

高压深井连续油管复合解堵工艺

孙杰文¹,张宝瑞²,刘刚³,贾洪革²,周宏华²,高金强²

- 1. 中国石油勘探开发研究院工程技术研究所 北京 100010
- 2. 中国石油国际勘探开发有限公司中油阿克纠宾油气股份公司 北京 100034
- 3. 中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:sunjiewen69@petrochina.com.cn
项目支持:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”项目子课题“中亚和中东地区复杂碳酸盐岩油气藏采油采气关键技术研究与应用”(2017ZX05030-005)
引用:孙杰文,张宝瑞,刘刚,等. 高压深井连续油管复合解堵工艺[J]. 油气井测试,2020,29(3):45-49.
Cite: SUN Jiewen, ZHANG Baorui, LIU Gang, et al. Compound plug removal technology using coiled tubing for high pressure wells [J]. Well Testing, 2020,29(3): 45-49.

摘要 哈萨克斯坦盐下油田水平井 H8×井油管及油套环空均出现堵塞,解堵修井存在井控风险。使用连续油管作业,制定磨铣钻通后再采用高压水力喷射工具清理残余堵塞物的方案,经过喷嘴优选和井下工具串优化,确定适用的钻磨工具串和高压冲洗工具串。通过连续油管钻磨和高压冲洗两种工艺交替作业,使 H8×井恢复产量 30 t/d,成功解除油管内堵塞,达到预期作业目的和复产效果。该工艺为盐下油田躺井大修复产提供了基础方案和可借鉴的经验。
关键词 水平井;解堵;高压冲洗;连续油管;磨铣;水力喷射;井控
中图分类号:TE358 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.03.008

Compound plug removal technology using coiled tubing for high pressure wells

SUN Jiewen¹,ZHANG Baorui²,LIU Gang¹,JIA Hongge²,ZHOU Honghua²,GAO Jinqiang²

- 1. Research Institute of CNPC Petroleum Exploration and Development, Beijing 100010, China
- 2. CNPC International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100034, China
- 3. Testing Branch of PetroChina Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

Abstract: For horizontal Well H8× of the under-salt oilfield in Kazakhstan, the tubing and tubing-casing annular were both blocked. There will be some risk for well control when plug removal workover is conducted. Considering the situation above, coiled tubing was used. The plan of cleaning up the residual plugs with high-pressure hydraulic jetting tools after the plug drilled through was made. Through nozzle and downhole tool series optimization, the suitable drilling-grinding tool series and high-pressure flushing tool series were determined. The two processes alternated between coiled tubing drilling and high-pressure flushing, which made the production return to 30 t/d, removing plugs successfully, and achieving the expected operation purpose. This technology provides a basic plan and a reference experience to under-salt oilfields for well repair or production recovery.
Keywords: horizontal well; plug removal; high pressure washing; coiled tubing; mill; hydraulic jetting; well control

H8×井是哈萨克斯坦盐下油田的一口水平井,由于采用湿气气举工艺使得油管及油套环空均出现堵塞,且油管内已判明的堵点就多达 3 个,其中第一个堵点接近井口,只有 1 015.00 m,在储层压力高达 50 MPa 且没有循环通道的情况下,井控风险给解堵修井工作带来了巨大挑战。同时,完井管柱长期处于腐蚀性流体中强度降低也给修井作业带来了诸如管柱断脱等不可预知的风险。该井封井时间已经超过 5 年,封井前该井控制区域采出程度较

低。为了提高油田的产量,决定对该井实施解堵复产措施作业。
修井作为井下作业工艺中的一大门类,始终是工艺方法与工具应用的综合体现最明显的施工作业之一,而解除井筒与井下管柱堵塞又是修井作业中的主要作业类型,也是各种风险和井下异常情况频发的作业类型^[1-3]。解除井筒堵塞的手段有很多,诸如磨铣、泡酸、打捞、侧钻、憋压、水力喷射等,这些工艺无不体现着理论与现场实践的深度结

合^[4-7]。随着井控工艺的发展,采用连续油管作为载体的作业形式越来越多,逐渐替代着一些采用油管或者钻杆进行作业施工的井下作业措施方案^[8-11]。尤其是随着近年来大管径连续油管的长度增加及材料工艺的进步,这种趋势愈加明显,不但克服了小管径连续油管作业带来的挠性太强的问题^[12-14],同时配合不压井作业技术,复合作业模式呈现增加趋势,使得之前风险较大、作业后复产难度大的躺井,逐渐进入井下作业具备可行性的范畴^[15-16]。

对于肯基亚克盐下油田这种高压储层而言,储层流体还带有 H_2S 这种腐蚀性有毒气体,其修井作业本身就具有较多风险和难度。而 $H8\times$ 井作为管柱堵塞且没有循环通道的高风险躺井的解堵修井作业就更加困难。经过研判,决定使用连续油管作业,采用钻磨工艺和高压冲洗工艺交替作业。该井成功解除油管内的3处堵塞点,作业后恢复产量 30 t/d ,达到预期作业目的和复产效果。该井也成为肯基亚克盐下油田第一口成功复产的高压风险大修井,为盐下油田躺井的大修复产提供了基础方案和可借鉴的经验。

1 技术难点分析

$H8\times$ 井油层套管直径为 168.3 mm ,生产完井管柱为:上部外径 88.9 mm 油管深度为 $0\sim 1\,005.44\text{ m}$;下部外径 73.0 mm 油管深度为 $1\,005.44\sim 4\,467.00\text{ m}$,带有7级气举阀(一级气举阀位置 $1\,110.71\sim 1\,111.68\text{ m}$ 、二级气举阀位置 $1\,658.93\sim 1\,657.96\text{ m}$)。该井初产为 95 t/d ,由于采用湿气气举工艺造成气举生产管柱流动通道堵塞导致油井停喷,封井时间已经超过5年多。由于该井控制范围内采出程度较低,复产潜力大,必须进行修井作业才能恢复产能。

1.1 没有循环通道

(1)油管内堵塞:根据作业历史判断,在靠近井口的 641.00 m 深度范围内,分布多达3处堵塞点,分别位于油管 $1\,015.00\text{ m}$ 、 $1\,055.00\text{ m}$,以及 $1\,629.00\sim 1\,656.00\text{ m}$ 之间;

(2)环空堵塞:堵塞具体位置不详,无法判断。

由于管柱内外均处于堵死状态,没有循环通道,且第一个内堵点距离井口仅 $1\,015.00\text{ m}$,管内钻通及环空解卡后,管内外压力突然释放,预警时间短,不易控制,易引发井喷。所以,解堵作业面临第一个堵点解除后出现井口压力陡升造成的巨大井控风险。

1.2 地层压力高

该井原始地层压力高达 80.00 MPa ,压力系数为 1.84 。由于油管及油套环空均出现堵塞,且堵点位置距离井口较近,如果作业过程中出现压力突然释放将导致压井困难,只能采用灌注挤压井,地层吸入量不足的情况下压井作业将十分困难,存在较大井控风险。

1.3 管柱断脱

目的储层石炭系油藏溶解气中 H_2S 含量大于 1% ,根据本区邻井检修情况可知,不动管柱2年以上的井即容易出现管柱断脱情况。而本井自投产至今,9年未进行动管柱作业,所以出现断脱的风险较大。

2 技术方案及工艺优化

根据上述对技术难点的分析,针对 $H8\times$ 井解堵复产施工制定了技术方案与对策。

2.1 技术方案及原则

本次修井目的就是以可行的工程技术处理井筒,恢复储层至井口之间的油气流动通道,建立产能。解堵作业历史表明,本井油管内及油套环空完全堵死,单一的连续油管冲洗、油管注酸酸浴、氮气车套管打压、环空注化学剂解堵均无效。

综合上述,确定本次作业原则与保障措施:

(1)采用复合作业方式,增强作业效果。

(2)工作液采用降阻作用的液体,避免管柱本体进一步变得脆弱易碎。

(3)作业过程中不进行任何动管柱作业,以免出现管柱断脱导致井下复杂情况出现。

(4)在井口限压范围内提高安全系数,确保井控范围内的施工安全。

(5)施工之前配制重泥浆,随时准备配合井口防喷器实现对井的控制。

根据作业原则制定解堵修井技术方案:使用连续油管作业,在磨鞋钻通后采用高压喷射装置清理井壁残余污垢的复合作业方式。

2.2 连续油管参数计算

现有连续油管外径 38.1 mm (堵塞段管柱内径 58.9 mm),HS90 型号连续油管材质为抗硫材质,长度 5200.0 m ,满足目的井作业对管径、抗硫性能和深度的要求。井口防喷器承压能力为 70 MPa ,按照安全系数 0.8 计算井口压力应控制在 56 MPa 以内。由于本井的特殊性,为了保证井控安全,将本次作业的井口压力上限定为 50 MPa 。

对作业状态进行模拟计算。以井口压力 40 MPa 和可以满足喷射解堵流量要求 150 L/min 为计算参数,模拟计算结果表明(图 1、图 2),连续油管最深能够下至 4 920.00 m,完全能够满足本井的作业深度(小于 4 100.00 m),同时连续油管强度和最大施加钻压 0.8 t 也完全能够满足施工需要。施工过程中可根据需要提高排量,只要井口压力在可控范围内即可。

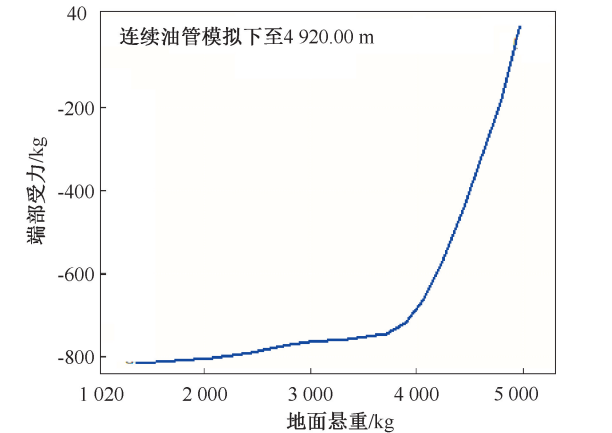


图 1 地面悬重与端部受力关系曲线
Fig. 1 Curve of relationship between ground suspended load and end stress

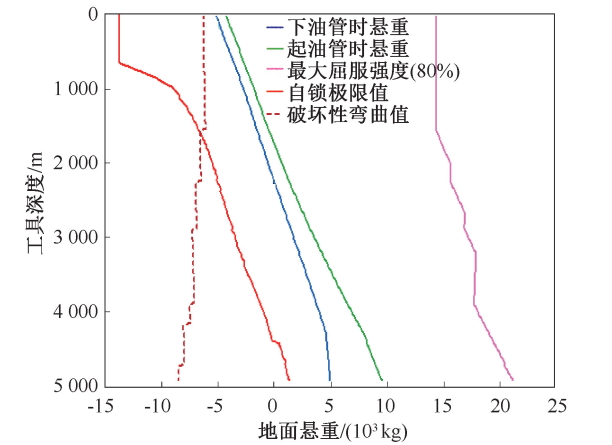


图 2 连续油管模拟下入至 4 920.00 m 时
操作参数计算结果
Fig. 2 Simulation results of operating parameters when
the coiled tubing simulation is lowered to 4 920.00 m

2.3 钻磨工具组合优化

根据完井管柱参数可知,需要作业位置的管柱内径为 58.98 mm,为了保证作业管串的下入通过性,准备了外径 54.1 mm、52.0 mm、50.8 mm 共 3 种规格的磨鞋备用,最小单侧磨铣间距 2.44 mm,最大单侧磨铣间距 4.09 mm,根据作业工况再行选择使用。

以外径 52.0 mm 磨鞋为例说明钻磨工具串组

成:外径 38.1 mm 内酒窝连接器 0.06 m+外径 38.1 mm 单流阀 0.33 m+外径 38.1 mm 丢手 0.43 m+外径 38.1 mm 加速器 0.86 m+外径 38.1 mm 震击器 1.56 m+外径 42.85 mm 螺杆马达 2.56 m+ 外径 52 mm 磨鞋 0.23 m,工具串总长度 6.03 m。

2.4 高压冲洗工具优化

高压喷射解堵工艺在国内外已累计施工超过 1000 井次,成功率超过 95%,工具管串从上向下依次为过滤器、调节器上接头、液压调节器、上轴承密封模块、涡轮、下轴承密封模块模块和喷头。

其工作过程为:连续油管将工作液传送至工具上部过滤器,排量调节范围 110~240 L/min,过滤后通过液压调节器,经涡轮增压并带动涡轮轴,再带动下连接的喷头旋转,涡轮组产生的高压流体驱动喷头,同时增压的液体通过底部喷头喷射而出,从而达到高压喷射的效果,对井壁范围内制造一个循环的局部应力,实现全方位有效破碎顽固性垢质,以达到清理井壁效果。

高压喷射工具喷嘴有 3 种型号(图 3),分别是 90°喷嘴、45°喷嘴、直喷喷嘴,其技术特点如下:

(1)90°喷嘴:可 360°旋转喷射,更有效的清理炮眼和井壁,但遇阻时不可清理前方堵塞物,更适合斜、直井,如果在钻磨施工顺利后再使用效果更好;

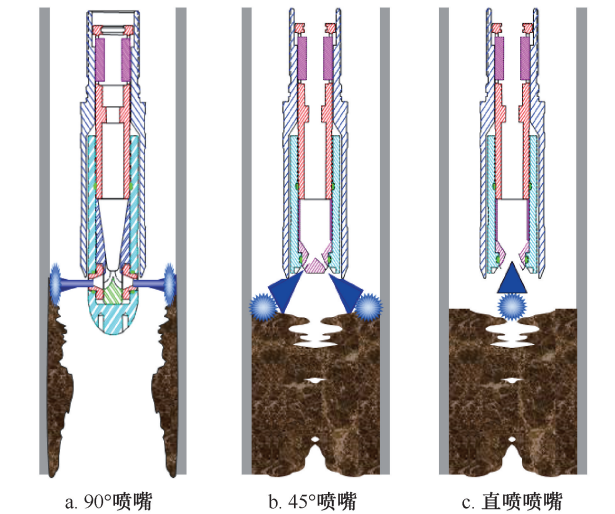


图 3 高压喷射工具 3 种喷嘴结构示意图
Fig. 3 Structure of 3 kinds of nozzles for high-pressure jetting tool

(2)45°喷嘴:可 360°旋转喷射,同样井况下,对井壁的垂直冲击力小于 90°喷嘴,但其喷射角度更利于清理前方堵塞物,对于水平井,可以有效清理下部井壁顽固性垢质;

(3)直喷喷嘴:只有一个向下的直喷喷嘴,向前的冲击力强于90°喷嘴和45°喷嘴,与钻磨施工配合使用可更为有效的解堵顽固性堵塞,同时,喷嘴流量相对比较集中,更有利于堵塞物的返排。

对比上述3种喷嘴技术特点,同时结合H8×井筒堵塞较为彻底顽固,需要较大的冲洗力和返排排量的特殊井况,本次解堵作业施工优选采用直喷喷嘴,喷射工具喷头为向下单眼喷头,喷头孔径16 mm。

根据H8×井况和喷洗工具体参数,确定高压喷射工具串(图4):总长度0.49 m,外径38.1 mm 内酒窝连接器0.06 m+外径38.1 mm 单流阀0.33 m+外径38.1 mm 丢手+外径38.1 mm 直喷喷嘴型高压水力喷射工具0.1 m。

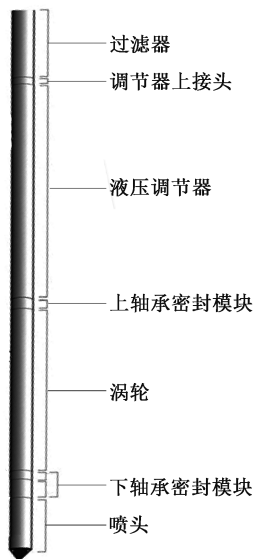


图4 高压喷射工具串组合示意图

Fig.4 Actual high-pressure jetting tool series

3 作业效果分析

该井按照制定的作业方案,成功完成了本次修井作业,复产后日产油达到30 t。根据钻磨作业、高压喷射冲洗作业等的具体过程,对作业效果进行分析。

3.1 钻磨作业

钻磨工具串在排量150 L/min情况下下放入井:

(1)第一个堵塞点:顺利通过。

(2)第二个堵塞点:下至1 052.0 m遇阻,循环并施加钻压0.5~1.0 t,井口压力控制在50 MPa,钻磨进尺4.6 m,返排池火焰持续增大,解堵成功;至1 062.6 m,进尺缓慢,起钻检查,磨鞋完好,马达测

试正常,再次下入至遇阻位置,钻磨进尺1.3 m(1 063.9 m)、2.4 m(1 066.3 m)、0.7 m(1 067.0 m),至1 068.0 m,井口压力从35 MPa突降至6 MPa,遇阻点钻通,至此第二个堵塞点解堵成功。

(3)第三个堵塞点:遇阻点至1 638.0 m,遇阻,油管下压至3 t,指重突然恢复5 t,上提有2 t遇卡。综合井史资料判断,此处应为油管断裂或错位处,起钻至950.0 m,关井停泵观察,压力降至1.8 MPa后又快速升至5.1 MPa,后又降至0.3 MPa,说明井内有油气流动显示。关井泵注清水3 m³,井口未起压,说明油管已通,准备更换喷头进行冲洗作业。

3.2 高压喷射冲洗作业

下入冲洗工具串至深度1 350.0 m,返排池火焰突然增大,证明冲洗解堵作业见效,管柱快速下探,以200 L/min的排量持续冲洗通过3个遇阻点1 638 m、1 640 m和1 656 m,已经接近第二级气举阀位置,在1 656 m遇阻后,经更换磨鞋尺寸及打铅印等操作,判断原完井管柱在此处出现错位。为避免继续操作出现井下复杂导致井报废,随即停止作业,观察放喷情况。

观察期间发现,返排池放喷管线处火焰持续增大,焰高4 m,且火焰带有黑烟,说明油管内部已经完全通畅,有烃类流体从地层流出至井口,并根据火焰高度估算产量在20~30 t/d。

综上判断,起出作业管柱连接系统流程,获得产量30 t/d,达到预期产量,说明本井经过作业后已经成功恢复生产。所以,根据制定的修井原则,决定结束本次修井作业,不再进行其他修井动作。

4 结论

(1)该复合解堵工艺技术不但解决了高压井井筒解堵难题,同时配合不压井作业,大大降低了井控风险,为解堵类修井作业提供了可借鉴的应用实例。在目前国际油价持续走低的形势下,修井作业作为躺井复产的有效手段之一,成为中石油国内油田公司和海外项目公司降本增效的有效手段,发展和完善不同类型的修井工艺势在必行。

(2)虽然本井成功实施复合解堵作业,但是工艺技术本身的实施主体依靠连续油管的输出,其外径尺寸限制了工艺应用上限,对于需要施加较大钻压和钻磨强度的解堵作业会大大降低效率。

(3)连续油管作业技术的快速进步使得利用连续油管开展施工作业成为修井的重要手段之一,随

着外径超过 60.325 mm 的大尺寸连续油管技术的成熟与推广,利用大尺寸连续油管开展复杂井下作业将取代部分常规技术。

致谢:感谢本论文完成过程中中国石油勘探开发研究院工程所崔明月所长、吴志均主任、任源峰高工和北京一龙恒业石油工程技术有限公司孙德巨工程师提供的指导与帮助。

参考文献

- [1] 蒋晓波. 国内井下作业技术现状及发展趋势[J]. 油气井测试, 2012, 21(1): 72-74.
JIANG Xiaobo. Current situation and development trend of domestic down-hole technology [J]. Well Testing, 2012, 21(1): 72-74.
- [2] 王海涛, 李相方. 连续油管技术在井下作业中的应用现状及思考[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(6): 120-124.
WANG Haitao, LI Xiangfang. Application situation and thinking about coiled tubing techniques in downhole operation [J]. Oil Drilling and Production Technology, 2008, 30(6): 120-124.
- [3] 王涛, 刘建军, 曾雨辰, 等. 达平3复杂事故水平井修井实践[J]. 油气井测试, 2012, 21(5): 61-64.
WANG Tao, LIU Jianjun, ZENG Yuchen, et al. Workover practice of Daping3 complex accident horizontal well [J]. Well Testing, 2012, 21(5): 61-64.
- [4] 范青. YB29井超深井修井工艺技术[J]. 油气井测试, 2017, 26(4): 39-40, 44.
FAN Qing. Ultra deep well workover technology of YB29 Well [J]. Well Testing, 2017, 26(4): 39-40, 44.
- [5] 马卫国, 黄林华, 段凯, 等. 连续油管作业过程中的张力与控制[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(24): 177-180, 223.
MA Weiguo, HUANG Linhua, DUAN Kai, et al. Tension and control of coiled tubing in operation process [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(24): 177-180, 223.
- [6] 刘伟, 李丽. 复合修井思路在大修井中的应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(2): 54-55.
LIU Wei, LI Li. Application of combination work over thought in overhaul well [J]. Well Testing, 2007, 16(2): 54-55.
- [7] 马洪福. 新型环保修井作业配套装置的研制及应用[J]. 油气井测试, 2011, 20(3): 64-65.
MA Hongfu. Development and application of new environmental protection workover supporting device [J]. Well Testing, 2011, 20(3): 64-65.
- [8] 郭晓乐, 龙芝辉, 齐成伟. 连续管钻小井眼水平井水力学分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(26): 7781-7784, 7797.
GUO Xiaole, LONG Zhihui, QI Chengwei. Hydraulics analysis of horizontal slimhole using coiled tube drilling method [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(26): 7781-7784, 7797.

- [9] 冯广庆, 谢宇. 高温高压油气井井下作业技术在迪那2气田的应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(4): 39-41, 43.
FENG Guangqing, XIE Yu. Application of dowehole operation technology for HTHP oil & gas well in Dina2 gas field [J]. Well Testing, 2007, 16(4): 39-41, 43.
- [10] 张翔, 王方祥, 刘德正, 等. 连续油管冲砂洗井技术在水平井中的应用[J]. 石油化工应用, 2018, 37(10): 34-36, 41.
ZHANG Shuo, WANG Fangxiang, LIU Dezheng, et al. Application of continuous tubing sand washing technology in horizontal wells [J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37(10): 34-36, 41.
- [11] 雷群, 李益良, 李涛, 等. 中国石油修井作业技术现状及发展方向[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(1): 155-162.
LEI Qun, LI Yiliang, LI Tao, et al. Technical status and development direction of workover operation of PetroChina [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(1): 155-162.
- [12] 杨红斌, 徐迎新, 柳志勇, 等. 气井带压作业技术研究与应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(3): 55-57.
YANG Hongbin, XU Yingxin, LIU Zhiyong, et al. Study and application of workover operation in gas pressure well [J]. Well Testing, 2013, 22(3): 55-57.
- [13] 聂小康, 席博. 磨铣打捞器在鲁迈拉油田复杂井的研究与应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(4): 52-53, 57.
NIE Xiaokang, XI Bo. Research and application of milling with fishing tool in complex well of Rumaila Oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(4): 52-53, 57.
- [14] 俞宏伟, 姜一超. 连续油管冲砂解堵在水平井中的应用[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(32): 8018-8021.
YU Hongwei, JIANG Yichao. Application of coiled tubing sand washing and flushing technology in horizontal well [J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(32): 8018-8021.
- [15] 李国韬, 金根泰. 油气藏型储气库废弃井封堵技术浅析[J]. 油气井测试, 2017, 26(6): 50-51, 55.
LI Guotao, JIN Gentai. Brief analysis of the plug technology to the abandoned well of oil and gas reservoir typed gas storage [J]. Well Testing, 2017, 26(6): 50-51, 55.
- [16] 郑道明, 贺少华, 贾光亮. 连续油管水平井滑套钻铣工艺技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 45-50.
ZHENG Daoming, HE Shaohua, JIA Guangliang. Technology of sliding sleeve milling in horizontal well using coiled tubing [J]. Well Testing, 2019, 28(2): 45-50.

编辑 王 军

第一作者简介:孙杰文,男,1982年出生,2012年获中国科学院研究生院流体力学专业博士学位,工程师,现主要从事井下作业、完井工程和采气工艺方面的科研及现场推广应用等工作。电话:010-83596080;Email:sunjiewen69@petrochina.com.cn。通信地址:河北省廊坊市广阳区中国石油勘探开发研究院(廊坊),邮政编码:065007。