

文章编号: 1000-0550(2004)02-0302-08

# 扇三角洲沉积体系高精度层序地层学研究

赵俊青<sup>1</sup> 纪友亮<sup>2</sup> 夏 斌<sup>1</sup> 张善文<sup>3</sup> 刘宝明<sup>1</sup>

1(中国科学院广州地球化学研究所与南海海洋研究所 边缘地质重点实验室 广州 510640)

2(同济大学海洋与地球科学学院 上海 200092) 3(中国石油化工胜利油田有限公司 山东东营 257015)

**摘要** 以东营凹陷胜北断层下降盘坨 76 块沙四上亚段扇三角洲沉积体为例,对扇三角洲沉积体系下的高精度层序地层学进行了研究。经过分析认为,在扇三角洲沉积体系中的高精度层序地层单元划分为准层序组、准层序、层组、层四级,并对准层序和层组的类型和对比方法进行了总结。将扇三角洲沉积体系中的层组类型划分为 Fu、Cu 和 Cu - Fu 三大类,准层序类型划分为 Fu - Fu、Cu - Fu、Cu - Cu 三大类,同时总结出了沿物源方向的相序递变和垂直物源方向的侵蚀切割对比 2 种准层序和层组对比模式。

**关键词** 扇三角洲 高精度层序地层学 准层序 层组 对比模式 沙四上亚段

**第一作者简介** 赵俊青 男 1974 出生 博士后 层序地层学、沉积学及石油地质

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 1 引言

关于高精度层序地层单元级次划分及时限问题,国内外许多学者提出了不同的分类方案,其中最具有代表性的当推 Wanger<sup>[1]</sup>针对海相碎屑岩沉积给出的方案,然而其在陆相沉积应用方面主要还存在时限方面的问题。笔者在综合国内外众多学者研究成果的基础上,采用 Wanger(1990)的分类方案,使用最优时隔和相对较短的时间延续,给出了陆相不同级次高精度层序地层单元的时限范围(表 1)。

对于扇三角洲沉积体系而言,对研究和生产有实

际指导意义,而且通过测井方法可以识别的高精度层序地层单元划分为准层序组、准层序、层组、层四级。同时国内外大量的扇三角洲研究统计显示<sup>[10~14]</sup>,对于一个扇三角洲沉积体来讲其形成和发育的时间大致相当于一个准层序组形成和发育的时间,因此在对扇三角洲沉积体的高精度层序地层研究中,其内部更高精度的层序地层单元划分对比应当是准层序、层组甚至是层的划分和对比,高精度层序地层单元与扇三角洲沉积体的对应关系如表 2 所示。

本文主要针对扇三角沉积体系中最基本的准层序和层组两级高精度层序地层单元的类型、发育特征和

表 1 高精度层序地层单元级次划分及对比

Table 1 The hierarchy of high resolution sequence stratigraphic units and their correlation

Cooper (1990) <sup>[2]</sup>	Brett, et al (1990) <sup>[3]</sup>	Wanger (1990) <sup>[1]</sup>	Michum, et al (1991) <sup>[4]</sup>	Vail, et al (1991) <sup>[5]</sup>	罗立民 (1997) <sup>[6]</sup>	王鸿祯,等 (1996) <sup>[7]</sup>	郑荣才,等 (2001) <sup>[8]</sup>	本 文
Cycle $1 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6$	Sequence $2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6$	Sequence $10^5 \sim 3 \times 10^6$	Sequence $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$	Sequence $5 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6$	层序 $1 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6$	Orthosequence $2 \times 10^6 \sim 5 \times 10^6$	长期旋回 $1.6 \times 10^6 \sim 5.25 \times 10^6$	层序 $10^6 \sim 10^7$
MicroCycle $1 \times 10^5$	Parasequence set $4.5 \times 10^5$	Parasequence set $4 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^5$	High - frequency Sequence $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^5$	Parasequence $8 \times 10^4 \sim 5 \times 10^5$	准层序组 $8 \times 10^4 \sim 5 \times 10^5$	Subsequence $1 \times 10^6 \sim 4 \times 10^5$	中期旋回 $2 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$	准层序组 $10^3 \sim 10^5$
	Parasequence $1 \times 10^5$	Parasequence $10^2 \sim 2 \times 10^4$	5th order sequence $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^4$	Simple sequence $3 \times 10^6 \sim 8 \times 10^4$	准层序 $< 1 \times 10^4$	Microsequence $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^4$	短期旋回 $4 \times 10^4 \sim 1.6 \times 10^5$	准层序 $10^2 \sim 10^4$
	Rhythmic bedding $2 \times 10^4$	Bed set $10^1 \sim 2 \times 10^2$		Microsequence $1 \times 10^6 \sim 3 \times 10^4$	小层单元 $< 1 \times 10^4$		超短期旋回 $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^4$	层组 $10^1 \sim 10^3$
		Bed $0.25 \sim 4 \times 10^2$						层 $0 \sim 10^2$

国家十五科技攻关项目:济阳拗陷下第三系隐蔽油气藏形成机理研究(2001BA60509)部分成果;国家重点基础研究发展规划项目:渤海湾盆地中生代地层剥蚀量恢复及中、新生代盆地叠合关系探讨(G1999043304)专题资助。

收稿日期:2003-02-10;收修改稿日期:2003-06-26

表 2 扇三角洲沉积体系高精度层序地层单元与沉积地层单元对比

Table 2 Contrast of high-resolution sequence unit and sedimentary unit in fan-delta

层序地层			沉积体系(据 Mutti ,Normark ,1987 <sup>[9]</sup> )		可比性	
层序单元	形成时间/y	延伸范围	级别	沉积单元	形成时间/y	剖面上可区域追踪,电测曲线可区域对比,地震可识别
准层序组	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>5</sup>	3~15km	2	浊流沉积体系、扇	10 <sup>5</sup> ~10 <sup>6</sup>	剖面上可区域追踪,电测曲线可区域对比,地震可识别
准层序	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>4</sup>	3~10km	3	扇朵、水下分流河道复合体	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup>	剖面上可追踪,油田范围内可电测对比,三维地震可识别
层组	10 <sup>1</sup> ~10 <sup>3</sup>	50~300m	4	单个河道充填、席状砂、河口坝组合	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup>	剖面上可对比,小井距条件下可对比
层	10 <sup>0</sup> ~10 <sup>2</sup>	20~100m	5	成因砂体	10 <sup>1</sup> ~10 <sup>2</sup>	剖面上可识别、对比,井下可识别,但对比困难

对比模式进行了探讨和研究。

## 2 层组类型及界面特征

### 2.1 层组类型

依据层组定义和识别标志<sup>[1]</sup>,在一个层组级别的基准面变化过程中,扇三角洲层组可划分出 Fu 型、Cu 型、Cu - Fu 型 3 种类型,而且每类层组均由 2~8 个单层构成。

#### 2.1.1 Fu 型层组

该类层组主要为扇三角洲环境中的各类水道沉积,垂向上显示为向上正韵律特征,根据沉积环境可分为水上型和水下型两大类。

##### 2.1.1.1 水上 Fu 型

形成于扇三角洲平原上辫状水道环境,岩性为混杂砾岩、砂砾岩、夹红黄、灰绿和灰色泥岩,自然电位曲线为带小锯齿的低幅箱状,顶底突变,可见有高角度斜层理或交错层理。层组底部滞留物、冲刷面很发育,顶部废弃河道和道间见有龟裂纹和紫红色泥质层等暴露标志。厚度一般在十几米以上,由多期具正韵律的单层组成。

##### 2.1.1.2 水下 Fu 型

形成于扇三角前缘环境,根据沉积环境和形成机理又可分为近源型和远源型两类。

**近源型:**该类层组形成于前缘近岸水道环境,中其下部由块状含砾砂岩到板状交错层理含砾砂岩组成,砂岩底部普遍具有明显的冲刷面,与下伏灰黑色泥质粉砂岩、泥岩突变接触;向上渐变为平行层理、波状交错层理砂岩,自然电位曲线表现为高幅钟型。厚度一般在十几米左右,每一个层组内部又由 3~5 个相互叠置切割,具正韵律的单层组成,每一个单层由一单期分流河道砂体构成。该层组形成于基准面上升,可容空间增大,A/S 较低时期,反映快速充填的过程;单层厚度向上减小,砂/泥比降低(图 1)。

**远源型:**该类层组主要发育在扇三角洲前缘远岸水道环境,由块状含砾砂岩构成,具粒序层理,形成于基准面上升,可容空间增大,A/S 比值较高时期,反

映慢速充填的过程,厚度一般在几米左右,每一个层组内部又由若 2~3 个相互叠置切割,具正韵律的单层构成(图 1)。

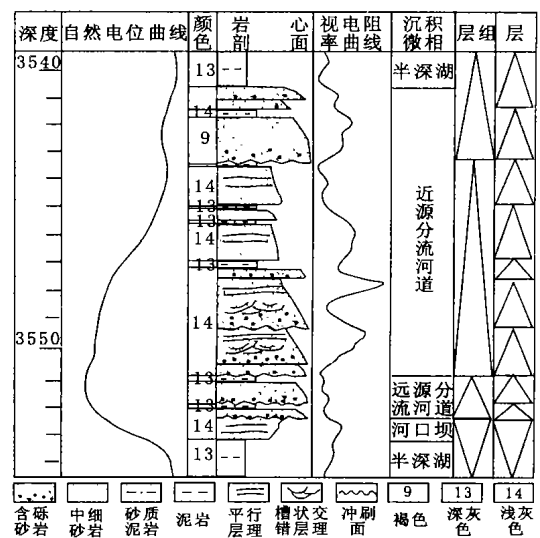


图 1 Fu 型层组模式图

Fig. 1 The model of Fu-type bed set

#### 2.1.2 Cu 型层组

该层组主要由扇三角洲前缘河口坝和前缘席状砂构成。层组下部为厚层深灰色的扇三角洲前缘粉质砂泥岩,与下伏灰色砂岩呈突变接触;向上渐变为薄层前缘粉质砂泥岩和具波状层理的指状前缘席状砂互层的岩性组合,至层组顶部变为具平行层理厚层的河口坝沉积。在自然电位曲线上,层组下部为低幅平直状,向上变为前积式指状,整体上构成一个向上复杂化的漏斗形。厚度一般在十几米左右,每个层组内部又由 3~5 个具反韵律的单层组成,单层厚度一般在 0.5~1.5 m 左右。该类型层组形成于可容空间减小,A/S 比值降低的时期,在岩性结构上表现为向上单层厚度变薄,砂/泥比值增大(图 2)。

#### 2.1.3 Cu - Fu 型层组

该类层组在岩性构成上由反映基准面下降的 Cu

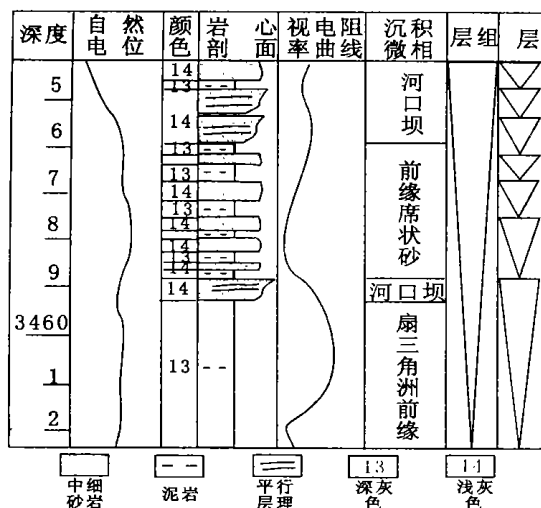


图2 Cu型层组模式图  
Fig. 2 The model of Cu-type bed set

沉积段和上升的 Fu 沉积段两个部分构成,顶底均为低电阻率、高自然伽玛的洪泛泥岩,在岩性上形成一个完整的细-粗-细旋回,为代表紧邻的深-浅-深的相序单元垂向叠置的结果。由于所处地理位置的不同,该类层组在岩相组合又有所变化,如图 3-A 所示的层组,在垂向上由前缘泥-扇三角洲席状砂-前缘泥构成,而图 3-B 所示的层组,在垂向上则由前缘泥、席状砂-河口坝-席状砂构成,这两类层组的相序及岩性组合均反应了湖水深-浅-深的周期性演化过程。这

类层组的厚度一般在十几米左右,内部又由 3~8 个具正、反韵律的单元组成,单层厚度一般在 0.5~3.0 m 之间。层组下部的 Cu 沉积段,单层厚度由下至上逐渐减小,反映了可容空间和 A/S 比值向上逐渐降低的基准面变化过程;层组上部的 Fu 沉积段,单层厚度由下至上逐渐增大,则反映了可容空间和 A/S 比值向上逐渐增加的基准面变化过程。

构成上述两个层组的 Cu 和 Fu 沉积段厚度是一种近于对称的情况,但更多复合层组的构成样式是不对称的,并且 Cu 和 Fu 沉积段的对称度是随地理位置不同而发生规律性的变化。

### 2.2 层组界面特征

在扇三角洲沉积体系的不同相域层组界面特征的具体表现形式亦不同:在扇三角洲前缘大部分地区层组边界为 10 cm 厚的暗色泥岩;在水下分流河道部位层组边界为含砾的小型侵蚀冲刷面;前扇三角洲前缘部位层组边界为无沉积面。

## 3 准层序类型及界面特征

### 3.1 准层序类型

根据准层序定义和形成机理,在一个准层序级别的基准面变化过程中,扇三角洲准层序可划分出 Cu-Fu 型、Cu-Cu 型、Fu-Fu 型 3 种类型,而且每个准层序均由 2~5 个层组构成。

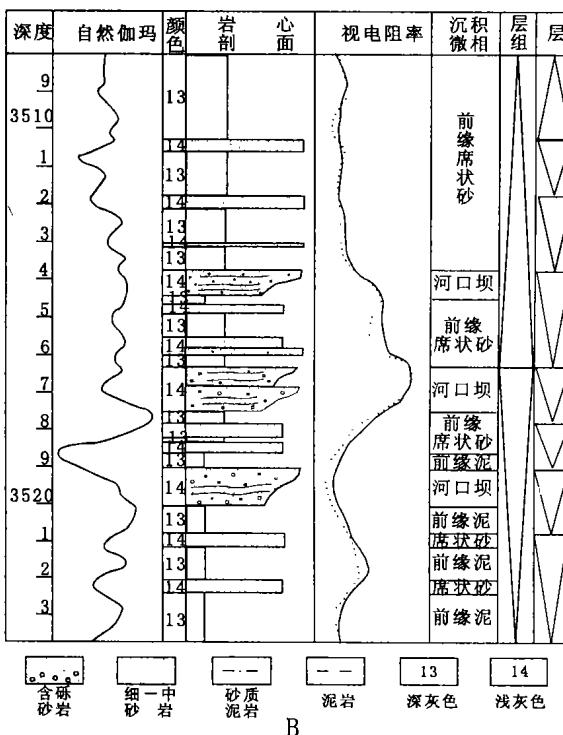
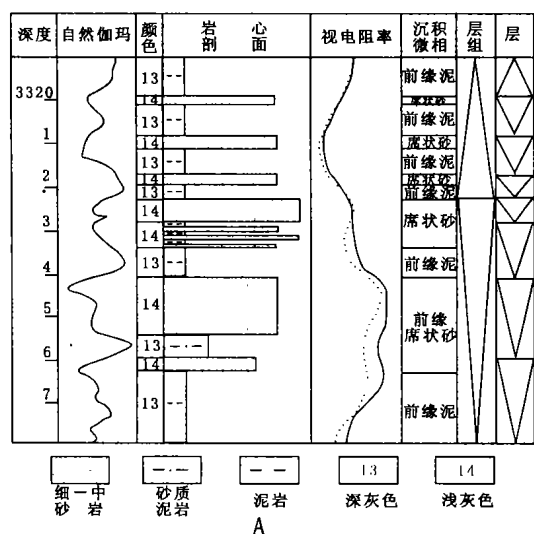


图3 Cu-Fu型层组模式图  
Fig. 3 The model of Cu-Fu-type bed set

3.1.1 Cu - Cu 型

该类准层序反映了一种在基准面下降期间接受沉积,而在基准面上升期间由于饥饿作用未接受沉积的情况,由 2~3 个 Cu 型层组构成。一般发育在较深水的沉积环境中,基准面的下降与湖平面的下降存在一一对应关系,因此所形成的准层序是一套渐浅相的堆积。其构成方式为进积的河口坝或指状的远砂坝、席状砂叠置在前扇三角洲泥或正常的湖相泥岩之上。图 4 是坨 761 井发育的一个 Cu - Cu 型准层序,在准层序内部,单个层组的厚度向上增大,单砂层厚度向上增大,粒度变粗,砂/泥比值逐渐增加。

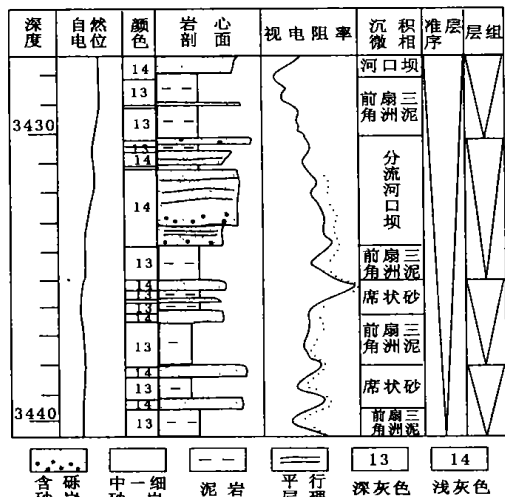


图 4 Cu - Cu 型准层序模式图

Fig. 4 The model of Cu-Cu-type parasequence

3.1.2 Fu - Fu 型

这种类型的准层序是由于在一个基准面旋回变化过程中,多期水道侧向侵蚀叠加所形成的结果。准层序界面表现为冲刷面。根据形成部位和的不同,可分为水下 Fu - Fu 型,水上 Fu - Fu 型。

3.1.2.1 水下 Fu - Fu 型

该类型准层序主要存在于扇三角洲的水下分流河道部位。由于对下伏沉积物的侵蚀和切割,在准层序底部常具冲刷构造,下部岩石中常含有含未固结泥岩沉积被冲刷打碎形成的暗色泥砾。由于河道的多期迁移作用,使得该类准层序由 2~5 个 Fu 型层组叠置构成,层组厚度向上减薄,砂/泥比值降低(图 5)。

3.1.2.2 水上 Fu - Fu 型

该类型准层序主要存在于扇三角洲平原部位,由主辨状河道和河道间沉积构成。组成该准层序的 Fu 型层组单层厚度大、粒度粗,常为砂砾岩、砾状砂岩和含砾砂岩,砾岩含量可高达 20% 以上。冲刷充填构造发育,准层序底部可见杂色和紫色泥砾。该准层序的

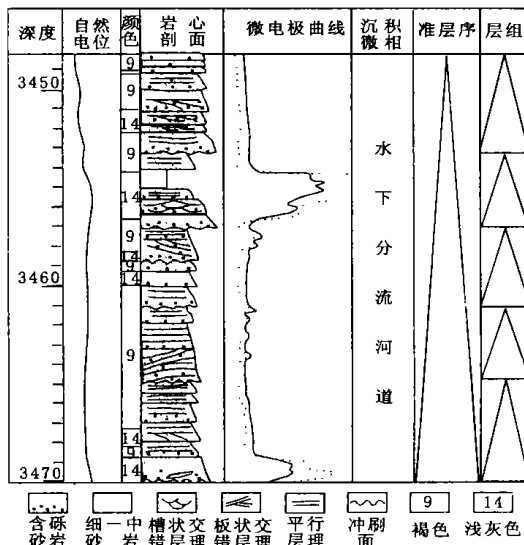


图 5 Fu - Fu 型准层序模式图

Fig. 5 The model of Fu-Fu-type parasequence

重要标志是共生泥岩多为氧化色(如紫色、灰紫色或杂色),并伴有干裂、钙质结构。

3.1.3 Cu - Fu 型

该准层序由 Cu 段和 Fu 段两部分构成。其中, Fu 段是由 2~3 个 Fu 型层组组成,岩相上表现为水下分流河道沉积。Cu 段是由 2~3 个 Cu 型层组组成,在岩性上表现为扇三角洲前缘泥、扇三角洲前缘分流河口坝、远砂坝沉积。准层序的顶底均为低电阻率、高自然伽玛的洪泛泥岩,在岩性上由一个完整的细 - 粗 - 细旋回构成,代表了紧邻的深 - 浅 - 深的相序列单元在垂向叠置的结果,反映了基准面非匀速变化情况下的一种不对称准层序结构(图 6)。

3.2 准层序界面特征

根据基准面旋回和可容空间变化原理,地层的旋回性是基准面相对于地表位置产生的沉积作用、侵蚀作用、沉积物过路形成的非沉积作用和沉积欠补偿造成的饥饿性乃在非沉积作用随时间发生空间迁移的地层响应<sup>[6]</sup>,因此,在扇三角洲沉积体系中准层序边界在地层记录中的表现形式随地理位置而变化:在扇三角洲平原地区,浅水沉积物直接覆于较深水沉积物之上,在准层序界面上通常可见弱的侵蚀冲刷现象;在扇三角洲前缘地区,准层序界面位于向上变深的相序或相组合向水体逐渐变浅的相序或相组合的转化处,界面上下的岩石物理相为连续过渡型;在前扇三角洲相域准层序界面表现为无沉积作用面。此外,当层序界面与准层序界面重合时,界面两侧岩石记录通常以相突变和界面下部的侵蚀冲刷为特征。

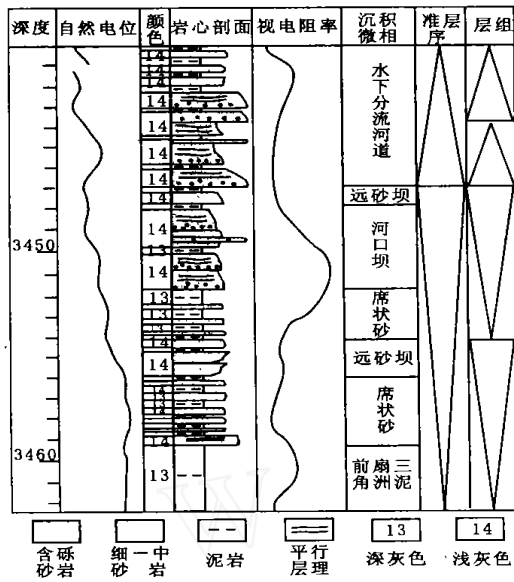


图 6 Cu - Fu 型准层序模式图

Fig. 6 The model of Cu-Fu type parasequence

## 4 准层序单元对比

### 4.1 对比标志

对于正常发育的 Cu - Cu 型和 Cu - Fu 型准层序, 洪(湖)泛面为对比界面, 其下部发育湖相稳定泥岩段可作为对比的标志层。从对坨 76 块扇三角洲沉积体的 4 个准层序的划分对比情况来看, 其底部泥岩厚度一般在 10~15 m 左右, 可在整个扇三角洲沉积当中追踪对比。但在扇三角洲前缘亚相的分流河道部位发育的 Fu - Fu 型准层序, 由于多期分流河道之间的侧向侵蚀切割作用, 使得准层序边界表现为侵蚀冲刷面, 稳定泥岩段沉积很薄或不发育; 在这种情况下侵蚀冲刷面作为其对比标志, 向两侧泥岩厚度逐渐增大并趋于稳定。

### 4.2 对比模式

根据扇三角洲不同类型准层序的形成机理, 总结出了扇三角洲沉积体系中准层序的划分对比规律。

#### 4.2.1 相序递变对比模式

一个扇三角洲准层序的形成和发育过程相当于一期扇三角洲朵体向湖盆的进积过程, 因此在平行于物源的方向, 准层序的类型和相序从物源区到湖盆发生有规律的变化(图 7)。在扇三角洲水上平原部分发育以辫状主河流及河道间沉积为水上 Fu - Fu 型准层序, 准层序底部具大型的冲刷充填构造。至扇三角洲前缘水下分流河道部位, 准层序类型变为水下 Fu - Fu 型, 准层序边界为小型冲刷面; 随着扇三角洲沉积朵体的向前推进, 到扇三角洲前缘分流河口坝、席状砂部位变为 Cu - Fu 型准层序, 此部位是准层序发育厚度最大的

地方, 对比界面表现为洪(湖)泛面; 在前扇三角洲部位, 则发育 Cu - Cu 类型准层序, 对比界面为洪(湖)泛面, 准层序底部暗色泥岩厚度增大; 到深水湖泊相区, 扇三角洲准层序的发育停止, 仅发育单调的深水 Cu 型准层序。至此一期完整的扇三角洲准层序发育完毕, 下一期扇三角洲准层序, 叠加在前一期准层序之上向湖区推进, 若干期准层序向湖盆进积叠加, 就形成一个完整的扇三角洲沉积体, 该沉积体相当于一个进积式准层序组

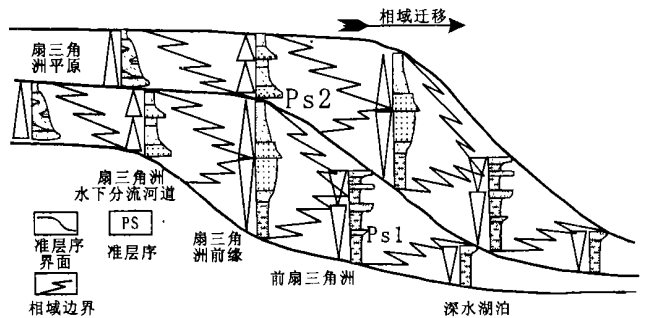


图 7 扇三角洲准层序相序递变对比模式图

Fig. 7 The comparative model of parasequence according to facies change in fan delta

#### 4.2.2 侵蚀切割对比模式

在垂直物源方向上, 尤其是在扇三角洲前缘部位, 由于分流河道的不断改道游荡和相互间的侵蚀切割作用, 使得形成于不同时期的砂体在垂向和平面上叠置连片叠置, 给对比带来一定的困难, 但还是有规律可寻的。在分流河道特别发育的部位, 发育 Fu - Fu 型准层序, 其底界面为一侵蚀冲刷面, 顶界面为洪(湖)泛面, 由此向两侧准层序底界的侵蚀冲刷面逐渐过渡为洪(湖)泛面, 同时准层序下部的暗色泥岩厚度逐渐增大并趋于稳定, 准层序类型变为 Cu - Cu 型或 Cu - Fu 型(图 8)。

## 5 层组单元对比

### 5.1 对比标志

在扇三角洲沉积体系中层组在正常情况下表现为粒度向上由细变粗, 水体由深变浅的 Cu 型层组, 其顶底界面为比准层序更次一级洪(湖)泛面。通过对坨 76 块 4 个准层序的层组划分和对比发现, 每一个层组下部湖泛泥岩沉积单元厚度一般在 2~5 m 左右。但是在水下分流河道的叠置部位, 由于水下分流河道的下切作用使得湖泛泥岩厚度减薄或为一侵蚀冲刷面所替代, 同时层组类型也变为 Fu 型。

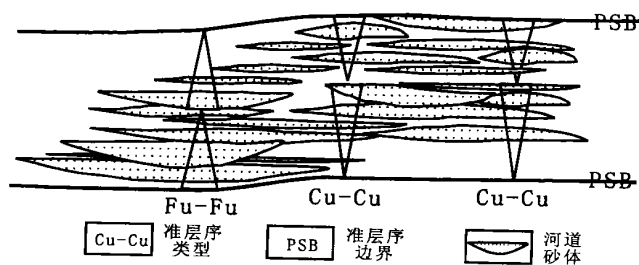


图 8 扇三角洲准层序侵蚀切割对比图

Fig. 8 The comparative model of parasequence according to erosion and incision in fan delta

### 5.2 对比模式

由于层组沉积范围和界面识别的局限性,因此不可能在整个扇三角洲沉积环境当中进行追踪和对比,只能在小井距条件下,在沉积亚环境和微环境追踪和对比。在扇三角洲前缘亚环境是层组最易识别追踪和对比,到前扇三角洲环境层组界面变得不可辨认。因此我们重点对扇三角洲前缘亚环境中的层组对比模式进行了研究。

#### 5.2.1 相变对比模式

在平行物源的方向上,层组内部各层向湖盆方向逐层发生相变。在层组中的一个单层中,分流河道的板状交错层理和平行层理向湖盆方向变为河口坝的块状、平行层理。在层组中,这些分流河道和河口坝砂体构成了扇三角洲沉积体中的油气储层。具块状、平行层理的河口坝单层向湖盆方向逐渐变成具波状层理的席状砂单层。在最下面的单层,席状砂具波状层理的岩层向湖盆方向逐渐变为厚度只有几十厘米的前扇三角洲的砂岩岩层。由于前积作用,组成层组的整个垂向地层序列在一个层组中很难在任一点都是完整的(如图 9)。

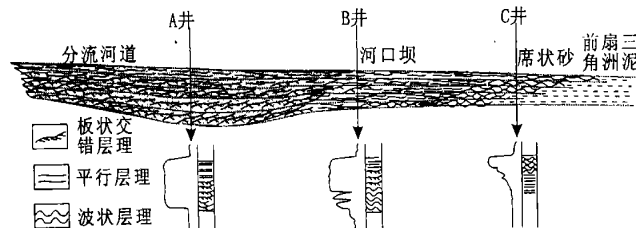


图 9 扇三角洲层组相变对比模式

(据 Wagoner, 1990<sup>[11]</sup>修改)

Fig. 9 The comparative model of bed set according to facies change in fan delta

#### 5.2.2 分流河道砂体的对比

主要是针对垂直物源方向的情况下,水下分流河道砂体的追踪和对比。分流河道砂体是扇三角洲沉积体中油气最主要的富集场所,统计表明在已发现的扇三角洲油气藏中大约一半以上的油气分布在分流河道砂体中。在油田的实际开发过程中,由于多期河道间相互叠置切割,给开采带来许多困难。因此正确的划分和对比不同期次分流河道砂体,具有重要意义。根据其不同形成机理,总结出不同的对比模式。

一期分流河道砂体形成过程分为两个阶段:第一阶段水道进积阶段的侵蚀冲刷作用;第二阶段是水道退积的充填过程。由于 A/S 不同以及水道进积和退积能量和强度的不同,形成不同相态的砂体叠置方式。

##### 5.2.2.1 孤立水道型

在高 A/S 情况下,近岸水下分流河道稳定性高,弯度大,水体能量强,故形成窄而厚、孤立的透镜状砂体,宽/厚比值低,在测井曲线上表现为高幅箱形或齿化箱形。在该类型的层组对比中,河道砂体层组底界面以侵蚀冲刷面对应于两侧层组下部的湖泛面,分流河道砂体顶部对应于两侧层组顶部的无沉积作用面,同时以两侧的稳定泥岩段作为划分不同期次层组的依据(如图 10-C)。

##### 5.2.2.2 叠加水道型

该类型沉积形成于河道弯度中等、稳定性中等的中等 A/S 条件下,形成的砂体相对较宽、厚度较大,宽/厚比值较高,在垂向、横向上相互叠置的砂体形态,主要发育在水下河道的中部。测井曲线上表现为钟型或箱形和钟形的复合型,向两侧渐变为漏斗形。在河道砂体叠置处,层组底面以下切侵蚀面为对比标志,向两侧过渡为湖泛面,同时层组的底部泥岩厚度渐趋稳

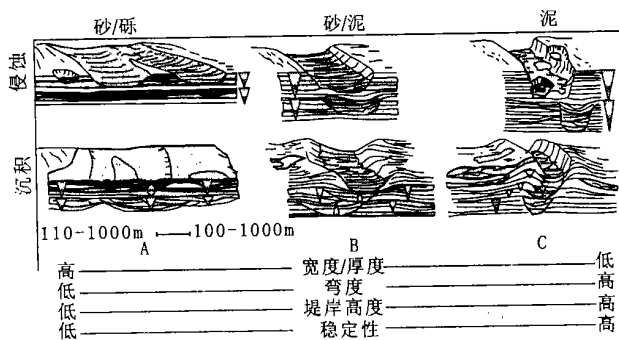


图 10 不同 A/S 下的扇三角洲分流河道层组发育及对比模式

(据 Galloway, 1998<sup>[15]</sup>修改)

Fig. 10 The developing and comparative model of submarine distributary channel under different A/S in fan delta

定(如图 10-B)。

### 5.2.2.3 不稳定互层型

该类型发育在低弯度、不稳定的  $A/S$  条件下,由于水流能量的减弱,形成宽而薄的片状砂体,宽/厚比值高,在测井曲线上表现为宽幅指状。由于其稳定性差不同期次的砂体往往叠置连片,在每一个层组的下部发育一些薄层的泥岩楔状体,至叠加部位泥岩尖灭。可以以这些在横向上相对稳定的泥岩楔状体作为对比和划分不同期次层组的标志(如图 10-A)。

## 6 结论

(1) 在扇三角洲沉积体系中发育 Cu 型、Fu 型(包括近源、远源)和 Cu - Fu 型 3 种层组类型;Cu - Fu 型、Cu - Cu 型、Fu - Fu 型(包括水上、水下)3 种准层序类型。

(2) 扇三角洲沉积体系在平行于物源的方向上,准层序的类型从物源区到湖盆发生有规律的变化:在扇三角洲水上平原部分发育以辫状主河流及河道间沉积为主的水上 Fu - Fu 型准层序;扇三角洲前缘水下分流河道部位发育水下 Fu - Fu 型;扇三角洲前缘分流河口坝、席状砂部位为 Cu - Fu 型准层序,在前扇三角洲部位,则发育 Cu - Cu 类型准层序。

(3) 在垂直物源方向上,尤其是在扇三角洲前缘分流河道特别发育的部位,准层序类型以 Fu - Fu 型为主,向两侧变为 Cu - Cu 型或 Cu - Fu 型。

(4) 在平行物源的方向上,层组内部各层向湖盆方向逐层发生相变。

(5) 在高  $A/S$  下形成的孤立水道型分流河道环境下的层组的对比中,河道砂体层组底界面以侵蚀冲刷面对应于两侧层组下部的湖泛面;在中等  $A/S$  下形成叠加型分流河道环境下的层组的对比中,在河道砂体叠置处,层组底面以下切侵蚀面为对比标志,向两侧过渡为湖泛面,同时层组的底部泥岩厚度渐趋稳定;在低  $A/S$  下形成不稳定互层型分流河道环境下的层组对比中,以在横向上相对稳定的泥岩楔状体作为对比和划分不同期次层组的标志。

### 参考文献(References)

1 Van Wagoner J C, *et al.* Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cross and outcrops. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7): 1 ~ 55.  
2 Cooper M R. Tectonic cycles in Southern Africa. Earth Science Review,

1990, 28(4): 321 ~ 364.  
3 Brett C E, F Godman W M, Loduca S P. Sequence stratigraphy and basin dynamics in the Silurian of the application foreland basin. Sedimentary Geology, 1990, 69(3): 191 ~ 224.  
4 Mitchum R M, Van Wanger J C. High frequency and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high frequency eustatic cycles. Sedimentary Geology, 1991, 70(2): 131 ~ 160.  
5 Vail P R, Audemard F R, Bowman S A, *et al.* The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and events in stratigraphy. Berlin, Heidelberg: Springer - Verlag, 1991. 617 ~ 659.  
6 罗立民. 河湖沉积体系三维高精度层序地层学研究. 北京: 地质出版社, 1997. 17 ~ 63 [ Luo Liming, Three dimensional high resolution sequence in river - lake sedimentary system. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 17 ~ 63 ]  
7 Wang Hongzheng, Shi Xiaoying. A scheme of the hierarchy for sequence stratigraphy. China University Geoscience, 1996, 7(1): 1 ~ 12.  
8 郑荣才, 彭军, 吴朝荣. 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): 249 ~ 255 [ Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249 ~ 255 ]  
9 Mutti E, Normark W R. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. In: Leggett J K, Zuffa G G, eds. Deep water clastic deposits: models and case histories, 1987, 21: 1 ~ 38  
10 李思田主编. 含能源盆地沉积体系 - 中国内陆和近海主要沉积体系类型的典型分析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 97 ~ 106 [ Edited by Li ShiTain, Depositional systems in energy - resources bearing basins - case studies of the continental and paralic depositional systems in China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 97 ~ 106 ]  
11 张春生, 刘忠保, 施冬, 贾爱林. 扇三角洲形成过程及演变规律. 沉积学报, 2000, 18(4): 521 ~ 527 [ Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, Shi Dong, Jia Ailin. Forming process and evolution law of fan delta. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 521 ~ 527 ]  
12 贾爱林, 穆龙新, 陈亮, 黄石岩. 扇三角洲露头区沉积模拟. 石油学报, 2000, 21(6): 107 ~ 110 [ Jia Ailin, Mu Longxin, Chen Liang, Huang Shiyang. A study on sedimentary simulation of fan delta output. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(6): 107 ~ 110 ]  
13 武法东, 陈永进, 李寅, 焦养泉. 河北滦平盆地构造演化及对扇三角洲发育的控制作用. 现代地质, 2000, 14(2): 179 ~ 184 [ Wu Fadong, Chen Yongjin, Li Yan, Jiao Yangquan. Tectonic evolution and their control on development of fan deltaic depositional system in Luanping basin. Geosince, 2000, 14(2): 179 ~ 184 ]  
14 焦养泉, 周海明, 庄新国, 等. 扇三角洲沉积体系及其与油气聚集关系. 沉积学报, 2000, 18(1): 70 ~ 75 [ Jiao Yangquan, Zhou Haimin, Zhuang Xinguo, *et al.* Fan deltaic depositional systems and their relationship to oil and gas accumulation. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 70 ~ 75 ]  
15 William E Galloway. Clastic depositional systems and sequence: applications to reservoir prediction, delineation, and characterization. The leading Edge, 1998, 2: 173 ~ 180

## High-Resolution Sequence Research in Fan-delta Sedimentary System

ZHAO Jun-qing<sup>1</sup> JI You-liang<sup>2</sup> XIN Bin<sup>1</sup> ZHANG Shan-wen<sup>3</sup> LIU Bao-ming<sup>1</sup>

1(Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry & South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640)

2(Institute of Earth and Ocean Science, Tongji University, Shanghai 200092)

3 (Shengli Oil field Limited Corporation, SINOPEC, Dongying Shandong 257015)

**Abstract** This paper discusses high-resolution sequence in fan-delta sedimentary system, exemplifying T76 fan-delta of the fourth upper member of Shhejie formation in Shengbei fault's downthrown side of Dongying depression. Research shows that the high resolution sequence stratigraphic units are divided into parasequence set, parasequence, bed set and bed in fan-delta. The authors particularly study types and comparative methods of parasequence and bed set. The type of bed set is divided into Fu, Cu and Cu-Fu types, and parasequence into Fu-Fu, Cu-Fu and Cu-Cu types. We have summarized two comparative methods of parasequence and bed set which are facies change paralleling to source area and incisement perpendicular to the source area.

**Key words** fan-delta, high-resolution sequence stratigraphy, parasequence, bed set, comparative method, the fourth upper member of Shahejie Formation.

---

### 本刊收取稿件审理费的通知

承蒙广大地质工作者的厚爱与信任,近几年来《沉积学报》的收稿量急剧增加。由于本刊采取比较严格的审稿制度,外审的工作量很大,致使稿件审理费的开支逐年增大。为了弥补办刊经费的不足,经慎重研究,决定从 2004 年下半年起,本刊对投稿的作者一律酌收稿件审理费 50 元/篇。此费用由编辑部开具收据,不再另开发票。敬请广大作者谅解与配合。具体办法:凡投稿者请在寄送稿件的同时通过邮局汇寄审稿费,每篇 50 元。通过电子信箱投稿的作者,也请通过邮局将一份打印稿及审稿费寄至编辑部。汇款地址:730000 甘肃省兰州市东岗西路 324 号《沉积学报》编辑部。汇单附言中请注明“审稿费”。

《沉积学报》编辑部

2004 年 6 月