

注入井套管保护封隔器密封性判定技术

蔡苗苗

中国石油大庆油田有限责任公司第三采油厂 黑龙江大庆 163000

通讯作者:Email:caimiaomiao1019@163.com

引用:蔡苗苗. 注入井套管保护封隔器密封性判定技术[J]. 油气井测试,2021,30(6):51-56.

Cite: CAI Miaomiao. Sealing evaluation technology of casing protection packer in injection wells [J]. Well Testing, 2021,30(6):51-56.

摘要 针对大庆油田注入井套管保护封隔器没有成型验封方式,套损风险大的问题,研究了套管保护封隔器密封性判定技术,研制出地上验封设备。该设备由数字式压力计和地面数据记录仪两部分组成。控制注水阀门执行“开-关-开”操作,使油压“高-低-高”变动,通过观察地面数据记录仪录入的油、套压变化曲线确定套管保护封隔器密封性能:套压呈现“高-低-高”伴随趋势,则不密封;套压稳定不变,则密封。利用井下验封设备和地上验封设备对套管保护封隔器验封,经现场 60 井次试验,验封结果符合率达 99%。该技术实现了套管保护封隔器的科学验封,具有广阔的应用前景。

关键词 大庆油田;注入井;套管保护封隔器;套损;验封方式;密封性;油压;套压

中图分类号:TE353 **文献标识码:**B **DOI:**10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.06.009

Sealing evaluation technology of casing protection packer in injection wells

CAI Miaomiao

No. 3 Oil Production Plant, PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163000, China

Abstract: The casing protection packer for injection wells in Daqing Oilfield has no formed sealing inspection method, and the risk of casing damage is high. In order to solve this problem, this paper studies the sealing judgment technology of casing protection packer and develops the ground sealing inspection equipment. The equipment consists of digital pressure gauge and ground data recorder. It can control the water injection valve to perform the “on-off-on” operation to make the oil pressure change with the trend of “high-low-high”. The sealing performance of the casing protection packer is determined by observing the tubing and casing pressure change curve recorded by the ground data recorder: if the casing pressure presents the accompanying trend of “high-low-high”, it is not sealed; If the casing pressure is stable, it means sealing. Comparing the casing protection packer sealing effect of downhole sealing inspection equipment and surface sealing inspection equipment in 60 well tests, the coincidence rate of sealing inspection results is 99%. This technology realizes the scientific sealing inspection of casing protection packer and has broad application prospects.

Keywords: Daqing Oilfield; injection well; casing protection packer; casing damage; sealing inspection method; sealing effect; tubing pressure; casing pressure

当今国内外油田注入井套管保护封隔器使用最多的型号是 Y341 型^[1]。该封隔器上提式解封,液压式坐封,洗井时洗井滑套开启,打通油套环空,便于洗井^[2-3]。但因该类封隔器存在洗井滑套密封圈过孔,并且密封胶筒长度过短等问题^[4],长时间使用后会 出现密封不严的情况^[5-7]。近几年来,大庆油田注入井使用的绝大部分套管保护封隔器的型号也属于 Y341 型,并且没有成型的验封方式^[8]。若其密封不严,套管保护封隔器以上套管将长时间受到高强度压力,如果出现套漏点,嫩二段层系将会侵水^[9]。嫩二段硬岩性中存在具有渗透性且易开

启的化石薄弱面,该层段水浸后,在构造和地应力作用下,地层稳定性下降,易沿层理发生滑动,将导致成片区域的套损,大大增加了套损的风险^[10-12]。

传统套管保护封隔器密封判定方法中,是用油压与套压之差间接确定,存有偏差。李涛^[13]、罗述华等^[14]采用观察井口套压法进行验封,虽然方法简单,但压力表精度较低,压差变化小,开关时不灵敏,无法准确录取压力值,并且人工录取压力数据存在误差,无法准确判读密封性。阚延坤等^[15]、吴洪彪等^[16]采用观察套管放空溢流法进行验封,虽然观察直观,但由于大部分注入井已取消放空阀门,

需重新安装阀门,同时需要配合罐车回收污水,工艺略显复杂。张洪等^[17]在井口采用罐车直接短时泄压工艺,人为放大井筒压力与地层压力的差别,虽然增加了资料可靠性,但只较好解决了低压差井验封难题。姚禹^[18]、方志刚等^[19]采用井下验封设备油套“双憋法”进行套保护封隔器验封,虽然验封设备精度高,可形成验封曲线,但无法检查上部油管渗漏,同时还需排除设备皮碗不密封。

针对上述问题,为了实现套管保护封隔器的科学验封,本文研究了套管保护封隔器密封性判定技术,研制出一套可靠、有效的地上验封设备。该设备具有体积小、携带方便、井口直连、可操作性强;耐低温、低功耗、无线信号传输、环境适应性强;可检查上部油管渗漏情况;并且具有精度高、可视化验封曲线、判断准确等优点,解决了以往套管保护封隔器没有成型验封方式的问题。通过对该技术的研究,在大庆油田第三采油厂验封测试作业中取得了良好的实践效果,扩大了套管保护封隔器验封的应用范围。

1 验封基本原理

控制注水阀门,执行“开-关-开”操作,使油压“高-低-高”变动。通过观察套压曲线变化情况,判定套管保护封隔器密封性能:如果套管压力也呈现“高-低-高”伴随趋势,则套管保护封隔器或以上管柱部分存在不密封;如果套压稳定,保持不变,则套管保护封隔器及以上管柱部分密封。套管保护封隔器验封的基本原理如图 1 所示。

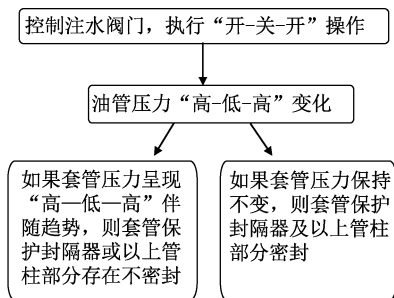


图 1 套管保护封隔器验封基本原理框图

Fig. 1 Basic principle block diagram of casing protection packer sealing inspection

2 地上验封设备组成

地上验封设备由数字式压力计和地面数据记录仪两部分组成。

2.1 数字式压力计

数字式压力计由油压测试压力计(压力表

头)^[20]、套压测试压力计(压力探头)^[21]、电源、A/D 转换电路等组成。验封时,压力表头测量油管压力、压力探头测量套管压力,并将压力数据通过无线信号发送到地面数据记录仪上。

数字式压力计体型小,重量轻,方便携带;测量精度高,压力精度范围在 0.083%FS~0.129%FS 之间;采用屏蔽层硅胶护套信号线,具有耐低温属性,可避免冬季数据线折损情况的发生,增加冬季可靠性;同时具有数据无线收发装置,可使数字式压力计与验封数据接收仪间实现 200 m 内防屏蔽无线信号传输,可摆脱夏季大雨井场泥泞等情况对地上验封工作的束缚性,增加了地面验封装置的整体适用性。

2.2 地面数据记录仪

地面数据记录仪由触摸显示器、控制模块、充电式电源等组成。验封时,将无线接收到的油套压力数据实时显示并进行存储,实现数据现场直读、实时监测。

测试完成后,通过蓝牙方式与电脑无线连接,将数据回放到电脑的软件上,进行后续出报表等数据分析操作。

地面数据记录仪的工作电压为 12 V,低功耗,可增加工作时长;显示屏为电阻式可触摸屏幕,验封人员可佩戴手套对屏幕进行操作,增加工具的现场操作灵活性;数据导出方面,地面数据记录仪与电脑端实现了无线蓝牙连接,提高了现场验封工作效率。

3 验封流程

套管保护封隔器验封工艺如图 2 所示。具体步骤:

(1)将泄压阀连接到注入井的油压放空处,数字式压力计的压力表头和压力探头分别安装在泄压阀上和套压表接头处。

(2)打开地面数据记录仪电源,等待记录仪与数字式压力计成功无线连接。连接正常后记录仪应能显示压力、温度数据。

(3)检查泄压阀,应处于关闭状态。打开油压放空阀门,开始进行验封操作。

(4)控制注水阀门,执行“开-关-开”操作,每次的开关操作根据记录仪上曲线压力分开情况持续 5~15 min。

(5)验封完成后关闭油管放空阀,打开泄压阀,拆下数字式压力计,关闭记录仪。装回套压表,恢复正常注水。

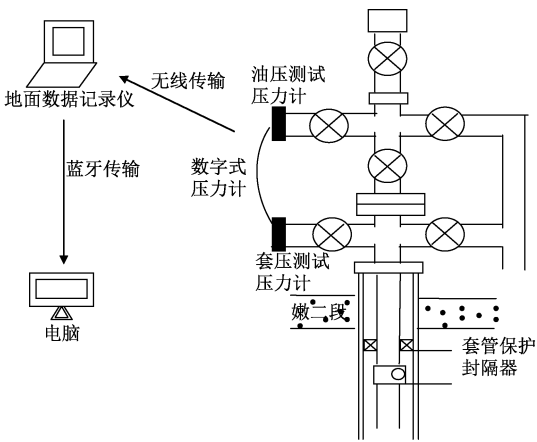


图 2 套管保护封隔器地上验封示意图
Fig. 2 Schematic diagram of ground seal inspection casing protection packer

4 现场试验

该技术于 2017 年开始研制,2018 年开始陆续投入现场试验。配合常规验封任务,利用井下验封设备和地上验封设备同时开展套管保护封隔器密封性判定现场试验,分别利用这两种设备对套管保护封隔器验封。截止到 2019 年 11 月,已累计试验 60 井次,验封结果符合率达 99%。

A 井,人工井底 1 236.2 m,最大井斜 2.9°,2018 年完钻,2019 年 5 月试配完工,采用专用套管保护封隔器、逐级解封封隔器和防分流配水器进行两段分注,分层配注量为 20/30 m³/d。该井完井管柱结构如图 3 所示。

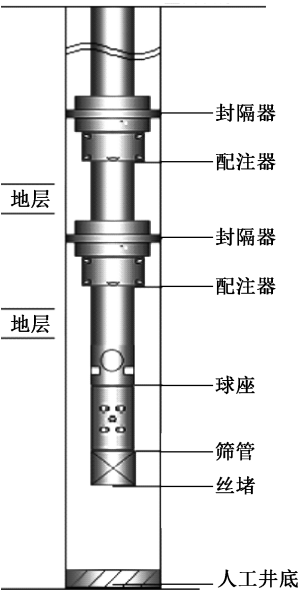


图 3 A 井完井管柱结构示意图
Fig. 3 Structural diagram of completion string of Well A

利用井下验封设备,采用油套双憋法进行验封,测得验封曲线如图 4 所示。

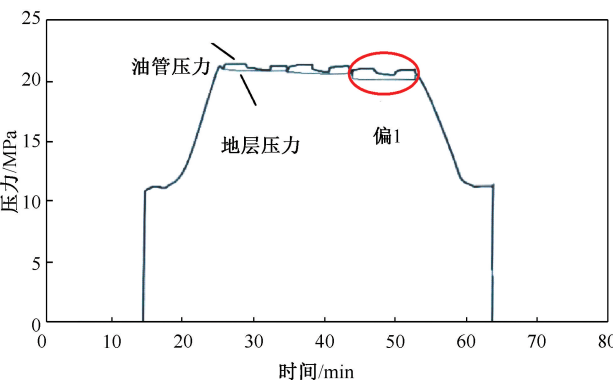


图 4 A 井井下验封设备录取的验封曲线
Fig. 4 Sealing inspection curve of the underground device of Well A

由图 4 可知,偏 1 处地层压力不随油管压力变化而变化,证明该井套管保护封隔器密封。

利用地上验封设备检测套管保护封隔器的密封性,测得的验封曲线如图 5 所示。

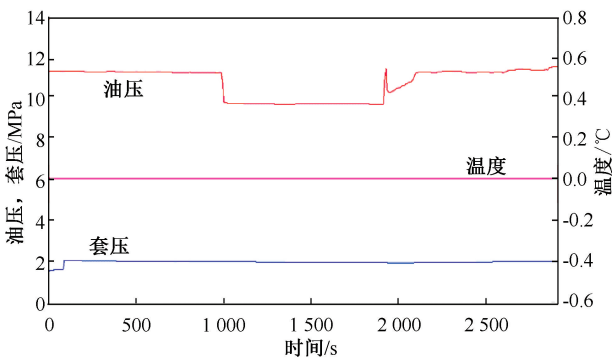


图 5 A 井地上验封设备测得的验封曲线
Fig. 5 Sealing inspection curve of the ground device of Well A

由图 5 可知,当油管压力变动时,套管压力基本保持不变,未呈现明显波动,判断该井套管保护封隔器及以上管柱部分密封较好。与井下验封设备验封结果相符。

B 井,人工井底 1 235.4 m,最大井斜 1.3°,采取三级分层注水,分层配注量为 30/70/20 m³/d。2012 年 3 月最后一次施工完成,已施工 7 年。

该井完井管柱结构如图 6 所示。利用井下验封设备采用油套双憋法测得验封曲线(图 7)。由图 7 可知,偏 1 处地层压力随油管压力变化而变化,与油管压力重合,证明该井套管保护封隔器不密封。

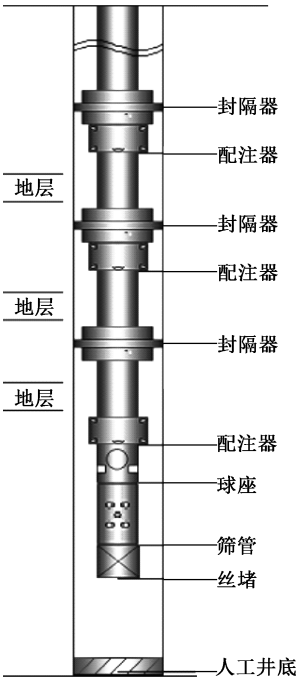


图 6 B 井完井管柱结构示意图

Fig. 6 Structural diagram of completion string of Well B

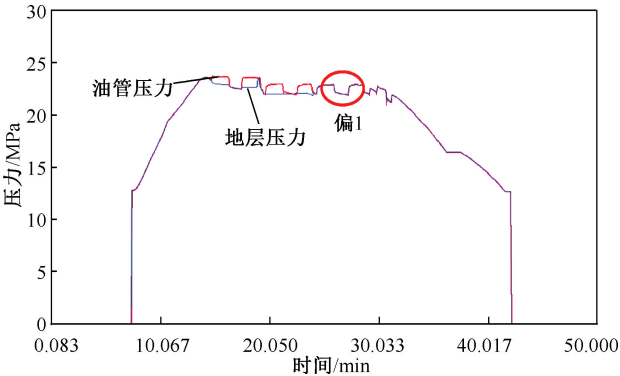


图 7 B 井井下验封设备测得的验封曲线

Fig. 7 Sealing inspection curve of the underground device of Well B

利用地上验封设备测得的套管保护封隔器验封曲线如图 8 所示。

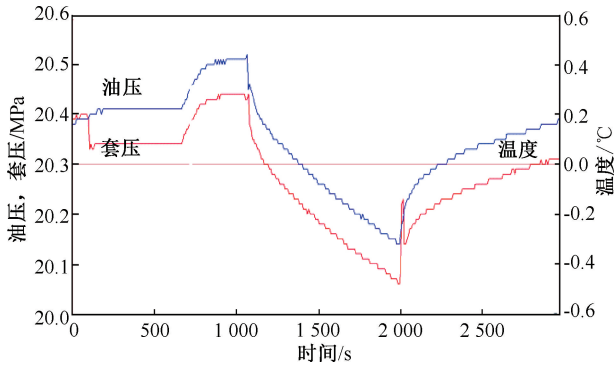


图 8 B 井地上验封设备的验封曲线

Fig. 8 Sealing inspection curve of the ground device of Well B

由图 8 可知,当油压变动时,套压呈现伴随趋势,且油套存在压差,判断该井套管保护封隔器胶筒密封不严。与井下验封设备验封结果相符。

C 井,人工井底 1 266.9 m,最大井斜 18.1°,2017 年 4 月完工,细分四层注水,分层配注量为 10/15/20/15 m³/d。

该井完井管柱结构如图 9 所示。利用井下验封设备,采用油套双憋法测得的验封曲线(图 10)。由图 10 可知,该井套管保护封隔器密封。

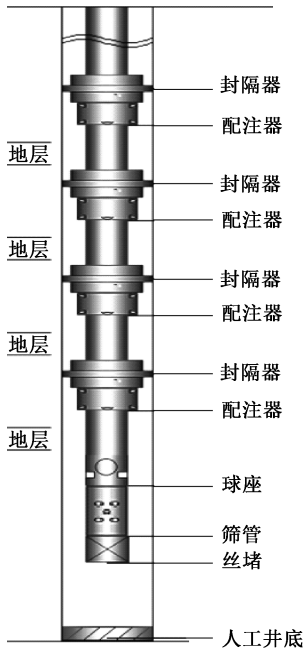


图 9 C 井完井管柱结构示意图

Fig. 9 Structural diagram of completion string of Well C

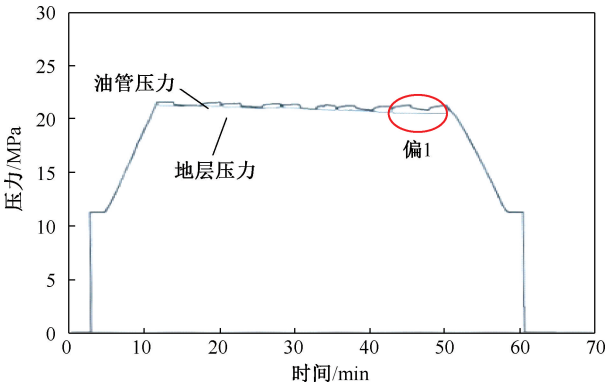


图 10 C 井井下验封设备得到的验封曲线

Fig. 10 Sealing inspection curve of the underground device of Well C

利用地上验封设备对套管保护封隔器进行密封性检测,测得验封曲线如图 11 所示,可知当油管

压力变动时,套管压力逐渐上升。因此,判定为油管渗漏。

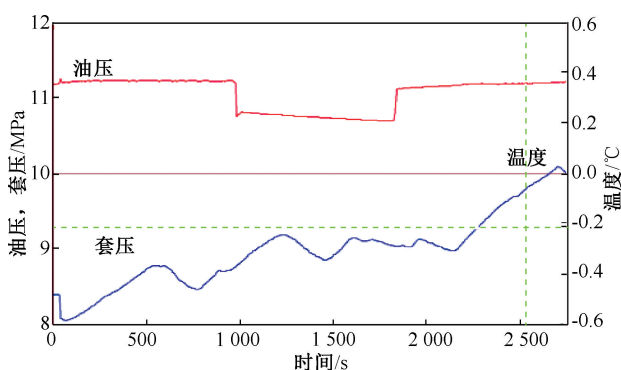


图 11 C 井的地上验封设备的验封曲线

Fig. 11 Sealing inspection curve of the ground device of Well C

5 结论

(1)地上验封设备是通过开关注水阀门,利用数字式压力计测量井口油、套压,观察地面数据记录仪录取的油、套压变化曲线判定套管保护封隔器密封性能,并且可将数据回放到电脑上,进行后续出报表等数据分析操作。该设备可实现套管保护封隔器验封数据的现场直读、实时监控、存储、回放和数据分析等功能。

(2)与传统套管保护封隔器验封方法相比,地上验封设备具有体积小、携带方便、井口直连、可操作性强;耐低温、低功耗、无线信号传输、环境适应性强;可检查上部油管渗漏情况;并且具有精度高、可视化验封曲线、判断准确等优点。

(3)该验封技术主要解决注入井的套管保护封隔器的密封性判定问题,补充了以往套管保护封隔器没有成型验封方式的技术空白,是一种新型验封技术。

(4)通过现场试验,地上验封设备的准确性可达 99%,证明该技术是一套可靠、有效的套管保护封隔器密封性判定技术,可有效避免高压注水情况下,上部地层吸水产生套损,实现了套管保护封隔器的科学验封,具有广阔的应用前景。

致谢:感谢大庆油田第三采油厂同意本文公开发表;感谢王群大队长、李立东主任、王维克书记、姚禹组长等人在论文修改、设备研制和验封工作方面做出的贡献。

参考文献

[1] 罗国涛,李德刚,边向南. Y341-FX/ZS-114×56-90/20 注水封隔器的研制[J]. 机械工程师,2019(10):173-

174,178.

LUO Guotao, LI Degang, BIAN Xiangnan. Development of Y341-FX/ZS-114×56-90/20 water injection packer [J]. Mechanical Engineer, 2019(10): 173-174,178.

- [2] 吴奇. 井下作业工程师手册[M]. (第2版). 北京:石油工业出版社,2017:551-553.
- [3] 李志广,闫永维,李风涛,等. ZY341 型可洗井自验封注水封隔器研制[J]. 石油矿场机械,2017,46(2):58-61.
- LI Zhiguang, YAN Yongwei, LI Fengtao, et al. Development of Y341 self-checked packer for well flushing [J]. Oil Field Equipment, 2017,46(2):58-61.
- [4] 那志强. 应用长胶筒封隔器保护隔层定位压裂开采厚油层内剩余油[J]. 中外能源,2018,23(10):65-69.
- NA Zhiqiang. Application of packers with long rubber tubes to protecting interlayer and positioning fracturing for exploiting remaining oil in thick oil layers [J]. Sino-Global Energy, 2018,23(10):65-69.
- [5] 谢代培. 影响水井封隔器密封率因素分析及对策[J]. 化工管理,2018(24):70-71.
- XIE Daipei. Analysis and countermeasures of factors influencing sealing rate of water injection well's packers [J]. Chemical Enterprise Management, 2018(24): 70-71.
- [6] 毕福伟,于九政,刘延青,等. 双密封套管保护封隔器的研制与应用[J]. 石油机械,2017,45(2):93-95.
- BI Fuwei, YU Jiuzheng, LIU Yanqing, et al. Development and application of dual-seal packer with casing protection [J]. China Petroleum Machinery, 2017,45(2):93-95.
- [7] 张付英,姜向敏. 压缩式密封胶筒的密封可靠性分析与研究[J]. 机械设计,2018,35(6):65-69.
- ZHANG Fuying, JIANG Xiangmin. Sealing reliability analysis and research on the compression seal rubber tube [J]. Journal of Machine Design, 2018,35(6):65-69.
- [8] 黄辉雄,郭朝霞,张金玉. 分注井验封疑难现象分析及其压力曲线应用[J]. 油气井测试,2015,24(2):19-23.
- HUANG Huixiong, GUO Zhaoxia, ZHANG Jinyu. Analysis of problematic phenomenon for seal inspection of separate injection well and application of its pressure curve [J]. Well Testing, 2015, 24(2): 19-23.
- [9] 艾池,刘亚珍,李玉伟,等. 嫩二段标志层套管损坏区进水域影响因素分析[J]. 特种油气藏,2015,22(6):129-132,148.
- AI Chi, LIU Yazhen, LI Yuwei, et al. Analysis on influential factors of water inflow domain in casing failure zone of Nen2 member marker bed [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015,22(6):129-132,148.
- [10] 牟晓刚. 嫩二段层系套损原因分析与对策[J]. 石油工业技术监督,2017,33(3):47-51.
- MOU Xiaogang. Cause analysis and countermeasures of casing damage in Nen 2 member [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2017,33(3):47-51.
- [11] 张鑫洋. 对嫩二段非油层段套损的几点认识[J]. 化学工程与装备,2020(3):63-64.

- ZHANG Xinyang. Some understanding of casing damage in the non-oil interval of Nen 2 member [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2020(3):63-64.
- [12] 林阳. 南二西套损区压力系统稳定性评价[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(5):94-99.
- LIN Yang. Stability evaluation of the pressure system for the casing damage area in block South-West II [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2018, 37(5):94-99.
- [13] 李涛. 注水井封隔器简易验封方法分析[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(5):80-81.
- LI Tao. Analysis of simple sealing check method for water injection well's packers [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014, 40(5):80-81.
- [14] 罗述华, 于秋玉, 高丽, 等. 现场几种有效的水井验封方法[J]. 内蒙古石油化工, 2009, 35(20):61-62.
- LUO Shuhua, YU Qiuyu, GAO Li, et al. Several effective on-site sealing check methods for water injection wells [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 35(20):61-62.
- [15] 阚延坤, 石先达. 一种偏配井封隔器验封的快速方法[J]. 内蒙古石油化工, 2005(7):46-48.
- KAN Yankun, SHI Xianda. A fast sealing check method for eccentric water distributor well's packers [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2005(7):46-48.
- [16] 吴洪彪, 付玉青, 祖树平. 分层注水井验封工艺技术及量化解新方法[J]. 油气井测试, 1999, 8(3):18-20.
- WU Hongbiao, FU Yuqing, ZU Shuping. Sealing test technology and new quantized interpretation method for separate water injection wells [J]. Well Testing, 1999, 8(3):18-20.
- [17] 张洪, 王青川, 邱金权, 等. 井口泄压法在低压差井验封中的应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(2):70-72.
- ZHANG Hong, WANG Qingchuan, QIU Jinquan, et al. Application of well head pressure relief method to check sealing for the low pressure differential well [J]. Well Testing, 2017, 26(2):70-72.
- [18] 姚禹. 大庆油田注水井套管保护配套技术研究[J]. 化学工程与装备, 2019(4):52-56.
- YAO Yu. Research on supporting technology for casing protection of water injection wells in Daqing Oilfield [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019(4):52-56.
- [19] 方志刚, 刘颖, 周波, 等. 分层注水井封隔器验封新技术研究与应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(2):64-66.
- FANG Zhi-gang, LIU Ying, ZHOU Bo, et al. Study and application of packer sealing g verification new technology for separate zone water injectors [J]. Well Testing, 2016, 25(2):64-66.
- [20] 苏健, 马建军, 雷宁桥, 等. 压力变送器在注水井油套压数据监控方面的应用探讨[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(11):55, 70.
- SU Jian, MA Jianjun, LEI Ningqiao, et al. Discussion on application of pressure transmitter in oil pressure monitoring of water injection well [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017, 43(11):55, 70.
- [21] 李恺, 司长征, 韩光, 等. 用于油田井口压力监测的无源无线压力传感器[J]. 中国管理信息化, 2019, 22(17):186-189.
- LI Kai, SI Changzheng, HAN Guang, et al. Passive wireless pressure sensor for wellhead pressure monitoring in oilfield [J]. China Management Informationization, 2019, 22(17):186-189.

编辑 刘振庆

第一作者简介:蔡苗苗,女,1989年出生,硕士研究生,工程师,2015年毕业于东北石油大学控制工程专业,现从事注水工艺设计工作。电话:0459-5857090, 13089071597; Email: caimiaomiao1019@163.com。通信地址:黑龙江省大庆市萨尔图区东风路甲一号广电大厦,邮政编码:163000。