

重复压裂井示踪可捞底堵式膨胀管井筒重构技术

刘雨薇¹, 刘述忍², 李红¹, 任勇强¹, 武刚³, 张伟¹

1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司井下作业分公司 河北任丘 062552

2. 中国石油集团测井有限公司华北测试分公司 河北廊坊 065007

3. 中国石油集团测井有限公司华北分公司 河北任丘 062550

通讯作者: Email: renyongqiang1983@163.com

项目支持: 中石油渤海钻探工程有限公司局级重大工艺研究项目“碳封存压裂、注入工艺技术研究”(2023ZD17Y); 中石油渤海钻探工程有限公司局级重大工艺研究项目“巴彦油田超深井二氧化碳增能驱油工艺技术研究”(2025D21Y-03)

引用: 刘雨薇, 刘述忍, 李红, 等. 重复压裂井示踪可捞底堵式膨胀管井筒重构技术[J]. 油气井测试, 2025, 34(4): 40-45.

Cite: LIU Yuwei, LIU Shuren, LI Hong, et al. Wellbore reconstruction technology with traceable, retrievable, bottom-blocking expandable liner for re-fracturing wells [J]. Well Testing, 2025, 34(4): 40-45.

摘要 为解决重复压裂井套管错断导致压裂管柱无法下入及常规膨胀管难以导入下部错断井段的技术难题, 突破传统取换套管作业提速技术瓶颈, 研发了带示踪功能的可捞底堵式膨胀管井筒重构技术。可捞底堵式膨胀管采用上胀锥腔冲压成型及引鞋特种焊接的分体式胀锥腔设计, 内置可重复利用底堵装置, 创新性集成机械式示踪导引系统实现错断段精准定位, 采用新型膨胀螺纹连接工艺突破补贴长度限制。通过配套施工工艺完成井筒重构。该技术在现场应用中通过示踪管柱精准引导装置通过 1 147.6~1 152.4 m 错断段, 修复后通径达 109 mm (原套管内径 124 mm), 46 MPa 稳压测试 60 min 压降仅 0.5 MPa, 成功满足了大规模体积压裂的施工要求。较取换套管工艺节省 20 d 工期, 成本降低 90%。该技术为老油田重复压裂增产提供了高效的井筒重构解决方案, 显著提升储层改造前井筒准备效率, 具有广阔推广前景。

关键词 井筒重构技术; 错断井; 带示踪功能的膨胀管; 可捞式底堵; 膨胀管补贴技术; 重复压裂; 套管修复

中图分类号: TE357.1

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2025.04.007

Wellbore reconstruction technology with traceable, retrievable, bottom-blocking expandable liner for re-fracturing wells

LIU Yuwei¹, LIU Shuren², LI Hong¹, REN Yongqiang¹, WU Gang³, ZHANG Wei¹

1. Downhole Service Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Renqiu, Hebei 062552, China

2. Huabei Well Testing Branch, China National Logging Corporation, Langfang, Hebei 065007, China

3. Huabei Branch, China National Logging Corporation, Renqiu, Hebei 062550, China

Abstract: To address the technical challenges in re-fracturing wells where casing misalignment prevents fracturing string run-in and conventional expandable liners struggle to enter the lower misaligned interval, and to overcome bottlenecks in traditional casing replacement and fishing operations for efficiency gains, a wellbore reconstruction technology with a traceable, retrievable, bottom-blocking expandable liner was developed. This expandable liner employs a split mandrel design with an upper cone chamber formed by stamping and a special welded guide shoe, incorporates a reusable bottom-blocking device, innovatively integrates a mechanical tracing and guidance system for precise positioning of the misaligned interval, and uses a new expandable thread connection process to overcome patching length limitation constraints. Wellbore reconstruction is then completed through supporting operational procedures. Field application successfully guided the tool through the misaligned interval at 1 147.6~1 152.4 m using the tracing string, achieving a repaired inside diameter of 109 mm (original inside casing diameter of 124 mm). A 60-minute pressure test at 46 MPa showed a pressure drop of only 0.5 MPa, successfully meeting the requirements for large-scale volume fracturing operations. Compared to casing replacement, this technology shortened operations by 20 days and reduced costs by 90%. It provides an efficient wellbore reconstruction solution for re-fracturing stimulation in mature oilfields, significantly improving wellbore preparation efficiency before reservoir stimulation and showing broad application prospects.

Keywords: wellbore reconstruction technology; misaligned well; traceable expandable tubing; retrievable bottom plug; expandable liner patching technology; re-fracturing; casing repair

随着我国陆上油气田开发逐步进入中后期阶段,老井重复压裂已成为稳产增产的关键措施。然而,油气水井套损问题愈发突出,特别是套管错断会导致压裂管柱无法下至目标层段,直接制约了重复压裂技术的应用,已成为制约油气生产效率的关键性难题之一^[1]。许学健^[2]和苟顺超^[3]的研究进一步探讨了套管损伤的防治和修复技术应用。套管错断作为套损的典型形式,修复难度大^[4],不仅造成油水井停产,还会显著缩短井筒服役周期,制约油田经济效益^[5]。常规取换套工艺需依赖套铣液、磨铣工具等专用设备组合,且在套管切割与回接前需清除大范围固井水泥环,导致工序繁琐、周期延长及成本攀升,难以实现经济性修复。

膨胀管技术是近年来发展起来的一项重要修井工艺技术^[6],能以简单工序、低成本解决套漏、腐蚀等套损问题。相较传统方法,该技术通径损失小、作业成本低,优势显著^[7-9]。目前,该技术已在国内多类油田规模应用^[10-11],尤其在非常规气藏中表现突出^[12]。然而,常规方法因缺乏可靠的导入手段,难以确保修复装置有效进入错断段完成补贴,限制其在井筒错断修复中的推广^[13]。

为提升错断井修复的经济性与技术有效性,本文提出并开发了一种集成机械式示踪导引功能的新型可捞底堵式膨胀管补贴技术。该技术通过管

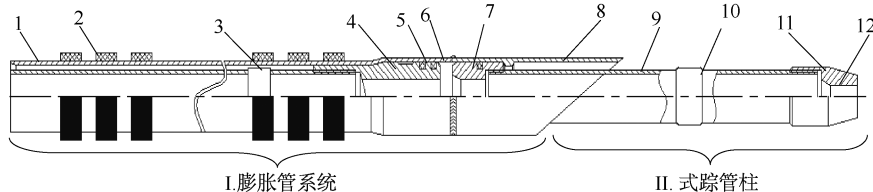
柱底端的特殊导锥结构实现物理示踪与引导,攻克错断井修复难题,还为后续储层改造提供了可靠保障。对错断老井经济高效井筒重构修复和二次压裂储层改造具有重要的借鉴意义。

1 带示踪功能的可捞底堵式膨胀管装置及原理

为突破传统技术的应用瓶颈,本技术采用模块化设计理念,核心装置结构主要为带示踪功能的可捞底堵式膨胀管装置。

1.1 带示踪功能的可捞底堵式膨胀管装置

如图1所示,可捞底堵式膨胀管采用带机械式示踪导引管柱的设计方案,其核心“示踪”功能依赖于管柱最前端的导锥实现。该导锥尺寸可依据不同井筒尺寸调整,具有特定的锥角和强度,在下放过程中其独特的形状使其能卡入或导入套管错断形成的窗口,从而实现物理定位与引导。其结构由膨胀管系统(I)和投球式示踪管柱(II)构成(见图1)。创新性采用分体式胀锥腔设计:上胀锥腔(6)与膨胀管(1)一体冲压成型,引鞋(8)内部加工支撑台阶以固定可捞底堵(7);二者经特种焊接实现机械性能匹配。示踪管柱通过接箍(10)连接尾管(9)与导锥(11),其锥形结构内置球座(12),确保管柱导引与憋压功能。



1-膨胀管;2-硫化密封带;3-扶正短节;4-胀锥;5-胀锥密封圈;6-上胀锥腔;7-可捞底堵;8-引鞋;
9-尾管;10-接箍;11-导锥;12-球座。

图1 带示踪功能的可捞底堵式膨胀管的基本结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the basic structure of the retrievable bottom plug expansion pipe with tracer function

该设计的打捞优势显著:作业后使用滑块捞矛可整体取出底堵与示踪管柱,再通过常规钻具铣削支撑台阶恢复通径,显著提升施工效率并降低成本。

1.2 可捞底堵式膨胀管工作原理

井筒开窗整形后,以钻杆伴送装置至目标位置。投球密封下部管柱后泵入高压流体,推动胀锥(4)上行使膨胀管(1)径向扩张,硫化密封带(2)受挤实现悬挂密封。膨胀完成后取出胀锥,下入滑块捞矛打捞底堵(7)及示踪管柱,最后磨铣引鞋(8)内台阶恢复通径。

首先,进行井筒预处理与工具下入。在完成错

断井筒的开窗或整形处理后,采用钻杆或油管作为输送管柱,将装配有示踪管柱的可捞底堵式膨胀管系统下放至设计深度。然后,向管柱内投入钢球使其就位,形成下部密封。通过泵注高压流体建立系统压力,当压力达到设定值时,膨胀锥在液压作用下开始上行,驱动上部管体形变。在此阶段,预先硫化的密封带在膨胀锥挤压作用下充分扩张,实现管柱与套管间的密封和悬挂固定。待膨胀过程全部结束后,首先起出输送管柱及膨胀锥组件。随后下入滑块捞矛工具,将底堵连同示踪管柱整体取出。最后下入长锥面铣锥对支撑台阶部位进行磨

铣处理,确保井筒通畅符合要求,至此完成全部施工程序。

1.3 施工工艺

如图2,基本施工工艺流程如下:

(1)采用短套铣筒对错断段磨铣开窗,建立膨胀管回接通道。

(2)采用长锥面铣锥循环扩铣错断段上下5 m,修整断口并清洁井壁,降低密封带挂卡风险。

(3)通井验证后下入膨胀管装置,缓慢下放并旋转管柱,依靠示踪管柱前端导锥的斜面与台阶在井下进行机械探询,通过观察钻机悬重指示仪的读数变化,判断导锥是否已成功寻获并卡入错断窗口,从而精准引导整个装置通过错断段。

口,从而精准引导整个装置通过错断段。

(4)泵注流体循环洗井,清除近井地带杂质。

(5)投入钢球,通过地面高压泵打压将球输送至球座处与其形成密封。

(6)升压至阈值驱动胀锥上行,逐步扩张管体至完成。

(7)起出钻杆及配套膨胀锥组件,随后使用钻杆输送滑块捞矛,将井下的可捞式底堵与示踪管柱完整取出。

(8)采用螺杆钻具配套长锥面铣锥高效磨铣支撑台阶,确保井筒通道完全畅通,最终完成整个施工过程。

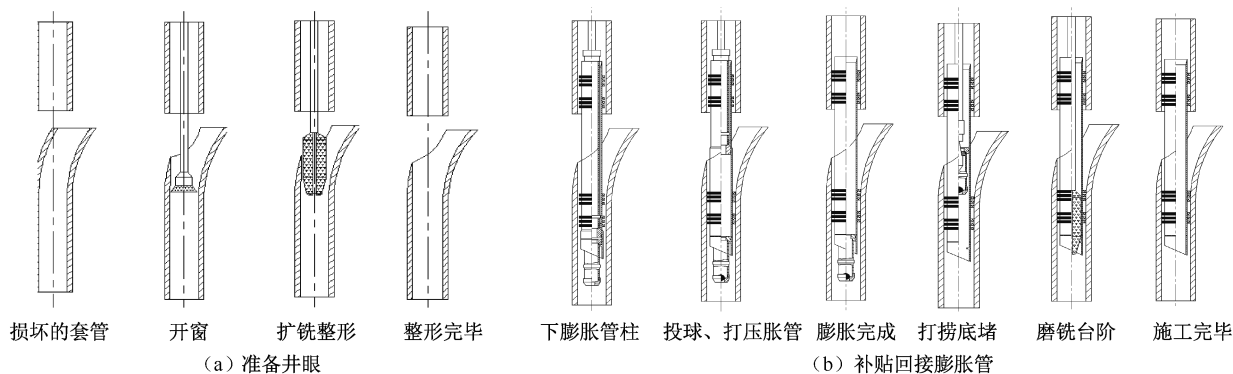


图2 带示踪功能的可捞底堵式膨胀管补贴工艺

Fig. 2 Workflow of the retrievable bottom plug expansion pipe patching process with tracer function

2 关键技术

针对现场作业需求,本研究重点开发了三大关键技术。

2.1 可重复利用的底堵装置

为提高施工效率,设计开发了可重复利用的可捞式底堵装置,如图3所示。

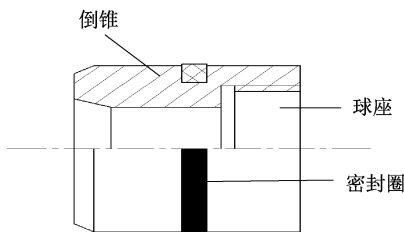


图3 可捞式底堵装置示意图

Fig. 3 Retrievable bottom plug assembly

该装置结构简单、易于加工,通过硫化在上面的胶圈实现与胀锥腔之间的密封,可满足50 MPa以上的补贴施工要求,施工完毕后可通过常规捞矛进行打捞,经简单保养后可满足10次以上的重复利用。该装置克服了常规膨胀管补贴作业后因下部

底堵不可捞、需耗费较长时间钻磨^[14-15]而引发的施工周期长、作业效率低等不足,有效缩短了施工周期。

2.2 独特的膨胀锥发射腔结构及制作工艺

为了便于膨胀锥和可捞式底堵装置的装配,将胀锥腔的结构设计为上胀锥腔和引鞋两个部分,如图4所示。

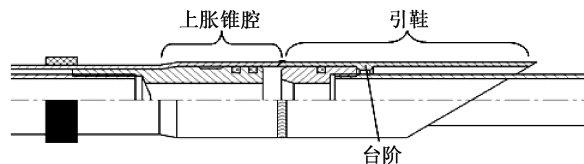


图4 膨胀锥发射腔结构

Fig. 4 Expansion cone launch chamber structure

上胀锥腔与膨胀管自成一體,为直接在膨胀管本体上冲压而成;引鞋为经单独机加工制作而成,其内径和壁厚与上胀锥腔相同。在胀锥腔的内部分别放入膨胀锥和可捞式底堵后,为使上胀锥腔和引鞋之间有效连接,采用特种焊接将其连接一体,其焊缝的机械性能接近膨胀管本体,保证了后续膨胀补贴作业过程中整个膨胀管补贴系统的承压要

求。为有效放置可捞式底堵装置,采用特种加工在引鞋内部加工了用于安放可捞底堵的支撑台阶。该台阶在膨胀过程中能够有效承压,同时因其厚度较小、补贴完毕后可实现快速磨铣,从而有效提高了施工效率。

为有效实现错断井修井时管柱的导引和下入,设计开发了满足相关技术需求的投球式示踪管柱系统,其“示踪”功能依靠其前端的机械结构实现。该示踪管柱主要包含尾管和导锥两部分,其结构通过螺纹连接固定在可捞式底堵的下方位置。其核心部件是导锥,它是一个经过特殊热处理的合金钢锥体。其工作原理是机械式的:当管柱下放时,导锥的尖端和斜面最先接触井下障碍或错断口。利用其斜面 and 台阶,能够将遇到的径向阻力转化为轴向的引导力,从而迫使管柱前端滑入或卡入错断窗口,实现“示踪”和定位。异径管膨胀补接工具的研究表明^[16],采用分体式导锥结构可显著降低复杂井况下的下入阻力。其中,导锥内腔带有通孔,可满足补贴管柱下入后循环洗井的要求;导锥内腔中的球座经投球到位后可实现封闭管柱憋压,推动胀锥上行,逐步胀开膨胀管管体,直至完成整套膨胀管系统的膨胀。此外,为有效减少示踪管柱在起下过程中的挂卡,方便后续打捞,导锥的两头和用于连接尾管、导锥的接箍两侧均车削有倒角。

3 工艺技术特点

(1)具有良好的可下入性。可捞底堵式膨胀管装置在传统技术基础上进行了重要改进。一是在原有可捞底堵结构基础上集成了示踪管柱系统;二是在该系统中增设导锥装置。导锥与示踪管柱的配合使用可成功克服传统膨胀管补贴装置存在的结构缺陷问题,显著提升了管柱在错断或弯曲井段的可下入性,从而提高了后续施工的成功可能性;

(2)提升作业效率。相比于传统的取换套技术,该膨胀管补贴技术在施工效率方面取得了显著提升。相较于传统方法,该技术具有以下工艺优势:首先,作业过程中不需专用的套铣工作液、套管切割和补接工具等;其次,无需对井筒内的固井水泥环进行清除处理;最后,省去了传统工艺中补贴段套管的切割工序。这种设计使流程简化,显著节约了工期。其施工成本仅为传统作业的不到十分之一,且可节省大量施工时间。与常规膨胀管补贴技术相比,得益于可捞式底堵设计,捞出底堵后胀

锥腔内剩余的环形台阶厚度不足2 cm,显著小于常规膨胀管补贴中实心可钻底堵的厚度(通常为12~16 cm)。这一改进有效解决了常规膨胀管技术因钻磨底堵而导致的施工周期长、作业效率低等不足;

(3)补贴段长度不受限制。该膨胀管装置采用了无接箍连接的膨胀螺纹结构解决各补贴管之间的连接问题。该结构具体为:上接头设计为公扣,下接头设计为母扣,接头直接在膨胀管本体上加工而成,丝扣采用偏梯扣型设计,承重边呈微倒钩状,同时在螺纹扣的顶端和尾端设置了2道密封圈,既保证了较高的承载能力,又具备良好的密封性能。采用该膨胀螺纹连接的膨胀管,可实现从2根到数十根的补贴管连接,显著增强了其应用的广泛性;

(4)悬挂密封性能优异。通过高温硫化工艺,将特殊纳米复合橡胶材料密封带牢固粘接于膨胀管本体上,有效保证了密封带的耐磨损、耐腐蚀、耐高温特性,同时可有效避免密封带在下井过程中发生脱落,确保膨胀补贴后密封带与被补贴套管之间具有良好的密封效果。补贴后,套管的密封性能通常可达20 MPa以上,最高可至60 MPa,修复后耐温可达150℃,其优异的密封承压能力足以应对重复压裂时远高于初次压裂的井口施工压力,为大规模体积压裂提供安全可靠的井筒环境;

(5)修复通径显著增大,精准服务于重复压裂井筒准备。该技术核心应用场景为重复压裂前的井筒修复。该膨胀管装置采用可膨胀管材设计^[17],膨胀管选用外径为105~114 mm、壁厚为6~7 mm的高性能无缝钢管,适用于139.7 mm套管(内径为124.26 mm)的错断修复,该膨胀管的管体壁厚相较于常规膨胀管有所减薄,其与套管的贴合度更佳,从而降低了原套管内径缩减的程度。修复后,套管的通径尺寸可达到106~109 mm,其修复后通径大的特点,满足了重复压裂所需的大直径工具(如封隔器、射孔枪)下入要求,是激活存量资源、实现老井再增产的关键前置技术。

4 现场应用

XX井为二连盆地一口计划实施重复压裂以挖掘剩余油潜力的预探井,完钻井深2 745 m。对该井进行重复压裂储层改造前期准备时,在1 147.6~1 152.4 m井段发现套管错断,导致压裂管柱无法下入,重复压裂作业中止,难以有效下入。需进行修复以恢复井筒功能,满足后续2 504.4~2 729.8 m井

段重复压裂的大规模体积压裂需求。针对这一情况,采用带示踪功能的可捞底堵式膨胀管技术成功完成了错断井段的回接与修复工作,类似技术在渤海浅层大尺寸套管^[18]和长庆油田长停井^[19]中也取得了显著效果。注水区块再压裂方案参数设计研究^[20]表明,井筒修复后的承压能力是储层改造成功的关键前提。

在完成错断井段回接与修复后进行了承压能力验证。修复后,用质量百分数为2%的KCl溶液进行反打压测试,压力达到46 MPa并稳压60 min,压降仅为0.5 MPa,远低于设计要求的0.7 MPa,验证了修复段的密封性和承压能力。后续对2 504.4~2 626.60 m和2 633.80~2 729.80 m井段进行笼统压裂施工,地层破裂压力高达49.51 MPa。施工过程中,井口最高压力为31.2 MPa,累计注入液量1 235.7 m³,加砂量95.2 m³。压裂曲线显示,井筒承压性能稳定,未出现异常波动,放喷时井口压力维持在26 MPa,进一步证明修复段能够承受高压储层改造的严苛条件。

压裂曲线见图5。施工过程中最高施工压力31.2 MPa,累计注入液量1 235.7 m³,加砂量95.2 m³,井筒承压性能良好,未出现异常,压裂后获得工业油流。该案例证明,该技术不仅能有效修复错断井,还能为高压储层改造提供可靠的井筒条件,与水平井膨胀管井筒重构技术和苏里格气田调层井套管修复技术^[22]的应用结论一致。

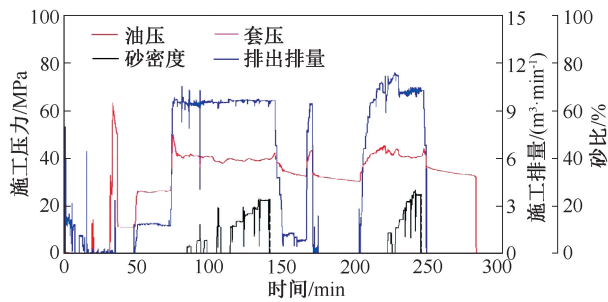


图5 XX井补贴后压裂施工曲线

Fig. 5 Post-patching fracturing operation curve of well XX

现场应用表明,该技术成功解决了该井重复压裂的井筒下入难题,具有以下特点:一是工具运行可靠,操作流程简单;二是在通过错断部位时未出现工具卡滞情况;三是膨胀补贴作业过程无卡阻。与传统取换套工艺相比,该技术可使作业成本降低约90%。同时节省了约20 d的施工周期。在修复后成功实施压裂作业,最终保障了该井重复压裂的顺利实施并获得工业油流,实现了老井增产的目的。

标。其效果印证了塔中志留系储层重复改造及威荣页岩气套变井的绳结暂堵分段压裂工艺案例,也与套管损坏治理技术的最新进展一致。

5 结论

(1)针对油气水井套管错断修复面临的技术难题和成本控制需求,成功研制了新型可捞底堵式膨胀管装置,该装置创新性地集成了示踪管柱结构。并在此基础上形成完整工艺体系。

(2)该技术操作简单、施工周期短、密封可靠,能以较低的作业成本在最短的时间内恢复井筒产能,且修复后井筒的承压能力和通径均能满足常规采油工具的起下要求,能使因套损而无法作业的井迅速恢复到可进行重复压裂的状态,具有显著的经济效益。

(3)该技术的成功应用,为错断井治理提供关键技术支撑,对油田的长期稳定开发具有重要的现实意义。

(4)现场的应用表明,其修复后的井筒完全满足重复压裂等储层改造的严苛要求,为油田增产措施的实施提供了关键技术支撑。

致谢:渤海钻探井下作业分公司工程技术部(科技管理部)对论文撰写提出了很好的建议,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 韦奉, 毕宗岳, 张峰, 等. 膨胀套管的研究现状[J]. 钢管, 2013, 42(1):6-10.
WEI Feng, BI Zongyue, ZHANG Feng, et al. Present situation of research on expandable casing[J]. Steel Pipe, 2013, 42(1):6-10.
- [2] 许学健. 实体膨胀管技术在修井中的研究与应用[D]. 青岛: 中国石油大学, 2011:1-70.
XU Xuejian. Study and application of entity expandable tube in workover technology [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2011:1-70.
- [3] 苟顺超. 鄂尔多斯盆地套管损伤原因与防治方法研究[D]. 荆州: 长江大学, 2012:1-57.
GOU Shunchao. Casing damage and prevention in the Ordos basin [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2012: 1-57.
- [4] 刘青龙. 提高套管错断井修复率的应用实践[J]. 化工管理, 2014(35):23.
LIU Qinglong. Application and practice for improving the repair success rate of casing misalignment wells [J]. Chemical Enterprise Management, 2014(35):23.
- [5] 付丽霞, 朱伟, 薛改珍. 套管错断的原因、实例及解决

- 的办法[J]. 国外油田工程, 2002(9):35-42.
FU Lixia, ZHU Wei, XUE Gaizhen. Causes, case studies, and solutions for casing shear-off [J]. Foreign Oilfield Engineering, 2002(9):35-42.
- [6] 冯定,王高磊,侯学文,等. 膨胀管技术研究现状及发展趋势[J]. 石油机械, 2022, 50(12):142-148.
FENG Ding, WANG Gaolei, HOU Xuewen, et al. Research status and development trend of expansion tube technology [J]. China Petroleum Machinery, 2022, 50(12):142-148.
- [7] 李益良,陈强,李涛,等. 膨胀管封堵调层技术新进展[J]. 石油矿场机械, 2013, 42(1):24-27.
LI Yiliang, CHEN Qiang, LI Tao, et al. Latest progress on the solid expandable tubular technology in reservoir separation[J]. Oil Field Equipment, 2013, 42(1):24-27.
- [8] 王春芳. 大膨胀率石油套管性能的研究[D]. 天津:河北工业大学, 2015:1-63.
WANG Chunfang. Study on the performance of the oil casing with large expansion rate [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015:1-63.
- [9] 胡文瑞. 中国石油二次开发技术综述[J]. 特种油气藏, 2007, 14(6):1-6.
HU Wenrui. Overview of oilfield secondary development in China [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2007, 14(6):1-6.
- [10] 刘凤,罗西超,王瑞霄,等. 膨胀式尾管悬挂器用膨胀管受力分析[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(1):30-32.
LIU Feng, LUO Xichao, WANG Ruixiao, et al. Force analysis of expandable tube for expandable liner hanger [J]. Oil Field Equipment, 2012, 41(1):30-32.
- [11] 秦国明,河东升,张丽平,等. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的实体膨胀管膨胀力分析[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(8):9-12.
QIN Guoming, HE Dongsheng, ZHANG Liping, et al. Analysis on deformation force of solid expandable tubular based on ANSYS/LS-DYNA [J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(8):9-12.
- [12] 杨琦,马召,陶静,等. 高性能膨胀管补贴工艺在非常规气田的试验研究[J]. 石油管材与仪器, 2025, 11(2):56-61.
YANG Qi, MA Zhao, TAO Jing, et al. Evaluation of casing subsidy technology with high performance expandable tube in unconventional gas fields [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2025, 11(2):56-61.
- [13] 武刚,刘强,上官丰收,等. 实体膨胀管套管补贴技术研究及工程运用[J]. 新技术新工艺, 2013(4):6-8.
WU Gang, LIU Qiang, SHANGGUAN Fengshou, et al. Casing patch technology research and engineering application of solid expandable tubes [J]. New Technology & New Process, 2013(4):6-8.
- [14] 马超军. 实体膨胀管补贴技术的研究与应用[J]. 油气藏评价与开发, 2012, 2(1):60-63.
MA Chaojun. Research and application of entitative expandable casing patching technology [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(1):60-63.
- [15] 王木乐,孟令祥,石俊生,等. 实体膨胀管开发及修井应用技术研究[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(增刊1):139-142.
WANG Mule, MENG Lingxiang, SHI Junsheng, et al. The development of entity expansion pipe and its application in well workover [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(Suppl. 1):139-142.
- [16] 杜聪,刘宝振,石义,等. 异径管膨胀补接工具研发与现场应用[J]. 石油工业技术监督, 2024, 40(1):61-64.
DU Cong, LIU Baozhen, SHI Yi, et al. Development and field application of expansion and replenishment tool for reducer pipe [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2024, 40(1):61-64.
- [17] 陈旻,郭小涛,张武滔,等. 高效页岩气井套管修复工艺技术研究[J]. 机械工程师, 2025(5):136-140.
CHEN Min, GUO Xiaotao, ZHANG Wutao, et al. Research on high efficiency casing repair technology of shale gas wells [J]. Mechanical Engineer, 2025(5):136-140.
- [18] 江智强,陈泽宇,邓梦国. 渤海浅层大尺寸套管补贴技术应用[J]. 石化技术, 2025, 32(4):110-112.
JIANG Zhiqiang, CHEN Zeyu, DENG Mengguo. Application of subsidy technology for large sized shallow casing in bohai sea [J]. Petrochemical Industry Technology, 2025, 32(4):110-112.
- [19] 张金海,王中涛,谢海波,等. 长庆油田长停井生产测井组合找漏技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(5):61-67.
ZHANG Jinhai, WANG Zhongtao, XIE Haiibo, et al. Leak detection technology of production logging combination for long-term shutdown well in Changqing oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(5):61-67.
- [20] 孙海林,张鹏,杨小涛,等. 油气田注水区块再压裂方案参数设计方法[J]. 油气井测试, 2020, 29(5):6-13.
SUN Hailin, ZHANG Peng, YANG Xiaotao, et al. Parameter design method for re-fracturing scheme of water injection block in oil and gas field [J]. Well Testing, 2020, 29(5):6-13.

编辑 邵振鹏

第一作者简介:刘雨薇,女,1990年出生,工程师,工程硕士,2012年毕业于长江大学资源勘查工程专业,现从事油气田开发研究与应用工作。电话:15533767726,Email:liuyuwe@cnpcc.com.cn。通信地址:河北省任丘市会战南道井下作业分公司,邮政编码:062552。