

松辽盆地南部九佛堂组 烃源岩特征及与油气富集的关系

程建¹, 段铁军¹, 向洪², 宋在超¹, 韦庆亮¹

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126;
2. 中国石油吐哈油田分公司 工程技术研究院 压裂酸化研究所, 新疆 吐鲁番 838202)

摘要: 利用烃源岩“TOC”、热解、族组分、碳同位素和生物标志化合物检测等地球化学方法, 对松辽盆地南部彰武、昌图断陷九佛堂组烃源岩和原油进行分析研究, 发现彰武断陷原油来源于九佛堂组下段烃源岩, 昌图断陷泉1井原油与九佛堂组上段烃源岩有较高的亲缘性。结合松南地区其他有工业油气发现的重要断陷九佛堂组烃源岩对比分析, 认为九佛堂组为全区主力烃源岩, 具有高丰度、多类型和低演化程度的特征, 烃源岩分布与油气富集程度具有较好的对应关系。受断陷构造演化、沉积环境和埋深及后期保存条件等多种因素影响, 九佛堂组下段烃源岩比上段烃源岩更具生烃潜力, 成熟度是烃源岩重要的影响因素。进一步落实断陷内九佛堂组有机质成熟度、优质烃源岩发育层段和平面展布范围, 寻找良好的源储配置和合适的近源圈闭是松南地区下一步的勘探方向。

关键词: 烃源岩; 油源对比; 油气富集; 九佛堂组; 彰武断陷; 昌图断陷; 松辽盆地南部

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Characteristics of Jiufotang source rock and its relationship to hydrocarbon enrichment, southern Songliao Basin

CHENG Jian¹, DUAN Tiejun¹, XIANG Hong², SONG Zaichao¹, WEI Qingliang¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China; 2. Fracturing and Acidification Institute, Engineering Technology Institute, Turpan-Hami Oil Field, CNPC, Turpan, Xinjiang 838202, China)

Abstract: Source rock and crude oil samples from the Jiufotang Formation in the Zhangwu and Changtu depressions in the southern Songliao Basin were analysed for TOC content, pyrolysis yield, rock group composition, carbon isotope and biomarkers. The oil in the Zhangwu Depression was mainly sourced from the lower part of Jiufotang Formation, while that in the Changtu Depression mainly derived from the upper part of Jiufotang Formation. The Jiufotang source rocks in other depressions with industrial oil and gas discoveries in the study area were also studied, indicating that the Jiufotang source rocks were the main source rocks in the region, with high abundance, multiple types, and low evolution degree. The source rock distribution has a good relationship with the degree of hydrocarbon enrichment. Various factors such as structural evolution of the depression, sedimentary environment, burial depth, and later-stage preservation conditions result in more hydrocarbon production in the lower part of Jiufotang Formation relative to those in the upper part. Maturity is an important factor affecting source rocks. The development and distribution of high-quality source rocks in the Jiufotang Formation were determined. Finding a good source and reservoir configuration and appropriate near-source traps lead to favorable exploration directions in the southern Songliao Basin.

Key words: source rock; oil-source correlation; hydrocarbon enrichment; Jiufotang Formation; Zhangwu Depression; Changtu Depression; southern Songliao Basin

松辽盆地南部下白垩统断陷群具有相似的盆地结构、沉积充填特征和油气成藏条件^[1-2], 下白垩统九佛堂组烃源岩有机质丰度普遍较高、类型较好, 且具有低演化程度背景。该区断陷群分割性

强, 油气成藏条件复杂, 油气富集程度差异性很大, 历经多年油气勘探, 已实现多点突破, 在陆家堡、奈曼、张强、钱家店和彰武等断陷已发现并建成中小型油气田, 但广大低勘探程度地区虽偶见油气流,

却始终未取得实质性进展,油气勘探近乎停滞。

本文重点分析彰武、昌图 2 个断陷九佛堂组烃源岩的地球化学特征,结合其他断陷烃源岩特征对比分析,旨在进一步分析总结松南地区油气差异富集的影响因素,为该地区油气勘探提供参考。

1 区域地质概况

松辽盆地南部发育多个中、新生代断陷盆地,受 NE 向嫩江—八里罕断裂、依兰—伊通断裂和 EW 向赤峰—开原断裂、西拉木伦河断裂 4 条大断裂控制,具有“南北分区、东西分带”的特征(图 1);西部断陷走向近 NNE,多为箕状,规模较大,如陆家堡、莽汉和奈曼断陷;东部断陷走向近 SN,多表现为双断或多边界断层控制的特征,规模相对西部较小,如张强和昌图断陷;南部断陷规模小、走向不一致,缺失下白垩统上部—上白垩统地层,与其他断陷形成显著差异,如彰武断陷。彰武断陷为东断西超的箕状断陷,面积约 150 km²,主要发育断

陷层地层,坳陷层基本缺失^[3-6];昌图断陷面积 2 500 km²,具有断坳双层结构^[7-10]。

前期研究和勘探实践表明,松南断陷群发育阜新组、沙海组和九佛堂组 3 套有效烃源岩,九佛堂组为全区主力生油层系。

2 九佛堂组烃源岩地球化学特征

2.1 有机质丰度

前人研究认为,松南地区九佛堂组烃源岩生烃能力明显优于沙海组及阜新组,是该区油气成藏的主要贡献者^[11]。因此本文只针对九佛堂组烃源岩特征开展研究。

针对松南地区陆相湖盆背景,根据陆相烃源岩划分标准^[12-14],选取有机碳质量分数和“氯仿沥青“A”作为评价有机质丰度的指标。统计结果显示几个重点断陷烃源岩有机质丰度均较高,已达到好—很好烃源岩标准(表 1)。其中陆家堡断陷 TOC 为全区最高,陆参 1 井 TOC 达到了 3.42%,张强

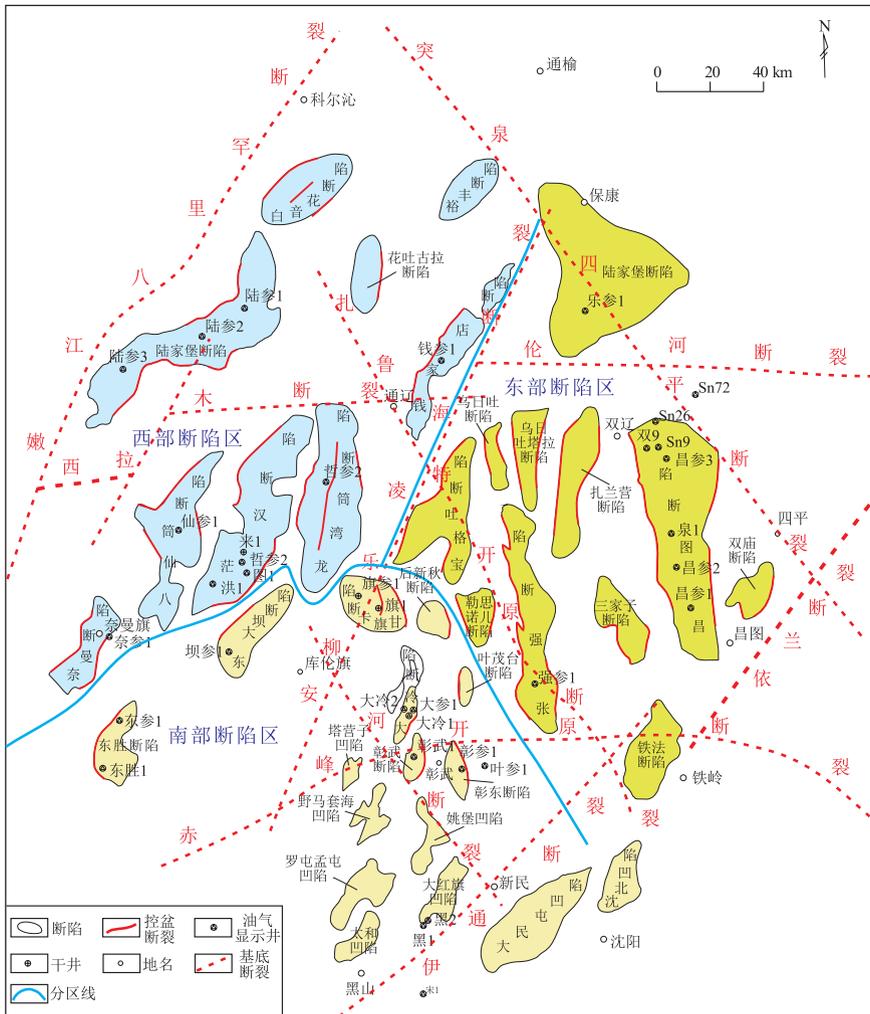


图 1 松辽盆地南部断陷群分布

Fig.1 Depressions in the southern Songliao Basin

表1 松辽盆地南部重点断陷九佛堂组烃源岩特征统计

Table 1 Characteristics of Jiufotang source rocks in main depressions in southern Songliao Basin

断陷名称	有机质丰度		有机质类型	代表钻井	油气发现情况
	w(TOC)/%	氯仿沥青“A”/%			
茫汉	1.20	0.078	II	来1、图1、哲参2、洪1	有低产气流
东大坝	3.00	0.014 04	II ₁	坝参1	有显示
八仙筒	0.86	0.001 35	III	仙参1	有显示
东胜	1.06	0.013 76	II	东胜1	有显示
昌图	2.20	0.164	I, II ₁ -II ₂	泉1、双19、昌参1、2、3	荧光
大冷	3.40	0.227 6	II	大参1	有显示
甘旗卡	2.20	0.017 39	II ₁ -II ₂	旗1	有显示
彰武	3.50	0.689 8	I, II ₁ -II ₂	彰武1、2、3	低产油流
陆家堡	3.42	0.469 3	I, II ₁ -II ₂	陆参1、陆参2	油田
张强	1.99	0.001 878	II ₂	强1	油田
钱家店	1.45	0.008 35	II ₁ -II ₂	钱参1	油田
奈曼	2.25		I-II ₁	奈1、奈13	油田

断陷和昌图断陷 TOC 分别为 1.99% 和 2.2%, 彰武断陷 TOC 达到 3.5%; 氯仿沥青“ A ”值高低不一, 低氯仿沥青“ A ”值应是受有机质低演化程度影响。

彰武、昌图断陷几口钻井所取烃源岩样品 TOC 均以大于 1.5% 为主。彰武断陷九佛堂组下段 (1 185~1 289 m) 丰度最高, 上段 (1 358~1 394 m) 丰度和厚度比下段差; 氯仿沥青“ A ”值最高达 0.689 8%, 平均值分布在 0.194 8%~0.236 1% 之间, 均达到好烃源岩标准。泉 1 井九佛堂组 TOC 为 2.74%, 与彰武断陷相反, 九佛堂组上段 TOC 比下段好; 上段很好烃源岩占 46%, 下段很好烃源岩占 30%; 氯仿沥青“ A ”平均值达到 0.164%, 有机质高丰度区分布在九佛堂组上段。昌参 1、2、3 井九佛堂组 TOC 平均值达 1.94%。

2.2 有机质类型

烃源岩品质的优劣与有机质类型密切相关, 有

机质类型是评价陆相湖盆源岩生油能力的关键因素之一。研究区九佛堂组烃源岩有机质类型在各断陷变化不大, 主要为 II₁ 型和 II₂ 型, 少数为 III 型, 陆家堡、奈曼、彰武和昌图断陷钻井中的个别样品分析结果出现 I 型 (表 1)。

彰武 1、2、3 井九佛堂组上段有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主, 部分 III 型; 下段有机质类型主要为 I 型和 II₁ 型, 少量 II₂ 型和 III 型, 下段烃源岩类型相对较好。泉 1 井九佛堂组上段有机质类型主要为 II₁ 型和 II₂ 型, 个别 I 型和 III 型; 下段有机质类型为 III 型, 上段类型相对较好。2 个断陷九佛堂组上、下段有机质类型存在明显差别 (图 2)。

2.3 有机质成熟度

松南地区断陷群构造演化史、沉积充填与烃源岩发育特征具有高度相似性, 大体在 90~75 Ma 之间 (晚白垩世早期到中期) 九佛堂组烃源岩开始进

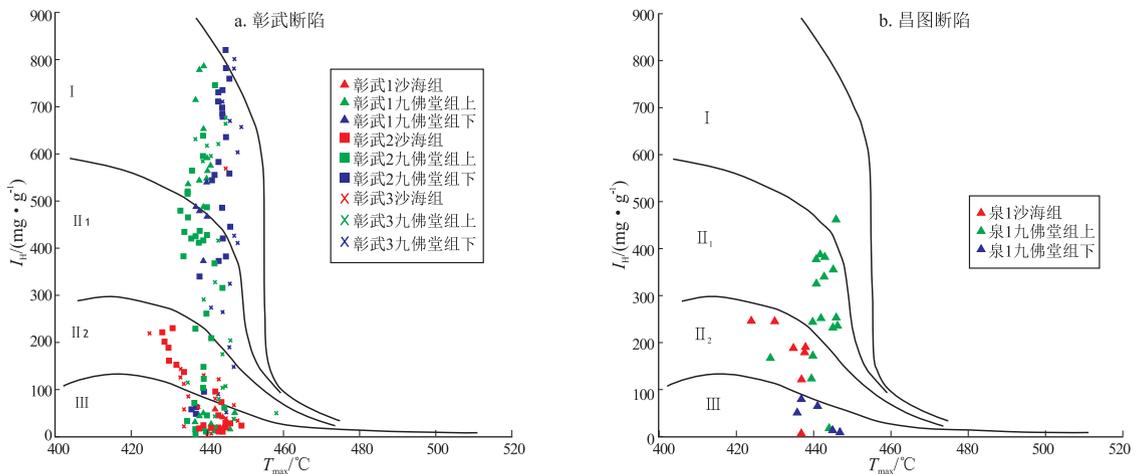


图2 松辽盆地南部彰武、昌图断陷烃源岩 T_{max} 与 I_H 关系

Fig.2 Relationship between I_H and T_{max} of source rocks in Zhangwu and Changtu depressions, southern Songliao Basin

人生烃门限。随着晚白垩世末—古近纪整体抬升,结束了断陷发育史,断陷层地层普遍遭受剥蚀,烃源岩演化也随之结束,造成全区九佛堂组烃源岩成熟度较低,整体处于低演化阶段(表 2)。

目前研究区内 7 个主要断陷(彰武、昌图、大冷、茫汉、八仙筒、东胜和东大坝断陷)九佛堂组烃源岩 R_o 值大体在 0.43%~1.35% 之间(表 2),基本处于低成熟演化阶段,局部达到成熟演化阶段。彰武、昌图断陷成熟度演化相对较高:彰武断陷 3 口井 R_o 平均值分布在 0.56%~1.1% 之间,九佛堂组上段烃源岩处于低熟阶段,下段进入成熟演化阶段;九佛堂组下段 OEP 值接近 1.0,上段大部分 OEP 值接近 1.20,这与用 R_o 值判断的成熟演化程度基本一

致。泉 1 井九佛堂组烃源岩 R_o 为 0.53%~0.85%,平均 0.65%;昌参 3 井 R_o 为 0.80%~0.93%;昌参 2、3 井 R_o 平均值分别为 0.71% 和 0.86%。源岩饱和烃色—质谱中 C_{20} 甾烷异构化比值指示彰武 1、2、3 井的九佛堂组上段大多处于未熟—低成熟阶段;九佛堂组下段处于低熟—成熟阶段,个别样品成熟度较高。此外,西部断陷区陆家堡断陷 R_o 在 0.52%~0.54%,处于低熟阶段。据资料反映,南部断陷区奈曼断陷九佛堂组烃源岩演化也处于低熟—成熟阶段^[15]。

3 烃源岩特征对油气富集的影响

九佛堂组为松南断陷群主力烃源基本已成共识。前人研究曾指出,九佛堂组优质烃源岩发育层

表 2 松辽盆地南部重点断陷九佛堂组烃源岩成熟度统计

Table 2 Maturity of Jiufutang source rocks in main depressions in southern Songliao Basin

断陷	井号	井深/m	R_o /%
彰武断陷	彰武 1 井	1 167~1 394	0.43~0.77(0.56)
	彰武 2 井	1 129~1 648	0.77~1.35(1.1)
	彰武 3 井	1 322~1 961	0.58~1.3(0.9)
大冷断陷	大参 1 井	1 245~1 484	0.52~0.69(0.595)
	大冷 1 井	910~1 307	0.62~0.69(0.77)
东大坝断陷	坝参 1 井	1 580~1 811	0.51~0.63(0.58)
甘旗卡断陷	旗 1 井	1 404~1 834	0.5~0.73(0.63)
茫汉断陷	哲参 2 井	2 372~3 278	0.58~0.73(0.68)
昌图断陷	泉 1 井	1 687~2 367	0.53~0.85(0.65)
	昌参 3 井	2 525~3 488	0.80~0.93(0.86)
	昌参 2 井	1 753~2 475	0.48~0.8(0.71)
陆家堡断陷	陆参 1	1 900~2 235	0.54
	陆参 2	1 700~2 400	0.52
	陆参 3	1 008~1 900	0.52
奈曼断陷	奈 1 井	2 030.7~2 461.7	低熟—中等成熟(无实际数值)
张强断陷	强 1 井	2 180~3 170	0.7~1.1
钱家店断陷	钱参 1 井	2 150~2 376	0.7~1.8

注: R_o 栏数据表示区间值,括号内表示平均值。

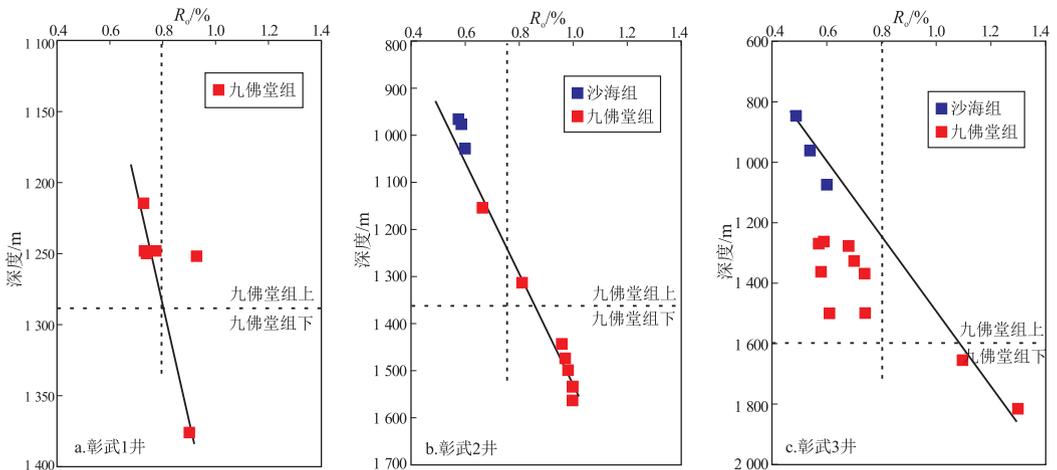


图 3 松辽盆地南部彰武 1、2、3 井烃源岩 R_o 与埋深关系

Fig.3 Relationship between “ R_o ” and burial depth of source rocks from wells Zhangwu 1, 2 and 3 in southern Songliao Basin

位具有“迁移”特征:自西向东,由陆家堡的全段发育至张强、昌图变为仅上段发育^[16],烃源品质由好变为较好至一般,说明九佛堂组下段和上段烃源的品质和生烃能力在不同断陷存在一定差别。对研究区内7个主要断陷(彰武、昌图、大冷、茫汉、八仙筒、东胜和东大坝断陷)再次进行重新分析和深度研究,认为九佛堂组下段稳定泥岩段是主力生油岩段。利用目前较为成熟的碳同位素对比和生物标志化合物分析技术^[17-18],通过几口出油井的油—源对比也证实,除昌图断陷2口钻井外,原油与九佛堂组下段具有更好的亲缘性。

3.1 彰武3井

彰武3井碳同位素特征图谱的对比关系最为清楚,原油与九佛堂组下段1 868~1 874 m对应度最好,其次是1 705~1 710 m和1 820 m曲线,与九佛堂组上段烃源岩的曲线对应关系很差(图4a),说明彰武3井原油与九佛堂组下段,特别是1 800 m深度左右的这套油页岩具有同源性。

3.2 彰武2井

彰武2井2个原油样品碳同位素曲线形态基本相似(图4b),证明两者是同源的,大致与1 311~

1 315 m、1 530~1 537 m和1 472~1 488 m 3个层段的烃源岩具有较高相似性,曲线形态基本一致,说明彰武2井原油与九佛堂组下段烃源岩的亲缘性更好。此外,彰武1、2、3井原油和烃源岩的C₂₇-C₂₈-C₂₉规则甾烷相对含量关系(图5a)也显示,原油与九佛堂组下段烃源岩的亲缘性较高。

3.3 泉1井

从原油(2 277.5~2 283.1 m)和烃源岩生物标志物对应关系(图5b)可以看出,泉1井原油与九佛堂组上段烃源岩的亲缘性更好。

3.4 昌参2井

梁文华^[19]根据昌参2井2 010.8 m和2 015 m 2个含油样品及各组段油、岩族组分,饱和烃色谱,甾、萜生物标志物,碳同位素等项资料数据对比,结果认为原油与阜新组、沙海组及九佛堂组下部烃源岩不相关,而与九佛堂组上部湖相烃源岩有良好的亲缘关系,属于自生自储,短距离运移聚集而成。

3.5 奈1井

赵兴齐^[15]利用奈曼断陷3个原油及4个源岩样品,对原油与烃源岩芳烃组成及沉积环境和油—

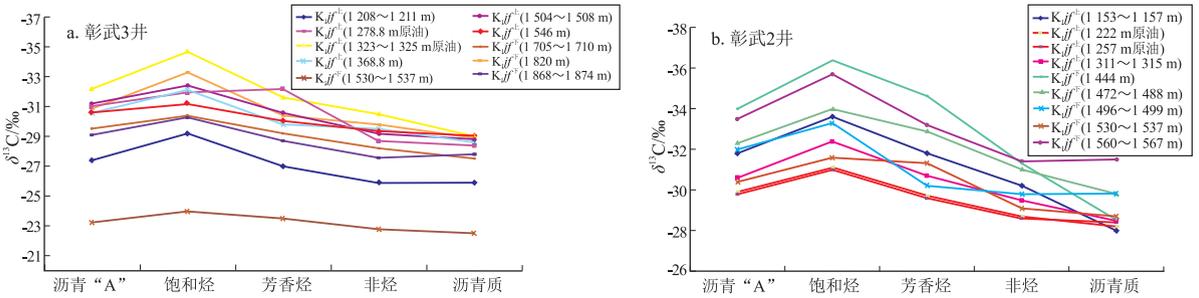


图4 松辽盆地南部彰武2、3井原油和烃源岩碳同位素对比

Fig.4 Carbon isotopes of crude oil and source rocks from wells Zhangwu 2 and 3 in southern Songliao Basin

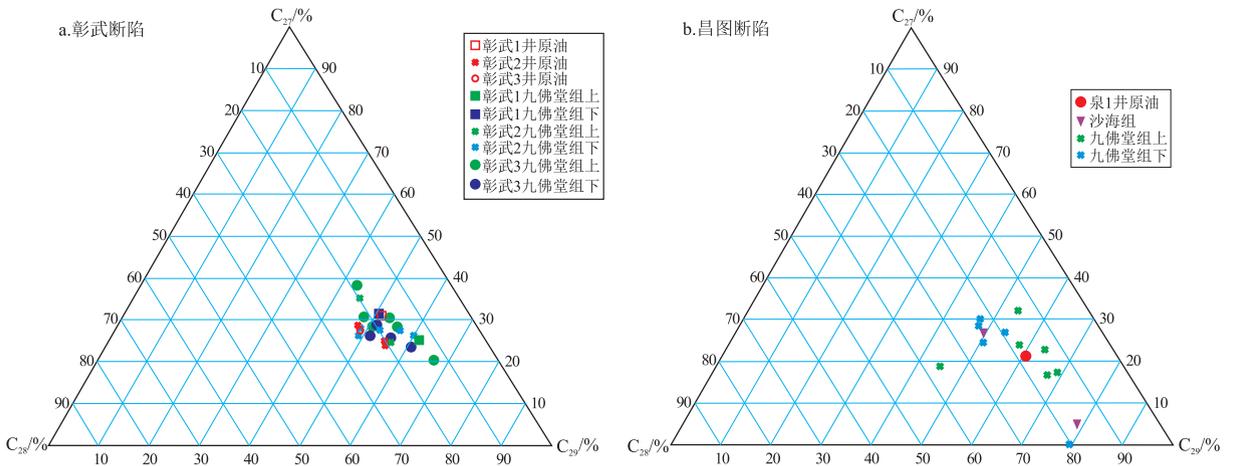


图5 松辽盆地南部彰武、昌图断陷原油和烃源岩C₂₇-C₂₈-C₂₉R甾烷对比

Fig.5 C₂₇-C₂₈-C₂₉R steranes in crude oil and source rocks from Zhangwu and Changtu depressions, southern Songliao Basin

源对比研究,结果表明奈 1 井原油来自于九佛堂组下段烃源岩。

松南地区断陷层埋深差异大、后期抬升地层剥蚀厚度大,有效烃源展布范围局限,多数断陷烃源岩刚进入生烃门限深度,造成整体烃源低熟。实验分析测试数据以及烃源岩区域对比分析初步证明,九佛堂组下段烃源岩生烃潜力相对上段都具有优势,下段烃源岩比上段烃源岩对油气成藏的贡献更大。下段烃源岩作为主力生烃层段更符合目前对油气差异富集现象的认识。

松南地区发育多套烃源,多套储盖组合和多类型圈闭,油气潜力不容小觑。但资源分布和油气发现状况不均衡,油气富集差异性大,少数规模较大的深断陷如陆家堡、张强、钱家店和奈曼断陷已发现并建成中小型油田。外围断陷一般规模小、目的层埋深浅,优质烃源岩面积小,稳定性和连续性相对较差,一直难有实质性突破,烃源岩问题是制约该地区油气勘探的主要问题,而断陷规模和优质、稳定分布的烃源岩及良好的圈闭配置共同决定了能否形成规模油气藏。

4 结论

(1) 松南断陷群断陷结构、沉积充填和烃源发育情况各不相同,发育九佛堂组高有机质丰度烃源为断陷群的共同特征。以陆家堡断陷、昌图断陷和彰武断陷为代表,TOC 分别达到了 3.42%, 2.2%, 3.5%; 有机质类型以 II₁ 型和 II₂ 型为主,少数断陷出现 I 型干酪根。烃源岩整体处于低演化阶段,成熟度较低。

(2) 九佛堂组上、下段烃源岩品质和生烃潜力在不同地区存在明显差别。西部断陷区上、下段均发育优质烃源岩,东部断陷区上段烃源比下段烃源丰度更高但成熟度不及下段,南部断陷区下段烃源对成藏贡献更大。

(3) 受盆地构造演化和沉积相、沉积环境控制,九佛堂组烃源岩一般埋深较浅,稳定、连续分布的优质烃源岩展布范围小,后期剥蚀厚度大。烃源岩品质的优劣和分布规模直接影响了油气资源的富集与成藏。针对此类盆地的资源预测和油气勘探,应重点刻画有效烃源岩的分布及确定其关键影响因素。在近生烃中心寻找良好的源—储配置和保存条件较好的多种类型圈闭,是这类小型断陷下一步勘探的有利方向。

参考文献:

[1] 郝福江,杜继宇,王璞珺,等.深大断裂对松辽断陷盆地群南

部的控制作用[J].世界地质,2010,29(4):553-560.

HAO Fujiang, DU Jiyu, WANG Pujun, et al. Control of deep-large fault to southern Songliao fault basin group[J]. Global Geology, 2010, 29(4): 553-560.

[2] 赵洪伟.松南新区彰武断陷油气地质特征及成藏条件分析[J].世界地质,2012,31(4):721-729.

ZHAO Hongwei. Geological features and oil-gas accumulation conditions of Zhangwu Depression in new exploration area of southern Songliao Basin[J]. Global Geology, 2012, 31(4): 721-729.

[3] 杨江.彰武盆地构造特征及油气勘探潜力研究[D].西安:长安大学,2008:5-41.

YANG Jiang. Tectonic characteristics and oil-gas exploration potential in Zhang Wu Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008: 5-41.

[4] 刘莹.彰武断陷特征与油气分布规律[D].荆州:长江大学,2013:6-13.

LIU Ying. The characteristics of zhangwu fault depression and its oil-gas distribution[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2013: 6-13.

[5] 朱建辉,沈忠民,李妮,等.彰武断陷白垩系烃源岩地球化学特征与生烃潜力评价[J].成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(5):471-479.

ZHU Jianhui, SHEN Zhongmin, LI Kuang, et al. Geochemical characteristics and Hydrocarbon-generating potentials of source rocks in Cretaceous Zhangwu fault depression of Songliao Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2012, 39(5): 471-479.

[6] 洪雪,赵洪伟,沙娟芳.彰武断陷沙海组碎屑岩储层成岩作用及对储层物性的影响[J].世界地质,2011,30(3):410-414.

HONG Xue, ZHAO Hongwei, SHA Juanfang. Diagenesis of clastic rock reservoirs and its influence to reservoir physical property in Shapai Formation, Zhangwu depression[J]. Global Geology, 2011, 30(3): 410-414.

[7] 张玉明.茫汉断陷烃源岩特征及生烃潜力分析[J].天然气工业,2006,26(10):30-32.

ZHANG Yuming. Characteristics and hydrocarbon-generating potential of source rocks in Manghan fault depression, the southwestern Songliao basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(10): 30-32.

[8] 刘朝露,李剑,夏斌,等.松辽盆地南部深层天然气藏地化特征[J].天然气工业,2006,26(2):36-39.

LIU Zhaolu, LI Jian, XIA Bin, et al. Geochemical characteristics of deep gas reservoirs in south Songliao basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(2): 36-39.

[9] 雷安贵,王贵迎,方炳钟.陆家堡凹陷油藏分布规律探讨[J].特种油气藏,2007,14(2):32-35.

LEI Angui, WANG Guiying, FANG Bingzhong. Study of reservoir distribution in Lujiapu Depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2007, 14(2): 32-35.

[10] 田树刚,牛绍武.早白垩世陆相九佛堂阶的重新厘定及其层型剖面[J].地质通报,2010,29(2/3):173-187.

TIAN Shugang, NIU Shaowu. Review on terrestrial Jiufotangian Stage of the Lower Cretaceous and its stratotype[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(2/3): 173-187.

(下转第 409 页)

- [11] 赵隆业,陈基娘,王天顺.油页岩定义和煤、油页岩界线和讨论[J].煤田地质与勘探,1991(1):15-16.
ZHAO Longye, CHEN Jiniang, WANG Tianshun. The definition of oil shales and the borderline of oil and coal[J]. Coal Geology and Exploration, 1991(1):15-16.
- [12] 吴冲龙,袁艳斌,李绍虎.抚顺盆地同沉积构造及其对煤和油页岩厚度的控制[J].煤田地质与勘探,1998(6):2-7.
WU Chonglong, YUAN Yanbin, LI Shaohu. The symsedimentary structure framework and its controls on the thickness of extra-thick coal bed & oil thale, Fushun Basin, China[J]. Coal Geology & Exploration, 1998(6):2-7.
- [13] SUN Pingchang, SACHSENHOFER R F, LIU Zhaojun, et al. Organic matter accumulation in the oil shale- and coal-bearing Huadian Basin (Eocene; NE China) [J]. International Journal of Coal Geology, 2013, 105:1-15.
- [14] PETERS K E. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis[J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(3):318-329
- [15] DAMSTÉ J S S, DE LAS HERAS F X C, VAN BERGEN P F, et al. Characterization of Tertiary Catalan lacustrine oil shales; Discovery of extremely organicsulfur-rich Type I kerogens [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(2):389-415.
- [16] TISSOT B P, WELTE D H. Petroleum formation and occurrence[M]. 2nd ed. Heidelberg: Springer, 1984:1-699.
- [17] PENIGUEL G, COUDERC R, SEYVE C. Les microalgues actuelles et fossiles - Interêts stratigraphique et pétrolier[J]. Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production elf aquitaine, 1989, 13(2):455-482.
- [18] DAWES C J, SCOTT F M, BOWLER E. A light- and electron-microscopic survey of algal cell walls. I. Phaeophyta and Rhodophyta [J]. American Journal of Botany, 1961, 48(10):925-934.
- [19] BOLD H C, WYNNE M J. Introduction to the algae: Structure and reproduction[M]. Englewood Cliffs, New Jersey USA: Prentice Hall, 1978:55.
- [20] 边立曾,张水昌,张宝明,等.河北张家口下花园地区新元古代下马岭组油页岩中的红藻化石[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(3):209-216.
BIAN Lizeng, ZHANG Shuichuang, Zhang Baoming, et al. Red algal fossils discovered from the Neoproterozoic Xiamaling oil shales, Xihuayuan town of Hebei province [J]. Acta Micro-palaeontologica Sinica, 2005, 22(3):209-216.
- [21] 孟庆强,秦建中,刘文斌,等.多细胞宏观底栖藻类生烃特点实验研究[J].石油学报,2008,29(6):822-826.
MENG Qingqiang, QIN Jianzhong, LIU Wenbin, et al. Experimental study on hydrocarbon generation of multi-cellular benthic macroalga[J]. Acta Petrolei Sinica, 29(6):822-826.
- [22] HARWOOD J L, JONES A L. Lipid metabolism in algae [J]. Advances in Botanical Research, 1989, 16:1-53.
- [23] NELSON M M, PHLEGER C F, NICHOLS P D. Seasonal lipid composition in macroalgae of the northeastern Pacific Ocean [J]. Botanica Marina, 2005, 45(1):58-65.

(编辑 徐文明)

~~~~~

(上接第402页)

- [11] 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 faulted strata in Songnan Area [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(1):39-43.
- [12] 秦建中.中国烃源岩[M].北京:科学出版社,2005:19.  
QIN Jianzhong. Sourcerock of China [M]. Beijing: Science Press, 2005:19.
- [13] 黄第藩,李晋超,周翕红,等.陆相有机质演化 and 成烃机理[M].北京:石油工业出版社,1984:17-152.  
HUANG Difan, LI Jinchao, ZHOU Xihong, et al. Terrestrial organic matter evolution and hydrocarbon generation mechanism [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984:17-152.
- [14] 梅博文,刘希江.我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J].石油与天然气地质,1980,1(2):99-115.  
MEI Bowen, LIU Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in china's crude oil and its relation with the geologic environment [J]. Oil & Gas Geology, 1980, 1(2):99-115.
- [15] 赵兴齐,陈践发,郭望,等.开鲁盆地奈曼凹陷奈1区块原油及烃源岩芳烃地球化学特征[J].地球化学,2013,42(3):262-273.  
ZHAO Xingqi, CHEN Jianfa, GUO Wang, et al. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbon in crude oil and source rocks from Nai 1 block of Naiman depression, Kailu Basin [J]. Geochimica, 2013, 42(3):262-273.
- [16] 孙宜朴,陈霞,徐士林,等.昌图断陷石油地质特征及区带优选[J].石油实验地质,2014,36(3):310-315.  
SUN Yipu, CHEN Xia, XU Shilin, et al. Petroleum geologic characteristics and profitable exploration zone selection of Changtu sag [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3):310-315.
- [17] PETERS K E, MOLDOWAN J M. 生物标记化合物指南[M].姜乃煌,译.北京:石油工业出版社,1995.  
PETERS K E, MOLDOWAN J M. The biomarker guide [M]. JIANG Naihuang, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [18] 傅家谟,盛国英,许家友,等.应用生物标志化合物参数判别古沉积环境[J].地球化学,1991(1):1-12.  
FU Jiamo, SHENG Guoying, XU Jiayou, et al. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments [J]. Geochimica, 1991(1):1-12.
- [19] 梁文华,昌参2井九佛堂组原油的地球化学特征及油源对比[J].新疆石油学院学报,2003,15(4):22-25.  
LIANG Wenhua. Geochemical characteristics and oil-source rock correlation of Jiufotang formation oil in well Cangan 2 [J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2003, 15(4):22-25.

(编辑 黄娟)