

# 浅层套管漏失井监测与治理技术

石岩<sup>1</sup>,陈金峰<sup>1</sup>,左虎<sup>2</sup>,曾波<sup>1</sup>,蒋雅丽<sup>1</sup>,张百燕<sup>1</sup>

1.中国石油华北油田分公司第四采油厂 河北廊坊 065000

2.中国石油冀东油田分公司勘探处 河北唐山 063000

通讯作者:Email:cy4\_sy@petrochina.com.cn

引用:石岩,陈金峰,左虎,等.浅层套管漏失井监测与治理技术[J].油气井测试,2019,28(3):55-60.

Cite: SHI Yan, CHEN Jinpeng, ZUO Hu, et al. Monitoring and treatment technology for shallow casing leakage well [J]. Well Testing, 2019,28(3): 55-60.

**摘要** 油田开发中后期油水井浅层套管漏失严重,导致开采效率降低,影响油井产量。分析了浅层套管漏失的原因,提出从建井过程中的井身结构、井身质量,油水井生产过程中的注入水水质、作业施工、日常维护等方面预防套管漏失的措施。采用吸水剖面找漏、封隔器找漏技术在 Q1 井和 J1 井两口注水井准确确定漏失点范围,结合不同井的套管漏失特点及漏失层段地层岩性,采取了相应的封堵措施;运用堵漏技术治理浅层套管漏失井 7 口,证实复合封堵技术对套管漏失、高压层具有较好的封堵效果。结果表明,吸水剖面找漏、封隔器找漏仍是浅层套管漏失监测的有效手段,井下电视、超声波成像等套管检测技术是今后的发展方向。

**关键词** 套管漏失;动态监测;吸水剖面;封隔器找漏;复合封堵技术;注水井

**中图分类号**:TE358 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.03.010

## Monitoring and repairing technology for shallow casing with leakage point in production wells

SHI Yan<sup>1</sup>, CHEN Jinpeng<sup>1</sup>, ZUO Hu<sup>2</sup>, ZENG Bo<sup>1</sup>, JIANG Yali<sup>1</sup>, ZHANG Baiyan<sup>1</sup>

1.No. 4 Oil Production Plant of PetroChina North China Oil & Gas Company, Langfang, Hebei 065000, China

2.Exploration Department of PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063000, China

**Abstract**: In the middle and late stages of oilfield development, serious leakage of shallow casing in oil and water wells will occur, the leakage will lead to the reduction of production efficiency, thus affecting the production of oil wells. In order to solve these problems, the causes of the leakage of shallow casing were analyzed in this paper, and some measures to prevent the leakage of casing was put forward. These measures not only take the wellbore structure and quality in well construction into account, but also take the quality of injected water, operation and daily maintenance in the production of oil and water wells into account. The leak locations were accurately determined in two injection wells, well Q1 and well J1, by using water injection profile and packer leak locating technology. In addition, by summarizing the characteristics of casing leakage in different wells and the lithology of lost zones, the corresponding plugging measures were adopted. Leakage of shallow casing in 7 wells were treated by plugging technology, which proved that comprehensive plugging technology has better plugging effect on casing leakage and high-pressure formation. The results show that water absorption profile leakage detection and packer leakage detection are still effective means for monitoring shallow casing leakage. Downhole television, ultrasonic imaging and other casing detection technologies are the future development direction.

**Keywords**: casing leakage; dynamic monitoring; water absorption profile; packer leakage detection; comprehensive plugging technology; water injection wells

浅层套管漏失在油田开发过程中不同程度地存在,严重影响油田开发和正常生产管理,并存在较大的环保隐患<sup>[1-3]</sup>。孙桓等<sup>[4]</sup>针对塔河油田套损、套变逐渐增多的问题,采用短套管补接、膨胀管封漏技术,形成挤常规水泥及纳米堵剂两种材料体系的封堵技术。张辉等<sup>[5]</sup>针对临南油田日趋严重

的套损状况,在探讨套管腐蚀穿孔和变形损坏机理的基础上,开展了防腐技术研究,形成缓蚀剂投加工工艺。刘锋等<sup>[6]</sup>针对陕北油田套管漏失严重的问题,认为引起套管柱漏失的原因包括工程、地质及增产工艺措施等方面,在现场主要的影响因素是套管上扣质量、固井质量、采油工艺措施和方法等。

边志家等<sup>[7]</sup>针对大庆油田套管外漏影响油田开发和正常生产管理、污染环境等问题,分析认为,溶解氧、二氧化碳是引起套管腐蚀的主要原因。黎学年等<sup>[8]</sup>对江苏油田试采一厂油层套管漏失进行了统计,认为钻井设计、施工、完井作业,以及各种增产措施作业,均有可能造成套管漏失。华北油田第四采油厂对浅层套管漏失井进行了统计,其常见的套管破损类型有单点破损、线状破损、成面积破损、自由段套管断,以及井口腐蚀穿孔等五种类型,因套变出砂关井的油、水井 86 口,其中因套管漏失关井 27 口,占油、水井套变出砂关井数的 31.4%。分析认为,地应力变化、地表水位下降、井身结构不合理和钻井井身质量问题,以及外加力影响、材质腐蚀等是浅层套管漏失的主要原因<sup>[9-11]</sup>。针对浅层套管漏失的原因,认为从产生漏失问题的源头入手,制定合理的井身结构,严把钻完井质量关是预防的关键,后期生产过程中,提高注水水质、加强现场检查等是重要的预防措施<sup>[12-14]</sup>。运用封隔器找漏和吸水剖面找漏手段,能高效快速找到漏失点。现场应用取套换套、挤水泥封堵、膨胀管补贴、机械卡封、复合封堵等浅层套管封堵技术<sup>[15-16]</sup>,其中复合封堵技术取得了较好的封堵效果。

## 1 浅层套管漏失原因及预防措施

浅层套管漏失的原因包括地应力变化、地表水位下降、井身结构不合理、钻井井身质量问题、外加力影响和材质腐蚀等方面。

(1)地应力变化。在钻井过程中或是油田开发过程中,地层原有的压力系统被打破,活跃的地层会对井段造成破坏。由于水敏效应,岩层对套管产生挤压外力,使套管变形、错断。断层对套管的剪切力也会使套管出现变形、错断、丝扣破损现象。

(2)地表水位下降。地表水位下降使表面地层压实,地面下沉,导致表层套管随之下沉,带动油层套管下沉,自由段内的油层套管受压变形,出现破损。

(3)井身结构不合理。表层套管下深浅,自由段套管抗外力强度低,套管弯曲、变形引起套管破损。

(4)钻井井身质量问题。部分老井井斜大,特别是井斜方位变化大,导致套管柱在该处应力集中。开发过程中,油管柱或注水管柱在该处与套管长期磨损,以及起下管柱磨损和撞击等,均加剧了

套管破损程度。

(5)外加力影响。井口环形钢板焊接不当,油层套管没有得到相应拉伸就与表层套管焊接,加重了套管弯曲、变形,导致套管破损甚至错断。

(6)材质腐蚀。长期水流冲蚀加剧套管穿孔,化学腐蚀、电化学腐蚀、细菌腐蚀、氢脆等引起套管穿孔、断裂和破损。

此外,完井质量也直接影响着套管的寿命。针对浅层套管漏失的原因,采取的预防措施主要有:

(1)制定合理的井身结构。表层套管下入深度应满足封隔浅层地表水的要求,且坐入稳固岩层不小于 10 m,防止浅层套管破损后油水层产出液对浅层地表水造成污染,避免浅层地表水对油层套管自由段的冲刷和腐蚀;优化造斜点位置,减小开采过程中的杆管偏磨。

(2)钻完井质量监控。钻井过程中严格控制井眼轨迹,确保全角变化率满足设计要求<sup>[17]</sup>;合理确定油层套管固井水泥返高,采用分级固井或“双密双凝”水泥浆体系,封固上部活跃的水层。

(3)提高注水水质。注入水水质不达标会使质量差的井段加快腐蚀,增加穿孔机率。

(4)作业施工保护及现场检查。使用磨铣、卡瓦类等工具时,严格控制起下钻速度,遇卡遇阻不能生提硬放,减少破坏强度;井口出现腐蚀、下沉迹象应及时处置。套管自由段出现破损应及时分析原因,制定措施。

## 2 浅层套管漏失井的监测

目前,井下电视、多臂磁测井、超声波成像等较为先进的套管损害测试仪器在现场已投入应用<sup>[18-20]</sup>,但由于适用条件受限和使用费用较高等原因,仍不是浅层套管漏失主要的监测手段。针对浅层套管漏失的特点,采用吸水剖面找漏、封隔器找漏取得了良好效果。

### 2.1 吸水剖面找漏

目前,吸水剖面找漏主要采用同位素测井。随着注水井注入,将同位素带入井内,用伽马仪测出曲线,留在注水层表面的同位素会呈现出不同强度,伽马曲线的强弱就代表了注入量的大小,从而得出各层吸水量大小。

Q1 井是 1999 年 10 月 30 日新转注井,射孔井段 2 145.00~2 265.00 m,共 20.6 m/11 层,分注正注,配注量 42 m<sup>3</sup>/d。2016 年 1 月 17 日对该井进行

了吸水剖面测井,发现目的井段只有第 32 层吸水,其相对吸水量为 17.27%;另一吸水点在 666.8 m 处,相对吸水量为 82.73%。结合流温和静温资料,分析为套管漏失所致,确定油层套管在 666.8 m 处已损坏,封隔器均已失效。

## 2.2 封隔器找漏

封隔器找漏是利用封隔器将可能漏失的井段封住,对套管内打压,稳压后观察套管内压力变化。单封隔器需要多次坐封才能准确找到漏点。而使用双 Z331 封隔器、筛管、球座配合,油管注压后拖动管柱,既可以确定破损临界点,又可以检验套管承压强度。油管连续注入流体保持 10 MPa,在双封隔器之间形成密封空间。当上封隔器进入套管破损区域下临界点,压力突降;下封隔器进入套管破损区域上临界点时,压力突增,从而确定浅层套管破损点具体位置。

J1 井是 J1 断块转注的一口注水井,注水井段 1 484.0~1 501.8 m,20.6 m/3 层,日注水量 50 m<sup>3</sup>。2014 年 5 月由于浅层套管漏失关井,经封隔器坐封找漏,确定漏失点范围。通过循环注灰进行封堵恢复正常注水。

## 3 浅层套管漏失井的封堵

针对不同井的套管漏失特点,结合漏失层段地

层岩性特点,采用了取套换套、超细水泥灰封、膨胀管补贴、机械卡封、复合封堵等措施,但复合封堵技术是目前使用范围较广,也是最适合浅层套管漏失井的封堵的技术。

复合封堵技术不套铣、不取套、不下大直径工具,即使套管有一定程度的变形或扭曲,也不用修套,从而大大降低了施工风险,降低了修井成本,具有“先建网搭桥,再封堵”的特性。复合封堵配方中的十余种化学药剂可根据单井的具体条件进行组合,具有暂堵、封堵的双重特点,能使封堵材料均匀地分布于封堵层内的井壁附近,通过有机和无机材料的协同效应,经化学反应,形成抗压强度高、有效期长的封堵屏障。与水泥封堵相比在综合机械性能上更为均衡,固化强度更高,还克服了水泥封堵固化后因体积收缩而不能完全封堵的弊端,具有良好的化学稳定性。与各类水泥浆相比,具有无固相,穿透能力强,固化后强度高,固化时间可控等优点。

## 4 浅层套管漏失井的封堵案例

近两年来,运用以上堵漏技术治理浅层套管漏失井 7 口(表 1)。恢复水井注水 4 口,提高注水量 75 m<sup>3</sup>/d;油井堵漏 3 口,恢复产量 4 t/d。

表 1 堵漏技术治理浅层套管漏失井统计表

Table 1 Statistical table of application of plugging technology to control lost circulation of shallow casing

井号	漏点外有无套管保护	封堵工艺	施工周期/ d	施工费用/ 万元	实验压力/ MPa	压降/ MPa	评价
Q2	无	复合封堵	8	17.0	15	0.4	施工费用中等,封堵强度高。
Y1	无		6	15.0	15	0.5	
Y2	有	取套换套	3	5.0	21	0.1	对于漏点外有套管保护的井非常适合,费用低,封堵强度高。但对于漏点外没有套管的井,施工费用和 risk 都较高。
J2	无		18	25.0	21	0.3	
J3	无	超细水泥灰封	21	33.0	15	0.8	一次成功率低造成费用偏高,封堵强度一般。
Y3	无	膨胀管补贴	5	16.8	15	0.7	施工费用偏高,且已失效,再处理难度大。
Y4	无	机械卡封	2	2.0	16	0	高压井有效期 2 个月。

### 4.1 复合封堵技术

Q2 井是一口油井,正常生产时,日产油 14 t。其管柱结构如图 1 所示。

2015 年 8 月到 2016 年 12 月之间,该井因封隔器失效进行了两次作业。经分析,失效原因是该井的井斜角高达 45.9°,封隔器在长期的生产过程中由于管柱蠕动而失效。通过测吸水剖面发现,需要灰封的层段是产水层,挤注压力为 8 MPa,低挤注压力下用普通的水泥挤封,成功率低。为此,采用复合封堵技术封层堵漏。施工准备封堵轻质砂 13 000 kg,清水

(1.00 g/cm<sup>3</sup>)6.15 m<sup>3</sup> 配制成密度为 1.62~1.70 g/cm<sup>3</sup> 的封堵剂 13 m<sup>3</sup>。正挤封堵剂,排量为 6.2 m<sup>3</sup>/h,挤注泵压由 8 MPa 升至 17 MPa,挤注施工压力曲线如图 2 所示。

分析认为,该井地层对复合封堵的材质比较敏感,很快就完成建网,封堵效果比较理想。候凝钻塞后反复试压,打压 15 MPa,稳压 30 min,压降 0.4 MPa,合格。

Y1 井是 Y 断块转注的一口注水井,注水井段 1 576.40~1 614.00 m,20.4 m/4 层,管柱结构如图 3 所示。



图1 Q2井管柱结构示意图

Fig.1 String structure of well Q2

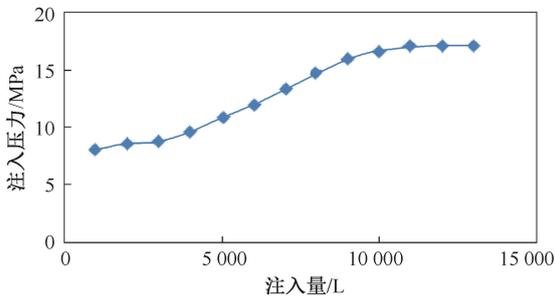


图2 Q2井挤注压力曲线

Fig.2 Injection pressure curves of well Q2



图3 Y1井管柱结构示意图

Fig.3 String structure of well Y1

正常日注水量  $40 \text{ m}^3$ , 注水压力  $14 \text{ MPa}$ 。2017年5月注水压力降至  $8.5 \text{ MPa}$ , 日注水量猛增至  $90 \text{ m}^3$ , 初步判断是套管破损发生漏失。2017年6月下封隔器找漏, 证实套管破损, 漏失点范围在

$546.0 \sim 570.2 \text{ m}$ 。为了保证注水量, 决定暂时下顶封封隔器  $Y441-114 \times 1572.8 \text{ m}$  封住漏点, 继续生产。2018年3月由于顶封失效再次作业, 并采用复合封堵技术堵漏。施工准备封堵轻质砂  $15000 \text{ kg}$ , 清水 ( $1.00 \text{ g/cm}^3$ )  $7.1 \text{ m}^3$  配制成密度为  $1.62 \sim 1.70 \text{ g/cm}^3$  的封堵剂  $15 \text{ m}^3$ , 泵压  $5 \sim 8 \text{ MPa}$ , 排量  $7.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 正打封堵剂。挤注施工压力曲线如图4所示。

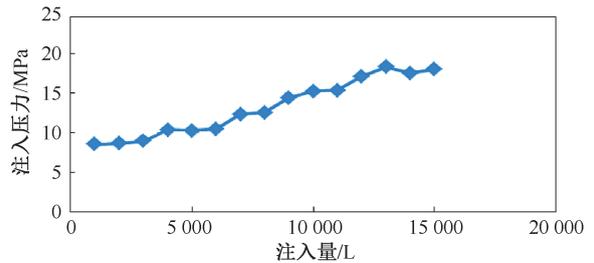


图4 Y1井挤注压力曲线

Fig.4 Injection pressure curves of well Y1

该井挤注施工有明显的建网过程, 随后是明显的爬坡过程, 这种现象完全符合复合封堵的设计理念。候凝钻塞后反复试压, 打压  $15 \text{ MPa}$ , 稳压  $30 \text{ min}$ , 压降  $0.5 \text{ MPa}$ , 合格。

#### 4.2 取套换套

Y2井是一口抽油井, 油层套管和表层套管之间环形钢板处喷液, 怀疑上部油层套管有破漏的可能。通过封隔器找漏, 证实漏点在  $26.38 \sim 33.82 \text{ m}$  之间, 而表层套管下深为  $83.94 \text{ m}$ , 漏点在表套内。该井具备较好的取套换套条件。取换套施工结束后, 套管试压  $21 \text{ MPa}$ , 稳压  $30 \text{ min}$ , 压降  $0.1 \text{ MPa}$ , 合格。

J2井为注水井, 漏点在  $52 \text{ m}$  至  $79 \text{ m}$  之间, 表层套管下深  $49.77 \text{ m}$ 。由于漏点在表套以下, 在取换套之前, 需要在表套和油套之间下套铣管, 套铣深度为  $103.92 \text{ m}$ 。取换套施工结束后, 套管试压  $21 \text{ MPa}$ , 稳压  $30 \text{ min}$ , 压降  $0.3 \text{ MPa}$ , 合格。

#### 4.3 超细水泥封堵

J3井是J北断块的1口注水井, 漏失原因为管外窜。采用超细水泥 BFS 灰封堵漏, 前后挤注3次, 最终堵漏成功。第一次配制密度  $1.75 \text{ g/cm}^3$  的水泥浆  $9800 \text{ L}$ , 挤注泵压  $5.2 \sim 8.7 \text{ MPa}$ ; 第二次配制密度  $1.75 \text{ g/cm}^3$  的水泥浆  $3650 \text{ L}$ , 挤注泵压  $7.9 \sim 12.5 \text{ MPa}$ ; 第三次配制密度  $1.70 \text{ g/cm}^3$  的水泥浆  $4000 \text{ L}$ , 挤注泵压  $10.2 \sim 19.5 \text{ MPa}$ 。三次挤注施工压力曲线如图5所示。

由图5可以看出, 虽然第一次挤注了  $9800 \text{ L}$  水泥, 但是挤注压力上升的并不多。随着施工次数的

增加,虽然挤注量减少,但挤注压力逐步升高。因此,对于漏失较为严重的井,超细水泥灰封施工一次成功的可能性不大。该井作业后套管试压15 MPa,稳压30 min,压降0.8 MPa,合格。

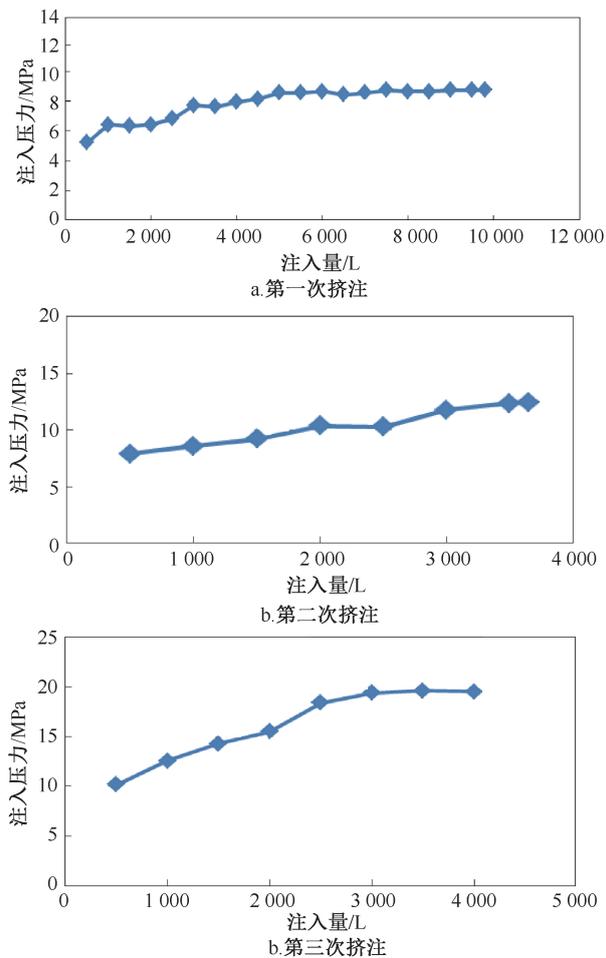


图5 J3井三次挤注压力曲线

Fig.5 Injection pressure curves of three times of treatment in well J3

#### 4.4 膨胀管补贴

Y3井是Y断块一口抽油井,在井口以下10 m左右套管漏失,采用膨胀管补贴。施工完后套管试压15 MPa,稳压30 min,压降0.7 MPa,合格。

#### 4.5 机械卡封

Y4井是一口注水井,浅层套管漏失后下封隔器卡封堵漏,施工后注水压力16 MPa,采用吸水剖面找漏确认封堵无漏失,合格。

## 5 结论

(1)浅层套管漏失的原因复杂多样,建井过程中合理的井身结构、钻完井质量,以及油气田开发过程中的有效保护是预防浅层套管漏失的必要

手段。

(2)井下电视、超声波成像等套管检测技术是今后的发展方向,但现场应用存在适用条件受限和费用较高等问题。目前,吸水剖面找漏、封隔器找漏仍是浅层套管漏失监测的有效手段。

(3)浅层套管漏失原因复杂多样,封堵措施应具有针对性:对于漏点外有套管的井,适合采用取换套堵漏技术;对于漏点外没有套管的井,适合采用复合封堵技术。

(4)复合封堵技术具有建网和架桥的特性,一次施工成功率大,凝固后封堵强度高,施工风险相对较低,是目前使用范围较广,也是最适合浅层套管漏失井的封堵的技术。

致谢:论文撰写过程中,华北油田采油四厂地质研究所提供了大量基础资料,同时得到有关技术人员的帮助和指导,在此表示致谢。

#### 参考文献

- [1] 杜丙国,马清明,朱建军,等. 浅层套管漏失井封堵新工艺的开发与应用[J]. 油气地质与采收率,2009,16(3):107-109.  
DU Bingguo, MA Qingming, ZHU Jianjun, et al. Development and application of a new plugging technology for absorption wells in shallow casing [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009,16(3):107-109.
- [2] 杨良杰,王喜茂,崔占东,等. 冀东油田套管损坏现状及综合治理措施[J]. 石油钻采工艺,2003,25(2):79-82.  
YANG Liangjie, WANG Ximao, CUI Zhandong, et al. Current and comprehensive regulation measures of casing damage in Jidong Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003,25(2):79-82.
- [3] 吴福源,李良军,柳涛,等. 江苏油田套管修复工艺技术探讨及现场应用[J]. 油气井测试,2007,16(5):56-58.  
WU Fuyuan, LI Liangjun, LIU Tao, et al. Discuss on repair tech for case of Jiangsu Oilfield and its field application [J]. Well Testing, 2007,16(5):56-58.
- [4] 孙桓,朱华,王超. 塔河油田套损现状及治理工艺[J]. 西部探矿工程,2011,23(3):41-42,46.  
SUN Huan, ZHU Hua, WANG Chao. Current situation and treatment technology of casing damage in Tahe Oilfield [J]. West-China Exploration Engineering, 2011, 23(3): 41-42,46.
- [5] 张辉,曲桂亮,韩红霞,等. 临南油田油水井套损分析及防治对策[J]. 石油钻探技术,2004,32(6):22-24.  
ZHANG Hui, QU Guiliang, HAN Hongxia, et al. Casing damages and preventions in the Linnan Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004,32(6):22-24.
- [6] 刘锋,刘杰. 陕北油田油层套管漏失的原因及对策[J]. 西部探矿工程,1999,11(6):76-77.

- LIU Feng, LIU Jie. Causes and countermeasures of casing leakage in reservoir in Shanbei Oilfield [J]. West-China Exploration Engineering, 1999, 11(6): 76-77.
- [7] 边志家, 李德富, 任长在. 套管漏失治理矿场实践[J]. 大庆石油地质与开发, 1997, 16(3): 73-74.
- BIAN Zhijia, LI Defu, REN Changzai. Field practice in treating casing leakage [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1997, 16(3): 73-74.
- [8] 黎学年, 吴叶成, 马华. 油层套管漏失原因初探[J]. 钻采工艺, 1998, 21(5): 74-75.
- LI Xuenian, WU Yecheng, MA Hua. The cause of casing leakage in reservoir is discussed [J]. Drilling & Production Technology, 1998, 21(5): 74-75.
- [9] 姜伟. 渤海绥中 36-1 油田生产套管修复技术[J]. 中国海上油气, 2004, 16(6): 404-407.
- JIANG Wei. The technology to repair production casing in Suizhong 36-1 Oilfield, Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(6): 404-407.
- [10] 胜照平. 套管修复技术在中原油田的应用[J]. 钻采工艺, 2012, 35(1): 108-110.
- SHENG Zhaoping. Application of casing repair technology in Zhongyuan Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(1): 108-110.
- [11] 黄伟. 长庆油田套管修复工艺[J]. 石油钻采工艺, 1994, 16(5): 43-44.
- HUANG Wei. Casing repair technology of Changqing Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 1994, 16(5): 43-44.
- [12] 徐丙贵, 张燕萍, 王辉, 等. 数值模拟法在膨胀套管修复套损井技术中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(5): 651-657.
- XU Binggui, ZHANG Yanping, WANG Hui, et al. Application of numerical simulation in the SET (Solid Expandable Tubular) repair for casing damage wells [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(5): 651-657.
- [13] 胡宁, 姜桂英, 周慧荣. 也门塔维拉 6 井大尺寸套管修复技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(4): 102-105.
- HU Ning, JIANG Guiying, ZHOU Huirong. Repairing technology for casing of large size of Well Taveira-6 in Yemen [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(4): 102-105.
- [14] 赵恩远, 何秀清, 谷洪文, 等. 徐深气田含 CO<sub>2</sub> 深层气井修井方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(5): 97-100.
- ZHAO Enyuan, HE Xiuqing, GU Hongwen, et al. A new method of workover for CO<sub>2</sub>-contained deep gas wells in Xushen gas field [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2008, 27(5): 97-100.
- [15] 白彬艳. 套损监测技术在鄂尔多斯盆地的应用[J]. 物探与化探, 2017, 41(3): 542-549.
- BAI Binyan. The application of casing damage monitoring technology in Ordos basin [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3): 542-549.
- [16] 黎明, 邱金权, 金鑫, 等. 新型电磁探伤 MID-S 测井技术套损检测研究[J]. 石油仪器, 2012, 26(4): 4-6.
- LI Ming, QIU Jinquan, JIN Xin, et al. The Study of a new type of electromagnetic defect detection technique MID-S [J]. Petroleum Instruments, 2012, 26(4): 4-6.
- [17] 蒋秀, 张艳玲, 王江云, 等. 水力压裂过程中套管内流动冲刷损伤规律研究[J]. 油气井测试, 2018, 27(1): 48-54.
- JIANG Xiu, ZHANG Yanling, WANG Jiangyun, et al. Erosion pattern of flow field in casing during hydraulic fracturing [J]. Well Testing, 2018, 27(1): 48-54.
- [18] 杨士振, 王海龙. 多臂井径测井影响因素分析及应用[J]. 国外测井技术, 2016, 37(5): 66-68.
- YANG Shizhen, WANG Hailong. Influencing factor analysis and application of multi arm caliper logging [J]. World Well Logging Technology, 2016, 37(5): 66-68.
- [19] 谭德庆, 隋晓林, 刘卫, 等. DD-S73F40 臂成像井径仪介绍及应用[J]. 石油仪器, 2010, 24(4): 37-38.
- TAN Deqing, SUI Xiaolin, LIU Wei, et al. Introduction of DD-S73F40-fingers imaging logging tool and its application [J]. Petroleum Instruments, 2010, 24(4): 37-38.
- [20] 潘一, 张立明, 杨双春. 套管损伤实时监测技术进展[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2231-2237.
- PAN Yi, ZHANG Liming, YANG Shuangchun. Progress of Casing Damage real-time Monitoring Technology [J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(5): 2231-2237.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 石岩, 女, 助理工程师, 1990 年出生, 2014 年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业, 现从事油气田开发研究工作。电话: 0317-2557797, 18131649523; Email: cy4\_sy@petrochina.com.cn。通信地址: 河北省廊坊市广阳区华北油田第四采油厂地质研究所, 邮政编码: 065000。