

利用试井压力描述储层非均质性*

程时清 陈平中

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

试井压力资料能有效表述储层非均质性。导数曲线中期有规律地向下弯曲, 表明储层的储能系数增大; 反之, 储能系数减小。导数曲线中期呈台阶状向上或向下偏离水平线时, 表明储层的流动系数减小或增大, 赫诺曲线径向流直线段的斜率也会相应变大或减小。塔里木盆地几个实例很好地说明了这一点。

关键词 试井压力 储层 非均质性 导数曲线 赫诺曲线 流动系数 储能系数

第一作者简介 程时清 男 32岁 副教授 开发地质

储层非均质性是油藏描述的核心内容, 早期动态描述是目前有待解决的难题。80年代以来, 国外对直接根据不稳定试井资料研究储层非均质性进行了理论探讨^[1,2]。然而, 国内仍未开展这项工作。本文介绍了利用勘探阶段试井资料描述储层非均质性的方法, 以期抛砖引玉。

1 基本原理

通常认为试井获取的信息是测试半径内储层宏观性质的体现^[3]。均质、双孔、双渗、复合等试井模型, 都认为介质是均匀的或局部是均匀的, 实际上储层非均质性是储层的普遍特性。在开发储层评价中, 人们更关心赋存流体的岩石非均质性和岩石空间中赋存流体的性质和产状的非均质性。这两种非均质性往往是相互关联又相互制约的, 其中岩石非均质性起主导作用, 控制储层孔隙中流体的分布和流动。

在油气井测试过程中, 流体经过测试层孔隙空间分布不均匀的通道时, 运动速度明显不一致, 压力波传播速度也将发生变化。通过井底压力计记录随时间和空间变化的压力, 就能很好地表述测试层内储层的非均质性。

通过研究有效厚度(h)、孔隙度(Φ)、渗透率(K)、流体粘度(μ)、综合压缩系数(C_r)等参数可以描述储层非均质性。但是直接根据单井试井资料确定任一参数的空间分布比较困难。尽管最近有些学者探讨了确定渗透率径向分布的试井分析方法^[4,5], 但仍然与实际沉积特征有很大差别。因此, 可考虑采用几个参数的组合来研究储层的非均质性。

储层模型识别及非均质性的确定离不开压力双对数及导数曲线的形状。一条完整的试井

* 国家“八五”科技攻关项目研究成果(85-101)

收稿日期: 1995-03-31 改回日期: 1995-04-26

压力曲线,可以划分为早期、中期(径向流动期)、晚期三个阶段。反映储层信息的主要是中期。对于均质储层,导数曲线中期呈现一条水平线,赫诺曲线呈现规则的直线段。如果导数曲线中期偏离水平线,则说明测试层内存在非均质性。这种非均质性可用储能系数(ΦC_h)和流动系数(Kh/μ)来描述*。

若导数曲线在中期有规律地向下弯曲偏离水平线,表明储层的储能系数增大。反之,则表明储层的储能系数减小(图1)。当导数曲线偏离水平线的幅度很大时,赫诺曲线也将偏离中期径向流直线段。

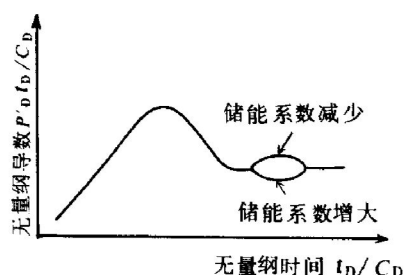


图1 储能系数变化示意图

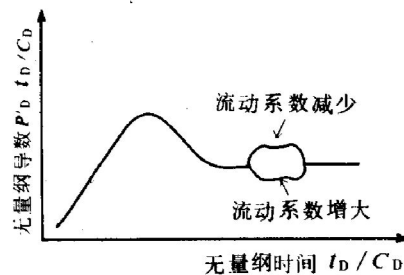


图2 流动系数变化示意图

导数曲线在中期呈台阶状上升偏离水平线,在排除储能系数变化情况下,表明储层的流动系数减小;反之,表明储层的流动系数增大(图2)。当流动系数增大或减小时,赫诺曲线径向流直线段的斜率也将减小或增大。

2 典型实例分析

2.1 例1

A井是塔中地区某构造上的一口探井,发现石炭系共有3套油层。 C_1 油层组为碳酸盐岩,该油层组3537~3554m井段试井曲线见图3所示。赫诺曲线存在两条直线段,第二直线段斜率比第一直线段小(图3a),表明离井筒远处流动系数变大。导数曲线中期呈明显下凹偏离水平线(图3b),也说明了这一点。

本次试井是在高能气体压裂后进行的,压裂前井底附近堵塞严重,表皮系数高达43。压裂后产量增加了4倍。可能是压裂后部分消除了井底附近堵塞带,压裂形成的裂缝与远处高渗透带相连通,从而使流动系数增大,提高了油井产量。另外,该油层为凝析油气层,也可能是压裂后与构造最上部轻质组分气体形成了通道,上部气体粘度小,因此使流动系数增大。

2.2 例2

B井是塔中地区一口预探井,共发现3套含油储层。其中,石炭系下部东河砂岩储层为厚度大、连通性好的块状砂体,是主力产油层。

该井在试采半年之后对5705~5800m井段进行地面直读电子压力计试井,试井分析曲线

* Gringarten A C. New development in well-test analysis. Scientific Software Intercompany, 1993

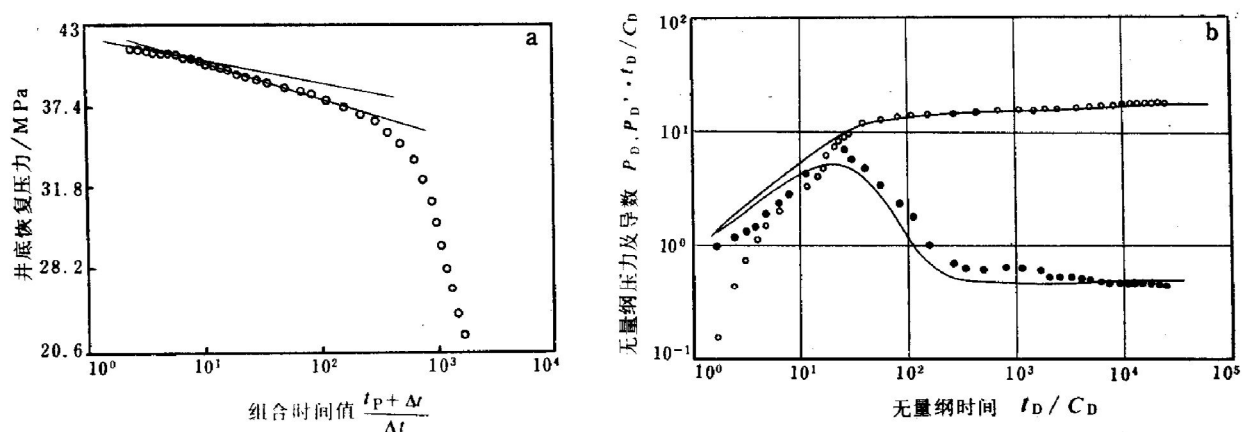


图3 A井3537~3554m井段试井分析曲线

a—赫诺曲线 $\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$

b—双对数及导数曲线

早期和中期见图4所示。赫诺曲线中期直线段非常规则，斜率无变化(图4a)，似乎表明储层不存在非均质性，但在导数曲线中期两次明显偏离水平线，先是向下凹，持续时间较长，接着向上凸，持续时间短(图4b)，表明储层的储能系数发生了变化。

根据沉积微相分析，本井油层内部存在23个厚度不等的夹层。试井前产油剖面测试表明，长达75m的生产层段出油严重不均匀，有效产油厚度只有40m。综合分析后认为，储能系数的变化主要是有效厚度的变化引起的。导数曲线第一次下凹表示储能系数增大，夹层变薄或消失，有效厚度变大；第二次上凸则表示储能系数减小，表明夹层增厚，有效厚度变小。

2.3 例3

塔中地区另外一口探井C井，3353~3358m井段试井曲线如图5所示。赫诺曲线(图5a)中期径向流直线段非常规则，不存在第二直线段(图5a)；但导数曲线明显出现上下波动现象，而且随着试井时间的增大，这种波动越来越强烈(图5b)，表明远离井筒方向储层非均质性越来越严重。

该测试井段属于石炭系C₁油层组，是目前石炭系含油性最差的油层组。岩性为砂岩、泥岩间互层，横向分布极不稳定。因此，储层有效厚度在平面上分布不稳定，导致储层的储集性能时大时小。

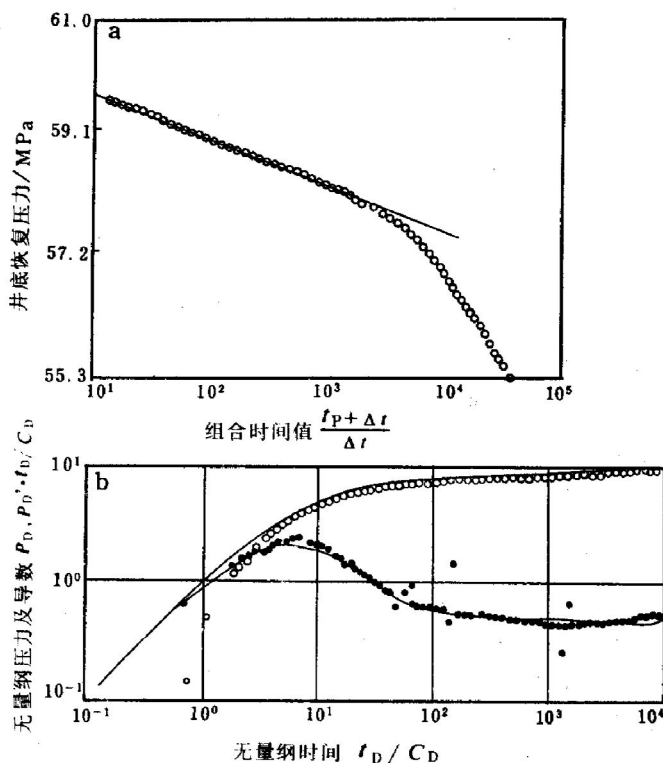


图4 B井5705~5800m井段试井分析曲线

a—赫诺曲线 b—双对数及导数曲线

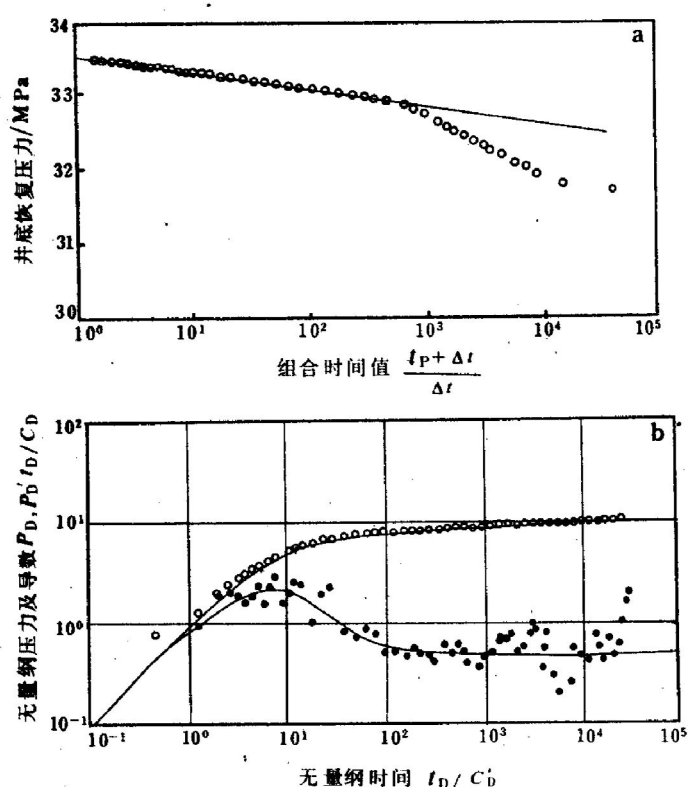


图5 C井3353~3358m井段试井分析曲线

a—赫诺曲线 b—双对数及导数曲线

3 几点认识

根据塔里木盆地大量试井曲线分析,得到以下几点认识。

(1) 导数曲线是认识和分析储层非均质性的有效手段。若导数曲线中期呈台阶状变化,赫诺曲线则出现另一斜率的直线段;若导数曲线中期向上或向下波动,但比较轻微,赫诺曲线中期径向流直线段斜率一般无明显变化;只有当导数曲线中期波动很严重时,赫诺曲线才有明显偏离,出现第二斜率直线段。这种规律有助于分析储层非均质性变化的原因。

(2) 塔里木盆地大多数试井层位存在层内非均质性。这种储层非均质性主要是试井层内夹层分布不稳定及流体性质变化引起的。导数曲线中期偏离水平线的幅度越大,表明储层非均质性越严重。

(3) 储层非均质性描述还应结合沉积

微相分析及岩芯和测井研究成果,动态研究与静态研究相结合。

本文得到了塔里木石油勘探开发指挥部阎建富副总地质师、刘建勋高级工程师、张延星工程师的支持和帮助,谨致以衷心谢意。

参 考 文 献

- 1 Deng Xianfa, Horne R N. Well test analysis of heterogeneous reservoirs. The 68th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineering. Houston; Editorial Committees of the Society of Petroleum Engineers, 1993. 431~442
- 2 Noetinger B. A pressure moment approach for helping transient analysis in complex heterogeneous reservoirs. The 68th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineering. Houston; Editorial Committees of the Society of Petroleum Engineers. 1993. 521~529
- 3 夏位荣,程时清. 利用试井资料研究和评价区块油气层特征. 大庆石油地质与开发, 1993, 13 (1): 56~58
- 4 Feitosa G S, Chu Lifu, et al. Determination of permeability distribution from well - test pressure data. JPT, 1994, 46 (7): 607~615
- 5 Oliver D S. Estimation of radial permeability distribution from well - test data. SPE Formation Evaluation, 1992, 7 (4): 290~296

DESCRIPTION OF RESERVOIR HETEROGENEITY USING WELL-TEST PRESSURE

Chen Shiqing Chen Pingzhong

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

Abstract

The data of well-test pressure could be used to describe reservoir heterogeneity. When derivative curves bend downward in middle stage, the storage coefficient of the reservoir increases; on the contrary, the storage coefficient decreases. When the derivative curves step up or step down from horizon, the flow coefficient of the reservoir also decreases or increases, and the obliqueness of the straight part of radial flow on Horner curve would become bigger or smaller accordingly. Several examples in Tarim Basin have proved this.