

活断层研究在烈度区划中的应用

刘百簋

(国家地震局兰州地震研究所)

一、引言

世界上绝大多数大地震都是构造地震。关于地震断层与先存断层的关系,鲍尼拉统计了世界上108条地震断层,91%发生在先存断层上,8%不清楚,仅一例在无断层的地方^[1]。在我国情况也大致为此。因此,可以认为大地震的发生与活动的先存断层有突出的因果联系。活断层研究自然成为区划烈度最重要的基础工作之一。

近年来,国内外活断层的研究资料一直在大幅度地增长。它们的主要结果是:1.断层的全新世或晚第四纪运动性质和滑动速率;2.断层上的历史大地震和全新世古地震;3.断层几何学。这些研究结果缩短了描述地质构造作用的时间尺度,延长了地震目录。这就使我们有可能以相互适应的时间尺度把地质构造作用与大地震活动在时间上和空间上直接联系起来,以数倍于大地震重现间隔的时间跨度定量外推未来中长期地震危险性,并且把地震位置、地震强度与断层几何直接联系起来,从而较客观地提供地震危险性概率表达式,以适应地震预报和区划烈度对地震地质学提出的高标准要求。本文将从特征地震、特定震级、多重特征地震及它们与断层滑动速度、断层几何的关系出发,研究活断层在地震预报和区划烈度的应用。

二、特征地震

D.P. Schwartz 1984年提出了断层滑动的特征地震模型。该模型假定特征地震产生的滑动分布以连续的地震进行重复。这就意味着断层带上的地震具有非线性震级频度关系,即特征地震占优势,并且在中强地震范围内具低 b 值特征^[2]。由特征地震模型出发, Bakun 直接把特征地震解释为具有相同的断层作用机制、震级、破裂长度、震中位置并且延伸方向与早期地震也相同的高度重复性地震^[3]。特征地震的序列与粘滑实验结果非常相似,所以其形成机制可能就是粘滑。我国许多地震带的大地震的断距分布和 b 值特点具有特征地震的特点,如鲜水河断裂带、安宁河断裂带、松潘地震区均表现出震级频度的非线性和中强震低 b 值的特征^[4]。国外圣安德烈斯断层和安那托利亚断层也表现出完全相同的特征^[2],所以特征地震现象是一个相当普遍的地震现象,在估计地震危险性中是一个地震活动与活断层研究之间的带有桥梁性质的重要概念。

三、特征地震的特定震级与断层几何学

许多特征地震与断层几何的研究结果表明特征地震的破裂长度与不连续断层的一段或数段相吻合,即地震破裂的两端与不连续断层段的端部相重合。如海原断层、圣安德烈斯断

层、安那托里亚断层〔4、5、2〕，还有鲜水河断层*都十分明显地表现出这个特征。一般较小的中强地震对应着较短的不连续断层段，较大的地震对应着较长的不连续断层段，巨大的地震则对应着相邻的多条不连续段。这一重要而普遍的现象暗示着不连续雁列断层带的滑动行为遵守“整数段滑动原则”，即要滑动就是一段，或两段，或三段……滑动的个数是整数，而不是半段，或一段半等非整数。根据这个原则我们引伸出“特定震级”的概念，即对于由特定段长组成的雁列不连续走滑断层带上所发生的特征地震的震级也是特定的和不连续的，而不是随机的和连续的。

不连续走滑断层带的滑动行为可归纳为如下三点：

1. 单条断层段滑动时，形成一个单独的特征地震。

2. 特征地震的特定震级与段的长度存在对数线性关系，即 $\log L = aM + b$ 。

3. 当单条断层段积累了足够的应变时，由于某种尚不清楚的原因而不能即时滑动时，则继续积累应变直到相邻段也达到滑动极限时，多段同时滑动或在很短的时间之内相继滑动，这将是一个震级和矩震极更高的巨大地震。

按照断层的这种滑动行为，我们把单段滑动的地震称为单元特征地震，把多段滑动的地震称为多重特征地震，它们的震级统称为特定震级。多重特征地震的段落组合机制目前还不清楚。但我们猜想这种组合不是随机的，而可能与断层几何中的阶距特性有关，也可能与整个断层带的滑动程序有关。

无论特征地震还是多重特征地震以及它们的特定震级，显然都受到活动断层几何条件的直接控制。断层几何条件还可能决定着断层带的地震序列特点，如相对平静和相对活跃期以及这两个时期内的地震时、空、强结构。因此活断层的几何学是非常重要的基础研究。

四、以海原活断层为例说明活断层研究结果在地震区划中的应用

以特征地震，多重特征地震和它们的特定震级为桥梁，可以通过一系列经验关系式将潜在地震的位置，震级和发震时间等预报因子与整个活断层带的运动参数和一系列几何因子如断层的滑动速度，不连续段的长度，段端的性质，段的组合性质一一对应起来。这样我们就有可能把整个断层带的地震活动行为与特定几何形态的活断层带的构造运动行为紧密联系在一起。

这里能够用到的经验公式主要有：

$$\bar{V} = \frac{D}{t}$$

$$\log L = aM + b$$

$$\log D = cM + d$$

这里 $\bar{V}$ 为断层平均滑动速度， D 为单个地震的平均位移， L 为地震破裂长度， M 为震级， t 为地震重复时间， a, b, c, d 为经验常数。由这些关系式可很容易地导出特定震级 M_i 的重复间隔 t_i ：

$$\log t_i = e \log L_i - (\log \bar{V} + f)$$

式中 L_i 为产生特定震级 M_i 地震的断层段长度， e, f 为新的经验常数， $\bar{V}$ 可由活断层研究测定得出，也可用布龙的方法得到。表 1 为根据断层几何和特征地震模型做出的海原断层带的地

震危险性估计。

由于海原断层上历史大地震较少,暂时没有条件建立自己的 $M-L$ 和 $D-M$ 关系式。我们曾分别选用了中国地区、日本地区、美国地区和全世界的 $M-L$ 和 $D-M$ 经验关系式。但由于公式本身的离散性很大,结果有数量级误差,完全不适合于海原断层。最后选定了郭增建和秦保燕建立的关系式^[7]

$$M_i = 3.3 + 2.1 \log L$$

$$\log D = 0.52M - 1.25$$

并导出 $\log t_i = 0.47 + 1.09 \log L_i - \log \bar{V}$ 。

该关系式与海原断层的实际情况很接近,可能是由于这些关系式较接近未来震源的实际情况。

断层几何学的结果是我们前几年取得的^[6]。海原断层共分为12条雁列的不连续段。段两端部分别由规模不等的左阶拉分盆地或挤压山或枢纽部位分开。各段的长度和特征地震、可能的多重特征地震的特定震级及其重复周期和年概率能列入表1内。多重特征地震的段落组合暂时仅依据阶距的大小和等级,即认为阶距大的段落联合的可能性较小,阶距小的段落联合的可能性大。阶距大的段落的联合,可能需要更大的矩震级。仔细分析表1的危险性估计结果和海原断层1920年以来的中强震活动情况,可以看出计算的结果与实际情况是相当吻合的。

1. 5.1—5.6级地震的复发周期算为50—91年,实际上海原断层自1920年大地震后至今的66年中没有发生过5.5级以上的地震。

2. 海原断层上有可能发生5级左右特定震级的地段分别为a段(景秦南)、d段、e段、f段(邵家水盆地附近)、j段、k段(干盐池盆地附近)。实际的地震情况是:(1)1934年和1959年在邵家水附近发生过两次5级地震(图1)。实际重复周期为14—39年,计算结果为42年,误差为50%左右;(2)1959年和1961年景秦南发生过两次5级地震,实际间隔为39—41年,计算间隔为42年,误差为8%,1962年时其积累的地震危险性概率已经达到31即100%;(3)干盐池附近的打拉池1967年和1976年曾发生过4.8和5级地震,实际时间间隔为47年和56年,计算间隔为42年和66年,其误差分别为12%和18%。它们的危险性率概率累积分别在1962年和1986年达到了100%。由上述可见,对于5级左右地震的发震时间与发震地点,计算的结果与实际情况是相当接近的。

2. 结果按整个断层带的长度215公里计算8.2级地震的重复间隔为2166年,这与由古地震揭示的8.5级地震重现间隔2325年^[6]也是极为近似的。

3. 由于1920年海原大地震到目前仅66年,时间间隔不够长,还没有发生6级以上地震的可能性。由表可做如下估计:

(1) 对于6.1级地震,重复周期为168年,这就是说在今后100年 $\pm 20\%$ 以内,沿海原断层不存在6.1级以上地震的危险性。

(2) 7级以上地震重复周期为503年 $\pm 20\%$,这就是在在503 $\pm 20\%$ 年之内没有发生7级以上的地震危险性。

(3) 还可根据各自的需要估计出各特定震级的复发周期和年发生概率,这些数据对于地震区划的地震危险性判定显然是有价值的。

最后还需要指出,我们仅沿主断层对地震危险性做出了估计。但对于目前尚认识不清楚

1881
的次级断
率一般可
待做进一

特征

1986年

多重

1986

的次级断层和距主断层较远的分枝断层和次级断层，我们还不能估计。但这些断层的滑动速率一般可能要低于主断层。因此，其地震危险性概率可能要低于主断层。对于这些问题还有待做进一步的研究。

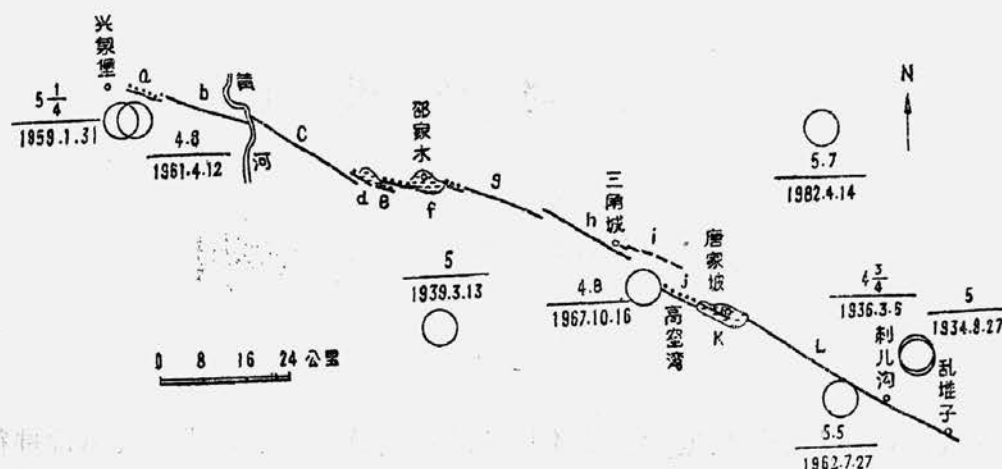


图1 海原断层几何与震中分布图

带点的段为地震危险性概率已达到1的断层段

表1 海原断层的地震危险性定量估计

段 名	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
长度 km	7	18	21	8	4	8	15	18	12	9	6	45
特定震级	5.1	5.9	6.1	5.9	4.6	5.2	5.8	5.9	5.6	5.3	4.9	6.8
特征地震重复周期(年)	50	112	168	58	27	58	116	14	91	66	12	388
年概率	2×10^{-2}	7×10^{-3}	6×10^{-3}	1.7×10^{-2}	3.7×10^{-2}	1.7×10^{-2}	8.6×10^{-3}	7×10^{-3}	1.1×10^{-2}	1.5×10^{-2}	2.4×10^{-2}	2.6×10^{-3}
1986年的年危险性概率累积	1970年达到1	1.3×10^{-2}	9.8×10^{-3}	1978到达1	1947年到达1	1978达到1	2×10^{-2}	1.3×10^{-2}	4×10^{-4}	1	1962达到1	3.1×10^{-3}

段 组 合	a.b.c.d	e.f.g.h.i	j.k.l	a.b.c.d. e.f.g.h.i	e.f.g.h. i.j.k.l	a.b.l	a段至固原段
特定震级	6.9	7	7.03	7.6	7.64	8	8.2
多重特征地震重复周期(年)	73	503	532	1047	1109	1684	2166
年 概 率	2.11×10^{-3}	2×10^{-3}	1.88×10^{-3}	9.6×10^{-4}	9.0×10^{-4}	5.94×10^{-4}	4.6×10^{-4}
1986年的年危险性概率累积	2.4×10^{-3}	2.29×10^{-3}	2.15×10^{-3}	1.02×10^{-3}	9.59×10^{-4}	6.18×10^{-4}	4.8×10^{-4}
段组合长度(km)	54	51	60	111	117	171	215

参 考 文 献(略)