

# 菏泽 5.9 级和苍山 5.2 级地震中短期前兆 的时空演化特征

P315-72

尹京苑<sup>1</sup>, 王华林<sup>2</sup>, 王梅<sup>2</sup>, 韩海华<sup>2</sup>, 佟瑞清<sup>2</sup>, 唐廷梅<sup>2</sup>

(1. 上海市地震局, 上海 200062; 2. 山东省地震局, 山东 济南 250014)

**摘要:** 分析研究了 1983 年菏泽 5.9 级和 1995 年苍山 5.2 级地震中短期地震前兆的时空演化特征, 总结了这两次地震前兆时空演化特征的共性和个性, 探讨了前兆异常分布与构造的关系、场源兆与构造应力场的关系、异常的空间分布与发震地点的确定和异常的时间分布与发震时间的确定等科学问题。

**关键词:** 地震前兆; 演化; 菏泽; 苍山

**中图分类号:** P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)02-0118-08

## 0 引言

时空演化 地

菏泽 5.9 级和苍山 5.2 级地震是发生在中国东部山东境内的两次显著地震, 本文从地震的孕震环境入手, 探讨了这两次地震的前兆时空演化特征, 丰富了进行不同构造条件下地震中短期前兆时空分布规律研究的震例。

## 1 两次地震的孕震构造动力学环境

菏泽地震发生在东明上地幔隆起区的东翼<sup>[1]</sup>, 聊考断裂的东侧。聊考断裂带为重力、航磁异常梯度带。聊考断裂带构成了菏泽地震的控震断裂, 真正的发震断裂为 NW 向东明-成武断裂。聊考断裂为右旋正走滑断裂, 东明-成武断裂为左旋走滑断裂。菏泽地震孕震区除了受到区域 NEE 向挤压应力场的作用之外, 还受到上地幔隆起产生的垂直力及其派生的水平张应力的作用。菏泽 5.9 级地震是发生在 1937 年菏泽 7 级地震震区的一次间接强余震, 系孤立型地震, 是发生在弱应力背景之下地震活动平静时段的一次显著地震。

苍山地震发生郯庐断裂带局部上地幔隆起的西侧, 郯庐断裂带之西。郯庐断裂带是区域性的重力、航磁和地热梯度带, 发震断层为 NW 向苍山-尼山断裂。郯庐断裂为右旋逆走滑断裂, 苍山-尼山断裂为左旋走滑断裂。苍山 5.2 级地震主要受到 NNE 向区域挤压应力的作用。苍山 5.2 级地震是发生在 1668 年郯城 8  $\frac{1}{2}$  级地震附近的一次超长期间接强余震, 为接近孤立型的主-余震型地震, 是发生在强应力背景之下地震活动期内的一次显著地震。

收稿日期: 1999-10-06

基金项目: 中国地震局“九五”攻关项目子课题(95-04-03-01-04)

作者简介: 尹京苑(1955-), 男, 副研究员, 1995 年在法国斯特拉斯堡第一大学取得博士学位, 从事强震震源孕育和地震前兆机理研究。

## 2 两次地震前兆的时空演化特征(图1~图5)

### 2.1 菏泽5.9级地震前兆异常的时空演化特征

菏泽地震前共出现前兆异常19项,震中区附近震前1个月有8口井出现水位上升异常,临震前1~2 d有30口井出现突升异常(表1).前兆异常分布如图1所示.图2a显示了菏泽

表1 1983年菏泽5.9级地震前兆异常

台站位置	构造位置	震中距 $\Delta/km$	异常 测项	$T_1$	$T_2$	$t_1/d$	$t_2/d$	异常幅度	异常 形态	异常 类型	参考 文献
震中区	聊考断裂 与成武断 裂交汇区	小于10	8口井 水位	1983年 9月初	1983年 11月8日	60	震后 恢复	趋势上升 1~3 m	持续型	短临 源兆	[2]
震中区		小于20	30口井 水位	1983年 10月底	1983年 11月7日	10~15	1~2	大幅度上 升1~3 m	突跳型	临震 源兆	
豫01 井	聊考断 裂带上	80	水位模 糊分维	1983年 3月	1983年 6月	120	130	超出二倍 均方差	完整型	中短 源兆	[3]
			深井 水位	1983年 10月11日	1983年 11月6日	28	震后 恢复	5 cm	突跳型	临震 源兆	[4]
聊古 1井	聊考断 裂带北 端	140	水Rn	1983年 7月	1983年 11月	120	震后 恢复	打破正 常年变	持续型	短期 源兆	[5]
			流量	1983年 7月	1983年 11月	120	震后 恢复	打破正 常年变	持续型	短期 源兆	
			气体总量	1983年 6月10日	1983年 9月15日	95	52	超出二倍 均方差	完整型	短期 源兆	[6]
			He含量	1983年 6月29日	1983年 9月20日	83	47				
CO <sub>2</sub> 含量	1983年 6月20日	1983年 9月10日	82	57							
FD-125 模糊分维	1983年 2月	1983年 4月	90	180					中期 源兆	[3]	
鲁10 井	千佛山 断裂	220	深井水位	1983年 11月3日	1983年 11月4日	1	5	5 cm	突跳型	临震 源兆	[2]
马17 井	南马庄 断裂	354	深井水位	1983年 10月25日	1983年 10月26日	1	14	4.3 cm	突跳型	临震 源兆	
油田 258井	益都断 裂与北 东向断 裂交汇 处	335	油气动态	1983年 10月20日	1983年 11月18日	28	震后 恢复	超正常日 产量20%	完整型	临震 源兆	[2]
油田 34121井		350	油气动态	1983年 10月20日	1983年 11月15日	25	震后 恢复	超正常日 产量20%	完整型	临震 源兆	
鲁08 井	黄河口 断裂	400	深井水位	1983年 11月3日	1983年 11月9日	6	震后 恢复	7.2 cm	突跳型	临震 源兆	[4]
万全井	河间断裂	625	深井水位	1983年11 月7日1时	1983年11 月7日2时	2 h	4 h	3.5 cm	突跳型	临震 源兆	
菏泽	聊考断裂	12	电阻率 瞬时值	震前 32 h	震前 28 h	4 h	28 h	6倍方差	突跳型	临震 源兆	[7]
成武	成武断裂	50	$\alpha$ 径迹密度	1983年 11月1日	1983年 11月3日	3	4	超差 2~3倍	突升型	临震 源兆	
长清	泰山断裂	190	地应力	1983年 8月5日	1983年 11月7日	90	震后 恢复	350 $\mu H$	持续型	临震 场兆	[2]
辉县	成武断裂	130	应变 (振弦)	1983年 11月5日	1983年 11月7日	3	震后 恢复	$6.13 \times 10^{-6}$	突跳型 畸变	临震 源兆	
徐州	成武断裂	195	体应变	1983年11 月7日3时	1983年11 月7日4时	1 h	震后 恢复	$2.2 \times 10^{-6}$	脉冲型	临震 源兆	

注:  $T_1$  异常起始时间,  $T_2$  异常终止时间,  $t_1$  异常持续时间,  $t_2$  异常结束到发震时间; 异常幅度: 绝对值、超限值等; 异常形态: 单峰、双峰、阶跃、突跳等; 异常类型包括时间类型(长、中、短、临异常)和空间类型(场兆、源兆).

地震的前兆异常时空演化,图2b给出了菏泽地震的异常月频次,图2c为异常频次随震中距的变化情况.分析表1、图1和图2可以发现,菏泽5.9级地震前兆时空演化具有如下特征:

(1)地震前兆异常空间上沿 NE—NEE 向构造带和 NWW 向构造带分布,前兆异常有13项沿 NE—NEE 向构造带分布,有3项沿 NWW 向构造带分布,控震断裂上的异常数量明显高于发震断裂上的异常数量,两个方向前兆异常的交汇区构成了未来的震中区.

(2)源兆异常具有中、短、临异常配套的特点,场兆异常多表现为临震异常,沿控震断裂方向的异常具有中、短、临异常配套的特点,沿发震断面方向的异常为临震异常.

(3)异常数量临近地震前1个月有一突然加速过程(图2b),震后恢复,菏泽地震异常明显集中分布在150 km范围之内(图2c),菏泽地震为源兆型地震.

(4)源兆异常,如聊古-1井具有水化多组分含量(CO<sub>2</sub>、气体总量、He气、流量、水氡等)同步变化的特点(图4),而场兆异常多为单一测项出现异常.源兆异常幅度大,持时长,而场兆幅度小,持时短.

2.2 苍山5.2级地震前兆异常的时空演化

苍山地震前出现前兆异常24项,震中区附近震前没有出现水井水位变化等宏观异常(表2).前兆异常空间分布如图1所示,图3a显示了苍山地震前兆时空演化特征,图3b为苍山地震的异常台项月频次,图3c为异常频次随震中距的变化情况.分析表2和图3可以发现,苍山5.2级地震前兆异常时空演化具有如下特征:

(1)地震前兆异常在空间上沿 NNE 向郟庐断裂带及其西侧和 NW 向构造带分布,在震中区50 km范围内无前兆异常,异常集中分布在离震中50~200 km的范围内,NNE 向与 NW 向异常条带的交汇区构成了未来的震中区.

(2)震中区100 km范围内的源兆异常具有中、短、临异常配套的特点,100 km范围以外的场兆异常多表现为短临和临震异常,沿 NNE 向构造带的异常具有中、短、临异常配套的特点,沿 NW 向发震断裂的异常多为短临异常.

(3)异常数量在临震前两个月有一明显增多的过程,震后恢复.异常空间分布广,震中区50 km范围内的水井、跨断层短水准等均无异常显示,震中外围50~450 km均有异常分布,苍山地震为场源兆型地震.

(4)源兆异常,如十里泉井的水化多组分 Hg、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量和电导率,呈同步变化的特征(图5),而场兆异常多为单一测项出现异常.

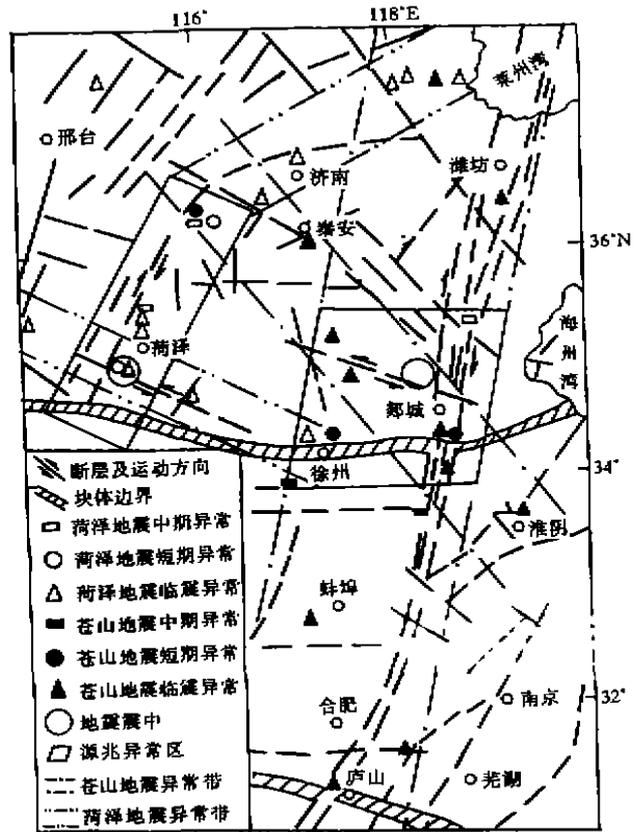


图1 菏泽5.9级和苍山5.2级地震前兆异常平面分布

Fig.1 Distribution of precursory anomalies before the Heze M<sub>s</sub>5.9 and Cangshan M<sub>s</sub>5.2 earthquakes.

表2 1995年苍山5.2级地震前兆异常

台站名称	构造位置	震中距 $\Delta/\text{km}$	异常测项	$T_1$	$T_2$	$t_1$ /d	$t_2$ /d	异常幅度	异常形态	异常时间类型	异常空间类型	参考文献
十里泉井	苍山-尼山断裂的端部,有NE与NW向断裂交汇	60	水 Hg	1995年 7月8日	1995年 8月30日	50	20	超出3倍中差	完整型	短临	源兆	
			$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	1995年 7月13日	1995年 9月初	50	15	破年变超限	完整型	短临	源兆	[8]
			$\text{Cl}^-$	1995年 7月13日	1995年 9月初	50	15	破年变超限	完整型	短临	源兆	
			电导率	1995年 7月15日	1995年 9月初	50	15	破年变超限	完整型	短临	源兆	[3]
鲁14井	沂沭断裂带内	80	水位模糊分维	1994年 8月	1994年 10月	90	330	超3倍中差	完整型	中期异常	源兆	[3]
邹城田黄井	苍尼断裂带上	90	水位	1995年 9月18日	1995年 9月20日	2	震后恢复	129 cm	突胀型	临震	源兆	济宁地办
东水3井	胜北断裂	275	电导率	1995年 8月15日	1995年 9月11日	25	10	超3倍中差	完整型	临震	场兆	[3]
聊古1井	聊考断裂带上	240	气体总量	1995年 3月	1995年 6月	120	90	超3倍中差	完整型	短期	场兆	
巢湖井	郑庐断裂带	370	固体潮	1995年 9月14日	1995年 9月17日	4	3		畸变型	临震	场兆	
庐江井	郑庐断裂带内	420	氦气	1995年 9月10日	1995年 9月20日	20	1	超差	持续型	临震	场兆	[9]
			氧气	1995年 9月10日	1995年 9月20日	20	1	超差	持续型	临震	场兆	
泰安	NE与NW断裂交汇处	175	地倾斜	1995年 7月初	1995年 9月底	90	震后恢复	140 ms	完整型	短临	场兆	
冯家坊子	沂沭断裂带内	200	短水准	1995年 7月25日	1995年 9月9日	45	12	0.58 mm		短临	场兆	
泗县		150	地倾斜	1994年 10月	1995年 5月	210	120	0.9 s	M完整型	中短期	场兆	1995年9月20日苍山5.2级地震初步技术总结(同年10月25日)
淮南		260	地倾斜	1995年 9月16日	1995年 9月18日	2	2	0.08 s	突跳型	临震	场兆	
淮北		156	地倾斜	1994年 6月	1995年 5月	330	120		M完整型	中短期	场兆	
			短水准	1995年 6月底	1995年 7月底	30	50			短期	源兆	
新沂	沂沭断裂	55	视电阻率	1995年 5月	1995年 7月	60	50			短期	源兆	
			地磁Z分量	1995年 5月20日	1995年 9月10日	100	10	超差		短期	源兆	
徐州	成武断裂	110	体应变	1994年 7月	1995年 4月	270	150	超差	完整型	中期	场兆	
			线应变	1995年 4月	1995年 6月	90	90	超差	偏转	短期	场兆	
			地磁Z分量	1995年 7月10日	1995年 9月10日	60	10	超差		短期	场兆	
淮阳		180	地磁Z分量	1995年 6月初	1995年 9月5日	90	15	超差		短期	场兆	
五里堡	沂沭断裂	30	地电阻率	1995年 3月15日	1995年 10月20日	180	震后恢复	4.5%		中期	源兆	

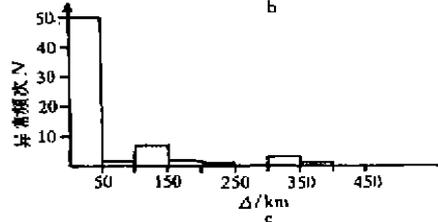
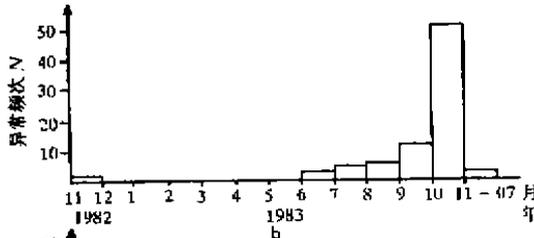
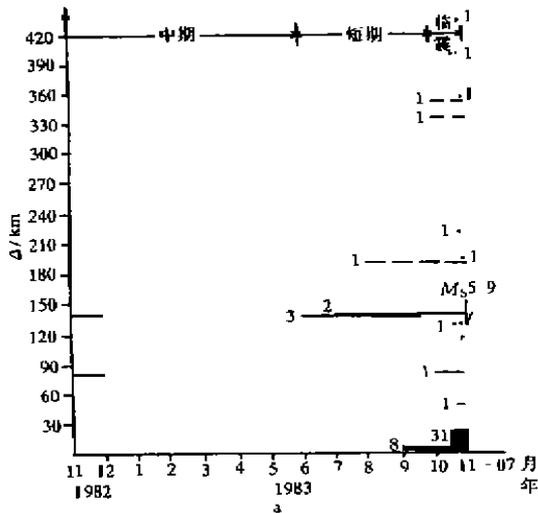
### 3 菏泽和苍山两地震前兆异常时空演化机理的探讨

#### 3.1 两次地震前兆异常时空演化的共性和个性

##### 3.1.1 两次地震前兆异常的共性

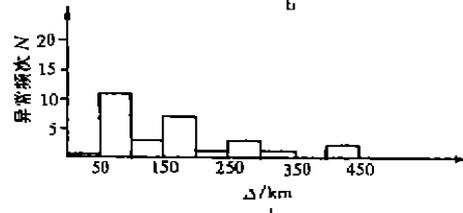
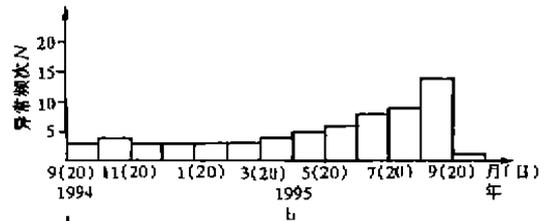
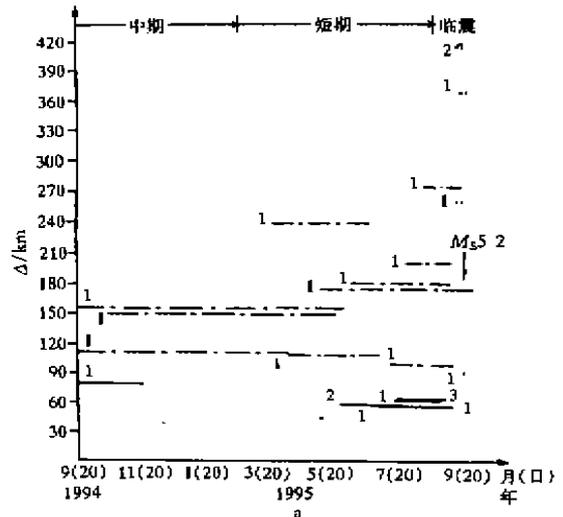
(1) 前兆异常沿活动构造带呈条带状分布, 两个前兆异常条带的交汇区构成了未来的震中区.

(2) 源兆异常具有中、短、临异常配套特点, 场兆异常以短临异常为主, 沿控震活动构造带前兆异常中、短、临异常配套, 而沿发震断裂方向多为短临前兆异常.



a 异常时空演化; b 异常月频次;  
c 异常频次随震中距变化

图2 菏泽5.9级地震前兆异常演化  
Fig.2 Evolution of precursory anomalies for the Heze  $M_S5.9$  earthquake.



a 异常时空演化; b 异常月频次;  
c 异常频次随震中距变化

图3 苍山5.2级地震前兆异常演化  
Fig.3 Evolution of precursory anomalies for the Cangshan  $M_S5.2$  earthquake.

(3) 震前1~2个月, 前兆异常数量有一个明显增加过程, 震后恢复.

##### 3.1.2 两次地震前兆异常的个性

(1) 菏泽地震前震中区出现明显的水井水位上升异常和形变上升异常; 苍山地震前震中区无明显的水井水位变化异常和形变异常.

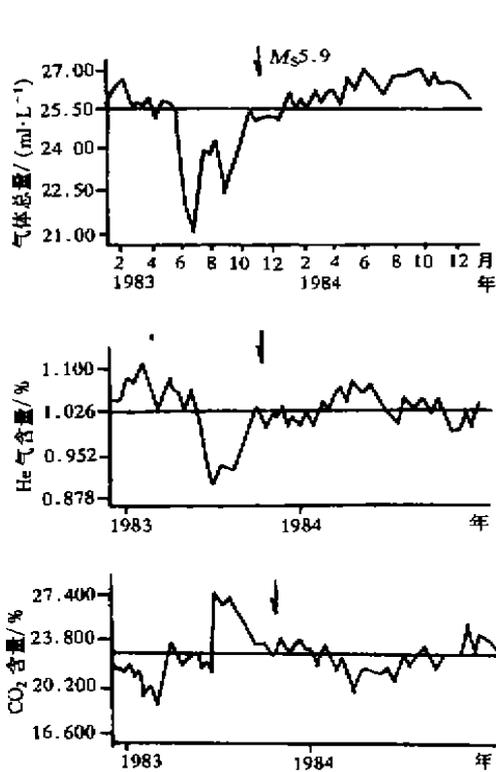


图4 聊古-1井气体多组分在菏泽5.9级地震前的异常变化

Fig.4 Curves of anomaly change of some hydrogeochemical elements in the Liaogu-1 well before the Heze Ms5.9 earthquake in 1983.

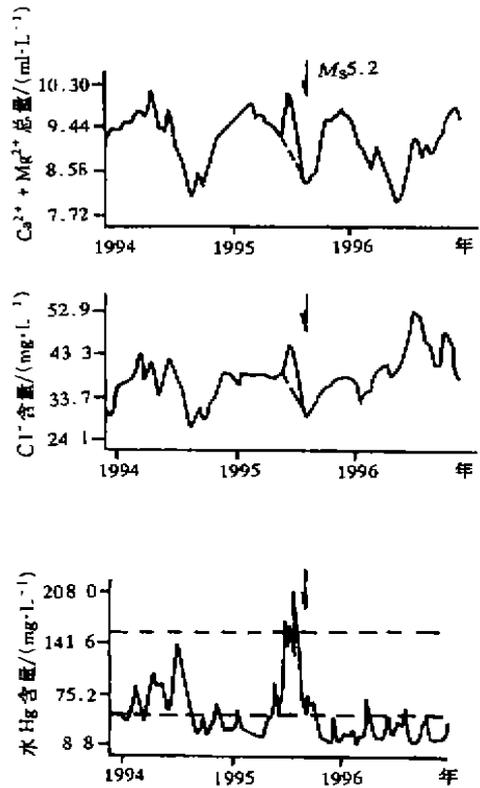


图5 十里泉井气体多组分在苍山5.2级地震前的异常变化

Fig.5 Curves of anomaly change of some hydrogeochemical elements in the Shiliquan well before the Cangshan Ms5.2 earthquake in 1995.

(2) 菏泽地震强度大于苍山地震,但其前兆异常数量却少于苍山地震,菏泽地震的异常空间分布范围也比苍山地震的异常分布范围小。

### 3.2 两次地震前兆异常时空演化机制探讨

#### 3.2.1 前兆异常的场、源兆与应力场的关系

图1中的框区被确定为两次地震的源兆异常分布区,其外围为场兆异常区。源兆异常的中期、短期和临震前兆配套特征反映了震源区地震孕育、应变能积累的过程;水化学多组分含量的同步变化说明源兆的出现受控于震源应力场扰动所产生的应力增强作用(下文讨论);源兆异常幅度大,反映了前兆异常与应变能积累的多少相关,震源区附近比其周围地区有更多的应变能积累。场兆的单项单点异常具有幅度小的临震前兆特征,反映了某些构造敏感点对区域应力场活动增强的响应。震源应力场受控于区域应力场,区域应力场的增强有利于震源闭锁区的加速破裂,因而场区临震异常出现的同时,菏泽地震震中区也出现多点乃至成片的临震地下水位大幅度上升的异常变化。尽管菏泽地震强度大于苍山地震强度,由于菏泽地震发生在地震平静期的低应力背景之下,苍山地震发生在地震活跃期的高应力背景之下,因而造成菏泽地震的前兆异常数量少于苍山地震的前兆异常数量,菏泽地震异常分布范围小于苍山地震异常分布范围,从而导致了前兆异常数量和分布范围与地震强度不相匹配的现象。

#### 3.2.2 前兆异常分布与构造的关系

从表 1、表 2 和图 1 中可以发现,异常分布与构造密切相关.几乎所有的异常均分布在活动构造带附近,异常在空间上沿活动构造呈带状分布.苍山地震和菏泽地震前兆异常分别沿 NNE 向的沂沭断裂带和聊考断裂带以及 NW 向的苍山-尼山断裂和东明-成武断裂构造带呈带状分布,说明活动构造带是应力场增强的敏感区域.大的强活动构造带上的前兆分布数量、异常规模和持续时间大于相对小的弱活动构造带上的前兆分布数量、异常规模和持续时间,说明在构造应力场增强的条件下,大的强活动构造带比小的弱活动构造带的应力响应更明显.菏泽和苍山两次地震的前兆异常分布说明,控震的活动构造带在震过程中伴有更多的蠕滑,而发震断裂则处在闭锁状态,因而前兆异常多分布在控震构造上,而发震构造上较少.异常分布除了受控于活动构造带之外,还与观测点所处的构造部位密切相关,异常主要分布在 NNE—NE 向断裂与 NW 向断裂交汇部位附近.异常往往分布在走滑断层运动产生的挤压应力和引张应力的增强区内.引张区往往出现张性机理的前兆,挤压区则出现压性机理的前兆.

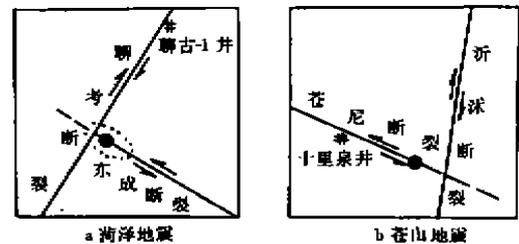
菏泽 5.9 级地震震中区位于聊考断裂和东明-成武断裂的走滑运动产生的附加挤压区内(图 6a),水文观测井水位表现为上升异常,显示了压性机理.聊古-1 井位于聊考断裂带右旋走滑运动产生的附加引张区内,由于聊考断裂带震前活动加剧,在其端部出现局部张应力的增强,造成井孔周围的压力降低,从而造成水溶气体总量、氮气含量和流量的下降变化以及二氧化碳含量的上升变化异常,显示了张性机理.

苍山 5.2 级地震震中位于沂沭断裂带和苍山-尼山断裂的走滑运动产生的附加引张区内(图 6b),震前沂沭断裂预滑不明显,因而水文观测井水位无异常变化.十里泉井位于苍山-尼山断裂带附近,由于苍山地震前苍山-尼山断裂运动加剧,使十里泉井周围的应力活动增强,含水层受力,破坏了地下水系统平衡,从而引起了水离子多组分含量的同步变化.

### 3.2.3 异常的空间分布与发震地点的确定

众多的地震前兆实例和模拟实验结果证实,一个观测点出现异常是由于外界力学条件变化在该点引起的力学扰动而造成的,这些力学扰动在一些点可能引起力学失稳而发生地震,而一些地点则可能仅引起异常.因此,在空间上多观测点出现异常时,如何确定地震发生的地点,成为地震预报的关键.菏泽 5.9 级和苍山 5.2 级地震前兆异常空间分布及发震构造条件分析给我们这样的启示,若前兆异常空间上沿某一活动构造带呈带状分布,那么就应该从异常分布的构造带中寻找地震发生的地点并在构造带中进一步寻找具有中期、短期和临震异常配套,单位面积异常相对集中,水化学多组分含量异常同步出现的空间区域.地震的发生还需要有特定的构造条件,因此,还需要在由异常圈定的可能发生地震的区域中进一步寻找地震发生的前兆和构造标志.两组活动断层的交汇部位,尤其是走滑断层运动产生的挤压区或引张区、波速比异常区、地震活动集中后相对平静的空区,以及具备强震发生的活动构造和深部构造条件的区域往往最有可能成为强震发生的地点.在寻找发震地点过程中应遵循由带到区,由区到源逐渐逼近地震发生地点的技术途径,菏泽 5.9 级和苍山 5.2 级地震为我们提供了这样的良好震例.

### 3.2.4 异常的时间分布与发震时间的确定



断层及运动方向 ● 地震震中 □ 水位上升区 ■ 异常观测井

图 6 菏泽 5.9 级、苍山 5.2 级地震震中和观测井与构造的关系

Fig. 6 Epicenters of the Heze  $M_s5.9$  and Cangshan  $M_s5.2$  earthquakes and relation of the observed wells to the faults.

菏泽5.9级和苍山5.2级地震前兆异常时间分布与发震时间存在着密切关系. 源兆的模糊分维降维和持续型异常开始可作为地震发生的中短期标志, 水化多组分含量的同步异常变化的恢复转折可作为地震由中短期向短临过渡的标志. 聊古-1井水化多组分同步异常变化恢复后50 d发生了菏泽5.9级地震, 十里泉井水化多组分同步变化异常恢复20 d后发生了苍山5.2级地震. 异常台项月频次突然增高可作为地震由短临向临震过渡的标志. 菏泽5.9级地震前1个月左右, 苍山地震前2个月左右, 异常台项月频次数均明显增多. 较大范围内出现源兆和场兆突跳型异常和持续型异常突然加速变化可作为地震的临震标志. 正确、客观地把握地震异常的时间进程有可能对地震发生的时间作出较成功的预报.

### [参考文献]

- [1] 胡长和. 1937年菏泽地震[M]. 北京:地震出版社, 1991.
- [2] 卢守安. 1983年11月7日菏泽5.9级地震[A]. 张肇诚. 中国震例[C]. 北京:地震出版社, 1990. 133~156.
- [3] 耿杰, 张昭栋, 魏焕. 中强地震前地下流体地震前兆模糊分维特征研究[J]. 地震研究, 1997, 20(3): 311~315.
- [4] 张昭栋. 菏泽5.9级地震与深井水位的变化[J]. 地震研究, 1990, 13(1): 70~78.
- [5] 张炜, 阎立章, 申春生, 魏家珍. 水文地球化学地震前兆观测与新灵敏组分探索[J]. 地震, 1987, (5): 58.
- [6] 耿杰, 张昭栋. 山东聊古-1井水化学组分地震异常的场源兆特征及其机理讨论[J]. 西北地震学报, 1995, 19(4): 58~65.
- [7] 金安忠, 李润显, 吴隆茂, 等. 菏泽5.9级地震前地电阻率的临震突跳现象[J]. 地震, 1982, (2): 16~21.
- [8] 耿杰, 马志峰, 李金波. 苍山5.2级地震前十里泉电厂水离子组分变化特征及机制讨论[J]. 华北地震科学, 1998, (1): 36~40.
- [9] 郑兆蕊, 周云好, 潘建云, 等. 苍山5.2级地震前安徽省观测到的地震前兆[J]. 地震学刊, 1997, (4): 57~63.

### TIME-SPACE EVOLUTION CHARACTERISTICS OF MEDIUM-TERM AND SHORT-TERM PRECURSORS OF THE HEZE $M_S5.9$ AND CANGSHAN $M_S5.2$ EARTHQUAKES

YIN Jing-yuan<sup>1</sup>, WANG Hua-lin<sup>2</sup>, WANG Mei<sup>2</sup>, HAN Hai-hua<sup>2</sup>,  
TONG Rui-qing<sup>2</sup>, TANG Ting-mei<sup>2</sup>

(1. *Seismological Bureau of Shanghai City, Shanghai 200062, China*;  
2. *Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China*)

**Abstract:** Time-space evolution characteristics of medium-term and short-term precursors of the Heze  $M_S5.9$  and Cangshan  $M_S5.2$  earthquakes are analyzed and studied, and the generalities and individualities of the evolution characteristics are summarized. The scientific problems such as relation between seismic precursors and structures, relation between precursors from seismic source and tectonic stress field, relation between spatial distribution of anomalies and determination of site where earthquake will occur, relation between temporal distribution of anomalies and determination of time when earthquake will occur, etc. are discussed.

**Key words:** Earthquake precursor; Evolution; Heze; Cangshan