

强烈断陷期小型湖盆沉积充填演化特征

——以松辽盆地徐家围子断陷宋站地区沙河子组为例

蔡全升^{1,2,3}, 胡明毅^{1,2,3}, 胡忠贵², 邓猛⁴

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉, 430100; 2. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100;

3. 非常规油气湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430100; 4. 中海油 天津分公司 勘探开发研究院, 天津 300452)

摘要: 松辽盆地徐家围子断陷北部宋站地区属于小型断陷湖盆沉积区。最新钻井资料显示, 该类型断陷盆地也具有较好的天然气勘探潜力, 可作为大庆深层天然气勘探的重要接替领域。以徐家围子北部宋站地区沙河子组为研究对象, 在总结对比前人研究成果的基础上, 综合运用岩心、录井、常规测井以及三维地震资料对强烈断陷期小型湖盆的层序地层、沉积体系以及盆地充填演化规律进行了深入分析。研究认为, 宋站地区沙河子组可划分为1个二级层序, 4个三级层序。三级层序内部根据湖泛面又可分为低位体系域(LST)、湖侵体系域(TST)和高位体系域(HST)。在沉积过程中, 沙河子组主要发育辫状河三角洲、扇三角洲、湖泊以及火山碎屑岩沉积等4种沉积相类型。研究区的沉积充填演化规律与大型的断陷盆地相比有所不同, 表现为在强烈断陷早期, 无论是在陡坡带还是在缓坡带, 均以发育扇三角洲沉积为主; 随着盆地范围的扩张, 不同构造部位上的沉积相带的分异特征才逐渐显现。但湖泊相带受短轴物源供给的影响分布较为局限, 常被分割成若干小型滨浅湖沉积区, 形成多个沉积中心, 从而也导致了盆地不同区域沉积地层厚度差异极大的特征。据此, 深入探讨了宋站地区沙河子组的沉积充填演化过程, 提出了陆相小型窄断陷湖盆的沉积模式。

关键词: 沉积相; 层序地层; 沉积模式; 沙河子组; 徐家围子断陷; 松辽盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

**Sedimentary filling evolution of small-scale lake basins during intensive faulting:
an example from the Shahezi Formation of Songzhan region in Xujiaweizi
fault depression, Songliao Basin**

Cai Quansheng^{1,2,3}, Hu Mingyi^{1,2,3}, Hu Zhonggui², Deng Meng⁴

(1. Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration Technology, Ministry of Education, Yangtze University,

Wuhan, Hubei 430100, China; 2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China;

3. Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Wuhan, Hubei 430100, China;

4. Exploration and Development Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Limited, Tianjin 300452, China)

Abstract: The Songzhan region in northern Xujiaweizi Fault Depression of Songliao Basin is a small-scale faulted basin. The latest drilling data shows great gas potential in the basin and a possible replacement of the depleting deep gas zones in Daqing Oilfield. We chose the Shahezi Formation in the basin as a research object to analyze the stratigraphic sequences, sedimentary systems and filling-up history of small scale lake basins during intensive faulting based on previous studies as well as data of core, mud logging, conventional logging and 3D seismic survey. The result shows that the Shahezi Formation can be divided into one second-order sequence and four third-order sequences, with the latter being further subdivided into LST, TST and HST, according to lake flooding surfaces. Four kinds of sedimentary facies, including braided delta, fan delta, lacustrine and volcanoclastic facies, were recognized. The filling-up history of the Formation appears to be quite different from that of large-scale fault basins. Fan deltas dominated both steep and gentle slopes at the early stage of intensive faulting. And zonation of sedimentary facies was only distinctive with the expansion of the basin. However, they were segmented into many shore-shallow lacustrine sedimentary zones with multiple depocenters due to a sedi-

收稿日期: 2016-09-15; 修订日期: 2017-02-15。

第一作者简介: 蔡全升(1988—), 男, 博士研究生, 地震沉积学与层序地层学。E-mail: cqsh0713@163.com。

通讯作者简介: 胡明毅(1965—), 男, 教授、博士生导师, 沉积学与层序地层学。E-mail: humingyi65@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05007-002; 2017ZX05013-006); 油气资源与勘探技术教育部重点实验室开放基金项目(K2016-07)。

ment supply shortage in the short axis of the basin. As a result, the thickness of layers in the basin varies greatly from one area to another. We proposed in the paper a sedimentary model for the continental narrow faulted lake basins based on the study of the filling-up history of the Shahezi Formation.

Key words: sedimentary facies, sequence stratigraphy, sedimentary model, Shahezi Formation, Xujiaweizi Fault Depression, Songliao Basin

断陷盆地为我国东部重要的含油气盆地类型。前人研究表明,断陷湖盆的规模通常决定了烃源岩发育程度与盆地的油气勘探潜力^[1-3],因此人们在以往的研究中更多地集中于大中型断陷盆地,而对于面积小、水体浅、物源近且沉积速率大的深部小型断陷湖盆关注较少。但实际上小型断陷盆地同样可以聚集大量油气,并且相关的油气勘探工作也已经取得了一些突破^[4-7]。以松辽盆地徐家围子断陷深层天然气勘探为例,该断陷盆地先后发现了汪家屯、升平、昌德与徐深1等多个含气区,探明天然气地质储量近 $2\,400\times 10^8\text{ m}^3$ 。最新完钻的针对宋站小型窄断陷区的宋深9H井,其深层沙河子组含气层日产气量更达 $20.8\times 10^4\text{ m}^3$,表明该地区深部小型断陷湖盆具有良好的勘探潜力,可作为深层天然气勘探的重要接替领域。

但由于针对该类型断陷盆地的地质研究工作相对较少,宋站地区沙河子组的油气勘探还存在着许多亟需解决的问题,其中最主要的就是对沙河子组的沉积充填演化规律认识不清,主要表现为:①层序地层划分方案尚不统一,如潘春孚、陈贤良等将沙河子组划分为2个三级层序^[8-9],吕志鹏等将沙河子组分为5个三级层序^[10];②沉积相带展布规律认识不清,扇三角洲沉积和辫状河三角洲沉积在平面上的分布还有争议^[11-12]。此外,还有沙河子组储层发育特征及有利储层分布尚认识不清等。这些问题的存在严重制约了大庆探区沙河子组的天然气勘探。因此,本文以徐家围子北部宋站地区沙河子组为研究对象,综合运用岩心、录井、常规测井、成像测井以及三维地震资料对研究区沙河子组进行层序地层以及沉积体系研究,总结陆相小型窄断陷盆地沉积特征及模式,以期为该地区和相类似断陷盆地的油气勘探提供参考。

1 地质背景

徐家围子断陷位于松辽盆地北部东南断陷区西侧,毗邻中央古隆起,为近南北向展布的西陡东缓箕状断陷构造单元,面积约 $4\,000\text{ km}^2$,可划分为安达凹陷、升平凸起、杏山凹陷、薄荷台凹陷和东部斜坡带等(图1a)。其深层沉积地层自下而上主要有上侏罗统火石

岭组、下白垩统沙河子组、营城组、登娄库组,泉头组一段和二段,其中火石岭组与营城组发育火山岩,沙河子组、登娄库组以及泉头组则主要为三角洲相或河流相碎屑岩沉积。本次主要研究目标为宋站地区沙河子组,区域上包括安达凹陷、宋站低凸起以及东部缓坡带的一部分,其长轴方向约 50 km ,短轴方向约 12 km ,属于南北向条带状展布的小型断陷区(图1b)。

前人研究表明徐家围子断陷主要形成于晚侏罗—早白垩世早期,根据断陷活动强度,其形成演化过程可分为初始断陷、强烈断陷以及断陷萎缩三个阶段,分别对应于火石岭组沉积期、沙河子组沉积期以及营城组沉积期,断陷的发生、发展、消亡过程明显受到徐西等深大断裂带的控制^[13-14]。火石岭组沉积期,西太平洋板块向东亚板块之下俯冲,使得徐家围子地区处于东西向拉张的构造应力场,深部断裂广泛发育,此时期形成了一套以火山岩为主的沉积地层。沙河子组时期,区域板块俯冲速度增大,拉张应力环境进一步增强,使得徐家围子地区进入强烈断陷阶段,具体表现为徐西控盆断裂的发育和裂陷活动的加剧,由于该时期东西向短轴物源供给充足,在研究区沉积了一套厚层的陆相碎屑岩(图1b)。营城组沉积期,西太平洋板块的俯冲活动开始由斜向俯冲转为正向俯冲,松辽盆地逐渐由拉张应力环境转变为挤压应力环境,研究区开始进入断陷萎缩阶段,到营城组末期,徐家围子断陷活动基本结束,断陷转化为坳陷。由此形成了现今徐家围子地区深层西陡东缓、南北分块、凹陷相间的构造格局^[14]。

2 层序地层特征

由于宋站地区在沙河子组沉积期处于强烈断陷阶段,湖盆沉积厚度大、埋藏深、断层较多,而实际钻井深度较浅,取心极少,导致研究区地质—地球物理资料多不齐全。为了研究该地区层序地层特征,本文以建立等时地层格架为原则,尽可能地充分运用录井、测井以及三维地震资料对不同级别的层序界面进行识别^[15-17]。将研究区沙河子组划分为1个二级层序和4个三级层序(图2a),并在三级层序内部

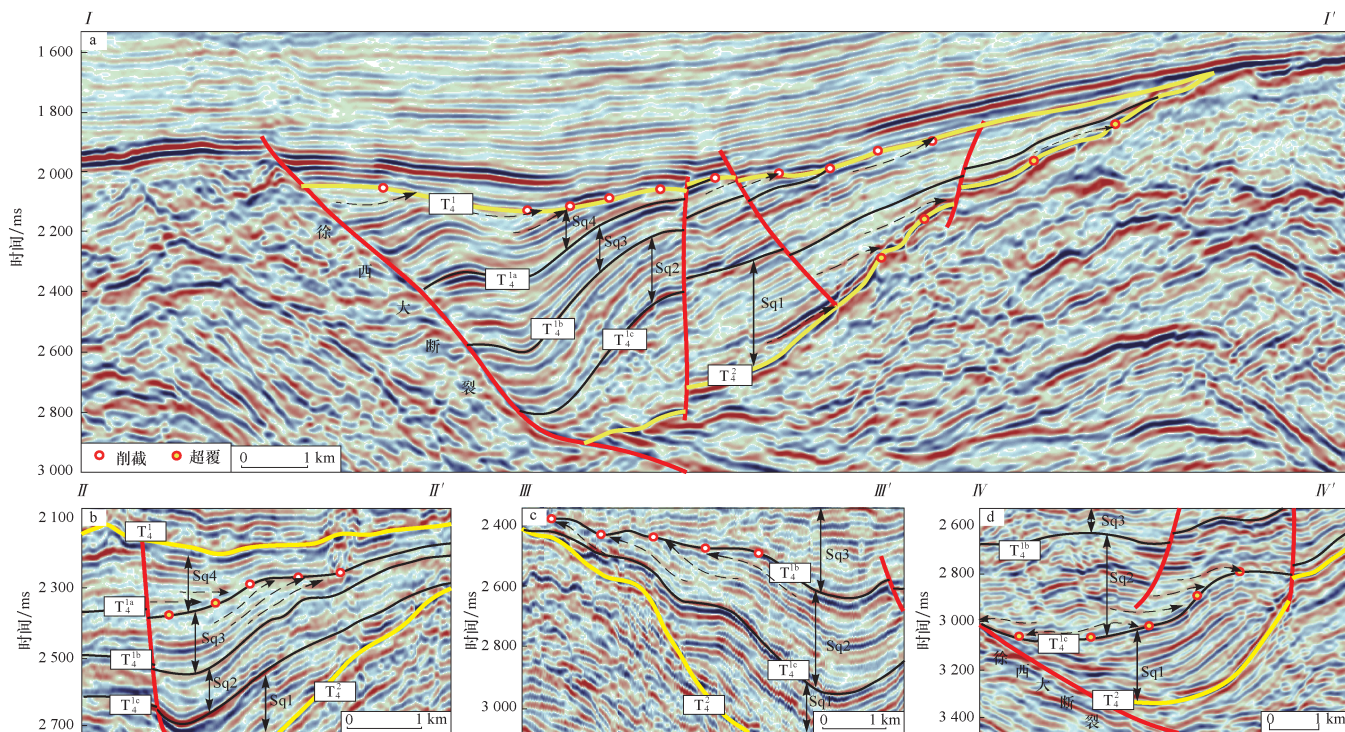


图2 松辽盆地徐家围子断陷宋站地区沙河子组关键层序界面地震反射特征(剖面位置见图1)

Fig. 2 Seismic reflection characteristics of the 2nd-order and 3rd-order sequence boundaries of the Shahezi Formation in Songzhan region of Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin (section location referred in Fig. 1)

a. 沙河子三级层序划分及顶、底层序界面特征; b. Sq4 底界面特征; c. Sq3 底界面特征; d. Sq2 底界面特征

2.3 体系域

研究区沙河子组上部钻遇井较多,根据岩性组合特征及地震响应,Sq4 可划分为 LST, TST 和 HST 3 个体系域。以达深9井为例(图3),该井 LST 主要为一套辫状河三角洲平原到前缘的砂砾岩夹泥岩沉积, TST 主要为辫状河三角洲前缘与滨浅湖的泥岩沉积,而其 HST 以辫状河三角洲平原的紫红色泥岩夹砂砾岩沉积为主,纵向上湖平面升降旋回完整。沙河子组中下部由于钻井资料较少,三级层序内部的体系域界面特别是初始湖泛面较难以识别。为了尽可能的建立更精细的等时地层格架,本文根据最大湖泛面之上的下超现象以及典型的地震相差异,将 Sq1, Sq2 和 Sq3 划分为 LST + TST 和 HST 两个体系域(图4)。当然,随着钻井资料的不断增多,这些体系域界面的精度也将逐渐提高,体系域的划分也会更加完善。

3 沉积相类型及特征

断陷湖盆在充填演化过程中往往分布着多种类型的沉积体系,并且在不同构造部位沉积发育特征不尽相同^[21-22]。综合分析岩心、录井、成像测井、常规测井

以及地震资料,研究区沙河子组主要发育辫状河三角洲、扇三角洲、湖泊以及火山碎屑岩沉积等,不同的沉积相具有明显不同的地质地球物理响应特征。

3.1 辫状河三角洲

辫状河三角洲是断陷湖盆缓坡带最为常见的一种沉积类型。在研究区,辫状河三角洲主要发育于沙河子组中晚期的盆地东部,它通常是随着湖盆范围的扩大,搬运距离的增加而逐渐出现的。岩性上主要为灰色或杂色砂砾岩、灰色或黑色泥岩和煤层,其中砾岩多为中砾岩和细砾岩,具有一定的粒序性且显示出较好的分选特征,砾石磨圆以次棱角-次圆状为主,且砾石间多为砂质充填(图5a-c)。砂岩主要为粗砂岩和中细砂岩(图5d),部分含有少量砾石。泥岩中煤层较为发育,但单层厚度普遍小于1m,常规测井曲线上具有明显的低伽马、低密度特征。根据砂砾岩发育规模、泥岩颜色以及煤层发育特征,研究区辫状河三角洲可分为平原和前缘两个部分。辫状河三角洲平原砂砾岩发育规模大,可见大中型交错层理,泥岩颜色以灰色为主,煤层较为发育;辫状河三角洲前缘砂砾岩沉积规模则相对较小,沉积物粒度稍细,泥岩颜色以黑色、灰黑色为主,煤层少见(图6a)。辫状河三角洲在河道入湖

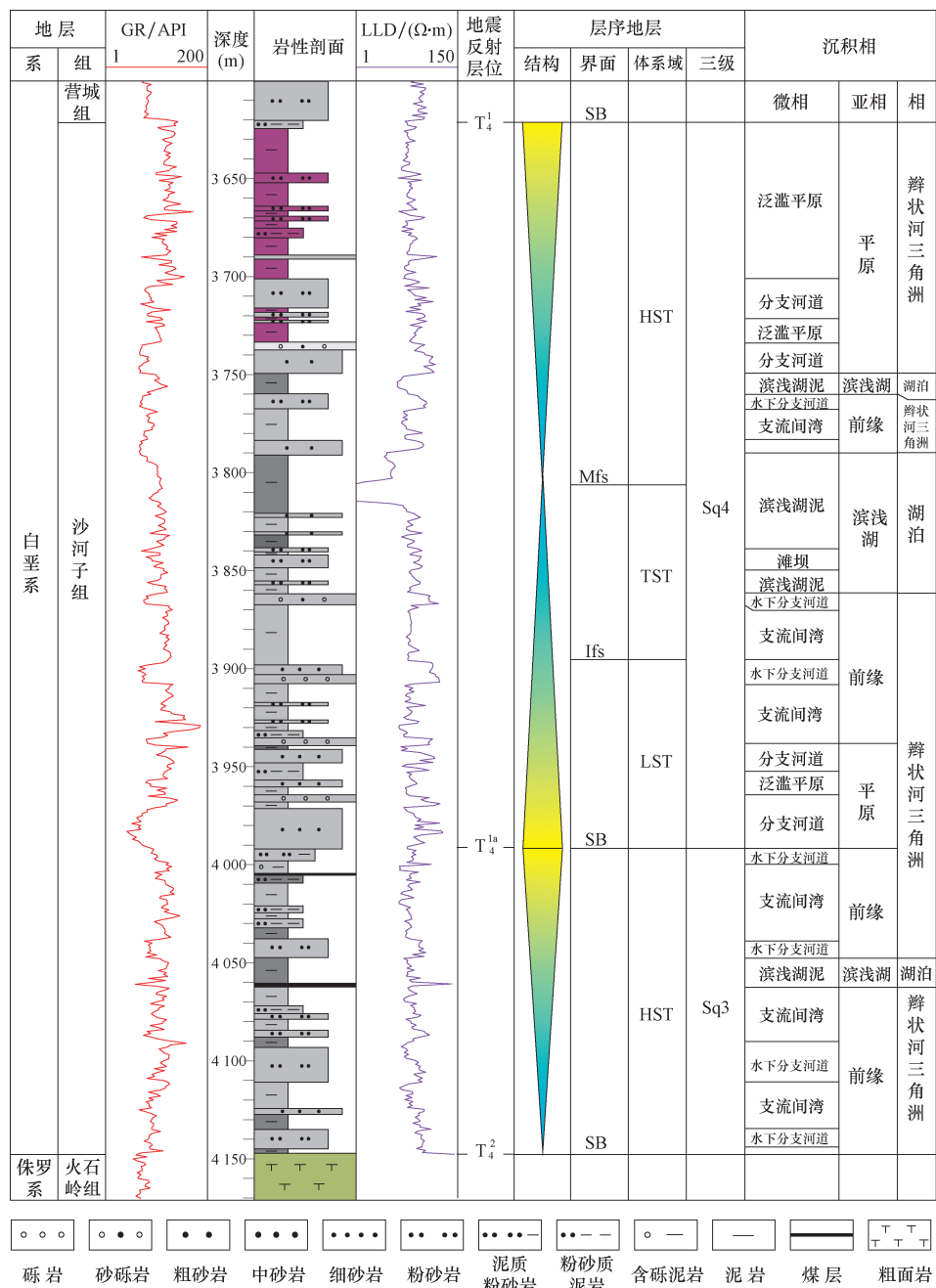


图 3 松辽盆地徐家围子断陷宋站地区达深 9 井沙河子组层序 - 沉积相划分

Fig. 3 Sequence stratigraphy and sedimentary facies of the Shahezi Formation in Well Das 9 of Songzhan region in Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin

处,由于沉积物卸载速度较大,前积作用明显,地震剖面中可以见到前积反射结构,在研究区主要表现为透镜状前积或板状前积(图 7a),另外还可见到典型的席状平行反射。

3.2 扇三角洲

在沙河子沉积早期,研究区裂陷范围较小,无论是西部陡坡带还是东部相对缓坡带,均可见大量发育的扇三角洲沉积物,岩性以杂色、灰色砂砾岩、砂岩和灰

色、黑色泥岩为主,煤层不发育。由于扇三角洲沉积物搬运距离短,堆积速度快,沉积砾岩具有典型的混杂堆积特征,其砾石磨圆差,以次棱角状为主,砾石间以泥质杂基充填为特征,在东部和西部的钻井取心中均有揭示(图 5e—g)。另外在砂砾岩底部还可见到被快速掩埋的植物化石(图 5h)。根据沉积物特征差异,扇三角洲同样可以划分为平原和前缘两个部分,其中扇三角洲平原河道规模比辫状河三角洲平原更大,砂砾岩也更为发育(图 6b);而扇三角洲前缘砂砾岩发育规模

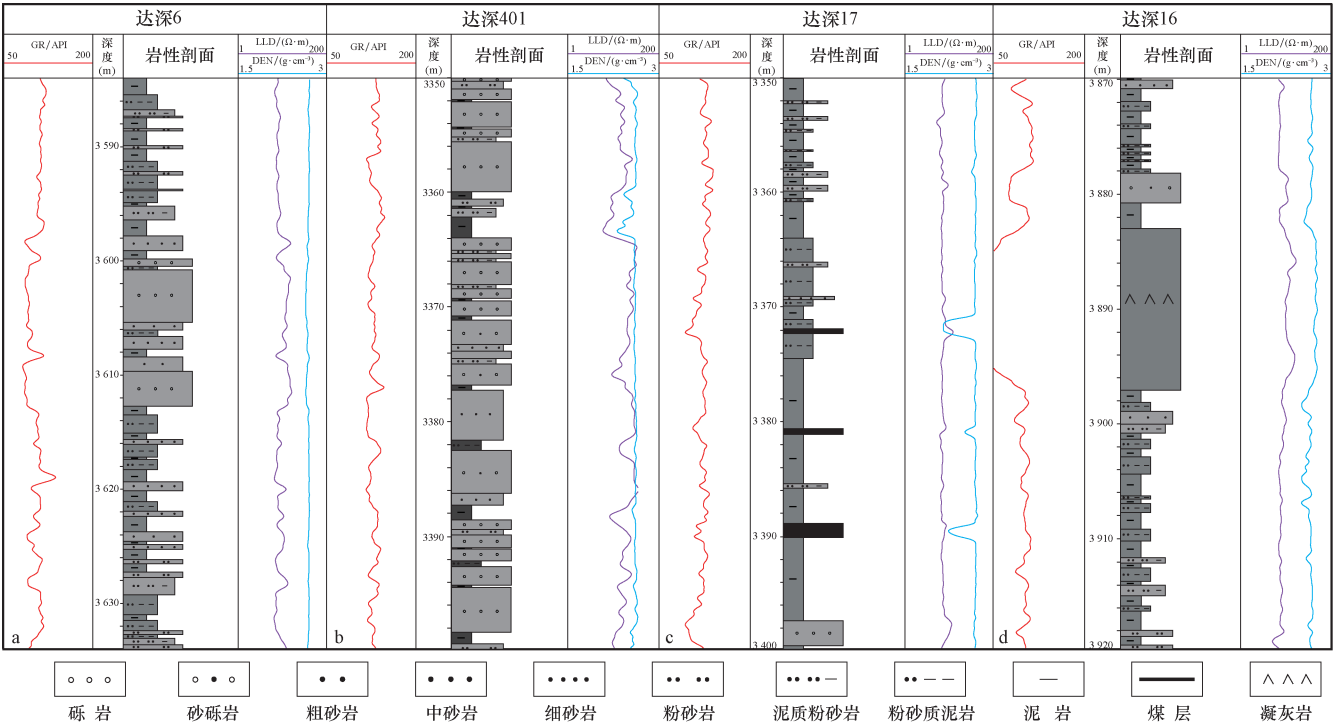


图 6 松辽盆地徐家围子断陷宋站地区沙河子组不同沉积相类型典型测井响应与沉积序列

Fig.6 Sedimentary succession and log response of different sedimentary facies of the Shahezi Formation in Songzhan region of Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin

a. 辫状河三角洲; b. 扇三角洲; c. 湖泊; d. 火山碎屑岩沉积

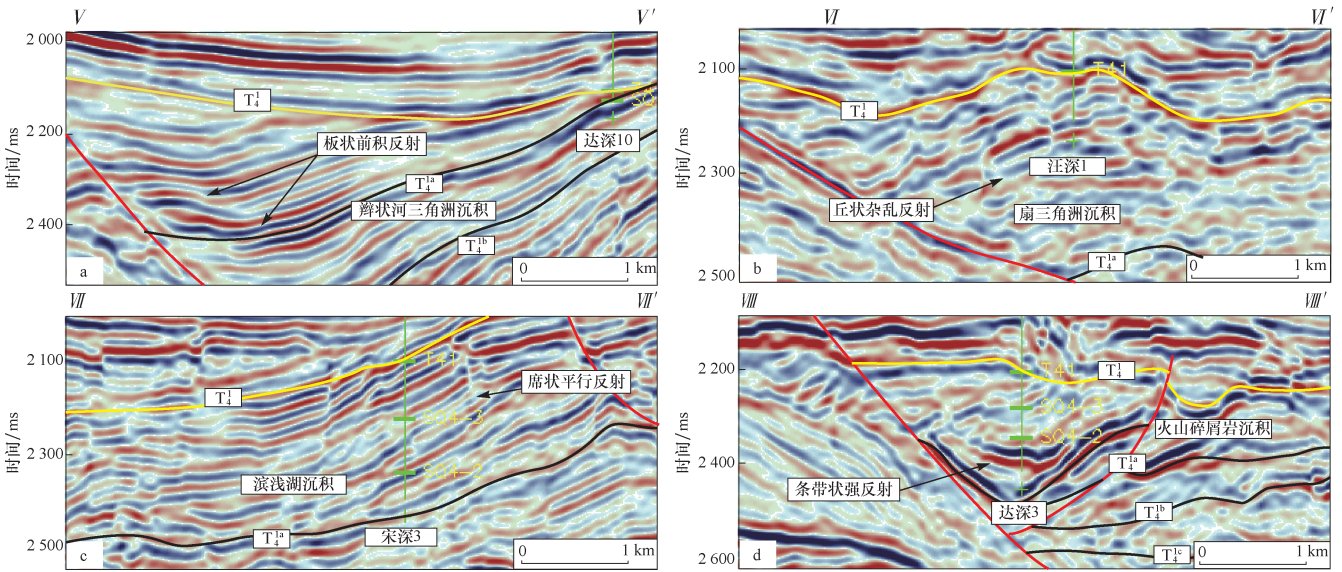


图 7 松辽盆地徐家围子断陷宋站地区沙河子组典型沉积相地震响应特征(剖面位置见图 1)

Fig.7 Typical seismic reflections of different sedimentary facies of the Shahezi Formation in Songzhan region of Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin(see Fig. 1 for the section location)

a. 辫状河三角洲地震响应; b. 扇三角洲地震响应; c. 湖泊地震响应; d. 火山碎屑岩地震响应

则明显减小,砂砾岩层间泥岩多为黑色或灰黑色。在地震剖面上,扇三角洲沉积物以典型杂乱反射为特征,其反射外部形态通常在顺物源方向上呈楔状,垂直物源方向上呈丘状(图 7b)。

3.3 湖泊

前人研究表明断陷湖盆中湖泊相沉积主要发育于深断带内,并常沿着陡坡区呈条带状展布。在研究区

沙河子组沉积期,受徐西断裂的控制盆地具有南北长、东西短的特点,而沉积物又主要来自短轴方向,使得宋站地区沙河子组湖泊相分布较为局限。由于充足的物源供给和频繁的湖平面波动,在湖泊相带中很难识别出半深湖和深湖亚相,主要以滨浅湖为主。在岩性上以典型的厚层泥岩夹薄层砂砾岩和广泛发育的薄煤层与炭化泥岩为特征(图 5i,j),在测井曲线上自然伽马明显偏高、密度曲线齿化特征显著(图 6c)。在地震剖面中,由于湖泊沉积水动力较弱,沉积物多为垂向加积,其对应的地震相主要表现为席状平行或席状披盖反射等特征(图 7c)。

3.4 火山碎屑岩沉积

徐家围子断陷深层火山岩主要形成于火石岭组与营城组沉积期,沙河子组时期火山活动较弱,仅在研究区北部 T_4^{1a} 界面附近存在部分火山碎屑岩沉积。岩心资料观察发现,沙河子组火山碎屑岩主要为沉火山角砾岩和沉凝灰岩,其中火山角砾大小混杂,以次次圆状-棱角状为主,部分呈漂浮状态,角砾之间多为暗色泥质充填,可见变形构造(图 5k,l)。沉凝灰岩常与暗色泥岩突变接触,这表明它们可能为水下沉积的产物。与正常碎屑岩相比,研究区火山碎屑岩在测井上具有异常的低伽马特征(图 6d)。在地震剖面中,由于火山碎屑岩与上下正常碎屑岩地层岩性差异极大,通常具有异常强反射特征,部分区域还可以见到火山扰动记录(图 7d)。

4 沉积演化规律及充填模式

4.1 沉积相展布规律

宋站地区沙河子组钻井资料较少且分布不均,为确保层序格架内沉积相能够反映沙河子组沉积期的沉积环境,依据单井、剖面沉积相分析,结合优选地震属性图、砂砾岩厚度与百分含量图以及地震相平面分布图,采取单因素取证综合分析法,再现了研究区沙河子组层序格架内沉积相的空间配置关系。

1) $Sq1$ 时期,徐家围子地区进入强烈断陷阶段,裂陷大规模发生,但在不同的区域裂陷程度有所差异。由于主控断裂徐西大断裂为近南北向展布,裂陷区分布范围较窄,边界坡度整体偏陡,沉积物搬运距离短,该时期东部的相对缓坡区和西部陡坡带均以扇三角洲沉积为主。在盆地东北部可见到沟谷体系,多与早期断裂相伴生,是早期沉积物的重要运输通道。湖泊沉积区受短轴物源影响分布较为局限,仅在部分陡坡带存在(图 8a)。

2) $Sq2$ 沉积期,徐西断裂持续活动,盆地范围进一步扩大,沉积中心逐渐向西迁移,东部缓坡带地貌单元不断扩张。该时期的沉积相展布继承了 $Sq1$ 时期的沉积格局,整体上仍以扇三角洲沉积为主(图 8b),湖泊相仅在深断带内断续分布,但盆地沉积范围较 $Sq1$ 时期有所扩大。

3) $Sq2$ 沉积之后,研究区发生了一次较大规模的断陷活动,并在盆地边缘形成了 T_4^b 不整合面。该时期盆地范围进一步扩大,在不同的构造部位,沉积相带开始出现分异,西部陡坡带以扇三角洲沉积为主,东部缓坡带逐渐出现辫状河三角洲沉积,湖泊沉积受短轴物源供给的影响,仅在盆地中心断续分布,但沉积范围在逐渐扩大(图 8c)。

4) $Sq4$ 沉积初期,研究区存在着一次局部的火山喷发活动,在工区北部可见部分的火山碎屑岩沉积,之后整个徐家围子地区开始进入强烈断陷阶段末期。该时期盆地沉积中心向西迁移幅度逐渐减小,湖泊沉积区沿着深断裂带发育,但其范围由逐渐扩大变为逐渐缩小,并在 $Sq4$ 的 TST 时期达到最大(图 8d),该时期所对应的湖相烃源岩也最为发育,至 $Sq4$ 的 HST 时期,湖盆在充足物源的供给下逐渐萎缩,大套厚层三角洲砂砾岩不断向盆地中央推进,部分直接覆盖在 $Sq4$ -TST 时期广泛发育的湖相泥岩之上,这种沉积序列通常可为后期的油气成藏提供了良好的条件。

4.2 沉积充填模式

前人研究表明,大型断陷湖盆通常具有相对统一的沉积沉降中心,并且湖泊相带分布范围较广且连成一片,缓坡带与陡坡带的沉积产物通常不同,扇三角洲与辫状河三角洲分带性明显^[17,21-23]。然而通过分析沙河子组的沉积充填演化规律可以发现,尽管与其它断陷盆地相类似,沙河子组沉积充填也受盆地级同沉积断裂的控制,随着断裂活动的加强到减弱,盆地同样经历着发生、发展以及消亡的过程,但其沉积充填特征与大型陆相断陷盆地相比还是有所不同。

在沙河子组沉积期,整个徐家围子地区均处于强烈断陷阶段,裂陷活动剧烈、频繁。在北部宋站地区表现为南北向徐西大断裂持续活动,形成了一个条带状分布的小型断陷区,并且由于构造应力强度差异,不同的区域裂陷程度各不相同,形成了多个沉降中心,它们在沉积物的充填下造成了研究区较小的范围内沙河子组地层厚度差异极大的特征(图 1b)。在沙河子组沉积早期,受单一控盆断层的影响,断陷区范围小且窄,西部陡坡带以扇三角洲沉积为主,该时期来自东部的

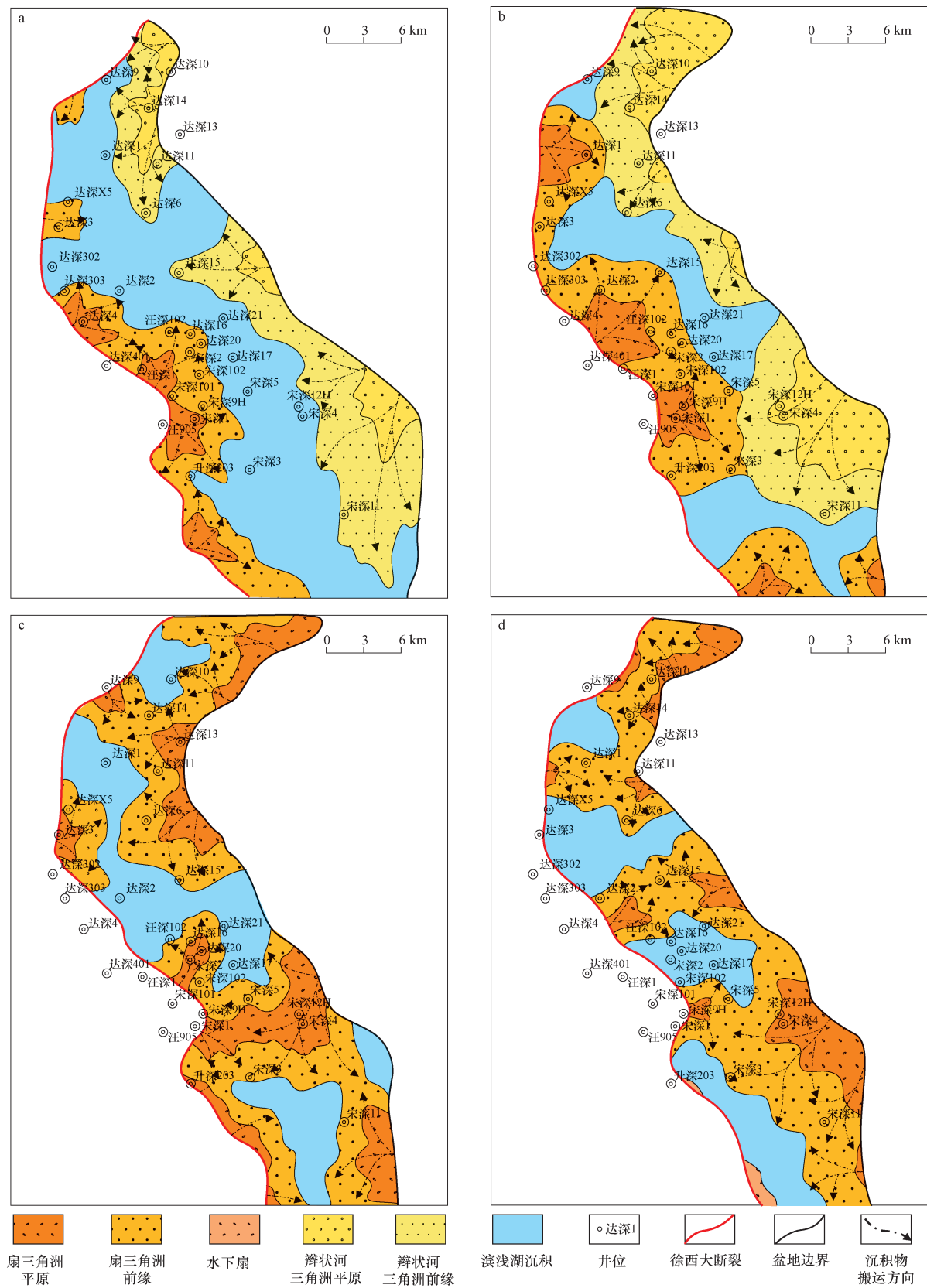


图 8 松辽盆地徐家围子断陷宋站地区沙河子组层序格架内沉积相展布

Fig. 8 Distribution of sedimentary facies within sequence stratigraphic framework of the Shahezi Formation in Songzhan region of Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin

a. S₄ 的 TST 沉积相; b. S₃ 的 HST 沉积相; c. S₂ 的 LST + TST 沉积相; d. S₁ 的 LST + TST 沉积相

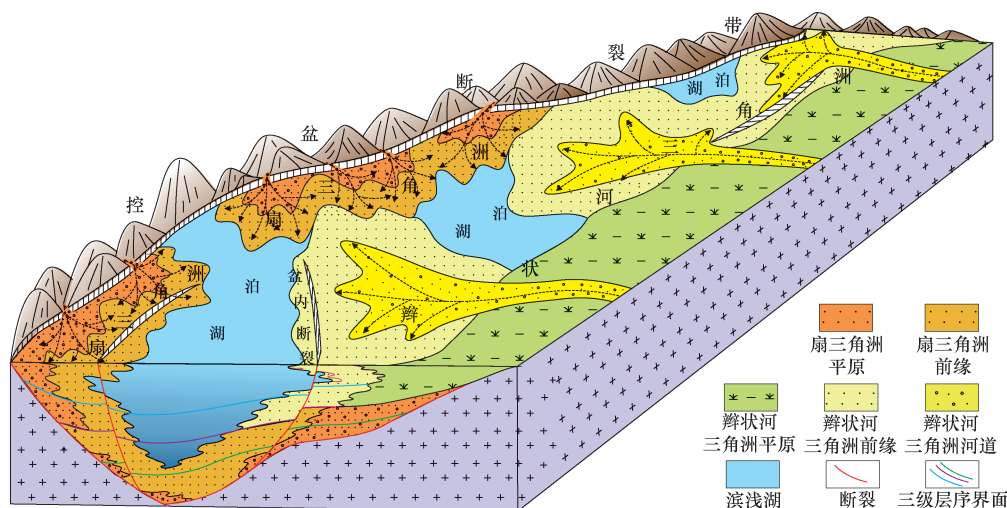


图9 松辽盆地徐家围子断陷宋站地区沙河子组沉积充填模式

Fig. 9 Sedimentary filling model of the Shahezi Formation in Songzhan region of Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin

物源由于搬运距离较短,沉积物也表现为扇三角洲沉积特征,在岩心记录中可见到明显的泥石流沉积(图5f)。随着断裂的持续活动,盆地范围逐渐增大,东部缓坡带开始由扇三角洲沉积转化为辫状河三角洲沉积,这说明在这种受短轴物源供给影响的箕状断陷中,沉积相的分异特征并不是与生俱来的,而是随着盆地沉积范围的扩大而逐渐演变所形成的(图8)。此外,该类盆地湖泊沉积区受短轴物源影响明显,常被分割成若干个相互独立的区域,它们可随着湖盆范围的扩大逐渐增大并有可能连成一体。在这种沉积模式中(图9),盆地范围最广的时期,湖相烃源岩通常最为发育,它能与后期具有储集能力的辫状河三角洲或扇三角洲砂砾岩形成良好的生储组合,成为油气勘探的有利目标。

5 结论

1) 针对宋站地区沙河子组地层厚度大、埋藏深、钻测井资料不全的特点,充分利用现有的地质-地球物理资料,以建立等时地层格架为原则,根据关键层序界面在地震剖面、岩性剖面和测井曲线上的响应特征,将沙河子组可划分为1个二级层序、4个三级层序,并在三级层序内部进行了体系域识别,建立了研究区沙河子组三级层序地层格架。

2) 研究区沙河子组发育辫状河三角洲、扇三角洲、湖泊以及火山碎屑岩沉积等四种沉积相类型,它们在地质-地球物理响应特征上差异明显。在平面分布上,辫状河三角洲主要发育于东部缓坡带,扇三角洲分布于西部陡坡带和早期的东部缓坡区,湖泊相多见于深断带内,火山碎屑岩沉积发育较为局限,多位于研究

区北部 T_4^{1a} 界面附近。

3) 研究区沙河子组沉积充填演化与大型断陷湖盆相比存在一定差异:强烈断陷期沙河子组在较小的区域内存在多个沉积沉降心,在多物源的供给下盆地地层沉积厚度差异较大;小型断陷早期缓坡带可发育扇三角洲沉积,不同构造带上的沉积分异特征是随着盆地范围的扩大而逐渐显现的;湖泊沉积区受物源供给影响明显,它们通常随着盆地沉积范围的扩大逐渐增大。在该类盆地中,湖盆最广时期所形成的湖相烃源岩可与上覆三角洲砂砾岩形成良好的生储组合,成为油气勘探的有利目标。

参 考 文 献

- [1] 赵文智,方杰. 不同类型断陷湖盆岩性-地层油气藏油气富集规律—以冀中坳陷和二连盆地岩性-地层油气藏对比为例[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 129-134.
Zhao Wenzhi, Fang Jie. Petroleum enrichment rules in lithologic and stratigraphic pools in different faulted basins: An example from the correlation of lithologic and stratigraphic pools in Jizhong Depression and in Erlian Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 129-134.
- [2] Yin Zhijun, Zhang Feng, Zou Huayao, et al. Study on source rock potential and source rocks spatial distribution in the Manghan Faulted Sag, Kailu Basin[J]. Journal of Zhejiang University (SCIENCE A), 2007, 8(11): 1872-1878.
- [3] 陈波, 黄发木, 夏永涛, 等. 松辽盆地深层断陷发育特征与油气富集[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 428-432.
Chen Bo, Huang Famu, Xia Yongtao. Characteristics of development of deep fault depressions and hydrocarbon accumulation in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 428-432.
- [4] 傅学斌. 小型箕状断陷盆地构造-沉积模式与油气成藏—以苏北管镇次凹为例[J]. 地质科技情报, 2009, 28(2): 77-80.
Fu Xuebin. The structure-sedimentation model and reservoir forming of little half-graben basin: a case study of Guanzhen Subsag in Northe-

- in Jiangsu Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(2): 77-80.
- [5] 赵贤正, 柳广弟, 金凤鸣, 等. 小型断陷湖盆有效烃源岩分布特征与分布模式—以二连盆地白垩统为例[J]. 石油学报, 2015, 36(6): 641-652.
- Zhao Xianzheng, Liu Guangdi, Jin Fengming, et al. Distribution features and pattern of effective source rock in small faulted lacustrine basin: a case study of the lower cretaceous in early basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(6): 641-652.
- [6] 周广军. 小型断陷带盆地自生自储式油气成藏规律—以海塔盆地中部主要断陷带南一段为例[J]. 东北石油大学学报, 2012, 36(5): 38-44.
- Zhou Guangjun. Oil accumulation patterns of self generation and self reservation in small depression basin—an example from kn of the main central depression zones of Haita Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2012, 36(5): 38-44.
- [7] 周荔青, 雷一心. 松辽盆地断陷层系大、中型油气田形成条件及勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 820-826.
- Zhou Liqing, Lei Yixin. Formation conditions for middle and large oil/gas fields in rift sequences of Songliao basin and their future exploration targets[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 820-826, 840.
- [8] 潘春孚, 纪友亮. 松辽盆地北部深层层序地层格架建立与模式研究—以古龙—常家围子断陷沙河子组为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 489-496.
- Pan Chunfu, Ji Youliang. The establishment of sequence stratigraphic framework and its models of deep formation in northern songliao basin; taking the Shahezi Formation of gulong-changjiaweizi fault depression as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(3): 489-496.
- [9] 陈贤良, 纪友亮, 樊太亮, 等. 松辽盆地梨树断陷层序类型及发育模式[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(4): 1151-1162.
- Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tai liang, et al. Sequence stratigraphic types and models in Lishu rift, Songliao basin[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(4): 1151-1162.]
- [10] 吕鹏估, 柳成志, 颜康, 等. 松辽盆地徐家围子断陷沙河子组地震相研究[J]. 地质与资源, 2014, 23(4): 330-334.
- Lv Pengji, Liu Chengzhi, Yan Kang, et al. Study on the seismic facies of the Shahezi Formation in Xujiaweizi Fault Depression in Songliao Basin[J]. Geology and Resources, 2014, 23(4): 330-334.
- [11] 王志宏, 李建明, 王延斌, 等. 徐家围子断陷沙河子组煤层发育特征及分布预测[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(1): 13-17, 39.
- Wang Zhihong, Li Jianming, Wang Yanbin, et al. Shahezi Formation coal seam development features and distribution prediction in Xujiaweizi Fault Depression[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(1): 13-17, 39.
- [12] 张守仁, 张遂安. 松辽盆地深层断陷期地层展布特征及油气勘探意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 335-343.
- Zhang Shouren, Zhang Suian. A study of the distribution of the strata during the fault-depression stage and its significance for the petroleum exploration in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 335-343.
- [13] 张元高, 陈树民, 张尔华, 等. 徐家围子断陷构造地质特征研究新进展[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 142-148.
- Zhang Yuangao, Chen Shumin, Zhang Erhua, et al. The new progress of Xujiaweizi Fault Depression characteristics of structural geology research[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 142-148.
- [14] 夏斌, 邱亮斌, 蔡周荣, 等. 徐家围子断陷应力场变化特征及“S”型构造格局成因探讨[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 415-419.
- Xia Bin, Qiu Liangbin, Cai Zhou rong, et al. Characteristics of stress field and mechanism of “S” structure pattern in Xujiaweizi rift sag [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(3): 415-419.
- [15] 邱桂强. 陆相断陷盆地高精度层序地层研究现状与思路[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3): 1-4, 8.
- Qiu Guiqiang. Current research situation and thinking on high accuracy sequence stratigraphy in the terrestrial rift basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(3): 1-4, 8.
- [16] Catuneanu O, Abreu V, Bhattacharya J P, et al. Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy. Earth-Science Reviews, 2009, 92(1): 1-33
- [17] 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, Diao Fan, et al. Sequence stratigraphic patterns and sand body prediction models of fault-depressed lacustrine basins: A case study from the Dongying Formation in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 96-102.
- [18] 解习农, 程守田, 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1996, 21(1): 27-33.
- Xie Xinong, Cheng Shoutian, Lu Yongchao. Episodic tectonic cycles and internal architectures of sequences in continental basin [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(1): 27-33.
- [19] 王家豪, 王华, 肖敦清, 等. 陆相伸展性盆地二级层序的厘定[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 869-875.
- Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing, et al. Determination of second-order stratigraphic sequences in continental extensional basins [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 869-875.
- [20] 姜华, 王华, 林正良, 等. 南堡凹陷古近纪幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 976-982.
- Jiang Hua, Wang Hua, Lin Zhengliang, et al. Periodic rifting activity and its controlling on sedimentary filling of Paleogene period in Nanpu Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 976-982.
- [21] 宋国奇, 郝雪峰, 刘克奇. 箕状断陷盆地形成机制沉积体系与成藏规律[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 303-310.
- Song Guoqi, Hao Xuefeng, Liu Keqi. Tectonic evolution, sedimentary system and petroleum distribution patterns in dustpan-shaped rift basin: a case study from Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 303-310.
- [22] 吴冬, 朱筱敏, 李志, 等. 苏丹 Muglad 盆地 Fula 凹陷白垩纪断陷期沉积模式[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(3): 319-327.
- Wu Dong, Zhu Xiaomin, Li Zhi, et al. Depositional models in Cretaceous rift stage of Fula sag, Muglad Basin, Sudan[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(3): 319-327.
- [23] 姜华, 王华, 林正良, 等. 南堡凹陷古近纪幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 976-982.
- Jiang Hua, Wang Hua, Lin Zhengliang, et al. Periodic rifting activity and its controlling on sedimentary filling of Paleogene period in Nanpu Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 976-982.