

唐山地震前后大华北地区水氡 分维异常的特征^{*}

杨长春 陈党民 王秀莲 张芝霞

(中国西安 710068 陕西省地震局)

摘 要

运用分形理论的基本原理和逐月滑动的方法, 从水氡前兆观测资料入手, 计算了唐山大地震前后华北 27 口井的水氡突跳序列的分维(容量维)值, 研究了在大震前后水氡分维异常值在时间、空间上的变化规律, 发现: 水氡分维值在震前有显著的变化, 且出现水氡分维异常的水点大都分布在距震中 300 km 的范围之内; 震前水氡分维值出现明显的上升区与下降区, 临震前除震中周围为下降区外, 上升区几乎充满整个华北。

主题词 水氡; 分数维

前 言

当前, 分维理论在地震科学领域内得到了广泛的应用。李海华等(1987)、朱传镇和王琳瑛(1989), 以及安镇文等(1989)所做的有关地震序列分维的工作都取得了可喜的成果。本文试将分维理论引入前兆领域, 直接从水化前兆观测资料入手, 计算了唐山地震前后水化前兆的分维(容量维)值, 探讨了该分维值变化的规律, 着重研究了分维值在大震前后的空间变化特点, 找出了大华北地区的水氡异常分维特征。

本文在研究方法上具有明显的特点, 首先在时间上着眼于整个水氡的突跳序列, 即研究整个突跳序列的变化与地震的关系, 而不是着眼于某几个突跳或异常; 其次, 在空间上着眼于整个前兆区域内的所有点的分维异常, 特别着重分维异常的空间分布, 而不是单个水点的分维值。这种研究方法是一种时间和空间的整体的研究方法, 它在一定程度上压低了干扰, 提高了预报的可靠性。

1 分维计算的资料及方法

1.1 资料的选取

本文中的资料均选自唐山大地震水氡资料汇编组汇编的《一九七六年唐山 7.8 级地震

* 地震科学联合基金会资助项目。

1993 年 1 月 9 日收到初稿, 1994 年 6 月 7 日收到修改稿并决定采用。

观测资料汇编(水文部分)》，这些资料经过了清理，属比较可靠的资料。

本文使用的数据首先要有足够的长度：为了反映分维值的变化特征，资料长度一般不少于 3 a. 其次，资料的中断不能太多：一是中断的次数不能太多；二是一次中断的天数也不能太多，尽可能减少因人为的插补对分维值带来的影响。当数据中断时，一般采用内插法进行增补。

根据以上原则共选取了台站 27 个, 其中距唐山 200 km 之内的水点有 9 个(图 1 中 1—9), 距唐山 200 km 之外的水点有 18 个(图 1 中 10—27), 水点分布如图 1 所示.

1.2 序列的建立

突跳序列的建立 从 70 年代初到现在，在长达 20 余年的时间里，水氡观测规范及标定方法变化较多，这就给用一个统一的标准建立一个序列造成一定的困难，为了克服上述困难，我们就用观测值的差分值来建立一个完整的突跳序列。

首先, 观测值的差分仅仅反映观测值的变化量, 减少了因仪器常数 k 值的改变对整个序列的影响; 其次, 大量研究结果表明: 强震及中强地震前, 水氡值除出现趋势性异常外, 还出现大量的突跳异常(张炜等, 1988). 研究差分突跳序列正好突出了震前水氡值突跳这一特点, 更好地反映水氡值的异常.

突跳阈值的判定 1973年, 张肇诚等曾对天津不同类型观测点的水氡值进行了误差统计, 发现观测条件较好的水点, 水氡日观测值综合误差范围一般多在10%左右(张炜等, 1988). 为此, 我们在建立水氡差分突跳序列的时候, 选用观测值平均值的10%作为阈值的标准. 当差分值的绝对值大于等于阈值时, 则认为出现了突跳. 反之, 当差分值小于阈值时, 则认为没有出现突跳.

1.3 分维计算

本文用 1.2 中提到的突跳判定方法, 建立起水氡日值差分突跳序列, 然后运用标度变换法计算该序列的容量维 D_0 .

具体的算法是先选定一个时间窗, 其窗长为 512 d, 再选取不同的时间标度 ϵ ($1/2, 1/4, 1/8, \dots, 1/512$), 分别计算在该时间段内的突跳个数 $N(\epsilon)$, 然后在双对数坐标上画出 $\ln N(\epsilon)$ - $\ln(1/\epsilon)$ 曲线, 用最小二乘法求出该曲线无标度区直线部分的斜率, 该斜率即为该时间段的水氡日值突跳序列分维值 D_0 (李海华等, 1987; 朱传镇、王林瑛, 1989; 安镇文等, 1989). 本文中 D_0 的显著性 $\alpha < 0.01$.

为了反映 D_0 值在震前的变化规律, 以便在实际预报中将此规律用于跟踪预报, 本文采用了逐月滑动跟踪预报的方法, 其算法如下:

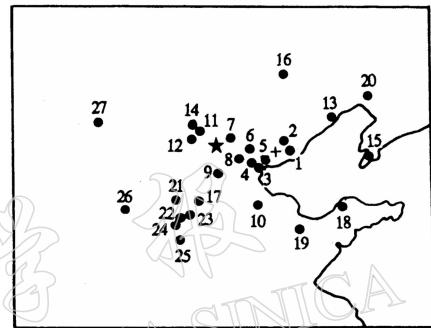


图1 水点分布示意图. 图中“+”表示震中唐山, 数字为该水点序号

1. 田疃, 2. 安各庄, 3. 津二井, 4. 棉四井,
 5. 塘沽, 6. 宝坻, 7. 管庄, 8. 务一井, 9. 雄县, 10. 庆云, 11. 怀来 3, 12. 怀来 4,
 13. 兴城, 14. 庞家堡, 15. 金县, 16. 赤峰,
 17. 束鹿, 18. 招远, 19. 昌乐, 20. 盘山,
 21. 石家庄, 22. 山口, 23. 红山, 24. 邢台,
 25. 邯郸, 26. 晋祠, 27. 呼和浩特

首先选取某台突跳序列的前 17 个月的资料(第 1—17 月), 从第 17 个月的月底倒推 512 天, 将这 512 天的资料作为第一个窗长, 按前法计算出该窗长内整个序列的分维值 D_0 , 记作最后一个月的分维值 D_0 . 如计算的是 1973 年 4 月至 1974 年 8 月的突跳序列的分维值, 则记作 1974 年 8 月份的分维值.

然后, 将序列向后滑动一个月, 建立起新的序列(第 2—18 月), 用同样的方法计算新窗长内的突跳序列的分维值 D_0 , 记作第 18 个月的分维值 D_0 . 如按上例计算, 则记作 1974 年 9 月的分维值 D_0 . 依次类推, 逐月向前滑动, 计算出整个序列的每个月的分维值 D_0 , 再作出分维值 D_0 随时间的变化曲线, 研究该曲线随时间的变化规律, 进行跟踪预报.

2 时间分维值的变化特点及空间变化

2.1 时间分维值的变化特点

(1) 分维异常的分布范围. 做上述 27 个水点的 1974—1978 年的分维值变化曲线, 可以发现, 在图象较完整的 26 个水点中(田疃台因资料不全不作判断), 有 18 个点在该时间段内出现了明显的变化过程: 即先出现分维值下降, 接着又逐步回升, 我们将这种变化定义为水氡分维异常. 在这 18 个点中, 有 15 个点是在唐山地震(1976 年 7 月)之前出现异常变化的, 另外 3 个点的变化是在唐山大震之后(见图 2a, b); 而剩余的 8 口井却始终未出现明显的下降、上升变化(图 2c). 图 2a 为唐山地震前出现异常的水点分维曲线, 图 2b 为唐山地震后出现异常的水点分维曲线, 图 2c 为唐山地震前后异常不明显的水点分维曲线.

上述两种类型变化的水点的分布范围如图 3a 所示. 图中 I 为分维异常不明显的水点的连线. 这些点分别是内蒙呼和浩特、赤峰, 辽宁盘山、金县, 山东招远、昌乐, 河北邢台. 图中 II 为唐山大震前有分维异常的水点的连线, 在 18 个有分维异常的水点中, 有 16 个点就分布在无异常变化点的连线之内, 且异常呈北东向分布.

图中由 I 线划出了唐山大震前分维异常的范围, 无异常点基本都在距唐山 300 km 之外; II 线给出了有异常显示的水点的分布范围, 这些点大都分布在 300 km 之内, 而沿北东方向, 有个别水点(如太原晋祠台)的距离虽然已超过 300 km, 但仍有一定的反映.

(2) 分维异常的迁移特点. 我们将分维值有异常的水点按变化时间排了一个顺序, 其空间迁移如图 3b 所示. 图中, I 为 1975 年 2 月以前出现异常的地区, II 为 1975 年 3—7 月出现异常的地区, III 为 1975 年 7 月—1976 年 3 月出现异常的地区, IV 为 1976 年 4—7 月出现异常的地区, V 为唐山震后出现异常的地区. 由图可见, 最早出现异常的水点是河北南部的石家庄、山口台(见 I); 其次是靠近震中的管庄、宝坻等台(见 II); 接着, 异常又出现在距震中较远的邯郸等地(见 III); 其后, 异常又出现在靠近震中的塘沽、务一井附近(见 IV); 震后, 异常又在兴城、怀来等地出现(见 V). 由此可以看出, 分维异常不断在远离震中和靠近震中的地区交替出现, 而最早出现的地区不是在震中附近, 而是在较远的外围地区.

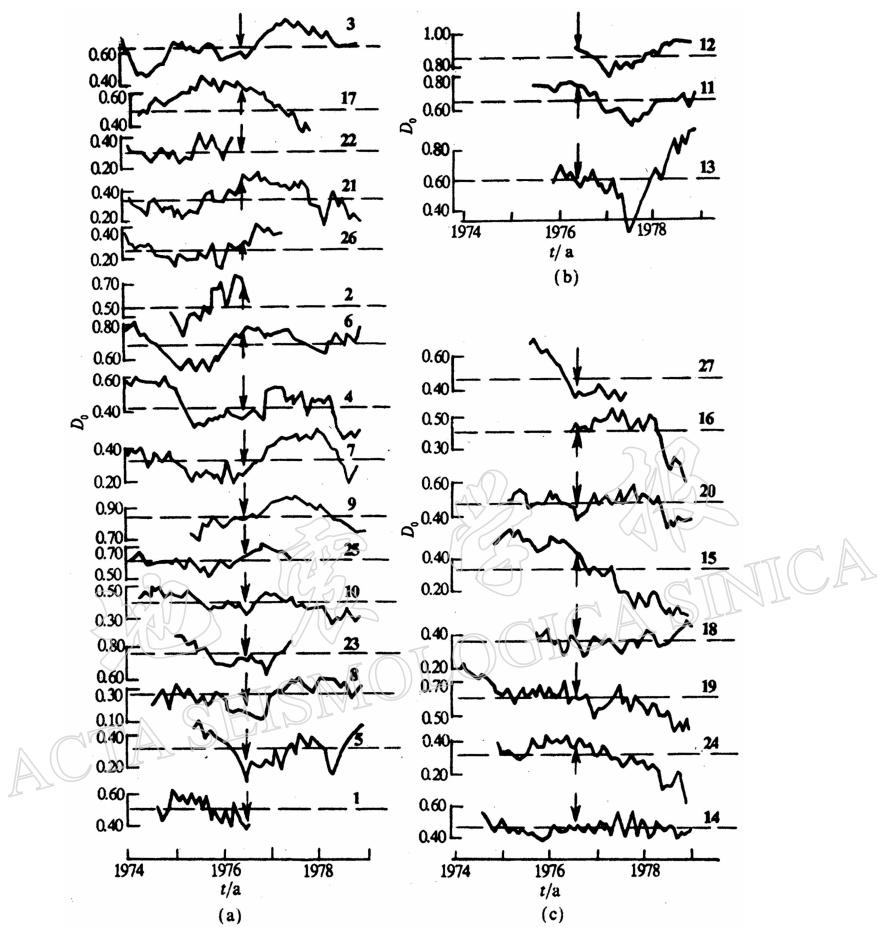


图 2 水氡分维值异常变化曲线图. 箭头表示唐山地震发生的时间, 数字为该水点序号

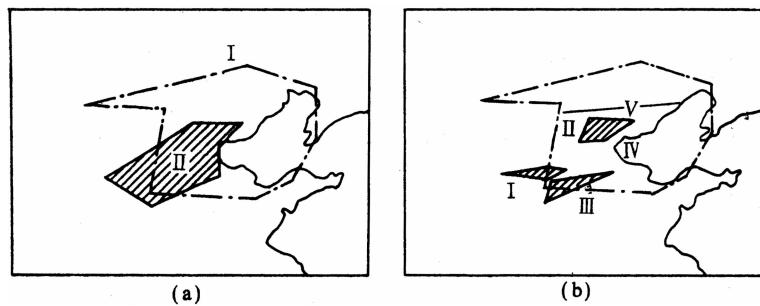


图 3 水氡时间分维异常水点空间分布示意图. 点划线表示异常不明显水点连线

2.2 分维值月变量的空间分布特点

为了显示时间分维值的变化在空间上的分布特点, 我们引入了分维值月变量 D_y 的概念: 即将后一个月的分维值与前一个月的分维值的差定义为后一个月分维值的月变量, 记作 D_y , 即

$$D_{y(i+1)} = D_{i+1} - D_i$$

式中, D_{i+1} 为后一个月的分维值, D_i 为前一个月的分维值, $D_{y(i+1)}$ 为后一个月的分维值月变量.

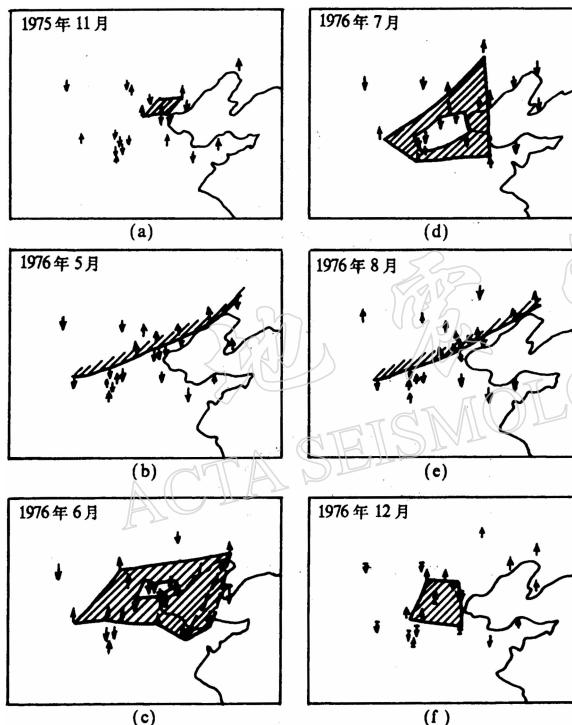


图 4 时间分维值月变量空间分布示意图. 图中日期为该图形出现的时间, 阴影部分表示分维值上升区

在上升区之中, 仅在震中区有一个集中的分维下降区(图 4c); 1976 年 7 月发生了唐山大地震, 水氡分维值也有较大的改变, 上升区明显缩小, 下降区几乎遍布华北中部(图 4d); 1976 年 8—11 月, 分维图象又恢复到 5 月的变化特点(图 4e); 1976 年 12 月, 也就是在宁河地震之后, 上述分布特点有了新的变化, 震中区由下降区变成了分维上升区(图 4f).

以上情况表明:

- (1) 震前, 沿震区的主要构造方向上出现明显的上升区和下降区;
- (2) 临震时, 震中附近出现明显的下降区, 且该下降区处于上升区的包围之中;
- (3) 主震后, 分维图象会恢复到震前的状况;
- (4) 最大强余震后分维图象会发生大的改变.

如图 4 所示: 我们将不同时间段的 D_y 的空间分布一幕幕地展示在平面图上, 图上的时间表示分维值月变量的时间. 图中向上的箭头表示 D_y 在该时间段内为正值, 说明分维值 D_0 处于上升状态; 反之 D_y 为负值, 说明分维值 D_0 处于下降状态. 为了节省篇幅, 我们仅展示部分变化图, 用以说明分维值的空间变化特点. 为了在图中表示清楚, 我们将向上(或向下)的箭头用黑线连起来, 勾画出上升区.

从 1975 年 11 月图中可以看出, 水氡分维值上升区集中在唐山附近的务一井、宝坻井、棉四井和安各庄, 整个华北几乎都处在分维值的下降之中(图 4a); 1976 年 5 月, 整个华北出现明显的两个区域: 以盘山、兴城、田瞳、塘沽、石家庄、太原为界, 北部为分维上升区, 南部为下降区(图 4b); 1976 年 6 月整个华北几乎都处在上升区之中, 仅在震中区有一个集中的分维下降区(图 4c); 1976 年 7 月发生了唐山大地震, 水氡分维值也有较大的改变, 上升区明显缩小, 下降区几乎遍布华北中部(图 4d); 1976 年 8—11 月, 分维图象又恢复到 5 月的变化特点(图 4e); 1976 年 12 月, 也就是在宁河地震之后, 上述分布特点有了新的变化, 震中区由下降区变成了分维上升区(图 4f).

2.3 分维值曲线的形态与窗长、阈值选择的关系

突跳序列阈值的选择和分维值的关系 为了避免因阈值选择不当而影响分维值的计算, 我们又对部分井孔的观测值分别采用不同的阈值来建立不同的序列, 并分别计算不同序列的分维值。结果表明: 在一定范围内, 选择不同的阈值时, 分维值随时间变化的曲线形态与阈值的选择关系不大。

图 5a 是天津津二井水氡异常在不同阈值下的分维值随时间的变化曲线。曲线 I 是阈值取平均值的 8% 时的分维值变化曲线; II 是阈值取 10% 时的分维值变化曲线; III, IV 曲线的阈值分别是 15% 和 18%。由图可见: 上述 4 条曲线尽管阈值不同, 但曲线的变化形态基本一致。特别是阈值为 8% 和 10% 的两条曲线, 其形态几乎完全一致, 其分维值变化也很小。

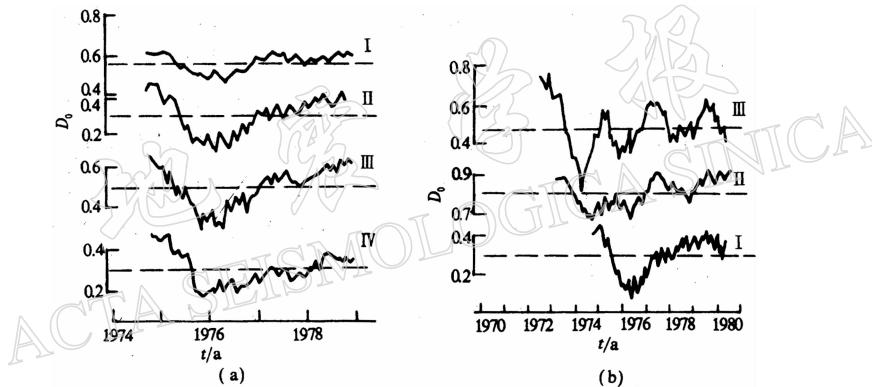


图 5 分维值曲线与阈值、窗长关系图

(a) 阈值选择与分维曲线的关系。I. 阈值取 0.08, II. 阈值取 0.10, III. 阈值取 0.15, IV. 阈值取 0.18

(b) 窗长选择与分维曲线的关系。I. 窗长取 1 024 d, II. 窗长取 512 d, III. 窗长取 256 d

窗长的选择与分维曲线的关系 为了搞清楚不同窗长对分维曲线的影响, 我们做了部分水点的不同窗长的分维曲线。下面以天津津二台为例, 探讨不同窗长对分维曲线的影响。图 5b 是津二井突跳序列在不同窗长下的分维值曲线: 图中, 曲线 I 是窗长为 1 024 d 的分维曲线; 曲线 II 的窗长为 512 d; 曲线 III 的窗长为 256 d。由图可见, 各曲线的形态基本一致。但窗长短时, 曲线的变化较大; 窗长长时曲线的起伏较小, 比较光滑。若考虑到窗长越长, 数据损失越多, 结合水氡资料情况, 我们认为, 窗长选取 512 d 是比较合理的。

3 结 论

综合上述分析, 我们得出以下结论:

- (1) 震前, 华北地区有异常反映的水点的分维值都有一个先下降而后上升的过程, 且异常出现的时间大都在 6 个月以上。
- (2) 震前, 分维异常首先在远离震中的地方出现, 然后不断地在远离震中和靠近震

中的地方交替出现.

(3) 出现分维异常的水点大都分布在距离震中 300 km 的范围之内; 在异常的主要分布方向上, 在 300 km 之外, 仍有一些水点会有异常显示.

(4) 在震前的几个月内, 水氡分维值的变化在空间上有规律性的分布, 会出现明显的上升区、下降区; 临震前, 除震中区外, 上升区几乎充满整个华北.

(5) 阈值及窗长的选择对分维曲线的形态影响不大.

从地震预报的角度来说, 上述各点对于预报地震三要素有着实际的意义.

4 讨 论

(1) 与常用的异常方法的比较: ① 分维异常的判断简单明了、争议较少. 由本文分维图可见, 在长达 5 年的时间里, 分维图的异常图象很简单, 一般只有一次大的起伏变化, 这种异常简单明了, 争议较少, 异常判断与预报人员的经验、能力的关系不大; 而对原始曲线的分析则困难较多, 在同一时段内, 原始曲线有多次的上升、下降现象, 就比同一时期的分维曲线难以判断; ② 分维值的空间分布图象具有明显的规律性, 具有直观的特点. 而水氡观测值的上升、下降无此明显的规律; ③ 分维计算在时间上着眼于整个突跳序列, 在空间上着眼于整个地区. 因此, 区域内个别水点的干扰对整个计算结果的影响不大; ④ 分维值的计算比常用的计算复杂, 且需要较多的数据. 但在计算机广泛使用的今天, 这点困难迎刃而解.

综上分析, 分维计算具有明显的优越性, 完全可以作为一种新的预报方法进行推广、应用.

(2) 由于条件的限制, 我们未能对国内其它强震前的水氡资料进行类似的分析研究, 也未能对异常机理做进一步的探讨. 因此, 唐山地震前的异常显示能否在其它强震之前出现; 唐山的水氡异常特点是否具有普遍性, 是否仅适用于华北地区; 多大的地震才可能出现明显的分布规律等, 这些问题都将留在今后的研究中去解决.

参 考 文 献

- 安镇文、王林瑛、朱传镇, 1989. 大震前后地震活动的时空分维特征. 地震学报, 11, 251—257.
- 洪时中、洪时明, 1987. 分数维及其在地震科学中的应用前景. 四川地震, 1: 39—46.
- 李海华、张文孝、张勇利、马文静、郭亚平, 1987. 门源 6.4 级地震前小震活动的时间分维结构. 西北地震学报, 9, 4, 15—20.
- 张炜、王吉易、鄂秀满、李宣湖、王长岭、李正蒙, 1988. 水文地球化学预报地震的原理与方法, 160—185. 教育科学出版社, 北京.
- 朱传镇、王琳瑛, 1989. 宁夏灵武地震序列的分维特征. 地震研究, 12, 3, 272—275.