列建模

我们得到 $GMDH_5$ 模型，用此模型进行多步预报的结果由表 5 给出。

表 4　模型预报与实测值的比较

年	实测值	预报值
1981	6.9	6.8
1982	6.0	6.8
1983	6.7	7.1
1984	6.3	6.8
1985	7.4	7.0
1986	6.5	6.7
1987	6.3	7.1
1988	7.6	7.1
1989	6.7	7.1
1990	7.4	7.2

表5　模型预报与实测值的比较

年	实测值	预报值
1987	6.3	6.8
1988	7.6	7.3
1989	6.7	6.9
1990	7.4	7.0

从以上几个建模算例我们可以看到，应用 GMDH 方法进行地震非线性时间序列的建模，所得模型与实测值的拟合比较满意。用这些模型进行多步预报的结果表明，GMDH 模型具有一定趋势的预报能力，与震级序列的门限自回归模型的预报效果相当。从预报趋势上看，$GMDH_5$ 的结果最令人满意。

重正化群理论及其在地震预报中的应用

卢春生　白以龙

（中国科学院力学研究所）

重正化群理论和分形几何学几乎是在同一时期分别由威尔森和曼德尔布罗特（Wilson and Mandelbrot）创立的。两者的目的都是在变换观测尺度的基础上研究其不变的现象。所不同的是分形几何学以几何形状作为对象，而重正化群理论则以物理量作为重点。

重正化群理论的实质是通过改变粗视化程度的重正化变换来定量地获得物理量的变化。比如，在某种尺度下所测定的物理量为P，然后用比这个尺度大 2 倍的尺度进行重正化变换，变换后的物理量为 P′。则有

$$P'=f_2(P) \tag{1}$$

式中 f_2 表示 2 倍的重正化变换。将(1)式一般化可表示为：

$$f_a f_b = f_{ab} \tag{2}$$

需要指出的是，重正化群变换 f 不存在逆变换 f^{-1}，数学上把具有这种性质的变换称为半群。

重正化群理论已经成为处理临界现象最有力的工具。前面已经指出，地震与岩石断裂一样，都可视为一种临界现象。假设有一单位边长的正方体岩块，经过多次破碎，形成大小不同的岩石碎块。现假设经过一次破碎形成N块边长为1/a 的小的正方形岩块，依次类推，并且每次破碎的概率均相等，即每块经过下一次破碎形成N块的概率为P。N_m，N_{m+1} 分别表示经过m次、m＋1次破碎后的碎块总数，则有

$$\frac{N_{m+1}}{N_m}=NP+(1-P)=(N-1)P+1 \tag{3}$$

此时形成的碎块分布的分形维数显然为

$$D=\frac{\log(N_{m+1}/N_m)}{\log a}=\frac{\log[(N-1)P+1]}{\log a} \tag{4}$$

为了下面的分析方便，这里仅介绍一种最简单的破碎情况。假定经过一次破碎后形成8块的概率为P，这时 a ＝ 2 。由(4)式得

$$D=\frac{\log(7P+1)}{\log 2} \qquad (5)$$

下面进行 2 倍的重正化变换，为此必须对 $2^8=256$种状态进行分析。然后通过给定的破碎准则，建立起计算不动点的重正化方程。进行重正化变换可得：

$$P_m=3P_{m+1}^8-32P_{m+1}^7+88P_{m+1}^6-96P_{m+1}^5+38P_{m+1}^4 \qquad (6)$$

方程（6）给出的 P_{m+1} 与 P_m 的关系曲线即为重正化群中的流向图（如图所示）。令 $P_{m+1}=P_m$，解方程(6)可以得到，除 P ＝0，1两个稳定不动点外，$P_{m+1}=P_m=P_c=0.49$为不稳定不动点（即临界点）。

显而易见，当 $P<P_c$ 时，经过重正化变换，流向稳定不动点 P ＝0，表明岩体稳定即不会完全破碎；当 $P>P_c$ 时，经过重正化变换，流向稳定不动点 P ＝1，表明岩体破碎。由此可见，临界点 $P_c=0.49$ 可以视为衡量岩体稳定与否的特征参数。更为有趣的是，此时破碎所形成的碎块分布的分形维数为：

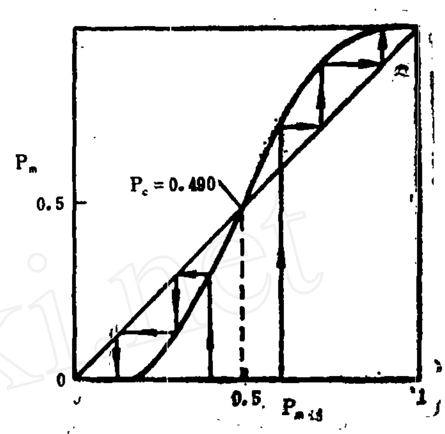

图 重正化群中的流向图

$$D=\frac{\log(7P_c+1)}{\log 2}=2.15 \qquad (7)$$

这与前面提到的月坑直径分布及岩石碎块的大小分布的实验结果（D ≈ 2 ）十分接近，表明此模型可适用于分析一大类自然界的破碎现象。

突变理论在地震成因及地震危险性与岩体稳定性评价研究中的应用

刘鼎文

（国家地震局地震研究所）

地震是一种非连续的突变现象，孕震系统是一个很繁杂的系统。这个系统是非线性的，甚至是高度非线性的。系统的过程可用非线性微分方程描述，非线性系统不同于线性系统的特点，其一是两个解的线性迭加一般不再是方程的解；其二是非线性体系可能有多个定态解（或周期解），其中有些是稳定的，有些是不稳定的。随着参数的变化，这些定态的稳定性会发生变化，出现分歧或临界现象。突变论是研究这种临界行为的有力工具，因为突变论通过剖分引理证明了系统结构的不稳定性并不取决于可能达成千上万的状态变量的总数 n，而只取决于极少数的 r 个实质性状态变量，r 等于描述系统的函数 f 的 Hessen 矩阵的余秩数，也等于函数 f 的余秩数。

汤姆（R. Thom）给出了余秩数小于等于 2，余维数小于等于 5 的所有11种初等突变，如余维数大于等于 6，突变类型是很多的，表明了宇宙万物的多样性，不过汤姆认为，对于突变论的应用来说，上述初等突变已够用了。

作者将地震发生的物理模式（IPE 模式）与A 3类尖点突变结合起来，创建了一种新的地震危险性判定方法，并以此为基础，提出了一种以物理模式为基础的统计预报方法。这种