高台车站断裂全新世活动特征

陈柏林¹),刘建民¹),刘建生²),王春宇¹),张永双¹),董诚¹),吴乃芬¹) 1)中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081; 2)中国地震局兰州地震研究所,730000

内容提要:高台车站断裂属于河西走廊内次级隆起一一榆木山隆起北侧断裂系的组成部分,它位于榆木山北 缘断裂北侧6km、是与榆木山隆起有成生联系、活动时间比北缘断裂更新的现代活动断裂。高台车站断裂呈向北北 东略微凸出的弧形,走向总体为北西向,倾向南西,自南东向北西走向由北西向渐变为北西西、甚至近东西向,倾角 自中等变化为低角度。高台车站断裂的活动性质在剖面上表现为南西盘向上逆冲为主、水平位移不明显,在近两万 年以来的晚更新世晚期一全新世期间,该断裂可能发生过5期明显的新构造活动,活动时间具有自东向西逐渐变新 的迁移性特点,最新一次在2.0~3.0ka 左右,与高台地震时间是吻合的,它是高台地震的发震构造。

关键词:全新世;逆冲;年代学;高台车站断裂;榆木山;甘肃

由于印度板块自晚中生代以来持续向北的推挤,导致阿尔金断裂带的巨大左行走滑和祁连山北缘断裂带的巨大逆冲(国家地震局地质研究所等, 1993;国家地震局阿尔金活动断裂课题组,1992)。长期以来,对祁连山北缘断裂的新生代活动特征开展 了比较多的研究,同时酒西盆地及玉门一嘉峪关地 区的活动断裂和古地震事件进行了研究(向宏发等, 1990;虢顺民,1993;陈文斌等,1999;闵伟等,2002; 陈柏林等,2005a、b)。但是,对于河西走廊中东段的 活动断裂的研究特别是全新世的活动特点的研究则 相对较少。在榆木山一带,对榆木山北缘活动断层研 究比较多,而对榆木山北滩活动断层研究则很少。

高台车站活动断层位于高台县以南榆木山北侧 距山前6km 的戈壁平滩中。该断裂在20世纪70年代 初的1:20万区域地质调查填图时被发现,定名为高 台车站断裂带,为向北东倾的正断层,西段由相互平 行的4条断层组成,向东逐渐归并为一条断裂,为上 更新统(Qp)与全新统(Qh)的接触界线,断层东段 走向305°~310°,西段走向280°左右(甘肃地质局第 一区域地质测量队,1971)。20世纪80年代后期,兰州 地震研究所否定了该断裂的存在,认为地貌异常(陡 坎)是人类活动的遗迹(古代水利工程)。

笔者通过野外调查认为该地貌异常除了古代水 利工程外,存在新生代活动断层,而且是一条具有中 低角度逆冲特点的活动断层,表现为上更新统冲洪 积物逆冲在全新统之上。结合年代学测定,确认高台 车站断裂是一条全新世活动断裂。

1 高台车站断裂展布和地貌特征

榆木山属于河西走廊内的隆起带,高台车站断 裂位于高台县以南,榆木山北侧距山前6km 的平滩 中。东起榆木山东端北侧的西柳沟村南侧,经西大口 外、高台车站、梧桐泉站,至骆驼城西南侧,全长约 45km,断裂中东段呈 NW 走向(305°~310°),西段 NWW 走向(280°左右)(图1)。

高台车站断裂在卫星影像特征具有明显的线性 地貌特征。沿高台车站断裂,出现非常明显的地貌陡 坎,两侧相对高差达6~8m,最大达8m以上。由于高 台车站活动断裂是一条中一低倾角向南西倾的逆冲 断裂,所以地表的地貌陡坎不是非常平直,往往出现 弧形特征,在梧桐泉口一带的西段,由于倾角比较平 缓(20°~30°),虽然断裂总体走向280°~290°,但是 地表的地貌陡坎走向常常变化于265°~300°。

需要指出的是高台车站活动断裂沿线,因古水 渠的人为影响,一些活动断裂的地貌特征被改造破 坏。但是,仔细追寻观察可发现,活动断裂的地貌陡 坎与已毁坏废弃的古代水利工程之间是有区别的, 在地貌位置上,古水渠位于活动断裂地貌陡坎较高

收稿日期:2005-10-20;改回日期:2005-12-06;责任编辑:郝梓国。

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号水[2003]018-02)资助的成果。

作者简介:陈柏林,男,1962年生。博士,研究员。主要从事构造地质学和新构造研究。通讯地址:100081,北京市海淀区民族学院南路11号;电话:010-68486764;Email: cblh6299@263.net。

的一侧,即断裂上升盘,距断裂地貌陡坎10~50m, 最远达100m,这个距离也符合水利工程的普遍规律 (图2a)。古水渠的影响有两方面,一是开挖水渠的大 量土石方覆盖了活动断裂陡坎,或者这些土石方形成人工堆积陡坎(图2a);二是由于年代久远,水 渠被毁坏后,往往表现为它的外侧被冲毁,使原来比



图1 高台车站活动断裂区域构造略图

Fig. 1 Regional structural map of Gaotai railway station active fault

Qh-全新统;Qp³一上更新统;Qp²一中更新统;N₂一上新统;N₁一中新统;Kz-新生界;Pz₂一上古生界;Pz₁一下古生界;Y-花岗岩;1一高 台车站断裂及其分段界线;2一其他断裂;3一地质界线;4一剖面位置及编号;5一高台地震震中位置;F₁一昌马断裂带;F₂一玉门断裂;F₃一 佛洞庙一黄崖子断裂;F₄一榆木山断裂;F₅一榆木山北缘断裂;F₆一高台车站断裂;F₇一龙首山南缘断裂 Qh-Holocene;Qp³-upper Pleistocene;Qp²-medium Pleistocene;N₂-Pliocene;N₁-Miocene;Kz-Mesozoic;Pz₂-upper Paleozoic;Pz₁-

lower Paleozoic; γ —granite; 1—Gaotai railway station active fault and geological limitation; 2—other faults; 3—geological limitation; 4—position of section; 5—epicenter of Gaotai earthquate; F_1 —Changma fault; F_2 —Yumen fault; F_3 —Fodongmiao—Huangyazi fault; F_4 —Yumushan fault; F_5 —northern Yumushan fault; F_6 —Gaotai railway station fault; F_7 —southern Longshoushan fault



图2 古水渠工程破坏前后与高台车站断裂地貌关系示意图

Fig. 2 Section showing structural geomorphology relationship of the Gaotai railway station fault to before and after the destroy of the ancient canal

(a) 一被破坏前;(b) 一被破坏后;Qh 一全新统;Qp³ 一上更新统;1 一砂砾层;2 一砂砾层夹黄土;3 一人工混乱堆积;4 一逆冲断层

(a)—Before destroy; (b)—after destroy; Qh—Holocene; Qp³—upper Pleistocene; 1—sandy gravel;

2-sandy gravel and loess partings; 3-artificial confusion accumulation; 4-thrust

较连续的活动断裂陡坎变得很不连续,而水渠上侧则形成假陡坎,混淆了活动断层的真陡坎(图2b)。

高台车站活动断裂依据其展布、构造地貌特征 和活动性特点,可以分为3段,西柳沟村南侧西大口 外为其南东段,长约10km,走向 NW(310°左右);西 大口外高台车站(石炭口外)为中段,长约20km,走 向 NWW(290°~300°左右);高台车站以西梧桐泉口 附近为其南西段,长约15km,走向近 EW(270°~ 280°左右),过梧桐泉口再往西,断裂逐渐趋于不明 显。

榆木山北侧一带是由更新统和全新统冲洪积构 成的平滩地貌,自榆木山山脚向北,平均坡度从6°~ 8°变化至2°左右。晚更新世冲洪积沉积非常发育,全 新世以来,在断裂陡坎以上(断裂上盘)侵蚀多于冲 洪积,断裂陡坎以下(断裂下盘)冲洪积略多于侵蚀, 天然小冲沟发育,具有理想的天然剖面,也适合开挖 活动断裂探槽,进行全新世断裂活动及其年代学研 究。不足的是总体上侵蚀略多于堆积,所以在剖面 中,被断裂断错的冲洪积层非常清楚,覆盖活动断裂 的全新世沉积比较少。

2 高台车站断裂东段全新世活动依据

高台车站断裂东段在西大口外一带具有典型的 全新世活动剖面,断裂切割晚更新世地层和部分早 全新世地层。

2.1 I 剖面(XQ152剖面)

I 剖面位于西大口外距山前6km 小公路东侧





Fig. 3 Section of Gaotai railway station active fault Qh²-全新统上部;Qh¹-全新统下部;Qp³⁽²⁾-上更新统上部; 1-中-细砾石层;2-黄土;3-逆冲断层;4-热释光年龄及样位 Qh²-Upper Holocene;Qh¹-lower Holocene;Qp³⁽²⁾-upper part of upper Pleistocene;1-medium-fine gravel;2-loess;3-thrust; 4-thermo-luminescence dating result and sample position 2km, 剖面中可见两条活动断层(图3)。较缓断层面 的产状315°/SW35°,断层的逆冲活动使得断层面上 盘的砾石层夹黄土呈30°~35°倾角,并逆冲在上更 新统冲积层(Qp³⁽²⁾)之上;较陡断层面的产状320°/ SW65°, 断层将上更新统冲积层(热释光年龄 22.4ka)反向抬斜达12°~15°,并逆冲在全新统下部 (Qh1,热释光年龄7.3ka)冲积层之上。从该剖面分 析中可以获悉的新构造活动过程是,较缓断层形成 比较早,断层面倾角20°~25°左右,为低角度逆冲, 逆冲作用将上盘砾石夹黄土层推斜了20°~25°左 右:较陡断层形成较晚,为高角度逆冲,将上盘冲积 层及较早的低角度断层又推斜了12°~15°,形成目 前的剖面构造迹象。该剖面说明高台车站断裂在晚 更新世末至全新世中期至少发生过2期逆冲活动,第 一次发生在晚更新世(22.4ka之后),第二次发生在 全新世中期(7.3 ka 之后),由于缺少覆盖层,不易确 定第二次活动的时间上限。

2.2 I 剖面(XQ151剖面)

I 剖面位于西大口外距山前6km 小公路西侧 0.5km, 剖面中可见不同倾角的两组断层, 早期断层 较陡,晚期断层较缓(图4)。在晚期平缓断层上盘为 晚更新世灰黄色砂砾层夹黄土,其中砾石比较小,以 2~5cm 为主,本区发育3条近于平行的早期逆冲断 层,产状310°/SW55°,其中断层面之间层理与断层 产状接近或一致;平缓断层面下盘为近水平的晚更 新世青灰色砾石层,砾石比较大,一般5~10cm,最 大达20cm。该剖面显示首先形成中等角度的逆断 层,使砾石较小、层理比较清楚的晚更新世砾石层夹 粉砂黄土层(热释光年龄19.1ka)逆冲在砾石稍大、 层理不太明显的稍晚的晚更新世砾石层(热释光年 龄18.4ka)之上;之后又发生一次更低角度的逆冲断 层(其根部因为开挖古水渠被破坏,在10多米宽的水 渠之南未见出露),将两者一起推覆在更晚的产状平 缓的更粗大的砾石层(热释光年龄14.5ka)之上,并 切穿前期断层面;最后遭受侵蚀,堆积了晚更新世末 期的冲积物(热释光年龄13.2ka);全新世时期,该剖 面位置基本处于侵蚀状态。此外,剖面附近及周边地 势平坦,没有形成铲形滑坡正断层的地形地貌条件, 所以上更新统地层成50°左右的倾角,是断层逆冲作 用的结果。所以该剖面反映出高台车站活动断裂在 晚更新世末期发生过两次逆冲推覆构造活动,第一 次在19.1ka之后、18.4ka之前,第二次发生在 14.5ka 之后、13.2ka 之前。



Fig. 4 Section of Gaotai railway station active fault outside of the Xidakou
 Qh²-全新统上部; Qp³⁽²⁾-上更新统上部;1一混乱(人工)堆积;2-中一细砾石层;3-中粗砾石层;
 4-黄土;5-逆冲断层;6-热释光年龄及样位

Qh²—Upper Holocene; Qp³⁽²⁾—upper part of upper Pleistocene; 1—artificial confusion accumulation; 2—medium-fine gravel; 3—medium-coarse gravel; 4—loess; 5—thrust; 6—Thermo-luminescence dating result and sample position

2.3 **Ⅱ 剖面(XQ150 剖面)**

Ⅱ 剖面位于西大口外距山前6km 小公路西侧 1.5km 处的探槽剖面,剖面中可见中一低倾角的逆 冲断裂(图5)。断层产状315°/SW35°,断层带宽0.5 ~0.8m,断层带内的细砂砾石层已经被改造并具局 部定向排列,砾石以0.5~2.0cm为主;断层面上盘



图5 高台车站活动断裂剖面(XQ150)

Fig. 5 Section of Gaotai railway station active fault
Qh-全新统;Qp³⁽²⁾-上更新统上部;1-松散含砾细砂夹黄土
层;2-砾石层;3-含砾细砂层;4-具局部定向的细砂砾石层;
5-逆冲断裂;6-热释光年龄及样位

Qh—Holocene; Qp³⁽²⁾—upper part of upper Pleistocene; 1—gravelbearing fine sand and loess partings; 2—gravel; 3—gravel-bearing fine sand; 4—oriented fine sandy gravel; 5—thrust; 6—Thermoluminescence dating result and sample position (南西盘)为青灰一灰黄色晚更新世含砾细砂层夹黄 土层(热释光年龄20.0ka),砾石以0.5~2.0cm为 主,产状330°/SW18°;断层面下盘(北东盘)为松散 的灰黄色晚更新世末期冲洪积砾石层(Qp³⁽²⁾)(热释 光年龄10.3ka),砾石大小以2.0~5.0cm为主;表层 为土黄色全新世含砾细砂夹黄土层(底部层热释光 年龄5.4ka)。剖面内砾石大多为次棱角状,少数为次 圆状,说明不是山前坡积,而是有一段距离的搬运后 堆积的。该剖面说明断层在晚更新世末—全新世早 期有新构造活动,构造活动时间在距今10.3ka之 后,5.4ka之前,但是非常接近5.4ka。

3 高台车站断裂中段全新世活动依据

3.1 IV 剖面(XQ257剖面)

Ⅳ 剖面位于石炭口外东侧,高台车站南东侧 10km,剖面中可见→低倾角的逆冲断裂(图6)。断层 面比较平直,产状320°/SW20°,断层面上盘为晚更 新世的厚层状黄土(热释光年龄13.6ka),层理发育, 产状与断层面相近,接近断层面的黄土发生明显的 片理化,片理化与主断层面的夹角指示断层上盘向 北的逆冲;断层面下盘为全新世青灰色砾石层(热释 光年龄6.0ka),砾石大小一般1~3cm,部分5~ 15cm,砾石具有不太明显的近水平层理。该剖面反 映出高台车站断裂在全新世中期以来(6.0ka以来) 发生过逆冲推覆新构造活动,将晚更新世的黄土逆 冲到全新世的砾石层之上。因断层之上没有覆盖层, 断层活动时间上限需与其他剖面综合分析确定。



图6 高台车站活动断裂剖面图(XQ257)

Fig. 6 Section of Gaotai railway station active fault in south-eastern of Nanhua

Qh-全新统;Qp³⁽²⁾--上更新统上部;1-冲洪积砾石层;2-黄 土;3-逆冲断层;4-热释光年龄及样位

Qh-Holocene; Qp³⁽²⁾—upper part of upper Pleistocene; 1—alluvialproluvium gravel; 2—loess; 3—thrust; 4—thermo-luminescence dating result and sample position

3.2 V 剖面(XQ260剖面)

V 剖面位于高台车站南东8km,剖面中可见一 条低倾角的逆冲断裂和伴生的两条正断层(图7)。逆 冲断层产状295°/SW25°,断层面比较平直,将层理 不明显的晚更新世的砾石层(热释光年龄12.7ka)和 厚层状黄土逆冲在层理非常清楚的全新世青灰色砾 石层(热释光年龄7.2ka)之上。两条正断层均断于层 理清楚的全新世青灰色砾石层中,其中陡产状正断 层 晚 于 中 等 倾 角 的 正 断 层,但 断 距 均 不太大。该剖面反映出高台车站断裂在全新世中期 以来(7.2ka 以来)发生过逆冲推覆构造活动,活动 时间的上限,本剖面不能确定。

3.3 VI 剖面(XQ261剖面)

该剖面位于高台车站东南6km,剖面中可见4条 低倾角的逆冲断层和两条晚期正断层(图8)。逆冲断 层产状比较平缓,正断层倾角较陡,比较平直。逆冲 断层将层理已经倾斜的晚更新世(Qp³⁽²⁾)细砂层和 砂泥层(热释光年龄12.4~12.8ka)逆冲在层理非常 清楚的全新世青灰色砾石层夹砂层(热释光年龄 4ka)之上,F₂逆断层面下盘砂泥层层理发生牵引,F₂ 和F₃之间的砂泥层中揉皱现象比较发育,4条逆断 层中可见F₂被F₃切错。两条正断层中一条断于层理 清楚的全新世青灰色砾石层中,断距可能不大,另一 条断于层理清楚的全新世青灰色砾石层与层理已经 倾斜的细砂层和砂泥层之间,断距可能稍大,活动时 间晚于逆冲断层。该剖面反映出高台车站活动断裂 在全新世中期以来(4ka)发生过逆冲推覆构造活动, 之后又发生一次正断活动。

4 高台车站断裂西段全新世活动依据

4.1 VII剖面(XQ255剖面)

Ⅲ 剖面位于高台车站西侧5km,该剖面上可见 一低倾角的逆冲断裂(图9)。断层面总体比较平直, 略呈波状,产状285°/SW30°;断层面上盘为晚更新 世的厚层状黄土(热释光年龄16.8ka),产状总体水 平,临近断层面被推斜至倾角25°左右。断层面下盘 下部为近水平的晚更新世青灰色砾石层(热释光年 龄16.9ka),砾石大小中等,一般2~2cm;上部为全



图7 南华南东高台车站断裂剖面(XQ260)

Fig. 7 Section of Gaotai railway station active fault in south-eastern of Nanhua
 Qh-全新统;Qp³⁽²⁾-上更新统上部;1-无层理砾石层;2-有层理砾石层;3-黄土;4-正断层;5-逆冲断层;6-热释光年龄及样位
 Qh-Holocene;Qp³⁽²⁾-upper part of upper Pleistocene;1-gravel;2-bedding-well gravel;3-loess;4-normal fault;
 5-thrust;6-Thermo-luminescence dating result and sample position



图8 南华以南高台车站断裂剖面(XQ261)

Fig. 8 Section of Gaotai railway station active fault in southern of Nanhua

Qh-全新统;Qp³⁽²⁾--上更新统上部;1-有层理砾石层;2-砂层;3-粉砂黄土层;4-泥砂层;5-断层及编号;6-热释光年龄及样位 Qh-Holocene;Qp³⁽²⁾-upper part of upper Pleistocene;1- bedding-well gravel;2-sand;3-silt and loess layer;4-muddy sand; 5-fault;;6-thermo-luminescence dating result and sample position

新世早期再生黄土(热释光年龄9.5ka)。该剖面反映 出高台车站活动断裂在全新世(9.5ka以后)发生过 逆冲推覆构造活动,将晚更新世的黄土逆冲到全新 世的再生黄土层之上。本剖面不能确定断裂活动时 间上限。

4.2 Ⅷ剖面(XQ157剖面)

□□副面位于高台车站西侧6.5km、梧桐泉车站南东东6.5km,剖面中可见一低倾角的逆冲断裂(图10)。断层面呈波状起伏,平均产状280°/SW20°,断层面上盘为晚更新世晚期黄土夹少量灰



Fig. 9 Section of Gaotai railway station fault of the Wutongkou

Qh-全新统;Qp³⁽²⁾-上更新统上部;1-砾石层;2-黄土; 3-逆冲断层;4-热释光年龄及样位

Qh—Holocene;Qp³⁽²⁾—upper part of upper Pleistocene; 1—gravel;2—loess; 3—thrust;4—thermo-luminescence dating result and sample position 黄色细砂层(热释光年龄11.9ka),黄土层理清楚,产 状为270°/S25°;断层面下盘为近水平的全新世早期 青灰色细砾石层(热释光年龄8.4ka),砾石比较小, 一般0.5~2cm;断层被更新的全新世中期的砂砾层 (热释光年龄5.9ka)覆盖。从图中可以看出,上更新 统地层形成30°左右的倾角,也与逆冲断层的活动有 关,所以该剖面反映出高台车站活动断裂在全新世 发生过逆冲推覆构造活动,活动时代在距今5.9ka 与8.4ka之间,但是更接近距今5.9ka的时期。

4.3 IX 剖面(XQ158剖面)

☑ 剖面位于梧桐泉站南东侧5.5km,剖面中可见一低倾角的逆冲断裂(图11)。断层面比较平直,产状290°/SW18°;断层面上盘为全新世中期的厚层状黄土(热释光年龄4.4ka),具有近水平层理,接近断层面的部位黄土发生明显的片理化,片理化与主断层面的夹角指示断层上盘向北的逆冲;断层面下盘为近水平的全新世晚期青灰色细砾石层(热释光年龄3.2ka),砾石比较小,一般0.5~2cm。所以该剖面反映出高台车站断裂在全新世晚期(3.2ka以后)发生过逆冲推覆的新构造活动,将全新世中期的黄土逆冲到更晚的全新世晚期的细砾石层之上。本剖面不能确定断裂活动时间上限。

4.4 X 剖面(XQ91剖面)

X 剖面位于梧桐泉站南侧1.5km, 剖面下部为 已倾斜、局部有褶皱的黄土, 产状280°/SW36°; 上部



图10 梧桐泉车站南东榆高台车站断裂剖面(XQ157)

Fig. 10 Section of Gaotai railway station active fault

in south-eastern of Wutongquan railway station Qh²一全新统上部;Qh¹一全新统下部;Qp³⁽²⁾一上更新统上部; 1一冲洪积中一细砾石层;2一黄土;3一逆冲断层;4一热释光年龄 及样位

Qh²—Upper part of Holocene; Qh¹—lower part of Holocene; Qp³⁽²⁾—upper part of upper Pleistocene; 1—medium-fine alluvialproluvium gravel; 2—loess; 3—thrust; 4—thermo-luminescence dating result and sample position

为水平产状的黄土夹细砂砾层(热释光年龄 10.9ka),断层自下而上切穿倾斜的黄土层和水平黄, 土夹细砂砾层,断层形态略具铲形状,下部断层面产 状305°/SW55°, 倾角中等, 往上部断层面倾角变大, 倾向南,倾角75°~85°,并由多条首尾相接的小断层 组成;剖面上垂直断距为40cm,相对位移为南西盘 (上盘)上升,北东盘(下降)(图12)。根据区域对比, 倾斜黄土应属于晚更新世的沉积,而水平黄土夹细 砂为晚更新世一全新世早期沉积,所以该剖面说明 在晚更新世后期(10.9ka之前)和全新世早期 (10.9ka之后)发生过两次明显的新构造活动。较早 (晚更新世后期)的断裂构造活动规模比较大,使上 更新统黄土发生倾斜,局部发育褶皱(与前文剖面图 6、7、9可以对比),而后堆积了水平的晚更新世末期 砂砾夹黄土;第二次断裂活动规模比较小,仅切割全 新世早期的水平砂砾夹黄土。同时从该剖面分析,可 以认为,主断裂还位于该剖面的稍北侧,本剖面中的 断裂可能是主断裂上盘的次级断裂。

5 运动学特征与年代学

5.1 运动学特征

对于高台车站断裂的活动性质,前人(甘肃地质 局第一区测队,1971)曾经认为是一条倾向北东的正 断层,为上更新统与全新统的接触界线。

根据野外地质调查取得的资料和依据,本文认 为高台车站断裂具有以逆冲为主的运动学特征。野 外地貌上主要见及由于逆冲活动形成的断层陡坎, 但基本上未见断层切错与之垂直的小毛沟的地貌现 象。所以高台车站断裂的运动学特征主要是逆冲,水 平方向的位移不明显。



图11 梧桐口外高台车站断裂剖面(XQ158)

Fig. 11 Section of Gaotai railway station active fault outside of Wutongkou

Q $_{1}$ 一全新统上部;1一冲洪积中一细砾石层;2一黄土;3一逆冲断层;4一热释光年龄及样位

Qh?—Upper part of Holocene; 1—medium-fine alluvial-proluvium gravel; 2—loess; 3—thrust; 4—thermo-luminescence dating result and sample position



图12 梧桐口外高台车站断裂剖面(XQ91)

Fig. 12 Section of Gaotai railway station fault outside of Wutongkou

Qh¹--全新统下部;Qp²⁽³⁾--上更新统上部;Qp³⁽¹⁾--上更新统下 部;1--冲洪积中---细砂层;2--黄土;3--逆冲断层;4--热释光年 龄及样位

Qh¹—Lower part of Holocene; Qp³⁽²⁾—upper part of upper Pleistocene; Qp³⁽¹⁾—lower part of upper Pleistocene; 1—mediumfine alluvial-proluvium gravel; 2—loess; 3—thrust; 4—thermoluminescence dating result and sample position

5.2 年代学测试

对高台车站断裂各段的主要剖面的样品进行热 释光年代学测试,其结果见表1。从各观测点样品的 构造部位与年龄关系上可以看出,所有被断沉积物 样品的测试结果都在4~20ka 范围内,说明高台车 站断裂在晚更新世后期一全新世存在明显的新构造 活动,同时,剖面中断层面上盘的年龄比较老,而下 盘的年龄比较新,这正是逆冲断层所具有的最基本 特征。

由于高台车站断裂沿线的榆木山北滩全新世时 期剥蚀强于堆积,断层活动后的覆盖层比较少,因此 一些剖面中断层活动的时间下限容易定,而上限不 易确定。

表1 高台车站活动断裂热释光年龄测试结果表

Table 1 Thermo-luminescence dating result of the samples

from the Gaotai railway station fault											
部位	野外编号	样品	样位及推测时代	测试结果(km)							
	XQ150-1	细砂	被断上盘冲积物Q ₃	20.0 ± 2.0							
	XQ150-2	细砂	被断下盘冲积物 Q1	10.3 ± 1.6							
东	XQ150-3	细砂	未断残坡积物 Q ²	5.4 \pm 0.6							
段	XQ151-1	细砂	被断上盘冲积物 Q ₃	19.1±2.7							
西	XQ151-2	细砂	被断上盘冲积物 Q ₃	18.4±1.8							
大	XQ151-3	细砂	被断下盘坡积物 Qi	14.5 ± 1.6							
П	XQ151-4	细砂	未断冲积物 Qi	13.2 ± 1.7							
_	XQ152-1	细砂	被断上盘冲积物 Q ³	22.4 \pm 3.2							
带	XQ152-2	黄土	被断下盘冲积物 Qi	7.3 ± 1.0							
.1-	XQ263-1	黄土	上盘被断沉积物 Q 缩	13.6 ± 2.2							
	XQ263-2	细砂	下盘被断冲积物 Qi	6.3±0.9							
中	XQ 257-1	黄土	上盘被断冲积物 Q3	13.6±1.5							
段	XQ257-2	细砂	下盘被断冲积物 Qi	6.0 ± 0.8							
兩	XQ 260-1	细砂	下盘被断冲积物 Qi	7.2 ± 1.0							
邗	XQ260-2	细砂	上盘被断冲积物 Q {	12.7±1.8							
÷F	XQ261-1	细砂	上盘被断冲积物 Q3	12.8 ± 1.8							
削	XQ261-2	细砂	下盘被断冲积物 Qi	12.4 ± 2.1							
侧	XQ261-3	细砂	下盘被断冲积物 Qi	4.0 ± 0.5							
西	XQ157-1	粉砂	被断上盘冲积物 Q3	11.9 ± 1.5							
段	XQ 157-2	细砂	被断下盘冲积物 Qi	8.4 ± 1.2							
梧	XQ157-3	细砂	未断冲积物 Qi	5.9 \pm 0.7							
桐	XQ158-1	黄土	上盘被断沉积物 Q3	4.4 ± 0.6							
泉	XQ 158-2	细砂	下盘被断冲积物 Qi	3.2 ± 0.5							
	XQ 255-1	黄土	上盘被断沉积物 Q3	16.9 \pm 2.4							
	XQ255-2	细砂	下盘被断冲积物 Qi	16.8 \pm 2.0							
Ħ	XQ255-3	黄土	下盘被断沉积物 Qi	9.5 \pm 1.3							

测试单位:成都理工学院核材料与核技术工程系热释光实 验室;测试者:赖万昌,唐宇雄。

5.3 新构造活动等时性周期性规律

将高台车站断裂样品的热释光年龄数据(表1) 结合样品的构造部位,进行分段统计,可以发现被断 沉积物样品的年龄有5个比较集中的区段,分别是 距今3.2~4.0ka、6.0~7.0ka、9.5~11.0ka、12.8 ~14.3ka、18~19ka,而且前4组之间各相距3.0ka 左右,第4组与第5组样品之间相距6.0ka左右 (表2)。

因此可以认为,高台车站断裂新构造活动强烈, 且具有明显的周期性,各活动时期又具有等时性特 点;晚更新世后期一全新世存在5期明显的新构造活 动,自新到老的构造活动时期分别是距今2.0~ 3.0ka、5.5~6.2ka、8.5~9.5ka、12.5~13.3ka、 18.5~19.1ka。同时每期构造活动时间相距约3.0 ka左右,最新一期新构造活动发生在距今2.0~ 3.0ka之间。

5.4 新构造活动分段迁移性规律

将热释光年龄数据结合样品所在高台车站断裂 不同区段进行统计(表2)可以发现,断裂自东向西新 构造活动时间存在逐渐变新的趋势。断裂最早活动 时间东段为距今18.4~19.1ka,中段为距今12.4~ 12.8ka,而西段则在距今8.5~9.5ka之间;最新活 动时间东段为距今5.4~7.3ka之间,中段为距今 4.0ka之后,而西段为距今3.2ka之后。

高台车站断裂新构造活动分段迁移性规律是受 其所处的区域构造位置、与祁连山北缘主断裂的相 互关系及祁连山—河西走廊新构造活动总体演化规 律控制的。高台车站断裂地处河西走廊内的次级降 起带的北侧,向东是榆木山东缘断裂并与祁连山北 缘断裂越来越近,构成"入"字形,作为祁连山北缘断 裂逆冲过程的派生断裂,其破裂首先在接近主断裂 的部位发生,而后向稍远的部位发展,在黑河口一 带,榆木山东缘断裂在早更新世就已经开始活动,垂 向总位移也比较大,向北西至榆木山以北的高台车 站断裂,开始活动的时代自东向西越来越新,其西端 的最新扩展破裂引发高台地震。这种沿走向的迁移 性与玉门断裂西端的扩展破裂引发玉门地震(陈柏 林等,2005)是一致的。另一方面,总体 NW 走向的 断裂的北西端更远离祁连山北缘断裂,这在横剖面 上符合祁连山一河西走廊逆冲推覆构造所具有的前 展式发育特点。

由于祁连山北缘断裂(包括昌马断裂和海源断裂)具有逆冲兼左行的运动学特点,所以主断裂带中 呈右列式排列的次级断裂(如旱峡一大黄沟、玉门、 佛洞庙一红崖子)和"人"字形派生断裂(如榆木山北缘、高台车站),都可能存在这种自东向西的新构造 活动迁移性。

6 高台车站活动断裂与公元180年高 台大地震的关系

公元180年(汉灵帝光和3年)在高台(表氏)发生 7.5级强烈地震,这是我国历史上记载较早的一次大 地震,该地震导致表氏城(即今高台以西20km 的骆驼城)被毁,县城被迫迁移重建,损失巨大。据 有关考察和研究(国家地震局地质研究所,

部位	观察	新构造活动时期									
	采样点	1	2		3	4		5			
东段	XQ152			←7. 3ka							
	XQ 151					13. 2ka→	←14. 3ka	18.4ka→	←19. 1ka		
	XQ150		5. 4ka→		← 10. 3ka						
	XQ263			←6. 3ka							
中段	XQ257			←6. 0ka							
	XQ260			←7. 2ka							
	XQ261	←4. 0ka			←12. 4ka	12. 4ka→	←12. 8ka				
西段	XQ157		5.9ka→	←8. 4ka							
	XQ158	←3. 2ka									
	XQ091				←10. 9ka				_		
	XQ255				←9. 5ka						
	XQ256	←3. 2ka									
新构诰	活动年龄	$2\sim 3$ ka	5.5~	6. 2ka	8.5~9.5ka	12.5~	13. 3ka	18.5~	19.1ka		

表2 高台车站断裂新构造活动年龄数据分段统计表

注:5.4ka→为覆盖沉积物年龄; ~8.4ka 为被断沉积物年龄。



图13 高台地震发震构造模式剖面图 Fig. 13 Typical section of Gaotai earthquake

1993)^{●●},高台地震宏观震中位置在梧桐泉附近(北 纬39°15′,东经99°38′)(图1),震中烈度达10度,震源 深度32km,并认为该地震的发震构造为榆木山北缘 活动断裂。

从地质构造上分析,高台地震位于祁连山一河 西走廊地震活动带上,虽然震中(震源的地表投影) 位于榆木山北缘活动断裂带稍南侧(图1、图13),但 是笔者认为,高台地震发震构造是高台车站活动断 裂,而不是榆木山北缘活动断裂。

首先,榆木山北缘断裂属于活动断裂是肯定的, 但是该断裂从东到西的产状都是以中等一偏陡倾角 向南西倾的,西段倾角缓于东段(东段的西大口附近 倾角65°~70°,中段的石炭沟一带40°~55°,向西在 梧桐泉一带更缓),而且倾角变化与其走向是密切相 关的,这也符合祁连山一河西走廊地区断裂走向与 倾角关系(即北北西向断裂为陡立倾角,北西向断裂 为中陡倾角,北西西向断裂为中缓倾角)的一般规 律。而不是部分研究者(国家地震局地质研究所, 1993)认为在梧桐泉以东向北倾,梧桐泉以西向南 倾。事实上向北陡倾的断裂是向南倾逆冲断裂上盘 的次级正断层。

其次,高台车站断裂也是现今活动断裂,从前文 断裂剖面及新构造年代学数据反映该断裂晚更新世 晚期一全新世存在5期明显的新构造活动,最新一次 活动发生在距今2.0~3.0ka之间,与高台地震的发 生时间是吻合的。

再者,考虑地震的严重破坏情况,笔者认为高台 地震的震源深度可能比较浅,在10~20km 左右。综 合考虑震中(震源的地表投影)位置、震源深度(以 15km 计)及榆木山北侧断裂系(包括榆木山北缘断 裂和高台车站断裂)的产状和空间关系,在横剖面图 上高台地震的震源位于高台车站活动断裂的深部, 而不会在榆木山北缘活动断裂上(图13)。这种关系 与玉门地震地表震中虽然位于旱峡一大黄沟断裂附 近,但是发震构造是玉门断裂(陈柏林等,2005),而 不是何文贵等(2004)认为的旱峡一大黄沟断裂是一 致的。如震源深度按32km 计,则发震的可能还是更 北侧的未知断裂。

最后,梧桐泉一带是高台车站断裂西端端部附 近,断裂构造端部的破裂扩张是引发地震的重要因 素,因此高台地震很可能是高台车站断裂端部的破 裂扩张作用的表现,这一点也与玉门断裂西端破裂 扩张引发玉门地震是一致的。

7 结论与讨论

高台车站断裂属于河西走廊内次级隆起——榆 木山隆起北侧断裂系的组成部分,它位于榆木山北 缘断裂北侧6km、是与榆木山隆起有成生联系、活动 时间比北缘断裂更新的全新世活动断裂。断裂呈向 北北东略微凸出的弧形,走向总体为北西向,倾向南 西,自南东向北西走向由北西向渐变为北西西向、甚 至近东西向,倾角自中等变化为低角度。

高台车站断裂的活动性质在剖面上表现为南西 盘向上逆冲为主、水平位移不明显,在近2万年以来 的晚更新世晚期一全新世期间,该断裂可能发生过5 期明显的新构造活动,新构造活动时间具有自东向 西逐渐变新的迁移性特点,最新一次在距今2.0~ 3.0ka 左右,与高台地震时间是吻合的,它是高台地 震的发震构造。

高台车站断裂全新世新构造活动是笔者在前人 对该断裂是否存在具有争议的情况下重新确认的。 虽然在地表上它发育于榆木山北缘断裂的北侧,但 是它与榆木山北缘断裂是有成因联系的,两者具有 相同的地质构造背景、相近的产状特点和运动学特 征。在榆木山隆升的过程中,高台车站断裂是榆木山 北缘断裂向北逆冲推覆发育的必然结果(横剖面上 的前展式模式),因此,其形成时代比榆木山北缘断 裂要年轻的多。事实上,前展式的扩张是河西走廊西 段一祁连山北缘地区的逆冲断裂的重要成生演化模 式。

高台车站断裂全新世活动性的重新厘定,对于 认识河西走廊内隆起的形成机制、榆木山隆起北侧 和祁连山北缘逆冲推覆构造的发展发育模式以及该 地区的地震危险性具有重要的理论意义,对如何保 证包括西气东输管线、兰新铁路和连(云港)霍(城) 高速公路在内的国家重大工程的安全也具有重要的 指导意义。

在本项目的实施过程中,得到中国地质调查局 水工环部领导的关心和指导,文中热释光年龄由成 都理工学院核材料与核技术工程系热释光实验室测 试,在此深表谢意。

注 释

● 甘肃地质局第一区测队.1971.1:20万肃南幅区域地质测量报告.
 ❷ 吕田保,闫凤忠,潘俊茂.1982.180年表氏地震考察报告.

参考文献

- 陈文彬,刘百篪,徐锡伟,等.1999. 祁连山西段玉门断裂晚第四纪 活动特征及相关问题的讨论.西北地震学报,21(4):389~ 394.
- 国家地震局地质研究所,国家地震局兰州地震研究所.1993. 祁连 山一河西走廊活动断裂系.北京:地震出版社.
- 国家地震局阿尔金活动断裂课题组.1992.阿尔金活动断裂带.北 京:地震出版社.
- 闵伟,张培震,何文贵,等. 2002. 酒西盆地断层活动特征及古地震 研究. 地震地质,24(1):27~34.
- 號顺民. 1993. 祁连山一河西走廊断裂带与地震. 中法合作活断层 对比研究. 北京: 地震出版社.
- 向宏发, 虢顺民. 1990. 河西走廊玉门一嘉峪关地区活动断裂的初步研究.现代地壳运动研究(5). 北京: 地震出版社, 139~145.
- 陈柏林,刘建生,张永双,等. 2005. 玉门断裂全新世活动特征及其 与玉门地震的关系. 地质论评,51(2):138~142.
- 何文贵,郑文俊,赵广望. 2004. 2002年12月14日玉门5.9级地震发 震构造研究. 地震地质,26(4):688~697.
- Chen Wenbin, Liu Baichi, Xu Xiwei, et al. 1999. Activity of the Yumen fault, western Qilian mountains, during late Quaterary and its implication to regional tectonic movements. Northwestern Seismological Journal, 21(4): 389~394(in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology, SSB and Lanzhou Institute of Seismology, SSB. 1993. Active faults in Qilian mountain and Hexi corrdor. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- Research Group on the Active Altyn Tagh Fault Zone of SSB. 1992. Active Altyn Tagh fault zone. Beijing; Seismological Press (in Chinese).
- Min Wei, Zhang Peizhen, He Wengui, et al. 2002. Reseach on the active faults and paleoearthquakes in the western Jiuquan basin. Seismology and Geology, 24(1): 27~34(in Chinese with English abstract).
- Guo Shunmin. 1993. Active fault zone and earthquakes in Hexi Corridor. Cooperation research on active faults between China and france. Beijing: Seismological Press, $139{\sim}145$ (in Chinese).
- Xiang Hongfa, Guo Shunmin. 1990. Preliminary study on active faults in Yumen—Jiayuhuan area of Hexi Corridor. In: Institute of Geology, SSB, ed. Research on Recent Crustal Movement (5). Beijing: Seismological Press, 139~145 (in Chinese).

Chen Bailin, Liu Jiansheng, zhang Yongshuang, et al. 2005. Activity

of the Yumen fault during Holocene epoch and its relation to Yumen earthquake. Geological Review, 51(2): 138~142. He Wengui, Zheng Wenjun, Zhao guangkun, et al. 2004. Study on the seismogenic structure of the Yumen, Gansu province 5. 9Ms earthquake of December 14, 2002. Seismology and Geology, 26 (4): $688 \sim 697$.

Study on the Activity and Chronology of the Gaotai Railway Station Fault During Holocene Epoch

CHEN Bailin¹⁾, LIU Jianmin¹⁾, LIU Jiansheng²⁾, WANG Chunyu¹⁾, ZHANG Yongshuang¹⁾,

DONG Cheng¹⁾, WU Naifen¹⁾

1) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geosciences, Beijing, 100081

2) Lanzhou Institute of Seismology, China Seismological Burwau, Lanzhou, 730000

Abstract

Gaotai railway station fault, as a part of northern faults of the Yumushan uplift being a second-order uplift in Hexi Corridor, situated about 6km northern from the northern Yumushan fault, which is related to the Yumushan uplift and actives newer than the northern Yumushan fault. It extents NWW-trending as an arcuate fault with a few convex to east-north-east and dips to northwest. In reality, its strike changes from NWtrending to NWW and to near EW-trending and its dip angle changes from medium to low from southeastern to northwestern part of the fault. Characteristically, Gaotai railway station fault have a vertical displacement with a thrusting at southwestern side of the fault with few horizontal displacement. There are five times neostructural activity along the fault occur from late Pleistocene to Holocene during the past 20ka and the time of neo-structural activity is newer and newer from southeastern to northwestern part of the fault. The newest activity occurs at the later Holocene (about 2. $0 \sim 3$. 0ka) which is identical to the time of Gaotai earthquake in A. D. 180. So the Gaotai railway station fault is a causative fault of the Gaotai earthquake.

Key words: Holocene; trusting; chronology; Gaotai railway station fault; Yumushan; Gansu province