

塔里木地块北部横向构造及断条模式

李 涛¹ 王宗秀²

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要:塔里木盆地北部与西南天山毗邻区域发育的浅部构造系统是喀什坳陷—柯坪塔格逆冲推覆构造带—库车前陆坳陷冲断带, 它们在山前以 1~3 排方式平行造山带展布, 是一套由底板滑脱断坪和断坡构成的逆冲推覆系统, 具有明显的横向分段性; 该区深部构造系统却是一组以北西向为主展布的断条构造, 并可以划分出 4 个一级断条构造。笔者从构造层变形、重力、航磁异常场及天然地震平面分布密度等几个角度, 对区内深部横向构造系统进行了研究, 并利用天然地震深度/频次统计结果, 识别出圈层拆离解耦面的深度分布, 进而探讨了深部横向构造运动的岩石圈地壳圈层归属, 对区域北西向横向构造系统做了详细的论述。本文选择喀拉玉尔滚断裂带和库尔勒断裂带进行重点解剖, 研究了横向构造与浅部构造的转换关系, 最终提出了塔里木地块北部断条构造几何学运动学模式, 即塔里木地块深部向北西方向运动受到古西南天山的阻挡性约束而“被迫”俯冲, 岩石圈地壳发生拆离解耦, 原有的横向构造——北西向构造带(断裂带)被激活, 使得俯冲系统以断条为单位进行俯冲; 在俯冲过程中, 岩石圈地壳的拆离及横向构造被激活的方向是从约束体(南天山)附近开始, 向塔里木盆地(北部)的腹地方向推进, 因此, 越是接近造山带区域, 断条俯冲状态的差异越明显, 横向分段性越突出; 而正因为塔里木地块以断条形式向南天山的俯冲行为, 使得山前坳陷冲断带(及天山)发生分段。

关键词:陆内造山; 盆山耦合; 断条构造; 深浅构造转换; 塔里木盆地; 天山

中图分类号: P542*.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0014-14

陆内(板内)造山所构建的区域性盆山格局及其构造耦合是汇聚单元在岩石圈尺度上进行的过程, 造山带及山前构造带同受深部构造的控制, 浅部的构造变形与深部构造有着复杂而有机的联系^[1]。与经典洋陆俯冲构造关系中岩石圈整体俯冲的状态明显不同的是, 由于大陆岩石圈鲜明的多圈层、多界面结构的特点, 在板内汇聚过程中, 地块的俯冲多采取顺层拆离解耦的方式进行, 因此比较而言, 尽管深部驱动(比如说软流圈运动)方式可能没有什么变化, 但是深浅圈层的构造关系却明显复杂了。在所有拆离解耦界面中, 中地壳低速层是最为活跃的圈层, 并在变形转换中起着“承上启下”的重要作用。研究表明, 克拉通地块强拆离解耦区在平面上仅局限于盆山过渡带区域, 而腹地以整体方式运动, 拆离解耦行为这种“边缘化”的特点显示, 地块运动的前方受到了约束, 为满足继续位移的需要, 拆离解耦、分层俯冲均是此类地块为适应变形条件的选择^[2]。约束状态的差异以及俯冲单元断裂结构两方面的原因, 还使得地块的横向构造被激活, 俯冲活动便以断条为单位进行。基底断条方式的俯冲控制着山

前坳陷以分段方式活动, 从浅坳陷到深坳陷再向冲断带演化。野外考察、地震层析成像、地球物理探测和 GPS 等多项成果已经证明, 塔里木地块岩石圈新生代向北俯冲, 山前发生拆离解耦并引发西南天山的再造山, 导致了山前构造带的配套发育, 新生代以及现今仍在继续着的天山与塔里木盆地盆山的构造耦合作用^[3-29]。

塔里木盆地北部与西南天山毗邻的浅部的构造带是喀什坳陷—柯坪塔格逆冲推覆构造带—库车前陆坳陷冲断带, 它们在山前以 1~3 排方式展布, 是一套由底板滑脱断坪和断坡构成的逆冲推覆系统, 在向南的逆冲过程中发育起来的断展—断弯褶皱构造, 该构造带与山体总体平行展布, 年龄由山体向盆地方向逐渐变新, 是典型的由前陆坳陷以前展方式发育起来的逆冲推覆构造带^[30-42]; 而深部构造系统却是一组以北西向为主展布的断裂构造, 由 4 个一级横向构造带分划出 4 个断条构造, 组成一个运动学统一的深部变形系统。

由于深部横向构造的分划及活动, 塔里木地块的俯冲是以“断条”方式而不是整体的方式进行的。而每个俯冲断条为

收稿日期: 2005-07-05; 改回日期: 2005-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572116)资助。

作者简介: 李涛, 男, 1953 年生, 副研究员, 从事大陆变形过程、构造地质学及石油构造研究; E-mail: litao1953@163.com。

调整与相邻单元在运动学关系上的差异而必赖于侧边缘构造带,因此,在以断条为俯冲基本单位时,俯冲系统便会发育多个侧边缘构造带,它们或者是新生的构造带,或者是原有的断裂带;根据它们所处构造部位的不同还可以分为两类:断条之间的构造带和俯冲系统边缘带,后者通常就是盆山边界断裂带。

在岩石圈地壳圈层结构的制约下,克拉通盆地区深部断条构造通常不简单出露地表,而是经过一个或多个岩石圈地壳的拆离解耦层时不断变换变形样式,以复杂方式完成深浅构造的转换^[1-2],并在总体上表现为横向分段性,如柯坪塔格逆冲推覆构造带与库车前陆拗陷冲断带分异、库车前陆拗陷冲断带本身的分段等等。另外,造山带的分段性也受其控制。

以往在深部横向构造方面的研究比较薄弱,仅有少数文献涉及^[43-45],并且主要论述的是造山带,对塔里木盆地最多只是提出有横向构造的存在,而在它们的几何学运动学方面、

大地构造意义上,特别是在构建盆山耦合关系上的作用和意义几乎没有任何实质性的论述。针对此,笔者重点对区内横向构造系统作一研究,分析深部横向构造的几何学运动学特征,以俯冲系统内部的喀拉玉尔滚断裂带和俯冲系统边缘带的库尔勒断裂带为例,研究不同构造位置上横向构造的变形几何学运动学特征及深浅转换方式。在对横向构造所做的研究中,笔者利用了地质、地震反射层、布格重力异常、航磁异常等地球物理场资料以及大地电磁测深、人工地震宽角折射/反射探测等资料进行构造综合解释,除此之外,笔者还创造了利用天然地震的空间分布密度信息来解译横向构造平面展布,以及根据地震的深度/频次统计规律,识别标定横向构造发育的岩石圈地壳层位的研究方法。

研究横向构造的理论意义在于:断条构造观点的提出为在陆内造山背景下,克拉通盆地与造山带构造耦合的基本方式和深浅构造的转换提供了新的重要的思路;而研究横向构

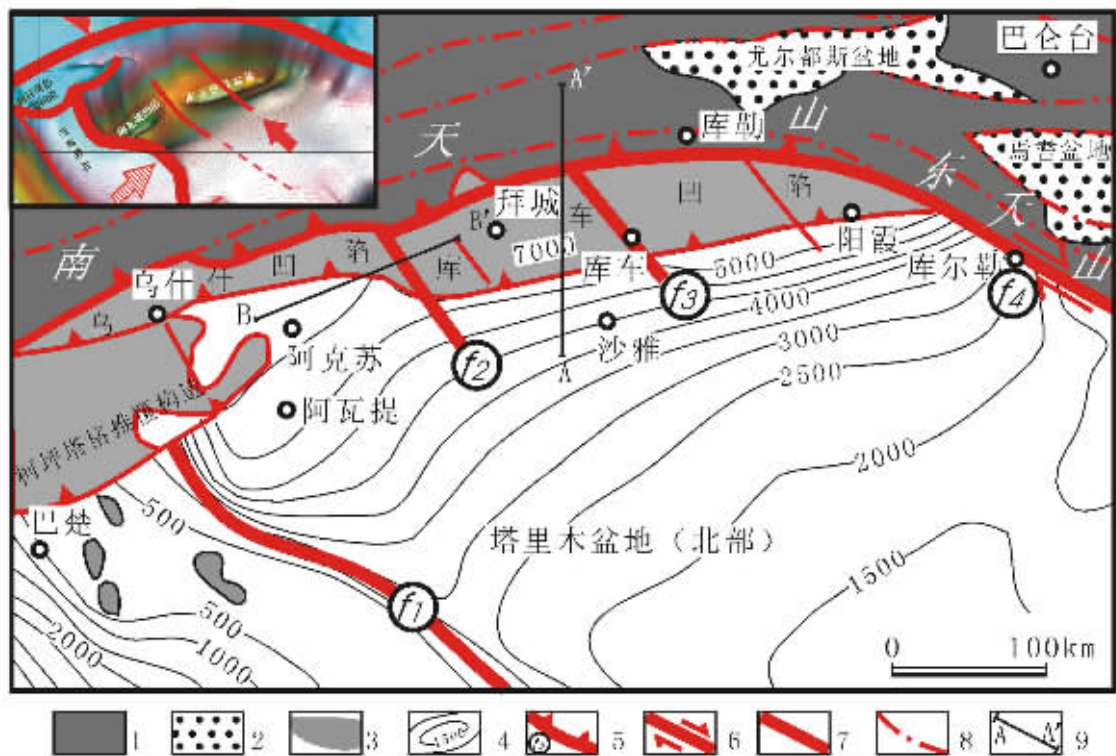


图 1 塔里木盆地北部—西南天山构造略图

- 1—古生界及元古界;2—造山带内中新代盆地;3—库车拗陷;4—新生界厚度等值线;5—逆冲断裂;6—盆山边界走滑断裂;
- 7—盆地内盖层横向断裂;8—造山带内断裂;9—廊带及地震剖面线。盆地区域重要横向断裂;f1—吐木休克断裂带;f2—喀拉玉尔滚断裂带;
- f3—库车河断裂带;f4—库尔勒断裂带。左上角插图表示塔里木盆地内两大变形运动系统的概略关系

Fig.1 Tectonic sketch map of the southwestern Tianshan in the northern part of the Tarim basin

- 1-Proterozoic and Paleozoic;2-Meso-Cenozoic basin in the orogenic belt;3-Kuqa depression;4-Contour of thickness of Cenozoic strata;
- 5-Thrust;6-Strike-slip fault along the mountain-basin boundary; 7-Transverse fault in sedimentary cover in the basin;8-Fault in the orogenic belt;
- 9-Corridor and seismic profile. Major important transverse faults at the basin scale:f1-Tumuxiuke fault zone;f2-Karayulgun fault zone;
- 3-Kuqa river fault zone;f4-Korla fault zone. The inset at the upper left corner shows the broad relationship between two main deformation systems in the Tarim basin

造的实际意义在于:克拉通盆地油气的运聚不单是具体油气构造的行为,深部过程起到提供动力和通道的重要作用,没有深部流体的运动就没有浅部油气的运聚^[46-48],而发育于深部的横向构造可以起到这个作用;另外分段性作为盆山耦合关系和耦合带的重要变形几何学运动学属性,其对造山带多金属矿产的成矿条件、矿床分布以及后期改造都有着重要的影响。因此,研究深部控制性构造的分布和活动规律,研究其几何学运动学特点,划分新的运动状态的活动构造单元类型,具有重要的理论和现实意义。

1 塔里木盆地北部的横向构造系统

1.1 构造层显示的横向构造系统

在中亚地区,在近东西向展布的天山造山带与周缘盆地的盆山格局构造背景上,最为醒目的横向构造是一组大型北西向断裂带,这组构造在塔里木盆地基底也有显示。

塔里木盆地发育有横向构造系统,并以NW向构造最为醒目。塔里木盆地北部基底的构造形态是:以吐木休克北西向断裂带为界,在其以北,基底为向北西倾斜状,而在其以南巴楚隆起以南的塔西南地区呈向南西倾斜状。该区域自西向东主要的断裂带有4条:吐木休克断裂带(f₁)、喀拉玉尔滚断裂带(f₂)、库车河断裂带(f₃)和库尔勒断裂带(f₄)。这些断裂带的几何学运动学特征以及大地构造属性并不完全相同(图1)。

吐木休克断裂带发育于巴楚凸起与阿瓦提凹陷之间的斜坡带,其北段为右行走滑性质,而向南渐变为向北东逆冲为主的挤压逆冲断裂带,因而是个复合性构造。吐木休克断裂带以右行走滑活动与喀拉玉尔滚断裂带等其他横向断裂带构成塔北变形运动系统;而吐木休克断裂带的向北东的逆冲活动又与巴楚凸起、麦盖提斜坡带以及塔西南的边缘前陆盆地带构成另一个变形运动系统。关于后一运动系统以及这两个系统的关系,笔者拟另文论述。

喀拉玉尔滚断裂带为分划盆地区内次级构造的走滑断裂带,该断裂带是乌什凹陷与库车凹陷、温宿凸起与塔北隆起带的分界构造。喀拉玉尔滚断裂带为典型的右行走滑性质,剖面呈正花状样式,地表显示为雁列状且南端向东偏转,变为逆冲断裂并逐渐收敛到东西向构造带上。

库车河断裂带的几何学运动学特征与喀拉玉尔滚断裂带大同小异,只是规模略小。

库尔勒断裂带既是库车坳陷的边界断裂,同时又是区域盆山边界断裂——其北西向直线段是东天山与塔里木盆地东北缘的边界断裂段,为典型的右行走滑性质,而向北沿着盆山边界进入库车坳陷的北缘延伸并转为北倾东西走向的产状,成为南天山与塔里木盆地的边界断裂,力学性质转变为挤压的逆冲断裂,总体平面形态呈“L”形。在塔里木盆地向西南天山下俯冲过程中,库尔勒断裂带表演着克拉通地块俯冲侧边界的角色,走滑断距向南东逐渐变小。

塔里木盆地北部基底构造等深线显示前寒武地层顶部

埋深为10~15 km,根据等值线形态变化等,可识别出4个断条—断坪构造①、②、③、④;f₁、f₂、f₃和f₄为掀断层—侧断坡,f_a为基底前断坡;断条②的几何学运动学状况属于上述两个断裂系统的过渡转换构造,故十分复杂;断条③④与南天山的仰冲行为相伴而生(图2)。

根据断裂发育的位置、克拉通内古生代以来盖层厚度等值线变化规律以及断裂的定年数据等可知,f₁、f₂和f₃是塔里木盆地克拉通内部断裂,具多期活动性,f₄为克拉通与古造山带(海西期)哈尔克构造带之间的分界构造。

1.2 北西向构造在地球物理场及地震数据处理图上的表现

1.2.1 布格重力异常显示的横向分段性

新疆及邻区的布格重力异常与该区的盆山格局有较好的对应性。大致以乌鲁木齐为界,天山地区以带状负异常形式展布,沿带异常值有自东向西呈现递减的趋势,库车坳陷所相邻的是天山异常带最窄的段落;天山异常带的形态呈平面扭曲状,且宽度时宽时窄不甚稳定,并由此显示出岩石圈地壳大尺度的横向分段性;塔里木盆地的布格重力异常场表现为正异常值分布区,在正异常场背景中,发育两个超高的正异常区:即巴楚凸起正异常区和库尔勒以东高正异常区。库车坳陷恰位于这两个高异常区之间,即呈现次高的正异常状态。这样,库车坳陷(包括塔里木盆地的北部地区在内),其实处于一个相对独立的岩石圈地壳结构构造区段,这个区段东西两个边界线均呈北西向展布,由此显现出盆地区岩石圈地壳的大尺度的横向分段性。

在库车坳陷及邻区的布格重力异常等值线图(图3),重力异常等值线显示出以下重要的细部特征:第一,重力异常值自南东向北西呈现递减的趋势,并在库车坳陷与塔北隆起带的过渡位置附近变为“快速”递减状,显示岩石圈地壳(的密度分布状态)在此发生陡变下凹的变化;第二,由于重力值的快速递减,使得库车坳陷与相邻的西南天山(的密度分布)具有更为紧密的联系,成为塔北地区在地貌和大地构造意义上归属于盆地单元,而在重力异常场上却又归属于造山带的独特的构造单元;第三,库车坳陷的布格重力异常等值线自西向东形态具有明显规则的变化,并可划分出4个区段:①拜城凸起区段的超高重力异常区带;②温宿凸起—阿瓦提斜坡带的较低的重力异常值,该区段与巴楚凸起的超高重力异常值线相邻显示的北西向特征构造带;③库车坳陷与乌什坳陷之间的重力异常等值线形态转换带;④过库车县黑英山一带的北西向特征构造带。其中②带的西边界与喀拉玉尔滚断裂带相对应。

对比平行库车坳陷展布方向上造山带、库车坳陷区和盆地区的布格重力异常的变化情况可见,库车坳陷的分段数量最多,而造山带其次,盆地区除去因巴楚凸起与阿瓦提斜坡带的关系而显示的明显分段外,库车坳陷南缘盆地区的分段性最不明显。纵剖面首先说明密度质量所代表的岩石圈地壳的结构构造在库车坳陷及邻区具有不同程度的横向变化性,而库车坳陷的横向变化最为典型。

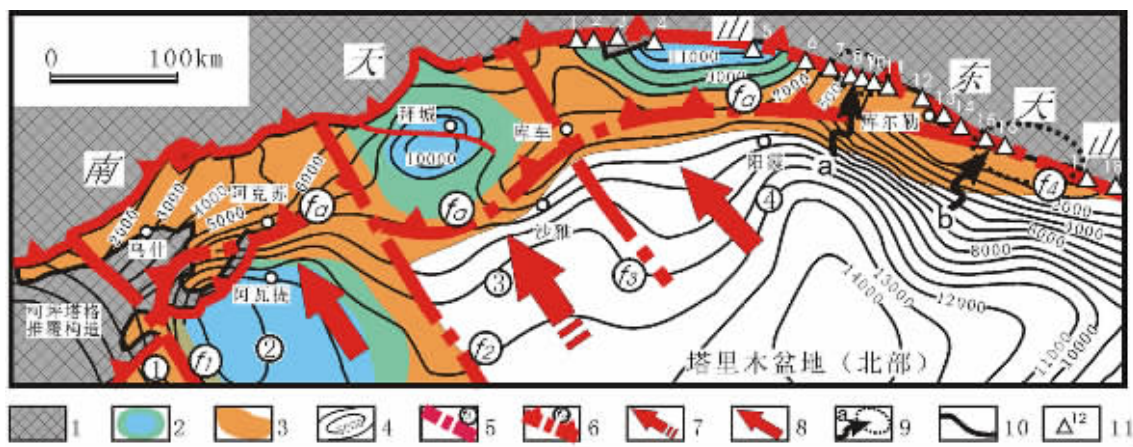


图 2 塔里木盆地北部基底埋深等值线图的构造解译图(等值线为前寒武顶界面埋深,等值线单位为 m)

1—造山带;2—断坪向斜;3—断坡背斜;4—前寒武顶界面埋深等值线;5—断层;6—基底前断坡;7—低角度俯冲;8—高角度俯冲;
9—断条④侧边界 f4 运动方式转折点;10—盆缘线;11—地层断距数据点。基底可识别出 4 个断条即基底断坪构造①、②、③、④;f1、f2、f3、f4 为基底断层即侧断坡;fa 为基底前断坡。4 个断条以断坪—断坡结构方式发育,并控制库车前陆冲断带的分段

Fig.2 Structural interpretation of the contours of the basement depths in the northern part of the Tarim basin (the contour is the depth of the top surface of the Precambrian, unit:m)

1—Orogenic belt;2—Flat syncline;3—Ramp anticline;4—Burial depth contour of Precambrian top surface; 5—Tear fault;6—Basement front ramp;
7—Low-angle subduction;8—High-angle subduction;9— Transition point of f4 movement on the lateral boundary of fault sliwer ④;
10—Boundary of basin;11—Data point of displacement. Four fault sliwers can be identified in the basement, i.e. flat structures of basement ①, ②, ③ and ④;f1, f2, f3 and f4 are basement tear faults, i.e. lateral ramps;fa is the basement front ramp. The four fault sliwers developed in the flat—ramp style, which controlled the segmentation of the Kuqa foreland thrust belt

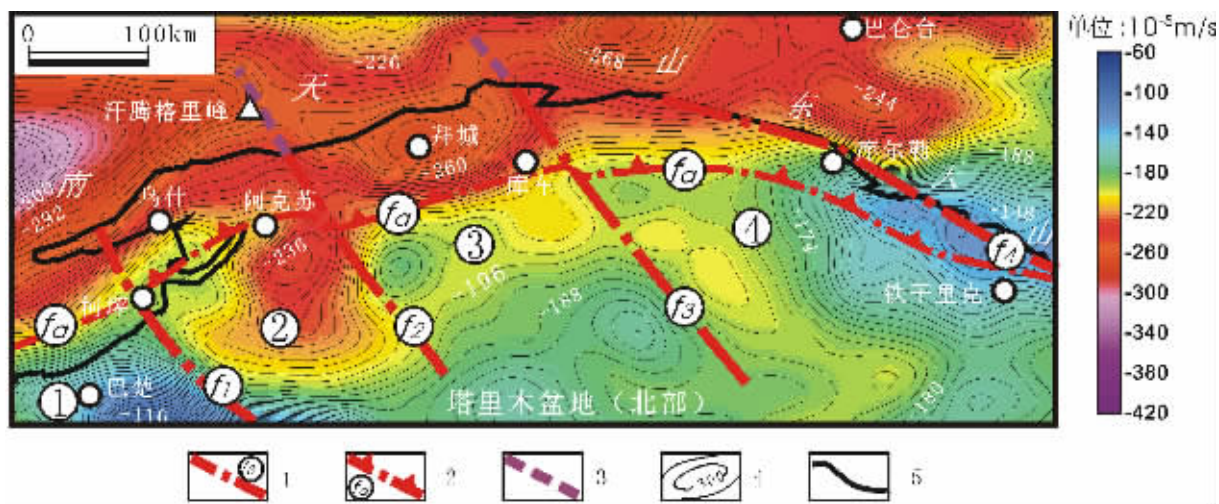


图 3 库车坳陷及邻区布格重力异常等值线的横向构造解译

1—断层;2—前断坡;3—推测断层;4—布格重力异常等值线;5—盆缘线
布格重力异常图上可识别出 4 个莫霍面断条①②③④;f1、f2、f3、f4 为莫霍面断层;fa 为莫霍面前断坡

Fig.3 Transverse structural interpretation of the Bouguer anomaly contours of the Kuqa depression and its adjacent areas

1—Tear fault;2—Front ramp;3—Inferred tear fault;4—Contour of the Bouguer gravity anomaly;5—Boundary of basin. In the Bouguer gravity anomaly map, four fault sliwers of the Moho (①, ②, ③ and ④) can be identified;f1, f2, f3 and f4 are tear faults of the Moho and fa is the front ramp of the Moho

为突出横向分段性,笔者还对库车拗陷及邻区的布格重力异常数据进行了数据滤波和北东方向一阶水平求导,得到库车拗陷及邻区布格重力异常北东向一阶导数,所揭示的库车拗陷的横向分段性更为清晰,即可分出4个北西向展布的断条,拗陷区的梯级带变化速率比西南天山及拗陷以南的盆

地区要大的多,其中喀拉玉尔滚断裂带的重力梯级带表现最为突出。

该区根据布格重力异常场换算得到的莫霍面埋深在50~55 km^[9],形态样式与布格重力异常等值线图高度吻合,因此,布格重力异常等值线所给出的构造格局应该代表岩石圈地

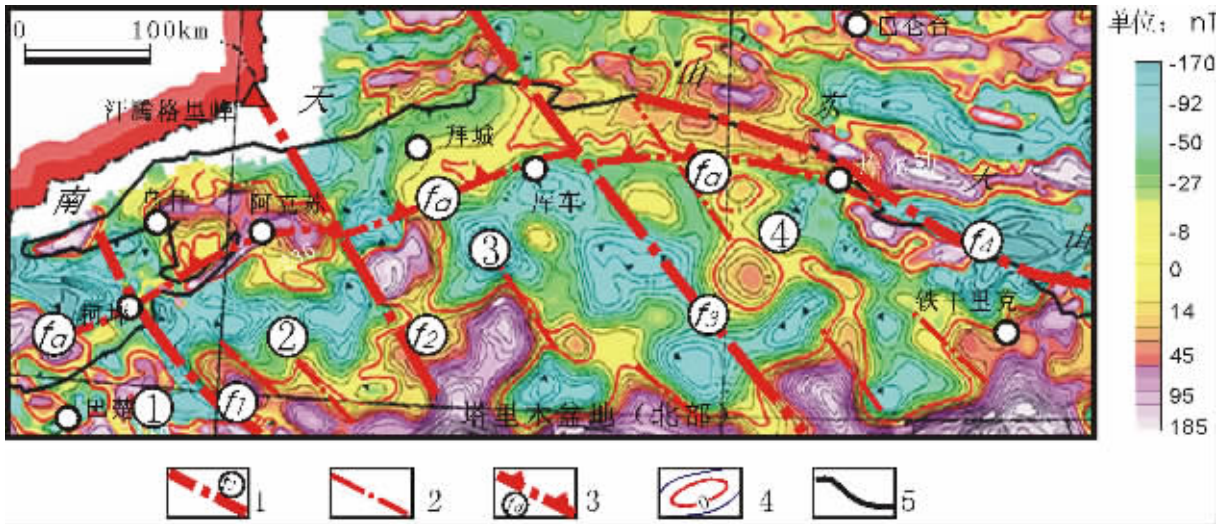


图4 库车拗陷及邻区航磁异常(ΔT)的横向构造解译

1—主要掀断层;2—次要掀断层;3—前断坡;4—航磁异常(ΔT)等值线;5—盆缘线
航磁异常(ΔT)图上可识别出4个断条①、②、③、④;f1、f2、f3、f4为掀断层;fa为前断坡

Fig.4 Transverse structural interpretation of aeromagnetic anomaly (ΔT) in the Kuqa depression and its adjacent areas
1—Major tear fault;2—Minor tear fault;3—Front ramp;4—Contour of aeromagnetic anomaly (ΔT);5—Boundary of basin. In the aeromagnetic anomaly (ΔT) map, four fault slivers (①, ②, ③ and ④) can be identified;f1, f2, f3 and f4 are tear faults and fa is the front ramp

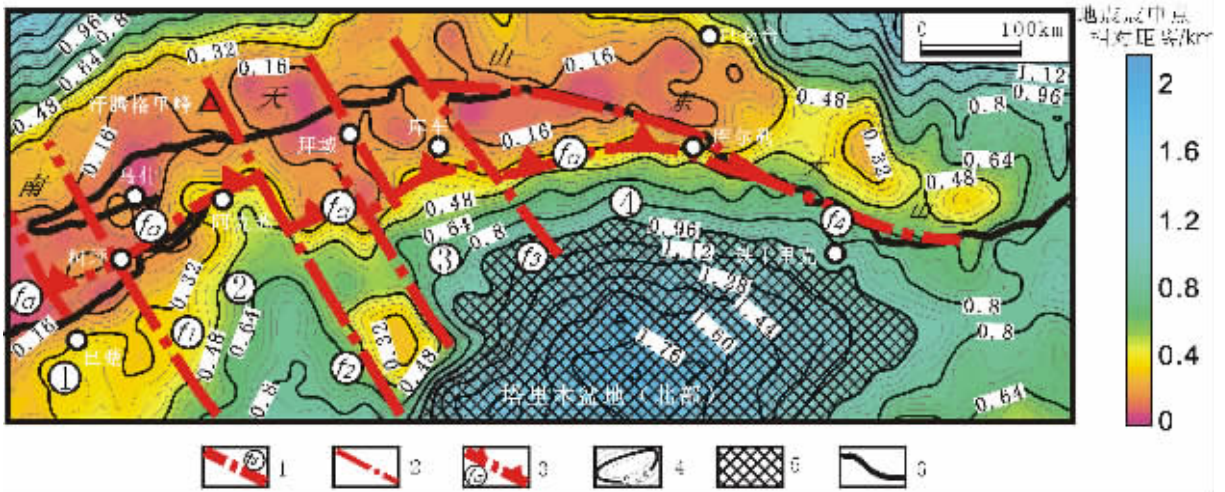


图5 塔里木盆地北部天然地震平面分布密度色阶图

1—主要掀断层;2—次要掀断层;3—前断坡;4—地震平面分布密度等值线;5—塔里木地块未拆离区域;6—盆缘线
地震平面分布密度图上可识别出4个中地壳断条①、②、③、④;f1、f2、f3、f4为中地壳掀断层;fa为中地壳前断坡

Fig.5 Color ranks of earthquake distribution density in the northern part of the Tarim basin
1—Major tear fault;2—Minor tear fault;3—Front ramp;4—Density contours of earthquake distribution in plan;5—Non-detachment region in the Tarim block;6—Boundary of basin. In the map, four midcrustal fault slivers (①, ②, ③ and ④) can be identified;f1, f2, f3 and f4 are midcrustal tear faults and fa is the midcrustal front ramp

幔或者下地壳下部深度层次的结构构造情况。

1.2.2 航磁异常场的横向构造识别

在航磁异常 ΔT 图(图4)上,塔北及库车拗陷以面状磁异常为特征,进入西南天山异常值有所增高,但仍以磁异常为主。根据航磁异常的色阶仍可以识别出异常的分区性,并可以分出4个主要的横向区段,其中喀拉玉尔滚断裂带分区界线表现得最为突出。

据该区居里面埋深资料可知^[45],航磁异常(ΔT)场所给出的是该区域36~40 km深度以上的圈层的结构情况,由于该古生界为一套海相沉积层,而中新生界也几乎无磁性,因此,航磁异常场所反映的应该是20~40 km深度范围圈层的结构构造状态,即中地壳—下地壳上部的结构构造。

1.2.3 天然地震活动性识别的横向构造

为获得岩石圈拆离解耦状态的平面分布状态,笔者利用天然地震的震中平面分布进行了密度统计。统计的数据源是中国地震局监测的1970—2000年地震原始记录,该区域共有有效记录8000多条。

计算地震平面分布密度采用的是“最小距离法”。首先将研究区域内的地震数据进行平面位置的离散化处理,再以每个地震数据点为中心、以合理数值为搜索半径的球区进行空间划分,然后计算中心点与球区内其他数据点之间的距离并找出最小距离,以此最小距离作为该中心点的 z 值,依此类推得到研究区所有点的 z 值,编制成塔里木盆地北部地震平面分布密度色阶(等值线)图(图5)。在该图上可以清楚地看到,地震密集带分布在塔里木盆地北部的盆山过渡带处。地震等密度色阶沿盆缘线方向上呈不均匀的展布,显示出较清楚横向分段性。从该图上可以识别4条具有一定规模的横向构造,自西向东编号依次为 f_1 、 f_2 、 f_3 和 f_4 ,它们均呈NW向展布(另外, f_a 也有很好的表现)。可以看出,它们出现的位置、展布方向、运动方式甚至规模都与构造层及其地球物理场解译的横向构造具有较好的对应性。

由于地震反映的是块体(现今)的活动性,地震密集程度的分段性及其横向变化规律所揭示的就是断条的活动性差异,所以这张图不仅具有几何学的分段意义,而且还有变形运动学含义。

为获得库车拗陷及其北缘造山带岩石圈地壳圈层拆离解耦状态的更为确切的平面—深度分布状况,笔者以区内所有地震震源的深度为 z 值,在多个方向上试算了震源散点深度的水平变化率(水平梯度值)。经与区域构造格局、地质地球物理场等资料的对比发现,北东 50° 方向的一阶散数方案最为理想,由于震源深度所对应的是主拆离界面,震源深度的横向变化速率其实是等价于不同拆离程度的区块的分布状况,即速率等值线和缓变化的面状区对应于相近拆离程度的区块,而快速变化的密集带则是拆离程度相同(或相近)区块之间的分界带,这些分界带通常就是区块的边界断裂带,分界带表征的就是区域的深部横向分段性。

对该图的构造解析结果是:塔里木盆地北部及西南天山为一组平行的、由北西向线性构造所分割的条块状—板条(断条)构造组成,在库车拗陷范围内,自西向东可以划分出大小7个断条;随向南进入库车拗陷以南的盆地区,面状区块的面积逐渐变大,断条逐渐变宽,并减少到4个。

横向构造的平面形态既有直线状的,也有L形的,断条边界构造带的平面位置与其他方法获得的边界带并不准确对应,说明它们一般不是简单的直立深切的产状,其中位置和形态等几何学要素的对应性较高的是位于乌什凹陷与库车拗陷之间横向构造带,即为喀拉玉尔滚断裂带的深部表现。

1.3 天然地震活动性识别的圈层拆离解耦面的深度分布

笔者曾对全国地震数据按构造分区进行过大量的频次/深度的统计,结果表明,各区的深度/频次直方图总体趋势具有共性:由浅至深先以指数方式递增,至频次达最大峰值后又以对数方式递减,但频次极大值数量、最大值的深度各区又不相同,经地震深反射速度的标定,频次的峰值深度与相应区域的岩石圈地壳界面具有较好的对应性。因此,此种统计方法确定的拆离解耦面是具有明确的构造和结构上的意义的。

编制深度/频次直方图的目的是找出主、次拆离解耦层的深度段。深度/频次直方图的做法是:将数据区内的每个有效的地震记录作为一个样本,按深度将样本进行分段(组),统计每个深度段样本的个数,即地震发生的次数,比选各深度间隔方案,并以确定的深度间隔进行分组统计各组的数量,最后绘制出地震深度/频次直方图。据此得出了库车拗陷及北缘造山带的4个主拆离解耦界面(图6)。

对地震震源深度分布的频次统计显示,在5~6 km、11~12 km、19~20 km和40~42 km处有4个峰值,由于震源深度统

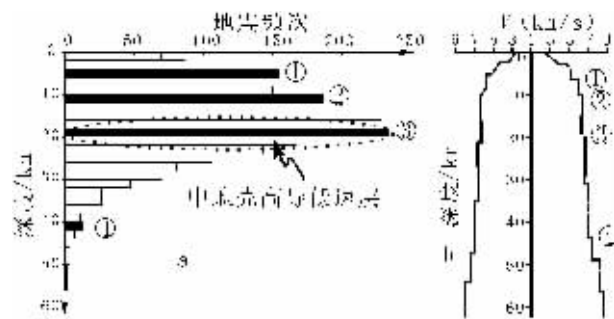


图6 库车拗陷及北缘造山带地震震源深度/频次直方图(a)及岩石圈—维速度/深度模型(b)

- ①褶皱基底: $v=6.07\text{km/s}$;②结晶基底: $v=6.9\text{km/s}$;
③中地壳底界面: $v=7.2\text{km/s}$;④莫霍面: $v=8.1\text{km/s}$

Fig.6 (a) Focal depth—frequency histogram of earthquakes in the Kuqa depression and orogen to its north, (b) 1D velocity—depth model of the lithosphere

- ① Folded basement: $v=6.07\text{km/s}$;② Crystalline basement: $v=6.9\text{km/s}$;
③ Midcrustal basal boundary: $v=7.2\text{km/s}$;④ Moho surface: $v=8.1\text{km/s}$

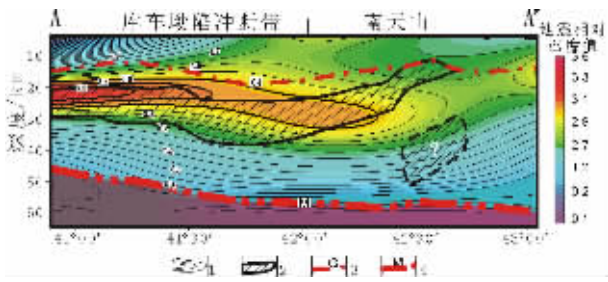


图7 库车/南天山盆山耦合带天然地震震源深度分布廊带趋势面与MT解释成果叠合图(廊带剖面线位置见图1)
1—震源深度趋势面等值线;2—中地壳高导低速层(体)(高导低速层据胥颐等,1996);3—盖层底界面;4—莫霍面

Fig.7 Overlapped diagram of the corridor trend surface analysis of focal depth distribution and MT interpretation in the Kuqa depression-South Tianshan Mountains coupling zone (for the location of the corridor section, see Fig. 1)
1—Contour of trend surface of focal depth;2—Midcrustal high-conductance, low-velocity layer (body)(high-conductance, low-velocity layer from Xu Yi et al., 1996);
3—Basal surface of cover;4—Moho surface

计频次中的峰值代表拆离层主要发生的深度位置,与库车一维速度-深度模型对比可见(图6),它们分别对应于同区实测的地壳G、G1、C1和M速度界面,说明这些速度界面同时也是构造活跃的界面。

从横过库车/南天山盆山耦合带的南北向廊带区地震记录的震中/深度投影剖面(图7)中可看出,图中等值线及色阶是地震震级深度分布的5次趋势面,表示圈层活动性的深度

分布状态。该廊带剖面最显著的特征是活动性的垂向变化:在20~30km的深度范围,即中地壳发育一个地震能级高值区(层),并以此高值区为“轴”,向上和向下能级均呈递减下降状。该高值区呈波状起伏形态,在对应于库车拗陷及其与北缘造山带的过渡处呈下凹状,并随着深入进南天山里而逐渐变浅;在高值区之上库车拗陷区的范围内趋势面还显示有南北分异,应为发生在上地壳-褶皱基底层中的拆离解耦行为。

在过库车/南天山地区的南北向大地电磁测深剖面(MT)上揭示,在20~30km深度范围发育的是中地壳的高导低阻层(图7),而这个高导低阻层在拜城—大柴旦地震折射/反射探测测线的二维速度结构上又是中地壳内的层状低速体。这就是说,库车/南天山盆山耦合带的岩石圈圈层之间的活动,主要是利用了强度相对较弱中地壳,对中地壳的拆离解耦行为导致了地震频次的最大峰值③及地震能级趋势面的高值区带的层段的发育,成为该区域岩石圈最主要的顺层拆离解耦层段。

统计显示,塔里木盆地北部地震数据中的85%是分布于20~30km深度范围内的,对应于该区域中地壳的深度范围。因此,由此识别出来的横向构造其实是中地壳低速层的结构构造。

2 横向构造的深浅及平面转换关系——以喀拉玉尔滚断裂带和库车拗陷东缘边界断裂为例

2.1 喀拉玉尔滚断裂带的深浅转换分析

在ETM影像图上,盆地区内喀拉玉尔滚断裂带呈雁列状展布,串联长度约80km;每个单条断裂均呈L形,即自北

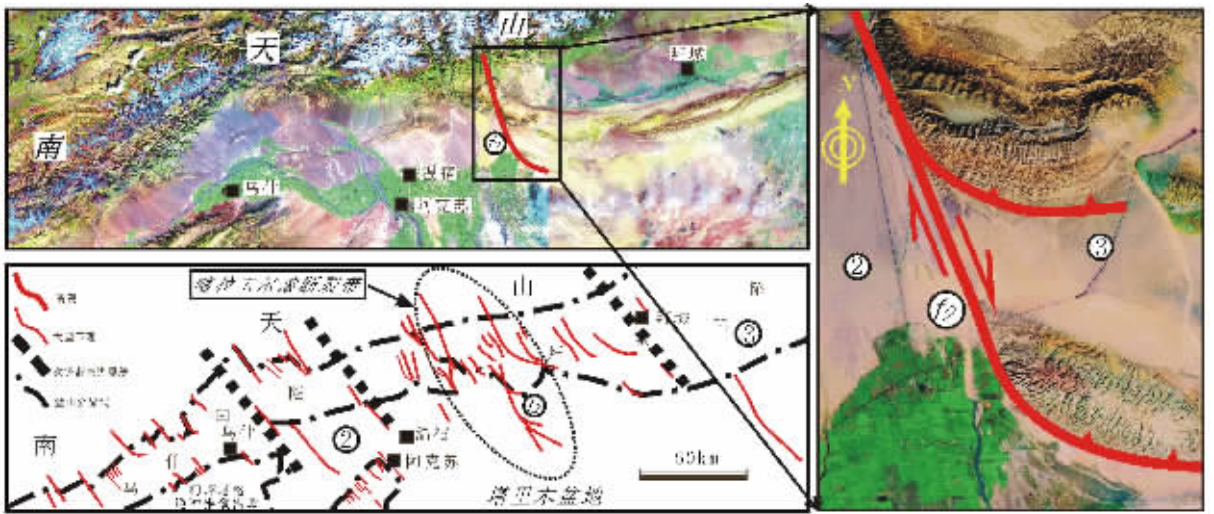


图8 库车拗陷与乌什拗陷过渡区段及喀拉玉尔滚断裂带(f2)ETM影像及横向断裂的解译

Fig.8 ETM image and interpretation of transverse faults in the Karayulgun fault belt (f2) and transition zone between the Kuqa depression and Wushi depression

向南由北北西向直线状渐变为北西向—北西南向,并分别控制相应的背斜;背斜由古近系—新近系构成,统一发育于断裂的东侧(图 8),从派生背斜与主干断裂的几何学关系上可以判断出断裂带为右行走滑。可以清楚地看到,断裂的 L 形产状与所切错的地层的产状关系密切:从北向南,起初断裂切层发育,到逐渐转换顺层发育,地层断距渐变为 0,各段的运动学性质由走滑转换为顺层逆冲。可根据与地层产状的关系将断裂分为 3 段:①切层走滑段、②斜冲转换段和③顺层挤压逆冲段。雁列式产状是盆地区表层横向断裂的一般变形形式,这种构造样式实际体现了浅部变形是受到深部断裂的控制。

为说明库车坳陷深浅构造转换关系,笔者把反映横向变

化的断条构造与反映垂向变化的岩石圈地壳的拆离解耦层的深度分布情况放到一起,结合地震反射剖面等资料,进行了深浅构造转换关系的综合研究。并以该区横向关系中最典型的断条②和③的转换构造——喀拉玉尔滚断裂带为代表,编绘了库车坳陷深浅构造转换关系的立体模式图(图 9)。

喀拉玉尔滚断裂带的浅部构造样式已由地震反射剖面控制。在过温宿凸起—乌什凹陷—拜城凹陷的 WS03—553 地震测线的构造解释剖面上(图 9 上图),拜城凹陷与乌什凹陷这两个构造单元是以深浅两套东倾的逆冲推覆构造方式过渡;上部推覆构造是一套叠瓦状构造,沿此逆冲断裂带,拜城凹陷的中新生界以多个逆冲体,逆冲到西侧乌什凹陷的新生

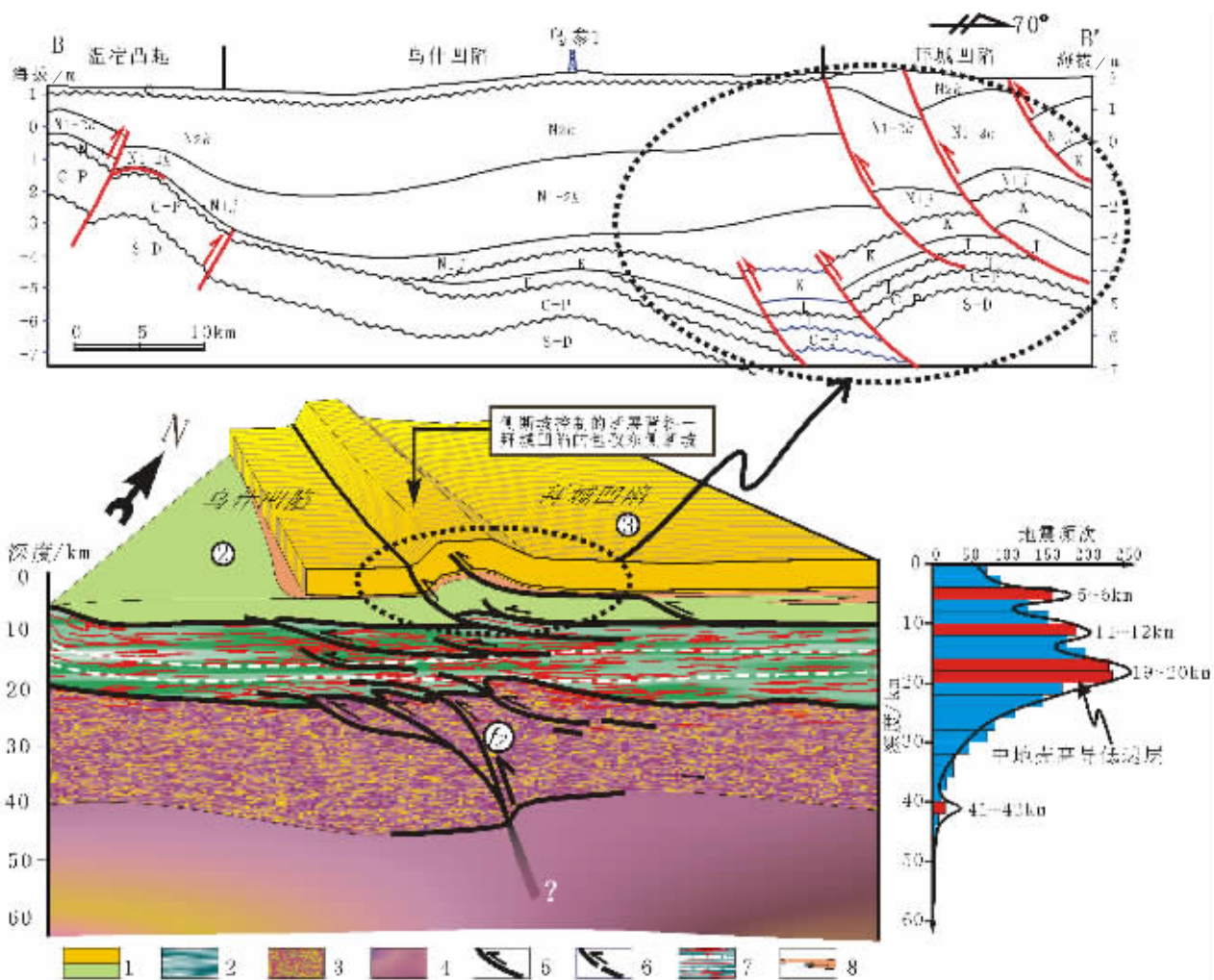


图 9 库车拜城凹陷-乌什凹陷构造转换的深浅关系模式图

1—中生界;2—古生界—元古界;3—前寒武系基底;4—岩石圈地幔;5—断裂;6—推测断裂;7—主拆离层;8—古近—新近系膏岩层
 上图为温宿凸起—乌什凹陷—拜城凹陷(WS03—553 测线)构造剖面(剖面位置见图 1);右图为地震深度/频次直方图

Fig.9 Deep and shallow tectonic transformation model of the Kuqa and Wushi subbasin

1—Meso—Cenozoic;2—Proterozoic—Paleozoic;3—Precambrian basement;4—Lithospheric mantle;5—Fault;6—Inferred fault;7—Main detachment;
 8—Tertiary evaporite layer. The upper map is the structural section across the Wensu rise - Wushi subbasin - Baicheng subbasin (WS03-553 profile) (see Fig. 1 for location); the right map is the focal depth—frequency histogram of earthquakes

界之上。从逆冲断裂的铲式产状向下有渐变为顺层的趋势来看,这套高角度的叠瓦扇应该是接续深部断坪的断阶部分,推断断坪的深度在 5~6km;深部的逆冲断裂组是与一个以古生界为核的背斜(包孜东构造)相伴生的构造,该背斜呈不对称状,轴面东倾,显示其与断裂组有着协调一致的运动学属性,推测这组发育于背斜的西翼高角度逆冲断裂向深部倾角变缓直至顺层,是该区域在 10~12km 深度上的重要拆离滑脱层—断坪的前缘上盘断坡部分,包孜东构造是受到这套坪—坡系统控制的断展背斜。这两个断坪与库车地区天然地震深度频次统计的峰值中 5~6 km、11~12 km 两个主拆离层有很好的对应性(图 9 右图)。已知该区断条运动是指向北西方向的,所以上述两套逆冲推覆构造的高角度部分只是断条运动的“侧断坡”。

在库车地区天然地震深度频次统计的峰值中,以 20 km 为中值深度范围内的中地壳为最主要的拆离层,地震以最高的密度分布在该层段,说明该层段是以“顺层”的、透入性的、剪切变形为主的方式活动,因此,喀拉玉尔滚断裂带在这个深部位置上可能没有直接以高角度方式切过,而是以层间拖曳来驱动盖层运动和变形。

由震源深度分布的横向变化梯度等值线图、布格重力异

常的水平一阶导数等值线图以及航磁异常场所确定的断条②和③之间的直线状转换构造,所对应的是喀拉玉尔滚断裂带的深部发育产状。

根据相关的多层试件剪切行为变化的实验模型,再结合圈层力学性状的差异,该断裂带会以不同的变形样式在地壳各层、上地幔等不同速度层内进行复杂的转换;在上地幔以单条断裂的形式发育,向上进入下地壳后转换为花状构造,进入中地壳后以层间拆离方式活动,在上地壳(元古界—古生界为主)以大尺度断坪—断坡方式活动,变形表现为韧性剪切褶皱及相关构造,在中新生界内主要以沿膏岩层的顺层滑脱方式活动为主,并在地壳浅部以侧断坡控制盖层的变形,直至直接控制地表的变形。

2.2 库车坳陷东端收敛方式及盆山边界断裂关系

从库车坳陷东端收敛方式及盆山边界断裂关系图上(图 10)可以看到:第一,库车坳陷东侧的边界断裂为库尔勒断裂带斜体为斜冲—右旋走滑性质;第二,山前洪积扇在东西向段落密集成排发育,而进入走滑范围后急剧减少表明差异升降的幅度明显变小;第三,盆山地形高差自北西向东南逐渐变小。

库车坳陷基底与北缘、东缘造山带边界断裂带地层断距

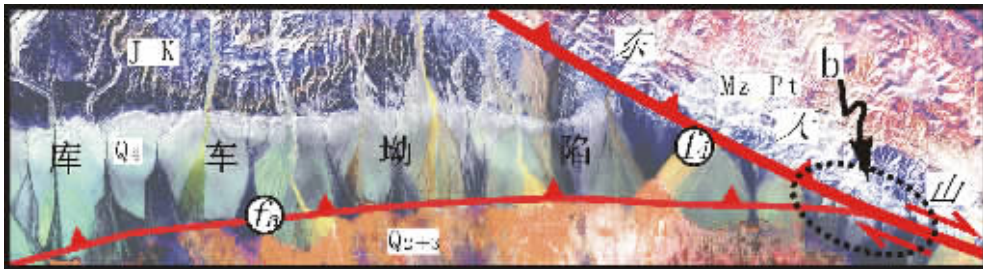


图 10 库车坳陷东端收敛方式及盆山边界断裂(据 ETM 解译)

Fig.10 Convergence pattern and basin-range boundary fault at the eastern end of the Kuqa depression (after the interpretation of ETM images)

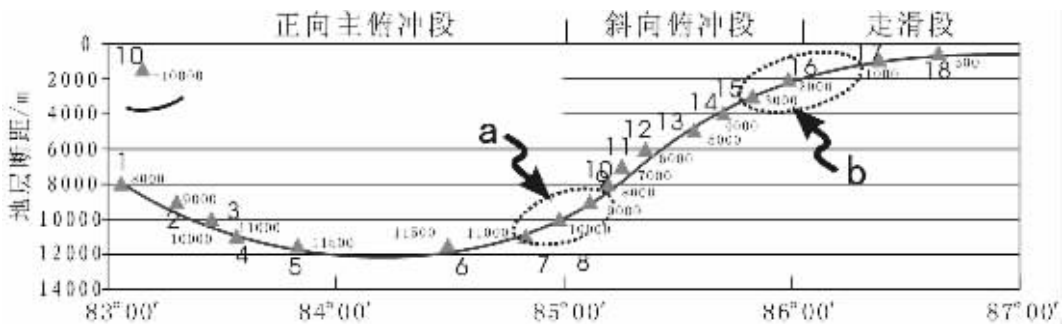


图 11 库车坳陷基底与北缘、东缘造山带边界断裂带地层断距图(地层断距数据点位置见图 2)

Fig.11 Fault displacements of the basement of the Kuqa depression and strata in the boundary fault zones of the orogenic belts on the northern and eastern margins of the depression (for the location of data points of fault displacements of strata, see Fig. 2)

显示,库车坳陷前寒武系顶界面构造形态与北缘造山带地层为断裂接触关系。断裂上盘地层为元古界、海西期花岗岩、泥盆系、石炭系和新生界;下盘为盆地区基底-前寒武系。盆地基底的逆冲推覆构造前断坪④与逆冲推覆构造断坡 f4 构成库车东北侧边界断裂(库尔勒断裂带)的深部关系。该断裂带产状的几何学转变关键点有两个,由曲线箭头 a、b 分别代表。其中 a 为正向俯冲变为斜向俯冲的转换点;b 为斜向俯冲变为走滑的转换点。以沿 f4 采集的下盘的前寒武系顶界面埋深值为纵坐标,以经度为横坐标,得到一组等价于断层的地质断距的数据,编制了 f4 的地质断距图(图 11)。由图可见,f4 地质断距呈由西向东递减的规则变化,据几何学转变关键点可以分为 3 段:a 点以西为 f4 的正向俯冲断坪段,断距最大但变化很小;a、b 点之间为 f4 的斜向俯冲段,断距居中,并呈向南东逐渐变小趋势;b 点以南东为 f4 的走滑段,断距最小,且结合孔雀河斜坡带与库鲁克塔格山的构造关系可知,断距有向东变为零的趋势。该区域盆地地形高程差异的

规则变化也反映最新活动仍循此规律。f4 断裂带运动性质和断距的系统性变化,清晰地揭示出了塔里木北部基底向北西俯冲变形强度的变化规律,而库车坳陷的定位和向东的收敛是与南天山的强烈约束、东天山弱-无约束状态直接对应、密切相关的。

3 模式及结论

3.1 模式

图 12 是塔里木盆地北部断条构造几何学运动学模式图。该模式所揭示出来的要点是:塔里木地块向北西方向运动因受古天山的阻挡性约束作用而俯冲,岩石圈发生拆离解耦,原有的或新生的北西向构造带的活动,使得俯冲活动以断条为单位展开;由于各断条几何学(如深度、前端形态等)特点以及约束状态的差异,诸断条或以相对较小的倾角俯冲(可称为平推)或以相对较大的倾角俯冲;岩石圈地壳的层间拆离及横向构造的激活生长是一个过程,即拆离、激活的方向是从约束体

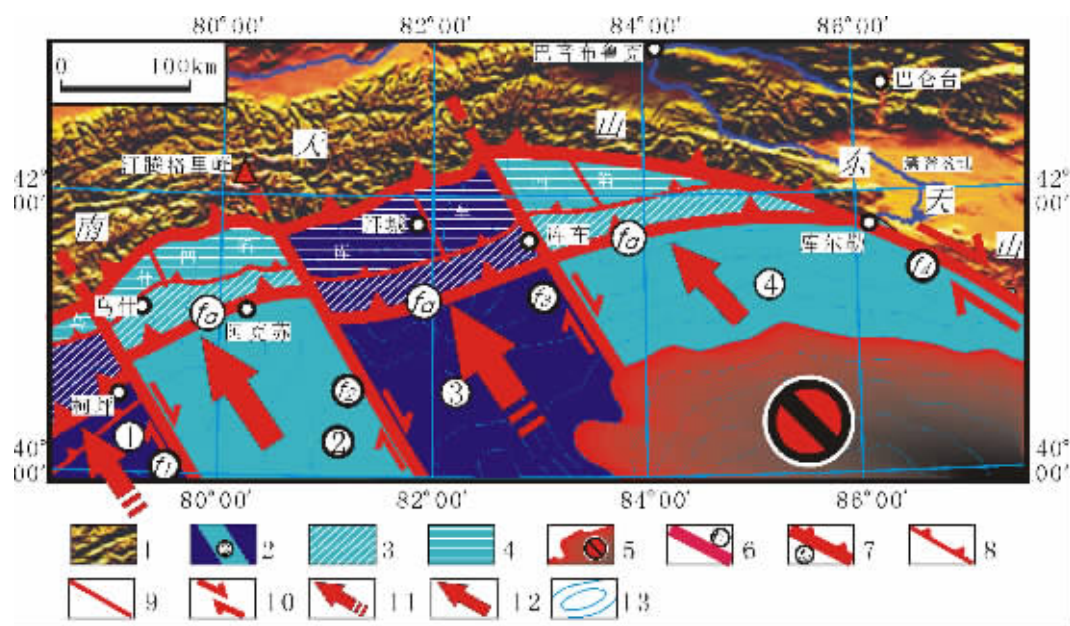


图 12 塔里木盆地北部断条模式

- 1—造山带;2—基底断条及编号(上断坪);3—基底断条前断坡;4—基底断条下断坪;5—塔里木地块钉区(无拆离区);6—基底断条侧边界(掀断层);7—基底断条前断坡迹线;8—浅层冲断带(库车前陆冲断带及柯坪塔格逆冲推覆构造前缘冲断带);9—盖层次级分段断裂;
- 10—断条相对走滑方向;11—基底断条俯冲;12—基底断条平推方向(小角度);13—地震分布密度等值线;①—柯坪—巴楚俯冲断条;
- ②—乌什—阿克苏平推断条;③—拜城—阿拉尔俯冲断条;④—库车—轮台平推断条。f1、f2、f3、f4 为基底掀断层即侧断坡;fa 为基底前断坡

Fig.12 Fault sliver model in the northern part of Tarim basin

- 1—Orogenic belt;2—Basement fault sliver and its number (upper flat);3—Front ramp of basement fault sliver; 4—Lower flat of basement fault sliver;
- 5—Nail region of the Tarim block (non-detachment region);6—Lateral boundary of basement fault sliver (tear fault);7—Front ramp trace line of basement fault sliver;8—Shallow thrust belt (Kuqa foreland thrust zone and leading thrust zone of Kalpin Tagh thrust nappe structure);
- 9—Secondary segmented faults in the sedimentary cover;10—Relative strike-slip direction of fault slivers;11—Subduction of fault slivers of basement;
- 12—Strike-slip direction of fault slivers of basement (low angle);13—Density contours of earthquake distribution
- ①—Kalpin-Bachu subducted fault sliver;②—Wushi-Aksu strike-slip fault sliver;③—Baicheng-Aral subducted fault sliver;
- ④—Kuqa-Luntai strike-slip fault sliver. f1, f2, f3 and f4 are basement tear faults (lateral ramp);fa is the basement front ramp

(南天山)开始,向塔里木盆地(北部)的腹地—钅区方向演进,虽各断条均以断坪—断坡结构方式俯冲,但由于俯冲状态的不同,使得基底横向分段性凸现,并控制着前陆拗陷冲断带的分段,形成①柯坪—巴楚俯冲断条、②乌什—阿克苏平推断条、③拜城—阿拉尔俯冲断条和④库车—轮台平推断条组合的基底变形运动系统;随塔里木地块向南天山下的俯冲,南天山新生代强烈再造山隆升,并在与俯冲断条对应的位置发育起柯坪塔格逆冲推覆构造带、库车前陆拗陷冲断带,其中,前陆盆地的弧形外凸的反冲区段对应于大角度俯冲断条、前陆盆地的凹进区段对应于小角度俯冲平推断条,而走滑边界恰对应于前陆冲断带的收敛完结端。基底断条方式还是西南天山分段的主因,该山链两个大尺度的弧形构造分别与基底断条②和③相对应,因此,喀拉玉尔滚断裂带是南天山/库车拗陷盆地耦合关系中最具分划意义的区域横向构造,盖层的库车拗陷与乌什拗陷也正是以此转换构造为界的。

3.2 结论

通过对塔里木盆地及其北缘造山带—南天山构造背景、基底横向构造的几何学运动学特征、山前构造带及造山带的分段性以及深浅构造转换关系的研究,可以得出以下几点结论:

①克拉通俯冲是驱动造山带隆升、前陆拗陷及山前冲断带发育的直接因素,而古造山带(或其他类型的单元汇聚边界)是作为约束体而存在,它是造山带及山前拗陷、冲断带定位的根据。

②在克拉通地块俯冲过程中,区域古构造格局中原有的横向构造从隐伏不活动的状态中被激活而重新活动,构成俯冲系统的内边界,使得俯冲活动以断条方式进行;而俯冲系统的侧边缘利用盆山单元边界断裂方式活动。

③大陆岩石圈地壳特有的分层结构,使得地块运动受约束阻挡时,发生深浅分异:深部以断条方式俯冲,而浅部则山前拗陷进而演化为山前反冲构造带,深部断条构造控制着山前构造带(及造山带)的分段。

参考文献(References):

- [1] 李涛,王宗秀,周高志,等.新疆博格达山分段及深浅构造转换关系[J].地学前缘,2004,11(3):103~114.
Li Tao, Wang Zongxiu, Zhou Gaozhi, et al. The segmentation and the relationship between shallow and deep structures of Bogda Mountain, Xinjiang, Northwest China[J]. Earth science frontiers, 2004, 11(3): 103~114(in Chinese with English abstract).
- [2] 李涛,王宗秀.塔里木盆地及邻区岩石圈拆离解耦与盆山格局关系的天然地震分析[J].地学前缘,2005,12(3):125~136.
Li Tao, Wang Zongxiu. The lithospheric decoupling of Tarim basin and adjacent area and its relationship with basin—mountain pattern by analysis of natural earthquake[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 125~136(in Chinese with English abstract).
- [3] 赵俊猛,李植纯,马宗晋.天山分段性的地球物理学分析[J].地学前

缘,2003,10(特刊):125~131.

Zhao Junmeng, Li Zhichun, Ma Zongjin. Geophysical evidence for segmentation of the Tianshan[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10: 125~131(in Chinese with English abstract).

- [4] 高锐,肖序常,高弘,等.西昆仑—塔里木—天山岩石圈深地震探测综述[J].地质通报,2002,21(1):11~18.
Gao Rui, Xiao Xuchang, Gao Hong, et al. Summary of deep seismic probing of the lithospheric structure across the West Kunlun—Tarim—Tianshan[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(1): 11~18(in Chinese with English abstract).
- [5] 张光亚.塔里木盆地北部构造转换形式及其成因[J].现代地质,1997,11(4):453~460.
Zhang Guangya. Tectonic transfer style and its origin in northern Tarim basin[J]. Geoscience, 1997, 11(4): 453~460(in Chinese with English abstract).
- [6] 蔡学林,彭大钧,刘援朝,等.塔里木盆地变形构造格局及其动力学模式——兼论楔入造山推覆成盆作用[J].成都理工大学学报,1997,24(2):29~39.
Cai Xuelin, Peng Dajun, Liu Yuanchao, et al. Tectonic framework and dynamic model of Tarim basin: implication for wedging orogenesis[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24(2): 29~39(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈杰,丁国瑜, Burbank D W, 等.中国西南天山山前的晚新生代构造与地震活动[J].中国地震,2001,17(2):134~155.
Chen Jie, Ding Guoyu, Burbank D W, et al. Late Cenozoic tectonics and seismicity in the south western Tianshan, China[J]. Earthquake Research in China, 2001, 17(2): 134~155(in Chinese with English abstract).
- [8] 单汝俊,吴燕冈.塔里木盆地东部边缘区深部构造研究[J].长春科技大学学报,1999,29(4):377~381.
Shan Rujian, Wu Yangang. The deep structure study in east margin of Tarim basin[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1999, 29(4): 377~381(in Chinese with English abstract).
- [9] 傅碧宏.柯坪隆起的新构造运动变形及其卫星影像特征研究[J].新疆地质,1995,13(3):283~290.
Fu Bihong. Neotectonic deformation satellite imageries of Kalpin up lift in Tarim basin[J]. Xinjiang Geology, 1995, 13(3): 283~290(in Chinese with English abstract).
- [10] 高俊,何国琦,李茂松.西天山造山带的构造变形特征研究[J].地球学报,1997,18(1):1~9.
Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong. Studies on the features of the structural deformations in the western Tianshan orogenic belt[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(1): 1~9(in Chinese with English abstract).
- [11] 高俊,何国琦,李茂松,等.新疆南天山大地构造研究新进展[J].中国区域地质,1996,(1):58~63.
Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong, et al. New advances in the study of the tectonics in the south Tianshan mountains, Xinjiang[J]. Regional Geology of China, 1996, (1): 58~63(in Chinese with English abstract).

- [12] 高俊,肖序常,汤耀庆,等.西南天山构造地层学初步研究[J]. 地质学杂志,1995,19(2):122~128.
Gao Jun, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, et al. Preliminary research on the tectonostratigraphy in the southwestern Tianshan mountains [J]. Journal of Stratigraphy,1995,19 (2):122~128 (in Chinese with English abstract).
- [13] 殷秀华,黎益仕,刘占坡.塔里木盆地重力场与地壳上地幔结构[J]. 地震地质,1998,20(4):370~378.
Yin Xiuhua, Li Yishi, Liu Zhanpo. Gravity field and crust-upper mantle structure over the Tarim basin [J]. Seismology and Geology,1998,20(4):370~378(in Chinese with English abstract).
- [14] 胥颐,王克元,奥斯潘诺夫,等.乌鲁木齐-库尔勒地震转换波测深[J]. 内陆地震,1997,11(3):202~211.
Xu Yi, Wang Keyuan, Ospannov, et al. Seismic converted wave sounding on Urumqi-Kuerle profile[J]. Inland Earthquake,1997,11 (3):202~211(in Chinese with English abstract).
- [15] 魏素花,薛光琦,钱辉,等.新疆库车-克拉玛依地震层析成像[J]. 地球物理学进展,2000,15(4):46~54.
Wei Suhua, Xue Guangqi, Qianhui, et al. Xinjiang Kuche-Kelamayi seismic tomography [J].Progress in Geophysics, 2000,15 (4):46~54(in Chinese with English abstract).
- [16] 李强,刘瑞丰,杜安陆,等.新疆及毗邻地区地震层析成像[J]. 地球物理学报,1994,37(3):311~320.
Li Qiang, Liu Ruifeng, Du Anlu, et al. Seismic tomography of Xinjiang and adjacent region [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1994,37(3):311~320(in Chinese with English abstract).
- [17] 胥颐,刘福田,刘建华,等.天山地震带的地壳结构与强震构造环境[J]. 地球物理学报,2000,43(2):184~193.
Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua, et al. Crustal structure and tectonic environment of strong earthquakes in the Tianshan earthquake belt [J]. Chinese Journal of Geophysics,2000,43 (2):184~193 (in Chinese with English abstract).
- [18] 胥颐,刘福田,刘建华.天山上地幔结构及其对壳内构造运动的作用[J]. 地震地质,1998,20(4):405~412.
XU Yi, Liu Futian, Liu Jianhua. Upper mantle structure in the Tianshan and its geodynamic role to crustal tectonic movement[J]. Seismology and Geology,1998,20 (4):405~412 (in Chinese with English abstract).
- [19] 胥颐.天山地震活动区的深部构造特征[J]. 新疆地质,1996,14(2):135~142.
Xu Yi. Deep-seated tectonics in active earthquake zones of Tianshan [J]. Xinjiang Geology,1996,14 (2):135~142 (in Chinese with English abstract).
- [20] 胥颐.重力均衡与天山的构造运动[J]. 内陆地震,1996,10(3):209~216.
Xu Yi. Gravitational isostasy and tectonic movement in Tianshan [J]. Inland Earthquake, 1996,10 (3):209~216 (in Chinese with English abstract).
- [21] 胥颐,冯先岳,Б.И.萨茨洛夫.天山地区的深部速度结构[J]. 地震地质,1996,18(4):375~381.
Xu Yi, Feng Xianyue, V.I.Shatsilov. Deep velocity structure in the Tianshan region [J]. Seismology and Geology, 1996,18(4):375~381 (in Chinese with English abstract).
- [22] 胥颐,刘福田,刘建华.天山上地幔结构及其对壳内构造运动的作用[J]. 地震地质,1998,20(4):405~412.
Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua. Upper mantle structure in the Tianshan and its geodynamic role to crustal tectonic movement [J]. Seismology and Geology, 1998,20 (4):405~412 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张培震,王敏,甘卫军,等. GPS 观测的活动断裂滑动速率及其对现今大陆动力作用的制约[J]. 地学前缘,2003,10(特刊),81~92.
Zhang Peizhen, Wang Min, Gan Weijun, et al. Slip rates along major active faults from GPS measurements and constraints on contemporary continental tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10:81~92(in Chinese with English abstract).
- [24] 沈正康,王敏,甘卫军,等.中国大陆现今构造应变率场及其动力学成因研究[J]. 地学前缘,2003,10(特刊):93~100.
Shen Zhengkang, Wang Min, Gan Weijun, et al. Contemporary tectonic strain rate field of Chinese continent and its geodynamic implications [J]. Earth Science Frontiers, 2003,10:93~100(in Chinese with English abstract).
- [25] 王琪,张培震,马宗晋.中国大陆现今构造变形 GPS 观测数据与速度场[J]. 地学前缘,2002,9(2):415~429.
Wang Qi, Zhang Peizhen, Ma Zongjin. GPS database and velocity field of contemporary tectonic deformation in continental China [J]. Earth Science Frontiers, 2002,9(2):415~429(in Chinese with English abstract).
- [26] Burchfiel B C, Deng Q, Molnar P, et al. Intracrustal detachments within zones of intracontinental deformation [J]. Geology,1989,17:452~478.
- [27] Royden L H, Burchfiel B C, King R W, et al. Surface deformation and lower crustal flow in Tibet [J]. Science,1997, 276:788~798.
- [28] 张培震,王琪,马宗晋. 中国大陆现今构造运动的 GPS 速度场与活动地块[J]. 地学前缘,2002,9(2):430~441.
Zhang Peizhen, Wang Qi, Ma Zongjin. GPS velocity field and active crustal blocks of contemporary tectonic deformation in continental China [J]. Earth Science Frontiers, 2002,9(2):430~441(in Chinese with English abstract).
- [29] 张培震,王琪,马宗晋. 青藏高原现今构造变形特征与 GPS 速度场 [J]. 地学前缘,2002,9(2):442~450.
Zhang Peizhen, Wang Qi, Ma Zongjin. GPS velocity field and active crustal deformation in and around the Qinghai-Tibet plateau [J]. Earth Science Frontiers, 2002,9 (2):442~450 (in Chinese with English abstract).
- [30] 杨庚,钱祥麟,李茂松,等.塔里木北缘库车盆地冲断构造平衡地质剖面研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1996,21(3):295~299.
Yang Geng, Qian Xianglin, Li Maosong, et al. Balanced cross-sections of Kuche fold-thrust belt in Kuche basin, northern Tarim

- []]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(3): 295~299 (in Chinese with English abstract).
- [31] 杨庚, 钱祥麟. 库车拗陷沉降与天山中新世代构造活动[J]. 新疆地质, 1995, 13(3): 264~274.
Yang Geng, Qian Xianglin. Subsidence of the Kuqa depression and Mesozoic—Cenozoic structural reactivations in Tianshan [J]. Xinjiang Geology, 1995, 13(3): 264~274 (in Chinese with English abstract).
- [32] 何文渊, 李江海, 钱祥麟. 塔里木盆地已楚断隆中新世代的构造演化[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(4): 539~546.
He Wenyan, Li Jianghai, Qian Xianglin. The Meso—Cenozoic evolution of Bachu fault—uplift in Tarim basin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2000, 36(4): 539~546 (in Chinese with English abstract).
- [33] 周新桂, 孙宝珊, 李跃辉, 等. 库车拗陷滑脱推覆构造成因及油气评价[J]. 地质力学学报, 1999, 5(2): 71~76.
Zhou Xingui, Sun Baoshan, Li Yaohui, et al. Mechanism of formation of decollement thrust zone and the prospect of oil—gas in Kuqa depression in north Tarim basin [J]. Journal of Geomechanics, 1999, 5(2): 71~76 (in Chinese with English abstract).
- [34] 张臣, 郑多明, 李江海. 柯坪段隆古生代的构造属性及其演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 314~318.
Zhang Chen, Zheng Duoming, Li Jianghai. Attribute of Paleozoic structures and its evolution characteristics in Keping fault—uplift [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 314~318 (in Chinese with English abstract).
- [35] 汪新, Hubert—Ferrari A, Suppe J. 晚更新世以来南天山阿克苏地区地壳缩短率[J]. 地质科学, 2001, 36(2): 195~202.
Wang Xin, Hubert—Ferrari A, Suppe J. Shortening rate since late Pleistocene in Aksu area, southern flank of Tianshan, China [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(2): 195~202 (in Chinese with English abstract).
- [36] 汪新, 贾承造, 杨树锋. 南天山库车褶皱冲断带构造几何学和运动学[J]. 地质科学, 2002, 37(3): 372~384.
Wang Xin, Jia Chengzao, Yang Shufeng. Geometry and kinematics of the Kuqa fold and thrust belt in the southern Tianshan [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(3): 372~384 (in Chinese with English abstract).
- [37] 汪新, 贾承造, 杨树锋, 等. 南天山库车冲断褶皱带构造变形时间[J]. 地质学报, 2002, 76(1): 55~63.
Wang Xin, Jia Chengzao, Yang Shufeng, et al. The time of deformation on the Kuqa fold—and—thrust belt in the southern Tianshan—based on the Kuqa River area [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(1): 55~63 (in Chinese with English abstract).
- [38] 汪新文, 陈发景, 李光, 等. 塔北库车拗陷的变形特征及其与油气关系[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(1): 40~50.
Wang Xinwen, Chen Fajing, Li Guang, et al. Deformation characteristics of Kuqa depression, north Tarim basin and its relation [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(1): 40~50 (in Chinese with English abstract).
- [39] 丁道桂, 刘伟新, 崔可锐, 等. 塔里木中新世代前陆盆地构造分析与油气领域[J]. 石油实验地质, 1997, 19(2): 97~107.
Ding Daogui, Liu Weixin, Cui Kerui, et al. Tectonic analyses and hydrocarbon domains in the Mesozoic and Cenozoic foreland basins of Tarim [J]. Experimental Petroleum Geology, 1997, 19(2): 97~107 (in Chinese with English abstract).
- [40] 张传恒, 周洪瑞, 王自强, 等. 南天山造山带中段推覆体内部变形及其与逆冲构造的关系[J]. 新疆地质, 1998, 16(4): 307~314.
Zhang Chuanheng, Zhou Hongrui, Wang Ziqiang, et al. Internal deformation of the nappes in the middle part of South Tianshan orogen and its relationship to thrust structures [J]. Xinjiang Geology, 1998, 16(4): 307~314 (in Chinese with English abstract).
- [41] 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 Wenyan, 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).
- [42] 崔泽宏, 王志欣, 汤良杰. 塔北隆起北部叠加断裂构造特征与成因背景分析[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 378~385.
Cui Zehong, Wang Zhixin, Tang Liangjie. Characteristics of overlapped faults in the north of the Tabei uplift and analysis of their genetic setting [J]. Geology in China, 2005, 32(3): 378~385 (in Chinese with English abstract).
- [43] 王学潮, 何国琦, 李茂松, 等. 浅论反天山构造[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 193~203.
Wang Xuechao, He Guoqi, Li Maosong, et al. Superficial view of anti—tianshan structural zone [J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(3): 193~203 (in Chinese with English abstract).
- [44] 王志刚, 李林. 中亚天山地区横向构造的航天遥感分析[J]. 环境遥感, 1996, 11(4): 273~279.
Wang Zhigang, Li Lin. Geological remote sensing of the transverse structures in Tianshan area [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 11(4): 273~279 (in Chinese with English abstract).
- [45] 胡霭琴, 张国新, 陈义兵, 等. 新疆大陆基底分区模式和主要地质事件的划分[J]. 新疆地质, 2001, 19(1): 12~19.
Hu Aiqin, Zhang Guoxin, Chen Yibing, et al. A model of division of the continental crust basement and the time scales of the major geological events in the Xijing—based on studies of isotopic geochronology and geochemistry [J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(1): 12~19 (in Chinese with English abstract).
- [46] 徐常芳. 中国大陆岩石圈结构、盆地构造和油气运移探讨[J]. 地质前缘, 2003, 10(3): 115~127.
Xu Changfang. The study of lithospheric tectonics and basin formation of Chinese mainland and migration of oil and gas [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 115~127 (in Chinese with English abstract).
- [47] 秦胜飞, 贾承造, 陶士振. 塔里木盆地库车拗陷油气成藏的若干特征[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 103~108.
Qin Shengfei, Jia Chengzao, Tao Shizhen. Some characteristics of oil and gas accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin [J].

Geology in China, 2002,29(1):103~108(in Chinese with English abstract).

[48] 康玉柱.塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J].中国地质,2002,30(3):315~319.

Kang Yuzhu .Geological characteristics of the formation of the large Tahe oilfield in the Tarim basin and its respects [J].Geology in

China,2002,30(3):315~319(in Chinese with English abstract).

[49] 鲁新便,杨林.新疆塔里木盆地及邻区深部岩石圈结构特征[J].新疆地质.1996,14(4):289~296.

Lu Xinbian,Yang Lin.Deep-seated lithospheric structure of Tarim basin and neighboring area of Xinjiang[J].Xinjiang Geology, 1996, 14(4):289~296(in Chinese with English abstract).

Transverse structure and model of fault slivers in the northern part of the Tarim block

LI Tao¹, WANG Zong-xiu²

(1. *Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100029, China)*

Abstract: The shallow tectonic system in the northern Tarim basin adjacent to the southwestern Tianshan Mountains consists of the Kashi depression, Kalpin Tagh thrust nappe tectonic belt and Kuqa foreland depression thrust belt, which are distributed in the form of 1–3 rows parallel to the orogenic belt in the mountain front. It is also a thrust nappe system composed of the basal detachment fault flat and fault ramp, showing distinct E–W–directed transverse segmentation. The deep tectonic system is marked by a set of NW–trending faults, which divide the area into four fault slivers. The authors systematically study the deep transverse tectonic system in the area in the contexts of the structural layers, gravity and aeromagnetic anomalies and density of earthquake occurrences and recognize the depths of detachment surfaces of the lithospheric layers by using the statistical results of the depth and frequency of the earthquakes. On that basis, the authors discuss the regional NW–trending transverse tectonic system in detail. In the paper, the Karayulgun fault belt and Korla fault belt are selected for the study of the transformation relation between the transverse structure and shallow structure and finally a geometric and kinematic model of the fault slivers in the northern part of the Tarim block is proposed, i. e.; the Tarim block is “forced” to be subducted as the NW–directed movement of its deep part is hindered and constrained by the ancient southwestern Tianshan, thus resulting in decoupling of the lithospheric crust, activation of the original transverse tectonic system (NW–trending fault belt) and subduction of the subducting system in the form of fault slivers; in the process of subduction, the detachment of the lithospheric crust and activation of the transverse structure started near the “constraining body” (southwestern Tianshan) and progress toward the interior of the Tarim basin (northern part), and therefore the difference in subduction state between the fault slivers is more obvious and the transverse segmentation is more prominent toward the orogenic belt. It is just because the subduction of the Tarim block in the form of fault slivers that segmentation of the piedmont depression thrust belt (and Tianshan belt) takes place.

Key words: intracontinental orogeny; basin and range coupling; fault sliver; transformation between deep and shallow structures; Tarim basin; Tianshan

About the first author: LI Tao, male, born in 1953, associated researcher, engages in the study of the process of continental deformation, structural geology and petroleum geology; E-mail: litao1953@163.com .