◀油气田开发工程▶

连续管无限级开关固井滑套底封压裂工具研制及应用*

杨敏杰[1] 徐传友[1] 王 浩[2] 许得禄[1] 张 炎[2] 娄 增[1] 由天明[1]
（1. 中国石油集团西部钻探工程有限公司井下作业公司 2. 中石油江汉机械研究所有限公司）

杨敏杰，徐传友，王浩，等. 连续管无限级开关固井滑套底封压裂工具研制及应用［J］. 石油机械，2026，54（10）：101-108.

Yang Minjie，Xu Chuanyou，Wang Hao，et al. Development and application of tools for CT-Conveyed infinite-stage switchable cemented sleeve fracturing with bottom packer［J］. China Petroleum Machinery，2026，54（10）：101-108.

摘要：针对常规压裂过程中大段多簇压裂进液不均匀、储层改造效果差等问题，开展了连续管无限级开关固井滑套底封压裂工艺研究及配套工具研制。该工艺将全通径压裂滑套随套管入井并注水泥固井，压裂时通过连续管下入压裂工具串，将封隔器坐封在滑套内筒，环空憋压打开滑套；然后经连续管与套管间环空进行主压裂，工具串一次入井，压裂级数不受限制，压后井筒全通径。系统阐述了该工艺的技术原理、工具技术参数及作业流程，并重点介绍了无限级开关固井滑套、双向坐封封隔器和滑套定位器等核心工具的结构设计及工作机理。对滑套进行了密封性能和开闭动作可靠性试验。试验结果表明：滑套内压力从0升至额定压力70 MPa，保压30 min，压降1 MPa；环空压力升至15 MPa时滑套成功开启，开启与关闭次数大于15次，室内试验结果达到设计技术要求。该技术于新疆油田KHW8304井成功应用，累计完成13级滑套关闭、5级滑套开启及6级压裂施工，封隔器坐封可靠、解封顺利，作业成功率100%，最高日增油8.3 t，71 d累计增油118.8 t。该滑套可承受70 MPa压差，室内液压开启压力约为15 MPa，现场实测开启压力25.4 MPa，具有施工排量大、压后井筒全通径及储层改造充分等优势。所得结论可为连续管无限级开关固井滑套底封压裂工具在新疆油田规模化推广应用提供技术支撑。

关键词：连续管；底封压裂；无限级开关固井滑套；封隔器；滑套定位器；多级压裂
中图分类号：TE934 **文献标识码：**A DOI：10.12473/CPM.202506025

Development and Application of Tools for CT-Conveyed Infinite-Stage Switchable Cemented Sleeve Fracturing with Bottom Packer

Yang Minjie[1] Xu Chuanyou[1] Wang Hao[2] Xu Delu[1] Zhang Yan[2] Lou Zeng[1] You Tianming[1]
（1. *Downhole Service Company*, *CNPC Xibu Drilling Engineering Company Limited*; 2. *Jianghan Machinery Research Institute Limited Company of CNPC*）

Abstract: To address the issues in conventional fracturing stimulations, such as uneven fluid distribution in multi-cluster fracturing of long intervals and poor reservoir stimulation effectiveness, we investigated the technology of coiled tubing (CT)-conveyed infinite-stage switchable cemented sleeve fracturing with bottom packer and developed corresponding tools. For this technology, the full-bore fracturing sleeve is landed in hole with the casing

* 基金项目：中国石油天然气集团有限公司重大技术推广专项“全系列连续管作业技术推广”（2022ZT01）；中国石油天然气集团油田技术服务有限公司科学研究与技术开发项目“非常规深层超深层储层改造关键技术研究与应用”（2024T-001-003）。

© Editorial Office of *China Petroleum Machinery*. OA under CC BY-NC-ND 4.0

and then cemented. The fracturing tool string is conveyed via CT, and the packer is set inside the sliding sleeve before it is opened as the pressure builds up, to enable the process of primary fracturing through the CT - casing annulus. The tool string is landed in hole in one run, the number of fracturing stages is infinite, and the entire borehole is drifted after treatment. This paper systematically elaborates the technical principles, characteristic parameters, and operational procedures of this technology, and specifically introduces the structural design and working mechanisms of core tools including the infinite-stage switchable cemented sleeve, bidirectional-set packer, and sliding sleeve locator. Sealing performance and open/close operation reliability tests were conducted on the sliding sleeve. Test results show a pressure drop of 1 MPa after the sliding sleeve was applied with pressure rising from 0 to (rated) 70 MPa through a manual pressure test pump and then held for 30 min. When the annular pressure rose to 15 MPa, the sliding sleeve was successfully opened, and the number of opening and closing exceeded 15. The laboratory test results met the designed technical requirements. This technology was successfully applied in Well KHW8304 of the Xinjiang Oilfield, completing 13 stages of sleeve closing, 5 stages of sleeve opening, and 6 stages of fracturing operations cumulatively. The packer demonstrated reliable setting and smooth retrieval, achieving a 100% operational success rate. The maximum daily increment of oil was 8.3 tons, and the 71-day cumulative increment of oil reached 118.8 tons. The sliding sleeve could withstand a pressure difference of 70 MPa, corresponding to the hydraulic opening pressure of approximately 15 MPa in laboratory test and the measured opening pressure of 25.4 MPa on site. The process is superior for large displacement, post-frac full-hole drifting, and sufficient reservoir stimulation. This technology can enhance stimulation effectiveness and operational efficiency in multilayer fracturing, and provide a technical support for efficient development of the Xinjiang Oilfield.

Keywords: coiled tubing; fracturing with bottom packer; infinite-stage switchable cemented sleeve; packer; sleeve locator; multi-stage fracturing

0　引　言

随着我国低渗致密油气藏勘探开发力度不断加大，水平井分段多簇改造已成为提高单井产能的重要技术途径[1]。针对水平井的分段压裂需求，传统裸眼分段压裂技术多采用投球开启滑套的方式，其压裂级数受球座尺寸逐级递减的限制，且存在砂堵处理复杂、二次改造须钻磨球座、作业成本高及全井筒通径受限等问题[2]。为突破级数限制，射孔-桥塞联作压裂技术在水平井中逐步得到推广应用，可实现大液量、大排量施工和大规模加砂压裂[3-7]，但在非均质性较强的多层系储层中，各射孔簇进液不均现象突出，高破裂压力层段往往改造不充分，影响整体增产效果[8-14]。

斯伦贝谢、哈里伯顿等国际油服公司的同类产品多依赖投球或液压操控，且常需多次干预作业[15-17]。刘海龙等[18]研制了适用于ø139.7 mm套管的无限级固井滑套，室内试验表明其密封与开启性能良好，且结构简单、现场操作要求低。罗建伟等[19]设计了液压开启-机械关闭式固井滑套，有限元分析表明其关键部件可靠性高，高应力循环下耐久性突出。赵玉东[20]在大港油田采用连续管与固井滑套相结合的环空加砂压裂工艺，提高了多段压裂效率，改造更充分；与桥塞压裂相比，经济性和适应性更好。赵铭等[21]通过对比研究指出，国产无限级固井滑套压裂在保持全井筒通径和增强地层连通性方面优于国际主流多级射孔桥塞技术。然而，上述研究多侧重于单一规格滑套的性能验证或局部工艺改进，缺乏面向水平井低成本、规模化推广需求的系统化工具研发，配套工艺集成度不足等问题仍未得到有效解决。为此，笔者研制了一种连续管无限级开关固井滑套底封压裂工具，通过结构优化与工艺集成，降低工具成本，提升现场作业的便捷性与可靠性。所得结论可为连续管无限级开关固井滑套底封工具在新疆油田规模化应用提供技术支撑。

1　工艺原理及流程

1.1　工艺原理

与常规套管完井方式不同，连续管无限级开关固井滑套底封压裂技术是将全通径压裂滑套随套管入井后注水泥固井。压裂时通过连续管下入坐封拖动压裂工具串，将封隔器坐封在滑套内筒

上，环空憋压打开滑套，然后经连续管和套管环空进行主压裂，如图 1 所示。

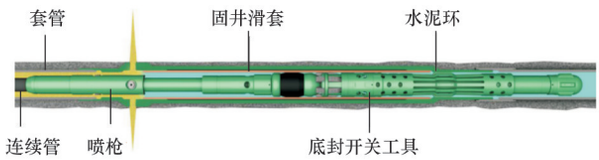


图 1　无限级开关固井滑套底封压裂技术示意图

Fig. 1　Illustration of infinite-stage switchable cemented sleeve fracturing with bottom packer

压裂完成后，通过环空泵注循环液，上提连续管使封隔器解封，继续拖动连续管完成其余各级滑套开孔及环空压裂作业。工具串一次入井，压裂级数不受限制，压后井筒保持全通径。该工艺采用的压裂工具串兼具喷砂射孔功能。若滑套因固井等无法打开，可采用喷砂射孔连通油气层后再进行压裂作业。

1.2　工艺流程

无限级固井滑套压裂工艺的具体作业流程如下。

（1）将压裂工具串与连续管连接，匀速下入井中。通过扶正器与定位器使工具串保持居中，根据下深、悬重变化确定井底位置。

（2）工具串触底后匀速上提，待定位器弹簧键嵌入滑套凹槽，悬重增加，即可确认滑套位置。

（3）缓慢下放工具串，封隔器卡瓦锚定于滑套内壁，继续下放使卡瓦撑开、胶筒受压密封，实现坐封。环空加压 15 MPa，推动滑套内筒下移，打开滑套端口，建立井筒-地层通道。该液压开启方式有效克服了水平段连续管自锁导致的下推不足问题。

（4）压裂时环空泵注压裂液，通过连续管实时监测井底压力，据此调整前置液规模、砂比及排量，提升施工成功率；低排量工况也可由连续管补液。

（5）施工结束后上提管柱解封封隔器，继续上提可关闭当前滑套，促使裂缝闭合、控制出砂。全部压裂完成后，工具串无需起出，可提至直井段剪断销钉，解除关闭功能，再下放逐级打开各滑套，即可投产。

2　关键工具研制

该工艺的井下工具包括无限级开关固井滑套和压裂工具串 2 部分。滑套作为套管串的一部分，与套管一同下入设计位置并参与固井，其内通径与套管一致，用于建立井眼与产层的压裂通道。下井前须向滑套内注入防固结剂，防止固井时水泥固结导致滑套无法开启。压裂工具串主要包括球座伸缩短节、喷射短节、循环阀、双向坐封封隔器及滑套定位器等部件，结构如图 2 所示。

压裂工具串技术参数如表 1 所示。

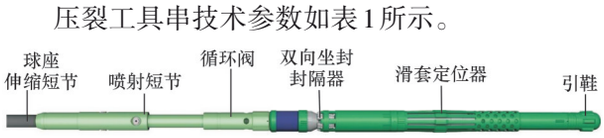


图 2　无限级固井滑套压裂管柱结构示意图

Fig. 2　Structure of the infinite-stage cemented sleeve fracturing string

表 1　压裂工具串技术参数

Table 1　Technical parameters of the fracturing tool string

序号	工具名称	工具扣型	外径/mm	长度/cm	累计长度/m
1	连接器	50.8 mm CT×63.5 mm SA Pin	77.8	21.0	0.21
2	丢手接头	63.5 mm SA Box×63.5 mm SA Pin	77.8	30.5	0.51
3	扶正器	63.5 mm SA Box×63.5 mm SA Pin	115.0	91.0	1.42
4	球座	63.5 mm SA Box×63.5 mm SA Pin	77.8	11.0	1.53
5	伸缩短节	63.5 mm SA Box×63.5 mm SA Pin	73.0	143.0	2.96
6	喷射短节	63.5 mm SA Box×63.5 mm SA Pin	77.8	15.0	3.11
7	循环阀	63.5 mm SA Box×60.325 mm SA Pin	77.8	82.5	3.94
8	双向坐封封隔器	60.325 mm SA Box×60.325 mm SA Pin	114.3	94.0	4.88
9	滑套定位器	60.325 mm SA Box×63.5 mm SA Box	130.0	70.0	5.58
10	加长短节	63.5 mm SA Pin×60.325 mm EUE Box	77.8	67.5	6.25
11	引鞋	60.325 mm EUE Box	115.0	16.0	6.41

2.1　无限级开关固井滑套

滑套可根据使用工况进行多次打开与关闭，其定位机构采用爪簧结构。下接头上端加工成爪簧，内筒下部外圆面加工有上、下 2 道环槽，爪簧与环槽相嵌，对内筒起轴向固定作用。爪簧头内侧上、下端均设有倒角。初始状态下，滑套关闭，爪簧嵌在滑套内筒下环槽内，其结构如图 3 所示。

其工作原理是：当内筒受轴向下推力时，爪

簧在环槽上斜面的挤压下张开，爪簧头外侧抵在滑套外筒内壁上。下推力足够大时，爪簧变形，内筒下行，爪簧头滑出下环槽；当内筒上环槽移动到爪簧头处时，爪簧弹力释放，爪簧头弹入上环槽内，实现滑套打开状态下的内筒定位；当内筒受拉时，内筒上行，爪簧头重新弹回下环槽。其工作原理如图4所示。

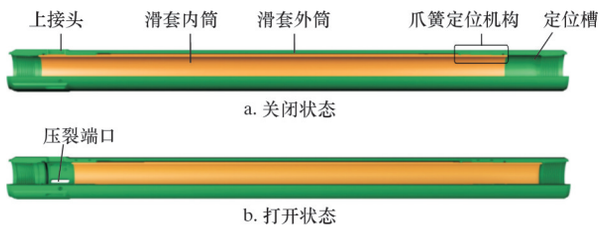


图3　无限级开关固井滑套结构示意图

Fig. 3　Structure of the infinite-stage switchable cemented sleeve

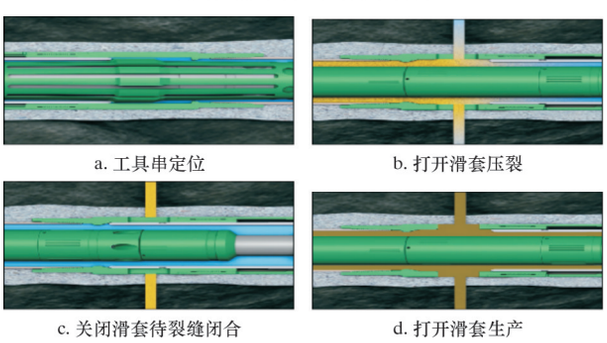


图4　无限级开关固井滑套工作原理

Fig. 4　Operating principle of the infinite-stage switchable cemented sleeve

2.2　双向坐封封隔器

双向坐封封隔器锚定在滑套内筒上，既是滑套开关的执行工具，也是级间隔离工具。其采用上、下双卡瓦设计与双限位弹簧结构，替代传统的单向卡瓦与限位环、复位弹簧结构，具备双向重复坐封能力，如图5所示。

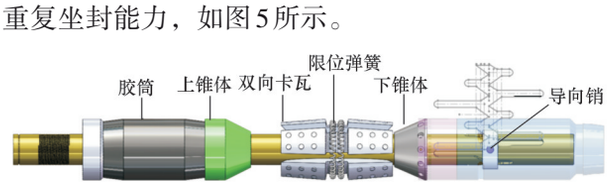


图5　双向坐封封隔器结构示意图

Fig. 5　Structure of the bidirectional-set packer

双向坐封封隔器工作原理是：工具串下至预定深度后，下放管柱，定位器弹簧键贴紧滑套内筒内壁，提供初始摩擦力；继续下放推动中心管下移，导向销进入上长轨槽，驱动上卡瓦撑开锚定，同时胶筒压缩实现密封，完成坐封（见图6a）。上提时导向销换向，封隔器解封；继续上提，导向销进入下长轨槽推动下卡瓦锚定（见图6b）。通过导向销在上、下短轨槽间换向，卡瓦脱离锥体，工具可自由下放或上提，从而实现双向坐封、锚定与循环动作（见图6c和图6d）。

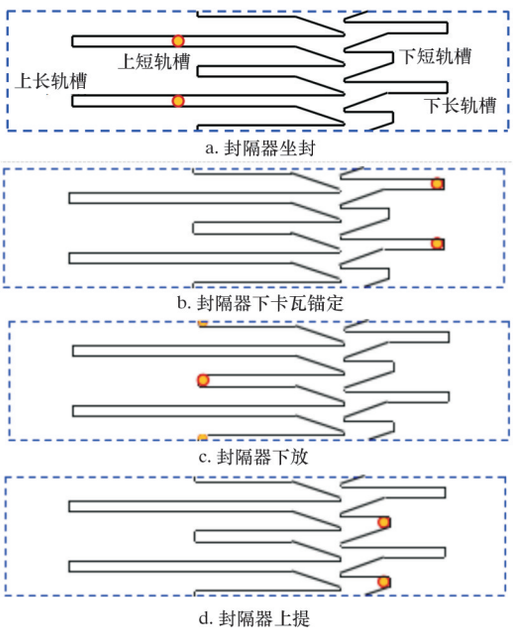


图6　双向坐封封隔器工作原理

Fig. 6　Operational principle of the bidirectional-set packer

2.3　滑套定位器

滑套定位器中部为凸台结构，本体上有沿周向均匀排布的宽缝，使凸台具有一定弹性，形成弹簧键，如图7所示。上提工具串时，弹簧键嵌入滑套底部凹槽内，连续管悬重增加，可准确判断封隔器已进入滑套内筒。定位器弹性可通过缝宽和缝长调整，易于控制。井内残留水泥对弹簧键变形影响较小，不易出现卡死现象，可靠性较高；同时弹簧键还能够为工具坐封提供摩擦力。

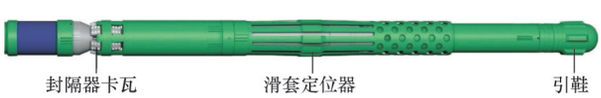


图7　滑套定位器结构示意图

Fig. 7　Structure of the sleeve locator

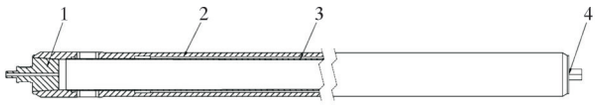
3　室内试验

现场试验前，须进行滑套的密封试验和开闭动作试验，以验证其密封承压能力与开闭性能的可靠性，保证现场安全施工作业。

3.1　滑套密封试验

3.1.1　试验方案

根据API Spec 6A要求对开关滑套进行密封性试验，加压设备采用手动试压泵，试验系统如图8所示。



1—密封测试接头；2—滑套外筒；3—滑套内筒；4—堵头。

图 8　滑套密封试验系统示意图

Fig. 8　Schematic diagram of the sliding sleeve sealing test system

3.1.2　试验流程

（1）采用高压堵头密封滑套一端，向滑套内注满清水。

（2）在滑套另一端安装高压密封测试接头。

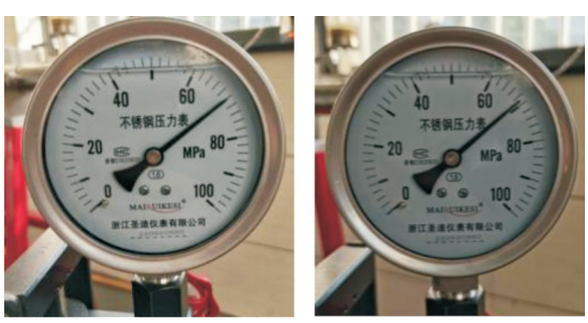
（3）通过试压泵对滑套加压，并监测压力变化。

（4）若试压过程中出现泄漏，则检查并调整密封组件重新试压，直至试压合格。

（5）试验结束，泄压后拆卸工装，设备复位。

3.1.3　试验结果

试验结果如图 9 所示。通过手动试压泵将滑套内压力从 0 升至额定工作压力 70 MPa，保压 30 min，压降为 1 MPa，表明滑套密封性能满足现场使用要求。



a. 保压前　　b. 保压后

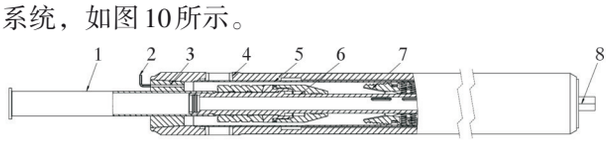
图 9　滑套保压前后压力对比

Fig. 9　Pressure of the sliding sleeve before/after pressure holding

3.2　滑套开闭动作试验

3.2.1　试验方案

为模拟封隔器的坐封、解封及环空加压过程，验证滑套的开闭性能，设计了滑套开闭室内试验系统，如图 10 所示。



1—拉杆；2—加压管线接头；3—密封套；4—滑套外筒；5—滑套内筒；6—中心杆；7—开启工具（局部）；8—堵头。

图 10　滑套开闭室内试验系统示意图

Fig. 10　Schematic diagram of the sleeve opening/closing test system

3.2.2　试验流程

（1）将滑套、封隔器及密封工装按标准装配后固定于液压工作台。

（2）通过液压工作台施加轴向推力，使封隔器达到设计坐封载荷。

（3）环空加压并监测压力变化，若压裂端口出现流体渗漏，停止加压。

（4）施加拉力解封封隔器，继续增大拉力，使滑套内筒上行至关闭位置。

（5）再次环空加压，记录压力变化，验证滑套关闭性能。

（6）系统泄压后拆卸工装，检查工具状态并复位设备。

3.2.3　试验结果

试验结果如图 11 所示。滑套在环空压力升至 15 MPa 时出现压力突降，同时压裂端口出现流体渗漏，表明滑套已成功开启；滑套关闭后重复加压至 15 MPa 时观测到相同特征的压降曲线，验证了滑套的可靠关闭功能。经多次重复试验，滑套开启与关闭次数均大于 15 次，性能稳定，达到设计要求，满足现场压裂作业需求。

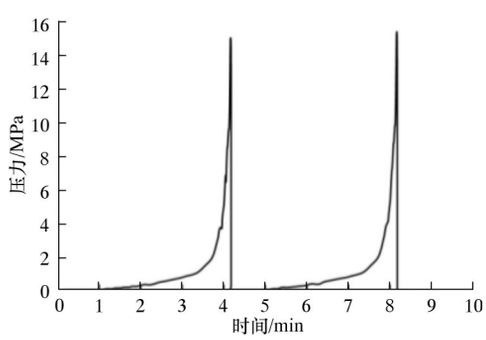


图 11　开关滑套开闭试验压力曲线

Fig. 11　Pressure variation in the switchable sliding sleeve opening/closing test

4　现场试验

4.1　KHW8304 井基本情况

KHW8304 井位于重油探区，人工井底为 4 710.48 m，造斜点为 2 850.00 m，水平段长 1 408.00 m，采用固井滑套完井。因邻井注 CO_2 窜层导致该井产量降至 0，按工艺要求关第 3~15 级滑套，压裂第 2~7 级滑套。压裂分段及滑套位置深度如表 2 所示。

表 2　KHW8304 井压裂分段及滑套位置深度

Table 2　Fracturing stages and sleeve depths for Well KHW8304

段数	底深/m	顶深/m	层厚/m	滑套端口深度/m	簇间距/m	工具底部深度/m	压裂规模/m^3
1	4 692.9	4 611.1	81.9	4 691.3	—	4 694.1	—
2	4 611.1	4 516.1	94.9	4 609.4	81.9	4 612.3	20
3	4 516.1	4 420.8	95.3	4 514.5	94.9	4 517.3	20
4	4 420.8	4 314.4	106.5	4 419.2	95.3	4 422.0	20
5	4 314.4	4 185.1	129.3	4 312.7	106.5	4 315.6	20
6	4 185.1	4 089.9	95.1	4 183.4	129.3	4 186.3	20
7	4 089.9	3 982.5	107.4	4 088.3	95.1	4 091.1	15
8	3 982.5	3 887.3	95.3	3 980.9	107.4	3 983.7	—
9	3 887.3	3 792.5	94.7	3 885.6	95.3	3 888.5	—
10	3 792.5	3 697.0	95.5	3 790.9	94.7	3 793.7	—
11	3 697.0	3 591.2	105.8	3 695.4	95.5	3 698.2	—
12	3 591.2	3 507.7	83.6	3 589.6	105.8	3 592.4	—
13	3 507.7	3 424.1	83.5	3 506.0	83.6	3 508.9	—
14	3 424.1	3 329.1	95.0	3 422.5	83.5	3 425.3	—
15	3 329.1	3 231.7	97.4	3 327.5	95.0	3 330.3	—

4.2　施工过程

4.2.1　关滑套作业

以第 4 级滑套为例（作业日期为 9 月 28 日，见图 12）：首先将管柱下放至指定层位，上提校深、找准滑套定位槽（a）；随后下放，将工具坐封于滑套内筒上（b）；上提连续管，下卡瓦张开，继续上提关闭滑套（c），此时悬重明显下降；继续下放连续管，若下放遇阻，则通过环空泵注助推下放（d）至下部套管位置；上提换轨（e），下放坐封（b），启泵验封（f）确认滑套关闭到位及密封良好；最后上提解封、换轨（g）。

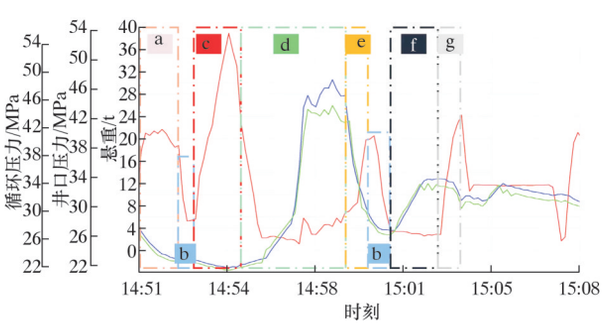


图 12　关滑套作业曲线

Fig. 12　Operation curve during sleeve closing

4.2.2　开滑套压裂作业

以第 4 级压裂为例（见图 13）：首先将管柱上提至指定层位，上提校深、找准滑套定位槽；随后下放，将工具坐封于滑套内筒上，环空加压 25.4 MPa，压力波动下降，表明滑套成功打开；压裂过程中，施工压力 42.00~58.13 MPa，破裂压力 58.13 MPa，停泵压力 23.5 MPa，加砂量 20 m^3，排量 4.0~4.5 m^3/min，总液量 301 m^3；施工结束后，上提连续管，下卡瓦张开，下放连续管进入下放轨，上提连续管进入上提轨，继续进行下一级校深。

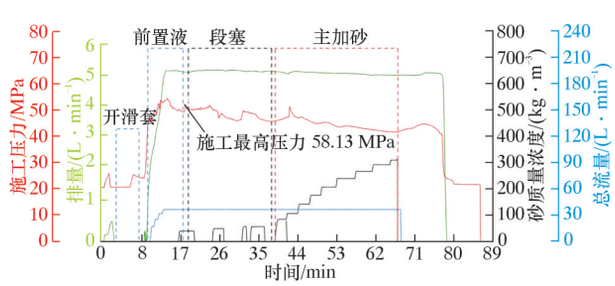


图 13　开滑套压裂施工曲线

Fig. 13　Fracturing curve during sleeve opening

4.3　实施效果评价

连续管无限级开关固井滑套底封压裂技术在新疆油田 KHW8304 井得到成功应用，现场共计关闭滑套 13 级、开启滑套 5 级、压裂 6 级，作业成功率高达 100%；截至目前，最高日增油 8.3 t，71 d 累计增油 118.8 t，压后生产情况如图 14 所示。现场应用效果良好。

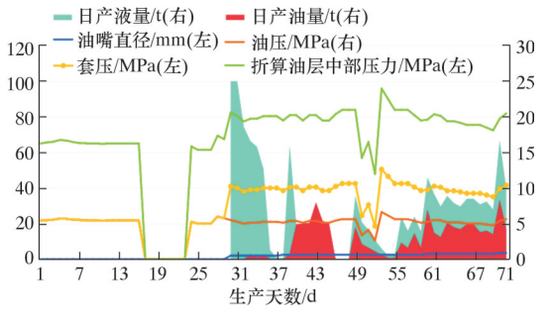


图 14　KHW8304 井压后生产曲线

Fig. 14　Post-frac production performance of Well KHW8304

5　结　论

（1）针对水平井分段压裂对可重复开关工具的需求，研制了无限级开关固井滑套及配套压裂工具串。滑套采用爪簧结构定位，内筒下部外圆面加工有上、下2道环槽，爪簧与环槽相嵌，对内筒起轴向定位作用；封隔器采用上下双卡瓦设计与双限位弹簧结构，实现双向重复坐封；滑套定位器中部为凸台结构，形成弹簧键，便于校深定位。

（2）室内试验结果表明，开关滑套通过手动试压泵压力从0升压至额定压力70 MPa，保压30 min，压降1 MPa，表明滑套密封性能达到设计要求；滑套在环空压力升至15 MPa时出现压力突降，同时压裂端口出现流体渗漏，表明滑套已成功开启；经多次重复试验，滑套开启与关闭次数大于15次，性能稳定，达到设计要求。

（3）连续管无限级开关固井滑套底封压裂技术在新疆油田KHW8304井得到成功应用，现场共计关闭滑套13级，开启滑套5级，压裂6级，作业成功率100%，截至目前最高日增油8.3 t，71 d累计增油118.8 t，现场应用效果良好。

（4）该滑套可承受70 MPa压差，室内液压开启压力约为15 MPa，现场实测开启压力25.4 MPa，具有施工排量大、压后井筒全通径及储层改造充分等优势，为致密油气藏高效开发提供了有效技术手段。

参　考　文　献

[1] 付玉坤，喻成刚，尹强，等. 国内外页岩气水平井分段压裂工具发展现状与趋势［J］. 石油钻采工艺，2017，39（4）：514-520.
Fu Yukun，Yu Chenggang，Yin Qiang，et al. Development status and trends of staged fracturing tools for shale gas horizontal wells at home and abroad［J］. Oil Drilling & Production Technology，2017，39（4）：514-520.

[2] 张鹏，程智远，刘志斌，等. 水平井裸眼分段压裂坐封球座的研制与应用［J］. 石油钻采工艺，2011，33（2）：131-132.
Zhang Peng，Cheng Zhiyuan，Liu Zhibin，et al. Development and application of open-hole staged fracturing ball seats for horizontal wells［J］. Oil Drilling & Production Technology，2011，33（2）：131-132.

[3] 周德华，焦方正，贾长贵，等. JY1HF页岩气水平井大型分段压裂技术［J］. 石油钻探技术，2014，42（1）：75-80.
Zhou Dehua，Jiao Fangzheng，Jia Changgui，et al. Large-scale staged fracturing technology for shale gas horizontal well JY1HF［J］. Petroleum Drilling Techniques，2014，42（1）：75-80.

[4] 雷林，张龙胜，熊炜，等. 武隆区块常压页岩气水平井分段压裂技术［J］. 石油钻探技术，2019，47（1）：76-82.
Lei Lin，Zhang Longsheng，Xiong Wei，et al. Staged fracturing technology for normal-pressure shale gas horizontal wells in Wulong block［J］. Petroleum Drilling Techniques，2019，47（1）：76-82.

[5] 郭新超，张新文，李勇龙，等. 多次开关循环堵漏工具的研制与应用［J］. 新疆石油天然气，2017，13（4）：79-81.
Guo Xinchao，Zhang Xinwen，Li Yonglong，et al. Development and application of a multi-cycle opening/closing lost circulation control tool［J］. Xinjiang Oil & Gas，2017，13（4）：79-81.

[6] 关皓纶，沈明，曹嘉. 新型水平井可开关固井压裂滑套研制［J］. 石油机械，2022，50（8）：33-39.
Guan Haolun，Shen Ming，Cao Jia. Development of a novel switchable cementing and fracturing sleeve for horizontal wells［J］. China Petroleum Machinery，2022，50（8）：33-39.

[7] 丁庆新，侯世红，杜鑫芳，等. 国内水平井压裂技术研究进展［J］. 石油机械，2016，44（12）：78-82.
Ding Qingxin，Hou Shihong，Du Xinfang，et al. Research progress on horizontal well fracturing technology in China［J］. China Petroleum Machinery，2016，44（12）：78-82.

[8] 孙鑫. 连续油管带底封喷砂射孔及无限级滑套分段压裂技术研究［D］. 成都：西南石油大学，2019.
Sun Xin. Research on coiled tubing-conveyed bottom-hole packer sand jetting perforation and infinite-stage sleeve staged fracturing technology［D］. Chengdu：Southwest Petroleum University，2019.

[9] 王汤. 连续油管无限级滑套分段压裂技术在页岩气开

发中的应用［J］. 江汉石油职工大学学报，2020，33（2）：26-28.
Wang Tang. Application of coiled tubing-conveyed infinite-stage sleeve staged fracturing technology in shale gas development［J］. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers，2020，33（2）：26-28.

［10］ 赵博. 连续油管开关套管滑套压裂工艺的应用探讨［J］. 云南化工，2021，48（5）：85-87.
Zhao Bo. Application study of coiled tubing-actuated casing sleeve fracturing technology［J］. Yunnan Chemical Technology，2021，48（5）：85-87.

［11］ 侯洪涛，邹群，段志刚，等. 先进的多层压裂技术［J］. 国外油田工程，2007，23（2）：7-10.
Hou Hongtao，Zou Qun，Duan Zhigang，et al. Advanced multi-layer fracturing technology［J］. Foreign Oilfield Engineering，2007，23（2）：7-10.

［12］ 刘巨保，黄茜，杨明，等. 水平井分段压裂工具技术现状与展望［J］. 石油机械，2021，49（2）：110-119.
Liu Jubao，Huang Qian，Yang Ming，et al. Status and prospects of multi-stage fracturing tools for horizontal wells［J］. China Petroleum Machinery，2021，49（2）：110-119.

［13］ 平恩顺，王林，解同川，等. 套管压裂井不压井完井工艺技术研究及应用［J］. 石油机械，2022，50（5）：113-118.
Ping Enshun，Wang Lin，Xie Tongchuan，et al. Research on snubbing completion technology for casing fracturing wells and its application［J］. China Petroleum Machinery，2022，50（5）：113-118.

［14］ Mauchien T，Kishore S，Olivio A，et al. Efficiently shifting sliding sleeves in extended reach horizontal wells with electric-line：a case study［C］//SPE/ICoTA Well Intervention Conference and Exhibition. The Woodlands，Texas：SPE，2021：SPE-204400-MS.

［15］ 张熙雯，张道鹏，潘勇. 投塞（球）式多次开关滑套的研制与应用［J］. 石化技术，2022，29（9）：55-57.
Zhang Xiwen，Zhang Daopeng，Pan Yong. Development and application of a multiple-switch sliding sleeve by pitching plug（ball）［J］. Petrochemical Industry Technology，2022，29（9）：55-57.

［16］ Yu J，Cao Y F，Ma Y W，et al. Numerical investigation of water-control performance of AICDs and intelligent sliding sleeve systems in offshore horizontal wells［C］//Offshore Technology Conference. Houston：OTC，2026：OTC-37120-MS.

［17］ Li Binwung，Wang Zhiming，Zeng Quanshu. A skin factor model of sliding sleeve and its production optimization［C］//International Petroleum Technology Conference. Dhahran：IPTC，2024：IPTC-23705-MS.

［18］ 刘海龙，陈刚，蒋建华，等. 无限级固井滑套分压技术现场实践与适用性分析［J］. 石油和化工设备，2023，26（1）：97-101.
Liu Hailong，Chen Gang，Jiang Jianhua，et al. Field practice and applicability analysis of infinite-stage cemented sleeve staged fracturing technology［J］. Petro-Chemical Equipment，2023，26（1）：97-101.

［19］ 罗建伟，刘鹏，霍宏博，等. 无限级压裂固井滑套及关闭工具的研制［J］. 石油机械，2020，48（6）：105-110.
Luo Jianwei，Liu Peng，Huo Hongbo，et al. Development of infinite-stage fracturing cemented sleeve and its closure tool［J］. China Petroleum Machinery，2020，48（6）：105-110.

［20］ 赵玉东. 连续油管+固井滑套分段压裂工艺应用研究［J］. 化工管理，2017（8）：52.
Zhao Yudong. Applied research on coiled tubing with cemented sleeve staged fracturing technology［J］. Chemical Enterprise Management，2017（8）：52.

［21］ 赵铭，王伟佳，刘洪彬，等. 国外页岩气井连续油管固井滑套压裂完井方式研究［J］. 钻采工艺，2017，40（2）：59-62.
Zhao Ming，Wang Weijia，Liu Hongbin，et al. Research on coiled tubing cemented sleeve fracturing completion methods for overseas shale gas wells［J］. Drilling & Production Technology，2017，40（2）：59-62.

第一作者简介：杨敏杰，助理工程师，生于1998年，2020年毕业于中国石油大学（北京）机械设计制造及其自动化专业，现从事储层改造工作。地址：（834000）新疆克拉玛依市。email：1416140431@qq.com。

通信作者：王　浩，工程师。email：13271782526@163.com。

修改回稿日期：2026-06-10

（本文编辑　刘海森）