

兰州兴隆山北缘断裂新活动特征的初步研究

陈永明^{1,2}, 袁道阳^{1,2}, 何文贵^{1,2}, 代 炜¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 兴隆山北缘断裂是兰州盆地南侧边界断裂, 也是兰州地区最重要的活动断裂之一, 全长约 54 km, 呈东段 NW 走向西段近 EW 走向的弧形断裂。在加里东和燕山运动期, 兰州地区在近 NE—SW 向主压应力下, 断裂主要表现为由南西向北东的逆冲活动性质。新生代以来(喜马拉雅运动期), 主压应力方向改变为 NNE—SSW 方向, 断裂活动性质也随之发生改变, 东段新活动表现为逆左旋运动, 西段表现为正左旋运动。断裂的最新活动时代应为晚更新世早~中期, 可能与兰州黄河 III 级阶地的形成年代相对应。

关键词: 兰州; 兴隆山; 活动断裂; 新活动

中图分类号: P546

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)01-0066-05

Principal Features of Recent Activity of the Northern Marginal Fault of Xinglong Mountain in Lanzhou

CHEN Yong-ming^{1,2}, YUAN Dao-yang^{1,2}, HE Wen-gui^{1,2}, DAI Wei¹

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

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Northern marginal fault of Xinglong Mountain, which is also the southern margin of Lanzhou basin, is one of the most important active fault in Lanzhou area. The fault is about 54 km shows an arc shape with the eastern segment in NW direction and the western segment in EW direction. During the Caledonian and Yanshan Movements, the tectonic stress field in Lanzhou area were mainly a feature of compressive stress with principal direction of NE—SW. The fault keeps a thrust movement from SW to NE. In the Cenozoic era(Himalayan Movement), the principal stress changed into NNE—SSW, and the activity of fault also changed to the thrust with left-lateral slip on eastern segment and normal with left-lateral slip on the western segment. The latest stage of activities was probably in the Early to Middle Late Pleistocene epoch, corresponding to the formation of III terrace of Huanghe river in Lanzhou basin.

Key words: Lanzhou; Xinglong Mountain; Active fault; Recent activity

0 引言

兴隆山北缘断裂是兰州地区最为重要的断裂之一, 也是兰州盆地南侧边界断裂。由于兰州地区黄土覆盖较厚, 许多地段断裂形迹不清楚, 研究程度非常有限。袁道阳等^[1]认为该断裂为一晚更新世活动

断裂, 但未有第四系以来错断地层和断层上覆地层样品年代证据。查明兴隆山北缘断裂活动时代及特征, 对兰州地区地震构造识别和兰州的地震安全性评价都具有重要意义。

收稿日期: 2008-04-16

基金项目: 地震科学联合基金(A07122); 兰州市活断层探测与地震危险性评价项目; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2009015

作者简介: 陈永明(1965—), 男(汉族), 甘肃泾川人, 副研究员, 主要从事地震地质、工程地震和地震灾害方面的研究。

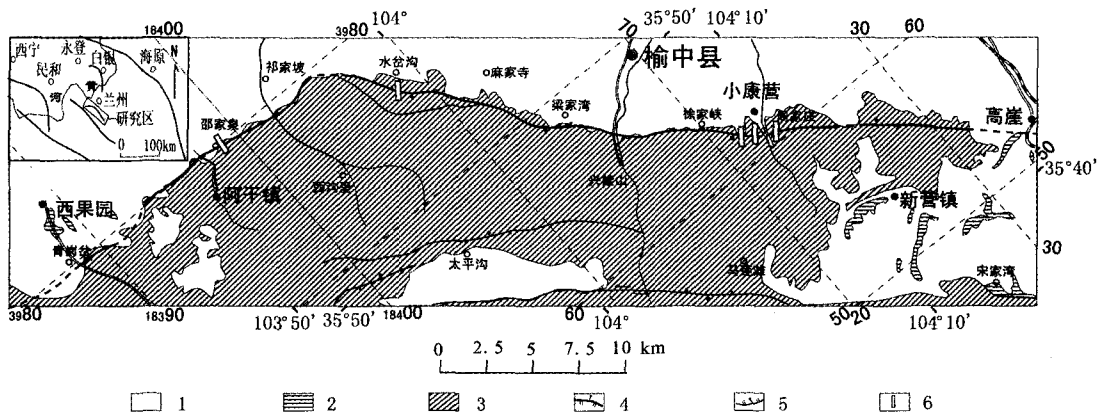
2005—2006年,我们对兴隆山北缘断裂进行了野外调查,并清理和开挖了多个探槽,采集了相应的测年样品,对断裂的活动时代和基本特征进行了确定。本文在上述工作基础上对该断裂的活动时代及活动性质进行讨论。

1 断裂地质与地貌特征

航卫片解译及野外调查表明,兴隆山北缘断裂东端可延伸到榆中县东南的高崖乡附近,向西经小康营南侧的周家庄、水岔沟、邵家泉、马家坪、魏岭乡、止于西果园南的青岗岔(图1)。地貌上主要表现为南高北低的陡坎或宽度100~300 m的断层垭

口,全长约54 km,东段NW走向,西段近EW走向,总体上呈中间向NE凸出的近似于弧形断裂。但不同地段断裂结构和地貌表现存在差异,自东向西可分以下3段。

湖滩一周家庄段,东起高崖乡附近,向西经湖滩北,止于小康营南侧的周家庄,长约17 km,总体走向约为 $N40^{\circ}W$,断裂性质以逆冲为主,倾向北东,倾角较陡。断裂主要位于兴隆山东缘黄土丘陵区,地貌上表现为较为平缓的断断续续的垭口和陡坎等,多为厚层黄土覆盖,断层面出露不好。



1. 第四系; 2. 新近系; 3. 前新生界; 4. 兴隆山北缘断裂; 5. 区内其它断裂; 6. 探槽或剖面位置

图1 兴隆山北缘断裂展布图

Fig. 1 Distribution of the northern marginal fault of Xinglong Mountain.

周家庄—水岔沟段,东起周家庄,向西经徐家峡、峡口、马家峡、麻家寺,止于水岔沟以西断层拐弯处,长约20 km,总体走向为 $N50^{\circ}W$ 。断层从老到新切割了前寒武系、侏罗系、白垩系、新近系和下、中更新统,倾向南西,倾角较陡,断裂性质以逆断为主。在地貌上主要表现为西南高,东北低的陡坎和山前宽垭口,断层西南侧为兴隆山基岩山地,北东侧为黄土丘陵,两侧地形比高为100~300 m。

水岔沟—青岗岔段,东起水岔沟以西断层拐弯处,向西经马营、杨家台子、邵家泉、岷口子、马家坪、魏岭乡、潘家宪、前沟湾,止于西果园南的青岗岔,长约17 km,总体走向为 $N80^{\circ}W$,倾向南,倾角较陡。断裂主体上以前寒武系由南向北逆冲到侏罗系、白垩系、新近系等地层之上为主,但最新活动具有正断层分量。在地貌上主要表现为南高东低的陡坎和垭口地形,南侧为兴隆山基岩山地,北侧为黄土丘陵,两侧地形比高为50~200 m,由于黄土覆盖较厚,断层面出露不好。

2 断裂活动年代的剖面研究

2.1 周家庄东北剖面

剖面位于小康营乡周家庄北东约200 m处(湖滩一周家庄段西端,图2)。断层主要发生在白垩纪砂砾岩与震旦纪变质岩及晚更新世砂砾石层之间。岩性特点如下:

- ① 风成黄土层,地表植被较发育,厚度约2 m;
- ② 晚更新世灰黄色含角砾冲洪积土层,厚度0.3~2 m,在其底部取热释光样品(样品编号 TLxl-3),测试年龄为 (14.05 ± 1.19) ka B. P.;
- ③ 晚更新世灰黄色冲积砂砾石层,厚度0.3~2 m,在其上部取热释光样品(样品编号 TLxl-4),测试年龄为 (18.13 ± 1.54) ka B. P.;
- ④ 白垩纪砖红—紫红色砂砾岩,产状为: $N42^{\circ}W/SW \angle 5^{\circ}$;
- ⑤ 震旦纪灰绿色千枚岩,产状为: $N47^{\circ}W/NE \angle 81^{\circ}$;
- ⑥ 断层泥及断层破碎带,厚度约3 m。

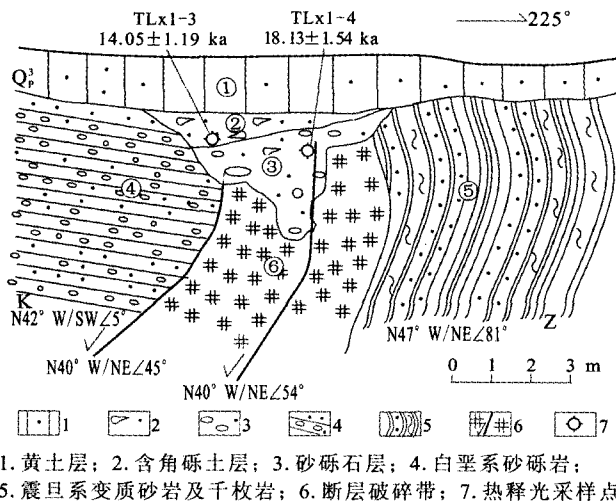


图2 周家庄东北断层剖面

Fig. 2 Fault section at east-north to Zhoujiashuang village.

断层剖面上可见两条断层面,由北东向南西产状分别为: $N40^{\circ}W/NE\angle 45^{\circ}$ 和 $N40^{\circ}W/NE\angle 54^{\circ}$,其中南西侧断层面错断了层③,而被层②所覆盖。考虑到层①为晚更新世黄土,而其下层②、层③测试年龄仅为 14.05 ± 1.19 ka和 18.13 ± 1.54 ka,这两个测试结果可能偏于年轻。断层表现为正断层,也可能为左旋走滑兼逆冲断层,这些结果有待于进一步讨论。

2.2 周家庄剖面

在小康营周家庄南侧剖面上(周家庄—水岔沟段东端,图3),断层上盘为中~晚更新世砂砾石层和震旦纪灰绿色千枚岩、变质火山凝灰岩等;断层下盘为白垩纪砖红—紫红色砂砾岩;断层面产状为 $N40^{\circ}W/SW\angle 75^{\circ}$ 。断层破碎带宽约30 m,断层泥厚50 cm。断层断错了中~上更新统而被晚更新世风成黄土所覆盖。在黄土底部采取了热释光样品(样品编号TLx1-8),测试年龄为 (62.17 ± 5.28) ka B. P.,该断裂晚更新早期可能有过活动。

断层表象上表现两次构造活动,第一期为逆断层活动,表现为震旦系由南西向北东逆冲到白垩系之上;第二期为正断层活动,表现为白垩系上升断错了顶部中更新世晚期~晚更新世早期的砾石层。也可能为断层走滑运动所致。

2.3 杜家沟剖面

剖面位于小康营东南侧杜家沟内(周家庄—水岔沟段东段, $N36^{\circ}46'32.4''$, $E104^{\circ}08'16.4''$),断层主要发育在白垩纪砂砾岩与晚更新世砂砾石层之间,从上向下其岩性特征如下(图4):

① 厚度2~3 m的腐植土,其原岩为晚更新世

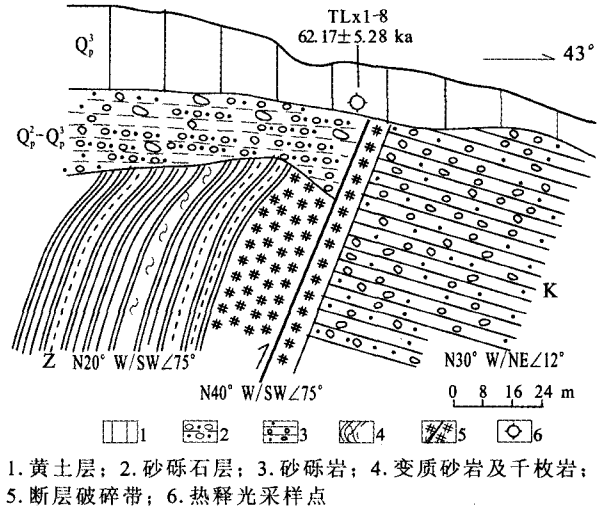


图3 周家庄断层剖面

Fig. 3 Fault section at Zhoujiashuang village.

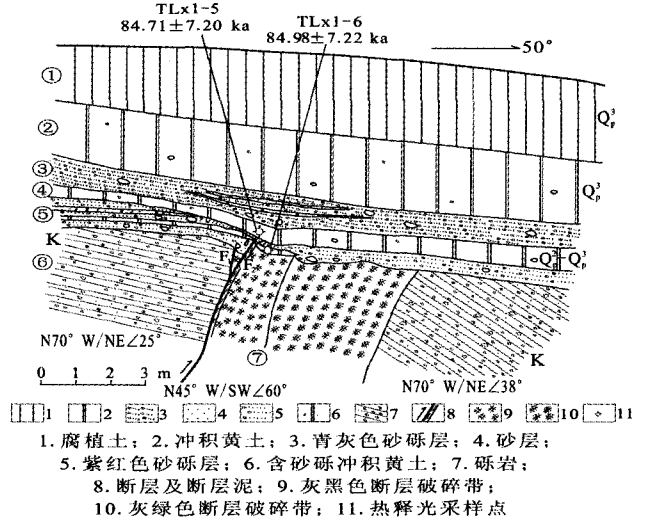


图4 杜家沟断层剖面

Fig. 4 Fault section at Dujiaguogully.

风成黄土,由于富含植物根系,呈灰黑色,覆盖在断层面之上,未被断层断错;

② 冲积黄土层,厚度为3 m左右,其间夹有厚约1 m的青灰色砂砾石夹层和砂层透镜体;

③ 青灰色砂砾石层,厚度1~1.5 m,其中夹有数层冲积黄土和砂层透镜体;

④ 冲积黄土层夹层,厚度0.5~1.0 m,其底部光释光样品(样品编号TLx1-5),测试结果为 (84.71 ± 7.20) ka B. P.;

⑤ 紫红色砂砾石层,厚度为0.8~1.5 m。断层上盘夹有数层冲积黄土和含砾冲积黄土层。在被错断的黄土层采光释光样品(样品编号TLx1-6),测试结果为 (84.98 ± 7.22) ka B. P.;

⑥ 白垩纪砂砾岩,出露厚度为 4~5 m,主断层发育其间,并形成 5 m 左右厚的断层破碎带。断层上盘产状为: $N70^{\circ}W/NE\angle 25^{\circ}$,断层下盘产状为: $N70^{\circ}W/NE\angle 38^{\circ}$;

⑦ 断层破碎带,可分为灰绿色和灰黑色两条带,靠近主断面为灰黑色,厚约 1.5 m;远离断面为灰绿色断层破碎带,厚度约 3 m。

断层性质为逆断层,产状为: $N45^{\circ}W/SW\angle 60^{\circ}$,断错了层⑤以下的地层,被层④所覆盖。根据年代测年结果,断层最新活动时代可能在 84 ka B. P. 左右,即晚更新世早~中期有活动。

2.4 邵家泉断层剖面

在邵家泉村附近一冲沟边,属水岔沟—青岗岔段的东段($N35^{\circ}56'18.3''$, $E103^{\circ}54'17.4''$)(图 5),断层主要发生在侏罗系砂砾岩与晚第四系砂砾石层之间。岩性特点如下:

- ① 灰黄色中粗砂岩为主,层理较差;
 - ② 灰绿色粉细砂岩、泥质粉砂岩等;
 - ③ 灰绿色中细砂岩;
 - ④ 灰黑色砂岩等,较破碎;
 - ⑤ 黄褐色、黄绿色粗砂岩、砾岩等;
 - ⑥ 深黄褐色砂砾岩。
- ①—⑥时代为侏罗系岩层。

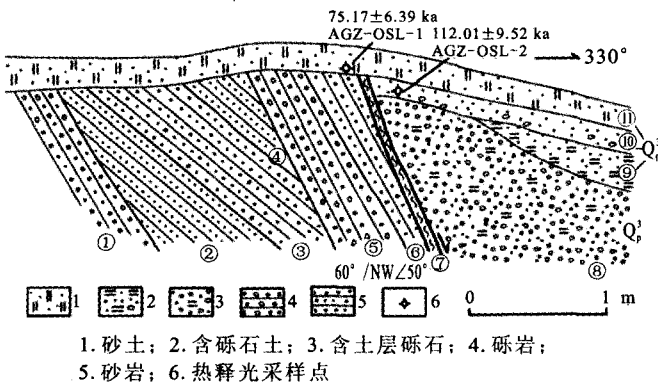


图 5 邵家泉断层剖面

Fig. 5 Fault section at Shaojiaquan village.

⑦ 灰黄色、灰黑色断层泥带,顺断层面向发育;

⑧ 晚第四系土黄色中粗砂砾石层,混杂堆积;

⑨ 晚第四系灰绿色近水平层状砂土层;

⑩ 含砾石砂土层,在其顶部采热释光样品 AGZ-OSL-2,其年代为 112.01 ± 9.52 ka B. P.;

⑪ 地表耕土层,含砾,在其底部采热释光样品 AGZ-OSL-1,其年代为 75.17 ± 6.39 ka;

断层性质为正断层,产状为 $60^{\circ}/NW\angle 50^{\circ}$ 。断层活动断错了层⑧—⑩,而被层⑪所覆盖,根据样品年代测试结果,其活动时代可能介于 112.01 ± 9.52 ka B. P. 和 75.17 ± 6.39 ka B. P. 之间,即晚更新世早期有活动。

3 断裂的演化、新活动时代及机制探讨

由以上断层剖面初步分析可以看出:兴隆山北缘断裂不同地段的性质、几何形态和地貌上的表现形式都不尽相同。湖滩—周家庄段,走向为 NW 向,主要发育在黄土丘陵区,表现为断面倾向 NE 的正断层,最新活动时代有待讨论;周家庄—水岔沟段,走向为 NW 向,发育于兴隆山山前,为基岩山脉与黄土丘陵的分界线,断层主要以逆冲运动为主,局部地段新活动表象上有正断层分量。最新活动时代为晚更新世早~中期;水岔沟—青岗岔段,走向为近 EW 向,也发育于兴隆山山前,为基岩山脉与黄土丘陵的分界线,表现为断面倾向北的正断层,最新活动时代为晚更新世早期。

长度仅 50 km 多的兴隆山北缘断裂活动方式如此复杂,有必要对其活动方式的发展演化和活动机制进行探讨。

兰州地区位于新构造活动强烈的青藏活动地块的东北缘,处在祁连山地震带与南北地震带的复合部位。区内多组活动构造交汇,地震构造条件复杂。兴隆山北缘断裂活动历史和方式也比较复杂,具有多期次活动性。断裂内部也可能存在多个次级活动结构面,如在水岔沟一带断层表现为两条对冲的逆断层(图 6)。NE 侧断层表现为白垩纪砖红色砂泥岩由 NE 向 SW 逆冲到侏罗纪含煤页岩之上,并使后者地层直立,甚至发生倒转。断层破碎带宽约 100 m,断层碎裂岩宽约 15 m,断层产状为: $N40^{\circ}W/NE\angle 65^{\circ}$;西南侧断层(应为主干断裂)发生在侏罗系地层内部,表现为断面西南倾的逆断层,断层碎裂岩宽约 8 m,断层产状为: $N46^{\circ}W/SW\angle 61^{\circ}$ 。

从构造形迹分析,兰州地区主要经历了加里东、燕山和喜马拉雅 3 个大的构造旋回^{①②③}。在加里东

① 甘肃省地矿局. 中华人民共和国地质图(1:20 万)说明书(临夏幅),1965.
 ② 甘肃省地矿局. 中华人民共和国地质图(1:20 万)说明书(兰州幅),1965.
 ③ 甘肃省地矿局. 中华人民共和国地质图(1:20 万)说明书(定西幅),1965.

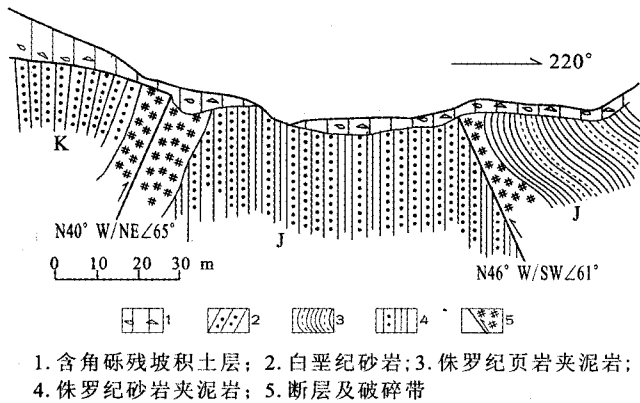


图6 水岔沟剖面

Fig. 6 Fault section at Shuichagou gully.

期,区内主要形成马衙山、兴隆山等寒武系和前寒武系组成的轴向 $N50^{\circ}W$ 左右的紧闭褶皱高山,反映出的主压应力场方向应该为近 $NE-SW$ 向,兴隆山北缘断裂可能就形成于该构造运动期,早期断裂应该以逆冲运动为主。在燕山期,区内主要形成一系列以白垩系为主,三叠系~白垩系组成的轴向 $N55^{\circ}W$ 左右的褶皱构造,反映出的主压应力场以继承早期为主,方向为 $NE-SW$ 稍偏向 $NNE-SSW$ 方向,兴隆山北缘断裂在这一时期也应该属继承早期运动,以逆冲活动为主。

喜马拉雅期,区内主要形成古近系、新近系和下更新统等地层组成的宽缓褶皱,如牟家台—俞家湾隆起,皋兰山—九州台隆起等,与其对应兰州黄河 II~IV 级阶地也在相应的位置发生了褶皱隆起变形^[2]。隆起褶皱轴方向以 NNW 为主,反映出的主压应力场方向应该以 $NEE-SWW$ 向为主^[3-4]。兴隆山北缘断裂的几何形态和力学性质可能都发生了改变,活动方式也和与其近于平行的马衙山北缘断裂一样^[1],可能表现为左旋走滑性质,并依照不同的断层结构面发展演变为如今的构造格局。只是相对于长期积累的数百米的垂直位错来说,发生在古近系、新近系和更新统等软弱岩土中的水平位错量级较小,不易保存而已。新生代构造应力场环境决定了兴隆山北缘断裂 NW 走向段应该有走滑运动分量。

断裂东段几何形态和力学性质一致,连续性好,长度也较小,其新活动性也应该一致。杜家沟和周家庄剖面上 3 个年代样品一致性较好,也与地层推断年龄相符,应该予以采用;周家庄东北剖面上 2 个测定结果与地层推断年龄不相符,年代明显偏于年轻,不能采用。这样依据样品测试结果确定的断裂东段最后一次运动时间区间大致为 $62\sim 85$ ka

B. P.,为晚更新世早~中期。断裂西段剖面露头不好,但邵家泉剖面上 2 个年代样品一致性也较好,应该可以采用。依据样品测试结果确定的断裂西段最后一次运动时间大致为 $75\sim 112$ ka B. P.,也为晚更新世早~中期。兴隆山北缘断裂周家庄—水岔沟段和水岔沟—青岗岔段虽然走向不同,但地貌形态上十分相似,连续性也较好,样品测试确定的东西两段新活动时代相仿,这说明兴隆山北缘断裂东、西两段最后一次活动时间整体上较为一致,可能不存在活动性分段。

早期(加里东和燕山运动期)兰州地区构造应力场主要为近 $NE-SW$ 方向的主压应力作用,兴隆山北缘断裂主要表现为逆冲运动;新生代(喜马拉雅运动期)以来,断层附近主压应力场演变为 $NEE-SWW$ 向,断裂活动性质和几何形态都发生了明显的改变。东段可能主要表现为逆左旋走滑性质,西段可能主要表现为正左旋走滑性质。断裂最后一次活动时间为晚更新世早~中期,时间区间大致为 $62\sim 112$ ka B. P.。

兰州黄河阶地是构造隆升与气候变化共同作用下形成的^[5]黄河 III 级阶地兰州段形成年代约为 $70\sim 140$ ka^[6-7],由年代上来看兴隆山北缘断裂最后一次活动时间也许与之相对应。

热释光样品由中国地震局地质研究所热释光实验室(AGZ-OSL-1, AGZ-OSL-2)和地壳应力研究所热释光实验室(TLxl-3, TLxl-4, TLxl-5, TLxl-6, TLxl-8,)分别测定,特此致谢。

【参考文献】

- [1] 袁道阳,刘小凤,郑文俊,等. 兰州马衙山—兴隆山活动断裂系的新构造变形特征和机制[J]. 中国地震, 2003, 19(2): 125-131.
- [2] 刘兴旺. 兰州黄河阶地高精度 GPS 测量与构造变形研究[D]. 中国地震局兰州地震研究所, 2007.
- [3] 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): 84-87.
- [4] 王民新,吕图鸿. 兰州地区主要构造形迹与新构造应力场特征探讨[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1985, 21(2): 91-96.
- [5] 潘保田,苏怀,刘小丰,等. 兰州东盆地最近 1.2Ma 黄河阶地序列与形成原因[J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 172-180.
- [6] 潘保田,苏怀,胡春生,等. 兰州地区 1.0Ma 黄河阶地的发现和 0.8Ma 阶地形成时代的重新厘定[J]. 自然科学进展, 2006, 16(11): 1411-1418.
- [7] 王萍,袁道阳,刘兴旺,等. 兰州盆地黄河三级阶地的光释光年龄[J]. 核技术, 2007, 30(11): 924-930.