

库车前陆盆地南斜坡西段油气成藏过程研究

张昊^{1,2}, 吕修祥^{1,2*}, 王晓雪³, 李素梅^{1,2}, 朱毅秀^{1,2}, 蒲明宇^{1,2}, 李燕琴^{1,2}

1 中国石油大学(北京)油气资源与工程全国重点实验室, 北京 102249

2 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

3 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 库尔勒 841000

* 通信作者, luxx@cup.edu.cn

收稿日期: 2024-07-29; 修回日期: 2024-11-15

中国石油天然气股份有限公司塔里木油田公司重大科技专项(2017ZX05008)资助

摘要 近年来, 塔里木盆地库车坳陷勘探取得重大突破, 但前人对于研究区的油气成藏过程研究比较薄弱。本文利用有机地球化学、流体包裹体等实验, 结合盆地模拟技术, 系统分析研究区原油来源、成藏期次和成藏过程。结果表明, 研究区存在I和II两类原油, I类英买力原油的三环萜类总体具有 $C_{19}<C_{20}<C_{21}>C_{22}<C_{23}$ (升-降-升型)特征, 碳同位素偏轻, 油源对比指示其源岩为三叠系黄山街组烃源岩; 而II类却勒-羊塔-玉东原油三环萜类具有 $C_{19}>C_{20}>C_{21}>C_{22}<C_{23}$ (降-降-升型)特征, 碳同位素值偏重, 油源对比指示源岩为侏罗系恰克马克组烃源岩。通过包裹体均一温度分布, 结合单井埋藏史、热史及二维剖面模拟, 分析认为I类油为三叠系烃源岩生成的原油在16~5 Ma运移至古潜山储层聚集成藏; II类油为侏罗系烃源岩生成的原油在5~2 Ma运移至白垩系、古近系聚集成藏。结合不同族群原油平面分布, 推测两个成藏时期所形成的秋里塔格构造带褶皱区的分布是两类原油聚集成藏的主控因素: 16~5 Ma时期秋里塔格构造带褶皱段致使研究区西部油气输导体系不畅通, 所以I类油藏分布于研究区东部; 5~2 Ma时期秋里塔格构造带褶皱段致使研究区东部油气输导体系不畅通, 致使II类油藏分布于研究区西部。虽然秋参1井靠近烃源岩且在两个成藏期都处于油气运移路径上, 但因为一直未发育有效圈闭导致失利; 西秋2井因工程原因失利, 研究发现, 在该井潜山储层含油可能性较大, 建议加深钻探。同时发现研究区烃源灶周缘西秋古隆起具备形成大型油气聚集带的条件。本文研究结果为该地区进一步勘探提供理论依据。

关键词 库车前陆盆地; 油气聚集; 油气成藏过程; 族群划分; 秋里塔格构造带

中图分类号: P618.13; TE112

Study on hydrocarbon accumulation process in the western section of south slope of Kuqa foreland basin

ZHANG Hao^{1,2}, LYU Xiuxiang^{1,2}, WANG Xiaoxue³, LI Sumei^{1,2}, ZHU Yixiu^{1,2}, PU Mingyu^{1,2}, LI Yanqin^{1,2}

1 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

2 School of Geosciences, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

3 Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China

引用格式: 张昊, 吕修祥, 王晓雪, 李素梅, 朱毅秀, 蒲明宇, 李燕琴. 库车前陆盆地南斜坡西段油气成藏过程研究. 石油科学通报, 2025, 10(01): 35-50

ZHANG Hao, LYU Xiuxiang, WANG Xiaoxue, LI Sumei, ZHU Yixiu, PU Mingyu, LI Yanqin. Study on hydrocarbon accumulation process in the western section of south slope of Kuqa foreland basin. Petroleum Science Bulletin, 2025, 10(01): 35-50. DOI: 10.3969/j.issn.2096-1693.2025.01.002

Received: 2024-07-29; Revised: 2024-11-15

Abstract In recent years, significant breakthroughs have been achieved in the exploration of the Kuqa Depression in the Tarim Basin. However, previous studies on the hydrocarbon accumulation process in the study area are relatively scarce. In this study, organic geochemistry, fluid inclusion experiments, and basin simulation techniques are employed to systematically analyze the source, accumulation period, and accumulation process of crude oil in the study area. The results show that two oil groups, namely Group I and Group II, can be identified in the study area. The tricyclic terpenoids of Group I crude oil follow the pattern of $C_{19} < C_{20} < C_{21} > C_{22} < C_{23}$ (up - down - up type), and they have light carbon isotopes. The oil and source correlation indicates that their source rocks are the Huangshanjie Formation in the Triassic system. The tricyclic terpenoids of Group II crude oil exhibit the pattern of $C_{19} > C_{20} > C_{21} > C_{22} < C_{23}$ (down-down-up type), and the carbon isotope value is heavy. The oil-source correlation reveals that the source rock is the Jurassic Qiakemake Formation. Based on the distribution patterns of homogenization temperature, the evolutions of burial and thermal history, as well as the two-dimensional accumulation models of representative profiles, the results show that Group I oils were generated from Triassic source rocks, migrated to the buried-hill reservoirs, and then accumulated between 16 and 5 Ma. Group II oils originated from Jurassic source rocks, migrated to the Cretaceous strata, and then accumulated in the Cretaceous and Paleogene reservoirs between 5 and 2 Ma. The planar distributions of oil groups may be attributed to the distribution of fold areas in the Qiulitage tectonic belt, which formed in different periods. In the early period (16~5 Ma), the folding area of the Qiulitage tectonic belt led to the obstruction of the oil and gas transmission system in the western portion of the study area. As a result, Group I oils were predominantly distributed in the eastern part of the study area. However, in the second period (5~2 Ma), the folded area of the Qiulitage structural belt caused the blockage of the oil and gas transmission system in the eastern part of the study area, thereby giving rise to the distribution of Group II oils in the western part of the study area. Although well Qiucan 1 is close to the source rock and lies on the path of oil and gas migration during the two accumulation stages, it failed because no effective traps were developed. Well Xiqiu 2 failed due to engineering reasons. The study found that there is a high possibility of oil in the buried hill reservoir of this well, so it is suggested to deepen the drilling. Meanwhile, it is found that the western Qiulitage paleo-uplift around the source kitchen in the study area has the conditions for the formation of large-scale oil and gas accumulation zones. Therefore, the research results in this paper may play a crucial role in further petroleum exploration in this area.

Keywords Kuqa foreland basin; hydrocarbon accumulation; hydrocarbon accumulation process; crude group division; Qiulitage tectonic belt

DOI: 10.3969/j.issn.2096-1693.2025.01.002

0 引言

近 30 年库车前陆盆地勘探成果丰硕, 显示潜力依然巨大^[1]。寻找库车前陆盆地的战略接替领域, 是目前勘探工作中重中之重。从油气运移成藏的角度及已有勘探发现情况来看, 库车南斜坡西段是寻找勘探目标的有利地区^[2-3]。研究区位于塔北与库车的交汇部位, 是矿权交界、构造转换、沉积交汇区域。区内油气藏类型包括低幅度背斜/断背斜构造油气藏、地层岩性油气藏; 已发现油气藏 25 个, 探明石油 5245.43 万 t, 天然气 1031.9 亿 m³; 累计产油 877.5 万 t, 产气 235.5 亿 m³。前人对库车南斜坡西段已发现油气藏的成藏过程进行了大量的研究, 1998 年以来, 随着勘探程度的提高, 认识不断深化。田作基^[4]在 2001 年认为研究区存在两期成藏: 早期拜城凹陷三叠系烃源岩自早白垩世末至早第三纪排出油气, 部分向南长距离侧向运移形成塔北隆起油气藏; 晚期成藏主要发生在晚第三纪, 以形成气藏为主。梁狄刚^[5]、赵孟军^[6]认为研究区英买 32 井油藏主要形成于 23~12 Ma 的中新世早期, 以侧向运移

为主; 上新世以来, 即 2.5 Ma 至今主要形成气藏, 英买 32 井区由于没有接受晚期产物的充注, 油气源自早期三叠系烃源岩。张斌^[7]2012 年提出英买 32 井区成藏期约为 8~5 Ma, 该时期秋里塔格构造带尚未形成, 原油沿不整合面向南侧隆起长距离侧向运移, 却勒 1 井油气藏主要在 4~3 Ma 以来形成聚集, 后期天然气大量生成时, 秋里塔格构造带已经隆升, 成为阻止天然气向南运移的障碍。研究区的成藏期存在争议, 同时, 关于西秋里塔格构造带构造演化、时空分布对油气运移及成藏的控制作用, 前人并未开展深入研究。本文基于二维、三维精细构造演化, 结合油源对比、成藏期等研究, 系统分析了库车南斜坡西段成藏过程, 并讨论了研究区秋里塔格构造带演化形成对油气分布的控制作用。

库车南斜坡西段已发现油气藏为拜城凹陷 T-J 多套陆相烃源岩^[8]排出的陆相油气向南并侧向运移聚集形成。研究区油气藏的分布受主力生烃中心的控制^[9], 总体上关于烃源岩的发育分布及其热演化、油气源的对比认识比较清楚^[10-12]。本文综合考虑研究区埋藏史、烃源岩生排烃史-热史、运聚史等, 确定成藏的关键

期。结合研究区油气输导体系构造演变史^[13-15],开展库车南斜坡西段油气成藏过程研究,同时分析库车南斜坡西秋里塔格构造带的不同时空分布,旨在对油气富集有利区进行预测,为库车坳陷油气规模勘探提供重要依据。

1 地质背景

库车坳陷是塔里木盆地塔北隆起北部和天山造山带南麓前陆的前渊坳陷,是叠加在古生代被动大陆边缘之上的中、新生代叠合前陆盆地^[16]。库车坳陷经历了频繁的构造运动,主要受两期构造运动的影响^[17],分别为白垩纪燕山运动与新近纪喜马拉雅运动。南天山受由北向南的水平挤压力发生逆冲碰撞,使该地区形成山前大型逆冲褶皱带,构成了当今“四带三凹”、

“北低南高”的构造格局。自北向南依次为北部单斜带、克拉苏冲断带、依奇克里克冲断带、秋里塔格冲断带、南部斜坡前缘隆起带^[18-20];自西向东分为四段:阿瓦特段、博孜段、大北段、克深段,包括乌什凹陷,拜城凹陷、阳霞凹陷(图1)。库车前陆盆地大规模冲断始于 $N_{1-2}k$,距今16~5 Ma,研究区处于弱伸展环境,仅受南北向弱挤压作用,属于构造稳定期,在宽缓的均衡拗陷中发育盐岩层、碎屑岩层。5 Ma至今,研究区受新天山与塔里木板块近南北向区域挤压作用,第四纪库车坳陷进入褶皱、断裂强烈发育时期,同沉积逆冲断层和挤压褶皱构造变形现象明显,克拉苏、秋里塔格构造带逐渐形成^[21]。多期构造导致研究区地下地层剧烈变形,多套地层之间呈平行不整合,角度不整合接触,且存在地层严重剥蚀现象,具有典型的前陆盆地构造和沉积特征。

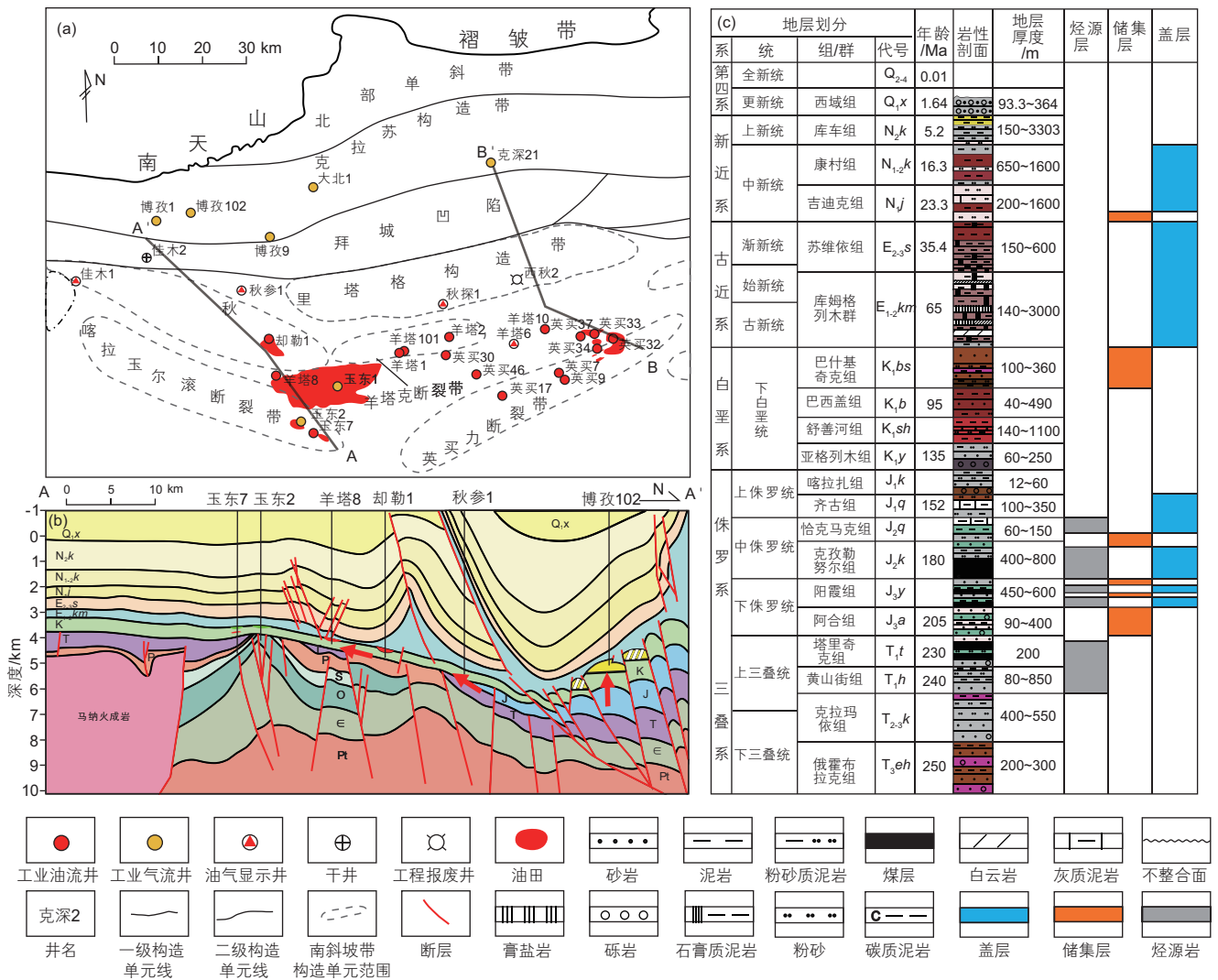


图1 库车前陆盆地南斜坡西段地质图(a)构造位置;(b)地质构造剖面A-A';(c)综合地层柱状图
 Fig. 1 Geological map of the western section of the south slope of Kuqa foreland basin (a)structural location map; (b)structural profile A-A'; (c)composite stratigraphic histogram

研究区主要发育中生代地层,中生界地层由北向南减薄尖灭,新生界地层恰恰相反,由北向南地层逐渐加厚。在垂向上,自下往上发育有奥陶系、志留系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系、第四系地层^[22],古近系广泛发育蒸发岩,以古近蒸发岩为界,垂向构造分层变形,盐上层发育多个滑脱褶皱,而盐下层具体表现为大面积的“逆冲楔状叠瓦构造”。其中三叠系及侏罗系的湖相泥岩地层为库车坳陷主力生油层系,其有机质丰度较高、有机质类型主要为II~III型,有机质处于中-高成熟阶段,是研究区原油的主力烃源岩。研究区地层存在两大区域性角度不整合面,分别是古近系与白垩系地层不整合面、白垩系与古潜山地层不整合面。前人研究表明这两套不整合面与白垩系砂岩可以作为油气侧向运移的介质,并且在有利构造高部位聚集油气成藏。

目前,在南斜坡西段的上部前陆构造层和下部克拉通构造层中均发现有油气藏,其中,白垩系的舒善河组、巴西改组、巴什基奇克组和古近系底部的部分砂岩段,以及志留系、寒武系-奥陶系古风化壳潜山的表皮发育陆相油气藏^[23]。

2 样品与分析方法

本次研究采集库车前陆盆地南斜坡西段7口井(羊塔101、玉东2、博孜1、大北1、却勒1、英买33以及英买32)的潜山风化壳储层、白垩系砂岩储层、古近系砂岩储层原油样品,针对样品进行原油及其族组分碳同位素、包裹体相学与均一温度测试分析,这两类分析测试是在长江大学资源与环境学院油气地球化学与环境湖北省重点实验室和中国石油大学(北京)油气资源与工程全国重点实验室完成的。

原油碳同位素实验分析测试结合使用Flash HT元素分析仪与MAT253同位素质谱仪。执行标准为《IAEA-600 Caffeine》、《USGS24 Graphite》。Flash HT元素分析仪是以氦气(99.999%)作为载气,载气流速100 mL/min,辅助气流速250 mL/min;助燃气体为纯氧,流速250 mL/min;色谱柱炉温为恒温50 °C。MAT253同位素质谱仪采用EI电离源,电离电压为70 eV,获取数据方式为全扫描与选择离子同时进行。

盐水包裹体通过冷热台进行测温,统计均一温度,包裹体测温在液氮型Linkam MDSG600冷热台上完成,试验误差为 ± 0.1 °C;包裹体测温结合埋藏史、热史能够推断出油气成藏期次^[24]。埋藏史、热史模拟采用Schlumberger(斯伦贝谢)公司的Petromod软件完

成,为了提高模拟结果的准确率,用实测地温和镜质体反射率数据来拟合校验^[25]。

3 研究区油气来源

3.1 原油地球化学特征及分类

3.1.1 原油族组分特征

收集了研究区英买32、却勒1、羊塔1、玉东2等7口井的原油样品进行原油族组分分析,大部分为轻质油或正常油,少数为稠油。结果显示:却勒-羊塔克-玉东井区原油以饱和烃为主,饱和烃含量在70%以上(图2);英买32井区原油饱和烃含量相比却勒-羊塔克-玉东井区原油更低(11.52%~82.99%,均值37.09%)(图2),英买32井区原油芳烃含量并不均匀(图2),部分原油芳烃含量较高(>50%)。英买32井区古生界潜山储层原油芳烃、非烃+沥青质含量较高,饱和烃含量最低,质量分数为23%,这是因为英买32井区在地史过程中曾遭受区域构造隆升,导致油气藏破坏,所以油质相对较差,其余古潜山原油及第三系原油油质相对较好,以轻质组分为主。

3.1.2 原油生物标志物特征、碳同位素特征及分类

库车南斜坡西段原油中甾萜类生物标志物丰富,甾萜类化合物主要发育规则甾烷、重排甾烷与低分子量孕甾烷系列。原油中的 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷一般呈“V”字型,原油中的萜类化合物包括倍半萜、三环萜烷、五环三萜烷,不同原油具有不同的分布型式。却勒-羊塔克-玉东原油中 $C_{19}<C_{20}$ 三环萜烷,呈降序分布,而英买32井区原油呈升序分布,这是原油生源的不同导致的。

英买32井区的古潜山及白垩系储层原油的全油碳同位素值在 -31‰ ~ -30‰ 之间,对比全区呈现相对较轻的特征,指示其源岩有机质主要为低等水生生物;

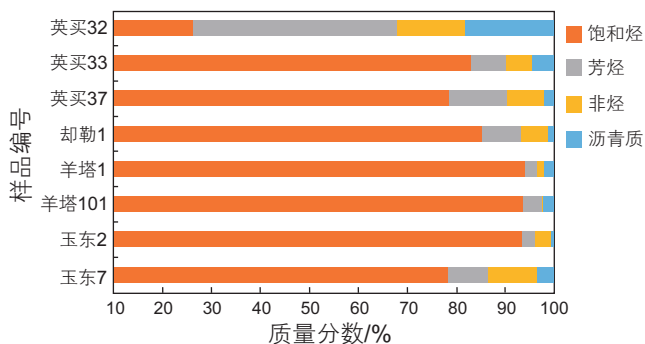


图2 库车南斜坡西段地区关键井原油样品族组分组成

Fig. 2 Composition of crude oil sample family from key wells in the western part of Kuqa south slope

而却勒-羊塔克-玉东的原油呈现相对较重的特征, 其全油碳同位素值在 $-28.0‰ \sim -26.5‰$ 之间, 这一特征指示源岩有机质以高等植物为主^[26]。

依据甾萜类生物标志物指纹与参数及全油碳同位素轻重分异特征, 可将研究区原油分为I、II两类(图3~4)。

I类为英买32井区正常黑油及相对较稠的原油。I类英买力原油的三环萜类总体具有 $C_{19} < C_{20} < C_{21} > C_{22} < C_{23}$ (升-降-升型)特征, 不同于却勒-羊塔克-玉东的II类原油, 前者 C_{19}/C_{20} 、 C_{19}/C_{21} 三环萜烷值低

于却勒-羊塔克-玉东; 同时I类原油的全油碳同位素值在 $-31‰ \sim -30‰$ 之间。

II类为却勒-羊塔克-玉东井区正常、轻质原油。三环萜烷、三环萜类具有 $C_{19} > C_{20} > C_{21} > C_{22} < C_{23}$ (降-降-升型)特征、 C_{19}/C_{20} 、 C_{19}/C_{21} 三环萜烷值较高, 指示原油成熟度相对较高。对应全油碳同位素值在 $-28.0‰ \sim -26.5‰$ 之间, 相对较重。

3.2 烃源岩特征

位于库车前陆盆地西北部的拜城凹陷, 是却勒-

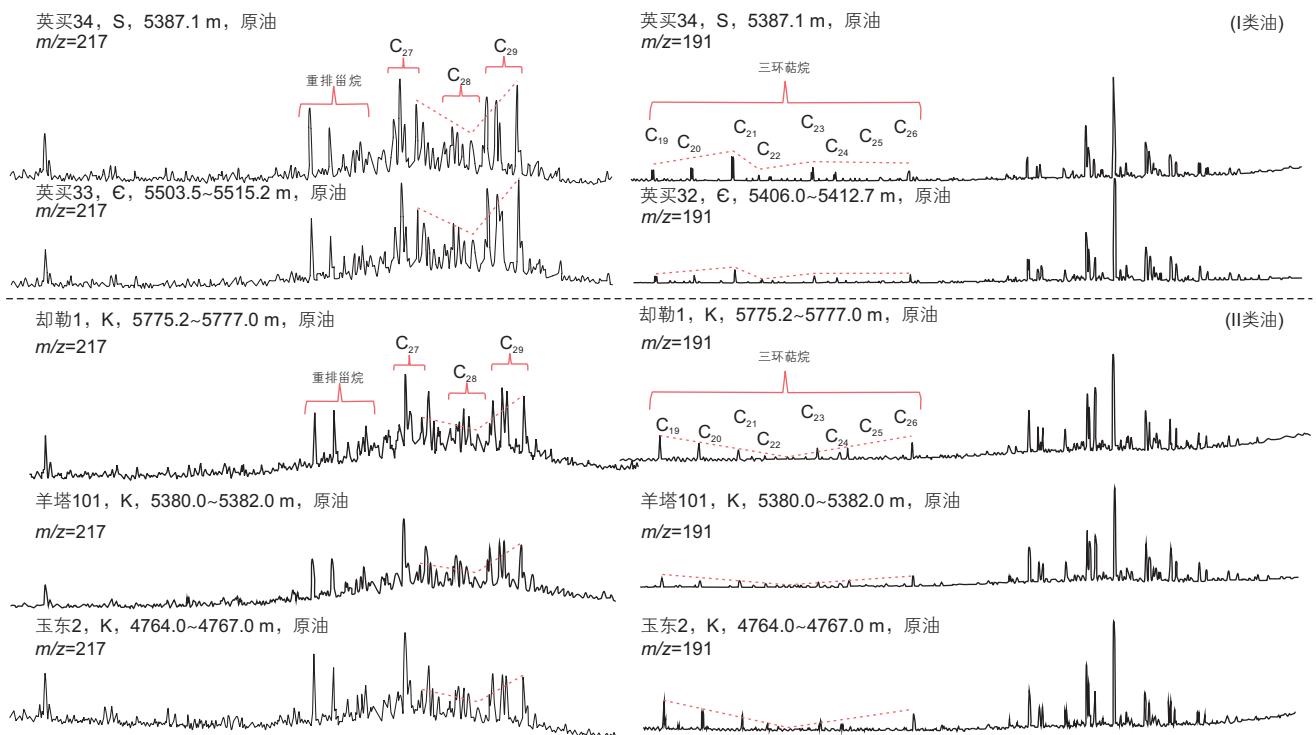


图3 关键井原油样品饱和烃 $m/z217$ 、 $m/z191$ 质量色谱图

Fig. 3 Mass chromatograms of saturated hydrocarbon $m/z217$ and $m/z191$ of crude oil samples from key wells

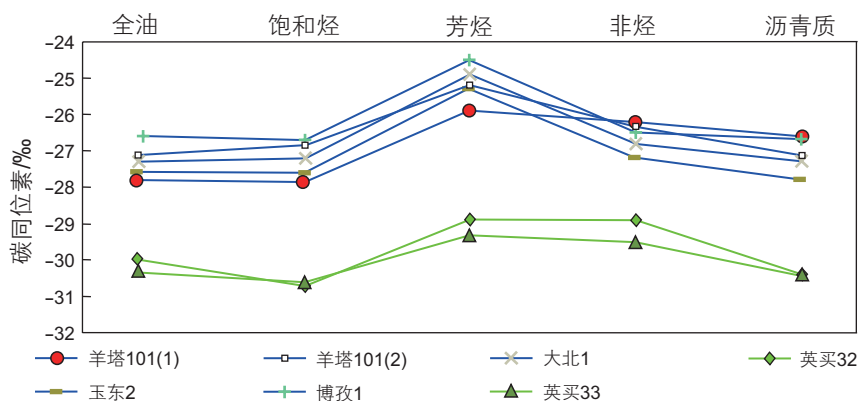


图4 研究区代表性原油样品的全油及其组分稳定碳同位素分布

Fig. 4 Distributions of stable carbon isotope of bulk oils and their saturated, aromatic, non-hydrocarbon and asphalt fractions from the study area

羊塔克-玉东、英买力构造带陆相油气的主要生烃凹陷,其生烃条件良好,共发育三叠系黄山街组(T_3h)、塔里奇克组(T_3t)、侏罗系阳霞组(J_1y)、克孜勒努尔组(J_2k)、恰克马克组(J_2q) 5套烃源岩,但是经前人研究达成共识认为,主力烃源岩是坳陷北部广泛分布的中侏罗统恰克马克组和上三叠统黄山街组两套湖相烃源岩^[5-7, 9-10, 27]。黄山街组烃源岩在研究区呈北厚南薄的特征,北部最大厚度可达400 m,恰克马克组烃源岩的分布自大北1井区向四周逐渐减薄,沉降中心最大厚度为250 m。

研究区三叠系黄山街组烃源岩TOC含量在1.0%~3.0%之间,侏罗系恰克马克组烃源岩TOC含量均值在2.0%左右,均为较好-好烃源岩,TOC含量和烃源岩厚度保持正相关。有机质类型主要为II-III型,拜城凹陷三叠系黄山街组现今烃源岩成熟度在2.0%以上,向南逐渐降至0.6%~0.8%,恰克马克组烃源岩演化程度与黄山街组烃源岩相当^[27]。

3.3 油源对比

3.3.1 生物标志物指纹对比

拜城凹陷两套湖相主力烃源岩的甾萜类谱图如图5所示。侏罗系恰克马克组(J_2q)的主要特征是三环萜烷相对丰度具有 $C_{19}>C_{20}>C_{21}>C_{22}$ 的降序分布特征、重

排藿烷与 $C_{29}Ts$ 较发育;孕甾烷与重排甾烷系列丰度相对偏低;甾烷异构化程度相对较高,形成于还原性稍低的湖相环境。三叠系黄山街组:三环萜($C_{19}\sim C_{22}$)近呈正态分布、重排藿烷与 $C_{29}Ts$ 丰度相对偏低、孕甾烷与重排甾烷系列丰度相对较高、甾烷异构化程度相对偏低,形成于还原性偏高的湖相环境。油-岩对比指示,英买32井区I类原油生物标志物特征与三叠系黄山街组烃源岩较为相似,反映其为原油的主要贡献源。却勒-羊塔-玉东井区II类原油三环萜烷分布与侏罗系恰克马克组烃源岩较为相似,表明II类原油与侏罗系恰克马克组烃源岩具有密切成因关系(图5)。

3.3.2 生物标志物参数对比

萜类化合物主要来自细菌中的类脂化合物,细菌萜烷包含无环、二环、三环、四环和五环化合物。三环、四环和藿烷类萜是重要的油源对比指标,反映源岩的沉积环境和有机质输入。 C_{19} 、 C_{20} 萜类也可来自高等植物^[28]。

三叠系黄山街组(T_3h)烃源岩具有较低的 C_{19}/C_{20} 三环萜、 C_{19}/C_{21} 三环萜的参数值,侏罗系恰克马克组(J_2q)烃源岩相关参数值较高,两者泾渭分明;原油的差异也较明显,英买32井区、却勒-羊塔克-玉东原油分别与三叠系黄山街组(T_3h)、侏罗系恰克马克组源岩(J_2q)有较好的亲缘关系(图6)。

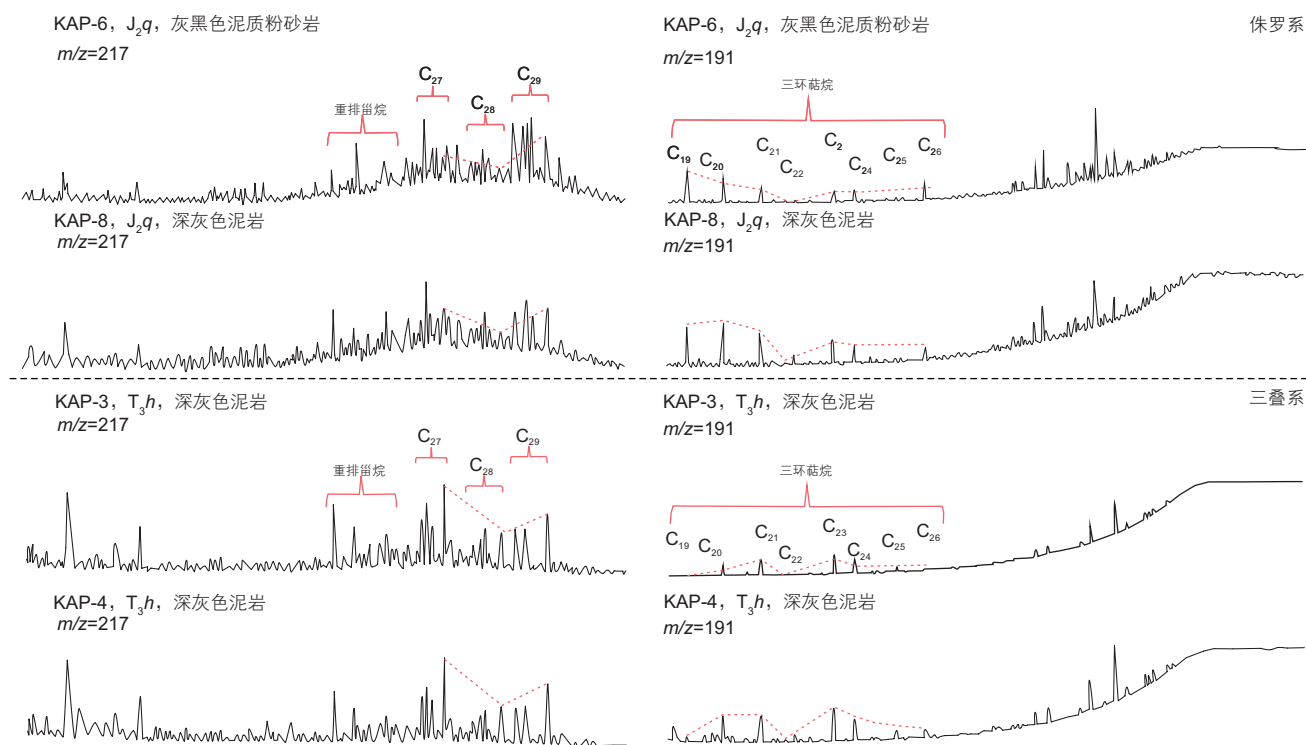


图5 研究区侏罗系、三叠系主力烃源岩 $m/z217$ 、 $m/z191$ 质量色谱图

Fig. 5 Mass chromatogram of main source rocks $m/z217$ and $m/z191$ of Jurassic and Triassic in the study area

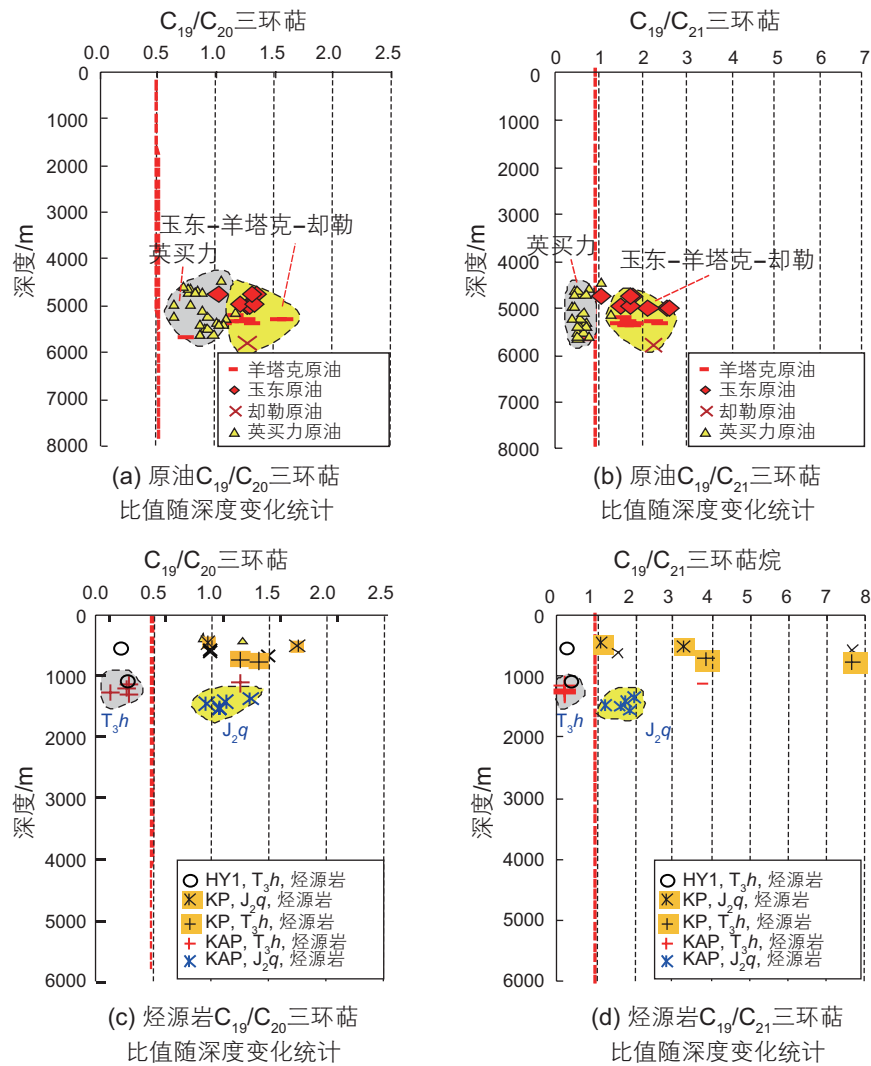


图 6 原油、烃源岩生源、沉积环境及生物标志物参数对比

Fig. 6 Comparison of crude oil, source rock, sedimentary environment and biomarker parameters

3.3.3 全油碳同位素对比

库车南斜坡西段主力烃源岩三叠系黄山街组和侏罗系恰克马克组全油碳同位素值具有明显差异，三叠系黄山街组烃源岩的碳同位素值在 $-31‰ \sim -30‰$ 之间，属于典型湖相原油特征，反映其母源以湖相藻类和低等水生浮游生物为主，属于生烃母质弱还原的沉积环境^[29]；侏罗系恰克马克组烃源岩的碳同位素值在 $-28.0‰ \sim -26.5‰$ 之间，前人指出侏罗系恰克马克组泥岩存在高丰度的重排藿烷系列，体现陆生高等植物输入特征，反映生烃母质弱氧化的沉积环境^[30-31]。

综合对库车南斜坡西段的油气来源进行的大量生物标志化合物指纹、参数特征对比研究^[10-12]，得出库车前陆盆地南斜坡西段的原油母质类型均以陆源有机质输入为主，I类原油主要来源于三叠系黄山街组湖相烃源岩；II类原油主要来源于侏罗系恰克马克组湖

相烃源岩。

4 油气成藏过程研究

4.1 原油成藏期次

4.1.1 原油流体包裹体特征

I类原油流体包裹体为单偏光下深黑色、紫外荧光下发深褐色光的烃包裹体及其伴生盐水包裹体，该油气包裹体发育丰度低(GOI约为 1%~2%)，包裹体沿切穿石英颗粒的成岩期后的微裂隙和方解石脉微裂隙成带状分布，大多集中于 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 内，形状较多，以椭圆形、不规则形为主，为气液两相，气液比在 10% 左右(图 7a、b)。英买 32 井 46 个伴生烃类包裹体的盐水包裹体均一化温度测试结果显示，伴生盐水包裹体的均一温度在 $90 \sim 130 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间，最高频率分布在

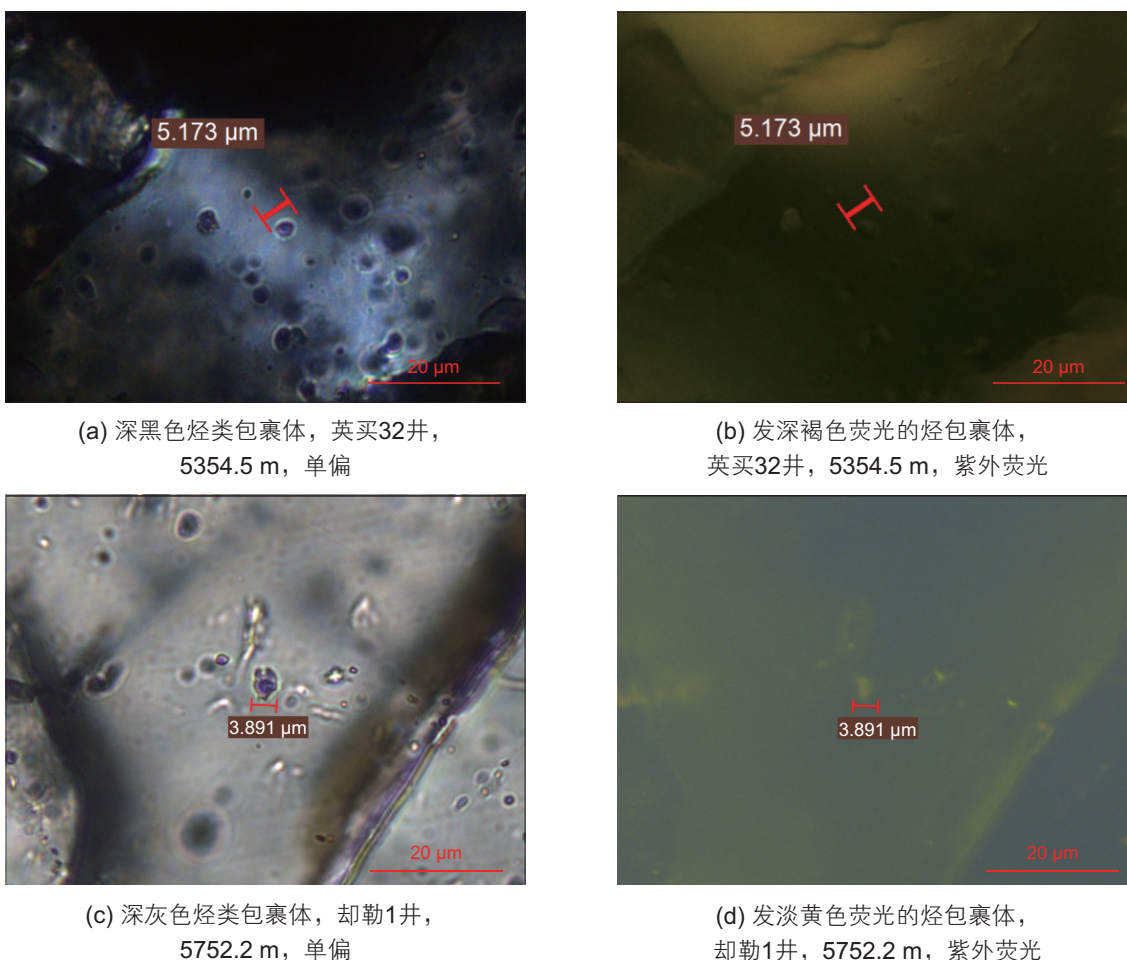


图7 却勒1井白垩系、英买32井古近系储层中烃类包裹体显微照片

Fig. 7 Micrographs of hydrocarbon inclusions in quele-1 well of the Cretaceous reservoirs and Yingmai-32 well of the Paleogene reservoirs

100~110 °C之间，平均温度约为100 °C。均一温度分布呈现单峰特征，指示只有一期成藏。

却勒1井区古近系底砂岩储层中的II类原油流体包裹体为在单偏光下为深灰色、紫外荧光下发淡黄色荧光的油气两相包裹体。其丰度较低(GOI约为5%)，气液比在5%~10%之间，主要分布在石英粒间孔隙颗粒边缘，在石英加大边内油气包裹体发育稀少，整体成带状分布，最大包裹体达6~7 μm，大多集中于3~4 μm内，形状较多，以椭圆形、不规则形为主(图7c、d)。72个伴生烃类包裹体的盐水包裹体均一化温度测试结果显示，伴生盐水包裹体的均一化温度介于110~150 °C之间，最大频率分布在120~130 °C之间，整体呈现为单峰一期成藏特征。

4.1.2 原油成藏期次

I类原油主要分布在英买32油田(位于英买7号断裂带东北侧，包括英买34、35、37、38、39、41等探井)寒武系碳酸盐岩潜山风化壳与白垩系储层中，此

前对该井区已有过较多的研究，其成藏期一直存在争议^[5-7]。笔者结合英买32井伴生盐水包裹体的均一化温度和埋藏史热史模拟结果，认为I类原油大量充注时间为9.0~6.4 Ma，对应康村组沉积晚期三叠系烃源岩成熟-高成熟大量生油阶段(图8a)。

结合却勒1井伴生盐水包裹体的均一化温度和埋藏史热史模拟结果，认为II类原油油藏是在4.8~3.0 Ma开始大量充注形成油藏，对应库车组沉积中期侏罗系烃源岩处于成熟-高成熟大量生油阶段，指示II类原油油藏属于相对晚期成藏(图8b)，与前人研究结果比较相近^[32-33]。

通过典型井的油气成藏期次研究，认为库车南斜坡西部的油气主要有两个充注期，第一期油气充注于9.0~6.4 Ma，处于新近纪吉迪克晚期到新近纪康村末期，即库车前陆盆地喜马拉雅活动早-中期，这是英买32井区I类原油油藏主要形成期。第二期油气充注于关键构造变革期(5 Ma)附近的4.8~3.0 Ma，处于新

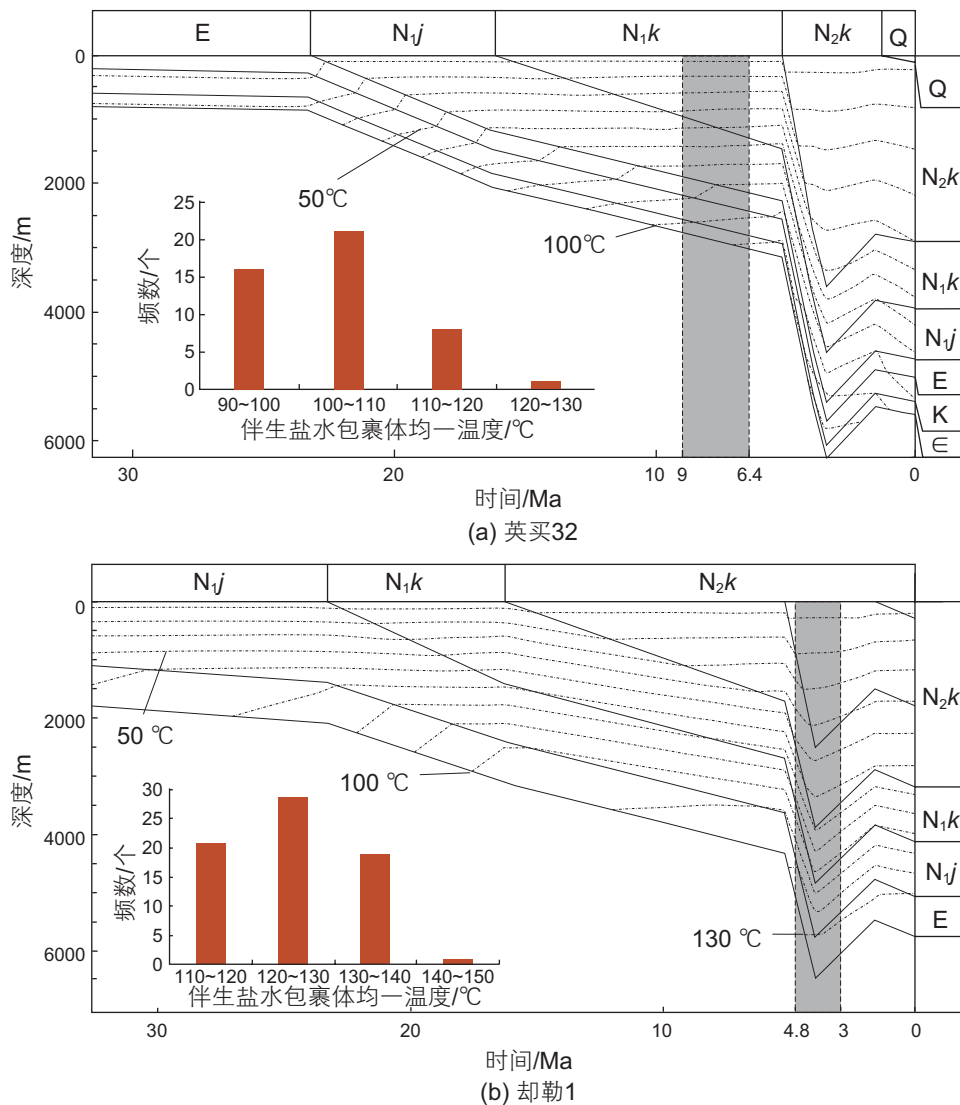


图 8 英买 32 井、却勒 1 井盐水包裹体均一温度分布及埋藏史、热史分析
 Fig. 8 Analysis of homogeneous temperature distribution and burial history and thermal history of salt-water inclusions in the Yingmai-32 Well(a) and the Quele-1 Well(b)

近纪库车组沉积时期，属于喜马拉雅活动中晚期，却勒-玉东-羊塔克井区的 II 类原油油藏形成于该时期。

4.2 I 类原油成藏过程研究

4.2.1 16~5 Ma 时期西秋 2-英买 32 井区

康村组沉积时期(16~5 Ma)，地层埋深速率较大，三叠系黄山街组湖相烃源岩迅速演化进入生烃高峰末期(图 9)。根据构造演化史恢复的结果，该时期研究区处于弱伸展环境，仅受南北向弱挤压作用，属于构造稳定期，在宽缓的均衡拗陷中发育盐岩层、碎屑岩层，在该时期研究区地层沉积相对稳定，厚度变化不大。原油从三叠系黄山街组烃源岩大量排出并沿古潜

山顶不整合面和白垩系砂岩输导体系在流体势能的作用下向南部浅层构造高部位运移，由于早期秋里塔格构造带褶皱段未在研究区东部形成，来自三叠系黄山街烃源岩的 I 类原油可以在古潜山储层中侧向运移至英买 32 井区低凸起部位聚集成油藏。

4.2.2 5~2 Ma 时期西秋 2-英买 32 井区

晚期库车组沉积时期，拜城凹陷黄山街组烃源岩已过成熟，侏罗系恰克马克组湖相烃源岩有机质热演化程度适中，处于大量生油阶段(图 9)。研究区受新天山与塔里木板块近南北向区域挤压作用，致使研究区形成大量褶皱、断裂强烈发育，出现同沉积逆冲断层和挤压褶皱构造变形现象，克拉苏、秋里塔格构造带逐渐形成^[34]。受喜山晚期运动影响，晚期形成的秋

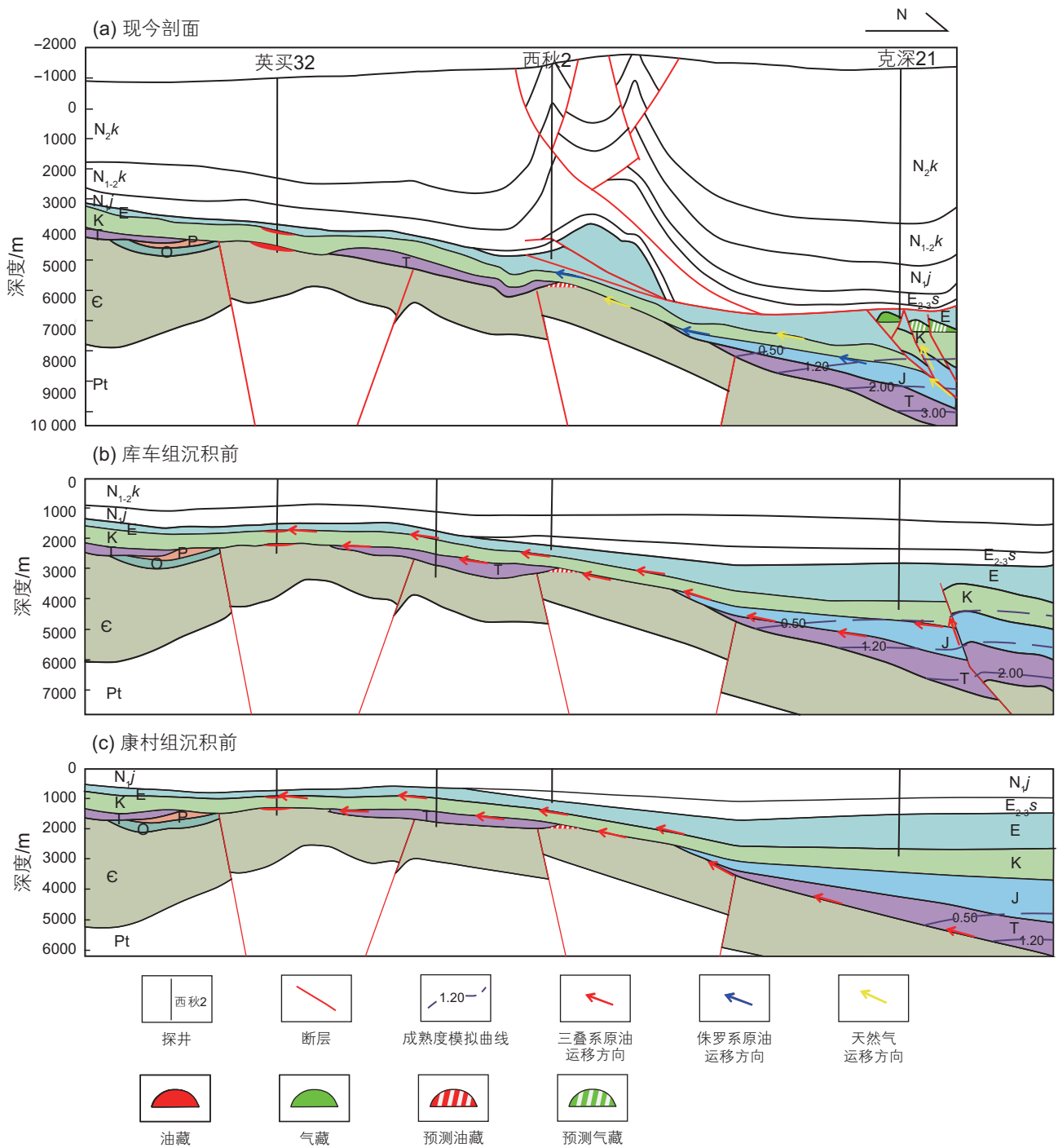


图 9 研究区东部克深 21 井-西秋 2 井-英买 32 井剖面油气成藏模式动态示意图 (a) 现今时期; (b) 5 Ma; (c) 16 Ma
 Fig. 9 Dynamic diagram of oil and gas accumulation model by wells Keshen 21-Xiqiu 2-Yingmai 32 in the eastern part of the study area showing the hydrocarbon migration system evolution at (a) at present; (b) at 5 Ma and (c) 16 Ma in the study area

里塔格构造带致使先前的古潜山顶不整合面和白垩系砂岩侧向输导体受构造挤压变形, 油气运移不畅, 导致侏罗系烃源岩排出的油气无法翻越秋里塔格构造带继续侧向运移至英买 32 井区, 故而英买 32 井区是以三叠系黄山街组油源为主的 I 类原油油藏。

4.3 II 类原油成藏过程研究

4.3.1 16~5 Ma 时期却勒-羊塔克-玉东井区

康村组沉积时期 (16~5 Ma), 三叠系黄山街组烃源岩迅速演化进入生烃高峰末期阶段 (图 10)。研究区西北部三叠系黄山街组烃源岩大规模排出油气并沿南斜

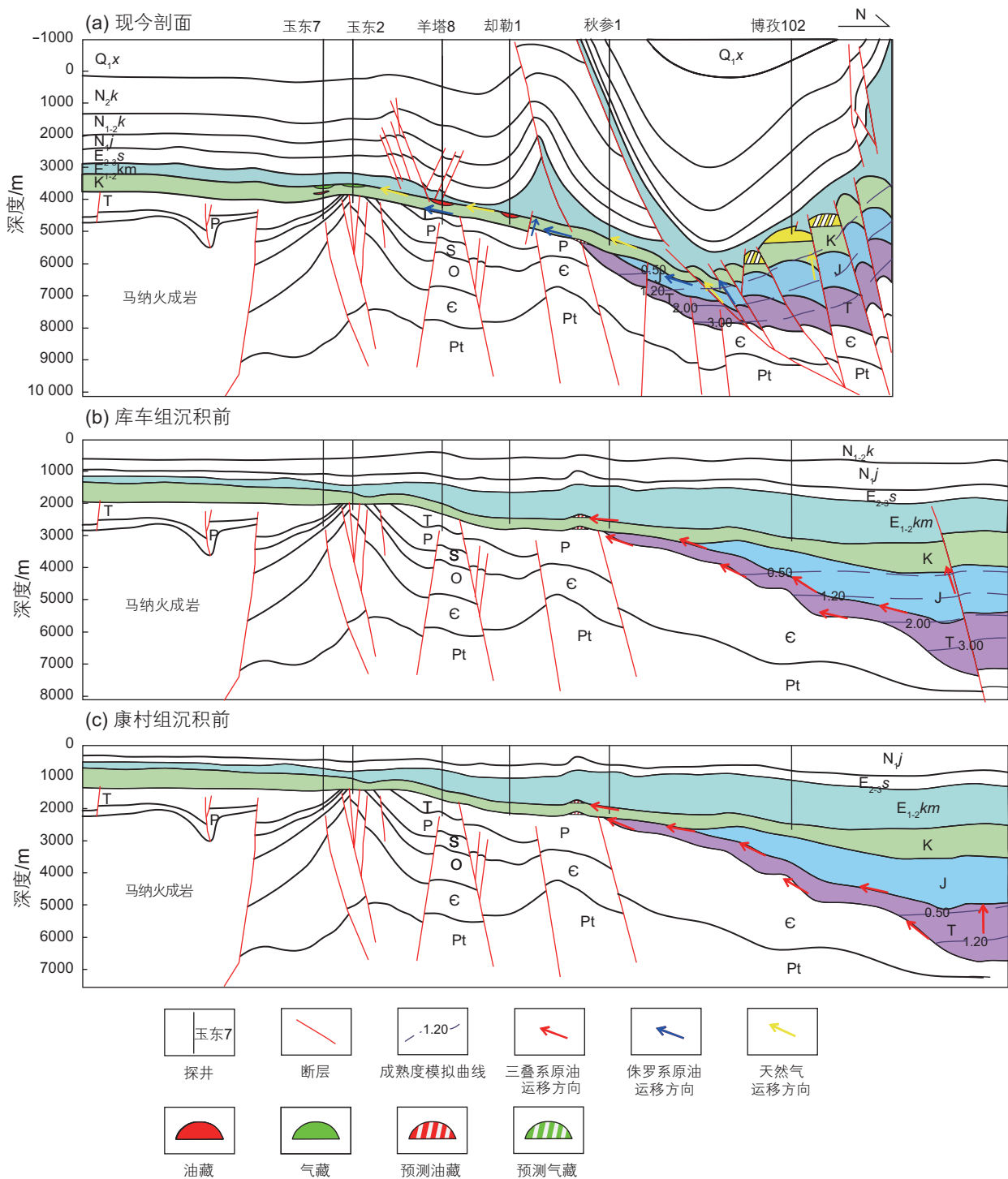


图 10 研究区西部博孜 102 井-秋参 1 井-却勒 1 井-羊塔 8 井-玉东 2 井-玉东 7 井剖面油气成藏模式动态示意图 (a) 现今时期; (b) 5 Ma; (c) 16Ma

Fig. 10 Dynamic diagram of oil and gas accumulation model by wells Bozi 21–Qiucan 1–Quele 1–Yangta 8–Yudong 2–Yudong 7 in the eastern part of the study area showing the hydrocarbon migration system evolution at (a) at present; (b) at 5 Ma and (c) 16 Ma in the study area

坡古潜山顶不整合面、白垩系砂岩、白垩系顶不整合输导体系在流体势能的作用下向南部浅层构造高部位侧向运移, 受喜马拉雅早期造山运动的影响, 早期秋

里塔格构造带在秋参 1 井南部形成, 由于受到南北向的挤压作用, 秋参 1 井南部形成古隆起和凹槽, 导致三叠系黄山街组油源的油气受阻碍无法侧向运移至却

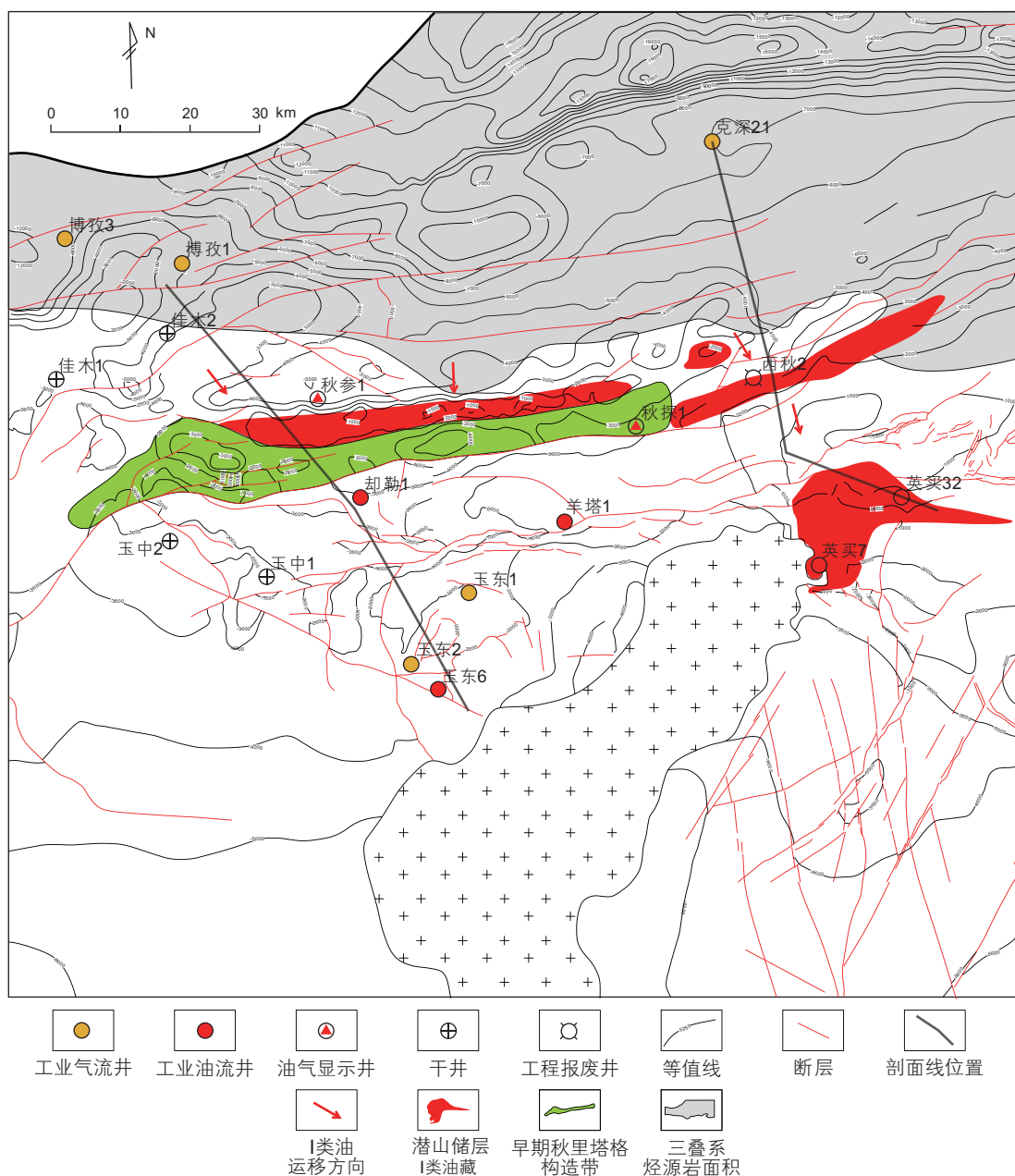


图 11 研究区 I 类油藏预测有利勘探区带分布图

Fig. 11 Predicted traps for the group I oils accumulation in the study area

勒-羊塔克-玉东井区，停留在秋参 1 井区南部聚集成 I 类原油油藏。

4.3.2 5~2 Ma 却勒-羊塔克-玉东井区

库车组沉积期(5~2 Ma)，拜城凹陷黄山街组烃源岩过成熟，侏罗系恰克马克组湖相烃源岩进入成熟-高成熟阶段， R_o 值在 1.2% 左右，达到生油高峰(图 10)。研究区受喜山晚期构造运动影响，北部山前带开始抬升并形成大规模逆冲推覆构造，喜山晚期大规模构造变形具有向南传递的特点，南斜坡受到影响隆升变形，同时在羊塔 8 井区南部形成一系列规模较小的以中-

高角度切割新生界底部的正断层，这些正断层对于侧向运移至南斜坡的油气起垂向调节作用。在晚期构造运动改造下，却勒-羊塔克-玉东构造带可以聚集恰克马克组油源油气。侏罗系恰克马克组烃源岩排出的油气沿着白垩系砂体高孔渗优势通道、潜山顶不整合面输导体系侧向运移至却勒 1 井北部、再经小型调节正断层垂向运移至白垩系顶不整合面、古近系底不整合面侧向输导体系，最终抵达却勒-羊塔克-玉东构造带，在却勒-羊塔克-玉东井区古近系底砂岩、白垩系砂岩有利构造高部位储层中形成 II 类原油油藏^[35]。

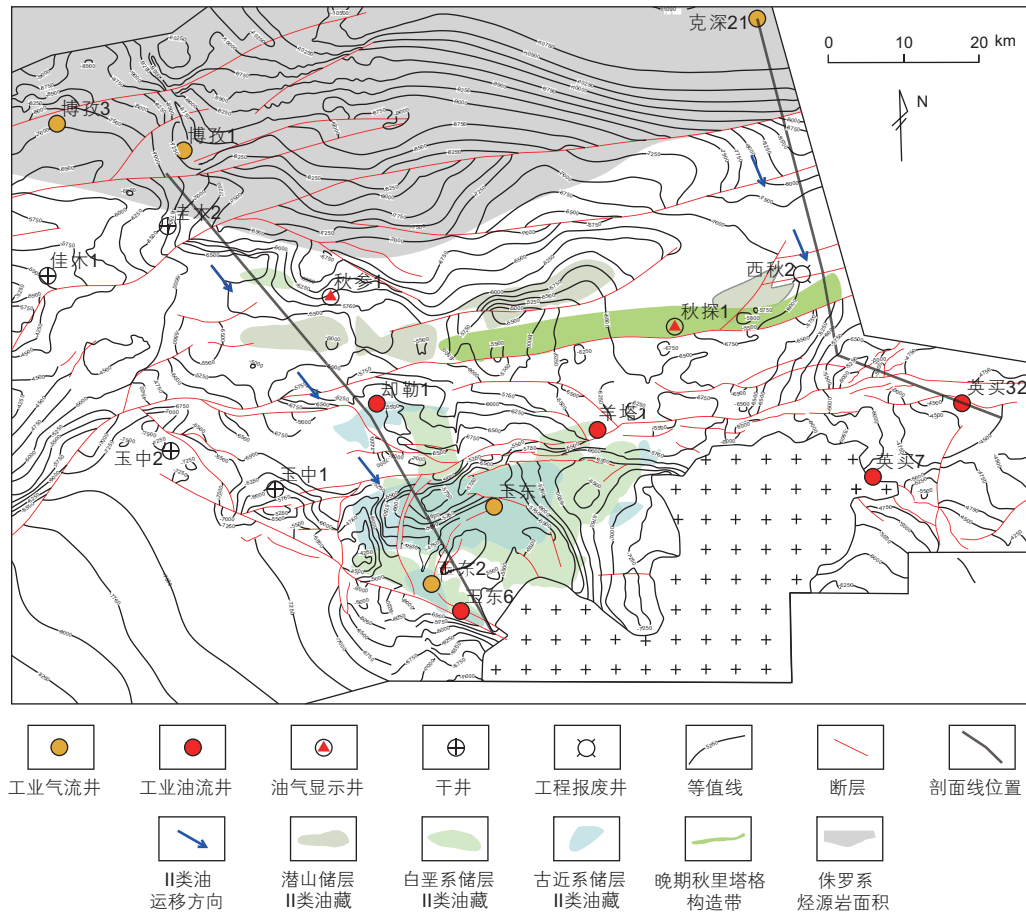


图 12 研究区 II 类油藏预测有利勘探区带分布图

Fig. 12 Predicted traps for the group II oils accumulation in the study area

4.4 有利勘探区预测

利用三维构造建模演化恢复 16.0~5.0 Ma 时期碳酸盐岩输导层顶面构造图，确定该时期秋里塔格构造带呈 EW 向分布在研究区西部(图 11)，这使得 I 类原油无法翻越研究区西部秋里塔格构造带继续侧向运移至却勒-羊塔克-玉东井区，据此推测 I 类油藏主要分布于研究区东部有利构造带，即英买 32 井区附近的潜山储层有利构造圈闭；同时 16.0~5.0 Ma 秋里塔格构造带北部的古潜山和白垩系储层的构造高部位也被预测能够汇聚 I 类油藏。当库车南斜坡原油受秋里塔格构造带影响，无法进行长距离侧向运移时，烃源灶周缘古隆起就具备形成大型油气聚集带的条件。

根据 5.0~2.0 Ma 时期碳酸盐岩输导层顶面构造平面图可以看出，受近南北向强烈区域挤压作用，晚期至现今秋里塔格构造带呈近东西向分布在研究区中东部(图 12)。由于西侧无秋里塔格构造带的侧向阻挡，所以预测 II 类油藏主要分布于研究区西部却勒-羊

塔-玉东井区白垩系、古近系储层的有利构造高部位，其次分布于烃源灶周缘古隆起。总结发现，烃源灶周缘古隆起在 16.0~5.0 Ma、5.0~2.0 Ma 两个成藏期都被预测为有利勘探区，因此一致认为在烃源岩与秋里塔格构造带之间的隆起构造应予高度关注。

秋参 1 井与西秋 2 井是研究区烃源岩与秋里塔格构造带之间的两口失利探井，失利原因一直无定论，一度怀疑两口井是否具备复产的可能性。经过研究后认为，虽然秋参 1 井靠近烃源岩且在两个成藏期都处于油气运移路径上，但从构造演化图件中发现该井一直未发育有效构造圈闭，这导致失利；西秋 2 井在钻井完井报告中显示因工程原因未钻至碳酸盐岩潜山及白垩系储层，导致钻探失利，但通过 16.0~5.0 Ma 时期碳酸盐岩输导层顶面构造图发现，其处于 I 类油藏预测圈闭范围内，所以建议继续加深钻探西秋 2 井至白垩系及碳酸盐岩潜山储层。

5 结论

1) 根据研究区的原油空间分布、族组分、生物标志化合物指纹、参数对比及全油碳同位素的特征分异,将研究区原油分成了I类英买32井区原油和II类却勒-羊塔-玉东井区原油。

2) 库车南斜坡西段的油藏分为两类,成藏期分为两期,第一期为三叠系黄山街组烃源岩大量生油后在英买32井区成藏,成藏时间约为9.0~6.4 Ma;第二期为侏罗系恰克马克组烃源岩大量生油后在却勒-羊塔-玉东井区成藏,成藏时间约为4.8~3.0 Ma。

3) 西秋里塔格构造带不同成藏期的演化控制原油

输导体系的演变,对两类原油聚集成藏起主要控制作用,16.0~5.0 Ma早期秋里塔格构造带雏形致使研究区西部油气输导体系不畅通,I类油藏分布于研究区东部;5.0~2.0 Ma晚期秋里塔格构造带致使研究区东部油气输导体系不畅通,致使II类油藏分布于研究区西部。同时烃源灶周缘西秋古隆起具备形成大型油气聚集带的条件。

致谢: 本文研究过程中,中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院杨宪章、杨文静、张亮、许安明、王晓雪、蒋俊、吴少军、王祥等领导、专家在项目研究和资料提供方面给予了支持和帮助,在此致以衷心感谢!

参考文献

- [1] 赵孟军,鲁雪松,卓勤功,等.库车前陆盆地油气成藏特征与分布规律[J].石油学报,2015,36(4):395-404. [ZHAO M J, LU X S, ZHUO Q G, et al. Characteristics and distribution law of hydrocarbon accumulation in Kuqa foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(4): 395-404.]
- [2] 蔚远江,杨涛,郭彬程,等.中国前陆冲断带油气勘探、理论与技术主要进展和展望[J].地质学报,2019,93(3):545-564. [WEI Y J, YANG T, GUO B C, et al. Major advances and outlook for oil and gas exploration, theory and technology of foreland thrust belts in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(3): 545-564.]
- [3] 吕修祥,胡素云.塔里木盆地油气藏形成与分布[M].北京:石油工业出版社,1998. [LYU X X, HU S Y. Formation and distribution of oil and gas reservoirs in Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998.]
- [4] 田作基,张光亚,邹华耀,等.塔里木库车含油气系统油气成藏的主控因素及成藏模式[J].石油勘探与开发,2001,28(5):12-16. [TIAN Z J, ZHANG G Y, ZOU H Y, et al. The major controlling factors and pool-forming pattern of oil and gas reservoirs in Kuqa petroleum system, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(5): 12-16.]
- [5] 梁狄刚,张水昌,赵孟军,等.库车拗陷的油气成藏期[J].科学通报,2002,47(S1):56-63. [LIANG D G, ZHANG S C, ZHAO M J, et al. Hydrocarbon sources and stages of reservoir formation in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(S1): 56-63.]
- [6] 赵孟军,卢双舫.库车拗陷两期成藏及其对油气分布的影响[J].石油学报,2003,24(5):16-20. [ZHAO M J, LU S F. Two periods of reservoir forming and their significance for hydrocarbon distribution in Kuqa Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(5): 16-20.]
- [7] 张斌.塔里木盆地库车拗陷典型油气藏成因机制与分布规律[D].北京:中国地质大学(北京),2012. [ZHANG B. Petroleum accumulation system formation and occurrence in the Kuqa Depression, Tarim Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [8] 韩强.塔北隆起新和-三道桥地区古潜山构造演化及其控储、控藏作用研究[D].西安:西北大学,2021. [HAN Q. Tectonic evolution of the ancient buried hill and controls of reservoir and hydrocarbon accumulation in Xinhe-Sandaoqiao area of the northwest of Tarim Basin[D]. Xi'an: Northwest university, 2021.]
- [9] 王飞宇,杜治利,李谦,等.塔里木盆地库车拗陷中生界油源岩有机成熟度和生烃历史[J].地球化学,2005,34(2):136-146. [WANG F Y, DU Z L, LI Q et al. Organic maturity and hydrocarbon generation history of the Mesozoic oil-prone source rocks in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Geochimica, 2005, 34(2): 136-146.]
- [10] 刘春,陈世加,赵继龙,等.库车南斜坡中-新生界油气运移地球化学示踪[J].地质学报,2020,94(11):3488-3502. [LIU C, CHEN S J, ZHAO J L et al. Geochemical tracer of hydrocarbon migration path of Middle-Cenozoic in the south slope of the Kuqa foreland basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(11): 3488-3502.]
- [11] LIU J L, JIANG Z X, LIU K Y, et al. Hydrocarbon sources and charge history in the Southern Slope Region, Kuqa Foreland Basin, northwestern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2016, 74: 26-46.
- [12] LIANG D G, ZHANG S C, CHEN J P, et al. Organic geochemistry of oil and gas in the Kuga Depression, Tarim Basin, NW China[J]. Organic Geochemistry, 2003, 34(7): 873-888.

- [13] 赵文智, 何登发, 池英柳, 等. 中国复合含油气系统的基本特征与勘探技术[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 6-13+8. [ZHAO W Z, HE D F, CHI Y L et al. Major characteristics and exploration technology of multi-source petroleum systems in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 6-13+8.]
- [14] 郭继刚, 庞雄奇, 刘丹丹, 等. 库车坳陷中、下侏罗统煤系烃源岩排烃特征及资源潜力评价[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(2): 327-334. [GUO J G, PANG X Q, LIU D D, et al. Hydrocarbon expulsion for middle-lower Jurassic coal measures and evaluation of potential resource in Kuqa Depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(2): 327-334.]
- [15] 万桂梅, 汤良杰, 金文正, 等. 库车坳陷西部构造圈闭形成期与烃源岩生烃期匹配关系探讨[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 187-196. [WAN G M, TANG L J, JIN W Z et al. Control of salt-related Tectonics on oil and gas accumulation in the western Kuqa Depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2): 187-196.]
- [16] 陈书平, 金之钧, 孙海龙. 库车前陆区中-新生代盆山波动耦合[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 24-28+3. [CHEN S P, JIN Z J, SUN H L. Mesozoic-Cenozoic basin -mountain wave coupling in Kuqa foreland[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2004, 19(4): 24-28+3.]
- [17] 曾联波, 周天伟, 吕修祥. 喜马拉雅运动对库车坳陷油气成藏的影响[J]. 地球科学, 2002, 27(6): 741-744. [ZENG L B, ZHOU T W, LYU X X. Influence of Himalayan orogeny on oil & gas forming in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Earth Science, 2002, 27(6): 741-744.]
- [18] 凡闪, 卢玉红, 李玲, 等. 塔里木盆地库车坳陷吐格爾明及周缘地区三叠系-侏罗系烃源岩地球化学特征、分布规律与油气地质意义[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(12): 2074-2086. [FAN S, LU Y H, LI L, et al. Geochemical characteristics, distribution and petroleum geological significance of Triassic-Jurassic source rocks in the Tugeerming and surrounding areas of Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(12): 2074-2086.]
- [19] 徐振平, 杨宪彰, 能源, 等. 库车前陆冲断带构造分层变形特征[J]. 新疆石油地质, 2024, 45(05): 505-515. [XU Z P, YANG X Z, NENG Y, et al. Layered structural deformation characteristics of Kuqa foreland thrust belt[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2024, 45(05): 505-515.]
- [20] 能源, 李勇, 谢会文, 等. 库车前陆盆地盐下冲断带构造变换特征[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(1): 54-60. [NENG Y, LI Y, XIE H W, et al. Tectonic transformation characteristics of subsalt thrust belts in Kuqa foreland basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(1): 54-60.]
- [21] 张应麟. 南天山-库车逆冲推覆带中-新生界时滞演化模式研究及物源分析[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2021. [ZHANG Y L. Meso-cenozoic lagtime evolution model and provenance analysis of the southern Tianshan-Kuqa thrust nappe[D]. Beijing: China University of Petroleum -Beijing, 2021.]
- [22] 李泽州. 库车坳陷英买力地区白垩系巴什基奇克组砂岩储层特征[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2023. [LI Z Z. Sandstone reservoir characteristics of Cretaceous Bashijiqike Formation in Yingmaili area, Kuqa Depression[D]. Beijing: China University of Petroleum-Beijing, 2023.]
- [23] 王清华, 徐振平, 张荣虎, 等. 塔里木盆地油气勘探新领域、新类型及资源潜力[J]. 石油学报, 2024, 45(1): 15-32. [WANG Q H, XU Z P, ZHANG R H, et al. New fields, new types of hydrocarbon explorations and their resource potentials in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(1): 15-32.]
- [24] MA Y S, CAI X Y, LU Y, et al. Practice and theoretical and technical progress in exploration and development of Shunbei ultra-deep carbonate oil and gas field, Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(1): 1-20.
- [25] 曹日洲, 周慧, 桂丽黎, 等. 塔里木盆地温宿凸起吉迪克组成岩与成藏过程——以古木1油藏为例[J]. 中国矿业大学学报, 2023, 52(5): 976-989. [CAO R Z, ZHOU H, GUI L L, et al. Diagenetic and hydrocarbon accumulation process of Jidike Formation in the Wensu uplift: A case study of Gumu 1 reservoir[J]. Journal of China University of Mining, 2023, 52 (5): 976-989.]
- [26] 石伟光. 塔北温宿及周缘地区油气地球化学特征与成因[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2020. [SHI W G. Geochemical characteristics and mechanism of Oils from the Wensu Salient and its surrounding areas in the northern Tarim Basin[D]. Beijing: China University of Petroleum -Beijing, 2020.]
- [27] 王清华, 张亮, 吕修祥, 等. 库车前陆盆地前缘隆起西段油气成藏类型及分布预测[J]. 石油学报, 2023, 44(5): 730-747. [WANG Q H, ZHANG L, LYU X X, et al. Hydrocarbon accumulation types and distribution prediction of western section of frontal uplift of Kuqa foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(5): 730-747.]
- [28] 杨颖. 燕辽坳陷下花园地区中元古界下马岭组生物标志物特征[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020. [YANG Y. Biomarker characteristics of the Xiamaling Formation in the Mesoproterozoic in Xiayuayuan area of Yanliao Depression[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.]
- [29] 汪瑞. 库车南斜坡西段油气运移与成藏模式研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2023. [WANG R. South slope of kuqa western oil and gas migration and accumulation model research[D]. Beijing: China University of Petroleum-Beijing, 2023.]
- [30] 明渊博. 库车坳陷古近系-白垩系原油来源及成藏期次[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2022. [MING Y B. Source and accumulation stages of Paleogene-Cretaceous crude oil in Kuqa Depression[D]. Beijing: China University of Petroleum-Beijing, 2022.]

- [31] 昌伦杰, 赵海涛, 李文浩, 等. 塔里木盆地塔北隆起英买力地区陆相原油分子地球化学特征及来源[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2024, 21(03): 20–25. [CHANG L J, ZHAO H T, LI W H, et al. Molecular geochemical characteristics and origin of continental crude oils in Yingmaili area, Tabei Uplift, Tarim Basin[J]. Journal of Yangtze University (natural science edition), 2024, 21 (3) : 20–25.]
- [32] 朱鹏飞. 塔里木盆地塔北隆起陆相油气运聚过程研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2022. [ZHU P F. Processes of continental facies hydrocarbon migration and accumulation in the Tabei Uplift, Tarim Basin [D]. Qingdao: China University of Petroleum (east China), 2022.]
- [33] 刘建良, 刘可禹, 姜振学. 库车前陆盆地玉东地区白垩系油气成藏过程[J]. 石油学报, 2018, 39 (6) : 620–630. [LIU J L, LIU K Y, JIANG Z X. Cretaceous hydrocarbon accumulation process in Yudong area, Kuqa foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39 (6): 620–630.]
- [34] 王珂, 张荣虎, 曾庆鲁, 等. 塔里木盆地库车坳陷秋里塔格构造带箱形褶皱形成机制及油气勘探意义[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(9): 1384–1396. [WANG K, ZHANG R H, ZENG Q L, et al. Formation mechanism of the box fold and its significance in the Qiulitage structural belt of Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(9): 1384–1396.]
- [35] 徐壮, 石万忠, 王任, 等. 塔北隆起西部地区白垩系碎屑岩油气成藏规律及成藏模式[J]. 岩性油气藏, 2023, 35(2): 31–46. [XU Z, SHI W Z, WANG R, et al. Hydrocarbon accumulation law and model of Cretaceous clastic rocks in western Tabei Uplift[J]. Lithologic Reservoirs, 2023, 35(2): 31–46.]

(编辑 付娟娟)

第一作者: 张昊 (1995年—), 博士研究生, 从事油气资源形成、分布与勘查方向研究, cupzh2021@163.com。

通讯作者: 吕修祥 (1963年—), 博士, 教授, 从事油气资源形成、分布与勘查方向研究, luxx@cup.edu.cn。