

侵入影响正反演研究及在辽河滩海地区的应用

魏 斌 张友生 杨慧珠

(清华大学工程力学系,北京,100084)

摘 要 低阻油层成为渤海湾盆地一个特殊的勘探领域,尤其在滩海地区低阻油层可高达 50%~65%。盐水泥浆侵入是形成低阻油层的主要因素。本文针对双侧向测井连续曲线,进行侵入影响的正反演理论分析和数值计算,并应用于实际资料处理。该方法在辽河滩海地区取得了良好的应用效果。

关键词 低阻油层 侵入 正反演 辽河油田

Direct and Inverse Modeling of Invasion and Its Application to the Bleach Zone of Liaohe Oilfield

WEI Bin ZHANG Yousheng YANG Huizhu

(Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract The conductive reservoir is becoming a special exploration field of Bohai Gulf basin, especially in the bleach zone. The mud invasion is the dominant factor for generating the reservoir with low resistivity. This paper presents the direct and inverse modeling of invasion to dual laterolog successive curve, and the method is applied to actual log data processing. Obvious geological effect has been obtained.

Key words low resistivity reservoir invasion direct and inverse modeling Liaohe Oilfield

当前,油气勘探的对象陆续由构造油藏转向岩性与地层等隐蔽油藏。实践表明,渤海湾盆地存在为数众多的低阻油层,它已成为一个特殊的勘探领域。根据4个油田、7个目标区块的统计,低阻油层占油层总数的30%~60%,尤其在滩海地区低阻油层可高达50%~65%(欧阳健等,2000)。以往由于钻井液与完井液的侵入影响,对低阻油层机理的复杂性认识不清,以及未及时测井或解释疏忽,甚至试油排液不彻底,从而导致录井显示差或无显示的低阻油层被遗漏。

当泥浆矿化度远低于或远高于地层水时,在泥浆浸泡不同时刻,油气层与水层的径向侵入剖面电性特征有明显差别,与此同时,井内电测井响应都有相应的变化特征。当海水泥浆钻遇低矿化度地层水的油气层时,泥浆侵入对电测井影响很大。因此,无论识别油气层或水层,或是定量分析原状地层电阻率进而求饱和度,都需考虑泥浆滤液侵入油气层对

电测井响应的影响。

本文针对双侧向测井正反演进行侵入影响的理论分析和数值计算,应用于实际资料处理。在全非均匀介质模型下,从麦克斯韦方程组出发,通过偏微分方程的边值问题建立起泥浆侵入与测井响应之间的数学关系。在尽可能接近地层真实情况的模型下,依据严格正演,对连续曲线进行反演处理,对低阻油层流体类型识别具有实际意义。

1 研究内容和方法

钻井液侵入与储层物性、钻井液密度、油品性质等诸多因素有关,但储层物性的变化与钻井液侵入的关系最大,孔渗条件越好,钻井液柱压力越大,则侵入越深。高孔、高渗储层电阻减小系数与侵入时间、侵入半径的关系如图1所示(Chen等,2000)。从图中可以看出,揭开储层0~3d左右,电阻率的降低速度最快,电阻率减小系数为1~0.6左右,即

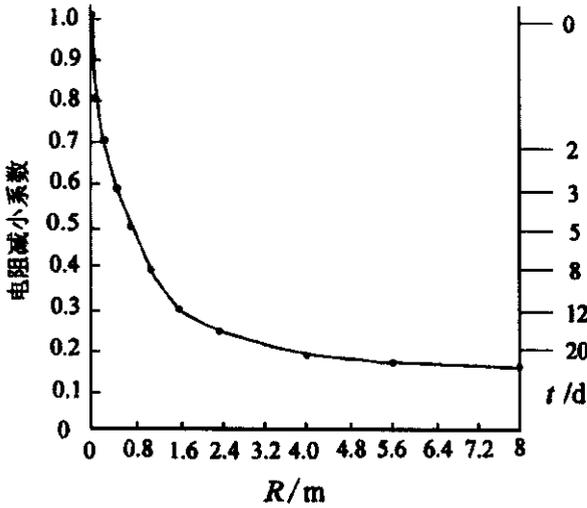


图1 侵入时间、侵入半径与电阻减小系数的关系

Fig.1 Relationship among inversion time, radius and resistivity factor

揭开储层第3天测井时,其电阻率已是原始地层电阻率的0.6倍左右,此时的侵入半径为0.7 m。揭开储层3~8 d测井时,电阻率减小系数为0.6~0.4,侵入半径为0.7~1.2 m。超过8 d测井时,测得的最低电阻率是原始电阻率的0.2倍,电阻减小率降低的数值趋于稳定在0.2左右,侵入半径可从1.2 m至几米。因此,要正确识别储层流体类型,必需考虑泥浆滤液侵入油气层对电测井响应的影响。

在侵入影响正演研究中,模型采用轴对称二维非均质介质结构,数值计算的方法是有限差分法(Towel等,1988;张友生等,2002)。所谓轴对称二维全非均匀介质模型,即在轴对称坐标系下, z 方向和 r 方向均非均匀结构。此时双侧向测井所计算的场可以简化为如图2所示(图中 D 为侵入带直径; d 为井径)。

全场所满足的方程为:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r}{\rho} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + r \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0$$

式中, u 为电位; r 、 z 为柱坐标的2个坐标变量; ρ 分别可取泥浆电阻率 R_m 、侵入带电阻率 R_{in} 、地层电阻率 R_i 、上围岩电阻率 R_s 和下围岩电阻率 R_x 。

在主电极 A_0 、监督电极 M 、 N 和屏蔽电极 A_1 、 A_1' 以及各层的交界面上满足相应的边界条件。利用有限差分法求解 Laplace 方程的边值问题,即是求解双侧向电场的问题。分别考察了侵入半径、层厚、侵入带电阻率和围岩电阻率对仪器响应的影响(陈学义等,2000)。

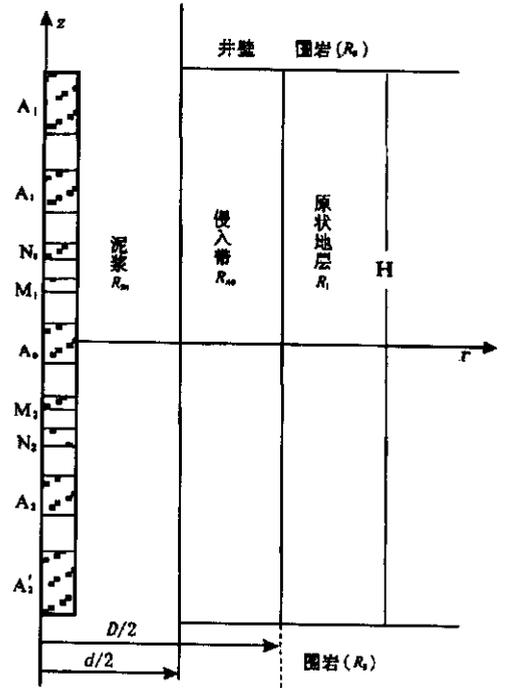


图2 简化的计算场

Fig.2 Simplified calculation field

利用正演结果,采用改进广义逆反演方法进行反演计算和综合解释。

2 应用实例

选择辽河油田滩海地区,利用正反演技术,进行泥浆侵入校正。

2.1 海南22井

海南22井于1998年5月25日二次开钻,6月16日完井。盐水钻井液密度 1.18 g/cm^3 ,粘度 50 s ,钻井液电阻率 $0.29 \Omega \cdot \text{m}$ (18°C),分别于揭开油层3~4 d(6月12日)和7~8 d(6月16日)进行两次测井。海南22井的含油层井段长,按自由水平面计算含油高度 178 m ,按油水同层计算含油高度为 91 m ,油水过渡带为 87 m 。时间推移测井分析(图3),侵入3~4 d,能基本反映含油饱和度的变化,含油高度越高,深侧向电阻率 R_{LLD1} 越高。由 R_{LLD1} 可以看出含油性的变化。侵入7~8 d深侧向电阻率 R_{LLD2} 基本不反映含油饱和度的变化, R_{LLD2} 多为7~8 $\Omega \cdot \text{m}$ 。 R_{LLD1} 与 R_{LLD2} 对比,可清楚地反映出油水层的差值,即 S_o 越高, $R_{LLD1}-R_{LLD2}$ 差值越大,而水层差值很小。浅侧向电阻率 R_{LLS} 探测范围较小,受盐水泥浆侵入影响更大,侵入3~4 d测井的 R_{LLS1} 与侵入7~8 d测井的 R_{LLS2} 差值很小,且不反映含油性的变化(Chen等,2000)。

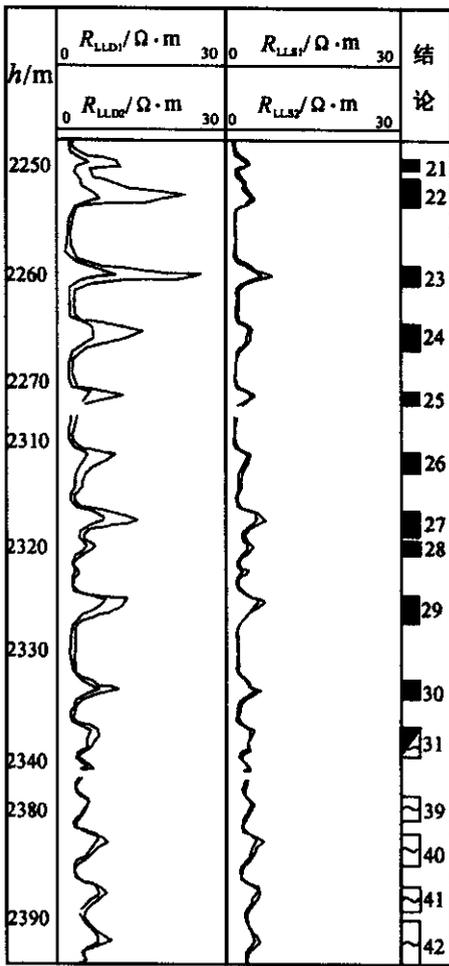


图3 海南22井测井曲线
Fig.3 Log curve of Well Hainan22

(1)利用该井被泥浆浸泡3~4 d后的测井曲线,用正反演方法计算原状地层电阻率、侵入带半径等参数。例如第24层反演结果如图4所示。图中,实线为实测的视电阻率曲线;点划线为反演电阻率曲线;虚线为原状地层电阻率曲线。反演电阻率曲线,即是反演得到的与实测电阻率最为接近的地层模型所对应的电阻率曲线。反演电阻率与实测电阻率越接近,说明反演中所采用的地层模型就越接近实际地下地层特征,因而也就越能够得到真实可靠的原状地层电阻率。

从图中可以看出,反演电阻率与实测视电阻率吻合良好,表明反演得到的地层模型与实际地下地质情况比较接近,建立在该模型之上的消除侵入影响的地层电阻率也比较可靠,逼近地层真电阻率。反演得到的原状地层电阻率为 $57.24 \Omega \cdot m$,侵入带半径为 $0.45 m$,侵入带电阻率 $1.87 \Omega \cdot m$ 。

(2)海南22井被泥浆浸泡7~8 d后,在井液侵入地层程度较深(下方数据)的情况下,测井曲线基本不反映含

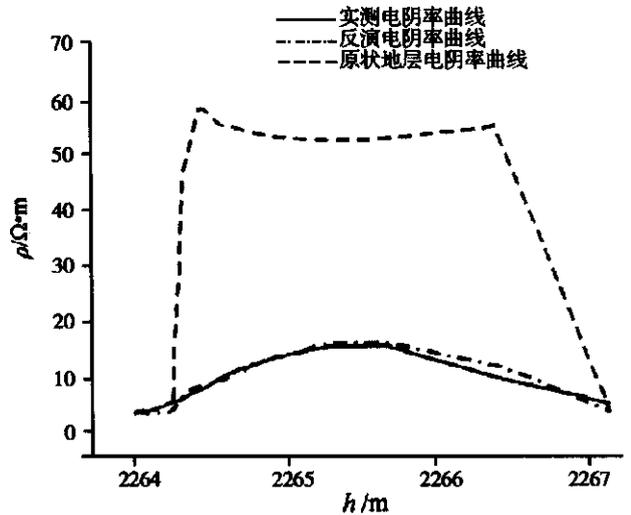


图4 海南22井第24层电阻率反演结果图
Fig.4 Resistivity inverse modeling map of formation 24 of Well Hainan22

油饱和度的变化。经过反演,原状地层的有效信息就变得更加明显。图5为24层的反演计算结果。从图中可以看出,反演电阻率与实测视电阻率吻合良好,表明反演得到的地层模型与实际地下地质情况比较接近,建立在该模型之上的消除侵入影响的地层电阻率也比较可靠,逼近地层真电阻率。反演得到的原状地层电阻率为 $50.0 \Omega \cdot m$,侵入带半径为 $0.75 m$,侵入带电阻率 $1.97 \Omega \cdot m$ 。

两次反演得到的原状地层电阻率比较接近,计算结果令人信服。

对21~25层9.3 m/5层试油验证,用10 mm油嘴求产,日产油50 t。

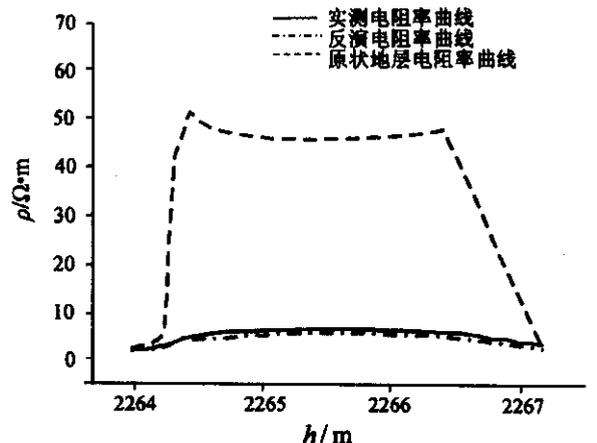


图5 海南22井第24层电阻率反演结果图
Fig.5 Resistivity inverse modeling map of formation 24 of Well Hainan22

(3) 流体类型识别就是要区分开油层和水层。以 40 层为例, 两次测井, 深侧向有一些差异, 而浅侧向基本一样。图 6 为两次测井曲线反演结果的对比图。第一次测井反演的原状地层电阻率为 $12.15 \Omega \cdot m$, 侵入带半径为 $0.3 m$, 侵入带电阻率 $2.79 \Omega \cdot m$ 。第二次反演的原状地层电阻率为 $11.88 \Omega \cdot m$, 侵入带半径为 $0.825 m$, 侵入带电阻率 $5.56 \Omega \cdot m$ 。两次反演电阻率相对误差仅为 2.2% 。同油层电阻率相比, 反演后的油水层电阻率差异明显增大。

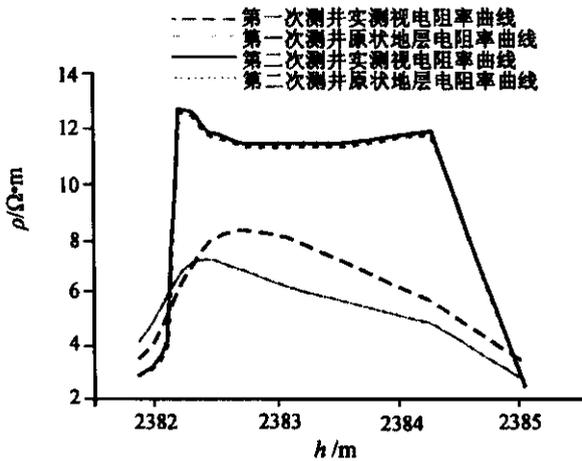


图 6 海南 22 井第 40 层二次测井电阻率反演结果对比图

Fig.6 Resistivity inverse modeling map of formation 40 of Well Hainan22

2.2 架岭 19 井

架岭 19 井是西部凹陷笔架岭构造带的一口评价井, 该井于 1998 年 4 月 16 日完井。盐水钻井液相对密度 $1.2 g/cm^3$, 粘度 $33 s$, 钻井液电阻率 $0.6 \Omega \cdot m (14 \text{ } ^\circ C)$ 。该井由于钻井取心及处理井下事故, 导致地层受泥浆浸泡时间较长, 为 $10 d$ 左右。

第 30 层的反演结果如图 7 所示。从图中可以看出, 反演电阻率与实测视电阻率吻合良好, 表明反演得到的地层模型与实际地下地质情况比较接近, 建立在该模型之上的消除侵入影响的地层电阻率也比较可靠, 逼近地层真电阻率。反演得到的原状地层电阻率为 $76.85 \Omega \cdot m$, 侵入带半径为 $2.45 m$, 侵入带电阻率 $7.21 \Omega \cdot m$ 。

1998 年 12 月 16 ~ 25 日, 对 30 层试油, $3 mm$

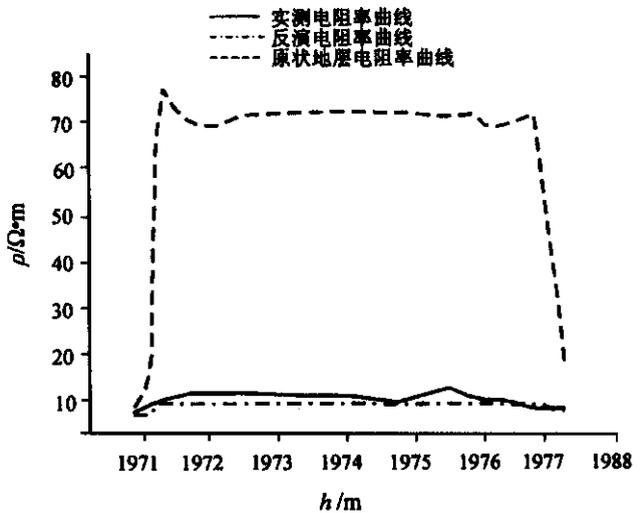


图 7 架岭 19 井第 30 层电阻率反演结果图

Fig.7 Resistivity inverse modeling map of formation 30 of Well Jialing19

油嘴日产气 $7\ 600 m^3$, $6 mm$ 油嘴产气 $15\ 120 m^3$, 累计产气 $27\ 718 m^3$ 。

3 结论

(1) 研究中建立了考虑侵入带的轴对称侧向电阻率测井模型, 并应用有限差分法进行正演计算。考查侵入带半径、侵入带电阻率、围岩电阻率、层厚等地层因素对目的层视电阻率的影响, 为正确判断油气层, 尤其是低阻油层提供了一种有效的认识手段。

(2) 对单层连续测井曲线进行反演研究, 获得原状地层电阻率、侵入带电阻率和侵入半径等参数。反演电阻率曲线与实测电阻率曲线吻合良好, 在此基础上获得的原状地层电阻率真实可靠。

(3) 对辽河滩海地区 20 口井正反演研究的计算结果与试油结论比较一致, 取得了良好的效果。

参考文献

陈学义, 魏斌, 陈艳, 刘荣. 2000. 辽河油田滩海地区低电阻率油层的成因及其精细解释. 测井技术, 24(1): 55~59.
 欧阳健等主编. 2000. 渤海湾地区低电阻油气层测井技术与解释方法. 北京: 石油工业出版社.
 张友生, 魏斌, 杨慧珠. 2000. 双侧向测井仪器响应的数值分析. 地球物理学进展, 17(4): 671~676.
 Towel G H, Whitman W W, Kim J H. 1988. Electric log modeling with finite difference method. The Log Analyst, 29(3): 184~195.