

渤海油田噪声-流量测井与 PEAK 工具组合找漏堵漏技术

万禧煌¹, 许峰², 于伟强², 李大亮²

1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司渤南作业公司 天津 300451

2. 中法渤海地质服务有限公司 天津 300457

通讯作者: Email: yuwq@cfbgc.com

引用: 万禧煌, 许峰, 于伟强, 等. 渤海油田噪声-流量测井与 PEAK 工具组合找漏堵漏技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(4): 73-78.

Cite: WAN Xihuang, XU Feng, YU Weiqiang, et al. Combination of noise-flow logging with PEAK tools for leakage detection and plugging in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2020, 29(4): 73-78.

摘要 油套管漏失和管外窜槽等问题影响油气水井正常生产,特别是海上平台井筒发生漏失,大修费用高、周期长。噪声-流量测井可获取井下各深度处的噪声和流量数据,对噪声数据进行傅里叶变换,得到不同深度位置频率和幅值的对应关系,再通过流体流经不同部位时频率和幅值的响应特征,辅以流量数据,实现准确定位井筒管漏的目的;PEAK 跨隔堵漏工具可以坐封在任意深度,基于它的中通特性,跨隔工具坐封堵漏后,管道上下空间正常连通。在渤海油田 S4 井应用,通过对噪声频谱和流量数据的分析,确定油管漏点在 1 494.0 m 附近,下入 PEAK 跨隔工具封堵漏点上下各 6 m 范围,成功实现精准找漏堵漏并恢复正常生产,初期日产液 180 m³。该方案可避免大修作业,为今后油套管管漏问题提供有效应对方案。

关键词 噪声测井; 流量测井; 频谱分析; PEAK 工具; 跨隔坐封; 找漏; 堵漏

中图分类号: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.04.013

Combination of noise-flow logging with PEAK tools for leakage detection and plugging in Bohai Oilfield

WAN Xihuang¹, XU Feng², YU Weiqiang², LI Daliang²

1. Bonan Operation Company, CNOOC Tianjin Branch, Tianjin 300451, China

2. China-France Bohai Geoservices Co., Ltd., Tianjin 300457, China

Abstract: Problems such as tubing/casing leakage and channeling affect the normal production of oil and gas wells. Especially the wellbore leakage in an offshore platform usually costs much for overhaul and lasts a long time. Noise-flow logging can obtain noise and flow data at various depths downhole, and then the noise data can be transformed through the Fourier transform to obtain the corresponding relationship between the frequency and amplitude at different depths, and finally the leakage can be located according to the response characteristics and flow data. A PEAK plugging tool can be set across a packer and at any depth. After setting, the tool connects the pipelines above and below. In Well S4 in the Bohai Oilfield, according to the noise and flow data, it's found that the tubing leakage was near 1494.0m, therefore a PEAK tool was set to cover the leakage point by 6m above and below each. The well recovered normal production and the initial fluid production was up to 180 m³/d. This technical combination can avoid overhaul operation and provide effective solutions to tubing and casing leakage.

Keywords: noise logging; flow logging; frequency spectrum analysis; PEAK tool; across-packer setting; leak detection; plugging

随着油田开发时间的延长,油水井受固井质量变差、腐蚀、酸化、压裂等因素影响,出现管漏和管外窜槽状况^[1],不仅严重影响到油水井的正常生产^[2],还会破坏环境^[3],造成很大的经济损失^[4]。特别是海上井口平台,单井产量可观,但不具有独立的修井能力,一旦井口平台油井发生管柱漏失停

产情况,需要停靠钻井船配合井的大修作业,从而面临修井成本昂贵、复产周期长等问题,因此需要寻求一种高效、低成本的找漏找窜-堵漏解决方案。

目前,国内外常用找漏、找窜的方法主要包括:多臂井径仪测井、同位素测井、水泥胶结测井、氧活化测井等。经过长期的实践,这些方法在找漏、找

串方面的局限性也逐渐暴露出来。多臂井径测井仪是检测套损的主要手段,多用于检测套管内径变化^[5-6],受机械测量原理的局限,对于套管内壁损坏不严重而外壁损坏严重的套漏井测量效果不佳,不能检测套管外表面的异常状况^[7-8],同时内壁检测受使用仪器接触臂数量的影响严重测量准确性差,无法识别管外串流;同位素测井作为一种有效的油田开发动态监测技术得到普遍推广,但由于受到沾污、沉淀、地温分布及大孔道等问题影响,使得测井结果具有多解性,有时不能反映真实井壁漏失情形^[9-12],同时存在污染油层的风险^[13];流量测井可以找漏,但不能反映管外流体窜槽^[14];扇区水泥胶结测井(SBT)能够检测套管井水泥胶结质量,当角度小于45度时对径向窜槽的分辨率下降,其测井结果受微环影响比较严重,并且不能很好地判断II界面水泥胶结^[15-17];氧活化测井成本很高,而测漏时需要很长时间,另外由于其活化距离限制,在水泥环外较远距离,很难准确探测^[18]。

谱分析噪声测井仪克服了以上测井方法的缺点,通过对流体在管外水泥环孔道或地层流动时产生的噪声幅度和频率谱的测量来判断流体的类型和位置,并根据噪声频率对地层结构进行一定判断;结合井温、流量等仪器大大提高了找漏、找窜的精度和成功率,准确定位油套管漏失点位置^[19]。找漏工作完成后,利用钢丝连接PEAK跨隔堵漏工具,可实现油套管中任何深度的坐封和跨隔堵漏。噪声测井找漏及PEAK工具堵漏方法在渤海油田的首次成功应用,为油气水井找漏、堵漏工作提供了一种有效方案。

1 噪声测井找漏原理

噪声测井找漏是利用噪声测井仪测量井筒中流体流动产生的噪声,通过对噪声数据的处理和分析,并结合井温、流量等参数,准确定位井筒管漏和窜槽位置的技术。

1.1 噪声测井原理

井眼内流体的动能在阻流部位转换成热能和声能,因此在阻流位置附近产生噪声。噪声强度的大小随着流体流速的变化而变化。通常流体变化可以发生在流体产出口、泄漏口、注水位置、窜槽或套管缩径等处。通过对井内这种非人工激发的、由流体流动而产生的自然声场的测量,并研究其频率和幅度特征,同时结合井筒管柱、射孔位置等相关信息,就可以确定地质参数和井筒的工况。

井下噪声源主要包括四类:(1)油/套管震动以及流体流过油/套管时产生的噪声;(2)完井因素引起的噪声,如流体经过射孔、配水器、封隔器、套管靴、气心轴、喇叭口等产生的噪声;(3)漏失、管外窜槽产生的噪声;(4)储层流体流动产生的噪声。

1.2 噪声测井解释原理

噪声测井仪记录井下流体流动产生的噪声,通过数据信号处理和压缩,在地面高保真还原井内噪声。获取的井下噪声数据是噪声幅值随时间的变化,属于离散信号,利用离散傅里叶变换(DFT)方法,将时域内噪声信号转换为幅值随频率变化的频谱图,离散傅里叶变换如下,即

$$X(k) = X(e^{j\omega}) \Big|_{\omega = 2\pi k/N} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad 0 \leq k \leq N-1(1)$$

式中: $x(n)$ 为采集的离散噪声数据点; $X(k)$ 为离散傅里叶变换幅值,dB; N 为噪声数据点个数。

噪声数据在不同流量条件下,时域噪声信号变换为频率-幅值的对应关系如图1所示。

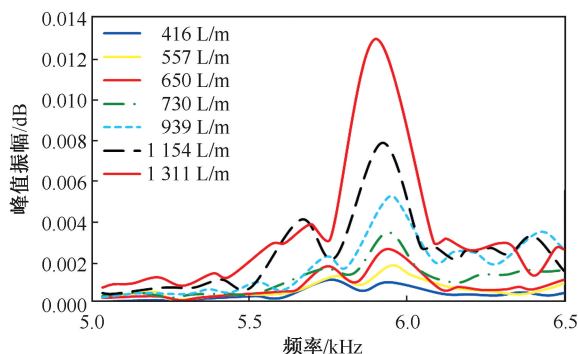


图1 不同流量条件下振幅和频率的对应关系示意图

Fig.1 Schematic relationship between amplitude and frequency at different flow rates

实验室条件下,利用噪声测井装置测量对比不同流体类型、流速、储层岩性时噪声频谱图的差异。噪声幅值和频率关系图分别如图2-4所示。

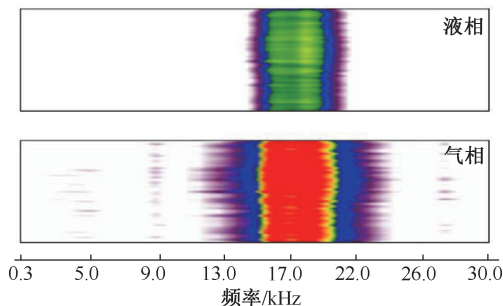


图2 液相和气相噪声幅值和频率关系图

Fig.2 Noise amplitude and frequency of liquid phase and gas phase

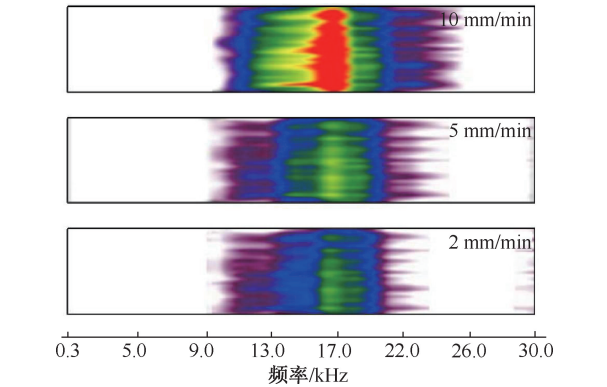


图 3 不同流速条件下噪声幅值和频率关系图
Fig.3 Noise amplitude and frequency at different flow rates

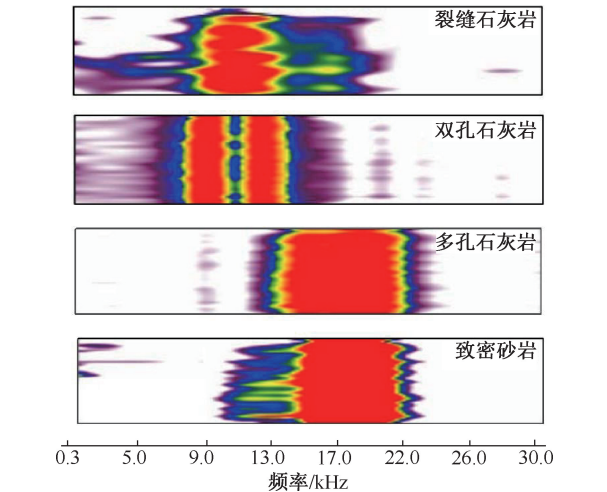


图 4 不同储层岩性中噪声幅值和频率关系图
Fig.4 Noise amplitude and frequency in different lithologic reservoirs

从噪声振幅和频率表征的特征可以得出：

(1) 振幅与流体类型有关,气相与液相相比,产生的噪声幅度大;与频率无关。

(2) 振幅与流速有关,流速越大,噪声幅度就越大;与频率无关。

(3) 频率与流体通道的特性有关,通道越小,所产生的噪声频率就越高。

噪声仪器的接收频率范围能够达到 0.1 ~ 40 kHz,一般 2 kHz 以内的噪声信号为通道内大空间流动产生的噪声;2~6 kHz 内的噪声信号为管外地层裂缝、窜槽等产生;6 kHz 以上的噪声信号为地层流体流动噪声。噪声测井频谱关系如图 5 所示。

利用噪声测井,可以得到井筒中连续深度噪声振幅和频率的关系图,通过噪声频谱与噪声源的对应关系,可以分辨出噪声源自于管内、窜槽断裂或者储层内部,测井解释模型如图 6 所示。再结合流量、温度测井数据,能够得到准确的管道漏

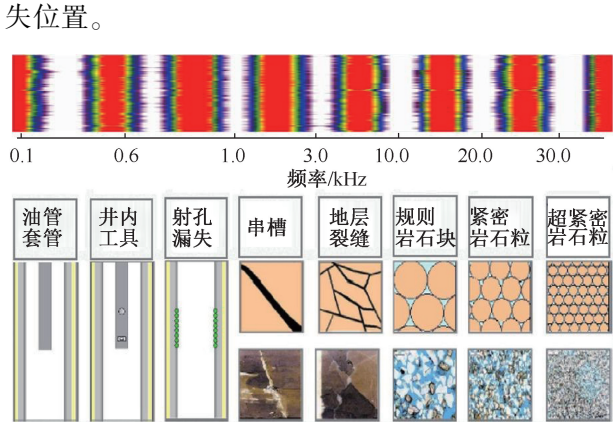


图 5 噪声频谱与噪声源对应关系图
Fig.5 Noise spectrum and noise source

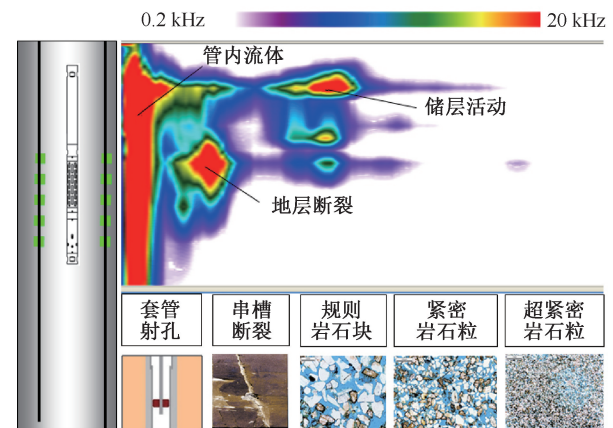


图 6 噪声测井解释模型
Fig.6 Noise logging interpretation model

2 PEAK 工具堵漏工作原理

PEAK 跨隔堵漏工具由钢丝或电缆配合下入,可作用于油管或套管,在保持上下通道连通的情况下实现漏点的封堵。跨隔堵漏工具主要由三部分组成:底部中通桥塞、跨隔管和顶部中通桥塞。

底部中通桥塞本体内部为内通径设计,保留流体流通通道,外部为定位卡瓦和胀封胶皮。定位卡瓦能够在油管内任意位置进行定位、锁定,从而支撑整套跨隔工具,并通过内部联动结构进行机械压缩胀封胶皮实现密封。通过井口操作解除机械压缩,可实现整套跨隔工具的回收。

跨隔管,内部保留流体流通通道,可以插入到底部中通桥塞或其他跨隔管的顶部,实现锁定、密封,并可通过钢丝作业进行分步回收。

顶部中通桥塞结构与底部中通桥塞相近,可以插入到跨隔管的顶部实现锁定、密封,分步组合成整套跨隔堵漏工具,如图 7 所示。

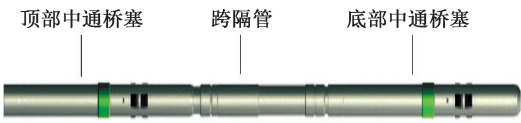


图 7 PEAK 跨隔堵漏工具结构示意图
Fig. 7 Schematic structure of a PEAK plugging tool

跨隔堵漏技术的优点在于:(1) 可通过钢丝进行安装和回收,能够实现后期的维护;(2) 可堆叠跨接管,能够完成漏失点或长漏失段的封堵;(3) 机械操作胀封,不受井下流体介质的影响;(4) 操作快速简便,呈现效果快。

3 实例分析

渤海油田一口调整井 S4 井,井下通过 Y 工作筒电潜泵完井,泵挂深度为 2 627.0 m。初期电泵返排

3 d 后自喷生产,日产油 23 m³,含水 60%,日产气 13×10⁴ m³。后期因平台停产检修关井,复产后开井放喷无产出,启泵生产,初期日产液 70 m³,井口逐渐无产出。现场采取了正挤憋压、投捞 Y 堵、投捞桥塞等措施,经过分析及生产参数论证,S4 井储层物性良好供液充足,无液产出的主要原因是泵挂以上管柱存在漏失,电泵生产无法正常排液恢复自喷生产。由于 S4 井所在平台为井口平台,无独立修井能力,如果动用钻井船停靠修井,作业周期长且费用高昂,所以急需不动管柱的找漏+堵漏方案来恢复生产。

3.1 噪声-流量测井分析漏点深度

利用噪声+流量测井仪器,采用连续测量初步排查、噪声点测精确判断的方式,对本井进行噪声-流量测井找漏尝试。各曲线如图 8-10 所示。

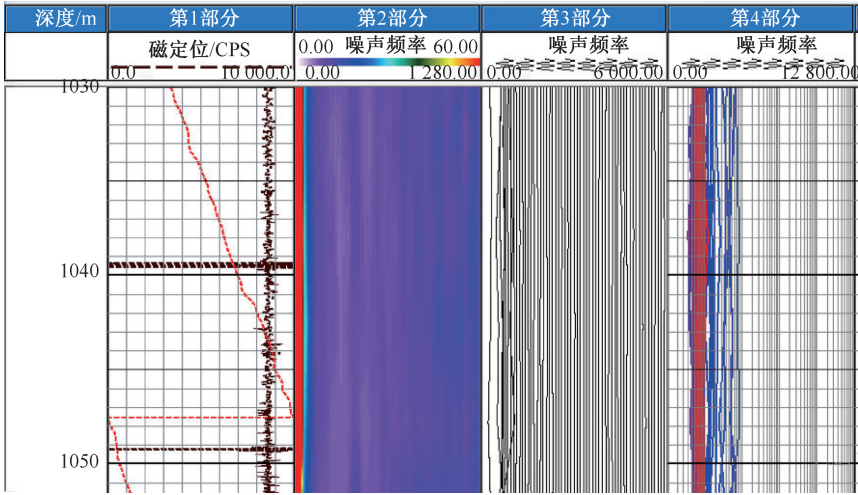


图 8 无漏失段噪声频率曲线
Fig. 8 Noise frequency curve of the interval not leaking

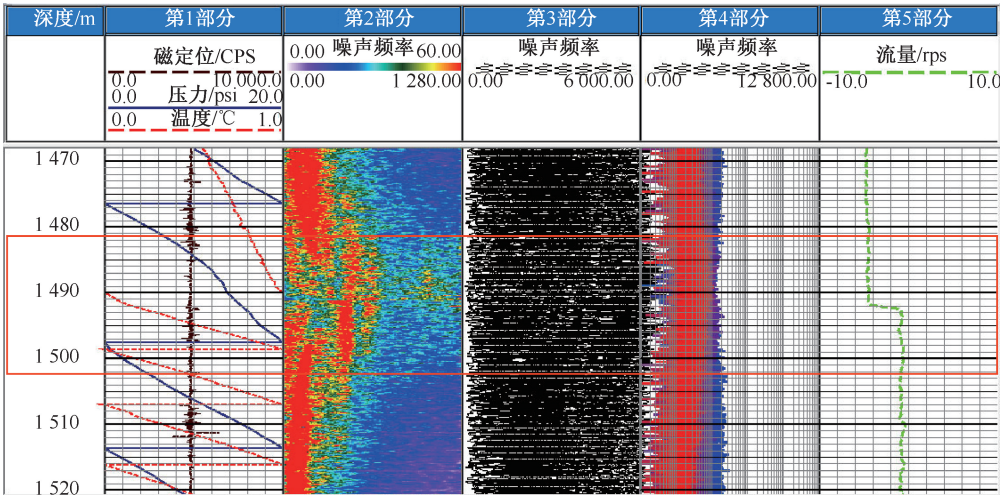


图 9 连续测量噪声频率曲线
Fig. 9 Noise frequency curve measured continuously

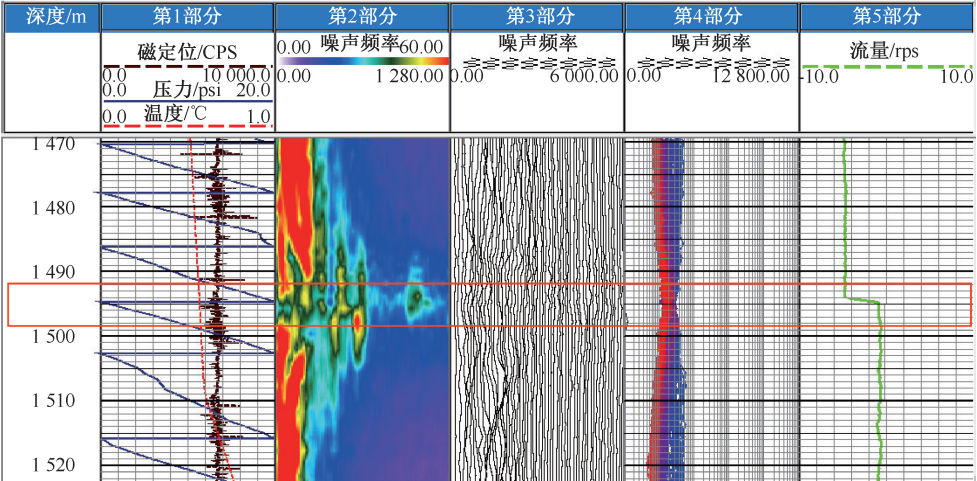


图 10 精确点测噪声频率曲线

Fig. 10 Noise frequency curve measured on exact points

主要测试步骤为:(1)连接噪声测井工具进行模拟通井作业。工具串下至 Y 堵位置 2 620.0 m 时遇阻,噪声测试曲线如图 8 所示。噪声测井仪器正常采集除流量以外的数据,且能够粗略显示 1 490 m 以上井段无异常噪声。

(2)工具串连续测量作业。向油管注水,压力保持 12 MPa,仪器从井底以 10 m/min 的速度连续上提测试至井口,目的在于深度校正和初步排除,在 1 490 m 附近噪声高频段出现异常幅值升高,基本锁定为漏失怀疑重点井段,噪声测试曲线如图 9 所示。从图中可以看出,仪器连续测量致使各深度位置记录噪声时间短,频率分辨率较低,需要点测来辅助精确判断。

(3)重点怀疑井段点测精确判断。下噪声测井工具于 1 450.0~1 550.0 m 进行准确排查测试,点测密度为每 2 m/点,并在疑似位置加密至 1 m/点,各深度位置停留时间 20 s,记录足够长噪声数据,提高频率分辨率。噪声-流量测试曲线如图 10 所示,综合分析温度、压力梯度、流量和噪声数据,判定漏失点在 1 494.0 m 深度附近。

3.2 PEAK 工具跨隔堵漏

油管准确漏失点确定后,利用 PEAK 工具进行跨隔堵漏作业,保证油管通道上下连通的前提下,实现油管漏点封堵。主要施工步骤为:堵漏前利用钢丝工具清理井筒杂物和沙桥,并验证井下工具均处于正常状态;利用数字钢丝精准定位,投入底部中通桥塞,坐封位置位于漏点深度以下 6 m;下入 4 根 3 m 的跨隔密封管(总长 12 m),实现漏点上下分别 6 m 隔离;下入顶部中通桥塞实现跨隔锁定密封。底部中通桥塞、跨隔密封管、顶部中通桥塞按图 7 中结构,自下而上分步下入。整个 PEAK 工具

系统锁定密封之后,实现漏点封堵隔离,该井恢复生产,初期日产液 180 m³。

从 S4 井成功完成找漏堵漏的实例可以看出,通过噪声测井,结合温度、流量测井技术准确定位了油套管漏的位置;漏点深度确定后,利用 PEAK 跨隔堵漏工具实现了漏点上下各 6.0 m 范围的隔离,工具上下油管正常连通,油井恢复正常生产,成功实现精准找漏堵漏,开创了渤海油田噪声-流量找漏及 PEAK 工具跨隔堵漏技术的先河,节省了大量的费用和时间成本。

4 结论

- (1)油套管发生管漏或管外窜槽时,通过噪声、流量、温度组合测井技术,能够准确定位漏失点,
- (2)PEAK 跨隔工具可以利用钢丝工具下入并坐封在油套管的任意深度,通过中通装置的组合锁定,可定点隔离管漏部位,维持正常生产,并实现分级回收,方便后续各项作业的实施。
- (3)应用 PEAK 工具实现噪声-流量测井找漏堵漏的新方法,为海上油田下步工程方案和措施的制定提供了依据,具有广阔的推广应用前景。

致谢:感谢中法渤海地质服务有限公司对本文发表的支持,并已通过单位保密审查。

参考文献

[1] 吴悦,罗九明,朱义清,等. 多组合找漏找窜测井技术在河南油田的应用[J]. 石油地质与工程, 2019, 33(2): 105-107.
WU Yue, LUO Jiuming, ZHU Yiqing, et al. Application of well logging technology by multi-combination leakage and channeling detection in Henan Oilfield [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019, 33(2): 105-107.

[2] 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.
- SHI Yan, CHEN Jinfeng, ZUO Hu, et al. Monitoring and repairing technology for shallow casing with leakage point in production wells [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 55-60.
- [3] 杨丽萍. 常用找漏和找窜测试方法分析[J]. 采油工程, 2013, 3(3): 70-73.
- YANG Liping. Analysis of common leakage and channeling locating test methods [J]. Oil Production Engineering, 2013, 3(3): 70-73.
- [4] 杨景海, 闫术, 赵向民, 等. 利用试井技术检测报废井封堵效果[J]. 油气井测试, 2019, 28(6): 66-72.
- YANG Jinghai, YAN Shu, ZHAO Xiangmin, et al. Testing the plugging effect of abandoned wells by well testing technology [J]. Well Testing, 2019, 28(6): 66-72.
- [5] 虞桐, 杨旭东. 多臂井径测井准确性影响因素分析[J]. 石油管材与仪器, 2015, 1(4): 77-80.
- YU Tong, YANG Xudong. Analysis on affecting factors of the accuracy of multi-armed caliper log [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2015, 1(4): 77-80.
- [6] 刘玉凤, 杨波, 胡素萍. 多臂井径技术评价与应用[J]. 测井技术, 2004, 28(3): 221-224.
- LIU Yufeng, YANG Bo, HU Suping. Evaluation and application of the multi-armed caliper logging technology [J]. Well Logging Technology, 2004, 28(3): 221-224.
- [7] 石耀, 郭海敏, 李恒, 等. 40臂井径结合电磁探伤测井技术在吉林油田的应用[J]. 国外测井技术, 2014, 203(5): 51-54.
- SHI Yao, GUO Haimin, LI Heng, et al. Application of 40 armed caliper combined with electromagnetic flaw detection logging technology in Jilin Oilfield [J]. World Well Logging Technology, 2014, 203(5): 51-54.
- [8] 王莱雪, 杨云杰, 李超. 用多臂井径和电磁探伤组合进行套损井检测[J]. 石油仪器, 2013, 27(3): 36-40.
- WANG Laixue, YANG Yunjie, LI Chao. Casing failure well logging using the combination of multi-finger imaging tool and electromagnetic flaw detector [J]. Petroleum Instruments, 2013, 27(3): 36-37, 40.
- [9] 戴家才, 郭海敏, 张晓岗. 多参数吸水剖面组合测井方法研究[J]. 中国测试技术, 2007, 33(6): 10-12.
- Dai Jiakai, Guo Haimin, Zhang Xiaogang. Method of multi-parameter water-injection profile combination logging [J]. China Measurement Technology, 2007, 33(6): 10-12.
- [10] 程柏青, 王成荣, 刘哲. 同位素示踪测井影响因素及相关实验分析[J]. 同位素, 2002, 15(3): 175-181.
- CHENG Boqing, WANG Chengrong, LIU Zhe. Effects and related experimental analysis on radiotracer well-log [J]. Journal of Isotopes, 2002, 15(3): 175-181.
- [11] 路繁荣, 曹禺, 张超, 等. 同位素吸水剖面测井方法在石油地质中的应用[J]. 石油化工应用, 2017, 36(5): 106-109, 121.
- LU Fanrong, CAO Yu, ZHANG Chao, et al. The method of isotope absorption profile logging and its application in petroleum geology [J]. Petrochemical Industry Application, 2017, 36(5): 106-109, 121.
- [12] 高志海, 王新阳, 叶宏江, 等. 同位素释放器与氧活化仪器组合测井的应用[J]. 石油仪器, 2012, 26(3): 52-53.
- GAO Zhihai, WANG Xinyang, YE Hongjiang, et al. Application of isotope releaser and oxygen activation logging tool [J]. Petroleum Instruments, 2012, 26(3): 52-53.
- [13] 李宁, 吴新伟, 万磊, 等. 同位素吸水剖面测井资料采集影响因素分析[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 49-54.
- LI Ning, WU Xinwei, WAN Lei, et al. Analysis of influencing factors on logging data acquisition of isotope water injection profile [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 49-54.
- [14] 郑友志, 余朝毅, 刘伟, 等. 井温、噪声组合找漏测井在龙岗气井中的应用[J]. 测井技术, 2010, 34(1): 60-63.
- ZHENG Youzhi, SHE Chaoyi, LIU Wei, et al. The application of combined temperature and noise logging data to leakage location for Longgang gas well [J]. Well Logging Technology, 2010, 34(1): 60-63.
- [15] 向泽燕, 郭海燕, 魏猛政, 等. SBT八扇区水泥胶结测井仪的推广应用[J]. 石油仪器, 2011, 25(5): 81-83.
- XIANG Zeyan, GUO Haiyan, WEI Mengzheng, et al. The popularization and application of SBT eight sector cement bond logging tool [J]. Petroleum Instruments, 2011, 25(5): 81-83.
- [16] 薛梅, 楚泽涵, 李艳华, 等. 对固井质量解释评价若干问题的探讨[J]. 测井技术, 2000, 24(6): 470-475.
- XUE Mei, CHU Zehan, LI Yanhua, et al. Discussion on several problems in the estimation of cement bond quality [J]. Well Logging Technology, 2000, 24(6): 470-475.
- [17] 杨林, 刘士安, 孙林平. 水泥胶结测井存在的问题和建议[J]. 测井技术, 2004, 28(S0): 19-22.
- YANG Lin, LIU Shian, SUN Linping. Problem and suggestions of the cement bond log [J]. Well Logging Technology, 2004, 28(S0): 19-22.
- [18] 刘金龙, 吴刚, 王成荣, 等. 新型脉冲中子氧活化测井在吐哈油田的应用[J]. 石油仪器, 2009, 23(3): 57-59.
- LIU Jinlong, WU Gang, WANG Chengrong, et al. Application of a new oxygen activation logging tool to Tuha Oilfield [J]. Petroleum Instruments, 2009, 23(3): 57-59.
- [19] 陈庆波, 戴宇刚, 陈庆新. 噪声、井温组合测井资料在萨北油田找漏、找窜方面的应用[J]. 石油仪器, 2007, 21(4): 54-56.
- CHEN Qingbo, DAI Yugang, CHEN Qingxin. The application of combined temperature and noise logging data in Sabai leakage and channel locating [J]. Petroleum Instruments, 2007, 21(4): 54-56.

编辑 王军

第一作者简介: 万禧煌, 男, 1986年3月出生, 工程师, 2009年毕业于长江大学石油工程专业, 现主要从事油藏动态监测和试井解释研究相关工作。电话: 022-66501375; Email: wanxh@cnooc.com.cn。通信地址: 天津滨海新区海川路2121号海洋石油大厦A座, 邮政编码: 300451。