

文章编号: 1006-6616 (2016) 04-1004-11

# 牛首山—罗山断裂带北段柳木高 断裂第四纪活动特征

公王斌<sup>1</sup>, 施 炜<sup>1</sup>, 陈 虹<sup>1</sup>, 邱士东<sup>2</sup>, 尹艳广<sup>3</sup>, 赵 焱<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国地质调查局, 北京 100037;

3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘 要:** 牛首山—罗山断裂带是青藏高原东北缘弧形断裂系最外缘断裂带, 自南向北由固原断裂、罗山东麓断裂、牛首山断裂及三关口断裂组成。通过遥感解译、野外调查及探槽揭露等方法对牛首山断裂北段柳木高断裂第四纪几何学、运动学特征进行了研究, 并通过断层截切地层关系及年代学测试, 限定了该断裂第四纪演化过程及全新世的地震事件。研究表明, 柳木高断裂上新世至晚更新世自南西向北东逆冲, 晚更新世至全新世左行走滑逆冲, 表现为正花状构造, 而全新世则发生了正倾滑运动。全新世期间, 1690 ± 30 yr BP (公元 320—415) 之后发生了一次古地震事件, 推测柳木高断裂可能是公元 876 年青铜峡南 6.5 级地震的发震断裂。柳木高断裂第四纪早期活动特征与固原断裂、罗山东麓断裂及牛首山断裂一致, 是青藏高原北东向持续扩展引起的, 而全新世的正倾滑运动可能与银川地堑的伸展作用有关。

**关键词:** 左行压扭性运动; 正倾滑运动; 第四纪; 柳木高断裂; 青藏高原东北缘  
**中图分类号:** P546                      **文献标识码:** A

## 0 引言

青藏高原东北缘弧形断裂系自南向北由海原断裂带、香山—天景山断裂带、烟筒山断裂带和牛首山—罗山断裂带组成<sup>[1-3]</sup>。这些断裂记录了青藏高原向北东扩展的过程, 具有很强的活动性, 引发了一系列重大的地震事件, 如 1920 年的海原 8.6 级大地震, 引起了国内外学者的广泛关注<sup>[1,4-14]</sup>。牛首山—罗山断裂带是青藏高原东北缘弧形构造带的最外缘断裂<sup>[3,15]</sup>, 自南向北由固原断裂、罗山东麓断裂、牛首山断裂及三关口断裂组成。前人研究认为, 牛首山—罗山断裂带新生代经历了始新世末—渐新世南北向挤压逆冲、中新世晚期—上新世北西—南东向挤压与左行走滑、上新世末—中更新世北北东—南南西向挤压逆冲及晚更新世以来近东西向挤压与伸展的构造演化过程<sup>[3]</sup>。牛首山断裂北段的柳木高断裂穿过青铜峡大坝、青铜峡铝厂, 部分学者提出该断裂为晚更新世活动断裂, 具有左旋错动特征<sup>[16]</sup>。

收稿日期: 2016-09-15

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“特殊地质地貌区填图试点”(DD20160060)

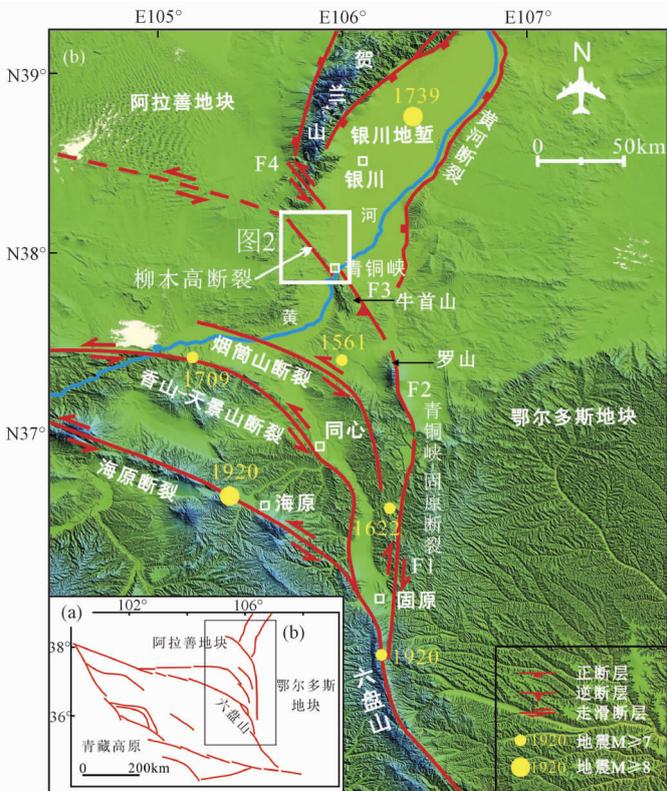
作者简介: 公王斌(1985-), 男, 助理研究员, 构造地质学专业。E-mail: gongwangbin@126.com

但是对于该断裂第四纪详细的运动特征及活动性, 始终缺乏研究。

本文通过遥感解译、野外调查、探槽开挖及年代学测定等方法对牛首山—罗山断裂带北段柳木高断裂的几何学特征、运动学特征及第四纪活动性进行了分析, 研究结果对认识牛首山—罗山断裂带的运动学特征及青铜峡地区地震预测具有重要意义。

## 1 地质概况

牛首山—罗山断裂带属于青藏高原东北缘断裂系(见图1a), 南起甘肃华亭马峡口, 向北经固原、小罗山、大罗山、牛首山、青铜峡至三关口, 地表可追踪长度约400 km(见图1b)。断裂带南段总体走向为南北向, 自青铜峡以北转为北西—北西西走向。断裂带由南向北主要由4条次级断裂组成, 依次为南北向的固原断裂F1、罗山东麓断裂F2、牛首山断裂F3及北西向三关口断裂F4, 向西的延伸仍存在争议(见图1b)。沿断裂带出露地层包括奥陶系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系<sup>[17]</sup>。断裂带不同部位的几何学和运动学特征具有差异<sup>[3,15]</sup>。固原断裂F1以逆冲及右行走滑运动为主<sup>[17]</sup>; 罗山东麓断裂F2是一条以右旋走滑为主的全新世活动断裂, 该断裂全新世曾发生过5次7级左右的古地震事件, 最早的一次时间不明, 其余4次发生在距今约8400 a, 5400~5020 a, 3900 a和2260 a<sup>[18-19]</sup>; 牛首山断裂F3以挤压逆冲及右行走滑为主<sup>[3]</sup>。



F1—固原断裂; F2—罗山东麓断裂; F3—牛首山断裂; F4—三关口断裂

图1 青藏高原东北缘构造及地貌简图 (a 修改自文献<sup>[20]</sup>; b 数据为30 m分辨率的DEM, 修改自文献<sup>[13]</sup>)

Fig. 1 Tectonic and topographic maps of the northeastern margin of the Tibetan Plateau

## 2 研究方法

本文通过高分辨率遥感影像,包括 Spot 6 及 Google 卫星图像解译,识别可能与断层活动相关的线性地貌,并进行野外调查验证,确定断裂的构造地貌特征及构造变形特征。在此基础上,进行探槽揭露,通过断裂与地层的截切关系识别古地震事件,并采集相关的年代学样品。其中,富有机质黏土及粉砂样品送往美国 Beta 实验室进行加速器质谱法 (Accelerator Mass Spectrometry, AMS) 碳十四测年 (AMS  $^{14}\text{C}$ ),砂及粉砂样品则送往浙江省中科释光检测技术研究所进行光释光 (Optically Stimulated Luminescence, OSL) 测试。

## 3 柳木高断裂特征

### 3.1 断层地貌特征

柳木高断裂位于牛首山—罗山断裂带北段,总体走向北北西 (见图 1b),断裂北起小口子,经大口子、红墩凹山、青铜峡铝厂,南至青铜峡大坝,全长约 32 km。沿断裂走向,不同位置具有不同的断层地貌特征 (见图 2)。其中,断裂北段大口子向北一带,由近平行的基岩山前断裂和台地前缘断裂组成 (见图 3)。基岩山前断裂地貌上西高东低,表现为连续的断层陡崖 (见图 4a),在大口子附近,断层陡崖高 1~3 m (见图 4a, 4b)。台地前缘断裂地貌上表现为台地前缘不连续的线状展布的地貌陡坎,陡坎最高可达 4.3 m (见图 5),以及台地上发育的地震鼓包、山脊错断、鞍状地貌等断层地貌。大柳木高至红墩凹山一带发育断层三角面和断层陡崖。红崖子一带主要为一系列北西走向的地貌陡坎 (见图 2)。

柳木高断裂南段总体北西走向,全长约 4 km,断层从青铜峡铝厂电厂、青铜峡火车站及青铜峡铝厂之间穿过。在青铜峡火车站以西,地貌上主要表现为东、西两条线性展布的陡坎 (见图 6),东侧陡坎高 3.2 m (见图 7)。

### 3.2 断层活动特征

#### 3.2.1 大口子剖面

柳木高断裂北段的大口子剖面,揭示了基岩山前断裂的两期活动。早期为左行压扭性运动,晚期为正倾滑运动。基岩山前断裂为奥陶系和渐新统寺口子组的界线 (见图 3a),断裂总体走向北西,向东或向西陡倾,断层面近直立,总体产状  $85^\circ \angle 80^\circ$ ,断层面上见近水平擦痕,产状  $175^\circ \angle 8^\circ$  (见图 4b),断面及擦痕等运动学标志共同指示左行压扭性运动。在奥陶系灰岩与渐新统寺口子组砾岩之上,覆盖了固结程度明显不同的两期山麓残坡积物,均为奥陶系灰岩原地剥蚀堆积。早期坡积物胶结较好,晚期为松散堆积。早期坡积物的坡面发生了明显的位错,上盘下降,垂直断距约 1.5 m (见图 4c),显示沿着早期走滑断层断面发生了正倾滑运动,而较新的松散残坡积覆盖物未被错断。

#### 3.2.2 大口子山前台地探槽

山前台地前缘断裂与基岩山前断裂平行,总体走向北西。在大口子以北,与台地之上发育的鞍状地貌鞍部延伸线垂直的冲沟侧壁上发现活动断层露头,断层产状  $60^\circ \angle 73^\circ$ ,错断全新世冲洪积物,断距约 0.5 m,并被顶部的腐殖土层覆盖。沿冲沟发现断层露头的位置开挖了一号探槽。探槽长 5 m,宽 2.5~3.0 m,深 3.5~4.0 m,其长轴垂直于断层走向。探槽南侧壁揭示了 2 条主要的断层: f1 近直立,产状  $270^\circ \angle 85^\circ$ ; f2 较缓,向东倾,产状

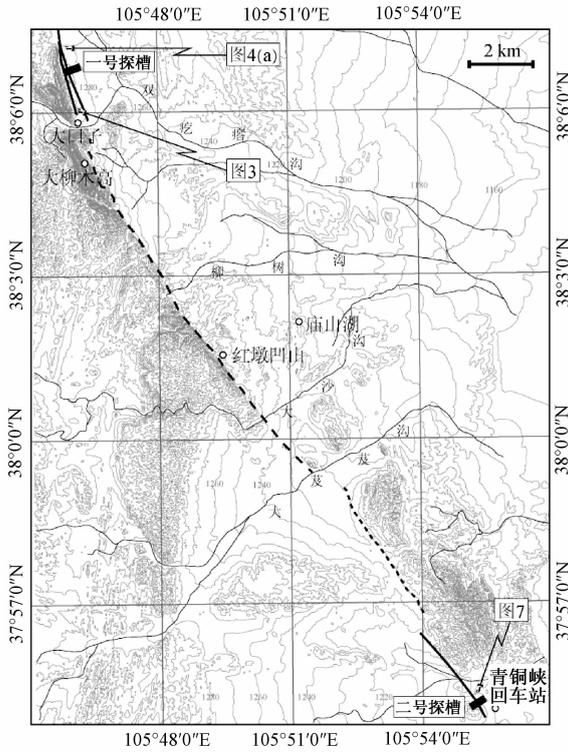


图 2 柳木高断裂地貌特征及剖面位置

Fig. 2 Topographic characteristics of the Liumugao fault and locations of profiles

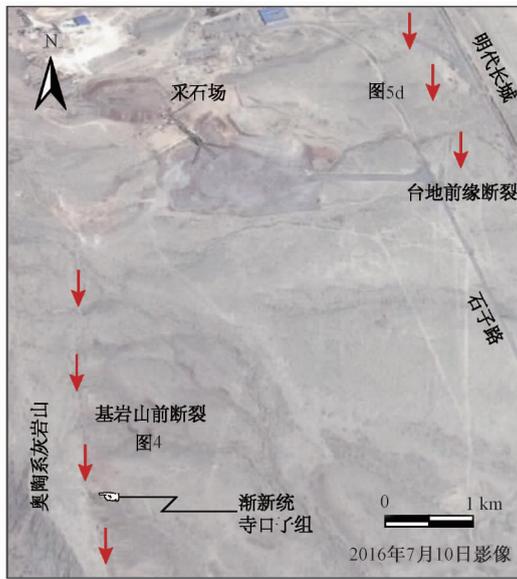
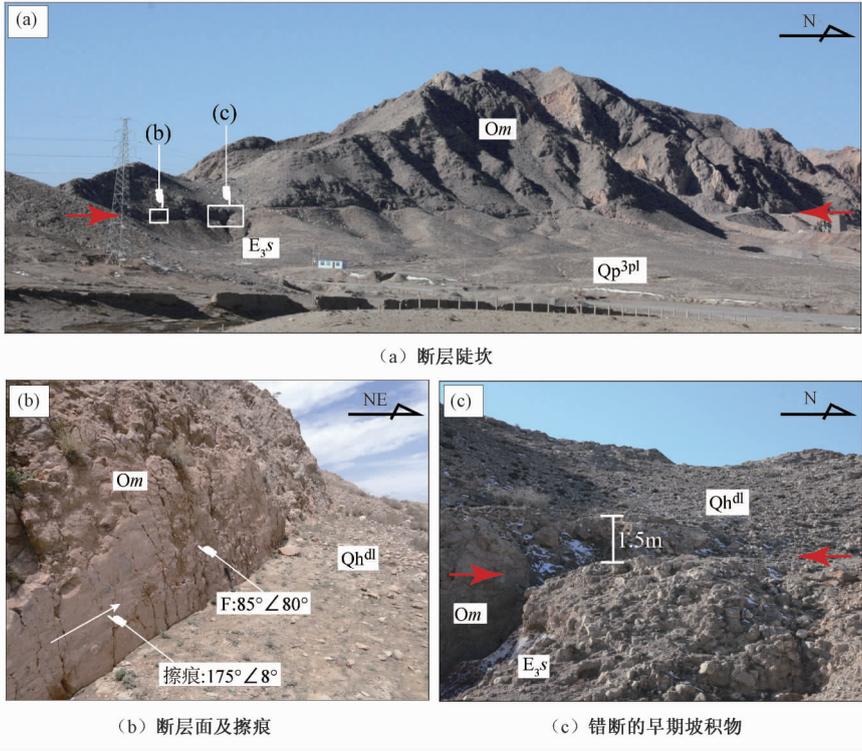


图 3 柳木高断裂大口子地貌特征 (图像来自 Google Earth)

Fig. 3 Google Earth image showing the topographic characteristics of the Liumugao fault in Dakouzi

90°∠60°。根据探槽剖面上所揭示的断层截切地层关系，可识别出 4 期断层活动事件，其中前三期为走滑兼逆冲，第四期为正倾滑（见图 8）。



Om—奥陶系马家沟组灰岩；E<sub>3s</sub>—渐新统寺口子组砾岩；Qp<sup>3pl</sup>—上更新统冲洪积物；Qh<sup>dl</sup>—全新统残坡积物

图 4 柳木高断裂大口子山前基岩断裂特征

Fig. 4 Fault characteristics of the Liumugaopiedmont fault in Dakouzi

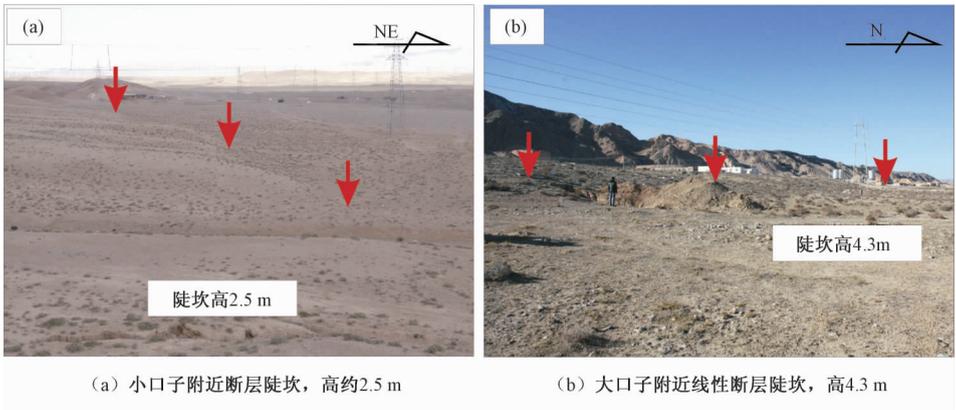


图 5 柳木高断裂大口子台地前缘断裂地貌特征

Fig. 5 Fault characteristics of terrace frontal fault in Dakouzi, Liumugao fault

第一期断层活动事件发生于①—③沉积之后，形成了断裂 f1 与 f2，两条断裂构成了对冲构造样式，导致断裂 f2 上盘的②—③层被剥蚀，之后沉积了④—⑦层。其中，⑤层底部粗砂的 OSL 年龄为  $142.75 \pm 14.48$  ka（见图 8，样品 TC0102）和  $140.99 \pm 14.2$  ka（见图 8，样品 TC0103），⑥层中部粗砂的 OSL 年龄为  $94.1 \pm 17.0$  ka（见图 8，样品 TC0104）。第二次断层活动事件发生于⑦层沉积之后、⑧层沉积之前。沿着断裂 f1 与 f2 再次发生对冲，断

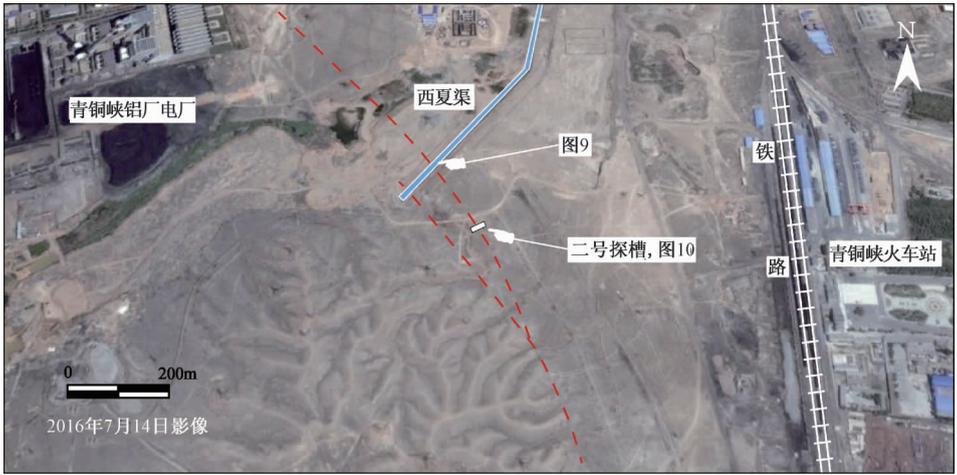


图6 青铜峡火车站西柳木高断裂断层地貌特征及二号探槽位置

Fig. 6 Topographic characteristics and location of the No. 2 trench in western Qingtongxia station, Liiumugao fault



图7 青铜峡火车站西柳木高断裂线性地貌陡坎

Fig. 7 Topographic scarps and location of the No. 2 trench in west of the Qingtongxia station, Liiumugao fault

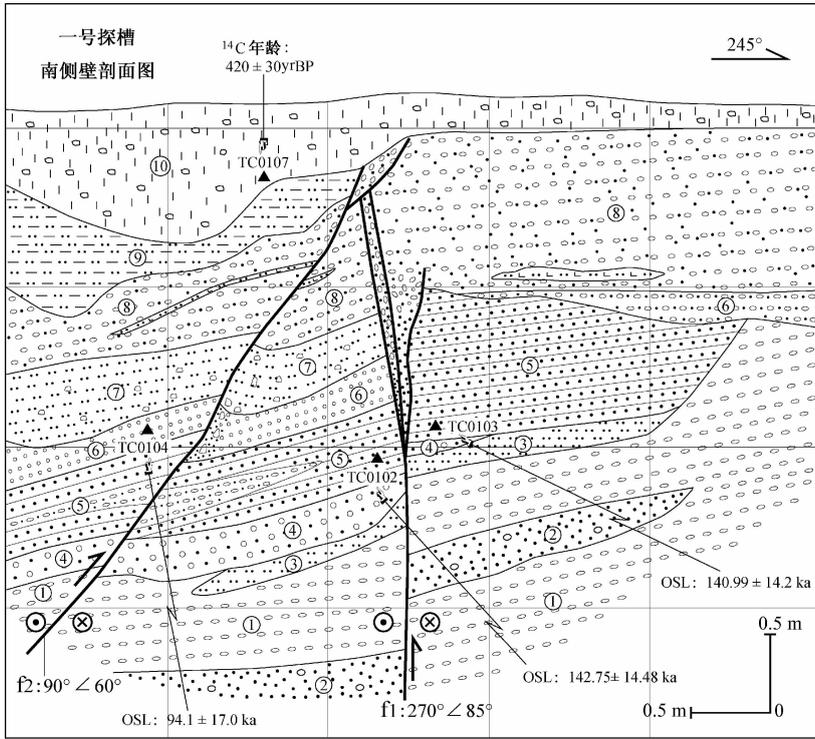
裂 f1 垂直位移量较大, 约 0.5 m 左右。沿着断裂 f1 上部, ⑤层沉积物进入断层带, 形成了地震楔。断裂 f1 西盘抬升幅度较大, 形成了正地形, 导致第⑦层沉积物被剥蚀; 断裂 f2 附近⑥—⑦层发生了牵引褶皱变形。之后⑧层沉积。第三期断层活动事件发生于⑧层沉积之后、⑨层沉积之前。以断裂 f2 上盘自东向西逆冲为主, 上、下盘的⑧层沉积物在断层附近发生牵引褶皱, 在断裂 f1 上部, ⑧层被错断, 并灌入断层带形成地震楔。之后沉积了⑨层。第四期断层活动事件为断裂 f2 的正倾滑运动, 发生于⑨层沉积之后、⑩沉积之前, 剖面上表现为断裂 f2 上盘相对下降, 下盘相对抬升, ⑨层沉积物被剥蚀。本次地震事件之后, 形成了顶部的腐殖土层⑩, 该层未受断裂影响。其底部粉砂质黏土的 $^{14}\text{C}$  年龄为  $420 \pm 30$  yr BP (公元 1605—1610 年) (见图 8, 样品 TC0107)。

### 3.2.3 西夏渠剖面

在柳木高断裂南段的西夏渠剖面, 上新世干河沟组  $\text{N}_2\text{g}$  及其上覆中更新世  $\text{Qp}^2$  砂砾石层中发育一系列倾向南西及北东的断层, 剖面上构成了正花状构造。倾向南西的断层, 断层面产状  $240^\circ \angle 75^\circ$ 。倾向北东的断层, 断层面产状  $60^\circ \angle 77^\circ$  (见图 9a), 其上发育近水平擦痕, 产状  $308^\circ \angle 5^\circ$  (见图 9b), 共同指示左行走滑运动特征。

### 3.2.4 青铜峡火车站西探槽

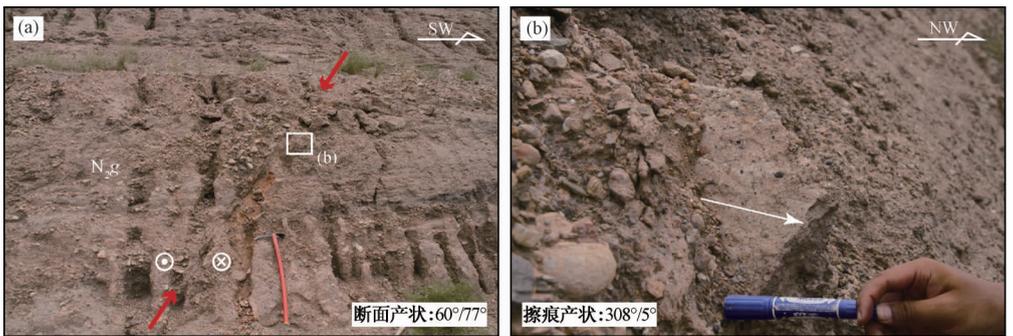
在青铜峡火车站西垂直地貌陡坎开挖二号探槽 (坐标:  $\text{N}37^\circ55'10.3''$ ,  $\text{E}105^\circ55'15.5''$ ), 探槽长约 12 m, 宽 2.0~2.5 m, 深 3~4 m。探槽中揭露了一系列断裂, 总体可分为 3 期。



①—固结砾石层，具平行层理，砾石分选中等，磨圆中等，粒径平均为 2~3 cm；②—固结的砂砾石层，为①中的透镜体，砾石含量较少，砂含量较高；③—粉砂透镜体层，剖面中部 f1 断裂两盘；④—松散砂砾石层，砾径平均 1~2 cm，主要发育于断裂 f1 两侧，但西侧呈较小透镜体；⑤—中-晚更新世具平行层理的粗砂、细砾石层，发育细砾石透镜体，OSL 年龄 140 ka；⑥—中-晚更新世松散砾石层，分选较好，粒径为 1~2 cm，OSL 年龄 90 ka 左右；⑦—含少量砾石的粉砂层；⑧—厚松散砾石层，层理不清楚，夹钙质粉砂透镜体；⑨—土黄色粉砂层；⑩—腐殖土层，砂、砾、黏土混杂堆积

图 8 柳木高断裂大口子一号探槽南侧壁素描图

Fig. 8 Sketch of south sidewall of the No. 1 Trench in Dakouzi, Liumugao fault



(a) 断层错断上新世干河沟组 N<sub>2g</sub> 砾岩

(b) 断层擦痕

图 9 柳木高断裂西夏渠剖面断层特征

Fig. 9 Characteristics of Liumugao fault in Xixia acequia profile

早期断裂 f1 至 f7，产状 240°∠65°，上盘自南西向北东逆冲。断裂主要发育于中新统干河沟组 N<sub>2g</sub> 中（①层），地层向东陡倾。①层紫红色泥岩变形呈透镜体状，在断层带附近可

见碎裂岩及断层泥发育。①层及其中发育的断裂被②层晚更新世砂砾石层角度不整合覆盖,不整合面起伏较大,显示早期断裂活动之后干河沟组  $N_2g$  经历了强烈的抬升剥蚀。

第二期断层活动形成了断裂 f8—f11,断裂活动晚于②—④层沉积,断裂影响了①—④层。剖面上,断裂 f8—f11 总体构成了正花状构造,之间所夹的中新世干河沟组  $N_2g$  (①层)紫红色泥岩、砂岩,强烈变形透镜体化。断裂 f10 产状  $255^\circ \angle 45^\circ$ ,上盘干河沟组  $N_2g$  (①层)紫红色泥岩、灰白色粗砂岩自南西向北东逆冲至③层晚更新世灰黄色粉砂之上。③层灰黄色粉砂的 OSL 年龄为 65 ka 左右(见图 9,样品 TC0511)。断裂 f11 产状  $50^\circ \angle 60^\circ$ ,上盘干河沟组  $N_2g$  (①层)紫红色泥岩自北东向南西逆冲至②层晚更新世砂砾石之上,并引起下盘砂砾石层拖曳变形。断裂 f10 与 f11 的上盘抬升,导致①层上覆的②—④层均被剥蚀。在该期事件中,早期断裂 f5 活化,切割了②层底部砂砾石层。之后沉积了⑤层灰绿色粉砂。

第三期断层活动发生于⑤层沉积之后,主要表现为断裂 f11 的正倾滑运动。断裂 f11 倾向北东,正倾滑运动使下盘形成正地形,⑤层沉积物被剥蚀,而上盘形成负地形,残留了⑤层沉积物。同时,断裂 f9 发生活化,⑤层沉积物沿着断裂 f9 与 f11 的裂缝灌入,形成地震楔。⑤层底部黏土质粉砂的  $^{14}C$  年龄为  $1690 \pm 30$  yr BP (公元 320—415 年)(样品 TC0509)。之后沉积的第⑥层腐殖土层未受断裂活动影响。

## 4 讨论

### 4.1 柳木高断裂第四纪活动特征

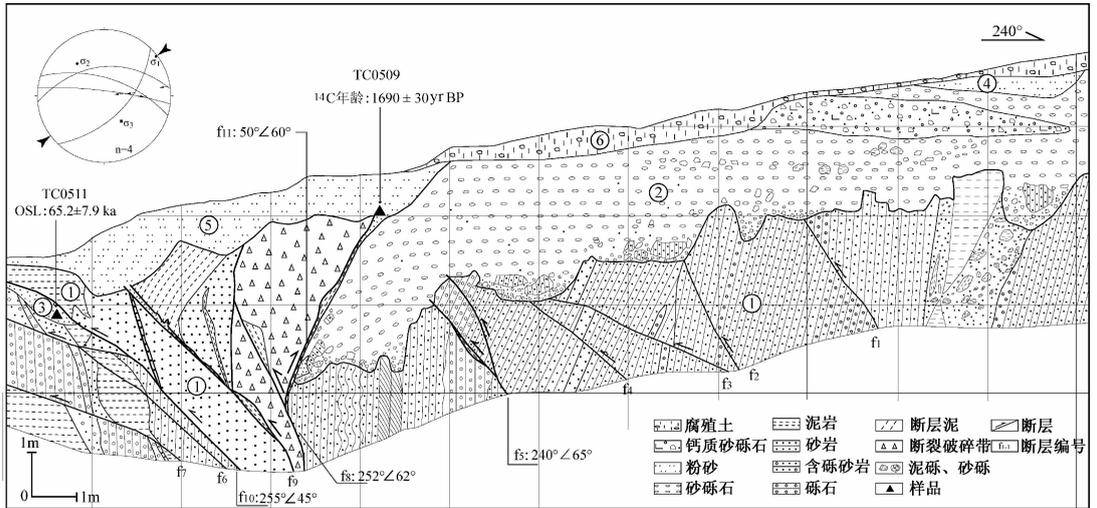
根据野外露头及探槽揭示的断裂活动特征,可将柳木高断裂第四纪演化过程分为以下 3 个阶段。

上新世至早更新世自南西向北东逆冲。断裂南段青铜峡火车站西二号探槽中,上新世干河沟组  $N_2g$  中发育一系列自南西向北东逆冲的断层(f1—f7),断裂被晚更新世砂砾石层(见图 10,②层)角度不整合覆盖,表明该时期断裂活动较强烈,且之后存在一个相对平静的时期,沉积了晚更新世地层。

晚更新世晚期至全新世之前左行走滑逆冲。断裂北段,大口子剖面基岩山前断裂断面总体向东陡倾,其上的擦痕向南缓倾,共同指示该断裂以左行压扭性运动为主;台地前缘断裂一号探槽中揭露的前两次地震事件影响的最新地层分别为③层及⑦层,剖面上部⑤层的光释光年龄为 14 ka 左右,⑥层的 OSL 年龄为  $94.1 \pm 14.0$  ka,可限定断裂活动时间为更新世晚期至全新世之前。断裂南段,西夏渠剖面上新世干河沟组  $N_2g$  与上覆砂砾石层中发育的左行走滑逆冲断层以及青铜峡火车站西二号探槽中断裂 f8—f11 构成的正花状构造,其上盘上新世干河沟组逆冲至晚更新世②—④层之上,其中③层的 OSL 年龄为 65 ka 左右。根据断面及之上的擦痕,恢复该期活动的主压应力为北东—南西向挤压(见图 10)。

全新世的正倾滑运动。断裂北段大口子一带,基岩山前断裂错断了上覆的固结残坡积物,并被较新的松散残坡积物覆盖;台地前缘一号探槽中,断裂 f2 错断了全新世粉砂(图 8,⑨层),上盘抬升导致⑨层被剥蚀。断裂南段红崖子一带,沿着断层发育直线形沟谷,表现为西盘下降的正断层<sup>[16]</sup>;青铜峡火车站西二号探槽中,断裂 f11 错断了全新世黏土质粉砂(图 10,⑤层),其  $^{14}C$  年龄为  $1690 \pm 30$  yr BP (公元 320—415 年)。

根据以上分析,可以确定柳木高断裂上新世至早更新世自南西向北东逆冲,晚更新世晚期至全新世之前左行走滑逆冲,与固原断裂<sup>[17]</sup>、罗山东麓断裂<sup>[19]</sup>及牛首山断裂<sup>[3,15]</sup>第四纪



①—上新世干河沟组  $N_2g$  ( $5.4 \sim 2.5 \text{ Ma}^{[20]}$ ) 灰白色砾岩、含砾砂岩及砂岩、紫红色泥岩及灰黄色松散砂岩, 砂岩中发育平行层理、斜层理及波状层理; ②—中更新世  $Qp^2$  杂色松散砂砾石沉积, 砾石分选、磨圆差, 不整合覆盖于  $N_2g$  之上, 底部见大量①层原地剥蚀堆积的灰白色砂岩、紫红色泥岩砾石, 上部夹钙质胶结砂砾石透镜体; ③—晚更新世  $Qp^3$  粉砂; ④—全新世灰白色粉砂层; ⑤—全新世灰绿色粉砂层; ⑥—全新世腐殖土层

图 10 柳木高断裂南段青铜峡火车站西二号探槽南侧壁剖面图

Fig. 10 Sketch of south sidewall of the No. 2 Trench in west of Qingtongxia station, Liumugao fault

运动特征基本一致, 是青藏高原向东北持续扩展引起的。关于柳木高断裂全新世正倾滑运动的动力机制, 推测可能与银川地堑的伸展有关。银川地堑的西界和东界分别为走向北北东的贺兰山山前断裂及黄河断裂, 全新世以正倾滑运动为主, 其中黄河断裂可能引起了 1739 年  $M 8.0$  平罗大地震<sup>[21]</sup>。前人研究<sup>[16]</sup>表明, 银川地堑伸展作用的影响范围向南可达牛首山北东侧地区, 根据浅层地震探测结果, 牛首山北东侧台地前缘的关马湖断裂以正倾滑运动为主, 可能是银川地堑的南西边界。从位置上看, 位于牛首山断裂南段的关马湖断裂已受到银川地堑伸展作用的影响。因此, 相对距银川地堑更近的柳木高断裂全新世的正倾滑运动也可能与银川地堑的伸展有关。

#### 4.2 柳木高断裂全新世古地震事件

如前所述, 柳木高断裂北段大口子一号探槽和南段青铜峡火车站西二号探槽中, 均揭示了全新世的正倾滑运动。根据  $^{14}C$  测年结果, 青铜峡火车站西二号探槽中, 断裂  $f1$  在 ⑤ 层沉积之后曾活动过, 即公元 320—415 年 ( $^{14}C$  年龄  $1690 \pm 30 \text{ yr BP}$ ) 之后发生过古地震事件。据《新唐书·五行志》记载, 公元 876 年 7 月 14 日, 在青铜峡南发生了地震, “庐舍尽坏, 地陷水涌, 伤亡甚众”, 估计本次地震为 6.5 级, 最大裂度为 8 级。因此, 推测柳木高断裂很可能是公元 876 年青铜峡南 6.5 级地震的发震断裂。

## 5 结论

柳木高断裂第四纪上新世至早更新世为自南西向北东逆冲, 晚更新世晚期至全新世之前为左行走滑逆冲, 全新世发生了正倾滑运动。

全新世柳木高断裂的正倾滑运动发生于公元 320—415 年 ( $^{14}C$  年龄  $1690 \pm 30 \text{ yr BP}$ ) 之

后,该断裂可能是公元876年青铜峡南6.5级地震的发震断裂。

### 参 考 文 献

- [1] Deng Q, Sung F, Zhu S, et al. Active faulting and tectonics of the Ningxia-Hui autonomous region, China [J]. *Journal of Geophysical Research*. 1984, 89 (B6): 4427 ~ 4445.
- [2] 邓启东. 中国活动构造研究 [J]. *地质论评*, 1996, 42 (4): 295 ~ 299.  
DENG Qi-dong. Active tectonics in china [J]. *Geological Review* [J], 1996, 42 (4): 295 ~ 299.
- [3] 陈虹, 胡健民, 公王斌, 等. 青藏高原东北缘牛首山—罗山断裂带新生代构造变形与演化 [J]. *地学前缘*, 2013, 20 (4): 18 ~ 35.  
CHEN Hong, HU Jian-min, GONG Wang-bin, et al. Cenozoic deformation and evolution of the NiuShou Shan-Luo Shan fault zone in the northeast margin of the Tibet Plateau [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20 (4): 018 ~ 035.
- [4] Zhang W, Jiao D, Zhang P, et al. Displacement along the Haiyuan fault associated with the great 1920 Haiyuan, China, earthquake [J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1987, 77: 117 ~ 131.
- [5] 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: 1 ~ 286.  
Geological Research Institute of the State Seismological Bureau, The Ningxia Region Seismological Bureau. Haiyuan Active Fault Zone [M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 1990: 1 ~ 286.
- [6] Zhang P Z, Burchfiel B C, Molnar P, et al. Later Cenozoic tectonic evolution of the Ningxia-Hui Autonomous Region, China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1990, 102: 1484 ~ 1498.
- [7] Zhang P Z, Burchfiel B C, Molnar P, et al. Amount and style of Late Cenozoic Deformation in the Liupan Shan Area, Ningxia Autonomous Region, China [J]. *Tectonics*. 1991, 10 (6): 1111 ~ 1129.
- [8] Burchfiel B C, Zhang P Z, Wang Y P, et al. Geology of the Haiyuan fault zone, Ningxia-Hui Autonomous Region, China, and its relation to the evolution of the northeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Tectonics*. 1991, 10 (6): 1091 ~ 1110.
- [9] 柴焯章, 张维歧, 焦德成. 天景山断裂带第四纪水平活动强度的分时、分段研究 [J]. *中国地震*, 1997, 13 (1): 35 ~ 42.  
CHAI Chi-zhang, ZHANG Wei-Qi, JIAO De-cheng. Discussion of the Level Active Severity in Different Time Intervals and Segments on Late Quaternary along Tianjingshan Fault Zone [J]. *Earthquake Research in China*, 1997, 13 (1): 35 ~ 42.
- [10] 冉永康, 段瑞涛, 邓启东, 等. 海原断裂高湾子地点三维探槽的开挖与古地震研究 [J]. *地震地质*, 1997, 19 (2): 97 ~ 107.  
RAN Yong-kang, DUAN Rui-tao, DENG Qi-dong, et al. 3-D Trench Excavation and Paleoseismology at GaoWanzi of the Hai Yuan Fault [J]. *Seismology and Geology*, 1997, 19 (2): 97 ~ 107.
- [11] Ding G, Chen J, Tian Q, et al. Active faults and magnitudes of left-lateral displacement along the northern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Tectonophysics*, 2004, 380 (3/4): 243 ~ 260.
- [12] 刘静, 徐锡伟, 李岩峰, 等. 以海原断裂甘肃老虎山段为例浅析走滑断裂古地震记录的完整性 [J]. *地质通报*, 2007, 26 (6): 650 ~ 660.  
LIU Jing, XU Xi-wei, LI Yan-feng, et al. On the completeness of paleoseismic records of strike-slips: an example from the Laohushan segment of Haiyuan fault in Gansu, China, With a discussion of several problems in the paleoearthquake study [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26 (6): 650 ~ 660.
- [13] Li Chuanyou, Zhang Peizhen, Yin Jinhui, Min Wei. Late Quaternary left-lateral slip rate of the Haiyuan fault, northeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Tectonic*, 2009, 28 (TC5010), doi: 10.1029/2008TC002302.
- [14] 施炜, 刘源, 刘洋, 等. 青藏高原东缘海原断裂带新生代构造演化 [J]. *地学前缘*, 2013, 20 (4): 1 ~ 17.  
SHI Wei, LIU Yuan, LIU Yang, et al. Cenozoic evolution of the Haiyuan fault zone in the northeast margin of the Tibetan Plateau [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20 (4): 001 ~ 017.
- [15] Chen Hong, Hu Jianmin, Gong Wangbin, Kang Rui, Li Libo. Characteristics and transition mechanism of late Cenozoic structural deformation within the Niushou Shan-Luoshan fault zone at the northeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 114: 73 ~ 88.
- [16] 杨明芝, 马禾青, 廖玉华. 宁夏地震活动与研究 [M]. 地震出版社, 2007. 25 ~ 28.  
YANG Ming-zhi, MA He-qing, LIAO Yu-hua. Ningxia earthquake activity and research [M]. Earthquake Publishing

House, 2007. 25 ~ 28.

- [17] 马寅生. 黄河上游新构造活动与地质灾害风险评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1 ~ 278.  
MA Yin-sheng. The new tectonic activity and risk assessment of geological hazards in the upper reaches of the Yellow River [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 1 ~ 278.
- [18] 闵伟, 柴焯章, 王萍, 等. 罗山东麓断裂全新世活动特征的初步研究 [J]. 中国地震, 1992, (4): 51 ~ 56.  
MIN Wei, CHAI Zhi-zhang, WANG Ping, et al. Preliminary study on the Holocene active fault features at the eastern Piedmont of the Luoshanmountain [J]. Earthquake Research in China, 1992, (4): 51 ~ 56.
- [19] 闵伟, 柴焯章, 王萍, 等. 罗山东麓断裂全新世古地震研究 [J]. 高原地震, 1993, 5 (4): 97 ~ 102.  
MIN Wei, CHAI Zhi-zhang, WANG Ping, et al. The study on the paleoearthquakes on the eastern piedmont fault of the Luoshan mountains in Holocene [J]. Plateau Earthquake Research, 1993, 5 (4): 97 ~ 102.
- [20] Wang Weitao, Zhang Peizhen, Kirby Eric, Wang Lihua, Zhang Guangliang, ZhengDewen, Chai Chizhang. A revised chronology for tertiary sedimentation in the Sikouzi basin: Implications for the tectonic evolution of the northeastern corner of the Tibetan Plateau. Tectonophysics, 2011, 505: 100 ~ 114.
- [21] Lin Aiming, Hu Jianmin, Gong Wangbin. Active normal faulting and the seismogenic fault of the 1739 M ~ 8.0 Pingluo earthquake in the intracontinental Yinchuan Graben, China. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 155 ~ 173.

## QUATERNARY ACTIVE CHARACTERISTICS OF THE LIUMUGAO FAULT IN THE NORTHERN SEGMENT OF THE NIUSHOUSHAN-LUOSHAN FAULT

GONG Wang-bin<sup>1</sup>, SHI Wei<sup>1</sup>, CHEN Hong<sup>1</sup>, QIU Shi-dong<sup>2</sup>, YIN Yan-guang<sup>3</sup>, ZHAO Yi<sup>3</sup>

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. China Geological Survey, Beijing 100037, China;

3. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Niushoushan-Luoshan fault is located in the northeastern margin of the arcuate structure zone in the northeastern Tibetan Plateau, consisting of Guyuan, Eastern Luoshan, Niushoushan and Sanguankou faults from south to north. In this study, we defined the geometry and kinematics, and evolution of the Liumugao fault, which is the northern segment of the Niushoushan fault, during the Quaternary earthquakes through remote sensing interpretations, field observations and trench investigations, and bracketed the occurrence of Holocene earthquakes according to the analyses of cut-off relationship and age dating. We concluded that, the fault was dominated by NE-directed thrusting during Pliocene to late Pleistocene, followed by sinistrallateral torsional movement during late Pleistocene to pre-Holocene, which presented as positive flower structure, and normal faulting during Holocene. And the paleo-earthquake occurred after  $1690 \pm 30$  BP (Cal AD 320 ~ 415). The Liumugao fault might be the seismogenic fault of the  $M_w$  6.5 south Qingtongxia earthquake in A. D. 876. The kinematic characteristic of Liumugao fault during Pliocene to late Pleistocene is consistent with the Guyuan, Eastern Luoshan and Niushoushan faults, which might result from the ongoing northeastward movement of the Tibetan Plateau. The Holocene normal faulting might be controlled by the extension of Yinchuan graben.

**Key words:** sinistrallateral torsional movement; normal faulting; Quaternary; Liumugao fault; northeastern Tibetan Plateau