

孙昌斌、谢新生、许建红 2011, 罗云山山前断裂带阶地调查研究及其构造意义, 中国地震 27(2), 126 ~ 135。

· 研究论文 ·

# 罗云山山前断裂带阶地调查研究 及其构造意义

孙昌斌 谢新生 许建红

中国地震局地壳应力研究所 北京市德外西三旗安宁庄路 1 号 100085

**摘要** 罗云山山前断裂带位于山西临汾盆地西侧, 控制着盆地的西界。对罗云山山前断裂带 8 条冲沟的阶地测量资料的研究表明: 该断裂带冲沟发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地。 $T_1$  阶地拔沟 3m 左右,  $T_2$  阶地拔沟 8 ~ 10m,  $T_3$  阶地拔沟 20m 左右,  $T_4$  阶地拔沟 30m 左右,  $T_5$  阶地拔沟 40 ~ 50m。阶地测年数据及断错地貌调查表明: 罗云山山前断裂带在晚第四纪以来有过多次活动。晚更新世中晚期以来阶地的抬升速率为 0.41mm/a, 全新世以来抬升速率为 0.75mm/a。罗云山山前断裂带冲沟阶地从晚更新世中晚期到全新世抬升速率有逐渐增大的趋势, 反映该断裂带自晚第四纪以来构造抬升作用逐渐加强, 这与临汾盆地从晚更新世晚期到全新世沉降速率也有增大的趋势比较一致。

**关键词:** 罗云山山前断裂带 阶地 晚第四纪 抬升速率 构造意义

[文章编号] 1001-4683(2011)02-0126-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

河流下切侵蚀, 原先的河谷底部(河漫滩或河床)超出一般洪水水位以上, 呈阶梯状分布在河谷谷坡上, 这种地形称为河流阶地(杨景春, 1985)。在第四纪构造活动强烈的地区, 多级河流阶地的展布特征正是这些构造活动的一种表现形式(Merritts et al, 1994; Starkel L, 2003)。因而, 通常把对河流阶地及其相关沉积物的研究作为一种重要途径广泛用于正断层(韩慕康等, 1980; 李克等, 1994)、逆断层(陈杰等, 1998; 郑文涛等, 2000)及走滑断层(刘小凤等, 2003; 王峰等, 2004; 张培震等, 2008; 王永等, 2009)的活动构造研究。罗云山山前断裂带是山西临汾盆地的西边界断裂, 临汾盆地是历史强震的活跃区, 该盆地历史上曾发生 1303 年洪洞 8 级地震和 1695 年临汾 7 级地震(王挺梅等, 1993b)以及 649 年临汾 7 级地震(丁国瑜, 1998)。在 20 世纪的 80 ~ 90 年代, 有一些零星资料报道该断裂存在全新世活动(苏宗正等, 1985; 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组, 1988; 郑炳华等, 1990; 王

[收稿日期] 2011-03-31

[项目类别] 中国地震局地壳应力研究所基本科研业务专项(ZDJ2010-19)和地震科学联合基金(606037)资助

[作者简介] 孙昌斌, 男, 1979 年生, 助理研究员。主要从事活动构造与地震地质研究。E-mail: chbsun@163.com

挺梅等,1993a),但一直缺少系统的断错地貌调查。本研究拟开展横穿罗云山山前断裂带的主要河流冲沟阶地及山前断错地貌调查,研究罗云山山前断裂带晚第四纪以来的构造抬升情况,为该地区的防震减灾提供此断裂带最新活动的地貌证据。

## 1 罗云山山前断裂带地质地貌概况

罗云山山前断裂带位于临汾盆地西侧,控制着盆地的西界,北起万圣寺一带,经土门、峪里、尉村、范家庄至西碛口,总体走向 NNE,在范家庄弧形转为 NWW 向,全长 145km(图 1)。罗云山山前断裂带并不是一条单一的断层,而是由一系列断层组成的复杂断裂构造带,在几何形态上分成 5 段,即土门以北段、土门-峪里段、峪里-尉村段、尉村-范家庄段和范家庄-西碛口段(郑炳华等,1990)。

罗云山山前断裂带上升盘为太古代和古生代地层构成的基岩山区,局部保存有中更新世的离石黄土,山区早第三纪初期夷平面已受断裂和侵蚀作用而解体。下降盘则全为第四系覆盖,在土门以北,有零星的上新世红色粘土出露。罗云山区属吕梁断隆的一部分,曾经历过复杂的构造变动,山前断裂在燕山运动时期为逆断层、逆掩断层,上新世以来,由于区域性拉张剪切活动,才使该断裂成为控制临汾盆地西界的正断层。临汾盆地厚达 2000m 的新生界沉积中心偏向罗云山山前断裂带一侧,显示了该断裂活动之强烈。第四纪以来断裂活动继承了上新世时期特征(王挺梅等,1993a)。

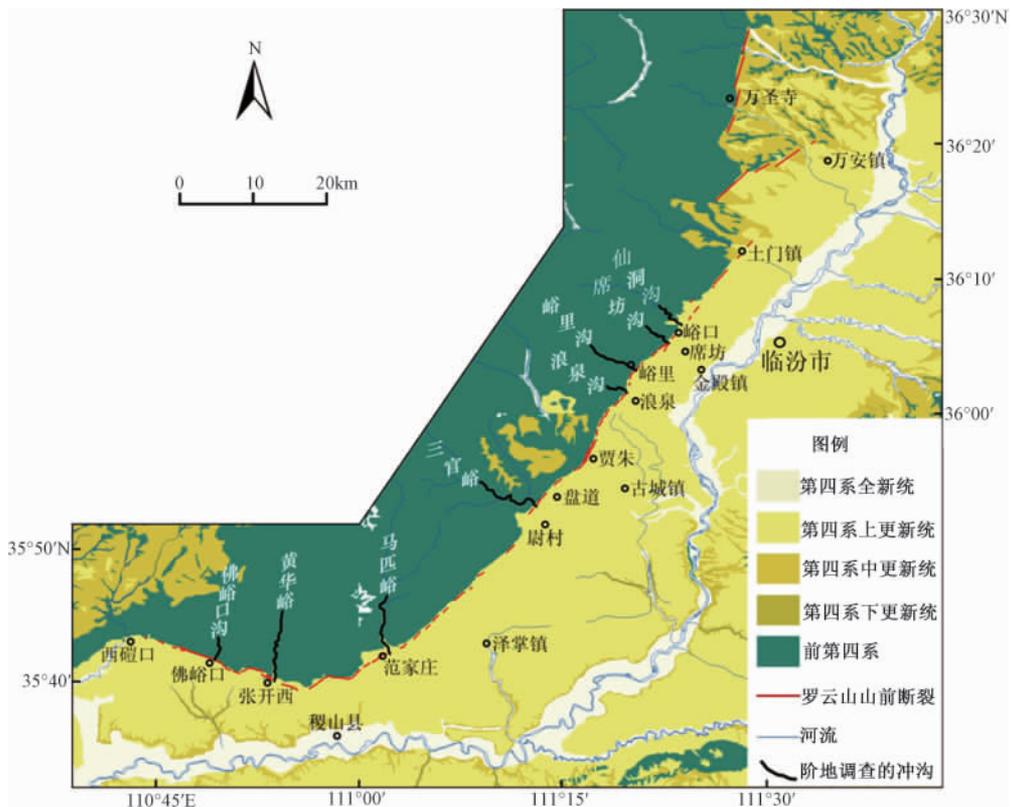


图 1 罗云山山前断裂带地质图与所调查阶地的冲沟平面分布图

## 2 阶地调查

沿罗云山山前断裂带调查了 8 条冲沟的河流阶地,自北东向南西分别为仙洞沟、席坊沟、峪里沟、浪泉沟、三官峪、马匹峪、黄华峪和佛峪口沟(图 1)。这 8 条冲沟及其阶地调查长度见表 1。

### 2.1 阶地横剖面特征

罗云山山前断裂带 8 条冲沟阶地横剖面资料见表 2,现分述如下。

#### (1) 仙洞沟

仙洞沟发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为奥陶纪灰岩。 $T_1 \sim T_5$  阶地拔沟分别为 2~5.9m、8~15m、17~18m、29~30m 以及 48~50m(图 2(a))。

#### (2) 席坊沟

席坊沟发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地, $T_1$ 、 $T_2$  阶地为侵蚀阶地,基岩为奥陶纪灰岩,阶面上偶尔保存有不厚的洪坡积碎石。 $T_3 \sim T_5$  阶地为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为奥陶纪灰岩。 $T_1 \sim T_5$  阶地拔沟分别为 2.7~3.3m、8~9m、17~22.5m、28.5~34m 以及 44~50m(图 2(b))。

#### (3) 峪里沟

峪里沟发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为奥陶纪灰岩。 $T_1 \sim T_5$  阶地拔沟分别为 3~3.8m、7.2~8m、20~24m、27~27.5m 以及 40~50m(图 2(c))。

#### (4) 浪泉沟

浪泉沟发育  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_5$  四级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为奥陶纪灰岩。 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_5$  四级阶地拔沟分别为 3~3.5m、7.2~10m、20~21m 以及 45~49m。

#### (5) 三官峪

三官峪发育  $T_2 \sim T_5$  四级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为奥陶纪灰岩。 $T_2 \sim T_5$  阶地拔沟分别为 8~11m、19m、26~30m 以及 45~50m。

#### (6) 马匹峪

马匹峪发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为太古代混合花岗岩。 $T_1 \sim T_5$  阶地拔沟分别为 2.8~3m、8~10m、17~24m、30m 以及 40~50m(图 2(d))。

#### (7) 黄华峪

黄华峪发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为太古代混合花岗岩。 $T_1 \sim T_5$  阶地拔沟分别为 2.5~5m、7~10m、17~20m、30m 以及 44~48m。

表 1 罗云山山前断裂带 8 条冲沟及其阶地调查长度

冲沟 编号	冲沟 名称	上游 方向	上游长度 (km)	阶地调查长度 (km)
1	仙洞沟	NW50°	4.1	1.6
2	席坊沟	NW50°	2.6	1.6
3	峪里沟	NW60°	5.0	4.6
4	浪泉沟	NW50°	1.8	1.6
5	三官峪	NW75°	5.5	4.6
6	马匹峪	N	9.6	5.8
7	黄华峪	NE5°	9.6	7.1
8	佛峪口沟	NE5°	5.3	2.1

表 2 罗云山山前断裂带 8 条冲沟阶地横剖面资料

冲沟阶地	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	
仙洞沟	拔沟高度(m)	2~5.9	8~15	17~18	29~30	48~50
	阶地类型	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地
	阶地物质	T <sub>1</sub> ~T <sub>5</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为灰岩				
席坊沟	拔沟高度(m)	2.7~3.3	8~9	17~22.5	28.5~34	44~50
	阶地类型	侵蚀阶地	侵蚀阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地
	阶地物质	T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 基岩为奥陶纪灰岩		T <sub>3</sub> ~T <sub>5</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为灰岩		
峪里沟	拔沟高度(m)	3~3.8	7.2~8	20~24	27~27.5	40~50
	阶地类型	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地
	阶地物质	T <sub>1</sub> ~T <sub>5</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为灰岩				
浪泉沟	拔沟高度(m)	3~3.5	7.2~10	20~21	—	45~49
	阶地类型	基座阶地	基座阶地	基座阶地	—	基座阶地
	阶地物质	T <sub>1</sub> ~T <sub>3</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层, 下部为灰岩			—	上部为黄色亚砂 土和砂砾石层, 下部为灰岩
三官峪	拔沟高度(m)	—	8~11	19	26~30	45~50
	阶地类型	—	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地
	阶地物质	—	T <sub>2</sub> ~T <sub>5</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为灰岩			
马匹峪	拔沟高度(m)	2.8~3	8~10	17~24	30	40~50
	阶地类型	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地
	阶地物质	T <sub>1</sub> ~T <sub>5</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为混合花岗岩				
黄华峪	拔沟高度(m)	2.8~5	7~10	17~20	30	44~48
	阶地类型	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地
	阶地物质	T <sub>1</sub> ~T <sub>5</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为混合花岗岩				
佛峪口沟	拔沟高度(m)	3~3.5	10~10.5	19.5~20	30	—
	阶地类型	基座阶地	基座阶地	基座阶地	基座阶地	—
	阶地物质	T <sub>1</sub> ~T <sub>4</sub> 上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为混合花岗岩				—

### (8) 佛峪口沟

佛峪口沟发育 T<sub>1</sub>~T<sub>4</sub> 四级阶地,均为基座阶地,上部为黄色亚砂土和砂砾石层,下部为太古代混合花岗岩。佛峪口沟为 V 型峡谷型冲沟,高阶地不发育,故 T<sub>5</sub> 阶地在此不发育。T<sub>1</sub>~T<sub>4</sub> 阶地拔沟分别为 3~3.5m、10~10.5m、19.5~20m 以及 30m。

### 2.2 阶地纵剖面特征

根据 8 条冲沟阶地横剖面资料作出阶地纵剖面(图 3)。这些阶地向冲沟下游延伸至沟口即行消失,阶地的同期沉积在临汾盆地一侧被埋藏,因为这些冲沟内发育的阶地沿冲沟下游延伸至出山口均被罗云山山前断裂带断错,并在出山口已被掩埋于山前冲洪积之下。

除了浪泉沟、三官峪、佛峪口沟这 3 条冲沟发育四级阶地之外,其他 5 条冲沟均发育 T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub> 五级阶地。分析对比这 8 条冲沟可知,T<sub>1</sub> 阶地拔沟 3m 左右,T<sub>2</sub> 阶地拔沟 8~10m,T<sub>3</sub> 阶地拔沟 20m 左右,T<sub>4</sub> 阶地拔沟 30m 左右,T<sub>5</sub> 阶地拔沟 40~50m。

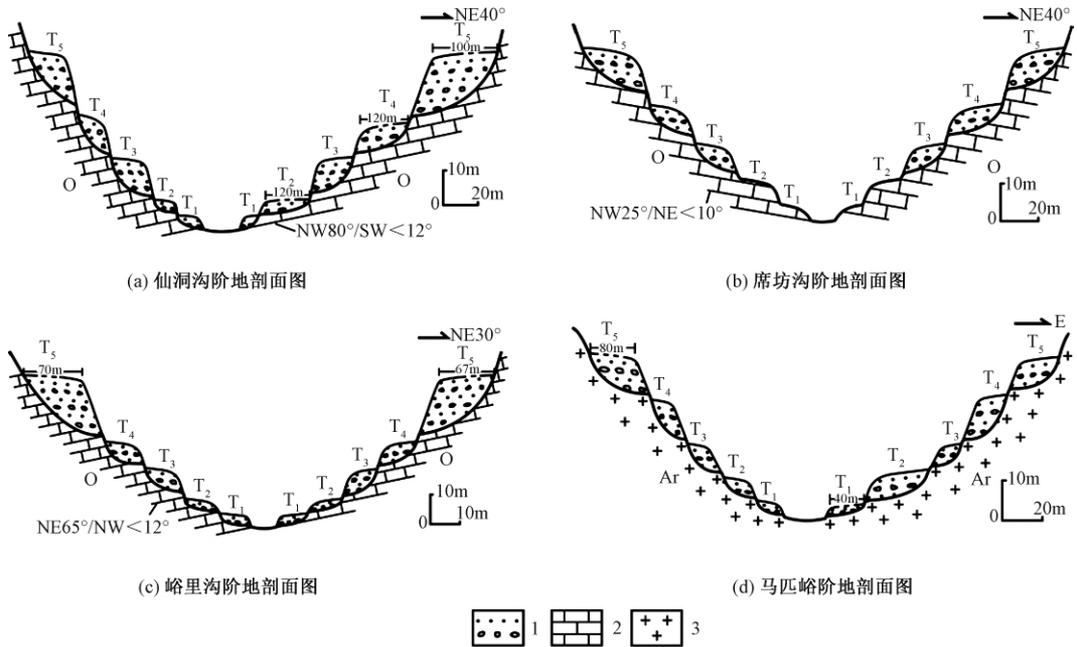


图 2 罗云山山前断裂带冲沟阶地剖面图

1. 黄色亚砂土和砂砾石层; 2. 奥陶纪灰岩; 3. 太古代混合花岗岩

### 2.3 阶地沉积物年代测定

阶地的时代一般是指阶地顶面的形成时代, 河流阶地面可以是一条河流的堆积面, 也可以是一条河流的侵蚀面。受样品及测年条件的限制, 很难测定阶地地面的真实年龄, 一般将阶地表层沉积物的年龄近似为阶地的形成时代, 即河流废弃并开始下切的年龄。

用热释光(TL)方法对罗云山山前断裂带两条冲沟低阶地沉积物进行了年龄测定, 测试结果见表 3。

表 3 仙洞沟与浪泉沟阶地的形成时间和抬升速率

阶地		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
仙洞沟	阶地年龄(ka)	4.95 ± 0.42	10.42 ± 0.88	
	拔沟高度(m)	3.7	8.2	
	抬升速率(mm/a)	0.75	0.79	
浪泉沟	阶地年龄(ka)	4.61 ± 0.39	9.84 ± 0.84	49.14 ± 4.18
	拔沟高度(m)	3	7.5	20
	抬升速率(mm/a)	0.65	0.76	0.41

## 3 罗云山山前断裂带断错地貌

罗云山山前断裂带断错地貌, 主要表现为山前基岩与洪积扇后缘直线状陡坎, 有时可见到清楚的断面。

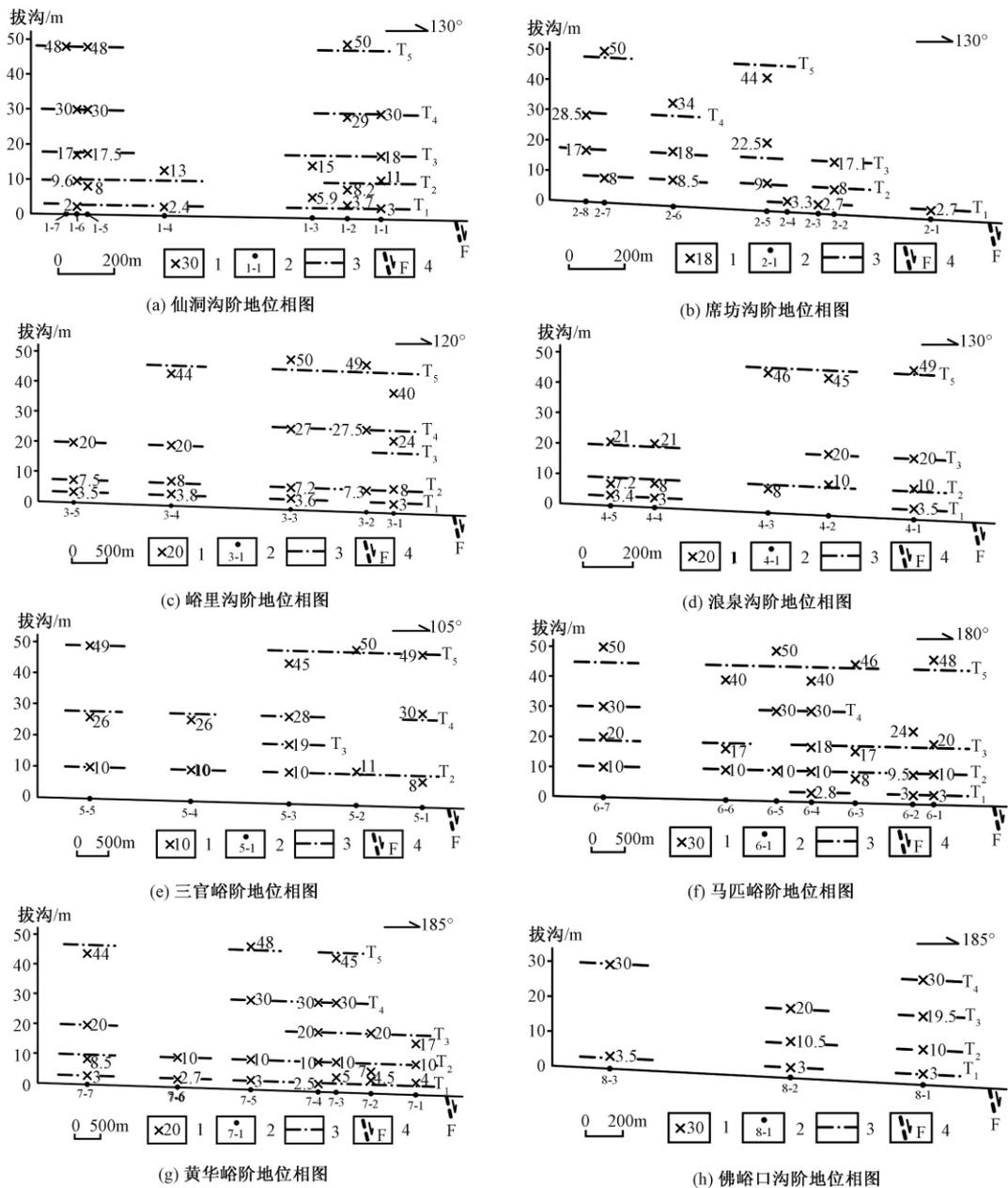


图3 罗云山山前断裂带冲沟阶地地位相图

1. 阶面及拔高; 2. 阶地观测点位; 3. 阶面连线; 4. 罗云山山前断裂带

### 3.1 与 T<sub>1</sub> 阶地响应一致的断错地貌

临汾市金殿镇河北村席坊沟沟口北岸, 见洪积扇后缘与灰岩直接接触, 沟底洪积扇与灰岩之间的断层清晰可见, 沟中、上部被坡积物覆盖, 据沟南西边地表存在 2.5m 高左右的连续断层陡坎可以推测, 断层已断错整个洪积扇后缘而达到地表(图 4)。

在襄汾市古城镇贾朱村西的北西向冲沟沟口洪积扇面上发育一条走向东北、高 2.1m 连续性好的灰岩碎石和黄色亚砂土组成的陡坎(图 5),该陡坎热释光年龄为  $(6.93 \pm 0.59)$  ka BP。

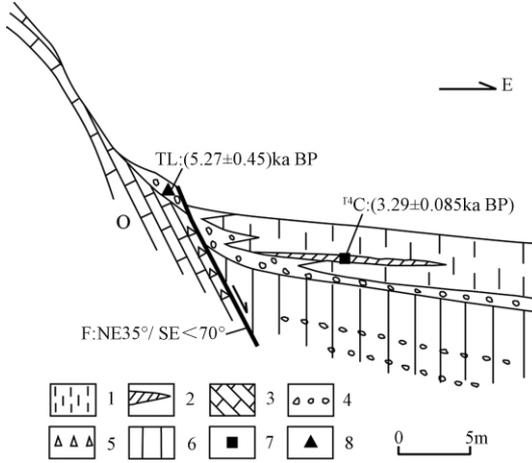


图 4 席坊沟沟口北东岸地质剖面  
(据王挺梅等(1993a)改绘)

- 1. 次生黄土; 2. 灰黑色亚粘土; 3. 灰岩; 4. 砾石; 5. 断层及断层泥; 6. 黄土; 7. <sup>14</sup>C 取样点; 8. 热释光取样点

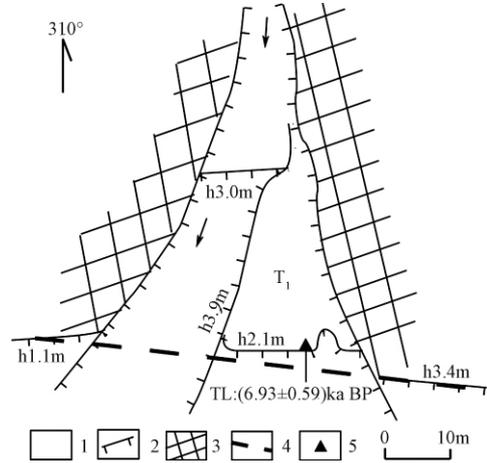


图 5 贾朱村西沟断错地貌平面图

- 1. 全新统松散堆积; 2. 陡坎; 3. 灰岩; 4. 推测断层; 5. 热释光取样点

### 3.2 与 T<sub>2</sub> 阶地响应一致的断错地貌

金殿镇龙祠村 309 国道位于断层上,洪积扇后缘存在 8.5m 高的由灰岩碎石和黄色亚砂土组成的陡坎(图 6) 将其北部不远的席坊沟两岸地层进行对比,认为该洪积扇顶面的地层应该是全新世中晚期。这表明该断层于全新世中晚期有过多次活动,因为 8.5m 高的地表陡坎不止是一次地震形成的。

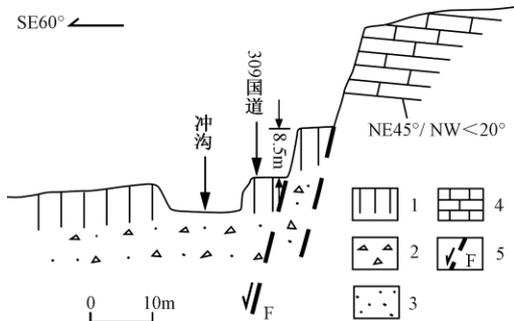


图 6 龙祠村 309 国道处地质剖面

- 1. 含少量碎石黄色亚砂土; 2. 灰岩碎石; 3. 亚砂土; 4. 灰岩; 5. 推测断层

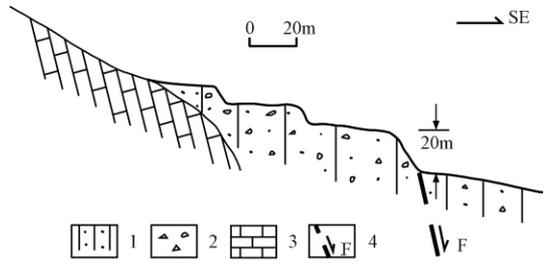


图 9 薛村西山前北西向冲沟沟口断层剖面

- 1. 亚砂土; 2. 灰岩碎石; 3. 灰岩; 4. 推测断层

金殿镇峪口村北东仙洞沟近出山口处可见比较连续的拔沟 11m 的  $T_2$  阶地, 在冲沟出山口处, 地表出现北东向 7m 高陡坎(图 7 红色箭头所示)。自该陡坎往南西可见基岩山前洪积扇后缘 7m 高灰岩碎石与黄色亚砂土陡坎(图 8 红色箭头所示)。



图 7 仙洞沟近出山口处断错地貌照片(镜向 SW)



图 8 仙洞沟南西岸断错地貌照片(镜向 NE)

### 3.3 与 $T_3$ 阶地响应一致的断错地貌

临汾市浪泉乡薛村西山前北西向冲沟沟口, 洪积扇后缘坎高 20m(图 9), 沿  $NE45^\circ$  方向比较连续, 断层北西侧为灰岩, 当地村民正在开石、烧石灰, 南东侧耕地目前已荒芜。

## 4 结论与讨论

(1) 通过对 8 条冲沟的阶地调查表明, 罗云山山前断裂带冲沟发育  $T_1 \sim T_5$  五级阶地。 $T_1$  阶地拔沟 3m 左右,  $T_2$  阶地拔沟 8 ~ 10m,  $T_3$  阶地拔沟 20m 左右,  $T_4$  阶地拔沟 30m 左右,  $T_5$  阶地拔沟 40 ~ 50m。

(2)  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  阶地的形成时间分别为(4.5 ~ 5)ka BP、10ka BP 和 50ka BP。

(3) 阶地测年数据及断错地貌调查表明, 罗云山山前断裂带在晚第四纪以来有过多次活动。晚更新世中晚期以来冲沟阶地抬升速率为 0.41mm/a, 全新世以来抬升速率为 0.75mm/a。罗云山山前断裂带冲沟阶地从晚更新世中晚期到全新世抬升速率有增大的趋势, 反映该断裂带自晚第四纪以来构造抬升作用有逐渐加强的趋势。

据邓起东等(1993)钻孔资料研究表明, 临汾盆地晚更新世晚期沉降速率为 0.74mm/a, 全新世沉降速率为 1.86mm/a, 可以看出, 临汾盆地从晚更新世晚期到全新世沉降速率也有增大的趋势, 表明晚第四纪以来, 临汾盆地的最新构造运动逐渐增强。这与控制临汾盆地西界的罗云山山前断裂带自晚第四纪以来构造抬升作用不断增强比较一致。

致谢: 文中热释光样品均由中国地震局地壳应力研究所热释光年代实验室王焕贞测试, 在此致谢。

## 参考文献

- 陈杰、卢滨涛、丁国瑜,1998,祁连山西段酒西盆地阶地构造变形的研究,西北地震学报,20(1),28~36。
- 邓起东、苏宗正、王挺梅等,1993,临汾盆地晚第四纪沉积与最新构造运动,见:马宗晋,山西临汾地震研究与系统减灾,111~129,北京:地震出版社。
- 丁国瑜,1998,关于公元649年临汾地震的讨论,中国地震,14(3),38~42。
- 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组,1988,鄂尔多斯周缘活动断裂系,98~102,北京:地震出版社。
- 韩慕康、赵景珍,1980,河南汤阴地堑的地震地质特征与地震危险性,地震地质,2(4),47~58。
- 李克、吴卫民、杨发等,1994,大青山山前活动断裂分段性研究,见:中国地震学会地震地质专业委员会,中国活动断层研究,102~113,北京:地震出版社。
- 刘小凤、袁道阳、刘百箴,2003,兰州及邻近地区河流阶地变形特征,西北地震学报,25(2),119~124。
- 苏宗正、阎凤忠,1985,罗云山断裂全新世活动的新发现,山西地震,(4),6。
- 王峰、徐锡伟、郑荣章,2004,用阶地测量方法探讨阿尔金断裂中段全新世滑动速率,地震地质,26(1),61~70。
- 王挺梅、郑炳华、李新元等,1993a,罗云山山前断裂第四纪活动特征,见:马宗晋,山西临汾地震研究与系统减灾,159~171,北京:地震出版社。
- 王挺梅、郑炳华、李新元等,1993b,1695年临汾7级地震的地震构造研究,见:马宗晋,山西临汾地震研究与系统减灾,172~189,北京:地震出版社。
- 王永、王军、肖序常等,2009,西昆仑山前河流阶地的形成及其构造意义,地质通报,28(12),1779~1785。
- 杨景春,1985,地貌学教程,60~67,北京:高等教育出版社。
- 张培震、李传友、毛凤英,2008,河流阶地演化与走滑断裂滑动速率,地震地质,30(1),44~57。
- 郑炳华、王挺梅、李新元等,1990,罗云山山前断裂带的考察与研究,见:陈章立,中国地震年鉴,416~423,北京:地震出版社。
- 郑文涛、杨景春、段锋军,2000,武威盆地晚更新世河流阶地变形与新构造活动,地震地质,22(3),318~328。
- Merritts D J, Vincent K R, Wohl E E, 1994, Long river profiles, tectonism, and eustasy: A guide to interpreting fluvial terraces, Journal of Geophysical Research, 99(B7), 14031~14050.
- Starkel L, 2003, Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas, Quaternary Science Reviews, 22, 2189~2198.

## Research on terraces investigation of Luoyunshan fault zone and its tectonic implication

*Sun Changbin Xie Xinsheng Xu Jianhong*

Institute of Crustal Dynamics , China Earthquake Administration , Beijing 100085 , China

**Abstract** The Luoyunshan fault zone is located west of Linfen basin , controlling the western border of the basin. The measurement of the terraces in eight gullies along the Luoyunshan fault zone shows that these gullies has five terraces:  $T_1 \sim T_5$ . The heights of these terraces are about 3m , 8 ~ 10m , about 20m , about 30m and 40 ~ 50m respectively. The dating data of the terraces and the faulted landforms investigation shows that the Luoyunshan fault zone has had many activities since Late Quaternary. Since the Middle-Late Pleistocene an uplift rate of the terraces is 0.41mm/a , and 0.75mm/a since Holocene. An increasing trend of the uplift rate of the terraces along the Luoyunshan fault zone from the Middle-Late Pleistocene to Holocene , reflects the tectonic uplift tendency of the fault zone has gradually increased since the Late Quaternary. This is in good agreement with the sedimentation rate of Linfen basin which also has an increasing trend from the Late Pleistocene to Holocene.

**Key words:** Luoyunshan fault zone Terrace Late Quaternary Rate of Uplift  
Tectonic Implication