

文章编号: 1000-0550(2010)04-0745-07

# 河流相层序地层模式与地层等时对比

胡光明<sup>1</sup> 王 军<sup>2</sup> 纪友亮<sup>3</sup> 贾爱林<sup>4</sup>

(1. 长江大学地球科学学院 湖北荆州 434023; 2. 中石油长庆油田分公司第四采油厂地质所 陕西靖边 718500;  
3. 中国石油大学(北京)地球资源与信息学院 北京 102249; 4. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 已有的河流层序地层模式在层序发育的控制因素、体系域的划分等方面存在一定的问题。通过对苏里格气田盒 8 段河流相层序对比,发现河谷中存在阶梯状河流阶地。现代河谷地貌的研究表明,这种阶地是构造抬升过程中,次级间歇性构造抬升导致河流下蚀与侧蚀—沉积交替的结果。而构造下降过程所引起的基准面上升和可容空间增速的变化又影响了河道砂体的展布特征。考虑构造运动在河流层序形成过程中的作用以及河流阶地与相邻地层之间的接触关系,修正了 Wright 等河流相层序地层模式,认为构造运动控制了河流层序的发育,构造上升半旋回形成水退体系域,为一系列相对等时的阶地,构造下降半旋回形成低位体系域、水进体系域和高位体系域,低位体系域为构造抬升早期形成的河谷充填物,水进体系域和高位体系域与 Wright 等的含义一致。

**关键词** 河流层序地层模式 河流阶地 等时对比 苏里格气田

**第一作者简介** 胡光明 男 1977 年出生 讲师 沉积与层序地层学 E-mail: hugm1214@163.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 问题的提出

河流相地层相变快,其等时对比一直是油气田勘探开发中的难题,解决这一难题的关键在于建立合理的河流相层序地层模式。

在众多的河流相层序地层模式中,Wright 等的模式<sup>[1]</sup>(图 1)具有广泛的代表性,该模式认为:低位体系域由下切河谷中的充填物和河流阶地上的高成熟度的土壤层组成;水进体系域早期形成多层横向连续、厚度大的砂体,晚期形成孤立砂体和分布广泛的泛滥平原沉积;高位体系域时期,可容空间的增速降

低,形成横向连通性较好的砂体与土壤层。

这一模式明确了基准面升降对体系域演化的控制和可容空间变化对砂体展布特征的影响:河流中基准面上升越慢、可容空间增幅越小,河流层序中砂泥比就越高,二元结构就越不明显,越容易形成连片的叠置砂体;基准面上升越快、可容空间增幅越大,河流层序中砂泥比就越低,二元结构就越明显,越容易形成孤立的砂体。但是无论砂泥比是高是低,二元结构是否明显,砂体连片叠置还是孤立分布,只要河流体系是在接受沉积,沉积下来的碎屑物质的总量在增加,就说明可容空间在增加、基准面在上升,只是可容空间增加的速率有别。因此,Wright 等的河流相层序地层模式反映的仅仅是基准面上升、可容空间增加期间形成的河流层序模式,而基准面下降、可容空间减少这一过程中河流的地质作用在该模式中没有得到体现。一个基准面下降半旋回和一个基准面上升半旋回才构成一个完整的层序。

另外,该模式对水进体系域和高位体系域的描述值得借鉴,但河流阶地的形成时间明显早于河谷充填物,将二者都归于低位体系域,显然不符合层序地层学等时对比的原则。

Shanley 和 McCabe 将河流层序中体系域的变化与相对海平面变化联系起来,提出了近海河流层序模式<sup>[2,3]</sup>,认为低位体系域为相互叠置切割的河流砂

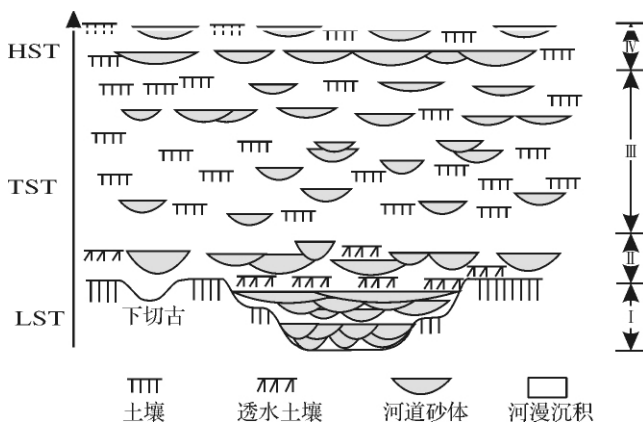


图 1 河流相层序地层模式(据 Wright 等,1993,略有改动)

Fig. 1 Fluvial facies sequence stratigraphic model  
(modified from Wright V P, et al., 1993)

收稿日期: 2009-12-11; 收修改稿日期: 2010-03-12

体,水进体系域为相互叠置的河流砂体向上过渡为相对孤立的河流砂体与细粒的冲积平原沉积,高位体系域主要是细粒的泛滥平原沉积、孤立的河道砂体、薄煤层等。这一模式认为相对海平面变化是基准面的主控因素,控制了体系域的形成与演化,这对于近海冲积体系中的河流是有意义的,但与我国众多河流基准面的升降主要受控于构造运动的事实不符。

## 2 河流层序对比实例分析

苏里格气田位于鄂尔多斯盆地中北部,其主力气层之一为下二叠统下石盒子组盒8段河流相<sup>[4-6]</sup>砂岩地层。本为以此为例来分析河流层序等时对比。

### 2.1 层序顶底界面的确定

在岩心较少的情况下,必须依靠测井曲线识别沉积上具有等时意义的标准层来确定等时界面。全面分析各种测井曲线特征,发现在盒8段顶部普遍存在高值Th/K(图2),而高能环境Th/K高,低能环境Th/K低<sup>[7]</sup>,据此可确定目的层的等时顶界面。

Su10井的岩心和自然伽马曲线(GR)显示山西组山1段上部发育大段洪泛炭质泥岩(图3),这种大段的洪泛炭质泥岩也可以通过岩心和自然伽马曲线从Su20、Su5、Su24-17、Su6、Su16等许多井中识别出来。进入盒8段发育期,河流广泛冲刷下切山西组的洪泛泥岩,形成以砂岩为主的河流相沉积,并且盒8段内部的泥岩段厚度远小于山西组顶部的洪泛泥岩段。盒8段与山西组之间的界限在自然伽马曲线上表现为明显的台阶:台阶之上为低值(河流相砂岩),

台阶之下为大段高值(洪泛泥岩)(图4)。再辅以深双侧向电阻率(Rd)曲线,可以准确确定盒8段底界面。

### 2.2 准层序的划分

洪泛将相互孤立的河道沟通起来,形成洪泛泥岩层,在一定范围内的等时面,在不同井中,只要上下两个洪泛面分别等时,则这两洪泛面所控制的岩层也是等时的。在各井中划分准层序时,关键是识别洪泛面,洪泛面多处于河流二元结构的顶部,其上为另一准层序底部冲刷面和底部滞留沉积层<sup>[8]</sup>。由于该区相当多河流准层序的二元结构不太明显(顶层沉积泥岩段较薄),准层序顶部少量的泥岩易与准层序内部的泥岩夹层混淆,需结合GR的幅度、厚度变化趋势,并参考Rd曲线来划分准层序。

### 2.3 准层序的对比与体系域的划分

按照同一时期形成的准层序厚度大致相当、顶界面大致持平的原则,从上向下,将同一时期形成的准层序进行对比(图4)。

根据Wright等的层序地层模式中描述的各体系域中砂体的特征,将盒8段划分为低位体系域(LST)和水进体系域(TST)(图4)。

### 2.4 体系域的调整

在图4低位体系域中,Su9、Su13、Su36-43底部的准层序分别与横向上同一层的准层序明显不协调(图4)。Su9、Su13、Su36-43底部的准层序二元结构非常明显,具有曲流河的特征,而低位体系域中的其他准层序均不具二元结构或二元结构不明显,具有



图2 盒8段顶部Th/K标志层对比

Fig. 2 Matching of Th/K marker bed at the top of He 8<sup>th</sup> member

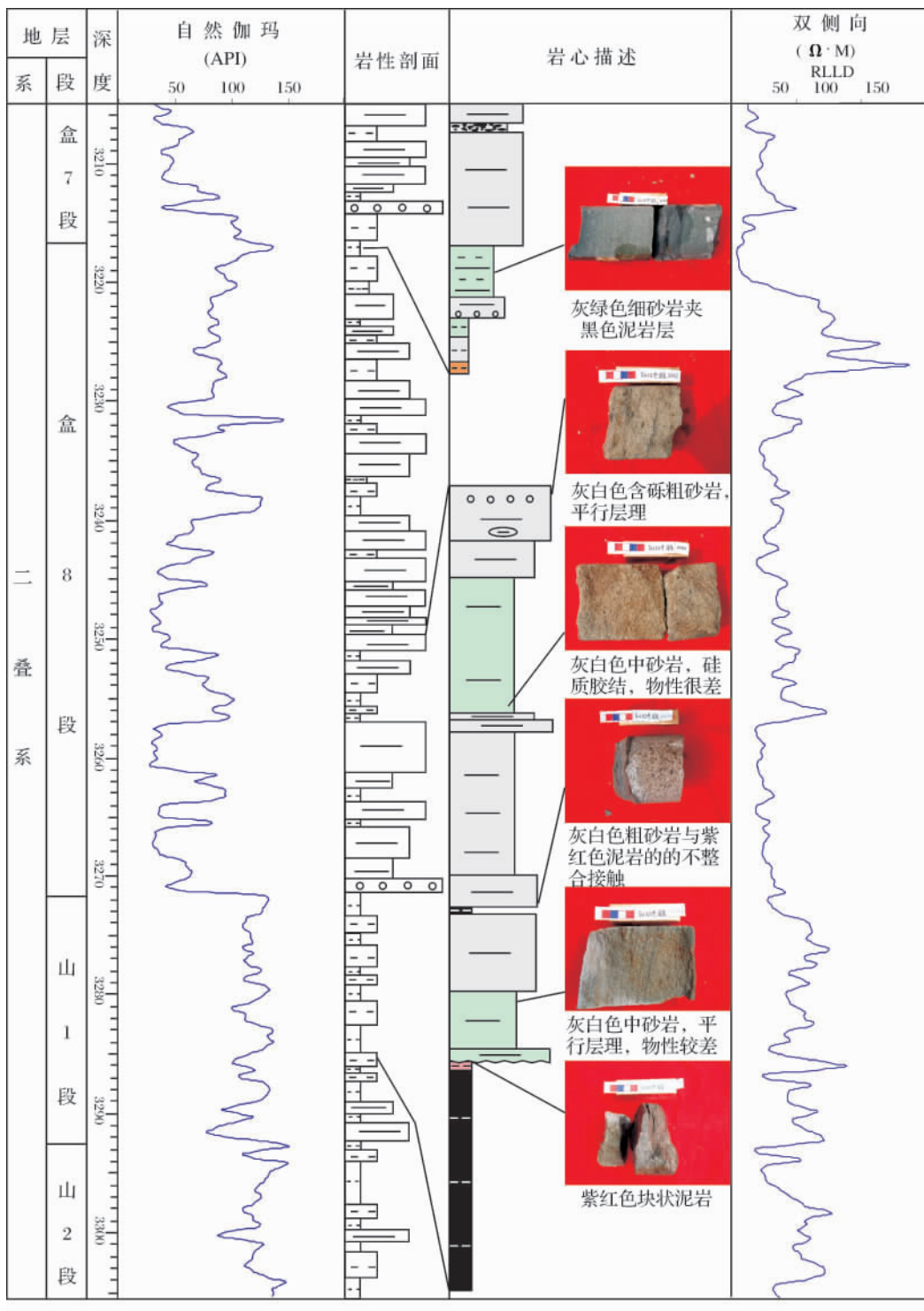


图 3 Su10 井测井与岩心特征

Fig. 3 Logging and core characters in the Well Su 10

辫状河的特征<sup>[4]</sup>。在同一体系域中,某时期的基准面、可容空间是相同的,在此条件下不可能既发育辫状河又发育曲流河。

在河北秦皇岛柳江盆地的大石河中,地壳的间歇

式上升引起下蚀作用和侧蚀作用交替进行<sup>[9,10]</sup>,导致河谷基岩上发育有多级具有二元结构的河流阶地(图 5)。在湖北松滋刘家场的丁家冲、河田坪,在青藏高原、黄河三门峡等地,都发现了这种由构造作用形

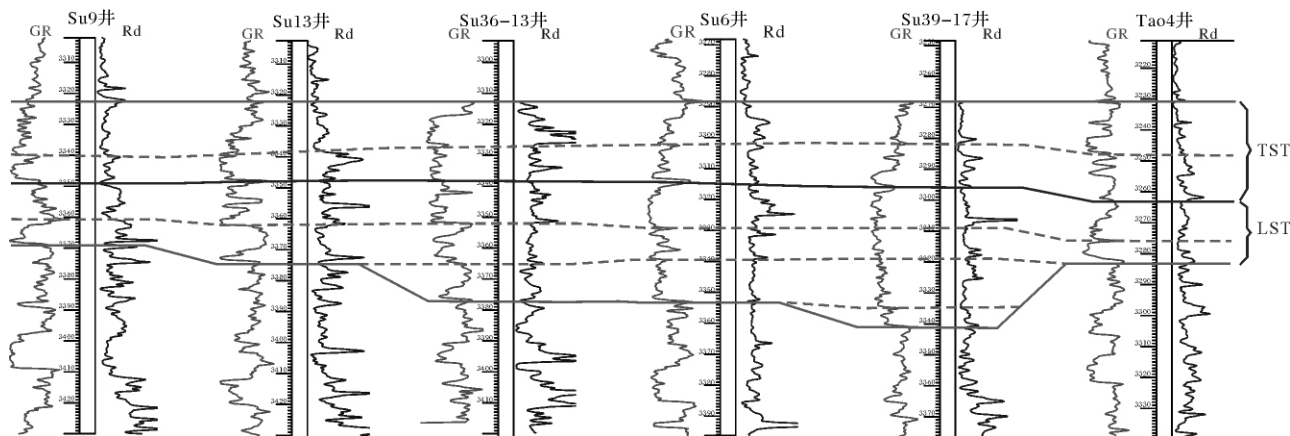


图4 根据 Wright 等(1993)模式对盒8段河流相地层进行等时对比

Fig.4 Fluvial facies isochronostratigraphic correlation of He 8<sup>th</sup> formation from Wright's model

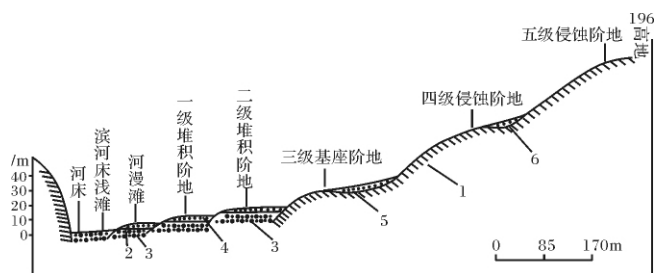


图5 上庄坨—196高地河谷地貌与第四纪地质剖面图 [7-8]

- (1. 基岩; 2. 河床相河漫滩砂砾石层; 3. 河床相砂砾石层;
- 4. 土壤层; 5. 河床堆积砾石层; 6. 坡积砾石层)

Fig.5 Valleyform and Quaternary geological section from Shangzhuangtuo to Highland 196

成的阶地 [11-13]。阶地的位置越低，形成的时间越晚，遭受风化剥蚀的时间越短，二元结构越明显，并且阶地形成时，河谷中并无 Wright 等模式低位体系域中所说的河谷充填物，因此河流阶地的形成时间要早于河谷充填物。

Su9、Su13、Su36-13 底部的准层序均具有二元结构特征，处于盒8段底部、河道边缘，并且相对于 Su13、Su36-13 底部的准层序而言，位置较高的 Su9 底部准层序的二元结构略差（图4），这些特征与大石河的河流阶地有很好的可比性，因此推测 Su9、Su13、Su36-13 底部的准层序为河流阶地，其形成的时间要早于图4 低位体系域（LST）中的其他准层序（河谷充填物），应将其单独划分出来，列为水退体系域（图6），详细分析见下文。

### 3 河流层序的发育过程

河流层序中一个完整的基准面升降旋回往往与构造旋回一致，构造抬升基准面下降，构造下降基准面上升，构造运动控制了基准面的升降变化，是河流层序发育的主控因素。

#### 3.1 构造抬升阶段

构造抬升阶段往往由多期次级幕式构造运动组

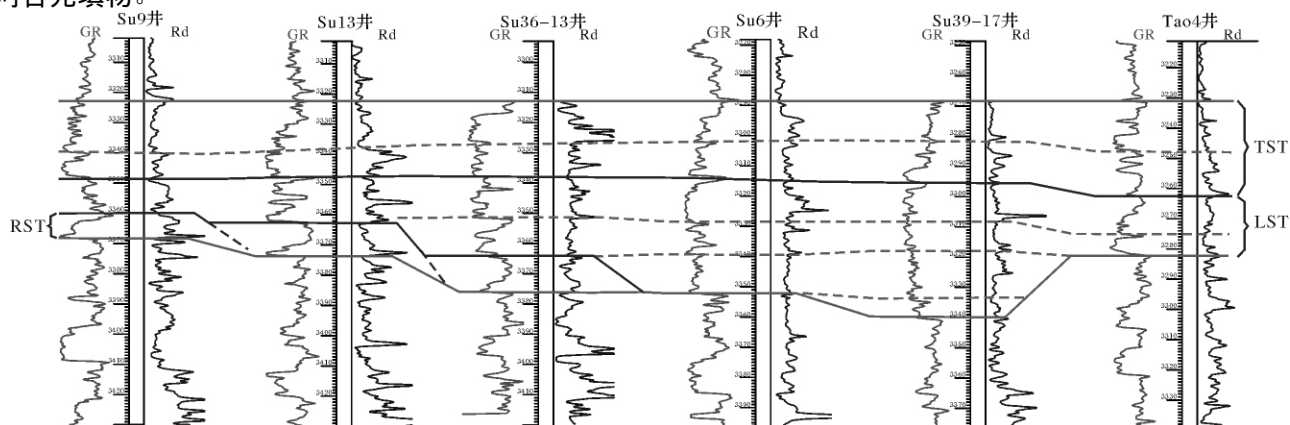


图6 调整后的盒8段河流相地层等时对比格架

Fig.6 Modified fluvial facies isochronostratigraphic correlation of He 8<sup>th</sup> member

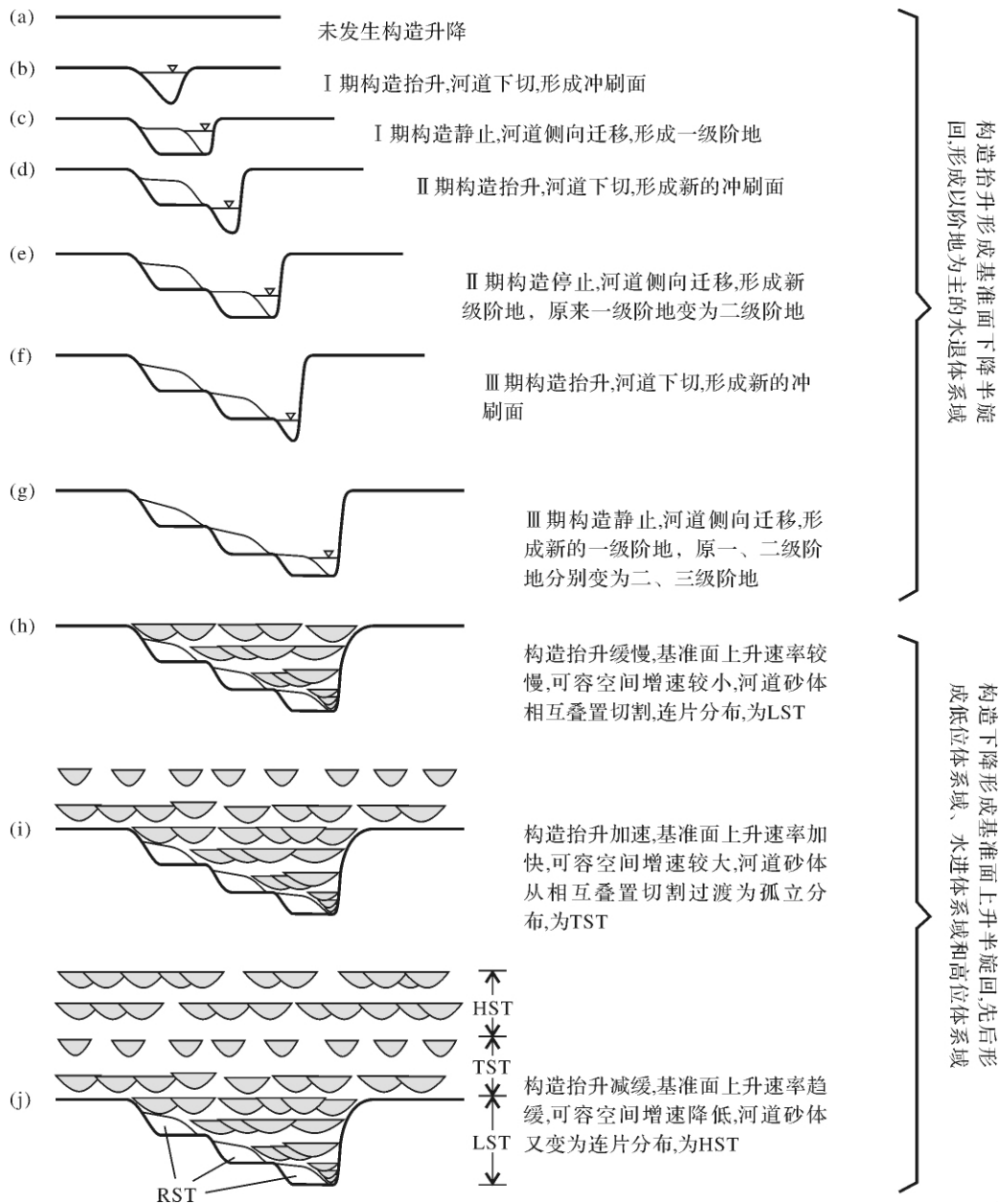


图 7 河流层序发育模式

RST. 水退体系域, LST. 低位体系域, TST. 水进体系域, HST. 高位体系域  
(注: 一般河流两侧均有阶地, 本文为了叙述方便, 假设仅有一侧存在阶地。)

Fig. 7 Evolutionary pattern of fluvial sequence

成。I 期构造抬升, 基准面下降, 可容空间为负, 河流发生下切侵蚀, 形成河床底部冲刷面(图 7b)而无沉积; 由于构造运动有活动—静止的幕式特征, 随后构造抬升即趋于停止, 河流下蚀导致床底冲刷面下降到与河流平衡剖面一致可容空间为零时, 下蚀即停止, 仅在横向上发生曲流河的凹岸侵蚀、凸岸加积, 河流以侧向迁移为主, 形成一级阶地(图 7c)。多期幕式构造运动(多次抬升—静止)导致可容空间从负到零

的交替, 形成强烈的下蚀和侧蚀—沉积交替出现, 从而形成类似于大石河的多级阶地(图 7d ~ g), 每一级阶地都是一幕构造抬升的结果。

在新阶地形成过程中, 处于较高位置的老阶地由于构造抬升而发生一定程度的剥蚀, 阶地越老剥蚀越严重, 以致本来具有典型二元结构的早期阶地仅剩底层沉积、滞留砾岩甚至剥蚀殆尽, 如松滋刘家场的河田坪, 比现在的河床高 20 ~ 30 m 的山顶上分布有粒

径为 0.5 m 左右的砾石,是河流阶地上部细粒沉积物剥蚀掉以后出露的河床底部沉积。

### 3.2 构造下降阶段

构造下降,基准面抬升,可容空间增加为正,上游带来的沉积物在已形成的河谷中堆积。早期构造下降速率较慢,可容空间增速较缓,为低可容空间环境,河道砂体构成河谷充填物,相互叠置,连片分布(图 7h);随后构造下降速率由慢变快,可容空间增速加快,形成高可容空间环境,河道砂体相互孤立(图 7i);晚期构造下降速率减缓,可容空间增速趋缓,由高可容空间逐渐向低可容空间转变,河道砂体又逐渐变为连片分布(图 7j)。

## 4 河流相层序地层模式

根据上述河流层序的发育过程,可将河流层序进行四分:水退体系域(RST)、低位体系域(LST)、水进体系域(TST)和高位体系域(HST)(图 7j)。

水退体系域中,河流阶地的底界面为河流下蚀时形成的冲刷面,与冲刷面之下的地层存在明显的沉积间断;从河流层序发育过程(图 7)中可以看出,各级阶地的形成时代明显早于河谷中横向相邻的河道砂体(河谷充填物),并且在相邻的河道砂体形成之前,各级阶地顶部还遭受了不同程度的剥蚀(图 7c~g)。鉴于各级河流阶地与其上下相邻地层以及横向相邻地层之间存在明显的不整合,且与下伏地层之间的时间间隔更长,因此河流阶地应当作为一个体系域单独划分出来,而且应当归为河流阶地底部冲刷面之上的层序中的一个体系域。另外,就水退体系域内部而言,各级河流阶地也不是同时形成的,位置较高的阶地形成时间较早,位置较低的阶地形成时间较晚,因此水退体系域内部为相对等时的沉积体。

低位体系域为构造下降早期形成的河谷中充填的沉积物,但不包括 Wright 等(1993)模式中所说的河流阶地上的高成熟度的土壤层。

水进体系域和高位体系域与 Wright 等(1993)模式中相对应的体系域基本相当。

其中,水退体系域形成过程中,可容空间呈幕式减少;而低位体系域、水进体系域和高位体系域形成过程中,可容空间都是增加的,只是增速不同,才形成了各体系域中砂体的不同特征。

## 5 结论

通过本文分析可得以下结论:

(1) 构造运动控制了河流基准面变化,从而控制了河流层序的发育;

(2) 河流阶地代表了一个相当长时间段内的地质作用,其与相邻地层之间存在明显的沉积间断,不可忽略或简单地当做土壤层划入低位体系域中,应当作为一个体系域单独划分出来;

(3) 考虑以上两点,修正了 Wright 等(1993)的模式:构造抬升阶段,基准面下降,形成一系列相对等时的河流阶地,构成水退体系域;构造下降阶段,基准面上升,依次发育低位体系域、水进体系域和高位体系域,其中低位体系域由河谷中充填物构成,水进体系域和高位体系域与 Wright 等(1993)的模式中相应的体系域一致。

### 参考文献(References)

- 1 Wright V P, Marriott S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage [C]//Cloetingh S, et al, eds: Basin analysis and dynamics of sedimentary basin evolution. Sedimentary Geology, 1993, 86: 203-210
- 2 Shanley K W, McCabe P J. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework: a case history from the Upper Cretaceous of southern Utah, U. S. A. [C]//Flint S, and Bryant I, eds. Quantitative Modeling of Clastic Hydrocarbon Reservoirs and Outcrop Analogues. International Association of Sedimentologists Special Publication 15: 21-25
- 3 Catuneanu O 著. 层序地层学原理 [M]. 吴因业等译. 北京:石油工业出版社, 2009: 241 [Catuneanu O. Principles of Sequence Stratigraphy [M]. Translated by Wu YinYe, et al. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 241
- 4 邹新宁, 孙卫, 张盟勃, 等. 沼泽沉积环境的辫状河道特征及其识别方法 [J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(4): 438-443 [Zou Xin-ning, Sun Wei, Zhang Mengbo, et al. Braided channel characters in palustrine environment and its identified methods [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(4): 438-443]
- 5 何顺利, 兰朝利, 门成全. 苏里格气田储层的新型辫状河沉积模式 [J]. 石油学报, 2005, 26(6): 25-29 [He Shunli, Lan Chaoli, Men Chengqun. New braided river model in Sulige Gas Field of Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 25-29]
- 6 文华国, 郑荣才, 高红灿, 等. 苏里格气田苏6井区下石盒子组盒8段沉积相特征 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 90-97 [Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Gao Hongcan, et al. Sedimentary facies of the 8th member of lower Shihezi Formation in Su6 area, Sulige Gas Field [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 90-97]
- 7 李舟波, 编著. 地球物理测井数据处理与综合解释 [M]. 长春:吉林大学出版社, 2003: 169 [Li Zhoubo, ed. Geophysical Well Logging Data Processing and Integrated Interpretation [M]. Changchun: Jilin University Press, 2003: 169]
- 8 高志勇, 郑荣才, 罗平. 陆相高分辨率层序地层中洪泛面特征研究

- [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(1): 48-50 [Gao Zhiyong, Zheng Rongcai, Luo Ping. A study of the flooding surface in the high-resolution stratigraphic sequence of continental deposit. Journal of Chengdu University of Technology: Science of Technology Edition, 2007, 34(1): 48-50]
- 9 孙士超, 主编. 石门寨地质概况及地质教学实习指南 [M]. 北京: 地震出版社, 1992: 125-127 [Sun Shichao, ed. Geologic Aspects and Geology Teaching-Learning Guide in Shimenzhai Area [M]. Beijing: Seismic Press, 1992: 125-127]
- 10 柳成志, 马凤荣, 主编. 北戴河地区地质实习指导书 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 86 [Liu Chengzhi, Ma Fengrong, ed. Geology Learning Guide in Beidaihe Area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 86]
- 11 陈浩, 李勇. 唐古拉山北坡河流阶地发育及其与构造隆升的关系 [J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 27(2): 89-92 [Chen Hao, Li Yong. Coupling relationship between development of river terraces on north slope of Tanggula Mountain and tectonic uplift [J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2009, 27(2): 89-92]
- 12 王永, 王军, 肖序常, 等. 西昆仑山前河流阶地的形成及其构造意义 [J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1779-1785 [Wang Yong, Wang Jun, Xiao Xuchang, et al. Piedmont river terraces formation of the western Kunlun, China and their tectonic significance [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12): 1779-1785]
- 13 苏怀, 王均平, 潘保田, 等. 黄河三门峡至扣马段的阶地序列及成因 [J]. 地理学报, 2008, 63(7): 744-749 [Su Huai, Wang Junping, Pan Baotian, et al. Sequences and genesis of Yellow River terrace from Sanmen Gorge to Kouma. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(7): 744-749]

## Fluvial Sequence Stratigraphy Mode and Isochronous Strata Correlation

HU Guang-ming<sup>1</sup> WANG Jun<sup>2</sup> JI You-liang<sup>3</sup> JIA Ai-lin<sup>4</sup>

(1. School of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434023;

2. Institute of Geology, the No.4 Oil Recovery Factory, Changqing Oil Field Branch, CNPC, Jingbian, Shaanxi 718500;

3. School of Earth Resource and Information, University of Petroleum China, Beijing 102249;

4. Institute of Exploration and Production of Petroleum, CNPC, Beijing 100083)

**Abstract** There exist some faults about the factor controlling sequence and the system tract partition in the former fluvial sequence stratigraphic models. The author finds that there are some terrace staircases in the fluvial valley during the fluvial parasequence correlation of He 8<sup>th</sup> in Sulige gas field. Studies about modern valleyform show that the secondary intermittent tectonic uplifts during the first tectonic uplift led to the alternation of vertical erosion and lateral erosion-deposition, which forms the terrace staircases. And the first tectonic fall led to base level uplift and the change of new space added, which will control the sandbody distribution. According to the role of tectonic during forming fluvial sequence and the contact relationship between terrace staircases and their surrounding formations, the author modifies Wright, *et al* (1993) fluvial sequence stratigraphic model, and he thinks that the tectonic movement controls the fluvial sequence. The hemicycle of tectonic uplift forms the regressive systems tract that is made of a series of relative isochronous terraces staircases. And the hemicycle of tectonic fall forms the lowstand systems tract, transgressive systems tract and highstand systems tract. The lowstand systems tract includes some filling sedimentary compound in the fluvial valley. The transgressive systems tract and the highstand systems tract are the same as the corresponding systems tract in the Wright, *et al* (1993) model.

**Key words** fluvial sequence stratigraphic model; terrace staircase; strata isochronous correlation; Sulige gas field