

优化减震距离*

汪 进

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文对中国大陆内部不同时段发生的七级地震和六级地震分别进行统计分析,求得不同震级的优势地震间距,减震距离以及地震间距随时间变化的关系式。提出地震间距的数值分布可用正态概率分布函数描述,并得到含有时间参量的地震间距概率密度函数。此外,根据弹性位错理论,求得一次地震后在减震距离处所产生的位移,进而求出平均位移速率。

1984年,郭增建和秦保燕对大震后平行同旋断层的减震距离已作过讨论^[1],当时为了考虑大震发生后较长时间内的减震效果,对七级以上地震取垂直于断层面向上地面位移衰减到0.5米时的断层距离作为减震距离,很显然这样计算得到的减震距离是偏于安全的(因为为建设区提供今后百年内烈度所用)。本文在文献[1]的基础上统计6级和6级以上大震的间距,求得实际不同震级的地震间距,减震距离以及不同震级的地震间距随时间的衰减情况,然后再应用位错理论计算相应减震距离处的地面位移值。由于引入了时间因子,大震后不同时间段的减震距离或地震间距可以分别应用于短、中、长期的预报,为不同时间尺度的工业与民用建设的设防烈度服务。

一、减震距离与减震时间的统计

一次大地震发生后,震源及其周围地区积累的应力、应变得到释放,使得一定范围内的平行同旋断层或垂断层在一定时间内不能积累起足够的应力应变发生大地震,这就是减震作用。那么,一次大地震发生后,它的减震距离应为多大呢?随着时间的推移,其减震距离又如何变化呢?为此我们定义两个同级地震之间的距离的一半为减震距离,并根据实际地震资料对以往中国大陆发生的大震进行统计分析,找出地震分布的优势间距或平均间距,然后根据这种优势分布,求出减震距离和减震距离随时间的变化。同时,根据弹性位错理论,求出一次大震发生后,在减震距离处所产生的位移。

在统计过程中,我们把某一时间段内(30年、50年等)中国大陆的七级地震和六级地震数据输入计算机,求出每一地震与其它地震之间的间距,取其中的最小值为该地震参加统计的间距样本,而不是人为地按某种条带取两个地震求其间距。对于一次大震后的强余震和基本同

时发生的双震，只取最大的一次进行统计。另外，随着时间的推移，震后效应逐渐减弱，应力应变有了一定的恢复积累。即统计时间越长，地震会越来越多，越来越密，地震间距也会越来越小。为此，我们分了几个时段进行统计。对于七级以上地震，分别对30年（1950—1979年），50年（1930—1979年）、80年（1900—1979年）和100年（1880—1979年）四个时段进行统计；对于6.0~6.9级地震，分别对20年（1960—1979年），30年（1950—1979年），40年（1940—1979年），50年（1930—1979年）四个时段进行了统计。所用目录是顾功叙主编的《中国地震目录》〔2〕。

根据以上的统计方法，我们得到了不同震级的优势间距、平均间距、减震距离和减震时间的统计结果。图1分别给出中国大陆七级以上地震在不同时间段中地震间距的频数直方图。由图可见，每一时段都有一地震间距的优势区间，若取优势区间中值为优势地震间距，取优势地震间距的半值为减震距离，则对于不同时段，可得如下结果（表1）：

表1 7级地震的优势间距和减震距离

时间段（年）	优势间距（Km）	减震距离（Km）
30	375	187.5~190
50	275	137.5~140
80	175	87.5~99
100	175	87.5~90

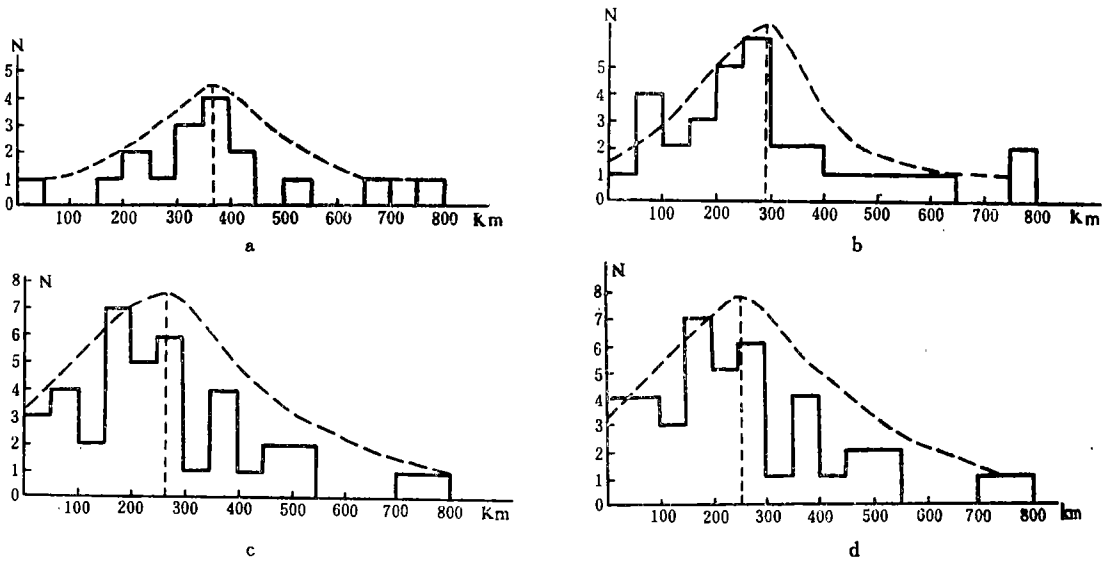


图1 全国M≥7.0级地震间距分布

a.1950—1979 b.1930—1979 c.1900—1979 d.1880—1979

Fig.1 Histogram of the Chinese continental earthquake intervals (M≥7.0)

这一统计结果表明，随着时间的推移，地震分布的间距将逐渐减小。同时表明，减震作用将随时间推移而减小。图1中的地震间距频数直方图还可以用不同参数的正态分布概率曲线来近似模拟，如图中虚线所示。根据数理统计知识，正态分布函数在变量取样本均值时概率最大，据此可求得不同时段七级以上地震分布的间距平均值和减震距离，如表2所示。

图1中虚线表示的正态分布曲线的峰值对应于地震分布的平均间距。由表1和表2中的结果对比可见,统计平均值与频数直方图上的峰值吻合得较好(图1)。

表2 地震间距统计值 ($M \geq 7.0$)

时间段(年)	平均间距(Km)	样本标准差	减震距离(Km)
30	370	172	186~185
50	295	190	147.5~150
80	267	176	133.5~135
100	257	176	128.5~130

利用线性回归公式,可求得地震平均间距随时间变化的关系式:

$$\bar{S} = 395 - 1.5T \quad (|r| = 0.92) \quad (1)$$

同时也可求得减震距离随时间变化的关系式:

$$\bar{D} = 198 - 0.74T \quad (|r| = 0.93) \quad (2)$$

两式中 S 和 D 用公里表示, T 以年为单位。图2给出我国七级以上地震的平均间距和减震距离随时间变化的回归直线。

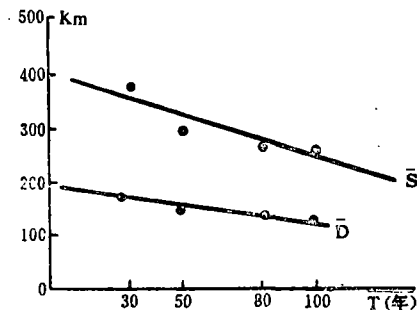


图2 $M \geq 7.0$ 级地震平均间距和减震距离随时间变化直线

Fig. 2 Regression lines of the average interval (\bar{S}) and the distance of reducing seismic risk (\bar{D}) vs. time (T)

由数理统计知识,正态概率密度分布函数的表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

式中 μ 、 σ 分别为样本均值和样本标准差。将前面得到的平均间距和样本标准差代入(3)式,即可得到不同时段的地震间距概率密度分布函数,由(1)式可知,平均间距随时间增大而逐渐减小。而由表(2)可见,不同时段样本标准差却相差不大。若将(3)式中的 μ 用(1)式表示,而 σ 用四个样本标准差的平均值代替,则可得到一个包含时间参量的地震间距概率密度函数

$$f(x, T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\bar{S}(T))^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

其中 $\bar{S}(T) = 395 - 1.5T$, $\sigma = 179$ 。

对于中国大陆六级地震,采用类似的统计方法,分别求得20年、30年、40年和50年的地震平均间距及相应的减震距离,如表3所示。

表 3 中国大陆六级地震平均间距和减震距离

时间段 (年)	平均间距 (Km)	减震距离 (Km)
20	176.6	~90
30	157.9	~80
40	140.8	~70
50	122.5	~60

六级地震的平均间距与时间的线性回归表达式为：

$$\bar{S} = 212 - 1.79T \quad (|r| = 0.999) \quad (5)$$

图 3 给出该回归直线。

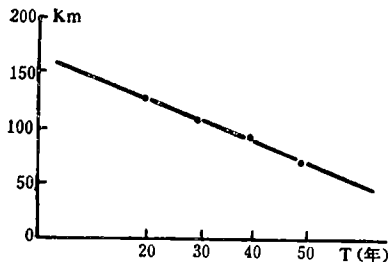


图 3 M = 6.0 - 6.9 级地震平均间距随时间变化

Fig. 3 Regression line of the average interval vs. time (M = 6.0 - 6.9)

由 (1) 式和 (2) 式，我们可以得到以下推论：

(1) 当 $T = 0$ 时，7 级地震的 $\bar{S} = 395\text{km}$ ，六级地震的 $\bar{S} = 212\text{km}$ ，这就是说，当某一个七级地震或六级地震发生后，如果当年还可能发生同级地震，那么最可能的间距分别为 395 公里和 212 公里左右。

(2) 当 $S = 0$ 时，七级地震的 $T = 263$ 年，六级地震的 $T = 118$ 年。即一个七级大震发生后，经过 263 年，其减震作用基本消失；一个六级地震发生后 118 年，其减震作用基本消失。也就是说，经过上述年限后，有可能在当地重发同级地震。同理，在超过上述计算的地震重复时间后，已发震地区对其邻区（减震距离范围内）的减震作用消失。

二、由弹性位错理论讨论减震距离处的地面位移

我们用弹性半空间中一位错面来模拟发震断层。由震源机制资料可知，中国大陆内部的地震的发震断层以走滑断层为主，故我们选用直立断层的位移场公式求减震距离处的地面位移。直立走滑断层产生的沿走滑分向的地面位移公式是〔8〕：

$$u_1 = \frac{U}{8\pi} \left\{ - \frac{x_2 (x_1 - \xi_1) (3R + 4\xi_3)}{R(R + \xi_3)^2} + 4 \arctg \frac{x_2 R}{\xi_3 (x_1 - \xi_1)} \right\} \quad (3)$$

记号 $f(\xi_1, \xi_3) = f(L, D) - f(L, d) - f(-L, d) + f(-L, D)$ ， L 为断层半长度， D, d 分别是断层的上下沿深度。在计算过程中，我们用公式：

$$M = 3.3 + 2.1 \lg L' \text{ 来估计 } L, \quad 2L = L'$$

D 取 20 公里， $d = 0$ 公里。令 $x_1 = 0$ ，即只求断层垂直平分线上的位移分布。代入 (3) 式

得直立走滑断层错动后在其垂直平分线上的地表位移表达式:

$$u_1(x_2) = \frac{U}{8\pi} \left\{ 2x_2L \left(\frac{3R_1 + 4D}{R_1(R_1 + D)^2} - \frac{3}{R_2^2} \right) + 8 \operatorname{arctg} \frac{LD}{x_2 R_1} \right\} \quad (4)$$

式中: $R_1^2 = L^2 + x_2^2 + D^2$, $R_2^2 = L^2 + x_2^2$, U 为位错幅度。若用公式 $U = 10^{0.52 - 1.25}$ (厘米)求位错幅度,则可得到如下结果:

(1) 当 $M = 7.5$ 级时, $U = 447$ 厘米

时间段(年)	减震距离(Km)	地表走向位移(cm)
30	185	2
50	150	3
80	135	3.7
100	130	4

(2) 当 $M = 6.5$ 级, $U = 135$ 厘米, 则有

时间段	减震距离(km)	地表走向位移(cm)
20年	90	0.73
30年	80	0.9
40年	70	1.16
50年	60	1.5

上列数据是一个地震发生后,在不同距离处产生的地表走向位移,而这些距离又是不同震级在不同年份后的减震距离。故由上述数据可以估算地震后重新恢复积累的位移速率或应力应变速率。如对于七级以上地震,50年后150公里处的应变相当于震后30年185公里处的应变。用上述数据进行线性回归后可求得七级地震的平均位移速率为0.03厘米/年,六级地震的平均位移速率为0.0257,近似为0.03厘米/年。由此可见,虽然震级不同,但其位移恢复速率基本相同。也就是说,减震作用的物理机制是一样的。

三、讨 论

(1) 本文结果可应用于地震区划工作中潜在震源的研究和中长期地震预报,也可用于一次大震发生后,对近期内发生地震的可能地点进行判断,故有一定的预报意义。

(2) 本文是按优化距离来考虑减震作用的,可以用于一般建筑的烈度设计。但对于一些重要建筑物,上述计算的优化减震距离是偏于不安全的。因此对于比较重要的建筑物或工程设施应针对具体资料进行减震安全度计算。

(3) 本文从统计角度得到的减震距离也适用于底断层对垂断层的减震作用。

本文是地震科学基金资助项目“大震重复性及其减震作用”课题的一部分。郭增建研究员和秦保燕研究员对本文进行了指导,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1]郭增建, 秦保燕, 平行断层之间的相互影响—减震作用, 青藏高原地震文集(第一辑), 青海人民出版社, 1986.
[2]顾功叙, 中国地震目录, 地震出版社, 1983.
[8]黄立人等, 静力位错理论, 地震出版社, 1982.

OPTIMAL DISTANCE OF REDUCING SEISMIC RISK*

Wang Jin

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

Abstract

After a large earthquake took place, the accumulated stress and strain in focus and its neighborhood was released quite fully, so that the parallel faults in a certain range couldn't accumulate enough stress and strain to result in a large earthquake for some time. It means that a large earthquake has an effect of reducing seismic risk of in some distance for some time. So it is important to determine the distance and duration of reducing seismic risk. This paper, on the basis of the large earthquakes occurred in mainland of China, calculated the earthquake intervals for different length of time. From these statistical data the dominant interval and the optimal distance of reducing seismic risk were got. The dominant interval and the optimal distance of reducing seismic risk are inversely proportional to length of time. The distribution of earthquake intervals can be simulated by a normal probability function. Besides, the ground displacement at the distance of reducing seismic risk was given by the elastic dislocation theory.

* Projects Sponsored by the Joint Earthquake Science Foundation