

含碳酸盐岩地层岩性测井解释方法

陈可为 窦 立

(大庆石油管理局勘探开发研究院)

孙凤霞

(杭州石油地质研究所)

摘 要 岩性识别是储层研究的基础和关键。在岩石特征研究的基础上, 以岩心标定测井变量, 建立了曙光古潜山带含碳酸盐岩地层岩性解释的定量分析方法。应用这一方法能有效地解决复杂岩性地层的识别问题。

主题词 碳酸盐岩 岩性识别 测井解释

辽河盆地曙光古潜山带在地质时代上属于中、晚元古代, 其岩石类型复杂。大量的钻探结果表明, 该套地层以碳酸盐岩为主, 且发育有海相碎屑岩、部分侵入岩和变质岩的多种岩性。尤其是近年来相继在碳酸盐岩、碎屑岩和侵入岩中获得了高产工业油气流, 有关古潜山带岩石特性研究也日益得到高度重视。由于该套地层埋藏深度大, 钻井取心少, 岩性的解释工作一直是难点。本文在岩石特征研究的基础上, 从多种岩性识别的测井解释方法入手, 来建立无心井段的岩性解释方法。

一、多岩性交会图分析方法

在以 2 种岩性交替出现或一种岩性夹有另一种岩性的地层中, 岩性的识别是十分直观的。当地层中具有多种岩性时, 岩性的识别就比较困难。多种岩性交会图分析方法, 其主要特点是, 在 2 个变量的交会图中, 将已知所有的不同岩性都展布在同一张图中, 每一种岩性以不同的符号表示。这种形式的交会图不仅可以区别不同类型的岩石, 同时, 也可以从交会图中分析不同岩性的量变关系。但并不是所有类型的交会图都能做到这一点。能将本研究区这 6 种岩性区别开的只有 2 类。

1. GR (自然伽马) -CN (中子) 交会图

这种类型的交会图能把灰岩、白云岩、石英岩、侵入岩、泥质石英粉细砂岩及板岩区分开 (图 1)。

2. DT (声波时差) -GR (自然伽马) 交会图

在古潜山地层岩性交会图中, DT - GR 交会图不但能较好地将各种岩性区分开来, 而且其图版具有一

定的精度 (图 2)。从整体岩性布局关系上看, 白云岩与灰岩具有低 GR 值和低 DT 值, 石英岩和侵入岩

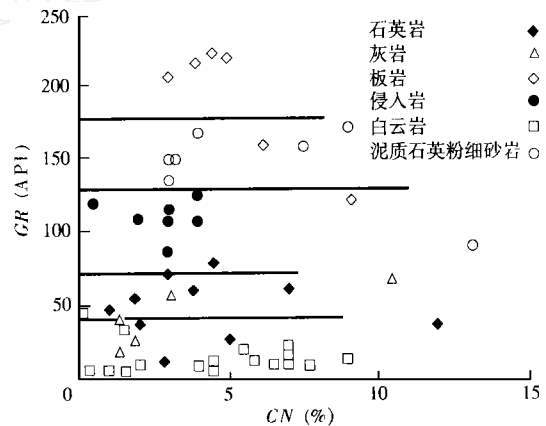


图 1 曙光古潜山带多种岩性主成分 GR-CN 交会图

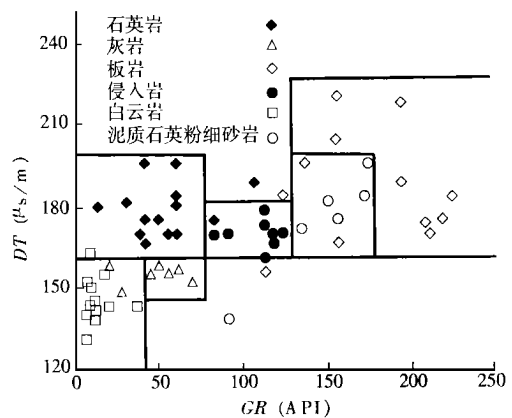


图 2 曙光古潜山带多种岩性主成分 DT-GR 交会图

作者简介 陈可为, 男, 1966 年生, 1988 年毕业于南京航空学院计算机软件专业, 工程师, 现从事勘探方法软件研究。地址: (163712) 黑龙江省大庆市让胡路区。

与它们呈连续过渡关系, 其中石英岩 GR 值也很低, 但 DT 值都比灰岩、白云岩高, 泥质石英粉细砂岩和板岩都具有高 DT 值和高 GR 值, 所以 DT 和 GR 是区分古潜山地层的 2 个重要变量。

二、主成分岩性交会图分析方法

无论是 2 种岩性, 还是多种岩性的交会图分析都存在同样的问题, 即交会图只应用 2 种直接测量的测井变量, 没有考虑到更多与岩性相关的变量; 或者 2 个交会变量存在着明显的依赖关系, 使交会图的精度有所降低。如果能找到一种可行的数学变换方法, 将一组相关的测井变量转换成数目相同的独立变量, 并且选择独立变量中的 2 个重要变量 (即 2 个独立变量占原始数据信息的绝大部分), 可以较好地解决交会图中存在的问题。主成分分析原则是一种完全能够解决上述问题的实用方法^[1,2]。

主成分分析的数学实质是, 给定一组具有 n 个样品和 m 个变量的数组, 通过线性变换有

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1m}x_m \\ F_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2m}x_m \\ \vdots \\ F_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nm}x_m \end{cases} \quad (1)$$

可以得到一组独立的变量 F_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 且 F_1 是所有线性组合方差最大的, F_2 次之, 以下以此类推。

上述的数学问题是: 如何根据已知的 $n \times m$ 维数组, 求出线性变换的系数。可以证明, 每个主因子线性变换的系数, 就是已知 $n \times m$ 维数组方差、协方差矩阵所对应的特征向量, 相应的特征值就是反映该主成分重要性的指标。

根据研究区 87 块岩石样品的 CN 、 DEN (密度)、 DT 和 GR 值, 进行主成分分析, 所得到的方差、协方差矩阵特征值为表 1 所示。

表 1 方差-协方差矩阵特征值

序 号	方差特征值	协方差特征值	方差累积百分数
1	+2.080 1	+52.003 6	+52.003 6
2	+0.969 3	+24.233 7	+76.237 3
3	+0.630 2	+15.755 3	+91.992 6
4	+0.320 3	+8.007 5	+100.000 1

由各特征值所对应的特征向量, 可得到主成分变换的方程式

$$\begin{cases} F_1 = 0.484 1 CN - 0.344 6 DEN + 0.563 8 DT + 0.573 6 GR \\ F_2 = -0.324 6 CN + 0.799 6 DEN + 0.429 2 DT + 0.320 4 GR \\ F_3 = 0.801 2 CN + 0.496 0 DEN - 0.047 6 DT - 0.331 3 GR \\ F_4 = 0.135 6 CN + 0.165 7 DEN - 0.704 0 DT + 0.677 1 GR \end{cases} \quad (2)$$

在上述转换方程中, F_i 和 F_j 相互独立, 且 F_1 方差贡献最大, 占总方差的 52%, F_1 和 F_2 两个主成分占总方差的 76.24%, 这说明应用 F_1 和 F_2 这 2 个变量, 可以代替原来的 4 个变量, 则数据信息损失很小。

根据上述主成分变换模型, 对研究区 87 块岩性样品进行了主成分计算, 由最重要主成分 F_1 和次要主成分 F_2 对岩性进行交会图分析 (图 3), 岩性识别精度有所提高。说明此方法解决古潜山地层岩性识别是可行的。

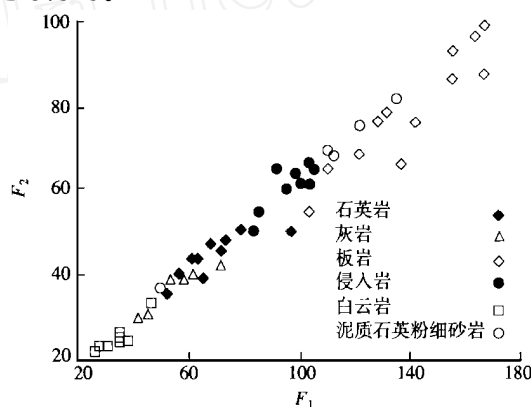


图 3 曙光古潜山带多种岩性主成分 F_1 - F_2 交会图

三、模式识别方法

多组岩性识别方法中, 可根据概率论中的贝叶斯准则建立判别分析方法, 在正态总体的先验条件下, 略去复杂的岩性推导, 可以得到如下的多组判别方程^[1,2]

$$F_i(X) = \ln q_i + \sum_{k=1}^p C_{ki} X_k + C_{oi} \quad (i = 1, 2, \dots, G) \quad (3)$$

式中 F_i ——样品划归为 i 组的得分; q_i ——样品划归 i 组的先验概率; C_{ki} ——方程系数; C_{oi} ——方程常数。

如果给定样品 $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$, 若判断其属于哪一种, 可分别计算各组的 $F_i(X)$ 值, 当 $F_i(X) = \max_{1 \leq g \leq G} [F_g(X)]$ 时, 将 X 划分为第 i 组, X 属于第 i 组的概率为

$$P_i = \frac{\exp\{F_i(X) - \max_{1 \leq g \leq G} [F_g(X)]\}}{\sum_{i=1}^G \exp\{F_i(X) - \max_{1 \leq g \leq G} [F_g(X)]\}} \quad (4)$$

($i = 1, 2, \dots, G$)

式中 P_i ——样品划归 i 组的概率； $F_i(X)$ ——样品划归 i 组的得分； $\max [F_g(X)]$ ——判别得分的最大值。

在实际应用中，各变量不一定对样品的分类都起重要作用，在这种情况下，可根据各组样品的组间离差和组内离差矩阵及总离差矩阵，应用威尔士统计量检验变量的重要性，进而选取重要的地质变量参加到判别方程之中。

根据研究区 87 块岩石样品，将其划分为 6 种岩性，即灰岩（9 块）、白云岩（27 块）、泥质石英粉细砂岩（9 块）、石英岩（15 块）、板岩（15 块）和侵入岩（12 块）。选择 4 个变量分别为 CN 、 DEN 、 DT 和 GR ，各变量的组内和组间离差矩阵分别为

$$\left\{ \begin{array}{cccc} +1589.59 & -11.82 & +405.20 & -1635.10 \\ -11.82 & +1.64 & +1.68 & +14.77 \\ +405.20 & +14.77 & +975.78 & +506.34 \\ -1635.10 & +1.68 & +506.34 & +44456.32 \\ +2427.57 & -22.16 & +1115.96 & +10197.44 \\ -22.16 & +1.81 & -10.64 & -194.30 \\ +1115.96 & -10.64 & +3589.06 & +24270.59 \\ +10197.44 & -194.30 & +24270.59 & +373037.80 \end{array} \right\}$$

由逐步判别分析原理，最后得到各类岩性的判别方程如下。

灰岩：

$$R_1 = -122.0070 - 0.0070GR + 4.7628DT - 1.0769CN \quad (5)$$

白云岩：

$$R_2 = -102.7169 - 0.0676GR + 4.4068DT - 1.0140CN \quad (6)$$

泥质石英粉细砂岩：

$$R_3 = -162.7774 + 0.1470GR + 5.2428DT - 1.0261CN \quad (7)$$

石英岩：

$$R_4 = -161.7758 - 0.0150GR + 5.4910DT - 1.2504CN \quad (8)$$

板岩：

$$R_5 = -175.5166 + 0.2459GR + 5.1316DT - 0.4709CN \quad (9)$$

侵入岩：

$$R_6 = -146.8952 + 0.1102GR + 5.0453DT - 1.0097CN \quad (10)$$

在以上各种岩类的判别方程中，首先选择的重要变量是 GR 变量，其次是 DT ，最后选入到判别方程的变量是 CN 。而 DEN 变量没有加入到判别方程之中，说明其值大小与岩性关系不十分密切。各种变量对方程的贡献程度也可以从交会图中定性的分析，其结论应与判别分析是一致的。

应用各岩性的识别方程，将已知岩类的变量代入到各组判别方程中，进行计算，选择概率最大的组别，定为该样品的岩性归属，87 块岩石样品的判别结果如表 2。

表 2 岩性判别结果

已知岩类 (样品数量)	判 别 结 果					
	灰 岩	白云岩	泥质石英 粉细砂岩	石英岩	板 岩	侵入岩
灰 岩 (9)	8	1	0	0	0	0
白云岩 (27)	1	26	0	0	0	0
泥质石英粉细砂岩 (9)	0	0	7	1	0	1
石英岩 (15)	0	0	1	14	0	0
板 岩 (15)	0	0	2	0	13	0
侵入岩 (12)	0	0	0	0	0	12

从判别方程精度看，上述各岩类的正判率分别为：88.9 %、96.3 %、77.8 %、93.4 %、86.7 % 和 100 %，总体正判率为 91.9 %，达到了非常好的效果。

四、结 论

(1) 双变量交会图分析可以较好地地区分各类岩石类型，其方法直观、宜于操作，以 GR - DT 交会图效果最好。

(2) 主成分交会图分析方法先进，其实质属多变量交会分析，图版精度明显提高。

(3) 模式识别方法由于包含信息丰富，解释精度高，总体误差小于 10 %，适合于大量数据的处理，宜于推广。

参 考 文 献

1. 赵鹏大等：矿产统计预测，地质出版社（北京），1983。
2. 李国会等：沉积序列韵律结构及旋回模式的测井解释方法，物化探计算技术，1991（4）。

(收稿日期 1998-10-09)

编辑 毕永先

Administrative Bureau, Heilong jiang, 163712, P. R. China) pp32 - 34.

ABSTRACT Application of computer programming software shows that multi - functional pattern economic optimizing model plays an instructive role in the effective development of sandstone oil fields (especially marginal oil field) developed by water flooding. It can obtain a lot of economic benefits.

KEY WORDS Multi - functional model, Pattern adjustment, Economic evaluation, Prediction, Adjustment of the ratio of production and injection wells number, Benefit

MEASUREMENT AND APPLICATION OF MOVEABLE OIL IN VERY LOW PERMEABLE RESERVOIR

Sun Qinghe, He Xi and Lin Hai (Toutai Oil Field Development Corporation Limited of Daqing Petroleum administrative Bureau, Heilong jiang, 163517, P. R. China) pp35 - 37.

ABSTRACT This paper gives the concept of moveable oil in very low permeable reservoir and introduces the method and principle for the measurement of moveable oil. It takes Fuyu Reservoir in Toutai Oil Field as an example to study the saturation of moveable oil and its distribution characteristic. Finally it studies the application of moveable oil in reservoir evaluation so as to find a new method for the evaluation of very low permeable reservoir.

KEY WORDS Measuring method of moveable oil, Toutai Oil Field, Moveable oil distribution, Application of very low permeable reservoir

METHOD OF CASING PRESSURE DROP FOR MEASUREMENTS OF PUMP INLET PRESSURE AND FLOW PRESSURE AT WELL BOTTOM

Han Xiuting, Mei Xiaoe (Production Technique Research Institute of Daqing Petroleum Administrative Bureau, Heilong jiang, 163453, P. R. China) and Li Yongdong (Harbin Institute of Technology) pp38 - 41.

ABSTRACT This paper introduces the method of casing pressure drop which can be used to measure pump inlet pressure and flow pressure at well bottom. It gives the basic principle, testing method and calculating method for relative date. This pressure measuring method is not restricted by field condition and easy to be applied in oil fields.

KEY WORDS Casing pressure drop method, Pumping pressure, Bottom hole pressure, Pressure gradient, Effect, Analysis

APPLICATION OF C/O RATIO SPECTROMETRY LOGGING IN EXPLORATION AND DEVELOPMENT

Lu Haiying, Lin Xueshan and Wu Liping (Logging Company of Daqing Petroleum Administrative Bureau, Heilong jiang, 163412, P. R. China) pp42 - 44.

ABSTRACT C/O ratio spectrometry logging is widely used in oil field exploration and development. This paper gives the geologic effect of C/O ratio spectrometry logging in oil field production in recent years.

KEY WORDS C/O ratio spectrometry logging, Application, Geologic effect

LOGGING INTERPRETATION METHOD OF THE LITHOLOGY OF CARBONATE ROCK BEARING FORMATION

Chen Kewei, Dou li (Exploration and Development Research Institute of Daqing Petroleum Administrative Bureau, Heilong jiang, 163712, P. R. China) and Sun Fengxia (Hangzhou Petroleum Geology Research Institute) pp45 - 47.

ABSTRACT Lithology identification is the base of reservoir study. This paper uses cores to calibrate logging variables based on rock characteristic study. It establishes qualified analytical method for the lithology interpretation of carbonate rock bearing formations in Shuguang buried hill zone. This method can effectively solve the identification problem of complicated lithological formations.

KEY WORDS Carbonate rock, Lithology identification, Logging interpretation

ANALYSIS ON THE EFFECT OF ACOUSTIC FREQUENCY ON THE EVALUATION RESULT OF CBL/VDL CEMENT BOND LOGGING UNIT

Li Yanhua, Chu Zehan and Xue Mei (Petroleum University, Beijing, 102200, P. R. China) pp48 - 50.

ABSTRACT This paper compares the CBL/VDL cement bond logging unit of various frequency used in Daqing Oil Field with the result of cement job quality, and Discusses the effect of the unit on the evaluation result. When the frequency is low, the recorded acoustic amplitude value is high. So the evaluation result is reliable. It suggests that the clearances between the thin beds not well cemented and casings and cement sheathes may be examined if CBL logging combination of various frequency exists. Meanwhile, it analyses the significance of the evaluation indexing BI of cement job quality and its effect of interpretation result.

KEY WORDS Acoustic logging, Cement bond, Evaluation, Acoustic Frequency

汉译英 张玉玮
审校 马启贵