

东昆仑东段中更新世以来的成山作用及其动力转换

王国灿, 侯光久, 张克信, 朱云海

(中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 对东昆仑造山带东段第四纪构造及与地貌关系的分析表明, 现代山盆相间的地貌格局成型于中更新世, 且在中更新世以来发生了多次构造变形体制的转换. 根据布青山北部查干额热格地区第四系剖面的构造、地层时代及地层与构造关系的分析表明, 中更新世时期为伸展构造体制, 昆仑山内部开始发生了差异隆升, 布青山开始崛起. 中更新世末应力体制发生急剧变化, 由伸展体制转为收缩事件, 又急速转为伸展构造体系, 短暂的收缩事件造成了中更新世冲洪积层的褶皱, 随后的伸展则导致了影响深刻的向北依次断落的阶地状正断层系统. 晚更新世应力体系再度发生重大转换, 伸展正断层体系被左旋走滑运动体系所代替, 并一直延续至今. 中更新世以来多次隆升构造变形体制的转换说明东昆仑地区的成山过程受控于多种动力背景, 而非单一的挤压抬升. 隆升构造变形体系的确定及其时代约束为深入刻划青藏高原东北缘隆升作用的动力过程提供了重要信息.

关键词: 东昆仑东段; 第四纪; 隆升构造; 成山作用.

中图分类号: P542⁺. 2 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)01-0004-09

作者简介: 王国灿(1963—), 男, 教授, 1997 年毕业于中国地质大学(武汉), 获博士学位, 长期从事构造学的教学和科研工作, 近年主要研究方向为造山带地质和构造年代学.

来自不同方面的证据表明, 青藏高原显示出 4 个快速隆升阶段, 分别为 45~38 Ma, 25~17 Ma, 13~8 Ma 及 3 Ma 以来^[1,2], 其中 3 Ma 以来的隆升作用最为强烈. 一些学者根据河流阶地的发育及古气候的变迁进一步刻划了 3 Ma 以来高原强烈隆升细节^[3~5], 从众多的研究成果来看, 人们较多地注意到第四纪以来高原隆升的地貌演化过程, 而对与隆升作用地貌演化过程相适应的构造过程特别是第四纪以来的构造过程的研究相对比较薄弱.

东昆仑造山带位于青藏高原东北缘, 是黄河的发源地, 特殊的构造部位是研究青藏高原构造抬升历史的良好场所. 近年来, 笔者在东昆仑造山带东部进行的 1:25 万冬给措纳湖幅区域地质调查过程中发现, 该地区第四系隆升构造形式多样, 并且显示出地貌、沉积与隆升构造之间的良好匹配性, 此文以这一地区布青山一带第四纪隆升过程中隆升构造发育为基础, 对成山作用及其动力转换进行了探讨.

1 地质背景

研究区处于东昆仑造山带东部, 黄河源区的北部, 由两大山系构成, 北侧为布尔汗布达山, 大面积剥露不同时代基岩, 山系的北部与柴达木盆地接壤; 南侧为布青山, 主要出露二叠—三叠系布青山岩群. 两山系之间为红水川—托索湖谷地(图 1 左下角图示), 沿谷地发育由西向东流的红水河及由东向西流的托索河, 两河在三岔口汇合成切穿布尔汗布达山的加鲁河而向北流入柴达木盆地. 布青山南坡水系总体上向南汇入扎陵湖及鄂陵湖而归属黄河水系, 北坡水系向北汇入红水河与托索河. 随着青藏高原的隆升, 加鲁河水系向南溯源侵蚀强烈, 布青山北坡沟谷有些已切过布青山而抵达其南部, 大有与黄河水系争夺水源的趋势.

据填图研究结果, 测区新第三纪湖相地层贵德群出现于布青山分水岭处, 有关研究还显示, 黄河源区早更新世地层也被抬升到近布青山分水岭处, 来自昆仑山的垭口盆地的新第三纪地层与早更新世地层的接触关系研究显示为连续沉积, 并且早更新世地层以湖相层占绝对优势, 且几乎遍布整个东昆仑

收稿日期: 2001-04-11

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40072062); 国土资源部重点科技项目“新生代区域地质调查新方法研究(No. 2000201-2-2)”; 国土资源部“1:25 万阿拉克湖幅区域地质调查”项目.

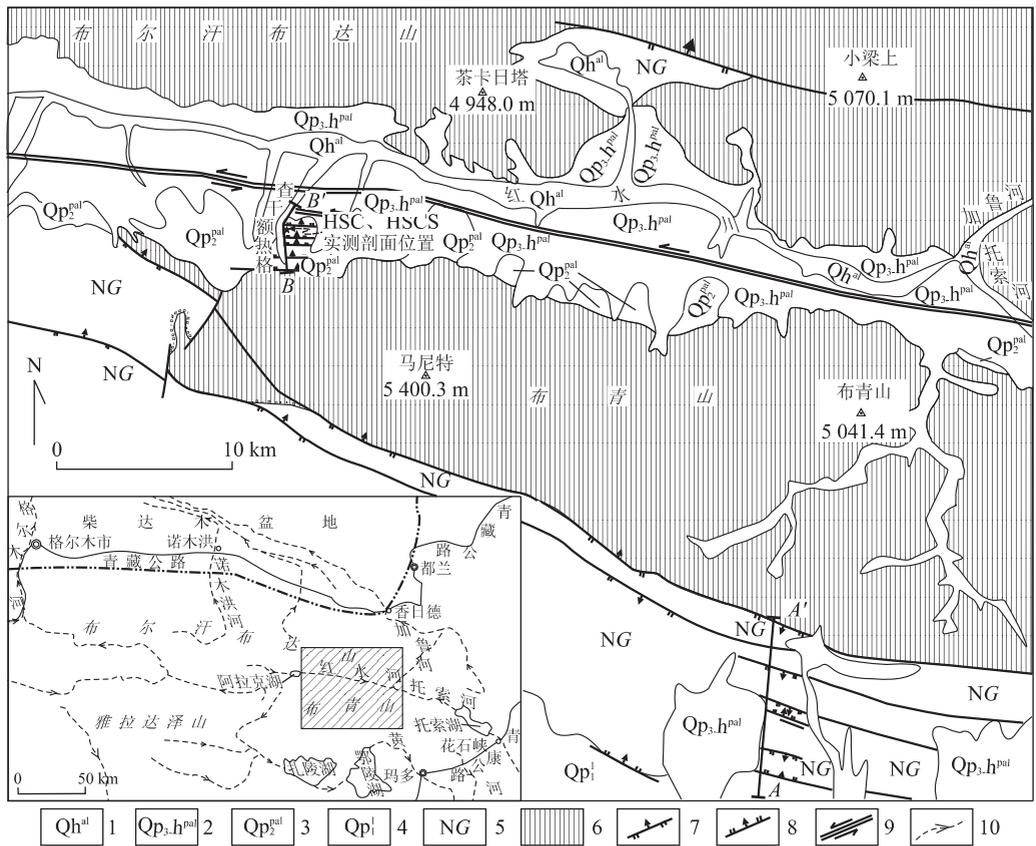


图 1 东昆仑红水川地区第四系地质简图(左下角图示研究区位置及主要水系分布)

Fig. 1 Simple geological map of Quaternary strata in Hongshuichuan area, eastern Kunlun Mountains
1. 全新统冲积物; 2. 上更新统一全新统洪冲积物; 3. 中更新统冲洪积物; 4. 早更新世湖积物; 5. 新第三系贵德群; 6. 前新生代基底; 7. 逆断层; 8. 正断层; 9. 平移断层; 10. 主要河流水系及流向

地区. 这些说明, 到早更新世时期, 第三纪的夷平面尚未解体, 东昆仑地区现代两山夹一谷的地貌格局并未形成. 上述背景分析表明, 东昆仑地区东段现代地貌格局是早更新世以后形成的. 问题是山系究竟什么时候崛起的? 山系的崛起受控于何种类型的隆升构造? 受何种动力背景控制? 为此, 笔者对东昆仑东段布青山一带第四纪有关构造变形组合进行解析, 并对不同隆升构造进行了时代约束.

2 中更新世以来隆升构造发育

运用构造解析方法, 笔者确定出 3 种不同类型的第四纪构造变形组合: 其一为挤压褶皱构造组合; 其二为伸展断裂构造组合; 第三为左旋走滑构造变形组合.

2.1 褶皱及冲断—褶皱构造组合

布青山南北坡边缘的新生代地层中均发育有一套褶皱构造组合, 南坡主要发育于邻近布青山的新

第三系贵德群中, 表现为一套冲断—褶皱构造组合, 冲断层为布青山南部边界断裂, 该断层的许多部位因后期伸展作用影响而遭受正断层的破坏, 但以下两点表明其曾经发生向南的冲断作用: (1) 南侧临断裂带的第三系贵德群发生褶皱作用, 其褶皱轴面一般北倾, 且越靠近断裂褶皱越强烈, 而离开断裂带向南约 1~2 km 处褶皱基本趋于消失 (图 2), 在邻近断裂处贵德群岩层直立, 甚至局部发生向南倒转; (2) 在一些部位, 如马尼特西南可以见到北侧二叠系布青山岩群的灰岩向南推覆于贵德群之上, 并构成飞来峰构造. 布青山北坡褶皱构造影响到中更新世地层 (时代依据详见后), 表现为一系列东西走向的开阔平缓的褶皱构造 (图 3). 褶皱构造的发育特别是布青山南坡的挤压冲断—褶皱构造的发育说明第四纪期间布青山受到挤压作用的影响.

2.2 伸展断裂构造系统

野外地质调查发现, 以布青山主脊为轴南北两侧发育一套近东西向的伸展正断层系统, 南坡表现

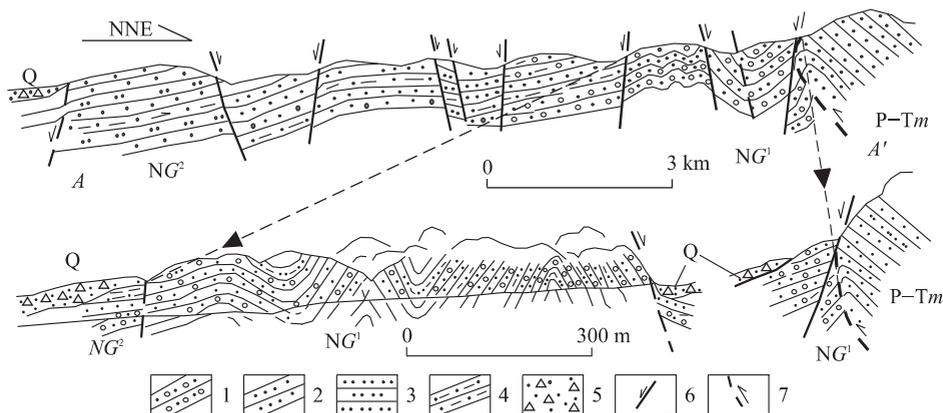


图 2 布青山南坡新第三系贵德群构造剖面(剖面位置见图 1A-A'剖面)

Fig. 2 Cross section of Guide Group along the south edge of the Buqingshan

1. 砾岩; 2. 砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 粉砂质泥岩; 5. 第四系砂砾岩; 6. 正断层; 7. 逆冲断层; P-Tm. 二叠系—三叠系布青山群马尔争组; NG. 新第三系贵德群; NG¹. 新第三系贵德群下组; NG². 新第三系贵德群上组; Q. 第四系

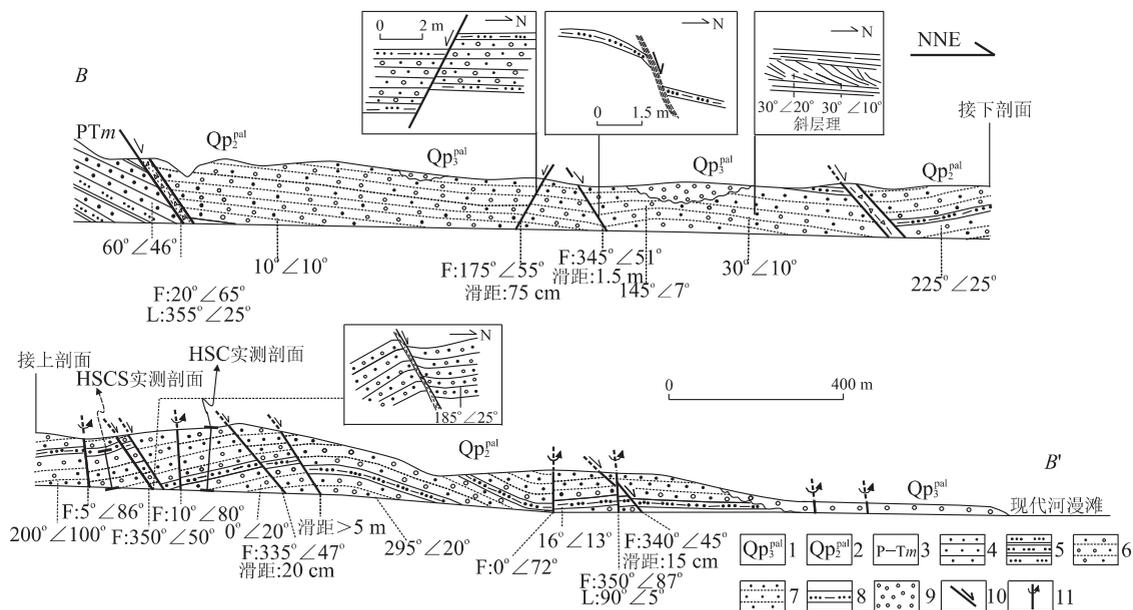


图 3 布青山北坡红水川南部查干额热格第四系构造剖面(剖面位置见图 1B-B'剖面)

Fig. 3 Quaternary cross section at Chaganérege, north side of the Buqingshan

1. 上更新统冲洪积; 2. 中更新统冲洪积; 3. 二叠系—三叠系马尔争组; 4. 砂岩; 5. 粉砂质板岩; 6. 半固结砂砾石层; 7. 半固结砂质层; 8. 紫红色粉砂质泥质层标志层; 9. 松散砾石层; 10. 正断层; 11. 高角度左旋走滑断层

为发育于贵德群中的堑垒构造系统(图 2), 北坡显示为发育于中更新统中的一系列倾向向北的中等角度的阶梯状正断裂系统(图 3)。布青山以北, 以布尔汉布达山主脊为对称轴也发育一套背向式正断层体系或滑脱裂隙系统, 北坡一般规模小, 但分布广, 以破裂面型式弥散于岩石中, 破裂面产状多低角度缓倾向北, 但有波状起伏, 沿破裂发育羽裂及北倾擦痕, 显示向北的滑脱; 南坡一般承袭先期北西西向断裂发育, 发生向南的正断层运动。

伸展正断层运动形式与地貌特点存在相关性, 布青山为一不对称山系, 其北坡相对高差大, 南坡相对高差小, 与此相应的伸展构造特征是北坡发育向北的阶梯状正断裂系统, 而南坡发育堑垒构造; 布尔汉布达山为一近对称的山系, 因而表现为近对称的一套背向式正断层体系或滑脱裂隙系统, 这种与地貌相匹配的构造组合型式显然与两大山系的差异隆升崛起有关。

2.3 左旋走滑构造系统

该系统主要表现为沿红水川—托索湖谷地发育的 NWW—SEE 向东昆南活断裂,该断裂在遥感影像特征方面极为清楚,呈 NWW—SEE 方向平直延伸的线性,沿断裂泉水密布,地震活动频繁,发育大量雁列式地震鼓包及地裂缝,明显显示为左旋走滑运动,在 1:5 万 TM 图像上,现代水系在流经断裂处也发生明显的左旋偏转。另据许志琴等^[6]研究,断裂在第四系累计左旋走滑距离达 75 km,近 2~3 万 a 累计水平位移量为 200 m,托索湖为其拉分盆地之一。主干左旋走滑断裂两侧还发育一系列次级断裂构造,在查干额热格一带的中、晚更新世地层中,小型的左旋走滑断裂十分明显,其断面直立,与东昆南主干断裂延伸方向一致,断面上近水平擦痕及阶步同样显示出左旋走滑运动(图 3)。左旋走滑运动也影响到两侧山系内部的构造薄弱带中,如东昆中断裂带的晚期左旋走滑运动也极为清楚^[7]。

单纯的走滑运动本身不能造成大规模的隆升,但上述的加鲁河水系仍在继续向南溯源侵蚀表明,东昆仑地区仍在不断抬升,从而说明左旋走滑系统伴随着收缩挤压隆升作用。

根据地层与构造之间的地质关系,正断层叠加破坏了褶皱构造的完整性,布青山南坡边界逆冲断层也受到正断层的叠加(图 2,3),因此,挤压褶皱构造的发育要早于伸展正断层构造,而左旋走滑断层为仍在活动的活断层,局部影响到现代水系的型式,在查干额热格,可见到直立的左旋走滑断层切错早期的正断层,因此,左旋走滑断裂应是最晚一期构造活动的产物。

综上所述,研究区第四纪以来存在至少 3 种截然不同的构造变形体制及其相关的构造运动体制,早期为挤压褶皱或冲断—褶皱构造;中期为伸展隆升,山系定型;晚期为大规模的压扭性左旋走滑运动。问题是不同构造变形体制是什么时候发生转换的?这一问题的解决有助于了解东昆仑乃至整个青藏高原隆升作用的动力过程细节。

3 隆升构造体系的时间约束

上述构造变形都是发生于浅部,对其变形产物的直接测年难度很大,因此构造变形的时间需通过分析构造与地层相互关系来间接约束。布青山北坡与红水川谷地接壤的查干额热格近南北向大冲沟切

出一长约 4 km 高 100 余 m 的第四系堆积物陡壁,上述 3 类不同形式构造及关系在该剖面上表征极为清楚,为此,笔者对该剖面进行了详细研究,剖面位置如图 1 所示,横剖面图即图 2,图 4 为根据图 2 横剖面 A 处陡崖和 B 处陡崖实测剖面(HSC, HSCS)得出的地层综合柱状图。

由图 4 可知,查干额热格第四纪堆积物总厚度大于 120 m,前人曾将其作为一套湖相沉积并划归下更新统,但缺乏时代依据。我们的研究表明,该地区第四系剖面是由 2 套冲洪积层组成。下部冲洪积层为一套黄色半固结的砂砾石层及砂土层组成,从下向上可划分出以冲积为主的辫状河建造和以洪积为主的洪积扇建造相间的为 6 个建造期(图 4),辫状河建造中的砾石层中普遍发育砾石的叠瓦状构造,并发育斜层理前积纹层,指示水流流向总体由南向北,示物源来自布青山,洪积扇相沉积主要由块状层理的巨厚的砾石层构成,砾石层中砾石无序排列,不显叠瓦构造,大小混杂,磨圆差,为陆上洪积泥石流产物。上部冲洪积层为一套灰黑色弱固结的砂砾石层,叠瓦状砾石的扁平面优势方位为 $180^\circ \angle 25^\circ$,示古水流方向由南向北,物源仍来自布青山。两套冲洪积层之间为侵蚀不整合接触关系,存在有沉积间断。

前述的 3 种不同类型构造在图 3 有清楚表示,褶皱构造仅出现于下部冲洪积层中,为近东西走向,两翼平缓开阔,倾角一般 $10^\circ \sim 20^\circ$;阶地状正断层组合也仅发育于下部冲洪积层中,走向为近东西向,断面多倾向向北,倾角一般 $45^\circ \sim 50^\circ$,断面上发育顺断层倾斜方向的擦痕及阶步,根据标志层的对比,最大地层滑距达 100 m 左右,最小 10~20 cm,一般 1~2 m,断层破坏了开阔褶皱的完整性;东西向近直立的左旋走滑断裂在两套冲洪积层中均有出现,并可见其切错正断层的现象。

褶皱构造反映下部冲洪积层沉积后曾遭受有近南北向的挤压作用;阶地状正断层破坏早期的褶皱构造,但也仅发育于下部冲洪积层中,而在上部冲洪积层中没有显示,说明伸展构造及布青山的崛起最后定型于下部冲洪积层形成之后,上部冲洪积层形成之前;而左旋走滑运动应与东昆南主干断裂的左旋走滑运动联系,其形成时间应该在上部冲洪积层形成过程之中及之后。

从上述隆升构造与地层之间的关系分析可知,确定上述 3 种构造形成时间的关键在于上下 2 套冲

剖面代号	野外分层	厚度/m	岩性柱	磁性地层柱	岩性描述	沉积相	古水流方向	孢粉	时代归属
HSC	24~26	7.37			灰色-灰黄色厚层-巨厚层状砾石层夹土黄色含砾亚砂土层, 砾石层中砾石具叠瓦状构造	冲积为主	NNW350°-NE35°		晚更新世(Qp ₃)
	22~23	2.89			土黄色厚层状弱固结亚砂土层	洪积为主的洪积扇沉积		<i>Pinus, Ephedra, Artemisia, Quercus, Chenopodium, Salix, Typha, Fraxinus, Nitraria, Alnus</i>	中更新世(Qp ₂)
	21	3.67			灰黄色厚层状弱固结砾石层, 具起伏不平的底侵蚀面				
	19~20	5.68			黄灰色厚层状弱固结砾石层, 顶部为灰色含砾亚砂土层				
	17~18	7.85			灰黄色厚层状弱固结砾石层, 砾石具叠瓦状构造, 顶部为灰黑色含砾亚砂土层	冲积为主的辫状河沉积	NNE20°		
	15~16	7.30			黄灰色厚层状弱固结砾石层, 砾石具叠瓦状构造, 顶部为黄灰色含砾亚砂土	洪积为主的洪积扇沉积	NNW340°-355°	<i>Pinus, Cedrus, Picea, Ephedra, Artemisia, Polypodiaceae, Salix, Quercus, Chenopodium, Fraxinus, Nitraria, Trapa, Lilium, Acroption, Potamogeton</i>	
	13~14	8.35			黄灰色厚层状弱固结砾石层, 砾石具叠瓦状构造, 顶部为黄灰色含砾砂土、亚砂土		NNW350°-N0°		
	8~12	1.09			黄灰色中层状弱固结砾石层与黄灰色含砾砂土层互层构成韵律层理	洪积为主的洪积扇沉积	NE50°	<i>Larix, Pinus, Ephedra, Artemisia, Quercus, Chenopodium, Fraxinus, Trapa, Nitraria, Lilium, Potamogeton, Tsuga</i>	
	7	2.90			灰黄色厚层状弱固结中细粒砾石层与细砾-粗砂层互层构成韵律层理				
	6~2	15.0			黄灰色厚层状弱固结砾石层, 砾石具叠瓦状构造 TL年龄(302 ± 22) ka	冲积为主的辫状河沉积	N0°	<i>Polypodiaceae, Picea, Larix, Pinus, Pedacarpus, Abiespo, Ephedra, Artemisia, Quercus, Chenopodium, Cyperaceae, Typha, Fraxinus, Nitraria, Trapa, Lilium, Acroption, Cedrus</i>	
6-1	1.40			灰色厚层状弱固结粉砂岩、粉砂质泥岩					
5	2.18			灰紫-紫红色弱固结含砾砂岩、粉砂岩夹泥岩					
1~4	17.38		无样品控制段	黄灰色巨厚层状-厚层状弱固结砾石层夹黄灰色含砾砂土层	洪积为主的洪积扇沉积	NNE10°	<i>Polypodiaceae, Larix, Pinus, Pedacarpus, Picea, Abiespo, Ephedra, Artemisia, Trapa, Quercus, Salix, Chenopodium, Butula, Cyperaceae, Typha, Fraxinus, Nitraria, Lilium, Acroption</i>		
17~19									
HSCS	11~16	17.13			灰黄色巨厚层状-厚层状弱固结砾石层夹灰黄色含砾砂质条带及砂质和砂泥质透镜体。砾石层中的砾石具有叠瓦状构造	冲积为主的辫状河沉积	NE320°-NNE10°		
	10	5.45			青灰-黄灰色弱固结含细砾砂质层, 底部为厚约35 cm的含细砾粉砂质层				
	9	3.71			灰黄色厚层状弱固结砾石层, 砾石具有叠瓦状构造				
	2~8	8.68			灰黄色巨厚层状弱固结砾石层夹灰黄色泥砂质条带及砂质团块或透镜体, 砾石具有叠瓦状构造				
	1	8.48		无样品控制段	黄灰色风化为褐黄色、土黄色巨厚层状弱固结砾石层, 砾石具有叠瓦状构造				

图 4 红水川南部查干额热格第四系实测剖面 HSC、HSCS 综合柱状剖面(实测剖面位置见图 1 所示)

Fig. 4 Synthesized stratigraphic column based on detail-measured sections

洪积层时间的厘定,特别是下部冲洪积层形成时间的确定,为此,笔者采取多种方法对其进行时间限定。

3.1 孢粉分析

在下部冲洪积层中的较细粒沉积层中从下向上

逐层采孢粉样 25 块,分析处理后,在其中的 HSC-2-1, HSC-4, HSC-5, HSC-6 和 HSC-22 五块样品中见孢粉化石,确定的含孢粉层位和孢粉化石名称详见图 4。孢粉组合以陆生草本植物花粉占优

势,为 52.0%~69.0%;其次是乔木植物花粉,为 24.0%~32.0%;水生、湿生草本植物花粉较少,为 1.0%~17.0%,蕨类植物孢子仅零星见及。主要分子有 *Pinus*, *Ephedra*, *Chenopodium*, *Artemisia*, *Nitraria*, *Larix*, *Acroption*, *Quercus*, *Salix*, *Betula*, *Fraxinus*, *Alnus*, *Picea*, *Podocarpus*, *Abiespo*, *Cedrus*, *Typha*, *Cyperaceae*, *Trapa*, *Lilium*, *Potamogeton* 及 *Polypodiaceae* 等。

上述孢粉组合与陕西宝鸡陵源地区中更新世孢粉组合^[2]比较,其主要特征相似。所不同是本组合中湿生、水生植物不及后者的发育,代之陆生旱生植物较广布,分析认为是所处环境的不同导致的差异,但二者仍可对比,属中更新世。

3.2 热释光年龄分析

对 HSC 剖面第 6 层下部的弱固结的粉砂质泥岩进行热释光年龄分析,样品经中科院西安黄土与第四纪地质国家重点实验室测定,年龄值为(302±22) ka,为中更新世。另外,与该剖面位于同一凹陷带的托索河以东花石峡地那染滩(位置见图 1 左下角),也见一套岩石及沉积特征与本剖面极为相似的一套黄色、灰白色冲洪积砂砾石层,其中的砂质透镜体中获得的热释光年龄为距今(494±50) ka,也属中更新世,相对本剖面其层位略偏下。

3.3 古地磁分析

在下部冲洪积层剖面中系统采集古地磁样共 98 块(其中 HSC 剖面 72 块, HSCS 剖面 26 块)送原地矿部水文地质工程地质研究所分析。测量结果表明(见图 4 磁性地层柱),该套地层为布容极性时以来的堆积物。HSC 剖面 18~20 层的负极性段可对比于布莱克反向极性亚时(距今 110~130 ka),第 7 层地层所显示的负极性可对比于琵琶 1 反向极性亚时(距今 180 ka)。HSCS 剖面地层在层位上紧接于 HSC 剖面地层之下,其中靠上部的 16~19 层因粒度太粗,古地磁样难取,从靠下的 4~15 层所取的 26 件样品所获得古地磁磁倾角曲线来看主体为负极性,应与琵琶 2 反向极性亚时相对比,时间相当于距今 292~298 ka,这一时段与上述的热释光测年结果基本吻合。

上述古地磁分析结果表明,下部冲洪积层为大约距今 300 ka 中更新世中期以来的堆积物,并延续到距今 110~130 ka 的中更新世末期。

上部冲洪积层在查干额热格剖面上由于粒度粗而未获得年龄数据,根据地貌特点,上部冲洪积层也

被全新统的辫状河道切出高约 7 m 的陡坎,区域沉积对比及河流阶地发育对比,上部冲洪积层可与加鲁河的最老阶地 T₄ 上的冲洪积层相对比,根据加鲁河的 T₄ 阶地上的亚砂土获得距今(113±7) ka 的热释光年龄判断^[7],上部冲洪积层的时代应为晚更新世。

综上所述,查干额热格第四系剖面的下部冲洪积层为中更新世,上部冲洪积层时代为晚更新世。由上述地层与相关构造关系分析可知,挤压褶皱构造及阶梯状正断层发育于 2 套冲洪积层之间的中晚更新世之间,且褶皱构造早于阶地状正断层的发育,而左旋走滑断层是晚更新世以来的产物。

4 东昆仑成山作用讨论

有关资料表明,东昆仑造山带早更新世湖相层广布于不同高程地貌单元,最高被抬升到近布青山分水岭地区,反映早更新世时期,昆仑山虽已随青藏高原抬升,但并未突出高原面之上^[8]。布青山北部查干额热格一带中更新世冲洪积层所反映的古水流方向较稳定地由南向北,以及中更新世地层在空间上受布青山北部谷地地貌单元的控制说明,中更新世时期布青山及北部的布尔汉布达山已开始崛起,昆仑山发生了差异隆升,这一差异抬升事件相当于崔之久等^[9,10]所称的“昆仑—黄河运动”。中更新世时期不仅昆仑山发生了差异隆升,从更大区域来看,昆仑山以北的以宗务隆山为主体的南祁连造山带以及阿尔金造山带也均发生了大幅度抬升^①,导致曾与柴达木盆地同处一个基准面之上的第三系盆地被抬升到一定高度,相对抬升的最大高度达 2 000~3 000 m,整个青藏高原东北缘呈现出典型的盆—岭构造格局,虽然目前尚难鉴别出中更新世时期的同沉积构造,但地貌特点所表现出的盆—岭格局说明此时应属伸展构造体制。

距今约 110 ka 的中更新世末,应力体制发生急剧变化,由伸展体制转为收缩体系,又急速转为伸展构造体系,收缩事件是一次影响十分深刻的构造活动,在研究区的布青山北坡收缩事件造成了中更新世冲洪积层的褶皱,在布青山南缘发生向南的冲断—褶皱作用,在昆仑山以北的柴达木盆地,先期形成的伸展裂谷盆地发生构造反转封闭^①,形成一些挤

①范连顺,夏文臣.柴达木盆地形成演化机制及油气领域预测.青海石油管理局重大科研项目成果报告.1997.

压褶皱带和倒梯形的断块逆冲上升带,盆地周缘的山前地带出现有覆盖在第三系之上的逆冲推覆体。紧接收缩事件发生的伸展作用导致了研究区布青山北坡的向北依次断落的阶地状正断层系统,南部则形成叠加于早期挤压冲断—褶皱构造基础之上的堑垒构造格局。

进入晚更新世,东昆仑地区应力体系再度发生重大转换,伸展正断层体系被压扭性左旋走滑运动体系所代替,并一直延续至今。从总体看来,东昆仑造山带伸展构造变形体制向压扭性左旋走滑构造体系的转换发生于晚更新世初期。

有关青藏高原的隆升机制一般都归结为青藏高原与欧亚大陆相互挤压作用的结果,对东昆仑布青山一带晚新生代以来地层中所发育的隆升构造及其时代研究说明,青藏高原东北缘的东昆仑地区第四纪以来发生了多次隆升构造体制的转换,隆升机制具有多样性和复杂性,用单一的挤压机制解释青藏高原的隆升过程至少是不全面的。从我们的研究结果来看,中更新世以前的隆升作用为随青藏高原的整体抬升,这种总体抬升应与印度板块与欧亚板块的相互挤压作用有关。中更新世表现的伸展背景下的差异抬升及其所导致的近东西向盆格局的形成,则反映了中更新世开始青藏高原东北缘的分解趋势,伸展背景上出现的短暂的收缩作用,则表示可能仍存在印度板块与欧亚板块的幕式挤压影响。晚更新世以来的大规模左旋走滑构造的出现则可与青藏高原东部的向东挤出相联系。

这里需强调的是:东昆仑山真正突出于高原面之上的成山作用主要受控于中更新世的近南北向的伸展作用,其深部动力学背景目前还有待进一步研究,但应注意到青藏高原东北缘包括昆仑山、祁连山、阿尔金山等山系处于特提斯构造域与古亚洲构造域的复合地带,它们不仅是青藏高原的组成部分,也是横亘中国中部的中央山系的组成部分,它们的成山作用,特别是伸展成山作用,可能更主要是受控于东西向的中央山系的成山作用体制,因为青藏高原内部第四纪以来南北向的伸展变形特征并不明显,相反整个中央山系各主要山脉的主成山作用却具有相似特征,在主成山作用的构造背景方面都受控于伸展构造体制,在成山作用所形成的水系格局方面,各主要山系所控制的主干河流段的走势也相似,主要为近东西向,如昆仑山、祁连山控制的黄河上游及黄河源的东西向走势,秦岭所控制的渭河和

汉水的东西向走势,桐柏—大别山所控制的淮河及长江中游的东西向走势。主成山作用期显示由东向西的规律性迁移,根据前述,东昆仑山、祁连山以及阿尔金山均发生了大幅度的东西向差异伸展成山运动发生在中更新世时期;东部的秦岭强烈的伸展成山作用发生在第四纪早期^[11],根据黄土在太白山和渭河地堑的分布高差所推算出的第四纪以来秦岭的差异升降达 10 km;更东部的桐柏—大别山晚新生代以来剥蚀作用加剧,由伸展断块作用控制的主成山运动期发生在相对较早的晚白垩世—老第三纪^[12]。东部桐柏—大别山伸展作用的深部过程已被解释为岩石圈根的拆沉作用,其山根已被大大减薄,而西部青藏高原东北缘山系岩石圈根目前仍具有很大的深度,山系的海拔也较高,本文所讨论的东昆仑中更新世伸展成山作用是否是其岩石圈根开始发生拆沉的表层显示是值得研究的。地球物理资料已经显示青藏高原北部相对于南部出现有明显减薄的岩石圈地幔,异常热的岩石圈地幔出现有部分熔融,一些学者已经提出拆沉模式用以解释青藏高原北部的晚新生代构造演化^[13~15]。

参加野外工作的还有中国地质大学(武汉)陈能松教授、青海省地调院拜永山工程师。中国地质大学(武汉)刘育燕教授在古地磁资料结果的分析方面给与了热情指导和帮助。孢粉化石处理和鉴定由中国地质大学喻建新讲师完成。在此一并致以衷心感谢。

参考文献:

- [1] 钟大赉,丁林. 青藏高原的隆升过程及其机制探讨[J]. 中国科学(D辑),1996, 26(4): 289—295.
Zhong D L, Ding L. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and its mechanics [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 28—295.
- [2] 王成善,丁学林. 青藏高原隆升研究新进展综述[J]. 地球科学进展,1998, 13(6): 526—5.
Wang C S, Ding X L. The new researching progress of Tibet plateau uplift [J]. Advance in Earth Sciences, 1996, 26(4): 28—295.
- [3] 吴锡浩,安芷生. 黄土高原黄土—古土壤序列与青藏高原隆升[J]. 中国科学(D辑),1996, 26(2): 103—110.
Wu X H, A Z S. Loess-paleosol sequence on loess plateau and uplift of the Qinghai-Xizang plateau [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(2): 103—110.
- [4] 吴锡浩,王富葆,安芷生,等. 晚新生代青藏高原隆升的阶段和高度[A]. 见:刘东生,安芷生,主编. 黄土高原第四纪

- 地质全球变化,第三集[C]. 北京:科学出版社,1992. 1—13.
- Wu X H, Wang F B, An Z S, et al. Stage and altitude of uplift of the Qinghai-Xizang plateau in the Late Cenozoic [A]. In: Liu D S, An Z S, eds. Change of the whole world in Quaternary period geology, Vol. 3 [C]. Beijing: Science Press, 1992. 1—13.
- [5] 李吉均,方小敏,马海州,等. 晚新生代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 J, Fnag X M, Ma H Z, et al. Geomorphological and environmental evaluation in the upper reaches of the Yellow River during the Late Cenozoic [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 316—322.
- [6] 许志琴,姜枚,杨经绥. 青藏高原北部隆升的深部构造物理作用——以“格尔木—唐古拉山”地质及地球物理综合剖面为例[J]. 地质学报,1996, 70(3): 195—206.
- Xu Z Q, Jiang M, Yang J S. Tectonophysical process at depth for the uplift of the northern part of Qinghai-Tibet plateau: illustrated by the geological and geophysical comprehensive profile from Golmud to the Tanggula mountains, Qinghai Province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(3): 195—206.
- [7] 王国灿,梁斌,张天平,等. 造山带非史密斯地层的构造复位——东昆仑造山带研究实践[J]. 中国区域地质, 1998, 增刊: 25—30.
- Wang G C, Liang B, Zhang T P, et al. Tectonic restore of non-Smithian stratigraphy in orogenic belt — study practice in east of Kunlun orogenic belt [J]. Regional Geology of China, 1998, (Suppl): 25—30.
- [8] 李长安,殷鸿福,于庆文. 东昆仑山构造隆升与水系演化及其发展趋势[J]. 科学通报,1999, 44(2): 211—213.
- Li C A, Yin H F, Yu Q W. Evaluation of drainage systems and its devoleping rend in annexion with tectonic uplift of eastern Kunlun Mt. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(2): 211—213.
- [9] 崔之久,伍永秋,刘耕年. “昆仑—黄河运动”的发现及其性质[J]. 科学通报,1997, 42(18): 1986—1989.
- Cui Z J, Wu Y Q, Liu G N. Discovery and character of the Kunlun-Yellow River Movement [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(18): 1986—1989.
- [10] 崔之久,高全洲,刘耕年,等. 夷平面、古岩溶与青藏高原隆升[J]. 中国科学(D辑),1996, 26(4): 378—386.
- Cui Z J, Gao Q Z, Liu G N, et al. Planation surfaces, palaeokarst and uplift of Xizang (Tibet) plateau [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 378—386.
- [11] 殷鸿福,张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998, 23(5): 437—441.
- Yin H F, Zhang K X. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(5): 437—441.
- [12] Wang G C, Yang W R. Accelerated exhumation during Cenozoic in the Dabie Mountains: evidence from fission-track ages [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, (4): 409—419.
- [13] Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, et al. The tectonic evolution of the Tibetan plateau [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A; Mathematical and Physical Sciences, 1988, 327(1594): 379—413.
- [14] Platt J P, England P C. Convective removal of lithosphere beneath mountain belts: thermal and mechanical consequences [L]. American Journal of Science, 1994, 294(3): 307—336.
- [15] Owens T J, Zandt G. Implications of crustal property variations for models of Tibetan plateau evolution [J]. Nature, 1997, 387(1): 37—43.

Mountain Building and Its Dynamic Transition Since Middle Pleistocene in East of Eastern Kunlun, Northeast Tibet Plateau

Wang Guocan, Hou Guangjiu, Zhang Kexin, Zhu Yunhai

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The analysis of the relationship between the Quaternary structure and the relief in the east of eastern Kunlun reveals that the modern relief framework with alternating basins and ridges were formed in the Middle Pleistocene. Multiple deformation system changes have occurred since that time

based on the analysis of the structures, strata age and the relationship between structures and rocks from a well-displayed Quaternary cross section. In the Middle Pleistocene, the N-S extension caused differential uplifting in the Kunlun Mountains. The Buqingshan and Buerhanbudashan popped up the plateau plane. At the end of the Middle Pleistocene, the stress system changed quickly from N-S extension to N-S compression, then to extension again. The short N-S compression event caused folding of the Middle Pleistocene strata on the northern side of Buqingshan, and southward, the thrust-folding on its southern side. Soon after the compression event, the N-S extension appears again, leading to the step normal faults on the northern side of the Buqingshan and the graben-horst assemblage, which overprinted to the previous thrust-fold assemblage in the Tertiary Guide Group of the southern slope of the Buqingshan. While in the Late Pleistocene, an important change occurred again in the stress system. The E-W transpressive sinistral strike-slip faults became active and has remained till now. The multiple age stress change during Quaternary suggests that the uplift mechanism and the mountain building processes are multiplex and complex.

Key words: east part of the eastern Kunlun; Quaternary; uplift structure; mountain building.

* * * * *

《地球科学——中国地质大学学报》

2002 年 第 27 卷 第 2 期 要目预告

地下水水平井流的模型及数值模拟方法——考虑井管内不同流态	陈崇希等
遗传算法在边坡数值计算中的应用	安关峰等
中国北方岩溶区含水岩溶裂隙介质的序列指示模拟研究	陈鸿汉等
剖面流场数值模拟中的断层处理方法	陈劲松等
炉渣处理含磷废水的研究	邓雁希等
论工业建设项目的环境风险及其评价	郭永龙等
水井酸处理的周期性负压法	韩乾坤
污水渗滤土地处理系统中水力停留时间与出水效果的讨论	何江涛等
土壤残油生物降解性与微生物活性	李广贺等
河北元氏丘陵山区农业生态地质类型	李瑞敏等
零价铁降解水中氯代烃的实验室研究	刘 菲等
利用稳态坡形类比法预测基岩岸坡的库岸再造	马淑芝等
浙江省仙居县地质灾害调查与区划	孟高头等