

天山南北前陆盆地冲断带沉积砂体对构造逆冲作用响应动力学

高志勇^{1,2}, 冯佳睿^{1,2}, 李小陪³, 赵雪松³, 郭美丽³, 梅加洛⁴

(1. 中国石油 勘探开发研究院 实验研究中心, 北京 100083; 2. 中国石油 勘探开发研究院 提高石油采收率国家重点实验室, 北京 100083; 3. 中国地质大学, 北京 100083; 4. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:通过对中西部前陆盆地冲断带垂直隆升高度与水平挤压缩短的分析,认为前陆冲断带的构造逆冲作用是一种综合作用,是分别由垂直方向的隆升力和水平方向的前展力组成的矢量合力,两种力的联合作用控制了冲断带的沉积充填特征。垂直隆升作用产生逆冲型断层,形成垂向运动位移量,使冲断带山体隆升、盆地沉降、产生可容纳空间。水平前展作用产生走滑型断层,形成水平滑动位移量,使山体前移、物源前进。由此,将天山南北前陆盆地冲断带古近纪—新近纪的构造逆冲作用划分为5个阶段,分别对应着3套粗粒沉积物与2套细粒沉积物。①古近系底部砂砾岩是早喜马拉雅运动初始期逆冲推覆的标志,同时也是以水平前展力为主阶段(垂直隆升力为辅联合作用)陆源碎屑沉积充填的产物;②新近系底部发育的砾质粗碎屑沉积体是中喜马拉雅运动初始期逆冲推覆重新活动的标志,是冲断负载初期以水平前展力为主构造逆冲作用的结果;③新近系顶部库车组/独山子组底部砾质粗碎屑沉积体发育在中喜马拉雅运动晚期,是基底回弹抬升后期、水平前展力作用下大量沉积物供给、砂体进积的产物。古近系与新近系的2套湖相泥岩沉积,是在垂直隆升力为主作用阶段,山体抬升导致山前挠曲沉降加剧,致使湖平面上升而出现广泛沉积的结果。

关键词:构造逆冲作用;沉积响应;前陆盆地冲断带;古近系;新近系;天山南北

中图分类号:TE121 **文献标识码:**A

Kinetics of sedimentary process response to thrusting in the thrust belts of foreland basins in southern and northern Tianshan

Gao Zhiyong^{1,2}, Feng Jiarui^{1,2}, Li Xiaopei³, Zhao Xuesong³, Guo Meili³, Mei Jialuo⁴

(1. *Petroleum Geology Research and Laboratory Center RIPED, Beijing 100083, China*; 2. *State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China*; 3. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 4. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China*)

Abstract: A brief analysis of vertical uplifting height and horizontal shortening on the thrust belt in foreland basins of the central and western China reveals that there are two types of forces that controlled the deposition of thrusting belt, one is the horizontal progress force and the other is the vertical uplifting force. The vertical lifting force gave birth to thrust faults. The vertical displacement by the force resulted in the uplifting of mountains and lowering of basins the thrust faults and created accommodation. The horizontal progress force generated strike-slip faults. The horizontal displacement by the force pushed mountains and provenance forward. Based on this understanding, the thrusting during the Paleogene-Neogene in southern margin of Junggar and Kuqa foreland basins can be divided into 5 stages that correspond to three sets of coarse grain deposits and two sets of fine grain deposits respectively. Among them, the conglomerate at the bottom of the Palaeogene was the product of terrigenous clastic deposition in the stage dominated by horizontal progress force (together with auxiliary vertical uplifting force) and also marks the existence of a over-thrusting in the early Himalaya movement; the conglomeratic coarse-grained deposits at the bottom of the Neogene were the result of thrusting under the dominant horizontal progress force in the early thrusting loading period and also marks the renewal activity of over-thrusting during the early-middle Himalaya orogeny; and the conglomeratic coarse-grained deposits at the bottom of the Kuqa-Dushangzi Formation at the top of Neogene were formed during the middle-late Himalaya orogeny when the base rebound and pro-

收稿日期:2012-02-13;修订日期:2013-01-28。

第一作者简介:高志勇(1974—),男,高级工程师,沉积学及储层地质学。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05003-002)。

vide large amount of sediments and caused sandbody progradation under horizontal progress force. While another two sets of Paleogene and Neogene lacustrine mudstone deposits were formed in a period with vertical uplifting force predominant when mountain uplifting caused piedmont flexural subsidence being enhanced and lake level rising.

Key words: thrusting, sedimentary response, thrust belt of foreland basins, Paleogene, Neogene; southern and northern Tianshan

针对前陆盆地动力学机制分析的研究成果^[1-9],前人多是从整个前陆盆地的角度对构造-沉积演化开展研究,如 C. Beaumont and G. Quinlan 等运用弹性或粘弹性流变模型,模拟了前陆盆地挤压挠曲沉降过程^[2-3]。刘少峰认为前陆盆地形成的主控因素为逆冲带的构造负荷、盆地沉积物负荷以及在造山过程中形成的地壳内部水平挤压力^[4-6]。3种构造力同时作用于地壳,导致地壳在克服地幔均衡反力作用的同时发生挠曲沉降。张明山等认为构造逆冲强烈时,冲断楔位移增强,盆地拗陷加深,沉积补偿不足;相反,冲断楔位移减弱时,盆地内沉积过剩,以浅水相为主^[7]。王家豪等认为库车前陆盆地白垩系具有逆冲构造活动期、宁静期的两期基底变形特征,下白垩统两个粗—细—粗沉积旋回分别为逆冲构造活动期、宁静期的盆地充填记录,两个旋回底部的砾质粗碎屑分别为逆冲活动开始、逆冲活动停滞的沉积响应^[8]。顾家裕等认为前陆盆地冲断作用期粗粒沉积物的叠加可形成连续的裙边状沉积体,冲断作用松懈期发育的煤系地层及泥质岩可形成良好的烃源岩^[9]。前人普遍认为我国陆相前陆盆地具有粗粒—细粒—粗粒的沉积充填序列,且构造运动划分为活动期与宁静期两个阶段。但是,基于“挤压挠曲沉降”是前陆盆地形成的动力学机制的认识,使不同学者出现了:①构造活动期粗粒沉积,宁静期细粒沉积;②构造活动期粗—细粒沉积,宁静期粗粒

沉积的认识分歧。其原因可能还是对前陆冲断带构造逆冲作用本质及作用效果认识不清,沉积砂体对构造逆冲作用响应的动力学机制及力学原理分析不够精细。因此,笔者通过对中西部前陆盆地冲断带垂直隆升高度与水平挤压缩短的分析,认为发育于前陆冲断带的构造逆冲作用是一种综合作用,垂直方向的隆升力和水平方向的前展力联合作用控制了冲断带的砂泥岩沉积充填序列。

1 前陆冲断带沉积动力学机制

1.1 构造逆冲作用的力学性质

发育在我国中西部前陆盆地冲断带的构造样式多种多样^[10-15],虽然不同盆地的冲断带垂直隆升高度与水平挤压缩短距离有显著差异(图1),但是,若将现今每个前陆冲断带的构造样式由繁化简,会发现冲断带既存在垂直位移变化又存在水平位移变化,且极少存在只发育单一的垂直隆升或者水平前展的独特构造样式。因此,笔者认为前陆冲断带的构造样式具有统一规律,是板块碰撞机制下地壳应力场发生变化所产生的构造逆冲作用力造成的结果,即冲断带垂直隆升高度差异是构造逆冲力中垂直隆升力不同的体现,水平挤压缩短距离的差异是构造逆冲力中水平前展力不同的作用结果。推测构造逆冲作用力是板块碰撞

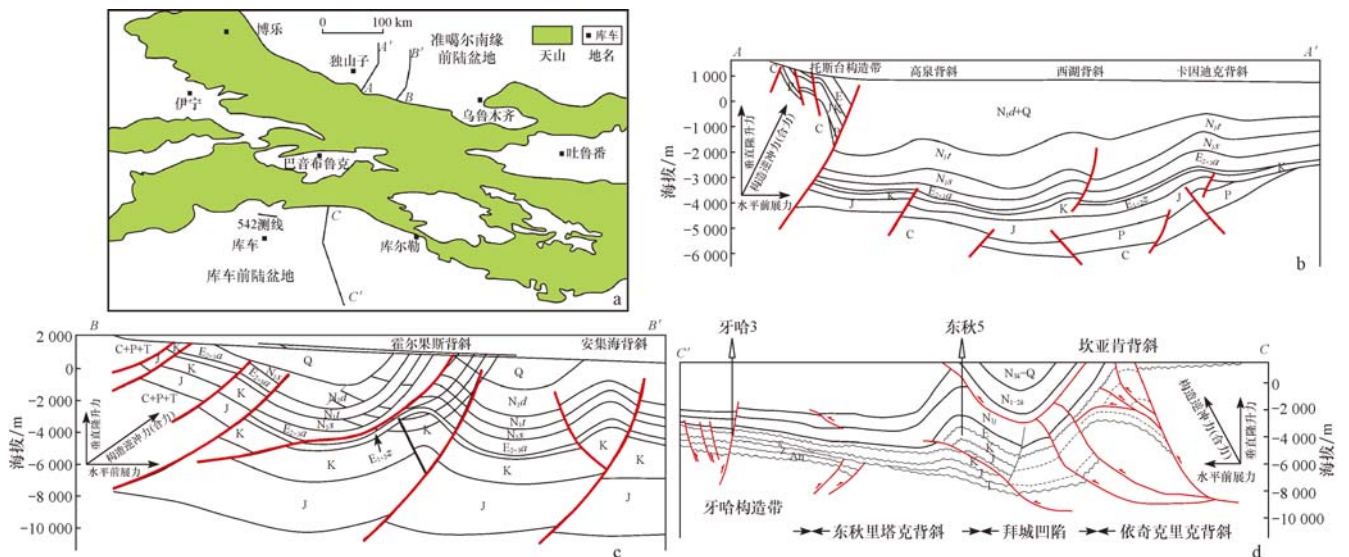


图1 准噶尔南缘与库车前陆盆地冲断带构造样式与构造逆冲作用力关系

Fig. 1 Relationship of structural patterns to thrusting forces in thrust belts in the south margin of Junggar Basin and Kuqa foreland basins

后,地壳应力场内部的水平挤压力^[4-6,16]向上地壳及地表释放过程中产生的矢量合力,这种矢量合力分别由垂直方向的隆升力和水平方向的前展力组成。如图1中A-A'剖面图所示,淮南前陆盆地西段冲断带垂直隆升高程较大,说明是构造隆升力做了主要贡献。图1中B-B'剖面图所示淮南中段冲断带隆升高程相对低,而主要体现前展形式的构造样式,说明该区域的构造逆冲力以水平前展力为主,垂直隆升力为辅。图1中C-C'剖面图所示是库车前陆盆地冲断带中段隆升高程较大,同样表明是构造隆升力做了主要贡献。可以说,构造逆冲作用力在不同的时间内出现不同的作用方式既控制了前陆冲断带的构造样式,又是前陆冲断带沉积砂体充填响应的关键。

1.2 垂直隆升力与水平前展力存在的证据与效果

前人对前陆盆地造山带隆升、冲断带构造样式及断裂特征分析取得的大量的研究成果,为构造逆冲作用力的存在提供了有力证据,①垂直隆升作用:王清晨等对库车盆地与天山边界的新近纪断层活动性质与应力状态的研究后认为,盆山边界的总体应力状态以伸展为主,局部叠加了走滑断层的影响,天山基底存在垂向隆升作用,山前高角度正断层和逆断层并存是天山基底垂向隆升的结果^[17];许志琴等通过大陆俯冲作用与青藏高原周缘造山带崛起关系的研究后认为,青藏高原周围造山带中古老变质体是以垂向挤出方式上隆的,其是垂向挤出作用产物^[18];②水平前展作用:漆家福等对库车坳陷克拉苏构造带的结构模型及其形成机制研究后,认为天山的挤压隆升作用使山前地带在水平挤压作用的基础上叠加了垂直向上的剪切作用,致使盆山过渡带发生挠曲变形^[19];张锐等定量分析了淮南独山子背斜和安集海背斜的构造几何学和运动学特征,认为在水平挤压作用下,独山子背斜和安集海背斜的最小缩短量分别为4 340和1 240 m,缩短率分别为15.74%和7.2%^[20];方世虎等通过中、新生代天山及其两侧盆地性质与演化研究,认为天山地区的地壳水平缩短速率具有由西向东逐渐减小的特征,喀什以西的天山水平缩短速率约为20 mm/a,喀什以东为13 mm/a左右,库车一带约为7 mm/a,至库尔勒一带减少为2 mm/a^[21]。总之,由上述研究成果表明,前陆冲断带具有明显的垂向隆升和水平扩展的特征,构造应力作用下产生的构造逆冲型断层可形成垂直向运动位移量,致使冲断带山体垂向隆升、盆地沉降;走滑型断层可形成较大的水平滑动位移量,致使冲断带山体水平前移。以上的两种冲断带山体表现形式,对山前盆地内沉积物充填具有重要控制作用。

1.3 构造逆冲作用的动力来源

冲断带的褶皱与断裂作用的发生究其根源还是板块碰撞机制下地壳应力场发生变化所产生的构造逆冲作用力造成的。天山南北的库车前陆盆地与淮南前陆盆地自白垩纪之后发生的构造逆冲作用严格受喜马拉雅运动影响。贾承造等提出喜马拉雅运动分为早、中、晚3期,分别对应于始新世晚期、古近纪与新近纪之间、新近纪与第四纪之间的构造活动^[10]。早喜马拉雅运动发生始新世晚期距今40~50 Ma,此时印度板块和欧亚大陆全面碰撞接触,我国西部普遍发生强烈的构造变形,造成普遍的不整合接触关系,即库车前陆盆地古近系库姆格列木群底部与淮南古近系的紫泥泉子组底部的不整合(图2,图3)。中喜马拉雅运动发生在古近纪与新近纪之间,这次地壳运动在整个喜马拉雅期中最为强烈,界线对应于中新统底部的不整合面(图2,图3)。晚喜马拉雅运动发生在新近纪末期,即新近系与第四系之间,这时印度板块向欧亚板块快速楔入,天山和昆仑山产生强烈挤压缩短、大幅度隆升并分别向库车盆地和准噶尔盆地逆冲推覆。

2 沉积砂体对构造逆冲作用响应动力学分析

2.1 垂直隆升作用形成垂向运动位移量,产生可容纳空间

杨晓平等^[22]对南天山博古孜河流阶地研究后认为,河流地貌和沉积特征对构造运动有很敏感的响应,博古孜河流阶地在短时间内产生快速的河流下切应与构造隆升有关。同时指出,2008年汶川8.0级地震发生在龙门山逆冲断裂上,在其主震断裂映秀-北川断裂上形成长达240 km的地震破裂带,最大垂直位移达6.2 m;灌县-江油断裂也同时发生破裂,形成长约70 km的地震破裂带,最大垂直位移达3.5 m,龙门山的同震抬升高度至少应为9.5 m。李海兵等也认为汶川地震普遍产生了龙门山的隆升,映秀镇地区地震后地形变形测量获得四级阶地地面的垂直累计位错为42 m^[23]。前陆盆地中生长地层的存在充分证明了垂直隆升作用可使山体抬升、盆地沉降。图4为南天山库车前陆盆地经过迪那地区的地震剖面^[24],新近系吉迪克组与康村组内地层超覆现象明显,表明随着南天山在新近纪以来的山体快速隆升,导致库车坳陷沉降加快,天山山前带湖平面相对上升,水体加深,沉积可容纳空间增大。沉积物源流出山口后直接进入湖盆

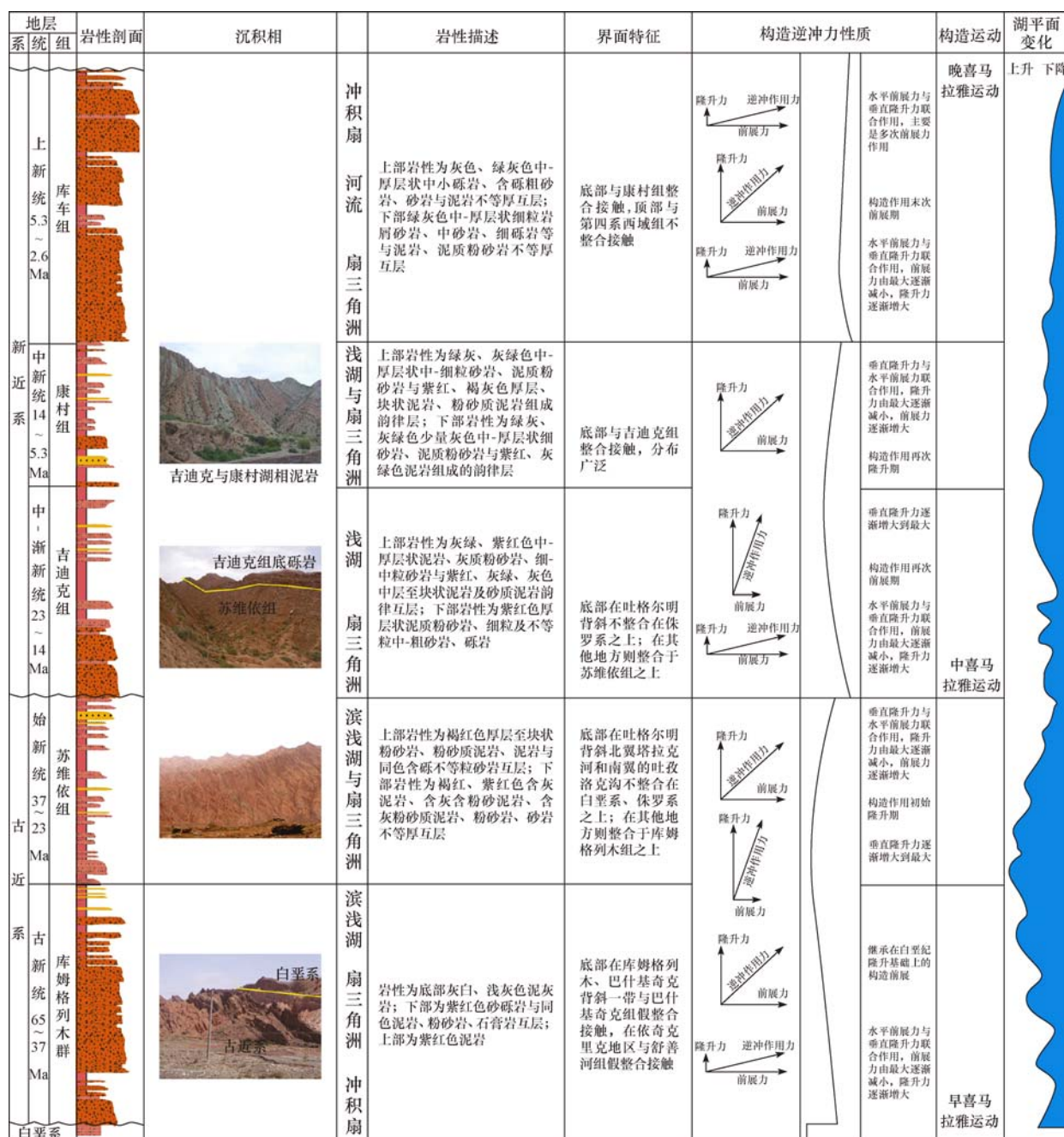


图2 库车前陆盆地古近纪—新近纪构造逆冲作用力下沉积砂体充填响应综合柱状图

Fig. 2 Column of sedimentary facies response to thrusting forces in the Paleogene-Neogene in the Kuqa foreland basin

区,堆积在古近系沉积的扇三角洲沉积体之上,形成全部没于水下的扇形砂砾岩体与湖相泥岩沉积。以上资料充分表明前陆冲断带山体具有明显的垂向隆升、盆地沉降并提供沉积场所的特点。

2.2 水平前展作用形成水平滑动位移量,使山体前移、物源前进

徐纪人等认为自2000年以来,昆仑山发生多次以走滑运动为主的大地震,其最大水平位移可达6.6 m以上,汶川地震最大水平滑动位移可达6.7 m^[25]。史兴民等对新疆玛纳斯河山前地貌对构造活动的响应

研究后认为,天山北麓随着天山主体不断抬升,持续地由南向北推挤,使山麓范围不断地向盆地方向扩张^[26]。同时,在山前依次形成了3排褶皱低山丘陵和第四排正在发育的西湖隆起,冲积扇也在历次构造运动中不断向北推进,呈串珠状发育。张锐等对天山北缘河流的变迁进行了研究,由于受第四纪构造隆起的影响,北天山金钩河和安集海河道向东的迁移与独山子背斜的隆升幅度明显大于安集海背斜有关^[20]。由此表明,冲断带山体受构造挤压作用的影响,水平前展作用可形成水平滑动位移量,从而使山体发生前移,导致物源前进。

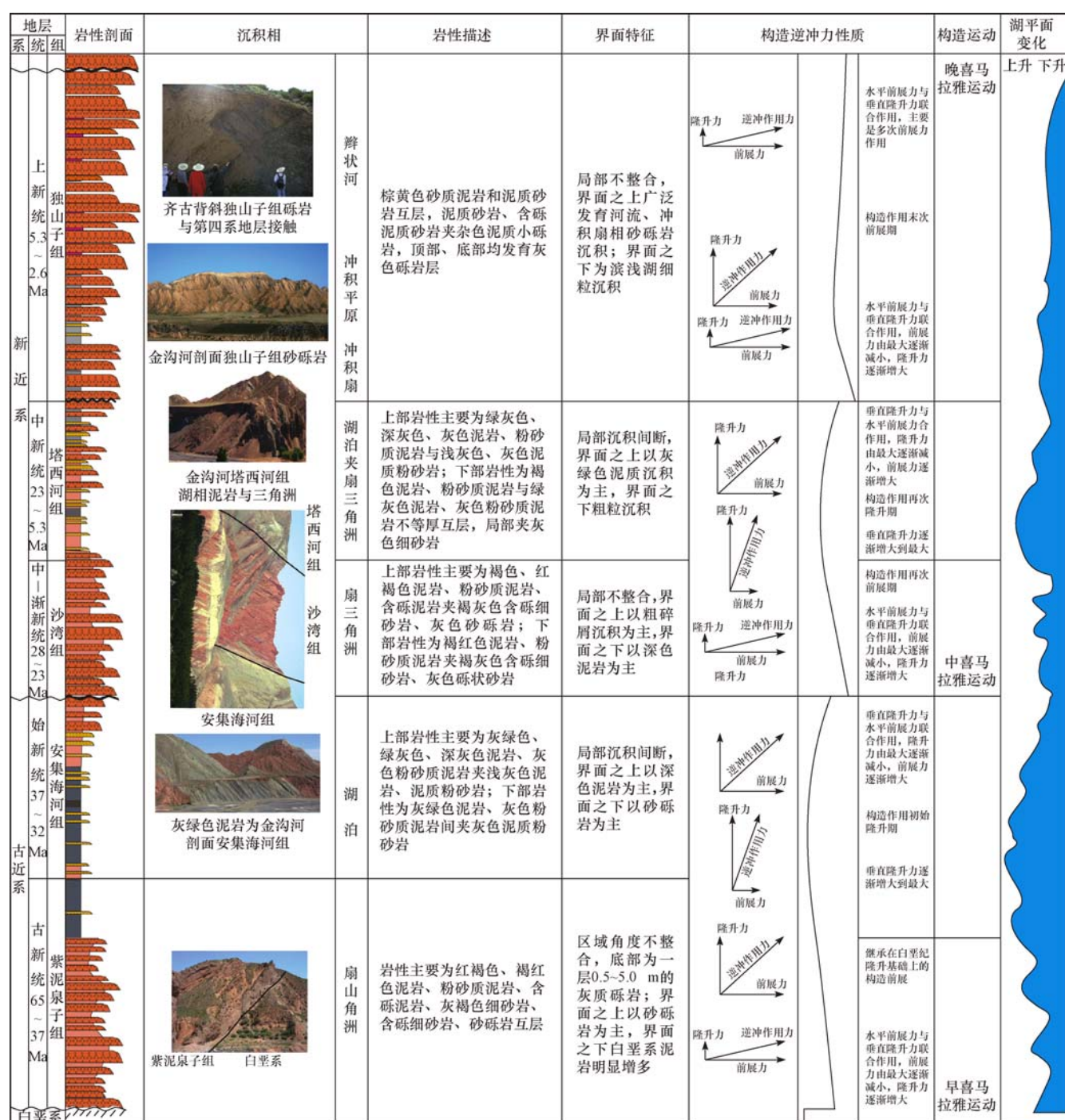


图3 准噶尔盆地南缘古近纪—新近纪构造逆冲作用力下沉积砂体充填响应综合柱状图

Fig.3 Column of sedimentary facies response to thrusting forces during the Paleogene-Neogene on the south margin of the Junggar foreland basin

3 沉积砂体对构造逆冲作用响应过程分析

3.1 构造沉降史与砾岩沉积的关系

天山南北库车与淮南前陆盆地的构造沉降史及水平缩短量前人开展了较详细的研究^[27-31],表明在古近纪—新近纪的前陆盆地演化阶段,巨厚砾岩段的沉积、盆地沉降中心的迁移与大规模构造沉降

的发生具有紧密关系。如图5a所示,三叠纪库车前陆盆地演化阶段,盆地的沉降范围较小,沉降中心在现今南天山山前及其以北位置,沉降速率中等,平均为60 m/Ma;在侏罗纪至白垩纪伸展盆地演化阶段,沉降范围明显增大,沉降中心在不断南移的同时还不断西迁。盆地沉降的幅度较小,沉降速率较低,平均仅25~30 m/Ma^[27];距今65 Ma的古近纪初期,沉降中心进一步南移、东迁至现在的拜城凹陷和阳霞凹陷,沉降幅度较大,沉降速率较高,平均达133.3~200.0 m/Ma,此时巨厚的古近系库姆格列木组底砾

岩段开始沉积。至上新世库车组沉积时期,构造沉降幅度更大,沉降速率达到了 $1\,428\text{ m/Ma}$,库车组沉

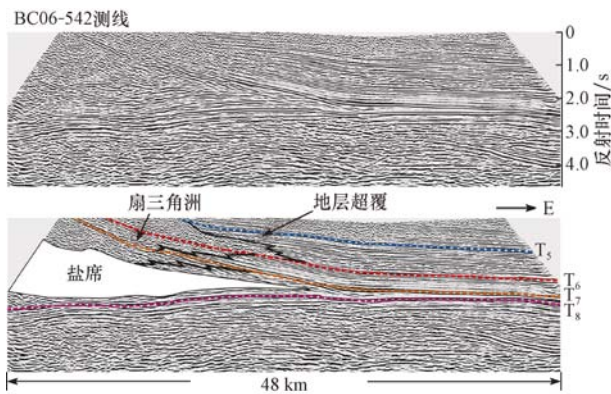


图4 库车前陆盆地古近系—新近系地震剖面
(图据文献[24],有修改)

Fig. 4 Seismic profile of the Paleogene-Neogene in the Kuqa foreland basin^[24]

T_8 : 古近系反射底界; T_7 : 古近系苏维依组反射底界;
 T_6 : 新近系吉迪克组反射底界; T_5 : 新近系康村组反射底界

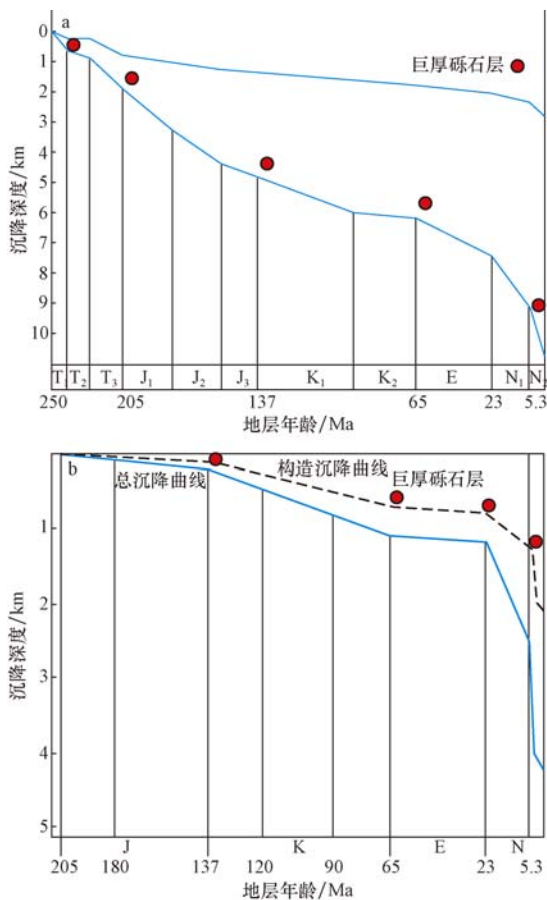


图5 天山南北前陆盆地构造沉降史与巨厚砾岩沉积时间关系

Fig. 5 Relationship between subsidence history and timing of conglomerate sedimentation in the foreland basins in southern and northern Tianshan

a. 库车前陆盆地中—新生代沉降曲线;
b. 淮南前陆盆地中—新生代沉降曲线

积巨厚砾岩。同时,张明山等通过平衡剖面分析,认为自古近纪以来,库车前陆盆地东部总缩短率在 $10.2\% \sim 16.6\%$,西部滑脱面以上为 $5\% \sim 10\%$,滑脱面以下为 $36.8\% \sim 43.4\%$ ^[7]。5.2 Ma 以来,缩短量最大达 4 km 左右,表明南天山山体与沉积物源均水平前移 4 km 左右。

淮南前陆盆地中、新生代以来的构造沉降同样具有阶段性变化^[31]:如图 5b 所示,晚三叠世—侏罗纪构造沉降曲线段有较明显的陡倾段,曲线斜率大,沉降速率平均为 27.8 m/Ma ,反映该时期构造活动剧烈,这与该时期的印支—燕山运动作用有关。白垩纪—古近纪阶段构造沉降曲线段较平缓、斜率小,反映构造负荷的减少及山系的夷平过程,沉降速率为 13.7 m/Ma ,构造活动较弱。古近系紫泥泉子组底部发育巨厚的砾岩沉积,表明构造活动在古近纪又开始发生。新近纪—第四纪构造沉降曲线为明显的陡倾段,有显著的上凸形态,反映此时盆地南缘构造活动强烈和快速沉积的地质环境,沉降速率平均为 83.2 m/Ma ,成为中新生代以来沉降最为快速的一个阶段。此时期,新近系下部的沙湾组与上部的独山子组均有大规模的砾岩沉积出现。

3.2 沉积砂体对构造逆冲作用的响应过程

纵观天山南北准噶尔南缘与库车前陆盆地^[32-34],古近系至新近系沉积地层的岩性表现为 3 套粗粒夹 2 套细粒的沉积序列(图 2,图 3)。此 5 套砂泥岩沉积对构造逆冲作用响应的过程分析如下(图 6):①古近系底部砂砾岩(图 3),在准噶尔南缘霍尔果斯剖面、玛纳斯河西岸及齐古背斜等多个剖面中均见白垩系与古近系之间的不整合,不整合面之上的古近系紫泥泉子组

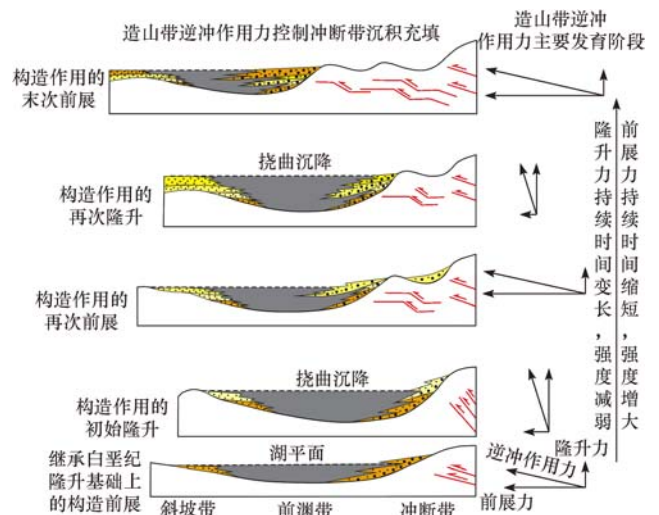


图6 前陆冲断带沉积砂体对构造逆冲作用响应过程模式

Fig. 6 Model of sedimentary process response to thrusting in the Paleogene-Neogene thrust belts

表1 准噶尔南缘古近纪—新近纪构造逆冲作用力与沉积时间

Table 1 Timing of sedimentation and thrusting forces during the Paleogene-Neogene on the south margin of the Junggar foreland basin

构造逆冲阶段	构造逆冲力类型	地层	主要岩性	沉积相	年代/Ma	持续时间/Ma
构造作用的末次前展	水平前展力为主	独山子组	砂砾岩	扇三角洲河流等	5.3~2.6	2.7
构造作用的再次隆升	垂直隆升力为主	新近系 塔西河组	泥岩	浅湖	23.3~5.3	18.0
构造作用的再次前展	水平前展力为主	沙湾组	砂砾岩	扇三角洲	28.0~23.3	4.7
构造作用的初始隆升	垂直隆升力为主	安集海河组	泥岩	浅湖—半深湖	37.0~32.0	5.0
继承白垩纪隆升基础上的构造前展	水平前展力为主	古近系 紫泥泉子组	砂砾岩	冲积扇—扇三角洲	65.0~37.0	28.0

主要发育红褐色、灰褐色细砂岩、含砾细砂岩、砂砾岩的扇三角洲砂体。紫泥泉子组扇三角洲砂体是在白垩纪北天山隆升基础上^[32],构造逆冲作用力中水平前展力与垂直隆升力联合作用的结果,也是早喜马拉雅运动构造逆冲推覆的标志;②古近系细粒沉积序列,图3中古近系安集海河组明显发育湖相泥岩沉积,岩性主要为灰绿色、深灰色泥岩、灰色粉砂质泥岩夹浅灰色泥岩、泥质粉砂岩。安集海河组湖相泥岩超覆沉积于紫泥泉子组砂砾岩之上,其沉积动力学机制为当安集海河组沉积时,随着水平前展力的逐渐减弱,构造逆冲作用仍在发生,且演变为垂直隆升力的逐渐增强,从而导致山体以垂直隆升为主,山前沉降作用加强,由于垂直隆升力作用增强,逆冲体的重力加载引起快速挠曲沉降,导致区域性的水进,进而在早期粗粒沉积之上出现区域性的半深湖—深湖相细粒沉积物。随后,由于垂直隆升力作用减弱,水平前展力逐渐增强,致使逆冲造山作用降低,盆地底部发生粘弹性流变回弹,湖平面下降,山体遭受剥蚀,粗碎屑砂体向前推进到前渊带,从而出现安集海河组顶部较粗粒沉积的出现,并呈反旋回特征(图3);③新近系底部砾质粗碎屑沉积体,如图3所示在中喜马拉雅运动发育早期,北天山在中新世出现明显的抬升,从距今约25 Ma开始,构造逆冲作用主要表现为水平前展力。新近纪沙湾组岩性主要为褐红色泥岩夹褐灰色含砾细砂岩、灰色砾状砂岩^[32]。砂砾质扇三角洲砂体是由前展力推动山体水平方向前移,物源前进,砂砾岩快速进积并超覆于安集海河组湖相泥岩之上,同时沙湾组砂砾岩沉积也是中喜马拉雅运动逆冲推覆重新活动的标志;④新近系中部细粒沉积序列,新近系塔西河组湖相泥岩超覆沉积于沙湾组粗碎屑之上,由于湖平面上升导致了泥岩沉积的出现,而湖平面上升的作用机制同样是垂直隆升力的作用结果,塔西河组下部发育的以细粒沉积为主的湖泊—小型扇三角洲沉积。在塔西河组沉积后期,由于岩石圈发生应力松弛以及侵蚀卸载作用,临近逆冲断裂处将发生回弹上升,湖平面下降,此时物源又转变为供给充分,山体遭受剥蚀,粗碎屑体系向前推进到前渊带,在

先前塔西河组中下部细粒沉积物之上形成较粗粒的扇三角洲沉积;⑤新近系顶部库车组/独山子组底部砾质粗碎屑沉积体,发育在中喜马拉雅运动晚期,准噶尔南缘前陆盆地完全进入以水平前展力为主的作用阶段,表现为新近系顶部独山子组砂砾岩沉积体超覆、削截下伏塔西河组泥岩,并大规模进积,且独山子组砂砾岩比沙湾组碎屑粒度更粗、砂体展布规模更大(图3),其是基底回弹抬升后期、水平前展力作用下大量沉积物供给、砂体进积的沉积充填产物。

值得注意的是,构造逆冲力作用中的垂直隆升力与水平前展力主要作用阶段是交替发生的,且在发育垂直隆升力时,也存在水平前展力作用,只是其作用结果很小而已。同样,在发育水平前展力时,更存在垂直隆升力的影响,同样是其作用结果很小罢了。天山南北缘古近系—新近系垂向相序与粒级变化对构造逆冲作用的响应的持续时间见表1。如表1所示淮南前陆盆地古近纪初始前展期沉积了近28 Ma,首次隆升期安集海河组湖相泥岩沉积了约5 Ma。新近纪构造前展期发育的沙湾组砂砾岩沉积持续时间较短,只有4.7 Ma,之上再次隆升期的塔西河组泥岩沉积则持续时间长,将近18 Ma。构造逆冲作用末次前展期虽持续了3 Ma左右,但却沉积了巨厚的独山子组磨拉石建造。由此可知,淮南前陆盆地构造逆冲作用中水平前展力作用的时间逐渐缩短,但活动力逐渐增强,沉积砂体充填响应特征表现为更大规模、更粗粒级碎屑沉积。垂直隆升力作用的时间由古近纪至新近纪逐渐增长,是山体缓慢隆升、构造应力缓慢凝聚的过程,表现为山前沉降逐步增强,湖平面逐步上升,从而广泛发育泥岩沉积。

4 结论

天山南北缘的构造逆冲作用力在早喜马拉雅运动期具有2期演变,在中喜马拉雅运动期存在3期变化,从而造成古近系—新近系的3套砂砾岩夹2套泥岩的沉积充填响应。其中3套砂砾岩体主要是构造逆冲作用水平前展力作用的结果,古近纪—新近纪构造前展

力作用时间逐渐缩短,但作用强度逐渐增大,从而导致了冲断带砂砾岩体大规模进积的充填响应特征。古近系与新近系的2套泥岩沉积,是构造逆冲作用垂直隆升期山体隆升积聚应力、山前沉降导致湖平面上升的沉积产物。刘貽军认为在海相前陆盆地中,构造期后(构造宁静期)全球海平面变化和沉积物补给主要控制可容空间,这一观点在海相前陆盆地中是适用的^[35]。但是,天山南北缘前陆盆地属陆相湖盆,受全球海平面变化影响很小,因此前陆盆地中大面积巨厚泥岩沉积的出现是湖平面上升的结果,而导致湖平面上升的机制是构造逆冲作用的发生。

由此表明,前陆盆地冲断带水平与垂直方向组成的构造逆冲作用合力是控制前陆盆地冲断带沉积充填的力学基础,垂直隆升作用主要产生沉积可容纳空间,水平挤压(前展)作用使山体前移、物源前进,盆地边缘巨厚的砂砾岩沉积是对水平前展作用的响应,大面积的泥岩沉积则主要是对垂直隆升作用的响应,前陆湖盆不同部位沉积岩性有差异。

参 考 文 献

- [1] Posamentier H W, Allen G P. Siliciclastic sequence stratigraphic patterns in foreland ramp-type basins [J]. *Geology*, 1993, 21: 455 - 458.
- [2] Quinlan G M, Beaumont C. Appalachian thrusting, lithospheric flexure and Paleozoic stratigraphy of eastern interior of North America [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1984, 21: 973 - 996.
- [3] Beaumont C, Quinlan G M, Hamilton J. Orogeny and stratigraphy: numerical model of the Paleozoic in the eastern interior of North America [J]. *Tectonics*, 1988, 7 (3): 389 - 416.
- [4] 刘少峰. 前陆盆地几种构造-沉积演化模式综述 [J]. *地质科技情报*, 1991, 10(4): 39 - 44.
Liu Shaofeng. Several types of tectono-depositional evolution models of foreland basins [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1991, 10(4): 39 - 44.
- [5] 刘少峰. 前陆盆地的形成机制和充填演化 [J]. *地球科学进展*, 1993, 8(4): 30 - 37.
Liu Shaofeng. Forming-mechanism and filling-evolution of foreland basins [J]. *Advance in Earth Science*, 1993, 8(4): 30 - 37.
- [6] 刘少峰. 前陆盆地挠曲过程模拟的理论模型 [J]. *地学前缘*, 1995, 2(3-4): 69 - 77.
Liu Shaofeng. The theoretical models for simulating the flexural process of foreland basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3-4): 69 - 77.
- [7] 张明山, 钱祥麟, 李茂松. 造山带逆冲与前陆盆地沉降和沉积平衡关系的定量讨论——以库车陆内前陆盆地为例 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 1996, 32(2): 188 - 198.
Zhang Mingshan, Qian Xianglin, Li Maosong. A quantitative discussion to the relationship between thrusting of orogenic belt and subsidence and sedimentation of foreland basin-Kuche intracontinental foreland basin as an example [J]. *Acta Scientiarum Naturalium*, 1996, 32(2): 188 - 198.
- [8] 王家豪, 王华, 陈红汉, 等. 一幕完整的前陆盆地构造演化的地层记录: 库车坳陷下白垩统 [J]. *地质科技情报*, 2006, 25(6): 31 - 36.
Wang Jiahao, Wang Hua, Chen Honghan, et al. Zhao Zhongxin. Stratigraphic record in a whole episode of foreland basin tectonic evolution; the Lower Cretaceous in Kuqa Depression [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(6): 31 - 36.
- [9] 顾家裕, 张兴阳. 中国西部陆内前陆盆地沉积特征与层序格架 [J]. *沉积学报*, 2005, 23(2): 187 - 193.
Gu Jiayu, Zhang Xingyang. Sedimentary characteristics and sequence framework of intracontinental foreland basin in the western China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 187 - 193.
- [10] 贾承造, 何登发, 陆洁民. 中国喜马拉雅运动的期次及其动力学背景 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 121 - 125.
Jia Chengzao, He Dengfa, Lu Jiemin. Episodes and geodynamic setting of Himalayan movement in China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 121 - 125.
- [11] 彭希龄, 梁狄刚, 王昌桂, 等. 前陆盆地理论及其在中国的应用 [J]. *石油学报*, 2006, 27(1): 132 - 244.
Peng Xiling, Liang Digang, Wang Changgui, et al. Discussion on the theory of foreland basin and its application in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(1): 132 - 244.
- [12] 陈新, 卢华复, 舒良树, 等. 准噶尔盆地构造演化分析新进展 [J]. *高校地质学报*, 2002, 8(3): 257 - 267.
Chen Xin, Lu Huaifu, Shu Liangshu, et al. Study on tectonic evolution of Junggar Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2002, 8(3): 257 - 267.
- [13] 贾承造. 中国喜马拉雅构造运动的陆内变形特征与油气矿藏富集 [J]. *地学前缘*, 2007, 14(4): 96 - 104.
Jia Chengzao. The characteristics of intra-continental deformation and hydrocarbon distribution controlled by the Himalayan tectonic movements in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(4): 96 - 104.
- [14] 彭天令, 阎桂华, 陈伟, 等. 准噶尔盆地南缘霍玛吐构造带特征 [J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(2): 191 - 194.
Peng Tianling, Yan Guihua, Chen Wei, et al. Characteristics of Huoerguosi-Manasi-Tugulu structural belt in Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(2): 191 - 194.
- [15] 万里皋, 刘登明, 侯六根. 准噶尔盆地南缘前陆冲断带构造特征研究 [J]. *石油地球物理勘探*, 2005, 40(增刊): 40 - 45.
Wan Ligao, Liu Dengming, Hou Liugen. Structure feature of foreland thrust-fold belts in the southern edge of Junggar Basin [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2005, 40(S1): 40 - 45.
- [16] 杜治利, 王清晨. 中生代天山地区隆升历史的裂变径迹证据 [J]. *地质学报*, 2007, 81(8): 1081 - 1101.
Du Zhili, Wang Qingchen. Mesozoic and Cenozoic uplifting history of the Tianshan region: insight from apatite fission track [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(8): 1081 - 1101.
- [17] 王清晨, 张仲培, 林伟. 库车盆地-天山边界的晚第三纪断层活动性质与应力状态 [J]. *科学通报*, 2003, 48(24): 2553 - 2559.
Wang Qingchen, Zhang Zhongpei, Lin Wei. The Paleogene fault activities and stress in the Kuqa Basin to the boundary of Tianshan [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(24): 2553 - 2559.
- [18] 许志琴, 杨经绥, 姜枚, 等. 大陆俯冲作用及青藏高原原缘造山带的崛起 [J]. *地学前缘* 1999, 6(3): 139 - 151.
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Jiang Mei, et al. Continental subduction and uplifting of the orogenic belts at the margin of the Qinghai-Tibet pla-

- teau[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(3): 139–151.
- [19] 漆家福, 雷刚林, 李明刚, 等. 库车坳陷克拉苏构造带的结构模型及其形成机制[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(1): 49–56.
- Qi Jiafu, Lei Ganglin, Li Minggang, et al. Analysis of structure model and formation mechanism of Kelasu structure zone, Kuqa depression[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(1): 49–56.
- [20] 张锐, 郭召杰, 张志诚, 等. 天山北麓晚新生代独山子—安集海褶皱冲断带构造分析及其对河流改道的影响[J]. *新疆地质*, 2005, 23(3): 215–219.
- Zhang Rui, Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, et al. Structural analysis of the Dushanzi-Anjihai late Cenozoic fold-thrust belt and its influence on river channels, North Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 2005, 23(3): 215–219.
- [21] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 中新世天山及其两侧盆地性质与演化[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(6): 886–897.
- Fang Shihu, Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, et al. Discussion on Mesozoic-Cenozoic evolution of Tian Shan and its adjacent basins[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2004, 40(6): 886–897.
- [22] 杨晓平, 陈立春, 李安, 等. 西南天山阿图什背斜晚第四纪的阶段性隆升[J]. *地学前缘*, 2009, 16(3): 160–170.
- Yang Xiaoping, Chen Lichun, Li An, et al. The uplifting of Artux anticline by stages in the Late Quaternary, Southwest Tianshan[J]. *Earth Science Frontiers* [China University of Geosciences (Beijing), Peking University], 2009, 16(3): 160–170.
- [23] 李海兵, 王宗秀, 付小芳, 等. 2008年5月12日汶川地震(Ms8.0)地表破裂带的分布特征[J]. *中国地质*, 2008, 35(5): 803–813.
- Li Haibing, Wang Zongxiu, Fu Xiaofang, et al. The surface rupture zone distribution of the Wenchuan earthquake (Ms 8.0) happened on May 12th, 2008[J]. *Geology of China*, 2008, 35(5): 803–813.
- [24] Gao Zhiyong, Guo Hongli, Zhu Rukai, et al. Sedimentary response of different fan types to the Paleogene-Neogene basin transformation in the Kuqa depression, Tarim basin, Xinjiang Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(2): 411–424.
- [25] 徐纪人, 赵志新. 汶川 8.0 级大地震震源机制与构造运动特征[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 967–977.
- Xu Jiren, Zhao Zhixin. Causative mechanism and related tectonic movement of the 2008 Wenchuan M8 Earthquake[J]. *Geology of China*, 2010, 37(4): 967–977.
- [26] 史兴民, 李有利, 杨景春, 等. 新疆玛纳斯河山前地貌对构造活动的响应[J]. *地质学报*, 2008, 82(2): 281–288.
- Shi Xingmin, Li Youli, Yang Jingchun, et al. Response of the Foreland of the Manas River to the tectonic movement in Xinjiang uygur autonomous region[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(2): 281–288.
- [27] 何光玉, 卢华复, 杨树锋, 等. 库车中新世盆地沉降特征[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2004, 31(1): 110–113.
- He Guangyu, Lu Huafu, Yang Shufeng, et al. Subsiding features of the Mesozoic and Cenozoic Kuqa Basin, Northwestern China[J]. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2004, 31(1): 110–113.
- [28] 彭守涛, 宋海明. 库车坳陷北部白垩系沉积速率分析[J]. *沉积学报*, 2006, 24(5): 641–649.
- Peng Shoutao, Song Haiming. The sedimentation rates analysis of cretaceous depositional succession in the Northern Kuqa depression, Northwest China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(5): 641–649.
- [29] 阎福礼, 卢华复, 贾东, 等. 塔里木盆地库车坳陷中、新生代沉降特征探讨[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2003, 39(1): 31–39.
- Yan Fuli, Lu Huafu, Jia Dong, et al. The Meso-Cenozoic Subsidence Features of Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2003, 39(1): 31–39.
- [30] 张明山. 陆内挤压造山带与陆内前陆盆地关系——以塔里木盆地北部与南天山为例[J]. *现代地质*, 1997, 11(4): 461–469.
- Zhang Mingshan. Relationship between intracontinental compressional orogenic belts and intracontinental foreland basins—a example of northern tarim and southern Tianshan[J]. *Geosciences*, 1997, 11(4): 461–469.
- [31] 吕嵘, 汪新文, 沈勇伟. 准噶尔盆地南缘新生代构造沉降史分析[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2006, 28(5): 10–12.
- Lü Rong, Wang Xinwen, Shen Yongwei. Analysis of tectonic subsidence evolution of Mesozoic-Cenozoic in southern margin of Junggar Basin[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(5): 10–12.
- [32] 高志勇, 韩国猛, 朱如凯, 等. 准噶尔盆地南缘古近纪—新近纪前陆盆地沉积格局与演变[J]. *古地质量学报*, 2009, 11(5): 491–502.
- Gao Zhiyong, Han Guomeng, Zhu Rukai, et al. Depositional setting and evolution of the Paleogene-Neogene foreland basin of southern margin of Junggar Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(5): 491–502.
- [33] 高志勇, 胡永军, 张莉华, 等. 准噶尔南缘前陆盆地白垩纪—新近纪构造挤压作用与储层关系的新表征: 镜质体反射率与颗粒填集密度[J]. *中国地质*, 2010, 37(5): 1336–1352.
- Gao Zhiyong, Hu Yongjun, Zhang Lihua, et al. The interpretation of the controlling action of Cretaceous to Tertiary tectonic compression on the reservoir in the southern margin of Junggar Basin: vitrinite reflectance and grain packing density[J]. *Geology in China*, 2010, 37(5): 1336–1352.
- [34] 高志勇, 郭宏莉, 安海亭, 等. 库车坳陷东部山前带古近系不同体系域内扇三角洲沉积砂体的对比研究[J]. *地质科学*, 2008, 43(4): 758–776.
- Gao Zhiyong, Guo Hongli, An Haiting, et al. Paleogene fan-delta sandbodies of different system tracts in foreland of the eastern Kuqa Depression: a comparative study[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(4): 758–776.
- [35] 刘贻军. 前陆盆地层序地层学研究中的几个问题[J]. *地球学报*, 1998, 19(1): 90–96.
- Liu Yijun. Sequence stratigraphy discussions for research foreland basins[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1998, 19(1): 90–96.