

文章编号: 0253- 9985(2004) 05- 0539- 05

孤东油田七区西馆陶组上段储层非均质性 及剩余油分布

陈德坡^{1,2}, 王延忠^{1,2}, 柳世成², 杨仁金²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化胜利油田地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 油藏储层的非均质性是影响剩余油分布的重要因素之一。孤东油田七区西馆陶组上段储层在层内、层间以及平面都存在非均质性。储层平面非均质性主要受沉积相带、砂体展布形态控制; 层间非均质性主要受单砂体厚度、砂泥比的影响; 而层内非均质性主要与层内夹层、层内韵律性有关。夹层的下部、正韵律层的顶部、层系中物性较差的砂体剩余油相对富集, 河道砂体边缘和废弃河道等分布局限的砂体也是剩余油富集区。

关键词: 孤东油田; 储层; 非均质性; 剩余油分布; 馆陶组

中图分类号: TE112. 23

文献标识码: A

Reservoir heterogeneity and distribution of remaining oil in upper Guantao Formation in 7th block west, Gudong oilfield

Chen Depo^{1,2}, Wang Yanzhong^{1,2}, Liu Shicheng², Yang Renjin²

(1. China University of Geosciences, Beijing;

2. Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Reservoir heterogeneity is one of the main factors that impact distribution of remaining oil. Intralayer, inter-layer and plane-layer heterogeneities exist in the upper Guantao Formation in the 7th block west of Gudong oilfield. Plane-layer heterogeneity is mainly controlled by sedimentary facies zones and distribution of sandbodies. Interlayer heterogeneity is mainly affected by the thickness of single sandbody and sand-shale ratio. Intralayer heterogeneity is mainly associated with intraformational beds and intracyclothems. Remaining oil is relatively rich in sandbodies with relatively poor poroperm characteristics, such as in the lower part of interbeds and on the top of positive cyclothems. In addition, sandbodies with limited distribution on the periphery of channel sands and in abandoned channels are also rich in remaining oil.

Key words: Gudong oilfield; reservoir heterogeneity; distribution of remaining oil; Guantao Formation

孤东油田七区西是孤东油田最大的含油区块, 位于孤东构造的东翼, 地层倾角平缓, 其北、西、南分别被断层所切割, 向东与七区中自然相连。七区西含油面积 11.7 km², 石油地质储量 5 800.1 × 10⁴ t, 占孤东油田总储量的 26.4%, 占馆陶组上段(以下简称馆上段)储量的 30.6%。目前共有各类完钻井 1 018 口, 主要含油层系为馆上段, 油层埋深一般在 1 180~ 1 445 m, 分为 5 套开发

层系(4¹-5¹, 5²⁺³, 5⁴-6¹, 6³⁺⁴, 6²⁺⁵⁻⁸), 其中 5²⁺³, 5⁴, 5⁵¹, 5⁵², 6¹¹, 6¹², 6², 6³, 6⁴, 6⁵为主力油层^[1]。

孤东油田七区西馆陶组上段为一套河流相沉积, 具有高孔高渗、强非均质、储层结构疏松、易出砂的特征。1986 年 6 月投入全面开发, 1987 年 4 月实施注水, 属早期注水开发油藏。截止目前, 七区西馆上段累计采油 1 999.8 × 10⁴ t, 采出程度 34.48%, 综合含水 96.7%, 已处于特高含水期。

对储层非均质性和剩余油分布规律的研究,对提高油田的最终采收率具有重要的意义^[1]。

1 平面非均质性

1.1 特征

储层平面非均质特征是指一个砂体的平面几何形态、连续性、分布范围及砂体的孔隙度、渗透率等参数的空间变化所引起的非均质性^[2]。

1.1.1 几何形态

根据砂体的长宽比和宽厚比,平面上砂体可划分为席状砂、土豆状砂、条带状砂和鞋带状砂。七区西馆上段4~6砂层组砂体在平面上一般呈连片席状、条带状、土豆状分布,以土豆状和条带状砂体为主(表1),仅有8个大面积分布的席状砂,不存在鞋带状砂,这反映了七区西馆上段河流相沉积的特征。

表1 七区西馆上段4~6砂层组砂体形态统计表

Table 1 Statistics of shapes of the 4th–6th sand layers in the upper Guantao Formation in 7th block west, Gudong oilfield

砂层组	砂体类型					
	席状砂		土豆状砂		条带状砂	
	砂体数 /个	占百分 数/%	砂体数 /个	占百分 数/%	砂体数 /个	占百分 数/%
4	1	0.3	295	91.6	26	8.1
5	3	1.2	225	88.6	26	10.2
6	4	1.8	181	81.5	37	16.7

1.1.2 孔渗性

统计表明,边(心)滩相至堤岸相沉积,粒度由粗到细,泥质含量逐渐增多,孔隙度逐渐变小,渗透率由大到小;从孔隙度、渗透率等值图和沉积微相平面图上也可以看出:每一个沉积时间单元孔

隙度、渗透率的高值区与边(心)滩相的分布基本是一致的^[3~5]。

1.2 对剩余油分布的影响

由于主力开发单元5²⁺3,6³⁺4以席状砂为主,平面非均质性较弱,注采连通率较高,导致平面水淹程度严重,差异较小,含水小于60%的井仅占1%~5%,含水大于90%的特高含水井占89%;而非主力单元4¹–5¹以土豆状砂体为主,平面非均质性较强,注采连通率较低,致使平面水淹程度相对较低,且差异较大,含水小于60%的井占24.4%,含水大于90%的特高含水井占51.2%,由于水驱控制程度差,在注采系统不完善的小土豆、窄条带等区域形成剩余油饱和度 high 值区。

物性好的边(心)滩相,油井水驱受效较好;物性较差的相带注水受效较差,水驱波及程度较小。在边(心)滩相砂体的边缘、废弃河道等分布局限的砂体,井网控制程度较差,剩余油饱和度相对较高^[6~9]。

2 层间非均质性

2.1 特征

2.1.1 分层系数

统计七区西1018口井,馆上段3~6砂层组的分层系数为14.3;单砂体平均厚度为4.0m;砂岩密度为28.7%,砂泥比41.1%,砂岩比较发育。其中4,5,6砂层组的单砂体平均厚度分别为2.8,4.6,4.6m,砂岩密度分别为21.3%,33.0%,37.6%;砂泥比分别为30.7%,53.6%,65.2%(表2),可见6砂组的砂岩发育程度高,4砂组的非均质程度最严重,5,6砂组的均质性相对较好。

表2 孤东油田七区西馆上段分层参数统计表

Table 2 Statistics of layering parameters of the upper Guantao Formation in 7th block west, Gudong oilfield

砂层组	总井数 /口	总层数 /层	分层系数	总砂厚/m	单砂体 厚度/m	组段砂岩 厚度/m	砂组层段 平均厚度/m	砂岩密度 /%	砂泥比 /%
3	1 018	2 078	2.04	6 104.9	2.94	6.4	41	15.5	20.0
4	1 018	3 240	3.18	8 897.9	2.75	8.9	42	21.3	30.7
5	1 018	3 641	3.58	16 743.3	4.60	16.8	51	33.0	53.6
6	1 018	5 676	5.58	26 335.8	4.64	28.2	75	37.6	65.2

2.1.2 单砂体平均厚度

单砂体厚度越小,非均质越强,反之,均质程

度越好。通过统计,馆上段3~6砂层组的单砂体平均厚度为3.99m。由表2可见4砂组的非均质

程度最严重, 5, 6 砂组的均质性较好。

2.1.3 层间渗透率

纵向各小层或砂体间的渗透率的变化也反映了层间非均质特征^[9]。馆上段 4~ 6 砂层组的小层或砂体间的渗透率等各项参数表明含油较差的

4 砂层组层间非均质较严重, 而含油较好的 5, 6 主力砂层组层间非均质程度较低, 均质性较好。随着注水开发, 含水率的上升, 非主力油层的 4 砂组的层间非均质程度降低, 主力油层的 5, 6 砂层组的层间非均质性加重(表 3)。

表 3 七区西馆上段 4~ 6 砂层组层间渗透率参数统计表

Table 3 Statistics of interlayer permeability of the 4th– 6th sands in the upper Guantao Formation in 7th block west, Gudong oilfield

砂层组	平均渗透率/(10 ⁻³ μm ²)		变异系数		突进系数		级 差	
	注水前	注水后	注水前	注水后	注水前	注水后	注水前	注水后
4	1 670.5	3 825.8	0.176	0.149	1.303	1.156	2.047	1.792
5	1 784.8	3 333.1	0.171	0.239	1.228	1.353	1.753	2.476
6	1 450.0	2 323.5	0.153	0.207	1.215	1.236	1.765	2.192

2.2 对剩余油分布的控制

(1) 由于主力油层和非主力油层非均质程度的差异, 主力油层水淹程度高, 非主力油层水淹程度较低, 主力油层剩余油饱和度低于非主力油层。

统计 1998 年 12 月 153 口单采井含水情况, 8 个主力油层含水小于 60% 的井点数占 2.4%, 而含水大于 90% 的井点数占 90.3%; 9 个非主力油层含水小于 60% 的井点占 13.8%, 而含水大于 90% 的井点占 65.5%。单采井主力层综合含水平均为 96.5%, 而非主力层综合含水平均为 90.4%, 主力油层的水淹强度明显高于非主力层。

从 1997~ 1998 年 C/O 测井资料分析, 主力油层平均剩余油饱和度为 26.3%、驱油效率 45.9%, 见水级别为水洗, 而非主力油层平均剩余油饱和度为 41.3%、驱油效率 34.4%, 见水级别为见水。

1997~ 1998 年的多功能测井、吸水剖面资料也反映同样的规律, 主力油层的驱油效率、吸水能力明显高于非主力油层, 剩余油饱和度低于非主力油层。

采用流线模型计算了 5⁴– 6¹层系的剩余油分布情况, 其剩余油饱和度 6¹层为 50%, 5⁵层为 49%, 5⁴层为 45.6%。主力油层的剩余油饱和度低于非主力油层。

(2) 主力油层剩余油饱和度虽然低于非主力油层, 但剩余可采储量仍高于非主力油层。

流线模型计算的 5⁴– 6¹层系的剩余可采储量, 5⁴层为 150.1 × 10⁴ t, 5⁵层为 108.7 × 10⁴ t, 6¹层为 80.3 × 10⁴ t, 主力油层高于非主力油层。

数值模拟定量计算了 27 个时间单元 16 个小层的剩余可采储量, 统计其中 12 个主要小层, 共

计剩余可采储量 1 181.4 × 10⁴ t, 其中大于 100 × 10⁴ t 的小层有 6⁴, 5⁴, 6³, 6², 6⁵等 5 个, 剩余可采储量 826.4 × 10⁴ t, 其小层数占描述层的 38.5%, 剩余可采储量占 70.5%; 剩余可采储量在 50 × 10⁴~ 100 × 10⁴ t 的小层有 5⁵, 6¹, 4⁵, 4⁴等 4 个, 剩余可采储量 285.4 × 10⁴ t, 分别占 30.8% 和 24.4%; 小于 50 × 10⁴ t 的小层有 4², 5¹, 6⁶等 3 个。主力油层的剩余可采储量明显高于非主力油层。

3 层内非均质性

3.1 特征

层内非均质性是指一个单砂层内部垂向上储层性质的变化, 它是直接控制和影响一个单砂层储层层内垂向上注入剂波及体积的关键地质因素^[2, 6]。

3.1.1 层内夹层

在七区西馆上段河流相沉积的储层中夹层主要有两类: 岩性夹层和物性夹层。根据七区西馆上段取心资料和测井二次解释成果, 统计分析了馆上段 30 个沉积单元的夹层分布情况。

(1) 平均单井夹层数。统计馆上段 4~ 6 砂层组, 岩性夹层 3 831 层, 物性夹层 5 087 层, 平均单井夹层数为 0.94 层, 其中 5²⁺ 3 层的单井夹层数最多, 为 1.48 层, 4² 砂体单井夹层数最少, 为 0.58 层。

(2) 夹层频率是指单位厚度砂岩中夹层的层数。统计馆上段 4~ 6 砂层组, 岩性夹层频率为 0.10 层/米, 物性夹层频率为 0.13 层/米; 总夹层频率为 0.23 层/米。其中 5²⁺ 3 层的夹层频率最小, 为 0.14 层/米, 4⁵ 的夹层频率最大, 为 0.40 层/米。

(3) 夹层密度是指剖面中夹层总厚度占所统计的砂岩剖面总厚度的比例。统计馆上段 4~ 6 砂层组, 平均夹层密度为 0. 169。其中 4⁵砂体的夹层密度最大, 为 0. 288, 5²⁺³层的夹层密度最小, 为 0. 106。

从以上的层内夹层统计可以看出, 研究目标区的层内非均质较为严重, 5²⁺³层的均质程度较高, 而 4⁵层的非均质性最为严重。

3.1.2 纵向渗透率

七区西馆上段 4~ 6 砂层组的层内渗透率变异系数一般为 0. 833~ 1. 600, 平均 1. 069 5, 突进系数 1. 487~ 3. 817, 平均 2. 811, 级差一般为 37. 3~ 628, 平均 119. 7, 这表明七区西馆上段储层层内非均质比较严重。

3.1.3 层内韵律性

储层的韵律性指因层内粒度、岩性等的纵向变化而引起的储层物性在垂向上的变化规律^[2]。根据砂体厚度及层内物性变化, 把储层砂体的韵

律性分为 4 类: 均质段、正韵律、反韵律、复合韵律。

统计七区西馆上段 4~ 6 砂层组的 30 个沉积时间单元共 7 028 个砂体, 其中正韵律砂体 1 720 个, 占总韵律层的 24. 5%, 反韵律 590 个, 占总韵律层的 8. 4%, 复合韵律 2 542 个, 占总韵律层的 36. 2%, 均质段 2 176 个, 占总韵律层的 31. 0%, 以上统计数据反映了七区西馆上段河流相沉积的特点。

3.2 对剩余油分布的控制

油层纵向上剩余油的富集程度存在差别, 而且不同韵律性油层呈现不同的特点^[8, 10]。

(1) 正韵律油层上部水淹程度较低, 剩余油相对富集。据 7- 28- J255 岩心分析, 5⁴层为正韵律油层, 其上部剩余油饱和度为 45%, 驱油效率 38. 7%; 中部剩余油饱和度 34. 8%, 驱油效率 54. 1%; 下部剩余油饱和度 31. 6%, 驱油效率 61. 3%。上部剩余油饱和度明显高于下部, 驱油效率小于下部(表 4)。

表 4 7- 28- J255 井驱油效率计算(正韵律)
Table 4 Oil displacement efficiency in 7- 28- J255 well (positive cyclothem)

韵律段	样品号	密闭率/ %	孔隙度/ %	渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)	原始油饱和度/ %	剩余油饱和度/ %	驱油效率/ %
上部	121- 160	94. 4	35. 1	945	74. 6	45. 0	38. 7
中部	161- 189	94. 4	36. 2	3 121	75. 8	34. 8	54. 1
下部	190- 214	81. 0	37. 2	3 602	82. 0	31. 6	61. 3

根据水线推进速度法计算的的正韵律油层层内的水线推进相对速度和剩余油饱和度也反映了

油层上部渗流速度慢、水淹程度较低、剩余油饱和度相对较高及剩余油相对富集的特点(图 1)。

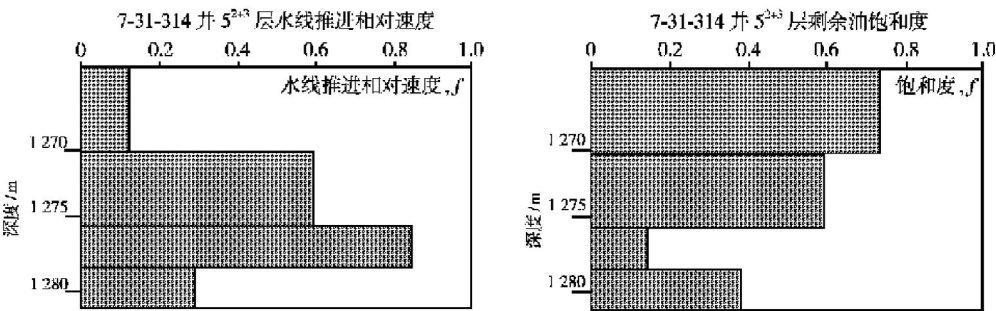


图 1 正韵律层内水线推进相对速度和剩余油饱和度

Fig. 1 Relative moving velocity of waterline and residual oil saturation in positive cyclothem

(2) 复合韵律油层总体上水淹比较均匀, 但层内差异比较大, 呈现多段见水特征, 高渗透部位水淹严重, 低渗透部位水淹相对较弱, 剩余油相对富集。

分析 7- 28- J255 井 6³⁺⁴层的取心资料, 复合

韵律油层内部的不均质性使得内部水淹状况呈现明显的多段性, 由上往下驱油效率分别为 36. 4%, 45. 3%, 52. 2%, 32. 1%和 43. 9%, 高渗透部位的驱油效率明显高于低渗透部位的驱油效率(表 5)。

表 5 7- 28- J255 井水洗特征分析表(复合韵律)
Table 5 Analysis of water flushing character in 7- 28- J255 well (compound cyclothem)

样品号	油层厚度/m	孔隙度/ %	渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	原始油饱和度 / %	目前油饱和度 / %	驱油效率 / %	综合判断 见水特征
296- 321	1. 5	36. 0	2 067	68. 7	44. 0	36. 4	见水
322- 346	2. 6	38. 5	2 244	78. 0	42. 5	45. 3	水洗
347- 376	3. 5	38. 8	5 260	80. 4	38. 5	52. 2	水洗
377- 389	1. 5	38. 9	1 833	81. 2	55. 1	32. 1	见水
390- 406	1. 9	36. 9	3 176	78. 6	45. 7	43. 9	水洗

多功能测井资料也反映同样的规律, 由于层内非均质性使得层内水淹状况比较复杂且呈多段性, 总体上从上部- 中部- 下部, 驱油效率由高- 低- 高, 见水级别从水洗- 见水- 弱见水- 见水- 水洗。

由水线推进速度法计算的复合韵律油层层内的水线推进相对速度和剩余油饱和度也反映了油层内部多段见水的特征, 高渗透部位渗流速度较快, 水淹程度较高, 低渗透部位渗流速度较慢, 水淹程度较低, 剩余油相对富集(图 2)。

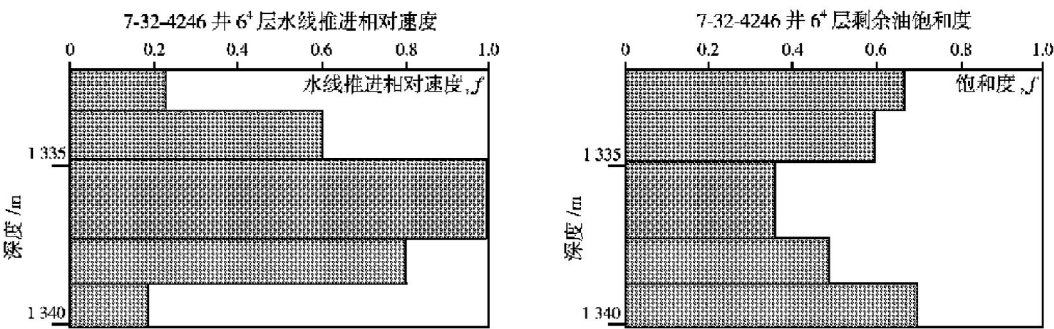


图 2 复合韵律层内水线推进相对速度和剩余油饱和度
Fig. 2 Relative moving velocity of waterline and residual oil saturation in compound cyclothem

(3) 均质段油层层内水淹差异小, 纵向水淹较均匀。由 7- 24- 1386 多功能测井资料看出, 均质段 5⁴层层内含水饱和度均在 35% 左右, 见水级别都是弱见水, 水淹较为均匀(表 6)。7- 24- 5206 的 C/O 测井资料也反映出均质段油层层内水淹均匀的特点(表 7)。

表 6 7- 24- 1386 井 5⁴ 层层内水淹状况表(均质段)
Table 6 Intralayer watered-out conditions of 5⁴ layer in 7- 24- 1386 well (homogeneous interval)

井深/m	渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)	孔隙度/ %	泥质含量/ %	束缚水饱和度/ %	目前含水饱和度/ %	驱油效率/ %	见水级别	含水率/ %
1 300. 2	1 305	38. 1	3. 5	27. 6	35. 5	10. 9	弱见水	10. 0
1 301. 2	1 800	38. 7	0. 4	25. 1	33. 1	10. 7	弱见水	10. 0
1 302. 2	1 697	38. 4	0. 8	25. 5	33. 7	11. 0	弱见水	10. 0
1 303. 2	2 414	38. 9	4. 1	23. 0	35. 2	15. 8	弱见水	31. 0

表 7 7- 24- 5206 井均质段 4⁵ 层层内水淹状况表(C/O 测井)
Table 7 Intralayer watered-out condition of 4⁵ layer in the homogeneous interval of 7- 24- 5206 well (C/O well logging)

井深/m	孔隙度/ %	泥质含量/ %	束缚水饱和度/ %	目前含水饱和度/ %	驱油效率/ %	见水级别	含水率/ %
1 221	33. 9	6. 1	35. 8	78. 6	66. 7	强水洗	99
1 222	31. 6	1. 4	29. 8	66. 3	52. 0	强水洗	98
1 223	32. 9	1. 9	27. 2	47. 3	27. 6	见 水	80
1 224	30. 4	8. 7	38. 2	65. 6	44. 3	水 洗	96
1 225	32. 2	4. 0	30. 3	58. 7	40. 7	水 洗	97

- [A]. In: Bureau of Economic Geology. Report of Investigations No. 201[C]. Austin, Texas: Bureau of Economic Geology, 1991. 1~ 63
- 15 张子枢. 世界大气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990
 - 16 Laubach S E, Robert R M, Olson J E, et al. Fracture-surrogate analysis methods applied to Spraberry, Bone Spring, and "Canyon" cores: preliminary results[A]. In: The West Texas Geological Society. The Permian basin: microns to satellites, looking for oil and gas at all scales[C]. WTGS publication, 2001, 01~ 110: 75~ 79
 - 17 Sweet M I, Blowden C J, Ceter A M, et al. Modeling heterogeneity in a low-permeability gas reservoir using geostatistical techniques, Hyde field, southern North Sea[J]. AAPG Bull, 1996, 80(11): 1 719~ 1 735
 - 18 Curtis B F. Sedimentary rocks of the Denver Basin[A]. In: Sloss L L. Sedimentary cover-North American craton: geology of North America, volume D- 2[C]. Geological Society of America, 1988. 182~ 196
 - 19 Weimer R J, Sonnenberg S A, Young G B. Wattenberg Field, Denver Basin, Colorado: geology of tight gas reservoirs[J]. AAPG Studies in Geology, 1986, 24: 143~ 164
 - 20 Higley D K, Schmoker J W. Influence of depositional environment and diagenesis on regional porosity trends in the Lower Cretaceous "J" sandstone, Denver Basin, Colorado, in Coalson[A]. In: Viveiros, John J, Scott M. Petrogenesis and petrophysics of selected sandstone reservoirs in the Rocky Mountain region[C]. Rocky Mountain Association of Geologists, 1989. 183~ 196
 - 21 朱彤. 成岩作用对致密砂岩储层储集性的控制作用研究——以川西新场气田上沙溪庙组气藏为例[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(2): 157~ 160
 - 22 戴金星, 夏新宇, 卫延召. 中国天然气资源及前景分析——兼论“西气东输”的储量保证[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 1~ 8
 - 23 王庭斌. 中国天然气地质理论进展与勘探战略[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 1~ 7
 - 24 陈丽华, 赵澄林, 纪友亮, 等. 碎屑岩天然气储集层孔隙的三种成因机理[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 77~ 79
 - 25 王庭斌. 中国气田的成藏特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 103~ 110
 - 26 田昌炳, 罗凯, 朱怡翔. 低效气藏资源特征及高效开发战略思考[J]. 天然气工业, 2004, 24(1): 4~ 6
 - 27 LI Shi-lun, SUN Lei, DU Jiar-fen, et al. Difficulties and measures for development of low permeability tight gas reservoirs and condensate gas reservoirs[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(2): 225~ 230
 - 28 Bloch S, Lander R H, Bonnell L M. Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: origin and predictability[J]. AAPG Bull, 2002, 86(2): 301~ 328

(上接第543页)

4 结语

孤东油田七区西馆上段储层的非均质比较严重, 连通性较差。主要表现在: 平面上渗透率和砂层厚度变化明显, 层间、相带间渗透率差异大。孤东油田七区西馆上段储层的非均质性, 造成水驱效果的“非均质性”, 导致剩余油的不均衡分布。储层的韵律性、层内夹层、砂体相带的展布、层系间砂体的配置也影响着剩余油的分布。夹层的下部、正韵律层的顶部、层系中物性较差的砂体剩余油相对富集, 河道砂体边缘和废弃河道等分布局限的砂体也是剩余油富集区。因此, 今后对不同油层其挖潜的侧重点应有区别, 对非主力层应加强注采管理, 增强水驱控制, 提高液量, 增加波及体积, 对主力层应加强层内的深层次挖潜, 挖掘层内及水驱波及较差部位的剩余油。主力层挖潜仍将是今后主要的方向。

参 考 文 献

- 1 窦之林, 曾流芳, 贾俊山. 孤东油田开发研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 2 裘怿楠, 陈子琪. 油藏描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 3 刘泽容, 信全麟. 油藏描述原理与方法技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 4 张一伟, 熊琦华, 王志章, 等. 陆相油藏描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 5 党森, 赵虹, 周立发, 等. 辽河油田曙一区杜84块兴隆台油层储层非均质性[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 382~ 386
- 6 魏纪德, 杜庆龙, 林春明, 等. 大庆油田剩余油的影响因素及分布[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 57~ 59
- 7 蔡忠. 孤岛、孤东油田馆上段微相特征与剩余油分布[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 214~ 219
- 8 Khataniar S. The effect of reservoir heterogeneity on the performance of unstable displacements[J]. J Pet Sci Eng, 1992, 7(3, 4): 263~ 281
- 9 焦养泉, 李思田. 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 夏保华, 周卓明, 孙雪霞, 等. 濮城油田沙二下油藏剩余油的影响因素及型式[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 385~ 387