

塔里木盆地西南坳陷英吉沙与皮山地区 构造演化特征及对油气成藏的影响

解巧明^{1,2}, 王震亮^{1,2}, 尹成明³, 李清瑶³, 廖晓^{1,2}, 赵子龙^{1,2}, 张快乐^{1,2}

(1. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学), 西安 710069; 2. 西北大学地质学系, 西安 710069;
3. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083)

摘要:塔西南坳陷油气勘探程度整体较低,复杂的构造演化制约了该坳陷油气成藏和勘探效果。与已发现的柯克亚等油气田具有相似油气地质背景的英吉沙与皮山地区,目前尚无大的发现。以平衡剖面技术为主线,并以野外踏勘所见地质现象和单井埋藏史作为约束条件,分析英吉沙与皮山地区的构造演化特征及其对油气成藏的影响。英吉沙地区自二叠纪以来经历4期构造推覆,发育叠瓦状、三角带和断弯背斜等构造样式,在中新世推覆作用最强,地层缩短率22.4%;皮山地区自二叠纪以来经历4期构造推覆,发育叠瓦状、断弯背斜等构造样式,上新世推覆最为强烈,地层缩短率12.5%;中新世以来英吉沙与皮山地区构造运动发生时间和作用强度存在一定差异。新近纪以来,英吉沙与皮山地区强烈逆冲推覆使得前渊坳陷带沉积了巨厚的新生代地层,导致下伏烃源岩进入高一过成熟阶段,开始大规模生烃,生成的油气可沿断层、不整合面向上运移到背斜构造等圈闭形成油气藏。新近纪以来英吉沙与皮山地区构造作用的差异性,导致其成藏条件具有一定差别:英吉沙地区的油气起始充注时间、构造圈闭主要形成时间均为中新世,上新世原生气藏遭受破坏的风险较大;皮山地区的油气起始充注时间、圈闭主要形成时间均为上新世,油气藏后期的破坏风险较小。

关键词:平衡剖面恢复技术;构造演化;成藏条件差异性;英吉沙地区;皮山地区;塔里木盆地西南坳陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Tectonic evolution characteristics of Yingjisha and Pishan areas and the influence on petroleum accumulation in the southwest depression, Tarim Basin

XIE Qiaoming^{1,2}, WANG Zhenliang^{1,2}, YIN Chengming³, LI Qingyao³,

LIAO Xiao^{1,2}, ZHAO Zilong^{1,2}, ZHANG Kuaile^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics and Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

3. Oil and Gas Survey Center, CGS, Beijing 100083, China)

Abstract: The oil and gas exploration degree in the southwestern depression of the Tarim Basin is low overall. Complex tectonic evolution is one of the key factors that restrict the hydrocarbon accumulation and exploration in this depression. There are no major discoveries in the Yingjisha and Pishan areas that are geologically similar to those found in the oil and gas fields of Akmomu and Kekeya. Using a balanced section technology, and the geological circumstances and single well burial history as the constraints in the field, the tectonic evolution characteristics of the Yingjisha and Pishan areas and their effects on hydrocarbon accumulation were analyzed. Since the Permian, the Yingjisha area has undergone three stages of tectonic nappe, and developed tectonic styles such as imbricate thrusts, V-belt and fault related folds. It has the strongest nappe effect in the Miocene, with a strata shortening of 22.4%. The Pishan area has experienced four stages of tectonic thrust, developing styles such as imbricate thrusts and fault related folds. The strongest thrusting took place during the Pliocene with a strata shortening of 12.5%. There is a certain difference in time and intensity of tectonic movement in the Yingjisha and Pishan areas since the Miocene. Since the Neogene, the strong thrusting of the Yingjisha and Pishan areas has caused the formation of thick Cenozoic strata in the foreland depression, making the underlying

收稿日期: 2018-05-25; 修订日期: 2019-01-28。

作者简介: 解巧明(1992—),男,硕士研究生,从事油气地质研究。E-mail: 544826381@qq.com。

通信作者: 王震亮(1966—),男,博士,教授,从事油气地质研究和教学工作。E-mail: wangzl@nwu.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项(2017ZX05008-004-004)和中国地调项目(DD20160203-4)联合资助。

source rocks enter the high-maturity and over-mature stage, resulting in large-scale hydrocarbon generation. Oil and gas migrated along faults and unconformities into anticline structures to form reservoirs. The difference in tectonic effects between the Yingjisha and Pishan areas since the Neogene has led to some differences in the conditions for hydrocarbon accumulation. The initial charging period of hydrocarbons and the main formation time of structural traps in the Yingjisha area were both in the Miocene epoch, and the primary oil and gas reservoirs were easily damaged in the Pliocene epoch. In the Pishan area, the initial charging period of hydrocarbons and the main formation time of structural traps were both in the Pliocene epoch, and the primary oil and gas reservoirs showed a low damage risk.

Key words: balanced section restoration technique; tectonic evolution; difference of reservoir forming conditions; Yingjisha area; Pishan area; southwestern depression of Tarim Basin

塔西南坳陷作为塔里木盆地内一级构造单元,可分为和田凹陷、叶城凹陷和喀什凹陷等二级单元,油气地质资源储量较为丰富,目前已发现柯克亚高产凝析气田、巴什托普、柯克亚深层油气藏和阿克莫木气田等(图 1a)。受不同时期板块碰撞作用控制,塔西南地区经历多期逆冲推覆,构造背景复杂^[1-5]:晚二叠世—早三叠世羌塘地块与塔里木地块发生碰撞,康西瓦断裂左旋走滑;中生代期间,冈底斯陆块向欧亚大陆拼贴,班公湖—怒江特提斯洋关闭,西昆仑北缘断裂形成;新生代以来,特别是中新世至今,受印度板块与青藏高原板块碰撞远程效应影响,发育前陆盆地,塔西南地区处于前陆盆地的前渊部位。西昆仑地区、青藏高原西北缘碎屑锆石的热年代学研究认为^[6],西昆仑地区在晚二叠世、中生代、中新世与上新世均受构造挤压影响(图 1b),导致塔西南地区褶皱、断层与不整合面广泛发育。

英吉沙、皮山地区与已发现的阿克莫木、柯克亚油气田所在地区具有相似的石油地质特征:烃源岩主要为石炭—二叠系海相、湖相烃源岩和侏罗系湖相、沼泽相烃源岩,属于优质烃源岩,新生代以来

大量生、排烃;发育多套生储盖组合;巨厚膏泥岩阿尔塔什组可作为一套良好的区域性盖层^[7-11]。但因塔西南坳陷新生代复杂的构造演化和油气成藏过程,目前 2 个地区尚未有大的油气发现。因此,通过综合研究英吉沙、皮山地区构造演化特征,探讨其对油气成藏的影响,具有一定理论和实用价值。本文以裂变径迹分析、单井埋藏史恢复以及野外观察到的不整合面等多种因素作为约束条件,主要利用平衡剖面技术,对英吉沙、皮山地区在不同地质时期的构造演化进行了恢复和分析,为探讨不同地质时期的构造特征提供较为准确的证据。在此基础上,从烃源岩生烃作用、油气运移证据、圈闭量化以及油气藏破坏等多个方面,探讨构造演化对油气成藏的影响及在这 2 个地区的差异性。

1 构造演化特征

利用平衡剖面技术对英吉沙、皮山地区的构造演化特征进行分析。前人在甫沙—克里阳、齐姆根地区曾利用平衡剖面技术对塔西南构造演化特征进行过研究,并取得较好效果^[12]。平衡剖面技术针对解释出的地震剖面,选用合适的变形机制,通过几

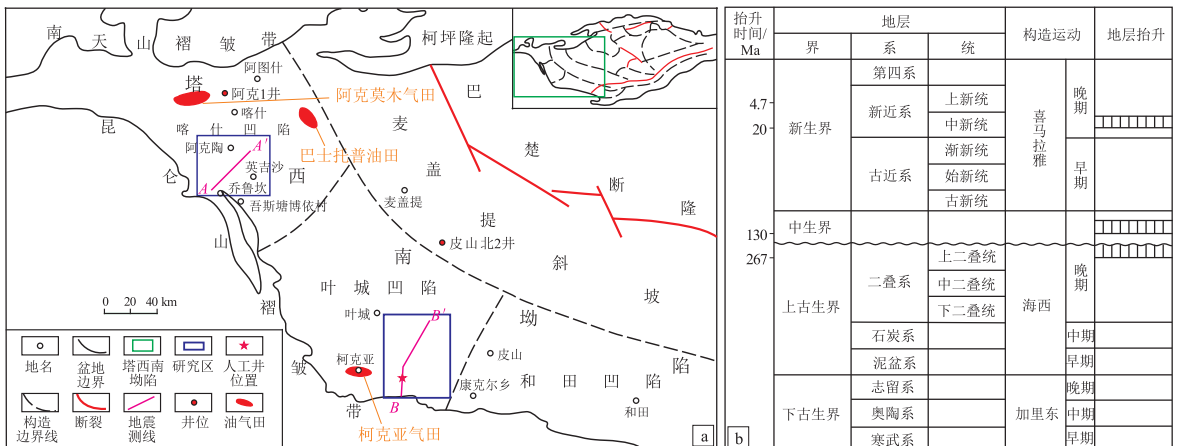


图 1 塔里木盆地英吉沙与皮山地区研究区的位置、西南坳陷和邻区的亚一级构造单元分区(a)与地层—构造事件柱状图(b)
Fig.1 Location of Yingjisha and Pishan areas, and tectonic units and events in southwestern depression and its periphery, Tarim Basin

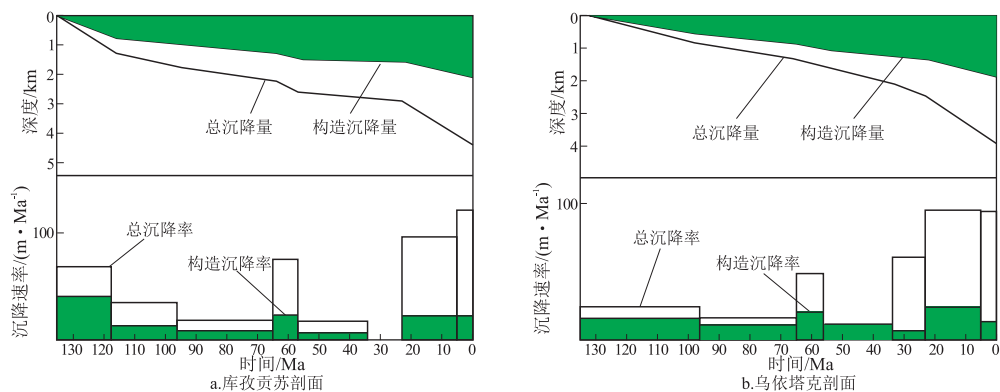


图2 塔西南坳陷英吉沙地区2个剖面的白垩纪—新近纪构造沉降曲线^[22]

Fig.2 Cretaceous–Neogene tectonic subsidence curves of two sections in Yingjiasha area, southwestern depression, Tarim Basin

何学、运动学原理全部或部分复原成合理的未变形状态,遵循面积守恒、层长守恒、位移量守恒等基本原则^[13–16]。地震剖面的选取对于恢复构造演化特征的准确性至关重要,一般应遵循2个原则:(1)选取的剖面应平行构造倾向;(2)能够较好反映构造特征^[17]。综上分析,根据前人资料^[18],分别选取AA'、BB'剖面作为反映英吉沙、皮山地区构造演化特征的基础(图1)。然后利用2DMove软件恢复剥蚀^[19–20]、去断层、层拉平、去压实^[21]等操作,使该剖面还原至相应地质时期的状态。

1.1 英吉沙地区构造演化特征

前人曾立足层序地层响应特征,分析了塔里木盆地白垩纪—新近纪的盆山耦合过程^[22],计算了英吉沙地区构造沉降量和沉降速率(图2),认为英吉沙地区自白垩纪以来经历了地层的多期快速沉降,分别发生于白垩纪、古近纪、中新世与上新世。反映沉降速率主要受构造运动控制,造山带持续挤压导致前陆盆地的沉降^[22]。

本文结合地震剖面(图3g)及前人对英吉沙地区的构造抬升事件分析,依据AA'剖面的平衡剖面恢复结果(图3),初步研究认为,该地区的构造运动以推覆作用为主,可分为4个时期:晚二叠世、中生代、中新世和上新世,其中,中生代发育2次较明显的推覆。结合磷灰石裂变径迹对地层抬升时间分析,认为对应的时间分别为距今265,130,79,20,4.7 Ma^[6]。

二叠纪末期,地层由昆仑山前向盆地内部推覆,AA'剖面长度由52.56 km缩短至50.26 km,缩短率4.38%,发育逆冲断层。从地形上来看,地层受挤压发育褶皱,特别在逆断层附近发育断层转折褶皱和断层传播褶皱。在剖面的北东部,深部寒武系发育厚层膏岩,使得逆冲断层沿着寒武系滑脱,形成叠瓦状构造,发育断弯背斜(图3b)。中生代

期间,地层遭受严重的剥蚀,仅在局部地区有白垩系残留,广泛发育不整合。野外露头可观察到石炭系、二叠系与中生界间的不整合(图4a,b)。中新世早期,地层开始由SW向NE方向推覆,剖面长度从43.71 km缩短至36.73 km,缩短率22.40%。强烈的推覆使得该地区发育逆冲断层,切穿下伏古生界。地层向SW方向倾斜并发育褶皱,苏盖特、英吉沙和阿克陶背斜的雏形得以形成(背斜雏形见图3e,圈闭2、圈闭7所处位置)。靠近西昆仑地区,古近系与二叠系上下叠置,造成地层重复。上新世至今,推覆的方向依然是由SW向NE方向,剖面长度从36.73 km缩短至32.45 km,缩短率11.65%。从地震剖面上看,靠近西昆仑地区全面褶皱上升,地层遭受挤压剧烈变形,苏盖特、英吉沙等背斜形成(背斜构造见图3g,圈闭1所处位置),在SW向浅部为中生界和古生界推覆体,并且把侏罗系推覆抬升至地表。盆地方向发育2条相背倾斜的逆冲断层,由深部的一条逆断层相联系构成逆冲三角带。野外露头可观察到侏罗系地层受挤压形成褶皱(图4c,d)。前人对阿克1井地层埋藏史进行了恢复^[7](图3h),结合AA'剖面演化过程,认为二叠纪末期山前逆冲推覆造成前缘及相邻区域抬升,阿克1井地区未发育三叠系,中生界经历2期抬升后遭受剥蚀;中新世以后,昆仑山前的强烈推覆,使前渊坳陷带发育巨厚的新近系沉积,其埋藏史曲线可反映英吉沙地区的沉降—抬升历程。

1.2 皮山地区构造演化特征

同样结合地震剖面及前人对皮山地区的构造抬升事件分析,依据BB'剖面(图5g)的平衡剖面恢复结果(图5),研究认为,BB'剖面展示的构造运动同样以推覆为主,可分为4个时期:晚二叠世、白垩世、中新世和上新世,结合磷灰石裂变径迹对地层抬升时间分析,认为对应时间分别为265,130,

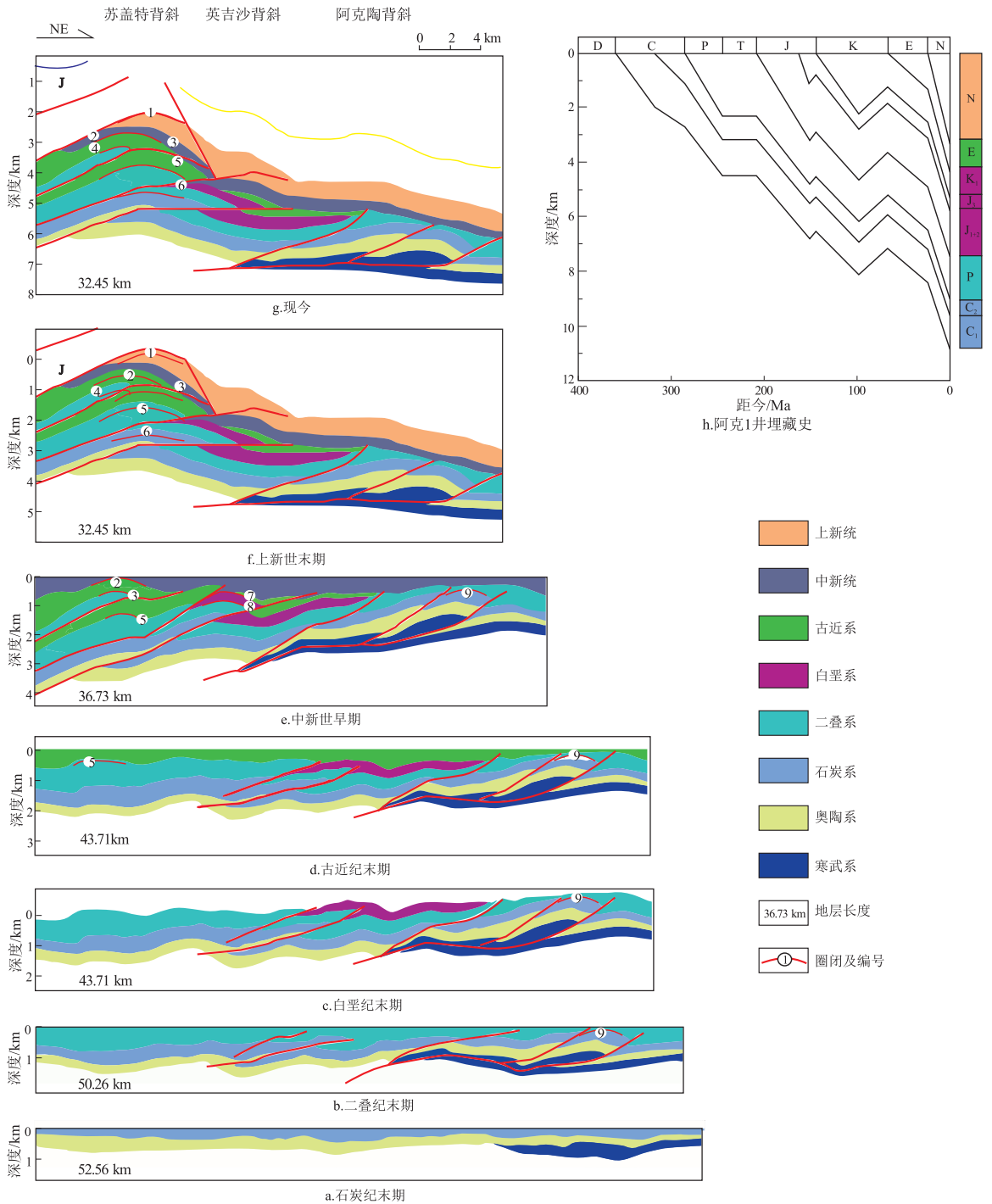


图 3 塔西南坳陷英吉沙地区南西—北东向 AA'剖面平衡恢复结果(a-g)及与阿克 1 井埋藏史曲线对比(h) 剖面、井位位置见图 1,阿克 1 井埋藏史曲线据参考文献[7]修改。

Fig.3 Balance restoration results of the SW-NE AA' section of the Yingjisha area in the southwestern depression of Tarim Basin, and its comparison with the burial history of well Ake 1

20,4.7 Ma^[6]。

二叠纪末期,皮山地区处于构造挤压环境, BB'剖面长度由 84.59 km 缩短至 79.36 km,缩短率 6.18%。上古生界由 SSW 向 NNE 向推覆,发育叠瓦状构造(图 5b);三叠纪期间,皮山地区处于挤压环境,但挤压具有不均一性,昆仑山前因挤压抬升幅度小于盆地内部,故发育侏罗系与二叠系间的

整合,向盆内延伸侏罗系逐渐尖灭,发育白垩系与二叠系间的不整合。早白垩世,靠近昆仑山前侏罗系被抬升遭受剥蚀,发育侏罗系与古近系不整合(图 5c);中新世早期,剖面长度由 74.09 km 缩短至 71.63 km,缩短率 3.32%,地层开始由昆仑造山带向盆地内部推覆并发育逆断层,山前地层整体隆升并向盆内挤压,使得地层发育褶皱,柯东、柯克亚

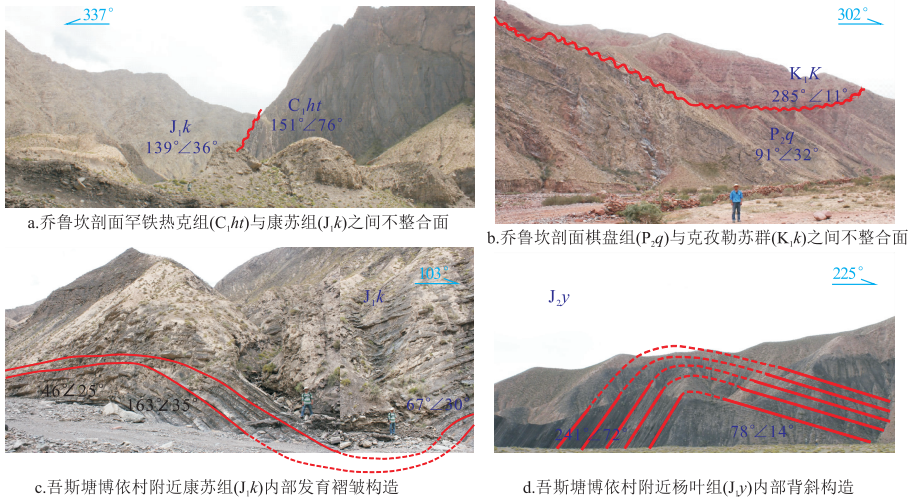


图 4 塔西南坳陷英吉沙地区野外露头展示的构造现象

Fig.4 Tectonic phenomena illustrated in outcrops in the Yingjisha area, southwestern depression, Tarim Basin

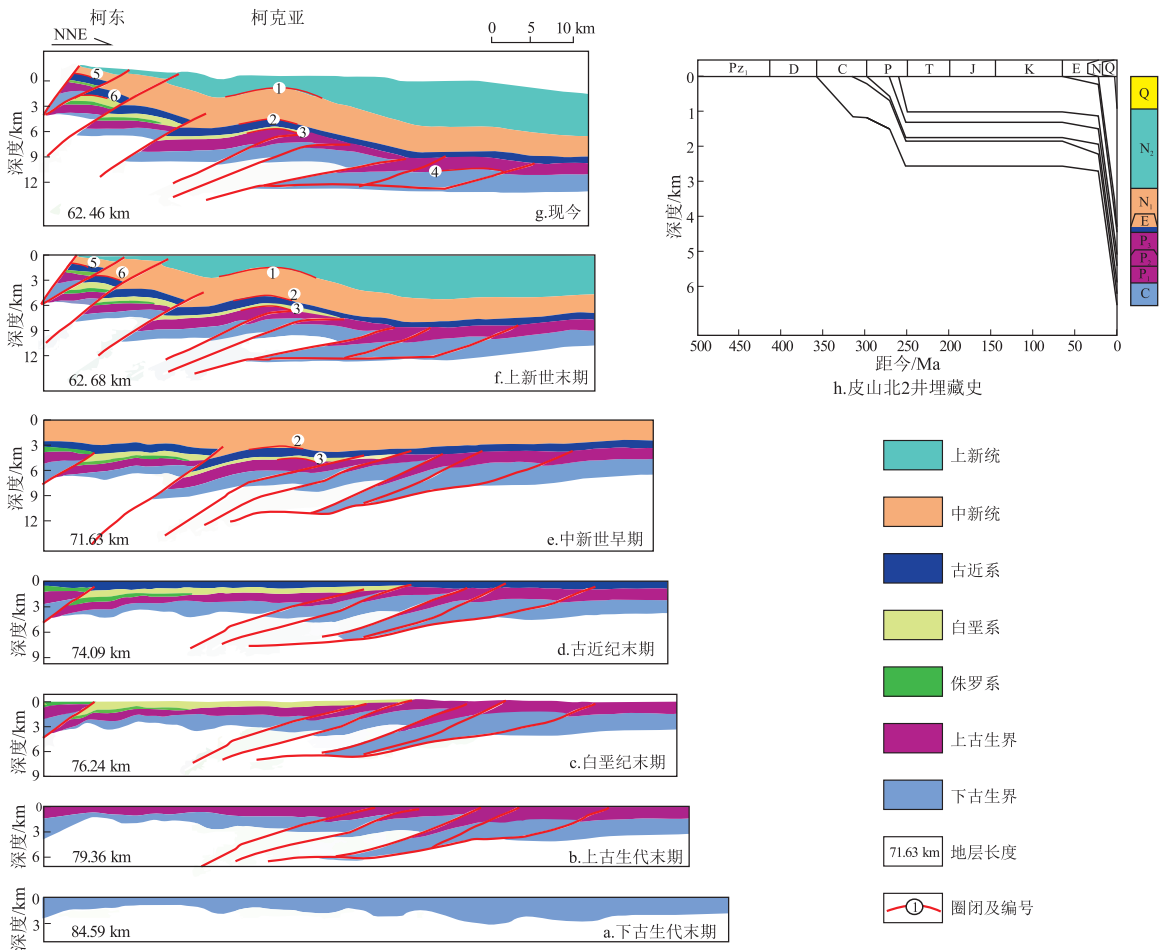


图 5 塔西南坳陷皮山地区南西—北东向 BB' 剖面平衡恢复结果(a-g) 及与皮山北 2 井埋藏史曲线对比(h) 剖面、井位位置见图 1, 皮山北 2 井埋藏史曲线据文献[40]。

Fig.5 Balance restoration results of the SW-NE BB' section of the Pishan area in the southwestern depression of Tarim Basin, and its comparison with the burial history of well PSB-2

背斜的雏形得以形成。上新世至今,构造推覆最为强烈,剖面长度由 71.63 km 缩短至 62.68 km,缩短率 12.49%,山前地区呈叠瓦状、基底卷入式构造

(图 5e, 圈闭 5, 圈闭 6 所处位置)。新生界被强烈抬升遭受剥蚀,盆内地层发生褶皱变形,形成柯克亚背斜。前人曾对甫沙背斜、柯克亚背斜的地层

倾角进行过测量^[23],发现上新统阿图什组底部到第四系西域组顶部,地层倾角由下向上逐渐变缓,认为甫沙背斜生长地层底界位于阿图什组下部,柯克亚背斜生长地层底界位于阿图什组中上部,证明甫沙与柯克亚背斜的主要发育期为上新世,这与本文的平衡剖面恢复结果是一致的。前人对皮山北 2 井的地层埋藏史进行恢复^[37](图 5,右上)。结合 BB'剖面演化过程,认为山前地区晚古生代末期、中生代分别经历了构造推覆与地层抬升,中生界不发育;中新世以后,昆仑山前的强烈推覆使得前渊坳陷沉积了巨厚的新生界,该井的埋藏史曲线基本反映了皮山地区的沉降—抬升历程。

1.3 2 个地区构造演化的差异性

新近纪以来,塔西南坳陷整体处于强烈构造挤压环境,但具有不均一性^[24-25],可能会导致不同地区的构造强度、作用时间的差异性^[26]。通过英吉沙、皮山地区地层缩短率的量化分析,发现英吉沙和皮山地区构造强度存在差异性(图 6),自古近纪

到中新世、上新世,地层缩短率的变化趋势有明显差别:英吉沙地区在中新世地层压缩率高达 22.4%,之后至上新世降至 11.65%,且构造挤压强度大于皮山地区;皮山地区在古近纪和中新世构造挤压程度明显较弱,地层缩短率分别为 3.15%、3.32%,至上新世才升至 12.49%,并略高于英吉沙地区。该时期的挤压源于印度板块与欧亚板块碰撞,造成青藏高原隆升使整个塔西南坳陷均处于较为强烈的构造挤压环境。但受青藏高原隆升不均一影响,中新世帕米尔向北突刺英吉沙地区构造挤压强度明显高于皮山地区;上新世青藏高原全面隆升,2 个地区构造挤压强度大体相当。

2 构造演化对油气成藏的影响

盆地形成中的构造、沉积作用是油气藏得以形成的基础地质条件,塔西南坳陷的油气勘探实践表明,构造演化是影响油气生成、运聚、成藏的重要因素。但在英吉沙、皮山地区之间,由于存在构造演化的差异性,也可能引起 2 个地区油气成藏特征存在一定的差别。

2.1 圈闭形成和演化

背斜圈闭、不整合圈闭为塔西南油气聚集的主要场所^[27-29]。本文对圈闭的分析主要基于背斜构造圈闭,在 seismic 剖面平衡恢复的过程中采用 2DMove 软件对圈闭进行度量。根据图 3,图 5 显示的不同时期圈闭的演化过程,可见构造推覆发挥了主导作用。现以英吉沙地区圈闭演化过程为例加以说明(图 7),从圈闭 1 至 9 的背斜形成历史看,中新世与上新世是本地区背斜圈闭形成的主要时期。2 个地区推覆时间不一致,可能导致圈闭形成时间存在差异。皮山地区圈闭形成演化过程

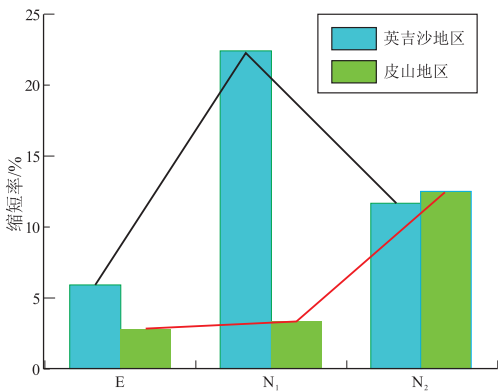


图 6 塔西南坳陷英吉沙和皮山地区地层缩短率对比
Fig.6 Comparison of strata shortening rates in Yingjisha and Pishan areas, southwestern depression, Tarim Basin

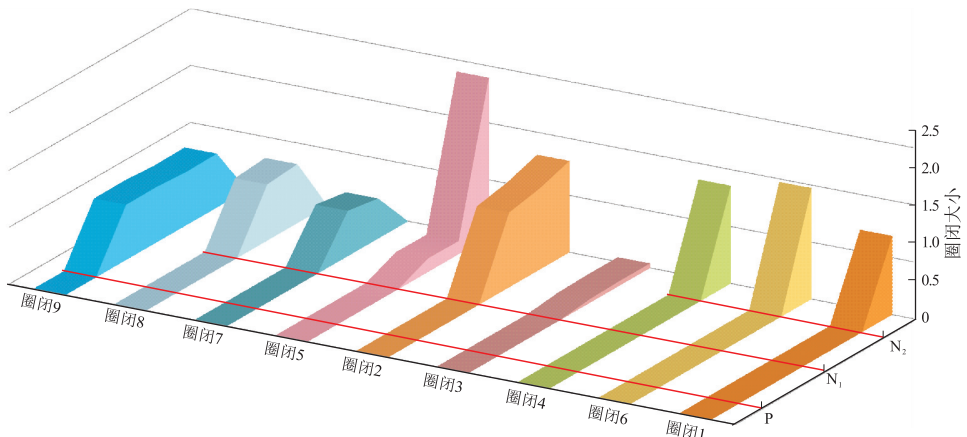


图 7 塔西南坳陷英吉沙地区不同背斜圈闭在演化时期的容积变化

P, N₁, N₂为英吉沙地区 3 期构造推覆对应的时间,圈闭相对大小以圈闭 1 为基数,圈闭代号见图 3。

Fig.7 Volume changes of different anticline traps during evolution, Yingjisha area, southwestern depression, Tarim Basin

分析,发现中新世、上新世均有圈闭形成,但上新世为该地区背斜圈闭形成的主要时期(圈闭 1,4,5,6,图 5)。

2.2 烃源岩的生烃过程

塔西南坳陷主要发育石炭—二叠系滨海相—湖相、侏罗系煤系烃源岩,但不同层位烃源岩分布特征与演化程度在东西方向存在差异。具体表现为石炭系烃源岩在英吉沙地区发育较厚,厚度普遍大于 200 m;二叠系烃源岩在皮山地区发育较厚,厚度大于 250 m;侏罗系烃源岩平面上主要呈狭窄的条带状分布于塔西南的山前地带,沿着山前地帯向东南方向逐渐减薄。石炭系烃源岩热演化成熟度中东部地区处于成熟阶段,西部地区处于高成熟阶段,热演化程度较高;下二叠统烃源岩热演化成熟度自塔西南坳陷东北部向西南山前逐渐增加^[30-32]。前人对该地区烃源岩热演化程度研究,发现受新生界巨厚沉积影响,烃源岩开始逐渐进入高一过成熟演化阶段,开始大规模生烃。现以石炭—二叠系烃源岩为例进行说明。本文通过人工井标定(位置见图 1),对地层岩性特征、岩石热导率、塔西南地区地温梯度演化过程^[33-34]以及大地热流值计算模型等参数进行了详细论证,利用 Petromod 软件进行了模拟^[35-36](图 8)。由该地区

不同深度的镜质体反射率(R_o)测试结果进行验证,显示模拟的可靠性较高(图 8,插图)。模拟结果显示,中侏罗世末,石炭系烃源岩进入生烃门限。但受晚侏罗世构造作用影响,地层抬升剥蚀导致生烃停滞。古近纪以来,重新进入新的生烃门限,在距今 65 Ma 开始二次生烃。中新世以后塔西南坳陷具有前陆盆地特征,在前渊坳陷带沉积了巨厚的新近系,从而使烃源岩所在地层的温度快速上升,二叠系普司格组、侏罗系烃源岩进入高一过成熟阶段,分别在距今 23,18 Ma 开始大规模生烃。

2.3 油气运移的证据

根据野外观察到的裂缝发育情况以及镜下特征,发现塔西南地区构造裂缝发育,由裂缝间的分布、切割关系,至少可以识别出 2 个期次的裂缝(图 9a),很多裂缝被方解石胶结充填(图 9a, c),但也可见部分裂缝未被胶结,构成重要的渗流通道(图 9b)。在荧光显微镜下,还可观察到裂缝内部有浅黄色荧光显示,说明裂缝为油气运移的重要通道(图 9d)。

前人根据自生伊利石的 K-Ar 定年法,针对英吉沙地区阿克 1 井下白垩统砂岩进行了油气充注年代分析,认为发生在距今 22.60~18.79 Ma^[37],表明在中新世早期该地区开始发生油气充注,其后发

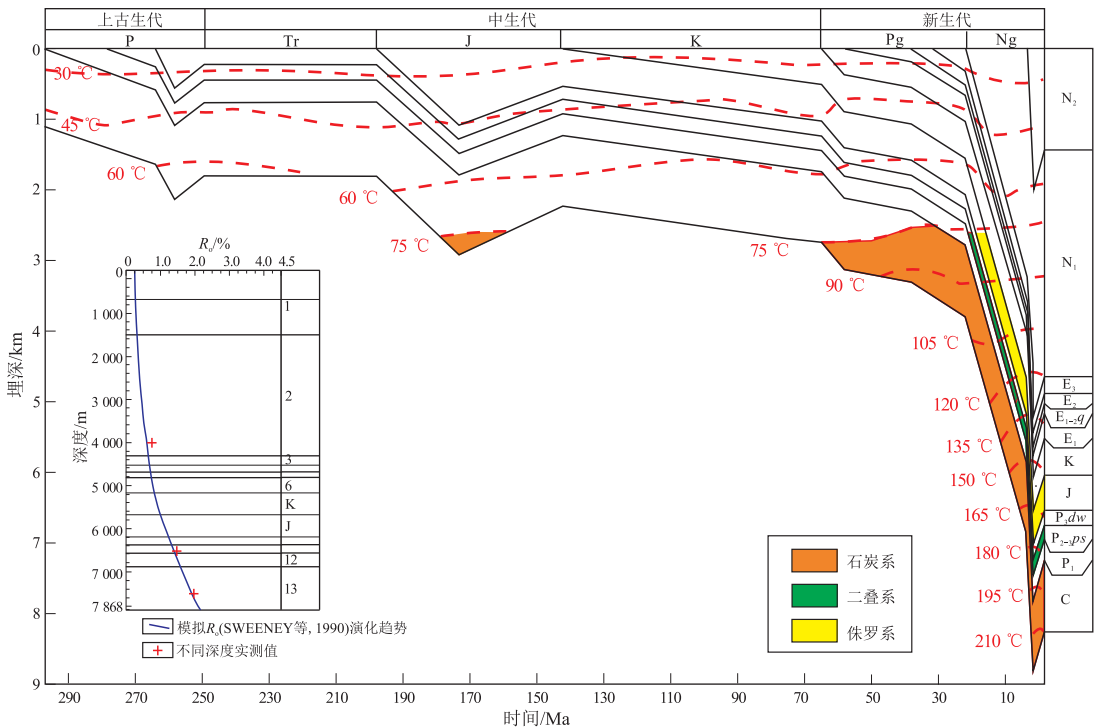


图 8 塔西南坳陷人工井埋藏史—热史曲线与石炭—二叠系、侏罗系烃源岩的生烃阶段
插图为 R_o 模拟与实测数据间的拟合曲线,人工井位置见图 1。

Fig.8 Burial and thermal evolution history curves of artificial wells and hydrocarbon generation stages of the Carboniferous-Permian and Jurassic source rocks, southwestern depression, Tarim Basin

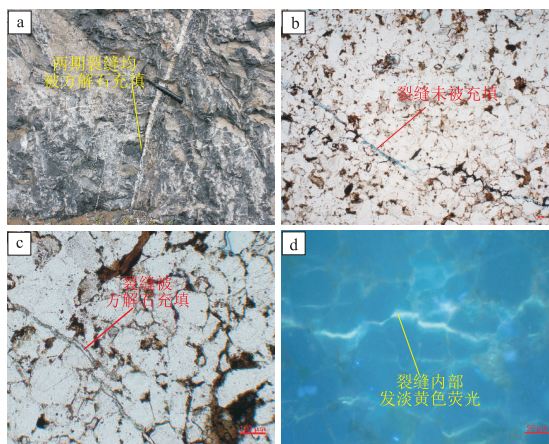


图 9 塔西南地区裂缝发育和油气显示特征

a. 罕铁热克组 (C_{1ht}), 内部裂缝发育且被方解石充填, 皮山康克尔剖面; b. 杜瓦组 (P_{3dw}), 发育构造裂缝且未被填充, 单偏光, 50×, 蓝色铸体, 皮山桑株剖面; c. 杜瓦组 (P_{3dw}), 发育构造裂缝且被方解石充填, 单偏光, 10×, 皮山桑株剖面; d. 塔尔尕组 (J_{2t}), 内部裂缝黄色荧光油气显示, 荧光, 20×, 英吉沙吾斯塘博依村

Fig.9 Fracture development and hydrocarbon display characteristics in southwestern depression, Tarim Basin

生油气运移或成藏。阿克 1 井白垩系有机包裹体均一温度测温结果显示, 至少存在 3 期油气充注, 第一期包裹体均一温度介于 60~70 °C 之间; 第二期有机包裹体均一温度介于 90~102 °C 之间; 第三

期有机包裹体均一温度介于 79~92 °C (图 10e) 之间, 对应时间分别为中新世早期、上新世晚期及更新世^[38]。皮山地区柯东 101 井、柯东 1 井连续选取的 42 块白垩系储层样品进行了包裹体测温, 显示包裹体均一温度存在 2 个峰值区间, 早期成藏温度在 80~85 °C, 晚期成藏温度在 110~120 °C (图 11e), 对应于上新世与更新世^[11]。

成藏条件与构造演化特征表明, 中新世以来, 2 个地区下伏的烃源岩达到成熟—过成熟阶段, 开始大规模生烃。但受构造推覆差异影响, 二地区断层—不整合面等有利油气运移通道形成时间有差别, 使得油气充注时间不一致。其中, 英吉沙地区中新世受强烈的构造挤压, 地层向北东方向推覆, 发育逆冲断层与不整合, 烃源岩生成的油气可沿断层—不整合面等有利通道, 向上运移至相关储层中, 形成油气藏 (图 10); 皮山地区上新世以来地层经历强烈推覆, 断层—不整合面等油气运移通道得以形成, 烃源岩生成的油气向上运移至白垩系储层中, 形成油气藏 (图 11)。

2.4 油气藏破坏

塔西南地区发育多套盖层, 其中古近系、新近系的巨厚泥岩分布广泛, 可作为理想区域盖层^[11]。

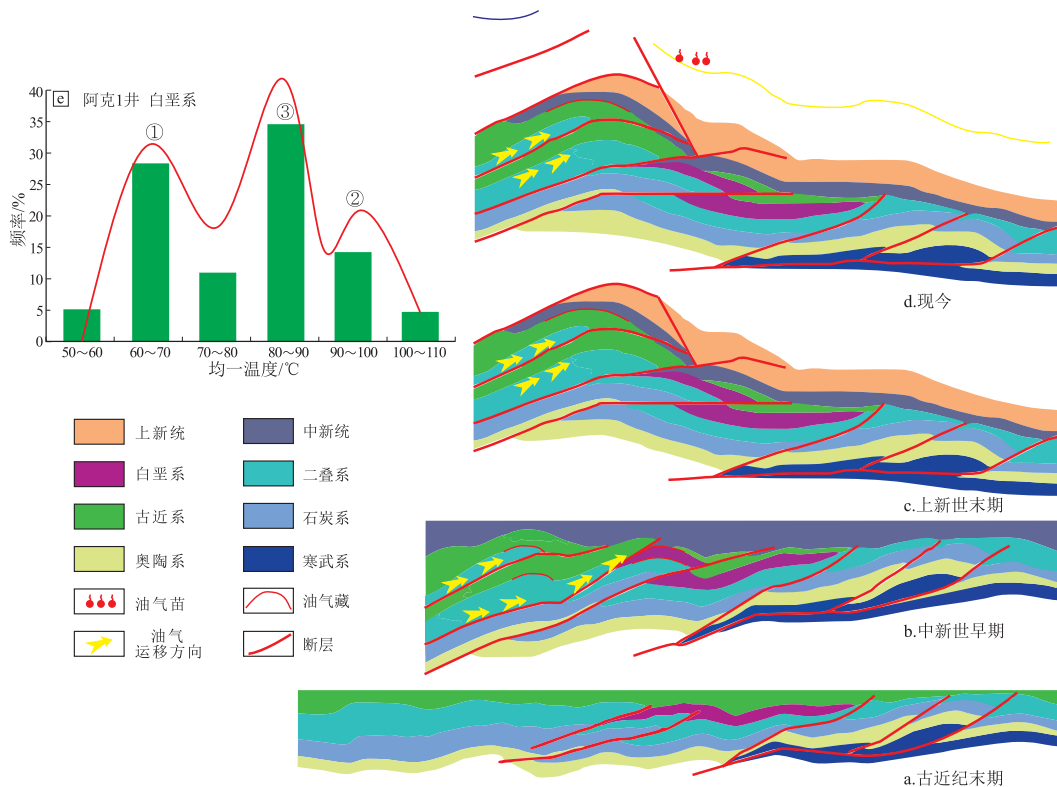


图 10 塔西南坳陷英吉沙地区构造演化剖面 (a-d)、包裹体均一温度显示的油气充注期次与油气运移、成藏过程 (e) 阿克 1 井包裹体测温数据据文献 [35]。

Fig.10 Hydrocarbon charging period and migration and accumulation process shown by tectonic evolution profile and homogenization temperature of inclusions, Yingjisha area, southwestern depression, Tarim Basin

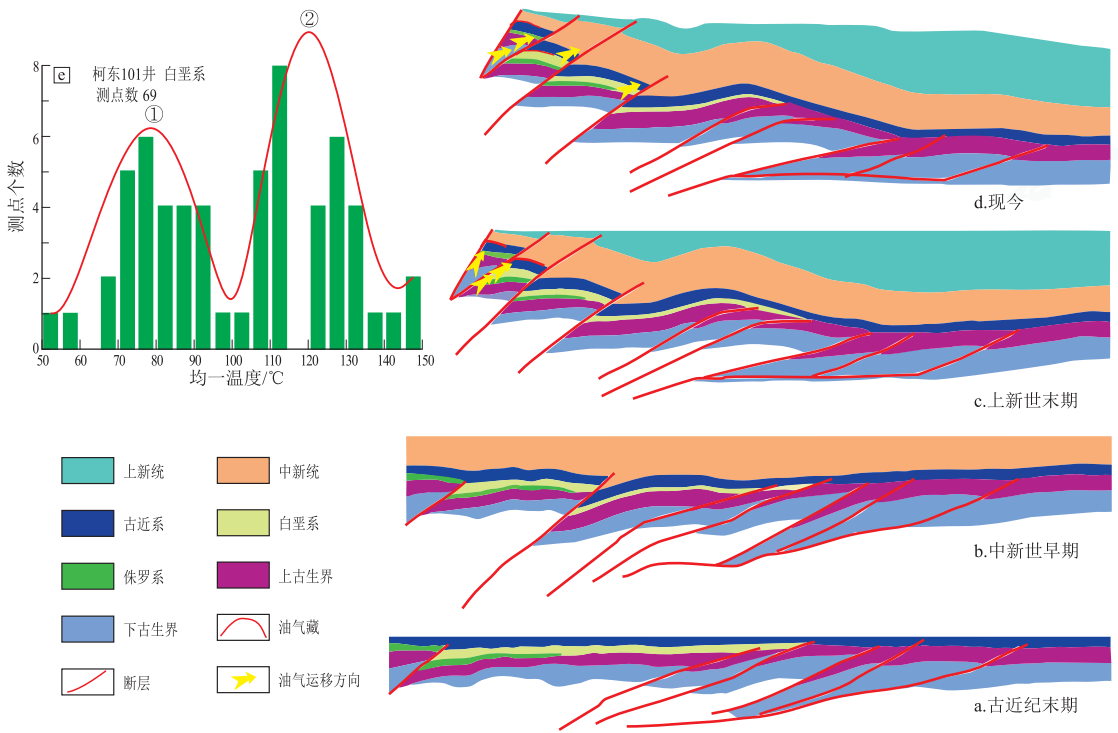


图 11 塔西南坳陷皮山地区构造演化剖面(a-d)和包裹体均一温度显示的油气充注期次与油气运移、成藏过程(e) 柯东 1 井包裹体测温数据据文献[11]。

Fig.11 Hydrocarbon charging period and migration and accumulation process shown by tectonic evolution profile and homogenization temperature of inclusions, Pishan area, southwestern depression, Tarim Basin

油气藏遭受破坏与强烈的构造挤压、地层抬升有关^[10],导致圈闭破坏、盖层被抬升剥蚀以及断裂断穿储、盖层等,从而破坏油气藏。因此对油气藏破坏主要从断层和圈闭 2 方面分析:

皮山 KD1 井钻探过程中发现,油气显示自断块深部向浅部逐渐变差,最深部的断块具有良好油气显示,高部位断块由于断层通天导致油气藏破坏严重,地表出现油砂、液体油苗等油气显示^[39],说明了断层浅部由于水动力、水洗和生物降解等因素造成的油气藏破坏,英吉沙、皮山地区应都存在断层对油气藏的破坏作用;但构造演化过程中背斜圈闭本身的大小变化、甚至完全消失,存在一定差异性,英吉沙地区 AA'剖面上,由于上新世强烈的构造挤压,很多圈闭(如圈闭 2,3,7,8,9)遭受强烈改造,圈闭 7,8,9 最终消失(图 3)。皮山地区 BB'剖面上,圈闭形成的时代较晚,主要为上新世,故仅有圈闭 9 消失(图 5)。由此认为,从背斜圈闭的演化和破坏角度分析,英吉沙地区油气藏遭受破坏的风险要大于皮山地区。

3 结论

(1)英吉沙与皮山地区二叠纪以来经历多期构造推覆,主要对应于晚二叠世、中生代、中新世和

上新世。强烈的构造推覆使 2 个地区形成叠瓦状、断弯背斜、三角带等构造样式,断层、不整合等地质现象广泛发育。

(2)受新近纪以来强烈构造推覆作用的影响,苏盖特、英吉沙、柯克亚背斜形成,英吉沙与皮山地区背斜构造圈闭发育。由于新生界巨厚沉积的影响,下伏石炭—二叠系、侏罗系烃源岩分别在距今 23,18 Ma 开始大规模生烃,生成的油气可沿断层、不整合面等通道向上运移至新生界等储集层中成藏。

(3)构造作用导致 2 个地区成藏条件存在一定的差异性。英吉沙地区油气充注时期主要为中新世早期、上新世与更新世,构造圈闭主要形成于中新世,原生油气藏在上新世遭受破坏的风险较大;皮山地区油气充注时期主要为上新世和更新世,圈闭主要形成于上新世,与充注时期同步,油气藏在后期的破坏风险较小。

致谢:感谢中国地质调查局油气资源中心等单位对本文的资助和大力支持!

参考文献:

[1] 贾承造,魏国齐.塔里木盆地构造特征与含油气性[J].科学通报,2002,47(S1):1-8.

- JIA Chengzao, WEI Guoqi. Structural characteristics and petroliferous features of Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(S1): 1-11.
- [2] 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64-77.
HE Dengfa, JIA Chengzao, LI Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-77.
- [3] 张光亚, 赵文智, 王红军, 等. 塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 653-663.
ZHANG Guangya, ZHAO Wenzhi, WANG Hongjun, et al. Multi-cycle tectonic evolution and composite petroleum systems in the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 653-663.
- [4] LIN Bo, ZHANG Xu, XU Xuechun, et al. Features and effects of basement faults on deposition in the Tarim Basin [J]. Earth-Science Reviews, 2015, 145: 43-55.
- [5] 何娟, 王毅, 刘士林, 等. 塔里木盆地西南坳陷东部构造特征及对油气成藏的控制 [J]. 石油实验地质, 2016, 38(3): 326-332.
HE Juan, WANG Yi, LIU Shilin, et al. Characteristics of fault structure and its control on hydrocarbon accumulation in the eastern part of southwestern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(3): 326-332.
- [6] 刘涵, 王国灿, 曹凯, 等. 西昆仑及邻区区域构造演化的碎屑锆石裂变迹年龄记录 [J]. 地质前缘, 2010, 17(3): 64-78.
LIU Han, WANG Guocan, CAO Kai, et al. The detrital zircon fission-track ages constraint to tectonic processes in west Kunlun and adjacent regions [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(3): 64-78.
- [7] 王招明, 赵孟军, 张水昌, 等. 塔里木盆地西部阿克莫木气田形成初探 [J]. 地质科学, 2005, 40(2): 237-247.
WANG Zhaoming, ZHAO Mengjun, ZHANG Shuichang, et al. A preliminary study on formation of Akemo gas field in the Kashi Sag, Tarim Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2): 237-247.
- [8] 李世臻, 康志宏, 邱海峻, 等. 塔里木盆地西南坳陷油气成藏模式 [J]. 中国地质, 2014, 41(2): 387-398.
LI Shizhen, KANG Zhihong, QIU Haijun, et al. Hydrocarbon accumulation modes of the southwest depression in Tarim Basin [J]. Geology in China, 2014, 41(2): 387-398.
- [9] 岳勇, 徐勤琪, 傅恒, 等. 塔里木盆地西南部白垩系—古近系沉积特征与储盖组合 [J]. 石油实验地质, 2017, 39(3): 318-326.
YUE Yong, XU Qinqi, FU Heng, et al. Reservoir-cap rock assemblage and sedimentary characteristics of Cretaceous-Paleogene in southwestern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(3): 318-326.
- [10] 赵孟军, 王招明, 宋岩, 等. 塔里木盆地喀什凹陷油气来源及其成藏过程 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 50-54.
ZHAO Mengjun, WANG Zhaoming, SONG Yan, et al. Source and accumulation of oil and gas in Kashi Sag, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 50-54.
- [11] 莫午零, 林潼, 张英, 等. 西昆仑山前柯东—柯克亚构造带油气来源及成藏模式 [J]. 石油实验地质, 2013, 35(4): 364-371.
MO Wuling, LIN Tong, ZHANG Ying, et al. Hydrocarbon origin and accumulation model of Kedong-Kekeya tectonic belt in piedmont of West Kunlun Mountain [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(4): 364-371.
- [12] JIANG Xiaodian, LI Zhengxiang, LI Haibing. Uplift of the West Kunlun Range, northern Tibetan Plateau, dominated by brittle thickening of the upper crust [J]. Geology, 2013, 41(4): 439-442.
- [13] DAHLSTROM C D A. Balanced cross sections [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6(4): 743-757.
- [14] SCHÖNBORN G. Balancing cross sections with kinematic constraints: the dolomites (northern Italy) [J]. Tectonics, 1999, 18(3): 527-545.
- [15] JUDGE P A, ALLMENDINGER R W. Assessing uncertainties in balanced cross sections [J]. Journal of Structural Geology, 2011, 33(4): 458-467.
- [16] CAËR T, MAILLOT B, SOULOUMIAC P, et al. Mechanical validation of balanced cross-sections: the case of the Mont Terri anticline at the Jura front (NW Switzerland) [J]. Journal of Structural Geology, 2015, 75(2): 32-48.
- [17] ELLIOT D. The construction of balanced cross-sections [J]. Journal of Structural Geology, 1983, 5(2): 101.
- [18] 谢会文, 王春阳, 王智斌, 等. 基底滑脱层分布对褶皱冲断带变形影响的物理模拟研究: 以塔西南西昆仑山前褶皱冲断带为例 [J]. 高校地质学报, 2012, 18(4): 701-710.
XIE Huiwen, WANG Chunyang, WANG Zhibin, et al. The effect of spatial distribution of basement detachment on deformation in a fold and thrust belt: an analogue modeling approach an example of west Kunlun fold-and-thrust belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(4): 701-710.
- [19] 牟中海, 唐勇, 崔炳富, 等. 塔西南地区地层剥蚀厚度恢复研究 [J]. 石油学报, 2002, 23(1): 40-44.
MOU Zhonghai, TANG Yong, CUI Bingfu, et al. Erosion thickness restoration in southwest Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(1): 40-44.
- [20] 邵龙义, 何志平, 顾家裕, 等. 塔里木盆地古近纪岩相古地理 [J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 353-364.
SHAO Longyi, HE Zhiping, GU Jiayu, et al. Lithofacies palaeogeography of the Paleogene in Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(3): 353-364.
- [21] 刘金凯. 南天山—塔里木盆地结合带深地震反射剖面精细处理与叠前成像 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
LIU Jinkai. Fine data processing and Pre-stack imaging of the deep seismic reflection profile of the contact zone between the Southern Tianshan and Tarim Basin [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011.
- [22] 丁孝忠, 林畅松, 刘景彦, 等. 塔里木盆地白垩纪—新近纪盆山耦合过程的层序地层响应 [J]. 地质前缘, 2011, 18(4): 144-157.
DING Xiaozhong, LIN Changsong, LIU Jingyan, et al. The sequence

- stratigraphic response to the basin-orogene coupling process of Cretaceous-Neogene in Tarim Basin, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(4): 144-157.
- [23] ZHENG Hongbo, POWELL C M, AN Zhisheng, et al. Pliocene uplift of the northern Tibetan Plateau [J]. *Geology*, 2000, 28(8): 715-718.
- [24] DEWEY J F, CANDE S, PITMAN W C. Tectonic evolution of the India/Eurasia collision zone [J]. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 1989, 82(3): 717-734.
- [25] LE PICHON X, FOURNIER M, JOLIVET L. Kinematics topography, shortening, and extrusion in the India-Eurasia collision [J]. *Tectonics*, 1992, 11(6): 1085-1098.
- [26] 曹凯, 王国灿, 刘超, 等. 西昆仑及邻区新生代差异隆升的热年代学证据 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2009, 34(6): 895-906.
CAO Kai, WANG Guocan, LIU Chao, et al. Thermochronological evidence of the Cenozoic differential uplift processes of the West Kunlun and its adjacent area [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2009, 34(6): 895-906.
- [27] 刘伟, 杨飞, 吴金才, 等. 喀什凹陷北缘阿克莫木气田气源探讨 [J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(3): 486-494.
LIU Wei, YANG Fei, WU Jincai, et al. The discussion on natural gas source in Akmomu Gasfield, northern margin of Kashi Sag [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(3): 486-494.
- [28] 刘生国, 肖安成, 胡望水. 塔西南坳陷西南缘构造类型与圈闭特征 [J]. *西安石油学院学报(自然科学版)*, 2001, 16(2): 1-4.
LIU Shengguo, XIAO Ancheng, HU Wangshui. Structural types and trap features of southwest border of southwest depression in Tarim Basin [J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 2001, 16(2): 1-4.
- [29] 钱玲, 卢玉红, 黄龙藏, 等. 塔里木盆地喀什凹陷克拉托天然气来源分析及聚气特征 [J]. *地质科学*, 2007, 42(2): 253-266.
QIAN Ling, LU Yuhong, HUANG Longcang, et al. Source and gathering features of Kelatuo natural gas in the Kashi Sag, Tarim Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2007, 42(2): 253-266.
- [30] 李士超. 塔里木盆地西南地区石炭—二叠系沉积特征与烃源岩评价 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
LI Shichao. Carboniferous-Permian's depositional characteristic and source rock evaluation in southwestern area, Tarim Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010.
- [31] 孟苗苗, 康志宏, 徐耀辉, 等. 塔里木盆地喀什凹陷烃源岩地球化学特征和油源对比 [J]. *石油实验地质*, 2016, 38(2): 266-272.
MENG Miaomiao, KANG Zhihong, XU Yaohui, et al. Geochemical characteristics of source rocks and oil-source correlation in the Kashi Sag, Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016, 38(2): 266-272.
- [32] 丁勇, 宫继萍, 王辉. 塔里木盆地西南坳陷生油岩综合评价 [J]. *石油实验地质*, 1999, 21(4): 336-339.
DING Yong, GONG Jiping, WANG Hui. Synthetic evaluation of source rocks in southwest depression of the Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 1999, 21(4): 336-339.
- [33] 李慧莉, 邱楠生, 金之钧, 等. 塔里木盆地的热史 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 613-617.
LI Huili, QIU Nansheng, JIN Zhijun, et al. Geothermal history of Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(5): 613-617.
- [34] 王良书, 李成, 刘绍文, 等. 库车前陆盆地大地热流分布特征 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 79-83.
WANG Liangshu, LI Cheng, LIU Shaowen, et al. Terrestrial heat flow distribution in Kuqa Foreland Basin, Tarim, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 79-83.
- [35] NAKAPELYUKH M, BUBNIAK I, BUBNIAK A, et al. Cenozoic structural evolution, thermal history, and erosion of the Ukrainian Carpathians fold-thrust belt [J]. *Tectonophysics*, 2018, 722: 197-209.
- [36] IZART A, BARBARAND J, MICHELS R, et al. Modelling of the thermal history of the Carboniferous Lorraine Coal Basin: consequences for coal bed methane [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2016, 168: 253-274.
- [37] 张有瑜, ZWINGMANN H, TODD A, 等. 塔里木盆地典型砂岩油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年研究与成藏年代探讨 [J]. *地学前缘*, 2004, 11(4): 637-648.
ZHANG Youyu, ZWINGMANN H, TODD A, et al. K-Ar dating of authigenic illite and its applications to study of oil-gas charging histories of typical sandstone reservoirs, Tarim basin, Northwest China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(4): 637-648.
- [38] 张君峰, 王东良, 王招明, 等. 喀什凹陷阿克莫木气田天然气成藏地球化学 [J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(4): 507-513.
ZHANG Junfeng, WANG Dongliang, WANG Zhaoming, et al. Natural gas deposit formation geochemistry of Akmomu Gas Field Kashi Sag in Tarim Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(4): 507-513.
- [39] 刘胜, 汪新, 伍秀芳, 等. 塔西南山前晚新生代构造生长地层与变形时代 [J]. *石油学报*, 2004, 25(5): 24-28.
LIU Sheng, WANG Xin, WU Xiufang, et al. Growth strata and the deformation time of the Late Cenozoic along front belts of Pamir-western Kunlun-southwest Tianshan in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(5): 24-28.
- [40] 倪斌, 汤良杰, 郭颖, 等. 塔里木盆地玉北地区埋藏史及热史分析 [J]. *现代地质*, 2017, 31(2): 357-366.
NI Bin, TANG Liangjie, GUO Ying, et al. Analysis of burial history and thermal history in Yubei area, Tarim Basin [J]. *Geoscience*, 2017, 31(2): 357-366.