

饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层分析及 沉积体系研究

倪 超¹ 纪友亮²

(1. 杭州地质研究所, 浙江 杭州 310023; 2. 同济大学, 上海 200092)

摘要:利用地震、测井、岩心等资料,对该区进行层序地层学的分析和研究,在层序地层单元划分和对比的基础上,将饶阳凹陷古近系沙河街组划分出 6 个三级层序,并对每个层序的主控成因进行了详细的研究,总结出各层序的不同特点。同时对每个层序内部的沉积特点和沉积体系进行了分析,指出了层序发育对沉积体系的控制作用。研究过程中,还对层序不同体系域的油气藏类型和油气聚集规律进行了研究,并指出了各体系域可能发育的最有利的油气藏类型。

关键词:饶阳凹陷;层序地层;沉积体系;古近系;沙河街组

中图分类号:P539.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)01-0193-08

饶阳凹陷位于冀中拗陷中部,是一个受复杂断裂系统控制的,走向北东大型东断西超式单断凹陷,其构造位置南到新河凸起,北与坝县凹陷相接,东通过献县断层与献县凸起相邻,西至高阳低凸起。根据区内构造特征及地层结构将饶阳凹陷自东向西划分为主断裂构造带、主洼陷带,中央隆起带、次洼陷带和斜坡带 5 个次级构造单元(图 1)。区内发育较厚的古近纪地层,其中沙河街组发育沙三段和沙一段两套生油层,同时发育大面积的辫状河三角洲砂体,有利于隐蔽油气圈闭的形成。笔者试图运用层序地层学的基础理论^[1],综合地质、钻井、地震、测井、岩心、古生物等资料对饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层及沉积体系进行详细的分析和研究,以期对该区进一步的油气勘探有所裨益。

1 层序格架的建立

1.1 层序的划分

层序识别是进行层序划分、建立层序地层格架的基础。陆相地层中影响和控制层序发育的因素比较多^[2],在陆相断陷盆地中,层序界面除一些高级别的区域性不整合(二级层序边界)和部分三级层序边界在地震剖面上易于识别外,其他层序(如气候层序)只能通过测井相及录井资料识别出密集段,

依据密集段和层序边界的配置关系,划分层序边界^[3]。

根据对地震、测井及古生物资料等的综合研究,结合构造与沉积演化特征,把饶阳凹陷古近系地层划分出 3 个二级层序^[3],分别为孔店组—沙四段、沙三—沙二段和沙一段—东营组。其中沙河街组可以识别出 6 个三级层序,分别称为层序 I 至层序 VI(表 1)。

层序 I 的底界为沙河街组与孔店组的分界面,为平行不整合面,同时也是第一个三级层序的底界 T₇。层序 II、层序 VI 的底界属于区域上较大规模的不整合面,为二级层序边界,在凹陷内均可追踪对比。层序 III 和层序 IV 的底界面在凹陷边缘某些地区表现为不整合接触,向凹陷内部过渡为整合接触。

1.2 层序边界的识别标志

1.2.1 地震剖面的标志

三级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表现的反射终止类型多为上超,顶超和削截现象(图 2),向盆地中央地区,不整合面多变为整合面,但层序界面上下的地震相类型有明显差异。如层序 II 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到杂乱反射。

收稿日期:2005-03-26;改回日期:2005-08-25

基金项目:CNPC 科研项目《饶阳凹陷古近系高精度层序地层学及隐蔽油气藏勘探方向研究》部分成果。

作者简介:倪超,男,1976 年生,硕士生,主要从事层序地层学研究;E-mail:nichao0606@163.com。

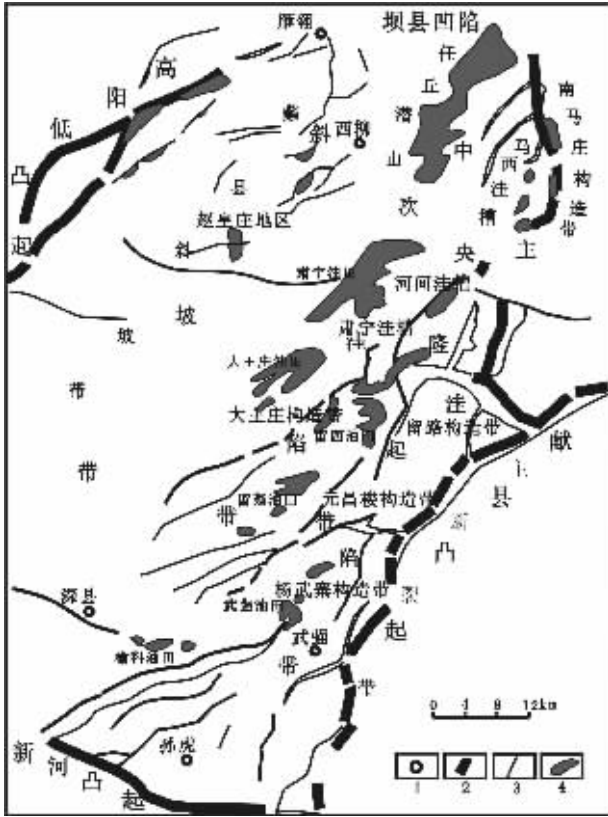


图1 饶阳凹陷构造位置图

1—地名;2—主要断层;3—次级断层;4—油田

Fig.1 Structural position of the Raoyang subbasin

1—Location;2—Main fault;3—Sub fault;4—Oil field

1.2.2 岩相标志

层序界面岩相上常表现为相序突变和岩性突变面,如在录井剖面上,层序V底界面以下广泛发育一套由暗色油页岩或灰色灰岩组成的特殊岩性段,与砂岩、灰色泥岩互层,属滨浅湖与辫状河三角洲前缘亚相沉积。界面之上突变为沙二段砂岩夹红色泥岩,局部沉积灰色泥岩,属于河流相及辫状河三角洲平原亚相沉积(图3-a)。

1.2.3 测井相标志

层序界面在测井曲线上也往往有明显的特征,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。如层序VI底界面之下自然电位曲线和视电阻率曲线均为低、中值,界面之上自然电位曲线和视电阻率曲线均为中高值;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(图3-b)。

1.2.4 准层序组类型

在层序边界下面,一般为进积式准层序组;而在层序边界上面,一般为加积式或退积式准层序组。如自然电位曲线上显示,层序VI底界面之上为一套砂岩高阻退积式准层序组合(图3-b)。

1.2.5 层序界面辅助识别标志

层序界面的辅助识别标志主要包括古生物标志和地球化学标志^[2-4]。缓慢沉积段中含有丰富的生物化石和遗迹化石,化石种属常以广盐性为主。而层序界面上古生物组合具有明显变化,甚至在局部地区存在化石带的缺失。地球化学标志主要指层序边界常暴露于大气中,特别是湖盆边缘地区,下伏地层遭受风化作用和表生成岩作用,导致接近界面的氧化矿物褐铁矿含量有明显增加。

表1 饶阳凹陷层序地层划分对比分析

Table 1 Sequence stratigraphic division and correlation in the Raoyang subbasin

地 层			接触关系	层序地层		体系域	反射界面	沉积环境	
组	段	亚段		二级层序	三级层序				
沙河街组	沙一段 (E _{3s1})		斜交 不整合	第三层序	VI	湖退	T ₄	辫状河三角洲	
						高位			
						低位—湖侵域			
	沙二段 (E _{3s2})		削截 整合或局部不整合	第二层序	V		T ₅	河流相 辫状河三角洲	
	沙三段 (E _{3s3})	E _{3s3} ^上	局部不整合	第二层序	IV	高位	T ₆	滨浅湖 辫状河三角洲	
						湖侵域			
						低位			
	沙三段 (E _{3s3})	E _{3s3} ^中	局部不整合	第二层序	III	高位	T ₆	辫状河三角洲 滨浅湖	
									低位
沙三段 (E _{3s3})	E _{3s3} ^下	局部削截 不整合	第二层序	II	高位	T ₆	辫状河三角洲 水下扇		
									湖侵域
									低位
沙四段 (E _{3s4})		下剥 平行不整合	第一层序	I	高位体系域	T ₇	膏盐湖 河流相 冲积扇		
									低位+湖侵体系域

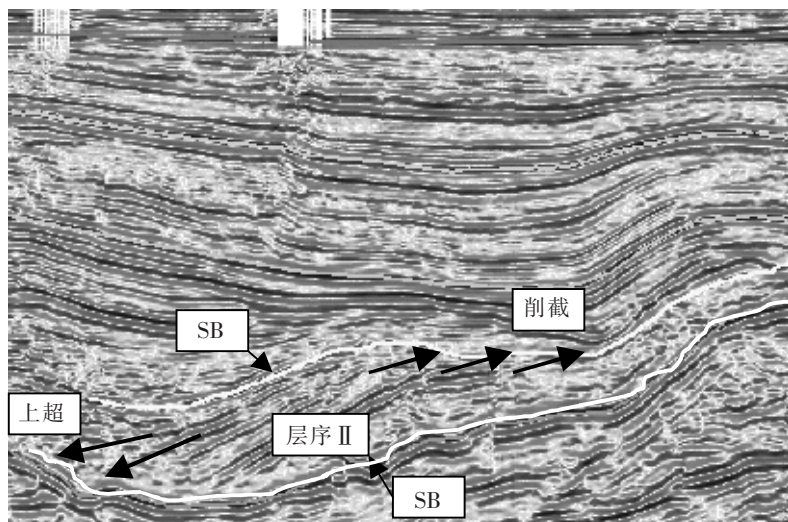


图 2 饶阳凹陷饶南地区层序 II 顶、底界面地震反射特征 (饶南南北 1108 测线)
SB-层序界面

Fig.2 Seismic reflection character at the lower and upper boundaries of sequence II in the Raoyang subbasin (N-S 1108 profile in Raoyang)
SB-sequence boundary

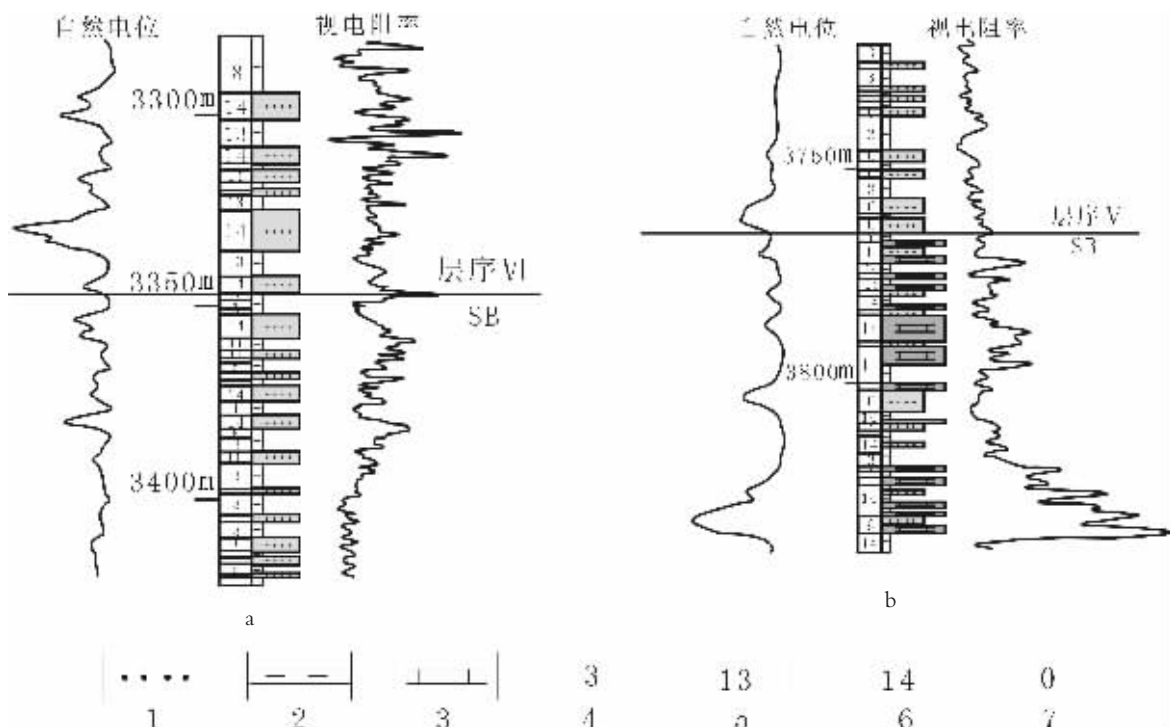


图 3 饶阳凹陷层序 V、VI 底界面岩性电性特征

SB-层序边界;a-宁 4 井;b-马 96 井;1-砂岩;2-泥岩;3-灰岩;4-红色;5-深灰色;6-浅灰色;7-灰白色

Fig.3 Lithologic-electric characters of the lower boundaries of sequences V and VI in the Raoyang subbasin

SB-Sequence boundary;a-Well Ning 4;b-Well Ma 96;1-Sandstone;2-Mudstone;3-Limestone;4-Red;
5-Dark gray;6-Light gray;7-Grayish white

2 层序地层分析及沉积体系研究

2.1 层序 I (E_{3s_4}) 体系域与沉积体系展布规律

层序 I 相当于沙河街组沙四段 (E_{3s_4}) 地层, 属于气候层序。 E_{3s_4} 发育时期, 饶阳凹陷构造活动强烈, 整体构造抬升, 区内沉积受区域同沉积边界献县断层控制, 除在南部孙虎、武强地区发育膏盐湖相, 沉积厚度大, 饶阳凹陷普遍发育冲积扇和河流相沉积, 滨浅湖相仅在主洼槽带的马西洼槽发育, 整体沉积物薄而稳定。盆地总体上表现出南低、中高、北深的地形特征。由于凹陷 E_{3s_4} 时期整体位于断陷分割早期, 可容沉积空间小, 初始湖泛面不易识别, 因此仅将层序 I 划分为低位+湖侵体系域与高位体系域。

低位+湖侵体系域的下边界是与下伏孔店组地层之间的平行不整合面 (T_7), 上边界为最大湖泛面, 由于气候干旱, 初始湖泛界面只在孙虎和马西洼槽等湖相环境中易于识别, 岩石类型主要为膏岩和灰色泥岩。低位体系域主要发育河流相、冲积相, 在凹陷东部近边界断层陡坡带发育有扇三角洲相。岩石类型以砂岩、砾岩夹红色、紫红色泥岩为主。

本时期生物化石以干旱气候的麻黄粉属—三孔脊榆粉组合为主要特征, 但仍有较丰富藻类发育, 以褶皱藻属、德弗兰藻属为主, 说明潮湿与干旱气候有交替^[9], 当气候由干旱向潮湿转化时, 即高位体系域时期, 降水量增加, 河流携带大量的沉积物, 沉积范围扩大, 沉积相类型仍以河流相为主, 仅在断层下降盘形成小范围滨浅湖亚相泥岩。

2.2 层序 II ($E_{3s_4}^F$) 体系域与沉积体系展布规律

层序 II 相当于沙三下亚段 ($E_{3s_3}^F$) 沉积。其底界为区域不整合面 (T_6), 界面上可见明显的不整合现象。顶界面为局部不整合面, 界面上可见上超点。由于 E_{3s_3} 下处于湖盆断陷初期, 滨浅湖相仍在北部马西洼槽和中南部杨武寨等局部深洼槽发育, 辫状河三角洲前缘、平原亚相为优势相, 以灰色、红色泥岩与浅灰色砂岩互层沉积为主, 顶部发育一段暗色泥岩到红色泥岩层, 西部物源区冲积扇发育, 东部马西等洼槽邻近断层根部发育水下扇相。

层序 II 低位体系域 (LST) 主要为 $E_{3s_3}^F$ 早期快速充填沉积的水下扇、冲积扇, 其在地震剖面上表现为具有丘状外形、内为杂乱反射的特征, 因此低位域发育范围比较局限。而 $E_{3s_3}^F$ 中上部暗色泥岩夹正旋回灰白色砂岩层划为湖侵体系域 (TST), 其在地震剖面上反射连续性较好, 沉积环境为湖盆扩张期的辫状河三角洲沉积; $E_{3s_3}^F$ 顶部地震反射连续性较好, 岩性揭示为稳定暗色泥岩段到红色泥岩层, 可划为高位体系域 (HST)。由于早期拉张断陷的构造作用, 凹陷具有明显的陡缓沉积的特点, 由陡坡向缓坡逐渐超覆减薄, 在蠡县斜坡缓坡一带以及任丘潜山至大王庄中央隆起带等地区层序 II 不发育。总体上层序 II 地层由北向南、由东向西逐层超覆层序 I 之上, 厚度北厚南薄、东厚西薄。

2.3 层序 III ($E_{3s_3}^H$) 体系域与沉积体系展布规律

层序 III 相当于沙三中亚段 ($E_{3s_3}^H$) 沉积, 此时的饶阳凹陷由于持续下沉, 湖域范围迅速扩大, 在这种沉积背景下, 马西洼槽、留路构造带、大王庄构造带, 以及元昌楼—杨武寨构造带湖盆基本连通, 接受了大段滨浅湖—较深湖相灰色泥岩, 均以滨浅湖相沉积为主。而西部、西南部以及南部的水系向湖区推进力度进一步加大, 在斜坡带和孙虎地区形成了较大范围和规模的辫状河三角洲体系。

该层序低位体系域下部主要为灰色砂岩与灰色泥岩不等厚互层, 属进积型三角洲前缘亚相分流河口坝、水下分流河道和分流河道间沉积环境, 沿东部各边界断层的下降盘, 在马西断层、留路构造带以及杨武寨东洼槽分布有小型水下扇体, 西部斜坡带西柳、赵皇庄等地区则发育以红色泥岩与浅灰色砂岩互层沉积为主的辫状河三角洲平原亚相。

湖侵体系域在饶阳凹陷地区多为辫状河三角洲前缘亚相沉积。杨武寨—元昌楼、留路至马西洼槽一带发育有滨浅湖沉积。岩性剖面表现为砂岩与灰色泥岩互层, 上部以块状深灰色泥岩为主, 夹薄层灰白色粉细砂岩, 局部发育有碳酸盐岩 (图 4)。

高位体系域以最大湖泛面为底界, 顶界则为沙三上亚段与沙三中亚段之间的界线。岩性主要以湖泊相深灰色泥岩, 在马西、饶阳南部发育有薄层泥灰岩和油页岩, 以及反映湖泊开始收缩的白云质灰岩为特征。

2.4 层序 IV ($E_{3s_3}^L$) 体系域与沉积体系展布规律

层序 IV 相当于传统的沙三段上亚段 ($E_{3s_3}^L$) 地层, 由于区域振荡构造作用的剧烈, 东西南北等周缘隆起在断块翘倾作用下, 新近纪前不同时代的地层强烈隆升, 遭受剥蚀, 大量粗碎屑物向湖盆伸展, 在凹陷陡带和斜坡发育有扇三角洲和辫状河三角洲沉积体系, 在洼槽带仍以滨浅湖相为主。

本层序低位体系域由于物源丰富, 平面上分布范围较广, 厚度较大, 最厚达 200 m, 在近物源区主要表现为红色泥岩段夹砂岩, 属辫状河三角洲平原亚相的辫状河道和辫状河道间沉积。远离物源或局部低洼地带, 沉积以暗色泥岩夹灰色砂岩为主, 属辫状河三角洲前缘亚相水下分流河道、分流河口坝和分流河道间沉积。

对于层序 IV 来说, 最大湖泛面在测井曲线和地震剖面上容易识别, 岩性为一套相对稳定的“特殊岩性”沉积 (凝缩段) (T_5), 主要表现为一套暗色油页岩, 可作为湖侵体系域的顶界面, 位于 $E_{3s_3}^L$ 上部, 可全区对比。湖侵体系域的岩性组合主要为深灰色泥岩、生物灰岩和油页岩与灰色砂岩不等厚互层, 属滨浅湖相沉积。而西部斜坡带以及中央隆起带等高位地区以三角洲平原、三角洲前缘亚相沉积为主。

由于沙三晚期, 整个凹陷开始抬升, 较大面积的辫状河三角洲以及粗碎屑扇体代替了滨浅湖相沉积, 在凹陷中南部地区高位体系域以最大湖泛的特殊岩性段为底界, 向上由灰色泥岩、泥灰岩夹少量砂岩迅速过渡为紫红色泥岩和灰色砂

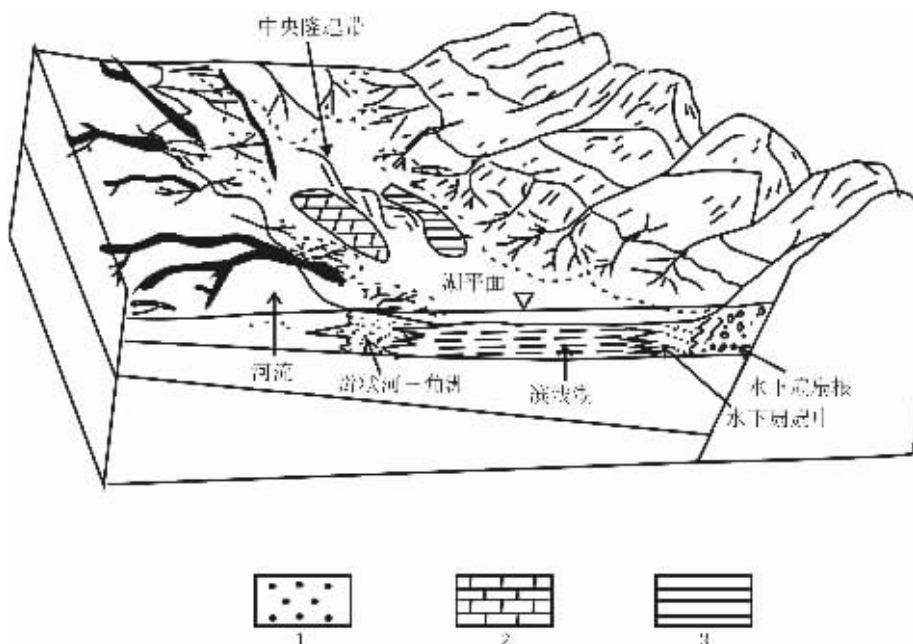


图 4 饶阳凹陷层序Ⅲ低位/湖侵体系域沉积体系模式图

1—辫状河三角洲、水下扇砂岩;2—碳酸盐岩;3—湖相泥岩、油页岩

Fig.4 Sedimentary system model of the lowstand and lake transgressive systems tract of sequence III in the Raoyang subbasin

1-Braided delta and subaqueous fan sandstone;2-Carbonate rocks;3-Lacustrine mudstone and oil shale

岩互层,代表了由湖泊相→三角洲前缘亚相→三角洲平原亚相的沉积演化过程。而北部地层红色泥岩不发育,仍属于三角洲前缘—湖泊相沉积体系。

2.5 层序 V (E_{3s2}) 体系域与沉积体系展布规律

层序 V 相当于沙河街组二段 (E_{3s2}) 沉积,是在沙三晚期逐渐抬升、区域大规模水退的背景上沉积的。地形较为平坦,地层厚度薄而稳定,一般为 200~400m。由孢粉组合麻黄、芸香属等喜热植物含量高以及代表干热气候的褶皱藻属的连续大量出现,可以推测出沙二期属热带、亚热带干热气候条件^[6],所以,层序 V 为气候层序。与构造层序一样,气候层序的发育也受湖平面周期性变化的控制,控制地层发育的主要因素是气候的变化^[3,7]。由于气候层序一般在干旱条件下形成,所以沉积厚度较薄,实际上沙二段与其他层序相比是最薄的一个沉积层序。除在局部深洼槽带,其余各构造带地震剖面上不易对不同体系域进行识别。

层序 V (E_{3s2}) 顶界以红色泥岩段与沙一下段的特殊岩性相区别,底界以砂岩集中发育并夹红色泥岩与沙三上亚段的灰色泥岩相区别。沉积体系以辫状河三角洲相和河流相沉积为主,在饶阳凹陷的东、西两侧尤为发育,西侧的辫状河三角洲受西部太行山水系控制,在斜坡带形成分布广泛的,彼此叠加的辫状河三角洲群,以辫状河三角洲平原发育为特征。

湖泊相仅在马西、河间南洼槽、留路构造带以及饶南—孙虎局部深洼处发育(图 5)。

2.6 层序 VI (E_{3s1}) 体系域与沉积体系展布规律

层序 VI 相当于沙河街组一段 (E_{3s1}),经过沙二期干热气候条件和强烈区域抬升构造运动后,进入了典型的断坳沉积阶段。早期沉积时,古地形平坦,沉积厚度分布稳定,湖域面积大,平面上具有广湖盆、浅水体特点,属滨浅湖环境。西部、西南部则由于平缓斜坡背景下,发育辫状河三角洲及沿岸滩坝等湖盆边缘相组合。沙一上亚段由于区域抬升以及盆地西部、北部和南部边缘凸起的不断抬升,盆地湖域范围明显缩小,仅在北部雁翎、马西以及河间,南部至留路一带发育滨浅湖相,大部分区域沉积辫状河三角洲平原亚相,且由于物源充分,厚度较大,最厚可达 600m。

由于沙一段早期的断坳作用,使得湖泛迅速,低位体系域与湖侵体系域不易区分,使层序 VI 可以划分为低位——湖侵体系域、高位体系域和湖退体系域。低位——湖侵体系域为一套暗色泥岩与砂岩互层,底界面为 E_{3s1} 底部砂岩底,顶界面为沙一段内部间断面所限定的地层单元,即特殊岩性 (T₁) 底部,属辫状河三角洲前缘亚相分流河道、分流河口坝沉积。高位体系域顶界为特殊岩性段中油页岩的顶面,岩性以 E_{3s1} 的特殊岩性段和暗色泥岩夹薄层砂岩段为特征,是一个大规模湖泛

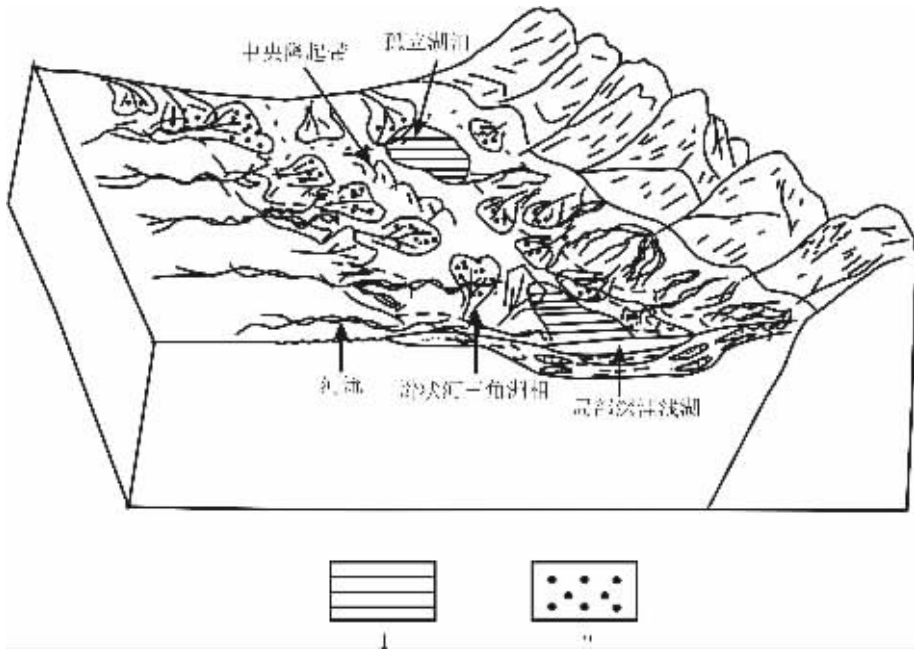


图5 饶阳凹陷层序V沉积体系模式图

1—浅湖相泥岩;2—辫状河三角洲砂岩

Fig.5 Sedimentary system model of sequence V in the Raoyang subbasin

1—Shallow lake shale;2—Braided delta sandstone

形成的加积序列。湖退体系域主要为红色泥岩夹砂岩组合,为辫状河三角洲平原环境下形成的进积式砂岩发育段沉积。

3 层序地层格架内的油气聚集规律

在层序地层中,由于基准面沉降和可容空间变化的差异,层序在形成的不同时期和在不同的沉积环境中表现出不同的沉积特征。因此,不同阶段层序的沉积充填对油气形成和聚集有不同的作用。

3.1 低位体系域油气藏类型及聚集规律

低位体系域(LST)在油气勘探中有特殊的意义,LST砂体发育于湖水收缩、湖平面较低时期,砂体向盆底方向推进距离远,常常伸入湖盆生油区,与生油层交互沉积,具有油源近、运输通畅的特点。同时,由于LST的各种扇体和水道沉积物颗粒粒度适中,且经过了较长距离的搬运和分异作用,因而LST时期各储集砂体物性较好,在LST之上的湖泛泥岩封盖下,易于形成岩性油藏。

不同层序内的低位域发育有不同的沉积体系,并发育有多种不同类型的岩性圈闭,例如层序IV留路构造带的留西台阶带留80井区低位域就是由横断断层遮挡的断层—岩性上倾尖灭油藏(图6-a)。而在LST的顶部,三角洲前缘的前端,以重力流形式可形成独立的浊积扇砂体,易于形成透镜状岩性油藏。在三角洲前缘砂泥岩相变带中,地层单元向一侧上

倾,易与同期沉积的泥岩构成指状交互的相变带,使三角洲前缘砂体构成上倾尖灭圈闭。

3.2 湖侵体系域油气藏类型及聚集规律

湖侵体系域(TST)发育于可容空间快速增大的时间段,由可容纳空间(以下简称A值)和沉积物补给量(以下简称S值)的关系可知^[8],在较为充足的物源条件下($A/S \geq 1$),易形成有利的储层,TST可以提供良好的生油岩,主要形成水进型三角洲,远端发育浊积扇沉积及较深湖泥岩沉积,层序充填以向凹陷边缘方向超覆为主,发育退积式准层序组,且由于TST发育的各类砂体与内部湖相泥岩形成互层,从而配置成为良好的生、储、盖组合。

由于TST易形成砂泥岩互层和向湖岸的上超,上倾尖灭砂体可以形成有利的地层圈闭。地层超覆、岩性尖灭圈闭主要分布于TST底部,例如在饶阳凹陷留西地区,湖侵体系域底部的扇三角洲退积砂体形成了上倾和下倾尖灭油藏(图6-b)。

3.3 高位体系域油气藏类型及聚集规律

高位体系域(HST)形成于可容空间较大时期,是烃源岩发育的主要时期。密集段是在水深最大时期形成的沉积地层,在陆相断陷盆地中往往为一套深湖—半深湖亚相的泥岩。密集段泥岩分布连续而且广泛,有机质类型好,丰度高,生油潜力大,既是主力生油层,也可以作为湖侵体系域砂体的盖层^[9]。

高位体系域中包含的湖退体系域,是构造沉降小于沉积

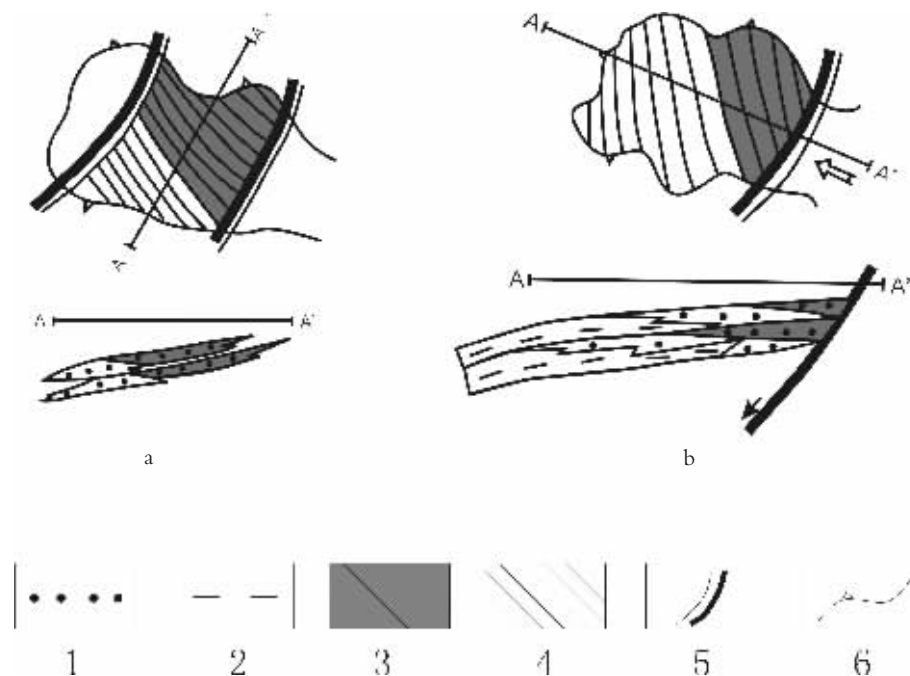


图 6 饶阳凹陷留西地区体系域油藏模式示意图

a—断层-加积岩性上倾尖灭油藏模式; b—湖侵体系域退积砂体油藏模式; 1—砂岩; 2—泥岩; 3—含油层; 4—水层; 5—断层; 6—砂岩尖灭线

Fig.6 Schematic oil reservoir models of system tracts in the Liuxi area, Raoyang subbasin

a—Fault-accretionary lithologic updip pinch-out oil reservoir model; b—Oil reservoir model of retrograded sand bodies of lacustrine transgressive systems tracts; 1—Sandstone; 2—Mudstone; 3—Oil-bearing bed; 4—Water-bearing bed; 5—Fault; 6—Sandstone pinch-out line

物供给速率时, 沉积物不断向湖盆中心推进过程中形成的。发育有辫状河三角洲前缘砂体、水下分流河道砂是其主要的储集类型。前缘砂体不断下超在生油岩之上, 当湖盆内存在局部隆起时, 砂体形成砂岩上倾尖灭岩性油气藏。而在湖盆边缘部位, 三角洲沉积体系不断向湖盆内进积, 向上形成顶超, 若顶部被后期沉积的泥岩覆盖, 或由于沉积间断面形成不整合面, 则可形成地层不整合遮挡油气藏。如果上面没有另一简单断拗层序下部厚层泥岩所覆盖, 很有可能造成油气的漏失。

4 结论

饶阳凹陷古近系沙河街组可划分出 6 个三级层序, 每个层序有不同的主控成因, 为不同的层序类型——构造层序和气候层序。层序 II、层序 III、层序 IV、层序 VI 为构造层序, 这是因为其沉积时为敞流断陷湖盆, 边界断层的活动决定其沉积空间; 层序 I、层序 V 沉积时基本为闭流断陷湖盆, 控制地层发育模式的主要因素是气候的变化, 为气候层序。同时还对每一层序内部的沉积特点和沉积体系进行了分析, 不同的湖盆发育阶段具有不同的沉积体系, 指出了层序发育对沉积体系的控制作用。还对层序内不同体系域的油气藏类型和油气聚集规律进行了研究, 指出了各体系域可能发育的最有利的

油气藏类型。这一结论对在断陷湖盆内预测有利圈闭的位置, 指导油气勘探具有十分重要的意义。

参考文献 (References):

[1] 纪友亮, 张世奇, 张宏. 层序地层学原理及层序成因机制模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.1~30.
Ji Youliang, Zhang Shiqi, Zhang Hong, et al. Principles of Sequence Stratigraphy and Models of Sequence Formational Mechanism [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.1~30 (in Chinese with English abstract).

[2] 蔡希源, 李思田, 陈开元, 等. 陆相盆地高精度层序地层学: 隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践. 基础理论篇 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.45~87.
Cai Xiyuan, Li Sitian, Chen Kaiyuan, et al. The Basic Principles, Volume, High-Resolution Sequence Stratigraphy of Continental Basins, Basic Ideas, Methodology and Practice for Exploring for Subtle Oil Pools [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.45~87 (in Chinese with English abstract).

[3] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.64~75.
Ji Youliang, Zhang Shiqi. Sequence Stratigraphy of Lacustrine Basin in Continental Fault Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry

- Press, 1996.64~75 (in Chinese with English abstract).
- [4] 操应长, 姜在兴. 陆相断陷湖盆层序地层单元的划分及界面识别标志[J]. 石油大学学报, 1996, 20(4):1~5.
Cao Yingchang, Jiang Zaixing. Classification and indentification of sequence stratigraphic units in rift lake basin [J]. Journal of the University of Petroleum , China , 1996, 20(4):1~5 (in Chinese with English abstract).
- [5] 屈红军, 李文厚, 苗建宇, 等. 东濮凹陷濮卫洼陷盐岩发育规律及成因探讨[J]. 中国地质, 2003, 30(3):309~314.
Qu Hongjun, Li Wenhou, Miao Jianyu, et al. Development pattern of salt rock in the Puwei subdepression of the Dongpu depression and their genesis[J]. Geology in China, 2003, 30(3):309~314 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杜金虎, 邹伟宏, 费宝生, 等. 冀中坳陷古潜山复式油气聚集区[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 181~184.
Du Jinhu, Zou Weihong, Fei Baosheng, et al. The Multiple Hydrocarbon Accumulation Zone Oil Pool in Buried Hills of Jizhong Depression [M]. Beijing: Science Press, 2002. 181~184 (in Chinese with English abstract).
- [7] 许淑梅, 翟世奎, 李三忠, 等. 歧口凹陷滩海区古近系层序地层分析及沉积体系研究[J]. 沉积学报, 2001, 19(3):363~367.
Xu Shumei, Zhai Shikui, Li Sanzhong, et al. Qikou Sag faulted depression sequence stratigraphy sedimentary system [J]. Acta Sedimentologic Asinica, 2001, 19(3):363~367 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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[J]. 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 [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2):89~97 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张世奇, 纪友亮. 东营凹陷古近系湖相密集段特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1997, 21(2):4~7.
Zhang Shiqi, Ji Youliang. Characteristics of paleogene lacustrine of condensed intervals in Dongying sag [J]. Journal of the University of Petroleum , China , 1997, 21(2):4~7 (in Chinese with English abstract).

Sequence stratigraphy and sedimentary system of the Paleogene Shahejie Formation in the Raoyang subbasin

NI Chao¹, JI You-liang²

(1. Hangzhou Institute of Petroleum Geology, Hangzhou 310023 Zhejiang, China;

2. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Siping Road 200092 Shanghai, China)

Abstract: The sequence stratigraphy and sedimentary system of the Paleogene Shahejie Formation of the Raoyang subbasin have been studied by employing seismic, well log and drilling core data. On the basis of the identification and correlation of sequence stratigraphic units, the Shahejie Formation has been divided into six third-order sequences and 14 system tracts. The paper analyzes the main cause of formation of each sequence in detail and sums up different characteristics of various sequences. In addition, the sedimentary characteristics and sedimentary systems in each sequence are analyzed and the controlling effects of sequence development on the sedimentary systems are pointed out. During the study, the authors also studied the types of oil-gas reservoirs and characteristics of oil-gas accumulation in different system tracts of a sequence, and on that basis, they indicate the most favorable oil-gas reservoir types possibly developed in various system tracts.

Key words: Raoyang subbasin; sequence stratigraphy; sedimentary systems; Paleogene; Shahejie Formation

About the first author: Ni Chao, male, born in 1976, master, mainly engages in sequence stratigraphy; E-mail: nichao0606@163.com.