

# 同位素注入剖面测井中异常情况分析

王凯悦

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 163412

通讯作者:Email:359828238@qq.com

引用:王凯悦. 同位素注入剖面测井中异常情况分析[J]. 油气井测试, 2022, 31(3): 56-60.

Cite: WANG Kaiyue. Analysis of anomaly in isotope injection profile logging [J]. Well Testing, 2022, 31(3): 56-60.

**摘要** 大庆油田X厂在长期的注水开发中,同位素注入剖面测井资料常因某种原因导致异常,对真实的井况还原产生不利影响。通过整理日常同位素注入剖面测井资料中出现的一些典型问题,从注水井井况和同位素自身性质两方面出发,对同位素注入剖面测井资料与实际注水井吸水量产生的不符情况,进行了一定程度的归纳和总结。结果显示,封隔器密封性能差、产生漏失,会对井温曲线产生影响;管柱腐蚀对磁定位曲线产生影响;伽马本底值高、固井窜槽以及大孔道现象对伽马曲线产生不同程度干扰。测井资料的准确合理分析,对优化区块的总体注水开发,保证油田稳产具有重要意义。

**关键词** 同位素;注入剖面;测井资料;资料质量;同位素沾污;载体粒径;载体密度;精细注水

**中图分类号**:TE357 **文献标识码**:B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.03.010

## Analysis of anomaly in isotope injection profile logging

WANG Kaiyue

Logging and Testing Services Company, Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

**Abstract:** In the long-term water injection development of X plant of Daqing Oilfield, it is found that the data of isotope injection profile logging are often abnormal for some reason, which has an adverse impact on restoration of well conditions. After sorting out some typical problems in daily isotope injection profile logging data, this paper analyzed the inconsistency between isotope injection profile logging data and actual water absorption of water injection wells from the aspects of water injection well conditions and isotope properties. The results show that leakage due to poor packer performance affects the well temperature curve, the corrosion of pipe string affects the magnetic positioning curve, and high gamma background value, cementing channeling and large pore channel interfere the GR curve in varying degrees. The accurate and reasonable analysis of logging data is of great significance to optimize the overall water injection development of the block and ensure the stable production of the oilfield.

**Keywords:** isotope; injection profile; logging data; data quality; isotope contamination; carrier particle size; carrier density; fine water injection

随着科学技术手段的不断变化更迭,油田开采对象不断细化,实际工艺不断改良,同位素注入剖面测井体系持续完善,沿用至今可以为油田的动态分析和挖潜产能提供十分可靠的依据支撑。当前主流的同位素注入剖面五参数测井可以在一次下井的仪器串测试过程中采集伽马、温度、压力、磁定位和流量五个基础井况数据<sup>[1-3]</sup>。

进行数据研究分析时,优先采用流量数据获取不同配注层段的绝对流量,再采用同位素吸水剖面叠面积法分析出每个射孔小层的相对吸水量<sup>[4]</sup>,然后读取井温数据,根据井温的变化得出吸水层位,把吸水层位和吸水底界同流量数据进行横向对

比<sup>[5]</sup>,配合磁定位管柱深度和压力曲线数据验证小层吸水量同井下压力变化之间的关联,准确地了解掌握测井的深度数据,同时也会获得井下管柱结构数据资料。在测井现场施工中,由于注水井井况自身的复杂性和同位素测井施工工艺的问题,经常出现很多异常资料<sup>[6]</sup>。

郑华<sup>[7]</sup>,陆大卫<sup>[8]</sup>,裴建亚<sup>[9]</sup>等专家针对同位素测井资料异常的问题,采用了全周期动态监测技术、监测方案设计优化以及一些新的测试项目等研究方法,研究了同位素注入剖面测井在异常情况中资料的正常分析和运用;比较了油田开发初期和中后期,测试手段和方式的不同;在注入介质的不同

上对注入剖面的影响等,已经得出了一些有价值的宝贵结论。本文综合前人的有效论点,结合实际资料解释过程中需要考虑的各种具体情况,进行进一步简明扼要的举例论证与分析,用以提高生产测井资料录取的优质率。

## 1 注水井井况的影响

地质条件、注入介质、注水井作业质量、日常维护管理等因素,常导致各注水井的井况差别很大,将直接影响同位素注入剖面测试资料的质量<sup>[10-14]</sup>。

### 1.1 封隔器密封性能差

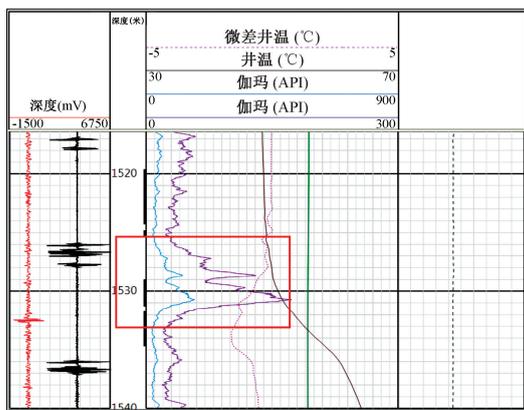
部分注水井封隔器已长期使用或施工时造成胶筒破损、释放效果不理想,会导致密封性无法满足实际工作需求,不同工作小层的注水效果也会受到影响,导致实际工作指标和设计方案出现偏差。同位素流经时,由于其功能失效,无法对当前注层进行分析,后续工艺也就无法识别,导致整个工艺流程出现连带反应,同位素注入剖面后也会使井温数据曲线出现异常波动。

### 1.2 管柱腐蚀

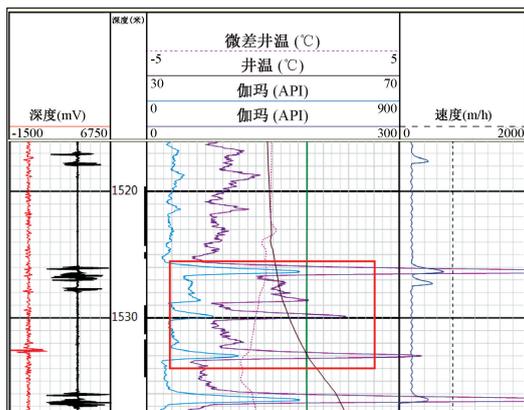
油田生产的注水井内的介质总会夹杂多种不同成分的杂质,设备长时间在这些成分不纯的环境中执行相关工艺会受到侵蚀,带来不必要的成本损失。管柱腐蚀一般与温度、溶解盐、溶解气体和细菌有关。而且诸如管柱和井下工具等设备,如果受到腐蚀,无法稳定工作,影响精密仪器的运行和数据采集的精确性。

### 1.3 伽马本底值高

在注水井生产时,有部分水受到放射性元素的影响却没有及时发现,仍注到地层当中,使其内部环境受到影响,致使伽马曲线出现异常反应,后续同位素投源施工无法正常进行数据采集,影响资料质量。此外,这类异常反应情况通常会被操作和解释人员判断为同位素污染,继而影响测井同位素曲线准确性,错误分析小层吸水效果,致使操作和解释人员失去判断力。如图1a为投源前基线伽马本底值,图1b为投源后基线伽马本底值,无法直观发现1530.0 m处层段是否吸水,只能借助于非常规手段进行进一步深入的解释分析或者延期进行复测。



a. 投源前伽马本底值曲线



b. 投源后伽马本底值曲线

图1 投源前、后伽马本底值曲线

Fig. 1 Gamma background value curve before and after source input

### 1.4 固井窜槽

窜槽问题出现的原因主要包括以下两点:一是长期进行注水生产,水泥环受到腐蚀,出现窜槽。二是固井本身存在质量问题,导致隐患不断堆积,对吸水层造成影响。注水井生产后进行同位素注入剖面测井时,部分同位素会滞留在窜槽处(非射孔层段),使得同位素堆积,测得的同位素伽马值幅度偏高,测试资料失去参考意义。

### 1.5 大孔道现象

大孔道现象产生的原因,是因石油储层渗透率的差异,在长期注水开发条件下,油藏储层孔隙结

构会发生较大的变化。它含水饱和度较高,吸水强度大,能使注入井液体流失、压力下降,它是阻碍油田高效低耗开发的瓶颈<sup>[15-16]</sup>。由于底层长时间的注水致使不同层面之间的“兼容”问题相互影响,很多地层不断被侵蚀出现大孔道现象。地层孔洞直径变大,导致标准大小的同位素无法附着在射孔层表面,会被水流带入到地层内部,导致曲线异常出现幅度较低。

## 2 同位素自身性质的影响及相应对策

由于不同的同位素具有自身独特的物理性质,例

如常见的同位素有 Ba131、I131 以及 Cs137 等,它们在同等的测井环境中也会体现出细微的差别<sup>[17-18]</sup>。

## 2.1 同位素沾污的原因

同位素引起沾污是非常常见的共性问题,最常见的原因是同位素本身的类型和使用量没有得到良好控制、管柱和井下工具等基础结构存在问题以及地层原因等。除此之外,还有压裂、固井质量以及地层受极端恶劣天气等因素的影响出现酸化等。

同位素沾污的种类:

(1) 沉淀式沾污:载体密度和沉积速率为正相关,和注入井的携带能力为反相关。当载体自身密度和注入射孔层水的密度较为相似时,载体颗粒就会与注入射孔层的水呈现较好的同步性。相反假如载体密度和注入射孔层水的密度相差较大时,载体颗粒就会与注入射孔层的水呈现较差的同步性,最直接的现象就是同位素载体走势分布不均匀,造成沾污问题。另外使用同位素的类型和数量也会对吸水层位的精准定位带来影响。

(2) 吸附式沾污:由于常年的注水,管柱内壁会附着油污和杂质,受酸化现象的影响,会对油套管柱造成一定程度的腐蚀,同样会导致同位素沾污,尤其以油管上的配水器和油套管的接箍台阶为主。(由于不同地层间存在压力差,会使得部分井出现密封性不足的现象,出现返水的问题,致使管壁附着油污)

## 2.2 相应对策分析

控制并减少同位素沾污主要有以下三种方式:

(1) 选择使用适合的同位素载体粒径。载体粒径的选择要经过精确的分析计算,配合地层孔隙直径的变化调整参数,再考虑同位素的载体颗粒大小,确保满足注水井和吸水层的工作需求<sup>[19]</sup>。如果该注水井结构带有偏心配水器,则应该根据实际情况调整同位素载体颗粒直径,避免产生水嘴拥堵等问题,产生更大沾污。

(2) 选择合适的同位素载体密度。如果同位素载体密度大于注入水密度,可能会出现同位素沉淀堆积,也可能导致同吸水层同位素出现显示异常;如果同位素载体密度小于注入水密度,就会使同位素处于悬浮状态,在剖面测井中造成吸水能力显示不均匀。

(3) 选择合适的替注水量以及最佳的测量时间。替注时间过短,会使得同位素大量悬浮在管柱内部,使得管柱工具处严重沾污,致使测井无法正

常开展,吸水层分析工作难以快速进行。但如果替注水量过多,在渗透性较好的地层内结构会出现“真空”,同位素载体会顺水流方向迅速进入地层深处,使测井仪器难以获取同位素吸水数据,形成错误的分析结果,造成不吸水的假象。

## 3 实际应用情况

分别以芳 X 井、徐 X 井为例做如下实验。

### 3.1 实验一 以芳 X 井为例

该井是采油 X 厂最早期开发的注水井,在采油 X 厂内很具有典型性,前后两次采用不同粒径的同位素进行测试。首先采用 300~600  $\mu\text{m}$  粒径 Ba131 同位素进行测试,由于采用的同位素颗粒较小,发现只有很少的同位素颗粒附着在射孔层内,其他层内未附着同位素的区域“仿佛”没有吸水,对操作和解释人员具有很强的“迷惑性”;然后待衰败期过后更换采用 600~900  $\mu\text{m}$  粒径 Ba131 同位素再次进行测试,可以看出上次“未吸水”的区域这次有非常明显的吸水显示。

通过对比观察和分析,可以得出该井在多年的注水开发后存在明显的大孔道现象。

### 3.2 实验二 以徐 X 井为例

该井为 X 厂某区块精细注水井,该区块为了提高注水效率,采用了单层单卡的精细注水技术,每个层位都配有独立的偏心配水器,力求通过“点对点”的方式提高采收率。该井在 2021 年进行了同位素剂量实验,希望通过该区域的实验对同位素使用剂量的计算在精细注水区块进行合理化的调整。

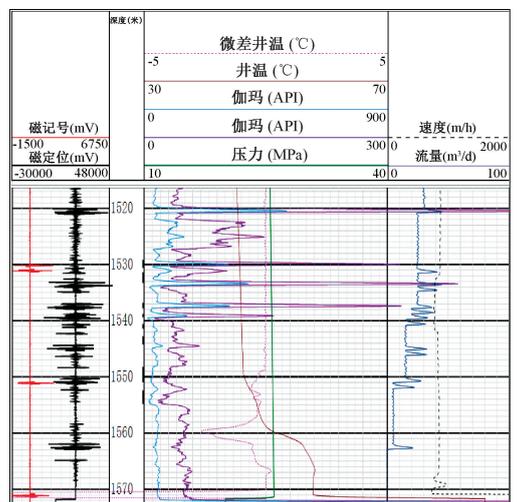


图 2 600~900  $\mu\text{m}$  粒径替注 0.5 h  
Fig. 2 Alternating injection with particle size of 600~900  $\mu\text{m}$  for half an hour

此次实验首先采用了较大粒径的 600~900  $\mu\text{m}$  I131 同位素,如图 2 可以看出,在替注半个小时左右的时间上,同位素在 1 540 m 左右的工具密集处产生了明显的堆积。

待同位素半衰期结束后,再次对该井进行了实验。此次实验吸取了上次的经验,采取了较小粒径

的 300~600  $\mu\text{m}$  I131 同位素,如图 3a 可以看出,在同样是进行了替注半个小时的情况下,顺利的采集到了该井的同位素注入剖面测井资料。如图 3b 可以看出,在替注进行一个半小时之后,较小粒径的 300~600  $\mu\text{m}$  I131 同位素,“消失的很彻底”,甚至看不出有同位素投入的迹象。

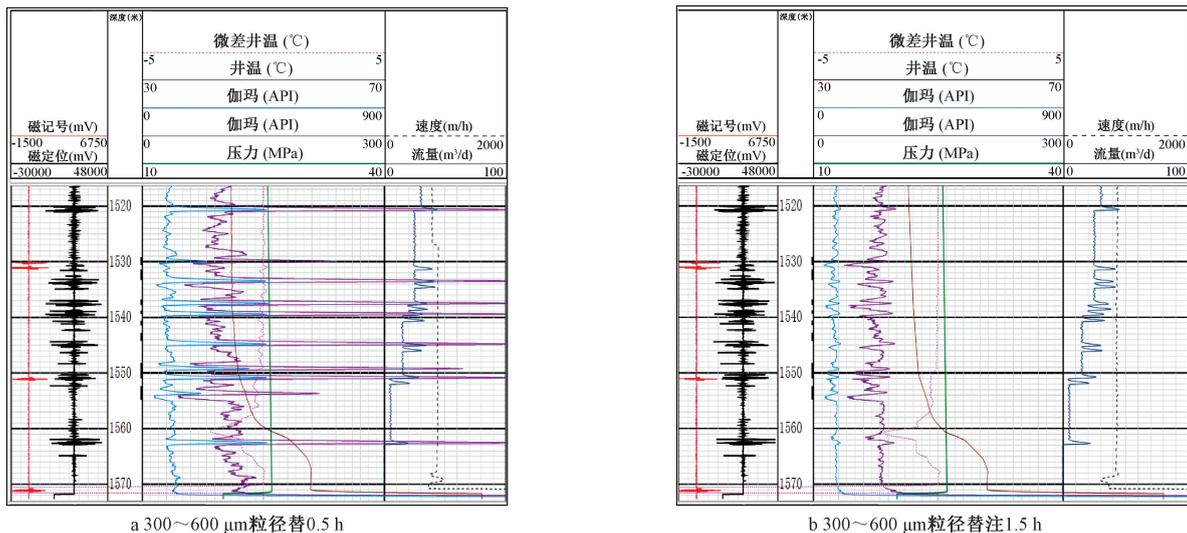


图 3 300~600  $\mu\text{m}$  粒径替注 0.5 h 和 1.5 h

Fig. 3 Alternating injection with particle size of 300~600  $\mu\text{m}$  for 0.5 h and 1.5 h respectively

通过这个典型的实验我们可以看出,在同样的注入环境下,同位素载体粒径的选择和替注水量与测量时间的把控对一口井测试的成败起到了至关重要的作用。

## 4 结论

(1)在分析异常测井资料时要结合每口井的实际井况,综合各个参数各种因素进行整体分析,对影响因素如管柱的腐蚀和窜槽等进行有效识别,以此来保证同位素注入剖面测井资料能起到有效的作用,并得到更加广泛的应用,促进油田的注水开发,保证油田稳产。

(2)在进行同位素注入剖面测井的过程中,要根据测井目的和井况进行选择同位素载体颗粒粒径,并配合适宜的用量,计算出正确的投源时间和替注水量,确保测井数据的可靠性,避免沾污过大导致资料失真。

(3)在针对一些需要精细测试的井上,可以采用其它的注入剖面测井技术,如示踪相关、脉冲中子氧活化等,加以佐证同位素注入剖面的测试结果<sup>[20]</sup>。

(4)同位素注入剖面测井资料可以直接反映注

水井各射孔层的吸水状态,显示层内与层间的紧密关联,为油田中后期注水开发与综合治理提供坚强依据。

致谢:感谢中国石油大庆油田测试技术服务分公司同意本文公开发表;感谢李玉泉、冉磊同志以及编辑部王军、刘振庆等同志在论文修改、测井解释方面做出的帮助与贡献。

## 参考文献

- [1] 王惠. 注入剖面测井资料在油田生产中的应用[J]. 长江大学学报(自科版), 2014, 11(14): 33-36.  
WANG Hui. Application of Injection Profile Logging Data in Oilfield Production [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2014, 11(14): 33-36.
- [2] 付剑, 山永兰. 注入剖面测井存在的问题及解决途径[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, (23): 70-71.  
FU Jian, SHAN Yonglan. Problems and solutions of injection profile logging [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, (23): 70-71.
- [3] 占继元, 诸梦青. 研究多参数吸水剖面组合测井方法[J]. 化工设计通讯, 2017, (3): 37.  
ZHAN Jiyuan, ZHU Mengqing. Study on multi-parameter water-absorbing profile combined logging method [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017, (3): 37.
- [4] 李晔. 注入剖面五参数资料同位素与流量不符实例分析

- 与验证[J]. 内蒙古石油化工, 2014(2):140-141.  
LI Ye. Analysis and verification of the inconsistency between isotope and flow in five parameter data of injection profile [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014(2):140-141.
- [5] 马立新,王勤聪,陈定斌. 塔河油田异常井温资料分析[J]. 油气井测试, 2013, 22(5):30-32.  
MA Lixin, WANG Qincong, CHEN Dingbin. Analysis of abnormal well temperature data in Tahe oilfield [J]. Well Testing, 2013, 22(5):30-32.
- [6] 王庆如,王振强,高海山. 大港南部油田提高吸水剖面测试成功率探讨[J]. 油气井测试, 2009, 18(5):55-57.  
WANG Qingru, WANG Zhenqiang, GAO Haishan. A Discussion on raising success rate of injection profile survey in southern Dagang oilfield [J]. Well Testing, 2009, 18(5):55-57.
- [7] 郑华,李军,刘兴斌,等. 大庆油田注入剖面测井技术研究进展[J]. 同位素, 2009, 22(2):48-53.  
ZHENG Hua, LI Jun, LIU Xingbin, et al. Progress of injection profiling technology in Daqing oilfield [J]. Journal of Isotopes, 2009, 22(2):48-53.
- [8] 陆大卫,刘兴斌,谢进庄. 大庆油田全周期动态监测技术施策研究[J]. 测井技术, 2019, 43(2):1-9  
LU Dawei, LIU Xingbin, XIE Jinzhuang. Measures of full cycle dynamic monitoring technology for Daqing Oilfield [J]. Well Logging Technology, 2019, 43(2):1-9.
- [9] 裴建亚,杨景海,杨云杰. 油田开发注入剖面监测方案设计优化技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(5):130-134.  
PEI Jianya, YANG Jinghai, YANG Yunjie. Designing and optimizing techniques of the injected profile monitoring program in the oilfield development [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2018, 37(5):130-134.
- [10] 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.
- [11] 虞桐,张焱,王晓明,等. 井温曲线在注产剖面测井资料分析中的应用[J]. 石油管材与仪器, 2017, (2):97-100.  
YU Tong, ZHANG Yao, WANG Xiaoning, et al. Application of temperature curves to logging data analysis for injection and production profiles [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017, (2):97-100.
- [12] 翟翔宇. 喇嘛甸油田同位素测井工艺优化探讨[J]. 石油管材与仪器, 2019, (6):94-97.  
ZHAI Xiangyu. Discussion on optimization of isotope logging technology in Lamadian Oilfield [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2019, (6):94-97.
- [13] 武江鸿. 同位素测井资料异常吸水原因的简要分析[J]. 当代化工研究, 2018, (1):71-72.  
WU Jianghong. Brief analysis of abnormal water absorption reason in isotope logging data [J]. Chemical Intermediate, 2018, (1):71-72.
- [14] 藏丽娜,崔晓华. 现场施工工艺对吸水剖面资料质量的影响因素分析[J]. 石油工业技术监督, 2008, 24(6):37-39.  
ZANG Lina, CUI Xiaohua. An analysis of the influences of on-site construction technologies on the data quality of the water injection profile [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2008, 24(6):37-39.
- [15] 吴忠维,崔传,杨勇. 高含水期大孔道渗流特征及定量描述方法[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(8):839-844.  
WU Zhongwei, CUI Chuan, YANG Yong. Seepage characteristics and quantitative description of large pore pathways at high water cut stage [J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(8):839-844.
- [16] 崔庆东. 砂岩油藏大孔道的识别方法[J]. 油气井测试, 2009, 18(3):29-31.  
CUI Qingdong. Identification method of big channel in sandstone reservoir [J]. Well Testing, 2009, 18(3):29-31.
- [17] 高欣. 同位素沾污解决方法的探讨[J]. 化工管理, 2016, (7):23.  
GAO Xin. Discussion on solutions to isotopic contamination [J]. Chemical Enterprise Management, 2016, (7):23.
- [18] 朱惠骧,谢如慧. 吸水剖面污染校正方法研究[J]. 油气井测试, 2002, 11(5):18-21.  
ZHU Huixiang, XIE Ruhui. A method study on the pollution correction of water injection profile [J]. Well Testing, 2002, 11(5):18-21.
- [19] 雷颖,郝建华,杨喆. 同位素注入剖面微球粒径优选[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014, (6):83.  
LEI Ying, HAO Jianhua, YANG Zhe. Optimization of microsphere particle size in isotope injection profile [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014, (6):83.
- [20] 刘金立. 低渗透油田注入剖面测井技术适应性分析[J]. 山东工业技术, 2017, (12):94.  
LIU Jinli. A daptability analysis of injection profile logging technology in low permeability oilfield [J]. Journal of Shandong Industrial Technology, 2017, (12):94.

编辑 吴志力

第一作者简介:王凯悦,男,1989年出生,助理工程师,2015年毕业于东北石油大学石油工程专业,目前主要从事油水井测试方面的工作。电话:18249650123, Email:359828238@qq.com。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区银亿B区46-2-401,邮政编码:163412。