

强震动态的简易区值图解

李永善 范亚民 李政平

(陕西省地震局)

1966—1977年间,我国境内共发生了19次 $M \geq 7.0$ 的强震,活动确实有所增强,不少同志指出,这是我国强震活动的一次新高潮,它将延至1982年左右。1977—1978年强震活动又明显地减弱,上述呼声也随之降低。这次高潮究竟过去了没有?今后一两年内,甚或10—20年内我国的强震活动趋势究竟怎样?深入研究,并回答上述课题,不但是关系到加速实现四个现代化的重大问题,而且也是关系到地震预报研究和监视工作的合理部署问题。

本文将通过实例介绍一种强震能量和频率的简易区值图解分析法和初步分析的部分结果,供有关同志审核讨论。

一、中长期地震预报实践提出的区值问题

在长期地震预报过程中,通常要求我们回答地震三要素时,尺度放的比较宽:在震级上,一般要求指出5级以上(或 $M \geq 6.0$ 或 $M \geq 7.0$)破坏性地震;在时间上,经常要求回答几个月内,几年内或几十年内是否有强震;在地点上,经常要求回答华北区,京津地区,西海固地区等较大的地区属强震危险区,而且震级愈大,地区愈可放宽。这就是说预报实际要求我们回答的经常是时间区间(Δt),地域区间($\Delta x \cdot \Delta y$),震级区间($M_1 \leq M \leq M_2$)简称区值。这不单是由于目前地震预报水平不高,而且是因为回答了上述参数的区值,经常能收到不少的预防效益。一般来讲,预测区值范围愈小,预防的效果愈大。但当预报区值小至某一定值时,再继续缩小预报区值范围,预防效果实际上不再增加。可见预报地震三要素,实际上就是确定三要素的区值问题。

因此,如果以 $f(M, x, y, t) = C \dots (1)$ 表示地震预报三要素的关系式,则可将中长期震情预报归纳为解决以下问题:

1. 给定时间区间(如 $\Delta t = 1-2$ 年),求 $M \geq 5$ 、 $M \geq 6$ 、 $M \geq 7$ 时的 Δx 、 Δy ?
2. 给定地点 Δx 、 Δy ,求什么时间内(Δt)发生 $M \geq 5$ 、 $M \geq 6$ 或 $M \geq 7$ 的地震。
3. 给定震级 $M \geq M_0$,求 Δt ?和 Δx 、 Δy ?

二、对大区域强震能量的初步分析

1. 弹性能量释放曲线与形变释放曲线

毕尼奥夫(Benioff, 1954)^[1]曾对强震释放能量和震源体内的平均应变进行了探讨。它假设每次主震和各次余震震源体内平均弹性模量和能量转换率均为常数,于是:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = C \sum_{i=1}^n \sqrt{E_i}, \quad (1)$$

式(1)中, E_i 、 S_i 相应为每次地震释放的能量和应变量, n 为每次地震的序列次数, S 为每次地震序列释放的应变变量之和, C 为常数。

毕尼奥夫还首次作了全球浅源强震(1904—1954)的形变释放曲线 $\left\{ \sum_{i=1}^n \sqrt{E_i} = f(t_n) \right\}$, 并第一次据此曲线推测全球强震不是独立事件。值得指出的是任何两个地震间的距离愈大, 各震源区的弹性模量和能量转换率的差别也愈大, 结果 $\sum_{i=1}^n E_i^{\frac{1}{2}} = \sum_{i=1}^n C_i S_i$ (2)

故毕尼奥夫本人也认为对全球讲形变释放曲线 $\sum_{i=1}^n \sqrt{E_i} = f(t_n)$ 的物理意义显得很不明确。据此看来在探讨区域强震动态时, 采用能量释放曲线:

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n C_i S_i^2 = f(t_n) \quad (3)$$

即计算简便又物理意义清楚。故下边分析中我们将采用能量曲线。

2. 全球强震能量曲线的区值特性

图1就是按 $E_t = \sum_{i=1}^n E_i = f(t_n)$ 作出的全球(1900—1977)的强震($M \geq 7.0$)累积能量变化曲线。图1表明:(1) E_1 几乎完全与 E_2 平行,七十多年来强震的累积能量曲线始终波动于 E_1 与 E_2 之间。 E_1 和 E_2 就是 E_t 波动上限和下限。这就说明全球的深、浅强震都不是独立事件。(2) $\Delta E = E_1 - E_2 \cong 15 \times 10^{20}$ 尔格是 E_t 的最大波动幅值,其物理意义相当于全球强震能量的最大储备值, $E_1 - E_2$ 达此值时,将发生全球性的相对“失稳过程”,强震活动将明显的增强。 ΔE 可理解为全球强震能量储备量波动的最大限度,可简称 E_t 的最大区值。(3)1977年前后 $\Delta E_{77} = E_1 - E_{77} \cong 12 \times 10^{20}$ 尔格, $\Delta E_{77} / \Delta E = 80\%$,表明全球目前储存的可释放的强震能量还很多,强震活动背景仍然很强,世界性的强震高潮虽然可能出现短期的降低,但这并不意味高潮期已经结束,相反,高潮期仅仅刚开始不久(见图1、2、3a)。

(4)由于 E_t 波动于两平行线 E_1 和 E_2 之间,因此 E_1 与 E_2 的斜率在物理意义上可以视作全球强震能量的积累速度,故 $\partial E_t / \partial t > \partial E_1 / \partial t$ 的年份,可定为释放年份或释放期。 $\partial E_t / \partial t < \partial E_1 / \partial t$ 的年份可定作积累年份或积累期,从图1看,1911年以前主要是第一次强震能量释放期,1911—1917年为本世纪内第一积累期,1917—1924年为第二释放期,1924—1937年为第二主要积累期,1937—1953年为第三主要释放期,1953—1971年为第三主要能量积累期,可以看出1971年以来第四主要释放期刚刚开始。用图1划分全球强震的能量积累期和释放期的优点是容易看到强震活动的总趋势,如图1中的数据点和曲线 E_t 均表明1971年来的强震活动是本世纪第四能量释放期的开始,相应的强震活动也不会很快结束;另一方面这样划分的缺点是容易掩盖短周期的能量波动特点。图2是全球强震能量年释放率图,从图中明显地可以看出,在上述释放期内有年释放率小于 2.6×10^{24} (尔格/年)的年份,在积累期内又有释放率大于 2.6×10^{24} (尔格/年)的年份。从图2中可以看出,本世纪以来,全球最少已有16个强震能量峰值期,其区值为三年的仅两次,两年以上的共7次,一年的9次。这就说能量释放曲线是由长短不同的周期波叠加而成,进行必要的波谱分析,才能较准确的判断短期的强震动态。

3. 中国大陆等地区本世纪以来的强震动态区值分析

我们分析全球强震动态时，就等于取面积 $\Delta F = \Delta x \cdot \Delta y$ 的大小（区值）相当于全球的面积，即对全球强震动态进行分析和预测。现在我们把 $\Delta F = \Delta x \cdot \Delta y$ 逐步缩小，对更小的区域进行分析和预测。我们对日本列岛、中国全国，我国台湾省，中国大陆三个强震带等地区作了类似的强震积累能量释放曲线（见图3）和分析。从这些图中可以清楚地看出，这些曲线都有非常类似的特征，说明不但全球能量积累速度和 E_t 的波动区值 ΔE 本世纪以来有线型变化特征，而且很多大区域（如中国大陆地区，甚至大陆中央强震带）和高活动地区（如日本列岛，我国台湾省地区）强震能量、积累速度和 ΔE_t 也很稳定，显示了所指地区近百年

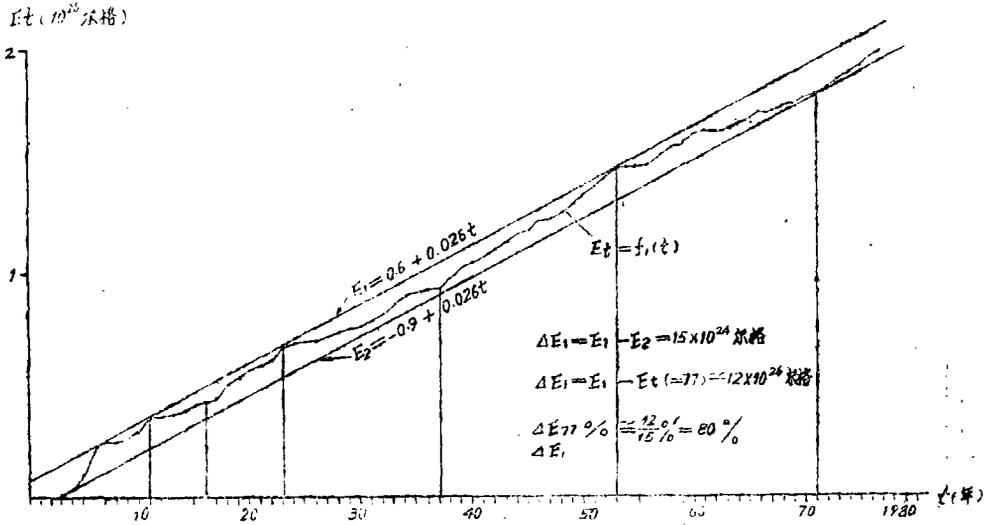


图1 全球强震累积能量变化曲线

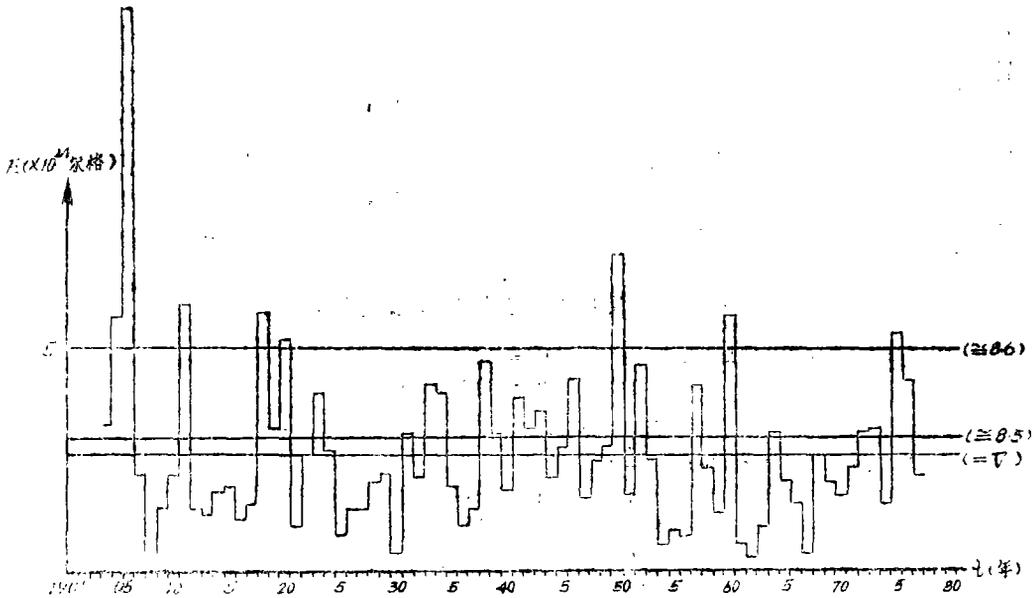


图2 全球强震 (M ≥ 7) 能量年释放曲线

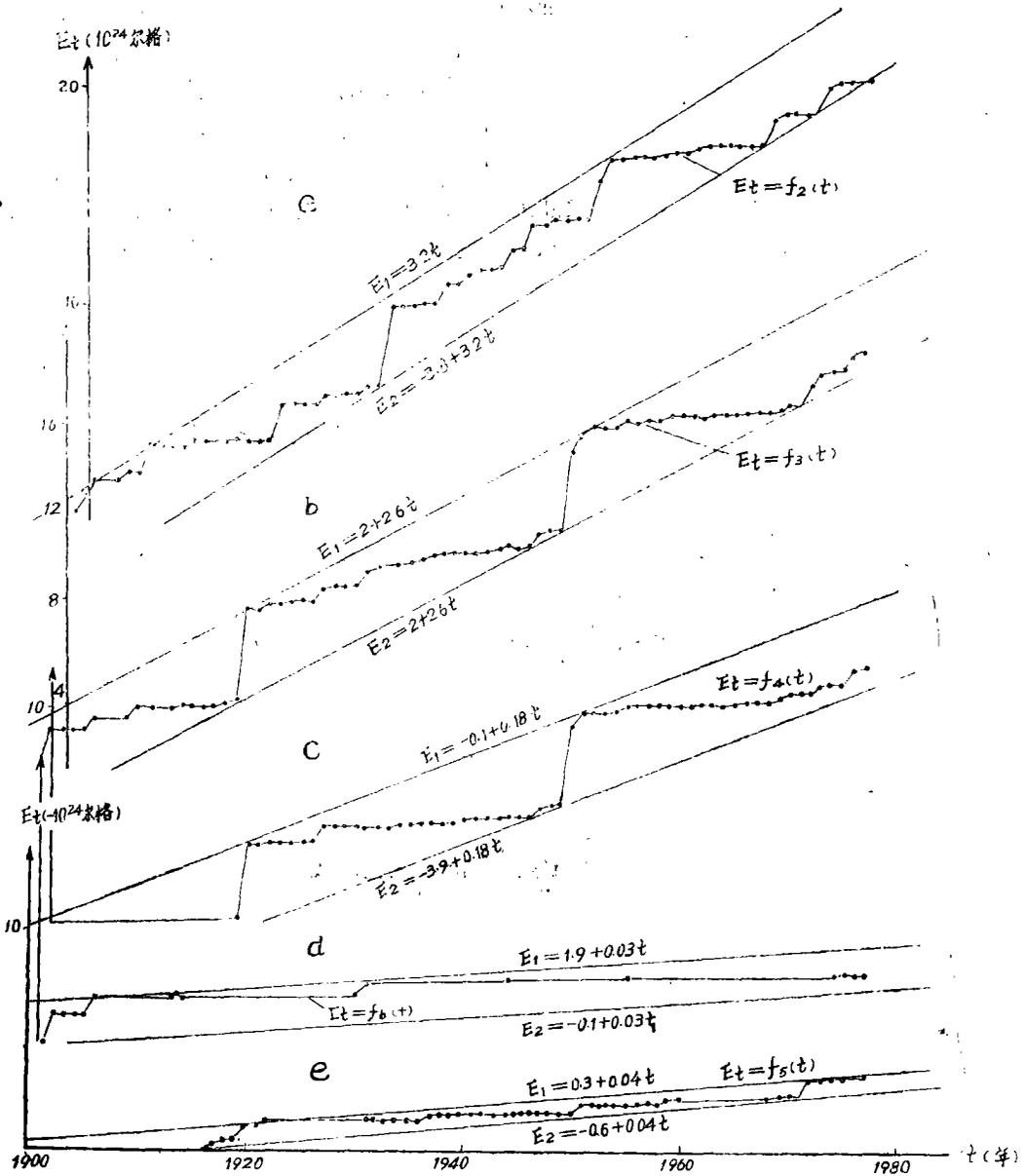


图3 日本及我国强震累积能量变化曲线

说明: a 日本列岛强震累积能量变化曲线 $\Delta E_3 = E_1 - E_2 = 3.8 \times 10^{24}$ 尔格

$$\Delta E_{77} = E_1 - E_{77} = 3.2 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\frac{\Delta E_{77}}{\Delta E_3} = 100\%$$

b 中国强震累积能量变化曲线 (1900—1977)

$$\Delta E_3 = E_1 - E_3 = 4 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\Delta E_{77} = E_1 - E_{77} = 3.2 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\frac{\Delta E_{77}}{\Delta E_3} = 80\%$$

c 中央强震带 (包括南北地震带及华北强震)

$$\Delta E_4 = E_1 - E_2 = 3.8 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\Delta E_{77} E_1 - E_{77} = 3 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\frac{\Delta E_{77}}{\Delta E_4} = \frac{3.0}{3.8} = 80\%$$

d. 台湾省及东南沿海强震区的强震累积能量变化曲线

$$\Delta E_5 = E_1 - E_2 = 0.9 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\Delta E_{77} = E_1 - E_{77} = 0.3 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\frac{\Delta E_{77}}{\Delta E_5} = \frac{3}{9} = 33.3\%$$

e. 新疆西北部强震区的强震累积能量变化曲线

$$\Delta E_6 = E_1 - E_2 = 2.0 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\Delta E_{77} = E_1 - E_{77} = 1.3 \times 10^{24} \text{ 尔格}$$

$$\frac{\Delta E_{77}}{\Delta E_6} = \frac{1.3}{2.0} = 65\%$$

来的地壳相对运动速度变动很小。因此用这些图件和相应数据半定性,半定量地判断未来(不长时间的)强震活动趋势,应该有较高的可信度。图3a表明1977年在日本列岛地区 $\Delta E_{77}/\Delta E = 100\%$,从1978年起出现一次新的强震能量释放期已是不可避免的。图1、3bc表明1977年前后强震活动都开始加强,1977年 $\Delta E_{77}/\Delta E \cong 80\%$,表明我国境内,尤其是大陆地区及中央地震带均参与了1970年以来的全球性强震活动高潮。所以我国中央强震区80年前后再次出现较高的强震能量释放几乎是不可避免的。发生 $M \geq 8$ 强震的背景仍然很强。图3d、e表明,新疆地区也存在发生强震的背景,但远比中央地带弱,台湾地区的强震目前频率虽然很高,但处于相对减弱的趋势。

4. 强震动态区值的同步性

为了进一步探讨强震活动的同步性及其实用价值,我们又作了图7。图7中的三条曲线 $\{f_1(t)f_2(t)f_3(t)\}$ 分别为全球、全中国、日本列岛的强震能量波动曲线,相当于1、2、3b中的 $E_1 - E_2$ 。这三条曲线,尤其是中国和日本的强震能量释放的波动曲线同步性很强,中国大陆地区及中央强震带的能量波动曲线也与上述曲线同步性很强。

上述分析表明,大区域强震活动不但有很多共同特征,而且有很强的同步性,它促使我们推测(或假定):全球的每次强震(不论其震源深浅)均非独立事件,每个强震区域活动(不论深浅)均非独立事件,在同一时期内,经常会出现两个以上的强震活动区,区内又有数个小区同时活动,因之大小区内地震活动都应具不同程度的同步性。强震活动的分区分带性是以地壳的结构性和以相对运动的差异性为基础,而同步性主要以应力场的同一性为基础。

如果这种假设基本上符合事实,那么据此推断,全球强震活动高潮期内,不但全球应力场的变动应有大体同步性的加强,很多强震区应力(和能量)将同时接近或达到极限值,强震的触发效应也随之增大,塑、望期的绝对发震次数应该增多,但因应力场达极限值是高潮期的主导成分,故高潮期的强震触发次数与单位时间内强震总数之比却应下降。图4和图5是我们对本世纪以来全球每年强震触发的绝对次数和相对次数的统计,其结果基本上符合上述假设。

特别值得指出的是,如果小震的绝对触发次数不断增大也反应着区域应力状态不断增强,相对次数的下降反应着区域应力状态已达到极限值。那么,触发因素的分析将会提高对区域应力状态的了解和预报的准确性。

如果上述假设正确,那么,据此还可引出一个对前兆理论研究和日常的前兆分析判断工作具有指导意义的结果:排除干扰后的前兆异常还有两个部分组成,一部分来自区域统一应

力场的变化；一部分来自震源体的特殊变化，当局部异常中显示有极限应力信息时，才算得上震源体的（必震）信息，否则即是出现异常，有时还是很大的异常，但仍不会发震。营口、尤陵、唐山等大震前后，很多异常区出现很多种较大的异常，但本区并未发震可能就是这个道理。

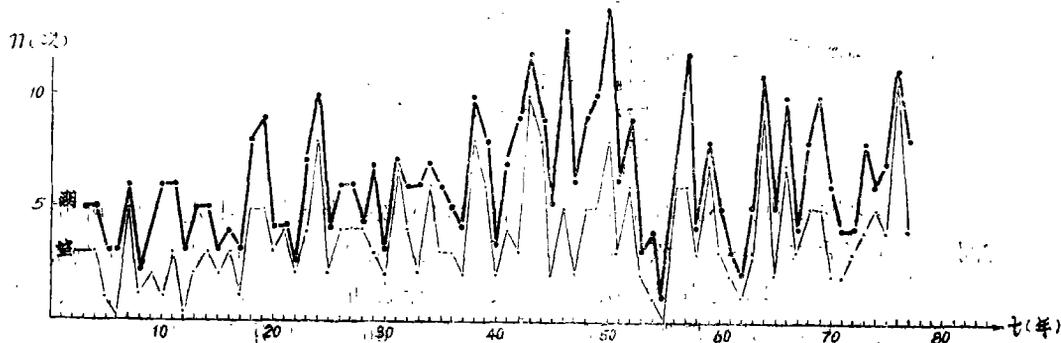


图4 朔(±2天)望(±1天)期内全球发生的强震($M \geq 7$)次数的逐年变化图

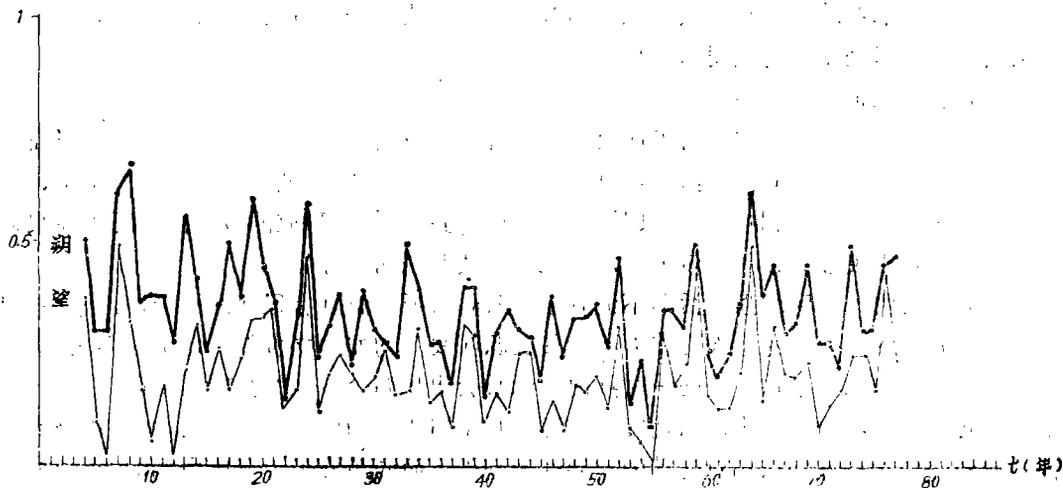


图5 朔(±2天)望(±1天)期内全球发震($M \geq 7$)次数与全年发震次数比值图

三、对大区域强震频率区值的初步分析

图6是全球强震年频率图。如用强震年平均发震次数(\bar{n})作为界线, $n_i > \bar{n}$ 的年份为高潮年, $n_i < \bar{n}$ 的年份为低潮年,如图6所示,则所划分出的高低潮期与用能量划分出的高低潮期有相同的部分,也有不同的部分。由此可见要定量地划分出强震高潮期,必须首先要选择划分的标准,并且确定它的物理意义,然后才能正确的应用所划分的高低潮。

为了充分利用强震资料判断未来的强震趋势,我们首先作了全国 $M \geq 7.0$ 和 $M \geq 6.0$ 的强震频率图,然后又作了强震年份的序次时间变化曲线,图8就是全国 $M \geq 7.0$ 强震序次的随超越 L_1 和 L_2 , 所以我们有理由认为1—2年内甚至十几年内它仍就将波动于 L_1 、 L_2 之间。从图上可以看出,在纵坐标取最后一个序号加1就是下一个要予测的弱震年的序号,按此序号

的纵坐标作一水平值线，它与图中两条平行线 L_1 和 L_2 的交点，在水平轴上的投影将是下一个强震年出现的时间区间。如图中的 ab 相当 1979—1980 年，因此 1979—1980 年全国最少出现一次或几次 $M \geq 7.0$ 的强震。

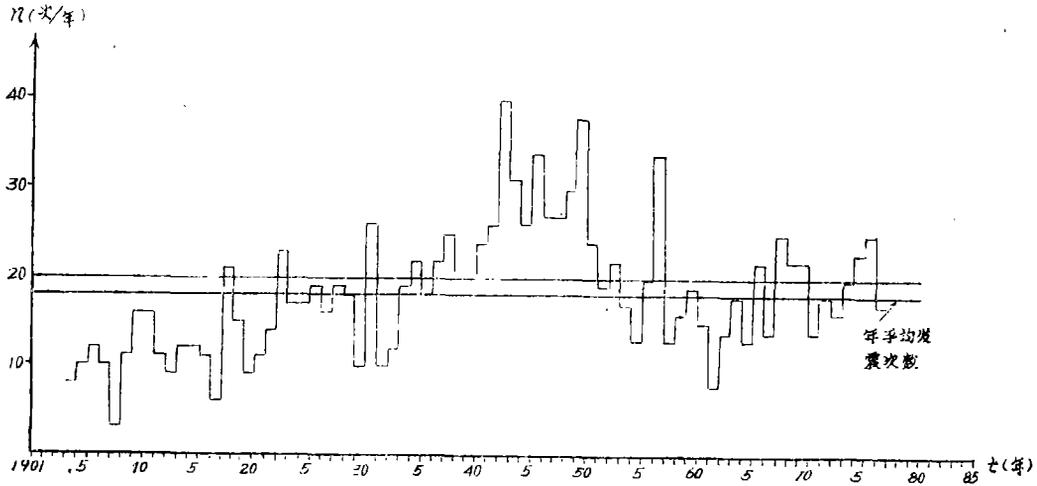


图 6 全球强震 ($M \geq 7.0$) 年频率曲线及峰期曲线图

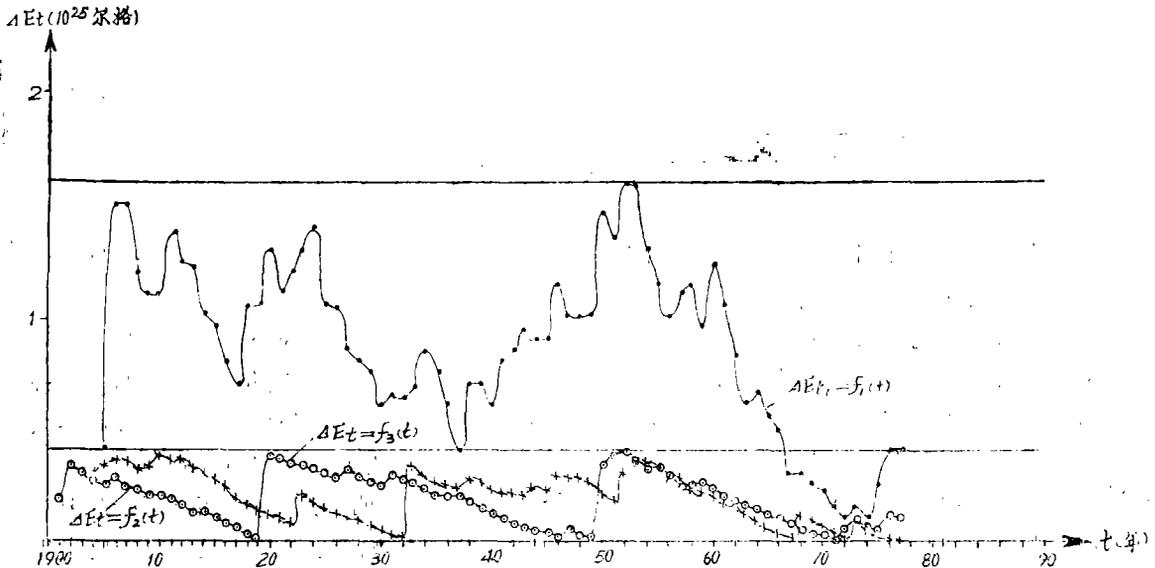


图 7 强震能量波动曲线

我们曾经把 1960 年以来的 $M \geq 6.0$ 和 $M \geq 4.7$ 的强震年频率作了对比，结果发现两条年频率曲线有很强的同步性。因此 $M \geq 6$ 强震年频率曲线很有代表性。另外本世纪以来我国 $M \geq 6$ 的强震平均每年发生 6 次左右，因此我们把每年发生 7 次以上 $M \geq 6$ 强震的年份编成序号，也作了序次曲线，用同样方法作了推算，结果表明 1979—1980 年间最少也要出现一次 $n \geq 7$ 次的强震 ($M \geq 6$) 年份。说明在所指时间内全国还要出现一次强震活动的小高潮。

因此今后两年不是有无强震的问题,而是找寻 $M \geq 6$ 或 $M \geq 7$ 强震是否会发生在某些关键地区的问题。

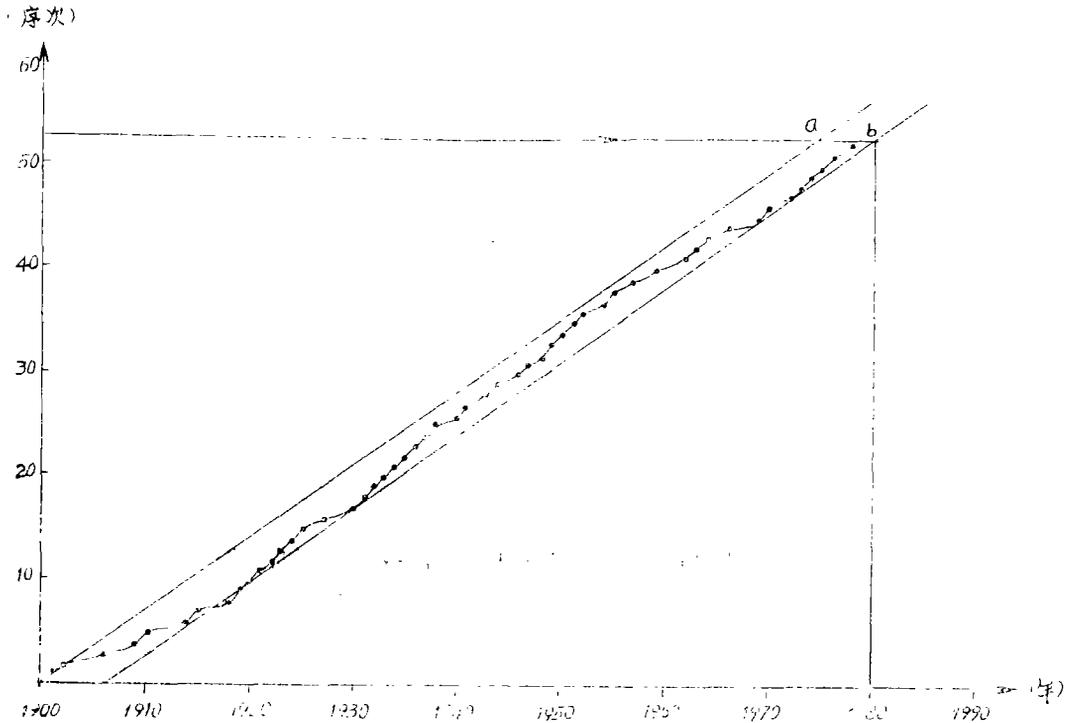


图8 年发强震($M \geq 7$)序次曲线

用类似的方法推测1979—1988年间全国出现一次 $M \geq 7.7$ 的强震可能性很大。还推测出1980年前后南北地震带北区及河西走廊地区还有一次 $M \geq 6$ 的年份。

我们将本世纪以来发生一次或数次 $M \geq 7.0$ 的强震年份作了简单的统计,结果是:明年发生一次或数次 $M \geq 7.0$ 强震的机率是66%,今后两年内是78%,今后四年内是100%。这随时间变化的曲线,该线也波动在两条平行线 L_1 与 L_2 之间。由于本世纪以来这条曲线始终未进一步表明:今后三至五年内,我国境内发生数次 $M \geq 7.0$ 的强震几乎是不可避免的。如从 $M \geq 6.0$ 的强震发震的时间看,几乎没有平静年份。这进一步表明,这种强震活动趋势要求我们,尤其是向短临预报工作提出了一个艰巨的任务,尽快预测今后几年内这些强震将发生在什么地方,危害有多大。

四、各大区强震动态对比

为了便于对比和判断今后数年内我国强震动态以及与我强震动态关系非常密切的全球强震动态与日本强震动态,我们把上述图件和分析有关的一些计算结果归纳于下列表中。除了表中提出的强震区的一组特征数据值得注意以外,特别应该提出的是:中国西部边界地带,尤其人口密集工业集中的中央地震带(即南北地震带及其周边地区加华北地震区)以及与我强震活动关系密切的日本,今后三至五年内仍面临 $M \geq 7.0$ 的强震严重威胁。

大区域强震动态对比表

对比项目	对比地区	中 国										
		全球	日 本		全 国		中央强度带		西藏新疆 西部地区		台湾省及 沿海地区	
			总数	~%	总数	~%	总数	~%	总数	~%	总数	~%
本世纪以来总释放量 (10^{25} 尔格)		19.9	2.03	10	1.94	9.7	1.14	59	0.32	16	0.34	18
平均每年释放率 (10^{23} 尔格)		26.0	3.2	12	2.6	10	1.8	69	0.3	12	0.4	15
最大强震能量储备值 (10^{24} 尔格)		15.0	3.8		4.0		3.8		2.1		0.9	
1977年的能量储备值 (10^{24} 尔格)		12.0	3.5		3.2		3.0		1.3		0.3	
强震的强度危险性背景值 $\frac{\Delta E_{7.7}}{\Delta E_1}$		80%	100%		80%		80%		65%		33%	
本世纪以来 强震总数	$M \geq 6$				485		176	36	49	10	188	39
	$M \geq 7$	1353	106	7.8	88	6.5	38	43	10	11	33	38
	$M \geq 8$	83	10	12	9	11	4	44	3	33	2	22
每年平均 发震次数	$M \geq 6$				6.3		2.3		0.6		2.5	
	$M \geq 7$	18.3	1.4		1.1		0.5		0.13		0.4	
	$M \geq 8$	1.1	0.14		0.1		0.05		0.04		0.03	
年发震机率	$M \geq 6$				0.95						0.75	
	$M \geq 7$	1	0.66		0.65		0.44		0.16		0.25	
	$M \geq 8$	0.68	0.14		0.10		0.05		0.04		0.03	

五、小 结

1. 本文对强震能量释放曲线和通用的端变曲线作了简要的对比分析, 认为能量释放曲线物理意义要明确, 用起来也方便。

2. 我们用了强震能量和频率资料, 初步分析了它的区值特征和大区域强震动态的统一性并提出了我国和世界今后数年强震趋势意见。

3. 文中所用的强震资料时间较长, 信噪比较高, 在分析方法上也有一定的改进。我们认为类似的方法虽然不是令人满意的, 但却是目前实效较好的, 而且是短时间内不可缺少的中长期强震趋势探讨的重要方法之一。

4. 文中提出的区值概念, 可能对地震资料的分析和研究有一定的参考价值。

文中缺点不少, 错误难免, 期望听到同行的批评, 并愿进一步商讨。

参 考 文 献

(1) B 古登堡 地球内部物理学 1965 科学出版社