

文章编号: 1000-0550(1999)03-0454-04

确定储集层物性参数下限的一种新方法及其应用^①

——以鄂尔多斯盆地中部气田为例

万玲 孙岩 魏国齐

(南京大学地球科学系 南京 210093)

摘要 分布函数曲线法是一种确定储集层物性参数下限的新方法。该方法从统计学角度出发,通过有效含气层与非有效含气层样本分布函数曲线之间的关系确定储集层物性参数下限值,在鄂尔多斯盆地中部气田的实际应用中,效果较好,与采用产能系数法、经验统计法及油田实验测试相比较,得到的结果基本一致,表明这一方法值得进一步推广使用。

关键词 储集层 物性参数 下限 分布函数曲线法 中部气田

第一作者简介 万玲 女 1969年出生 博士生 天然气地质

中图分类号 P618.130.2⁺1 **文献标识码** A

储集层物性参数下限的确定是影响储量计算结果的一个主要因素,是直接关系到勘探、开发决策的重要问题^[1],也是储集层研究中的一个难点。通常刻划储集层的物性参数有孔隙度、渗透率、孔隙喉道半径等,涉及储量计算时还包括含气(水)饱和度,这些参数反映了储集层的结构特点,相互间具有一定的关系。前人在求取储集层下限值方面已做了相当工作,但多是通过实验测试,从具体的孔隙结构研究出发,如Murry、蔡正旗、曾伟等利用岩样的水银毛细管压力曲线确定有效孔隙度下限^[2,3],Mannon RW等利用岩样的油水相对渗透率曲线和毛细管压力曲线的综合分析划分储集层下限。对于象碳酸盐岩这类非均质性较强的储集层,需要测试大量样品才能得到具有实际意义的下限值。随着资料和经验的积累,统计方法得到广泛应用,本文提出的分布函数曲线法即从统计角度求取储集层下限值,所采用的测井资料在油气田是大量的,这对非均质性较强的储集层求出的结果更具代表性。

1 分布函数曲线法及其理论根据

分布函数是地质实体最重要的数学特征之一。它通过统计分析得到的分布曲线、特征函数等研究变量的总体分布规律,是一种在地质学特别是油气地质研究中普遍使用的方法。大量的实际资料表明^[4,5],基于这一普遍认识,我们提出了用分布函数

曲线法求取储层物性参数下限这一新方法。

采用分布函数曲线法求取储层渗透率下限,当原始数据为大子样($N > 30$)时,常采用频率法构成分布函数密度曲线。具体做法是在同一坐标系中,分别作出有效含气层与非有效含气层的渗透率—频率分布曲线,两条曲线的交点所对应的渗透率即为下限值(图1a)。

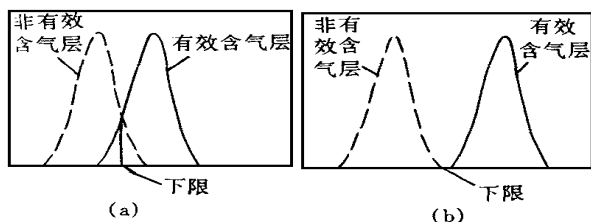


图1 分布函数曲线法求取储集层渗透率下限示意图

Fig. 1 Map showing the lower limit of reservoir permeability by distribution function curve method

从理论上讲,如果分布曲线精确地表达了有效含气层和非有效含气层的渗透率—频率分布,那么这两条曲线的交点频率值应为零(若交点存在)(图1b),下限值也就唯一确定了。但实际上所判识的有效含气层和非有效含气层之间常有过渡层存在,因此在确定有效含气层和非有效含气层时,不同的样本集合之间会有一定程度的掺杂,即有效含气层中可能混入了非有效含气层,而非有效含气层中也可

① “九五”国家重点科技攻关项目(96-110-01-03-09)成果之一

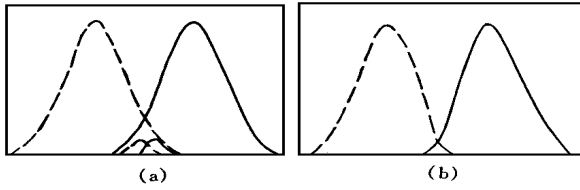


图 2 剔除有效含气层与非有效含气层中掺杂影响的分布函数曲线示意图
(实线代表有效含气层 虚线代表非有效含气层)

Fig. 2 Map showing the distribution function curve of effective and non-effective gas bearing reservoir without effects solid line stands for effective gas bearing reservoir; dashed line stands for non-effective gas-bearing reservoir

能混入了有效含气层, 这种情况下作出来的分布曲线肯定有相交点存在, 且该点对应的频率值必不为零。考虑两条分布曲线, 在有效含气层分布曲线中含有小部分非有效含气层样本的贡献, 反之亦然。假设对混杂于有效含气层中的非有效含气层进行统计, 作一条频率分布曲线, 如图 2a 所示, 当然对另一组样本(非有效含气层)亦可作出同样的曲线, 将两条新的分布曲线从原来的分布曲线中剔除, 叠加到所属样本曲线上(图 2b), 亦即把掺杂的影响去除, 得到一个范围较小的区间。若能够最大限度地剔除掺杂带来的影响, 那么就可以期望有一个尽可能小的下限区间, 两条曲线的交点属于此区间, 在无法确定掺杂率的情况下, 可将此交点值作为划分有效储气层的下限。

此外, 在统计学上, 当两个样本总体分布在相互混合和交叉时, 区分这两个样本的界限定在二者损失概率相等的地方, 这样两者损失之和最小, 在概率分布曲线上反映在二者相交处, 这也为我们所提出的方法提供了理论上的依据。

2 分布函数曲线法的应用—鄂尔多斯盆地中部气田储集层物性参数下限的确定

2.1 资料的选取

鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系马家沟组储集层经过过长期风化淋滤作用, 表现为非均质性强, 气层薄, 储量丰度低, 是一个低孔、低渗、低丰度的大型复杂气田, 因而采用统计方法确定储集层物性下限具

有一定的实际意义。本文所采用的资料为中部气田 47 口测井解释数据及 583 个岩芯物性测试数据。测井孔隙度与对应深度岩芯孔隙度相关性较好, 可直接利用, 然后利用岩芯孔隙度与岩芯渗透率关系(公式 1-1), 将测井孔隙度(Φ)转换为测井渗透率

$$\lg K = 2.496474 \lg \Phi - 3.06518$$

$$R = 0.81 \quad N = 415 \quad (1-1)$$

(K); 测井解释的含水饱和度可直接利用(郝石生, 1994), 建立测井孔隙度(Φ)与测井含水饱和度(S_w)关系式(公式 1-2), 上述关系均表现出较好的相关性。

$$\lg S_w = -0.626526 \lg \Phi + 1.86204$$

$$R = 0.87 \quad N = 587 \quad (1-2)$$

2.2 应用举例

根据以上提出的分布函数曲线法, 利用经过校正的测井渗透率, 将测井解释划分的有效含气层与非有效含气层在同一坐标系中分别作出它们的密度分布曲线, 两条曲线的交点对应的中部气田中区渗透率下限为 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 3)。由式(1-1)的孔隙度—渗透率关系式得到孔隙度下限为 2.67%, 由式(1-2)得到含水饱和度上限为 39%, 则相应地含气饱和度下限为 61% (表 1)。

3 分布函数曲线法结果准确性检验

为了检验我们得出的结果是否合理, 本文又采用了产能系数法、经验统计法求出的储集层物性下限值与之进行比较。

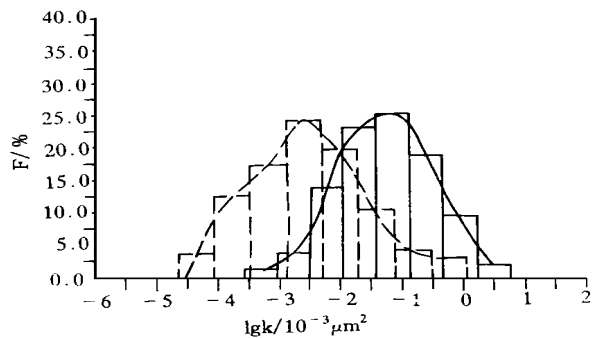


图 3 中部气田有效含气层与非有效含气层渗透率分布曲线图

Fig. 3 Map showing the permeability distribution of effective and non-effective gas-bearing reservoir of Zhongbu Gas Field in Ordos Basin

表 1 中部气田中区马五段储集层物性参数下限

Table 1 The lower limit values of petrophysical parameters for Om5 reservoir in the middle region of Zhongbu Gas Field

方法	孔隙度	渗透率	含气饱和度
	/ %	$1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	/ %
分布函数曲线法	2.67	0.01	61
产能系数法	2.67	0.01	61
经验统计法	2.87	0.012	62
油田实验结果	2.5	0.01	60

产能系数法与经^①验统计法也属于统计方法, 产能系数是用储集层的渗透率(K)乘以厚度(h), 它反映了储集层的产气(油)能力^②。储集层渗透率越高, 产气能力就越强, 储集层渗透率变小, 产气能力也降低。当渗透率降低到一定程度后, 储集层的产气能力对总的产气能力已没有影响或影响很小, 在进行地质储量计算时可以忽略不计, 这个界限对应的渗透率即为储集层有效厚度渗透率下限。具体求法是将全储集层各小层的累计产能系数($\sum k_i h_i$)取 5% 作为储集层产能的下限值 $k_1 h_1$, 各小层产能系数($k_i h_i$)从小到大排列, 以 $k_i h_i$ 除以 $\sum k_i h_i$ 得到各小层产能的百分比, 将 $k_1 h_1$ 除以产能百分比小于 5% 的各小层累计厚度, 即可得到渗透率下限。本文中使用的渗透率为经校正后的测井解释渗透率。

经验统计法在国外通常被用来确定储层渗透率下限, 该方法对中低渗透油田采用全油田的平均岩芯渗透率乘以 5% 作为油田的渗透率下限。由于天然气分子比石油分子小得多, 其有效直径平均相差一个量级, 对储层的要求也相应较低, 因此再乘以 10%, 将所得值作为储气层的渗透率下限。

结果如表 1 所示, 采用分布函数曲线法所求出的储集层物性参数下限与用产能系数法和经验统计法求得的结果基本一致, 进一步与长庆石油勘探局开发研究院通过多种实验测出的结果比较, 结果也相近(表 1)。表明可采用分布函数曲线法确定储集层物性参数下限, 为储量计算提供可靠的参数。

4 结论

本文提出的分布函数曲线法是求取储集层物性下限的一种新的统计方法, 在鄂尔多斯盆地中部气田的应用中, 效果较好, 求出的孔隙度下限为 2.67%, 渗透率下限为 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 含气饱和度下限为 61%, 与产能系数法、经验统计法和实验测试值相比较, 结果基本一致。

致谢: 工作得到“九五”国家重点科技攻关项目(96-110-01-03-09)资助。

项目研究过程中得到长庆石油勘探局勘探开发研究院天然气开发室和化验室的大力支持和协助, 谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 戚厚发. 天然气储层物性下限及深层气勘探问题的探讨 [J]. 天然气工业, 1989, 9(5): 26~30
- 2 蔡正旗, 郑永坚, 刘云鹤等. 确定碳酸盐岩油气层有效孔隙度下限值的新方法 [J]. 西南石油学院学报, 1993, 15(1): 10~15
- 3 曾伟, 强平, 黄继祥. 川东嘉二段孔隙层下限及分类与评价 [J]. 矿物岩石, 1997, 17(2): 42~48
- 4 Harlaugh J W. Carbonate Reservoir Rocks. In: Chilingar G V, et al, eds. Carbonate Rocks [C]. Elsevier Amsterdam London New York, 1967. 349~398
- 5 Hone M E. Geostatistics and petroleum geology [M]. Van Nostrand Reinhold, New York, 1988

① 陕甘岭盆地中部气田马五. 储层开发研究报告, 1993

② 见戴金星等主编“中国天然气地质学”, 卷一, 北京: 石油工业出版社, 1992

A New Method Used to Determine the Lower Limit of the Petrophysical Parameters for Reservoir and Its Application: A case study on Zhongbu Gas Field in Ordos Basin

WAN Ling SUN Yan WEI Guo-qi

(Department of Earth Sciences Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract

It's important to exactly determine the lower limit of petrophysical parameters for reservoir in calculation of reserves. Laboratory test is commonly used to get the lower limit values. However, the test is complicated and takes a long time. As for intensively anisotropic reservoir, a large amount of data should be obtained which means much more time and costs. Therefore an easy, fast and economic method is necessary to be provided instead of traditional test. Distribution function is one of the most important mathematic characteristics of geological body. Distribution curve is often used to analyse the distribution regularity of the studied object. The distribution function curve method presented in this paper is a new statistic method used to determine the lower limit of petrophysical parameters for reservoir. Based on making full use of data from well logging interpretation available in oil-gas field, the distribution curves for effective and non-effective gas-bearing reservoirs are drawn in the same coordinate system respectively. Theoretically, if there exists a point of intersection for the two curves, the corresponding frequency must be zero. Actually, there is a superimposed region because of the mixed effects for the effective and non-effective gas-bearing reservoir. Under the condition of no separation of mixed effects, the value corresponding to the intersection point for the two curves is taken as the lower limit. This method is applied to the determination of lower limit for the gas-bearing reservoir of Zhongbu Gas Field in Ordos Basin. The results coincides well with the values obtained by methods of accumulative production capacity, experience statistics and laboratory test, which demonstrates that this method is successful and valuable to be extended.

Key words reservoir petrophysical parameters lower limit distribution function curve method Zhongbu Gas Field

(Continued from page 453)

of a decrease of the boundary faults action in the depositional age of the member, resulting in finer-grained front middle-fan deposition in the study area and coarse-grained proximal fan in the West Slope of Dongpu depression. This is why the alluvial fan sediments of E₂ member have finer grain-size in the study area. In seismic profiles and well-logging curves, three sedimentary cycles are recognized in the member, showing an fining-upward trend. The cycles are correlated between wells in the area, indicating the control of tectonics and weather.

Key words alluvial fan sedimentary cycles the No. 2 member of Shahejie Formation faulted lacustrine basin Dongpu depression