

兰州马衔山北缘断裂带古地震初步研究

袁道阳¹, 贾亚会², 才树华¹, 刘百簾¹, 刘小龙¹, 王永成¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 河北建筑科技学院, 河北 邯郸 056038)

摘要:兰州马衔山北缘断裂带为一条全新世活动断裂, 大致由4条次级断裂段组成。沿断裂带发现了多期古地震事件, 其活动具有时空不均匀性。其中东段的马衔山段可以确定2次古地震事件, 距今 $5\,850 \pm 500$ a B. P., $2\,060 \pm 420$ a B. P., 复发间隔约3800 a; 震级7~7.5级左右。中段的七道梁段发现2次古地震事件, 距今 $16\,820 \pm 80$ a B. P., $10\,800 \pm 140$ a B. P.。西段的雾宿山咸水沟段可以确定一次古地震事件, 其年代为 $1\,245 \pm 560$ a B. P., 结合史料考证结果, 认为就是1125年兰州7级地震。从古地震活动年代及复发间隔分析, 马衔山北缘断裂带未来的强震危险段应为东段的马衔山段和西段的雾宿山咸水沟段。

关键词:兰州; 马衔山; 活动断裂; 历史地震; 古地震

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)01-0027-07

0 前言

马衔山北缘断裂带位于兰州市南部山区, 距市区最近距离仅4 km, 为一条规模较大的区域性全新世活动断裂带。因此其新活动性及未来的强震危险性对兰州市的安全至关重要。由于兰州地区黄土覆盖较厚, 多年来对该断裂的新活动性认识不统一。前人认为该断裂可能为一条晚更新世断裂或全新世断裂^{①②}。1998~2000年期间, 我们对该断裂带进行了详细的追踪考察, 并开展了1:5万活动断裂填图研究, 不但发现了断裂全新世活动的证据, 获得了有关断裂几何学、运动学的定量参数, 而且还发现了多期古地震遗迹, 对该断裂带的古地震活动习性有了新的认识。

1 马衔山北缘断裂带概述

马衔山北缘断裂带东起定西内官营, 西止八盘峡, 长约115.5 km, 走向 $N60^\circ W$ (图1)。断裂几何形态简单, 大致可分为4条次级断裂段, 即内官营段(F_1)、马衔山段(F_2)、七道梁段(F_3)和雾宿山段(F_4)。其分段标志为断裂分叉、拐弯、不连续及断裂交汇等。该断裂早期以挤压逆

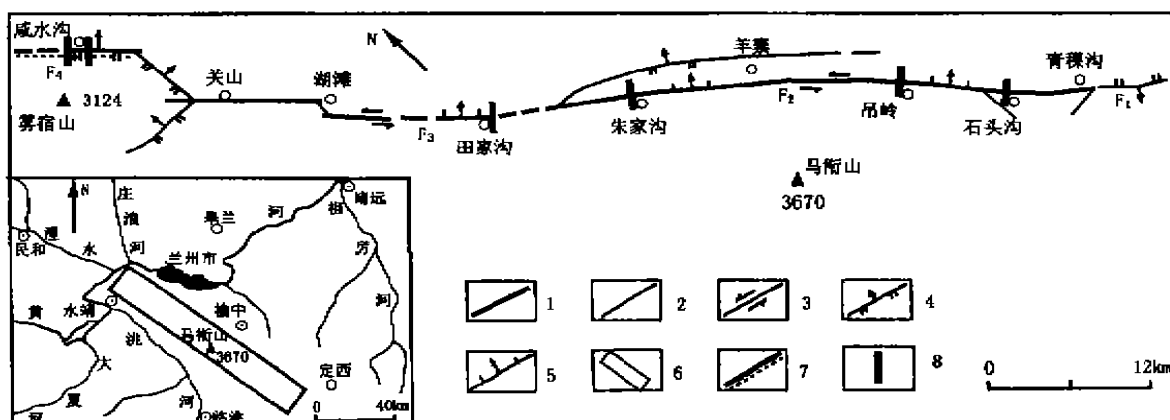
收稿日期: 2001-05-27

基金项目: 甘肃省“九五”攻关项目(GK973-2-110A)和国家重点基础发展规划项目(G1998040701-04)资助。

中国地震局兰州地震研究所论著号: LC2002010。

作者简介: 袁道阳(1965-), 男(汉族), 四川广安人, 副研究员, 主要从事地震地质研究工作。

① 国家地震局兰州地震研究所, 1989, 兰州市抗震防灾规划。



1 Q_4 断层; 2 Q_3 断层; 3 走滑断层; 4 逆断层; 5 正断层; 6 研究区; 7 地震破裂带; 8 探槽位置

图1 兰州马衔山北缘断裂带展布图

Fig. 1 Distribution of the northern margin active fault zone of Maxian Mt. in Lanzhou area.

②国家地震局地质研究所等, 1991, 西部长输石油管道(乌鲁木齐—洛阳)沿线主干活动断裂勘察和地震烈度研究报告。冲为主, 晚第四纪以来则为左旋走滑兼具倾滑运动分量, 形成了一系列断错微地貌, 如断错冲沟、山脊、阶地、洪积扇及断层陡坎等, 晚更新世以来水平滑动速率约为 3.73 mm/a 。断裂的新活动具明显的分段性, 其中马衔山段和雾宿山段有全新世活动的地质地貌形迹。尤其是在西端雾宿山以北的咸水沟断裂段新活动标志清晰, 地貌上至今仍保存有部分地震破裂带的遗迹, 可能为兰州 1125 年 7 级地震仅存的地震形变带^[3]。同时发现了部分古地震遗迹, 探槽开挖确定了多期古地震事件。

2 古地震剖面描述

沿马衔山北缘断裂带的古地震遗迹有埋藏古地震断层及断坎等。沿断裂带开挖探槽, 结合其它地质剖面, 发现 5 个剖面有古地震事件。现沿断裂自东向西将其剖面特征简述如下。

2.1 石头沟断层剖面

在石头沟口部队营房前发现断层剖面(图 2), 剖面位于该沟西侧的 I 级坡洪积阶地上。

岩性特征:

(1) 淡紫红色泥岩为主, 节理较发育, 时代白垩纪。

(2) 淡桔红色砂砾层, 为白垩系残坡积物, 风化强烈, 较破碎。

(3) 土黄色含砾砂土层, 砾石为中细砾, 分选差, 其顶部 ^{14}C 年代为 $6370 \pm 70 \text{ a B.P.}$ 。

(4) 土灰黑色表土层, 厚 0.2 m , 底部 ^{14}C 年代为 $5340 \pm 90 \text{ a B.P.}$ 。

断层性质为正断层, 产状 $N70^\circ W/NE \angle 71^\circ$, 断面平直, 清晰, 断错层③, 并有一次级张裂隙延至层④, 这均表明本断裂在全新世有过新活动的形迹, 应代表一次构造事件。

2.2 吊岭沟探槽剖面

在吊岭哈哈西侧冲沟内 I 级冲洪积阶地上形成了一明显

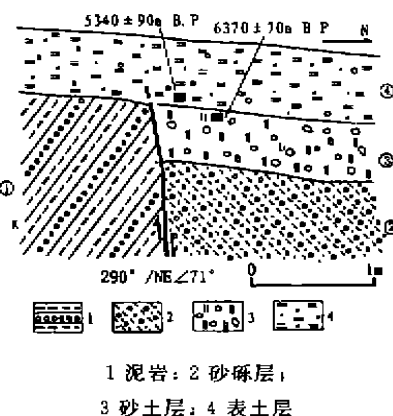
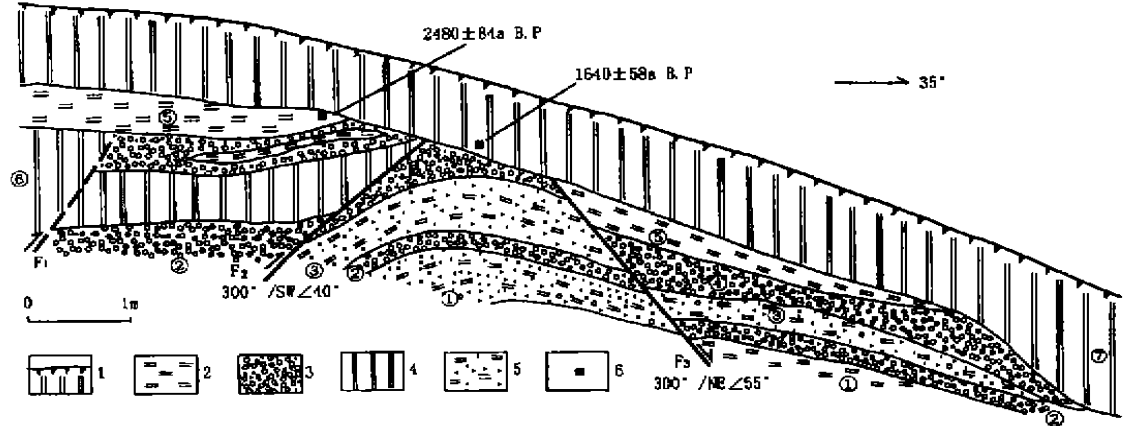


图2 石头沟断层剖面图

Fig. 2 Geological profile in Shitou valley.

的正向断层陡坎,探槽横跨该坎开挖(图3)。



1 根土层; 2 亚粘土; 3 砾石层; 4 次生黄土; 5 含土砾石层; 6 ^{14}C 采样点

图3 吊岭沟探槽剖面图

Fig. 3 Trench profile in Diaoling valley.

岩性描述:

- (1) 淡黄色亚粘土。
- (2) 土灰色坡洪积砂砾石层。
- (3) 淡土黄色含土砾石层。
- (4) 土灰色砂砾石层,为中砾石,略具有一定的分选和磨圆。
- (5) 淡黄色亚粘土,其顶部夹一薄炭层, ^{14}C 年代为 $2480 \pm 84 \text{ a B.P.}$ 。
- (6) 土黄色次生黄土。
- (7) 地表根土层,其底部 ^{14}C 年代为 $1640 \pm 58 \text{ a B.P.}$ 。

探槽中共发现3条断层,其中 F_1 、 F_2 为逆断层, F_3 为正断层, F_2 产状为 $300^\circ/\text{SW} \angle 40^\circ$, F_3 产状为 $300^\circ/\text{NE} \angle 55^\circ$ 。断层 F_1 、 F_2 发生逆断作用时,致使层①~⑥发生弯曲变形和断错,同时形成正断层 F_3 ,随后有一快速的剥蚀过程,后被层⑦覆盖。其中层①~⑤斜距0.45 m,应代表一次古地震事件,其年代介于层⑤顶与层⑦底,即 $2480 \pm 84 \text{ a B.P.}$ 至 $1640 \pm 58 \text{ a B.P.}$ 之间,更接近于 $2480 \pm 84 \text{ a B.P.}$ 左右。

2.3 田家沟探槽剖面

马街山北缘断裂在七道梁段大部分被黄土覆盖,地貌上不甚清楚,主要表现为断续延伸的断裂谷地。局部地段可见较明显的断层剖面,其中在田家沟经探槽开挖出露清晰的断层剖面(图4)。

岩性特征:

- (1) 灰绿色变质千枚岩、板岩及片岩等互层,夹石英岩脉,片理极为发育,产状 $\text{N}50^\circ\text{W}/\text{SW} \angle 76^\circ$,时代震旦纪。
- (2) 灰黑色夹灰绿色断层破碎带物质,其母岩成分为震旦纪。
- (3) 淡紫红色断层破碎带,其原岩成分为白垩系泥岩,其内劈理化现象极为严重。
- (4) 淡紫红色断层破碎带。
- (5) 紫红色与灰绿色断层破碎带,原岩成分为白垩系泥岩风化而成。
- (6) 土灰色极细砂,含泥质较多,其底有薄层细砾石层,厚0.3 m,为断塞塘淤积。其底部

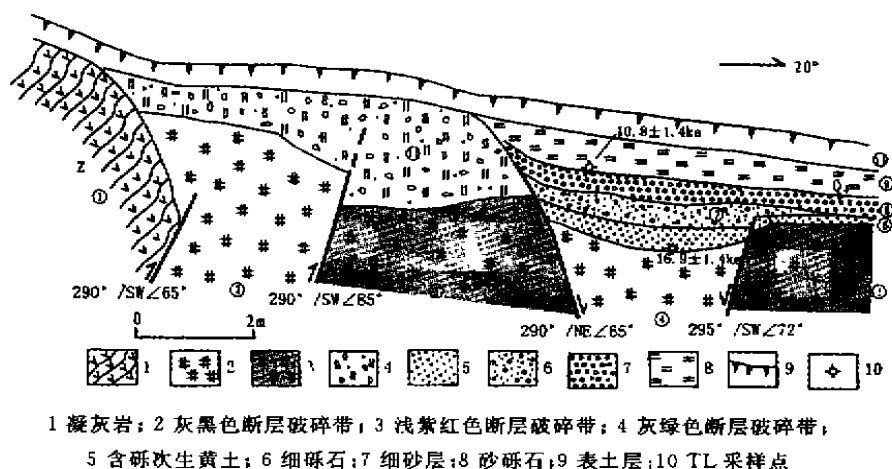


图4 田家沟探槽剖面

Fig. 4 Trench profile in Tianjia valley.

TL 年代为 1.69 ± 0.14 ka.

(7) 土灰色与淡紫红色砂砾石与砂质互层, 厚约 0.2 m.

(8) 中砾石层, 厚约 0.2 m.

(9) 土灰黑色淤泥层, 厚约 0.4 m, 其底部 TL 年代为 1.08 ± 0.14 ka.

(10) 残坡积含砾土层.

(11) 根土层, 厚 0.3 m 左右.

该探槽内可见 3 条明显断层面.

F_1 产状 $290^\circ/\text{SW} \angle 65^\circ$, 断面平直, 倾角陡, 为黑色粘泥与紫红色泥岩间的接触界线, 逆断层性质.

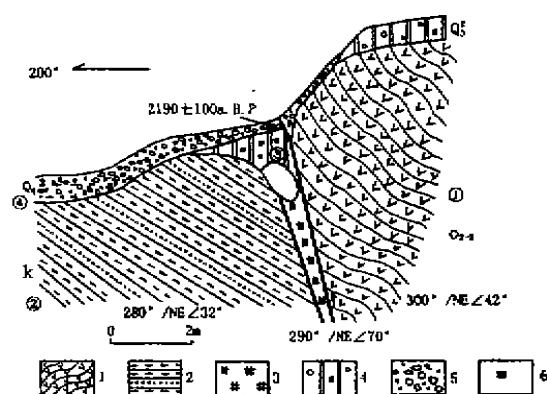
F_2 为发育于原岩为白垩系紫红色泥岩内的断层破碎带物质, 断面平直, 可见明显的一厚 2 cm 左右的黑色粘泥, 产状 $290^\circ/\text{NE} \angle 65^\circ$, 正断层性质.

F_3 断于紫红色泥岩与深紫红色、灰绿色粘泥之间, 断面清晰, 产状 $295^\circ/\text{SW} \angle 72^\circ$, 正断性质.

F_2 、 F_3 之间组成一个小地堑, 其内沉积有断塞塘淤泥, 第一次断裂活动后形成明显的断坎 (见 F_2 上部), 坎高 0.4 m 左右, 其活动年代接近于 1.69 ± 0.14 ka. 随后被冲洪积砂砾石覆盖, F_1 或 F_2 再次活动, 形成明显的断陷洼地, 堆积层⑨的淤泥层, 后来断裂有一段时间处于不活动状态, 被层(11)覆盖, 未见断错层(11)的迹象. 这表明本段断裂晚第四纪甚至全新世仍有新活动痕迹.

2.4 咸水沟断层剖面 I

在马衔山北缘活动断裂带西端芦草山南的咸水沟内, 发育了一条北西西向的活动断裂, 为马衔山北缘断裂的西段. 其新活动断错 II 级阶地及坡积物 (图 5).



1 凝灰岩、千枚岩; 2 泥岩; 3 断层破碎带;
4 含砾次生黄土; 5 坡积土层

图5 咸水沟断层剖面 I

Fig. 5 Geological profile (I) in Xianshui valley.

岩性特征:

- (1) 灰绿色凝灰岩为主,表面风化严重,片理产状 $300^{\circ}/NE\angle 42^{\circ}$,时代中晚奥陶统.
- (2) 紫红色砂岩与泥岩互层,具斜层理,产状 $280^{\circ}/NE\angle 32^{\circ}$,时代白垩纪.
- (3) 含砾坡积土层,时代晚更新世.
- (4) 坡积土层,含少量砾石层,其底部 ^{14}C 年代为 $2\,190\pm 100\text{ a B. P.}$.

断层破碎带宽 0.2 m 左右,产状 $290^{\circ}/NE\angle 70^{\circ}$,断层性质为逆断层,断裂活动直通地表,至少表明 $2\,190\pm 100\text{ a B. P.}$ 以后断裂有过新活动.

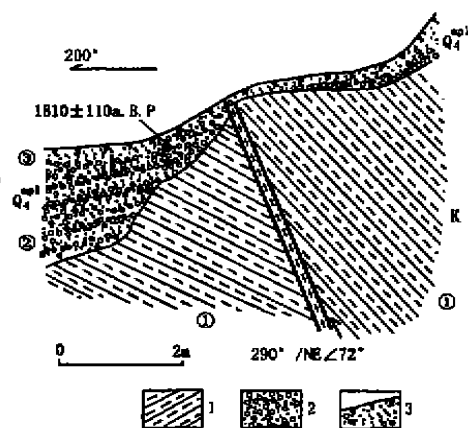
2.5 咸水沟断层剖面

该剖面位于咸水沟剖面 I 以西约 500 m 处,发育在 I 级阶地内(图 6).

岩性特征:

- (1) 淡紫红色泥岩夹薄层淡灰白色砂岩,具斜层理,产状 $300^{\circ}/NE\angle 45^{\circ}$,时代白垩纪.
- (2) 坡洪积砂砾石层,相当于该沟的 I 级阶地.
- (3) 表土层,厚 $0.2\sim 0.4\text{ m}$,其底部 ^{14}C 年代为 $1\,810\pm 110\text{ a B. P.}$.

断层性质为逆断层,产状 $290^{\circ}/NE\angle 72^{\circ}$. 断裂新活动断错层③并直通地表,从而形成明显的断坎,高 $0.5\sim 1\text{ m}$. 由此可见,咸水沟断裂在全新世晚期有过新活动.



1 泥岩; 2 砂砾石层; 3 表土层

图 6 咸水沟断层剖面 II

Fig. 6 Geological profile (II) in Xianshui valley.

3 古地震活动特征

综合以上探槽剖面可以看出,用于确定古地震事件的样品年代间隔太大,因此,详细确定古地震年龄存在较大的不确定性. 幸好沿马衔山北缘断裂带存在一些较新的断层陡坎,如在骆驼峁沟的一级低阶地上保存有 2 条

正向断坎,坎高 $1.5\sim 1.9\text{ m}$;在西端的咸水沟内 II 级坡洪积阶地上保留有明显的长 20 m 、高约 1 m 的正向断层陡坎(表 1),同样应是古地震的表现形式. 因此我们根据断坎实测剖面,利用扩散方程计算其形成年代作为古地震事件的补充. 综合探槽剖面年代和断坎年代,利用逐次限定法^[3],可以发现马衔山北缘断裂的古地震活动具有一定的规律性(图 7).

表 1 马衔山北缘断裂陡坎实测值一览表

地点	方向/度	坎高 $2H/\text{m}$	主坡角/度	原始坡角/度	年代/ka
1 骆驼峁沟 a	60	1.9	18.5	4	5.13
		1.65	23	6	2.41
2 骆驼峁沟 b	65	1.5	28	5.5	1.27
3 咸水沟 a	210	2.0	31.5	14	1.70
4 咸水沟 b	210	1.1	28	14	0.68
		1.3	30	16.5	0.81

在断裂东段的马衔山段可以确定两次古地震事件,其年代分别为距今 $5\,850\pm 500\text{ a}$, $2\,060\pm 420\text{ a}$,复发间隔约 $3\,800\text{ a}$,从断层剖面特征和断裂长度估计,其震级应为 $7\sim 7.5$ 级左右.

中段的七道梁段同样可以确定两次古地震事件,其年代分别为距今 $16\,820\pm 80\text{ a}$, $10\,800\pm 140\text{ a}$,均为晚更新世晚期的活动,而全新世没有发现古地震活动的形迹. 其原因可能为受黄

土覆盖有古地震遗漏,或者中段本身的活动性就不强,这一点可以从兰州地区的弱震活动得到印证。

在西段的雾宿山咸水沟段,可以确定一次古地震事件,其年代为 1245 ± 560 a. 由于本段还存在黄土滑坡群、基岩裂缝和崩塌、断坎等地震形变现象。我们获得了基岩崩塌压埋表土层的 ^{14}C 年代为 1060 ± 83 a B. P., 该年代应最接近地震发生的时间,因此,忽略采样及测年误差,结合历史地震资料的考证

结果^[4],可以认为是 1125 年地震造成的,即距今 877 a. 从断层剖面特征和断裂长度估计,其震级应为 7.0 级左右。

可见,马衔山北缘断裂带的古地震活动具有明显的活动非均匀性,即具分段活动的特征。从古地震活动年代及复发间隔分析,整个马衔山北缘断裂带未来的强震活动危险段仍为东段的马衔山段和西段的雾宿山咸水沟段。相比较而言,西段的近期危险性要大于东段,但震级则是东段强于西段。

4 结语

马衔山北缘断裂是对兰州市区影响非常大的一条区域性全新世活动断裂。其中的马衔山段全新世走滑活动明显;西段的咸水沟断裂段还保存有部分地震破裂带的形迹,为 1125 年兰州 7 级地震的发震段。古地震研究表明:马衔山北缘断裂带东端的马衔山段和西端的咸水沟段是古地震活动显著的段,也是未来强震复发的危险段。中段的七道梁段目前确定的两次古地震事件均为晚更新世晚期的活动,全新世还没有发现古地震活动的形迹,其原因受黄土覆盖的影响造成古地震遗漏或者是该段本身的活动性就不活动,这一点尚待今后下大力气加以解决。因为这是马衔山北缘断裂破裂分段和地震危险性评价的关键之一。因此,建议将来在该断裂带上开展大探槽、组合探槽及立体探槽的研究;同时对黄土覆盖的隐伏断裂段今后还须加强深部探测工作。

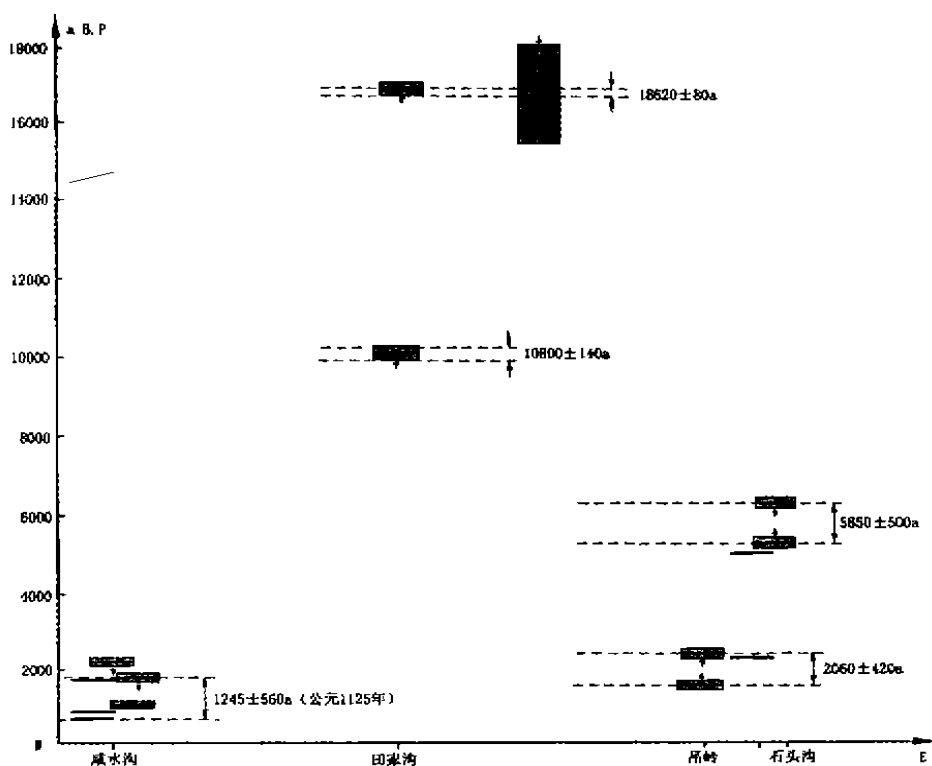


图7 马衔山北缘断裂带古地震时空分布图

Fig. 7 The time and space distribution of palaeo-earthquakes along the northern margin active fault zone of Maxian Mt..

[参考文献]

- [1] 国家地震局兰州地震研究所, 甘肃省计划委员会. 甘肃省地震危险区划研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1993. 49.
- [2] 袁道阳, 刘百篋. 兰州 1125 年 7 级地震研究的新进展[A]. 见: 中国地震年鉴[C], 北京: 地震出版社, 1999. 342—344.
- [3] 毛凤英, 张培震. 古地震研究中的逐次限定方法与新疆北部主要断裂带的古地震研究[A]. 见: 活动断裂研究(4)[C], 北京: 地震出版社, 1994. 153—164.
- [4] 雷中生, 包向农, 张颖. 1125 年兰州 7 级地震震中位置初探[J]. 西北地震学报, 2000, 22(2): 191—193.

A PRELIMINARY STUDY ON PALAEOEARTHQUAKE EVENTS OF THE NORTHERN MARGIN ACTIVE FAULT ZONE OF MAXIAN MT IN LANZHOU AREA

YUAN Dao-yang¹, JIA Ya-hui², CAI Shu-hua¹,

LIU Bai-chi¹, LIU Xiao-long¹, WANG Yong-cheng¹

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

2. Hebei Institute of Architectural Science and Technology, Handan 056038, China)

Abstract: The northern margin fault zone of Maxian Mt. in Lanzhou area is a Holocene active fault which includes about 4 secondary fault segments. Along the active fault zone, several palaeo-earthquake events are found in trench profiles. The activities of palaeo-earthquakes exist inhomogeneity in time and space. In the east, on Maxian Mt. segment, there are two events occurred in $5\,850 \pm 500$ a. B. P., $2\,060 \pm 420$ a. B. P., respectively. Their magnitudes are about 7~7.5, the recurrence interval is about 3 800 a. In middle segment, Qidaoliang segment, two events are determined, in $16\,820 \pm 80$ a. B. P., $10\,800 \pm 10$ a. B. P., both are in Late Pleistocene. In west segment, Xianshui valley segment in northern margin of Wusu Mt., one palaeo-earthquake with age of $1\,245 \pm 560$ a. B. P. is found. Considering the distribution of loess landslides and ancient town sites, this event is mostly the Lanzhou M7 in 1125. According to the palaeo-earthquake ages and recurrence interval features, the strong earthquake hazard segments of the northern margin active fault zone of Maxian Mt. will be the east segment Maxian Mt. fault segment and the west segment Xianshui valley fault segment of Wusu Mt. .

Key words: Lanzhou; Maxian Mt.; Active fault; Historical earthquake; Palaeo-earthquake