

# 双封隔器卡封气层工艺在乍得项目的应用

石李保<sup>1</sup>, 曲兆峰<sup>2</sup>, 刘丰伟<sup>3</sup>, 杨姝<sup>1</sup>, 常鑫<sup>1</sup>, 任源峰<sup>1</sup>

1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083

2. 中国石油乍得公司 北京 100034

3. 中国石油玉门油田乍得分公司 甘肃酒泉 735200

通讯作者: Email: shilibao@petrochina.com.cn

项目支持: 中国石油乍得公司勘探开发项目“乍得潜山及上覆砂岩油藏钻完井配套技术研究与支持”(PO2023000249)

引用: 石李保, 曲兆峰, 刘丰伟, 等. 双封隔器卡封气层工艺在乍得项目的应用[J]. 油气井测试, 2025, 34(2): 16-22.

Cite: SHI Libao, QU Zhaofeng, LIU fengwei, et al. Application of dual-packer gas zone isolation technology in Chad project[J]. Well Testing, 2025, 34(2): 16-22.

**摘要** 针对中石油乍得项目L与CN油田因上部高压高产气层干扰导致油层产能骤降的问题, 本文通过对比现有封堵工艺的优缺点, 提出并验证了双封隔器卡封气层工艺的可行性。通过集成Y445/Y341封隔器组合、油管补偿器及定压球座工具, 优化管柱结构设计, 解决了传统工艺的不足, 实现管柱结构简单、工艺可靠、有效期长、作业成本低、不污染气层的目标, 有效提高了作业效率和降低了作业安全风险。L-1井应用该工艺使日产油量提升95倍, 气油比从 $18\ 122\ \text{m}^3/\text{m}^3$ 降至 $198\ \text{m}^3/\text{m}^3$ , 验证了该工艺的可行性, 为类似油藏开发提供了重要参考。

**关键词** 气层封堵; 双封隔器; 油管补偿器; 井下作业; 乍得项目; 气油比

中图分类号: TE34 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2025.02.003

## Application of dual-packer gas zone isolation technology in Chad project

SHI Libao<sup>1</sup>, QU Zhaofeng<sup>2</sup>, LIU Fengwei<sup>3</sup>, YANG Shu<sup>1</sup>, CHANG Xin<sup>1</sup>, REN Yuanfeng<sup>1</sup>

1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China

2. CNPC Chad Company, Beijing 100034, China

3. Chad Branch Company, PetroChina Yumen Oilfield Company, Jiuquan, Gansu 735200, China

**Abstract:** To address the sharp decline in oil production in the L and CN oilfields of PetroChina's Chad project, caused by interference from overlying high-pressure, high-productivity gas zones, the feasibility of a double-packer gas zone isolation technique was proposed and validated. By integrating Y445/Y341 packer combinations, tubing compensators, and constant-pressure ball seat tools, the design of tubing string was optimized, overcoming the shortcomings of conventional techniques. After optimization, this design can achieve a simplified string structure, enhanced operational reliability, extended effective service life, reduced operating costs, and minimized gas zone contamination, significantly improving operational efficiency while reducing safety risks. The application of this technique in well L-1 achieved a 95-fold increase in daily oil production and a reduction in the gas-oil ratio from  $18\ 122\ \text{m}^3/\text{m}^3$  to  $198\ \text{m}^3/\text{m}^3$ , thereby confirming the effectiveness of this method. The results provide a valuable reference for the development of similar reservoirs.

**Keywords:** gas zone isolation; double packer; tubing compensator; downhole operation; Chad project; gas-oil ratio

中石油乍得项目的L和CN油田主力油层上部均发育一套高压高产气层<sup>[1-2]</sup>, 部分井因试油或作为气源井生产时打开了上部气层。当需要恢复下部主力油层生产时, 若不封闭上部高压气层, 产出流体以气为主, 原油产量突降, 气层严重影响油层产能。如L-1井, 油层投产初期日产油 $157\ \text{m}^3/\text{d}$ , 日产气 $8\ 213\ \text{m}^3/\text{d}$ ; 打开气层后, 油气层同时生产, 日

产油 $5\ \text{m}^3/\text{d}$ , 日产气 $70\ 752\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

为了解除气层对主力油层生产的干扰, 现场采用挤水泥方式对L-1、L-5井气层进行封堵, 投产不足1个月封堵均失效, 因高产气量被迫关井。分析挤水泥工艺存在的缺点有: 作业质量难以控制, 有效时间短, 需要重复多次作业; 施工工序复杂, 作业时间长; 对气层造成不可逆转的污染伤害, 难以再

次恢复利用;易造成卡钻、插旗杆、灌香肠等恶性工程事故<sup>[3]</sup>。

目前,对已射孔的油、气、水层进行封堵,主体工艺技术有挤水泥<sup>[4-5]</sup>、桥塞、过电缆封隔器封堵气层+宽幅电泵生产、封隔器卡封、套管补贴<sup>[6-7]</sup>等工艺。但分析这些工艺,无论从工艺风险性、有效性、成本、安全井控,还是气层再利用角度考虑,都存在一定的缺陷。

双封隔器卡封气层工艺尚未见诸报道,但双封隔器卡水工艺已经比较成熟,并在一些油田得到了应用<sup>[8-10]</sup>。调研各油田油井双封隔器卡水工艺现状,大部分采用两级液压坐封式封隔器,或采用一级液压坐封式封隔器和一级机械式坐封封隔器组合形式。应用较多的有Y441和Y341封隔器组合、Y445和Y341封隔器组合等。由于液压封隔器在坐封时需要6~10 MPa启动压力,会使两级封隔器之间的连接管柱被拉伸,其拉伸应力在30~45 kN范围内。由于封隔器坐封时拉伸应力的作用,以及两级封隔器之间的连接管柱因井下温度和压力变化引起的伸缩,会导致封隔器密封性变差甚至失封。在生产过程中表现为卡水初期有效果,投产逐渐见水,甚至完全失去卡水效果。在常用双封隔器卡水管柱中,选用了一种液压卸力器工具,较好解决了封隔器坐封时拉伸应力以及油管由于压力或温度变化等引起的伸缩问题<sup>[11-14]</sup>。

双封隔器卡封气层工艺借鉴双封隔器卡水工艺,根据气层及乍得项目应用特点,对工具和管柱进行了改进和优化,使管柱结构简单、工艺可靠、有效期长、作业成本低、不污染气层,可以有效提高作业效率和降低作业安全风险。

## 1 双封隔器卡封气层方案

双封隔器卡封气层工艺优选了封隔器、油管补偿器和定压球座等工具组成的作业管柱,采取逐级坐封、逐级验封的工艺流程。根据油藏条件和应用工况,对入井封隔器进行改进,引入了油管补偿器,并对各工具的施工参数进行了设计。为保证工艺的具体实施,制定了施工工序要点,充分体现出工艺特点和技术优势。

### 1.1 工艺原理及流程

#### (1) 工艺原理

双封隔器卡封气层管柱主要由油管、校深短节、上封隔器、油管补偿器、下封隔器、尾管和定压

球座等工具组成(见图1)。其工艺原理为:下封隔器坐封于待封堵气层的底部,上封隔器坐封于待封堵气层顶部的井筒内,形成密闭环形空间封堵气层产出天然气进入井筒内。下封隔器和上封隔器之间由油管连接,为下部油层的油流提供产出通道。坐封试压合格,丢手后取出上部油管串,下入电泵至上封隔器之上井段设计位置进行采油。

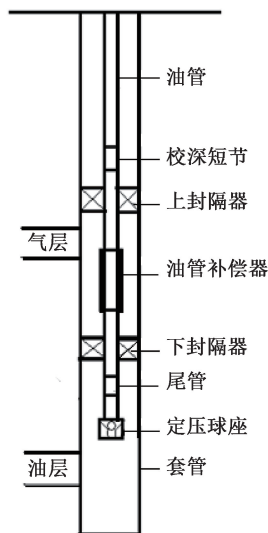


图1 双封隔器卡封气层原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the principle of sealing the gas layer with double packer

#### (2) 工艺流程

双封隔器卡封气层工艺流程是:将双封隔器卡封气层管柱下至待封隔气层深度位置,正打压座封下封隔器、释放油管补偿器、继续打压蹩掉定压球座滑套,对下封隔器验封;再投球正打压座封上丢手封隔器,反试压对丢手封隔器验封,验封合格后,蹩掉丢手。起出工具送井管柱,下入投产管柱进行生产。需要将井内的丢手封隔器解封、取出时,应下入管柱连接对应型号的专用配套解封取出工具。

### 1.2 工艺设计要求

#### (1) 油藏条件的确定

由于双封隔器卡封气层厚,泵只能下到上封隔器顶端附近,即气层顶部位置,为了能满足泵正常工作,确定采用该工艺之前,需要对油藏压力、供液能力进行评估,确保动液面位于上封隔器顶部井段一定高度,满足泵工况设计要求的沉没度需求<sup>[15-18]</sup>。

#### (2) 封隔器选择

可应用于该项工艺的封隔器种类很多,推荐应用上封隔器为Y445与下封隔器为Y341的组合形式。这两种封隔器工艺成熟,Y445封隔器双向卡瓦

防止上顶和下沉,丢手皮碗防止封隔器沉积泥砂被卡;Y341封隔器密封性好,便于解封;工具可以回收再利用,降低使用成本。

### (3) 油管补偿器的应用

油管补偿器的选用主要用于消除管柱应力,可防止管柱随井下温度、压力变化伸缩、蠕动,造成封隔器胶筒位移,错开隔层或与套管内壁磨损失效,延长封隔器胶筒工作寿命。同时,可增加封堵井段跨度,可使封堵井段跨度最大增加到500 m。油管补偿器的伸缩补偿距根据管柱长度、温度及压力变化计算出管柱伸缩范围来确定,在应用案例中,选择伸缩补偿距1500 mm,足以满足需求。

### (4) 各工具施工参数的确定

为了保证各级封隔器能逐级坐封和逐级验封,对下封隔器坐封压力、油管补偿器释放压力、定压球座打开压力、下封隔器验封压力、丢手封隔器坐封压力、丢手封隔器验封压力及丢手压力的设定。一般根据具体情况,压力由小到大呈阶梯型设定,各压力级差满足操作要求。例如,下封隔器坐封压力、油管补偿器释放压力为12 MPa,定压球座打开压力为17 MPa,丢手封隔器坐封压力为22 MPa,丢手封隔器丢手压力为27 MPa。下封隔器和丢手封隔器验封压力一般设定在10~15 MPa。

## 1.3 工艺特点

双封隔器卡封气层工艺具有以下特点:

(1) 根据卡封气层的需要,可使用可两级或多级封隔器,液压封隔器用于直井及大斜度斜井。

(2) 可实现多级封隔器逐级坐封、逐级验封,及时准确掌握各级封隔器密封性。

(3) 上封隔器采取双向卡瓦锚定结构,防止封隔器上顶和下沉,从而增加了上双封隔器封卡强度。

(4) 上封隔器丢手皮碗防止封隔器沉积泥砂被卡。

(5) 上下两个封隔器之间的油管补偿器可以保证封隔器长期密封,封堵井段最大跨度为500 m。

(6) 卡封工艺不影响下步其它作业,如起出卡封管柱,下顶封压裂改造油层等。

(7) 工作压差大、不受温度和压力变化的影响。

(8) 工艺相对简单,工具结构合理、可靠,封得住、稳定性好,封隔器不易被卡。

(9) 封堵有效期长,增产效果好。

(10) 不污染伤害气层,起出卡封管柱,气层可再次利用。

(11) 方便可取式结构,工具可以回收再利用,使用成本低。

## 1.4 施工工序要点

(1) 通井、刮削:按要求对套管进行通井、刮削,并彻底洗井。

(2) 管柱组配:按照丢手封隔器卡点距气层顶界5~15 m,下封隔器卡点距气层底界5~15 m,并且坐封位置避开套管接箍。

(3) 下入管柱:下入油管底部带双封隔器卡封气层管柱至设计深度,气层与油层夹层较薄时需要进行校深。

(4) 下封隔器坐封、油管补偿器释放、定压坐封球座打开:将压井液灌满井筒,根据下封隔器设定的坐封压力,油管正打阶梯压2~3个点,每个点稳定5~10 min,下封隔器坐封完成,油管补偿器释放;继续打压至定压坐封球座设定压力,井口压力突降,打开定压坐封球座滑套。

(5) 下封隔器验封:向油管泵注压井液并打压,因下封隔器下部油层已射孔,验封压力以油层吸水压力为参考,观察套管无返液为合格。

(6) 丢手封隔器坐封:向油管内投坐封球,待钢球自然下落或泵入压井液送球到位;根据丢手封隔器设定的坐封压力,油管正打阶梯压2~3个点,每个点稳定5~10 min,丢手封隔器坐封完成。

(7) 丢手封隔器验封:油管缓慢泄压并保持在15 MPa,套管打压10 MPa,稳压10 min,压力不降为合格。

(8) 丢手封隔器丢手:套管缓慢卸压至0,油管继续加压至丢手封隔器设定的丢手压力,油管压力突降,套管返液,实现丢手封隔器丢手,使上皮碗打开密封。

(9) 油层生产:起出工具送井油管,下入生产管柱对油层生产,要求生产管柱最大下深距丢手封隔器顶部5~10 m。

(10) 解封、取出:需要将井内的封隔器解封、取出时,应下入管柱连接对应型号的专用配套解封取出工具;解封取出工具下至封隔器鱼顶1 m左右时,开泵冲洗鱼顶杂质,以便于封隔器解封;缓慢接触鱼顶并加压30~50 kN,当解封工具捞上丢手封隔器后,持续上提解封胶筒以及卡瓦,实现丢手封隔器解封;继续上提管柱,下封隔器解封。

## 2 双封隔器卡封气层主要工具

双封隔器卡封气层主要井下工具有Y445封隔

器、Y341封隔器、油管补偿器和定压球座。以下工具其结构、工作原理及技术参数满足本项工艺及应用案例的要求。

## 2.1 Y445封隔器

### (1)主要结构

Y445型封隔器主要由液压坐封及丢手、密封、锚定、自锁锁定机构等构成,并装有反循环通道等。液压坐封及丢手机构由丢手外筒、钢球、球座、丢手活塞、坐封活塞、坐封剪钉、缸套、连接头等部件组成,是封隔器坐封的动力机构;密封机构由内外中心管、密封胶筒等部件组成,是封隔器密封的关键部件;锚定机构由下锥体、卡瓦、卡瓦弹簧等部件组成,坐封后锚定在套管上。自锁锁定机构由锁紧螺纹、锁块、锁环等组成,坐封后锁定整个封隔器,确保密封与固定。

### (2)工作原理

当Y445封隔器下到设计深度,在管内加液压,推动坐封活塞剪断坐封剪钉,带动缸套推动锚定机构张出卡瓦锚定在套管上;同时,坐封机构下拉外中心管与丢手套,压缩胶筒并使其径向胀大与套管形成密封,各零件的位移被锁环锁定,完成坐封。继续向油管内加液压,丢手活塞剪断丢手剪钉下行,让出上接头下端的锁爪位,上提管柱带出球座与钢球完成丢手。需要解封时,下捞矛捞住丢手套后上提,内中心管剪断解封剪钉上行,锁块让位,坐封机构、下锥体与卡瓦接连失去支撑,继续上提胶筒释放,完成解封。

(3)主要技术参数(以本应用案例Y445-114封隔器为例)

最大外径114 mm;适用套管内径121.4~124.3 mm;最小内径50 mm;工作压力35 MPa;最大适用温度120℃;坐封压力22 MPa;坐封丢手球直径28 mm;丢手压力28 MPa;解封载荷60~80 kN;扣型73 mm EUE。

## 2.2 Y341封隔器

### (1)主要结构

Y341封隔器主要由上接头、下接头、内外芯管、活塞、胶筒密封组件、锁定装置、解封机构等组成。

### (2)工作原理

Y341封隔器采用从油管内加压、液压坐封、上提管柱解封方式。油管打压,液压推动上活塞使其轴向移动,带动锁套上行剪断坐封剪钉,同时压缩胶筒,胶筒产生弹性变形径向扩张,使胶筒贴紧套

管内壁形成密封。继续向油管施加压力,此时锁套与卡瓦互相咬合锁定,完成封隔器坐封。

上提管柱解封时,内芯管拉动下接头上行解除锁定机构。胶筒因失去轴向压缩力,在上提管柱与套管产生的摩擦力与胶筒自身的弹性作用下迅速回弹,胶筒恢复原来形态,完成封隔器的解封过程。

(3)主要技术参数(以本应用案例Y341-114封隔器为例)

最大外径114 mm;适用套管内径121.4~124.3 mm;最小内径58 mm;工作压力35 MPa;最大适用温度120℃;坐封压力12 MPa;解封载荷40~60 kN;扣型73 mm EUE。

## 2.3 油管补偿器

### (1)主要结构

油管补偿器主要由上接头、伸缩内管、限位销钉、伸缩外管、锁块支架、内管头、释放筒、释放销钉、中心管、密封圈、下接头等组成。

### (2)工作原理

油管补偿器下井时,伸缩内管与伸缩外管由锁块锁紧,此时释放销钉不承受拉力,故伸缩内管与伸缩外管之间不会产生相对运动。

当需要伸缩器启动时,只需要油管内加压16~18 MPa时,压力推动滑套剪断释放销钉,此时滑套移动释放锁块,锁块失去锁定后在推力的作用下脱出,从而伸缩内管与外管被释放。当补偿器受到拉力时即可伸长。

因上、下封隔器座封后胶筒紧贴套管壁,与套管相对不动。当两封隔器中间的管柱因压力和温度变化引起伸缩时,由于油管伸缩补偿器的伸缩内管与伸缩外管通过接头与封隔器联在一起,伸缩内管与伸缩外管将相对移动,作用在封隔器上的移动量被油管补偿器所补偿。管柱内的压力或温度变化,不会造成封隔器上下移动,保证其具有较好的密封效果。

### (3)主要技术参数

最大外径110 mm;最小内径55 mm;工作压力35 MPa;最大适用温度120℃;释放压差12~15 MPa;伸缩补偿距1500 mm;极限载荷640 kN;扣型73 mm EUE。

## 2.4 定压球座

### (1)主要结构

定压球座主要由主体、钢球、密封圈、滑套、剪切销钉等组成。

## (2) 工作原理

定压球座分为带球篮和不带球篮两种。不带球篮球座滑套打掉后落入井底,管柱形成全通径,用于人工井底为水泥面或后期不需要打捞封隔器、桥塞的井。带球篮球座用于人工井底为后期需要打捞封隔器、桥塞及其它井下工具的井,滑套打掉后落入球篮,防止底部封隔器、桥塞打捞困难。定压球座与下封隔器配套使用,油管内打压至下封隔器坐封压力,坐封下封隔器,再继续升压至定压球座释放压力,剪断剪切销钉,滑套和钢球一并落入球篮中。

## (3) 主要技术参数

最大外径 94 mm;最小内径 38 mm;工作压力 35 MPa;最大适用温度 120 ℃;坐封球直径 41.275 mm;设定开启压差 18 MPa;扣型 73 mm EUE。

## 3 双封隔器卡封气层工艺在 L-1 井应用

根据双封隔器卡封气层方案,对所需井下工具进行了定制,并在乍得项目 L 油田的 L-1 井应用,施工工艺获得成功,取得了较好的增产效果。

### 3.1 L-1 井简况

L-1 井是一口位于 L 油田的生产井,完钻井深 1 445 m,井型为直井,D139.7 mm 油层套管(N80×7.72 mm)下至 1 442.71 m,人工井底 1 332.39 m。气层 1 位于 1 124.76~1 128.36 m,气层 2 位于 1 184.05~1 236.95 m,气层压力系数为 1.194;主力油层位于 1 282.46~1 330.16 m,油层压力系数为 1.025。

主力油层投产前,对试油期间射孔的气层 1 和气层 2 进行了挤水泥封堵,初期日产油量 157 m<sup>3</sup>/d,气油比 52 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,生产 15 个月后,日产油量降至 86 m<sup>3</sup>/d,气油比上升至 223 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>。随即对气层 1 和气层 2 进行验封,证实前期的水泥封堵失效,重新挤水泥封堵,作业后日产油量恢复至 106 m<sup>3</sup>/d,气油比降至 66 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>。继续生产 26 个月后,日产油量下降至 64 m<sup>3</sup>/d,气油比 58 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,考虑到油田自发电用电量供应不足,计划射开气层 2 实施油气同采,保障油田用气的同时稳定油田原油产量,设计作业后日产油量 60 m<sup>3</sup>/d,日产气量 40 000 m<sup>3</sup>/d,由于气层的干扰,油层原油日产量仅 9 m<sup>3</sup>/d 且快速降至 5 m<sup>3</sup>/d,日产气量 56 300 m<sup>3</sup>/d 且快速上升至 70 700 m<sup>3</sup>/d。

迫于原油产量压力,生产 2 个月后,决定将气层 2 进行封堵,恢复主力油层生产。对气层 2 进行挤水泥封堵作业后,虽然原油日产量从 5 m<sup>3</sup>/d 上升至 15 m<sup>3</sup>/d,但日产气量依然高达 22 175 m<sup>3</sup>/d,气油比高达 1 457 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,封堵失败。保持该状态生产 15 个月后,日产气量降至 14 000 m<sup>3</sup>/d,日产油量 0.77 m<sup>3</sup>/d,气油比 18 000 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>;为恢复该井原油产量,决定采用双封隔器对气层进行彻底封堵,恢复下部主力油层产能。

### 3.2 作业简况

为确保双封隔器卡封气层后,满足下电泵生产需求,首先对该井油藏供液能力和动液面进行分析。该井计划封堵气层段位于 1 120~1 192 m,长度 72 m,原动液面位于 900 m,封堵后电泵可下至 1 100 m,沉没度 220 m,满足生产要求。

2024 年 11 月 10 日下入双封隔器卡封气层管柱,管柱结构(自下而上):定压球座+D73 mm 油管 1 根+Y341-114 封隔器+1 根短节+D73 mm 油管 1 根+油管补偿器+油管短节 1 根+D73 mm 油管 6 根+3 根短节+Y445-114 封隔器+短节 5 根+D73 mm 油管(见图 2)。

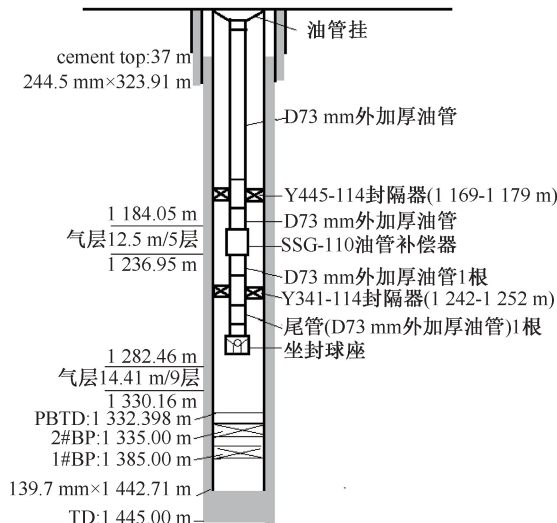


图 2 L-1 井双封隔器卡封气层管柱结构图  
Fig. 2 Structure diagram of the gas string stuck by the double packer in well L-1

Y341 封隔器坐封:管线试压合格后,油管分别打压至 6.2 MPa、8.1 MPa、10.2 MPa、12.4 MPa,各稳压 5 min 压力不降,当继续打压至 14.5 MPa 时,压力突然降至 7.3 MPa。打入清水 100 L,继续升压至 18 MPa,放压返出清水 80 L,套管不返水,经判断球座滑套已打掉,Y341 封隔器验封合格。

Y445 封隔器坐封:油管分别打压至 7.1 MPa、

10.5 MPa、12.5 MPa、15.3 MPa、20.3 MPa,各稳压5 min,压力不降。继续打压至24.0 MPa时,压力突然降至0,环空修井液返出,判断Y445封隔器已丢手。经过抽汲验封,证实上、下封隔器密封。起出丢手坐封工具。

### 3.3 作业效果分析

L-1井双封卡气后于2024年11月15日下入电

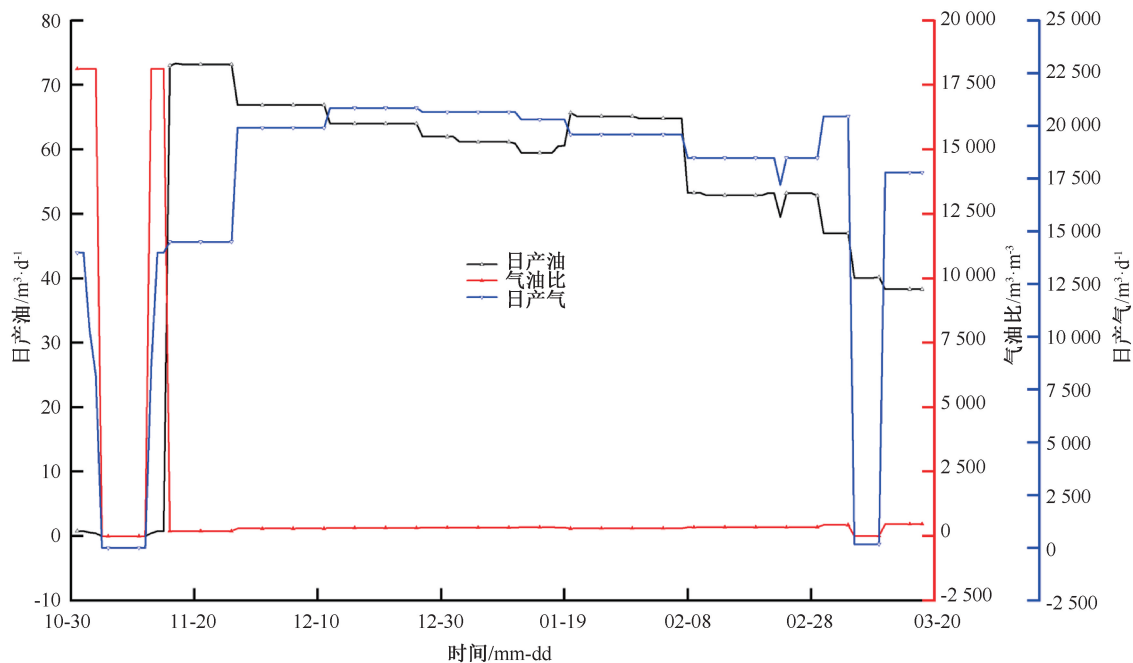


图3 L-1井双封隔器卡封气层后生产曲线

Fig. 3 Production curve of well L-1 with double packers stuck in the reservoir

## 4 结论

(1) 双封隔器卡封气层工艺采取上封隔器为Y445与下封隔器为Y341的组合形式,可实现多级封隔器逐级坐封、逐级验封,可用于直井及大斜度斜井气层卡封。Y445封隔器双向卡瓦防止上顶和下沉,丢手皮碗防止封隔器沉积泥砂被卡;Y341封隔器密封性好,便于解封。

(2) 封隔器间的油管补偿器用于消除管柱应力,防止管柱随井下温度、压力变化伸缩、蠕动,造成封隔失效。同时,可增加封堵井段跨度,可使封堵井段跨度最大增加到500 m。

(3) 工艺相对简单,工具结构合理、可靠,封得住、稳定性好,工具可以回收再利用,使用成本低。同时,不污染伤害气层,起出卡封管柱,气层可再次利用。

(4) 双封隔器卡封气层工艺经过在L-1井应用,已正常生产123 d,平均日产油 $60 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平均气

泵生产,日产油量由作业前的 $0.77 \text{ m}^3/\text{d}$ 上升至 $73.21 \text{ m}^3/\text{d}$ ,气油比由作业前 $18122 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 下降至 $198 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,日产油量增加95倍,气油比降低91倍(见图3)。截止2025年3月17日,L-1井已正常生产123 d,平均日产油 $60 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平均气油比 $312 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。双封隔器卡封气层工艺获得成功,验证了该工艺的可行性及可靠性。

油比 $312 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,日产油量增加95倍,气油比降低91倍。作业后油层恢复了正常生产,验证了工艺的可行性和可靠性。

致谢:感谢中国石油乍得公司同意论文的发表。

### 参考文献

- [1] 罗淮东,文光耀,石李保,等.乍得邦戈尔盆地钻完井及试修技术[M].北京:科学出版社,2017:1-301.
- [2] 孙云鹏,罗淮东,曲兆峰,等.乍得潜山油藏裸眼试油技术[J].油气井测试,2019,28(2):27-32.  
SUN Yunpeng, LUO Huaidong, QU Zhaofeng, et al. Oil testing technology for open hole in buried hill reservoir, Chad [J]. Well Testing, 2019, 28(2):27-32.
- [3] 黎洪珍,刘畅,张健,等.老井封堵技术在川东地区储气库建设中的应用[J].天然气工业,2013,33(7):63-67.  
LI Hongzhen, LIU Chang, ZHANG Jian, et al. Application of old well plugging to the construction of underground gas storage in the eastern Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(7):63-67.
- [4] 肖国华,王玲玲,邱阳旺,等.储气库特深井高温封堵工艺技术研究及应用[J].石油机械,2023,51(12):106

- 111.  
XIAO Guohua, WANG Lingling, QIU Yiwang, et al. Research and application of high temperature sealing technology for ultra-deep wells in gas storage [J]. China Petroleum Machinery, 2023, 51(12):106-111.
- [5] 王超, 王野, 任强, 等. 超细水泥在储气库老井封堵中的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(5):54-56.  
WANG Chao, WANG Ye, REN Qiang, et al. Research and application of superfine cement in job of old well plugging back in underground gas storage facilities [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(5):54-56.
- [6] 强杰, 齐月魁, 刘雪光, 等. 膨胀管补贴技术在大港油田的应用研究[J]. 石油机械, 2021, 49(9):105-112.  
QIANG Jie, QI Yuekui, LIU Xueguang, et al. Research on the application of expansion pipe patch technology in Dagang oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2021, 49(9):105-112.
- [7] 李宝军. 膨胀管补贴技术在青海油田的应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(4):43-44.  
LI Baojun. Application of expanding tube in Qinghai oilfield [J]. Well Testing, 2013, 22(4):43-44.
- [8] 曾凡智, 杨振威, 孙海林. 新型双封隔器卡水工具[J]. 油气井测试, 2005, 14(3):64-65.  
ZENG Fanzhi, YANG Zhenwei, SUN Hailin. New type of blocking water tool with double packers [J]. Well Testing, 2005, 14(3):64-65.
- [9] 常会军, 谢圣龙, 李明琴, 等. 水力压缩式封隔器卡水管柱在抽油井上的应用[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(5):58-59.  
CHANG Huijun, XIE Shenglong, LI Mingqin, et al. Application of hydraulic compression packer stuck water string in pumping wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(5):58-59.
- [10] 赵仲浩, 程心平, 郑金中. 海上油田用 Y445-210 型丢手悬挂封隔器研制[J]. 石油矿场机械, 2014, 43(10):70-72.  
ZHAO Zhonghao, CHENG Xinping, ZHENG Jinzhong. Research of new Y445-210 hook wall packer used in offshore oilfield [J]. Oil Field Equipment, 2014, 43(10):70-72.
- [11] 罗淮东, 景宁, 石李保, 等. 乍得潜山钻井配套技术研究与应用[J]. 石油机械, 2017, 45(5):42-46.  
LUO Huaidong, JING Ning, SHI Libao, et al. Research and application of buried hill drilling technology in Chad [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(5):42-46.
- [12] 尹明, 金文刚, 李翠英, 等. KSL-114 型管柱伸缩补偿器的研制与应用[J]. 石油矿场机械, 2001, 30(增刊1):91-92.  
YIN Ming, JIN Wengang, LI Cuiying, et al. Development and application of model KSL-114 pipe string telescopic compensator [J]. Oil Field Equipment, 2001, 30(Suppl. 1):91-92.
- [13] 石爱华, 马志建, 郭文军, 等. 管柱伸缩补偿器的研制与应用[J]. 钻采工艺, 2004, 27(2):70-71.  
SHI Aihua, MA Zhijian, GUO Wenjun, et al. Development and application of the pipe string telescopic compensator [J]. Drilling & Production Technology, 2004, 27(2):70-71.
- [14] 刘建. 新型管柱伸缩补偿器在深层分层压裂中的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2007(8):194-195.  
LIU Jian. Application of new string expansion compensator in deep stratified fracturing [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2007(8):194-195.
- [15] 冯彬. 海上油田电潜泵生产封隔器解卡打捞技术[J]. 油气井测试, 2015, 24(6):57-59.  
FENG Bin. Free fishing technology of electric submersible pump production packer on offshore oilfield and its application [J]. Well Testing, 2015, 24(6):57-59.
- [16] 马宏伟, 焦明远, 王新志, 等. 套变井高膨胀比封隔器卡堵水技术研究及应用[J]. 石油矿场机械, 2019, 48(3):39-43.  
MA Hongwei, JIAO Mingyuan, WANG Xinzhi, et al. Research and application of high expansion ratio packer multistage sealing in casing deformation wells [J]. Oil Field Equipment, 2019, 48(3):39-43.
- [17] 王克林, 刘洪涛, 何文, 等. 库车山前高温高压气井完井封隔器失效控制措施[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(2):61-66.  
WANG Kelin, LIU Hongtao, HE Wen, et al. Failure control of completion packer in the high temperature and high pressure gas well of Kuqa piedmont structure [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(2):61-66.
- [18] 杨晓莉, 刘啸峰, 蒋韦. 超深大斜度高破压井国产封隔器优化与改进[J]. 油气井测试, 2024, 33(2):21-26.  
YANG Xiaoli, LIU Xiaofeng, JIANG Wei. Optimization and improvement of domestic packer in ultra-deep, high-angle and high-break wells [J]. Well Testing, 2024, 33(2):21-26.

编辑 吴志力

第一作者简介:石李保,男,1976年出生,高级工程师,本科,1999年毕业于中国石油大学石油工程专业,现主要从事钻完井科研及技术支持工作。电话:010-83595418,Email:shilibao@petrochina.com.cn。通信地址:北京市海淀区学院路20号,邮政编码:100083。