

白鹿塬中更新世以来的黄土—古土壤序列 及断层活动特征分析*

李晓妮, 冯希杰, 师亚芹, 戴王强, 任 隽

(陕西省地震局, 陕西 西安 710068)

摘要: 通过对白鹿塬高家沟内两套黄土—古土壤序列及断层错距的观察、测量和分析, 获得了中更新世以来白鹿塬黄土—古土壤序列的地层划分和断层的部分活动性参数。结果表明: 高家沟内 S_2 和 S_3 地层均由两层古土壤夹一层黄土复合而成, L_7 地层由两层黄土中间夹一层弱发育古土壤组成; 中更新世以来, 白鹿塬段一直存在断层活动, 且断层活动具有空间差异性。

关键词: 黄土—古土壤序列; 断层活动; 中更新世; 白鹿塬; 临潼—长安断裂

中图分类号: P313.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0024-05

0 引言

渭河盆地自始新世开始发育, 第四纪时期接受了大范围的黄土堆积, 造成大部分地区的地表和近地表被晚更新世的黄土披盖, 中更新世的地层被深埋于地下, 因此中更新世黄土地层中的断裂活动迹象很难被直接找到, 导致中更新世直观反映断裂活动的图件和研究资料相对较少。西安市活断层项目组工作人员对渭河盆地内部的临潼—长安断裂进行了长期的野外考察, 期间在白鹿塬高家沟观测到自早中更新世以来从下到上被断裂活动错开的黄土—古土壤序列。

笔者利用界限清楚而完整的黄土—古土壤序列及其可参考的年代标尺, 通过沿断裂带上古土壤层的错距讨论中更新世时期临潼—长安断裂在白鹿塬高家沟内的活动情况。再结合已有的资料, 将白鹿塬中更新世期间断裂的活动与晚更新世以来断裂的活动以及断裂的空间差异大小进行对比, 以期为该区域的地震危险性评价提供基础资料和可靠证据。

1 白鹿塬高家沟内中更新世的黄土地层

笔者通过对渭河盆地内部的临潼—长安断裂

进行长期的野外考察, 在白鹿塬观测到自早中更新世以来从下到上被断裂活动错开的黄土—古土壤序列。两套黄土—古土壤序列均位于白鹿塬内部的高家沟, 两剖面野外出露完好, 地层界线清晰(图1), L_1 、 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_5 、 L_7 和 L_9 地层特征明显。 L_1 地层由颜色不同的3层组成: 上层和下层呈灰黄色, 富含大孔隙和团块状结构; 中层厚约0.4 m, 颜色呈浅灰褐色, 略微发红, 成壤化明显。 S_1 地层为黑褐色亚粘土, 十分醒目。 S_2 地层由两层颜色相差较大的古土壤夹一层黄土复合而成, 上层古土壤呈红褐色, 含丰富的铁锰胶膜和部分钙膜; 下层古土壤呈黄褐色, 因含过多的钙膜斑点而发白; 两层古土壤中间夹层有厚约0.7 m的黄土层。 S_3 地层厚约2 m, 由两层颜色相似的古土壤夹一层黄土复合而成, 上下两层古土壤均呈黄褐色, 铁锰胶膜发育, 两层古土壤中间夹一薄层棕黄色亚粘土。 S_5 地层厚约4 m, 由3层古土壤夹两层黄土复合而成, 较醒目, 最上层古土壤与上覆黄土界限清楚, 颜色最深, 呈红褐色, 下两层古土壤颜色浅于第一层, 呈黄褐色, 两薄层黄土夹于3层古土壤之间, 颜色较浅, 在地层底部均匀分布着厚约0.2 m的钙质结核层。 L_7 地层厚约3.5 m, 由3层组成, 上下层呈褐黄色, 中间夹一层厚约0.5 m颗粒较细的浅黄褐色弱发育古土

* 收稿日期: 2011-01-14.

基金项目: 国家发展与改革委员会发改投资“城市活断层试验探测”项目(20041138)和陕西省地震局青年基金联合资助。

壤。 L_9 地层较厚，约 9 m，由浅黄色土层中夹两条褐黄色条带组成。

综合上述分析认为：(1) 白鹿塬与其它地区黄土剖面有相似的特点，有 3 个明显的标志层 S_1 、 S_5 和 L_9 。 S_1 地层是从地面向下的第一层，颜色褐红，十分醒目。 S_5 由 3 层古土壤复合而成，在古土壤中沉积最厚。 L_9 地层颗粒较粗，在黄土层中沉积最厚；(2) 白鹿塬与其它黄土—古土壤序列稍有区别的地层分别是 S_2 、 S_3 、 L_7 和 L_9 。 S_2 地层由两层颜色稍有差异的古土壤中间夹一层黄土组成，上层古土

壤呈红褐色，铁锰胶膜发育，下层古土壤呈黄褐色，含大量的钙膜斑点。 S_3 地层由两层颜色相近的古土壤中间夹一层黄土组成。 L_7 地层由两层颜色稍浅的黄土中间夹一层弱发育古土壤组成。 L_9 地层由浅棕黄色土层中夹两条褐黄色条带复合而成。由于受临潼—长安断裂活动的影响，高家沟内从 L_9 到 L_1 的地层均被错断。因所研究的高家沟两个断层剖面均为垃圾场建设时开挖的新鲜露头，地层界限比较清楚，断层错距能够被准确地判断与测量。较好的客观环境为本文的研究工作提供了方便。

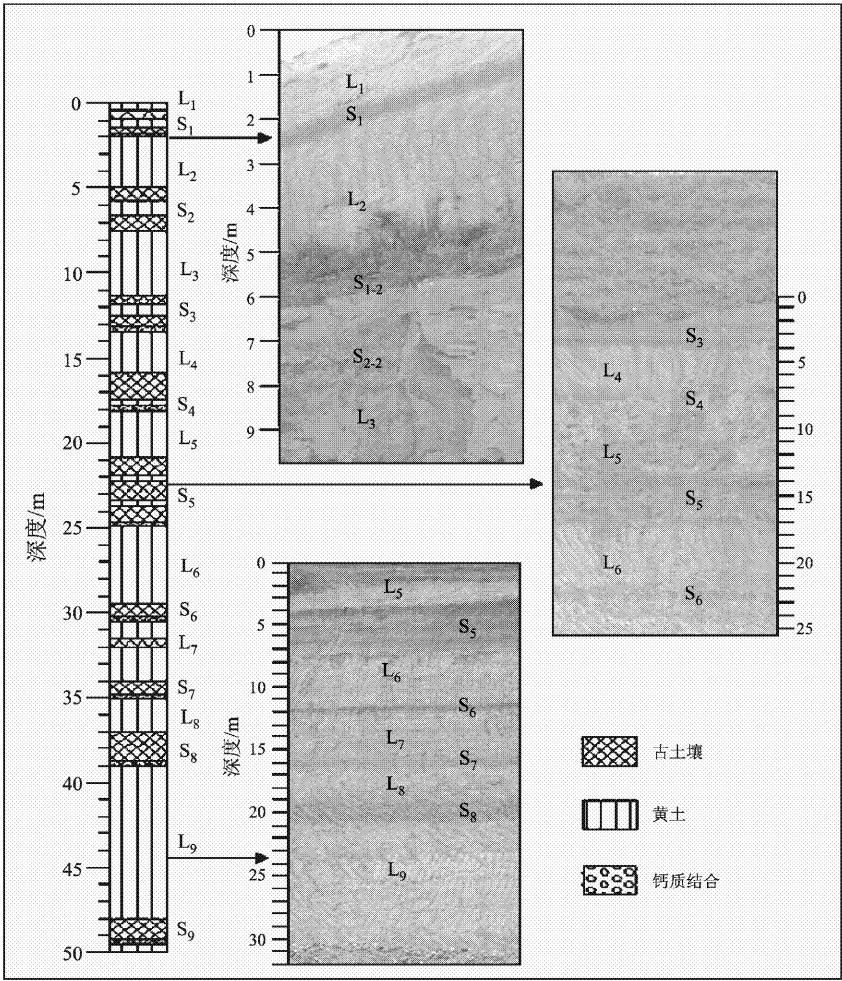


图 1 白鹿塬高家沟的黄土—古土壤序列

Fig. 1 Loess-paleosol sequence in Gaojiagou, Bailuyuan

2 中更新世以来高家沟两断层剖面的断层活动特征

高家沟两个断层剖面位置及临潼—长安断裂展布如图 2 所示，图中黑色实心圆点为高家沟两个

剖面的位置， F_1 、 F_2 为临潼—长安断裂的两个分支。临潼—长安断裂位于西安拗陷与骊山凸起的交界部位，在航磁和重力资料上显示为一个明显的异常带（李永善，1991）。断层总体走向 $N35^\circ \sim 45^\circ E$ ，局部偏转为 $N65^\circ \sim 70^\circ E$ 走向，倾向 NW，倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，为正倾滑断层。该断裂主要由两

条分支断层 (F_1 、 F_2) 和两条分叉断层组成 (冯希杰等, 2006; 李晓妮等, 2008; 师亚芹等, 2008)。北东段狭窄 (带宽仅为 1~4 km), 西南段相对较宽 (带宽约 6~12 km), 整个断裂带的形态犹如一把大扫帚自东北向西南展开。

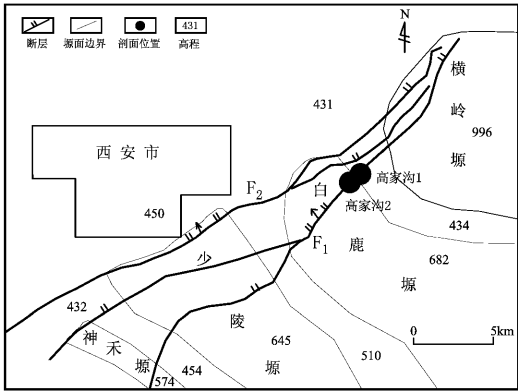


图 2 断层剖面位置及临潼—长安断裂的展布
Fig. 2 Location of fault section and stretch of Lintong - Chang'an Fault

高家沟两个断层剖面均位于临潼—长安断裂的 F_1 断层 (图 2), 即麻街—牛角尖—大鲍陂—碾湾断裂的东北段, 两个剖面的详细位置见图 2。由于临潼—长安断层的频繁活动, 高家沟两剖面的多套黄土—古土壤地层 (S_9 、 L_9 、 S_8 、 L_8 、 S_7 、 L_7 、 S_6 、 L_6 、 S_5 、 L_5 、 S_4 、 L_4 、 S_3) 被垂向错断。

高家沟剖面 1 位于西安市高家沟垃圾处理厂的南侧, 地理坐标为 (109.108 276°N, 34.246 123°E), 剖面 1 揭露地层为中更新世的黄土—古土壤序列, 分布连续且稳定。由于断层的活动, 该剖面 L_5 到 S_3 的地层均被此断层错断 (图 3a), S_5 地层顶部错距约为 0.8 m, S_4 地层底部错距约为 0.7 m, 顶部错距为 0.3 m, 在 S_3 地层中错距不明显。断层断面走向 40°, 倾向北西, 倾角 75°, 上盘下降, 下盘上升, 为正断层, 断层面上有垂直擦痕和磨光镜面。顺着断层面发育一条比较醒目的裂缝, 裂缝从下往上穿过 L_5 到 S_3 地层, 通往 L_3 地层中。根据自下往上断距逐渐变小, 以及临潼—长安断裂由深部发展而来的特征, 推测 S_5 地层以下地层错距应大于 0.8 m。

高家沟断层剖面 2 位于剖面 1 南西约 200 m 处, 地理坐标为 (34.244 950°N, 109.108 047°E), 断层走向 45°, 倾向北西, 倾角 68°, 为正断层。该断层上下贯通性较好, 自 S_8 至 S_5 地层均被

连续错断 (图 3b), S_8 、 S_7 、 S_6 和 S_5 地层底部的错距分别为 0.8 m、0.65 m、0.55 m 和 0.5 m, 自下往上, 断距在逐渐变小, 说明中更新世以来该断层处于持续的活动状态中。在断层的东边, 有一条较长、较宽、较醒目的裂缝从地层底部向上穿过 L_9 到 S_5 , 通往 L_5 地层中。由于 L_5 及以上地层被杂草覆盖, 不易观察, 因此裂缝是否通往更新的地层目前还不能确定。但是根据附近其它断层剖面的资料推断, 该处断层应该穿透了 L_5 地层。再与剖面 1 联系起来推测剖面 2 中 L_5 地层以上的地层错距, 因为同一条断层在 200 m 的范围内不可能有选择的进行切错, 而是在断层所经之处都有错断, 据此推测剖面 2 中 L_5 以上的地层被小幅度错断。

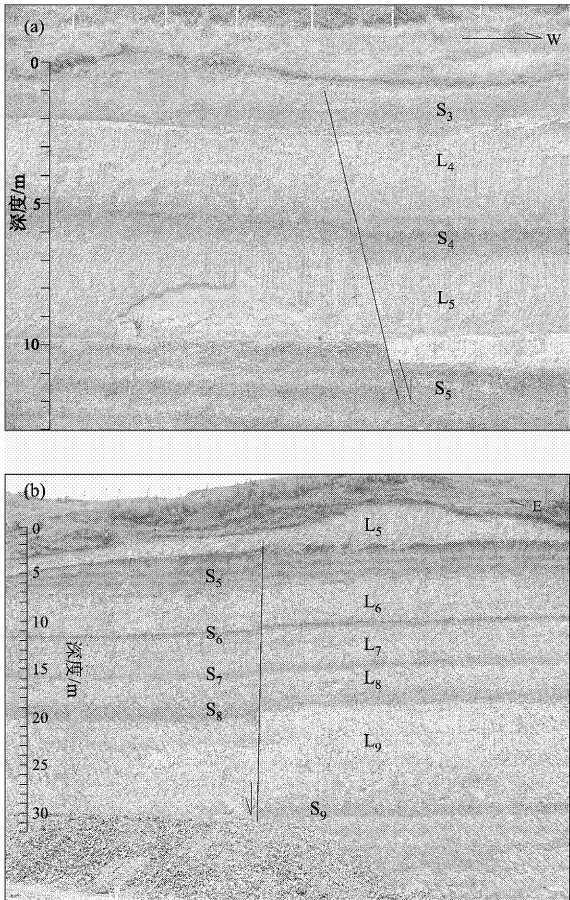


图 3 高家沟两剖面断层
(a) 剖面 1 (镜头向南); (b) 剖面 2 (镜头向北)
Fig. 3 Fault of two section in Gaojiagou
(a) Section one (mirrored to S);
(b) Section two (mirrored to N)

区域黄土和古土壤年代学研究结果表明 (刘东生, 1985; 岳乐平等, 1989, 1996; 丁仲礼等,

1991；孙建中等，1991，1998，2005；鹿化煜等，1996；雷祥义，张猛刚，2001；李玉梅等，2003；韩宇平，赵景波，2000；赵景波，2002；孙东怀，1997）， S_8 古土壤层底界的年龄为 788 ka， S_7 古土壤层底界的年龄为 730 ~ 745 ka， S_6 古土壤层底界的年龄为 695 ka， S_5 古土壤层底界的年龄为 600 ka，顶界的年龄为 468 ka， S_4 古土壤层底界的年龄为 422 ka，顶界的年龄为 375 ka， S_3 地层古土壤层的生成年龄为 272 ~ 330 ka， S_2 地层古土壤层的生成年龄为 185 ~ 242 ka， S_1 地层古土壤层的年龄为 80 ~ 127 ka， L_1 地层的生成年龄为 10 ~ 29 ka。因此， $S_9 \sim S_5$ 地层的古土壤错距反映了中更新世早期临潼—长安断裂 F_1 断层在白鹿塬的错距， $S_4 \sim S_2$ 地层的古土壤错距反映了中更新世晚期 F_1 断层在白鹿塬的错距， S_1 和 L_1 地层错距反映了晚更新世以来 F_1 断层在白鹿塬段的错距。

对于晚更新世以来的断层错距，冯希杰等（2006）做过详细研究，此处应用其研究中临潼—长安断裂 F_1 断层晚更新世以来错距的部分结果，与本文中更新世的错距大小进行对比，可获得对白鹿塬段 F_1 断层活动在时空上较为整体的认识。冯希杰等（2006）的研究资料显示大桥沟剖面 S_3 ， S_2 和 S_1 地层的断层错距均为 6 m，江家沟剖面 S_1 和 L_{1S} 地层的断层错距均为 1.1 m，牛角尖 S_1 断层的错距为 5.7 m， L_{1S} 的断层错距为 0.7 m，这 3 个剖面与高家沟两剖面均位于临潼—长安断裂 F_1 断层上的白鹿塬段（图 3a）。

表 1 地层年龄及断层错距

Tab. 1 Stratum age and fault dislocation

地质时代	地层	年龄/ka	断层错距/m
早中更新世	S_8 底	788	0.8
	S_7 底	745	0.65
	S_6 底	695	0.55
	S_5 底	600	0.5
	S_5 顶	468	0.8
晚中更新世	S_4 底	422	0.7
	S_4 顶	375	0.3
	S_3	272 ~ 330	6 *
	S_2	185 ~ 242	0.2 ~ 6 *
	S_1	80 ~ 127	0.5 ~ 6 *
晚更新世	L_1	10 ~ 29	0.7 ~ 1.1 *

注：* 数据取自冯希杰等（2006）。

通过以上分析，笔者做出了从 S_9 到 L_1 地层的断层错距（表 1）。由表 1 可知， S_9 到 L_1 地层错距均在 0.2 ~ 6 m，以其时代长远和错距大小相比，中更新世以来临潼—长安断裂的 F_1 断层在白鹿塬段错距整体偏小。用最大的断层错距 6 m 除以最小的年龄 8 万年，得到 F_1 断层在白鹿塬段的最大平均滑动速率约为 0.075 mm/a。

3 F_1 断层在白鹿塬段的活动特征分析

通过以上高家沟两断层剖面与白鹿塬段 F_1 断层上的其它 3 个剖面断层错距的整体分析与对比，将临潼—长安断裂的 F_1 断层在白鹿塬段中更新世以来的活动特征总结如下：

（1）自早中更新世以来， F_1 断层在白鹿塬段一直有活动。从断层剖面（图 3）和表 1 均可看出，断裂活动错断了黄土—古土壤地层序列的 $S_8 \sim L_1$ 地层，并在多处形成了断层面及构造裂缝，反映自早中更新世以来，临潼—长安断裂的 F_1 断层在白鹿塬一直有活动。

（2）早中更新世以来， F_1 断层在白鹿塬段错距不大，且活动速率较低。从表 1 可看出，早中更新世的地层年龄约为 468 ~ 788 ka，古土壤层的错距范围为 0.4 ~ 0.8 m；晚中更新世的地层年龄约为 185 ~ 422 ka，古土壤层的错距范围为 0.2 ~ 6 m；晚更新世的地层年龄约为 10 ~ 127 ka，古土壤层的错距范围为 0.5 ~ 6 m，且最大的平均滑动速率仅为 0.075 mm/a，以上数值均反映早中更新世以来， F_1 断层在白鹿塬段的错距整体偏小，平均活动速率亦较小。

（3） F_1 断层在白鹿塬段的活动在空间上具有差异性。 L_{1S} 地层在牛角尖断距为 0.7 m，在江家沟断距却为 1.1 m； S_1 地层在江家沟断距为 1.1 m，在大桥沟断距却为 6 m； S_1 地层在大桥沟断距为 6 m， S_8 地层在高家沟断距只有 0.8 m。这些数据显示在不同剖面断距也不同，反映 F_1 断层在白鹿塬段的错距具有空间上的差异性。

（4）高家沟垃圾处理场附近现今断裂活动程度较弱。虽然临潼—长安断裂的活动错断了白鹿塬高家沟剖面 1 的 $L_5 \sim S_3$ 地层和剖面 2 的 $S_9 \sim S_5$ 地层，然而通过对地形图的分析 and 野外观察看出，两断层的上覆地形面均比较平整，没有出现断层陡坎，也不存在明显的高度差，反映了高家沟垃圾处理场现今断裂活动程度较弱，活动力度不足以改变上覆地形原有的形状。

4 讨论与结论

白鹿塬南临泾河,北挨灞河,是夹于两河之间的黄土台塬。总体地形轮廓是中间高,四周低,从中间塬面向四周呈阶梯状倾斜下降,一般高程约为 460~760 m,最大相对高差约 300 m。白鹿塬这种阶梯状地形面的普遍发育,反映了自上新世以来白鹿塬间歇性抬升并形成的过程。

白鹿塬上的高家沟剖面,黄土—古土壤发育连续,相互叠覆,交替出现,断层明显,记录了约 90 多万年以来该区黄土发育的历史和主要的地质—气候—断裂活动事件。白鹿塬上 S_2 和 S_3 地层均由两层古土壤中间夹一薄层黄土复合而成, L_7 地层由两层黄土中间夹一层弱发育古土壤组成,这三层可能比其它区域能够更详细地指示地层形成时的气候环境信息。

由于临潼—长安断裂的 F_1 断层的活动,白鹿塬上的 $S_9 \sim L_1$ 地层全部被错断,错距均在 0.2~6 m 之间,表明自早中更新世以来,白鹿塬段一直有断层活动。不同剖面显示不同的断层错距反映 F_1 断层在白鹿塬段的活动在空间上具有差异性。

高家沟剖面是距今为止在临潼—长安断裂上获得的错断最老的黄土—古土壤断层序列。对高家沟剖面的进一步认识可为该区域的潜在地震危险性评价及黄土地层学研究提供参考。

参考文献:

- 丁仲礼,余志伟,刘东生. 1991. 中国黄土研究新进展(三)时间标尺[J]. 第四纪研究,12(4):336-348.
- 冯希杰,戴王强,师亚芹,等. 2006. 临潼—长安断裂错动及其分布特征[J]. 地震地质,28(4):579-588.
- 韩宇平,赵景波. 2000. 西安地区第三层古土壤研究[J]. 中国沙漠,20(1):9-13.
- 雷祥义,张猛刚. 2001. 渭河中游水系的阶地形成年代[M]//卢演俦. 新构造与环境. 北京:地震出版社.
- 李晓妮,冯希杰,戴王强,等. 2008. 晚更新世以来黄土塬区临潼—长安断裂的活动性研究[J]. 地震地质,30(2):264-272.
- 李永善. 1991. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京:地震出版社.
- 李玉梅,刘东生,吴文祥,等. 2003. 黄土高原马兰黄土记录的 MIS3 温湿气候[J]. 第四纪研究,23(1):69-76.
- 刘东生. 1985. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社.
- 鹿化煜,安芷生,杨文峰. 1996. 洛川黄土序列时间标尺的初步建立[J]. 高校地质学报,2(2):230-236.
- 师亚芹,冯希杰,戴王强,等. 2008. 临潼—长安断裂带所在陡坎的成因分析[J]. 第四纪研究,28(4):721-732.
- 孙东怀. 1997. 晚新生代黄土高原风尘序列的磁性地层与古气候记录[D]. 北京:中科院地球环境研究所.
- 孙建中,赵景波. 1991. 黄土高原第四纪[M]. 北京:科学出版社.
- 孙建中,赵景波,彭建兵,等. 1998. 关中活断层和地裂缝的年代学研究[J]. 地质力学学报,4(4):88-97.
- 孙建中. 2005. 黄土学(上篇)[M]. 香港:香港考古学会.
- 岳乐平,薛祥熙. 1996. 中国黄土古地磁学[M]. 北京:地质出版社.
- 岳乐平. 1989. 兰田段家坡黄土剖面磁性地层学研究[J]. 地质论评,35(5):479-488.
- 赵景波. 2002. 西安和宝鸡第 5 层古土壤铁质粘土结核的发现与研究[J]. 地理科学,22(4):420-425.

Preliminary Study on Loess-paleosol Sequence and Fault Activity Feature since Middle Pleistocene in Bailuyuan Area

LI Xiao-ni, FENG Xi-jie, SHI Ya-qin, DAI Wang-qiang, REN Juan
(Earthquake Administration of Shannxi Province, Xi'an 710068, Shannxi, China)

Abstract

Based on the observation, measurement and analysis of two loess-paleosol sequences and fault dislocation in Gaojiagou, Bailuyuan, we obtain stratigraphic division of loess-paleosol sequences and some parameters of fault activity since Middle Pleistocene. The results show that the stratum of S_2 and S_3 both consist of two layers of paleosol with one layer of loess between them, and the stratum of L_7 consist of two layers of loess with one layer of not development paleosol between them in Gaojiagou. Fault activities with spatial difference are always exist in Bailuyuan since Middle Pleistocene.

Key words: loess-paleosol sequence; fault activity; Middle Pleistocene; Bailuyuan; Lintong-Chang'an Fault