

基于单键群方法的地震前兆 时空群集特征研究

刘希强¹, 周蕙兰², 王 梅¹, 王华林¹

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 中国科学技术大学研究生院, 北京 100039)

摘要: 利用单键群分析方法, 对1976年唐山和1989年大同地震前多学科前兆异常的时空群集特征进行了研究. 对2次地震前兆的单键群构架的信源熵、平均键长和累积滑动频次进行了时空扫描. 结果表明, 地震前单键群构架异常非常明显, 并且可以分为5个阶段. 1975年6月~1976年6月(第4阶段)异常幅度变化最大. 震前1个月(第5阶段)信源熵值进一步下降, 平均键长变化维持在第4阶段的水平, 累积滑动频次增加. 异常的变化阶段可为地震的中短期预报提供判据. 最小信源熵的变化经历了一个由外围逐渐向未来地震区迁移的过程, 根据这一特点可以追踪和确定地震危险区的范围.

关键词: 唐山地震; 地震前兆; 异常特征; 大同地震; 单键群

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)01-0013-08

0 前言

在“八五”期间, 人们对单项中短期前兆和综合指标演化规律进行了研究和总结, 但是根据这些研究结果只能给出地震三要素的大致范围, 明确的地震前兆指标尚未找到. 本文在以往攻关成果和多学科中短期前兆研究的基础上, 把不同构造条件下中短期阶段的各种前兆、多种物理量的观测结果综合起来, 研究多项前兆的时空演化特征, 建立综合异常判定指标, 探讨利用综合指标进行地震预报的可能性, 力争实现缩小地震危险区和预报时间段的目标.

单键群(single link cluster, 简称 SLC)方法广泛应用于分类学、社会学和天文学领域, 是一种统计上的聚类分析方法. 其主要思想是将观测数据按彼此之间时空距离的远近进行分类. Frohlich 等^[1] 和 Davis 等^[2] 首先将其用于研究地震目录和全球范围的地震活动性. 周蕙兰等^[3~6] 在国内首先将单键群方法用于探讨活动断层的分布特征, 并逐步将该方法完善, 在研究前震与余震识别和地震时空群集特征方面取得了一些有意义的结果. 本文则将该方法用于地震前兆时空群集特征的研究.

1 单键群方法及其构架的定量描述

1.1 单键群方法

设有 N 个事件(每个事件对应一个时空位置),用 d_{ij} 表示第 i 个与第 j 个事件之间的时空距离, 则

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2 + [c(t_j - t_i)]^2} \quad (1)$$

式中: x 、 y 和 z 分别表示事件的经度、纬度和深度, t 为事件的发生时间, c 为关联时间和空间距离的标度常数(本文取 c 值等于1),反映了时间相关性在空间的一种度量. 式(1)可看作是將时间和空间结合在一起的广维空间距离. 当取 $c = 0$ 时, d_{ij} 为空间距离.

从任意事件 i 开始, 计算 i 到其它 $(N-1)$ 个事件间的广维空间距离, 从中找出距其最近的距离. 然后, 从距离最近的相应事件 k 开始, 再找出最近邻的事件. 依此类推, 逐次搜索和连接下去就生成一个 SLC 子集. 这样的子集可能会有 M 个($0 < M < N/2$), 而子集之间的联键有 $(M-1)$ 条. 建立一个新的矩阵, 其元素 d_{lm} 表示子集 l 与子集 m 之间的时空距离, 即 $d_{lm} = \min(d_{sw})(s \in l, w \in m)$. 据此, 这 $(M-1)$ 条单键可递归生成. 于是, 建立了整个 SLC 构架.

1.2 单键群构架的定量描述

本文采用信源熵和平均键长 2 个特征量对由 N 个事件所得到的单键群构架的定量变化进行描述.

在时间或空间间隔 $[0, X]$ 中, 定义信源熵

$$H = - \sum_i P(i) \cdot \log P(i) \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

式中: $P(i) = N(i)/N_0$, 其中 $N(i)$ 是键长落在间隔 $[i\Delta L, (i+1)\Delta L]$ 中的键数, L 为键长, ΔL 为键长间隔, $k = L_{\max}/\Delta L$.

根据耗散结构理论, 熵值是系统有序性的量度. 强震发生前, 当系统处于失稳状态时, 震源区地震活动或前兆异常时空分布的有序性(非均匀性)应该增大, 信源熵应该减小.

在时间或空间窗 $[0, X]$ 中, 定义平均键长

$$L = \sum_{j=1}^N l(j)/N_0 \quad (3)$$

式中: $l(j)$ 为第 j 个单键群长度. 从式(3)可以看出, L 值越高, 表示 SLC 构架越稀疏, 反之则越密集.

2 1976 年唐山地震和 1989 年大同地震前单键群构架的异常变化

2.1 异常资料

唐山和大同地震前测震学和其它各类前兆的异常(或区域)名称、异常点的位置(或区域范围)、震中距、测项和异常起始时间^[7~20]示于表 1. 唐山和大同地震前异常台项数分别为 80 和 63. 唐山地震前的前兆异常分布时段为 1970 年 1 月~1976 年 7 月 28 日; 异常的空间分布范围主要集中在 $38^{\circ}34' \sim 40^{\circ}43'N$, $115^{\circ}50' \sim 119^{\circ}45'E$. 大同地震前前兆异常分布时段为 1982 年 1 月~1989 年 10 月 18 日, 主要时段集中在 1987 年 5 月~1989 年 10 月 18 日; 异常的空间分布范围主要集中在 $35^{\circ}19' \sim 42^{\circ}06'N$, $112^{\circ}06' \sim 119^{\circ}12'E$. 大同地震的前兆时空分布时段比唐山地震短, 但空间分布范围比唐山地震大.

2.2 单键群构架的时空扫描条件

计算单键群构架时, 对异常分布是一个区域的, 取其中心坐标作为参与计算的信息; 对震

表 1 唐山地震和大同地震前的前兆异常台项统计

唐山地震前兆异常台项						大同地震前兆异常台项						
序号	台站(区域)名称	分布范围		震中距 / km	异常测项	起始时间	台站(区域)名称	分布范围		震中距 / km	异常测项	起始时间
		东经	北纬					东经	北纬			
1	唐山附近	116°00' 119°00'	38°00' 40°00'	—	b 值	1970-01-01	晋冀蒙交界	114°00' 116°00'	39°00' 41°00'	—	应变释放加速	1982-01-01
2	唐山附近	115°00' 120°00'	39°00' 41°00'	—	地震活动增强	1970-01-01	大灰厂	116°09'	39°05'	259.3	水准	1987-05-01
3	唐山震源区	117°40' 118°00' 119°00' 119°30'	39°00' 40°00' 39°00' 40°10'	—	小震应力降	1971-03-01	芦家	116°2'	39°45'	280.2	水准	1987-06-01
4	汉沽双桥	117°55'	39°13'	55	地下水位	1972-01-01	燕家台	115°15'	39°28'	167.9	水准	1987-06-01
5	宁河表口	117°43'	39°21'	69	地下水位	1972-01-01	麻地营	114°41'	40°58'	147.1	水准	1987-06-01
6	北京-山海关测线	117°13' 119°45'	39°08' 40°00'	—	流动重力	1972-01-01	茶房口	113°02'	38°25'	191.1	水准	1987-07-01
7	京、津、唐、张	116°00' 122°00'	38°00' 41°00'	—	P波初动矛盾符号比	1972-01-01	大同-阳高东北	112°00' 114°20'	39°50' 41°10'	—	空区	1987-08-01
8	华北地区条带交汇点	108°11'	39°38'	0	交叉条带	1972-01-01	河北阜平、山阴一带	112°00' 115°00'	38°00' 40°00'	—	波速比	1987-08-22
9	天津上古林	117°31'	38°50'	112	地下水位	1972-05-01	小水峪	115°35'	40°03'	205.4	水准	1987-10-01
10	昌平	116°12'	40°15'	180	地应力	1972-06-01	万全	114°52'	40°05'	152.3	水准	1987-10-01
11	青光	117°01'	39°12'	150	视电阻率	1972-12-01	易县台	115°22'	39°22'	183.8	地倾斜	1988-01-01
12	唐山附近	中心为 118°11', 39°36', 半径 80 km		—	2级地震震空区	1973-01-01	紫荆关	115°01'	39°25'	161.1	水准	1988-01-01
13	八里桥	116°37'	39°55'	140	视电阻率	1973-01-01	张山营	115°55'	40°25'	238.8	水准	1988-01-01
14	唐山人民公园	118°12'	39°37'	20	地下水位	1973-01-01	狼山	115°04'	40°02'	209.7	水准	1988-01-01
15	唐山市郑庄子	118°12'	39°37'	20	地下水位	1973-01-01	北京海淀塔院	116°22'	39°59'	283.1	水位	1988-01-01
16	唐山电厂	118°13'	39°37'	20	地下水位	1973-02-01	北京、天津、张家口和唐山	111°00' 116°00'	38°00' 42°00'	—	b 值	1988-04-01
17	天津霍庄	117°19'	39°17'	90	地下水位	1973-03-01	北京、天津、张家口和唐山	113°00' 117°00'	38°00' 42°00'	—	矛盾符号比	1988-05-01
18	田疃	118°46'	39°39'	50	水氡	1973-05-01	兴济台	117°00'	38°02'	396.3	地电阻率	1988-06-01
19	镇罗营	117°15'	40°34'	120	地应力	1973-07-01	山西定襄	113°00'	38°26'	191.2	水氡	1988-06-01
20	安各庄	118°39'	39°48'	50	水氡	1973-08-01	太原台	112°26'	37°43'	291.6	地倾斜	1988-07-01
21	唐山胜利	118°11'	39°36'	0	视电阻率	1973-12-01	天津塘沽	117°35'	39°06'	428.6	井口压力	1988-08-14
22	昌黎后土桥	119°05'	39°43'	70	视电阻率	1973-12-01	天津塘沽	117°35'	39°06'	428.6	水位(井口压力)	1988-08-14
23	京、津、唐	116°30' 119°00'	39°00' 40°30'	—	波速比	1974-01-01	阳原台	114°09'	40°08'	42.2	地倾斜	1988-10-01
24	田疃	118°46'	39°39'	50	水电导	1974-01-01	大同附近条带交汇处	113°49'	39°57'	0	双向交叉条带	1989-01-01
25	宝坻	117°17'	39°43'	80	视电阻率	1974-02-01	天镇、怀来	114°00' 116°00'	40°00' 41°00'	—	流动地磁	1989-03-01
26	忠兴庄	116°27'	39°46'	150	视电阻率	1974-02-01	唐山	117°50' 118°50'	39°00' 40°00'	—	流动地磁	1989-03-01
27	墙子路	117°13'	40°43'	125	流动基线	1974-04-01	河北怀来	115°31'	42°06'	304.2	水氡	1989-03-15
28	大灰厂台	116°06'	39°51'	180	连通管	1975-01-01	北京海淀塔院	116°22'	39°59'	283.1	水位	1989-04-01
29	文安	116°27'	38°51'	170	水氡	1975-04-01	北京管庄	116°31'	39°55'	299.7	水汞	1989-04-01
30	北京大灰厂	116°25'	39°51'	183	地下水位	1975-04-01	京区及邻区	115°35' 116°00'	40°00' 40°30'	—	应力降	1989-04-01
31	香河	117°00'	39°55'	105	短水准	1975-05-01	京西北—大同一带	113°00' 117°30'	39°00' 41°00'	—	月频次	1989-04-01
32	大灰厂台	116°06'	39°51'	180	短水准	1975-05-01	易县台	115°22'	39°22'	183.8	水平摆倾斜仪	1989-05-01
33	大灰厂台	116°06'	39°51'	180	流动水准	1975-05-01	北京大灰厂	116°09'	39°05'	259.3	水准基线	1989-05-01
34	大灰厂台	116°06'	39°51'	180	流动基线	1975-05-01	狼山水准	115°04'	40°02'	209.7	水准基线	1989-05-01
35	大灰厂台	116°06'	39°51'	180	伸缩仪	1975-05-01	京西北—大同一带	113°00' 117°30'	39°00' 41°00'	—	b 值	1989-05-01
36	塘沽	117°35'	39°06'	80	水电导	1975-05-01	宝昌台	115°00'	41°18'	199.3	地电阻率	1989-06-01
37	务1井	116°48'	39°29'	120	水电导	1975-05-01	八宝山	116°15'	39°55'	270.1	水准基线	1989-06-01
38	房山歇息岗	115°39'	39°42'	105	地下水位	1975-05-01	张山营	115°55'	40°25'	238.8	水准基线	1989-06-01
39	牛口峪台	115°57'	39°41'	185	短水准	1975-06-01	万全	114°52'	40°05'	152.3	水准基线	1989-06-01

续表 1

唐山地震前兆异常台项							大同地震前兆异常台项						
序号	台站(区域)名称	分布范围		震中距 / km	异常测项	起始时间	台站(区域)名称	分布范围		震中距 / km	异常测项	起始时间	
		东经	北纬					东经	北纬				
40	张山营	115°51′	40°29′	230	流动水准	1975-07-01	晋北	中心为 113°49′, 39°57′ 半径 100 km		—	流动地磁	1989-06-01	
41	张山营	115°51′	40°29′	230	流动基线	1975-07-01	北京东三旗	116°02′	40°05′	279.7	水汞	1989-06-19	
42	昌黎	119°08′	39°45′	70	地磁垂直分量	1975-07-01	河北怀来	115°31′	40°26′	196.2	氢气	1989-06-22	
43	昌黎	119°06′	39°45′	85	地应力	1975-07-01	马坊台	117°00′	40°03′	353.5	地电阻率	1989-07-01	
44	唐山水厂	118°12′	39°37′	0	氟离子	1975-08-01	北京得胜口	116°25′	39°54′	288.7	水准基线	1989-07-01	
45	唐山附近	中心为 118°11′, 39°36′ 半径 80 km		—	地震波振动持续时间	1975-09-01	北京光华染织厂	116°25′	39°54′	288.7	氢气	1989-07-08	
46	塘沽	117°35′	39°06′	80	水氡	1975-09-01	北京国棉二厂	116°25′	39°55′	288.6	氢气	1989-07-25	
47	房山良乡	116°09′	39°44′	180	地下水位	1975-09-01	河北永庆浅牛	116°26′	39°13′	301.6	水氡	1989-07-28	
48	唐山陡河	118°19′	39°45′	10	地应力	1975-11-01	北京延庆五里营	115°59′	40°21′	244.6	水氡	1989-08-01	
49	天津赵各庄	117°05′	39°50′	20	地应力	1975-11-01	赤峰	119°12′	41°54′	635.5	震群	1989-08-12	
50	宝坻	117°17′	39°43′	80	水氡	1975-12-01	山西广灵	114°20′	39°45′	61.5	水氡	1989-08-15	
51	津2井	117°31′	38°06′	90	CO ₂	1976-01-01	北京站	116°25′	39°55′	288.6	水汞	1989-08-19	
52	天津棉4井	117°14′	39°05′	100	CO ₂	1976-01-01	北戴河	115°07′	37°03′	307.9	震群	1989-08-25	
53	张道口	117°12′	39°02′	100	CO ₂	1976-01-01	北京小汤山	116°25′	39°54′	288.7	氢气	1989-09-01	
54	天津棉4井	117°02′	39°37′	100	气体总量	1976-01-01	卢龙	115°25′	35°19′	543.5	震群	1989-09-01	
55	宝坻	117°17′	39°43′	80	氟离子	1976-01-01	唐山	118°11′	39°36′	486.3	震情窗	1989-09-01	
56	密云	116°30′	40°28′	105	地倾斜	1976-04-01	天津宝坻	117°17′	39°43′	385.7	水氡	1989-09-08	
57	张道口	117°12′	39°02′	110	短水准	1976-04-01	门头沟冷泉	116°41′	39°36′	320.6	水氡	1989-09-10	
58	唐山电厂11井	118°12′	39°37′	0	水氡	1976-04-01	延庆宋山泉	115°58′	40°23′	243.4	水氡	1989-09-15	
59	张道口	117°12′	39°02′	100	水氡	1976-04-01	河北怀来	115°31′	40°26′	196.2	水汞	1989-09-17	
60	天津军粮城	117°27′	39°06′	93	地下水位	1976-04-01	大同台	113°14′	40°08′	67.9	地电阻率	1989-09-25	
61	天津宁河	117°43′	39°21′	45	流动水准	1976-05-01	北京延庆五里营	115°59′	40°21′	244.6	水位	1989-10-01	
62	丰南岭子	118°07′	39°36′	20	地下水位	1976-05-01	山西定襄	113°00′	38°26′	191.2	水氡	1989-10-04	
63	河北乐亭	118°54′	39°25′	39	地下水位	1976-05-01	大同镇川堡	113°14′	40°08′	67.9	水位	1989-10-18	
64	唐山柏各庄	118°35′	39°15′	30	地下水位	1976-05-01							
65	天津咸水沽	117°23′	38°58′	103	地下水位	1976-05-01							
66	香山	116°12′	39°59′	185	地倾斜	1976-05-01							
67	唐山马家沟	118°12′	39°37′	10	视电阻率	1976-05-01							
68	天津白塘口	117°20′	39°14′	104	地下水位	1976-05-01							
69	滦南	118°40′	39°34′	45	地下水位	1976-05-01							
70	顺义板桥	116°39′	40°08′	156	地下水位	1976-05-01							
71	北京呼家楼	116°25′	39°56′	155	地下水位	1976-05-01							
72	西集	116°53′	39°49′	120	视电阻率	1976-07-22							
73	北安河	116°06′	40°08′	170	定点重力	1976-07-22							
74	密云	116°06′	40°28′	150	定点重力	1976-07-23							
75	北京温泉	116°10′	40°08′	180	地下水位	1976-07-23							
76	小汤山	116°39′	40°18′	170	视电阻率	1976-07-24							
77	徐庄子	117°12′	38°40′	140	视电阻率	1976-07-25							
78	青县	116°49′	38°34′	160	视电阻率	1976-07-28							
79	京、津、唐、张	中心为 118°11′, 39°36′ 半径 80 km		—	动物异常	1976-07-28							
80	昌黎台	119°11′	39°44′	80	地脉动	1978-07-21							

群取其主震震中的时空位置作为计算参数. 考虑参与计算的样本数量和计算精度, 对唐山地震的时间扫描时段取 1972 年 1 月~1976 年 7 月 28 日, 滑动窗长为 12 个月, 滑动步长为 1 个月, 计算信源熵值时以键长 20 km 作为统计单元; 空间扫描范围取 38°30′~41°00′N, 115°50′~119°50′E, 滑动窗长为 2°×2°, 滑动步长为 10′, 计算信源熵值时以键长 20 km 作为统计单元. 对于大同地震, 时间扫描时段取 1987 年 5 月~1989 年 10 月 18 日; 空间扫描范围取 35°00′~42°00′N, 112°20′~119°20′E, 滑动窗长为 3°×3°, 滑动步长为 30′. 其它时空扫描条件和唐山地震相同.

2.3 单键群构架的时间变化特征分析

唐山和大同地震前信源熵、平均键长和累积滑动异常台项频次随时间的分布分别示于图 1 和图 2 中. 从图 1 可以看出, 唐山地震前多学科地震前兆的单键群构架分布的阶段异常是非常明显的, 可分为 5 个阶段. 第 1 阶段为 1973 年 1 月~5 月, 属于中长期阶段. 在此时段内信源熵较高, 最高达 0.9 左右; 平均键长值也较高; 累积滑动频次较低, 平均在 4 次左右. 第 2 阶段为 1973 年 6 月~1974 年 12 月, 属于中期阶段. 此阶段信源熵下降并呈现阶跃式变化, 平均在 0.7 左右; 平均键长相应也出现了下降变化; 累积滑动频次比第 1 阶段稍有增加. 第 3 阶段为 1975 年 1 月~5 月, 属于中期向中短期的过渡阶段. 此阶段信源熵变化起伏较大, 出现突跳变化; 平均键长也出现较大的起伏变化; 累积滑动频次较前 2 个阶段明显降低. 第 4 阶段为 1975 年 6 月~1976 年 6 月, 属于中短期阶段. 其间信源熵出现起伏下降变化; 平均键长也相应出现阶跃式下降变化; 累积滑动频次逐月上升. 该阶段单键群构架变化最为明显, 是异常幅度变化最大的时期. 第 5 阶段为震前 1 个月, 属于短期到短临阶段. 其间信源熵进一步出现下降变化; 平均键长变化维持在第 4 阶段的水平; 累积滑动频次再度增加. 大同地震前信源熵、平均键长和累积滑动频次也出现和唐山地震类似的阶段性变化过程(图 2).

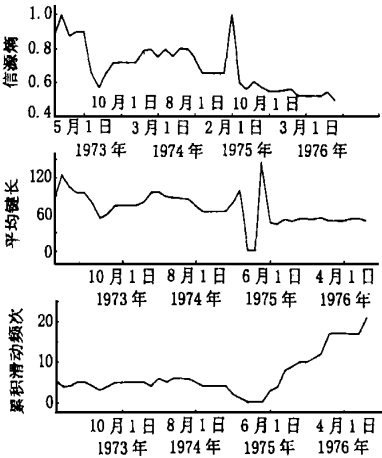


图 1 唐山地震前单键群构架的信源熵、平均键长和异常频次随时间变化曲线
Fig.1 Curves of information entropy, average link length and anomalous frequency with time before the Tangshan earthquake.

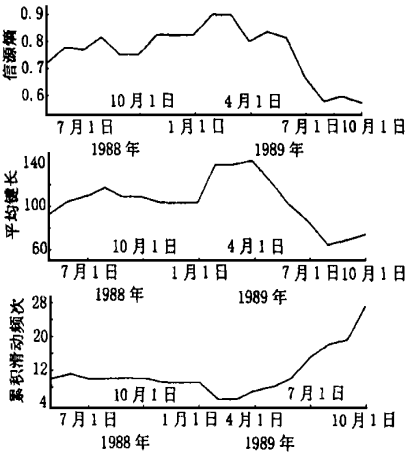


图 2 大同地震前单键群构架的信源熵、平均键长和异常频次随时间的变化曲线
Fig.2 Curves of information entropy, average link length and anomalous frequency with time before the Datong earthquake.

综上所述, 强震前信源熵和平均键长在孕震的长期阶段出现背景性高值; 在孕震的中期阶段表现出阶跃式的下降变化; 在孕震中期到中短期过渡阶段表现出起伏加剧变化; 在孕震中短期阶段再度表现出阶跃式下降变化; 在孕震的短期阶段表现出急剧下降变化. 2 次地震前的群体异常频次在孕震的中期阶段(震前 1~2 年)都出现了明显的减少过程, 这可以作为判断孕震过程是否进入中短期(1 年内)阶段的判据. 信源熵、平均键长和累积滑动频次随时间的变化所表现出来的上述特征反映了孕震体岩石在不同时期的失稳程度. 信源熵和平均键长的减小意味着地震危险性的增加和发震时间的日益逼近.

2.4 单键群构架的空间变化特征分析

图 3 分别给出了唐山地震前 1972 年 1 月~1976 年 4 月、1972 年 1 月~1976 年 5 月、1972

年1月~1976年6月和1972年1月~1976年7月4个时段的信源熵空间扫描图像.从图中可以看出,最小熵值分布经历了一个由外围逐渐向未来地震区迁移、逼近的过程.1972年1月~1976年4月,最低熵值分布范围为 $116^{\circ}20' \sim 118^{\circ}20'E$, $38^{\circ}30' \sim 40^{\circ}30'N$,未来震中区也开始有次低熵值分布.随着时间窗的逐月滑动,在 $117^{\circ}05' \sim 119^{\circ}05'E$, $38^{\circ}33' \sim 40^{\circ}33'N$ 范围内逐渐出现最低熵值分布.到1976年7月28日前,低熵值异常区全部集中在 $117^{\circ}05' \sim 119^{\circ}05'E$, $38^{\circ}33' \sim 40^{\circ}33'N$ 范围内(图3d).唐山地震发生在此区域内(震中位置为 $39^{\circ}24'N$, $118^{\circ}E$).

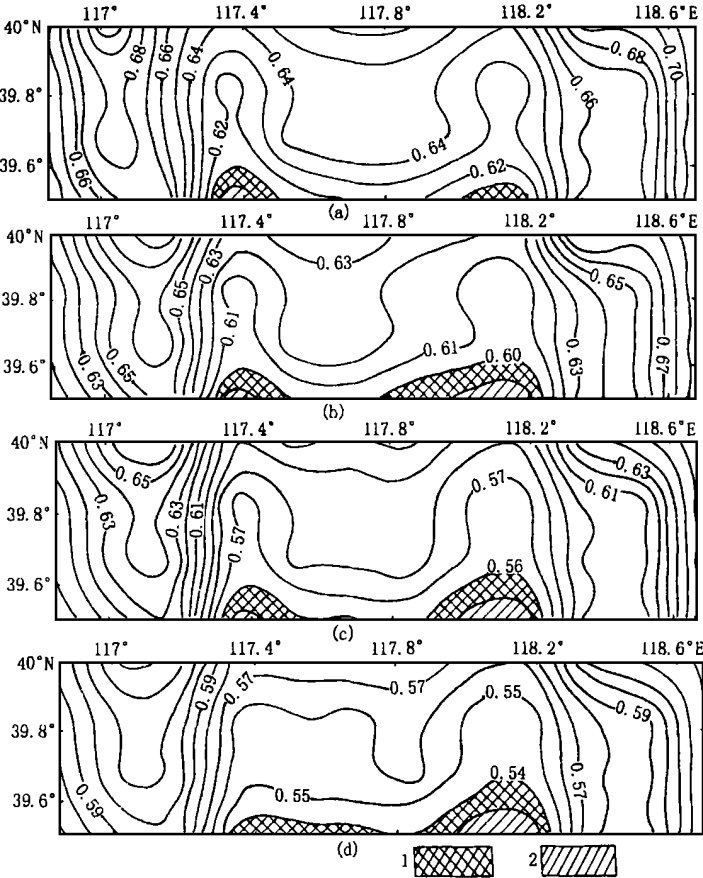
图4分别给出了大同地震前1987年5月~1989年9月和1987年5月~1989年10月2个时段的信源熵空间扫描结果.从图中可以看出,大同地震前1个月和临震时的信源熵变化出现了由 $114^{\circ}30' \sim 117^{\circ}30'E$, $38^{\circ}30' \sim 41^{\circ}30'N$ 向 $112^{\circ}25' \sim 115^{\circ}25'E$, $38^{\circ}30' \sim 41^{\circ}30'N$ 迁移的趋势(大同地震震中位置为 $39^{\circ}57'N$, $113^{\circ}43'E$).可能由于该次地震的异常台项较少且分布范围广,因此迁移过程不如唐山地震明显.

根据上述分析可以得到2点有益的启示:(1)利用信源熵的空间扫描图像可追踪和确定地震危险区;(2)在地震孕育过程中,早期出现的信源熵异常分布区不一定是未来震中区,很可能是一次大震发生前的调整单元区,真正的孕震震源区需要在大致确定危险区的基础上,通过时间滑动和动态追踪才能确定.在确定孕震体的发展已进入中短期或短期阶段的基础上,应密切注意新的低熵值迁移区.对唐山和大同地震的研究表明,新的低熵值分布区都是未来主震的震源区.

3 结语

通过上述讨论可以认为:

- (1)单键群方法是定量描述地震前兆异常时空群集特征的有效方法.
- (2)对信源熵和平均键长的时空扫描可把握和判断地震孕育发生的过程,在缩小地震危险区和发震时段方面有一定效果.



(a) 1972-01 ~ 1976-04; (b) 1972-01 ~ 1976-05;
(c) 1972-01 ~ 1976-06; (d) 1972-01 ~ 1976-07
1 次最小熵值分布区; 2 最小熵值分布区
图3 唐山地震前不同时段单键群构架的信源熵空间分布
Fig.3 Space distribution of information entropy of single-link frame before the Tangshan earthquake.

本文的研究结果仅仅是初步的. 大多数测震学异常和部分前兆异常分布不是一个点而是一个区域. 本文只取异常区域的中心作为计算单键群构架的信息, 这种近似会对计算结果产生影响. 对此, 需要今后进一步研究.

本文的方法只考虑了多学科前兆的时空分布, 如何把研究区的地球动力学条件、构造及构造组合等因素考虑在内, 也是需要今后进一步研究的问题.

[参考文献]

[1] Fröhlich C, Davis S D. Single-link cluster analysis as a method to spatial and temporal properties of earthquake catalogues[J]. Geophys J Int, 1990, 100(1): 19—32.

[2] Davis S D, Fröhlich C. Single-link cluster analysis synthetic catalogues and aftershock identification[J]. Geophys J Int, 1991, 104(1): 289—386.

[3] Zhou Hui-lan, Wei Dong-ping, Wang Zhi-qiu. Body wave study on Tuotuohe earthquake and single-link cluster analysis of seismicity in Tibetan Plateau[J]. 29th IGC, Kyoto, Japan, 1992. 234—235.

[4] 周蕙兰, 胡强. 用单键群方法分析阿尔金-昆仑山弧型构造顶部的地震序列特征[A]. 见: 中国地球物理学会年刊[C]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 426.

[5] 周蕙兰, 刘振, 高原. 单键群方法与昆仑山-阿尔金弧型构造顶部地震时空群集特征[J]. 中国地震, 1997, 13(3): 197—206.

[6] 刘振, 周蕙兰. 单键群方法的算法研究和程序实现[J]. 中国科学院研究生院学报, 1997, 14(1): 57—64.

[7] 《一九七六年唐山地震》编辑组. 一九七六年唐山地震[M]. 北京: 地震出版社, 1982.

[8] 张肇诚, 罗兰格, 陈立德, 等. 中国震例[M]. 北京: 地震出版社, 1993.

[9] 许绍燮, 王琳英, 刘玉芬. 大同-阳高中强震群前后的地震活动性[J]. 地震, 1990, (4): 1—10.

[10] 陈绍绪, 戴英华. 1989 年大同地震的前兆特征及孕育过程[J]. 华北地震科学, 1991, 9(4): 62—70.

[11] 戴维乐, 庆梅. 山西大同-阳高 6.1 级地震前的地震波速比异常[J]. 华北地震科学, 1990, 9(1): 46—50.

[12] 汪志亮, 余素荣. 大同-阳高地震前地电阻率异常特征及短临预报[J]. 地震, 1990, (4): 11—19.

[13] 李孟聪, 吴邦泰. 大同-阳高地震定点形变异常的初步研究[J]. 地震, 1990, (4): 20—26.

[14] 林云芳. 大同-阳高地震前后地磁异常变化及其认识[J]. 地震, 1990, (4): 27—35.

[15] 汪成民, 孙振斌, 车用太. 大同-阳高 6.1 级地震的地下水异常初析[J]. 地震, 1990, (4): 37—44.

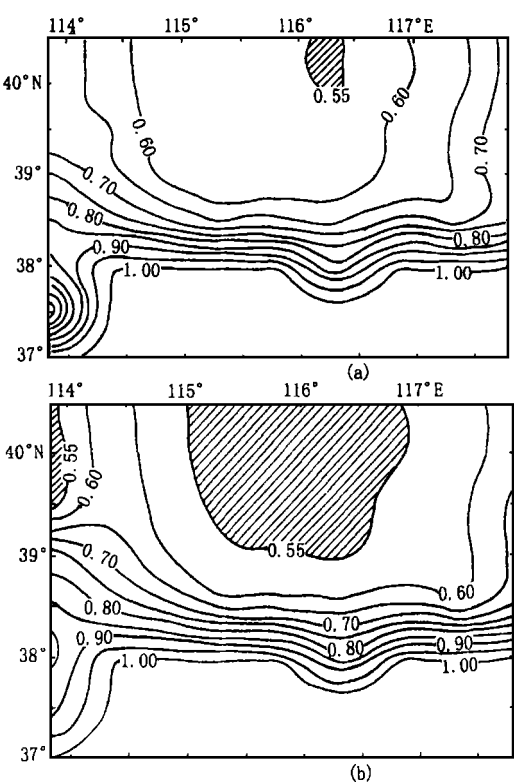
[16] 陈建民. 大同-阳高 6.1 级地震水文地球化学前兆特征的初步分析[J]. 地震, 1990, (4): 58—64.

[17] 高忠宁, 蒋成恩, 戴梁焕, 等. 大同-阳高 6.1 级地震断层位移测量前兆异常特征[J]. 地震, 1990, (4): 65—74.

[18] 陈绍明, 谢美娟, 解用明. 大同 6.1 级地震前地磁异常研究[J]. 华北地震科学, 1991, 9(4): 89—99.

[19] 马丽, 高旭. 大同-阳高震群前兆现象的综合分析[J]. 地震, 1990, (4): 45—57.

[20] 朱自强, 汪成民, 宇文欣, 等. 大同-阳高 6.1 级地震现场断层气测量结果初步分析[J]. 地震, 1990, (4): 75—80.



(a) 1987-05~1989-09; (b) 1987-05~1989-10
图 4 大同地震前不同时段单键群构架的信源熵空间分布

Fig. 4 Space distribution of information entropy of single-link frame before the Datong earthquake.

A STUDY ON CLUSTERING FEATURES OF EARTHQUAKE PRECURSOR IN TIME-SPACE BY USING THE SINGLE-LINK CLUSTER METHOD

Liu Xi-qiang¹, Zhou Hui-lan², Wang Mei¹, Wang Hua-lin¹

(1. *Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China;*

2. *Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing 100039, China*)

Abstract: By using the single-link cluster method, precursor clustering features in time-space of the Tangshan and Datong earthquakes are studied. Time-space scanning to information entropy, average link length of the SLC frame and accumulation slide frequency of precursors of the two earthquakes is made. The results show that anomalies of the SLC frame before the earthquakes are very obvious, and can be divided into five periods. The anomalous magnitude is the largest from June, 1975 to June, 1976 (fourth period). The information entropy drops further, change of average link length is the same with that in the fourth period and accumulation slide frequency of the precursors increases one month before the earthquakes (fifth period). The change period of anomalies may be taken for the judging index of middle or short term prediction of earthquakes. Change process of information entropy from outside to area of coming earthquake epicenter may be used to judge the range of earthquake danger area.

Key words: Tangshan earthquake; Earthquake precursor; Anomalous character; Datong earthquake; Single-link cluster