

# 埕海油田大位移井射孔与电潜泵联作试油技术

刘文凤, 金海锋, 麻惠杰, 王春亮, 杜强, 夏汉玲

中国石油大港油田公司滩海开发公司 天津 300280

通讯作者:Email:liuwfeng@petrochina.com.cn

引用:刘文凤,金海锋,麻惠杰,等. 埕海油田大位移井射孔与电潜泵联作试油技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(5):19-23.

Cite: LIU Wenfeng, JIN Haifeng, MA Huijie, et al. Testing technology of combing perforation and ESP for extended reach well in Chenghai Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(5):19-23.

**摘要** 为解决新井常规试油投产工艺作业工序多、周期长、压井作业对油气层伤害大等问题,研究出一种射孔与电潜泵联作工艺技术。该技术利用“Y”接头将射孔管柱与电潜泵生产管柱有机组合在一起,优化管柱连接、射孔减震装置、起爆方式等配套技术,降低射孔震动对电泵电缆与传感器的震动影响,实现了射孔与投产一趟管柱下入,并在 244.5mm 套管的大位移深井内成功应用。该技术与常规试油技术相比,简化了作业工序,节省了作业成本,保护油气层免遭二次伤害,降低井控安全风险。通过适用范围的拓展研究,该技术可成为试油完井技术的一个发展方向。

**关键词** 埕海油田;大位移井;试油联作;完井;射孔;电潜泵;“Y”管柱

中图分类号:TE27 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.004

## Testing technology of combing perforation and ESP for extended reach well in Chenghai Oilfield

LIU Wenfeng, JIN Haifeng, MA Huijie, WANG Chunliang, DU Qiang, XIA Hanling

Shallow Water Development Company, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China

**Abstract:** New wells often encounter some problems during the testing, such as complex operation procedures, long operating cycles, and reservoir damage. In order to solve these problems, this paper developed a testing technology with combination of perforation and ESP. The technology uses the “Y” joint to combine the perforating string with the ESP production string, so as to optimize the supporting technology such as the connection of string, the perforation damping device and the detonation method. These advantages can reduce the perforating vibration impact to the cable and the sensor of the electric pump and realize that the perforation and the production with one-trip string. This technology has been successfully applied in large displacement deep wells with a casing diameter of 244.5 mm. Compared with conventional testing technology, this technology simplifies the operation process, saves the operating costs, reduces the secondary damage to the reservoir, and reduces the safety risk of well control.

**Keywords:** Chenghai oilfield; extended reach well; combination technology of testing; completion; perforation; ESP; “Y” type pipe string

埕海地区的油气开发受特殊地理位置的影响(位于浅海区域),属于高成本高风险的投资项目,与陆上油气田开发不同的是,大港油田埕海地区的油气田开发是在人工岛上配合井口槽批量钻井技术集中开发,有以下几个特点<sup>[1]</sup>:①作业可使用面积小;②平台吊机载荷有限;③QHSE的要求更高;④大部分井属于大位移井,加大了施工难度;⑤电潜泵举升具有排量大、泵效高、占地面积小等优点<sup>[2]</sup>,是埕海油田最主要的举升手段;⑥平台日费用高。常规的新井试油投产技术主要是通过射孔

后下泵来完成<sup>[3]</sup>,在射孔与下泵之间,出于安全考虑与井控的要求,需对完成射孔的井进行洗井观察。整个过程包含的主要工序有:射孔、观察、洗(压)井、拆采油树、装防喷器、起射孔管柱、下电潜泵管柱、拆防喷器、装采油树、完井。施工过程涉及的工序多,完成工序时间长。此外,射孔后,入井液对已打开的油气层浸泡时间长,对地层伤害大,直接影响油井的单井产量,对含油区块的认识与开发也带来不利影响。针对埕海油气田开发的特点及难点,技术人员以保护油气层、简化作业工序、节省

作业成本、降低井控安全风险为目的,一直致力于试油联作工艺的研究。刘志英等<sup>[4]</sup>研究实验了一趟管柱分层射孔-试油联作技术,肖景华等<sup>[5]</sup>研制开发出射孔枪+内置式压力计托筒+水力泵的新三联作试油(测试)新技术,可见联作技术<sup>[6-10]</sup>已经成熟,应用广泛。随着技术的发展,电潜泵完井管柱由直电潜泵生产管柱发展到Y接头电潜泵生产管柱<sup>[11]</sup>,甄宝生等<sup>[12]</sup>在潜油电泵井中使用“Y”型测试管柱,可以完成地层PVT取样、分层采油、分层处理、分层测试等多项工作,使测试问题得以安全快速解决。左锋等<sup>[13]</sup>利用“Y”接头将电潜泵举升和负压射孔工艺联作有机结合起来在修井作业中成功运用,效果显著。郑金中等<sup>[14]</sup>设计适用于177.8 mm套管井的“Y”型生产管柱,同时配套生产堵塞器、测试堵塞器和锁定式堵塞器等井下工具,实现不动管柱条件下电潜泵生产与分层测试、分层采油等多项工艺。

由此可以看出,利用“Y”管柱的射孔与电潜泵联作工艺技术能够实现射孔和电潜泵生产管柱一次性下入,射孔后直接启泵进行投产,节省了一次洗(压)井、一趟起下管柱的时间,达到保护油气层、缩短试油投产周期、提高经济效益的目的,在实际生产中有着很大的应用前景。

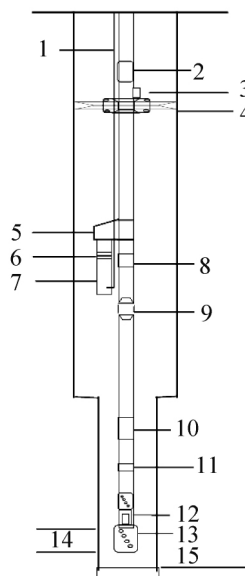
## 1 工艺原理

在 $\phi 244.5$  mm套管内利用“Y”接头的射孔与电潜泵联作工艺,就是将油管传输射孔与电潜泵生产管柱通过“Y”接头进行有机结合,在“Y”接头的主通道接射孔管柱,在旁通管上接电潜泵机组,在清水中一趟管柱完成射孔与下泵工序然后直接投产,同时在管柱上部接近井口位置加装井下安全阀和封隔器,保证作业后的生产安全,实现在 $\phi 244.5$  mm套管的深井内,射孔与电潜泵完井投产的一次性完成。

### 1.1 管柱设计

射孔与电潜泵联作工艺通过“Y”接头将射孔与电潜泵生产管柱有机组合予以实现,形成了投棒点火一体化管柱和憋压射孔一体化管柱,分别如图1、图2所示。对井斜小于 $45^\circ$ 的井,设计的是投棒点火一体化管柱,按照图1所示管柱下入工具串,完成采油树安装,再通过钢丝作业,在封隔器坐落接头下方投入堵塞器,油管正打压,实现封隔器坐封,然后起出堵塞器,进行射孔投棒点火。点火后,再对

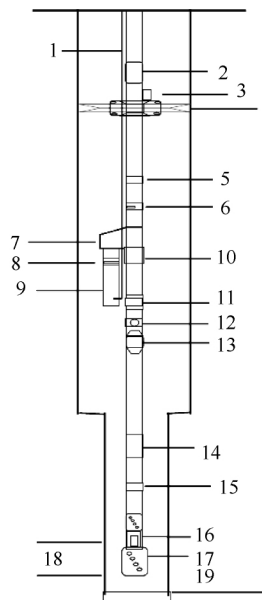
“Y”接头下方的坐落接头投入堵塞器封闭,完成整个作业施工。



1-潜油电缆;2-井下安全阀;3-排气阀;4-封隔器;5-Y接头;  
6-单流阀;7-电泵机组;8-堵塞器工作筒;9-纵向减震器;  
10- $\phi 112$ mm 存储式压力计托筒(带压力计两支);  
11-定位短节;12-撞击式点火头;13-枪身;14-油层;  
15-人工井底

图1 投棒点火一体化管柱图

Fig.1 Drop bar firing perforation integration



1-潜油电缆;2-井下安全阀;3-排气阀;4-封隔器;  
5-定位短节;6-可碰泄油器;7-“Y”接头;8-单流阀;  
9-电泵机组;10-变扣;11-挡板短节;12-开孔泄油器;  
13-纵向减震器;14- $\phi 112$  mm 存储式压力计托筒  
(带压力计两只);15-定位短节;16-憋压延时点火头;  
17-枪身;18-油层;19-人工井底

图2 憋压射孔一体化管柱

Fig.2 Shutoff pressure- perforation integration

当井斜大于 $45^\circ$ 时,设计的是憋压射孔一体化

管柱。按照图 2 所示管柱下入工具串,在完成采油树安装之后,先通过油管正打压实现封隔器坐封,完成射孔前期工作。在封隔器坐封完成后,通过地面液控系统打开封隔器上排气阀,然后通过套管打压,压力传递到射孔枪的延时憋压点火头,当达到起爆压力后,完成射孔点火。

1.2 “Y”接头

“Y”接头可将射孔管柱和电泵机组有机的结合在一起,以保证各系统的正常工作。“Y”接头工具主要由上、下两出口以及下侧出口构成,上出口连接生产管柱,下出口连接工作筒及射孔管柱,下侧出口连接电泵单流阀和电泵机组。由于电泵机组接在“Y”型接头的另一侧,射孔起爆产生的冲击波对电泵、电缆及传感器的直接冲击也比较小。

1.3 射孔点火方式

油管输送射孔<sup>[15]</sup>是埕海油田射孔完井主要方式之一,射孔起爆作为油管输送式射孔施工的最后一环直接决定着射孔施工的成败。考虑到与电潜泵管柱联作<sup>[16-17]</sup>,管柱结构复杂,为保证射孔的成功率,射孔点火方式设计为憋压延时点火<sup>[18]</sup>,按照图 2 管柱设计下入工具串,完成采油树安装之后,先通过油管正打压实现封隔器坐封,完成射孔前

期工作。在封隔器坐封完成后,通过地面液控系统打开封隔器上排气阀,然后通过套管打压,压力传递到射孔枪的憋压延时点火头,当达到起爆压力后,完成射孔点火。射孔完成后,开启电潜泵生产。

张海 X 井最大井斜角为 56.59°,所以选用的是憋压射孔一体化管柱,该管柱整体长度大,管柱自重相应较大,射孔后带来的冲击较大,因此对管柱主体-油管提出了较高的强度要求。对此,通过对油管进行强度校核,在充分满足安全系数的前提下,该井试油施工管柱采用 φ89 mmP110 加厚油管 3 500m+φ73 mm N80 加厚油管 2 300 m,管柱参数见表 1。

通过计算,3 500 m 管柱 φ89 mmP110 加厚油管在空气中最大净重为 484 kN,2 300 mφ73 mm N80 加厚油管 223 kN,预计大钩最大载荷为 907 kN(未考虑摩擦阻力与浮力)。

抗拉安全系数均充分满足安全作业要求,即

$$\phi 89 \text{ mmP110 加厚油管 } P_{\text{抗拉}}/P_{\text{载荷}} = 1\,210/(484+223) = 1.71 > 1$$

$$\phi 73 \text{ mmN80 加厚油管 } P_{\text{抗拉}}/P_{\text{载荷}} = 645/223 = 2.89 > 1$$

表 1 管柱(油管)参数

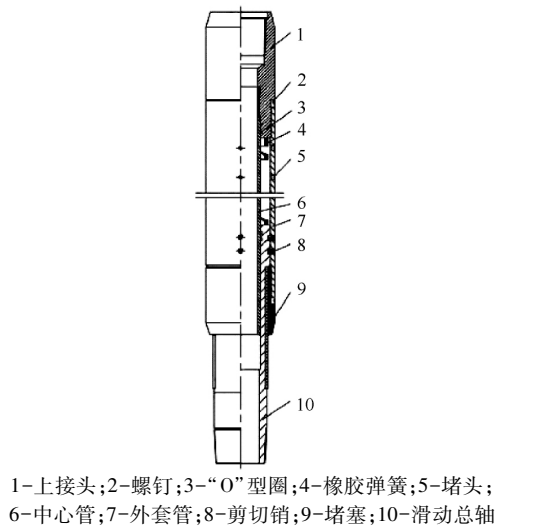
Table 1 String parameters

外径/mm	重量/(kg·m <sup>-1</sup> )		钢级	壁厚/mm	抗内压/MPa		抗拉/kN		接箍外径/mm	
	平式	加厚			平式	加厚	平式	加厚	平式	加厚
φ88.9	13.69	13.84	N80 P110	6.45	70.1 92.0		708 929	922 1 210	107.95	114.30
φ73	9.53	9.68	N80 P110	5.51	72.9 97.5		470 629	645 864	88.90	93.17

1.4 纵向减震器

在射孔的瞬间,爆炸力的作用会对生产管柱产生强烈震击,可能使井下工具完全损坏。减震的目的就是尽可能地减少射孔瞬间产生的震击力对井下电潜泵机组、电缆及其他完井工具的影响,实现安全作业。减震的主要措施是在射孔枪上部加装纵向减震装置<sup>[19]</sup>,如图 3 所示。

纵向减震器的原理为<sup>[20]</sup>:射孔后强烈的震击力推动减震器下接头和连接套向上运动,纵向冲击力大于剪切销最大剪切力时,剪切销被剪断,滑动总轴向上运动,此时弹簧沿中心管运动吸收大部分能量,外套筒环空内的流体被压缩形成流动阻尼吸收部分能量。



1-上接头;2-螺钉;3-“O”型圈;4-橡胶弹簧;5-堵头;6-中心管;7-外套管;8-剪切销;9-堵塞;10-滑动总轴

图 3 纵向减震器  
Fig.3 Longitudinal shock absorber

## 2 联作技术应用

2017 年 8 月在埕海 2-2 人工岛张海 X 井首次应用射孔与电潜泵联作工艺,施工过程顺利,试油效果很好。

张海 X 井是一口四开大位移井,是埕海 33 断块的一口评价井,完钻井深 5 779.00 m,垂深 3 678.73 m,水平位移 4 274.24 m,最大井斜角 56.59°,稳斜段长 4 903.40 m。该井尾管射孔完井,井身结构为  $\phi 762\text{ mm}$  导管 $\times 63.35\text{ m}+\phi 508\text{ mm}$  套管 $\times 121.99\text{ m}+\phi 339.7\text{ mm}$  套管 $\times 2\,501.345\text{ m}+\phi 244.5\text{ mm}$  套管 $\times 4\,455.721\text{ m}+\phi 139.7\text{ mm}$  尾管

表 2 张海 X 井日产量表  
Table 2 Daily production of well Zhanghai X

日期	8.15	8.16	8.17	8.18	8.19	8.20	8.21	8.22	8.23	8.24
日产液/(t·d <sup>-1</sup> )	117.00	123.84	88.81	72.48	71.26	66.30	65.80	89.60	89.07	88.60
日产油/(t·d <sup>-1</sup> )	117.00	6.19	66.07	72.48	71.26	66.30	65.80	89.60	89.07	88.60

## 3 结论

(1)利用“Y”接头的射孔与电潜泵联作是集射孔与电潜泵生产于一体的工艺技术,经理论设计和在大位移井的成功应用证明其设计科学合理,工艺切实可行,目前只适用于 244.5 mm 套管内。

(2)利用“Y”接头的射孔与电潜泵联作完井方式不用压井,减少了压井液浸泡储层带来的潜在伤害,实现真实评价该储层的目的,是探井、评价井、开发井理想的试油完井方式。

(3)利用“Y”接头的射孔与电潜泵联作减少了一趟起射孔管柱、射孔后压井再下完井管柱的工序,缩短了作业周期,节省了作业费用,对于实现控本增效和作业提速具有重要意义,它将成为试油完井技术的重要发展方向。

(4)今后应进一步研究利用“Y”接头的射孔与电潜泵联作完井方式在不同套管尺寸内的应用,扩大联作工艺的应用范围。

(5)出砂严重、井况复杂的井不推荐使用该联作工艺。

致谢:感谢大港油田滩海开发公司同意本文公开发表。

### 参考文献

[1] 于长录,张世林,高秀丽.滩海快速试油工艺技术[J].油气井测试,2005,14(1):44-46.  
YU Changlu, ZHANG Shilin, GAO Xiuli. Abruptly testing on offshore[J]. Well Testing, 2005,14(1):44-46.  
[2] 罗鑫民.电潜泵采油技术分析[J].石化技术,2017,24

$\times 5\,785.00\text{ m}$ ,射孔井段 5 552.40~5 677.90 m,试油设计泵挂深度为 3 525.00 m,突破埕海油田电泵、射孔枪的下深纪录。

该井于 2017 年 8 月 10 日开始下入完井管柱,同时带入射孔枪与电潜泵,入井后测井定位 4 次,调整无误后,14 日憋压延时点火成功,电潜泵正常启井,用时 4 d 完成了射孔与电泵联作,1 次施工成功,作业时间相比常规试油节省一周左右。不仅节省了一周的作业费,还节省了压井液的用量,投产后日产液及日产油见表 2。从表中可以看出,投产后第三天开始,产量日趋稳定,第四天开始含水为 0,达到了预期效果。

(9):74.  
LUO Xinmin. Analysis of oil production technology with electric submersible pump [J]. Petrochemical Industry Technology, 2017,24(9):74.  
[3] 刘合,郝忠献,王连刚,等.人工举升技术现状与发展趋势[J].石油学报,2015,36(11):1441-1448.  
LIU He, HAO Zhongxian, WANG Liangang, et al. Current technical status and development trend of artificial lift [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(11): 1441-1448.  
[4] 刘志英,王芝尧,董拥军,等.一趟管柱分层射孔-试油联作技术[J].石油钻探技术,2014,42(2):97-101.  
LIU Zhiying, WANG Zhiyao, DONG Yongjun, et al. The technology of integrated layered perforation and formation testing in one trip [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(2):97-101.  
[5] 肖景华,郭秀庭.射孔枪+内置式压力计托筒+水力泵新三联作试油(测试)工艺技术的研制与应用[J].油气井测试,2003,12(6):32-33,36.  
XIAO Jinghua, GUO Xiuting. Study and application of technology using perforating gun, inner manometer and fluid operated pump for production test [J]. Well Testing, 2003,12(6):32-33,36.  
[6] 黄旭旺,陈娟炜,聂锴,等.射孔+压裂+水力泵快速返排三联作工艺[J].石油钻采工艺,2010,32(4):64-66.  
HUANG Xuwang, CHEN Juanwei, NIE Kai, et al. Research and application of combination technology of perforation + fracture + jet [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010,32(4):64-66.  
[7] 朱礼斌,鹿成亮,韩斌,等. STV-TCP-JET-措施改造四联作测试技术的应用及提高[J].油气井测试,2009,18(3):42-44.  
ZHU Libin, LU Chengliang, HAN Bin, et al. Application

- and improvement of test technique of four linkage operation: STV-TCP-JET stimulation [J]. Well Testing, 2009, 18(3): 42-44.
- [8] 赵爱军, 孟广文. 跨隔+TCP+MFE+JET 四联作试油新技术的应用[J]. 油气井测试, 2004, 13(5): 44-45.  
ZHAO Aijun, MENG Guangwen. Application of a new testing technology, Straddle+TCP+MFE+JET four combined technology[J]. Well Testing, 2004, 13(5): 44-45.
- [9] 范学君. 油管输送射孔抽油泵联作技术研究与应[ J ]. 测井技术, 2003, 27(1): 66-69.  
FAN Xuejun. On joint operation of TCP and oil-pump-running and its applications [J]. Well Logging Technology, 2003, 27(1): 66-69.
- [10] 张志勇. 射孔下泵联作工艺技术在低渗透油田的应用与认识 [J]. 内蒙古石油化工报, 2014, 40(20): 102-104.  
ZHANG Zhiyong. Application and understanding of combined technology of perforating and down pump in low permeability oilfield [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014, 40(20): 102-104.
- [11] 杜丹阳, 马绪鹏, 王凤桐, 等. Y 管柱潜水电泵机组引接电缆保护器改进 [J]. 石油矿场机械, 2017, 46(4): 69-74.  
DU Danyang, MA Xupeng, WANG Fengtong, et al. Mle protector improvement of electric submersible pump for Y string [J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(4): 69-74.
- [12] 甄宝生, 胡忠太. 潜水电泵井“Y”型管柱测试技术[J]. 油气井测试, 2002, 11(3): 37-38.  
ZHEN Baosheng, HU Zhongtai. A testing technique of Y-type pipe string for ESP wells [J]. Well Testing, 2002, 11(3): 37-38.
- [13] 左锋, 张峙. ESP 与 TCP 联作不压井修完井工艺[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(6): 16-18.  
ZUO Feng, ZHANG Zhi. Repairing completion process of joint operation without pressure [J]. Oil Drill & Production Technology, 2007, 29(6): 16-18.
- [14] 郑金中, 张成富, 程心平, 等. 用于  $\phi 177.8\text{mm}$  套管井的 Y 形生产管柱及配套工具[J]. 石油机械, 2012, 40(9): 62-64.  
ZHEN Jinzhong, ZHANG Chengfu, CHENG Xinping, et al. The Y-shaped production string and supporting tool for  $\phi 177.8\text{mm}$  casing well [J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(9): 62-64.
- [15] 郭希明, 蒋宏伟, 郭庆丰, 等. 油管输送式射孔技术起爆方式的设计与应用分析[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011, 13(3): 96-99.  
GUO Ximing, JIANG Hongwei, GUO Qingfeng, et al. Application and design of detonating models of tubing conveyed perforation technology [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2011, 13(3): 96-99.
- [16] 尹长城, 王元勋. 射孔测试联作减震器数值模拟及力学特性拟合[J]. 石油机械, 2007, 35(10): 33-36.  
YIN Changcheng, WANG Yuanxun. Numerical simulation and mechanical characteristics fitting of perforated test coupled shock absorber [J]. China Petroleum Machinery, 2007, 35(10): 33-36.
- [17] 张黎, 朱全邦, 孙建兵, 等. 测试射孔联作施工中常见的压力计及时钟故障分析[J]. 油气井测试, 2003, 12(6): 61-62.  
ZHANG Li, ZHU Quanbang, SUN Jianbing, et al. Fault analysis of familiar pressure gauge and clock in testing the construction with perforation [J]. Well Testing, 2003, 12(6): 61-62.
- [18] 田明, 杨继云, 邵春俊. 延时火药在深井 APR 射孔测试联作中的应用[J]. 油气井测试, 2011, 20(2): 54-55.  
TIAN Ming, YANG Jiyun, SHAO Chunjun. Application of combined operation of perforating with delay powder and APR test in deep well [J]. Well Testing, 2011, 20(2): 54-55.
- [19] 周绍根, 申忠玺. 减震压力计托筒在 TCP+DST 联作技术中的应用[J]. 油气井测试, 1995, 4(2): 61-63.  
ZHOU Shaogen, SHEN Zhongxi. Application of shock absorber manometer in TCP+DST combined technology [J]. Well Testing, 1995, 4(2): 61-63.
- [20] 陈玉, 刘国光, 冯永军, 等. 纵向减震器的设计理论[J]. 机械工程师, 2015(2): 252-253.  
CHEN Yu, LIU Guoguang, FENG Yongjun, et al. The design theory of longitudinal damper [J]. Mechanical Engineer, 2015(2): 252-253.

编辑 刘述忍

第一作者简介: 刘文凤, 女, 1984 年出生, 学士, 工程师, 2008 年毕业于中国石油大学(北京)石油工程专业, 现主要从事滩海新区电泵井的试油研究和管理工。电话: 022-25914909; Email: liuwfeng@petrochina.com.cn。通信地址: 天津市滨海新区大港油田滩海开发公司, 邮政编码: 300280。