

文章编号: 1000-0550(2008) 01-0120-08

华池油田长 3 岩性油藏流动单元划分及其合理性验证¹

朱玉双^{1,2} 柳益群^{1,2} 赵继勇^{1,2,3} 朱圣举³ 赵向宏³ 徐 森^{1,2}

(1 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西安 710069; 2 西北大学地质学系 西安 710069; 3 长庆油田公司勘探开发研究院 西安 710021)

摘 要 提出岩性油气藏流动单元划分及其合理性验证方法。研究中针对华池油田长 3 岩性油藏的特点, 采取控制流体渗流的主要参数, 对流动单元进行了划分。同时采用数学方法、微观渗流实验方法、宏观生产动态分析方法对流动单元划分的合理性进行了验证。研究表明: 1) 研究区流动单元可以分为三类, 分别为 A 类、B 类和 C 类。不同流动单元所处相带位置不同, 物性也不同。2) 判别分析的方法、渗流实验方法和生产动态分析法是验证流动单元划分合理性的有效手段。研究区流动单元的正判率达 95% 以上; 相同流动单元具有相似的微观渗流特征及生产动态特征, 不同流动单元的微观渗流特征及生产动态特征明显不同。3) C 类流动单元及注采井间不同流动单元对接区域是剩余油的主要富集区, 应注意挖潜, 提高油层采收率。

关键词 岩性油藏 流动单元划分 合理性验证 判别分析 微观渗流特征 宏观生产动态 剩余油

第一作者简介 朱玉双 女 1969 年出生 副教授 博士 油层物理与开发地质 E-mail yshzhu@nwu.edu.cn

中图分类号 TE311 **文献标识码** A

1 流动单元研究现状

流动单元的概念最早是在 1984 年由国外的科学家 Heam 提出来的, 他将流动单元定义为“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”。从流动单元的定义到流动单元的划分和应用, 国内外研究工作者做了多方面探索性研究工作, 其研究方法已逐步从定性走向定量。对于我国陆相储层来说, 由于其相变快、油气藏类型多样、储层非均质性较强烈, 剩余油分布复杂, 如何发现一种既节约开发成本, 又提高石油采收率的办法是我国石油工业亟待解决的问题, 流动单元概念恰恰是在这种背景下提出的。流动单元概念提出的重要意义在于其将静态的地质体和孔隙内部流体的渗流特征紧密地联系起来, 流动单元研究是准确评价储层及有效挖潜剩余油的途径^[1-18]。

然而, 目前在国内流动单元的概念及其划分方法还没有形成统一的认识, 甚至还存在误区, 流动单元模型及其对剩余油形成、分布的控制规律的研究还很少见。特别是针对岩性油气藏流动单元划分方法上应注意的问题, 更少有文献提及, 流动单元划分结果合理性验证也研究较少。本文针对这一问题, 以鄂尔多斯盆地华池长 3 岩性油气藏为例, 采取了切实可行的办法对流动单元进行了划分, 同时对其划分结果的

合理性进行了验证。

2 研究区流动单元划分

2.1 研究区概况

2.1.1 沉积环境及构造特征

鄂尔多斯盆地华池油田华 152 块主力产层为三叠系延长组长 3 油层组, 为三角洲前缘亚相沉积, 三角洲前缘相带沉积的砂体, 特别是水下分流河道和河口坝沉积砂体为主要储油砂体。构造特征为较为平缓的西倾单斜, 局部发育鼻隆构造, 为岩性油气藏。

2.1.2 储层特征

华池油田华 152 块长 3 储层为含泥或铁方解石岩屑细—粉砂岩, 石英含量为 30.15%, 长石含量为 34.19%, 胶结物以绿泥石为主 (4.87%), 次为铁方解石 (2.5%) 和混层粘土 (0.85%)。粘土矿物以绿泥石为主, 平均含量为 70.5%, 其次为伊利石、高岭石及伊/蒙混层。

孔隙类型以粒间孔为主, 平均为 5.25%, 占总面孔率的 63.9%; 其次为长石溶孔, 平均为 1.09%, 占总面孔率的 18.0%。据岩心分析, 长 3 孔隙度平均为 13.7%, 水平渗透率平均为 $4.78 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 垂直渗透率平均为 $2.29 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。压汞测试表明, 平面和纵向孔隙结构差异较大, 孔隙结构的这些差异也造成了储层物性在平面、纵向上的差异。

¹ 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2003CB214603) 资助。

收稿日期: 2007-09-05 收修修改稿日期: 2007-11-09

2.2 流动单元划分

流动单元模型是储层格架的一部分, 是对储集体非均质性的描述^[1-5], 研究中在分层划相的基础上, 根据岩性油气藏的特点, 选取了最具有代表性的控制流体流动的特征参数——渗透率、孔隙度, 从取心井出发, 采取聚类分析的方法对研究区流动单元进行了划分。

2.2.1 流动单元划分参数

对取心井流动单元的划分首先要选择好定量的特征参数, 选择在研究区通用、有效、简便易得、而且能够反映储层渗流特征的关键地质参数, 作为流动单元定量描述的依据。大致可分为四种: 即根据岩相及宏观岩石物理参数进行流动单元的研究, 应用孔隙几何学进行流动单元的研究, 应用传导系数、存储系数等参数进行流动单元的研究, 应用生产动态资料进行流动单元研究^[1-5]。

目前, 关于划分流动单元的参数选取上存在一个误区, 研究者往往选取很多参数进行流动单元划分, 且有时与储层评价混为一谈。储层评价是对储层好坏的一个综合评价 (如利用含油性、物性、孔隙结构特征、油层厚度等多项指标评价储层), 而流动单元强调的是流动特性, 应选择更能反映流动特性的参数进行流动单元的划分。因此储层评价为同级别的储层完全可能属于不同类别的流动单元; 同样, 相同类别的流动单元完全可能属于不同级别的储层^[5]。

对于岩性油气藏来说, 本研究中选用了渗透率和孔隙度两个参数进行流动单元划分主要考虑: ①流动单元是流动特征相似的储集体, 故在流动单元划分中应选取最能反应流动特性的参数。渗透率及孔隙度是代表岩石本身性质的物理参数, 据大量的室内微观试验和生产动态研究表明, 对储集体内流体渗流特征影响最大的是渗透率和孔隙度, 岩性油气藏更是如此。由此选取渗透率和孔隙度作为流动单元划分参数。④可以避免大厚度低渗透层与小厚度高渗透层可能划为同一流动单元的错误, 给生产带来误导。这一点赵翰卿教授在对大庆油田流动单元研究中曾专门强调^[8], 赵翰卿教授在研究中使用了渗透率唯一参数进行流动单元划分。由于对一个开发区来说孔隙度变化范围有限, 而渗透率变化却可能很大, 所以对流动单元采取渗透率唯一参数进行划分也是可行的办法。龚之林教授在对孤东油田四区馆陶组流动单元研究中也使用了渗透率、孔隙度二参数进行流动单元划分的^[14]。④未选其它参数, 还可避免参数的

作用相互重叠, 使划分结果产生偏颇。这是由于渗透率、孔隙度二参数是影响储集层物性各类因素的综合反映, 如果在流动单元划分中再将有关这些影响因素的参数加入 (如岩石类型、沉积构造、粒度中值、泥质含量等), 会使划分结果偏重了某一因素, 而忽略了其它因素。因此, 选取权重系数最大的参数, 可以减少多种参数的相互影响。采用多参数划分流动单元, 不同的参数选择划分结果往往差异很大。 $\frac{1}{4}$ 渗透率、孔隙度最易获取。总之, 考虑到参数的代表性和可操作性, 减少参数间相互影响, 并结合研究区地质实际经验, 选取渗透率、孔隙度作为划分的流动单元的指标。

2.2.2 流动单元划分结果

研究中选取了研究区 12 口取心井的实际孔、渗资料的七百多个数据点作为已知样本, 进行了聚类分析。结果表明, 华 152 区长 3 储层流动单元可分为三类 A、B、C, 不同流动单元具有不同的岩性、孔隙结构及物性特征 (图 1)。

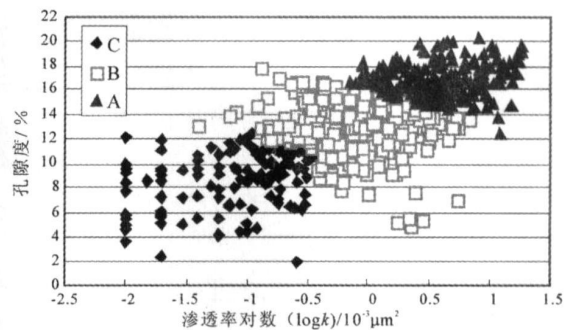


图 1 华 152 区流动单元聚类分析结果

Fig 1 The results of Hual 52 flow units cluster analysis

2.2.3 流动单元分布特征

流动单元 A 多出现在水下分流河道相的主体带上 (图 2~图 3), 岩石颗粒较粗, 泥质含量较少, 较纯净, 孔道间连通状况好, 孔隙度、渗透率均较高; C 类流动单元多出现在河道侧缘相带上 (图 2 图 3), 岩石颗粒较细, 且泥质含量较多, 孔道间连通状况差, 孔隙度、渗透率较低; B 类流动单元无论是在沉积相带上, 还是在岩性、物性及其存在位置上, 均常居于 A 类流动单元和 C 类流动单元之间 (图 2 图 3)。因此, 同类流动单元出现的沉积相带相似, 岩性、物性相似, 流动特征也相似。由于后期成岩作用的改造, 容易出现 A 类流动单元的沉积相带, 也会有 B 或 C 类流动单元的出现。

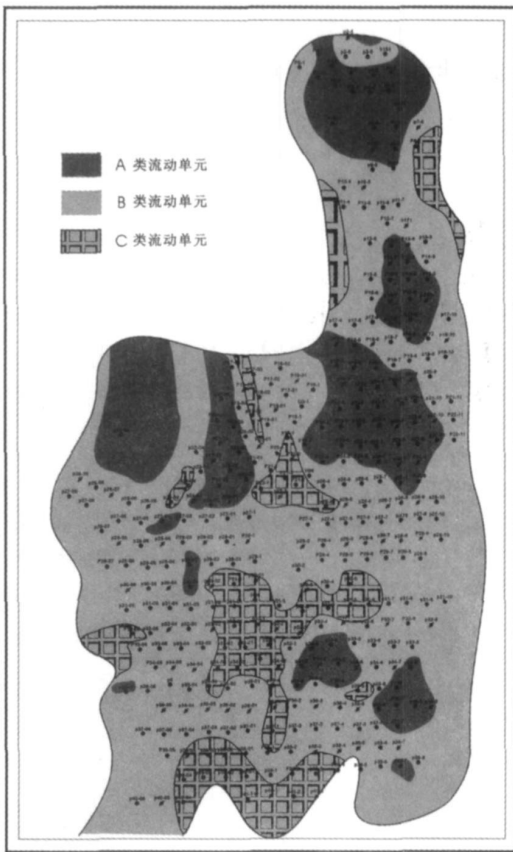


图 2 华 152 块长 3_3 流动单元平面分布图

Fig. 2 A plan view of Chang 3 reservoir's flow units of Huachi oilfield



图 3 华 152 块长 3_3 沉积微相平面分布图

Fig. 3 A plan view of Chang 3 reservoir's sedimentary facies of Huachi oilfield

3 流动单元划分的合理性验证

流动单元划分是否合理, 研究中采取了数学方法、微观渗流实验方法、宏观生产动态方法对流动单元划分的合理性进行了验证。

3.1 数学方法

研究中主要采取了判别分析的方法对非取心井的流动单元进行判定划分, 并对其划分结果的合理性同样采取判别分析的方法进行了验证。

3.1.1 判别分析原理

判别分析的目的是对已知分类的数据建立由数值指标构成的分类规则, 然后把这样的规则应用到未知分类的样本中去分类。同聚类分析不同, 判别分析必须已知观测对象的分类和若干表明观测对象特征的变量值。判别分析就是要从中筛选出能提供较多信息的变量并建立判别函数, 使得利用推导出判别函数对观测值判别其所属类别时的错判率最小。

在实际研究工作中, 一般选择尽可能少的有效变

量进行判别分析, 减少因为变量间的相关性, 造成计算上的困难。采取保留那些对判别类型起主要作用的变量, 剔除那些对判别类型不起作用或者作用不大的变量, 这就是逐步判别分析的基本算法。

3.1.2 判别结果

对取心井储层段聚类分析结果进行逐步判别, 得到各流动单元的判别公式:

$$A(\log K, \phi) = 1.674 \log K + 4.810\phi - 41.831$$

$$B(\log K, \phi) = -2.431 \log K + 3.785\phi - 25.632$$

$$C(\log K, \phi) = -8.677 \log K + 2.724\phi - 17.781$$

统计表明, 上述判别公式对 A 类流动单元的正判率为 92.8%, 对 B 类流动单元的正判率为 88.4%, 对 C 类流动单元的正判率为 100%, 总体正判率为 93.1% (表 1)。对 B 类正判率较低的原因主要是该类样本较为分散。同时对随机选取的 100 个数据点进行公式验证也获得了 95% 以上的正判率, 说明根据以上流动单元的判别公式所划分的流动单元是合理的, 正确率高。

表 1 华 152 区长 3 储层流动单元判别分析结果表

Table 1 The discrimination analysis results of Chang 3 reservoir's flow units of Huachi oilfield

聚类分类	A	B	C	各分类原始样本数	
判别分析	A	129	10	0	139
预测分类	B	15	290	23	328
	C	0	0	233	233
正判率 /%	A	92.8	7.2	0	100.0
	B	4.6	88.4	7	100.0
	C	0	0	100.0	100.0

3.2 微观渗流实验法

从流动单元的定义可知, 相同流动单元由于其岩性和岩石物理性质的相似性, 相同流动单元微观渗流特征应具有相似性, 不同流动单元的微观渗流特征也应表现出明显差别。

研究中共选取了 4 块砂岩模型进行油水两相驱替实验, 两块模型属于 A 类流动单元 (模型编号为华 61147 和华 61132), 一块模型属于 B 类流动单元 (模型编号为华 61126 模型), 一块属于 C 类流动单元 (模型编号为华 172112)。为了比较不同流动单元类型流动特征的不同, 将 4 块模型组合在一起进行了渗流实验 (图 4)。为了实验便于观察, 油中加入少量油溶红, 呈红色; 水中加入少量甲基兰, 呈兰色。



图 4 真实砂岩并联流动实验简图

Fig 4 A diagram on parallel flow experiments of the natural sandstone micromodels

3.2.1 油驱水渗流特征

在油驱水过程中, 当压力加至 0.0206 MPa 时, 油优先进入了属于 A 类流动单元的华 61147 及华 61132 两块模型, 属于 B 类流动单元的华 61126 模型只进入了一部分孔隙空间, 而属于 C 类流动单元的华 172112 模型油未进入。在同一压力下, 油 (流体) 进入各模型的情况不同, 反映了流动单元对流体渗流的控制作用。并且经过显微镜观察可知, 在该压力下 A 类流动单元模型油以非活塞式驱水, 油在孔道边缘前进速度快, 而在孔道中央前进速度慢, B 类流动单

元模型油以活塞式驱水。由于油驱水的方式不同, 造成在油驱水之后油在孔道中的赋存状态也就不同, 在 A 类流动单元的模型中油多沿孔道边缘分布 (照片 1); 而在 B 类流动单元中油几乎占满所到达的孔道 (照片 2)。

当油驱水压力加至 0.054 MPa 时, 油进入 A 类流动单元的两个模型, 同时也进入 B 类流动单元的一个模型, C 类流动单元的模型油始终未进入, 也表征了不同的流动单元的储层特征不同, 对流体渗流所起的作用也不同。在压力为 0.054 MPa 时, 油进入 A 类流动单元, 将孔道中央的地层水驱走, 这样油几乎占据了它所到达的孔道。最后单独将 C 类流动单元的华 172112 模型压力加至 0.0908 MPa 进行油驱水, 油在孔道中以活塞式驱油, 即油所到达之孔道, 油几乎占据该孔道。可以看出, 不同流动单元油驱水渗流特征有着明显的不同。

3.2.2 水驱油渗流特征

将水驱油压力首先加至 0.015 MPa 发现注入水优先进入华 61147 模型的少数孔道, 然后注入水又缓慢地进入华 61132 模型, 即在该压力下, 注入水优先进入的是属于 A 类流动单元的两个模型, 而 B 类流动单元的模型和 C 类流动单元的模型注入水在该压力下一直没有进入。在两个 A 类流动单元模型中, 注入水均沿孔道中央前进速度较快, 而在孔道边缘前进速度较慢, 这样注入水所到达的孔道以膜状形式存在的残余油较多 (照片 3)。

再将注入水压力加至 0.02 MPa 注入水进入 A 类流动单元的两个模型的同时, 开始进入 B 类流动单元, 注入水也是沿少数大孔道前进, 注入水所到达的孔道将油驱替得较干净 (照片 4), 这一点与 A 类流动单元不同。

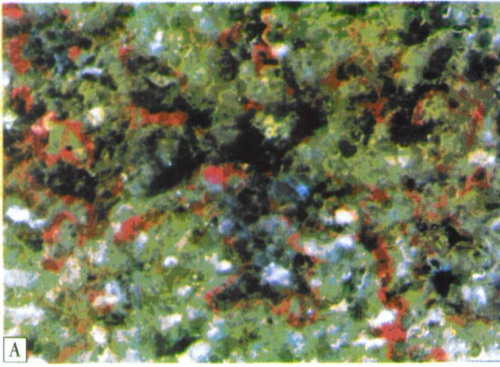
当再将注入水压力加至 0.04520 MPa 时, 注入水只进入 A 类、B 类流动单元的模型, 未进入 C 类流动单元。

上述实验表明相同流动单元渗流特征具相似性, 不同流动单元渗流特征明显不同, 进一步反映了流动单元的类别不同对流体渗流的控制作用, 也反证了本研究中流动单元划分的合理性。

3.3 生产动态分析法

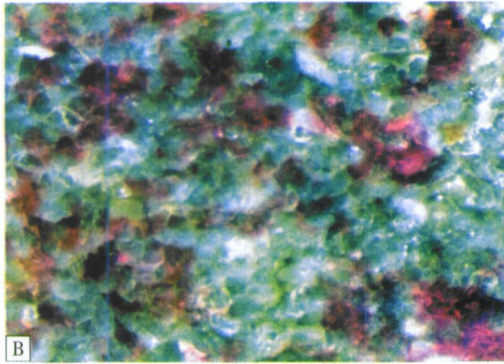
流动单元类别不同, 储层的物性也不同, 在一定的压力下允许流体通过的能力也就不同, 在油田生产动态特征上也应有所不同。

3.3.1 初期产能



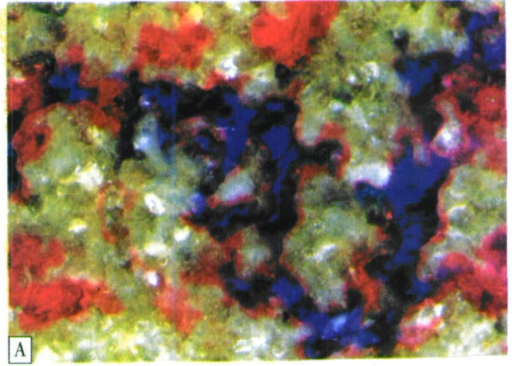
照片 1 华 61147(A) $P = 0.0206 \text{ MPa}$
油驱水后油在孔道中赋存状态

Photo 1 Oil occurrence in the channels after
oil flooding water of Hua 61147 model
($P = 0.0206 \text{ MPa}$)



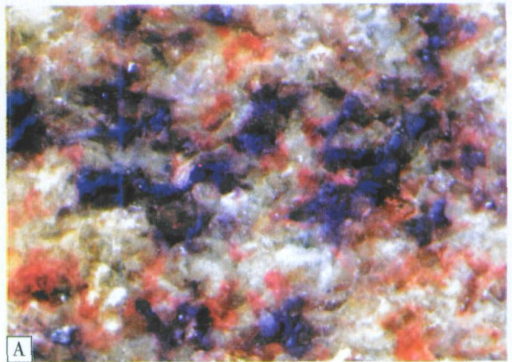
照片 2 华 61126(B) $P = 0.0206 \text{ MPa}$
油驱水后油在孔道中赋存状态

Photo 2 Oil occurrence in the channels after
oil flooding water of Hua 61126 model
($P = 0.0206 \text{ MPa}$)



照片 3 A类流动单元模型(华 61147)
水驱油后孔道的厚膜状残余油

Photo 3 Thick film residual oil in the water flooding
oil channels of A categories flow unit model
(Hua 61147 model)



照片 4 B类流动单元(华 61126)
水驱油后孔道膜状残余油较少

Photo 4 Less film residual oil in the water flooding
oil channels of B categories flow unit model
(Hua 61126 model)

为了比较不同流动单元储层砂体产量的差异,对只射开一种流动单元、且油层厚度相近的油井初产量

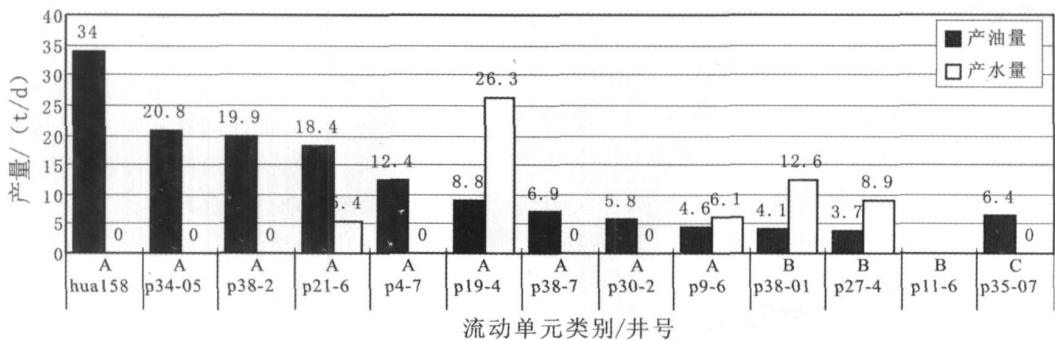


图 5 流动单元类别与油井初期产油量关系

Fig 5 The relation between the flow unit types and initial production of oil wells

3.3.2 储层吸水状况

从吸水剖面统计表明, A 类流动单元的吸水能力强, B 类和 C 类流动单元的吸水能力较差, 同类流动单元吸水能力近似 (图略); 当同一口井属于不同流动单元的砂体同时射开并注水时, 它们的吸水能力表现出明显之不同, 且随着时间的推移, 它们的吸水能力差距也越来越大 (图 6)。因此建议在注水开发时, 注水井要尽量同时射开同类流动单元, 减少吸水层段的相互干扰。

3.3.3 见效见水特征

研究结果还表明, 流动单元不同, 见效见水反应也不同。A 类流动单元见效反应较快, 见效一般在 8~13 个月之间 (如剖 33-7 剖 33-04 等井); B

类流动单元次之, 见效一般在 12~16 个月之间; C 类最差, 见效较晚, 甚至一直未见效 (如剖 33-02 井见效时间长, 剖 39-03 剖 36-01 等井至今未见效), 详见图 7。

油井见效后过多长时间见水与流动单元类别也有一定关系, 统计表明, 见效后见水较晚的井, 甚至有的至今未见水的井, 常为属于 A 类流动单元的井, 如剖 33-7 井见效后过 55 个月才见水, 剖 33-04 剖 39-1 井至今未见水。见效后见水较早的井多为 C 类流动单元的井, 如剖 33-02 剖 34-3 两口井虽然注水见效, 但见效后见水较快, 剖 33-02 井见效后 5 个月即见水, 剖 34-3 井见效后 2 个月左右即见水。该统计中只有一口 B 类流动单元的井, 至今未见水 (图 7)。

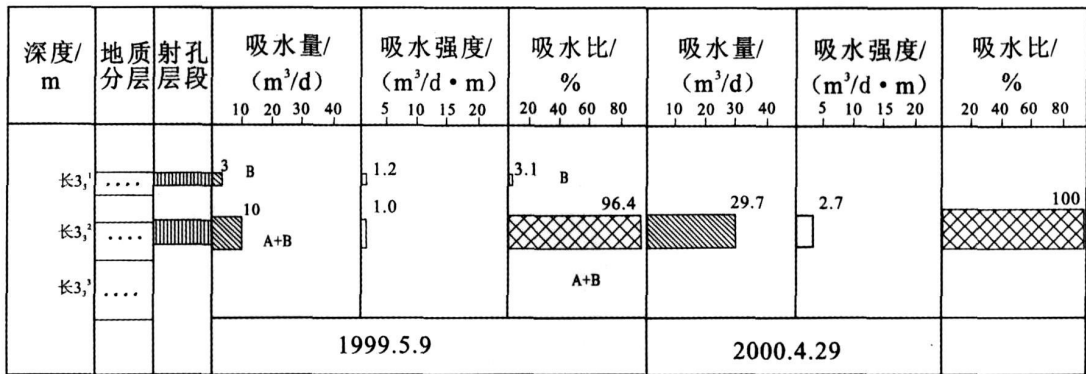


图 6 剖 18-8 吸水剖面

Fig 6 The water injection profile of Well Poul 8-8

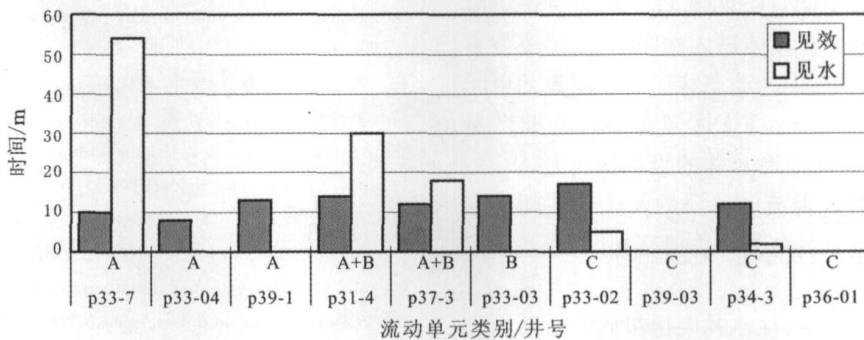


图 7 流动单元类型与见效见水时间关系

Fig 7 The relation between the flow unit types and the response time/water breakthrough time

油井见效见水反应除了与油井处的流动单元类别有关系外, 还与注一采井间储层流动单元对接类型有关。研究表明, 当注一采井间流动单元对接类型为 A-A 型时, 见效最快, B-B 型次之, C-C 型最差, 有的甚至不见效。同类流动单元对接时 (除 C-C 类外), 见效后见水均较晚。原因是同一流动单元由于孔隙

结构及物性的相似性, 使得其流体在其内部的流动特征也具有相似性, 则注入水可较全面地进入孔隙空间、较均匀地驱油, 不易发生指进, 最终见水也较晚。而注一采井间流动单元对接类型为 C-C 类时, 由于孔道细小, 生产井往往是在注水强度较大的情况下才见效, 注水强度过大, 加速了注入水指进的进程, 从而

见水较快。注一采井间为不同类型流动单元对接时,见效时间长短与注一采井流动单元类型有关,但一般见水较快。这是因为不同流动单元流动特征差异较大,注入水不易均匀地驱油,易发生指进的缘故。因此,在注水开发中要注意尽量使注一采井射开相同的流动单元,以取得较好的开发效果,提高油层采收率。

上述研究表明,相同流动单元在宏观生产动态特征上具有相似性,而不同流动单元在宏观生产动态特征上体现了明显不同,进一步反映了流动单元不同对流体渗流能力的控制作用,也反证了本研究中流动单元划分的合理性。

4 结论

通过对华池油田长3岩性油藏流动单元划分及其合理性验证研究,可以得出如下认识:

(1) 研究区流动单元可以分为三类,分别为A类、B类和C类。流动单元A多出现在水下分流河道相的主体带上,物性好;C类流动单元多出现在河道侧缘相带上,物性较差;B类流动单元无论是在沉积相带上,还是在岩性、物性上,均常居于A类流动单元和C类流动单元之间。

(2) 判别分析的方法、渗流实验方法和生产动态分析法是验证流动单元划分合理性的有效手段。研究表明,研究区流动单元的正判率达95%以上;相同流动单元具有相似的微观渗流特征,不同流动单元的微观渗流特征明显不同。不同流动单元的微观渗流特征之差别具体体现在流体进入次序上、流体驱替方式和剩余油类型上;生产动态特征与相同流动单元类别也有一定的相关性,具体体现在油井初期产量上、油井见效见水特征上和水井的吸水状况上。

(3) 研究表明C类流动单元的及注采井间不同流动单元对接区域是剩余油的主要富集区,应注意挖潜,提高油层采收率。

建议在注水开发时,注水井要尽量同时射开同类流动单元,减少吸水层段的干扰。同时建议注采井也尽量射开同类流动单元,以减少注入水的指进,提高油层采收率。

参考文献 (References)

- 1 窦之林. 储层流动单元研究. 北京: 石油工业出版社, 2000: 1-6 [Dou Zhilin. The study on flow unit[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 1-6]
- 2 刘吉余. 流动单元研究进展 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(3): 303-306 [Liu Jiyu. Advances in study on flow unit[J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(3): 303-306]
- 3 穆龙新. 油藏描述技术的一些发展动向 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 42-46 [Mu Longxin. Some development trends in reservoir description technology[J]. Petroleum Exploration & Development, 1999, 26(6): 42-46]
- 4 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, 17(2): 252-256 [Wu Shenghe, Wang Zhonglin. A new method of non-marine reservoir flow unit study[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 252-256]
- 5 朱玉双. 油层伤害对岩性油藏流动单元的影响 [M]. 西安: 西北大学出版社, 2005: 18-20 [Zhu Yushuang. The impact on flow units of formation damage[M]. Xi'an: Northwest University Press, 2005: 18-20]
- 6 赵永胜, 董富林, 邵进忠, 等. 储层流体流动单元的矿场试验 [J]. 石油学报, 1999, 20(6): 43-46 [Zhao Yongsheng, Dong Fulin, Shao Jinzhong, et al. Field research on flowing units of reservoir fluid[J]. Acta Petroli Sinica, 1999, 20(6): 43-46]
- 7 侯加根. 文南油田文79断块区沙二下亚段沉积微相与开发效果分析 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 65-67 [Hou Jiagen. An analysis of sedimentary microfacies and production response for the lower part of the second Shahejie sub-member in block Wen-79 in the south of Winnan oil field[J]. Petroleum Exploration & Development, 2000, 27(6): 65-67]
- 8 赵翰卿. 对储层流动单元研究的认识与建议 [J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3): 8-10 [Zhao Hanqing. Recognition and advice on the study of reservoir flow unit[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(3): 8-10]
- 9 陈程, 贾爱林, 孙义梅. 厚油层内部相结构模式及其剩余油分布特征 [J]. 石油学报, 2000, 21(5): 99-102 [Chen Cheng, Jia Ailin, Sun Yimei. Microfacies architecture patterns and the distribution of the remaining oil within thick pays[J]. Acta Petroli Sinica, 2000, 21(5): 99-102]
- 10 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 [Xiong Qihua, Wang Zhizhang, Ji Fahua. The modern reservoir description technique and its application in china [J]. Acta Petroli Sinica, 1994, 15(S1): 1-8]
- 11 邓玉珍. 胜坨油田浅水浊积相储层流动单元研究 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 96-98 [Deng Yuzhen. A study on the flow units of shallow-water turbidite reservoirs in Shengtuo oil field[J]. Petroleum Exploration & Development, 2003, 30(1): 96-98]
- 12 李凤娟, 刘立, 闫建平, 等. 碎屑岩储层流动单元研究的新进展 [J]. 世界地质, 2001, 20(1): 13-16 [Li Fengjuan, Liu Liyan, Jianping, et al. The latest development in flow units of detrital reservoir [J]. World Geology, 2001, 20(1): 13-16]
- 13 阎长辉, 羊裔常, 董继芬. 动态流动单元研究 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(3): 274-273 [Yan Changhui, Yang Yichang, Dong Jifen. The study of dynamic flow units [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(3): 274-273]
- 14 窦之林. 孤东油田馆陶组河流相储层流动单元模型与剩余油分布规律 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 50-52 [Dou Zhilin. A study on flow unit model and distribution of remaining oil in fluvial

- sandstone reservoirs of the Guan to formation in Gudong oil field[J]. Petroleum Exploration & Development 2000, 27(6): 50-52]
- 15 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[Jiao Yangquan, Li Sitian, Li Zhen, *et al*. Heterogeneity of porosity and permeability in elastic rock reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(2): 89-92]
- 16 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, 5(专刊): 149-157[Feng Xiaohong, Liu Xuefeng, Yue Qingshan, *et al*. A new method for heterogeneity description of thick reservoir hydraulic (flow) units analysis[J]. Acta Petrolei Sinica 1994, 5(S1): 149-157]
- 17 常学军, 廖保方. 油藏精细描述在老区调整挖潜中的初步实践 [J]. 石油学报, 2000, 21(4): 113-118[Chang Xuejun, Liao Baofang. Preliminary application of accurate reservoir description for adjusting and tapping potential of maturing tracts[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(4): 113-118]
- 18 李阳. 储层流动单元模式及剩余油分布规律 [J]. 石油学报, 2003, 24(3): 52-55[Li Yang. Flow unit mode and remaining oil distribution in reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(3): 52-55]

The Flow Units Division and Reasonableness Verification of Chang 3 Lithologic Oil Reservoir of Huachi Oilfield in Ordos Basin

ZHU Yu-shuang^{1,2} LIU Yi-qun^{1,2} ZHAO Ji-yong^{1,2,3}
ZHU Sheng-ju³ ZHAO Xiang-hong³ XU Sen^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Xi'an 710069; 2 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069; 3 Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an 710021)

Abstract To provide a reasonable means for the flow units division and verification in lithologic oil and gas reservoir. Considering the characteristics of Chang 3 lithologic oil reservoir of Huachi oilfield in Ordos Basin, the main parameters that controlling fluid flowing has been taken to divide flow units after formation division and facies differentiation, and mathematical method, micro-flow experiments and dynamic analysis in macro has been adopt to verify the reasonableness of the flow units division in the research. The study results show: 1) three kinds of flow units are divided, they are called as A, B and C. The A flow unit is always located in the main face tract of underwater distributary river course, and its physical property is better. The C flow unit is always located in the edge of underwater distributary river course, and its physical property is not so good. The B flow unit is always in the middle of A flow unit and C flow unit no matter the face position or its physical property; 2) The methods of discrimination analysis, micro-flow experiments and dynamic analysis in macro are effective to verify the reasonableness of the flow units division. The correct rate of 100 data points that be selected randomly have been over 95%; the same flow units have similar micro-flow characteristics, and different flow units are obvious disparate, which reflect in the order of fluid entry, the fluid displacement mode, and the remaining oil types, the product dynamic characters are related with the classification of flow units, reflecting in initial production, the hygrosopic state of water wells, and response and breakthrough of oil wells; 3) C flow units and the joint areas of different flow units between injection well and production well will be the main oil-rich of residual oil. And an injection well had better be opened the same flow units at the same time for reducing the water level of interference, and as while the same flow units should be opened to reducing the injected water finger advance, and so the oil recovery will be enhanced.

Key words lithologic oil reservoir, division of flow unit, reasonableness verification, discrimination analysis, micro-flow characteristics, macro production performance, residual oil