

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2022030

引用格式: 唐明, 齐鑫, 蔡鹏, 等. 等井径膨胀套管系统研制与试验 [J]. 石油钻探技术, 2023, 51(1): 45-50.

TANG Ming, QI Xin, CAI Peng, et al. Development and test of a MonoHole expandable casing system [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(1): 45-50.

等井径膨胀套管系统研制与试验

唐 明, 齐 鑫, 蔡 鹏, 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 257017)

摘 要: 为了解决深井超深井钻遇复杂地层时实现无内径损失的机械封堵难题, 通过优选大膨胀率管材、设计大变形膨胀螺纹和变径膨胀工具, 研制了 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统。通过室内试验, 评价了 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统的机械性能、膨胀性能, 试验结果显示: $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统膨胀后的抗外挤强度为 15.1 MPa, 抗内压强度为 29.3 MPa, 连接强度为 1 850 kN, 满足等井径膨胀套管作为“应急套管”临时封堵的要求; 膨胀压力 18~20 MPa, 膨胀过程顺利, 膨胀后整个系统性能良好。在测试 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统井下功能性和裸眼下入性的基础上, 进行了井下全过程试验, $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统膨胀顺利, 膨胀后内径为 245.0 mm, 满足 $\phi 241.3$ mm 工具下入要求, 达到了等径膨胀和无内径损失钻进的目的。研究和试验结果表明, $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统可实现等径膨胀, 可满足等井径膨胀及封堵作业要求, 为等井径膨胀套管系统现场应用奠定了基础。

关键词: 等井径膨胀套管; 机械性能; 膨胀性能; 实验室试验; 井下试验

中图分类号: TE931.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2023)01-0045-06

Development and Test of a MonoHole Expandable Casing System

TANG Ming, QI Xin, CAI Peng, WU Liugen

(Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257017, China)

Abstract: In order to achieve mechanical plugging without inner diameter loss while drilling deep and ultra-deep wells in complex formations, a MonoHole expandable casing system with a size of $\phi 219.1$ mm was developed by selecting tubes with a large expansion rate, and by designing the expandable screws with a large deformation and adjustable expansion tools. The mechanical and expansion properties of the system were evaluated through laboratory tests. The results indicated that the system was characterized by a collapse resistance of 15.1 MPa, a burst strength of 29.3 MPa, and a connection strength of 1 850 kN, which met the requirement of using the system as emergency casing for temporary plugging. The expansion pressure was 18-20 MPa. The expansion was smooth, and the system performs well after expansion. After the downhole functionality and open-hole running of the system were tested, a downhole whole-process expansion test was conducted. The system expanded smoothly, and its inner diameter after the expansion was $\phi 245.0$ mm, which met the running requirement of tools with a size of $\phi 241.3$ mm. The results achieved the research objectives to bring about the same-diameter expansion and drilling without inner diameter loss. The research and test results revealed that the MonoHole expandable casing system with a size of $\phi 219.1$ mm could accomplish the same-diameter expansion and meet the requirements of MonoHole expansion and plugging operation. The research results lay a foundation for the field application of the MonoHole expandable casing system.

Key words: MonoHole expandable casing; mechanical property; expansion property; laboratory test; downhole test

油气钻井过程中, 随着钻井深度和套管层次增加, 井眼和套管的直径逐级减小, 深部复杂地层钻进和封隔难度不断增加。膨胀管技术可以在一定程

度上增大井径利用率, 可作为一种机械封堵方案用于井身结构和钻井方案设计, 进一步优化井身结构, 但仍存在一定的内径损失, 无法继续采用原尺

收稿日期: 2022-02-02; 改回日期: 2022-12-15。

作者简介: 唐明 (1969—), 男, 四川营山人, 1991年毕业于上海交通大学机械工程专业, 2009年获中国石油大学 (华东) 机械设计专业博士学位, 研究员, 主要从事膨胀管技术研究、推广及完井工具研发工作。E-mail: tommysd@163.com。

基金项目: 中国石化集团科技攻关项目“等井径膨胀套管系统应用技术研究” (编号: JP14016) 部分研究内容。

寸钻头钻进。等井径膨胀套管技术能有效增大完井后井筒的直径,可在不减小井眼直径条件下实现复杂地层封堵和无内径损失钻进,当深井钻遇复杂地层时,可作为临时技术套管进行机械封堵,无需改变钻头尺寸和井身结构继续钻进,有利于钻至设计完钻井深^[1-4]。

目前,等井径膨胀套管技术国际上尚无规模化成熟应用。国外,Enventure公司开发的MonoSET等井径膨胀套管系统,已完成不同规格等井径膨胀套管现场试验;2010年该公司的 $\phi 203.2\text{ mm}\times\phi 244.5\text{ mm}$ MonoSET裸眼补贴系统实现了商业化应用;2020年10月在沙特Faladi油田的JLDI-850井进行了 $\phi 311.1\text{ mm}$ 等井径膨胀套管封堵试验,现已完成数十口井的现场试验^[5-6]。Baker Hughes公司开发出 $\phi 203.2\text{ mm}\times\phi 244.5\text{ mm}$ LinEXX等井径尾管系统,并在重点漏失层中成功应用。Weatherford公司正在研发和试验MonoBore等井眼系统^[5-7]。国内,中国石化、中国石油和多所石油院校都对等井径膨胀管技术进行了攻关研发,中石化石油工程技术研究院有限公司进行了膨胀波纹管研究^[8-13],中国石油集团工程技术研究院有限公司进行了 $\phi 215.9\text{ mm}$ 井眼等井径膨胀套管系统研究和井下试验^[14];各石油院校也对等井径管材和力学性能等进行了研究^[15-18]。但国内的相关研究目前均处于理论研究和室内评价试验阶段,尚未进行现场试验。

笔者通过优选膨胀管材、设计大变形膨胀螺纹和变径膨胀工具,研制了 $\phi 219.1\text{ mm}$ 等井径膨胀套管系统,并通过室内试验和井下试验评价了 $\phi 219.1\text{ mm}$ 等井径膨胀管系统的功能性和可靠性,为等井径膨胀套管系统现场试验奠定了基础。

1 等井径膨胀套管核心技术

等井径膨胀套管系统在多级液缸机构作用下,使可变径膨胀工具发生二次变径,通过液压作用实现膨胀套管的等井径膨胀变形,膨胀后其内径基本与上层套管内径相同,达到无内径损失钻进。笔者通过优选大膨胀率管材、设计大变形膨胀螺纹和可变径膨胀工具,研制了 $\phi 219.1\text{ mm}$ 等井径膨胀套管系统。 $\phi 241.3\text{ mm}$ 井眼扩眼后下入 $\phi 219.1\text{ mm}$ 等井径膨胀套管系统,等径膨胀套管膨胀后内径达 245.0 mm ,可满足 $\phi 241.3\text{ mm}$ 钻头继续钻进的要求。

1.1 大膨胀率管材优选

用于等井径封堵的膨胀套管,其管体膨胀率需

要达到 $18\%\sim 25\%$,远大于常规膨胀管。因此,对于管材性能要求更高,要其具有较高的延伸率,以满足管体膨胀率高的要求,同时要求管体膨胀后仍具有较好的机械强度,以达到封堵要求,并保证后续作业安全顺利^[19]。

结合等井径膨胀套管膨胀率高的要求,优选低屈强比、高延伸率的ERW直缝焊管材作为 $\phi 219.1\text{ mm}$ 等井径膨胀套管的基材。通过对J55钢级的ERW焊管进行特殊形变热处理,利用形变诱导Nb、Ti析出,抑制奥氏体再结晶,加大奥氏体加工硬化,加速铁素体相变,可以实现铁素体的快速形成,将延伸率提高至 40% 以上,有效降低系统膨胀力,提高其膨胀后的机械性能。通过测定等井径膨胀套管原始状态和扩径 23% 状态下的力学性能,发现其力学性能满足大变形膨胀和复杂地质条件的要求(见表1)。

表1 等井径膨胀套管膨胀前后的力学性能

Table 1 Mechanical properties of MonoHole expandable casing before and after expansion

状态	外径/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率, %
原始	220	458	541	40.1
扩径23%	265	580	652	15.7

1.2 大变形膨胀螺纹

根据等井径膨胀套管的作业特点可知,螺纹的膨胀率要与管体一致,这就要求螺纹在较大变形率条件下仍需保持连接和一定的密封强度。借鉴特殊螺纹接头和膨胀套管螺纹接头的基本结构,设计出大变形膨胀螺纹。该螺纹采用锥角 $1:16$ 的负角度偏梯形螺纹,螺纹齿形为倒钩式(见图1),主台肩采用 -15° 的逆向扭矩台肩,辅助台肩选择直角台肩,辅助密封效果好。考虑到等井径膨胀套管螺纹的膨胀率较大,将承载面角优化为 -10° ,从而保证外螺纹止口在膨胀过程中与内螺纹根部紧密贴合,不会松脱,增强螺纹的密封能力^[20-22]。



图1 大变形膨胀螺纹结构示意图

Fig.1 Structure of expandable screws with large deformation

设定膨胀过程螺纹接头下端保持轴向不变,环向膨胀扩径,采用弹塑性大变形非线性有限元分析

软件模拟膨胀工具自下而上运行,使螺纹接头完成膨胀的过程。以膨胀工具在连接螺纹下端部为基准点($U_2=0$ mm),分析不同径向膨胀位移 U_2 下,螺纹接头膨胀过程中的应力演变规律,结果见图 2。从图 2

可以看出,膨胀过程中,螺纹接头应力峰值最大不超过 860 MPa,而所优选膨胀材料的拉伸极限为 1 172 MPa,具有较大的安全余量,整体应力状态处于较低水平,符合设计要求。

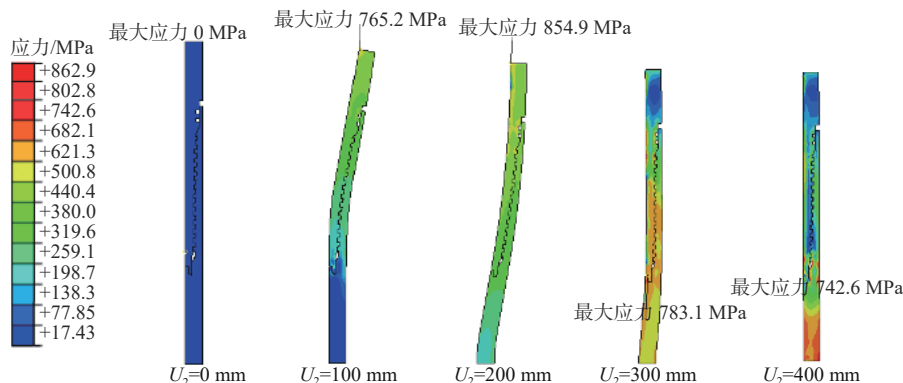


图 2 螺纹接头膨胀过程中的应力云图

Fig.2 Stress contours of threaded joints during expansion

1.3 变径膨胀工具

常规膨胀管采用单一固定尺寸的实体膨胀锥完成管体膨胀,而等井径膨胀套管需要在井下实现更大膨胀率的膨胀,这就要求膨胀工具可以变径,实现二次变径膨胀,以满足等井径膨胀套管下入和膨胀结束后与上层套管具有相同内径的要求,保证使用同一尺寸钻头继续钻进。该膨胀工具主要由可变径膨胀锥、液缸闭合助力机构、压力控制机构等组成,各部分联动共同完成可变径锥闭合及管体的等井径膨胀过程。变径膨胀工具采用六瓣交错式结构的可变径膨胀锥,上、下变径锥片通过“T”形结构的配合槽分别与上、下固定锥连接,可在井下通过液压作用实现上、下变径锥片的闭合变径,使外径达到等径膨胀套管膨胀尺寸的要求,并在作业时保持外径尺寸不变^[23-25]。

在膨胀过程中,变径膨胀锥的锥角主要影响膨胀套管的残余应力和膨胀时的轴向膨胀力,在膨胀锥锥角为 $8^\circ \sim 15^\circ$ 时,膨胀套管的膨胀力几乎保持不变并且比较低(见图 3),但膨胀套管的残余应力随锥角增大而增大。经过综合分析,将可变径锥锥角优化为 9° (见图 4),有效地改善了膨胀套管和变径膨胀工具的受力状况。同时采用合理的表面处理工艺和减摩措施,避免了冷焊现象的出现。

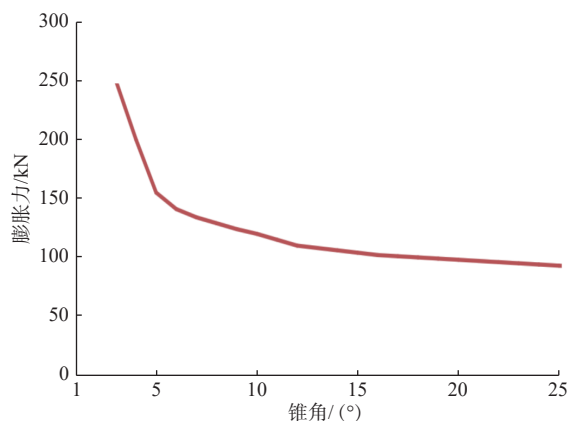


图 3 管体膨胀力与膨胀锥锥角的关系

Fig.3 Relation between expansion force of pipe body and cone angle of expansion cone

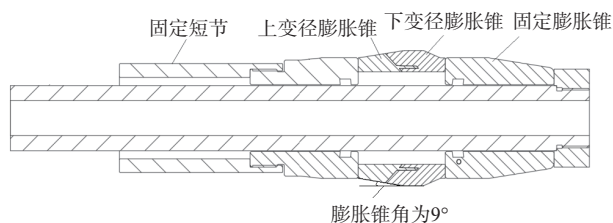


图 4 变径膨胀工具膨胀锥的锥角

Fig.4 Expansion cone angle of adjustable expansion tools

2 室内试验

2.1 机械性能评价

为了评价 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管的机械性

能,按标准《石油天然气工业 套管及油管螺纹连接 试验程序》(GB/T 21267—2007)测试 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管膨胀后的抗外挤强度、抗内压强度和螺纹连接强度。采用 SWCPTS-200 外压挤毁试验机进行 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管膨胀后纯外压条

件下的挤毁试验,测得 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管膨胀后的抗外挤强度为15.1 MPa,发现其破坏形式为管体挤毁失效。将膨胀后的 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管两端封堵,采用SWLPTS-200水压增压系统进行抗内压试验,测得其抗内压强度为29.3 MPa,发现其破坏形式为螺纹撕裂失效。采用SWFSTF-1600复合加载试验机进行 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管膨胀后的拉伸试验,测得 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管膨胀后的连接强度为1 850 kN,发现其破坏形式为螺纹断裂失效。试验结果表明, $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管膨胀后的机械性能与J55钢接近,基本满足等井径膨胀套管作为“应急套管”临时封堵的要求。

2.2 膨胀性能评价

为了评价 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管的机械膨胀性能,对其管体进行了大膨胀率试验。在300T卧式压力试验机上,采用 $\phi 222.5$ mm— $\phi 245.0$ mm— $\phi 280.0$ mm多级尺寸的膨胀锥(见图5),对 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管进行冷扩膨胀,缓慢施加压力,各级尺寸膨胀压力分别为16, 18和26 MPa,膨胀过程平稳,管体未发生撕裂现象。试验结果表明, $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管管体的最大膨胀率可达40%以上,远超等井径膨胀套管系统的膨胀率(23.1%),管体的膨胀性能满足要求。

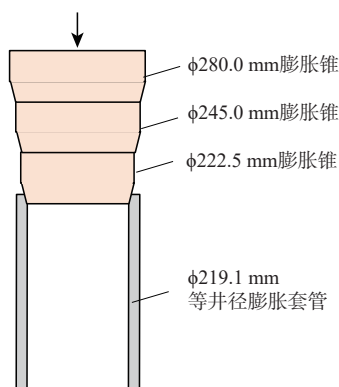


图5 等井径膨胀套管多级膨胀锥室内膨胀示意

Fig.5 Indoor expansion test of MonoHole expandable casing using multistage expansion cone

为了验证 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管系统膨胀材料、膨胀螺纹、变径膨胀机构等关键结构的可靠性,在实验室通过液压方式,测试了 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管系统的膨胀性能。等井径膨胀套管系统采用多段螺纹连接的等井径膨胀套管,采用可变径膨胀工具和液缸闭合机构,在纯液压状态下,对等井径膨胀套管系统进行变径膨胀试验。无约束条件

下,变径膨胀锥闭合过程平稳顺利,变径膨胀锥闭合压力为25 MPa,管体及螺纹等井径膨胀的压力为18~20 MPa,膨胀后管体及螺纹性能良好。试验结果表明,等井径膨胀套管的材料、变径膨胀机构及大变径膨胀螺纹均满足等井径膨胀及设计要求。

3 井下试验

在室内试验的基础上,为了进一步测试等井径膨胀套管系统在井下条件的工作状态,进行了井下功能性试验、裸眼下入性试验和井下全过程试验,以检验等井径膨胀套管系统结构和施工工艺的可行性。

3.1 井下功能性试验

在S2-X101井 $\phi 339.7$ mm套管内下入7根 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管,目的是在未固井状态下,检测压力控制机构、液缸闭合助力机构、变径膨胀工具等机构的性能。 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管下至 $\phi 339.7$ mm套管内,投入钻杆胶塞,清水顶替至胶塞复合,加压至24 MPa促使变径膨胀锥发生二次变径,加压至28 MPa剪切胶塞至碰压座, $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管在22 MPa压力下实现等径膨胀,压力控制机构、液缸闭合助力机构、变径膨胀工具等机构工作正常,验证了 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管系统的功能。

3.2 裸眼下入性试验

在KD641-X27井的裸眼井段进行 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管的下入性试验。采用钻后扩眼工艺对该井 $\phi 250.8$ mm裸眼段的试验井段进行扩眼,在电测井径基础上,采用模拟管进行通井,通井通畅后,下入 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管, $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管顺利通过试验井段上的 $\phi 250.8$ mm未扩眼井段,安全下至扩眼的试验井段,验证了 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管的裸眼下入性。

3.3 井下全过程试验

为验证 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管系统的功能性和全过程施工工艺的可行性,在胜利油田河31-斜190井进行了全过程模拟试验,该试验以 $\phi 339.7$ mm套管模拟 $\phi 241.3$ mm井眼,在 $\phi 339.7$ mm套管内下入 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管系统,膨胀后作为临时技术套管,以满足采用 $\phi 241.3$ mm钻头钻进二开直至设计井深的要求。

将 $\phi 219.1$ mm等井径膨胀套管系统下至280.00~290.00 m井段,下入时该系统最大外径241.3 mm。

$\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统下至设计位置后, 循环洗井, 注入缓凝水泥浆固井, 胶塞顶替到位; $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统的压力控制机构表现正常, 胶塞复合和膨胀工具闭合现象明显, 开始膨胀时的压力为 40 MPa, 等径膨胀压力 18~24 MPa, 膨胀工具安全丢手。下入 $\phi 241.3$ mm 磨鞋, 钻除 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统的附件后, 下入井下电视监测系统对 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管膨胀后的管体及膨胀螺纹进行可视化监测, 发现膨胀后管体内壁光滑完整、膨胀螺纹连接可靠。采用 $\phi 241.3$ mm 钻头进行二开钻进, 钻至井深 2 751.00 m 完钻, 因油藏原因需侧钻, 在井深 1 500.00 m 侧钻, 侧钻至井深 2 645.00 m 完钻, 最大井斜角 54.22° , $\phi 139.7$ mm 套管下至井深 2 635.28 m, 顺利完成固井及完井作业, 完井井身结构如图 6 所示。

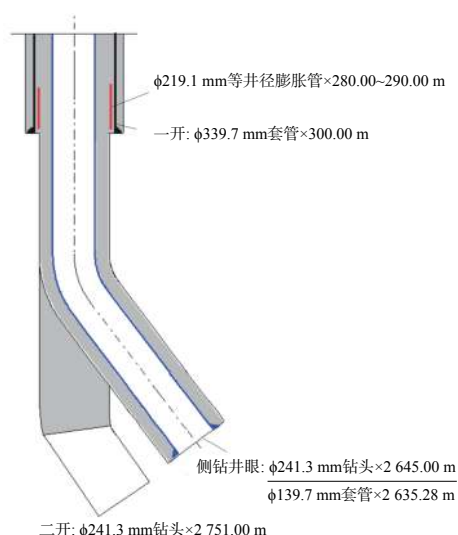


图 6 河 31-斜 190 井的井身结构

Fig.6 Casing program of Well H31-X190

该试验下入的 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统, 膨胀后内径达到 245.0 mm, 作为临时技术套管服役 39 d, 满足了后续 $\phi 241.3$ mm 磨鞋和 $\phi 241.3$ mm 钻头的安全下入, 达到了等径膨胀和无内径损失钻进的效果。

4 结论及建议

1) 研制了 $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统, 室内试验结果表明其机械性能和膨胀性能达到了设计要求。

2) 井下全过程试验表明, $\phi 219.1$ mm 等井径膨胀套管系统达到了等井径膨胀效果, 满足 $\phi 241.3$ mm

钻头通过和作为临时技术套管的要求。

3) 等井径膨胀套管系统的结构需要进一步优化, 配套施工工艺需进一步完善, 以提高其稳定性和可靠性。

参考文献

References

- [1] MCKEE R Jr, FRITSCH J. Successful field appraisal well makes single-diameter wellbore a reality[R]. SPE 112755, 2008.
- [2] STOCKMEYER C F, STOREY B, EMERSON A B. Expandable monobore drilling liner extension technology: applications and implementations following the first commercial introduction and deployment[R]. SPE 113901, 2008.
- [3] WIRE W O. Single-diameter expandable casing applications continue to advance[J]. World Oil, 2008, 229(7): 37-40.
- [4] LAPEIRA M. Successful monobore expandable liner extension deployment saves difficult well onshore Egypt[J/OL]. Drilling Contractor, 2010, <https://www.drillingcontractor.org/successful-monobore-expandable-liner-extension-deployment-saves-difficult-well-onshore-egypt-6354>.
- [5] 唐明, 吴柳根, 宁学涛, 等. 等井径膨胀套管技术发展现状 [J]. 石油矿场机械, 2009, 38(12): 12-17.
TANG Ming, WU Liugen, NING Xuetao, et al. Development status of MonoHole expandable casing technology[J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(12): 12-17.
- [6] 曹川, 任荣权, 王宏伟, 等. 国外膨胀管技术应用新进展 [J]. 石油机械, 2013, 41(5): 29-32.
CAO Chuan, REN Rongquan, WANG Hongwei, et al. The development of monobore expandable casing technology abroad[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(5): 29-32.
- [7] 吴柳根, 宁学涛, 唐明. 等井径膨胀套管技术应急应用研究 [J]. 钻采工艺, 2013, 36(6): 1-4.
WU Liugen, NING Xuetao, TANG Ming. Emergency application of monohole expandable casing technology[J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(6): 1-4.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 王建军, 陶兴华, 邹勇, 等. 膨胀波纹管焊接工艺及焊缝膨胀性能分析 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(3): 61-65.
WANG Jianjun, TAO Xinghua, ZOU Yong, et al. Analysis of welding technology and weld expansion performance on expandable profile liner[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(3): 61-65.
- [11] 张辉, 王锦昌, 王翔, 等. 膨胀波纹管技术在大斜度井易垮塌地层的应用 [J]. 断块油气田, 2015, 22(3): 394-397.
ZHANG Hui, WANG Jinchang, WANG Xiang, et al. Application of

- expandable convoluted tubing technique in easy collapsed formation of highly deviated well[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2015, 22(3): 394–397.
- [12] 刘鹏, 陶兴华, 胡彦峰, 等. 提高膨胀波纹管在弯曲井眼中应用可靠性研究[J]. *石油钻采工艺*, 2019, 41(2): 170–177.
LIU Peng, TAO Xinghua, HU Yanfeng, et al. Research on reliability improving of expandable bellow application in crooked holes[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2019, 41(2): 170–177.
- [13] 胥豪, 夏文安, 张建涛, 等. 膨胀管技术在塔河油田 T816KCH2 井的应用[J]. *特种油气藏*, 2013, 20(5): 145–147.
XU Hao, XIA Wenan, ZHANG Jiantao, et al. Application of expandable tube technology in Well T816KCH2 of Tahe Oilfield[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2013, 20(5): 145–147.
- [14] 徐丙贵, 贾涛, 黄翠英, 等. 膨胀管技术在钻井过程中的研究与应用[J]. *石油机械*, 2013, 41(4): 11–15.
XU Binggui, JIA Tao, HUANG Cuiying, et al. Research and application of expandable pipe technology in drilling[J]. *China Petroleum Machinery*, 2013, 41(4): 11–15.
- [15] 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.
- [16] 何伟国, 唐明, 吴柳根. 塔河油田深层侧钻水平井膨胀套管钻井完井技术[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.
- [17] 汪海阁, 王云建. 国内攻关的热门钻井技术(三): 膨胀管理技术及单一井眼技术[J]. *石油与装备*, 2010(5): 55–57.
WANG Haige, WANG Yunjian. Hot drilling technology for domestic tackling key problems (III): expansion management technology and single hole technology[J]. *Petroleum and Equipment*, 2010(5): 55–57.
- [18] 黄满良, 黄华宁, 张飙, 等. 膨胀管补贴施工中最大下入深度的确定[J]. *石油钻采工艺*, 2018, 40(2): 190–192.
HUANG Manliang, HUANG Huaning, ZHANG Biao, et al. Determination of the maximum setting depth during the construction of expandable tubular patching[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(2): 190–192.
- [19] 宋开红. 单一井径大膨胀率膨胀套管用 TWIP 钢的研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2011.
SONG Kaihong. Development of the TWIP steels for expandable casing with large expansion rate[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2011.
- [20] 唐明. 等井径膨胀套管螺纹接头的应力分析[J]. *石油机械*, 2015, 43(6): 11–15.
TANG Ming. The stress of the thread connection of mono-diameter expandable tubular[J]. *China Petroleum Machinery*, 2015, 43(6): 11–15.
- [21] 陈强, 高杉, 李益良, 等. 膨胀管联接螺纹结构优化设计[J]. *润滑与密封*, 2013, 38(6): 90–93.
CHEN Qiang, GAO Shan, LI Yiliang, et al. Optimization of connection thread structure of expandable tubular[J]. *Lubrication Engineering*, 2013, 38(6): 90–93.
- [22] 梁金豹, 江屏, 宋开红, 等. 等井径膨胀套管连接密封功能解耦与创新设计[J]. *石油矿场机械*, 2013, 42(11): 42–48.
LIANG Jinbao, JIANG Ping, SONG Kaihong, et al. Functional decoupling and innovation design for connection and seal of mono hole expandable casing technology[J]. *Oil Field Equipment*, 2013, 42(11): 42–48.
- [23] 刘言理, 聂上振, 齐月魁, 等. 套损井多次补贴用可变量膨胀锥设计与性能分析[J]. *石油钻探技术*, 2017, 45(5): 78–83.
LIU Yanli, NIE Shangzhen, QI Yuekui, et al. Design and performance of a variable-diameter expandable cone in a well with casing damage for multiple patching[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2017, 45(5): 78–83.
- [24] 唐兴波, 李黔, 刘永刚. 膨胀管变径膨胀工具结构优化设计[J]. *石油矿场机械*, 2008, 37(11): 23–25.
TANG Xingbo, LI Qian, LIU Yonggang. Optimized design of variable diameter expansion tool for expandable tubular[J]. *Oil Field Equipment*, 2008, 37(11): 23–25.
- [25] 王磊. 膨胀管变径膨胀锥设计理论研究[J]. *石化技术*, 2019, 26(11): 337–338.
WANG Lei. Study on design theory of variable diameter expansion cone of expandable tubular[J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2019, 26(11): 337–338.

[编辑 刘文臣]