

高压裸眼油气井钻采一体化井口大四通装置

徐鹏海¹, 张莎², 杨双宝¹, 申彪¹, 魏保卫¹

1. 中国石油塔里木油田分公司勘探事业部 新疆库尔勒 841000

2. 中国石油塔里木油田分公司工程技术部 新疆库尔勒 841000

通讯作者: Email: xuph-tlm@petrochina.com.cn

项目支持: 中石油股份公司科技重大专项“碳酸盐岩安全、快速、高效钻完井技术”(2010E-2109)

引用: 徐鹏海, 张莎, 杨双宝, 等. 高压裸眼油气井钻采一体化井口大四通装置[J]. 油气井测试, 2018, 27(6): 33-38.

Cite: XU Penghai, ZHANG Sha, YANG Shuangbao, et al. Large four-way device of drilling and production integrated wellhead for high-pressure open-hole oil and gas well [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 33-38.

摘要 针对高压裸眼油气井完井转试油时存在的井控风险, 设计并制造了钻采一体化井口大四通装置。该装置采取多尺寸套管密封形式和加长防磨套设计, 法兰尺寸同时符合钻井防喷器和试油防喷器、采油树安装要求, 结构及性能满足钻井和试油、采油工艺。在钻揭高压目的层之前提前安装钻采一体化四通, 目的层钻进作业依托一体化四通顺利完成, 完钻后直接下入测试-完井一体化管柱进行放喷测试。140 MPa 钻采一体化井口大四通在塔里木油田 FY104、GL1、ZG70 井的成功应用表明, 该装置能缩短钻完井周期 8 d, 降低作业成本, 操作方便, 可靠性高, 适用于高压油气井的试油完井作业。

关键词 高压油气井; 完井; 试油; 钻采一体化四通; 井口装置; 井控风险; 作业周期

中图分类号: TE353 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.06.006

Large four-way device of drilling and production integrated wellhead for high-pressure open-hole oil and gas well

XU Penghai¹, ZHANG Sha², YANG Shuangbao¹, SHEN Biao¹, WEI Baowei¹

1. Exploration Department of PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China

2. Engineering Technology Department of PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China

Abstract: To address the well control risk in the completion to testing operation of high-pressure open-hole oil and gas well, a large four-way device for drilling and production integrated wellhead is designed and manufactured. The device adopts multi-size casing sealing and extended anti-wear sleeve design. The flange size meets the requirements of drilling and oil testing blowout preventer and installation of the Christmas tree; while the structure and performance meet the drilling and oil testing and production operation requirements. Before drilling the high-pressure layer, the drilling and production integrated four-way is installed in advance. And then, after the target layer drilling operation using the integrated four-way device, the testing-completion integrated string is run to conduct well testing. The successful applications of the 140 MPa drilling and production integrated wellhead in the Well FY104, Well GL1 and Well ZG70 in the Tarim Oilfield show that the device can shorten the drilling and completion cycle by 8 days, reduce operating costs, and is easy to operate and highly reliable, which is suitable for well testing and completion operation of high pressure oil and gas well.

Keywords: high pressure oil and gas well; completion; oil testing; integrated drilling and production four-way; wellhead device; well control risk; operation cycle

在钻采一体化井口大四通应用前, 防喷器安装在钻井四通上部构成钻井井口装置, 完井时需要将钻井四通更换为采油四通, 并将采油树安装在采油四通上部, 构成采油油气井口装置。这样才能满足钻完井和生产的需求。

塔里木盆地奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层埋藏深度普遍在 6 500~7 800 m, 压力系数 1.45~2.07,

硫化氢浓度 10~10 000 ppm, 属于超深、异常高压、高含硫化氢, 并且是“窄压力窗口”储层。因此, 易喷易漏, 井控风险极大。对于这样的超深、高压、高含硫井, 钻井井口装置和采油井口是井控重要的设备, 一些文献有过相关报道。窦益华等^[1]针对高压油气井试油完井工艺及其井口控制配套装置, 提出需从系统上考虑试油完井的井口设备。朱进府

等^[2-3]分析了高压油气井测试和完井生产中井喷发生的原因和后果,提出井口控制配套装置的概念、研究井口控制的方法和研制新的装置。孙海芳等^[4]提出高温高压碳酸盐岩深井往往具有测试产量不确定、易出现又漏又喷复杂情况、后续压井易造成二次污染等问题。石希天等^[5]提出了塔里木奥陶系碳酸盐岩敏感性储层的钻井难点;针对以上问题,胥志雄等^[6]、程伟等^[7]、张川等^[8]、张浩等^[9]、赵忠辉等^[10]针对碳酸盐岩易喷易漏常压井提出了钻完井一体式油套管头的新型井口装备理念,这种一体化四通可同时满足钻井、试油两用,有效解决了碳酸盐岩易喷易漏井频繁换装井口带来的风险,但是随着井控装备压力级别的提升及钻完井一体化的应用,该装备在实际使用过程中经常出现油套管头损坏及芯轴式悬挂器坐挂后无法试压的情况。

陈浩等^[11]、杨胜海等^[12]详细论述了采油气井口装备失效分析,文中建议在井口装置设计选材时,应提高阀杆等易损件的抗腐蚀能力,选择抗腐蚀轴承以提高闸板、阀座的耐磨性,这为高压油气井井口装置的选材提供了思路。钟功祥等^[13]研究了采油树上平板阀门的密封性和开关力矩的影响因素。郑冲涛^[14]详细介绍了采油气井口发展现状及油田目前常用的高压深井抗疏套管头设计,提出了在结构、密封和配套方面的改进建议,为高压采油气井口装备的研制提供了思路。王鹏^[15]、于成水等^[16]、文志雄等^[17]、刘广君^[18]针对套管头的损坏原因,采用三维静态有限元软件建立套管头整体有限元模型,在不同工况条件下对套管头进行应力计算,得到套管头整体及各部件的应力分布状态,对芯轴式悬挂器失效原因进行分析并提出了结构上的改进,这种三维静态有限元应力分析方法为高压采油气井口的整体模型应力分析提供了思路。强彦龙等^[19]、陈惠琴等^[20]论述了国内外采油(气)井口装置现状及发展趋势并调研了国外井口密封技术现状。文中从高压油气井可能出现环空异常带压的问题出发,提出了目前国外高压油气井使用可靠性和稳定性更优的金属密封为主,橡胶密封为辅的密封形式,这为国产 140 MPa 高压油气井井口使用金属密封提供了全新的思路。鉴于塔里木盆地奥陶系鹰山组碳酸盐岩超深井关井井口压力高达 106 MPa,储层改造时井口最高施工压力高达 118 MPa,该区块易喷易漏,单井产量高,完井后需要长期投产,井控风险较高,井筒完整性要求十分严格^[21]。因此,对于这一类型的井,必须采用密封形

式以金属密封为主的 140 MPa 钻采一体化高压井口装备进行试油完井。

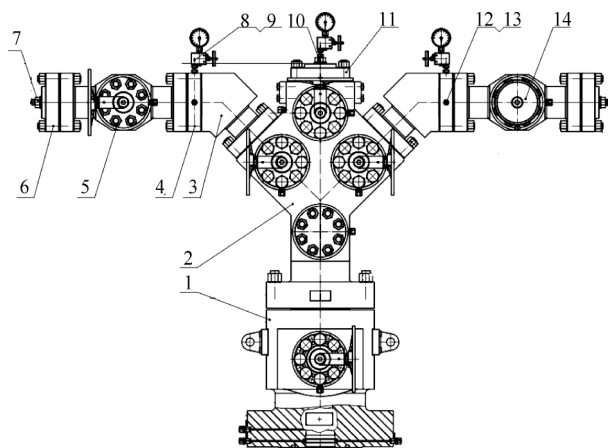
近年来,针对高压油气井,从采油气井口结构优化入手,依靠三维静态有限元软件建立采油树整体模型应力分析,成功研制了 140 MPa EE-NL 型钻采一体化井口大四通和与之相配套的采油树。在钻揭高压目的层前先安装好钻采一体化四通,进行钻进打开油气层,接下来的试油完井作业不需再更换四通,避免了易喷易漏高压井换装井口作业的风险,减少了安装、试压时间。通过在 FY104、GL1 和 ZG70 井应用,使用这种钻采一体化井口大四通可缩短钻完井周期 8 d 以上,与同类进口采油气井口相比,大大节约了成本。

1 钻采一体化井口大四通技术

从结构组成、主要技术参数、强度分析、配套技术和技术优势等方面介绍钻采一体化井口大四通装置的技术特征。

1.1 结构

钻采一体化井口大四通主要由上下法兰、钢圈槽、两翼阀门、加长防磨套、压力表等部分组成,其结构如图 1 所示。该装置的作用是将传统钻井及采油四通的结构优化为钻采一体化四通,进而实现钻井、完井两用。



- 1-整体式主阀;2-Y形组合阀;3-弯头 135°;4-仪表法兰;
5-手动平板阀;6-丝扣法兰;7-接头;8-直通式截止阀;
9-压力表;10-接头;11-丝扣法兰;
12、13-堵头;14-液动安全阀

图 1 钻采一体化井口大四通结构图

Fig.1 Structure of the large four-way of drilling and production integrated wellhead

1.2 主要技术参数

钻采一体化井口四通有三种规格,其压力等级为 70 MPa、105 MPa、140 MPa,但其结构相同。以塔

里木常用的 KQ78/78-140 EE-NL 型钻采一体化井口四通为例,其技术参数为:

垂直最小通径 174 mm,采油树主、侧通径 78 mm;油管帽与 1#主阀之间的采用整体式连接,采油树额定工作压力 140 MPa,温度等级 L~U(−46~121 ℃),材料代号和级别分别为 75 K 和 EE-NL,规范级别 PSL3G,性能级别 PR1。

1.3 应力分析

1.3.1 四通应力分析

采用有限元软件分析四通本体的结构。侧通以上按 210 MPa 内压分析,侧通及以下按 158 MPa 内压分析,如图 2 所示。按 75 K 材料屈服强度为 517 MPa,内表面 Mises 最大应力约为 417 MPa,红色区域 Mises 应力约为 725 MPa,主要集中在顶丝孔与本体通孔、侧通与本体通孔相贯线处,以及径向尺寸变化,属于边缘应力集中区域,不影响四通整体的结构强度。

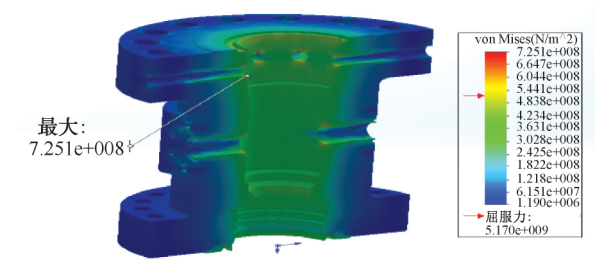


图 2 四通本体应力分布
Fig.2 Stress distribution of the four-way body

1.3.2 采油树应力分析

采用有限元软件分析采油树本体的结构。本体额定工作压力 140 MPa,强压按 210 MPa 内压分析,设定最大 Mises 应力为 655 MPa,如图 3 所示。

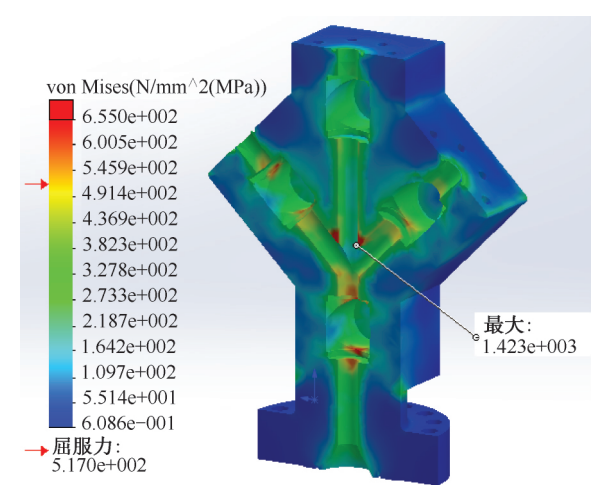


图 3 采油树本体应力分布
Fig.3 Stress distribution of the tree body

按 75 K 材料屈服强度为 517 MPa,内表面 Mises 最大应力约为 440 MPa,红色区域 Mises 应力约为 1 423 MPa,主要位于侧通与主通孔的相贯线处,以及径向尺寸变化处边缘,属于边缘应力集中区域,不影响采油树整体的结构强度。

1.4 多尺寸套管密封形式

钻采一体化井口大四通可用于密封 177.800 mm、196.850 mm、200.025 mm、206.375 mm 油层套管,密封形式为 FS 橡胶密封+金属密封,激发密封后,一体化四通下法兰可以试压至 105 MPa,可以满足超高压油气井的压力级别要求(图 4)。

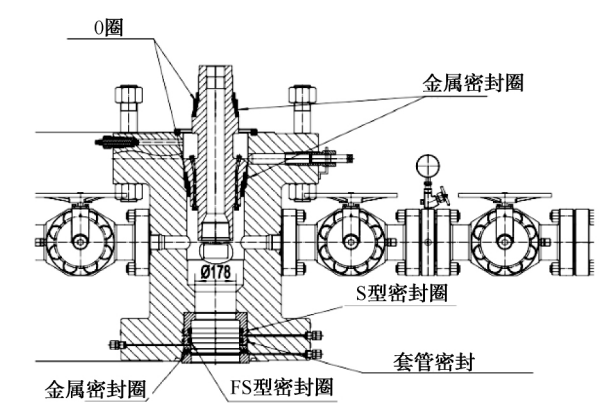


图 4 密封多尺寸套管结构
Fig.4 Sealing multi-size casing structure

1.5 加长防磨套设计

钻采一体化井口大四通防磨套为特殊加长型设计结构(图 5),材料为 35CrMo,防磨套安装到位后下部和回接的套管紧贴,可以有效保护四通密封面,避免钻井及起下钻过程对四通密封面的损伤。

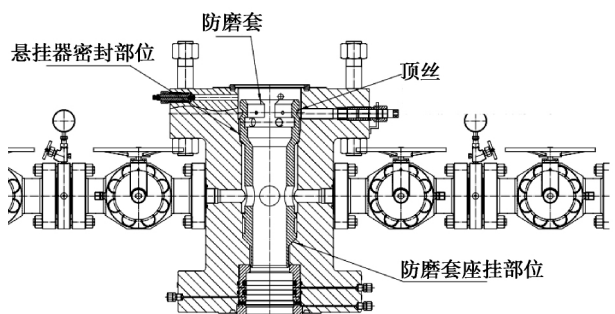


图 5 钻采一体化四通防磨套安装效果
Fig.5 Installation effect of anti-wear sleeve for drilling and production integrated four-way

1.6 技术优势

(1)降低了井控风险。钻采一体化井口四通在钻揭目的层之前一次性安装后,试油及后续作业不

需要再次更换四通,避免了多次换装井口带来的井控风险。

(2)节省了换井口的时间和费用。钻采一体化四通比常规完井采油四通节约了一次井口、防喷器和节流压井管汇重新连接、试压的时间,促进了钻完井提速。

(3)采油树 2#主阀及右翼 2#生产阀门为液动安全阀,配套专用液控柜,可以实现开关井远程操作,大大降低了超高压井口刺漏可能造成的人员伤害。

2 换装井口大四通要求

换装井口大四通技术要求为:该类型油气井通常为五开井的井身结构,三级套管头上法兰型号为 28-105,对应的钻井四通和防喷器型号均为 28-105。钻采一体化四通型号为 28-105(下法兰)×28-140(上法兰)。

以往,目的层钻井时依托钻井四通完成,完钻后要先打水泥塞封隔高压裸眼目的层,回接油层套管后换装完井采油四通,依托完井采油四通进行钻磨水泥塞作业,最后进行试油完井作业。使用钻采一体化四通后,在钻揭目的层前,先回接油层套管并换装一体化四通,一体化四通和防喷器组之间只需使用 28-140(下法兰)×28-105(上法兰)的转换法兰进行转换,实现了目的层依托一体化四通进行钻进,转试油时不需更换完井四通就可以完成试油完井作业。

3 现场应用

140 MPa 钻采一体化井口大四通在 FY104、GL1、ZG70 井先后安装并成功使用。在钻揭高压目的层之前提前安装钻采一体化四通,目的层钻进作业依托一体化四通顺利完成,完钻后直接下入测试-完井一体化管柱进行放喷测试。其中 FY104 井完钻井深 7 809 m,关井油压高达 91.6 MPa,硫化氢浓度 6~9 ppm;GL1 井完钻井深 7 750 m,关井油压高达 91.5 MPa;ZG70 井完钻井深 7 413 m,试油期间开井放喷油压高达 96.3 MPa。三口井试油完井期间,采油树经受住了高温、高压、含硫化氢的恶劣工况,未发生故障及泄漏。现场应用结果表明,该类型井口大四通有效促进了钻完井提速,单井缩短钻完井周期 8 d,大大降低了井口成本。该类型采油树使用统计情况见表 1。

表 1 钻采一体化井口大四通使用情况
Table 1 Application of the drilling and mining integrated wellhead large four-way

井号	井深/ m	替液时最高 套压/MPa	实测目的层 压力系数	测试放喷最 高油压/MPa
FY104	7 809	68	1.91	91.5
GL1	7 750	67	1.87	91.6
ZG70	7 413	65	2.07	96.3

以 ZG70 井为例,施工过程简述如下:

ZG70 井位于塔里木盆地塔中隆起塔中北斜坡 ZG70 井区,目的层是下奥陶统鹰山组鹰三四段一蓬莱坝组。根据五开钻进溢流关井套压和压井后液面情况,折算地层压力系数 2.03~2.07,按纯气预测井口关井压力超过 120 MPa,预计井底温度 178 ℃。

测试工艺采取下 7.625 mm Champ XHP 封隔器五阀一封测试管柱,管柱组合如图 6 所示。

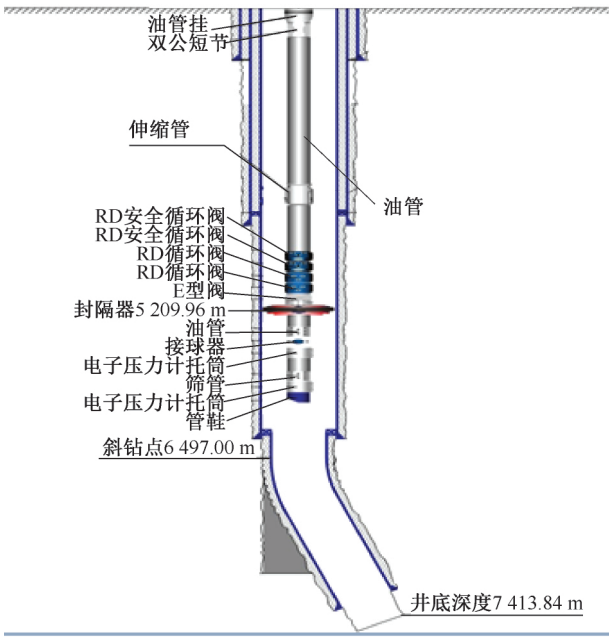


图 6 ZG70 井五阀一封测试管柱图
Fig.6 Five-valve one-packer testing string for Well ZG70

测试有效开井时间 22.13 h,累计排液 80.85 m³,累计产气 42 230 m³。先后用 5 mm、4mm 开井求产,油嘴刺坏严重,求产困难;4 mm 油嘴最高油压升至 97.827 MPa,关井前油压 96.355 MPa。地层压力 135.973 MPa,压力系数 1.88,地层温度 165.4 ℃,地温梯度 2.25 ℃/100 m。定产数据(图 7 和图 8):4 mm 油嘴放喷求产,油压 96.203 MPa,日产气 178 805 m³。预计无阻流量 51.3×10⁴ m³/d。

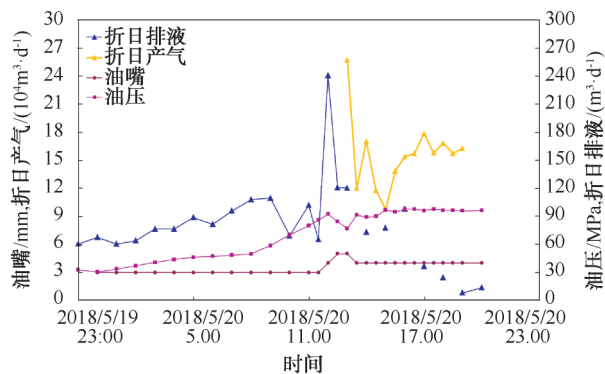


图7 ZG70井S1-1求产曲线

Fig.7 S1-1 production curve of Well ZG70

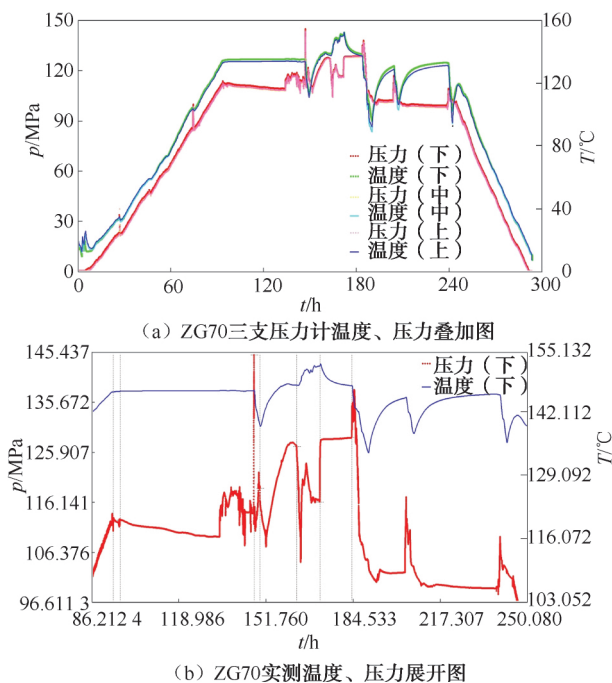


图8 ZG70井压力计回放数据图

Fig.8 Pressure gauge playback data map Well ZG70

ZG70井在钻揭高压目的层前将一体化四通安装到位,五开钻进作业依托一体化四通完成。钻井转试油后,直接下测试管柱,避免了碳酸盐岩易喷易漏高压井换装井口的井控风险。测试期间,采油树经受住了超高温、超高压、纯天然气井的恶劣工况,装备未发生故障及泄漏,性能稳定,有效起到了第一井屏障的作用,为本井测试作业提供了安全保障。

4 结论

(1) 钻采一体化井口大四通采取了多尺寸套管密封形式和加长防磨套设计,其法兰尺寸同时符合钻井防喷器和试油防喷器、采油树安装要求,其结构及性能满足钻井和试油、采油工艺。

(2) 针对碳酸盐岩易喷易漏高压井,在钻揭目的层之前提前换装好钻采一体化四通,避免了完钻后换装井口的井控风险。

(3) 现场应用表明,采用国产 140 MPa 钻采一体化采油树能缩短钻完井周期 8 d,井口使用成本大大降低,操作方便,可靠性高,适用于高压油气井的试油完井作业。

致谢:感谢重庆新泰机械有限责任公司对该类型采油树在加工过程中遇到的技术瓶颈给予的技术支持。

参考文献

- [1] 窦益华,许爱荣,张福祥,等.高温高压深井试油完井问题综述[J].石油机械,2008,36(9):140-142.
DOU Yihua, XU Airon, ZHANG Fuxiang, et al. Summary of well test and completion in high temperature and high pressure deep wells [J]. China Petroleum Machinery, 2008, 36(9): 140-142.
- [2] 朱进府,陈宇中,欧阳彦辉,等.高压油气井井口控制配套装置[J].油气井测试,2008,17(4):72-74.
ZHU Jinfu, CHEN Yuzhong, OUYANG Yanhui, et al. Wellhead control matching equipment for high pressure oil and natural gas well [J]. Well Testing, 2008, 17(4): 72-74.
- [3] 朱进府,季晓红.高温高压井测试工艺技术与装备[J].油气井测试,2005,14(5):44-47.
ZHU Jinfu, JI Xiaohong. Well testing technique and equipment for HP-HT well [J]. Well Testing, 2005, 14(5): 44-47.
- [4] 孙海芳,刘飞,王志敏.高温高压气井试油完井一体化工艺技术[J].钻采工艺,2017,40(4):36-39.
SUN Haifang, LIU Fei, WANG Zhimin. Integrated well testing-completion operation technology in HPHT gas wells [J]. Drilling and Production Technology, 2017, 40(4): 36-39.
- [5] 石希天,肖铁,雷万能,等.塔里木奥陶系碳酸盐岩敏感性储层控压钻井技术应用[J].钻采工艺,2010,33(6):130-131,140.
SHI Xitian, XIAO Tie, LEI Wanneng, et al. Application of controlled pressure drilling technique in Ordovician carbonate sensitive reservoir of Tarim basin [J]. Drilling and Production Technology, 2010, 33(6): 130-131, 140.
- [6] 胥志雄,张斌,康延军,等.钻完井一体式油套管头[P].中国,ZL 2012 2 0038325.5,2012-10-24.
- [7] 程伟,杨笑松.井口槽用新型一体式套管头的设计与应用[J].石油矿场机械,2010,39(8):31-35.
CHENG Wei, YANG Xiaosong. Design and application of new integral casing head used in wellhead slot [J]. Petroleum Field Machinery, 2010, 39(8): 31-35.
- [8] 张川,宋振华,郑泳,等.钻完井一体式油套管头的研制与试验[J].石油机械,2015,43(2):18-21.

- ZHANG Chuan, SONG Zhenhua, ZHENG Yong, et al. Development and test of integral tubing and casing heads for drilling and completion [J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(2): 18-21.
- [9] 张浩, 郭俊杰, 单锋, 等. 钻井完井一体式油套管头在碳酸盐岩井中的应用[J]. 油气井测试, 2014, 23(6): 50-51.
- ZHANG Hao, GUO Junjie, SHAN Feng, et al. Application of integrated tubing and casing head for drilling and completion in carbonate rock [J]. Well Testing, 2014, 23(6): 50-51.
- [10] 赵忠辉. 钻采一体化四通在老井侧钻中应用可行性分析[J]. 石化技术, 2015(3): 204-205.
- ZHAO Zhonghui. Drilling and production integration four passes in the old well side drilling application feasibility analysis [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015(3): 204-205.
- [11] 陈浩, 梁爱武, 李悦钦, 等. 井口装置的失效分析[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 65-67.
- CHEN Hao, LIANG Aiwu, LI Yueqin, et al. Analysis of well-head facilities failure [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 65-67.
- [12] 杨胜海, 庄建冬. 采气井口装置失效分析[J]. 石油工业技术监督, 1999(8): 34-35.
- YANG Shenghai, ZHUANG Jiandong. Failure analysis for the gas production wellhead equipment [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 1999(8): 34-35.
- [13] 钟功祥, 张天津, 肖力彤, 等. 采油(气)井口装置现状及发展趋势[J]. 机电产品开发与创新, 2007, 20(6): 63-64.
- ZHONG Gongxiang, ZHANG Tianjin, XIAO Litong, et al. The current situation and development trend of the wellhead device [J]. Development and Innovation of Mechanical & Electrical Products, 2007, 20(6): 63-64.
- [14] 郑冲涛. 105MPa 高压深井抗硫套管头设计[J]. 钻采工艺, 2003, 26(2): 41-43.
- ZHENG Chongtao. The design of 105 MPa sulfate resistant casing head [J]. Drilling and Production Technology, 2003, 26(2): 41-43.
- [15] 王鹏. 影响阀门开关密封及开关力矩的研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(2): 49.
- WANG Peng. Study on the influence of valve switching seal and switching torque [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013(2): 49.
- [16] 于成水, 张恒, 刘艳红, 等. 悬挂器坐挂失效的简要分析[J]. 钻采工艺, 2002, 25(1): 81-82.
- YU Chengshui, ZHANG Heng, LIU Yanhong, et al. Analysis of the hanger set failure [J]. Drilling and Production Technology, 2002, 25(1): 81-82.
- [17] 文志雄, 张斌, 辜志宏, 等. 井口装置和采油树的特种设备制造许可[J]. 石油机械, 2007, 35(2): 58-60.
- WEN Zhixiong, ZHANG Bin, GU Zhihong, et al. Licensing for the manufacture of special equipment for wellhead installations and oil extraction trees [J]. China Petroleum Machinery, 2007, 35(2): 58-60.
- [18] 刘广君. 套管头四通本体结构的三维静态有限元分析[J]. 钻采工艺, 2011, 34(1): 72-74.
- LIU Guangjun. 3D finite element analysis of main body structure of flanged cross [J]. Drilling and Production Technology, 2011, 34(1): 72-74.
- [19] 强彦龙, 吴建华, 李世民, 等. 国外井口密封技术现状——金属密封[J]. 石油机械, 2014, 42(1): 32-36.
- QIANG Yanlong, WU Jianhua, LI Shimin, et al. Present situation of wellhead sealing technology abroad —metal seal [J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(1): 32-36.
- [20] 陈惠琴, 苏庆. 国外进口套管头及采气井口配套使用技术[J]. 钻采工艺, 2006, 29(6): 129-130.
- CHEN Huiqin, SU Qing. Matching technology of casing heads and gas-producing wellheads [J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(6): 129-130.
- [21] 吴奇, 郑新权, 邱金平, 等. 高温高压及高含硫井完整性指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2017: 42-68.

编辑 刘述忍

第一作者简介:徐鹏海,男,1987年出生,工程师,2012年毕业于西安石油大学石油工程专业,主要从事油气井试油完井生产管理工作。电话:15276143086; Email: xuph-ilm@petrochina.com.cn。通信地址:新疆库尔勒石化大道26号塔指小区,邮政编码:841000。