

广东及邻区地震频度衰减系数和 余震等待时间

秦 乃 岗

(广东省地震局)

提要 本文采用了频度衰减系数及余震等待时间两种方法,对广东及邻区近年来发生的较大地震进行了类型判断及震后趋势判断。

在应用频度衰减系数的20个震例中,基本符合实际及符合较好的有17个,占总数85%。

余震等待时间方面,地震系列的余震等待时间的对数与发生时间的对数之间的线性关系较好的震例有:1605年琼山7.5级地震的强余震系列、1962年河源6.1级地震的余震系列、1987年江西寻鄔5.5级余震系列。

关键词 频度衰减系数 余震等待时间 余震类型及趋势判断

地震活动时空分布的不均匀性是一个最明显的特征。根据发震在空间分布上有条带性、块体性、成丛性等等,可对它分带划块。根据发震规模大小可按等级、影响范围等对它分等划级,区别层次。发震时间分布也有高潮迭起与平静交替的所谓韵律现象。根据这种韵律现象也可以对它分阶划段。对具体的某个地段(线度从几公里到几十公里)发生的一系列地震,特别是在比较集中的一段时间内发生的一系列地震,其序列的时间分布、频次、时间间隔等无疑可以反映震源区介质的物理状态及其演变的丰富信息。

一个强震或中强震 M_0 发生后,我们必须回答的问题是:这是一个猝发的震群?还是某个接踵而来的某个大震的前震?此地震序列的主震到底发生没有?如能将前震与震群型地震区别开,无疑将为地震预报提供极其重要的根据。

本文主要对广东及邻区近年来主要的一些地震事件,以大森一茂木频度衰减公式;刘正荣的衰减因子判别法^[1]以及谷继成的余震“等待时间” Δt_i ^[2]两个指标来探讨区分前震、主震的标志。

一、频度衰减因子H

此法基于大森一茂木公式:

$$n(t) = n_1 / t^h$$

式中 n_1 为第一天内的地震频次, $n(t)$ 为第 t 天内的地震频次。刘正荣在假设此时间序列是连

续的前提下得出此序列的地震总次数N为:

$$N(t) = \int_k^t n_1 t^{-h} dt$$
$$= \frac{n_1}{1-h} t^{1-h} - \frac{n_1}{1-h} K^{1-h} \quad (h \neq 1)$$

$$N(t) = n_1 \ln t - n_1 \ln k \quad (h = 1)$$

在 $t \rightarrow \infty$ 时, 在 $h > 1$ 的情况下, 上式是收敛的. $N(\infty)$ 有确定的值. 当 $h \leq 1$ 时, 上式发散, 则可认为所研究的震群处于其后有大能量释放的异常状态, 已发生的 M_0 地震为前震, 后有主震发生.

再假定古登堡震级—频度公式为连续的之后, 对 $\lg N = a - bM$ 式积分, 设后续最大地震 \bar{M}_m 只有一次, 则得:

$$\bar{M}_m = \frac{1}{b} \lg(1 + bN \ln 10) + M_1 - \frac{1}{2b} \lg(1 + b \ln 10)$$

这样就可以利用H和 \bar{M}_m 两个参数来估计某次较大地震 M_0 发生之后的形势.

我们将此方法应用于分析广东及邻区自1970年来发生的20例中强地震或影响较大的地震事件. 结果列于表1. 对效果的评价, 使用三种评语来描述:

- A、符合实际情况
- B、大致符合
- C、不符合

对衰减系数H和计算出的后续最大地震 \bar{M}_m :

如 $H \leq 1$, 当 $b < 1.5$ 时预示后面有主震将要发生. 当 $b > 1.5$ 时, 预示后面将发生相对小一些的震群. 实际上后续地震 \bar{M}_m 只要明显大于 M_0 , 则可认为判断基本符合.

如 $H > 1$ 时, 则表示以后只有余震发生. 当算出的 $\bar{M}_m < M_0$ 时, 表示以后仅有较小余震发生. 若算出的 $\bar{M}_m > M_0$ 时, 预示后有第二主震(指双震型)或主震发生. 实际上发生的 \bar{M}_m 只要小于等于 M_0 , 则可认为基本符合. 即使发生的 \bar{M}_m 大于 M_0 , 但与理论值相差不超过0.5时, 仍可算符合较好(A). 如比理论算出的 \bar{M}_m 相差在0.5级以上, 但二者处于同一量级(如同属中强震等)则仍可算基本符合(B).

从表1中, 我们可以看到: 20例中符合较好的有6例, 占30%, 基本符合的为11例, 占55%. 两者相加可得85%, 即基本符合及符合较好的共占85%, 其余3例中, 2例不符合, 占10%, 还有1例存在多解性.

对广东及邻区震级相对较大的地震, 如江西寻邬、龙南; 广东阳江五级左右的地震及广东河源新丰江一系列四级以上的前震及余震, 利用衰减系数H值来判断后续地震大小的效果比较好. 判断大体正确. 大多数可判断后续震级的震例中, 计算出的后续震级与实际发生地震震级的差值约为0.5级.

表 1
Table 1

震群、主震			起算 震级	时间 组数	折算 系数	归一化 衰减 系数	b值	后续 震级	实际 震级	符号	序号	
地点	发震时间 年 月 日	震级	M ₁	t	x	H		M _m	时间	震级	状况	
台山	1970.7.4	M _L 4.0	1.0	7	1	1.1	0.84	4.5	7月12日	3.3	B	1
清远	1970.9.6	M _L 3.4	1.0	4	1	1.8	0.94	2.9	9月10日	3.4	A	2
	1970.9.10	M _L 3.4	1.0	9	1	0.9	0.70		无更大地震		C	3
海丰	1981.2.26	M _L 3.4	1.0	6	1	1.0	1.67		3月14日	3.4	B	4
	1981.3.14	3.4	1.6	5	1	1.6	1.66	2.1	4月9日	4.2	C	5
	1981.4.9	4.2	1.0	12	1	1.2	1.33	3.1	4月12日	3.2	A	6
				1	1/6	1.2	1.33	3.0	同 上		A	
河	1972.12.18	M _s 4.5	1.0	0.5	1/12	1.8	1.07	2.9	12月20日	2.9	A	7
	1975.5.25	M _s 4.3	1.0	5	2	0.55	1.05				C	
(余震)			1.2	11	1	0.9	1.05				C	
源			1.2	4	1	1.2	1.05	2.9	7月27日	2.9	A	8
	1977.5.12	M _s 4.7	0.9	5	1	1.6	0.92	3.1	5月13日	3.6	A	9
	1981.5.4	M _s 4.3	1.0	6	1	1.5	0.81	3.5	6月8日	4.3	B	10
	1987.9.15	M _s 4.5	1.0	12	2	1.1	1.11	3.0	10月3日	3.7	B	11
河(前震源)	1961.12.10	4.1	M _s 1.2			0.4	1.13		62.3.19	6.1	B	12
	1962.2.5	4.4	M _s 1.2			0.2	0.88		同 上		B	13
	2.20	4.4	M _s 1.2			0.1	0.62		同 上		B	14
龙南	1982.2.26	M _s 5.0	2.0	9	1	3.0	0.85	4.6	2.26	4.0	B	15
寻邬	1987.8.2	M _s 5.5	2.0	9	1	2.0	0.34	5.1	8月3日	5.3	A	16
	1985.9.4	M _s 3.6	0.9	6	1	2.0	0.36	4.5	8月15日	5.2	A	16
阳江	1985.9.4	M _s 3.6	0.9	6	1	2.0	0.36	4.5	10月11日	3.3	B	17
	1986.1.28	M _s 5.0	0.9	6	1	1.6	0.56	3.3	3月25日	4.1	B	18
	1987.2.25	M _s 4.9	1.1	8	1	2.0	0.51	3.9	9月23日	4.4	B	18
	1969.7.26	M _s 6.4				1.3	1.09	4.3	4月10日	4.3	A	19
								4.3	69年7月26日	4.3	B	20

备注 序号20结果引自文章〔3〕

20个震例中效果不理想的有3例，其中2例的地震震级较小，均仅为 $M_L 3.4$ 级的地震。

还有一例是存在多解性的问题，即1975年7月25日新丰江的4.3级地震，如果折算系数 x 取1，仅取前四天的资料，则结果算得 $H=1.2$ ， \bar{M}_0 为2.9，实际7月27日发生2.9级，可算符合很好。但如果我们把资料的时间范围延长到十天左右，则从多数点来考虑，只能取 $H < 1$ 。特别在 $x=2$ ，改变折算系数时，求出的 H 值更低，理应有较大的后续地震，但实际上后续无更大的地震，故与实际不符。

上述表明：运用频度衰减因子 H 来判断广东及邻区近20年左右的地震类型、推测震后趋势大体上是有效的，判断符合实际的占分析震例总数的85%。

后续地震发生时间，系指一个相对较强的地震 M_0 发生之后到后续地震 \bar{M}_0 发生之间的相隔时间。从所分析的20个震例中发现：一般后续地震发生的时间都不太长，多数不超过一个月或1—2个月的时间，河源1962年6.1级主震时间长些，但也不过3个月。而一般一个序列的高潮不过延续几天，或十天左右。利用不太长的时间段得出的关于地震序列类型及后续地震大小的结论在短期内就可以兑现。这对我们的短临预报无疑具有重要意义。

与实际不符的两例，清远及海丰均为震级较小的地震（ $M_L 3.4$ 级），可能这种方法本来就不适用于这么小的地震上。

当然，我们也应清醒地看到：比较符合实情的85%的震例中，绝大多数都是主震—余震型的，极少前震—主震—余震型的。因此这85%并不能真正说明方法的有效性，缺少某种类型样本数使统计结果缺乏代表性，无疑给这基本成功的85%上蒙上了一层阴影。虽然有较大前震的河源新丰江地震，在运用此法上获得了令人鼓舞的成功，但辽宁海城地震—这个有着典型前震序列的，曾经利用前震做过成功预报的震例，在运用此法时却遭到失败^[4]。

另外，对同一地震 M_0 在相同的资料范围内，取不同的时间折算系数和时间单位，或是在不同的资料范围内得出的结果有可能大相径庭，如表中所列河源1975年7月25日地震和中国东部的某些地震^[4]。这种多解性带来的复杂情况给此方法的进一步研究提出了课题。

尽管存在上述问题，适用此法在我国的西南、东部及华南都还有较多的成功的例子。看来目前在实现概率性预报的目标上，此方法的重要性还是明显的。

二、强余震的等待时间 Δt_i

谷继成等研究过我国自1931年以来28个大震序列的强余震之间的可能的物理联系^[5]，主要结论是：对于主震余震型地震，或双震，或强震群，当主震（或最后一个大震）发生以后，其强余震之间的关系，满足下述公式：

$$\lg \Delta t_i = A \lg t_i + B$$

这里 Δt_i 是所谓等待时间，即第 i 个强余震与第 $i-1$ 个之间的时间间隔； t_i 是从主震发生时刻计起的第 i 个强余震的发生时间； A 、 B 是常数。能满足此式即意味着震源区及其附近的应力调整是使整个应力场趋于稳定，而不是进一步积累而形成新的大的应力集中区。反之，如果一个大震发生后，只是部分地释放应变能，该区仍然处于高能量状态，而且具有发生另一次大震的条件（地质条件、物理条件—能量状态），则应力的调整过程是下一大震的积累过程。可能会有前震发生。从而使描述应力场趋于稳定的上式受到破坏。即由于局部地质构

造和应力状态非均匀性会使平面 $\lg \Delta t - \lg t$ 内的点偏离直线 $\lg \Delta t = A \lg t + B$ ，其基本的和共同的特征是：点越分散，则应力场越强，从而地震活动性也更强。

具体应用上述想法可用来判别地震的类型，从而可以分析目前该震区是处于大震前夕？还是处于余震剩余释放状态。这对判断地震形势、解决短临预报问题的重要性是自不待言的。文献^[5]给出了我国一些强震和较强地震的实例，其中包括了1966年至1976年间的七次七级以上大震以及两次八级以上大震的震例。还有江苏溧阳的两次地震（1974年5.5级，1979年6.0级）以及南黄海1984年6.2级地震¹⁾。从上述震例的 $\lg \Delta t - \lg t$ 图上可以看到这些例子都比较符合上述关系。即如果后无大震，则目前的各强余震的点分布接近一条直线。如有大震，则点较分散。

在使用上述方法作地震类型判断时，需注意的技术细节是：

(1) 每一个用来确定直线 $\lg \Delta t - \lg t$ 的强余震，都应该理解是一次能量释放事件。这样的每一次的能量释放，可以由一个实际的强余震完成，也可能是在很短的时间间隔内由几次强余震共同完成。因此，如果两个强余震 i 和 $i+1$ 发生得如此靠近，以致其间的时间间隔 Δt_{i+1} 不大于 $\Delta t_i / 20$ 时，则这两个余震只当作一次强余震释放事件处理。

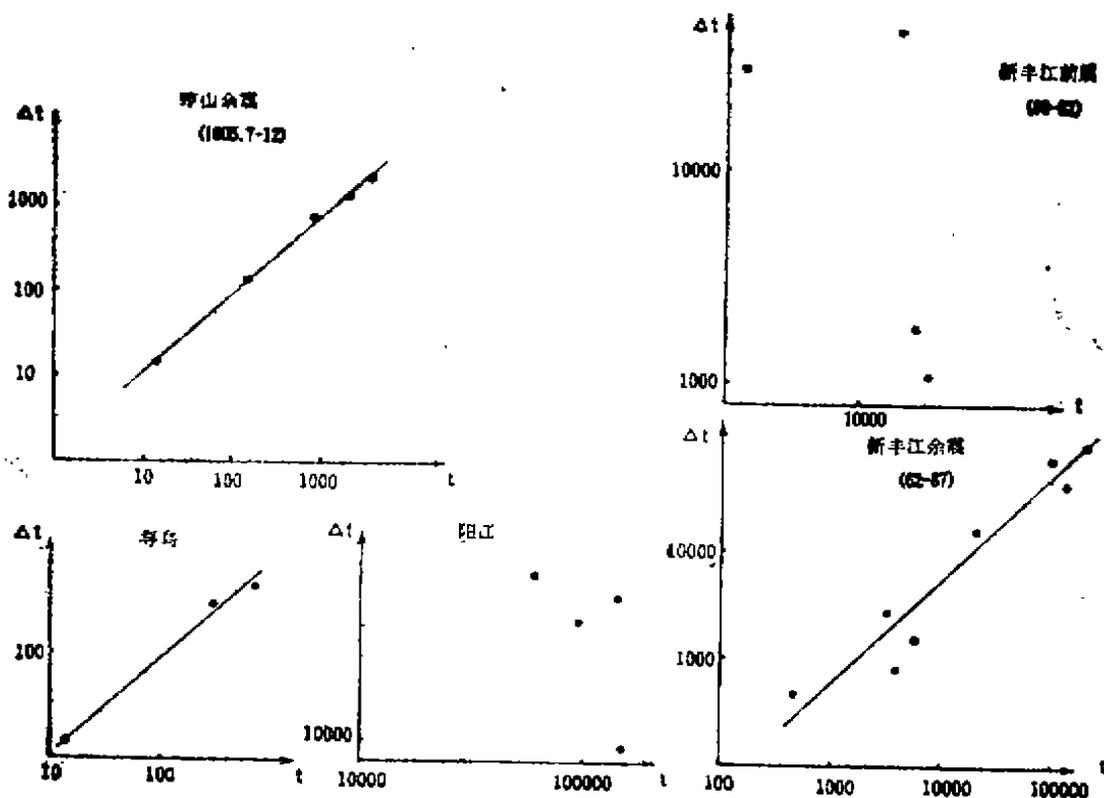


图1 某些余震系列 $\lg \Delta t - \lg t$ 线性关系的震例

fig. 1 $\lg \Delta t - \lg t$ linear relations of some aftershock series examples

1) 董颂声，江苏几次中强地震余震序列的时空特征（初稿），1987

(2) 强余震的震级下限有一个如何选择的问题。对大多数震例： $M \geq M_0 - 2.5$ 。对主震震级下太大的，下限则可定得小些。

使用上述方法，本文对新丰江62年6.1级强震，江西寻邬87年5.5级地震及阳江69年6.4级地震进行了符合检验。这三次地震的目录及符合情况见表2至表4及图1。

表2 新丰江的主要前震及强余震

Table 2 The major foreshocks and strong aftershocks in Xinfengjiang

日期 (年、月、日)	时间 (时)	震级 (Ms)	类型
1960. 7. 18	06	4.3	前震
1961. 3. 5	07	4.3	前震
1961. 12. 10	18	4.1	前震
1962. 2. 5	10	4.2	前震
1962. 3. 19	04	6.1	主震
1962. 4. 5		4.9	余震
1962. 7. 29		5.1	余震
1962. 8. 30		4.8	余震
1962. 11. 6		4.8	余震
1964. 9. 23		5.3	余震
1972. 12. 18		4.5	余震
1977. 5. 12		4.7	余震
1987. 9. 15		4.6	余震
强余震 $n=8$ 相关系数 $r=0.96$	$A=0.929$ $B=-0.016$		

表3 寻邬地震的强余震

Table 3 Strong aftershocks of Xunwu earthquake

日期 (年、月、日)	时间 (时、分)	震级 (Ms)	类型
1987. 8. 2	17-07	5.8	主震
1987. 8. 3	7-19	5.3	余震
1987. 8. 15	01	5.2	余震
1987. 8. 31	20-39	4.2	余震
$r=0.994$	$A=0.892$	$B=0.15$	

表4 阳江地震目录 ($M_s \geq 4.0$)Table 4 Earthquake catalogue in Yangjiang ($M_s \geq 4.0$)

时 间 (年、月、日)	时 间 (时、分)	震 级 (M_s)	类 型
1969. 7. 26	06—50	6.4	主 震
1976. 5. 27	07—37	4.3	余 震
1980. 7. 24	17—00	4.0	余 震
1986. 1. 28	07—13	5.0	余 震
1987. 2. 25	10—28	4.9	余 震
相关系数 $r = -0.652$		$A = -1.25$	

从上列表及图中可以看出：新丰江余震系列的等待时间 Δt_i 及发生时间 t_i ($\lg \Delta t_i - \lg t_i$)之间的线性相关程度符合较好。相关系数 $r = 0.96$ 达到了0.01的置信度水平。 $(n = 8, r_{0.01}^8 = 0.8)$ 呈现出典型的余震时间分布图象。和前震系列的时间分布确有本质的不同，这也和新丰江水库地震目前处于不断衰减的结论相符合。

阳江地震的 $\lg \Delta t_i - \lg t_i$ 的线性相关关系比较差，点较分散。经过分析，我们认为主要原因是因为阳江地震是属于孤立型及主余型之间的地震类型，主余型的表现不够典型。在主震6.4级发生后近七年的时间内，主震和余震之间的震级差大于2.5级。因而图上点的分散并不说明目前应力在大范围内集中。当然这种特殊情况是需要小心加以区别对待的。

表5 琼山地震的强余震

Table 5 Strong aftershocks of Qionshan earthquake

日 期 (年、月、日)	时 间 (时)	震 级 (M)	类 型
1605. 7. 13	22	7.5	主 震
1605. 7. 14	12	5.5	余 震
1605. 7. 19	20	6.5	余 震
1605. 8. 17	20	6	余 震
1605. 10. 8		6	余 震
1605. 12. 15		6	余 震
相关系数 $r = 0.9993$		$A = 0.918$	

琼山余震系列的 $\lg \Delta t_i - \lg t_i$ 之间的线性相关程度也比较好。相关系数 $r = 0.9993$ ，达到了0.01的置信水平 $(n = 5, r_{0.01}^5 = 0.959)$

根据国内23个震例的总结，强余震的发生时间与等待时间的关系式：

$$\lg \Delta t_i = A \lg t_i + B$$

式中的两个参量A和B统计结果为:

$A = 0.931 \pm 0.046$ 对各地震序列都比较稳定。而本文求出的琼山序列 $A = 0.918$, 新丰江序列 $A = 0.929$, 寻邬序列中的 $A = 0.892$, 可以说和上述结果是非常符合。这种一致恰恰表明了余震释放表现出的应力调整过程在时间分布上的相似特征。对许多大震后的余震来说是具有共性的。

综上所述, 使用频度衰减因子H和余震等待时间 Δt , 在判断已发生地震的类型方面还是有效的。在广东及邻区近年来较大地震的震例中, 大多数效果还是较好的。当然, 方法本身仍需不断的探索和完善, 震例仍需大大地增多。

参 考 文 献

- [1] 刘正荣, 前震的一个标志—地震频度的衰减, 地震研究, 第2卷, 第4期, 1979。
- [2] 谷继成, 强余震的时间分布特征及其理论解释, 地球物理学报, 第22卷, 第1期, 1979。
- [3] 赵毅等, 地震频度衰减的预报效能, 华南地震, 第6卷, 第2期, 1986。
- [4] 吴晓芝等, 中国东部震群的b值扫描, 地震, 第5期, 1986。
- [5] 谷继成, 地震类型的判别与强余震的预测, 地震, 第6期, 1987。

THE METHOD OF EARTHQUAKE FREQUENCY ATTENUATION COEFFICIENT AND AFTERSHOCK DURATION TIME APPLIED IN GUANGDONG PROVINCE AND ITS NEIGHBOURHOOD

Qin Naigang

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] There are 20 earthquakes of applying the frequency attenuation coefficient method in Guangdong Province and its neighbourhood. The results of 17 examples tallied with the actual situation, and these examples' magnitude are comparatively bigger.

There are 3 aftershock series examples (1605 Qiongsan M7.5 earthquake, 1962 Xinfengjiang M6.1 earthquake, 1987 Xunwu M5.5 earthquake), of which their logarithmic values between waiting time and occurring time have good relations in linear.

[Key words] Frequency attenuation coefficient, waiting time of aftershocks, Adjudgement of shock types and their tendencies.