老虎山断裂带的分段性研究

何文贵 刘百篪 吕太乙

袁道阳 刘建生 刘小凤

(国家地震局兰州地震研究所,兰州 730000)

摘要 本文分析了老虎山断裂的基本特征,在此基础上运用活断层的自然 分段、几何学特征分段、运动学分段及破裂分段等分段原则,对老虎山断裂带进行 了分段研究,其中着重研究了破裂分段问题。老虎山断裂带可以分成4段,从东到 西依次为喜集水段、老虎山段、草峡段和黑马圈河段。对断裂分段的研究可以为地 震的中长期预报提供重要依据。

关键词: 祁连断裂系 老虎山断裂带 障碍体 断裂分段

1 断裂带的基本特征

老虎山断裂带位于青藏高原隆起区的东北缘,属北祁连断裂系东段老虎山——毛毛山 ——金强河断裂的东部段落。它控制了加里东晚期花岗闪长岩的分布,使下古生界沉积发生 紧闭褶皱,并使之隆起成山(图1)。该断裂主要形成于加里东期,后经多次构造变动,在中更 新世断裂的力学性质由挤压逆冲转化为左旋走滑的特点。



图 1 老虎山断裂带地质构造略图 1.黑马圈河地震形变带; 2.1990年地震带; 3.1888年地震形变带

Fig. 1 Geological structures of Laohushan fault zone.

前人对该断裂进行了许多调查研究工作^{[1][2]},1992年我们对其进行了1:50000地质填 图工作。在此基础上对该断裂带的特征有了一些新认识。

国家地震局合同项目(85-02-01-3-4)

老虎山断裂带东起景泰县东南的老庄沟,向西经喜集水盆地进入老虎山,穿过红灌沟, 老虎沟,过阿门岘后再由草峡进入黑马圈河,到黑马圈河沟脑独山子为止,全长 78km,整体 走向 N70~80[•]W。它是由 7 条次级不连续的断层段呈羽列型式组成。这些断层通常呈左阶 关系排列,阶距较小,多为 100-300m,只有断裂带东端与海原断裂之间左阶阶距最大,为 4km(图 2)。下面简述各不连续断层段的持点:



F₁ 是老庄沟断层。 该断层从景泰县东南的 赵家岘开始,向西经老 庄沟至煤洼山西端,长 8km,走向 N75[•] W,断 层面倾向 NE。

F。是喜集水断层。 该断层从煤洼山西端开 始,向西经喜集水村、红 沟到松山水东,分布于 喜集水盆地南缘,长 9km,总体走向近东西 向,断面倾向 NE。与F₁ 呈左阶关系,阶距 60m。 F3 是老虎山断层

(猛义)。该断层从松山水东开始,沿老虎山北缘向西经红灌沟、老虎沟等一系列沟谷至阿门 蚬,全长 30km,走向 N70⁻W,倾向 SW,与F₂以断裂枢纽点相接,其内部有三个阶区,形成 4 条更次一级的不连续断层。第一个阶区在张家岭,为右阶区.阶距 300m,形成挤压山包;第二 个阶区在杨家磨,阶距为 200m,亦为右阶;第三个阶区在下淌,为左阶区,阶距 150m,形成小 型拉分盆地。

F₄为草峡断层。该断层从阿门岘向西经草峡到黑马圈河边,长15km,总体走向N80[•] W,断面倾向NE。与F₃呈左阶排列,阶距为200m。在其内部有两个左阶区,将该段断层划 分为三个更次一级的小断层。一个阶区在平岭墩,阶距为150m,为一左阶纺缍形拉分小盆 地;另一个是在红圈湾,为左阶,阶距近100m。

F₅ 为黑马圈河东段断层。该断层从黑马圈河口开始沿河南岸向西延伸到吊沟口,长8. 5km,走向 N80⁻W,倾向 NE。与 F₄ 呈右阶关系,阶距为 300m。

F₆为黑马圈河西段断层。该断层从吊沟口开始,沿河北岸向西延伸到独山子,长7. 5km,走向 N80⁻W,倾向 SW。与 F₅ 呈右阶相连,阶距为 50m。

F₇ 是分枝断层。从黑马圈河口以 N70[•]W 方向延伸到吊沟沟脑,长 7.5km,倾向 NE。与 老虎山断裂斜接。

老虎山断裂带中更新世以来活动强烈,形成一系列断错地貌。沿该带发生过1888年景泰6.8-7级地震和1990年景泰6.2级地震。根据最新测年资料,求得老虎山断裂中更新世中期以来的水平滑动速率为2.4~2.8mm/a,中更新世晚期以来为3.65~4.17mm/a,晚更

新世早期以来为 4.1~4.8mm/a,晚更新世晚期以来为 3.8~4.8mm/a*。而该断裂全新世 活动具有明显的分段性,各段滑动速率有所不同。随着断裂活动的加强,其滑动速率具有明 显加快的趋势。

2 活动断裂分段特征

近年来对活断层分段性的研究越来越引起国内外学者的重视,不同的学者曾依据不同 的标志提出过多种分段原则。简单概括起来主要有①自然分段;②几何特征分段;③地震活 动性分段;④运动学特征分段;⑤岩石介质条件分段;⑥破裂分段^[3]。本文着重考虑破裂分 段,因为它对活动断裂的地震危险性分析最有意义。每个断层段都是独立的破裂单元,它们 既可以单独破裂,也可以随能量的积累发生多段乃至于全段破裂。

障碍体则是分段的重要标志,破裂段之间都有阻碍断层贯通的障碍体。地震破裂的障碍 体(barrier)模型是W·Aki(1979)在研究地震波的传播时最早提出的,佃荣吉(1991)使之进 一步发展。每一条断裂都不是连续的直线,它们多是由雁列或其他形式排列的不连续的断层 段所组成。在这些不连续部位存在有阶区、弯曲等现象,在此称为几何学障碍^[4]。按其在断裂 中所处的位置及受力状况,将它们分成压性障碍和张性障碍两种类型(图 3)。这些障碍体在 一定的地质时期内保持着相对的稳定性,影响段与段之间的贯通,而且,障碍体的存在也决 定着段的长度,因此,在分段过程中应对障碍体加以识别。



A:张性障碍; B:压性障碍

Fig. 3 Geometry barriers of left-lateral strike-slip fault.

分段的目的就是在于通过对每一段断 层的最大破裂长度、地震复发间隔和最近 一次大地震距今年代的综合分析,用以判 定沿一条断裂带,下次最大事件最可能发 生的地段以及计算该事件的概率,为地震 的中长期预报提供重要依据。

根据前述的分段原则可以将老虎山断 裂划分成4段。即喜集水盆地段、老虎山 段、草峡段和黑马圈河段。以下分别叙述各 段特征。

(1)喜集水盆地段。由 F₁和 F₂ 断层构 成,长度 17km,走向 NWW,倾角 56~ 75^{*}。其运动学性质表现为左旋走滑正断 层,沿山前冲洪积阶地上形成正向陡坎,第 四纪以来垂直运动表现为南侧上升,北侧

下降。据热释光测年最晚一次古地震事件距今 2400 年左右,而断层陡坎实测为 1700 年。大 震重复间隔约为 2000 年。水平位错点分布密度较大,全新世平均水平滑动速率为 4.09mm/ a。该段断裂西端以张性障碍体和断裂枢纽点与老虎山段断裂相连。

(2)老虎山段。由F₃断层构成,长 30km,走向 N70^{*}W,倾向 SW,倾角 70~80^{*}。断裂破

68

[▶] 兰州地震研究所,老虎山断裂填图工作报告,1993。

碎带宽数 10m,最宽处达 100m 以上,其内部由杂色断层泥、挤压透镜体和碎裂岩等所组成。 断裂运动学性质表现为左旋走滑逆断层,第四纪早期垂直运动为南侧抬升,北侧下降,而晚 更新世和全新世的垂直运动具有北升南降的特点。水平位错点分布极密。

1888 年景泰 6.8-7 级地震地表破裂带主要分布于老虎山段。至今还保存有完好的形 变带特征。主要表现为:(a)地震陡坎,如沈家滩全新世洪积扇上形成一条长约 20m,高 0.3m 的新鲜反向陡坎,经探槽证实断距为 0.25m,实为 1888 年地震所造成;(b)断错微地貌,主要 是冲沟、纹沟及现代洪积扇的左旋位移,如红灌沟内一系列现代冲沟发生左旋位错,断距为 2~3.5m;(c)地震滑塌,其主要集中于大石头至张家岭一带;(d)地震鼓包,在大石头东保留 有几组地震鼓包,沿断裂南侧雁行排列;(e)另外还有地震裂缝、地震陷坑和喷砂孔等现象存 在。运用树木年轮法和地衣法的测量结果都证实了该地震破裂带是 1888 年地震形成的。

1888 年地震的震中大致在沈家滩一带,其地表破裂为双向传播。从震中开始,向东传播 的破裂沿老虎山北缘山前的老虎山断层向东前进,至松山水东断裂弯曲处,遇到张性障碍体 (相当于图 3 的 1A)作用,能量被吸收,破裂到此可能终止。其破裂终止另有二个原因,一是 此处位于喜集水盆地西南缘,而喜集水盆地本身就是海原断裂和老虎山断裂之间的一个巨 大张性障碍体(相当于图 3 的 2A),破裂在该盆地内不可能传播很远;另一个原因是此处位 于 F₂ 和 F₃ 断层之间的枢纽部位,也是应力转换的场所,对于破裂的传播有阻碍作用。破裂 带从震中向西扩展,首先遇到张家岭、杨家磨二个压性障碍体(右阶区,相当于图 3 的 2B), 能量积累,引起再次破裂,破裂向西传播到下淌,遇张性障碍体(左阶区,相当于图 3 的 2A), 能量释放,然后继续向西前进,到达阿门岘遇到左阶区张性障碍体(相当于图 3 的 2A)和断 裂的枢纽作用,能量全部释放,破裂终止(图 4)。



图 4	1888 年地震的地震断层和破裂的传播过程	
	1. 震中;	2.张性障碍体;
	3. 压性障碍体;	4. 破裂传播方向

Fig. 4 The 1888 earthquake fault and rupture propagation process.

由此看来1888年地 震地表破裂主要分布于老 虎山段。它是老虎山断裂 全新世强烈活动的表现。

从古地震事件对比图 (图 5)上可以看出,老虎 山段全新世以来大致可以 确定7次古地震事件,大 震复发间隔约为1000年 左右,具有明显的特征地 震性质。该段全新世以来 的平均滑动速率为5. 54mm/a。

(3)草峡段。由F₄断层构成,长度15km,走向N80'W,倾向NE,倾角50~60'。第四纪 早期垂直运动表现为北升南降的特点,晚更新世及全新世其运动性质在转化为左旋走滑的 同时兼具有倾滑性质。在阿门蚬——平岭墩表现为北侧上升,南侧下降,形成正向陡坎;而平 岭墩——黑马圈河口则为南升北降,形成反向陡坎。该段没有断层泥出露。地貌上主要表现 为断层槽地。有冲沟、纹沟及现代洪积扇的左旋现象。水平位错点分布密度较大,全新世平 均滑动速率为4.2mm/a。与老虎山段之间有障碍体分隔。



图 5 老虎山断彩带古地震事件对比图 1. 老庄沟口; 2. 煤洼山西; 3. 红沟口; 4. 松山水; 5. 道水; 6. 大石头; 7. 马莲泉; 8. 山垠; 9. 上西沟; 10. 任家淌; 11. 陈家庄; 12. 余家台; 13. 张家岭; 14. 下淌; 15. 新墩湾; 16. 阿门蚬; 17. 郎干沟; 18. 卧牛 山; 19. 红圈湾; 20. 乔家圈窝; 21. 吊沟口; 22. 独山子 Fig. 5 Comparison of paleoearthquakes along Laohushan fault zone.

草峡段发生过 1990 年 10 月 20 日天祝一景泰 6.2 级地震。震中位于下淌至红圈湾一带,极震区等震线长轴方向与老虎山断裂相吻合。其中在下淌至阿门蚬与 1888 年地震形变 带有约 2km 的重叠区。其震中烈度为 WE度,极震区呈长椭园形,长轴走向 275,长度为 9.5km,短轴长度 2.5km,面积为 18.5km²。地震时未出现明显地震破裂带,仅在震区多处出现 地裂缝,近东西走向。该地震是草峡段现今活动所造成的。

由图 5 可以看出,草峡段大体可以确定 3 次古地震事件,大震复发间隔约为 1500~2000 年,校老虎山段长。

(4)黑马圈河段。由 F₅、F₆和 F₇ 断层所构成。长度为 16km(不包括分枝断层 F₇ 的长度),走向 N80[•]W,倾向 SW,倾角 45~75[•]。吊沟口以东为南侧抬升,北侧下降,吊沟口以西 为南侧下降北侧抬升,形成反向陡坎。水平位错点分布密度小,全新世平均滑动速率为 3. 37mm/a。与草峡段分界的标志是压性障碍体的存在。

黑马圈河段在 F₅ 和 F₇ 断层上都发现有保存完好的地震形变带。其主要特征表现为: (a)地震鼓包:沿黑马圈河南岸 I 级阶地前缘分布,为近椭园形,似串珠状右阶雁列(图 6a)。 长轴走向为 300-315⁻,长轴长度为 15~23m,短轴长度为 10~18m,高度 0.5~1.6m。(b) 地震沟槽:如下松沟东 50m 处有一长 70m 的地震沟,沟底宽 1m 多.南侧正向坎高 0.9m,主 坡角 23⁻,北侧反向坎高 0.6m,主坡角 15⁻,又如吊沟口东一沟槽走向 295⁻,长 87m,沟底宽 4m,深约 1m 左右,南陡北缓,南侧主坡角 26⁻,北侧主坡角 22⁻。(c)地震洼地:沿黑马圈河

何文贵等:老虎山断裂带的分段性研究

南岸有一系列近长椭园形洼地连续呈左阶斜列状分布(图 6b),尤以阿罗圈湾对面至林场检查站西一段集中。野外实测其长轴走向为 274~310⁻,长轴长度 15~30m,短轴长度 9~13m,深度 0.3~0.9m。(d)地震陡坎:从黑马圈河口至马圈沟一带,见有正断层活动,3~4个现代冲沟沟底产生正向坎,坎高 0.2~0.3m,从而形成很新的断塞洼地和断塞塘淤积。(e)断陷坑和沟槽:从马圈沟至吊沟东支沟一带多出现断陷坑和槽地,如吊沟东支沟西侧梁子的坡上出现一条浅宽但清晰的沟槽,下坡后沿小支沟沟底形成陡坎,过沟又是一断陷坑,坑后壁高 2m,坡角 25⁻。以上形变现象(a)~(c)主要分布于 F₅ 断层上,而(d)和(e)则分布于 F₇ 断层上。对于黑马圈河段较新断坎的测量结果,利用扩散方程计算得其年代分别为:吊沟口 1170年,乔家圈窝 850年,除去测量及参数选取的误差,可以大致认为黑马圈河段形变带大约是在 1000 年前左右形成的。



图 6 黑马图河段地震形变带特征分布图
a.吊沟-董家圖窝地震沒包实测图;
b.阿罗圖湾一带地震洼地实测图;
1.地震鼓包(数字为高度); 2.断层沟槽;

3. 断坎; 4. 地震洼坑; 5. 陡坎

Fig. 6 Distribution of characters of seismic deformation zone along the Heimajuanhe segment.

由吊沟口探槽剖面[•]大致可以确定黑马圈河段全新世有三次古地震事件,大震复发间 隔约为 3000 年左右。

3 结论

根据断裂分段原则,可以将老虎山断裂分成4段,即喜集水盆地段、老虎山段、草峡段和

• 国家地震局地质研究所等,西部石油长输管道(乌鲁木齐一洛阳)沿线主干断裂勘察和地震烈度研究报告,1991

黑马圈河段。各段特征如下:

(1)每段断裂的滑动方向在第四纪后期是一定的。

(2)平均滑动速率在各个断层段上是有很大差异的。如前所述,老虎山段最大,为5. 54mm/a,草峡段和喜集水段次之,为4.2mm/a和4.09mm/a,黑马圈河段最小,为3.37mm/ a。

(3)老虎山断裂带各段之间的活动是间歇性的,而且活动间歇很长。如最近一次活动是 草峡段 1990 年地震,其次是老虎山段 1888 年地震。活动间隔最长的是黑马圈河段,为 3000 年,然后依次是喜集水段、草峡段和老虎山段,分别为 2000 年,1500~2000 年和 1000 年。它 们都超过了 1000 年。

以上各段随应力的积累可以单独破裂,发生较小震级的地震,也可以随着能量的积累发 生多重组段破裂,直至全段破裂,发生震级较大的中强地震。老虎山断裂的最新活动就导致 了老虎山段 1888 年 6.8~7 级地震及草峡段 1990 年 6.2 级地震的发生。

(本文 1993 年 9 月 15 日收到)

参考文献

1 刘百篪,等,海原断裂西端强震危险性分析,西北地震学报,1992,14(增刊).

2 周後喜,等.1888年景泰6级地震破裂带研究.西北地震学报,1992,14(增刊).

3 丁国瑜.全新世断层活动的不均匀性.中国地震,1990,6(1).

4 佃菜吉,断层の几何学的バリヤと破壊プロセス,地学杂志,1991,100(3).

STUDY ON THE SEGMENTATION OF LAOHUSHAN FAULT ZONE

He Wengui, Liu Baichi, Lu Taiyi, Yuan Daoyang, Liu Jiansheng and Liu Xiao feng (Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

Based on analysis of the basic features of Laohushan fault zone, this paper discusses the segmentation of the active fault zone by using the natural, geometric, kinematic and rupture features of active faults as the segmentation principles. It emphasizes the rupture segmentation. The results show that Laohushan fault zone can be divided into 4 segments: Xijishui, Laohushan, Caoxia and Heimajuanhe segments. The segmentation can provide important information for mid-long term earthquake prediction.

Key Words: Qilian fault system; Laohushan fault zone; Barrier; Fault segmentation