

中国大陆内部走滑型发震构造 的构造变形场特征^{*}

环文林 张晓东 宋昭仪

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘 要

本文是笔者等“中国大陆内部走滑型发震构造研究”的系列论文之二。本系列的论文之一, 讨论了中国大陆内部走滑型发震构造的构造应力场特征(环文林等, 1994)。本文在此基础上进一步讨论了走滑型发震断层的变形场特征。

本文第一部分阐述了走滑型发震构造的变形场模型。提出一条完整的走滑断层, 并不是整条带上都以水平位移为主, 其位错面的各个地段的变形性质是不同的。只有中部主体走滑段表现为走滑性质, 而两端则以垂直变形为主要特征; 本文第二部分通过近年来我国大陆内部发生的、且调查比较清楚的几次 7 级以上走滑型大地震发震断层的变形场特征的讨论, 进一步证实了, 虽然各次地震都具有各自复杂的个性特征, 但它们在共性上, 这些地震的发震断层都具有上述相似的走滑型发震构造的变形场特征。

主题词 走滑断层; 位错; 位移

1 构造变形场的理论模型

1.1 断层模型计算出的理论表面位移

国内外许多学者根据位错理论对各种性质的断层模型计算了沿断层的理论表面位移。本文选用了—个比较简单而典型的计算结果(Matsu'ura and Sato, 1975), 如图 1 给出的垂直走滑断层和倾斜倾滑断层模型的理论表面位移。从图中可以看出, 走滑断层和倾滑断层的表面水平位移和垂直位移的图象是完全不同的。

对于垂直走滑断层(图 1a), 水平位移平行于断层线走向, 断层中部水平位移量最大, 向两端逐渐变小; 垂直位移分布在断层的端部, 在断层两端表现为一盘上升, 另一盘相对下降, 而且断层两端上升区和下降区的分布正好相反, 成反对称分布。

对于倾斜的倾滑断层, 水平位移垂直于断层走向。其中逆断层为断层两盘相向挤压, 正断层为反向引张; 垂直位移在断层两盘表现为一盘上升, 另一盘相对下降, 垂直位移量断层中段最大, 向两端逐渐变小(图 1b)。

^{*} 国家地震局 85-05 项目资助课题。国家地震局地球物理研究所论著 95A0003。
1993 年 3 月 5 日收到初稿, 1994 年 10 月 17 日收到修改稿, 1994 年 11 月 4 日决定采用。

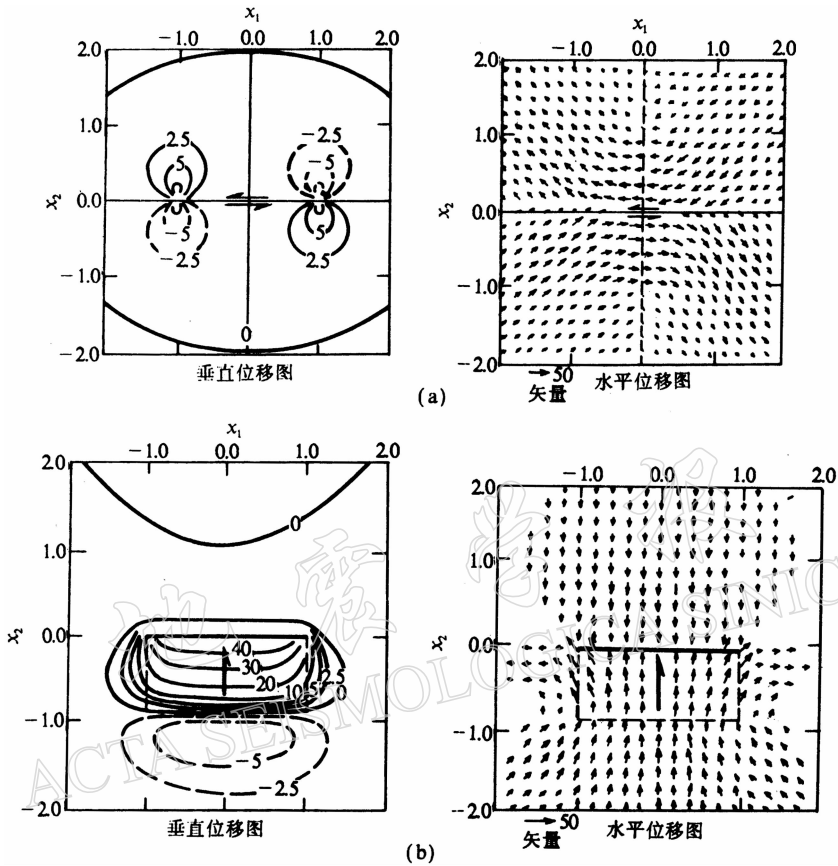


图 1 由断层模型计算出的理论表面位移(据 Matsu'ura and Sato, 1975)

图中等值线所标的数值,以断层滑动量的百分之一为单位

(a) 垂直走滑断层, (b) 倾斜的倾滑断层

1.2 走滑断层位错面的变形场模型

在本项研究中,通过数十次强震的发震断层的分析与研究,特别是对 1920 年海原 8½ 级大地震的水平位错面进行的重点剖析与详细研究(环文林等, 1987; 1991),结果表明,走滑型大地震的地面变形调查结果与上述理论计算结果完全相似. 据此,可将一条完整的断面直立的走滑断层的水平位移间断面(即位错面)的变形场模型,分为下列三段:中部为主体走滑段,两端分别为垂直变形段(图 2a),并且两端上升、下降区的分布正好相反.

我国绝大多数走滑断层断面并非完全直立,而是具有一定倾角的高倾角断层. 我们将具有一定倾角(如南倾)的走滑断层的水平位移间断面(即位错面)的变形场模型分为下列变形性质不同的三段(图 2b):

(1) 中部主体走滑段. 水平位移平行于断层走向,以水平位移为主,水平位移达最大值,垂直位移最小、甚至为零. 向两端水平位移逐渐减小,垂直位移逐渐加大.

(2) 端部压性垂直变形段(如东端). 以垂直位移为主,水平位移较小,甚至为零. 上

盘上升,下盘下降,表现为逆断层的特征.

(3) 端部张性垂直变形段(如西端). 以垂直位移为主,水平位移较小,甚至为零,上盘下降,下盘上升,表现为正断层的特征.

可见,一条完整的走滑断层,并不是整条带上都以水平位移为主,其位错面各个地段的变形性质是不同的.只有中部主体段表现为走滑的性质,而两端则以垂直变形为主要特征.

2 走滑型大地震的变形场特征

近年来,我国各地发生的几次走滑型大地震都进行了地形变测量.对一些近代发生的大地震和历史大地震还进行了地震断层的位移调查,以及地质和地形、地貌等考察.这些结果都清楚的反映出上述大地震发震断层的变形特征.

2.1 唐山大地震走滑型发震断层的变形场

对 1976 年唐山 7.8 级大地震的发震断层,前人的看法差异较大.我们在充分分析了前人各种看法的基础上,进一步分析了卫星遥感、余震观测、震害分布、地质构造,以及形变测量等资料,认为唐山大地震主震的发震断层比较复杂,不是一条简单的断层,它可能至少由北北东向的宁河—陡河断层和北东向的唐山—卢龙断层等两条较大的断层斜列组合而成.如果将我们分析的这两条断层与国家地震局形变测量队的唐山地震前后形变测量资料(国家地震局,1982)放在一张图上,编制成唐山大地震发震断层的变形场分布图(图 3).从图上可以清楚地看出,这两条断层与形变测量资料吻合得较好.由此可见,唐山大地震的发震断层可能就是由上述两条斜列状分布的水平位错面组合而成的.

陡河—宁河断层为较大的一个位错面.其中丰南一带为主体走滑段,两盘相对水平位移矢量最大,达 2.3 m 左右,垂直变形量却最小(小于 100 mm).唐山—陡河一带为断层北端的垂直变形段,西盘上升 150 mm 以上,东盘下降最大处达 784 mm.宁河一带为该断层南端的垂直变形段,两盘上升和下降情况正好与北端相反.西盘下降,最大达 1 500 mm 以上;东盘则相对上升,水平位移矢量分布显示为压性逆断层的性质.这种变形特征显示该断层为一条典型的略向东南倾的右旋走滑位错面.

唐山—卢龙断层为另一条相对独立的位错面.古冶一带为主体走滑段,以水平位移为主,最大相对水平位移可达 1.3 m,垂直位移较小(小于 200 mm).东端雷庄北一带为垂直变形段,南盘下降,最大幅度达 1 000 mm 以上;北盘相对上升,水平位移矢量分布显示为张性正断层的性质.西端唐山市区东侧一带为垂直变形段,两盘上升和下降情况

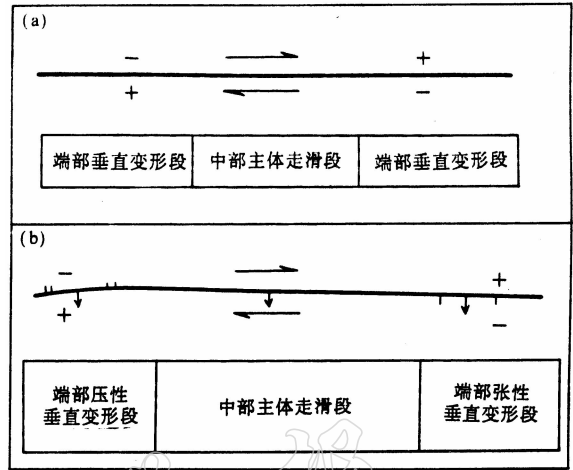


图 2 走滑断层位错面的变形场模型

(a) 直立走滑断层, (b) 倾斜走滑断层

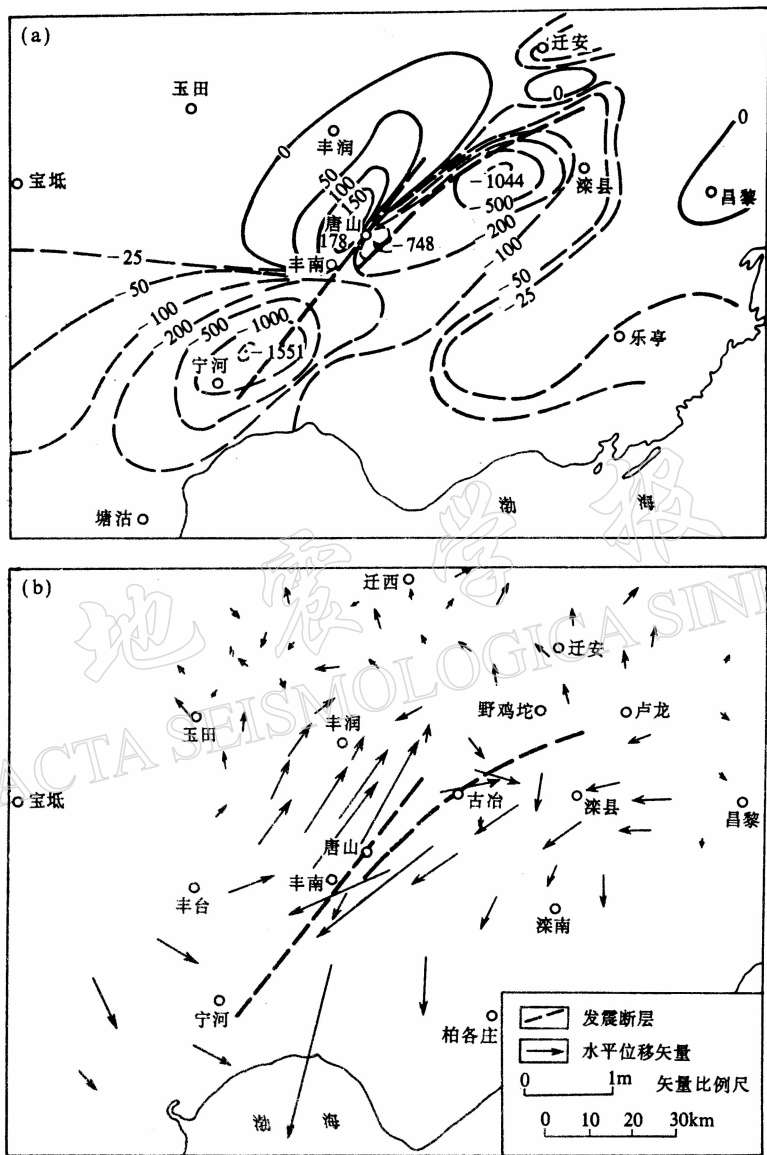


图 3 1976 年 7.8 级唐山大地震两条斜列走滑发震断层的变形场
(a) 唐山大地震发震断层的垂直形变图(单位: mm), (b) 唐山大地震发震断层的水平位移图

与东端正好相反,北盘下降,最大幅度达 784 mm,南盘相对上升.这种形变特征显示该断层也是一条典型的略向东南倾的右旋走滑位错面.

这两条走滑位错面的斜列部位分布在唐山市区的东部(通常称为走滑断层的阶部),由上述两条位错面端部的下降区共同构成.因而在宽几公里的非常狭小的斜列部位形成了一个局部的下降区,下降幅度高达 784 mm,这是唐山大地震震后变形中一个突出的变形现象.由于是较小范围内产生了较大的垂直变形,导致了该区域内较大的震害出现.

7.8 级的唐山大地震可能就是由这两条相对独立的水平位错面连续破裂的结果.如

果这两条相对独立的水平位错面，各代表一次次级地震破裂事件，则唐山大地震的主震是由两次较大的相对独立的次级地震事件连续破裂的结果。

2.2 邢台地震走滑型发震断层的变形场

我们根据邢台地震的几次 6 级以上地震的余震分布形成的几条密集条带，勾划出邢台地震发震时的几条斜列状分布的发震断层。其中主震所在的东汪断层的位置，我们参考了王椿镛等(1993)邢台地震区深地震反射剖面的结果。如果我们把这几条断层与国家地震局形变测量队的邢台地震前后形变测量资料(国家地震局地震测量队，1975)放在一张图上，编制成邢台地震发震断层变形场分布图(图 4)。从图上可以看出，北北东向东汪断裂可能是 3 月 22 日 7.2 级主震的发震断层。其中东汪—牛家桥以东为主体走滑段，以水平变形为主，最大水平位移可达 70—90 cm。主体走滑段以南和以北水平位移逐渐减小，垂直位移逐渐加大。北端垂直变形段东侧相对下降，最大垂直形变为 40 cm，水平位移矢量分布显示为张性正断层性质；南端垂直变形段西侧相对下降，最大相对垂直形变为 25 cm 以上，水平位移矢量分布显示为压性逆断层性质。这种变形场分布特征表明，东汪断层为一条典型的东倾的高倾角走滑位错面，这个位错面可能就是 1966 年 3 月 22 日 7.2 级邢台地震的发震断层。这个结果与震源机制结果完全一致。3 月 8 日 6.8 级邢台地震可能发生在该断层以南的另一条斜列的断层上。

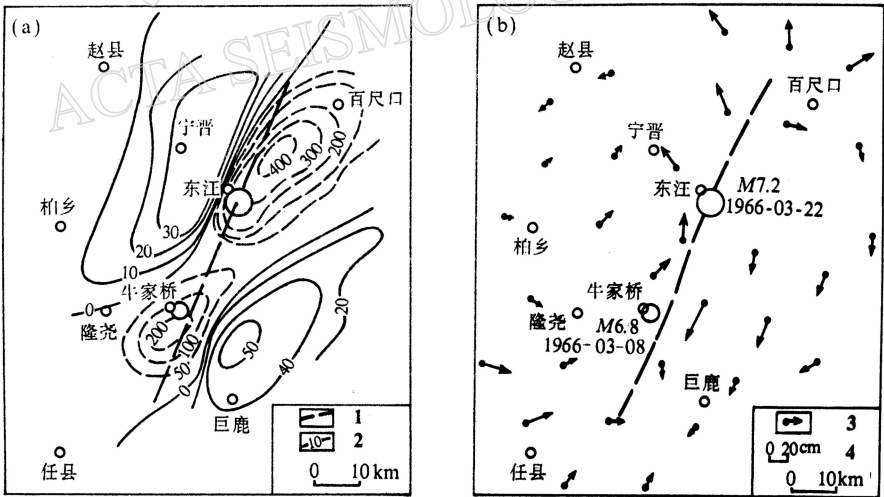


图 4 1966 年邢台 7.2 级大地震走滑型发震断层的变形场

(a) 邢台大地震发震断层的地面垂直形变图，(b) 邢台大地震发震断层的地面水平位移图

1. 1966 年邢台 7.2 级地震的发震断层；2. 邢台地震前后的垂直形变等值线(虚线为下降等值线，实线为上升等值线)；3. 水平位移矢量；4. 矢量比例尺

2.3 炉霍大地震走滑型发震断层的变形场

炉霍大地震的发震断层是中国西部典型的走滑型发震断层。该断层为鲜水河斜列状走滑断层带上的一个次级斜列断层(炉霍断层)。断层的东端北侧为虾拉托第四纪盆地，以垂直变形为特征；断层的西端南侧为侏倭第四纪盆地，以垂直变形为特征。断层两端的上升下降区正好相反。断层中段侏倭—瓦达段，两侧的垂直差异不明显，但水平位移

现象到处可见,许多山脊和水系明显左旋错移.据四川省地震局(1989)1973年炉霍大地震的水平位移实测资料,在断层中段炉霍西南的萨其卡,最大水平位移为6.7 m,向断层两端水平位移值逐渐减小,以至消失.如果我们将上述水平位移测量资料与断层上的垂直形变特征结合起来,就可以编制出炉霍大地震的发震断层的变形场分布图(图5).由此可见,炉霍断层也是一条典型的水平位移间断面,1973年炉霍大地震就是该位错面活动的结果(图5).鲜水河断层上的其它斜列状次级断层都具有与此完全相同的特征,据此可以认为,鲜水河断裂的每一条次级断层都可能为一个相对独立的位错面.

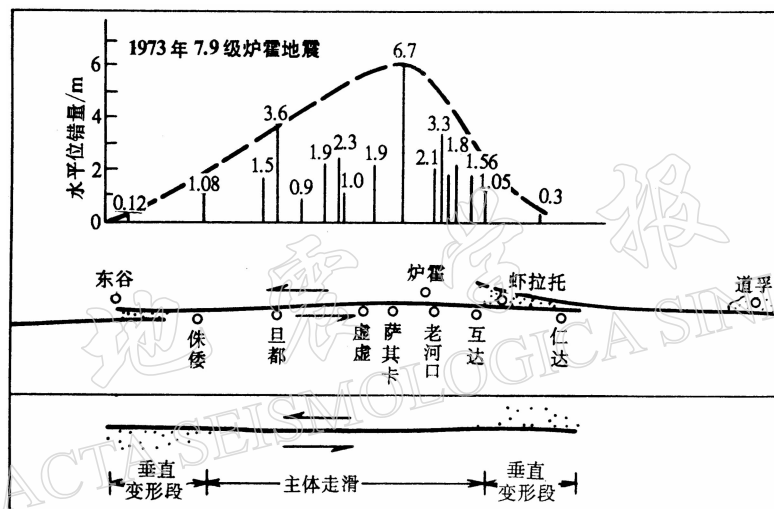


图5 1973年炉霍大地震发震断层的变形场[水平位移实测数据据四川省地震局(1989)]

2.4 1920年8.5级海原大地震走滑型发震断层的变形场

海原大地震发震断层是多重破裂的变形场,环文林等(1991)做过详细研究.

海原大地震走滑型发震断层的变形场,在地震断层的地面位移分布上表现得更加清楚.根据笔者等与宁夏地震局万自成、柴积章等1983—1984年野外实地考察的测量结果(环文林等,1987),海原地震断层由6条规模较大的次级断层斜列组合而成,在6条断层上共获得1920年地震时余留的164个水平位移数据和81个垂直位移数据.根据这些数据绘制了这次大地震的地震断层地表水平位移和垂直位移分布图(图6).

(1) 水平位移分布.从图6可见,1920年地震时沿地震断层出现了相当大的左旋水平位移,最大左旋水平位移达14 m.值得注意的是,与每一条次级断层相对应,整个带上的位移分布显示出多个峰值的位错特征.每个峰值都与一条次级断层相对应.

在每一条次级地震断层的内部,位移量的分布也是不均匀的,其中以该条断层中部(略偏一侧)的水平位移量较高,向两端逐渐变小以致消失.

(2) 垂直位移分布.海原大地震的垂直位移量比水平位移量小,垂直位移的分布也是有规律的.与水平位移的分布相反,较大的垂直位移峰值都分布在各条次级地震断层端部的斜列部位的拉分盆地或挤压隆起内,最大垂直位移6—8 m.在各条次级断层的中

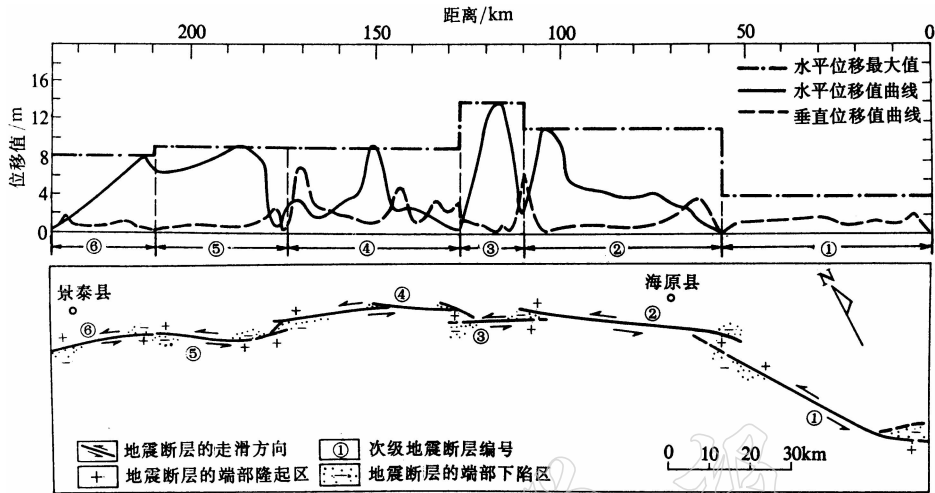


图 6 1920 年 8½ 级海原大地震的地震断层和位移分布(据环文林等, 1991)

- ① 月亮山东麓段；② 西、南华山北麓段；③ 黄家洼山南麓段；
④ 北嶂山北麓段；⑤ 哈思山南麓段；⑥ 米家山北麓段

部，水平位移较大的地段，垂直位移量也较小，分布均匀，一般小于 2 m.

上述位移分布特征表明，海原大地震的 6 条次级断层都是一个个相对独立的水平位错面。如果每一个位错面可以代表一次独立的次级地震事件，那么，巨大的 8.5 级海原大地震就可能是由 6 次相对独立的次级地震事件连续发生的结果(环文林等, 1991)。

3 走滑型发震断层的垂直变形场

我国虽然对许多走滑断层作了详细的研究，但取得水平位移标志和水平位移数据的断层仍不多。这可能是由于水平位移不易保存和调查比较困难所致。在大面积的地震区划中，完全利用水平位移来识别走滑断层是困难的。但走滑断层还有如上所述的独特的垂直变形分布特征。而垂直位移往往能够在地层和地貌上保留下来。我国各地对垂直运动的研究程度也较高，因此，用走滑断层的垂直变形特征来识别走滑断层是地震区划和发震构造判别中行之有效的办法。

如滇东断裂是我国西南的主要活动断裂带之一。笔者等根据卫星照片判读，结合地面地质调查结果，编制了滇东断裂带的垂直变形场分布图。从图上清楚显示出沿断裂带上分布着一系列串珠状的湖泊、盆地尤其引人注目。这种断裂和盆地相间分布的特征显示该断裂带的每一条次级断层的端部都具有明显的垂直变形带分布，这种分布特征显示了滇东断裂是由一系列呈近南北向分布的次级左旋走滑断层斜列组合而成。这些垂直下降幅度较大的湖泊、盆地往往分布在相邻两条次级断层端部的斜列部位。显然，这是走滑断层端部的垂直变形所造成(图 7)。图左上角为形变模型示意图。

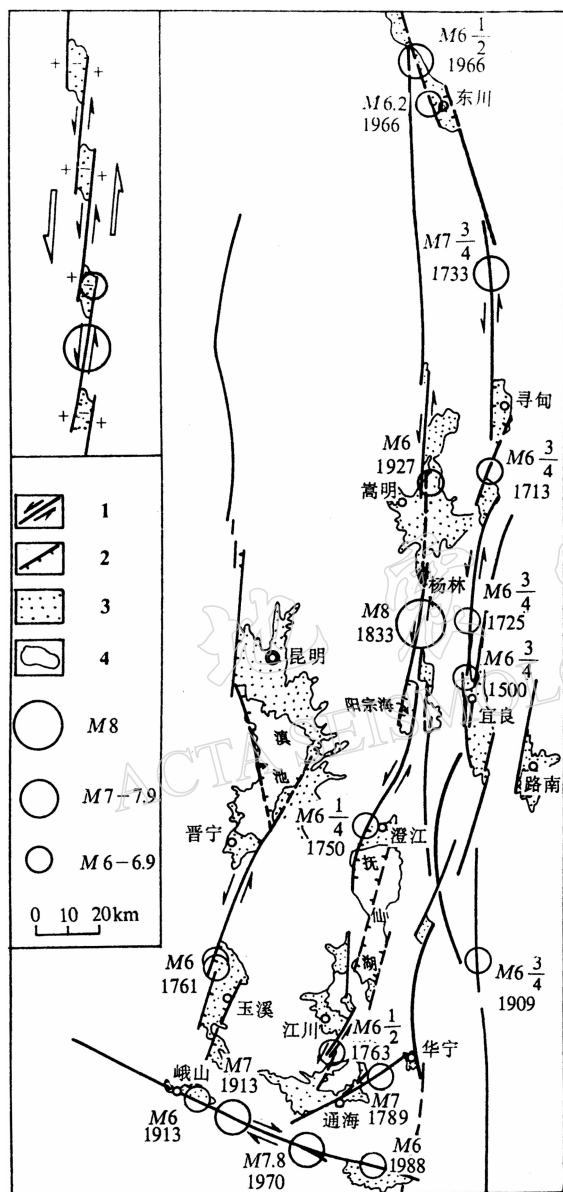


图 7 滇东断裂走滑型发震构造的变形场

1. 主体走滑段, 2. 端部正断段, 3. 第四纪断陷盆地, 4. 现代湖泊

从图 7 可以看出, 滇东断裂带上 5 次 7 级以上大地震都分布在各条走滑断层的中段主体走滑段上. 13 次 6—6 $\frac{3}{4}$ 级地震中, 有 5 次分布在主体走滑段, 其它 8 次分布在断层端部的垂直位移较大的断陷盆地中.

我国西部地区的许多走滑断层都具有如上斜列状分布的特征, 其两条断层端部的斜列部位多数为盆地, 少数为隆起, 它们是走滑位错面端部的垂直变形所造成. 地质界一般把它们称为“拉分盆地”或“挤压隆起区”.

根据走滑型发震断层的垂直变形特征, 通过卫星照片判读、一般的地质地貌调查、地震活动、震源机制等资料作为辅助判别, 就可以将走滑型发震构造识别出来. 在大面积潜在震源区划分和地震危险区判别工作中, 这种方法对那些研究程度较低地区的走滑型发震构造的判别是行之有效的办法.

4 小 结

(1) 走滑型大地震的发震断层一般由一个或多个走滑位错面斜列组合而成.

(2) 一条完整的走滑位错面, 并不是在整条带上都以水平位移为主, 其位错面各个地段的变形性质是不同的. 只有中部主体走滑段表现为走滑的性质, 而两端则以垂直变形为主要特征.

(3) 近年来我国各地发生的几次走滑型大地震和一些历史大地震的调查结果表明, 这些走滑型大地震的发震断层无论个性上多么复杂, 但它们在共性上都具有上述相似的变形特征.

(4) 在大面积地震区划和地震危险区判别中, 对那些水平位移数据较少的地区, 利用走滑断层的垂直变形特征来识别走滑型发震断层, 也是行之有效的办法.

参 考 文 献

- 国家地震局, 1982. 1976 年唐山地震, 157—161. 地震出版社, 北京.
- 国家地震局地震测量队, 1975. 1966 年邢台地震的地变形. 地球物理学报, **18**, 3, 153—163.
- 环文林、葛民、王士平、常向东、万自成、柴炽章、张维歧、焦德成, 1987. 中国地震考察, 第一卷, 20—61. 地震出版社, 北京.
- 环文林、葛民、常向东, 1991. 1920 年海原 $8\frac{1}{2}$ 级大地震的多重破裂特征. 地震学报, **13**, 21—31.
- 环文林、汪素云、宋昭代, 1994. 中国大陆内部走滑型发震构造的构造应力场特征. 地震学报, **16**, 455—462.
- 四川省地震局, 1989. 鲜水河活动断裂带, 97—98. 四川科学技术出版社, 成都.
- 王椿镛、王贵美、林中洋、张四维、刘运生、毛桐恩、刘元生、段以伟, 1993. 用深地震反射方法研究邢台地震区地壳细结构. 地球物理学报, **36**, 4, 445—452.
- Matsu'ura, M. and Sato, R., 1975. Displacement fields due to the fault, *Zisin. J. Seism. Soc. Japan*, **28**, p. 429.

地震学报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA