

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.201705013

## 免钻式膨胀管补贴技术研究现场试验

杨海波, 侯 婷, 冯德杰, 滕照正, 吴柳根

(中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257000)

**摘 要:**采用常规膨胀管补贴技术进行套管修复后需进行钻塞作业,会延长修井周期、增加作业费用。为此,进行了免钻装置结构设计、工具参数优化和室内试验验证,确定工具性能指标和使用工况,形成了免钻式膨胀管补贴技术。根据室内试验结果确定免钻装置的性能指标符合现场实施要求,除此之外,还确定了施工参数及施工工况,给出了免钻膨胀管补贴技术的现场施工工艺。渤海湾 CDX-56P 井的现场试验结果表明,该免钻装置能够满足抗扭、抗压等现场施工要求,具有较好的实用性。免钻式膨胀管补贴技术的试验成功,为套损井的治理开发提供了一种完井周期更短、费用更加低廉的技术手段。

**关键词:**膨胀管;套管补贴;免钻;现场试验;CDX-56P 井

**中图分类号:**TE358<sup>+</sup>.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2017)05-0073-05

## Research and Field Test of Non-Drilling Plug Expandable Casing Patching Technology

YANG Haibo, HOU Ting, FENG Dejie, TENG Zhaozheng, WU Liugen

(Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China)

**Abstract:** Drilling plug operations must be carried out after casing repair by means of the traditional expandable casing patching technology, which results in an extended workover period and increased operating expenses. Therefore, non-drilling plug expandable casing patching technology were developed after determination of performance indicators and applying working condition of tools by structural design of non-drilling plug device, parameter optimization of tools, verification of laboratory experiment. Laboratory test results showed that the performance indicators of this device in wells with damaged casing met site implementation requirements. Construction parameters and working conditions were made clear. Moreover, the site implementation flow for non-drilling plug expandable casing patching technology was established. The field test results in Well CDX-56P of Bohai Gulf indicated that this non-drilling plug device could satisfy the site construction requirements for anti-torsion and anti-pressure, etc and it also possessed good field practicability. The successful test of non-drilling plug expandable casing patching technology provided the technical means of shorter operating cycle and lower costs for harnessing the development of wells with damaged casing.

**Key words:** expandable tube; casing patch; without drilling plug; field test; Well CDX-56P

目前,膨胀管技术已经广泛应用于钻井、完井及修井等作业中,成为石油工程领域的一项重要技术<sup>[1-3]</sup>。膨胀管技术是在井下复杂条件下使用机械或液压方式使特殊材质管体及螺纹发生塑性变形、增大内外径、以达到工程应用目的的一种技术<sup>[4-5]</sup>。目前,我国膨胀管技术的现场应用范围在不断扩大,尤其是膨胀管补贴技术已发展成为修复套管损坏井的一种常用手段<sup>[6-7]</sup>,并以其独特的大通径、高密封性等优点得到广泛应用。

然而,目前国内在采用常规膨胀管技术对老井进行套管修复后,均需采用钻塞方式来处理下部承压装置<sup>[8]</sup>,要求现场配备旋转动力设备,如转盘、螺

收稿日期:2017-05-25;改回日期:2017-09-14。

**作者简介:**杨海波(1971—),男,山东邹平人,1992年毕业于胜利石油学校石油地质专业,2003年获石油大学(华东)地质勘查专业学士学位,2014年获长江大学石油与天然气工程专业工程硕士学位,高级工程师,现主要从事钻井完井方面的研究工作。E-mail: yanghaibo585.slyt@sinopec.com。

**基金项目:**中国石化集团科技攻关项目“裸眼封堵等井径膨胀套管技术研究”(编号:JP11007)部分研究内容。

杆钻具等设备;此外,需要配备磨鞋、压力泵等辅助设备,导致作业周期延长、完井预算增加。为此,笔者针对 $\phi 194.0$  mm 膨胀管进行了免钻式装置的结构设计、工作原理分析和施工工艺研究,形成了免钻式膨胀管补贴技术,并在 CDX-56 井进行了现场试验。试验结果表明,免钻式膨胀管补贴技术能够满足现场应用要求。

## 1 免钻式膨胀管补贴装置及原理

针对国内膨胀管补贴技术的现场应用情况,研究了 $\phi 194.0$  mm 免钻式膨胀管补贴技术,其技术原理是在传统膨胀管补贴技术上增加了免钻式装置,该装置不仅能够替代传统膨胀管补贴技术中的承压装置,同时具备可打捞功能,可在补贴施工完成后利用现有规格的捞矛将免钻装置打捞出口,达到缩短作业周期及节约完井预算的目的。

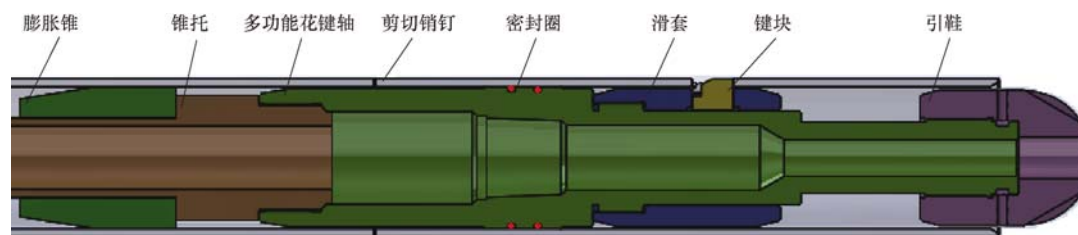


图1 免钻式膨胀管补贴装置基本结构

Fig. 1 Structure schematic diagram of expandable tube patching tool without drilling plug

### 1.2 工作原理

免钻式膨胀管补贴装置的工作原理为:管柱下到井内后连接井口高压泵设备,首先通过伴送管柱和免钻装置内孔进行循环洗井,清除井筒内杂物,然后泵送入金属球,金属球到达多功能花键轴内壁球座处与其形成密封,多功能花键轴外表面的密封圈密封其与启动器之间的压力,此时膨胀锥与密封槽之间形成密封空间,进一步升高压力,达到膨胀管膨胀所需压力后,井口提升设备保持伴送管柱原悬重匀速上提,膨胀锥在液压力作用下上行逐步胀开膨胀管本体,直至膨胀完成整个管体,膨胀结束后,膨胀管外层橡胶元件被挤压在套管与膨胀管之间,起到密封和悬挂的作用<sup>[9]</sup>,完成对油水井套损段的修复(见图2)。

完成膨胀作业后,上提出膨胀锥,下入滑块捞矛,当捞矛下至免钻装置处时井口显示遇阻,下压 20 kN,捞矛滑块锁死免钻装置,上提钻具,过载力超

### 1.1 免钻式膨胀管补贴装置

免钻式膨胀管补贴装置主要由启动器、多功能花键轴、剪切销钉、滑套、键块和引鞋等部分组成,如图1所示。其中,最外层为启动器,启动器上部安装有配合使用的膨胀锥以及锥托组合结构,中间位置加工有3个周向均布的矩形槽,用以装配键块组合;多功能花键轴外表面上端为圆柱形结构,下方加工有花键轴,中间为通孔,最上端为花键槽;多功能花键轴与启动器本体之间通过一组剪切销钉连接,销钉剪切力设置为80 kN;多功能花键轴外表面有一滑套,滑套上下两端为斜面构造,滑套本体有3个圆周均布的矩形槽;滑套的3个矩形槽与启动器的3个矩形槽配合,分别装配的3个键块组合;多功能花键轴下部连接引鞋,引鞋下部为半球体结构,半球形结构起导向作用,有利于施工管柱的下入。

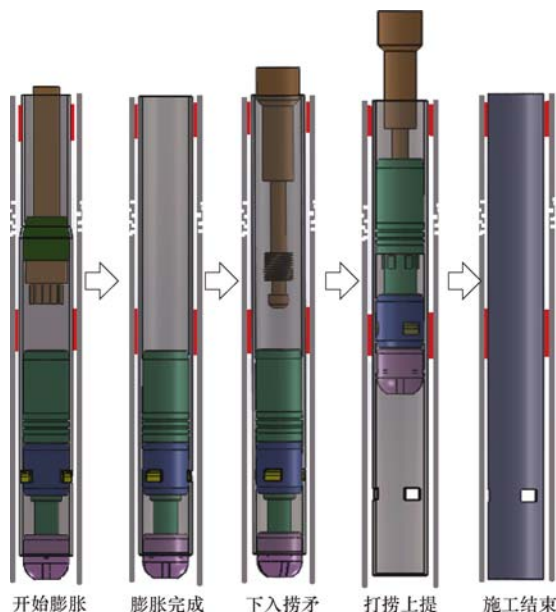


图2 免钻式膨胀管补贴装置的工作原理

Fig. 2 Construction process of expandable tube patching technology without drilling plug

过剪切销钉的额定剪切力后剪断销钉,多功能花键轴相对于滑套和键块向上运动,花键轴下部的圆柱形结构与滑套和键块的底部圆弧结构发生相对滑动,此时引鞋同步向上运动;当圆柱形结构完全经过滑套和键块时,键块横向对应于多功能花键轴底部圆柱体;继续上提钻具,矩形槽上端面分别会对相应键块的斜面产生垂直于斜面的压力,在该力作用下,3个键块落入滑套的空腔内,由于尺寸的限制,键块嵌入滑套内的矩形槽内不会发生脱落。上提钻具过程中,滑套斜面结构能够降低上提过程的阻力,将免钻装置提出井口,完成打捞。

### 1.3 施工工艺

在常规膨胀管补贴技术施工工艺的基础上,完善了免钻式膨胀管补贴施工工艺:

1) 使用符合标准的套管刮管器对待补贴位置进行刮管作业;

2) 下封隔器进行管柱验漏,分别对漏点以外井段进行清水试压(压力小于补贴完成后的试压值),30 min 压降不大于 0.5 MPa 为合格;

3) 用标准通井规通井至套管漏失位置 10.00 m 以深,通井顺利,无任何遇阻现象为合格;

4) 准确测量送入钻具和补贴套管工具组合的长度,送入钻具用标准通井规通管并用液压钳上紧,并以该钻具将补贴套管组合下入并送到位;

5) 补贴管柱下到待补贴位置后,进行地面管线试压,压力为 30 MPa<sup>[10]</sup>;

6) 井口投球,泵压至 24 MPa 时,管体开始膨胀,提升管柱,保持悬重约为工作管柱所受重力,泵压保持在 20~25 MPa<sup>[11]</sup>;

7) 井口管柱上提 1.80 m 后停泵,上提管柱;如上提遇阻,阻力大于 100 kN,表明膨胀管底部已坐挂;如无遇阻显示,下放管柱至初始位置,重复上一步骤<sup>[12]</sup>;

8) 重新开泵,直至膨胀锥完成膨胀过程;

9) 关封井器,按要求对井内套管进行试压;

10) 下可退式捞矛打捞免钻装置,捞矛触底后,核实捞矛深度符合设计深度,下压 20 kN,捞矛滑块锁死底堵,过提 70~90 kN 剪切底堵销钉,缓慢起钻,直至捞矛起出井口<sup>[13]</sup>。

## 2 技术优点

### 2.1 独特的键块组结构

免钻式装置中的键块组结构(见图 3)与启动器

外筒上的矩形槽的配合结构能够承受极强的压力,也能承受一定的扭矩<sup>[14]</sup>。

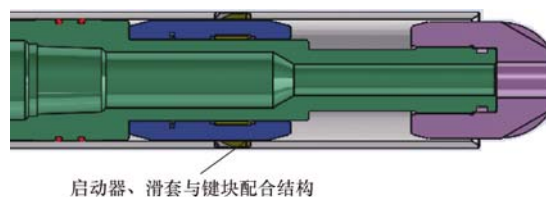


图 3 键块组结构

Fig. 3 Key combination structure

膨胀施工时,作用在免钻式装置的液压力约为 600 kN,并通过 3 个键块的传递作用在启动器与键块配合的矩形槽面上。当补贴管柱下入遇阻时,可采取旋转管柱的方式来处理<sup>[15]</sup>,此时作用在内管柱上的扭矩通过键块组与外筒矩形槽的侧面配合传递到膨胀管柱上。

利用 3 000 kN 级卧式压力机对样机进行 800 kN 的静压力测试,持续 30 min,压力卸载后,整体结构性能稳定,模拟打捞时各部件工作正常,可顺利完成打捞,打捞力 82 kN<sup>[16]</sup>;利用扭矩仪分别进行顺时针和逆时针 2 个方向的免钻装置抗扭试验,扭矩为 5 kN·m,卸载后检测发现各机构无变形,能够正常工作<sup>[17]</sup>。

### 2.2 剪切销钉

多功能花键轴和启动器之间设置了一组剪切销钉,位置如图 4 所示,剪切力设置为 80 kN。剪切销钉的作用主要是:1)避免膨胀施工结束时的激动压力释放及地层压力向上推动免钻装置<sup>[18]</sup>;2)捞矛上提打捞免钻装置过程中指重表有瞬时的 80 kN 悬重突降,使打捞过程更加清晰,增强了现场施工的可操作性。

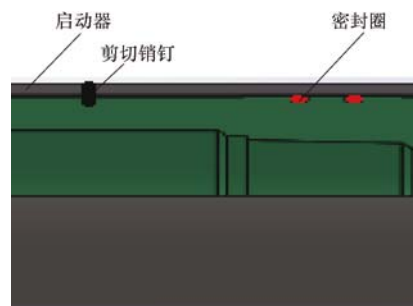


图 4 剪切销钉结构示意图

Fig. 4 Design of shear pin device

### 2.3 可重复利用的免钻装置

设计开发的免钻装置结构简单,加工精度要求

低,可下入普通捞矛进行打捞,打捞后的免钻装置结构基本无损伤,修复保养后可重复使用2~3次,有效降低了作业成本<sup>[19]</sup>。

### 3 现场试验

CDX-56P井是埕岛西A区块的一口生产井,生产过程中发现 $\phi 244.5$  mm套管漏失,漏点位于459.30~461.80 m井段,为钻屑污染井筒,采用免钻式膨胀管补贴技术进行套管修复作业,使用 $\phi 194.0$  mm膨胀管12.00 m。

前期处理井筒,满足施工要求后,下入膨胀管补贴施工管柱。管柱结构:膨胀管补贴组合(内置免钻装置)+ $\phi 73.0$  mm钻杆,下至井深238.30 m处时遇阻(阻力5 kN),管柱旋转180°,最大扭矩3 kN·m,下压(压力4 kN)通过遇阻点。补贴管柱顺利下至设计井深468.00 m,进行地面管线试压。

管柱自由状态下指重表悬重70 kN,投铜球后压力逐步升高至24 MPa,悬重下降至40 kN,上提钻具,压力控制在21~23 MPa,悬重控制在70~90 kN,上提钻具11.20 m后,高压泵压力表指针迅速下降归零,膨胀施工结束。

起出补贴施工管柱后,进行套管试压(压力10 MPa),稳压30 min,无压降损失。下入滑块式捞矛打捞底部球座,捞矛下到打捞位置,打捞管柱悬重70 kN,遇阻后下压悬重20 kN,确保捞矛处于工作状态,反转管柱1.5圈,上提钻具后悬重至250 kN,随即降低为70 kN,剪断剪切销钉,打捞成功;顺利上提钻具,起出捞矛和球座,检查各部件无缺失损伤,打捞成功。经检查免钻装置表面无损伤,修复保养后可再次使用。

分析现场试验结果可得:1)下入过程中遇阻,旋转管柱扭矩3 kN·m,管柱通过遇阻位,说明钻具的扭矩能够通过免钻装置的键块机构传递到膨胀管柱上,满足现场使用要求;2)膨胀施工结束后,免钻装置能够顺利打出井,说明免钻装置在承受膨胀过程中下压后能够保持整体的机械完整性,整体结构强度满足使用要求;3)现场试验预计打捞力为150 kN,现场实际打捞力为250 kN,分析后认为由于膨胀管与原井套管环空处于密封状态,打捞过程中产生了“拔活塞”现象,所以打捞力比预计高出100 kN。

### 4 结论与建议

1)研发的 $\phi 194.0$  mm免钻式膨胀管补贴技术具有施工工艺简单、工具性能可靠和操作性强等优点,经现场试验验证,与常规膨胀管补贴技术相比,膨胀施工后可用捞矛打捞免钻装置,对现场设备的需求降低,每口井的平均修井周期缩短1~2 d。

2)确定了 $\phi 194.0$  mm膨胀管补贴免钻装置的基本结构参数和性能指标,经室内测试与现场施工对比验证,销钉剪切力设置为70~80 kN。

3)打捞过程中会产生“拔活塞”现象,导致打捞力增大,因此,下一步要研究改进免钻装置的内部结构,避免该现象的产生。

4)在优化改进 $\phi 194.0$  mm膨胀管补贴免钻技术的基础上,需要继续设计完善其他常用规格的免钻塞膨胀管补贴技术,为油田老井的套损治理提供更加全面的技术手段。

### 参 考 文 献

#### References

- [1] 陈培亮,井恩江,王玉多,等.膨胀管封隔复杂地层钻完井技术在侧钻井的应用[J].石油机械,2015,43(12):25-28.  
CHEN Peiliang, JING Enjiang, WANG Yuduo, et al. Drilling and expandable casing completion for complex formation isolation in sidetrack well[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(12): 25-28.
- [2] 刘鹏,夏柏如,陶兴华,等.膨胀波纹管在大牛地气田定向井段的应用[J].石油钻探技术,2017,45(2):61-67.  
LIU Peng, XIA Bairu, TAO Xinghua, et al. The application of solid expandable liners in directional well sections of the Daniudi Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(2): 61-67.
- [3] 何伟国,唐明,吴柳根.塔河油田深层侧钻水平井膨胀套管钻完井技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):62-66.  
HE Weiguo, TANG Ming, WU Liugen. Expandable casing drilling and completion technology in deep sidetracked horizontal wells of Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5): 62-66.
- [4] 王全宾,高昆,强琳,等.基于不同材料模型的膨胀管有限元分析[J].石油矿场机械,2016,45(2):54-57.  
WANG Quanbin, GAO Kun, QIANG Lin, et al. Numerical simulation of solid expandable tubular based on ABAQUS[J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(2): 54-57.
- [5] 于洋,周伟,刘晓民,等.实体膨胀管的膨胀力有限元数值模拟及其应用[J].石油钻探技术,2013,41(5):107-110.  
YU Yang, ZHOU Wei, LIU Xiaomin, et al. Finite element numerical simulation of expansive force on solid expandable tube



- and its application[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5): 107-110.
- [6] 郭慧娟, 徐丙贵, 吕明杰, 等. 膨胀锥斜面对膨胀管裸眼系统的影响分析[J]. 石油机械, 2015, 43(8): 32-36.
- GUO Huijuan, XU Bingui, LYU Mingjie, et al. Effect of expanding cone bevel angle on expandable tubular open hole system[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(8): 32-36.
- [7] 张昊, 刘宇飞, 王玲玲, 等. 冀东油田出砂斜井液压膨胀管补贴技术[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(5): 113-116.
- ZHANG Hao, LIU Yufei, WANG Lingling, et al. Hydraulic expandable tubular patching technology for high angle deviated sanding wells in Jidong Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(5): 113-116.
- [8] 杨晓莉. 基于金属密封的膨胀管悬挂力试验研究[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(8): 44-48.
- YANG Xiaoli. Experimental study of hanging force of solid expandable tubular based on metal seal[J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(8): 44-48.
- [9] 唐明, 滕照正, 吴柳根, 等. 膨胀套管螺纹连接技术研究[J]. 钻采工艺, 2016, 39(5): 58-61.
- TANG Ming, TENG Zhaozheng, WU Liugen, et al. Research on thread connection of expandable casing[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(5): 58-61.
- [10] 武琳娜, 陈亮, 梅博文, 等. 塔河油田膨胀管侧钻水平井技术的应用[J]. 机械研究与应用, 2015, 28(5): 138-141.
- WU Linna, CHEN Liang, MEI Bowen, et al. Application of expandable casing drilling technology for sidetrack horizontal well in Tahe Oilfield[J]. Mechanical Research & Application, 2015, 28(5): 138-141.
- [11] 黄满良, 黄华宁, 张飙, 等. 膨胀管补贴技术中管柱伸长问题研究[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(4): 91-94.
- HUANG Manliang, HUANG Huaning, ZHANG Biao, et al. A page of pipe stretch problems in expansion casing patching technology research[J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(4): 91-94.
- [12] 陈强, 李涛, 张立新, 等. 膨胀管系统运动分析及腐蚀寿命计算[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(12): 23-27.
- CHEN Qiang, LI Tao, ZHANG Lixin, et al. Study of expandable tubular system and its longevity calculation under corrosion[J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(12): 23-27.
- [13] 胥豪, 崔海林, 张玲, 等. 塔河油田膨胀管井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(4): 26-29.
- XU Hao, CUI Hailin, ZHANG Ling, et al. Expandable tubular drilling technology in Tahe Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(4): 26-29.
- [14] 唐明, 吴柳根, 赵志国, 等. 深层侧钻水平井膨胀套管钻井封堵技术研究[J]. 石油机械, 2013, 41(2): 6-9.
- TANG Ming, WU Liugen, ZHAO Zhiguo, et al. Research on the technology of expandable casing drilling plugging for deep layer sidetrack horizontal well[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(2): 6-9.
- [15] 宁学涛, 蔡鹏, 唐明, 等. 海上深井膨胀悬挂器钻完井技术研究及应用[J]. 石油机械, 2012, 40(10): 54-58.
- NING Xuetao, CAI Peng, TANG Ming, et al. Research and application of the expandable hanger for drilling and completion of offshore deep well[J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(10): 54-58.
- [16] 吴柳根, 马建忠, 宁学涛, 等. 膨胀悬挂器技术在石油工程中的应用[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(9): 59-63.
- WU Liugen, MA Jianzhong, NING Xuetao, et al. Expandable liner hanger technology applied in petroleum engineering[J]. Oil Field Equipment, 2012, 41(9): 59-63.
- [17] 唐明, 宁学涛, 吴柳根, 等. 膨胀套管技术在侧钻井完井工程的应用研究[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(4): 64-68.
- TANG Ming, NING Xuetao, WU Liugen, et al. Application research of expandable casing in completion engineering of sidetrack wells[J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(4): 64-68.
- [18] 刘强, 宋生印, 白强, 等. 实体膨胀管性能评价方法研究及应用[J]. 石油机械, 2014, 42(12): 39-43.
- LIU Qiang, SONG Shengyin, BAI Qiang, et al. Research and application of performance evaluation methods of solid expandable tubular[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(12): 39-43.
- [19] 赵新学, 张庆生, 王木乐, 等. 抗硫膨胀管力学性能及膨胀动力性能研究[J]. 石油机械, 2014, 42(12): 57-60.
- ZHAO Xinxue, ZHANG Qingsheng, WANG Mule, et al. Study on mechanical properties of anti-hydrogen sulfide expandable tubular and expansion dynamic performance[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(12): 57-60.

[编辑 滕春鸣]