

1936年甘肃康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震地表破裂带调查*

张波^{1,2}, 何文贵^{1,2}, 方良好³, 庞炜^{1,2}, 赵泽贤⁴, 刘兴旺^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地震预测研究所 兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;
3. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031; 4. 内蒙古有色地质勘查局, 内蒙古自治区 呼和浩特 010010)

摘要: 结合前人研究结果和野外考察, 发现1936年甘肃康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震的地表破裂带长14 km, 走向NWW, 主要由3小段(西段、中段和东段)呈右阶排列而成。地表破裂主要有地震陡坎、地裂缝等。西段长3.7 km, 有新鲜的崩塌堆积; 中段长4.4 km, 有大规模的基岩崩塌, 同震左旋位移和垂直位移分别为2.5 m和0.6 m; 东段长约6 km, 同震水平位移和垂直位移分别为1.5 m和0.3 m。同震变形以左旋走滑为主, 兼具逆冲分量, 最大地表垂直位错量(0.6 m)仅为水平位错量(2.5 m)的 $\frac{1}{4}$ 。1936年康乐地震时崩落的岩块上零星生长着最大直径仅20~30 mm的砾石黄衣, 部分无地衣生长, 此次地震由围子山—大夏河断裂向东扩张所致。

关键词: 地表破裂带; 1936年康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震; 同震位移; 基岩崩塌

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2015)02-0262-10

0 引言

1936年2月7日16时56分27秒, 在甘肃省康乐县西南一带发生了 $6\frac{3}{4}$ 级地震, 宏观震中为(35.2°N, 103.7°E), 极震区烈度为IX度, 震源深度为12 km(顾功叙, 1983)。多家媒体和杂志对此次地震进行了报道(国家地震局兰州地震研究所, 1989), 兰州电: 二月七日下午三时三十分突然发生大地震, 震幅约二、三十寸, 历时一分钟又三十秒, 三时三十三分又复震动, 历时约五十秒。三时三十九分三次大震, 较一次大震更觉强烈, 历时二分钟。其后续有微震, 全市人心恐怖。又本日地震方向系由西向东, 震源在何处, 尚不明瞭(1936年3月《科学》卷20第3期237页; 1936年2月8日《申报》、《新江苏报》、云南《民国日报》、天津《大公报》)。民国二十五年二月七日下午三时三十分, 兰州、临洮、临夏、夏河拉卜楞、西宁、天水、静宁、定西、隆德、平凉等处, 连续地震三次, 共历十余分钟, 震幅约二、三丈, 由西北向东南。八日晨五时许至十时许, 又微震二次(《中央日报》, 1936年2月20日)。

1936年甘肃康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震由十分钟内的3次强震组成, 并造成了较大的震害。由于多种原因,

20世纪70年代才开始对此次地震开展科研工作。1975年国家地震局兰州地震研究所首次对该地震进行研究, 依据各地的震害情形绘制了此次地震的等震线, 并推测极震区在锅麻滩一带, 极震区烈度为IX度(国家地震局兰州地震研究所, 1989)。由于极震区位于高海拔地区, 交通条件极差, 当时未能进入极震区, 无法了解到极震区的确切位置。

20世纪90年代初, 国家地震局兰州地震研究所^①对西秦岭北缘断裂进行1:50 000活动断裂地质填图, 进入到了锅麻滩地区, 发现了地表破裂带长12.8 km, 由两段组成, 呈右阶排列。地表破裂现象主要有地裂缝, 还有规模宏大的地震崩塌、地震滑坡等次生灾害现象。通过基岩断面上最新断层擦痕的侧伏角12°和35 cm的同震垂直位移, 推断此次地震的同震水平位移为1.61 m, 并指出西秦岭北缘断裂西段的次级断裂——围子山—大夏河断裂为此次地震的发震构造。

国家地震局兰州地震研究所^①大致确定了极震区的范围, 简单描述了破裂带的特征, 但对于进一步认识此次地震活动和了解西秦岭北缘断裂西段最新运动学特征来说, 还远远不够。主要的不足在于: (1) 未能找到能直接测量康乐地震同震

* 收稿日期: 2014-04-15.

基金项目: 中国地震局地震预测研究所基本科研业务费(2013IESLZ07)资助.

① 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 西秦岭北缘断裂带1:5万活动断裂地质图说明书.

变形的断错地貌, 仅依据基岩断面上的擦痕推测其同震变形量; (2) 所得到的地表破裂分布总体是准确的, 但最新卫星影像显示得到的地表破裂在细节上表现不足, 无法准确描述地表破裂带的几何结构和破裂长度。

针对上述不足, 笔者在前人的基础上, 通过卫星影像解译和极震区的实地考察, 以期获得该地表破裂带更准确的几何结构、破裂长度及同震变形特征, 在这些变形特征的基础上讨论 1936 年甘肃康乐 6 $\frac{3}{4}$ 级地震的发震构造。

1 地震构造背景分析

1936 年康乐 6 $\frac{3}{4}$ 级地震宏观震中位于西秦岭北缘断裂的最西段。西秦岭北缘断裂带是青藏高原东北缘的一条主干活动断裂 (图 1a), 东起宝鸡—天水一带, 向西经甘谷、武山、漳县至夏河一带, 由 6 段活动性强烈的次级断裂呈左阶排列而成, 走向大致为 NWW。其新活动性以左旋走滑为主, 兼有倾滑分量 (李传友, 2005; 张波, 2012a)。有史料记载以来, 沿西秦岭北缘断裂中、东段发生了多次大震, 如 128 年甘谷 6 $\frac{1}{2}$ 级地震、143 年甘谷西 7 $\frac{1}{4}$ 级地震、734 年天水 7 $\frac{1}{2}$ 级地震、公元前 47 年陇西 6 $\frac{3}{4}$ 级地震、1765 年甘谷—武山 6 $\frac{1}{2}$ 级地震等, 由于上述地震时间久远, 其地震形变现象难以保存或存在较大不确定性, 而在洮河以西的西秦岭北缘断裂西段发生的 1936 年康乐 6 $\frac{3}{4}$ 级地震是距今最近的一次有地震形变的地震 (图 2), 是进一步认识西秦岭北缘断裂带构造活动的重要窗口 (袁道阳, 2003; 袁道阳等, 2007; 雷中生等, 2007; 邵延秀等, 2011; 国家地震局兰州地震研究所, 1985; 顾功叙, 1983)。地震地质研究结果表明, 西秦岭北缘断裂发生过的地震具有 2000 多年的复发周期 (滕瑞增等, 1994; 李传友, 2005; 张波等, 2012b)。2013 年 7 月 20 日岷县—漳县 6.6 级地震也与西秦岭北缘断裂正花状构造相关 (郑文俊等, 2013)。晚新生代以来, NWW 走向的西秦岭北缘断裂的左旋走滑导致 NNW 走向的拉脊山发生隆起, 拉脊山断裂的全新世活动导致公元 138 年金城—陇西 6 $\frac{3}{4}$ 级地震、20 余次 5 级左右的历史地震和距今 3000 年左右古地震的发生, 并间接毁灭了喇家文化 (袁道阳等, 2004, 2005;

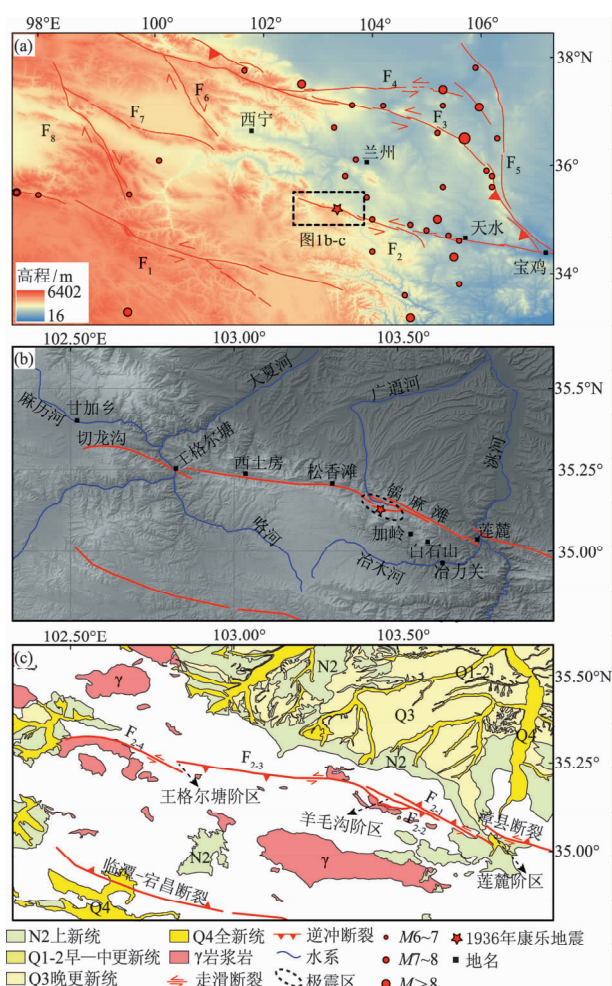


Fig. 1 Topographic characteristic and main active tectonics in northeast margin of Qinghai-Tibet Plateau (base map is from SRTM3 data, the resolution is 90 m) (a), the topographic characteristics and geometric distribution of the western segment of northern margin of west Qinling Fault (base map is from ASTER GDEM data, vertical and horizontal resolution is 20 m and 30 m respectively) (b) and the magmatic rocks and stratigraphy distribution from Pliocene to Holocene (c) around the fault

图 1 青藏高原东北缘地形特征与主要活动构造 (底图来源于 SRTM3, 分辨率为 90 m) (a), 西秦岭北缘断裂西段地形特征与几何展布 (底图来源于 ASTER GDEM, 垂直分辨率 20 m, 水平分辨率 30 m) (b) 及其附近岩浆岩和上新世—全新世地层分布特征 (c)

Fig. 1 Topographic characteristic and main active tectonics in northeast margin of Qinghai-Tibet Plateau (base map is from SRTM3 data, the resolution is 90 m) (a), the topographic characteristics and geometric distribution of the western segment of northern margin of west Qinling Fault (base map is from ASTER GDEM data, vertical and horizontal resolution is 20 m and 30 m respectively) (b) and the magmatic rocks and stratigraphy distribution from Pliocene to Holocene (c) around the fault

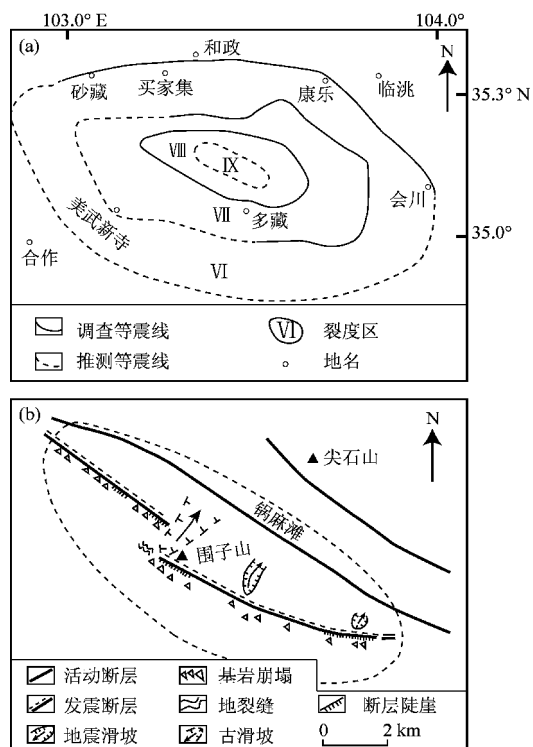


图2 1936年甘肃康乐 $M6\frac{3}{4}$ 级地震等震线和极震区范围(a)及极震区地表破裂现象及分布特征(b)^①

Fig. 1 The range of isoseismal lines and meizoseismal area (a) and surface rupture phenomena and its distribution characteristic in meizoseismal area (b) of Gansu Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936^①

李智敏等, 2014)。历史记载的多次强震、地质记录的多次古地震以及区域构造相关的中强地震等都是西秦岭北缘断裂作为区域性主干活动断裂的控震作用的体现。

西秦岭北缘断裂的西段(洮河以西)从高山深谷中通过, 地形复杂, 交通不便, 侵蚀作用强烈, 断层地貌保存不好, 因此对西段的研究程度明显低于其他段(张波, 2012a)。该段几何结构复杂, 大致由4个规模更小的次级断裂呈左阶排列而成, 从东向西依次是: 锅麻滩北缘断裂、锅麻滩南缘断裂、围子山—大夏河断裂、王格尔塘—甘加断裂, 长度分别为30.5 km、22 km、73.5 km、38.4 km, 走向为NWW(图1b、c)。因此, 1936年康乐 $M6\frac{3}{4}$ 级地震是认识西秦岭北缘断裂西段上各局部段新活动特征及相互关系的窗口。

2 地震地表破裂带特征

结合前人工作和最新的卫星影像, 笔者对已发现的地表破裂带和相关断裂进行了野外确认和补充完善。调查中不仅发现了前人所述的基岩崩塌、地震滑坡等现象, 而且得到了更准确的地表破裂带的几何分布, 将地表破裂带细分为3段(前人为两段); 重要的是还找到了之前未曾发现的断层陡坎以及2个较明显的同震变形点。由于地震裂缝已被后期充填或掩埋, 因此野外未见明显的地裂缝。

根据地表破裂带的几何展布、破裂现象和断层陡坎的规模, 笔者将地表破裂带分为西段、中段和东段3段, 长度分别为3.7 km、4.4 km和6 km, 总长度约14 km, 走向分别为 215° 、 $195^\circ \sim 210^\circ$ 、 $170^\circ \sim 185^\circ$ 。段间呈右阶展布, 3段形态上总体呈向南凸出的弧形, 在最东端断裂向北拐弯, 走向变为NEE(图3)。

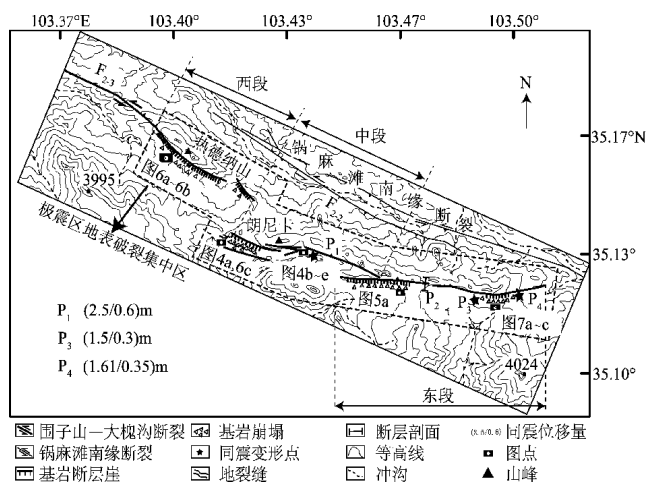


图3 极震区范围及地表破裂现象

Fig. 3 The range of extreme seismic zone and its surface rupture phenomena of Gansu Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936

2.1 西段

西段走向为 215° , 经度范围为($103.3955^\circ\text{E} \sim 103.4251^\circ\text{E}$), 长度为3.7 km。与中段呈右阶展

① 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 西秦岭北缘断裂带1: 5万活动断裂地质图说明书.

布。断裂端部有地裂缝出露, 由于后期侵蚀充填等过程, 现已很难识别^①。

2.2 中段

中段走向为 $195^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 。经度范围从西至东为 $(103.4209^{\circ} \sim 103.4615^{\circ} \text{E})$, 长4.4 km。与西段呈右阶排列, 与东段呈右阶斜交。该段发育的

地表破裂现象有地震裂缝、地震陡坎(图3)。

地震裂缝主要位于中段的最西端。国家地震局兰州地震研究所^①曾描述该地裂缝长10~20 m、宽0.3~1.2 m、深1.1 m。笔者在中段的最西端仅找到一段地震裂缝, 裂缝长、宽与描述大致相当(图4a)。

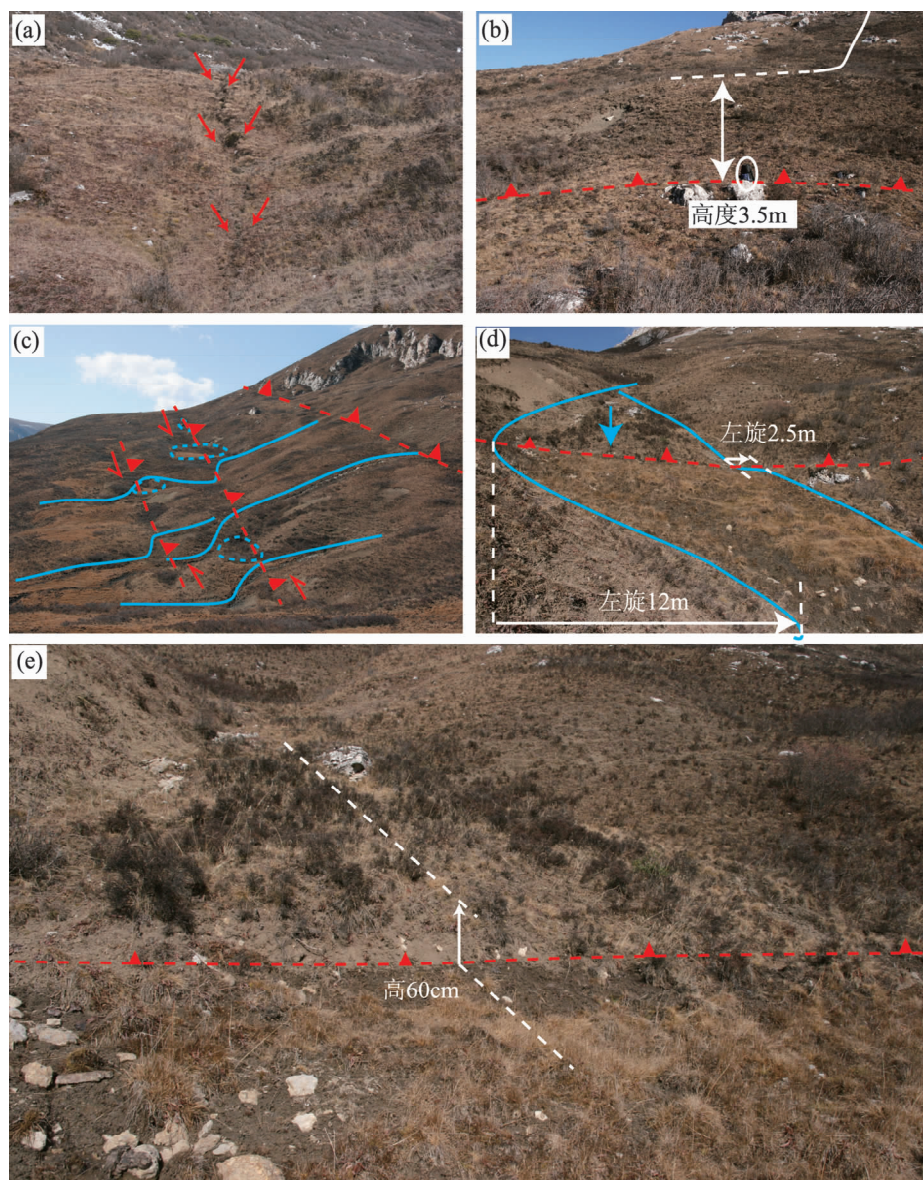


图4 地表破裂带中段地表破裂现象

(a) 部分充填的地震裂缝(镜向E); (b) 高3.5 m的正向陡坎(镜向N); (c) 山坡上断层地貌(镜向NW); (d) 观察点 P_1 处冲沟左旋及最新地震陡坎(镜向N); (e) 1936年康乐 $M_{6\frac{3}{4}}$ 地震形成的高60 cm的新鲜陡坎(镜向N)

Fig. 4 Surface rupture phenomena in the middle segment of surface rupture belt

(a) earthquake fissures partly filled with deluvium (mirror at E); (b) normal fault scarp with a height of 3.5 m (mirror at N); (c) landform of fault extends through the mountain slope (mirror at NW); (d) left-lateral gullies and most recent earthquake scarp at P_1 observation point (mirror at N); (e) a 60 cm high scarp caused by Kangle $M_{6\frac{3}{4}}$ earthquake in 1936 (mirror at N)

① 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 西秦岭北缘断裂带1: 5万活动断裂地质图说明书.

该段断层踪迹也很明显,可见长约 1.8 km 的断层陡坎(图 4b、c)。陡坎发育在坡积物中,陡坎高 3.5 m,并发育冲沟左旋(10~15 m,图 4 b、c 中蓝色实线)、断塞塘(直径 8~15 m,图 4c 中蓝色虚线椭圆框)等断层地貌。陡坎位于山坡上地形坡折处,在地形剖面上,这种与陡坎相关的地形坡折是断层多次活动的结果,代表断裂的长期活动(Wallace, 1977; 常祖峰等, 2014; 姚生海等, 2014)。

观察点 P_1 (35.135 03° N, 103.440 35° E, 3 560 m) 处有一条冲沟左旋位错 12 m, 沟内最新冲积扇上发育很新的断层陡坎, 测得该陡坎高度为 0.6 m (图 4d、e, 图 4e 代表图 4d 中蓝色箭头所指的区域)。陡坎通过处发育断层泉, 导致陡坎南侧更湿润, 植被颜色与陡坎北侧有明显差别。该陡坎的自由面仍存在, 自由面上出露松散的表土, 植被稀疏。说明该陡坎正处于自由面被侵蚀的陡坎演化的初级阶段, 形成年代距今不远, 应是 1936 年康乐地震时形成的陡坎。陡坎东侧小冲沟相应地被左旋位错 2.5 m, 左旋位错点恰好与新鲜陡坎相连, 代表本次地震的地表水平位错量(图 4d)。说明 1936 年康乐地震的地表变形以左旋走滑为主, 兼具倾滑分量。该点的同震左旋位错和垂直位错分别为 2.5 m 和 0.6 m。

2.3 东段

东段地表破裂走向近 EW, 经度范围(103.448 1°~103.512 7°E), 长约 6 km。最东端走向转变为 N80°E。断层崖顶棱角分明, 转折端尖锐, 说明该段断裂具有很强的活动性(图 5a)。

在观察点 P_2 (35.124 92° N, 103.472 25° E, 3 848m) 发现一个断层剖面(图 5b)。断层北盘(较完整的灰黄色基岩)逆冲到半破碎的灰黄色基岩上, 破碎带上夹着强烈变质作用形成断层角砾和深黑色的断层泥, 显示出极强的挤压逆冲特征。断层面光滑平整, 但阶步不易辨认。国家地震局兰州地震研究所^①曾在断裂东端发现有最新斜擦痕的基岩断面(图 3, 观察点 P_4)。并以此推断此次地震的同震变形量。

东段沿断层有多条冲沟发生 6~8 m 的左旋位错, 断层陡坎高 1.5~2 m。在观察点 P_3 (35.122 57°N, 103.490 20°E, 3 775 m) 处坡积物中发育

的小纹沟分别发生 1.5 m 和约 7 m 的左旋位错。小纹沟西侧一百米的另一条小纹沟内发现一较新的陡坎, 高 30 cm, 最大坡角为 50° (图 5c~e; 红色实线为断层, 蓝色实线为冲沟, 白色椭圆框为野外调查人员)。最小的水平位移(1.5 m)和最新的陡坎(0.3 m)应为 1936 年康乐地震形成。因此, 该段地表破裂的同震地表水平位错和垂直位错分别为 1.5 m 和 0.3 m。

从上述分析可知, 全段地表破裂现象主要是地震陡坎、地裂缝等。结合观察点 P_1 、 P_3 的同震变形量及国家地震局兰州地震研究所^①结果, 得到 1936 年康乐 6 $\frac{3}{4}$ 级地震在地表产生的最大水平位移和垂直位移分别为 2.5 m 和 0.6 m。

根据前人(邓起东等, 1992; Wells, Copper-smith, 1994; 叶文华等, 1996; 冉洪流, 2011)得到的中国西部地区走滑断裂强震震级(M_s)与地表破裂长度(L)、最大水平位移(D)的经验关系(表 1): 若给定震级为 6 $\frac{3}{4}$, 依据表 1 的式(1), 得到地表破裂长度分别为 17 km、27 km 和 9 km, 野外考察得到地表破裂带长度为 14 km, 在经验关系式所得结果的范围内。如果综合考虑地表破裂长度 L 和最大同震水平位移 D , 依据表 1 中的(2)式得到 $L \cdot D$ 为 45, 而野外考察得到的破裂长度(14 km)与最大左旋位错(2.5 m)之积为 35, 与理论值 45 相近, 符合经验关系式, 说明野外得到的地表破裂参数是可信的。

表 1 中国西部地区走滑断裂震级—地表破裂参数经验关系
Tab. 1 Empirical relationships between magnitude and surface rupture parameters for strike-slip faults in western China

序号	经验关系式	a	b	来源
		5.303	1.181	(冉洪流, 2011)
(1)	$M = a + b \lg L$	5.16	1.12	(Wells, Copper-smith, 1994)
		5.92	0.88	(邓起东等, 1992)
(2)	$M_s = \lg L \cdot D + 5.1$			(叶文华等, 1996)

3 地震次生灾害——基岩崩塌

此次地震次生灾害主要是基岩崩塌和滑坡(图 2)。最显著的次生灾害是基岩崩塌(图 6)。

① 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 西秦岭北缘断裂带 1: 5 万活动断裂地质图说明书.

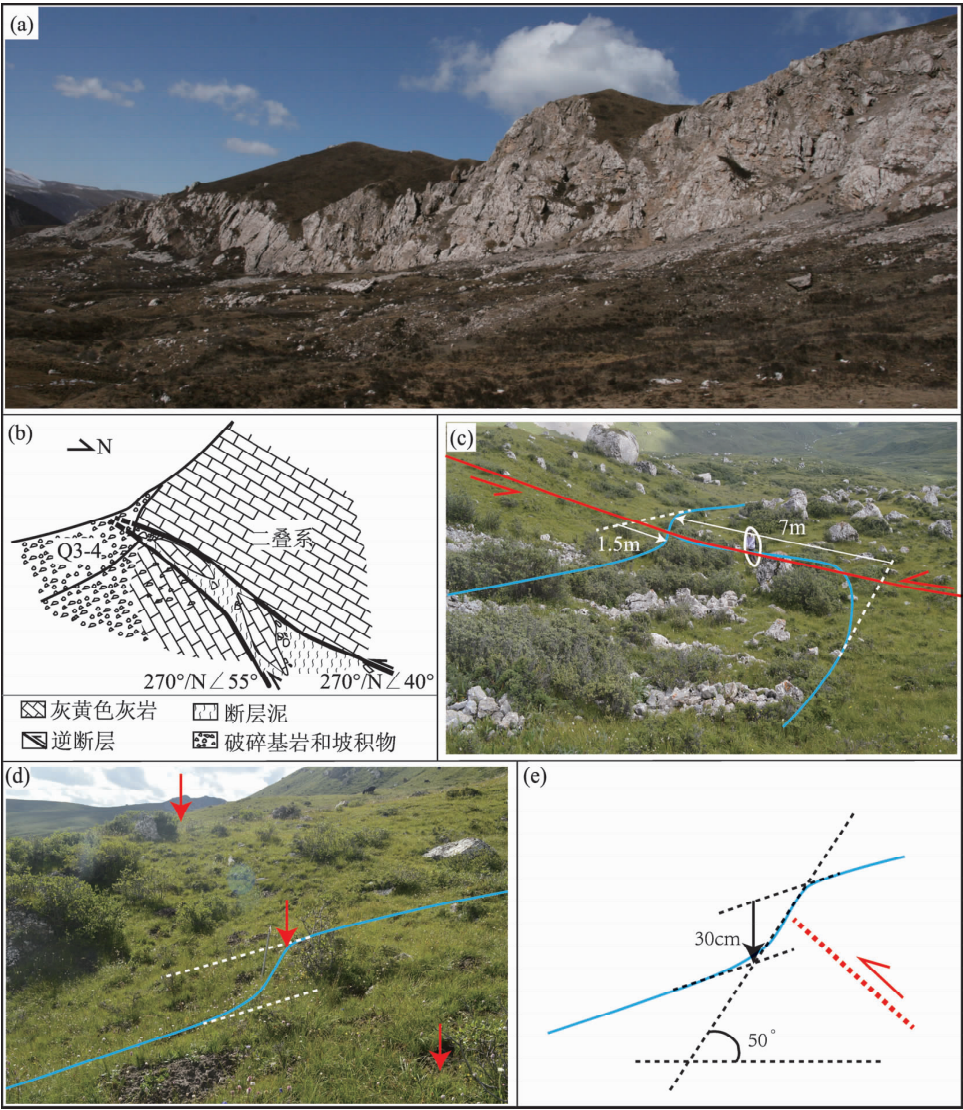


图5 地震破裂带东段地表破裂现象
(a) 高20~50 m的断层崖(镜向NW); (b) 观察点P₂处的剖面; (c) 观察点P₃处冲沟左旋位错1.5 m和7 m(镜向S); (d) 1936年康乐地震形成的30 cm高的新鲜陡坎(镜向W); (e) 图5d的几何分析

Fig. 5 Surface ruptures phenomena in eastern segment of surface rupture belt
(a) fault scarp of 20~50 m (mirror at NW); (b) fault profile at P₂ observation point; (c) left-lateral offset of gullies of 1.5 m and 7 m at P₃ observation point (mirror at S); (d) a scarp of 30 cm caused by Kangle M $6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936 (mirror at W); (e) geometrical analysis of Fig. 5d

破裂带全段都发育有规模宏大的基岩崩塌, 这种级别的基岩崩塌在西秦岭北缘断裂很少见, 锅麻滩盆地北侧高50~100 m的基岩断层崖连续延伸十几千米, 也未见如此大规模的基岩崩塌, 说明这些崩积物不是自然风化的产物, 而是由强烈的构造活动产生的。中、东段基岩崩塌规模大于西段。

崩塌岩块堆积在高大的基岩断层崖底和坡积物上。崩积物在基岩断层崖底形成串珠状排列的多个倒石堆, 砾径大小不一, 由于重力势能和惯

性作用, 倒石堆下部砾径大, 上部砾径偏小。顶部有一些形态新鲜、直径10~40 cm的砾石, 形成小规模倒石堆, 崩积物有多期(白色实线范围内为较老的崩积物, 如图6c中I; 白色虚线范围内为较新崩积物, 图6c中II)。最新崩积物表面新鲜, 无地衣或仅有直径很小的丽石黄衣(图7a; 蓝色箭头指向丽石黄衣; 最大直径为20~30 mm, 一些仅数毫米)。据谢新生和肖振敏(1989)得到的中国北方中温带半干旱区丽石黄衣生长模式:

$$T(D) = 0.9155D^{1.491}. \quad (1)$$

式中, 相对误差为 20%。

计算得到直径 20 ~ 30 mm 的丽石黄衣年龄为 79 ~ 146 a, 在相对误差范围内, 说明图 7a 中的岩块应为 1936 年康乐地震时崩落 (图 6b, 7a)。

较老的崩积物上墨绿色地衣、丽石黄衣和死

地衣 (灰白色) 密布在岩块上 (图 7b, c)。活地衣直径多为 50 ~ 100 mm^①。在特定的气候条件下, 地衣直径仅与其生长时间 (即崩积物从基岩断崖崩落距今的时间) 相关 (谢新生, 肖振敏, 1989; Bull *et al.*, 1994; Bull, 2003)。地衣直径的不同说明崩积物可能有多期, 进而说明断裂有多次构造活动。

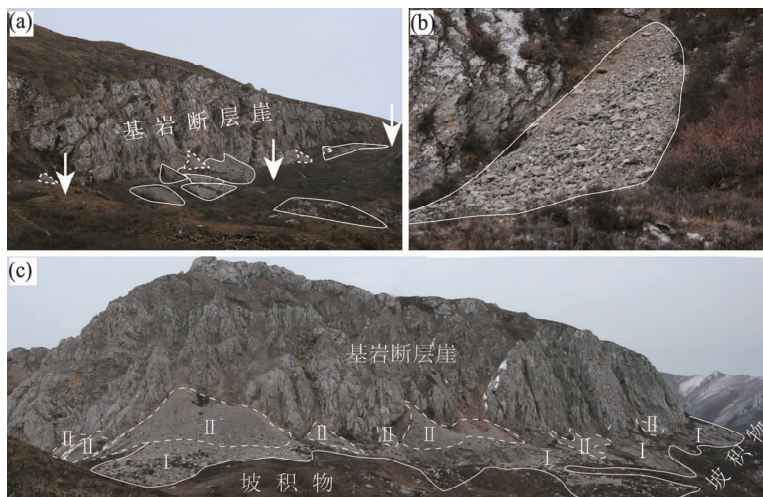


图 6 1936 年康乐地震造成的基岩崩塌

(a) 热德纳山下基岩断层崖及崩塌堆积物 (镜向 NE); (b) 最新崩塌堆积物 (镜向 NW);
(c) 高大的基岩断层崖和崖底崩积物 (镜向 NE)

Fig. 6 Bedrock falls caused by Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936

(a) bedrock fault scarp and distribution of colluvial deposit under the Redena Moutain (mirror at NE); (b) the newest colluvial deposits (mirror at NW); (c) huge scale bedrock fault cliff and colluvial deposits under it (mirror at NE)

4 发震构造特征

1936 年康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震极震区位于围子山一大夏河断裂东端和羊毛沟阶区附近, 跟青藏高原北部其他大震类似, 地表破裂现象集中在断层带上, 为局部分布 (图 3) (Xu *et al.*, 2013; 方良好等, 2013)。此次地震是由围子山一大夏河断裂的东端活动造成的。由于羊毛沟阶区分隔了围子山一大夏河断裂和锅麻滩北缘断裂, 阶区两侧的活动断裂必然倾向于突破障碍, 刺穿阶区, 使阶区两侧断裂贯通 (朱志澄, 1999; Slyvester, 1988)。羊毛沟阶区北侧的锅麻滩北缘断裂也具有端部扩张的特征^①。而在西秦岭北缘断裂西端, 断裂消失于甘加盆地内部之前在切龙沟发生了端部拐弯, 也

体现出断裂向阶区扩张的几何特征 (图 1b, c)。

围子山一大夏河断裂的长期构造变形和 1936 年康乐地震地表破裂特征说明该断裂具有多期新活动。地表破裂带中、东段最新地震陡坎高分别为 0.6、0.3 m, 而中、东段断层陡坎的累积高度为 3.5 m 和 1.5 ~ 2 m; 中、东段同震左旋位移分别为 2.5、1.5 m, 而中、东段多条冲沟累积左旋位移达到 12、7 m; 多期地震崩积物的存在。这些地质地貌证据说明在 1936 年康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震之前, 该断裂带上还发生过多级震级相当、甚至震级更大的地震。

由于多方面的原因, 同震地表变形标志点不多, 很难获得更精细的同震变形特征。要深入认识发震构造的活动习性、破裂方式等问题, 需要未来更深入的研究。

① 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 西秦岭北缘断裂带 1: 5 万活动断裂地质图说明书.

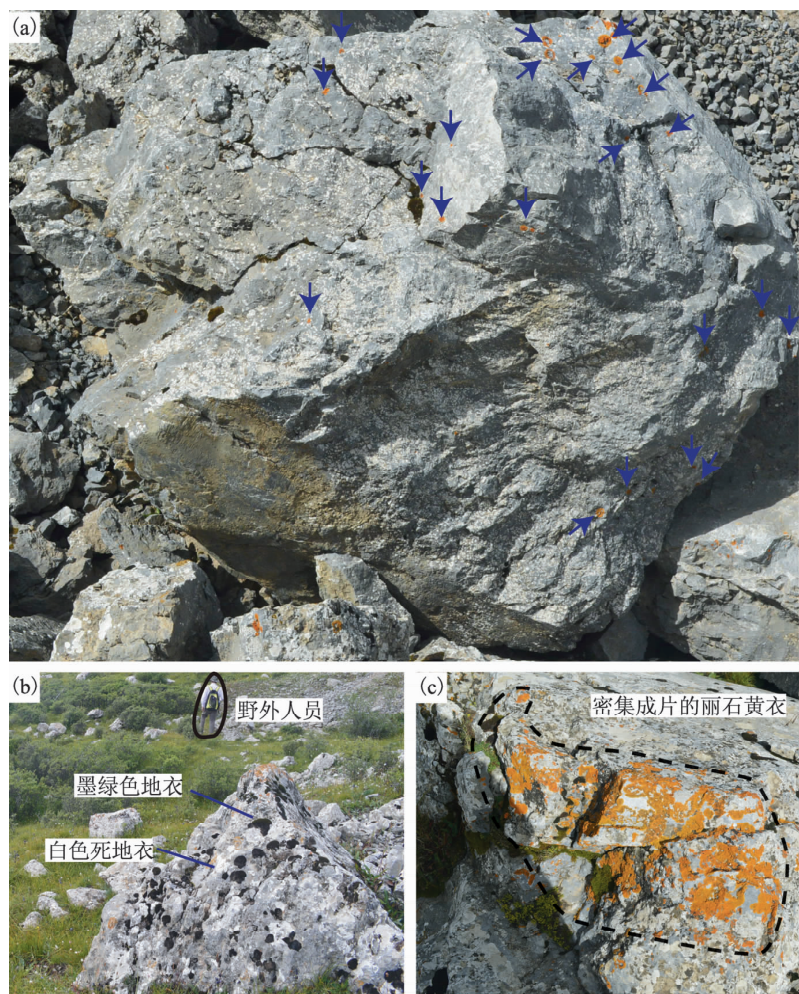


图 7 崩积物上生长的地衣

(a) 1936 年地震崩积物上生长最大直径为 20 ~ 30 mm 的丽石黄衣，早期地震崩积物上密集生长的墨绿色地衣和白色死地衣 (b) 及密集成片的丽石黄衣 (c)

Fig. 7 Lichens of different kinds and diameter grew on rock falls

(a) *Xanthoria elegans* with the maximum diameter of 20 ~ 30 mm grew on the colluvial deposits caused by Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936; the blackish green lichens and white dead lichens (b) and *Xanthoria* (c) grow densely elegans on the colluvial deposits caused by earlier earthquakes

5 结论

基于前人的工作基础、最新的卫星影像资料解译及地表破裂带实地考察，对 1936 年康乐 6¼ 级地震的地表破裂带和发震构造得到如下结论：

(1) 地表破裂带长度约 14 km，由西、中、东 3 段右阶排列而成，长度分别为 3.7 km、4.4 km、6 km，走向分别为 215°、195 ~ 210°、170 ~ 185°。

(2) 地表破裂特征主要是地震陡坎、地裂缝。此次地震为逆左旋走滑型地震，最大同震左旋位移和垂直位移分别是 2.5 m 和 0.6 m，垂直位移约

为水平位移的¼。

(3) 破裂带沿线分布有大规模的基岩崩塌，最新一期崩塌岩块上生长着 20 ~ 30 mm 的丽石黄衣，其形成时间与该地震时间基本吻合。

(4) 基岩崩塌、断层陡坎、水系位错和地衣直径分布均说明该次地震的发震构造围子山—大夏河断裂晚第四纪以来有过多次构造活动。

在野外考察中得到了卓尼县康多乡加岭村藏民同胞的热情帮助，在撰写过程中得到袁道阳研究员的指导，审稿人提出了中肯有益的意见，在此向他们表示衷心的感谢。

参考文献:

- 常祖峰,张艳凤,李鉴林,等. 2014. 德钦—中甸—大具断裂晚第四纪活动的地质与地貌表现[J]. 地震研究, 37(1): 46–52.
- 邓起东,于贵华,叶文华. 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[A]//国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(2)[C]. 北京:地震出版社, 247–264.
- 方良好,袁道阳,邵延秀,等. 2013. 滇西南地区黑河断裂中西段晚第四纪构造活动特征[J]. 地震工程学报, 35(2): 342–353.
- 顾功叙. 1983. 中国地震目录[M]. 北京:科学出版社.
- 国家地震局兰州地震研究所. 1985. 陕甘宁青四省(区)强地震目录[M]. 西安:陕西科学技术出版社.
- 国家地震局兰州地震研究所. 1989. 甘肃省地震资料汇编[M]. 北京:地震出版社.
- 雷中生,袁道阳,葛伟鹏,等. 2007. 734年天水7级地震考证与发震构造分析[J]. 地震地质, 29(1): 51–62.
- 李传友. 2005. 青藏高原东北部几条主要断裂带的定量研究[D]. 北京:中国地震局地质研究所.
- 李智敏,李延京,田勤俭,等. 2014. 拉脊山断裂古地震与喇家遗址灾变事件关系研究[J]. 地震研究, 37(增刊): 109–115.
- 冉洪流. 2011. 中国西部走滑型活动断裂的地震破裂参数与震级的经验关系[J]. 地震地质, 33(3): 577–585.
- 邵延秀,袁道阳,王爱国,等. 2011. 西秦岭北缘断裂破裂分段与地震危险性评估[J]. 地震地质, 33(1): 79–90.
- 滕瑞增,金瑶泉,李西侯,等. 1994. 西秦岭北缘断裂带新活动特征[J]. 西北地震学报, 16(2): 85–90.
- 谢新生,肖振敏. 1989. 地衣测年法研究及其在陕西若干地质事件中的应用[J]. 科学通报, 34(24): 1885–1888.
- 姚生海,黄伟,姜文亮,等. 2014. 大柴旦—托素湖断裂带遥感解译及其晚更新世活动特征研究[J]. 地震地质, 26(1): 52–60.
- 叶文华,徐锡伟,汪良谋. 1996. 中国西部强震的地表破裂规模与震级、复发时间间隔关系的研究[J]. 地震地质, 18(1): 37–44.
- 袁道阳,雷中生,葛伟鹏,等. 2007. 对143年甘谷西7级地震史料的新见解[J]. 西北地震学报, 29(1): 58–63.
- 袁道阳,雷中生,刘小凤,等. 2004. 138年金城—陇西6¼级地震的史料考证与发震构造背景探讨[J]. 地震地质, 26(1): 52–60.
- 袁道阳,张培震,雷中生,等. 2005. 青海拉脊山断裂带新活动特征的初步研究[J]. 中国地震, 21(1): 93–102.
- 袁道阳. 2003. 青藏高原东北缘晚新生代以来的构造变形特征与时空演化[D]. 北京:中国地震局地质研究所.
- 张波,何文贵,袁道阳,等. 2012b. 西秦岭北缘断裂西端晚第四纪活动特征及其西延问题[J]. 地震, 32(1): 136–143.
- 张波. 2012a. 西秦岭北缘断裂西段与拉脊山断裂新活动特征研究[D]. 兰州:中国地震局兰州地震研究所.
- 郑文俊,袁道阳,何文贵,等. 2013. 甘肃东南地区构造活动与2013年岷县—漳县 $M_s 6.6$ 地震孕震机制[J]. 地球物理学报, 56(12): 4058–4071.
- 朱志澄主编. 1999. 构造地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- Bull W. D., King J., Kong F. C., et al. 1994. Lichen Dating of Coseismic Landslide Hazards in Alpine Mountains[J]. Geomorphology, 10(1): 253–264.
- Bull W. D. 2003. Lichenometry Dating of Coseismic Changes to a New Zealand Landslide Complex[J]. Annals of Geophysics, 46(5): 1155–1167.
- Sylvester A. G. 1988. Strike-slip faults[J]. Geological Society of America Bulletin, 100(11): 1666–1703.
- Wallace R. E. 1977. Profiles and Ages of Young Fault Scarps, North-central Nevada[J]. Geological Society of America Bulletin, 88(9): 1267–1281.
- Wells D. L., Coppersmith K. J. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture length, Rupture width, Rupture area, and Surface Displacement[J]. Bulletin of Seismological Society of America, 84(4): 974–1002.
- Xu X., Tan X. B., Yu G. H., et al. 2013. Normal-and Oblique-slip of the 2008 Yutian Earthquake: Evidence for Eastward Block Motion, Northern Tibetan Plateau[J]. Tectonophysics, 584: 152–165.

Surveys on Surface Rupture Phenomena of Gansu Kangle $M6\frac{3}{4}$ Earthquake in 1936

ZHANG Bo^{1,2}, HE Wen-gui^{1,2}, FANG Liang-hao³, PANG Wei^{1,2}, ZHAO Ze-xian⁴, LIU Xing-wang^{1,2}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(2. Lanzhou Technology Innovation Base, Institute of Earthquake Science, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(3. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China)

(4. Inner Mongolia Nonferrous Metals Geological Exploration Company, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China)

Abstract

Combined with the previous studies and the field surveys of Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936, we found that the length of surface rupture is about 14 km, the strikes of it is NWW. The surface rupture is mainly constituted of 3 segments (the western, the middle and the eastern segments) and exhibits a right-stepping arrangement, and the rupture phenomena in extreme seismic zone are mainly earthquake scarp and ground fissures etc. The western segment where the fresh rock falls accumulated extends about 3.7 km; the middle segment where huge scale rock falls extends about 4.4 km, the coseismic left-lateral and uplift displacements in the middle segment is 2.5 m and 0.6 m respectively; the eastern segment extends about 6 km, and the coseismic horizontal and uplift offsets is 1.5 m and 0.3 m respectively. The coseismic deformation caused by the earthquake is mainly left-lateral with thrust components, the maximum surface uplift dislocation (0.6 m) is one-fourth of horizontal component (2.5 m). The falling rocks caused by Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936 have scattered distributed *Xanthoria elegans* with a maximum diameter about 20 ~ 30 mm, some falling rock without any lichens. The Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake is caused by the eastern-extension activity of Weizishan-Daxiahe Fault.

Key words: surface rupture belt; Kangle $M6\frac{3}{4}$ earthquake in 1936; coseismic displacement; bedrock falls