

https://doi.org/10.3799/dqkx.2021.033



渤中 19-6 潜山构造带凝析油中轻烃地球化学特征及意义

刘梦醒¹, 郝芳¹, 王奇^{1*}, 牛成民², 田金强¹

1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580

2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459

摘要: 为了明确渤海湾盆地渤中 19-6 大气田的地化特征和成因, 选取研究区潜山凝析气藏 7 个凝析油样品进行全油色谱分析, 剖析其轻烃组成特征, 探讨轻烃参数在该区的地质应用. 结果表明: 渤中 19-6 凝析油的 Mango 轻烃参数 K_1 和 K_2 值相对稳定, 表明研究区原油成因类型基本一致. $C_6 \sim C_8$ 组成中正构烷烃具显著优势, 甲基环己烷指数平均为 39%; 庚烷值与异庚烷值, 正庚烷/甲基环己烷(F)比值较高, 反映它们较高成熟度; 轻烃参数计算原油生成温度为 125.8~128.1 °C, 其相对偏低, 可能与取样过程中凝析油的相态变化有关; 2-甲基戊烷/3-甲基戊烷, 2-甲基己烷/3-甲基己烷比值高, K_2 值低; 凝析油正构烷烃摩尔浓度呈三段式分布, 甲苯/正庚烷和原油蜡含量随深度而增加. 结合饱和烃参数以及金刚烷参数揭示渤中 19-6 潜山油气为湖相腐泥 II₁ 型母质在高成熟阶段 ($R_o=1.05\% \sim 1.30\%$) 的产物, 气藏形成后发生一定程度分馏造成油气组分调整.

关键词: 轻烃; 原油; 有机质来源; 成熟度; 次生作用; 渤中凹陷; 油气.

中图分类号: P559

文章编号: 1000-2383(2021)10-3645-12

收稿日期: 2020-11-30

Light Hydrocarbon Geochemical Characteristics and Geological Significance of Buried Hill Condensate Oil in Bozhong 19-6 Structural Belt

Liu Mengxing¹, Hao Fang¹, Wang Qi^{1*}, Niu Chengmin², Tian Jinqiang¹

1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China

2. Tianjin Branch of China National Offshore Oil Corporation Limited, Tianjin 300459, China

Abstract: In order to clarify the geochemical characteristics and genesis of Bozhong 19-6 gas field in Bohai Bay basin, seven condensate oil samples from buried hill condensate gas reservoir in the study area are selected to conduct the whole-oil GC-MS test, and the light hydrocarbon composition characteristics are analyzed, and the geological application of light hydrocarbon parameters in the area were discussed. The results show that the Mango light hydrocarbon parameters K_1 and K_2 of Bozhong 19-6 condensate oil are relatively stable, indicating that the genetic types of crude oil in the study area have good consistency. The $C_6 \sim C_8$ compound component *n*-alkane has significant advantages, and the average methylcyclohexane index is 39%. Heptane value, isoheptane value and the ratio of *n*-heptane/methylcyclohexane (F) corresponds to high maturity. According to light hydrocarbon temperature parameters, the hydrocarbon generation temperature is 125.8–128.1 °C, lower than the actual value maybe due to the phase change of condensate during sampling. The ratio of 2MP/3MP and 2MH/3MH in condensate oil is relatively high, while the K_2 value is low. The molar concentration of *n*-paraffins in condensate oil is distributed in three stages, and the content of toluene/*n*-heptane and crude oil wax increases with depth. Furthermore, combined with the saturated hydrocarbon parameters and

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (Nos.41821002, 42002146).

作者简介: 刘梦醒 (1996—), 女, 硕士研究生, 主要从事油气地球化学研究. ORCID:0000-0001-9470-2334. E-mail: Mengxing.Liu@outlook.com

* **通讯作者:** 王奇, E-mail: wangqi@upc.edu.cn

引用格式: 刘梦醒, 郝芳, 王奇, 等, 2021. 渤中 19-6 潜山构造带凝析油中轻烃地球化学特征及意义. 地球科学, 46(10):3645–3656.

adamantane parameters, it is revealed that the oil and gas in Bozhong 19-6 buried hill were formed in the high mature stage ($R_o=1.05\% - 1.30\%$) of lacustrine sapropel type II₁, which is adjusted by fractionation.

Key words: light hydrocarbons; crude oil; organic matter input; maturity; alteration; Bozhong sag; hydrocarbon.

凝析气藏是一种具有高原始气油比的特殊气藏,其中轻烃组分的富集是凝析气藏形成的重要物质基础.轻烃作为石油和天然气的重要组分,其组成特征是油气整体性质的体现.轻烃通常是指源岩或石油天然气中碳数小于 15 的烃类化合物(秦建中等, 2005),其丰富的化合物组成蕴含大量地球化学信息,因此分析轻烃组成对研究凝析气的地球化学特征及成因、来源具有重要意义.国内外学者对轻烃形成机理已经进行过大量研究,提出了包括稳态催化理论(Mango, 1987, 1990, 1997),热演化裂解(Thompson, 1979, 1983)以及次生作用后期改造(Thompson, 1987)等形成机理,这为轻烃应用于油气成因鉴别提供了理论基础(Snowdon and Powell, 1982; 胡国艺等, 2007).根据前人研究,轻烃的地质应用主要包括烃源岩沉积环境与有机质输入判别(胡惕麟等, 1990; 沈平等, 1992; Ten Haven, 1996),成熟度评价(Thompson, 1983; Bement *et al.*, 1995),油源对比,以及次生改造(Thompson, 1987; 胡国艺等, 2012)等.

近年来,在渤中凹陷西南部渤中 19-6 构造带深层太古界变质岩潜山获得天然气勘探的重大突破,发现探明储量超千亿立方米的大型凝析气田,这也是渤海湾盆地迄今发现的最大气田.此前在渤海海域仅发现规模较小气藏,曲折的勘探历程揭示了深部油气的复杂成因与差异富集,而深层油气成因类型是明确气藏形成机制亟待解决的问题.前人对渤中凹陷中小型气藏进行过大量研究,渤中天然气主要为油藏伴生气(王根照和夏庆龙, 2009),即有机质演化过程中和液态烃一同生成的气态烃,且以干酪根初次裂解气为主(王奇等, 2017).渤中地区烃源岩丰富,油气来源复杂,天然气在东营组、沙一段、沙二段和沙三段烃源岩均有产出,已发现的天然气类型以油型气、偏腐殖型气居多,也发现煤成气(胡安文等, 2020).目前针对 19-6 气藏中天然气的成因类型存在争议,前人依据乙烷碳同位素偏重认为这些天然气为偏腐殖型气(胡安文等, 2020),也有学者根据烃源岩有机质类型推知天然气为腐殖—腐泥型气(Xu *et al.*, 2019; 施和生等, 2019).

除此之外,天然气特征不仅受烃源岩母质的直接影响,还受成熟度和生物降解、蒸发分馏等次生作用改造的影响.考虑到轻烃记录着生烃母质以及对储层次生作用过程,本文运用轻烃参数对深部凝析气藏特征进行整体的分析,纵向对比浅层油藏次生作用,以明确研究区的油气成因及来源.

1 区域地质背景

渤海湾盆地是中国东部重要的富油盆地,渤海海域指渤海湾盆地的海域部分,渤中凹陷为渤海海域中西部的二级构造单元(图 1).渤中 19-6 构造带位于渤海湾盆地渤中凹陷西次洼深部构造脊,周缘凹陷凸起相间分布,北部、西部和东南部分别被沙垒田凸起、埕北低凸起和渤南低凸起围限,西侧紧邻沙南凹陷,南部连接黄河口凹陷.构造带具有洼中隆起特征,长轴大致为南北走向,两侧分别为渤中南次洼和渤中西南次洼,整体呈现出南高北低趋势.渤中地区受新构造运动影响,晚期断裂活动强烈,油气田分布不均匀,浅层发现有渤中 19-4 中型油田,深层开发了渤中 13-1,曹妃甸 18-2 油田(图 1).

渤中 19-6 凝析气藏含气层主要为太古界潜山变质岩和孔店组砂砾岩体,属特高含凝析油凝析气田,储集空间以溶蚀孔缝及裂缝为主(侯明才等, 2019).构造带纵向钻遇地层自上而下依次为新近系明化镇组、馆陶组,古近系东营组、沙河街组、孔店组和太古界潜山(图 1).渤中凹陷广泛分布古近系东营组三段(简称东三段),沙河街组一段(简称沙一段)和沙河街组三段(简称沙三段)3 套优质烃源岩,烃源岩厚度介于 500~2 500 m.渤中凹陷不同层位烃源岩形成环境不同,研究认为沙三段烃源岩形成于深裂陷时期深湖—半深湖还原环境,有机质以低等水生生物为主;沙一段沉积期裂陷扩张,湖泊萎缩水体变浅、咸化;东营组沉积期裂陷再活动,水体扩大,烃源岩形成于淡水弱还原沉积环境,有机质主要为陆源有机质(任拥军等, 2014).研究区厚层泥岩不整合上覆于太古界潜山,为气藏提供良好的物质和盖层条件,目前认为厚层超压泥岩“被子”是气藏形成的重要控制因

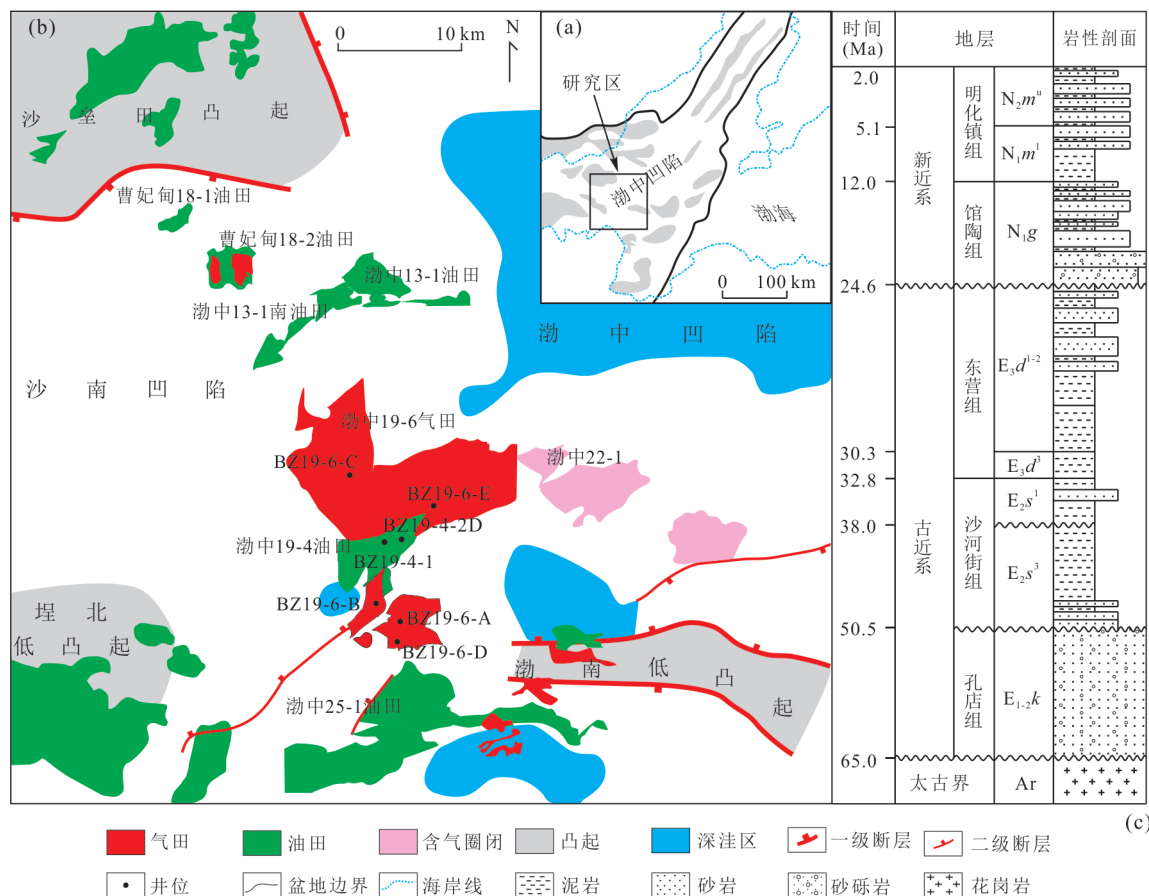


图 1 渤中 19-6 潜山构造带位置图及地层柱状图

Fig.1 Schematic diagrams showing the locations of the Bozhong 19-6 buried hill structural belt and the generalized stratigraphic column

素(薛永安和李慧勇, 2018).

2 实验与方法

本文采取了渤中凹陷渤中 19-6 构造区的 10 个原油样品,包括深层渤中 19-6 潜山 7 个轻质油样品(埋深 3 500~5 079 m)和浅层渤中 19-4 油田 3 个重质油样品(埋深 1 709~1 955 m),样品分布见图 1.

全油及轻烃实验条件:美国 Agilent 公司 6890 气相色谱仪与 5975 质谱仪,色谱柱为 PONA 柱(50 m×0.2 mm×0.5 μm);载气为氦气,前置压力为 110 kPa,平均线速度 14 cm/s.色谱升温程序:始温 35℃,恒温 10 min,然后以 0.5℃/min 升温速率至 60℃,再以 2℃/min 升温速率至 200℃,然后以 4℃/min 升温速率至 280℃,恒温 5 min,分流比为 100:1.其中轻质油全油分馏色谱定性结果见图 2,轻烃参数计算为对应化合物的峰面积比值.

3 轻烃地球化学特征及地质意义

3.1 C₄~C₇轻烃宏观组成特征

原油气相色谱图揭示了轻烃化合物组成特征.就 BZ19-6 潜山凝析油全油色谱特征而言,构造带上相关原油样品十分相似(图 2),反映研究区凝析油可能具有相似成因.具体而言,凝析油样品中从 C₄到 C₃₀正构烷烃分布完整,且以 C₁₇或 C₁₈为主峰,奇偶优势不明显(Bray and Evans, 1961),反映这些凝析油的成熟度较高,可能具有原生性(图 2a, 2c, 2e).原油轻烃中 C₄~C₇宏观组成与其来源有关,样品中 C₄~C₇轻烃化合物分布面貌相似,同碳数组分中以正构烷烃为主(图 2b, 2d, 2f).C₄~C₇轻烃化合物中链烷烃、环烷烃和芳烃相对组成中,链烷烃含量最高,占 54.5%~55.9%,环烷烃次之,占 26.6%~29%,芳烃最低,占 14.9~17.8%.在 C₄~C₇链烷烃构成中,正构烷烃占 54.6%~57.5%,支链烷烃占 37.3%~38.5%,正构烷烃含量大于支链烷烃.在 C₇

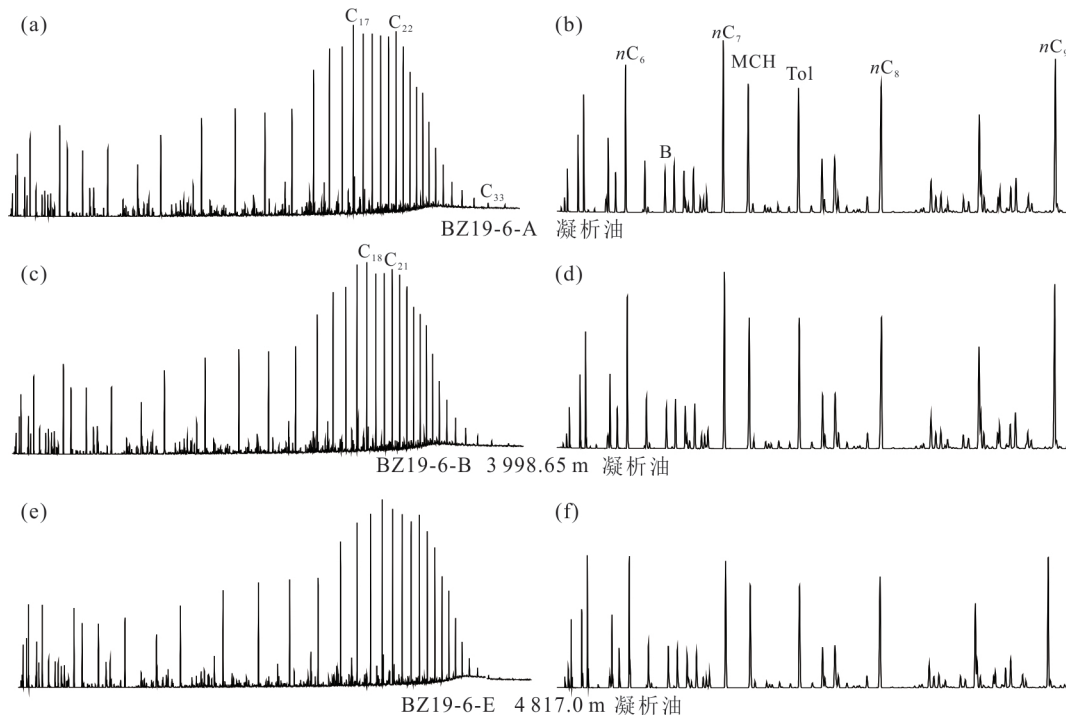


图2 渤中19-6地区原油全油和轻烃气相色谱图

Fig.2 Gas chromatograms of whole crude oils and light hydrocarbons in the condensates from the Bozhong 19-6 area
 nC_6 为正己烷; nC_7 为正庚烷; nC_8 为正辛烷; nC_9 为正壬烷;B为苯;MCH为甲基环己烷;Tol为甲苯

化合物中,正庚烷丰度最高,其次为甲基环己烷和甲苯,其他支链烷烃、环烷烃含量相对较低.以上特征反映研究区样品具有相似成因,且与腐泥型母质所生原油的轻烃组成相近(张迎朝等,2019).

3.2 烃源岩母质类型与沉积环境

Mango(1987)研究发现轻烃化合物2-甲基己烷(2-MH)、3-甲基己烷(3-MH)、2,3-二甲基戊烷(2,3-DMP)、2,4-二甲基戊烷(2,4-DMP)的比值 K_1 [$K_1=(2-MH+2,3-DMP)/(3-MH+2,4-DMP)$]具有显著不变性,即 $K_1 \approx 1$.随后,基于稳态催化动力模式,定义 K_2 参数 $K_2[(K_2=P_3/(P_2+N_2))]$: $P_3=3EC_5+2,2DMC_5+2,3DMC_5+2,4DMC_5+3,3DMC_5+2,2,3TMC_4$; $P_2=2MC_6+3MC_6$; $N_2=1,t,3DMC_5+1,c,3DMCP+1,1DMCP$.同一地区相同成因类型及沉积环境的天然气 K_1 和 K_2 值具有一致性,而不同来源天然气 K_1 和 K_2 值会有明显差别(朱扬明和张春明,1999).渤中19-6潜山凝析油以及浅层渤中19-4油藏样品 K_1 值、 K_2 值分布情况如图3所示,发现潜山 K_1 值和 K_2 值分布集中, K_1 符合其不变性特征,分布在1.06~1.07之间, K_2 值集中在0.18~0.19,可以认为它们具有相同来源和一致成因.

轻烃 C_6 、 C_7 组成具有单体浓度高、热力学稳定

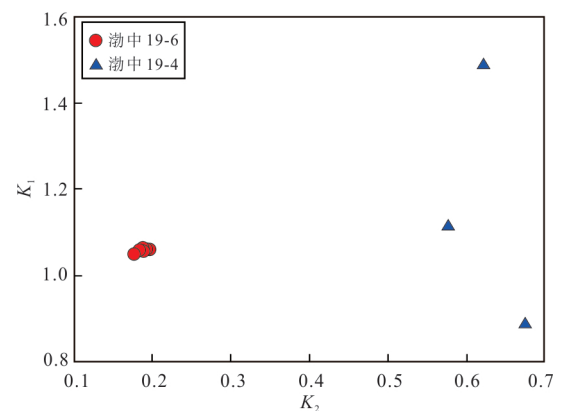
图3 渤中19-6构造带原油 K_1 - K_2 相关图

Fig.3 Correlation diagram of crude oil K_1 - K_2 in Bozhong 19-6 structural belt

等优点(胡惕麟等,1990),在识别母质类型上已经进行过大量理论与广泛应用.除此之外,近些年对 C_8 化合物研究深入,它们在区别不同母质类型上也表现出良好应用前景.腐泥型烃源岩所生原油往往富含正构烷烃,表现为正构烷烃优势,而腐殖型原油常具有更为丰富的异构烷烃(Leythaeuser *et al.*, 1979).对于 C_6 轻烃化合物而言,其组成可以反映对应的生烃母质.在轻烃中对 C_7 化合物的研究应用较为深入,甲基环己烷(MCH),二甲基环戊烷

(Σ DMCP)和正庚烷(nC_7)相对含量继承母质特征,广泛用于识别成因与来源(Peng *et al.*, 2018).前人研究表明,甲基环己烷主要来自于高等植物木质素、纤维素和糖类,二甲基环戊烷由水生生物甾族和萜类环状类脂体转化而来,正庚烷主要产自细菌和藻类,但受成熟演化影响较大.胡国艺等(2007)在此基础上对 C_7 化合物进行成因划分,认为 nC_7 相对含量大于 30%, MCH 小于 70% 时对应油型母质贡献为主; nC_7 相对含量小于 30%, MCH 大于 50% 时以煤型母质贡献为主.胡惕麟等(1990)定义甲基环己烷指数(I_{MCH})(公式 1)用以区分不同沉积环境和有机质类型: $I_{MCH} < 35\% \pm 2\%$ 时,为深湖腐泥 I 型; $35\% \pm 2\% \leq I_{MCH} < 50\% \pm 2\%$ 时,为浅湖—较深湖相腐泥 II 型; $I_{MCH} \leq 50\% \pm 2\%$ 时,为滨浅湖腐殖 III 型; $I_{MCH} > 65\% \pm 2\%$ 时,为沼泽相、湖相腐殖 III 型.Mango(1994)基于稳态动力学提出碳环优势指数(RP),用于评价轻烃演化产物中不同碳环结构的组成特征.沉积环境不同造成过渡金属差异,进而影响轻烃演化过程中碳环优势,一般湖相原油以 3-RP 为主,海相原油以 5-RP 为主,陆相原油以 6-RP 为主(Ten Haven, 1996). C_8 轻烃化合物组成在不同成因的样品中具有明显差异,一般认为煤型母质产物环烷烃含量高,一般大于 40%,油型母质对应环烷烃含量相对较低(Hu *et al.*, 2017).

$$I_{MCH} = \frac{MCH}{MCH + RCPC_7 + nC_7} \times 100\%, \quad (1)$$

式中: I_{MCH} 为甲基环己烷指数;MCH 为甲基环己烷;RCPC₇ 为 1 反 3-二甲基环戊烷、1 顺 3-二甲基环戊烷、1 反 2-二甲基环戊烷、1,1-二甲基环戊烷、乙基

环戊烷; nC_7 为正庚烷.

凝析油轻烃组分中与生油岩相关的 C_6 化合物组成如图 4a 所示.正构烷烃(nC_6)含量较高(43.5%~46.2%),平均为 45.0%;异构烷烃(iC_6)含量较正构烷烃稍低(35.4%~37.3%),平均为 36.5%,环烷烃(CyC_6)含量明显偏低(17.9%~19.3%),平均为 18.5%(表 1).样品分布集中,显示出正构烷烃优势,在相对含量三角图中落入 II₁ 型有机质区域,指示为腐泥型母质贡献为主(图 4a).根据轻烃 nC_7 - Σ DMCP-MCH 相对组成(表 1), nC_7 相对含量占优势(43.76%~47.48%),MCH 含量较 nC_7 稍低(38.65%~41.68%),DMCP 含量明显偏低(13.73%~14.67%).以上特征对应于烃源岩有机母源中细菌和水生生物贡献为主,高等植物也有相当贡献.甲基环己烷指数 I_{MCH} 介于 37.85%~40.79%,平均为 39%(表 1),具有深—浅湖相 II 型母质生成的轻烃特征.在碳环优势分布上,研究区油样六员环相对含量最高(62.24%~64.85%),三员环相对含量居中(22.07%~23.05%),五员环相对含量最低(12.58%~14.88%),6-RP 表明陆相有机质贡献为主(图 4c).但在实际应用中,碳环优势指数判断来源重叠区域较大(Ten Haven, 1996),同时受沉积环境过渡金属控制,应用条件有限.在凝析油 C_8 正构烷烃、异构烷烃和环烷烃相对组成中(表 1), C_8 环烷烃含量小于 40%,分布在 36.3%~39.2% 之间;异构烷烃含量低,分布在 21.7%~22.7% 之间;正构烷烃含量最高,占 38.5%~41.5%.正构烷烃的富集揭示原油主要来自于油型母质(Hu *et al.*, 2017)(图 4d).

表 1 渤中 19-6 构造带凝析油 C_6 - C_8 轻烃化合物组成相对含量

Table 1 Relative contents of light hydrocarbon compounds in condensate oil C_6 - C_8 of Bozhong 19-6 structural belt

井号	层位	深度(m)	C_6 组成(%)				C_7 组成(%)			C_8 组成(%)				碳环优势指数 RP(%)		
			nC_6	iC_6	CyC_6	nC_7	MCH	Σ DMCP	nC_8	iC_8	C_8 环	3-RP	5-RP	6-RP		
BZ19-6-A	Ar	—	45.05	18.12	36.83	46.33	39.00	14.67	40.31	22.39	37.3	22.88	13.66	63.46		
BZ19-6-B	Ar	3 998.65	46.19	18.39	35.43	47.23	38.65	14.12	40.87	22.47	36.66	23.05	13.13	63.83		
BZ19-6-C	Ar	4 499.80	45.34	18.34	36.32	47.48	38.79	13.73	41.52	22.19	36.29	22.84	12.58	64.57		
BZ19-6-D	Ar	3 566.00	45.23	18.69	36.08	45.28	39.46	15.26	38.47	22.34	39.19	22.89	14.88	62.24		
BZ19-6-E	Ar	4 817.00	43.54	19.27	37.19	44.5	40.76	14.74	40.81	22.14	37.06	22.47	13.20	64.33		
BZ19-6-F	Ar	5 079.00	44.85	18.68	36.47	43.76	41.68	14.56	40.68	21.74	37.58	22.07	13.17	64.76		
BZ19-6-E	Ar	5 500.00	44.78	17.90	37.32	44.74	40.76	14.50	40.69	22.24	37.06	22.11	13.04	64.85		

注: nC_6 . 正己烷; iC_6 . 异己烷; CyC_6 . 环己烷; nC_7 . 正庚烷;MCH. 甲基环己烷; Σ DMCP. 二甲基环戊烷; nC_8 . 正辛烷; iC_8 . 异构辛烷; C_8 环. 环辛烷;3-RP. 异构烷烃;5-RP. 环戊烷;6-RP. 环己烷.

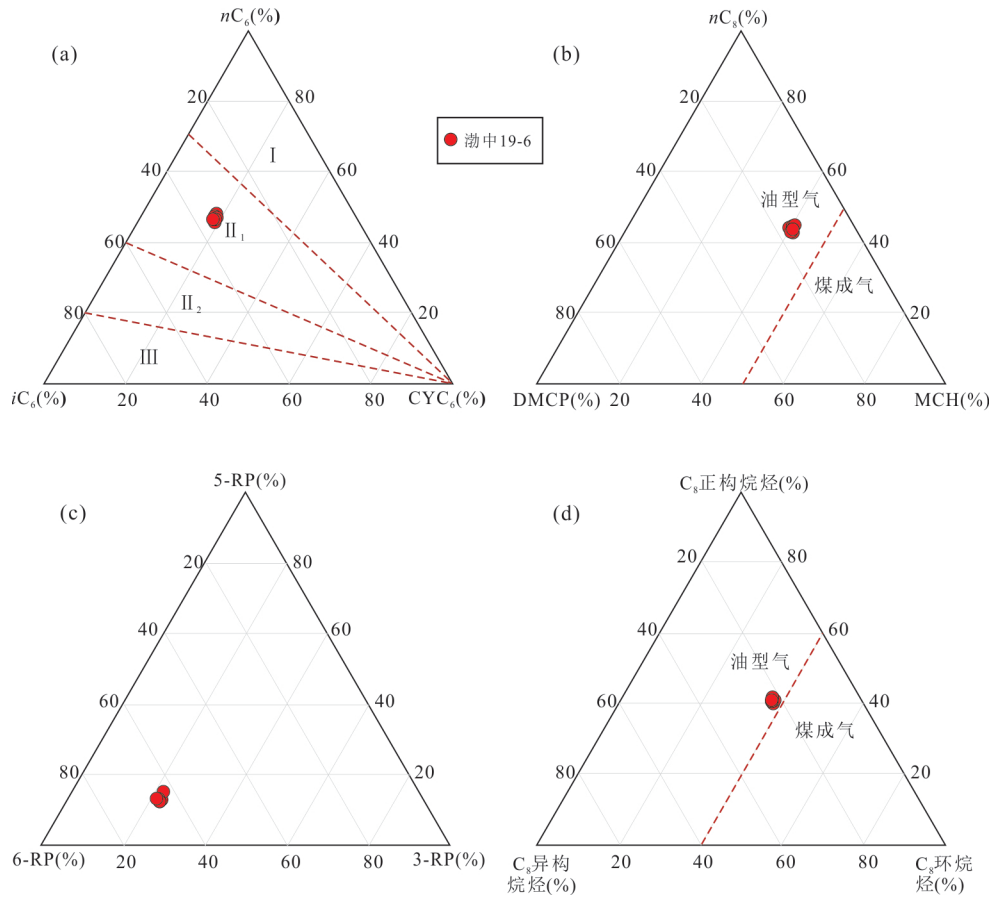


图 4 渤中 19-6 潜山原油轻烃组成及成因分类

Fig.4 Composition and origin of crude oil light hydrocarbons in Bozhong 19-6 buried hill

在轻烃研究的基础上,选取链烷烃如姥鲨烷和植烷相关参数以明确沉积环境和母质类型.研究区太古界原油 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 值分别为 0.18~0.34 和 0.19~0.25(表 2),在 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 的比值相关图上,整体表现为混合型(II 型)有机质特征(图 5a).通过 Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 的相对含量(表 2,图 5b),指示研究区太古界原油对应有机质主要为淡水湖相成因.综合以上研究发现链烷烃与轻烃

判识结果相近,均说明渤中 19-6 原油来自于淡水环境沉积的混合有机质,以油型 II₁ 型母质贡献占优势.已有研究认为渤中 19-6 气藏以沙三段油气贡献为主(薛永安等, 2020),前人根据渤中凹陷烃源岩生物标志化合物得出沙三段沉积期具有淡水环境藻类生源为主的特征,与原油轻烃研究特征一致,轻烃参数揭示了沙三段油气源特征.

表 2 渤中 19-6 潜山原油部分饱和烃参数

Table 2 Partially saturated hydrocarbon parameters of Bozhong 19-6 buried hill crude oil

井号	层位	深度(m)	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	$Pr/Ph(\%)$	$Pr/nC_{17}(\%)$	$Ph/nC_{18}(\%)$	MAI	MDI
BZ19-6-A	Ar	—	0.30	0.25	70.43	16.15	13.42	0.62	0.37
BZ19-6-B	Ar	3 998.65	0.27	0.22	72.64	15.13	12.24	0.62	0.35
BZ19-6-C	Ar	4 499.80	0.28	0.23	71.39	15.72	12.89	0.61	0.35
BZ19-6-D	Ar	3 566.00	0.34	0.25	71.19	16.53	12.28	0.61	0.34
BZ19-6-E	Ar	4 817.00	0.29	0.23	72.05	15.72	12.23	0.60	0.38
BZ19-6-F	Ar	5 079.00	0.31	0.24	71.21	16.24	12.55	0.61	0.38
BZ19-6-E	Ar	5 500.00	0.31	0.24	71.42	16.03	12.55	0.61	0.37

注:MAI(%)=1/(1+2)-甲基单金刚烷;MDI(%)=4-甲基双金刚烷/(3+4+1)-甲基双金刚烷.

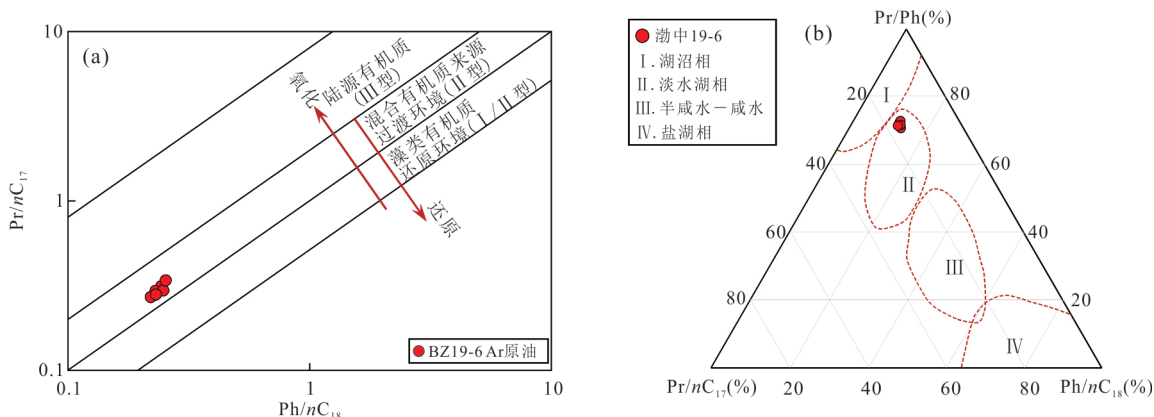


图 5 渤中 19-6 太古界原油 Pr/nC₁₇和 Ph/nC₁₈关系图(据吴小奇等, 2019 修改)(a)与 Pr/Ph 和 Pr/nC₁₇和 Ph/nC₁₈三角图(底图据王铁冠等, 1995)(b)

Fig.5 Correlation diagram of Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ of Archaeean crude oil from Bozhong 19-6 (a) and ternary of Pr/Ph—Pr/nC₁₇—Ph/nC₁₈ (b)

3.3 原油成熟度

原油随成熟度增高烷基化程度会增加,因此庚烷值(*H*)和异庚烷值(*I*)两个参数可以用于成熟度评估(Thompson, 1979, 1983),正庚烷/甲基环己烷(*F*)比值与庚烷值分布高度相关,也是良好的成熟度指标(Thompson, 1987).在演化过程中,轻烃正、异庚烷值表现出随成熟度增加而增加的特点,变化的相对速率取决于干酪根类型,因此 *H* 和 *I* 两个参数可以应用于母质判识和成熟度表征.根据正、异庚烷数值划分成熟度范围, Walters *et al.* (2003) 在此基础上进行了成熟度参数校准. Mango (1997) 根据催化稳态理论提出的参数 2,4-二甲基戊烷(2,4-DMP)和 2,3-二甲基戊烷(2,3-DMP)比值不受生烃母质和时间影响,具有与地层温度高度相关的特点, Bement *et al.* (1995) 据此推导了轻烃与排烃温度函数(公式(2)),应用公式(3)将所得温度转换为镜质体反射率(*Rc*),并指出该方法获得的是烃类从源岩排出温度,不受储层埋藏温度影响.

$$T = 140 + 15 \times \ln[2,4\text{-DMP}/2,3\text{-DMP}], \quad (2)$$

$$Rc = 0.0123T - 0.6764, \quad (3)$$

式中:*T*为最大埋深温度,℃;2,4-DMP为2,4-二甲基戊烷;2,3-DMP为2,3-二甲基;Rc相应镜质体反射率.

由表 3 可知,研究区渤中 19-6 潜山样品庚烷值介于 32.9%~33.5%,异庚烷值在 1.6~1.9 之间,两参数表现出良好正相关关系(图 6a).其中,凝析油样品正庚烷与异庚烷值遵循脂肪族趋势,分布高于脂肪族曲线,符合国内油样特征趋势(王培荣等, 2010),与上述关于倾油型的母质判定一致.庚烷值和异庚烷值判定凝析油为高成熟原油,对应的成熟度介于 $R_{o_{eqv}}$ 1.1%~1.3%(图 6a).渤中 19-6 凝析油的 *F* 值为 1.05~1.22(表 3),通常 *F* 值介于 0.8~1.5,大致对应镜质体反射率 1.05%~1.20%.凝析油 Mango 参数 2,4-DMP/2,3-DMP 比值为 0.39~0.45,平均为 0.42,根据该比值与温度的函数关系计算获得温度 *T* 在 125.8~128.1℃ 之间,换算为成熟度

表 3 渤中 19-6 构造带原油成熟作用及次生作用相关参数

Table 3 The related parameters of crude oil maturation and secondary action in Bozhong 19-6 structural belt

井号	层位	深度(m)	<i>I</i>	<i>H</i> (%)	Ctemp(℃)	2MP/3MP	2MH/3MH	<i>F</i>	Tol/nC ₇
BZ19-6-A	Ar	—	1.77	33.51	126.85	1.69	0.93	1.19	0.85
BZ19-6-B	Ar	3 998.65	1.86	34.12	126.97	1.70	0.93	1.22	0.85
BZ19-6-C	Ar	4 499.80	1.92	34.43	128.12	1.69	0.94	1.22	0.88
BZ19-6-D	Ar	3 566.00	1.6	32.95	126.18	1.71	0.92	1.15	0.75
BZ19-6-E	Ar	4 817.00	1.78	31.95	125.79	1.67	0.9	1.09	0.94
BZ19-6-F	Ar	5 079.00	1.77	31.53	126.71	1.64	0.92	1.05	0.93
BZ19-6-E	Ar	5 500.00	1.81	32.29	127.08	1.64	0.93	1.10	0.95

注:*I*为庚烷值;*H*为异庚烷值;*F*为正庚烷/甲基环己烷;Tol/nC₇为苯/正庚烷.

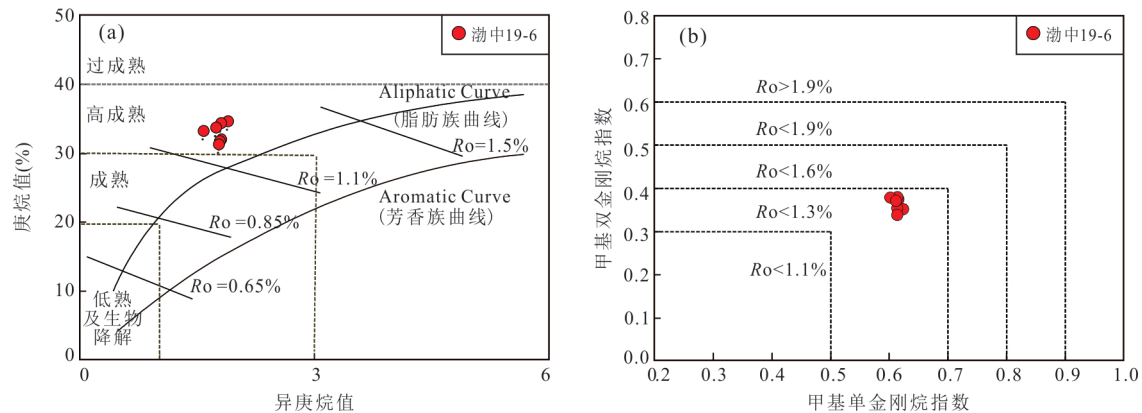


图 6 渤中 19-6 构造带庚烷值和异庚烷值相关图(a)与甲基单金刚烷指数和甲基双金刚烷指数相关图(b)

Fig.6 Correlation diagram of heptane and isoheptane in Bozhong 19-6 structural belt (a) and correlation diagram of MAI and MDI (b)

R_c 在 0.87%~0.90% 之间. 相较庚烷值与异庚烷值推算成熟度, 该方法获得成熟度偏低, 可能因为 2,4-DMP 较 2,3-DMP 沸点低, 更易蒸发. 凝析油样品采样时, 2,4-DMP/2,3-DMP 比值减小导致计算温度偏低, 而正庚烷、异庚烷值和 F 值受到影响不大(胡国艺等, 2012). 为了验证轻烃在凝析油成熟度上的应用效果, 选取具有高稳定碳骨架结构的金刚烷进行成熟度评价. 甲基单金刚烷(MAI)和甲基双金刚烷指数(MDI)是金刚烷常用成熟度参数, 研究区原油 MAI 和 MDI 指数的平均值分别为 0.61 和 0.36(表 2), Chen *et al.* (1996) 研究发现 MAI-MDI 和成熟度 R_o 具有相关关系, 根据这个关系获得得到研究区原油成熟度 R_o 为 1.1%~1.3%(图 6b), 与上文轻烃分析结果一致. 综合认为研究区凝析油为有机质演化高成熟阶段产物, 成熟度介于 1.1%~1.3%, 轻烃参数在研究区拥有良好应用效果.

3.4 储层原油次生改造

原油轻烃组分差异除了受母质类型、沉积环境

及有机质演化程度影响以外, 还与次生作用密切相关. 轻烃碳数低, 对次生作用敏感, 并且不同轻烃组分沸点、溶解度、化学性质存在差异, 因此运用轻烃可对油气藏二次蚀变进行判别.

生物降解作用是石油储层中最常见的地球化学过程之一, 对原油化合物组成有直接改造作用. 对于轻烃, 其抗生物降解能力由碳骨架以及烷基化程度和烷基化位置共同决定(Meng *et al.*, 2018), 生物降解原油普遍表现为 K_2 增大(杨禄等, 2016), 2-甲基戊烷/3-甲基戊烷(2MP/3MP)和 2-甲基己烷/3-甲基己烷(2MH/3MH)比值降低的特征. 根据原油饱和烃气相色谱特征, 渤中 19-6 凝析油具有正构烷烃优势, 受生物降解影响小. 相比浅层渤中 19-4 生物降解原油, 深层油轻烃指标 K_2 值小, 为 0.19; 2MP/3MP 值与 2MH/3MH 值较高, 分别为 1.64~1.71 和 0.92~0.94(表 3), 与浅层原油轻烃特征差异明显. 同全油饱和烃特征相吻合, 均指示研究区凝析油未受生物降解作用改造.

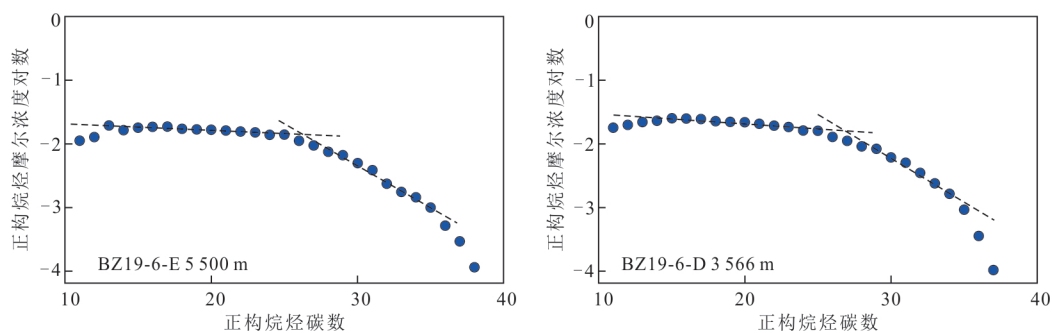


图 7 渤中 19-6 凝析油正构烷烃摩尔浓度半对数分布曲线

Fig.7 Distribution curves of n -alkanes mole concentrations of the condensate oils in Bozhong 19-6

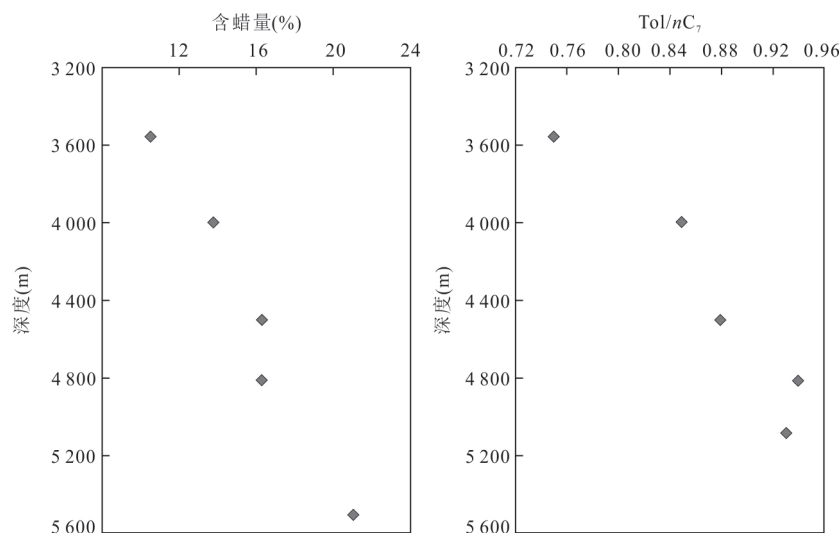


图 8 渤中 19-6 凝析油含蜡量随深度分布 (a) 与甲苯/正庚烷 (Tol/nC₇) 随深度分布 (b)

Fig. 8 Distribution of wax content (a) and toluene/*n*-heptane (Tol/nC₇) with depth (b) in Bozhong 19-6 condensate

Kissin(1987)提出,未遭次生作用的原油正构次生作用影响正构烷烃摩尔浓度发生相应变化.渤中 19-6 凝析油正构烷烃摩尔浓度呈三段式分布(图 7),具有蒸发分馏与气洗分馏共同作用的特征(黄光辉等, 2010).由于芳香烃分子间作用力大于饱和烃,易富集于残余油相中,Thompson(1987)引入轻烃参数甲苯/正庚烷(Tol/nC₇)作为识别蒸发分馏过程的标志.渤中 19-6 潜山气藏中随埋深增大,凝析油轻烃参数甲苯/正庚烷比值与对应含蜡量均增大(图 8),深层表现出分馏残余油特征,再一次表明深层大气藏形成后发生过一定程度的分馏.

渤中地区新构造运动活跃,发育大量活化断层成为油气运移的有利通道.同时,已有研究表明渤中 19-6 凝析气藏的形成经历了早油晚气充注过程(薛永安等, 2020),晚期大量高成熟烃气充注进入早期形成的油藏,经断层通道散失造成油气藏内部分馏,从而导致油气组分发生调整.

4 结论

(1)渤中 19-6 潜山凝析油 Mango 轻烃参数 K_1 , K_2 值基本保持一致,说明凝析油的成因一致. $C_6 \sim C_8$ 轻烃组分具有链烷烃优势,庚烷值和异庚烷值遵循脂肪族趋势,甲基环己烷指数介于 37.9%~40.8%,碳环优势指数为六员环优势,总体上符合湖相腐泥型(II₁)母质的生烃特征.

(2)渤中 19-6 潜山凝析油庚烷值介于 31.5%~34.4%,异庚烷值介于 1.7~1.9,结合经验公式计算

烷烃摩尔浓度对数值与对应碳数具有线性关系,受等效镜质体反射率为 1.1%~1.3%,与金刚烷参数成熟度评价一致;正庚烷/甲基环己烷(F)值为 1.1~1.2,对应成熟度在 1.05%~1.20% 之间.

(3)次生作用方面,渤中 19-6 凝析油未遭受明显生物降解改造,轻烃参数 K_2 、2-甲基戊烷/3-甲基戊烷值,2-甲基己烷/3-甲基己烷值在区别生物降解油方面应用良好.深层凝析油正构烷烃组成特征、含蜡量及甲苯/正庚烷分布特征均指示深层气藏发生过一定程度的分馏作用.渤中 19-6 先油后气成藏过程是造成凝析油分馏的主要原因.

References

- Bement, W., Levey, R., Mango, F., 1995. The Temperature of Oil Generation as Defined with a C₇ Chemistry Maturity Parameter (2, 4-DMP/2, 3-DMP Ratio). *Organic Geochemistry: Development and Application to Energy, Climate, Environment and Human History*, 32 (1): 505–507
- Bray, E. E., Evans, E.D., 1961. Distribution of N-Paraffins as a Clue to Recognition of Source Beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22(1): 2–15. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(61\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(61)90069-2)
- Chen, J.H., Fu, J.M., Sheng, G.Y., et al., 1996. Diamondoid Hydrocarbon Ratios: Novel Maturity Indices for Highly Mature Crude Oils. *Organic Geochemistry*, 25 (3/4): 179–190. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(96\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(96)00125-8)
- Hou, M.C., Cao, H.Y., Li, H.Y., et al., 2019. Characteristics and Controlling Factors of Deep Buried-Hill Reservoirs

- in the BZ19-6 Structural Belt, Bohai Sea Area. *Natural Gas Industry*, 39(1): 33–44(in Chinese with English abstract).
- Hu, A.W., Niu, C.M., Wang, D.Y., et al., 2020. The Characteristics and Formation Mechanism of Condensate Oil and Gas in Bozhong19-6 Structure, Bozhong Sag, Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 41(4): 403–411 (in Chinese with English abstract).
- Hu, G.Y., Li, J., Li, J., et al., 2007. Investigate the Causes of Subconsciousness Indicators of Light Hydrocarbon Gas. *Science in China (Series D)*, 37(S2): 111–117(in Chinese).
- Hu, G.Y., Peng, W.L., Yu, C., 2017. Insight into the C₈ Light Hydrocarbon Compositional Differences between Coal-Derived and Oil-Associated Gases. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 2(3): 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2017.08.001>
- Hu, G.Y., Wang, W.S., Liao, F.R., 2012. Geochemical Characteristics and Its Influencing Factors of Light Hydrocarbon in Coal-Derived Gas: A Case Study of Sichuan Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 905–916(in Chinese with English abstract).
- Hu, T.L., Ge, B.X., Zhang, Y.G., et al., 1990. The Development and Application of Fingerprint Parameters for Hydrocarbons Absorbed by Source Rocks and Light Hydrocarbons in Natural Gas. *Petroleum Geology & Experiment*, 12(4): 375–394, 450(in Chinese with English abstract).
- Huang, G.H., Li, B., Xu, Y.D., et al., 2010. The Distributing Characteristics of Mole Concentration of *n*-Alkanes in Crude Oil in the Northern Tarim Basin and Its Geochemistry Meanings. *Journal of Oil and Gas Technology*, 32(3): 13–17, 37(in Chinese with English abstract).
- Kissin, Y. V., 1987. Catagenesis and Composition of Petroleum: Origin of *n*-Alkanes and Isoalkanes in Petroleum Crudes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(9): 2445–2457. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90296-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90296-1)
- Leythaeuser, D., Schaefer, R.G., Weiner, B., 1979. Generation of Low Molecular Weight Hydrocarbons from Organic Matter in Source Beds as a Function of Temperature and Facies. *Chemical Geology*, 25(1/2): 95–108. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(79\)90086-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(79)90086-X)
- Mango, F.D., 1987. An Invariance in the Isoheptanes of Petroleum. *Science*, 237(4814): 514–517. <https://doi.org/10.1126/science.237.4814.514>
- Mango, F.D., 1994. The Origin of Light Hydrocarbons in Petroleum: Ring Preference in the Closure of Carbocyclic Rings. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(2): 895–901. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90513-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90513-4)
- Mango, F.D., 1990. The Origin of Light Cycloalkanes in Petroleum. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(1): 23–27. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90191-M](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90191-M)
- Mango, F. D., 1997. The Light Hydrocarbons in Petroleum: A Critical Review. *Organic Geochemistry*, 26(7/8): 417–440. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00031-4)
- Meng, Q., Wang, X.F., Wang, X.Z., et al., 2018. Biodegradation of Light Hydrocarbon(C₅–C₈) in Shale Gases from the Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 51: 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2018.01.002>
- Peng, W.L., Hu, G.Y., Wang, Y.W., et al., 2018. Geochemical Characteristics of Light Hydrocarbons and Their Influencing Factors in Natural Gases of the Kuqa Depression, Tarim Basin, NW China. *Geological Journal*, 53(6): 2863–2873. <https://doi.org/10.1002/gj.3125>
- Qin, J.Z., Qian, Z.H., Cao, Y., et al., 2005. New Techniques in Oil and Gas Geochemical Exploration. *Petroleum Geology & Experiment*, 27(5): 519–528(in Chinese with English abstract).
- Ren, Y.J., Lü, L., Liu, S., et al., 2014. Geochemical Characteristics of Light Hydrocarbons in Banqiao Sag. *Natural Gas Geoscience*, 25(8): 1218–1225, 1274(in Chinese with English abstract).
- Shen, P., Chen, J.F., Peng, Y.S., 1992. The Relationship between Sedimentary Environments and Characteristics of Series of Fluorene and C₆ Compounds in Light Hydrocarbon. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(1): 68–75(in Chinese with English abstract).
- Shi, H.S., Wang, Q.B., Wang, J., et al., 2019. Discovery and Exploration Significance of Large Condensate Gas Fields in BZ19-6 Structure in Deep Bozhong Sag. *China Petroleum Exploration*, 24(1): 36–45(in Chinese with English abstract).
- Snowdon, L. R., Powell, T. G., 1982. Immature Oil and Condensate: Modification of Hydrocarbon Generation Model for Terrestrial Organic Matter. *AAPG Bulletin*, 66(6): 755–788. <https://doi.org/10.1306/03b5a313-16d1-11d7-8645000102c1865d>
- Ten Haven, H. L., 1996. Applications and Limitations of Mango's Light Hydrocarbon Parameters in Petroleum Correlation Studies. *Organic Geochemistry*, 24(10/11): 957–976. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(96\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(96)00091-5)
- Thompson, K. F. M., 1983. Classification and Thermal History of Petroleum Based on Light Hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47(2): 303–316. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90143-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90143-6)
- Thompson, K. F. M., 1987. Fractionated Aromatic Petro-

- leums and the Generation of Gas-Condensates. *Organic Geochemistry*, 11(6): 573–590. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(87\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0146-6380(87)90011-8)
- Thompson, K. F. M., 1979. Light Hydrocarbons in Subsurface Sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43(5): 657–672. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(79\)90251-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90251-5)
- Walters, C. C., Isaksen, G. H., Peters, K. E., 2003. Applications of Light Hydrocarbon Molecular and Isotopic Compositions in Oil and Gas Exploration. *Analytical Advances for Hydrocarbon Research*, Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9212-3_10
- Wang, G. Z., Xia, Q. L., 2009. Natural Gas Distribution, Main Controls over Accumulation and Exploration Targets in Bohai Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 21(1): 15–18(in Chinese with English abstract).
- Wang, P. R., Xu, G. J., Zhang, D. J., et al., 2010. Problems with Application of Heptane and Isoheptane Values as Light Hydrocarbon Parameters. *Petroleum Exploration and Development*, 37(1): 121–128(in Chinese with English abstract).
- Wang, Q., Zou, H. Y., Zhou, X. H., et al., 2017. Gas Potential of Source Rocks and Origin of Natural Gases in Bohai Sea. *Geological Journal of China Universities*, 23(2): 304–314(in Chinese with English abstract).
- Wang, T. G., Zhong, N. N., Hou, D. J., et al., 1995. Genetic Mechanism and Occurrence of Immature Hydrocarbon. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Wu, X. Q., Chen, Y. B., Liu, Q. Y., et al., 2019. Molecular Geochemical Characteristics of Source Rocks in the 5th Member of Upper Triassic Xujiahe Formation, Xinchang Gas Field, West Sichuan Depression. *Earth Science*, 44(3): 859–871(in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., Yu, H. B., Wang, J., et al., 2019. Formation Conditions and Accumulation Characteristics of Bozhong 19-6 Large Condensate Gas Field in Offshore Bohai Bay Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 46(1): 27–40. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(19\)30003-5](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(19)30003-5)
- Xue, Y. A., Li, H. Y., 2018. Large Condensate Gas Field in Deep Archean Metamorphic Buried Hill in Bohai Sea: Discovery and Geological Significance. *China Offshore Oil and Gas*, 30(3): 1–9(in Chinese with English abstract).
- Xue, Y. A., Wang, Q., Niu, C. M., et al., 2020. Hydrocarbon Charging and Accumulation of BZ 19-6 Gas Condensate Field in Deep Buried Hills of Bozhong Depression, Bohai Sea. *Oil & Gas Geology*, 41(5): 891–902 (in Chinese with English abstract).
- Yang, L., Zhang, C. M., Li, M. J., et al., 2016. Application of Mango's Light Hydrocarbon Parameters in Dawanqi Oilfield, Tarim Basin, China. *Natural Gas Geoscience*, 27(8): 1524–1531(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Z., Gan, J., Xu, X. D., et al., 2019. The Source and Natural Gas Lateral Migration Accumulation Model of Y8-1 Gas Bearing Structure, East Deep Water in the Qiongdongnan Basin. *Earth Science*, 44(8): 2609–2618 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. M., Zhang, C. M., 1999. Application of Mango's Light Hydrocarbon Parameters in Classification of Oils from Tarim Basin. *Geochimica*, 28(1): 26–33(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 侯明才, 曹海洋, 李慧勇, 等, 2019. 渤海海域渤中 19-6 构造带深层潜山储层特征及其控制因素. 天然气工业, 39(1): 33–44.
- 胡安文, 牛成民, 王德英, 等, 2020. 渤海湾盆地渤中凹陷渤中 19-6 构造凝析油气特征与形成机制. 石油学报, 41(4): 403–411.
- 胡国艺, 李剑, 李谨, 等, 2007. 判识天然气成因的轻烃指标探讨. 中国科学(D 辑: 地球科学), 37(增刊 2): 111–117.
- 胡国艺, 汪为胜, 廖凤蓉, 2012. 煤成气轻烃地球化学特征及其影响因素: 以四川盆地须家河组为例. 岩石学报, 28(3): 905–916.
- 胡惕麟, 戈葆雄, 张义纲, 等, 1990. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用. 石油实验地质, 12(4): 375–394, 450.
- 黄光辉, 李碧, 徐阳东, 等, 2010. 塔北地区原油正构烷烃摩尔浓度分布特征及意义. 石油天然气学报, 32(3): 13–17, 37.
- 秦建中, 钱志浩, 曹寅, 等, 2005. 油气地球化学新技术新方法. 石油实验地质, 27(5): 519–528.
- 任拥军, 吕琳, 柳飒, 等, 2014. 板桥凹陷原油轻烃地球化学特征. 天然气地球科学, 25(8): 1218–1225, 1274.
- 沈平, 陈践发, 彭韵硕, 1992. 轻烃中 C₆ 族组成和芴系化合物与沉积环境的关系. 沉积学报, 10(1): 68–75.
- 施和生, 王清斌, 王军, 等, 2019. 渤中凹陷深层渤中 19-6 构造大型凝析气田的发现及勘探意义. 中国石油勘探, 24(1): 36–45.
- 王根照, 夏庆龙, 2009. 渤海海域天然气分布特点、成藏主控因素与勘探方向. 中国海上油气, 21(1): 15–18.
- 王培荣, 徐冠军, 张大江, 等, 2010. 常用轻烃参数正、异庚烷值应用中的问题. 石油勘探与开发, 37(1): 121–128.
- 王奇, 邹华耀, 周心怀, 等, 2017. 渤海海域烃源岩的生气潜力与天然气成因分析. 高校地质学报, 23(2): 304–314.
- 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等, 1995. 低熟油气形成机理与分布. 北京: 石油工业出版社.
- 吴小奇, 陈迎宾, 刘全有, 等, 2019. 川西坳陷新场气田须家

- 河组五段烃源岩分子地球化学特征. 地球科学, 44(3): 859—871.
- 薛永安, 李慧勇, 2018. 渤海海域深层太古界变质岩潜山大 型凝析气田的发现及其地质意义. 中国海上油气, 30 (3): 1—9.
- 薛永安, 王奇, 牛成民, 等, 2020. 渤海海域渤中凹陷渤中 19-6 深层潜山凝析气藏的充注成藏过程. 石油与天然 气地质, 41(5): 891—902.
- 杨禄, 张春明, 李美俊, 等, 2016. Mango 轻烃参数在塔里木 盆地大宛齐油田中的应用. 天然气地球科学, 27(8): 1524—1531.
- 张迎朝, 甘军, 徐新德, 等, 2019. 琼东南盆地深水东区 Y8-1 含气构造天然气来源及侧向运聚模式. 地球科 学, 44(8): 2609—2618.
- 朱扬明, 张春明, 1999. Mango 轻烃参数在塔里木原油分类 中的应用. 地球化学, 28(1): 26—33.

美丽中国 宜居地球

——中国地质大学(武汉)关于征集 70 个地球科学领域科学问题的通知

地球是人类赖以生存的家园. 地球科学在人类社会发 展进程中发挥了并将继续发挥至关重要的作用. 过去 20 年来, 科学技术的巨大进步和多学科的交叉融合极大地促进了地球科学的发展, 地球科学的发展已 进入以揭示地球岩石圈、水圈、生物圈和大气圈等不同圈层间相互作用为主要任务的地球系统科学阶段. 为 进一步总结地球科学研究的最新进展, 准确把握地球科学领域的前沿科学问题和未来发展趋势, 为谋求人 与自然和谐发展提供科学依据和理论支撑, 推进“美丽中国 宜居地球”建设, 中国地质大学(武汉)拟通过 全国性地质学会、地球科学高校联盟、地球科学领域的教学科研单位、网络平台等渠道, 面向地球科学领域 的国内外专家学者征集“70 个地球科学领域科学问题”. 现就有关事项说明如下:

一、征集时间

即日起至 2022 年 6 月 30 日截止.

二、征集领域

征集范围覆盖地球科学所有学科领域, 坚持“四个面向”, 包括但不限于“双碳”目标、深地深海深时深 空、宜居地球、关键矿产、地学大数据、地质灾害等关键领域, 致力于提出对地球科学未来发展具有引领作用 的前沿科学问题和工程技术难题, 尤其是对关系根本和全局的基础研究前沿、技术瓶颈问题.

三、征集要求

征集来稿需包含问题题目、所属学科、关键词、问题描述(如问题背景、核心思想、科学/工程价值、科学 进展、重要意义)四部分. 来稿作者请先提交题目和约 500 字的文字介绍, 经初评入选后, 再邀请作者撰写 详细版包括中英文摘要的 2 000 字以内的短文.

四、征集方式

面向全国性地学学会、地球科学高校联盟、地球科学领域的教学科研单位、网络平台和个人等渠道征集.

五、汇总评选

征集截止后, 按如下程序组织评审工作:

1. 初筛

以中国地质大学(武汉)学术委员会和期刊编委会为责任主体, 从内容质量、问题热度(学术关注度、媒 体关注度、学术传播度、用户关注度, 主要借助知网、Web of Science 等学术媒体平台检索分析工具)等方面 进行初步筛选.

2. 评审

组建专家评审委员会, 邀请能代表本领域、本学科学术水平的专家组成委员会, 专家不少于 15 人, 建立专家 评审委员会. 以线上线下研讨、专家评审委员会会议等形式, 对文稿的专业性、科学性进行审核, 确定入选问题.

六、入选问题发布

1. 通过评审遴选的 70 个地球科学领域科学问题拟在中国地质大学建校 70 周年期间, 作为校庆活动之一 适时发布(或线上线下同步发布). 届时, 邀请相关问题、难题撰写者以及评审专家等作为嘉宾出席发布仪式.

2. 入选问题同时以“美丽中国 宜居地球: 中国地质大学建校 70 周年科学问题”在《地球科学》 《Journal of Earth Science(英文版)》或《中国地质大学学报(社会科学版)》特刊上出版.

3. 对入选稿件不收取任何出版费或版面费; 并将支付适当的稿费.

七、征集问题的联系方式

联系人: 单老师 联系电话: 027—67885075 Email: 70ques@cug.edu.cn

地址邮编: 武汉市洪山区鲁磨路 388 号, 邮编 430074

中国地质大学(武汉)

2021 年 10 月 9 日