

[引著格式] 张博策, 郭海敏, 邓瑞, 等. 连续示踪相关流量测井技术应用及软件实现 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (1+2): 27~30, 34.

连续示踪相关流量测井技术应用及软件实现

张博策, 郭海敏, 邓瑞 (长江大学地球物理与石油资源学院, 湖北 武汉 430100)

王恺 (中石油长城钻探工程有限公司测井公司, 辽宁 盘锦 124011)

[摘要] 连续示踪相关流量测井是近年来比较新的一种测井方法。相对于目前常用的注入剖面测量方法, 该方法具有测量范围广、精度高的优点。详细介绍了连续示踪相关流量测井的仪器、测量原理及解释原理, 并据此设计了连续示踪相关流量测井的软件, 并对 YH 油田的 Z587 井进行了二次测井解释评价, 通过与原始解释结果对比分析, 该软件的精度高, 应用效果良好。

[关键词] 相关流量; 注水剖面; 同位素示踪; 模块开发

[中图分类号] P631.84 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 01+02-0027-04

在油田的开发过程中, 95%以上是通过注水、注气、注聚合物等工艺实现产油的。在我国陆上油田, 约有 4 万口注入井 (以注水为主), 对于这些注水井的单层注入量主要是通过涡轮流量计、放射性同位素示踪仪、氧活化测井仪进行测量的。但是, 涡轮流量计应用范围比较窄; 放射性同位素示踪法会造成沾污, 导致测量结果失真且不能确定大孔道; 氧活化法成本比较高, 而且测量范围较小。

改进的连续示踪相关流量测井克服了上述缺点, 以其应用范围广、测量精度高, 能够为解释提供较多的信息, 越来越受到油田重视。但目前处理解释软件存在一定滞后, 且与油田操作平台不兼容, 不符合油田工程师的使用习惯。为此, 笔者对连续示踪相关流量测井的测量原理及解释原理^[1~3]进行剖析, 设计了符合油田实际情况的解释软件, 并对多口井进行处理, 取得了较好的应用效果。

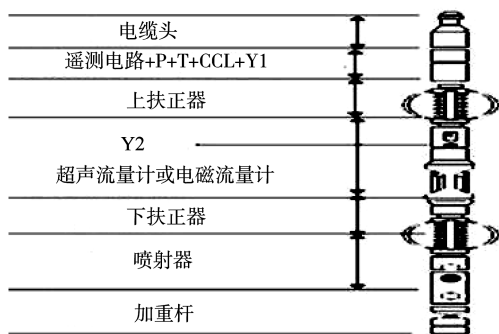
1 仪器介绍及测量原理

1.1 仪器介绍

为适应目前油田注入井的施工要求, 连续相关测井组合仪分为 $\varnothing 38\text{mm}$ 和 $\varnothing 28\text{mm}$ 共 2 种规格, $\varnothing 38\text{mm}$ 的仪器可以完成常规注入剖面的测井施工, $\varnothing 28\text{mm}$ 主要用来完成小井眼和通道狭窄的注入井 (海洋测井) 的测试。2 种规格都可以根据具体情况由温度、压力、涡轮流量、超声流量、电磁流量、接箍和双伽马 (近距离伽马探测和远距离伽马探测) 等多参数进行组合。注水井一般用温度、压力、涡轮流量或超声流量、接箍和双伽马等多参数组合; 注聚合物和注三元的井一般用温度、压力、电磁流量、接箍和双伽马等多参数组合。仪器的结构示意图如图 1 所示。

1.2 测量原理

仪器带有液体喷射器, 可以把少量的放射性示踪剂带入井中, 再有选择地排放到液流中去; 然后用装在喷射器上面的伽马仪, 对井内流体进行追踪, 从而计算出流体在某深度处的流速, 进而换算成流量, 用分层递减法求出分层流量。测量时, 仪器的喷射器在水



注: P 为压力测量仪器; T 为温度测量仪器; CCL 为磁定位测量仪器; Y1 为探测探头 1; Y2 为探测探头 2。

图 1 连续示踪相关流量组合仪器图

[收稿日期] 2014-11-13

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (41474115)。

[作者简介] 张博策 (1989-), 男, 硕士生, 现主要从事生产测井的学习和研究工作; 通信作者: 邓瑞, dengrui@yangtzeu.edu.cn。

嘴或喇叭口的上方一定距离高速喷射出与井内液体相同比重、具有放射性的示踪剂，该示踪剂与注入井内的液体均匀混合并随之一同流动；然后仪器快速下放追过放射性示踪剂，伽马曲线就会出现示踪峰，然后再迅速上提，反复测得若干个示踪峰，对不同的峰进行相关计算，可以得出该水嘴或喇叭口上方的油管流量。当示踪剂进入水嘴后，仪器就以该水嘴为中心，上下反复追踪示踪剂的深度位置，实时监测井内油套管环形空间内液体流速的变化，直到示踪剂全部进入地层，伽马探测器测不到为止。测量示踪峰如图2所示。可以看出，示踪峰在不同曲线上所处的深度位置和时间是不同的，这正反映了井下注入水的流动状态。通过同位素示踪峰中的深度、时间信息可以得到速度：

$$v = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \tag{1}$$

然后再根据流量计算公式对示踪峰对应的每个深度区间的流量进行计算^[4~5]：

$$Q = C_v \times P_c \times v \tag{2}$$

$$P_c = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2) \tag{3}$$

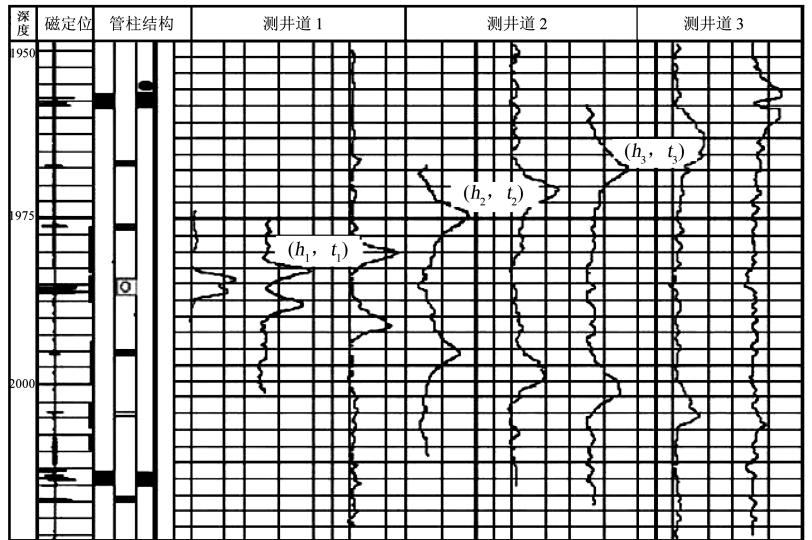
式中： Q 为流量， m^3/d ； C_v 为速度校正系数，1； P_c 为套管内与仪器外环空截面积， mm^2 ； v 为速度， m/s ； D 为套管内径， mm ； d 为仪器外径， mm 。

通过计算不同深度区间的流量 Q_1, Q_2, \dots, Q_n ；再用递减差值法计算出每一地层的吸水量，如 $\Delta Q_1 = Q_1 - Q_2, \Delta Q_2 = Q_2 - Q_3, \dots, \Delta Q_{n-1} = Q_{n-1} - Q_n$ （其中， ΔQ_1 流量差值， m^3/d ； Q_1, Q_2, \dots, Q_n 为实际计算到的一组流量， m^3/d ）。

2 软件介绍

笔者在详细研究连续示踪相关流量测井的测量原理及解释原理的基础上，首次基于CIFLog平台，使用Java语言在NetBeans6.8平台开发了连续示踪相关流量测井解释软件，实现了通过CIFLog软件对连续示踪相关流量测井数据资料的解释评价。连续示踪相关流量测井解释软件的总体设计思路如图3所示。

按照图3的技术路线，编写了集成参数设置、同



注：测井道1、2、3中的曲线即为仪器测量的同位素示踪曲线，每次仪器下放或上提都会测量出1条示踪曲线； h_1, h_2, h_3 为峰位深度， m ； t_1, t_2, t_3 为峰位时间， s 。

图2 示踪峰效果示意图

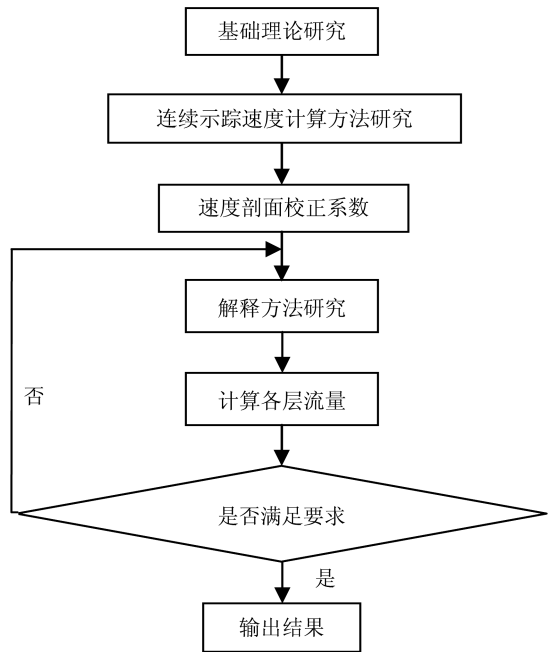


图3 连续示踪相关流量测井解释软件设计思路

位素峰处理、解释处理、成果表显示等连续示踪相关流量测井解释模块。该软件模块界面如图 4 所示，界面左侧的 4 个工具按钮为自行设计按钮，依次为：设置、峰值计算、解释处理、成果图；界面中间为连续示踪相关流量制图图版，从左至右依次为：测井曲线道、处理曲线道、深度道、管柱结构、解释道、吸水剖面以及解释结果；其他控件按钮均为 CIFLog 自带功能按钮。

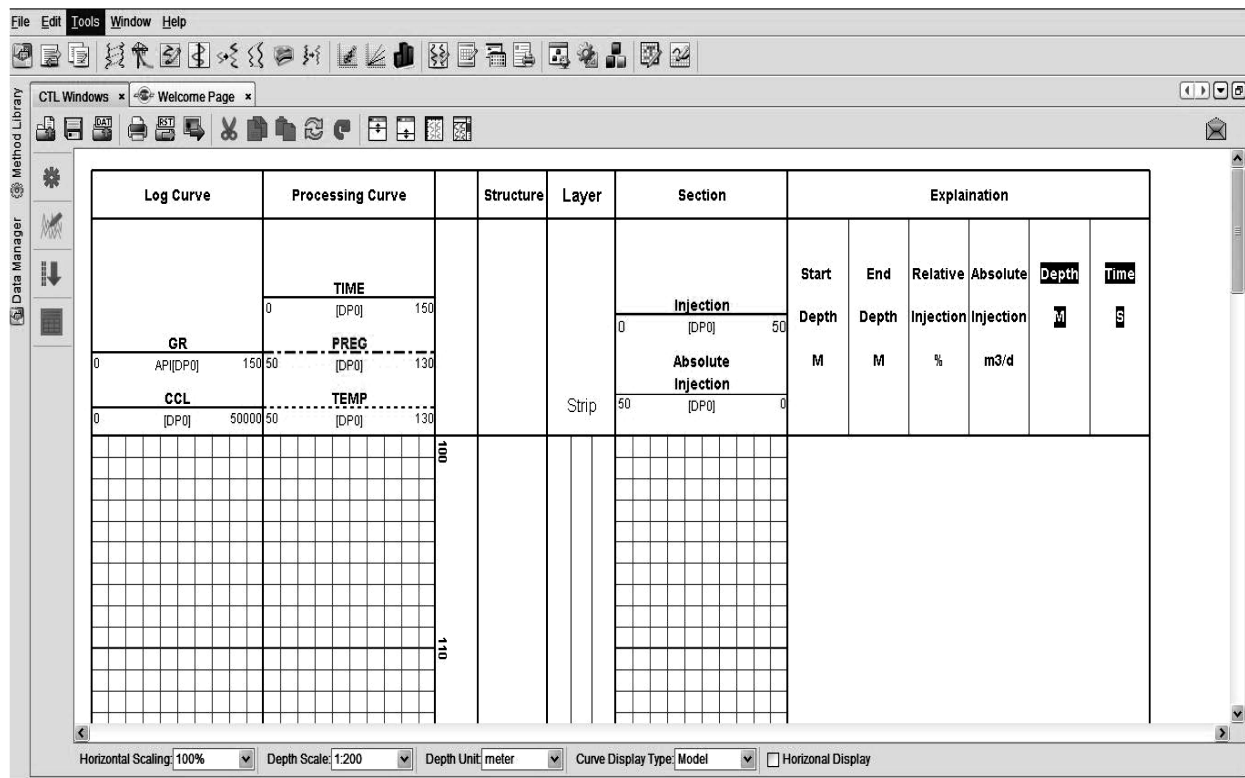


图 4 连续示踪相关流量测井解释软件模块界面图

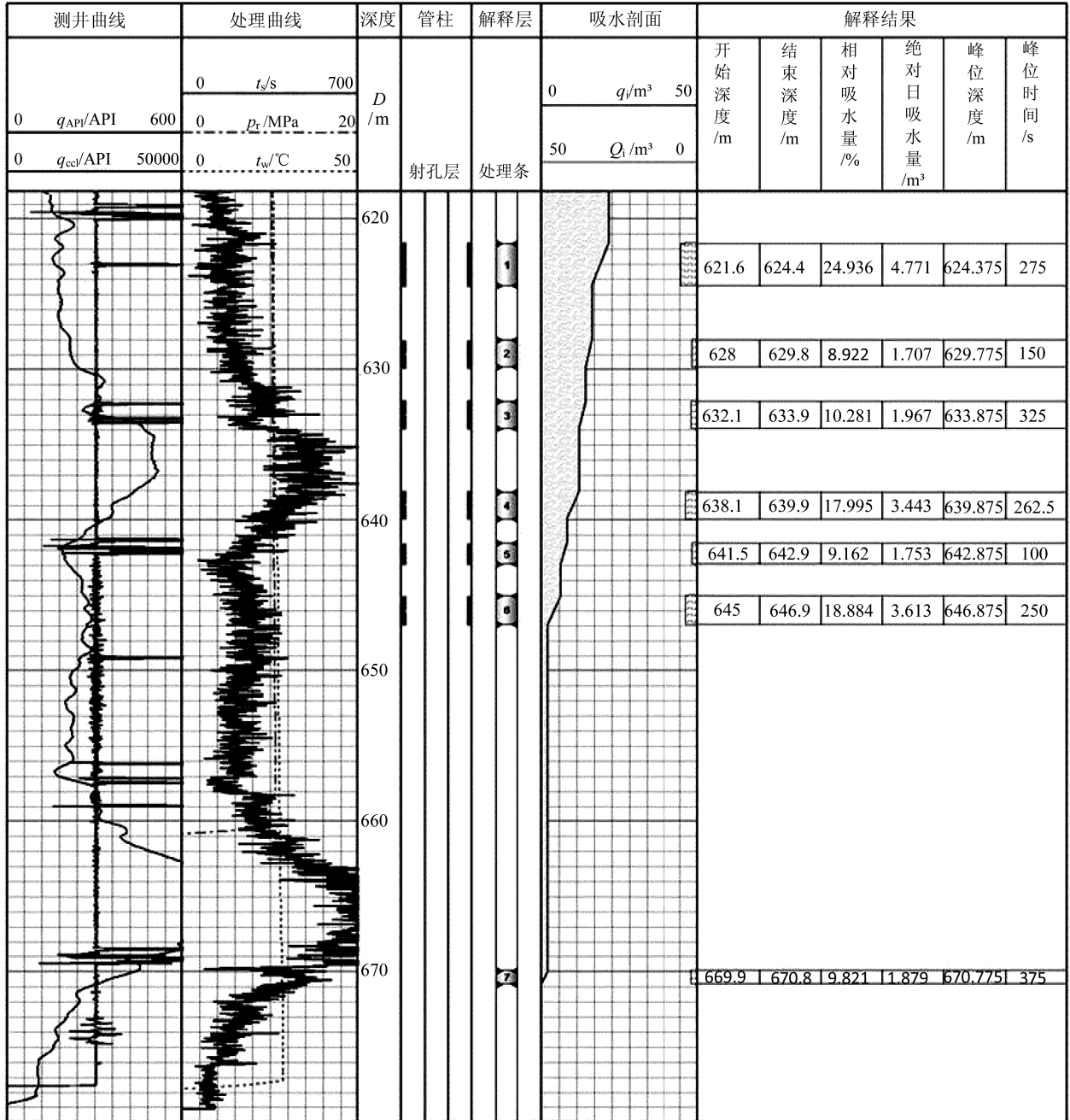
3 实际应用分析

位于 YH 油田的 Z587 井在 2014 年 7 月进行了同位素测井，并且使用了放射性同位素曲线和基线对比的面积法进行解释计算，解释结果如表 1 所示。由于该井射孔层段相距近，该井在解释过程中将相邻的层位合并起来解释（主要是 628.0~647.0m），忽略了射孔层之间夹层的存在，将夹层也计算为吸水层，导致计算出的流量不够准确，而且也不能对每个射孔层的吸水量有一个定量分析，使得每个射孔层的吸水量均存在误差。

表 1 Z587 井原始解释吸水参数表

解释层号	射孔层段/m	射孔厚度/m	吸水厚度/m	相对吸水量/%	绝对吸水量/(m ³ ·d ⁻¹)	吸水强度/(m ³ ·(d·m) ⁻¹)
1	621.5~624.5	3.0	3.0	25.00	4.80	1.60
2	628.0~630.0	2.0	19.0	64.58	12.40	0.65
3	632.0~634.0	2.0				
4	638.0~640.0	2.0				
5	641.5~643.0	1.5				
6	645.0~647.0	2.0				
7	670.0~670.5	0.5	0.5	10.42	2.00	4.00
合计		13.0	22.5	100	19.2	

该井2014年9月进行连续示踪相关流量测井后,通过基于CIFLog平台设计的连续示踪相关流量测井软件进行预处理以及一些相关运算之后,获得了每个层位对应的示踪峰时间和深度信息,并进行计算,得到了每个层位的流量。该软件并不对射孔层位之间的夹层进行计算,只对射孔层位置的流量进行计算,消除了夹层的存在对计算造成的误差。图5、表2为使用该软件计算得到的注水剖面图以及新解释吸水参数表。



注: q_{API} 为自然伽马; q_{ccl} 为磁定位; t_e 为时间; p_r 为地层压力; t_w 为温度; D 为井深; q_i 为日注水量; Q_i 为日吸水量; 管柱道显示的突起为射孔层所在的深度位置。

图5 Z587井重新解释吸水剖面图