第 24 卷 第 3 期
2002 年 9 月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 24 No. 3
Sept., 2002

江苏及邻区地震频次的 Hurst 指数分析

李 强, 徐桂明
(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要: 研究了将地震频次 Hurst 指数应用于江苏及邻区的地震预报问题. 结果表明, 对 1970 年以来发生的 5 级以上地震作回溯性预测检验得到的 R 值为 0.365, 异常开始一年内发生 5 级以上地震占报对地震数的 81.8%, 因而 Hurst 指数在该地区的地震预报中有较好的应用前景.

关键词: 地震预报; 地震频次; 赫斯特指数
中图分类号: P315.75 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-0844(2002)03-0247-04

0 引言

地震系统是一种复杂的系统. 近些年来, 人们对用传统的动力学理论去刻划这种复杂系统已越来越感到理论本身的局限性, 因而用非线性科学的理论去描述和研究它已成为热点. 地震活动作为地壳运动的一种形式, 具有两个基本特征: 一是系统具有耗散性; 二是系统具有突变性. 如果我们把孕震系统看作是由许多子系统构成的, 那么这些子系统在长时间演化过程中存在着合作现象(协同性). R/S 时间序列分析方法作为非线性时间序列分析方法之一于 1965 年由 Hurst 首先提出, 以后被很多人用来进行对分数布朗运动(FBM)及自然现象的自仿射分形研究. 由于地震活动在许多方面表现出自相似的分形特性, 因而R/S 时间序列分析方法也已被应用于地震活动性方面的研究. 本文使用R/S 分析方法, 研究了江苏及邻区地震频次时间序列的 Hurst 指数及H 值随时间的变化进程, 旨在探讨将地震频次 Hurst 指数应用于江苏及邻区的地震预报问题.

1 H 值的计算方法

Hurst 指数的计算方法及原理如下[1]: 考虑一个时间序列$\zeta(t)$($t=1, 2, \cdots$), 其均值为

$$<\zeta>_\tau = \frac{1}{\tau}\sum_{1}^{\tau}\zeta(t) \qquad t = 1, 2, \cdots \tag{1}$$

则累积偏差为

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^{t}(\zeta(u) - <\zeta>_\tau) \qquad 1 \leqslant t \leqslant \tau \tag{2}$$

极差为

$$R(\tau) = \max_{1\leqslant t\leqslant\tau} X(t, \tau) - \min_{1\leqslant t\leqslant\tau} X(t, \tau) \qquad \tau = 1, 2, \cdots \tag{3}$$

收稿日期: 2001-11-16
作者简介: 李强(1958-), 男(汉族), 浙江宁波人, 副研究员, 主要从事地震学和综合预报研究工作.

标准差序列为

$$S(\tau)=\left[\frac{1}{\tau}\sum_{t=1}^{\tau}(\zeta(t)-\langle\zeta\rangle_{\tau})^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \tau=1,2\cdots \tag{4}$$

以R/S 表示极差与标准差之比R (τ)/S (τ), Hurst 在分析R/S 的统计规律时发现存在着如下关系式:

$$R/S=(\alpha\tau)^H \tag{5}$$

式中:α 为统计常数, H 为 Hurst 指数. 对式(5)两边取对数有

$$\lg(R/S)=H\lg\tau+H\lg\alpha \tag{6}$$

由式(6)用最小二乘法计算可得到H 值. H 值可看作极差、标准差序列分形结构的维数.

在实际计算过程中, 需要固定 τ_{min}、τ_{max}, 对一个区域沿时间的进程滑动H 值, 以便定量地研究H 值随时间的变化. 从统计的角度讲, τ 值大, 样本多, 统计值可靠; 但从地震前兆识别及预报有效性来说, τ_{max} 不能太大. 从精度和实际资料来看, 对于地震数据的R/S 分析, 取 τ_3 ~ τ_{100} 比较合适[2,3].

2 Hurst 指数在江苏及邻区中强震的预报应用

选用江苏及邻区(30° ~36° N, 116° ~124° E)1970 年以来 $M_L \geqslant 2.0$ 的地震资料, 先将地震目录中 5 级以上地震的余震删除, 然后以窗长 60 天及 10 天一滑动计算其频次, 可得到江苏及邻区 2 级以上地震频次的时间序列. 用上述方法对地震频次时间序列计算其 lg(R/S)、lg τ, 及它们之间的关系, 并用最小二乘法算出其H 值. 在计算其随时间进程变化的过程中, 采用窗长为一年, 步长为一个月滑动计算, 计算结果见图 1.

从图 1 江苏及邻区 5 级以上地震与地震频次 Hurst 指数时间进程曲线之间的关系可以看出: 在弱震时段, H 值一般在 0. 87 以上背景上相对平稳变化. 根据自组织临界现象理论, 处在这种标度范围内的地震事件之间是彼此不相关的, 表明孕震系统的动力学行为相对稳定. 5 级以上地震之前, H 值一般出现下降变化, 表明孕震过程已发展到了不稳定的阶段, 这时系统的动态行为表现出新的结构. 我们以H 值下降至 0. 87 以下、持续时间超过一个半月作为异常指标, 对该区域进行地震预报效能评价. 并假定, 有异常时若该地区发生了 5 级以上地震, 则该异常不再继续报地震, 也就是说有地震时

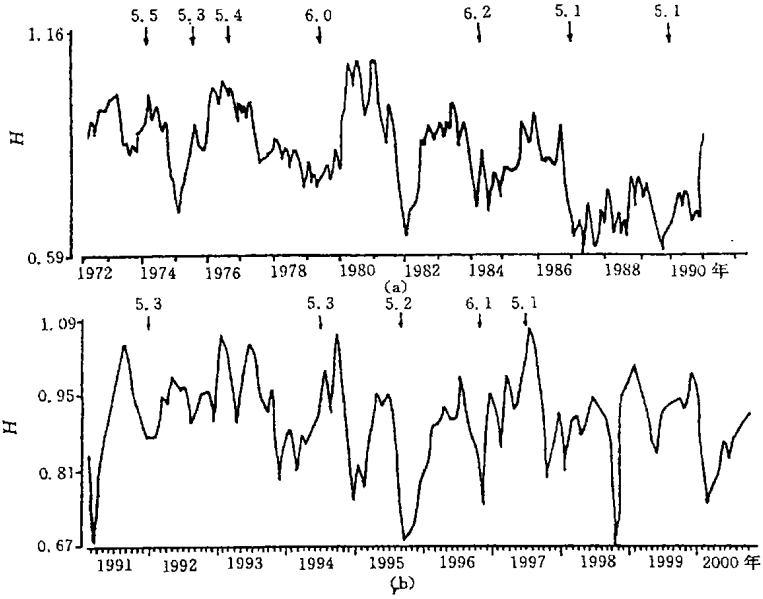

图 1 江苏及邻区地震频次 Hurst 指数 H 值的时间进程图

Fig. 1 The H-t curve of Hurst exponent of seismic frequency in Jiangsu and its adjacent area from 1970 to 2000.

预报占用的时间为异常开始至主震发生这段时间; 若异常开始后一年半内未发生地震, 则该次异常作为虚报, 如果此时异常仍未结束, 则该时间作为下一次异常的起始时间. 计算R 值采用如下公式[4,5]:

$$R = c - b = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}}$$

我们对江苏及邻区 1970 年以来共 12 次(发生在同一天的 5 级以上地震在统计"报准"率时算作一次)的 5 级以上地震进行统计, 结果见表 1.

表 1　Hurst 指数对江苏及邻区 5 级以上地震的回溯性预报检验

异常起止时间	发震时间	纬度	经度	震级 M_S	地点	预报占用时间/月	预报成功与否
1973-07 ~ 12	1974-04-22	31.6°	119.1°	5.5	溧阳	9	√
1975-01 ~ 08	1975-09-02	32.8°	121.8°	5.3	黄海	7	√
1975-11 ~ 1976-02	1976-10-06	35.3°	124.4°	5.4	黄海	11	√
1978-05 ~ 1980-01	1979-07-09	31.5°	119.25°	6.0	溧阳	14	√
1981-10 ~ 1982-07							×
1983-12 ~ 1985-07	1984-05-21	32.64°	121.60°	6.2	黄海	5	√
1986-02 ~ 08	1987-02-17	33.57°	120.76°	5.1	射阳	11	√
1987-02 ~ 1988-09							×
1988-10 ~ 1990-12	1990-02-10	31.63°	121.02°	5.1	常熟	15	√
1991-12 ~ 1992-02	1992-02-23	35.3°	121.2°	5.3	黄海	2	√
1993-11 ~ 1994-05	1994-07-26	34.9°	124.6°	5.3	黄海	8	√
1994-12 ~ 1995-03							×
1995-08 ~ 1996-02	1995-09-20	35.0°	118.0°	5.2	山东苍山	1	√
1996-09 ~ 12	1996-11-09	31.7°	123.1°	6.1	南黄海	2	√
	1997-07-28	33.7	122.2	5.1	黄海		漏报

根据图 1、表 1, 应报的地震为 14 次, 其中报对为 11 次, 虚报为 3 次, 漏报 1 次. 11 次报对占用的预报时间累计为 85 个月, 3 次虚报预报占用的预报时间为 3× 18 个月, 因而预报占用的时间共为 139 个月. 预报研究总时间为 330 个月(考虑了计算时的窗长原因), 因此:

$$R = c - b = \frac{11}{14} - \frac{139}{330} = 0.365$$

此时 $R_0 = 0.323$, 完全能通过 97.5%置信水平的检验. 另外在报对的地震中, 异常开始 10 个月内发震的有 7 例, 占 63.6%; 异常开始一年内发震的有 9 例, 占 81.8%.

3　讨论与结论

(1) 采用地震频次时间序列来计算并研究H 值的变化与中强震的关系有其坚实的物理依据. 岩石破裂实验和天然地震实际资料表明, 微破裂和微弱地震的频度存在不均匀的分布, 且有其自仿射分形的特征.

(2) H 值无标准值. 一些自然现象的时间记录H 值在 0.73 左右[6~8], 不同的物理对象有其不同的H 值, 因而H 值随时间的变化与中强震的对应关系须从研究其震例的过程中得出, 其异常指标对于不同的研究区域是不同的. 对于自然界中的一些物理现象, 在一般情况下, $H \neq 0.5$, 并介于 0 和 1 之间. 在分析中认为$H > 0.5$ 时, 表示一种正继承(Persistance), 即过去增长, 未来也增长, 过去减弱, 未来也减弱. 当$H < 0.5$ 时, 表示一种负继承(Antipersistance), 即过去与未来反向发展, 有点类似于负反馈. 这种正继承和负继承的关系可比喻为生物进化中的

“基因遗传”和“基因变异”. 从本文图中可以看出江苏及邻区地震频次的 Hurst 指数在 0.59～0.99 之间, 即H 值大于 0.5 且小于 1, 表明地震活动具有确定和随机的双重属性, 同时表明地震活动具有正继承性. Hurst 指数偏离 0.5 的程度可以衡量确定因素和随机因素在地震时间分布中所占的比重, 即异常是在H＞0.5 的范围内下降说明了随机因素在地震时间分布中所占的比重增大.

(3) 通过对江苏及邻区的震例及其预报效能评价的研究, 表明了用地震频次的 Hurst 指数下降的异常现象对江苏及邻区 5 级以上地震具有较好的对应关系, 值得用来探求未来中强地震可能发生的危险时段.

[参考文献]

[1] 孟宪国. R/S 分析和地球化学数据的分形处理[J]. 地球科学, 1991, **16**(30): 281—286.

[2] 刘长海, 刘义高, 张军. 地震时间间隔的R/S 分析[J]. 地震学报, 1995, **17**(3): 389—392.

[3] 朱令人. 地震分形[M]. 北京: 地震出版社, 2000. 42.

[4] 秦卫平. 一维地震预报评分问题[J]. 地震学报, 1991, **17**(3): 389—392.

[5] 许绍燮. 地震预报能力评分[A]. 见: 许绍燮, 陆远忠等编. 地震预报方法实用化研究文集, 地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 586—590.

[6] Feder J. Fractals[M]. New York: Plenum Press.

[7] Hurst H E, Black R P, Simaike Y M. Long-term Storage: an Experimental Study[M]. London: Constable, 1965. 1—155.

[8] Mandelbrot B B, Wallis J B. Some long-run properties of geophysical records[J]. Water Resour. 1969, **5**: 321—340.

RESEARCH ON HURST EXPONENT OF SEISMIC FREQUENCY IN JIANGSU AND ITS ADJACENT AREA

LI Qiang, XU Gui-ming

(*Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing* 210014, *China*)

Abstract: How to apply Hurst exponent of seismic frequency to predicting earthquake in Jiangsu province and its adjacent area is studied. It indicate that the Rvalue derived from retrospective prediction test to the earthquakes ($Ms \geqslant 5.0$) in the area since 1970 is 0.365, and 81.8% of earthquakes which are predicted correctly take place in one year after anomoly start. Therefore it can be used for predicting earthquake in Jiangsu province and its adjacent area.

Key words: Earthquake prediction; Earthquake frequency; Hurst exponent