

陕甘宁青地震形度带初步研究

吕田保 阎凤忠 戴华光 潘俊茂

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

直到目前为止,国内外对地震形变带的认识还很不统一。本文根据大量的实际考察资料,阐明了研究地震形变带的重要意义。对其种类、名称等给予了特定的含义,对其特征作了较详细的阐述,分析了它的力学机理,论述了它与发震断裂的关系及其所反映的现代构造运动特点,进而初步总结了西北发生强震的主要地质标志,为预测未来强震提供了地质依据。

一、前 言

陕甘宁青四省区(以下简称四省区)内自有历史记载以来,多次发生强烈地震,地震形变现象保留较多,这是研究地震形变现象的有利条件。通过地震形变带的研究,可以直观地了解断裂新活动特征,研究和总结强震发生的地质条件,进而研究近期构造应力场和现代地壳运动特点,这对地震地质工作的深入发展是有现实意义的。我们实地考察了四省区内7级以上26个大震中的19个,本文就是在实地考察的基础上对地震形变带的初步总结。因以往工作任务不同,,对地震形变带的观察不深不细,提出的认识是很粗浅的,恳望给予补充修正。

二、四省区地震形变带特征

地震形变带专指与发震构造紧密相关而密集成带的地震形变现象。地震形变现象种类繁多,然而,基本特征却是相同的。四省区地震形变带基本特征请见表1。根据实际考察资料概述如下:

1. 形态分类

从四省区地震形变现象的形态特征入手,对常见的地震形变现象的名称及其基本含义,提出初步的意见:

(1) 地震鼓包 这是地震时由于相对挤压或发震断裂上冲未达地表而形成的地表形变现象,往往呈月牙形、纺锤形、蛇曲形等。在实际工作中,我们将直径大于10米的园形或椭

四省区地震形变带特征简表

表1

发震日期	震级	地 点	形 变 带 主 要 要 素						发 震 断 裂				
			长度 (公里)	方 向	地 震 断 裂				长度 (公里)	性 质	产 状	备 注	
					动运 方式	破裂类型	水平错动	垂动 直错					最动 大量 错
180年秋	7 ¹ / ₂	甘肃高台	38	N65°-80°W	反扭	双侧破裂	1.75米	0.83米	2.16米	67	压扭	N70°W/SW∠68°	表是地震
1556.1.23.	8.0	陕西华县	60	N70°-80°E	反扭	双侧破裂		5.0米		350	压扭		
1609.7.11.	7 ¹ / ₄	甘肃高台	58	N40°-60°W	反扭	单侧破裂		1.5米		68	压扭	N20°-70°W/SW ∠53°-70°	红崖堡 地震
1654.7.21.	8.0	甘肃天水南	47	N70°-75°E	反扭	交叉破裂		1.30米		220	压扭	N75°E/SE∠60°-80°	罗家堡 地震
1879.7.1.	8.0	甘肃武都	>45	N60°-70°E	反扭	双侧破裂		5.00米		>100	压扭	N60°-70°E/NW ∠70°	
1920.12.16	8 ¹ / ₂	宁夏海原	220	N50°-80°W	反扭	双侧破裂	2.5-4.0米	1.00米		500	压扭	西段N70°-80°/ SW∠60°-80° 中段N60°-70°w/ sw∠70° 东段N10°-20°w/ sw∠40°-65°顺扭	
1927.5.23.	8.0	甘肃古浪	140	N70°W	反扭	交叉破裂		7.50米		100	压扭	N70°w/sw∠70°	
			33	N15°-30°W	顺扭	交叉破裂		6.00米		100	压扭	N15°-25°w/sw∠ 45°-80°	
1932.12.25	7 ¹ / ₂	肃甘昌马	116	N60°-70°W	反扭	共轭破裂	2.60米	1.20米		460	压扭	N60°-70°w/sw∠ 64°	
1937.1.7.	7 ¹ / ₂	青海托索湖	300	N60°-80°W	反扭	共轭破裂	8.00米	7.00米		1000	压扭	N60°-80°w/sw∠ 55°-85°NE∠75°	
1947.3.17.	7 ³ / ₄	青海达日	90	N35°-40°W	反扭	共轭破裂	0.80米	3.00米		150	压扭	N50°w/NE∠40°- 50°	
1954.2.11	7 ¹ / ₄	甘肃山丹	20	N50°W	反扭	交叉破裂	2.80米	1.20米		40	压扭	N50°w/sw∠73°	
			8	N20°W	顺扭	交叉破裂	2.83米	1.20米		20	压扭	N20°W/NE∠80°	

园形地震鼓包称为地震鼓丘。1937年托索湖7½级地震时造成的鼓丘使哥日卓托河改道，如图1所示。将连续延展超过200米的地震鼓包称为地震鼓梁。1927年古浪8级大震时，在中

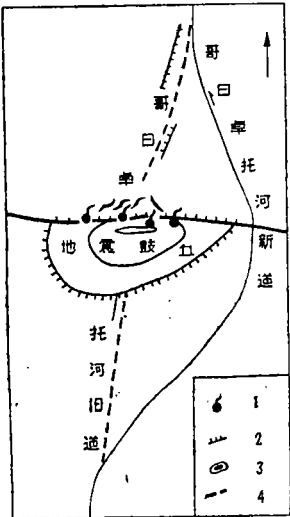


图 1

1. 泉水 2. 河流阶坎 3. 地震鼓包 4. 地震断裂

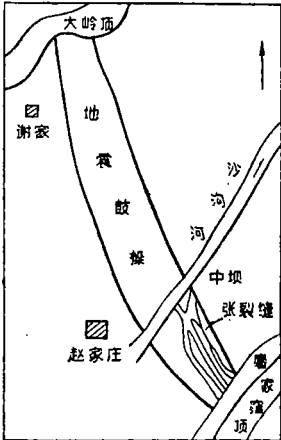


图 2 中坝地震鼓梁平面图

Fig. 2 plan map of the swell of the Gulang earthquake in 1927.

坝的沙沟河谷地内,横切沙沟河,形成长达1600米、宽70—100米、高6.12米的地震鼓梁,如图2所示。

(2) 地震裂缝 这是最常见的地震形变现象。地裂缝种类很多,形成原因各不相同。按力学性质,地震裂缝绝大多数属张性或张扭性,但在少数情况下,也有压扭性的。根据其形态和展布特征可分锯齿状、蛛网状、追踪式、地堑式等形式。锯齿状地震裂缝不论在山脊、斜坡或是沟谷内均能形成,因而最为常见。蛛网状地震裂缝,在较平坦而又松散的地段较为发育。追踪式地震裂缝,不受复盖层物质成分及地形的限制,总体方向与发震断裂近于平行,属二次纵张性质。两条地震裂缝之间的小块体略有下降,但还未形成较高的陡坎,这样两条近于平行的张性地震裂缝,就是地堑式地震裂缝。四省区内仅在7.5级以上大震的极震区内见到。

基岩上的地震裂缝与复盖层中的地震裂缝,其性质是相同的,只是破裂速度不一样。

(3) 地震陡坎 按其形态特征,可分为“S”或反“S”形、弧形、地堑形等。丁国瑜研究员把横切山脊或山包的地震断层形成的陡坎称之为眉脊¹⁾。地震时在发震断裂带上形成天堑,两侧的陡坎称为地堑式地震陡坎,仅在8级以上大震的极震区内见到。

(4) 地震堰塞湖 地震时造成的大滑坡体将河流阻塞而形成的湖称为地震堰塞湖。1654年罗家堡8级大震造成的大滑坡体(罗家堡滑坡体)将稠泥河阻塞而形成的湖,就是地震堰塞湖。地震时造成的小滑坡体或塌方将小河沟阻塞而形成的水塘或水坑,称为地震堰塞塘,这种较为常见。

(5) 地震陷坑 地震时因下陷形成的坑称为地震陷坑,纵然雨季多水也因迅速下渗而不能积水成塘。地震陷坑往往成群出现,形成原因还有待进一步研究。1937年托索湖地震的极震区内见到地震陷坑,如图3所示。

(6) 地震滑坡 地震滑坡分为两类:地震时因发震断裂上冲造成失稳加上重力作用形成的滑坡,称为构造型地震滑坡;地震时因地震波振动造成失稳在重力作用下形成的滑坡,称为振动型地震滑坡。地震滑坡不仅数量甚多,而且往往成群、成带。构造型地震滑坡严格地分布在发震断裂带上。振动型地震滑坡分布在发震断裂带两侧的沟谷内,皆为顺坡下滑。1654年罗家堡地震造成数量甚多的地震滑坡,两种类型均有,而以振动型居多。

(7) 山剥皮 地震时由于振动将表面较薄的复盖层振落称为山剥皮。礼县县城西北约1公里处的山坡上,表面盖层被振落,就是1654年罗家堡地震造成的山剥皮现象。

(8) 地震断裂 目前国内外对地震断裂的含义认识很不统一。根据对四省区7级以上

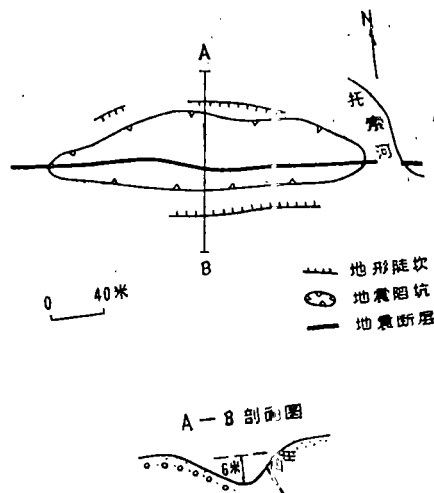


图3 三岔口托索河西岸地震陷坑
Fig. 3 The earthquake pits in the west bank of Tuosuohe River, Sanchakuo.

1)丁国瑜研究员考察1931年富蕴地震时命名的。

大震考察的实际资料，我们认为，地震时造成的有位移的破裂，不论在震源处或是在地表，都应称之为地震断裂，震源处或地下一定深处的破裂只是很难观察到罢了。180年表是地震断裂，在苦水沟内，将全新世河床砂砾石层斜冲错断1.86米，而地表却无任何破裂形迹（见图4），如果不是河沟冲刷，也不可能见到。

2. 复合关系

本文所讨论的是两种不同方向构造型地震形变带的复合关系。地震形变带是在地震一瞬间几乎是同时形成的，这就决定了它们的基本复合形式——截接型复合。复合部位形变加剧，形态奇特。1927年古浪大震，北北西向与北西西向形变带在水峡口复合，不仅造成7.5米高的陡坎，又形成规模巨大的鼓梁。

3. 组合形式

地震形变带内，各种形变现象的组合形式是由形变带本身的力学性质及运动方式决定的。根据组合形式，就能确定地震形变带的运动方式，进而研究现今构造应力场特征。四省区地震形变带的组合形式主要有以下几种：

（1）雁列式 单个形变痕迹，首尾并不相接，成雁行斜列，称为雁列式或斜列式。这是最为常见的组合形式。按其力学性质，可分为压扭和张扭性两种。按其排列形式，有“多字型”与“反多字型”之分。四省区内，大多数北西西向形变带的组合形式为“多字型”，1932年昌马地震形变带中，灰条沟的北西西向鼓包与北东向张裂缝组成“多字型”显示反扭特征（图5）。流沙湾子北北西向鼓包伴生有北东向张裂缝，组成“反多字型”（图6）。

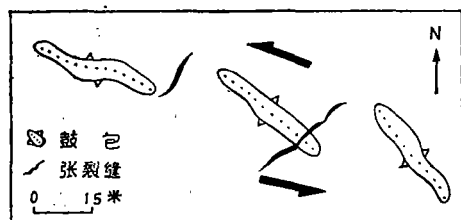


图5 灰条沟多字型形变素带描图

Fig. 5 The sketch map of xi-type structure of deformation band in Huitiaogou.

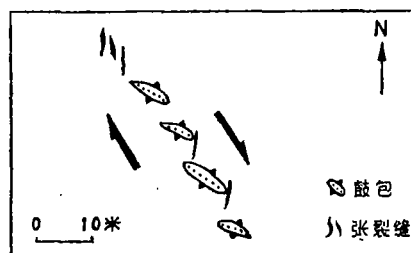


图6 流沙湾子反多字型形变素带描图

Fig. 6 The sketch map of inverse xi-type structure of deformation band in Liushawanzi

（2）羽列式 张扭性羽状形变痕迹称为羽列式。1931年新疆富蕴地震在老山口两条北北西至北西向地震断裂之间形成的北北东至北东向张扭性阶梯状陡坎即是羽列式地震形变痕迹（图7）。

（3）“入字型” 地震断裂一侧排列着同一序次、低一等级的压扭或张扭性形变痕迹，

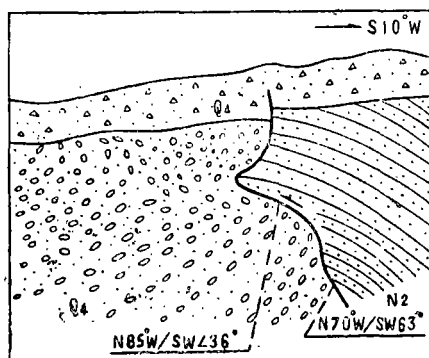


图4 苦水山地震断裂剖面图

Fig. 4 The sectional view of the earthquake fracture in Kushuoshan Mountain.

与地震断裂成锐角相交，构成“入字型”，这种形式极为常见。

4. 展布特征及影响因素

根据地震形变现象在地表的分布特征，可以进一步研究强震发生的地质条件。概述四省区形变带的展布有下列主要特征：

(1) 地震形变带受发震断裂的控制。构造型地震形变带不受地形影响，切山穿谷按其特有的方向（发震断裂方向）展布。

(2) 具有多点破裂的特点。整个地震形变带，其形变破裂并不完全贯通，而是断续成带。

(3) 构造型地震形变带往往具有一定的组合形式，能清楚地反映发震断裂的运动方式。

(4) 发震构造类型不同，地震形变带展布也不同。

影响地震形变带的因素是多方面的。一般说来，震级越大，形变带规模越大，延展越长。震源越深，形变现象越弱乃至没有。地震形变带的展布，与构造及破裂类型密切相关。倾滑型地震形变带延展不长，但规模往往较大；单断滑动双侧破裂型地震形变带十分发育，延展很长，1937年托索湖地震形成长达300公里的形变带，就是此种类型的典型震例。双断交错型，不论是单侧或双侧破裂，形变带延伸不长但其规模较大，1927年古浪地震即属此列。多断迭错型，形变现象主要集中分布在极震区内，成片分布，难以分带，1976年唐山7.8级大震就是典型震例。四省区内，1954年山丹地震属于此种类型。震源断裂性质对形变带的展布也很有影响。一般说来，新生性的脆性剪切破裂，形变量小，其破裂不易反映到地表，沿原有断面的粘滑运动，形变量大，破裂易反映到地表。震区复盖层厚度及其物质成分，对地震形变带的形成和展布影响很大。复盖层太厚，构造型形变不发育，复盖层较薄，构造型形变较发育。总的说来，复盖层3—20米最有利于地震形变带的形成。在震级、烈度和地形条件相同的情况下，复盖层物质成分不同，形成的形变现象也不同。戈壁砾石层，容易形成蛛网状地裂缝和牵引式鼓包。草滩沙土层容易形成鼓包和宽大的地裂缝。黄土容易形成大小不等的地裂缝和阶梯状陡坎。

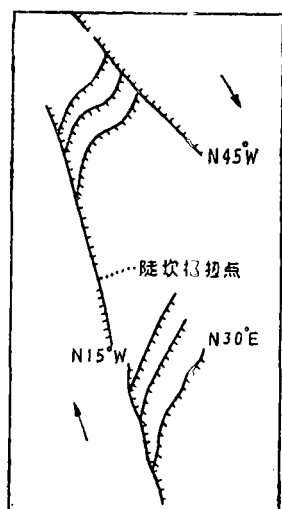


图7 老山口形变带示意图

Fig. 7 The sketch map of deformation band in Laoshankou.

四、地震形变带与发震断裂的关系

1. 发震断裂控制着地震形变带的展布。构造型形变带实质上是发震断裂在地表的反映。振动型形变带，总的说来，也受发震断裂的控制。1654年罗家堡地震的发震断裂是北东东和北北西向两组，地震形成的滑坡，总的也是沿这两个方向分布。

2. 地震断裂与发震断裂上下连通。这样吻合的现象，四省区内屡见不鲜。

3. 运动方式完全一致。这是指构造型形变带与发震断裂的运动方式完全一致。四省区内

实际考察过的19个7级以上大震无一例外。

4. 地震形变带与发震断裂构造类型及其所处的部位密切相关。如发震断裂是一条规模大延长的断裂带,形变带主要展布在断裂带活动性最强的地段。例如1932年昌马地震,发震断裂(昌马—俄博断裂)长达460公里,昌马地震形变带展布在其活动性最强的地段——麦子沟山至西水峡沟116公里的地段内。如果发震断裂由数条断裂组成的较宽的断裂带,形变带沿其中活动性最强或最新的断裂展布。1654年罗家堡地震,北东东向发震断裂规模较大,由4条断裂组成近200米宽的断裂带,地震断裂沿其中最新的断裂面展布。

与隆起带有关的地震形变带的展布,不超过隆起带的范围,例如180年表是地震,形变带展布在北北西向榆木山隆起带内。

四、形变带力学机制分析

1. 力学性质分析

要分析形变带的力学机制,首先应判明形变现象类型及其力学性质。鼓包、鼓丘、鼓梁以及压性陡坎、上冲封闭式地裂缝等为压性形变痕迹。四省区内纯压性形变现象较为少见,一般都兼有扭性。雁列式及“入字型”为典型的压扭性形变组合形式。以扭为主兼有压性的形变现象为扭压性形变痕迹,与压扭性形变痕迹往往很难区别,只是扭动迹象更加明显罢了。1932年昌马地震北西西向形变带是较典型的扭压性形变带。由引张力形成的形变现象为张性形变痕迹,主要是张性地震裂缝。由于拉张扭动而产生的形变现象为张扭性形变痕迹,主要是雁列式和羽列式地震裂缝。地震陡坎一般是上盘下落即所谓正断层,一般认为是张性的,但实际考察发现,有张性、张扭性的,也有压性和压扭性的,需认真观察加以区别。

2. 成生序次分析

分析形变现象的成生序次,对研究新构造运动及其与地震的关系是有实际意义的。这里所讨论的形变带成生序次问题,只相对于发震断裂而言,不涉及高一级构造问题。基于这样的前提,将由于发震断裂活动直接产生的压、张、扭性形变痕迹,称为第一序次的形变痕迹。由于进一步扭动而产生的雁列式、羽列式形变痕迹以及进一步弯曲变形而产生的纵张裂缝为第二序次形变痕迹。由于纵张裂缝向两侧侧压而形成的形变痕迹及二序次鼓包上的纵张裂缝等为第三序次形变痕迹……以此类推。

3. 运动方式分析

构造型地震形变带是构造应力作用的产物,因此,分析形变带运动方式,就能直接了解新构造运动方式。实际工作中应根据错动位移、排列组合形式、地震断裂面上的擦痕及阶步、水系同步弯曲变化等情况判别形变带运动方式,进而确定构造应力作用方式。

五、地震形变带特征所反映的现代构造运动特点

综上所述,构造型地震形变带是发震断裂在地表的直接反映,从构造意义上讲,也就是震源破裂在地表的反映。通过形变带力学机制的分析,可以了解现代构造运动的基本特点。总结四省区地震形变带特征所反映的现代构造运动特点是:

1. 发震断裂的运动方式,总的说来,北西至北西西向发震断裂作反时针方向运动,北北

西向发震断裂以压性为主兼有顺时针方向扭动,北东东向发震断裂为反时针方向运动。

2.兰州以西地区(包括青海在内),几乎所有7级以上地震形成的形变带,均有北西西和北北西向两组。总的说来,北西西向形变带延展长,呈反扭,北北西向延展短,呈顺扭。形变带组合形式所反映的主压应力方向为北东东—南西西,且主要是由北东东向南西西方向作用。兰州地区1982和1983进行多次绝对应力测量,所得结果,主压应力方向亦为北东东(马衔山北 84.5° 东,白银北 68° 东),这决不是偶然的巧合,而是有其内在联系的。北东东—南西西主压应力方向恰好是河西系的主压应力方向。由此可以这样认为,兰州以西特别是河西走廊内的强震,河西系的活动在起着主要的作用。

3.地震形变带在复合部位加剧,说明在闭锁的构造复合部位,是地应集中的场所,也是地震危险地段。

4.北北西向形变带均分布在北北西向隆起带的东缘,且主要在次一级隆起带的东缘,西缘没有北北西形变带分布,因为西缘没有发生大于6级的地震,这说明强震是在由东向西推挤力加强的情况下发生的。

5.兰州以西的广大地区内,7级以上强震的北西西向形变带,被限制在河西系一级隆起带范围内。这是值得深入研究的问题。初步认为,河西系是一正在成长发育尚未完全成型的活动构造体系,现阶段仍以隆起、拗陷为主,尚未形成规模巨大的边界断裂。在隆起、拗陷的过程中,伴之以规模不大、延展不长但却断续成带、活动性很强的断裂。隆起带内有一系列与之斜交的成生较早、规模很大的断裂,这是被它们利用、改造的有利条件,这也是兰州以西北西西向形变带发育的主要原因。

本文得到郭增建研究员的指导和帮助,谨此谢忱。参加四省区大震考察的同志较多,恕不一一列举,特此致谢。

(本文1984年8月15收到)

参 考 文 献

- [1] 郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社,1979.
- [2] 马宗晋等,1966—1976中国九大地震,地震出版社,1981.
- [3] 张四昌,我国地震形变带的初步研究,地震研究,Vol.4, No.1, 1981.
- [4] 叶洪、张文郁,初证华北板内地震断层特征及其与地壳、上地幔动力学过程的关系,地震地质,Vol.2, No.1, 1980.
- [5] 朱成男等,1979年云南普洱6.8级地震地表破坏的基本分析,西北地震学报,Vol.2, No.2, 1980.
- [6] 马宗晋,华北地壳的多(应力集中)点应力场与地震,地震地质,Vol.2, No.1, 1980.
- [7] 黄圣睦等,四川炉霍虾拉沓地震断层群,地震地质,Vol.4, No.1, 1982.
- [8] 杨章、戈树漠,对1931年新疆富蕴地震断裂带及构造运动特征的初步认识,地震地质,Vol.2, No.3, 1980.

PRELIMINARY RESEARCH ON EARTHQUAKE DEFORMATION BAND IN SHAANXI, GANSU, NINGXIA AND QINGHAI

Lú Tianbao Yan Fengzhong Dai Huaguang and Pan Junmao
(*Seismological Institute of Lanzhou, state Seismological Bureau, China*)

Abstract

So far, the study on earthquake deformation band has not reached an identical view both at home and abroad. This paper, on the basis of enough data from practice and investigation, defines the kinds and names of deformation band, elucidating its properties in detail, analysing its mechanism of mechanics and expounding the relation between seismogenic fracture and deformation band, and the features of modern tectonic movement reflected by deformation band. Furthermore, in order to forecast the approaching strong earthquakes, the major geological signs are preliminarily summed up for strong earthquakes in the northwestern part of China.