

昌图断陷石油地质特征及区带优选

孙宜朴¹, 陈霞¹, 徐士林¹, 赵洪伟²

(1.中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083; 2.中国石化东北油气分公司,长春 130000)

摘要:通过对昌图断陷石油地质条件分析、构造单元划分及区带综合评价,认为昌图断陷主要发育白垩系,下白垩统为主要勘探目的层。九佛堂组暗色泥岩为主力烃源,主要分布在北部洼陷带,有机质丰度高、II₂型干酪根,为成熟烃源岩;发育九佛堂组、沙海组、阜新组3套储层;九佛堂组储层存在南、北2个发育区,为II类储层。存在九佛堂组和沙海组自生自储和以九佛堂组泥岩为烃源岩、沙海组砂岩为储层、阜新组下部泥岩为盖层构成的生储盖组合。中央构造带濒临生烃洼陷,长期处于油气运移指向区,圈闭发育,是有利的勘探区带。

关键词:有利区带;九佛堂组;白垩系;昌图断陷;昌图—铁法盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Petroleum geologic characteristics and profitable exploration zone selection of Changtu Sag

Sun Yibu¹, Chen Xia¹, Xu Shilin¹, Zhao Hongwei²

(1. *Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;*

2. *SINOPEC Northeastern Oilfield Company, Changchun, Jilin 130000, China*)

Abstract: The studies of petroleum geologic characteristics, structural unit division and profitable exploration zone selection of the Changtu Sag showed that Cretaceous was well developed in the study area, and the Lower Cretaceous was a main exploration target. The dark mudstones of the Jiufotang Formation, with high organic carbon abundance, type II₂ kerogen and in mature stage, served as the main source rocks and mainly developed in the north of the sag. There were 3 sets of reservoirs including the Jiufotang, Shahai and Fuxin Formations. The Jiufotang reservoirs developed in the north and the south, and belonged to type II. 2 kinds of petroleum systems were concluded. As to the 1st kind, hydrocarbon generated and self-stored in the Jiufotang and Shahai Formations. While for the 2nd kind, hydrocarbon generated from the mudstones in the Jiufotang Formation, stored in the sandstones in the Shahai Formation, and capped by the mudstones in the lower part of the Fuxin Formation. The Central Structural Zone, which was adjacent to hydrocarbon generation sag and had many traps, was the target for hydrocarbon migration for a long time, hence was a favorable petroleum exploration zone.

Key words: profitable exploration zone; Jiufotang Formation; Cretaceous; Changtu Sag; Changtu-Tiefa Basin

1 地质概况

昌图断陷是昌图—铁法盆地内的一个面积最大的断陷。该断陷位于辽宁省北部昌图县和吉林省南部双辽县,东邻大黑山南端,西与三家子断陷相邻,向北止于省界;是在古生代浅变质岩和前寒武纪变质岩基底上发育起来的白垩纪断陷,其南部处于中朝地台内蒙地轴的东段,北部跨入内蒙兴安地槽褶皱带吉黑地槽褶皱系,是一个上叠于两大构造单元之上的白垩纪含煤断陷。断陷呈带状,南北方向分布,东西宽20~35 km,南北长110 km,面积

约2 500 km²,基底最大埋深可达6 500 m(图1)。

2 石油地质特征

2.1 地层特征

昌图断陷内白垩系沉积地层齐全,包括了上白垩统的嫩江、姚家、青山口组和下白垩统的泉头、阜新、沙海、九佛堂、义县组(表1)。

前中生界地层是断陷基底,由前寒武系的元古界和古生界地层组成。前寒武系为变质程度较深的混合花岗岩和花岗片麻岩;古生界地层主要为奥陶—志留系的下二台子群,岩性以浅变质的片岩、

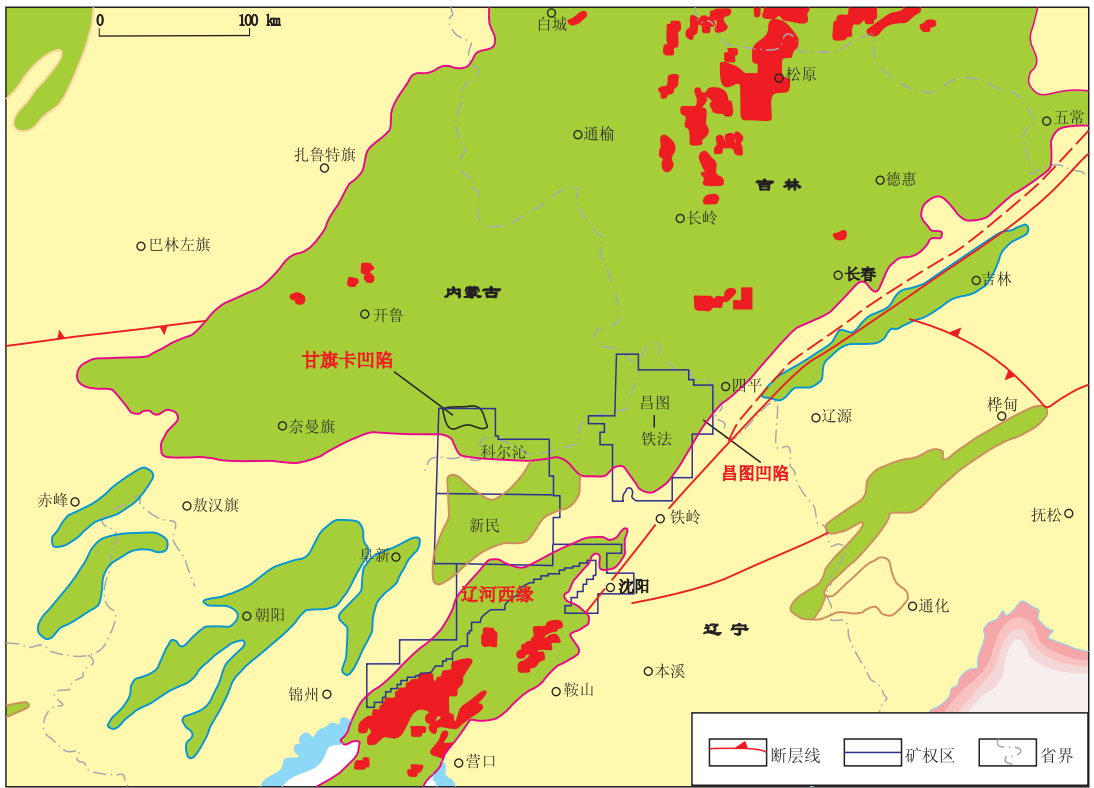


图1 昌图—铁法盆地昌图断陷位置

Fig.1 Structural location of Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

表1 昌图—铁法盆地昌图断陷地层简表

Table 1 Simplified stratigraphic column of main geologic formations in Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

地层单位				生物群	厚度/m	岩性描述	资料来源
界	系	统	组				
新生界	第三、四系				30~50	为松散的黄色表土层	
中生界	白垩系	上统	嫩江组	松花江群	50~180	灰色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层泥质粉砂岩、粉砂岩	昌参1、2、3井和煤田浅孔及野外露头资料
			姚家组		80~100	黄红色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩	
			青山口组		400~500	上部黄红色泥岩、粉砂质泥岩、灰色泥质粉砂岩;下部紫红色泥岩、粉砂质泥岩、夹浅灰色细砂岩	
		下统	泉头组	80~950	上部紫红色泥岩、灰色泥质粉砂岩、细砂岩;下部浅灰色砂砾岩、砂岩,夹薄层紫红色泥岩、浅灰色泥质粉砂岩		
			阜新组	上段	100~600	灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩与浅灰色泥质粉砂岩、含砾粗砂岩、细砂岩、底部偶夹煤层	
				下段	200~500	上部深灰色泥岩、黑色煤层、浅灰色细砂岩;中部深灰色泥岩、粉砂岩;下部深灰色泥岩、浅灰色砂砾岩	
			沙海组	200~600	上部深灰色粉砂质泥岩、细砂岩、灰质粉砂岩;下部杂色凝灰质火山角砾岩夹薄层深灰色泥岩,部分夹有煤层		
			九佛堂组	300~600	上部深灰色泥岩、粉砂质泥岩、细砂岩、砂砾岩;中部凝灰质角砾岩;下部杂色、浅灰色凝灰质砂砾岩夹薄层深灰色泥岩、细砂岩,底部为灰色凝灰岩		
义县组	500~>7 000	安山岩、火山角砾岩、凝灰岩、砾岩夹黄绿色砂质页岩、灰—灰黑色泥岩					
古生界寒武系、奥陶—志留系						板岩、石英岩、片岩夹大理岩、变粒岩、变质砂岩	野外露头
太古界鞍山群						花岗片麻岩、片麻岩、片岩、变粒岩	

变粒岩、大理岩等组成^[1-4]。

下白垩统揭示了泉头组、阜新组、沙海组、九佛堂组、义县组地层,是主要的勘探目的层。义县组上、下部以中基性或偏酸性火山喷发岩与同质的火山碎屑岩沉积为主,中部为黄褐色砂砾岩,灰色粉砂岩夹湖相暗色泥岩。九佛堂组下段为凝灰质含量较高的砂砾岩、角砾岩夹暗色泥岩,上段为深灰色泥岩,碳质泥岩夹细砂岩和砂砾岩,凝灰质含量少。沙海组岩性组合以灰—浅灰色砂砾岩、砂岩与深灰色泥岩互层为主,砾石成分以火山岩为主;上部岩性偏细,砂泥岩互层,下部岩性较粗,为厚层状砂砾岩。阜新组下段以深灰色泥岩、薄煤层和碳质泥岩为主,夹灰—灰白色砂岩、含砾砂岩;上段以灰—灰白色砂、含砾砂岩为主,夹浅湖—半深湖相暗色泥岩。泉头组为冲积扇相、河流相沉积,下部以厚层浅灰色砂砾岩为主,夹薄层紫红色泥岩;上

部以紫红色泥岩与灰色泥质粉砂岩、细砂岩互层为特征(表1)。

2.2 烃源岩特征

九佛堂组为断陷主要烃源岩。岩性以黑灰、深灰色泥岩为主,夹数层碳质泥岩。该套烃源岩纵向上主要集中在本组上段,平面上具有南薄北厚的趋势,中、南部厚 20~100 m,北部 40~120 m(图 2a)。

九佛堂组烃源有机质丰度为 1.23%~2.73%,平均值 1.98%;氯仿沥青“*A*”为 $(291 \sim 1115) \times 10^{-6}$,平均值 762×10^{-6} ;总烃为 $(122 \sim 839) \times 10^{-6}$,平均值 532×10^{-6} ;生烃潜量 0.86~7.13 kg/t,平均为 3.74 kg/t,总体上属于较好—好烃源岩^[5-10]。干酪根类型主要为 II₂ 型,占 63.6%,次为 II₁ 型,占 18.2%,I型和 III 型较少,各占 9.1%(表 2);*R_o* 为 0.7%~0.94%,为成熟烃源岩(表 2)。

昌参 2 井泥质烃源岩的镜质体反射率在 1 100 m 左右时达到 0.5%(对应的层位为阜新组上部),有

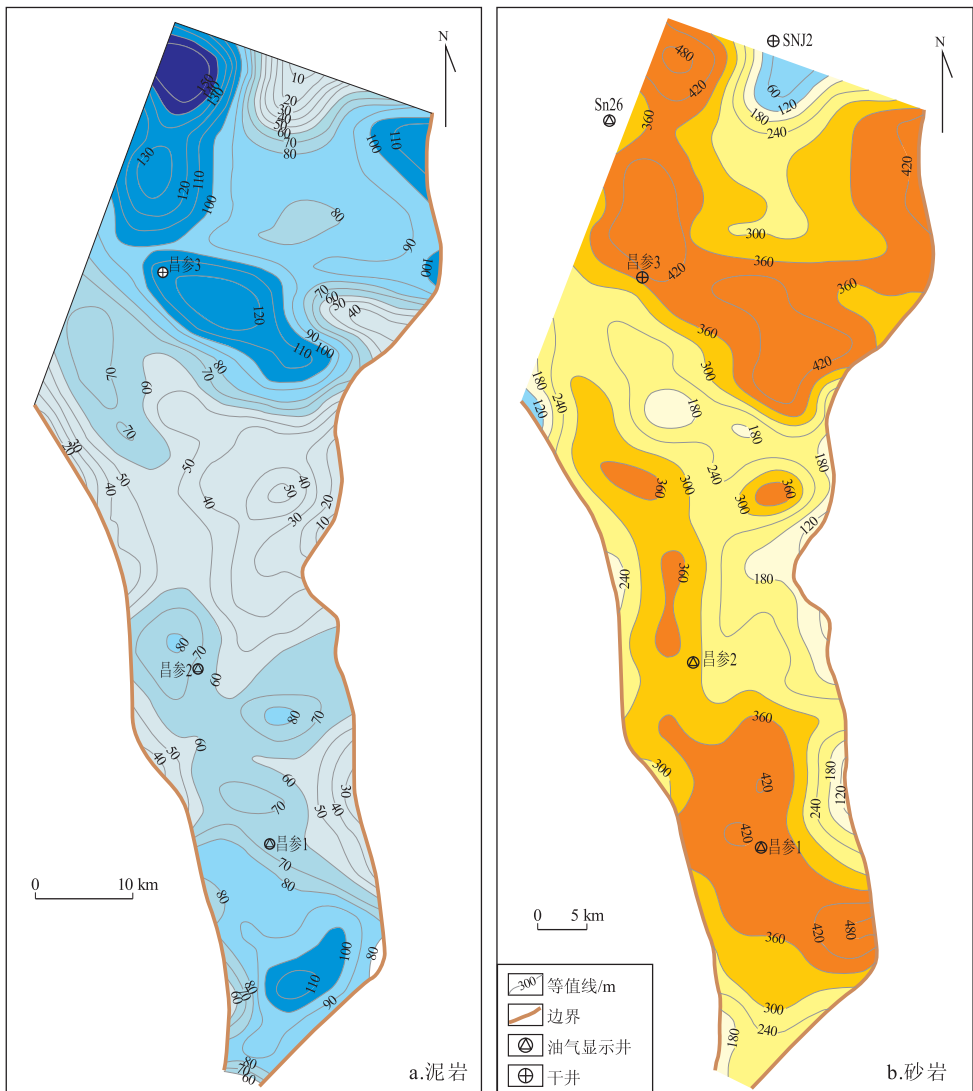


图 2 昌图—铁法盆地昌图断陷九佛堂组泥岩、砂岩等厚图

Fig.2 Isopach map of mudstones and sandstones in Jiufotang Formation, Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

表2 昌图—铁法盆地昌图断陷下白垩统干酪根类型镜下鉴定统计

Table 2 Kerogen types by microscopic identification of Lower Cretaceous in Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

层位	不同干酪根类型所占的百分比/%				样品数/个
	I	II ₁	II ₂	III	
K ₁ f		9.0	14.3	76.7	56
K ₁ sh		13.3	40.0	46.7	15
K ₁ jif	9.1	18.2	63.6	9.1	11
K ₁ f-K ₁ jif	1.2	11.0	25.6	62.2	82

机质的热演化程度不高;1 100~2 000 m 的烃源岩有机质处于低成熟演化阶段 ($R_o = 0.5\% \sim 0.7\%$); 2 000~2 750 m 的烃源岩有机质处于成熟演化阶段 ($R_o = 0.7\% \sim 1.0\%$) (对应的层位为沙海组下部、九佛堂组和义县组顶部)。

在白垩纪早期至中期剧烈沉降,地层埋深幅度较大,沉积了较厚的义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组和泉头组地层,此后该区地层有一定幅度的抬升而遭受剥蚀,直至古近纪时该区又处于沉降状态,接收沉积(图3)。

2.3 储层特征

昌图断陷下白垩统发育九佛堂组、沙海组和阜新组3套储层。

九佛堂组钻井储层厚40.9~483 m,占储层总

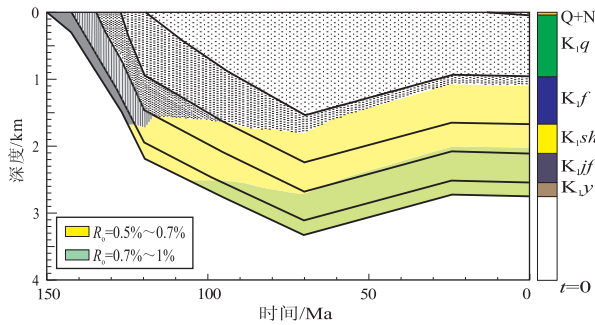


图3 昌图—铁法盆地昌图断陷昌参2井烃源岩埋藏史
Fig.3 Burial history of source rocks from well Changcan2, Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

厚度的53.6%~72.3%。根据储层预测,在平面上,断陷南部昌参1井以南和断陷西部十家子地区、断陷北部太平洼陷两侧储层比较发育,厚度大约在420~600 m之间。总体来看,昌图断陷北部九佛堂组储层相对发育(图2b)。

沙海组储层厚度相对较薄。在平面上继承了九佛堂组的储层发育特征,其储层厚度一般在80 m以上。从平面分布来看,沙海组储层主要分布在断陷西南部和北部,北部相对发育,厚度80~180 m。

阜新组砂岩储层厚度较大,昌图断陷大部分面积的阜新组砂岩储层厚度均大于120 m;以昌图断陷南部昌参1井区和断陷北部尤其发育,厚度均大于360 m,断陷北部昌参3井东侧厚度最大,最大处大于780 m。

阜新组是断陷内物性最好的层段,孔隙度在6.1%~26.5%,平均为17.8%,渗透率在 $(0.08 \sim 432) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $146.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。沙海组孔隙度为4.5%~17.5%,平均值12.89%,渗透率为 $(0.02 \sim 188) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $38.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。九佛堂组储层物性最差,孔隙度在7.2%~11.7%,平均值9.5%,渗透率 $(0.01 \sim 16) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表3)。

综合储层物性、孔隙结构参数及孔隙类型资料^[11-14],昌图断陷九佛堂组以Ⅲ类储层为主,局部发育Ⅱ类储层;沙海组以Ⅱ-Ⅲ类储层为主,储集性能中一差;阜新组以Ⅰ-Ⅱ类储层为主,是盆地储集性能最好的层段。

2.4 盖层特征

本区盖层发育,根据井的对比分析,结合地震剖面反射特征,阜新组中上部泥岩发育,单层厚度较大(最厚8~17 m),并且比较稳定,可构成断陷的区域盖层。沙海组中上部泥岩较发育,但泥岩单层厚度较小(一般小于10 m),可构成局部盖层。九佛堂组泥岩发育,单层厚度大(昌参3井厚102.5 m),可构成断陷的直接盖层。

表3 昌图—铁法盆地昌图断陷阜新一九佛堂组岩石物性统计

Table 3 Physical properties of rocks from Fuxin and Jiufotang Formations in Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

层位	井号	孔隙度/%	渗透率/ $(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	碳酸盐含量/%	样品数/个
阜新组	昌参1井	6.1~26.5/18	<1~432/139.5	0.6~15.8/5.8	25
	昌参2井	10.1~21.7/17.1	<1~311/148		3
	昌参3井	13.8~18.5/16.4	79~288/206		3
沙海组	昌参1井	4.5~17.5/12.3	<1~17/2.27	0~26.8/7.2	37
	昌参2井	5.8~8.9/7.8	<1		3
	昌参3井	8.0~16.4/10.4	<1~188/38.8	1.6~15/6.6	5
九佛堂组	昌参2井	7.2~11.7/9.5	<1~16/5		4

注:表中数值意义为:最小值~最大值/平均值。

2.5 生储盖组合特征

昌图断陷主要发育 2 种生储盖组合类型。

自生自储式组合:主要发育在九佛堂组和沙海组,以九佛堂组湖相泥岩及高碳泥岩为主力烃源岩,九佛堂组砂岩为储层,沙海组和阜新组泥岩为盖层构成的下部自生自储式组合;沙海组的泥岩为烃源岩,沙海组砂岩为储层,阜新组泥岩为盖层构成的上部自生自储式组合^[15-16]。

下生上储式组合:以九佛堂组泥岩为烃源岩,沙海组砂岩为储层,阜新组下部泥岩为盖层构成的生储盖组合。

3 有利区带优选

昌图断陷划分为 7 个构造单元,由北向南、由西向东依次为北部构造带(520 km²)、北部洼陷带(530 km²)、西部洼陷带(300 km²)、中央构造带(380 km²)、中央洼陷带(220 km²)、东部构造带(250 km²)和南部构造带(520 km²),中央构造带是有利区带(图 4)。

3.1 临近生烃中心

从构造单元分布来看^[17],中央构造带为北部洼陷带、西部洼陷带及中央洼陷带所包围,临近多个生烃中心,在沉积充填演化过程中长期处于构造高部位,为有利的油气指向区,具备形成油气藏的烃源条件。

3.2 发育多个构造圈闭

通过对昌图断陷二维地震精细解释,在 T₃, T₄, T₄¹, T₄² 4 个反射层共新发现、落实各类圈闭 3 个,圈闭面积 143.7 km²,层圈闭 9 个,层圈闭总面积 260.4 km²。计算 3 个圈闭资源量共计 1 309.6×10⁴ t,其中东嘎圈闭资源量 272.4×10⁴ t,付家屯圈闭资源量 527.0×10⁴ t,四面城圈闭资源量 510.2×10⁴ t。中央构造带具备良好的圈闭条件^[18-20]。

3.3 储层发育、长期处于有利指向区

储层发育,主要有九佛堂组、沙海组、阜新组 3 套储层,埋深浅、物性好,具备良好的油气储集条件。地质历史时期,中央构造带长期处于构造高部位,通过模拟发现,中央构造带是各洼陷油气运移的有利指向区。

4 结论

昌图断陷发育 7 个构造单元,有利烃源岩发育区分布在断陷北部。中央构造带濒临多个生烃中心,发育多个构造圈闭,九佛堂组和沙海组圈闭发育,并长期处于油气运移指向区,为昌图断陷有利勘探区带。

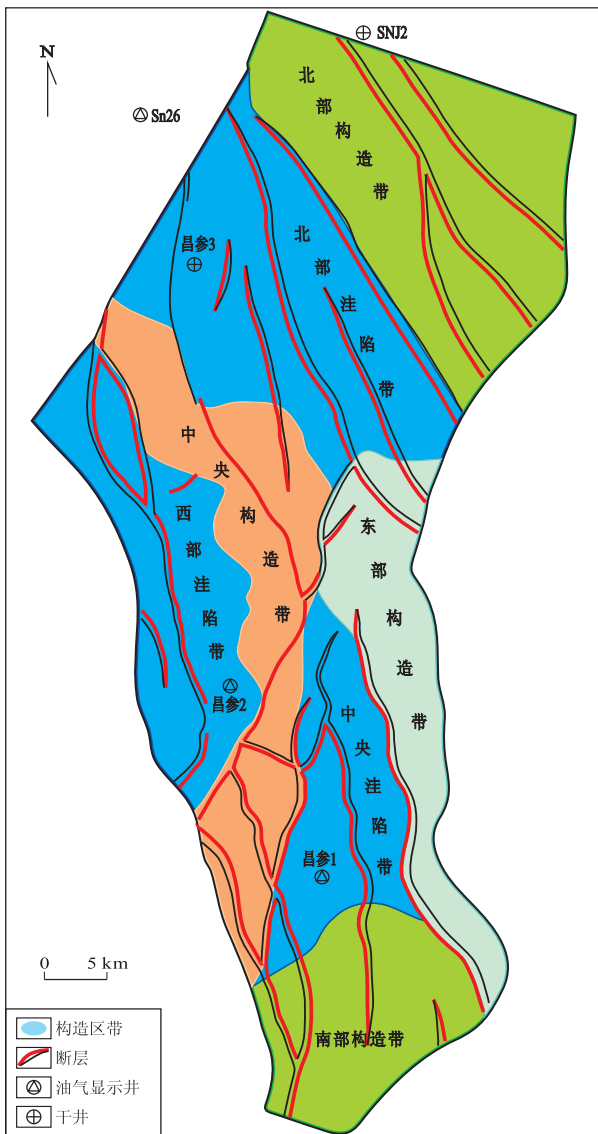


图 4 昌图—铁法盆地昌图断陷构造单元划分

Fig.4 Tectonic unit division of Changtu Sag, Changtu-Tiefa Basin

参考文献:

[1] 赵洪伟,刘玉华.昌图断陷南部烃源岩特征与油气资源潜力[J].石油天然气学报,2012,34(6):21-24,56.
Zhao Hongwen, Liu Yuhua. Source rock characteristics and oil gas resource potential in the south of Changtu depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(6): 21-24, 56.

[2] 胡纯心,洪雪,赵洪伟,等.松南断陷群石油勘探潜力与勘探方向分析[J].石油实验地质,2012,34(3):252-256.
Hu Chunxin, Hong Xue, Zhao Hongwei, et al. Petroleum exploration potential and targets in fault depressions, southern Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(3): 252-256.

[3] 吴亚生,钟大康,邱楠生,等.松南地区断陷层烃源岩生烃能力及主控因素分析[J].断块油气田,2012,19(1):39-43.
Wu Yasheng, Zhong Dakang, Qiu Nansheng, et al. Hydrocarbon generation potential of source rock and main controlling factors for fault-

- ted strata in Songnan Area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(1): 39-43.
- [4] 徐宏节,温升福,逢海明.松辽盆地梨树断陷基底结构特征[J].成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(3):301-306.
Xu Hongjie, Wen Shengfu, Pang Haiming, et al. Study on basement structural characteristics of Lishu fault depression in Songliao Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Social Sciences, 2013, 40(3): 301-306.
- [5] 沈武显,樊太亮,王宏语,等.松南长岭地区拗陷层油气富集规律[J].中南大学学报:自然科学版,2010,41(2):715-721.
Shen Wuxian, Fan Tailiang, Wang Hongyu, et al. Hydrocarbon enrichment rules of depression period layer in Changling region of southern Songliao Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2010, 41(2): 715-721.
- [6] 焦里力,罗小平,李仲东,等.松南气田火山岩储层天然气地球化学特征及成因探讨[J].矿物岩石,2010,30(2):103-110.
Jiao Lili, Luo Xiaoping, Li Zhongdong, et al. Study on geochemical characters and origin of deep natural gas in volcanic rock reservoir, Songnan gas field of southern Songliao basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2010, 30(2): 103-110.
- [7] 李浩,孙兵,魏修平,等.松南气田火山岩储层测井解释研究[J].地球物理学进展,2012,27(5):2033-2042.
Li Hao, Sun Bing, Wei Xiuping, et al. Logging interpretation of volcanic rock reservoir in Songnan gas field[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(5): 2033-2042.
- [8] 杨怀成,张勇.松南火成岩气藏测试资料解释处理与应用[J].油气藏评价与开发,2011,1(3):30-35,57.
Yang Huaicheng, Zhang Yong. Interpretation and application of the logging data of Songnan igneous rock gas reservoir[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2011, 1(3): 30-35, 57.
- [9] 刘伟.松南气田营城组火山岩气藏储层预测[J].石油天然气学报,2011,33(10):79-83.
Liu Wei. Prediction of Songnan volcanic gas reservoir of Yuncheng formation in Songnan Area[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(10): 79-83.
- [10] 吴亚生,钟大康,邱楠生.松南地区下白垩统九佛堂组沉积相特征[J].石油天然气学报,2011,33(10):30-33.
Wu Yasheng, Zhong Dakang, Qiu Nansheng. Characteristics of sedimentary facies in cretaceous Jiufotang formation in Songnan Area[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(10): 30-33.
- [11] 赵建建.松南气田深部地层可钻性级值研究[J].油气藏评价与开发,2012,2(3):58-61.
Zhao Jianjian. Research on the drillability grade of deep strata in Songnan gasfield[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(3): 58-61.
- [12] 武英利,朱建辉,张欣国.东北地区石炭—二叠系储层特征与评价[J].石油实验地质,2011,33(5):499-504.
Wu Liying, Zhu Jianguo, Zhang Xinguo. Characteristics and evaluations of reservoirs in Carboniferous-Permian, Northeast China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 499-504.
- [13] 裘松余.松南15井微古组合及其地层意义[J].石油实验地质,1991,13(2):185-199.
Qiu Songyu. Micropalaeontological assemblages in Songnan well No.15 and stratigraphical significance[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1991, 13(2): 185-199.
- [14] 黄桂雄.松南地区改造型断陷盆地的勘探潜力:以彰武断陷为例[J].石油天然气学报,2013,35(1):46-49.
Huang Guixiong. Hydrocarbon exploration potential of reconstructed faulted basins in Songnan Area: By using Zhangwu fault depression for example[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2013, 35(1): 46-49.
- [15] 郭少斌.松辽盆地南部西斜坡层序地层与油气聚集规律[J].石油实验地质,1997,19(4):340-343.
Guo Shaobin. Sequence stratigraphy and oil-gas accumulation regular pattern around the western slope in southern Songliao basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1997, 19(4): 340-343.
- [16] 张玺,宋振响,徐文,等.松辽盆地梨树断陷油气资源动态评价[J].石油实验地质,2013,35(2):224-230.
Zhang Xi, Song Zhengxiang, Xu Wen, et al. Dynamic evaluation of oil-and-gas resources of Lishu Fault Depression in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 224-230.
- [17] 陈孔全,朱陆忠,徐言岗.松南地区断—拗盆地油气成藏条件[J].石油与天然气地质,1996,17(2):110-116.
Chen Kongquan, Zhu Luzhong, Xu Yangang. Hydrocarbon pool-forming condition of fault-depressed basin in south Songliao region[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 110-116.
- [18] 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 Liqing. 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.
- [19] 郭彧,高善平,牛成,等.松辽盆地南部梨树地区油气藏形成地质条件研究[J].石油与天然气地质,1992,13(3):322-331.
Guo Yu, Gao Shanping, Niu Cheng, et al. Geological condition for formation of hydrocarbon pools in Lishu area[J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(3): 322-331.
- [20] 周荔青,雷一心,王红燕.松辽盆地长岭断陷无机与有机油气共生藏组合类型及分布规律[J].石油实验地质,2009,31(4):324-328.
Zhou Liqing, Lei Yixin, Wang Hongyan. Play types and distribution features of coexistence of organic and abiogenic hydrocarbon in the Changling faulted depression of Songliao basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 324-328.

(编辑 黄娟)