

非线性参数 H 值和 ΔH 值 在强震预报中的应用^{*}

陈佩燕

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘要 研究了非线性参数 H 值曲线及其差值 ΔH 曲线与华北强震之间的关系。首先将 RSH 算法应用于华北地区，详细研究了 6 种定量预报指标的方案，并进行了回溯性预报检验。结果表明：6 个预报方案均具有一定的预报效能，且都通过了检验；其中方案 A 和 E 的效果最好， R 值分别为 0.47 和 0.48，我们推荐这两种方案以便将来实际应用于预测。另外，进一步研究了 H 的差值 ΔH 曲线与强震的关系，提出了将 ΔH 用于强震预测的 $RS\Delta H$ 算法，并将该算法用于华北地区强震的预测。回溯性检验得到 R 值为 0.45，表明该方法也具有一定的预报效能。我们还将两种算法联合应用，提出了 $H\Delta H$ 算法。该算法减少了虚报时间，可使 R 值提高。

主题词 地震预报 非线性理论 R/S 方法 赫斯特指数

引言

近年来，随着研究工作的深入，发现了许多难以用传统理论解释的复杂现象，而非线性研究却可以解决这些问题。因此，研究非线性和可预报性问题成为地球科学的一个十分活跃的领域。

复杂现象具有自相似的组织结构——分形。分形几何是用来描述这样的体系：当我们扩大观察范围时，增加的细节是重复出现的；这些新的在更大的尺度上重复出现的结构与我们在小范围内观察到的结构是相似的。人们发现：地震活动在许多方面表现出这种自相似性，也就是说它是分形的。它不仅表现在能量分形、时间分形、空间分形，而且地震学中的不少经验公式也显示了地震的分形结构。“分形结构的存在是地震孕育这一个复杂系统的一个普遍性特征。因此，可以用分维数来表示这种复杂现象中的规律性。”（陈颙等，1989）。

本文的目的是从分析分形方法入手，研究赫斯特指数 H 及其差值 ΔH 在强震前的异常现象，探讨应用非线性参数进行强震预测的具体方法和方案，并评定其预报效能。本文前一部分是在王碧泉等提出的 RSH 方法应用于我国大陆的基础上，侧重于预报方案的研究及检验；后一部分是在此基础上进一步提出 $RS\Delta H$ 算法及 $H\Delta H$ 算法，并将它实际应用

* 地震科学联合基金资助项目。国家地震局地球物理研究所论著 96A0033。
1995-11-28 收到初稿，1996-01-26 收到修改稿，1996-01-31 决定采用。

于华北地区的强震预测. 检验表明, 可使预报效能有所提高.

1 H 值的计算方法

H 值称为赫斯特指数, 是赫斯特于 1965 年提出来的. 其主要原理如下(孟宪国, 1991):

考虑一个时间序列

$$\{\xi(t)\} \quad t = 1, 2, \dots \quad (1)$$

并定义均值序列为

$$\langle \xi \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (2)$$

则累计离差为

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t (\xi(u) - \langle \xi \rangle_{\tau}) \quad 1 \leq t \leq \tau \quad (3)$$

极差为

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (4)$$

标准差为

$$S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\xi(t) - \langle \xi \rangle_{\tau})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (5)$$

极差与标准差之比为 $R(\tau)/S(\tau)$, 简记为 R/S , 赫斯特在分析 R/S 的统计规律时发现存在如下关系式:

$$R/S \propto (\frac{\tau}{2})^H \quad (6)$$

式中的 H 称为赫斯特指数. 黄登仕和李后强(1990)通过对分式布朗运动的长程相关性与持久性的研究表明, 分式布朗运动中的 H 就是赫斯特指数, H 与分式布朗运动的分维密切相关, 这从一个侧面阐述了赫斯特指数 H 的意义. 采用这种方法来计算分维是较为简便的.

2 RSH 算法应用于华北地区

2.1 RSH 算法

王碧泉等(1995)提出了将 H 值应用于强震预测的 RSH 算法, 并将它用于我国大陆强震的预测. 为进一步研究和检验该算法, 本文将 RSH 算法应用于华北地区. 其算法要点是:

- (1) 选择地区 A. ESEP 专家系统(王碧泉等, 1993)将我国大陆划分为 7 个地震活动区, 本文选定其中的第一个地震区——华北地区(图 1)进行研究.
- (2) 选取地震目录. 本文选用目录如下: ① 1966~1984 年, 选用李全林等(1991)的《中国地震各时期目录汇编》; ② 1985~1986 年, 选用国家地震局分析预报中心编《中国东部目录》; ③ 1987~1994 年, 选用国家地震局分析预报中心编《全国地震目录》.
- (3) 计算时间序列 $\xi(t)$. 首先选择华北地区 $M_L \geq 2.0$ 以上地震目录, 并去掉余震. 然

后计算时间序列。一般地，采用频度、 b 值或其它有关时间序列均可。王碧泉等(1995)采用的是频度时间序列。我们对华北地区的研究采用 b 值时间序列得到的结果较好，故本文也采用 b 值时间序列的结果。我们用最小二乘法对该地区进行 b 值时间扫描，即对此地区内的地震目录按指定的时间区间和滑动间隔，计算 b 值随时间变化的曲线。本文时间区间选择为 24 个月，滑动间隔为每月滑动 1 次。

(4) 计算 H 曲线。按上述 R/S 方法计算 H 曲线。本文取 12 个点作曲线拟合计算 H 值，并按 1 个月滑动 1 次计算出 H 值，再将此结果绘制成 H 值曲线。

(5) 确定预报指标。将 H 曲线与强震进行对比分析，确定 RSH 算法对华北地区的定量预报指标。

2.2 RSH 算法用于华北地区的预报方案研究及检验。

2.2.1 H 值曲线与华北地区强震的关系

按上述算法，我们计算了华北地区 1968~1994 年底共 324 个月的赫斯特指数，并绘制了 H 值曲线(图 2)。为对比研究，图 2 中用箭头示出了该区在这一时期发生的全部 $M \geq 6.0$ 的地震，共计 12 次。比较该曲线与强震的关系可以看出，强震前常常有下述现象： H 值下降至 $H \leq 0.3$ ，然后回升，其后 10 个月内常有 $M \geq 6.0$ 的地震发生。

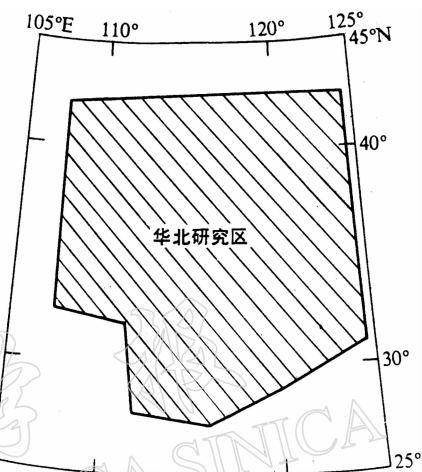


图 1 华北地区区域图

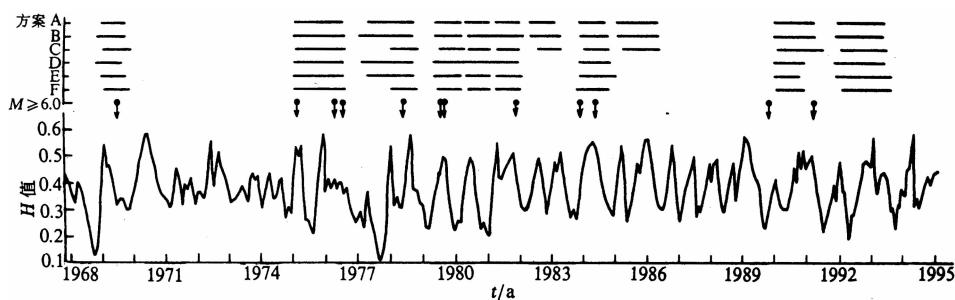


图 2 RSH 算法用于华北地区几种方案的回溯性预测结果

将华北地区强震前的这一异常现象与王碧泉等(1995)对我国大陆地区的计算结果比较可以看出：①无论是对华北地区还是对我国大陆，强震前 H 值都有下降至 $H \leq 0.3$ 的现象；②对华北地区，在强震前 H 值曲线除下降外，常常还要回升，强震前 H 值要经历一个先下降后回升的过程。 H 值曲线的这一特点在本文研究的华北地区表现较明显，但就全国范围则不那么明显。

2.2.2 定量预报指标的确定

为将此方法实际应用于华北地区的预测，需要确定一个定量的预报指标。为此我们研究制定了多种预报准则，并逐一分析和评定其预报效能，最后初步选定了下列 6 种定量预

报的预报方案.

方案 A 若 H 值曲线连续有 2 个值(或 2 个以上的值)满足 $H \leq 0.3$, 其后 H 值回升并达到 $H > 0.3$, 则预测从那个月开始, 其后 10 个月内将在华北地区将发生 $M \geq 6.0$ 地震.

方案 B 若 H 值曲线连续有 2 个值(或 2 个以上的值)满足 $H \leq 0.3$, 其后 H 值回升, 则预测从此月开始其后 11 个月内将在华北地区将发生 $M \geq 6.0$ 地震.

方案 C 若 H 值曲线连续有 2 个值(或 2 个以上的值)满足 $H \leq 0.3$, 其后 H 值回升, 且达到 $H > 0.4$, 则预测从那个月开始, 其后 10 个月内将在华北地区将发生 $M \geq 6.0$ 地震.

方案 D 若 H 值曲线连续有 3 个值(或 3 个以上的值)满足 $H \leq 0.3$, 其后 H 值回升, 则预测从此月开始, 其后 10 个月内将在华北地区将发生 $M \geq 6.0$ 地震.

方案 E 若 H 值曲线连续有 3 个值(或 3 个以上的值)满足 $H \leq 0.3$, 其后 H 值回升, 且达到 $H > 0.3$, 则预测从那个月开始, 其后 9 个月内将在华北地区将发生 $M \geq 6.0$ 地震.

方案 F 若 H 值曲线连续有 3 个值(或 3 个以上的值)满足 $H \leq 0.3$, 其后 H 值回升, 且达到 $H > 0.4$, 则预测从那个月开始, 其后 10 个月内将在华北地区将发生 $M \geq 6.0$ 地震.

2.2.3 回溯性预测检验

为了评价 6 种方案的预测能力, 对全部方案逐一进行了回溯性预报检验. 下面先以方案 A 为例阐述其结果. 图 2 上部第一行的短横线示出了按方案 A 预报指标所预报的时间段. 将预报的时间段与实际发生的 $M \geq 6.0$ 强震对比(表 1), 可以看到: 报对地震数为 11 次, 预报占用时间为 146 个月. 前已叙及, 地震总次数为 12 次, 预报研究总时间为 324 个月. 用 R 值(许绍燮, 1989)评定其预报效能

表 1 RSH 算法对华北地区 $M \geq 6.0$ 强地震的回溯性预报(方案 A, $R=0.47$)

预报的时间段 年-月~年-月	1968 年 1 月~1994 年 12 月实际发生地震的基本参数						预报情况	
	时 间 年-月-日	震中位置		深度 /km	M_L	发震地点		
		φ_N	λ_E					
1969-01~1969-10	1969-07-18	38°12'	119°24'	35	7.3	渤海	报对	
1975-01~1975-10	1975-02-04	40°42'	122°48'	16	7.4	海城	报对	
1975-10~1976-07	1976-04-06	40°12'	112°06'	18	6.4	和林格尔东南	报对	
	1976-07-28	39°24'	118°00'	22	7.8	河北唐山	报对	
1977-05~1978-02							虚报	
1977-12~1978-09	1978-05-18	40°43'	122°37'	13	6.2	辽宁营口	报对	
1979-06~1980-03	1979-07-09	31°27'	119°15'	12	6.3	江苏溧阳	报对	
	1979-08-25	41°12'	108°06'	18	6.3	内蒙古五原附近	报对	
1980-04~1981-01							虚报	
1981-03~1981-12	1981-11-09	37°26'	114°58'	20	6.1	河北宁晋	报对	
1982-04~1983-01							虚报	
1983-11~1984-08	1983-11-07	35°17'	115°17'	12	6.2	山东菏泽	报对	
	1984-05-21	32°38'	121°36'	16	6.2	南黄海	报对	
1985-01~1986-04							虚报	
1989-12~1990-09							虚报	
	1989-10-19	39°57'	113°49'	14	6.1	山西大同	漏报	
1990-06~1991-03	1991-03-26	39°58'	113°51'	12	6.1	山西阳高	报对	
1991-11~1993-04							虚报	

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}} \quad (7)$$

对方案 A, 得到 $R=0.47$. 查“具有 97.5% 置信水平的 R 值表”, 得 $R_{97.5\%}=0.303$. 比较可见, 方案 A 的 R 值大于 $R_{97.5\%}$, 表明方案 A 通过了 97.5% 的置信水平检验.

类似地, 对其余 5 个方案逐一进行了回溯性的预测检验, 各方案发出预报的时间段见图 2 上部的短横线. 按公式(7)计算了各方案回溯性检验的 R 值, 见表 2 的最后一列. 由图 2 及表 2 中列出的回溯性检验及其它有关数据可以看出: ① 本文研究的回溯性检验 6 个预报方案的 R 值在 0.39~0.48 之间, 均有一定的预报效能. 而且各方案的 R 值均比 $R_{97.5\%}$ 高, 表明各 R 值均通过了具有 97.5% 置信水平的检验; ② 6 个方案中, 以方案 A 和 E 的 R 值较高, 预报效能较好. 因此我们推荐这两个方案实际用于今后华北地区 $M \geq 6.0$ 强震的预测.

表 2 RSH 算法各种方案(预报 $M \geq 6.0$ 地震)的 R 值表

序号	方案	报对地震数	预报占用时间	$R_{97.5\%}$	R 值
1	A	11	146	0.303	0.47
2	B	11	159	0.303	0.43
3	C	10	141	0.377	0.39
4	D	10	124	0.377	0.45
5	E	10	114	0.377	0.48
6	F	9	107	0.323	0.42

注: 1968 年 1 月至 1994 年 12 月共 324 个月, 发生 $M \geq 6.0$ 地震 12 次.

3 RS ΔH 算法及其应用

在用 RSH 方法研究 H 值与强震关系的过程中, 发现强震前 H 值曲线常常存在一个先下降然后由低值向高值回升的过程, 这表明强震前 H 值的异常现象不仅与 H 值的大小有关, 而且与 H 值的变化有关. 为此, 我们进一步研究了 H 的差值 ΔH 与强震活动的关系, 并提出了将 ΔH 用于强震预报的 RS ΔH 算法.

3.1 RS ΔH 算法

RS ΔH 算法的要点如下:

① 选择所研究的地区 A. 为对比两算法的预报效能, 此节仍选定华北地区(图 1)进行研究; ② 选取地震目录. 本节选用目录同上节; ③ 计算时间序列 $\xi(t)$. 仍采用 b 值的时间序列, 计算方法同上节的 RSH 算法; ④ 计算 H 值. 用 R/S 方法计算 H 曲线, 具体算法同上节的 RSH 算法; ⑤ 计算 ΔH 值

已有一 H 值序列

$$\{H(t)\} \quad t = 1, 2, \dots \quad (8)$$

则

$$\Delta H = H(t+1) - H(t) \quad t = 1, 2, \dots \quad (9)$$

滑动计算得到 ΔH 值序列

$$\{\Delta H(t)\} \quad t = 1, 2, \dots \quad (10)$$

然后将 ΔH 值序列绘制成曲线; ⑥ 确定按 ΔH 曲线的预报指标. 将 ΔH 曲线与强震进行对

比分析, 确定经验性的定量预报指标.

3.2 RS Δ H 算法在华北地区的应用

3.2.1 强震前 ΔH 值的异常表现及预报指标的确定

将 RS Δ H 算法应用于华北地区的结果见图 3. 我们将图中 ΔH 曲线与在此期间发生的强震进行了对比分析, 研究结果表明, 强震前 ΔH 值确有异常表现: 第一种是 ΔH 值突然上升, 到达一限度后常有 $M \geq 6.0$ 地震发生; 第二种是 ΔH 有两个值(或两个以上连续上升的值), 其后常有 $M \geq 6.0$ 地震发生. 根据以上异常现象, 为确定 RS Δ H 算法对华北地区的定量预报指标, 同上节一样, 我们进行了多种预报指标的研究. 限于篇幅, 在此不一一列出, 这里仅给出其中最好的一个预报方案.

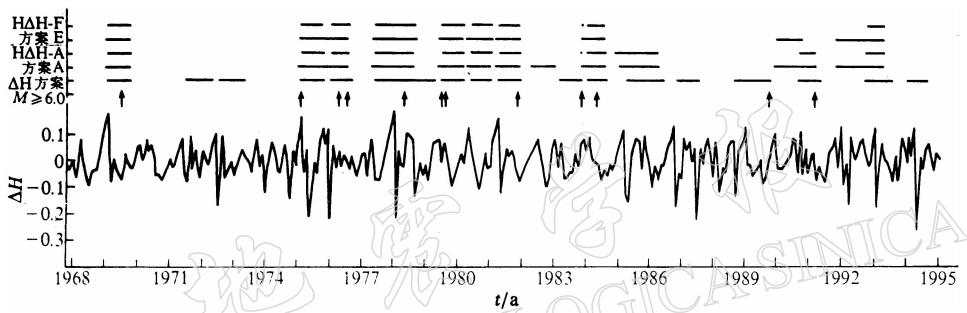


图 3 ΔH 曲线用于华北地区的预报方案

(1) 当 ΔH 值大于 0.15 时, 即预报当月至其后 9 个月内将有 $M \geq 6.0$ 地震发生.

(2) 当 ΔH 值有两个或两个以上的值连续大于等于 0.06, 然后 ΔH 值小于 0.06 时, 从小于 0.06 的当月开始预报其后 9 个月内将有 $M \geq 6.0$ 地震发生.

3.2.2 RS Δ H 算法的回溯性预报检验

按上述预报方案, 我们对 RS Δ H 算法应用于华北地区的结果进行了回溯性检验. 图 3 上部对应的短横线是从 1968 年 1 月至 1994 年 12 月共 324 个月的期间内发生的预报时间段, 图中箭头示出了此期间发生的 $M \geq 6.0$ 地震, 共 12 次. 对照短横线和 $M \geq 6.0$ 地震可以发现, 12 次强震全部发生在发出预报的时间段内.

为评价此方法的预报效能, 进行了回溯性预报检验. 预报情况和实际发生地震的情况列于表 3. 表 3 中第 1 列为预报的时间段, 是根据 ΔH 值曲线变化按上述预报方案作出预报, 预报时间共 178 个月; 表中第 2~7 列是在此期间实际发生地震的基本参数; 最后一列为预报情况. 对照预报的时间段与实际发生的地震可看到, 12 次 $M \geq 6.0$ 地震全部报对. 仍用 R 值评定, R 为 0.45. 这个 R 值与用 RSH 算法的 R 值相差不多, 说明 ΔH 曲线也可以应用于预测. 查“具有 97.5\% 置信水平的 R 值表”, 得到 $R_{97.5} = 0.283$. 就是说即使有一次漏报也通过了检验. 这也说明 RS Δ H 算法用于华北地区强震的预测是具有一定的预报效能的.

4 RS Δ H 算法和 RSH 算法的联合应用

比较 RSH 算法的方案 A 和 E 以及 RS Δ H 算法的方案(表 4)可以看到: R 值不仅与报对

表 3 RSΔH 算法对华北地区 $M \geq 6.0$ 强地震的回溯性预报(方案 A, $R=0.45$)

预报的时间段 年-月~年-月	时 间 年-月-日	1968 年 1 月~1994 年 12 月实际发生地震的基本参数					预报情况
		震中位置		深度 /km	M_L	发震地点	
φ_N	λ_E						
1969-02~1969-10	1969-07-18	38°12'	119°24'	35	7.3	渤海	报对
1971-06~1972-02							虚报
1972-07~1973-03							虚报
1975-02~1975-10	1975-02-04	40°42'	122°48'	16	7.4	海城	报对
1976-01~1976-09	1976-04-06	40°12'	112°06'	18	6.4	和林格尔东南	报对
	1976-07-28	39°24'	118°00'	22	7.8	河北唐山	报对
1977-06~1978-02							虚报
1977-12~1978-08	1978-05-18	40°43'	122°37'	13	6.2	辽宁营口	报对
1978-09~1979-05							虚报
1979-07~1980-03	1979-07-09	31°27'	119°15'	12	6.3	江苏溧阳	报对
	1979-08-25	41°12'	108°06'	18	6.3	内蒙古五原附近	报对
1980-06~1981-02							虚报
1981-04~1981-12	1981-11-09	37°26	114°58'	20	6.1	河北宁晋	报对
1983-03~1983-11	1983-11-07	35°17'	115°17'	12	6.2	山东菏泽	报对
1984-01~1984-09	1984-05-21	32°38'	121°36'	16	6.4	南黄海	报对
1985-04~1986-06							虚报
1986-11~1987-07							虚报
1988-10~1989-06							虚报
1989-02~1989-10	1989-10-19	39°57'	113°49'	14	6.1	山西大同	报对
1990-09~1991-05	1991-03-26	39°58'	113°51'	12	6.1	山西阳高	报对
1992-10~1993-06							虚报
1994-10~1994-09							虚报

次数有关, 而且与预报占用时间的长短有关. RSΔH 算法的方案, 报对 12 次, R 值为 0.45. 而 RSH 算法的方案 E, 报对的次数最少, 为 10 次, 但 R 值却最高, 为 0.48. 主要原因在于占用预报时间的多少. 这也正好表明, 在选定预报方案时, 既要使报对地震次数多, 而且预报占用时间愈少愈好. 因此, 如何减少虚报时间就成了主要问题. 我们研究了三方案的特点, RSH 算法的方案 A 和 E, 预测的定量指标都是依据地震前兆的降维特点, 区别在于强震后出现升维, 根据升维值的不同下限确定方案 A 和 E. 而 RSΔH 算法的方案以 ΔH 的异常增大做为预报的定量指标. 我们设想, 如果把两算法的定量指标同时考虑, 可能会降低虚报, 即当两算法都预报时, 即做出预报, 否则无效. 现将两算法联合应用称为 $H\Delta H$ 算法.

表 4 几种方案(预测 $M \geq 6.0$ 地震)的 R 值比较

方案	报对地震数	预报占用时间(月)	R 值
RSΔH	12	178	0.45
RSH(方案 A)	11	146	0.47
RSH(方案 E)	10	114	0.48

我们将 RSΔH 算法的方案与 RSH 算法的方案 A 和 E 分别联合应用, 提出 $H\Delta H$ -A 方案和 $H\Delta H$ -E 方案, 结果见图 3. 在 ΔH 轴上, ΔH 对应的横线为用 RSΔH 算法确定方案预报的时间段. 方案 A 和 E 分别对应的横线为用 RSH 算法确定的方案 A 和 E 预报的时间

段。 $H\Delta H$ -A 和 $H\Delta H$ -E 分别对应的横线为这两方案发出的预报时间段。详细情况分别列于表 5 和表 6。表 5 中 $H\Delta H$ -A 方案在预报时间段内发出 13 次预报共 102 个月，报对 11 次，漏报 1 次，按式(7)计算 R 值为 0.61。表 6 中 $H\Delta H$ -E 方案在预报时间段内发出 11 次预报共 84 个月，在此期间发生了 12 次地震，报对 10 次，漏报 2 次，按式(7)计算 R 值为 0.57。

表 5 用 $H\Delta H$ 算法的 $H\Delta H$ -A 方案对华北地区 $M \geq 6.0$ 强地震的回溯性预报($R=0.61$)

预报的时间段 年-月~年-月	1968 年 1 月~1994 年 12 月实际发生地震的基本参数						预报情况	
	时 间 年-月-日	震中位置		深度 /km	M_L	发震地点		
		φ_N	λ_E					
1969-02~1969-10	1969-07-18	38°12'	119°24'	35	7.3	渤海	报对	
1975-02~1975-10	1975-02-04	40°42'	122°48'	16	7.4	海城	报对	
1976-01~1976-09	1976-04-06	40°12'	112°06'	18	6.4	和林格尔东南	报对	
	1976-07-28	39°24'	118°00'	22	7.8	河北唐山	报对	
1977-06~1977-11							虚报	
1977-12~1978-08	1978-05-18	40°43'	123°37'	13	6.2	辽宁营口	报对	
1979-07~1980-03	1979-07-09	31°27'	119°15'	12	6.3	江苏溧阳	报对	
	1979-08-25	41°12'	108°06'	18	6.3	内蒙古五原附近	报对	
1980-06~1981-01							虚报	
1981-04~1981-12	1981-11-09	37°26'	114°58'	20	6.1	河北宁晋	报对	
1983-02~1983-11	1983-11-07	35°17'	115°17'	12	6.2	山东菏泽	报对	
1984-01~1984-08	1984-05-21	32°38'	121°36'	16	6.2	南黄海	报对	
1985-04~1986-04							虚报	
	1989-10-19	39°57'	113°49'	14	6.1	山西大同	漏报	
1990-09~1991-03	1991-03-26	39°58'	113°51'	12	6.1	山西阳高	报对	
1992-10~1993-04							虚报	

表 6 用 $H\Delta H$ 算法的 $H\Delta H$ -E 方案对华北地区 $M \geq 6.0$ 强地震的回溯性预报($R=0.57$)

预报的时间段 年-月~年-月	1968 年 1 月~1994 年 12 月实际发生地震的基本参数						预报情况	
	时 间 年-月-日	震中位置		深度 /km	M_L	发震地点		
		φ_N	λ_E					
1969-02~1969-10	1969-07-18	38°12'	119°24'	35	7.3	渤海	报对	
1975-02~1975-10	1975-02-04	40°42'	122°48'	16	7.4	海城	报对	
1976-01~1976-07	1976-04-06	40°12'	112°06'	18	6.4	和林格尔东南	报对	
	1976-07-28	39°24'	118°00'	22	7.8	河北唐山	报对	
1977-06~1978-1							虚报	
1977-12~1978-08	1978-05-18	40°43'	121°37'	13	6.2	辽宁营口	报对	
1979-07~1980-03	1979-07-09	31°27'	119°15'	12	6.3	江苏溧阳	报对	
	1979-08-25	41°12'	108°06'	18	6.3	内蒙古五原附近	报对	
1980-06~1981-01							虚报	
1981-04~1981-12	1981-11-09	37°26'	114°58'	20	6.1	河北宁晋	报对	
1983-11~1983-11	1983-11-07	35°17'	115°17'	12	6.2	山东菏泽	报对	
1984-01~1984-08	1984-05-21	32°38'	121°36'	16	6.4	南黄海	报对	
	1989-10-19	39°57'	113°49'	14	6.1	山西大同	漏报	
	1991-03-26	39°58'	113°51'	12	6.1	山西阳高	漏报	
1994-01~1994-09							虚报	

对照许绍燮(1989)中表3可以看出,这两个方案97.5%的 R 值分别为0.303和0.377,都通过了97.5%置信水平的检验,而且 R 值较未联合应用时有所提高。

5 讨论和结论

将华北地区强震前的异常现象与王碧泉等(1995)对我国大陆地区的计算结果比较可以看出:

(1)无论是对华北地区还是对我国大陆,强震前 H 值都有下降至 $H \leq 0.3$ 的现象。强震前出现的降维与陈颤等(1989)指出的:“前兆分布(无论是空间分布,还是时间分布)都具有降维特点。”的结论相一致。

(2)对华北地区,在强震前 H 值曲线除了下降外,常常还要回升,并在回升后几个月内发生强震;也就是说,强震前 H 值要经历一个先降维,然后升维的过程。 H 值曲线的这一特点在本文研究的华北地区表现较明显,但就全国范围则不那么明显。造成这两者区别的原因还需要进一步研究。

(3)由华北地区的 H 值曲线可以看出:强震前 H 值经历了一个先降维,然后升维的过程。它表明了强震前出现降维,反映了地震活动从无序向有序变化;强震后出现升维,反映出地震活动由有序向无序恢复。

(4)计算随时间变化的时间窗不等,计算结果会有差别,韩渭宾等(1992)已经讨论过。现排除时空范围不同等因素,同一时空范围的数据,仅仅因时间窗不等,计算结果相差也有时较大。RSR算法中涉及了二次窗口问题,先是计算 b 值,窗口太小增加偶然起伏,取的太大则抹平了客观的变化。在RSR算法中, b 值的时间窗定为24个月,每月一滑动是根据以前的经验确定的。 H 值的时间窗是经过各种不同时间窗的对比筛选出来的,以窗口长度为12个月,每月一滑动效果最好。小于12个月的效果变差,小于8个月的基本不能使用。这个结论是经过大量计算得出的。究竟什么因素决定时间窗的大小,尚需经过大量的分析、研究,从理论上阐述原因,找出其规律性的因素。

参 考 文 献

- 陈颤,等,1989. 分形与浑沌在地球科学中的应用. 北京: 学术期刊出版社. 101
- 韩渭宾,1992. 统计分形在地震预报研究中的进展与存在问题. 见: 陈颤,傅征祥,牛志仁,等(编),非线性科学在地震预报中的应用. 北京: 地震出版社. 32~37
- 黄登仕,李后强,1990. 分形几何学、 R/S 分析与分式布朗运动. 自然杂志, **13**(8): 477~482
- 李全林,宋锐,陈锦标,等,1991. 中国地震各时期目录汇编. 北京: 地震出版社. 7~11
- 孟宪国,1991. R/S 分析和地球化学数据的分形处理. 地球科学, **16**(3): 281~286
- 王碧泉,范洪顺,陈佩燕,等,1993. 专家系统及其在地震预报中的应用. 北京: 中国科学技术出版社. 21
- 王碧泉,黄汉明,范洪顺,等,1995. 非线性 R/S 方法研究及其地震预报中的应用. 地震学报, **17**(4): 528~532
- 许绍燮,陆远忠,朱传镇,等,1989. 地震预报能力评分,地震预报方法实用化研究文集——地震学专集. 北京: 学术书刊出版社. 586~590