

用虫口方程估计b值范围

众所周知, 蕴震系统是一个复杂的非线性的耗散大系统, 也就是说它里面一定存在着正反馈和负反馈的共同作用, 单纯的正反馈或负反馈机制很难反映它们的变化。对于地震来说, 如果有利于地震的因素占据了主导地位, 地震将发生; 如果抑制地震的因素上升到主导地位, 蕴震系统将解体。

1. 建立地震耗散结构方程

地震的频度—震级关系式为

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

震级与能量的关系式为

$$\log E = 11.8 + 1.5M \quad (2)$$

式中E的单位是尔格。震级为M的地震总能量 $E_m = NE$, 则

$$\begin{aligned} \log E_m &= \log(NE) = \log N + \log E \\ \log E_m &= (11.8 + a) + (1.5 - b)M \end{aligned} \quad (3)$$

设 $\alpha = 11.8 + a$, $\beta = 1.5 - b$, 则

$$\log E_m = \alpha + \beta M \quad (4)$$

整理(4)式得:

$$\frac{dE_m}{dm} = \beta \cdot e_{\alpha} 10 E_m \quad (5)$$

从(5)式可看到, $\beta > 0$ 时为正反馈机制, $\beta < 0$ 时为负反馈机制, $\beta = 0$ 时是无反馈机制。由于存在协同和竞争, 所以(5)式应加一抑制项, 即 CE_m^2 , 其中C为常量。则

$$\frac{dE_m}{dm} = \beta e_{\alpha} 10 E_m - CE_m^2 \quad (6)$$

人们通常建立的虫口方程表示E随时间的演化, 在(6)式中E是m的函数, 我们建立的虫口方程则是 E_m 随m的演化方程。将(6)式过渡到离散坐标得^[1]:

$$\frac{dE_m}{dm} = E_{m+\Delta m} - E_m \quad (7)$$

其中 Δm 是m的增量。将(7)式代入(6)式并整理得:

$$E_{m+\Delta m} = (1 + \beta e_{\alpha} 10) E_m - CE_m^2$$

则:

$$\frac{C}{1 + \beta e_{\alpha} 10} E_{m+\Delta m} = (1 + \beta e_{\alpha} 10) \frac{C}{1 + \beta e_{\alpha} 10} E_m \left(1 - \frac{C}{1 + \beta e_{\alpha} 10} E_m \right)$$

$$\text{设 } e_{\alpha} = \frac{C}{1 + \beta e_{\alpha} 10} E_m, \quad e_{\alpha+\Delta m} = \frac{C}{1 + \beta e_{\alpha} 10} E_{m+\Delta m}$$

$$\text{则: } e_{\alpha+\Delta m} = \mu e_{\alpha} (1 - e_{\alpha}) \quad (8)$$

(8)式是标准的虫口方程。其中

$$\mu = 1 + \beta e_{n10} = 1 + (1.5 - b) e_{n10} \quad (9)$$

2. b值范围的讨论

(8)式是May的著名生态模型。研究发现这种非线性模型有多种形态〔2〕:

$$\begin{aligned} 0 < \mu < 1, & e_n \rightarrow 0; \\ 1 < \mu < 3, & e_n \rightarrow 1 - 1/\mu; \\ 3 < \mu < 3.45, & e_n \text{ 在 2 个数值上来回跳动}; \\ 3.45 < \mu < 3.54, & e_n \text{ 在 4 个数值上来回跳动}; \\ \dots\dots\dots & \\ \mu > 3.57, & e_n \text{ 成为混沌态。} \end{aligned}$$

根据上述数据可以认为: $0 < \mu < 3$ 是定常吸引子, $3 < \mu < 3.57$ 为周期吸引子, $\mu > 3.57$ 为奇怪吸引子。

将(9)式中的 μ 的变化换成b值的变化可得到下列结果:

$$\begin{aligned} 0 < \mu < 1 & \Leftrightarrow 1.5 < b < 2.0, e_n \rightarrow 0; \\ 1 < \mu < 3 & \Leftrightarrow 0.63 < b < 1.5, e_n \rightarrow 1 - 1/\mu; \\ 3 < \mu < 3.45 & \Leftrightarrow 0.44 < b < 0.63, e_n \text{ 为 2 点周期}; \\ 3.45 < \mu < 3.54 & \Leftrightarrow 0.40 < b < 0.44, e_n \text{ 为 4 点周期}; \\ \dots\dots\dots & \\ \mu > 3.57 & \Leftrightarrow b < 0.38, \text{ 进入混沌区}; \\ 3 < \mu < 3.57 & \Leftrightarrow 0.38 < b < 0.63, \text{ 为周期吸引子。} \end{aligned}$$

因为 $e_n \rightarrow 0$ 不是我们希望的,所以b值可以大致分为:

$$\begin{aligned} 0.63 < b < 1.5 & \text{ 为定常吸引子}; \\ 0.38 < b < 0.63 & \text{ 为周期吸引子}; \\ b < 0.38 & \text{ 为混沌吸引子(奇异吸引子)。} \end{aligned}$$

从上面的数据可以看到:

(1) 蕴震系统由定常走向混沌时, b值是降低的, 即出现降维现象。

(2) 在蕴震系统走向混沌状态前, b 值在1.5~0.38之间变化, 这也符合我们通常统计的b值的取值范围。

(3) 根据郭增建先生的研究, 黄金分割的广泛意义远远未被揭示, 他在文献〔3〕中深入浅出地讨论了黄金分割在灾害科学中的意义, 指出当大小地震的数目比例b 值在0.38—0.6这两个黄金分割点处或其内, 大地震将发生。受此启发, 我们也发现b 值的取值范围被0.63(接近黄金分割点)和0.38分隔。0.63是定常吸引子与周期吸引子的界限, 0.38是周期吸引子与奇怪吸引子的界限。这些数据中一定蕴含着深刻和丰富的复杂大系统的内部信息。

许多前震—主震—余震型的地震, 其前震b值小于0.63, 而余震b值大于0.63, 如海城地震的前震b值为0.56, 余震b值为0.86。人们在进行b值的时空扫描时认为, b 值小于0.60为异常。这同我们的计算结果吻合, 因为当 $b < 0.60$ 时, 系统已从定常吸引子走向周期吸引子, 也就是说系统开始分叉, 这时地震就要发生了。

文献〔4〕做了唐山大震前华北及邻近地区的b值空间扫描, 指出唐山大震前低b值区($b < 0.60$)连成一片, 高度集中分布在唐山及附近地区, 有三个扫描窗口的b值甚至低于

0.50, 低 b 值区约有三万多平方公里, 唐山7.8级地震发生在低 b 值区的东北部。如果用本文提出的 $b < 0.63$ 为异常, 则异常区域的范围加大, 可靠性也增加了。

(青海省地震局 张晓东)

参 考 文 献

- [1] H. 哈肯, 协同学, 原子能出版社, 1984.
- [2] 陈颢, 分形与分维, 地震出版社, 1988.
- [3] 郭增建, 黄金分割数在灾害科学中的意义, 西北地震学报, Vol. 9, No. 4, 1986.
- [4] 黄德瑜, 强震前大范围地震活动性参数的时空扫描, 地震学报, Vol. 8, No. 8, 1981.

APPLICATION LOGISTIC FORMULA ESTIMATING SIZE OF SEISMOLOGICAL b VALUE

Zhang Xiaodong

(Seismological Bureau of Qinghai Province)

(上接第92页)

双态泊桑模型及其在地震危险性分析中的应用

申爱国 陈丙午

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

对地震事件的统计预报是地震危险性分析中的一项基本工作。因此, 近十几年来, 地震学和工程地震学方面的研究者们发展了多种预报地震的概率模型。但由于在这些模型中需要较多的参数, 因而大大限制了这些模型的应用。本文在前人工作的基础上, 提出了一种新的双态泊桑模型。本文提出的模型较目前人们所常用的平稳泊桑模型有所改进, 且方便、实用, 在一定条件下可转化为平稳泊桑模型。双态泊桑模型能较好地反映出地震活动的高潮期和低潮期, 因此, 在预测地震危险性时效果较好。本文还以海原断层为例, 用双态泊桑模型计算了未来50年内该断层对兰州市的影响, 并将所得结果与用平稳泊桑模型计算的结果进行了比较。