

地震前兆模糊分维特征的研究

郑熙铭 冯德益

(天津市地震局)

摘 要

本文利用模糊分维公式计算了大同 6.1 级和 5.8 级地震前震中及附近地区前兆观测资料的模糊维数。结果表明,震前前兆观测资料的模糊维数明显下降,且震中位于降维最大的地区附近。唐山 7.8 级地震前,短水准观测资料也有类似的情况。

一、前 言

各类地震前兆观测资料(如地形变、地电、地磁、地下水位等),实际上是包括地震信息和非地震信息在内的综合物理量。在地震预报中,人们需要的是地震信息。因此,如何识别和提取前兆资料中的地震信息,是一个值得深入研究的问题。作者认为,前兆观测资料中的地震信息和非地震信息之间的界限是模糊的,用常规的相关分析方法往往难以将它们分离开来,因此,可以采用模糊数学的方法来进行处理。本文利用模糊数学方法对 1989 年大同 6.1 级地震和 1976 年唐山 7.8 级地震前部分前兆观测资料进行了计算和分析,取得了一定的效果。

二、思路及计算方法

在无地震的情况下,如若观测环境无明显的改变,前兆观测值应该是各种非地震因素的综合观测量,其自相似性应该是较稳定的,亦即应该有相对稳定的维数。当地震前观测环境受到物理或化学的因素影响时,观测值的自相似性必然改变,反映为维数值降低。

基于上述考虑,本文首先利用异常从属函数法计算前兆观测值的异常从属度,然后再计算观测值的模糊维数。

异常从属度 μ (在 0—1 之间取值) 的计算公式为:

$$\mu = [1 + \frac{\alpha}{|k_i| \cdot |r_i|}]^{-1} \quad (1)$$

(1) 式中 K 为观测曲线 $Y(t)$ 的斜率,其计算式为:

$$K_i = \frac{\sum t_j \sum y_j - n \sum t_j y_j}{(\sum t_j)^2 - n \sum t_j^2} ; \quad (2)$$

r 为相关系数, 计算式为:

$$r_i = \frac{\sum t_j \sum y_j - \frac{1}{n} (\sum t_j \sum y_j)}{[\sum t_j^2 - \frac{1}{n} (\sum t_j)^2]^{\frac{1}{2}} [\sum y_j^2 - \frac{1}{n} (\sum y_j)^2]^{\frac{1}{2}}} ; \quad (3)$$

α 为经验常数, 通过样本学习而定⁽¹⁾。该式适合于各类地震前兆观测值的处理。一般情况下取 $n=5$ 。

求得前兆观测值的 μ 值以后, 即可计算该观测值的模糊维 D_0 ⁽²⁾, 计算公式如下:

$$D_0 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum \mu_i)}{\ln \frac{1}{\varepsilon_i}} . \quad (4)$$

式中 ε_i 取 1, 2, 3, 4, 6, 12; μ_i 分别取该时间段内的最大值, D_0 实际上是 $\ln(\sum \mu_i)$ 和 $\ln \varepsilon_i$ 之间的斜率 (图 1)。

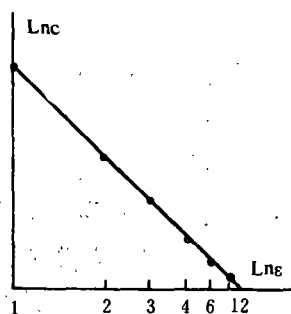


图 1 $\ln \varepsilon$ 和 $\ln \Sigma \mu$ 的关系

Fig. 1 Correlation between $\ln \varepsilon$ and $\ln \Sigma \mu$

根据图 1 并结合 (4) 式可得到

$$\ln \Sigma \mu = -D_0 \ln \varepsilon + b . \quad (5)$$

由于用 (1) 式计算时取五日均值, 因此, 每月可有 6 个 μ 值, 以两个月为一组, 即以 12 个 μ 值为一组计算一个 D_0 值, 作为第二个月的模糊维数, 依此类推。在每一组中, $\varepsilon_1=1$ 时, $C_1=\sum_1^{12} \mu_i$; $\varepsilon_2=2$ 时, $C_2=\sum_1^6 \mu_i$; $\varepsilon_3=3$ 时, $C_3=\sum_1^4 \mu_i$; $\varepsilon_4=4$ 时, $C_4=\sum_1^3 \mu_i$; $\varepsilon_5=6$ 时, $C_5=\sum_1^2 \mu_i$; $\varepsilon_6=12$ 时, $C_6=\mu_{\max}$, 然后利用最小二乘公式求得上述 6 组 $\ln \Sigma \mu$ 和 $\ln \varepsilon$ 之间直线的斜率, 即为 D_0 。这样, 就可得到随时间变化的 D_0 值, 在外界条件和观测系统状况无明显变化时, 它应该是一个较为稳定的值。

三、计算结果

本文选取 1989 年大同 6.1 级地震和 1991 年大同 5.8 级地震震中周围地区 60 多个台站的短水准、地电阻率、水氡、地下水位和地磁总强度 5 类前兆观测资料, 利用本文提出的方法对这些资料进行了计算和分析, 其结果分别见表 1 和表 2。另外还对 1976 年唐山 7.8 级地震前部分短水准观测资料进行了计算和分析, 其结果见表 3。部分前兆模糊维数随时间的变化曲线见图 2 和图 3。

表 1 大同 6.1 级地震 D_0 值异常的前兆观测台(点)情况
(1988 年 1 月—1989 年 12 月)

观测项目	台(点)名称	D_0 基值	D_{0min} ~	D_{0min} 出现时段	对应地震	台(点) 到震中的 距离(km)	ΔT (月)	ΔD_0 ~
地电	阳原 NE	0.74	0.58	1988 年 9 月	1989 年 10 月大同 Ms6.1	25	13	0.16
			0.55	1989 年 8 月			2	0.19
	阳原 NW	0.78	0.54	1989 年 3 月		25	7	0.24
			0.55	1989 年 8 月			2	0.23
	大同 NS	0.94	0.60	1989 年 8 月		50	2	0.34
	大同 EW	0.90	0.83	1989 年 8 月			2	0.07
	平谷 NW	0.88	0.74	1989 年 7 月		250	3	0.14
	通县 EW	0.74	0.31	1988 年 4 月		240	18	0.43
			0.54	1989 年 8 月			14	0.20
	大兴 EW	0.84	0.61	1989 年 3 月		200	7	0.23
	大兴 NS	0.84	0.76	1989 年 2 月		200	8	0.08
			0.72	1989 年 9 月			1	0.12
水位	增 4	0.96	0.86	1989 年 6—7 月	同上	300	4	0.10
	双桥	0.96	0.81	1989 年 5 月		220	5	0.15
	万全	0.94	0.79	1989 年 6 月		120	4	0.15
	马 17	0.93	0.88	1989 年 2 月		240	8	0.05
地磁 总强度	昌黎	0.58	0.48	1989 年 8 月	同上	440	2	0.10
	平谷	0.60	0.39	1989 年 5 月		280	5	0.21
	延庆	0.60	0.36	1989 年 5 月		190	5	0.24
水氡	文安	0.78	0.51	1989 年 4 月	同上	240	6	0.27
	王 4	0.80	0.64	1989 年 2 月		300	8	0.16
			0.62	1989 年 7 月			3	0.18
短水准	香山 EW	0.92	0.81	1989 年 5 月	同上	180	5	0.11
	易县 NS	0.92	0.74	1989 年 7 月		140	3	0.18
	南孟	0.80	0.66	1988 年 12 月		200	10	0.14

四、分析和讨论

1. 地震前兆异常的识别

从图 2 和图 3 可看到, 在地震前, 前兆观测值 $Y(t)$ 的模糊维数有明显的下降。大同 6.1 级地震前, 不同台(点)的地电、短水准、水位、水氡、地磁总场的观测值, 几乎都出

表2 大同5.8级地震 D_0 值异常的前兆观测台(点)情况
(1990年1月—1991年5月)

观测项目	台(点)名称	D_0 基值	D_{0min} ~	D_{0min} 出现时段	对应地震	台(点) 到震中的 距离(km)	ΔT (月)	ΔD_0 ~
地电	阳原 NE	0.74	0.44	1991年2月	1991年3月大同 Ms5.8	25	1	0.30
	阳原 NW	0.78	0.60	1991年1月	同上	25	2	0.18
	通县 EW	0.74	0.26	1991年1月	1991年3月大同 Ms5.8	240	2	0.48
					1991年5月唐山 Ms5.1	110	4	0.48
	大兴 NS	0.84	0.62	1990年6月	1991年3月大同 Ms5.8	200	9	0.22
			0.66	1990年9月	1991年3月大同 Ms5.8		6	0.18
	宝坻 EW	0.94	0.85	1991年3—4月	1991年5月唐山 Ms5.1	65	2	0.09
水位	马17	0.91	0.67	1991年2月	1991年3月大同 Ms5.8	275	1	0.24
					1991年5月唐山 Ms5.1	209	3	0.24
水氡	文安	0.78	0.54	1990年4月	1991年3月大同 Ms5.8	240	11	0.24
			0.44	1990年12月	1991年3月大同 Ms5.8		3	0.34
					1991年5月唐山 Ms5.1	150	5	0.34
	廊坊	0.84	0.66	1991年2月	1991年5月唐山 Ms5.1	105	3	0.18
	张道口	0.68	0.46	1991年2月	1991年5月唐山 Ms5.1	80	3	0.22
短水准	南孟	0.80	0.55	1990年12月	1991年3月大同 Ms5.8	200	3	0.25
					1991年5月唐山 Ms5.1	180	5	0.25

表3 唐山7.8级地震短水准 D_0 值异常观测台(点)情况
(1973—1977)

观测项目	台(点)名称	D_0 基值	D_{0min} ~	D_{0min} 出现时段	对应地震	台(点) 到震中的 距离(km)	ΔT (月)	ΔD_0 ~
短水准	张道口 EW	0.83	0.72	1975年2月	1976年7月唐山 Ms7.8	100	17	0.11
			0.68	1976年3月	1976年7月唐山 Ms7.8		4	0.15
			0.72	1977年1月	1977年5月宁河 Ms6.5	60	4	0.11
	南口	0.76	0.56	1976年4月	1976年7月唐山 Ms7.8	175	3	0.20
	宁河 NS	0.80	0.52	1976年6月	1976年7月唐山 Ms7.8	60	1	0.28
	易县 EW	0.79	0.61	1976年6月	1976年7月唐山 Ms7.8	225	1	0.18
			0.64	1977年3月	1977年5月宁河 Ms6.5	175	2	0.15
	施庄	0.84	0.62	1976年5—8月	1976年7月唐山 Ms7.8	220	2	0.22
	墙子路	0.84	0.67	1975年8月	1976年7月唐山 Ms7.8	120	11	0.17
			0.69	1976年6月	1976年7月唐山 Ms7.8	120	1	0.15
	张山营	0.82	0.58	1976年2月	1976年7月唐山 Ms7.8	220	5	0.24
	牛口峪	0.84	0.65	1975年2月	1976年7月唐山 Ms7.8	175	17	0.19
			0.60	1977年4月	1977年5月宁河 Ms6.5	155	1	0.24
	红山	0.80	0.54	1975年3月	1976年7月唐山 Ms7.8	340	16	0.26
	香河	0.82	0.62	1976年2月	1976年7月唐山 Ms7.8	100	5	0.20

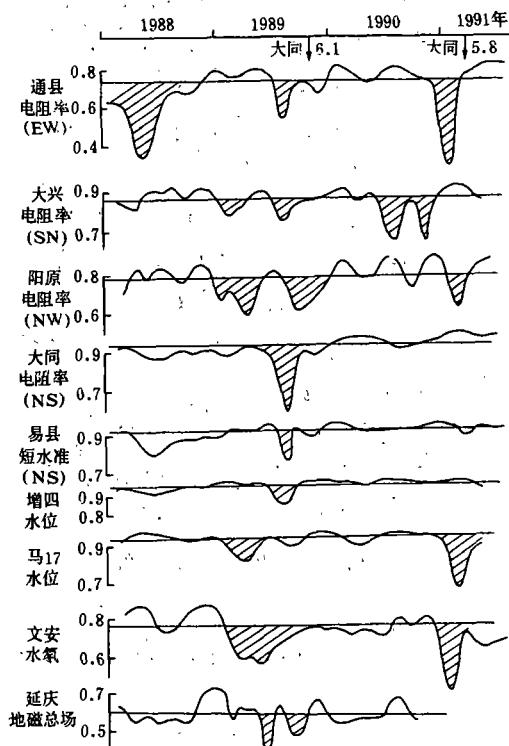


图2 大同地震前兆模糊维数随时间变化曲线

Fig. 2 Fuzzy fractal dimension curve of precursor observational value before the Datong earthquake

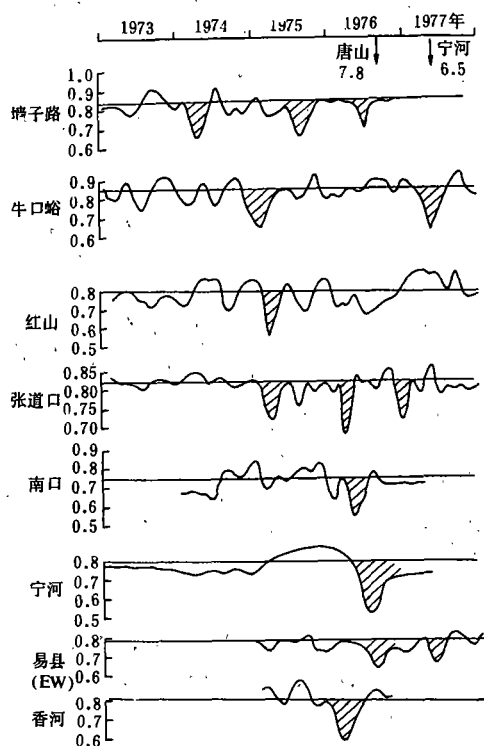


图3 唐山7.8级地震前短水准模糊维数随时间变化曲线

Fig. 3 Fuzzy fractal dimension curve of short levelling observational value before the Tangshan earthquake (M=7.8)

现了降维现象。这些台(点)相距几十乃至几百公 km, 但一些前兆观测资料却在几乎相同的时间段里出现降维过程, 这难以用局部的非地震干扰因素来解释。

其次, 有些台(点)的观测值, 例如大同台的地电、易县台的短水准、增4井的水位及延庆台的地磁总强度等在1988—1990年, 唯独在大同6.1级地震前出现过一次降维现象。

唐山7.8级地震前, 华南北部的短水准观测值也同样表现出上述特征。从图3可看到, 相距几百 km, 观测条件各不相同的台(点)的形变观测值, 在几乎相同的时间段里出现降维过程, 这也是难以用干扰来解释的。

所以, 前兆观测值模糊维数明显降低(超过了该观测值多年模糊维数正常动态变化范围), 可以作为地震异常的一种指标。

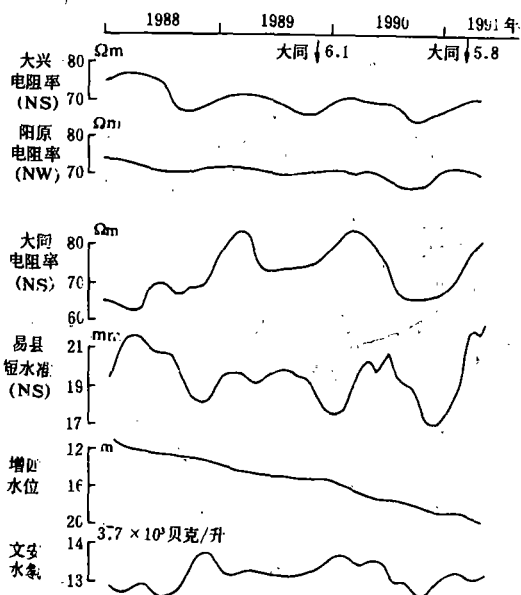


图4 部分台(点)原始观测曲线

Fig. 4 The original observational value of seismic stations

D_0 值有异常的台(点)分别绘于图5和图6。另外,根据 $\Delta D_0 = D_{0\text{基值}} - D_{0\text{min}}$ 求出各台(点)观测值的 ΔD_0 , 并把偏离 ΔD_0 均值较大的作为高降维值,并标于图中。从图5、图6可以看到,震中位于高降维区附近。例如,大同6.1级地震的 ΔD_0 的均值为17.9,具有高降维值的观测资料为大同NS向地电阻率和通县EW向地电阻率(表1)。同样,对于5.8级地震,若排除与唐山5.1级地震有关的异常台(点),高降维点为阳原台,其NE向地电阻率测值的 ΔD_0 偏离均值较大。

为了进行对比,我们绘出了一些台(点)的原始观测值曲线,见图4。比较图2和图4不难看出; D_0 值曲线的震前异常要比原始观测值曲线明显。例如,大同地震前大兴台电阻率、阳原台电阻率和增4井水位的原始观测曲线没有显示出明显的异常,而相应的 D_0 值曲线则显示出了明显的异常。又如大同台地电阻率、易县台短水准、文安台水氡的原始观测曲线显示,1989年各自的年动态变化受到了破坏,但是难以判别出异常起始和结束时间,而从相应的 D_0 曲线上则可以清楚地分辨出来。

2. D_0 值的空间分布与震中位置的关系

根据表1和表2的资料,把

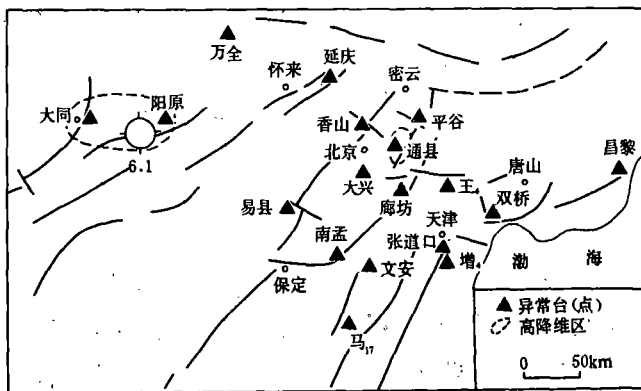


图5 大同6.1级地震前 D_0 异常的空间分布

Fig. 5 Distribution of D_0 anomalies before the Datong earthquake (M=6.1)

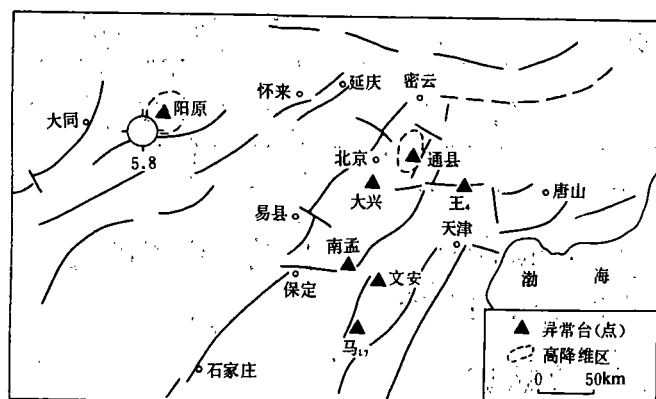


图6 大同5.8级地震前 $\tilde{D}_0$ 异常的空间分布

Fig. 6 Distribution of $\tilde{D}_0$ anomalies before the Datong earthquake ($M=5.8$)

可能是邢台老震区窗口效应),震中也明显位于高降维区附近。

3. $\tilde{D}_0$ 值分布与震级的关系

根据上述分析可以初步看出,6级左右或6级以上地震前,有2个以上的高降维区。

$\tilde{D}_0$ 值异常个数随震级增大而增多,其空间分布面积越大,震级越高。如大同6.1级地震异常台(点)到震中距离最大达到440km,5.8级地震则为275km。

4. $\tilde{D}_0$ 值分布与发震时间的关系

$\tilde{D}_0$ 值出现的异常一般为中短

期异常。从图2可以看到,各种前兆观测资料的降维异常具有很好的同步性,且一般出现在震前几个月内。表1—表3列出了从 $\tilde{D}_0$ 出现开始至地震发生异常持续时间 ΔT (以月计),表4列出了大同6.1级和5.8级地震前 ΔT 的分布情况。

从表4可以看到,3个月内出现的 $\tilde{D}_0$ 异常有明显的优势,约占异常总数的46%,6个月以内的异常个数则达到异常总数的75%,大同6.1级地震前有少数 ΔT 超过1年,属中期异常,而5.8级地震则没有。

从图5和图6还可以看到,大同6.1级地震前, $\tilde{D}_0$ 有异常的台(点)较多,达18个,占台站(点)总数的33%。5.8级地震前异常台(点)较少,仅7个,占台站(点)总数的16%。两次地震前异常台(点)具有重复性。

图7给出了唐山7.8级和宁河6.9级地震前,华北北部短水准台(点)观测资料的 $\tilde{D}_0$ 值异常的空间分布和高降维区。 $\Delta \tilde{D}_0$ 均值为19.6(表2),偏离该值最大的是宁河台。另外,张道口、张山营、红山等台(点)的 $\Delta \tilde{D}_0$ 也偏离均值稍大。若不考虑红山台(该台反应

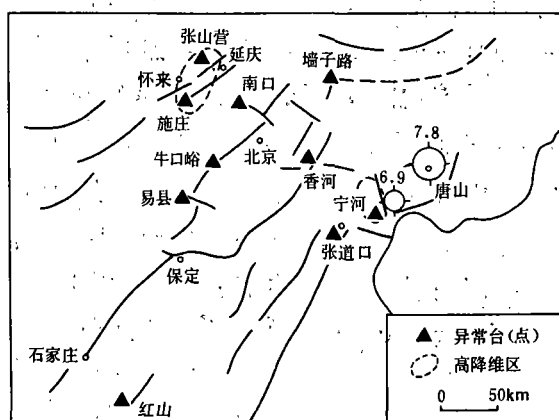


图7 唐山7.8级和宁河6.9级地震前短水准 $\tilde{D}_0$ 异常的空间分布

Fig. 7 Distribution of $\tilde{D}_0$ anomalies before the Tangshan earthquake ($M=7.8$) and the Ninghe earthquake ($M=6.9$)

表 4

 ΔT 的分布

地震	3个月以内	4—6个月	7—12个月	12个月以上	共计
大同 6.1级	9	7	6	3	25
大同 5.8级	10	4	2	0	16
合计	19	11	8	3	41

唐山 7.8 级地震的 D_0 值异常在墙子路、牛口峪等外围地区观测点先出现, 然后在距震中较近的张道口等台出现, 最后在距震中最近的宁河台出现 (图 3)。

五、几点认识

通过本文上述的分析和讨论, 可以得到如下几点认识:

1. 各类前兆观测值的时间模糊维数 D_0 , 可以较好地反映地震异常信息, 其异常特征表现为多台 D_0 值同步下降。

2. 高降维区是应力集中区, 在该地区, 由于前兆观测值受到地震的影响最大, 因此其自相似性变化最大, 震中就位于该地区附近; D_0 异常一般显示为中短期异常; 其异常的个数及分布范围与未来地震的震级有关, 个数越多, 范围越大, 震级越高。

3. 没有地震发生时, 各类前兆的 D_0 值在一定的范围内变化, 显示出相对的稳定性。不同的台 (点) 其 D_0 基值不同, 这可能与各台 (点) 的观测系统和观测条件有关, 对此需要进一步深入研究。有的台 (点) D_0 值变化幅度小, 有的变化幅度很大, 反映出的异常程度差异也很大。这从一个侧面说明由于地壳介质的不均匀, 从而引起前兆异常出现差异。

感谢国家地震局分析预报中心、综合观测队、第一地形变监测中心, 河北、山西、天津等省市地震局为我们提供了宝贵资料。

(本文 1992 年 2 月 11 日收到)

参考文献

- [1] 郑熙铭等, 强震前兆异常的模糊识别与地震预报, 地震, No. 3, 1991.
- [2] 冯德益等, 模糊分维及其在地震研究中的应用, 国际地震动态, No. 10, 1991.

(下转 70 页)

MATHEMATICAL SIMULATION RESEARCH OF AFFECT OF LARGE SCALE MEDIUM CONDITION ON THE OBSERVATION OF GEOELECTRICAL STATION

Zhao Heyun, Ruan Aiguo

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

For two types of earthquake focus model ("locked fault" and "expanding ball" models), the distributions of stress and strain were calculated separately for different combinations of large scale layer medium, then the resistivity anomalies caused by additional stress and strain were calculated in order to reveal the affect of large scale medium condition on the observation of geoelectrical station. The results show that the change of combination of large scale layer medium has great affect on resistivity anomaly, and the good conditions are: (1) potential for earthquake should happen in hard rock layer; (2) the thinner of such hard rock layer, the better; (3) the depth of soft covering layer should not be too thick. Besides, the results show that the local medium combination and its mechanic and electrical characteristics also have great affect on resistivity anomaly.

(上接20页)

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF FUZZY FRACTAL DIMENSION OF EARTHQUAKE PRECURSORS

Zheng Ximing, Feng Deyi

(*Seismological Bureau of Tianjin, China*)

Abstract

By using the formula of fuzzy fractal dimension, the values of fuzzy fractal dimension of the observational data of precursors in epicentral region and its vicinity before the M6.1 and M5.8 Datong earthquakes have been calculated and analysed. The results obtained show that there exist obvious decreases of fuzzy fractal dimension before the earthquakes, and the epicenters were located in the vicinity of the region where the decreases of fuzzy fractal dimension were most strong. The similar phenomena were obtained in the short - base leveling data before the Tangshan M7.8 earthquake.