

## 塔里木盆地雅克拉断凸走滑作用及其形成机理

罗小龙<sup>1,2,3</sup>, 汤良杰<sup>1,2</sup>, 谢大庆<sup>4</sup>, 邱海峻<sup>5</sup>, 蒋华山<sup>4</sup>, 杨勇<sup>1,2</sup>, 陈绪云<sup>4</sup>, 张宇航<sup>1,2</sup>

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100; 2. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249;  
3. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 4. 中国石化 西北分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011;  
5. 国土资源部 油气资源战略研究中心, 北京 100034)

**摘要:**雅克拉断凸是塔里木盆地含油气丰富且发现油气较早的地区之一。通过解释三维地震资料并结合区域地质资料,发现有多种证据表明该地区发生过走滑作用。平面上,研究区主干断裂附近区域发育众多小级别的断层,主要包括同向剪切断层和张性断层,它们表现为与主位移带呈一定角度的、延伸不长的雁列式断层系,断层系沿亚南断裂呈左阶式雁列排列,沿轮台断裂呈右阶式雁列排列;剖面上发现负花状构造样式,同时海豚效应与丝带效应明显。雅克拉断凸走滑作用始于燕山晚期运动,主要作用时期为喜马拉雅早期运动,止于喜马拉雅晚期运动。燕山中-晚期至喜马拉雅早期,因左旋扭应力与引张力合成的左旋张扭应力导致雅克拉断凸发生走滑作用并形成与之相关的伸展构造。

**关键词:**走滑作用;左旋张扭应力;雁列式正断层;雅克拉断凸;塔里木盆地

**中图分类号:**TE121.1

**文献标识码:**A

## Strike-slip movement and its genetic mechanism in Yakela faulted salient, the Tarim Basin

Luo Xiaolong<sup>1,2,3</sup>, Tang Liangjie<sup>1,2</sup>, Xie Daqing<sup>4</sup>, Qiu Haijun<sup>5</sup>, Jiang Huashan<sup>4</sup>,  
Yang Yong<sup>1,2</sup>, Chen Xuyun<sup>4</sup>, Zhang Yuhang<sup>1,2</sup>

(1. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. State Key Laboratory for Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. SINOPEC Northwestern Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 5. Strategic Research Center of Oil & Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034, China)

**Abstract:** The Yakela faulted salient is a key area in the Tarim Basin where some economically important oil and gas have been discovered. The 3D seismic interpretations, in combination with the regional geological data, demonstrate that strike-slip movement occurred in the area. On plane view, many small faults are developed near the major faults, including concordant shear faults and extensional faults. These faults consist of echelon fault systems with a low-angle with the major movement direction and a limited length. The fault system along the Yanan fault is characterized by a left-step pattern, whereas a right-step pattern is shown along the Luntai fault. On sectional view, they consist of a negative flower-like structure with obvious dolphin and ribbon effects. The strike-slip movement initiated in the late Yanshanian, culminated in the early Himalayan, and terminated in the late Himalayan. The left-lateral transtensional stress from the joint action of the left-lateral shear stress and the tensile stress resulted in the strike-slip movement of the Yakela fault-salient and the development of the associated extensional structures during the Middle-Late Yanshanian to the Early Himalayan.

**Key words:** strike-slip, left-lateral transtensional stress, echelon normal fault, Yakela faulted salient, Tarim Basin

受天山和昆仑山造山运动影响<sup>[1]</sup>,塔里木盆地在加里东中-晚期和海西晚期整体处于挤压环境中,雅克拉断凸也不例外,如亚南、轮台断裂都是因挤压形成的逆冲断层。对于雅克拉断凸在中、新生界挤压背景下出现明显的正断层,前人做过不少研究。有学者认

为在挤压隆升的后期因高部位产生张应力而形成正断层,并称其为负反转构造<sup>[2-7]</sup>,有学者认为是挤压应力与该地区的走向不一致产生扭张应力而导致正断层的形成<sup>[8-12]</sup>。一些学者对反转构造观点持怀疑态度,认为只是小型逆冲、挤压背斜伴生正断层<sup>[13]</sup>。有部分学

收稿日期:2012-10-15;修订日期:2013-03-16。

第一作者简介:罗小龙(1974—),男,博士研究生,含油气盆地构造解析。

基金项目:国家自然科学基金项目(40972090,41172125);国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价国家专项(2010GYXQ02-05);国家科技重大专项(2008ZX05002-003-001HZ);中国石化西北分公司项目(KY2010-S-053,KJ2008-29)。

者认为该地区存在“负花状”构造<sup>[11,14]</sup>和雁列式断层<sup>[8,10]</sup>等走滑构造特征,但都没有进行深入、全面的研究。目前对研究区中、新生界关于走滑作用的认识还存在一些问题:①是否发生过走滑作用;②走滑相关构造有多大规模,表现出哪些具体特征;③走滑作用是如何形成的。本文通过对雅克拉断凸三维地震反射剖面进行解释,发现了该地区中-新生代存在走滑构造特征,根据断层与不整合的关系划分了走滑作用期次,另外还分析了走滑作用的形成机理。

## 1 地质概况

雅克拉断凸位于塔里木盆地北部,西起沙西凸起,东至草湖凹陷,北以亚南断裂与库车前陆盆地隔开,南

接哈拉哈塘凹陷和阿克库勒凸起,是东北坳陷区沙雅隆起的一个次级构造单元,近东西走向,长约300 km,南北宽约30~110 km的狭长区块(图1)。雅克拉断凸是塔里木盆地含油气极为丰富的地区,本身虽不含烃源岩,但具有双向油气来源<sup>[15-16]</sup>,自1984年沙参2井取得海相古生界重大突破以来,目前已发现多个含有油气组合及大、中型油气田<sup>[5,11]</sup>。亚南和轮台断裂在加里东中-晚期和海西晚期挤压作用下形成基底卷入型逆冲断层,是雅克拉断凸的主控断裂。该地区构造演化阶段主要经历了加里东期缓慢、稳定隆升,海西-印支期大幅度抬升并遭受强烈剥蚀,燕山中-晚期至喜马拉雅早期处于伸展环境,其后稳定发展至喜马拉雅晚期定型(图2,图3)。研究区域包括雅克拉断凸及其南北边界的邻近地区。

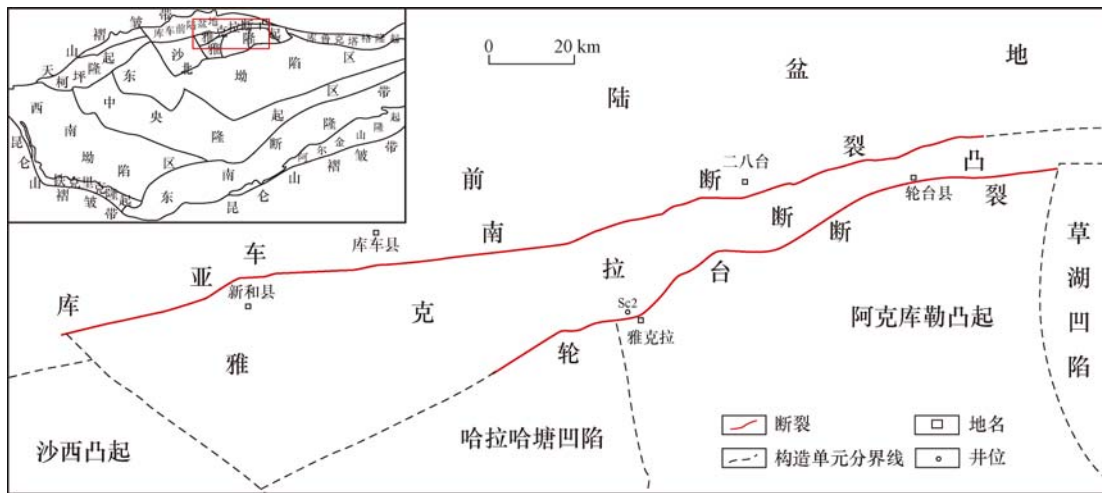


图1 雅克拉断凸地理位置

Fig. 1 Geographical position of the Yakela faulted salient, Tarim Basin

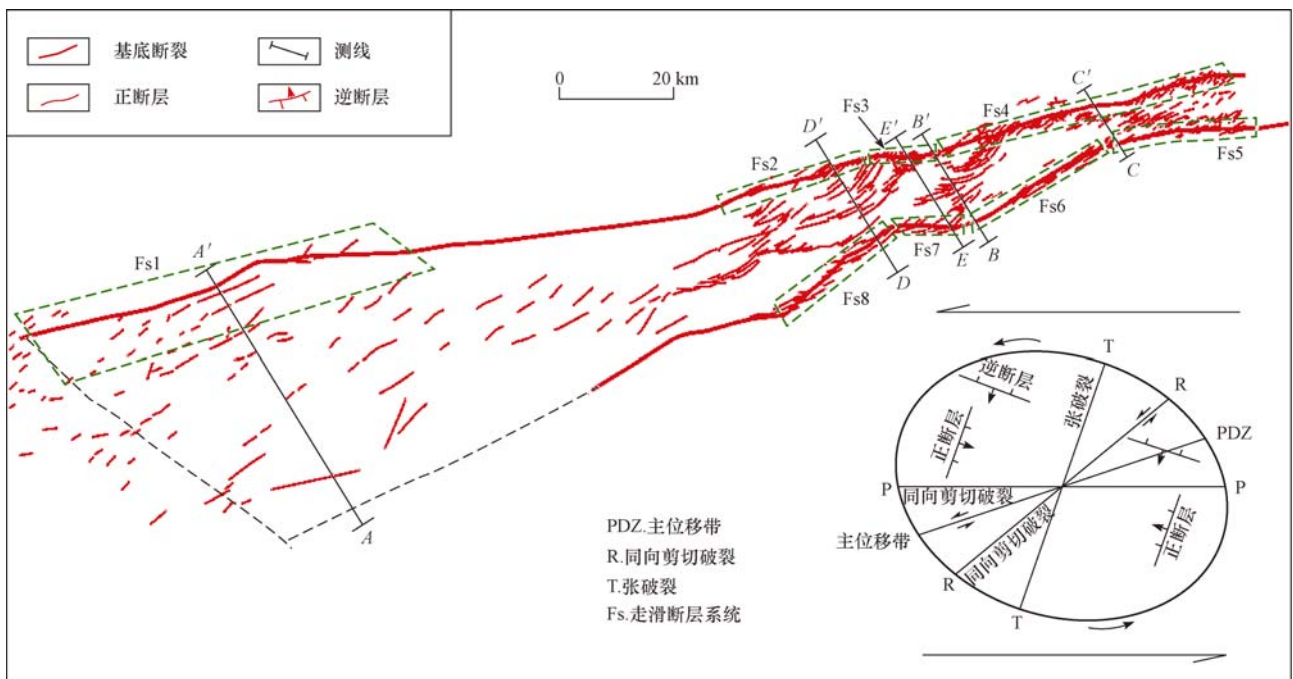


图2 雅克拉断凸巴什基奇克组顶界断裂系统

Fig. 2 Fault system on top of the Bashijiqike Formation in the Yakela faulted salient, Tarim Basin

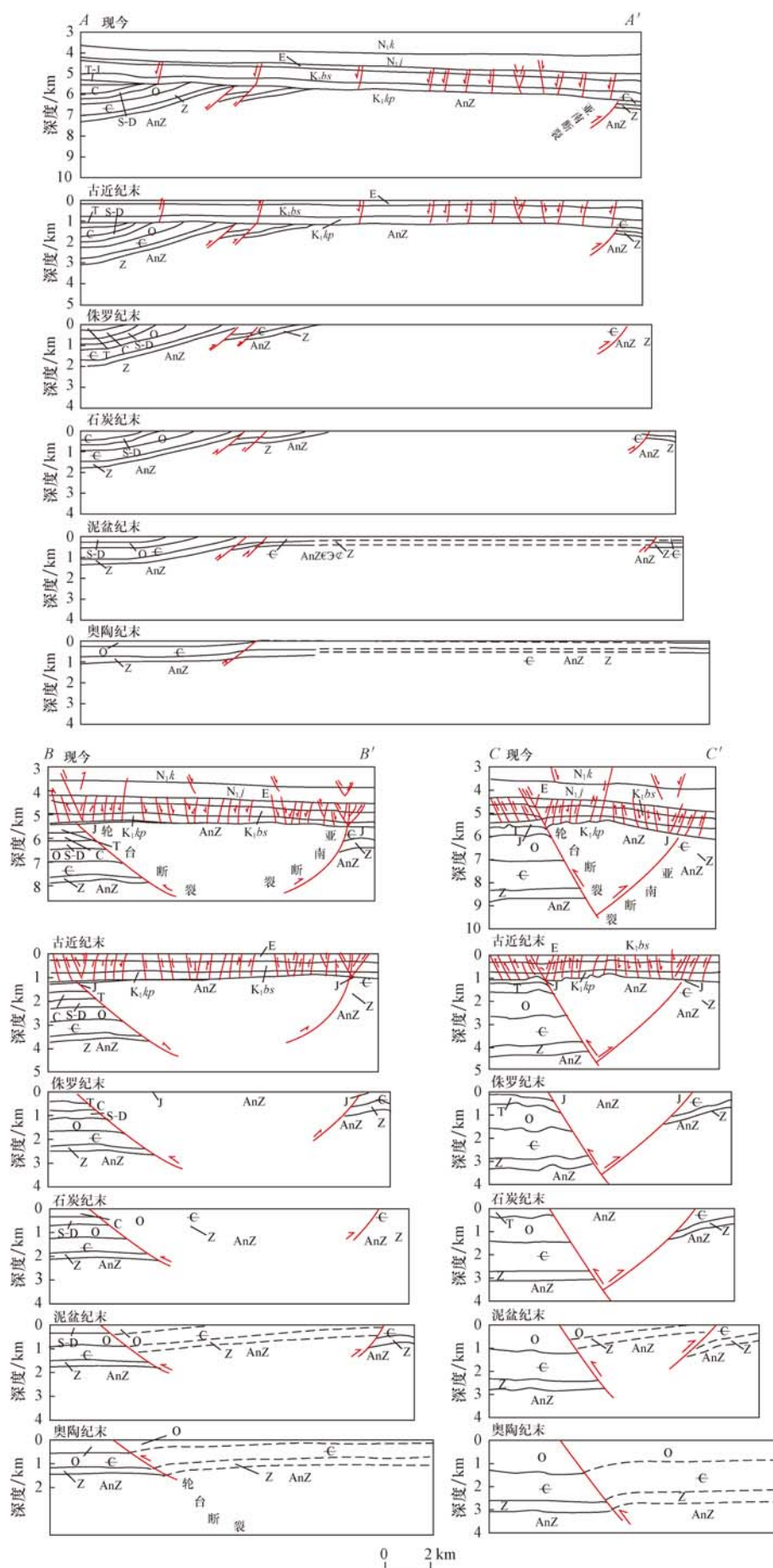


图3 雅克拉断凸分段地质演化剖面(测线位置见图2)

Fig. 3 Geologic evolution of different sections in the Yakela faulted salient, Tarim Basin (see Fig. 2 for the location)

## 2 走滑作用表现形式

地震资料解释表明,有多种证据显示雅克拉断凸在中-新生代发生过走滑作用。

### 2.1 平面特征

雅克拉断凸内的亚南断裂与轮台断裂在平面上皆呈线性延伸,亚南断裂呈北东东走向,延伸长度约300 km,轮台断裂主体亦呈北东东走向,轮台县以东呈近东西走向,延伸长度约200 km(图1)。

研究区走滑作用使得沿亚南断裂与轮台断裂附近区域发生破裂,破裂表现为与主位移带呈一定角度的、延伸不长的雁列式断层系,为研究该断层系特征,根据其不同位置的雁列轴方向变化,将其划分为8个组进行分析(表1;图2)。

走滑带Fs1雁列轴与主位移带(与基底主控断裂走向一致)夹角约为 $22^{\circ}$ (图4a),利用走滑应变椭圆对其进行构造解析可知(图2),此断层为左旋扭动产生的张破裂系,表现为左阶式雁列正断层系。Fs2雁列轴与主位移带夹角约为 $24^{\circ}$ (图4b),表明此断层系是左旋扭动产生的张破裂,表现为左阶式雁列正断层系。

表1 雅克拉断凸各走滑断层系统要素

Table 1 Key fault elements of each strike-slip system in the Yakela Faulted salient, Tarim Basin

| 组号  | 断层性质  | 走向/ $^{\circ}$ | 切割层位                  | 延伸距离/km  | 主要活动期  |
|-----|-------|----------------|-----------------------|----------|--------|
| Fs1 | 正     | 40~82          | K, E, $N_1j$          | 2.1~16.1 | 喜马拉雅中期 |
| Fs2 | 正     | 34~70          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 1.4~4.2  | 喜马拉雅中期 |
| Fs3 | 正(含逆) | 35~67          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 1.7~4.8  | 喜马拉雅中期 |
| Fs4 | 正(含逆) | 37~72          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 1.5~3.0  | 喜马拉雅中期 |
| Fs5 | 正     | 35~73          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 1.8~4.6  | 喜马拉雅中期 |
| Fs6 | 正     | 45~78          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 1.5~3.9  | 喜马拉雅中期 |
| Fs7 | 正     | 36~74          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 1.9~5.2  | 喜马拉雅中期 |
| Fs8 | 正     | 44~79          | K, E, $N_1j$ , $N_1k$ | 2.1~5.6  | 喜马拉雅中期 |

Fs3雁列轴与主位移带夹角约为 $33^{\circ}$ (图4c),表明此断层系是左旋扭动产生的张破裂,表现为左阶式雁列正断层系。Fs4雁列轴与主位移带夹角约为 $19^{\circ}$ (图4d),表明此断层系是左旋扭动产生的张破裂,表现为左阶式雁列正断层系。Fs5雁列轴与主位移带夹角约为 $32^{\circ}$ (图4e),表明此断层系是左旋扭动产生的张破裂,表现为右阶式雁列正断层系。Fs6雁列轴与主位移带夹角约为 $6^{\circ}$ (图4f),表明此断层系是左旋扭动产生的同向剪切破裂,表现为右阶式雁列正断层系。Fs7雁列轴与主位移带夹角约为 $34^{\circ}$ (图4g),表明此断层系是左旋扭动产生的张破裂,表现为右阶式雁列正断层系。Fs8雁列轴与主位移带夹角约为 $13^{\circ}$ (图4h),表明此断层系是左旋扭动产生的同向剪切破裂,表现为右阶式雁列正断层系(图2)。

### 2.2 剖面特征

#### 2.2.1 花状构造

研究区亚南断裂中段下部断面陡立、直插基底,上部分支断层向上撒开,形成下窄上宽的像花朵一样的破裂带,因亚南断裂早期为基底卷入的大型逆断层,尽管经过后期走滑作用改造,但 $K_1kp/An(K_1kp)$ 不整合面之下仍然为逆断层,而上部则为呈花状撒开的正断层,最终该处断裂形成了下逆上正的特殊的负花状构造(图5)。

#### 2.2.2 海豚效应与丝带效应

在走滑断层走向不同位置,断层上升盘与下降盘交替呈现,即不同位置剖面上会表现出正、逆断层的差异,称为海豚效应和丝带效应<sup>[17-18]</sup>。雅克拉断凸走滑断层呈弯曲轨迹,形态复杂,在弯曲断层的不同位置,断层面与断层走向必然存在差异,导致弯曲处主应力性质发生变化,一些部位出现挤压应力,而另一些部位则表现出拉张应力,进一步导致在相应的

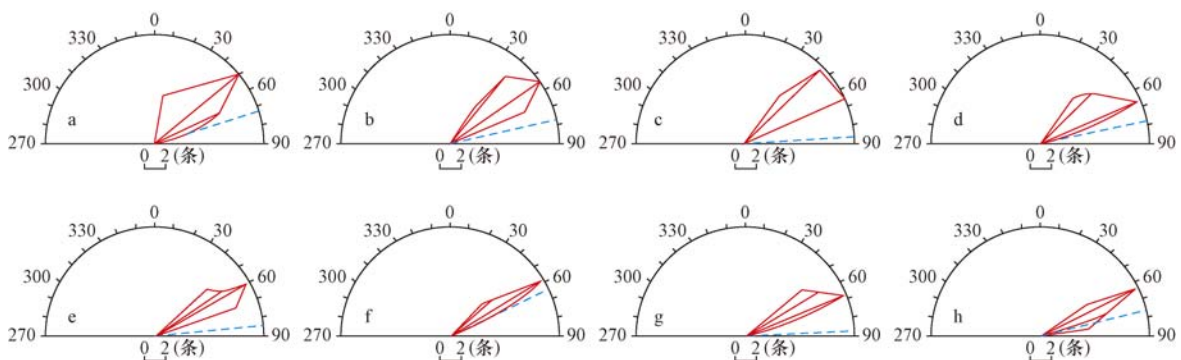


图4 雅克拉断凸主走滑断裂系统断层走向玫瑰花图

Fig. 4 Fault strike rose maps of the main strike-slip systems in the Yakela Faulted salient, Tarim Basin

a. Fs1; b. Fs2; c. Fs3; d. Fs4; e. Fs5; f. Fs6; g. Fs7; h. Fs8

(虚线为各断层系统的主位移带。)



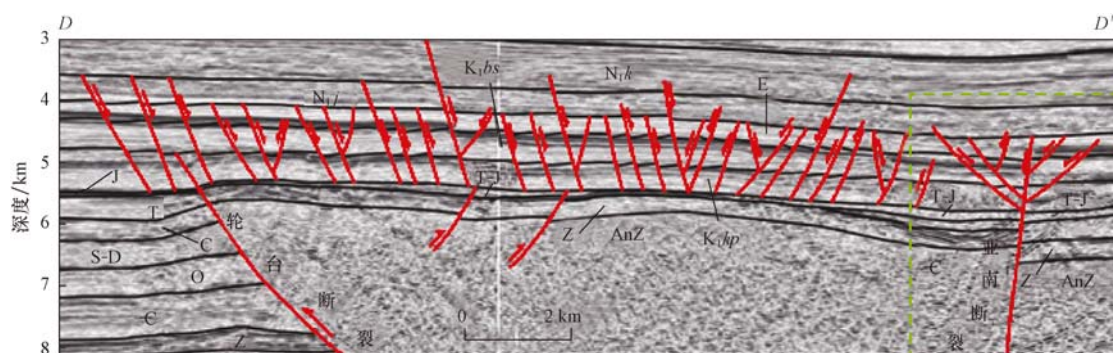


图5 雅克拉断凸中部构造剖面图(测线位置见图2)

Fig. 5 Interpreted seismic line showing the strike-slip structures of the middle part in the Yakela Faulted salient, Tarim Basin (see Fig. 2 for the location)

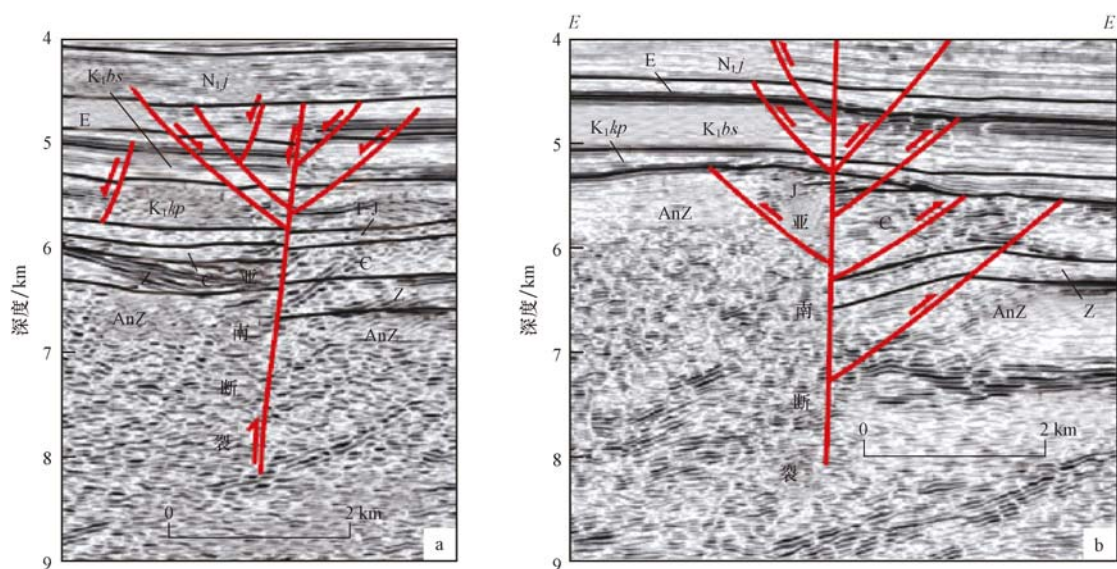


图6 雅克拉断凸走滑作用产生的丝带效应(测线位置见图2)

Fig. 6 Dolphin effect of strike-slip in the Yakela Faulted salient, Tarim Basin (see Fig. 2 for the location)

a. 正断层(图5虚线区); b. 逆断层

剖面上出现逆断层与正断层,总体上看,同一条断层两盘起伏不同步形成了海豚效应,不同位置的剖面上正、逆断层的交替呈现又形成了丝带效应(图6)。雅克拉断凸亚南断裂在剖面B—B'处发育正断层,白垩系与古近系整体微向下弯曲,而在剖面E—E'处则发育逆断层,白垩系与古近系明显向上隆起,整条断层上、下盘并非固定不变,而是呈交替变化,海豚效应明显。

综上所述,雅克拉断凸边界断裂附近,以白垩系与古近系为主的地层内发育走滑作用相关的断层系,亚南断裂附近的断层系皆为张破裂所形成,呈左阶式雁列排列,轮台断裂附近的断层系为张破裂和同向剪切破裂所致,呈右阶式雁列排列,剖面上,亚南断裂中、东部及附近区域发育负花状构造,并可见海豚效应与丝带效应,其余地方这些特征不明显,上述分析表明研究区确实在中-新生代发生过走滑作用,但规模不大,且北面走滑作用比南面强。

### 3 走滑作用时间

研究区走滑断层系多数断层上切至古近系上部,少数断层切穿古近系达到新近系下部,下切至白垩系底部,但皆没有切穿白垩系,表明走滑作用应晚于侏罗纪,而早于第四纪;断层上、下盘厚度从白垩系至古近系大致相等,在新近系中的部分断层上、下盘厚度也基本相同,表明走滑作用主要时期为古近纪末期(图3,图5)。另据前人关于塔里木盆地构造运动的研究结果表明,侏罗纪-古新世为弱伸展运动阶段,晚古近纪-第四纪为挤压运动阶段<sup>[19-21]</sup>。综合上述分析,走滑作用可能始于燕山晚期运动,喜马拉雅早期运动走滑作用表现为由弱至强再至弱的过程,喜马拉雅晚期运动走滑作用完全停止。

### 4 走滑作用形成机理

从加里东中期塔里木盆地处于挤压环境下开始,

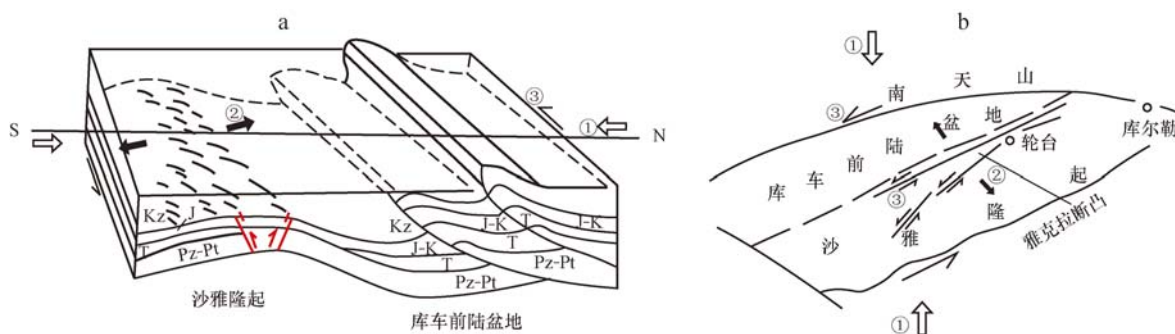


图7 雅克拉断凸地层走滑构造成因示意图(据文献[12]修改)

Fig. 7 Sketch map for origin mechanism of strike-slip structure of strata in the Yakela Faulted salient, Tarim Basin(modified according to literature[12])

a. 沙雅隆起及库车前陆盆地中、新生代构造模型立体图;b. 雅克拉断凸构造应力场示意图

① 南北向挤压应力;② 库车前陆盆地挠曲部位引张力;③ 左旋张扭应力

雅克拉断凸缓慢隆升,至海西晚期因剧烈构造运动导致雅克拉断凸大幅度抬升并遭受强烈剥蚀,只在断凸两翼剩余少数早古生代地层,至此断凸形成,其走向为北东东向。燕山中-晚期至喜马拉雅早期,因造山和板块运动<sup>[22]</sup>,塔里木盆地继续遭受南北向挤压<sup>[1]</sup>,由于雅克拉断凸先存基底断裂为北东东走向,南北向挤压应力分解为北东东向的走滑剪切应力和垂直于该方向的挤压应力(图7),走滑剪切应力作用在基底断裂上导致断裂带及其附近区域产生左旋扭应力场<sup>[23]</sup>;另外,造山运动的结果在天山山前形成库车前陆盆地<sup>[24-25]</sup>,而雅克拉断凸处于该前陆盆地的挠曲部位<sup>[8,10,26]</sup>,隆起表面弯曲产生张应力(图7a),图3中的正断层及B'-B、C'-C剖面内的亚南断裂发生反转皆体现出此张应力的作用,该应力方向与雅克拉断凸的走向垂直,张应力方向为北北西向,其南北方向的分应力被该方向挤压应力消减掉,而东西向的分应力成为拉张主应力方向,正是这个方向的张应力与上述扭应力合成左旋张扭应力,其结果使雅克拉断凸在燕山中-晚期至喜马拉雅早期发生走滑作用,而走滑作用导致在以白垩系和古近系为主的地层中形成了断层系(图7b)。

## 5 结论

1) 雅克拉断凸主走滑断裂在平面上呈线性延伸,发生走滑作用是左旋张扭应力所致。走滑作用导致研究区西部发育同向剪切破裂,表现为与主位移带夹角较小的、延伸不长的正断层系,沿亚南断裂呈左阶式雁列排列;中、东部北面发育张破裂,表现为与主位移带夹角较大的、延伸不长的正断层系,沿亚南断裂呈左阶式雁列排列;中、东部南面发育张破裂与同向剪切破裂,所表现出的正断层系沿轮台断裂呈右阶式雁列排列。剖面上存在负花状构造样式,还可见海豚效应与

丝带效应。走滑作用有一定的规模,其强度北面比南面大。

2) 雅克拉断凸走滑作用可能始于燕山晚期运动,主要作用时期为喜马拉雅早期运动,喜马拉雅晚期运动走滑作用完全停止。

3) 雅克拉断凸基底断裂走向为北东东向,当该地区燕山中、晚期-喜马拉雅早期再次遭受南北向挤压时,先存基底断裂走向与挤压应力存在一个夹角导致左旋扭应力形成;同时雅克拉断凸地区处于库车前陆盆地的前缘隆起上,因挠曲作用在该部位产生北北西向引张力,两力合成左旋张扭应力,导致发生走滑作用及发育与之相关的伸展构造。

## 参 考 文 献

- [1] Huang B, Piper J D A, Peng S, et al. Magnetostratigraphic study of the Kuqa Depression, Tarim Basin, and Cenozoic uplift of the Tian Shan Range, Western China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 251(3-4): 346-364.
- [2] 崔泽宏,王志欣,汤良杰,等.塔北隆起北部正断层的成因机制及地质意义[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(1): 1-6.
- [3] Cui Zehong, Wang Zhixin, Tang Liangjie, et al. Genetic mechanism and geological significance of normal faults in northern north Tarim uplift[J]. Journal of Xian Shiyou University (Natural Science Edition), 2006, 21(1): 1-6.
- [4] 陈楚铭,卢华复,王国强,等.塔里木盆地塔北隆起叠加构造分析[J].高校地质学报,1998,4(3): 294-302.
- [5] Chen Chuming, Lu Huaifu, Wang Guoqiang, et al. Analyses of superimposed structures in the north Tarim uplift, Tarim Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(3): 294-302.
- [6] 汤良杰,金之钧,张一伟,等.塔里木盆地北部隆起负反转构造及其地质意义[J].现代地质,1999,13(1): 93-98.
- [7] Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Yiwei, et al. Negative inversion structures and geological significance of northern uplift, the Tarim Basin, northwestern China[J]. Geoscience, 1999, 13(1): 93-98.
- [8] 安海亭,李海银,王建忠,等.塔北地区构造和演化特征及其对油气成藏的控制[J].大地构造与成矿学,2009,33(1): 142-147.

- An Haiting, Li Haiyin, Wang Jianzhong, et al. Tectonic evolution and its controlling on oil and gas accumulation in the northern Tarim Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(1): 142–147.
- [6] 侯旭波, 吴智平, 李伟. 济阳拗陷中生代负反转构造发育特征[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2010, 34(1): 18–23.
- Hou Xubo, Wu Zhiping, Li Wei. Development characteristics of Mesozoic negative inversion structures in Jiyang Depression[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2010, 34(1): 18–23.
- [7] 汤良杰, 金之钧. 负反转断裂主反转期和反转强度分析[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 1999, 23(6): 1–5.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun. Analysis on main inversion phase and intensity of negative inversion fault[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 1999, 23(6): 1–5.
- [8] 魏国齐, 贾承造, 施央申, 等. 塔北隆起北部中新界张扭性断裂系统特征[J]. *石油学报*, 2001, 22(1): 19–24.
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. Tectonic characteristics and petroleum accumulation in extensional-shear fault system in Mesozoic-Cenozoic formations in the northern area of Tabei uplift, Tarim[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2001, 22(1): 19–24.
- [9] 刘学锋, 时卫东, 彭德堂, 等. 塔北隆起张性构造带形成机制与油气关系[J]. *新疆石油地质*, 1997, 18(1): 13–17.
- Liu Xuefeng, Shi Weidong, Peng Detang, et al. Forming mechanism of tensional tectonics belt and the relation with hydrocarbon in Tabei uplift[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1997, 18(1): 13–17.
- [10] 杨春林, 吴奇之, 夏义平. 塔里木盆地北部隆起中、新生界张扭断裂系统成因及其油气聚集的作用[J]. *石油地球物理勘探*, 2000, 35(4): 461–468.
- Yang Chunlin, Wu Qizhi, and Xia Yiping. The origin of Mesozoic-Cenozoic extension torsional fault system in the north positive element in the Tarim Basin, and its role in accumulating oil and gas[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2000, 35(4): 461–468.
- [11] 于慧玲. 天山南地区构造样式和演化特征分析[J]. *石油物探*, 2008, 47(3): 277–284.
- Yu Huiling. Analysis of structural patterns and evolution characteristics in south Tianshan area[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2008, 47(3): 277–284.
- [12] 崔海峰, 郑大明, 董雪华, 等. 塔北隆起牙哈构造带断裂特征与油气成藏[J]. *新疆石油地质*, 2009, 30(1): 73–76.
- Cui Haifeng, Zheng Duoming, Dong Xuehua, et al. Fault system and oil-gas accumulation in Yaha structural belt of Tabei uplift[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2009, 30(1): 73–76.
- [13] 黄太柱, 严俊君. 塔里木盆地北部构造样式[J]. *地球科学*, 1995, 20(3): 264–270.
- Huang Taizhu, Yan Junjun. Structural styles of northern Tarim Basin, Xinjiang[J]. *Earth Science*, 1995, 20(3): 264–270.
- [14] 吴晓智, 李佰华, 吕修祥, 等. 库车前陆盆地走滑断裂形成机理及其对油气的控制[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(2): 118–121.
- Wu Xiaozhi, Li Baihua, Lü Xiuxiang, et al. Strike-slip fault system in Kuqa foreland basin and its control on hydrocarbon[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(2): 118–121.
- [15] Lü X, Li J, Zhao F. North-south differentiation of the hydrocarbon accumulation pattern of carbonate reservoirs in the Yingmaili low uplift, Tarim Basin, Northwest China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(3): 499–508.
- [16] 耿玉海, 李江海, 贺电. 塔里木盆地塔北隆起西部圈闭类型、分布及空间组合规律[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(2): 193–200.
- Geng Yuhai, Li Jianghai, He Dian. Trap types, distribution and the law of spatial combination in the west Tabei uplift, Tarim Basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(2): 193–200.
- [17] William J S, David A P, Wayne P W, et al. Wilson wrench faulting in the northern Pakistan foreland[J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(11): 2003–2030.
- [18] 胡玉双, 齐仁理, 魏亚荣, 等. 方正断陷中部发育走滑断层的地震证据及有利区带预测[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2010, 40(6): 1271–1277.
- Hu Yushuang, Qi Renli, Wei Yarong, et al. Seismic evidence of strike-slip faults in the middle of Fangzheng rift and favorable exploration areas[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2010, 40(6): 1271–1277.
- [19] 何登发. 塔里木盆地的地层不整合面与油气聚集[J]. *石油学报*, 1995, 16(3): 14–21.
- He Dengfa. Unconformities and oil and gas accumulation in Tarim Basin[J]. *Acta Petroli Sinica*, 1995, 16(3): 14–21.
- [20] 贾承造, 魏国齐. 塔里木盆地构造特征与含油性[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): 1–8.
- [21] 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. Multicycle tectonic evolution and composite petroleum systems in the Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(5): 653–663.
- [22] He G, He Z, Zhang H, et al. Dual influence of the rejuvenation of Southern Tianshan and Western Kunlun orogen on the Cenozoic structure deformation of Tarim Basin, northwestern China: a superposition deformation model from Bachu Uplift[J]. *Journal of Zhejiang University Science A*, 2007(9).
- [23] 张元厚, 张世红, 韩以贵, 等. 华熊地块马超营断裂走滑特征及演化[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2006, 36(2): 170–176.
- Zhang Yuanhou, Zhang Shihong, Han Yigui, et al. Strike-slip features of the Machaoying fault zone and its evolution in the Huaxiong terrane, southern North China Craton[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2006, 36(2): 170–176.
- [24] Jia C, Wei G. Structural characteristics and petroliferous features of Tarim Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(S1): 1–11.
- [25] Chen S, Tang L, Jin Z, et al. Thrust and fold tectonics and the role of evaporites in deformation in the Western Kuqa Foreland of Tarim Basin, Northwest China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, 21(8): 1027–1042.
- [26] 王海荣, 尚楠, 高伯南, 等. 挠曲作用的形变响应及其识别特征[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2008, 32(5): 22–27.
- Wang Hairong, Shang Nan, Gao Bonan, et al. Deforming responses and its identification characteristics of flexing[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2008, 32(5): 22–27.