

闽、赣地区小震群性质探讨

彭美凤 郭友发

(福建省地震局)

提要 本文运用地震频度衰减系数 h 值、震群能量释放均匀度 u 值、震群归一化熵值 K 等地震活动参数的统计分析,研究了长汀震群以及闽赣地区其它小震群的特征,认为长汀震群是一次无前兆性质的正常地震活动,而龙南震群是一次前兆性震群。

关键词: 震群 地震活动参数 熵

一、引言

自从1977年爱维逊在研究新西兰和美国加州部分地震活动图象后,提出前兆震群序列的概念,国内外对这方面的研究颇为活跃。我国的刘正荣、陆远忠等利用地震学的地震频度衰减系数 h 值,震群能量释放均匀度 u 值,震群归一化熵值 K 来判断地震序列是否具有前兆性质。他们研究了大华北地区上百次的震群例子,得到了很有价值的信息。这些研究成果促使地震预报研究从定性描述向定量研究转化。本文分析了闽赣地区发生的长汀、龙南等震群特征,并寻找其对应中强以上地震的关系,期待今后在预测预报该区地震活动中能有一定启示。

二、资料的选取

关于震群,目前尚无一个统一的严格定义。本文除参照文献^[1]外,还考虑研究区域基本属少震区,中强以上的地震仅发生在几条主要的断裂带上,因此,本文选取的震群一般满足如下规定:

(1) 地震序列的震中变化在20公里(沿断裂带上可小于50公里)为半径的圆面积内,最大日频次 ≥ 3 次,总频次 ≥ 6 次。最大地震震级 $M_L < 5.0$ 级。

(2) 在震群开始前和结束后连续15天内未记录到 $M_L \geq 0.8$ 级的地震,则以第一个地震的所在日为震群序列的起始日,以最后一个地震所在日为震群的终止日。

(3) 震群发生后,在相对较短时间(一般3年内),在与发震位置有关的构造带上发生了 $M_L \geq 5.0$ 级地震,可以认为是震群所对应的中强震,则震群属前兆震群类型,无震对应的震群为正常震群。

我们收集了闽、赣地区地震台网建立以来所发生的震群,除去次数较少,无统计意义的,共有六次震群,一次余震序列作为本文研究对象,如表1所列:

表1 震 群 目 录
Table 1 The catalogue of earthquake swarms

震群名称	发 震 时 间 年·月·日	最 大 地 震 参 数			地震次数	资料来源
		φ°	λ°	M_L		
龙 岩	1975.5.4—5.9日	24°48′	117°06′	3.3	33	东部目录
漳 州	1975.5.23—5.24日	24°36′	117°38′	2.5	86	同 上
华 安	1976.1.7—4.4日	24°48′	117°30′	3.3	186	同 上
永 安	1981.12.29日—1982.2.19日	25°36′	117°06′	3.9	68	同 上
龙 南	1985.6.16—8.12日	24°42′	114°48′	4.0	101	江西省目录
寻乌(余震)	1987.8.31—10.13日	25°01′	115°37′	4.7	140	福建省目录
长 汀	1988.8.3—12.26日	25°54′	116°25′	3.9	493	同 上

(除长汀外,地震次数均为 $M_L \geq 1.0$ 级地震)

三、地震活动参数的统计分析

1. 应变能释放特征

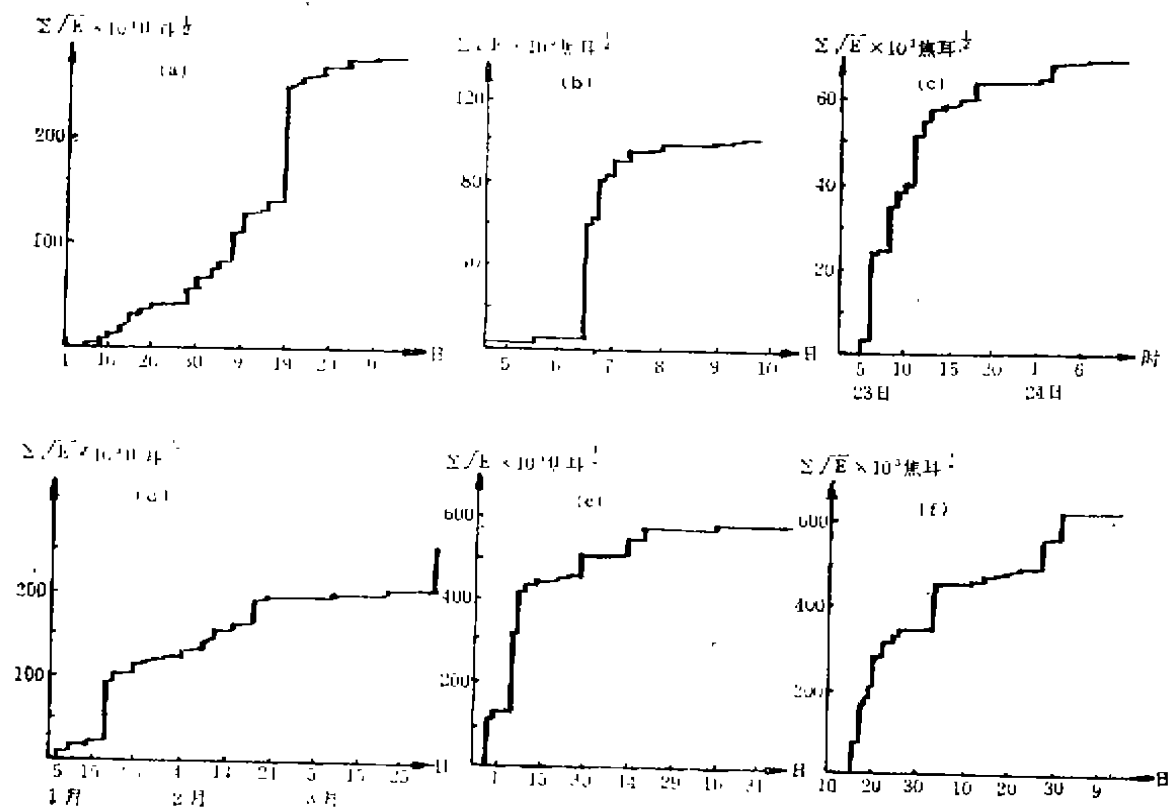


图1 应变能释放曲线

Fig. 1 Release curves of strain energy

a. 长汀震群; b. 龙岩震群; c. 漳州震群; d. 华安震群; e. 永安震群; f. 龙南震群。

研究上述震群的应变能释放规律,可以看出它们各有差异,释放率有的较为均匀,有的呈突发的脉冲式释放(图1)。图1中,曲线a为长汀震群,其形态呈非线性,不能用统一的线性公式拟合整条曲线。曲线可分四段分述:8月16日前线性均匀释放,8月17日至30日近水平的低释放,而9月1日至20日呈加速释放,曲线指数上升,最后逐渐衰减而结束,曲线又近水平。全过程为线性—水平—加速—衰减(结束)。对比其它震群,如b、c、d、e、f曲线,较为均匀的仅有龙南震群。对震群应变能释放方式的定量描述,可采用下述u值。

2. 震群能量释放均匀度u值

u值是表征震群序列释放应变能方式的物理量,称为能量释放均匀度^[1],定义u值为:

$$u = \frac{T_{0.9}}{T}$$

即一个震群序列释放90%的应变能所需要的最短时间 $T_{0.9}$ 与全序列所持续的时间 T 之比值。根据华北震群的统计分析,一般 $u > 0.5$ 可作为前兆震群的定量判据。我们在应变释放图上分别计算各次震群的u值。如长汀震群持续146天,积累释放应变能约 292×10^3 焦耳^{1/2},其90%的应变能释放的最短时间从图中量出仅需49天,则计算其 $u = 0.34$,同理求出其它震群u值,按上表顺序依次为0.20、0.33、0.86、0.45、0.76。

3. 震群特征量—归一化熵值K

文献^[2]运用耗散结构理论,将大地震的孕震过程看作为一个复杂的开放系统,引用熵的概念来探讨其发展演变特征,定量描述大震前地震活动的有序度。类似于信息熵,按地震活动时间、空间和强度分布,分别定义相应的归一化地震活动熵。作为一个特殊情况,文献^[2]还引入震群序列能量分布的归一化熵值K,定义:

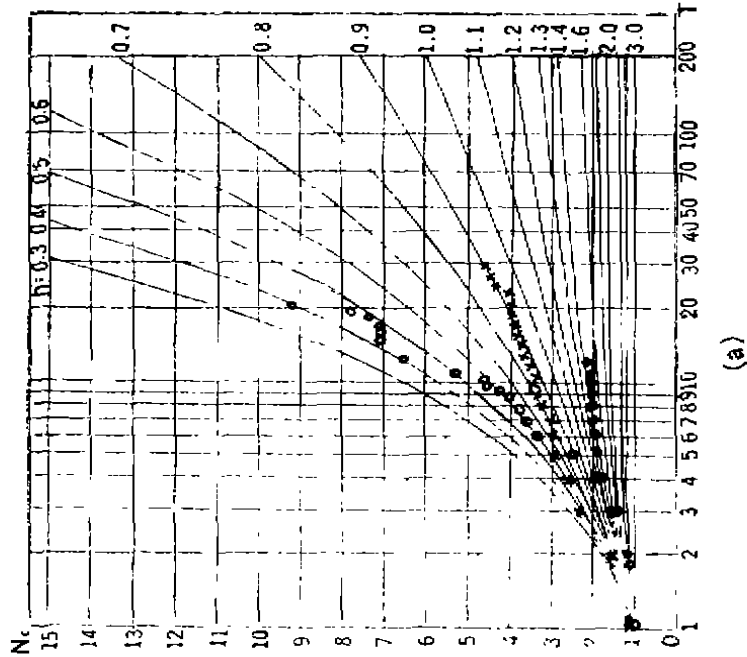
$$K = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i / \log_2 N$$

$$\text{其中: } P_i = E_i / \sum_{i=1}^N E_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

i为按地震震级由大到小排列的顺序,与上述的u值不同,它是描述震群序列中各次地震能量分配的均匀度。我们把长汀震群的地震由大至小排列,并取个数 $N = 5$,即3.9、2.9、2.9、2.8、2.5。按上述K值公式求得 $K = 0.16$,其它震群K值依次为:0.42、0.83、0.65、0.75、0.86。华北震例表明一般 $K \geq 0.8$ 的震群后,在一定时空范围内,强震发生的概率将会增加。

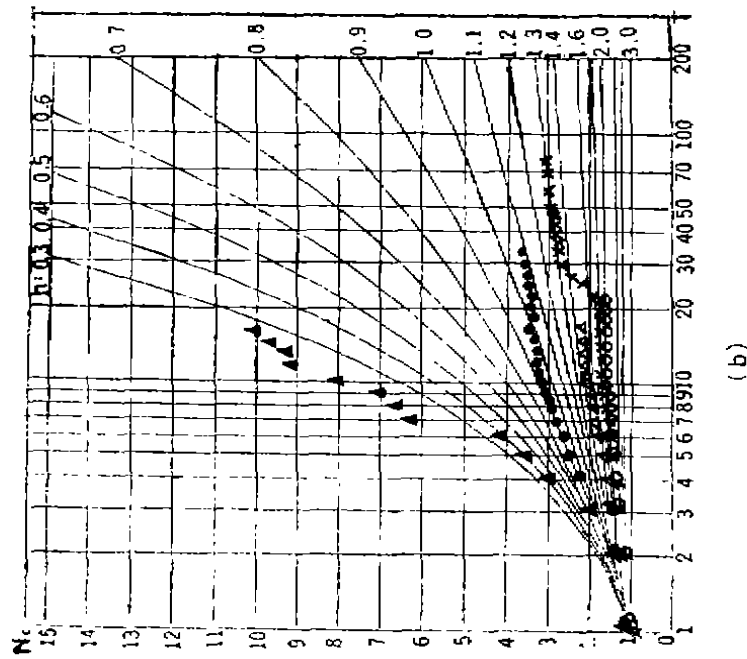
4. 地震频度衰减系数h值

运用地震频度衰减系数h值^[3](h值为公式 $n(t) = n_1 t^{-h}$ 的指数)来识别地震系列是前震还是余震,已往在地震预报中得到广泛的肯定。在华南地区研究过的震例中,这种方法有较好的适用性,尤其对余震序列的预测,如1918年南沃强震^[4]、广西天峨、江西龙南^[5]、寻乌等中强震;以及一些小震群均符合 $h < 1.0$ 为前震序列, $h \geq 1.0$ 为余震序列的规律。



(a) 长汀震群

- 8月31日2.8级后h值;
- x 9月7日2.9级后h值;
- 9月18日3.9级后h值;



(b) 其它震群

- 寻乌余震序列;
- x 华安震群;
- Δ 漳州震群;
- 龙岩震群;
- ▲ 龙南震群;

图2 归一化累积频度曲线
Fig. 2 Normalized accumulative frequency curves

我们利用h值对长汀震群进行震情趋势预测,效果较好。如图2(a)中分别为8月31日2.9级、9月7日2.9级以及9月18日3.9级地震后的h值曲线,前两次地震后h值分别为0.4和0.9,均小于1.0,表明有更大震级的地震发生,结果于9月18日发生3.9级地震,其后又计算h值为1.4。表明再发生的地震将是小于3.9级的余震,用公式^[3]: $M_m = \frac{1}{b} \log(1 + bN \ln 10) + M_1 - \frac{1}{2b} \log(1 + b \ln 10)$ 求得最大的余震级 $M_m = 3.16$ 。再按公式

$t_e = \left(\frac{n_1}{h-1} \right)^{\frac{1}{h-1}}$ 估算, $M_L \geq 2.0$ 级的余震持续时间 $t_e = 56$ 天,即至11月13日。验证结果以11月10日发生一次2.6级地震后,再无 $M_L \geq 2.0$ 级地震发生。可见,利用h值监视长汀震群的趋势也是一次较成功的例子。其它震群最大震级地震发生后求得的h值,如图2(b),除龙南震群 $h < 1.0$ 外,其余均为 $h > 1.0$ 。

5. 震源状况

闽赣地区发生的震群,普遍具有震中集中,震源浅、P波初动方向稳定等特征。根据长汀震群3.9级地震P波初动,求出其震源机制,并综合现场宏观调查结果,判定其为走向北西—南东的右旋走滑错动,P轴方位优势分布呈NW—SE,这与本区各次震群的最大地震断层面解^[10]较一致(图3)。由此可见,本区震群的发生是受统一的应力场控制。

四、震群性质

上述对震群序列的时空强特征的统计结果,列入如下表2中:

分析表2数据,并参考我国华北等地区前兆震群对应值,我们可以得到如下几点认识:

表2 震群活动参数统计值

Table 2 Statistic value of active parameter of earthquake swarms

数 值 参 数 震 群	u值	k值	b值	b值	P波初动 方向优势率	对应地震	震群性质
长 汀	0.34	0.16	1.4	0.98	100%	无	正常震群
龙 岩	0.20	0.42	1.1	0.78	100%	无	正常震群
漳 州	0.33	0.83	1.5	1.22	98%	无	正常震群
华 安	0.86	0.65	1.3	0.90	紊乱	无	正常震群
永 安	0.45	0.75		1.13	100%	无	正常震群
龙 南	0.76	0.86	0.2	0.5	90%	寻乌5.7级 震 群	前兆震群
寻乌(余震)			2.0	0.67	94%	宝震序列	
前兆震群参考值	≥ 0.5	≥ 0.8	< 1.0	低值	优势率高		

①长汀震群各统计值均不属前兆震群参考值, 因此, 认为其后较短时间该区不会对应发生中强以上的地震。该震群属于正常震群。

②与长汀震群不同, 龙南震群各参数值均属前兆震群值, 即 $u \geq 0.5$, $k \geq 0.8$, $h < 1.0$, b 值为低值等, 实际对应有1987年8月寻乌发生的5.7级、5.2级、5.0级中强震群, 为前兆震群。

③其它震群的活动参数值大多数属非前兆震群值, 实际也无中强以上地震对应。因此, 认为是正常震群。

④从表中分析各活动参数值与震群性质的对应关系, h 值最佳, u 值和 k 值次之, 初动分布优势率最差。

五、讨 论

从上述的研究中, 存在如下二个值得探讨的问题:

(1) 与多数震例不同, 闽赣震群的地震P波初动一致, 震源稳定, 并不表明该震群或地震序列具有前兆性质。可能与震群的发震机理有关, 多数发生在两条或两条以上断裂交错处的震群, 其机理可能有两种: ①在大区域应力场的作用下, 还未能引起某一地点应力的

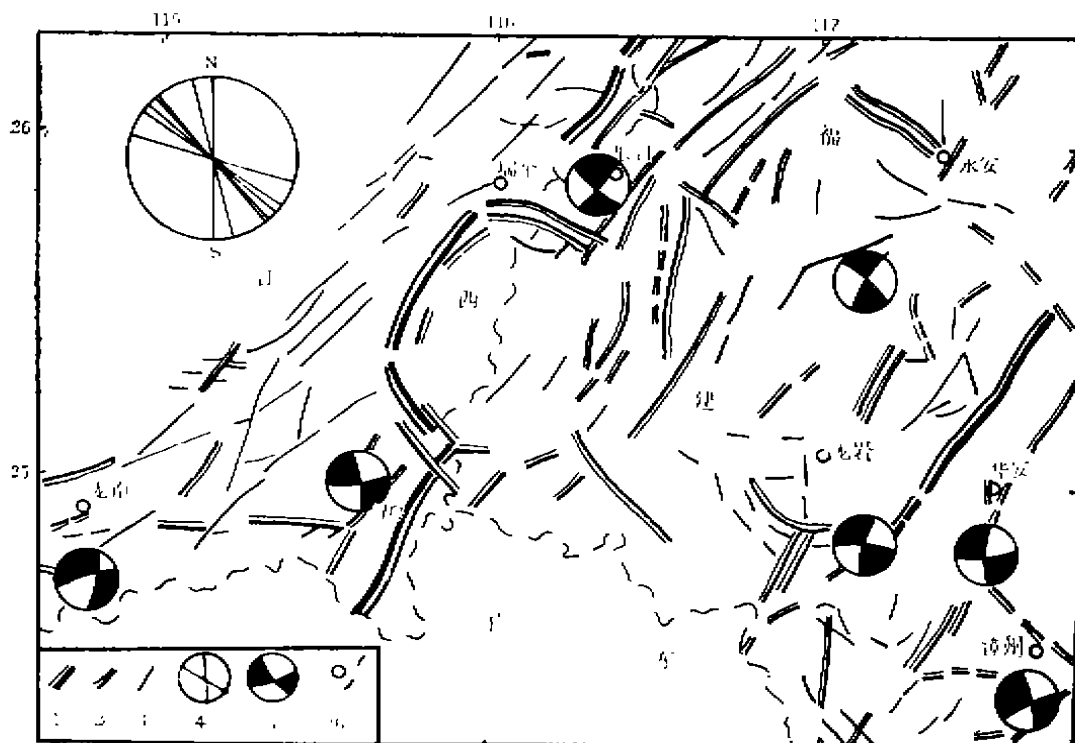


图3 断裂构造带与地震震源机制

Fig. 3 Fault zone and source mechanism of earthquake

1. 主干断裂 2. 一般断裂 3. 活动性不明断裂 4. 主压应力轴方位 5. 震群最大地震机制 6. 地名, 省界

度集中前,首先通过构造薄弱的环节,即地块破碎、应变不易集中的部位(如上述断裂交汇处),先以小震的形式释放应变能。这种释放并不足以改变原有应力场方位,因此,小震的P波方向,震源错动方式保持不变。②发震区受地幔内岩浆活动的影响,使地壳受到一种向上的压力,小破裂引起的地震就类似爆破机制,初动表现向上,闽西南及赣南地区地热分布普遍,地下温泉点多,与震群中地震P波初动向上的优势分布可能有其内在联系。

(2)龙南震群为寻乌中强震群的“前兆”,从构造背景分析,是有其必然联系的。图3中有一组东西向分布的南岭构造带,通过赣南至寻乌,与北东向的河源—邵武断裂带及环状构造相交错。可以推测由于构造之间的相互牵引作用,使该区任何一处的地壳应力的释放或积累,都有可能引起其它地点的应变加速积累或减弱。从断裂与地震的关系分析,地震往往发生在断裂的端部或不同方向断裂的交汇部位,那是因为这些部位有阻挡或闭锁应力扩展的作用,应力的调整受到河源—邵武断裂以及环状构造的阻挡,引起寻乌,会昌一侧的应变加速集中积累,导致1987年寻乌发生中强震群。长汀震群发生后,同样会引起应力的重新调整,但,因为震群的统计特征表明其无前兆意义,可能意味着这一带易发生中强以上地震的构造部位,如瑞金、宁化等处的应变不是加速积累,而是相对减弱。因此,长汀震群后该区一般不会有地震与其对应。当然,这一判断还需在今后的地震活动中验证。

参 考 文 献

- (1) 击远忠等,一个判断震情的指标—震群u值,地震学报,增刊,1984。
- (2) 朱传镇等,熵的原理和地震活动研究,地震研究, Vol. 11, No. 6, 1988。
- (3) 刘正荣,地震频度衰减预报的工作细则,地震, 1期, 1984。
- (4) 彭美凤,东南沿海大震一例探讨,地震研究, Vol. 11, No. 3, 1988。
- (5) 赵毅等,广东及其邻区近期地震活动特征的分析,地震监测与预报方法清理成果汇编,测震分册,地震出版社, 1989。
- (6) 柯龙生等,福建五次小震群的活动特征,地震, 3期, 1985。

A STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF SMALL EARTHQUAKE SWARMS IN FUJIAN AND JIANGXI

Peng Meifeng Guo Youfa

(Seismological Bureau of Fujian Province)

(Abstract) In this paper, by using the statistics and analysis of the earthquake activity factors, including the seismic frequency attenuation coefficient H values, the average U values of earthquake energy release, and earthquake swarm normalized entropy K values etc, the characteristics of the Changting earthquake swarms and other swarms in Fujian and Jiangxi has been studied. It has determined that the Changting earthquake swarm is a normal earthquake activity of no earthquake premonitory, while the Longnan earthquake swarm is a swarm that has premonitory.

Key words, Earthquake swarms; Parameter of earthquake activity; Entropy