

箕状断陷湖盆初始裂陷期层序地层与沉积充填特征

——以松辽盆地梨南洼槽下白垩统火石岭组二段为例

李忠诚^{1,2,3}, 鲍志东^{1,2}, 魏兆胜³, 张国一³, 史燕青^{1,2}, 胡明毅⁴, 邓庆杰⁴

[1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
3. 中国石油吉林油田公司勘探开发研究院, 吉林 松原 138000; 4. 长江大学, 湖北 武汉 430100]

摘要: 受侏罗纪—白垩纪区域构造拉张作用, 松辽盆地形成一系列箕状断陷湖盆。勘探开发实践表明, 箕状断陷湖盆形成较好的生—储—盖组合, 具有较好的石油天然气勘探潜力。以松辽盆地南部梨南洼槽火石岭组二段(火二段)为研究对象, 综合岩心、测井、录井以及三维地震资料, 对断陷湖盆的层序地层、沉积体系以及充填演化规律进行了深入分析。研究认为, 梨南洼槽火二段可分为3个中期基准面旋回。在沉积充填过程中, 火二段主要发育扇三角洲和湖泊两种沉积相类型。箕状断陷湖盆与地堑式断陷湖盆不同, 虽然在断陷发育早期, 断阶带和斜坡带均发育扇三角洲, 但发育规模存在较大差异。随着盆地范围的扩张, 不同构造带上沉积相带分异特征明显, 断阶带上往往以狭长式、厚层和粗粒孤立扇三角洲沉积为主; 斜坡带以大面积叠置薄层和细粒扇三角洲群沉积为主。在此基础上, 深入探讨了梨南洼槽火二段断阶带和斜坡带沉积差异主控因素, 提出了早期箕状断陷湖盆的沉积模式。

关键词: 沉积充填; 层序地层; 火石岭组; 箕状断陷湖盆; 梨南洼槽; 松辽盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Sequence stratigraphy and sedimentary filling characteristics of a half-graben rift lake basin during the initial rifting period: A case study of the 2nd member of Lower Cretaceous Huoshiling Formation, Linan Sag, Songliao Basin

Li Zhongcheng^{1,2,3}, Bao Zhidong^{1,2}, Wei Zhaodheng³, Zhang Guoyi³, Shi Yanqing^{1,2}, Hu Mingyi⁴, Deng Qingjie⁴

[1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Jilin Oilfield Company, PetroChina, Songyuan, Jilin 138000, China; 4. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China]

Abstract: Due to the Jurassic-Cretaceous regional tectonic extension, a series of half-graben rift lake basins were formed in the Songliao Basin. The latest exploration and development shows good source-reservoir-cap rock combinations and hydrocarbon potential in these basins. The second member of Huoshiling Formation in Linan trough of southern Songliao Basin is chosen as the research object to reveal the sequence stratigraphy, sedimentary system and basin filling evolution characteristics in these basins based on the integration of core, logging and 3D seismic data. The member can be divided into three medium-term base level cycles of fan delta and lake facies. The scales of fan deltas in steep slope zone are different from that in gentle slope zone during the early rifting stage of the half graben rift basins. With the expansion of the basin, the sedimentary facies belts in different structural belts take on obvious differentiation characteristics. The steep slope belt is often dominated by long and narrow coarse-grained isolated thick fan delta deposits, while the gentle slope belt is dominated by large superimposed fine-grained thin fan delta deposits. Based on these understanding, this study discusses the main controlling factors of sedimentary difference between steep slope zone and gentle slope zone of the member and brings forward the sedimentary model for the early stage of half-graben rift lake basins.

Key words: sedimentary filling, sequence stratigraphy, Huoshiling Formation, half-graben rift lake basin, Linan Sag, Songliao Basin

收稿日期: 2021-06-21; 修订日期: 2022-03-12。

第一作者简介: 李忠诚(1980—), 男, 高级工程师, 油气藏开发。E-mail: lize-jl@petrochina.com.cn。

通讯作者简介: 鲍志东(1964—), 男, 教授, 博士, 沉积学研究。E-mail: baозd@cup.edu.cn。

基金项目: 中国石油集团公司前瞻基础项目(2021DJ0205, 2021DJ1303, KT2021-08-07, 2021DJ2207)。

引用格式:李忠诚,鲍志东,魏兆胜,等. 箕状断陷湖盆初始裂陷期层序地层与沉积充填特征——以松辽盆地梨南洼槽下白垩统火石岭组二段为例[J]. 石油与天然气地质,2022,43(3):670-681. DOI:10.11743/ogg20220315.

Li Zhongcheng, Bao Zhidong, Wei Zhaozheng, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary filling characteristics of a half-graben rift lake basin during the initial rifting period: A case study of the 2nd member of Lower Cretaceous Huoshiling Formation, Linan Sag, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(3): 670-681. DOI: 10.11743/ogg20220315.

断陷湖盆是中国深层油气勘探的重要接替领域,特别是初始裂陷期发育大面积储集砂砾岩和厚层烃源岩湖盆^[1-2]。其中,箕状断陷湖盆是断陷期形成的典型湖盆类型,其不对称的同沉积断裂活动对不同沉积时期砂体的分布样式具有重要的控制作用,从而致使断阶带和斜坡带油气富集规律具有较大的差异。因此,研究箕状断陷湖盆断阶带和斜坡带对沉积充填演化的影响^[3-4],对箕状断陷湖盆层序格架下地层发育特征、沉积结构与构造特征、沉积充填演化、砂体与烃源岩的配置关系等解剖,既是认识储层扇体发育分布的关键,又是当今地学研究的热点,对隐蔽油气藏的开发、有利砂体的预测有着重要的意义^[5-6]。

前人针对箕状断陷湖盆构造特征、沉积特征、沉积演化以及储集砂体分布等开展了一系列研究^[3-6],总体认为箕状断陷湖盆地形上呈不对称状。由于受控盆断裂活动和盆地翘倾的影响,其断阶带与斜坡带差异明显。沉积中心与沉降中心明显偏向断阶带,扇三角洲为湖盆短轴方向发育的主要沉积体系,辫状河三角洲为斜坡带发育的沉积体系,以二者为代表的岩性-地层油气藏的大量发现,证明了其巨大的勘探价值和潜力。中国东部盆地在中、新生代以来太平洋板块向欧亚板块的俯冲作用下,产生了一系列叠置在古生界和元古界之上的裂谷型盆地^[7-8],地质结构复杂,储集扇体分布不均,再加上埋藏深,钻井少等因素的约束,致使箕状断陷湖盆断阶带和斜坡带沉积充填规律认识较为薄弱。梨树断陷南部梨南洼槽新钻井以及新三维地震资料的采集处理为箕状断陷湖盆初始裂陷期的沉积充填特征研究提供了可能,因此,本文以梨树断陷南部梨南洼槽火二段为研究对象,综合运用岩心、录井、常规测井以及三维地震资料对研究区火二段进行高分辨率层序地层以及沉积体系研究,总结箕状断陷盆地沉积特征及模式,以期为该地区和类似断陷盆地的油气勘探提供参考。

1 区域地质概况

梨树断陷发育在松辽盆地东南隆起区,与公主岭市,西部紧邻桑树台断裂,并与双辽断陷毗邻,北部与德惠断陷相邻,面积约2 346 km²。该断陷发育于晚侏罗

世至早白垩世,受西部桑树台断裂的控制,具有西断东超、断陷与坳陷叠置的箕状断陷盆地特征^[8-9]。梨树断陷整体发育规模较大,埋藏较深,地层发育完整,是松辽盆地主要富含油气断陷之一。梨南洼槽构造上位于松辽盆地梨树断陷南部(图1),西部为桑树台凸起,东部为梨南-秦家屯凸起,北邻德惠断陷。研究区面积315 km²,依据内部构造特点,进一步将梨南洼槽分为西部断阶带、中部洼陷带和东部斜坡带。断裂走向整体以北北西向和北北东向展布为主,在控凹断层的制约下,营城组沉积时期上升盘地层遭受剥蚀,造成地层缺失,东部地区逐渐减薄超覆尖灭。整体特征与梨树断陷相一致,具有西陡东缓,西断东超箕状断陷的沉积格局。

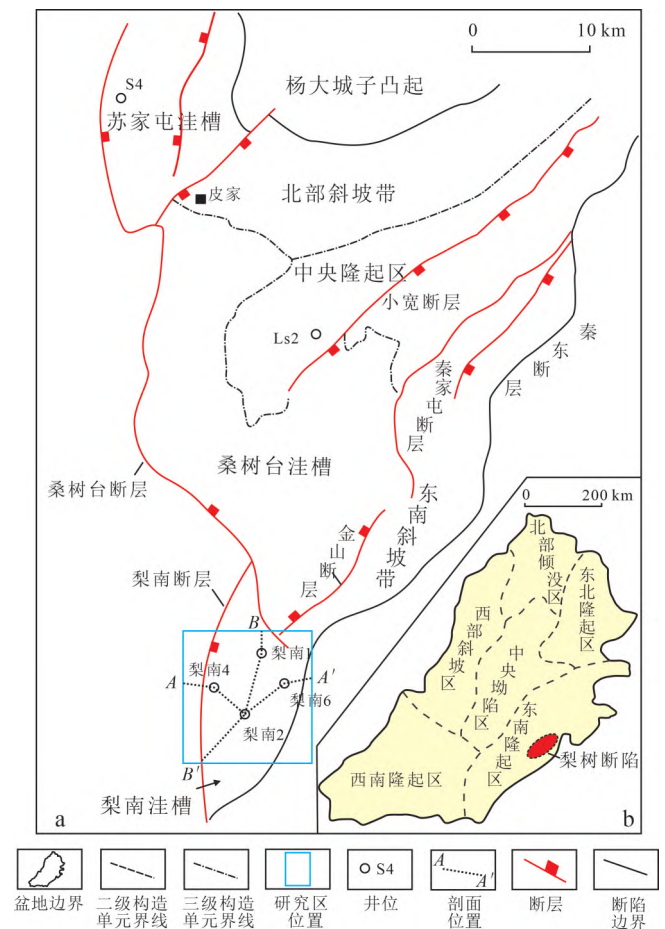


图1 梨南洼槽区域构造位置

Fig. 1 Tectonic location of the Linan Sag

a. 梨树断陷构造格局; b. 松辽盆地构造格局

梨南洼槽经过多期构造运动,最终形成下断上坳的叠置型复合盆地的构造格局^[10]。梨南洼槽从火石岭期(K_1hs)到营城期(K_1yc),经历初始断陷期、强烈断陷期两大演化阶段。其中初始裂陷期(火石岭期)地层整体分布于基底之上,与下伏基底呈角度不整合接触,与上覆地层沙河子组呈角度不整合接触,分布面积广泛,整体由近南北向梨南断层控制。火石岭组厚度变化较大,一般在800~1 000 m。整体沉积为一套火山岩、火山碎屑岩、灰黑色泥岩、灰色砂砾岩、灰色细砂岩的岩性组合。垂向分布上,地层岩性存在明显的两分性,上部为灰色砂砾岩夹暗色泥岩,下部发育火山岩,主要岩性为凝灰岩、安山岩等(图2)。

2 层序界面识别及层序特征

层序界面是指在沉积过程中形成的具有一定规模与范围的不整合或与之对应的整合面。在层序界面上下岩性、测井曲线、古生物及地震剖面反射特征均具有明显的变化,可以作为层序界面识别的良好标志^[10-11]。本论文主要选取岩性、测井曲线及三维地震资料对梨南洼槽火二段层序界面进行识别分析,自下而上共识别出4个层序界面 SB_1-SB_4 ,将火二段划分1个长期基准面旋回 LSC_1 ,对应1个三级层序,3个中期基准面旋回 MSC_1 , MSC_2 和 MSC_3 ,对应3个四级层序 SQ_1 , SQ_2 和 SQ_3 。

2.1 层序界面特征

1) 长期基准面旋回界面特征

长期基准面旋回是由盆缘不整合面及与其对应的盆内整合面所限定的地层单元,在盆地范围内可追踪对比^[12-13]。 LSC_1 为火二段底界面,为火石岭组火山岩和碎屑岩的区域不整合界面,界面之下为条带或强杂乱地震反射,界面之上为平行连续强地震反射。在测井曲线上相应为突变,界面之下由低GR值突变为中高GR值(图3)。火石岭组与沙河子组层序分界面 SB_4 (T_4^0)为区域不整合。界面之下为火二段的砂砾岩,细砂岩,泥岩以及煤层,界面之上为沙河子组灰色泥质粉砂岩、灰黑色泥岩及灰色炭屑粉砂岩,可见削截地震反射轴终止样式(图4AA'和BB')。

2) 中期基准面旋回界面特征

中期基准面旋回是由盆内局部整合面所限定的地层单元,在盆地范围内局部可追踪对比^[12-13]。 MSC_2 界面之下以灰色厚层砂砾岩为主,界面之上为暗色泥岩,在地震剖面上由界面之下的连续弱振幅转变为连续中

振幅,在自然伽马测井曲线响应上由界面之下的低值突变至界面之上的高值,如梨南2井(图3)。 MSC_3 界面之下为砂泥互层为主,自然伽马测井曲线为高值,界面之上为一套可对比性良好的煤层,如梨南4井(图3),在地震剖面上由界面之下的连续中振幅转变为连续强振幅。 MSC_2 和 MSC_3 界面在研究区的东部表现出明显的上超反射特征(图4AA')。

2.2 高频层序地层格架

火二段时期属于松辽盆地初始裂陷期,受梨南断裂控制,总体形成断阶凹处厚,缓坡薄的沉积地层。在火石岭组末期,受桑树台大断裂影响,地层抬升,火二段西部地层遭受剥蚀,地层缺失。因此火二段总体上表现出在梨南断层下盘缺失,上盘地层较厚,向东斜坡带地层逐渐减薄的特征。整体将火二段划分为3个下降半旋回中期基准面旋回 MSC_1 , MSC_2 和 MSC_3 ,对应四级层序 SQ_1 , SQ_2 和 SQ_3 (图5), MSC_1 时期沉积范围较小,沉积中心在梨南2井附近,地层最大厚度超过360 m,向东北部逐渐减薄。 MSC_2 时期梨南断层活动加强,有两个沉积中心,分别位于梨南5井附近与梨南2井北部,沉积中心地层最大厚度为420 m左右。 MSC_3 时期随着盆地逐渐扩张,其地层分布范围扩大,沉积中心向南部移动,沉积中心地层最大厚度为250 m左右。每期旋回岩性均自下而上由砂砾岩向泥岩转变,研究区西部受后期构造抬升作用,火二段因遭受剥蚀而缺失。

3 沉积相类型及特征

通过对研究区火二段取心井的岩心精细解释观察,并综合测井、录井资料及三维地震资料,认为梨树断陷梨南地区火二段主要发育的沉积相类型为扇三角洲相和湖泊相。

3.1 扇三角洲相

扇三角洲是断陷湖盆典型的沉积类型^[14],紧邻物源,搬运距离短,堆积速度快。成熟度低,磨圆分选较差,沉积物粒度粗。岩性主要为杂色、灰色砂砾岩(图6a—c)、灰色泥岩,砂砾岩中泥质含量较高,具有近物源、快速沉积的特征。水下分流河道砂体厚度较大,测井曲线上具有明显的低伽马、低密度特征。根据砂砾岩发育规律、颗粒大小、泥岩颜色、测井曲线以及地震特征,将扇三角洲沉积相细分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘2个亚相。研究区陡坡带和斜坡带扇三角洲在

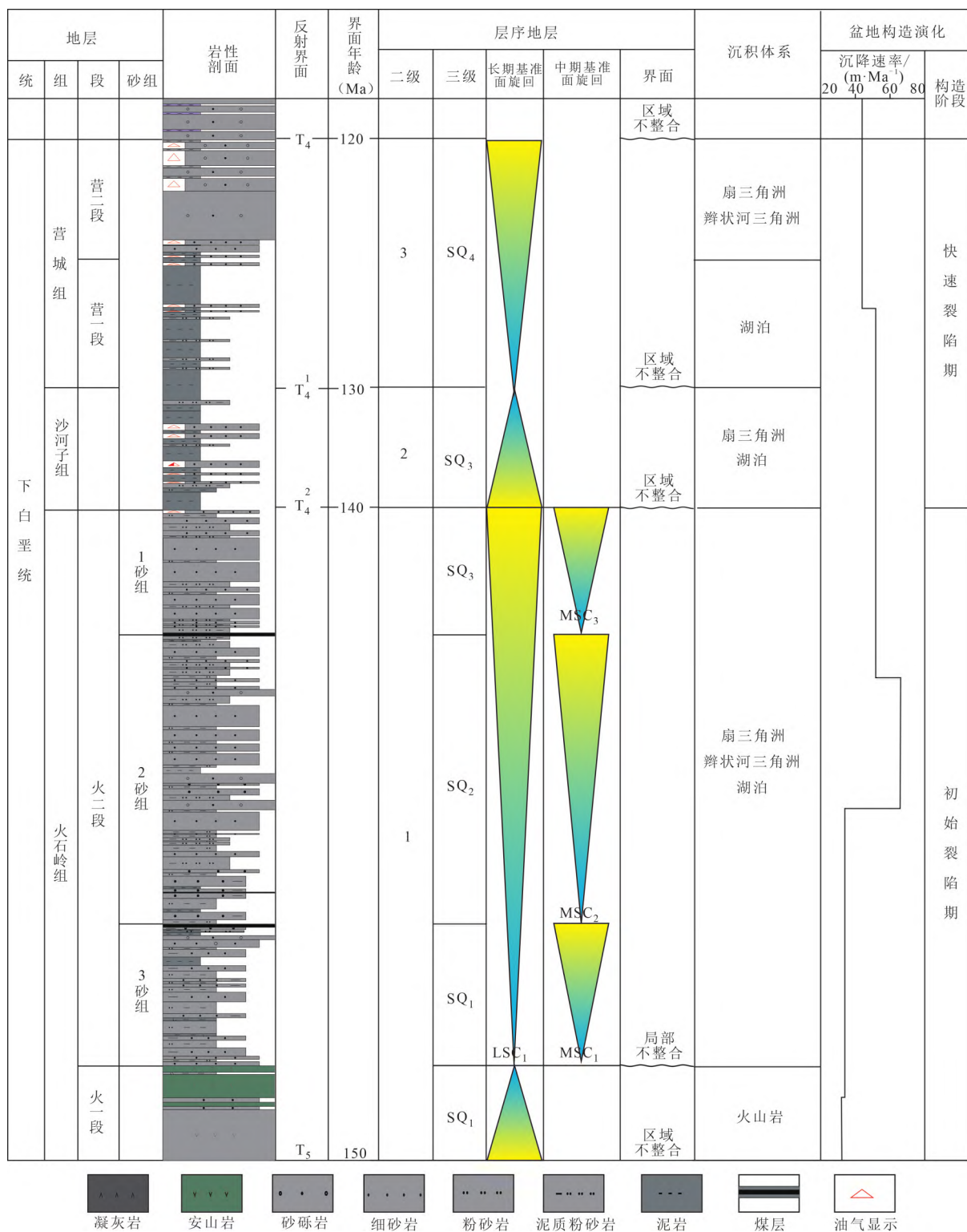


图2 梨南洼槽地层综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of the Linan Sag

岩性特征、粒度大小、沉积组合、沉积结构及沉积构造等方面均存在明显的差异性。

断阶带扇三角洲粗粒岩性以灰色砂砾岩、含砾细砂岩以及细砂岩为主,成熟度低,分选差-中等(图6a, c),分流河道和水下分流河道底部冲刷面明显,具有下

粗上细的正旋回沉积序列组合,常发育中型板状、槽状交错层理以及块状层理,测井曲线呈微齿化的箱形(图7a)。断阶带扇三角洲平原亚相是湖平面以上部分,常发育在湖泊萎缩期,甚至在断层下降盘处的沉积地层遭受剥蚀,而在坡度较小的区域能够保存。研究区平

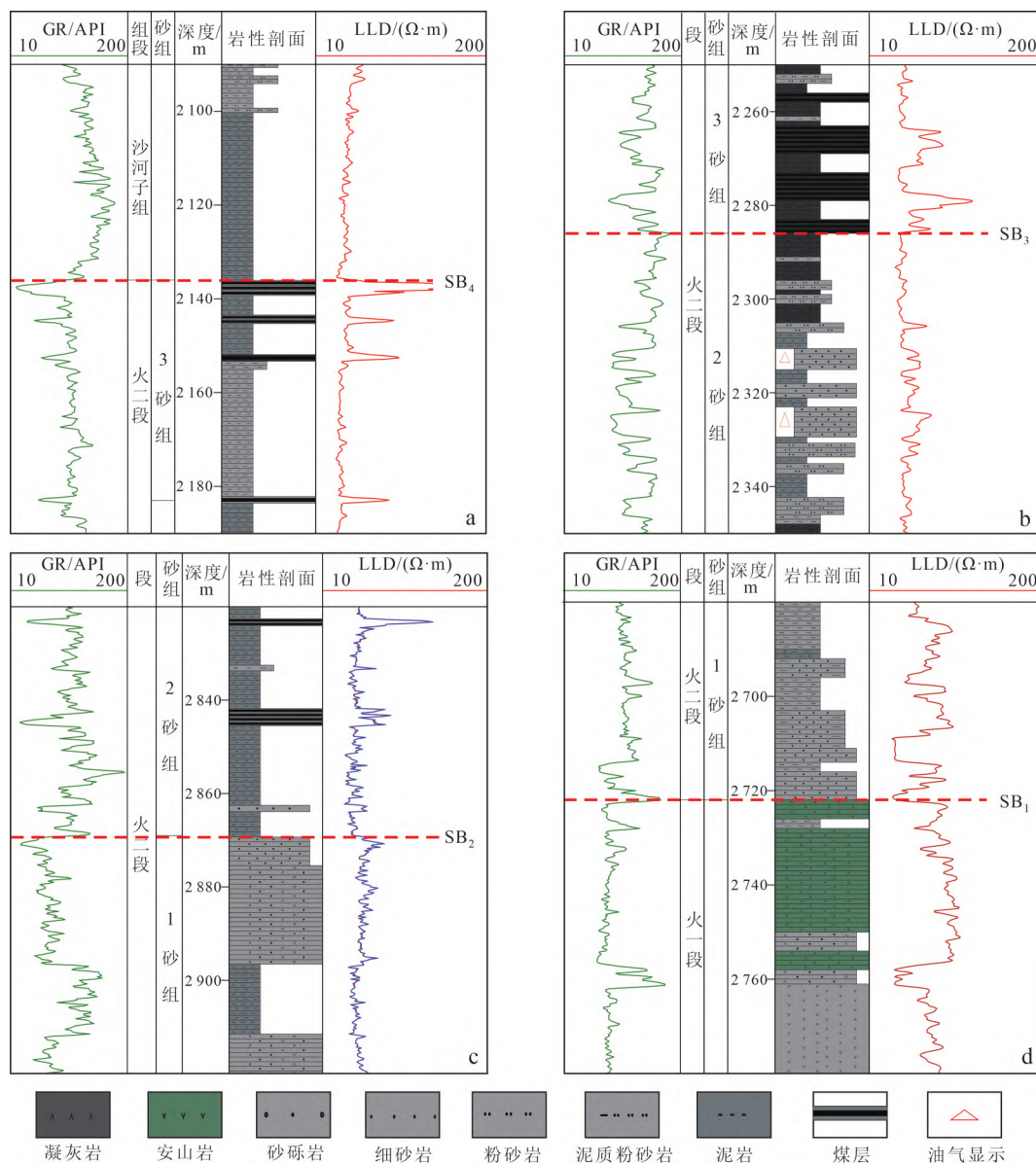


图3 梨南洼槽火二段中期基准面旋回界面测井曲线识别标志

Fig. 3 Logging markers for identifying the medium-term base level cycle boundaries in the second member of Huoshiling Formation, Linan Sag
a. SB_4 测井曲线特征, 梨南1井; b. SB_3 测井曲线特征, 梨南4井; c. SB_2 测井曲线特征, 梨南2井; d. SB_1 测井曲线特征, 梨南6井

原带钻井尚未揭示这套地层,但在地震剖面上,由于扇三角洲平原快速堆积,以弱振幅杂乱地震反射为特点(图7b)。扇三角洲前缘为平原水下延伸部分,水下分流河道主要由灰色含砾粗砂岩、含砾细砂岩以及细砂岩等组成,砾石大小2~30 cm,分选较差,砾石主要为岩浆岩类,杂基含量较多(图6b),冲刷面明显(图6d),水下分流河道砂体连续厚度可达60 m。断阶带扇三角洲前缘岩性以灰色粗砂岩和细砂岩为主,砾石含量较少,沉积物较细,可见平行层理(图6d)、板状交错层理、楔状交错层理以及块状层理,如梨南6井(图7b, e)。泥岩以深灰色、灰色为主,局部见薄层煤线,泥岩连续累计厚度明显较断阶带厚,地震反射主要为中-

弱振幅前积反射结构(图7b)。

断陷湖盆斜坡带扇三角洲以河道垂向加积和顺物源方向的前积而形成的沉积地层为主,岩性以含砾粗砂岩和细砂岩为主,搬运距离相对断阶带远,颗粒磨圆和分选较好(图6e),充填物从下向上粒度明显变细。砾石磨圆以次棱角-次圆状为主,局部见植物炭屑(图6g),常规测井曲线上也具有明显的低伽马、低密度特征,但垂向规模小于断阶带扇三角洲(图7c, d)。研究区斜坡带扇三角洲平原带分流河道砂体岩性以杂色细砾岩为主(图6a),砾石直径2~10 mm,砾石成分以凝灰岩和安山岩成分为主,分选差-中等,磨圆次棱角-次圆状,分流河道砂体厚度较大,可达70 m,测井曲线

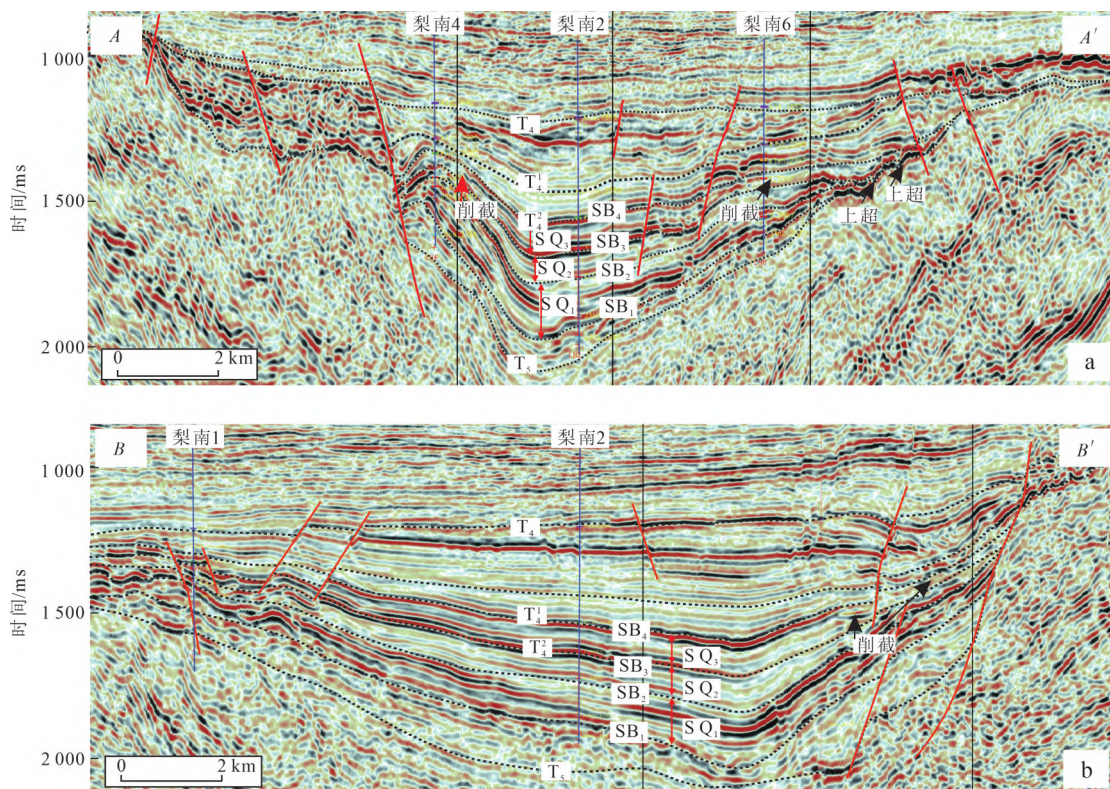


图4 梨南洼槽火二段中期基准面旋回界面地震反射特征(剖面位置见图1)

Fig. 4 Seismic reflection characteristics of medium-term base level cycle boundaries in the second member of Huoshiling Formation, Linan Sag (see Fig. 1 for the location of the section)

a. 过梨南4—梨南6井地震剖面; b. 过梨南1—梨南2井地震剖面

为箱型或钟型,从地震剖面上看,主要为弱振幅杂乱地震反射(图7b)。斜坡带扇三角洲前缘带岩性以灰色粗砂岩和细砂岩为主,砾石含量较少,沉积物较细,可见平行层理(图6f),板状交错层理,楔状交错层理以及块状层理。泥岩以灰色、灰黑色为主,局部见薄层煤线,泥岩连续累计厚度明显较断阶带厚,地震反射与断阶带相似,为中-弱振幅前积反射结构(图7b)。

3.2 湖泊相

湖泊相在梨南地区火二段全区均有发育。此时期地势低洼,湖泊相虽大面积分布,但多以浅湖沉积为主。经常受到湖水进退的影响。沉积地层岩性主要为深灰色、灰黑色的泥岩(图6h),泥岩中含有大量植物炭屑,局部可见煤线,反映水体为浅湖沉积环境。自然伽马测井曲线呈低幅齿化线形,齿化线形的出现表明水体能量波动频繁。受潮浪改造作用影响,局部发育质地纯净的灰色细砂岩和粉砂岩(图6i),单层厚度1~3 m,主要发育波状层理和块状层理。自然伽马测井曲线呈低幅指型和顶或底突变。在地震剖面上以中-强振幅低频连续席状平行反射结构为主(图7e,f),代表沉积环境较为稳定。

4 沉积充填演化规律

研究区钻井较少,但已有的钻井分布均匀,新的地震资料为沉积相展布研究提供了条件。依据单井、剖面沉积相分析,结合优选地震属性图(图8)、砂砾岩厚度与砂地比图,综合研究区火二段高分辨率层序格架内沉积相的空间配置关系。

梨南地区火二段MSC₁时期为强烈火山活动后的首次碎屑岩沉积期。梨南断层活动强烈,近南北向展布,此时物源主要来自东部和西部,不同的区域构造形态和物源供给有所差异,总体供应不足,多口钻井揭示MSC₁时期发育煤层,表明此时湖平面低,可容纳空间较小,属于饥饿型沉积。结合单井和地震属性特征,东部斜坡带发育叠置连片的扇三角洲沉积,面积达25.2 km²。西部断裂控制,受古地貌和物源控制,发育3个独立的规模扇体,总体上形成小平原、大前缘的沉积格局。西南部和西北部扇体面积较小,分别为6.6 km²和5.7 km²,特别是梨南2井处物源充足,过断裂后,延伸范围可达4 km,面积可达9.1 km²(图9a),湖盆中部以浅湖为主。

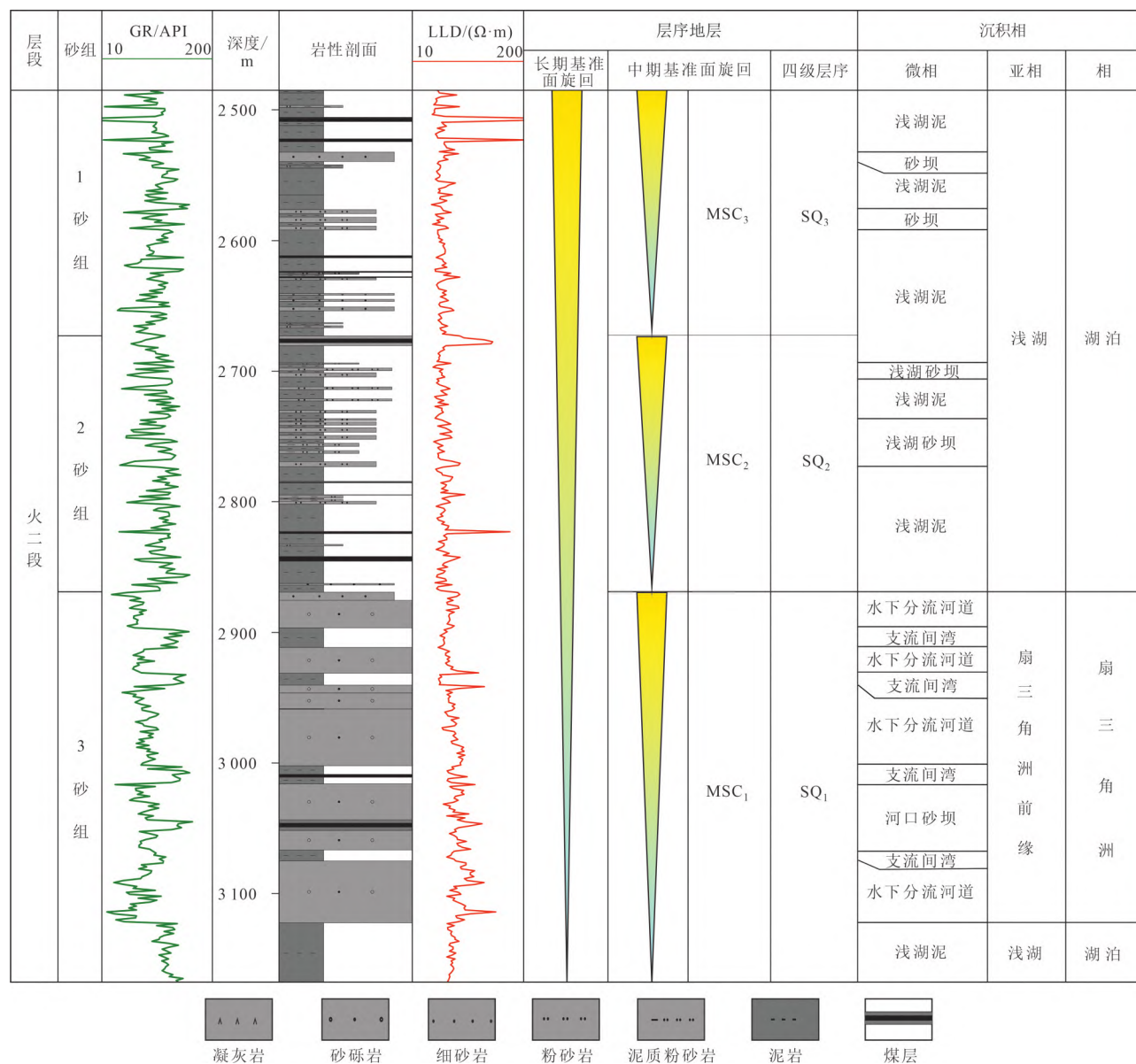


图5 梨南洼槽梨南2井火二段基准面旋回-沉积相划分

Fig. 5 Division of base level cycles-sedimentary facies in the second member of Huoshiling Formation (Well Linan 2), Linan Sag

MSC₂时期,湖盆扩张,地层沉积范围扩大,可容纳空间不断增大,整体上继承MSC₁沉积格局。受梨南断裂活动持续加强的影响,西南部物源供给增强,断裂南部扇体规模增大,面积扩张到14.1 km²。早期梨南2井扇体萎缩,扇三角洲平原不发育,仅在梨南4井发育规模较小的扇三角洲前缘砂体,面积仅3.2 km²。东部物源供给也进一步增强,扇三角洲规模较MSC₁明显变大,面积可达43.7 km²(图9b)。

MSC₃时期,湖盆快速扩张,整个湖盆面积扩张到141.5 km²,可容纳空间持续扩大,物源供给也不断增强,较MSC₂沉积范围更大。特别是斜坡带物源供给进一步加强,东部扇三角洲前缘沉积规模不断扩大,扇体延伸距离增大,相互叠置,面积可达69.2 km²(图9c),

西部梨南4井扇体面积达4.2 km²,南部扇体面积11.5 km²。断裂周围为该时期沉积中心,大面积浅湖发育,形成厚层的黑色泥岩,也为研究区烃源岩的发育提供了条件。

5 箕状断陷湖盆沉积充填影响因素及充填模式

5.1 箕状断陷湖盆沉积充填影响因素

在箕状断陷湖盆层序沉积充填过程中构造是主控因素,与气候、物源供给及湖平面升降之间存在复杂的关系,特别是断陷盆地构造演化的阶段性和周期性,与

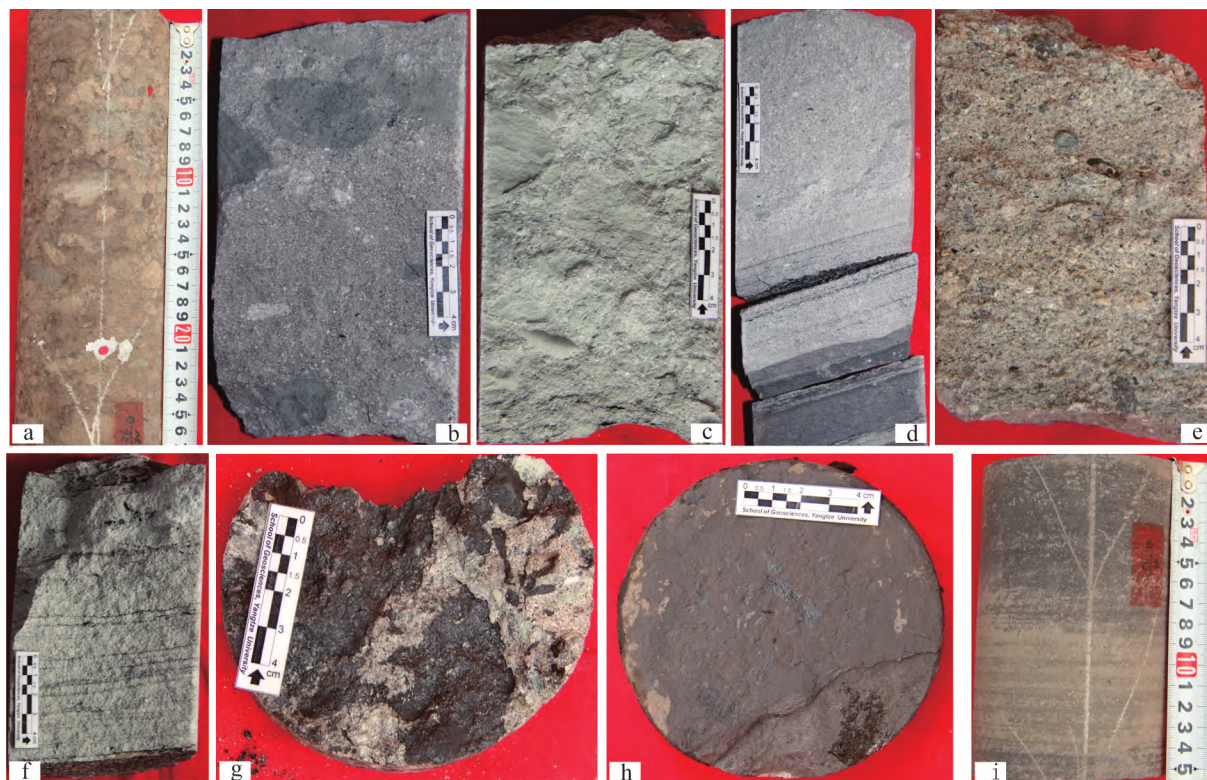


图6 梨南洼槽火二段典型岩心照片

Fig. 6 Photos showing typical cores from the second member of Huoshiling Formation in Linan Sag, Songliao Basin

a. 杂色细砾岩,砾石以次棱角-次圆状为主,梨南6井,埋深2 240.3 m; b. 灰色含砾粗砂岩,具正粒序,梨南2井,埋深3 100 m; c. 灰色细砾岩,砾石以次棱角-次圆状为主,梨南2井,埋深2 953.2 m; d. 灰色细砂岩,具正粒序,冲刷面,梨南2井,埋深2 870.4 m; e. 含砾粗砂岩,砾石以次圆状为主,梨南6井,埋深2 601.1 m; f. 灰色细砂岩,平行层理,梨南6井,埋深2 597.7 m; g. 灰色中砾岩,含炭屑,梨南6井,埋深2 597.1 m; h. 黑色泥岩,梨南4井,埋深2 314.2 m; i. 灰色泥质粉砂岩,梨南4井,埋深2 314.9 m

气候等共同作用影响物源供给和湖平面的变化,从而控制湖盆的沉积充填演化^[15-16]。

5.1.1 古地貌对沉积体系的控制作用

根据断陷湖盆的特征,不同古地貌单元的类型、构成及组合样式对沉积体系都有明显的控制作用^[17-19]。不同类型的坡折带样式决定了砂体类型、规模及分布。古地貌对沉积体系的控制作用表现在3个方面:①古地貌对物源体系规模具有明显的控制作用。研究区火二段沉积时期,梨南断裂发育,诱发火山活动,致使断裂上升盘不断上升,研究区呈现较大的地形高差,西部断阶带、中部凹陷带和东部斜坡带分带明显。西部断阶坡折之上为物源剥蚀区,沉积物顺低洼区搬运入湖,也可能为过路沉积,古凸起与沟谷共生,往往形成小型的物源供给体系,从而形成梨南2井和梨南4井小规模扇体(图10)。东部区域性古隆起往往形成大规模的物源供给区。②沉积体系的形态受古地貌的控制。断阶坡折沉积物往往顺着物源区沟谷运移至湖区,断裂转换带形成物源的关键通道,发育独立的扇体,斜坡坡折带小

型侵蚀沟谷容易发育,但分布不稳定,容易改道,扇体易于连片分布(图10)。③沉积亚相带分布受古地貌控制。断阶坡折是平原与前缘的分界线,但断裂断距不断变小时,其分界逐渐不明显,从地震剖面看,工区西南部砂体平原带延伸至凹陷带。东部斜坡带扇三角洲平原和前缘分界线不稳定,易于受湖平面的波动影响。

5.1.2 气候和物源变化对沉积体系的控制作用

在断陷湖盆充填演化过程中,物源区多为盆地周缘凸起,沉积物供给量取决于物源区岩性组成、气候和地形高差等因素。火石岭组碎屑岩段的抱粉组合以具气囊的松柏类花粉丰富、*Classopollis*的数量不多但孢子类型多样为特征,其所反映的气候为半干旱-半湿润的亚热带型^[20-21]。火石岭早期泥岩(煤线)中发育丰富的古老针叶林和灌木草,其中具气囊的松柏类花粉很丰富,反映半干旱气候。火石岭组晚期至沙河子组,无气囊松柏类花粉的数量有所增加,泥岩颜色以深灰色、灰黑色为主,气候由半干旱向半湿润转变^[20-28]。MSC₁早期,梨南4井和梨南6井均发育煤层,在干旱-

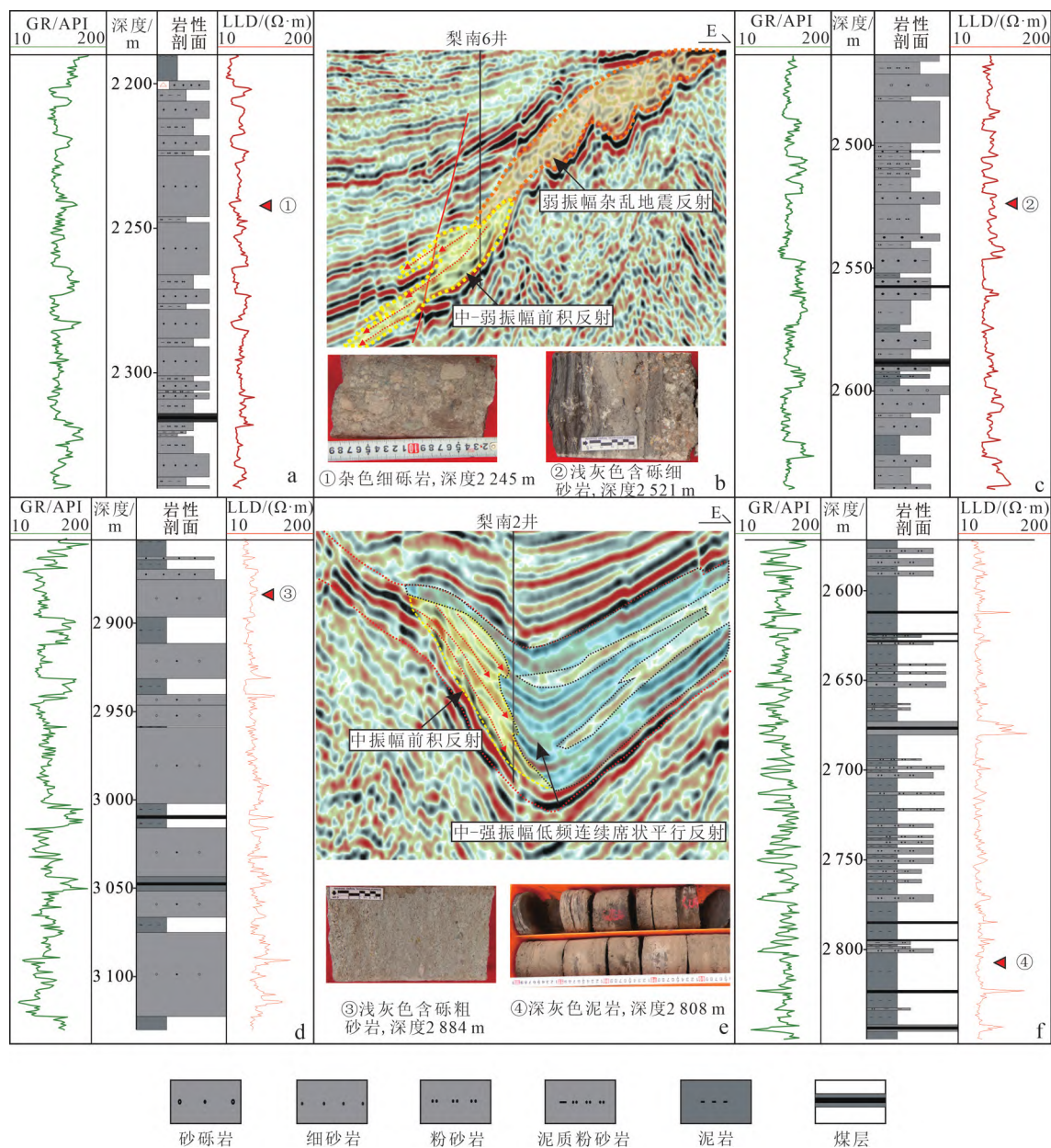


图7 梨南洼槽火二段不同沉积相类型典型测井响应、沉积序列及地震反射特征

Fig. 7 Typical logging responses, sedimentary successions and seismic responses of different sedimentary facies in the second member of Huoshiling Formation in the Linan Sag, Songliao Basin

a. 梨南6井缓坡带扇三角洲平原沉积序列; b. 梨南6井扇三角洲平原和前缘地震反射和沉积特征; c. 梨南6井缓坡带扇三角洲前缘沉积序列; d. 梨南2井陡坡带扇三角洲前缘沉积序列; e. 梨南2井扇三角洲前缘和浅湖地震反射和沉积特征; f. 梨南2井陡坡带浅湖沉积序列

半干旱气候背景下,随着断裂作用加强,湖泊扩展,物源一直处于饥饿状态,扇体数量和规模较小。 MSC_1 — MSC_3 时期,半湿润气候背景下,物源充足,扇体规模不断扩大,东部斜坡带形成扇三角洲群。

在构造、气候、物源等多因素控制下,断阶带和斜坡带扇体沉积特征、叠置样式以及沉积规模存在较大差异^[18-19]。断阶带受古地貌和物源控制明显,当物源充足,顺沟谷可搬运较远,形成狭长式厚层扇体,比如梨南2井,且沉积物粒度较粗;当物源供给不足,沉积物往往

在断裂带上升盘就停止搬运,断裂带下降盘虽然存在较大的可容纳空间,但往往处于欠补偿状态。相对于斜坡带,受气候和物源影响较大,当物源持续充足供给,扇体往往大面积相互叠置,但垂向上厚度相对断阶带薄。由于长距离搬运,也使砾石含量减少,并且砾石磨圆分选明显好于断阶带,这也是形成优质储层的关键。

5.2 箕状断陷湖盆充填模式

火二段沉积时期处于断陷盆地形成的初始裂陷

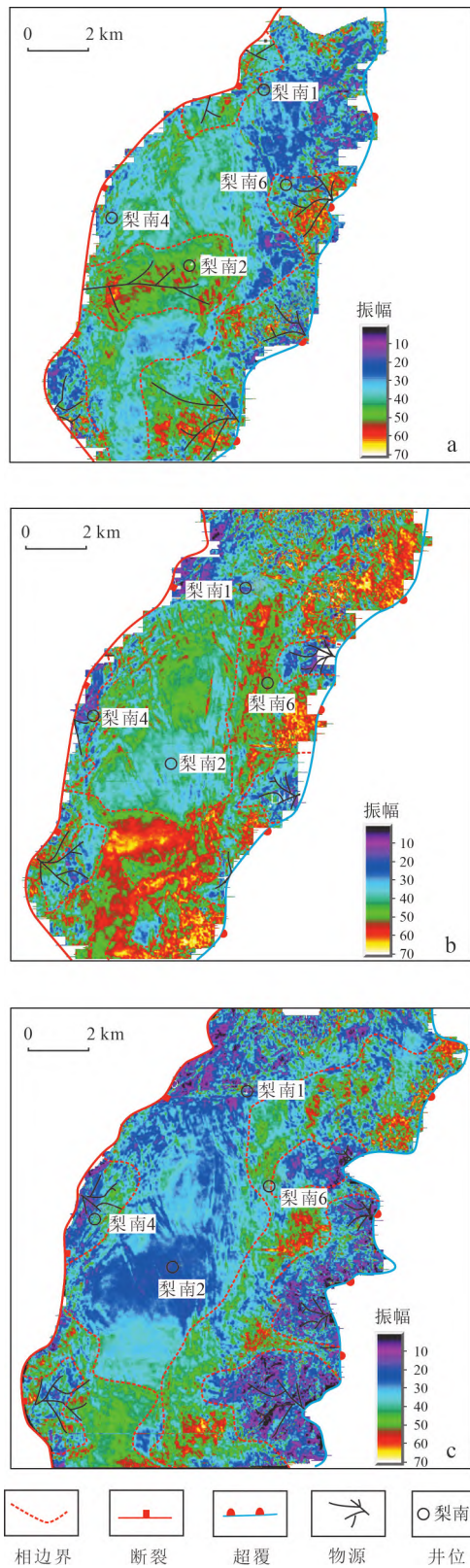


图8 梨南洼槽火二段中期基准面旋回RMS地震属性相边界解释

Fig. 8 Interpretation of facies boundaries with RMS seismic attributes of medium-term base level cycles in the second member of Huoshiling Formation in Linan Sag, Songliao Basin
a. MSC_1 ; b. MSC_2 ; c. MSC_3

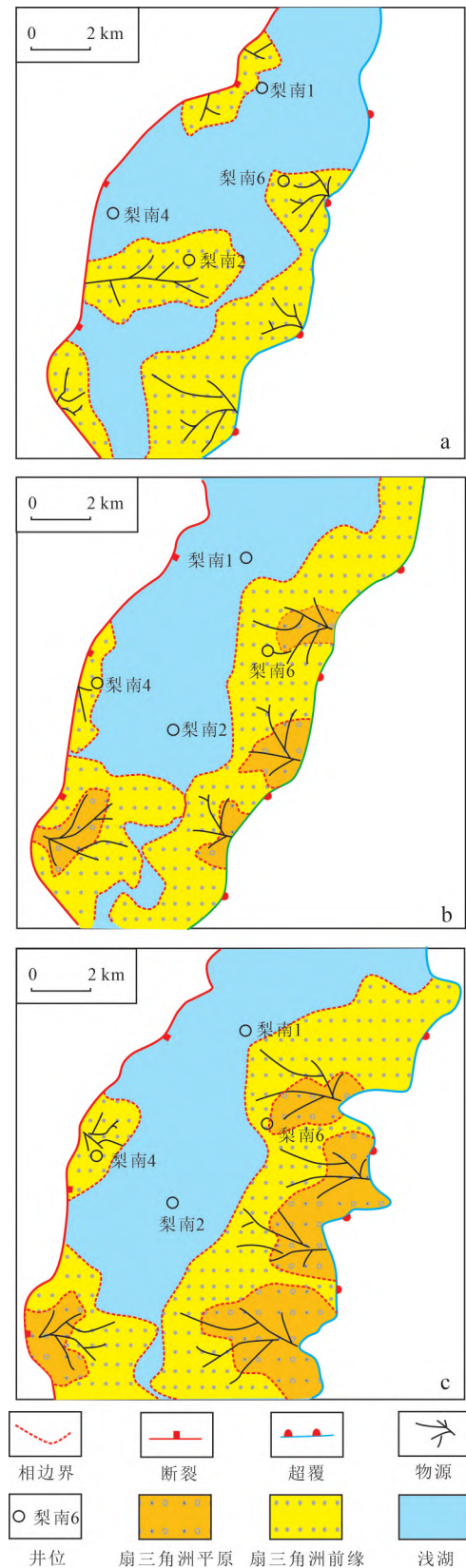


图9 梨南洼槽火二段中期基准面旋回沉积相展布

Fig. 9 Distribution of sedimentary facies in medium-term base level cycles of the second member of Huoshiling Formation in Linan Sag, Songliao Basin
a. MSC_1 ; b. MSC_2 ; c. MSC_3

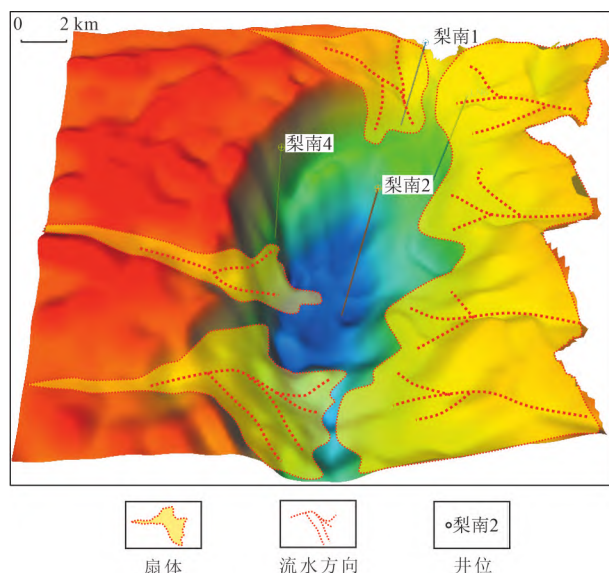


图10 梨南地区火二段沉积时期古地貌及物源分析

Fig. 10 Palaeogeomorphology and provenances during deposition of the second member of Huoshiling Formation in Linan Sag

期,伴随着控盆断裂的持续活动,形成箕状构造形态,梨南地区东侧断陷活动弱,发育以缓坡为主的构造带,而西侧断裂控陷活动较强,形成以陡坡为主的构造带。该时期,湖盆规模总体较小、水体较浅,而盆地周围物源区与断陷区距离近、高程差大,主要发育扇三角洲-辫状河三角洲-湖泊沉积体系。扇三角洲沉积体系在研究区两侧发育特征具有一定差异,在紧邻西侧控盆断裂的凹陷区域发育的扇三角洲,沉积范围总体较局限,而东侧扇三角洲体系发育在斜坡带,搬运距离稍远、平面展布面积更广,基于此建立了火二段断阶带粗粒窄扇和斜坡带细粒广扇的沉积充填模式(图11)。此外,箕状断陷作用湖盆随着断陷加强,湖盆范围扩大,

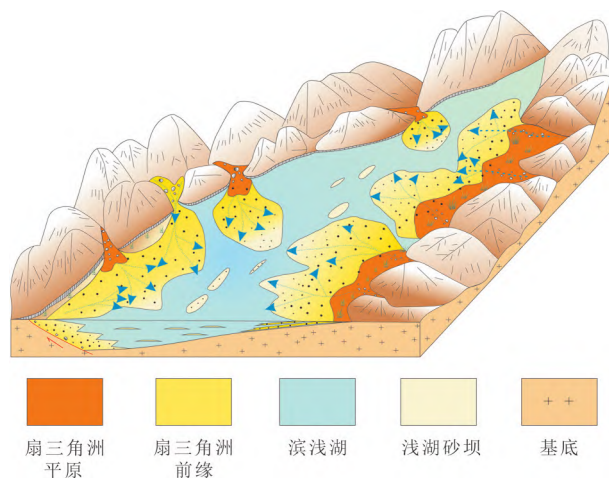


图11 梨南地区火二段沉积模式

Fig. 11 Sedimentary model of the second member of Huoshiling Formation in the Linan Sag

湖相烃源岩通常较为发育,从而与湖盆边缘的扇三角洲储集岩形成良好的生储组合,成为较好的勘探目标。

6 结论

1) 综合地质、测井和地震资料分析,建立不同层序边界的地震-岩性-测井响应特征,自下而上共识别出4个层序界面 SB_1 — SB_4 ,将火二段划分1个长期基准面旋回 LSC_1 ,分别对应1个三级层序,3个中期基准面旋回 MSC_1 , MSC_2 和 MSC_3 ,对应3个四级层序 SQ_1 , SQ_2 和 SQ_3 。

2) 研究区主要发育扇三角洲和湖泊两种沉积相类型,箕状断陷湖泊断阶带和斜坡带沉积体系规模存在较大差异,断阶带上往往以狭长式厚层粗粒孤立扇三角洲沉积为主,斜坡带以大面积叠置薄层细粒扇三角洲群沉积为主。

3) 断陷早期箕状断陷湖泊不同于地堑式断陷湖盆,其断阶带和斜坡带沉积体系主控因素存在较大差异。斜坡带较断阶带更易于发育大面积储集砂体与湖盆扩张期形成的湖相烃源岩相互叠置,易构成良好的生-储组合,可成为油气勘探的有利目标。

参考文献

- [1] 王华,姜华,林正良,等. 南堡凹陷东营组同沉积构造活动性与沉积格局的配置关系研究[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(1): 70-77.
Wang Hua, Jiang Hua, Lin Zhengliang, et al. Relations between synsedimentary tectonic activity and sedimentary framework of Dongying Formation in Nanpu Sag[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(1): 70-77.
- [2] 隋凤贵. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体成藏动力学特征——以东营凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 335-340.
Sui Fenggui. Characteristics of reservoir dynamic on the sand-conglomerate fanbodies in the steep-slope belt of continental fault basin: A case study on Dongying Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 335-340.
- [3] 张自力,朱筱敏,张锐锋,等. 典型箕状断陷湖盆层序划分及层序结构样式:以霸县凹陷古近系为例[J]. 地球科学, 2020, 45(11): 4218-4235.
Zhang Zili, Zhu Xiaomin, Zhang Ruifeng, et al. Sequence framework and sequence filling style in lacustrine rift basin: Taking Paleogene in Baxian Sag as an Example[J]. Earth Science, 2020, 45(11): 4218-4235.
- [4] 董清水,赵占银,刘招君,等. 半地堑式断陷盆地的油气成藏模式——以松辽盆地梨树断陷为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, (1): 43-47.
Dong Qingshui, Zhao Zhanyin, Liu Zhaojun, et al. The model for formation reservoir in half graben mode of fault-depression basin — Taking the lishu fault depression in songliao basin as an example[J]. Journal of Jilin University, 2003, (1): 43-47.
- [5] 杨晓利,张自力,孙明,等. 同沉积断层控砂模式——以南堡凹陷南部地区Es¹段为例[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4): 526-533.
Yang Xiaoli, Zhang Zili, Sun Ming, et al. Models of contemporaneous fault controlling sandstone deposition: A case study of Es¹ in southern Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4): 526-533.
- [6] 董月霞,王建伟,刁帆,等. 陆相断陷湖盆层序构成样式及砂体预测模式——以南堡凹陷东营组为例[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 96-102.
Dong Yuexia, Wang Jianwei, Wang Jianwei, et al. Sequence

- stratigraphic patterns and sand body prediction models of fault-depressed lacustrine basins: A case study from the Dongying formation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1):96-102.
- [7] 邓铭哲,左宗鑫,邱岐,等. 松辽盆地南部梨树断陷正断层演化特征[J]. *石油实验地质*, 2021, 43(2):288-296.
- Deng Mingzhe, Zuo Zongxin, Qiu Qi, et al. Normal fault evolution in Lishu Fault Depression, southern Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021, 43(2):288-296.
- [8] 柯钦,郭波,王玉柱,等. 梨树断陷边界控陷断裂活动特征及油气地质意义[J]. *复杂油气藏*, 2018, 11(3):17-21.
- Ke Qin, Guo Bo, Wang Yuzhu, et al. Active characteristics and petroleum geological significance of boundary fault controlled by Lishu Fault Depression [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2018, 11(3):17-21.
- [9] 胡望水,吕炳全,张文军,等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. *地质科学*, 2005(1):16-31.
- Hu Wangshui, Lv Bingquan, Zhang Wenjun, et al. An approach to tectonic evolution and dynamics of the Songliao Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2005, (1):16-31.
- [10] 李娟,舒良树. 松辽盆地中、新生代构造特征及其演化[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2002, (4):525-531.
- Li Juan, Shu Liangshu. Mesozoic-Cenozoic tectonic features and evolution of the Songliao Basin, NE China [J]. *Journal of Nanjing University*, 2002, (4):525-531.
- [11] 陈贤良,纪友亮,樊太亮,等. 松辽盆地梨树断陷层序地层格架及沉积体系分布[J]. *高校地质学报*, 2014, 20(1):122-130.
- Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary system distribution in the Lishu Rift, Songliao Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2014, 20(1):122-130.
- [12] 单敬福,葛黛薇,乐江华,等. 松辽盆地东南缘层序地层与沉积体系配置及演化—以梨树断陷西北部营城组地层为例[J]. *沉积学报*, 2013, 31(1):67-76.
- Shan Jingfu, Ge Daiwei, Le Jiang-hua, et al. Framework of sequence stratigraphy, sedimentary system and evolution of south-eastern Songliao Basin: An example from Yingcheng Formation in Lishu Fault Depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(1):67-76.
- [13] 蔡来星,操应长,卢双舫,等. 梨树断陷营城组层序地层格架与沉积相特征[J]. *沉积学报*, 2014, 32(3):576-585.
- Cai Laixing, Cao Yingchang, Lu Shuangfang, et al. Framework of sequence stratigraphy and depositional characteristics of Yingcheng Formation in Lishu Fault Depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(3):576-585.
- [14] 杨文杰,胡明毅,邓庆杰,等. 小型断陷湖盆初始裂陷期沉积充填演化特征—以松辽盆地梨树断陷苏家屯地区火二段为例[J]. *大庆石油地质与开发*, 2019, 38(6):12-21.
- Yang Wenjie, Hu Mingyi, Deng Qingjie, et al. Characteristics of the sedimentary filling and evolution in the initial chasmic stage of the small rift lake basin: A case of Huo Member-2 in Sujiatun area of Lishu Fault Depression of Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2019, 38(6):12-21.
- [15] 陈贤良,纪友亮,樊太亮,等. 梨树断陷七棵树地区层序地层与隐蔽油气藏[J]. *地质科技情报*, 2014, 33(2):123-129.
- Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphy and subtle oil-gas reservoir in the Qikeshu Area, Lishu Rift [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2014, 33(2):123-129.
- [16] 张自力,朱筱敏,李琦,等. 断陷湖盆差异湖侵过程与层序格架下沉积体系特征响应:以霸县凹陷古近系沙河街组为例[J]. *古地理学报*, 2020, 22(3):440-456.
- Zhang ZiLi, Zhu XiaoMin, Li Qi, et al. Differential transgression of rift basin and characteristic response of sedimentary system within sequence framework: An example from the Paleogene Shahejie Formation in Baxian Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2020, 45(11):4218-4235.
- [17] 彭伍,伍铁鸣,练章贵,等. 陆相断陷湖盆高频层序特征及其沉积演化——以渤海湾盆地济阳凹陷沙三下亚段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(4):789-798.
- Peng Li, Wu Yiming, Lian Zhanggui, et al. Features and sedimentary evolution of high-frequency sequence in continental lacustrine rift basin: Example of the lower Shahejie member 3 in Jiyang Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(4):789-798.
- [18] 董道涛,邱隆伟,马永达,等. 多断陷盆地构造控砂与沉积充填过程——以渤海湾盆地济阳凹陷沾化凹陷东部始新统为例[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(4):653-663.
- Dong Daotao, Qiu Longwei, Ma Yongda, et al. Control of tectonics on sedimentation of sandstone and process of sediment filling in multi-fault lacustrine basins: A case study on the Eocene in eastern Zhanhua Sag, Jiyang Depression in Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(4):653-663.
- [19] 吴林,陈清华,刘寅,等. 裂陷盆地伸展方位与构造作用及对构造样式控制——以苏北盆地高邮凹陷南部断阶带为例[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(1):29-38.
- Wu Lin, Chen Qinghua, Liu Yin, et al. Extension direction and tectonism in rift basins and their control on structural style: A case study on the south fault terrace in the Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(1):29-38.
- [20] 高瑞祺,赵传本,郑玉龙,等. 松辽盆地深层早白垩世孢粉组合研究[J]. *微生物学报*, 1994, 38(6):659-675+785-787.
- Gao Ruiqi, Zhao Chuanben, Zheng Yulong, et al. Palynological study of deep-beds (lower cretaceous) in Songliao Basin, china [J]. *Acta Micropalaentologica Sinica*, 1994, 38(6):659-675+785-787.
- [21] 裴松余. 松辽盆地白垩系微体古生物组合及与地震波组的关系[J]. *石油与天然气地质*, 1991, 12(3):323-331.
- Qiu Songyu. Relationship between cretaceous microfossil assemblages and seismic wave groups of Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 1991, 12(3):323-331.
- [22] 张大智,初丽兰,周翔,等. 松辽盆地北部徐家围子断陷沙河子组致密气储层成岩作用与成岩相特征[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2021, 51(1):22-34.
- Zhang Dazhi, Chu Lilan, Zhou Xiang, et al. Diagenesis and Diagenesis Facies of Tight Gas Reservoir of Shahezi Formation, in Xujiawazi Fault Depression of North Songliao Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2021, 51(1):22-34.
- [23] 陈维涛,徐少华,孙珍,等. 层序地层学标准化理论在陆架坡折-陆坡区的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(6):1414-1422.
- Chen Weitao, Xu Shaohua, Sun Zhen, et al. Application of standardized sequence stratigraphy theory in the shelf break-to-slope area: A case study of the Middle Miocene sedimentary sequence in the PRMB [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(6):1414-1422.
- [24] 孙福宁,胡文瑄,胡忠亚,等. 断裂-层序双控机制下的热液活动及成储效应——以塔里木盆地塔河、玉北地区下奥陶统为例[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(3):558-575.
- Sun Funing, Hu Wenxuan, Hu Zhongya, et al. Impact of hydrothermal activities on reservoir formation controlled by both faults and sequences boundaries: A case study from the Lower Ordovician in Tahe and Yubei areas, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(3):558-575.
- [25] 冯志强,董立,童英,等. 蒙古-鄂霍茨克洋东段关闭对松辽盆地形成与演化的影响[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(2):251-264.
- Feng Zhiqiang, Dong Li, Tong Ying, et al. Impacts of the closure of eastern Mongolia Okhotsk Ocean on formation and evolution of Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(2):251-264.
- [26] 曾凡成,张昌民,李忠诚,等. 断块型沉火山碎屑岩致密气藏有效储层控制因素及分布规律——以松辽盆地南部王府沟白垩系沙河子组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(2):481-493.
- Zeng Fancheng, Zhang Changmin, Li Zhongcheng, et al. Controlling factors and distribution pattern of effective tight gas pools in blocky pyroclastic rocks in the Cretaceous Shahezi Formation in Wangfu gas field, southern Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(2):481-493.
- [27] 邓铭哲,左宗鑫,邱岐,等. 松辽盆地南部梨树断陷正断层演化特征[J]. *石油实验地质*, 2021, 43(2):288-296.
- Deng Mingzhe, Zuo Zongxin, Qiu Qi, et al. Normal fault evolution in Lishu Fault Depression, southern Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021, 43(2):288-296.
- [28] 武英利,朱建辉,倪春华,等. 松辽盆地南部中小断陷白垩系烃源岩成熟度综合评价——以彰武、昌图断陷为例[J]. *石油实验地质*, 2020, 42(2):289-295.
- Wu Yingli, Zhu Jianhui, Ni Chunhua, et al. Comprehensive evaluation of Cretaceous source rock maturity in medium and small fault depressions in southern Songliao Basin: A case study of Zhangwu and Changtu Fault Depressions [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(2):289-295.

(编辑 张亚雄)