

文章编号: 0253-2697(2023)05-0730-18 DOI:10.7623/syxb202305002

# 库车前陆盆地前缘隆起西段油气成藏类型及分布预测

王清华<sup>1</sup> 张亮<sup>1</sup> 吕修祥<sup>2,3</sup> 周露<sup>1</sup> 汪瑞<sup>2,3</sup>

(1. 中国石油塔里木油田公司 新疆库尔勒 841000; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249;

3. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249)

**摘要:**库车前陆盆地前缘隆起位于库车前陆盆地的南端,油气资源丰富,是库车前陆盆地重要的油气勘探领域。目前在前缘隆起下部的海相克拉通构造层系和上部的陆相前陆构造层系中均获得油气勘探发现,复杂的地质背景使两套构造层系的油气成藏特征差异明显,制约了进一步油气勘探。综合钻井、岩石薄片和烃源岩测试、储集物性分析及油气化验资料,系统研究了库车前陆盆地前缘隆起西段的油气来源、油气成藏期、油气运移方向及输导体系特征,阐明了前缘隆起西段的油气成藏条件,并结合典型油气藏剖析,明确了研究区油气藏类型及分布特征。研究结果表明:①库车前陆盆地前缘隆起西段的油气主要来源于盆地北部三叠系—侏罗系湖相烃源岩和煤系烃源岩;②研究区发育中生界—新生界砂体—构造共控型油气藏和海相古风化壳主控型潜山油气藏,根据沉积背景与岩性差异,可将后者进一步划分为海相碳酸盐岩古风化壳型潜山油气藏和海相碎屑岩古风化壳型潜山油气藏;③综合各成藏要素,在研究区优选出海相古风化壳潜山有利勘探区(I类有利区)、古近系底部砂岩砂体—构造共控型勘探有利区(II类有利区)和白垩系巴西改组砂体—构造共控型勘探有利区(III类有利区),以期为下一步油气勘探提供理论指导。

**关键词:**库车前陆盆地;前缘隆起;油气运移;输导体系;油气成藏类型

**中图分类号:**TE122

**文献标识码:**A

## Hydrocarbon accumulation types and distribution prediction of western section of frontal uplift of Kuqa foreland basin

Wang Qinghua<sup>1</sup> Zhang Liang<sup>1</sup> Lü Xiuxiang<sup>2,3</sup> Zhou Lu<sup>1</sup> Wang Rui<sup>2,3</sup>

(1. PetroChina Tarim Oilfield Company, Xinjiang Korla 841000, China;

2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** The frontal uplift of Kuqa foreland basin is located at the southern end of the basin, which is rich in oil and gas resources. It is an important field for oil-gas exploration in Kuqa foreland basin. At present, oil and gas discoveries have been made in exploration of both marine cratonic tectonic strata and continental foreland tectonic strata in the lower and upper parts of the frontal uplift, respectively. The complex geological background leads to significant differences in oil and gas accumulation characteristics between the two sets of tectonic strata, thus restricting the further oil-gas exploration. Based on the data of drilling, rock thin section and source rock tests, reservoir property analysis, and hydrocarbon assay, this paper systematically investigates the oil and gas source, hydrocarbon accumulation period, oil and gas migration direction, and transport system characteristics of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin, and clarifies the hydrocarbon accumulation conditions of the western section of the frontal uplift. Further, in combination with the analyses of typical reservoirs, the types and distribution characteristics of reservoirs in the study area are determined. The findings show that: (1) The oil and gas in the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin are mainly originated from the Triassic-Jurassic lacustrine source rocks and coal-measure source rocks in the northern part of the basin; (2) Mesozoic-Cenozoic sand body and tectonics co-controlled reservoirs and marine paleoweathering crust dominated buried hill reservoirs are developed in the study area; according to the differences of depositional setting and lithology, the latter can be further divided into marine carbonate paleoweathering crust type buried hill reservoirs and marine clastic paleoweathering crust type buried hill reservoirs; (3) Based on various hydrocarbon accumulation factors, the favorable exploration area of marine palaeoweathering crust buried hill reservoirs (Type I), that of the Paleogene basal sandstone sand body and tectonics co-controlled reservoirs (Type II), and that of the Cretaceous Baxigai Formation sandbody-structure co-controlled reservoirs (Type III) are optimized in the study area, aiming to provide theoretical guidance for further oil-gas exploration.

**Key words:** Kuqa foreland basin; frontal uplift; oil and gas migration; transport system; oil and gas accumulation types

**引用:**王清华,张亮,吕修祥,周露,汪瑞.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.

**Cite:** WANG Qinghua, ZHANG Liang, LÜ Xiuxiang, ZHOU Lu, WANG Rui. 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.

前陆盆地是世界上资源最丰富的盆地类型之一,地北部,是中国目前勘探程度和研究程度最高的前陆盆地,也是中国重要的天然气勘探与开发基地。库车油气资源潜力巨大<sup>[1-6]</sup>。库车前陆盆地位于塔里木盆地,也是中国重要的天然气勘探与开发基地。库车

**基金项目:**国家自然科学基金企业创新发展联合基金项目(No. U21B2062)资助。

**第一作者:**王清华,男,1968年8月生,2007年获浙江大学博士学位,现为中国石油塔里木油田公司教授级高级工程师,主要从事油气勘探研究工作。Email: wqh-tlm@petrochina.com.cn

**通信作者:**吕修祥,男,1963年12月生,1994年获中国石油勘探开发研究院博士学位,现为中国石油大学(北京)博士生导师,主要从事油气藏形成机理与分布规律方面的研究工作。Email: luxx@cup.edu.cn

前陆盆地油气勘探历程主要经历了 4 个阶段:前缘斜坡带凝析气田群勘探阶段(1990—1993 年)、前陆冲断带浅层盐下大气田发现阶段(1998—2001 年)、21 世纪克拉苏盐下深层大气区发现阶段(2007 年至今)和南缘古隆起周缘岩性地层勘探阶段(2013 年至今)<sup>[7-10]</sup>。自 1998 年克拉 2 大气田发现以来,库车前陆盆地油气勘探成果丰硕,截至 2021 年底,库车前陆盆地探明天然气地质储量为  $1.89 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 、石油地质储量为  $1.29 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[11]</sup>。寻找战略接替领域是目前库车前陆盆地油气勘探任务的重中之重,从油气运移成藏的角度及现有勘探发现情况来看,库车前陆盆地前缘隆起无疑是寻找勘探目标的有利地区。

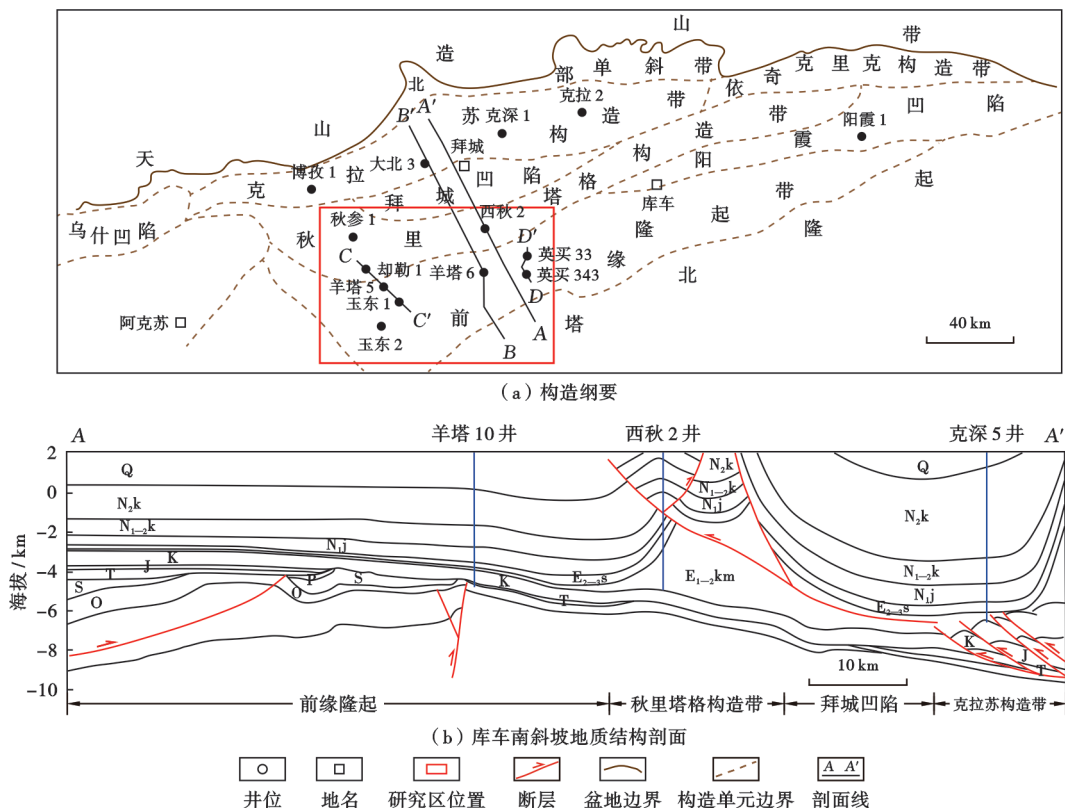
前缘隆起是库车前陆盆地的一个一级构造单元,位于台盆区环满加尔凹陷海相油气聚集带和前陆区库车前陆冲断带两大油气聚集带之间,是塔里木盆地油气最富集的地区之一,也是多目的层、海陆相叠置的复式聚集带。目前已在库车前陆盆地前缘隆起发现玉东、玉东 2、羊塔克、英买 7、牙哈、红旗和却勒 1 号构造等 25 个油气藏,累积探明天然气地质储量  $1\ 030 \times 10^8 \text{ m}^3$  和石油地质储量  $0.52 \times 10^8 \text{ t}$ 。前人针对库车前陆盆地前缘隆起的典型油气藏特征、油气运移输导特征、油气来源等石油地质特征开展了大量研究,认为前

缘隆起中生界—新生界整体属于库车前陆盆地的陆相含油气系统,油气藏主要为盆地北部的三叠系—侏罗系烃源岩生成的烃类经长距离侧向运移后在前缘隆起聚集成因<sup>[12]</sup>。整体上,当前对库车前陆盆地前缘隆起的油气成藏类型及其分布规律的认识不足,且该区含油气系统框架复杂、目的层埋藏较深,造成其内部油气运聚特征和成藏类型及分布特征不明确、油气勘探程度低、勘探失利率高,制约了进一步油气勘探。

在前人研究基础上,综合讨论了库车前陆盆地前缘隆起的油气来源、成藏期、油气运移与输导特征,结合典型油气藏剖析,系统分析了库车前陆盆地前缘隆起西段的油气成藏类型与分布特征,并预测了有利勘探区、评价了资源潜力,以期为研究区下一步油气勘探部署提供理论支撑。

### 1 地质背景

库车前陆盆地位于塔里木盆地的北部,是中国西部重要的生烃盆地,油气资源十分丰富,勘探潜力巨大。受多期构造活动的影响,现今的库车前陆盆地在平面上主要划分秋里塔格构造带、依奇克里克构造带、克拉苏构造带、北部单斜带、阳霞凹陷、拜城凹陷、乌什凹陷和前缘隆起(或南部斜坡带)[图 1(a)]。



注: E—寒武系; O—奥陶系; S—志留系; P—二叠系; T—三叠系; J—侏罗系; K—白垩系; E<sub>1-2</sub>km—古新统一始新统库姆格列木群; E<sub>2-3</sub>s—始新统一渐新统苏维组; N<sub>1j</sub>—吉迪克组; N<sub>1-2</sub>k—康村组; N<sub>2</sub>k—库车组; Q—第四系。

图 1 库车前陆盆地前缘隆起构造位置与地质结构剖面

Fig. 1 Tectonic location and geological structure profile of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

前缘隆起位于库车前陆盆地的西南端,北接秋里塔格构造带,西接阿瓦提凹陷,南部毗邻满加尔凹陷。前缘隆起沉积地层具有双层结构特征:前三叠纪发育克拉通构造层,三叠纪以来发育前陆构造层,两者间呈角度不整合接触[图 1(b)]。自上而下依次钻遇第四系、新近系(库车组、康村组和吉迪克组)、古近系(苏维依组、库姆格列木群)、下白垩统(巴什基奇克组、巴西改组、舒善河组、亚格列木组)、侏罗系、三叠系、二叠系、志留系、奥陶系与寒武系(图 2)。目前,在前缘隆起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发育陆相油气藏,志留系、寒武系—奥陶系古风化壳潜山的表皮发育海相油气藏。

## 2 油气来源

### 2.1 烃源岩特征

库车前陆盆地前缘隆起西段毗邻拜城凹陷,陆相油气来源于坳陷北部广泛分布的三叠系—侏罗系湖相烃源岩和煤系烃源岩<sup>[13]</sup>,以中侏罗统恰克马克组、下侏罗统阳霞组和上三叠统黄山街组烃源岩为主。平面上,恰克马克组、阳霞组和黄山街组烃源岩的沉积中心均位于吐北 4—大北 6 井区和克拉 2—克拉 3 井区,向四周逐渐减薄。其中,恰克马克组主要发育湖相烃源岩,最大厚度达 250 m[图 3(a)],阳霞组发育煤系烃源岩,最大厚度达 300 m[图 3(b)],黄山街组湖相烃源岩最大厚度达 400 m[图 3(c)]。

库车前陆盆地烃源岩条件优越,为前缘隆起大范围的油气聚集提供了良好的物质基础。主力烃源岩的总有机碳(TOC)含量多大于 0.5%,其中,侏罗系恰克马克组烃源岩最大 TOC 含量大于 2.5%[图 4(a)];阳霞组烃源岩 TOC 含量由南向北呈增大趋势,最大 TOC 含量大于 4.0%[图 4(b)];三叠系黄山街组烃源岩最大 TOC 含量大于 2.0%[图 5(c)]。平面上,沉积中心主力烃源岩的 TOC 含量较高。库车前陆盆地烃源岩热演化中心位于克拉苏—依奇克里克构造带,特别是克深 1—克深 5 井区的烃源岩处于大范围生油气阶段。恰克马克组、阳霞组和黄山街组烃源岩镜质体反射率( $R_o$ )的最大值分别超过 2.4%、3.2%、3.6%(图 5)。

### 2.2 油气来源

前人对库车前陆盆地前缘隆起的油气来源进行了大量研究,通常把全油稳定碳同位素( $\delta^{13}C$ )值  $-27\%$  作为库车前陆盆地湖相油和煤型油的划分界限,原油  $\delta^{13}C$  值大于  $-27\%$  指示其为煤型油,原油  $\delta^{13}C$  值小于

$-27\%$  指示其为湖相油<sup>[14]</sup>。库车前陆盆地前缘隆起西段的原油  $\delta^{13}C$  值分布在  $-26\% \sim -30\%$ ,以湖相油为主。前人综合原油碳同位素特征和生物标志化合物特征,分析认为研究区却勒 1 井、玉东地区、玉东 2 井、羊塔克地区的原油主要来源于恰克马克组湖相烃源岩,而英买力地区白垩系及古潜山中的原油主要来源于黄山街组湖相烃源岩<sup>[12,15-18]</sup>。

$\delta^{13}C_2$  值是划分塔里木盆地煤型气和油型气的常用指标,通常认为  $\delta^{13}C_2$  值大于  $-28\%$  的天然气为煤型气, $\delta^{13}C_2$  值小于  $-28\%$  的天然气为油型气<sup>[19]</sup>。库车前陆盆地前缘隆起西段的天然气  $\delta^{13}C_2$  值介于  $-27.6\% \sim -21.3\%$ ,表明其主要为来源于侏罗系煤系烃源岩的煤型气。

### 2.3 油气成藏期

库车前陆盆地前缘隆起的陆相油气表现为两期成藏,具有“晚期成藏、早油晚气、持续生烃”的特征。早期成藏主要发生在吉迪克组—康村组沉积期,该阶段三叠系主力烃源岩的  $R_o$  大于 1.0%,达到生油高峰,而中—下侏罗统煤系烃源岩尚处在低熟阶段,该期主要表现为湖相油气聚集成藏。晚期成藏主要发生在库车组沉积期至今,库车前陆盆地中—下侏罗统烃源岩的  $R_o$  大于 2.0%,进入大量生干气阶段<sup>[20-21]</sup>,该期主要形成凝析气藏、干气藏。前人研究认为库车前陆盆地前缘隆起的油藏主要形成于 11~4 Ma,气藏主要形成于 5.0~2.5 Ma,其中,羊塔 1、英买 32、英买 21 等油气藏的原油成藏期较早<sup>[16-17,22-24]</sup>(图 6)。整体上,研究区油气藏以晚期成藏为主。

## 3 沉积储层特征

根据沉积环境,可将库车前陆盆地前缘隆起西段的储层划分为陆相沉积储层和海相沉积储层。其中,陆相沉积储层主要分布在白垩系巴什基奇克组、巴西改组以及古近系底部的砂岩段<sup>[25-29]</sup>;海相沉积储层主要分布在寒武系与志留系。

### 3.1 陆相沉积储层特征

前缘隆起西段的白垩系巴西改组发育沉积特征相似的块状和薄层状两类砂岩,其分布规律主要受控于沉积物源和相带展布,笔者以块状砂岩为例,分析了研究区巴西改组陆相沉积储层的分布规律。巴西改组块状砂岩受控于研究区东南方向的单一物源,平面上,在东南部为辫状河三角洲沉积体系,远离物源区依次发育辫状河三角洲平原亚相、辫状河三角洲前缘亚相近端及辫状河三角洲前缘亚相远端,到西北部逐渐过渡为滨—浅湖亚相(图 7)。巴什基奇克组砂岩为辫状河三角洲沉积、扇三角洲沉积,其平面分布受温宿凸起和



图 2 库车前陆盆地前缘隆起地层特征

Fig. 2 Stratigraphic characteristics of the southern slope of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

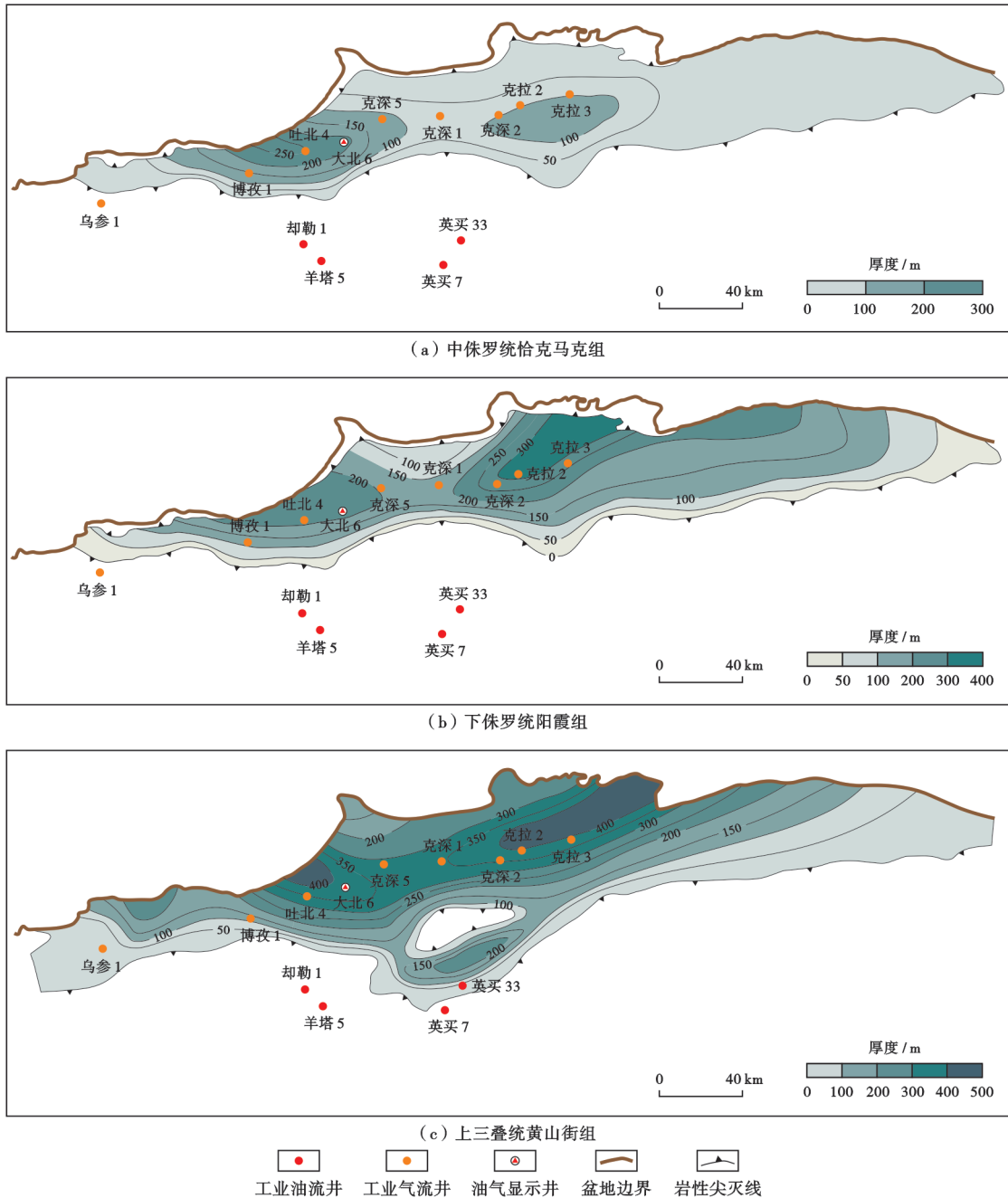


图3 库车前陆盆地三叠系—侏罗系烃源岩厚度分布

Fig. 3 Thickness distribution of Triassic and Jurassic source rocks in Kuqa foreland basin

库鲁克塔格山双重物源控制<sup>[29]</sup>,在西部却勒—玉中地区为扇三角洲平原亚相和扇三角洲前缘亚相砂岩,在东部玉东—英买—羊塔克地区为辫状河三角洲前缘亚相砂岩(图8)。古近系底部砂岩的平面分布主要受控于南天山和英买力隆起区两个不同方向的物源区,在研究区北部及英买力隆起区周缘主要发育三角洲平原—前缘亚相砂岩,西南部主要发育湖相沉积,砂岩欠发育(图9)。整体上,有利的沉积相带展布为前缘隆起陆相储层发育奠定了良好的物质条件。

研究区白垩系与古近系砂岩岩性以长石砂岩和岩

屑砂岩为主。储集空间类型多样,主要为粒间孔,同时发育粒内溶孔和泥质微孔,少量构造缝、破裂缝和岩石微裂缝可提高砂体的渗透率,有效改善储层储集物性(图10)。砂体储集物性较好,孔隙度主要分布在5.00%~25.00%(平均为14.02%),渗透率为1.00~300.00 mD(平均为184.86 mD,图11)。

### 3.2 海相沉积储层特征

库车前陆盆地前缘隆起残留的海相地层包括寒武系、奥陶系及下志留统,其中,海相古潜山风化壳表层是重要的储层。研究区寒武系—奥陶系为海相碳酸盐

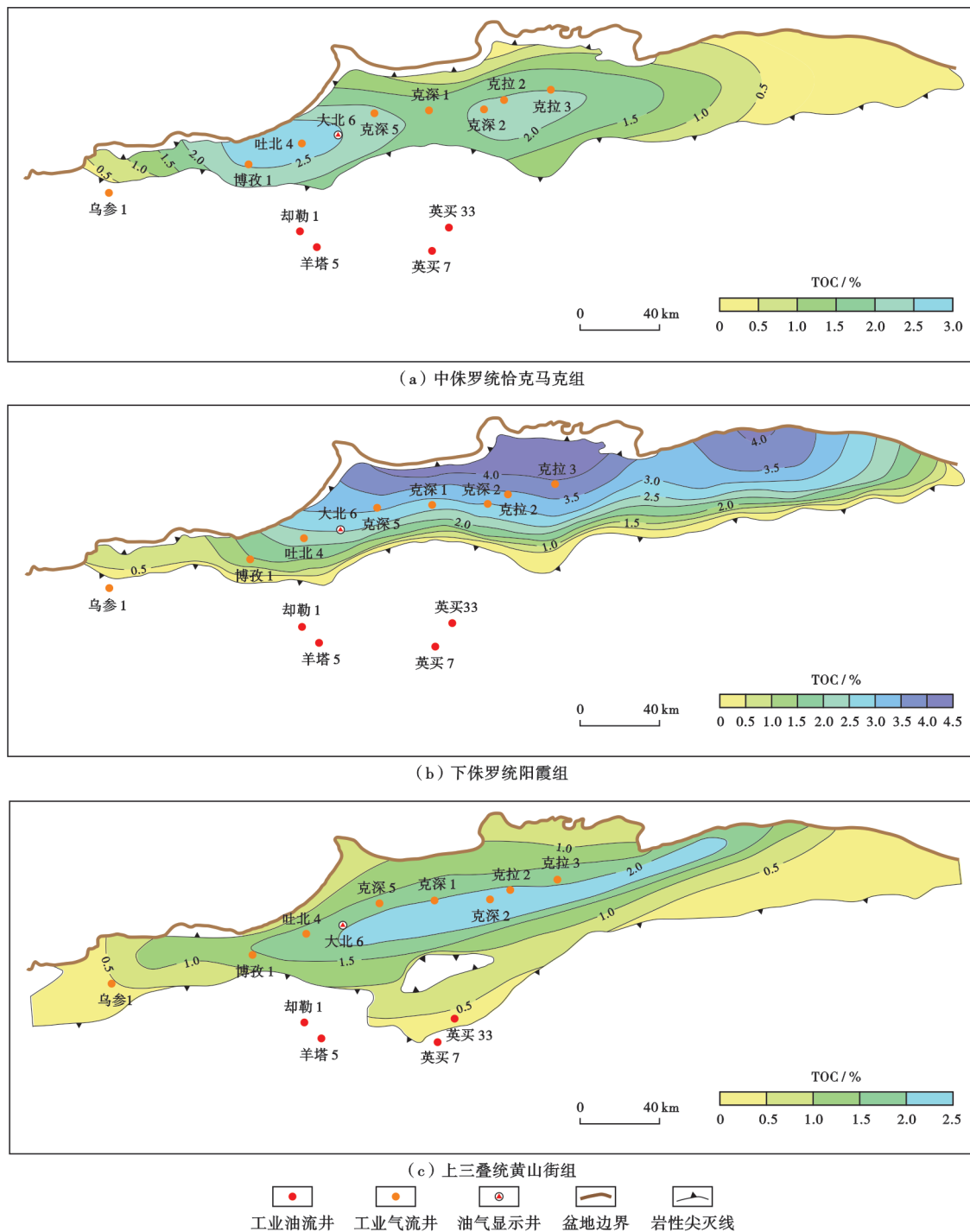


图 4 库车前陆盆地三叠系—侏罗系主力烃源岩 TOC 含量平面分布

Fig. 4 TOC contents plane distribution of the main source rocks of Triassic and Jurassic in Kuqa foreland basin

开阔台地相沉积,下志留统发育滨—浅海相碎屑岩沉积,以潮坪沉积为主<sup>[18,30]</sup>。前缘隆起西段的志留系碎屑岩储层岩性主要为岩屑石英砂岩,孔隙类型以原生粒间孔为主,同时发育粒间溶孔、粒内溶孔以及微裂缝,基质孔隙度主要在 1%~20%,渗透率主要在 1~1 000 mD。寒武系储层岩性主要为白云岩和硅质白云岩,孔隙类型以晶间孔和晶间溶孔为主,

同时发育构造缝,储层孔隙度在 1%~10%,渗透率在 0.02~5.00 mD(图 12)。整体上,前缘隆起海相储层的基质孔隙度极低,受后期地层抬升、长时间剥蚀淋滤的影响,海相地层上部发育风化壳储层,次生的粒内溶孔、粒间溶孔及构造缝发育,极大地扩充了基质孔隙的储集空间,有效改善了风化壳储层的储集性能。

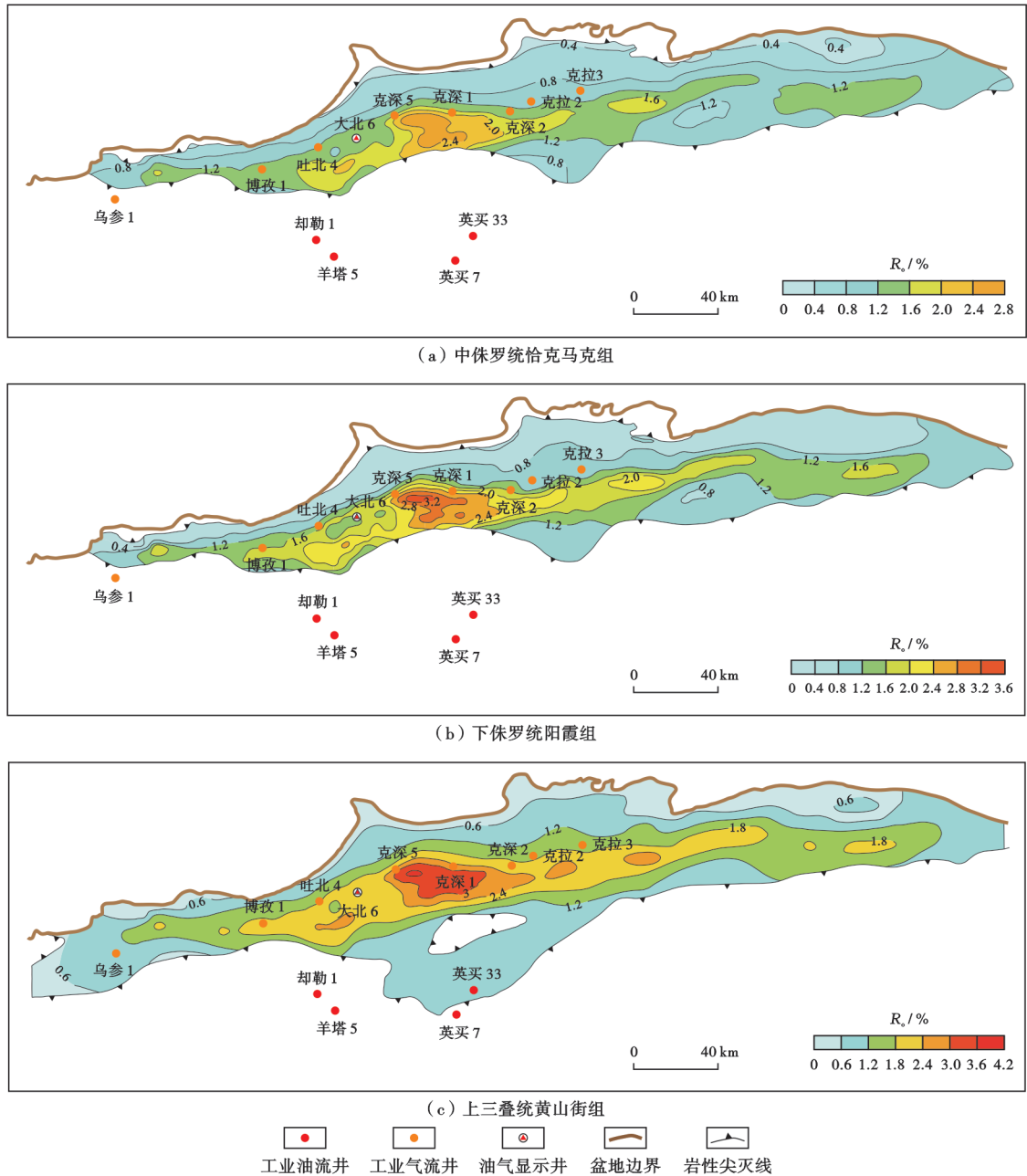


图5 库车前陆盆地三叠系—侏罗系主力烃源岩  $R_o$  平面分布

Fig. 5 Plane distribution of  $R_o$  of the main source rocks of Triassic and Jurassic in Kuqa foreland basin

## 4 油气运移输导特征

### 4.1 油气运移方向地球化学示踪

笔者利用典型油气地球化学指标的规律性变化,判识了库车前陆盆地前缘隆起西段白垩系—古近系油气运移方向及其变化规律。

#### 4.1.1 原油运移方向

原油中含有氮原子杂环的咪唑类分子具有较强的极性,在原油运移过程中会出现咪唑类的地质层分馏效应,即随着运移距离的增加,原油中含氮化合物的绝对丰度降低<sup>[31]</sup>,因此,含氮化合物含量的变化是判断原

油运移方向的重要指标。研究区白垩系—古近系原油的含氮化合物浓度在却勒1井、羊塔4井和英买7井等井区为高值,向南整体呈减小趋势。含氮化合物含量的平面变化规律指示白垩系—古近系原油存在3个主要的充注方向,整体表现为自北向南运移(图13)。

#### 4.1.2 天然气运移方向

天然气运移过程中,烃类气体组分的碳数越低,其运移能力越强。甲烷具有分子小、结构简单、密度低、极性弱、黏度小、扩散系数大等特点,相较于其他烃类气体,甲烷不易被岩石吸附,运移速率也快,因此,沿运移方向天然气的干燥系数( $C_1/C_{1+}$ )逐渐增大。库车前陆盆地前缘

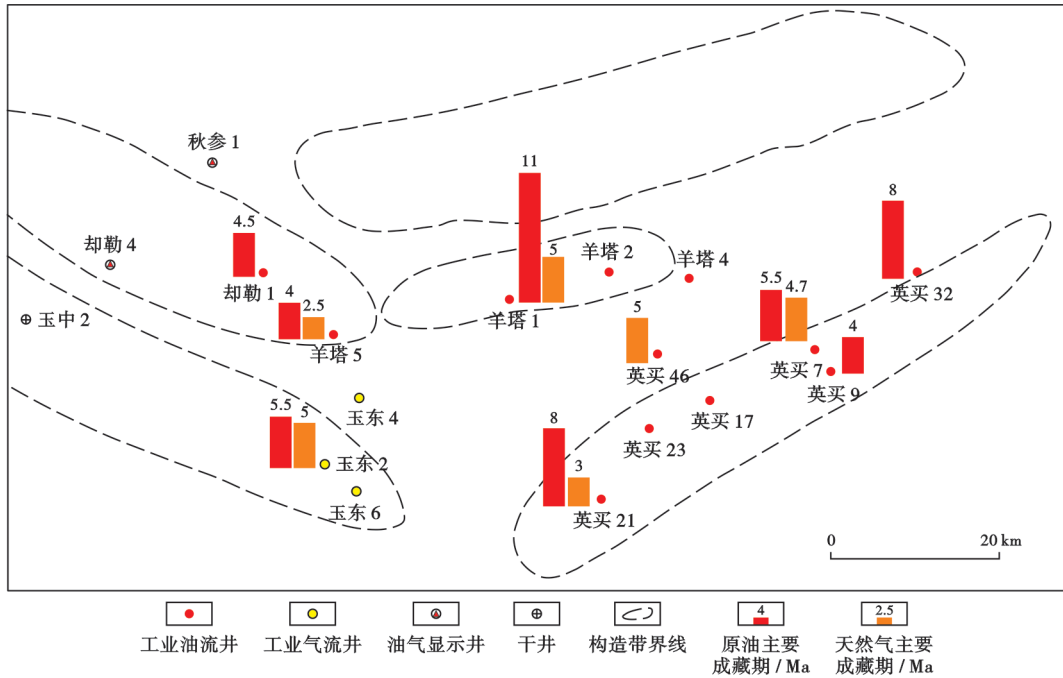


图 6 库车前陆盆地前缘隆起西段典型油气藏的成藏期(部分数据据文献[16-17,22-24])

Fig. 6 Formation period of typical oil and gas reservoirs of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

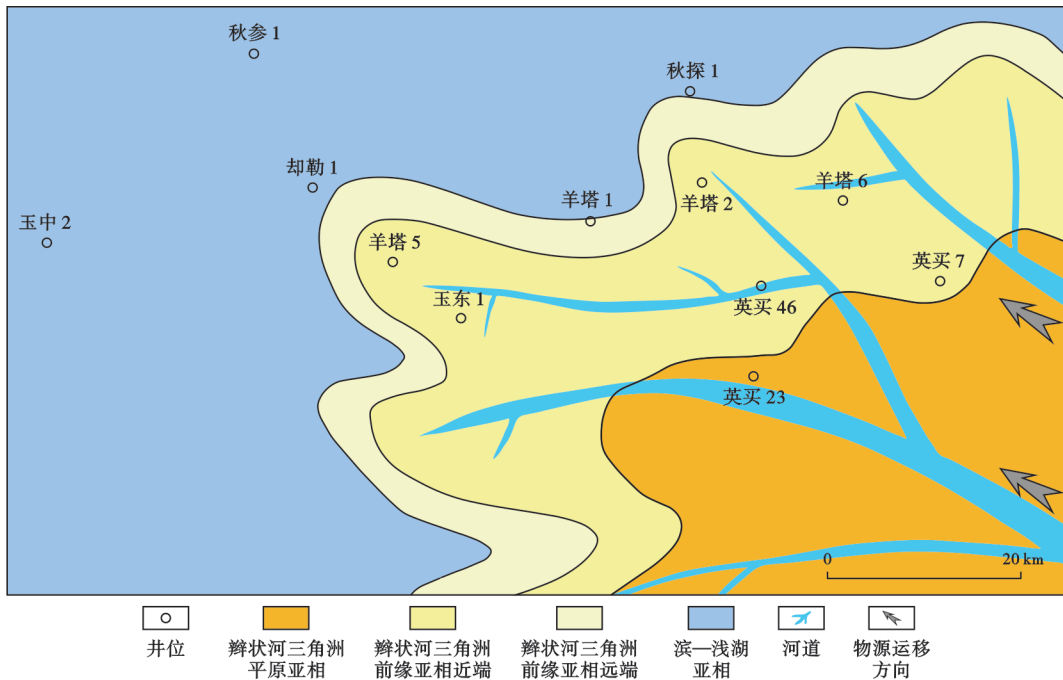


图 7 库车前陆盆地前缘隆起西段巴西改组块状砂岩沉积相

Fig. 7 Sedimentary facies of massive sandstone of the Baxigai Formation of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

隆起西段的白垩系—古近系天然气干燥系数平面分布规律指示其运移方向与原油运移方向相似(图 14)。

地球化学指标示踪结果表明,库车前陆盆地前缘隆起西段的白垩系—古近系油气整体呈由北向南运移的特征,这与前缘隆起南高北低的斜坡形态相契合,同时也证实了研究区油气主要来源于库车前陆盆地北部

的陆相烃源岩。

#### 4.2 油气输导体系特征

油气输导体系是沟通烃源岩与油气藏的重要纽带和桥梁,对油气运聚成藏具有重要控制作用。断裂、传导性砂体和区域不整合面是库车前陆盆地前缘隆起重要的油气运移聚集输导通道。



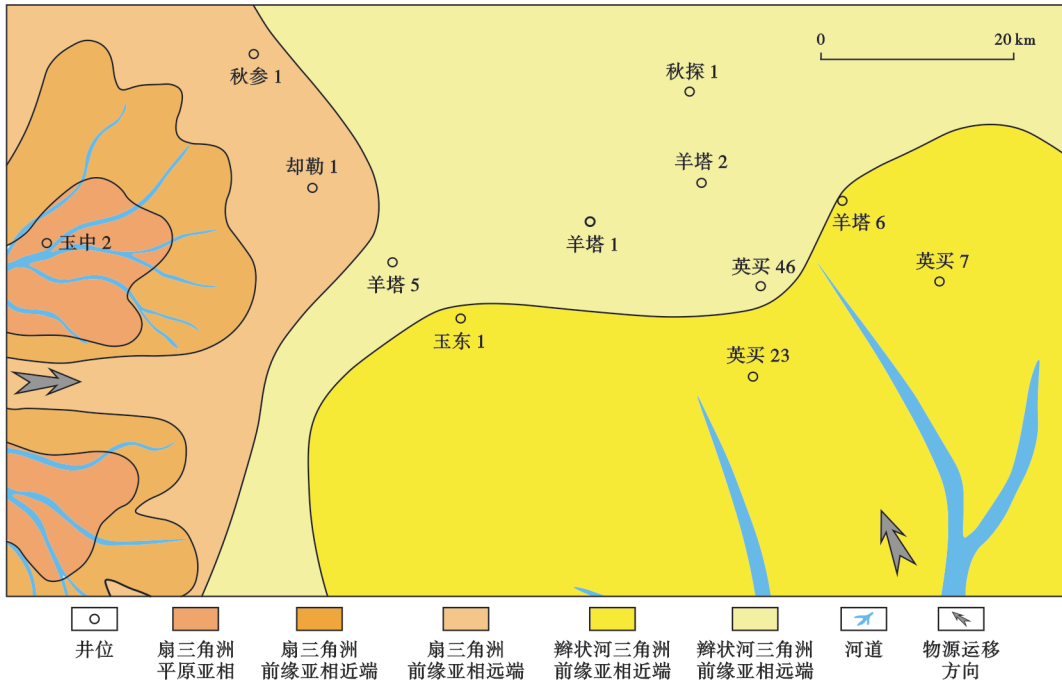


图 8 库车前陆盆地前缘隆起西段巴什基奇组一二段沉积相

Fig. 8 Sedimentary facies of Member 1 and 2 of Bashijiqi Formation of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

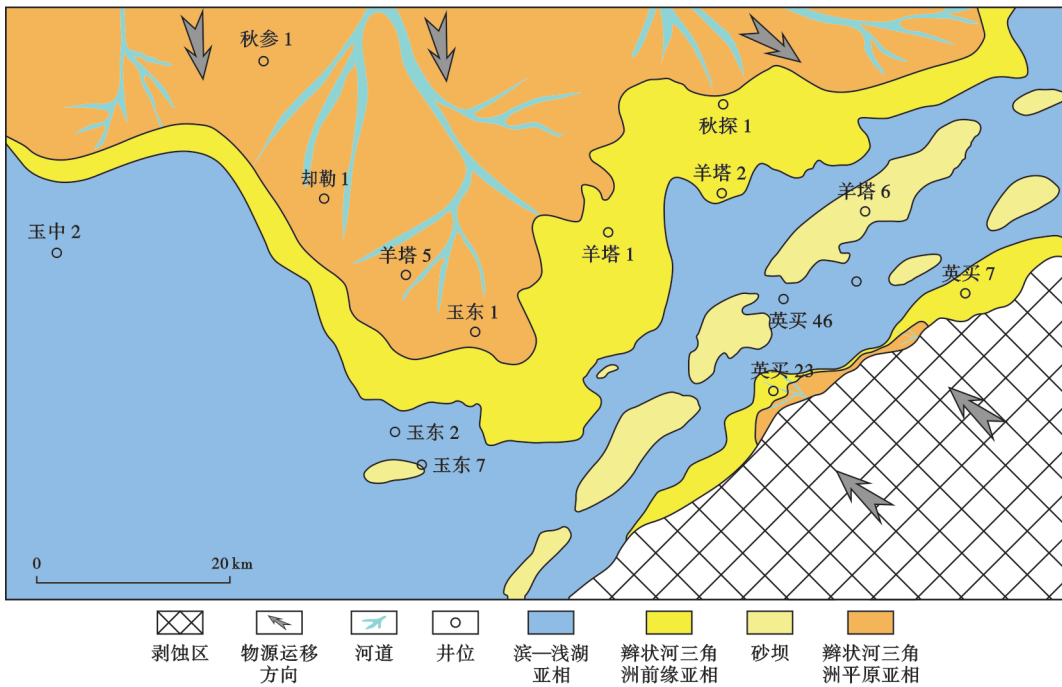


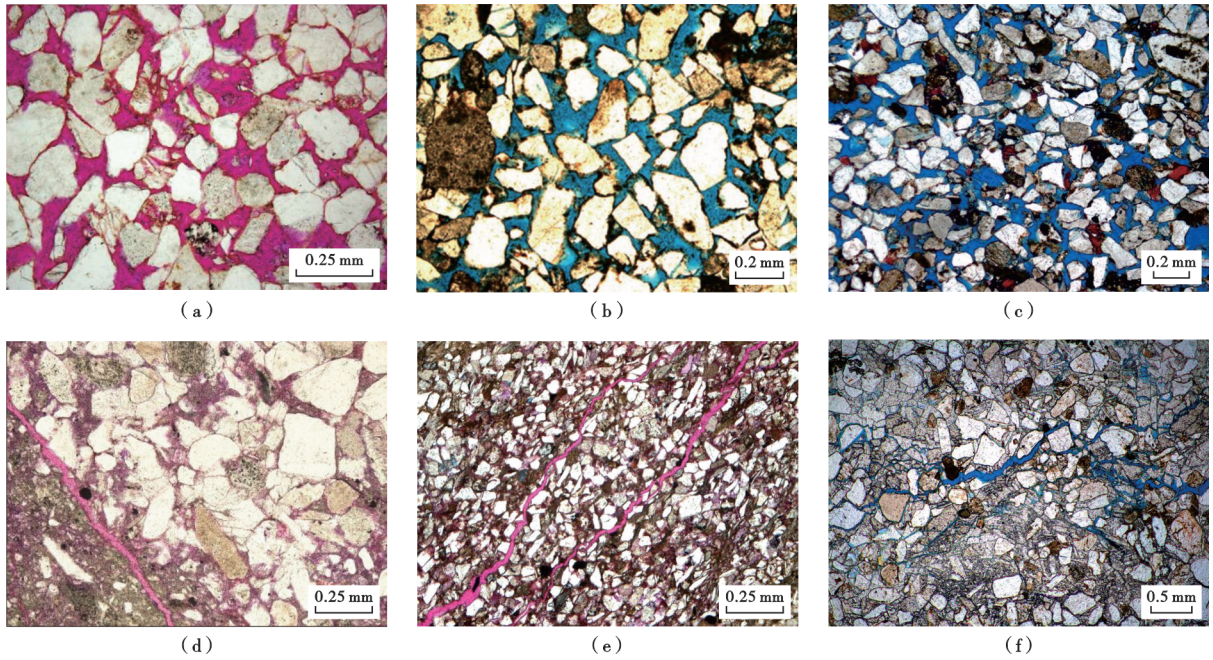
图 9 库车前陆盆地前缘隆起西段古近系库姆格列木群 3 砂组沉积相

Fig. 9 Sedimentary facies of the 3rd sand bed of Paleogene Kumugeliemu Group of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

4. 2. 1 断 裂

塔里木盆地经历了多期构造运动,尤其是新构造运动十分强烈,发育多期次、多构造样式的断裂,主干断裂走向为 NEE 向至近 EW 向,形成了多种类型的复杂断裂体系及大量与断层相关的圈闭,极大地影响

了盆地内部油气的运移和聚集<sup>[32]</sup>。库车前陆盆地的断裂主要形成于喜马拉雅运动期,主要分布在库姆格列木群膏盐岩层之下。平面上,以秋里塔格构造带为界线,以北主要发育大规模叠瓦状逆冲断层,沟通三叠系、侏罗系烃源岩层系,是库车前陆盆地重要的油源断



(a)原生粒间孔发育,古近系细粒岩屑长石砂岩,玉东 1 井 5 008. 25 m,铸体薄片;(b)原生粒间孔发育,见少量粒内溶孔,巴什基奇克组中一细粒长石岩屑砂岩,英买 46 井 4 889. 06 m,铸体薄片;(c)原生粒间孔发育,见少量粒内溶孔,巴西改组细粒岩屑长石砂岩,羊塔 6 井 5 469. 76 m,铸体薄片;(d)构造缝及分布于粒间泥晶—粉晶白云石和泥质中的微孔,古近系含膏含云中一细粒岩屑长石砂岩,玉东 101 井 4 972. 28 m,铸体薄片;(e)构造缝与泥质微孔隙,白垩系粗粉砂质极细粒长石岩屑砂岩,英买 7 井 5 109. 97 m,铸体薄片;(f)岩石微裂缝沿粒缘呈带状分布,白垩系膏质中粒长石砂岩,羊塔 4 井 5 260. 32 m,铸体薄片。

图 10 库车前陆盆地前缘隆起西段白垩系—古近系砂体孔隙结构特征

Fig. 10 Pore structure characteristics of sand bodies of Cretaceous and Paleogene of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

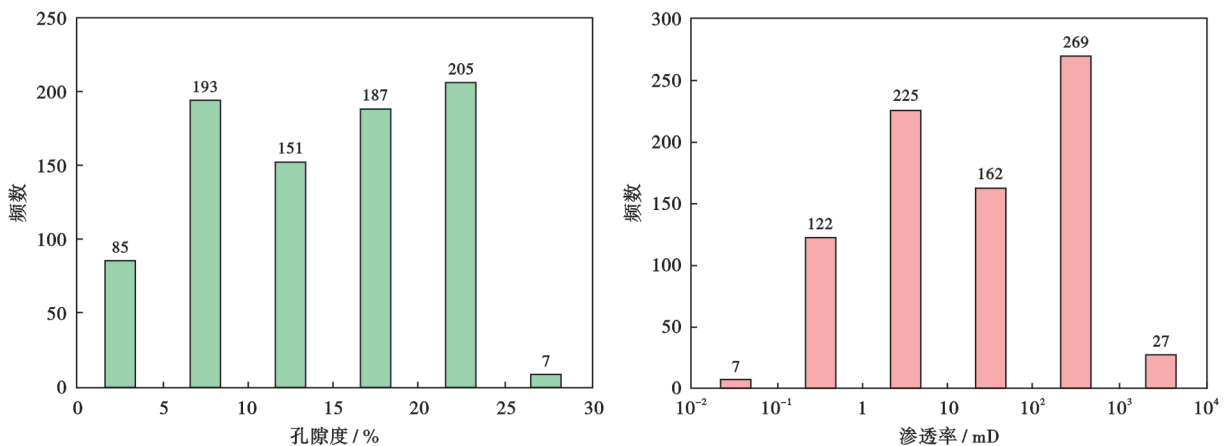


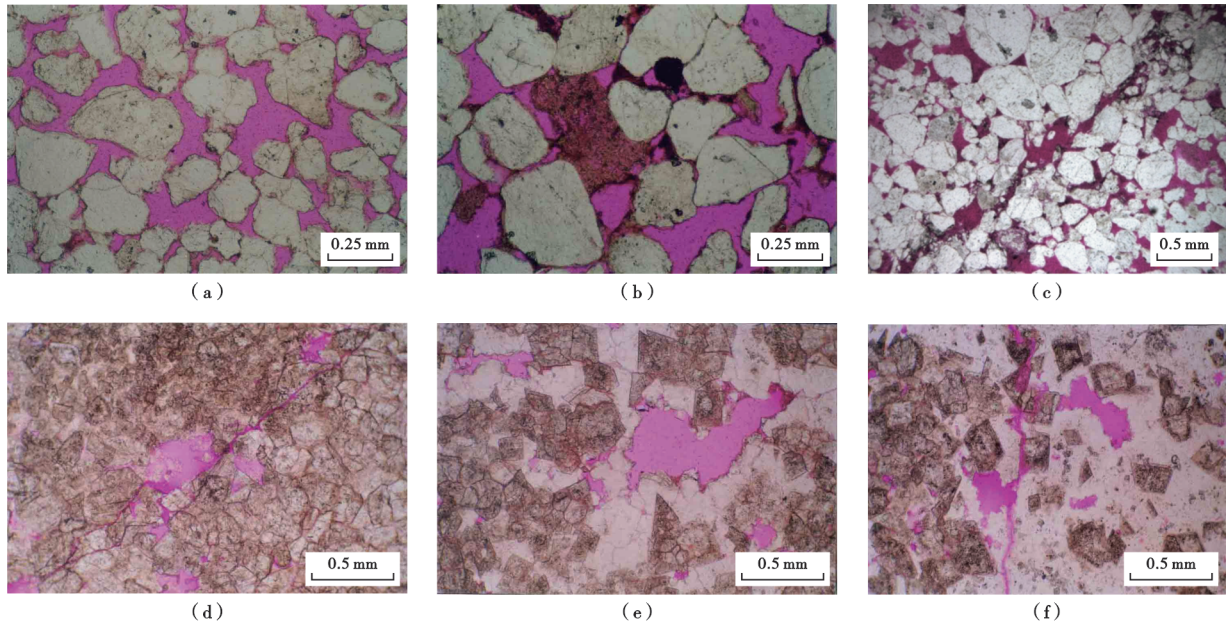
图 11 库车前陆盆地前缘隆起西段白垩系—古近系砂体孔隙度渗透率分布

Fig. 11 Distribution of porosity and permeability of Cretaceous and Paleogene sand bodies of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

层;以南主要发育浅层小规模断层,垂向切割较浅,可侧向遮挡油气,进而控制圈闭的形成和油气的垂向分布。整体上,断裂主要影响着油气的垂向输导,在断裂输导的影响下,研究区中生界—新生界发育断块、断鼻圈闭与油气藏。

#### 4. 2. 2 区域不整合面

不整合面在纵向上可划分为 3 层结构:上层主要为水进砂体或底砾岩,中层为风化黏土层(也称为风化泥岩层),下层为半风化岩石(也称为风化淋滤带)。其中,半风化岩石长期遭受暴露风化淋滤,岩溶孔隙发



(a) 粒间孔、粒间溶孔, 志留系中粒岩屑石英砂岩, 英买 34 井 5 389. 16 m, 铸体薄片; (b) 原生粒间孔、粒间溶孔和裂缝, 志留系中粒岩屑石英砂岩, 英买 342 井 5 398. 06 m, 铸体薄片; (c) 原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔, 志留系中一细粒岩屑石英砂岩, 英买 343 井 5 419. 55 m, 铸体薄片; (d) 构造微缝、晶间孔和晶间溶孔, 上寒武统中晶白云岩, 英买 33 井 5 528. 80 m, 铸体薄片; (e) 晶间孔和晶间溶孔, 上寒武统中晶硅质白云岩, 英买 33 井 5 508. 30 m, 铸体薄片; (f) 构造缝(沿缝见溶蚀现象), 晶间孔、晶间溶孔, 上寒武统残余砂屑中晶硅质白云岩, 英买 33 井 5 408. 40 m, 铸体薄片。

图 12 库车前陆盆地前缘隆起西段海相沉积储层孔隙结构特征

Fig. 12 Pore structure characteristics of the marine reservoir of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

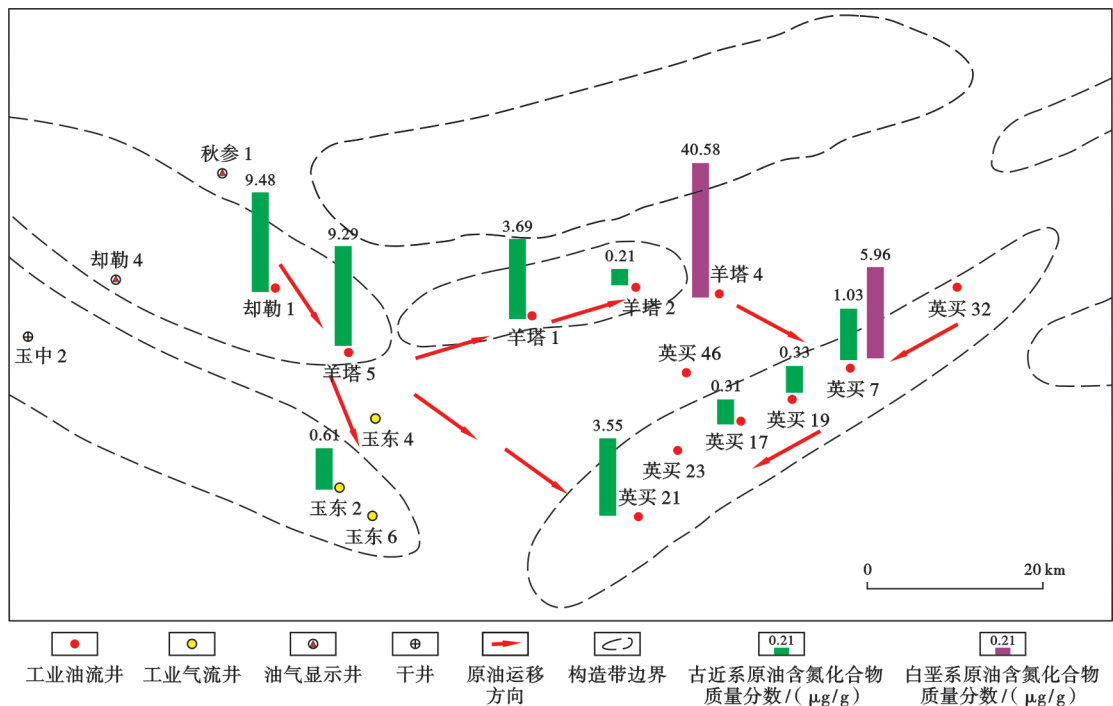


图 13 库车前陆盆地前缘隆起西段古近系—白垩系原油运移方向

Fig. 13 Oil migration direction of Paleogene-Cretaceous of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

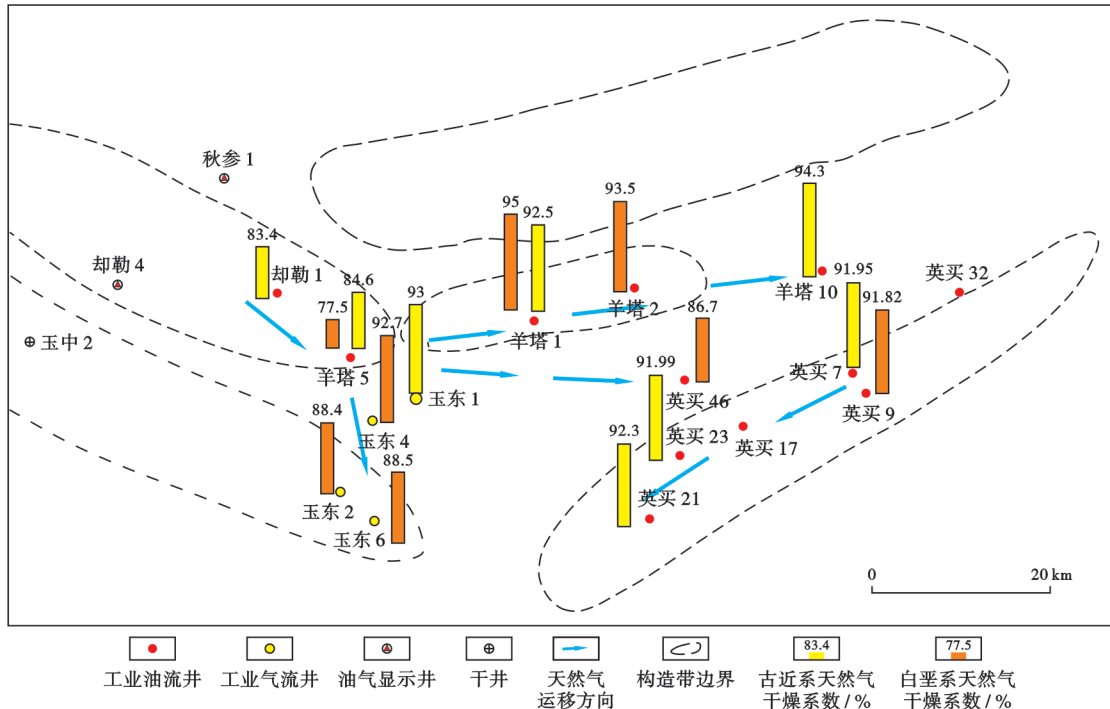
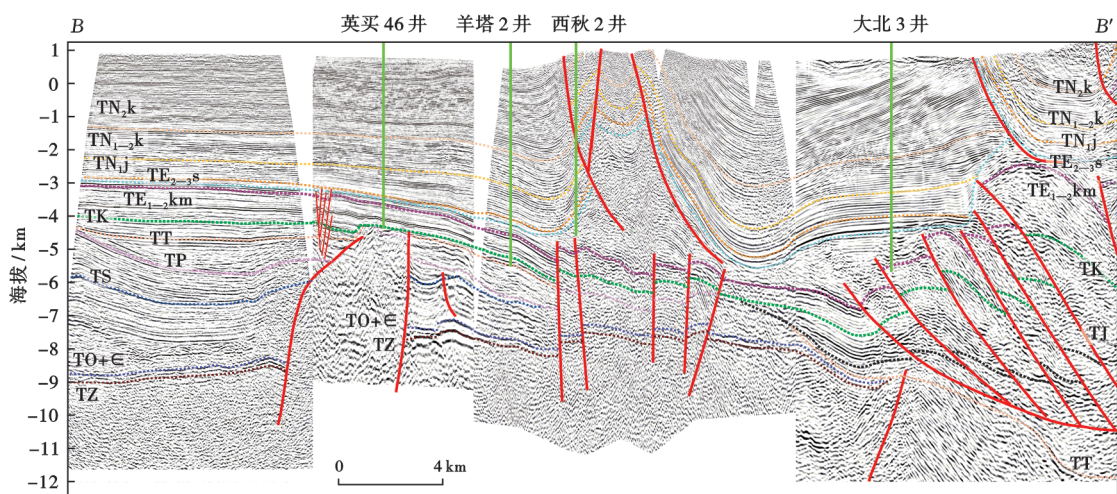


图 14 库车前陆盆地前缘隆起西段白垩系—古近系天然气运移方向

Fig. 14 Direction of the Cretaceous and Paleogene natural gas of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

育,是油气运移的良好通道<sup>[33-34]</sup>。受多期构造运动的影响,库车前陆盆地前缘隆起发育多期不整合,其中,古近系底部、白垩系底部的不整合面是控制前缘隆起油气藏形成最重要的区域性不整合面。受燕山运动的影响,前缘隆起的上白垩统被剥蚀,古近系平行不整合于下白垩统之上,该不整合面与下白垩统一古近系的砂体共同构成油气侧向运移的通道<sup>[35-38]</sup>。相较于古近

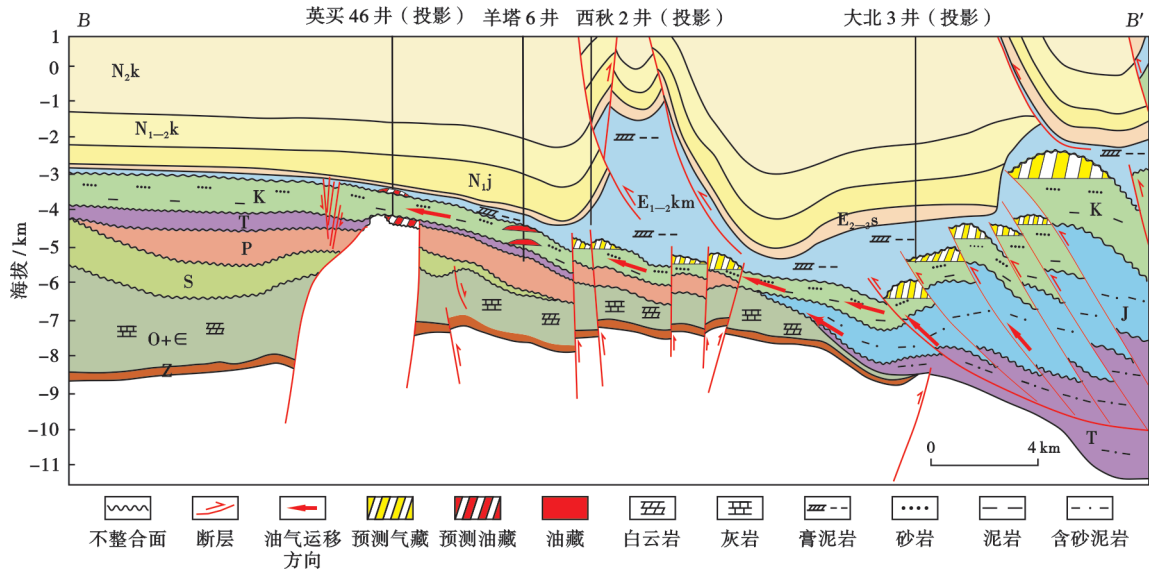
系底部不整合面,白垩系下伏地层多样,主要包括侏罗系、三叠系、二叠系、志留系等地层的碎屑岩潜山和奥陶系的碳酸盐岩潜山及火成岩等(图 15、图 16)。白垩系底部不整合面对下伏海相古潜山储层的发育具有控制作用,在长期风化淋滤作用影响下,潜山表层发育大量裂缝、溶洞,有效改善了潜山表层储层的储集物性,利于油气沿不整合面进入古潜山表层形成油气聚集。



注: TZ—震旦系底界; TO+€—寒武系—奥陶系底界; TS—志留系底界; TP—二叠系底界; TT—三叠系底界; TJ—侏罗系底界; TK—白垩系底界; TE<sub>1-2</sub>km—古新统一始新统库姆格列木群底界; TE<sub>2-3</sub>s—始新统一渐新统苏维依组底界; TN<sub>1</sub>j—吉迪克组底界; TN<sub>1-2</sub>k—康村组底界; TN<sub>2</sub>k—库车组底界。

图 15 库车前陆盆地前缘隆起地震解释剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 15 Seismic interpretation section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin



注:Z—震旦系;ε—寒武系;O—奥陶系;S—志留系;P—二叠系;T—三叠系;J—侏罗系;K—白垩系;E<sub>1-2</sub>km—古新统一始新统库姆格列木群;E<sub>2-3</sub>s—始新统一渐新统苏维依组;N<sub>1j</sub>—吉迪克组;N<sub>1-2</sub>k—康村组;N<sub>2</sub>k—库车组。

图 16 库车前陆盆地前缘隆起油气输导体系结构剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 16 Section of the oil and gas transport system of the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

#### 4.2.3 砂体

连续分布且稳定的渗透性砂岩是油气侧向运移的重要通道,前人研究认为,砂体输导能力主要受沉积相的影响<sup>[32]</sup>。库车前陆盆地前缘隆起中生界—新生界发育三角洲或辫状河三角洲—湖泊沉积体系,砂体广泛分布,厚度在十几米至数百米。其中,白垩系巴什基奇克组主要为扇三角洲沉积和辫状河三角洲沉积,平面上砂体连续性最好,是研究区油气长距离运移的最有利输导层;古近系底部砂岩段和白垩系巴西改组为滨—浅湖沉积,砂体横向连续性较差,无法作为大范围油气输导的介质,主要起局部调节油气分布的作用。整体上,前缘隆起西段中生界—新生界砂体的储集物性好,既发育良好的油气储集空间,又是很好的油气运移通道。

## 5 油气藏类型及分布预测

库车前陆盆地前缘隆起的前陆构造层与克拉通构造层在地质结构、沉积条件等方面均存在较大差异,其油气聚集规律也明显不同。笔者通过分别分析前缘隆起西段陆相层系和海相层系的油气藏,将前缘隆起西段的油气藏类型划分为前陆构造层的砂体—构造共控型油气藏和克拉通构造层的风化壳主控型潜山表层油气藏。

### 5.1 砂体—构造共控型油气藏

在含油气盆地源外斜坡区油气沿砂体侧向运移的

过程中,在遇到构造高点、断裂遮挡或者砂岩尖灭时会聚集成藏<sup>[39-42]</sup>。库车前陆盆地前缘隆起前陆构造层的中生界—新生界油气藏的形成主要受构造高点、岩性上倾尖灭和断裂侧向遮挡的共同控制。受砂体和构造的共同控制,前缘隆起西段的中生界—新生界发育背斜、断背斜等构造油气藏(如羊塔 3、羊塔 5 等油气藏)和岩性上倾尖灭等岩性油气藏(如却勒 1、玉东 4 等油气藏)以及构造—岩性复合型油气藏,油气主要分布在古近系底部砂岩段和白垩系巴什基奇克组、巴西改组、舒善河组。

以却勒 1—羊塔 5 油气藏为例,却勒 1 井与羊塔 5 井在古近系与白垩系钻遇油气层,其中,古近系油藏为边水层状油气藏,白垩系油藏为底水块状油气藏。古近系库姆格列木群巨厚的泥岩、膏岩和盐岩是良好的盖层,古近系底部砂岩段及白垩系砂岩储层较发育,纵向上分布集中且物性较好,构成良好的储—盖组合。砂岩的侧向尖灭和断层的侧向封堵利于油气储集与保存(图 17)。岩心孔隙度测试结果显示,却勒 1 井古近系与白垩系储层孔隙度为 3.19%~20.25%,平均为 7.80%,渗透率为 0.16~554.00 mD,平均为 12.12 mD,为中孔、中渗储集层;羊塔 5 井古近系与白垩系储层孔隙度为 4.80%~28.10%,平均为 17.33%,渗透率为 2.60~1520.00 mD,平均为 352.85 mD,为高孔、高渗储集层。

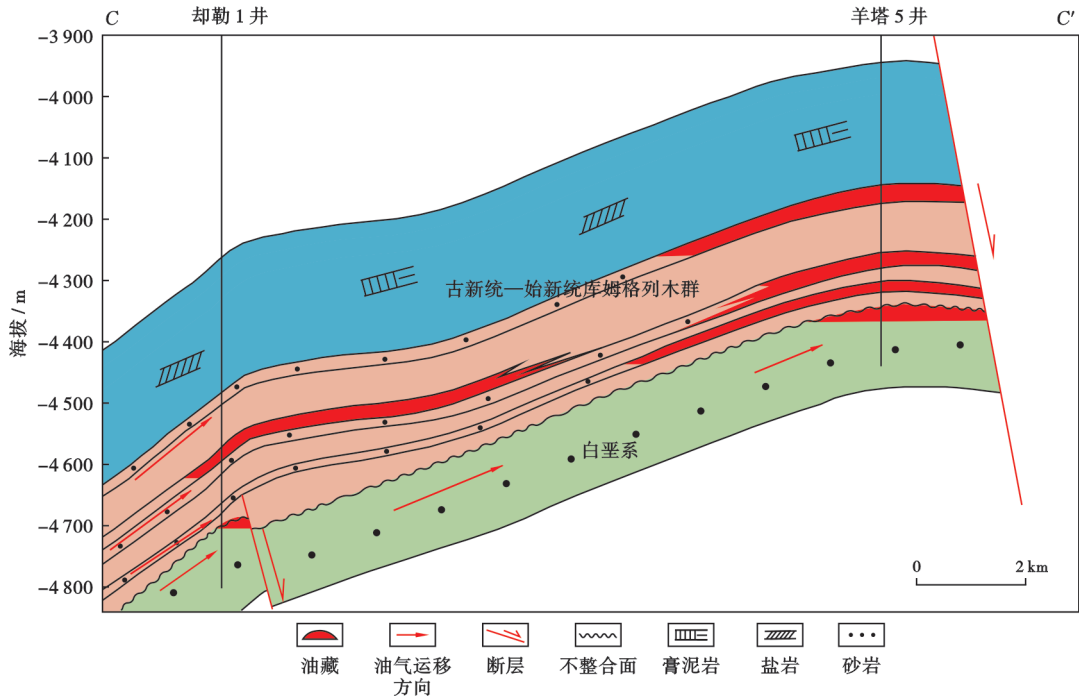


图 17 却勒 1 井—羊塔 5 井古近系—白垩系油气藏剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 17 Paleogene-cretaceous oil and gas reservoir profile from Well Quele1 to Well Yangta5

## 5.2 古风化壳主控型潜山表层

中奥陶世以来,塔里木盆地塔北隆起经历了多次剥蚀,其中,三叠纪天山褶皱带的隆升及库车前陆盆地的形成导致轮台断隆带古生界及三叠系遭受剥蚀,残留的志留系、奥陶系与寒武系共同形成下古生界复合潜山构造。多次抬升剥蚀使得库车前陆盆地前缘隆起的海相古潜山表皮风化壳及附近岩石长期遭受风化、淋滤作用,形成了大量溶蚀孔、溶洞,后期被白垩系舒善河组浅湖亚相和河流相的泥岩与薄层状粉砂岩互层直接覆盖<sup>[43-46]</sup>。充足的油气来源、广泛发育的不整合面和断裂输导、良好的区域盖层和晚期成藏,使研究区下古生界潜山表层风化壳具备油气成藏的基本条件<sup>[47-49]</sup>。英买力低凸起北坡是库车前陆盆地前缘隆起古风化壳潜山油气藏主要发育的场所,在该区寒武系—奥陶系碳酸盐岩储层和志留系海相碎屑岩储层中均钻遇工业油气流(图 18)。

### 5.2.1 志留系碎屑岩古风化壳主控型潜山

研究区分布广泛、储集性能良好的志留系柯坪塔格组滨—浅海相石英砂岩为主力油气储层,英买力地区的英买 34 井、英买 343 井、英买 35 井、英买 37 井、英买 41 井等均在柯坪塔格组顶部获得工业性油流。柯坪塔格组储层岩性主要为中砂质岩屑石英砂岩,储层基质孔隙度较低,其中,英买 34 井、英买 37 井和英买 35 井的储层基质孔隙度分别为 10.0%~20.0%、2.4%~12.4%和 5.0%~10.0%。由于靠近风化壳,

长期的风化淋滤作用使得志留系风化壳砂岩储层发育大量次生溶孔以及未充填的溶蚀缝,有效改善了储层储集性能,为油气聚集提供了很好的储层条件。

### 5.2.2 寒武系—奥陶系碳酸盐岩古风化壳主控型潜山

英买力地区寒武系—奥陶系发育孔洞—裂缝型碳酸盐岩风化壳储层,储集岩性主要为细晶—中晶白云岩、细晶白云岩和硅质白云岩。储层基质孔隙度极低,绝大多数都小于 5%,但溶蚀孔隙大量发育,孔隙类型主要包括晶模孔、晶间溶孔、晶内溶孔和未充填的溶蚀缝,局部溶蚀孔洞密集发育且相互连通,整体上,溶蚀孔洞大量含油。该区英买 7 井、英买 32 井、英买 321 井、英买 33 井和英买 49 井等在寒武系—奥陶系碳酸盐岩古风化壳潜山表层均获得工业油气流。

## 5.3 成藏类型分布预测

综合考虑油气来源、油气运移方向及通道、优质沉积储层分布、顶底板条件、构造背景及断裂带发育、砂体尖灭及圈闭发育和油气显示等地质要素,在研究区优选出 3 个勘探有利区(图 19)。其中,海相古风化壳潜山为 I 类勘探有利区,主要分布在研究区北部西秋里塔格构造带的西段,该区古生界古潜山圈闭成排成带发育,位于库车前陆盆地陆相烃源岩的迎径面上<sup>[50]</sup>,资源规模大,优选有利勘探区面积约为 894.7 km<sup>2</sup>,是未来前缘隆起的重点油气勘探区域。古近系底部砂岩砂体—构造共控型勘探有利区为 II 类有利区,主要分布在研究区西部的却勒 1—羊塔 1—玉东 4 井区及其周

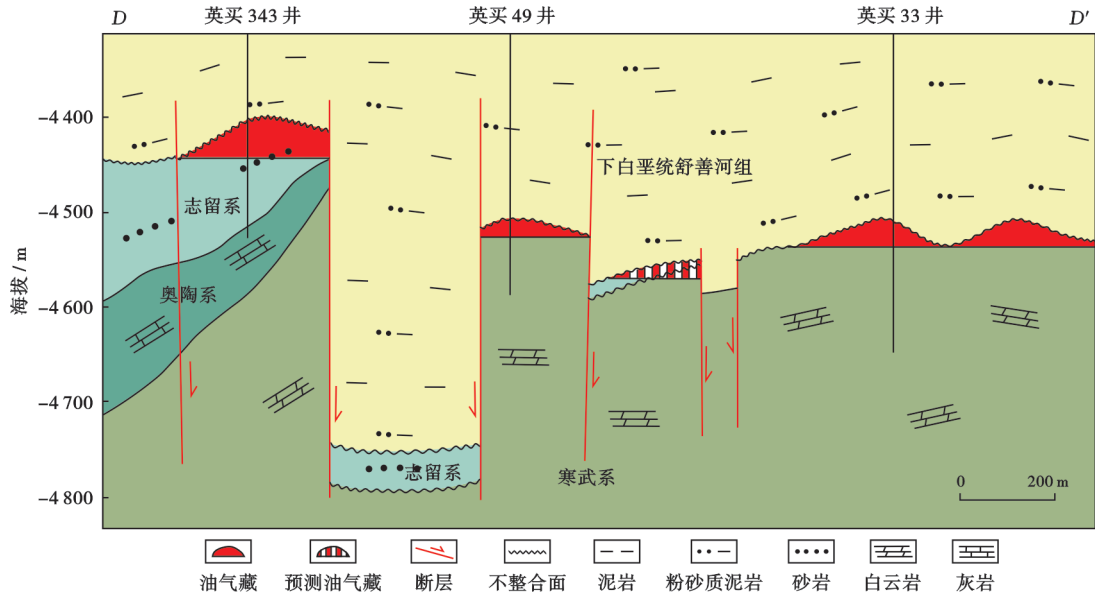


图 18 英买 343 井—英买 49 井—英买 33 井古风化壳潜山油气藏剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 18 Profile of buried hill oil and gas reservoir of ancient weathering crust crossing Well Yingmai343, Well Yingmai49 and Well Yingmai33

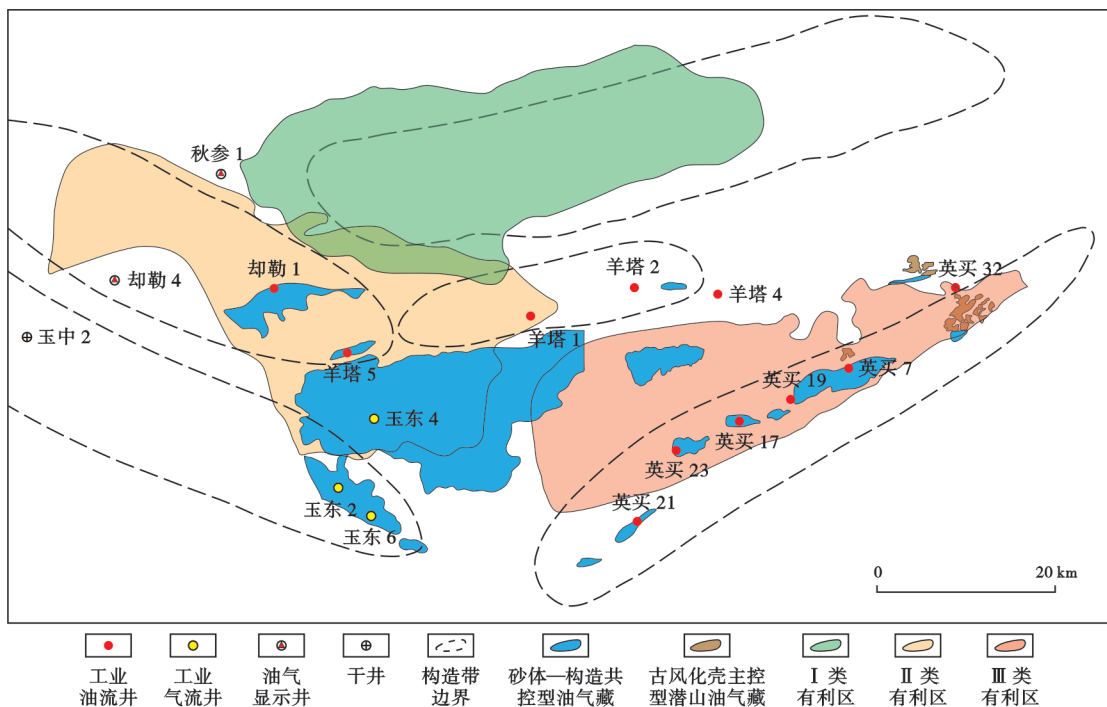


图 19 库车前陆盆地前缘隆起西段成藏类型分布及勘探有利区预测

Fig. 19 Distribution of hydrocarbon accumulation types and prediction of favorable exploration areas in the western section of the frontal uplift of Kuqa foreland basin

边区域, 优选勘探有利区面积约为 944.7 km<sup>2</sup>。白垩系巴西改组砂体—构造共控型勘探有利区为 III 类有利区, 分布在英买力低凸起北斜坡, 优选勘探有利区面积约为 670.0 km<sup>2</sup>。结合前人研究认识<sup>[51]</sup>, 利用刻度区油气资源丰度类比法, 初步评价研究区勘探有利区原油资源量约为 0.32 × 10<sup>8</sup> t, 天然气资源量约为 1.27 × 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>, 油气勘探潜力巨大。

## 6 结论

(1) 库车前陆盆地前缘隆起西段的油气来源于盆地三叠系—侏罗系烃源岩, 其中, 却勒 1 井、玉东及羊塔克地区的原油主要来源于侏罗系恰克马克组湖相烃源岩, 英买 7 地区的原油主要来源于三叠系黄山街组湖相烃源岩, 天然气来源于侏罗系煤系烃源岩。油气

成藏具有“晚期成藏、早油晚气、持续生烃”的特征。充足的油气来源、有利的输导体系和晚期油气持续充注,为库车前陆盆地前缘隆起西段大范围油气聚集提供了有利条件。

(2) 库车前陆盆地前缘隆起西段油气藏类型可划分为两类:中生界—新生界前陆构造层系的砂体—构造共控型油气藏和海相古风化壳主控型潜山油气藏,后者可进一步划分为寒武系—奥陶系海相碳酸盐岩古风化壳主控型潜山油气藏和志留系海相碎屑岩古风化壳主控型潜山油气藏。

(3) 综合油气成藏地质要素和油气成藏特征,在库车前陆盆地前缘隆起西段优选出3类勘探有利区,其中,I类有利区为海相古风化壳潜山勘探有利区;II类有利区为古近系底部砂岩砂体—构造共控型勘探有利区;III类有利区为白垩系巴西改组砂体—构造共控型勘探有利区。评价有利区原油资源量近  $0.32 \times 10^8$  t、天然气资源量近  $1.27 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>。

#### 参 考 文 献

- [1] 汤济广,梅廉夫,沈传波,等.前陆盆地结构单元与油气成藏响应[J].新疆石油地质,2006,27(2):242-246.  
TANG Jiguang, MEI Lianfu, SHEN Chuanbo, et al. Response of structural elements to hydrocarbon accumulation in foreland basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(2): 242-246.
- [2] 张光亚,薛良清.中国中西部前陆盆地油气分布与勘探方向[J].石油勘探与开发,2002,29(1):1-5.  
ZHANG Guangya, XUE Liangqing. Hydrocarbon occurrences and exploration suggestions in the foreland basins of central western China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 1-5.
- [3] 宋岩,赵孟军,方世虎,等.中国中西部前陆盆地油气分布控制因素[J].石油勘探与开发,2012,39(3):265-274.  
SONG Yan, ZHAO Mengjun, FANG Shihu, et al. Dominant factors of hydrocarbon distribution in the foreland basins, central and western China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3): 265-274.
- [4] 宋岩,赵孟军,柳少波,等.中国前陆盆地油气富集规律[J].地质论评,2006,52(1):85-92.  
SONG Yan, ZHAO Mengjun, LIU Shaobo, et al. Oil and gas accumulation of foreland basins in China[J]. Geological Review, 2006, 52(1): 85-92.
- [5] 宋岩,赵孟军,柳少波,等.中国3类前陆盆地油气成藏特征[J].石油勘探与开发,2005,32(3):1-6.  
SONG Yan, ZHAO Mengjun, LIU Shaobo, et al. Features of hydrocarbon accumulation in three types of foreland basins in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 1-6.
- [6] 柳广弟.石油地质学[M].5版.北京:石油工业出版社,2018.  
LIU Guangdi. Petroleum geology[M]. 5th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2018.
- [7] 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 Zuojie, ZHANG Guangya, ZOU Huayao, 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.
- [8] 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 Mengjun, LU Xuesong, ZHUO Qingong, et al. Characteristics and distribution law of hydrocarbon accumulation in Kuqa foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(4): 395-404.
- [9] 赵孟军,王招明,张水昌,等.库车前陆盆地天然气成藏过程及聚集特征[J].地质学报,2005,79(3):414-422.  
ZHAO Mengjun, WANG Zhaoming, ZHANG Shuichang, et al. Accumulation and features of natural gas in the Kuqa foreland basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(3): 414-422.
- [10] 王招明.塔里木盆地库车坳陷克拉苏盐下深层大气田形成机制与富集规律[J].天然气地球科学,2014,25(2):153-166.  
WANG Zhaoming. Formation mechanism and enrichment regularities of Kelasu subsalt deep large gas field in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(2): 153-166.
- [11] 王清华,张荣虎,杨宪彰,等.库车坳陷东部迪北地区侏罗系阿合组致密砂岩气勘探重大突破及地质意义[J].石油学报,2022,43(8):1049-1064.  
WANG Qinghua, ZHANG Ronghu, YANG Xianzhang, et al. Major breakthrough and geological significance of tight sandstone gas exploration in Jurassic Ahe Formation in Dibe area, eastern Kuqa depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(8): 1049-1064.
- [12] 朱光有,杨海军,张斌,等.油气超长运移距离[J].岩石学报,2013,29(9):3192-3212.  
ZHU Guangyou, YANG Haijun, ZHANG Bin, et al. Ultra-long distance migration of hydrocarbon[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3192-3212.
- [13] 王飞宇,杜治利,张水昌,等.塔里木盆地库车坳陷源灶特征和天然气成藏过程[J].新疆石油地质,2009,30(4):431-439.  
WANG Feiyu, DU Zhili, ZHANG Shuichang, et al. Source kitchen and natural gas accumulation in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(4): 431-439.
- [14] ZHANG Shuichang, ZHANG Bin, ZHU Guangyou, et al. Geochemical evidence for coal-derived hydrocarbons and their charge history in the Dabei gas field, Kuqa thrust belt, Tarim Basin, NW China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 28(7): 1364-1375.
- [15] 肖中尧,黄光辉,卢玉红,等.库车坳陷却勒1井原油的重排藿烷系列及油源对比[J].石油勘探与开发,2004,31(2):35-37.  
XIAO Zhongyao, HUANG Guanghui, LU Yuhong, et al. Rearranged hopanes in oils from the Quele 1 Well, Tarim Basin, and the significance for oil correlation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 35-37.
- [16] 张斌.塔里木盆地库车坳陷典型油气成藏成因机制与分布规律[D].北京:中国地质大学(北京),2012.  
ZHANG Bin. Petroleum accumulation system formation and occurrence in the Kuqa depression, Tarim Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- [17] 赵海涛,孙琦,李文浩,等.塔北隆起英买力地区白垩系油气成藏规律——以英买46井区为例[J].中国矿业大学学报,2022,51(1):137-147.  
ZHAO Haitao, SUN Qi, LI Wenhao, et al. Cretaceous hydrocarbon accumulation rules of the Yingmaili area in the Tabei uplift;



- a case study of the Yingmai 46 well block[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2022, 51(1): 137-147.
- [18] 苏劲, 杨海军, 杨文静, 等. 塔里木盆地北部志留系顶部不整合中陆相原油的成藏历史与油气富集机制[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 2493-2505.  
SU Jin, YANG Haijun, YANG Wenjing, et al. The accumulation history of continental oil and the hydrocarbons enrichment mechanism in the Silurian unconformities of the northern Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 2493-2505.
- [19] 戴金星. 各类烷烃气的鉴别[J]. *中国科学 B辑*, 1992, 22(2): 185-193.  
DAI Jinxing. Identification of various alkane gases[J]. *Science in China Series B*, 1992, 35(10): 1246-1257.
- [20] 赵靖舟, 戴金星. 库车油气系统油气成藏期与成藏史[J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 314-319.  
ZHAO Jingzhou, DAI Jinxing. Accumulation timing and history of Kuche petroleum system, Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 314-319.
- [21] 梁狄刚, 张水昌, 赵孟军, 等. 库车坳陷的油气成藏期[J]. *科学通报*, 2002, 47(增刊 1): 56-63.  
LIANG Digang, ZHANG Shuichang, ZHAO Mengjun, et al. Hydrocarbon sources and stages of reservoir formation in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(S1): 60-70.
- [22] 刘建良, 姜振学, 刘可禹, 等. 库车前陆盆地羊塔克地区流体包裹体特征及油气成藏过程[J]. *地球科学*, 2016, 41(7): 1188-1197.  
LIU Jianliang, JIANG Zhenxue, LIU Keyu, et al. Fluid inclusion characteristics and hydrocarbon accumulation process of Yangtake area, Kuqa foreland Basin[J]. *Earth Science*, 2016, 41(7): 1188-1197.
- [23] 刘建良, 刘可禹, 姜振学, 等. 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 Jianliang, LIU Keyu, JIANG Zhenxue, et al. Cretaceous hydrocarbon accumulation process in Yudong area, Kuqa foreland basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 39(6): 620-630.
- [24] 罗泉, 姜振学, 李卓, 等. 英买力地区中生界—新生界油气藏石油包裹体特征及成藏期次[J]. *石油学报*, 2015, 36(1): 60-66.  
LUO Xiao, JIANG Zhenxue, LI Zhuo, et al. The properties of petroleum inclusions and stages of hydrocarbon accumulation in Mesozoic-Cenozoic reservoirs in Yingmaili area of Tabei uplift, Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 36(1): 60-66.
- [25] 罗浩渝, 陈军, 章学岐, 等. 河控浅水三角洲前缘沉积特征及对岩性油藏的控制——以库车坳陷南斜坡巴西改组为例[J]. *岩性油气藏*, 2021, 33(5): 70-80.  
LUO Haoyu, CHEN Jun, ZHANG Xueqi, et al. Sedimentary characteristics of fluvial dominated shallow water delta front and its control on lithologic reservoir: a case study of Baxigai Formation in south slope of Kuqa depression[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2021, 33(5): 70-80.
- [26] 伍劲, 朱超, 杨果, 等. 高频湖平面变化下薄砂层高精度层序地层特征及沉积演化——以温宿凸起周缘—英买力隆起地区库姆格列木群底砂岩段为例[J]. *油气地质与采收率*, 2020, 27(6): 38-46.  
WU Jin, ZHU Chao, YANG Guo, et al. High-resolution sequence stratigraphy characteristics and sedimentary facies evolution of thin sands under high-frequency lake level change: a case study of lower sand member of Paleogene Kumugeliemu group in margin of Wensu uplift-Yingmaili uplift area[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2020, 27(6): 38-46.
- [27] 刘永福, 夏辉, 孙琦, 等. 塔里木盆地塔北隆起西部巴什基奇克组层序地层及沉积演化[J]. *天然气地球科学*, 2019, 30(1): 62-73.  
LIU Yongfu, XIA Hui, SUN Qi, et al. Sequence stratigraphy and depositional evolution of the Bashijiqi Formation in the western Tabei uplift, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2019, 30(1): 62-73.
- [28] 林畅松, 王清华, 肖建新, 等. 库车坳陷白垩纪沉积层序构成及充填响应模式[J]. *中国科学: 地球科学*, 2004, 34(增刊 1): 74-82.  
LIN Changsong, WANG Qinghua, XIAO Jianxin, et al. Cretaceous sedimentary sequence composition and filling response model in Kuqa depression[J]. *Science China Earth Sciences*, 2004, 34(S1): 74-82.
- [29] 马玉杰, 张荣虎, 唐雁刚, 等. 塔里木盆地库车坳陷白垩系巴什基奇克组岩相古地理[J]. *新疆石油地质*, 2016, 37(3): 249-256.  
MA Yujie, ZHANG Ronghu, TANG Yan'gang, et al. Lithofacies paleogeography of Cretaceous Bashijiqi Formation in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2016, 37(3): 249-256.
- [30] 朱光有, 张水昌, 王欢欢, 等. 塔里木盆地北部深层风化壳储层的形成与分布[J]. *岩石学报*, 2009, 25(10): 2384-2398.  
ZHU Guangyou, ZHANG Shuichang, WANG Huanhuan, et al. The formation and distribution of deep weathering crust in North Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(10): 2384-2398.
- [31] 李素梅, 王铁冠, 张爱云, 等. 原油中吡咯类化合物的地球化学特征及其意义[J]. *沉积学报*, 1999, 17(2): 312-317.  
LI Sumei, WANG Tieguan, ZHANG Aiyun, et al. Geochemistry characteristics and significance of the pyrrolic compounds in petroleum[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 312-317.
- [32] 武芳芳, 朱光有, 张水昌, 等. 塔里木盆地油气输导体系及对油气成藏的控制作用[J]. *石油学报*, 2009, 30(3): 332-341.  
WU Fangfang, ZHU Guangyou, ZHANG Shuichang, et al. Types of hydrocarbon migration pathways and its controlling effects on hydrocarbon distribution in Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 30(3): 332-341.
- [33] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(2): 142-149.  
HE Dengfa. Structure of unconformity and its control on hydrocarbon accumulation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(2): 142-149.
- [34] 高长海, 查明. 不整合运移通道类型及输导油气特征[J]. *地质学报*, 2008, 82(8): 1113-1120.  
GAO Changhai, ZHAO Ming. The types of unconformity migration passages and characteristics of hydrocarbon transport[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(8): 1113-1120.
- [35] 刘春, 陈世加, 赵继龙, 等. 远源油气成藏条件与富集主控因素——以库车坳陷南部斜坡带中生界—新生界油气藏为例[J]. *石油学报*, 2021, 42(3): 307-318.  
LIU Chun, CHEN Shijia, ZHAO Jilong, et al. Accumulation conditions and main controlling factors of far-source oil and gas reservoirs: a case study of Meso-Cenozoic reservoirs in the southern slope of Kuqa depression[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2021, 42(3): 307-318.
- [36] 刘春, 陈世加, 赵继龙, 等. 库车前陆盆地南部斜坡带中—新生界油气运移输导体系与运聚模拟[J]. *天然气地球科学*, 2021, 32(10): 1450-1462.  
LIU Chun, CHEN Shijia, ZHAO Jilong, et al. Hydrocarbon

- transportation system and accumulation simulation of Mesozoic-Cenozoic in south slope of Kuqa foreland basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2021, 32(10): 1450-1462.
- [37] 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 Chun, CHEN Shijia, ZHAO Jilong, 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.
- [38] 陈军, 刘永福, 李闯, 等. 库车坳陷南斜坡古流体势场对陆相油气运聚的控制[J]. *石油地球物理勘探*, 2017, 52(4): 841-850.  
CHEN Jun, LIU Yongfu, LI Chuang, et al. Continental hydrocarbon migration and accumulation with palaeo-fluid potential field in the south slope of Kuqa depression, Tarim Basin[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2017, 52(4): 841-850.
- [39] 付广, 薛永超, 付晓飞. 油气运移输导系统及其对成藏的控制[J]. *新疆石油地质*, 2001, 22(1): 24-26.  
FU Guang, XUE Yongchao, FU Xiaofei. On oil-gas migration systems and their control over the formation of reservoir [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(1): 24-26.
- [40] 李根. 凹陷区与斜坡区断砂配置输导体系特征及其对油气控制作用的差异性[J]. *大庆石油地质与开发*, 2022, 41(2): 36-42.  
LI Gen. Characteristics of fault-sand configuration transport systems in sag area and slope area and their different control on hydrocarbon distribution[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2022, 41(2): 36-42.
- [41] 付广, 王宏伟, 韩国猛, 等. 源外斜坡区断裂附近油气聚集有利部位预测方法及其应用[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2021, 51(6): 1700-1708.  
FU Guang, WANG Hongwei, HAN Guomeng, et al. Prediction method and application of oil and gas accumulation favorable position near fault in slope area outside source[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2021, 51(6): 1700-1708.
- [42] 吕修祥, 金之钧. 塔北隆起羊塔克构造带油气成藏分析[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2000, 24(1): 48-52.  
LÜ Xiuxiang, JIN Zhijun. Analysis on reservoir formation process in Yangtake structural belt of Tabei uplift[J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2000, 24(1): 48-52.
- [43] 李建交, 吕修祥, 杨宁, 等. 塔里木盆地英买力北坡碳酸盐岩风化壳油藏成因探讨[C]//第四届油气成藏机理与资源评价国际学术研讨会论文集. 北京: 石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 2006: 265-272.  
LI Jianjiao, LÜ Xiuxiang, YANG Ning, et al. Discussion on the genesis of carbonate weathering crust reservoirs in the North Slope of Yingmaili, Tarim Basin[C]//Proceedings of the 4th International Symposium on Hydrocarbon Accumulation Mechanism and Resource Evaluation. Beijing: Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum (Beijing), 2006: 265-272.
- [44] 张年春, 崔海峰, 滕团余, 等. 塔里木盆地英买力—牙哈地区碳酸盐岩潜山油气藏特征研究[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(5): 762-771.  
ZHANG Nianchun, CUI Haifeng, TENG Tuanyu, et al. Features of carbonate buried hill oil and gas reservoir in Yingmaili-Yaha region, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(5): 762-771.
- [45] 张德民, 鲍志东, 郝雁, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力寒武系潜山区优质储层形成模式[J]. *天然气地球科学*, 2016, 27(10): 1797-1807.  
ZHANG Demin, BAO Zhidong, HAO Yan, et al. Formation model of high-quality reservoirs within Cambrian buried hill in Yaha-Yingmaili area, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016, 27(10): 1797-1807.
- [46] 罗日升, 袁玉春, 邓兴梁, 等. 塔北隆起英买32潜山区白云岩储层特征及主控因素研究[J]. *石油天然气学报*, 2013, 35(11): 21-26.  
LUO Risheng, YUAN Yuchun, DENG Xingliang, et al. Characteristics and major controlling factors of dolomite reservoir in Yingmai 32 buried-hill area in North Tarim uplift[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(11): 21-26.
- [47] 罗日升, 黄腊梅, 崔德育, 等. 塔北英买32复合潜山油藏发育模式与勘探意义[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(2): 165-170.  
LUO Risheng, HUANG Lamei, CUI Deyu, et al. Development model of compound buried-hill reservoirs in the Yingmai 32 area of Tabei and its significance for exploration[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34(2): 165-170.
- [48] 杨宁, 吕修祥, 陈梅涛, 等. 英买力地区碳酸盐岩古风化壳油气聚集模式探讨[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(1): 35-39.  
YANG Ning, LÜ Xiuxiang, CHEN Meitao, et al. Accumulation models of paleoweathering crust reservoir in carbonate Yingmaili area[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(1): 35-39.
- [49] 崔海峰, 郑多明, 张年春, 等. 英买力地区复合潜山的地层分布及意义[J]. *地球物理学进展*, 2008, 23(5): 1514-1519.  
CUI Haifeng, ZHENG Duoming, ZHANG Nianchun, et al. Stratigraphic distribution of complex buried hill and its significance in the Yingmaili area [J]. *Progress in Geophysics*, 2008, 23(5): 1514-1519.
- [50] 赵文智, 胡素云, 郭绪杰, 等. 油气勘探新理念及其在准噶尔盆地的实践成效[J]. *石油勘探与开发*, 2019, 46(5): 811-819.  
ZHAO Wenzhi, HU Suyun, GUO Xujie, et al. New concepts for deepening hydrocarbon exploration and their application effects in the Junggar Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(5): 811-819.
- [51] 鲁雪松, 杨文静, 柳少波, 等. 塔里木盆地刻度区资源量计算方法比选[J]. *中国石油勘探*, 2014, 19(5): 41-48.  
LU Xuesong, YANG Wenjing, LIU Shaobo, et al. Comparison of calculation methods for reserves in calibrated areas of Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2014, 19(5): 41-48.

(收稿日期 2022-08-16 改回日期 2022-12-26 编辑 肖飞)