

# 用地震活动度变化特征 进行地震序列类型早期划分<sup>①</sup>

徐常辉

周翠英

王红卫

(山东省潍坊市地震局, 261041) (山东省地震局, 济南 250021)

**摘要** 本文对我国1966~1991年全国6级以上地震序列进行研究,发现其早期(3~7天内)活动遵从下式:  $Lns = a - K_s T$ 。其中S为地震活动度,是时间T的函数, T以天为单位。以最小二乘法求取上式  $K_s$  值,并以其对序列类型进行划分,  $K_s \geq 0.145$  为主震型,  $K_s < 0.145$  为震群型。将划分结果与传统分类结果比较,符合率约为86%,表明该值可作为一种较好早期分类指标,用于序列早期分类和震后趋势预测。

**主题词:** 地震活动度; 地震序列; 序列分析; 最小二乘法

## 1 引言

划分地震序列类型,一些地震学者已作了非常有益的工作。吴开统<sup>[1]</sup>和周惠兰<sup>[2]</sup>等人曾提出了以主震占全序列能量百分比法及最大震与次大震震级差法划分地震序列类型,并给出了定量划分指标。但这种传统划分方法依赖于全序列资料,如果提出一种指标,使我们能在大震发生后几天内判断出序列类型,无疑对地震后早期趋势预测是很有意义的。本文就提出了一种划分指标,以尝试有效地解决这一问题。

研究中发现,地震序列活动中的地震活动度S值随时间有起伏衰减,且取自然对数后,在早期一般呈线性衰减(图1)。可以下式对其进行拟合:

$$LnS = a - K_s T \quad (1)$$

其中S为地震活动度<sup>[3]</sup>,它包含了序列的频度、能量和最大震级等,为一综合参量,其表述式为:

$$S = 1.17 \log(N+1) + 0.29 \log 1/N \sum_{i=1}^N 10^{1.5M_i} + 0.15M \quad (2)$$

S为以天为单位统计的地震活动度, T为时间,以天为统计单位, M为最大震级。

进一步的分析尚发现,不同序列类型  $Lns-T$  曲线的起伏程度和线性衰减系数均有差异,震群型起伏大,衰减慢,主震型起伏小,衰减快些。因此我们试图以衰减速率  $K_s$  值的大小来进行序列的早期类型划分。

<sup>①</sup> 此课题为地震科学联合基金会资助项目(编号91012)之一。

## 2 资料选取与处理

选取吴开统等人提供的 1966 年至 1991 年全国主震为 6 级以上的地震序列进行分析, 计有震例 48 个 (表 1)。研究资料的震级下限一般取  $M_L=2.0$  级。由图 1 可知, 主震震级高的序列不仅序列持续时间长, 其  $Lns$  的早期线性衰减时间也相对长, 由此本文“早期”时段  $T_m$  的选取首先从序列持续时间即结束时间着手, 其起始进间从最大震发震时间标起 (表 1)。

表 1 1966~1991 年全国 6 级以上地震序列震型划分一览表

| 序列名      | 主震时间     | 北纬   | 东经    | 地名   | 震 级 |     |            | E 主/E 总 | K <sub>0</sub> | r     | 震 型 |                  |
|----------|----------|------|-------|------|-----|-----|------------|---------|----------------|-------|-----|------------------|
|          |          |      |       |      | 最大  | 次大  | $\Delta M$ |         |                |       | 初始  | K <sub>0</sub> 法 |
| s14      | 19790315 | 2312 | 10106 | 普洱   | 7.0 | 5.0 | 2.0        | 0.9967  | 0.243          | 0.883 | 主震  | 主震               |
| s2       | 19660928 | 2726 | 10007 | 中甸   | 6.6 | 5.0 | 1.6        | 0.9881  | 0.247          | 0.988 | 主震  | 主震               |
| s1       | 19660205 | 2612 | 10312 | 东川   | 6.7 | 6.4 | 0.3        | 0.7173  | 0.133          | 0.522 | 震群  | 震群               |
| s3       | 19670327 | 3830 | 11630 | 河间   | 6.5 | 4.6 | 1.8        | 0.9972  | 0.627          | 0.967 | 主震  | 主震               |
| s8       | 19720116 | 4018 | 7854  | 柯坪   | 6.4 | 4.9 | 1.5        | 0.9626  | 0.197          | 0.742 | 主震  | 主震               |
| s13      | 19761107 | 2727 | 10105 | 宁蒗   | 6.8 | 6.7 | 0.2        | 0.6021  | 0.007          | 0.601 | 震群  | 震群               |
| s5       | 19690726 | 2145 | 11145 | 阳江   | 6.6 | 4.3 | 2.3        | 0.9985  | 0.199          | 0.952 | 主震  | 主震               |
| s9       | 19730811 | 3256 | 10354 | 松潘   | 6.4 | 6.2 | 0.2        | 0.6509  | 0.102          | 0.677 | 震群  | 震群               |
| s10      | 19730816 | 2300 | 10105 | 思茅   | 6.7 | 5.2 | 1.5        | 0.9934  | 0.450          | 0.923 | 主震  | 主震               |
| s6       | 19700207 | 2254 | 10048 | 普洱   | 6.5 | 5.8 | 0.7        | 0.9199  | 0.212          | 0.678 | 主震  | 主震               |
| s4       | 19670830 | 3137 | 10020 | 炉霍   | 7.0 | 6.3 | 0.7        | 0.9176  | 0.249          | 0.704 | 主震  | 主震               |
| s12      | 19760923 | 3950 | 10630 | 巴音木仁 | 6.4 | 4.9 | 1.5        | 0.9900  | 0.212          | 0.730 | 主震  | 主震               |
| s11      | 19750115 | 2924 | 10154 | 康定   | 6.4 | 5.6 | 0.8        | 0.9197  | 0.242          | 0.716 | 主震  | 主震               |
| s15      | 19780329 | 4154 | 8315  | 库车   | 6.3 | 3.4 | 2.9        | 0.9998  | 0.249          | 0.744 | 孤立  | 主震               |
| s16      | 19790709 | 3128 | 11915 | 溧阳   | 6.3 | 5.2 | 1.1        | 0.9726  | 0.325          | 0.853 | 主震  | 主震               |
| s19      | 19830213 | 4008 | 7520  | 乌恰   | 7.0 | 5.7 | 1.3        | 0.9702  | 0.183          | 0.867 | 主震  | 主震               |
| s17      | 19790825 | 4112 | 10806 | 五原   | 6.4 | 5.6 | 0.8        | 0.9383  | 0.426          | 0.768 | 主震  | 主震               |
| s22      | 19700224 | 3036 | 10312 | 大邑   | 6.5 | 4.2 | 2.3        | 0.9991  | 0.292          | 0.944 | 孤立  | 主震               |
| s23      | 19760406 | 4010 | 11210 | 和林格尔 | 6.7 | 6.5 | 0.2        | 0.6658  | 0.065          | 0.616 | 震群  | 震群               |
| s18      | 19820616 | 3149 | 9957  | 甘孜   | 6.3 | 3.0 | 3.3        | 0.9999  | 0.533          | 0.924 | 孤立  | 主震               |
| s25      | 19850906 | 2519 | 9739  | 腾冲   | 6.5 | 5.1 | 1.4        | 0.9890  | 0.292          | 0.929 | 主震  | 主震               |
| s24      | 19821027 | 2348 | 10554 | 富宁   | 6.3 | 4.4 | 1.9        | 0.9958  | 0.298          | 0.880 | 主震  | 主震               |
| s20      | 19840521 | 3228 | 12135 | 南黄海  | 6.3 | 6.0 | 0.3        | 0.7271  | 0.143          | 0.878 | 震群  | 震群               |
| s21      | 19850418 | 2551 | 10248 | 禄劝   | 6.5 | 4.9 | 1.6        | 0.8468  | 0.112          | 0.796 | 主震  | 震群               |
| g2       | 19690718 | 3812 | 11924 | 渤海   | 7.5 | 5.5 | 2.0        | 0.9959  | 0.138          | 0.732 | 主震  | 震群               |
| g5-74    | 19740511 | 2812 | 10354 | 昭通大关 | 7.2 | 6.0 | 1.2        | 0.9744  | 0.153          | 0.828 | 主震  | 主震               |
| g11      | 19740811 | 3924 | 7522  | 乌恰   | 7.5 | 7.0 | 0.5        | 0.8393  | 0.093          | 0.963 | 震群  | 震群               |
| g10-76   | 19760816 | 3237 | 10408 | 松潘   | 7.3 | 7.2 | 0.1        | 0.4840  | 0.003          | 0.900 | 震群  | 震群               |
| m4       | 19710816 | 2853 | 10335 | 马边   | 6.1 | 6.1 | 0.0        | 0.3044  | 0.051          | 0.435 | 震群  | 震群               |
| m16      | 19760216 | 2250 | 10040 | 思茅   | 6.0 | 5.8 | 0.2        | 0.6492  | 0.118          | 0.691 | 震群  | 震群               |
| g12      | 19730714 | 3512 | 8630  | 亦基台错 | 7.4 | 6.3 | 1.1        | 0.9714  | 0.369          | 0.998 | 主震  | 主震               |
| m43      | 19870106 | 4201 | 8110  | 新疆拜城 | 6.2 | 4.0 | 2.2        | 0.9994  | 0.145          | 0.689 | 孤立  | 主震               |
| s26      | 19710324 | 4112 | 7924  | 乌什   | 6.3 | 6.3 | 0.0        | 0.4955  | 0.225          | 0.954 | 震群  | 主震               |
| s27      | 19860826 | 3742 | 10134 | 青海门源 | 6.6 | 5.4 | 1.2        | 0.9673  | 0.209          | 0.967 | 主震  | 主震               |
| s28      | 19710324 | 4119 | 7922  | 乌什   | 6.4 | 6.3 | 0.1        | 0.5674  | 0.103          | 0.771 | 震群  | 震群               |
| s30      | 19790329 | 4154 | 8327  | 库车   | 6.3 | 4.3 | 2.0        | 0.9987  | 0.201          | 0.884 | 主震  | 主震               |
| g14      | 19740705 | 4504 | 9347  | 巴里坤  | 7.2 | 5.3 | 1.9        | 0.9944  | 0.117          | 0.914 | 主震  | 震群               |
| g13      | 19881106 | 2250 | 9943  | 澜沧耿马 | 7.6 | 7.2 | 0.4        | 0.7498  | 0.102          | 0.992 | 震群  | 震群               |
| s32      | 19890922 | 3130 | 10236 | 小金   | 6.8 | 3.8 | 3.0        | 1.0000  | 0.562          | 0.766 | 孤立  | 主震               |
| s33a     | 19891018 | 3957 | 11350 | 大同   | 6.4 | 6.1 | 0.3        | 0.6076  | 0.259          | 0.874 | 震群  | 主震               |
| s34      | 19900426 | 3607 | 10008 | 共和   | 7.0 | 5.9 | 1.1        | 0.9486  | 0.063          | 0.921 | 主震  | 震群               |
| s35      | 19901020 | 3707 | 10336 | 景泰   | 6.4 | 4.7 | 1.7        | 0.9943  | 0.206          | 0.947 | 主震  | 主震               |
| s36      | 19910225 | 4024 | 7924  | 柯坪   | 6.5 | 4.2 | 2.3        | 0.9993  | 0.342          | 0.921 | 孤立  | 主震               |
| g7-75b   | 19750204 | 4042 | 12242 | 海城   | 7.3 | 5.6 | 1.7        | 0.9933  | 0.129          | 0.947 | 主震  | 震群               |
| g8-75-77 | 19760529 | 2437 | 9850  | 龙陵   | 7.5 | 7.4 | 0.1        | 0.4993  | 0.088          | 0.528 | 震群  | 震群               |
| g8-76-79 | 19760728 | 3936 | 11812 | 唐山   | 7.9 | 7.2 | 0.7        | 0.8515  | 0.056          | 0.921 | 震群  | 震群               |
| g4-4-1   | 19730206 | 3129 | 10032 | 炉霍   | 7.9 | 6.6 | 1.3        | 0.9864  | 0.166          | 0.983 | 主震  | 主震               |
| g1-65-67 | 19660322 | 3732 | 11503 | 邢台   | 7.3 | 7.3 | 0.0        | 0.4153  | 0.048          | 0.610 | 震群  | 震群               |

序列的结束时间则以一个月内地震能量不大于一个  $M_s3.0$  级地震的能量为标准确定。为了减少地震序列延续时间上的误差, 主震后以 10 天为一个窗长 (滑动步长 10

天), 按上述序列结束时间标准对地震序列进行扫描, 以求得序列的结束时间。表 2 给出了  $T_m$  的确定标准。

上述时间确定后, 分别计算 48 个序列的  $Lns$  值并绘出  $Lns-T$  曲线, 根据 (2) 式对序列进行拟合, 采用最小二乘法, 得到:

$$K_s = \frac{\sum T \sum LN(S) - T_m \sum TLN(S)}{T_m \sum T^2 - (\sum T)^2} \quad (3)$$

$$r = \frac{\sum T \sum LN(S) - T_m \sum TLN(S)}{\sqrt{[T_m \sum T^2 - (\sum T)^2] [T_m \sum (LN(S))^2 - (\sum LN(S))^2]}} \quad (4)$$

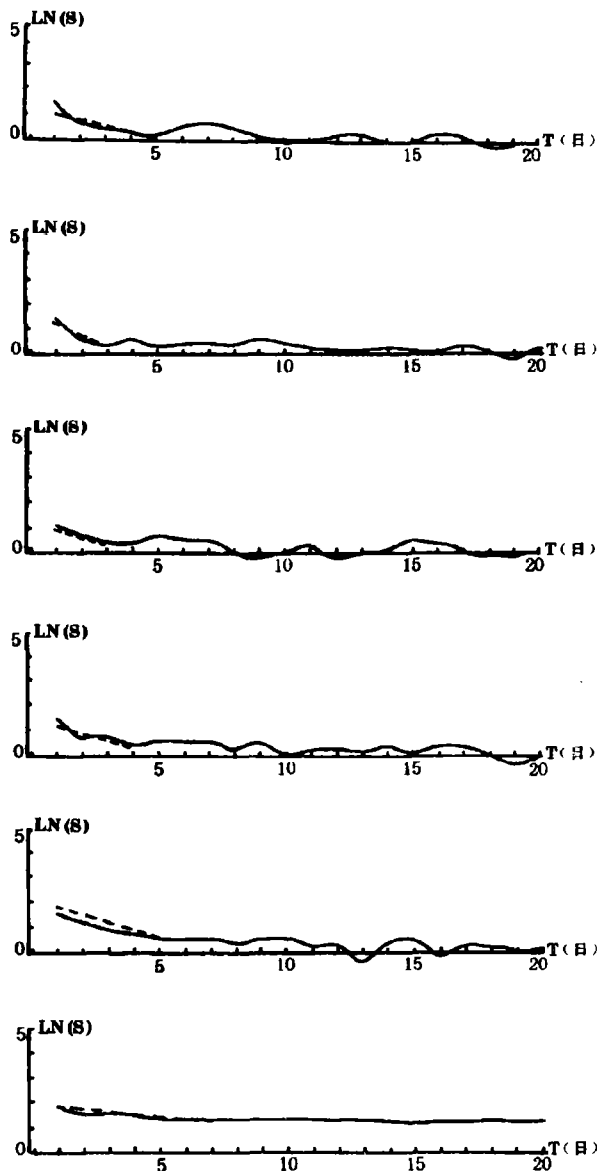


图 1 S 值随时间衰减变化曲线

依 (3)、(4) 式求得 48 个序列  $T_m$  时段内的  $K_s$  与  $r$  值,  $K_s$  值详列于表 1。序列的  $r$  值一般在 0.7 以上, 震群型较低, 多数在 0.7 左右, 而主震型一般在 0.9 左右。

### 3 划分标准的确定

传统的序列类型划分一般为 3 类, 即主余震型、孤立型和震群型 (或多震型)。考虑到对于早期趋势判断, 主余震型与孤立型无本质区别, 因此本文将合二为一, 即将主余震型和孤立型统称为主震型, 这样我们的分类工作即成了主震型和震群型两类的划分问题了。

文献 [1] 的分类标准是  $\Delta M = 0.7$ ,  $E_{\text{主}}/E_{\text{总}} = 90\%$ , 即  $\Delta M > 0.7$ ,  $E_{\text{主}}/E_{\text{总}} \geq 90\%$  为主震型, 反之为震群型。而文献 [2] 则将  $\Delta M \leq 0.6$  和  $80\%$  作为震群型划分标准, 我们采用文献 [1] 的划分标准, 对序列做初始划分, 然后将求得的  $K_s$  值与其划分结果对比, 发现, 以  $K_s = 0.145$  为界, 可以将两类序列较好分开。即:

$K_s \geq 0.145$  为主震型,  $K_s < 0.145$  为震群型。

表 1 列出了按上述标准划分

的序列类型。

表 2 地震序列早期线性衰减时间与延续时间关系表

| 地震序列延续时间  | $T_m$ (天) |
|-----------|-----------|
| 30 天内     | 3         |
| 30—90 天   | 4         |
| 90—180 天  | 5         |
| 180—360 天 | 6         |
| 360 天以上   | 7         |

从表 1 中可见,在 48 个序列中, $K_s$  值划分结果与初始划分结果相符合的为 41 个,计算符合率约为 86%。可见,该指标对于序列早期分类和震后趋势预测是很有实用价值的。

#### 4 根据大震发生后几天内 $Lns$ 的变化趋势判别 $T_m$ 值

由以上讨论可知,大震发生后前几天  $Lns-T$  曲线具有线性特征。这为我们尽快判断  $T_m$  的大小提供了依据。综合对上述 48 个震例的研究,可以采用这样的方法判定  $T_m$  值:

当一个大震发生后,首先绘出前三天的  $Lns-T$  曲线图,然后进行下列讨论:

(1) 若前三天的  $r$  值较理想 (大于等于 0.9), 则以前三天的资料计算  $K_s$  值

(2) 若前三天的  $r$  值勉强 (在 0.8 左右), 则要等待第四天的资料。若前四天的  $r$  值为 0.8 左右或更好, 则以前四天的资料计算  $K_s$  值; 若前四天的  $r$  值较差, 则以前三天的资料计算  $K_s$  值。

(3) 若前三天的  $r$  值较差 (在 0.7 左右或更差), 可以等待第四天乃至第五天或更长时间的资料, 这样可以改善  $r$  值, 但以耗费时间为代价, 所以要认真权衡, 以期尽可能快的计算出  $K_s$  值。

(4) 有些序列哪一天的地震个数太少, 例如一两个, 这样计算出的地震活动度  $S$  值失去了意义, 其  $r$  值也会很差, 这种情况可以这样处理: 可以与下一天地震合并计算为一个点, 作为一天的资料, 但时间坐标相应为两天的跨度, 然后按照上述三条原则选取  $T_m$  值, 计算  $K_s$  值。

### 5 讨 论

5.1 地震活动度  $S$  包含了地震频度、平均地震释放能量和最大震级等多项参量, 是地震活动性的一种综合参量, 而其衰减速率  $K_s$  值又直接反映了序列随时间的演化过程, 因此以其进行序列划分, 即兼顾了序列的各种参量及其变化, 又简便易行, 因此是一种较好的分类指标。

5.2 用  $K_s$  法划分地震序列类型, 能在主震发生后几天内做出判断, 对强余震的预报和震后趋势估计具有实用意义。

5.3 采用全序列持续时间来选取  $T_m$  值的方法, 对震级下限和序列延续时间的要求较为严格。当然, 本文的约定不是绝对的。

## 参 考 文 献

- 1 吴开统, 等. 地震序列概论. 北京大学出版社, 1990.
- 2 周惠兰, 等. 地震震型判断方法探讨. 西北地震学报, 1980, 2 (2).
- 3 谷继成, 等. 论地震活动性的定量化. 地震活动度. 中国地震, 1987, 1 (3).

## DIFFERENTIATE THE TYPES OF SEISMIC SEQUENCES AT EARLY STAGE WITH THE SEISMICITY'S VARYING CHARACTER

XU Changhui

(Seismological Bureau of Weifang City, Weifang 261041)

Zhou Cuiying Wang Hongwei

(Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250021)

### Abstract

The paper has studied the seismic sequences of magnitude 6 and above in China from 1966 to 1991 and we have found the seismicity at the early stage (3—7days) follows the following formula:

$$\ln S = a - K_s T$$

Where S stands for the seismicity, being the function of T; T stands for the time measured by day; a and  $K_s$  are constants. Resolve the constant  $K_s$  with least square method and differentiate the types of the seismic sequences with it. A sequence with  $K_s \geq 0.145$  belongs to the type of main earthquake, and a sequence with  $K_s < 0.145$  belongs to the type of swarm. Comparing the results with the traditional differentiating results, we have found that about 86 per cent of sequences belong to the same one of the two types in the two ways. This indicates that the  $K_s$  may be a better index to differentiate the type of a sequence at the early stage and we can use it to predict the seismic tendency after a strong shock.

**Subjective words:** seismic sequence; sequence analysis; least square method