

射孔压裂封隔一体化压裂管柱的改进

骆劲羽¹, 杨晓勇¹, 张鹏¹, 张镇¹, 秦诗涛¹, 杨杰²

1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司工程技术研究院 天津 300280

2. 中国石油集团长城钻探工程有限公司苏里格气田分公司 内蒙古鄂尔多斯 017399

通讯作者: Email: 306577351@qq.com

引用: 骆劲羽, 杨晓勇, 张鹏, 等. 射孔压裂封隔一体化压裂管柱的改进[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 50-54.

Cite: LUO Jinyu, YANG Xiaoyong, ZHANG Peng, et al. Improvement of perforation, fracturing and packer integrated fracturing string [J]. Well Testing, 2021, 30(5): 50-54.

摘要 常规射孔地层污染大, 不动管柱水力喷射压裂难以保证层间完全封隔, 且底封拖动水力射孔压裂压后封隔器解封困难。通过改进水力喷砂器和 K344 封隔器结构, 采用滑套式 K344 封隔器+水力锚+滑套式水力喷砂器的结构单元, 实现了水力射孔分层压裂与机械封隔一体化的管柱设计, 达到定点压裂, 定点改造, 同时保证层间封隔的效果。现场应用于苏 25-A 井, 一趟管柱完成盒 8 段两层喷射压裂作业, 压力平衡后, K344 封隔器自动解封, 施工安全可靠。改进后的一体化压裂管柱实现了机械封隔、水力射孔、多级压裂联作工艺, 具有推广价值。

关键词 分层压裂; 射孔; K344 封隔器; 底封拖动; 一体化管柱; 水力喷砂器; 滑套**中图分类号**: TE357 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.05.009

Improvement of perforation, fracturing and packer integrated fracturing string

LUO Jinyu¹, YANG Xiaoyong¹, ZHANG Peng¹, ZHANG Zhen¹, QIN Shitao¹, YANG Jie²

1. Engineering Technology Research Institute, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin 300280, China

2. Sulige Gas Field Branch, CNPC GreatWall Drilling Company, Inner Mongolia, 017399, China

Abstract: Conventional perforation has great formation pollution. It is difficult to ensure the complete sealing between layers by hydraulic jet fracturing with immovable string, and it is difficult to unseal the packer after hydraulic perforation fracturing with bottom seal. By improving the structure of hydraulic sandblasting device and K344 packer and adopting the structural units of sliding sleeve K344 packer, hydraulic anchor and sliding sleeve hydraulic sandblasting device, the trip string design integrating hydraulic perforation layered fracturing and mechanical sealing is realized, so as to achieve fixed-point fracturing and fixed-point transformation, and ensure the effect of interlayer sealing at the same time. The technology has been applied in Well Su 25-A to complete two-layer jet fracturing in Member He 8 with one trip string. After the pressure is balanced, K344 packer is automatically unsealed, and the construction is safe and reliable. The improved integrated fracturing string realizes the combined process of mechanical sealing, hydraulic perforation, and multi-stage fracturing, which has popularization value.

Keywords: layered fracturing; perforation; K344 packer; bottom seal dragging; integrated string; hydraulic sand blaster; sliding sleeve

近年来, 分层压裂技术已经成为低压、低渗透油气资源开发的主要手段, 在国内外油气田得到广泛应用^[1-3]。目前, 针对薄互层改造主要采用滑套+K344 封隔器组合和水力喷射两种类型的分层压裂工艺方式^[4-6]。滑套+K344 封隔器分层压裂技术施工迅速, 现场操作方便、安全, 机械封隔作用明显, 封隔可靠。但滑套+K344 封隔器机械分层压裂方式需要提前进行常规射孔^[7], 常规射孔容易对油气层造成污染, 降低射孔通道周围地层渗透率, 对油气

层造成极大的损害, 且射孔后需要对炮眼位置进行刮削, 施工周期较长^[8]。水力喷射分层压裂方式可以实现对储层的定点射孔、定点压裂, 储层改造针对性强^[9-10]。水力喷射分层压裂主要包括不动管柱水力喷射分层压裂和底封拖动水力喷射分层压裂方式^[11]。不动管柱水力喷射分层压裂在多个油田均有应用, 其压裂方式依靠水力射孔、水力封隔, 压后管柱易起出, 但施工过程中难以实现层间的完全封隔^[12]; 底封拖动水力喷射分层压裂采用水力射

孔、机械封隔,可实现定点压裂,封隔可靠,但压后带压拖动压裂管柱存在解封困难、封隔器砂卡^[13]、施工风险高等问题。为了实现定点压裂、定点改造,同时保证层间封隔效果,本文对水力喷砂器和K344封隔器的结构进行优化设计,通过内置滑套,每一级采用相同尺寸的滑套芯轴和压裂球,同时控制水力喷射器和K344封隔器的启动。工艺采用水力喷砂射孔和K344封隔器机械封隔的方式,集水力射孔的技术优势和K344封隔器压后易解封的优势于一体^[14],既充分发挥了水力喷射技术水力射孔、定点改造的技术特点,又保证了分层压裂管柱的封隔效果和封隔器的解封成功率,实现一趟管柱

射孔压裂机械封隔一体化分层压裂施工作业。通过现场实例验证,水力喷砂器射孔效果明显、封隔器性能可靠。射孔压裂机械封隔一体化分层压裂管柱既达到了水力射孔、机械封隔的施工目的,又降低了施工风险,现场操作简单,压后封隔器自动解封,施工安全、可靠。

1 管柱优化改进

一趟管柱射孔压裂封隔一体化管柱主要由导向头、筛管、单流阀、水力喷砂器(无滑套)、射孔压裂封隔单元、安全接头和油管组成,管柱结构如图1所示。

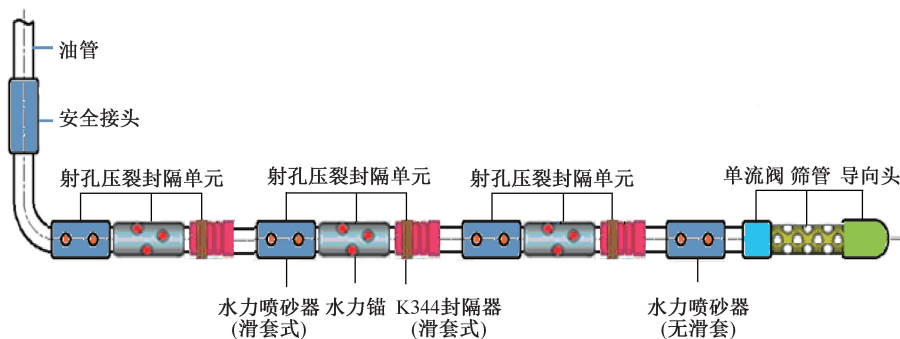


图1 射孔压裂封隔一体化管柱结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of perforation, fracturing and sealing integrated string

导向头可引导管柱下入;筛管可作为洗井通道;单流阀可通过投球封堵管柱下部,实现封堵;水力喷砂器(无滑套)可直接进行第一层的射孔和压裂施工;射孔压裂封隔单元包括K344封隔器(滑套式)^[15]、水力锚、水力喷砂器(滑套式)^[16],可实现逐级启动,通过投球憋压打开滑套,打开水力喷砂器(滑套式)的喷嘴和K344封隔器(滑套式)的进液通道,完成封隔器的坐封,并进行射孔和压裂施工;水力锚可锚定管柱,防止管柱蠕动,保护封隔器;安全接头可进行管柱脱开动作。

1.1 射孔压裂封隔一体化管柱特点

(1)投1个球同时打开水力喷砂器(滑套式)和K344封隔器(滑套式),不影响分层段数^[17-19]。

(2)施工过程中只启动对应层段的封隔器,实现了封隔器和水力喷砂器的逐级启动^[20-22],减少了工具的工作时间,提高了工具的使用寿命和工作效率。

(3)实现了水力射孔和机械封隔。卸压后封隔器自动解封,既达到了施工目的,又降低了施工风险。

(4)通过投球操作,现场操作简单、快速,施工

安全、可靠。

(5)施工过程中可实时监测地层压力。

1.2 射孔压裂封隔单元

水力喷砂器(滑套式)主要由本体、喷嘴、内滑套、销钉和下接头组成,如图2所示。通过投球憋压,剪切销钉推动内滑套下行,通过喷嘴进行射孔和压裂施工。

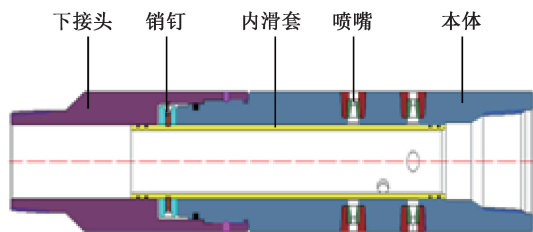


图2 水力喷砂器(滑套式)结构示意图

Fig. 2 Structural diagram of hydraulic sandblasting device (sliding sleeve type)

K344封隔器(滑套式)主要由上、下接头,背帽,上、下胶筒座,中心管,胶筒,进液阀,挡套,防砂套,销钉,内滑套组成,如图3所示。水力喷砂器滑套打开后,球和水力喷砂器的内滑套继续下行,到封隔器的内滑套位置后,继续憋压剪切销钉,水力

喷砂器内滑套和封隔器的内滑套一起下行,封隔器防砂套和进液阀通道打开,进液后扩张胶筒完成封隔器坐封,同时内滑套下行后被下接头限位,封堵已施工层,进行上层压裂施工。

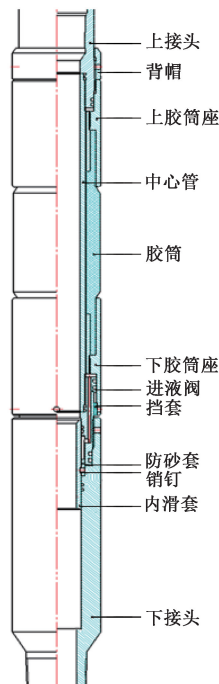


图3 K344封隔器(滑套式)结构示意图
Fig.3 Structural diagram of K344 packer
(Sliding sleeve type)

1.3 分层压裂施工步骤

第一层:管柱下到改造层位置以后,投入 $\phi 30$ mm球至单流阀球座位置,封堵管柱,按照泵注程序进行水力射孔作业,然后通过油管加砂方式完成第一层压裂施工。

第二层:投 $\phi 35$ mm球至第二层水力喷砂器(滑套式)的内滑套位置,憋压15 MPa打掉球座后继续下行至K344封隔器(滑套式)的内滑套上部,继续憋压5 MPa,水力喷砂器(滑套式)的内滑套和K344封隔器(滑套式)的内滑套一起下行至封隔器底部并被限位,封堵下层,同时完成封隔器坐封,关闭套管闸门,按照泵注程序进行第二层水力射孔作业,射孔后进行第二层压裂施工。

第三层-第五层:投入对应的球,重复第二层施工步骤,73 mm EUE压裂管柱可逐级完成五层以内的分层压裂施工作业。

2 现场实例分析

苏25-A井位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡蒙古鄂尔多斯市乌审旗嘎鲁图呼和陶勒盖,完钻井深

3 590.0 m,最大井斜 87.19° ,完钻层位为石盒子组。需要对盒8段2号层和4号层分两层进行定点压裂改造。采用射孔压裂封隔一体化压裂工艺管柱外径 $\phi 73$ mm,管柱结构如图4所示。

压裂管柱顺利下至设计位置,低替后投入 $\phi 30$ mm球,送球到球座位置,提排量至 $2.0 \sim 2.5 \text{ m}^3/\text{min}$,加砂 2 m^3 ,砂比7%,完成水力喷砂射孔作业,关套管后提排量试挤成功,提至施工排量 $3.3 \text{ m}^3/\text{min}$,完成设计加砂 30 m^3 ,砂比30%,施工压力 $35 \sim 50 \text{ MPa}$,入地净液量 350 m^3 。

第一层施工结束后,投入 $\phi 35$ mm球,送球到水力喷砂器(滑套式)位置,相继打开水力喷砂器和封隔器内滑套,打开压差为13 MPa,提高排量至 $2.0 \text{ m}^3/\text{min}$,加砂 2 m^3 ,砂比7%,完成水力喷砂射孔作业,关套管后提排量试挤成功,提至设计排量 $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$,完成设计加砂 20 m^3 ,砂比30%,施工压力 $30 \sim 43 \text{ MPa}$,入地净液量 250 m^3 。

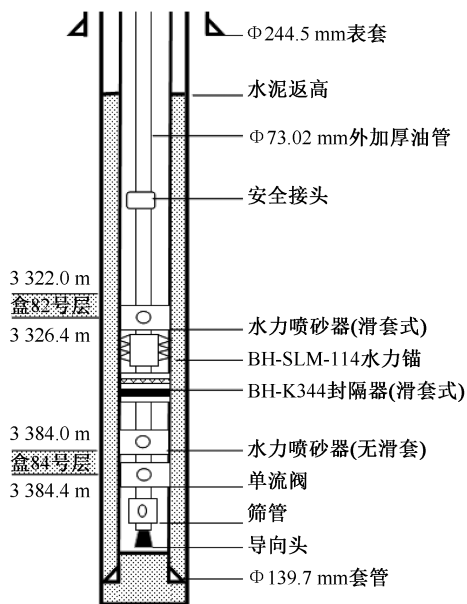


图4 苏25-A井施工管柱结构示意图
Fig.4 Structural diagram of construction string of
Well 25-A

从图5可以看出,两层水力喷砂器射孔过程中,携砂液到达喷砂器位置后,油管压力持续下降,射开套管显示明显。第一层施工过程中,水力喷砂器(滑套式)和封隔器(滑套式)均未启动,密封良好。由于水力喷砂器(滑套式)和封隔器(滑套式)间距4.5 m,两个工具之间的液量 0.0135 m^3 ,水力喷砂器(滑套式)打开瞬间、封隔器(滑套式)也同时打开。因此,曲线上只有1个打开滑套的峰值,压差13 MPa。

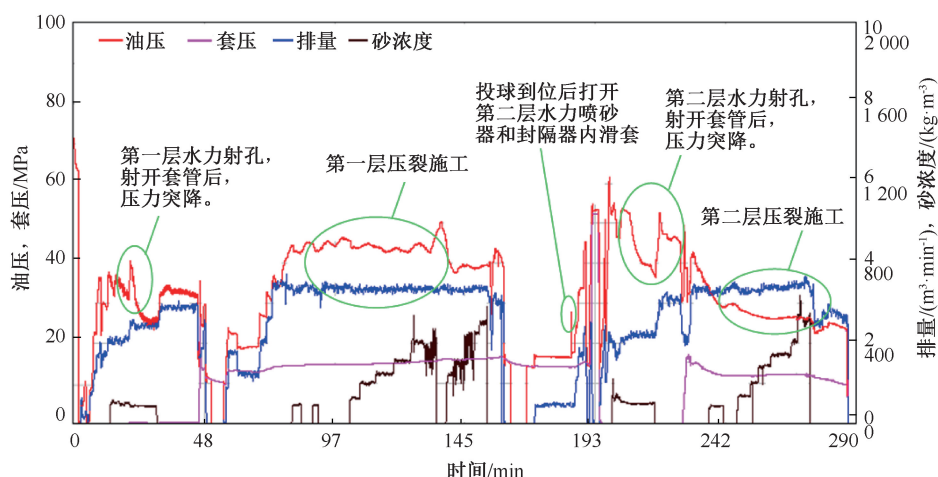


图5 苏25-A井压裂施工曲线

Fig. 5 Fracturing operation curve of Well Su 25-A

通过现场实例,该井一趟管柱实现了水力喷砂射孔作业,达到了定点压裂、定点改造的目的,同时通过 K344 封隔器完成了机械封隔,保证了层间封隔效果;停泵后油套压力平衡,K344 封隔器自动解封。射孔压裂封隔一体化工具动作可靠、性能稳定,达到了工艺目的。

3 结论

(1)通过结构优化,实现了射孔压裂机械封隔一体化,工艺简单、成熟,现场操作简便、安全。

(2)一趟管柱实现了水力喷砂射孔、压裂作业,达到了定点压裂、定点改造的目的,针对性强,同时通过 K344 封隔器完成了机械封隔,封隔可靠;停泵后管内外压力平衡,K344 封隔器可自动解封,避免了管柱砂卡的风险。

(3)通过水力喷砂器和 K344 封隔器的逐级启动,减少了工具的工作时间,提高了工具的使用寿命,保障了工作效率。

(4)同时发挥了水力喷射分层压裂和机械封隔分层压裂的技术优势,与连续油管相比,降低了施工风险和作业成本,建议对该技术进行更深入的应用与改进。

致谢:感谢渤海钻探工程研究院同意本文公开发表。

参考文献

[1] 张凌霄. 苏里格地区低渗地层压裂工艺的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(5): 118-119.
ZHANG Lingxiao. Application of fracturing technology in low permeability formation in Sulige area [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2017, 37(5): 118-119.
[2] 舒波, 钱锋. 低渗透油气藏压裂改造工艺[J]. 石油知

识, 2003(1): 20-22.

SHU Bo, QIAN Feng. Fracturing technology for low permeability reservoirs [J]. Petroleum Knowledge, 2003(1): 20-22.

[3] 张鹏, 焦煦, 崔振锚, 等. 可溶解滑套分层压裂技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(6): 45-49.

ZHANG Peng, JIAO Xu, CUI Zhenmao, et al. Separate layer fracturing technology with dissolvable sliding sleeve [J]. Well Testing, 2020, 29(6): 45-49.

[4] 王博, 冉辉, 杨沾宏. 薄层压裂技术在苏里格气田东区的研究与应用[J]. 石油化工应用, 2016, 35(6): 71-74.

WANG Bo, RAN Hui, YANG Zhanhong. Study and application of thin layer fracturing technology in eastern of Sulige gasfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2016, 35(6): 71-74.

[5] 张华光, 桂捷, 张丽娟, 等. 苏里格气田机械封隔器连续分层压裂技术[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(4): 85-87.

ZHANG Huaguang, GUI Jie, ZHANG Lijuan, et al. Continuously separate layer fracturing technology by using mechanical packer in Sulige gas field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(4): 85-87.

[6] 朱正喜, 曹会, 陈沙沙. 国内水力喷射压裂工艺技术应用研究进展[J]. 石油矿场机械, 2014, 43(12): 82-87.

ZHU Zhengxi, CAO Hui, CHEN Shasha. Application and development of hydraulic jet fracturing in China [J]. Oil Field Equipment, 2014, 43(12): 82-87.

[7] 刘武宏. 机械分层压裂工艺技术在高 890-23 块的推广与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2011, 31(2): 72.

LIU Wuhong. Extension and application of mechanical stratified fracturing technology in Gao 890-23 block [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2011, 31(2): 72.

[8] 朱秀星, 张林, 薛世峰, 等. 砂岩储层射孔压裂伤害评价[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(1): 137-142.

- ZHU Xiuxing, ZHANG Lin, XUE Shifeng, et al. Evaluation of perforating damage for sandstone [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(1): 137-142.
- [9] 张康, 王永伟, 姬君嵩. 新型不动管柱水力喷射分层压裂技术现场应用[J]. 石化技术, 2020, 27(9): 172-173. ZHANG Kang, WANG Yongwei, JI Junhe. Field application of new hydraulic jet layered fracturing technology with fixed string [J]. Petrochemical Industry Technology, 2020, 27(9): 172-173.
- [10] 马发明. 不动管柱水力喷射逐层压裂技术[J]. 天然气工业, 2010, 30(8): 25-28. MA Faming. Zone by zone hydrojet fracturing without pulling strings [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(8): 25-28.
- [11] 王金友, 许国文, 李琳, 等. 连续油管拖动底封水力喷射环空加砂分段压裂技术[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(5): 69-72. WANG Jinyou, XU Guowen, LI Lin, et al. Technology of coiled tubing abrasive perforating and annulus fracturing [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(5): 69-72.
- [12] 陈诚. 水力喷射工具失效原因分析[J]. 科技视界, 2014(12): 90, 262. CHEN Cheng. Failure analysis of hydraulic jet tools [J]. Science & Technology Vision. 2014(12): 90, 262.
- [13] 侯世红, 李典虹, 张德华. 水力喷射分段压裂工具施工效率提高方法[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(12): 48-51. HOU Shihong, LI Dianhong, ZHANG Dehua. Improvement of construction efficiency of hydraulic jet fracturing tools [J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(12): 48-51.
- [14] 颜晋川, 尹琅, 刁素, 等. 水平井 K344 封隔器不动管柱分段压裂技术及应用[J]. 油气井测试, 2014, 23(3): 31-33. YAN Jinchuan, YIN Lang, DIAO Su, et al. Staged fracturing technology and application with fixed string for K344 packer in horizontal well [J]. Well Testing, 2014, 23(3): 31-33.
- [15] 程智远, 骆劲羽, 孙晓飞, 等. K344 型可控封隔器及压裂滑套研制[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(8): 77-80. CHENG Zhiyuan, LUO Jinyu, SUN Xiaofei, et al. Development of K344 controllable packer and fracturing sleeve [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(8): 77-80.
- [16] 周后俊, 程智远, 王海霞, 等. 新型压裂滑套水力喷射器的研制及应用[J]. 石油矿场机械, 2017, 46(1): 45-47. ZHOU Houjun, CHENG Zhiyuan, WANG Haixia, et al. Development and application of the new fracturing sliding sleeve hydraulic jet [J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(1): 45-47.
- [17] 戴文潮, 秦金立, 薛占峰, 等. 一球多簇分段压裂滑套工具技术研究[J]. 石油机械, 2014, 42(8): 103-106. DAI Wenchao, QIN Jinli, XUE Zhanfeng, et al. Research on one ball-activated multiple sleeves per stage for multistage fracturing [J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(8): 103-106.
- [18] 贾洪革, 孙杰文, 何昊楠, 等. 异常高压储层水力喷射孔多层压裂投产技术[J]. 油气井测试, 2020, 20(4): 40-44. JIA Hongge, SUN Jiewen, HE Haonan, et al. Commissioning technology of hydraulic abrasive perforating and multi-layer fracturing in abnormal high-pressure reservoirs [J]. Well Testing, 2020, 20(4): 40-44.
- [19] 王红丽. 不动管柱压裂工艺封隔器及配套工具优化[J]. 油气井测试, 2020, 29(2): 32-36. WANG Hongli. Packers and supporting tools optimization for immobile string fracturing technology [J]. Well Testing, 2020, 29(2): 32-36.
- [20] 赵燕青. 逐级座封多级压裂管柱技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 33(24): 110. ZHAO Yanqing. Research on multistage fracturing string technology of step by step setting and sealing [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, 33(24): 110.
- [21] 张云鹏, 杨生文, 赵战江, 等. 临兴区块致密砂岩气藏裸眼水平井分段压裂技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(2): 61-66. ZHANG Yunpeng, YANG Shengwen, ZHAO Zhanjiang, et al. Staged fracturing technology of open hole horizontal well in tight sandstone gas reservoir of Linxing block [J]. Well Testing, 2021, 30(2): 61-66.
- [22] 刘鹏, 许杰, 徐刚, 等. 渤中 25-1 油田低渗透储层水平井分段压裂先导试验[J]. 油气井测试, 2018, 27(3): 52-57. LIU Peng, XU Jie, XU Gang, et al. Pilot test of horizontal well staged fracturing for low permeability reservoirs in BZ25-1 Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(3): 52-57.

编辑 苏璇

第一作者简介: 骆劲羽, 男, 1985 年出生, 工程师, 2008 年毕业于西南石油大学石油工程专业, 现主要从事完井、压裂工具的研究与应用工作。电话: 022-25921415; Email: 306577351@qq.com。通信地址: 天津市大港油田三号院渤海钻探工程研究院, 邮政编码: 300280。