

文章编号: 1000-0550(2003)01-0038-08

晚新生代天山隆升与库车坳陷构造转换的沉积约束^①

李 忠¹ 王清晨¹ 王道轩² 林 伟¹

1(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029) 2(合肥工业大学 合肥 230009)

摘 要 对库车坳陷库车河剖面不同尺度沉积碎屑组分的系统分析发现,晚第三纪以来类磨拉石及其中不稳定碎屑矿物组合开始发育,并在中新世后发生显著增加。沉积体系研究表明,库车坳陷自白垩纪以来粗粒冲积体系前锋、沉积中心逐步向南迁移;但该规律自上新世开始发生了明显转变,表现为上新世库车组、上-更新世西域组冲积体系整体大尺度南移,而沉积中心则相对北移,盆地北部沉积边界与现存盆山边界大致可以对比,并受到南倾同沉积正断裂的控制。对比天山区域构造、古气候演变资料,认为上述沉积记录是晚新生代强烈挤压应力作用下天山构造隆升加剧,并在上新世以后由于重力作用诱发库车坳陷-天山浅部构造层伸展、坍塌的结果。对这一构造转换的认识修订了库车坳陷新生代构造调整的序列。

关键词 天山隆升 库车坳陷 冲积体系 碎屑组合 构造转换 晚新生代

第一作者简介 李忠 男 1964年出生 博士 研究员 沉积学及盆地动力学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

谨以此文庆贺《沉积学报》创刊二十周年暨叶连俊先生九十华诞。

横亘于中国西部的天山及其邻近地区在中-新生代发生了一系列重要的陆内构造变形活动^[1-11],而新生代构造变形的机制一般被认为是天山南北断层的背向逆掩冲断作用,即地壳挤压和缩短变形为特征。其中一部分研究指出,库车坳陷晚第三纪-第四纪具有“复合前陆盆地”或“再生前陆盆地”的演化特征^[12-15];一些从构造^[6,16]或层序地层^[17]所作的研究认为库车坳陷早第三纪就开始了前陆坳陷的演化,整个第三纪均体现了“前陆盆地”的充填特征;另一部分学者^[18]则提出了早第三纪为“前陆盆地”、晚第三纪“陆内坳陷盆地”的观点。而新近对盆山构造的研究^②认为,库车坳陷新生代构造变形的动力学机制并非天山单一的逆掩冲断所能解释,并揭示出晚期存在张性构造变形。库车坳陷晚期是否存在明显的张性构造变形或从压性到张性的构造转换?如果存在,那么这次构造转换的时限及其盆地动力学意义如何?显然,这些问题尚需进一步确认。通过连续沉积记录解析盆山构造演化是一种有效的研究方法,为此本文从盆山耦合角度出发,基于盆地沉积序列及其中不同尺度碎屑组分的研究及对比,对连续沉积记录所隐含的构造信息进行提取,试图对新生代天山隆升与库车坳陷构造演化的

关系特别是新生代盆地是否存在构造转换以及可能的转换过程作进一步探讨。

1 库车坳陷构造的基本格局及其再认识

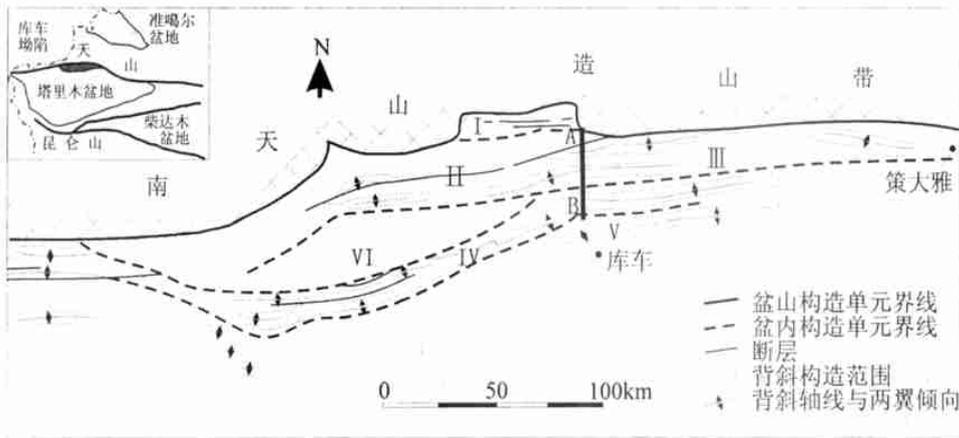
紧邻天山南麓的库车坳陷是塔里木盆地最北缘近东西走向的次级构造单元(图 1)。对库车坳陷新生代构造变形的主流认识以往多归结为逆掩推覆构造^[12-16,7],表现为以断坪-断坡式的台阶状逆断层作为滑动机制的盖层薄皮推覆构造,在剖面上形成一个向南变薄尖灭的推覆构造楔,滑脱面北深南浅^[7,12-15];并认为这种构造起因于印藏碰撞的远距离效应,导致天山产生大规模陆内 A 型俯冲,而在塔里木盆地北缘形成一系列向盆地方向的逆掩冲断岩席。

然而,在认识该区构造演变时如下一些新的构造迹象不容忽视:(1)库车坳陷中-新生界不整合在南天山已强烈变形主体向南逆冲的古生界地层上。(2)库车坳陷中-新生界的构造几何形态表现为由一系列近东西走向的向斜和背斜组成,其中前缘表现为脆性的逆冲褶皱,秋立塔格隆起构造即位于该带;中部向斜宽缓,背斜紧闭或呈箱状;后缘已剥蚀。该构造层中一系列的晚期脆性构造指示了明显的张性应力场的叠加。(3)古生界地层已强烈变形,主要表现为向南的韧性逆

① 国家重点基础研究发展规划(973)项目 G1999043303课题资助

② 中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测(国家 973项目 G199904333中期进展报告), 2002。

收稿日期: 2003-01-03 收修改稿日期: 2003-01-10



A-B. 库车河沉积剖面, I. 山前单斜构造带, II. 依奇克里克构造带, III. 吐格爾明构造带, IV. 秋里塔格构造带, V. 库车-亚青构造带, VI. 拜城凹陷

图 1 天山-库车拗陷构造单元与库车河沉积剖面位置

Fig. 1 Tectonic unit division in the Tianshan-Kuqa depression and location of the Kuqa river depositional section

冲褶皱,并伴有普遍的绿片岩相变质作用,其中形成的矿物线理与中-新生界褶皱的运动学方向不一致。综合上,中-新生界构造变形属性与古生界存在明显不同,预示两个构造层的变形主幕分属两个完全不同的时代。

2 库车拗陷新生代地层-沉积序列及其构造涵义

2.1 新生代岩石地层单位及其年代限定

由于缺乏有效的定年标志,库车拗陷新生代生物地层时代及其相互接触关系存在较大的不确定性。根据近年来对库车河剖面新生界初步的磁性地层学^① [19-20]和库车拗陷生物地层学^②的研究,本文对库车拗陷岩石地层单位的年代作出如表 1 的界定。就目前积累的资料看,对库姆格列木群、苏维依组、库车组和西域组争议仍较大,其中对库车组和西域组还存在着野外认识对象的不一致。本文所指的库车组在露头上是指一套以黄灰色-棕色砾岩夹砂岩为主的沉积,与邻区阿图什组细粒沉积为同期异相,与下部康村组

为平行不整合(北部露头区)或角度不整合(南部覆盖区)接触。西域组(西域砾岩)在库车拗陷主要发育在中-新生界构成的背斜两翼和向斜核部,以角度不整合超覆于不同地层组之上,在库车剖面为一套中-厚层灰色砂砾岩、砾岩夹土黄色粗砂岩及砂泥岩透镜体。西域组可分为上、下两个砾岩段^[19-20]。

2.2 库车拗陷新生代充填序列与结构

依据不整合面的发育,库车拗陷新生界自下而上可以初步划分为四个构造层序(图 2)。I. 由库姆格列木群和苏维依组构成,与下伏白垩系呈角度平行不整合接触,总体显示下粗上细的粒序特征和湖进序列,厚度 300~3 000 m; II. 由吉迪克组、康村组构成,与层序 I 呈微角度平行不整合接触,显示下细上粗的粒序特征和湖退序列,厚度约 1 000~2 600 m; III. 由库车组构成,显示下细上粗的粒序特征和湖退序列,厚度 450~3 600 m; IV. 由西域组构成,厚度大于 600 m,最大残留厚度约 1 366 m,为近源冲积成因。

对库车拗陷中-新生界沉积格架研究显示:(1)自白垩纪以来,北部天山物源供给增大,显示天山隆升加

表 1 库车拗陷新生界岩石地层单位的时代限定

Table 1 Age constraints on lithostratigraphic units of Cenozoic in the Kuqa depression

岩石地层	库姆格列木群	苏维依组	吉迪克组	康村组	库车组	西域组
生物地层 ^②	古-始新统	始-渐新统	中新统	中新统	中-更新统	更新统
磁性地层 ^[19-20]	?-始新统	始-渐新统 (38~24.4Ma)	渐-中新统 (24.4~16.9Ma)	中新统 (16.9~5.3Ma)	上新统 (5.3~3.4Ma)	上-更新统 (3.4~1.5Ma)
本文	古-始新统 (E ₁ -2km)	始-渐新统 (E ₂ -3s)	中新统 (N _{1j})	中新统 (N _{1k})	上新统 (N _{2k})	更新统 ((N ₂ -Q ₁)x)

① 塔里木油田勘探开发研究院,中国科学院兰州地质所. 库车河剖面第三系磁性地层划分对比研究. 1997.

② 塔里木油田勘探开发研究院. 塔里木盆地覆盖区显生宙地层统层. 2001.

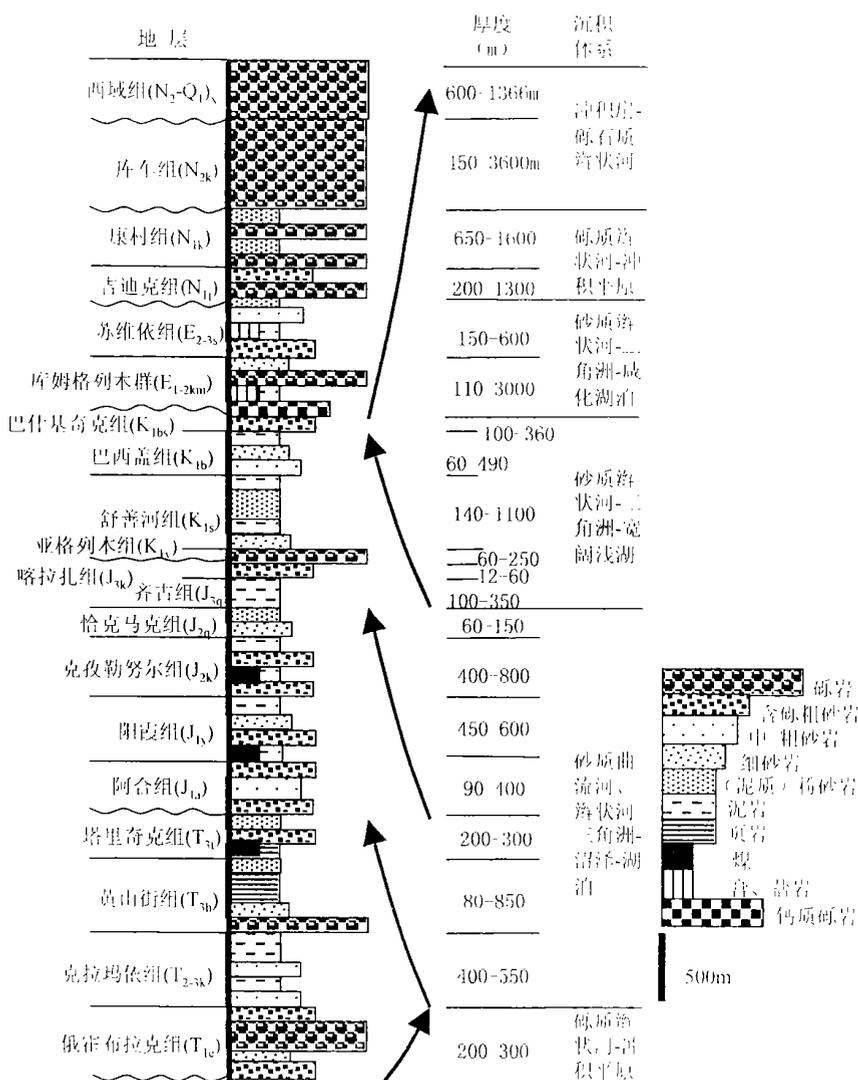


图 2 库车坳陷充填序列与演化阶段 实线箭头表示粒度变化趋势

Fig. 2 Fill-sequence and evolution phases of the Kuqa depression

剧,库车坳陷粗粒冲积体系前锋,沉积中心逐步向南迁移(图 3a~3e),但直到中新世康村组以前向南迁移的幅度并不大,特别是这一时期的盆地北部沉积边界尚在现存盆山边界以北(未保存),在此过程中冲积扇等粗粒沉积体系明显向西迁移,表明(南)天山物源区强烈隆升并在向南推进过程中以西南天山表现最为突出;(2)库车坳陷自白垩纪以来粗粒冲积体系前锋,沉积中心逐步向南迁移的规律自上新世开始发生了明显转变,表现为库车坳陷北缘上新世库车组上-更新世西域组冲积体系整体大尺度南移,而沉积中心则相对北移(图 3f);此外盆地北部沉积边界(南倾正断裂)也明显南移,与现存盆山边界大致可以对比,其南侧的库车组及西域组呈近水平产出(图 4a),均为冲积扇沉积组合(图 4b),显示上-更新世盆地北部沉积边界具有同沉积正断裂性质,而不是逆冲断裂(图 4c),这也得到了在策达雅等地区开展的详细断裂要素研究^①的

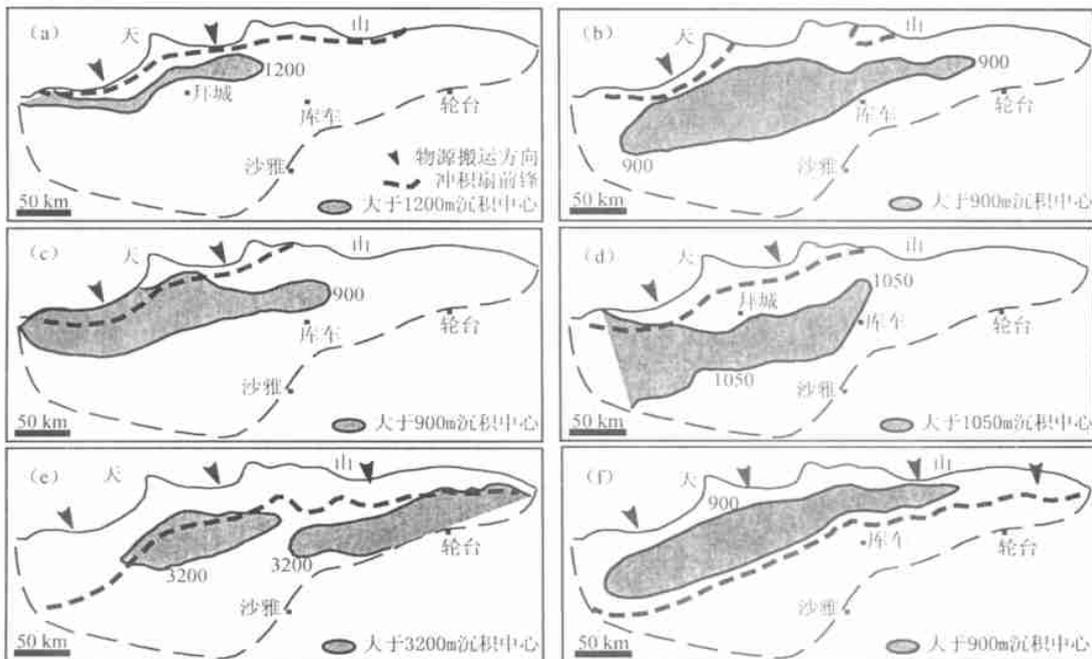
确认。

3 库车河剖面中-新生界碎屑组分变化特征

选取天山南麓、库车坳陷北部的库车河露头沉积剖面(图 2),对砾石、砂岩碎屑、碎屑重矿物等沉积记录所包含的盆山构造演化信息进行解译。

砾石体积百分比统计在野外完成,每个测量点面积不小于 2 m²。结果表明,自白垩纪开始,砾石成分趋于复杂,稳定性差的片岩、千枚岩、硅质岩、大理岩开始出现(图 5a),尤其在上第三系砾岩含量的增加,表明进入晚第三纪后构造活动开始加剧;而库车组中砾径

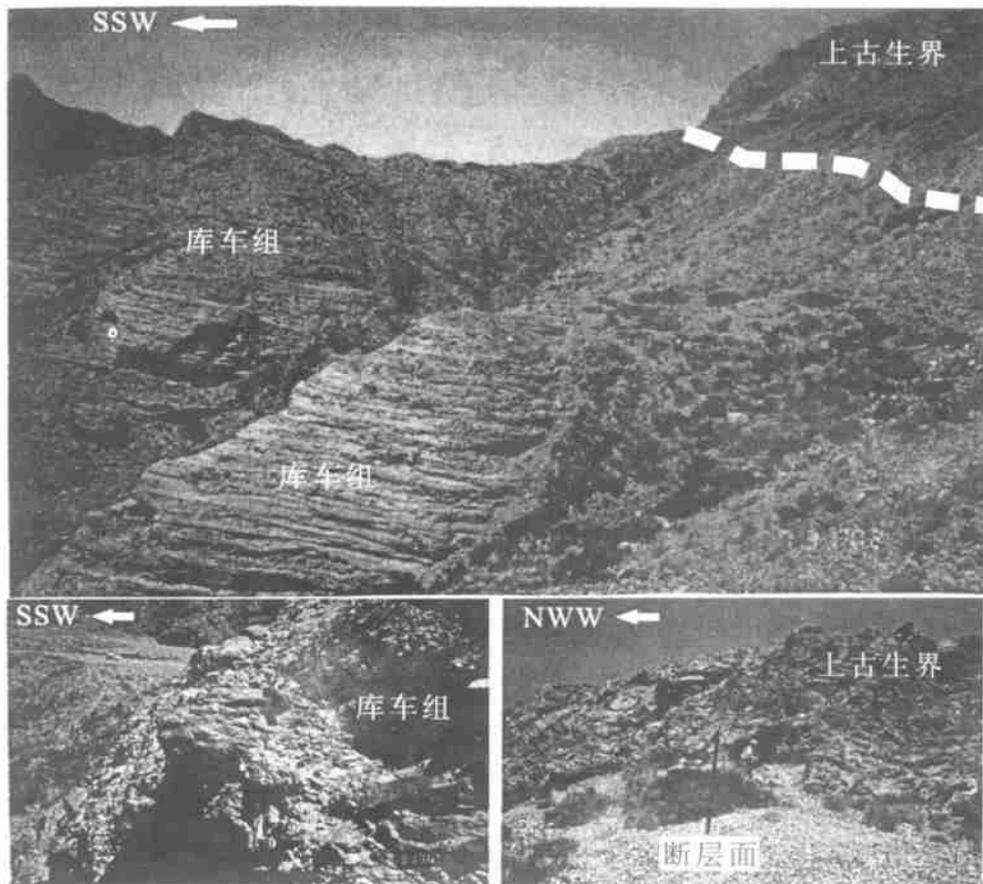
① 中国典型叠合盆地油气富集与分布预测·(国家 973 项目 G19990433)中期进展报告)2002



(a)白垩系,(b)下第三系,(c)中新统吉迪克组,(d)中新统康村组,(e)上新统库车组,(f)上-更新统西域组

图 3 库车坳陷中-新生代冲积扇体系与沉积中心区迁移

Fig. 3 Migration of fluvial systems and depocenters in Mesozoic-Cenozoic in the Kuqa depression



(a)同沉积正断层控制的库车组砂砾岩沉积体,库车组总体近水平产出,虚线指示正断层大致走向;(b)库车组冲积扇沉积体;(c)上古生界中倾向南南西(指向读者)的正断层面,其上发育指向南南西的擦痕

图 4 库车坳陷北界策达雅同沉积正断层对上-更新统沉积格局的控制

Fig. 4 Syndepositional normal fault controlling depositional framework of Pliocene-Pleistocene in the Cedaya, north boundary of the Kuqa depression

可大于 50~90 cm, 并出现以灰岩和碎屑岩组合为特征的沉积岩砾石的优势现象, 反映了构造环境的新变化。从结晶岩砾石的分布看, 从白垩系到第三系侵位较深的基性岩类明显增加, 而花岗岩类砾石则有白垩纪以细小晶体为主, 第三纪以粗大晶体为主的变化趋势, 表明了物源区被剥蚀的花岗岩体从侵位较浅到侵位较深的发展, 晚第三纪以来天山隆升和剥露深度显著增大。

对砂岩岩石薄片按 Dickinson^[21,22]的方法作了系统的成分统计, 表明自三叠纪至第三纪砂岩碎屑的成分成熟度总体具有明显变低趋势, 演化阶段性明显(图 5b, 5c) 其中自白垩纪开始特别是进入晚第三纪, 不稳定的岩屑开始增多, 而稳定的单晶石英含量锐减, 反映晚第三纪构造活动开始加剧。应该指出, 从中新世康村组到上-更新世库车组-西域组, 尽管砂岩稳定碎屑颗粒含量变化不大, 但不稳定的岩屑却有明显增幅, 指示了更加活动的构造环境。重砂分析通过无污染粉碎、过筛(筛选 40~140目, 约 0.42~0.105 mm 粒级)、精淘、电磁和重液分离、鉴定与计量等程序完成。结果表明重矿物的垂向(层位)分布也存在着类似的变

化规律(图 5d, 5e), 即代表高成熟度的“锆石+金红石+电气石+锐钛矿”组合在中-上三叠统至侏罗系占优势, 表明该层位所代表的时期母岩的剥蚀较慢, 或碎屑物经过长时期的风化、磨蚀才最终堆积下来; 而稳定性极差的“角闪石+辉石”组合在晚第三纪上新世以后增多, 含量可达 1%~2%, 反映了当时的盆山体系经历着快速剥蚀、快速堆积的过程。钛铁矿是一种主要与中基性岩浆岩有关的稳定重矿物, 但在库车河剖面上它主要出现在下三叠统、早白垩系与上第三系上部层位, 而这些层位在以上分析中均对应构造活动期, 因此它的产出意义尚有待研究

4 讨论

在岩性意义上, 磨拉石是描述砂岩和砾岩的巨厚沉积岩系, 它往往被认为是由造山运动产生的大陆沉积地层或构造岩相^[23]。尽管在解释一套由砂岩和砾岩组成的巨厚陆相沉积时, 气候因素是不容忽略的^[24], 但对于与造山带相邻的陆内盆地来说, 显然构造因素是控制碎屑沉积(特别是不稳定粗碎屑沉积)及其层序结构的内因

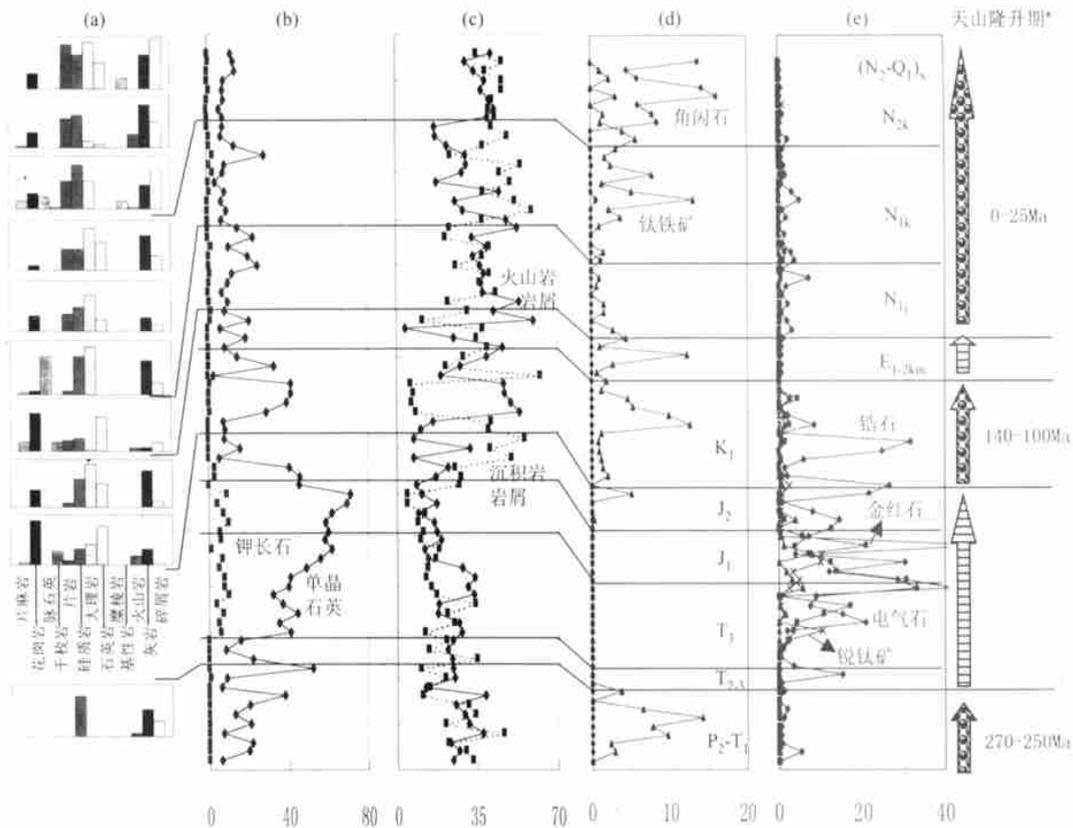


图 5 库车拗陷库车河剖面砾石 (a)、砂岩骨架碎屑 (b, c)、碎屑重矿物成分 (d, e) 组合序列与阶段划分

Fig. 5 Depositional gravel (a), sandstone framework grain (b, c) and detrital heavy mineral (d, e) composition sequences and their evolutionary phases in the Kuqa depression

从晚侏罗世齐古组开始,红色沉积开始持续发育,清晰地反映塔里木盆地及邻区进入了一个新的干热气候阶段^[25,26]。进入第三纪以后,尽管干热气候得以发展,但直到中新世(9 Ma或 22 Ma)才由于青藏高原的强烈隆起引发了气候环境的剧变,并导致亚洲内陆干旱化、沙漠化的开端^[27,28],以及塔里木盆地西南部上新世-早更新世风成黄土的发育^[29]。另一方面,依据磷灰石裂变径迹资料研究显示^[30],天山经历了晚古生代晚期(270~250 Ma)、晚中生代(140~100 Ma)和晚第三纪(25 Ma 以来)三次大的隆升和剥露阶段(图 5),并认为它们分别缘于塔里木-中天山复合块体与北天山之间的第二次基底缝合碰撞、拉萨块体与亚洲南缘碰撞、印度次大陆与亚洲南缘碰撞的远程效应。杨庚等^[31]也得出早白垩纪(134~109 Ma)天山发生过一次较强的隆升过程。不过多数地理学和构造学的研究认为,天山主要是在晚第三纪构造活动开始加剧,并出现了最为强烈的山-盆差异升降^[3,11,30,32-37]。

库车坳陷新生代类磨拉石层主要产于晚第三纪吉迪克组-康村组-库车组、晚第三纪-第四纪西域组。对比库车坳陷类磨拉石层位及其岩矿组成与区域气候变动事件、天山构造隆升活动时间(图 5),不难看出,上述层位对应 25Ma 以来的天山构造隆升活动期,说明天山构造隆升活动在库车坳陷碎屑沉积记录中留下了深深的烙印。然而,从中新世康村组到上-更新世库车组-西域组,库车坳陷碎屑沉积记录的系统变化又有什么动力学含义呢?显然,目前磷灰石裂变径迹给出的山-盆差异隆升资料已不能作出清晰的说明,而库车组、西域组底部构造不整合的存在亦非气候变迁单一因素所能解释。

库车坳陷由吉迪克组-康村组到库车组、西域组,粒度的增大、不稳定碎屑(矿物)含量的持续增加或突变,本文认为其首先表明天山的持续构造隆升,使得北部(天山)物源区与库车盆地区的地势高差呈增大趋势;而根据前述中-新生界冲积扇体系与沉积中心区迁移的研究,库车组(至少是上部)、西域组的沉积显然受控于伸展构造体制,并具有同构造沉积的性质。因此本文提出,尽管从天山-库车坳陷曾经存在类似“前陆盆地”的逆掩冲断构造作用和强烈的地壳缩短,但库车坳陷在晚新生代(上-更新世)的确存在一次明显的由压性向张性的构造转换过程,其不仅控制了这一时期的沉积记录,而且对库车坳陷(至少是新生界)的构造演化具有重要的叠加作用。从构造动力学考察,上述构造转换过程极可能是晚第三纪以来强烈挤压应力作用下天山持续构造隆升或加剧,天山-库车盆地地势高

差增大,并诱发山体坍塌和库车坳陷浅部构造层重力坍塌^[38]或重力扩展^[39]的结果。当然详细的动力学机制尚有待进一步确认。

库车坳陷上-更新世构造转换过程应该是新近库车坳陷油气构造最重要的一次调整作用。值得一提的是,石油地质和有机地球化学研究表明,库车坳陷克拉高压气藏是构造挤压抬升中后期充注形成,主成藏期为 5 Ma 以后或 5~2 Ma^[1],这与上述构造调整作用可能具有重要关联,值得进一步研究。

5 主要认识

(1) 库车坳陷自白垩纪以来粗粒冲积体系前锋沉积中心逐步向南迁移;但该规律自上新世开始发生了明显转变,表现为上新世库车组、上-更新世西域组冲积体系整体大尺度南移,而沉积中心则相对北移,盆地北部沉积边界与现存盆山边界大致可以对比,并受到南倾同沉积正断裂的控制。

(2) 库车坳陷砾岩、砂岩、碎屑重矿物成分成熟度反映晚第三纪以来类磨拉石及不稳定碎屑矿物组合开始发育,并在上新世以后发生显著增加,表明天山隆升幅度和剥露深度在这一时期显著增大。

(3) 对比分析库车坳陷新生代碎屑沉积记录与区域气候变动事件、天山构造隆升活动时间,并结合构造变形分析,可以确定上-更新世该区至少在盆地尺度上存在一次明显的由压性向张性的构造转换过程,推测是在晚新生代南、北强烈挤压应力作用下天山构造隆升加剧,并在上新世以后由于重力作用诱发库车坳陷-天山浅部构造层伸展、坍塌的结果。该构造转换过程对库车坳陷油气构造和油气成藏可能具有重要的调整作用。

致谢:盆地资料调研得到中国石油塔里木分公司宋文杰先生、郭宏先生以及勘探开发研究中心的支持,野外工作得到李曰俊博士、胡晓勇工程师的热情帮助,研究生张仲培、彭守涛参加了部分野外工作,重矿物分离为河北地质调查局中心实验室协助完成,在此一并致谢。

参考文献 (References)

- 1 Molnar P, Tapponier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision[J]. *Science*, 1975, 189(4201): 419-426
- 2 Tapponier P, Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tian Shan, Mongolia and Baykal regions [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1979, 84: 3425-3459
- 3 中国科学院新疆地理研究所. 天山山体演化[M]. 北京: 科学出版社, 1986, 178-187[Xinjiang Institute of Geography, C.A.S. Tian-shan mountain evolution[M]. Beijing: Science Press, 1986. 178-

- 187]
- 4 Nelson M, McCaffrey R, Molnar P. Source parameters for 11 earthquakes in the Tian Shan, Central Asia, determined by P and SH waveform inversion [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1987, 92(B12): 12629~ 12648
 - 5 Avouac J P, Tapponnier P, Bai M, *et al.* Active thrusting and folding along the northern Tian Shan and Late Cenozoic rotation of the Tarim relative to Dzungaria and Kazakhstan [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98: 6755~ 6804
 - 6 高长林, 崔可锐, 钱一雄等. 天山微板块构造与塔北盆地 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 229~ 270. [Gao C, Cui K, Qian Y. Microplate tectonics in the Tianshan and the northern Tarim basin [M]. Beijing: Geological Press, 1993. 229~ 270]
 - 7 Yin A, Nie S, Craig P, *et al.* Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan [J]. *Tectonics*, 1998, 17(1): 1~ 27
 - 8 Burtman V S, Skobelev S F, Molnar P. Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tian Shan, Central Asia [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1996, 108: 1004~ 1021
 - 9 Burtman V S. Cenozoic crustal shortening between the Pamir and Tian Shan and a reconstruction of the Pamir-Tian Shan transition zone for the Cretaceous and Paleogene [J]. *Tectonophysics*, 2000, 319: 69~ 92
 - 10 Allen M B, Vincent S J, Wheeler P J. Late Cenozoic tectonics of the Kepingtage thrust zone: Interpretation of the Tian Shan and Tarim Basin, Northwest China [J]. *Tectonics*, 18: 639~ 654
 - 11 陈杰, 丁国瑜, Burbank D W, 等. 中国西南天山山前的晚第三纪构造与地震活动 [J]. *中国地震*, 2001, 17(2): 134~ 155 [Chen J, Ding G, Burbank D W, *et al.* Late Cenozoic Tectonics and Seismicity in the southwestern Tianshan, China [J]. *Earthquake Research in China*, 2001, 17(2): 134~ 155]
 - 12 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. 348~ 364 [Jia C. Structure and oil-gas in Tarim basin, China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 348~ 364]
 - 13 Lu H, Howell D G, Jia D, *et al.* Rejuvenation of the Kuqa foreland basin, northern flank of the Tarim basin, northwest China [J]. *International Geology Review*, 1994, 36: 1151~ 1158]
 - 14 刘和甫, 汪泽成, 熊宝贤等. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析 [J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 55~ 72 [Liu H, Wang Z, Xiong B, *et al.* Coupling analysis of Mesozoic-Cenozoic foreland basin and mountain system in central and western China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 55~ 72]
 - 15 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国等. 天山两侧前陆冲断系构造样式与前陆盆地演化 [J]. *地球科学*, 1994, 19(6): 727~ 741 [Liu H, Liang H, Cai L, *et al.* Foreland thrust system and basin evolution on both sides of Tianshan Mountains [J]. *Earth Science Journal of China University of Geosciences*, 1994, 19(6): 727~ 741]
 - 16 何登发, 李德生. 塔里木盆地构造演化与油气 [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 44~ 67 [He D, Li D. Tectonic evolution and oil-gas in the Tarim basin [M]. Beijing: Geological Press, 1996. 44~ 67]
 - 17 Lin C, Liu J, Zhang Y, *et al.* Depositional architecture of the Tertiary tectonic sequences and their response to foreland tectonism in the Kuqa depression, the Tarim Basin [J]. *Science in China, Series D*, 2002, 45(3): 250~ 258
 - 18 康志宏. 塔里木原型盆地分析 [A]. 见: 康玉柱主编. 中国塔里木盆地石油地质文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1996. 136~ 145 [Kang Z. Proto-basin analysis in the Tarim [A]. In: Kang Y, ed. Symposium on petroleum geology in the Tarim basin, China [C]. Beijing: Geological Press, 1996. 136~ 145]
 - 19 邓秀芹, 岳乐平, 滕志宏. 塔里木盆地周缘库车组、西域组磁性地层学初步划分 [J]. *沉积学报*, 1998, 16(2): 82~ 86 [Deng X, Yue L, Teng Z, *et al.* A Primary Magnetostratigraphy Study on Kuche and Xiyu Formations on the Edge of Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(2): 82~ 86]
 - 20 滕志宏, 岳乐平, 何登发等. 南疆库车河新生代剖面磁性地层研究 [J]. *地层学杂志*, 1997, 21(1): 55~ 62 [Teng Z, Yue L, He D, *et al.* Magnetostratigraphic research of Cenozoic section of Kuqa river area, South Xinjiang [J]. *Journal of stratigraphy*, 1997, 21(1): 55~ 62]
 - 21 Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. *AAPG Bull*, 1979, 63(12): 2164~ 2182
 - 22 李忠, 李任伟, 孙枢等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分特征及其物源构造属性 [J]. *岩石学报*, 1999, (3): 438~ 445 [Li Z, Li R, Sun S, *et al.* Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, South Hefei Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3): 438~ 445]
 - 23 Reading H G. 沉积环境和相 (周明鉴, 陈昌明, 张疆, 等译) [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 552~ 553 [Reading H G. *Sedimentary environments and facies* [M]. Beijing: Science Press, 1991. 552~ 553]
 - 24 Zhang P, Molnar P, Downs W R. Increased sedimentation rates and grain sizes 2 ± 4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates [J]. *Nature*, 2002, 410: 891~ 897
 - 25 Hendrix M S, Graham S A, Carrol A R, *et al.* Sedimentary record and climatic implication of recurrent deformation of the Tian Shan: Evidence from Mesozoic strata of the north Tarim, south Junggar and Turpan basins [J]. *Geol Soc Am Bull*, 1992, 104: 53~ 79
 - 26 Hendrix M S. Evolution of Mesozoic sandstone compositions, southern Junggar, northern Tarim, and western Turpan basins, Northwest China: A detrital record of the ancestral Tian Shan [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 520~ 532
 - 27 An Z, Kutzbach J E, Prell W L, *et al.* Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. *Nature*, 2001, 411: 62~ 66
 - 28 Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, *et al.* Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature*, 2001, 416: 159~ 163
 - 29 Zheng H, Chen H, Cao J. Palaeoenvironmental implication of the Plio-Pleistocene loess deposits in southern Tarim Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(8): 700~ 704
 - 30 Dumitru T A, Zhou D, Chang E, *et al.* Uplift, exhumation, and deformation in the Chinese Tian Shan [A]. In: Hendrix M S, Davis G A, eds. *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation* [C]. *Geological Society of America Memoir* 194, 2001. (in press)

- 31 杨庚,钱祥麟. 中生代天山板内造山带隆升证据: 锆石、磷灰石裂变径迹年龄测定 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 1995, 31(4): 473- 478 [Yang G, Qian X. Mesozoic-Cenozoic uplift of the Tianshan intraplate orogenic belt: evidence from zircon and apatite fission track dating [J]. Acta Scientiarum Naturalium, Universitatis Pekinensis, 1995, 31(4): 473- 478]
- 32 王永兴,王树基. 天山南北麓山前坳陷的第四纪构造变动 [J]. 干旱区地理, 1994, 17(4): 38- 45 [Wang Y, Wang S. Quaternary tectonism in the foredepression of Tianshan mountains [J]. Arid Land Geography, 1994, 17(4): 38- 45]
- 33 Zhou S, Jiao K, Zhao J *et al.* Geomorphology of the Ürümqi River Valley and the uplift of the Tianshan Mountains in Quaternary [J]. Science in China Series D, 2002, 45(11): 961- 968
- 34 Rea D K. Delivery of Himalayan sediment to the northern Indian Ocean and its relation to global climate, sea level, uplift, and seawater strontium [J]. Geophys Monogr, 1992, 70: 387- 402
- 35 钟大赉,丁林. 青藏高原隆升过程及其机制的探讨 [J]. 中国科学, D辑, 1996, 26(4): 289- 295 [Zhong D, Ding L. A research on uplift process of the Tibetan Plateau and their mechanism [J]. Science in China Series D, 1996, 26(4): 289- 295]
- 36 李吉均,方小敏,马海洲等. 晚第三纪黄河上游地貌演化与青藏高原隆起 [J]. 中国科学, D辑, 1996, 26(4): 316- 322 [Li J, Fang X, Ma H. *et al.* Late Tertiary relief evolution in the upstream of Huang river and uplift of the Tibetan Plateau [J]. Science in China Series D, 1996, 26(4): 316- 322]
- 37 李吉均,方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究 [J]. 科学通报, 1998, 13(15): 1569- 1574 [Li J, Fang X. A research on Uplift of the Tibetan Plateau and environment change [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 13(15): 1569- 1574]
- 38 England P, Molnar P. Inferences of deviatoric stress in actively deforming belts from simple physical models [J]. Phil Trans R Soc Lond A, 1991, 337, 151- 164
- 39 Gawthorpe R L, Leeder M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins [J]. Basin Research, 2000, 12: 195- 218

Depositional Record Constraints on Late Cenozoic Uplift of Tianshan and Tectonic Transformation in Kuqa Depression, West China

LI Zhong¹ WANG Qing-chen¹ WANG Dao-xuan² LIN Wei¹

¹(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

²(Hefei University of Industry, Hefei 230009)

Abstract Based on system research on detrital sediments in different scales, it is found that molasse-like deposits, instable (easy abrasive) detrital grains and mineral-assemblages were developed in the Kuqa depression, the south foot of the Tianshan, in Neogene, especially after Miocene. It is also presented that gradual southward migration of alluvial depositional fronts and depositional depocenters with near east-west strike occurred since Cretaceous. However, evident changes of the above migration trend happen since Pliocene, in which large-scale southward migration of alluvial depositional systems but relative northward migration of depositional depocenters occurred simultaneously, and current north depositional boundary is near present basin-mountain boundary between Kuqa depression and Tianshan, which attributes to syndepositional normal faults of southward dip. Combined with data from tectonic and paleoclimate reserches, it is explained that the above depositional records resulted from the tectonic transformation processes in Late Cenozoic, in which gravity-extension and gravity-collapse occurred in the shallow tectosphere of the Kuqa depression-Tianshan since Pliocene due to intensive uplift of the Tianshan under continuous extrusion stress in Late Cenozoic. The conclusion on tectonic transformation processes, presented in the paper, revise the past views on Cenozoic dynamic mechanism of structural accommodation, which was explained with sole southward thrusting pattern of the Tianshan under extrusion stress regimes.

Key words uplift of the Tianshan, Kuqa depression, alluvial depositional systems, detrital minerals, tectonic transformation, Late Cenozoic