

# 阿姆河右岸 B 区东部构造演化特征 及油气富集规律

龚晓星<sup>1</sup>, 龚幸林<sup>2</sup>, 李立<sup>1</sup>, 陈仁金<sup>2</sup>, 王强<sup>1</sup>, 陈磊<sup>1</sup>, 李韵竹<sup>1</sup>, 黄锋<sup>1</sup>

(1. 中国石油川庆钻探工程公司地质勘探开发研究院, 四川成都 610051; 2. 中国石油国际(土库曼斯坦)阿姆河天然气公司勘探事业部, 北京 100101)

**摘要:**为理清阿姆河右岸 B 区东部山前逆冲推覆构造演化对油气运移聚集的控制作用, 揭示油气富集规律, 基于中上侏罗统卡洛夫—牛津阶三维地震、岩心、薄片及流体包裹体资料, 结合埋藏热史及油气充注史, 恢复阿姆河右岸构造演化及不同构造阶段油气富集规律。结果表明: 阿姆河右岸 B 区经历两期主要的构造活动, 包括晚侏罗世构造挤压作用及中—全新世构造抬升阶段。两期构造活动在工区内自东向西依次形成叠瓦状背斜、对冲向斜及反冲断背斜的构造样式。晚侏罗世燕山运动期形成的 F1 期裂缝多被半充填, 未充填部分相互连通形成工区内关键的储集层; 新近纪以来剧烈的构造抬升促使早期闭合的裂缝再次开启, 并形成未被充填的 F2 期裂缝。晚侏罗世构造挤压阶段形成的古背斜圈闭锥形及裂缝为白垩纪油气充注提供运移通道及聚集场所, 新近纪以来的构造抬升促使古圈闭中油气沿裂缝调整, 形成新的油气藏。古圈闭与现今圈闭叠合区为研究区油气勘探开发的有利区域。

**关键词:**盐下碳酸盐岩; 构造演化特征; 裂缝; 油气富集; 阿姆河盆地

**中图分类号:** TE122 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-4107(2025)04-0051-11

## 0 引言

阿姆河盆地(阿姆达林盆地或卡拉库姆盆地)位于乌兹别克斯坦西部、土库曼斯坦的中东部、阿富汗北部及伊朗东北部, 是中亚地区面积和油气潜力最大的含油气盆地, 也是世界上最大的含气盆地之一<sup>[1-3]</sup>。中—上侏罗统卡洛夫—牛津阶是最重要的油气富集层<sup>[4-5]</sup>。阿姆河盆地巨大的油气潜力吸引大量学者研究沉积特征、储层主控因素及油气成藏模式, 一些学者分析阿姆河右岸地区构造演化、储层特征、成岩作用、古地貌及海水能量等因素, 认为卡洛夫—牛津阶主要有三种成藏模式, 分别为逆冲构造带断裂控藏<sup>[6]</sup>、台内滩缓坡生物礁岩性控藏<sup>[7-9]</sup>及基底古地貌控藏<sup>[10-11]</sup>。近年来的勘探开发表明, 阿姆河右岸 B 区东部山前构造带天然气高产富集与逆冲构造密切相关, 高产气流多位于主断裂附近, 远离主断裂的钻井多为低产且水气比较高。由于逆冲推覆构造带多发育缝洞型储集体, 气水关系复杂, 在靠近主断裂处存在少量探井呈低产、水气比高的特点, 这种复杂的构造演化及气水关系严重制约气田高效开发。对于逆冲推覆构造带, 相关研究主要集中于构造演化<sup>[12-14]</sup>、断裂发育特征<sup>[6]</sup>及逆冲推覆构造下成岩流体活动规律<sup>[15-19]</sup>, 而逆冲推覆构造带的构造变形对油气运移聚集控制作用的研究不深入。油气富集与盆地的构造背景密切相关<sup>[19]</sup>, 这是由于构造活动一方面能产生热活动, 促使烃源岩成熟<sup>[20]</sup>, 另一方面可形成裂缝及构造圈闭, 为油气运移通道及聚集场所<sup>[6]</sup>。笔者分析梳理阿姆河右岸 B 区东部山前构造带特征, 探讨逆冲推覆构造演化对油气运移聚集的控制作用, 为逆冲推覆构造下油气富集规律提供借鉴。

## 1 区域地质概况

阿姆河右岸地区构造上自西向东划分 6 个二级构造单元, 分别为查尔朱凸起、坚基兹库尔凸起、卡拉别克凹陷、桑迪克雷凸起、别什肯特拗陷和基萨尔山前冲断带, 整体呈 NW—SE 向条带状相间展布的特征(见图 1(a))。研究区位于阿姆河右岸 B 区东部基萨尔山前构造带, 主要包括东霍贾古尔卢克、霍贾古尔

收稿日期: 2024-08-19; 编辑: 关开澄

基金项目: 中国石油川庆钻探工程有限公司校企合作项目(CQCDLG-2023-03)

作者简介: 龚晓星(1989—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事构造地质、石油地质方面的研究。

卢克及召拉麦尔根构造带,受基萨尔山构造隆升作用影响,整体表现为东高西低的构造形态(见图1(b))。研究的目的是层为中—上侏罗统卡洛夫—牛津阶盐下碳酸盐岩地层(见图1(c))。

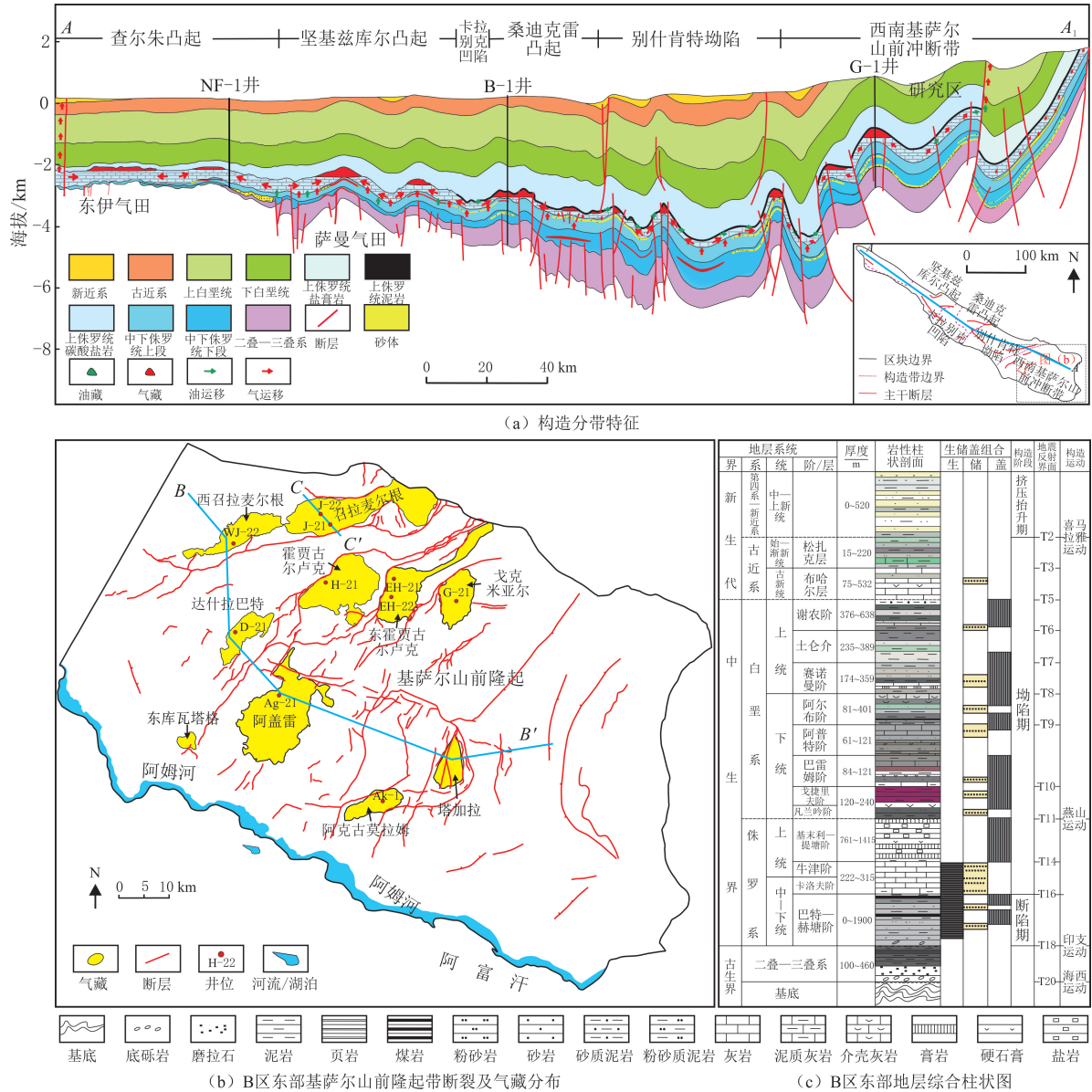


图1 阿姆河右岸构造特征及地层综合柱状图

Fig.1 The structural characteristics and comprehensive stratigraphic column of the right bank of Amu Darya River

阿姆河盆地是在古生界变质结晶基底上发育的中新生代大型沉积盆地<sup>[2]</sup>,前二叠纪为基底发育阶段,形成前寒武系变质岩、古生代不同时期的岩浆岩和变质岩组合<sup>[21]</sup>(见图1(c))。晚二叠世—三叠纪为弧后裂谷盆地阶段,受古特提斯洋壳向北俯冲及相关的弧后拉张,导致广泛的断裂作用,形成轻微变质的磨拉石沉积,上部沉积一套厚层黑色泥页岩。侏罗纪至新生代为盆地断陷—坳陷阶段,盆地位于被动陆缘,开始广泛稳定的沉积阶段<sup>[22]</sup>。中—下侏罗统形成工区内主要的陆相含煤烃源岩层系,中—上侏罗统卡洛夫—牛津阶为海相碳酸盐岩沉积,晚侏罗世基末利—提塘期,阿姆河右岸处于封闭海沉积环境,在强烈干旱环境下沉积厚层膏盐层<sup>[1,5]</sup>,三套地层共同形成有利的生储盖组合<sup>[5,7]</sup>(见图1(c)),其中膏盐层包括下膏盐岩层、中石膏层及上石膏层。白垩系主要为一套浅海沉积的碎屑岩,古近系以海相碳酸盐岩和泥岩沉积为主。新近纪至今为再生前陆盆地发育阶段,受喜马拉雅运动影响,印度板块、阿拉伯板块与欧亚板块持续碰撞,中新世遭受强烈挤压作用,盆地西南造山带向盆地仰冲<sup>[2]</sup>。

## 2 地质结构

### 2.1 滑脱层系发育特征

逆冲推覆构造形成过程中,滑脱层/拆离层的发育控制构造样式<sup>[2]</sup>。阿姆河右岸B区主要发育两套滑脱层/拆离层,分别为基底拆离层和基末利—提塘阶的巨厚膏盐岩层两套滑脱层系。研究区具有双层变质基底特征,包括深部火山弧碎片及局部花岗岩或花岗闪长岩侵入形成的刚性深变质结晶基底,以及海西运动期强烈的构造变质作用形成的浅变质岩<sup>[2,23]</sup>。构造挤压过程中,由深、浅变质岩的差异形成基底拆离层(见图1(c))。基底拆离层控制整套沉积盖层的冲断变形。基末利—提塘阶沉积三套巨厚膏岩层夹两套盐岩,厚度为761~1415 m(见图1(c)),巨厚的膏盐岩层纵向上作为滑移界面,导致构造的不均匀及不连续性,控制新生代复杂构造变形改造。

### 2.2 构造几何学特征

受膏盐和盐岩的控制作用,研究区的盐上及盐下构造具有显著的分层变形特征,纵向上可分为盐上构造、盐构造和盐下构造。这是由于厚层的膏盐岩在构造变形过程中,一方面发生塑性流动形成盐构造,另一方面作为良好的滑脱层,造成盐上地层滑脱变形,导致盐上及盐下地层产生变形差异。其中,盐上构造(T11之上)整体呈薄皮滑脱构造样式,膏盐层内(T14-T11)以塑性流动变形为主,盐下构造(T14以下)为基底卷入型“厚皮构造”,发育大量逆冲断层及相关褶皱。

工区内构造样式自东向西依次形成基底卷入型断背斜→基底滑脱型双断背斜→基底滑脱型叠瓦状背斜→对冲向斜→基底滑脱型反冲断背斜,呈递进变形的特征(见图2)。在塔加拉后缘盐下一带形成以仰冲作用为主的基底卷入型断背斜,受基底拆离及基末利—提塘阶膏盐层滑脱变形作用,形成倾向为SE向逆冲断层及NW向反冲逆冲断层控制的断层传播褶皱。戈克米亚尔构造、东霍贾古尔卢克构造及霍贾古尔卢克构造带主要受基底滑脱及卷入作用而形成叠瓦状背斜,是盐下碳酸盐岩的主要构造样式。断层以基底向上传递至盖层的高角度逆冲断层为主,同向逆冲断层随挤压加剧而逐渐向盆地内部传递,形成一系列产状基本一致的断层组合。西北部召拉麦尔根—西召拉麦尔根构造带位于反冲带,以发育反冲断层为主,并形成与反冲断层有关的反冲断背斜,霍贾古尔卢克与召拉麦尔根构造之间为对冲向斜带(见图2)。

### 2.3 构造演化

基于深度—面积定量分析方法开展平衡剖面恢复,分析不同地层的缩短量,确定不同构造阶段地层变形程度及变形量。

#### 2.3.1 晚侏罗世构造挤压阶段

从侏罗纪开始,阿姆河盆地位于中生代特提斯火山弧北部边缘海的被动陆缘,接受连续沉积,中—晚侏罗世的卡洛夫—牛津期,盆地南部海水发生海侵扩大,沉积碳酸盐岩建造。早侏罗系沉积期,研究区整体呈现区域拉张背景,形成一系列正断层(见图3(a))。

晚侏罗世阿富汗中部 Waras Panjaw 海洋关闭,造成阿富汗和伊朗中部发生挤压作用<sup>[24]</sup>,影响阿姆河右岸地区,进而发生燕山运动期的构造挤压作用。分析中石膏层以上地层缩短量,该次构造活动导致地层的缩短量约为1551 m。地震资料分析可见,中—下石膏层及盐层地层厚度整体分布均匀(见图2),厚度差异多为膏盐层的塑性流动导致,上膏盐层厚度差异较大,呈“填平补齐”状超覆于古背斜之上,而盐上地层厚度分布较为均匀(见图2)。对典型地震剖面计算各层系缩短量(见图3),中石膏层上下地层变形期次可能不一致,中石膏层及以下地层可能多经历一期挤压构造活动。此次构造活动促使早期的部分拉张构造发生反转,正断层被改造成基底逆冲断层,导致地层发生错段、褶皱变形与抬升,形成低幅度挤压逆冲构造及古构造圈闭(见图3(b)),为后期油气运移聚集奠定基础。

#### 2.3.2 中—全新世构造抬升阶段

新近纪以来,受喜马拉雅运动影响,印度板块、阿拉伯板块与欧亚大陆发生碰撞,大高加索洋底活动扩张,多方向的应力共同导致阿姆河盆地遭受强烈挤压。盆地西南造山带向盆地内仰冲,最终形成现今盆地形态及内部构造格局。研究区受西南基萨尔山隆升影响发生褶皱变形,根据平衡剖面复原,研究区中新世—全新世构造活动包括4个幕次。

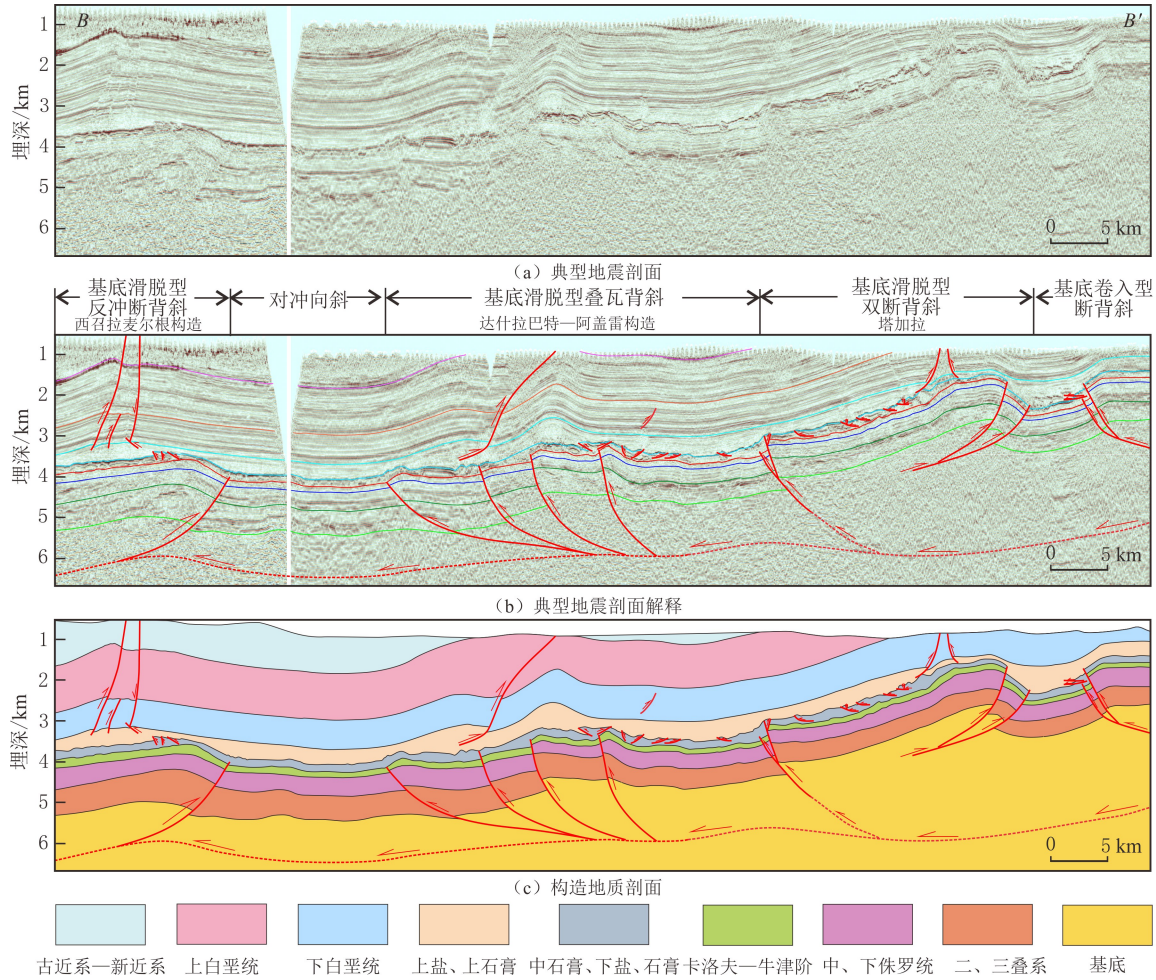
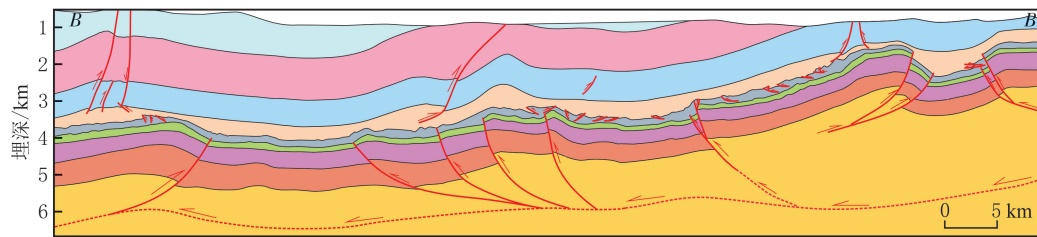


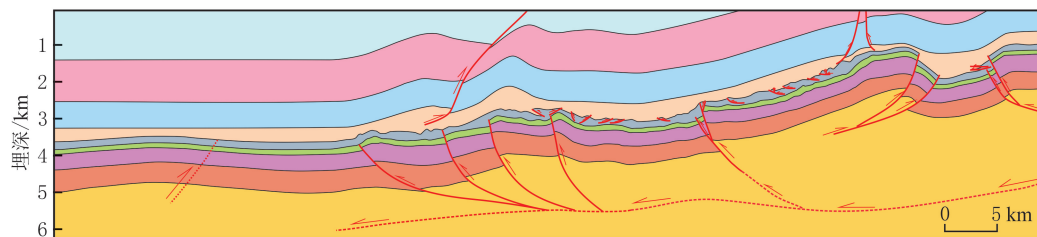
图 2 阿姆河 B 区东部构造几何特征(剖面位置见图 1(b))

Fig. 2 Structural geometric features of eastern part of block B in Amu Dayra River(profile is shown in fig. 1(b))

第 1 幕次发生于基萨尔山开始基底隆升阶段,构造活动形成山前带第一排塔加拉构造雏形,前期形成断裂持续发育(见图 3(c))。第 2 幕次发育阶段,基萨尔山持续递进挤压变形,基底发生滑脱作用,形成山前第二排阿克古莫拉姆构造雏形,同时,早期形成的主干断裂开始活化逆冲(见图 3(d)),构造活动导致地层发生大规模隆升缩短。第 3 幕次仍为递进挤压变形阶段,基底拆离作用加剧,形成山前带第三排阿盖



(f) 现今 (4幕次、4/4)



(e) 中新世—全新世 (3幕次、3/4)

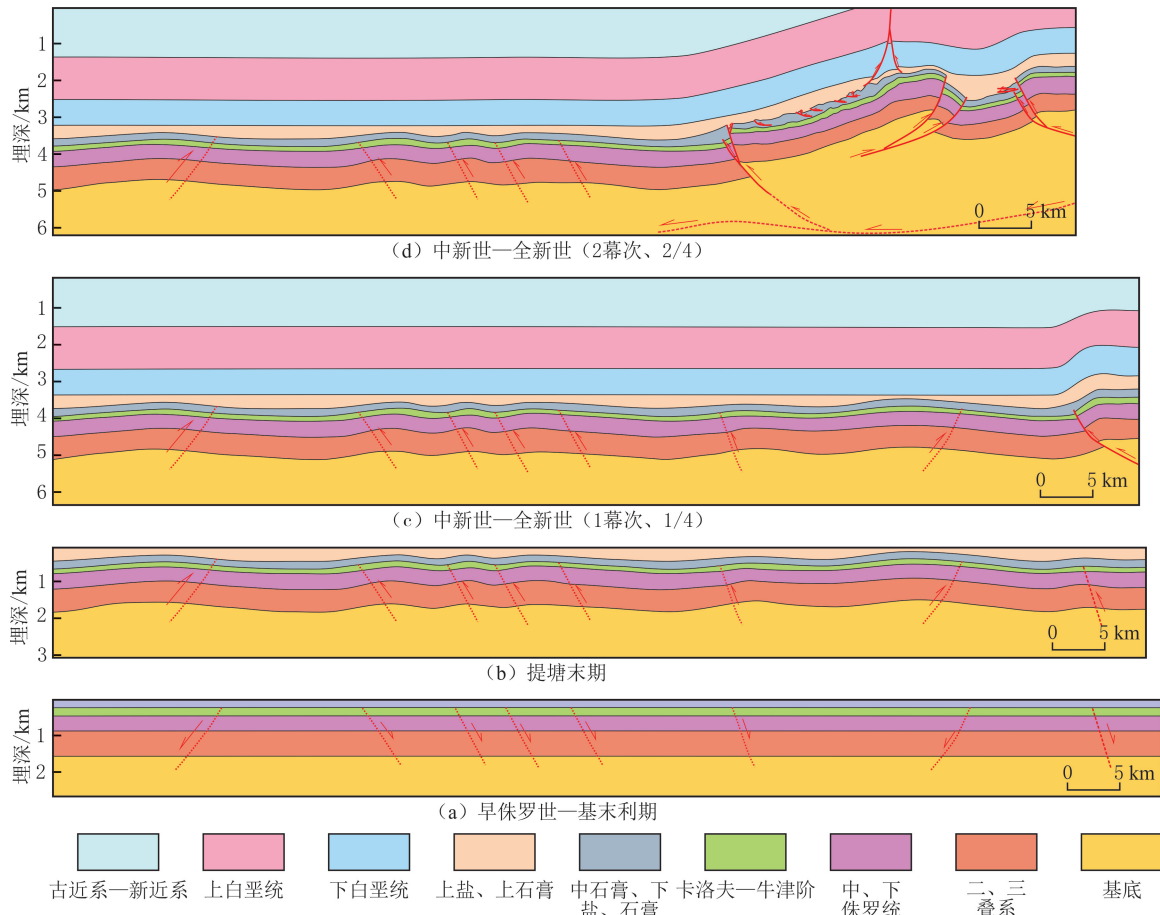


图3 阿姆河右岸B区东部构造演化特征(剖面位置见图1(b))

Fig. 3 Tectonic evolution characteristics of the eastern part of block B in the right bank of Amu Dayra River (profile is shown in fig. 1(b))

雷一戈克米亚尔构造带雏形(见图3(e))。第4幕次构造运动为构造定型阶段,受基萨尔山持续的递进挤压变形,在召拉麦尔根构造带处形成完整的对冲构造格局(见图3(f))。

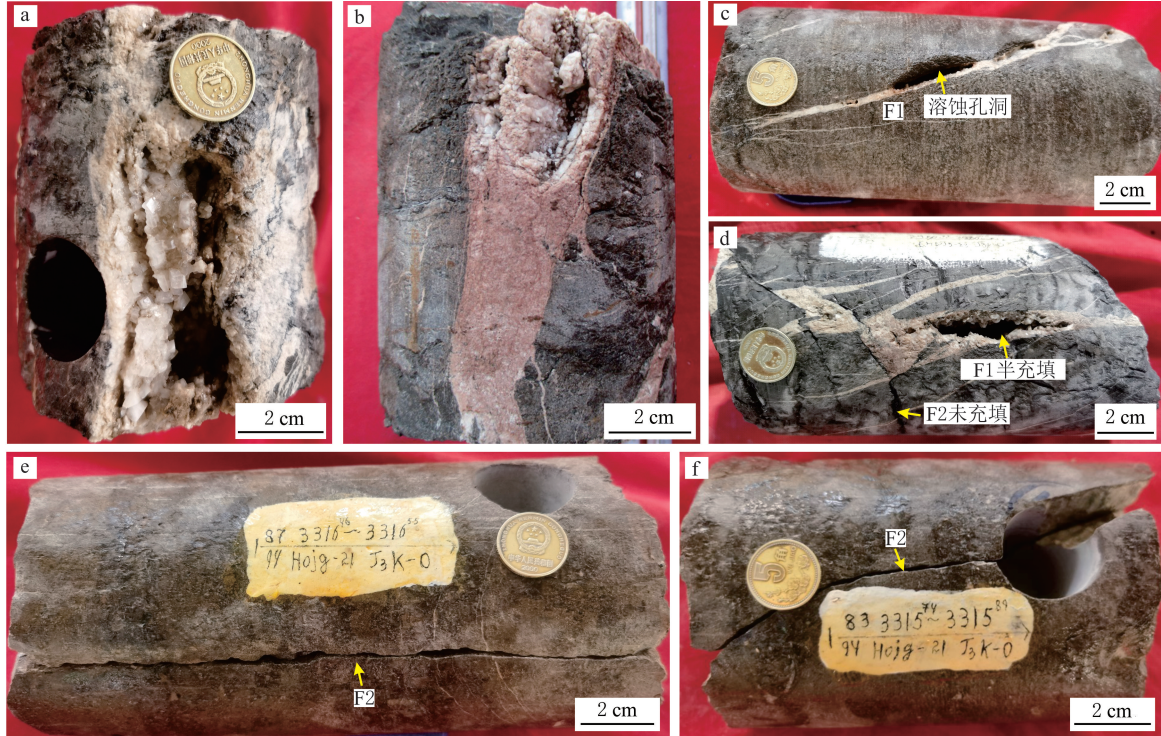
### 3 裂缝发育特征及形成时间

#### 3.1 裂缝发育特征

阿姆河右岸B区东部基质物性较差,主要的储集空间为裂缝及与裂缝相关的溶蚀孔洞。基于钻录井、地震响应及取心资料,分析工区内东霍贾古卢克、霍贾古卢克及召拉麦尔根构造带的宏微观断裂发育特征及形成时间,探讨构造演化对断裂形成与油气充注的控制作用。

基底拆离型逆冲构造是工区主要的构造样式,主要发育南东倾向的逆冲断层,逆冲断层随挤压加剧而逐渐向盆地内部传递,形成一系列产状基本一致的断层组合。这些断层组合主要发育于东霍贾古卢克及霍贾古卢克构造带,召拉麦尔根构造带以北西倾向的反冲断层为主(见图2)。在宏观区域断裂发育的背景下,通过取心段裂缝产状、切割关系及充填特征观察,主要识别两期构造裂缝。岩心观察可见,第一期裂缝(F1)主要为高角度缝一直立缝,多呈半充填状,沿裂缝面发育溶蚀孔洞,见缝合线切割该期裂缝(见图4(a-b))。F1期裂缝发育规模较大,形成时间较早,裂缝脉体间残留大量的空间,且连通性好,为研究区内主要的储集空间及油气运移通道。此外,沿裂缝面及充填的脉体见少量的溶蚀孔洞(见图4(c)),溶蚀孔洞与裂缝叠加,进一步增强储层的储集及流体运移能力。第二期裂缝(F2)整体呈未充填状,裂缝产状多样,高角度缝、斜交缝及低角度缝发育(见图4(d-f)),该期裂缝切割早期的F1裂缝(见图4(d))。钻井过程中发生井漏,如J-21井在XVa1及XVa2层中发生井漏,可能为两期裂缝相互叠加导致,伴随两期构造

活动,形成的裂缝为卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩储层形成、油气运移及成藏的关键。



(a) 高角度裂缝被半充填, J-21井; (b) 早期裂缝被半充填, J-22井; (c) 沿裂缝见溶蚀孔洞, J-21井; (d) 晚期未充填裂缝切割早期裂缝, EH-22井; (e) 晚期高角度裂缝未充填, H-21井; (f) 晚期高角度裂缝未充填, H-21井

图 4 卡洛夫—牛津阶不同构造阶段裂缝发育特征  
Fig. 4 Fracture development characteristics at different tectonic stages of Collovian-Oxford

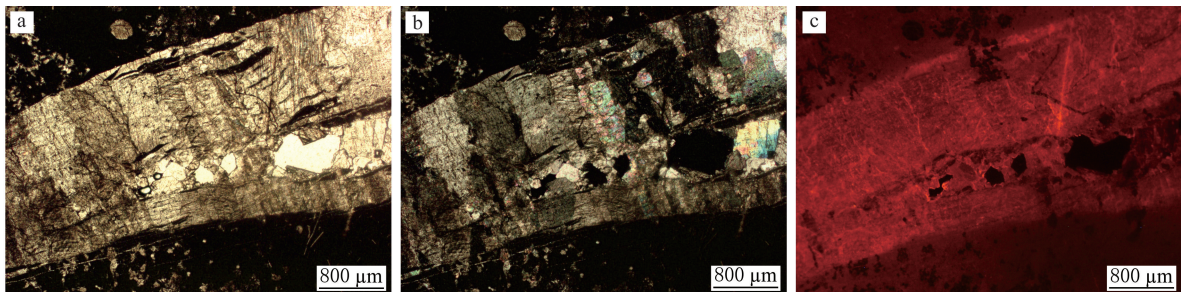
### 3.2 脉体发育特征

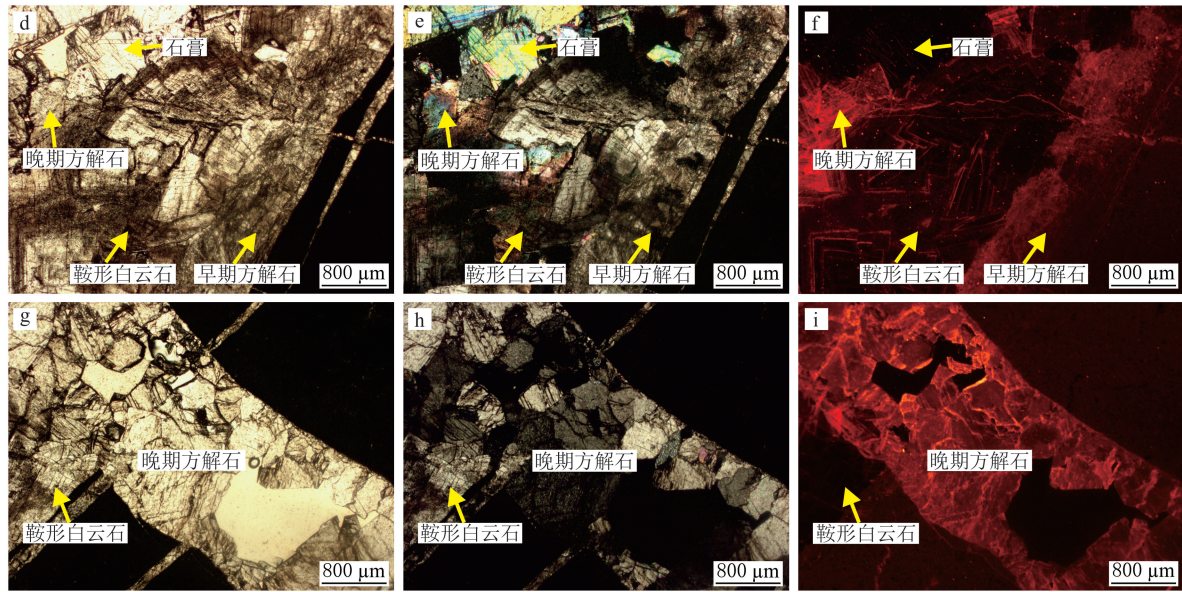
构造脉体作为构造活动及构造流体的宏观产物,记录与构造相关的动力学信息及成因,可通过厘定脉体的充填时间分析构造演化对裂缝形成及油气充注的控制。岩心观察可见,研究区在 F1 期裂缝中充填脉体, F2 期裂缝多为未充填状,因此仅厘定 F1 期裂缝中脉体充填序列。

由薄片观察及阴极发光特征可知, F1 期裂缝充填物较为复杂,从缝壁至裂缝中间依次充填早期方解石、鞍形白云石、石膏及晚期方解石。其中,早期方解石包括纤维状、拉长块状及块状方解石(见图 5(a-b)),这些不同形态的方解石是构造挤压活动到裂缝形成不同阶段的产物<sup>[25]</sup>,早期的方解石整体发不均匀的暗红色阴极光(见图 5(c))。早期方解石后发育鞍形白云石(见图 5(d)),正交光下呈波状消光(见图 5(e)),整体不发光,在环带边缘处发红色阴极光(见图 5(f))。裂缝中部主要为石膏(见图 5(d-e)),石膏在阴极光下不发光(见图 5(f))。晚期方解石主要呈块状(见图 5(d-i)),充填于鞍形白云石之后(见图 5(d))或切割鞍形白云石(见图 5(g)),该期方解石发红色—亮红色阴极光。

### 3.3 裂缝及脉体形成时间

构造活动导致裂缝的形成,厘定不同构造阶段形成的裂缝类型及特征,对分析构造演化及油气运移过





(a-b) 早期裂缝F1中充填方解石, EH-22井; (c) 早期方解石发不均匀暗红色阴极光, EH-22井; (d-e) 裂缝中依次充填方解石、鞍形白云石、石膏及晚期方解石, EH-22井; (f) 裂缝充填物阴极发光特征, EH-22井; (g-h) 晚期方解石脉切割鞍形白云石脉, EH-22井; (i) 鞍形白云石不发光、边缘见红色阴极光, 晚期方解石发红色阴极光, EH-22井

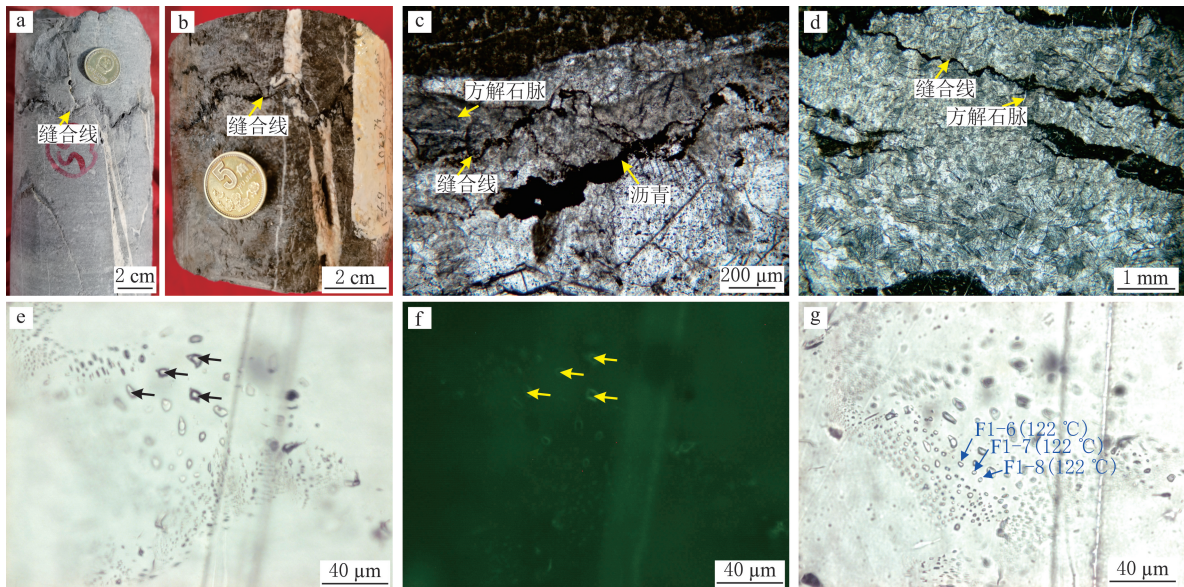
图 5 裂缝脉体特征及充填序列

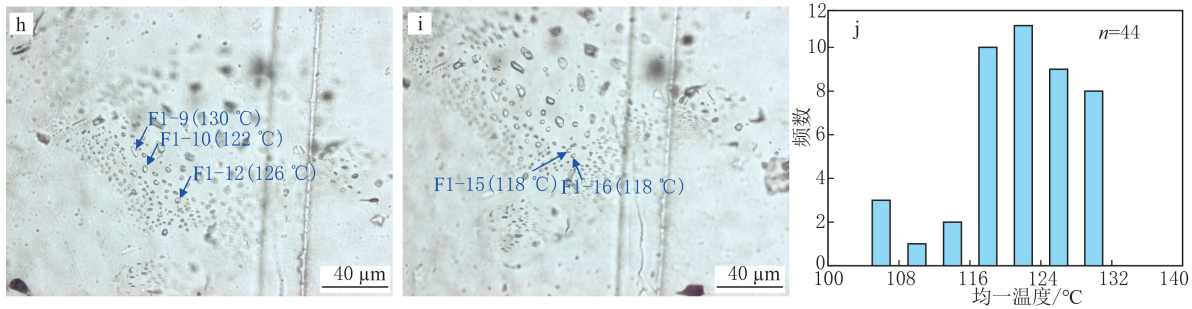
Fig. 5 Vein filling characteristics and sequence in the fractures

程尤为重要。可通过裂缝间切割关系、裂缝与缝合线切割关系、流体包裹体温度测定等方法,判断不同期次脉体的形成时间,进而判断构造活动与两期裂缝的匹配关系。

岩心及薄片观察可见,F1 期裂缝中充填的脉体被缝合线切割(见图 6(a-b)),表明该期裂缝及孔洞的形成时间早于缝合线的。KOEHN D 等<sup>[26]</sup>对缝合线形成时的埋藏深度数值模拟认为,这种埋藏缝合线形成时的地层埋深为 1 400 m,因此该期裂缝及其伴生的溶蚀孔洞形成于浅埋藏期。薄片观察发现,缝合线仅切割早期方解石脉体(见图 6(c-d)),未见缝合线切割鞍形白云石及晚期方解石。

对 F1 期中早期块状方解石进行流体包裹体岩相学及流体包裹测温,进一步限制裂缝的形成时间。在早期块状方解石中,检测到发黄绿色荧光的富液相气液两相油包裹体、富气相气液两相油包裹体,以及富液相气液两相盐水包裹体共生于愈合裂纹(见图 6(c-e))。阿姆河右岸侏罗系碳酸盐岩主要有两期油气成藏,包括白垩纪的凝析油及正常原油充注和古近纪的天然气充注<sup>[27]</sup>,因此油包裹体的发育表明,F1 期





(a) 缝合线切割高角度裂缝, EH-22井; (b) 缝合线切割高角度裂缝, 溶蚀孔洞发育, J-21井; (c) 缝合线切割早期方解石, EH-22井; (d) 缝合线切割早期方解石, J-21井; (e) 早期方解石中气液两相包裹体特征, EH-22井; (f) 早期方解石中气液两相包裹体荧光特征, EH-22井; (g-i) 与油包裹体共生的盐水包裹体岩相特征及测温结果, EH-22井; (j) 流体包裹体均一温度分布直方图

图 6 F1 期裂缝中脉体与缝合线切割关系及流体包裹体特征

Fig. 6 The relationship between vein and stylolite of fractures in the F1 stage, and fluid inclusions characteristic in early calcite vein

裂缝及早期方解石应早于白垩纪油气充注。同时,对与油包裹体共生的盐水包裹体均一温度测试,获得油气充注时的温度主要为 104~128 °C,结合区域埋藏史图<sup>[28]</sup>,早期方解石形成于白垩纪前。F1 期裂缝形成时间较早,可能与早期的燕山运动相关,早期充填的方解石也与燕山运动持续的挤压运动及裂缝形成有关。

#### 4 构造活动对断裂及油气富集的控制

研究区围岩整体较为致密,伴随两期构造活动形成的裂缝和溶蚀孔洞,为卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩优质储集空间及油气运移通道。通过对裂缝中脉体形成时间的限定,可分析不同构造阶段裂缝发育特征,确定构造活动对裂缝形成及成藏的匹配关系。

##### 4.1 断裂控制作用

F1 期裂缝中,早期方解石脉被缝合线切割,表明该期方解石充填时间较早,为浅埋藏阶段充填;此外,早期块状方解石愈合裂纹中的流体包裹体测温限定该期方解石形成于白垩纪前,可判定 F1 期裂缝是受燕山运动的构造挤压活动形成。薄片观察表明,缝合线并未切割鞍形白云石及晚期方解石,推测该期裂缝可能在燕山运动时形成,充填早期方解石,后在埋藏过程中裂缝闭合,喜马拉雅运动早期强烈的构造活动一方面促使早期裂缝开启,另一方面形成新裂缝,并充填鞍形白云石及晚期方解石。由于燕山运动为挤压变形及逆冲侵位阶段,主要形成高角度的逆冲断裂及与弯曲褶皱相关的层间裂缝,该期裂缝主要为直立缝高角度或低角度裂缝(见图 4(a-d)),少见斜交缝。

F2 期裂缝未被充填且切割 F1 期裂缝。该期裂缝形成于喜马拉雅运动晚期,裂缝形成距今时间较短,多未充填脉体。喜马拉雅运动阶段,阿姆河右岸 B 区遭受强烈的构造挤压作用,构造活动处于逆冲断裂形成后的走滑阶段及晚期构造抬升阶段<sup>[13]</sup>,主要形成剪切缝、平行层状裂缝及在褶皱核部形成的拉张缝。该阶段形成的裂缝在不同构造部位的产状不同,可见高角度的拉张缝、剪切缝、斜交缝及低角度平行层状缝切割早期裂缝(见图 4(d-f))。

##### 4.2 油气富集规律

阿姆河右岸 B 区山前区域油气运移及成藏与两期构造活动密切相关。燕山运动阶段,工区受构造挤压作用,在卡洛夫—牛津阶形成古圈闭,形成碳酸盐岩顶面构造的雏形(见图 7),也形成工区内最主要的一期裂缝。早白垩世晚期,下侏罗统烃源岩整体进入生烃高峰期,生成的大量油气通过燕山运动阶段形成的断裂及裂缝进入古背斜圈闭中而聚集成藏。古圈闭及 F1 期裂缝的形成与白垩纪油气充注具有良好的匹配关系,为油气勘探的有利区域。

新近纪以来,在喜马拉雅运动强烈的构造挤压作用下,研究区进一步发生构造挤压作用。阿姆河右岸东北部被抬升,古圈闭发生强烈改造,部分被破坏,部分被加强,或形成新的圈闭,强烈的构造作用导致早期聚集的油气开始重新调整,发生二次运移聚集,形成新的油气藏。该阶段为研究区第二期主要的油气充

注,中一下侏罗统烃源岩整体处于热裂解凝析气阶段。喜马拉雅运动导致F1期裂缝重新裂开或形成新的F2期裂缝,天然气沿裂缝运移进入现今圈闭,古圈闭中油气也发生调整,在现今圈闭中聚集成藏,古圈闭及现今圈闭的叠合区域利于形成高产油气(见图7)。以召拉麦尔根构造带为例,古构造及现今构造高点叠合区的J-21井试气产量为 $7.032 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ ,相对低部位的J-22井试气产量为 $5.311 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ (见图7),两期构造运动形成的古圈闭与现今圈闭的叠合区为油气富集的最有利区域。

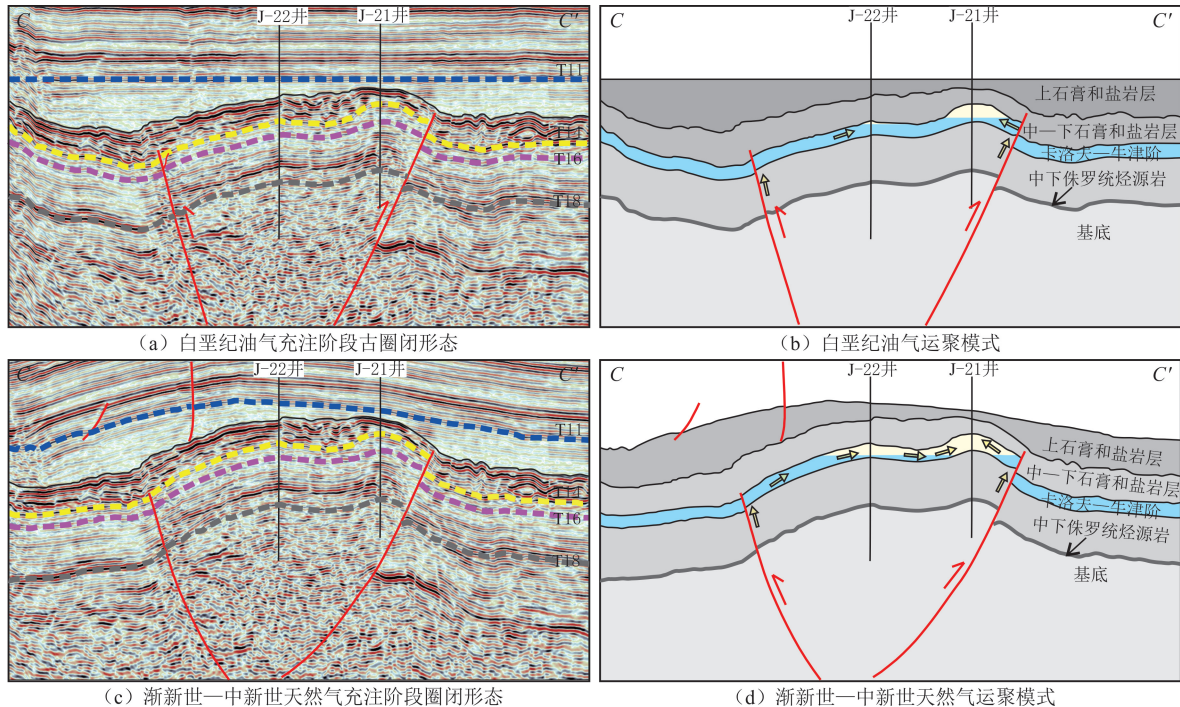


图7 卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩不同构造演化阶段对油气富集规律控制模式(剖面位置见图1(b))

Fig.7 Model diagram of controlling hydrocarbon accumulation in different tectonic evolution stages of Callovian-Oxford carbonate rocks(profile is shown in fig.1(b))

## 5 结论

(1)阿姆河右岸B区东部盐下碳酸盐岩经历基末利—提塘燕山运动期、中新世—全新世喜马拉雅运动期两期重要的挤压构造变形。受基末利—提塘阶膏盐和盐岩的控制作用,盐上构造整体呈薄皮滑脱构造样式,膏盐层内以盐岩层塑性流动变形为主,盐下构造为基底卷入型“厚皮构造”,发育大量逆冲断层与相关褶皱。其中,戈克米亚尔、东霍贾古尔卢克及霍贾尔卢克古构造表现为基底拆离的叠瓦背斜,霍贾古尔卢克和召拉麦尔根构造之间为对冲向斜带,在召拉麦尔根和西召拉麦尔根构造形成反冲带的断背斜构造样式。

(2)两期构造活动在工区内形成两期裂缝,分别为F1和F2期裂缝。其中,F1期裂缝多呈高角度一直立缝,充填方解石、鞍形白云石及石膏等矿物;F2期裂缝多呈未充填状切割早期F1期裂缝。受燕山运动构造挤压作用影响,形成F1期裂缝,开始充填早期方解石,并被缝合线切割;喜马拉雅运动期强烈的构造活动导致早期的裂缝开启并充填鞍形白云石及晚期方解石,形成新的F2期裂缝。

(3)燕山运动期形成的古背斜圈闭锥形及早期裂缝为白垩纪油气充注提供运移通道及聚集场所。新近纪以来的喜马拉雅运动促使古圈闭中油气沿裂缝调整,形成新的油气藏。古圈闭与现今圈闭叠合区为油气勘探开发的有利区域。

## 参考文献(References):

- [1] MEISEL T, KRAHENBUHL U, NAZAROV M A. Combined osmium and strontium isotopic study of the Cretaceous-Tertiary

- boundary at Sumbar, Turkmenistan; a test for an impact vs. a volcanic hypothesis[J]. *Geology*, 1995,23(4):313-316.
- [2] 李智,李英强,何登发,等. 阿姆河右岸区域构造大剖面解析及成因探讨[J]. *地质科学*, 2023,58(1):259-272.  
LI Zhi, LI Yingqiang, HE Dengfa, et al. Analysis of structural cross section of the Amu Darya right bank and discussion on causes [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2023,58(1):259-272.
- [3] 郑荣才,赵灿,刘合年,等. 阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩阴极发光性及其研究意义[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2010,37(4):377-385.  
ZHENG Rongcai, ZHAO Can, LIU Henian, et al. Cathodoluminescence and its significance of the Callovian-Oxfordian carbonate rocks in Amu Darya Basin, Turkmenistan[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2010,37(4):377-385.
- [4] 李洪玺. 土库曼斯坦阿姆河右岸区块碳酸盐岩有效储层物性下限研究[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2021,36(5):22-26.  
LI Hongxi. Study on lower limits of carbonate reservoir in right bank of Turkmenistan Amu Darya River[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition)*, 2021,36(5):22-26.
- [5] 武重阳,张良杰,程传捷,等. 阿姆河盆地中部卡洛夫阶—牛津阶储层特征及发育模式[J]. *断块油气田*, 2022,29(5):620-626.  
WU Chongyang, ZHANG Liangjie, CHENG Chuanjie, et al. Characteristics and development model of the Callovian-Oxfordian reservoir in the central part of the Amu Darya Basin[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2022,29(5):620-626.
- [6] 张良杰,王红军,程木伟,等. 阿姆河右岸东部侏罗系盐下断层发育特征及其对天然气富集影响[J]. *中国石油勘探*, 2022,27(2):71-81.  
ZHANG Liangjie, WANG Hongjun, CHENG Muwei, et al. Characteristics of subsalt Jurassic faults and the influence on natural gas enrichment in the eastern part of the right bank of Amu Darya River[J]. *China Petroleum Exploration*, 2022,27(2):71-81.
- [7] 聂明龙,徐树宝,吴蕾,等. 阿姆河右岸盐下断裂复杂化礁滩相气藏特征及勘探意义:以 BP 气藏为例[J]. *天然气工业*, 2015,35(6):24-29.  
NIE Minglong, XU Shubao, WU Lei, et al. Fractures of gas reservoirs in subsalt faulted reef complex in the right bank of the Amu Darya River, Turkmenistan, and their significance in exploration: a case study of the BP gas reservoir[J]. *Natural Gas Industry*, 2015,35(6):24-29.
- [8] 聂明龙,童晓光,刘群明,等. 土库曼斯坦阿姆河右岸地区盐下碳酸盐岩气藏类型及油气富集因素[J]. *石油实验地质*, 2016,38(1):70-75.  
NIE Minglong, TONG Xiaoguang, LIU Qunming, et al. Types of pre-salt carbonate gas reservoirs and hydrocarbon enrichment factors of Amu Darya right bank area in Turkmenistan[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016,38(1):70-75.
- [9] 王红军,张良杰,陈怀龙,等. 阿姆河右岸盐下侏罗系大中型气田地质特征与分布规律[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(4):52-64.  
WANG Hongjun, ZHANG Liangjie, CHEN Huailong, et al. Geological characteristics and distribution law of pre-salt Jurassic large and medium gas fields in the right bank of the Amu Darya River[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(4):52-64.
- [10] 田雨,张兴阳,朱国维,等. 古地貌对台内滩储层分布及气藏特征的控制作用:以阿姆河盆地台内滩气田为例[J]. *天然气地球科学*, 2016,27(2):320-329.  
TIAN Yu, ZHANG Xingyang, ZHU Guowei, et al. Controlling effects of paleogeomorphology on intraplateform shoal reservoirs distribution and gas reservoirs characteristics: taking intraplateform shoal gasfields of the Amu Darya Basin as examples[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016,27(2):320-329.
- [11] 田雨,徐洪,张兴阳,等. 碳酸盐岩台内滩储层沉积特征、分布规律及主控因素研究:以阿姆河盆地台内滩气田为例[J]. *地学前缘*, 2017,24(6):312-321.  
TIAN Yu, XU Hong, ZHANG Xingyang, et al. Sedimentary characteristics, distribution regularities and main controlling factors of carbonate intra-platform shoal reservoirs: a case study of intra-platform shoal gas fields in the Amu Darya Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2017,24(6):312-321.
- [12] TRAVE A, LABAUME P, VERGES J. Fluid systems in foreland fold-and-thrust belts: an overview from the Southern Pyrenees [M]. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag Thrust Belts and Foreland Basins, 2007:91-115.
- [13] FISCHER M P, HIGUERA-DIAZ I C, EVANS M A, et al. Fracture-controlled paleohydrology in a map-scale detachment fold: insights from the analysis of fluid inclusions in calcite and quartz veins[J]. *Journal of Structural Geology*, 2009,31(12):1490-1510.
- [14] VANDEGINSTE V, SWENNEN R, ALLAEYS M, et al. Challenges of structural diagenesis in foreland fold-and-thrust belts: a case study on paleofluid flow in the Canadian rocky mountains west of Calgary[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2012,35(1):235-251.
- [15] QING H R, MOUNTJOY E. Large-scale fluid flow in the Middle Devonian Presqu'île barrier, Western Canada Sedimentary Basin [J]. *Geology*, 1992,20(10):903-906.
- [16] RONCHI P, MASETTI D, TASSAN S, et al. Hydrothermal dolomitization in platform and basin carbonate successions during thrusting: a hydrocarbon reservoir analogue(Mesozoic of Venetian Southern Alps, Italy)[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2012, 29:68-89.
- [17] LACROIX B, TRAVE A, BUATIER M, et al. Syntectonic fluid-flow along thrust faults: example of the South Pyrenean fold-and-

- thrust belt[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2014,49:84-98.
- [18] GRAAF S D, NOOITGEDACHT C W, GOFF J L, et al. Fluid-flow evolution in the Albanide fold-thrust belt: insights from hydrogen and oxygen isotope ratios of fluid inclusions[J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 2019, 103(10): 2421-2445.
- [19] 张咏梅. 盆山转换带热液流体识别与示踪、以四川盆地东南缘震旦系灯影组为例[D]. 成都:成都理工大学,2023:1-159.  
ZHANG Yongmei. Origin and evolution of hydrothermal fluids in basin-mountain transition: a case study of the Ediacaran Dengying Formation in the Southeastern Sichuan Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2023:1-159.
- [20] 马妍,孙永河,柳少波,等. 渤海湾盆地黄骅坳陷石炭系—二叠系烃源岩生烃演化及与中—新生代构造演化的响应关系[J]. *地质论评*,2023,69(2):496-512.  
MA Yan, SUN Yonghe, LIU Shaobo, et al. Hydrocarbon generation and evolution of Carboniferous-Permian source rocks and their response to Meso-Cenozoic tectonic evolution in Huanghua Depression, Bohai Bay Basin[J]. *Geological Review*, 2023, 69(2): 496-512.
- [21] 唐昱哲,柴辉,王红军,等. 中亚阿姆河右岸东部地区侏罗系盐下碳酸盐岩储层特征及预测新方法[J]. *岩性油气藏*,2023,35(6): 147-158.  
TANG Yuzhe, CHAI Hui, WANG Hongjun, et al. Characteristics and new prediction methods of Jurassic subsalt carbonate reservoirs in the eastern right bank of Amu Darya, Central Asia[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2023,35(6):147-158.
- [22] 张志伟,何永焘,王春生,等. 中亚地区阿姆河盆地查尔朱、布哈拉阶地构造特征及演化[J]. *海相油气地质*,2010,15(4):48-56.  
ZHANG Zhiwei, HE Yongtao, WANG Chunsheng, et al. Structural characteristics and evolution of Chardzhou and Bukhara Terraces in Amu-Darya Basin, Middle Asia[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2010,15(4):48-56.
- [23] 徐文世,刘秀联,余志清,等. 中亚阿姆河含油气盆地构造特征[J]. *天然气地球科学*,2009,20(5):744-748.  
XU Wenshi, LIU Xiulian, YU Zhiqing, et al. Geological structure of Amu Darya Basin in Central Asia[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(5):744-748.
- [24] BRUNET M F, MCCANN T, SOBEL E R. Geological evolution of Central Asian basins and the Western Tien Shan Range[M]. London: Geological Society, Special Publications, 2017:1-427.
- [25] BONS P D, ELBURG M A, GOMEZ-RIVAS E. A review of the formation of tectonic veins and their microstructures[J]. *Journal of Structural Geology*, 2012,43:33-62.
- [26] KOEHN D, EBNER M, RENARD F, et al. Modelling of stylolite geometries and stress scalling[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2012,341/342/343/344:104-113.
- [27] 白振华,张良杰,王红军,等. 阿姆河右岸区块侏罗系盐下碳酸盐岩油气动态成藏过程研究[J]. *海相油气地质*,2022,27(4):429-439.  
BAI Zhenhua, ZHANG Liangjie, WANG Hongjun, et al. Analysis of dynamic hydrocarbon accumulating process of Jurassic pre-salt carbonate reservoirs in the right bank block of Amu Darya River[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2022,27(4):429-439.
- [28] 单云鹏,王红军,张良杰,等. 土库曼斯坦阿姆河右岸卡洛夫—牛津阶储层流体包裹体特征及成藏期[J]. *东北石油大学学报*,2020,44(3):14-25.  
SHAN Yunpeng, WANG Hongjun, ZHANG Liangjie, et al. Fluid inclusion characteristics and hydrocarbon accumulation period of Callovian-Oxfordian reservoir on the right bank of Amu Darya, Turkmenistan[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2020, 44(3):14-25.