

渭河陇西段第七级阶地年代的确定及其构造意义

刘小丰^{1,2}, 刘洪春¹, 高红山², 潘保田², 李保雄¹, 范兵¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000;

2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000)

摘要: 昆黄运动是发生在中更新世时期青藏高原及其邻区一次重要的构造抬升事件, 河流阶地及地层记录能够较好地反映这次构造事件。渭河陇西段第七级阶地沉积了104.5 m厚的黄土, 通过对其上覆黄土剖面的古地磁、粒度研究表明, 此级阶地形成年代为距今870 ka, 阶地拔河高度说明自中更新世以来地面至少抬升了205 m, 其抬升速率约为0.2 m/ka。这次构造事件在时间上与昆黄运动相一致, 是对青藏高原强烈抬升的响应。

关键词: 渭河; 阶地; 昆黄运动; 陇西; 年代测定

中图分类号: P546 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)02-0144-06

Age of the 7th Terrace of Weihe River in Longxi Segment and Its Tectonic Implication

LIU Xiao-feng^{1,2}, LIU Hong-chun¹, GAO Hong-shan², PAN Bao-tian², LI Bao-xiong¹, FAN Bing¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Various evidences of terrace and stratigraphy show that Qinghai - Tibet plateau and its adjacent region experienced an intensive tectonic uplift during the middle Pleistocene, namely the Kunlun - Huanghe Movement. The depth of 104.5 m loess had been deposited on the 7th terrace of Weihe River in Longxi segment. Through the studing on dating approaches such as palaeomagnetic and grain size, the 7th terrace is estimated to form in about 870 ka before. The height above the river indicates that the uplift amount is at least 205 m from Pleistocene to today, and the move rate is about 0.2 m/ka. The time of this uplift event was same with Kunlun - Huanghe Movement, and was a response to intensive uplift of Qinghai - Tibet plateau.

Key words: Weihe River; Terrace; Kunlun - Huanghe Movement; Longxi; Dating

0 引言

中国西部的新生代构造运动中最主要的是以青藏高原隆升变形为代表的喜马拉雅运动。多年来研究者除对青藏高原隆升的时间、幅度、形式等进行详细讨论外, 还对青藏高原隆升到不同高度时的环境效应展开了大量研究^[1-4]。其中中更新世是喜马拉雅运动的一个重要时段, 这个时期的构造运动导致青藏高原强烈抬升达到了3 000 ~ 3 500 m, 高原进入了冰冻圈^[5], 并对周边环境产生了重大影响, 导

致全球气候的变化。深海氧同位素记录表明在0.9 Ma左右同位素值忽然增加了0.29‰; 气候主导周期从41 ka转为100 ka; 全球冰量增加了15%; 气候向干冷方向发展。这些事件被称为中更新世气候转型^[6-8]。在我国, 孢粉、风成砂及黄土等均记录了这次干旱化事件^[9]。导致这次重大事件的直接原因可能就是0.8 Ma左右的青藏高原的强烈隆升, 被称为“昆仑 - 黄河运动”, 简称昆黄运动。

收稿日期: 2009-01-05

基金项目: 国家科技支撑项目“汶川地震断裂带科学钻探”; 国家创新研究群体科学基金(40721061)

作者简介: 刘小丰(1976-), 男(汉族), 河北唐山人, 助理研究员, 第四纪地质及地震地质。

层状地貌面(夷平面,剥蚀面和河流阶地)能够很好地反映地面的构造抬升,被认为是构造抬升的直接证据^[10-11]。河流阶地是在构造运动和气候变化共同作用下形成的。构造抬升为河流的下切提供了一个垂直空间^[12],阶地面能够代表原始地形面的大体情况,较忠实的记录了地面抬升的历史。因此可以认为多级阶地的形成是第四纪构造运动的一种表现形式,阶地是研究区域构造环境的一种重要手段^[13]。本文通过对西秦岭北麓陇西附近的渭河第七级阶地上覆黄土沉积特征及年代的研究,探讨中更新世时此区域的构造运动特征。

1 研究区概述及剖面描述

研究区所在的陇中盆地属于青藏高原的前陆盆地,在大地构造上位于祁连山褶皱系和秦岭褶皱系中。中生代以来印度板块强烈向北俯冲欧亚板块,致使青藏高原隆升变形,导致高原内部及周边地区

形成大量的挤压逆冲及走滑断层和新生代盆地,形成盆山相间的地貌格局,吸收了碰撞的能量^[14-15]。第三纪初喜马拉雅运动开始后,受一系列NW向和NNW向大型活动断裂的控制和影响,周围山地强烈抬升,中强地震频繁发生^[16-17],区域构造应力场主应力方向总体位于NE到近EW向^[18],与此同时陇中盆地大面积沉降,并开始接受来自周边山地的物质堆积,沉积了巨厚的湖相沉积和第三系红层^[19]。

渭河发源于甘肃省渭源的鸟鼠山,属于黄河的一级支流,全长约455 km,流至潼关进入黄河。渭河谷地从上游到下游由一系列的山间盆地串联而成。在陇西盆地渭河共发育了7级阶地, T₁, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ 阶地在渭河的南岸保存较好,而 T₂ 阶地则保存于河流的北岸(图1)。T₁ 为堆积阶地; T₂ ~ T₇ 阶地为基座阶地,具有典型的二元相结构,河漫滩上堆积了不同厚度的黄土。

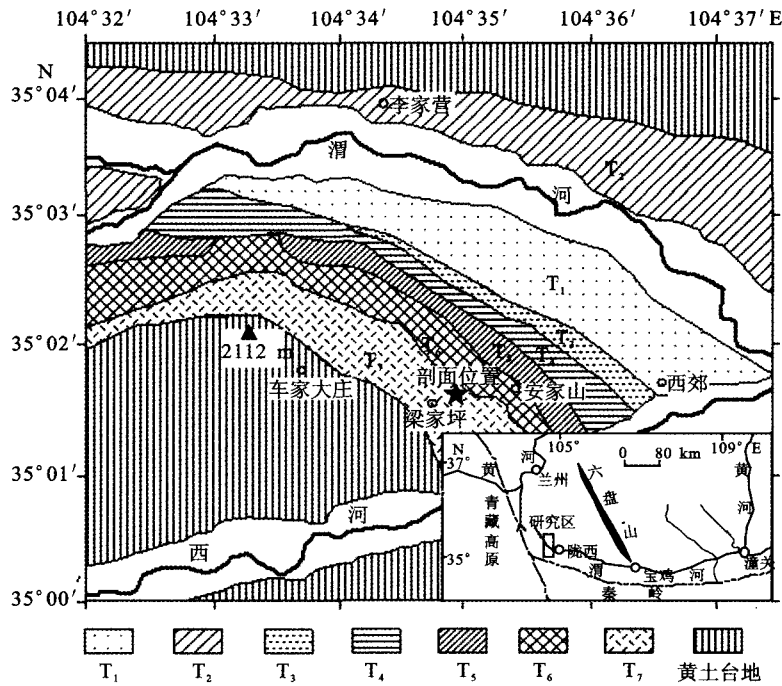


图1 渭河陇西段阶地分布及剖面位置图

Fig. 1 Map of the terraces of Weihe river in Longxi basin and the profile location.

研究剖面位于梁家坪村附近,为渭河的第七级阶地(图1)。本阶地为基座阶地,以第三系红层为基座,红层顶海拔1977 m,高出现代河床205 m。河床相砾石层厚约5 m,最大砾径达40 cm,砾石以青灰色粉砂岩和红色砂岩为主,含一定量的砾岩及石英岩;砾石层顶部为一层20 cm的红色粗沙层;向上为3 m的具有水平层理的河漫滩相物质;上覆风

成黄土厚度为104.5 m。黄土剖面描述如下(自下而上):

0~3 m:河漫滩水成黄土,极坚硬。内夹大量的CaCO₃结核,呈卵状。具水平层理。

3~5 m:棕红色古土壤,较坚硬,含CaCO₃斑点。古土壤内含有青灰色物质及锈色斑迹。

5~7.5 m:粉沙质黄土。

7.5~10 m:棕红色古土壤,含 CaCO_3 结核。

10~13 m:粉沙质黄土与粘土的混杂堆积,内含少量 CaCO_3 斑点。

13~18 m:含两层古土壤,中间被 1 m 黄土分开。古土壤发育程度较高,呈红棕色,含大量的 CaCO_3 斑点。其中下层古土壤含有 CaCO_3 结核,呈块状分布。

18~31 m:粉沙质黄土,质地均一。

31~39 m:发育程度较高的古土壤,含有少量的 CaCO_3 斑点,棕红色。明显由三层古土壤组成。

39~44.5 m:黄土,较紧实。

44.5~48 m:棕红色古土壤,孔隙度大,含有虫孔及少量草根。

48~51 m:黄土,颗粒相对较细。

51~53 m:红色古土壤,含有少量的 CaCO_3 结核,土质较坚硬。

53~55.5 m:粉沙质黄土。

55.5~60.5 m:红色古土壤,中间加一层厚约 1 m 的黄土。

60.5~65 m:粉沙质黄土。

65~80 m:三层古土壤复合而成,红棕色,具有团粒状结构,含有 CaCO_3 结核。

80~84.5 m:粉沙质黄土,疏松。

84.5~96 m:由三层发育程度较弱的古土壤组成,孔隙度较大,颜色较深,含少量 CaCO_3 结核。

96~104.5 m:粉沙质黄土,其中在黄土顶部为 30 cm 的现代耕作土。

2 样品的采集和测试

粒度样品是指对黄土散样的采集。黄土粒度组成中不同粒级组分的古气候意义不同,并且各粒级组分界线随着研究区域的不同而发生变化,但总体上能够进行区域上的对比。研究表明粗颗粒部分 ($>19 \mu\text{m}$, $>30 \mu\text{m}$, $>40 \mu\text{m}$) 通常被用来反映冬季风的变化,细颗粒含量可以作为夏季风良好替代指标^[20-21]。由于侧重点不同,本文并没有对沉积环境进行详细的分析,粒度测量主要为作者划分黄土地层提供参考。

为了保证粒度数据能够很好的反映地层特征,本文对渭河第七级阶地上覆黄土按照 10 cm 的间隔进行高密度采样,共取得 1 045 个粒度样品。粒度测量采用英国 Malvern 公司产的 Mastersizer2000 型激光粒度仪(测量范围为 0.02~2 000 μm) 进行测量。样品的处理与测量步骤:(1) 将样品称重 0.2

~0.3 g 左右放入烧杯内;(2) 加入 10 ml 浓度为 10% 的双氧(H_2O_2) 水后加热煮沸至没有或有微小气泡为止,目的是去除黄土样品中的有机质;(3) 向烧杯中加入约 10 ml 浓度为 2:1 的盐酸溶液直到没有气泡为止,目的是去除样品中的碳酸盐;(4) 用蒸馏水注满后静置 12 小时以上,目的是使黄土颗粒沉淀到杯底;(5) 用吸管抽取蒸馏水,加入 10% 六偏磷酸钠溶液 10 ml,将烧杯放入超声波中进行震荡,使样品充分均匀。前处理结束,用仪器进行测量。

古地磁样品采集时必须保证样品取自新鲜的、很少受风化的岩石或黄土块体。本文采用人工挖掘深槽,深度视剖面具体情况而定。野外古地磁样品的定位本文采用水平定向法:将采样点地层进行水平处理,然后用罗盘定出北方向。为了避免采集及室内处理的误差,采集的样品一般为 10 cm × 10 cm × 10 cm,室内加工成 3 块 2 cm × 2 cm × 2 cm 的立方体样品,此时样品即可进行古地磁测量。为了保证古地磁测定的结果尽量捕捉到小的地磁事件,按不同的间隔在剖面上采样。剖面下部(0~16 m)按 0.5 m 的间隔,中部(17~60 m)按 1 m 的间隔,上部(61~104.5 m)按 2 m 的间隔采样。共采的古地磁年代样品 97 组 291 个样品。每个古地磁样块被切割成 3 个标准古地磁样品,在中科院地质与地球物理研究所古地磁实验室低温超导磁力仪上测定。热退磁按照 50 °C 的步长,退磁梯度范围为 0~550 °C。大多数样品在 250~300 °C 左右剩磁矢量强度和角度发生了大的转变,说明粘滞剩磁被除去,到了 350 °C 以后剩磁强度稳定的指向原点,代表了原生剩磁的方向(图 2)。

3 样品结果分析与阶地年代的确定

将测量结果与标准古地磁年表进行对比,可以发现距底部 5 m 处属于正负极性转换的 B/M 界限,年代为距今 780 ka^[22](图 3),结合粒度数据可知该位置在岩石地层上位于 L_9 ,与黄土高原其它地区磁性地层学研究得到的 B/M 界限位置一致^[23]。在距底 1.5~3 m 为正极性时,基于粒度指标可知在距底 3~5 m 之间只存在一个古土壤 S_8 ,下部的河漫滩及砾石层应属于冰期的产物^[24]。可以认为位于 L_9 中距底 1.5~3 m 这个短暂的极性事件为后贾亚米洛事件^[25],在六盘山以东也有记录,被称为蓝田事件^[26]。因此 T_7 剖面底部年龄大约为 S_8 的年龄, S_8 的底部年龄约为 865 ka B. P.^[20],第七级阶地的形成年代约为 870 ka B. P.。

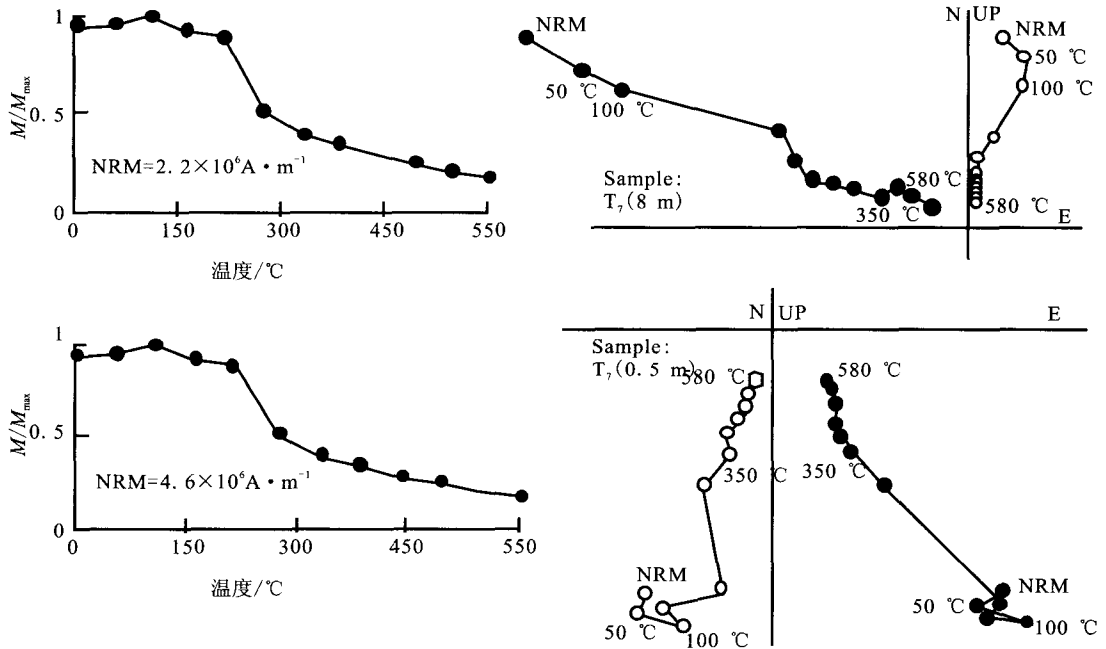


图2 部分代表性样品的热退磁曲线与逐步热退磁结果

Fig. 2 Progressive thermal demagnetization and orthogonal projecting plots of some samples.

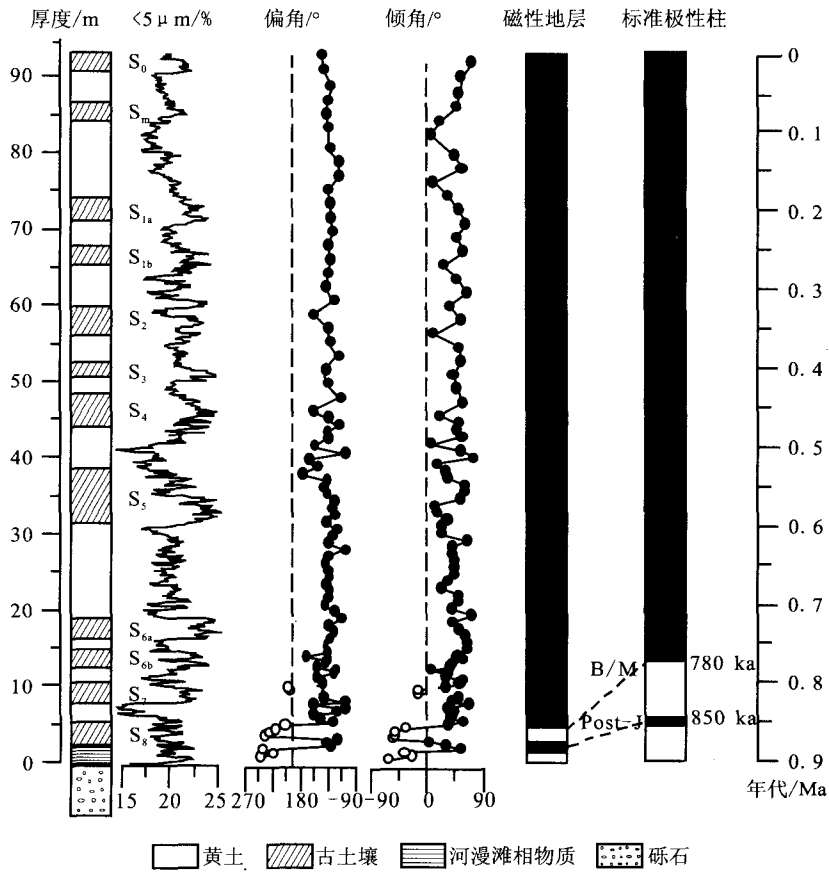


图3 渭河陇西段 T₇ 上覆黄土磁性地层学

Fig. 3 Loess stratigraphy and palaeomagnetism of T₇ of Weibe river in Longxi.

4 结论与讨论

渭河作为黄河最大的一条支流,其阶地和地貌演化过程自上个世纪中叶就受到了广泛的关注。陈云通过渭河宝鸡段调查发现此地区渭河共发育了5级阶地,形成年代分别为1.2 Ma B. P.、0.8 Ma B. P.、0.5 Ma B. P.、0.13 Ma B. P.和0.09 Ma B. P.,阶地形成的主要驱动力为在构造运动^[27]。关于渭河宝鸡段阶地的形成年代,也有不同的研究结果,最新的研究表明渭河在宝鸡发育的五级阶地分别形成于2.6 Ma B. P.、1.2 Ma B. P.、0.9 Ma B. P.、0.65 Ma B. P.和0.15 Ma B. P.,认为阶地的形成主要是新生代印度板块向欧亚板块俯冲的结果^[28-29]。渭河在天水地区共发育了7级阶地,形成年代分别为1.5 Ma B. P.、1.2 Ma B. P.、0.87 Ma B. P.、0.62 Ma B. P.、0.4 Ma B. P.、0.13 Ma B. P.和0.01 Ma B. P.^[30]。可以看出,渭河在不同地段出现的时间有所差异,但都存在着0.8 Ma B. P.时期形成的阶地,说明在0.8 Ma B. P.左右整个渭河流域经历了一次强烈的抬升。这次构造运动不仅仅体现在渭河流域,地貌证据显示黄河在兰州、三门峡也普遍存在着0.8 Ma B. P.阶地,正是这次的构造抬升导致黄河切穿三门峡东流入海^[31-33]。祁连山东段沙沟河阶地年代测定结果表明,其最高阶地形成于0.83 Ma B. P.^[34];对青藏高原内部湟水河阶地研究表明,第五级阶地形成于中更新世^[35-36]。说明0.80 Ma B. P.前后在青藏高原及其周缘地区普遍发生了一次强烈的构造抬升,此事件被称为“昆黄运动”。除了河流地貌学的证据外,还有其他证据的支持。如在河西走廊西端老君庙背斜开展的工作表明,祁连山地构造运动可以分为两幕,第二幕构造运动发生在0.93~0.84 Ma B. P.,造成了走廊地区酒泉砾岩和玉门砾岩区域性不整合^[37];在青藏高原内部的若尔盖盆地,湖泊演化历史也记录到了这次构造事件^[38]。渭河870 ka阶地正是对青藏高原“昆黄运动”的响应。

河流阶地是古地形面的残余,忠实地记录了地面抬升的历史,其下切速率能够大体反映地面的抬升速率。渭河陇西段第七级阶地高出现代河床205 m,表明中更世以来的地面抬升速率约为0.2 m/ka,但是其活动性明显低于秦岭内部地区(乾佑河和岷江下切速率分别为0.31 m/ka和1.5 m/ka)。薛祥煦^[39]通过对南洛河溶蚀洞穴的研究也得到了秦岭的抬升资料,并认为秦岭的抬升趋势与青藏高原相似。表明青藏高原隆起的整体性中存在不同地区的

差异性。本文关于渭河阶地研究提供了“昆黄运动”在西秦岭北麓表现的新证据。

[参考文献]

- [1] 李吉均,方小敏,潘保田,等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究,2001,21(5):381-391.
- [2] Paul T, Xu Z Q, Francoise R, et al. . Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[J]. Science, 2001, 294:1671-1677.
- [3] Molnar P E. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: chicken or egg[J]. Nature, 1990, 346:29-34.
- [4] An Z S, John E K, Warren P, et al. . Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalayan - Tibetan Plateau since late Miocene times[J]. Nature, 2001, 411: 62-66.
- [5] 施雅风. 第四纪中期青藏高原冰冻圈的演化及其与全球变化的联系[J]. 冰川冻土,1998,32(3):197-208.
- [6] Mudelsee M, Schulz M. The Mid-Pleistocene climate transition: onset of 100 ka cycles lags ice volume build-up by 280 ka[J]. Earth Planet Sci. Lett., 1997, 151: 117-123.
- [7] Berger W H, Yasuda M K, Bickert T, et al. . Quaternary timescale for the Ontong Java Plateau; Milankovitch template for Ocean Drilling Program site806[J]. Geology, 1994, 22: 463-467.
- [8] Raymo M E, Oppo D W, Curry W. The mid-Pleistocene climate transition: A deep sea carbon isotope perspective[J]. Paleoceanography, 1997, 12: 546-559.
- [9] 褚娜娜,潘保田,王均平,等. 汾渭河盆地黄土剖面0.9Ma前后的粒度突变及其环境意义[J]. 中国沙漠,2008,28(1):50-56.
- [10] 潘保田,李吉均,李炳元. 青藏高原地面抬升证据讨论[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2000,36(3):100-111.
- [11] 潘保田,高红山,李吉均. 关于夷平面的科学问题——兼论青藏高原夷平面[J]. 地理科学,2002,22(5):520-526.
- [12] Pan Baotian, Liu Xiaofeng, Gao Hongshan, et al. . Dating and genesis of the upper Weihe River terraces in Longxi basin, China [J]. Progress in Natural Science, 2007, 17(11): 1334-1440.
- [13] Starkel L. Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas[J]. Quaternary Science Reviews, 2003, 22: 2189-2198.
- [14] 康来迅,张新基,石雅蓐. 西秦岭北缘断层气的基本特征[J]. 中国地震,1998,14(4):85-92.
- [15] 袁道阳,张培震,刘百箴,等. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换[J]. 地质学报,2004,78(2): 270-278.
- [16] 刘海明,陶夏新,孙晓丹,等. 马衔山北缘断裂西段6.5级地震对兰州市及周边地区的影响[J]. 西北地震学报,2008,30(3):227-244.
- [17] 梁明剑,袁道阳,刘百箴,等. 兰州马衔山北缘断裂地震潜势评估[J]. 西北地震学报,2008,30(4):337-343.
- [18] 陈永明,石玉成. 兰州地区现代应力场的构造解析[J]. 西北地震学报,2007,29(1):84-93.
- [19] Lin Aiming, Yang Zhenyu, Sun Zhiming, et al. . How and when did the Yellow river develop its square bend[J]. Geology, 2001, 29(10):951-954.

- [20] Ding Z L, E Derbyshire, S LYang, et al. . Stacked 2.6Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea $\delta^{18}O$ record[J]. *Paleoceanography*, 2002, 17(3): 1-21.
- [21] An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. . Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the loess plateau of China over last 130,000 Years[J]. *Quaternary Research*, 1991, 36:29-36.
- [22] Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100: 603-609.
- [23] Rutter N. W, Ding Z. L, Evans M. E, et al. . Magnetostratigraphy of Baoji loess-paleosol section in north central China Loess Plateau[J]. *Quaternary International*, 1991, 7: 97-102.
- [24] Porter S C, An Z S, Zheng H B, et al. . Cyclic Quaternary Alluviation and Terracing in a Nonglaciaded Drainage Basin in the North Flank of the QinlingShan, Central China[J]. *Quaternary Research*, 1992, 38: 157-169.
- [25] 陈发虎,张维信. 甘青地区黄土地层学与第四纪冰川问题[M]. 北京:科学出版社,1993:24-34.
- [26] 岳乐平,薛祥煦. 中国黄土古地磁学[M]. 北京:地质出版社,1995:38-41.
- [27] 陈云,童国榜,曹家栋,等. 渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应[J]. *地质力学学报*, 1999, 5(4): 49-56.
- [28] Sun Jinmin. Long-term fluvial archives in the Fenwei Graben, central China, and their bearing on the tectonic history of the India - Asia collision system during the Quaternary[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24(10-11): 1279-1286.
- [29] 孙继敏,许立亮. 汾渭地堑的河流阶地对第四纪时期印度-欧亚板块碰撞带的构造响应[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(1): 21-26.
- [30] 张猛刚. 渭河中下游河流阶地的演化模式[D]. 西安:西北大学.
- [31] 潘保田,苏怀,刘小丰,等. 兰州东盆地最近1.2Ma的黄河阶地序列与形成原因[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(2): 172-180.
- [32] 苏怀,王均平,潘保田,等. 黄河三门峡至扣马段的阶地序列及成因[J]. *地理学报*, 2008, 63(7): 744-750.
- [33] 潘保田,王均平,高红山,等. 从三门峡黄河阶地的年代看黄河何时东流入海[J]. *自然科学进展*, 2005, 15(6): 700-705.
- [34] 潘保田,邬光剑,王义祥,等. 祁连山东段沙沟河阶地的年代与成因[J]. *科学通报*, 2000, 45(24): 2669-2675.
- [35] 何生胤. 西宁盆地湟水河流阶地与高原演化特征分析[J]. *水利与建筑工程学报*, 2007, 5(3): 81-86.
- [36] 鹿化煜,安芷生,王晓勇,等. 最近14 Ma 青藏高原东北缘阶段性隆升的地貌证据[J]. *中国科学(D辑)*, 2004, 34(9): 855-864.
- [37] 赵志军,史正涛,方小敏,等. 祁连山北麓早更新世新构造运动的地层记录[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(6): 92-98.
- [38] 薛滨,王苏民,王云飞,等. 湖泊深钻揭示的中更新世以来中国环境的区域分异及其亚洲季风的关系[J]. *湖泊科学*, 1998, 10(1): 1-4.
- [39] 薛祥煦,李虎侯,李永项,等. 秦岭中更新世以来抬升的新资料及认识[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(1): 82-87.

(上接 143 页)

- [6] 刘启元,陈九辉,李顺成,等. 新疆伽师强震群区三维地壳上地幔 S 波速度结构及其地震成因的探讨[J]. *地球物理学报*, 2000, 43(3): 356-367.
- [7] 张先康,赵金仁,张成科,等. 米尔东北侧地壳结构研究[J]. *地球物理学报*, 2002, 45(5): 665-671.
- [8] 梅世蓉. 地震前兆场物理模式与前兆时空分布机制研究(一)——固体孕震模式的由来与证据[J]. *地震学报*, 1995, 17(3): 273-282.
- [9] 王卫民,李丽,赵连锋,等. 2003年2月24日新疆巴楚-伽师 $M_s 6.8$ 级地震震源破裂过程研究[J]. *地球物理学报*, 2005, 48(2): 343-351.
- [10] 高国英,聂晓红,夏爱国. 2003年伽师6.8级地震序列和震源机制的初步研究[J]. *中国地震*, 2004, 20(2): 179-186.
- [11] 朱令人,苏乃秦,杨马陵. 1997年新疆伽师强震群及三次成功的临震预报[J]. *中国地震*, 1998, 14(2): 101-115.
- [12] 周仕勇,许忠淮,陈晓非. 伽师强震群震源特征及震源机制力学成因分析[J]. *地球物理学报*, 2001, 44(5): 654-662.
- [13] 胥颐,刘福田,刘建华,等. 天山地震带的地壳结构与强震构造环境[J]. *地球物理学报*, 2000, 43(2): 184-193.
- [14] 尹光华,蒋靖祥,穆桂金. 2003年2月24日巴楚-伽师6.8级地震的构造背景初控[J]. *干旱区地理*, 2003, 26(2): 103-109.