

利用双参数预测储层的孔隙率

云美厚*

(大庆石油学院勘探系)

摘 要

云美厚. 利用双参数预测储层的孔隙率. 石油地球物理勘探, 1997, 32(4): 565~569

本文介绍了双参数预测储层孔隙率的新方法,旨在同时利用纵、横波速度或时差和密度双参数来预测储层的孔隙率。据 D. Eberhart-Phillips 的岩石物理实验测定结果^[3]和 JLK 地区 6 口测井资料的计算结果表明:利用纵、横波速度联合求取的孔隙率的平均相对误差为 7.86%;利用时差和密度联合求取的孔隙率的平均相对误差为 13.0%。

另外,该方法在获得预测孔隙率值的同时,还可得到较可靠的泥质含量值,这对于揭示储层的非均质性具有十分重要的意义。

主题词 孔隙率 纵波 横波 速度 时差 密度 储层 预测

ABSTRACT

Yun Meihou. Reservoir porosity prediction using two parameters. *OGP*, 1997, 32(4): 565~569

Reservoir porosity prediction using two parameters is a new method for predicting reservoir porosity by using two parameters, namely, velocities of P-wave and S-wave, or interval time and density. The laboratory result of D. Eberhart-Phillips and the computation result of logging data from six boreholes in JLK area indicate that the average relative error of the porosities derived from velocities of P-wave and S-wave is 7.86%, and that the average relative error of the porosities derived from interval time and density is 13.0%.

Besides the predicted porosity, the method also offers reliable shale content, which is very significant to discovering the heterogeneity of a reservoir.

Subject heading: porosity, P-wave, S-wave, velocity, interval travel time, density, reservoir, prediction

引 言

在储层评价及产能估算方面,储层的孔隙率是描述储层好坏的最基本参数之一。目前,用地震资料求取孔隙率的方法已有十余种,但几乎所有方法都是利用纵波速度资料进行孔隙率

* Yun Meihou, Exploration Department, Daqing Petroleum College, Heilongjiang Province, 151400
本文于 1996 年 9 月 13 日收到,修改稿于同年 12 月 8 日收到。

估计的。众所周知,孔隙率并非是影响速度的唯一因素,所以单独利用纵波速度资料估算孔隙率是很难保证精度的。Han 等(1986)的研究表明:纵、横波速度与孔隙率和泥质含量之间具有良好的线性关系。可见,只要再增加一种横波速度信息,通过求解联立方程组即可同时获得孔隙率和泥质含量的预测值。另外,根据岩石体积物理模型,地震波传播的时间及岩石的密度值与孔隙率和泥质含量之间同样具有较好的线性关系,因此当同时获得时差与密度值时,通过求解联立方程也同样可以估算孔隙率值和泥质含量。由此可见,上述方法在估算孔隙率的同时也考虑到了泥质含量的影响,所以采用这类方法有利于提高砂岩孔隙率的估算精度。文中通过两个具体实例,说明采用这两种双参数法提高估算孔隙率精度的可行性。

方 法 原 理

Han 等(1986)通过岩石物理实验研究指出,对于泥质砂岩,不论采用何种模式来拟合求取纵、横波速度,都必须考虑泥质含量的影响。进而,在封闭压力为 40MPa、孔隙压力为 1.0MPa 的条件下进行岩石物性测定,并对测量结果采用最小二乘法进行回归分析,得到如下两个经验方程^[1]

$$v_p = 5.59 - 6.93\phi - 2.18\psi \quad (1)$$

$$v_s = 3.53 - 4.91\phi - 1.89\psi \quad (2)$$

式中: v_p 为纵波速度(km/s); v_s 为横波速度(km/s); ϕ 为孔隙率; ψ 为泥质含量。

甘利灯利用我国东部地区的岩心和测井资料进行统计分析,也曾得到近乎相同的结论^[2],即

$$v_p = 5.37 - 6.33\phi - 1.82\psi \quad (3)$$

$$v_s = 3.15 - 3.51\phi - 1.25\psi \quad (4)$$

上面两组公式都较好地揭示出纵、横波速度与孔隙率和泥质含量之间具有线性关系。这便是利用纵、横波速度两种参数联合估算孔隙率的理论基础。

此外,根据岩石体积物理模型,可以很容易地建立如下时间平均方程和密度方程,即

$$\Delta t = \phi\Delta t_f + \psi\Delta t_{sh} + (1 - \phi - \psi)\Delta t_{ma} \quad (5)$$

$$\rho = \phi\rho_f + \psi\rho_{sh} + (1 - \phi - \psi)\rho_{ma} \quad (6)$$

式中: Δt 为地震波传播时间; Δt_f 为孔隙流体中波的传播时间; Δt_{sh} 为波在纯泥岩中的传播时间; Δt_{ma} 为波在岩石骨架中的传播时间; ρ 为岩石的体积密度; ρ_f 为孔隙流体的密度; ρ_{sh} 为纯泥岩的密度; ρ_{ma} 为岩石骨架的密度。

由式(5)、(6)可见,当获得地震波传播时间 Δt 和岩石密度 ρ 两种信息时,利用式(5)、(6)同样可求得孔隙率的预测值。

一般来说,纵波速度(或地震波传播时间)可由合成声波测井技术反演求得;而横波速度有两种途径获得:一是横波勘探,二是 AVO 反演,相比之下,后者比较实际。而如何获得密度资料,在目前情况下用 AVO 反演是最好的途径之一。另外,在利用式(5)、(6)进行孔隙率预测时,要事先用测井和岩心分析资料确定公式中的各项参数。对于泥岩时差 Δt_{sh} 和密度 ρ_{sh} 参数,由于真正的纯泥岩很难求得,因此可先利用式(5)、(6)由已知孔隙率和泥质含量反算泥岩时差

与密度值,并进一步由反算结果确定其随深度变化的关系。而其它参数一般均可取定值。

应用效果分析

为了说明用双参数法估算孔隙率的有效性,下面通过两组实测资料讨论两种双参数法的应用效果。

纵、横波速度联合估算法

斯坦福大学的 D. Eberhart-Phillips 等人(1989)通过岩石物理实验测定了一组砂泥岩的纵、横波速度值^[3]。据此,对由式(1)和式(2)所构成的联立方程组求解,可得到相应岩石的孔隙率值和泥质含量值,经适当校正之后分别绘制了相应的预测值与真值的交会图(图 1)。

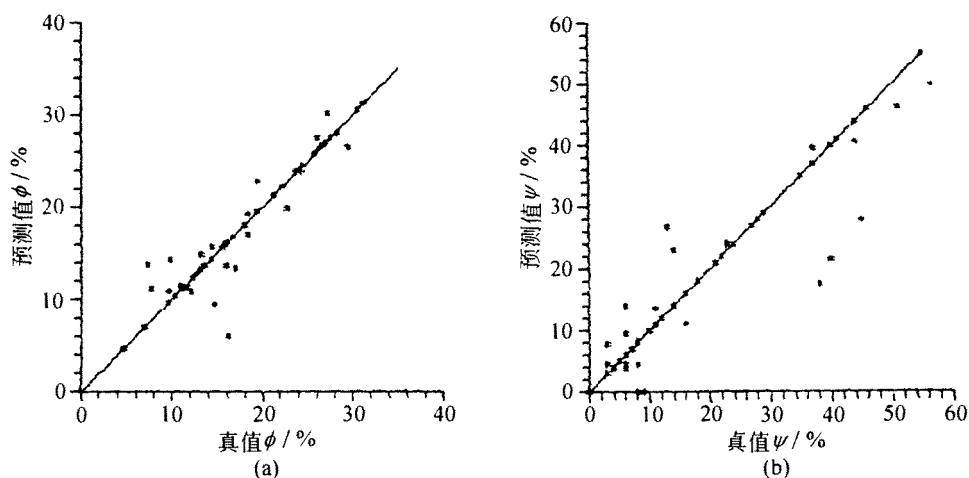


图 1 孔隙率(a)及泥质含量(b)交会图(v_p 、 v_s 双参数法)

由图可见,除少数点外,其余均集中分布于 45°斜线附近,这说明采用纵、横波速度联合估算法所得预测值与真值之间具有较好的一致性,经进一步计算表明:预测孔隙率和泥质含量的平均相对误差分别为 7.86%和 23.6%。

为了更好地说明双参数估算法的有效性,通过一元线性回归分析,我们分别求取了纵、横波速度与孔隙率和泥质含量的单参数拟合公式,即

$$\phi = -0.01209v_p + 65.939 \quad (7)$$

$$\psi = -0.00743879v_p + 46.8084 \quad (8)$$

$$\phi = -0.0140929v_s + 50.616 \quad (9)$$

$$\psi = -0.0162983v_s + 55.2779 \quad (10)$$

根据式(7)~(10),我们分别求取了相应的孔隙率或泥质含量的单参数预测值。相应的预测值与真值的交会图如图 2 所示。对比图 1 和图 2 不难看出,图 2 中交会点较图 1 中的交会点要分散得多。这说明采用单参数法所得预测值与真值的偏差整体上较图 1 大得多。由式(7)~(10)估算孔隙率或泥质含量的平均相对误差依次为:26.6%,84.2%,30.1%和 81.2%。

由上述分析可知,采用式(1)~(2)的双参数法估算孔隙率精度要远大于利用式(7)~(10)

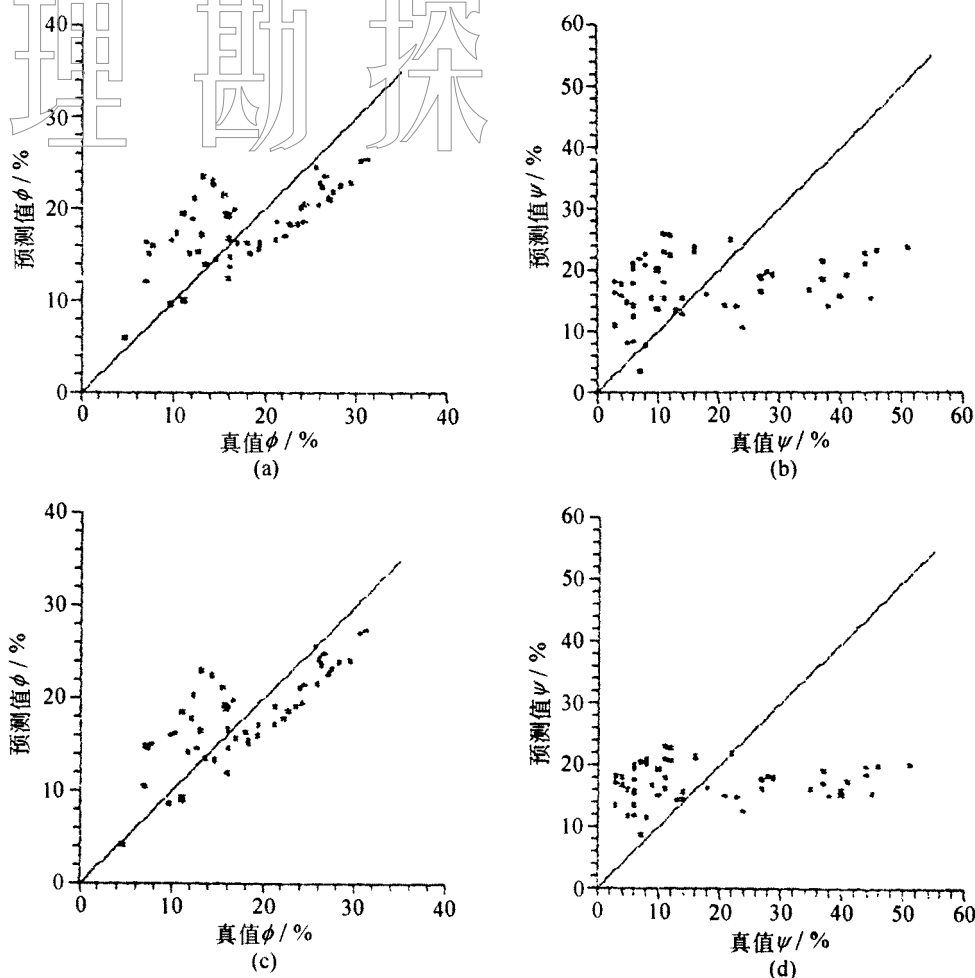


图2 孔隙率及泥质含量的交会图(v_P 、 v_S 单参数法)

的单参数法估算的精度。就本例而言,预测的孔隙率值精度提高近 20%,泥质含量的预测值精度提高近 60%。

时差、密度联合估算法

利用 JLK 地区 6 口井的实测声波时差和密度测井资料,由式(5)和式(6)联立可求得孔隙率和泥质含量的预测值。经分析发现:预测的孔隙率值总体偏高约 3.88%,预测的泥质含量值则总体偏低 11.2%。经系统校正之后绘制了相应的预测值与真值的交会图(图 3),预测的孔隙率和泥质含量的平均相对误差分别为 13.0%和 58.4%。

为了便于对比分析,图 4 中分别给出了用式(1)(密度—孔隙率线性方程)和怀利时间平均方程由密度和时差单一参数预测的孔隙率值与真值的交会图。其中,图 4a 是用密度值预测的结果,图 4b 是用怀利时间平均方程预测的结果,预测孔隙率的平均相对误差分别为 16.83%和 29.7%。这说明采用单一密度资料预测孔隙率要比用声波时差效果好。尽管如此,对比图 3a 和图 4a 可以看出,采用双参数法的预测效果要比用单一密度资料预测的效果好。预测值相对误差前者比后者降低了约 3%。若与图 4b 对比,则双参数法的预测值精度要高得多。这说明采用时差与密度两个参数联合进行孔隙率预测,同样可提高孔隙率的估算精度。

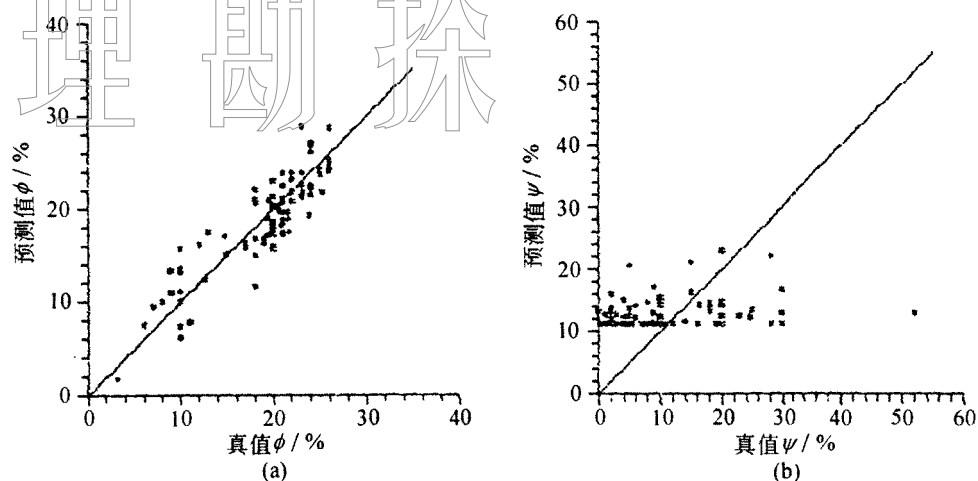
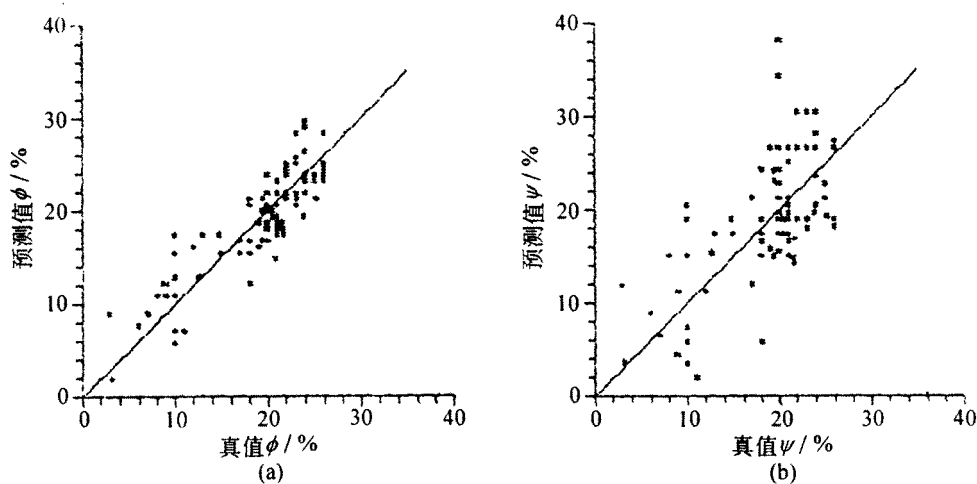
图3 孔隙率(a)及泥质含量(b)的交会图(Δt 、 ρ 双参数法)

图4 用密度(a)与时差(b)单参数预测孔隙率的交会图

结 论

基于纵、横波速度及时差和密度的两种双参数孔隙率预测法,不仅在理论上是可行的,而且对提高孔隙率预测的精度也是行之有效的。另外,在获得高精度孔隙率预测值的同时,还可得到比较可靠的泥质含量预测值,这对揭示储层的非均质性具有十分重要的意义。

参 考 文 献

- 1 魏建新,范建明编译.运用地震岩石特性描述和检测储层.石油物探译丛,1989,(4):58~66
- 2 刘雯林.合成声波测井应用实例和若干问题的讨论.物探学会东部会议地震反演专题报告,1992
- 3 Eberhart-Phillips D et al. Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstone. *Geophysics*, 1989, 54(1): 82~89