

斜度井的侧向测井围岩校正

徐建华 高义兵

王良琼 陈宝树

(江汉石油学院地球物理勘探系, 荆沙 434102)

(辽河石油勘探局测井公司, 盘锦 124011)

A

摘要 在不考虑井眼和侵入影响的条件下, 仪器轴与深度轴的夹角可从0变到 $\pi/2$ 。通过深度坐标与仪器坐标的转换关系, 利用镜像法可求得仪器主电极位于地层中部时的侧向测井视电阻率响应。以此为基础可研制出斜井侧向测井的围岩校正图版。以双侧向测井(最复杂的一种侧向测井)为例进行数值计算, 得出了深、浅侧向测井的校正图版。

主题词 侧向测井; 水平井测井; 屏蔽电极; 测井曲线校正; 围岩

中图法分类号 P631.811

第一作者简介 徐建华, 男, 1962年生, 1983年大学毕业, 博士, 副教授

水平井的井眼轨迹是由垂直井经较大曲率半径的斜井逐步向水平井过渡形成的。当井轴与层理面的法向存在一个 $0 \sim \pi/2$ 的夹角(倾斜角度)时, 此地质模型即为斜度井(倾斜角度可通过倾角测井获得)。由于地质模型的改变, 传统的垂直井测井的许多围岩校正方法均无法使用, 研究水平井、斜度井中测井响应的围岩校正是生产实际的迫切需要^[1]。

对于侧向测井所使用的似稳场, 将电极系分解为无穷多个点电极^[2,3], 利用水平层状媒质中点电极产生电位的镜像求解方法可求得记录电位, 进而获得电阻率响应^[4]。本文研究在已知倾斜角度对围岩影响的前提下, 通过计算视电阻率响应以实现围岩校正的目的。

1 物理模型

如图1所示, 将侧向类仪器的主电极置于地层中部, 侧向仪器电极系本身是对称于主电极排列的。若上下围岩对称($R_1 = R_3 = R_s$), 主电极两侧相应屏蔽电极上的屏蔽电流相等; 若上下围岩不对称($R_1 \neq R_3$), 两端屏蔽电流不对称, 此时有多少个屏蔽电极就需求多少个屏流比。无论对称与否, 根据需求屏流比的个数由测井原理找出若干个电位相等关系式, 建立关于屏流比的线性方程组, 解方程组求出屏流比进而得到记录电位(即得视电阻率响应)^[4]。

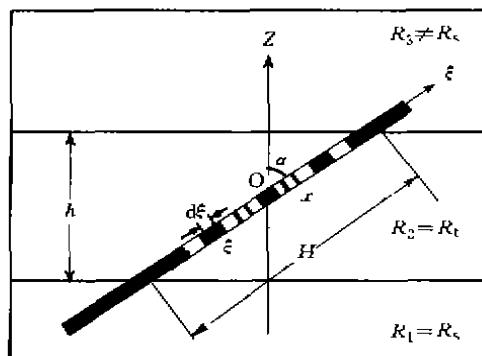


图1 斜度井侧向测井地质模型

根据地层厚度 h 和倾斜角度 α 可折算出地层中井眼的长度 H (视厚度), 根据视厚度与仪器电极系尺寸的相对大小可确定出电极系在地层中的分布情况。

2 电位公式

一旦物理模型确定, 根据相应点电极电位公式, 在仪器坐标系内对各点电极电位进行叠加 (求积分), 则可得到整个电极系在空间任一点产生的总电位。如图 1 所示, 以主电极中点作为深度坐标和仪器坐标的坐标原点 O , 任一小段有源电极 (发射电极和回路电极) $d\xi$ (源点) 的仪器坐标为 $(\xi, 0)$; 以电极中点电极表面 (场点) 电位代表该电极电位, 场点的仪器坐标为 (x, r_0) , x 视电极不同而不同, r_0 为电极半径。场点到源点的距离为

$$r = [(x - \xi)^2 + r_0^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

若源点在第一层, 则各层电位分别为

$$\left. \begin{aligned} dU_{11} &= \frac{j d\xi R_1}{4\pi} \left[\frac{1}{r} + \frac{K_{12}}{\sqrt{4(\xi \cos \alpha + h/2)(\xi \cos \alpha + h/2 + r \cos \beta) + r^2}} + (1 - K_{12}^2) \right. \\ &\quad \left. + K_{23} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(K_{21} K_{23})^n}{\sqrt{4(nh + h/2 - \xi \cos \alpha)(nh + h/2 - \xi \cos \alpha - r \cos \beta) + r^2}} \right] \\ dU_{12} &= \frac{j d\xi R_2}{4\pi} (1 - K_{12}) \sum_{n=0}^{\infty} (K_{21} K_{23})^n \left[\frac{1}{\sqrt{4nh(nh + r \cos \beta) + r^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{K_{23}}{\sqrt{4(nh + h/2 - \xi \cos \alpha)(nh + h/2 - \xi \cos \alpha - r \cos \beta) + r^2}} \right] \\ dU_{13} &= \frac{j d\xi R_3}{4\pi} (1 - K_{12})(1 - K_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(K_{21} K_{23})^n}{\sqrt{4nh(nh + r \cos \beta) + r^2}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

若源点位于第二层, 则各层电位分别为

$$\left. \begin{aligned} dU_{21} &= \frac{j d\xi R_1}{4\pi} (1 + K_{12}) \sum_{n=0}^{\infty} (K_{21} K_{23})^n \left[\frac{1}{\sqrt{4nh(nh - r \cos \beta) + r^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{K_{23}}{\sqrt{4(nh + h/2 - \xi \cos \alpha)(nh + h/2 - \xi \cos \alpha - r \cos \beta) + r^2}} \right] \\ dU_{22} &= \frac{j d\xi R_2}{4\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (K_{21} K_{23})^n \left[\frac{1}{\sqrt{4nh(nh + r \cos \beta) + r^2}} \right. \\ &\quad + \frac{K_{23}}{\sqrt{4(nh + h/2 - \xi \cos \alpha)(nh + h/2 - \xi \cos \alpha - r \cos \beta) + r^2}} \\ &\quad + \frac{K_{21}}{\sqrt{4(nh + h/2 + \xi \cos \alpha)(nh + 3h/2 + \xi \cos \alpha + r \cos \beta) + r^2}} \\ &\quad \left. + \frac{K_{21} K_{23}}{\sqrt{4(n+1)h(nh + h - r \cos \beta) + r^2}} \right] \\ dU_{23} &= \frac{j d\xi R_3}{4\pi} (1 - K_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} (K_{21} K_{23})^n \left[\frac{1}{\sqrt{4nh(nh + r \cos \beta) + r^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{K_{21}}{\sqrt{4(nh + h/2 + \xi \cos \alpha)(nh + h/2 + \xi \cos \alpha + r \cos \beta) + r^2}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

源点位于第三层时, 各层中的电位分别为

$$\begin{aligned} dU_{31} &= \frac{j d\xi R_1}{4\pi} (1 + K_{12})(1 + K_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(K_{21}K_{33})^n}{\sqrt{4nh(nh - r\cos\beta) + r^2}} \\ dU_{32} &= \frac{j d\xi R_2}{4\pi} (1 + K_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} (K_{21}K_{23})^n \left[\frac{1}{\sqrt{4nh(nh - r\cos\beta) + r^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{K_{21}}{\sqrt{4(nh + \frac{h}{2} + \xi\cos\alpha)(nh + \frac{h}{2} + \xi\cos\alpha + r\cos\beta) + r^2}} \right] \\ dU_{33} &= \frac{j d\xi R_3}{4\pi} \left[\frac{1}{r} + \frac{K_{23}}{\sqrt{4(\xi\cos\alpha - \frac{h}{2})(\xi\cos\alpha - \frac{h}{2} + r\cos\beta) + r^2}} + (1 - K_{32}^2) \right. \\ &\quad \left. \cdot K_{21} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{4nh(nh + \frac{h}{2} + \xi\cos\alpha)(nh + \frac{h}{2} + \xi\cos\alpha + r\cos\beta) + r^2}} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

式(2)~(4)中, $\beta = \begin{cases} \alpha & (x > \xi) \\ \pi - \alpha & (x < \xi) \end{cases}$; $K_{ik} = \frac{R_k - R_i}{R_k + R_i}$ 为电流反射系数。

3 数值模拟

生产中最感兴趣的响应是主电极位于地层中部时的视电阻率响应。在此情况下, 若上下围岩相同, 整个模型对称于主电极, 各屏蔽电极对(或浅侧向回流电极对)上的电流相对于主电极对称分布, 同一电极可能跨越地层界面, 因此同一源电极的电位公式要分段处理。

以式(1~4)为基础, 根据电极在地层中的分布组合, 用相应的点电极电位公式积分, 可得出各电极电位, 进而根据测井原理的电位恒等式求出屏流比^[2], 最后得出监督电极电位(即视电阻率)。各种厚度和倾斜角度情况均可计算, 这里仅给出倾斜角度 α 为 70° 时, 深、

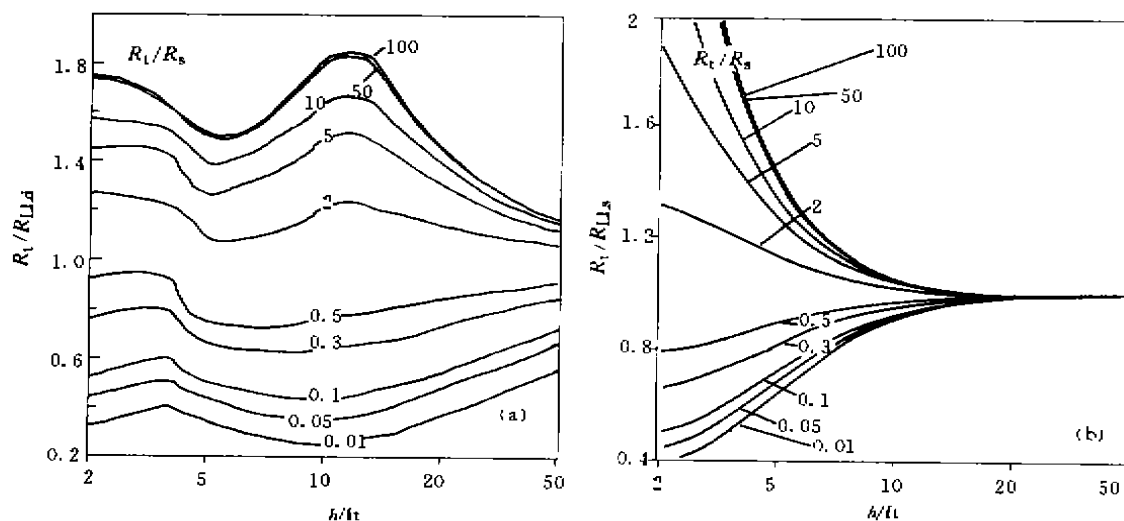


图2 倾斜角度 $\alpha = 70^\circ$ 时, 深侧向(a)和浅侧向(b)围岩的校正图版

浅侧向的围岩校正图版 (图 2), 仪器为 3700 双侧向电极系。

根据倾斜角度变化可计算并绘制出任意幅校正图版, 使用中根据倾斜角度选择图版, 也可将图版拟合代数式, 以便计算自动校正处理使用。

4 结 语

计算时将倾斜角度取为 0° (垂直井情况) 和 $\pi/2$ (水平井情况), 结果与相应垂直井和水平井围岩校正图版吻合; 取 $R_i = R_s$ (均匀地层) 或层厚 h 趋于无穷, 深、浅侧向的校正系数 R_i/R_{LLd} 和 R_i/R_{LLs} 均为 1, 这里 R_{LLd}, R_{LLs} 分别为深、浅侧向实测的电阻率值。该结果证实了数值模拟的正确性。

参 考 文 献

- 1 Clavier C. The challenge of logging horizontal wells. *The Log Analyst*, 1991, 32 (3): 63~84
- 2 徐建华, 朱德怀, 李鹏翔等. 水平井中双侧向测井围岩校正. 江汉石油学院学报, 1994, 16 (2): 54~58
- 3 徐建华, 程丽华, 朱德怀等. 水平井中双侧向测井的偏心井眼校正. 石油地球物理勘探, 1994, 29 (4): 520~525
- 4 张庚骥. 电法测井 (上). 北京: 石油工业出版社, 1984. 28~37

[编辑 适 然]

Shoulder Bed Correction for Laterolog in Inclined Wells

Xu Jianhua Gao Yibing

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha 434102, China)

Wang Liangqiong Chen Baoshu

(Liaohe Petroleum Administration, Panjin 124011, China)

ABSTRACT In the case of that effects of hole and invaded zone are neglected, angles of the axes of tool and depth can be varied from 0 to $\pi/2$. According to the mirror effect method, as well as the relation between the depth and tool-axis coordinates, laterolog responses at the midpoint of a bed can be calculated. Corrections of the shoulder beds for laterolog in inclined wells can be carried out. The most complicated laterolog dual laterolog responses are simulated and their correction charts are obtained from numerical results.

SUBJECT TERMS inclined well; laterolog; surrounding rocks; correction; mirror effect method