

文章编号: 1004 — 5589 (2017) 01 — 0174 — 08

松辽盆地东部榆树断陷下白垩统岩相展布特征 及有利勘探区带预测

任燕宁¹, 崔桐², 刘杨³, 朱莹¹, 张航¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061;
2. 吉林大学 东北亚国际地学研究与教学中心, 长春 130026;
3. 中国石油吉林油田分公司 勘探开发研究院, 吉林 松原 138000

摘要: 根据榆树断陷钻井、测井及地震资料, 建立了榆树断陷地层-构造格架, 恢复了主要地层单元岩相展布特征, 剖析了生储盖发育特征, 预测了有利勘探区带。研究表明: 榆树断陷的榆东、榆西两个次级断陷均为雁行式组合断裂控制的半地堑式复合体, 二者以中部榆树凸起为中线, 构成了镜像次级断陷组合; 其内发育了湖泊-扇三角洲-近岸水下扇沉积体系, 并在火石岭组时期形成了较大规模的火山溢流相和爆发相, 构成了自生自储、下生上储及上生下储型有利生储盖组合; 预测榆东次级断陷内位于中部凸起区邻接两侧次洼区烃源岩的火山穹窿带, 是油气有利勘探区带。

关键词: 地层-构造格架; 岩相展布特征; 有利勘探区带; 榆树断陷; 松辽盆地

中图分类号: P534.53; P618.130 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2017.01.015

Lithofacies distribution and prediction of favorable exploration play of Lower Cretaceous in Yushu Fault Depression, eastern Songliao Basin

REN Yan-ning¹, CUI Tong², LIU Yang³, ZHU Ying¹, ZHANG Hang¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;
2. International Center for Geoscience Research and Education in Northeast Asia, Jilin University, Changchun 130026, China;
3. Exploration and Development Research Institute, Jilin Oil Field Company, PetroChina, Songyuan 138000, Jilin, China

Abstract: Integrating drilling, well-logging and seismic data, in this study, we established the stratigraphic-structural framework, restored the lithofacies distribution of main stratigraphic units, analyzed the source-reservoir-trap assemblage and predicted favorable exploration play in Yushu Fault Depression. The results showed that the Yushu Fault Depression consists of Yudong and Yuxi sub-depressions, of which both are half-grabens controlled by the echelon fault combination. The two sub-depressions are separated by the Yushu uplift in the middle and mirrored each other. The depressions are mainly composed of lacustrine-fan delta-nearshore subaqueous fan systems, with large scale volcanic explosive and effusive facies occurred in Huoshiling Formation. This forms self-sourcing and self-reservoiring, lower-sourcing and upper-reservoiring, upper-sourcing and lower-reservoiring assemblages. The volcanic domes belt of central uplift adjacent to the source rocks in the Yudong sub-depression is the favorable exploration play in the study area.

Key words: stratigraphic-structural framework; lithofacies distribution; favorable exploration play; Yushu

0 引言

近年来,随着松辽盆地东部断陷带深层勘探取得突破,相继发现了小城子、农安、德惠、布海等油气田,深部断陷层成为了新的油气勘探目标^[1-3]。位于东部断陷带东北缘的榆树断陷(图1),发育有榆东、榆西两个次级断陷(图2),面积约2 741 km²。其内发育了下白垩统火石岭组、沙河子组及营城组。火石岭组岩性以火山碎屑岩为主,中部夹火山活动间歇期的湖泊碎屑岩沉积;沙河子组及营城组均为厚层湖泊碎屑岩沉积,表现为灰黑、黑色

泥岩与砂岩互层。钻井揭示,榆树断陷的沙河子组内有天然气聚集,显示了良好的勘探前景。但榆树断陷勘探程度较低,目前仅有2×4~2×2 km测网的二维地震及少量钻井,其地层构造格架、沉积特征及油气成藏有利区带等研究都很薄弱,制约了该区进一步勘探。

本文在前人研究资料基础上,对区内地震资料进行了精细解释,结合钻井资料,建立了断陷构造格架,恢复了该区主要目的层段岩相展布,并在生储盖特征分析的基础上初步提出了有利勘探区带,为研究区下步勘探提供参考依据。

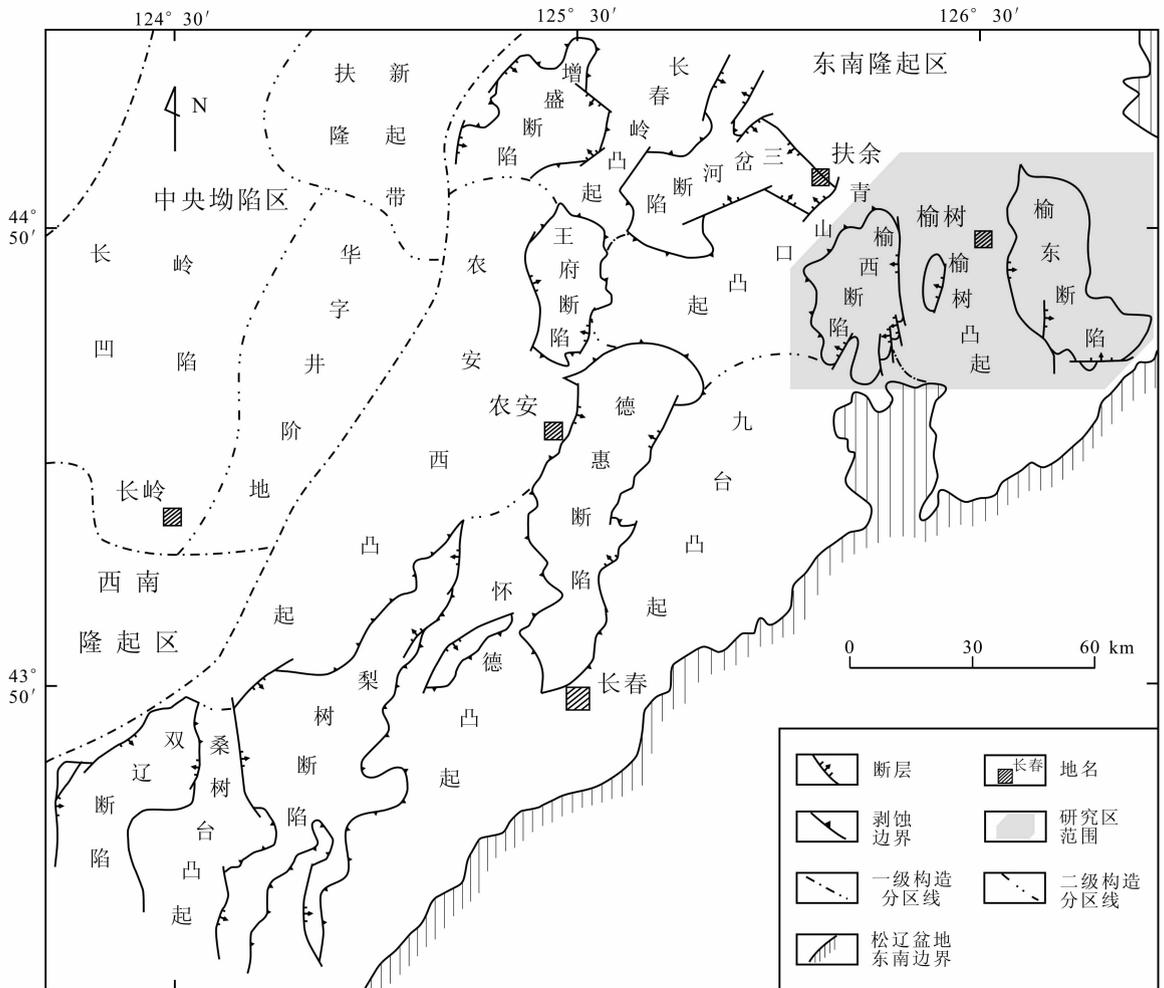


图1 松辽盆地榆树断陷位置图

Fig. 1 Location of Yushu Fault Depression in Songliao Basin

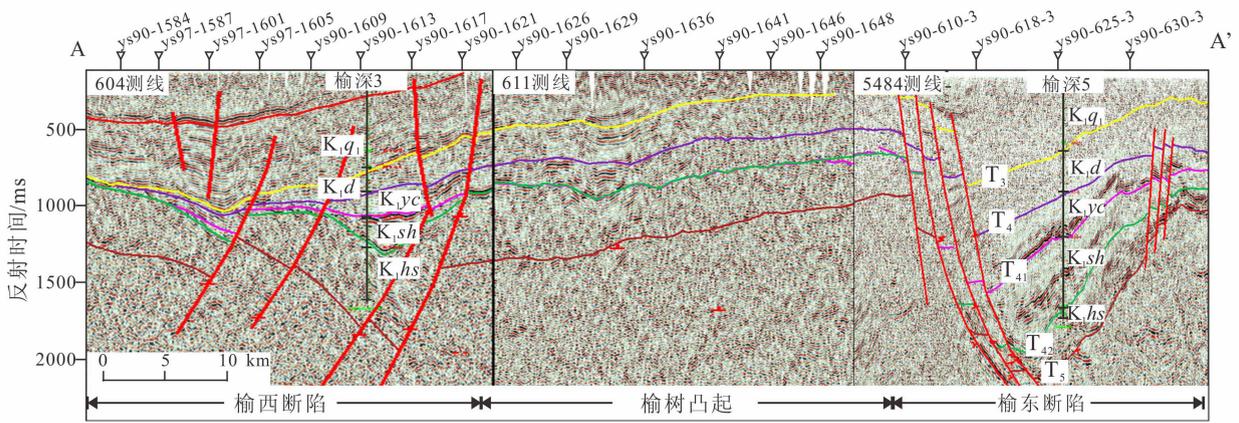


图2 榆树断陷 ys99-604 + dy97-611 + 5484 测线构造格架图 (剖面位置见图3 AA'剖面)

Fig. 2 Structural framework diagram through line No. ys99-604 + dy97-611 + 5484 of Yushu Fault Depression

1 地层-构造格架特征

榆树断陷形成于早白垩世初期,受依泽奈崎板块斜向俯冲及岩石圈拆沉作用的影响^[46],近SN向分布的榆东、榆西断层控制了榆东、榆西次级断陷的形成。

1.1 构造格架

榆东次级断陷为一NNW向展布的西断东超半地堑。其西部控盆断裂由右行雁行式的 F_3 、 F_4 两条断层复合而成。北部 F_3 断层规模较大,总体走向近SN,向南过渡为NNW向,被 F_4 断层切割中止。南部 F_4 断层规模相对较小,走向近SN,与 F_4 断层构成了向南东方向雁列的SN向断层组。在二者复合控制作用下,形成了近SN向展布的两个次级洼槽,北部次级洼槽相对规模较大,二者被长轴近EW向展布的中部次凸分隔(图3)。

榆西次级断陷为一NNE向展布的东断西超半地堑。其东部控盆断裂是由一系列近SN走向的左行雁行式斜列断层组复合而成。其中,北部 F_1 断层规模较大,总体走向近SN; F_2 断层组是向南西方向雁列的、规模较小的SN向断层组;他们总体构成了向南西方向雁列的SN向断层组。在二者复合控制作用下,形成了NNE向展布的2个次级凹槽,北部次级凹槽相对规模较大(图3)。

宏观上,榆东、榆西两个次级断陷均为雁行式组合断裂控制的半地堑式断陷复合体,二者被中部榆树凸起分隔,总体形成了镜像的次级断陷组合。

1.2 地层格架

在上述构造格架控制之下,断陷层总体构成了楔形地质体,但不同构造期,地层发育特征有一定的差异性。

断陷初始阶段—火石岭组发育期,火山活动强烈,火山岩在区内广泛分布,不仅在榆东、榆西次级断陷内发育,并在两次级断陷中间的榆树凸起区亦形成了厚度接近1500m的火山岩台地。在榆东次级断陷,火石岭组发育了南、北2个次级厚度中心。此时南部次级厚度中心规模较大,位于榆深5井西北,地层厚度可达1200m以上。榆西次级断陷火石岭组地层厚度中心主要位于 F_1 断层北部,厚度>1200m。

断陷发育中期—沙河子组沉积期,以断陷差异快速沉降为特点,以湖泊相细碎屑岩沉积为主,沉积物主要分布于断陷范围以内,榆东、榆西次级断陷之间的榆树凸起区处于剥蚀状态。其中,榆东次级断陷的沉积中心位于北部洼槽的榆深1井附近,地层最大厚度>2000m;榆西次级断陷沙河子组地层分布范围及沉积规模较小,部分地区沉积缺失,沉积中心位于断陷北部的榆深3井附近,地层最大厚度约500m(图4)。

断陷发育晚期—营城组沉积期,沉积范围扩大,以整体缓慢沉降为特点,火山活动局限。沉积物主要分布于断陷范围内,以湖泊相碎屑岩沉积为主。榆东次级断陷沉积中心邻近断层呈SN向分布,地层厚度高值带仍然位于北部洼槽区,厚度可达1600m。榆西次级断陷沉积范围较广,但厚度

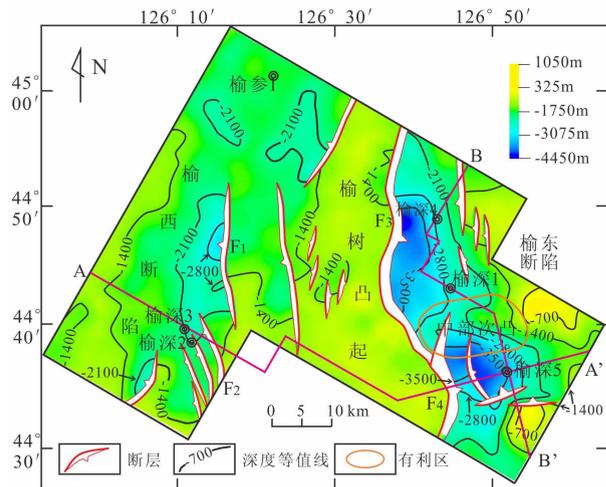


图 3 榆树断陷火石岭组顶面构造图

Fig. 3 Top surface structural diagram of Huoshiling Formation in Yushu Fault Depression

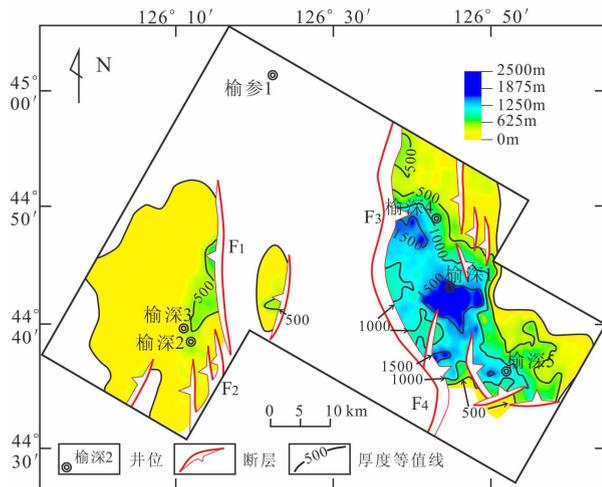


图 4 榆树断陷沙河子组厚度分布图

Fig. 4 Stratum thickness diagram of Shahezi Formation in Yushu Fault Depression

不大，厚度差异较小，多在 $200\text{ m} \pm$ 。沉积中心位于断陷中部的榆深 3 井附近，地层最大厚度 $>500\text{ m}$ 。

由上可见，断陷发育期，无论是火山岩发育的火石岭组，还是湖相细碎屑岩发育的沙河子组、营城组，榆东次级断陷发育规模都相对较大。

2 岩相展布特征

研究区总体以湖泊沉积为背景，主要发育湖泊-扇三角洲-近岸水下扇沉积体系，局部可见三角洲相及湖底扇相沉积，火石岭组发育大规模火山岩相。

2.1 火石岭组岩相展布

火石岭组形成期，区内分布大面积火山岩，仅在断陷内部发育少量碎屑岩沉积。榆东次级断陷内主要物源供给来自断陷的西部、西南部和东北部，形成了由断陷周缘向断陷中心延伸的近岸水下扇和扇三角洲沉积，半深湖-浅湖发育区呈长条状分布于断陷南部的榆深 4~榆深 5 井区，构成了以西南部、西部物源供给为主、东北部物源供给为辅的湖泊-扇三角洲-近岸水下扇沉积体系^[7]。

榆西次级断陷湖盆水体较浅，主要为滨浅湖沉积，在盆地的西缘缓坡带形成了小规模近岸水下扇沉积。整体构成了以西部为主要物源供给区的滨浅湖-扇三角洲沉积体系；在榆西和榆东次级断陷

之间发育大规模的火山溢流和火山爆发亚相，构成了巨大的火山锥（图 5a）。

2.2 沙河子组岩相展布

沙河子组沉积期，火山活动停止，控盆断裂活动强烈，受断层活动影响，地层仅分布于断陷内部。榆东次级断陷主要物源供给为西部、西南部，沿西部控盆断裂形成了近岸水下扇和扇三角洲砂体。半深湖相沉积主要位于北部洼槽区，在半深湖相沉积的中部榆深 4 井区发育了较大规模的湖底扇沉积。南部洼槽区仅发育了小规模半深湖和少量湖底扇沉积。断陷总体沉积构成了以西部和南部为主要物源供给区的湖泊-湖底扇-扇三角洲-近岸水下扇沉积体系。

榆西次级断陷西部坡度相对平缓，发育有面积较大的三角洲沉积，半深湖沉积局限发育于中部的榆深 2 井附近，其他地区为滨浅湖沉积。整体构成了以西部为主要物源供给区的半深湖-三角洲沉积体系（图 5b）。

2.3 营城组岩相展布

营城组沉积时期，湖盆范围扩大，但湖泊水体变浅，并伴随小规模火山活动。榆东次级断陷主要物源供给为西部和西南部，沿西部控盆断裂向湖盆中心形成了大规模近岸水下扇和扇三角洲沉积。半深湖相沉积规模较小，主要分布于北部洼槽的榆深 1 井附近。南部洼槽区仅发育了小规模半

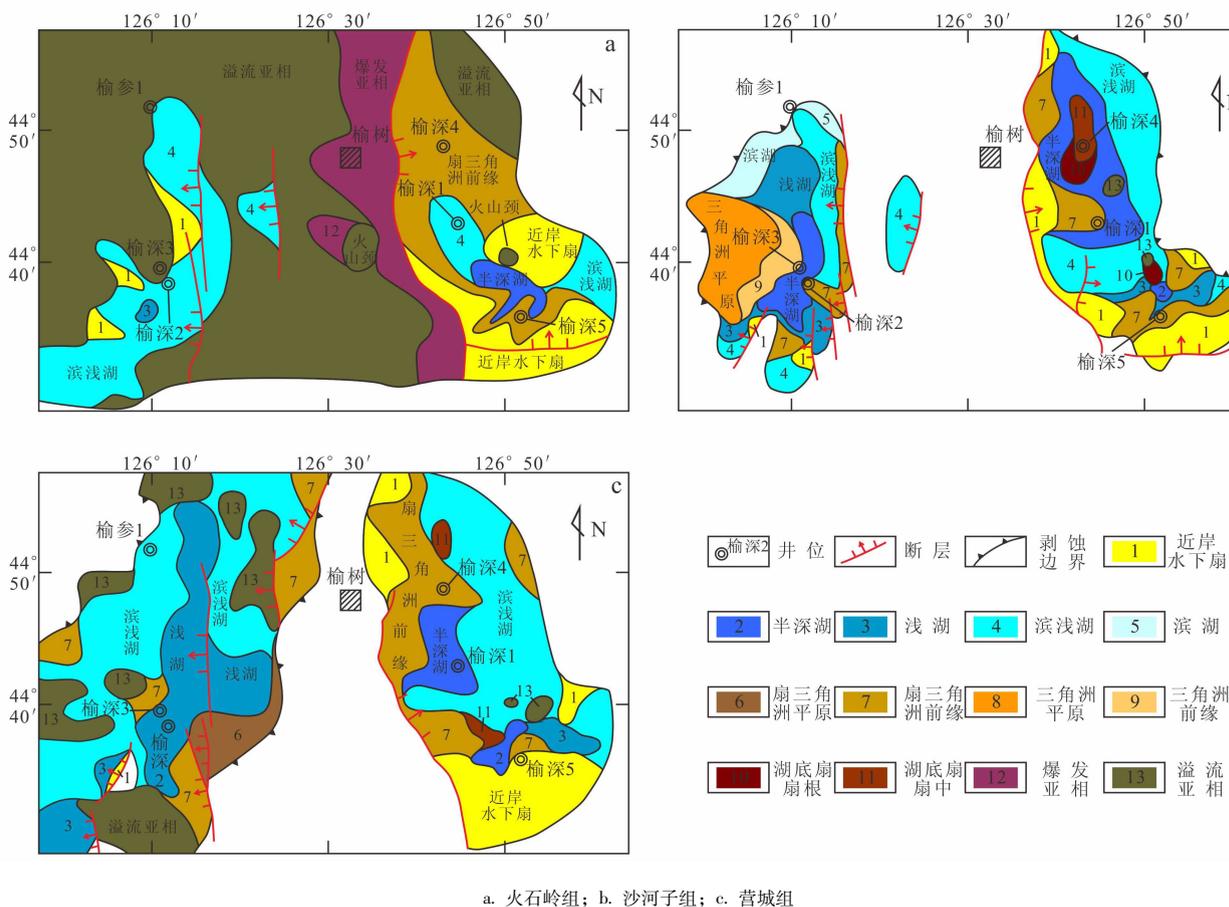


图5 榆树断陷岩相展布图

Fig. 5 Lithofacies distribution diagram of Yushu Fault Depression

深湖。另外，在断陷的北部和南部分别见有小规模的湖底扇沉积。断陷整体构成了以西部和西南部为主要物源供给区的滨浅湖-半深湖-扇三角洲-近岸水下扇沉积体系。

榆西次级断陷以浅湖、滨浅湖为沉积背景，内部发育多处溢流相火山岩，东南部边缘形成了一定规模的扇三角洲沉积。总体构成了以东南部物源供给的滨浅湖-扇三角洲-火山岩相充填体系（图5c）。

3 有利勘探区带预测

3.1 生储盖特征

(1) 烃源岩特征

研究区断陷层中发育有多套有机质丰度较高的暗色泥岩（图6）。其中，火石岭组暗色泥岩主要发育于榆东次级断陷北部洼槽区，最大厚度达

300m，其次发育于榆东次级断陷的南部洼槽区和榆西次级断陷的南部区。其有机质丰度（TOC）平均为1.49%，干酪根类型主要为Ⅱ₂型，镜质体反射率（R_o）主要分布于0.7%~1.3%区间，进入成熟阶段。总体上，火石岭组烃源岩类型为中等—好。

沙河子组暗色泥岩在区内广泛分布，厚度中心位于榆东次级断陷的北部洼槽区，最大厚度>800m。榆东次级断陷的南部洼槽及榆西次级断陷的南部亦有较厚暗色泥岩分布，厚200~400m。其TOC平均为1.29%；干酪根类型以Ⅱ₂-Ⅲ型为主，Ⅱ₂型占30%，Ⅲ型占70%；R_o值处于0.7%~1.3%区间内，处于成熟阶段。总体上，沙河子组烃源岩类型为中等—好。

营城组暗色泥岩随着湖盆扩大分布范围增加，厚度高值区位于榆东次级断陷的北部和南部洼槽，

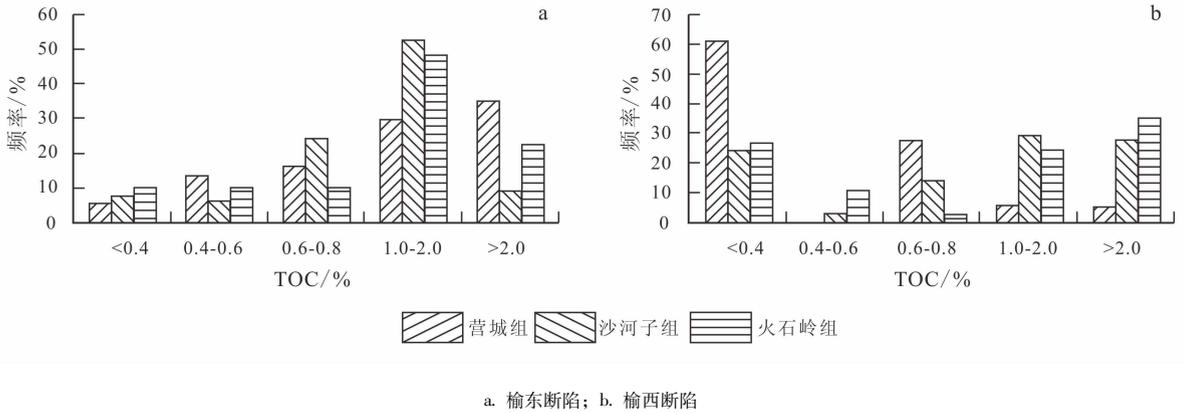


图6 榆树断陷断陷层 TOC 对比图

Fig. 6 TOC comparison diagram of Yushu Fault Depression

厚度 $300 \text{ m} \pm$ 。营城组烃源岩地化指标在榆东、榆西次级断陷差别较大。榆东次级断陷烃源岩 TOC 平均值为 1.60% ，干酪根以 III 型为主， R_o 值 >0.7 的样品占 50% ；榆西次级断陷 TOC 平均值为 0.59% ，干酪根主要为 III 型， R_o 值处于 $0.7\% \sim 1.3\%$ 区间内，已经成熟。总体上，营城组烃源岩类型为差。

综合来看，研究区火石岭组、沙河子组烃源岩类型皆为中等—好，且规模较大，是区内主要烃源岩，营城组烃源岩次之。

(2) 储集层特征

研究区目的层内既发育扇三角洲砂岩储层，也发育火山岩储集体。其中，火石岭组砂体发育，广泛分布于断陷内，但以断陷陡坡一侧厚度最大，榆东次级断陷西部边缘砂体厚度可达 600 m ，榆西次级断陷东部边缘砂体厚度约 500 m 。其孔隙度平均值为 3.10% ，渗透率平均值为 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，按深部断陷层一般含气储层评价，该砂岩储层属于特低孔、低渗型。同时，火石岭组火山岩发育，面积可达 $1\,000 \text{ km}^2$ ，平均厚度为 400 m ，岩性以火山碎屑岩和火山熔岩为主，类比松辽盆地内王府、长岭和徐家围子等断陷^[3,8-11]，区内临近烃源岩或通过断裂与烃源连通的火山岩也是储集体之一。

沙河子组砂体也较发育，主要富集于榆东次级断陷西部陡坡一侧，砂体厚度可达 $1\,200 \text{ m}$ ；其次分布于榆东次级断陷南部边缘，砂体厚度可达 $1\,000 \text{ m}$ ；另外在榆西次级断陷中南部也有分布，厚度可达 250 m 。沙河子组砂岩孔隙度平均值为

3.16% ，渗透率平均值为 $0.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，按深部断陷层一般含气储层评价，该砂岩储层属于特低孔、低渗型。

营城组砂体主要富集于榆东次级断陷西部及南部，砂体厚度约 600 m ；其砂岩孔隙度平均值为 3.84% ，渗透率平均值为 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，按深部断陷层一般含气储层评价，该砂体为特低孔、特低渗储层。榆西次级断陷东部边缘也有部分砂体，厚度可达 200 m ；其砂岩孔隙度平均值为 2.67% ，渗透率平均值为 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，按深部断陷层一般含气储层评价，该砂体为特低孔、特低渗储层。

(3) 生储盖组合特征

研究区火石岭组及沙河子组烃源岩分布面积广，厚度大，为区内油气生成奠定了物质基础。其与区内发育的厚层扇三角洲砂体及火山岩储层可以形成多种生储盖组合。

其中，火石岭组和沙河子组既发育中等—好的烃源岩，也发育特低孔、低渗型砂岩储层，二者交互发育或侧向相邻，构成了良好的自生自储型生储盖组合。

同时，断陷中沙河子组中等—好烃源岩分布广泛，其下的火石岭组砂岩及火山岩储层发育，二者形成了有利的上生下储型生储盖组合。

另外，广泛分布的沙河子组中等—好烃源岩还可为其上砂体广布的营城组储层提供油源，部分地区的火石岭组中等—好烃源岩也可为其上沙河子组砂体提供油源，他们均形成了下生上储型生储盖组

合。

3.2 有利勘探区带预测

根据上述岩相与生储盖组合特征可以得出,榆东次级断陷烃源岩的厚度、分布范围及地化指标等特征,均明显好于榆西次级断陷。因此,在断陷整体勘探程度较低的情况下,应以榆东次级断陷作为勘探重点。

综合榆东次级断陷油气地质条件得出,目前研

究区有利勘探区带主要为榆东次级断陷的中部凸起(图3,7)。该凸起是榆东次级断陷南北次洼中间的分隔凸起,是一近EW向展布的巨型火山穹窿构造带。其南北两侧紧邻深洼区,该区火石岭组发育小规模的半深湖相泥岩,沙河子组和营城组时期发育较大规模的浅湖-半深湖泥岩。其北部邻近的榆深1井在火石岭组和营城组均钻遇了厚层半深湖相烃源岩,沙河子组也有多层烃源岩。

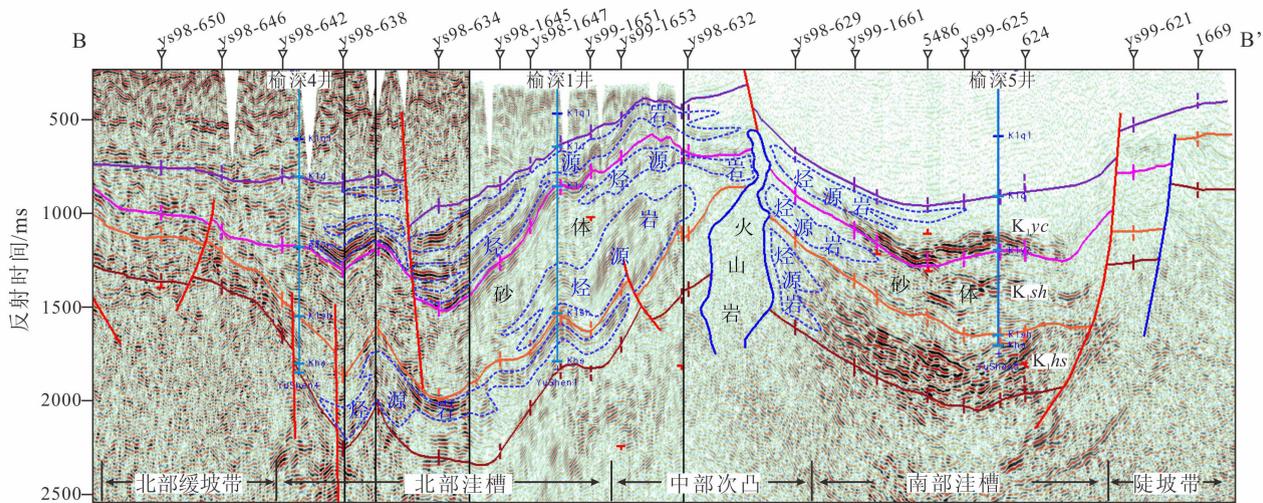


图7 YS98-1641 + YS98-638 + YS98-1643 + YS98-632 + 4406 测线中部次凸地震剖面特征(剖面位置见图3 BB'剖面)

Fig.7 Seismic section characteristic of central uplift through line No. YS98-1641 + YS98-638 + YS98-1643 + YS98-632 + 4406

该区带的火山穹窿与各组烃源岩、储集层交互邻接,构成了有利的生储盖组合,易于形成系列刺穿圈闭(图7),具备了有利成藏条件,是榆树断陷有利勘探区带。

4 结论

(1) 榆东、榆西两个次级断陷为雁行式组合断裂控制的半地堑式断陷复合体,二者被中部榆树凸起分隔,总体形成了镜像的次级断陷组合,其中榆东次级断陷发育规模相对较大。

(2) 榆树断陷火石岭组-营城组均为湖泊-扇三角洲-近岸水下扇沉积体系,并在火石岭组时期发育了大规模的火山溢流相及爆发相;形成了分布较广的沙河子组和有一定规模的火石岭组中等-好烃源岩,构成了自生自储、下生上储及上生下储型有利生储盖组合。

(3) 榆东次级断陷中部凸起,邻接断陷内厚层半深湖相有利烃源岩,发育火山穹窿,易于形成系列刺穿圈闭,是油气勘探有利区带。

参考文献:

- [1] 苗鸿伟,邢伟国,于春旭,等. 松辽盆地南部深层油气富集规律及成藏模式剖析[J]. 中国石油勘探, 2002, 7(4): 41-45.
MIAO Hong-wei, XING Wei-guo, YU Chun-xu, et al. Analysis of oil and gas enrichment regularity and reservoir pattern of deep layers in southern part of Songliao Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2002, 7(4): 41-45.
- [2] 袁波,朱建伟,刘招君. 松辽盆地布海-合隆地区天然气烃源岩特征及资源量计算[J]. 世界地质, 2003, 22(4): 352-356.
YUAN Bo, ZHU Jian-wei, LIU Zhao-jun. Characteris-

- tics of hydrocarbon source rocks and quantitative calculation of natural gas resources in Buhai-Helong Region of Songliao Basin [J]. *Global Geology*, 2003, 22 (4): 352-356.
- [3] 代登亮, 董清水, 任燕宁, 等. 松辽盆地深层箕状断陷岩性气藏成藏规律分析: 以王府断陷为例 [J]. *世界地质*, 2015, 34 (4): 1052-1060.
- DAI Deng-liang, DONG Qing-shui, REN Yan-ning, et al. Gas accumulation in lithologic reservoirs of deep half-graben rift in Songliao Basin; a case of Wangfu Fault Depression [J]. *Global Geology*, 2015, 34 (4): 1052-1060.
- [4] 李多姿, 孙晓猛, 董清水, 等. 吉林榆树地区榆东、榆西断陷构造特征及演化史分析 [J]. *世界地质*, 2015, 34 (3): 675-683.
- LI Duo-zi, SUN Xiao-meng, DONG Qing-shui, et al. Structural features and tectonic evolution history of Yudong and Yuxi fault depressions of Yushu area in Jilin Province [J]. *Global Geology*, 2015, 34 (3): 675-683.
- [5] 张兴洲, 郭冶, 曾振, 等. 东北地区中—新生代盆地群形成演化的动力学背景 [J]. *地学前缘*, 2015, 22 (3): 88-98.
- ZHANG Xing-zhou, GUO Ye, ZENG Zhen, et al. Dynamic evolution of the Mesozoic-Cenozoic basins in the northeastern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22 (3): 88-98.
- [6] 邢大全, 刘永江, 唐振兴, 等. 松辽盆地上古生界构造格局及演化探究 [J]. *世界地质*, 2015, 34 (2): 398-407.
- XING Da-quan, LIU Yong-jiang, TANG Zhen-xing, et al. Research on Upper Paleozoic tectonic framework and evolution of Songliao Basin [J]. *Global Geology*, 2015, 34 (2): 398-407.
- [7] 楼仁兴, 董清水, 聂辉, 等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区志留—泥盆纪岩相古地理特征及油气勘探前景 [J]. *石油实验地质*, 2011, 33 (6): 580-586.
- LOU Ren-xing, DONG Qing-shui, NIE Hui, et al. Lithofacies paleogeography and petroleum exploration potential in Silurian – Devonian, Bachu – Maigaiti region, Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33 (6): 580-586.
- [8] 杨辉, 张研, 邹才能, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩分布及天然气富集规律 [J]. *地球物理学报*, 2006, 49 (4): 1136-1143.
- YANG Hui, ZHANG Yan, ZOU Cai-neng, et al. Volcanic rock distribution and gas abundance regularity in Xujiaweizi faulted depression, Songliao Basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49 (4): 1136-1143.
- [9] 吴群, 周荔青. 松辽盆地长岭断陷东部大中型火山岩(油)气田形成分布特征 [J]. *石油实验地质*, 2009, 31 (1): 40-45.
- WU Qun, ZHOU Li-qing. Formation and distribution of large-medium scaled volcanite gas fields in eastern Changling fault depression of the Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31 (1): 40-45.
- [10] 唐华风, 王璞珺, 李瑞磊, 等. 松辽盆地断陷层火山机构特征及其气藏特征 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2012, 42 (3): 583-589.
- TANG Hua-feng, WANG Pu-jun, LI Rui-lei, et al. Classification of volcanic edifice and its characteristics of gas pool in faulted sequence of the Songliao Basin, NE China [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2012, 42 (3): 583-589.
- [11] 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, 33 (1): 43-47.
- DONG Qing-shui, ZHAO Zhan-yin, LIU Zhao-jun, 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: Earth Science Edition*, 2003, 33 (1): 43-47.