

文章编号:1001-6112(2002)04-0381-04

流动单元特征及其成因分类

刘吉余¹, 王建东², 吕靖¹

(1. 大庆石油学院 勘探系, 黑龙江 安达 151400; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 该文将流动单元定义为具有相同渗流特征的另一储层单元, 并认为流动单元具有相对性、层次性和规模性。在分析了流动单元的基本特征后, 提出了流动单元的成因分类方案, 把流动单元划分为受断层、隔层、夹层、渗透率韵律、层理构造、裂缝及孔隙结构控制的 7 类流动单元。不同成因的流动单元, 反映了储集层非均质性的规模性和层次性, 其研究内容和方法不同。

关键词: 非均质性; 储层; 渗流特征; 流动单元; 剩余油

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

油气田勘探开发的实践表明, 勘探开发的成效关键在于对油气藏的认识是否符合客观地质情况。这就要求石油地质和油藏工程师尽可能掌握油气田的各种参数及其空间分布规律, 建立一个准确反映油气藏非均质性的储层地质模型, 指导油气田的勘探和开发, 提高勘探阶段的成功率, 提高开发阶段的采收率。进入 21 世纪, 我们仍然面临着如何成功地开发新油田和对老油田进一步挖潜、提高采收率两大研究难题。研究资料表明仅依靠二次采油平均采收率为 35% 左右, 还大有潜力可挖。一般估计还有 20% 的可动油是由于储层的非均质性而未被注入水所波及到^[1]。这部分可动油通过深化认识储层的非均质性及改善二次采油技术, 是完全可以开采出来的。进一步提高老油田的采收率, 其经济效益远远大于边远地区的勘探效益。然而为提高采收率而采用的所有各种调整措施, 均必须以搞清楚剩余油的分布现状为基础。

目前, 我国东部老油田已普遍含水, 全国最大的油田——大庆油田综合含水已超过 80%, 油田稳产难度越来越大。为了进一步延长油田稳产期, 实现“稳油控水”的目标, 大庆油田的开发工作要继续搞好以细分注水为核心的注采结构调整, 发展综合调整挖潜技术。开发调整要逐渐由均匀布井的二次加密调整, 向不均匀布井的三次加密调整发展; 挖潜对象要由分布相对集中的薄差层剩余油, 向油层中分布复杂、零星分散的砂岩层剩余油发展; 驱油方法上, 对较厚油层要由单纯的水驱逐渐向聚合物驱、三

元复合驱、多元泡沫驱等多种驱油方式发展^[2]。要实现上述目标, 必须从陆相油田的具体地质条件出发, 正确认识储层的非均质性, 搞清剩余油的分布特征。而正确认识剩余油的分布则又依赖于油藏描述的可靠性。

油藏描述是对油藏各种参数进行三维空间的定量描述和表征, 也就是要建立准确反映油藏的构造、沉积、成岩、流体等特征的精细三维地质模型^[3]。在油田开发阶段, 油藏描述的任务是正确描述油藏的开发地质特征。这种开发地质特征被定义为“油藏所具有的那些控制和影响油气开发过程, 从而也影响所采取的开发措施的所有地质特征^[1]”。流动单元是未来精细油藏描述的关键和最基本单位^[4]。流动单元研究为认识油藏的非均质性提供了有效的手段, 是今后油藏描述的一个重要发展方向和攻关目标。因此开展流动单元研究, 搞清剩余油的分布不仅具有重大的理论意义, 而且具有十分重要的现实意义。

1 流动单元概念及基本特征

1.1 流动单元概念

流动单元 (flow unit) 又称水力单元 (hydraulic unit), 是 20 世纪 80 年代中后期开始兴起的一种储层研究方法。国内外的研究者由于研究的角度和对象不同, 对流动单元的理解及采用的研究方法略有不同。Hearn 认为流动单元是一个横向和垂向连续

收稿日期: 2001-04-09; 修订日期: 2002-05-13.

基金项目: 黑龙江自然科学基金项目 (A01-13).

作者简介: 刘吉余 (1961—), 男 (汉族), 辽宁大连人, 博士, 副教授, 主要从事石油开发地质学的教学和科研工作.

的储集层,在该单元的各部位岩性特点相似,影响流体流动的岩石物理性质也相似^[5];Ebanks认为流动单元是根据影响流体在岩石中流动的地质和物性的变化进一步细分出来的岩体^[6];Amaefule认为流动单元是给定岩石中水力特征相似的层段^[7],他认为流动单元是总的油藏岩石体积中影响流体流动的油层物理性能恒定不变且可与其它岩石体积区分开来的有代表性的基本体积;焦养泉、李思田认为流动单元是指沉积体系内部按水动力条件划分的建筑块体^[8,9](building blocks),它和构成单元(结构要素)属于类似的概念;裘亦楠认为流动单元是指由于储层各种非均质性、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^[10];穆龙新认为流动单元是指一个油砂体及其内部受边界限制,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^[4]。

从上述定义不难看出,流动单元主要强调的是储层单元,是对储集层的进一步细分。在这个储层单元中,影响流体渗流(流动)的岩石物理性质相同,也就是具有相同的渗流特征,因此,可以把流动单元定义为具有相同渗流特征的储层单元。

流动单元的定义不仅反映了油藏内部流体渗流(流动)的基本特征,而且反映了储层的岩石物理性质的变化。一般来讲,渗流特征相同,表明影响流体渗流(流动)的岩石物理性质也相同。不同的流动单元,反映出岩石物理性质不同。

1.2 流动单元基本特征

流动单元的发育特征和空间分布状况主要受原始沉积作用、构造作用、成岩作用的影响和控制,甚至受油田开发所采取的各种措施的影响(如注水开发后,储油层的物性会发生变化等)。因此,流动单元是储层岩石物性特征的综合反映。一个储油层可以划分为若干个岩石物理性质各异的流动单元块体;在同一流动单元内部,影响流体流动(渗流)的地质因素相同,具有相同的水动力学特征和渗流特征。对于注水开发的油田,同一流动单元应具有相同的水淹特征和剩余油分布规律;不同的流动单元之间表现出岩石物理性质的差异性,其水动力学特征和渗流特征差异很大,其水淹状况也不相同,如有的可能只有残余油、有的已被水洗净、有的仍有可动油等。

流动单元在储层中是客观存在的。在空间上,许多不同特征的流动单元镶嵌叠砌组成一个完整的油藏,各流动单元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。一个单砂体可以由一个流动单元组成,也可以由多个流动单元组成。

由于储层的非均质性具有层次性和规模性^[11],因而流动单元也具有层次性和规模性。但由于受勘探开发阶段的限制以及研究对象的复杂性、资料掌握的丰富程度及研究手段等方面的原因,使得人们对流动单元的认识程度有所限制。在油田不同勘探开发阶段或不同研究目的下,对流动单元会产生不同的认识。如果一个研究区地质条件不太复杂,在密井网条件下,静态、动态资料极其丰富,那么对流动单元的认识程度就越高。随着对储层非均质性认识程度的提高,对流动单元的认识程度也随之提高。在这个意义上,流动单元则是一个相对的概念。对于不同的勘探开发阶段、不同的研究目的或不同成因的流动单元,流动单元定义的范围、研究方法不同。流动单元划分的粗细与当时的技术水平和所要解决的地质问题有关。

2 流动单元成因分类

在流动单元研究过程中,不可避免地要涉及分类问题,但目前所见到的分类方法均是采用数学方法如聚类分析方法对其进行分类。这种分类方法实际上是在同一成因条件下的分类方法,从而忽略了流动单元的成因。因此本文根据沉积成因、影响储层渗流特征的地质因素及储层非均质性的规模,按照流动单元的成因将其划分为7种类型。

2.1 断层控制的流动单元

断层的作用对油区内大范围的流体渗流具有很大的作用。如果断层是封闭的,就隔断了断层两盘之间流体的渗流,起到遮挡作用,形成两个流动单元;如果断层未封闭,就是一个大型的渗流通道,形成一个统一的流动单元。在油田注水开发过程中,尤其应注意研究那些断距小、延伸短、与主断裂方向不一致的次级断层的分布及其封闭性。往往是这些小断层对渗流起着遮挡作用,控制着流动单元即剩余油的分布。

2.2 隔层控制的流动单元

这里所说的隔层,是指油层之间或者开发层系之间的不渗透岩层,在油田注水开发过程中对流体具有隔绝能力。隔层的形成受构造和沉积条件的控制,常由泥岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质和钙质粉砂岩组成。隔层的存在,能够阻止或控制流体的流动。隔层往往是一些大的成因单元边界,通常是渗透层

与非渗透层的分界线。隔层的存在控制着较大规模的流体渗流,其形成的流动单元规模也相应较大。

2.3 夹层控制的流动单元

夹层是指在砂岩层内所分布的相对非渗透性岩层,这里是指小层或单砂层内的非渗透性岩层。这些夹层不仅影响流体的垂向渗流,而且也影响流体的水平渗流。由于夹层的存在,改变了整个渗流场的分布,使渗流(油水运动)发生变化。夹层的分布状况对油水运动产生很大的影响。分布稳定的夹层,可将油层上下分成两个独立的流动单元;如果夹层分布不稳定,则油层上下具有水动力联系,一般表现为注入水下窜。不稳定夹层越多,其间油水运动也就越复杂,对开发效果的影响越大。在一个小层或单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。

2.4 渗透率韵律控制的流动单元

渗透率韵律是指砂体内渗透率高低按一定顺序的变化,这种渗透率的差异,将直接影响到储层内部流体的渗流特征。垂向上不同的渗透率组合类型和内部非均质程度不同,对储层渗流特征及油层水洗厚度具有不同的影响。按照渗透率的韵律性可以划分出不同的流动单元。对于正韵律油层而言,由于其下部颗粒粗、渗透率高,向上颗粒变细、渗透率变低,注入水先沿着下部高渗透层段推进,加之重力的影响,上层低渗透层段中注入水很难波及,全层中只能是部分厚度被水洗。因此,可以将正韵律油层按渗透率高低的变化,分为两个流动单元。

2.5 层理构造控制的流动单元

层理是砂体内部最常见的沉积构造。在各种河道砂体中以交错层理最普遍,它往往由较粗颗粒的纹层与掺杂有云母片的较细颗粒的纹层交替组成,纹层厚度仅有0.1~1mm,却使得交错层的渗透率变化有明显的方向性。根据岩心样品的实际测定^[12],垂直层理倾斜方向的渗透率比沿着层理纹层延长方向的渗透率低,所以斜层理砂岩沿着纹层延伸的不同方向注水,其波及状况和驱油效率是不同的。当沿平行层理纹层方向注水时,由较粗砂粒构成的纹层注入水推进快,而较细砂粒及泥质等构成的纹层水洗很差,形成明显的指状水驱现象,驱油效率很低;而沿着垂直层理面的方向注水时,由于较细粒纹层要比较粗粒纹层阻力大,当注入水进入较粗粒纹层足够多时,才能突破较细粒纹层阻力而进入下一个较粗粒的纹层,使得注入水前缘推进均匀,波及厚度和驱油效率都比较高。

因此,由于层理构造内部纹层方向性的差异,导

致其内部流体渗流特征的差异,形成不同的流动单元。

2.6 裂缝控制的流动单元

储层中若存在裂缝,则裂缝的封闭性和开启性以及裂缝延伸的方向、长短对流体渗流的影响极大。裂缝的存在,使得储层的渗流特征表现为明显的各向异性。在注水油田开发过程中,一些延伸很远的裂缝若不密封,必定造成注入水沿着裂缝发生串流,这类流动单元与断层控制的流动单元类似,只不过是其规模要小很多,研究难度也更大。

2.7 孔隙结构控制的流动单元

储层岩石的孔隙结构是指岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其连通状况,是油气储层地质学研究的重要内容,属于微观非均质性研究的范畴。孔隙是流体储存于岩石的基本储集空间,而喉道则是流体在岩石中渗流的重要通道。显然,喉道的大小和分布以及它们的几何形状是影响储层渗流特征的主要因素。由于孔隙结构的差异导致渗流特征的差异,形成不同的流动单元。

合理地划分流动单元,不仅有助于研究流动单元的成因及深化认识储层的非均质性,而且可以针对流动单元的不同成因,对其采用不同的研究方法。

不同成因的流动单元,其研究内容和方法不同(表1),反映了储层非均质性的层次性和规模性。从断层控制的流动单元到孔隙结构控制的流动单元,储层非均质性的规模由大到小。流动单元的成因分类,可以从宏观到微观将流动单元分成不同的层次来进行研究。

3 结论

a) 流动单元是指具有相同渗流特征的储层单元。流动单元不仅反映了油藏内部流体渗流(流动)的基本特征,而且反映了储层岩石物理性质的变化。

b) 本文根据沉积成因、影响储层渗流特征的地

表1 流动单元分类及主要研究内容

Table 1 Classification of flow units and their major studying contents

流动单元分类	主要研究内容
断层控制的流动单元	断层封闭性及分布研究
隔层控制的流动单元	隔层分布特征研究
夹层控制的流动单元	夹层分布特征研究
渗透率韵律控制的流动单元	渗透率分布特征研究
层理构造控制的流动单元	层理构造研究
裂缝控制的流动单元	裂缝封闭性、延伸方向及分布规律研究
孔隙结构控制的流动单元	孔隙结构、岩石物理相研究

质因素及储层非均质性的规模,将流动单元划分为7种类型。这是符合客观地质规律的,也有利于开展流动单元的研究工作。

c)不同成因的流动单元,反映了储集层非均质性的层次性和规模性,将有助于深化认识储层的非均质性。

参考文献:

- [1] 裘亦楠. 开发地质方法论(一)[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(2): 43 - 47.
- [2] 刘丁曾, 王启民, 李伯虎. 大庆多层砂岩油田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 1 - 4.
- [3] 刘吉余, 郝景波, 尹万泉, 等. 流动单元的研究方法及其研究意义[J]. 大庆石油学院学报, 1998, 22(1): 5 - 7.
- [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] Hearn C L, Ebanks W J Jr, Tye R S, et al. Geological factors influencing reservoir performance of the Hartzog Draw Field, Wyoming[J]. J Petrol Tech, 1984, 36: 1335 - 1344.
- [6] Ebanks W J Jr. Flow Unit Concept—Integrated approach to reservoir description for engineering Projects[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 551 - 552.
- [7] Amaefule J O, Altunbay M. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells[J]. SPE 26436, 1993: 205 - 220.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 裘亦楠, 王振彪. 油藏描述新技术[A]. 中国石油天然气总公司油气田开发会议文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 62 - 72.
- [11] 张昌民. 储层研究中的层次分析法[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 344 - 350.
- [12] 刘丁曾. 多油层砂岩油田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 34.

FEATURES OF FLOW UNITS AND THEIR GENETIC CLASSIFICATION

LIU Ji-yu¹, WANG Jian-dong², LU Jing¹

(1. Department of Exploration, Daqing Petroleum College, Anda, Heilongjiang 151400 China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The flow unit is defined as the same reservoir unit with identical seepage features, and it is considered that the flow unit is relative and in some level and scale. After analysing the basic features of flow units, a genetic classification scheme of flow units was suggested. Flow units were classified as seven types controlled by faults, impermeable strata, intercalated beds, permeability rhythm, stratification tectonics, fissures and pore structure, respectively. The flow unit of different genesis reflects the scale and level of reservoir heterogeneity and has different studying contents and methods.

Key words: heterogeneity; reservoir; seepage feature; flow unit; residual oil

(continued from page 380)

Abstract: Acoustic curves are basic data essential for the wave-impedance inversion based on logging restraint. But the acoustic data obtained from practical work usually cannot well reflect the changing rules of subsurface lithology. So, it is needed sometimes to refer other logging information in order to do curve recomposition. Combined with the examples of wave-impedance inversion in LMZ area, a curve-recomposition method was introduced in this paper, which including curve sifting, data standardization, curve analyses and data recomposition these steps.

Key words: wave impedance; inversion; acoustic curve; curve recomposition; lateral prediction of reservoirs