

## 长岭山北麓断裂上新发现的地震地表破裂带

柳煜<sup>1</sup>, 杨斌<sup>1</sup>, 李明永<sup>1</sup>, 王爱国<sup>1,2</sup>, 刘洪春<sup>1</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃兰州 730000)

**摘要:**通过野外地震地质调查,在甘肃省古浪县、景泰县交界处的长岭山地区新发现了丰富的线状分布的地震地表破裂现象,表现为基岩崩塌、黄土滑坡、地震裂缝、地震土林、地震沟槽、陷落坑以及断层陡坎等,局部可见残留的破裂滑动自由面。其分布严格受长岭山北麓活动断裂控制。通过地震地表破裂带本身的特征分析、年代学分析、地表破裂带长度与震级的拟合关系以及结合区域活动断裂资料研究,认为该地震地表破裂带可能为1927年古浪8.0级地震的产物。

**关键词:**地表破裂带;长岭山北麓活动断裂;古浪8.0级地震

中图分类号: P315.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)04-0319-08

### A New Discovered Co-seismic Surface Rupture Zone on Changlingshan Northern Piedmont Fault

LIU Yu<sup>1</sup>, YANG Bin<sup>1</sup>, LI Ming-yong<sup>1</sup>, WANG Ai-guo<sup>1,2</sup>, LIU Hong-chun<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Based on the seismo-geological field investigation, a co-seismic surface rupture zone in Changlingshan area, Gansu province, was discovered recently. The rupture phenomena include: rock collapse, landslip, downthrown-pit, earthquake slot, uplift, scarplet, earthquake fissure and so on. The distribution of the rupture zone is controlled strictly by Changlingshan Northern Piedmont Fault. Through the comprehensive research on the characters of the rupture zone, TL age testing, data of the regional active tectonics and the relationship between rupture zone lengths and earthquake magnitudes, it is considered that this rupture zone was caused by Gulang  $M_s$  8.0 earthquake in 1927.

**Key words:** Surface rupture zone; Changlingshan Northern piedmont Fault; Gulang  $M_s$  earthquake

## 0 引言

从上世纪80年代开始,围绕黄河黑山峡大坝工程建设项目,国内有很多单位先后开展了对坝址区周围活动断裂的考察研究。由于本地区位于青藏高原隆起的东北缘,祁连山构造带的东端,新构造活动十分强烈,属强地震带,经野外调查发现了多条全新世活动断层及地震形变带。

1709年宁夏中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震沿 $F_{201}$ 左旋走滑活动断裂形成线状地表破裂,对于该地震破裂带特征兰州地震工程研究院进行了较为详细的研究,认为地表破裂向西抵达营盘水,形成的水平位错值从东向西呈衰减趋势,并在甘肃景泰白墩子盆地东红观附近达到最小值<sup>①</sup>。兰州地震研究所对1927年古浪8.0级地震进行实地调查后认为该次大震形

收稿日期:2006-05-31

中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20060046

作者简介:柳煜(1975-),男(汉族),甘肃徽县人,硕士,主要从事活动构造研究及地震工程安全性评价工作。

① 兰州地震工程院.黄河黑山峡小观音及大柳树坝址区域构造稳定性评价.兰州地震研究所,2004.



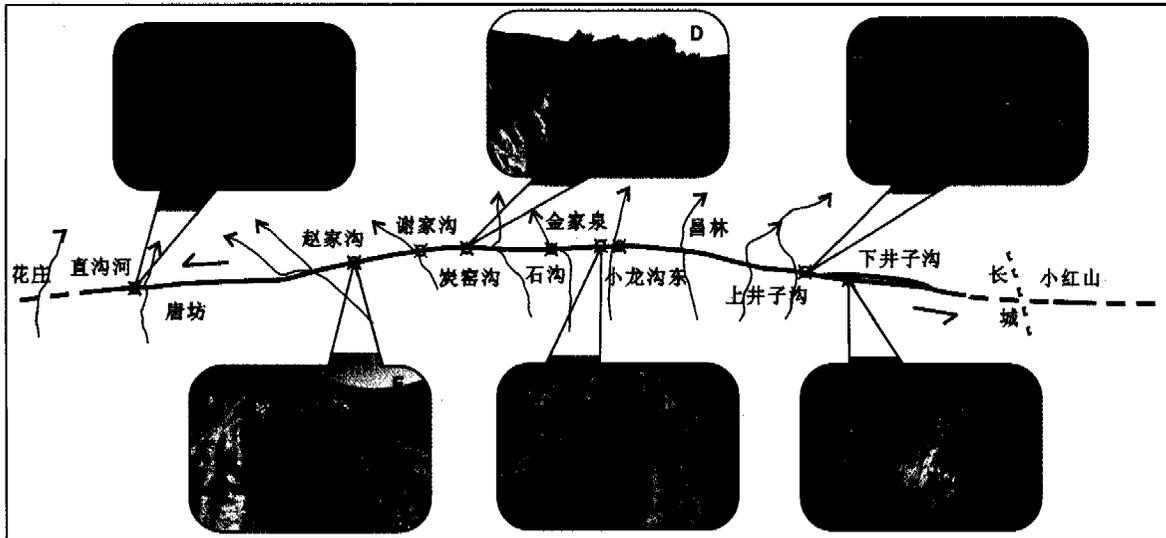
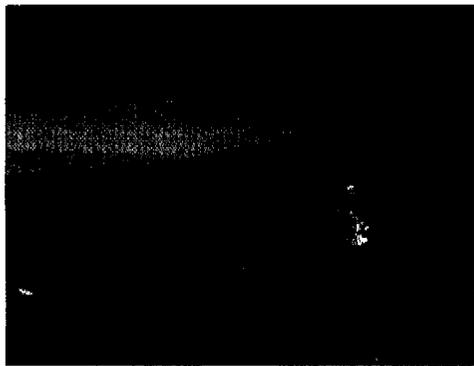
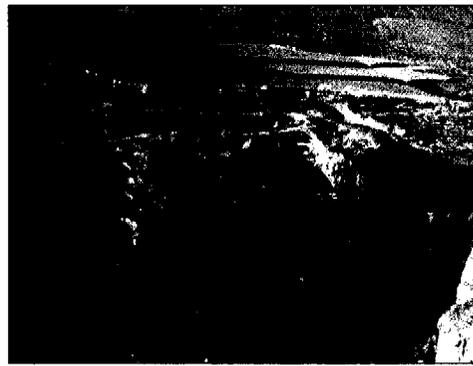


图3 长岭山地震断裂带沿线典型地震土林分布图

Fig.3 Distribution of typical co-seismic uplift along the Changlingshan seismic rupture zone.



照片1 昌林西断层线坎、黄土滑塌、裂缝地貌(镜向北东东), 裂缝已发展成V型沟谷, 量得左旋位移量为7 m



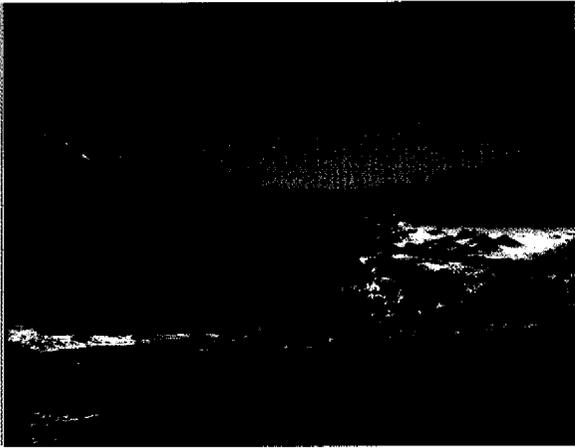
照片2 金家泉东断层地貌(镜向西), 沿断层发育众多的地震陷落坑及黄土滑塌地貌, 一小冲沟左旋位移1.1 m



照片3 昌林东灰绿色断层破碎角砾岩带中充填型地裂缝(镜向南), 呈倒三角形, 下部取TL样品



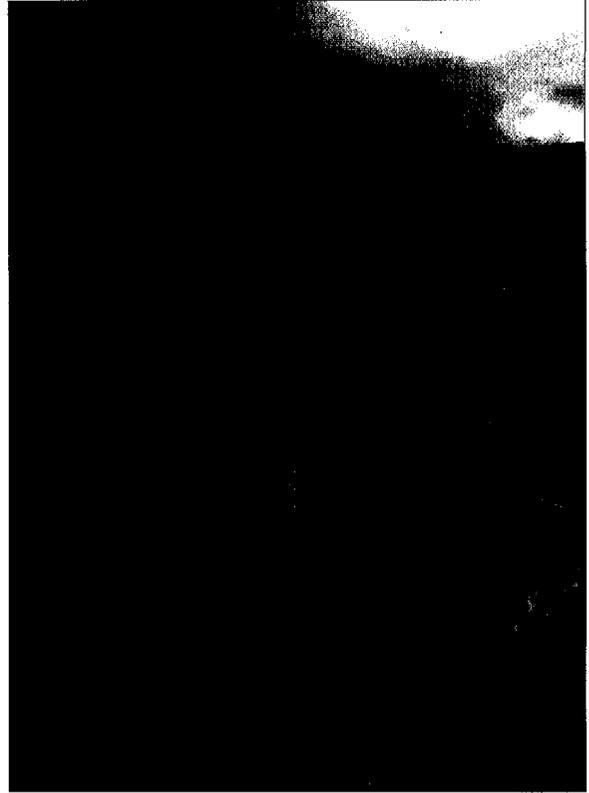
照片4 下井子沟发育在冲洪积台上的追踪状张性地震裂缝(镜仰向南)



照片5 上井子沟村东沿断层发育串珠状断陷坑及断层陡坎地貌(镜向东)



照片7 雪家庄东断层线坎地貌(镜向西), 坎高约35-40 cm, 断层之南为长岭山中山地貌, 之北为上更新统黄土构成的丘陵低山地貌



照片6 石沟地震土林及形成的断层坎地貌, 野外判断局部存在破裂滑动自由面(镜向东)



照片8 井子沟穿过断层的冲沟发生一致左旋变位(镜向北), 并发育断层线坎地貌(坎高0.8~1 m, 从东向西小冲沟水平左旋位移量分别为5 m、6.5 m、8 m、15 m)

成的地表破裂带向东延伸至古浪县大靖镇花庄一带<sup>②</sup>。而位于景泰小红山到花庄以东之间的地区由于交通不便,加之该地区无在建或拟建的大型工程,对黑山峡工程选址也构不成决定性因素,尚无系统工作。笔者通过野外调查,在小红山以西发现了地表破裂带,分布于长岭山北麓活动断裂上。断裂之南主要为奥陶系组成的现代仍处于隆升状态的中高山剥蚀构造环境,其北为处于沉降状态的堆积构造环境(图1)。本文对新发现的地表破裂及其归属进行讨论。

## 1 地震地表破裂带的类型及分布特征

### 1.1 基岩崩塌

在井子沟观察点(GPS坐标:37°24′35″N,103°52′25″E)向西延伸1.5 km左右见大面积基岩崩塌现象。崩塌带长轴基本与长岭山北麓活动断裂走向一致,最大宽度15 m。岩性主要为构成长岭山主体的中奥陶统灰绿色变中细长石英砂岩,局部为石英岩。在断裂带南侧小山梁上形成碎石地貌,岩块呈尖棱一棱角状,断口呈强外力作用下的撕裂形态。在水地沟西变质砂岩中量得节理若干组:第一组60°/78°;第二组280°/75°;第三组335°/68°;第四组75°~80°/50°;第五组320°~340°/85°。第二组节理呈张性结构面,可见锯齿状追踪式小破裂面,其余各组节理为张剪或纯剪压性结构面,不同方向的节理控制着基岩破碎的表现形式。根据节理配套图像恢复了区域主压应力方向,与震源机制解和GPS观测网络所获得的区域应力场方向一致。

### 1.2 黄土滑坡

上井子沟、昌林西、金家泉东及直沟河等地见大面积的黄土滑坡地貌,并伴随地震陷落坑(照片1、2,位置见图1),沿断层走向分布。近断层黄土滑坡就更为醒目,其中上井子沟沟脑断裂通过处(GPS坐标:37°25′34″N,103°49′44″E)黄土滑坡体具代表性(图2)。滑坡体坡角为15°~20°,靠近后缘主坡角增大,为早期滑坡体(I)。而最新滑坡体(II)前缘主坡角为26°±,后缘主坡角达70°。I期滑坡体主坡角随时间已发生了明显衰减,滑坡距离不小于6 m,面积约300 m<sup>2</sup>。在原始坡面上发育小型地震裂缝,与断裂走向夹角为60°,为张性裂缝,长十米以内,最宽处10 cm。

该滑坡体不排除重力作用的影响,不能绝对地说两期黄土滑坡体就是同震滑坡,也可能是断层活动改变了黄土堆积的应力平衡状态,由于地形效应

形成震后滑坡,但二者都属于地震诱发型滑坡。

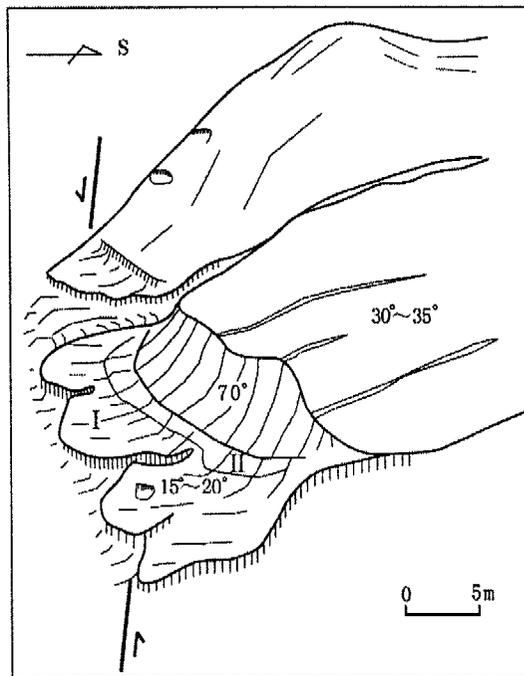


图2 上井子沟脑黄土滑坡示意图

Fig. 2 Sketch of landslide near the Jingzigou.

### 1.3 地震裂缝

地震裂缝在长岭山地区均发育于上更新统次生黄土、全新统坡洪积物之中,常与鼓包相伴产出,可分为充填型裂缝和未充填型裂缝。大龙沟、上井子沟西、昌林东(照片3)、西柏杨林场东及雪家庄一带均可见及非常醒目的充填型裂缝,含细砾的表土层物质呈楔状充填于灰绿色为主的破碎带中,在其中一充填物下部得热释光年龄 $0.7 \pm 0.3$  ka B. P.。未充填型裂缝沿长岭山北麓断层大量发育,有些地段的裂缝由于后期流水的展宽作用,其形态已发生变化,并发展成为U型冲沟。根据锯齿状边界,仍可判别出该种裂缝为张性或张扭性,且与地震土林、黄土滑坡相伴产出。

其中下井子沟未充填型裂缝位于地震鼓包西侧(照片4),沿该裂缝见有陷落坑、黄土滑坡、鼓包等现象,最宽处可达1.5 m,最窄处仅10 cm。裂缝走向呈折线状,显示张性特征,优势走向N40°E,与总体剪切破裂走向锐夹角为65°。张性或张扭性裂缝的走向代表了该点区域应力的最大挤压方向<sup>[1]</sup>。

### 1.4 地震土林

地震鼓包是剪切走滑型活动断裂带上最常见的

② 兰州地震研究所,古浪断层的晚第四纪构造活动.见:全新世古地震研究方法和确定标志(卷四).兰州地震研究所,1987.

地表破裂现象,是断裂在走滑剪切运动中派生的挤压作用下形成的压扭性变形标志<sup>[2]</sup>,其组合图像可指示活动断裂的剪切方向。在黄土地区地震鼓包群体常形成土林,在地表形同“荒冢”,又被称为地震土堆、摇动黄土丘、鼓丘。由于表土岩性的因素,在该地区未出现库赛湖地震破裂带上较典型的挤压脊微地貌<sup>[3]</sup>。

地震土林沿长岭山北麓断裂断续分布,从东向西典型的、精彩的地震土林主要有下井子沟(图3A)、上井子沟(图3B)、小龙沟东、金家泉南(图3C)、石沟、谢家沟、炭窑沟沟口(图3D)、赵家沟(图3E)、直沟河东残余地震土林(图3F)等地。

### 1.5 其它地震地表破裂单元

沿长岭山北麓断裂还发育有其它的地震地表破裂遗迹,如地震沟槽在下井子沟—昌林西、老城林场西都很发育,其分布形态严格受控于断裂走向,并在沟槽的下部见断层面。地震陷落坑分布在井子沟分水岭以西(照片5)、金家泉东(照片2)、直沟河(图3F)一带,均发育串珠状断陷坑并伴随规模不等的黄土滑坡,主要发育于黄土或第四系坡洪积层地区。单个陷落坑一般 $\leq 10 \times 5 \text{ m}^2$ ,常表现为整体下陷,且靠近断层一侧陷落幅度较大,长轴一般与断裂走向一致,往往伴有断层泉出露。井子沟、上井子沟、昌林至金家泉地区均可见明显的地震陡坎,有的地段呈线坎地貌(照片1、6、7、8)。

### 1.6 地表破裂东西终止点的确定

长岭山地区所发现的地震地表破裂带沿长岭山北麓活动断裂分布,总体走向近EW向,中段明显向N凸出,全长约42 km。该地震地表破裂带向东可抵达下井子沟一带,并且由于长岭山隆起吸收和转移了水平应力的传播,而表现为垂向运动。至井子沟口已进入了破裂的端部,地震力的衰减趋于零,从而形成同震左旋位移量的最小值。井子沟口以东的明长城<sup>[4]</sup>及小红山一带断裂上覆0.4~1.2 m的晚第四纪沉积物未具变形破裂。破裂带向西过岳家滩后进入隐伏状态,但在唐坊南及胡家井子一带不仅存在影响到最新沉积物的断层面,而且在局部地段可见到残留的鼓包、陷落坑以及发育在坡洪积扇面上的断层坎,说明该破裂带向西延伸过胡家井子后转向NNE,在花庄南与天桥沟—黄羊川活断层构造斜接,共同组成古浪活动断裂。

## 2 长岭山地震地表破裂带的归属

### 2.1 地震鼓包的共性特征

野外对地震鼓包进行了测量,并对地震鼓包的高度和顶面坡角进行了统计分析(图4)。地震鼓包的高度从东向西有线性增加的趋势,地震鼓包顶面坡角也存在这种规律,但差异并不是很明显。可能说明断裂沿线地震鼓包应属于同一次地震事件,而且存在从西向东破裂扩展的事实。断裂沿线地震鼓包的规模、形态、新鲜度说明形成这些地表破裂遗迹的地震离逝时间不是很早。另外通过破裂单元的组合适力场分析,NE—SW向区域挤压应力场作用下古浪活动断裂发生左旋兼逆冲运动,这也是形成1927年古浪8.0级地震的主要构造背景。

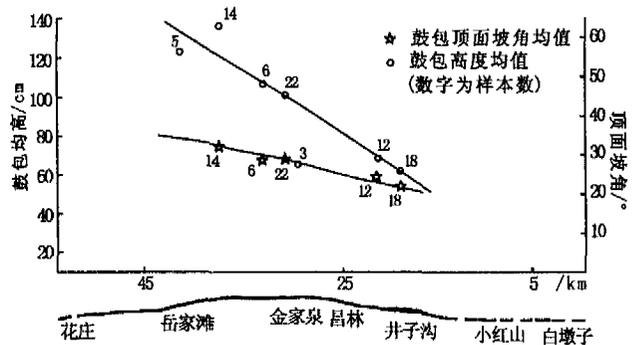


图4 地震鼓包高度和顶面坡角统计曲线图

Fig. 4 Statistic graph of the height and top slope angle of the co-seismic uplifts.

### 2.2 史料分析

据民国《创修红水县志》的1927年古浪8.0级地震记载:“民国十六年古历四月二十三日,太阳甫出,地忽大震。墙头、雉堞乱跌、土气罩的人不见,犬吠畜惊比户皆是,及地微静,人家墙屋倒塌不可以数计”<sup>[5]</sup>。红水县所在地为今景泰县红水堡。分析只有长岭山北麓断裂参与了古浪8.0级地震活动,红水堡才会发生如此严重的破坏,因为该点与断裂垂直距离不到3.5 km。推测与红水堡相距很近的上井子沟村(位于破裂带上)、松山村等遭废弃的原因可能就是该次破坏性大震。另外,该破裂带邻区没有 $\geq 6\frac{1}{4}$ 级地震的历史记录,只有西侧发生过1927年古浪8.0级破坏性地震,且长岭山北麓活动断层与天桥沟—黄羊川活动断层构成贯通的区域性边界发震断裂带。

### 2.3 破裂带长度与地震震级的关系

中国地震学家通过青藏高原或中国大陆走滑型为主的活断层资料统计,拟合出破裂带或发震断层长度与地震震级的若干关系式。周俊喜等确定的古浪活动断裂从大靖公社花庄以西的地表破裂带长度为145 km<sup>②</sup>,如果从红沟以西与冷龙岭活动断裂相

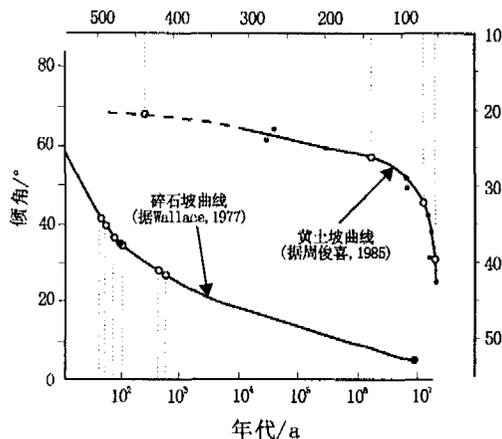
交起算其长度约 120 km(往西证据不充分),再加上本次确定的长岭山地区新发现的地表破裂带,总长约 162 km。利用关系式计算发现与破裂长度相匹配的震级最小为式(2)计算值 7.8,最大为式(3)计算值 8.2,平均为 7.99 级,非常接近 1927 年古浪 8.0 级地震(表 1)。说明长岭山北麓地震地表破裂带和天桥沟—黄羊川地震地表破裂带共同构成古浪活动断裂是合理的,符合中国西部地震震级与发震断裂长度相匹配的客观规律。

表 1 利用地震震级与破裂带长度公式计算 1927 年古浪地震震级

编号	拟合公式	计算震级/M	平均值 /M	公式出处	备注
(1)	$M=3.3+2.11gL$	7.9		文献[6]	
(2)	$M=2.98+2.17lgL$	7.8		文献[7]	M 为地震震级,
(3)	$M=3.09+2.32lgL$	8.2		文献[8]	L 为长度(单位:
(4)	$M=4.38+1.72lgL$	8.1	7.99	文献[9]	km),
(5)	$M=3.44+2.08lgL$	8.0		文献[10]	D 为最大水平位
(6)	$M=5.10+lgL+lgD$	8.0		文献[9]	错量(单位:m)
(7)	$M=4.278+1.653lgL$	7.9		文献[11]	

### 2.4 断层崖坡角演化年龄估算

Wallace 对断层崖坡角与年代之间的关系进行了研究<sup>[12]</sup>(图 5 碎石坡曲线)。长岭山地区与 Wallace 的研究区具相似的气候和沉积环境。小红山一带量得碎石坡坡角有 27°、28°和 35°,井子沟一碎石坡 37°,小龙沟西一碎石坡 42°,胡家井子西断层通过处冲洪积扇体上形成的碎石坡坡角达到 40°。通过投影可知其中 2 个数据表明碎石坡自形成之后经历了千年以内的时间,其它 4 个数据表明在百年以内。



(空心圈为本次投影数据)

图 5 碎石坡及黄土坡坡角与断层崖年代关系图

Fig. 5 Relationship between slope angle of loess or gravel and scarp age.

黄土断层地貌形成后处于早期不稳定的发展演

化过程,接着进入后期扩散的演化阶段。可见在同一地区,如果考虑重力和物理风化作用的强度一致,则可只考虑黄土滑坡体陡坎与时间的关系。基于这样的认识,周俊喜等通过研究对比 1718 年通渭地震和 1709 年中卫南地震所形成的黄土断崖坡角和滑坡体后缘主坡角之后得出了二者之间的关系曲线(图 5 黄土坡曲线)<sup>③[13]</sup>。沿长岭山北麓断裂对几处黄土陡坎进行了实测,其中可靠数据有小红山一带坡角 21°,林场小屋坡角 34°,小龙沟坡角达 41°。滑坡体最大后缘主坡角在井子沟沟脑东达 70°,昌林西黄土滑坡体主坡角变小,约在 30°~40°之间。对以上数据进行投影并结合前人经验,可知长岭山北麓断裂沿线形成的黄土陡坎坡角或黄土滑坡体后缘主坡角其形成年代在百年以内(其中 2 个数据投影在百年以内,一个数据投影在 150 年之内,小红山一带的坡角投影在 450 年左右)。

### 2.5 断层沿线小冲沟左旋位错及 TL 证据

野外对断裂沿线的小冲沟左旋位错值进行了实测,获得从东向西同震位错逐渐增大(0.2~5 m)的变化曲线。目标冲沟在断层以上长度多在 50~300 m 之间,最长可达 500 m。众所周知,冲沟在断层以上的溯源侵蚀长度与它的形成年龄具有很好的线性关系。本文采用在邻近地区(老虎山、海原和中卫地区)表达冲沟年龄的关系式  $T=1.24L$ <sup>④</sup>,计算表明这些冲沟的形成年龄在 620~3 720 a 之间。最年青冲沟的形成年龄为 620 a,经区域地震活动性和史料分析,在该时间段内长岭山地区只经历了 1927 年古浪 8.0 级地震事件。另外,这些小冲沟多发育在最新坡洪积扇体上,下切深度一般小于 2 m,因此该地区最新形成冲沟最多只经历了一次断层走滑破裂事件,并且断裂沿线多处可见高出现代河床小于 1 m 的河漫滩以及 2 m ± 的 I 级河流阶地被左旋断错。

昌林东破裂带一含细砾粉砂土充填楔中获得 TL 年龄值为  $700 \pm 300$  a B. P. (照片 3),如果考虑到热释光样品取样位置、手段及测年的系统误差,该 TL 年龄值可能代表了最新一次地震事件的发生年代,而这次地震事件应接近 1927 年古浪 8.0 级地震。

## 3 认识与讨论

③ 兰州地震研究所. 黄河黑山峡大柳树坝址附近地震地质考查及地震危险性分析报告. 兰州地震研究所, 1985.

④ 兰州地震研究所. 黄河黑山峡大柳树坝址及小观音坝址区域构造稳定性研究报告. 兰州地震研究所, 2002.

长岭山地区新发现的地震地表破裂带沿长岭山北麓活动断裂分布,基本破裂单元主要有基岩崩塌、黄土滑坡、地震裂缝、鼓包、地震沟槽、陷落坑以及断层陡坎等,局部地段可见残留的破裂滑动自由面。该破裂带近 EW 向延伸,中段向 N 凸出。向东延伸至下井子沟一带,但并未通过长城;向西从岳家滩至唐坊东由于断裂进入隐伏状态,由于人类农业耕作地表破裂现象不是很显著。但在胡家井子西不仅发现了“通天”主断层面,而且根据小位移量的现代冲沟左旋、局部地段残留的地震土林、地震陷落坑及发育在最新冲洪积扇体之上的断层陡坎,说明该地表破裂向西通过大靖镇花庄南与前人所确定的天桥沟—黄羊川地表破裂带相连。

通过沿线地震鼓包的实测分析,断层坎坡角、破裂长度与地震震级的关系,年青冲沟水平左旋位错以及年代学分析,以及长岭山地区没有发生可以形成地表破裂的历史地震记录,本文新发现的地震地表破裂带可能属于 1927 年古浪 8.0 级地震的产物。长岭山北麓活动断裂在花庄南与天桥沟—黄羊川活动断裂构造斜接,两断层的连通性较好,共同构成古浪左旋兼逆冲走滑活动边界断裂带,因此 1927 年古浪 8.0 级地震事件中沿该断裂形成了大破裂—贯通型<sup>[14]</sup>的地表破裂带。

热释光样品由成都理工大学应用核技术与自动化工程学院热释光实验室测定,表示感谢。

### 【参考文献】

- [1] 马 瑾,许秀琴,张渤海,等. 断层带破裂过程与声发射特点的实验研究[J]. 地震地质,1981,3(1):11-17.
- [2] Molnar P, Deng Q. Faulting associated with large earthquakes and the average rate of deformation in central and eastern Asia[J]. J. Geophys. Res., 1984,89:257-396.
- [3] 陈文彬,徐锡伟,张志坚,等. 2001 年 11 月 14 日青新交界 M<sub>s</sub>8.1 地震地表破裂带的初步调查[J]. 西北地震学报,2001,23(4):313-317.
- [4] 崔乃夫,主编. 中华人民共和国地名大词典(第三卷)[Z]. 北京:商务印书馆,2000.
- [5] 国家地震局兰州地震研究所编. 甘肃省地震资料汇编[M]. 北京:地震出版社,1989.
- [6] 郭增建,秦保燕. 震源物理[M]. 北京:地震出版社,1979.
- [7] 龚钢延. 震源断层的长度与错动幅度之间关系的讨论[J]. 西北地震学报,1986,8(1):24-40.
- [8] 刘百箴. 活断层带的特征滑动行为与中强以上地震序列[J]. 中国地震,1987,3(3):60-67.
- [9] 邓起东,于贵华,叶文华. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[A]. 见:国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(2)[C]. 北京:地震出版社,1992. 247-264.
- [10] 甘卫军,刘百箴. 景泰—天祝断裂单元与多重特征地震的危险性概率评估[J]. 地震地质,2002,24(1):46-58.
- [11] 丁国瑜,田勤俭,孔凡臣,等. 活断层分段——原则、方法及应用[M]. 北京:地震出版社,1993.
- [12] Wallace R E. Profiles and ages of young fault scarps, North-Central Nevada[J]. Bull. Geol. Soc. Am., 1977,88(9):1267-1278.
- [13] 刘百箴,周俊喜,李秦梅,等. 1718 年通渭地震和 1654 年天水地震地区航空照片判读[J]. 地震科学研究,1984,(1):1-7.
- [14] 向宏发,张晚霞,魏顺民,等. 新生地震破裂带的识别类型划分及其地震地质意义[J]. 中国地震,1999,15(3):257-267.