



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2406205

引用格式:滕家铭,苗蒙,赵丹,等.长岭断陷神字井—哈什坨洼槽形成演化及油气勘探意义[J].科学技术与工程,2025,25(21):8784-8795.

Teng Jiaming, Miao Meng, Zhao Dan, et al. Tectonic evolution and petroleum exploration implications of Shenzijing-Hashituo Subsag in Changling Fault Depression[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(21): 8784-8795.

天文学、地球科学

长岭断陷神字井—哈什坨洼槽形成演化及 油气勘探意义

滕家铭¹, 苗蒙¹, 赵丹¹, 杨光¹, 胡佳¹, 张珈畅^{2*}, 任玉洪¹, 苗露¹, 仇谢¹, 宋立臣¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司地球物理勘探研究院, 松原 138000;

2. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100)

摘要 神字井—哈什坨洼槽位于松辽盆地长岭断陷中部, 油气勘探前景良好, 是松辽盆地有利的油气富集带, 其构造演化及其对油气成因的影响分析对于长岭断陷下一步勘探开发具有重要意义。基于构造特征、断层古落差、活动速率及生长指数对洼槽开展构造演化分析, 结合地层剥蚀特征, 明确了神字井—哈什坨洼槽早期为共同沉积, 沙河子组末期受挤压隆升影响, 整体剥蚀分割, 哈什坨洼槽西侧隆升在登娄库组时期进一步加强。同时明确了长岭断陷神字井洼槽—哈什坨洼槽断陷层构造演化为断陷—同沉积—反转的纵向演化规律, 而这种早期快速沉降, 晚期反转隆升, 形成了较为有利的下生上储型成藏组合模式, 研究成果可为长岭断陷古构造恢复与进一步勘探提供理论参考。

关键词 长岭断陷; 神字井洼槽; 哈什坨洼槽; 断裂活动; 剥蚀特征; 构造演化

中图分类号 P548;

文献标志码 A

Tectonic Evolution and Petroleum Exploration Implications of Shenzijing-Hashituo Subsag in Changling Fault Depression

TENG Jia-ming¹, MIAO Meng¹, ZHAO Dan¹, YANG Guang¹, HU Jia¹, ZHANG Jia-chang^{2*},

REN Yu-hong¹, MIAO Lu¹, QIU Xie¹, SONG Li-chen¹

(1. Institute of Geophysical Exploration, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan 138000, China;

2. College of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

[Abstract] The Shenzijing-Hashituo Subsag is located in the central part of the Changling fault depression in the Songliao Basin, an area with promising oil and gas exploration prospects. It represents a favorable oil and gas accumulation zone within the Songliao Basin. Understanding the tectonic evolution of this region and its influence on hydrocarbon genesis is crucial for guiding future exploration and development efforts in the Changling fault depression. Based on the structural characteristics, ancient drop of faults, activity rate and growth index method, the structural evolution of the depression was analyzed. Combined with the characteristics of stratum erosion, it was determined that the Shenzijing-Hashituo subsag was co-deposited in the early stage, and the Shahezi Formation was affected by compression and uplift at the end, resulting in overall erosion and segmentation. The uplift on the west side of the Hashituo depression was further strengthened during the Denglouku Formation period. At the same time, it is clear that the tectonic evolution of the fault depression layer in the Shenzijing depression-Hashituo depression of the Changling Fault depression follows the longitudinal evolution law of fault depression-co-deposition-inversion. This early rapid subsidence and late inversion and uplift form a relatively favorable accumulation combination model of lower generation and upper storage. The research results can provide theoretical references for the restoration and further exploration of the ancient structure of the Changling fault depression.

[Keywords] Changling fault depression; Shenzijing subsag; Hashituo subsag; fault activity; erosional characteristics; tectonic evolution

松辽盆地作为中国东北部最大沉积盆地, 是晚中生代以来发育的大型陆内裂陷盆地, 具有典型的

断拗复合结构^[1], 随着深部油气勘探不断深入, 深层断陷盆地在勘探中取得显著突破, 断陷构造层具

收稿日期: 2024-08-19 修订日期: 2025-04-16

第一作者: 滕家铭(1991—), 男, 汉族, 吉林松原人, 硕士, 研究员。研究方向: 地震资料解释。E-mail:1576569380@qq.com。

*通信作者: 张珈畅(2000—), 女, 蒙古族, 吉林松原人, 硕士研究生。研究方向: 构造地质学。E-mail:2452761181@qq.com。

投稿网址: www.stae.com.cn

有继承性,且沉降平稳,形成了多套有利生储盖组合^[2-4]。长岭断陷位于松辽盆地中央坳陷区南部,断陷面积约 $1.34 \times 10^4 \text{ km}^2$,发育五套含气层系,四次资源评价总资源量 2.16 万亿 m^3 ,揭示了长岭断陷深部断陷层具有较好的油气勘探潜力。

随着评价工作的深入开展,发现长岭断陷期地层的结构认识存在较大多解性^[5-7],针对洼槽的整体研究仍待深入,缺乏区域构造-洼槽-断层的整体性研究,直接影响了烃源岩与储层预测的符合率,由于神字井—哈什坨洼槽位于长岭断陷中部洼槽带,洼槽经历了多期构造演化,断层发育复杂,构造样式多变^[8],使得在神字井—哈什坨洼槽形成演化方面未能得到统一的理论认识,因而,对长岭断陷神字井—哈什坨洼槽构造变形特征及形成演化过程有必要开展系统而深入的研究。

为明确长岭断陷神字井—哈什坨洼槽构造演化及其对油气成因的影响,在对三维地震资料进行精细解释的基础上,现分析其现今构造特征,系统识别洼槽内部的构造样式,刻画神字井—哈什坨洼槽内部断裂系统,分析地层剥蚀特征,结合平衡剖面技术,明确洼槽构造演化过程,分析控洼断裂的差异活动与演化特征,建立研究区的地层-构造格架,从而明确长岭断陷神字井—哈什坨洼槽演化规律,综合分析其形成演化对油气聚集的影响,以为长岭断陷深层天然气勘探及井位部署提供依据。

1 地质背景

松辽盆地是中国东北地区最大的陆内裂谷盆

地。构造上位于华北板块、西伯利亚板块以及太平洋板块之间。松辽盆地展布为北东-南西向,总体构造特征比较平缓。松辽盆地整体是由断、坳两种类型叠加的复合型盆地,剖面上有明显的双层结构^[9-10],具体讲,以 T3 面(即登娄库组顶)为界,以上表现为整体大型坳陷盆地叠覆在下部多个不同断陷之上的复合型盆地。长岭断陷由 NNE 向分布的断陷湖盆构成,面积约占松辽盆地的 1/3;坳陷盆地为全区统一沉积,面积约占松辽盆地的 2/3,具有深浅层双重地质结构的特征^[11]。

在地幔物质上涌和太平洋板块向欧亚板块俯冲的双重作用下^[12],盆地形成了不同方向的断层,将松辽盆地划分为三十多个大小不一的次级断陷^[13]。长岭断陷位于松辽盆地中央坳陷区的南部,经历了与松辽盆地一致的构造演化过程,东西发育不同洼槽。把长岭断陷划分为 9 个次级单元(图 1),包括大安断陷、乾北洼槽、孤店断陷、神字井洼槽、哈什坨洼槽、查干花洼槽、伏龙泉洼槽、黑帝庙洼槽,龙凤山洼槽;神字井—哈什坨洼槽位于长岭断陷中部洼槽带,共有 3 个已开发气田:长岭 I 号气田、双坨子气田和伏龙泉气田,是长岭断陷重要产气区。

2 现今洼槽构造格架特征分析

在对长岭断陷地震资料进行精细的地层-断层解释的基础上,识别了神字井—哈什坨洼槽的构造样式系统,通过对神字井—哈什坨洼槽现今的构造特征以及残余厚度分析,初步分析研究区的构造活跃期,为进一步的构造演化研究做好基础。

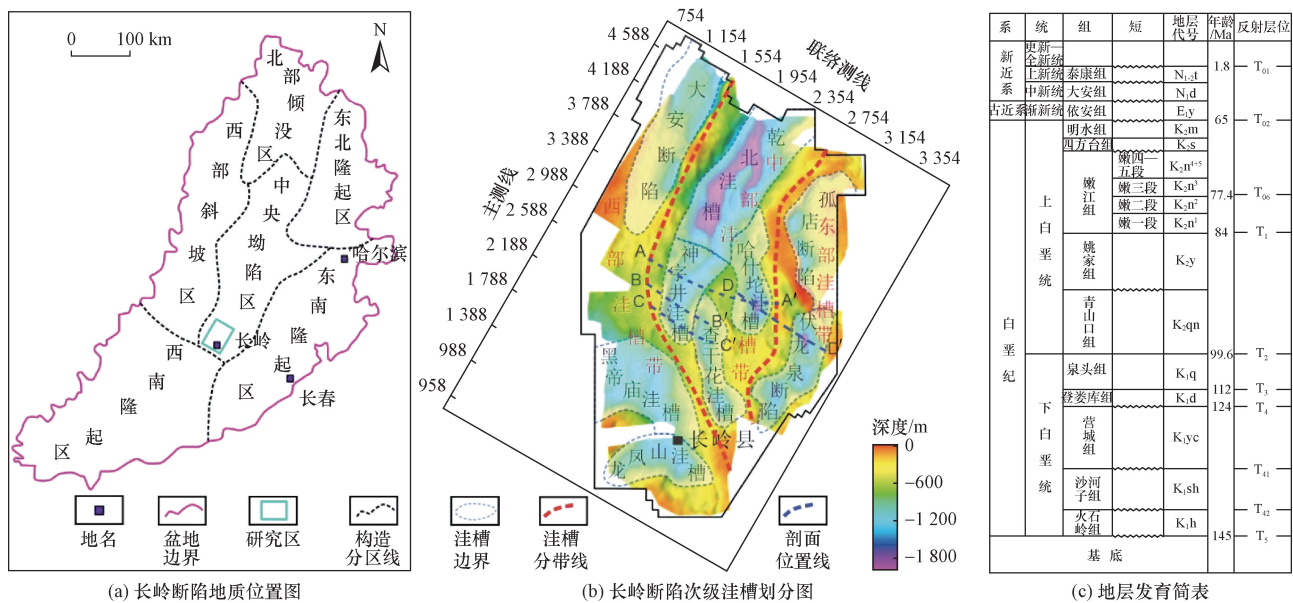


图 1 长岭断陷构造与地层划分图
Fig. 1 Tectonic and stratigraphic division of Songliao Basin

2.1 现今地层结构

神字井—哈什坨洼槽位于长岭断陷中部,地层具有明显的双层结构,由过神字井—哈什坨地震剖面构造样式分析(图2)可以看出,以T3(登娄库组顶界面)为界,盆地发生了明显变化,由早期明显的断陷结构转化为整体坳陷结构,神字井洼槽断陷期发育西断东超的结构特征,哈什坨洼槽发育的东断西超结构特征,神字井—哈什坨洼槽两侧半地堑构造叠合组成双断式地堑结构,断裂控制了沉积作用,沿控盆断裂附近沉积厚度大,地层结构具有明显的继承性,断陷期沉积中心大体一致,营城组沉积后,断裂活动减弱,先期断陷被后期断陷沉积掩盖,反映后期断裂活动减弱,具有填平补齐的特点,构造上由早期的半地堑结构样式,转化为具有明显走滑性质的负花状构造,同时受区域伸展应力作用影响,盆地受伸展型断裂所控制,为走滑-伸展型盆地^[14]。

如图3所示,对比神字井—哈什坨洼槽现今的各断陷期地层厚度图:火石岭组时期[图3(a)],神字井洼槽南部沉降作用明显,哈什坨洼槽少量沉积;沙河子组时期[图3(b)],沉降中心受断层控制明显,在神字井和哈什坨洼槽边界断层内侧处呈对称分布,地层受隆升剥蚀强度最大,研究区沉降中心与现今洼槽形态密切相关,神字井洼槽呈北东向,哈什坨呈近南北向;营城组时期[图3(c)],研究区沉降作用减弱,格局继承了沙河子组沉降格局;登娄库组时期[图3(d)],神字井洼槽沉降中心北移,而哈什坨洼槽沉降作用进一步加强。营城组沉积后,地层受断层控制作用影响明显减弱,地层在沙河子组和营城组沉积厚度最大。

综合分析各时期沉积厚度变化,可以看出神字井洼槽在火石岭-沙河子阶段沉降作用较强,哈什坨洼槽在沙河子沉积期出现强沉降作用,神字井—哈什坨洼槽在沙河子组沉积后沉积厚度逐渐减小,说明神字井—哈什坨洼槽由早到晚构造沉降逐渐减弱,沉降中心在神字井洼槽呈北移趋势,在哈什坨洼槽沉降中心一直受控于断层,在断层西侧分布。营城组沉积后,全区沉积范围明显增大,沉积厚度逐渐减小,登娄库沉积期,地层非均一沉降,沉积范围开始扩展,此时盆地进入坳陷阶段,沉积厚度差异不明显,体现了构造变形差异对沉积地层厚度和沉积速率的控制作用。

2.2 断裂平面展布分析

以同沉积正断层的活动为标志,对断裂系统解析显示,长岭断陷神字井—哈什坨洼槽主要发育NNE-NE、NW-NNW和近SN走向的3组断层。

由研究区火石岭组断裂体系分布图(图4)可以看出,神字井—哈什坨洼槽断裂构造的平面展布有明显的区域分带特征。神字井洼槽区发育的断层大多分布在洼槽边界,属于大断距的控洼断层,断层倾向与洼槽边界斜坡同倾,走向呈NNE向、NE向和近SN向,其中神字井洼槽西侧的NNE向断层为同沉积控洼断层,在平面上呈平行状发育。哈什坨洼槽断层主要发育在洼槽边界,呈近SN向,洼槽与盆地同倾斜坡发育断距大的控洼断层,与盆地反倾向斜坡发育断距小的小断裂,这些断裂与边界断裂平面上呈平行或小角度斜交特征发育。神字井、哈什坨边界断层是洼槽内主要的控洼断层,断距大,延伸长,平面上呈相对平行的形态特征,对神字井—哈什坨区域洼槽演化具有主要的影响作用在地

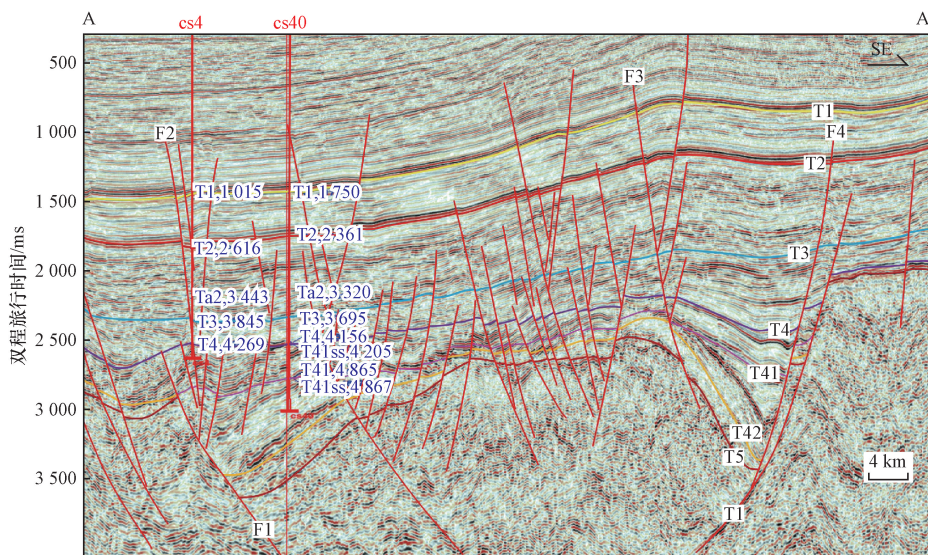


图2 长岭断陷过神字井—哈什坨洼槽剖面

Fig. 2 Changling fault depression through Shenziqing Hashto Sag profile

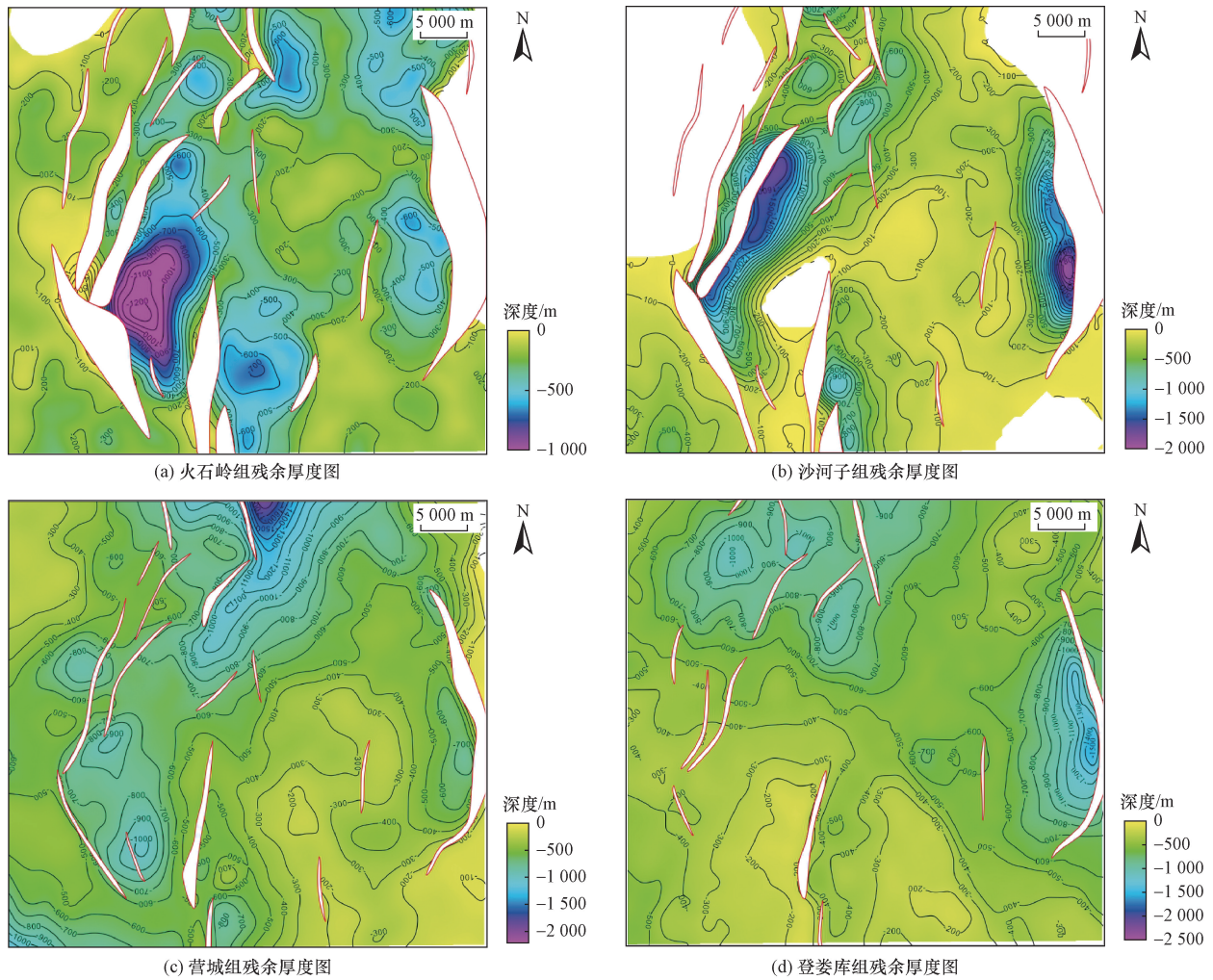


图3 长岭断陷期残余地层厚度图

Fig. 3 Residual formation thickness map of Changling fault depression period

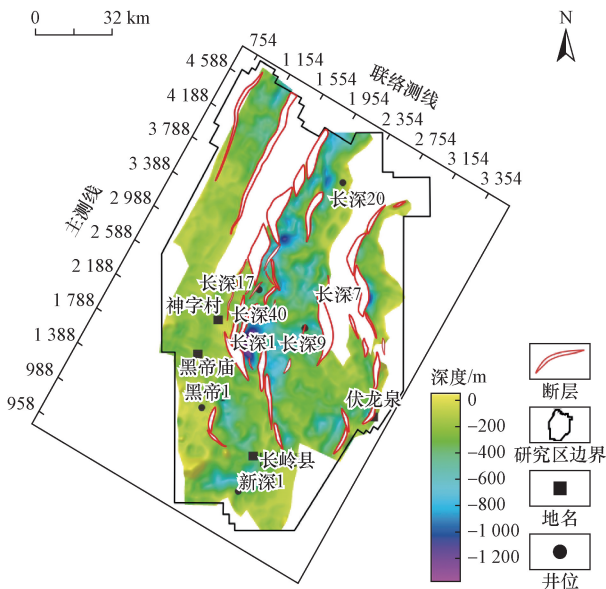


图4 长岭断陷火石岭组断裂系统划分图

Fig. 4 Fault system division diagram of Huoshiling Formation in Changling fault depression

震剖面上断层反射差异比较明显,整体构造上使断陷呈现半地堑结构样式。受边界断层以及盆地内的地层特征影响,边界断层周围以及洼槽内部小隆起部多发育规模相对较小的次级断裂,受洼槽各部分构造不同程度的影响呈现不同的展布特征,对局部构造的演化变形具有调节作用^[15]。

2.3 剖面构造发育分析

选取研究区两条过神字井剖面(图5、图6)和一条过哈什坨洼槽剖面(图7)分析发现,神字井洼槽发育半地堑-复式半地堑构造样式,神字井西侧断层主要断开火石岭组地层,控制着断陷期地层沉积,哈什坨洼槽早期发育正牵引构造,同样发育半地堑-复式半地堑构造样式。可以看出神字井、哈什坨洼槽两侧断层均在早期活动强烈,具体地层被控表现为:火石岭-沙河子时期洼槽边界控洼断层上下盘具有明显的厚度差异,边界控洼断层表现出铲式断层的特点,自基底贯穿至浅部拗陷层系,断层发育规模大,在断陷期持续活动,上部地层在靠近断面

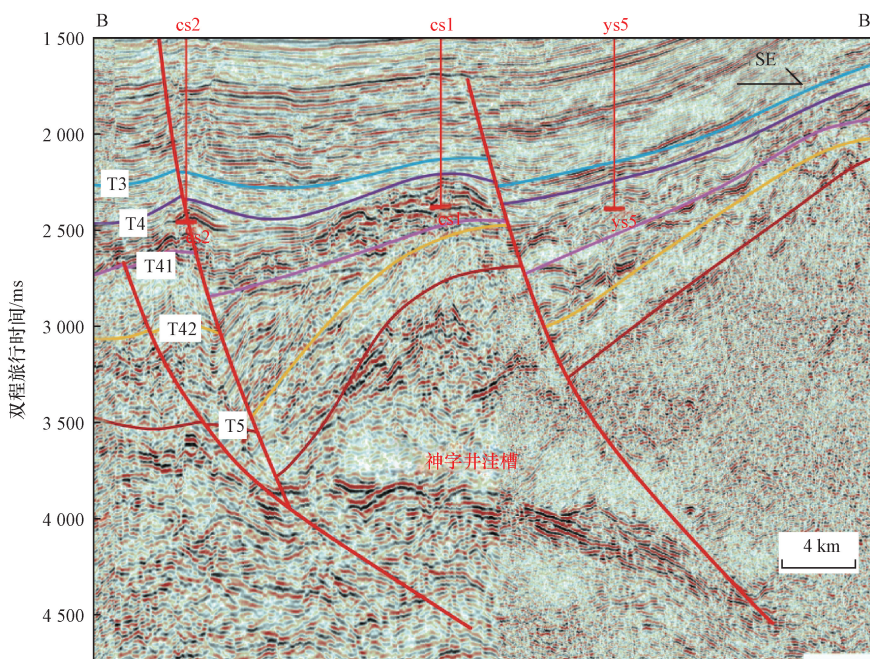


图5 长岭断陷过神字井注槽解释剖面(剖面位置见图1B-B')

Fig. 5 Changling fault depression through the Shenzijing sub-sag interpretation profile (section location is shown in fig. 1 B-B')

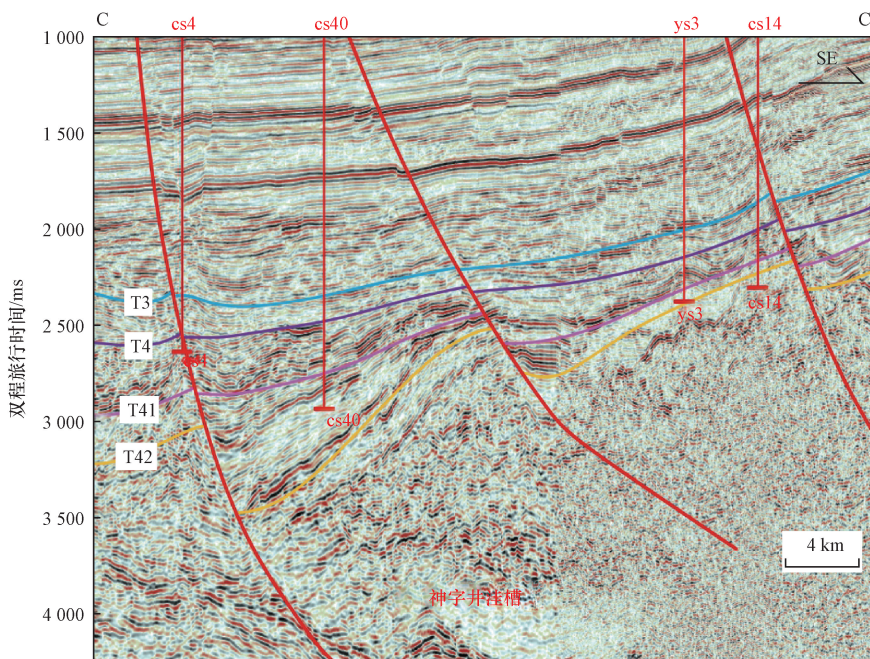


图6 长岭断陷过神字井注槽解释剖面(剖面位置见图1C-C')

Fig. 6 Changling fault depression through the Shenzijing sub-sag interpretation profile (section location is shown in fig. 1 C-C')

部分发生不同程度的旋转,具有明显的长期控陷特征^[16],下盘地层基本保持相对稳定的状态,在地震上可以明显看出断面波,为典型的伸展型断层^[17],晚期控注边界断层活动性减弱,与控注断裂倾向相反断层活动迅速增强,注槽中间形成与控注边界断层倾向相同的次生断裂,可以看出盆地具有明显的

走滑-伸展性质^[18],神字井注槽斜坡带与边界断裂倾向相反的断裂构成“负花状构造”,共同控制着神字井注槽的发育。各断层断穿的地层不相同,边界断层自基底贯穿浅部拗陷层系,注槽内部发育规模较小的次级断裂断穿断陷层系,浅部发育的次级断层基本呈平面式形态,只对浅层的局部变形起到调

节作用。

通过对神字井—哈什坨洼槽地震剖面的精细解释和断层识别,认为研究区主要发育“y”字形或反“y”字形、同向调节断层、反向调节断层、半地堑及复式半地堑等构造样式。平面表现为平行式、交叉式、分叉式等平面构造组合特征(图8)。

从结构上分析剖面中的神字井—哈什坨洼槽两边的边界断层 F1 和 F4,可以看出神字井洼陷的 F1 断层上下盘的火石岭组(T5-T42)各段厚度相同而沙河子组(T42-T41)楔形特征明显,这也代表 F1

断层是在沙河子组时期断层活动性较强,哈什坨洼陷的 F4 断层上下盘沙河子组和登娄库组(T4-T3)楔形特征明显,这也代表 F4 断层在沙河子组时期和登娄库组两期活动发育较强。F1 和 F4 这两条断层在沙河子组时期共同具有强活动性特征,而洼槽中部以只是发育微小的断裂,洼槽间的基底隆起在神字井洼槽呈现较缓的隆起坡特征,而在哈什坨洼槽位置上是较陡的隆起坡特征。

综合现今构造特征分析初步推测神字井洼槽和哈什坨洼槽在沙河子组时期前是一个整体的洼槽,

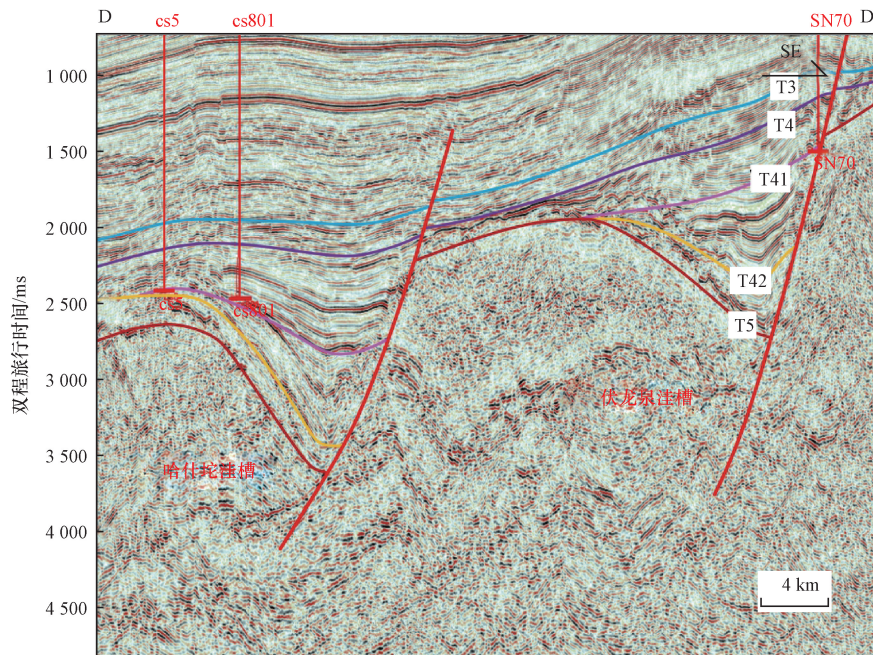


图7 长岭断陷过哈什坨洼槽解释剖面(剖面位置见图1D-D')

Fig.7 Changling fault depression through the Hashituo subsag interpretation profile (section location is shown in fig.1 D-D')

单条断层剖面形态	断层剖面组合类型		断层平面组合类型	
	名称	组合形态	名称	组合形态
面状 铲状	y字形或反y字形		交叉式	
	同向调节		平行式分叉式(同向)	
	反向调节		平行式分叉式(反向)	
	复式半地堑		平行式	

A、B 为平剖面对应位置

图8 神字井—哈什坨洼槽平剖组合样式

Fig.8 Combination pattern of Shenzijing-Hashtuo subsag flat profile

后来由于基地隆升作用地层受到大片剥蚀,隆升将洼槽一分为二,在喀什坳洼槽西侧隆起在登娄库组时期进一步加强,这些推测需要通过进一步的构造演化与断层活动性分析进行验证。

3 构造恢复及分析

为进一步验证前文推测,利用趋势外推法进行研究区的剥蚀量恢复,在此基础上进行二维构造恢复,分析构造-沉积耦合关系,进一步研究神字井—喀什坳洼槽油气聚集成因。

3.1 剖面剥蚀量恢复

剥蚀会导致地层的不整合接触,每个不整合面都代表一个构造抬升剥蚀过程,通过对神字井—喀什坳区域剖面进行剥蚀量恢复,根据未剥蚀区域横向移动相同距离的厚度减薄量,然后采用地层结构趋势外推法,根据残留地层产状及地层内部界面的收敛趋势,恢复剥蚀厚度,遵循厚度减少率相同的原则^[19]。通过剥蚀量分析(图9),在神字井—喀什坳洼槽中部剥蚀严重,沙河子组剥蚀量最大,说明沙河子组末期遭受剥蚀强度最强,与上覆营城组沉积形成角度不整合接触,现今残余沙河子组地层只发育在断层下降盘的凹陷中,在断层根部最厚,远离断层则呈楔形减薄。

3.2 断陷期构造演化

通过对长岭断陷过神字井—喀什坳区域构造演化分析(图10),认为长岭断陷神字井—喀什坳区域断陷构造演化整体可分为3个阶段:断陷期、同沉积期和反转期。

结合长岭断陷的实际构造特征和整个盆地演化阶段,以下对研究区的构造演化过程详细阐述。

(1)断陷期。火石岭组沉积期,洼槽内部形成了较多的近 NNE 和 NNW 向的大断裂,为后期断陷

的发育奠定了基础^[20-21],初步形成了洼槽的基本格局,此时洼槽地层厚度基本一致,神字井—喀什坳洼槽表现为弱裂陷作用,结合生长指数分析,沙河子组沉积前,神字井和喀什坳洼槽应为统一湖盆,火石岭组沉积后期,断裂活动减弱^[22],受火山运动影响,神字井—喀什坳洼槽隆升后遭受剥蚀,与上覆地层呈角度不整合接触。沙河子组沉积期,神字井—喀什坳洼槽表现为强断陷的特征,控洼断层持续活动,控制着沙河子组地层的沉积发育,地层靠近断层处明显增厚,远离断层则呈楔形减薄,沙河子组沉积末期,受挤压运动影响,整体剥蚀分割,沙河子组地层只发育在下降盘的凹陷中,在控洼断裂西侧的刚性基地上全部缺失^[23]。

(2)同沉积期。营城组沉积期为弱同生沉积期,整体地层厚度相近,局部存在低幅逆牵引构造,基本上继承了沙河子组沉积时期的特点,但是断层活动性降低,营城组沉积末期,火山运动再次发生,地壳隆升,营城组地层抬升遭受剥蚀,形成登娄库组与营城组之间的角度不整合界面,并在较强的 NE 走滑分量作用下,形成了断陷层花状构造。

(3)反转期。登娄库沉积期,神字井洼槽发生反转,喀什坳洼槽弱同生,平行断层发育低幅逆牵引构造,平面上西断东超式。营城组末期的构造反转与地壳隆升逐渐转化为拉长松弛,发育了大量北东和北北东向的次级断层,登娄库组沉积期末,发生构造反转,东西两侧遭受剥蚀,此时盆地开始下沉,沉积范围开始扩展,逐渐发展成为统一的大型凹陷湖盆^[24-25]。

3.3 断层活动分析

为验证前文推测,结合构造演化结果对过神字井—喀什坳剖面的4条断层进行古断距、活动速率、生长指数这3种断层活动要素分析^[26],从而判断断裂在不同演化阶段的活动情况。

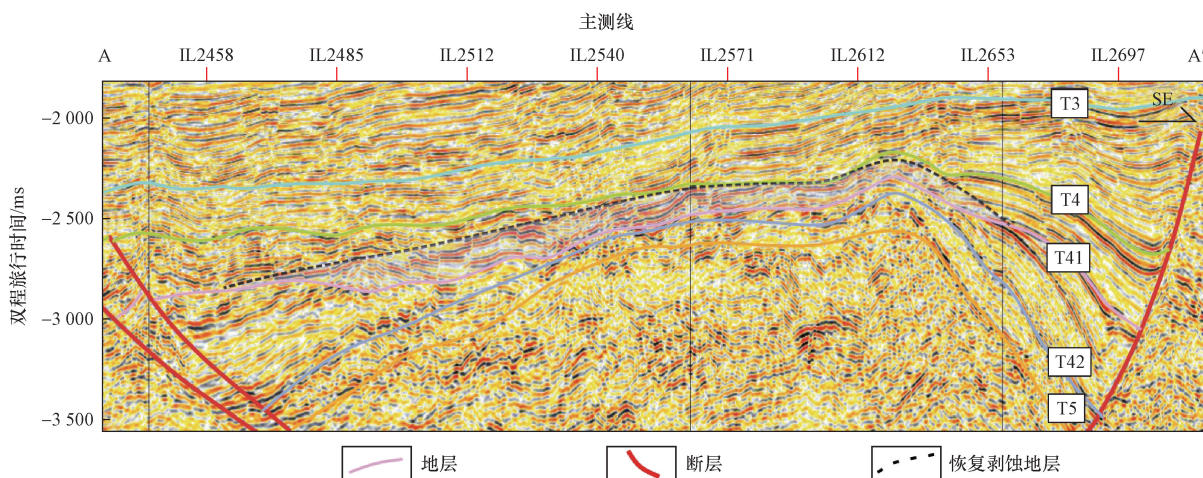


图9 过神字井—喀什坳区域剖面剥蚀量恢复

Fig. 9 Restoration of erosion in the Shenzijing-Hashituo area profile

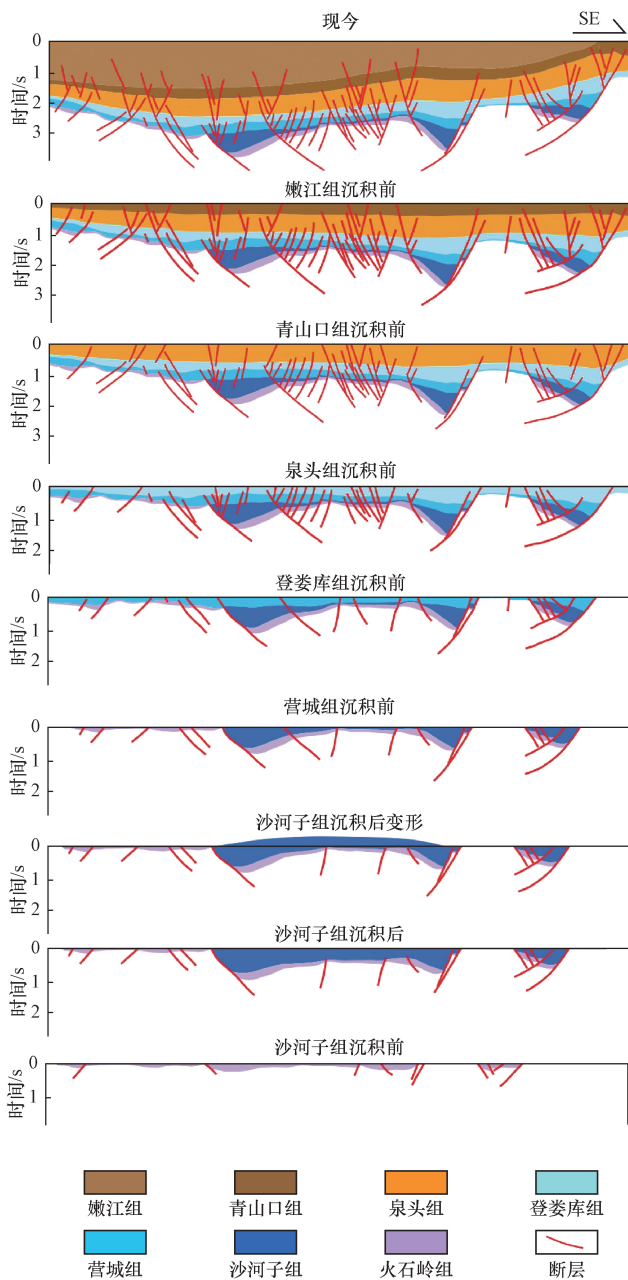


图 10 长岭断陷过大断陷-神字井洼槽-哈什坨洼槽-伏龙泉洼槽构造演化剖面
 Fig. 10 Tectonic evolution of Changling fault depression through Daan fault depression-Shenzijing sag-Hashtuo sag-Fulongquan sag profile

图 11、图 12 为神字井—哈什坨洼槽 4 条断层的古断距和活动速率图,可以看出神字井洼槽边界断层 F1 和哈什坨洼槽边界断层 F4 同在沙河子组古断距最大,而神字井的 F1 比哈什坨的 F4 落差更大,到后期哈什坨洼槽的断层 F3 和 F4 落差比神字井的大。活动速率更能直观表明在沙河子组 F1 和 F4 断层活动性最强,而后期在登娄库组时期,哈什坨洼槽内断层 F3 和 F4 又进入了一次活动性较强的时期。结合构造恢复结果,证明神字井洼槽在沙

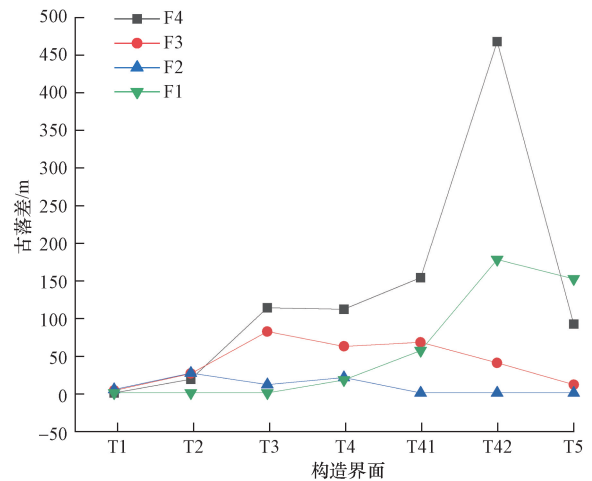


图 11 神字井洼槽—哈什坨洼槽断层古落差统计表
 Fig. 11 Statistical table of ancient drop and activity rate of faults in Shenzijing-Hashtuo subsag

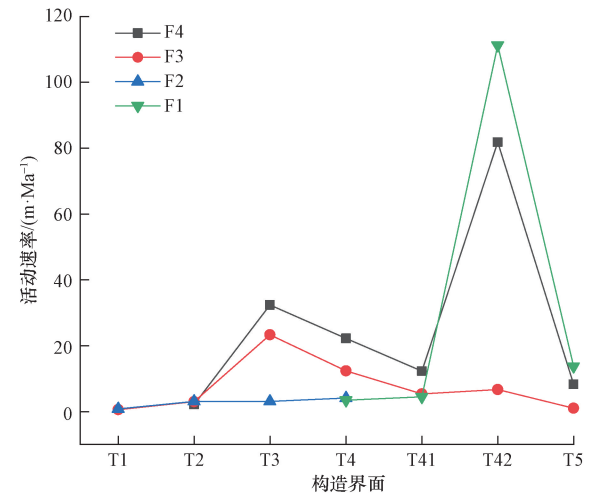


图 12 神字井洼槽—哈什坨洼槽断层活动速率统计表
 Fig. 12 Statistical table of ancient drop and activity rate of faults in Shenzijing-Hashtuo subsag

河子组时期经历了一次抬升,而哈什坨洼槽在沙河子组登娄库组分别经历了抬升,前期神字井洼槽抬升较强,沉积较多,到后期哈什坨抬升更强,沉积也就相对较多。

为了验证研究区洼槽早期是否是一个整体的洼槽,采用断层生长指数进行研究,不同构造环境下断层发育受地形、应力、岩性等各种因素,断层生长也不一样,因此只要生长指数相吻合即可证明早期神字井—哈什坨洼槽早期是一个整体。

生长指数是用断层上盘地层厚度与下盘该地层厚度的比值,表明断裂在不同沉积时期的活动性差异^[27]。当生长指数 > 1 时,表示断层处于活跃阶段;当生长指数 = 1 时,说明断层两盘地层厚度相等,说明断层在该时期停止活动;当生长指数 < 1

时,表示上盘厚度小于下盘厚度,断层为逆断层,此时生长指数越小,说明断层活动越强烈。

通过对长岭断陷过神字井—哈什坨剖面断层进行生长指数分析,计算生长指数直方图,识别出神字井注槽和哈什坨注槽的边界断层在沙河子组前期生长速率基本一致(图 13),证明了研究区在早

期为统一湖盆,在沙河子组末期受挤压构造影响,整体剥蚀分割。结合分割后的两个注槽内部发育的 F2 和 F3,能够明显看出哈什坨注槽在沙河子时期登娄库时期发生较强烈的构造抬升,断层发育较快。验证了基于构造结构的演化猜测,证实了此方法在神字井—哈什坨注槽的有效性。

4 油气勘探意义

根据其构造演化历史可以发现,神字井—哈什坨区域早期快速沉降,有利于烃源岩快速被埋藏,有机质保存较好,晚期反转隆升,早弱-中强-晚期发生反转易形成圈闭为油气聚集提供场所,断裂可为油气运移提供通道^[28]。

4.1 神字井—哈什坨注槽烃源岩评价

结合沉积-沉降速率研究表明,神字井—哈什坨注槽在断陷期沉降速率较大,断陷期以沙河子组烃源岩为主,烃源岩分布趋势受断裂控制,沙河子组沉积时期,神字井注槽发育边缘扇三角洲砂体和大面积湖相烃源岩,长深 40 井附近为暗色泥岩高值区,最大厚度在 300 m 以上(图 14),烃源岩品质达到中等-最好生油岩标准,有机质丰度较高,具备一定生烃基础,干酪根数据显示 70% 为 II₂ 型,有利于形成石油资源,哈什坨注槽以三角洲相及滨湖-滨浅湖亚相沉积为主,暗色泥岩发育较好,最低厚度在 200 ~ 300 m,烃源岩品质相对较差,生烃潜力较差,有机质类型以 II₁ 型为主,有利于油气形成^[29-31]。

4.2 神字井—哈什坨注槽为有利的油气聚集区

长岭断陷神字井—哈什坨区域烃源岩和火山岩发育,基于对长岭断陷神字井—哈什坨注槽断裂特征、构造演化特征及区域基础规律综合研究,发现断裂对注槽成盆成烃具有控制作用,使裂陷中心、沉降中心、沉积中心在控注断层里侧叠合,发育小规模扇三角洲沉积,向断陷湖泊中心过渡为滨浅湖沉积,古地貌上形成注隆相间的构造格局,在火石岭和沙河子时期,地层强沉降,烃源岩发育,晚期营城组发生大规模火山作用,火山岩在断陷内和沙河子组烃源岩具有良好的配置关系,加上哈什坨注槽在后期登娄库组发生了第二次抬升,易形成下生上储或自生自储的有利生储盖组合,预测神字井注槽的营城组和哈什坨注槽的登娄库组为油气藏有利富集区。

5 结论

(1) 根据残余厚度分析,神字井注槽在火石岭-沙河子阶段沉降作用较强,而哈什坨注槽在沙河子和登娄库组两个阶段出现强沉降作用,从古至今,沉

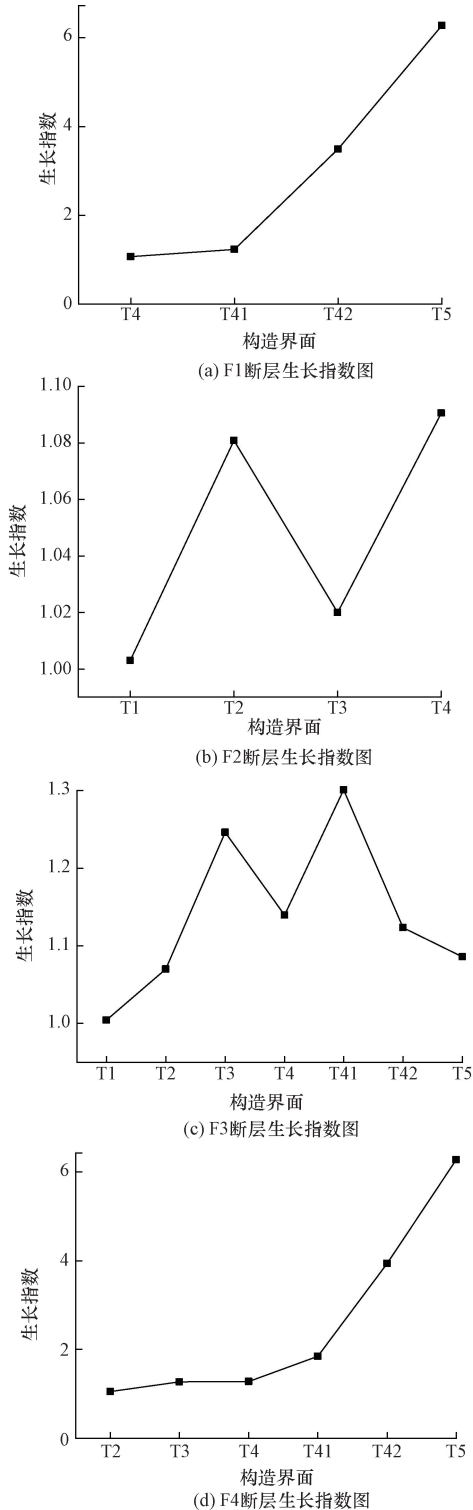


图 13 控注断层生长指数

Fig. 13 Depression-controlling fault growth index

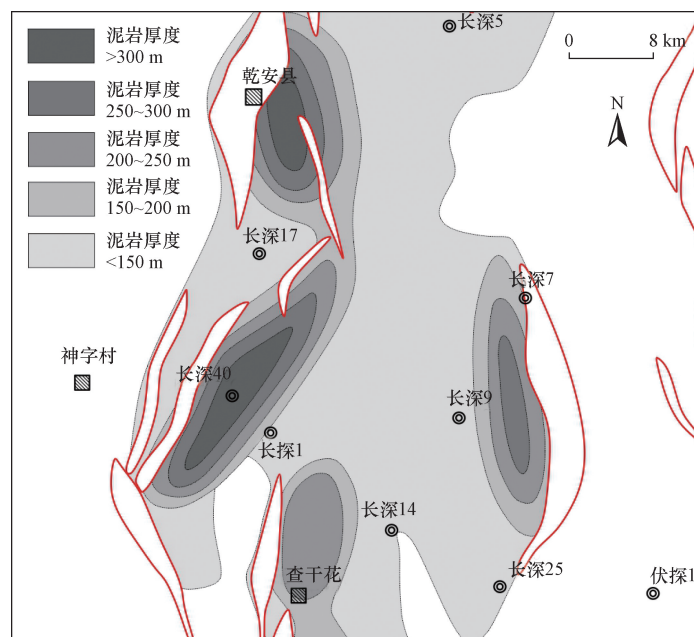


图 14 长岭断陷沙河子组烃源岩厚度图

Fig. 14 Hydrocarbon source rock thickness map of Shahezi Formation in Changling fault depression

降中心在神字井洼槽呈北移趋势,在哈什坨洼槽沉降中心一直受控于断层,在断层西侧分布。

(2)根据构造的特征分析,神字井洼陷的F1断层上下盘的火石岭组各段厚度相同而沙河子组楔形特征明显,哈什坨洼陷的F4断层上下盘沙河子组和登娄库组楔形特征明显,这也代表神字井在沙河子组构造活动强烈,哈什坨洼槽在沙河子组时期和登娄库组有两期构造活动期。

(3)通过断层活动速率与生长指数证明了神字井—哈什坨洼槽早期是一个整体洼槽,沙河子组时期研究区经历了一次抬升后洼槽一分为二,后期哈什坨洼槽活动性比神字井洼槽更强。

(4)通过对长岭断陷过神字井—哈什坨区域构造演化分析,认为长岭断陷神字井—哈什坨区域断陷层构造演化整体可分为3个阶段:断陷期、同沉积期和反转期。神字井—哈什坨区域早期快速沉降,晚期反转隆升,易形成有利的生储盖组合聚集成藏,揭示神字井洼槽的营城组和哈什坨洼槽的登娄库组具有较好的油气勘探潜力。

参 考 文 献

- [1] 陈兆芹,刘景彦,董火祥,等. 松辽盆地东南隆起区古地貌恢复方法与效果[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(23): 9937-9946.
Chen Zhaoqin, Liu Jingyan, Dong Huoxiang, et al. Restoration methods and effects of paleogeomorphology in the northeastern part of the southeast uplift of Songliao Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(23): 9937-9946.
- [2] 王有功,吕延防,付广,等. 长岭复式断陷群构造特征及天然

气富集规律[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(6): 1204-1212, 7.

Wang Yougong, Lü Yanfang, Fu Guang, et al. Structure features and natural gas enrichment regularity in Changling fault depression groups[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(6): 1204-1212, 7.

- [3] 左宗鑫,陆建林,王苗,等. 松辽盆地长岭断陷断层特征及其控油气作用[J]. 石油实验地质, 2019, 41(2): 200-206.

Zuo Zongxin, Lu Jianlin, Wang Miao, et al. Fault characteristics and controls on hydrocarbon accumulation in Changling faulted depression, Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2): 200-206.

- [4] 范婕,蒋有录,刘景东,等. 松辽盆地长岭断陷龙凤山地区油气分布有序性及其主控因素[J]. 天然气工业, 2018, 38(5): 52-60.

Fan Jie, Jiang Youlu, Liu Jingdong, et al. Orderliness of hydrocarbon distribution in the Longfengshan area of the Changling fault depression, Songliao Basin, and its main controlling factors[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(5): 52-60.

- [5] 张正涛,王兴艳,潘晓丽,等. 沙南凹陷新生代断裂发育特征及控藏作用[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(10): 4056-4069.

Zhang Zhengtao, Wang Xingyan, Pan Xiaoli, et al. Fault development characteristics of cenozoic and its controlling effect on hydrocarbon accumulations in Shan'an Sag[J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(10): 4056-4069.

- [6] 宋立斌,孙凯,姜宏官. 伏龙泉断陷登娄库组地层再认识及对勘探的地质意义[J]. 非常规油气, 2023, 10(6): 8-17.

Song Libin, Sun Kai, Jiang Hongguan. Reevaluation of the Denglouku Formation in Fulongquan fault depression and its geological significance for exploration[J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10(6): 8-17.

- [7] 魏真真,王丙贤,杨静. 歧口凹陷断裂构造特征及其控油气作用[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(11): 4288-4295.

- Wei Zhenzhen, Wang Bingxian, Yang Jing. Structural characteristics of fault and its control on oil and gas distribution in Qikou Sag [J]. *Science Technology and Engineering*, 2020, 20 (11): 4288-4295.
- [8] 胡逸飞. 长岭断陷沙河子组烃源岩特征及资源潜力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- Hu Yifei. Study on the characteristics and resource potential of source rocks in Shahezi Formation in Changling fault depression [D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- [9] 何登发. 中国多旋回叠合沉积盆地的形成演化、地质结构与油气分布规律[J]. *地质学前沿*, 2022, 29(6): 24-59.
- He Dengfa. Multi-cycle superimposed sedimentary basins in China: formation, evolution, geologic framework and hydrocarbon occurrence[J]. *Earth Science Frontiers*, 2022, 29(6): 24-59.
- [10] 张正涛, 林畅松, 李慧勇, 等. 渤西地区新生代断裂体系特征及形成演化[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(27): 55-65.
- Zhang Zhengtao, Lin Changsong, Li Huiyong, et al. The characteristics and evolution of the Cenozoic fault systems in the western Bohai area[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19 (27): 55-65.
- [11] 付健, 李思其, 贾小江, 等. 松辽盆地中央拗陷区中—新生代岩石圈厚度演化[J]. *地质科学*, 2023, 58(3): 798-809.
- Fu Jian, Li Siqi, Jia Xiaojiang, et al. Mesozoic-Cenozoic lithospheric thickness evolution in the central depression of Songliao Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2023, 58 (3): 798-809.
- [12] 高凤琳, 宋岩, 梁志凯, 等. 陆相页岩有机质孔隙发育特征及其成因——以松辽盆地长岭断陷沙河子组页岩为例[J]. *石油学报*, 2019, 40(9): 1030-1044.
- Gao Fenglin, Song Yan, Liang Zhikai, et al. Development characteristics of organic pore in the continental shale and its genetic mechanism: a case study of Shahezi formation shale in the Changling fault depression of Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2019, 40(9): 1030-1044.
- [13] 刘伟, 唐大卿, 陈明月, 等. 松辽盆地南部孤店断陷断裂构造特征及演化[J]. *断块油气田*, 2022, 29(6): 816-823.
- Liu Wei, Tang Daqing, Chen Mingyue, et al. Fault structure characteristics and evolution in the Gudian fault depression, southern Songliao Basin [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2022, 29 (6): 816-823.
- [14] 王向东, 王任, 石万忠, 等. 中国东部典型裂谷盆地构造活动特征及演化: 以松辽盆地孤店断陷为例[J]. *地质科技通报*, 2022, 41(3): 85-95.
- Wang Xiangdong, Wang Ren, Shi Wanzhong, et al. Tectonic characteristics and evolution of typical rift basins in eastern China: a case study in the Gudian area, Songliao Basin [J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2022, 41(3): 85-95.
- [15] 王琦, 张万福, 孙永河, 等. 长岭断陷断层活动特征及控藏作用[J]. *石油地球物理勘探*, 2022, 57(5): 1182-1191, 1007.
- Wang Qi, Zhang Wanfu, Sun Yonghe, et al. Characteristics of fault activity and its effect on natural gas accumulation in Changling fault depression [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2022, 57(5): 1182-1191, 1007.
- [16] 何春生. 松南长岭断陷乾北-神字井断陷层油气成藏规律分析[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- He Chunsheng. Analysis of hydrocarbon accumulation regularity of fault layer in the Qianbei-Shenzijing fault concave of Changling fault depression in southern Songliao Basin [D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- [17] 孙致远. 基于优势频带地震属性融合的走滑断裂识别研究[D]. 荆州: 长江大学, 2024.
- Sun Zhiyuan. Research on identification of strike-slip faults based on dominant frequency band seismic multi-attribute: a case study of Moxizhuang oilfield, Junggar Basin [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2024.
- [18] 郭光辉, 邹禹, 徐伟, 等. 四川盆地川中古隆起北斜坡震旦系走滑断裂分布及其勘探意义[J]. *天然气工业*, 2023, 43(7): 35-43.
- Wu Guanghui, Zou Yu, Xu Wei, et al. Distribution and petroleum exploration significance of Sinian strike-slip faults in the northern slope of central Sichuan paleouplift [J]. *Natural Gas Industry*, 2023, 43(7): 35-43.
- [19] 贾文昊, 关晓巍, 张大智, 等. 徐家围子断陷沙河子组主干断裂形成演化与地层剥蚀特征[J]. *大庆石油地质与开发*, 2024, 43(2): 30-38.
- Jia Wenhao, Guan Xiaowei, Zhang Dazhi, et al. Formation and evolution of main faults and formation denudation characteristics of Shahezi Formation in Xujiaweizi Rift [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2024, 43(2): 30-38.
- [20] 韩昊天, 贾可心, 薛松, 等. 松辽盆地长岭断陷构造演化及沉积充填特征[J]. *世界地质*, 2023, 42(2): 309-317, 326.
- Han Haotian, Jia Kexin, Xue Song, et al. Structural evolution and sedimentary filling characteristics of Changling fault depression in Songliao Basin [J]. *World Geology*, 2023, 42 (2): 309-317, 326.
- [21] 刘志宏, 孙理难, 王超, 等. 松辽盆地伏龙泉断陷构造特征及演化[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2015, 45(3): 663-673.
- Liu Zhihong, Sun Linan, Wang Chao, et al. Structural features and evolution of the Fulongquan Sag in Songliao Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2015, 45 (3): 663-673.
- [22] 汪岩, 钱程, 钟辉, 等. 松辽盆地西缘构造带构造格架、演化及油气资源潜力[J]. *地质通报*, 2024, 43(7): 1073-1089.
- Wang Yan, Qian Cheng, Zhong Hui, et al. Tectonic framework, evolution and potential petroleum resources of the structural belt in the western margin of Songliao Basin [J]. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(7): 1073-1089.
- [23] 席光明. 松辽盆地伏龙泉断陷构造—古地貌演化特征分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- Xi Guangming. Characteristic of the tectonic and paleogeomorphic evaluation in Fulongquan fault depression, Songliao Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- [24] 孙国庆. 松辽盆地敖古拉断裂带构造演化及断控油气聚集机制[J]. *特种油气藏*, 2024, 31(3): 45-51.
- Sun Guoqing. Structural evolution and fault-controlled hydrocarbon accumulation mechanism of Aogula fault zone in Songliao Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2024, 31(3): 45-51.
- [25] 赵春娟, 徐淑娟, 程宏岗, 等. 松辽盆地徐家围子断陷沙河子组沉积相类型及演化模式[J]. *沉积学报*, 2024, 42(4): 1460-1478.
- Zhao Chunjuan, Xu Shujuan, Cheng Honggang, et al. Sedimenta-

- ry facies types and evolution models of the Shahezi Formation in the Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2024, 42(4): 1460-1478.
- [26] 张迎朝,汪伟,甘军,等. 伸展构造拉张量计算方法的适用性分析及在琼东南盆地的应用[J]. *高校地质学报*, 2019, 25(5): 730-743.
- Zhang Yingchao, Wang Wei, Gang Jun, et al. Applicability analysis of different methods for extensional displacement calculation in extensional structures with application in Qiongdongnan Basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2019, 25(5): 730-743.
- [27] 陈刚,戴俊生,叶兴树,等. 生长指数与断层落差的对比研究[J]. *西南石油大学学报*, 2007(3): 20-23, 16.
- Chen Gang, Dai Junsheng, Ye Xingshu, et al. A comparison of the fault growth index with fault throw[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2007(3): 20-23, 16.
- [28] 朱超,刘占国,王波,等. 柴达木盆地腹部中央古隆起的形成演化及油气勘探意义[J]. *海相油气地质*, 2023, 28(3): 269-279.
- Zhu Chao, Liu Zhanguo, Wang Bo, et al. Formation and evolution of the central paleouplift and its significance for oil-gas exploration in Qaidam Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2023, 28(3): 269-279.
- [29] 付晓飞,石海东,蒙启安,等. 构造和沉积对页岩油富集的控制作用——以松辽盆地中央坳陷区青一段为例[J]. *大庆石油地质与开发*, 2020, 39(3): 56-71.
- Fu Xiaofei, Shi Haidong, Meng Qian, et al. Controlling effects of the structure and deposition on the shale oil enrichment: taking Formation QN1 in the central depression of Songliao Basin as an instance [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2020, 39(3): 56-71.
- [30] 李超,安鹏,张梦林,等. 海拉尔盆地贝尔凹陷构造演化特征及其对烃源岩的控制作用[J]. *石油地球物理勘探*, 2022, 57(S2): 193-197, 234.
- Li Chao, An Peng, Zhang Menglin, et al. Structural evolution characteristics of Beier Sag in Hailaer Basin and its control on source rocks[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2022, 57(S2): 193-197, 234.
- [31] 于永利. 柴达木盆地小柴旦地区构造演化对烃源岩热演化的控制作用[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(18): 156-163.
- Yu Yongli. The controlling effect of tectonic evolution on source rock thermal evolution in Xiaochaidan area in Qaidam Basin[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(18): 156-163.