第9卷 第4期 西北地震学报 Vol.9, No.4
1987年12月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Dec.1987

序列分析法在以震报震研究中的应用

钟廷姣 王振声
（国家地震局兰州地震研究所）

摘 要

本文利用文献〔1〕中给出的公式：

$q_{N+1}=a_1q_N+a_2q_{N-1}+a_3q_{N-2}+\cdots\cdots+a_pq_{N-p+1}$对甘肃地区的地震序列（M≥4.0）、南北带北段地震序列（M≥4.0）及全国的强震序列（M≥7.0）进行线性外推，预测未来某时段的震情，经检验，其效果是较好的。

一、前 言

近年来，数据统计方法已在我国地震预报的研究和应用中占有不可忽视的地位，特别是在中长期预报中取得了一定的效果。时间序列分析法属于数理统计的范畴，但又不是直接求出“事件”的概率分布解，而是直接求出事件的数值解。时间序列指的是：任一随机变量F，按其取值时间的先后次序排列起来，形如：f_1、f_2，……fn，便构成了一个时间序列{fi}，其中i＝1、2，……，n。

世界上任一事物都不是孤立的，彼此间都有一定的相关性。作者对地震序列的相关性进行了分析，解剖其内在联系，根据其规律性对序列进行外推，从而对未来地震趋势进行预测。

在序列提取中，作者不是直接采用震级量M，而是采用“$\sqrt[3]{E}$”（E表示能量）。因为在一般情况下$\sqrt[3]{E}$可作为应变的测度。另外，将$\sqrt[3]{E}$和lgE二者比较，随震级的增加，$\sqrt[3]{E}$的增加要快得多。当震级提高一级时，lgE只增加1.5，而$\sqrt[3]{E}$则增加三倍多。因此序列{$\sqrt[3]{E}$}可改善预测效果，提高序列的信噪比，突出大震，压抑小震。

二、计算方法

已知随机序列{fi}，i＝1，2，……，n，要求预测下一点f_{n+1}的值。一般情况，序列{fi}是不平稳的。将满足以下两条件的随机序列{fi}视为平稳序列：

（1）序列的均值$\overline{f}$与时间T无关，即均值为常数，不随序列长度的改变而改变。

（2）协方差（相关函数）R（K）＝$\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}f_if_{i+k}$只与时间距k有关。

设序列的均值为：$\overline{f}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}f_i$

取变换：$g_i=f_i-\overline{f}$，$i=1、2、3\cdots\cdots N$

对平稳序列$\{g_i\}$利用文献〔1〕中给出的外推模型：$g_{N+1}=a_1g_N+a_2g_{N-1}+a_3g_{N-2}+\cdots\cdots+a_pg_{N-P+1}$，　其中P为方程的阶，一般地，取$P\in〔N/10、N/3〕$，N为序列的长度，$a_1、a_2、a_3\cdots\cdots a_P$为待定系数，而且是下面线性代数方程组的解：

$$\begin{pmatrix} R(0) & R(1) & R(2) & \cdots\cdots R(p-1) \\ R(1) & R(0) & R(1) & \cdots\cdots R(p-2) \\ R(2) & R(1) & R(0) & \cdots\cdots R(p-3) \\ \vdots & \vdots & & \\ R(p-1) & R(p-2) & R(p-3) & \cdots\cdots R(0) \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \cdots \\ a_P \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} R(1) \\ R(2) \\ R(3) \\ \cdots \\ R(p) \end{pmatrix}$$

其中R（h）是序列$\{g_i\}$的h步相关函数，

$$R(h)=\frac{1}{N-h}\sum_{i=1}^{N-h}g_ig_{i+h}\quad h=o,\ 1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ P-1$$

用直接法求解方程，便可求得外推值g_{N+1}，进而得到预测值：$f_{N+1}=g_{N+1}+\overline{f}$。

本方法的基本思想是：对取定的序列求出预测值，再将求得的预测值与原序列的各项进行比较，找出最近的一项，则未来时间段的震情与此项所对应的时间段的震情接近。根据索取资料的统计区域可以确定未来地震发生的区域；依据提取序列的时间距ΔT（年）可以确定地震发生的时间，由求得的数值解确定震级。

三、应　　用

应用本文提出的序列分析法，对南北地震带北段、甘肃地区和全国七级以上的强震序列进行了分析。具体方法是，在时间段T内，取定时间距ΔT和震级下限M_0；在ΔT内，取$M\geqslant M_0$的地震，并将其转换成相应的$\sqrt[3]{E}$；设$f_i=\sqrt[3]{E}$，便可得到序列$\{f_i\}$（$i=1,2,\cdots\cdots n$），利用前面介绍的数学方法，对序列$\{f_i\}$进行内符检验和外推预测，其结果见表1—3。

结果表明，对于南北地震带北段、甘肃地区和全国大陆的强震序列，无论怎样划定统计区域，任取几种地震序列进行分析，内符检验结果基本上与实际情况符合。

从表1—3中可以看到，在所检验的15项中，其误差$|\Delta M_s|\leqslant0.5$的有10个，约占67%；误差为$0.5<|\Delta M_s|\leqslant1.0$的有5个，占33%。我们认为，若检验误差$|\Delta M_s|\leqslant0.5$，其效果是好的，若误差为$0.5<|\Delta M'|\leqslant1.0$，其效果是比较好的。由此可以看出，应用本方法对地震序列进行外推预测，其效果是好的。通过两年多的应用实践，我们认为，就统计预测的整体而言，本方法的可信度在70%以上。而且使用起来也十分方便，只要有一套地震目录数据库，有一套检索系统，就能迅速找出所研究区域的某一震级范围的地震目录，利用本方法的程序，通过计算机很快就可算出预测值来。

本方法用于三—五年的中期预报效果较好，用于一年左右的短期预测也是可行的。例

表1　　**全国七级以上的强震序列分析（M≥7.0）**

地区＼内容	提取资料的时间段	时间距 ΔT（年）	内符检验：检验项	计算值 $\sqrt[3]{E}$(尔格)1/3	观测值 $\sqrt[3]{E}$(尔格)1/3	误差 $\lvert\Delta M_s\rvert$
东部地区	1300—1949年	50	1850—1899	0.64×10^8 $M_s\doteq7.7$	0.48×10^8 $M_s\doteq7.5$	0.2
	1981—1977	10	1968—1977	0.71×10^8 $M_s\doteq7.8$	0.76×10^8 $M_s\doteq7.9$	0.1
南北地震带	1300—1949年	50	1900—1949	0.06×10^8 $M_s\doteq7.8$	1.5×10^8 $M_s\doteq8.5$	0.7
			1850—1899	0.42×10^8 $M_s\doteq7.4$	0.66×10^8 $M_s\doteq7.8$	0.4
	1920—1979年	10	1970—1979	1.24×10^8 $M_s\doteq8.3$	0.97×10^8 $M_s\doteq8.1$	0.2
西部地区	1810—1979年	10	1950—1959	1.46×10^8 $M_s\doteq8.4$	3.75×10^8 $M_s\doteq8.5$	0.1
			1970—1979	1.6×10^8 $M_s\doteq8.5$	0.54×10^8 $M_s\doteq7.6$	0.9

表2　　**南北地震带北段地震序列分析（M≥4.0）**

地区＼内容	提取资料的时间段	时间距 ΔT（年）	内符检验：检验项	计算值 $\sqrt[3]{E}$(尔格)1/3	观测值 $\sqrt[3]{E}$(尔格)1/3	误差 $\lvert\Delta M_s\rvert$
32°—41° 102°—107°	1921—1983年	8	1981—1983	0.2×10^8 $M_s\doteq6.8$	0.1×10^8 $M_s\doteq6.2$	0.6
			1978—1981	0.1×10^8 $M_s\doteq6.6$	0.11×10^8 $M_s\doteq6.2$	0.4
	1918—1983年	5	1979—1983	0.44×10^8 $M_s\doteq7.4$	0.21×10^8 $M_s\doteq6.8$	0.6
	1924—1983年	10	1974—1983	0.4×10^8 $M_s\doteq7.4$	0.6×10^8 $M_s\doteq7.7$	0.3

表 3　　甘肃地区地震序列分析（M≥4.0）

内容 / 地区	提取资料的时间段	时间距 ΔT（年）	内符检验：检验项	内符检验：计算值$\sqrt[3]{E}$(尔格)1/3	内符检验：观测值$\sqrt[3]{E}$(尔格)1/3	误差 $\lvert \Delta M_s \rvert$
东部地区 33°—38° 103°—108°	1954 | 198[illegible]年	1	1984年	0.3×10^{7} $M_s \doteq 5.1$	0.38×10^{7} $M_s \doteq 5.3$	0.2
			1985年	0.34×10^{7} $M_s \doteq 5.2$	0.48×10^{7} $M_s \doteq 5.5$	0.3
西部地区 37°—40° 97°—103°	1954 | 1985年	1	1984年	0.29×10^{7} $M_s \doteq 5.1$	0.38×10^{7} $M_s \doteq 5.3$	0.2
			1985年	0.33×10^{7} $M_s \doteq 5.2$	0.15×10^{7} $M_s \doteq 4.5$	0.7

如，我们应用本方法估计甘肃地区1986年无 6 级或6.5级以上的中强震活动（统计区域不包括青海的门源地区），实际情况证明这个估计是对的。

数理统计特别是时间序列分析，毕竟是一种数学概念，它依赖于已知的随机数据序列，它的概率密度分布函数也往往是未知的。由于各种因素所致，统计结果只能起到参谋作用。借助本方法的数值解，再结合其它方法或前兆手段的分析结果，可以对未来的地震趋势作出估计。

（本文1987年 2 月10日收到）

参 考 文 献

〔1〕钟廷姣、董淑芬，时间序列分析方法及其应用，地震危险性的判定与研究（南北地震带部分），地震出版社，待出版．
〔2〕南开大学数学系概率统计组，地震预报的统计数学方法，计算机应用与应用数学，No．3，1975．
〔3〕国家地震局分析预报中心，地震统计预报论文集，地震出版社，1982．

SEQUENCE ANALYSIS METHOD AND ITS APPLICATION IN EARTHQUAKE PREDICTION

Zhong Tingjiao and Wang Zhensheng
(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau*)

Abstract

It is better to forecast the occurrence of an event by using pure-linear extrapolated method if the event is a stationary stochastic process. We are certain that the historical earthquake sequence is frequently non-stationary, but this non-stationary stochastic process can be transferred into stationary one by mathematical processing. We take the sequence of stress variation, that is the cube root of the released energy of an earthquake, $\sqrt[3]{E}$, as seismic sequence.

In this paper, we forecast the seismic events of certain future period based on linear extrapolation of seismic sequences, which are $M \geqslant 4.0$ in Gansu province, $M \geqslant 4.0$ in the northern section of the North-South Seismic Zone and $M \geqslant 7.0$ in mainland China, respectively, using the expression of the reference 1:

$$g_{N+1} = a_1 g_N + a_2 g_{N-1} + a_3 g_{N-2} + \cdots\cdots + a_p g_{N-p+1}$$

And the result is satisfactory from the point of view of test.