

文章编号: 1009-3850(2006)03-0051-05

## 华池油田长 3<sub>3</sub> 低渗油藏流动单元研究

刘延莉<sup>1</sup>, 柳益群<sup>2</sup>, 邱春光<sup>1</sup>, 樊太亮<sup>1</sup>, 阎林<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 3. 中石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 流动单元的研究, 其目的在于对油藏的非均质性有进一步的认识, 为提高油藏描述的精度提供依据。本文根据流动单元的理论, 选取适合该区实际的参数, 应用聚类判别分析的方法, 对华池油田陇东地区长 3<sub>3</sub> 低渗储层进行分类研究, 并且分析各类流动单元的特征及其控制因素, 得出结论: 该区储层可分为三类流动单元, 各类流动单元的判别公式, 不同的类型在动态、静态上有不同的表现; 其分布的差异, 宏观上受沉积微相的控制, 微观上受成岩作用、岩石自身储集空间特征的限制。

**关键词:** 华池油田; 流动单元; 低渗; 成岩作用; 鄂尔多斯

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

### 1 前言

储层流动单元是指影响流体流动的岩性和岩石物理性质在内部相似的、垂向上和横向上连续的储集带<sup>[1,2]</sup>。这一概念是在沉积相和成岩作用研究的基础上提出的, 流动单元划分的主要依据是沉积成岩特征和岩石物理参数。流动单元的研究对于合理规划储集层、预测储集层的分布及性质、确定剩余油的分布、为油藏数值模拟提供分层依据等, 都有重要的意义。在一个研究地区, 其最终的模型应该是由许多流动单元块体镶嵌叠砌组成的。各块体的界线应与断层的位置、岩性、岩相带以及成岩胶结物类型的分布相对应。在此基础上建立的定量流动模型可作为油藏的代表, 以此为依据可以计算油藏的产量、产能, 分析注水时注水前缘的推进速度以及注水后残余油的空间分布。

自 1984 年流动单元的概念提出以来, 很多学者应用这一概念开展了储层表征或储层评价研究, 提出了不同的流动单元研究方法。裘亦楠等认为流动

单元是指由于储层的非均质性, 隔挡和窜流旁通条件, 注入水沿着地质结构引起的一定途径驱油、自然形成的流体流动通道<sup>[3]</sup>。穆龙新等则认为流动单元是指一个油砂体及其内部因受边界限制, 不连续薄隔挡层、各种沉积微界面、小断层及渗透率差异等因素造成的渗透特征相同、水淹特征一致的储层单元<sup>[4]</sup>。他们是从成因的角度来探讨流动单元的定义, 并认为在一个小层或单层砂体内部可能细分出多个流动单元, 也可能就是一个流动单元。焦养泉等<sup>[5,6]</sup>、李思田等(1994)在研究鄂尔多斯盆地曲流河和湖泊三角洲沉积体系时, 把流动单元定义为建筑结构的一部分, 并认为流动单元是指沉积体系内部按水动力条件进一步划分的建筑块体, 它和构成单元(结构要素)属于类似的概念; 并指出流动单元在河道复合体内部是以隔挡层为边界的, 隔挡层将砂体中的各级构成单位重新组合形成多个孤立的或半连通的空间——流体流动单元, 隔挡层与 3、4 级界面有关, 一个流动单元的规模可能与一个或几个点坝增生单元相当, 从而把越石窑砂体划分为 15 个孤

立的或半连通的流动单元。冯晓宏等通过对河南双河油田非均质厚油层油藏的研究,利用取芯井资料和流动层段指标 FZI,将 5 层划分出 5 个具有明显不同特征的可以复现的流动单元,每个流动单元都是岩性、物性、含油性和水洗状况的综合反映<sup>[7]</sup>。熊琦华等指出,岩石物理相首先是沉积微相、成岩储集相和裂缝相从井点到面的延拓,即延展到平面上的 3 种相带,它们的有机叠加即形成现今的孔隙网络几何特征,以不同的岩石物理相来表征,它可以用于预测流动单元的分布<sup>[8,9]</sup>。

鄂尔多斯盆地是华北陆台解体后独立发展起来的一个中生代大型内陆盆地。华池油田所在地陕北斜坡定型于早白垩世,为一平缓的西倾单斜,地层斜度为 6~8m/km。研究区三叠系延长组自下而上可划分为 10 个油层组,分别反映了延长组由河流到湖泊的形成发展到逐渐衰退消亡的整个过程,而长 3 油层组是其三角洲前缘砂体主要发育的时期。长 3<sub>3</sub> 储层的主要沉积微相为三角洲前缘亚相的水下河道微相、河道侧缘微相、河口坝微相、分流间湾微相和席状砂微相等,岩性上表现为一套灰色、灰绿色细砂岩、粉砂岩夹灰色、深灰色泥岩,厚 0~40m。长 3<sub>3</sub> 又细分为 4 个小层——长 3<sub>3</sub><sup>1</sup>、长 3<sub>3</sub><sup>2</sup>、长 3<sub>3</sub><sup>3</sup>、长 3<sub>3</sub><sup>4</sup>,其中长 3<sub>3</sub><sup>2</sup> 和长 3<sub>3</sub><sup>3</sup> 是主力产油层。

## 2 流动单元划分方案

不同学者依据自己对这一概念的理解并结合各自研究区的地质特点,提出不同的划分方法,主要有以下几类:(1)根据岩相及宏观岩石物理参数进行流动单元研究<sup>[10]</sup>;(2)应用孔隙几何学进行流动单元研究<sup>[10]</sup>;(3)应用储层质量指数  $RQI=0.0314 \times (K/\varphi)^{1/2}$ ,流动带指数  $FZI=RQI(1-\varphi)^{\varphi}$  等参数进行流动单元研究<sup>[11]</sup>,FZI 是把结构和矿物地质特征、孔喉特征结合起来判定孔隙几何相的一个参数,可以准确地描述油藏的非均质特征;(4)应用生产动态资料进行流动单元研究<sup>[10,11]</sup>。

本文对流动单元的分析,其基本流程是:(1)确定连通体及阻挡层的位置;(2)综合利用地震、测井及地质资料,识别砂体,圈定其范围,然后在单井中识别出流动单元。在对单井进行流动单元识别时,以取心段详细资料为划分基础,选取最优划分方案,然后结合测井解释及其处理结果,对未取心井进行研究分析;(3)利用地质规律分析研究其空间展布。

### 2.1 界定标准

通过对研究区阻挡层、砂体厚度、物性、储层质

量指数和流动带指数等参数的研究,发现流动单元的主要控制因素是岩石物性,即孔隙度和渗透率。所以本文流动单元的划分方案,是以取心井的孔隙度和渗透率这两项参数为主要指标,参考储层质量指数和流动带指数等,进行聚类分析,并联系该区实际对分类标准进行调整,得到最优方案(图 1,表 1)。然后对对聚类结果进行判别分析,分别得到 3 个流动单元的判别公式:

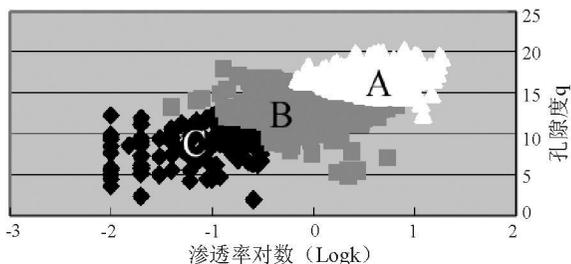


图 1 孔隙度渗透率交会图

Fig. 1 Diagram showing the relationship between porosity and permeability

流动单元 A:  $A(\log k, \varphi) = 1.674 \log k + 4.810 \varphi - 41.831$

流动单元 B:  $B(\log k, \varphi) = -2.431 \log k + 3.785 \varphi - 25.632$

流动单元 C:  $C(\log k, \varphi) = -8.677 \log k + 2.724 \varphi - 17.781$

### 2.2 方案可行性

利用聚类分析的方法,将该区储层划分为三类,从以下几个方面对结果进行分析,以验证其可信度、可行性。

(1) 孔隙度、渗透率的交会可以看出三类流动单元的明显界线(图 1)。

(2) 判别结果的正确率。对各类流动单元的分类标准进行判别分析,得出的正判率较理想(表 2),A 单元为 92.8%,B 单元为 88.4%,C 单元达 89.5%,从而说明这种分类标准是可信的。

(3) 取心井段的验证。根据分类结果对取心井段做流动单元识别图(图 2),可以看出流动单元在岩性、物性的差异:A 类流动单元的粒度较粗,含油性高,可以看到油浸、油斑;B 类流动单元粒度中等,含油级别较前一类差,见油斑;C 类流动单元岩石很致密,未见油迹。在物性棒状图上,也可以看出 A 类对应的物性高,B 类次之,C 类最差。

## 3 划分结果分析

通过分类总结各类流动单元的特征如下:

表1 流动单元划分标准

Table 1 The criteria for the division of the flow units

参 数	A		B		C	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值
渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	1.07~18.5	5.005	0.12~4.33	1.15	0.01~0.37	0.128
孔隙度/%	12.4~20.3	16.73	7~17.9	12.9	4.7~12.4	8.08
储层质量指数	0.02~0.03	0.026	0.011~0.024	0.014	0.002~0.017	0.006
流动带指数	0.01~0.03	0.02	0.009~0.018	0.01	0.002~0.004	0.003

表2 流动单元判别结果

Table 2 The discriminant results of the flow units

流动单元 分 类	A	B	C	参与判别 样本数(个)
判别 结果 (个)	A	B	C	
	129	10	0	139
	15	290	23	328
	0	0	233	233
正判率 (%)	A	B	C	
	92.8	7.2	0	100.0
	4.6	88.4	7.0	100.0
	0	0	100.0	100.0

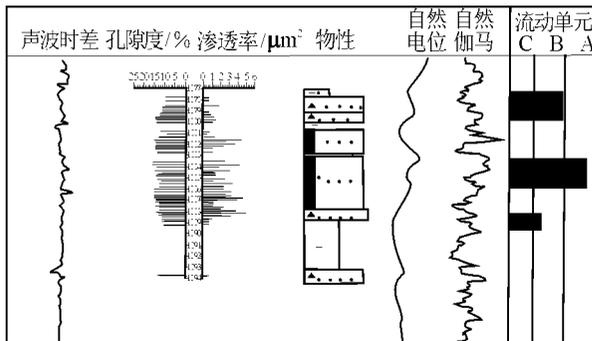


图2 华池油田某井流动单元识别图

Fig. 2 Diagram showing the recognition of the flow units in one well in the Huachi Oil Field

A类流动单元(最好的):具有最好的渗流能力和储集能力;主要分布于河道相,分布范围小(图3),在小范围内呈现片状、饼状,区域上连片性不好;砂体厚度一般较大,岩石颗粒较粗,以中粗砂岩为主,分选好,颗粒磨圆较好,风化程度严重,微观上长石、石英有溶蚀孔,粘土矿物少,接触方式以点接触为主,孔隙大,喉道多;物性好,孔隙度12.4%~20.3%,平均16.73%,渗透率 $(1.07\sim 18.5)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均 $5.005\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ;自然伽玛、自然电位负异常,曲线多呈箱状,声波时差高值(图2);在动态上表现为强的吸水产液能力。

B类流动单元(中等的):具有较好的渗流能力和储集能力;多集中于河道侧缘相,在研究区内分布

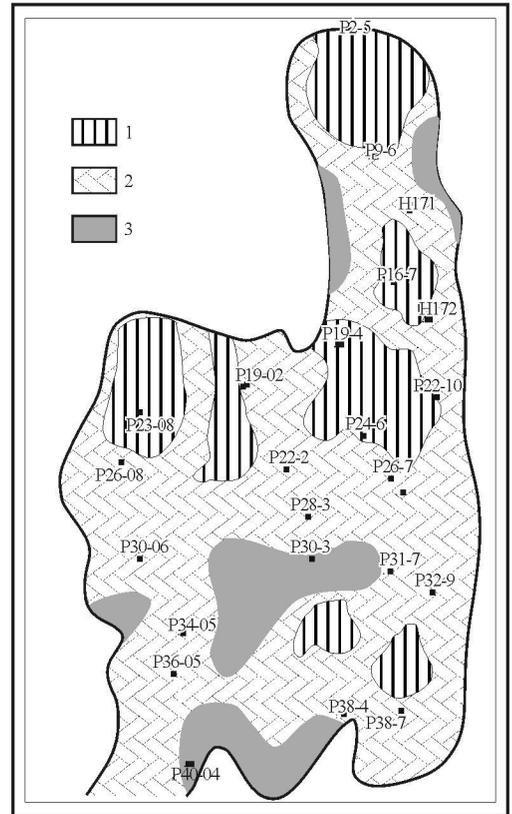


图3 华池油田长<sub>3</sub>流动单元平面图

1. A类流动单元; 2. B类流动单元; 3. C类流动单元

Fig. 3 Plan of the flow units in the Chang-<sub>3</sub> oil reservoirs of the Huachi Oil Field

Types of the flow units; 1. A type; 2. B type; 3. C type

范围最广,砂体连片性好(图3);岩性为中粗砂—粉砂,颗粒磨圆为次圆—次棱角状,分选好,多为点-线接触,岩石较致密,孔隙连通性一般;物性较好且非均性弱,孔隙度7%~17.9%,平均12.9%,渗透率 $(0.12\sim 4.33)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均 $1.15\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ;自然伽玛、自然电位正异常,曲线多呈漏斗状、钟状,声波时差值较低;在动态上表现为较好的吸水 and 产液能力。

C类流动单元:渗流能力和储集能力最差;分布较少,连片性差(图3),呈条带状分布;岩性主要为

粉砂—细粉砂, 颗粒磨圆普遍差, 为棱角状—次棱角状, 分选差, 线接触, 岩石致密, 孔隙连通性差; 物性非均性强, 孔隙度4.7%~12.4%, 平均8.08%, 渗透率 $(0.01\sim0.37)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ , 平均 $0.128\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ; 测井曲线呈锯齿状, 声波时差值较低; 动态上表现为差的吸水产液能力, 开采难度很大。

### 4 流动单元的控制因素

#### 4.1 宏观控制因素——沉积微相

流动单元的分布与沉积微相的展布关系密切, 但并非完全决定于沉积微相, 同一沉积微相中可以有不同类型的流动单元出现。表3指示了沉积微相与流动单元关系的统计规律, 结合图4, 说明沉积微相不能完全决定流动单元。

A类流动单元, 多见于在河道和河道侧缘相, 以河道相为主, 河道相中出现的A类流动单元厚度占73.3%。

B类流动单元, 主要见于河道侧缘相, 占该类流动单元总厚度的60%, 在河口坝和河道中也有出现。

表3 流动单元与沉积微相的关系

Table 3 Relationship between the flow units and sedimentary microfacies

沉积相 \ 流动单元	A类(%)	B类(%)	C类(%)
河道	73.3	26.7	14.2
河道侧缘	26.7	60	28.6
河口坝		13.3	42.9
分流间湾			14.3
总和	100	100	100

C类流动单元, 多见于河口坝, 占该类流动单元总厚度的42.9%, 在河道侧缘相、河道和分流间湾中也有分布。

#### 4.2 微观控制因素

沉积微相的展布控制着砂体的展布, 砂体的分布规律又影响了孔隙度、渗透率等参数的分布差异, 这只是宏观上大尺度的控制。

在微观上成岩作用的影响, 如溶蚀作用、压实作用对储层的影响也很重要。在该区A类流动单元中石英、长石的溶蚀现象明显, 接触关系以点接触为

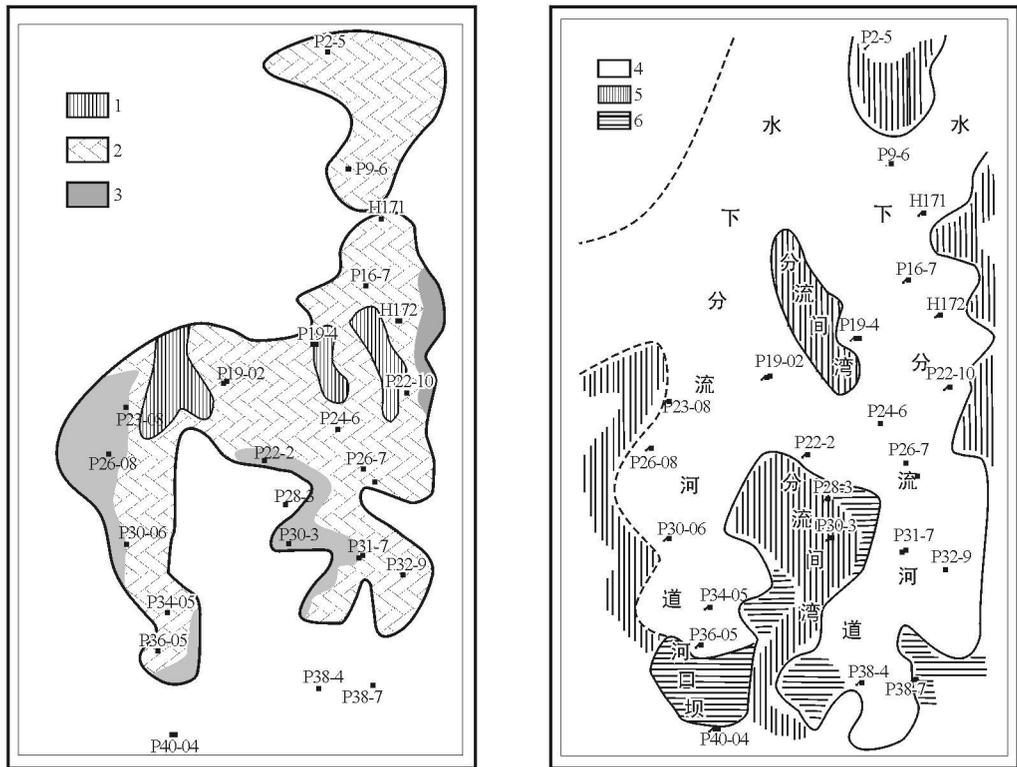


图4 长<sub>3</sub>流动单元与沉积微相对比图

1. A类流动单元 2. B类流动单元; 3. C类流动单元; 4. 水下分流河道; 5. 分流间湾; 6. 河口坝

Fig. 4 Correlation of the flow units and sedimentary microfacies in the Chang<sub>3</sub> oil reservoirs of the Huachi Oil Field

1= A-type flow unit; 2= B-type flow unit; 3= C-type flow unit; 4= subaqueous distributary channel; 5= interdistributary bay; 6= channel-mouth bar

主, B类流动单元以点—线接触为主, C类流动单元线接触为主, 表明从流动单元A到流动单元C溶蚀作用减弱, 而压实作用增强。由于同一研究区同一研究层位在深度上差异不大, 那么压实作用的不同, 更多的是由于周围水介质的酸碱度及粘土矿物的差异, 引起的岩石本身抗压能力不同。另一方面, 孔隙结构也是影响因素之一, A类流动单元基本上孔隙度高, 吼道半径大; B类流动单元中孔隙度中等吼道半径较低, C类流动单元则表现为低孔低喉。

## 5 主要结论

(1) 华池油田陇东地区延长组长<sub>3</sub>分为三个流动单元A, B, C; A类最好, B类次之, C类最差。

(2) 流动单元的分布与沉积微相的展布关系密切, 但并非完全决定于沉积微相。整体上有如下规律: 流动单元A主要集中在河道相, 流动单元B主要集中在河道侧缘相, 流动单元C主要集中在河口坝相; 微观上, 成岩作用的不同、孔隙结构的差异对其影响很大。

(3) 不同流动单元所对应的吸水, 产液能力不同。A最强, B次之, C最弱。在开发过程中应该对不同的流动单元区别对待, 在注采方案的选取上应当注意让属于同类流动单元的地层对应。这样可以在一定程度上解决注采受效不均的问题。

## 参考文献:

- [1] HEARN C L, EBANKS W J JR, TYE R S et al. Geological factors influencing reservoir performance of the Hartzog Dra field, Wyoming [J]. J. Petrol. Tech., 1984, 36: 1335—1344.
- [2] EBANKS W J JR. Flow unit concept—integrated approach to reservoir description for engineering projects [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71 (5): 551—552.
- [3] 裘亦楠. 开发地质方法论(一)[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23 (2): 43—47.
- [4] 穆龙新, 黄石岩, 贾爱林. 油藏描述新技术[A]. 中国石油天然气总公司油气田开发工作会议文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 1—10.
- [5] 焦养泉, 李祯. 河道储层砂体中隔挡层的成因与分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 78—81.
- [6] 焦养泉, 李思田, 李祯, 等. 碎屑岩储层物性非均质性的层次结构[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 89—92.
- [7] 冯晓宏, 刘学峰, 岳青山, 等. 厚油层非均质特征描述的新方法——水力(渗流)单元分析[J]. 石油学报, 1994, 15(专刊): 149—157.
- [8] 熊琦华, 王志章, 纪发华. 现代油藏描述技术及其应用[J]. 石油学报, 1994, 15(专刊): 1—8.
- [9] 琦华, 彭仕宓, 黄述旺, 等. 岩石物理相研究方法初探——以辽河凹陷冷东—雷家地区为例[J]. 石油学报, 1994, 15(专刊): 68—74.
- [10] 吴胜和, 王仲林. 陆相储层流动单元研究的新思路[J]. 沉积学报, 1999, 7(20): 252—257.
- [11] 窦之林. 储层流动单元研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 245—300.

## The flow units in the Chang-3<sub>3</sub> low-permeability oil reservoirs in the Huachi Oil Field, Shaanxi

LIU Yan-li<sup>1</sup>, LIU Yi-qun<sup>2</sup>, QIU Chun-guang<sup>1</sup>, FAN Tai-liang<sup>1</sup>, YAN Lin<sup>3</sup>

(1. Faculty of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The present paper is designed to improve our understanding of the heterogeneity of oil reservoirs and provide the basis for improving the precision of the reservoir description, with emphasis on the division and controls on the flow units in the Chang-3<sub>3</sub> oil reservoirs in the Huachi Oil Field, Shaanxi. Three types of flow units may be recognized for the studied oil reservoirs, which are macroscopically controlled by sedimentary microfacies, and microscopically by diagenesis and reservoir spaces.

**Key words:** Huachi Oil Field; flow unit; low-permeability; diagenesis; Ordos