# 甘肃古浪长岭山北麓断裂新活动特征与地震危险性

刘 强<sup>1,2</sup>,王爱国<sup>1,2</sup>,邵延秀<sup>1,2</sup>,赵泽贤<sup>1,2</sup>

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州基地,甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000)

摘 要:通过野外调查和探槽开挖,并结合 b 值计算结果,对位于甘肃省中部古浪县的长岭山北麓断 层的几何学、运动学特征、活动性分段及地震危险性进行了研究。研究认为长岭山北麓断裂主要由 四条断层组成,总体呈反"S"形展布;断层最新活动在西段 f<sub>1</sub> 表现为倾向南的左旋正断性质,在西 段 f<sub>2</sub> 和中段 f<sub>3</sub> 表现为向北倾的左旋正断性质,东段 f<sub>4</sub> 又转变为倾向南的左旋正断活动性质,断裂 西端以秦家大山南北向隆起及第三系褶皱与古浪断裂隔断,东端以白墩子左旋拉张盆地与罐罐岭 断裂左阶排列,阶距 3.5 km;断裂带全新世早中期以来有过地震活动,最后一次活动离逝时间较 长,现代应力积累较快,为未来地震危险区。

关键词:长岭山北麓断裂;新活动特征;地震危险性;b值;古浪地震 中图分类号:P546 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2011)02-0123-07

# Active Characteristics and Seismic Risk of Northern Piedmont Fault of Changling Mountain in Gulang County, Gansu Province

LIU Qiang<sup>1,2</sup>, WANG Ai-guo<sup>1,2</sup>, SHAO Yan-xiu<sup>1,2</sup>, ZHAO Ze-xian<sup>1,2</sup>

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;
2. Lanzhou Seismological Institute, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The geometric and kinematics characteristics, activity segmentation and seismic risk of northern piedmont fault of Changling mountain in Gulang county, Gansu province are studied through the field investigation, trench excavation and *b*-value calculation. The results show that the northern piedmont fault of Changlin mountain can be divided into four secondary faults, distributes as an inverse "S" style in whole, and was active in early and middle stage of Holocene. For the latest motions,  $f_1$  at west acted as normal fault with left-lateral moving inclined to south, section  $f_2$  at west and section  $f_3$  at middle segment acted as normal fault inclined to south again. The west end of the fault is partitioned with Gulang fault by Qinjiadashan mountain and Tertiary fold system, and the east end of the fault is partitioned with Guang tault by Baidunzi left-lateral pull-apart basin with step distance of 3.5 km. Due to the elapsed time of the last seismic action being very long and the modern stress quick accumulation, the fault area has high seismic risk in future time.

Key words: Northern piedmont fault of Changling mountain; Active characteristics; Seismic risk; bvalue; Gulang earthquake

收稿日期:2011-03-31

基金项目:中国地震局地震预测所基本科研业务专项《甘肃古浪和四川汶川两次8级大震构造区对比研究》;西部交通建设科技项目 《武罐高速公路抗震优化设计及灾害防治技术研究》;中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2011029

作者简介:刘 强(1982-),男(汉族),河北衡水人,硕士研究生,主要从事活动断裂及地震地质的研究.

0 引言

长岭山北麓断裂位于青藏板块东北缘的前锋地带,属北祁连活动断裂带东段北支断裂成员<sup>①</sup>(图1)。断裂西起古浪花庄附近,经长岭山北麓延伸到小红山南麓,一直到白墩子拉分盆地为止,近 EW 走向呈反"S"形展布。北祁连活动断裂带位于阿拉善地块、鄂尔多斯地块和青藏块体的交汇处,构造位置特殊,地震活动性强。在北支断裂带上曾经发生1927年古浪8级地震和1709年中卫南7½级地震,其中古浪地震地表破裂带沿古浪断裂(天桥沟一黄羊川断裂)向东延伸至夹皮沟一带<sup>[1-2]</sup>,中卫南地震地表破裂带向西可能延伸至青山石膏矿附近<sup>[3]</sup>。对

于两者之间的长岭山北麓断裂和罐罐岭断裂,前人 系统研究较少。柳煜等<sup>[4]</sup>通过冲沟位错量对比认为 长岭山北麓断裂为 1927 年古浪地震断层的一部分, 而杜鹏等<sup>[5]</sup>则将该断裂东段的小红山次级断裂段与 其东侧罐罐岭断裂段、青山石膏矿断裂段归为一次 地震破裂单元。基于前人研究成果,我们在野外对 该断裂进行野外追踪调查,并在典型的地形地貌位 置开挖探槽的基础上,通过断裂几何展布形态、断裂 活动特征、探槽剖面特征与 b 值计算结果的综合分 析,研究该断层与两侧断裂段的关系,断层最新活动 时代及活动性质,并进一步探讨该区段的地震危险 性。



①海原断裂;②香山天景山断裂;③毛毛山老虎山断裂;④长岭山北麓断裂;⑤古浪断裂;⑥金强河断裂; ⑦皇城双塔断裂;⑧冷龙岭断裂;⑨拉脊山断裂;⑩庄浪河断裂;⑪马衔山断裂;⑫罗山东麓断裂

图 1 研究区构造环境及范围(据袁道阳等,2001) Fig. 1 Tectonic background and the range of the study area.

### 1 断裂几何展布特征及性质

长岭山北麓断裂西起甘肃省古浪县大靖乡花庄 南,向东经胡家井、塘坊、岳家滩后沿长岭山北麓的 老城、薛家庄分布,然后顺井子沟及景泰小红山南麓 展布,向东到达独山子,全长约 58 km,由不连续的 4 条断层段组成( $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ )。断裂总体走向近东 西,呈反"S"形展布。根据断裂活动性质及几何展 布特征,断裂分为西段( $f_1$ 、 $f_2$ )、中段 f3 和东段 f<sub>4</sub>(图 2)。

#### 1.1 西段

西段从秦家大山的花庄附近向东经胡家井、塘 坊到岳家滩阶区为止全长 14 km,总体走向 N80°~ 85°E,由近平行的两条断裂 f<sub>1</sub> 和 f<sub>2</sub> 组成。

南侧断裂 f<sub>1</sub> 发育于晚更新世砂砾石层及土黄 色粉土层中,表现为向南陡倾的左旋正断性质。胡 家井村南约 1 km 冲沟东西两壁均能见到断层剖 面,由多条近平行的一组断面组成,表现为多级正断 性质,表层可见岩层断距约 1.5 m(图 3)。主断面平 直,产状 N86°E/SE/84°,沿断层面残留一层 0.5~ 1 cm 厚的鳞片状断层泥,泥层上的擦痕也指示了断 第2期

层的左旋正断性质。断层向东,地表为Q<sub>3-4</sub>黄土层 所覆盖,沿断裂形成落水洞;断层向西,地表为薄层 含砂砾粉土覆盖,地表经过农田改造,没有明显的新 活动陡坎地貌。断层经过冲沟处,为冲沟高约 0.7 m 的 T<sub>1</sub> 阶地砂砾石层覆盖。





图 3 胡家井村南 f<sub>1</sub> 断层剖面(镜向西) Fig. 3 The profile of f<sub>1</sub> fault located at south of Hujiajing (mirro to west).

北侧断裂 f2 发育于山前洪积体前缘,以胡家井 村附近地貌最为清晰,表现为连续的冲沟、山脊左旋 及断层沟槽地貌(图 4(a))。胡家井村西断层南侧 为晚更新世砂砾石层夹粉土层,向北顺山势微倾斜; 断层南侧底部为胶结比较坚硬的早中更新世砂砾岩 层,近断层产状陡立,产状 S80°E/NE/65°。断层表 现为宽约 25 m 的槽地,为晚更新世黄土沉积,显示 了断层的左旋拉张作用。断层带上有断层泉出露。 在断层带上开挖的探槽 Tc1 揭示(图 4(b)),断层断 错晚更新世洪积砂砾石夹粉土层及晚更新世一全新 世黄土,沿断面砾石定向排列。断层北侧黄土层中 有一次古地震崩积楔,显示断层晚更新世晚期以来 有过地震活动。断层上覆厚约 45 cm 的松散全新世 黄土连续,没有被错动,表明断层最新活动时间为全 新世早中期。剖面中地层描述如下:①Q3-4土黄色 松散状黄土,顶部含植物根系;②Q3 青灰色砂砾石 层,无磨圆,粒径 3~4 cm 为主;③ 淡红色楔状含砂 砾粘土;④Q3黄土状粉土夹层;⑤细碎的砾石层夹 黄土状细砂层,砾石粒径 0.2~1 cm;⑥岩性同层 ①,形成年代为 Q。晚期。



(a) 断层地貌(镜向东)



图 4 胡多开剂 吗 12 即 层地貌及标唱 計画 Fig. 4 The landform and trench section on f<sub>2</sub> fault at west of Hujiajing.

#### 1.2 中段

中段 f<sub>a</sub> 西起周家沟,向东经谢家沟、老城林场、 泉沟门、毛牛圈、薛家庄、上井子沟村、下井子沟村至 井子沟口,近 EW 转 SEE 向弧形展布,全长约 28 km。该断裂段地形、地貌特征清晰明显,井子沟和 雪家庄等地可见连续的断层陡坎及系列冲沟、河流 的左旋错动。

在该段我们分别在薛家庄西松山沟和井子沟村 西开挖了两个探槽(Tc2 和 Tc3)。在松山沟探槽剖 面 Tc2 中(图 5),f<sub>3</sub> 断层发育于 T<sub>2</sub> 级阶地内,断层 上部表现为向北陡倾的两条正断断面,并保留有至 少两次古地震事件。断层最新活动断错松山沟 T<sub>2</sub> 级阶地砾石层及表层黄土,并形成高约 0.5 m 的陡 坎。断层北侧可见松山沟 T<sub>1</sub> 级阶后缘不整合面, 未见断层错动迹象。

剖面地层描述如下:①腐殖根土层,富含植物根 系,厚度 5~10 cm;②粉土层,其形成年代为  $Q_{3-4}$ , 厚度从 0.2 m 至 1.2 m 不等;③在  $F_2$  断层的两个分 支中间的多期次的崩积楔,岩性组成以砾石和黄土 状的粉细砂为主;④洪积砾石层,无磨圆,粒径以 10 cm 为主,该层由于被  $F_2$  断层错断,所以分成了左右 两部分,左侧厚度 0.4~1.5 m,右侧厚度 0.8 m 左 右;⑤微磨圆的细碎砾石层,直径 0.5 cm 左右,混有 中粗砂,厚度 10 cm;⑥洪积的砾石层和黄土状粉砂 土的混合物,以砾石为主;⑦洪积的无磨圆的砾石 层,粒径从 1 cm 至 10 cm 不等,底部夹有中粗砂质 的透镜体,左侧厚度 0.6 m,右侧厚度 1.5 m;⑧冲 洪积砾石层混有砂状粉土,砾石多成片状或板状,直 径 5~10 cm,无磨圆。

在井子沟西的探槽剖面 Tc3 中(图 6),断层也 表现为向北陡倾的两条近平行正断层,断裂断错  $Q_{3-4}$ 砂砾石层及上部黄土,但为表层厚约 30 cm 的 粉土层所覆盖。剖面描述如下:①表层的腐殖层,顶 部富含植物根系,厚度 5~10 cm;②坡冲洪积的含 砾粉砂状黄土,砾石主要分布在底部,整体成凹槽 形,对应地表凹形沟槽,砾石直径以 2 cm 为主,无磨 圆;③粉土层,厚度 20 cm 左右;④冲积的砾石层,砾 石无磨圆,最大厚度 15 cm;⑤黄土状粉土层,偶夹 直径 10 cm 左右的砾石,被  $F_1$ 、 $F_2$  两条断裂错断,最











第2期

大厚度 1 m; ⑥坡积的砾石层, 粒径 2 cm 左右, 上部 夹有片状的直径达 5~8 cm 的砾石, 无磨圆, 含有带 状的黄土状粉土夹层。

根据地表的地貌特征及探槽的剖面特征,该断 层段在晚更新世晚期至全新世早中期曾有过活动, 其活动方式以左旋走滑为主兼有向北的正断性质。

1.3 东段

在该段f4 断层从井子沟东口开始沿小红山南 麓一直到达白墩子拉分阶区的南部,全长16 km,走 向近东西,表现为左旋走滑兼向南的正断性质。该 段的地形特征非常典型,在景泰小红山南麓 T。级 以上冲洪积阶地上形成了高 1~2.5 m 的线性陡坎 (图 7);断层沿线冲沟表现了一致的左旋错动,最新 一级错距在 3 m 左右。杜鹏等<sup>[5]</sup>在 T<sub>2</sub> 级阶地陡坎 上开挖的探槽揭示,除表层极薄的坡积松散细砂外, 断层断错 T<sub>2</sub>级阶地所有层位,并保留有两次古地 震事件,说明断层晚更新世晚期以来有活动。断层 经过冲沟处,清理的探槽 Tc4 揭示断层为残留的冲 沟 T<sub>1</sub>级阶地砂砾石层覆盖(图 7)。柳煜等<sup>[4]</sup>对该 层底部细砂的 TL 测年结果为 6.1±0.7 ka。另外 在小红山北部地区的明长城(修建于1598年,即明 万历26年)垂直穿过断层,但长城未见错动,表明断 层东段 f<sub>4</sub> 最后一次活动离逝时间较长。



- 图7 景泰小红山 f<sub>4</sub> 断层地貌及探槽 Tc4 剖面 照片(镜向西)
- Fig. 7 Landform deformation and trench section (Tc4) on  $f_4$  fault in Xiaohongshan segment.

总体看,长岭山北麓断裂各段活动时间具有较 好的一致性,最新活动时间应在全新世早中期以晚, 最后一次活动离逝时间较长,与西侧古浪断裂 1927 年地震事件及东侧罐罐岭断裂最新地震地表破裂事 件均具有不同的时间期次,为地震事件的独立活动 段落。

2 断裂两端的转换关系

长岭山北麓断裂向东为白墩子拉分盆地,与罐 罐岭断裂形成的拉分区,阶距约3.5 km,该拉分区 与北祁连山断裂系东段弧形断裂系南支广义海原断 裂带上的景泰南喜集水拉分区构造位置及性质具有 相似性(图1)。喜集水左旋拉分区位于海原断裂与 老虎山一毛毛山断裂之间,阶距约4 km,为1920 年 海原8.5 级地震向西终止点。白墩子左旋拉分区所 处的古浪一中卫一同心断裂带最大潜在发震能力为 8.0 级,地震很难贯通如此宽的拉分阶区。因此,以 白墩子盆地为限,长岭山北麓断裂与罐罐岭断裂具 有几何分段与活动性分段。

长岭山北麓断裂向西与古浪断裂为南北向的秦 家大山所隔。古浪断裂东延至打拉水进入秦家大山 附近后地表行迹不再清晰。顺秦家大山东侧大靖峡 西岸切出的地质剖面(位置见图 1)显示,在秦家大 山一带断裂行迹已不明显,断裂显示为上新统桔红 色砂质泥岩、砂砾岩夹砂岩向斜内部的褶皱变形(图 8),表明古浪断裂向东破裂作用为秦家大山南北向 隆起及第三系褶皱所吸收。长岭山断裂西段 f<sub>1</sub> 的 倾向南的左旋拉张正断,为长岭山断裂尾端端部拉 张效应所致,f<sub>1</sub> 与 f<sub>2</sub> 的共同效应形成大靖拉分盆地 区,与古浪断裂形成几何分段及活动性分段。

3 b 值计算

#### 3.1 b值含义以及计算方法

b值是G-R关系(古登堡一李克特关系(Gutenberg and Richter))中的一个重要参数。反映的 是区域性的震级 $\geq M$ 地震的累积次数 N 与震级 M 的指数函数关系:

$$\log N = a - bM$$

式中 M 为震级; N 为大于等于 M<sub>e</sub>(最小完整性震级)的地震累积频度; b 值是比例系数。

6 值最初和 a 值一样作为经验统计的参数,反映的是大小地震发生的比例关系,后来人们发现 b 值能够代表一定的物理意义<sup>[7-8]</sup>,即 b 值同物质的各向异性正相关,随介质应力水平的提高而减小。因此 b 值可以用来做为评价一个区域地震危险性的一 个指标; b 值大,说明应力积累较低,发震危险性低; 而 b 值小(通常小于 0.7),则说明积累较大,发震危 险性高。

计算 b 值的地震样本量 n -般要求大于 50,如 果 n < 50,计算出来的 b 值误差比较大,一般为  $50 < n \le 500^{[9]}$ 。地震样本数量的统计是以  $M_n \ge M_c$  为前 提的( $M_n$  为每个地震样本的震级,  $M_c$  为最小完整





性震级)。

作为震级统计范围中的最小完整性震级  $M_e$  是 一个重要的参数。在此处我们利用 MAXC 法<sup>[10-11]</sup> 确定最小完整性震级  $M_e$  (MAXC),然后引进一个修 正量 0.2 确定最小完整性震级  $M_e$ ,即  $M_e = M_e$ (MAXC)+0.2。

利用地震目录,我们统计得出计算每个节点 b 值的地震样本数量,然后用最小二乘法进行拟合计 算,以求得 b值,本文计算 b值的程序是作者利用 Matlab编写的。

#### 3.2 b值的计算结果与分析

在进行 b 值的计算过程中为了尽可能多的采用 现有的地震目录资料并保证数据的准确性和可靠 性,我们采用的是用 1970 年 6 月一2009 年 4 月沿 断裂带的精定位地震目录,并对余震进行必要的剔 出。重新定位地震目录所使用的定位方法为 Hypoinverse-2000,该方法得出的水平定位效果较好,由 于震相资料等的限制,部分地震没能给出重新定位 结果,这部分地震的震中使用原始震相报告中的结 果。

由于研究区域包括与古浪断裂(天桥沟一黄羊 川断裂)和中卫—同心断裂带的衔接部位,在计算 b 值的时候把这两条断裂也纳入研究范围进行计算, 最后确定的研究区域范围是(N36°48′~37°48′, E101°~107°)。对该区域以 0.1°的网格进行划分, 以每个网格节点为中心,以 20 km 为半径,做一个 圆形的统计单元,如果统计单元内的样本量少于 50,则将圆半径增加为 30 km,再次进行样本统计, 如果样本量还达不到 50,则此节点的 b 值无法计 算,其在最终的 b 值图像上为空白。

利用这些数据和原理我们得出研究区域的小震的震中位置(图 9),并计算出研究区域里每个节点的 b 值,根据 b 值的大小进行了等值划分(图 10)。





通过对结果进行分析我们发现,古浪断裂由于 1927年古浪地震对应力的大释放,断裂整体的 b 值 较大,应力积累较为缓慢,近期地震危险性不大;整 个长岭山北麓地区 b 值都在 0.7 以下,这说明在该 段现今应力积累较大;中卫地震破裂带以红谷梁为 中心,b 值也有明显的低值区,区段大致对应 1709 年中卫南地震破裂带,表明中卫地震离逝时间已有 一定长度,现代应力又进入再次积累阶段;白墩子拉 分盆地和罐罐岭地区由于缺乏足够的样本数据未能 求得该区域的 b 值大小,但从整个区域的 b 值分布 看,白墩子以东有一 b 值高值区,对长岭山北麓低值 区与红谷梁低值区形成分段。由于中卫断裂强地震



Fig. 10 b value distribution in spatial of the fault.

离逝时间刚到 300 年,与该段强地震近 2000 年的平 均复发间隔<sup>[6]</sup>还有较大差距,近期发生强地震的可 能性小。长岭山北麓断裂最后一次古地震离逝时间 较长,为现代应力积累高值区,根据断裂带长度,未 来存在发生 7 级左右地震的危险性。

## 4 结论

通过对长岭山北麓断裂的野外调查、探槽开挖, 并结合断裂带 b 值计算结果,对于该断裂带新活动 特征及地震危险性有如下认识:

(1)长岭山北麓断裂由不连续发育的多条断层 段组成,总体走向近东西,呈反"S"形展布,全长约 58 km。断裂全带全新世早中期以来均有活动,新 活动特征表现为左旋走滑兼张性正断性质。

(2)长岭山北麓断裂西端以秦家大山南北向隆 起及第三系褶皱与古浪断裂隔断,并在西端形成大 靖拉分盆地;断裂东端以白墩子左旋拉张盆地与罐 罐岭断裂左阶排列,阶距 3.5 km。根据断层几何形 态、新活动性及 b 值计算结果,该断裂与西侧的古浪 断裂及东侧的罐罐岭断裂分别以秦家大山和白墩子 盆地为界,有明显的几何分段与活动性分段。

(3)长岭山北麓断裂最后一次地震活动离逝时间较长,与西侧古浪断裂1927年地震事件及东侧罐 罐岭断裂最新地震地表破裂事件均具有不同的时间 期次,为地震事件的独立活动段落。

(4)长岭山北麓断裂具有发生中强地震的构造 条件而且现代应力积累较快,最后一次古地震的离 逝时间较长,为未来7级左右地震危险区段。

致谢:感谢中国地震局地球物理研究所蒋长胜 博士提供重新定位的地震目录,感谢评审专家对本 文提出有益的修改意见。

#### [参考文献]

- [1] 郑文俊,袁道阳,何文贵. 祁连山东段天桥沟一黄羊川断裂古 地震活动习性研究[J]. 地震地质,2004,26(4):645-657.
- [2] 郑文俊,袁道阳,张冬丽,等,1927年古浪8级地震的破裂习性 及破裂机制的数值模拟[J].中国地震,2004,20(4):353-363.
- [3] 张向红,杨斌,张向阳,等.对宁夏中卫南 F<sub>201</sub>左旋逆走滑发震 断层长度的确定[J].西北地震学报,2005,27(3):240-245.
- [4] 柳煜,王爱国,李明永,等. 长岭山北麓断裂晚第四纪活动性及 构造稳定性研究[J]. 中国地震,2006,22(4):394-404.
- [5] 杜鹏,柴炽章,沈卫华,等. 罐罐岭断裂带最新活动特征[J]. 地 震地质,2007,29(3):597-606.
- [6] 闵伟,张培震,邓起东.中卫一同心断裂全新世古地震研究
   [J],地震地质,2001,23(3);357-366.
- [7] 段华琛,范长青,许跃敏. b值计算及其在地震预测预报中的应 用[J]. 地震学报,1995,17(4):487-492.
- [8] 易桂喜,闻学泽. 多地震活动性参数在断裂带现今活动习性与 地震危险性评价中的应用与问题[J]. 地震地质,2007,29(2): 254-270.
- [9] Stefan Wiemer, Matt Gerstenberger, Egill Hauksson. Properties of the Aftershoc Sequence of the 1999 M<sub>w</sub> 7. 1 Hector Mine Earthquake; Implicationsfor Aftershock Hazard[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2002, 92 (4); 1227-1240.
- [10] Stefan Wiemer, Max Wyss. Minimum Magnitude of Completenessin Earthquake Catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2000, 90(4):859-869.
- [11] Jochen Woessner, Stefan Wiemer. Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2005, 95(2):684-698.