

新疆柯坪新生代推覆岩席的走向连接与成因分析

方茂龙 王树红 韩晓青 赵世勤

(核工业北京地质研究院, 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029)

摘要:柯坪断隆新生代推覆构造是南天山南缘冲断系统的一部分,断隆上多排逆冲岩席被数条横向断裂复杂化,致使不同地段岩席排数不等,各排岩席在走向上的对应关系不明,形成了十分奇特的山弯构造。逆冲岩席的变形特点是南天山新生代造山运动的重要表征。笔者通过卫星影像分析和野外路线地质调查,对横向断裂切割各排逆冲岩席之切点部位的构造特征及岩席内部中小型构造所显示的成因信息进行了详细分析,据此,对复杂岩席在走向上进行了连接,对其数量进行了识别。在此基础上,提出了复杂岩席成因的斜冲褶皱模式,即在北西向应力场持续作用下,岩席向南东斜冲,并在其水平位移分量作用下,沿走向发生褶皱和斜冲错断;横向断裂是多排岩席褶皱翼部扭性断层的发展和连通。

关键词:柯坪断隆;推覆岩席;走向连接;成因分析

中图分类号: P542+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)02-0322-12

柯坪断隆位于塔里木盆地西北缘,其上多排近东西至北东东向的弧形逆冲岩席山岭构成向南东方向凸出的弧形构造带。弧形山岭被数条与之近于垂直的横向断裂切割、分隔成不同的弧段,各段间的弧形山岭排数不等,对应关系不明,构成了十分奇特的平面图案,吸引了众多地质工作者的关注。目前关于柯坪弧形构造带的成因认识主要有 3 种:(1)走滑或斜冲构造^[1];(2)逆冲推覆构造^[2];(3)仰冲推覆,受到巴楚断隆的限制作用,迫使柯坪断隆中段滞后并沿早期的软弱面产生横向平移协调断层的构造模式^[3]。前人对本区的地质、构造发展历史,构造性质等大量卓有成效的研究^[1-9]为本文的工作打下了坚实基础。笔者认为,前人认识上的分歧主要是因为对本区横向断裂所分隔的弧形构造带(各排逆冲岩席山岭)在走向上的对应关系,即在走向上的连接认识不清造成的。作者近两年有幸在塔里木盆地西北缘开展铀矿基础地质研究工作,通过卫星影像分析和野外调研,对横向断裂切割各排逆冲岩席山岭之切点部位的地质、构造特征及山岭内部中小型构造所显示的成因信息进行了详细分析,从而对该弧形构造带成因进行了

探讨。

1 研究区地质概况

研究区覆盖了柯坪断隆的主体部分(图 1),总体构造线方向为近东西至北东东向。区内出露最老地层为上寒武统一中奥陶统。上寒武统一中奥陶统主要为白云岩、白云质灰岩和泥灰岩,厚 2700 m,缺失上奥陶统,与上覆志留系平行不整合。志留系—泥盆系为连续沉积,为一套绿色砂岩、粉砂岩、泥板岩、粘土岩,底部有厚 600 m 的砾岩,这套碳酸盐岩和陆源碎屑岩,为被动陆缘的陆棚沉积。石炭系由砂岩、页岩和石灰岩组成,为较稳定浅海环境沉积,缺失下石炭统和上石炭统上部的部分沉积,与下伏泥盆系和上覆下二叠统均为平行不整合。二叠系仅发育下统,岩性主要为含煤层砂页岩、红色砂页岩及陆上玄武岩,属于大陆裂谷沉积。其中上寒武统一中奥陶统碳酸盐岩是本区逆冲岩席南侧逆冲断层发育的主要层位。实际上柯坪地区是塔里木大陆板块的一部分^[2],所不同的是柯坪的古生代岩层出露地表,在新生代没有下沉成为盆地,相反还上升为高出盆地

收稿日期:2008-07-18;改回日期:2008-10-22

基金项目:核工业地质局基础地质研究项目(遥 D0701)资助。

作者简介:方茂龙,男,1961 年生,研究员,主要从事铀矿地质、构造地质和遥感地质研究;E-mail:wylh64964478@sina.com。

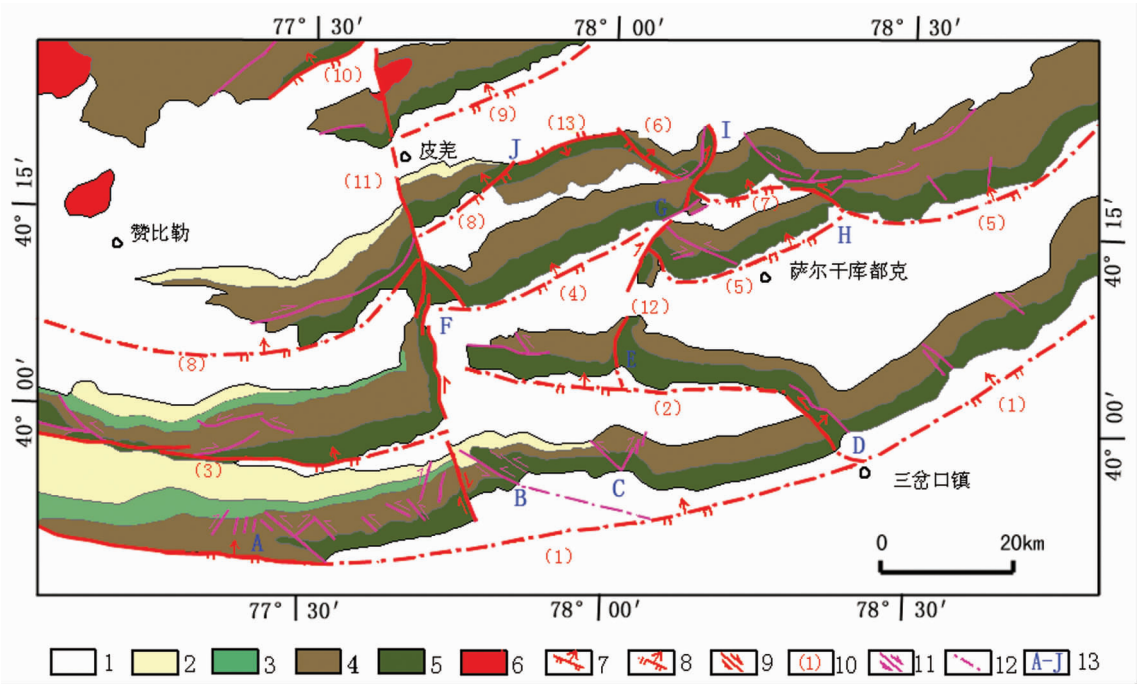


图 1 研究区地质图

1—第四系;2—新近系;3—白垩系—古近系;4—中奥陶统—二叠系;5—上寒武统—下奥陶统;6—碱性花岗岩;7—逆断层;8—隐伏逆断层;9—平移断层;10—主要断层编号;11—小型平移断层;12—小型隐伏断层;13—重要构造部位标号

Fig.1 Geological map of the study area

1—Quaternary; 2—Neogene; 3—Cretaceous—Paleogene; 4—Middle Ordovician—Permian; 5—Upper Cambrian—Lower Ordovician; 6—Alkalic granite; 7—Reverse fault; 8—Buried reverse fault; 9—Strike—shift fault; 10—Serial number of main fault; 11—Small-sized strike—shift fault; 12—Small-sized concealed fault; 13—Important structural position

地面 400~1000 m 的山脉。

柯坪山脉地区除西段有少量白垩系外,在二叠系之上一般缺失全部中生界,这表明柯坪地区在二叠纪之后隆升为高原(可否改为“隆升”),成为一个水平的古生代地层裸露区,直到古近纪才接受一些陆相沉积。至新近纪时,形成现今的逆冲岩席^[2]。

古近系和新近系下部地层发育于西部推覆岩席的下二叠统之上,与下二叠统岩层近于平行,倾角与下伏古生代地层近于一致,二者为平行或微角度不整合。这暗示柯坪地区的逆冲岩席是在中新世晚期侵位的。中新世晚期的康村组地层为陆相砂岩、泥岩与砾岩,向上逐渐变为上新世库车组巨厚层砂岩和砾岩,二者构成典型的再生前陆盆地磨拉石沉积,反映天山新一轮的造山作用,即本文讨论的逆冲岩席山岭及推覆断裂的形成过程。

柯坪山脉除 13 号断裂南侧岩席向北逆冲外,均由向南或南南东逆冲的逆冲岩席构成,共有 6 排之多。逆冲断层位于逆冲岩席南侧,断面北倾,倾角一

般 30°~40°。每个岩席包含从寒武系到二叠系的地层,皮羌断裂(11 号断裂)以西和皮羌山断裂(8 号断裂)以北的岩席还出露少量白垩系至新近系。地层一般向北或北北西倾斜。各个岩席均为南面层位老、北面层位新,这种地层的新老顺序关系为逆冲岩席在走向上的连接提供了重要信息。值得注意的是,8 号断层东段与 6 号断层之间的一段岩席(即 13 号断裂南侧岩席)是北面层位老,南面层位新,与 4 号断裂北侧的逆冲岩席构成向斜构造,其核部为第四系覆盖(图 1)。

2 推覆断裂及推覆岩席的走向连接

柯坪断隆上推覆岩席少处 2~3 排,多处 6 排。每排推覆岩席南侧发育推覆断层,主要推覆岩席及推覆断层呈弧形展布,构成弧形构造带。为了分析弧形构造带成因,需要查明多排推覆断裂及其推覆岩席在走向上的对应(连接)关系。现从南到北依次分析各排岩席内部及横向断裂分隔点、岩席分叉点等

部位的地质构造特征，并据此探讨推覆岩席在走向上的对应(连接)关系。

2.1 第一排推覆断裂及推覆岩席的走向连接

第一排推覆断裂及其岩席位于柯坪断隆最南侧。从卫星影像解译可见,柯坪塔格断裂(1号断裂)北侧岩席(称1号岩席,下文将2号推覆断层北侧岩席称为2号岩席,其他依次类推)内部发育一系列小型北西向左行和北东向右行扭性断裂,同时该岩席沿走向上还出现多个不同程度的弯曲(褶皱),如A点以西部位,B-C点部位,D点以东部位等(图1)。有的小型扭性断层发育于褶皱两翼地层转折较大部位,其中B-C点部位的褶皱和小型断层较为典型。

该褶皱两翼分别发育 f_1 和 f_2 两条小型扭性断层(图2)。 f_1 走向北西,向东呈小角度收敛于1号断层,其北侧上寒武统一下奥陶统内部产生次级小褶皱和小断层,次级小褶皱的轴面与 f_1 的组合关系以及次级小断层的左行错动方式均反映了 f_1 在平面上具有左行扭动特点。B-C点部位的褶皱和 f_1 应是1号断层左行水平位移分量的派生产物。 f_1 北侧地层总体为近东西走向,但在 f_1 附近转为北西走向。虽然地层走向改变,但各层连续相连,不被断开。而 f_1 南侧地层则被 f_1 切断,走向上不能与北侧同一地层直接相连,同样反映 f_1 左行错动了柯坪塔格岩席。B点处 f_1 两侧地层的这种连接关系在D点处2号断层两侧

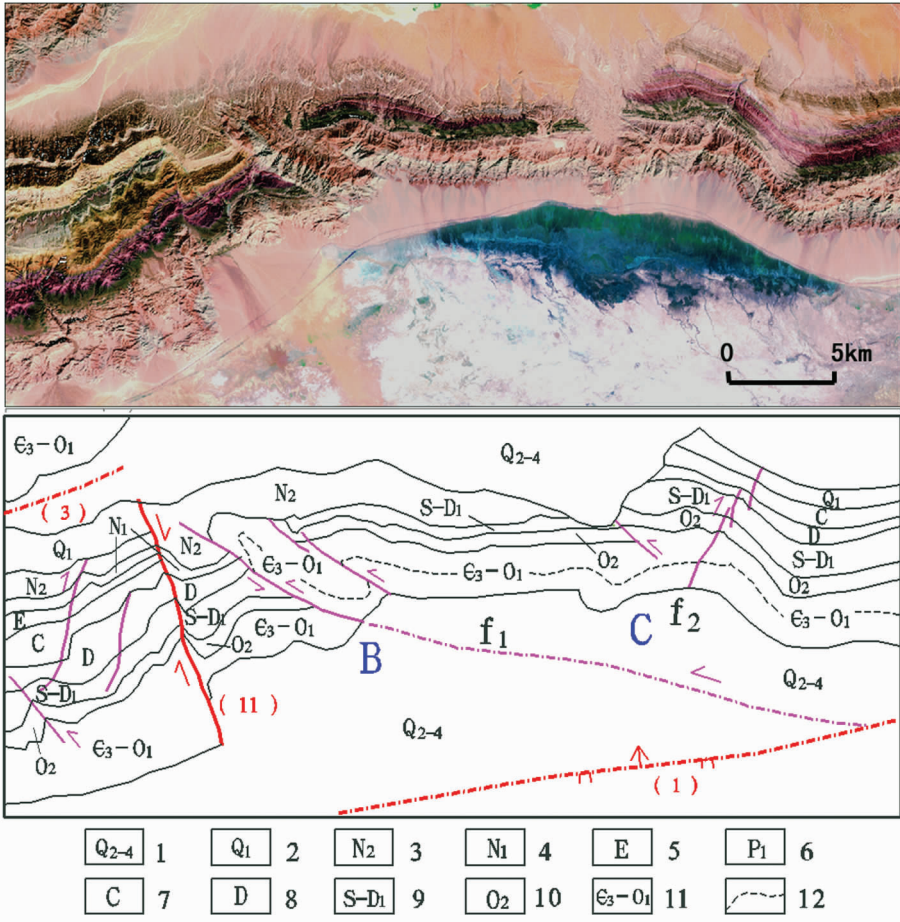


图2 柯坪塔格推覆岩席内部小型褶皱和断层(B-C点附近)

- 1—中更新统-全新统;2—早更新统;3—上新统;4—中新统;5—古近系;
- 6—下二叠统;7—石炭系;8—泥盆系;9—志留系-下泥盆统;10—中奥陶统;
- 11—上寒武统-下奥陶统;12—地层单元内部岩性分界线,其余图例见图1

Fig.2 Minor folds and faults in Kalpintag thrust sheets (near B-C)

- 1—Middle Pleistocene-Holocene; 2—Lower Pleistocene; 3—Pliocene; 4—Miocene; 5—Paleogene;
- 6—Lower Permian; 7— Carboniferous; 8—Devonian; 9—Silurium-Lower Devonian;
- 10—Middle Ordovician; 11—Upper Cambrian-Lower Ordovician; 12—Boundaries between different lithologic characters in the same stratigraphic unit; other legends as for Fig. 1

表 1 研究区主要断层及其产状
Table 1 Names and attitudes of main faults in the study area

断层编号	断层名称	断面倾向	断面倾角
1	柯坪塔格断层	NNW	30° ~ 80°
2	塔塔埃尔塔格断层	NNE	30° ~ 60°
3	奥兹格尔特乌断层	N	50°
4	4 号断层	NNW	30° ~ 60°
5	衣木干他乌断层	NW	/
6	6 号断层	NE	/
7	7 号断层	N	/
8	皮羌山断层	NW	20° ~ 40°
9	卡拉布克塞断层	NW	20° ~ 35°
10	奥依布拉克山断层	NW	30° ~ 50°
11	皮羌断裂	85°	80°
12	萨尔干断裂	NW	80° ~ 90°
13	阿布拉衣布拉克断裂	S	70°

和 H 点处 7 号断层两侧均可见到, 这为 2 号和 7 号断层的形成机制分析提供了有益的启示。f₂ 走向北东, 由 3 条首尾相连的右行斜列小断层组成, 平面上具有右行扭动特点。f₁ 发育程度比 f₂ 好。它们发育于 B-C 点处褶皱两翼地层转折较大部位, 是该褶皱发育到一定程度后与之相伴生的一组断层, 可以解释为 1 号岩席在受到沿走向方向的局部挤压应力作用下, 沿 1 号断层面产生了水平位移分量, 致使 1 号岩席沿走向产生不同程度的褶皱, 并伴生小型扭性断层。1 号岩席其他部位的小型断层和褶皱发育程度较差, 不一一细述, 它们代表了同一变形机制下 B-

C 点部位构造变形的早期特点, 暗示了 B-C 点部位的褶皱和 f₁、f₂ 的形成过程。

值得注意的是, 皮羌断裂(11 号)南段明显地右行错动了 1 号岩席。野外测得皮羌断裂南段西侧的泥盆系、石炭系和中新统地层产状为 334°∠41°, 东侧附近的中新统地层产状为 42°∠42°(图 3), 地貌上略低于西侧。断层带内部中新统地层走向为 142°, 倾角近直立, 其中夹有透镜状灰岩构造角砾岩岩块(长轴方向 140°), 是断层西侧石炭系顶部灰岩被向南(右行)错动并破碎的结果。该直立地层向南东延伸一段距离后, 产状逐渐变为 326°∠32°, 反映了断裂右行扭动时对东侧中新统地层产生了拖曳作用。类似地, 断层两侧泥盆系(影像上为褐黄色)、志留系一下泥盆统(影像上为紫红色)、中奥陶统(影像上为暗绿或深灰色)都有明显的右行错动, 且两侧地形高程一致。上寒武统一下奥陶统北界也被错动, 但南界因褶皱造成张性空间, 被第四系覆盖, 造成南界左行错动假象。前人普遍认为该断裂为左行平移断裂^[1-3], 实际上它在不同段落具有不同性质。断层南段右行扭动特点可以解释为在上述沿岩席走向方向局部挤压应力作用下, 11 号断层南段和 f₁ 所夹持的三角形岩席块体被向南挤出所致。

第一排推覆岩席的另一个重要部位是 2 号断裂与 1 号断裂交汇部位 D 点附近(图 1)。与图 2 中 f₁ 两侧的地层连接情况相似, 2 号断层北东侧的 2 号岩席中各地层与 D 点以东的 1 号岩席在走向上连续相连, 而南西侧岩席地层(1 号岩席在 D 点以西的

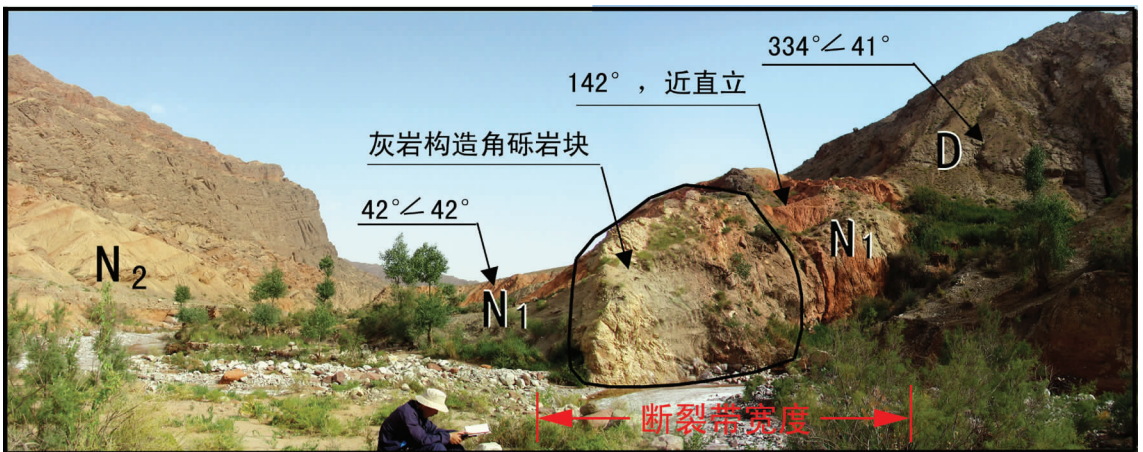


图 3 皮羌断裂南段横剖面(镜头方向 140°)

Fig.3 Cross section of the southern part of Piqiang fault (camara direction: 140°)

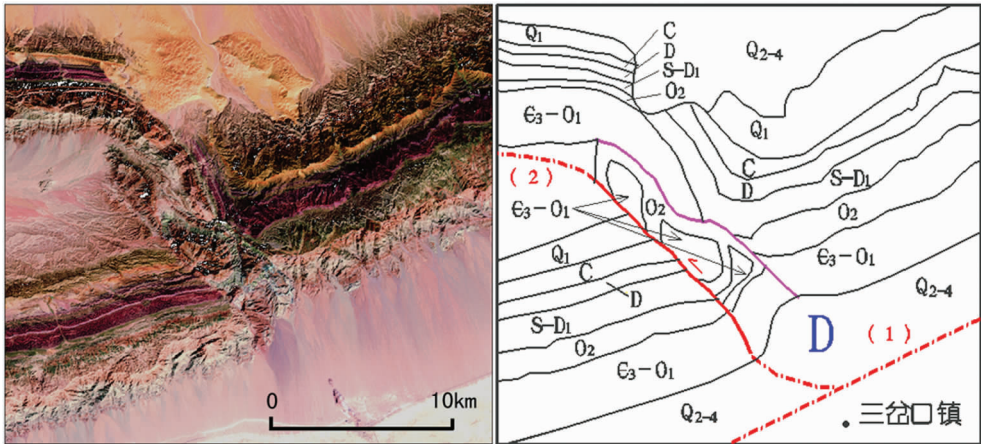


图 4 1 号断裂与 2 号断裂交汇处(D 点附近)卫星影像与地质图
(图例见图 1 和图 2)

Fig.4 Remote sensing image and its interpretation map at the intersection of fault No.1 and fault No.2 (near position D)
(legends as for Fig. 1 and Fig. 2)

部分)则被 2 号断裂东段切断(图 4)。2 号断裂的早期阶段与 f_1 应该是相似的。2 号断裂东段与 1 号断裂交角较大(比 f_1 与 1 号断裂交角大),可能是后期变形发展的结果(2 号断裂比 f_1 规模大,发育时间可能更长)。实际上,2 号断裂、 f_1 及 1 号岩席内部的其他北西向小型扭性断裂应是同一变形机制下发育程度不同的一组断裂,发育程度低的断裂与发育程度高的断裂早期特点相似。因此,2 号断裂也是由 1 号岩席内部的早期北西向小型断裂发育而成,同 f_1 一样左行错动了柯坪塔格岩席,并逐步发育成现今的 2 号断裂和岩席。2 号岩席西端不能与其北西侧其他岩席相连(图 1),也佐证了这一点。由此可见,2 号岩席是 1 号岩席变形发展的结果,它们可看作同一排岩席。

值得指出的是,1 号断裂(平移逆断层)在 D 点处形成的水平断距并不等于 2 号断裂或 2 号岩席的长度(约 55 km)。如果 1 号断层是理想的平移断层,它在 D 点处的水平断距才等于 2 号断裂或 2 号岩席的长度(若不计走向上的压缩)。当岩石的物理性质为脆性或脆-塑性时,D 点处形成的分支断层(2 号断层)长度可以远远大于其水平位移分量(岩石脆性越大,2 号断裂长度与其水平断距之比也越大)。这种断层在逆冲分量作用下,可将上盘岩席逆冲至地表并受到剥蚀,形成与断层长度一致的岩席,因而容易将断层或岩席的长度误作断层的水平断距。因此,D 点处

的水平断距可能远小于前人提出的 55 km^[1]。

2 号岩席中部(图 1 中 E 点附近)发育北北东向的萨尔干断裂(12 号),其南段转变为近南北向、略向西凸出的弧形断裂(图 5)。该断裂在 2 号断裂南侧地表未见出露,在南面的 1 号岩席内部亦未见其踪迹,因此推测其南端在地表可能终止于 2 号断裂。萨尔干断裂南段西侧附近,地层走向由近东西转为北东向,并有近南北向次级断裂将该处北东向的中奥陶统一泥盆系左行错断(图 5);断层东侧(上盘)上寒武统一中奥陶统灰岩层则由近东西急转为近南北向,并向西逆冲于西侧中奥陶统一泥盆系地层之上(图 5 中 B-B' 剖面),断裂面和上盘地层产状为 $125^\circ \angle 41^\circ$,下盘中奥陶世—泥盆纪地层走向 45° ,近于直立。根据推覆岩席从南到北地层由老变新的极性可以恢复出一个背斜构造,12 号断裂南段位于该背斜构造的西翼(倒转翼)。根据 12 号断裂南段的弧形特点及东侧地层向西逆冲而两侧岩席又未被错开的事实,可以认为,萨尔干断裂南段以挤压为主,是由沿岩席走向方向的局部挤压应力所致;断层东侧地层的急转折与断层向西的逆冲抬升有关,与图 6 中 F 点和图 7 中 I 点附近的地层急转折一样,均非拖曳作用造成,这一点下文还将述及。将 2 号岩席与 1 号岩席的 B-D 段对比(图 1),笔者认为,2 号断裂与 f_1 相当,萨尔干断裂南段与 f_2 相当,当 2 号断裂发育成较大规模的斜冲断裂时,相当于 f_2 的早期北东

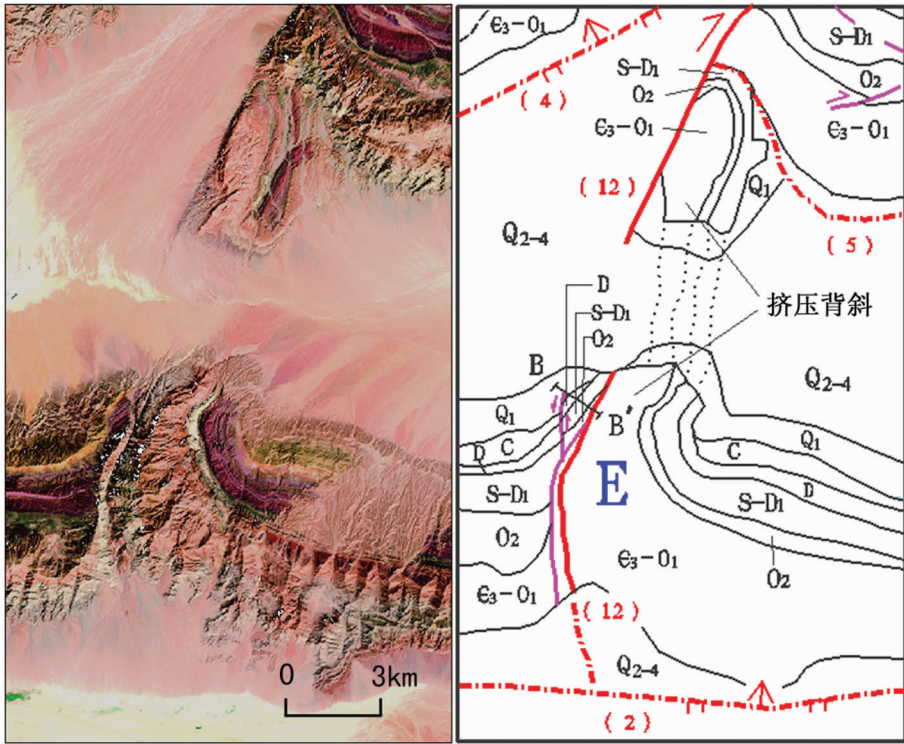


图 5 2 号岩席中部(E 点附近)卫星影像与地质图
(图例见图 1 和图 2)

Fig.5 Remote sensing image and its interpretation map in the middle part of No.2 thrust sheet (near position E, legend as for Fig. 1 and Fig. 2)

向小型右扭断裂(萨尔干断裂南段的前身)受到挤压,由扭性转变为压性,并向西逆冲,最后逐渐与中段和北段连通,成为现今的萨尔干断裂。实际上,萨尔干断裂的中段和北段分别发育在另外两排岩席褶皱的一翼,其形成机制相似。前人多认为萨尔干断裂为右行走滑性质,但根据上述分析,至少其南段以挤压为主。

2.2 第二排推覆断裂及推覆岩席的走向连接

3 号断裂及 3 号岩席为第二排逆冲岩席的西段。其东端(F 点附近)与 2 号断裂及 2 号岩席在地表并不相连,而是在 11 号断裂以西(图 1)急转为近南北走向,继而与 4 号断裂及 4 号岩席相连(图 6)。4 号岩席总体为北东东走向,西端靠近 11 号断裂处转为北西走向,两个岩席连接成一背斜构造,背斜两翼发育对冲逆断层(图 6 中 A-A'剖面处)。背斜向北西倾伏,对冲逆断层亦向北西交汇。背斜核部地层为上寒武统一奥陶统,其西翼的中奥陶统以上层位被 8 号断层断失,或被第四系覆盖;东翼出露较

好。8 号断裂北侧的上寒武统一奥陶统明显属于另一排推覆岩席(见下文 2.3 节)。上述褶皱和伴生断层的特点,符合该处北倾岩席受到沿走向方向挤压,并沿逆冲断层面发生褶皱变形的一般规律。

3 号岩席在 11 号断裂西侧附近走向发生近 90°的急转折,在转折处的内侧,岩席内部地层形成褶皱(图 6),应是岩席受到沿走向上的压缩所致,这同样反映了 11 号断裂在该段具有较强的挤压性质。野外追索显示,3 号断裂向东与皮羌断裂中段(切分 3 号和 4 号岩席的一段)呈连续弧形相连,皮羌断裂中段产状 270°∠30°~40°,由西向东逆冲^[6]。地层的急转折正是这种挤压作用下产生褶皱、逆冲抬升和剥蚀的结果,而不是走滑作用产生的地层拖曳现象,因为在靠近 11 号断裂处未见转折地层减薄或尖灭,同时地层拖曳也不能在转折处的内侧形成褶皱。4 号岩席西端地层在 11 号断裂东侧附近转为北西向(而不是北东向)也不符合左行走滑拖曳的特点。因此,3 号和 4 号岩席是相连的,它们受走向方向的挤压作用

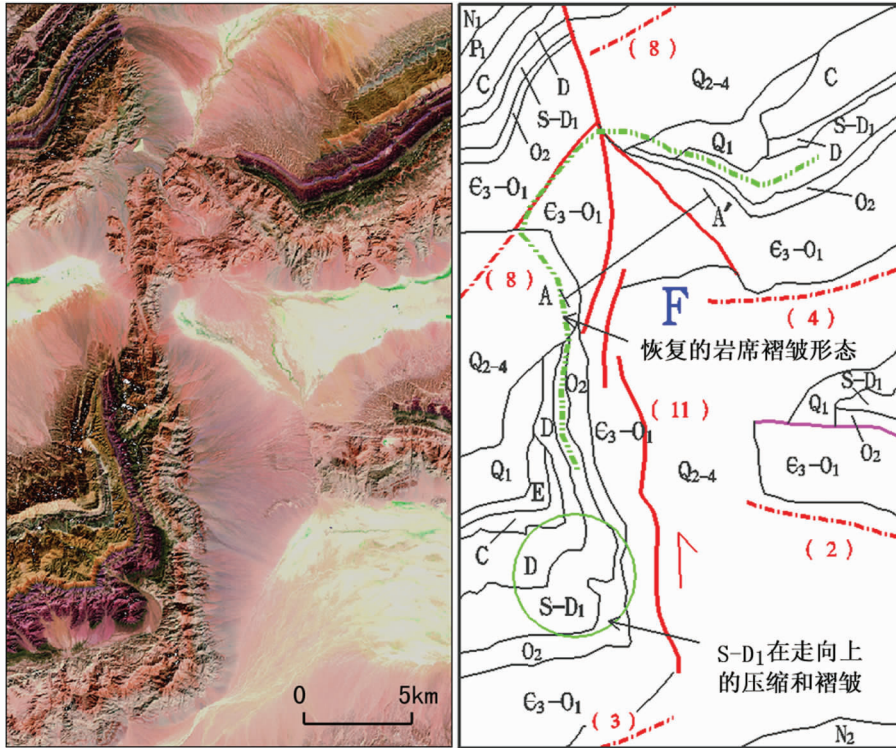


图6 3号岩席东端(F点附近)卫星影像与地质图
(图例见图1和图2)

Fig.6 Remote sensing image and its interpretation map in the eastern part of No.3 thrust sheet (near position F, legend as for Fig. 1 and Fig. 2)

产生褶皱,并在褶皱强烈部位形成近南北向的挤压断层。3号断裂向东与皮羌断裂中段呈连续弧形相连,是冲断面随岩席一起褶皱的表现。另一方面,皮羌断裂中段具有左行斜列特点(图6),说明挤压的同时也有一定的左行走滑分量,即皮羌断裂中段是以挤压为主的扭压性断裂。

4号岩席东端的G点(图1)附近,出露一北东走向的逆冲岩席碎块(图7)。该岩席碎块自北西南东,地层由老变新。根据这一岩席碎块的空间位置、地层走向与其新老顺序关系,可以将4号断裂及岩席与5号断裂及岩席连接成一个褶皱形态,且可排除其与7号断裂及岩席相连的可能性。萨尔干断裂中段切过这一褶皱。如果忽略这一岩席碎块,容易误认为萨尔干断裂将4号、5号岩席右行切错了较大距离。实际上,现今在12号断裂附近地表所观测到的4号、5号岩席间的距离并非12号断裂中段的水平断距,而是褶皱作用和断裂右行错动共同造成的。

根据上述岩席的连接关系,可以认为3、4、5号

断裂应为同一条断裂,它们在空间上呈弧形展布。由于该弧形断裂存在水平位移分量,导致其上盘岩席受到沿走向方向的挤压,产生了褶皱和断裂,形成现今的复杂褶皱形态。其实,第二排岩席的这一褶皱形成机制及其构造样式与第一排岩席在B-C点附近的褶皱机制和构造样式(图2)相似,只是其总体上变形程度更高。

无独有偶,在7号断裂与5号断裂相交部位(H点处,图1),出现了2号断裂与1号断裂相交部位(D点处)类似的特点:7号岩席与5号岩席东段(H点以东)在走向上连续连接,而5号岩席西段(H点以西)则被7号断裂东段切断(图8)。可见,7号岩席的成因与2号岩席成因相似,不予赘述。

还需指出,6号岩席与7号岩席是相连的,它们不仅空间上有较好的对应性,而且岩席内部地层从南向北由老变新的极性完全相同(图6)。而6号岩席与其西侧的13号岩席(即8号断裂东段与6号断裂之间的一段岩席)的极性正好相反,因而不能相连,二者为断层接触。

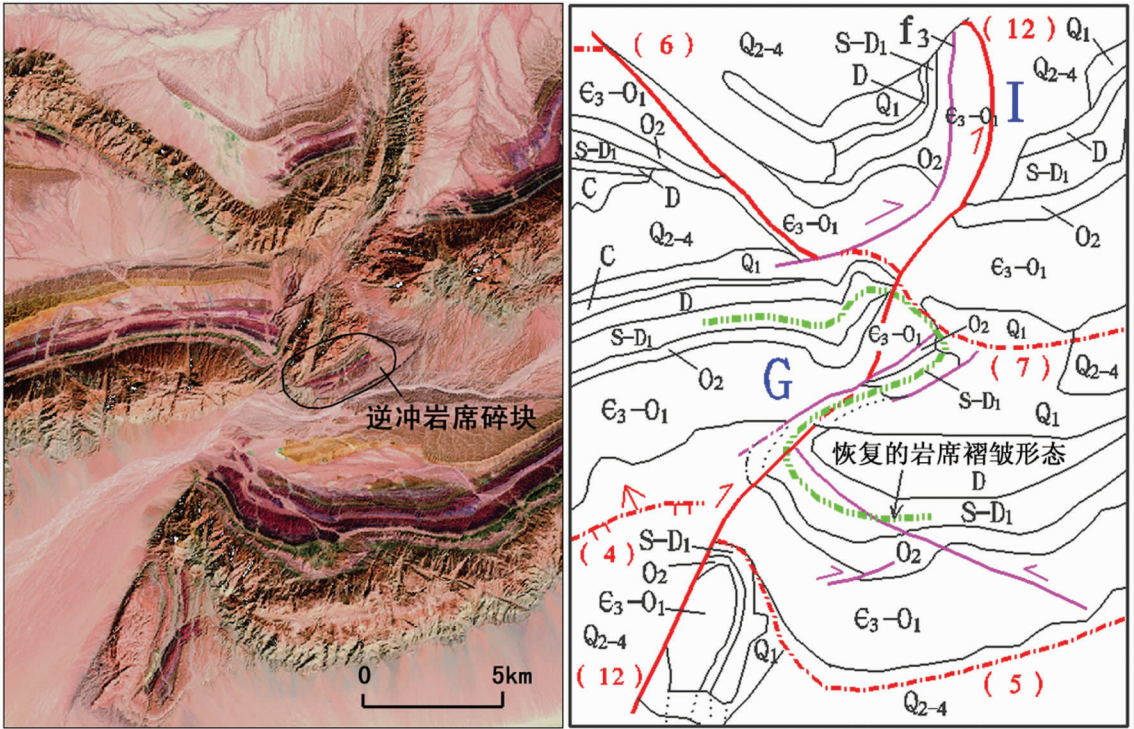


图 7 4 号岩席东端(G 点附近)卫星影像与地质图
(图例见图 1 和图 2)

Fig.7 Remote sensing image and its interpretation map for the eastern part of No.4 thrust sheet (near position G, legend as for Fig. 1 and Fig. 2)

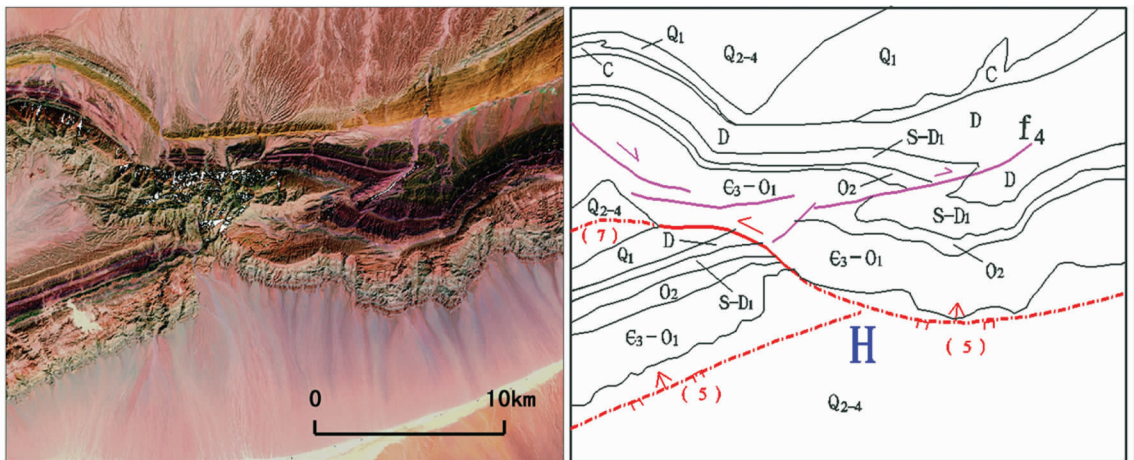


图 8 5 号岩席中段(H 点附近)卫星影像与地质图
(图例见图 1 和图 2)

Fig.8 Remote sensing image and its interpretation map for the middle part of No.5 thrust sheet (near position H, legend as for Fig. 1 and Fig. 2)

由上述分析可知,6、7 号岩席是 5 号岩席被左行错断和抬升的结果,即由 5 号岩席变形发展而成(与第一排岩席中的 2 号岩席相似),因此笔者将 3、

4、5、6、7 号岩席划归为第二排推覆岩席。与 D 点处相似,H 点处 5 号断裂的水平位移量也不等于(可能远小于)6、7 号断裂或岩席的长度之和。实际上,

6、7号岩席与5号岩席东段(H点以东部分)亦构成了一个弧形岩席,该岩席沿走向上亦形成了类似的褶皱和伴生的北东向、北西向扭性断层(图1)。

比较第一、二排推覆岩席的特点,不难发现,它们都是在推覆作用同时或之后,受到沿岩席走向方向的挤压,产生褶皱和左行斜冲错断的产物。实际上,两排岩席的构造形态是相似的:在皮羌断裂和萨尔干断裂之间的区段形成褶皱,在褶皱以东,近东西向岩席转为北东东向或北东向岩席的转折点附近形成左行斜冲断裂。所不同的是,第二排推覆岩席的褶皱和左行斜冲断裂产生的变形更加强烈,形成的地貌形态也更加复杂。

2.3 第三排推覆断裂及推覆岩席的走向连接

在剔除第一、二排岩席的干扰之后,不难看出第三排岩席即为8号断裂北侧岩席,它被11号断裂北段切分为东、西两部分。卫星影像上,11号断裂北段东、西两部分岩席的影像色调、纹理、地层出露宽度等都有极好的一致性(图9),应属同一岩席。而8号岩席与其东侧的13号岩席的上述特征相差很大,二者的推覆断层倾向、内部地层倾向和极性也正好相反,因而不能相连为同一岩席。8号岩席东端逆冲到13号岩席之上,二者地层走向有约 10° 的交角。11号断裂北段(通过8号岩席的分段)两侧地层没有明显褶皱和急转折现象,说明它没有受到与第一、二排岩席相同的挤压作用,应是在第一、二排岩席褶皱之后推覆而成,因而其形成时间晚于第一、二排岩席,并在此后的变形中又被左行错断。可见柯坪多排推覆

构造形成时序并非都是从山前向盆地内部方向扩展的^[6]。11号断裂北段断面呈紧闭线状,两侧岩席变形不强,因而据卫片判断其左行水平位移分量为3~4 km的结论应当可靠。

第四、五排岩席分别为9号和10号岩席,其变形相对简单,本文不予讨论。

通过以上推覆岩席的走向连接不难发现,柯坪地表现今出露的6排岩席,若从成因角度看,实际只有5排。13号岩席分布于第二排岩席向北拱起形成的最强褶皱(F-G一带)以北,其长度与该褶皱规模相当,并与南侧4号岩席构成向斜构造。因此认为该岩席可能由第二排岩席褶皱时,在岩席向北拱起较强地段派生出较大的向北推挤的局部应力形成(参见下文“弧形构造带成因分析”)。

3 横向断裂特征

研究区横向断裂主要有皮羌断裂和萨尔干断裂,以及本文通过卫星影像解释出的一些小型断裂(图1)。

对于皮羌断裂,前人已做过大量工作^[1-4]。有关断裂性质的认识主要有左行平移断裂和撕裂断层两种。笔者对此不一一讨论,仅就本次工作成果加以阐述。从前文分析可知,皮羌断裂可分为南、中、北3段,南段主体发育于柯坪塔格推覆岩席内,平面上具有右行扭动特点,右行错动距离为0.5~1km;中段发育于3号与8号断裂之间,具有明显挤压特点,亦兼有左行扭动性质。该段断裂因两侧褶皱作用造成地

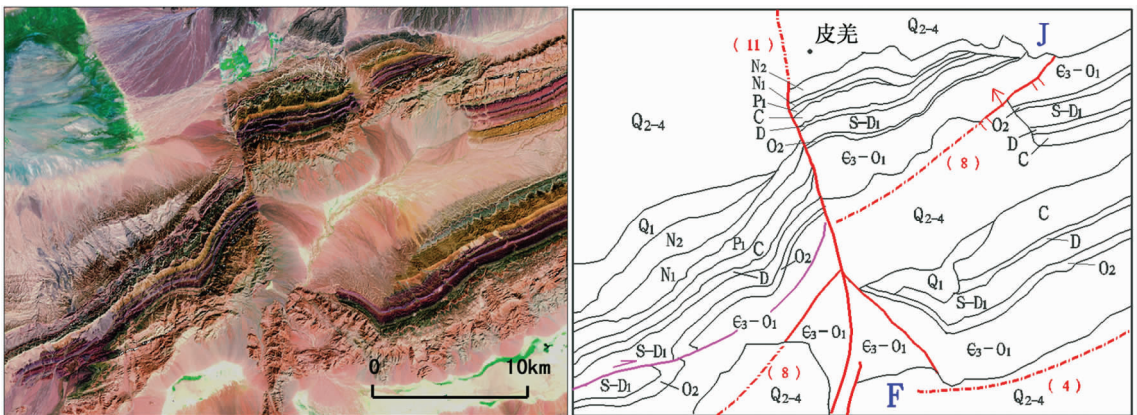


图9 8号岩席中段(J点附近)卫星影像与地质图

(图例见图1和图2)

Fig.9 Remote sensing image and its interpretation map for the middle part of No.8 thrust sheet (near position J, legend as for Fig. 1 and Fig. 2)

层错动假象,其平面左行位移分量难以确定;北段位于 8 号断裂以北,从其左行错动 8 号岩席看,左行水平位移分量为 3~4 km。考虑到南段为右行错动,因而推断中段左行水平位移分量不大于 3~4 km。

有关萨尔干断裂性质的认识亦主要包括右行平移断层和撕裂断层两种^[2,3]。笔者也将萨尔干断裂分为南、中、北 3 段:南段发育于 2 号断裂北侧岩席之中,以挤压性质为主;中段有挤压和右行扭动双重作用,但因褶皱的影响,右行错动距离应小于现今地表现测到的“水平断距”。萨尔干断裂北段切割了 6 号、7 号岩席(图 7),与南段相反,北段为近南北向的、略向东凸出的弧形断裂。该段弧形断裂东侧附近地层走向没有明显变化,而西侧地层则由近东西向急转为近南北向,并有次级断裂 f_3 发育。同样,这种地层急转折是萨尔干断裂北段自西向东逆冲造成地层抬升剥蚀的结果,而非平移拖曳造成。从图 7 还可知,北段断裂两侧岩席的古生代地层平面上仍有右行错动,其水平位移分量为 2~2.5 km,因此北段断裂为扭压或压扭性质。考虑到该断裂南段以挤压为主,两侧岩席没有明显错位,向北过渡到北段时又有较明显的右行错动,因而推断其中段右行错动距离应不大于 2~2.5 km。

横向小型断裂有北东(右行)和北西(左行)两个方向,多发育于岩席内部走向弯曲(褶皱)部位,一般不切穿岩席露头。它们是在岩席形成之后,受到沿走向方向的挤压作用而成的。它们一方面受到推覆岩席的控制,另一方面对推覆岩席的变形发展、乃至现今奇特构造格局的形成有着重要意义,同时也对其揭开现今奇特地貌之谜提供了有益启示。

4 弧形构造带成因分析

本区弧形构造带形成于北西向的应力作用,已取得多数研究者的认同,并有研究者通过野外擦痕、擦线数据的分析,进一步认为其推覆方向为 $320^\circ \sim 345^\circ \angle 48^\circ$ ^[3]。笔者认为弧形构造带的形成,是在该方向区域最大主压应力作用下,首先形成向南—南南东方向推覆的近东西—北东东向弧形推覆断裂和岩席(图 10-A)。随后在区域应力场的持续作用和新的边界条件(弧形断裂和岩席)下,北西向最大主压应力派生出向南和向东的两个分力(派生二级应力场),前者使推覆断裂产生逆冲分量,后者使岩席沿弧形断裂面产生自西向东的滑移,同时形成不同规

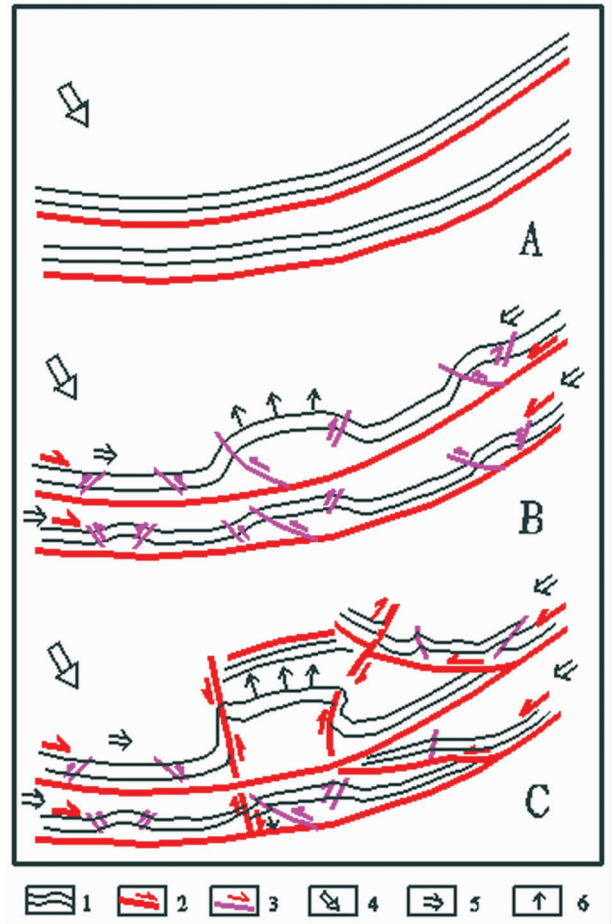


图 10 弧形构造带成因模式

1—岩席露头;2—主要断裂及错动方向;3—小型断裂及错动方向;
4—区域应力场方向;5—由区域应力场派生的二级应力场方向;
6—三级局部应力场方向

Fig.10 A tectonic model for the arc tectonic belts

1—Thrust sheet outcrop; 2—Main fault and its relative moving direction; 3—Small-sized fault and its relative moving direction; 4—Maximum principal stress direction; 5—Direction of second-order stress field induced by maximum principal stress; 6—Direction of third-order stress field induced by second-order stress field

模的褶皱和北东、北西向小型扭性断层(图 10-B)。在该应力场继续作用下,变形进一步发展,出现了以下 3 种情况(图 10-C):北西向小型扭性断层可进一步发展成为较大的左行斜冲断层及岩席,如 2 号、6-7 号断裂及其岩席;随褶皱作用加强,褶皱翼部扭性断层向压性或扭压性转变,并逐步发展、连通成较大的横向断裂,如现今的皮羌断裂和萨尔干断裂(它们的分段性和各段力学性质差异证明了这一点),其中皮羌断裂在前新近纪就有明显活动^[3],它一方面可能控制了各排岩席主褶皱的发育,同时又被主褶

皱翼部断层所叠加;形成第三序次局部应力场及相关变形,如第二排岩席褶皱时向北拱出,推挤其北侧地层,形成了4号断裂北侧的向斜构造和13号岩席;又如由于 f_1 的形成,在派生的东西向二级应力场作用下,皮羌断裂南段与 f_1 之间岩块被向南挤出。

前文所述的第三种构造模式^[3]忽略了皮羌断裂南段的右行扭动特点、横向断裂不同分段性质差异以及横向断裂与岩席褶皱的关系。实际上,从柯坪弧形构造带变形形迹看,很难找到巴楚隆起对其中段构成阻挡作用的踪迹。第二种单纯的逆冲推覆构造模式^[2]忽略了推覆断裂水平运动分量的存在,从而难以合理解释多排岩席之间的复杂关系。第一种走滑或斜冲构造模式^[1],在计算本区断裂的总水平断距时,将各排斜冲断层水平断距按一组平移断层断距简单相加,忽略了本区变形是以斜冲断面为界,各排岩席的水平错动有一定程度的相对独立性特点;同时将斜冲断层水平断距简单当作平移断层断距,如将D点处的水平断距计算为2号断裂的长度,从而得出本区存在如此巨大水平断距(230 km)的结论。事实上,柯坪断隆东西方向全长约300 km,产生如此大的水平断距,其原因尚待研究。

致谢:本文工作得到孙文鹏研究员的大力支持并提出宝贵意见,特此感谢。

参考文献(References):

- [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.
Lu Huafu, Jia Dong, Cai Dongsheng, et al. On the Kalpin transpression tectonics of northwest Tarim [J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(1):49-58(in Chinese with English abstract).
- [2] 贾承造,等.塔里木盆地中新生代构造特征与油气[M].北京:石油工业出版社,2004:123-133.
Jia Chenzao, et al. Structural Features and Petroleum of Mesozoic-Cenozoic in Tarim Basin [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2004:123-133.
- [3] 何文渊,李江海,钱祥麟,等.塔里木盆地柯坪断隆断裂构造分析[J].中国地质,2002,29(1):37-43.
He Wenyuan, Li Jianghai, Qian Xianglin, et al. Analysis of fault structures in the Kalpin fault uplift, Tarim basin [J]. Geology in China, 2002, 29 (1):37-43(in Chinese with English abstract).
- [4] 肖安成,杨树峰,李曰俊,等.塔里木盆地巴楚-柯坪地区新生代断裂系统[J].石油与天然气地质,2005,26(1):78-85.
Xiao Ancheng, Yang Shufeng, Li Yuejun, et al. A studying of Cenozoic fracture systems in Bachu-Kalpin area, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26 (1):78-85 (in Chinese with English abstract).
- [5] 宋方敏,闵伟,韩竹军,等.柯坪塔格推覆体的新生代变形与扩展[J].地震地质,2006,28(2):224-233.
Song Fangmin, Min Wei, Han Zhujun, et al. Cenozoic deformation and propagation of the Kalpintag fold nappe [J]. Seismology and Geology, 2006, 28 (2):224-233(in Chinese with English abstract).
- [6] 曲国胜,李亦纲,陈杰,等.柯坪塔格推覆构造几何学、运动学及其构造演化[J].地学前缘,2003,10(特刊):142-152.
Qu Guosheng, Li Yigang, Chen Jie, et al. Geometry, kinematics and tectonic evolution of Kepintage thrust system [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10 (supp.):142-152 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨晓平,冉勇康,宋方敏,等.西南天山柯坪逆冲推覆构造带的地壳缩短分析[J].地震地质,2006,28(2):194-204.
Yang Xiaoping, Ran Yongkang, Song Fangmin, et al. The analysis for crust shortening of Kalpin thrust tectonic zone, south-western Tianshan, Xinjiang, China [J]. Seismology and Geology, 2006, 28 (2):194-204(in Chinese with English abstract).
- [8] 肖安成,杨树峰,王清华,等.塔里木盆地巴楚-柯坪地区南北向断裂系统的空间对应性研究[J].地质科学,2002,37(特刊):64-72.
Xiao Ancheng, Yang Shufeng, Wang Qinghua, et al. Corresponding relation of S-N-striking fault systems in the Bachu-Kalpin area, Tarim basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37 (supp.):64-72 (in Chinese with English abstract).
- [9] 马德明,陈江力,曾昌民,等.塔里木盆地西北缘柯坪断带的构造变形特征[J].地质力学学报,2007,13(4):340-347.
Ma Deming, Chen Jiangli, Zhen Changmin, et al. Structural deformation characteristics of the Kalpin thrust belt on the northwestern margin of the Tarim basin [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (4):340-347(in Chinese with English abstract).

The striking connection of Cenozoic thrust sheets in Kalpin fault uplift, Xinjiang, and their formation mechanism

FANG Mao-long, WANG Shu-hong, HAN Xiao-qing, ZHAO Shi-qin

(National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: Cenozoic nappe structures in the Kalpin fault uplift constitute a part of southern South Tianshan marginal thrust system. The number of nappe sheets is different from place to place, and the corresponding relationship of the nappe sheets in different parts is not clear because of the disturbance of the dip faults, which forms an unique orocline. The Cenozoic orogenic movement of southern South Tianshan is largely characterized by the deformation of the nappe sheets. By means of TM image interpretation and field geological investigation, the structural features at the intersects between the dip faults and the nappe sheets and the minor structures which can show the formation information of the nappe sheets were studied in detail. On the basis of the study, the disturbed nappe sheets in different parts of the uplift were connected successfully and the number of the nappe sheets was identified as well. A tectonic model has been suggested, which holds that the disturbed nappe sheets resulted from folding and fault slipping in the striking direction of the nappe sheets when they thrust southeast under the NW-striking maximum principal compression stress, and the dip faults originated from the minor faults that occurred in the wings of the folded nappe sheets.

Key words: Kalpin fault uplift; nappe sheet; nappe sheet connection; formation mechanism

About the first author: FANG Mao-long, male, born in 1961, senior researcher, mainly engages in the study of uranium geology, structure geology and remote sensing geology; E-mail: wyh64964478@sina.com.