

沾化凹陷孤北—桩海地区沙河街组层序格架及充填

谭先锋¹, 田景春², 陈 兰¹, 孟万兵², 林小兵², 张小兵²

(1 重庆科技学院 石油工程学院, 重庆 4013312;

2. 成都理工大学 沉积地质研究院, 成都 610059)

摘要: 通过对孤北—桩海地区沙河街组的岩心观察、地震剖面解释、测井资料分析, 研究了沙河街组层序划分和特征, 划分出了 3 个长期旋回和 6 个中期旋回。在层序划分的基础上, 进行了全区的地层格架的建立及层序充填, 从中可以看出各层序在不同地区发育程度不同, 这是由于古地理背景、后期构造抬升和剥蚀程度的不同造成的, 不同时期的中期旋回在不同地区的发育特征不同。从层序充填上, 从湖盆边缘到中央充填了一套砂砾岩—深湖泥岩, 层序演化上从 SQ1-SQ4-SQ6 为一套具有砂砾结构的冲积扇—三角洲—湖泊—三角洲的充填旋回。

关键词: 孤北—桩海地区; 沙河街组; 岩石学特征; 层序划分; 层序特征; 层序充填

doi: 10.3969/j.issn.1001-1412.2009.03.013

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2009)03-0249-06

0 引言

孤北—桩海地区位于渤海湾盆地东南部济阳凹陷的沾化凹陷北部。北以埕北断层与埕北潜山相接, 西以孤西断层和埕子口凸起相邻, 东接垦东—青坨子凸起, 南以孤北断层和孤岛凸起接壤^[1-3] (图 1)。其区域构造背景和盆地发育演化的动力学背景完全受控于渤海湾盆地乃至西太平洋构造域整体演化的动力学特征。

从勘探现状看, 本区各个层系均有探井钻遇油层。沙河街组三角洲、浊积扇砂体为重要的储层。因此, 对沙河街组储层的研究有重要意义。本文在前人研究的基础上, 对区内沙河街组的层序划分及各层序特征进行了详细研究, 为该地区的层序和等时格架对比提供了依据, 以指导本区的油气勘探工作。

1 岩石学特征

济阳凹陷中沙河街组分布广泛、厚度较大, 与下

伏孔店组为连续沉积^[1]。岩性上可分为 4 段, 各段

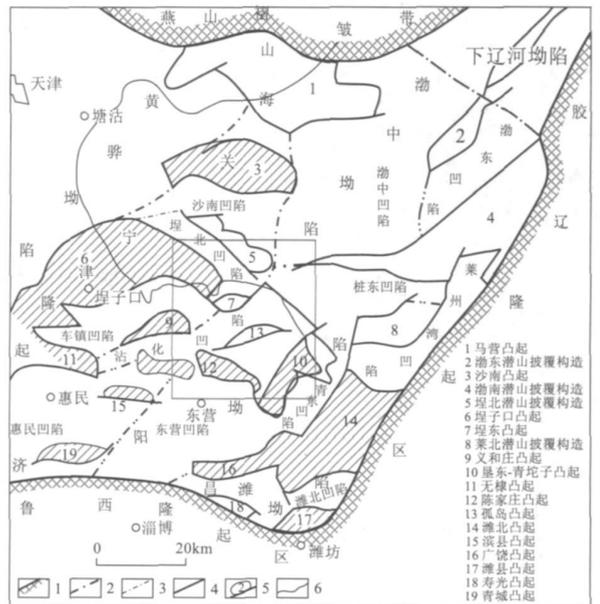


图 1 孤北—桩海地区区域构造位置图
Fig. 1 The regional tectonic position of the Gubei-Zhuanghai

收稿日期: 2008-06-22

作者简介: 谭先锋(1982-), 男, 重庆万州人, 讲师, 硕士, 毕业于成都理工大学沉积学专业, 现在重庆科技学院任教, 主要研究方向为沉积地质学。E-mail: xianfengtan8299@163.com

在岩性和厚度上从凹陷中部向边缘都有不同程度的变化。①沙一段(E_{s1}): 主要为灰-深灰-灰褐色泥岩、油泥岩、碳酸盐岩和油页岩; 下部为泥岩、油泥岩或油页岩夹砂质灰岩、白云岩, 上部为灰-灰绿色泥岩、油泥岩, 夹钙质砂岩和粉砂岩, 与下伏地层为假整合接触; ②沙二段(E_{s2}): 为灰绿色含鲕砂岩、灰色泥岩和砂岩、含砾砂岩互层, 夹碳质泥岩; ③沙三段(E_{s3}): 为灰-深灰色泥岩夹砂岩、油页岩及碳质泥岩; ④沙四段(E_{s4}): 紫红-蓝色泥岩夹棕-棕褐色粉砂岩、灰白色盐岩石膏层、油页岩和砂质泥岩和薄层碳酸盐岩。

2 层序划分

在前人研究的基础上^[4-7], 本次研究对地震剖面

的地层进行识别和划分, 划定了中期旋回的层序界面, 结合区内构造运动及演化, 根据各级地震层序界面以及钻/测井剖面上转换面的识别, 在沙河街组识别出 SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7 等层序界面。将本区沙河街组层序进行了划分: 根据不同级次基准面旋回等时性和可比范围, 并结合研究的实际需要, 在基准面旋回划分中只划分到中期基准面旋回, 从而将沙河街组划分为 3 个长期和 6 个中期基准面旋回层序(图 2)。考虑到实际的需要, 也为了便于理解和应用方便, 本次研究层序的命名均采用与传统组、段名称大体一致的命名方案。将沙河街组 3 个长期旋回自上而下命名为 $S4, S3-S2^{\pm}$ 和 $S2^{\pm}-S1$; 将沙河街组 6 个中期旋回自上而下命名为 SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 和 SQ6, 分别对应地层为 $S1-S2^{\pm}, S2^{\pm}-S3^{\pm}, S3^{\pm}, S3^{\pm}, S3^{\pm}$ 和 $S4^{\pm}$ 。

年代地层	岩石地层系统			综合年龄	高分辨率层序地层划分			层序界面	中期旋回名称	层序界面特征	地震反射特征	湖盆演化阶段		对应构造运动
	组	段	砂层组		超长期旋回	长期旋回	中期旋回					演化阶段	构造带	
E_3	东营组	东三段	VI	32.8	▲	▲	▲	SB7	上超	T_2	衰退期	坳陷期		
	沙河街组	沙一组	S_1					37.0	▲	▲	▲	SQ6		削截上超
沙二组		S_2^{\pm}	上超	T_3										
		S_2^{\pm}		SB5	上超	T_3	收敛期					断陷III期		
沙三段		S_3^{\pm}	削截上超		T_4	深陷期								
		S_3^{\pm}	SB4	项超	T_6									
E_2		沙河街组	沙四段	S_4^{\pm}	42.0	▲	▲					▲	SB3	削截
	S_4^{\pm}			SB2				上超	T_7					
	孔店组		孔一段		50.5	▲	▲	▲	SB1	上超	T_7	断陷拉张初期	断陷I期	
									54.9					

图 2 孤北-桩海地区下第三系沙河街组层序划分

Fig. 2 Sequence division of Tertiary shahejie formation in Gubei-Zhuanghai area

3 层序界面及层序特征

3.1 SQ1(E_{s4}^{\pm})

在层位上相当沙四段下段地层, 层序底界面(SB1)为沙四段与孔店组的分界面, 在地震剖面上相当于 T_7 标准反射层, 可以见到削截反射结构(图 3), 层序顶界面在地震上可见上超反射结构(图 4)。岩性上孔店组为紫红色钙质砂、泥岩组合, 沙四下为紫色砂泥岩组合含膏盐少或无。根据王德坪等(1994)的研究, 沙四段下亚段含火红美星介和萝卜螺, 而孔一段则集中出现湖花介和潜江扁球轮藻等

化石。电性上孔店组电阻率曲线为整体高幅背景上的局部尖刀状, 沙四下为整体高幅的密集锯齿状。该层序主要由紫色砂泥岩互层夹含膏砂岩和砂砾岩组成, 为一套冲积扇和滨浅湖相沉积, 砂体主要为滩坝、砂坝及席状砂。

3.2 SQ2(E_{s4}^{\pm})

层位上相当于沙四段上亚段及原 13 砂组地层。层序底界面(SB2)为沙四下层序的顶界面, 为一沉积作用的转换面(图 4)。在地震反射上是中高振幅、强连续的强轴, 具有上超下削反射结构, 横向分布稳定。据钻井资料, 该反射层所对应的井段, 其岩性为深灰色泥岩与灰褐色油页岩不等厚层。传统分层中 T_6' 反射层被认为是沙三段的底界(图 5), 有沙

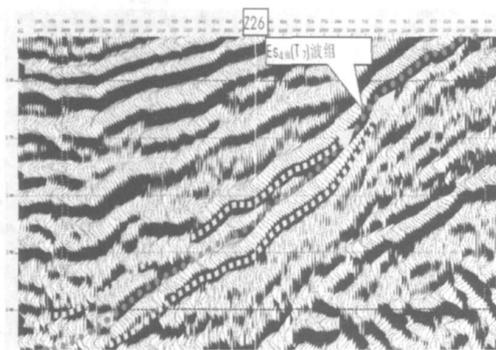


图 3 Es_4^B 波组上超下削反射结构
(GD-crossline 1889 过 Z26 井)

Fig. 3 The upper overlap and lower intercept reflection configuration of the Es_4^B composite wave

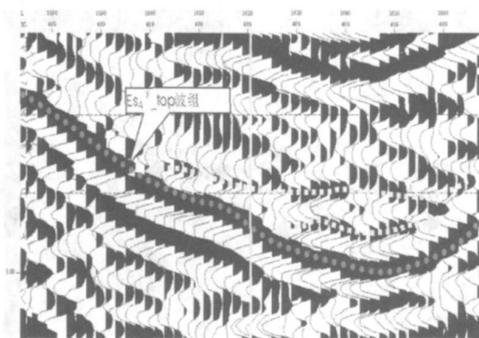


图 4 $Es_4^F_top$ 波组上超反射结构特征
(ZLP-crossline 489)

Fig. 4 The upper overlap reflection configuration of the $Es_4^F_top$

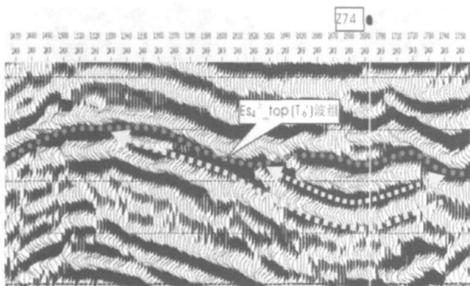


图 5 $Es_4^U_top$ 波组截断反射结构
(ZLP-crossline 249 过 Z74 井)

Fig. 5 Intercept reflection configuration of the $Es_4^U_top$ composite wave

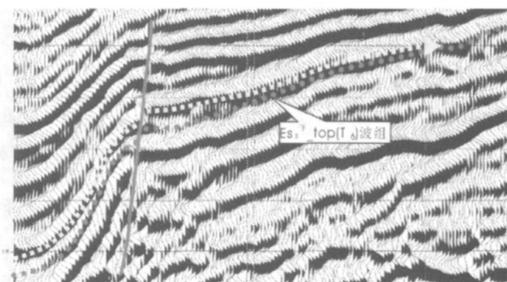


图 6 $Es_3^F_top$ 波组上超反射结构
(GD-crossline 1850)

Fig. 6 Upper overlap reflection configuration of the $Es_3^F_top$ composite wave

式准层序组, 界面之上则以灰色泥岩、深灰色泥质白云岩和粉砂岩、砂岩等为主夹少量紫红色泥岩沉积, 形成退积式准层序组。

3.3 SQ3(Es_3^F)

该层序相当于沙三下段下部地层, 层序底界面(SB3)为沙三段与沙四段之间的区域不整合面, 在地震剖面上与 T_6' 反射层对应, 在凹陷的边缘斜坡和凹陷内部的部分凸起上, 层序底界面为一角度不整合界面, 地震上界面之上发育下切谷, 界面之上表现为与下伏地层的削截特征(图 5)。界面之上为深灰色砂岩与泥岩互层沉积, 在孤北洼陷南斜坡带表现为深灰色泥岩直接覆盖在沙四下进积的扇三角洲砂砾岩之上, 向上形成退积式或加积式准层序组; 界面之下在凹陷的大部分地区为下第三系沙四段地层, 岩性为灰-深灰色泥岩、灰岩、灰质泥岩、油泥岩以及砂砾岩等, 界面位于进积叠加样式与退积或加积叠加样式转换处。在地震上具有中弱振幅、连续性中-差, 横向稳定性较差的特点, 由于层序整体较薄, 该波组在研究区大范围内部都以单同相轴显示, 只有在相对较低的凹陷内有上超反射结构(图 6)。上升与下降的转换面, 即最大洪泛面在钻井剖面上表现为大段的油泥岩、泥岩互层段顶部厚层的深灰色泥岩段。该层序整体呈对称特征, 在研究区以大段的半深湖-深湖相的深灰-褐灰色油泥岩与泥岩互层为特征, 近边部的陡坡、缓坡部位发育有砂砾岩、砂岩沉积。陡坡带厚度大, 缓坡带变薄, 地层向凸起上超覆, 部分地区遭受剥蚀, 使其直接与沙二上一沙一段地层形成角度不整合接触。

四的地方同时是沙四上长期层序的顶界面。无沙四时为 TR 波组。在钻/测井剖面上表现为一套呈加积叠加样式与退积叠样式的转换处。从岩性来看, 界面之下为紫红色泥岩、钙质粉砂岩沉积, 形成加积

3.4 SQ4(Es_3^U)

该层序相当传统分层中的沙三中段地层, 层序底界面(SB4)相当于沙三中与沙三下的界面, 在地

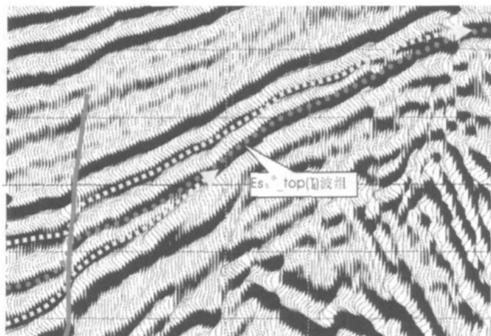


图7 $Es_3^M_top$ 波组上超下削反射结构
(GD-crossline 1700)

g. 7 The upper overlap and lower intercept reflection configuration of the $Es_3^M_top$ composite wave

震上相当于上 Es_3^F (T_6) 波组, 在盆地的大部分地区是一组高振幅、强连续的地震反射特征。在凹陷的内部基本上为一连续沉积界面, 在洼陷边缘地震剖面上见上超反射结构(图6), 钻井剖面上表现为扇三角洲前缘水下分流河道沉积, 测井曲线也表现为明显的突变特征。顶部界面在不同位置特征差别较大, 地震剖面上表现为削截面或上超面的特征(图7), 具有强振幅、连续性好的特点, 有些部位(多为研究区北部)其上缺失沙三上, 直接与沙二上-沙一地层接触, 地震剖面上表现为削截面或上超面。最大洪泛面表现为大段的厚层油泥岩、泥岩互层段。该层序在凹陷中整体以泥质岩发育夹薄砂层为特征, 凹陷边缘局部上升半旋回砂砾岩发育, 呈典型的退积叠加样式。

3.5 $SQ_5(Es_3^F - Es_2^F)$

大致相当于传统分层的沙三上至沙二下段地层, 在研究区北部分布比较局限, 研究区北部(如埕北凹陷等)不发育, 在地震剖面上难以识别, 向南逐渐发育, 在桩西及孤北地区发育。底界面(SB5)为沙三中层序的顶界面(图7)。钻井剖面上为进积与退积作用的转换面, 主要表现为一种加积、进积式准层序组合的结束, 或者表现为一套加积式或退积式准层序组合的开始。界面之上为一套砂岩、泥岩互层组合。层序顶界面(SB6)相当于济阳拗陷下 T_2' 地震反射界面, 在地震剖面上局部表现为上超特征(图8), 具有中振幅、连续性较好的特点。总体上为一平行不整合面, 局部可见顶超现象, 代表了一种时间不长且与沉积作用差不多同时发生的过路作用和很小的冲蚀作用, 主要出现在三角洲、扇三角洲沉积的顶积层发育地区。最大洪泛面为厚层的灰-深灰

色的泥岩段。上升半旋回以砂岩或灰、深灰色泥岩为主夹薄砂层。下降半旋回多为砂泥互层, 多呈现为明显的进积叠加样式。

3.6 $SQ_6(Es_2^F - Es_1)$

相当于传统岩性分层的沙二上-沙一段。层序底界面为沙三上-沙二下层序顶界面, 为一区域性不整合面, 相当于济阳拗陷下 T_2' 地震反射界面(图8)。钻井剖面上多为较厚层砾状砂岩的底部界面, 局部为砂岩进积与退积叠加样式的转换面; 顶界面在地震剖面上表现为上超面(图9), 钻井剖面上特征不明显, 多为泥质岩(泥岩、油泥岩、灰质泥岩)内部的界面, 在GR测井曲线上多表现为GR值由低变高的突变面。该层序以发育上升半旋回为主, 整体处于水进的区域背景, 厚度不大, 但在研究区分布范围却很广。下部以砂岩、砾状砂岩为主, 向上局部地区发育碳酸盐岩, 上部整体以泥质岩为主。

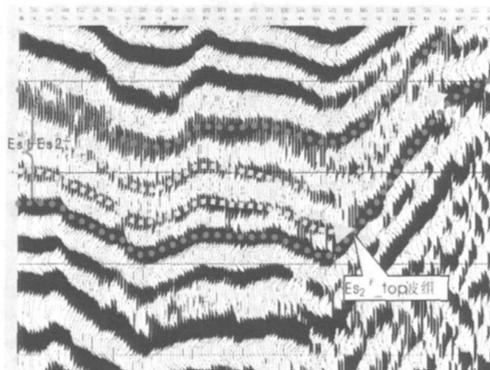


图8 $Es_2^F_top$ 波组之上上超反射结构
(ZLP-inline 1232)

Fig. 8 The upperlap reflection configuration of the upper $Es_2^F_top$ composite wave

4 层序格架及充填

孤北一桩海地区东营组为该地区油气勘探的主要层位之一, 不少学者在该地区做过工作, 本次在前人研究的基础上^[1-7], 对该地区沙河街组进行层序地层研究。为了更好地揭示该地区东营组层序的发育、展布规律。本次研究开展了孤北一桩海地区及邻近地区的沙河街组层序格架及充填的研究。分别建立了南北向和东西向的层序地层格架模型及层序充填样式(图9, 图10)。

从图10和图11可以看出, 沙四下与沙四上层序发育的时期为盆地陷陷早-中期, 沉积侵害性强,

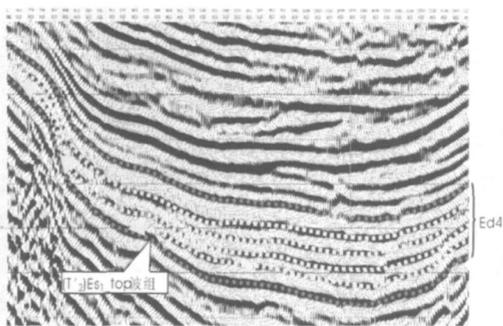


图 9 (T₂)Es_{1_top} 波组之上上超反射结构
(fyt-crossline 893)

Fig. 9 The upperlap reflection configuration of the upper (T₂)Es_{1_top} composite wave

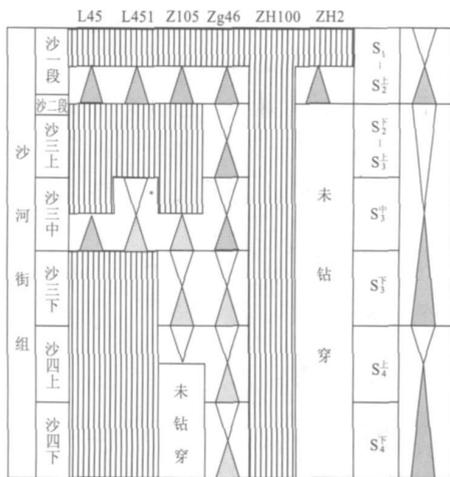


图 11 桩海地区沙河街组—东营组
东西向层序地层格架

Fig. 11 E-W Sequence framework of Shaheji formation in Zhuanghai(west to east)

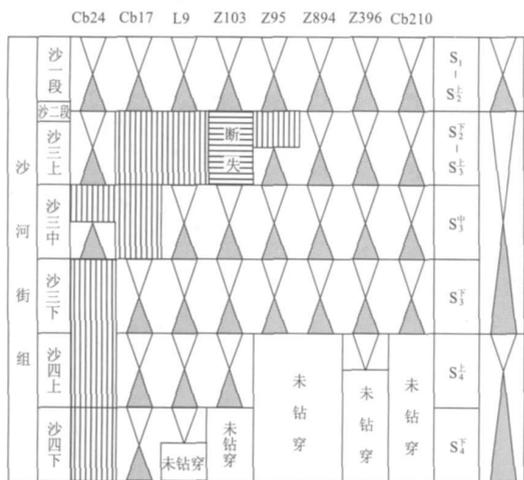


图 10 孤北—桩海地区沙河街组南北向层序地层格架
Fig. 10 S-N Sequence framework of Shaheji formation in Gubei-Zhuanghai(south to north)

沉积充填作用主要发生在北部的埕北凹陷和孤北凹陷等地区。沙四段早期为济阳裂谷盆地发育的初期阶段,其特点是在平缓基底基础上发育了分割性的小湖盆,气候从极干旱转向温暖湿润,研究区从早到晚经历了干旱盐湖沉积、半咸水的半深湖相暗色泥岩夹油页岩沉积等。沙四上层序沉积期,研究区处于断陷继续发育的时期。这个时候,随着气候逐渐湿润,湖面大大扩张,研究区主要发育浅湖—滨浅湖相及冲积扇沉积,形成了凸起合围湖盆的沉积格局,如桩古 46 井发育了较为完整的沙河街组层序。大部分地区沙四层序并不发育,特别是在 cb24 井区处于剥蚀状态。在孤北凹陷,沙四下层序东西向剖面上表现为东厚西薄的楔状,层序底界为沙四段与孔店组的分界(T₇ 反射层),顶界为一局部可连续追踪的同相轴。上升半旋回为干旱气候环境下的洪积扇

— 冲积平原— 盐湖沉积,沉积中心位于北部和东部,地层厚度东厚西薄、北厚南薄。盆地东部边缘发育洪积扇沉积,向盆地内部发育辫状河,盆内局部地区还可发育膏质砂岩。上升半旋回时逐渐加深,盆地内部发育灰色夹红色滨浅湖相沉积,孤北凹陷中央隆起发育砂质滩坝沉积。在盆地的东西边缘可能发育小型扇三角洲。沙四上层序沉积时期,沉积中心仍位于盆地的东部,但随着埕东断层的活动,西部地层也有所加厚,剖面上层序表现出中间薄、两边厚的特征。上升半旋回在凹陷的东西斜坡带发育扇三角洲或近岸水下扇,中央隆起附近发育滨浅湖滩坝沉积,在东次洼深水部位发育浅湖—深湖相泥岩沉积。上升半旋回发育不全,在中央隆起带上可能部分被剥蚀,而在中央隆起带两侧,发育滩坝沉积,东、西次洼中心,发育浅湖—深湖相钙质泥岩,而边界断层附近仍发育扇三角洲沉积。

沙三期是盆地的深湖发育期,各沉积单元分割性强,近凸起部位的井多缺失沙三段沉积(图 10、图 11);总体来说,整个地区充填了一套三角洲—湖泊沉积。近凹陷部位相发育,旋回对称性较好,总体表现为南部较北部发育。埕北凹陷沙三下层序在近凹陷中心发育,旋回对称性好,而近凹陷边缘则缺失(图 10、图 11)。沙三中较沙三下分布范围明显扩大,整体也以对称旋回为主。沙二上—沙一层序则整体分布比较稳定。孤北洼陷沉积中心由东向西迁移,沉积范围明显扩大,湖相沉积广泛上超斜坡和凸起区,几乎覆盖了整个地区,大部分地区沙三段 3 个

层序发育比较完全,以发育深湖沉积层序为主,由深湖泥质沉积、扇三角洲、近岸水下扇、湖底扇等深湖沉积相组成。埕北斜坡带及桩西地区沙三上层序不发育,除凸起主体部位外沙二上-沙一层序均有发育,直接覆于沙三中之上,但整体厚度不大,总体上有自南而北厚度增大的趋势。由于其处于二级层序的初始期,沙二上-沙一层序不对称特征明显,以发育上升半旋回为主。

5 结论

(1)沙河街组可分为3个长期旋回层序和6个中期旋回层序,分别命名为SQ1—SQ6。中期旋回层序界面分别命名为SB1—SB7,并研究了各个层序的基本特征。

(2)在层序划分基础上研究了各中期旋回分布特征,S1—S2[±]层序以发育上升半旋回为主,在全区分布很广;S2[±]—S3[±]层序升半旋回以砂岩或灰-深灰色泥岩为主夹薄砂层。下降半旋回多为砂泥互层;S3[±]层序在凹陷中整体以泥质岩发育夹薄砂层为特征,凹陷边缘局部上升半旋回砂砾岩发育,呈典型的退积叠加样式;S3[±]层序整体呈对称特征,在研究区以大段的半深湖-深湖相的深灰-褐灰色油泥岩与泥岩互层为特征;S4[±]层序整体呈对称分布;S4[±]层序主要由紫色砂泥岩互层夹含膏砂岩和砂砾

岩组成。

(3)孤北-桩海地区沙河街组层序发育时期,由于受断裂作用影响,层序充填并不完整,从现有的资料来看,主要发育在断陷的中期,如SQ3和SQ4时期层序发育比较完整,基本覆盖了大部分区域。层序充填上,从湖盆边缘到中央充填了一套砂砾岩-深湖泥岩,层序演化上从SQ1—SQ4—SQ6为一套具有砂砾结构的冲积扇-三角洲-湖泊-三角洲的充填格局。

参考文献:

- [1] 潘元林,张善文,肖焕钦,等. 济阳断陷盆地隐蔽油气藏勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [2] 李阳. 沉积学研究对济阳断陷湖盆油气勘探开发的推动作用[J]. 沉积学报,2004,22(3):400-407.
- [3] 潘元林. 大型陆相断陷盆地层序地层与隐蔽油气藏研究——以济阳拗陷为例[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [4] 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,(1):14-29.
- [5] 鹿洪友. 层序地层学应用于陆相湖盆中隐蔽油气藏的成因解释[J]. 大地构造与成矿学,2004,28(2):209-213.
- [6] 国景星. 冲积-河流相层序地层模式——以济阳拗陷新近纪为例[J]. 新疆地质,2003,21(4):393-491.
- [7] 冯有良,李思田. 东营拗陷沙河街组三段层序低位域砂体沉积特征[J]. 地质论评,2001,47(3):278-286.

SEQUENCE STRATIGRAPHY FRAMEWORK AND FILLING OF SHAHEJIE FORMATION OF LOWER TERTIARY IN GUBEI-ZHUANGHAI

TAN Xian-feng¹, TIAN Jing-chun², CHEN Lan¹, MENG Wan-bing²,
LIN Xiao-bing², ZHANG Xiao-bing²

(1. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;

2. State Key Laboratory for Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,

Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Abstract: Based on core observation, interpretation of seismic profiles and analysis of well logging of Shahejie formation in Gubei-Zhuanghai area is conducted the sequence division and summarization of the characteristics. Three long term cycles and 6 medium term cycles are outlined and the stratigraphic frame of the whole area is set up and the sequence filled on basis of the division which shows various development of each sequence in different areas. The difference is caused by various paleogeographic background and intensity of tectonic uplift and erosion for each area. The medium cycles of different areas have different development features. The sequence filling shows that from the lake margin to center is a sequential sandy conglomerate-abyssal mudstone sedimentary rock stratum. The sequence evolution is SQ1-SQ4-SQ6, a sequential alluvial fan-delta-lake-delta filling cycles.

Key Words: Gubei-Zhuanghai area; Shahejie formation; petrological feature; sequence division; sequence characteristics; sequence filling