

罗山东麓断裂最后一次错动事件的再研究*

柴炽章, 廖玉华, 张文孝, 马禾青

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

摘要: 对探槽剖面 and 陡崖地貌进行了综合分析. 结果表明, 罗山东麓山坡上发育的少量有自由面的年轻陡坎是重力滑坡的后缘面, 与罗山东麓断裂错动无关. 该断裂最后一次错动事件发生的时间是 $(2\ 105 \pm 175)$ a B. P.. 结合前人研究的古地震重复资料, 估算了罗山东麓断裂未来 50 年 7 级左右强震的发震概率.

关键词: 宁夏; 古地震; 地震概率; 罗山东麓断裂

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)03-0296-06

0 引言

罗山东麓断裂是青藏块体与鄂尔多斯块体的分界构造之一, 位于宁夏回族自治区中部, 呈近南北走向. 该断裂以西是大小罗山山脉, 以东为下马关—韦州盆地. 该断裂在晚第四纪有显著活动. 全新世以前, 其活动表现为自西向东的逆冲和逆掩; 全新世以来, 转变为右旋走滑^[1,2]. 该断裂带在全新世发生过多古地震事件, 其震级可能略大于 7 级^[3]. 闵伟等^[1] 研究认为, 该断裂带最后一次错动事件距今几百年, 而且认为 1561 年中宁 7 $\frac{1}{4}$ 级地震与之有关^[4]. 但是笔者根据断裂的宏观地貌形态, 特别是断层崖的总体形态特征等, 认为该断裂的最后一次错动事件发生的时间距今可能不止几百年. 1997 年笔者再次对该断裂带进行了实地调查和研究. 本文介绍了主要研究结果.

1 探槽剖面分析

在工作中除了对原有探槽进行清理分析外, 还选择了一些重要位置, 挖掘了新探槽. 探槽位置见图 1. 另外, 罗山地区曾下了一次暴雨并引发山洪. 洪水冲出的断层露头也为研究工作提供了新的剖面.

(1) 剖面 a: 位于罗山山体北端周家圈东南约 1 km 处的山坡上. 根据航片解释和实地调查, 罗山东麓断裂在该段呈直线状. 图 2a 是探槽南壁素描图. 由图可见, 剖面上有 2 条断层, 西侧 f_1 为逆断层, 东侧 f_2 为高角度正断层. 2 条断层均被层②覆盖, 在层②西侧底部(距地表 0.3 m)采集了一个 ^{14}C 样品, 测试结果为 $(2\ 030 \pm 190)$ a B. P.^①.

(2) 剖面 b: 属于被洪水冲出的新剖面, 位于大罗山石窑洞东侧洪积台地前缘. 罗山东麓

收稿日期: 1999-02-09

* 地震科学联合基金资助课题(197013).

作者简介: 柴炽章(1957-), 男, 高级工程师. 从事地震地质和地震分析预报工作.

① ^{14}C 样品均由兰州大学地理系 ^{14}C 实验室测定.

断裂在这里分为东西2支. 西支位于奥陶系基岩山体的东缘, 为断面西倾的逆掩断层, 错断的
最新地层是晚更新世马兰黄土; 东支断层为高角度、断面东倾的正走滑断层, 是全新世以来的
主要活动断裂. 该剖面位于东支断层上. 在剖面上可见, 断层错断了层②, 但被层①覆盖. 在层
②顶部取样, 其¹⁴C 年龄为(2 130 ± 150) a B. P. (图 2b).

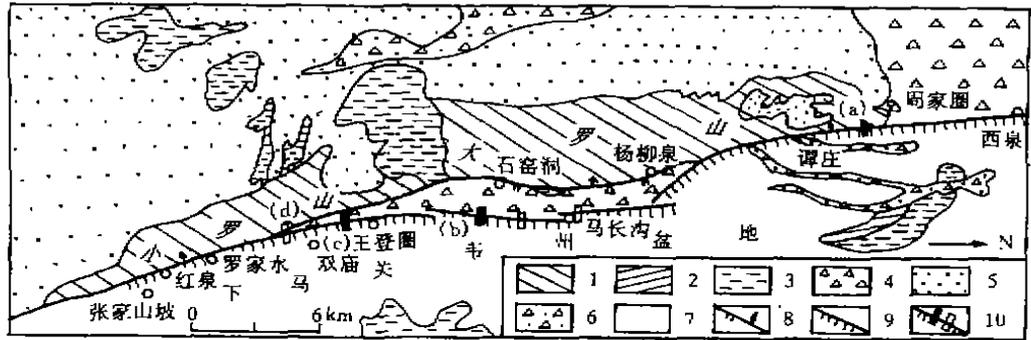


图1 罗山地区构造分布略图

Fig. 1 Sketch of tectonic distribution of Luoshan area, Ningxia.

- 1 奥陶系; 2 二叠系; 3 上第三系; 4 晚更新世洪积层; 5 晚更新世风积层;
- 6 全新世冲积层; 7 晚更新世—全新世冲洪积层; 8 晚第四纪逆掩断层;
- 9 全新世断层及陡坎; 10 探槽位置及编号(实心系本次工作挖掘, 空心是1991年挖掘)

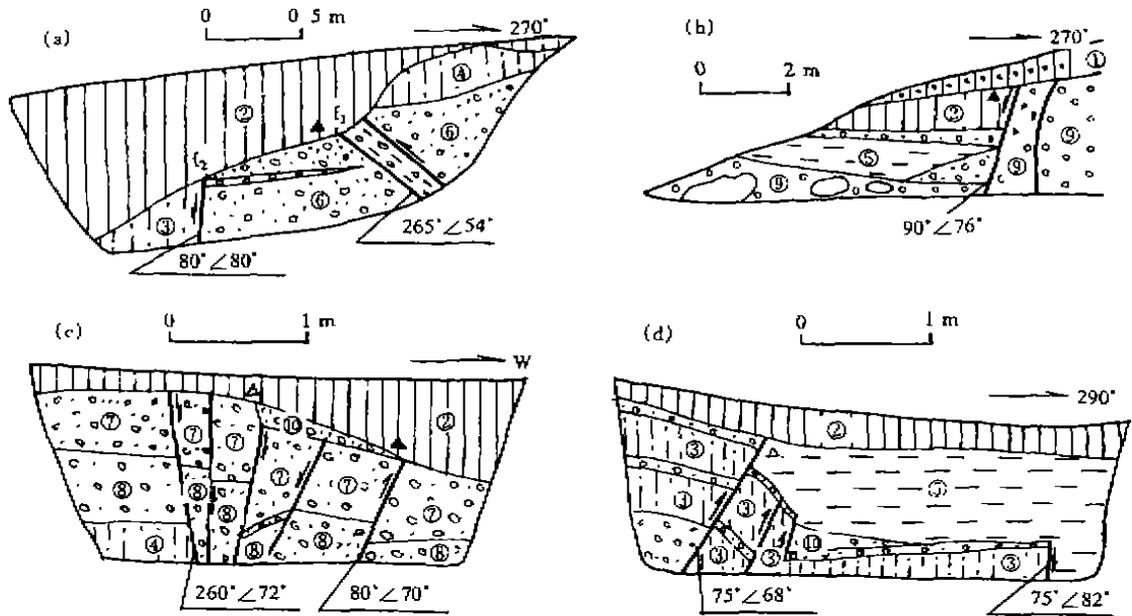


图2 4个剖面素描图

Fig. 2 Sketches of 4 sections.

- (a) 周家圈探槽剖面; (b) 石窑洞东侧沟壁剖面; (c) 王登圈探槽(据文献[4]修改); (d) 双庙探槽(据文献[3]修改);
- ①松散状黄土、砾石层; ②松散状黄土; ③致密状粉砂层; ④黄土含砾石层; ⑤粉砂土层; ⑥粗砂层含砾石;
- ⑦中-细砾石层; ⑧棱角状中粒砾石层; ⑨粗砾石层; ⑩崩积砾石; △: 1991年采样位置; ▲: 本次采样位置

(3) 剖面 c: 位于小罗山北段王登圈之南, 是1991年挖掘的探槽. 在该剖面上可见5条断
层和2次以上的古地震事件, 其中最后一次事件形成了一个小断层崖, 并在崖下堆积了层⑩
(图 2c). 1991年在层⑩上方偏东采集了样品, 测得其¹⁴C 年龄为(290 ± 55) a B. P., 此年龄被作

为罗山东麓断裂最后一次古地震事件距今只有几百年的一个证据^[4]。在本次工作中对该剖面进行了清理和分析,认为上次采样位置有2个缺陷:一是样品采集点距地表仅10~15 cm深,处在现代植物根茎发育的深度范围内,极易遭到后期有机物混染;二是该土层是在错动事件形成的斜坡上堆积的,因此采样位置偏上,故测出的年龄可能会大大偏离该处断层错动的时间。为了尽可能准确地反映该处断层最后一次错动事件的时间,在层⑩西部上侧距地表60 cm处采集了一个¹⁴C样品,测定结果为(1 980 ± 50)a B. P.。

此外,大罗山石窑洞探槽和小罗山双庙探槽(图2d)是1991年挖掘的2个最具代表性的探槽。据¹⁴C样品测定,该断裂最后一次错动事件的时间分别晚于(2 660 ± 65)a B. P.和(2 550 ± 100)a B. P.^[3]。

上述5个剖面控制了大罗山全段和小罗山北段,总长度约30 km,占罗山东麓断裂总长度的三分之二。5个测年数据接近,按矛盾点最少原则判定,该断裂最后一次错动发生的时间应为(2 105 ± 175)a B. P.(图3)。罗山东麓断裂主体段几百年来没有发生过显著的错动事件。

文献[4]介绍的马长沟I级阶地顶部¹⁴C样品采自地表以下10~15 cm处,其测定结果为(480 ± 55)a B. P.。在此次工作中对该采样位置进行了核实,发现与王登圈南侧剖面类似,采样位置也属于现代植物根系的混染段。由于没有合适的采样部位,对该剖面未补充采样,因此其测年结果可能不能反映该断层最后一次错动事件的发生时间。

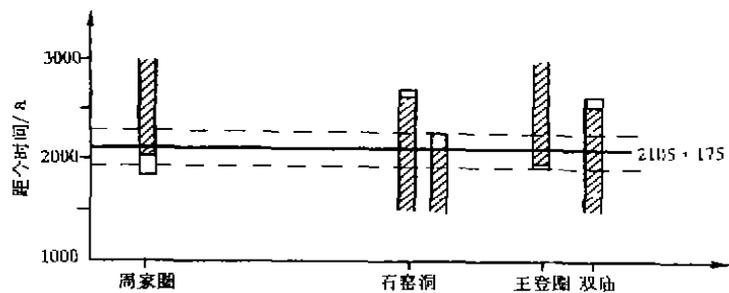


图3 罗山东麓断裂最后一次错动事件发生时间

Fig.3 The time before present of the last rupture along fault at eastern piedmont of the Luoshan Mt.

2 陡坎分类、成因和时代判别

沿罗山东麓断裂陡坎地貌比较发育,从西泉到张家山坡断续分布。按陡坎分布位置,可将其分为3类:

(1) 分布在洪积台地前缘或冲积阶地上的陡坎。主要展布在大罗山红柳泉到小罗山双庙之间,长20余公里,约占陡崖地貌总长度的1/2,属于罗山东麓断裂陡坎的主体部分。这类陡坎分布在远离罗山基岩山体冲洪积物中,没有自由面,呈直线延伸,连续性好。陡坎高差从1 m到18 m不等,其高度总体上与地貌面级别成正比。上下原始面坡度平缓,角度不大于11°。崖坡的最大坡角变化显著,最小坡角仅3.5°,最大达37°,一般为15~30°。坎下高角度走滑断层出露清楚。

(2) 发育在晚更新世洪积、风积戈壁上的陡坎,分布于大罗山以北,其二侧地形落差不明显。严格讲这类陡坎不能称之为陡坎,仅是一种凸出于二侧地面的“隆脊”。这些“隆脊”连续延伸,长约5 km,脊宽20~30 m,高1~1.5 m。航片上可见这些“隆脊”显示的线性影像与南侧罗山东麓断裂直线相连。在脊上耕种困难,当地农民称之为“石梁”。

(3) 发育在基岩或黄土山坡面上的陡坎,仅见于小罗山罗家水到张家山坡和大罗山谭庄附近。其中小罗山段陡坎长度约4 km,大罗山段不足1 km。此类陡坎分布零星,有清楚的自由面。单条陡坎延伸不超过150 m,不穿越冲沟,方向亦不太稳定。虽然其总体展布方向与断裂走

向一致,但单条陡坎有偏离断层走向的现象.陡坎沿山坡发育,上下原始面坡度多大于 10° ,有的甚至大于 20° .

根据野外现场分析和调查,前2类陡坎的成因与断层活动有关.其中第一类陡坎在大罗山东麓截断了I~V级洪积台地和I级阶地,陡坎下降盘的地貌面级数显著少于上升盘的级数,说明此类陡坎有多期活动历史.从陡坎最大坡度角与高度间的年代关系分析^[5],罗山东麓断裂最后一次错动至少发生在1000 a B.P.以前.第二类陡坎呈“隆脊”状,发育在晚更新世戈壁上,年代不易判定.

对于第三类陡坎的成因在以往存有异议.文献[1]和[4]根据这类陡坎沿断层分布和个别陡坎之下有断层出露的现象,将其划归为断层陡坎.同时根据陡坎上存在年轻自由面和少量采自地表以下10~15 cm处¹⁴C样品的年代测定结果,认为1561年中宁7 $\frac{1}{4}$ 级地震发生在罗山东麓.但是笔者从断层宏观地貌形态,特别是断层陡坎形态的纵向变化特征分析,认为沿罗山东麓断裂发育的含自由面的陡坎分布过于局限和零散,所见的2段陡坎相隔30余公里,占主导地位的第一类陡坎没有自由面,难以与几百年来活动过的断层陡坎相联系.另外,所见的断坎自由面似乎比1920年海原地震遗迹还要年轻.因此,这种陡坎是否与断层错动有关尚有疑问.在野外工作中笔者将这一问题作为重点进行调查,取得了如下突破:

(1) 发现陡坎的走向并不稳定,有重力滑坡的痕迹.例如,在小罗山红泉村有2条带自由面的陡坎,其中北侧一条长约50 m,沿村北一无名冲沟的南壁展布,走向 320° ,位置明显偏离断层带且与断层带呈 20° 交角;南侧一条长40 m左右,位置和走向与断层带重合,但陡坎呈明显的向西凹的弧形,与重力滑坡体后缘面形态相同.再如,张家山南侧山坡上的一条陡坎走向 15° ,与此段断层走向夹角达 30° ,此陡坎南端沟壁上出露的断层实际上是一个上陡下缓的滑坡面.

(2) 断层陡坎一般有延伸长并且不受地形限制的特点.但是在小罗山红泉—张家山坡见到的有自由面的陡坎的延伸长度均不超过150 m,且不跨越冲沟,与断层陡坎的分布特征有所不同.

(3) 断层崖脊部的浑圆度包含着其形成时间的信息.根据现场观察,一些年轻黄土陡坎的脊部呈尖棱角状,表明其经历的时间过程较短,比天景山山前的1709年中卫7 $\frac{1}{2}$ 级地震陡坎、贺兰山山前的1739年平罗8级地震陡坎要年轻,甚至比西华山发育的1920年海原8 $\frac{1}{2}$ 级地震陡坎的浑圆程度还要差,因此将这些陡坎与时间更久远、震级更小的1561年中宁7 $\frac{1}{4}$ 级地震相联系,是不合适的.

(4) 根据对34条陡坎地形剖面资料的统计,所有在地势较平坦的洪积或冲积扇上形成的陡坎,都不发育自由面.有自由面的陡坎无一例外地出现在坡度较大的山坡带上,且这类陡坎的组成物质全部为黄土.根据罗山东麓断裂分段特征分析,如果一次强震造成了大罗山谭庄附近和小罗山罗家水—张家山坡的山坡地段破裂并产生陡坎,则二者之间穿越洪积扇区的断层也应该破裂并产生陡坎和相应的自由面.山坡面的坡度较大,在此部位的陡坎自由面具有更大的重力势,故其破坏的速率应该大于洪积扇区的陡坎.但是,实际情况正好相反(表1).这表明山坡上发育的有自由面的陡坎与断层错动无关.

(5) 在此次野外工作中笔者曾访问了一位从1984年开始每年都在小罗山红泉放牧的农民.他认为附近山坡上的一段有自由面黄土陡坎可能是下雨垮塌的,而且以前在山上放牧时见过这种垮塌,并带领笔者观察了他曾亲眼目睹的几处滑坡.从红泉到张家山坡在1984~1996年发生4个重力滑坡,其中3个位于黄土或黄土与基岩接触带的山坡上,另一个位于基岩山

上,以前没有发现.

表1 罗山东麓断裂上的陡坎实测数据一览表*

编号	地点	垂直断距 /m	地貌位置	原始面倾角/(°)		最大坡角 /(°)	有无自由面
				上原始面	下原始面		
1	谭庄北	1.1	山坡	2	6	81	有
2	谭庄南	1.4	山坡	8	8	80	有
3	庙儿沟北	1.3	山坡	5	8	30	无
4	庙儿沟	4.8	高阶地	7	8	25	无
5	庙儿沟	0.6	I期洪积扇	6	6	15	无
6	庙儿沟	5.4	高阶地	4	10	29	无
7	红庙沟	5.2	高阶地	7	6	37	无
8	马长沟	1.8	I级阶地	6	7.6	13.6	无
9	马长沟	9	IV期洪积扇	9	4.6	20.5	无
10	斧子沟	9	IV期洪积扇	4	11	24.3	无
11	石窑洞	1.2	I期洪积扇	5	5	20	无
12	石窑洞	12.2	V期洪积扇	1	7	30.5	无
13	石窑洞	5.5	III期洪积扇	4.5	1.5	24	无
14	石窑洞	5.4	III期洪积扇	5	3	24	无
15	石窑洞	2.2	II期洪积扇	0.5	8.5	18.3	无
16	石窑洞南	0.9	I期洪积扇	3	5	15	无
17	石窑洞南	2.6	II期洪积扇	6	5	14.5	无
18	王登圈北	12.2	V期洪积扇	0	11	26.5	无
19	王登圈北	2.4	II期洪积扇	1	6	23.3	无
20	王登圈北	0.5	I期洪积扇	7	6	26.5	无
21	王登圈北	18	V期洪积扇	4	6.5	36	无
22	王登圈北	4.4	III期洪积扇	5	4	16	无
23	王登圈	3.0	III期洪积扇	1	2.5	16.5	无
24	斧子沟北	2.4	II期洪积扇	5	3.5	11	无
25	斧子沟南	0.5	I期洪积扇	2.5	5	6.5	无
26	罗家水北	0.5	I期洪积扇	2.5	1.5	3.5	无
27	罗家水北	1	山坡	24	20.5	75	有
28	罗家水北	2.4	山坡	35	17	65	有
29	罗家水北	1.5	山坡	22.5	14	61.5	有
30	张家山坡北	3.0	山坡	24	14	60	有
31	张家山坡	1.5	山坡	11	6	71	有
32	张家山坡南	14.6	山坡	3	2	75	有
33	小口子沟北	2.6	山坡	7	14.5	70	有
34	小口子沟南	2.0	III期洪积扇	11	8	21.5	无

* 据阎伟,等.罗山东麓断裂分段结构,全新世活动历史及断层崖的研究,1992

从红泉到张家山坡约2 km地段,在12年内就发生了4个重力滑坡,且其中3个位于断层带上的事实表明,沿罗山山坡发育的陡坎与断层错动无关,是外营力作用的结果.它们中的大多数形成年代距今不到100年.

3 讨论与结论

(1) 王登圈探槽样品测试结果显示,罗山东麓断裂最后一次错动发生的时间略早于(1980±50)a B.P.,与1991年的样品测定结果相差较大.

在大罗山北端周家圈和中部石窑洞挖掘了2个探槽,并做了相应的采样和测试,结果分别

为 $(2\ 030 \pm 190)$ a B. P. 和 $(2\ 130 \pm 150)$ a B. P. . 结合1991年的石窑洞探槽和双庙探槽的 ^{14}C 样品测试数据,综合分析认为,罗山东麓断裂最后一次错动事件发生在 $(2\ 105 \pm 175)$ a B. P. .

(2) 在小罗山罗家水—张家山坡和大罗山谭庄附近,沿山体斜坡发育的陡坎保存有清晰、完好的自由面.文献[4]将其归于1561年中宁 $7\frac{1}{4}$ 级地震形成的地震陡坎.经此次考察、研究,发现这类陡坎分布方向与断层走向有一定的夹角,其延伸明显受到冲沟的制约,与海原 $8\frac{1}{2}$ 级、平罗8级大震以及中卫 $7\frac{1}{2}$ 级强震形成的断层崖相比还要年轻.据当地人提供的情况,证明罗山东麓存在重力滑坡现象.因此,发育在山坡上、有自由面的断层崖实际为滑坡体后缘面、与断层错动及强震活动无关.

根据文献[3]和[4],罗山东麓断裂全新世早期古地震重复间隔为3 000年左右,晚期为1 500年左右.现已证实,该断裂最后一次错动事件距今 $(2\ 105 \pm 175)$ 年.如果仅考虑晚全新世(距今5 000年)以来的强震发生的平均时间间隔,该断裂的最后一次活动距今时间已经超过了强震复发的平均间隔,由此估算未来50年该断裂强震发震概率为0.4.如果考虑全新世强震的平均复发间隔(2 000年左右),则该断裂最后一次活动距今时间已经达到复发间隔,未来50年发震概率为0.14^[6].

[参考文献]

- [1] 闵伟,柴焯章.罗山东麓断裂全新世活动特征的初步研究[J].中国地震,1992,8(4):49~54.
- [2] 国家地震局地质研究所,宁夏回族自治区地震局.海原活动断裂带[M].北京:地震出版社,1990.36~47.
- [3] 闵伟,柴焯章.宁夏罗山东麓断裂全新世古地震研究[J].高原地震,1993,5(4):97~102.
- [4] 闵伟,王增光.罗山东麓断裂、烟筒山断裂与1561年 $7\frac{1}{4}$ 级地震[J].活动断裂研究,1996,5:191~196.
- [5] Bucknam R. C. 根据断崖高度-坡度角的关系计算断层崖的年龄[A].见:活断层研究.北京:地震出版社,1983.189~194.
- [6] 闻学泽.活动断裂地震潜势的定量评估[M].北京:地震出版社,1995.

RE-STUDY ON THE LAST RUPTURE EVENT ALONG FAULT AT EASTERN PIEDMONT OF THE LUOSHAN MT.

CHAI Chi-zhang, LIAO Yu-hua, ZHANG Wen-xiao, MA He-qing
(*Seismological Bureau of Ningxia, Yinchuan 750001, China*)

Abstract

Section of 5 test grooves and landforms of scarps along fault at eastern piedmont of the Luoshan Mt. are analysed and studied comprehensively. It is showed that a few young scarps with free surfaces along the slopes of eastern piedmont of the Luoshan Mt. are backside walls of gravity landslides, with no relation to the fault motion. The time before present of the last rupture event along faults at the eastern piedmont of the Luoshan Mt. is $(2\ 105 \pm 175)$ a. The occurrence probability of $M_s \geq 7.0$ earthquakes along the fault in future 50 year is estimated.

Key words: Ningxia; Palaeoearthquake; Seismic probability; Eastern piedmont fault of the Luoshan Mt.