

文章编号: 1000-0550(2007)01-0001-09

饶阳凹陷下第三系层序类型及发育模式^①

纪友亮¹ 杜金虎² 赵贤正³ 张以明³ 张瑞峰³

(1. 同济大学 海洋与地球科学学院 上海 200092

2 中国石油股份有限公司 北京 100724 3 中国石油华北油田公司 河北任邱 062552)

摘要 根据陆相地层层序在地震剖面、电测曲线上的识别标志、岩石类型组合特点以及古生物等方面的特征,将饶阳凹陷在下第三系划分出了三个二级层序、十个三级层序。其中层序 I、II 为裂谷初始期湖泊层序,层序 III、IV、V 为裂谷强活动期湖泊层序,层序 VI 为气候层序,层序 VIII、IX、X 为河流层序。其中裂谷期湖泊层序可以划分为三个体系域,即低位域、湖侵域和高位域,而河流层序可划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域,针对研究区目的层段所划分层序发育的特点,在层序地层单元划分和对比的基础上,对不同层序类型层序的发育模式进行了总结。

关键词 层序地层学 饶阳凹陷 层序类型

第一作者简介 纪友亮 男 1962 年出生 博士 教授 博士生导师 石油地质学、沉积学和层序地层学

E-mail jiyouliang@mail.tongji.edu.cn

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

1 区域地质概况

饶阳凹陷是属于渤海湾盆地冀中拗陷中的一个次级的构造单元,它位于冀中拗陷中部,北接霸县凹陷,南临新河凸起,东面与献县凸起相临,西到高低低凸起(图 1),面积约 6 300 km²,是冀中拗陷最大的凹陷,也是冀中拗陷油气最富集、勘探成效最高的凹陷^[1]。

全凹陷钻遇第三纪地层从老到新依次为:下第三系孔店组、沙河街组、东营组和上第三系馆陶组、明化镇组^[1]。其地层岩性及分布特征见表 1。

通过对饶阳凹陷下第三系发育的同沉积断裂带、古地形及其对层序和砂体发育的控制作用的详细研究发现:同沉积断裂上、下盘的差异沉降造成的古构造沉积斜坡坡折,对同期层序、沉积体系及砂体的发育产生深刻的影响,有类似于被动大陆边缘 I 型层序陆架坡折的作用,在低水位期,坡折带以上为剥蚀区或暴露区,坡折带以下为沉积区。对一个三级层序而言,坡折带控制了层序的发育及其体系域的构成^[1,2]。

2 层序地层格架的建立

层序的划分和界面的确定可首先依靠岩心观察研究及电性特征分析,然后采用 VSP 测井桥式剖面

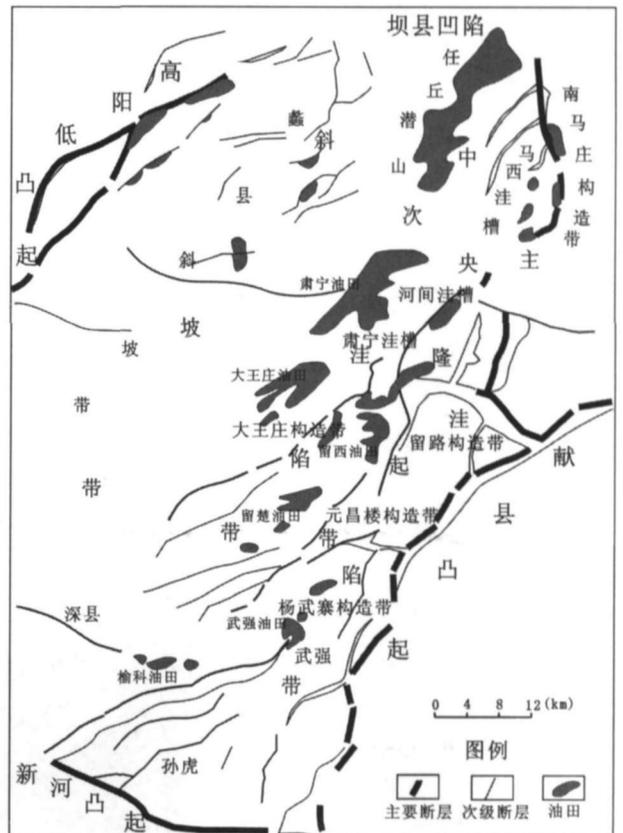


图 1 饶阳凹陷构造单元划分示意图

Fig 1 Sketch map of tectonic unit division of Raoyang Depression

① 国家“十五”科技攻关项目资助。

收稿日期: 2006.02.07 收修改稿日期: 2006.06.06

表 1 层序地层划分、对比结果

Table 1 The division result of sequence stratigraphy in Raoyang depression

地层				厚度 m	层序		地震反射	与下伏地层	沉积环境	
系	组	段	亚段		二级	三级	界面	接触关系		
下第三系	馆陶组	馆下段	Ng_F	0~200	第三层序	T_2	角度不整合	整合	河流辫状河三角洲	
		东一段	Ed_1			X				T_{3-1}
	东营组	东二段	Ed_2	100~500		IX	T_{3-2}	整合		
		东三段	Ed_3	200~500		VIII	T_3	局部上超		
		沙一段	E_{s_1}	200~600		VII	T_4	上超		
	沙河街组	沙二段	E_{s_2}	0~400		VI	T_5	局部不整合		河流辫状河三角洲
		沙三段	$E_{s_3}^{\text{上}}$	100~400		V	T_{6-1}	不整合		
			$E_{s_3}^{\text{中}}$	0~500		第二层序	IV	T_{6-2}		不整合
			$E_{s_3}^{\text{下}}$	0~400		III	T_6	不整合		
		沙四段	E_{s_4}	100~400		第一层序	II	T_7		角度不整合
孔店组	孔店段	E_k	200~500	I	T_g	不整合削截	河流相辫状河三角洲			

及合成地震记录进行层位标定,建立地震反射与地层层位的对应关系,以便将测井资料上的层序界面转到地震剖面上,作全区追踪对比研究。

2 1 层序界面的识别标志

2 1 1 地震剖面的标志

层序界面为不整合面及其对应的整合面,层序界面在盆地边缘地区的地震剖面上反射终止类型多为上超,顶超和削截现象(图 2、3、4),在盆地中央地区,层序界面上下的地震相类型有明显差异。如反射终端结构不明显,则根据地震相的特征差异来识别层序界面,如第 II 层序底界面在反射结构上,界面上部为弱振低连平行亚平行反射结构,界面下为中强振低连亚平行反射到杂乱反射。

2 1 2 岩性标志

层序界面在岩性上常表现为岩性突变面,如在录井剖面上,第 II 层序底界面以下主要为沙四段盐湖相的膏岩、深灰色泥岩以及红色泥岩,界面之上为沙三段紫红色、浅灰色泥岩和灰色砂砾岩、细粉砂岩,上部

出现灰黑色油页岩(图 5)。

2 1 3 电性标志

层序界面在电性上往往也有明显的特征,除自然电位曲线和视电阻率的绝对值有差异外,其测井曲线的形态特征也有明显的变化。如第 II 层序底界面之下自然电位曲线和视电阻率曲线均为中高值,界面上自然电位曲线和视电阻率曲线均为低中值;界面之下一般呈漏斗型组合,而界面之上则以钟型组合为特征,其曲线幅度多呈突变关系,视电阻率曲线变化尤其明显(图 5)。

2 1 4 古生物标志

不同三级层序之内所含孢粉组合特征也不相同^[1](表 2)。

根据上述标志,从孔店组到东营组共划分三个二级层序、十个三级层序,各三级层序大致依次对应于孔店组、沙四段、沙三段下亚段、沙三段中亚段、沙三段上亚段、沙二段、沙一段、东三段、东二段和东一段。(表 1,图 6)。

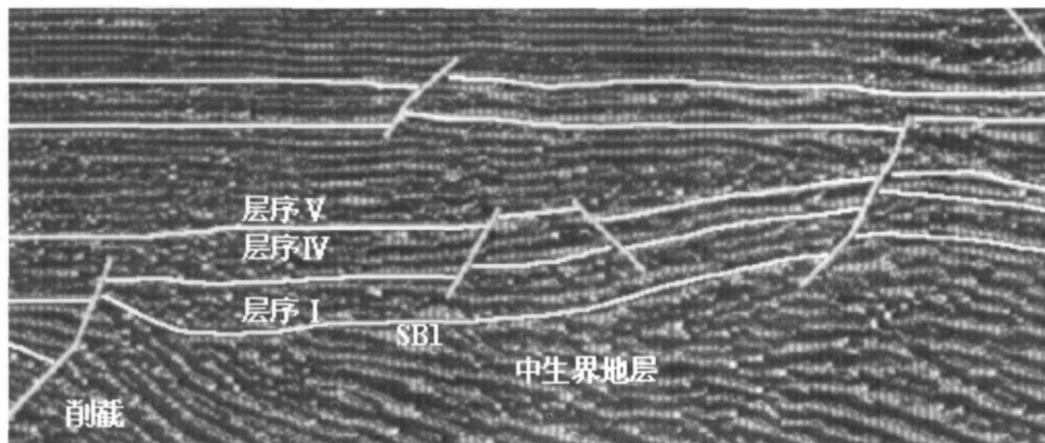
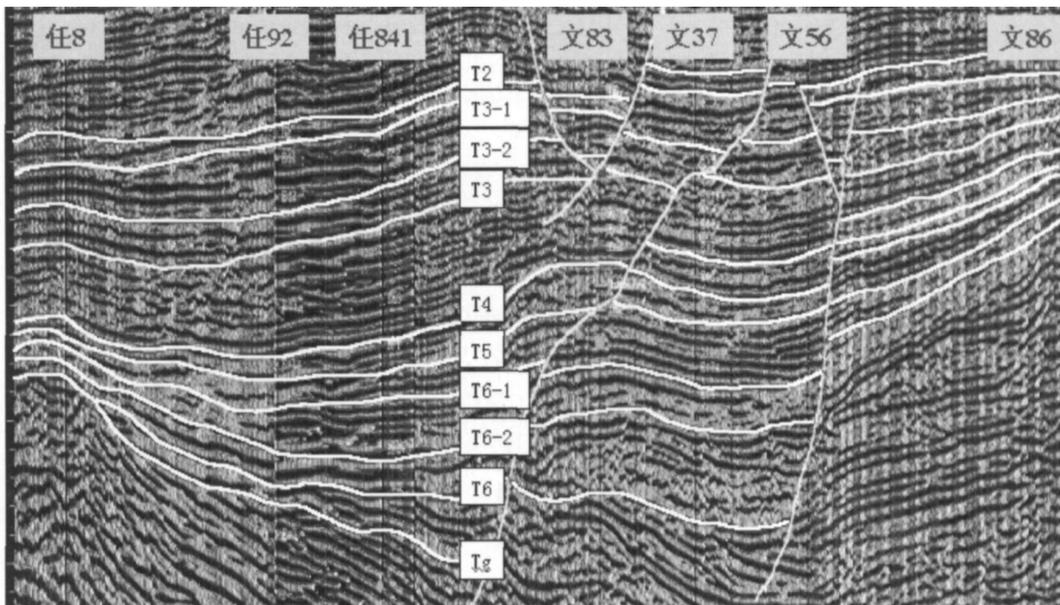


图 2 饶阳凹陷赵皇庄地区层序 I 地层接触关系图

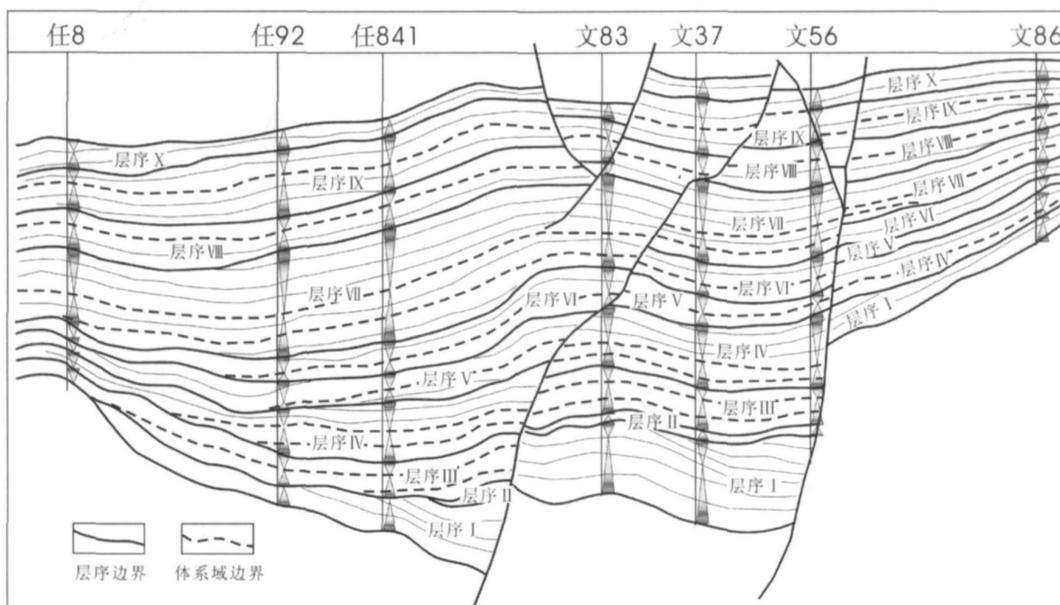
表 2 饶阳凹陷各三级层序孢粉组合特点表(以皇 2 井为例)

Tab 2 Spore and pollen of every third order sequence in Raoyang depression (take WELL Hung 2 as an example)

三级层序	对应地层层位	孢粉组合特点
SQX	东一段 Ed ₁	三角孢属—粒面三缝孢—栎粉属组合
SQIX	东二段 Ed ₂	波形粉属—桦粉属组合
SQVIII	东三段 Ed ₃	三角孢属—柳粉属—栎粉属—华粉属组合
SQVII	沙一段 E _{s1}	松粉属—小亨氏粉属—谏粉属—柳粉—栎粉—波形粉属组合
SQVI	沙二段 E _{s2}	麻黄粉属—芸香粉属—漆树粉属—谏粉属—紫萁孢属组合
SQV	E _{s3} ^上	三角孢属—卵形孢属—杉粉属组合
SQIV	沙三段 E _{s3} ^中	小亨氏粉属—小栎属—凤尾蕨孢属—三角孢属组合
SQIII	E _{s3} ^下	松粉属—桦粉属—胡桃粉属—三角孢属组合
SQII	沙四段 E _{s4}	杉粉属—三唇孔粉属—希指孢属—漆树粉属组合
SQI	孔店段 Ek	罗汉松粉属—三角孢属—脊榆粉属—山龙眼粉属组合



a. 任 8-文 86 井地震剖面



b. 任 8-文 86 井地质解释图

图 6 任 8-文 86 井地震剖面及地质解释图

Fig 6 The geologic explanation on the seismic profile through Well Ren 8 - Wen 86

2.2 体系域的划分及特征

在陆相断陷湖盆中, 体系域为同期沉积体系的组合, 是构成层序的基本单位。根据不同的层序类型及每个层序中湖平面变化的相对位置, 可将其划分为不同的类型。层序 I、II、III、IV、V 和 VII 为湖泊层序^[4], 层序 VI 为气候层序^[2], 每个划分可划分为: 低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域; 层序 VIII、IX、X 为河流层序, 在每个河流层序中可划分为基准面下降体系域和基准面下降体系域^[3]。

2.2.1 低位体系域

在湖泊相层序中, 低位体系域形成于层序发育早期, 位于层序的底部, 底界与层序底界一致, 顶界为初始湖泛面。

低位体系域湖水范围较小, 多分布坡折带之下, 在湖盆和周围物源区的高差大, 洪水期洪水携带大量物质迅速入湖, 在盆地边缘形成冲积扇或扇三角洲沉积体系。此外, 前期沉积不久未固结的沉积物可沿斜坡滑塌, 形成水下扇。单井剖面上表现为加积式准层序组(图 7)。

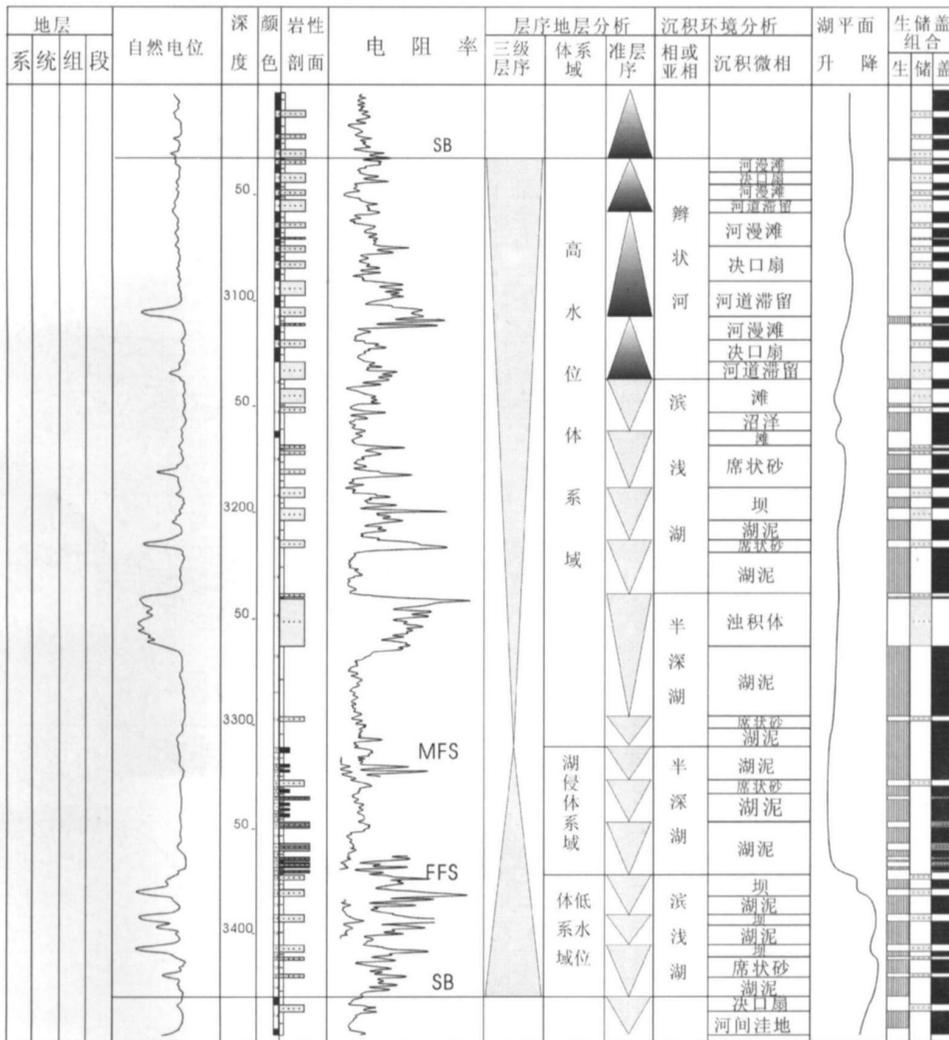


图 7 饶阳凹陷宁 37 井湖泊相层序(层序 VII)综合分析图

Fig 7 Rift lacustrine sequence characters (SQVII) onWELL N ing37 in Raoyang Depression

2.2.2 湖侵(水进)体系域

该区湖泊层序中, 湖扩展体系域底界面为初始湖泛面, 顶界面为最大湖泛面, 地震剖面上其顶界表现为下超面或连续的同相轴, 连续的同相轴反映连续的

较深湖相泥页岩沉积。如层序 VII 的最大湖泛面大致位于沙一段下部, 在地震上为由 1~2 条强振幅、高连续的一组相位。岩性剖面上, 密集段为一套暗色的油页岩、深湖相泥岩及生物灰岩组成。自然电位曲线上

对应于低幅指状特征,电阻率曲线上对应为高阻响应。

湖侵体系域在单井剖面上表现为退积式准层序组,岩性上表现为底部粗,以粗砂岩、含砾砂岩为主;向上过渡为大套泥岩、泥灰岩、夹薄层细砂岩、油页岩;SP曲线下部为钟形,上部近于平直,具微波峰。

该区湖侵体系域沉积体系类型主要为深湖、半深湖、滨浅湖、三角洲或扇三角洲沉积。在河流环境层序中,如层序 VIII 相应的体系域成为水进域,主要为辫状河和曲流河的过渡沉积,剖面上为退积式准层序组,自然电位曲线底部为箱形曲线,上部为钟型,反映砂砾岩较发育。如层序 VIII 的最大水进面在震上为弱连弱振幅向中低连中低振幅的分界处,表现为 2-3 个中等连续中等振幅的地震反射轴,界面之上为弱进积型组合,界面之下为退积型组合;在自然电位曲线上,界面之上为钟型组合,界面之下为箱型组合(图 7)。

2.2.3 高位体系域

高位体系域位于层序的最上部,低界面为最大湖泛面,顶界面为层序边界。湖泊层序中,高位体系域主要为三角洲沉积,剖面上表现为进积式准层序组。

在河流环境层序中,如层序 VIII 高位域主要为曲流河沉积,剖面上为进积式准层序组,自然电位曲线底部为齿状,反映泛滥平原相泥岩夹透镜状河道砂砾岩沉积。

3 层序类型及特征

根据划分出的 10 个 3 级层序的结构特征进行了分析,归纳出饶阳凹陷下第三系的层序发育两大类,6 小类。第一大类为湖泊层序,第二大类为河流层序。

3.1 湖泊层序

湖泊层序在该区发育五种类型(图 8):

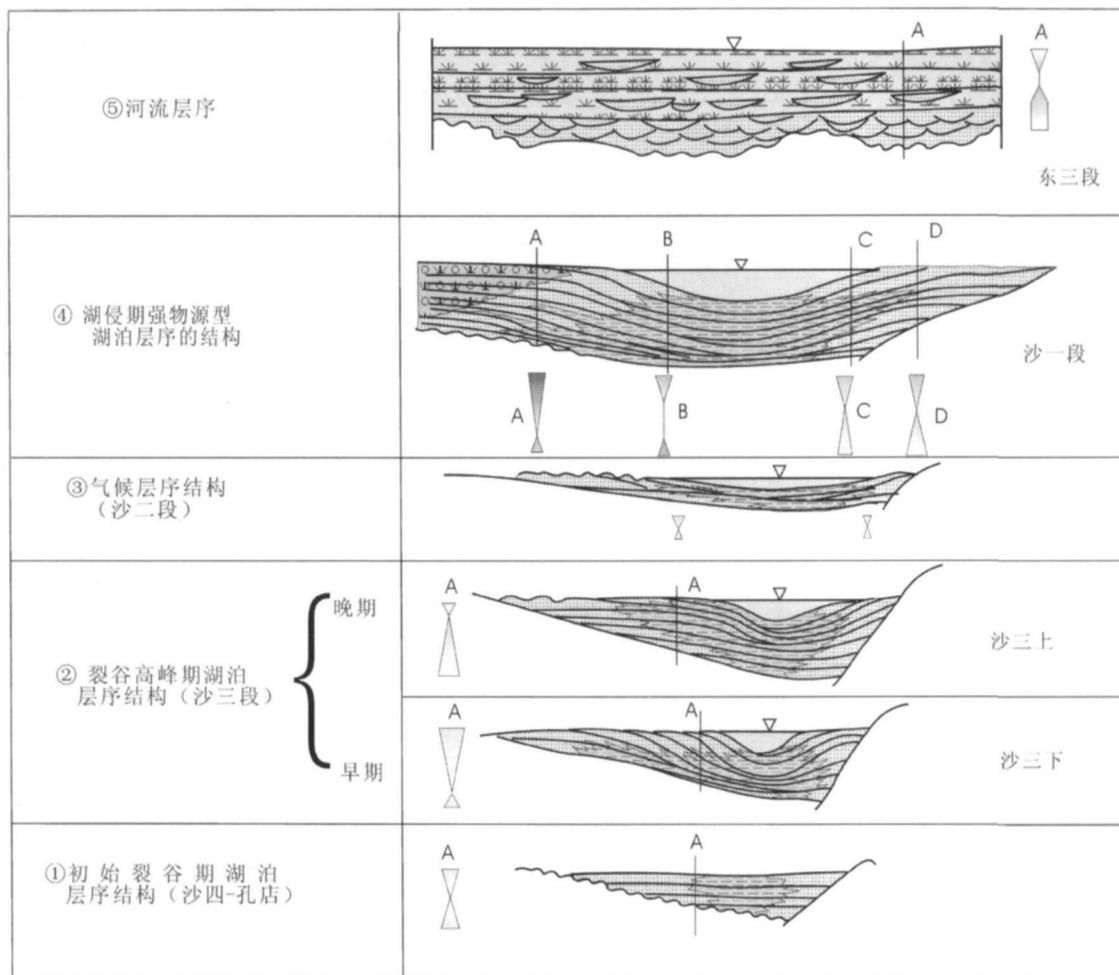


图 8 饶阳凹陷下第三系的层序类型图

(1) 初始裂谷期湖泊层序:

饶阳凹陷初始裂谷期, 既下第三系早期孔店组—沙四段发育时期, 为简单单断式盆地, 发育的层序类型为同生断拗层序^[2], 发育低位体系域, 湖侵体系域

和高位体系域。低位体系域以河流—冲积扇相的红色层为主, 湖侵体系域开始发育湖泊相, 并形成退积式准层序组, 高位体系域发育扇三角洲及盐湖相沉积, 发育进积式准层序组 (图 8①—图 9)。

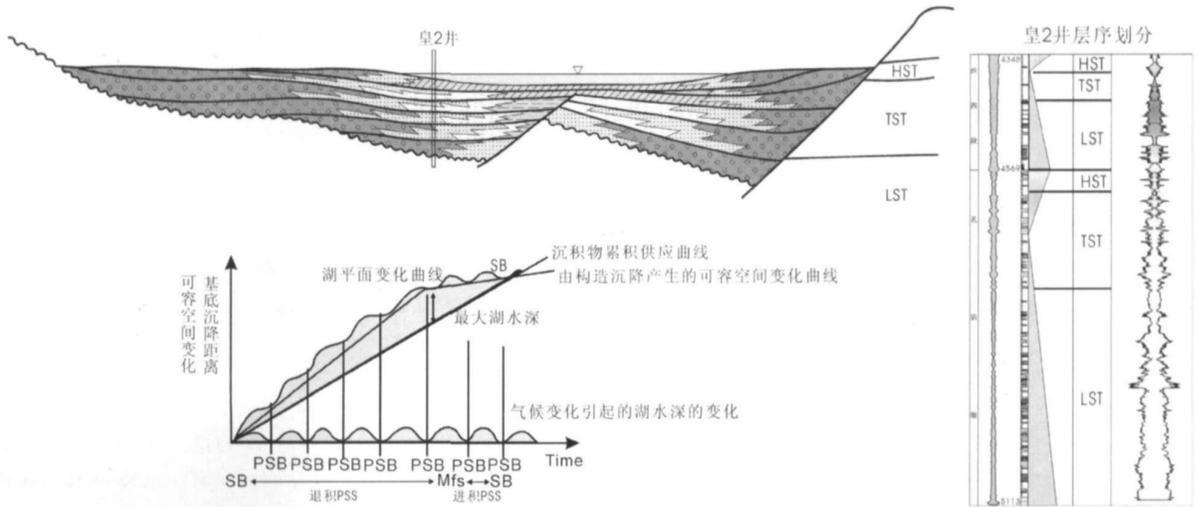


图 9 皇 2 井孔店组初始裂谷期湖泊层序结构图

Fig 9 The sequence structure of initial rift lacustrine sequence of Kongdian Formation in WELL Huang 2

(2) 裂谷高峰早期湖泊层序

饶阳凹陷裂谷高峰早期, 既下第三系沙三下亚段沉积期, 盆地基底快速沉降, 形成大的可容空间, 之后沉降速度减慢或逐渐停止^[2]。低位域由早期的冲积扇或扇三角洲相的红色砂砾岩组成, 厚度相对较薄, 第一次湖泛水体很深, 油页岩发育, 湖侵体系域相对较薄, 高位体系域发育三角洲沉积, 厚度大, 形成多个进积式准层序组, 最大湖泛面位于层序的下部 (图 8②)。

(3) 裂谷高峰晚期湖泊层序

饶阳凹陷裂谷高峰晚期, 既下第三系沙三上亚段沉积期, 盆地基底经过早期的快速沉降, 可容空间达到最大, 之后沉降速度减慢或逐渐停止^[2]。低位域由扇三角洲相、三角洲相砂岩为主, 多发育加积式准层序组, 厚度相对较大, 第一次湖泛水体较浅, 灰色泥岩发育, 湖侵体系域相对较厚, 由一个或两个退积式准层序组组成, 最大湖泛面位于层序的上部, 油页岩发育, 代表饶阳凹陷下第三系最大的湖泛期, 高位体系域发育三角洲沉积, 形成进积式准层序组, 由于侵蚀作用, 厚度很小 (图 8②、图 12)。

(4) 气候层序^[2]

主要发育在干旱气候条件下的沙二段, 由于气候比较干旱, 湖水没有把湖盆充满, 形成闭流湖盆, 层序的发育主要受气候控制下的湖平面变化的控制, 由于

受气候控制下的湖平面变化的是周期性的, 因此, 该层序可以划分三个体系域, 既低位体系域, 湖侵体系域和高位体系域。层序相对较薄, 以河流—三角洲相的红色地层为主^[2], 小型湖泊发育在饶阳凹陷的北部地区 (图 8③)。

(5) 湖侵期强物源型的湖泊层序

沙一段沉积期, 饶阳凹陷同渤海湾盆地的其他地区一样, 盆地基底快速沉降, 形成大的可容空间, 形成快速湖侵, 盆地的大部分地区在湖侵期形成退积式准层序组, 但在物源供应强烈的西部地区, 形成进积式准层序组, 在之后由于沉降速度减慢或逐渐停止, 发育高位体系域。高位体系域发育三角洲沉积, 厚度大, 形成多个进积式准层序组, 在物源供应强烈的西部斜坡最大湖泛面位于层序的下部, 而在物源供应不太强烈的陡坡, 最大湖泛面位于层序的中上部, 二者在层位上不一致 (图 8④)。

上述层序有如下两方面的特征:

A. 陡坡, 缓坡端层序下边界都有地层上超现象, 上边界缓坡见有顶超或削蚀现象, 陡坡偶见顶超, 削蚀少见。

B. 层序内部特征是, 下部地层较平坦, 上超缓慢, 中部上超加快, 在沉积中心附近地层开始下超, 先加剧后又变缓。

3.2 河流层序

河流层序^[3]主要指层序 VIII、IX、X, 饶阳凹陷下第三系东营组发育时期, 裂谷完全停止活动, 湖盆淤塞, 发育河流相沉积层序, 这种层序可以划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域。基准面上升体系域位于层序下部, 以辫状河沉积为主, 砂岩发育, 联通性好。基准面上升体系域位于层序上部, 以曲流河沉积为主, 剖面上砂岩为透镜状分布, 砂岩含量低, 联通性差(图 85)。

4 结论

通过对饶阳凹陷饶南地区层序地层综合研究, 可得出如下两点主要结论:

(1) 本区研究目的层可划分为三个二级层序、十个三级层序。其中层序 VIII、IX、X 为河流层序, 可划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域。其余七个层序则均为三分层序, 划分为三个体系域即低位、湖侵(水进)和高位体系域。

(2) 结合本区构造发育情况, 总结出了本区的 5 种层序类型。初始裂谷期以河流—冲积扇相的红层为主。裂谷高峰早期湖泊层序低位域和湖侵体系域相对较薄, 高位体系域厚度大, 最大湖泛面位于层序的下部。裂谷高峰晚期湖泊层序低位域和湖侵体系域相对较厚, 高位体系域厚度小, 最大湖泛面位于层序的上部。气候层序三个体系域, 既低位体系域, 湖侵体系域和高位体系域发育齐全, 层序厚度较薄, 以河流—三角洲相的红色地层为主。湖侵期强物源型的湖泊层序在物源供应强烈的西部斜坡最大湖泛面位于层序的下部, 而在物源供应不太强烈的陡坡, 最大湖泛面位于层序的下部, 二者在层位上不一致。河流层序可以划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域。基准面上升体系域位于层序下部, 以辫状河沉积为主, 砂岩发育, 联通性好。基准面上升体系域位于层序上部, 以曲流河沉积为主, 剖面上砂岩为透镜状分布, 砂岩含量低, 联通性差。

参考文献 (References)

- 1 张文朝, 崔周旗, 韩春元 等. 冀中坳陷老第三纪湖盆演化与油气. 古地理学报, 2001 3(1): 45~49 [Zhang Wenchao, Cui Zhouqi, Han Chunyu *et al* Evolution of Paleogene lacustrine basin and oil gas potentials in the central Hebei Depression. Journal of Paleogeography 2001 3(1): 45~49]
- 2 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学. 北京: 石油工业出版社, 1996 12 [Ji Youliang Zhang Shiqi The Sequence Stratigraphy of Terrestrial Rift Lacustrine Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996 12]
- 3 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学. 石油与天然气地质, 1995 16(2): 89~97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U.S.: high resolution sequence stratigraphy. Oil & Gas Geology 1995 16(2): 89~97]
- 4 Vail P R, Audemard F, Bowman S A *et al* The stratigraphic signatures of tectonic eustasy: an sedimentology and overview. In: Einsele G *et al* ed. Cycles and Event in Stratigraphy. Heidelberg: Springer Verlag, 1999. 617~659
- 5 顾家裕. 陆相湖盆层序地层学模式. 石油勘探与开发, 1995 22(4): 12~17 [Gu Jiayu. The sequence stratigraphic mode of terrestrial lacustrine basin. Petroleum Exploration and Development 1995 22(4): 12~17]
- 6 纪友亮, 冯建辉. 东濮凹陷沙三段高频湖平面变化及低位砂体预测. 高校地质学报, 2003a 9(1): 99~112 [Ji Youliang Feng Jianhui High frequency lake level change of 3rd member of Shahejie Formation and prediction of Lowstand sandbody in Dongpu depression. Geological Journal of China University 2003a 9(1): 99~112]
- 7 纪友亮, 冯建辉. 东濮凹陷古近系的低位三角洲沉积. 石油勘探与开发, 2003b 30(1): 112~114 [Ji Youliang Feng Jianhui Lowstand delta sedimentary of Paleogene in Dongpu sag. Petroleum Exploration and Development 2003b 30(1): 112~114]
- 8 纪友亮, 张世奇, 李红南. 东营凹陷下第三系陆相盆地层序地层学研究. 地质论评, 1994 40(增刊): 97~105 [Ji Youliang Zhang Shiqi Li Hongnan The study of sequence stratigraphy of terrestrial basin of lower Tertiary in Dongying Depression. Geological Review 1994 40(Suppl): 97~105]
- 9 宋国奇. 济阳坳陷下第三系湖相沉积的层序地层学分析. 现代地质, 1993 7(1): 16~21 [Song Guoqi The analysis of sequence stratigraphy of lacustrine sedimentation of lower Tertiary in Jiyang Depression. Modern Geology 1993 7(1): 16~21].
- 10 熊继辉, 贾承造, 王毅, 等. 层序地层学及其在塔里木盆地石炭系研究中的应用. 北京: 石油工业出版社, 1996 12 [Xiong Jihui Jia Chengzao Wang Yi *et al* The Sequence Stratigraphy and Its Application in the Study of Carboniferous in Tarim Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996 12]
- 11 婿菊珍, 蒋飞虎. 河南东濮凹陷古近系沙河街组岩盐沉积特征及成因. 古地理学报, 2003 5(2): 162~170 [Xu Juzhen Jiang Feihu Sedimentary characteristics and origin of salt rock of Shahejie Formation of Paleogene in Dongpu sag Henan province. Journal of Paleogeography 2003 5(2): 162~170]
- 12 张世奇, 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学模式探讨. 石油勘探与开发, 1996 23(5): 23~28 [Zhang Shiqi Ji Youliang The study of the mode of sequence stratigraphy of terrestrial rift lacustrine basin. Petroleum Exploration and Development 1996 23(5): 23~28]

Sequence Stratigraphy Models and Controlling Factors of Eocene in Raoyang Depression

Ji You-liang¹ DU Jin-hu² ZHAO Xian-zheng³ ZHANG Yi-ming³ ZHANG Rui-feng³

(1. Tongji University School of Ocean and Earth science Shanghai 200092; 2. PetroChina Limited Corporation Beijing 100724

3. Hubei Oilfield Company PetroChina Renqiu Hebei 062552)

Abstract Based on the identification of continental sequence on seismic section and well logging curve and the characteristics of rocks' combination and paleontology the strata of Eocene in Raoyang Depression are divided into three second-order sequences and ten third-order sequences. Third-order sequences I, II, III, IV, V, VI, VII are rift lacustrine basin sequences and can be divided into three system tracts that is low stand system tracts, lacustrine transgressive system tracts and high stand system tracts. Third-order sequences VIII, IX, X are fluvial sequences which can be divided into base level rising system tract and base level falling system tract. Based on the identification and correlation of sequence stratigraphic units, sequence stratigraphy models are established. A primary research on relationship between sequence stratigraphic model has been done.

Key words sequence stratigraphy Raoyang depression sequence type