

利用水平井电阻率测井资料 判断油水界面和薄夹层

徐建华* 朱德怀

陈宝树 王良琼

(江汉石油学院物探系)

(辽河石油勘探局测井公司)

摘 要

徐建华, 朱德怀, 陈宝树, 王良琼. 利用水平井电阻率测井资料判断油水界面和薄夹层. 石油地球物理勘探, 1996, 31(4): 541~545

在忽略井眼和侵入带影响的前提下, 我们计算了仪器轴平行于层理面时两层和三层地层模型的水平井侧向测井响应, 并绘制出相应的图板。在应用中, 把经环境校正后的微电阻率作为仪器穿过地层的电阻率, 对深浅侧向视电阻率进行井眼和侵入校正, 然后利用两层模型图板可判断水平井是穿过油气层还是水层, 并可确定出等效油水界面离井眼的距离以及邻层电阻率值; 利用三层模型图板可确定夹层厚度和离井眼的距离。

主题词 水平井 双侧向测井 视电阻率 油水界面 薄夹层

ABSTRACT

Xu Jianhua, Zhu Dehuai, Chen Baoshu and Wang Liangqiong. Determining both oil-water contact and thin interbed by analysing the resistivity log data of horizontal borehole. OGP, 1996, 31(4): 541~545

Under the presuppositions that the influence due to borehole and invaded zone is neglected, and that instrument axis parallels to bedding plane, we estimate laterolog responses of horizontal boreholes in two-layer and three-layer formation models, and draw the corresponding templates. In application, we should take environment-corrected microresistivity as the resistivity of probed formations, and make borehole and invasion corrections of lateral apparent resistivities in deep and shallow parts. Then we can use the two-layer model template to determine whether the horizontal borehole goes in hydrocarbon reservoir or in water saturated formation, and to know both the distance from equivalent oil-water contact to borehole head and the resistivities of the neighboring formations. Besides, we can use three-layer model template to calculate interbed thickness and the distance to borehole head.

Subject heading: horizontal borehole, dual laterolog, apparent resistivity, oil-water contact, thin interbed

* Xu Jianhua, Department of Geophysical Exploration, Jiangnan Petroleum College, Jingsha City, Hubei Province, Postcode: 434102

本文于1995年8月25日收到。

引言

为了提高油气采收率,通常采用增大油气层与井眼接触面积的方法,从而使水平井技术得到了越来越广泛的应用。对于一个中等以上厚度的储层,当钻完一口水平井后,生产工作给测井技术提出了两个问题。一是油水界面判断问题,即井眼是否穿过了储层上部的油气层,若井眼穿过油气层,油气采收率高;若井眼穿过储层下部的水层,则达不到预期的目的。二是若井眼旁边存在一非渗透性的泥质夹层或致密夹层,夹层之外的油气无流体通道进入井眼。要想知道该夹层有多厚、离井眼有多远,则需要依靠测井技术来解决。

本文在忽略井眼和侵入带影响的两层和三层水平井模型中,计算了深浅侧向视电阻率响应,并绘制出相应的图板。我们把经环境校正后的微电阻率作为仪器所穿过地层的电阻率,对深浅侧向视电阻率进行井眼和侵入校正后,应用上述相应图板就可求出油水界面或薄夹层的有关参数。

正演计算方法

双侧向测井仪器采用 9 个柱状电极组成的电极系,由于电极系长度远大于电极的直径,可将柱状电极看成线电极^[1]。每一小段电极又可看成一点电极,每一点电极在两层和三层地层模型中任一点产生的电位可由镜象法得到^[2]。双侧向测井仪器的 9 个电极中有 5 个源电极(电流发射电极或回路电极,发射电极发射正电流,浅侧向的回路电极发射极性相反的负电流),任一点的电位由各段电极电位叠加,在数学处理上是将层状媒质中点电极电位公式沿仪器轴在源电极上进行线积分即可求得^[3]。根据测井原理由相应电位恒等式可得到屏流比,进而可得到记录电极上的电位值,求得视电阻率^[4]。

由于主电极和两旁屏蔽电极较短,故可以近似认为电流密度呈均匀分布。而最外端两个电极(深侧向仍作屏蔽电极,浅侧向作回路电极)相当长,故电流密度分布不可能均匀。对于深侧向,由于同极性电流的排斥作用,离主电极越远,电流密度越大;对于浅侧向,电流总是在地层中以最短的路线回到回路电极上去,因此离主电极越近,电流密度值越大。作为一级近似,可用线性分布来逼近电流密度分布。通过对电极系系数的计算,采用电流密度逼近方法,可以计算出电极系的理论系数值。它与实验值的相对误差为:深侧向为 3.1%;浅侧向为 6.8%^[1]。

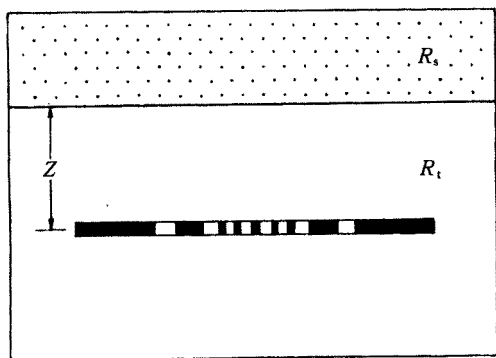


图 1 判断油水界面的物理模型

油水界面确定

实际储层不可能存在一个明显的界面,其总趋势是下半部分水占优势,油气主要聚集在上半部分。水平井穿过上半部是人们所希望的,

所钻井眼是否达到预期目的,这可根据储层的物理参数性质利用测井资料来判断。通常,储层下部的水区电阻率低,上部油气区电阻率高,虽然不存在明显的电阻率突变界面,但总可以用一等效界面来处理。等效界面上部为一高阻层,下面为一低阻层,如图1所示。设仪器(井眼)所穿过区域的电阻率为 R_t ,仪器离等效界面的距离为 Z ,界面另一侧区域内(邻层)的电阻率为 R_s 。由于深浅侧向探测深度不同,受邻层的影响不一样,故可根据深浅侧向视电阻率的差异来判断仪器是位于高阻层还是低阻层。另外由两个探测深度的响应还可求得两个未知数,这里可求出距离 Z 和邻层电阻率 R_s ; R_t 可由探测深度浅的微电阻率资料获得。于是,根据模型计算可得到如图2所示的图板。

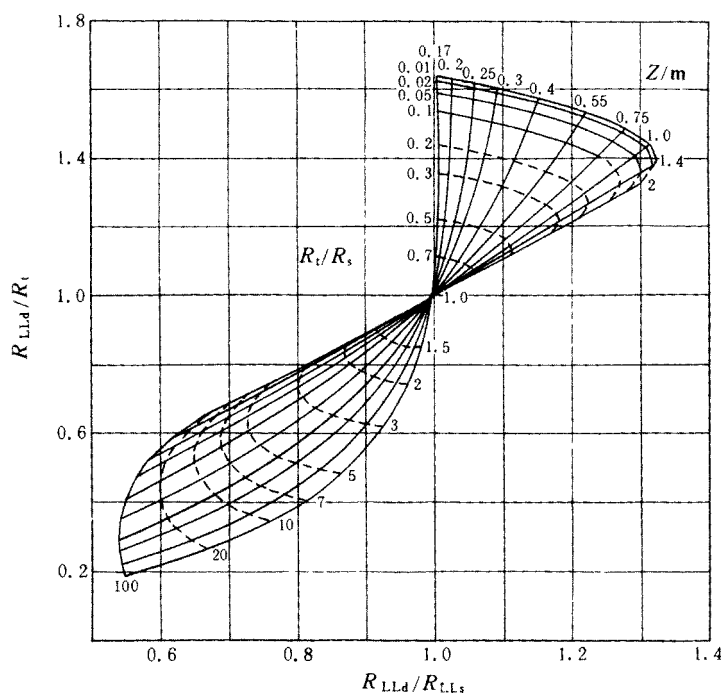


图2 根据双侧向测井资料判断油水界面的图板

以深浅侧向视电阻率比值 R_{LLd}/R_{LLs} 为横坐标,深侧向视电阻率与仪器所在区的电阻率之比值 R_{LLd}/R_t 为纵坐标,距离 Z 和 R_t/R_s 分别为两簇曲线的参数。根据实际测井资料可得纵横坐标值,便可在图板上找到相应的点,再由该点查得曲线参数 Z 和 R_t/R_s 值,于是可求得 Z 和 R_s 。

若仪器位于上部高阻区($R_t/R_s < 1$),由于受旁边低阻区的影响,使得 $R_{LLd} < R_t$,而深侧向受低阻区的影响比浅侧向大,有 $R_{LLd} < R_{LLs}$,此时纵横坐标均小于1,即在图板中左下半部分的扇形区内。相反,若根据响应值得到的坐标点位于图板右上部分的扇形区内,则仪器位于

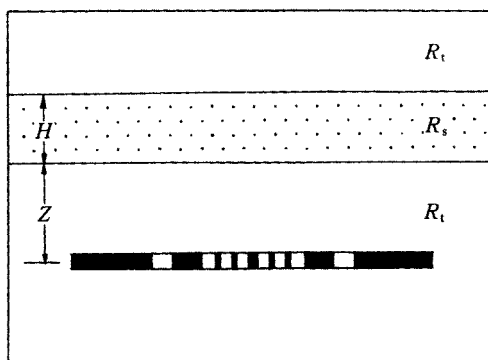


图3 判断薄夹层的物理模型

低阻含水区域。

由图 2 可见, 两个区的电阻率比值相差很大 (R_t/R_s 大于 100 或小于 0.01) 时, R_t/R_s 曲线簇趋于重合; 距离 $Z > 2\text{m}$, Z 曲线簇趋于重合。这是由于仪器和探测范围有限所致。

薄夹层判断

判断薄夹层的物理模型如图 3 所示。设夹层厚度为 H , 界面离仪器的距离为 Z ; 仪器所在层的电阻率为 R_t , 夹层的电阻率为 R_s 。对于泥岩夹层, $R_t > R_s$; 对于致密夹层, $R_t < R_s$ 。 R_t 可由微电阻率资料获取, R_s 可根据地区经验确定。在已知 R_t/R_s 条件下, 利用深浅侧向视电阻率可求出 H 和 Z 。

应用镜象法求解三层模型时, 可将数值模拟结果绘制成图板。若以 R_t/R_s 为图板参数、 R_{LLd}/R_{LLs} 为横坐标、 R_{LLd}/R_t 为纵坐标、 H 和 Z 为曲线参数, 可绘制出任意幅图板。对经环境 (井眼和侵入) 校正后的深浅侧向视电阻率可在相应的图板上找到其坐标位置, 于是可得到 Z 和 H 值。

图 4 为一低阻泥质夹层图板。由图 4 可见, 由于受低阻夹层影响, 其视电阻率值比仪器所在层的电阻率值小, 即 $R_{LLd}/R_t < 1$; 深侧向受低阻层的影响比浅侧向大, 从而有 $R_{LLd}/R_{LLs} < 1$ 。图 5 为一高阻致密夹层图板, 由于受高阻夹层的影响, 其响应趋势正好与低阻夹层相反, 即有 $R_{LLd}/R_t > 1$ 和 $R_{LLd}/R_{LLs} > 1$ 。

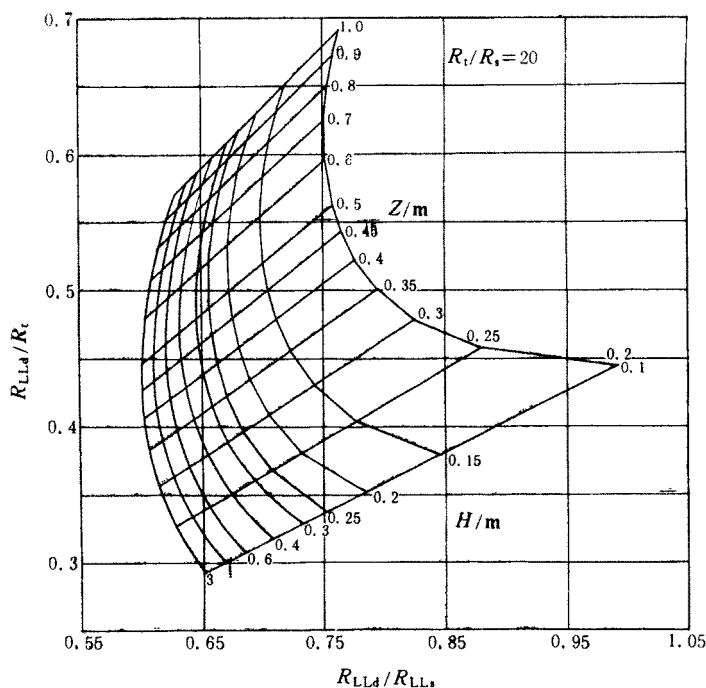


图 4 低阻泥质夹层图板

计算结果表明, R_t/R_s 大于 1000 或小于 0.001 后, 图板上的曲线已收拢成一条带, 厚度 H 的变化已不能分辨; 当 $H > 3\text{m}$ 或 $Z > 3\text{m}$, 曲线簇几乎重合, 已失去分辨能力。当然, 厚

度或距离大于3m,均已不属于判断井眼附近的薄夹层问题了。

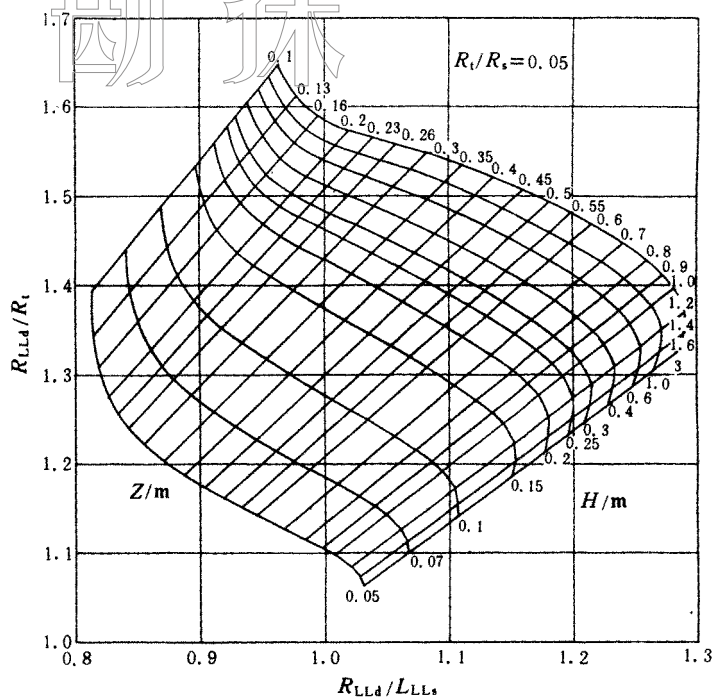


图5 高阻致密夹层图板

结 束 语

上述计算中,只要取 $R_t/R_s=1$ (均匀地层) 或两种模型的间距 Z 足够大 (如 $Z=10000\text{m}$), 计算结果是 $R_{LLd}=R_{LLs}=R_t$ 。这就旁证了本方法和程序的正确性。

使用本文所述成果需要地区经验, 如仪器所穿过区域的电阻率 R_t 、夹层电阻率 R_s 的确定。有幸的是水平井多以开发为目的, 开发区中地质情况比较熟悉, 有关参数也易于确定。

本文图板可拟合成软件, 供计算机处理时使用。

参 考 文 献

- 1 徐建华, 朱德怀等. 水平井中双侧向测井的围岩校正. 江汉石油学院学报, 1994, 16(2): 54~58
- 2 张庚骥. 电法测井(上), 石油工业出版社, 1984, 28~37
- 3 徐建华, 朱德怀等. 水平井中钻杆对双侧向测井的影响. 江汉石油学院学报, 1994, 16(增刊): 7~11
- 4 徐建华, 翟丽华等. 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