

# 注入剖面测井技术在油田窜漏井中的应用

张云,张立明,张文华

中国石油大庆油田有限责任公司测试技术服务分公司 黑龙江大庆 163853

通讯作者:Email:m18745932068@163.com

引用:张云,张立明,张文华. 注入剖面测井技术在油田窜漏井中的应用[J]. 油气井测试,2023,32(5):56-62.

Cite: ZHANG Yun, ZHANG Liming, ZHANG Wenhua. Application of injection profile logging technology in oilfield leakage wells[J]. Well Testing, 2023,32(5):56-62.

**摘要** 油田开发生产后期,油井套管形变损坏、管外窜槽逐渐增多,导致油井含水率上升,采油速度下降。脉冲中子氧活化和示踪流量组合测井等技术能够及时准确地查找漏窜点和出水层位,依据测试资料采取有效封堵措施,提高油田采油速度。通过对注入剖面资料深入分析与综合解释,总结出注水井异常低压主要由高渗透层引起的层间矛盾以及井下管柱工具出现异常造成的,梳理出油套管漏失、封隔器失效、辨别大孔道、管外窜槽四大窜漏井类型,并提出了相应的监测流程与优选方案。某区块利用脉冲中子氧活化、示踪流量组合测井等注入剖面测井资料共进行查漏找窜 28 口井,查找出各类问题井 18 口,开展措施有效率 100%。该技术为油田套损检测及措施方案的制定提供了依据。

**关键词** 注入剖面测井;油套管漏失;管外窜槽;层间矛盾;大孔道;封隔器失效;脉冲中子氧活化测井;示踪流量组合测井

**中图分类号**:TE358 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.05.010

## Application of injection profile logging technology in oilfield leakage wells

ZHANG Yun, ZHANG Liming, ZHANG Wenhua

Logging and Testing Services Company, Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing, Heilongjiang 163853, China

**Abstract:** In the later stages of oilfield development and production, deformation and damage to oil well casings, along with the gradual increase in external channels, result in an increase in water content and a decrease in oil production rates. Technologies such as pulsed neutron oxygen activation and tracer flow combined logging can accurately and promptly identify leak points and water-producing intervals, and then, based on the testing data, effective sealing measures can be implemented to enhance oilfield production rates. In-depth analysis and comprehensive interpretation of injection profile data reveal that abnormally low pressures in injection wells are primarily caused by interlayer contradictions resulting from highly permeable layers and abnormalities in downhole tools. Four major types of leakage wells were identified: oil casing leakage, packer failure, large channels, and external channels. Corresponding monitoring procedures and optimal solutions were proposed. In some block, 28 wells were investigated for leakage by using injection profile logging data, including pulsed neutron oxygen activation and tracer flow combined logging, 18 wells were identified with issues, and the effectiveness of measures was 100%. This technology provides a basis for casing damage detection in oilfields and the formulation of measure plans.

**Keywords:** injection profile logging; oil tube and casing leakage; external channel; interlayer contradiction; large channel; packer failure; pulsed neutron oxygen activation logging; tracer flow combined logging

注水井投入生产后,随着生产时间的增加,会出现各种各样的问题,异常压降现象是常见的问题之一。注水井异常压降主要是由注入管柱、井下工具自身技术状况出现问题后造成窜漏导致的,进而会形成无效注水,影响油田开发效果。通过研究窜漏井的成因,对问题井特征进行归纳并选出合理的找漏方法,可以在生产实际中起到很好地分析诊断作用,及时有效地查找漏窜层位,并采取相应的封堵措施,为油田高含水期实现有效注水和控水稳油提供全面的技术

支撑。

多年来,在注水井异常问题上,技术人员进行了许多研究,如王连波<sup>[1]</sup>针对低压注水会造成油田注水系统紊乱,影响油田产量,而油套管窜漏是造成水井低压的主要原因。首先制定了低压井找窜漏的测试方案,方案主要运用了脉冲中子氧活化和示踪相关测井结合的方法,同时辅以同位素五参数、PI90、分层压力等测试工艺。按照制定的施工方案,氧活化测井负责查清管内水流情况,示踪相关测井开展管外水流查

找,辅以其它测试方法进行验证、调查,开展了窜漏的查找,三口井取得了较好的效果,准确查找到了窜漏点。应用脉冲中子氧活化进行找漏测试时,在施工过程中随时调整水井的正反注状态,更便于漏点的查找,同时尝试开拓了示踪相关测井寻找管外窜流这一新领域。庄严<sup>[2]</sup>利用脉冲中子氧活化测井的非接触测量能力,使它在常规生产测井仪难以有效解决的某些特殊问题上,独具优势。根据脉冲中子氧活化测井仪的测量原理,通过对现场实例的应用分析,表明氧活化测井对检测水井封隔器密封性、油、套管漏失等工程问题中发挥重要的作用。李晨<sup>[3]</sup>为了解决采油厂注水井管柱窜槽漏失的问题,研究查窜找漏井的测试方法,统计了采油三厂2012~2013年查窜找漏井的测试资料,对监测方法和结果进行了分析和探讨,提出了查窜找漏井的监测流程,运用此流程为采油厂解决了实际生产难题,并进一步验证此方法的可行性。

本文首先重点剖析注水井漏窜原因及类型,结合脉冲中子氧活化、示踪流量两种注入剖面测井仪器的工作原理、现场实例分析了脉冲中子氧活化测井、示踪流量测井在不同漏失情况下找漏的适用条件与应用效果,总结了查漏找窜测试方法基本步骤,并提出了不同窜漏的优选方式,进一步提升方法准确性与措施有效性。

## 1 窜漏井造成的原因及出现的类型

受注水井网和增产措施的影响,泥岩层长期被注水侵蚀,高压层在泥浆凝结时注入水反吐、地层内气体侵入、管外泥浆不能完全驱除,造成层间剪切错动,发生区域集中和时间集中的套管剪切变形与错断<sup>[4]</sup>,导致第一胶结面水泥与套管或者第二胶结面套管与地层不能完全胶结,进而引起套管外注水与射孔层之间形成一条或若干条窜流通道。

### 1.1 窜漏井的成因

在油田生产实际中,由于高渗透层的存在,导致注水井压力骤降的情况是较为常见的,此类型的注水井层间矛盾较为突出,同一配注层段内的其它非高渗透层难见吸水显示。此外,由于部分井油层套管使用年限过长,地层胶结程度变差,出砂量增多,套管外的地层空穴越来越大<sup>[5]</sup>,井下管柱及工具出现异常问题,比如封隔器不密封、油管裂缝、套管损坏以及单流阀漏失也是导致注水井异常压降的重要因素。

### 1.2 窜漏问题的类型

对于异常低压注水井特征进行统计分析后,总结

出窜漏问题类型如下:

(1)油、套管漏失;(2)封隔器或配水堵塞器失效;(3)停注层吸水;(4)管外窜槽;(5)高渗透层形成大孔道,注入水单层突进。

## 2 查漏找窜技术的测量原理与仪器结构

油田开发进入了高含水阶段后,从油套管漏失到层间窜流是主要的窜漏特征变化。查漏找窜的方法主要有脉冲中子氧活化测井、示踪流量组合测井等,利用生产测井手段综合分析水流方向、速度,既可以迅速确定窜漏层段,又能准确评价漏失量。

### 2.1 脉冲中子氧活化技术的测量原理

脉冲中子发生器发射快中子,活化井筒内注入水中的氧原子,被活化的介质会被上、下两组不同源距的探测器测到,测量其时间谱,就可以计算出水流的流速。管柱截面积已知,即可得某一深度的流量,计算出每个小层的吸入水量,但由于套管半径大的原因使得相同流量的流体在套管中的流动速度慢<sup>[6]</sup>。

### 2.2 脉冲中子氧活化技术的仪器结构

脉冲中子氧活化测井仪由中子发生器和探测器组成,可同时测量上、下两个方向的水流,并可录取井温、压力、磁定位、自然伽马参数。仪器主要由四个部分组成:上水流短接、中子发生器短接、下水流短接、三参数短接。其中上水流短接包括两组探测器,下水流短接包括三组探测器,下水流短接的远探测器兼测自然伽马。测井仪器采用以地面为主,井下为辅的通讯方式,数据以曼码形式传输,测井精度高,但是该仪器成本高寿命短<sup>[7]</sup>。

### 2.3 示踪流量组合测井技术的测量原理

示踪流量组合测井技术在井筒内某一深度释放示踪剂,仪器通过起下电缆追踪或点测追踪示踪剂的流动。由两次测井曲线的伽马峰值的深度、时间,便可得到水流速度。根据管柱截面积,便可得到某一深度的流量,进而计算出每个小层的吸水量和吸水比例<sup>[8]</sup>。

### 2.4 示踪流量组合测井技术的仪器结构

仪器的构成包括示踪发生器和探测器两部分。发生器内部含有活度为50uCi的 $\text{Cs}^{137}$ ,半衰期为30年,属于五类放射源; $\text{Cs}^{137}$ 经过 $\beta$ 衰变生成半衰期为2.55 min的 $\text{Ba}^{137\text{m}}$ ,适合于快速动态研究,可在短时间内重复使用。发生器淋洗液为核纯度高达99.998 6%的短寿命核素 $\text{Ba}^{137}$ ,具有放射性。测井过

程中,可以连续或者静止测量示踪剂 Ba<sup>137</sup> 流动速度以及流动方向,计算出被测量流体的油管或者套管流量。该仪器流量短节定量测量层段吸水情况,井温、压力参数可以辅助定性判断井下管柱和工具的有效性。

3 现场应用分析

2019 年~2022 年在油田的某区块中利用脉冲中子氧活化、示踪流量组合测井等注入剖面测井资料共进行查漏找窜 28 口井,查找出各类问题井 18 口,开展措施有效率 100%,为油田卡堵水措施的有效实施提供了技术支持。

3.1 油套管漏失

3.1.1 套管漏失

古 128-12-斜 xx 井是一口分层配注井,射孔深度为 2 146.3~2 177.3 m,油压 2.5 MPa,由于油压异常处于关井状态。该井进行氧活化找漏测井,测量结果见表 1。

表 1 古 128-12-斜 xx 井解释成果表  
Table 1 explanation results table of Gu 128-12-xie xx well

测点深度/m	油管/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		绝对吸水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	相对吸 水量/%
	油套空间向上	油管內		
595.15	0.0	44.7	0.0	0
596.20	0.0	44.6	0.0	0
598.26	44.8	44.9	44.8	100
602.15	44.7	44.8	0.0	0
2 111.80	44.9	44.6	0.0	0
2 145.10	44.8	44.7	0.0	0
2 155.20	44.6	44.7	0.0	0
2 165.00	44.9	44.8	0.0	0
2 178.14	44.7	44.9	0.0	0
2 184.18	0.0	0.0	0.0	0

由表 1 可知,测试过程中水流从偏Ⅱ进入油套空间后,由于封隔器不封,水流一直到 596.20 m 处消失,数据显示该井套管漏点在 598.26~596.20 m。

新 120-1xx 井采用分层配注开发方式,测量射孔数据层段从 1 607.6~1 865.8 m。开展氧活化脉冲中子测井时,能够很好地找出套管漏失位置及流量的大小<sup>[9]</sup>,改变注水工作制度,注入水从环形空间进入,待注水流速稳定后,通过定点测量下水流流量,发现点测深度在 83 m 处时,氧活化谱线下近曲线无峰值显示,环套空间下水流量减为 0<sup>[10]</sup>。

表 2 为此井氧活化解释成果表,从表中也可看出在测点 83 m 处流量由 35.14 m<sup>3</sup>/d 变为 0,漏点就在此处。

表 2 新 120-1xx 井氧活化测井解释成果表  
Table 2 oxygen activation logging explanation results  
table of Xin 120-1xx well

测点深度/m	油管/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		绝对吸水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	相对吸 水量/%
	油套空间向上	油管內		
50.12	35.10	0.0	0.0	0
75.05	35.07	0.0	0.0	0
80.01	35.21	0.0	0.0	0
80.98	35.02	0.0	0.0	0
81.00	35.14	0.0	35.11	100
83.00	0.0	0.0	0.0	0
83.01	0.0	0.0	0.0	0
84.97	0.0	0.0	0.0	0
100.62	0.0	0.0	0.0	0

3.1.2 油管漏失

南 200-xx 井全井配注 39 m<sup>3</sup>/d,共 1 个配注层段 8 个小层。首先,利用脉冲中子氧活化测井,在保护封隔器上方 1 520 m 测全井流量,全井配注 39 m<sup>3</sup>/d。在 1 529 m 处重复测量,流量 39 m<sup>3</sup>/d。仪器下移至在封隔器上方 1 530.5 m 测量,此时油管流量为零,油套环形空间向下流量为 39 m<sup>3</sup>/d,说明油管 1 529~1 530.5 m 之间存在油管漏失,水流全部进入油套环形空间。仪器下移至 1 540 m 处测量,油套环形空间向下流量为 39 m<sup>3</sup>/d(见图 1),此时可判断出封隔器漏失。该井在 1 547.3 m 遇阻,1 529~1 530.5 mm 油管漏失,1 531 m 封隔器漏失。

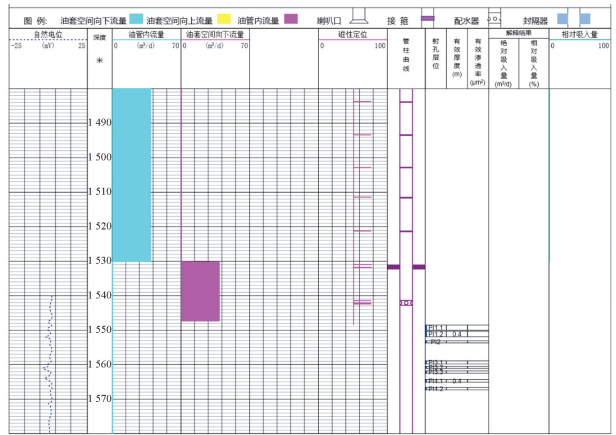


图 1 南 200-xx 井示踪流量组合测井成果图  
Fig. 1 Tracer-related combined logging result of  
Nan200-xx well

3.2 封隔器失效

3.2.1 保护封隔器失效

茂 231-xx 井日注量 40 m<sup>3</sup>/d,4 个配注层段 6 个小层。首先,在保护封隔器上方进行全井点测油管流量,发现注入量和实测流量相符,证明保护封隔器上方油管无漏失。然后,发现油管内的部分水流经过偏Ⅰ配水器后全部进入环套空间并上返,上返越过保护



封隔器后仍继续上行,注入水通过保护封隔器进入射孔层段<sup>[11]</sup>,利用脉冲中子氧活化测井技术,判断为保护封隔器失效。判断漏点位置的过程中,最关键的是测点的选择,即在测量点到井口深度半程位置进行选点测量。在该井保护封隔器上方选择的测点为 1 820 m 处,下一个选择的测点为 1 800 m 处,测量后发现还有向上水流,继续向上选择 1 797 m 为测点,以此类推逐渐缩小查找漏点范围,最终在 1 795 m 处测得水量为 28.1 m<sup>3</sup>/d(见图 2),后又在 1 792 m 处测得水量为 0 m<sup>3</sup>/d,判定漏点范围为 1 792 m 至 1 795 m 之间。

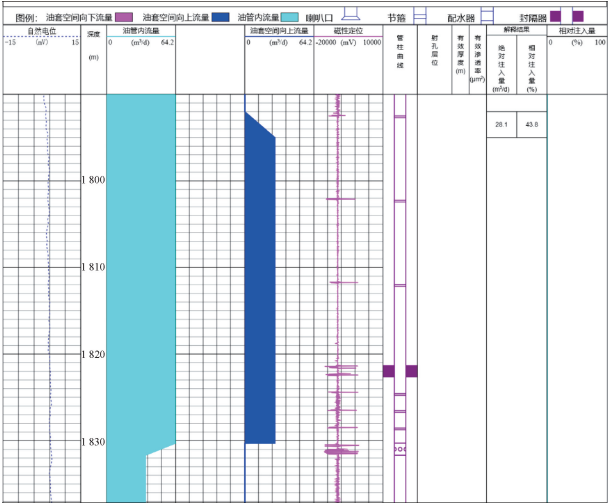


图 2 茂 231-xx 脉冲中子氧活化测井成果图  
Fig. 2 Pulsed neutron oxygen activation logging result of Mao231-xx well

3.2.2 中间层段封隔器失效

龙 36-xx 井日注量 75 m<sup>3</sup>/d,4 个配注层段 15 个小层。首先,利用示踪流量组合测井,油管下水流在经过偏 I 配水器后,按照配注进入环套空间,正常情况是进入该层段环套空间的水量都应该被本层段内小层吸入;然而,示踪峰未消失于第一个配注层段的第二级封隔器处,而是越过封隔器继续前行,水量经过该层段内全部小层后仍有向下水流,进入第二个配注段后逐渐减少,判断为下一级封隔器不密封引起的,导致本层段内压力不足无法让水流都被层段内小层吸入。在测量第二个配注层段时发现,该配注层段水量明显高于配注,且都被 SII10-11 小层吸入(见图 3),再次说明注入水从第一级水嘴进入油套环形空间,越过失效的封隔器进入第二个配注层段<sup>[12]</sup>,证明了 SII10-11 小层吸入量来自上一级向下剩余水量加上本层段原有的配注属于合注。同时,该井又进行了验封测试,验证结

果也表明第二级封隔器不密封。

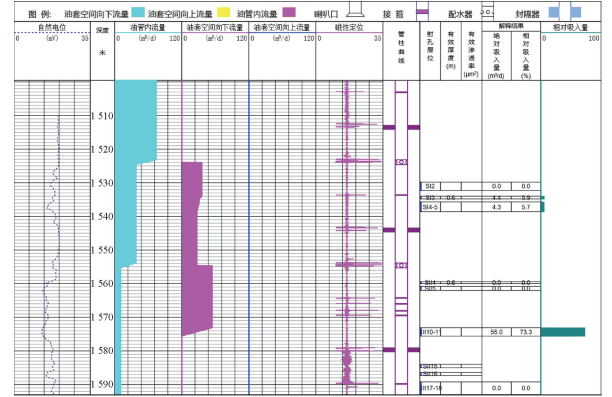


图 3 龙 36-xx 井示踪流量组合测井成果图  
Fig. 3 Tracer-related combined logging result of Long 36-xx well

3.3 辨别大孔道

大 146-xxx 压力降幅达到 6 MPa 以上,测试结果表明油管内水流全部进入一个吸水小层,层段的有效厚度较大,且在吸水小层以下井温迅速回归地温梯度。综合分析注入剖面测井资料认为该层长期水流冲刷,砂岩层孔隙度变大,因此,油管内水流全部进入吸水小层,层段存在大孔道(见图 4)。

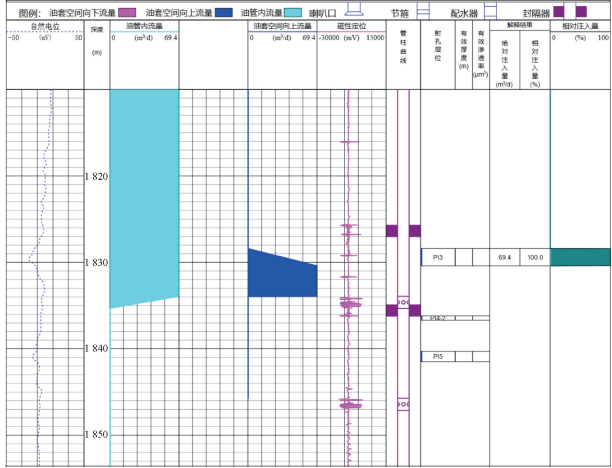


图 4 大 146-xxx 井测井成果图  
Fig. 4 Logging result of Da 146-xxx well

3.4 管外窜槽

南 260-xx 井出现异常压降,注水压力由 16.4 MPa 降至 0.5 MPa,周边注水井平均注入压力为 15 MPa 左右,该井共有 2 个配注层段,3 个射孔层。采用脉冲中子氧活化测井寻找压降原因,测试结果(见图 5)显示封隔器 II 不密封,注入水全部被 PII 层吸入;然后通过示踪流量组合测井,发现在 1 202~1 220 m 处有注入水窜流示踪异常显示,注入水由 PII 层窜至 1 202~1 220 m 之间;将连续示

踪改为在 GR 高值处 1211 米进行点测,示踪曲线同样出现窜流显示。采取相应的措施使得封隔器Ⅱ密封,偏Ⅰ堵死,偏Ⅱ配注 15 m<sup>3</sup>/d,此时注水压力升高至 16.2 MPa,再次验证了该井的窜槽情况。地质部门根据测试结果,对该井的层段进行了封堵,使井的含水得到了有效的控制,减缓了因该注水井窜槽引起的层间和层内矛盾<sup>[13]</sup>。

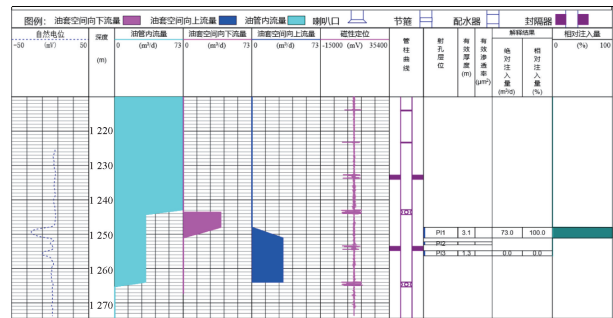


图 5 南 260-xx 脉冲中子氧活化测井成果图  
Fig. 5 Pulsed neutron oxygen activation logging result of Nan 260-xx well

## 4 查漏找窜测试方式探讨分析

查漏找窜测试方式主要从油套管漏失、层段窜槽两个方面入手,采用脉冲中子氧活化注入剖面测井方法,先判断注入井油管是否有漏失,再对封隔器进行密封性验证。在吸水异常井段采用脉冲中子氧活化测井、示踪流量组合测井方法进行定点吊测,判断水流是否由射孔层部分进入地层,同时需考虑是否存在水流在射孔层中相互窜流的可能性。

### 4.1 查漏找窜测试方法基本步骤

- (1) 与采油队核实注水压力;
- (2) 检查井口各个闸门严密性,关闭生产闸门、套管闸门,检查注水间压力是否达到泵压、判断地表管线是否有漏失,打开放空闸门观察是否有来水、判断水量大小,进而验证各闸门严密性;
- (3) 仪器下至 50 m 处测全井总水量,检验其与井口水表流量值是否一致,判断水流的准确位置是在油管内还是在环套空间中,进一步验证井口油管挂处或套管闸门的严密性;
- (4) 在保护封隔器上部,结合正、反注的施工方式,反复点测全井总流量,判断上部油管有无渗漏,测量有无环套空间上的水流,对保护密封件的密封性进行验证;
- (5) 如果保护封隔器上部环套空间存在上水流,证明上部套管存在漏失,将重点追踪向上水流,

上水流归零则该处存在漏失;

(6) 如果保护封隔器上部环套空间没有上水流,则在测量各层段时,首先利用井温曲线大致判断主吸层及水量零点的位置,再根据水流方向准确判断吸水层位以及封隔器的密封性,以测试目的井段一半距离为界限进行循环查漏找窜测试,直至水量归零。

### 4.2 脉冲中子氧活化技术和示踪流量组合测井技术的优缺点

脉冲中子氧活化技术和示踪流量组合测井技术均可以监测井下油管、套管及油管环空的水流方向及大小,准确判断油套漏失位置及漏失量。两项技术在工作原理、施工工艺、解释方法以及适用条件都存在差异性,通过分析对比两者的优缺点能够更好地应用于现场施工,有效提高测井时效与解释精度。

脉冲中子氧活化测井的优点:(1) 不使用放射性示踪剂;(2) 不会对环境产生污染;(3) 不受液体粘度、大孔道地层的影响;(4) 不受工具、管柱沾污及放射源的沉降影响。

脉冲中子氧活化测井的缺点:(1) 套管流量测量下限高;(2) 工具卡层、层间距太薄会影响测量结果的准确性。

示踪流量组合测井的优点:(1) 该方法直接测量源的流动速度,吸水与不吸水准确性较高,测试解释成果提供的信息量大,能够判断井下管柱及水流流动方向,便于资料分析;(2) 若配注层段层位较多,可快速追踪,缩短追踪周期,这样便于层位细分,另外条件允许的情况下还可以进行复测;(3) 能够克服沾污、大孔道、管外窜槽等无法克服的缺点,同时该方法是液体源配比密度要比固体源上返效果好,也能提高准确,在油管内流量测试比较稳定,连续测量结果与点测测量结果基本一致。

示踪流量组合测井的缺点:(1) 环保型示踪剂衰减过快,导致出现的峰位比较平缓,点测时判断两峰位时间差困难;(2) 配注跨距大的层段吸水,但是水流进入油套空间后上返,越过封隔器后由于封隔器的挤压作用导致源分散;(3) 部分复杂井况解释数据波动较大,需要解释人员综合解释。

### 4.3 存在套管漏失注入井的优选方式

脉冲中子氧活化测井技术通过记录油管、套管内上下水流,可以测量每个配注层段、小层的吸水

量。套管出现漏失的情况时,套管内上、下水流的流量就会发生变化。示踪流量组合测井技术通过向注入水中释放示踪剂,测量示踪剂的流向,由此可判断套管漏失情况。脉冲中子氧活化测井技术、示踪流量组合测井技术均可用来进行油套管漏失找漏。

#### 4.4 存在窜槽注入井的优选方式

脉冲中子氧活化测井技术可直接测得通过油管、套管进入配注层段、小层的水量,还可确定套管、油管的漏失情况以及封隔器密封情况。示踪流量组合测井技术可通过测量示踪剂的流向来确定水流方向。当注水井内存在窜槽时,注入水通过一个层位进入另外一个层位,通过两种方法对比可以确定窜槽层位及窜槽路径。采用脉冲中子氧活化与示踪流量两种测井方法相结合的方式,可以快速准确确定注入井窜槽情况(见图6)。

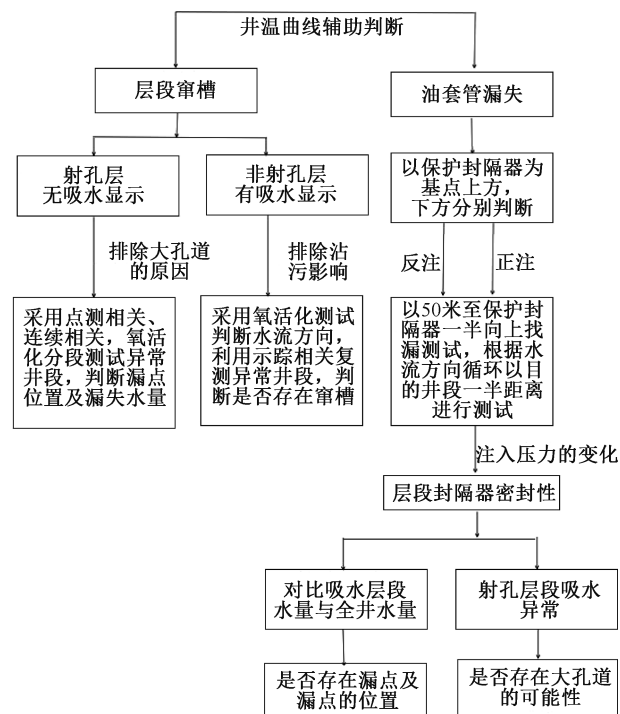


图6 查漏找窜流程图

Fig.6 Flow chart for leak detection and channeling

#### 4.5 其他查漏找窜井技术

##### (1) 同位素测井

通过测量同位素示踪剂释放前后伽马曲线的异常,判断漏点位置。当存在管外窜槽时,同位素会随高压水流进入窜槽井段,通过测量的异常自然伽马曲线就可以判断管外窜通<sup>[14]</sup>。如出现同位素沾污造成的假象或者大孔道造成的无异常情况时,需要测量流量曲线来验证。

##### (2) 井温测井

通过将测量的静止井温、加压井温、泄压井温进行对比来确定漏点位置,当井筒某处存在漏窜时,该点上下点温度与该点温度存在差异,从而判断出漏窜点<sup>[15]</sup>。适用于单一管柱内外套管找漏,存在施工复杂、时间长等问题。

##### (3) 流量测井

按照工作原理流量计找漏测井可分为涡轮流量计法、超声波流量计法、电磁流量计法<sup>[16]</sup>。适用于单一的油管内或套管内找漏,超声、电磁流量易被井内油污影响、涡轮流量易被井液砂粒影响,进而导致找漏失败,不能寻找管外漏点。建议双流量组合测井,提高一次测井成功率。

##### (4) 硼中子寿命测井

通过注硼前后非射孔层与其相邻射孔层之间的俘获截面异常来判断窜漏位置。在注硼、加压中需根据层间差异控制压力,提高找窜成功率。

## 5 结论

(1) 利用脉冲中子氧活化测井技术重点是查清管内流体状况,可在不同的注水方式下对注入井的井身完整性、井下工具的工作状态进行有效的验证和评价,准确判断油套漏失位置及漏失量。

(2) 示踪流量组合测井测量下限低、测量精度高,示踪剂能够在窜流处有长时间的异常显示,有利于开展寻找管外流量的工作。

(3) 对于不同类型的窜漏井测试,可以通过改变注入方式由正注到反注,转变测量方式由连续跟踪到定点吊测,利用多种注入剖面测井资料综合分析解释,详实、准确的提供问题信息。综合分析各种注入剖面测试资料,可确定窜漏位置和漏失量,使油田注水开发问题得到有效解决。

**致谢:**衷心感谢大庆油田测试技术服务分公司第九大队的领导与同事在论文写作过程中给予的支持与帮助。

#### 参考文献

- [1] 王连波. 氧活化、示踪相关测井在低压井找漏找窜中的应用[J]. 石油管材与仪器, 2020, 6(1): 89-93.  
WANG Lianbo. Application of oxygen activation and trace correlation logging on detecting leakage and channeling point in low pressure wells[J]. Petroleum Pipe and Instrument, 2020, 6(1): 89-93.
- [2] 庄严. 氧活化测井在采油九厂工程问题井中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 34(6): 70.



- ZHUANG Yan. Application of oxygen activation logging in engineering problem wells of oil production plant No. 9[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2013,34(6):70.
- [3] 李晨. 注入剖面测井资料在查漏找窜井中的方法探讨[J]. 石油管材与仪器, 2016,2(1):56-59.
- LI Chen. Discussion on the application of the injection profile logging data in leakage and channeling detection[J]. Petroleum Pipe and Instrument, 2016,2(1):56-59.
- [4] 郭立敏. 基于测试异常信息套损三级预警设计及应用[J]. 石油管材与仪器, 2022,8(5):8-11.
- GUO Limin. Design and application of three-level early warning of casing damage based on abnormal logging and testing information[J]. Petroleum Pipe and Instrument, 2022,8(5):8-11.
- [5] 蒋国栋, 户贵华, 管润红, 等. 溢流井氧活化找水找漏窜在中原油田的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2013,39(22):143-144.
- JIANG Guodong, HU Guihua, GUAN Runhong, et al. Application of oxygen activation in overflow well water detection and leakage detection in Zhongyuan oilfield[J]. Inner Mongolia Petrochemical, 2013,39(22):143-144.
- [6] 胡华强. 脉冲中子双向氧活化测井仪改进设想[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012,33(14):266.
- HU Huaqiang. Improvement ideas for pulse neutron bidirectional oxygen activation logging tool[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2012,33(14):266.
- [7] 王志辉. 注水井精准流量及流体成像测井技术及应用[J]. 化学工程与装备, 2021(12):74-75, 77.
- WANG Zhihui. Precision flow and fluid imaging logging technology and application of water injection wells[J]. Chemical Engineering and Equipment, 2021(12):74-75, 77.
- [8] 李锐. 示踪相关组合测井在葡萄花油层的应用[J]. 化工设计通讯, 2017,43(9):34.
- LI Rui. Application of tracer-related combined logging in putaohua reservoir[J]. Chemical Design Communication, 2017,43(9):34.
- [9] 杨乾霞, 曹慧, 魏高沁, 等. 青海油田油水井找漏测井方法对比[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014,34(11):157.
- YANG Qianxia, CAO Hui, WEI Gaoqin, et al. Comparison of leak detection and logging methods for oil and water wells in Qinghai oilfield[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2014,34(11):157.
- [10] 李超. 脉冲中子氧活化测井图谱的峰位识别方法与应用[J]. 长江大学学报, 2014,39(4):28-30.
- LI Chao. Peak position identification method and application of pulse neutron oxygen activation logging pattern[J]. Journal of Yangtze University, 2014,39(4):28-30.
- [11] 丁高原. 脉冲中子氧活化测井在查窜、找漏井中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017,37(10):72-73.
- DING Gaoyuan. Application of pulse neutron oxygen activation logging in channel detection and leakage detection wells application[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2017,37(10):72-73.
- [12] 贾慧丽, 李宏魁, 代华. 氧活化找漏找窜测井技术应用研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2009,6(4):175-176.
- JIA Huili, LI Hongkui, DAI Hua. Research on the application of oxygen activation leak detection and channeling logging technology I[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute (Social Science Edition), 2009,6(4):175-176.
- [13] 齐向丽, 齐向辉. 测井资料在窜槽井中的分析及应用效果[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012,33(13):131.
- QI Xiangli, QI Xianghui. Analysis and application effect of logging data in channeling wells[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2012,33(13):131.
- [14] 初克建, 史红兵, 吴海亭. 层间管外窜槽检测技术分析与应用[J]. 石油管材与仪器, 2015,1(4):81-83.
- CHU Kejian, SHI Hongbing, WU Haiting. Analysis and application of examination technology of outside casing interlamination channel[J]. Petroleum Pipe and Instrument, 2015,1(4):81-83.
- [15] 李勇, 刘娟, 徐爱航. 油水井找漏找窜测井技术在塔河油田的应用[J]. 石油仪器, 2009,23(4):70-71.
- LI Yong, LIU Juan, XU Aihang. Oil well logging to find missing and channeling techniques in Tahe oilfield[J]. Petroleum Instruments, 2009,23(4):70-71.
- [16] 郭彦琴. 注入井系统找漏方法研究及应用[J]. 石油管材与仪器, 2018,4(4):93-96.
- GUO Yanqin. Study and application of methods for detecting leakage of injection well[J]. Petroleum Pipe and Instrument, 2018,4(4):93-96.

编辑 方志慧

第一作者简介:张云,男,1983年出生,高级工程师,2013年毕业于东北石油大学地质工程专业,硕士学位,目前从事油田试井方面的工作。电话:0459-4690038,18745932068, Email:m18745932068@163.com。通信地址:黑龙江省大庆市红岗区创业庄测试第九大队,邮政编码:163853。