

# 定量描述储层的新途径——成因法

雷怀彦 吉利明 房玄

(中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

**提 要** 储层量化描述不仅为油气勘探提供有利的靶区, 而且能为油气的开采选择合适的方法, 对提高开发的成功率与经济效益有着十分重要的意义。因此, 不断提高储层定量描述的精确度, 反映储集体的真实面貌, 乃成为当前国内外油气地质研究领域的热点。本文重点讨论了成因法以及如何应用成因法来预测储集体中岩石物理性质、如孔隙度、渗透率和含水饱和度, 以期达到储层量化描述的目的。

**关键词** 成因法 流动单元 沉积环境 岩相 成岩作用 储层物性 定量描述

**第一作者简介** 雷怀彦 男 36 岁 副研究员 沉积岩石学及矿物学

## 1 成因法的提出

目前, 关于储层描述的方法很多, 归纳起来主要有非成因法和成因法两大类。非成因法它将整个储集层视为一个整体, 不考虑实际岩相及相结构对储层性质及其流动特征影响, 所预测的钻井储层岩石物性, 特别是井与井间岩相边界的岩石物性缺乏内插, 而且精度不高, 使该方法在油田勘探开发应用中逐渐被抛弃, 相应成因法<sup>(4)</sup>近两年来倍受人们的青睐。成因法是将岩相分析与判别分析以及油藏概率模拟结合起来, 根据岩芯、测井数据鉴定并描述流动单元的特征。所谓流动单元是指具有不同沉积、成岩、岩石物理性质的岩相, 这种岩石液压流动单元的相可根据岩芯鉴定分析得知, 对此取芯井的数据计算出一组判识函

表 1 成因法和非成因法储层评价的比较

Table 1 Comparison of the reservoir description between genetic and nongenetic approaches

方 法	非 成 因 法	成 因 法
范 围	整个储层	把储层划分成若干个流动单元
由测井曲线预测 $\phi$ 值	一组 $\Delta T_m$ 、 $\Delta T_f$ 、 $P_m$ 、 $P_f$ 数值	流动单元 $\Delta T_m$ 、 $\Delta T_f$ 、 $P_m$ 、 $P_f$ 特定数值
由测井曲线预测 K 值	单一 $\phi/K$ 关系	流动单元的 $\phi/K$ 特定关系
由测井曲线预测 $S_w$ 值	一组 a、m、n 值	流动单元特定的 a、m、n 值
特征值内差	克里格法和分数维直接内差特征值	指定条件模拟相内差, 然后得出综合特征值
模拟渗透率的相关性	从渗透率平均相关性推导整个储层	流动单元渗透率相关性

注:  $\phi$ . 孔隙度 K. 渗透率  $S_w$ . 水饱和度  $\Delta T_m$ . 声波在储层基质中传播时间  $P_m$ . 基质密度  $\Delta T_f$ . 声波在储层流动单元中传播时间  $P_f$ . 流体密度 a、m、n. 阿仑尼兹过程中的参数 (F. X. Jian, 1994)

数与取芯井的电测井得出的岩相相比较, 并进行回归分析, 得到不同的孔隙度-渗透率关系,

还可用回归分析建立声波时差与岩芯孔隙度之间的岩相比关系,回归分析中应用油藏概率模拟方法并在预测值中加入微差分,这样就求得取芯井、井与井之间,特别是井间空白区域的储层岩石孔隙度、渗透率、含水饱和度等数值(表1),从表1可以看出成因法进行储层岩石物性的预测具有较高的精度、较真实地反映了储层岩石物性原始面貌。

## 2 流动单元的识别

流动单元被定义为根据地质和岩石物理性质细分出的岩石体积,地质和岩石物理性质影响着流体在其中的运动特征<sup>[1]</sup>,所以把具有相似岩石物理性质的三维岩体称之为可识别的流动单元。沉积环境决定了流体单元内岩石的粒度、分选性和古生物成分,成岩作用影响着流体单元岩石孔隙度发育、胶结物生成和自生粘土矿物的形成,因此统计法必须结合地质特征分析才能正确的识别流动单元。

流动单元的正确识别不仅局限于识别沉积体系的成因相,它包括以下几个主要内容。

### 2.1 储集体单元内沉积物特征及沉积环境分析

查明沉积物的物源和古水系方向、水动力状态、沉积物的粒度、分选性和磨圆度以及层序序列,因为同一沉积体系内可细分出若干个可识别的流动单元,分析沉积环境的总轮廓以及成因相乃至微相,鉴别出每个流动单元。

### 2.2 成岩历史分析

为了准确的获得生油成气过程中储层岩石物理性质信息,研究成岩过程中矿物的转化以及胶结物的形成期次,对了解流动单元中油气的运移和聚集的动态历史十分重要。

如在河流沉积体系中一个河道序列中,底部可能由块状粗粒砂岩组成,中部由具交错层理的中粒砂岩组成,顶部由波状交错层的细粒砂岩组成,按成因相分析它们属于河道相,但对流动单元的识别来说,它们各自具有不同的岩石物理性质、分别充当可识别的流动单元,所以说储层流动单元远比沉积模型复杂的多,它综合了各种地质特征、成岩信息和岩石物理性质,对认识储层的非均质性以及定量化的描述储层有着十分重要的作用。

## 3 由测井曲线预测孔隙度

以往人们预测储层的孔隙度是根据声波测井、密度测井、中子测井曲线计算出孔隙度,或者根据钻井取芯实验测孔隙度,但是这些方法对非均质储层或者对未钻井空白区显得无能为力,如何求得这种情况储层的孔隙度呢?

### 3.1 Wyllie 平均方程

Wyllie 方程表明流体饱和岩石中的地震能量速度仅仅决定于地震波传播路程中液体和固体的相对数量,实际上地震波的传播还与介质中物质的粒径有关,时间平均方程是对于流体饱和的固体纯砂岩的,即

$$1/V = (1-\varphi) / (V_{ma} + \varphi/V_f)$$

$V_{ma}$ —岩石骨架速度;  $V_f$ —充填流体的速度;  $\varphi$ —孔隙度

自然界中不存在纯砂岩,如流体的可变性及粘土矿物在砂岩中的含量多少都会影响岩石骨架声波的传播速度。

### 3.2 统计法

统计法是根据钻井岩芯资料统计预测孔隙度的分布规律,基本思路仍然是用空间函数模拟储层分布区的地震数据和孔隙度横向变化,它的缺陷是要有足够的钻井数、或者预测较小的区域。

### 3.3 测井曲线成因法

本文提倡用测井曲线成因法来预测该方法基助于识别流动单元,即已知钻井的岩性组合,不同的岩性、岩性组合具有不同的声波速度,Vernik 和 Nur<sup>[3]</sup>将硅质碎屑岩划分为净砂岩、岩屑砂岩、泥质砂岩、砂质页岩,并实验研究了声波在单一岩性和组合岩性中的传播规律,组合岩性的纵波速度与孔隙度呈很好的线性关系,对比系数也很高,因此识别储层中若干个岩性组合(流动单元),分析声波的传播规律,根据声波曲线对应的组合特征计算出岩石的孔隙度,然后在区域面上展开,求出未钻井的岩石孔隙度,这个方法既考虑了砂岩中泥质的含量,又避免了过度依赖钻井数据的弊端。

## 4 用测井曲线预测渗透率

孔隙度和渗透率具有内在的本质的联系,这种关系往往表现为孔隙的连通性上,如果孔隙连通性差,其渗透率就低,反之,渗透率就高。

### 4.1 Kozeny 方程求取的渗透率

Kozeny 方程是根据孔隙度和残余水饱和度推导出渗透率,它认为多孔介质流动通道是规则的,实际上储层中孔隙空间很不规则,这些流动通道排列和变化是多变的,因此说,这种方法求取渗透率准确性较差。

### 4.2 测井曲线成因法求取渗透率

储层中不同的岩性具有各自的孔隙度-渗透率关系,如果储层中仅有一种岩相,它就可利用一种孔-渗关系参数来预测渗透率,事实上,自然界的储层是由各种不同的岩相、不同的粒度、分选、磨圆、粘土矿物和胶结物含量组成,仅用单一孔-渗关系预测渗透率,将会忽视储层中的非均质性,因此要正确求取渗透率必须准确的识别流动单元、考虑岩相的因素。首先识别出储层中的若干个流动单元,或细分出的成因相,然后把岩相资料和渗透率结合起来进行多次回归 [ $\varphi=f(\Delta T, GR)$ ],建立储层渗透率与孔隙度和岩性变量之间的关系,根据测井曲线求出各岩相的孔隙度-渗透率关系,对于不同的回归模型的特性可通过平均相对误差 (ARErr) 来评价:

$$ARErr = \frac{\sum |(\varphi - \varphi \uparrow)|}{n \varphi}$$

$\varphi$ —原始孔隙度;  $\varphi \uparrow$ —估算孔隙度;  $n$ —为数据点数目

这样可拟合绘出储层孔隙度-渗透率交会图的主线性相关趋势线和次线性趋势线,从而求出储层不同流动单元或者不同岩相的渗透率。

## 5 由测井曲线判别分析观测岩相

如何识别未取芯井的岩相?通常人们用自然电位、自然伽玛和电阻率测井曲线的形态

判识沉积相、沉积环境以及砂体的几何形态和沉积体系,但这种定性方法不能提供储层定量描述更详细的岩相资料,斯伦贝谢公司曾做了大量的测井曲线识别测井相和岩相的研究工作,而且开发出了自动识别测井相的程序<sup>[2]</sup>,然而组合测井可以给出大量的有关储层矿物、结构、构造、流体含量信息,根据取芯井沉积和成岩特征识别相似岩石特征的测井类型响应,这样可根据取芯井的岩相与组合测井曲线推导出判别模型,预测出未取芯井的岩相。

判别分析的目的在于修正将新观测体分配成许多预定组之一组的规则,新观测体是由一组实测的变量来描述,并推导出适合该油区的训练模式,再用高斯分位数交绘图检验每一岩相的各类测井统计分布,所观察到的相数足以绘出理想的高斯分位数交绘图,其中声波传播时间和伽玛射线测井一般的线性关系,在判识分析前不需要进行换算处理,将分析判识数据分成两组,一组作为训练集求判识函数,一组作为验证集评价判别函数,这样可提高识别的真实可靠性。

## 6 用概率模拟储层岩石物理性质的微小变化

用回归分析可求得孔隙度和渗透率的平均值,此方法求出的岩石物性比实际小,不是把极值高估,就是低估,而流体的流动性质对极值的影响更比平均值敏感,虽然加权回归方法能提高极值的高和低的预测精度,但它往往带有人为主观性。

用岩芯统计方式得出的实际孔隙度和渗透率围绕着回归分析所预测的值而变化,这就使用模拟孔隙度、渗透率性质的变化成为可能。储层概率模拟<sup>[1]</sup>建立在岩石物理性质的基础上,提高了井间特征值内插方面的适用性。为了模拟孔隙度、渗透率微小变化,首先建立概率油田的零均值,根据岩芯数据确定单元变化和空间相对长度;其次,对概率油田进行标定,取得一个与各岩相或测井相回归标准误差相等的标准偏差;最后,将标准偏差引进回归分析得出的孔隙度和渗透率值中。

## 7 结 论

1) 成因法能较系统的把地质特征、地震、测井信息综合为一体讨论储层岩石物性,真实的揭示储层面貌,反映储层的岩石物性特征,成为当今油气地质定量描述储层的新途径。

2) 分析沉积环境、沉积相、矿物成岩演化历史,并借助有限珍贵的取芯井资料为正确识别储层中不同的流动单元和建立测井分析、判别、模拟分析的桥梁。

3) 将储层细分成具有不同沉积、成岩特征的不同流动单元,建立声波传播时间-孔隙度,和孔隙度-渗透率相关模型,可提高测井曲线预测岩石物性的精度。

4) 油田概率模拟不仅能模拟孔隙度、渗透率的微小变化,而且能在油藏数值分析模型中更好反映储层的非均质性和储层的真实地质特征。

## 参 考 文 献

- [1] Bush J M, Firtney W G and Berry L N. Determination of lithology from well logs by statistics and data analysis in geology. Wiley, New York, 1987, 646.
- [2] Suro-Perez V, Ballin Z, Aziz K and Journel A G. Modelling geological heterogeneities and its impact on flows simulation. SPE 2265, presented at the SPE 66th Annual Technical Conference, 1991.
- [3] Vernik, Lond Nur A. Petrophysical classification of siliciclastic for lithology and porosity prediction from seismic velocities. AAPG Bull., 1992, 76, 1295—1309.
- [4] Jian F X, Chork C Y and Taggart I J. A genetic approach to the prediction of petrophysical properties. Journal of Petroleum Geology, 1994, 17 (1): 71—88.

**New Method to Predict Petrophysical Properties——Genetic Approach**

*Lei Huaiyan Ji Liming and Fang Xuan*

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

**Abstract**

A new method of flow unit approach to describe and predict reservoir petrophysical properties has been proposed recently. This paper describes a genetic approach to reservoir description, which combines lithofacies analysis with discriminant analysis and probability field simulation for the identification and characterization of flow units on the basis of core and log data.

**Key words:** genetic approach flow unit sedimentary environment lithofacies diagenesis reservoir petrophysical properties quantitative description