

应用 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线进行中期地震预报的研究

宋俊高

(上海市地震局, 上海 200062)

陆远忠

(国家地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要 本文分析了我国1900年以来 $M_s \geq 7.0$ 级地震前与断层面总面积有关的参量 $\Sigma E^{2/3}$ 随时间的变化, 探讨了运用 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线进行中期地震预报的可能性。通过分析某一地区历史地震的 $E^{2/3}(t)$ 曲线, 可以认识这一地区在过去若干年内地震的活动情况, 并由此判断该区未来几年到几十年内地震活动的总状态; 还可以根据 $E^{2/3}(t)$ 曲线外推估计一个地区目前地震活动的可能强度。本文对 $E^{2/3}(t)$ 曲线的基本形态作了粗略的分类, 并试图对一个地区历史地震系列的 $E^{2/3}(t)$ 曲线, 用灾变论的观点确定该曲线的灾变条件和时间, 以建立一种可应用的地震预报方法。

关键词: 大震 地震能量 中期预报 预报判据 灾变理论 断层总面积

1 引言

与地震波能量 E 有关的一些参量已作为地震活动性的指标广泛应用于地震预报中, 例如根据某区域各次地震的能量 E 、 $E^{1/3}$ 、 $E^{2/3}$ 以及 $E^{1/2}$ 等, 或它们的累积值随时间的变化可以分析地震活动趋势。上述这些参量有其较为明确的物理意义, 它们分别与地震能量本身、发震断层长度、发震断层面积以及地震前积累的应变有关。文献[1]将 $E^{2/3}(t)$ 应用于一定区域内短期(或短临)地震预报的研究, 并取得了较好的效果。在一个较长的地震活动期内, 一个地震活动区域内较大地震的发生是相互联系的, 可能有一个总体的孕育和发展过程, 因而可以把一个活动期内的地震作为一个统一的地震系列来考虑。本文在上述研究基础上, 试图将 $E^{2/3}(t)$ 曲线应用于某一个地区的历史地震系列, 对研究区域内的地震趋势作中期的回顾性预报, 并根据灾变论确定曲线的灾变条件和时间, 以建立一种实用的地震预报方法。

2 大震前 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线的基本特征

众所周知, 地震断层面积 S 是描述地震大小的物理参量之一, 它和地震能量 E 之间有如下关系:

$$E = \frac{C}{2\mu} \Delta\sigma^2 S^{3/2}$$

式中 μ 是剪切模量, $\Delta\sigma$ 为应力降, C 反映了震源特征, 无量纲, 一般 C 值为 0.2—0.4。

当 $\Delta\sigma$ 近似为常数时, 就有

$$\Sigma S \propto \Sigma E^{2/3}$$

上式说明, 地震断层面(或地震断层面总面积)正比于地震能量的2/3次方(或地震能量的2/3次方之和), 可以认为总的地震断层面随时间的变化可以反应该区破裂发展过程, 即可以反映地震孕育和发生过程。根据对一些震例的研究发现, 在大震前若干年断层总面积随时间变化曲线一般均有一个显著的峰值出现, 从而反映了大震前地震带上的地震活动性显著增高。本文用与 ΣS 有关的 $\Sigma E^{2/3}$ 参量作大震前的 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线, 来分析大震前 $\Sigma E^{2/3}$ 随时间的变化。

根据地震震级能量公式, 可以得到震级与 $E^{2/3}$ 的关系式

$$\lg E^{2/3} = M + 7.87$$

由上式计算 $E^{2/3}$, 并作出 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线。图 1 给出了 9 个地区的大震前震中附近区域地震的 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线图。从图 1 可以看出, 这些曲线大体可分为三种基本形态: (1) 曲线的外包络

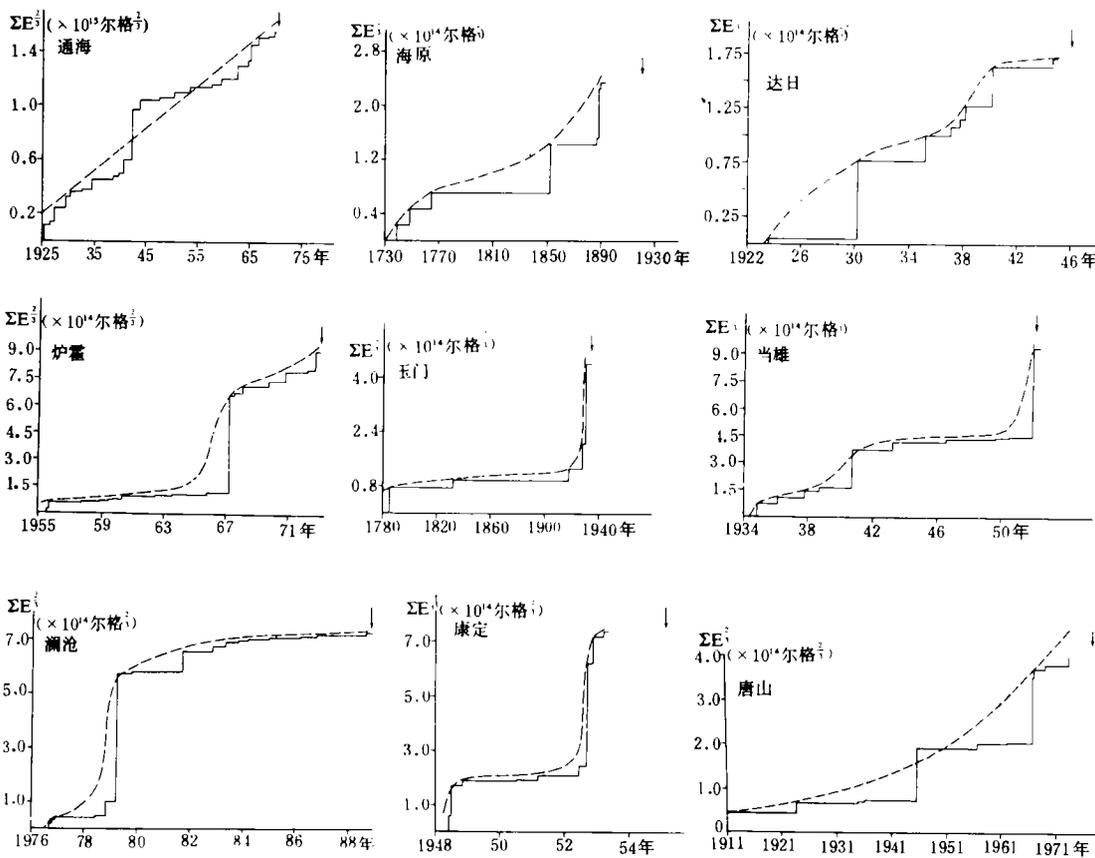


图 1 九个地区强震前的 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线

Fig. 1 Various curves of $\Sigma E^{2/3}-t$ before strong earthquakes in nine regions.

线近似为直线；(2)曲线弯向 $E^{2/3}$ 纵轴；(3)曲线弯向时间 t 横轴。这三种形态相当于能量释放均匀，地震活动水平随时间的变化出现增强以及减弱的状态，但在呈现减弱状态之前仍有一明显的增强阶段。

应用 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线可以分析地震趋势，也可以了解某区域的地震活动情况。如从云南通海地区的 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线可以看到，从 1925 年到 1970 年该地区的 $E^{2/3}$ 变化比较均匀，这一段时间内共发生 $M_s \geq 6.0$ 地震 8 次，除了 1942 年 2 月的 6.7 级地震以外，其它 6.0 级以上地震震级都相差不大，而且这些地震在时间分布上也比较均匀，因而该区域的 $E^{2/3}$ 曲线显示出平稳性，不过从 1962 年开始仍有一明显的加速过程。

唐山地区的 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线与通海地区有明显的不同。该地区的曲线外包络线基本上呈指数型变化，反映了该区的地震活动不断增强，地震能量的释放不断加速，最后发生了 1976 年 7 月的 7.8 级大地震。

由上面的例子分析得出，根据某地区历史地震的 $\Sigma E^{2/3}-t$ 变化曲线，可以认识这一地区在过去若干年内地震的活动情况，并由此进而判断该区未来几年到几十年内地震活动总的状态。但也应该注意到，有些地区在一段较长时间里地震活动按一定的速率进行，而之后的地震活动过程可能发生变化，则曲线的速率会发生改变，如云南澜沧地震就是一例(图 1)。

应用 $E^{2/3}$ 曲线还可以估计某一地区未来地震强度。其方法是根据现有曲线进行外推估计目前所“积累”的 $E^{2/3}$ 量值，这与用 $\Sigma \sqrt{E}$ 曲线外推地震强度基本类似。这种外推法一般只能给出量级范围，如 7 级以上或 7.5 级以上等。然而对于有些地区的 $E^{2/3}$ 曲线，例如云南澜沧地区，根据该地区的曲线用外推法判断未来地震趋势比较困难。文献[1]根据中强震前几年内地震系列的 $E^{2/3}$ 曲线的 4 次多项式拟合曲线，用灾变论方法计算未来中强震的震级和发生时间。本文试图将该方法应用于历史地震资料，如果将这种方法应用于象云南澜沧地区那样的 $E^{2/3}$ 曲线，也许会有助于对未来地震趋势的判断。

3 $E^{2/3}$ 曲线灾变点的确定

根据灾变论的观点，对一个地区的地震系列，我们设位函数

$$f(t) = \sum_{i=1}^n E_i^{2/3}(t) \quad (1)$$

用以代表区域中地震断裂发展演变的过程，式中 i 是求和的离散序号。利用位函数 $f(t)$ 的变化和灾变条件的概念可以预测未来强震发生的时间和震级。

将 $f(t)$ 展成泰勒级数并取前 4 项：

$$E^{2/3}(t) = f(t) = a_3 t^4 + a_4 t^3 + a_3 t^2 + a_2 t + a_1 \quad (2)$$

拟合以上多项式中的各系数值，文献[1]采用的是 Household 方法，而本文采用的是全主元高斯消去法[2]。在实际工作中可根据地震能量 E ，使差值

$$\delta = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{i=1}^n E_i^{2/3} - \sum_{i=1}^i E_i^{2/3} \right]^2 \quad (3)$$

取极小[3]。

根据极值原理，确定多项式 $f(t)$ 的系数 a_i 。通过解正规方程可求得 $f(t)$ 的系数。

$$\sum_{j=1}^4 a_j S_{k+j-1} = T_k \quad (k = 1, 2, 3, 4)$$

其中

$$S_k = \sum_{i=1}^n t_i^k, T_k = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^j E_i^{2/3} \right) t_j^k \quad (4)$$

按文献[1]中的变换,可将(2)式变为

$$Z^3 + AZ + B = 0 \quad (5)$$

求解(5)式得到的 Z_0 ,即为(5)式的极值点(要求 Z_0 必须大于0)。然后再求 Z_0 点的曲率,如果曲率小于0,即

$$\frac{\partial^2}{\partial Z^2} (\Sigma E^{2/3}) < 0 \quad (6)$$

则表示断层面积之和在该时刻 T_{\max} (相当于 Z_0 点)后变小,这意味着灾变发生。 T_{\max} 即为灾变时间或大震危险时刻,由其相应的 $\Sigma E^{2/3}$ 可求得震级。

由于拟合时间曲线 $f(t)$ 会有一定的误差,为改善地震震级和危险时段的预报效果,在理论计算得到的预测震级 M_c 及预测时间 T_c 与实际震级 M 及时间 T 之间建立以下关系式:

$$M = K_m M_c$$

$$T = K_t T_c$$

根据全国1900年以来发生的十几次7级以上地震的震例,可计算得出各自相应的 K_m 和 K_t ,然后用下列回归方程求得实际预报时的 K_m 和 K_t :

$$K_m = \alpha M_c^2 + \beta T_c^2 + \gamma M_c + \tau T_c + \omega \quad (7)$$

$$K_t = \lambda M_c^2 + \mu T_c^2 + \epsilon M_c + \eta T_c + \zeta$$

采用多元线性回归的方法拟合得到 K_m 与 K_t 等式中的10个系数,并进行震级和时间的回溯性检验,结果与实际发震情况基本上是吻合的(表1)。除了对12次7级以上地震震例作了检验外,用此方法还对5个无7级地震的区域作了计算。结果表明,这5个区域在近期无地震危险性存在,这与人们对这些区域的地震活动性的分析基本上是一致的。

4 讨论和结语

(1)应用与断层面面积有关的地震系列 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线,可以了解一个地区历史地震活动情况,并由此判断该地区未来若干年内地震活动的总状态。还可根据 $\Sigma E^{2/3}-t$ 曲线外推估计某地区目前地震活动的可能强度,这给未来地震震级和时间的预报提供了可靠的依据。

(2)本文根据地震断层面积和地震能量之间的关系,采用一定的数学表达式,给出了与地震能量有关的函数式,利用这一关系式,可以判断前震系列,对中强震进行短期预报^[1],并且可以推广到利用历史地震资料,对某一地区作地震危险性估计和强震的中期预报。从本文给出的对十几次强震震例的计算结果来看,用这种方法对地震趋势作中期回顾性预报的效果较好,表明这种方法可能有其一定的优越性。

(3)本文主要是对发生过7级以上强震的地区运用此灾变方法作中期回顾性地震预报,而未对6.0—6.9级地震的地区进行这一工作。为了作好预测,还应考虑区域的地震地质背景,历史上强震发生的免疫性和重复性以及长期预报中地震危险性分析的结果,从而确定某地区中期预报的强震是在7级以上还是6.0—6.9级范围内,从而采用不同的回归系数得到 K_m ,以求出精确的震级。

(4)运用本文的方法作中期预报时,还需要与其它地震学方法,如孕震空区、地震条带等

结合起来,综合分析后给出可靠的地震预报结果。

参考文献

- 1 Liu D W, Wang J Y and Wang Y J. Application of catastrophe theory in earthquake hazard assessment and earthquake prediction research. *Tectonophysics*, 1989, 167 (2-4): 179-186
- 2 王林, 张晓卫. 微型计算机算法与程序(扩展 BASIC). 上海: 上海科学技术文献出版社, 1983
- 3 刘德贵, 等. FORTRAN 算法汇编(第二分册). 北京: 国防工业出版社, 1983

APPLICATION OF $\Sigma E^{2/3}$ -T CURVE IN MEDIUM TERM EARTHQUAKE PREDICTION

Song Jungao

(*Seismological Bureau of Shanghai City, Shanghai 200062*)

Lu Yuanzhong

(*Institute of Crustal Dynamics, SSB, Beijing 100085*)

Abstract

Some parameters related to energy of seismic waves E are applied extensively to earthquake prediction as criteria of seismicity. In general, temporal variation of total areas of seismic faults ΣS is used for earthquake prediction. In this paper, we will use the parameter $\Sigma E^{2/3}$ related to ΣS to plot the curve of $\Sigma E^{2/3}$ -t and analyse its temporal variation before a large earthquake. Analysing the curves of $\Sigma E^{2/3}$ -t before $M_s \geq 7.0$ earthquakes since 1900, we obtain that the seismicities in past years in a region are known by the $E^{2/3}(t)$ curve of historical earthquakes in the area, and from this the whole state of seismicity in the region from a few years to a few decades in future is estimated; the possible magnitude of recent seismicity in the region may be extrapolated and assessed from the curves. Also the basic shapes of $E^{2/3}(t)$ curves are classified roughly. In this paper, the catastrophe condition and time of the $E^{2/3}(t)$ curve of historical earthquake series in a region are determined from view of catastrophe theory, and the mathematical and physical methods for earthquake prediction are found.

Key words: Macroquake, Seismic energy, Medium-term prediction, Catastrophic theory, Prediction criteria, Total area of fault