

文章编号: 1009-3850(2002)04-0017-09

区域挤压体制下盆-山耦合关系探讨 ——以河西走廊和北祁连山为例

李奋其, 王成善, 朱利东, 向芳

(成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 笔者在盆-山构造及构造地貌发育的基础上, 对研究区构造和沉积记录进行了分析, 进而探讨了新生代以来河西走廊与北祁连山的耦合关系。区内盆地和山脉是于38Ma前在准平原基础上发育起来的; 38~17Ma, 研究区处于挤压凹陷状态, 随着I级夷平面解体而盆地范围扩大; 17Ma以来, 盆地南缘不断抬升, 沉积中心向北迁移, 于4.96~3.66Ma、0.93~0.84Ma和中更新世末一晚更新世初形成向北推进的II级、III级、IV级夷平面。盆山构造的运动方式有前展式、掀斜式和对冲式3种。前展式是盆山演化的主要方式且发生时代相对较早, 后者明显活动于0.93~0.84Ma, 其中掀斜式运动是盆地内横向隆起形成的主要原因, 而对冲式运动的标志是盆地北缘龙首山、合黎山的隆起。

关键词: 河西走廊; 北祁连山; 盆地; 断裂

中图分类号: P542

文献标识码: A

1 前言

由于资源环境的持续恶化, 盆-山构造的研究日益引起人们的关注^[1], 造山和成盆过程之间形成相互关联、相互制约和相辅相成的共生关系, 即盆-山构造耦合。

盆-山构造耦合按其形成的动力学条件, 可分压缩型、走滑型和伸展型三大类。最近, 国内一些学者结合太行山、龙门山等造山带及阿尔金断裂带、郯庐断裂带, 研究了伸展型和走滑型的盆-山构造^[2~3] (刘少峰等, 1999)。关于挤压型盆山构造, 国内外学者已作过广泛的研究, 但对盆-山耦合过程的研究仍显得不足。牟中海(1992)利用地震剖面对压性盆地进行了研究, 认为地层的缩短是通过褶皱、断层的逆冲实现的^[6], 与本文研究区实际状况吻合。

青藏高原北缘的河西走廊是我国西部一个典型

的新生代挤压性盆地^[7], 北祁连山为其紧邻的新生代崛起的重要山系。目前对该区的研究主要集中在三个方面: 一、基于盆地构造的石油地质条件的研究^[8~10]; 二、基于盆地沉积物的青藏高原隆升速率的研究^[11]; 三、基于活动断裂、夷平面和阶地的地震的研究^[7, 12~19]。无疑, 上述研究是将盆和山分割开来的, 但对笔者的此次盆-山研究打下了良好的基础。将二者结合起来不仅有助于盆-山耦合过程及机制的研究, 而且对恢复青藏高原的隆升过程和方式的研究具有重要意义。

2 盆-山构造发育基础及构造地貌

河西走廊及南邻的北祁连山位于华北板块北缘。中寒武世早期, 统一的中国古陆在区内经陆内裂谷作用发生裂解, 于晚奥陶世末碰撞成山, 进而于志留纪在褶皱山系前形成前陆盆地^[17]。此次板块

收稿日期: 2002-09-07

第一作者简介: 李奋其, 男, 1966年生, 在读博士, 从事盆地分析研究

的开合作用形成了一系列 NWW 向断裂, 将研究区分割成一系列块断体。泥盆纪时, 进入碰撞期后造山阶段。经过泥盆纪强烈的构造剥蚀, 到石炭纪初, 北祁连山及其南北邻区已经夷平到准平原化程度。石炭纪—三叠纪时, 基本上处于伸展环境, 为海陆交互互相沉积。侏罗纪时, 该区受其南边中特提斯洋关闭的影响, 遭受来自南部的挤压力, 再次发生造山运动。这次造山运动的特点是推覆、逆冲和左行走滑断裂活动, 并且由此而引起的地壳再次缩短和增厚。其结果使本区的泥盆系和石炭系—三叠系均卷入到推覆和逆冲构造之中。侏罗纪—白垩纪时, 研究区转入伸展构造环境^[18], 接受侏罗纪—白垩纪陆相盆地沉积(甘肃地质志, 1989)。

白垩纪晚期, 强烈的燕山运动使盆地上升而转入准平原化状态, 此种状态可能持续到渐新世初期^[15]。该准平原是 I 级夷平面。现今地貌形态多显示为连续的山峰顶面, 海拔高程变化大, 由于经历时间长而连续性差。北祁连山西段的高程为 4800~5000m, 东段为 3800~4000m。河西走廊是挟持于海拔约 3000m 以上的北祁连山、龙首山之间的低洼

地带, 地貌高差一般为 2000~3000m。走廊内部自西而东发育的文殊山隆起、榆木山隆起和大黄山隆起将走廊分割为酒西盆地、酒东盆地、民乐盆地和武威盆地(图 1)。这些横向隆起海拔向东渐次增大。

河西走廊-北祁连地区发育四级夷平面。I 级夷平面前已述及。II 级夷平面高程在西段为 4300~4600m, 东段为 3800~4000m, 它形成于上新世末, 而解体于早更新世初。III 级夷平面高程在西段为 3500~3800m, 东段为 3300~3600m, 形成于早更新世末, 而解体于中更新世初期^[15]。IV 夷平面位于 II 级夷平面以北, 由盆地南部的低山丘陵组成, 海拔为 2200~3100m, 表现为平台, 分布较广, 形态简单且多呈扇状向北伸展, 主要由晚新生代地层组成, 切割的最新地层为中更新统酒泉组, 其隆升解体可能发生于晚更新世初期。再向北即属以片流为主的冲洪积戈壁面, 海拔为 1700~2200m, 可能成型于晚更新世晚期。上述四级夷平面及冲洪积戈壁面从南向北依次变低且形态上趋于完整, 显示极为明显的垂直差异性。在榆木山横向隆起上分布有 3 个较为平坦的山顶面, 高程分别为 3700m、3000m 和 2500m。其中 3

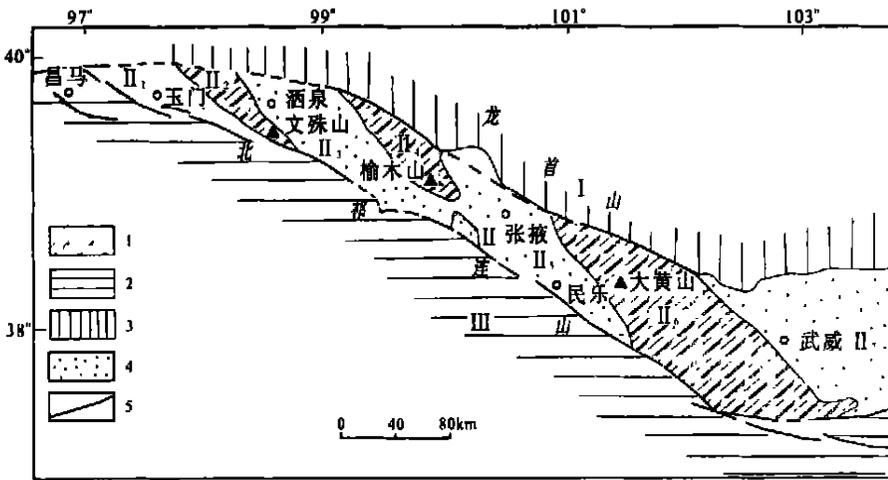


图 1 河西走廊-北祁连山地区构造略图

(据玉门石油管理局资料编)

1. 盆地内的横向隆起区; 2. 阿拉善地块隆起区; 3. 祁连山褶皱带; 4. 盆地; 5. 断裂。I. 阿拉善地块; II. 河西走廊盆地; II₁. 酒西盆地; II₂. 文殊山隆起; II₃. 酒东盆地; II₄. 榆木山隆起; II₅. 民乐盆地; II₆. 大黄山隆起; II₇. 武威盆地; III. 祁连山褶皱带;

Fig. 1 Simplified tectonic map of the Hexi Corridor-North Qilian zone

I = transverse uplifts within the basin; 2 = uplifts on the Alxa block; 3 = Qilian fold zone; 4 = basin; 5 = fault. I = Alxa block; II = Hexi Corridor Basin; II₁ = West Jiuquan Basin; II₂ = Wenshushan uplift; II₃ = East Jiuquan Basin; II₄ = Yumushan uplift; II₅ = Minle Basin; II₆ = Dahuangshan uplift; II₇ = Wuwei Basin; III = Qilian fold zone

级平台上覆盖有中更新世早期的砂砾石层,反映榆木山在中更新世晚期以来的强烈隆升。

走廊盆地内,各条主要河流在流经盆地南缘山前台地和盆地内部横向隆起时强烈下切,发育有多级阶地,如酒西盆地的石油河发育7级,北大河发育12级,民乐盆地的梨园河和黑河都发育7级,武威盆地的石羊河发育5级。从阶地的分布、发育及所处地貌部位分析,这些阶地具有区域上的可比性。而绝大多数河流除I级阶地为堆积阶地外,其他都属基座阶地,阶地之间的高差都很大,一般达30~50m。气候和侵蚀基准面的变化不可能达到这一水平。因此,阶地形成应与构造活动有关,每次阶地的形成反映了构造活动的一次强弱变化^[15]。

3 北祁连山-河西走廊盆地构造分析

河西走廊的酒西盆地自南而北依次为南部断褶带、中央凹陷带和北部单斜带。酒东盆地和民乐盆地新生代的沉降中心在盆地中部,发育NWW向的对冲式断层,但其尚未穿通新生代地层。武威盆地凹陷分布于南西边缘,向东消失于民勤沙漠中,横向上被NW向-SN向展布的文殊山断裂、榆木山断裂、大黄山断裂分割为3个独立块体,总体为雁列式展布^[7]。就整体而言,各构造块体向东依次为凹陷、斜坡、隆起,可能是各块体掀斜作用所致。盆地基底均由中生界和下古生界组成,盖层为新生界但有向东变薄的趋势^[13]。

文殊山隆起表现为NW向背斜,由第三纪一早更新世地层组成,表明走廊地区各构造块体之间在早更新世末-中更新世初期存在NE-SW向的挤压

力,各块体开始向北东方向逆冲^[16]。榆木山隆起主要由下古生界、上古生界组成,还有少量新生界地层。大黄山隆起由下古生界组成,其内部发育两个东西向次级凹陷,是后期NNE向挤压作用所致。它成生于寒武纪-志留纪,尔后不断活动^[18,19]。构成盆地东西边界的NNW向断裂在祁连山造山带亦较常见,它普遍截错NWW向断裂,至今仍在活动^[12,14,15],但形成时代仍是地质工作者争论的问题。

据《甘肃省地质志》(1989),构成盆地南北边界的NWW向断裂构造是北祁连山造山带的骨架断裂。此类断裂在玉门之东是高山块体的滑动面,而在酒西盆地则控制着南部断褶带的成生,可能是断层运动速率有强弱之故。根据断裂构造走向、倾向、活动时代及断裂运动学特征,将构造块体的运动形式分为前展式、掀斜式和对冲式3种类型。

1. 前展式运动

前展式运动发育于北祁连山北缘地区。该构造型式是较晚形成的逆断层,以前展或背驮(piggy-back)的形式,携带较早形成的上盘向前运动。青藏高原的南缘地区发育许多前展式叠瓦逆断层,喜马拉雅山的造山运动由北向南迁移。主中央冲断层活动于渐新世-中新世,南部的主边界断层则活动于中新世早期,而近代的活动则位于更南部的西瓦利克带的南缘。逆断层的活动依次由外变新,它们依次控制着中生代、第三纪、第四纪凹陷。在河西走廊-祁连山的过渡地带,此种构造由一系列走向NWW、倾向SW、地表倾角50°~70°而深部缓倾的逆掩断裂构成(图2)。因此,许多学者称北祁连山为推覆造山带^[17,18]。

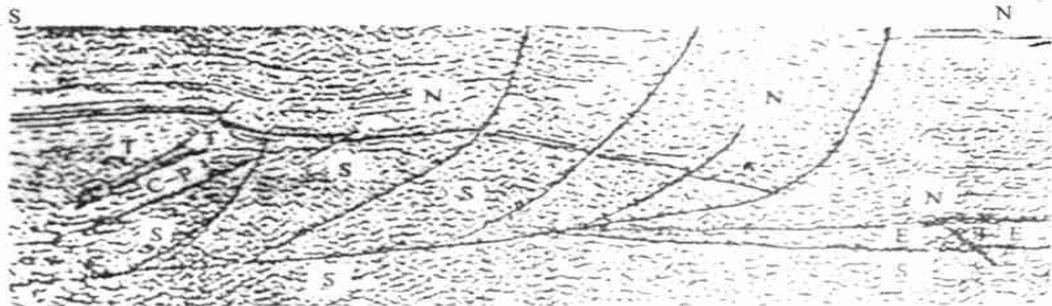


图2 老君庙逆掩断裂带鸭儿峡地震测线剖面^[20](据玉门石油管理局资料)

N, 新第三系; E, 老第三系; T, 三叠系; C-P, 石炭系-二叠系; S, 志留系

Fig. 2 Seismic profile in Ya'erxia within the Laojunmiao thrust zone

N= Neogene; E= Paleogene; T= Triassic; C-P= Carboniferous-Pemian; S= Silurian

研究区最典型的例子当属老君庙断裂和玉门断裂。前者形成于上新世末—早更新世初,控制着玉门砾岩的形成;后者形成于早更新世末—中更新世初,是酒西盆地南部断褶带与中央凹陷带的分界,地貌上为相对高出约600m的台地,构成四级夷平面,控制酒泉砾岩的形成^[16]。

在酒东盆地、民乐盆地,作为二者边界的佛庙洞断裂和民乐-大马营断裂在遥感影像上与玉门断裂属于同一断裂,活动时代一致,亦为蠕滑活动,但形成高峻的山脉,可能是滑动速率较快之故。此种前展式叠瓦逆断层因印度板块与欧亚大陆碰撞而产生的NNE向挤压应力场不断向北扩展,使先期造山作用形成的断裂向北复活,不断地使推覆体前缘增生扩大,而使岩石圈负载挠曲而成山、成盆。

2. 掀斜式运动

掀斜面为文殊山断裂、榆木山断裂和大黄山断裂,其总体呈NW向—SN向展布,是统一应力场作用的产物。文殊山断裂走向 320° ,倾向SW,倾角陡立。据断裂旁侧褶皱轴的排列、洪积扇体的向右偏移以及河流在靠近断裂段有规律的右旋扭曲等现象表明,这条断裂还具有右旋扭动特征^[7]。断裂活动不仅使第三系红层逆冲于玉门砾石层之上,而且错断了文殊沟II级阶地砾石层,错动幅度为0.6m。其上的II级阶地也被错断,断距为3.06m。

榆木山东缘断裂总体呈NW向展布,南部被北祁连山推覆体掩盖,北部消失于全新世洪积物中。同时,榆木山地块沿着东缘断层向东西逆冲到民乐

盆地地块之上^[14],造成断裂两侧榆木山隆起与民乐盆地约1500~2000m的高差。这种变形方式是河西走廊中主要块体所具有的共同特征,即西侧块体逆冲到东侧块体之上(图3)。

大黄山东缘断裂走向为 $335^\circ\sim 34^\circ$,倾向SW,倾角 $45^\circ\sim 80^\circ$,具逆冲和右旋扭动特征^[21]。据物探资料,断裂东盘晚第三纪地层埋深在800m以下,而断裂西盘晚第三纪地层已出露地表,为逆走滑型断层^[7]。关于NNW向—SN向断裂的形成时代,目前尚无定论。在酒西盆地,SN向—NNE向断裂控制着侏罗纪—白垩纪次级断陷盆地^[20],可能形成于侏罗纪前。酒西盆地、酒东盆地第三系磁性地层对比表明,它们有相对扭动特征^[21],暗示着该断裂在第三纪时已经存在。

各隆起由包含背斜和向斜的复式褶皱组成,隆起带两翼坡度变化较大,一般表现为西翼缓,倾角为 $15^\circ\sim 30^\circ$,东翼陡,倾角可达 $40^\circ\sim 70^\circ$ 。隆起高点偏向东缘,NNW向断裂统一发育在隆起带的东翼,断面一致倾向南西。在断裂的下盘形成压陷性盆地,盆地基底向西呈箕状下陷,晚新生代沉积体也相应地形成向山根增厚的楔状体。由上分析不难看出,河西走廊各块体于晚新生代在印度板块的NNE向的挤压作用下,发生NNE向的逆冲、NNW向的走滑。各块体前方形成横向隆起,亦是走廊各盆地抬升到现今位置的原因。NNW向断裂是发育在祁连山构造带中的一组重要活动断裂,它横穿NNW向主断裂,构成了一组明显的横向障碍构造,对发生在

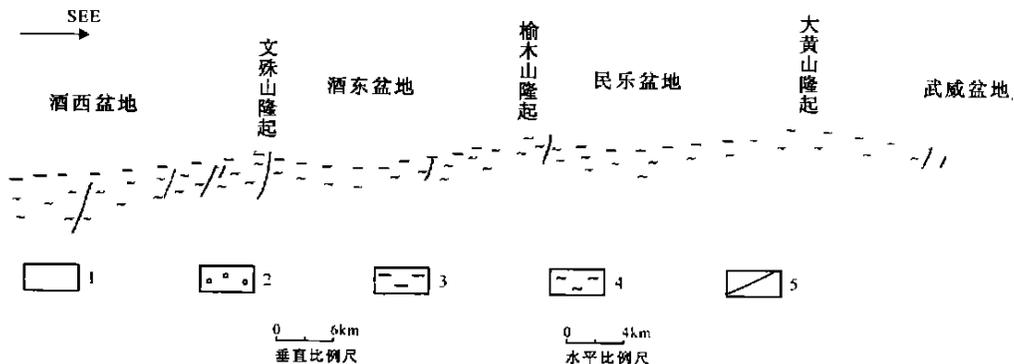


图3 河西走廊盆地纵剖面图(据玉门石油管理局资料编)

1 第四系; 2 新第三系—第四系未分; 3 新第三系; 4 前第三系; 5 断层

Fig. 3 Longitudinal profile through the Hexi Corridor Basin

1=Quaternary; 2=Neogene—Quaternary; 3=Neogene; 4=pre-Tertiary; 5=fault

侧向主断裂上的水平走滑运动有一个明显的阻碍作用。它的复活是祁连山主断裂开始发生走滑的显著标志之一。

3. 对冲式运动

祁连山北缘断裂由一系列逆掩推覆断层组成,已是不争的事实。而走廊北缘的龙首山断裂为由北向南逆冲,已经得到了钻孔资料的证实^[7]。例如,龙首山地区的尖山附近,太古代—古元古代深变质结晶岩系由北向南逆冲于侏罗系、第三系之上;在山丹北,该深变质结晶岩系直接冲覆于第四系之上(图4)。

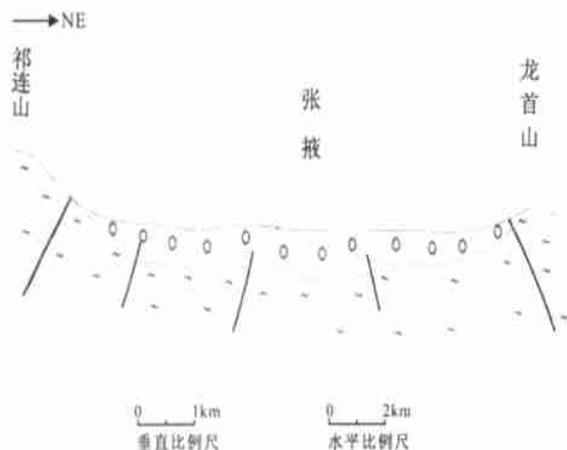


图4 张掖地区对冲式叠瓦状逆断层(据玉门石油管理局资料编,图例见图3)

Fig. 4 The ramping-type imbricated faults in the Zhangye region

小尺度的对冲式断层在河西走廊新生代沉积体中是普遍的现象。发育在玉门石油沟附近的构造剖面中,这一特点表现得十分清楚。背斜轴部两翼均发育逆冲断层,并对称出现;断层性质相同,逆冲方向相反,相向逆冲构成对冲运动形式。这种现象不仅说明强烈的挤压应力场,而且反映了河西走廊盆地抬升的方式之一。

就深部构造而言,莫霍界面自北山向南倾斜,平均深度为45km,自河西走廊加深为52km,到祁连山下达到70km以上^[22]。这可能与祁连山的向北推进或阿拉善地块的被动俯冲有关。构成河西走廊南部冲断带的数条断裂南西倾,上陡下缓,最终归并消失于3.5~4s的滑脱带上。

北祁连冲断带吸收了印度板块向北推挤产生的

压应力^[23]。一般而言,碰撞后阶段,地壳物质沿一系列断裂进行侧向位移的行为是“大陆逃走”、“大陆逐出”或“大陆挤出”的重要运动特征^[23,24]。在祁连山-河西走廊地区,虽然经历了多次“大陆逃走”作用,但是印度板块挤压造成的此种效应仍有清晰的表现,如错断水系和阶地^[12],当块体的侧向滑动受到NNW向断裂阻挡时转换为垂直运动,形成走廊内的横向隆起。

对这一过程,许多学者从地貌学和地球物理学方面已作了论证^[7,23,25]。上述几种运动形式贯穿于NNE向挤压应力场及其迁移过程中,相互作用,相互补充。

4 沉积记录

河西走廊新生代地层缺失古新统和始新统,盆地内接受的最早沉积物是上、中渐新统火烧沟组,向上依次为中新统白杨河组、上新统疏勒河组、上新统一下更新统玉门组、中更新统酒泉组、上更新统松散堆积的戈壁砾石和全新统(表1)。

火烧沟组角度不整合于白垩系之上,反映了渐新世初期的一次构造运动。岩性以深红色、砖红色砂砾岩和砂质泥岩为主,夹砾岩层,属冲积扇相,厚度为300~900m,时限为37.7~30.3Ma。表明这个时期河西走廊快速沉陷和祁连山的隆升。

白杨河组局部平行不整合于火烧沟组之上。该组下部的间泉子段为桔红色中粒砂岩夹棕红色泥岩,顶部为石膏层。该段厚110~140m,为稳定构造环境的产物。中部的石油沟段为棕红色砂岩、泥岩,夹砂岩、石膏层,厚40~110m。上部的干庙泉段为暗红色、棕红色泥岩、砂岩互层,为半深湖相-深湖相沉积。该时期时限为29.5~24.5Ma。表明此时走廊盆地继续下沉。但从30Ma左右缺失沉积来看,山体在隆升时靠近山边的盆地亦差异性隆升或湖退。

疏勒河组由弓形山段、胳膊塘沟段和牛胳膊套段构成。弓形山段具典型的向上变细层序,表现为逐步沉陷为深湖的过程,时限约为22~17Ma。据对老君庙剖面的研究^[11],该组其他两个层位自下而上表现为半深湖相(17~12.18Ma)、浅湖相和扇三角洲相(12.18~8.26Ma)、浅湖扇三角洲相—陆上洪积扇相(8.26~4.96Ma)。由此可见,22~4.96Ma间,玉门一带的河西走廊盆地为逐步变深、复而变浅的过程,即逐步沉陷转为隆升过程。据钻孔资料(玉门石油地

表 1 河西走廊新生代地层年龄

Table 1 The ages of the Cenozoic strata in the Hexi Corridor Basin

地 层				年 龄 /Ma	
系	统	组	段	酒西盆地	酒东盆地
第 四 系	全新统	现代冲洪积物		0.0~0.014	
	上更新统	戈壁砾石层		0.014~0.84	
	中更新统	酒泉组			
	下更新统	玉门组	上段	0.93~1.23	
第 三 系	上新统		中段	1.75~1.80	
			下段	1.80~3.66	
		牛肋套段	4.96~8.26	4.2~5.3	
	中新统	疏勒河组	肋塘沟段	8.26~13.0	5.3~17.5
			弓形山段	17.0~22.2	17.5~22.5
干庙泉段			24.5~27.0	24.6~26.5	
渐新统	火烧沟组	石油沟段	27.0~28.4	26.5~28.4	
		间泉子段	28.5~29.5	28.4~31.6	
		红柳峡段	30.3~33.8	缺失	
白垩系	下白垩统	中沟组	乔家湾段		33.8~34.8
			驢马城段	34.8~37.7	

注: 酒西盆地年龄据 ESR 年代^[1], 酒东盆地年龄据古地磁年龄^[2]

质志, 1986), 疏勒河组上部层位在北部的酒泉、高台一带为湖相沉积。

以上表明, 印度板块 NNE 向的挤压在区内的响应可能是盆地沉降, 之后是盆地基底随时间的推移自南而北携带其上覆沉积物沿断裂逆冲推覆(即前展式运动), 使盆地沉降中心不断向北迁移, 而后方隆起成山。这已经得到了 II 级阶地和 III 级阶地的证实。从另一方面看, 大约 4.96Ma, 已基本奠定了走廊盆地的雏形, 尔后仅是褶皱缩短和逆掩推覆的影响。

玉门组在老君庙一带与疏勒河组呈平行不整合接触或角度不整合接触。它在盆地南缘为冲积扇相砾石层, 分选性和磨圆度差, 为快速堆积的产物; 同时, 在该组上段与中段之间存在 0.52Ma 的沉积间断。沉积速率在不同时期存在差异, 3.66~3.11Ma 期间为快速洪积中扇堆积, 沉积速率为 0.22mm/a; 3.11~2.58Ma 期间, 沉积速率下降至 0.15mm/a; 2.58~2.14Ma, 沉积速率为 0.35mm/a; 1.80~1.23, 沉积速率为 0.52mm/a。该组湖相沉积主要分布于盆地中部地区。在高台县南华村的钻孔中可以见到湖相堆积物, 为厚层泥岩, 厚度为 200~300m; 在张掖和武威盆地的沉降中心部位, 钻孔可见厚度超过 70m。反映在盆地中部地区, 该时期为相对稳定的构造环境。

酒泉组与玉门组为角度不整合接触关系, 地貌上多分布于 IV 阶地。二者之间存在 0.93~0.84Ma 间的沉积缺失, 且下覆地层普遍被卷入褶皱, 说明该时

期印度板块的强烈挤压不仅使山体隆升, 而且使盆地抬升, 结束长期接受沉积的历史, 并使早期沉积地层变形和遭受侵蚀。酒泉组的形成始于 0.84Ma, 主要有冲积-洪积、湖积、冰水堆积及冰川堆积等类型。其冲积-洪积砾石及冰川堆积体多见于山前及各横向隆起两侧, 而其他沉积类型多深埋于诸盆地内部。例如, 在民乐-武威盆地的南侧, 这套冰川泥砾堆积多分布在海拔 3000m 左右的山区, 厚度大于 50m; 岩性以淡棕黄色砾岩层为主, 砾径为 0.2~0.5m, 大者可达 2m。反映沉积物搬运距离较短。湖积型沉积物见于酒泉、高台等地的钻孔中, 由亚粘土、亚砂土、砂土夹透镜状砂砾石组成。由上看来, 该时期不仅祁连山快速隆升, 而且走廊内的横向隆起也快速隆升, 盆地范围大大缩小。

上更新统分布于现代山前地带, 表现为冲积、冰积作用, 形成砾石堆积体, 厚度为 25~170m。向北过渡为厚约数米的沙土、亚砂土、粘土和少量砾石, 反映祁连山的快速隆升。

全新统主要有冲积-洪积、湖积等类型。冲积-洪积型分布于山麓地带和现代河床内, 主要由砾石、砂、亚砂土、亚粘土、砂砾及含砾粗砂等组成, 厚数米至数十米。湖沼沉积主要岩性为黑色淤泥、亚砂土、砂质粘土等, 其含盐量较高, 厚度大于 12m。

5 北祁连山抬升与盆地发育的耦合性

由上分析可知, 新生代以来, 印度板块的碰撞是

驱动北祁连山-河西走廊地区块体运动的主要原因,而运动型式往往随时间的推移而变化,它制约着祁连山-河西走廊的成生演化过程。山体抬升和盆地沉降、山体剥蚀与盆地堆积是一个对立统一的地质作用过程。山体抬升则盆地相对下沉。山体上升是下切剥蚀时期,该过程记录于相邻的盆地充填物中;山体抬升减弱以至停止,为侵蚀面拓宽、夷平期,相邻盆地相应变稳定,是细粒物质堆积期。但是,山体抬升和盆地相对下沉或上升方式与构造应力场、断裂几何学、运动学特征密切相关。因此,研究盆-山构造演化,应将山体侵蚀同盆地堆积结合起来,盆地构造与山体构造结合起来,侵蚀区的剥夷面和阶地等地貌面的形成与沉积区沉积旋回中的细粒物质堆积和不整合面结合起来,将其贯穿于统一应力场内的构造时空演化过程中,由此探求盆地、山体演化之间发育的相关性。

晚白垩世以来,河西走廊-北祁连地区处于准平原状态,构造活动微弱。大约在38Ma前,印度板块碰撞诱发的NNE向挤压应力场波及区内,岩石圈凹曲而开始成盆,盆缘接受来自山区的砾质剥蚀物;至34Ma左右,挤压应力场进一步增强岩石圈进一步凹陷,盆地下凹且范围扩大,盆缘逐步向南扩展。此过程一直持续到17Ma,现代河西走廊-北祁连山过渡地区该时期沉积物表现为向上变细的层序,沉积相从山麓相向深湖相转化,这是很好的证明。此次地质作用形成I级夷平面,在北祁连山西段表现为祁连山主峰。

由上分析可知,17~4.96Ma期间,印度板块的NNE向挤压作用在区内的表现形式主要是前展式断层的北向增生导致的盆地南界向北迁移和盆地南部的逐步变浅,它在盆地沉积建造方面得到了良好体现。据前人对老君庙剖面的研究,该时期沉积物表现为向上变粗层序,即沉积相呈半深湖相(0.11mm/a)→浅湖相(0.13mm/a)→浅湖扇三角洲相(0.16~0.3mm/a)→陆上洪积扇相(0.21~0.23mm/a)的演化,可见盆地南缘不断向北迁移或变浅。此种演化是因为,山体和盆地基底是被先期断裂分割的一系列断片。在挤压力的作用下,这些断片由南向北依次向上逆冲,但运动速率在不同的地区不尽一致。从沉积速率不断增大来看,意味着沉积场所愈靠近物源区。

与此同时,走廊各块体开始向东掀斜,海拔逾4000m的大黄山开始形成。此时,活动已得到古地磁成果的论证。4.96~3.66Ma,走廊南缘地区缺失

沉积,为准夷平原状态,II级夷平面形成。此次构造事件造成其后沉积的玉门组砾岩与疏勒河组之间的区域性平行不整合或角度不整合。这是研究区新生代构造运动的一次重要分水岭。此后的构造活动速度明显加快,地形高差显著增大。

自3.66Ma以来,挤压应力场扩展到现今祁连山北缘一带,祁连山沿边缘断裂向北逆冲,II级夷平面解体,山麓地带开始接受一套砾质堆积体,而较深水沉积多分布于走廊盆地的北部地区。从分布于老君庙一带的玉门组沉积速率和沉积间断来看,3.66~0.93Ma期间,山体或盆地隆升速率存在着强弱变化,表明块体逆冲速率的强弱变化。0.94~0.83Ma的构造隆升是区域活动中最强烈的一次。这次构造事件的一个显著的特点是,它使此前沉积的第三系红层和玉门砾石层发生了强烈的褶皱变形。其中玉门砾石层组成了各个向斜的核部和背斜的翼部地层,而此后的地层虽有变形但多数以单倾变形为主。按褶皱轴向分,有NWW向和NNW向两种类型,前者代表区域挤压应力场的产物,而后者反映块体之间的侧向挤压。不难看出,该时期走廊地区地壳强烈缩短,盆地抬升且范围缩小,以及III级夷平面、文殊山隆起、榆木山隆起和大黄山隆起的雏形已开始形成。从发育于该褶皱体背斜两翼的对冲式断层来看,河西走廊北缘的合黎山、龙首山已开始形成,这一点可以从其上堆积的玉门砾石层得到证明。此次隆升在青藏高原南北两侧均有体现,如孟加拉湾海底扇、莺歌海盆和陇川盆地沉积速率剧增^[1]。

大约0.84Ma,走廊断褶带北缘断裂开始活动,II级夷平面解体,酒泉组开始沉积。在II级夷平面北侧,为洪积扇和冰水堆积物;在更远的北部,为湖相沉积。显示山体的进一步向北增生和沉积中心的迁移。此种现象在酒西盆地和酒东盆地得到了良好的证明,即被褶皱的玉门砾石层和第三系分别沿玉门断裂、佛庙洞断裂逆冲到酒泉组之上。值得提及的是,在龙首山、合黎山山麓和山坡地带覆盖有酒泉砾石层,反映它们在中更新世的快速南向逆冲。可见,河西走廊逐步变窄。至于走廊内部的各横向隆起,此时已处于向东掀斜过程中。

晚更新世以来,祁连山北缘的断裂活动性继续向北迁移,表现为四级台地北侧的由戈壁砾石组成的向北缓倾的台地。同时,走廊各块体侧向掀斜和龙首山合黎山继续向南逆冲,河西走廊正处在消亡过程中。但是,各块体的运动是间歇性的、速率是差异性的,加之侵蚀基准面的不断变化,是形成多级阶

地的主要原因。

总之,区域挤压作用制约着盆-山系统各构造地体的运动方式,进而控制着其成生演化。印度板块的向北推挤作用是北祁连山-河西走廊新生代以来盆山转换的根本原因,早期表现为区域挤压造成的凹陷成盆,晚期是该作用驱使的断层的前展式运动、对冲式运动和侧向掀斜作用,它们交织在一起,共同决定着新生代末期以来研究区的演化方式。由此可以预计:河西走廊最终会演化为山脉。

参考文献:

- [1] DICKINSON W R Basin geodynamics [J]. Basin Research, 1994 (Supplement): 1195-1196.
- [2] 刘和甫,梁慧社,蔡立国等.川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化[J].地质学报,1994,68(2):101-118.
- [3] 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[J].地球科学,1994,19(6):727-741.
- [4] 刘和甫,夏义平,殷进垠,等.走滑造山带与盆地耦合机制[J].地学前缘,1999,6(3):121-132.
- [5] 徐杰,高占武,宋建宝,等.区域伸展体制下盆-山耦合关系的探讨——以渤海湾盆地和太行山为例[J].地质学报,2001,75(2):165-174.
- [6] 牟中海.应用地震资料建立压性盆地平衡剖面[J].石油地球物理勘探,1992,27(4):498-506.
- [7] 国家地震局地质研究所,等.祁连山-河西地区活动断裂带[M].北京:地震出版社,1993.
- [8] 黄华芳,郑国东.酒西盆地南缘推覆体及其含油气领域[J].石油与天然气地质,1993,14(3):181-190.
- [9] 陈建平,赵文智.酒东、酒西盆地的异同与油气勘探[J].石油勘探与开发,1997,24(6):12-16.
- [10] 宋廷光.酒西盆地老君庙逆冲断裂带及演化[J].石油与天然气地质,1989,10(1):75-82.
- [11] 宋春晖,方小敏,李吉均.青藏高原北缘酒西盆地 13Ma 以来沉积演化与构造隆升[J].中国科学(D辑),2001,31(B12):155-162.
- [12] 陈杰,卢演涛,丁国瑜.祁连山西段及酒西盆地区第四纪构造运动的阶段划分[J].第四纪研究,1996,(3):263-271.
- [13] 侯康明,等.祁连山构造带的新构造变形机制[J].华南地震,1996,19(2):50-56.
- [14] 李有利,杨景春,李保俊,等.河西走廊榆木山边缘断层构造地貌研究[J].地质力学学报,1997,3(4):20-26.
- [15] 谭利华,杨景春,段辉军.河西走廊新生代构造运动的阶段划分[J].北京大学学报(自然科学版),1998,34(4):523-532.
- [16] 陈文彬,徐锡伟.祁连山西段玉门断裂晚第四纪活动特征及相关问题的讨论[J].西北地震学报,1999,21(4):389-394.
- [17] 冯益民,何世平.祁连山及邻区大地构造基本特征——兼论早古生代海相火山岩的成因[J].西北地质科学,1995,16(1):92-103.
- [18] 葛肖虹,刘俊来.北祁连山带的形成与背景[J].地学前缘,1999,6(4):223-230.
- [19] 冯益民,吴汉泉.北祁连山及其邻区古生代以来大地构造演化初探[J].西北地质科学,1992,13(2):61-70.
- [20] 玉门油田石油地质志编写组.中国石油地质志(卷十三·玉门油田)[M].北京:石油工业出版社,1987:84-106.
- [21] 黄华芳,彭作林,卢伟,等.酒西盆地、酒东盆地第三系磁性地层的划分对比,甘肃地质学报,1993,2(1):6-16.
- [22] 高锐,史大年,等.青藏高原北缘碰撞变形的深部过程——深地震探测成果之启示[J].中国科学(D辑),2001,31(B12):66-71.
- [23] 吴宣志,吴春玲.利用地震反射剖面研究北祁连-河西走廊地壳细结构[J].地球物理学报,1995,38(A02):29-35.
- [24] TAPPONNIER P, MEYER B, AVOUNE J P et al. Active thrusting and folding in the Qilianshan and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1990, 97(3): 381-403.
- [25] 李清河.多震相走时和波形三维地震成像方法在祁连山山地壳结构中的应用[J].CT理论与应用研究,1999,8(3):1-9.

The basin-range coupling under the regional compressional regimes: Examples from the Hexi Corridor Basin and North Qilian Mountains

LI Fen-qi, WANG Cheng-shan, ZHU Li-dong, XIANG Fang

(Faculty of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The coupling relationship between the Hexi Corridor Basin and North Qilian Mountains is discussed in terms of tectonic and depositional records in the study areas from the Cenozoic onwards. The basin and mountains initiated on the ground of para-plains during 38 Ma B.P. The basin area increased due to the compressional regimes of the study areas and disintegration of I-order planation surfaces during 38-17 Ma. After that, the southern margin of the basin was constantly uplifted and the depocenter migrated northwards. The northward prograded II-, III- and IV-order planation surfaces appeared during 4.96-3.66 Ma, 0.93-0.84 Ma, and the latest stage of the middle Pleistocene to the early stage of

the late Pleistocene, respectively. The movement styles of the basin-range structures include piggyback, tilting and ramping types. The former one may act as the main style in early stages of the basin evolution, whereas the latter two were active during 0.93—0.84 Ma. The tilting-type movement is responsible for the formation of the transverse uplifts within the basin while the ramping-type movement is manifested in the uplift of the Longshou Mountains and Heli Mountains in the northern part of the basin.

Key words: Hexi Corridor; North Qilian Mountains; basin; fault

《沉积与特提斯地质》(季刊)征订、征稿启事

《沉积与特提斯地质》系国土资源部主管、成都地质矿产研究所主办的综合性地质学术刊物。

《沉积与特提斯地质》为季刊,大16开本,每期112页,逢季末出版。

国内统一刊号:CN51-1593/P,国际标准刊号:ISSN1009-3850。

国内外公开发行人,自办发行。

《沉积与特提斯地质》以沉积学(含岩相古地理)、区域地质调查、石油地质为特色,并以中国西部,尤其是青藏高原及邻区为主要地区。

本刊刊登基础地质(包括地层、古生物、构造地质、岩石、矿物、区域地质等)、矿床地质、能源地质、环境地质(含生态地质和灾害地质)、遥感地质、地球化学、地质信息及高新技术应用等内容文章。

诚征来稿 欢迎订阅

定价5元,全年20元(含包装、邮寄费)。

欢迎读者请直接与本刊编辑部联系(联系办法请见封底)。