

文章编号: 1000-0550(2007) 01-0039-09

# 大牛地气田下石盒子组基准面旋回与储层流动单元的层次性

唐民安<sup>1</sup> 孙宝玲<sup>2</sup>

(1. 华北水利水电学院 郑州 450006 2. 郑州工业贸易学校 郑州 450007)

**摘要** 运用高分辨率层序地层学原理,通过对大牛地气田下石盒子组中、短期基准面旋回的识别及等时地层格架的建立;在等时地层格架内开展了砂体对比及其空间分布特征分析;并在基准面旋回与流动单元层次性分析的基础上选取孔隙度、渗透率和含气饱和度等三个参数,将流动单元划分为 A、B、C、D 四种类型,分析了隔挡层类型、小尺度流动单元的垂向叠置样式与侧向分割性,探讨了流动单元与基准面旋回的关系。认为:不同级次基准面旋回与  $A/\delta$  值直接控制砂体与流动单元的垂向叠置与侧向分割样式;基准面旋回直接控制小尺度流动单元的类型、发育位置、规模及横向连通性;在 LSC2 长期旋回内,随着可容空间和  $A/\delta$  值的增加,中期旋回流动单元的类型呈现由劣到优的变化趋势;在中、短期基准面旋回内,随着可容空间及  $A/\delta$  值的增加,流动单元的发育程度和类型变差,垂向厚度变小、横向延伸距离变短、侧向上的连通性也变差。

**关键词** 基准面旋回 储层流动单元 层次性 下石盒子组 大牛地气田

**第一作者简介** 唐民安 男 1964 年出生 高级工程师 博士 层序地层与储层预测 E-mail: tma0829@sina.com  
**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

储层流动单元是指具有相似沉积特征、成岩特征、岩石物理性质和流体渗流特征并可作图的三维单元体<sup>[1~3]</sup>。其研究方法大体分为两类:一类是以数学手段为主的储层参数分析法,主要强调成因单元(或沉积相带)内影响流体渗流的地质参数的差异性,但对成因单元本身的分布、单元间渗流屏障(沉积屏障、成岩胶结带和断层遮挡)及各种地质界面的研究不够<sup>[4]</sup>。另一类是以地质研究为主的储层层次分析法,即应用高分辨率层序地层学原理,在不同级次基准面旋回划分对比的基础上,探讨基准面旋回与储层流动单元间的关系,并采用层次界面和层次实体描述来表征储层流动单元。本文综合运用上述两种方法,探讨了流动单元与基准面旋回的关系。

## 1 基准面旋回与储层的层次性

### 1.1 基准面旋回的识别与层序地层格架的建立

在基准面旋回变化过程中,由于可容空间与沉积物补给量的变化,相同沉积体系域或相域中沉积物的保存程度、地层叠置样式、相序、相类型及岩石结构和组合类型也发生变化<sup>[5]</sup>。地层中不同级次的基准面旋回记录了相应级次的基准面旋回,每一地层旋回内必然存在着能反映相应级次基准面旋回变化的“痕

迹”<sup>[6]</sup>。尽管不同类型的沉积盆地及盆地的不同部位所表现的基准面旋回特征不同,其识别标志也有所差异<sup>[7]</sup>,但随着基准面及  $A/\delta$  值的变化,成因单元内的地层与沉积学响应则是有规律可循的<sup>[8,9]</sup>。

根据冲积—河流相体系基准面旋回的构成特点,本文将地震剖面识别的三级层序对应为长期旋回,在下石盒子组识别出 3 个中期旋回(MSC3~MSC5)和 15 个短期旋回(SSC13~SSC27),并在基准面旋回识别、对比的基础上建立了中、短期旋回层序地层格架(图 1)。

### 1.2 基准面旋回与砂体的垂向分布特征

#### (1) 短期基准面旋回与砂体的垂向分布特征

下石盒子组短期基准面旋回内的沉积相序一般从下至上为河道滞留沉积、心滩、泛滥平原、决口扇。其储层主要为河道砂,且主要发育于短期旋回底部的最低可容空间与  $A/\delta$  值条件(图 2)。

#### (2) 中期基准面旋回与砂体的垂向分布特征

在中期旋回内,呈现出随可容空间与  $A/\delta$  值的增加砂岩层数减少、砂体厚度减小,横向延伸规模变小、连通性变差、砂岩粒度变细的趋势。即砂体主要发育于中期旋回的中、低可容空间与  $A/\delta$  值条件(图 1, 2)。

(3) 长期基准面旋回与砂体的垂向分布特征

由 MSC3 到 MSC5 河道经历了由辫状河到低弯曲度曲流河的演化, 呈现出随可容空间与 A/S 值的增加砂岩层数减少、砂体厚度减小, 横向延伸规模变小、连通性变差、砂岩粒度变细的趋势(图 1)。辫状河道砂体主要发育于 LSC2 长期旋回的中下部 MSC3~

MSC4 两个中期旋回的中下部, 沉积物厚度大、粒度粗, 垂向上砂体相互切割、叠置, 横向连通性好(图 3)。曲流河道砂体主要发育于 LSC2 长期旋回上部的 MSC5 中期旋回及 MSC3~MSC4 中期旋回的中上部, 沉积物厚度小, 砂体孤立, 横向连通性差(图 4)。

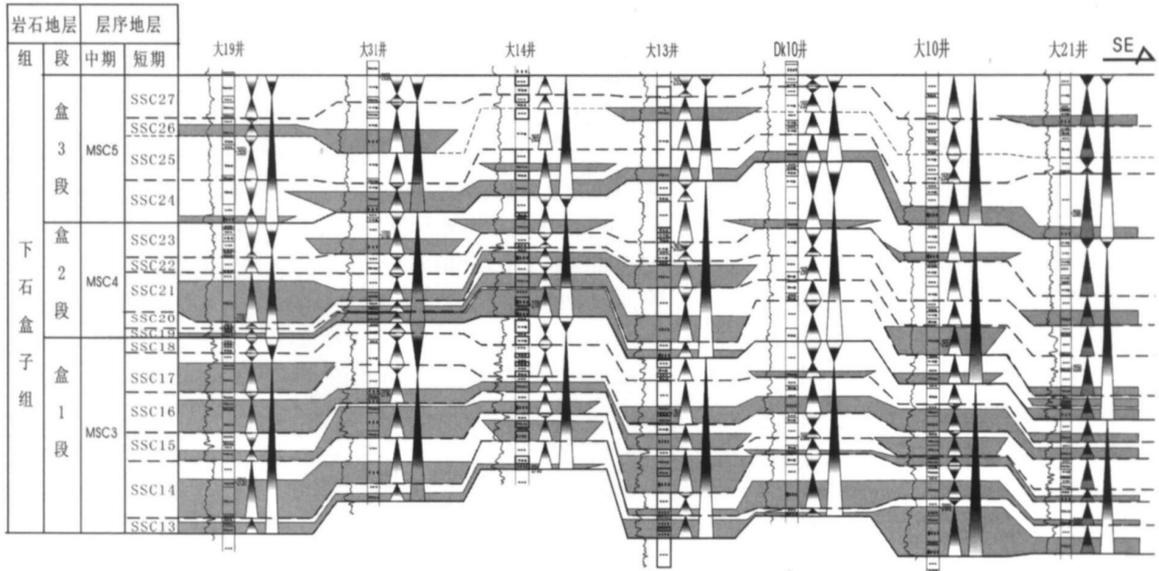


图 1 下石盒子组层序地层格架内的砂体对比剖面

Fig. 1 Sand-bodies correlation section within isochronous stratigraphic framework of medium-term and short-term base-level cycles in Lower Shihezi Formation

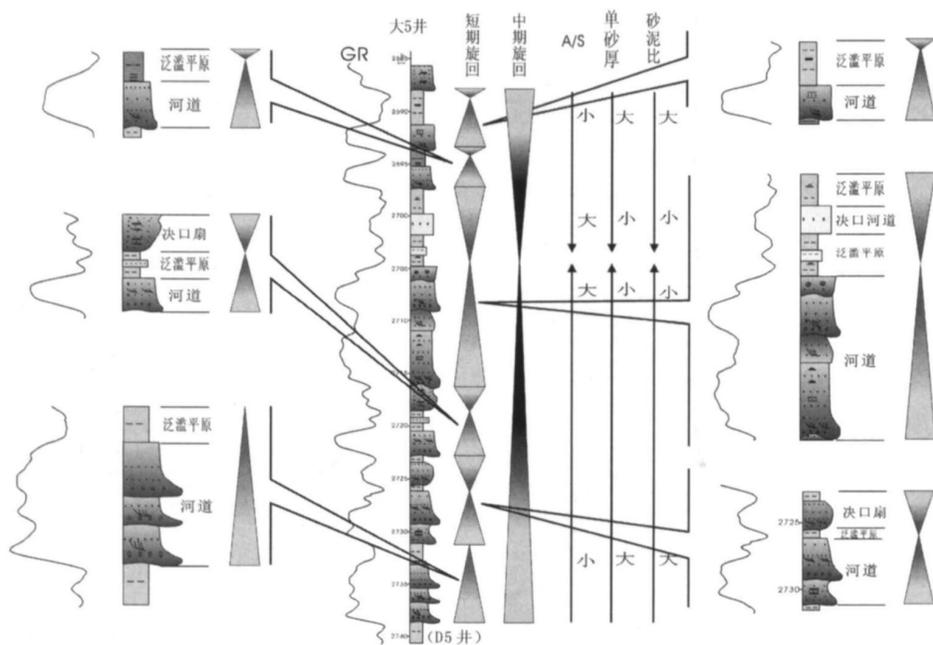


图 2 基准面旋回与砂体的垂向分布

Fig. 2 Relationship between vertical sand-bodies distribution and base level cycles

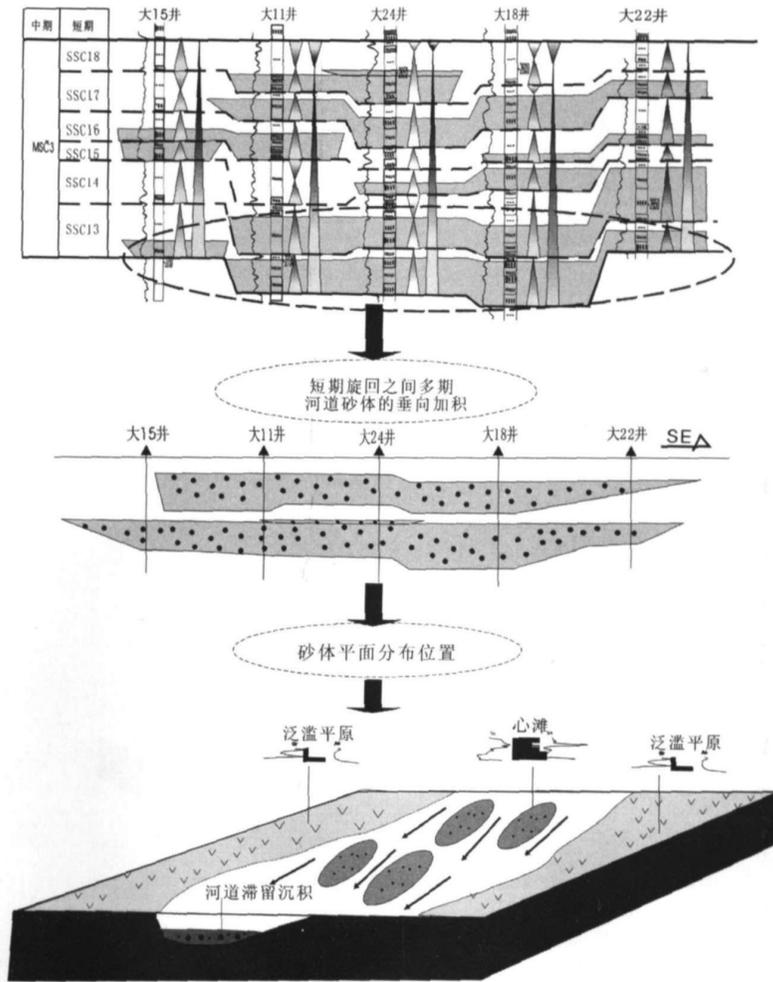


图 3 辫状河道砂体纵横向分布模式

Fig 3 Map showing vertical and lateral distribution patterns of braided channel sand-bodies

1.3 基准面旋回与储集砂体的层次性

(1) 基准面旋回与储集砂体的粒级变化

由表 1 可以看出: 砾岩 + 粗砂岩的含量表现为 SSC19 SSC20 SSC21、SSC22 SSC23、SSC24 SSC25、SSC24 SSC27 共 4 个旋回性变化序列, 总体上反映中期旋回内随着可容空间和  $A/S$  值的增大, 其水流能量变弱, 岩石粒度变小。

(2) 基准面旋回与储集砂体的横向连续性

如表 2 各中期旋回内, 随着可容空间与  $A/S$  值的增加, 河道的曲流河特征增强, 复合河道砂体的比

例、平均宽度及厚度减小, 横向连通性变差。

(3) 基准面旋回与储层的产能

由于厚度和渗透率的影响, 导致各基准面旋回内储层产气能力的差异, 并主要表现在地层系数级差、地层系数均匀程度和层间均质系数的差异上。由表 3 可以看出, MSC5 的均质性最好, 且产气能力也最高。

(4) 基准面旋回与储层物性

总体上, 在 LSC2 长期旋回 (下石盒子组) 内呈现出随着可容空间与  $A/S$  值的增加中期旋回的物性变好的趋势 (表 4)。

表 1 下石盒子组主要短期旋回储层的岩性统计

Table 1 Lithologic statistics of reservoirs in main short-term base level cycles in Lower Shihezi Formation

岩性组合	SSC27	SSC26	SSC25	SSC24	SSC23	SSC22	SSC21	SSC20	SSC19
砾岩 + 粗砂岩含量 %	23.2	28.2	21.7	45.7	9.5	32.8	1.3	35.8	52.8
中砂岩含量 %	64.9	59.1	54.9	44.8	49.6	41.2	35.6	37.1	31.6
细~粉砂岩 + 泥质岩含量 %	11.5	13.0	24.0	24.0	39.7	26.4	64.5	28.1	16.4

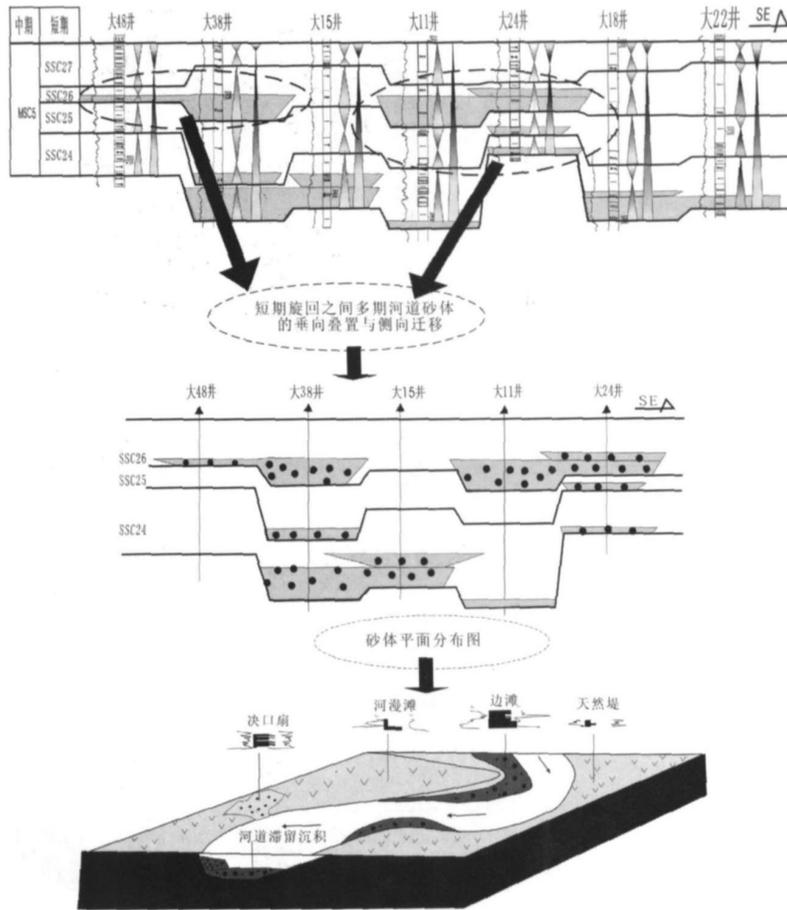


图 4 曲流河道砂体纵横向分布模式

Fig 4 Map showing vertical and lateral distribution patterns of sinuous channel sand-bodies

表 2 短期旋回砂体平均宽度、厚度统计表

Table 2 Statistics of average width and thickness of sand-bodies in short-term base level cycles

中期旋回	短期旋回	单河道砂体			复合河道砂体		
		比例 /%	平均宽度 /m	平均厚度 /m	比例 /%	平均宽度 /m	平均厚度 /m
M SC 5	SSC27	89.2%	3762.3	3.5	10.8%	15109.1	3.5
	SSC26	75.0%	6446.6	4.9	25.0%	20371.8	5.8
	SSC25	82.5%	6402.6	3.8	18.5%	132	55.6
	SSC24	72.8%	7864.7	5.7	28.2%	18843.9	6.2
M SC 4	SSC23	87.5%	4947.4	3.1	12.5%	14260.2	5.8
	SSC22	88.5%	8082.3	4.8	11.5%	17910.2	6.2
	SSC20	85.0%	7804.2	5.8	15.0%	20371.8	6.1
	SSC19	57.7%	7911.0	5.7	42.3%	18056.8	7.2

表 3 中期旋回天然气产能的非均质性

Table 3 Heterogeneity of gas production capacity in medium-term base level cycles

中期旋回	产量 / (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d)	无阻流量 / (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d)	地层系数级差	地层系数均匀程度	层间均质系数
M SC 5	0.56~10.55 3.41	0.86~38.87 12.62	1.13	0.95	0.84
M SC 4	0.50~6.51 1.48	0.57~16.44 3.36	2.06	0.66	0.91
M SC 3	0.43~1.55 0.78	0.56~2.75 1.52	3.80	0.59	0.79

表 4 中期旋回储层物性对比

Table 4 Petrophysical properties of reservoirs in medium-term base level cycles

中期旋回	孔隙度 %			渗透率 / × 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>			样品数 / 个
	> 8	> 12	平均值	> 0.5	> 1.0	平均值	
M SC.5	81.82	28.28	10.27	66.67	45.45	1.36	95
M SC.4	54.01	12.34	8.66	44.14	23.77	0.73	310
M SC.3	43.03	6.02	7.13	35.26	12.15	0.55	467

## 2 流动单元的识别

### 2.1 基准面旋回与流动单元的层次性

基准面旋回是一个相对概念, 根据不同研究目标所拟定的地层旋回的研究尺度及其隶属关系便构成了基准面旋回的层次<sup>[10-11]</sup>; 下石盒子组的长、中、短期旋回便构成三个不同的层次。基准面旋回和旋回内地层发育、分布、叠加样式与隔层及夹层的垂向分布存在着密切联系, 基准面旋回的级次性及由此造成的储层非均质性的层次性便形成了流动单元的层次性<sup>[12-13]</sup>。

储层流动单元的层次性包括长期旋回内中期旋回之间的非均质性、中期旋回内若干短期旋回之间的非均质性、短期旋回内部单砂体之间的非均质性、单砂体内部建筑结构单元之间的非均质性及颗粒间不均匀排列形成的孔隙结构非均质性等多种形式<sup>[14]</sup>。根据基准面旋回与流动单元的层次性, 可将储层流动单元划分为大尺度、中尺度、小尺度和微尺度四种层次<sup>[9]</sup> (表 5)。

表 5 储层流动单元层次性与基准面旋回关系

Table 5 Relationship between base-level cycles and hierarchy of flow units in reservoirs

流动单元层次	层次界面	层次实体	分布范围	基准面旋回
大尺度	层序界面, 沉积体系界面	层系组	气田区	中长期旋回
中尺度	层系界面, 层面	小层, 单层	气田	中短期旋回
小尺度	成因砂体界面	单层, 单砂体	气田井组	短期旋回
微尺度	成岩界面	单砂体, 岩石相	含油气微构造区	超短期旋回

### 2.2 流动单元的参数选取及分类

#### (1) 参数的相关性分析及优选

流动单元是储层岩石物性特征的综合反映, 其类型与空间分布是沉积作用、构造作用及成岩作用等综合影响和控制的结果, 并最终表现为储层的岩石物理性质与渗流条件的差异。因此, 通过岩心分析参数的相关性分析, 选取能客观反映储层渗流条件的参数来准确表征这些差异, 是准确识别流动单元的基础。

通过对工区内 15 口井 426 个样品点的实测孔隙度、渗透率、平均喉道半径、喉道中值半径、排驱压力、流动系数、渗透储容系数、含气饱和度与渗流能力、无阻流量及储层产能的相关性分析表明: 影响储层渗流能力的参数主要包括储层的孔隙度、渗透率、喉道半径及排驱压力等孔隙结构参数, 且这些参数还直接影响储层的含气饱和度、无阻流量, 说明在以岩性气藏为主要特征的大牛地气田, 储层的含气性与产能主要受控于储层的渗流能力, 而渗流能力的差异便形成了不同的流动单元。

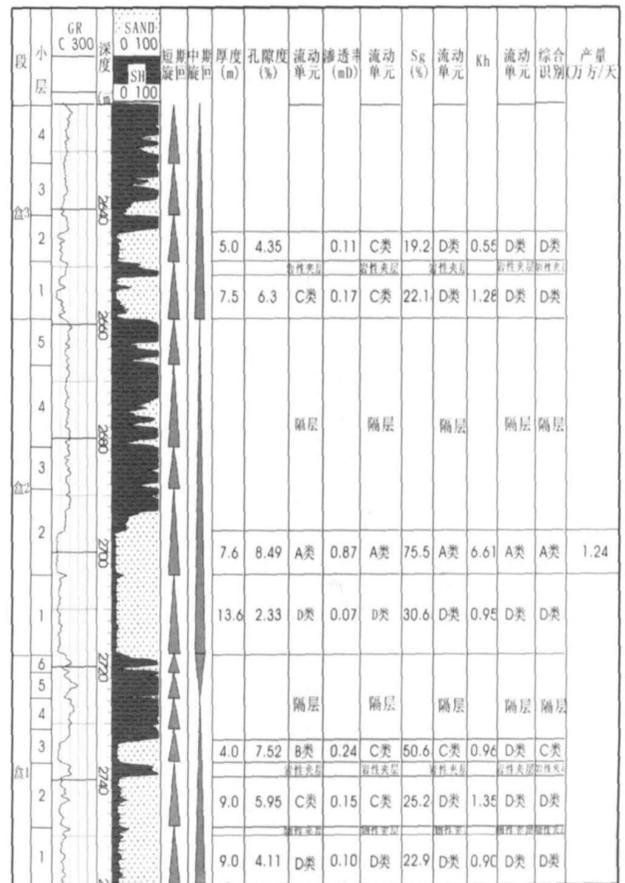


图 5 不同参数对大 16 井下石盒子组流动单元的识别结果对比

Fig 5 The difference from the four kinds of parameters are used in flow units identification

在上述参数相关性分析的基础上,根据参数与储层渗流能力的相关程度,优选出孔隙度( $\phi$ )、渗透率( $K$ )和含气饱和度( $S_g$ )等三个参数,对研究区下石盒子组 29 个样品的 Q 型聚类分析,根据聚类分析结果并结合储层的压汞曲线类型,将流动单元划分为 A、B、C、D 四种类型(图 5)。

(2) 各类流动单元的基本特征

A 类流动单元:为渗流能力和储集能力最好的储层单元。孔隙度( $\phi$ )  $\geq 8\%$ ,渗透率( $K$ )  $\geq 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含气饱和度( $S_g$ )  $\geq 70\%$ ;多为粗粒辫状主河道砂岩。 B类流动单元:为渗流能力和储集能力较好的储层单元。孔隙度( $\phi$ )为  $6\% \sim 8\%$ ,渗透率( $K$ )为  $0.3 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含气饱和度( $S_g$ )为  $65\% \sim 50\%$ ;多为粗粒辫状河道及河道侧翼沉积砂岩。 C类流动单元:为渗流能力和储集能力较差的储层单元。孔隙度( $\phi$ )为  $4\% \sim 6\%$ ,渗透率( $K$ )为  $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含气饱和度( $S_g$ )为  $50\% \sim 65\%$ ;多为粗、中粗粒决口水道砂岩。 D类流动单元:为渗流能力和储集能力较差的储层单元,基本上为非储层。孔隙度( $\phi$ )  $< 4\%$ ,渗透率( $K$ )  $< 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含气饱和度( $S_g$ )  $< 50\%$ ;多为细粒岩屑砂岩;主要为溢岸沉积或天然堤沉积(图 5)。

### 3 流动单元剖面结构分析

#### 3.1 流动单元的隔挡层类型

由于流动单元是一个相对的概念,所谓“相似的流体渗流特征”相似到何种程度完全取决于研究的尺度,因此,本文主要着重于短期旋回内单砂体尺度的流动单元识别。

流动单元是具有相同的水动力学特征和渗流特征的岩石体积单元<sup>[10-15]</sup>,且具有相对性、层次性和规模性<sup>[16-18]</sup>,不同单元之间在垂向上是由非渗流层和界面隔开的。根据非渗流层与界面的规模和性质,可将隔挡层分为隔层和夹层(岩性夹层和物性夹层)。

隔层指短期旋回之间的不透水岩层,所分隔的层次实体主要为相邻短期旋回内的砂层组或单砂层,界面类型为沉积界面。夹层指短期旋回内单砂岩之间的相对非渗透性岩层。根据夹层的岩性特征可细分为岩性夹层和物性夹层 2 类。岩性夹层是指夹层与储层的岩性差异较大,具明显的层次界面。物性夹层是指储层内部渗流能力相对较低而不能作为有效储层的非渗流层(图 5)。

#### 3.2 小尺度流动单元的垂向叠置样式

从流动单元间的界面和非渗流层的类型看,其垂向叠置样式主要表现为单一型和复合型(图 6)。

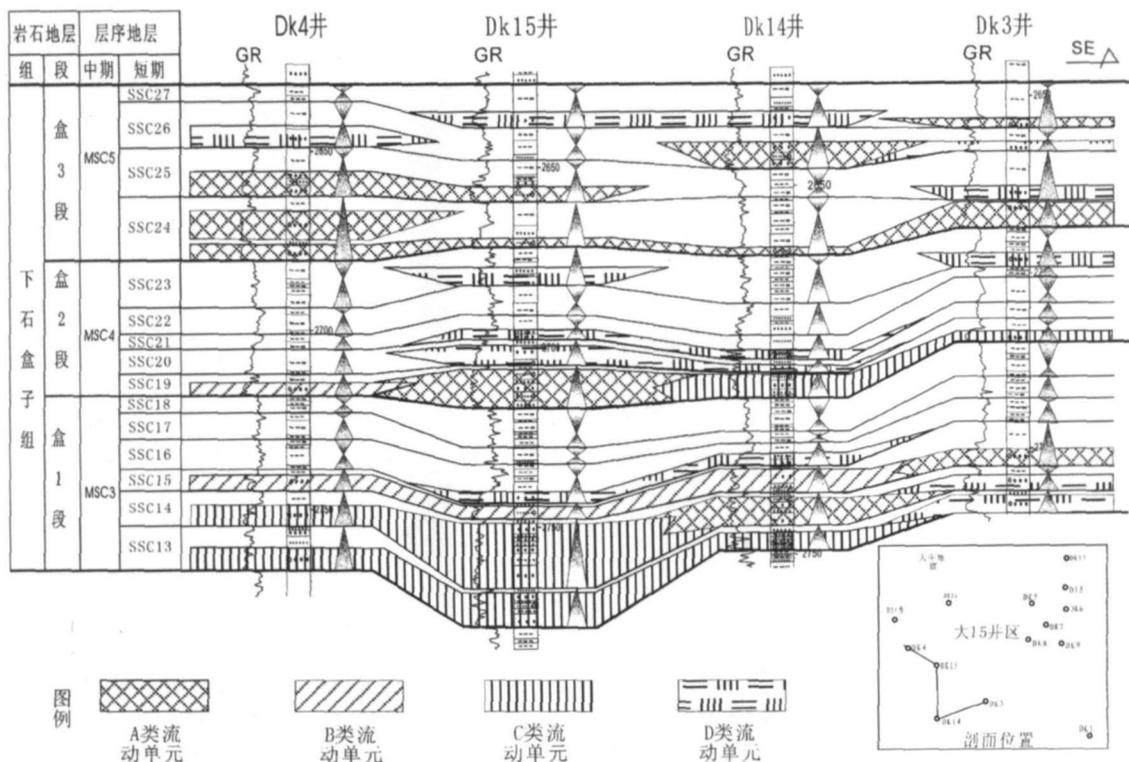


图 6 中、短期旋回层序地层格架中流动单元的剖面结构特征

Fig 6 Sectional configuration of flow units in sequence stratigraphic frameworks for the medium-term and short-term cycles

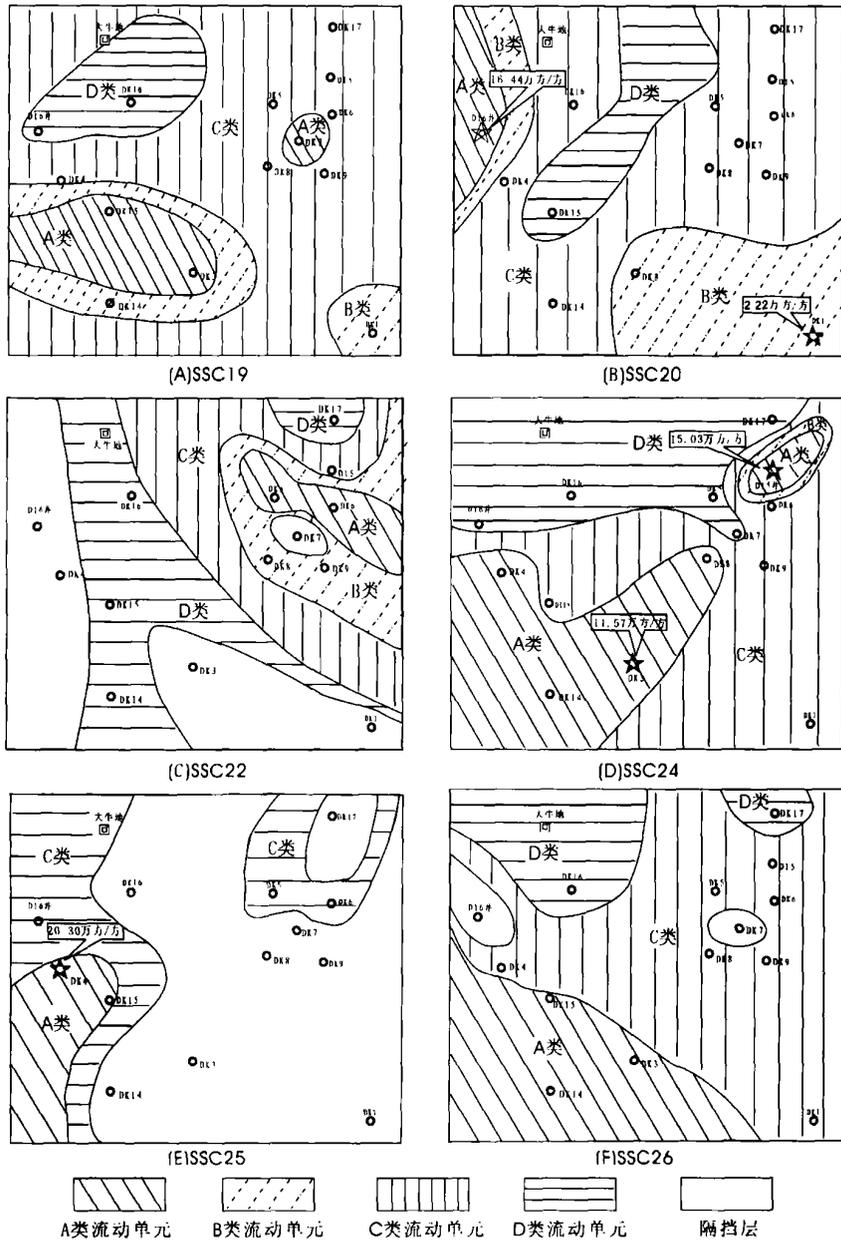


图 7 大开 15 井区主要短期旋回流动单元平面分布图

Fig 7 Lateral distribution of main flow units in main short-term base-level cycles in Well Da-15 area

单一型是指由单砂体组成的流动单元,内部无阻隔流体流动的界面或夹层,垂向上相邻流动单元间由隔层或夹层分隔,分隔界面主要为沉积微相界面;一般发育在中期旋回中下部的低可容空间、低  $A/S$  值条件下,主要受控于沉积微相的变化。复合型是指二个或二个以上流动单元在垂向上相互叠置,流动单元之间无隔、夹层及明显的分割面或仅发育较薄的物性夹层;一般发育在中期旋回的中上部的高可容空间、高  $A/S$  值条件下,主要受控于成岩作用的差异。

### 3.3 小尺度流动单元的侧向分割性

如图 6 小尺度流动单元一般发育在短期旋回底部的最低可容空间位置,其侧向分割性明显受基准面旋回和沉积微相的控制。在中期旋回内,底部的最低可容空间条件下沉积的砂体厚度大,砂体连通性好,侧向延伸距离远,其相应的流动单元在侧向上的连通性也好;而中上部的高可容空间位置,砂体多为孤立的单砂体,侧向连通性差,延伸距离短,相应的流动单元在侧向上的连通性也较差。流动单元的侧向分

割方式可分为 2 类, 一类是流动单元在侧向上直接与非渗流层(隔层或夹层)接触, 流动单元与隔挡层之间存在明显的界面, 这种类型在图 6 中占绝大多数。另一类是流动单元之间的侧向接触, 没有明显的分隔界面, 只是侧向相邻流动单元的渗流条件不同而已。

### 3.4 基准面旋回与流动单元的关系

从图 5、6 中可以看出: 流动单元的发育位置明显受基准面旋回控制, 均发育在短期旋回中下部的最低可容空间及最低  $A/S$  值位置。流动单元的规模受基准面旋回控制, 在 LSC2 长期旋回内, 以最低可容纳空间条件下的 MSC3 中期旋回流动单元的厚度最大, 横向延伸距离大。而在每个中期旋回内, 最低可容纳空间条件下的短期旋回流动单元的厚度及横向延伸距离最大。流动单元的类型受基准面旋回控制, 在 LSC2 长期旋回内, 随着可容空间和  $A/S$  值的增加, 中期旋回流动单元的类型呈现由劣到优的变化趋势。相反, 在各中期旋回内, 旋回底部的低可容、低  $A/S$  值条件下堆积的流动单元类型相对较优, A 类流动单元一般发育在各中期旋回的底部, 中高可容空间、 $A/S$  值条件下形成的流动单元类型相对较差。

## 4 应用

由于受资料的限制, 本文选择了井距相对较密的大开 15 井区, 在钻井流动单元识别、钻井流动单元剖面对比及孔隙度反演的基础上编制了 MSC4~MSC5 (盒二、盒三段) 主要短期旋回的流动单元平面分布图(图 7)。由图 7 可以看出: 中、短期旋回流动单元的发育程度不一, MSC5 的流动单元类型优于 MSC4, 其中以 SSC24(H3-1)与 SSC26(H3-3)的 A 类流动单元最为发育, 且主要分布在该井区的西南部(图 7-D, F); SSC25(H3-2)的流动单元最不发育, 仅在大开 4、大开 15 井及其西南角发育 A 类流动单元。

钻井测试结果表明, 高产层主要为 A 类流动单元。如大 16 井的 H2-2 A 类流动单元的产能为 16.44 万  $\text{m}^3/\text{天}$ , 大 15 井的 H3-1 A 类流动单元的产能为 15.03 万  $\text{m}^3/\text{天}$ , 大开 3 井的 H3-1 A 类流动单元的产能为 11.57 万  $\text{m}^3/\text{天}$ , 大开 4 井的 H3-2 A 类流动单元的产能为 20.30 万  $\text{m}^3/\text{天}$ (图 7-B, D, E)。

## 5 结论

流动单元与基准面旋回密切相关: 不同级次基准面旋回与  $A/S$  值直接控制砂体与流动单元的垂向叠置与侧向分割样式; 基准面旋回直接控制小尺度

流动单元的类型、发育位置、规模及横向连通性; 在 LSC2 长期旋回内, 随着可容空间和  $A/S$  值的增加, 中期旋回流动单元的类型呈现由劣到优的变化趋势; 在中、短期基准面旋回内, 随着可容空间及  $A/S$  值的增加, 流动单元的发育程度和类型变差, 垂向厚度变小、横向延伸距离变短、侧向上的连通性也变差。

## 参考文献 (References)

- 赵翰卿. 大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法. 石油学报, 2000, 21(4): 109~113 [Zhao Hanqin. Fine description method of reservoir in large-scale alluvial-deltaic sediment. Acta Petroli Sinica, 2000, 21(4): 109~113]
- 赵翰卿. 对储层流动单元研究的认识与建议. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3): 8~10 [Zhao Hanqin. Recognition and advice on the study of reservoir flow unit. Petroleum Geology and Oil Field Development in Daqing, 2001, 20(3): 8~10]
- 赵翰卿. 储层非均质体系砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 16~20 [Zhao Hanqin. Approach to the study, thinking about reservoir heterogeneous system, sand-body internal construction and flow unit. Petroleum Geology and Oil Field Development in Daqing, 2002, 21(6): 16~20]
- 吴胜和王仲林. 陆相储层流动单元研究的新思路. 沉积学报, 1999, 17(2): 252~257 [Wu Shenghe, Wang Zhonglin. A new method of non-marine reservoir flow unit. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 252~257]
- 邓宏文, 王洪亮, 李小孟. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96~102 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xiaomeng. Application of high-resolution sequence stratigraphic correlation to alluvial facies. Oil and Gas Geology, 1997, 18(2): 96~102]
- 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面旋回原理在湖相储层预测中的应用. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 90~95 [Wang Hongliang, Deng Hongwen. Application of base-level cycle theory in the prediction of lacustrine reservoir. Oil and Gas Geology, 1997, 18(2): 90~95]
- 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析. 沉积学报, 2000, 18(3): 369~375 [Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369~375]
- 郑荣才. 四川盆地侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学. 沉积学报, 1998, 16(2): 42~49 [Zheng Rongcai. High-resolution sequence stratigraphy of Da'anzhai Formation, Lower Jurassic in Sichuan Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 42~49]
- 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义. 沉积学报, 2001, 19(2): 245~249 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base cycles of terrigenous basin and its implications. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 245~249]
- Amareful JO, Alunbay M. Enhanced reservoir description: Using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict perme-

- ability in uncored intervals/well SPE26436. Presented at the 68th Annual SPE Conference and Exhibition, Houston, Texas, Oct 2-5, 1993, 205~220
- 11 王振奇, 张昌民, 张尚锋. 油气储层的层次划分和对比技术. 石油天然气地质, 2002, 23(1): 71~76 [Wang Zhenqi, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng. Hierarchy division and correlation method of reservoir study. Oil and Gas Geology, 1992, 13(3): 344~350]
  - 12 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 322~350
  - 13 张昌民. 储层研究中的层次分析方法. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 344~350 [Zhang Changmin. Hierarchy analysis method of reservoir study. Oil and Gas Geology, 1992, 13(3): 344~350]
  - 14 Mall A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: Lesson from outcrop studies. AAPG Bulletin, 1998, 72(6): 682~697
  - 15 张尚锋, 洪秀娥, 郑荣才, 等. 应用高分辨率层序地层学对储层流动单元层次性进行分析——以泌阳凹陷双河油田为例. 成都理工大学学报, 2002, 29(2): 147~151 [Zhang Shangfeng, Hong Xi'e, Zheng Rongcai, et al. Application of high-resolution stratigraphic sequence to the analysis of levels of reservoir flow units taking the Shuanghe oil field in Biyang depression for an example. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(2): 147~151]
  - 16 刘吉余. 流动单元研究进展. 地球科学进展, 2000, 15(3): 303~305 [Liu Jiyu. Advances in the study on flow units. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(3): 303~305]
  - 17 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. 大庆石油学院学报, 1998, 22(1): 5~8 [Liu Jiyu, Hao Jingbo, Yin Wanquan, et al. Studying method and its significance of flow units. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1998, 22(1): 5~8]
  - 18 刘吉余, 王建东, 吕靖. 流动单元特征及其成因分类. 石油实验地质, 2002, 24(4): 381~384 [Liu Jiyu, Wang Jiandong, Lu Jin. Features of flow units and their genetic classification. Petroleum Geology and Experiment, 2002, 24(4): 381~384]
  - 19 Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation. In: Gradstein FM, Sandvikk O, Milton N, eds. Sequence Stratigraphy: Concepts and Applications. NPF Special Publication, 1998, 8: 171~195

## Relationship Between Base-Level Cycles and Hierarchy of Reservoir Flow Units of Lower Shihezi Formation in Daniudi Gas Field

TANG Min-an<sup>1</sup> SUN Bao-ling<sup>2</sup>

(1. North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450014;

2. Zhengzhou Institute of Industry and Trade, Zhengzhou 450007)

**Abstract** A correlation between sand-bodies and analysis of their spatial distribution within an isochronous stratigraphic correlation framework, which is established based on identification of medium-term and short-term base-level cycles in Lower Shihezi Formation in Daniudi gas field, according to the high-resolution sequence stratigraphy concept. Flow units are subdivided into A, B, C and D types in a downgrade order in terms of porosity, permeability and gas saturation parameters, which are obtained from analyzing the datum cycles and hierarchy of the flow units. In addition, types of barriers separating flow units, vertical superimposition and lateral separation patterns of small-sized flow units are analyzed and the relationship between the flow units and base-level cycle is discussed. It is believed that the vertical superimposition and lateral separation of sand-bodies and flow units are directly controlled by various grades of base-level cycles and A/S values. The base-level cycles have directly controls over types, location, scale and lateral connection of vertical superimposition and lateral separation patterns of small-sized flow units. In the long-term LSC2 cycle, the types of flow units in a medium-term cycle tend to upgrade with increased accommodations and A/S values. In medium-term and short-term base-level cycles, as accommodations and A/S values increase, flow units have deteriorated development and types with less vertical thickness, shortened lateral extending distance and poor connections.

**Key words** base-level cycle, reservoir flow unit, hierarchy, Lower Shihezi Formation, Daniudi gas field