

文章编号: 1004—5589 (2018) 03—0838—12

松辽盆地徐家围子断陷沙河子组顶界面特征研究 ——基于松辽盆地大陆科学钻探松科 2 井

李宏浩¹, 高有峰^{2,3}, 王璞珺¹, 瞿雪姣⁴, 高翔¹, 陈海潮¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061;
2. 吉林大学 东北亚生物演化与环境教育部重点实验室, 长春 130026;
3. 吉林大学 古生物学与地层学研究中心, 长春 130026;
4. 重庆科技学院 石油与天然气工程学院, 重庆 401331

摘要: 为精确划分松辽盆地沙河子组层序地层, 限定断陷期沙河子组与营城组地层时代, 进而研究断陷期盆地的演化, 笔者利用松辽盆地大陆科学钻探松科 2 井获取的下白垩统地层岩芯资料, 从岩芯尺度对沙河子组与营城组界面进行揭示, 结合过松科 2 井地震剖面解释、松科 2 井及邻井测井响应特征分析和岩芯精细描述, 总结出沙河子组顶界面在不同尺度的具体特征: ①在地震剖面尺度, 其表现为明显上超的特征; ②在测井曲线上, 界面附近表现为由下到上自然伽马曲线变化幅度增大, 双侧向电阻率曲线由低值变为中高值的特征; ③岩芯尺度上, 表现为细粒沉积的砂泥岩突变为砾岩或火山岩。

关键词: 松辽盆地; 徐家围子断陷; 松科 2 井; 沙河子组顶界面

中图分类号: P534.53 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1004-5589.2018.03.015

Characteristics of top boundary of Shahezi Formation in Xujiaweizi fault depression, northern Songliao Basin: illustrated by continental scientific drilling borehole SK2

LI Hong-hao¹, GAO You-feng^{2,3}, WANG Pu-jun¹, QU Xue-jiao⁴, GAO Xiang¹, CHEN Hai-chao¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;
2. Key Laboratory for Evolution of Past Life and Environment in Northeast Asia (Ministry of Education), Jilin University, Changchun 130026, China;
3. Research Center of Paleontology and Stratigraphy, Jilin University, Changchun 130026, China;
4. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China

Abstract: To accurately divide the sequence stratigraphy of Shahezi Formation, restrict the stratigraphic age of Shahezi Formation and Yingcheng Formation in rifting stage and study the basin evolution during the period of fault depression, complete core data of the Lower Cretaceous from the continental scientific drilling borehole in Songliao Basin (SK2) is used to identify the boundary between Shahezi Formation and Yingcheng Formation. Combined with the interpretation of seismic profile across SK2, the analysis of logging response characteristics of SK2 and adjacent wells as well as detailed core description, the specific characteristics of the top boundary of Shahezi Formation at different scales are summarized in this study. ① On the seismic profile scale, the boundary is associ-

收稿日期: 2018-05-09; 改回日期: 2018-05-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2012CB822002)与中国地质调查局油气基础性公益性地质调查项目(DD20160207-06)联合资助。

通讯作者: 高有峰(1982-), 男, 博士, 副教授, 主要从事沉积学与地层学研究. E-mail: gaoyoufeng@jlu.edu.cn

ated with obviously onlap. ② On the well log, the amplitude of variation of natural gamma-ray logging curve has increased from the bottom to the top near the boundary, and the dual laterolog curves change from low to medium-high value, respectively. ③ On the core scale, the boundary is underlain by fine grained sandstone and mudstone, and overlain by conglomerate or volcanic rock.

Key words: Songliao Basin; Xujiaweizi fault depression; SK2; top boundary of Shahezi Formation

0 引言

中国东部晚中生代沉积盆地中发育历史最长、地层沉积记录分辨率最高、保存情况最完好的盆地, 松辽盆地常作为白垩纪陆相沉积研究的理想地区。下白垩统沙河子组处于松辽盆地强烈断陷期^[1-3], 研究其沉积厚度、分布对于了解深层断陷的原型及发育状况具有极佳参考价值^[4]。沙河子组顶界面(即营城组底界面)为松辽盆地一个重要的区域性不整合面^[5-6], 该界面的精确识别对研究沙河子组层序地层、划分对比乃至松辽盆地断陷期的演化都具有重要意义。根据前人的研究资料及公开发表文献, 沙河子组顶界面具有: 岩性上由沙河子组细碎屑沉积岩^[7]向上突变为营城组火山岩^[8-10]或砂砾岩^[11-13], 电性特征则表现为自然伽马及自然电位曲线由低幅值变为中高幅^[11, 14], 电阻率曲线由低变高^[15, 16], 声波时差曲线则由高变低^[17], 地震剖面上对应的 T_{4-1} 地震反射层为中、弱振幅, 连续性较差^[18], 具有明显的上超和削截特征^[19-22], 在中央隆起东部上下地层产状有明显差异, 隆起西侧则特征不清晰^[8]。

由于松辽盆地断陷期发育特征复杂, 不同区域特征不同, 断陷盆地彼此相互独立^[23], 加之沙河子组埋藏深、厚度大, 钻穿甚至钻遇钻井有限, 导致前人的研究往往由于资料不足而缺乏精确度, 在识别特征上有待进一步完善。不同地层的分界线往往对应着不整合面, 通常表现出地层岩性及颜色的突变、测井曲线形态的有规律变化及地震反射的终止等特征, 因此本文将从岩石学、测井响应特征及地震相三个方面对徐家围子断陷沙河子组顶界面进行识别和标定(图1)。

1 徐家围子断陷沙河子组顶面宏观特征

从SW-NE地震连井剖面上清晰地反映出, T_{4-1} 反射层为中、弱振幅, 连续性较差, 在断陷内部表现出明显的上超下削特征, 为局部角度不整

合, 断陷边缘又逐渐过渡为平行不整合; 界面之上营城组由SW向NE, 地层呈现先增厚再变薄的特点; 地震反射特征表现为频率由低逐渐增高, 到断陷边缘又表现为中低频; 振幅由中高振幅减弱为中幅, 到断陷边缘又表现为中高振幅, 由连续性差的杂乱反射逐渐变为连续性较好的亚平行反射。界面之下沙河子组上部地震相特征整体上表现为中频, 强振幅, 连续性好的平行或亚平行反射, 由断陷中心向SW、NE两侧过渡到连续性较差的杂乱反射(图2)。

SW-NE向连井剖面上可以识别出, 松科2井附近 T_{4-1} 反射层表现出典型的上超特征, 上下地层产状不一致, 界面之上营城组呈披覆状, 地震相特征表现为中高频, 中等振幅, 连续性较好, 而沙河子组则表现为中频, 强振幅, 连续性好的平行亚平行反射(图2)。

从S-N地震连井剖面上可以识别出, T_{4-1} 反射层为中、弱振幅, 连续性较差, 在断陷内部表现为较明显的上超下削特征, 局部为角度不整合, 盆地北部边缘过渡为平行不整合。界面之上由S向N, 营城组由厚变薄, 地震反射特征表现为由盆地中心向边缘频率由中高变中低, 振幅由S向N呈现中低幅—中高幅—中幅的变化, 由连续性差的杂乱反射逐渐变为连续性较好的波状反射。界面之下沙河子组上部受断层活动影响, 地震相特征整体上表现为中低频, 较强振幅, 连续性较好的亚平行或波状反射, 由盆地中心向S过渡为连续性差的杂乱反射, 向N过渡为连续性中等、弱振幅的波状反射(图3)。

S-N向连井剖面上可以识别出, 松科2井附近 T_{4-1} 反射层之上可见上超, 上下地层产状不一致, 呈局部角度不整合; 界面之上营城组呈披覆状, 地震相特征表现为中频—中高频, 中弱振幅, 连续性中等, 而沙河子组则表现为中低频, 较强振幅, 连续性较好的波状反射(图3)。

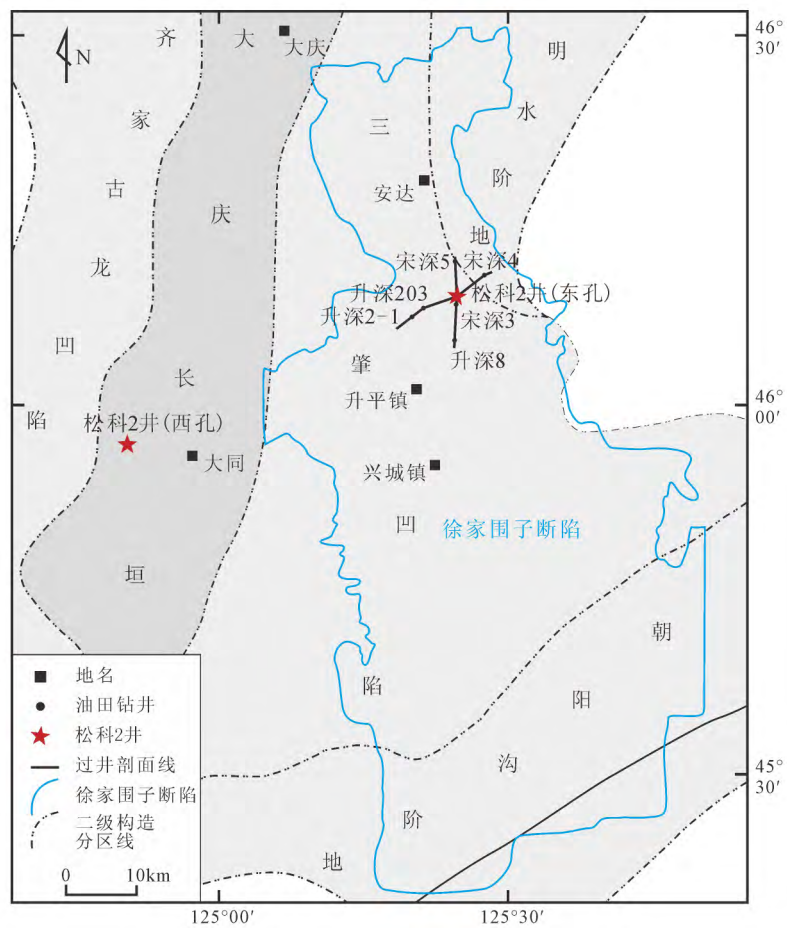


图1 松辽盆地徐家围子断陷构造区划图

Fig.1 Tectonic districts of Xujiaweizi Fault Depression in Songliao Basin

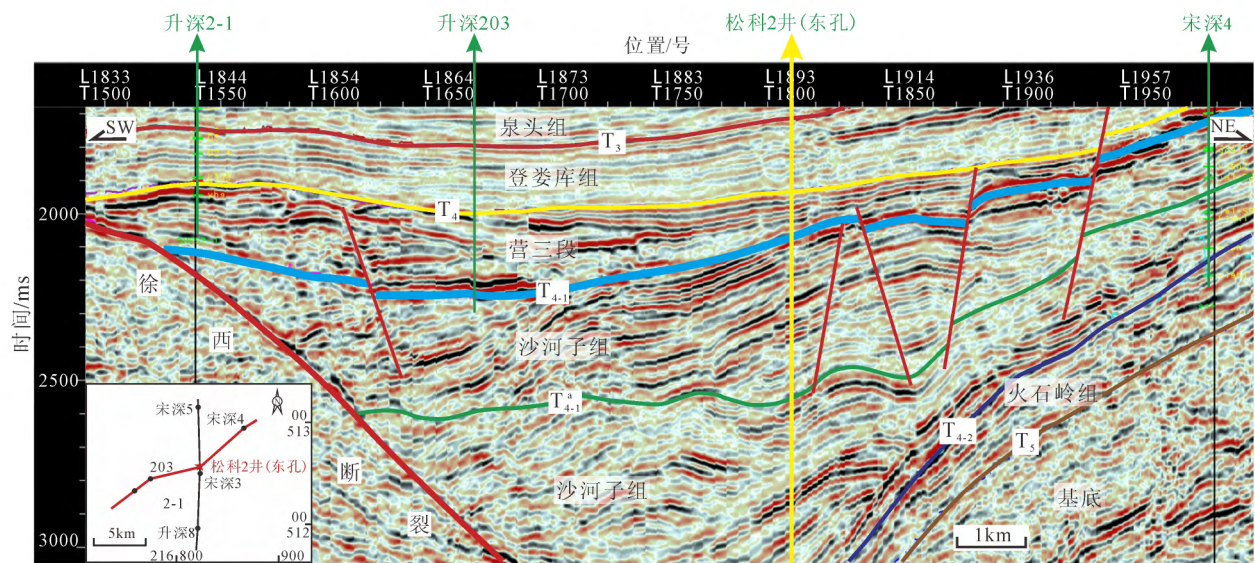


图2 松辽盆地徐家围子断陷升深2-1-升深203-SK2-宋深4连井地震解释剖面

Fig.2 Detailed SW-NE seismic profile across well Shengshen2-1-Shengshen203-SK2-Songshen4 of Xujiaweizi Fault Depression in Songliao Basin

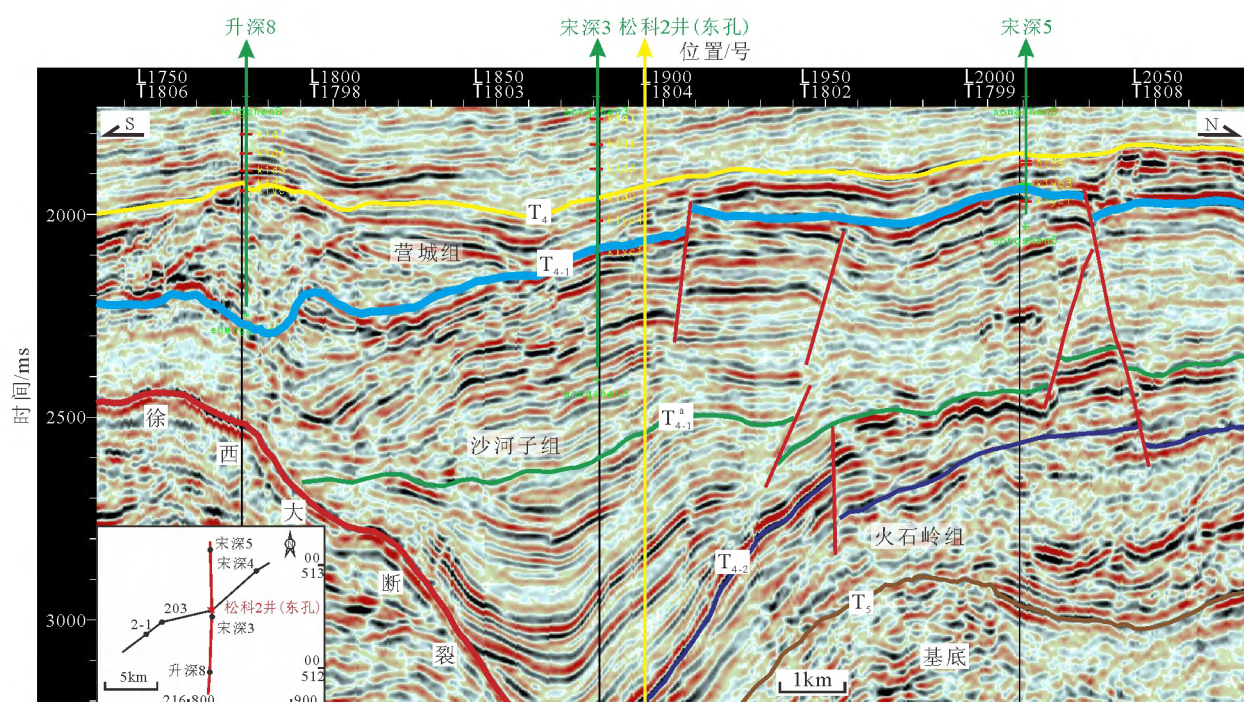


图3 松辽盆地徐家围子断陷升深8—宋深3—SK2—宋深5连井地震解释剖面

Fig. 3 Detailed S-N seismic profile across well Shengshen 8–Songshen3–SK2–Songshen5 of Xujiaweizi Fault Depression in Songliao Basin

2 松科2井揭示沙河子组顶面特征

2.1 松科2井揭示深层地层概述

以钻穿白垩系为目标的松辽盆地白垩系大陆科学钻探“松科2井”位于松辽盆地东南断陷区徐家围子断陷带,其主要取芯层位为下白垩统地层^[24](营城组、沙河子组、火石岭组),现已钻穿沙河子组,并获取了连续的、高质量的沙河子组地层岩芯2 296.17 m,资料显示该井钻遇的沙河子组在厚度、岩性序列的完整性以及特征保存方面前所未有,良好地保存了断陷期的沉积记录,为沙河子组研究的开展提供了宝贵的地质、测井等基础资料。

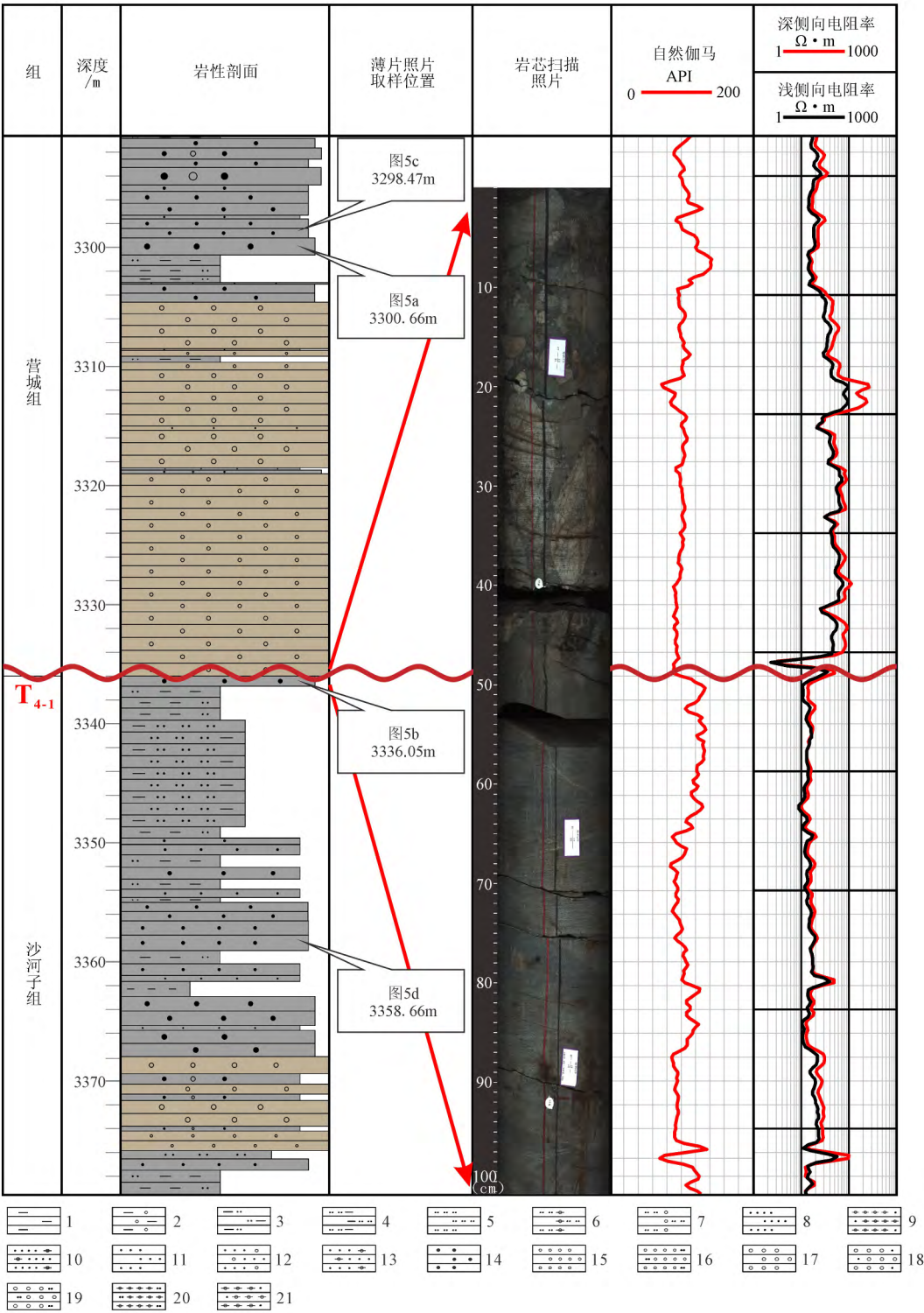
松科2井所钻遇的沙河子组地层发育了完整的上下两段,营城组地层则缺失了营一段和营二段。沙河子组时期处于火山活动间歇期,断裂活动比较强烈,根据实际钻遇情况,采用二分法^[25-27]分为沙河子组上部 and 下部,岩性特征以沉积岩为主,整体上表现为两个向上变细的正旋回^[28],而营城组为沉积岩与火山岩互层产出。

2.2 沙河子组顶面的识别

由上文所述过松科2井地震剖面上识别出的 T_{4-1} 反射层位置,通过时深转换可以确定出沙河子组顶面在松科2井中位于3 300~3 350 m附近,通过对松科2井实际钻遇岩性序列分析,经过测井曲线岩性校正,最终确定界面深度为3 335.99 m(图4)。

松科2井营城组地层仅发育营四段及营三段,其中营四段以粗碎屑岩为主,多见砾岩及粗砂岩,顶部夹薄层凝灰岩,上覆为登娄库组沉积岩;营三段则主要发育火山岩,以流纹岩、熔结凝灰岩及爆发相角砾集块岩等酸性火山岩为主,下部则为厚层粗碎屑沉积岩,底部发育近30 m厚砾岩覆于沙河子组之上^[29],测井响应特征为自然伽马曲线呈现中高幅钟形,幅度变化较大,双侧向电阻率曲线形态特征为中高阻箱形或钟形,变化幅度较大。

松科2井钻遇的沙河子组厚度大,地层序列完整,主要发育沉积岩,可划分为上下两段,其中下段粗粒沉积岩较多,由下到上为砾岩、粗砂岩过渡为细砂、粉砂岩,上段以细粒沉积为主,泥质含量



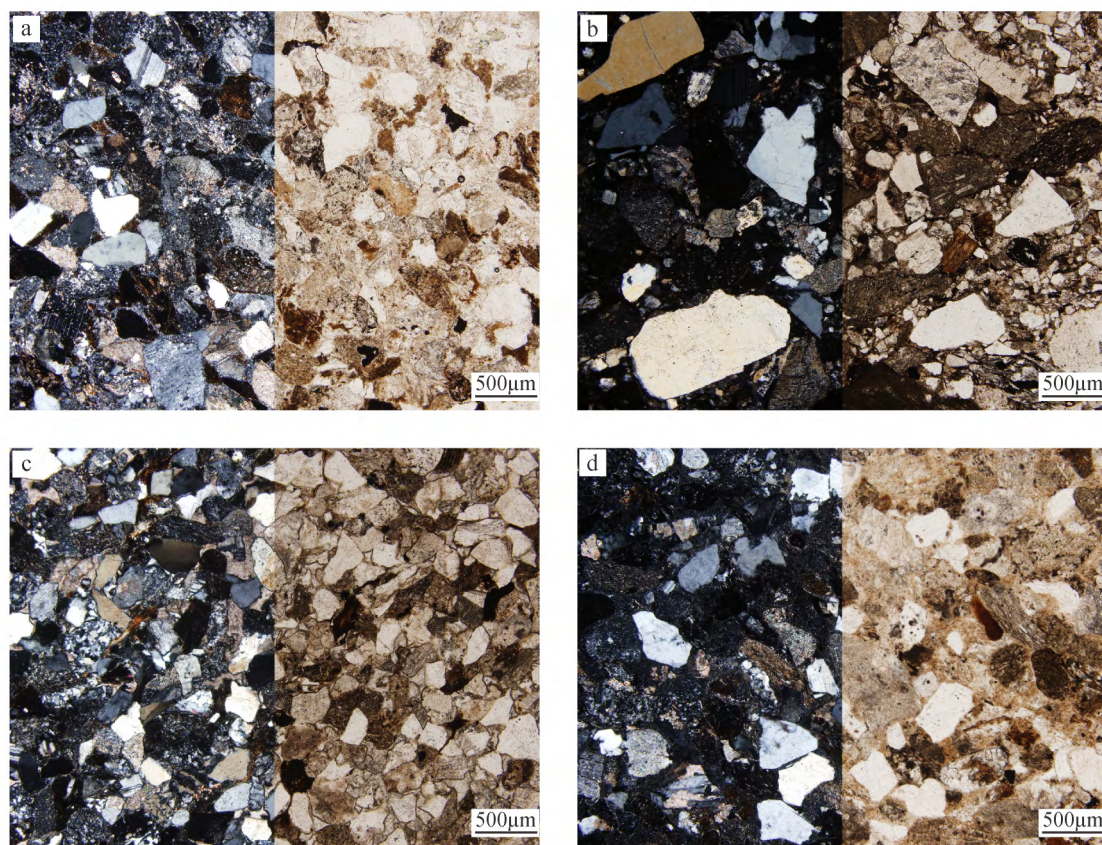
1. 泥岩; 2. 含砾泥岩; 3. 粉砂质泥岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 粉砂岩; 6. 含泥砾粉砂岩; 7. 含砾粉砂岩; 8. 细砂岩; 9. 含砂泥砾质细砂岩; 10. 含泥砾细砂岩; 11. 中砂岩; 12. 含砾中砂岩; 13. 含泥砾中砂岩; 14. 粗砂岩; 15. 细砾岩; 16. 粉砂质细砾岩; 17. 中砾岩; 18. 含砂中砾岩; 19. 粉砂质中砾岩; 20. 粉砂质泥砾质细砂岩; 21. 含砂泥砾质中砾岩

图4 松科2井沙河子组顶界面综合柱状图
(扫描照片所示岩芯长度为1m, 波浪线所在位置为岩芯所揭示界面)
Fig.4 Comprehensive columnar section of top boundary of Shahezi Formation in SK2 borehole

较高,由下到上为砂砾岩、中—细砂岩过渡为粉砂岩、泥岩,顶部为一套深灰色粉砂质泥岩夹粗砂岩伏于营城组之下,测井响应特征为自然伽马曲线呈现中幅齿状箱形,变化幅度小,双侧向电阻率曲线为中低阻齿形,幅值偏低,幅度变化平缓(图4)。从沙河子组顶部到营城组底部,岩性上由湖相泥岩夹砂岩沉积突变为复成分砾岩,测井曲线上自然伽马曲线幅值由低变高;双侧向电阻率曲线幅值由低变高。

界面上下营城组与沙河子组除了在岩性组合特征及测井曲线形态方面有差异外,同种岩性在界面上下特征也不同,以粗砂岩与中砂岩进行微观特

征对比。营城组粗砂岩(图5a)主要为颗粒支撑,泥质胶结,碎屑颗粒以石英为主,岩屑、长石次之,颗粒普遍具次圆—次棱角状,分选较好;沙河子组粗砂岩(图5b)为颗粒支撑,泥质胶结,岩屑为主,石英、长石次之,普遍见方解石交代,颗粒主要呈次棱角状,分选较差。营城组中砂岩(图5c)为颗粒支撑,钙质胶结作用强烈,碎屑颗粒以长石为主,岩屑次之,呈次棱角—棱角状,分选较好;沙河子组中砂岩(图5d)为颗粒支撑,泥质胶结,以岩屑为主,长石、石英次之,次圆—次棱角状,分选较差。



a. 营城组粗砂岩, 泥质胶结, 3 300.66 m, 4 × 10; b. 沙河子组粗砂岩, 泥质胶结, 3 336.05 m, 4 × 10; c. 营城组中砂岩, 钙质胶结, 3 298.47 m, 4 × 10; d. 沙河子组中砂岩, 泥质胶结, 3 352.66 m, 4 × 10.

图5 松科2井沙河子组顶界面上下岩性特征对比图

Fig. 5 Comparison of lithology characteristics near top boundary of Shahezi Formation in SK2 borehole

3 松科2井邻井沙河子组顶界面特征

徐家围子断陷北部沙河子组沉积中心和边缘地

层厚度变化剧烈,同相轴只能进行小范围对比^[23],因此选取NE—SW向的邻井升深2—升深203—松科2井—宋深4井与S—N向的邻井升深8—宋深3—松

科2井—宋深5井进行地层界面的追踪识别。

升深2-1井主要钻遇营三段,发育岩性为灰白色、紫红色及少量灰绿色流纹岩,底部见紫红色泥岩。自然伽马曲线为中高幅齿状钟形,特殊岩性层出现异常高值,双侧向电阻率曲线形态特征为高阻齿状,部分呈现箱形,幅度变化剧烈,该井未钻穿沙河子组。升深203井主要钻遇营三段及沙河子组上部地层,界面之上营三段主要发育火山岩,下部以灰白色流纹岩为主,夹火山角砾岩层,底部为流纹岩,界面之下沙河子组则主要发育灰黑色泥岩夹深灰色砂岩。由沙河子组顶部到营城组底部,自然

伽马曲线由中低幅钟形变为中高幅齿状漏斗形,双侧向电阻率曲线由变化平缓的低阻齿状变为变化剧烈的高阻齿状钟形或箱形。宋深4井主要钻遇营三段、沙河子组及部分火石岭组,界面之上营三段下部以沉积岩为主,为较厚层砂砾岩夹暗色泥岩,底部为砾岩,界面之下沙河子组上部以深灰色泥岩为主,夹中灰色及浅灰色砂岩及砾岩薄层,顶部为灰黑色泥岩。由沙河子组顶部到营城组底部,自然伽马曲线由中低幅齿状箱形变为中幅齿状钟形,双侧向电阻率曲线由低阻齿状指形变化为中阻齿形或指状掌形(表1、图6)。

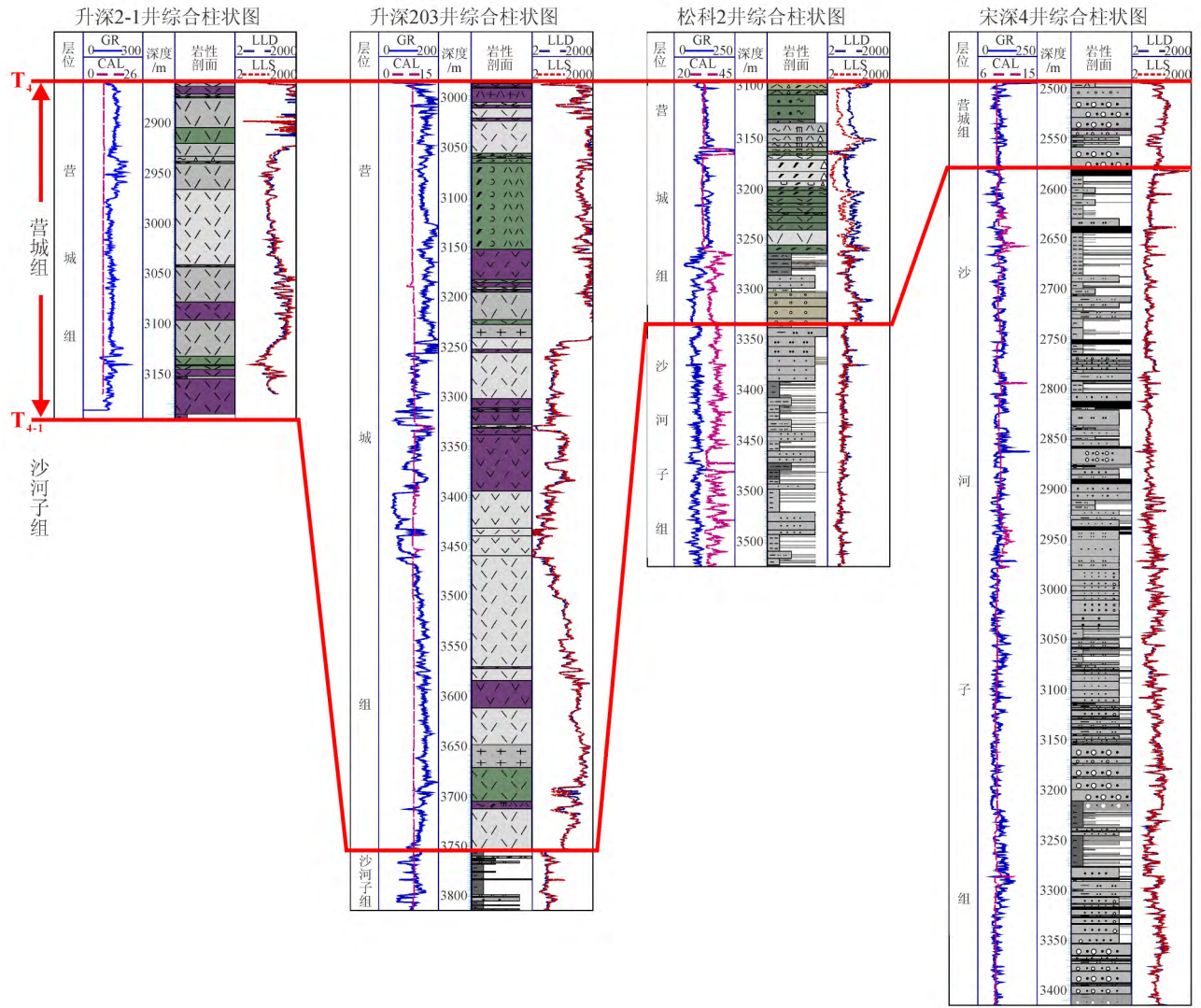


图6 升深2-1—升深203—SK2—宋深4连井地层剖面
(红色线条所夹层位为营城组,下部红色线条为沙河子组顶界面 T_{4-1} ; 连井剖面位置见图1及图2)

Fig.6 Stratigraphic profile across well Shengshen2-1—Shengshen203—SK2—Songshen4

表 1 升深 2-1—升深 203—SK2—宋深 4 连井界面特征对比
Table 1 Comparison of interface characteristics of well Shengshen2-1—Shengshen203—SK2—Songshen4

井位	营城组				沙河子组			
	岩性特征		测井响应特征		岩性特征		测井响应特征	
	主要岩性	底部岩性	自然伽马	双侧向电阻率	主要岩性	底部岩性	自然伽马	双侧向电阻率
升深 2-1	流纹岩为主，底部见紫红色泥岩	泥岩	中高幅齿状钟形	高阻齿状，部分箱形，幅度变化大				
升深 203	流纹岩为主，夹火山角砾岩	流纹岩	中高幅齿状漏斗形	变化剧烈的高阻齿状钟形或箱形	泥岩夹深灰色砂岩	泥岩	中低幅钟形	变化平缓的低阻齿状
SK2	流纹岩、熔结凝灰熔岩为主，下部粗碎屑岩	砾岩	中高幅钟形，幅度变化较大	中高阻箱形或钟形，变化幅度较大	砂砾岩、中—细砂岩及粉砂岩和泥岩	粉砂质泥岩夹粗砂岩	中幅齿状箱形，变化幅度小	中低阻齿形，幅值偏低，幅度变化平缓
宋深 4	砂砾岩夹暗色泥岩	砾岩	中幅齿状钟形	中阻齿形或指状掌形	泥岩为主，夹砂岩及砾岩薄层	泥岩	中低幅齿状箱形	低阻齿状指形

升深 8 井主要钻遇了营四段及营一段，发育岩性为灰白色、灰色及少量蛋青色流纹岩，底部见灰色流纹质角砾凝灰岩及流纹质熔结角砾岩。自然伽马曲线为中高幅齿状，双侧向电阻率曲线形态特征为中高阻齿状枞树形及箱形，幅度变化剧烈，该井未钻遇沙河子组。宋深 3 井主要钻遇了营三段及部分沙河子组，界面之上营三段主要发育灰色流纹岩，夹灰色安山玄武岩层，底部以灰色砂砾岩覆于沙河子组之上，界面之下沙河子组则主要发育灰黑色泥岩夹灰色砂岩，顶部为灰黑色泥岩。由沙河子组顶部到营城组底部，自然伽马曲线由变化较缓的齿形变为变化较大的齿状钟形或箱形，双侧向电阻

率曲线由变化平缓的低阻齿状变为变化较大的中阻齿形，局部见箱形。宋深 5 井主要钻遇营四段、营三段及部分沙河子组，界面之上营三段下部以火山岩为主，发育灰色安山质火山角砾岩夹紫红色火山角砾岩，底部为砾岩，界面之下沙河子组上部以灰黑色泥岩为主，夹中灰色及浅灰色砂岩及砾岩薄层，顶部为黑色泥岩。由沙河子组顶部到营城组底部，自然伽马曲线由中幅齿状箱形变为中高幅齿状钟形及漏斗形，双侧向电阻率曲线由变化平缓的低阻齿状箱形或指形变为变化幅度较大的中低阻齿状或指状掌形（表 2、图 7）。

表 2 升深 8—宋深 3—SK2—宋深 5 连井界面特征对比
Table 2 Comparison of interface characteristics across well Shengshen8—Songshen3—SK2—Songshen5

井位	营城组				沙河子组			
	岩性特征		测井响应特征		岩性特征		测井响应特征	
	主要岩性	底部岩性	自然伽马	双侧向电阻率	主要岩性	底部岩性	自然伽马	双侧向电阻率
升深 8	流纹岩为主	流纹质角砾凝灰岩	中高幅齿状	中高阻齿状枞树形及箱形，幅度变化剧烈				
宋深 3	流纹岩，夹安山玄武岩	砂砾岩	变化较大的齿状钟形或箱形	变化较大的中阻齿形，局部见箱形	泥岩夹灰色砂岩	泥岩	变化较缓的齿形	变化平缓的低阻齿状
SK2	流纹岩、熔结凝灰熔岩为主，下部粗碎屑岩	砾岩	中高幅钟形，幅度变化较大	中高阻箱形或钟形，变化幅度较大	砂砾岩、中—细砂岩及粉砂岩和泥岩	粉砂质泥岩夹粗砂岩	中幅齿状箱形，变化幅度小	中低阻齿形，幅值偏低，幅度变化平缓
宋深 5	安山质火山角砾岩夹火山角砾岩	砾岩	中高幅齿状钟形及漏斗形	变化幅度较大的中低阻齿状或指状掌形	泥岩为主，夹砂岩及砾岩薄层	泥岩	中幅齿状箱形	变化平缓的低阻齿状箱形或指形

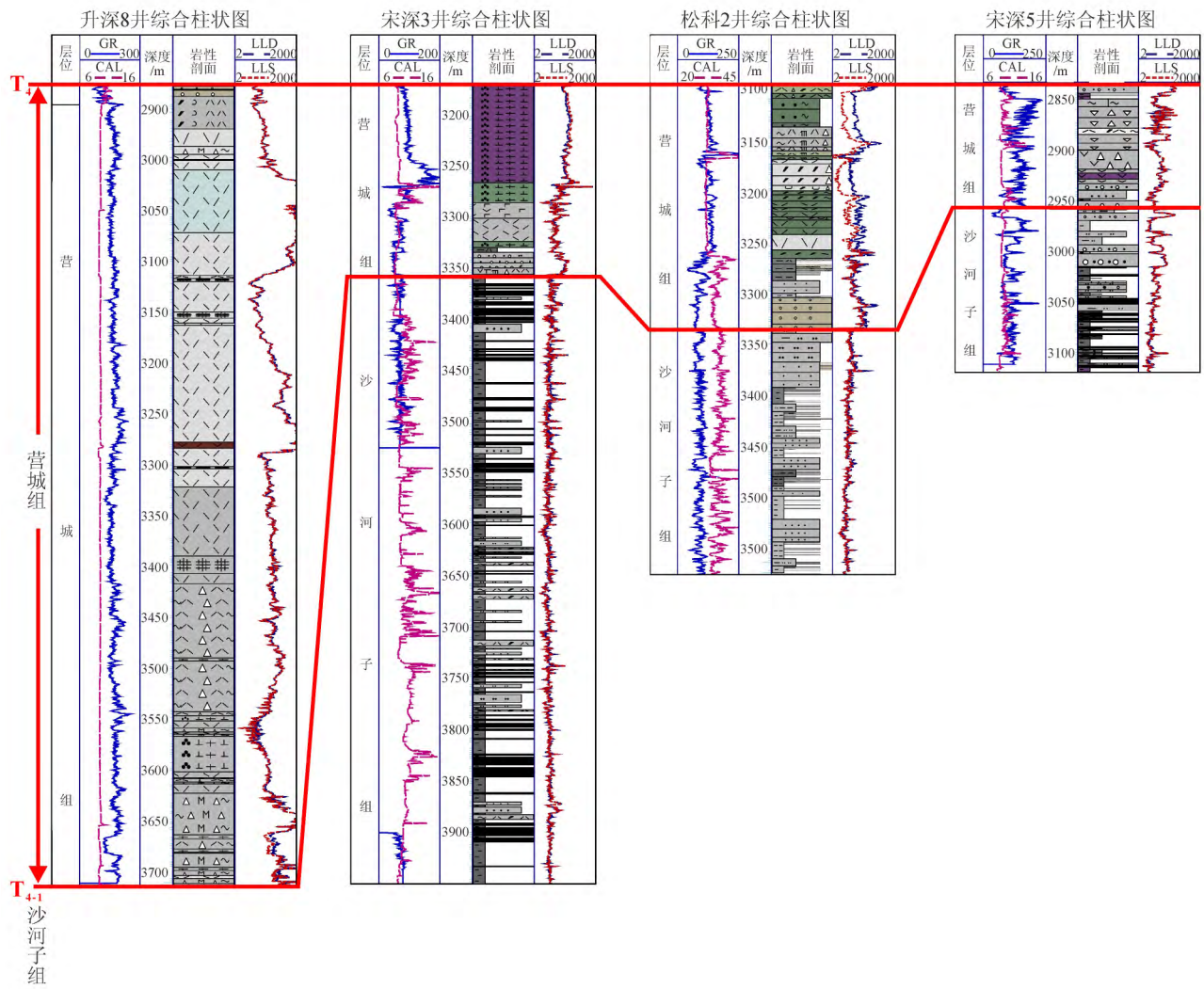


图 7 升深 8—宋深 3—SK2—宋深 5 连井地层剖面
(红色线条所夹层位为营城组, 下部红色线条为沙河子组顶界面 T_{4-1} ; 连井剖面位置见图 1 及图 3)

Fig. 7 Stratigraphic profile across well Shengshen8—Songshen3—SK2—Songshen5

综上, 岩性特征上靠近断陷边缘营城组底部往往以火山岩覆于沙河子组泥岩之上, 而位于盆地中心的钻井钻遇的营城组则通常以砂砾岩覆于沙河子组泥岩之上; 测井响应特征上除了曲线形态各井有所不同之外, 变化趋势方面表现一致, 由沙河子组到营城组自然伽马曲线普遍由低值变为高值, 变化幅度增大, 双侧向电阻率曲线则呈现由低值变为中高值的变化。

4 结论

(1) 徐家围子断陷北部由中心向边缘沙河子

组地层逐渐减薄, 沙河子组顶界面位置逐渐上移。连井地震剖面中界面之上表现出明显上超的特征, 盆地中心界面上下产状不一致, 呈局部角度不整合。界面之下地层表现为中频, 强振幅, 连续性好的平行亚平行反射, 界面之上则表现为中高频, 中等振幅, 连续性由差变好的反射特征。

(2) 界面附近岩性由下到上普遍由沙河子组细粒沉积的砂泥岩突变为营三段砾岩或火山岩, 区别在于盆地边缘营三段主要发育火山岩, 而靠近盆地中心营三段呈现沉积岩与火山岩组合发育的特征, 表现为底部厚层砂砾岩覆于沙河子组细粒沉积

岩之上。

(3) 沙河子组顶界面附近测井响应特征, 在变化趋势上表现为由下到上自然伽马由低值变为高值, 且变化幅度降低, 双侧向电阻率曲线表现为由低值变为中高值。

参考文献:

- [1] 王璞珺, 赵然磊, 蒙启安, 等. 白垩纪松辽盆地: 从火山裂谷到陆内拗陷的动力学环境 [J]. 地学前缘, 2015, 22 (3): 99-117.
WANG Pu-jun, ZHAO Ran-lei, MENG Qi-an, et al. The Cretaceous Songliao Basin: dynamic background from volcanic rift to interior sag basin [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22 (3): 99-117.
- [2] Wang P J, Mattern F, Didenko N A, et al. Tectonics and cycle system of the Cretaceous Songliao Basin: an inverted active continental margin basin [J]. Earth-Science Reviews, 2016, 159: 82-102.
- [3] Wang P J, Chen S M. Cretaceous volcanic reservoirs and their exploration in the Songliao Basin, northeast China [J]. AAPG Bulletin, 2015, 99 (3): 499-523.
- [4] 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 Shou-ren, ZHANG Sui-an. 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.
- [5] 蔡全升, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 松辽盆地徐家围子北部宋站地区沙河子组地震相与沉积相解释应用 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2017, 32 (4): 1-10.
CAI Quan-sheng, HU Ming-yi, HU Zhong-gui, et al. Seismic facies and sedimentary interpretation of Shahezi Formation in Songzhan Region, Northern Xujiaweizi Fault Depression, Songliao Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2017, 32 (4): 1-10.
- [6] 蒙启安, 王璞珺, 杨宝俊, 等. 松辽盆地断陷期超层序界面的地质属性刻画及其油气地质意义 [J]. 地质论评, 2005, 51 (1): 46-54.
MENG Qi-an, WANG Pu-jun, YANG Bao-jun, et al. Geological signature of sequence boundary of the Songliao Basin new interpretation and their relation to gas accumulation [J]. Geological Review, 2005, 51 (1): 46-54.
- [7] 王志宏, 李剑, 夏利, 等. 松辽盆地深层断陷沙河子组烃源岩分布预测与生气潜力 [J]. 世界地质, 2014, 33 (3): 630-639.
WANG Zhi-hong, LI Jian, XIA Li, et al. Distribution forecast of source rocks and gas generation potential of Shahezi Formation in deep fault depressions of Songliao Basin [J]. Global Geology, 2014, 33 (3): 630-639.
- [8] 张元高. 松辽盆地北部古中央隆起带深层构造研究及基底岩性预测: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006.
ZHANG Yuan-gao. Structural research and basement lithology prediction of the Paleo-central Uplift Belt in northern Songliao Basin: master's degree thesis [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2006.
- [9] 陈娟, 张庆龙, 王良书, 等. 松辽盆地长岭断陷盆地断陷期构造转换及油气地质意义 [J]. 地质学报, 2008, 82 (8): 1027-1035.
CHEN Juan, ZHANG Qing-long, WANG Liang-shu, et al. Tectonic transformation of Changling Fault Depression in the southern Songliao Basin and its significance of hydrocarbon accumulation [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (8): 1027-1035.
- [10] 王英, 程日辉, 王共生, 等. 松辽盆地梨树断陷十屋油田营城组层序地层及沉积体系 [J]. 世界地质, 2011, 30 (4): 631-640.
WANG Ying, CHENG Ri-hui, WANG Gong-sheng, et al. Yingcheng Formation sequence stratigraphy and depositional system of Shiwu Oilfield in Lishu Fault Depression, Songliao Basin [J]. Global Geology, 2011, 30 (4): 631-640.
- [11] 贾晨. 徐家围子断陷构造特征研究: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2013.
JIA Chen. Research on structural feature in Xujiaweizi Fault Depression: master's degree thesis [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2013.
- [12] 王丽静. 松辽盆地北部徐家围子断陷西部深层地层格架研究: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2007.
WANG Li-jing. Stratigraphic framework of deep strata in the west of Xujiaweizi Fault Depression in the north of Songliao Basin: master's degree thesis [D]. Daqing:

- Daqing Petroleum Institute, 2007.
- [13] 姜营海. 德惠断陷深层地层特征研究: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2011.
JIANG Ying-hai. Research on characteristics of the deep strata in Dehui Fault Depression: master's degree thesis [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011.
- [14] 付新. 松辽盆地南部东部断陷带沙河子组地层特征研究: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2013.
FU Xin. Research on stratigraphic characteristics of Shahezi Formation in the east fault depression, southern Songliao Basin: master's degree thesis [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2013.
- [15] 宋立斌, 李忠信, 孙凯. 松辽盆地南部深层地层划分标准探讨 [C] // 吉林省科学技术学术年会. 长春, 2014: 118-120.
SONG Li-bin, LI Zhong-xin, SUN Kai. Discussion on the standard of deep stratigraphic division in the southern Songliao Basin [C] // Jilin Academy of Science and Technology Annual Meeting. Changchun, 2014: 118-120.
- [16] 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 Chun-fu, JI You-liang. 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.
- [17] 周传臣. 徐家围子断陷沙河子组层序特征研究: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2013.
ZHOU Chuan-chen. Research on sequences characteristics of Shahezi Formation in Xujiaweizi Fault Depression: master's degree thesis [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2013.
- [18] 蔡来星, 卢双舫, 巩兴会, 等. 徐家围子断陷南部沙河子组层序地层格架及沉积特征 [J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 34 (2): 26-33.
CAI Lai-xing, LU Shuang-fang, GONG Xing-hui, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary characteristics for Shahezi Formation in southern Xujiaweizi Fault Depression [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34 (2): 26-33.
- [19] 丛杉. 徐家围子断陷营城组多重地层划分与对比: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
CONG Shan. Stratigraphic division and correlation with multiple methods in Yingcheng Formation of Xujiaweizi Fault Depression: master's degree thesis [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.
- [20] 李忠信. 松辽盆地南部地层层序划分及层序特征: 硕士学位论文 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.
LI Zhong-xin. Stratigraphic sequence division and stratigraphic sequence characteristic in southern Songliao Basin: master's degree thesis [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2009.
- [21] 魏冬. 梨树断陷快速裂陷期层序地层学研究: 硕士学位论文 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2012.
WEI Dong. Sequence stratigraphic research of rapid rifting period in Lishu Fault Depression: master's degree thesis [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012.
- [22] 蒋昊. 松辽盆地伏龙泉断陷沙河子组层序地层与沉积体系研究: 硕士学位论文 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2017.
JIANG Hao. Sequence stratigraphy and depositional systems of Shahezi Formation in Fulongquan Fault Depression, Songliao Basin: master's degree thesis [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017.
- [23] 高有峰, 瞿雪姣, 蒋丽君, 等. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探松科2井钻遇地层界面及岩性剖面预测 [J]. 地学前缘, 2017, 24 (1): 242-256.
GAO You-feng, QU Xue-jiao, JIANG Li-jun, et al. Lithology and stratigraphic interfaces prediction of the Continental Scientific Drilling Project of Cretaceous Songliao Basin (SK2) [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24 (1): 242-256.
- [24] 王璞珺, 刘海波, 任延广, 等. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探“松科2井”选址 [J]. 地学前缘, 2017, 24 (1): 216-228.
WANG Pu-jun, LIU Hai-bo, REN Yan-guang, et al. How to choose a right drilling site for the ICDP Cretaceous Continental Scientific Drilling in the Songliao Basin (SK2), Northeast China [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24 (1): 216-228.
- [25] 乔秀云, 杨建国, 孔惠, 等. 松辽盆地北参1井深层地层划分与对比 [J]. 大庆石油地质与开发, 2002,

- 21 (6): 13-15.
- QIAO Xiu-yun, YANG Jian-guo, KONG Hui, et al. Discussion on deep stratigraphic correlation and division of Beican-1 Well in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21 (6): 13-15.
- [26] 任延广, 朱德丰, 万传彪, 等. 松辽盆地北部深层地质特征与天然气勘探方向 [J]. 中国石油勘探, 2004, 9 (4): 12-18.
- REN Yan-guang, ZHU De-feng, WAN Chuan-biao, et al. Geological characteristics of deep layers in northern Songliao Basin and orientation for natural gas exploration [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9 (4): 12-18.
- [27] 朱德丰, 任延广, 吴河勇, 等. 松辽盆地北部隐伏二叠系和侏罗系的初步研究 [J]. 地质科学, 2007, 42 (4): 690-708.
- ZHU De-feng, REN Yan-guang, WU He-yong, et al. A preliminary study on the Buried Permian and Jurassic in the northern Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42 (4): 690-708.
- [28] 孙凯, 宋立斌, 李本才, 等. 松辽盆地南部深层地层划分与对比 [J]. 地层学杂志, 2013, 37 (4): 472-478.
- SUN Kai, SONG Li-bin, LI Ben-cai, et al. The deep sequence characteristics of the southern Songliao Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2013, 37 (4): 472-478.
- [29] 高翔, 高有峰, 瞿雪姣, 等. 松辽盆地松科2井下白垩统营城组火山-沉积序列精细刻画 [J]. 地学前缘, 2017, 24 (1): 265-275.
- GAO Xiang, GAO You-feng, QU Xue-jiao, et al. Volcanic-sedimentary succession description of the Lower Cretaceous Yingcheng Formation based on the ICDP Scientific Drilling Borehole in the Songliao Basin (SK2) [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24 (1): 265-275.