

螺旋弯曲:

$$F_1 = 2 \times [2EqL/(R - r)]^{1/2}。$$

式中:

- E—连续油管的弹性模量,20.6 × 10¹¹ Pa;
- I—连续油管的惯性矩,N/m;
- q—连续油管的每米浮重,N/m;
- R—连续油管的外径,m;
- r—连续油管的内径,m。

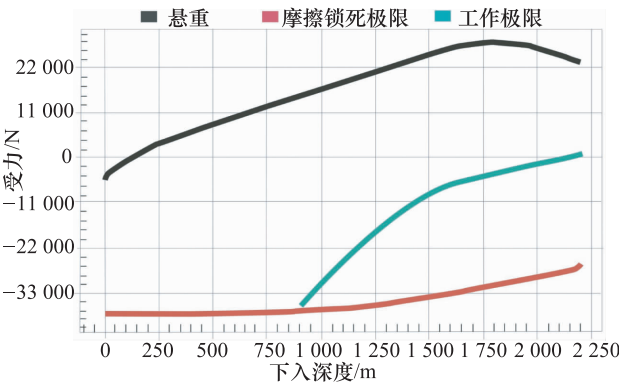


图 2 ZY1 井连续油管下行受力分析

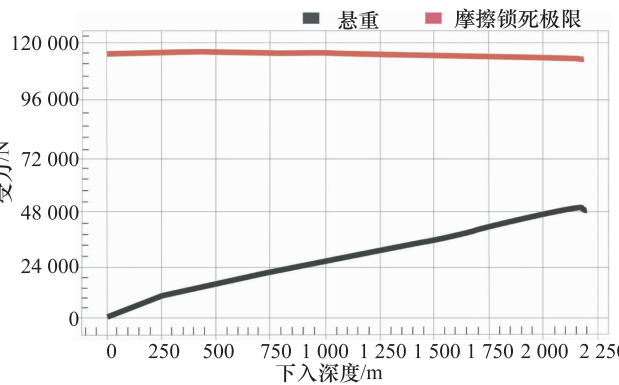


图 3 ZY1 井连续油管上行受力分析

根据井的轨迹情况,应用连续油管施工优化设计软件 CirCa 对作业过程中连续油管受力和进尺情况进行分析^[5],确定 RotoPulseSM 旋转脉冲工具和工 作参数及相关泵注程序。根据图 2 的模拟结果显示,外径 4.45 × 10⁻² m 连续油管在下井过程中不会

产生螺旋型锁死,井下工具串可以安全到达丝堵位置。

为防止连续油管上行过程中出现损伤,需要保证在连续油管的截面受力低于强度限制。图 3 的模拟结果显示,上行过程中最大悬重为 40 050 N,油管工作极限为 109 025 N,所以在上提过程中不会造成连续油管的损坏。

根据井况和实际需要,确定了 RotoPulseSM 的工具及工作参数,见表 1 和表 2。

表 1 RotoPulseSM 工具参数

参数	工具参数设定
	外径 4.45×10^{-2} m
旋转喷头	S45 双喷嘴
	E 级喷头
	6.35×10^{-3} m 旁通口
酸液泵速	3.17×10^{-3} m ³ /s

表 2 RotoPulseSM 工作参数

参数说明	模拟结果
连续油管入口压力	26.8 MPa
井口压力	1.3 MPa
筛管面有效压力	3.4 MPa

2.3 工作液简介

2.3.1 氯化铵溶液

3% 的氯化铵溶液作为入井的第一种工作液不仅是冲砂的主体,而且可以使整个井筒呈弱酸性,为接下来的解堵及酸化工作做好良好的铺垫。

2.3.2 一步酸

此工作液的组成主要是有机溶剂和一定量的酸性成分,在一定的喷射压力下,可以对黏附在筛管外表面的胶质和沥青质物质进行清理。

2.3.3 砂盐酸

此酸的全称是半加强型砂盐酸,设计 pH 值 3~4,属中强酸,主要作用是对近井地带进行酸化解堵,增强近井地带的导流能力,保证油层与井筒的良好连通。

2.3.4 氮 气

G104 区块地层渗透率大,漏失严重,冲砂阶段

单独使用液体很难建立起循环。向氯化铵溶液中加入一定量的氮气,可以有效降低液体密度,增强携砂能力,顺利地建立起循环,大幅度提高冲砂效率^[6]。

3 作业效果评价

2007 年 6 月 13 日开始对 ZY1 井实施连续油管冲砂解堵作业,共持续 2 d,累计注入氯化铵 22.4 m³,一步酸+砂盐酸 24 方,冲出砂 205 kg。随后下生产管柱和潜油电泵,6 月 21 日开始排液生产,当日开井 7 h,排液 64.2 m³,其中含油 0.6 t;22 日全天开井,排液 213 m³,含油 2.3 t。作业后至 2007 年 12 月 31 日,累计产液 32 640 m³,累计产油 3 435 t;平均日产液 167.4 m³,是作业前的 2.1 倍;平均日产油 17.6 t,是作业前的 1.85 倍。生产曲线如图 4 所示。此后又对该区另外 5 口水平井实施了连续油管冲砂解堵作业。作业后产液量和产油量都是作业前产液量和产油量的 1.8 倍以上,平均有效期超过了 200 d,增产效果比较明显。

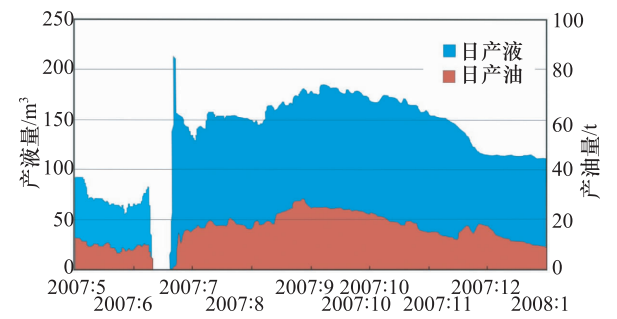


图 4 ZY1 井作业前后生产情况对比

4 结 论

(1) 冀东油田 G104—5 区块油层非均质性严重,颗粒胶结疏松,原油胶质、沥青质含量高,凝固点低,导致油井出砂严重,筛管堵塞,产量受到了极大的影响。

(2) 连续油管冲砂解堵技术可以在该区水平井中建立起有效循环,将井底砂冲出井筒,解决砂埋

问题。

(3) 此次施工不仅解除了筛管堵塞,还对近井地带起到了一定的酸化作用,增强了近井地带的导流能力,保证了近井地带与井筒的良好连通。作业后油井产量大幅度提高,有效期长,增产效果明显,可以保证 G104 区块其余 100 多口水平井的长期增产稳产,具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

1 刘 成,朱红旺,刘丽君. 连续油管冲洗解堵解卡技术在吐哈油

田应用. 钻采机械,1999;2(5):75—77

2 张燕娜,石 凯. 连续油管的应用与发展. 西部探矿工程,2010;(1):93—98

3 高文全. 连续油管冲洗解卡堵技术在辽河油田的应用. 石油机械,2000;28(6):30—31

4 汤井会,李良川,等. 冀东油田高 104—5 区块高含水期稳产配套技术. 石油工程建设,2005;31(增刊):43—47

5 刘 成,李兴村. 连续油管冲洗技术在集输管线解堵中的应用. 油气田地面工程,2004;23(8):27

6 王海涛,赵全民,李相方. 连续油管携氮气排液工艺理论研究. 石油钻采工艺,2009;31(1):61—64

Application of Coiled Tubing Sand Washing and Flushing
Technology in Horizontal Well

YU Hong-wei¹,JIANG Yi-chao²

(Start Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, Research Institute of Petroleum Exploration,
Company & Development, PetroChina¹,Beijing 100083,P. R. China;
The Fifth Exploit Factory of Huabei Oilfield Company, PetroChina²)

[Abstract] The cementation of rock particles in G104 block of Jidong oil field is loose, and much sand has been entering the well bore. The oil is heavy, gum and asphaltenes content is high, and the freezing point is low, which leads to the blocking up of screen pipe and depression of flow conductivity around the well bore, affecting the production directly. The operation used 1 3/4" coiled tubing + RotoPulseSM tools + one shot acid and 1/2 strength sandstone acid on 6 horizontal wells to solve this problem. After the operation the production of fluid and oil in this 6 wells are all about 0.8 times more than that of before.

[Key words] coiled tubing sand washing and flushing horizontal well force analysis