

# 包代河断裂古地震初步研究

董治平, 何文贵, 戴华光

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 包代河断裂是 1954 年山丹 7 $\frac{1}{4}$  级地震的主破裂带, 为右旋正倾滑断裂, 长约 4.5 km. 经开挖探槽在该断裂上揭露出三次古地震事件, 分别发生在距今约  $3\ 120 \pm 250$  a 后;  $2\ 500 \pm 190$  a 左右;  $2\ 150 \pm 170$  a 之后, 古地震重复间隔约 350~700 年.

**关键词:** 包代河断裂; 山丹地震; 古地震

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2002)03-0225-05

## 0 引言

1954 年山丹 7 $\frac{1}{4}$  级地震虽经多次考察与研究, 但仍存在较大的分歧与争议, 争论的焦点是发震构造、主破裂起始点及其破裂方式, 然而有助于说明发震断裂及其破裂性质的古地震问题一直没有研究. 为了填补山丹地震断裂带古地震研究的空白, 全面认识和重新论证发震断裂及其破裂过程, 估计研究区未来强震复发的危险性, 我们对山丹地震破裂带进行了全面、详细的宏观考察, 并在包代河断裂上开挖了人工探槽, 揭露出了三次古地震事件.

包代河断裂属于包代河—黑山头断裂的东段, 也是龙首山北缘断裂带最活跃的断裂段<sup>[1]</sup>. 断裂东起包代河, 西止大峡河, 长约 4.5 km, 走向 N50°W, 倾向南西, 倾角大于 80°. 是山丹地震的主破裂带及破裂起始源, 宏观表现为张剪切性质的右旋正倾滑破裂<sup>[2]</sup>.

## 1 探槽位置及地貌特征

探槽位于包代河地震断层上, 距包代河口西约 200 m 处(图 1). 探槽所处地貌单元为包代河一级堆积阶地, 由全新世冲、洪积物组成. 阶地拔河高度约 1~2 m, 阶地面整体开阔、平缓, 微倾向东北, 阶地西缘和后缘有冲沟及洪积扇发育. 阶地面虽然为植被覆盖, 但仔细观察仍可以看出河床两次向北东方向迁移的迹象. 其中旧河道 1 距新河床约 50 m; 旧河道 2 距新河床约 10 m 左右; 旧河道 1 与 2 相距 30 多米. 可以肯定河道的迁移与包代河断层的多期次、非均匀活动有关.

包代河地震断层呈北西向断错一级阶地, 在阶地上留下了明显的断裂槽地及隆梁, 二者相伴而生, 是断裂垂直残余形变或地震形变之遗迹. 槽地东段没于现代河床, 西段为冲沟及洪积扇所改造, 可见长度 300 余米, 宽约 3~3.6 m. 探槽垂直横跨槽地而布设, 方向 N55°E, 长 9.2 m, 宽大于 1.5 m, 最大深度 2.5 m.

收稿日期: 2001-10-09

基金项目: 地震联合基金资助课题(197025); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2002031

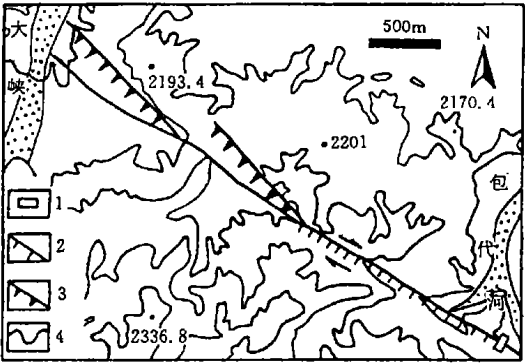
作者简介: 董治平(1954—), 男(汉族), 山西平遥人, 高级工程师, 主要从事地热场、构造应力场、活断层及地震预报研究工作.

2 地层描述

该探槽东壁剖面较完整, 出露的地层为全新统冲、洪积层。自下而上、由老至新可划分为九个地层单元, 分别用编号①~⑨表示(图 2):

① 灰褐色砂砾石层夹砂层。砾石以火成岩为主, 分选较差, 大都呈次棱角状, 砾径一般为 5~10 cm。是剖面的最底层位, 揭露最大厚度 0.5 m。剖面北段出露较多, 呈弧形隆起状; 剖面中段没有出露; 剖面南段出露较少。

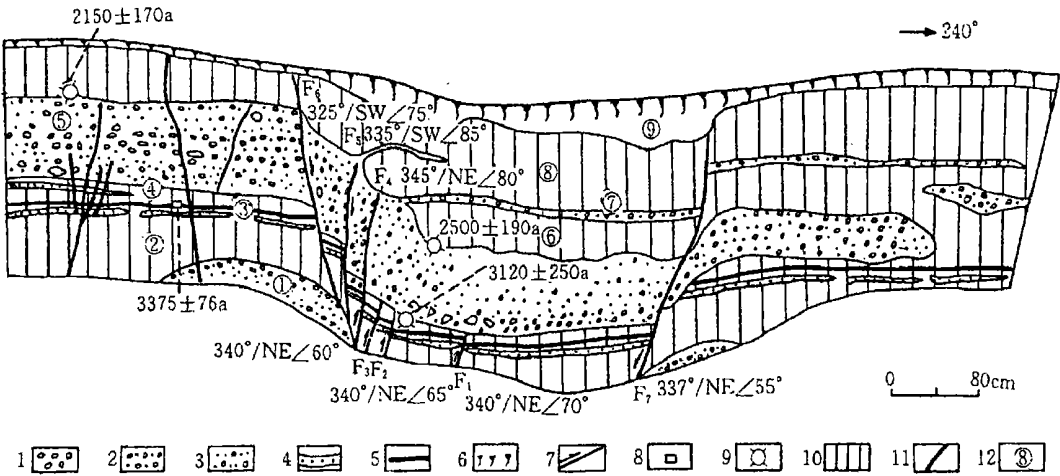
② 黄褐色土层。呈块状, 粘性较差。出露最大厚度 0.6 m, 与下覆砂砾石层共同构成剖面底界。顶部发育一层厚约 2 cm 的细砂层。



1 探槽; 2 断层陡坎; 3 断层三角面; 4 等高线

图 1 包代河断裂分布图

Fig. 1 Distribution of the Baodaihe fault.



1 砾石; 2 砂砾层; 3 含砾砂层; 4 细砂层; 5 泥炭; 6 腐植土层;  
7 断层; 8 陡坎; 9 TL; 10 黄土; 11 裂缝; 12 地层编号

图 2 包代河口探槽东壁剖面

Fig. 2 The profile of east wall of the trench on the Baodaihe fault.

③ 灰黑色泥炭层、古土壤层。连续、稳定、完整, 横贯全剖面, 厚 2~3 cm。该层在断层附近出现弯曲变形现象, <sup>14</sup>C 年龄为距今 3 375 ± 76 年。

④ 黄土层。浅黄褐色, 岩性特征与层②相近, 层厚 0.1~0.2 m。在剖面的北段夹有长约 1.2 m、厚约 8 cm 向南尖灭的含砾砂层, 并发育数条张裂缝。裂缝纵穿层②、③, 最大裂口宽 2~3 cm。本层顶部热释光年龄为距今 3 120 ± 250 年。

⑤ 灰色砂砾石层。层厚 0.5~0.7 m, 发育稳定, 分层清楚; 砂层与砾石层交互成层, 局部显示由粗到细的韵律特征。小砾石有一定磨园度, 大砾石多为次棱角状。砾石成份有火成岩、变质岩等, 分选较差。下部为含砾粗砂层, 中部以砂砾石为主, 上部粗砂层。南段层变薄、不连续; 中段因断层多次错动略显零乱, 并有崩积现象。断层通过处呈细颈状, 砾石有沿断面定向排列之势。剖面北段发育数条裂缝, 个别与上覆、下伏黄土层连通。在层⑤的顶、底部各采热释光样品一个, 因物质成份太粗, 年代未能确定。

- ⑥ 灰黄色土层. 出露于剖面的中、南段, 层厚 0.4 m. 属次生黄土, 土质较疏松. 偶含砂砾、根系, 孔隙较少. 底部热释光年龄为距今  $2\,500 \pm 190$  年.
- ⑦ 含角砾砂土层. 分布于剖面的中、南段, 层厚 5~10 cm, 砾石呈次棱角状, 大小不等, 杂乱排列.
- ⑧ 浅灰黄色次生土层. 含砾石, 砾径 0.5~1 cm, 含少量粉砂, 土质疏松. 厚 0.4~0.6 m, 植物根系、孔隙、裂隙发育. 中段近断层处有一向上拱起的弧形腐植土层, 与断面及上覆腐植土层有裂缝相通. 底部热释光年龄距今  $2\,150 \pm 170$  年.
- ⑨ 浅灰黄色腐植土层. 含粉砂, 土质疏松, 类似粉土. 植物根系相当发育. 层厚变化较大, 北段较薄(5 cm), 南段稍厚(10~15 cm), 中段最厚达 30~40 cm, 并呈锯齿状覆于层⑧之上.

### 3 古地震事件

剖面上共揭露出 7 条断层, 其中四条表现为逆冲性质, 三条为正断层性质, 根据断错层位先后依次编为  $F_1 \sim F_7$ . 剖面北段的几条张裂缝, 主要发育在层②~⑤中, 应属最新错动事件之产物. 7 条断层尽管性质有别, 剖面上也没有明显的交切关系, 但根据其产状推测可能是同根或同源断层.

在由上述 9 个单元层组成的剖面中, 断层  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  错断了层②、③、④, 终止于层⑤底部. 3 条断层的垂直位移量分别为 6~10 cm, 合计 25 cm, 代表剖面中第一次错动事件. 已测得层③<sup>14</sup>C 年龄为距今  $3\,375 \pm 76$  年, 层④顶部的热释光年龄为距今  $3\,120 \pm 250$  年, 因此古地震 I 发生的时间距今约 3 120 年之后.

断层  $F_4$  错断了层②~⑤, 终止于层⑧底部, 造成了断面下盘的层⑥底部有断层上升盘的崩积物-大砾石块、砂土团块, 垂直最大断距 21 cm. 代表剖面第二次错动事件, 形成时间与层⑥底部沉积时间相近. 已测得层⑥底部的热释光年龄为距今  $2\,500 \pm 190$  年. 所以, 该事件发生在距今 2 500 年左右.

断层  $F_5$  错断了层①~⑧, 终止于层⑧下部. 断面与  $F_4$  相同略呈弧形, 属逆冲向正断过渡型断层. 其特点为垂直位错量大(30 cm); 断面北侧小砾石定向排列; 在层⑤顶部形成陡坎; 在层⑧的下部与层⑤的顶部见有崩落之砾石块、土块及壤土夹层. 该断层还控制了层⑦的沉积间断, 及层⑧ $F_5$  两侧厚度的显著差异. 因此代表了第三次错动事件, 形成时间应在层⑦和层⑧沉积之后. 据层⑧底部的热释光年龄为距今  $2\,150 \pm 170$  年推测, 该事件发生的时间应在 2150 年后.

断层  $F_6$  断错了层①~⑧, 终止于层⑨之中. 呈正断层性质, 断面平直, 垂直位错 34 cm. 从断错剖面全部层位、断面插入地表壤土层(层⑨), 断层性质与地表破裂形成的陡坎地貌、隆梁、裂槽的对比和相关分析, 认为  $F_6$  所代表的第四次错动事件, 即是 1954 年 7 ½ 级地震.

断层  $F_7$  为正断层, 同  $F_6$  一样断错了层①~⑧, 在层⑧顶部形成陡坎, 并插入层⑨之中, 形成最大垂直位移约 50 cm, 特别是对层③、⑤、⑦的断错非常醒目. 从各层不同的位错量、及全部层位的最大位错量判断, 该断层至少参与了第 3、4 两次事件的活动. 其最大位移可能代表了两次破裂过程的叠加.

综上所述, 剖面中共保存有四次地震事件的证据, 其中一次为现代地震, 三次为古地震. 相关信息列于表 1, 其中震级是根据郭增建提出的位移量与震级的经验关系式  $M = 2.404 + 1.932 \lg D$  估算的<sup>[3]</sup>.

表 1 包代河口探槽古地震期次表

| 地震期次 | 估算震级 | 地震标志                                                                         | 地震事件年代             | 重复间隔               |
|------|------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 事件Ⅳ  | 7.3  | F <sub>6</sub> 、F <sub>7</sub> 断裂活动,断错全部层位<br>形成 34 cm 垂直断距及张裂缝              | 1954 年             |                    |
| 事件Ⅲ  | 7.2  | F <sub>5</sub> 断裂断错①~⑧层,形成<br>30 cm 断距、崩积物、陡坎                                | 距今约 2 150±170a 之后  | 约 2 100 a          |
| 事件Ⅱ  | 6.8  | F <sub>4</sub> 断裂断错②~⑤,形成 20 cm<br>断距及陡坎                                     | 距今约 2 500±190a     | 约 350 a<br>约 620 a |
| 事件Ⅰ  | 7.0  | F <sub>1</sub> 、F <sub>2</sub> 、F <sub>3</sub> 断裂活动,断错层②<br>—④,形成 25 cm 垂直断距 | 距今约 3 120±250 a 之后 |                    |

除了探槽剖面上显示的古地震事件,在地表破裂带及其两侧也发现了一些可能是古地震留下的地貌变形,如探槽布设处的隆梁与裂槽,数次迁移的古河道,鼓包、断头沟、断尾沟、二次位错陡坎、冲沟、山脊等<sup>[4]</sup>.共测得比较确切的二次冲沟、陡坎数据 9 组.其中水平四组,估算出古位错平均值约 1 m;垂直 5 组,估算出古位错平均值约 23 cm;该值与探槽中四次地震事件及三次古地震事件的垂直位移平均值(25 cm)很接近.估计这些残存的古位错形变主要包含的是最晚一次古地震的信息.

4 古地震重复间隔讨论

研究表明,古地震与现代地震活动一样,也有活跃与平静的起伏特点,在时间和空间上存在不均匀性<sup>[5,6]</sup>;也遵循原地重复的原则,表现在不同时间段和空间段上的丛集特点<sup>[7]</sup>.然而本探槽剖面仅揭露出 3 次古地震,加上 1954 年山丹地震只有 4 次地震事件,对其进行分期未免有点牵强.为此仅对这几次地震事件的年代时间间隔做初步估计.忽略测年误差,结合表 1 可以看出古地震的最短重复间隔为 350 年左右,最长重复间隔时间约为 620 年.平均重复间隔 $(3\ 120-2\ 150)/3=323$ 年.如果以此作为古地震重复间隔年代的粗略划分,可以看出如下几个特点:(1) 3 次古地震均为全新世晚期的活动事件;(2) 重复周期偏短,与其它同一断裂带、同级别古地震得出的重复间隔短了近一半.已有的研究积累表明,在同一条断裂带上揭露出来的 7 级以上古地震事件其重复间隔大约在 1 000 年左右,1 000~2 000 年之间.(3)

、 $(M_S\geq 7)$ 、 $(\quad)$ ,  
(4) , ,

Ⅲ 2 000 余年, 1954 年地震的间隔时间  
长达 2 600 多年. : (1) ; (2) .  
1954 年, 48 年,  
 , .

本文古地震事件的分析曾得到了刘百麓、张培震、才树华先生的悉心指导,文中热释光(TL)样品由中国地震局地质研究所计凤桔研究员测定,在此表示衷心感谢.

[ 1 ] Dong Zhiping, Zhang Jie. Present landforms, active tectonic zones, deep structures and uplift mechanisms of the Longshoushan block on the northern margin of the Qinghai-Tibet plateau[ J ]. , 2000, 7( ): 258—259.

[ 2 ] , , . 1954 年山丹地震破裂带初步考证[ J ]. , 2000, 22(1): 46.

[ 3 ] 《 》 . [ M ]. : , 1992. 218—226.

[ 4 ] . 1954 年山丹 7¼ [ C ]. : [ A ]. : , 2001. 224—230.

[ 5 ] . [ J ]. , 1990 6(1): 1—9.

[ 6 ] Xu Xiwu, Deng Qidong. Nonlinear characteristics paleoseismicity in China[ J ]. J. G. R., 1996, 101(B3): 6209—6231.

[ 7 ] , , , . [ C ]. : ( 8 ) [ A ]. : , 2001. 50—55.

PRELIMINARY RESEARCH ON PALEOEARTHQUAKES  
OF THE BAODAIHE FAULT

DONG Zhi-ping, HE Wen-gui, DAI Hua-guang  
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China )

**Abstract:** The Baodaihe fault is the main seismic rupture zone of 1954 Shandan earthquake(  $M=7\frac{1}{4}$  ), which shows right-lateral strike slip movement with a small portion of dip-slip component. The fault is about 4.5 km long. For the first time, three paleoearthquake events can be identified in the trench cross the Baodaihe fault. According to the  $^{14}\text{C}$  and TL age date of the strata in the trench, the first event occurred later than  $3\,120\pm250$  a B.P., the second one took place approximately  $2\,500\pm1\,70$  a B.P., and the third one occurred later than  $2\,150\pm170$  a B.P., the recurrence interval of great earthquake along the fault is approximately 350~700 years.

**Key words:** Baodaihe fault; Shandan earthquake; Paleoearthquake

(上接 224 页)

STUDY ON THE APPLICATION OF BP NERVOUS NETWORK IN  
CLASSIFICATION OF ROCKMASS QUALITY

LI QIANG  
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China )

**Abstract:** Based on the GB50218—94 classification of rockmass quality and deformation data of Jinchuan experimental tunnel, a new method of classification by using the artificial nervous network is established. The classification of rockmass quality of tunnel of 1218m in Jinchuan mining area is made by using the method, and result shows that it is effective.

**Key words:** Rockmass quality; Classification method; BP nervous network