

# 水平管油水两相流持率仪响应特征试验研究

刘军锋, 郭海敏 (油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北 荆州 434023)

王界益, 于天芳, 柴新辉 (中国石油西部钻探工程有限公司测井公司, 新疆 克拉玛依 834000)

**[摘要]** 准确获取井筒中各相持率是生产测井产出剖面精确解释的关键步骤之一, 水平管中因普遍存在层流导致常规居中测量的持率仪器响应产生纵向片面性。电容阵列仪是一种采用多探头覆盖全井眼信息采集的新型流体识别技术, 研究基于电容阵列仪、放射性流体密度计和电容持水率计的室内模拟试验, 分析了水平管油水两相流动型态和电容阵列仪的持率确定方法, 详细研究了3种不同持率测量仪器随流体流动型态变化的响应规律, 提出了水平管油水两相流持率参数优化选取的方案。

**[关键词]** 生产测井; 电容阵列仪; 水平管; 油水两相; 持水率

**[中图分类号]** P631.84

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-9752(2010)01-0088-04

水平管油水两相流中普遍存在层流和波状层流, 随着含水率的变化, 常规居中测量的仪器将只浸没于油相或水相中, 导致不能真实反映井中流体的分布情况<sup>[1~3]</sup>。该研究基于电容阵列仪、放射性流体密度计和电容持水率计在水平管油水两相流中的模拟试验, 对比分析了3种测量仪器的持水率响应结果和影响因素, 进而为水平井生产测井持率测量仪器和产液剖面资料解释参数的准确选取奠定基础。

## 1 试验概况

试验在常温常压下进行, 模拟透明井筒有效长度16m、内径124mm, 介质为自来水和柴油。仪器串结构为: 扶正器1、电容阵列仪、放射性流体密度计、扶正器2、电容持水率计和笼式全井眼流量计等。设置油水总流量分别为10、30、50、100、300和500m<sup>3</sup>/d等6组, 含水率分别为0%、20%、40%、60%、80%和100%等6组, 上提居中测量电缆速度分别为4、8、12、16和20m/min等5组。

## 2 流体流动型态

通过对试验照片、录像和电容阵列仪的二维和三维回放资料进行分析, 结合Tulsa大学Trallero博士水平管油水两相流型划分标准<sup>[4]</sup>, 基于该试验采用大管径、仪器介入式测量的现状, 笔者将水平管油水两相流型划分为6种, 如图1(a)所示。从所制作的流型图(图1(b))可以看出: 在油相和水相流

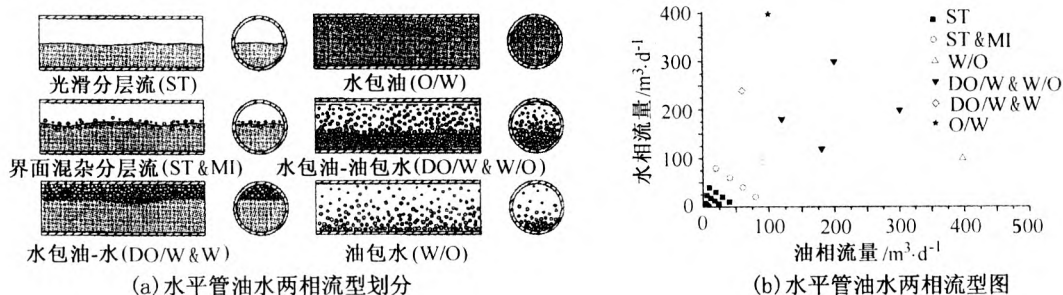


图1 水平管油水两相流型

[收稿日期] 2009-10-17

[基金项目] 中国石油“十一五”后三年测井科技项目(2008A-2703)。

[作者简介] 刘军锋(1979-), 男, 2004年大学毕业, 博士生, 现主要从事生产测井资料处理与解释方面的研究工作。

量分别低于  $100\text{m}^3/\text{d}$  时，以光滑分层流 (ST) 和界面混杂分层流 (ST&MI) 的分离流为主；在油相和水相流量分别高于  $100\text{m}^3/\text{d}$  时，随各相流量和含水率的变化，将变为以油包水 (W/O)、水包油-油包水 (DO/W&W/O)、水包油-水 (DO/W&W) 和水包油 (O/W) 的分散流为主。

### 3 数据处理

#### 3.1 放射性流体密度计

其利用井筒内油、气、水对伽马射线的吸收特性差异来测定体积密度，则测得持水率为：

$$Y_w = \frac{\rho_m - \rho_o}{\rho_w - \rho_o} \tag{1}$$

式中,  $Y_w$  为持水率, 无量纲;  $\rho_m$  为测量的混合流体密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\rho_w$  和  $\rho_o$  分别为全水和全油密度刻度值,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

#### 3.2 电容持水率计

其主要利用水比烃类 (油和气) 介电常数大来识别水与烃类，则测得持水率为：

$$Y_w = \frac{CPS - CPS_o}{CPS_w - CPS_o} \tag{2}$$

式中,  $CPS$  为测量的混合流体计数率, cps;  $CPS_w$  和  $CPS_o$  分别为全水和全油计数率刻度值, cps。

#### 3.3 电容阵列仪

它由 12 个微电容探头形成一个监测环，分布于井筒同一横截面上<sup>[5,6]</sup>。每个探头能探测其附近 3mm 的流体信息，在水、油和气体中分别产生 150、400 和 500kHz 的信号，然后转化为局部流体持率<sup>[7,8]</sup>。

电容阵列仪原始测量数据记录为每个探头随深度连续测量的响应信息。在该试验中，如图 2 所示，首先，利用层流持率模型：

$$Y_w = \frac{\sum_{i=1}^{12} A_i Y(z_i)}{\sum_{i=1}^{12} A_i}$$

式中,  $Y(z_i)$  和  $A_i$  分别为第  $i$  个电容探头的持水率和投影面积所占的权重)。实现原始测量数据的归一化处理；其次，通过 RGB 算法 (表 1) 和加权插值方法转换为相应的颜色和持率，即探头归一化值为 0.2 时，流体为全油 ( $Y_w = 0, Y_o = 1$ )，探头归一化值为 1 或 2 时，流体为全水 ( $Y_w = 1, Y_o = 0$ )；

再次，加载相应数据，在 CAT-

view 中回放井筒横截面上的二维或三维流体分布图。最后，通过颜色的变化 (油为绿色，水为蓝色)，可直观判断出流体流型和分布情况 (如图 3 所示)。

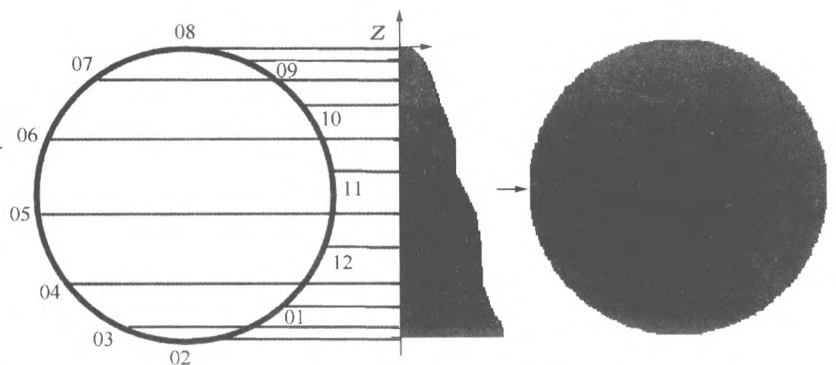
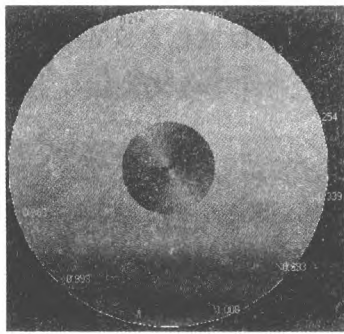


图 2 电容阵列仪层流持率计算模型

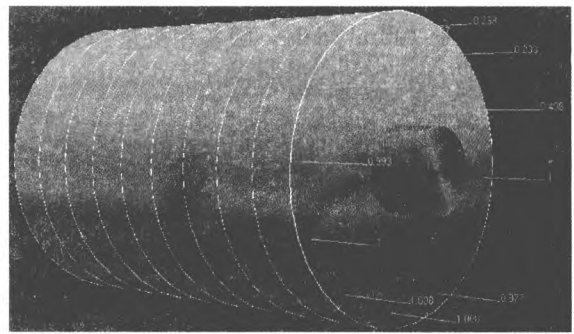
表 1 RGB 算法

归一化值	红色	绿色	蓝色	$Y_w$	$Y_o$	$Y_g$	流体
-1	255	255	255	0	0	1	气
0	255	255	32	0	0	1	
0.1	255	128	0	0	0.5	0.5	油气
0.2	0	255	0	0	1	0	油
0.275	0	230	26	0.1	0.9	0	
0.4	0	204	64	0.2	0.8	0	
0.58	0	179	100	0.3	0.7	0	油水
0.725	0	166	125	0.35	0.65	0	
0.95	0	153	150	0.4	0.6	0	
1	0	0	255	1	0	0	水
2	0	0	255	1	0	0	

注:  $Y_w$ 、 $Y_o$ 、 $Y_g$  分别为持水率、持油率和持气率。



(a)流量10m³/d及含水率10%时油水呈光滑分层流



(b)流量10m³/d及含水率50%时油水呈界面混杂分层流

图3 水平管油水两相流动流型和分布情况

### 4 持率响应分析

试验所用的3种持率测量仪器中,放射性流体密度计和电容持水率计的响应均为反映随深度变化的一维信息,可将其与上述多探头电容阵列仪解释模块中所得到的油水持率值进行比较分析,结果如图4、5、6所示,图中 $C_w$ 为含水率。

#### 4.1 $C_w=0\%$ (全油)、 $C_w=100\%$ (全油)

在任意流量情况下,放射性流体密度计和电容持水率计几乎均能正确反映流体信息,而电容阵列仪测得的持水率值在全油时稍偏大,全水时稍偏小。

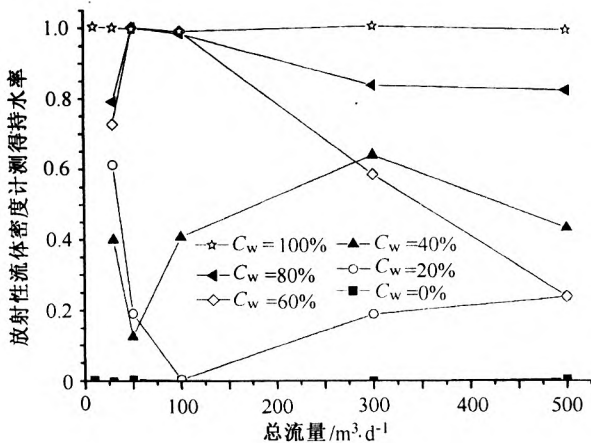


图4 放射性流体密度计测得的持率

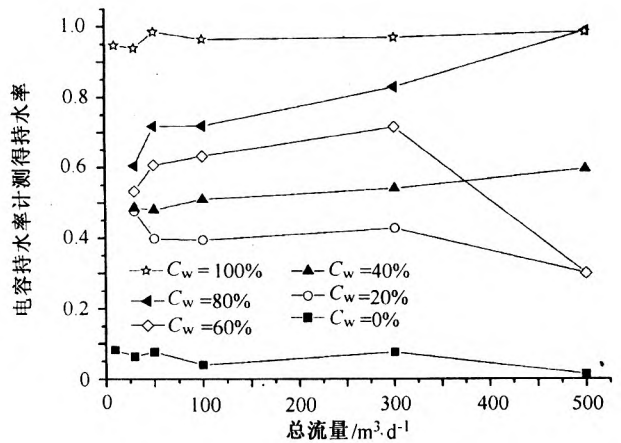


图5 电容阵列仪测得的持率

#### 4.2 $C_w=20\%$ 、 $C_w=40\%$

1) 总流量小于100m³/d时,放射性流体密度计和电容持水率计测得的持水率值随流量的增加先逐渐减小随后增大,而电容阵列仪测得的持水率值稍偏大。初步分析认为:主要原因为油、水分层流动,以及扶正器1和电容阵列仪的运动改变了流体的分布状况所致,即流型由ST变为了ST&MI。

2) 总流量大于300m³/d时,放射性流体密度计在含水20%时几乎能正确反映流体信息,而电容阵列仪和电容持水率计测得的持水率均偏大,表明电容类持率测量仪器对水相反应敏感;在含水40%时,3种仪器测得的持水率值均偏大,主要原因是随着流量的增加,油水界面的混合程度逐渐加剧。

3) 总流量介于100和300m³/d之间时,放射性流体密度计测得的持水率值在含水20%时偏小,在含水40%时偏大,主要原因仍是油、水分层流动;电容阵列仪和电容持水率计测得的持水率值在含水

20%和 40%时均偏大。

#### 4.3 $C_w=60\%$ 、 $C_w=80\%$

1) 总流量小于  $300\text{m}^3/\text{d}$  时, 放射性流体密度计和电容持水率计测得的持水率值在含水 60%和 80%时均偏大, 但随流量增加有所变化, 在含水 50%时达到最大, 主要原因是油水流动界面变化和仪器运动等的影响; 电容阵列仪测得的持水率值在含水 60%时稍偏大, 含水 80%时稍偏小。

2) 总流量大于  $300\text{m}^3/\text{d}$  时, 含水 60%时 3 种仪器测得的持水率值均偏小, 主要原因是随流量增加油水界面混合加剧; 含水 80%时放射性流体密度计几乎能正确反映流体信息, 而电容阵列仪和电容持水率计测得持水率值均偏大。

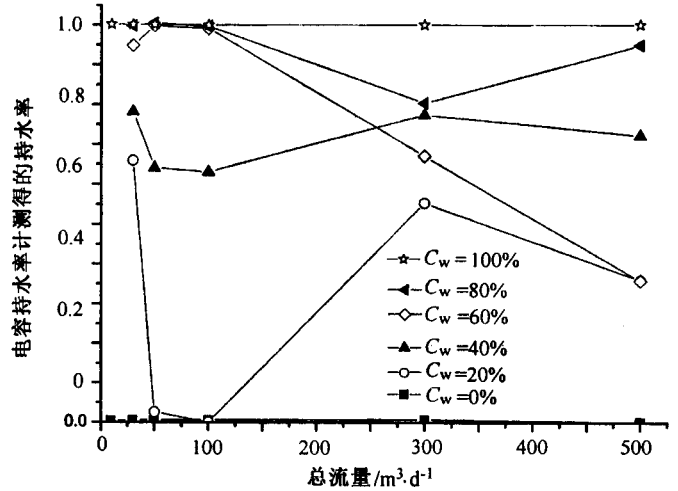


图 6 电容持水率计测得的持率

## 5 结 论

- 1) 水平管油水两相流型受流量和含水变化影响较大, 随流量的增加, 流型由分离流向分散流转变。
- 2) 水平管中油水两相呈分离流时, 电容阵列仪 CATview 技术能直观反映井筒中流体分布状况。
- 3) 分离流对放射性流体密度计和电容持水率计的响应具有较大的影响, 尤其是在高流量和含水 50%附近, 此时油水界面的混合程度进一步加剧。
- 4) 整体来说, 与放射性流体密度计、电容持水率计相比, 电容阵列仪测得的持水率值变化较为平稳。中低含水油水呈分离流时, 这种采用多探头覆盖整个井筒横截面进行持率测量的方式, 能较大程度地避免常规居中测量仪器产生的纵向偏面性。

### [参考文献]

- [1] 郭海敏. 生产测井导论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 532~533.
- [2] 郭海峰, 郭海敏, 戴家才, 等. 水平管生产测井解释进展 [A]. 中国石油学会第十四届测井年会论文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2005. 193~198.
- [3] 刘军锋, 郭海敏, 戴家才. 水平井油水两相产液剖面解释方法探讨 [J]. 石油地质与工程, 2006, 20 (5): 43~45.
- [4] Trallero J L, Sarica C, Brill J P. A study of oil/water flow patterns in horizontal pipes [J]. SPE 36609, 1997.
- [5] 倪国军, 郑雪祥. 在水平管中应用的一种新型多相持率测井仪——电容阵列多相持率测井仪 (CAT) [J]. 油气井测试, 2004, 13 (4): 86~89.
- [6] Rounce J, Lenn C, Catala G. Pinpointing fluid entries in producing wells [J]. SPE 53249, 1999.
- [7] Ryan N D, Hayes D. A new multiphase holdup tool for horizontal wells [J]. Society of Petrophysicists & Well Log Analysts, 2001.
- [8] Frisch G, Perkins T, Quirein J. Integrating wellbore flow images with a conventional production log interpretation method [J]. SPE 77782, 2002.

[编辑] 弘文