

井间示踪剂监测技术在油田开发中的应用与实践

何秀玲¹, 卓红¹, 王磊飞², 孔垂广¹

1. 中国石油集团测井有限公司长庆分公司 陕西西安 710201

2. 中国石油长庆油田公司陇东油气开发分公司 甘肃庆阳 745000

项目支持: 中国石油集团测井有限公司科技攻关项目“示踪剂压裂效果监测解释方法研究及应用”(FD6025S00207)

引用: 何秀玲, 卓红, 王磊飞, 等. 井间示踪剂监测技术在油田开发中的应用与实践[J]. 油气井测试, 2026, 35(1): 66-72.

Cite: HE Xiuling, ZHUO Hong, WANG Leifei, et al. Application and practice of inter-well tracer monitoring technology in oilfield development[J]. Well Testing, 2026, 35(1): 66-72.

摘要 为解决复杂油藏注水开发中流体流动路径不明、优势通道难以定量刻画的问题,提升水驱开发效率,采用井间示踪剂监测技术,优选微量元素类示踪剂在注水井注入并于对应采油井取样分析,结合产出浓度曲线完成定量解释以揭示储层流体动态特征。以 X99-301 典型井组为核心开展示踪剂监测与精细解释,并在其余 3 个井组进行技术推广验证。结果表明,该技术可清晰识别井间连通关系,定量描述注入水分配比例及平面水驱规律;基于 X99-301 井组监测结论实施堵水调剖措施后,主力水淹井含水率由 92.7% 降至 82.0%,日增油 0.5 t,区域内实施 13 项调整措施后,相关井组平均含水率下降 5.2%,单井日均增油 0.8 t。井间示踪剂监测技术能有效揭示储层内部流动特征,为优势通道识别与注水开发方案优化提供直接依据,具备重要的现场推广价值。

关键词 井间示踪剂;注入水分配;注采连通;大孔道识别;平面水驱规律;注水开发

中图分类号: TE33

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2026.01.009

Application and practice of inter-well tracer monitoring technology in oilfield development

HE Xiuling¹, ZHUO Hong¹, WANG Leifei², KONG Chuiguang¹

1. Changqing Branch, China National Logging Corporation, Xi'an, Shaanxi 710201, China

2. Longdong Oil and Gas Development Company, PetroChina Changqing Oilfield Company, Qingyang, Gansu 745000, China

Abstract: To address the challenges of ambiguous fluid flow paths and the difficulty in quantitatively characterizing preferential flow channels during the waterflooding of complex reservoirs, and to enhance waterflooding efficiency, inter-well tracer monitoring technology was employed. Trace element tracers were selected, injected into injection wells, and sampled from corresponding production wells. Then, quantitative interpretation was conducted based on the tracer concentration curves to characterize the dynamic fluid flow behavior in the reservoir. Tracer monitoring and detailed interpretation were carried out in representative well group X99-301, and the technology was subsequently validated and extended across three additional well groups. The results demonstrate that this technology can clearly identify inter-well connectivity and can quantitatively describe injection water allocation ratios and planar waterflooding patterns. Based on the monitoring results from the well group X99-301, water shutoff and profile control measures were implemented. As a result, the water cut in the primary waterflooded wells decreased from 92.7% to 82.0%, with a daily oil increment of 0.5 tons. Following the implementation of 13 adjustment measures in the region, the average water cut of the associated well groups decreased by 5.2%, and the average daily oil increasement of 0.8 tons per well. In conclusion, inter-well tracer monitoring technology can effectively elucidate internal reservoir flow behavior, which may provide direct evidence for identifying preferential channels and optimizing waterflooding development plans, thus holding significant potential for field application.

Keywords: inter-well tracer; injection water allocation; injection-production connectivity; high-permeability channel identification; planar waterflooding pattern; waterflooding development

随着油田开发进入中后期,油藏内部流体流动特征日趋复杂,注水开发普遍面临驱替不均、水窜及层间干扰等问题,导致水驱效率降低^[1],采收率提升困难。准确掌握注采井间动态连通关系及注

入水在储层中的分配状况^[2],已成为制定合理开发调整方案的重要前提。

井间示踪剂监测技术作为一种直接有效的动态监测手段,通过在注入流体中添加特定示踪剂,

并追踪其在地层中的运移与产出特征,可定量评价井间连通性^[3]、识别大孔道发育程度及判断水驱效率,从而为开发决策提供关键依据。国外示踪剂技术研究始于20世纪50年代^[4],DYES等首次将荧光染料用于油藏监测;JENSEN等系统研究了化学示踪剂在多孔介质中的运移规律;O'CONNELL等发展了示踪剂产出曲线的数学解析与数值模拟方法。目前,欧美国家已建立涵盖化学、荧光、气体及同位素等系列示踪剂,监测精度可达ppb级别。国内相关研究起步于20世纪80年代,王德民等率先应用同位素示踪剂开展井间监测;张公社等研究了化学示踪剂在非均质储层中的运移特征;刘合等研发了适用于高矿化度地层水的示踪剂系列。国内学者在超低浓度检测、复杂油藏适应性及定量解释精度等方面与国际先进水平仍存在一定差距。

在XX油田XX区块引进了井间示踪剂监测技术,本文以X99-301井组为核心,深入分析了其在识别注采连通关系^[5]、揭示平面水驱规律、评价储层非均质性 & 指导堵水调剖等方面的应用效果^[6],并结合其他井组的验证数据,研究成果可为同类油田开发提供技术参考。

1 示踪剂动态监测技术

示踪剂动态监测技术是一项成熟的储层“诊断”方法,其核心在于将难以直接观测的地下动态转化为可量化分析的数据。

1.1 井间示踪剂技术原理

井间示踪剂监测是将适量示踪剂混合注入流体,使其经注水井进入地层并随流体运移,最终由采油井采出。如图1所示,通过监测采出井中示踪剂的响应,可直观获取注采连通关系、流体运移路径及驱替效率等关键参数^[7]。

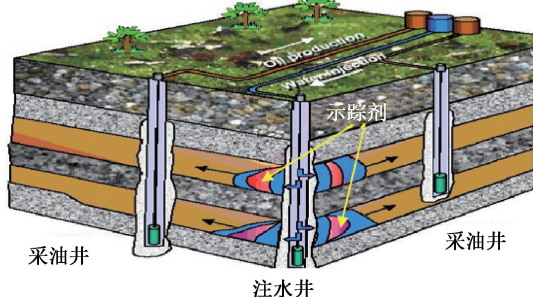


图1 井间示踪剂监测示意图

Fig.1 Schematic diagram of inter-well tracer monitoring

井间示踪解释流程包括:建立基础地质模

型^[8],输入单井射孔、动态及其它测试资料,确定井间动态对应关系,拟合示踪剂产出曲线,获取通道定量参数,结合地质与产出特征进行综合评价,并根据实际见剂情况修正模型,形成闭环解释系统(见图2)。

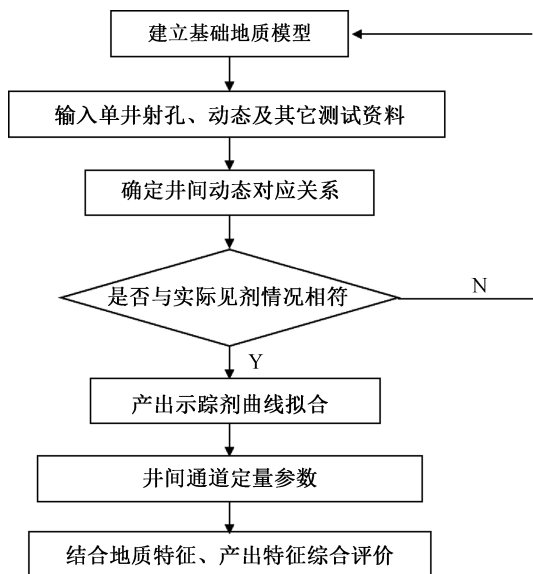


图2 井间示踪解释流程

Fig.2 Interpretation workflow for inter-well tracer analysis

1.2 示踪剂类型及其特性

通过示踪剂浓度曲线形态、峰值浓度、见剂时间及产出总量等参数^[9],可评价储层非均质性、识别大孔道、计算流体流速及波及体积等^[10]。典型产出曲线包括初始突破、浓度上升、峰值、浓度下降及尾部扩散五个阶段,不同形态反映不同储层特征(见图3)。

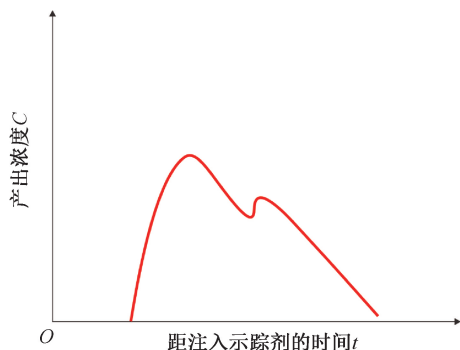


图3 示踪剂产出浓度曲线示意图

Fig.3 Tracer production concentration curve

根据化学性质与检测原理,常用示踪剂可分为化学类、放射性同位素类、荧光类、气体类及微量物质类^[11]。化学类与微量物质类示踪剂的特性对比见表1。

表1 常用示踪剂特性对比表

Table 1 Comparison of characteristics of commonly used tracers

类别	名称	化学式	单价 /(万元/井组)	优点	缺点
化学类	工业尿素	CO(NH ₂) ₂	9	易检测,较经济	地层水含细菌丰富时可成为其食物,遇热易分解,用量大
化学类	硫氰酸铵	NH ₄ SCN	9	SCN ⁻ 粒子稳定性较好,吸附量较小,易检测	温度过高易变质成硫尿,长时间存放易潮解
化学类	亚硝酸钠	NaNO ₂	9	NO ₂ ⁻ 易监测,地层含量少,吸附量较小,检测精度高	注入量大,长时间存放易氧化
微量物质类	稀土元素	Gd/Nd/Ho/Er	13	成份浓度和物质光度双重技术特性,施工方便,精度高用量不大	地层吸附量较大,比其它微量物质高出15%~25%,价格贵
荧光类	荧光染料	-	9	低温油藏(小于60℃)用于判别储层具有直观性	用作示踪监测时难以量化检测,地层吸附量大

化学类示踪剂通过离子分析仪、分光光度计等设备检测,适用于低温、低矿化度环境;微量物质示踪剂需使用 ICP-MS 进行高精度检测,灵敏度可达 ppb 级,适用于高温、高矿化度复杂条件^[12]。

2 示踪剂监测流程与方法

示踪剂监测是一项系统工程,涵盖方案设计、现场注入、取样检测、数据分析与应用全过程。

2.1 选井与设计

科学选井需综合考虑:(1)油藏地质特征,如储层类型、物性参数与非均质性;(2)开发状况,包括注采系统完善程度、水驱状况及含水率变化趋势^[13];(3)存在问题,如高含水、低效注水或套管损坏;(4)测试条件,涵盖注水井注入能力、油井生产稳定性及取样条件等。

示踪剂设计主要包括类型选择、用量计算与注入方式确定。注入量计算公式为

$$M = C_0 \times Q \times t \times (1 + \alpha) \quad (1)$$

式中: M 为示踪剂用量,g; C_0 为背景浓度之上需要达到的初始浓度,mg/L; Q 为注水量,m³/d; t 为注入时间,d; α 为安全系数,一般取0.2~0.5。

示踪剂注入浓度通常为100~200 ppb,化学类为50~100 ppm,具体依地层条件与检测精度确定。注入方式主要包括单段塞注入、脉冲注入与连续注入。

2.2 取样与监测

取样是影响监测结果可靠性的关键环节。需制定科学的取样制度(见表2),保证数据连续性与完整性。

取样应规范操作:井口放空10~15 min后取样,使用专用工具并专井专用,避免交叉污染;取样后立即添加固定剂防止降解,样品低温保存并及时送检。

表2 示踪剂监测取样制度

Table 2 Sampling schedule for tracer monitoring

距离注入时间	取样间隔	原因
注入30 d内	每天取样	地层是否存在裂缝或特高渗透层
注入30 d后	每两天取样	常规监测
若某井见剂	每天取样	确保采集到完整的见剂数据
产出浓度降至峰值浓度的10%后	每两天取样,直至示踪剂产出浓度降至本底	监测尾部扩散特征
示踪剂产出浓度降至本底浓度后	逐步加大取样周期	监测是否仍有后续产出峰

2.3 数据分析方法

数据分析包括定性分析与定量解释。定性分析通过产出曲线形态、见剂时间及见剂井比例等判断储层连通性与非均质程度;定量解释则通过数学模型拟合^[14],计算注入水分配比、流体流速及波及系数等参数^[15]。

流体流速计算公式为

$$V = L/T \quad (2)$$

式中: V 为流速,m/d; L 为注采井距,m; T 为见剂时间,d。

注入水分配比例计算为

$$R_i = \sum (Q_j \times C_j) \times 100\% / (Q_i \times C_i) \quad (3)$$

式中: R_i 为某采出井分配的注入水比例,%; Q_j 为该井日产量,m³/d; C_j 为产出液示踪剂浓度,mg/L; Q_i 、 C_i 为注入井对应参数。

通过构建注入水玫瑰图(图4),可直观展示注入水在不同方向上的分配情况,为开发调整提供空间分布信息。玫瑰图中方位角表示注入井至生产井的方向,径向长度表示该方向水流能力的量化指标(如示踪剂产出百分比、峰值浓度或突破速度等)。

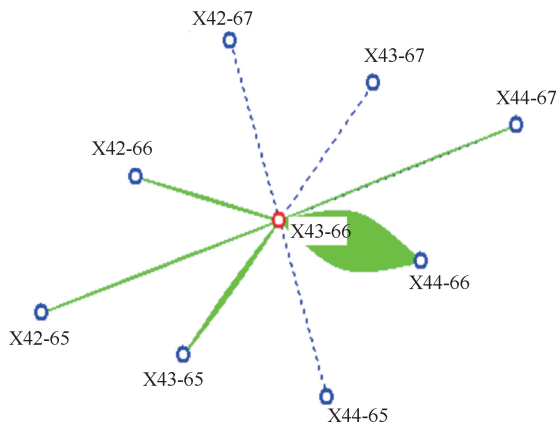


图 4 注入水玫瑰图示例

Fig. 4 Example of a water injection rose diagram

3 现场应用

为了验证井间示踪剂监测技术的适应性与定量解释的准确性^[16],选取了 X99-301 等 4 个典型井组开展应用。本文以 X99-301 井组为例进行全流程精细剖析,在此基础上概述其他井组的关键认识与措施成效。

3.1 X99-301 井组精细解析

3.1.1 基本情况

X99-301 井组位于 XX 油田 277 区块中部注清水区,构造平缓,主要开发层系为延 10 油层。井组共有油水井 11 口(注水井 1 口,采油井 10 口)。截至测试时,累计产油 40 362 t,综合含水 78.6%,日注水量 15.0 m³。井组内套管损坏井达 6 口,严重影响正常开发。历年吸水剖面显示,该井主次吸水层发生变化,2016 年酸化增注后,中间射孔段转为主吸水层,但对应油井未见效,表明注入水可能存在外流或单向突进^[17]。

3.1.2 测试设计与实施

2018 年 9 至 11 月开展微量物质分层监测:延 10-1 层注入钆(Gd),延 10-2 层注入钕(Nd)。注水井分注,总注水量 15 m³/d,其中上配(延 10-1) 5 m³/d,下配(延 10-2) 10 m³/d。

3.1.3 资料分析与平面水驱规律认识

延 10-1 层监测分析:取样 10 口井中仅 1 口(X98-300)见剂,见剂比例 10%,如图 5 所示,见剂时间 20 d,推进速度 19.14 m/d。定量计算显示,该井分配注入水比例为 12.71%,意味着高达 87.29%的注入水外流至井组外区域。平面水驱规律认识:该层平面连通性极差,水驱方向单一,注入水利用率低,井组边部存在明显的无效外流通道^[18]。

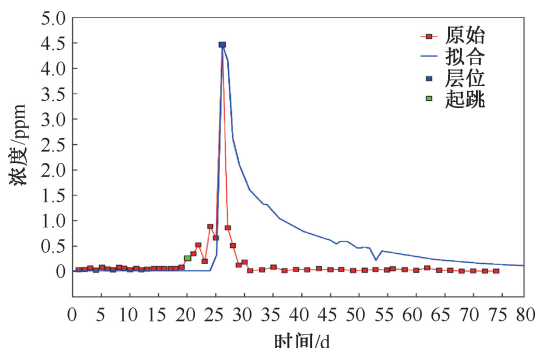
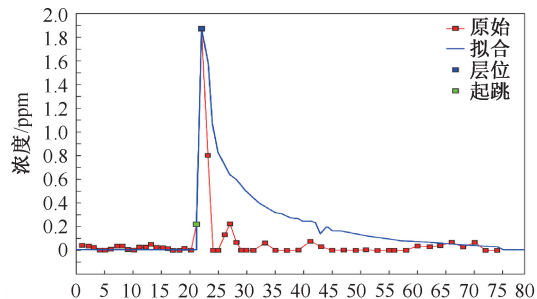
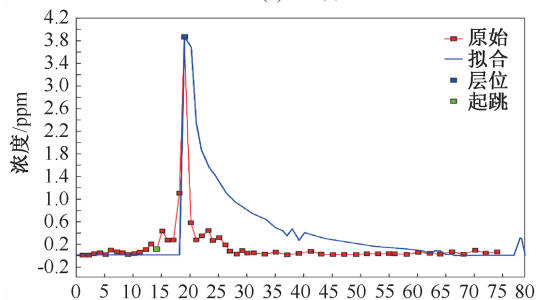


图 5 X99-301 井组 X98-300 井延 10-1 层示踪剂产出曲线
Fig. 5 Tracer production curve of well X98-300, layer Yan 10-1, in well group X99-301

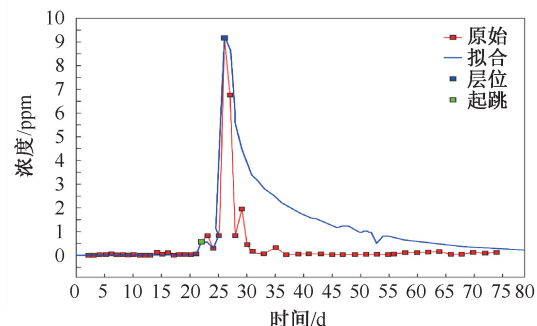
延 10-2 层监测分析:10 口取样井中 3 口见剂(X99、X100-301、X100-302),见剂比例 30%,如图 6 所示,见剂时间 14~22 d,推进速度 13.27~18.73 m/d。



(a) X99 井



(b) X100-301 井



(c) X100-302 井

图 6 X99-301 井组延 10-2 层示踪剂产出曲线
Fig. 6 Tracer production curve of layer Yan 10-2 in well group X99-301

综合分析表明,该层平面水驱规律整体呈现优势通道突出、平面波及严重不均与未波及区域并存的非均质特征。上述规律可系统归纳为以下三点核心认识。

(1)优势水驱方向明确:三口见剂井分别位于注入井的东北、正东和东南方向。通过注入水分配比例计算,X100-302井占比高达41.26%,X100-301井占15.82%,X99井占12.54%。构建平面水驱玫瑰图可直观看出(见图7),东南方向(X100-302)是绝对优势水驱通道,其推进速度较快(18.73 m/d),与该井高达92.7%的含水率完全吻合。

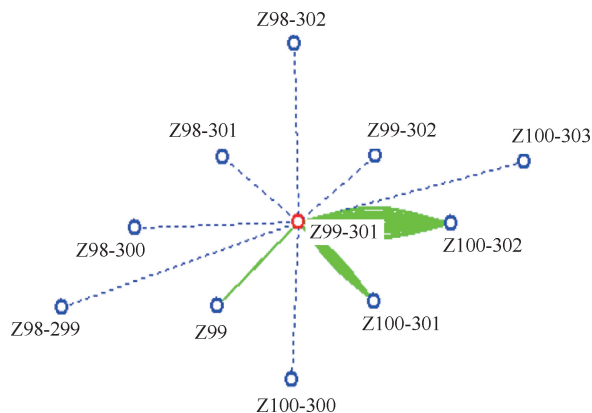


图7 X99-301井组平面注入水驱玫瑰图

Fig. 7 Rose diagram of plane water injection drive for well group X99-301

表3 X99-301井组低产低效井措施建议表

Table 3 Measures suggestion table for low-production and low-efficiency wells in well group X99-301

井号	产状/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	含水/%	见剂情况	问题分析	措施建议	预期效果
X99-302	4.2	93.5	延10-2见剂	主力层水淹,套管损坏	隔采+套管修复	含水降至85%以下
X100-301	3.8	90.2	延10-2见剂	注入水单向突进,高含水	调剖+酸化解堵	含水降至80%以下
X100-302	5.6	92.7	延10-2见剂	主力流动通道,严重水淹	环保酶解堵	含水降至82%以下

(2)X273-7井组:化学示踪剂监测显示,注入水主要向X274-8井突进(分配比例37.92%),推进速度达34.21 m/d。分析发现注入井在延10-1层未射孔导致动用程度低,建议补孔完善注采关系,为后续调整提供了依据。

(3)X319-773井组:监测识别出X320-773井为单一优势通道(分配比例40.41%,推进速度36.35 m/d),直接证实了该井快速水淹的原因是大孔道形成。实施堵水后含水率由86.2%降至81.5%,日增油0.2 t,成功定位了无效水驱循环的关键节点。

3.3 应用效果综合评价

2015—2018年在XX油田共完成18井组示踪剂监测。测试结果成功识别出6处大孔道或高渗条带,并指导了13口低产低效井的措施制定。已实施

(2)波及效率评价:该层见剂井比例30%,合计分配比例69.62%,表明约70%的注入水集中在30%的油井方向上,平面波及极不均衡,存在严重的高渗透条带^[19]。

(3)未见剂井分析:其余7口井未见剂,结合地质静态资料,判断井组西部和北部方向存在注采不完善或储层物性变差区,为下一步调水、调剖和措施选井、改善措施效果提供依据^[20]。

3.1.4 措施建议与效果

基于监测结果,对3口高含水见剂井提出措施建议(见表3)。对X100-302井实施环保酶解堵后,含水率由92.7%降至82.0%,日增油0.5 t,月增油15 t,直接验证了示踪剂解释成果的准确性。

3.2 其他典型井组应用效果概述

为进一步验证技术的适应性,在X101-303、X273-7及X319-773井组开展了补充测试,主要结论如下:

(1)X101-303井组:分层测试揭示延10-1层水驱方向集中(3口井占60.92%),延10-2层水淹严重。基于示踪剂分配结果,对X101-304等井实施的隔采与调剖措施,使主力见剂井含水显著下降,验证了该技术在多层合采井中识别层间干扰的有效性。

措施井平均含水下降5.2%,日增油0.8 t,累计增油效果显著。实践表明,该技术能将抽象的储层非均质性转化为直观、定量的水驱方向与流量数据,措施有效率超过85%。

4 结论

(1)井间示踪剂监测技术通过“注入-追踪-反演”的技术路径,能够直观、定量地评价注采井间动态连通关系。本次研究在X99-301井组成功定量刻画了平面水驱优势方向为东南向及注入水分配比例为41.26%,直接指导堵水措施并取得显著增油降水效果,证实了该技术在特高含水期剩余油挖潜中的核心价值。

(2)通过4个井组的系统实践,明确了该技术

的三大核心应用场景:一是识别大孔道与高渗条带,定位无效水驱循环节点;二是定量评价层间及平面水驱不均程度,为分层调配提供权重依据;三是验证井间连通性,指导完善注采井网。

(3)措施效果显著:基于示踪剂监测结论实施的13项堵水调剖及注采调整措施,相关井组平均含水率下降5.2%,单井日均增油0.8 t,经济效益显著。该技术已具备从“辅助参考”向“主控决策”升级的现场应用条件。

(4)为进一步提升技术适应性,应重点构建“监测-措施-再监测”的闭环优化体系,推动解释方法从半解析解向三维数值模拟发展,同时升级智能化监测手段,形成多维度、多尺度多技术协同的综合评价方法,为同类油田高效注水开发提供强有力的技术支持。

致谢:感谢中国石油集团测井有限公司及中国石油长庆油田公司相关单位同意本文公开发表;感谢中油测井长庆分公司领导和同事给予的支持和帮助。

参考文献

- [1] 刘丽,赵博,仲国生,等.井间示踪剂动态监测技术研究与应用[C]//2025油气田勘探与开发国际会议论文集(IFEDC).北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2025:303-307.
LIU Li,ZHAO Bo,ZHONG Guosheng, et al. Research and application of inter-well tracer dynamic monitoring technology [C]// Proceedings of the 2025 International Conference on Oil & Gas Field Exploration and Development (IFEDC). Beijing: China Academic Journal (CD) Electronic Publishing House Co., Ltd., 2025: 303-307.
- [2] 张庆宇,鞠斌山.水驱油藏优势渗流通道识别及其效果分析[J].现代地质,2024,38(6):1523-1531.
ZHANG Qingyu,JU Bingshan. Identification of preferential flow channels in water flooding reservoirs and its effect analysis[J]. Geoscience, 2024, 38(6): 1523-1531.
- [3] 孙以德,刘常妮,李浩男,等.基于密井网和井间示踪剂资料的浅水三角洲单砂体沉积构型研究——以东营凹陷胜坨油田二区沙二段1~2砂组为例[J].油气地质与采收率,2024,31(2):39-47.
SUN Yide, LIU Changni, LI Haonan, et al. Sedimentary architecture of single sand bodies in shallow water delta based on dense well pattern and inter-well tracer data: a case study of the 1~2 sand groups of the second member of Shahejie formation in Shengtuo oilfield, Dongying sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2024, 31(2): 39-47.
- [4] 李华洋,邓金银,冯永存,等.油田示踪剂技术的研究现状及发展趋势[J].应用化工,2023,52(11):3163-3168.

- LI Huayang, DENG Jinyin, FENG Yongcun, et al. Research status and development trend of oilfield tracer technology [J]. Applied Chemical Industry, 2023, 52(11): 3163-3168.
- [5] 刘永福,李宁,李洪,等.基于动静态资料的多期叠置储层水驱效果评价[J].油气井测试,2023,32(6):72-77.
LIU Yongfu, LI Ning, LI Hong, et al. Evaluation of water flooding effect in multi-stage superimposed reservoirs based on dynamic and static data [J]. Well Testing, 2023, 32(6): 72-77.
- [6] 叶小闯,张歧,魏克颖,等.示踪监测技术在苏里格气田动态监测中的应用[C]//2023油气田勘探与开发国际会议论文集IV.北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2023:138-147.
YE Xiaochuang, ZHANG Qi, WEI Keying, et al. Application of tracer monitoring technology in dynamic monitoring of Sulige gas field [C]// Proceedings of the 2023 International Conference on Oil & Gas Field Exploration and Development (Volume IV). Beijing: China Academic Journal (CD) Electronic Publishing House Co., Ltd., 2023: 138-147.
- [7] 高慧英,范彩雁.井间示踪剂资料在精细油藏描述中的应用[C]//2023国际石油石化技术会议论文集.北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2023:155-161.
GAO Huiying, FAN Caixia. Application of interwell tracer data in fine reservoir description [C]// Proceedings of the 2023 International Petroleum and Petrochemical Technology Conference. Beijing: China Academic Journal (CD) Electronic Publishing House Co., Ltd., 2023: 155-161.
- [8] 刘学利,邹宁,刘建仪,等.缝洞型油藏井组注气体示踪剂解释模型研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2023,45(1):81-88.
LIU Xueli, ZOU Ning, LIU Jianyi, et al. Study on interpretation model of gas tracer injection in fractured-vuggy reservoir well groups [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2023, 45(1): 81-88.
- [9] 乔曦,董军堂,邵婷婷,等.井间示踪监测技术在定边采油厂O井组中的应用[J].延安大学学报(自然科学版),2022,41(4):52-55.
QIAO Xi, DONG Juntang, SHAO Tingting, et al. Application of inter-well tracer monitoring technology in O well group of Dingbian oil production plant [J]. Journal of Yan'an University (Natural Science Edition), 2022, 41(4): 52-55.
- [10] 李宁,吴迪,贾君庆,等.分配型示踪剂监测技术在超低渗透油藏开发中的应用[J].测井技术,2022,46(5):632-637.
LI Ning, WU Di, JIA Junqing, et al. Application of partitioning tracer monitoring technology in the development of ultra-low permeability reservoirs [J]. Well

- Logging Technology, 2022, 46(5): 632-637.
- [11] 李新丹,王孟江,常国栋,等. 分层示踪剂监测技术在河南油田稠油水驱油藏的研究与应用[J]. 石油地质与工程, 2022, 36(4): 109-112.
LI Xindan, WANG Mengjiang, CHANG Guodong, et al. Research and application of layered tracer monitoring technology in heavy oil water flooding reservoirs in Henan oilfield[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2022, 36(4): 109-112.
- [12] 刘平,刘春斌,李栋,等. 低渗透油田空气泡沫驱动态监测技术应用[J]. 测井技术, 2022, 46(2): 216-222.
LIU Ping, LIU Chunbin, LI Dong, et al. Application of dynamic monitoring technology for air foam flooding in low permeability oilfields [J]. Well Logging Technology, 2022, 46(2): 216-222.
- [13] 李宁,吴迪,陈彦竹,等. 动静态测井测试资料在井组水驱效果评价中的应用[J]. 测井技术, 2021, 45(2): 207-212.
LI Ning, WU Di, CHEN Yanzhu, et al. Application of dynamic and static logging test data in evaluation of water flooding effect in well groups [J]. Well Logging Technology, 2021, 45(2): 207-212.
- [14] 李宁,杨林,郑小敏,等. 基于示踪剂监测和数值模拟的低渗透油藏注采连通性评价[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(6): 735-740.
LI Ning, YANG Lin, ZHENG Xiaomin, et al. Evaluation of injection-production connectivity in low permeability reservoirs based on tracer monitoring and numerical simulation[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(6): 735-740.
- [15] 邹宁,黄知娟,马国锐,等. 缝洞型油藏井间示踪剂分类等效解释模型及其应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2021, 36(1): 52-58.
ZOU Ning, HUANG Zhijuan, MA Guorui, et al. Classified equivalent interpretation model of inter-well tracer in fractured-vuggy reservoirs and its application[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2021, 36(1): 52-58.
- [16] 吴锦伟,李俊鹿,高一龙,等. 示踪剂监测技术在断缝动态连通性描述中的应用[C]//2021 油气田勘探与开发国际会议论文集(中册). 北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司, 2021: 1000-1008.
WU Jinwei, LI Junlu, GAO Yilong, et al. Study on dynamic description of fault-fracture connectivity based on tracer monitoring. Proceedings of the 2021 International Conference on Oil & Gas Field Exploration and Development (Volume II). Beijing: China Academic Journal (CD) Electronic Publishing House Co., Ltd., 2021: 1000-1008.
- [17] 梁文杰,刘之的,刘洪壮,等. 微量物质示踪剂监测技术在J井区的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2021, 23(5): 53-58.
LIANG Wenjie, LIU Zhidi, LIU Hongzhuang, et al. Application of trace substance tracer monitoring technology in J well block [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2021, 23(5): 53-58.
- [18] 申宝剑,潘安阳,张俊,等. 一种页岩气井连通性评价的新型示踪剂应用研究[J]. 石油实验地质, 2021, 43(5): 855-861.
SHEN Baojian, PAN Anyang, ZHANG Jun, et al. Evaluating the connectivity of shale gas wells by new rare element tracers [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(5): 855-861.
- [19] 雷霆,倪天禄,季岭,等. 基于生产动态数据的水驱砂岩油藏井间优势渗流通道识别[J]. 复杂油气藏, 2020, 13(2): 38-42.
LEI Ting, NI Tianlu, JI Ling, et al. Identification of Inter-well preferential flow channels in water flooding sandstone reservoirs based on production dynamic data [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2020, 13(2): 38-42.
- [20] 陈龙龙,白远,云彦舒,等. 气体示踪在非均质特低渗透油藏二氧化碳驱气窜监测中的应用[J]. 钻采工艺, 2020, 43(3): 56-59.
CHEN Longlong, BAI Yuan, YUN Yanshu, et al. Application of gas tracer in gas channeling monitoring during CO₂ flooding in heterogeneous ultra-low permeability reservoirs [J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(3): 56-59.

编辑 吴志力

第一作者简介:何秀玲,女,1985年出生,工程师,工学硕士,2014年毕业于长江大学矿产普查与勘探专业,目前主要从事鄂尔多斯盆地低渗透油气田测井解释评价工作。电话:029-86020003,Email:jeka507@126.com。通信地址:陕西省西安市未央区张家堡街道凤城六路开元路211号,邮政编码:710016。