

聚驱井含水率特征曲线在示踪剂综合解释技术中的应用

郭文敏¹, 刘同敬², 姚友龙³, 吕爱华¹, 雷占祥⁴

(1. 江苏工业学院 机械与能源工程学院, 江苏 常州 213016;

2. 中国石油大学 提高采收率研究中心, 北京 102249;

3. 胜利油田分公司 孤东采油厂, 山东 东营 257000;

4. CNODC 海外研究中心, 北京 100083)

摘要: 为了解示踪剂注剂井组中未见剂井的井间参数特征, 利用示踪剂综合解释技术对其进行了注采井井间储层参数综合解释; 结合聚合物驱单井含水率变化特征曲线和指纹图谱相似度计算方法进行了未见剂井与见剂井的相似度计算。结果表明, 注聚合物后见效井的含水率曲线下降漏斗的数目反映了优势通道的数目, 见效时间的快慢在一定程度上说明最优通道渗透率的大小, 见效有效期反映了地下聚驱波及的体积; 综合评价结果能够初步判断未见剂井是否存在优势通道以及发育状况。利用聚驱井含水率特征曲线对见剂井与未见剂井进行相似度计算, 不仅节省了示踪剂监测费用, 扩展了示踪剂综合解释结果的内容, 同时也为油田开发调整提供了指导和依据。

关键词: 示踪剂综合解释技术; 含水率特征曲线; 应用

中图分类号: TE132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7512(2009)04-0226-04

Application of Polymer Flooding Water Cut Curve in Tracer Interpretation Technology

GUO Wen-min¹, LIU Tong-jing², YAO You-long³, Lü Ai-hua¹, LEI Zhan-xiang⁴

(1. *Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China;*

2. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

3. *Gudong Oil Production Plant of Shengli Oilfield Ltd. Co., Dongying 257000, China;*

4. *CNODC International Research Center, Beijing 100083, China)*

Abstract: In order to get the interwell parameter of the well which have not get tracer breaking, a similarity calculation method of fingerprint between the breaking well and the unbreaking was carried out by combining the tracer interpretation technology with the polymer flooding water cut curve. The results showed that the number of predominance flow channel equaled to the number of peaks of the polymer flooding water cut curve. The starting response time showed that the interwell permeability and response time showed the

swept volume of polymer solution. Based on the analysis of the water cut curve and the tracer testing interpretation, the interwell predominance flow channel can be predicated. The cost of tracer testing is saved and the tracer testing interpretation is expanded for this method. In addition, some suggestions were provided for the development of oil field.

Key words: tracer interpretation technology; polymer flooding water cut curve; application

油田的开发是一个逐步完善的过程,不同开发时期对于油藏的认识程度、精度以及要求是不同的。由于地下油藏本身的不可见性和油藏的非均质性特点^[1-2],通常只能通过对实验室或现场动态资料分析从侧面了解储层物性的变化情况,而对于长期注水开发处于特高含水期的整装油田,在精细油藏描述基础上的动态监测分析工作尤为重要。相对于生产测井、试井等其他动态监测方法,井间示踪剂动态监测技术不仅能够准确描述井间连通状况,而且能够定量描述井间最优通道的渗透率及饱和度等参数,具有其他监测方法不可比拟的优势^[2-6],但它只能解释见剂井与注剂井井间参数,对于未见剂井却无法解释。生产井注聚后的含水率特征曲线能够在一定程度上反映注采井间储层参数特征,而目前此方面的工作却相对较少,大多数集中在对剩余油的分析研究上^[7]。因此,本工作拟在井间示踪剂解释技术中应用聚驱后生产井含水率特征曲线,定量描述注剂井与未见剂井井间参数特征,为今后单井措施的实施提供参数指导。

1 见剂井注采井间参数解释原理

井间示踪综合解释技术是在解析法和数值法基础上完善起来的一种半解析方法,它是利用数值法中压力求解的稳定性和解析法中浓度求解不存在截断误差的优点,借助流线方法形成的一套计算方法体系,解释过程中借助概率统计方法和优化算法,模拟任何可能的地层分布情况,利用计算机完成的解释任务^[2]。具体方法如下:以地质模型和动态参数为基础,利用数值方法,参考吸水产液剖面,得到流线分布,以各条流线为单元,调整不同流线上的地层参数,直至计算曲线与实际产出曲线拟合好为止,此时得到的最优样本能够代表实际地层情况,从而确定高渗透通道渗透率、厚度、波及体积等参数。

目前井间示踪综合解释技术只针对监测到示踪剂产出的取样井进行井间参数综合解释,而对于未监测到示踪剂产出的井却无能为力。

2 未见剂井井间参数解释方法

为扩展示踪剂注入井组的解释范围,提高对未见剂井的井间参数解释及预测,利用注示踪剂井组在注剂之前注聚合物溶液后见剂井、未见剂井含水率特征曲线,进行综合评价,进行关于未见剂井的井间参数解释。

2.1 聚驱含水率特征曲线分析

在注聚过程中,油井见效时间的快慢在一定程度上反映了井间渗透率的大小,单井受效时间与含水率变化特征曲线形成的面积反映了聚合物溶液在地下波及的体积。将见剂井聚驱后含水率特征曲线作为标准曲线,以未见剂且有明显聚驱见效特征的井作为相似性评价井进行相关系数计算,可以有效地对未见剂井的储层参数及波及状况进行预测。

2.2 相似度评价方法

根据单井含水率曲线的曲线特征,选取指纹图谱相似度计算方法进行相似度评价。指纹图谱的相似度计算主要包括夹角余弦法和相关系数法。而相关系数法相对夹角余弦法在样品数值扩大 α 倍或同时减小、增加某一数值时,均能保持不变^[8]。考虑到油藏开发时间及见效期的不同步性,在此选取相关系数法进行曲线相似度计算。

由于各口井见效时间、有效期不同,在进行相关系数研究之前,需对每口井开发动态时间进行归一化,对于聚驱后含水率 F_w 的处理,采用时间段内插值方法进行计算。

具体时间标准化(X_{id})方法如下:

$$X_{id} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

$$\text{相关系数 } F = \frac{\sum (X_{id} - \bar{X}_D)(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_{id} - \bar{X}_D)^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

其中: X_i 为油井见效时刻(d); X_{\min} 、 X_{\max} 分别为见效开始时刻(d)和见效结束时刻(d); Y_i 为 X_i 时刻对应的单井含水率(%); \bar{X}_D 、 \bar{Y} 分别为 X_{id} 、 Y_i 的算术平均值。

由于聚驱含水率特征曲线对于评价聚驱效

果最具说服力以及其对于储层特征参数本身的表征性,本次主要基于聚驱含水率(F_w)曲线进行相关性研究。

3 矿场应用

3.1 井组概况

孤东油田七区西馆上段 1986 年 6 月投入全面开发,目前处于特高含水期,根据孤东油田特点,选取 52+3 主力层系 7-29-274 井组作为井间示踪剂监测井组,周围对应一线监测取样井 5 口:7-27N274、7-31-274、7-31-286、7-27-2266、7-27-2286。

3.2 见剂井示踪剂产出曲线及综合解释

取样化验结果表明,7-29-274 井组仅正对东部油井 7-31-274 于第 25 天见剂,浓度 20.93 ng/L,见剂速度 12 m/d。利用示踪剂综合解释软件对示踪剂产出浓度自动拟合,结果示于图 1。由图 1 可以看出,示踪剂产出曲线拟合情况较好,拟合曲线可以作为分析解释依据。

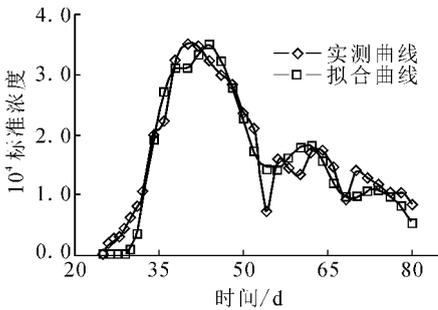


图 1 7-31-274 井示踪剂拟合曲线

表 1 见剂井与注剂井间主流通道参数解释结果

注剂井	层段	见剂井	波及体积/ m^3	层内波及系数/%	回采率/%	回采水率/%	渗透率/ μm^2	厚度/m	结论
7-29-274	5 ²⁺³	7-31-274	15 000	4.5	0.566	14	30.2	0.45	常规大孔道

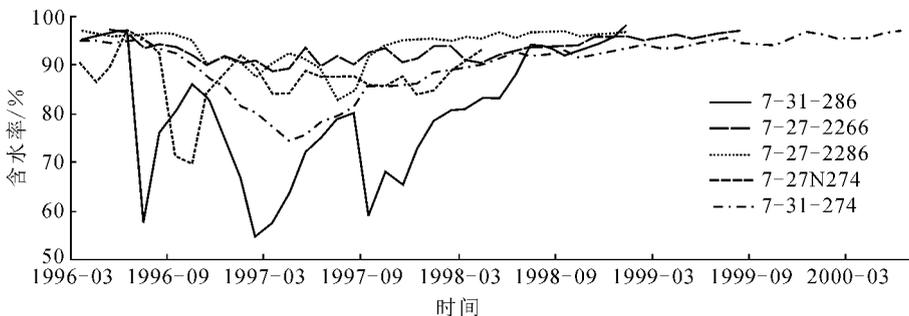


图 2 7-29-274 井组中 5 口一线生产井聚驱曲线

利用示踪剂综合解释技术对 7-29-274 注剂井组进行井间参数综合解释,结果列于表 1。由表 1 可知,见剂井 7-31-274 井间对应主流通道波及体积为 15 000 m^3 ,波及系数为 4.5%,解释渗透率 30.2 μm^2 ,厚度 0.45 m。这些数据表明,井间存在大孔道,但规模不大,按照示踪剂解释经验,7-31-274 与 7-29-274 井间属于常规大孔道发育。

3.3 注剂井组聚驱含水率特征曲线分析

3.3.1 见效时间分析

7-29-274 井组曾于 1996 年注过聚合物,根据示踪剂测试原理,聚驱后含水率变化特征本身就是一种示踪响应曲线,并且该曲线变化明显,结合示踪剂响应曲线,可以很好地分析井间状况。7-29-274 井组中 5 口井注聚合物后含水率变化曲线示于图 2。

由图 2 可以看出,以 7-31-274 井聚驱含水率曲线变化最为典型,与见剂情况相符,井间明显存在一个高渗通道。从见效时间来看,7-31-274、7-31-286、7-27N274 井见效时间基本一致,说明这 3 口井所对应的注水井最优通道渗流速度基本一致,即渗透率相近,但 7-31-286、7-27N274 井见效速度较快、有效期短,说明规模较小;而 7-31-274 井见效速度较慢,说明其第 1 主渗通道厚度较大;7-31-2286 和 7-27-2266 井变化不明显,说明其与注水井间特殊通道基本不发育,储层纵向非均质性弱,聚驱效果不明显。

3.3.2 见效有效期分析

聚驱周围油井见效有效期反映了地下聚驱波及的体积,时间越长,聚合物波及体积越大。从图2可以看出,除7-31-274井外,见剂井中7-31-286井的变化趋势最具聚驱特征,说明该井经长期注水后与注水井间形成优势通道。从图2中7-31-286聚驱阶段含水率特征曲线3个明显波动过程来看,该井应该具有3个主渗通道,从其变化过程以及该井没有见剂结果来看,该井与7-29-274井间的主通道应该为第2峰,原因在于该井不见剂,说明两井间通道不占主导地位,排除第1漏斗;第2漏斗降低幅度大、峰宽,原因在于该峰由综合叠加效应形成,但考虑到第3漏斗含水上升速度很快,所以第3漏斗相对井距应该较小,对含水率的贡献能够起到次级作用,且从时间上来看第2漏斗形成时间基本上与7-31-274井一致,可见第2漏斗形成与注水井7-29-274有关。

3.4 未见剂井注采井间参数解释

在监测井优势通道评价中,以见剂井解释参

数为依据,结合聚驱见效井含水率特征曲线进行未见剂井的井间参数解释。本次研究过程发现,如果在聚驱效果含水率大幅下降,且非均质程度较小时,很有可能发育大孔道;如果非均质程度较大,本身就会产生优势通道。采用相似度评价方法判断5口监测井与见剂井7-31-274井间的含水率相关系数 F ,从而判断大孔道发育的可能性,结果列于表2。由于7-27-2266和7-27-2286井属于聚驱特征不明显且均未见剂,所以不在相关系数计算范围内。

由表2可知,7-31-286井相关系数为0.62,考虑聚驱特征,该井为大孔道+高渗层发育,第1优势通道渗透率约为 $30 \mu\text{m}^2$,属于大孔道发育,高渗条渗透率 $3 \mu\text{m}^2$;7-27N274井属大孔道,渗透率 $30 \mu\text{m}^2$,但规模很小;根据该两口井聚合物特征曲线见效时间与含水率下降幅度,以及与见剂井7-31-274聚合物驱含水率特征曲线相似度判断,其与注水井间存在大孔道发育,且均为与其他注水井间的最优通道。

表2 未见剂井井间参数解释

井名	相关系数 F	受效时间/月	优势通道判断	渗透率/ μm^2	波及体积/ m^3	备注
7-31-274	1.0	25	大孔道	30.2	15 000	与7-29-274
7-27N274	0.56	7	大孔道	30	2 352	与其它水井
7-31-286	0.62	3	大孔道	30	1 116	与其它水井
		10	高渗带	3	3 720	与7-29-274

4 结论

(1)根据聚驱后单井含水率曲线特征,相关系数法能够有效评价不同井间聚驱后单井含水率曲线的相似性,曲线的相似度从侧面反映了井间参数相似程度。

(2)以示踪剂见剂井解释情况为标准,综合应用聚驱特征曲线的相似性,在一定程度上能够定量描述未见剂井的注采井间储层参数,扩展了示踪剂综合解释结果的范围,为油田开发调整提供了很好的指导和依据。

参考文献:

[1] 陈月明,姜汉桥,李淑霞.井间示踪剂监测技术在油藏非均质性描述中的应用[J].石油大学学报:自然科学版,1994,18(增刊):1-7.

[2] 姜汉桥,刘同敬,张新红.示踪剂测试原理与矿场实践[M].东营:石油大学出版社,2001:70-71.

[3] 赵培华,张培信,赵智勇,等译.油田示踪技术[M].北京:石油工业出版社,2005:101-102.

[4] 李淑霞,陈月明,冯其红,等.利用井间示踪剂确定剩余油饱和度的方法[J].石油勘探与开发,2001,28(2):74-75.

[5] 姜瑞忠,姜汉桥,杨双虎.多种示踪剂井间分析技术[J].石油学报,1996,17(3):85-91.

[6] 杨士荣,刘同敬.微量物质井间示踪测试技术简介[J].测井技术,2007,31(5):409-411.

[7] 孙建英,方艳君.聚驱后剩余油分布及挖潜技术研究[J].大庆石油地质与开发,2005,24(4):37-38.

[8] 杨忠民,李忠民,赵日利,等.指纹图谱相似度新算法的研究[J].中国测试技术,2008,34(3):141-142.