

引用: 刘得光, 王屿涛, 杨海波, 等. 准噶尔盆地阜康凹陷及周缘凸起区的原油成因与分布 [J]. 中国石油勘探, 2023, 28(1): 94-107.
Liu Deguang, Wang Yutao, Yang Haibo, et al. Genesis types and distribution of crude oil in Fukang Sag and its peripheral bulges, Junggar Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(1): 94-107.

准噶尔盆地阜康凹陷及周缘凸起区的 原油成因与分布

刘得光 王屿涛 杨海波 李世宏 刘超威 韩杨 陈梦娜

(中国石化新疆油田公司勘探开发研究院)

摘 要: 为进一步厘清准噶尔盆地阜康凹陷及周缘凸起区原油成因及其分布规律, 基于最新烃源岩、原油有机地球化学和油气勘探资料, 评价了各套烃源岩的地球化学特征, 划分出 4 种成因原油类型, 明确了原油与相应烃源岩的亲缘关系, 查明了不同成因原油的空间分布。研究结果表明, I 类原油源自中二叠统芦草沟组烃源岩, 主要分布在沙南、北三台、三台等油田和阜康凹陷深层二叠系—三叠系; II 类原油源自阜康凹陷下侏罗统八道湾组烃源岩, 分布于沙北油田、阜北斜坡、阜东斜坡及该凹陷内侏罗系; III 类原油来自二叠系与侏罗系烃源岩的混合, 分布于彩南油田、彩南西区块、北三台凸起西斜坡侏罗系; IV 类原油源自石炭系松喀尔苏组 B 段烃源岩, 主要以出油点的形式分布于阜康凹陷与相邻凸起。阜康凹陷二叠系生成的油气聚集在自身及下三叠统相对优质储盖组合中, 勘探潜力大。

关键词: 阜康凹陷; 烃源岩; 原油成因; 原油分布

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.01.009

Genesis types and distribution of crude oil in Fukang Sag and its peripheral bulges, Junggar Basin

Liu Deguang, Wang Yutao, Yang Haibo, Li Shihong, Liu Chaowei, Han Yang, Chen Mengna

(Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company)

Abstract: In order to identify the genesis and distribution of crude oil in Fukang Sag and its peripheral bulges in Junggar Basin, the latest geochemical data of source rocks and crude oil as well as petroleum exploration data are used to evaluate the geochemical characteristics of various source rocks, which enable to divide the genesis of crude oil into four types, clarify the genetic relationship between crude oil and source rocks, and determine the spatial distribution of crude oil with different genesis types. The study results show that type I crude oil was mainly generated by source rocks of the Middle Permian Lucaogou Formation and distributed in Shanan, Beisantai, and Santai oilfields and deep formation of the Permian-Triassic in Fukang Sag; Type II crude oil was generated by source rocks of the Lower Jurassic Badaowan Formation, and distributed in Shabei Oilfield, Fubei and Fudong slopes and the Jurassic in the sag; Type III crude oil was the mixture generated by the Permian and Jurassic source rocks and distributed in the Jurassic in Cainan Oilfield and west Cainan block, as well as the western slope of Beisantai Bulge; Type IV crude oil was generated by source rocks of B member of the Carboniferous Songkaersu Formation, and mainly distributed in Fukang Sag and the adjacent bulges. The oil and gas generated by the Permian source rocks in Fukang Sag mostly accumulated in high-quality reservoirs and seal assemblage of the Permian and Lower Triassic, showing great exploration potential.

Key words: Fukang Sag, source rock, genesis of crude oil, oil distribution

0 引言

许多学者先后评价和分析了准噶尔盆地东部地

区烃源岩、油气来源, 取得了丰富的研究成果^[1-18]。

2020 年以来, 准噶尔盆地阜康凹陷油气勘探获得重大突破, 先后有康探 1、康探 2、阜 49 等探井在深

第一作者简介: 刘得光 (1965—), 男, 河北玉田人, 硕士, 1997 年毕业于西南石油学院, 高级工程师, 现主要从事油气勘探及有机地球化学方面的研究工作。地址: 新疆克拉玛依市准噶尔路 29 号中国石化新疆油田公司勘探开发研究院勘探所, 邮政编码: 834000。E-mail: liudegua@126.com

收稿日期: 2022-01-24; 修改日期: 2022-12-12

层二叠系、三叠系获得高产油气流, 预测含油面积 133km^2 , 预测储量超过 $1 \times 10^8\text{t}$, 预示着良好的勘探开发潜力; 同时在该凹陷深部钻揭石炭系、二叠系烃源岩。1997—2017 年间, 诸多学者对阜康凹陷及周缘凸起区烃源岩和油气来源做过分析和评价, 但由于勘探程度的限制, 特别是未能在凹陷深部钻揭有效烃源岩, 因此许多油气来源分析主要依据地质类比和推测, 认为是来自阜康凹陷二叠系、侏罗系烃源岩 [4-6, 8, 16, 18], 这些成果认识不能满足现今深化油气勘探的需要。在此背景下, 本文以阜康凹陷及周缘凸起区现今勘探成果和实验分析资料为依托, 结合以往研究成果, 对研究区烃源岩和油气源进行全面系统的研

究, 重新认识各套主力烃源岩特征与分布, 查清每套烃源岩与原油的亲缘关系, 指出不同成因类型原油在纵向层系与平面上的分布规律, 建立深层石炭系至浅层侏罗系的油气成藏模式, 预测勘探目标的油气源, 为勘探目标优选提供直接依据。研究成果可为油气深化勘探提供指导, 具有重要的现实意义。

1 地质背景

阜康凹陷位于准噶尔盆地中央坳陷东南部, 北至白家海凸起, 东邻沙奇凸起、北三台凸起, 南抵博格达山前阜康断裂带 (图 1)。该凹陷中东部周围被 3 个凸起所包围, 是中二叠统芦草沟组 (P_2l) 和

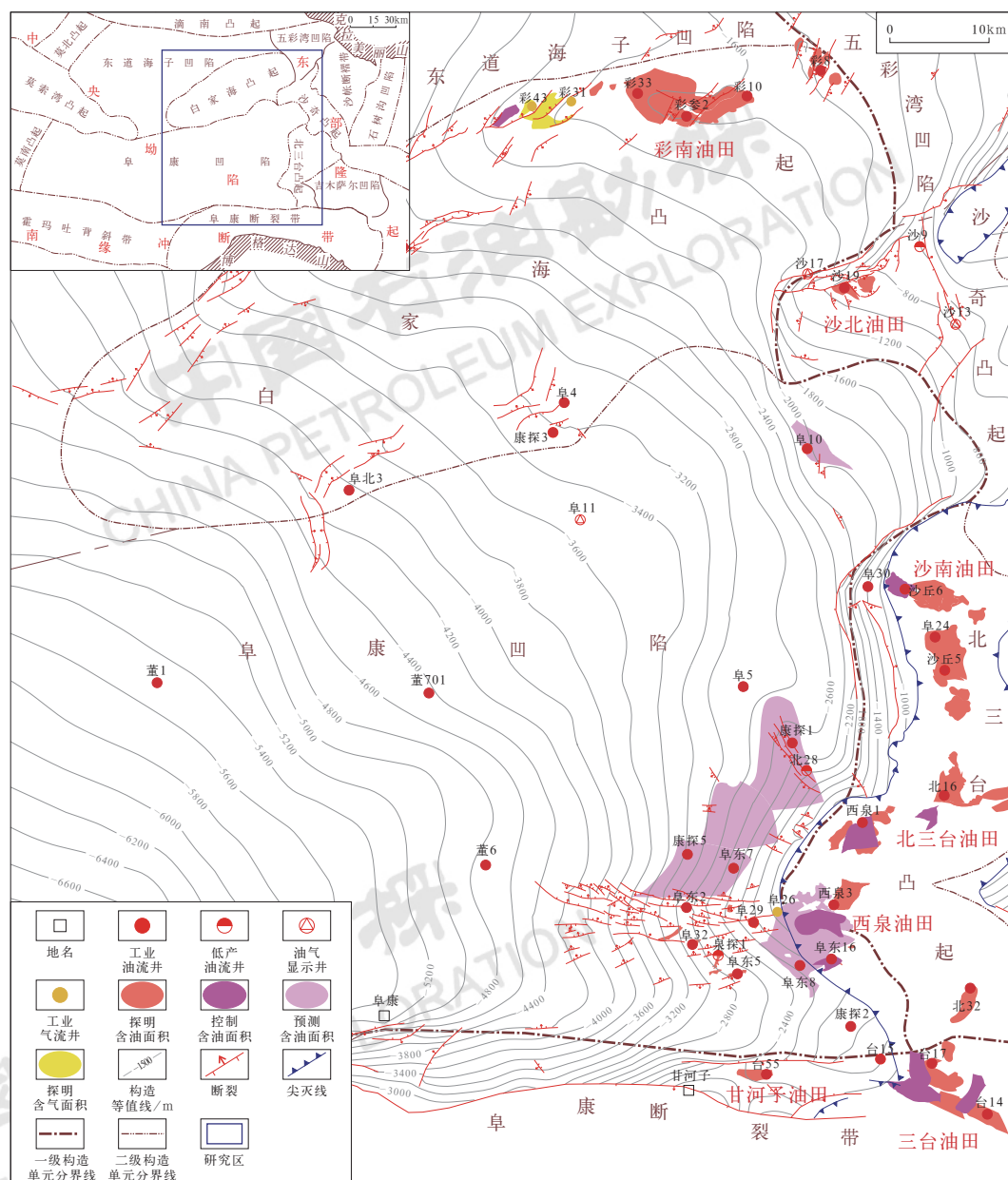


图 1 阜康凹陷及其周缘凸起带构造单元与油气勘探成果图

Fig.1 Structural units division and petroleum exploration results of Fukang Sag and its peripheral bulges

下侏罗统八道湾组(J_1b)主力烃源灶。凹陷区面积约为 5100km^2 ,勘探程度低;周缘凸起区面积约为 8000km^2 ,比凹陷区勘探程度高^[19]。本文研究范围是以阜康凹陷中东部为中心延伸至四周凸起区,包括白家海凸起、沙奇凸起、北三台凸起及阜康断裂带中东段。补充了2018年以来7口新钻探井烃源岩有机碳、岩石热解及15口井原油(天然气)碳同位素、色谱—质谱等数据。

20世纪80年代对研究区凸起带进行了大规模勘探,先后发现了北三台、三台、甘河子、彩南、沙南、沙北等油田(图1)。近10年以来,主要在北三台凸起及其西侧发现了西泉油田,由多个小型油藏组成,在阜康凹陷主要勘探侏罗系及其以上目的层,发现了几个出油点。2020年以来,阜康凹陷深层二叠系上乌尔禾组(P_3w)、下三叠统韭菜园组(T_1j)获得高产油气流,油气勘探获得重大突破,呈现出大面积含油特点,目前该凹陷的含油区块尚未进入探明阶段。

阜康凹陷石炭系至第四系均有发育,主要勘探目的层为二叠系、三叠系和侏罗系(图2),白家海凸起、沙奇凸起和北三台凸起地层发育程度不同,北三台凸起抬升程度高、持续时间长,该凸起多套地层被剥蚀,直至部分地层尖灭。研究区主要经历了海西、印支和燕山多期构造运动^[20],燕山运动对准东地区构造和油气成藏影响最大,最终使该区隆坳构造格局形成。由于燕山运动活动最强,致使北三台凸起侏罗系遭受剥蚀最强,局部白垩系直接覆盖在石炭系之上,形成区域性不整合面。多期的构造运动对阜康凹陷地层沉积影响小,表现为连续沉积,二叠系及其以上各套地层发育齐全。

2 烃源岩特征及其分布

阜康凹陷及周围凸起石炭系、二叠系和侏罗系均不同程度地发育烃源岩,每个层系的烃源岩在平面及垂向上展布不均,其沉积环境和母质类型差异明显。搞清烃源岩性质和分布,才能更好地明确油气与烃源岩亲缘关系。

2.1 石炭系烃源岩

准东地区石炭系烃源岩主要发育于下石炭统滴水泉组(C_1d)和松喀尔苏组B段(C_1s^b),属于滨海—海陆过渡相^[1,21-22],部分为沼泽相沉积。滴水泉组出露于克拉美丽山前地表,目前尚无探井钻遇该组。露头区烃源岩岩性主要为暗色泥岩,有少量的碳质泥岩

和煤岩。该区与陆东—五彩湾地区相邻,推测两个地区滴水泉组烃源岩特征相似。泥岩有机质丰度中等,以Ⅱ型有机质为主;碳质泥岩和煤岩有机质丰度高,有机质类型主要为Ⅲ型。陆东—五彩湾地区石炭系烃源岩镜质组反射率(R_o)多为 $1.25\%\sim 1.83\%$ ^[22]。阜康凹陷滴水泉组埋深更大,推测烃源岩的演化程度更高。

依据中国石油新疆油田公司研究成果,认为中石炭统巴塔玛依内山组(C_2b)主要发育在滴南凸起及其以北地区。阜康凹陷及其周缘凸起钻遇石炭系上部地层为松喀尔苏组,在2017年以前该套地层被命名为巴塔玛依组,现认为研究区该组缺失。松喀尔苏组B段是一套以沉积岩为主、夹有火山岩的沉积地层;陆源高等植物繁盛,烃源岩厚 $10\sim 200\text{m}$,以碳质泥岩为主,主要发育在北三台凸起至吉木萨尔凹陷一带^[23],在凸起带有多口井钻遇。烃源岩多呈“鸡窝”状分布,横纵向变化大,镜质组反射率一般为 $0.60\%\sim 0.96\%$ 。阜康凹陷已有两口井钻遇烃源岩,阜26井钻遇一套厚度约为 45m 的碳质泥岩,泉探1井钻遇的碳质泥岩累计厚度约为 100m ,其有机碳含量为 $8.74\%\sim 28.32\%$,平均为 13.50% ,生烃潜量 S_1+S_2 为 $9.06\sim 71.58\text{mg/g}$,平均为 38.10mg/g ,有机质类型为Ⅱ₂—Ⅲ型。这两口井烃源岩埋藏不太深,处在成熟阶段。

康探1井芦草沟组底部砂岩产凝析油气,阜26井石炭系储层测试出高产干气,康探3井石炭系测试出低产偏干天然气,反映阜康凹陷石炭系发育高一过成熟的腐殖型烃源岩。地震反射资料品质差,其厚度预测困难,横纵向变化大。

2.2 二叠系烃源岩

前人详细研究了吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组上下两段“甜点体”的相对粗粒储层,对泥级的烃源岩岩性特征研究少。对“甜点体”岩性认识可归为两类,一类认识是火山岩成因,其以凝灰岩、沉凝灰岩和凝灰质泥晶白云岩为主,沉积于中高盐度的环境^[24-25];另一类认识是混积岩成因,其端元组分有陆源长英质碎屑、火山碎屑、内碎屑、碳酸盐类矿物及黏土矿物^[26-27],或其中两元、三元组分混合。常见碎屑岩与碳酸盐岩的混积岩,凝灰质等火山物质少见,形成于残留海封闭后的咸化湖盆环境^[28-31],主要为一套沉积于咸化湖泊中,机械沉积、化学沉积及生物沉积等作用下的粉—细砂岩、泥岩、碳酸盐岩的混积岩。烃源岩主要发育于甜点体间,颜色为黑色和深灰色,

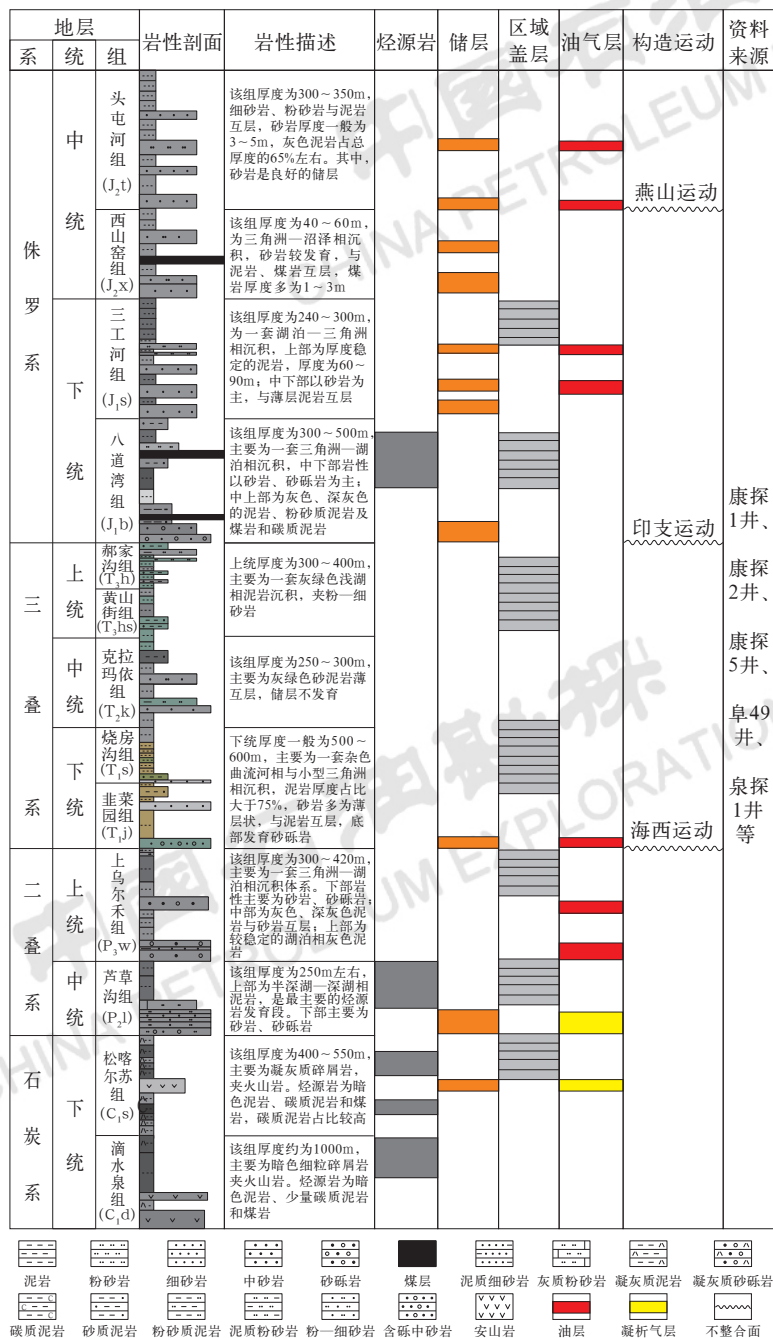


图2 阜康凹陷地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of Fukang Sag

主要为层状构造, 岩性主要为泥岩、含云质泥岩、粉砂质泥岩夹含粉砂质白云岩^[27]。

阜康凹陷二叠系芦草沟组埋深大, 烃源岩及与储层互层的泥岩均未做全岩 X-射线衍射和微量元素分析。仅有 3 个泥岩薄片可供观察, 岩性主要为灰质泥岩、泥质灰岩和泥岩等, 方解石含量不等, 不含云质 (图 3)。与吉木萨尔凹陷芦草沟组相差很大, 主要原因是它们沉积于两个不同的凹陷, 所处的构造环境、水体条件及其物源都有所不同。γ-蜡烷/C₃₁ 藿烷的值可以反映水体盐度, 阜康凹陷烃源岩 γ-蜡烷/

C₃₁ 藿烷平均值为 0.39 (35 个样品), 吉木萨尔凹陷为 0.42 (141 个样品), 反映出阜康凹陷水体盐度相对偏低。

康探 1 井芦草沟组钻遇厚层灰黑色泥岩, 单层厚 22m, 累计厚度为 65m; 康探 2 井灰黑色泥岩多为薄层, 累计厚度为 75m。依据探井与地震资料的标定对芦草沟组烃源岩进行解释, 并编制厚度图, 沉积中心在凹陷西南部, 厚度为 150~250m, 这一带无井钻遇; 凹陷大部分地区芦草沟组烃源岩厚 50~150m, 向周缘凸起带沉积厚度逐渐减薄 (图 4), 在中东部厚度变化不大。

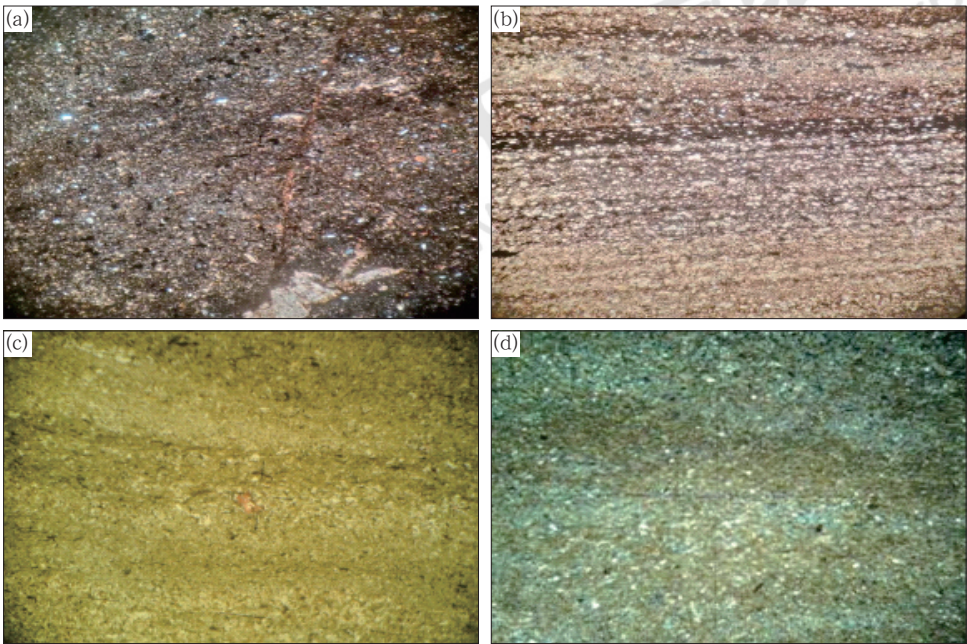


图 3 阜康凹陷与吉木萨尔凹陷芦草沟组岩石薄片特征对比图

Fig.3 Comparison of thin section characteristics of Lucaogou Formation in Fukang Sag and Jimsar Sag
(a) 阜康凹陷，阜 49 井，5627.91m，灰质泥岩 (×40)；(b) 阜康凹陷，阜 49 井，5624.17m，泥质灰岩 (×40)；(c) 阜康凹陷，康探 2 井，4870.35m，泥岩 (×50)；(d) 吉木萨尔凹陷，吉 174 井，3208.05m，含粉砂质云质泥岩 (×40)

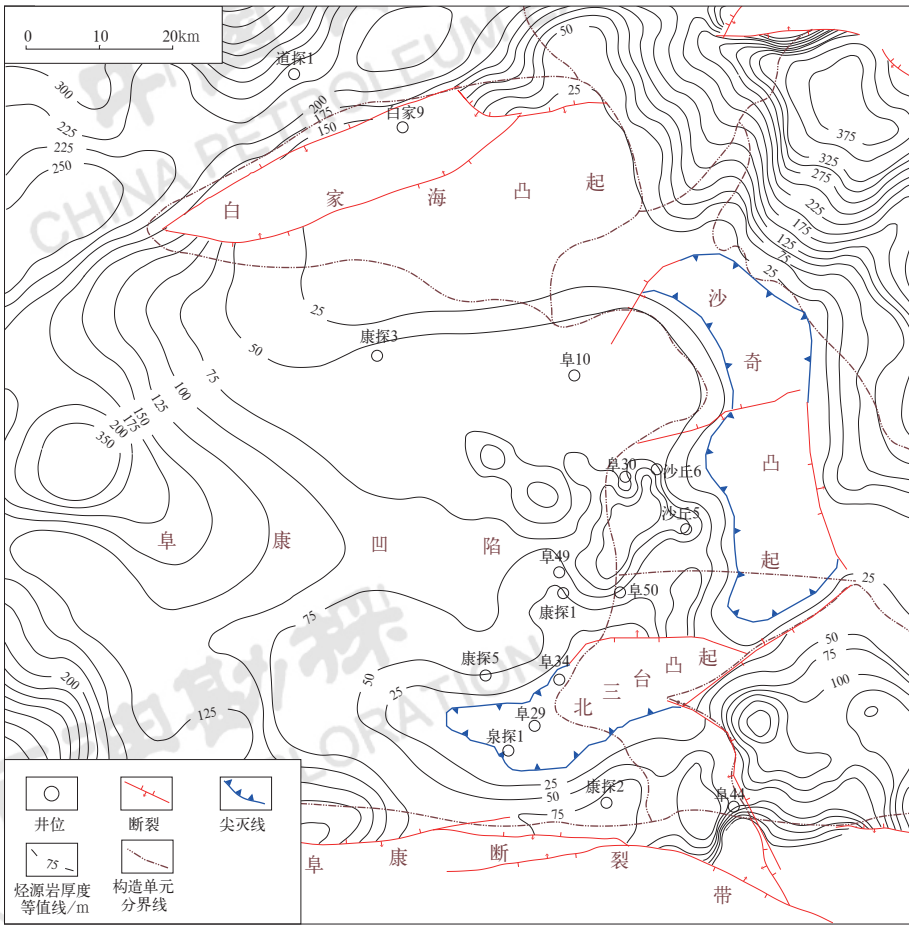


图 4 阜康凹陷及其周围凸起芦草沟组烃源岩厚度分布图

Fig.4 Thickness map of source rocks of Lucaogou Formation in Fuank Sag and its peripheral bulge

依据阜康凹陷新钻探的 5 口井 59 个样品, 芦草沟组烃源岩有机碳含量大于 2.0% 的占 36%, 伏质烃源岩的占比不高 (图 5a)。氢指数 (I_H) 大于 200mg/g 的约占 25%, 主要为 II 型有机质; 岩石最高热解峰温 (T_{max}) 主要为 435~480℃, 由于埋深相差大, 烃源岩处于成熟到过成熟阶段 (图 5b)。芦草沟组烃源岩有机质丰度、类型和成熟度等变化大, 从凹陷边缘向中心区成熟度不断增大。总之, 该凹陷芦草沟组优质烃源岩占比不高, 以中等烃源岩为主。

2.3 下侏罗统八道湾组烃源岩

准噶尔盆地早—中侏罗世时期气候温暖潮湿, 陆源高等植物繁盛, 大部分处于还原沉积环境, 有利于有机质赋存。阜康凹陷中—下侏罗统主要为湖泊相、三角洲相及沼泽相沉积, 其中八道湾组二段发育半深湖—深湖相沉积, 是烃源岩主要发育层段, 厚度变化大, 在凹陷西南一带最厚, 厚度大于 200m, 其余大部分地区厚度为 50~200m (图 6)。

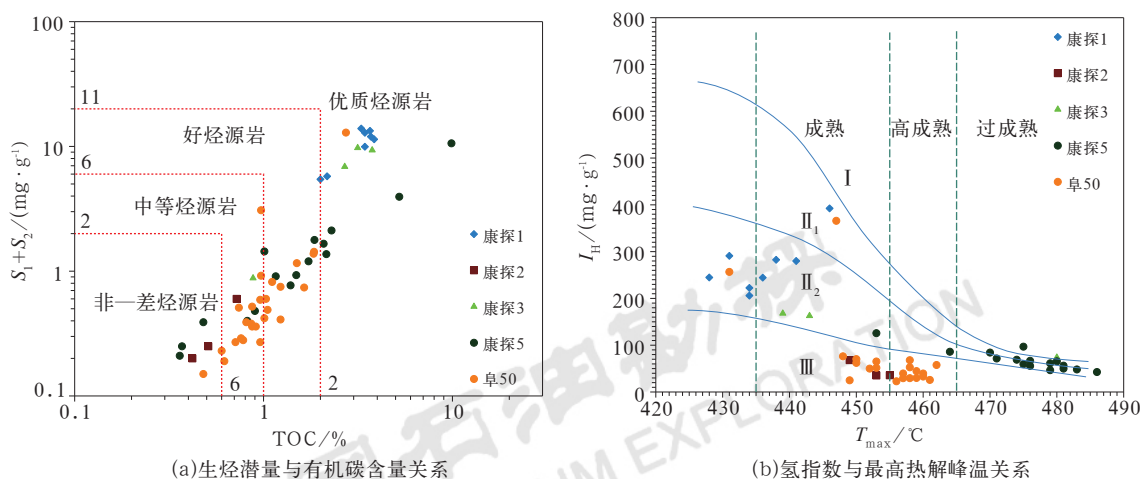


图 5 阜康凹陷芦草沟组烃源岩评价图

Fig.5 Source rock evaluation diagrams of Lucaogou Formation in Fukang Sag

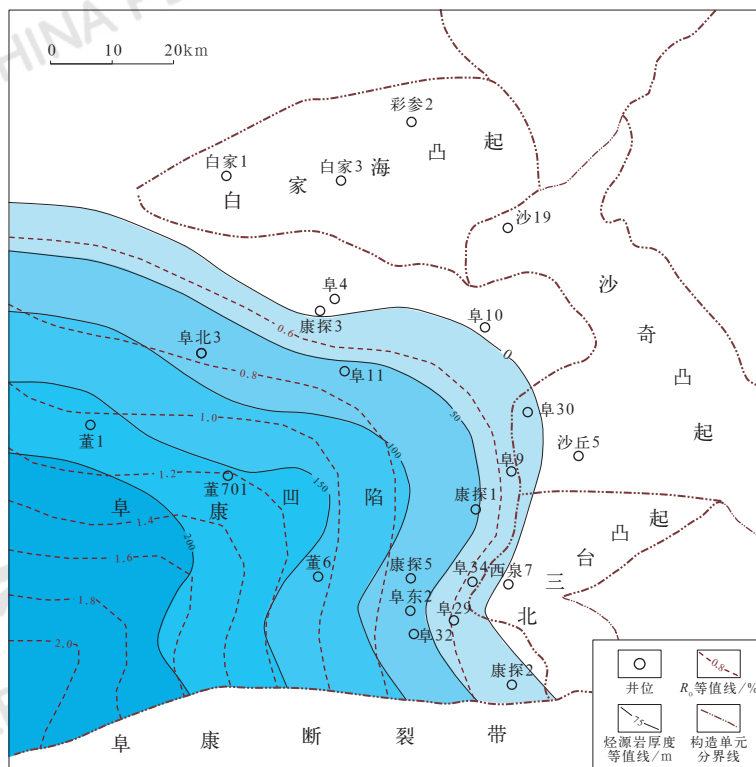


图6 阜康凹陷八道湾组烃源岩厚度分布图

Fig.6 Thickness map of source rocks of Badaowan Formation in Fukang Sag

阜康凹陷八道湾组 (J_1b) 暗色泥岩、煤岩和碳质泥岩有机质丰度、生烃潜量 (S_1+S_2) 整体比三工河组 (J_1s)、西山窑组 (J_2x) 高, 尤其是暗色泥岩 (图 7a); 烃源岩氢指数在 $150\sim300\text{mg/g}$ 的占 55%, II 型有机质占比明显高于其他两个组 (图 7b), 在侏罗系中生油能力最强。三工河组只发育暗色泥岩, 有机质丰度低, 以 III 型为主, 是一套差烃源岩。西山窑组暗色泥岩、碳质泥岩及煤岩均以 III 型有机质为主,

氢指数多数低于 150mg/g , 其中煤岩为中等气源岩, 其他均为差烃源岩。

可见八道湾组是阜康凹陷侏罗系最主要的烃源岩, 在阜康凹陷东部处于低成熟阶段, 岩石最高热解峰温绝大多数为 $430\sim440^\circ\text{C}$, 平均为 437°C ; 在凹陷西南部达到成熟—高成熟阶段, 烃源岩厚度为 $150\sim250\text{m}$, 为烃源灶中心区 (图 6), 凹陷斜坡区达到成熟的烃源岩厚度多小于 50m 。

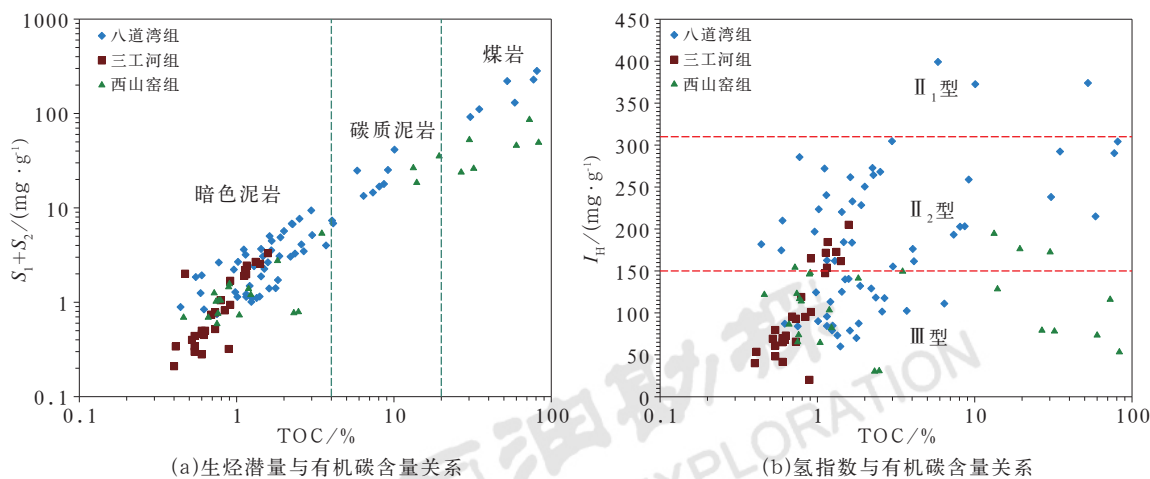


图 7 阜康凹陷八道湾组烃源岩评价图

Fig.7 Source rock evaluation diagrams of Badaowan Formation in Fukang Sag

3 原油地球化学特征及油源对比

阜康凹陷及周缘凸起区主要有沙南、北三台、三台、彩南、沙北、西泉和甘河子等油田, 凹陷区油藏还没有探明。研究区原油不仅在平面上分布广, 且

垂向上分布在石炭系、二叠系和侏罗系等多个层系。该区原油地球化学性质差异大, 为了更简洁地叙述清楚并进行油源对比, 主要依据原油碳同位素、Pr/Ph 两个重要参数及生物标志化合物特征将该区原油分为 4 种成因类型 (图 8)。

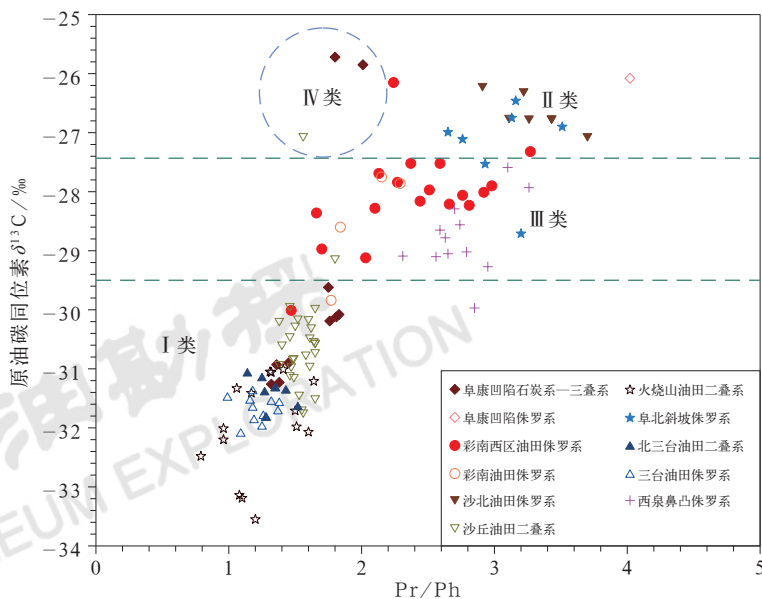


图 8 阜康凹陷及其周缘凸起区原油碳同位素与 Pr/Ph 分布图

Fig.8 Relationship between carbon isotopes and Pr/Ph of crude oil in Fukang Sag and its peripheral bulges

3.1 I类原油

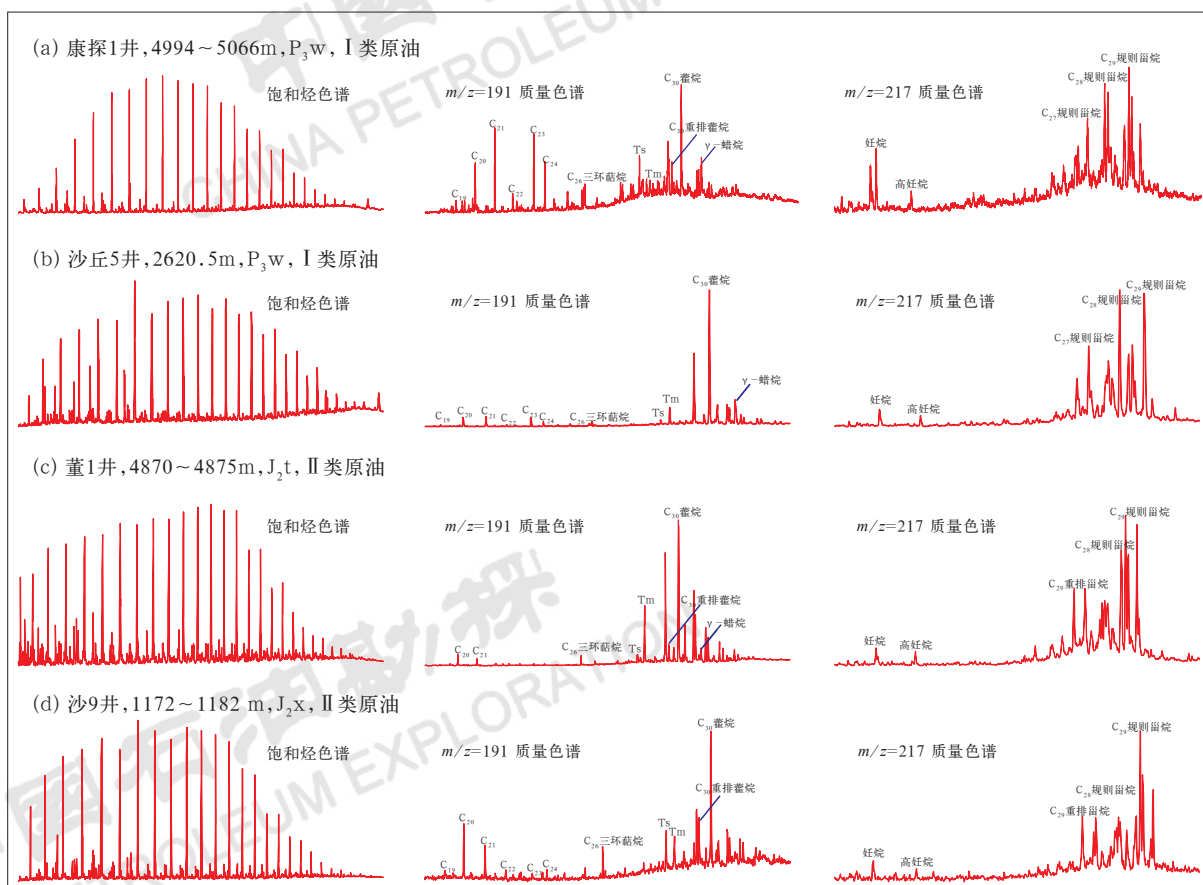
I类原油来自二叠系芦草沟组烃源岩。该类原油碳同位素值轻于 -29.0‰ , 类异戊二烯烷烃中姥鲛烷略占优势, Pr/Ph一般小于1.8(图8)。 β -胡萝卜素含量不高, 与 nC_{25} 比值一般大于0.2。 γ -蜡烷含量中等, 二萜烷、重排藿烷含量低。妊烷、高妊烷含量中等, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷含量呈上升型分布, 重排甾烷含量低(图9a、b)。该类原油油质重, 密度一般为 $0.84\sim 0.92\text{g/cm}^3$ 、黏度相应也高, 50°C 时黏度多为 $10\sim 300\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。阜康凹陷原油生物标志化合物特征有所不同, 康探1井上乌尔禾组原油二萜烷含量高, 其中Ts、 C_{30} 重排藿烷含量偏高, C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷含量高, 反映凹陷深部原油成熟度高, 对应烃源岩达到了成熟阶段的中后期。

该类原油生物标志化合物特征与阜康凹陷芦草沟组烃源岩抽提物具有可比性, 烃源岩 β -胡萝卜素含量低, γ -蜡烷、二萜烷含量低, 妊烷、高妊烷含量中等, C_{29} 规则甾烷含量高, 重排甾烷含量低。一般而言, 原油与烃源岩抽提物生物标志化合物不会具

有很好的一致性, 原油是多层烃源岩的混合产物, 实验分析的烃源岩样品只代表一个点。芦草沟组烃源岩抽提物碳同位素值为 $-31.28\text{‰}\sim -29.0\text{‰}$, Pr/Ph为 $1.22\sim 1.86$ 。反映芦草沟组烃源岩沉积环境、母质类型等与I类原油相似, 故判断I类原油源于该组烃源岩。

3.2 II类原油

II类原油来自下侏罗统八道湾组烃源岩。II类原油碳同位素值一般重于 -27.5‰ , 比I类原油碳同位素重 2.5‰ 左右。姥鲛烷占很大优势, Pr/Ph多高于3.0, 明显高于其他两类原油。该类原油不含 β -胡萝卜素, 妊烷和高妊烷含量有差异, 规则甾烷以 C_{29} 甾烷为主, C_{29} 重排甾烷含量高, 而 C_{27} 、 C_{28} 规则甾烷及相应重排甾烷含量很低(图9c、d)。三环萜烷以 C_{20} 、 C_{21} 为主, 其他三环萜烷含量很低, C_{24} 四环萜烷含量偏高。 γ -蜡烷含量很低, 含有一定量Ts、Tm和 C_{30} 重排藿烷。该类原油油质轻, 密度一般为 $0.80\sim 0.82\text{g/cm}^3$, 黏度低, 50°C 时黏度多为 $2.9\sim 7.2\text{mPa}\cdot\text{s}$, 这也是偏腐殖型干酪根产物的特点。

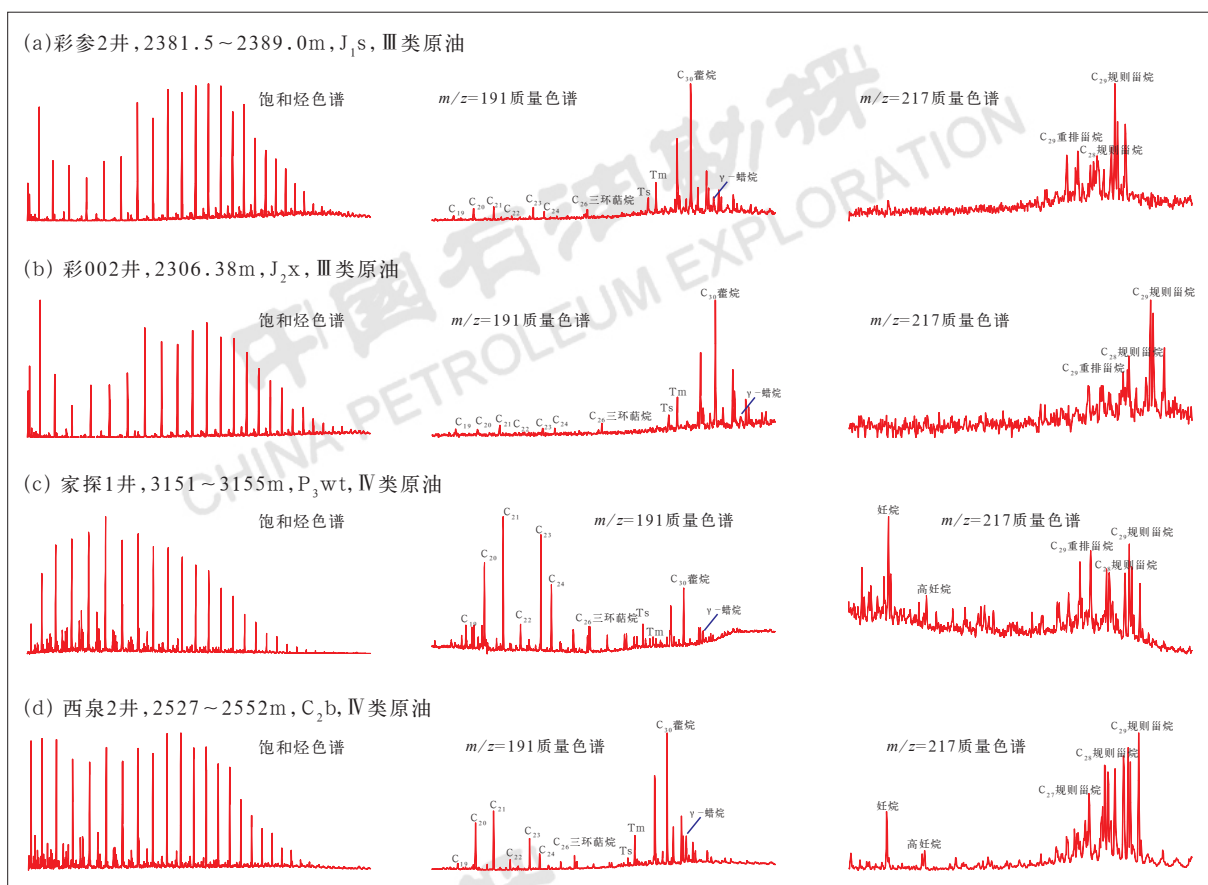


阜康凹陷侏罗系八道湾组氢指数最高, 具有生油能力, II类原油地球化学特征与烃源岩抽提物相似。几乎不含 β -胡萝卜素, 二萜烷含量很低, γ -蜡烷、妊烷、高妊烷含量很少, C_{27} 、 C_{28} 规则甾烷含量低, C_{29} 重排甾烷含量很高。抽提物碳同位素值一般为 $-28.81\text{‰} \sim -25.37\text{‰}$, Pr/Ph 多为 $2.55 \sim 3.96$ 。反映了八道湾组烃源岩沉积环境、母质类型等与II类原油类似, 该类原油应来自八道湾组烃源岩。

3.3 III类原油

III类原油为八道湾组与芦草沟组烃类的混合产物。该类原油碳同位素值一般为 $-29.3\text{‰} \sim -27.2\text{‰}$, 介于I类、II类原油之间, 比I类原油重约 1.0‰ ,

比II类原油轻约 1.0‰ (图8)。Pr/Ph一般为 $1.8 \sim 3.0$, 高于I类原油、低于II类原油。几乎不含 β -胡萝卜素, 妊烷、高妊烷含量很低, 规则甾烷以 C_{29} 甾烷为主, C_{27} 、 C_{28} 甾烷含量低, C_{29} 重排甾烷含量中等(图10a、b), 明显低于II类原油, 高于I类原油。萜烷含量明显低于藿烷, 多数以 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23} 峰占优势, C_{29} 、 C_{30} 藿烷含量高, 重排萜烷含量低。 γ -蜡烷含量低, 低于I类原油, 与II类原油接近。III类原油生物标志化合物特征与二叠系、侏罗系原油不同, 整体上地球化学性质介于前两者之间, 应为两者混合产物。III类原油以彩南油田为代表, 依据前人研究结果, 彩南油田侏罗系烃类约占60%, 二叠系(含三叠系)烃类约占40%^[1,3]。



3.4 IV类原油

IV类原油来自石炭系烃源岩，占比很少。该类原油碳同位素值重于 -27.5‰ ，比I类重约 2.5‰ ，是研究区碳同位素最重的。例如，家探1井上乌尔禾组原油碳同位素值为 -26.06‰ ，西泉2井石炭系原油碳同位素值为 -26.56‰ 。Pr/Ph一般大于1.90，高于I类原油，低于其他两类原油。该类原油几乎不含 β -胡萝卜素， C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷含量呈上升型，重排甾烷含量不等。三环萜烷以 C_{20} 、 C_{21} 和 C_{23} 为主，其他三环萜烷含量很低， C_{24} 四环萜烷含量偏高，高于 C_{26} 三环萜烷， γ -蜡烷含量低（图10c、d）。原油物性与侏罗系原油相近，油质轻，密度为 $0.79\sim 0.82\text{g/cm}^3$ ，黏度低， 50℃ 时原油黏度多为 $1.61\sim 2.46\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。IV类原油地球化学特征与石炭系烃源岩类似，应来源于石炭系，已发现的该类原油少，这与烃源岩分布规模局限有关。

目前，阜康凹陷及其周缘多井多层见石炭系来源的天然气^[11-12]，有少量凝析油和轻质原油。康探1井芦草沟组底部砂岩测试出商业油气流，生产气油比为 $760\text{m}^3/\text{m}^3$ ，全油碳同位素值为 -25.85‰ ，重于二叠系原油，Pr/Ph为2.01，甲烷碳同位素值为 -38.14‰ ，乙烷碳同位素重，其值为 -26.22‰ 。由陈建平2021年建立的天然气碳同位素与气源岩成熟度关系式^[32]，计算烃源岩镜质组反射率(R_o)为 0.93% 。油气应该来自松喀尔苏组B段成熟偏腐殖型烃源岩，表明阜康凹陷石炭系发育有效烃源岩。

4 不同成因原油的空间展布规律

研究区内同一构造单元具有多种类型成因原油（图11），主要是受多套烃源岩生烃灶分布控制。一般同一类型原油分布于同一层系，北三台凸起同一类型原油分布于多个层系中，且少部分同一层系有多类型原油的赋存。

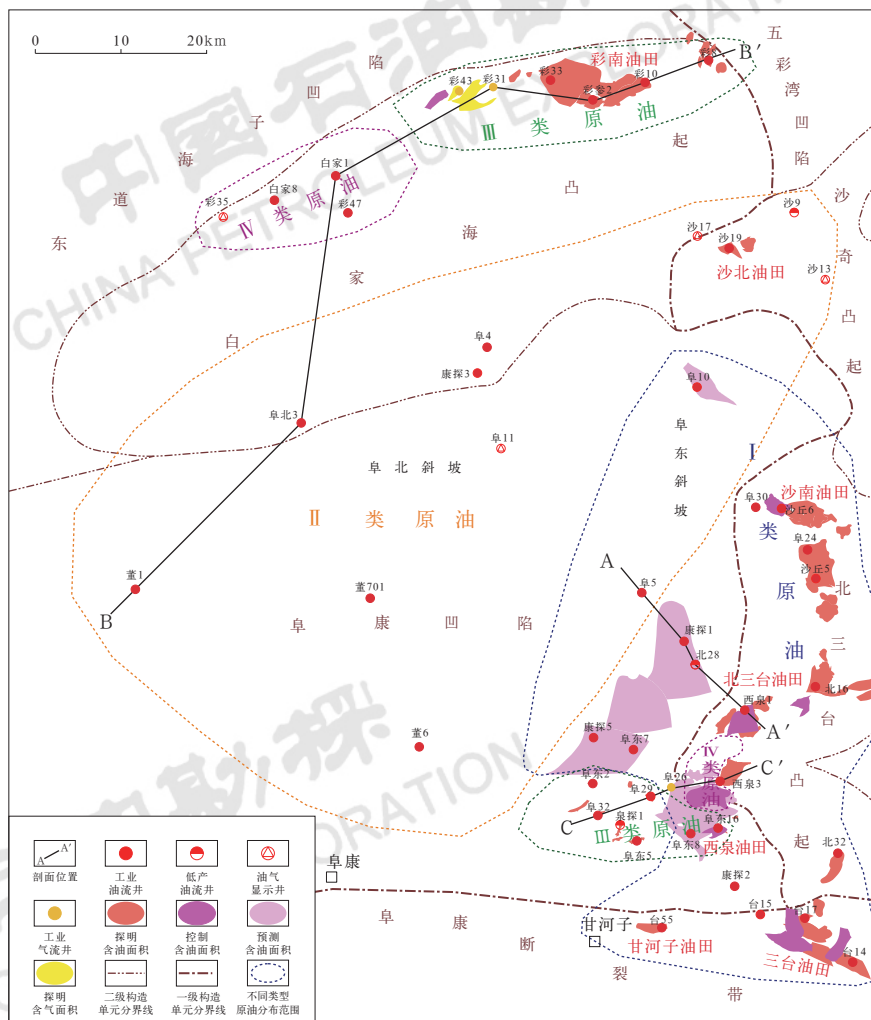


图 11 研究区不同成因类型原油分布图

Fig.11 Distribution of crude oil with different genesis types in the study area

4.1 I类原油

该类成因原油主要分布于沙南油田上乌尔禾组，北三台油田三叠系、二叠系和石炭系，三台油田、甘河子油田侏罗系及以下层系（图 11）。

阜康凹陷三叠系以下深部储层聚集着丰富的二叠系油气资源，已有 5 口井在二叠系芦草沟组、上乌尔禾组和下三叠统韭菜园子组均测试出工业油流。三叠系主要是一套泥多砂少的巨厚湖泊相沉积，由于埋深大，成岩作用处于晚成岩 B 段，主体为优质区域盖层，

二叠系生成的油气难以穿过三叠系盖层。二叠系发育生、储、盖层，芦草沟组生成的油气优先储存在自身储盖组合中，上乌尔禾组砂砾岩体上下有两套区域盖层遮挡，上为乌三段湖相泥岩，下为芦草沟组湖相泥岩，横向分布稳定，顶底板封闭条件好，烃源充足，直接大面积源储接触，近源聚集，高效成藏，可大面积聚集成藏（图 12a）。其次，还有部分油气通过印支期形成的断裂运移到下三叠统韭菜园子组。因此，三叠系以下尤其是二叠系相对优质储层为阜康凹陷深层有利的勘探目的层。

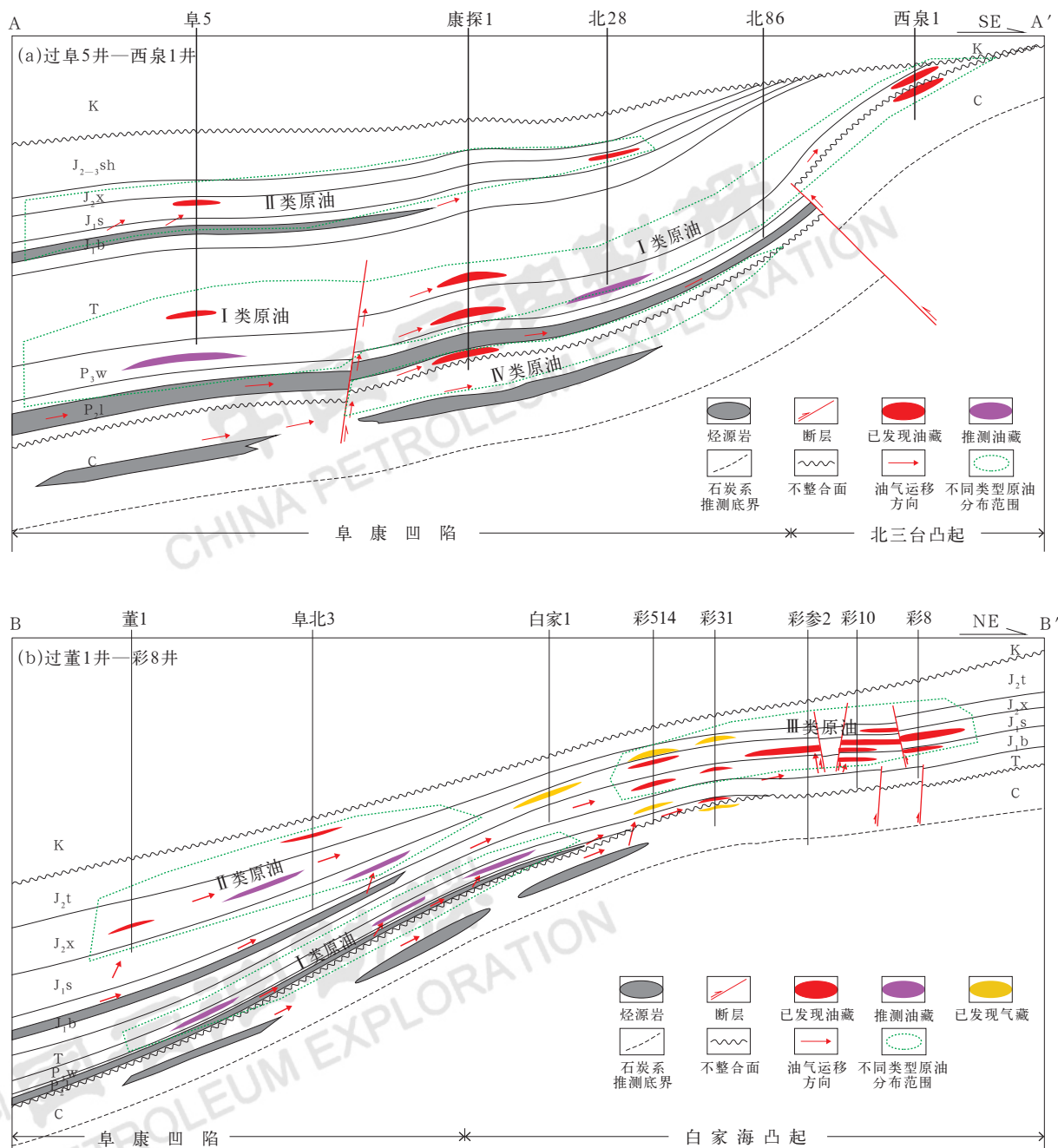


图 12 阜康凹陷—凸起带油气成藏模式图（剖面位置见图 11）

Fig.12 Hydrocarbon accumulation pattern in Fukang Sag bulge zone (section location is in Fig.11)

4.2 II 类原油

II 类原油主要分布于阜康凹陷（如董 1 井、董 701 井等）、阜北斜坡、阜东斜坡（阜 4 井、阜北 3 井、阜 5 井）、沙北油田（图 11），含油层位主要为侏罗系三工河组、头屯河组等。在这些区域侏罗系以上层位没有见到源于二叠系烃源岩的烃类（图 12b），主要是因为深部断裂不发育，二叠系油气缺乏运移通道，且二叠系、三叠系发育区域盖层。彩南油田除外，其他区域来源于侏罗系烃源岩烃类的 II 类原油规模有限，只有沙北油田西山窑组小型油藏和其他地区的出油点，例如阜 4 井三工河组日产原油 6.27t。主要因为这些区域不发育构造圈闭，岩性圈闭规模小。

阜康凹陷中南部八道湾组烃源岩厚度为 80~150m，达到了成熟阶段，可生成大量液态烃。侏罗系三工河组以上层系砂体发育，可近源充注（图 12b），构造—岩性圈闭成藏概率大，寻找可靠的圈闭是关键，凹陷区侏罗系具有一定的勘探潜力。

4.3 III 类原油与 IV 类原油

III 类原油分布于白家海凸起上倾区域的彩南油田及西部侏罗系三工河组、西山窑组、头屯河组（图 11），其中八道湾组油藏规模小。阜康凹陷二叠系、侏罗系生成的油气向北沿着阜北斜坡运移至白家海凸起的上倾端，在彩南油田三工河组、西山窑组混源成藏（图 12b）。彩南油田西部侏罗系聚集了二叠系和石炭系烃源岩生成的油气，其次，西部侏罗系气藏和白家海凸起西南部出气点的气源应主要为松喀尔苏组 B 段烃源岩，其次为滴水泉组烃源岩。

此外，有部分 III 类原油分布在北三台凸起西斜坡侏罗系，主要集中在头屯河组（J₂t）与齐古组（J₃q），汇集了阜康凹陷侏罗系与二叠系烃源岩生成的原油，在中—上侏罗统圈闭混合成藏（图 13）。两套烃源岩生成的原油在每个油藏中所占比例不同，凸起高部位多聚集源于二叠系原油，低部位的中浅层则是侏罗系烃源岩生成的原油占比高。北三台凸起高部位三叠系以下原油源于芦草沟组。

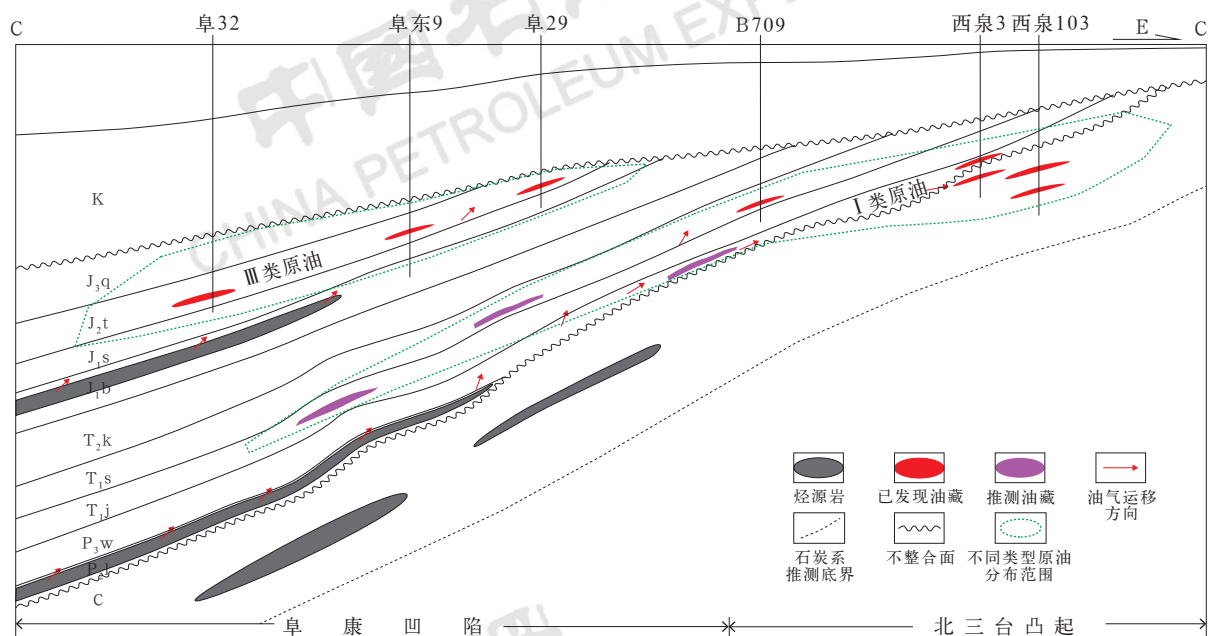


图 13 过阜 32 井—西泉 103 井油气成藏模式图（剖面位置见图 11）

Fig.13 Hydrocarbon accumulation pattern cross wells Fu32-Xiquan103 (section location is in Fig.11)

IV 类原油形成的油藏规模小，多为凝析油气藏，主要分布于北三台凸起高部位石炭系顶界不整合面上下的二叠系和石炭系，其次在阜康凹陷芦草沟组，例如西泉 2 井、西泉 7 井、西泉 5 井及康探 1 井等，西泉 7 井上乌尔禾组日产原油 6.3t，日产天然气 $16.5 \times 10^4 \text{m}^3$ ，原油碳同位素值为 -24.74% ，Pr/Ph

为 2.17，乙烷碳同位素值为 -26.18% ，油气源明显为下石炭统烃源岩。

5 结论与认识

本文对阜康凹陷及其周缘凸起区的烃源岩和油气来源进行了整体研究，补充了阜康凹陷深层烃源岩评

价工作的空白。明确了中一下侏罗统主力烃源岩为八道湾组,查明阜康凹陷油气来源、凹陷至凸起区的各类原油空间分布规律,分析主要得出以下认识:

(1) 阜康凹陷发育下石炭统烃源岩,其特征和分布与凸起带类似,凹陷区发育高成熟气源岩;中二叠统芦草沟组烃源岩主体为灰质泥岩,为优质—中等烃源岩;下侏罗统八道湾组烃源岩以生油为主。它们分别生成了3种成因类型原油,即Ⅳ类原油、Ⅰ类原油和Ⅱ类原油,芦草沟组与八道湾组生成的烃类混合成Ⅲ类原油,以后者烃源岩为主。

(2) 基本理清了每类原油在空间上的分布规律。Ⅰ类原油主要分布在沙南、北三台、三台等油田和阜康凹陷深层;Ⅱ类原油分布于沙北油田和阜康凹陷侏罗系;Ⅲ类原油分布于彩南油田、北三台凸起西斜坡侏罗系;Ⅳ类原油多为出油点,零星分布。

由于阜康凹陷深层烃源岩样品有限,因此,对其认识不够全面,芦草沟组烃源岩与八道湾组烃源岩厚度还处于预测阶段。2022年阜康凹陷深层勘探效果欠佳,与烃源岩分布有一定关系,今后随着资料的丰富,需要准确刻画其厚度、生烃潜量,进一步明确主力生烃灶,为勘探部署提供依据。

参考文献

- [1] 王绪龙,支东明,王屿涛,等.准噶尔盆地烃源岩与油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2013.
Wang Xulong, Zhi Dongming, Wang Yutao, *et al.* Source rock and oil & gas geochemistry in Junggar Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [2] 张瑞.准噶尔盆地阜康凹陷东部地区二叠系油源对比与成藏模式[D].青岛:中国石油大学(华东),2016.
Zhang Rui. Oil-source correlations and hydrocarbon accumulations of Carboniferous-Permian in eastern Fukang Depression, Junggar Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2016.
- [3] 陈建平,王绪龙,邓春萍,等.准噶尔盆地烃源岩与原油地球化学特征[J].地质学报,2016,90(1):37-67.
Chen Jianping, Wang Xulong, Deng Chunping, *et al.* Geochemical features of source rocks and crude oil in the Junggar Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2016,90(1):37-67.
- [4] 陈建平,梁狄刚,王绪龙,等.彩南油田多源混合原油的油源(二)[J].石油勘探与开发,2003,30(5):34-38.
Chen Jianping, Liang Digang, Wang Xulong, *et al.* Oil-source correlation of mixed oils derived from multiple source rocks in the Cainan Oilfield, Junggar Basin, Part II [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003,30(5):34-38.
- [5] 陈建平,梁狄刚,王绪龙,等.彩南油田多源混合原油的油源(三)[J].石油勘探与开发,2003,30(6):41-43.
Chen Jianping, Liang Digang, Wang Xulong, *et al.* Oil-source correlation of mixed oils derived from multiple source rocks

- in the Cainan Oilfield, Junggar Basin, Part III [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003,30(6):41-43.
- [6] 艾热提·吾甫尔.阜康凹陷东部三叠系、侏罗系油源对比及油气运移研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2017.
Aireti Wufuer. Oil-source correlations and oil migration of Triassic-Jurassic in eastern Fukang Depression[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2017.
- [7] 廖健德,刘翠敏,程显胜,等.准噶尔盆地三台—北三台油田地球化学研究[J].新疆地质,2002,20(3):247-251.
Liao Jiande, Liu Cuimin, Cheng Xiansheng, *et al.* Geochemical study of Santai-Beisantai Oilfield in Junggar Basin[J]. Xinjiang Geology, 2002,20(3):247-251.
- [8] 蒋春雪.准噶尔盆地阜康凹陷东部及周缘地区侏罗系原油来源研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2016.
Jiang Chunxue. Origins of the Jurassic oils in the east and peripheral areas of Fukang Sag in the Junggar Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2016.
- [9] 赵应成,谭开俊,王鹏,等.准东地区石炭系烃源岩特征及分布规律[J].天然气地球科学,2011,22(5):753-759.
Zhao Yingcheng, Tan Kaijun, Wang Peng, *et al.* Characteristics and distribution of Carboniferous source rocks in Zhundong area[J]. Natural Gas Geoscience, 2011,22(5):753-759.
- [10] 杨斌,严志民,尤绮妹,等.准东石炭系原油地球化学特征[J].新疆石油地质,2002,23(5):478-481.
Yang Bin, Yan Zhimin, You Qimei, *et al.* Geochemical characteristics of Carboniferous crude oil in Zhundong[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002,23(5):478-481.
- [11] 龚德瑜,蓝文芳,向辉,等.准噶尔盆地东部地区天然气地化特征与成因来源[J].中国矿业大学学报,2019,48(1):1-11.
Gong Deyu, Lan Wenfang, Xiang Hui, *et al.* Genetic types and origins of natural gases from the eastern Junggar Basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2019, 48(1):1-11.
- [12] Gong Deyu, Song Yong, Wei Yanzhao, *et al.* Geochemical characteristics of Carboniferous coaly source rocks and natural gases in the southeastern Junggar Basin, NW China: implications for new hydrocarbon explorations[J]. International Journal of Coal Geology, 2018,202:171-189.
- [13] 王小军,宋永,郑孟林,等.准噶尔盆地复合含油气系统与复式聚集成藏[J].中国石油勘探,2021,26(4):29-43.
Wang Xiaojun, Song Yong, Zheng Menglin, *et al.* Composite petroleum system and multi-stage hydrocarbon accumulation in Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(4): 29-43.
- [14] 郭绪杰,支东明,毛新军,等.准噶尔盆地煤炭气的勘探发现及意义[J].中国石油勘探,2021,26(6):38-49.
Guo Xujie, Zhi Dongming, Mao Xinjun, *et al.* Discovery and significance of coal measure gas in Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(6):38-49.
- [15] 李建忠,梁坤,武娜,等.常规油气勘探程度分析新方法及其应用[J].石油科技论坛,2020,39(6):45-53.
Li Jianzhong, Liang Kun, Wu Na, *et al.* New method for conventional hydrocarbon exploration stage division and its application[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020, 39(6):45-53.
- [16] 丁安娜,惠荣耀,张中宁,等.准噶尔盆地白家海凸起湖相原油与烃源岩芳烃地球化学特征[J].石油勘探与开发,1997,24(3):15-20.
Ding Anna, Hui Rongyao, Zhang Zhongning, *et al.* Aromatic

- geochemistry of crude oils and source rock from Baijiahai Conve Junggar Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997,24(3):15–20.
- [17] 尹伟, 郑和荣, 孟闲龙, 等. 准噶尔盆地中部原油地球化学特征[J]. *石油与天然气地质*, 2005,26(4):461–466.
Yin Wei, Zheng Herong, Meng Xianlong, *et al.* Geochemical behaviors of crud oils in central Junggar Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005,26(4):461–466.
- [18] 张小红, 杨涛, 岳红星, 等. 阜康凹陷三叠系烃源岩生烃潜力评价[J]. *新疆石油天然气*, 2020,16(3):17–20.
Zhang Xiaohong, Yang Tao, Yue Hongxing, *et al.* Evaluation of hydrocarbon generating potential of Triassic source rocks in Fukang Depression[J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 2020,16(3):17–20.
- [19] 何海清, 支东明, 唐勇, 等. 准噶尔盆地阜康凹陷康探1井重大突破及意义[J]. *中国石油勘探*, 2021,26(2):1–11.
He Haiqing, Zhi Dongming, Tang Yong, *et al.* A great discovery of Well Kangtan 1 in the Fukang Sag in the Junggar Basin and its significance[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021,26(2):1–11.
- [20] 吴晓智, 周路, 杨迪生, 等. 准噶尔盆地北三台凸起构造演化与油气成藏[J]. *地质科学*, 2012,47(3):653–668.
Wu Xiaozhi, Zhou Lu, Yang Disheng, *et al.* Structure evolution and hydrocarbon accumulation the Beisantai Uplift in Junggar Basin[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2012,47(3):653–668.
- [21] 何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地石炭系烃源岩分布与含油气系统[J]. *石油勘探与开发*, 2010,37(4):397–408.
He Dengfa, Chen Xinfu, Kuang Jun, *et al.* Distribution of Carboniferous source rocks and petroleum systems in the Junggar Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(4):397–408.
- [22] 王绪龙, 赵孟军, 向宝力, 等. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系烃源岩[J]. *石油勘探与开发*, 2010,37(5):523–529.
Wang Xulong, Zhao Mengjun, Xiang Baoli, *et al.* Carboniferous source rocks in the Ludong–Wucuiwan area, Junggar Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010,37(5):523–529.
- [23] 陈军, 陈静, 李娜, 等. 准噶尔盆地东部石炭系天然气勘探潜力[J]. *天然气地球科学*, 2020,31(7):952–961.
Chen Jun, Chen Jing, Li Na, *et al.* The exploration potential of Carboniferous natural gas in the eastern Junggar Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2020,31(7):952–961.
- [24] 蒋宜勤, 柳益群, 杨召, 等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷凝灰岩型致密油特征与成因[J]. *石油勘探与开发*, 2015,42(6):741–748.
Jiang Yiqin, Liu Yiqun, Yang Zhao, *et al.* Characteristics and origin of tuff-type tight oil in Jimusar Depression, Junggar Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015,42(6): 741–748.
- [25] 柳益群, 周鼎武, 焦鑫, 等. 深源物质参与湖相烃源岩生烃作用的初步研究[J]. *古地理学报*, 2019,21(6):983–997.
Liu Yiqun, Zhou Dingwu, Jiao Xin, *et al.* A preliminary study on the relationship between deep-sourced materials and hydrocarbon generation in lacustrine source rocks[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2019,21(6):983–997.
- [26] 王剑, 袁波, 刘金, 等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组混积岩成因及其孔隙发育特征[J]. *石油实验地质*, 2022,44(3): 413–422.
Wang Jian, Yuan Bo, Liu Jin, *et al.* Genesis and pore development characteritics of Permian Lucaogou migmatites, Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2022,44(3):413–422.
- [27] 邵雨, 杨勇强, 王敏, 等. 吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组沉积特征及沉积相演化[J]. *新疆石油地质*, 2015,36(6):635–641.
Shao Yu, Yang Yongqiang, Wan Min, *et al.* Sedimentary characteristic and facies evolution of Permian Lucaogou Formation, Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2015,36(6):635–641.
- [28] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地二叠系咸化湖相云质岩致密油形成条件与勘探潜力[J]. *石油勘探与开发*, 2012,39(6):657–666.
Kuang Lichun, Tang Yong, Lei Dewen, *et al.* Formation conditions and exploration potential of tight oil in the Permian saline lacustrine dolomitic rock, Junggar Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012,39(6):657–666.
- [29] 梁世君, 罗劝生, 康积伦, 等. 准噶尔盆地吉南凹陷萨探1井风险勘探突破及意义[J]. *中国石油勘探*, 2021,26(4):72–83.
Liang Shijun, Luo Quansheng, Kang Jilun, *et al.* Breakthrough and significance of risk exploration in Well Satan 1 in Jinan Sag, Junggar Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(4):72–83.
- [30] 匡立春, 王霞田, 郭旭光, 等. 吉木萨尔凹陷芦草沟组致密油地质特征与勘探实践[J]. *新疆石油地质*, 2015,36(6):629–634.
Kuang Lichun, Wang Xiatian, Guo Xuguang, *et al.* Geological characteristics and exploration practice of tight oil of Lucaogou Formation in Jimsar Sag[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2015,36(6):629–634.
- [31] 匡立春, 高岗, 向宝力, 等. 吉木萨尔凹陷芦草沟组有效源岩有机碳含量下限分析[J]. *石油实验地质*, 2014,36(2):224–229.
Kuang Lichun, Gao Gang, Xiang Baoli, *et al.* Lowest limit of organic carbon content in effective source rocks from Lucaogou Formation in Jimusar Sag[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014,36(2):224–229.
- [32] 陈建平, 王绪龙, 陈践发, 等. 甲烷碳同位素判识天然气及其源岩成熟度新公式[J]. *中国科学: 地球科学*, 2021,51(4):560–581.
Chen Jianping, Wang Xulong, Chen Jianfa, *et al.* A new formula for judging the maturity of natural gas and its source rock by methane carbon isotope[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2021,51(4):560–581.