油气井测试 WELL TESTING

.地层测试技术.　　文章编号:1004-4388(2020)02-0032-05

# 不动管柱压裂工艺封隔器及配套工具优化

王红丽

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:wys13936751716@163.com

**引用**: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.

**Cite**: WANG Hongli. Packers and supporting tools optimization for immobile string fracturing technology[J]. Well Testing, 2020,29(2):32-36.

**摘要**　为更好完成不动管柱实现多层压裂,满足加砂量大、压力高、多层位的现场施工要求,优化设计了不动管柱 8 层压裂管柱结构,优化了 Y541、Y341 封隔器,优选了 Y344 封隔器,设计了压裂保护短接、逐级解封等工具。采用 Y541+Y341 封隔器压裂管柱,增大压裂规模、增加压裂段数,减缓工具磨损,降低压后吐砂导致砂堵砂卡几率,同时解决解封困难的问题。X22-70 井采用不动管柱 5 层压裂,单段最大加砂量 136 $m^3$,累计加砂 536 $m^3$。上提管柱顺利解封,最大上提吨位 300 kN。该技术可为储层精细划分及有效改造提供技术支持。

**关键词**　多层压裂;压裂管柱;配套工具;管柱优化;封隔器

**中图分类号**:TE353　　**文献标识码**:B　　DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.02.006

## Packers and supporting tools optimization for immobile string fracturing technology

WANG Hongli

*Testing Branch of PetroChina Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing, Heilongjiang* 163412, *China*

**Abstract**: In order to better realize the multi-layer fracturing process of immovable string and meet the field operating requirements such as a mass of sand to be added, high pressure and multi-layer operation, the pipe string and tools need to be optimized. Through the structure analysis of fracturing string for 8 layers from 2 kinds of immovable string, Y541 and Y341 packers were optimized, Y344 packers were carefully chosen, and tools such as fracturing protection pup joint, pressure-difference expansion device of oil pile, step-by-step unsealing expansion device of packer and so on were designed. Combination fracturing strings of Y541 packer and Y341 packer are selected to enlarge the fracturing scale, increase the number of fracturing sections, reduce tool wear, reduce the probability of sand plugging caused by sand spouting after pressure drop, and can solve the problem of unsealing difficulty at the same time. 5 layers of Well X22-70 were fractured using a immovable string. The maximum amount of sand added into a single section was 136 $m^3$ and the total amount of sand added was 536 $m^3$. Release was successfully completed by lifting string with a maximum lifting force of 300 kN. This technology can provide technical support for fine reservoir division and effective reservoir stimulation.

**Keywords**: multi-layer fracturing; fracturing string; supporting tool; string optimization; packer

随着大庆油田精细勘探开发的深入,为达到试油目的,油气井压裂改造成为重要手段[1-4]。尤其是采用多级封隔器封隔油层,压裂过程中通过投球打滑套方式完成多级压裂的不动管柱压裂技术[5],单井压裂段数逐渐增加,压裂规模逐步扩大[6-8]。针对这一需求,大庆油田技术人员不断研发并升级改进,从早期的不动管柱 2~3 层压裂工艺发展到了现今的不动管柱 8 层压裂工艺技术,基本满足大规模、多层段压裂改造。

目前,大庆油田油管压裂主要采用 Y541+Y341 封隔器[9-10],单个封隔器解封吨位大约在 4 t 左右,随着压裂层段的增多、封隔器数量的增加,解封吨位也不同程度的增加,解封难度增大[11]。同时,在高泵压、大液量、高砂比的压裂施工中,井内封隔器等工具的主芯轴易产生打磨变薄,使管柱整体的安全系数降低,造成工具及管柱断裂等工程事故[12]。以上这些问题,需要通过完善改进,确保不动管柱压裂工艺的成功。

本文主要基于多层压裂解封困难、管柱及工具磨损严重问题展开叙述。通过优化管柱结构,优选 YM541+Y341+Y344 封隔器组合,采用逐级解封封隔器[13-14],设计逐级解封专用工具,实现逐级解封。

2019-11-20 收稿,2020-02-08 修回,2020-03-10 接受,2020-04-20 网络版发表

通过设计增加压裂保护装置,避免封隔器打磨严重导致断裂。以上优化设计通过现场应用取得较好效果。

# 1　管柱结构及配套工具优化

根据以往管柱及工具在现场应用中存在的问题,从管柱结构和管柱中应用的工具性能角度出发,分别进行了改进与革新。经过多次试验,达到了设计要求,满足了现场层位多、规模大的要求。

## 1.1　总体管柱设计

不动管柱 8 层压裂管柱整体结构如图 1 所示。

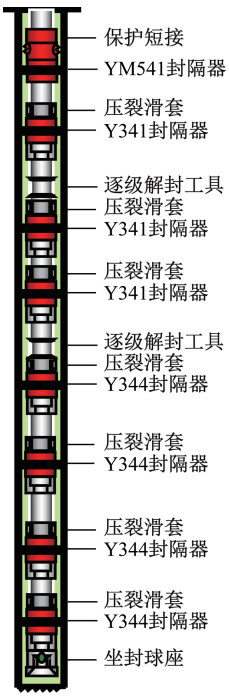


**图 1　不动管柱 8 层压裂管柱结构示意图**

**Fig.1　Structure of fracturing immovable string combining for 8 layers**

图 1 主要由保护短接(内径 58 mm、外径 94 mm、长 400 mm),YM541 封隔器(内径 58 mm,作为顶封使用),Y341 封隔器(内径 58 mm,作为层间封隔器使用),Y344 封隔器(内径 58 mm,作为层间封隔器使用),逐级解封工具(连接在封隔器下端代替密封接头,具有伸缩功能,同时具有密封接头功能),各级滑套喷砂器,底部坐封滑套开关等组成。

YM541 封隔器具有水力锚结构,除了能够密封油套环空,还可以对管柱进行锚定,防止压裂施工过程中管柱蠕动。另外,YM541 封隔器具有锁紧结构。当压力卸掉时,封隔器依然不会解封,主要做顶封使用。YM541 封隔器坐封压差 20 MPa,解封上提拉力 40 kN。

Y344 封隔器与压差式压裂控制器配合使用,能够密封油套环空。当压力卸掉时,封隔器自动解封。相比 Y341 封隔器,能够降低解封拉力。当坐封压差达到 10 MPa,Y344 封隔器防坐封剪钉剪断,压裂施工过程中,内外压差不小于 4 MPa 即可确保封隔器坐封;当压差消失,Y344 封隔器自动解封。

为实现逐级压裂,通过研究[15-17],设计了不同尺寸的可溶密封球及对应的滑套。各级滑套及投球规格尺寸见表 1。

**表 1　不动管柱 8 层压裂各级滑套及投球规格**

**Table 1　Sizes of sliding sleeve and ball at all levels of fracturing immovable string combining for 8 layers**

| 滑套型号 | 外径/mm | 投球外径/mm | 滑套尺寸/mm | 滑套压差/MPa | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| PSQ108×48 | 108 | 50 | 48 | 16 | 可溶球 |
| PSQ108×45 | 108 | 47 | 45 | 16 | 可溶球 |
| PSQ104×42 | 104 | 44 | 42 | 16 | 可溶球 |
| PSQ104×39 | 104 | 41 | 39 | 16 | 可溶球 |
| PSQ104×36 | 104 | 38 | 36 | 16 | 可溶球 |
| PSQ104×33 | 104 | 35 | 33 | 16 | 可溶球 |
| PSQ104×30 | 104 | 32 | 30 | 16 | 可溶球 |
| 底开 108×24 | 108 | 26 | 24 | 22 | 钢球 |

施工时,井口投入坐封钢球(ϕ26 mm)至底部坐封球座(ϕ24 mm),打压坐封井内封隔器,打开底部坐封滑套,压裂第 1 层;投入 ϕ32 mm 可溶球至压裂滑套(ϕ30 mm),压裂第 2 层;投入 ϕ35 mm 可溶球至压裂滑套(ϕ33 mm),压裂第 3 层;投入 ϕ38 mm 可溶球至压裂滑套(ϕ36 mm),压裂第 4 层;投入ϕ41 mm可溶球至压裂滑套(ϕ39 mm),压裂第 5 层;投入 ϕ44 mm 可溶球至压裂滑套(ϕ42 mm),压裂第 6 层;投入 ϕ47 mm 可溶球至压裂滑套(ϕ45 mm),压裂第 7 层;投入 ϕ50 mm 可溶球至压裂滑套(ϕ48 mm),压裂第 8 层。

## 1.2　工具优化设计

针对管柱中主要工具进行优化,设计了压裂保护短接、逐级解封工具,并对封隔器进行了优化设计。

### 1.2.1　保护短接

封隔器的内径 58 mm,比上部连接的管柱通径小,形成缩径。压裂时对封隔器冲刷严重,易造成封隔器损坏脱落。为此,设计了压裂保护短接,连接在上封隔器之上,其外径 95 mm、内径 58 mm、长 400 mm。内径与封隔器内径一致,有效保护封隔器内芯管,流体在流经封隔器内芯管之前相对固定成型,不再扩散或缩颈。

1.2.2 Y341 自动解封封隔器

原 Y341 封隔器中芯管为管螺纹,内径 55 mm,锁定机构为卡瓦式;新设计的 Y341 封隔器为 Y341 自动解封系列封隔器。

(1)封隔器上接头增加防冲刷环。封隔器芯管内径与油管内径不同,当压裂液通过封隔器时,就会对封隔器芯管进行冲刷。在大排量、高砂比的情况下,封隔器芯管会有损伤,从而降低芯管的强度。因此,在芯管前端增加了防冲刷环。防冲刷环很好地保护了封隔器芯管,更好地保证了封隔器的整体性能。

(2)采用直螺纹封隔器。直螺纹不带锥度,可以增大芯管的内径;直螺纹连接长度比管螺纹长,能够承受较大的拉力;直螺纹连接长度是固定的,可以不用调节套,增加锁套强度。

(3)对解封剪钉进行改进。在满足压裂施工的前提下,减少解封销钉个数,降低解封剪钉的剪切力,顶封在现有条件下不变,层间封隔器解封剪钉剪切力由 4 t 降为 2 t,达到降低解封拉力的目的。

(4)锁定机构由卡瓦式改为锁环式。改进后,缩短了封隔器整体长度,降低了大直径管柱长度,提高了管柱的通过性能;锁环机构锁紧性能好,力越大锁定越牢固,抗震动性能好;锁环机构解封时只需上提芯管,不需要用解封套压缩卡瓦,因此解封力较小;锁环机构无解封套,不存在解封套压缩卡瓦后不回位的情况,再坐封时性能比卡瓦式稳定。

Y341 自动解封系列封隔器能承受高温、高压。在酸化、压裂或堵水等施工工艺中,密封性能稳定,具有坐封压力低、防腐性能好等优点。工具丝扣连接不会在施工中发生松扣或脱扣现象。同时,坐封、自动解封机构合理,不会造成封隔器中途坐封和提前解封等现象。

该自动解封系列压裂封隔器主要用于多层压裂施工。多支封隔器在井下自动解封,确保封隔器顺利起出。能够定时自动解封,根据井况,温度、压力、液体介质等参数不同,解封时间会有所不同。自动解封时间为 7 d,自下管柱开始计时。

其工作原理:(1)坐封。油管加压,液体将压力传给活塞并产生轴向移动,剪断坐封剪钉上行,压缩胶筒,使之弹性变形径向扩张。随着油管压力增加,胶筒外径贴紧套管内壁,液压锁定装置锁定,完成封隔器坐封。由于进液孔为单流结构,因此液压锁定后,活塞腔体内会一直有压力来保持封隔器坐封。(2)解封。该封隔器自下管柱时起,定时自动解封机构开始倒计时,7 d 左右封隔器自动解封,到达解封时间后可试起管柱。如经活动管柱无解封迹象,可等待延长时间再起管柱,直至自动解封机构完全失效,完成封隔器的解封过程,方可正常起管柱。

1.2.3 逐级解封工具

设计的逐级解封工具(图 2)主要用于多层压裂下井管柱,能解决多层压裂管柱因解封拉力大、砂卡、变形,以及封隔件破损等综合因素导致的起钻拉力大、难解封或起不出等卡管柱事故。

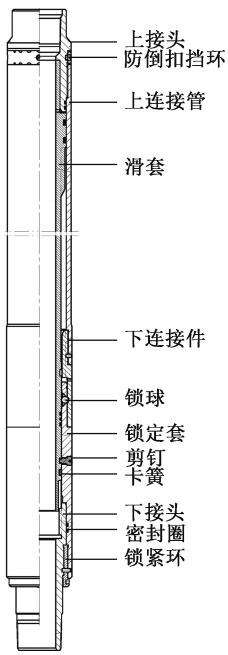


**图 2 逐级解封工具结构示意图**

**Fig.2 Structure of step-by-step releasing device**

按要求将连接好的管柱下放到位,逐级解封工具位于两个压裂层段之间。压裂下部层段时,逐级解封工具的伸缩器处于锁定状态;压裂上部层位时,上层打开的滑套下落到伸缩器内,伸缩器解除锁定。全部压裂结束后需要起钻时,上提管柱,逐级解封工具可伸长 1 m,实现分级解封解卡,减少起钻拉力,同时具有震击功能。

逐级解封工具需要与滑套喷砂器配对使用,代替现有的密封接头,不能单独使用,需要滑套喷砂器的滑套下落到伸缩器内将伸缩器释放;不需要增加水力锚,可以将管柱中的多个密封接头换成此伸缩器,实现封隔器的逐级解封。

## 2 现场应用

采用优化后的不动管柱多层压裂工艺,应用逐级解封工具、压裂保护短接,在 X22-70 井等 7 口井

进行了应用,成功率 100%,未出现无法解封及工具磨损严重等问题。

X22-70 井是位于海拉尔盆地贝尔湖坳陷贝尔凹陷贝中次凹傲里华东构造带上的 1 口评价控制井。为落实产能,对南二段油层 $N_2II_1$-$N_2IV_4$ 号层射孔,采用大规模缝网压裂技术改造,求压后产能。

该井不动管柱 5 层压裂,采用优化后的管柱工艺,管柱内设计了 1 套逐级解封工具,封隔器顶部增加压裂保护短接,分压合求试油。压裂管柱结构如图 3 所示。

该井单段最大加砂量 136 $m^3$,累计加砂 536 $m^3$,单段最大液量 1 330 $m^3$,累计液量5 339 $m^3$。相关数据见表 2。

起管柱时,上 2 级封隔器解封后,逐级解封工具工作正常,继续上提管柱,顺利解封封隔器,最大上提吨位 300 kN。起出后,封隔器完好,没有发生磨损严重问题。

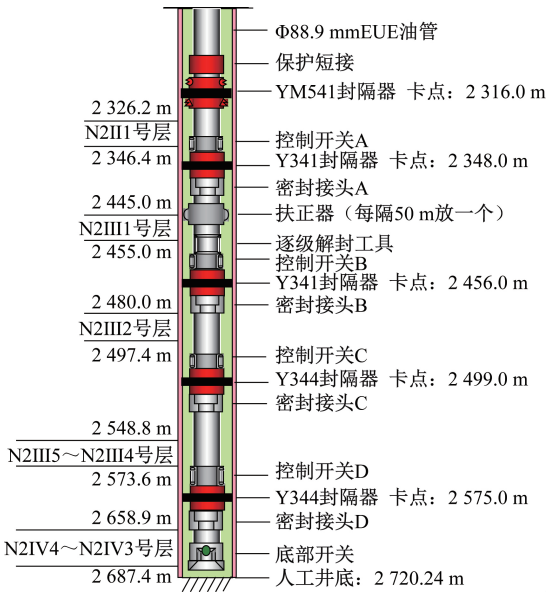


**图 3　X22-70 井不动管柱 5 层压裂管柱结构示意图**

**Fig.3　Structure of fracturing immovable string combining for 5 layers for Well X22-70**

**表 2　X22-70 井压裂施工统计表**

**Table 2　Fracturing statistics of Well X22-70**

| 井段/m | 层位 | 跨距/m | 压裂液/$m^3$ | 陶粒/$m^3$ | 排量/($m^3 \cdot min^{-1}$) | 泵压/MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 687.4～2 658.9 | N2IV4～N2IV3 | / | 1 101 | 110 | 6.0～7.0 | 50～65 |
| 2 573.6～2 548.8 | N2III5～N2III4 | 76.41 | 1 330 | 136 | 6.0～6.5 | 46～62 |
| 2 497.4～2 480.0 | N2III2 | 42.17 | 1 330 | 136 | 7.0 | 46～55 |
| 2 455.0～2 445.0 | N2III1 | 108.93 | 539 | 51 | 7.0 | 46～55 |
| 2 346.4～2 326.2 | N2II1 | 32.29 | 1 039 | 103 | 7.0 | 42～55 |

现场施工与设计相符,达到预期效果,5 层压裂均取得成功。本层大规模缝网压裂后水力泵求产,求产曲线如图 4 所示。

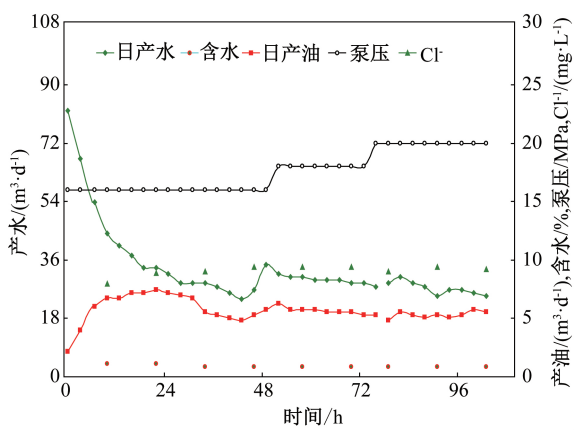


**图 4　X22-70 井水力泵排液求产曲线**

**Fig.4　Discharge and production curve for hydraulic pump of Well X22-70**

求产深度 2 305.5 m,日产油 4.68 t,地层温度 81.2 ℃/2 305.5 m,平均流压 8.72 MPa/2 305.5 m,试油结论为工业油层。

## 3　结论

(1)通过优化不动管柱多层压裂管柱结构、优选 YM541+Y341+Y344 封隔器组合、设计压裂保护短接及逐级解封工具,形成了较为科学的不动管柱 8 层压裂工艺。该工艺有利于封隔器的芯轴保护,有利于封隔器解封,可降低解封吨位、减少砂卡几率。改进后的工艺更加合理、安全,整体过砂量得到了提升。

(2)该技术适用于不动管柱不大于 8 层、排量不大于 8.5 $m^3$/min、单井加砂量不大于 850 $m^3$ 的油管压裂。

(3)该技术适用于油气井勘探开发中多层压裂,能较好的缩短施工周期,符合安全环保绿色施工,为储层精细划分及有效改造提供技术支持。

(4)下一步将在工具的降解、耐磨和力学分析方面进一步完善,确保工艺更加合理、安全可靠。

**致谢:**本文编写过程中,得到了大庆油田试油试采分公司相关技术人员的指导帮助,在此表示感谢。

## 参考文献


[1] 金成志,何剑,林庆祥,等. 松辽盆地北部芳 198-133 区块致密油地质工程一体化压裂实践[J]. 中国石油勘探,2019,24(2):218-225.
JIN Chengzhi, HE Jian, LIN Qingxiang, et al. Fracturing stimulation based on geology-engineering integration to tight oil reservoirs in Block Fang 198-133, northern Songliao basin [J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(2):218-225.

[2] 刘拯民. 大庆油田转向压裂工艺技术研究[J]. 化学工程与装备,2019(4):50-51.
LIU Zhengmin. Research on steering fracturing technology in Daqing Oilfield [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019(4):50-51.

[3] 张先强. 中区西部高台子薄差油层可压性及对应压裂实验研究[D]. 大庆:东北石油大学,2018.
ZHANG Xianqaing. The study of fracablity and correspond fracturing in west Gaotaizi reservoir [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2018.

[4] 顾明勇,夏跃海,王维,等. 大庆低渗透水平井重复压裂技术及现场试验[J]. 石油地质与工程,2018,32(4):95-97,100.
GU Mingyong, XIA Yuehai, WANG Wei, et al. Refracturing technology and field test in low permeability horizontal wells of Daqing Oilfield [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2018,32(4):95-97,100.

[5] 王福全. 不动管柱压裂工艺技术简介及其现场应用[J]. 石化技术,2015,22(11):196-197.
WANG Fuquan. Introduction and application of firming pipeline pole fracking technologies [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015,22(11):196-197.

[6] 卫鹏飞,于振东,刘忠良. 不动管柱两层及三层二氧化碳压裂工艺技术[J]. 油气井测试,2011,20(4):66-68.
WEI Pengfei, YU Zhendong. Two and three carbon dioxide fracturing technology with fixed string [J]. Well Testing, 2011,20(4):66-68.

[7] 智宏亮,赵晓英. 不动管柱多层压裂技术在大庆油田的应用[J]. 油气井测试,2015,24(5):62-63.
ZHI Hongliang, ZHAO Xiaoying. Application of the fixed string and multilayer fracturing technology in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2015,24(5):62-63.

[8] 蒋国斌,才庆,杨景海,等. 基于大规模多段压裂水平井返排数据的压裂效果评价方法[J]. 油气井测试,2019,28(2):14-19.
JIANG Guobin, CAI Qing, YANG Jinghai, et al. Fracturing effect evaluation method based on flowback data of horizontal well with large-scale multi-stage fracturing [J]. Well Testing, 2019,28(2):14-19.

[9] 张衍臣,于振东,范学君. 不动管柱多层压裂及排液一体化工艺技术研究与应用[J]. 石油勘探与开发,2006,33(2):237-241.
ZHANG Yanchen, YU Zhendong, FAN Xuejun. Research and application of the multi-layer fracturing and flowing back without pulling string technology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006,33(2):237-241.

[10] 张庆发,范学君. 不动管柱两层压裂及排液求产技术在海拉尔油田的应用[J]. 油气井测试,2009,18(6):52-53.
ZHANG Qingfa, FAN Xuejun. Application of technology of dual layer fracturing combined with production testing without moving string in Hailaer Oilfield [J]. Well Testing, 2009,18(6):52-53.

[11] 胡英才,杨康敏,李家明,等. 多级压裂自助解封封隔器及其管柱研究与应用[J]. 石油机械,2017,45(4):83-86.
HU Yingcai, YANG Kangmin, LI Jiaming, et al. Research and application of multistage fracturing self-releasi-ng packer and tubing string [J]. China Petroleum Machinery, 2017,45(4):83-86.

[12] 闫育东,段晓军,陈浩. 体积压裂对高压管件冲蚀磨损因素分析研究[J]. 工业,2015(4):191.
YAN Yudong, DUAN Xiaojun, CHEN Hao. Analysis and research on erosion and wear factors of high pressure pipe fittings by volume fracturing [J]. Industry, 2015(4):191.

[13] 郑焕军. 逐级解封封隔器[J]. 油气田地面工程,2010,29(12):110.
ZHENG Huanjun. Step by step unsealing packer [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2010,29(12):110.

[14] 丁连民. Y341B-115 逐级解封封隔器的研制与应用[J]. 石油钻采工艺,2005,27(3):76-78.
DING Lianmin. Development and application of Y341b-115 series step-by-step releasable packer [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005,27(3):76-78.

[15] 张毅,于丽敏,任勇强,等. 一种新型可降解压裂封隔器坐封球[J]. 油气井测试,2018,27(2):53-58.
ZHANG Yi, YU Limin, REN Yongqiang, et al. A new type of degradable setting ball for fracturing packers [J]. Well Testing, 2018,27(2):53-58.

[16] 魏辽,马兰荣,朱敏涛,等. 大通径桥塞压裂用可溶解球研制及性能评价[J]. 石油钻探技术,2016,44(1):90-94.
WEI Liao, MA Lanrong, ZHU Mintao, et al. Development and performance evaluation of dissolvable balls for large borehole bridge plug fracturing [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(1):90-94.

[17] 董明键,郭先敏,李子良. 可降解材料在完井工具中的应用及发展趋势[J]. 石油机械,2015,43(3):31-34.
DONG Mingjian, GUO Xianmin, LI Ziliang. Application and future development of degradable materials in completion tools [J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(3):31-34.


编辑 王 军

**第一作者简介**:王红丽,女,1969 年 2 月出生,工程师,1989 年毕业于黑龙江科技大学计算机科学与技术专业,主要从事试油、测试等工作。电话:0459-5687759,13936751716;Email:wys13936751716@163.com。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区乘南十八街试油试采分公司工程技术大队试油工艺室,邮政编码:163412。