

兰州及邻近地区河流阶地变形特征

刘小凤, 袁道阳, 刘百麓

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 根据兰州及邻区黄河及其次级河流阶地纵剖面研究, 分析了横穿活动断裂的河流阶地的变形特征. 利用横穿黄河的兴隆山—马街山断裂、海原断裂和穿越庄浪河的 NWW 向断裂附近阶地发育和变形特征确定了相应地区的构造抬升幅度及速率.

关键词: 河流阶地变形; 活动构造; 兰州地区

中图分类号: P546, P931.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)02-0119-06

0 引言

河流阶地是新构造运动与气候变化的产物. 在兰州及邻近地区, 黄河及其支流水系形成了典型而完整的河流阶地, 其上堆积的巨厚黄土地层长期以来一直受到国内外学者的关注, 取得了大量的研究结果. 尤其是以兰州为代表的黄河阶地磁性地层年代学方法的应用^[1], 目前已建立了可供区域对比的阶地年代序列, 为进一步探讨阶地的构造变形奠定了良好的基础. 另一方面, 兰州及邻近地区地处青藏高原东北边缘, 是高原隆升和变形极为强烈的地区之一, 因此活动构造极为发育, 有许多区域性大断裂切过了不同级别的河流阶地, 使得阶地发生了明显的构造变形. 本文基于前人大量年代学工作结果, 通过对兰州地区黄河及其各支流水系阶地发育及变形特征的系统而详细的测量和分析, 重点探讨与活动断裂交汇的 4 条阶地剖面的变形特征, 讨论第四纪以来兰州地区新构造运动特点及构造活动期次等.

1 阶地发育和变形特征

流经兰州地区的主要河流为黄河及其支流水系, 如湟水、洮河、庄浪河、大夏河等. 黄河由西向东横穿兰州盆地和陇西盆地, 各支流水系一般发源于盆地边缘山区, 呈向心状汇入黄河干流. 黄河南岸有由南向北汇入的大夏河、洮河及祖厉河; 北岸有由北向南汇入的湟水、大通河和庄浪河等(图 1). 由于构造抬升和气候变化, 沿各水系两岸形成了广泛发育的各级河流阶地.

黄河阶地在兰州地区共发育了 7 级阶地, 各级阶地在黄河两岸分布差异较大, 北岸发育完整但分布局限, T_4 以上阶地受后期流水冲刷形成丘陵状地貌; 南岸主要发育 T_1 T_4 级阶地, 而尤以 T_3 级阶地发育最为广泛.

湟水是黄河主要支流之一, 也有人认为是黄河古河道, 发源于大通山南麓. 在峡谷地区阶地发育较弱; 盆地内一般发育 5 级阶地, 其中西宁盆地内多达 12 级^[2]; 民和至入黄河口段共发育 5 级阶地. 除 T_1 外均为基座阶地, 基座上覆 25 m 厚冲积砾石层, 顶部覆盖厚层黄土. T_2 形成时代为 31.38 ka^[3], 其余各级阶地可与兰州阶地形成时代相比. 大通河属于二级支流, 发源于祁连山. 发育 4 级基座阶地, 基座上覆 525 m 冲积砾石层, 顶部一般覆盖 15100 m 风成黄土. 根据 T_1 T_3 阶地发育和顶部古土壤层特征与兰州黄河阶地类似. 大夏河发育 7 级阶地, 以基座阶地为主. T_1 T_4 阶地面宽阔平坦而连续, T_5 T_7 零星

收稿日期: 2002-03-22

基金项目: 甘肃省九五科技攻关课题(GK1997-110A)和国家重点基础发展规划项目(G1998040701-04).

中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2002015

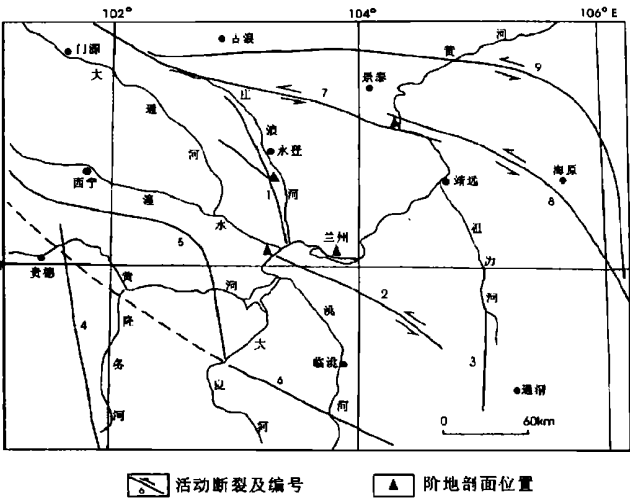
作者简介: 刘小凤(1965-), 女(汉族), 甘肃宁县人, 副研究员, 从事地震地质和地震预报研究.

分布,其规模和特征与黄河阶地最为相似. T_3 阶地形成时代为 140 ka,最高级阶地大体在 160 ka 开始下切. 洮河河谷宽阔,沿岸发育 4 级阶地, T_1 为堆积阶地, T_2T_4 为基座阶地,上覆 310 m 冲积砾石层,顶部为黄土覆盖.

1.1 兰州盆地黄河阶地变形

黄河一般发育 57 级阶地,以基座阶地为 主,在兰州盆地发育最为标准,分布最广泛. 基座最大拔河高度 330 m,为第三系红色砂砾岩、砂岩和白垩系砂泥岩,上覆 35 m 冲积砾岩,顶部为厚度不等的风成黄土,阶地越老黄土越厚. T_1T_3 连续完整, T_4T_7 受后期流水冲刷切割成为梁卯状. 根据¹⁴C、热释光和古地磁等方法确定的各级阶地形成时代分别为 10 ka, 60 ka, 140 ka, 560 ka, 1 200 ka, 1 500 ka 和 1 600 ka^[1].

兰州盆地最常见的阶地变形有两种类型,即穿过构造抬升区引起的拱曲和横切活动断裂引起的断错. 块体内部阶地变形的主要形式就是挠曲,它与阶地基座岩性关系很大. 在 NE 向区域构造应力场作用下,基座为晚中生代和新生代砂岩、砂砾岩及砾石层的河流阶地最容易产生挠曲变形. 在近东西向的狭长河谷盆地内表现出不同的变形特征:在七里河凹陷区以西,阶地抬升量较小,其中 T_3 级阶地最为典型,在隆起的核心部位 T_3 级阶地出现分岔,形成一个次级分支阶地,两个分支阶地的抬升幅度分别为 40 m 和 50 m;在九州台隆起区受 NNE 向皋兰山—白塔山隆起影响, T_2T_6 同步拱曲,抬升幅度分别为 10 m、30 m、55 m、80 m,说明 1 500 ka 以来阶地变形在持续不断的进行着(图 2).



1. 庄浪河断裂; 2. 兴隆山—马街山断裂 3. 通渭断裂;
4. 河南—新街断裂; 5. 拉脊山断裂; 6. 西秦岭北缘断裂;
7. 老虎山—毛毛山断裂; 8. 海原断裂; 9. 天景山断裂

图 1 兰州地区水系和活动构造分布图
Fig. 1 Distribution of river systems and active tectonics in Lanzhou area, China.

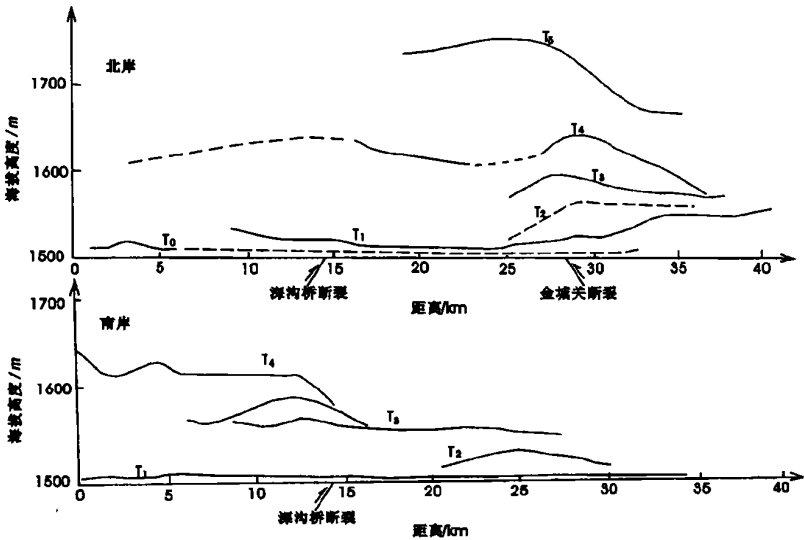


图 2 黄河兰州盆地阶地变形特征
Fig. 2 Terraces deformation characteristics of Yellow River in Lanzhou Basin.

1.2 八盘峡黄河阶地变形

黄河刘家峡段共发育 5 级阶地, 除 T_1 外均为基座阶地, 基座最大拔河高度约 240 m. 各级阶地的结构与兰州盆地相似, 形成时代大体相当. 其中 T_3 阶地是本区发育最完善, 分布最广泛的一级阶地, 形成了十分平整的一系列台地, 均为基座阶地, 拔河 7090 m. 该级阶地的基座在达川盆地以北发生了明显的褶皱变形, 形成许多对称向斜和背斜.

八盘峡黄河阶地变形主要表现为 NNE 向的拱曲(图 3). 在八盘峡和马泉村之间两岸阶地均发生向上的拱曲变形, 抬升幅度为 2030 m, 八盘村至马泉村 T_3 级阶地砾石层相对河床抬升了 7080 m, 而八盘村至马家湾 T_3 级阶地抬升了 100 m. 根据八盘峡 T_3 级阶地的白垩纪砂泥岩基座强烈褶皱, 我们推测这些阶地的变形可能与下伏活动断裂或褶皱有关. 北西西向的兴隆山—马衔山断裂向西延伸至八盘村以后, 地表无任何活动形迹, 仅在八盘村以东表现出明显的地貌线性分布特点及大量的黄土滑坡, 因此可以认为该断裂西端即为八盘村. 过黄河以西, 转化为以活动褶皱为主, 形成挤压隆起山脉. 该处恰好是 NNW 向庄浪河断褶隆起带南端, 断裂的最新活动在地表浅层呈现为褶皱隆起, 发育其上的 T_2 、 T_3 阶地也同步弯曲, 至少说明 T_2 形成以来的 5 万年该断裂仍在活动.

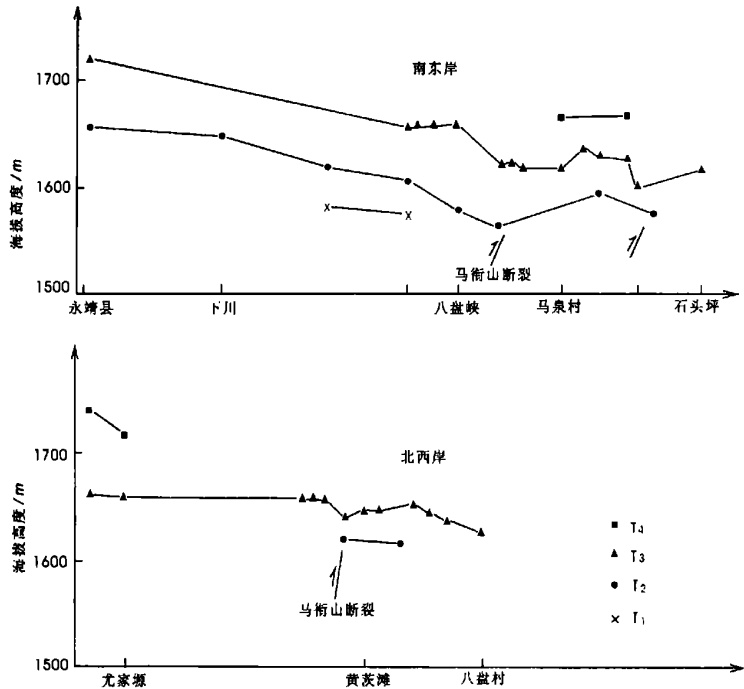


图3 黄河永靖—河口段阶地变形特征

Fig. 3 Terraces deformation characteristics of Yellow River from Yongjing to Hekou.

1.3 米家山黄河阶地变形

米家山剖面位于海原活动断裂带西段, 黄河由南向北流经此地. 这里的阶地反映了海原断裂带强烈活动的历史. 西岸为米家山隆升区, 发育了 21 级河流阶地, 以基座和剥蚀阶地为主, 最大拔河高度可达 400 m 左右. 阶地面狭窄, 大多数阶地表面遭受剥蚀, 仅残留有 13 m 厚的冲积砾石层, 局部有黄土覆盖. 东岸为哈思山隆升区, 在以南的老龙湾盆地至少发育了 6 级黄河阶地, 主要是基座阶地, 各级阶地面宽阔, 阶地二元结构清晰, 砾石层厚度 210 m. 用构造-气候旋回年代学方法确定的米家山第 21 级阶地形成年龄为 1.561 Ma B.P.^[4]; 用砾石钙膜厚度累积速率法确定的最高级阶地形成年龄为 1.57 Ma B.P.^[5]. 与周围其它阶地相比, 米家山阶地明显抬升隆起, 隆升期次和幅度为整个地区之最. 这种强烈而快速的隆升过程除了与气候变化有关外, 很大程度上是区域构造抬升和海原活动断裂作用的结果.

1.4 庄浪河阶地变形

庄浪河发源于祁连山冷龙岭地区,呈 NNW 向延伸,河谷最大宽度 15 km,沿岸共发育 4 级阶地.张家磨以北为沉降区, T_1 、 T_2 为堆积阶地,阶地面宽阔;以南为隆起区, T_1 、 T_4 均为基座阶地,河谷狭窄.基座为第三系红色砂砾岩、砂岩和白垩系砂泥岩,上覆 23 m 冲积砾岩,顶部为风成黄土.各级阶地形成时代与兰州黄河阶地相当.发育于河谷西侧 NNW 向的庄浪河断裂是祁连山山体与天祝盆地及庄浪河谷地的边界断层,控制了两侧的构造环境,西侧是 3 000 m 以上的中高山区,东侧是 2 000 m 以下的低山丘陵和冲洪积平原区,显示了强烈的垂直差异运动.

庄浪河断裂的 NNW 向次级断裂在张家磨以南切过庄浪河,引起了阶地的变形.从阶地纵剖面中的 T_2 、 T_3 阶地分布特点可看出,张家磨以南阶地明显隆起,阶地面抬升幅度为 30 m 左右.从局部实测基座砾石层高度来看,野狐城至五里墩段基座发生明显的拱曲变形(图 4), T_2 和 T_3 的基座隆起幅度达到 22 m 和 26 m,是 NNW 向次级断裂挤压逆冲活动的最直接证据,反映了该次级断裂在晚更新世仍然在活动.

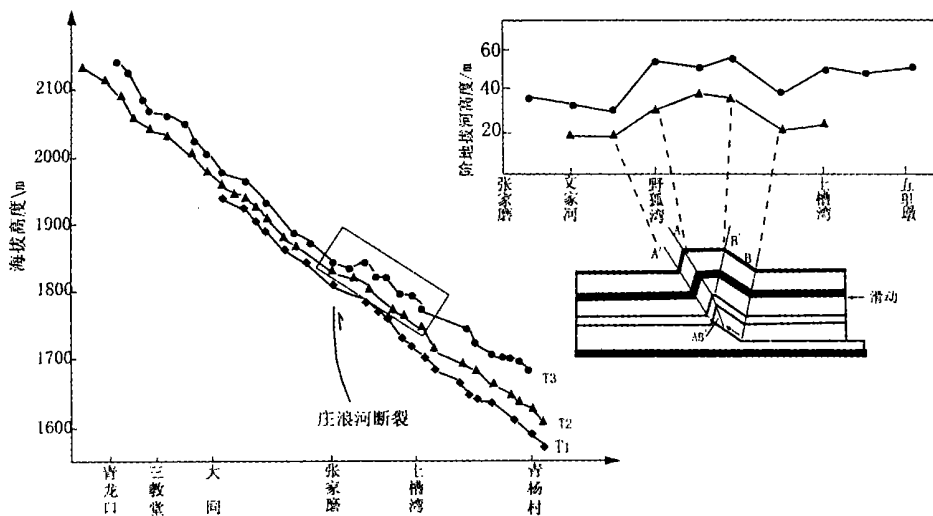


图 4 庄浪河阶地纵剖面

Fig. 4 Longitudinal profile of terraces in the Zhuanglang River.

2 阶地抬升幅度及速率

兰州地区位于青藏高原东北缘陇西盆地西缘,其形成和构造演化与青藏高原的阶段性隆起息息相关.青藏高原隆起的时间、幅度和形式问题由来已久,至今未达共识.根据青藏高原—戈壁沙漠—黄土高原的相关耦合关系和中国黄土沉积研究^[2,6],青藏高原在 2.6 Ma 达到临界高度 2 000 m,第三纪末至第四纪初发生了非常强烈的构造运动,自此以后大体经历了 3 个大的演化阶段,即 3.6–1.7 Ma 的青藏运动(包含了 3.6 Ma、2.5 Ma、1.7 Ma 三个阶段)^[3], 1.1–0.6 Ma 的昆黄运动(包含了 1.1 Ma、0.8 Ma、0.6 Ma 三个阶段)^[7]和 0.15 Ma 以来的共和运动.3.6 Ma 的青藏运动在高原内外形成若干新的湖盆;2.6 Ma 使高原达到了 2 000 m 的临界高度,堆积了大面积的黄土;1.7 Ma 使黄河长江贯通.昆黄运动使高原达到平均 3 000 m 的高度,1.2 Ma 之前本区主要水系黄河发源于祁连山,湟水和大通河即为上游,1.2 Ma 的构造运动使黄河切开积石峡流入兰州盆地.自上新世以来在青藏高原整体隆起和局部快速抬升相结合的机制下,发生了多阶段、非均匀和不等速抬升运动.

兰州地区由于所处的构造位置具有独特的动力学环境和构造运动特征,可作为一个相对独立的构造单元,计算 1 600 ka 以来不同时期河流阶地抬升幅度和下切速率.阶地的形成除与构造抬升有关外还受气候变化等因素影响,但在气候大体相同的地区不同时期河流下切速率的差异可能就是构造运动的结果.阶

地的构造抬升和下切具有同步,等速率的分布特点.黄河及其支流最早下切均始于1 600 ka,期间经历了不同的发展阶段;大约在150 ka左右发生同步下切,形成本区广泛发育的第三级阶地,这一时期构造活动稳定,气候变化不大.兰州地区刘家峡至黑山峡段不同时期抬升幅度相差很大,05 ka 抬升幅度不超过5 m,10150 ka 抬升幅度为20 m,150220 ka 抬升幅度为40 m,220700 ka 抬升幅度为200 m,700 1 100 ka 抬升幅度为150 m(图5).这种大规模的构造抬升与黄河上游公伯峡附近拉脊山隆起一样是区域构造活动的综合体现,与青藏高原的抬升隆起息息相关.

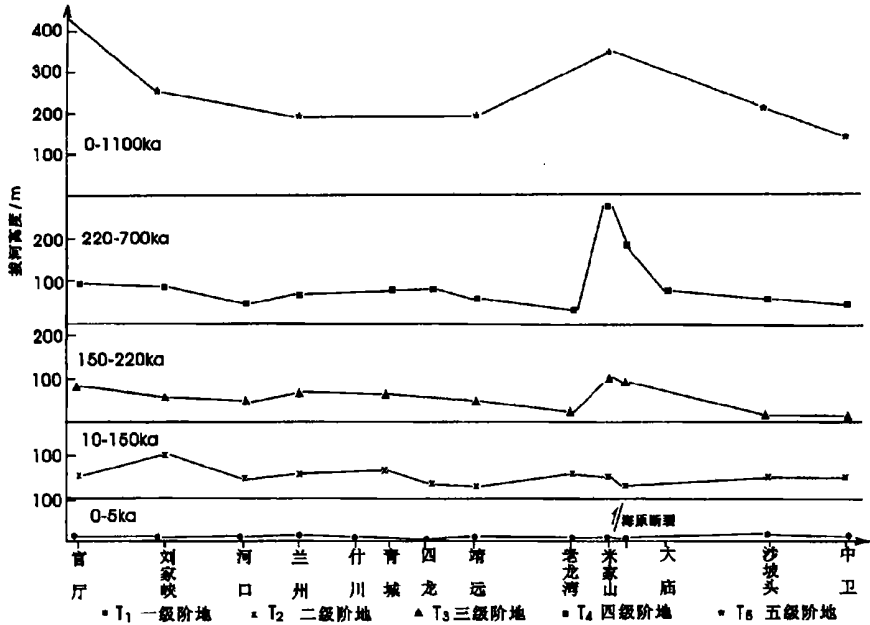


图5 黄河刘家峡—中卫段阶地变形特征
Fig. 5 Deformation characteristics of Yellow River from Liujiaxia to Zhongwei.

横穿构造线、构造体的河流阶地发育程度、抬升幅度和纵向微位相形态与变形等反映了阶地发育地区不同时期以来的地壳垂直运动幅度和速率、构造变形的强度和方式以及断裂作用的性质.兰州地区河流阶地的发育及变形特征表明,在区域构造应力场作用下,由于NW向海原断裂和NW向兴隆山—马衔山断裂的挤压逆冲活动,断裂两侧阶地抬升幅度急剧变化并在逆冲上升盘产生了不对称的断裂扩展褶皱作用,各级阶地不同程度地发生与背斜形态相似的穹状弯曲变形,变形程度与年代成正比.黄河和次级支流的下切速率随时间推移有逐渐增加的趋势, T_1T_3 形成的150 ka以来的构造抬升速率最大,达到0.5 1.25 mm/a;其次为 T_6T_7 形成以来的1 600 ka,下切速率达到1.0 mm/a(表1).

3 结论

- 兰州及邻近地区河流阶地和变形研究结果表明:
- (1) 河流阶地变形特征直观的反映了活动构造不同时期的活动性状,可以作为确定构造活动时期的相对可靠的证据.
 - (2) 各支流水系的发育受黄河干流控制,一般发育47级阶地,它们对第四纪以来新构造运动的响应十分显著,兴隆山—马衔山断裂西端八盘峡附近黄河II级阶地发生明显的隆起变形,至少说明15万年以来该断裂发生过挤压逆冲活动;黄河米家山阶地抬升幅度和期次最大;庄浪河阶地在张家磨—野狐城发生同步拱曲变形,反映了北西西向断裂的活动.
 - (3) 兰州地区构造活动经历了多次阶段性隆升过程.米家山构造抬升期次最多,幅度最大,各时期抬

升幅度分别为: 05 ka 抬升幅度不超过 5 m, 10150 ka 抬升幅度为 20 m, 150220 ka 抬升幅度为 40 m, 220-700 ka 抬升幅度为 200 m, 7001 100 ka 抬升幅度为 150 m. 兰州地区河流下切速率有逐渐增加的趋势, 其中 150 ka 以来发生的三次构造活动的下切速率最大. 这种大规模的构造抬升与黄河上游公伯峡附近积石山隆起一样是区域构造活动的综合体现, 与青藏高原的抬升隆起密切相关.

表 1 兰州及邻近地区河流阶地抬升时间和下切速率(年龄/ka; 下切速率/[mm·a⁻¹])

刘家峡黄河阶地			兰州黄河阶地			米家山黄河阶地			黑山峡黄河阶地			湟水阶地			庄浪河阶地		
级数	年龄	下切速率	级数	年龄	下切速率	级数	年龄	下切速率	级数	年龄	下切速率	级数	年龄	下切速率	级数	年龄	下切速率
T ₁	5	0.5	T ₁	10	1.0	T ₁			T ₁	5		T ₁	10	0.5	T ₁	5	1.0
T ₂	84	0.57	T ₂	60	0.3	T ₂			T ₂	18		T ₂	30	1.25	T ₂	60	0.55
T ₃	147	0.98	T ₃	140	0.56	T ₃	140		T ₃	94		T ₃	150	0.33	T ₃	140	0.2
T ₄	168		T ₄	560	0.17	T ₄	149	0.22	T ₄	140	0.49	T ₄	590	0.14	T ₄	560	0.07
T ₅			T ₅	1200	0.09	T ₅	180	0.48	T ₅	220		T ₅	780	0.24			
T ₆	> 1150		T ₆	1500	0.1	T ₆	402	0.11	T ₆	290		T ₆	1100	0.1			
			T ₇	1600	1.0	T ₇	413	1.1	T ₇	360		T ₇	1500	0.12			
						T ₈			T ₈	500	0.24						
						T ₉	488		T ₉	740							
						T ₁₀			T ₁₀	1070							
						T ₁₁	508		T ₁₁	1570	0.14						
						T ₁₂	732	0.1									
						T ₁₃	740	0.16									
						T ₁₄	767	0.71									
						T ₁₅	880	0.23									
						T ₁₆	986	0.44									
						T ₁₇	1078	0.24									
						T ₁₈	1199	0.3									
						T ₁₉	1363	0.26									
						T ₂₀	1443	0.39									
						T ₂₁	1561	0.3									
(陈发虎, 1991)			(刘小凤, 2001)			(邢成起, 2001)			(李吉均, 1996)								

[参考文献]

[1] 陈发虎, 等. 兰州黄土地层研究[A] . 见: 中国西部第四纪冰川与环境[C] . 北京: 科学出版社, 1991. 250—256.

[2] 李吉均, 方小敏, 马海洲, 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.

[3] 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 等. 兰州地区黄河阶地发育与地貌演化[A] . 见: 中国西部第四纪冰川与环境[C] . 北京: 科学出版社, 1991. 271—277.

[4] 刘小凤, 刘百箴. 应用“构造—气候旋回”年代学方法确定河流阶地形成时代的初步研究[J] . 西北地震学报, 2001, 23(4): 395—403.

[5] 邢成起, 丁国瑜, 卢演伟, 等. 黄河中游河流阶地的对比及阶地系列形成中构造作用的多层次性分析[J] . 中国地震, 2001, 17(2): 187—201.

[6] 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, 43(15): 1569—1574.

[7] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等. 关于“昆仑—黄河”运动[J] . 中国科学(D 辑), 1998, 28(1): 53—59.

A PRELIMINARY STUDY ON PALAEO-EARTHQUAKE EVENTS OF THE REISHUI—RIYUE MT. ACTIVE FAULT ZONE IN QINGHAI PROVINCE

YUAN Dao-yang¹, LIU Xiao-long¹, LIU Bai-chi¹, ZHANG Pei-zhen²

(1. *Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China;*

2. *Institute of Geology, CSB, Beijing 100029, China*)

Abstract: Reishui—Riyue Mt. active fault zone is a very important NNW oriented right-lateral strike-slip active fault zone which developed in the Chaidam—Qilian Mt. active crustal block, northeastern margin of Qinghai—Tibet Plateau. The activity of the fault causes a series of micro-geomorphologies, such as ridge, valley and terrace, right-lateral offset and forms fault cliff and fault scarp et al. vertical offset micro-geomorphology. In this paper, the palaeo-earthquake events on the fault are studied. Combining the trench profiles and fault scarp measurement, two palaeo-earthquake events are determined, which occurred in 6280 ± 120 a.B.P. and 2220 ± 360 a.B.P., the recurrence interval is about 4000 a.

Key words: Qinghai province; Reishui—Riyue Mt. active fault zone; Palaeo-earthquake

(上接 124 页)

STUDY ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF RIVER TERRACES IN LANZHOU AND ADJACENT REGION

LIU Xiao-feng, YUAN Dao-yang, LIU Bai-chi

(*Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China*)

Abstract: According to the longitudinal profiles of river terraces of Yellow River and its branch rivers in Lanzhou and adjacent region, the deformation characteristics of river terraces which cross active faults are studied. The extents and rates of tectonic ascent in Lanzhou and adjacent region are confirmed with the growth and deformation characteristics of the river terraces at positions where the Yellow River terraces cross Xinglong—Maxian mountain fault and Haiyuan Fault, and the Zhuanglang River terraces cross a NNW branch fault of Zhuanglanghe fault.

Key words: Deformation of river terrace; Active tectonics; Lanzhou area