

华南六级以上地震的强余震

陈定国

(广东省地震局)

提要 本文总结了近100年来华南地区的4次 $M \geq 6$ 级地震的余震资料,从工程抗震实用性的角度研究了余震衰减序列中各阶段最大震级的变化特点,从而得到:1)华南地区6级以上地震的主震平均每14—15年衰减一级;2)一次6级左右地震的余震活动经45年后即可恢复到当地正高小震活动背景水平。

强震发生后,余震连绵不断,但随着时间的进程,余震的强度和数量都不断减弱和减少。由于不少的余震震级还比较高,对于已被主震摧残的建筑物来说也是致命的一击。故许多地震学者利用多种方法预测预报余震的发生时间、强度和地点。其方法包括有能量计算、数理概率统计、周期活动估计、b值变化、波速比变化预测和余震迁移活动路线等。其预测集中在短期,即震后几十天内的余震,故其统计均以天为单位,稍长也只能以月为单位进行预测。

本文对余震的预测以年为单位,并对东南沿海4个强震($M \geq 6$)进行数十年的强余震追踪,总结了余震长期的衰减律,从而预测未来各强余震的发生时间及其极限强度的关系,并且估算了余震“熄灭”的时间。给地震灾区今后的工程抗震、烈度设防、地震预报起了重要的参考作用。

我国东南沿海在现代地震仪出现以来仅发生过4次6级以上的强震。这些强震在主震发生后,余震不断,并有较为详细的记录,给我们的研究提供了良好的资料基础。

一、资料处理方法及结果

(1) 拟定强余震衰减线:先列出主震和强余震的地震目录。现以1962年河源地震为例。

表1 Table 1

序号	年 月 日	震级 (Ms)	序号	年 月 日	震级 (Ms)
1	1962. 3. 19	6.1	7	1964. 8. 2	4.6
2	1962. 4. 5	4.9	8	1964. 9. 23	5.3
3	1962. 7. 19	4.5	9	1972. 12. 18	4.5
4	1962. 7. 29	5.1	10	1977. 5. 12	4.6
5	1962. 8. 30	4.5/4	11	1981. 5. 4	4.3
6	1962. 11. 6	4.8	12	1987. 9. 15	4.5

根据表1的资料,以震级为纵座标、时间(以年为单位)为横座标,把上述地震点在座标图上(图1)。从图1可以看出,随着时间的增长,强余震不断衰减。现选择一个震级足够大的晚期强余震,与主震作连线,如果所有强余震都在这条连线之下,这条直线就是该地震的强余震衰减线。河源地震选用1987年9月15日4.5级余震和主震的连线作为余震衰减线。这时上述河源地震目录中的所有强余震的震级都不会超过这极限。据此可得出该衰减线的关系式为 $M_T = 6.1 - 0.0640T$,即主震发生后T年的最强余震不会超过 M_T 。

(2)把华南4个强震的强余震衰减线投影在同一图上。本世纪以来华南只发生过4次 $M \geq 6$ 的地震。即1918年南澳7.3级地震、1936年灵山6 $\frac{3}{4}$ 级地震、1962年河源6.1级地震和1969年阳江6.4级地震。这些地震的主震和选择的晚期强余震的参数如表2。

表2 Table 2

地 震	主 震	最 大 的 晚 期 余 震	
南澳地震	1918年	隔59年	1977年
	7.3级	差2.7级	4.6级
灵山地震	1936年	隔22年	1958年
	6 $\frac{3}{4}$ 级	差1.0级	5 $\frac{3}{4}$ 级
河源地震	1962年	隔25年	1987年
	6.1级	差1.6级	4.5级
阳江地震	1969年	隔17年	1986年
	6.4级	差1.4级	5级

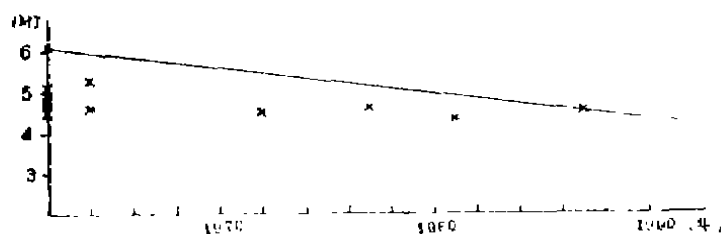


图1 Fig. 1

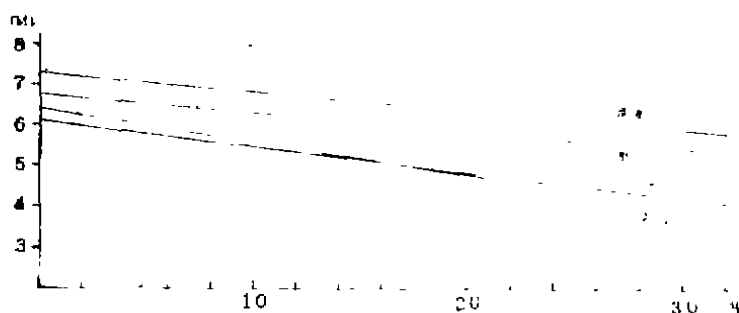


图2 Fig. 2

把表2数据点在同一图上(图2),分别得出四个地震的强余震衰减线,并求出它们的衰减关系式为:

南澳地震

$$M_T = 7.3 - 0.0458T$$

灵山地震

$$M_T = 6.75 - 0.0455T$$

河源地震

$$M_T = 6.1 - 0.0640T$$

阳江地震

$$M_T = 6.4 - 0.0824T$$

据此,不同震级的余震衰减可用下式表示

$$M_T = M_0 - bT$$

式中 M 为主震震级、主震

发生后T年的最强余震不会超过 M_T 级。b为衰减斜率。

从图2可以看出,各地震的衰减有很强的规律可寻。

①主震震级越接近,其衰减线越接近平行。即震级相似,其余震衰减斜率(b)越接近。故南澳地震和灵山地震的衰减线接近平行,斜率分别为0.0458和0.0455。用其平均数0.0457

可代表7级左右地震的余震衰减斜率。阳江地震和新丰江地震的余震衰减斜率也接近,分别为0.0824和0.0640,其平均数0.0732可代表6级左右地震的余震衰减斜率。

②主震震级M越大,斜率b越小,把上述4个地震的震级和斜率点在坐标图上,得出其相关线 $b=0.2136-0.0232M$ (图3),说明震级越大、斜率越小,余震的衰减越缓慢。

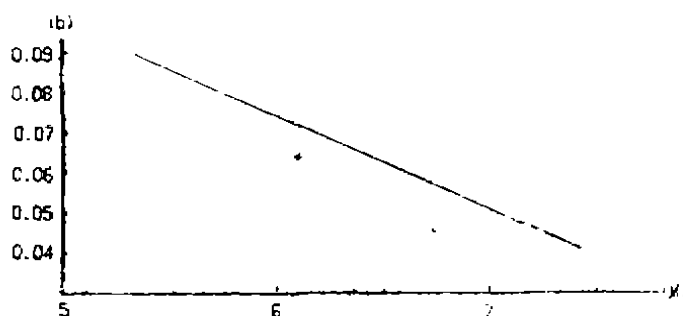


图3 Fig. 3

二、余震衰减线的意义

(1) 确定未来强余震的震级上限: 只要华南甚至东南沿海再发生6级以上的地震, 我们都可以估计它未来最强余震的震级上限。这时可用河源地震和阳江地震的平均b值或用 $b=0.2136-0.0232M$ 求出b值(分别为0.0732和0.0744), 按 $M_T=M_0-bT$ 式算出主震后任何一年的最强余震。其最强余震大概是14—15年衰减1级, 经30年衰减2级, 45年衰减3级。由于3级左右的地震所需的能量小, 容易积累, 在大多数地壳活动的部位都可以获得。可以把3级地震作为东南沿海的地震背景值。故一个6级的地震经45年的衰减, 其余震会降至背景值以下。如果那时发生单独的3级以下的地震, 而不是集团式分布, 就不作为余震看待。可以推测, 阳江在1986年发生5级强余震, 估计它是最强的余震, 以后不会超过5级。事实上1987年只有4.7级。阳江地震从现在(1988年)约再过15年就会降为不超过4级的弱震, 但近年内仍不排除发生4.5级左右强余震的危险。由于阳江地震的震源浅, 震中区的土质差, 常遇到砂土、淤泥、回填土和地下水位浅等不良地基影响, 使地表有可能达6度的破坏。这与华南地区普遍的震级低、震中烈度偏高的现象相似。

同样我们可以估计, 7级左右的大地震可用南澳地震和灵山地震的平均b值0.0457或由式 $b=0.2136-0.0232M$ 求出 $b=0.0512$ 估计。主震后20年左右, 其最强余震衰减1级, 约80—90年后最强余震才降至3级以下。故南澳地震至今, 小震仍呈集团分布(图4)但震级不高, 没有出现破坏性地震。灵山地震在主震38年后, 即1974年还出现4.1级晚期强余震, 但仍在其余衰减线以下。

(2) 确定余震延续时间: 强震发生后, 余震要延续多久? 如果余震衰减自始至终保持固定的斜率, 即以固定不变的速度衰减。这时可把图2的余震衰减线延长至M为0的点。或

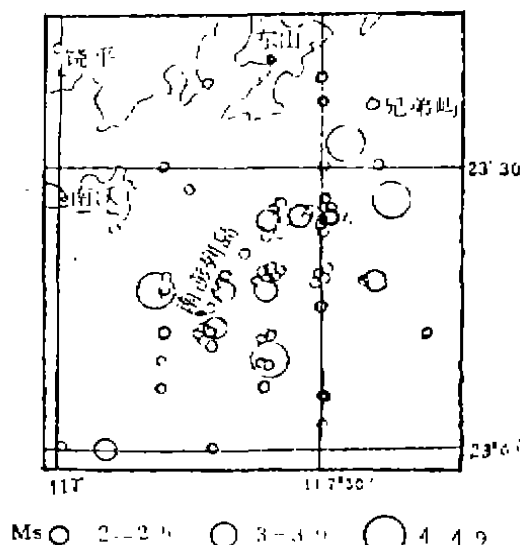


图4 Fig. 4 (据 杨全义)

利用上述各经验式, 设 $M=0$, 从而求出各强震的余震延续时间 $T (= \frac{M_0}{b})$ 。就这4个地震而言, 南澳地震需要159年, 灵山地震要148年, 河源地震要95年, 阳江地震要78年, 余震才能结束。我们这一代人都无法见到。

一个7级以上的大地震, 余震延伸1百多年。1604年泉州8级地震, 1605年琼山7½级地震至今已有三百多年, 在其震中区附近已无法寻找到成集团分布的弱余震。但也有很多例外, 如1561年中宁7½级地震, 1654年天水7½级地震, 1695年山西临汾8级地震等, 至今弱震不息, 估计其余震衰减斜率比南澳和灵山地震小得多, 故小余震经三百多年仍呈集团分布。

三、值得注意的问题

(1) 东南沿海除上述4个典型例子外, 尚有一批6级以上的地震, 如1067年韩江口6½级地震、1445年漳州6级地震、1600年南澳7级地震、1604年泉州8级地震、1605年琼山7½级地震、1611年电白南海域6½级地震、1806年寻乌6级地震、1895年揭阳6级地震、1911年红海湾6级地震、1931年南海6½级地震等, 它们的余震衰减是否按上述规律进行。由于这些地震大多数年代久远、或震中在海上, 故许多余震没有留下记载, 无法进行推测。因为震中只有4—5度甚至6度的地震, 其破坏面积很局限, 如果没有波及当时的行政中心(最基层是县城), 多半漏记。即使如此, 少数地震还是有某些现象可寻。如1806年寻乌县城以北发生6级地震, 16年后(1822年)寻乌县城尚有“地震”记载, 那末震中烈度多大, 如果是1806年的余震, 震级又是多少? 可以推测, 其余震衰减也存在相似的规律。

(2) 在全国范围内, 一些地震也有类似的余震衰减特征。如1920年海原8½级地震, 过了50年(公元1970年)尚有西吉5.5级地震。1936年四川马边6½级地震, 35年后(公元1971年)又发生5.8级强余震。它们的余震衰减b值与东南沿海情况有些接近。估计会因区域不同而带有一定差异, 形成了区域性的b值。

(3) 强震的余震拖延时间很长, 需要有几十年的地震记录积累才能确定一个强震的衰减过程。

(4) 本文4震例均为主震型地震, 至于震群型(包括双震型)和孤立型地震的余震活动在地震仪出现以来的东南沿海还没有出现强震的震例, 其余震活动衰减规律还无法预测。

(5) 绝大多数余震的震级都很低, 接近余震衰减线的地震不多, 说明余震的起伏颇大。

(6) 余震衰减线往往以震后20年左右出现的地震为依据。震级多为5级左右。主震震级越大, 出现最大的晚期强余震越偏后。随着时间进展, 余震衰减线会因晚期强余震的出现而不断修改, 并逐渐趋向水平, 即b值随着时间的发展而被修改, 最后趋向一稳定数值。

THE STRONG AFTERSHOCK OF EARTHQUAKES ($M_s \geq 6$) IN SOUTH CHINA

Chen Dingguo

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] This paper sums up the aftershock data of four earthquakes ($M_s \geq 6$) in recent 100 years in South China area and studies the changing characters of the largest magnitude about the aftershock attenuation sequency in every period from the angle of practicality of engineering anti-vibration. Some conclusions are drawn as following: 1. The aftershock of earthquakes ($M_s \geq 6$) in South China area attenuate one degree at per 14 or 15 years; 2. After 45 years late, the aftershock activity of one earthquake about $M=6$ were quickly recovered to the normal level of small seismic activity in the locality.

● 简 讯 ●

湖南东江水库诱发地震研讨会简介

湖南省郴州地区行政公署于1990年3月6日至9日在郴市召开了东江水库诱发地震研讨会。这次研讨会的议题是探讨东江水库诱发地震的发展趋势，商议在地震频次增多、强度显著增强的情况下，如何进一步加强水库地震监测和诱发地震条件的研究工作，提出确保工程和库周区域与东江下游人民群众生命财产安全的对策。应邀参加研讨会的专家、学者和有关人士共50人，其中副研究员以上的高级专业技术人员21人。代表分别来自国家和湖南、广东省的地震、地质、水电、工程等部门和地市有关单位，共22个。会上宣读和交流了14篇学术论文。郴州地委行署和湖南省地震办的主要领导同志到会讲话，听取与会议代表的发言。

东江水库位于资兴市东江生活区上游10公里峡谷地段，拦河坝为双曲拱坝，坝高157米，是我国大陆地区目前最高的双曲拱坝，设计正常水位285米，库区面积24万亩，库容81.2亿立方米，装机50万千瓦，年发电量13.2亿千瓦小时。于1986年8月2日关闸蓄水，1987年11月开始出现诱发地震。其中1989年7月24日发生了 $M_L 3.0$ 级地震，震中烈度5度，震中区群众强烈有感。与会专家认为，东江水库库区地质构造形迹纵横交错，组合较为复杂，具有诱发地震的条件，随着水位的升高，特别是达到库满高程后，初步估计将诱发出对大坝，尤其

(下转第77页)