

# 系统科学在京津地区断层形变网络与地震关系研究中的应用

张荣富 宋永厚

(中国武汉 430071 国家地震局地震研究所)

## 摘要

本文用系统科学(信息论方法)的部分原理和方法,对华北地区断层形变网络与地震的关系进行了系统的分析和处理.结果证明,唐山地震前,作为与发震断层有关的京津地区断层形变网络具有明显的群体异常特征.以此特征来预测,时间在将来一年,范围在150km,震级 $\geq 7.0$ 的地震具有实际意义.

关键词 断层网络;熵;信息水平

## 一、前言

信息系统方法应用于地震预测预报的原理和方法,在文献[1, 2, 4]中已有较为详尽的论述.本文应用系统科学(信息论方法)的部分原理和方法对京津地区断层形变网络与地震的关系进行系统分析和处理,所用资料为京津地区五条主要活动断裂带上七个台站计15条测线的水准、基线资料.同时以1975年海城7.3级地震(距该区约200—300km)和1976年唐山7.6级地震(距该区约50—150km)为震例来探讨其相互之间的关系.控制该区的五条活动断裂带分别为:大海坨—紫荆关断裂带;怀柔—北京—保定断裂带;夏垫断裂带以及横跨京津唐地区的东西向断裂带和北西向断裂带(图1).该区断裂十分发育,地质研究较为详尽,形变网点分布甚密.我们把该区活动断层网络以及分布其上的各个断层形变观测台站和测点视为一个“断层运动与蕴震信息系统”.从系统科学出发,用信息论方法综合处理各项观测资料,从中获取地震前兆信息.

## 二、方法及步骤

1. 断裂运动的速率随时间、空间的不同均有较大的变化.在空间上,不同方向的断裂

1989年1月3日收到本文初稿,1990年4月3日决定采用.

和同一条断裂的不同地段,在同一时间内有很大的差别.运动速率的大小,一方面取决于断裂的走向与最大水平挤压力方向之间夹角的大小;另一方面也与断裂的规模和活动性的强弱有密切关系.而地震的蕴育,则可能是断裂运动速率变化的重要因素之一.

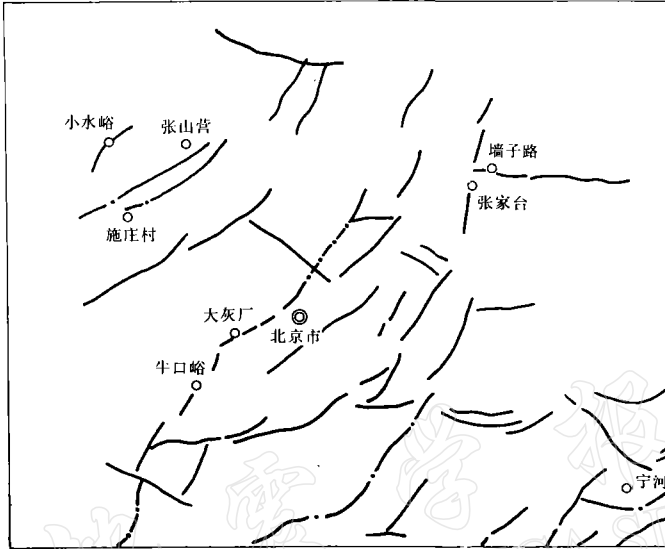


图1 京津地区断层网络及部分形变观测台分布图

设输入序列为等时间间隔的采样序列  $x_{(1)}, x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$ , 将其以  $2m+1$  的时间间隔逐次按公式进行等周期滑动平均

$$M(t) = \frac{1}{2m+1} (x_{t-m} + \dots + x_{t-1} + x_t + x_{t+1} + \dots + x_{t+m}) \quad (1)$$

根据公式(1),本试验取  $m=6$ ,即以一年为步长进行滑动.这样观测值时序中波动周期  $T=1$  年的成分被严格滤去,  $T<1$  年的成分绝大部分被滤去.仅保留了  $T>1$  年的成分.因此可以认为,由季节变化或等于与小于1年为周期的其它干扰因素所引起的地表形变基本被滤去,所得便为频谱大于1年的长趋势变化.同时对观测时序滑动平均结果按下式计算标准差

$$S = \left[ \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

设  $[+ks, -ks]$  为置信区间,一般取  $k=1.5-2.0$ ,超过置信区间为异常,否则反之.

2. 为探索京津地区活动断层网络在唐山大震前后的整体性行为,可采用群体异常综合效应分析法来提高前兆信号的信噪比和可信度.用熵(下式)来定量评价地震前兆效益的信息能力

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \lg_2 P_i \quad (3)$$

我们把在输出端  $X$  已被认知的条件下, 输入端  $Y$  的不确定性所减少的量, 定义为  $X$  信号(消息集)中所包含的关于  $Y$  信号(消息集)的信息量, 以  $I_{x(y)}$  表示

$$I_{x(y)} = H(y) - H(y/x) \quad (4)$$

即把  $Y$  的熵与  $X$  对  $Y$  的条件熵之差, 定义为  $X$  对  $Y$  的信息量,  $I_{x(y)}$  就是由  $X$  随机序列带来的信息, 它是用熵这个概念客观描述  $X$  与  $Y$  这两个随机变量之间的关系, 以比特为单位, 是不肯定程度的绝对减少量, 而它的相对减少量定义为信息水平

$$I_L = \frac{H(y) - H(y/x)}{H(y)} = \frac{I_{x(y)}}{H(y)} = \frac{I}{H(y)} \quad (5)$$

用公式(4)、(5)计算  $X$  序列中所包含的前兆信息量  $I_{x(y)}$  和信息水平  $I_L$ , 能客观地定量确定某台站反映地震前兆信息的能力, 而且对同一台站来讲, 由于地质构造的不同, 不同区域可能有不同的  $I_L$  值, 所以用此方法既可判断出某台站对于哪一个地区的地震有较好的前兆反映, 又可在综合预报中作为各台站的前兆信息权, 为今后的综合分析评定提供量的指标。

3. 为了突出台站资料群体异常的前兆特征, 还须以信息水平为权, 按时间单元顺序进行群体异常频次(频率)加权合成

$$NFT_s = \sum_{i=1}^k I_{Li} \cdot f_{si} \quad (6)$$

$f_{si}$  是第  $i$  个观测序列在第  $s$  个时元内出现的异常频次;  $I_{Li}$  是第  $i$  个观测序列的前兆权(前兆信息水平);  $NFT_s$  是在  $s$  时元内系统异常频次的加权合成值。

### 三、分析结果

1. 根据(1)式绘出京津地区部分测线的月均值实测曲线和经过滑动平均( $m=6$ )后的滑动曲线如图2。从图2可以看出, 由于测点所跨断层不同, 各断层上的观测台站均受大气层以及各种环境因素的影响而显示出非构造地表形变图象, 如图2中各测点的实测曲线所出现的明显的季节性周期性波动, 而经过(1)式低通滤波滑动平均以后, 明显排除了各种高频成分波动而突出了长趋势继承性构造运动变化, 这种变化包括两部分, 即线性变化和不规则变化, 线性变化一般认为是由正常地壳构造运动所引起, 不规则变化则认为是应变异常, 有可能是大震前兆。

由(2)式所设置信区间, 对图2中滑动曲线进行检测, 检测结果(图3)表明: 京津地区形变网络群体异常似乎有相对集中的迹象, 但就某个单台单手段来说, 与唐山或海城大震的对应关系是不明显的, 有异常无震和有震无异常的现象普遍存在, 同时这种群体异常没有量的指标, 难以突出大震前的群体异常前兆特征, 只有根据(3)~(5)式计算能够确定群体异常前兆信息能力的熵、信息量和信息水平, 计算结果如表1所示, 从表中可以看出, 各单台单手段的前兆信息水平普遍较低, 最高也只有金县台水准为0.27, 而所有手段的  $H(x, y)$  联合熵都高, 这是由于单信道接受和检测出的异常与地震的关系都具有相当大的

随机性与模糊性. 从这个意义上说, 依靠单台单手段的前兆异常来预报地震也是十分困难

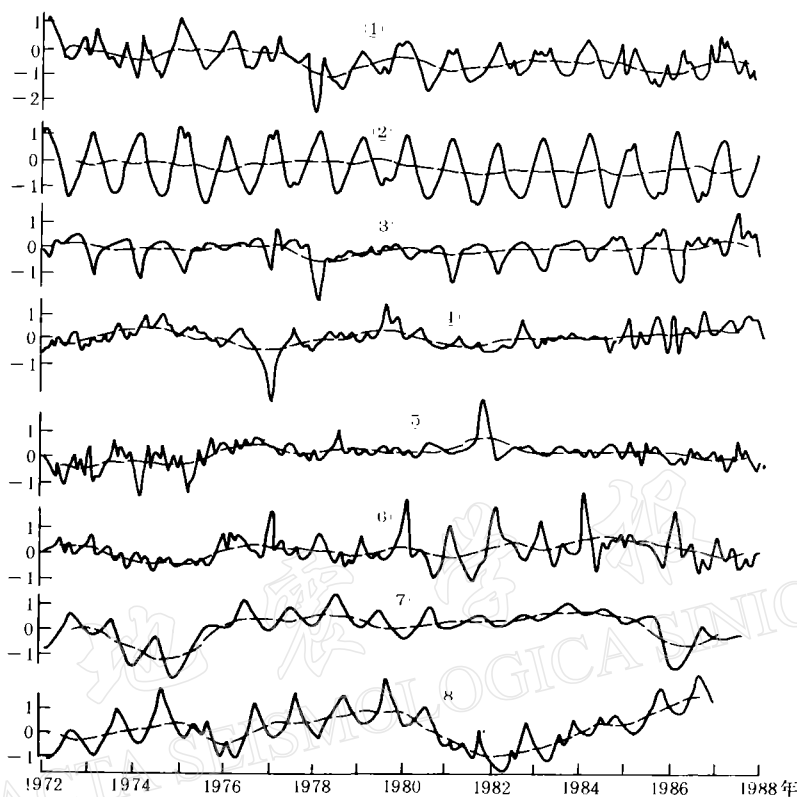


图2 京津地区部分测点实测曲线和滑动曲线

- (1) 墙子路垂直水准; (2) 墙子路斜交水准; (3) 张家台斜交水准;  
(4) 张家台垂直水准; (5) 张山营水准; (6) 施庄村水准; (7) 金县水准;  
(8) 牛口峪水准

的. 在一般情况下, 异常场具有前兆性质, 熵较高. 大震前异常场的时空结构会从随机状态趋向某种有序状态, 即会出现异常场由无序趋向有序的减熵过程. 有了熵和信息水平, 我们可以通过多信道多信息在时空域内的合成, 来提高异常场在大震前的群体前兆特征.

2. 合成前兆图是一种正在发展中的技术, 合成后的群体异常与群落异常都将获得整体信息增益, 有较高的信噪比和清晰度. 削弱了随机性和模糊性. 下面分三种情况进行合成:

1) 半年期异常信息合成法, 即以半年为时间段, 根据(6)式对速率异常信息进行加权合成. 合成结果见图4. 从合成结果整体图形看, 海城地震前没有明显异常, 唐山地震前半年异常不甚明显. 而在震前一年(即1975年下半年)异常较为突出. 但如果以二倍中误差为异常区间( $2m=0.54$ )来估计未来半年地震趋势将会出现失误. 由于图中超过二倍中误差0.54的有4次, 而对应地震的只有唐山地震一次. 同时1975年下半年异常段还不能作为1976年下半年唐山地震的半年期前兆. 故此方法对短临预报意义不大.

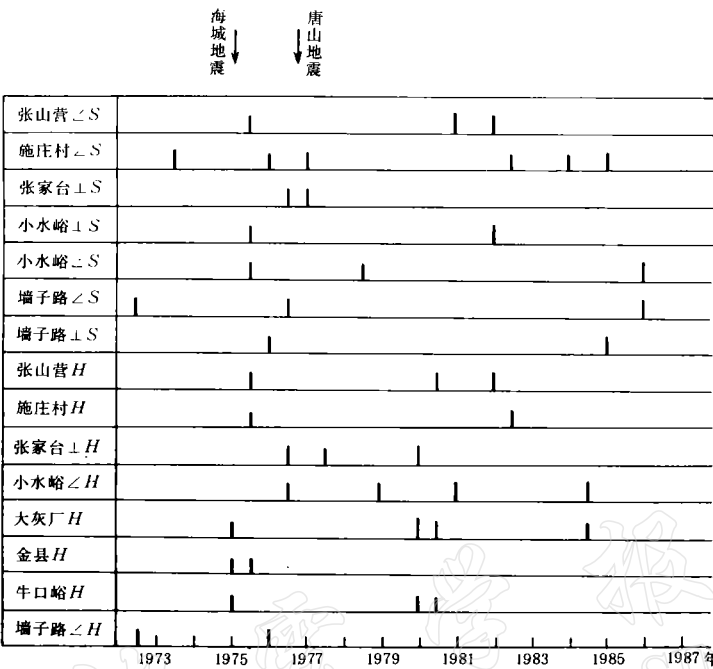


图3 京津地区形变网络异常时序

S 为基线； $\angle S$  为斜交基线； $\perp S$  为垂直基线；H 为水准； $\angle H$  为斜交水准； $\perp H$  为垂直水准

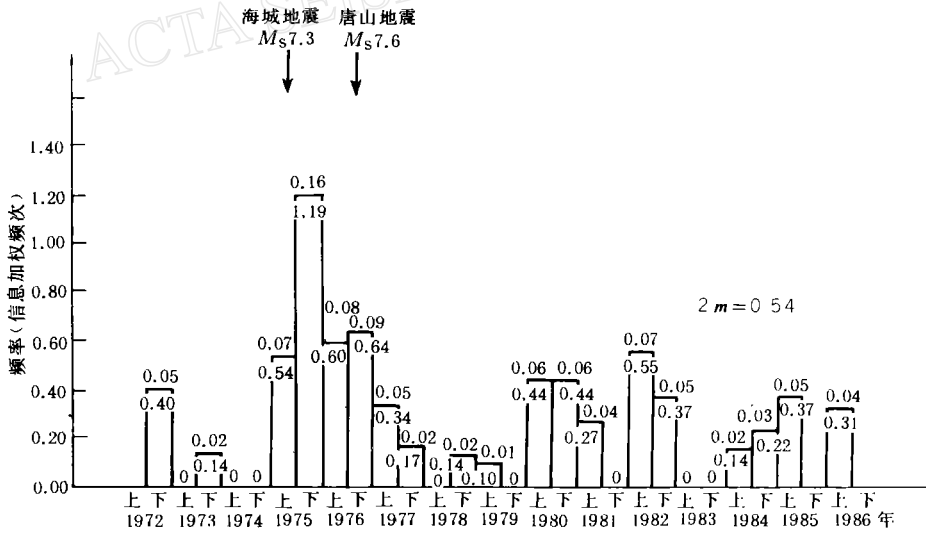


图4 京津地区形变网络半年速率异常信息合成结果

方框内数字为频次，方框外的数字为频率

2) 一年期速率异常信息合成法，即以一年为一时间段。同样以(6)式对速率异常信息进行加权合成。合成结果见图5。从合成图形看，海城地震前一年同样没有出现异常，而1976年唐山地震前出现了明显的异常高峰值。如果仍以二倍中误差为判别区间，则有2次超

过二倍中误差 0.98 的正常范围,但比起图 4 信息能力已经提高了一倍.

表1 京津地区形变网络前兆信息能力 位: bit(比特)

台 站	手 段	$H(y)$ $y$ 的熵	$H(x)$ $x$ 的熵	$H(x,y)$ 联合熵	$I_{x(y)}$ 信息量	$I_L$ 信息水平
墙子路	斜交水准	0.3546	0.3546	0.6275	0.0818	0.23
牛口峪	水 准	0.3807	0.5029	0.8268	0.0568	0.15
金 县	水 准	0.3622	0.3622	0.6283	0.0961	0.27
大灰厂	水 准	0.3622	0.5790	0.8984	0.0428	0.12
小水峪	斜交水准	0.4022	0.6343	0.9961	0.0404	0.10
张家台	垂直水准	0.3546	0.4690	0.7646	0.0590	0.17
施庄村	水 准	0.3546	0.3546	0.6275	0.0818	0.23
张山营	水 准	0.3546	0.4690	0.7646	0.0590	0.17
墙子路	垂直基线	0.3546	0.3546	0.6275	0.0818	0.23
墙子路	斜交基线	0.3546	0.4690	0.7646	0.0590	0.17
小水峪	斜交基线	0.4022	0.5294	0.8743	0.0572	0.14
小水峪	垂直基线	0.4022	0.4022	0.7196	0.0848	0.21
张家台	垂直基线	0.5029	0.3807	0.7809	0.1027	0.20
施庄村	斜交基线	0.4690	0.7832	1.1844	0.0679	0.14
张山营	斜交基线	0.3546	0.4690	0.7646	0.0590	0.17

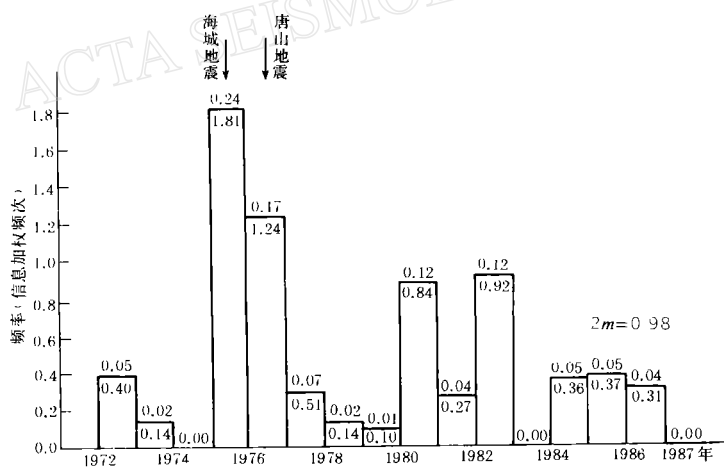


图 5 京津地区形变网络年变速率群体异常信息合成结果  
数字说明同图 4

3)震后总结异常信息合成法.此法在于事前已经知道某时某地已发生多大地震.合成时间单元以发震时刻为界,往前递推一年,凡在此阶段出现的异常即为该次地震前兆异常.无震阶段仍以自然年单元为界,同样以(6)式进行合成,结果见图 6 合成结果表明:海城地震前该区仍无异常反应,而唐山地震前年变速率群体异常信息高度集中(1975 年下半年和 1976 年上半年)其它各段无一超过二倍中误差 1.14 的正常区间,说明了震前群体形

变异常信息是明显的. 至此, 我们有理由相信, 唐山地震前是有前兆的, 而这种前兆所表现的是这种具有形变网络特点的群体异常信息. 因此, 笔者认为, 该种合成方法即使是在地震前也是值得采用的, 对短临预报具有实际意义.

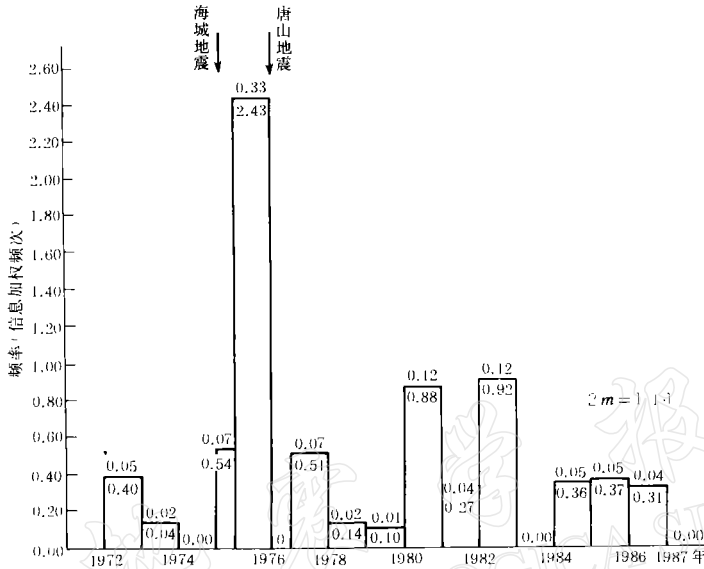


图6 京津地区形变网络震后总结年变速率异常信息合成结果

数字说明同图4

## 四、讨 论

1. 前兆信息系统方法, 把蕴震系统及多学科观测台站视为一个信息系统. 它由多信道组成, 将各不相同的物理量统一抽象为信息, 通过信息合成, 取得整体信息增益, 提高系统整体的可靠性. 如果说图2低通滤波曲线和图3异常检测时序还看不出趋势性异常前兆, 那么经过信息合成后的图5、图6无疑是非常明显地显示出唐山大震前的群体异常前兆.

2. 如果将图4、图5、图6进行比较, 不难发现, 京津地区断层形变网络群体异常信息所反映的半年期前兆不甚明显. 如图4主要是由于强调半年期异常而造成漏检或忽视了半年期前出现的异常, 从而降低了半年时间段内异常频次. 而图5、图6都是以一年时间单元进行合成的, 反映的是一年期群体异常信息, 所以效果较显著. 同时对远离京津断层形变网络观测网点的1975年海城7.3级地震(约距150—200km)均无此前兆现象. 据此笔者认为, 在分析处理断层形变网络的资料中以突出短临(时间单元为一年左右)群体异常进行信息加权合成效果最佳, 对预报未来一年150km范围内7.0级以上大震具有实际意义.

3. 京津地区活动断层有着自己发生、发展以及衰亡的演化史. 在演化过程中, 除总趋势外还存在着各式各样的循徊、韵律和节奏. 断层测量的时间序列长度由十几年到几十

年,相对于演化过程来说是短暂的.因此,我们完全可以把在断层测量有限时段中的断层运动看成是稳定的,准线性的.图2所用低通滤波方法,便滤去了周期等于和小于一年的周期成份,从而也基本滤去了气象要素等非构造动力因子所致的主要干扰(如季节性年周变和其它短周期成分),提高了结果的可信度.

4. 试验结果证明,对于任何一个“断层网络运动与蕴震系统”来说,不仅有关发震断层会发生异常运动,而且在与地发震断层有关的其它活动断层网络也会发生异常运动,如协同性,伴生性断层异常运动,产生一系列的“场兆信号”或“场前兆性断层运动”等.它们都反映了系统的非稳定态.由于这些异常运动之间在时空域内有一定的连接方式和协同演进方式,这就为地震的中期和短期预测预报提供了理论基础.运用断层形变网络群体异常信息进行合成,既减少由于单台单手段造成的偶然性,又增加了确定性,不失为当前进行地震预测预报的有效手段.

本文是在周硕愚研究员指导下完成的,龚凯虹参加了部分计算工作,值此一并致谢.

本研究系地震科学联合基金会资助课题.

#### 参考文献

- [1] 周硕愚, 1988. 系统科学导引, 33—58. 地震出版社, 北京.
- [2] 周硕愚、董慧风、宋永厚、韩健, 1986. 用信息论方法研究大震前的突变异常. 地震学报, 8, 增刊, 121—132.
- [3] 马廷著、黄佩玉, 1982. 京津唐地区活动断裂现代运动特征. 中国活动断层, 38—39. 地震出版社, 北京.
- [4] 周硕愚, 1988. 地壳运动与蕴震系统的自组织与前兆场的有序演进. 中国地震, 8, 4, 40—47.



# THE APPLICATION OF SYSTEM SCIENCE TO THE STUDY OF THE RELATION BETWEEN THE FAULT DEFORMATION NETWORK IN THE BEIJING -TIANJIN AREA AND EARTHQUAKES

Rongfu Zhang and Yonghou Song

(The Institute of Seismology, State Seismological Bureau, Wuhan 430071, China)

## Abstract

A systematic analysis and processing of the relation between the fault deformation network in the Beijing-Tianjin area and earthquakes by part of the principle and method of system science (Information theory) is reported in this paper. The result of the study indicates that the fault deformation network in the Beijing-Tianjin area, where the faults are related to the occurrence of earthquakes, exhibited obvious features of colonies of anomalies before the Tangshan earthquake of 1976. With this feature, there is special meaning to the prediction of earthquakes with magnitude  $\geq 7.0$  in the time of the coming year, with in the range of 150 km.