

2001年11月14日青新交界 $M_s8.1$ 地震 地表破裂带的初步调查

陈文彬¹, 徐锡伟², 张志坚¹, 陈永明¹,
何文贵¹, 刘洪春¹, 戴华光¹, 陆鸣³

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000; 2. 中国地震局地质研究所,
北京 100029; 3. 中国地震局工程地震研究中心, 北京 100036)

摘要: 初步的野外调查表明, 2001年11月14日青新交界8.1级地震的地表破裂带位于昆仑山南麓, 西端可能终止于布喀达坂峰, 东端点距青藏公路以东70 km. 主破裂带总长度可达350 km, 总体走向 $N80^\circ \sim 85^\circ W$. 具明显的左旋水平走滑运动性质, 最大左错量为6 m. 宏观震中初步定在库赛湖东约30 km一带, 震中区烈度定为XI度. 根据初定宏观震中的位置, 建议将该地震命名为库赛湖地震.

关键词: 地震; 地表破裂; 昆仑山; 库赛湖

中图分类号: P316 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)04-0313-05

0 引言

2001年11月14日发生在中国青海、新疆交界的 $M_s8.1$ 地震(仪器震中为 $36.2^\circ N, 90.9^\circ E$) 是中国大陆内部近50年来唯一一次8级以上地震, 也是全球进入21世纪以来震级最大的一次地震. 地震发生后, 由中国地震局下属兰州地震研究所、地质研究所、工程地震研究中心及格尔木市地震局等单位的研究人员共同组成了大震考察小组. 在青海省地震局和当地政府的大力协助下, 经过现场考察, 初定了本次地震的宏观震中、破裂带的长度、位移特征和极震区烈度等.

1 地震破裂带的位置和平面分布

本次地震的主破裂带展布于昆仑山南麓. 北侧为巍峨的昆仑山脉, 海拔5 500 m以上, 最高峰为布喀达坂峰, 海拔6 860 m; 南侧为地势起伏不大的可可西里高原, 海拔在4 300~5 000 m之间. 地震主破裂带沿两个地貌单元的分界线分布, 总体走向 $N80^\circ \sim 85^\circ W$, 海拔多在4 500 m以上. 在昆仑山口, 破裂带恰好从国道109线2 894 km里程碑处横切公路, 造成路面3处破坏. 在玉珠峰南麓, 形变带正好从冰舌前端通过, 使冰舌产生大面积崩塌. 在库赛湖, 破裂带从湖北部2个湖湾穿过, 再向西则沿红水河谷地延伸(图1, 照片1).

收稿日期: 2001-12-10

基金项目: 科技部基础性工作专题(2001-16)资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001057

作者简介: 陈文彬(1965-), 男(汉族), 甘肃通渭人, 副研究员, 主要从事新构造、活动构造和工程地震研究.

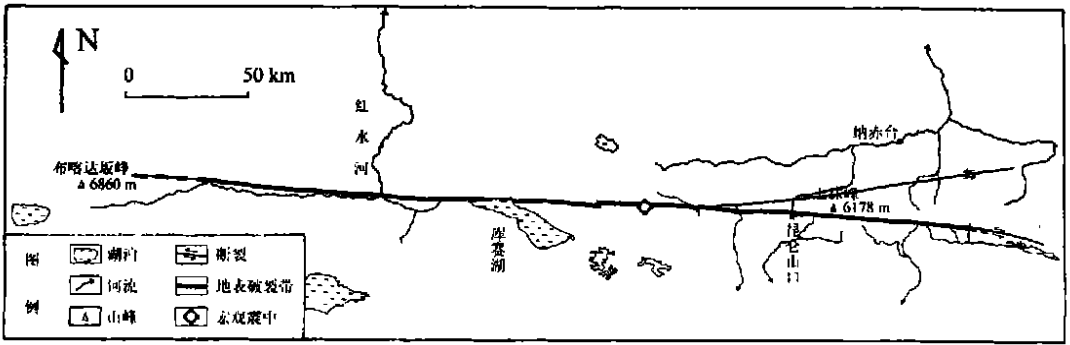


图1 2001年11月14日青新交界8.1级地震的地表破裂带分布

Fig. 1 The distribution of the earthquake deformation zone on Nov. 14, 2001.

宏观上主破裂带分布近似在一条直线上,走向变化小,除2个宽数百米的左列阶区外基本连续延伸。然而在小尺度上地表破裂形迹不是一条直线,而是呈现曲折的破裂形迹。初步调查发现,这是由于破裂带的内部结构变化引起的,不同方向、不同类型的地震形变有规律的组合形成了这种现象。

2 地表形变类型

本次地震的地表形变现象非常丰富,可分为以下几种类型。

2.1 地震裂缝

地震裂缝是本次地震中最常见的形变现象。沿主破裂带发育2组不同方向的裂缝:一组走向 $N70^{\circ}\sim 80^{\circ}W$,与主破裂总体方向呈很小的夹角,裂缝较直,宽度较稳定,深度大。裂缝两壁上常见近水平方向的擦痕,裂缝二侧的地物(如冲沟)产生左旋位错。这一组裂缝实际上就是呈羽列排列的走滑断裂段。另一组走向 $N60^{\circ}E$ 左右,与主破裂带总体方向呈约 30° 的夹角。其特点是常呈追踪状,宽度变化大,一般大于前一组,以 $0.5\sim 1\text{ m}$ 为常见,最宽者大于 3 m 。裂缝二侧常伴有一定的垂向落差(照片2)。

另外在主破裂带以外也有一些地震裂缝存在,一般见于形变带南侧可可西里的河湖滩地上。如在进入库赛湖的便道上,时有裂缝切过路面。这些裂缝主要有NE和NW2个方向,呈追踪状。越靠近主破裂带裂缝越大、数目越多。宽度从不足 10 cm 增至 $20\sim 30\text{ cm}$;长度由数米、数百米增至几百米。

2.2 地震鼓包和挤压脊

常与NE向裂缝相伴而生,长轴走向 $N10^{\circ}\sim 65^{\circ}W$ 。由于表层冻土的原因,常表现为地面上拱起甚至高高竖起的土块,有时二侧土块相挤成“人”字形。其规模各处不一,高度一般在 $0.5\sim 3\text{ m}$ 之间,宽度在数米至二、三十米;长度为数米的可称为鼓包,长度达数十米的称为挤压脊(照片3)。在库赛湖西,破裂带从原有的旧鼓包上切过,并形成一系列新的鼓包叠加其上,反映了断裂上有过多次破裂事件。

2.3 地震陷落

表现为整块地面的下陷。陷落区面积不大,往往呈菱形块状。菱形的一个边与主破裂带方向一致,另一边为 $N60^{\circ}E$ 方向(照片2)。

2.4 水平错位和地震陡坎

沿主破裂带常见各种地物发生水平位错现象。如在青藏公路 $1\ 894\text{ km}$ 路标西侧的山坡上

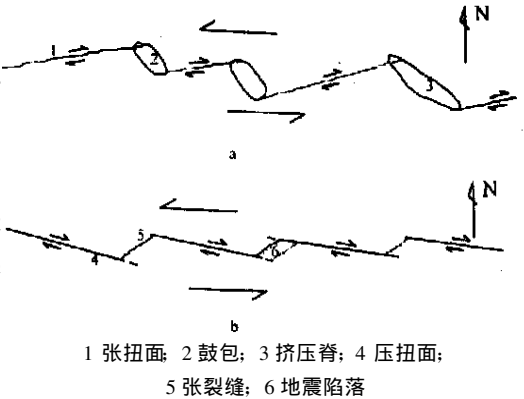
有十余条纹沟发生了 4 m 的同步左旋位错。地震陡坎时有时无, 延伸不长, 连续性差。在同一地段有时陡坎朝北, 有时朝南, 但多表现为北高南低, 高差 0.2~0.3 m 不等。

2.5 冰锥

在库赛湖西形变带上, 见一些类似火山锥一样的冰锥, 可能是由于地震时喷砂冒水被冻结而形成的(照片 4)。

2.6 组合特征

在主破裂带上各种形变并不是孤立的, 而是有规律地组合在一起。较典型的组合有两类: 一类是鼓包、裂缝组合, 常表现为裂缝作右阶排列, 两相邻裂缝间的阶区内出现鼓包(或挤压脊)(图 2a)。这种组合见于青藏公路两侧一带、库赛湖西至红水河之间等地。另一类是裂缝与裂缝组合, 由两组不同的裂缝组成, 一组走向 $N70^\circ \sim 80^\circ W$, 为扭裂面, 有时沿裂缝形成数米宽的地面上拱或鼓包; 另一组走向 $N60^\circ E$ 左右, 为张裂面, 有时伴有地面塌陷(图 2b)。两组裂缝首尾相接, 形成曲曲折折的地表破裂形迹。这种组合见于库赛湖东 20 km 处, 青藏公路东 4 km 处, 玉珠峰及其以东地段。



1 张扭面; 2 鼓包; 3 挤压脊; 4 压扭面;
5 张裂缝; 6 地震陷落

图 2 主破裂带上两种基本地震形变组合

Fig. 2 Two basic type of the combination of the earthquake surface deformation.

3 地震形变带的位移分布

沿主破裂带方向, 随处可见两侧的地物发生左旋错动现象, 如冲沟、阶地边缘等(照片 5)。在主破裂带上也常见断层两盘相互运动而形成的擦痕, 擦痕侧伏角一般小于 10° , 且常常是近于水平。侧伏方向也不固定, 有时朝东, 有时朝西, 反映主形变带两侧有时北盘抬升, 有时南盘抬升。这些现象表明地震地表破裂的性质主要为水平左旋运动, 垂向位移量很小。因此本文主要讨论水平位移分布情况。

由于主破裂带往往具一定的宽度, 因此在量取水平位移时需寻找破裂带结构简单、标志明确的点。需特别说明的是, 由于这次地震发生在冬季, 所以有一些特殊的地物如冰河(冲沟内结的冰)、车辙等被左旋位错(照片 1, 照片 6), 成为量测同震水平位错的理想标志。如图 3 中所示为青藏公路东约 4 km 处一冰河之位错。主破裂带总体走向 $N85^\circ W$, 在经过冰河时形成一条走向 $N62^\circ E$ 方向、宽 0.75 m 左右的裂缝, 并将河心滩错开。因此图中就有 4 个可量取水平位错的标志点, 其位错量为 2 m、1.8 m、2 m、2 m(分别对应图 3 中之 AA' 、 BB' 、 CC' 、 DD'), 其位错方向为 $N85^\circ W$, 即与主破裂方向一致, 由此确定此处的同震水平位错为 2 m。

通过初查, 本次地震的最大水平位移位于库赛湖东一带, 最大值为 6 m 左右, 向东、西两端有衰减趋势(图 4)。

4 地震破裂带长度和宏观震中及震中区烈度初定

4.1 东端点

本次考察追踪到了主破裂带的东端点, 位于青藏公路以东 70 km 处的西余一塔土沟脑(海拔 5 785.2 m)以南的 4 879 高程点, 在此处主破裂带自西向东延伸, 总体走向 $N75^\circ W$, 以斜列鼓包形式表现出来。鼓包长轴方向 $N50^\circ W$, 伴有 $N60^\circ E$ 方向的张裂缝。规模明显变小, 带宽仅 2~3

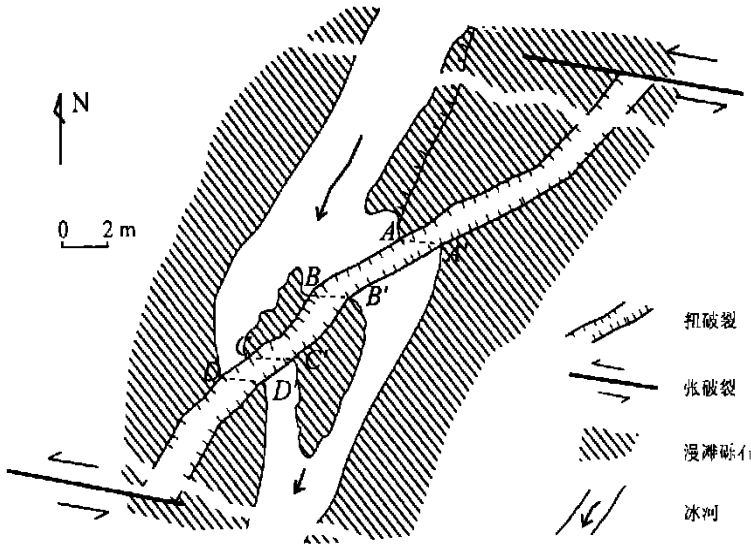


图3 青藏公路东约4 km处一小冲沟中的冰的位错

Fig. 3 The offset of the ice in a gully 4 km east to the Qinghai-Xiangzang Road.

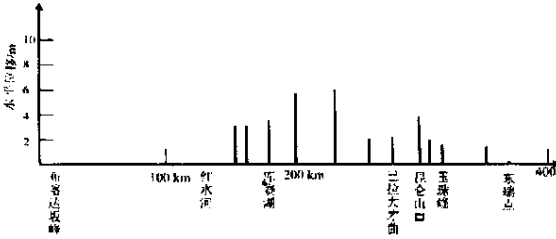


图4 地震地表破裂的水平位移分布

Fig. 4 The distribution of the horizontal displacements along the deformation zone.

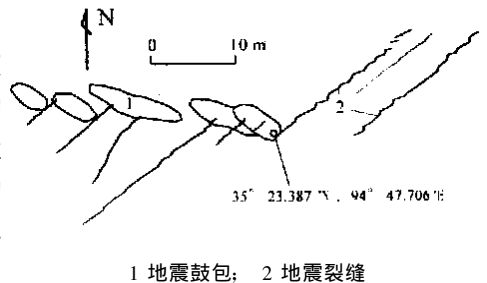
m, 鼓包高度不足 0.5 m, 张裂缝宽 0.1 m 左右. 主破裂在一个山坡上突然终止, 再向东是一些 $N60^{\circ}E$ 方向的张裂缝, 是在 $N82^{\circ}W$ 方向(即主破裂总体方向)上拉开的, 其拉开量为 0.2 m. 我们将此点作为整个破裂带的东端点, 其地理座标为 $35^{\circ}23.387'N$, $94^{\circ}47.706'E$ (图 5, 照片 7).

4.2 西端点

这次地震的仪器震中定在布喀达坂峰, 本次考察没有能够到达这里, 但根据卫星遥感图像和破裂带规模由库赛湖向西衰减的情况分析, 这里很可能是主破裂带的西端点. 布喀达坂峰可能是阻止破裂向西传播的障碍体.

4.3 宏观震中

根据目前掌握的情况, 暂将本次地震的宏观震中定在库赛湖以东一带. 主要依据: (1) 在 $N35^{\circ}45.632'$, $93^{\circ}22.359'E$ 点附近, 有 6 条近东西向的地表破裂, 总宽度大于 500 m. 其中最大的一条破裂产生的水平左旋位移量为 2 m, 所有 6 条破裂的左旋位错量总和为 5~6 m. 这一规模是整个破裂带中所见到的最大的, 向东、向西其规模(如水平位错量)均呈减小趋势(照片 8). (2) 在库赛湖一带有大量张裂缝形成, 裂缝最宽者大于 20 cm, 从一个方面反映了这一带的地面破坏强于其它地段. (3) 东、西大滩断裂在这一带与本次地震的主破裂带相斜交. 由于东、西大滩



1 地震鼓包; 2 地震裂缝

图5 地震主破裂带东端的端点特征

Fig. 5 The eastern end of the main rupture zone of the earthquake.

断裂是一条十分活跃的断裂, 因此对本次地震的发生可能起到某种作用. 所定宏观震中向东距青藏公路约 70 km, 距主破裂带东端点约 140 km, 向西距布喀达坂峰约 210 km.

4.4 震中区烈度

本次地震震害的一个特点是, 没有人员伤亡, 经济损失不大, 主要是由于震中区人口稀少, 绝大部分地区为无人区. 但这也为评定地震烈度缺少了许多重要的参照, 因此, 极震区烈度主要依据地面破坏而定. 考察发现, 本次地震中地面严重破坏的区域基本局限在主破裂带上, 离开主破裂带则震害明显减弱. 在震中区主破裂的最大水平位移为 6 m 左右, 特别是垂直位错很小, 一般不超过 1 m. 据此暂将本次地震的极震区烈度定为 XI 度.

4.5 地震的命名

由于该地震的宏观震中位于库赛湖东北侧, 并考虑到周围地区地形、地貌、地名等的知名度, 我们建议将该地震命名为库赛湖地震较为合适.

5 结论

2001年11月14日青新交界 8.1 级地震的地表破裂带位于昆仑山南麓, 西端可能止于布喀达坂峰, 东端消失在青藏公路东 70 km 处, 主破裂带长度可达 350 km.

主破裂带显示明显的水平左旋走滑运动性质, 最大左错量为 6 m, 位于库赛湖以东一带.

本次地震的宏观震中初定在库赛湖东约 30 km 一带, 其地理座标为 $35^{\circ}45.632' N$, $93^{\circ}22.359' E$, 其向东距青藏公路约 70 km, 距主破裂带东端点约 140 km, 向西距布喀达坂峰约 210 km.

根据震中区主破裂带的规模和其它地面破坏情况, 将本次地震的极震区烈度暂定为 XI 度. 根据初定宏观震中的位置, 建议将该地震命名为库赛湖地震较为合适.

PREPARATORY FIELD INVESTIGATION ON THE SURFACE DEFORMATION ZONE OF THE QINGHAI-XINJIANG $M_s 8.1$ EARTHQUAKE ON NOV. 14, 2001

CHEN Wen-bin¹, XU Xi-wei², ZHANG Zhi-jian¹, CHEN Yong-ming¹,
HE Wen-gui¹, LIU Hong-chun¹, DAI Hua-guang¹, Lu Ming³

(1. Lanzhou Institute of seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;

2. Institute of Geology, CSB, Beijing 100029, China;

3. Engineering Seismological Research Center, CSB, Beijing 100036, China)

Abstract: Preparatory field investigation reveals that the surface deformation zone of the Qinghai-Xinjiang $M_s 8.1$ earthquake on November 14, 2001 distributes along the south foot of Kunlunshan mountains, and may terminate at the Buge-daban-ferg as the western end while the eastern end is tracked down at the point 70 km east from the Qinghai-Xizang Road. The total length of the deformation zone reaches 350 km. The deformation shows clear strike-slip feature and the maximum horizontal offset is found to be 6 m. It was temporarily determined that the macro-epicenter is 30 km east from the Kusaihu lake, and the intensity in the macro-epicenter is XI. It's suggested that the earthquake be named as Kusai hu earthquake.

Key words: Earthquake; Surface deformation; Kunlunshan mountains; Kusaihu



照片1 地震破裂带从国道109线2894 km处通过。(镜向东, 陈文彬摄)



照片2 巴郎大才曲处地震形变带上N60°E方向的张性裂缝和地面塌陷(镜向西, 戴华光摄)。



照片3 青藏公路东约8km处,地震形变带上的挤压脊(长轴N50°W方向,镜向东, 陈文彬摄)



照片4 库赛湖西地震形变带上的冰锥(镜向南西, 陈永明摄)



照片5 青藏公路西100 ~ 400 m一段, 一系列裂纹沟被左旋错开(错距3.8m ~ 4m)(镜向北, 陈文彬摄)



照片6 正在建设的青藏铁路路基被错断(镜向南, 戴光华摄)



照片7 地震破裂带之东端点(人立处)(镜向北东东, 戴光华摄)



照片8 库赛湖东约20 km处壮观的地表破裂(镜向北东, 陈永明摄)