

## 砂砾岩体期次内幕非均质表征方法研究

田选华<sup>1,2</sup>, 杨勇<sup>2</sup>, 陆正元<sup>1</sup>, 胡罡<sup>2,3</sup>

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 四川成都 610059;

2. 中国石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东东营 257015; 3. 广东石油化工学院石油工程学院, 广东茂名 525000)

**摘要:**基于单井单期次渗透率曲线,提出了一种砂砾岩体油藏沉积期次内幕非均质表征的新方法,称为渗透率曲线方法.此方法在砂砾岩油藏单井单期次渗透率曲线图上定义基线、突起、突起面积等基本概念,建立非均质表征参数 A、B,并根据 A、B 参数的匹配关系,建立了非均质性依次变强的 4 种表征砂砾岩体期次内幕非均质类型的理论模型,再结合其他油藏静态指标,譬如储量丰度、平均单井产能等,建立了砂砾岩体沉积期次内幕综合评价体系.实例研究结果表明,与传统参数表征方法相比,渗透率曲线法在表征砂砾岩沉积期次内幕非均质性,评价储层产油(注水)能力、渗透能力等特征方面具有显著的优势.

**关键词:**砂砾岩;沉积期次内幕;非均质性;渗透率曲线;表征

**中图分类号:**TE122.2+4 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.11.008

**引用格式:** Tian Xuanhua, Yang Yong, Lu Zhengyuan, et al. Study on the heterogeneous characterization method of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014, 44(11): 933-942.

田选华, 杨勇, 陆正元, 等. 砂砾岩体期次内幕非均质表征方法研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2014, 44(11): 933-942.

### Study on the heterogeneous characterization method of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir

TIAN Xuanhua<sup>1,2</sup>, YANG Yong<sup>2</sup>, LU Zhengyuan<sup>1</sup>, HU Gang<sup>2,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oilfield, Sinopec, Dongying 257015, China;

3. School of Petroleum Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

**Abstract:** On the basis of the permeability curve of a single sedimentary cycle of the single well, a new heterogeneous characterization method of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir was presented, which was named permeability curve method. First, the fundamental concepts were defined in the permeability curve of a single sedimentary cycle of the single well in sand-gravel body reservoir, which included base line, protrusion and protrusion area. Second, the heterogeneous characterization parameters A and B were founded. Thirdly, four theoretical models were built with the order of increasing heterogeneity. Fourthly, using the four theoretical models and other static, dynamic parameters such as

收稿日期:2014-04-30;修回日期:2014-10-27

基金项目:国家科技重大专项项目(2011ZX05011-003),中国石油化工股份有限公司科技攻关课题(P05026)资助.

作者简介:田选华,女,1981年生,博士.研究方向:油气藏开发地质. E-mail: huyanxi05@163.com

通讯作者:胡罡,高级工程师. E-mail: hgcdut@126.com

reserves abundance and initial production of a single well, the comprehensive evaluation system which could characterize the heterogeneity of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir was established. The case research results prove that, compared with the traditional parameter characterization method, the permeability curve method has significant advantages in heterogeneous characterization and effectiveness evaluation of reservoir.

**Key words:** sand-gravel body; internal sedimentary cycle; heterogeneity; permeability curve; characterization

## 0 引言

目前,基于砂砾岩体期次内幕非均质方法的研究已大量开展,其中大多数定量研究方法是基于传统的参数表征方法,主要包括统计方法和分形方法。其中统计方法用均值、方差、均质系数、非均质系数、变异系数、歪度系数、分选系数来描述储层的非均质性<sup>[1-14]</sup>,而分形方法则用分形维数来描述储层的非均质性<sup>[2,4,8-13,15]</sup>。然而,在表征储层非均质性参数的选取过程中,人为因素起主要作用<sup>[4]</sup>,另外考虑到成本因素,矿场取心井、岩心测试分析等都会受到一定的限制,因此传统参数表征方法的预测精度存在着较多的不确定性。对于物源快速堆积,储层岩性复杂、粒径变化大、砂岩的成分成熟度及结构成熟度低、岩石分选差、物性变化大、非均质性极强的砂砾岩体沉积期次内幕而言,表征参数的选取更为困难,因而传统的表征储层非均质性方法适应性更差,难

以有效地指导油藏开发实践<sup>[1,4-5,13,16-28]</sup>。

砂砾岩体的沉积期次是指物源以重力流形式快速推进到凹陷内部所形成的一期扇体的总称<sup>[20-28]</sup>。期次有大小之分,相对大的期次定义为一级期次,即砂砾岩体沉积过程中一个相对完整的中长期旋回所形成的一期扇体<sup>[20-28]</sup>(图 1)。一级期次与地层层序中的一个砂层组相当,沉积厚度多为几十米~几百米,平面分布范围可达几百平方千米。相对小的期次定义为二级期次,即砂砾岩体沉积过程中不完整的短期旋回所形成的一期扇体<sup>[20-28]</sup>(图 1)。二级期次与地层层序中的一个小层相当,沉积厚度多为几米~几十米,平面分布范围可达几十平方千米。本文中提到的沉积期次为一级期次。砂砾岩体一般为多期发育、多次沉积形成的复合体,其内部结构复杂,由于受沉积环境的影响,生物化石缺乏,沉积厚度大,岩性差异不明显,岩电关系不对应,特别是横向岩性的变化剧烈、不稳定,因此砂砾岩体期次内幕研究相当困难<sup>[20-29]</sup>。

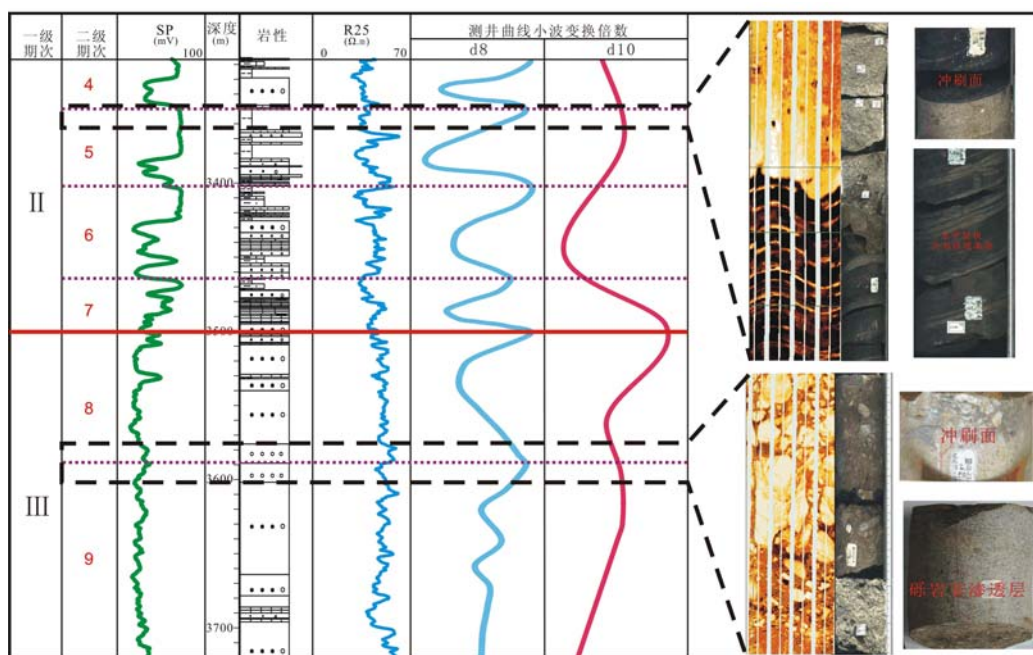


图 1 盐 22-22 井一级、二级期次界面特征图<sup>[28]</sup>

Fig. 1 Characteristic map of the first-order and second-order depositional stage surfaces in well Y22-22<sup>[28]</sup>

鉴于砂砾岩体通常表现为多期次厚度不等的正韵律的叠加,横向变化快<sup>[20-28]</sup>,因此砂砾岩体期次内幕纵向非均质性研究是探讨不同沉积期次储层的非均质性特征,评价不同沉积期次储层的优劣性的重要手段.本研究旨在建立一个全新的单井渗透率曲线,将单井渗透率曲线当作一种评价模型,用以表征砂砾岩体沉积期次内幕的非均质类型,并评价其储层的优劣性.该基于单井渗透率曲线表征砂砾岩体沉积期次内幕非均质性的新方法可称为渗透率曲线法.与此同时,本研究还通过动、静态相结合的方式,建立合理的砂砾岩体沉积期次内幕综合评价体系.这样,既避免了传统方法对此类油藏开发研究指导意义不强,且易造成错误认识的问题,又赋予了单井渗透率曲线新的地质含义,并拓展了其应用范围,丰富了砂砾岩油藏储层非均质表征方法.

## 1 渗透率曲线法

### 1.1 基本概念

这里,渗透率曲线是指单井纵向上的渗透率与井深的关系曲线,其中渗透率单位为  $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,用对数坐标表示(图 2、图 3).为了说明问题,提出了如下概念:

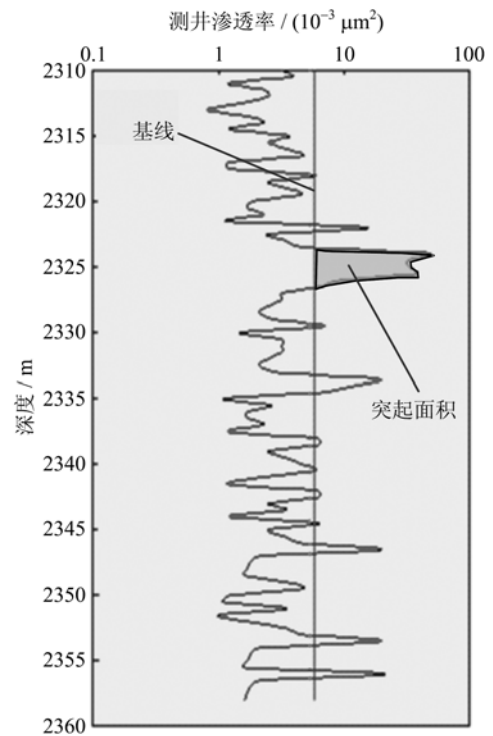


图 3 单井渗透率曲线图基线、突起面积示意图

Fig. 3 Base line and protrusion area in the permeability profile of a single sedimentary cycle of the single well

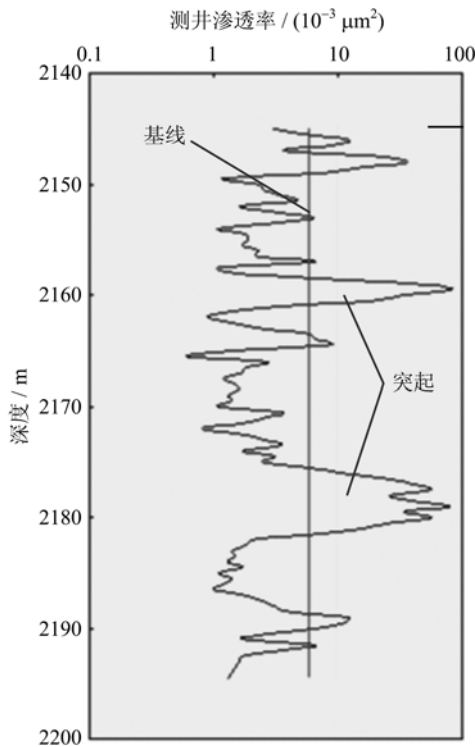


图 2 单井渗透率曲线图基线、突起示意图

Fig. 2 Base line and protrusion in the permeability profile of a single sedimentary cycle of the single well

下概念:

(I) 基线:渗透率曲线图上,垂直于测井渗透率轴的直线,其代表研究区块的平均渗透率.

(II) 突起:渗透率曲线图上,实际渗透率曲线上明显高于基线的一段曲线形成的“尖峰”,其地质含义为“一段相对高渗的储层”.

(III) 突起面积:突起与基线组成的闭合区域的面积,单位为  $\text{cm}^2$ ,其地质含义为“相对高渗段的整体品质”(既考虑相对高渗段的厚度,又考虑相对高渗段的渗透率大小即渗滤能力).

### 1.2 表征参数

在同一比例尺下的单井渗透率曲线图上,有

参数 A:单井单期次渗透率曲线图上,单个突起面积的最大值;

参数 B:单井单期次渗透率曲线图上,总突起面积/期次厚度.

其中,参数 A 的地质含义为最佳单个相对高渗段的产油能力与吸水能力(厚度、渗滤能力),相当于单井单期次厚度内所有相对高渗层段中的最大地层系数. A 值越大,反映该相对高渗层段的储层品质越好,产油能力与吸水能力越强.参数 B 的地质含义

为平均单位期次厚度内相对高渗段的渗滤能力,相当于单井单期次厚度内所有相对高渗透层段的平均渗透率. B 值越大,反映单位期次厚度内相对高渗层段的岩石性质越好,渗透性越好.

### 1.3 评价模型

根据单井渗透率曲线图上 A, B 参数的大小及匹配关系,理论上可以建立起 E 型、G 型、M 型、P 型 4 种砂砾岩沉积期次内幕非均质类型模型(图 4、表 1).

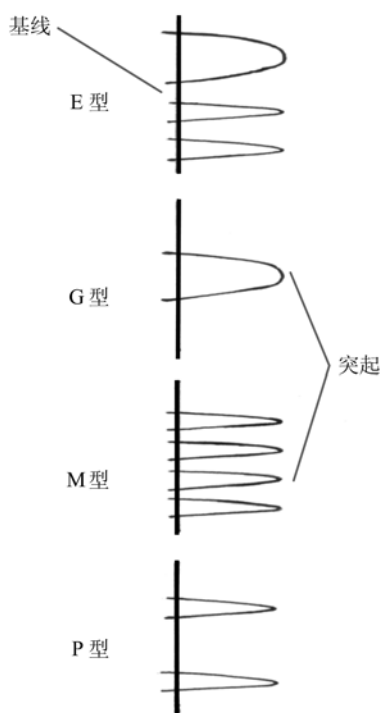


图 4 沉积期次内幕非均质类型模型示意图

Fig. 4 Heterogeneity models of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir

表 1 砂砾岩体沉积期次内幕非均质类型模型

Tab. 1 Heterogeneous models of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body Reservoir

| 非均质类型 | $A/(10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m})$ | $B/(10^{-3} \mu\text{m}^2)$ |
|-------|--|-----------------------------|
| E 型   | $\geq f(2/3)$                              | $\geq g(2/3)$               |
| G 型   | $\geq f(2/3)$                              | $< g(2/3)$                  |
| M 型   | $< f(2/3)$                                 | $\geq g(2/3)$               |
| P 型   | $< f(1/3)$                                 | $< g(1/3)$                  |

【注】  $f(x), g(x)$  定义为某地质(油藏工程)参数趋势函数.

为了便于描述研究区中各沉积期次的 A、B、储量丰度、单井产能等特征参数数值大小的分布状况,这里特别引入趋势函数  $f(x), g(x), k(x), u(x)$ . 其中  $x$  是自变量,指上述特征参数在各自的排序区间

内的分布状况(即所处的位置或次序),它是函数法则所施加的对象;而  $f, g, k, u$  是对应法则,指上述特征参数在相对应的分布区间内变化的态势,可以用趋势线来描述,例如  $f(x)$  可以用图 5 来描述,从图中不仅可以清晰地看到各沉积期次的特征参数 A 在其排序区间内所处的位置及数值大小,而且还可以看到特征参数 A 数值大小随其本身在排序区间内的分布状况(即所处的位置或次序)的改变而变化的规律或趋势.

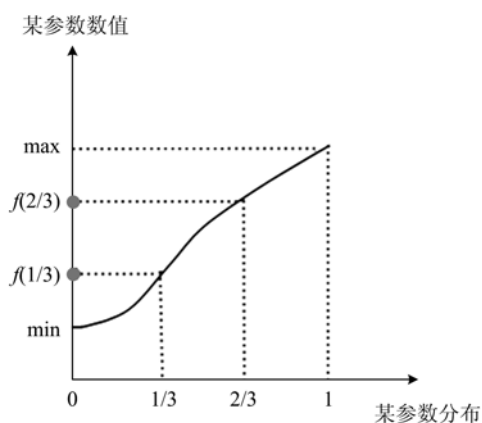


图 5 某地质(油藏工程)参数趋势函数曲线

Fig. 5 The curve of trend function about geology or reservoir engineering parameters

如图 4 和表 1 所示, E 型非均质模型的 A, B 参数值均较大,单井单期次渗透率曲线图表现为突起分布较密,且有单个面积相对较大的突起,反映期次内幕非均质性较强; G 型非均质模型的 A 参数值较大、B 参数值较小,单井单期次渗透率曲线图表现为突起分布疏松,且有单个面积相对较大的突起,反映期次内幕非均质性中等; M 型非均质模型的 A 参数值较小、B 参数值较大,单井单期次渗透率曲线图表现为突起分布较密,但缺乏面积相对较大的突起,反映期次内幕非均质性中等; P 型非均质模型的 A, B 参数值均较小,单井单期次渗透率曲线图表现为突起分布疏松,且缺乏面积相对较大的突起,反映期次内幕非均质性较弱.

实际工作中,可以先计算出单井渗透率曲线图上各沉积期次的 A, B 值,然后按 A, B 值的大小顺序将研究区内各沉积期次的 A, B 参数分为 3 级别,最后采用表 1 中的划分标准确定每一个期次的非均质类型. 可以看出, E 型储层非均质性强,且产油能力与吸水能力最强,渗透性最好; P 型储层非均质性较弱,且产油能力与吸水能力最差,渗透性最差; G

型、M 型储层非均质性中等,产油能力与吸水能力较强,但渗透性较差,或者产油能力与吸水能力较差,渗透性较好.即期次内幕非均质类型模型不仅可以定量地刻划出砂砾岩储层的非均质性强弱,而且可以反映出储层的产油或注水能力(表 1).

### 1.4 沉积期次综合评价体系

储层非均质性决定地下流体的渗流特征和分布规律<sup>[10,30-36]</sup>.王寿庆<sup>[36]</sup>、Montgomery<sup>[6]</sup>等的研究表明,储层的非均质性对油气产能有重要作用.从这个意义上说,建立起储层非均质性与地下流体的渗流特征、分布规律相互验证的综合评价体系,对于砂砾岩体油藏开发实践而言具有重要的指导意义<sup>[1,4-5]</sup>.为此,这里采用上述沉积期次 A, B 参数的分级方法,按数值的大小顺序先将各沉积期次的其他能够表征地下流体渗流特征和分布规律的指标(例如储量丰度、平均单井产能等)分成 3 个级别,然后根据砂砾岩体各沉积期次内幕的非均质类型、地下流体的渗流特征及分布规律指标值的大小分别给每个沉积期次内幕的非均质类型、渗流特征、分布规律情况打分(表 2).

表 2 砂砾岩体沉积期次内幕综合评价指标体系

Tab. 2 Comprehensive evaluation system of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir

| 分值 | 非均质模型   | 储量丰度<br>( $10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ ) | 平均单井产能<br>( $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ ) |
|----|---------|---|--|
| 10 | E 型     | $\geq k(2/3)$                                     | $\geq u(2/3)$                                |
| 5  | G 型、M 型 | $k(1/3) \sim k(2/3)$                              | $u(1/3) \sim u(2/3)$                         |
| 0  | P 型     | $< k(1/3)$  | $< u(1/3)$                                   |

【注】  $k(x)$ ,  $u(x)$  定义为某地质(油藏工程)参数趋势函数.

这样,将上表中的 3 个指标(非均质类型、储量丰度、平均单井产能)分值累加起来,就可以建立起砂砾岩体沉积期次储层的综合评价体系(表 3). 其具体判别标准为:总分值  $\geq 20$  分评价为 I 类砂砾

岩;10~20 分评价为 II 类砂砾岩;小于 10 分则为 III 类砂砾岩(表 3). 假如某一沉积期次内幕非均质性评价指标具有以下特点:非均质类型为 E 型,储量丰度值分布在  $k(1/3) \sim k(2/3)$  的储量丰度范围内,平均单井产能分布在  $\geq u(2/3)$  的产能范围内,那么其非均质类型、储量丰度、平均单井产能的分值分别为 10, 5, 10, 即总分为 25, 于是该沉积期次内幕可以判定为 I 类储层. 可以看出,这种评价体系具有明显的优势:首先是能对储层的产油能力与注水能力、渗滤能力、非均质性进行合理的评价,其次是能动、静态相结合,最后是可以避免由于储层污染等原因造成某期次产能较低时,对该期次内幕做出错误的评价.

表 3 砂砾岩体沉积期次内幕综合判别标准

Tab. 3 Comprehensive evaluation criterion of the internal sedimentary cycle in sand-gravel body reservoir

| 总分        | 综合评价  |
|-----------|-------|
| $\geq 20$ | I 类   |
| 10~20     | II 类  |
| $< 10$    | III 类 |

## 2 实例应用

为了验证渗透率曲线法在表征砂砾岩体期次内幕非均质特征、评价砂砾岩储层的优劣等方面的可靠性和实用性,这里选取胜利埕东油田埕 913 块沙三下砂砾岩体油藏<sup>[17]</sup>一级沉积期次储层为研究对象开展对比研究.

### 2.1 传统非均质表征方法(基于传统参数表征的方法)

从传统表征方法的统计分析看,埕东油田埕 913 块沙三下砂砾岩体油藏各期次渗透率变异系数均  $> 0.7$ , 非均质系数  $> 3$ , 反映各期次均具有很强的非均质性(图 6、图 7). 这就是说,如果采用传统表征方法来描述砂砾岩内幕非均质性的话,只能得出“各

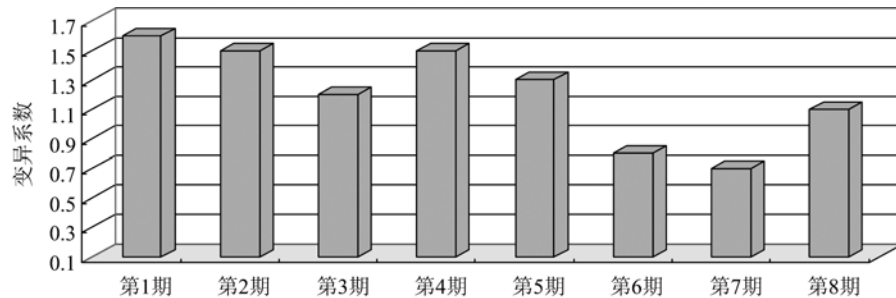


图 6 埕 913 块沙三下油藏砂砾岩各期次变异系数分布柱状图

Fig. 6 Variation coefficient histogram of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield

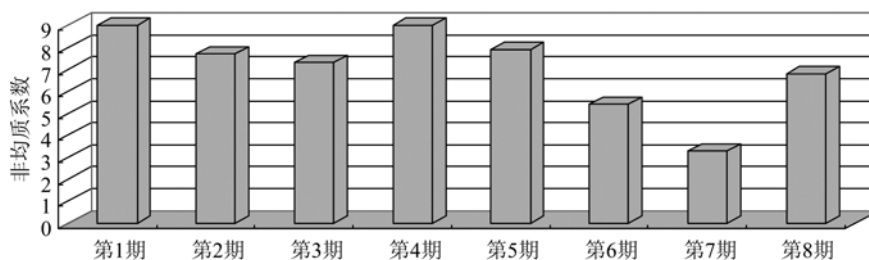


图 7 埕 913 块沙三下油藏砂砾岩各期次非均质系数分布柱状图

Fig. 7 Heterogeneity coefficient histogram of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield

期次非均质性均较强”的结论. 这一结论显然对于开发研究的指导意义不大.

### 2.2 渗透率曲线图法

通过分析单井单期次渗透率曲线图上的 A, B 参数值及其匹配关系可知, 埕 913 块沙三下砂砾岩体油藏一级沉积期次储层仅存在 E 型、M 型、P 型 3 种非均质类型(图 8~图 11). 再结合储量丰度、平均单井产能等指标, 建立了埕 913 块沙三下砂砾岩油藏沉积期次内幕非均质评价参数标准(表 4). 由此标准, 可以得到如下评价结论: ①第 1, 2, 4 期次为 I 类储层; ②第 3, 8 期次为 II 类储层; ③第 5, 6, 7 期次

为 III 类储层(表 5).

表 4 埕 913 块沙三下砂砾岩油藏渗透率曲线图法期次综合评价参数标准

Tab. 4 Comprehensive evaluation system of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield, which is established using the permeability curve method

| 分值 | 分均质类型 | 储量丰度 / ( $10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ ) | 单井产能 / ( $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ ) |
|----|-------|--|---|
| 10 | E 型   | >100   | >18                                       |
| 5  | M 型   | 50~100   | 8~18                                      |
| 0  | P 型   | <50  | <8  |

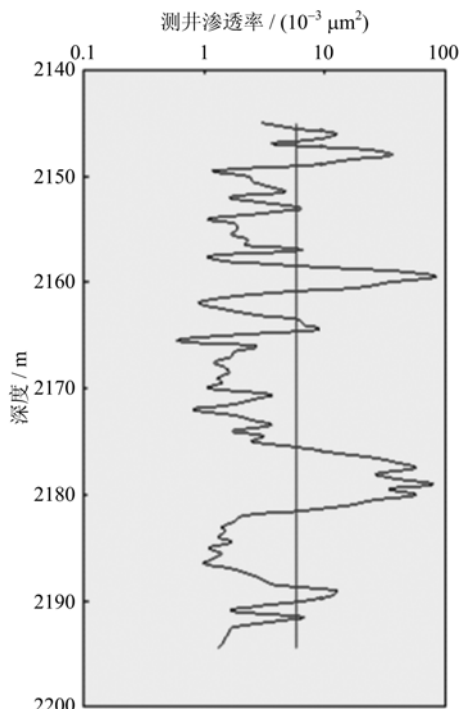


图 8 埕 913 块沙三下油藏 E 型期次示意图 (埕 913-7 井, 第 1 期)

Fig. 8 Theoretical model E of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield (C913-7, the first sedimentary cycle)

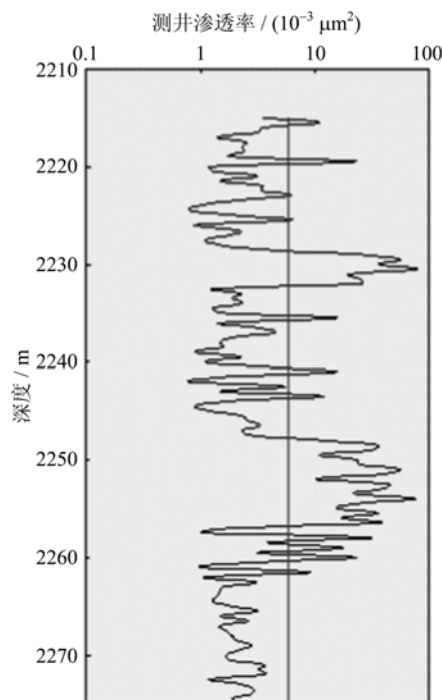


图 9 埕 913 块沙三下油藏 E 型期次示意图 (埕 913-2 井, 第 2 期)

Fig. 9 Theoretical model E of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield (C913-2, the second sedimentary cycle)

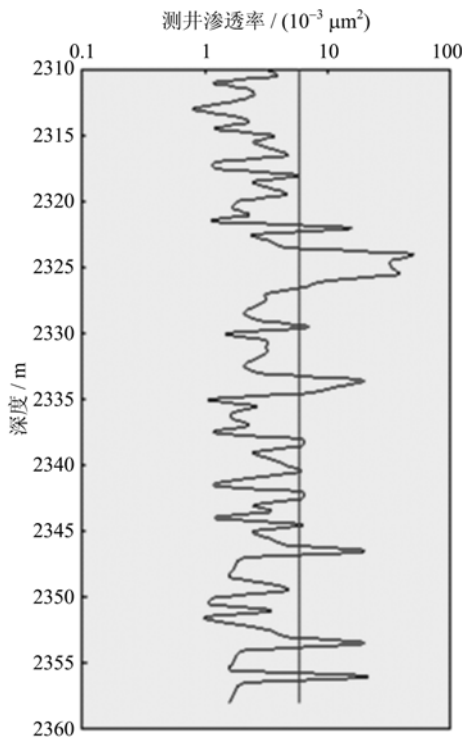


图 10 埕 913 块沙三下油藏 M 型期次示意图  
(埕 913-18 井, 第 4 期)

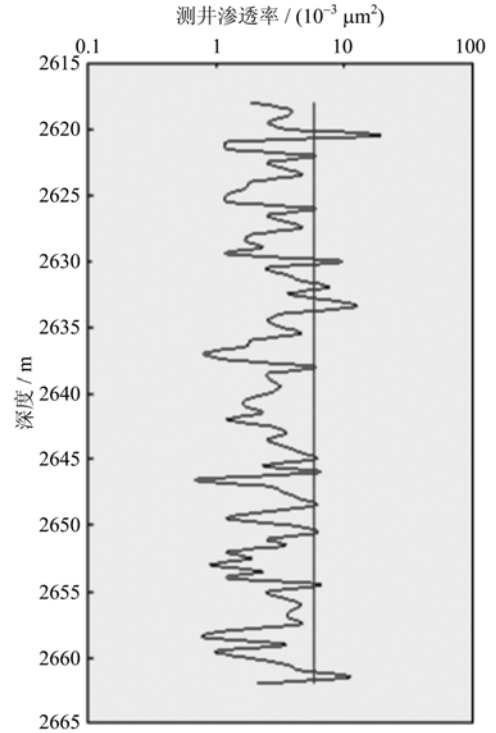


图 11 埕 913 块沙三下油藏 P 型期次示意  
(埕 913-13 井, 第 6 期)

Fig. 10 Theoretical model M of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield (C913-18, the fourth sedimentary cycle)

Fig. 11 Theoretical model P of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield (C913-13, the sixth sedimentary cycle)

表 5 埕 913 块沙三下砂砾岩体期次内幕综合评价成果  
Tab. 5 Results of the comprehensive evaluation of the internal sedimentary cycle in the lower 3st member of Shahejie formation in Cheng 913 block oilfield

| 期次 | 非均质类型 | 储量丰度 / (10 <sup>4</sup> t · km <sup>-2</sup> ) | 单井产能 / (t · d <sup>-1</sup> ) | 总分 | 综合评价结论 |
|----|-------|--|-------------------------------|----|--------|
| 1  | E 型   | 214  | 19.8                          | 30 | I 类    |
| 2  |       | 324  | 19.1                          | 30 | I 类    |
| 3  | M 型   | 80   | 13.8                          | 15 | II 类   |
| 4  |       | 199  | 8.2                           | 20 | I 类    |
| 5  |       | 36   | 7.3                           | 0  | III 类  |
| 6  | P 型   | 49   | 7                             | 0  | III 类  |
| 7  |       | 19   | /                             | 0  | III 类  |
| 8  | M 型   | 61   | 4.8                           | 10 | II 类   |

2.3 对比分析

通过对比研究,可以得到以下认识:①非均质相对较弱的沉积期次,不一定是较好的储层,例如传统表征方法认为沉积期次内幕非均质性相对“较弱”的第 6,7 期砂砾岩,平均产能却是最低的,即动静态特征表现不一致(图 6、图 7、表 4、表 5)。这表明传统表征方法在砂砾岩体沉积期次内幕非均质性评价中可

能会得出错误的认识。②传统表征方法仅能得出“各沉积期次内幕非均质性均较强”的结论,却无法对各沉积期次内幕非均质性做出差异性的定量评价(图 6、图 7)。这表明传统表征方法存在一定的缺陷。③与传统表征方法相比,渗透率曲线法却能通过与矿场实践以及油藏动、静态特征的互相结合、互相印证的方式较好地对各沉积期次做出综合性的、合理的评价,即渗透率曲线法可以直接应用到砂砾岩储层综合评价中。例如第 1,2,3,4,5,6,7 沉积期次储层评价结论不仅符合储层的静态特征(非均质类型、储量丰度等),而且还能与储层的动态特征(平均单井产能)进行相互验证,尤其是避免了第 4,8 沉积期次因平均单井产能偏低而进行的错误评价,有效地提高了砂砾岩储层综合评价的准确性(图 6、图 7、表 4、表 5)。动态分析认为,第 4,8 沉积期次储层平均单井产能较低主要是由储层受到污染引起的,而其沉积期次储层本身就是优质的储集层,因此可以将其综合评价为 I, II 类砂砾岩储层。④传统表征方法只能定性或接近半定量地反映砂砾岩体油藏的产能特征<sup>[10,30-36]</sup>,而渗透率曲线法却能定量地与储量丰

度、产能等砂砾岩体油藏静态、动态特征参数之间建立起较好的相关关系。

### 3 结论

本文基于单井单期次渗透率曲线图,建立了砂砾岩体沉积期次内幕非均质类型理论模型及合理的砂砾岩体沉积期次内幕综合评价体系,提出了一种利用单井单期次渗透率曲线表征砂砾岩体期次内幕非均质的新方法,解决了传统方法对砂砾岩体油藏开发研究指导意义不强,且易造成错误认识的问题,同时也丰富了砂砾岩油藏储层非均质表征方法。

研究认为,传统非均质参数表征的方法对沉积期次内幕非均质性极强的砂砾岩储层适用性较差;而基于渗透率曲线的新方法却能较好地沉积期次内幕非均质性极强的砂砾岩体各期次储层做出综合性的、合理的评价,因而其较传统参数表征的方法更可靠、合理。

鉴于该新方法预测或评价精度依赖于砂砾岩油藏测井一次(二次)解释成果的准确性,因此,在应用过程中需要加强基础资料误差的控制。另外,该表征方法目前还停留在人工操作的应用阶段,亟需进一步实现评价过程的标准化、软件化,以谋求为砂砾岩油藏分期次开发或差异化开发研究奠定良好的地质基础。

**致谢** 感谢中国石化胜利油田分公司地质科学研究院副总工程师郭迎春高级工程师为作者提供的研究学习机会,感谢中国石化胜利油田分公司地质科学研究院专家武刚高级工程师在具体研究工作及论文撰写过程中给予的大力支持;感谢中国地质大学(北京)能源学院王艳红博士提供的帮助。

#### 参考文献(References)

- [1] He Hui, Song Xinmin, Jiang Youwei, et al. Heterogeneity of sandy conglomerate reservoir and its influence on remaining oil distribution: A case study from Badaowan Formation in the mid-west of block II in Karamay Oilfield[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2012, 24(2):117-123.  
何辉,宋新民,蒋有伟,等.砂砾岩储层非均质性及其对剩余油分布的影响:以克拉玛依油田二中西区八道湾组为例[J]. *岩性油气藏*, 2012, 24(2):117-123.
- [2] Zhao Yanyan, Li Liuren, Wu Xiaodong. A new method for quantitatively describing the lateral heterogeneity of reservoir permeability[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2006, 21(5): 62-64.  
赵艳艳,李留仁,吴晓东.一种定量描述油藏渗透率水平非均质性的新方法[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2006, 21(5):62-64.
- [3] Lu S L, Molz F J, Liu H H. An efficient, three-dimensional, anisotropic, fractional Brownian motion and truncated fractional Levy motion simulation algorithm based on successive random additions[J]. *Computers & Geosciences*, 2003, 29: 15-25.
- [4] Li Zubing, Yan Qibin, Luo Minggao. Reservoir heterogeneity indication applied in researching for heterogeneity of the grail oil: An example of oil group below V in Shuanghe Oilfield[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2007, 26(6): 83-87.  
李祖兵,颜其彬,罗明高.非均质综合指数法在砂砾岩储层非均质性研究中的应用:以双河油田 V<sub>F</sub> 油组为例[J]. *地质科技情报*, 2007, 26(6):83-87.
- [5] Zhang Zhengwei, Wu Jiantang, Lai Shenghua, et al. Anisotropy and its productive capacity of fan sandstone-conglomerate reservoir bodies [J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2005, 12(4):25-27.  
张政威,武捷棠,赖升华,等.扇体砂砾岩体期次内幕非均质性与产能研究[J]. *断块油气田*, 2005, 12(4): 25-27.
- [6] Montgomery S L, Worrall J, Hamilton D. Delaware Mountain Group, west Texas and southeastern New Mexico, a case of refound opportunity: Part 1-Brushy Canyon[J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(12): 1 901-1 926.
- [7] Bu Fanqing, Lin Chengyan, Zhang Wei. Approach to the 3-D detailed geological model-based reservoir heterogeneity characterization method [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2010, 25(3): 246-251.  
卜范青,林承焰,张伟.基于精细三维地质模型的储层非均质表征方法探讨[J]. *地质找矿论丛*, 2010, 25(3): 246-251.
- [8] Dong Guiyu, He Youbin, Xu Hui, et al. Several characterization method on reservoir macroscopical heterogeneity[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2005, 27(4):590-591.  
董桂玉,何幼斌,徐徽,等.储层宏观非均质性的几种表征方法[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2005, 27(4): 590-591.
- [9] Yu Cuiling, Lin Chengyan. Advancement of reservoir heterogeneity research [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(4):15-18.  
于翠玲,林承焰.储层非均质性研究进展[J]. *油气地质*



- 与采收率,2007,14(4):15-18.
- [10] Jiao Y Q, Yan J X, Li S T, et al. Architectural units and heterogeneity of channel reservoirs in the Karamay Formation, outcrop area of Karamay oil field, Junggarbasin, northwest China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(4): 529-545.
- [11] Moslow T F, Davies G R. Turbidite reservoir facies in the Lower Triassic Montney Formation, west-central Alberta[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1997, 45(4): 507-536.
- [12] Yang Shaochun. A new method for quantitatively studying reservoir heterogeneity [J]. Journal of the University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2000, 24(1): 53-56.  
杨少春. 储层非均质性定量研究的新方法[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 53-56.
- [13] Wang Jianfeng. Pore structure characteristics of glutenite reservoir of the second member of Nantun Formation in A block of Huhenuoren Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 24(4): 50-53.  
王剑峰. 呼和诺仁油田 A 区块南二段砂砾岩体期次内幕孔隙结构特征[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(4): 50-53.
- [14] Sui Fenggui, Cao Yingchang, Liu Huimin, et al. Physical properties evolution and hydrocarbon accumulation of paleogene nearshore subaqueous fan in the eastern north margin of the Dongying depression [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(2): 246-256.  
隋风贵, 操应长, 刘惠民等. 东营凹陷北带东部古近系近岸水下扇储集物性演化及其油气成藏模式[J]. 地质学报, 2010, 84(2): 246-256.
- [15] Deng Yuzhen, Liu Huiqing, Zhang Hongling, et al. Petrographic classification method based on porous fractal number [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 24(5): 23-25.  
邓玉珍, 刘慧卿, 张红玲, 等. 基于孔隙分维数的岩石分类方法[J]. 油气地质与采收率, 2007, 24(5): 23-25.
- [16] Qi Xuejing. Development feature of sandstone/gravel stone fan and reservoir evaluation in Lijin oilfield [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(4): 411-414.  
齐雪静. 利津油田砂砾岩扇体发育特征及储层评价[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4): 411-414.
- [17] Yu Guoqing, Wang Mingbao, Yang Bin. Characteristics of glutenite reservoir in Sha 3 formation of block cheng 913 in chengdong oilfield [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2003, 10(3): 6-17.  
于国庆, 王铭宝, 杨彬. 埕东油田埕 913 断块沙三段砂砾岩油藏储层特征研究[J]. 特种油气藏, 2003, 10(3): 6-17.
- [18] Liu Hui, Cao Yingchang, Yuan Jing, et al. The types and reservoir characteristics of glutenite in the upper ES4 member of Shengtuo Area [J]. Journal of Southwest Petroleum University ( Science & Technology Edition), 2010, 32(5): 9-15.  
刘晖, 操应长, 袁静, 等. 胜坨地区沙四上亚段砂砾岩类型及储层特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(5): 9-15.
- [19] Cao Huilan, Hua Renmin, Ji Youliang, et al. Depositional characteristics of sandstone and conglomerate reservoirs of fan delta and relationship to reservoirs' physical properties: Taking the fourth member of Shahejie Formation, Luojia Oilfield, Zhanhua Depression for an example [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(2): 222-228.  
曹辉兰, 华仁民, 纪友亮, 等. 扇三角洲砂砾岩储层沉积特征及与储层物性的关系: 以罗家油田沙四段砂砾岩体为例[J]. 高校地质学报, 2001, 7(2): 222-228.
- [20] Wang Qinghua. Classification of seismic sedimentary cycles of glutenite in the Eastern Dongying Sag [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 34(9): 70-73.  
王庆华. 东营凹陷东部砂砾岩体地震期次划分技术探讨[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(9): 70-73.
- [21] Sun Yi, Xian Benzong, Lin Huixi. Division of sedimentary cycle of sand gravel rock mass in steep slope of faulted lake basin [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(4): 468-473.  
孙怡, 鲜本忠, 林会喜. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩体沉积期次的划分技术[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 468-473.
- [22] Xian Benzong, Wang Yongshi. Division and correlation of glutenite sedimentary cycles based on base-level restoration using wavelet transform [J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(6): 1-11.  
鲜本忠, 王永诗. 基于小波变换基准面恢复的砂砾岩期次划分与对比[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(6): 1-11.
- [23] Zhang Lu, Yin Xingyao, Li Hong, et al. Dividing the depositional interface of glutenite fans based on seismic singularity attribute [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 31(4): 361-368.  
张璐, 印兴耀, 李红, 等. 基于地震奇异性属性划分砂砾岩扇体沉积界面[J]. 物探化探计算技术, 2009, 31(4): 361-368.
- [24] Zhao Hua, Jiang Xiuqing, Zhu Yingke. The study on the methods for the depositional stage division of Glutenite body: A case of the actic region in the north of Dongying Depression [J]. Petroleum Geophysics, 2010, 8(4): 22-26.  
赵华, 姜秀清, 朱应科. 砂砾岩体沉积期次划分方法研

- 究:以东营凹陷北部陡坡带为例[J]. 油气地球物理, 2010,8(4):22-26.
- [25] Yang Yong, Niu Shuangwen, Meng En, et al. Preliminary study of the lithologic identification methods of the inside of sand-gravel rock body reservoirs: An example from sand-gravel rock body of Yan 22 block in Yanjia Oilfield of Dongying Sag [J]. *Geoscience*, 2009,23(5):987-992.  
杨勇,牛拴文,孟恩,等. 砂砾岩体内幕岩性识别方法初探:以东营凹陷盐家油田盐 22 断块砂砾岩体为例[J]. 现代地质,2009,23(5):987-992.
- [26] Song Liang, Su Chaoguang, Zhang Yingge, et al. Recognition of sedimentary cycles of sandbodies in steep-slope zones of continental rifted basins: A case study of middle-shallow horizons in the northern Chexi Subsag of the Jiyang Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 222-228.  
宋亮,苏朝光,张营革,等. 陆相断陷盆地陡坡带砂砾岩体期次划分:以济阳坳陷车西洼陷北带中浅层为例[J]. 石油与天然气地质,2011,32(2):222-228.
- [27] Guo Yuxin, Sui Fenggui, Lin Huixi, et al. Discussion on the division and correlation of glutinite sedimentary period by time-frequency analysis: A case study of Sha4 to Sha3 member of northern abrupt slope zone in Bonan Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2009,16( 5):8-11.  
郭玉新,隋风贵,林会喜,等. 时频分析技术划分砂砾岩沉积期次方法探讨:以渤南洼陷北部陡坡带沙四段—沙三段为例[J]. 油气地质与采收率,2009,16(5): 8-11.
- [28] Zhao Peikun. Application of wavelet transformation method to the depositional stage division of glutenite bodies: Taking block Yan22 of Shengli Oilfield for example [J]. *Xinjiang Geology*, 2012,30(3):365-367.  
赵培坤. 小波变换在砂砾岩体期次划分中的应用:以胜利油田盐 22 块为例[J]. 新疆地质,2012,30(3): 365-367.
- [29] Yuan Qing. Study on inner episode of Li853 glutentic fan [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2003, 10(3): 18-20.  
袁庆. 利津油田沙四上段利 853 砂砾岩扇体内幕研究[J]. 特种油气藏,2003,10(3):18-20.
- [30] Zhang Wei, Zhang Jinliang, Xie Jun. Research on reservoir bed heterogeneity, interlayer sand seal layers and controlling factors of 2+3 sands of upper second member, Shahejie Formation, in the west of the Pucheng Oil field [J]. *Petroleum Science*, 2008, (5): 135-144.
- [31] Pranter M J, Ellison A I, Cole R D, et al. Analysis and modeling of intermediate-scale reservoir heterogeneity based on a fluvial point-bar outcrop analog, Williams Fork Formation, Piceance Basin, Colorado [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91 (7): 1 025-1 051.
- [32] Rogers J P. New reservoir model from an old oil field: Garfield conglomerate pool, Pawnee County, Kansas [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(10): 1 349-1 365.
- [33] Miall A D. Reservoir heterogeneity in fluvial sandstone: lessons from outcrop studies [J]. *AAPG Bulletin*, 1988, 72(6): 682-697.
- [34] Van de Graaff W J E, Bentley M R, Kortekaas T F M. Quantification of macro-to megascale reservoir heterogeneity: A practical approach based on computer mapping techniques [R]. *Society of Petroleum Engineers*, 1992: SPE-25001-MS; doi: 10. 2118/25001-MS.
- [35] Daws J A, Prosser D J. Scalls of permeability heterogeneity within the brent group [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1992, 15 (4): 397-418.
- [36] 王寿庆. 扇三角洲模式 [M]. 北京:石油工业出版社, 1993.