青海热水一日月山断裂带古地震的初步研究

袁道阳1,刘小龙1,刘百篪1,张培震2

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要: 热水一日月山断裂带是青藏高原东北缘柴达木一祁连山活动地块内部一条重要的 NNW 向的右旋走滑活动断裂带.断裂活动形成了一系列山脊、冲沟和阶地等右旋断错微地貌及断层崖、断层陡坎等垂直断错微地貌.本文对发生在该断裂带上的古地震事件开展了研究,综合探槽剖面和断层陡坎年代,大致可以确定两次古地震事件,其年代分别为距今 6 280±120 a, 2 220±360 a, 复发间隔约 4 000 a 左右.

关键词: 青海: 热水一日月山活动断裂: 古地震

中图分类号: P315.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2003)02-0136-07

0 引言

热水一日月山断裂带是发育在青藏高原东北缘的一条线性特征清晰、新活动性强的 NNW 向的右旋走滑活动断裂带.它分别形成并控制了本区的青海湖盆地和海晏盆地等多个新生代盆地的边界及这些盆地之间的对冲山一日月山和大通山等.该断裂带新活动显著.弱震活动呈带状分布.多年来,由于交通不便,对该断裂带的研究很不够,前人仅进行过踏勘性质的调查^{①②},因此,目前对该断裂带的几何细结构、滑动速率及古地震活动特征等均不十分清楚.我们通过对该断裂带较详细的航卫片解译和野外考察,不但获得了有关该断裂带的几何学、运动学特征等一系列定量资料^③,而且通过探槽开挖发现了多期古地震事件,对该断裂带的古地震活动习性取得了初步的认识.

1 热水一日月山断裂带的新活动特征概述

热水一日月山断裂带北起大通河以北的热麦尔曲,向南经热水煤矿,沿大通山、日月山 NNW 向隆起带西侧到日月山丫口后与拉脊山断裂带(图 1 中 F_2)斜接. 总体走向 $NW35^\circ$,全长约 183~km. 该断裂带几何形态简单,大致由四条不连续次级断裂段呈右阶羽列而成,阶距 23~km 左右,在不连续部位形成拉张区.主断裂带两端呈帚状分叉(图 1). 晚第四纪以来,断裂带的新活动为右旋走滑兼具逆断特性,形成了一系列断错微地貌,如山脊、水系、阶地等的右旋断错及断层崖、断层陡坎等.全新世以来其水平滑动速率为 3.67~mm/a,垂直滑动速率为 0.93~mm/a .沿断裂带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 探槽剖面特征

沿热水一日月山断裂带保存的古地震遗迹有埋藏古地震断层及断层陡坎等. 我们沿断裂带开挖了四个探槽. 现将各探槽剖面特征简述如下.

收稿日期: 2002-08-16

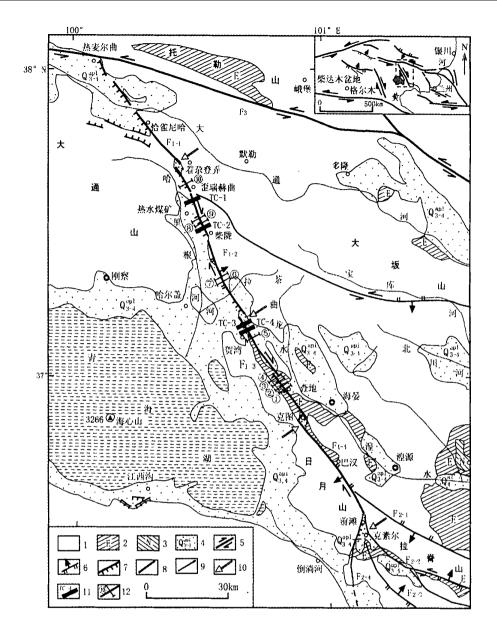
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040701-04); 国家杰出青年基金(49825104)和地震科学联合基金(102055)资助; 中国地震局兰州地震研究所论著号: LC2002043

作者简介: 袁道阳(1965一), 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. 青海黑泉水库地震安全性评价报告. 1994.

② 青海省地震局. 涩北一兰州输气管线地震安全性评价报告. 1999.

③ 袁道阳, 刘小龙, 等. 青海热水—日月山断裂带的新活动特征. 地震地质. 2003(待刊).



1 前第三系; 2 下第三系; 3 上第三系; 4 晚第四系; 5 走滑断裂; 6 逆断裂; 7 断层陡坎; 8 Q_4 断裂; 9 Q_5 断裂; 10 分段界线; 11 探槽位置; 12 实测陡坎位置; F_1 热水—日月山断裂; F_2 拉脊山断裂; F_3 托勒山北缘断裂

图 1 热水一日月山断裂带展布及探槽位置图

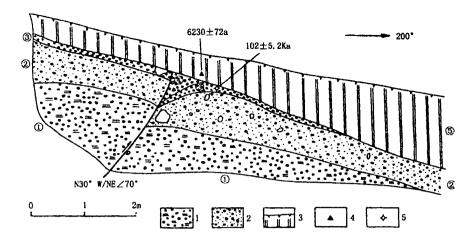
Fig. 1 Distribution of Reshui-Riyue Mt. active fault zone and trench sites.

2.1 热水煤矿探槽剖面(TC-1)

在热水煤矿北东侧的 Q_3 坡洪积扇上,形成了明显的正向断层陡坎,坎高 12 m,探槽位于该断层陡坎之上(图 2).

岩性描述:

- ⑤ 地表耕土层,底部¹⁴C 年代为 6230 ±72 a B. P.;
- ④ 构造楔,成分为砂砾石与砂土混杂堆积;
- ③ 淡土黄色含砂质砾石层, 厚 0.1 m, 顶部 TL 年代为 $102\pm5.2 \text{ ka B.P.}$.



1 含土质砂砾石层; 2 砂砾石层; 3 根土层; 4 년 采样点; 5 TL采样点 图 2 热水煤矿探槽剖面

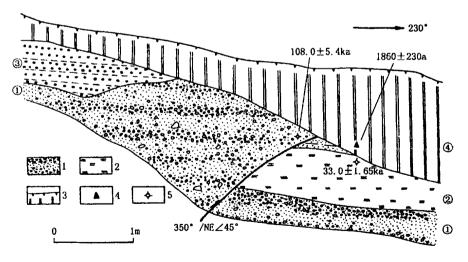
Fig. 2 Trench profile at Reshui Coal mine.

- ② 土黄色砂砾石层,砾石略具分选和磨圆,为坡洪积成因;
- ① 土灰黄色坡洪积砂砾石层,含土质较多,略具斜层理,倾角 8°.

断层性质为逆一走滑, 剖面中产状为 $N30^{\circ}W/NE \angle 70^{\circ}$, 断裂活动断错层①②, 断距 0.3 m, 应为一次较早的构造事件; 随后沉积的层③发生构造变形, 并形成构造楔④, 后被层⑤覆盖, 应代表另一次古地震事件, 其年代介于层③顶与层⑤底, 即距今 102 ± 5.2 ka 至 6.230 ± 72 a 之间.

2.2 柴陇沟探槽剖面(TC-2)

在柴陇沟南侧的二级阶地之上形成了明显的正向断层陡坎,高约 $1.82.5~\mathrm{m}$ (表 1). 探槽横跨该断层陡坎开挖(图 3).



1 砂砾石层; 2 粘泥; 3 根土层; 4 ^代采样点; 5 TL采样点

图 3 柴 陇沟 探槽剖面

Fig. 3 Trench profile at Chailong valley.

岩性描述:

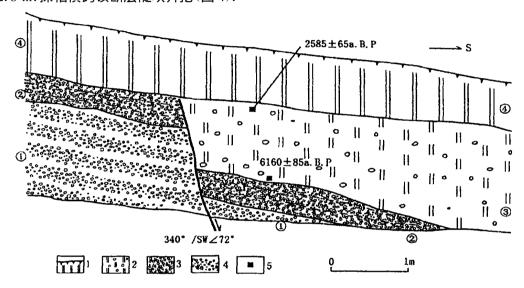
- ④ 地表根土层,底部¹⁴C 年代为 1860 ±230 a B.P.;
- ③ 淡土黄色含土砾石层:

- ② 土黄色胶泥, 厚约 0.5 m, 顶部 TL 年代为 33.0±1.65 ka B.P.:
- ① 灰黑色坡洪积含土质砂砾石层, 顶部 TL 年代为 108 ±5.4 ka B.P..

断层性质为逆一走滑, 剖面中产状为 $350^{\circ}/NE \angle 45^{\circ}$, 断裂活动明显断错层①, 斜距大于 0.8 m, 同时层②也被断错. 但在断层的上盘无层②, 可能是后期被剥蚀掉了. 从层②顶残存的部分崩积砂砾石推断, 断裂活动很可能发生在层②形成以后, 随后断层被层④覆盖, 应代表一次古地震事件, 其年代介于层②顶与层④底, 即距今 33.0 ± 1.65 ka 至 1.860 ± 230 a 之间.

2.3 贺湾探槽剖面 I (TC-3)

在贺湾村以北的一条冲沟被右旋断错(断距 8 m),两侧的 I 级阶地之上形成了明显的正向断层陡坎, 坎高达 2.8 m, 探槽横跨该断层陡坎开挖(图 4).



1根土层: 2含砾亚砂土: 3坡积砾石层: 4中砾石层: 5℃采样点

图 4 贺湾探槽剖面图 [

Fig. 4 Trench profile I at Hewan.

岩性描述:

- ④ 地表根土层,厚0.60.8 m;
- ③ 土黄色含砾亚砂土层, 厚约 1 m 左右, 底部 14 C 年代为 6160 ± 85 a B. P. , 顶部 14 C 年代为 2585 ± 65 a B. P. ;
- ② 灰白色、土黄色坡积砾石层、砾石比层①要粗、分选和磨圆均较差,成分除残积的千枚岩、凝灰岩等之外,还夹杂有远处搬运来的花岗岩砾石等,厚 0.5 m;
 - ① 灰绿色残坡积砾石层, 母岩成分为变质的千枚岩、凝灰岩等, 略具斜层理.

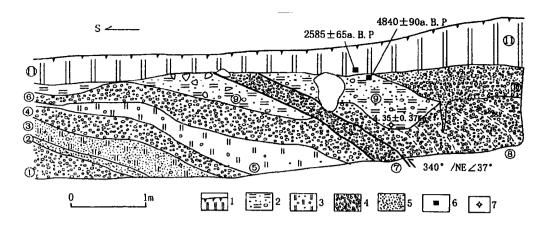
断层性质为正一走滑,剖面中产状为 $340^{\circ}/\text{SW} \angle 72^{\circ}$,断裂活动明显断错层①和②,断距约 0.8m. 层③ 仅在断层南盘发育,这表明断裂活动很可能发生在层③沉积之后,并造成北盘层③被剥蚀掉了,随后被新沉积的根土层④覆盖,应为一次古地震事件,其年代接近 2585 ± 65 a B. P. .

2.4 贺湾探槽剖面 Ⅱ (TC-4)

在贺湾村以北紧邻探槽 TC-3 的另一条冲沟被右旋断错(断距为 11 m), I 级阶地之上形成了高约 1.01.2 m 的两道正向断层陡坎(表 1). 探槽横跨该断坎开挖(图 5).

岩性描述:

- (11) 地表根土层, 底部 14 C 年代为 1 665 ±60 a B.P.;
- ⑩ 土黄色与灰绿色互层状的冲洪积砂砾石层与细粉砂层互层;



1 根土层; 2 含砾亚砂土; 3 淤泥; 4 砂砾石层; 5 粉砂; 6 € 采样点; 7 T L 采样点

图 5 贺湾探槽剖面图 II

Fig. 5 Trench profile II at Hewan.

- ⑨ 土黄色含砾亚砂土, 底部 TL 年代为 4.35 ± 0.37 ka B.P., 顶部 14 C 年代为 4.840 ± 90 a B.P., 由于测年手段不同, 上下年代略有颠倒, 但均在误差范围之内:
 - ⑧ 淡黄色坡积中粗砂砾石层, 略具斜层理:
 - ⑦ 十黄色坡积砾石层, 较致密:
 - ⑥ 灰白色含土质较多的坡积砂砾石层:
 - ⑤ 灰绿色淤泥, 偶含砾石, 厚 0.10.5 m;
 - ④ 土黄色残坡积含砂质砾石层, 无明显分选和磨圆, 厚 0.5 m;
 - ③ 灰绿色粉细砂土层, 偶含砾石, 厚 0.1 m;
 - ② 下部为锈黄色、上部为灰绿色的粉细砂层、厚 0.02 m;
 - ① 灰绿色残坡积中粗砂砾石层, 具斜层理.

断层性质为逆一走滑, 剖面中产状为 $340^{\circ}/NE \angle 37^{\circ}$, 断裂早期活动断错层①⑧, 致使其发生了明显的 掀斜变形, 其年代早于层⑨底部的年代, 即早于 4.35 ± 0.37 ka B. P. , 后期再次活动, 断错层⑨, 而被层⑩ 和 ⑪覆盖, 其中层⑨为一典型的断塞塘淤积, 应代表一次古地震事件, 其年代介于层⑨顶与层 ⑪底, 即距今 4.840 ± 90 a 与 1.665 ± 60 a 之间.

3 古地震活动特征

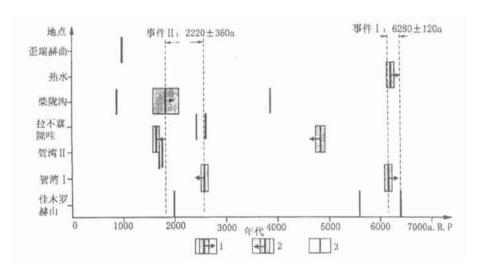
从上述探槽剖面可以看出,由于存在采样及测年误差,用于限定古地震事件的年代间隔太大.幸好沿热水一日月山断裂带存在许多断层陡坎,我们利用断层陡坎实测剖面,采用扩散方程计算其形成年代¹¹ 作为参考(表 1). 其中扩散系数 K 采用在祁连山活动断裂带东段的老虎山断裂带上根据已知的 1888 年景泰 6.87 级地震断层陡坎反推得到的 $K=0.5^{12}$. 需要说明的是,在进行对比分析时主要以探槽剖面的样品年代为依据,断坎年代仅仅只作为参考,即只有当探槽剖面的样品年代和断坎年代相吻合时才认为是古地震事件. 因此,综合探槽剖面年代和断坎年代,并采用逐次限定法^[3],大致确定了两次古地震事件,其年代分别为: 事件 I: 6 280 \pm 1 20 a B.P.; 事件 I: 2 220 \pm 3 60 a B.P.; 复发间隔约 4 000 a (图 6).

4 结论与讨论

通过对热水一日月山断裂带较详细的航卫片解译及野外追踪考察,选择典型地段进行探槽开挖和断层陡坎实测,对断裂带的新活动性及古地震特征有了初步的认识.经对热水一日月山断裂带的古地震对比研究,初步确定了两次古地震事件,其年代分别为距今 6 280 ± 120 a, 2 220 ± 360 a, 复发间隔约 4 000 a.

地点	断错微地貌	方向/ [°]	坎高 2 H / m	主坡角/°	原始坡角/ [°]	年代/ ka
①佳木罗赫山 a	Ⅱ 级阶地	80	1. 7	15	2	6. 41
②佳木罗赫山 b	II 级阶地	80	1.7	16	0.5	5. 60
③佳木罗赫山 с	III级阶地	75	3.3	19	2	14. 63
④佳木罗赫山 d	II 级阶地	80	1.8	27	1	1. 99
⑤ 贺湾	I 级阶地	75	1.0	17	3	1.70
			1.2	20	4	1.73
⑥拉不寨陇哇 a	II 级阶地	60	2. 85	35	8	2. 64
⑦拉不寨陇哇 b	I 级阶地	65	2. 75	35	7	2. 46
⑧ 柴陇沟 a	II 级阶地	60	2. 45	46	3	0.89
⑨柴陇沟 b	II 级阶地	60	1.8	20	0	3. 89
⑩歪瑞赫曲	Ⅱ级阶地	65	2. 05	39	5	1.02

表 1 热水一日月山断裂带陡坎实测值一览表



1 古地震事件下限年代及误差; 2 古地震事件上限年代及误差; 3 实测陡坎年代

图 6 热水—日月山断裂带古地震对比图

Fig. 6 Comparison of Paleo-earthquakes along Reshui-Riyue Mt. active fault zone.

由于探槽数量偏少,加之探槽剖面中古地震期次较少及存在测年误差等原因,对确定的古地震事件可能会存在一定的不确定性或遗漏,有待今后进行古地震大探槽的开挖研究加以解决.

[参考文献]

- [1] Hanks T C, et al. Modification of wave-cut and faulting-controlled landforms [J]. J. G. R, 1984 89: 5771-5790.
- [2] 袁道阳, 刘百篪, 吕太乙, 等. 老虎山断裂古地震研究[A]. 见. 活动断裂研究(3)[C]. 北京: 地震出版社, 1993. 160—169.
- [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.

A PRELIMINARY STUDY ON PALAEO-EARTHQUAKE EVENTS OF THE REISHUI—RIYUE MT. ACTIVE FAULT ZONE IN QINGHAI PROVINCE

YUAN Dao-yang¹, LIU Xiao-long¹, LIU Bai-chi¹, ZHANG Pei-zhen²
(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China;
2. Institute of Geology, CSB, Beijing 100029, China)

Abstract: Reishui—Riyue Mt. active fault zone is a very important NNW oriented right-lateral strike-slip active fault zone which developed in the Chaidam—Qilian Mt. active crustal block, northeastern margin of Qinghai—Tibet Plateau. The activity of the fault causes a series of micro-geomorphologies, such as ridge, valley and terrace, right-lateral offseted and forms fault cliff and fault scarp et al. vertical offset micro-geomorphology. In this paper, the palaeo-earthquake events on the fault are studied. Combining the trench profiles and fault scarp measurement, two palaso-earthquake events are determined, which occured in 6 280±120 a B.P. and 2 220±360 a B.P., the recurrence interval is about 4 000 a.

Key words: Qinghai province; Reishui-Riyue Mt. active fault zone; Palaeo-earthquake

(上接124页)

STUDY ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF RIVER TERRACES IN LANZHOU AND ADJACENT REGION

LIU Xiao-feng, YUAN Dao-yang, LIU Bai-chi (Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China)

Abstract: According to the longitudinal profiles of river terraces of Yellow River and its branch rivers in Lanzhou and adjacent region, the deformation characteristics of river terraces which cross active faults are studied. The extents and rates of tectonic ascent in Lanzhou and adjacent region are confirmed with the growth and deformation characteristics of the river terraces at positions where the Yellow River terraces cross Xinglong—Maxian mountain fault and Haiyuan Fault, and the Zhuanglang River terraces cross a NWW branch fault of Zhuanglanghe fault.

Key words: Deformation of river terrace; Active tectonics; Lanzhou area