

新疆北部油气晚期成藏特征与分布规律

支东明^{1,2}, 曹剑³, 张景坤³, 郑孟林¹, 秦志军¹

(1. 中国石油新疆油田分公司, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油吐哈油田分公司, 新疆哈密 839000;

3. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏南京 210023)

摘要:油气晚期成藏是大油气区形成的重要特征。综合前人认识与最新地质、地球化学数据,以新生代青藏高原隆升远程应力为重要成藏影响因素,对新疆北部地区的油气晚期成藏特征与分布规律进行了研究,以丰富和发展这一石油地质学研究前沿。结果表明,青藏高原隆升对新疆北部地区的油气晚期成藏很有可能产生了远程效应,包括成烃演化、原生-次生油藏调整与构造破坏等方面。成烃演化以准噶尔盆地南缘为例,天山快速隆升、强烈剥蚀,伴随巨厚山前沉积,为下伏多套烃源岩的成烃演化提供了必要的快速成熟地温,烃源岩规模生烃。原生-次生油气藏调整以准噶尔盆地腹部为例,喜马拉雅构造自南向北抬升,浅层断裂发育,油气多源混合与次生调整频繁,形成自南向北数百千米的大型原生-次生叠置的复杂含油气系统。油气藏构造破坏以准噶尔盆地周缘为例,远程应力导致的强烈构造变形使得山前褶皱与断裂发育,广泛出露构造型油气苗,是油气成藏的“活化石”。据此思路,建议将新疆北部地区的准噶尔和吐哈等盆地纳入统一的超级盆地全油气系统,开展整体、系统研究,协同推进油气勘探认识。

关键词:青藏高原隆升;全油气系统;超级盆地;成藏效应;晚期成藏;新疆北部

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Characteristics and distribution pattern of late hydrocarbon accumulation in northern Xinjiang, China

Zhi Dongming^{1,2}, Cao Jian³, Zhang Jingkun³, Zheng Menglin¹, Qin Zhijun¹

(1. Xinjiang Oilfield Branch Company Ltd., PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China; 2. Tuha Oilfield Branch Company Ltd., CNPC, Hami, Xinjiang 839000, China; 3. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

Abstract: The late hydrocarbon accumulation serves as an important feature for the formation of large-scale oil and gas field. To improve the understanding of the research front in petroleum geology, we investigate the characteristics and general patterns of the late hydrocarbon accumulation in northern Xinjiang from the perspective of far-field response during the Cenozoic Qinghai-Tibet Plateau uplifting, while integrating current understanding and latest geological and geochemical data. The results indicate that the Qinghai-Tibet Plateau uplifting is likely to have a significant influence on the late hydrocarbon accumulation from far away in northern Xinjiang in terms of hydrocarbon generation evolution, primary-secondary reservoir adjustment, and oil reservoir destruction. As for the evolution of hydrocarbon generation, the southern margin of the Junggar Basin came into being with Tian Shan mountain range getting rapidly uplifted and strongly denuded, accompanied by thick piedmont deposits, which serves for necessary geothermal gradient for the hydrocarbon generation evolution of multiple underlying source rock sequences. A large amount of hydrocarbon got generated thereby. As for primary-secondary reservoir adjustment, the central Junggar Basin has undergone south-to-north structural uplifting during the Himalayan movement period; as a result, shallow faults are developed, multi-source oil and gas mixing and secondary adjustment occur frequently, and a large-scale complex petroleum system with primary and secondary reservoirs superimposed is formed stretching hundreds of kilometers from south to north. As for structural destruction of oil and gas reservoirs, the Junggar Basin margin has experienced strong structural deformation caused by far-field response of the Qinghai-Tibet Plateau uplifting, resulting in piedmont fold and fault development and widely exposure of structural oil and gas seeps, the “living fossils” for hydrocarbon accumulation. In all, it is suggested that the basins in

收稿日期:2021-08-17;修订日期:2022-03-08。

第一作者简介:支东明(1971—),男,教授级高级工程师,石油地质学。E-mail: zhidm@petrochina.com.cn。

northern Xinjiang including the Junggar and Turpan-Hami Basins, should be considered in a unified total petroleum system of super basin in the future, where a holistic view on the petroleum exploration is supposed to be promoted.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau uplifting, total petroleum system, super basin, hydrocarbon accumulation effect, late hydrocarbon accumulation, northern Xinjiang

引用格式: 支东明, 曹剑, 张景坤, 等. 新疆北部油气晚期成藏特征与分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(3): 542-552. DOI: 10. 11743/ogg20220305.

Zhi Dongming, Cao Jian, Zhang Jingkun, et al. Characteristics and distribution pattern of late hydrocarbon accumulation in northern Xinjiang, China[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(3): 542-552. DOI: 10. 11743/ogg20220305.

沉积盆地油气晚期成藏是指油气聚集成藏的定型时间较晚,通常是新生代,所以成藏效率高,是很多大中型油气区形成的重要特征,因而具有重要的石油地质学研究意义,得到了广泛而深入的研究,一直是石油地质学研究的一个前沿方向^[1-2]。晚期成藏至少包含生烃演化与调整成藏两方面的内涵,据此可划分为“晚生晚成型”、“早生晚成型”和“重建型”^[3]。贾承造等(2006)^[2]指出晚期构造活动以喜马拉雅运动期最为重要,尤其是新近纪—第四纪,对油气晚期成藏具有重要的控制作用。在中国西部地区,由于青藏高原隆升的应力效应具有非均质性,导致其对周缘含油气盆地的晚期成藏影响呈现出较强的差异性,但这种差异的认识还不够系统深入,特别是远程效应^[4-5]。理论上而言,受青藏高原隆升自南向北远程应力影响最远的大型油气富集区应在新疆北部地区,因此亟需开展相关研究,该研究对丰富发展晚期油气成藏理论具有重要意义。

事实上,受新生代特提斯洋关闭的影响,欧亚板块与印度板块碰撞,在复杂应力作用下形成了环青藏高原盆—山体系,而新疆北部准噶尔盆地和吐哈盆地是该体系的重要组成部分^[6]。此外,前人的研究已揭示青藏高原隆升的远程应力范围最远已达新疆北部阿尔泰山脉,并对准噶尔盆地南缘天山的快速隆升提供了构造动力^[4]。考虑到构造演化对油气成藏的控制作用,作为新生代最为显著的构造事件,青藏高原隆升伴随的远程应力从理论而言对新疆北部地区的油气晚期成藏会具有重要影响,并已有部分记录,如构造破坏型油气苗广泛出露于新生代地层^[7-9],这为研究油气晚期成藏理论提供了良好实例,但至今缺乏专门系统的研究。

有鉴于此,本文以新疆北部地区,特别是勘探和研究程度较高的准噶尔盆地为例,在前人的研究基础上,结合最新的地质和地球化学资料,重点分析青藏高原隆升远程应力的油气晚期成藏效应,为下步勘探部署提供依据。

1 新疆北部地区含油气盆地形成背景

新疆盆—山体系呈现出“三山夹两盆”,即阿尔泰山、天山与昆仑山夹持塔里木和准噶尔两个大型含油气盆地。新疆北部地区主要指天山及以北地区,主要的沉积盆地包括伊犁盆地、吐哈盆地、三塘湖盆地、准噶尔盆地、和什托洛盖盆地、塔城盆地和库普盆地等,油气资源最为丰富的是准噶尔盆地和吐哈盆地^[10-16](图1)。

准噶尔盆地介于克拉美丽山、天山和扎伊尔山之间,呈三角状分布,面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地位于哈萨克斯坦、西伯利亚和塔里木板块交汇处,是发育于准噶尔地体之上的晚古生代—中、新生代多旋回叠合盆地^[10]。准噶尔盆地的演化大致可分为4个阶段:①前陆洋盆阶段(晚石炭纪—早二叠世);②前陆陆盆阶段(中—晚二叠世);③陆内拗陷阶段(三叠纪—白垩纪);④再生前陆盆地阶段(古近纪—第四纪)^[17-18]。发育石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系6套烃源岩,其中石炭系和侏罗系是重要的气源岩,而二叠系是主力油源岩。此外,发育石炭系—新近系储层,纵向上多旋回油气系统叠合共生,油气系统复杂^[19]。

吐哈盆地属于天山山间盆地,是在海西期褶皱基底上发育起来的以晚古生代—中、新生代沉积为主的叠合盆地,总面积约为 $5.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地构造演化主要经历3个阶段:①晚二叠世—三叠纪挤压型前陆盆地阶段;②侏罗纪伸展型断超盆地阶段;③白垩纪—第四纪挤压型再生前陆盆地阶段^[20-21]。吐哈盆地发育二叠系和侏罗系2套烃源岩,二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系5套储层,分别形成以二叠系烃源岩为油气源的下含油气系统和以侏罗系烃源岩为油气源的上含油气系统^[13]。

从新疆北部地区油气系统分布上看,喜马拉雅期前已经过多期油气成藏叠加,如准噶尔盆地南缘下(P/J_源+J_储)、中(K_源+K/E_储)油气组合和吐哈盆地下含油气

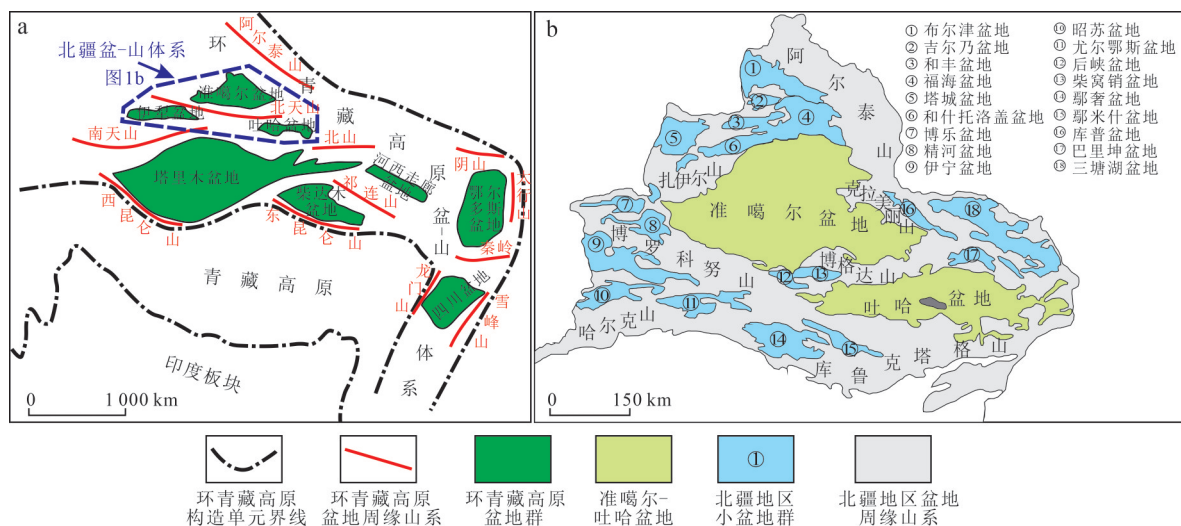


图1 新疆北部地质格架图

Fig. 1 Map showing the geological framework of northern Xinjiang

a. 环青藏高原-山体系分布; b. 新疆北部盆-山体系与主要沉积盆-山分布

系统($P_{源}+P/J_{储}$)^[13,22]。喜马拉雅期,天山南北再生前陆盆地演化阶段沉积了新的烃源岩,而快速隆升的天山伴随的强风化剥蚀与构造活动,在新疆北部地区油气系统的成烃演化、构造调整与油气藏破坏方面可能发挥重要作用。

2 油气晚期成藏成烃演化效应

油气晚期成藏首先体现在烃源岩的晚期演化,这是“晚生晚成型”成藏的典型特征^[3]。新疆北部地区喜马拉雅期,在印度板块与欧亚大陆碰撞远程效应的作用下,北天山再度复活并发生强烈的构造变形^[23],急剧隆升并向盆地方向冲断推覆,准噶尔地体向下俯冲,山前拗陷急剧下沉,准噶尔盆地南缘再次快速沉降形成前陆盆地。古近纪盆地发生一次快速沉积(95 m/Ma),中心位于安集海—沙湾一带,厚度达1.5 km以上^[24],其中包括两套潜在的烃源岩,即紫泥泉子组($E_{1-2}z$)和安集海河组($E_{2-3}a$)。天山快速隆升约始于11 Ma,上新世天山隆起和地壳缩短加速,天山两侧山前拗陷中堆积了厚达3 000~6 000 m的上新世—第四纪砾岩层,为下伏烃源岩层系生烃演化提供了必要的成熟地温^[25]。

2.1 古近纪烃源岩形成

古近纪烃源岩的形成成为新疆北部地区晚期油气成藏提供新的物质基础。基于岩石基础与热解相关数据可知,沉积于准噶尔盆地南缘山前的古近系安集海河组($E_{2-3}a$)的总有机碳(TOC)含量、氯仿沥青“A”含量、

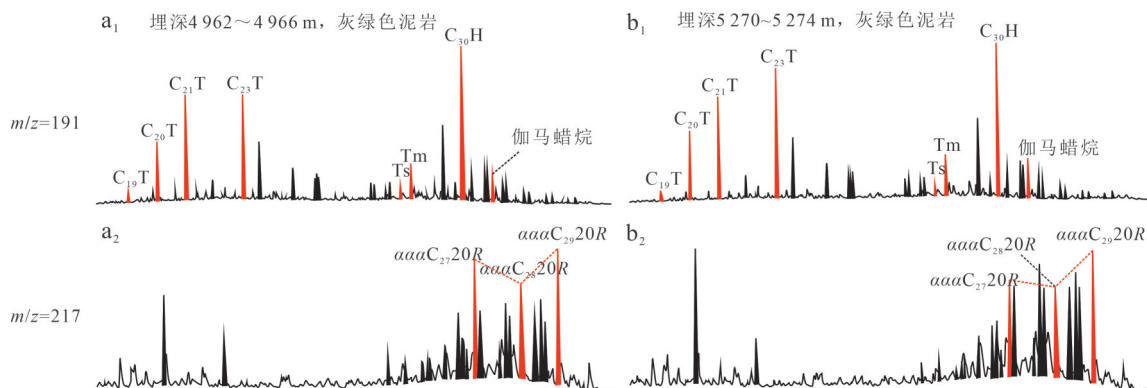
总烃(HC)和生烃潜量(PG)平均值分别为0.85%,0.13%, 667.23×10^{-6} 和3.17 mg/g,有机质为腐泥型,以I-II₁型干酪根为主,其中尤以II型最为丰富,整体为一套中等-好烃源岩^[26]。

安集海河组烃源岩中发现可指示中-晚始新世海水影响的沟鞭藻化石^[27-28],与含硫菌烷、异海绵烷等芳香基类胡萝卜素分子地球化学一起揭示其形成于较强的分层水体环境^[29]。典型的生物标志化合物及参数,如Pr/Ph值小于1.0,检出丰富的 β -胡萝卜素($\beta/nC_{max}=0.03 \sim 1.01$,平均为0.29,为 β -胡萝卜素指数)和伽马蜡烷(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷=0.18~0.36,平均为0.29),这也表明该烃源岩沉积于偏还原、盐度较高和水分层较明显的湖相环境^[30](图2)。

综上所述,形成于古近纪的安集海河组是一套沉积于咸化湖相水体的优质烃源岩。

2.2 有机质热演化

新近纪,在青藏高原远程应力作用下,天山隆升加快,剥蚀强度增加,沿山前沉积了数千米的新近系—第四系沉积物,这为下伏二叠系—古近系烃源岩有机质热演化提供了必要的生烃地温,可能对晚期成烃演化具有促进作用^[31]。以侏罗系烃源岩为例,至中侏罗世地温梯度为32.9 °C/km,烃源岩干酪根开始裂解生油,白垩纪地温梯度为32.6 °C/km,达到生油高峰,古近纪地温梯度为27.3 °C/km,在四棵树凹陷八道湾组烃源岩埋深约6 000 m,镜质体反射率(R_o)达到1.3%,此时达到最大生烃高峰温度。而后,地温梯度逐渐降低,至新近纪为23.5 °C/km,新近纪中-晚期

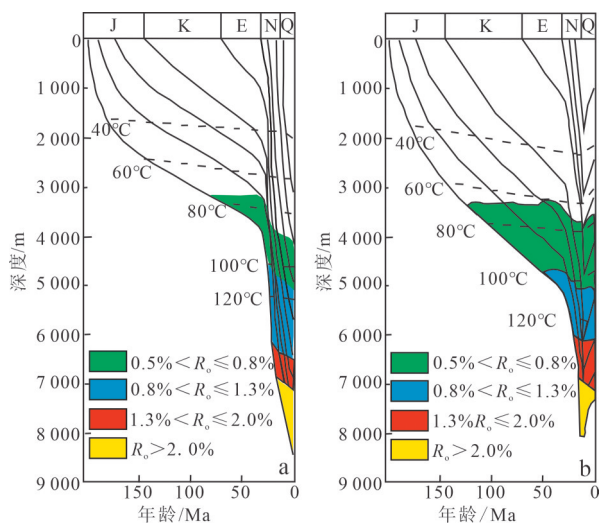
图2 准噶尔盆地南缘高泉1井安集海河组(E_{2-3a})烃源岩生物标志化合物色谱-质谱Fig. 2 Biomarker chromatograms of the Paleogene Anjihaihe Formation (E_{2-3a}) source rocks in

Well Anquan 1 in the southern margin of Junggar Basin

T. 三环萜烷; H. 藿烷; C₂₇·C₂₇甾烷; C₂₈·C₂₈甾烷; C₂₉·C₂₉甾烷

(10 Ma)烃源岩 R_o 值超过1.3%,开始大量生气,与北天山快速隆升与剧烈风化剥蚀时间一致。第四纪地温梯度变为20.1 °C/km,目前侏罗系烃源岩仍处于大量生气阶段^[32-33](图3)。

可见,受喜马拉雅期青藏高原隆升远程应变构造的控制,天山南北侧晚期油气成藏特征显著。从成烃演化上看,主要体现在两个方面:①相态的转变,包括二叠系和侏罗系烃源岩进入高演化阶段,从生油逐渐向生气转变,这对天山南北侧天然气藏的形成至关重要;②有机质演化程度增高,白垩系烃源岩从成熟到高熟,古近系烃源岩从低熟到成熟,为新疆北部地区中、上组合提供了新的油源,进一步提高了油气资源潜力。

图3 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷地区侏罗系生烃演化模拟曲线^[33]Fig. 3 Curves simulating the correlation between stratigraphic burial depth and hydrocarbon generation history of the Jurassic source rocks in the Sikeshu Sag, southern margin of Junggar Basin^[33]

a. 洼陷区; b. 艾卡构造带

3 油气晚期成藏原生与次生成藏效应

除成烃演化外,油气晚期成藏还体现在晚期构造活动使得早期形成的油气藏发生调整,形成“重建型”油藏^[3]。这一现象在准噶尔盆地腹部二叠系油气系统最为典型。现有研究揭示盆地腹部以盆1井西凹陷二叠系为主力油源岩^[34-35],且在喜马拉雅期前已进入成熟-高熟演化阶段,并在侏罗纪和白垩纪进行过两次规模化成藏^[36-38]。喜马拉雅期,在青藏高原远程应力作用下,腹部地区平衡沉降状态被打破,发生构造抬升,地层向北呈低角度掀斜,使油气发生侧向调整运移(图4a)。此外,喜马拉雅期浅层断裂发育,向下与海西期—印支期(C—T)和燕山期(J—K)中-深层断裂连接,纵向贯通,促进前喜马拉雅期原生油藏破坏、调整与运移成藏,形成独具特色的原生-次生油气成藏体系(图4b)。

以腹部地区过夏盐9井—石南10井—陆9井油藏剖面为例,分析受喜马拉雅期青藏高原隆升远程作用影响下的原生油藏破坏与次生油藏形成过程。油源分析以试油层位较多的陆9井为例,典型生标定量参数揭示了陆9井油源具有相似性。甾烷异构化指数C₂₉甾烷20S/(20S+20R)和C₂₉甾烷 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 均大于0.50,且三环萜烷/五环三萜烷比值小于1,表明该油藏剖面以成熟油为主。此外,油藏剖面J₁s/J₂x/J₂t/K₁tg原油的TIC谱图普遍检出明显的“UCM鼓包”(图5a—c),以侏罗系和白垩系不整合面为界,不整合下伏层位J₁s/J₂x原油未检出25-降藿烷(图5d),而不整合面附近的J₂t及上覆K₁tg原油检出丰富的25-降藿烷(图5e,f),表明后者发生了严重的生物降解,但其正构烷烃分布又相对完整(图5a—c),m/z=191色谱-质谱图检出完

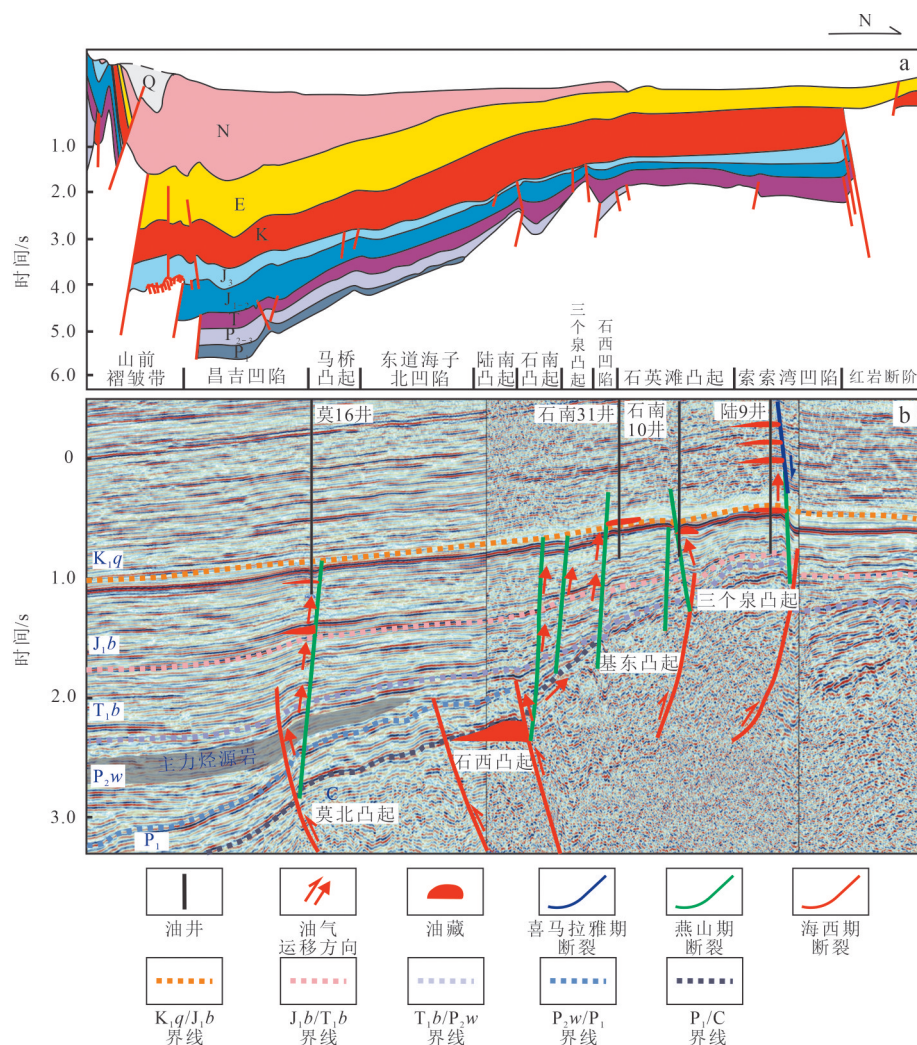


图4 准噶尔盆地南北向构造格架

Fig. 4 Structural framework trending N-S in the Junggar Basin

a. 主干剖面图; b. 油藏剖面

整的萘烷分布(图5g—i),表明至少存在两期油气充注,且具有“先降解、后充注”的特征,次生调整特征显著。可见,该油藏剖面原油成藏特征表现为“先降解、后充注”,其中喜马拉雅期前“原生油藏”发生降解后又充注了喜马拉雅期构造调整运移而来的未降解原油。

4 油气晚期成藏破坏效应

晚期油气成藏的另外一个特征就是油藏破坏。受喜马拉雅期强烈的构造改造作用,北天山山前构造带广泛出露构造破坏型油气苗,其中以西段四棵树凹陷地区泥火山最为显著,是难得的晚期油气成藏破坏效应的“活化石”^[7,39-40]。

新近纪(~10 Ma)至今,北天山快速隆升,随之而来的是频繁构造活动,使得准噶尔盆地南缘,尤其是西段出露大量的泥火山群,其中以独山子泥火山、阿尔钦

沟泥火山和乌苏泥火山群最为典型^[41-44](图6)。

对泥火山口内侧泥土进行有机质分析发现,氯仿沥青“A”含量介于0.02%~0.76%,反映各泥火山喷出物中均含原油组分。族组分分析发现,饱和烃含量在60%左右,指示油质轻,流动性强。氯仿沥青“A”碳同位素在-28‰左右,天然气甲烷碳同位素值在-43‰左右,乙烷碳同位素值在-26‰左右,表现为侏罗系煤系天然气特征^[7,45]。有机抽提物色谱-质谱分析发现,均不同程度发生过降解,显著特征就是在TIC图上出现明显的“UCM鼓包”,但 $m/z=177$ 色谱-质谱图上均未检出25-降藿烷,综合评估降解强度在4~7级^[46](图7)。同时,TIC谱图上仍检出较为丰富的烷烃,表明在先期降解的基础上存在后期油气充注,这也为喜马拉雅期油藏破坏与油源分子地球化学示踪提供了条件。

此外,独山子和乌苏泥火山样品检出 β -胡萝卜素,且伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷)值较高,大于

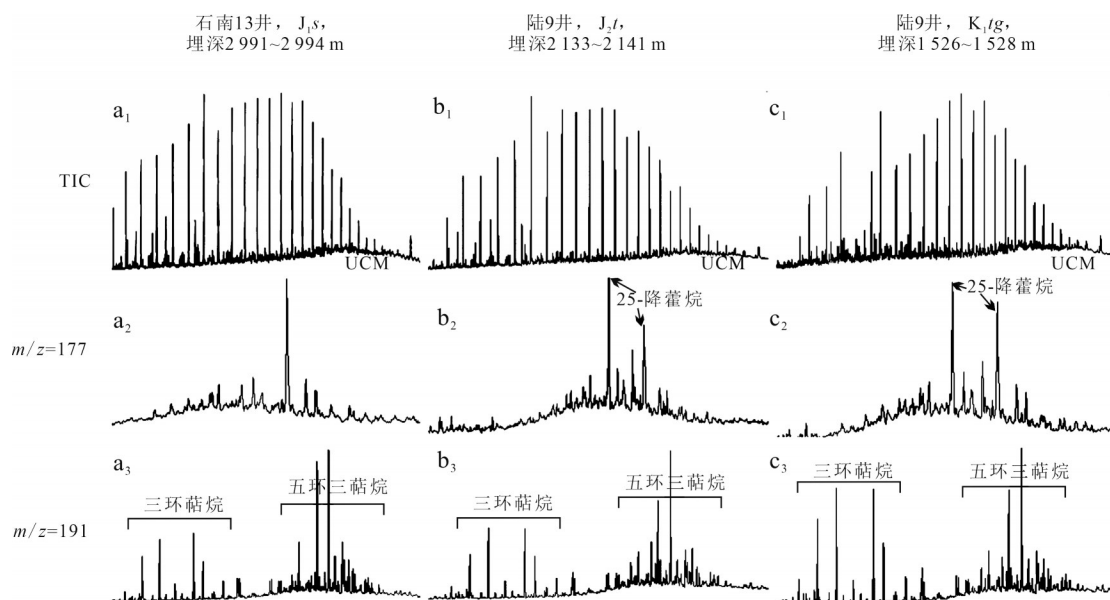


图5 准噶尔盆地腹部地区夏盐9—石南10—陆9油藏剖面典型原油生物标志化合物色谱-质谱

Fig. 5 Typical biomarker chromatograms of oil samples from Wells Xiayan 9-Shinan 10-Lu9 in the central Junggar Basin



图6 准噶尔盆地南缘西段泥火山野外照片

Fig. 6 Field photos showing the mud volcanos in the southern margin of Junggar Basin

a. DSZ-1 泥火山; b. DSZ-2 泥火山; c. AEQG-1 泥火山; d. AEQG-2 泥火山; e. AEQG-3 泥火山;
f. WS-1 泥火山; g. WS-2 泥火山; h. WS-3 泥火山; i. WS-4 泥火山

0.30; 相比而言, 阿尔钦沟泥火山样品未检出 β -胡萝卜烷且伽马蜡烷指数低于0.07。由此表明, 独山子和乌苏泥火山有机质母质沉积于偏还原、盐度较高的湖

相环境且水生藻类丰度较高, 而阿尔钦沟泥火山生烃母质沉积于偏氧化、低盐度或淡水相环境, 以高等植物为主^[30]。因此, 阿尔钦沟泥火山烃类可能来源于侏罗

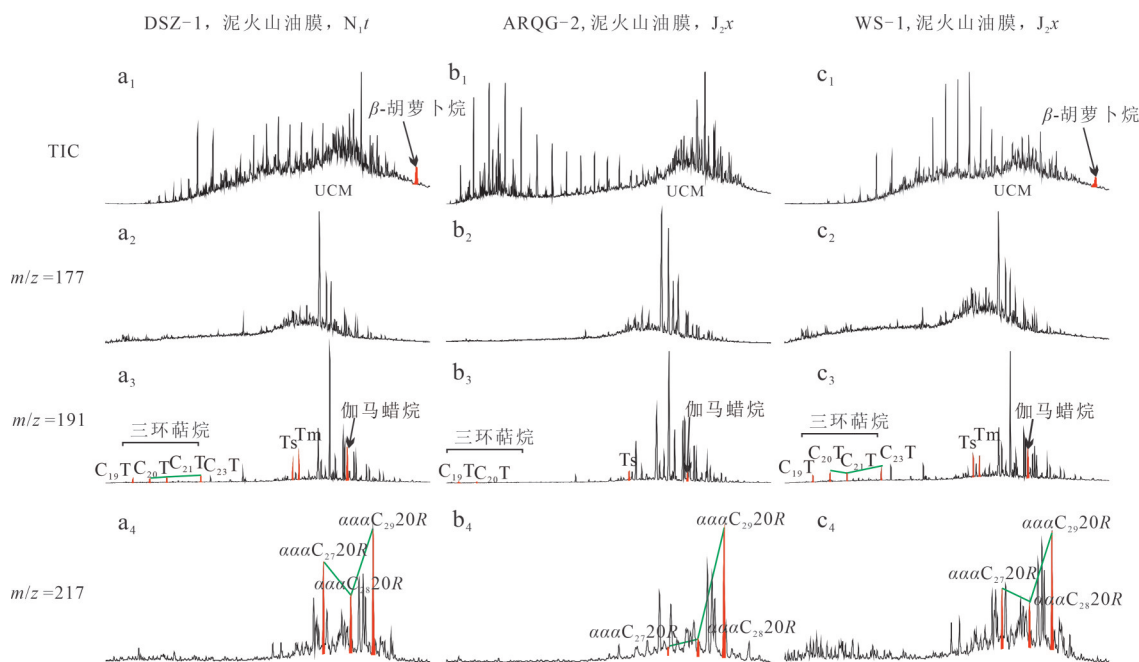


图7 准噶尔盆地南缘西段泥火山含油样品生物标志化合物色谱-质谱

Fig. 7 Biomarker chromatograms of oil-bearing mud volcanoes in the western segment, southern margin of Junggar Basin

T. 三环萜烷; C₂₇, C₂₇甾烷; C₂₈, C₂₈甾烷; C₂₉, C₂₉甾烷

系烃源岩,而独山子和乌苏泥火山烃类可能主要来源于古近系烃源,部分混入侏罗系烃源岩来源烃类影响^[32]。此外,从有机质甾烷异构化指数和分析表明,泥火山样品 C₂₉甾烷 20S/(20S+20R)均大于 0.42, C₂₉甾烷 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 均大于 0.43,反映出泥火山漂浮原油主体属于成熟油。

从分布上看,泥火山出露于背斜构造核部与断裂交汇处,深部断裂与浅层张性裂缝体系为油气的纵向运移提供了必要的通道,具体成藏模式如图 8。从油源上看,准噶尔盆地周缘泥火山中烃类主要来源于侏罗系(J)和古近系(E)烃源岩,而二叠系和侏罗系烃源岩均在喜马拉雅期前已进入“生油窗”,并形成原生-次生油气成藏体系。喜马拉雅期,受青藏高原隆升远程应力的影响,山前褶皱构造与断裂发育,在断裂与背斜核部张性应力结合部,中-深层断裂活化与浅层裂缝系统连通为地下油气藏破坏与调整提供运移通道。受新生代喜马拉雅造山远程应力的影响,北天山持续挤压隆升,为泥火山的形成提供了诱导外力条件。

5 油气分布规律与勘探远景

综上所述,青藏高原隆升远程应力对新疆北部地区晚期油气成藏可能具有重要的控制作用,其影响可能比预想的要大,暗示研究区的全油气系统需要重新认识,据此对新疆北部地区的油气分布规律和勘探远

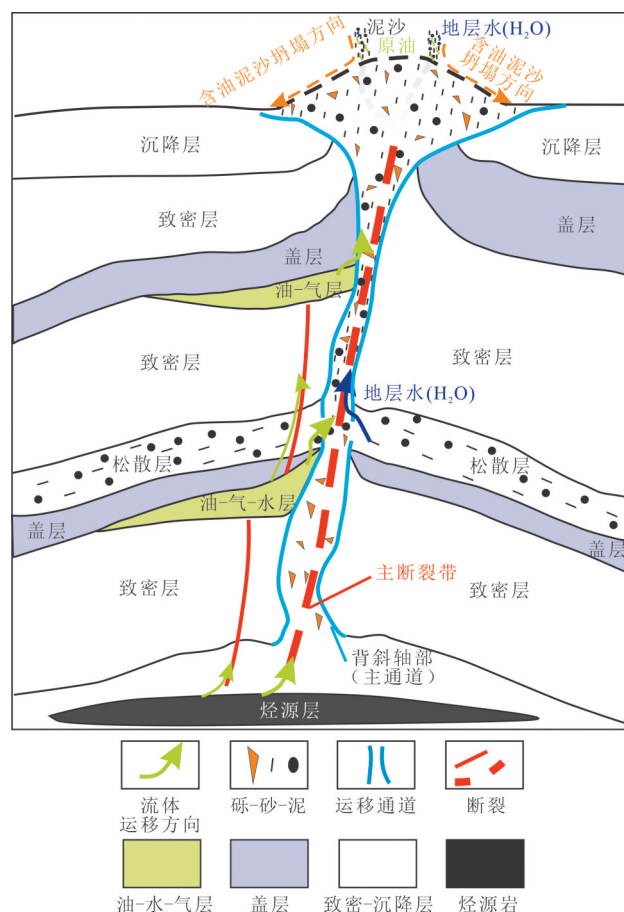


图8 准噶尔盆地南缘泥火山形成模式

Fig. 8 Schematic diagram showing the formation of mud volcanoes in the southern margin of Junggar Basin

景提出3点值得重视和关注的领域。

首先,青藏高原隆升的远程应力可能是新疆北部地区晚期油气成藏的重要构造因素,且自南向北强度逐渐减弱,非均质性强,呈现出差异晚期成藏影响效应。盆地南缘遭受“脱胎换骨”式的变化,影响最大、范

围最广,陆内再生前陆盆地发育,沉积古近系烃源岩,为南缘上组合油气系统($E_{\text{源}}+E/N_{\text{储}}$)提供物质基础。此外,天山快速隆升、剥蚀沉积,巨厚沉积使得下伏二叠系、侏罗系和白垩系烃源岩快速演化(图9),油气相态由成熟到高熟、由原油到天然气发生转变,提升了南缘

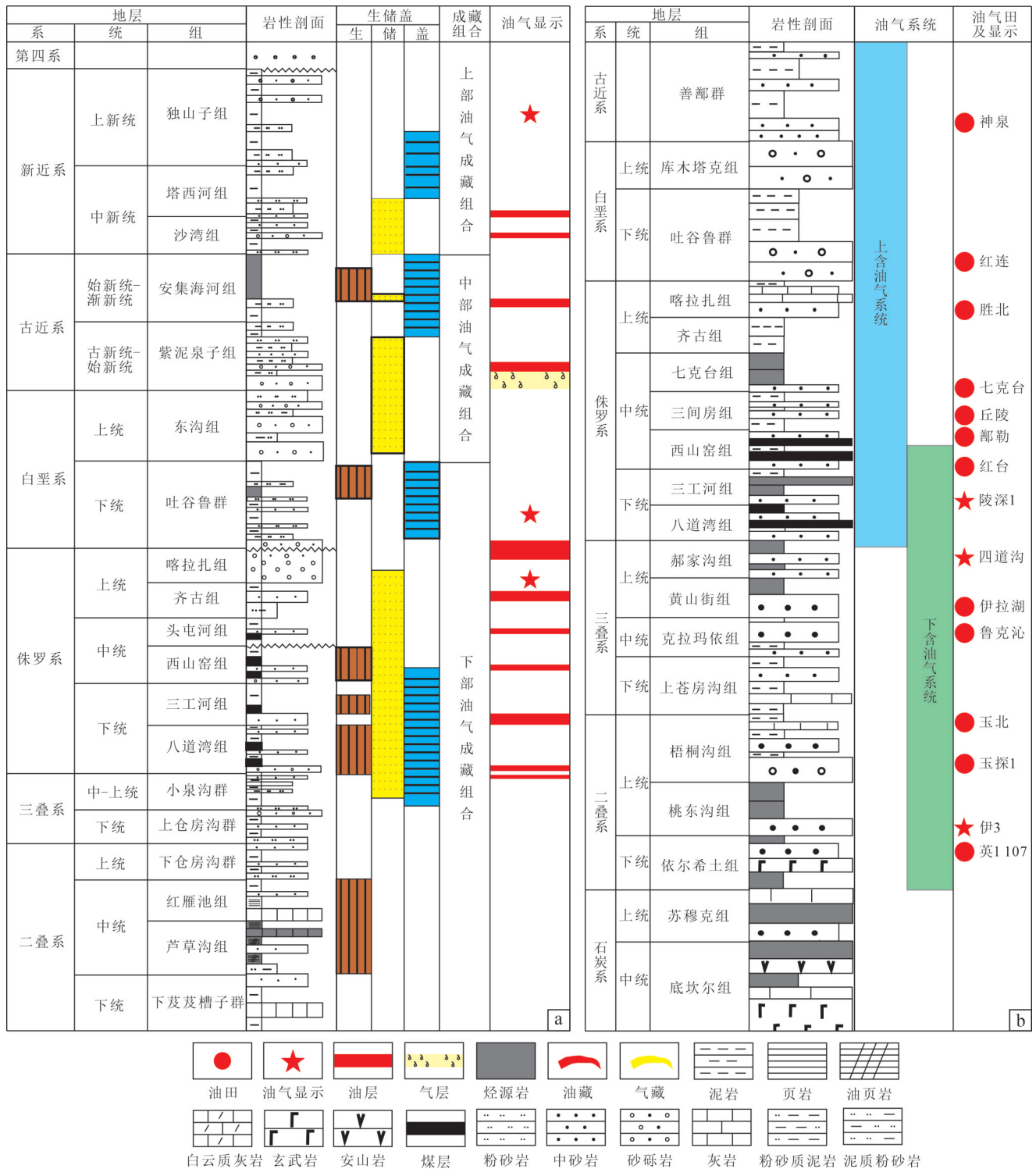


图9 天山南北准噶尔盆地和吐哈盆地油气成藏组合图

Fig. 9 Comparison of plays in the Junggar Basin and Tuha Basin located in the northern and southern sides of the Tian Shan mountain

a. 准噶尔盆地南缘; b. 吐哈盆地北缘

中($K_{源}+K/E_{储}$)、下组合($P/J_{源}+J_{储}$)以及吐哈盆地北缘上($J_{源}+J/K_{储}$)、下含油气系统($P_{源}+J_{储}$)的油气资源潜力^[47]。但同时,喜马拉雅期强烈的构造作用也破坏了油气圈闭,致使油藏破坏、油气逸散(图7,图8)。至准噶尔盆地腹部,远程应力效应明显减弱,构造向北抬升,前喜马拉雅期原生油气藏纵向或横向远距离调整,形成原生-次生叠置的复杂含油气系统,其影响属于“伤筋动骨”式(图4)。

其次,远程应力控制下的晚期成藏使得新疆北部地区“两线五带”油气分布整体格局得以定型。“两线”指东西线与南北线,凹凸交替,喜马拉雅期改变凹凸格局,油气沿凹分布、沿凸聚集成藏。“五带”指沿“两线”主要有五个油气聚集带,分别是冲断带、超剥带、基岩带、深洼带和残凹带。盆-山体系边缘包括山前的冲断带、超剥带、基岩带,典型分布于准噶尔盆地西北缘、南缘与吐哈盆地北缘,以构造油气藏为主,油气沿断裂带聚集成藏,沿断裂与背斜结合部或超剥带调整、破坏与逸散。凹陷区以岩性油气藏为主,富集于深洼带、残凹带,油气于喜马拉雅期局部调整,原生-次生油气系统发育,主要分布于准噶尔盆地西北缘和腹部地区^[48-49]。

最后,新疆北部地区超级盆地全油气系统将是下步研究方向。根据新疆北部地区油气成藏特征,以石炭系、二叠系和侏罗系含油气系统为切入点,打破勘探的区域界限,新疆北部勘探一步棋,贯通新疆北部地区准噶尔、吐哈和三塘湖等含油气盆地,以超级盆地的理念进行油气地质研究与勘探。纵向上,打破既有油气系统划分,以喜马拉雅期青藏高原隆升远程效应为着力点,打通原生、次生油藏联系,刻画原生-次生油藏调整过程,示踪油藏调整时间、方向与路径,实现跨时代、多旋回叠合复杂成藏背景下的整体勘探。研究和勘探都突出全油气系统的理念,以油气赋存相态为纽带,打通常规与非常规油气成藏联系,打破常规油气与非常规油气勘探的界限,实现常规-非常规全油气系统成藏模式与富集规律研究,不断取得勘探突破^[50]。以此为指导,具体到下步勘探,可以查清新疆北部地区石炭系油气系统资源潜力,建立二叠系常规与非常规全油气系统,厘清侏罗系原生-次生油气成藏体系,综合对比天山南北成藏共性与差异,率先在勘探程度相对不高但潜力较大的天山两侧山前区带实施勘探,总结新疆北部地区超级盆地全油气系统的形成背景、特征、模式与规律,进而上升到前沿科学理论体系,以总结具有中国特色的石油地质理论。

6 结论与建议

新疆北部地区晚期油气成藏很可能受青藏高原隆升远程应力控制,以准噶尔盆地最为典型,表现出沿应力衰减方向呈现非均质性:①喜马拉雅期再生前陆盆地发育加速烃源岩成烃演化,进一步提升了新疆北部地区油气资源潜力;②远程应力致使构造向北抬升,地层倾斜、浅层断裂发育,向下贯通深层构造与油气系统,加速深层油气向浅层调整,油藏调整,多源混合,形成复杂的原生-次生油气系统;③强烈的远程应力应变进一步破坏中、浅层油气系统,导致山前构造带“断+背”结合部油气苗广泛出露。

按此思路,新疆北部地区下步油气勘探建议整体考虑,以超级盆地和全油气系统理念为指导,综合对比天山南北成藏共性与差异,系统研究新疆北部地区复杂含油气系统的形成背景、特征、模式与规律,总结具有中国特色的石油地质理论,力争取得新一轮的油气勘探突破。

参 考 文 献

- [1] 刘池洋,赵红格,杨兴科,等. 油气晚期-超晚期成藏——中国含油气盆地的重要特点[C]//北京:21世纪中国油气勘探国际研讨会,2003,57-60.
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Yang Xingke, et al. Late-ultralate hydrocarbon accumulation—an important feature of China's petroliferous basins[C]// Beijing: International Symposium on China's oil and gas exploration in the 21st century, 2003, 57-60.
- [2] 贾承造,何登发,石昕,等. 中国油气晚期成藏特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2006, 36(5): 412-420.
Jia Chengzao, He Dengfa, Shi Xin, et al. Characteristics of late hydrocarbon accumulation in China[J]. Chinese Science: Earth Science, 2006, 36(5): 412-420.
- [3] 戴少武. 中国南方油气晚期成藏勘探实践及讨论[J]. 天然气工业, 2004, 24(1): 7-9.
Dai Shaowu. Practice and discussion on exploring for late-formed oil-gas reservoirs in southern China[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(1): 7-9.
- [4] 贾承造,李本亮,雷永良,等. 环青藏高原-山体系构造与中国中西部天然气大气区[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(10): 1621-1631.
Jia Chengzao, Li Benliang, Lei Yongliang, et al. The structure of the Circum-Tibetan Plateau Basin-Range System and the large gas provinces[J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 43(10): 1621-1631.
- [5] 朱明,汪新,肖立新. 准噶尔盆地南缘构造特征与演化[J]. 新疆石油地质, 2020, 41(1): 9-17.
Zhu Ming, Wang Xin, Xiao Lixin. Structural characteristics and evolution in the southern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2020, 41(1): 9-17.
- [6] 贾承造. 环青藏高原巨型盆-山体系构造与塔里木盆地油气分布规律[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 1-9.
Jia Chengzao. The structures of Basin and Range System around

- the Tibetan Plateau and distribution of oil and gas in the Tarim Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(1): 1-9.
- [7] Zhang Jingkun, Cao Jian, Wang Yan, et al. Geochemistry and genesis of oil and gas seeps in the Junggar Basin, NW China: Implications for hybrid petroleum systems[J]. *Geofluids*, 2019, 2019(4): 1-26.
- [8] 张凤奇, 刘伟, 鲁雪松, 等. 喜马拉雅晚期构造应力场及其与油气分布的关系——以准噶尔盆地南缘为例[J]. *断块油气田*, 2021, 28(4): 433-439.
- Zhang Fengqi, Liu Wei, Lu Xuesong, et al. Late Himalayan tectonic stress field and its relationship with hydrocarbon distribution: A case study of southern margin of Junggar Basin [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2021, 28(4): 433-439.
- [9] 王启予, 黄涛, 田继军, 等. 准噶尔盆地油砂地质条件及成藏模式[J]. *特种油气藏*, 2020, 27(3): 60-65.
- Wang Qiyu, Huang Tao, Tian Jijun, et al. Oil sand geology and hydrocarbon accumulation models in Junggar Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2020, 27(3): 60-65.
- [10] Cao Jian, Zhang Yijie, Hu Wenxuan, et al. The Permian hybrid petroleum system in the northwest margin of the Junggar Basin, northwest China [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2005, 22(3): 331-349.
- [11] 陈波, 张顺存, 孙国强, 等. 准噶尔盆地车拐斜坡区储层碳酸盐胶结物碳同位素特征及其成因[J]. *油气藏评价与开发*, 2020, 10(4): 101-106.
- Chen Bo, Zhang Shuncun, Sun Guoqiang, et al. Characteristics and formation mechanism of carbonate cementation in Che-Guai slope area, Junggar Basin [J]. *Reservoir Evaluation and Development*, 2020, 10(4): 101-106.
- [12] 张林, 杜小弟. 新疆伊犁盆地二叠系主力烃源岩与勘探方向新认识[J]. *中国矿业*, 2017, 26(S2): 202-206.
- Zhang Lin, Du Xiaodi. A new understanding of Permian hydrocarbon source rocks and exploration direction for Yili Basin in Xinjiang [J]. *China Mining Magazine*, 2017, 26(S2): 202-206.
- [13] 苟红光, 张品, 余家朝, 等. 吐哈盆地石油地质条件、资源潜力及勘探方向[J]. *海相油气地质*, 2019, 24(2): 85-96.
- Gou Hongguang, Zhang Pin, She Jiachao, et al. Petroleum geological conditions, resource potential and exploration direction in Turpan-Hami Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2019, 24(2): 85-96.
- [14] 孙相灿, 文磊, 张林, 等. 和什托洛盖盆地烃源岩特征及勘探潜力分析[J]. *中国地质调查*, 2019, 6(4): 73-78.
- Sun Xiangcan, Wen Lei, Zhang Lin, et al. Source rocks characteristics and exploration potential analysis in Heshituoluogai Basin [J]. *Geological Survey of China*, 2019, 6(4): 73-78.
- [15] 范谭广, 徐雄飞, 范亮, 等. 三塘湖盆地二叠系芦草沟组页岩油地质特征与勘探前景[J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(4): 125-136.
- Fan Tangguang, Xu Xiongfei, Fan Liang, et al. Geological characteristics and exploration prospect of shale oil in Permian Lucaogou Formation, Sangtanghu Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(4): 125-136.
- [16] 冯德浩, 刘成林, 姜文利, 等. 准噶尔外围低勘探程度盆地油气资源评价与勘探方向[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(6): 26-38.
- Feng Dehao, Liu Chenglin, Jiang Wenli, et al. Oil and gas resource assessment and exploration targets of low exploration degree basins in the periphery of the Junggar Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(6): 26-38.
- [17] Cao Jian, Yao Suping, Jin Zhijun, et al. Petroleum migration and mixing in the northwestern Junggar Basin (NW China): Constraints from oil-bearing fluid inclusion analyses [J]. *Organic Geochemistry*, 2006, 37(7): 827-846.
- [18] Jin Zhijun, Cao Jian, Hu Wenxuan, et al. Episodic petroleum fluid migration in fault zones of the northwestern Junggar Basin (northwest China): Evidence from hydrocarbon-bearing zoned calcite cement [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 2008, 92(9): 1225-1243.
- [19] 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, northwestern China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(1): 37-67.
- [20] 李文厚, 周立发, 柳益群, 等. 吐哈盆地沉积格局与沉积环境的演变[J]. *新疆石油地质*, 1997, 18(2): 135-141.
- Li Wenhui, Zhou Lifa, Liu Yiqun, et al. Evolution of sedimentary framework and environment of Turpan-Hami Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1997, 18(2): 135-141.
- [21] 郭宏, 顾少顺, 范丽俊. 吐哈盆地构造演化特征分析[J]. *科技创新与应用*, 2016, (13): 167.
- Guo Hong, Gu Sahoshun, Fan Lijun. Analysis of structural evolution characteristics of Turpan-Hami Basin [J]. *Scientific Technological Innovation and Application*, 2016, (13): 167.
- [22] 陈建平, 王绪龙, 邓春萍, 等. 准噶尔盆地南缘油气生成与分布规律—原油地球化学特征与分类[J]. *石油学报*, 2015, 36: 1315-1331.
- Chen Jianping, Wang Xulong, Deng Chunping, et al. Geochemical features and classification of crude oil in the southern margin of Junggar Basin, northwestern China [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2015, 36: 1315-1331.
- [23] Burchfiel BC, Brown ET, Deng Qidong, et al. Crustal shortening on the margins of the Tianshan, Xinjiang, China [J]. *International Geology Review*, 1999, 41(8): 665-700.
- [24] 吕嵘. 准噶尔盆地南缘陆内前陆盆地构造演化与油气关系[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2005.
- Ly Rong. The relationship between tectonic evolution of intracontinental foreland basin and oil-gas in southern margin of Junggar Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2005.
- [25] 郭召杰, 张志诚, 吴朝东, 等. 中、新生代天山隆升过程及其与准噶尔、阿尔泰山比较研究[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 1-15.
- Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, Wu Chaodong, et al. The Mesozoic and Cenozoic exhumation history of Tianshan and comparative studies to Junggar and Altai Mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 1-15.
- [26] 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, 1-565.
- Wang Xulong, Zhi Dongming, Wang Yutao, et al. Hydrocarbon source rocks and hydrocarbon geochemistry in Junggar Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013, 1-565.
- [27] 齐雪峰, 吴晓智. 准噶尔盆地南缘安集海组沉积环境及油气地质意义[J]. *新疆石油地质*, 2009, 30(3): 289-292.
- Qi Xuefeng, Wu Xiaozhi. Depositional environment of Paleogene Anjihaihe Formation in southern margin of Junggar Basin and its significance in petroleum Geology [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2009, 30(3): 289-292.
- [28] 周春梅, 程金辉, 阿丽亚·阿木提, 等. 新疆准噶尔盆地南缘安集海组中段上部的地质时代与古环境意义[J]. *地层学杂志*, 2012, 36(4): 723-732.
- Zhou Chunmei, Cheng Jinhui, Aliya Amuti, et al. Geological age and paleoenvironmental significance of the upper part of middle

- member of the Anjihaihe Formation on southern margin of Junggar Basin, Xinjiang[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2012, 36(4): 723-732.
- [29] 马健, 吴朝东, 王熠哲, 等. 准噶尔盆地渐新世安集海河组类胡萝卜素的发现及古环境意义[J]. *地质学报*, 2020, 94(6): 1853-1868.
- Ma Jian, Wu Chaodong, Wang Yizhe, et al. Discovery of carotenoids and its paleolake significance in the Oligocene Anjihaihe Formation, southern Junggar Basin, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(6): 1853-1868.
- [30] Peters K, Walters C, Moldowan M. The biomarker guide: Biomarkers and isotopes in the environment and human history[M]. United Kingdom: Cambridge University Press, 2005, 1-1155.
- [31] 毛哲, 曾联波, 刘国平, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗系深层致密砂岩储层裂缝及其有效性[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(6): 1212-1221.
- Mao Zhe, Zeng Lianbo, Liu Guoping, et al. Characterization and effectiveness of natural fractures in deep tight sandstones at the south margin of the Junggar Basin, northwestern China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(6): 1212-1221.
- [32] 陈建平, 王绪龙, 邓春萍, 等. 准噶尔盆地南缘油气生成与分布规律——烃源岩地球化学特征与生烃史[J]. *石油学报*, 2015, 36(7): 767-780.
- Chen Jianping, Wang Xulong, Deng Chunping, et al. Geochemical features of source rocks in the southern margin, Junggar Basin, northwestern China[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2015, 36(7): 767-780.
- [33] 朱明, 梁则亮, 马健, 等. 准噶尔盆地四棵树凹陷侏罗系有机质生烃差异及油气藏分布规律[J]. *天然气地球科学*, 2020, 31(4): 488-497.
- Zhu Ming, Liang Zeliang, Ma Jian, et al. Patterns of hydrocarbon generation and reservoir distribution in the Jurassic strata Sikeshu Sag, Junggar Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2020, 31(4): 488-497.
- [34] 王绪龙, 杨海波, 康素芳, 等. 准噶尔盆地陆梁隆起陆9井油源与成藏分析[J]. *新疆石油地质*, 2001, 22(3): 213-216.
- Wang Xulong, Yang Haibo, Kang Sufang, et al. Analysis on oil sources and reservoir formation of Well Lu 9 in Luliang Uplift in Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(3): 213-216.
- [35] 廖健德, 王绪龙, 张明, 等. 陆梁油田低阻油层成因及其识别[J]. *新疆地质*, 2003, 21(3): 325-328.
- Liao Jiande, Wang Xulong, Zhang Ming, et al. Origin and identification of low-resistivity reservoirs in Luliang oil field, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21(3): 325-328.
- [36] 周文泉, 崔保生, 张从侦. 盆1井西凹陷东环带油气富集规律[J]. *特种油气藏*, 2005, 12(5): 19-22.
- Zhou Wenquan, Cui Baosheng, Zhang Congzhen. Regularity of oil and gas accumulation in the east ring zone of Pen 1 well west sag[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2005, 12(5): 19-22.
- [37] 胡文瑄, 张义杰, 姚素平. 盆1井西凹陷油气系统成藏序列与油气分布研究[R]. 新疆油田公司勘探开发研究院, 2006, 1-193.
- Hu Wenxuan, Zhang Yijie, Yao Suping. Study on reservoir forming sequence and oil-gas distribution in Pen 1 well west sag[R]. Xinjiang: Internal report of exploration and Development Research Institute of Xinjiang Oilfield Company, 2006, 1-193.
- [38] Hong Dongdong, Cao Jian, Wu Tao, et al. Authigenic clay minerals and calcite dissolution influence reservoir quality in tight sandstones: Insights from the central Junggar Basin, NW China[J]. *Energy Geoscience*, 2020, 1(1-2): 8-19.
- [39] Zheng Guodong, Xu Wang, Etiope Giuseppe, et al. Hydrocarbon seeps in petroliferous basins in China: A first inventory[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, 151: 269-284.
- [40] 周妮, 李际, 刘翠敏, 等. 准噶尔盆地南缘油气苗有机地球化学特征及成因[J]. *石油实验地质*, 2020, 42(6): 957-964.
- Zhou Ni, Li Ji, Liu Cuimin, et al. Organic geochemistry and genesis of oil and gas seeps in the southern Junggar Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(6): 957-964.
- [41] 李猛, 王道, 李茂伟, 等. 新疆独山子泥火山喷发特征的研究[J]. *内陆地震*, 1996, 10(4): 359-362.
- Li Meng, Wang Dao, Li Maowei, et al. A research on eruption characteristics of Dushanzi mud volcano in Xinjiang[J]. *Inland Earthquake*, 1996, 10(4): 359-362.
- [42] 王道. 新疆北天山地区泥火山与地震[J]. *内陆地震*, 2000, 14(4): 350-353.
- Wang Dao. Mud volcanoes and earthquakes in north Tianshan, Xinjiang[J]. *Inland Earthquake*, 2000, 14(4): 350-353.
- [43] 杨晓芳, 于红梅, 赵波, 等. 新疆北天山泥火山固体喷出物特征及成因机制初探[J]. *地震地质*, 2014, 36(1): 123-136.
- Yang Xiaofang, Yu Hongmei, Zhao Bo, et al. Study on the solid products from mud volcano in north Tianshan Mountains, Xinjiang and discussion on its genetic mechanism[J]. *Seismology and Geology*, 2014, 36(1): 123-136.
- [44] 高小其, 梁卉, 王海涛, 等. 北天山地区泥火山的地球化学成因[J]. *地震地质*, 2015, 37(4): 1215-1224.
- Gao Xiaoqi, Liang Hui, Wang Haitao, et al. Origin of the mud volcano in northern Tianshan constrained by geochemical investigation[J]. *Seismology and Geology*, 2015, 37(4): 1215-1224.
- [45] Nakada Ryoichi, Takahashi Yoshio, Tsunogai Urumu, et al. A geochemical study on mud volcanoes in the Junggar Basin, China[J]. *Applied Geochemistry*, 2011, 26(7): 1065-1076.
- [46] Wenger Lloyd, Isaksen Gary. Control of hydrocarbon seepage intensity on level of biodegradation in sea bottom sediments[J]. *Organic Geochemistry*, 2002, 33(12): 1277-1292.
- [47] 张凤奇, 鲁雪松, 卓勤功, 等. 准噶尔盆地南缘下组合储层异常高压成因机制及演化特征[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(5): 1004-1016.
- Zhang Fengqi, Lu Xuesong, Zhuo Qingong, et al. Genetic mechanism and evolution characteristics of overpressure in the lower play at the southern margin of the Junggar Basin, northwestern China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(5): 1004-1016.
- [48] 苏圣民, 蒋有录. 含油气盆地断裂带结构特征及其与油气运聚关系[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(4): 32-41.
- Su Shengmin, Jiang Youlu. Fault zone structures and its relationship with hydrocarbon migration and accumulation in petroliferous basin[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2021, 45(4): 32-41.
- [49] 何登发, 李德生, 童晓光, 等. 中国沉积盆地油气立体综合勘探[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(2): 265-284.
- He Dengfa, Li Desheng, Tong Xiaoguang, et al. Integrated 3D hydrocarbon exploration in sedimentary basins of China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(2): 265-284.
- [50] 刘招君, 柳蓉, 孙平昌, 等. 中国典型盆地油页岩特征及赋存规律[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2020, 50(2): 313-325.
- Liu Zhaojun, Liu Rong, Sun Pingchang, et al. Oil shale characteristics and distribution in typical basins of China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2020, 50(2): 313-325.

(编辑 张玉银)