

文章编号: 1001-6112(1999)02-0146-04

渗透率非均质性参数计算及代表性分析

尹寿鹏

(石油大学地球科学系, 北京昌平 102200)

摘要: 渗透率是影响储层性质的主要物理参数之一, 根据大量国外研究成果和作者本人的实践, 对渗透率非均质性参数进行了系统的研究, 包括: 对渗透率的分布特征、各种均值参数的计算和比较、参数的合理性和代表性分析、渗透率非均质性参数标定以及地质因素对参数计算的影响等, 为油藏模拟和开发过程中渗透率参数的合理选取以及油气储量的计算提供依据。

关键词: 渗透率; 非均质性; 储层; 概率分布

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

1 渗透率非均质性参数分析

1.1 渗透率的统计分布特征

人们认为渗透率是一种有价值的随机特性, 渗透率具有对数正态概率密度函数的特性。许多学者对渗透率的分布作了分析研究, 其数据的分布特征表现为概率密度分布函数、对数正态或近似对数正态概率密度分布函数、指数概率密度分布函数^[1-2]。作者在分析大量的油田渗透率分布特征时, 发现渗透率经过对数变换后, 其分布特征基本为对数正态分布(图 1)。

Jensen (1987) 等认为上述的这些分析缺少统计分析的方法, 很难说另一种研究不会产生差别明显的结论, 而且对于渗透率的对数正态分布没有提出适当的变换形式以适应不确定的结果。因此, 提出了系统地研究渗透率分布特征的理论^[2], 具有一定的参考价值。

1.1.1 渗透率分布特征的理论

中心极限理论

$$S_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

X_i 为一组 $n+1$ 的随机变量, $i=1, 2, \dots, n$, 中心

极限定理表示为: 当 n 增至无穷大时, S_n 为正态分布, 在极限条件下不考虑 X_i 的分布, S_n 总是正态分布, 当 n 相当小时, S_n 的和值近似正态分布, 对成层的层平行流体流动方向的情况则为:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i$$

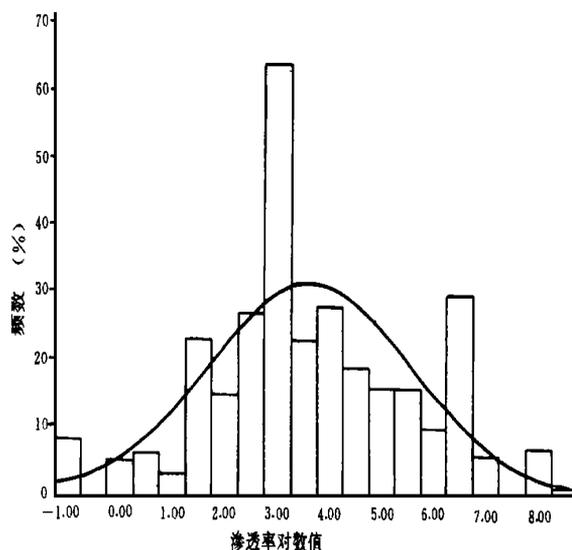


图 1 渗透率数据对数变换后分布特征

Fig 1 distribution feature of logged transformation of permeability values

收稿日期: 1998-04-13

基金项目: 中国石油天然气总公司重点科技攻关项目(85-103-01)

作者简介: 尹寿鹏(1966-), 男(汉族), 河北南皮人, 博士后, 从事比较沉积学及石油地质学研究

成层的层与流体流动方向垂直的情况则为:

$$(K_i)^{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_i)^{-1}$$

将 3 个方程比较, 或者 K_i 为近似正态分布, 或者 K_i^{-1} 为近似正态分布, 它们取决于层的结构。

1.1.2 实际的非均质介质的渗透率分布特征

渗透率实际非均质介质位置发生的总变化通常不在任何一个成层模型中重复出现, 然而在局部位置上述类型的成层层可以被认为非均质介质。此外, 水平的和垂直的成层层的网络可能重复实际非均质介质的随机特征, 若属上述情况, 总的渗透率的概率密度分布函数是单层概率密度分布函数的组合。于是提出 K^p 的概念, 在某些 p 值的条件下, K^p 为近似正态分布, 对每一总体, p 值应该是特定的。

1.2 平均渗透率值的估算值

至今报道的大多数关于储层特性的文献采用了对数渗透率为近似正态分布这一概念, 一个有意义的参数是取样地区的总的渗透率或有效渗透率, 有效渗透率常以 3 种形式出现, 即算术平均值、几何平均值、调和平均值。

算术平均值定义为: $K_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n K_i$

几何平均值定义为: $K_g = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n K_i}$

调和平均值定义为: $K_h = \frac{N}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i}}$

1.3 非均质性系数计算

渗透率和其它地质参数一样都表现出非均质性, 一般假设均质地层的非均质性系数为 0, 绝对非均质地层为 1, 两者之间的非均质系数可按下述方法计算: 用横坐标为地层无因次总厚度 $\sum H_i/H$ 和纵坐标为无因次总特征 $\sum H_i \times K_i/(KH)$ 关系曲线确定(表 1, 图 2), 图中 K 为地层总厚度 H 的加权平均值, H_i 、 K_i 分别为地层分段厚度和该地层段的参数, 各层段的参数在表中按由高到低的次序排列。图中对角线 OA 反映地层的均质性最强, OBA 表示非均质性最强, OCA 曲线表明非均质性的程度, OCAO 区与 OBAO 区的比值为非均质系数。非均质系数受数值大小范围及分布层厚度的影响, 因此应选取有代表性的岩性物性参数。

2 参数选取及代表性分析

渗透率原始数据的获取目前一般通过 3 个途径, 一是对取心并取样进行常规测试; 一是利用组合测井曲线进行解释; 另一种方法就是根据油藏的渗流特征利用流体力学知识通过压力恢复测试计算渗透率, 如 Begg 等(1987)通过达西方程用压力恢复和流体理论可以为油藏模拟中的网格赋予有效数据^[3]。

渗透率数据的选取应具有代表性, 根据研究对象和目的的不同应对原始数据进行加工, 在上述理论的指导下选取真实反映数据分布特征的参数。我国大多数油田一般用渗透率的平均值(K_{aver})、最大值(K_{max})、最小值(K_{min})、极差(K_{max}/K_{min})、极距($K_{max}-K_{min}$)、变异系数(标准差/ K_{aver})、突进系数(K_{max}/K_{aver})和均质系数(K_{aver}/K_{max})等参数来衡量非均质性的强弱。在所有这些参数中, 平均值和变

表 1 非均质性系数计算步骤

Table 1 Steps of the calculation of heterogeneous parameters

K_i	H_i	$K_i H_i$	H_i/H	$(K_i H_i)/(KH)$	$\sum H_i/H$	$\sum H_i \times K_i/(KH)$
25	0.3	7.5	0.059	0.078	0.059	0.078
22	0.3	6.6	0.059	0.068	0.118	0.146
20	1.95	39.0	0.382	0.405	0.500	0.551
19	1.95	37.0	0.382	0.384	0.882	0.935
15	0.3	4.5	0.059	0.047	0.941	0.982
6	0.3	1.8	0.059	0.018	1.000	1.000

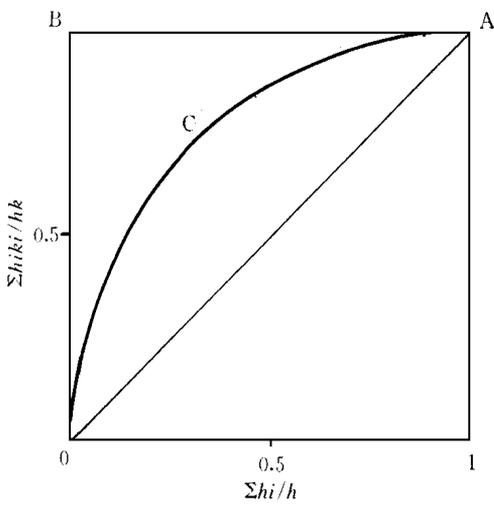


图 2 非均质性系数计算示意图
 Fig. 2 Schematic diagram of the calculation of heterogeneous parameters

异系数应是对数据的综合反映,其余参数只是人为的规定,国外也很少使用。关于平均值的算法可有不同的形式,如算术平均值、几何平均值、调和平均值、中位数、众数等。在这些均值的应用过程中,考虑到地质因素的影响,应分别对待。

国内外很多学者曾进行过研究,提出不同模型

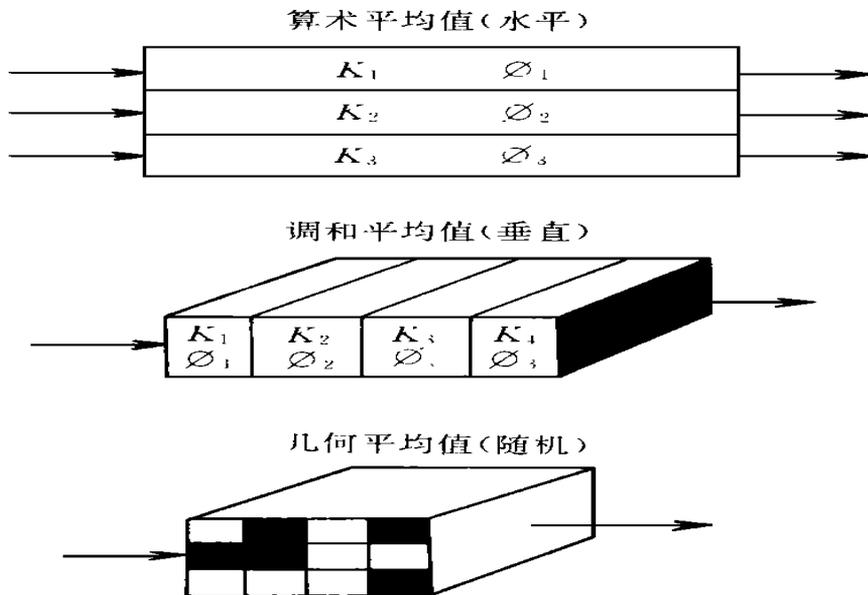


图 3 不同流动单元的渗透率平均值
 Fig. 3 Permeability averages of different fluid units

来标定渗透率的平均值^[2,4],并用生产进行验证以求得和油藏实际接近的渗透率值;通过压实和胶结作用模型研究对渗透率的影响因素分析^[5];风成砂岩中地层对渗透率的非均质性影响的分析,划分出 5 种渗透率模型和级次^[6]。从国内外学者的研究成果看,一般认为水平成层的地层用算术平均值;垂直成层的地层用调和平均值;随机分布的地层用几何平均值(图 3)。如果对地层情况不太了解则可用中位数或众数代替。Rollins(1992)在油气地层渗透率平均值研究中曾指出中位数是油藏渗透率平均值及油气层物性划分的重要参数^[7]。Clayton Deutsch(1989)对含有不同比例砂泥岩的储层利用油藏模拟技术进行渗透率值的计算,提出幂平均法和渗流模型,计算结果表明所得渗透率值介于算术平均值和调和平均值之间^[8]。

在储层的非均质性和预测模型研究中,对于影响油藏流体性质和开发效果的重要参数——渗透率,其选取方法各异,不同的衡量渗透率平均情况的均值差异很大,作者对青海跃进二号油田中浅层油藏不同均值类型的渗透率进行计算(表 2),从表中可知,几何平均值与有效渗透率最接近,调和平均值和算术平均值是有效渗透率的上、下限。

表 2 不同渗透率均值类型比较

Table 2 Comparison of different permeability averages

样品个数	算术平均值	调和平均值	几何平均值
260	572.75	2.99	41.10
458	386.40	1.43	38.86
271	382.54	5.18	36.20
258	509.90	6.41	51.16
220	173.01	1.74	20.25
322	299.81	2.01	45.56
336	382.89	2.23	61.38
248	214.69	1.13	15.64
156	47.31	1.36	8.03
156	33.48	0.73	2.36
66	402.94	9.41	68.86
48	296.74	13.76	55.81
122	172.75	7.21	33.89
71	79.16	4.26	21.12

3 结论

渗透率是对油藏的非均质性反映比较敏感的重要物理参数, 渗透率的非均质性变化表现在两个方面, 即垂向和横向的变化。在垂向上, 由于其值的变化程度剧烈, 因此, 很难用简单的算术平均值来衡量, 而必须考虑到数据本身的分布特征以及地质因素的影响(如地质体的组成结构、空间展布形式等),

对不同的均值方法进行计算, 选取具有代表性的非均质性参数。在横向上, 由于地质因素的影响具有地区性和随机性, 因此可利用地质统计学的理论对渗透率进行区域变化的分析和度量。

参 考 文 献

- 1 Bachu S Underschultz J R. Regional porosity and permeability variations, Peach River Area, Alberta Canada. *AA PG Bulletin*, 1992, 76, 547~ 562
- 2 Jensen J L, Hinkley D V, Lake L W. A statistical study of reservoir permeability: distribution, correlation and averages. *SPEFE*, 1987, 461- 468
- 3 Begg S H et al. Assigning effective values to simulator grid-block parameters heterogeneous reservoirs. *SFE* 16754, 1987
- 4 Wardlaw N C. Factors affecting oil recovery from carbonate reservoirs and prediction of recovery: carbonate reservoir characterization: a geologic- engineering analysis, Part 2, Development on Petroleum Science 44. *ELSEVIER*, 1996
- 5 Bryant I D, Flint S S. Quantitative clastic reservoir geological modeling problems and perspectives. *Spec. Publ. Int. Ass. Sed. 1993*, 15, 3~ 20
- 6 Chandler M A et al. Effects of stratigraphic heterogeneity on permeability in eolian sandstone sequence, Page sandstone, Northern Arizona. *A. A. P. G Bulletin*, 1989, 73(5): 658~ 668
- 7 Rolins J B et al. Characterizing average permeability in oil and gas formation. *SPEFE*, 1992, 99~ 105
- 8 Deutsch C V. Calculating effective absolute permeability in sandstone/shale sequence. *SPEFE*, 1989, 343- 348

THE CALCULATION AND REPRESENTATIVE ANALYSIS OF PERMEABILITY HETEROGENEOUS PARAMETERS

Y N Shoupeng

(Department of Geoscience, University of Petroleum, Beijing 102200, China)

Abstract

Permeability is one of the most important parameters affecting reservoir physical properties. This paper, based on the study of reservoir heterogeneity parameters home and abroad, gave a systematic analysis of various heterogeneous parameters, including the plane distribution features, probability distribution characteristics, calculation and comparison of different average values, rational selection and utilization of parameters, analysis of representative, characterization of parameters, and geological factors affecting the calculation of parameters, in order to provide practical permeability parameters in the course of reservoir simulation and the calculation of oil and gas reserves.

Key words: permeability; heterogeneity; reservoir probability distribution