

塔里木盆地柯坪断隆断裂构造分析

何文渊^{1,2} 李江海¹ 钱祥麟¹ 郑多明³

(1.北京大学地质学系,北京 100871 2.中国石油天然气集团公司咨询中心,北京 100724
3.塔里木油田公司,新疆 库尔勒 841000)

摘要:柯坪断隆内断裂发育,笔者根据野外及地震数据对各主要断裂和二级断裂进行了分析,认为柯坪塔格断裂形成于晚第三纪,沙井子断裂早期与柯坪塔格具有不同的发育历史,阿合奇断裂形成于挤压而非走滑的背景下,皮羌断裂和印干走滑断裂其实是协调作用的掀断层。萨尔干断裂是一条假走滑断层,实际上应该是一条撕裂断层。在挤压背景下形成了二类主要的断裂构造组合样式:叠瓦推覆体、构造窗。笔者认为柯坪断隆上的构造其实是印度板块和欧亚板块远程碰撞造山和板内变形的一种表现。

关键词:塔里木盆地,柯坪断隆,断裂构造,叠瓦推覆体,构造窗

中图分类号:P542+.3 文献标识码:A 文章编号:1000-3657(2002)01-0037-07

柯坪断隆位于塔里木盆地北缘西侧,山体众多,构造现象极其丰富。柯坪断隆是我国最新的推覆体之一,并且现在还在活动。从卫星影像上,就能清楚地看见其宏伟的构造地貌。前人已在该区做了大量有益的研究工作,对该区的构造认识主要有两种:(1)走滑或斜冲构造,提出阿合奇—西昆仑—塔里木—阿尔金构成中亚新生代巨型转换挤压构造体系,柯坪山脉是柯坪—库车—塔北左行走滑系的转换挤压区,先有向南逆冲后又发生巨型左行走滑^[1-3];(2)逆掩推覆构造^[4-7]。两种争论观点的关键是对断裂的形成与演化不清楚,并且柯坪地区的具体断裂特征也确实存在许多似是而非的问题,这些问题如:柯坪断隆断裂的形成时代?断裂运动底面?断裂形成机制?各断裂之间的相互关系。笔者试图通过分析本区主要断裂及其演化历史来讨论柯坪断隆的形成模式。

1 主要边界断裂

在柯坪断隆发育大量断层(图1,表1)。其中一级断层有柯坪塔格断裂、沙井子断裂、阿合奇断裂和喀拉玉尔滚断裂。

1.1 柯坪塔格断裂

该断裂地表特征明显,为山脉和盆地的截然分

界,构成柯坪断隆与西南坳陷、巴楚凸起、北部坳陷的分界大断裂。该断裂走向北东东,倾向北—北西,呈向东南弧形突出的推覆断裂,柯坪断隆南断裂东段地球物理特征明显,表现为重力密集梯度带,磁力异常表现为链状或线状异常。卫星影像上整个断裂表现为线状弧形亮带,沿走向被数条横向平衡断裂错断。断裂断开地层为古生界和第三系,柯坪塔格断裂切割的最老地层为寒武系—奥陶系(图2),最新地层为上第三系及中更新统,该断裂涉及的最新地层为晚第三系阿图什组;在皮羌断裂和柯坪断隆南断裂的西段均可见古生界进一步冲断—推覆在上新统阿图什组之上^[8]。据野外测量擦痕及投点分析,推覆方向为320~340°之间(图1)。对断层泥进行热释光年龄测定,其最近一次活动时间为 $(19.97 \pm 1.52) \times 10^4$ a^[9]。

1.2 沙井子断裂

沙井子断裂与柯坪塔格断裂连在一起成为分隔露头区柯坪—阿克苏隆起和覆盖区巴楚隆起、阿瓦提凹陷的边界断裂(图1)。该断裂带虽然作为一条断裂构成柯坪—阿克苏隆起的南界,但两者性质和演化史都有很大不同。柯坪塔格断裂和柯坪断隆上一系列与之平行发育的断裂共同组成一个沿寒武系底

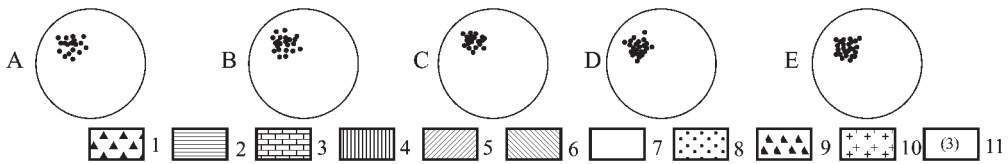
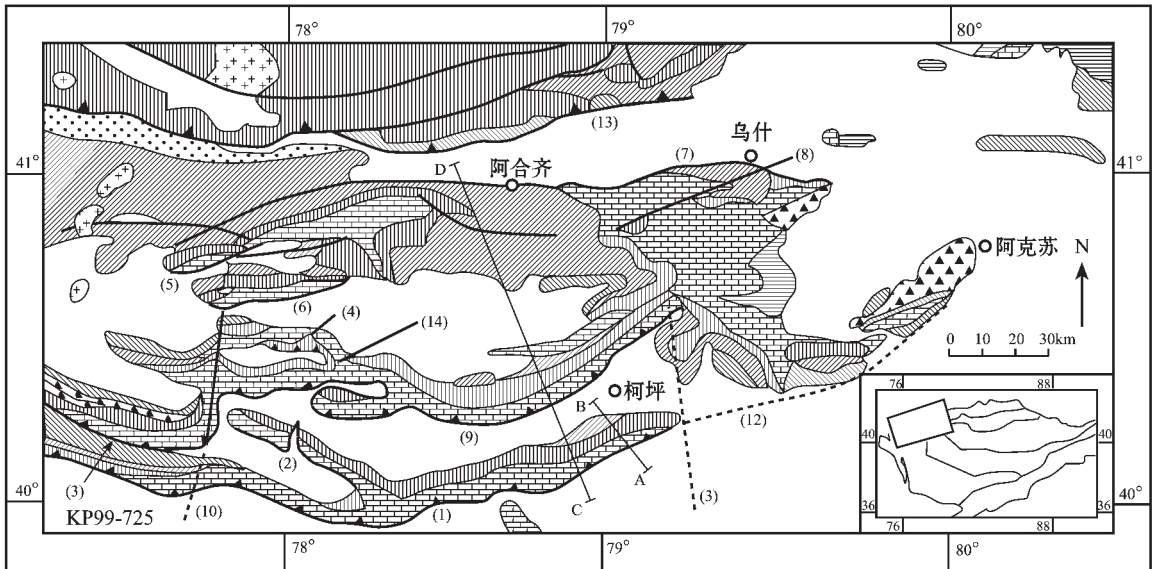


图1 柯坪断隆地质图

Fig. 1 Geology map of the Kalpin Uplift

1—元古界 2—寒武系下统 3—中上寒武统—奥陶系 4—志留系—泥盆系 5—石炭系—二叠系；
6—中生代 7—第四系 8—艾克提克群(O—P) 9—超基性岩 10—蓝片岩 11—断裂标号
(断裂标号与表1标号顺序一致 A—B与C—D见图2、图3)

表1 柯坪断隆主要断裂要素

Table 1 Elements of main faults in the Kalpin fault uplift

序号	名称	走向	长度(km)	性质	断面产状	
					倾向	倾角
1	柯坪塔格断裂	EW→NE	120	压	NNW	30~80°
2	塔塔埃尔塔格断裂	NW→NNW	85	压扭	/	/
3	奥兹格尔他乌断层	近EW	70	压	20°	50°
4	皮羌山断裂	NEE	50	压	/	/
5	奥依布拉克山断裂	NEE	/	压	NW	30~50°
6	卡拉布克塞断裂	NE	/	压	NW	20~35°
7	索格当他乌大断裂	NEE	180	压扭	NNW	70~80°
8	喀拉铁克大断裂	NEE	170	压扭	NNW	70~80°
9	衣木干他乌断裂	NE	/	压	N→NW	/
10	皮羌(普昌)断裂	NNW	125	压扭	85°	80°
11	印干断裂	NNW	30	压扭	SWW	40~50°
12	沙井子断裂	NE	170	压	NW	50~70°
13	阿合奇断裂	NEE	>300	压扭	NNW	50~60°
14	萨尔干断裂	NNW	10	撕裂	NNW	80~90°

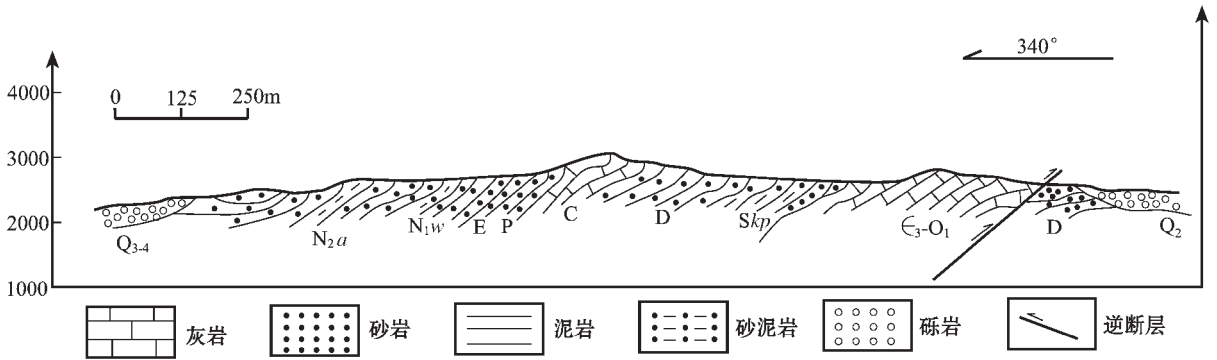


图2 柯坪塔格断裂剖面图

Fig. 2 Section of the Kalpin Tag fault

Q₃₋₄—第四系上更新统一全新统 ;N_{2a}—新第三系上新统阿图什组 ;N_{1w}—新第三系中新统乌恰群 ;E—老第三系 ;P—二叠系 ;
C—石炭系 ;D—泥盆系 ;Skp—志留系柯坪塔格组 ;ε₃-O₁—上寒武统一下奥陶统

部滑脱的大型叠瓦状逆冲断裂组合,断裂的主要活动期是晚第三纪阿图什组沉积时期。沙井子断裂则不然,它是一条高角度的基底逆冲断裂,中生代以来一直控制着阿瓦提凹陷的发展,断裂上盘地层向北抬起强烈掀斜,地震剖面上断面产状 $320^{\circ} \angle 34 \sim 67^{\circ}$ 。沙井子断裂带上盘古生界强烈剥蚀,并控制了中生界的分布。该断裂主要发育时期为早二叠纪,中生代沉积时断裂有同生性,断裂活动一直持续到第四纪早期,活动性质并无明显改变,具长期继承性发育的特点,垂向上差异不大。沙井子断裂早二叠纪的活动可能是正断层,晚二叠纪活动显示了典型逆冲走滑断裂的性质,晚第三纪又有强烈推覆,这种兼有沙雅—轮台断裂和柯坪塔格断裂双重性质的特点,反映了它所处的柯坪隆起与库车拗陷相邻过渡构造部位的特征^[10]。所以仅将沙井子断裂考虑为柯坪拆离构造的前锋推覆断裂似乎不妥。沙井子断裂很可能是一条在古生代就发育的控制古生代克拉通盆地的边界大断裂,而与塔北隆起南界断裂带(沙雅—轮台断裂带)有一致的特点及力学性质,而柯坪断隆形成时归并了断裂的上部分。

在沙井子西北库鲁克乌居木断层,上奥陶统和志留系砂页岩构成一系列小型次级褶皱,轴面倾向NEE,指示库鲁克乌居木断层左行走滑,而库鲁克乌居木断层构成沙井子断层左行走滑的次级P面。在其附近肖尔布拉克震旦系、寒武系、奥陶系岩层中还发育走向北西的右行平移断层,为沙井子左行走滑断层的次级R面。卢华复等^[1]认为该断层系统佐证了柯坪山脉的左行走向滑动。笔者认为柯坪山脉的

行为应与沙井子断层分开讨论,其走滑的出现可能是南天山洋自东向西关闭的结果,在早第三纪可能有走滑运动,但上新世以来活动基本上与柯坪塔格断裂一致,以逆冲为主。在南天山带里也存在多处逆冲和左行走滑剪切的证据,它们是统一的向西南方向挤压应力场产生的南北向挤压和左行走滑应力场作用的结果,其特点是盆地自东向西逐渐减弱^[11],到沙井子断裂走滑作用已经相当小,到柯坪地区,该走滑作用的影响不大,从遥感图上,看不见山前古河道的明显错断。

1.3 阿合奇断裂(阔克沙勒岭断裂)

阿合奇断裂(也就是阔克沙勒岭断裂)走向北东东,从卡拉快力牧场,经黑英山、乌什、阿合奇到乌恰以北延入吉尔吉斯境内(图1)。它划分开南天山早古生代和泥盆纪、石炭纪地层与塔里木的古生代、中生代和新生代地层,是塔里木盆地的西北边界。总体走向为 $45 \sim 75^{\circ}$,断面北北西倾,倾角 $50 \sim 60^{\circ}$ 。断裂带以冲断为主要特点,后期继承性活动时兼具扭动。卢华复等^[12]认为阿合奇断层自晚第三纪以来左行走滑300多千米,走滑速度约 17 mm/a 。笔者曾对该区进行过考察,发现走滑并非该区主要特点。从卫星影像可见,错断的古河流距离并不很大,最大走滑距离为10 km左右。其继承性活动主要受南天山冲断带的影响,野外可见古生界泥盆系、第三系上新统冲断于第四系下更新统西域组砾岩之上。

1.4 喀拉玉尔滚断裂

该断裂走向北西,延伸长度70 km,断面倾向NE,为具右旋性质的逆断层,剖面上具有掀断层性

质(图1)。北段为柯坪断隆与库车坳陷的分界断裂;南段则将塔北隆起的柯吐尔构造和雅克拉构造分割。再向南隐伏于北部坳陷之中。该断裂形成发育于晚二叠纪。在地表无明显断点显示,中生代该断裂发生继承性活动,断裂性质为右旋扭动,主要发育于古生代—中生代地层内,导致中生代盖层褶皱变形,沿断裂走向,东盘库车坳陷中发育形成的由中生代地层构成的褶皱带在近断裂处受到牵引偏转,由北东东向变为北西向,而沿断裂东盘发育的3个单体穹隆则呈雁行排列。

2 二级断裂

2.1 皮羌断裂

规模较大,长约170 km,宽约1 km,局部可达2 km以上。发育特征清晰(图1),无论在野外地质调查,还是卫星影像中均十分明显。皮羌断层两侧古生界地层发生逆时针(左旋)扭动错移,最大水平错距达5~7 km;东段印干等平移断层则明显表现为顺时针(右旋)扭动,错距大大逊于皮羌断裂。以NW向皮羌断裂为代表的断裂带可以认为是一种位移转换带(Displacement Transfer Zone)。Wilson^[13]认为如果褶皱—逆冲断层带缩短量沿走向在相对短的距离内发生显著变化,则发育横向构造带来调节两侧不同的变形,其意义为在垂直于褶皱—逆冲断裂带的一系列剖面上,各断层在同一层面上的位移量总和应相等或渐变,但某一断层的位移量沿走向可以变化。某一断层位移的减小应反映为其相邻断层上位移的相应增加,即位移从一条断层转化到与之相邻的一条断层之上,由此保持褶皱—逆冲断层带缩短量沿走向上的近似均一^[14]。

皮羌与巴楚内牙桑地断裂平面上虽为一条断裂带,但不同时期断裂活动的强度和性质有很大差异^[10]。中生代,牙桑地断裂主要表现为压性逆冲断裂,北段局部伴有小规模撕裂特征。晚第三纪随着向南的强烈推挤,不但使柯坪隆起产生强烈的叠瓦状滑脱逆冲构造,同时在先存的NW向断裂部位发生典型滑脱撕裂断层——皮羌平移撕裂断层。Wang Q.M.等^[15]通过解释该区遥感图像也认为皮羌断裂存在多期演化历史,他们发现皮羌断裂以西的早二叠世灰岩走向上朝皮羌断裂的运动方向转了80°,而其上覆的第三系岩层却没有丝毫变化。由此看来皮羌—牙桑地以及整个塔北的NE向断裂带均属长期

发育的大型走滑断裂带的观点有待修正。

根据地表观察,皮羌断裂具有平移走滑断裂所特有的陡断面,巨型水平擦痕,典型花状构造和水平拖曳现象^[10,16],皮羌断裂最后一次发生走滑作用时的撕裂构造特征表明西侧的岩层与滞后的东侧岩层之间存在不均匀的推覆关系。实际上,皮羌断裂尽管有先期活动存在,但上新世以来它是具有撕裂性质的掀断层,是上第三系发育的平移走滑性质的断裂,该区发育数排北东东向叠瓦式滑脱型逆冲推覆构造,皮羌断裂与这组北东东向构造近于直交,并左行错断了它们,平移距3~4 km,而沿断裂地层的拖曳显示的不均匀推覆距可达15 km,应属滑脱撕裂型断层。其证据是(1)断层两盘推覆构造数目不等,对应关系不明确,说明地层的平移错断和地层推覆同步进行,两盘地层的变形既互相联系又相对独立,显示了两盘推覆不均匀引发平移撕裂断层特征。(2)根据地表观察,皮羌断裂具有平移走滑断裂所特有的陡断面,水平擦痕,典型花状构造特征,平面上具有清晰的左行雁列状结构和水平拖曳现象。皮羌滑脱撕裂断层与柯坪叠瓦状逆冲断层一样,发育时间很晚,为新第三纪至第四纪。

笔者认为皮羌断裂的发育史可大致简述如下:在新第三系阿图什组沉积时期,由于巴楚隆起时柯坪地区推覆体向盆地仰冲推覆受到限制,迫使其后几段(塔塔埃尔塔格、皮羌山、科克布拉克和奥依布拉克山)在进一步向巴楚推进的过程中发生了滞后效应。与此同时,东段和西段却在进一步前进,这时就利用先前的软弱带,产生了起协调作用的平移断层。

2.2 印干断裂

印干断裂通过印干村而将印干单斜地垒截为东西两段。断层走向北部为北西向,向南转为近南北向,断层面倾向南西或近于西,倾角40~50°,位于断层面西部的丘里塔格群灰岩及白云岩,向东逆覆于上古生界各地层之上,在断层走向转折处为阿图什组所覆盖,也是一条左行走滑起协调作用的位移转换带。在横向断裂以东,有一个面积不大的楔形断块,断块西部与断层相抵,东及东北部为第三系所覆,走向北北东,岩层倾角近于直立(由西向东为依木干他乌组至阿恰群)。由这一断块的出现及断层转折处为第三系覆盖的上述事实来分析,很可能该断层北西走向的部分一直延续到第三系之下,而断层南北走向部分则为上述断裂的分支^[10]。

在卫片上,印干断裂很清晰,它破坏了鼻状构造两翼,切断断层。

2.3 萨尔干断裂

“萨尔干走滑断裂”其成因可能很大部分并非走滑,而是局部发生的撕裂断层的重叠,是一条具有双重性质的断层,由于在原推覆岩片上发生不协调尾续式逆冲而形成的擦断层。所谓尾续式逆冲指的是在先期形成的推覆构造系统之上,叠加了一次小规模的逆冲推覆作用。

长期以来,无论从遥感影像,还是野外地质调查,皆认为这是一个走滑断裂带。在本次工作中,我们在野外见到上下两盘的接触面(寒武系地层逆掩于奥陶系地层之上),由于上盘寒武系岩石冲过来时未完全逆掩于早期近南北向断裂的奥陶系岩层之上,早期地貌切割上盘岩石形成了“假走滑构造”影像。所以,我们认为这一“走滑”构造带,实际应该是逆掩断层相互切割、重叠的结果,表面上的走滑断层实质上是由于推覆不协调而形成擦断层。

3 断裂构造样式

本区断裂主要表现为向南东的叠瓦状推覆构造和起协调作用的平移断层,叠瓦状推覆构造主要为各个推覆体岩片,从最南的柯坪塔格到最北的克拉布依奥山,表现为寒武—二叠系的有规律重复。数条冲断—推覆断层在横剖面上构成断阶式组合(图3)。

3.1 叠瓦推覆体

柯坪地区逆冲席体有6排之多,这些逆冲席体并非简单的平行排列,它们常常蜿蜒盘旋,构成十分奇特的山弯构造(orocline)的平面图案(图1)。这些逆冲席体都向南逆冲,冲断层倾向北,倾角40~50°,层面北倾,各个岩席总是南面层位老(为上寒武统),北面层位新(石炭系—二叠系)(图3)。野外测量的擦痕、擦线数据经投点得到推覆方向为320~345°∠48°

(图1),这一运动方向与现今地震解析解的运算结果是一致的。在前人^[13,12]的研究成果中,将该区的逆冲推覆岩席作为纵向走滑变形的标志物,他们认为整个柯坪山脉的最小纵向左旋走滑距离为230 km,阿合奇断裂最小左行走滑量为304.6 km,实际情况下没有太多的横向自由空间,水平走滑总存在横向制约地层,它们会发生变形,地表也没有得到足够的证据。

3.2 构造窗

笔者在乌什县城南索格当他乌地区发现许多构造窗。但前人在填图过程中,误认为是不整合并认为这是一个披覆背斜和正断层。笔者认为在1 km之内发育如此大型的不整合披覆(四周皆为此类大型披覆)是不可信的,首先相变不可能在短距离内变化这么快,其次海相石炭系地层短距离内分别披覆在当时还未出露地表的寒武系和奥陶系地层之上,在寒武系和奥陶系地层出露地表之后,还经历了一定程度的隆升和剥蚀作用,所以这种现象值得怀疑;再次,上下构造层不一致;下构造层(石炭系以前)为向北倾的单斜,并未显示背斜构造。

乌什南库鲁剖面接触面处石炭系底部砾岩已经削平,并且破碎,呈角砾状,在断层面附近派生许多次级断裂。岩层面的产状为345°∠42°,与断裂面呈截交关系(图4)。因此,以披覆褶皱和正断层为主导,在该地区找油的思想可能有待商榷。

4 柯坪断隆的形成机制

新第三纪,由于受天山褶皱带隆起所产生的侧向挤压力的作用,柯坪地区的古生代地层相对结晶基底发生了拆离作用,向塔里木盆地腹地(麦盖提斜坡、巴楚隆起和阿瓦提凹陷)冲断,向盆地方向仰冲推覆。与此同时,NW向的巴楚隆起由于受区域应力场的影响也在抬升,虽然其强度和幅度不能与柯坪

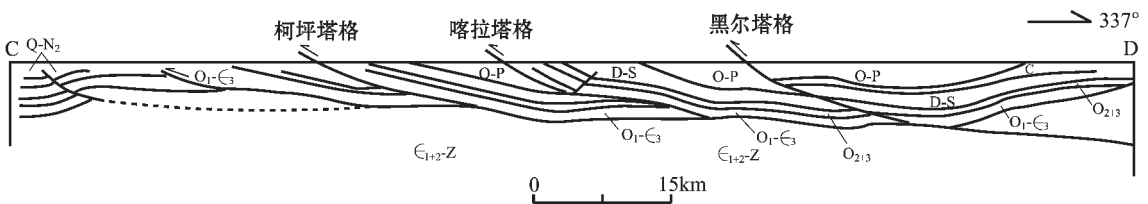


图3 地震剖面解释

Fig. 3 Interpretation of seismic profile

Q—N₂—第四系—上新世; C—石炭系; D—S—泥盆系—志留系; O—e₃—奥陶系—上寒武统; e₁₊₂-Z—中下寒武统—震旦系

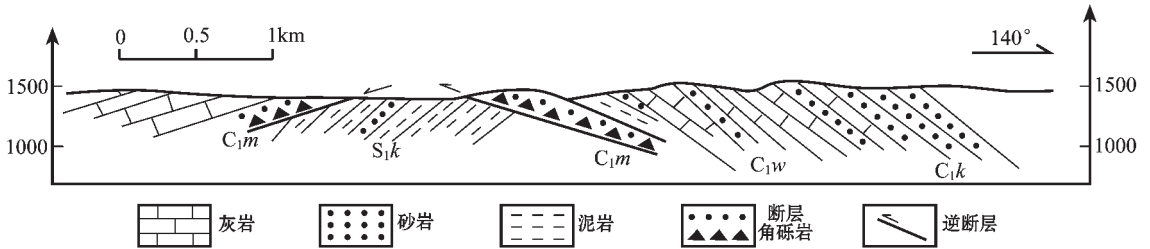


图4 乌什县城南库鲁信手剖面图

Fig. 4 Section of Kulu south of the seat of Wushi County

C_{1m} —石炭系蒙达勒克组 C_{1w} —石炭系乌什组 C_{1k} —石炭系库鲁组 S_{1k} —志留系柯塔格组

断隆的强度和幅度相比,但对柯坪断隆古生代地层的仰冲推覆有一定的限制作用,迫使柯坪断隆中段滞后,在地表上表现为中段的宽度与巴楚断隆的宽度几乎完全一致;东西段相对受阻较小而发生超前推移,并沿早期的软弱面产生了横向平移协调断层——皮羌断裂和印干断裂。根据以上断裂和断层组合样式分析,笔者认为,柯坪断隆复杂的构造样式其实是印度板块和欧亚板块远程碰撞造山造成天山山体向外扩展的一种表现。

致谢:北京大学地质学系张臣副教授和张原庆博士生参加了部分野外工作。特别感谢项目负责人卢华复教授对我们工作的关怀,中国石油天然气集团公司翟光明院士、康竹林教授、王慎言局长及杨宪一高工和中国石油天然气股份公司贾承造总地质师、刘德来博士对本项研究工作的指导。

参考文献:

- [1] 卢华复,贾东,蔡东升,等.塔西北柯坪剪切挤压构造[J]高校地质学报,1998,4(1):49~58.
- [2] Dong Jia, Huafu Lu, Dongsheng Cai, et al. Structural Features of Northern Tarim Basin: Implications for Regional Tectonics and Petroleum Trap[J] AAPG Bulletin, 1998, 82(1): 147~159.
- [3] 蔡东升,卢华复,贾东,等.塔里木盆地西北缘柯坪造山带变形分析[A]见:董晓光,梁刚,贾承造主编.塔里木盆地石油地质研究新进展[C]北京:科学出版社,1996.131~138.
- [4] 汤良杰.塔里木盆地东北地区断裂类型与油气远景[J]石油与天然气地质,1989,(10):45~52.
- [5] Nishidai T, Berry J L. Structure and hydrocarbon potential of the Tarim basin[J] Journal of Petroleum Geology, 1990, 13: 35~58.
- [6] McKnight C L, Carroll A R, Chu J, et al. Stratigraphy and structure of the Kalpin uplift, Tarim basin, northwest China. Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology[M] Environmental Research Institute of Michigan, 1989. 1085~1096.
- [7] Allen M B, Vincent S J, Wheller P J. Late Cenozoic tectonics of the Kepingtage thrust zone: Interactions of the Tien Shan and Tarim Basin, northwest China[J] Tectonics, 1999, 18(4): 639~654.
- [8] 周清杰,郑建京.塔里木构造分析[M]北京:科学出版社,1990. 28~37.
- [9] 贾承造.中国塔里木盆地构造特征与油气[M]北京:石油工业出版社,1997.
- [10] 王燮培,严俊君.塔里木盆地北部断裂格架分析[J]地球科学, 1995, 20(3): 237~242.
- [11] 魏国齐,贾承造.塔里木盆地逆冲带构造特征与油气[J]石油学报,1998,19(1): 11~17.
- [12] Huafu Lu, David G Howell, Dong Jia, et al. Rejuvenation of the Kuqa Foreland Basin, Northern Flank of the Tarim Basin, Northwest China[J] International Geological Review. 1994, 36: 1151~1158.
- [13] Wilson T H, Shumaker R C. Three-dimensional structural interrelationships within Cambrian-Ordovician lithotectonic unit of Central Appalachians[J] AAPG Bull, 1988, 72(5): 600~614.
- [14] Dahlstrom C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains[J] Bull Canadian Petroleum Geology, 1970, 18: 332~406.
- [15] Wang Q M, Ohnuma T, Nishidai T. Geological Application of Satellite Imagery in the Western Kalpin Thrust Belt, Tarim Basin (NW China) [M] The Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Pasadena, California, USA, 1993, 8~11.
- [16] Yin A, Nie S, Craig P, Harrison T M, et al. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan[J] Tectonics, 1998, 17(1): 1~27.

Analysis of fault structures in the Kalpin fault uplift , Tarim basin

He Wen-yuan^{1 2} , Li Jiang-hai¹ , Qian Xiang-lin¹ , Zheng Duo-ming³

(1. *Department of Geology , Peking University , Beijing 100871 , China ;*

2. *Consulting Center , China National Petroleum Group Corporation (CNPC) , Beijing 100724 , China ;*

3. *Tarim Oilfield Corporation , Korla 841000 , Xinjiang , China)*

Abstract :There are a lot of faults in the Kalpin fault uplift. Through field work and interpretation of seismic reflection profiles and Landsat images , the authors consider that the Kalpin Tag fault formed in the Neogene and had a different early evolutionary history from the Shajingzi fault. The Akqi fault formed by compression , rather than by strike slip. The Piqanlik and Yingan strike-slip faults are tear faults that exert concerted effect on the whole zone. In the field , the authors found that the Shargan fault is a false strike-slip fault and in fact should be an out-of-sequence fault. Under compression , two kinds of main fault combination were formed in the Kalpin fault uplift : imbricate thrust sheets and tectonic windows. From an analysis of the main faults in the Kalpin fault uplift , the authors consider that the Cenozoic structures in the Kalpin fault uplift are actually a manifestation of orogeny due to remote collision between the Indian plate and Eurasian plate and intraplate deformation.

Key words :Tarim basin ; Kalpin fault uplift ; fault structure ; imbricate thrust sheets ; tectonic window