

25-23

## 上寺地表破裂带及其形成机制的初步认识\*

戴华光, 刘洪春, 苏向洲, 陈永明  
张杰, 马兰花, 贾云鸿

p315.2

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 在详细描述破裂带几何形态、展布特征及力学性质的基础上, 对上寺地表破裂带的形成机制进行了初步探讨. 结果表明, 上寺地表破裂带是1927年古浪8级地震破裂带的组成部分.

**关键词:** 古浪地震; 甘肃; 构造应力场; 地表破裂带; 上寺

地震地质

**中图分类号:** P315.2; P54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)01-0025-05

## 0 引言

上寺地表破裂带位于祁连山东段冷龙岭北缘皇城-双塔活动断裂中段的北侧, 是笔者1992年对该区进行踏勘时发现的. 经过近2年的进一步调查和研究, 对该破裂带的性质、特征和规模有了较全面的认识. 本文详细描述了上寺地表破裂带的特征, 并讨论了其与1927年古浪8级地震的关系, 最后对该破裂带的形成机制进行了讨论.

## 1 上寺地表破裂带特征

上寺地表破裂带主要展布在海拔约3 000 m的山梁上, 其展布范围大致在上寺西侧大河沟以北, 天池山以南东西宽约3 km、南北长约3.5 km的区域内(图1). 根据破裂带的展布方向, 可将其大致分为北北东向和北西西向2组.

## 1.1 NNE向破裂带

该方向破裂带南起大河沟脑, 经3164制高点和3270制高点, 向北止于天池山南, 全长3.5 km, 总体走向 $N9^{\circ} \sim 15^{\circ}E$ , 为上寺地区最主要的破裂带. 根据变形特点, 可将其分为基岩滑坡带和基岩裂缝带2种类型.

## 1.1.1 基岩滑坡带

展布于大河沟脑和3270制高点之间, 主要由3270制高点大滑坡、3164制高点滑坡和大河沟脑滑坡组成, 其中以3270制高点大滑坡最为典型(图2).

该滑坡后壁长约40 m, 走向EW, 近于直立, 滑坡体与滑坡后壁形成的洼地宽30余米. 滑坡体自山顶向南滑下, 并使小河沟的流向发生明显的转弯. 滑坡体上发育明显的滑坡鼓丘, 鼓丘高20余米, 呈椭圆型, 鼓丘上基岩隆起, 裂缝纵横交错. 滑坡体北部发育有1条长100余

收稿日期: 1998-06-24

\* 地震科学联合基金资助项目; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC1999002.

第一作者简介: 戴华光, 男, 1945年9月生, 副研究员, 主要从事地震地质研究工作.

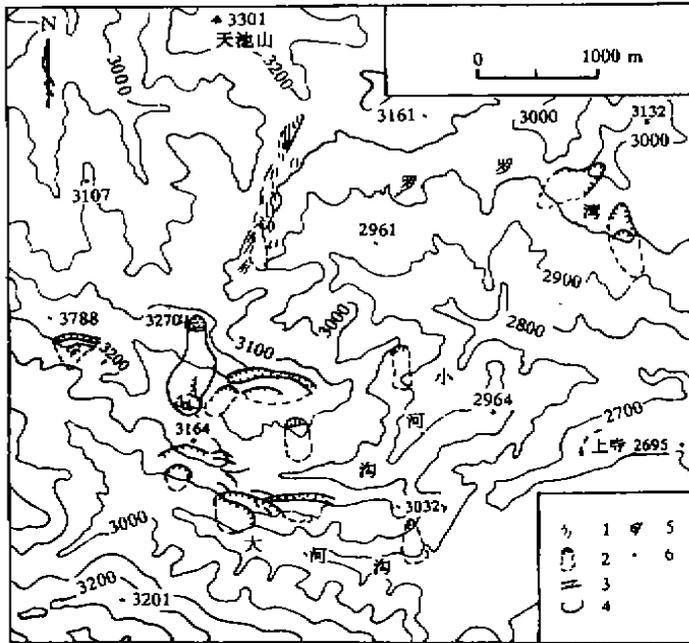


图 1 上寺地表破裂带平面分布  
 Fig. 1 Distribution of surface rupture zones at Shangsi.  
 1 地震裂缝; 2 地震滑坡; 3 滑坡洼池;  
 4 等高线; 5 地震塘; 6 制高点

百余米,长约 1 500 m(图 1). 由于山脊基岩裂开,在裂缝中或其东侧形成串珠状展布的地震塘和小型基岩滑坡,其中最南端的地震塘成为当地唯一的供水源。

根据该裂缝带的展布特征,可大致将其等间距地分为南中北 3 段。

其南段由 3 组斜列的裂缝带组成,总体展布方向为  $N10^{\circ} \sim 15^{\circ}E$ . 每组由 3~4 条大致平行的  $NE \sim NEE$  方向( $N40^{\circ} \sim 55^{\circ}E$ )的裂缝组成,单条裂缝可见长度为 80~100 m,宽 4~6 m,深 1~2 m,裂缝面上凹凸不平,呈齿锯状,显示出张性裂缝的特征. 南侧 2 组裂缝的东段,被一基岩滑坡破坏,由此推断,这些裂缝的长度应大于 100 m. 由这 3 组张性裂缝的排列方式分析,该处地面发生过明显的右旋水平扭动(图 3).

中段主要为 1 条长 500~600 m 的基岩裂缝. 该裂缝的宽度为 70~130 m,深度为 10~30 m,总体走向为  $N10^{\circ}E$ .

北段由 3~4 条大致平行的裂缝组成,单条裂缝长 400~500 m,宽 20~30 m,深 5~10 m,走向为  $N10^{\circ}E$ ,与裂缝带的总体走向一致. 这些基岩裂缝大致呈等间距地分布在百余米宽的山脊上,规模十分壮观(图 4).

### 1.2 NWW 向破裂带

米的陡坎,高约 2 m,其南侧有 1 条长 100 余米的裂缝与之平行展布,走向为  $N19^{\circ}E$ .

除了上述滑坡带之外,在罗罗湾、小河沟南北两侧及 3288 制高点等地都发育有不同规模的基岩滑坡,如 3288 高点基岩滑坡,其规模仅次于 3270 高点的滑坡. 在该滑坡体上,大片灰白色的砂岩被翻出地面,并且有马刀树和醉汉林.

上述基岩滑坡的共同特征是,滑坡体均向南下滑,并在地貌上形成不同规模的滑坡洼地. 滑坡体的滑动方向为  $N0^{\circ} \sim 19^{\circ}E$ .

#### 1.1.2 基岩裂缝带

该带南起 3270 高点北侧的罗罗湾沟,呈 NNE 方向沿海拔 3 100 m 的山脊展布,由多条呈斜列状平行展布的裂缝组成,宽

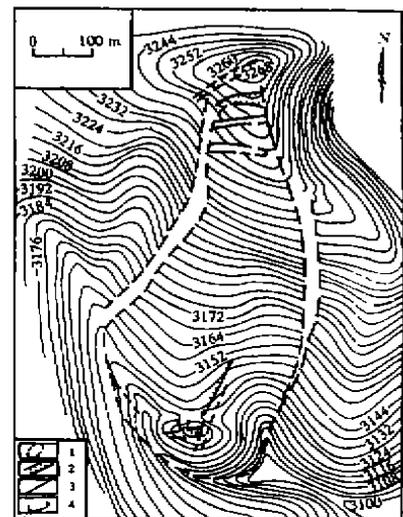


图 2 3270 高点基岩滑坡  
 实测平面图

Fig. 2 The landslide in base rock at commanding elevation 3270.

1 滑坡周界; 2 滑坡洼池;  
 3 地震陡坎; 4 等高线

该带展布在大河沟北侧的山脊上,主要由 NWW 和 NEE 二组方向的基岩裂缝及滑坡洼地组成.它们与 3164 高点南侧的滑坡群的后壁连成一片,在山脊上形成了走向 NWW 长约 1 000 m 的基岩裂缝和滑坡洼地带.在 3164 高点东侧,2 组裂缝呈追踪状展布,其中 NWW 向顺山脊展布的裂缝宽度较大,有的地段宽达 10 m.此外,在 3270 高点的东侧,还发育一个长约 600 m、宽 5~8 m 的滑坡洼地,其长轴方向为 NWW.该洼地与 3270、3288 高点滑坡所形成的洼地在总体上构成了一条 NWW 向的形变带.

## 2 上寺地表破裂带与 1927 年古浪 8 级地震的关系

### 2.1 访问调查

根据上寺村及其相邻一带村庄 60 岁以上的老人介绍,上寺地表破坏程度比其它地区都重;上寺西梁上的地裂缝都是 1927 年地震形成的;1927 年地震时,上寺西大河沟北侧山脊上“山忽然裂开,有的地方还冒黑水,情景十分吓人”.

### 2.2 树轮年代

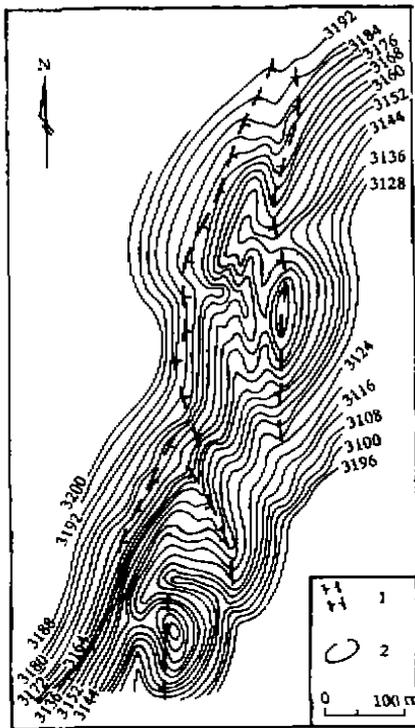


图 4 3270 高点北基岩裂缝实测平面图

Fig. 4 Distribution of the fissure in base rock north commanding elevation 3270.  
1 地震裂缝; 2 等高线

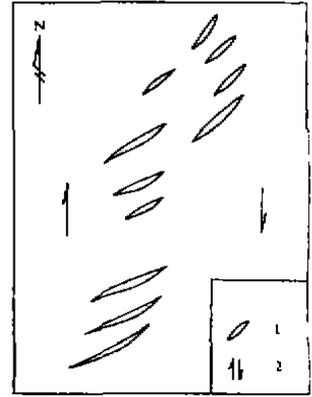


图 3 裂缝带反映的地面运动方式示意图

Fig. 3 Distribution of tensile fissures and surface movement pattern.

1 张裂缝; 2 地面运动方向

在上寺地表破裂带中,宽 10~30 m 的基岩裂缝十分普遍.为了确定这些裂缝的形成年代,我们对生长在裂缝中最大的树木(3 棵松树和 1 棵杨树)进行了测量,它们的主干基部的周长分别为 60、53、49 和 50 cm.据文献[1]的研究,皇城-双塔断裂带东段冬青顶西天池滑坡体西北侧的松树的生长速率为 0.3~1.9 mm/a,东南侧为 0.8~4 mm/a,其平均生长速率为 1.75 mm/a.据此计算出上寺地区地裂缝中的 4 棵树木生长年龄为 45~55 年.根据对裂缝带中同类周长树干剖面年轮的测量,其生长年龄为 40~60 年,这与上述按生长速率测算出的结果是一致的.此外,我们注意到另一个事实,即破裂带以外的山坡松树周长一般在 100 cm 左右,剖面年轮测量一般为 70~90 年,而 1927 年古浪地震距今只有 70 年,由此判定,裂缝中的树木均是古浪 8 级地震以后生长起来的.

### 2.3 地衣年龄

我们对附生在基岩裂缝上的地衣(丽石黄衣)进行了较系统的测量.裂缝壁上较大的丽石黄衣的直径为 10~20 mm.依据谢新生[2]给出的公式  $T(D) = 0.9155D^{1.491}$  ( $K = 20\%$ ),并取  $D = 15$  mm 计算,上寺基岩裂缝上地衣的生长年龄约为 52 年,表明基岩裂缝的形成年代与 1927 年古浪 8 级地震发生的时间是相等的.

### 2.4 微观震中

1927 年古浪 8 级地震序列属于较典型的主震-余震型.

自 1927 年 5 月 23 日至 1928 年 3 月 21 日,在震中区内共发生  $M_S \geq 4.5$  地震 14 次,其中包括  $M_S 5.5$  前震 1 次,余震 12 次.特别需要指出的是,在余震中有 3 次  $M_S 6$  强余震,其中有 2 次的微观震中都位于上寺的南西侧(图 5),可以认为这 2 次 6 级强余震的宏观震中应位于上寺地表破裂带上.

根据上述分析可以认为,上寺地表破裂带是 1927 年古浪 8 级地震时形成的,是古浪 8 级地震地表破裂带的组成部分.

### 3 上寺地表破裂带形成机制的分析

#### 3.1 地质构造环境

上寺地表破裂带展布区地层属于上三迭统南营儿群( $T_{3nn}$ ),岩性为灰色、灰白色、紫红色砂岩、页岩夹不稳定薄煤层,走向为  $N50^\circ \sim 70^\circ W$ ,倾向 SW,倾角  $8^\circ \sim 25^\circ$ .该地层位于一近 NW 向的向斜轴部,其南北两侧与中下三迭统西大沟群( $T_{1-2nd}$ )呈整合接触.该向斜的南翼,被皇城-双塔活动断裂截切,为一不对称的向斜构造.

#### 3.2 古浪大震震源机制解与区域构造应力场

古浪 8 级地震的震源机制解如表 1 所示<sup>[3]</sup>.其中 B 节面被认为是震源断层面,其走向为  $N57^\circ W$ ,倾角近于直立,以左旋水平错动为主,主压应力轴为  $NEE \sim SWW$ ,主张应力轴为  $NNW \sim SSE$ .上述结果不仅与古浪地震宏观等震线的长轴方向相吻合,而且与震中区内地震破裂带所显示的走向和性质<sup>[4-6]</sup>也大致相符.

表 1 1927 年古浪 8 级地震震源机制解

断层面走向	倾向	倾角	错动力方位	错动力与水平面夹角
$N34^\circ E$	NW	$72^\circ$	$212^\circ$	$6^\circ$
$N57^\circ W$	SW	$84^\circ$	$305^\circ$	$18^\circ$
主应力轴	主压应力轴 P		主张应力轴 T	中等主应力轴
方位	$258^\circ$		$350^\circ$	$105^\circ$
仰角	$18^\circ$		$9^\circ$	$70^\circ$

#### 3.3 上寺地表破裂带形成机制的分析

前已述及,上寺地表破裂带是 1927 年古浪 8 级地震时形成的,其中的 NNE 向的基岩裂缝带与震中区的 NNW 向、NWW 向和 NEE 向形变带共同组成了一个地震形变带系统.由这个地震形变带系统所反映的震中区构造应力场的主压应力方向为  $NEE \sim SWW$ ,与由震源机制解求出的主压应力方向一致.在这个构造应力场(图 6)中,NWW 向的结构面应为主压结构面(兼右旋);NEE 向的结构面为主张结构面(兼左旋);而 NWW 和 NNE 二组方向的结构面则为剪切面(扭裂面),其中 NWW 向的表现为左旋兼挤压,而 NNE 向的则表现为右旋兼拉张.上寺地表破裂带中 NNE 向的右旋兼拉张的基岩裂缝,则是上述 NNE 向结构面的反映.

上寺的西侧是皇城-双塔活动断裂全新世活动段(响水河-双塔段)的西部端点位置,在那

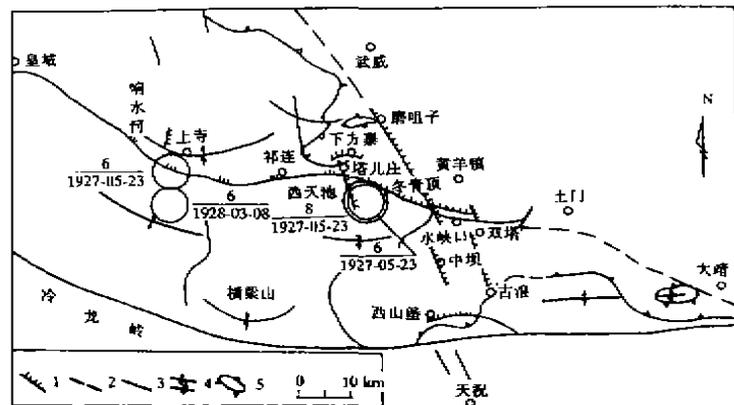


图 5 1927 年古浪 8 级地震地表破裂带及区域构造略图

Fig. 5 Distribution of surface rupture zone of the Gulang  $M_S 8$  earthquake in 1927 and regional geological structures.

1 地表破裂带; 2 活动断裂; 3 深断裂; 4 背斜、向斜; 5 盆地边界

里,中生代及其以前的构造线和地层都发生了明显的 NNW 方向的转弯,显然是受到冷龙岭 NNW 向隆起带晚第四纪以来强烈活动的影响和改造.这种影响和改造还突出地表现为,在上三迭统的砂页岩中  $N50^{\circ}\sim 70^{\circ}W$  和  $N10^{\circ}\sim 25^{\circ}E$  二组节理面非常发育.上寺破裂带中基岩滑坡的后壁则主要沿岩层中  $N50^{\circ}\sim 70^{\circ}W$  的节理面裂开;而破裂带中 NNE 向的基岩裂缝则沿  $N10^{\circ}\sim 25^{\circ}E$  的另一组节理面裂开.如果把这 2 组节理面与其西侧的 NNW 向现代隆起带的中轴面相配套,则反映了主压应力方向恰为 NEE-SWW.这与震源机制解求得的古浪 8 级大震的主压应力方向是完全一致的.

古浪 8 级大震的 3 个 6 级强余震的仪器震中,有 2 个位于上寺的南侧(图 5),它不仅加重了该处地表破裂的程度,同时也表明,上寺的西侧是古浪大震震源体的西部边界,也是古浪大震地表破裂带的西部边缘.那里的最新岩层是上三迭统南营儿群( $T_{3nm}$ ),与周围岩层相比属于抗张强度最低的岩层,而砂岩中极为发育的节理面、层理面、含有泥质物的黑色页岩层理面和不稳定薄煤层等与山坡倾斜方向一致,层面倾角又多缓于山坡的坡角等等,这些都为地震时该处基岩裂缝和基岩滑坡的产生提供了极为有利的条件.

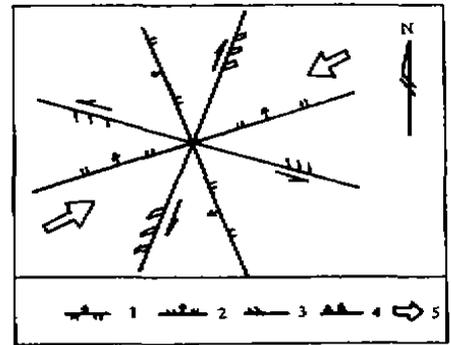


图 6 1927 年古浪 8 级地震构造应力状态解析图

Fig. 6 Sketch of tectonic stress state of the 1927 Gulang  $M_{8}$  earthquake.

1 压性为主兼右旋; 2 张性为主兼左旋; 3 压扭; 4 张扭; 5 主压应力方向

### 参考文献

- [1] 杨斌,周俊喜,刘百镜,等.甘肃古浪、景泰活断层上的树木地震学研究[J].地震地质,1995,17(2):139-148.
- [2] 谢新生.地震测年法研究及其在陕西若干地震事件中的应用[J].科学通报,1989,(24):1885-1888.
- [3] 陈志泰,冯学才,贾云鸿.1927年甘肃古浪 8 级地震[C].见:中国特大地震研究.北京:地震出版社,1988.208-229.
- [4] 刘洪春,贾云鸿,苏向洲,等.1927年古浪 8 级地震地表破裂带研究[C].见:活动断裂研究(4).北京:地震出版社,1995.79-91.
- [5] 戴华光.地震形变带与地震构造条件[C].见:祁连山-河西走廊活动断裂系.北京:地震出版社,1993.175-210.
- [6] 贾云鸿.1927年古浪大震地质构造背景及其成因的初步探讨[J].西北地震学报,1982,4(3):78-82

## CHARACTERISTIC OF SURFACE RUPTURE ZONE AT SHANGSI AREA AND ITS FORMATION MECHANISM

DAI Hua-guang, LIU Hong-chun, SU Xiang-zhou, CHEN Yong-ming,  
ZHANG Jie, MA Lan-hua, JIA Yun-hong  
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou Gansu 730000)

### Abstract

Geometric pattern, distribution features and mechanics nature of surface rupture zone at Shangsi area are described. The mechanism of formation of the surface rupture zone is studied. It is proved that the Shangsi rupture zone is engendered during the Gulang earthquake, and is part of the rupture zone of the 1927 Gulang  $M_{8}$  earthquake.

**Key words:** Gulang earthquake; Gansu; Tectonic stress field; Surface rupture zone; Shangsi