

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2013.05.012

塔河油田深层侧钻水平井膨胀套管钻井完井技术

何伟国¹, 唐 明², 吴柳根²

(1. 中国石化西北油田分公司钻井完井工程管理处, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257017)

摘 要: 塔河油田奥陶系储层侧钻水平井受老井井身结构、地层及地质避水要求等的限制, 需要提高造斜点至上部石炭系泥岩段地层, 而该地层与奥陶系储层为 2 套不同的压力系统, 因此如何有效封堵石炭系易塌地层, 是高效开发该地区奥陶系剩余油的关键。采用膨胀套管充当技术套管封堵钻井复杂地层, 通过优化井身结构及后续的钻井工艺, 为解决塔河油田深层侧钻水平井钻井、完井难点提供了一套全新的方案。针对塔河油田 $\phi 177.8$ mm 套管深层开窗侧钻的钻井、完井难点, 通过深入分析研究膨胀套管管材和膨胀螺纹等关键问题, 完善了深井膨胀套管的施工工艺和实施程序, 探索出一套塔河油田深层侧钻水平井膨胀套管钻井完井技术。该技术在塔河油田现场试验 3 口井, 开窗层位均位于石炭系地层, 开窗点深于 5 100 m, 侧钻后在斜井段成功封堵裸眼复杂地层, 实现了国产膨胀套管首次在裸眼定向井段的封堵应用, 为钻井、完井中封堵复杂地层提供了新的技术手段。

关键词: 膨胀套管 侧钻 水平井 裸眼 封堵 完井 塔河油田

中图分类号: TE257⁺.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-0890(2013)05-0062-05

Expandable Casing Drilling and Completion Technology in Deep Sidetracked Horizontal Wells of Tahe Oilfield

He Weiguo¹, Tang Ming², Wu Liugen²

(1. Drilling and Completion Engineering Department, Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang, 830011, China; 2. Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257017, China)

Abstract: Restricted by the existent casing program, formation and the requirement to avoid aquifer, when sidetracking horizontal wells into Ordovician reservoir in Tahe Oilfield, the kickoff point must be moved up to upper Carboniferous mudstone formation. The two formations belong to different pressure systems, so how to effectively seal the Carboniferous unstable formation is the key for developing the Ordovician remaining oil efficiently. Using expandable casing as intermediate casing to seal complex formations during drilling, provides a new way to solve the problems encountered in sidetracking horizontal wells in Tahe Oilfield by optimizing the casing program and follow-up drilling process. According to the difficulties encountered in deep sidetracking from $\phi 177.8$ mm casing in Tahe Oilfield, through dissecting the key technologies of expandable casing, such as expandable pipes and expansion thread, the operation process and procedure of running expandable casing in deep wells were improved, finding out a set of drilling technology with expandable casing. The technology has been tested in 3 wells in Tahe Oilfield, in which the window were all at the Carboniferous layer below 5 100 m, the inclined segments after sidetracking sealed the complex formation successfully, realizing the first sealing with domestic expandable casing in open hole, providing a new technical means to seal complex formations during drilling.

Key words: expandable casing; sidetracking; horizontal well; open hole; seal; well completion; Tahe Oilfield

近年来,塔河油田尝试利用侧钻水平井开发奥陶系深部油层,开窗侧钻层位集中在石炭系巴楚组和奥陶系桑塔木组,由于侧钻井眼尺寸受到限制,采取短半径裸眼侧钻及侧钻井眼裸眼完井的方式完钻。但石炭系地层压力系数大(1.21~1.24),而奥陶系地层压力系数小(1.08~1.10),因此同井眼钻遇石炭系易

收稿日期:2013-06-20;改回日期:2013-08-29。

作者简介: 何伟国(1967—),男,新疆乌鲁木齐人,1989年毕业于南京大学地质系找矿专业,高级工程师,现从事石油钻井和完井新技术推广及管理工作。

联系方式: (0991)3166093, xjhwguo@sohu.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。

漏层和易坍塌层时容易发生井壁坍塌、卡钻和漏失等井下故障。若向 $\phi 177.8$ mm 套管开窗侧钻井眼内下入技术套管进行固井,则因内径太小无法满足下步钻进和地质“近井筒避水”的要求(原井筒周围存在水体,要求侧钻井水平避水位移大于 150 m),后续钻井和完井面临诸多困难。

利用膨胀套管充当技术套管进行裸眼封堵,解决复杂地层钻进及井眼变径等问题,增大完井直径,不失为一种可供选择的方案^[1-2]。2008 年,美国某公司在塔河油田 TK1051 井(直井)进行了深层小井眼侧钻井膨胀管试验,在裸露的 $\phi 215.9$ mm 井眼内利用 $\phi 139.7$ mm 膨胀套管成功封堵了石炭系高压层^[3]。此前,国内膨胀套管技术仅用于套管补贴和油层套管完井^[4],大尺寸膨胀波纹管也在东部浅井中进行了先导试验^[5-6],但在塔河油田侧钻井封堵试验中因膨胀时发生漏失而暂缓实施^[7]。为此,笔者针对塔河油田深层侧钻水平井所面临的钻井、完井技术难点,提出了以膨胀套管技术为核心的钻井完井方案,并通过进一步研究,形成了塔河油田深层侧钻水平井膨胀套管钻井完井技术。

1 膨胀套管关键技术研究

在深层侧钻井内进行膨胀套管封堵作业时,需要先进行固井作业再实施液压膨胀,作业中面临深

井、斜井段和长裸眼段等复杂工况,容易造成管体及螺纹损伤,膨胀时易发生管体破裂和螺纹漏失,导致无法继续通过液压实施膨胀,影响封堵效果。因此,必须确保膨胀套管管体和螺纹具有良好的密封性。为此,以膨胀套管的结构与原理为基础,优选了高变形率、高强度的可膨胀管材,研制出可膨胀且密封良好的连接螺纹,进行了可钻式固井附件配套及工艺研究。

1.1 膨胀套管结构与膨胀原理

1) 膨胀套管结构。膨胀套管为可膨胀的无接箍套管,管材和膨胀螺纹是其关键要素。膨胀套管的简要结构如图 1 所示:连接在膨胀套管下部的膨胀启动器为一段变径膨胀管,其大径端已实现预膨胀,小径端通过膨胀螺纹与未膨胀的膨胀套管相连,膨胀套管彼此通过加厚膨胀螺纹接头相连,膨胀锥预置在膨胀启动器内,通过膨胀锥的运动使管体发生冷扩膨胀,膨胀后膨胀锥随中心管起出井内。现已开发出 $\phi 108.0$ 、 $\phi 139.7$ 、 $\phi 152.4$ 、 $\phi 193.7$ 、 $\phi 219.1$ 和 $\phi 273.1$ mm 等 6 种规格的膨胀套管。

2) 膨胀原理。将管柱下至井底,以机械或液压方法,通过拉力或压力使管柱发生永久塑性变形,达到扩大井眼或生产管柱内径的目的。膨胀套管完井时,采用膨胀套管充当技术套管或完井套管,采取自下而上、液压与机械相结合的方式膨胀,膨胀套管工艺原理如图 2 所示。待固井碰压后,地面泵车

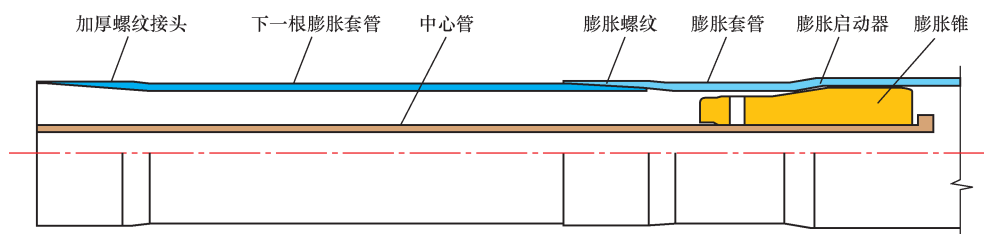


图 1 膨胀套管简要结构

Fig. 1 Structure schematic of expandable casings

打压,在膨胀启动器内形成压力腔,推动预置在膨胀启动器内的膨胀锥上行,使管体发生径向变形,待管柱悬重下降后,上提管柱并保持至原悬重以上,液压和机械相结合,可以防止管柱膨胀的液压力和机械力过大。以立柱方式膨胀并提升内管柱,直至完成膨胀悬挂器及膨胀出口的膨胀,将膨胀套管回接至上层技术套管内,完成悬挂密封。膨胀后循环出多余的水泥浆,对管柱进行试压,然后进行钻塞及后续钻进作业。

1.2 管材选型

由于膨胀后管材的抗内压强度增加,抗外压强度下降,无缝钢管常常通过增加碳含量提高其强度,但在管体热处理及管体膨胀时容易产生微裂纹。因此,优选低碳合金钢的高频直缝焊套管(ERW 焊管)材料,依靠增大合金元素含量来提高强度。原材料采用塑性和均匀延伸率高的高强度热轧钢板,其主要化学成分(质量分数)为 0.24% 碳,1.25% 锰,

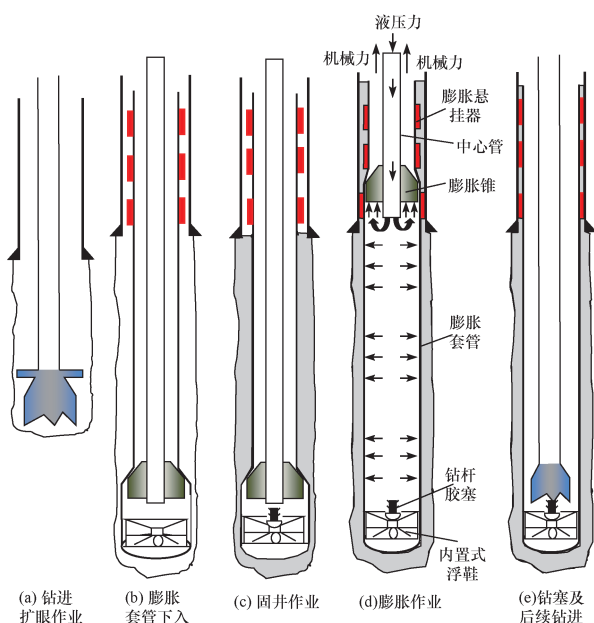


图2 套管膨胀工艺原理

Fig. 2 Process schematics of casing expansion

0.28%硅及一些微量元素(如0.02%磷,0.01%硫,0.08%钒+钛)。选用热处理工艺(淬火温度 $\geq 820^{\circ}\text{C}$ 、回火温度 $560\sim 580^{\circ}\text{C}$),优化焊缝焊接工艺,提高钢管的焊缝横向冲击功和延伸率,降低管端螺纹处焊缝的局部颈缩和扁平现象,从而提高膨胀套管的安全性和可靠性^[8-9]。

ERW膨胀套管具有壁厚均匀、直径偏差小、尺寸精度高、强度高、抗挤毁性能好、夏比冲击优良等特点,延伸率高于30%,冲击韧性和延伸性较好,综合性能达到井下复杂工况要求。试件室内试验机械性能见表1。

表1 ERW膨胀套管机械性能

Table 1 Mechanical features of ERW expandable casing

试样状态	$\sigma_{0.2\%}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	$\delta, \%$
膨胀前	510	611	32.1
膨胀后	582	698	22.4

注: $\sigma_{0.2\%}$ 为在拉伸过程中,永久变形等于原长0.2%时的应力屈服强度; σ_b 为抗拉强度; δ 为伸长率(试样拉伸前的原始标距为50 mm)。

1.3 膨胀螺纹

在深井斜井段的裸眼井工况条件下,膨胀套管螺纹在下入过程中容易损伤。实施长井段膨胀时,如有一个螺纹发生漏失或撕裂,就无法继续形成管体液压膨胀所需的压力腔,严重时可能造成施工井的报废。因此,必须确保膨胀套管连接强度及螺纹膨胀前后的密封性能。

膨胀套管螺纹为无接箍直连型的改进偏梯形螺纹结构,采用倒钩形螺纹和负角度承载面,增加螺纹的承载能力,并保证膨胀过程中螺纹的整体性。为了提高膨胀螺纹的连接强度,满足长井段斜井膨胀的要求,通过增加螺纹的有效长度,对螺纹进行外加加厚设计,以防管柱下入过程中螺纹接头受损而影响膨胀效果。同时,采用金属/金属、金属/非金属和专用螺纹密封剂相结合的多重密封方式,有效提高膨胀螺纹膨胀后的密封性能,可以满足膨胀套管对密封性的要求。

1.4 固井工具及工艺

膨胀套管完井时,采用先固井后膨胀的作业方式,因此必须采用抗硫酸盐、抗高温性能良好的超缓凝水泥浆体系,注水泥量应控制在环空容积的80%以内,为确保膨胀套管施工安全及固井质量,要控制水泥浆稠化时间。

在深井斜井段实施长井段膨胀套管完井时,固井胶塞碰压是保证顺利实现液压膨胀的技术关键,因此设计的固井胶塞采用“2小4大”的结构,确保在组合钻具中顺利实现固井碰压。常规浮箍浮鞋直接连接在套管底部,容易造成后期钻塞时整个浮箍浮鞋与套管脱离后随钻柱转动,因此膨胀套管完井专用浮鞋采用内置式结构,由引鞋、浮箍、浮鞋和球座等4部分构成,浮箍、浮鞋和球座均位于膨胀套管系统的膨胀启动器内,通过引鞋螺纹连接,使后期钻塞更方便可靠。

2 地面膨胀试验

2.1 试验目的

针对深井、斜井的复杂井况,为验证优化改进的膨胀套管性能,进行了模拟斜井地面膨胀试验。试验模拟井下曲率为 $40^{\circ}/100\text{m}$ 的井况,通过液压方式实现管体膨胀,从而模拟井下真实大曲率下膨胀套管与膨胀螺纹的膨胀压力及螺纹的密封性,如图3所示。

2.2 试验过程

试验管柱为膨胀启动器+膨胀套管(2根)+膨胀套管短节(12根),在距离膨胀出口0.5 m处放一憋压环,投入固井胶塞后开始打压,胶塞碰压后提高液压,膨胀启动器启动压力22 MPa,正常膨胀压力

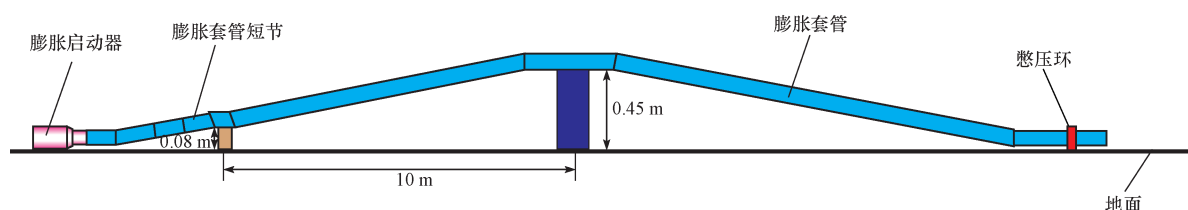


图 3 膨胀套管斜井地面膨胀试验示意

Fig. 3 Schematic diagram of expandable casing ground test in deviated well

20~22 MPa, 当膨胀锥移动至憋压环处时, 完成管体及螺纹膨胀试验。继续升压至 45 MPa, 对膨胀套管管体及螺纹进行耐压试验, 稳压 15 min 管体光滑无膨胀不均现象, 膨胀螺纹未出现漏失及损坏。

2.3 试验结果

试验结果表明, $\phi 139.7$ mm 膨胀套管地面膨胀压力正常, 管体膨胀后外径达 149.3 mm, 内径达 134.5 mm, 内通径为 131.3 mm, 可满足 $\phi 130.0$ mm 钻头安全下入。经计算, 膨胀套管及螺纹连接强度大于 692 kN, 管体抗内压及螺纹密封压差大于 45 MPa, 能够满足深井斜井段复杂工况的膨胀要求。

3 现场试验

3.1 技术方案

针对塔河油田 $\phi 177.8$ mm 套管开窗侧钻井所遇因井漏和泥岩坍塌而难以钻达目的层的问题, 采用了膨胀套管固井技术方案, 如图 4 所示。具体方案为: 在 $\phi 177.8$ mm 套管内进行开窗侧钻后, 用 $\phi 149.2$ mm 井眼钻至奥陶系顶部, 并扩眼至 $\phi 165.1$ mm, 下入 $\phi 139.7$ mm 膨胀套管, 封隔石炭系泥岩和易漏层位, 水平避水位移大于 200 m, 下入 $\phi 130.0$ mm 钻头继续钻进^[10]。

3.2 试验情况

2012 年, 膨胀套管技术在塔河油田深层侧钻水平井中试验实施 3 口井, 为国内首次以膨胀套管作为技术套管封堵深井高压层^[10-11]。具体试验情况见表 2。由表 2 可知: 3 口井的开窗深度均深于 5 120 m, 为深层开窗侧钻水平井; 采用段铣和斜向器方式开窗, 在对首次实施的 TK6-463CH 井进行钻后扩眼的基础上, 又完成 TK7-640CH 井和 T816KCH2 井等 2 口试验井的钻井实践, 并采用双心钻头进行随钻扩眼, 为膨胀套管技术提供了良好的井眼条件; $\phi 139.7$ mm 膨胀套管作业长度最长达

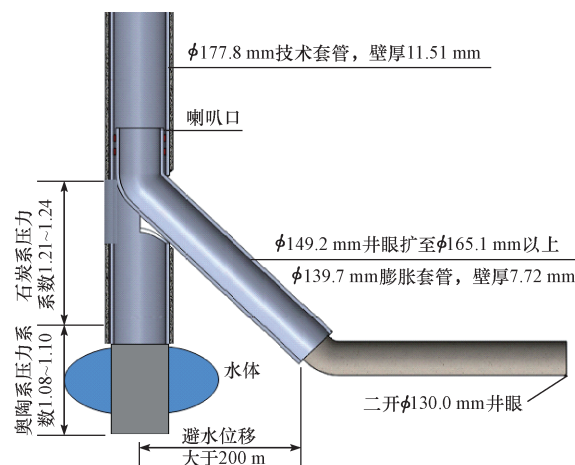


图 4 塔河油田侧钻水平井完井井身结构示意图

Fig. 4 Completion casing program of sidetracked horizontal wells in Tahe Oilfield

467.55 m, 作业深度最深达 5 690.68 m, 成功封隔了石炭系高压地层; 后续 $\phi 130.0$ mm 井眼采用特殊钻具组合钻进, 最大进尺达 461.00 m。

3.3 效果分析

1) 膨胀套管技术在 3 口侧钻水平井中成功试验, 安全封隔复杂层, 满足地质避水要求, 二开小井眼钻进验证了膨胀套管的耐磨性, 顺利钻达目的层, 满足后续钻进及完井要求。

2) 膨胀套管技术实施后, 完井时均进行了酸化压裂作业, 膨胀套管抗内压强度满足酸化压裂配套技术要求, 投产后取得了显著的开发效果, 其中 T816KCH2 井投产获得自喷油流, 最高产量达到 110 t/d, 生产效果曲线如图 5 所示。

3) 以膨胀套管为核心的侧钻水平井钻井方案得以成功实践, 并对膨胀套管及配套钻井工艺技术进行了很好的探索, 这些可对随钻扩眼和小井眼钻井完井提供技术借鉴。

4 结论及建议

1) 用膨胀套管在侧钻水平井中充当技术套管,

表2 深层侧钻水平井膨胀套管技术现场试验结果

Table 2 Cases of expandable casing application in deep sidetracked horizontal wells

试验井	完钻井深/m	开窗方式	开窗深度/m	扩眼方式	膨胀井段/m	膨胀长度/m	小井眼长度/m
TK6-463CH井	5 740	段铣	5 120	钻后扩眼	5 070.82~5 508.04	437.22	230.67
TK7-640CH井	6 040	斜向器	5 217	随钻+钻后	5 192.60~5 578.30	385.70	461.00
T816KCH2井	5 960	段铣	5 280	随钻+钻后	5 223.12~5 690.68	467.55	266.46

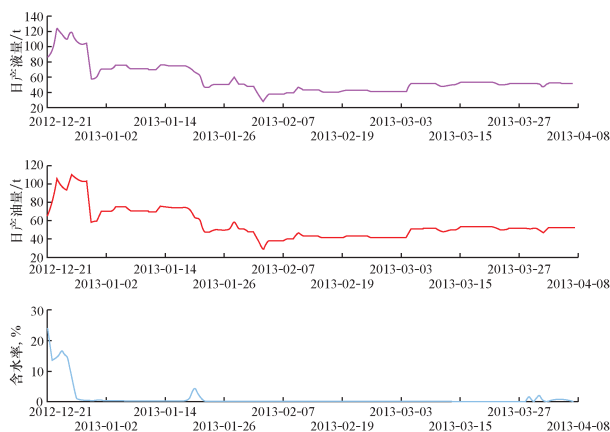


图5 T816KCH2井生产曲线

Fig. 5 Production curve of Well T816KCH2

在塔河油田深层侧钻水平井中封堵裸眼段易塌地层,取得了较好的现场试验效果。

2) 研发的系列膨胀套管,目前仅 $\phi 139.7$ mm规格的膨胀套管在钻井完井复杂层试验应用了3口井,为进一步完善膨胀套管钻井完井技术,建议进行大尺寸膨胀套管深化研究及应用探索。

3) 为进一步完善和提高塔河油田 $\phi 177.8$ mm侧钻水平井整体技术的应用效果,建议进行配套裸眼分段压裂技术研究,研发 $\phi 130.0$ mm裸眼井专用压裂封隔器以将膨胀套管完全隔离,避免因高压作用而增大作业风险。

4) 在随钻扩孔钻头、随钻扩孔动力钻具国产化以及技术改进等方面,也需要进一步加强。

参 考 文 献

References

- [1] 余金陵,周延军,王锡洲. 膨胀管技术的应用研究初探[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(5): 55-57.
Yu Jinling, Zhou Yanjun, Wang Xizhou. Primary research on expandable tubular techniques[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(5): 55-57.
- [2] 张建兵,练章华,贾应林. 采用膨胀套管技术优化复杂深井超深井下部井身结构[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(4): 1-4.
Zhang Jianbing, Lian Zhanghua, Jia Yinglin. Optimization of bottom casing program of complicated deep and ultra-deep wells based on expandable casing techniques[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(4): 1-4.
- [3] 龙斌. 实体膨胀管技术在塔河 TK1051 井的应用[J]. 西部探矿工程, 2009, 32(9): 46-48.
Long Bin. Solid expandable casing technology applied in TK1051 Well of Tahe Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2009, 32(9): 46-48.
- [4] 吴福源,魏增红,柳涛,等. 实体膨胀管补贴修井技术在江苏油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(1): 80-82.
Wu Fuyuan, Wei Zenghong, Liu Tao, et al. Application of solid expansion tube repairing technique in Jiangsu Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(1): 80-82.
- [5] 杨顺辉,黄永洪,陶兴华,等. 可膨胀波纹管技术在韦 15-19 井的应用[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(3): 55-57.
Yang Shunhui, Huang Yonghong, Tao Xinghua, et al. The application of expandable convoluted tubing technique in Well Wei 15-19 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(3): 55-57.
- [6] 陶兴华,马开华,吴波,等. 膨胀波纹管技术现场试验综述及存在问题分析[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(4): 63-66.
Tao Xinghua, Ma Kaihua, Wu Bo, et al. Summary of expandable bellows field test and existing problem analysis[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(4): 63-66.
- [7] 胡彦峰,涂玉林,陶兴华. $\phi 149.2$ mm 膨胀波纹管在塔河油田侧钻井的应用[J]. 石油机械, 2013, 41(1): 27-30.
Hu Yanfeng, Tu Yulin, Tao Xinghua. Application of the $\phi 149.2$ mm expandable bellows in sidetracked wells of Tahe Oilfield[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(1): 27-30.
- [8] 唐明,王璐璐,马建忠,等. 石油膨胀套管的力学性能及膨胀后的残余应力[J]. 西安交通大学学报: 自然科学版, 2010, 44(7): 90-94, 113.
Tang Ming, Wang Lulu, Ma Jianzhong, et al. Mechanical properties of expansion casing and residual stress after expansion[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University: Natural Science, 2010, 44(7): 90-94, 113.
- [9] 杨进,龚龙祥,付建红,等. 膨胀套管的弹塑性理论分析[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(3): 32-34.
Yang Jin, Gong Longxiang, Fu Jianhong, et al. The elastic-plastic theoretic analysis of the expandable casing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(3): 32-34.
- [10] 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.
- [11] 朱春林,刘爱民,赵志国. 膨胀套管技术在塔河油田超深井侧钻井中的应用[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(31): 8384-8388.
Zhu Chunlin, Liu Ai'min, Zhao Zhiguo. Application of expanding casing technique in Tahe Oilfield superdeep sidetracking well[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(31): 8384-8388.

[编辑 令文学]