

---

# 地震预报 与地震工程研究 论文集

---

冯德益 主编

---



地震出版社

---

# 地震预报与地震工程 研究论文集

主 编 冯德益  
副主编 张祖胜 金国梁 李之鑫  
编 委 徐树心 郑熙铭

地 震 出 版 社

1992

(京)新登字 095 号

### 内 容 提 要

本文集共收集论文 17 篇,都是首次发表的研究成果,内容包括五部分。第一是前兆研究部分,含有专门研究大同 5.8 级地震前兆的论文 2 篇和探讨水位异常的论文 1 篇;第二部分含 3 篇论文,分别介绍地震预报研究中新探讨的三种方法,即模糊神经网络法、模糊自相似分析法和脸谱分析法;第三部分为探讨地形变与地震关系的 3 篇论文;第四部分为有关地震预报基础研究的 4 篇论文;第五部分是地震工程研究方面的 4 篇论文。

本书可供地震系统和工程系统专业技术人员与业务管理人员以及高等院校有关专业师生参考使用。

2047/3307

### 地震预报与地震工程研究论文集

主编 冯德益

责任编辑:姚家榴

※

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

※

787×1092 1/16 7.75 印张 195 千字

1992 年 10 月第一版 1992 年 10 月第一次印刷

印数 001—650

ISBN 7-5028-0604-0 /P. 408

(994) 定价:5.50 元

## 前 言

天津市历经多次强烈地震的影响与破坏,特别是 60 年代以来邻区发生了邢台、渤海、海城、唐山等 7 级以上大地震,至今天津市民记忆犹新。天津地震工作队伍在地震洗礼中锻炼成长,发展壮大。在长期积累地震活动资料、地震前兆和大地形变观测资料以及地震破坏与损失资料的基础上,对地震预报、地震工程与地震对策等方面的一系列问题进行了较为深入的研究工作,取得了丰硕的研究成果。在纪念唐山大地震十五周年之际,天津市地震学会征集了天津地震工作者近年来的数十篇学术论文。为了尽快推广一批新的研究成果,扩大学术交流面,特选编了这本《地震预报与地震工程研究论文集》。

本文集共收集论文 17 篇,都是首次发表的最新研究成果,内容包括地震前兆,地震预报新方法,地形变与地震的关系,地震预报基础研究和地震工程研究等五个方面。论文刊登顺序主要依据其不同性质划分大类,按逻辑结构安排。由于篇幅所限,还有一部分较好的论文未能刊载,望有关作者谅解。

本论文集由天津市地震学会学术委员会负责组稿。在文集的组稿与出版过程中,得到了天津大学、国家地震局第一地形变监测中心和天津市地震局的支持,在征稿过程中得到天津市地震学会广大会员的积极响应,最后出版时又得到地震出版社的支持,在此一并表示深切的谢意。

本文集可供全国广大地震工作者及高等院校有关专业的师生参考使用。由于编者水平有限,不当之处在所难免,望多予批评指正!

编 者

1991 年 10 月

# 目 录

## 一、地震前兆

- 1991年3月大同5.8级地震前兆特征的模糊分析 … 郑熙铭 冯德益 田 山 李君英(1)  
大同-阳高两次地震前定点形变异常特征对比研究 …………… 杨炳顺(9)  
水位异常形态及其与地震关系的初步分析 …………… 王安滨 黄振义(16)

## 二、地震预报新方法

- 模糊神经网络在地震综合预报中的应用 …………… 冯德益 郑熙铭 蒋 淳 林命周(22)  
模糊自相似分析法在地震预报中的某些应用 …………… 蒋 淳 冯德益 田 山(28)  
脸谱分析法在地震预报中的应用 …………… 王公恕 刘喜兰 冯 雯 朱成熹 冯德益(33)

## 三、地形变与地震的关系

- 中国东南地区大地垂直形变场基本概况及其与地震的关系 … 应绍奋 沈永坚 孙汉荣(40)  
对天津及其周围地区垂直形变演变的初步研究 …………… 沈永坚 胡惠民(47)  
滦县台应变固体潮的调和分析 …………… 徐树心 胡新康(56)

## 四、地震预报基础研究

- 1976年天津宝坻地震序列的初步研究 …………… 薛志照(64)  
地震时间间隔的分布规律 …………… 龚鸿庆 龚鸿瑞(70)  
天津区域综合地震数据库系统 …………… 高文海 李振兴 马少强 何淑敏 朱桂兰(74)  
地震台站微机综合管理系统初探 …………… 陈金林 张建新 张 昱(79)

## 五、地震工程

- 两种计算弹塑性体系随机地震反应的简化方法 …………… 宗志桓 于俊英(84)  
建筑物-桩-土相互作用体系中的一个新力学模型 …………… 王进忠 闫晓军 马 驰(92)  
地震作用下钢筋混凝土框架结构倒塌分析…………… 宗志桓 王春瑞 于敬海(101)  
桩基抗震性能…………… 陈宝利 吴家询 王成华(110)

# Contents

## I . EARTHQUAKE PRECURSORS

- Fuzzy Analysis of the Characteristics of Precursors before  $M=5.8$  Datong Earthquake in March 1991 ..... Zheng Ximing, Feng Deyi, Tian Shan, Li Junying (1)
- A Comparison Study on the Characteristics of Ground Deformation Anomalies at Fixed Sites before Two Datong-Yanggao Earthquakes ..... Yang Bingshun (9)
- Preliminary Analyses of the Forms of Anomalies in Water Level and Their Relations to Earthquakes ..... Wang Anbin, Huang Zhenyi (16)

## I . NEW METHODS OF EARTHQUAKE PREDICTION

- The Application of Fuzzy Neural Network in Synthetic Earthquake Prediction ..... Feng Deyi, Zheng Ximing, Jiang Chun, Lin Mingzhou (22)
- Some Applications of Fuzzy Self-Similarity Analysis in Earthquake Prediction ..... Jiang Chun, Feng Deyi, Tian Shan (28)
- The Application of Face Analysis in Earthquake Prediction ..... Wang Gongshu, Liu Xilan, Feng Wen, Zhu Chenxi, Feng Deyi (33)

## II . GROUND DEFORMATION AND EARTHQUAKE

- Basic Condition of Vertical Earth Deformation Field of South-East China Region and Its Relation to Earthquakes ..... Ying Shaofen, Shen Yongjian, Sun Hanrong (40)
- A Preliminary Study on the Evolution of Vertical Deformation of Beijing—Tianjin Region and Its Vicinity ..... Shen Yongjian, Hu Huimin (47)
- Harmonic Analysis of Strain Solid Tide Observed at Luanxian Station ..... Xu Shuxin, Hu Xinkang (56)

## IV. BASIC RESEARCHES FOR EARTHQUAKE PREDICTION

- Preliminary Study on 1976 Baodi Earthquake Sequence in Tianjin ..... Xue Zhizhao (64)
- Distribution Law of Time Intervals between Earthquakes ..... Gong Hongqing, Gong Hongrui (70)
- Synthetic Earthquake Database System for Tianjin Region ..... Gao Wenhai, Li Zhenxing, Ma Shaoqiang, He Shumin, Zhu Guilan (74)
- Preliminary Research of Synthetic Computer System for Controlling Seismic Stations ..... Chen Jinlin, Zhang Jianxin, Zhang Yu (79)

## V . EARTHQUAKE ENGINEERING

- Two Approximate Methods for Estimating Random Earthquake Responses of Elastoplastic Systems  
..... Zong Zhihuan, Yu Junying(84)
- A New Mechanical Model for Building-Pile-Soil Interaction System in Seismic Response Analysis  
..... Wang Jinzhong, Yan Xiaojun, Ma Chi(92)
- Collapse Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures under Strong Earthquake .....  
..... Zong Zhihuan, Wang Chunrui, Yu Jinghai(101)
- Aseismic Capacity of Pile Foundations ..... Chen Baoli, Wu Jiashun, Wang Chenghua(110)

# 一、地震前兆

## 1991年3月大同5.8级地震前兆特征的模糊分析

郑熙铭 冯德益 田山 李君英

(天津市地震局)

利用模糊数学中异常从属函数方法,处理了首都圈地区63个台(点)的水位、地  
形变、地电阻率、地磁总强度和水氡等前兆观测值,得到了1991年3月大同5.8级地  
震前兆的时空分布特征:在震前出现三个前兆高异常区,震中位于最高异常区附近;  
震前有明显的短期异常;前兆异常比例为28.5%;前兆异常的空间分布与1989年大  
同6.1级地震的前兆异常空间分布基本相似。

### 一、前 言

山西大同-河北阳原地区1988年7月发生4.8级地震,1989年10月发生6.1级地震,  
1991年3月发生5.8级地震。为了对这些地震的前兆异常进行深入的研究,我们曾利用模  
糊数学中的异常从属函数识别和分析了1988—1989年首都圈及其邻近地区的80个台站(观  
测点)的地电、地磁总强度、水氡、水位和短水准等前兆观测手段的25000多个数据,并进行了综  
合判定,得到了阳原4.8级和大同6.1级两次地震的前兆时空分布特征<sup>①</sup>。

本文对首都圈地区的62个台站(观测点)的上述五类前兆观测手段自1990年1月至  
1991年3月的8000多个数据进行了计算,从而得到了1991年3月大同5.8级地震前兆异常  
的时空分布特征。

### 二、前兆模糊分析识别结果

对各类前兆观测值进行处理的方法可参考文献[1—5]。这里仅列出一般形式:

$$\mu = \left[ 1 + \frac{\alpha}{|k| \cdot |r|} \right]^{-1}$$

式中 $k$ 为前兆观测值变化的速率, $r$ 为前兆观测值与时间的相关系数, $\alpha$ 为通过样本学习得到  
的经验常数。 $\mu \in [0, 1]$ 为前兆观测值属于地震异常的程度,当它大于0.5时,相应的前兆观测  
值即属于地震异常。

<sup>①</sup> 郑熙铭等,阳原4.8级和大同6.1级地震前兆异常的模糊识别及其特性分析,中国地震,待发表,1990。



为节省篇幅,仅把计算得到的  $\mu > 0.5$  的各类前兆的异常情况列于表 1,表中的  $\Delta T$  表示前兆时间,即从异常出现到发震时刻之间的时间。大同 5.8 级地震前有异常的观测点见图 1,为对比起见,图中标出了无异常的观测点位(台站)。这些无异常的观测点及观测项目是:管庄、永清、文安、怀,井的水氧,昌黎、红山、延庆、大兴、白家疃、黄壁庄、宝坻、青光、塘沽、静海、宁河、徐庄子台站的地磁总强度,昌黎、高村井的水位,宝昌、宝坻、大兴、通县、延庆、太原、兴济 NW、昌黎 SN 等台站的地电,张山营、小水峪、芦家井、张家台、琢州、永乐店、南孟、麻地营、顺义、紫荆关等观测点的短水准。

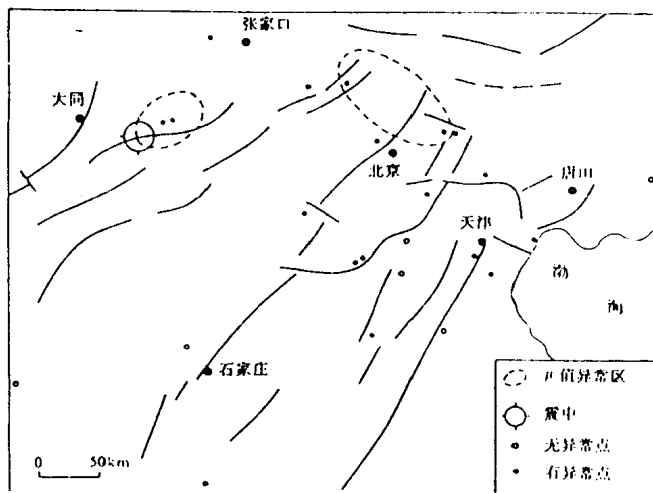


图 1 大同 5.8 级地震前兆异常的空间分布

表 1 用模糊分析法得到的各类前兆的异常情况

观测项目	台站(点)名称	出现异常的时间或时段	$\mu_{max}$	震中距(km)	$\Delta T(d)$	地震
水 氧	王,	1990. 10. 20	0. 60	280	156	大同 5. 8 (1991. 3. 26)
	雄县	1990. 10. 20	0. 52	210	156	大同 5. 8
	廊坊	1990. 9. 20	0. 55	240	166	大同 5. 8
	怀,	1990. 11. 30	0. 54	145	116	大同 5. 8
	芦台	1990. 7. 15—7. 30	0. 57	50		唐山余震活动
	阳原	1990. 7. 15—20; 8. 5—8. 10	0. 65	180	6	大海坨山 4. 5 (1990. 7. 21)
	昌黎	1990. 6. 20—6. 30	0. 64	70		唐山余震活动
	张道口	1991. 2. 15—3. 5	0. 57	360	40	大同 5. 8; 唐山 5. 1 (1991. 5. 30)
地 磁 $F$	阳原	1991. 1. 20—2. 20	0. 62	30	65	大同 5. 8
	马坊	1990. 12. 15—12. 20	0. 68	250	100	大同 5. 8
		1991. 1. 5—1. 10				
水 位	汉,	1990. 9. 30	0. 51	330	174	大同 5. 8
	双桥	1990. 7. 20—7. 25	0. 53	50		唐山余震活动

续表 1

观测项目	台站(点)名称	出现异常的时间或时段	$\mu_{\max}$	震中距(km)	$\Delta T(d)$	地震
	万全	1991. 2. 20	0. 50	100	34	大同 5. 8
水位	增。	1990. 11. 25	0. 52	310	120	大同 5. 8
	雄县	1990. 10. 5; 11. 15—11. 25	0. 54	210	169	大同 5. 8
	马 <sub>17</sub>	1991. 3. 20—3. 30	0. 65	250	6	大同 5. 8; 唐山 5. 1
	延庆	1990. 9. 25; 11. 10—11. 15	0. 68	170	180	大同 5. 8
地电	平谷 NW	1990. 7. 5—7. 10	0. 51	60	16	大海坨山 4. 5
	NE	1990. 6. 30—7. 15	0. 60	60	20	大海坨山 4. 5
	NE	1990. 10. 30; 12. 10	0. 52	240	146	大同 5. 8
	大同 SN	1990. 6. 5—6. 10	0. 51	250	45	大海坨山 4. 5
	EW					
	阳原 NE	1990. 6. 10—6. 15	0. 52	180	40	大海坨山 4. 5
	NW	1990. 10. 20—11. 5	0. 56	33	156	大同 5. 8
	NE	1990. 10. 20—10. 30	0. 70	33	156	大同 5. 8
	邢台 NW	1990. 11. 10	0. 50	320	136	大同 5. 8
	NE	1990. 10. 25—11. 5	0. 59	320	150	大同 5. 8
	兴济 NE	1990. 5. 20	0. 52	180	60	大海坨山 4. 5
昌黎 EW	1990. 6. 30	0. 50	70		唐山余震活动	
短水准	香山 EW	1990. 5. 25	0. 51	45	55	大海坨山 4. 5
	SN	1990. 3. 20	0. 51	45	120	大海坨山 4. 5
	EW	1990. 11. 25	0. 55	200	121	大同 5. 8
	SN	1990. 11. 25	0. 53	200	121	大同 5. 8
	宁河 SN	1990. 5	0. 51	50		唐山余震活动
	易县 EW	1990. 11. 25	0. 56	140	121	大同 5. 8
	SN	1990. 8. 20—9. 5; 1991. 2. 10	0. 61	140	215	大同 5. 8
	狼山 4—5	1990. 4. 6	0. 54	100	90	大海坨山 4. 5

### 三、前兆时空特征分析

#### 1. 前兆异常的空间分布特征

从图 1 上可看到,异常主要集中在首都圈及其边缘地区。若把  $\mu > 0.65$  作为高异常从属度的话,则大同 5.8 级地震前有 3 个高异常从属度区,一个在阳原地区,一个在延庆-平谷地区,一个在河间地区。却以阳原地区的  $\mu$  值最高(达 0.70)。若与 1989 年大同 6.1 地震前兆模糊异常的空间分布(图 2)相比较,则有不少类似之处。例如,震前有 2 个以上的高从属度区(多点应力集中区),且震中位于高从属度区附近。前兆异常台站(点)在两次大同地震前是类似的。此外邢台地区的前兆观测在两次大同地震前也都有异常显示。

另外,从表 1 还可看到大同 5.8 级前兆异常距震中最远为 330 公里。若把表 1 中所列的大同 5.8 级地震前兆模糊异常的震中距按每 50 公里为一间距,统计其个数的话,则有表 2 之结果。从表中可看到,前兆异常的优势分布在距震中 201—250 公里处。而这些异常点主要位于程各庄夏垫断裂中部和香河牛东断裂中部和南部。以上这些特点与阳原 4.8 级和大同 6.1 级地震的前兆异常空间分布相类似。

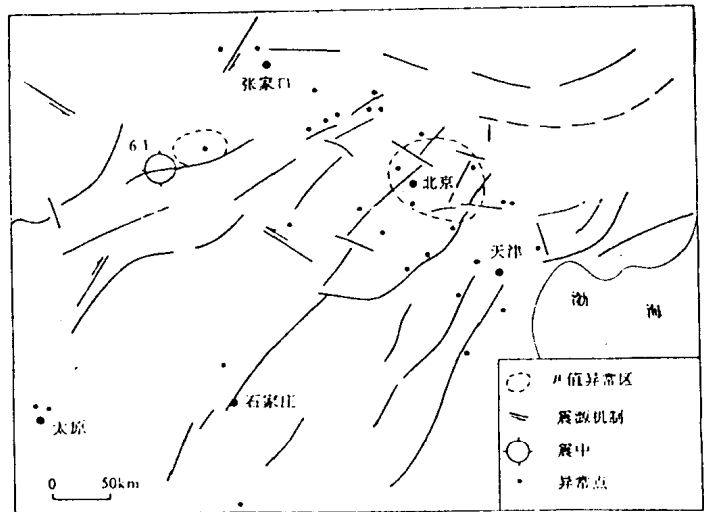


图 2 大同 6.1 级地震前兆异常的空间分布

表 2 大同 5.8 级地震前兆异常的震中距分布

震中距(km)	0—50	51—100	101—150	151—200	201—250	251—300	>300
异常个数	2	1	2	2	6	2	3

#### 2. 前兆异常的频次分布特征

大同 5.8 级地震前兆异常,占我们所处理的全部资料台项的 28.5%。1988 年阳原 4.8 级和 1989 年大同 6.1 级地震前兆异常的比例分别为 19.2%和 43.6%。从表 1 还可知,1990 年 7 月大海坨山 4.5 级地震前兆异常比例为 12.7%。若按月统计异常出现的频次,并绘成前兆异常频次图(图 3),则可看到,地震前存在明显的异常频次峰值,显示出前兆异常的群发性。

#### 3. 前兆异常的时间特征

把表 1 所列的各项前兆异常,按它们所出现的时间顺序绘于图 4,从图上可清楚地看到,前兆异常具有明显的序列性,一般是短水准先出现异常,然后依次是地电、水氡和水位,说明该地区的前兆异常可能是由断层活动所引起的。另外,按每 50 天一个档次来统计表 1 中的异常时间  $\Delta T$ ,可以得到表 3 的结果,即前兆异常出现的优势时间,为震前 101—200 天内,也就是说

大同 5.8 级地震以短期异常为主,临震异常并不明显。

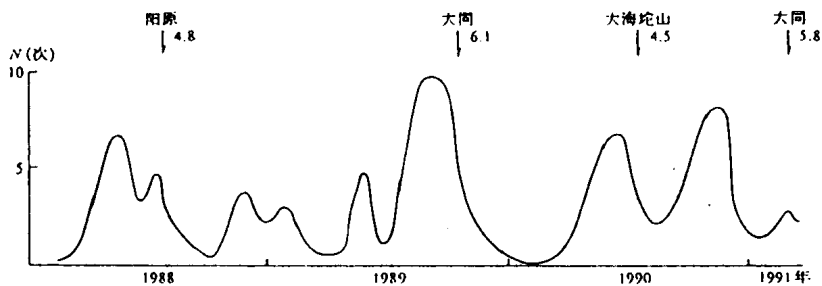


图 3 前兆异常的频次曲线

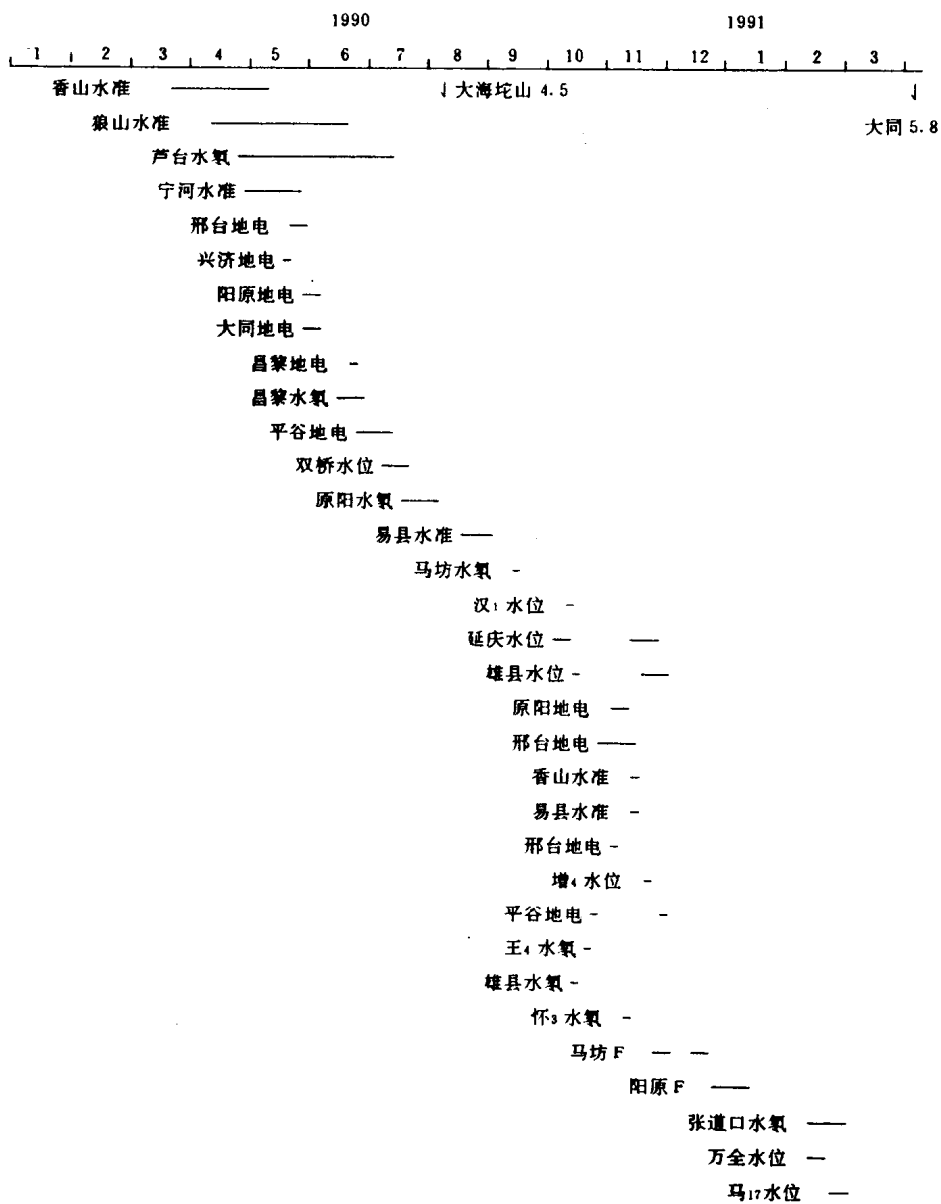


图 4 前兆异常的时间序列

表3 前兆时间  $\Delta T$  的分布

$\Delta T$ (d)	0—50	51—100	101—150	151—200	>200
个数	3	2	6	7	0

把各异常前兆的震中距  $S$  和相应的异常时间  $\Delta T$  的关系绘成图 5。从图上可看到,异常点离震中越远,出现异常较早;似乎异常有从外围向震中逼近的趋势。这一特征与大同 6.1 级地震有所不同。大同 6.1 级地震前兆异常的时间分布以震前 70—80 天为优势,并且有 20 天以内的明显临震异常。

4. 各类前兆观测手段的异常从属度对比

把表 1 所列大同 5.8 级地震前各类前兆观测手段的  $\mu$  值取平均值,并与阳原 4.8 级和大

表 4 各类前兆观测手段的平均  $\mu$  值对比

地震	项目 $\mu$ 值	水氡	水位	短水准	地磁 $F$	地电	平均
阳原 4.8		0.59	0.55	0.53	0.53	0.53	0.54
大同 6.1		0.55	0.59	0.54	0.56	0.52	0.55
大同 5.8		0.56	0.57	0.54	0.65	0.54	0.57

同 6.1 级地震的前兆异常从属度对比(表 4),可以看出水氡和水位的异常从属度较高(地磁  $F$  的  $\mu$  值虽也较高,但只有 2 个台的异常,因此,难肯定),说明流体反映地震前兆的灵敏度较高,监测能力较强。如果对大同 5.8 级地震前地磁总强度的  $\mu$  值考虑到个数较少而略加降低的话,那么上述三个地震的平均  $\mu$  值几乎相等。

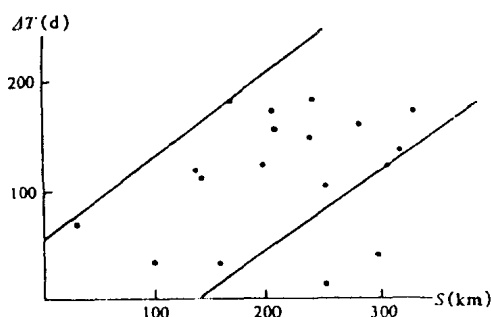


图 5  $\Delta T-S$  图

5. 前兆异常与地震活动性的关系

从图 1 和图 2 可看到,大同 6.1 级和大同 5.8 级前兆模糊异常主要分布在大同和唐山之间的几条北东向的构造带上,除了阳原地区有明显的高异常区以外,京津之间,尤其是北京北部地区还存在一个较大范围的高异常区,且前兆模糊异常有明显的北西向趋势。

另一方面,从地震活动来看,自 1988 年以来,西部阳原大同地区,东部唐山地区,中部北京及其西北地区,形成有相互影响的地震活动带(图 6),而前兆异常的空间分布且正处于大同—唐山之间。所以,前兆异常与地震活动两者之间的关系甚为密切,空间分布甚为一致。由图 6 可以看出,阳原 4.8 级和大同 5.8 级地震时或地震稍后一点时间,在唐山地区即有明显的成簇地

震发生,而大同 6.1 级地震后,在唐山地区无明显的地震活动起伏,北京地区却发生了几次有感地震,这一特点对今后地震活动的趋势分析会有一些帮助。

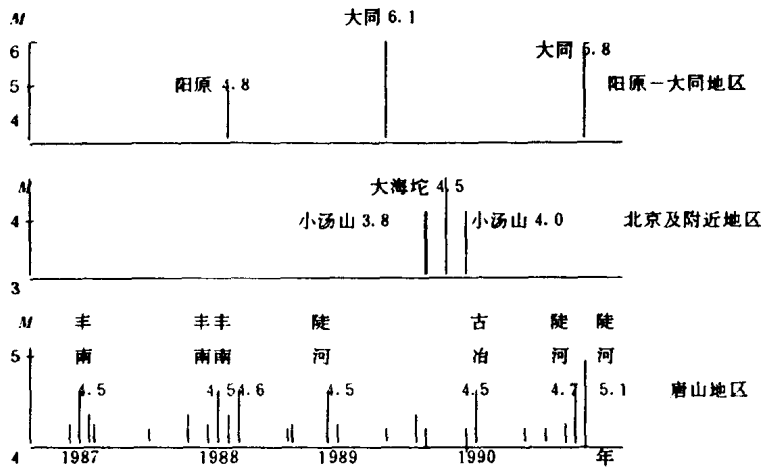


图 6 大同、北京、唐山三地区的地震活动序列

#### 四、结 束 语

通过本文的分析以及与大同 6.1 级地震前兆异常的对比,可得到如下的认识:

1. 大同 5.8 级和 6.1 级两次地震的前兆异常的空间分布大致相同,主要集中在大同—唐山之间,这种分布特点与该地区活动性有关。

2. 自 1988 年以来,首都圈地区的地震前兆异常的频次呈明显的阶段性起伏,且在每次高峰以后都有较强的地震发生,显示该地区的前兆异常在地震前有群发性的特点,也显示出该地区应力场强度的起伏性,对该地区的地震活动应予密切的注视。

3. 前兆异常的比例越高,震级越大,这为震级的预报提供了依据;震中位于高异常从属度区附近,这为震中的预报提供了依据;地震发生在异常频次高峰值以后的几个月以内,这为发震时间的预报提供了依据。

4. 通过对阳原 4.8 级、大同 6.1 级、大同 5.8 级三次地震采用同样的方法、同样的阈值,取得了多项前兆的模糊综合指标,证明本文公式适用于各类前兆观测项目,并由此得到了前兆场的时空特征。根据这些阈值确定的指标对华北北部地区的中强地震具有一定的短临预报效能,可供日常震情监视使用。

国家地震局分析预报中心、国家地震局第一地形变监测中心、国家地震局综合观测队、国家地震局地壳应力研究所以及河北、山西、内蒙等省区地震部门为我们提供了宝贵资料,在此一并表示感谢。

#### 参 考 文 献

[1] 郑熙铭等,唐山 7.8 级地震前地下水位异常的模糊识别,地震地质,Vol. 11, No. 3, 1989。  
 [2] 冯德益等,1976 年唐山地震前水氢含量变化的模糊识别和前兆异常的特性分析,中国地震,Vol. 3, No. 1, 1987。  
 [3] 郑熙铭等,地形变速率与地震震级的模糊判别,华北地震科学,1987 年增刊。

- [4] 郑熙铭等,中强地震前地磁总强度异常的模糊识别,地震地磁观测与研究, Vol. 12, No. 1, 1991。
- [5] 郑熙铭等,强震前地电阻率异常的模糊识别,地震研究, Vol. 14, No. 2, 1991。

# 大同-阳高两次地震前定点形变异常特征对比研究

杨炳顺

(国家地震局第一地形变监测中心)

本文对1989年10月发生在大同-阳高境内的6.1级地震和1991年3月在同一地区再次发生的5.8级地震前定点形变资料前兆特征作了分析比较,认为(1)震区周围200公里范围内的定点形变台,震前均有不同程度的异常显示。(2)两次地震相隔间(约17个月)经历了应力的调整过程,认识这一过程十分重要。(3)对震区周围的定点形变资料采取有效的追踪监测,可以获得比较确切的短临信息,5.8级地震前第一地形变监测中心作出的预报证实了这一点。

## 一、前言

1991年3月26日山西大同-阳高再次发生的5.8级地震是1989年10月这一地区发生的6.1级地震的继续。两次地震发生在同一地区,震级接近,时间相隔17个月,这类情况以往不多见。6.1级地震之后,有关单位从各个方面对这次地震进行过大量研究,在重新估计华北地区地震新形势期间,再次发生5.8级地震,这无疑引起多方关注,如何看待这次地震,震前是否出现预兆等问题是人们希望了解的。本文对这两次地震前定点形变异常特征进行了比较。由于认真总结了6.1级地震的经验教训,采取有效的追踪监测,及时发现新异常,果断地提出了预报意见。

## 二、两次地震前定点形变异常特征对比

两次地震发生在同一地区,在震区周围200公里内,提供定点形变资料的有太原、易县、涞源及香山台,主要观测手段有目视连通管,倾斜仪及伸缩仪。

在分析定点形变资料时,按《地震分析预报方法程式指南》要求,用攻关软件提供的方法进行处理。由于可供使用的软件甚多,本文只择其中一种方法(卡尔曼滤波法)。卡尔曼滤波是一种最佳拟合预估方法,其特点是拟合预估低频部分,提取高频部分,并利用它进行异常识别。各种分析方法有它的优势,但也不是万能的。如用卡尔曼方法判断趋势就未必凑效。因此还得根据其它方法进行趋势判断。本文用文献[1]方法进行跟踪取得较好的效果。通过对上述各台的处理以及两次地震前形变资料对比分析,我们认为两次地震前,上述各台均有异常显示,但异常显示的方式和程度不同。其中比较确切的异常有太原台连通管和易县台倾斜仪;对涞源台连通管的异常持有不同看法;另外,对香山台SN向连通管的异常存在疑点。各台的异常形式及特点如下:

### 1. 太原台

太原台连通管在6.1级地震前出现过异常,随后经历了调整阶段,在尚未完全恢复时又



出现新异常。异常幅度比 6.1 级地震前还大(图 1)。1991 年 1 月 29 日位于太原北的忻县发生  $M_s$  5.1 级地震后有人认为异常对应了这次地震。实际上异常并没有结束,其后又发生大同-阳高 5.8 级地震。两次地震异常叠加一起,区分和识别这类异常更复杂一些。这是一个需要认真对待的问题。

## 2. 易县台

易县台倾斜仪在 6.1 级地震前一直呈现北东向倾斜,用卡尔曼滤波方法处理该台倾斜仪资料,发现高频信息密集的时间开始于 1987 年,1988 年后倾斜速率加大,直到发生 6.1 级地震,随后急剧反向。这种震后调整是不难理解的。1990 年 8 月再次出现北东向倾斜,幅度之大极为罕见。现场调查,未发现干扰,确认为异常,其后测值处于持续上升状态,意味着异常还在进一步发展。1991 年初开始反向,直到 3 月 26 日 5.8 级地震发生,才能比较合理地解释这类前兆(图 2)。另外,易县台伸缩仪在 6.1 级地震前十几小时曾记录到脉冲图象。5.8 级地震前未发现这种现象。由此可见孕震区经历的过程,表现的方式十分复杂。

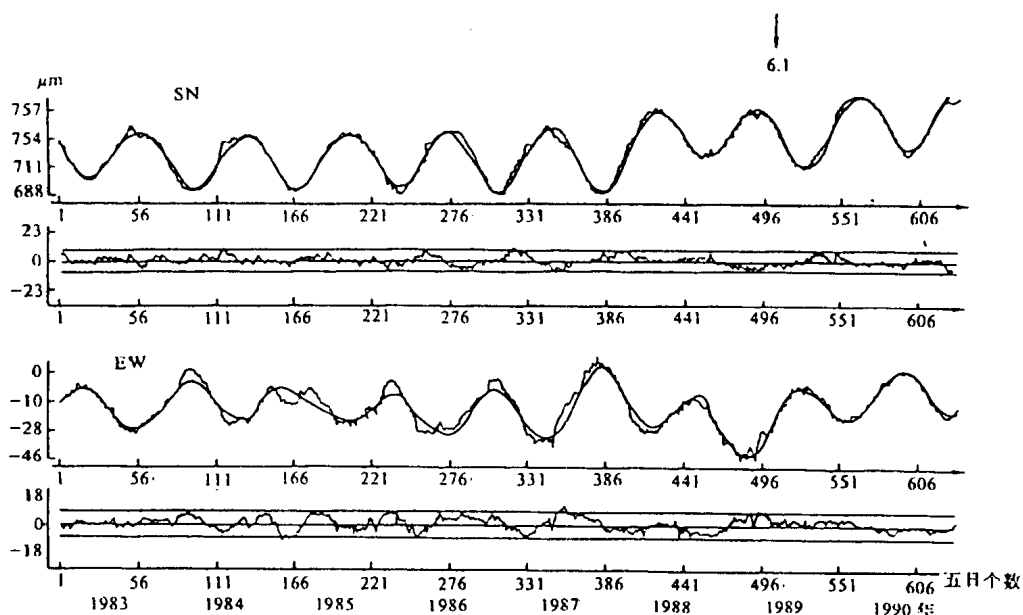


图 1 太原台连通管五日均值图

## 3. 涑源台

涑源台位于这两次地震的近震区,离震中约 100 公里,该台布设一套近 EW 向连通管,建台以来变化起伏较大,普遍认为降雨干扰比较明显。1990 年 8 月,笔者到这个台实地考察,并对 1981 年以来的资料进行跟踪分析,认为干扰是有可能识别的。1988 年 7 月阳原  $M_s$  4.8 级地震以及大同一阳高 6.1 级地震,可能都记录到前兆。1990 年以来,连通管观测曲线相对其它年更不寻常。这引起笔者的重视。这一异常是这次 5.8 级地震前,提出预报意见的主要依据之一(图 3)。

## 4. 香山台

1988 年以来,香山台 SN 向连通管出现大幅度南倾,EW 向东倾,幅度分别为 100 微米和 80 微米,变化之大是建台以来未曾有的(图 4)。6.1 级地震之前,我们对这一异常已有所察觉。