

广东潮州井水化学地震前兆异常特征分析\*

刘 锦, 何 萍, 陈贵美  
(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 根据广东潮州井 24 年的水化学观测资料, 通过对强震以及中等地震前水化学异常研究得到, 潮州井水化学资料在中等地震前以中短期异常为主, 而强震前水化学测项出现长趋势异常变化。研究还表明, 同样的震前异常持续时间, 未来地震的震中距越大, 其震级也应更大。从异常形态对比可见, 震中距越小的地震, 其异常变化的幅度和速率也较大。  
关键词: 潮州井; 水化学异常; 地震前兆  
中图分类号: P315.72<sup>+</sup>3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2010)04-0288-06

0 前言

潮州水化学观测井位于北东向的三饶—潮州—普宁断裂与北西向的韩江断裂的交汇处, 围岩为燕山期花岗岩, 井深 51.3 m 为花岗岩微承压水, 水温常年平均在 24℃左右, 水质为  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$  型。该井作为水化学观测专用井, 无抽水等环境干扰。从 1980 年 4 月起开始观测  $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCO}_3^-$  和总硬度, 以后又陆续增加  $\text{Ca}^{2+}$  和电导率测项。从 1985 年 1 月至今 5 个测项已积累了 24 年的连续观测资料。从台湾东部邻侧海域往西, 横穿过台湾岛区、台湾海峡直到大陆东南沿海地区, 地震活动的频度和强度逐渐减弱, 菲律宾板块与欧亚板块在台湾东侧挤压、碰撞使得台湾地区强震频发 (魏伯林等, 2001)。观测资料显示, 无论是台湾地区的强震还是华南地区的中强震, 潮州井都记录到一定的前兆异常。前人对中强地震前地下流体映震能力、异常特征也做了大量的分析 (冯绍敏等, 1995; 张立等, 2006; 陆明勇等, 2004; 陈立德等, 2008; 车用太, 鱼金子, 2006) 因此, 总结水化学前兆资料的近距离中等地震和远距离强震前的异常特征及其差异, 是值得深入探讨的问题。

1 水化学异常实例

1.1 水化学观测和资料选取

潮州井的观测项目包括  $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、电导率和总硬度。所使用的地震目录取自中国地震台网中心的目录。选取地震的原则是距该井 250 km 以内  $M \geq 4.5$  地震和台湾海峡  $M \geq 6.0$  地震。符合条件的地震共 13 个, 列于表 1。图 1 为所取地震分

布图, 所绘图件由地震前兆信息与软件系统 EIS2000 完成 (蒋骏等, 2002) (▲为井位)。

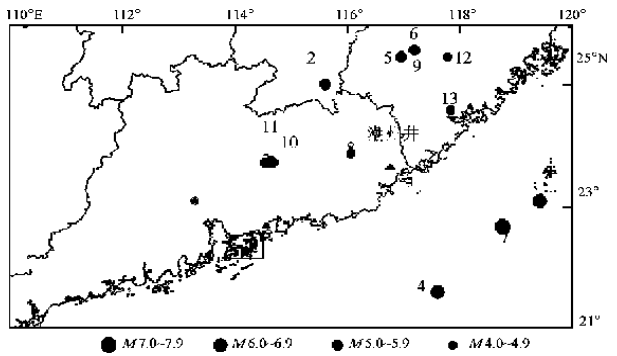


图 1 距该井 250 km 以内  $M \geq 4.5$  地震和台湾海峡  $M \geq 6.0$  地震分布图

Fig 1 The distribution map of  $M \geq 4.5$  earthquakes happened 250 km around the Chaozhou well and  $M \geq 6.0$  earthquakes happened in Taiwan channel

表 1 地震基本参数  
Tab 1 Earthquake basic parameters

序号	发震时间	$\lambda_E / (^\circ)$	$\varphi_N / (^\circ)$	震级	震中位置
1	1986-10-22	23.10	119.40	6.0	台湾海峡
2	1987-08-02	24.99	115.65	5.8	江西寻乌
3	1991-09-21	23.73	114.55	5.0	广东河源
4	1992-09-14	21.60	117.60	6.2	东沙群岛
5	1992-11-26	25.48	116.95	5.1	福建连城
6	1994-05-24	25.58	117.18	4.8	福建永安
7	1994-09-16	22.67	118.75	7.4	台湾海峡
8	1995-11-12	23.87	116.05	4.7	广东丰顺
9	1997-05-31	25.59	117.19	5.6	福建永安
10	1999-03-25	23.74	114.69	4.7	广东河源
11	1999-08-20	23.75	114.64	5.1	广东河源
12	2007-08-29	25.48	117.77	4.9	福建永春
13	2008-07-05	24.60	117.83	4.8	福建厦门

\* 收稿日期: 2009-07-03  
©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在 1987 年 9 月至 1988 年 8 月的 1 年时间里，潮州井的观测资料属正常动态（图 2）。在此时段内，距井 250 km 范围内没记录到  $M \geq 4.0$  地震。在无人干扰影响的情况下， $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、电导率和总硬度变化平稳， $\text{CO}_2$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、电导率和总硬度变化较同步，似“年周期”变化的正常形态，表现为：6~9 月测值相对较高，变化幅度不超过 3%，可见该井总体上具有平稳变化的化学动态特征，给识别地震异常特征提供了分析基础。

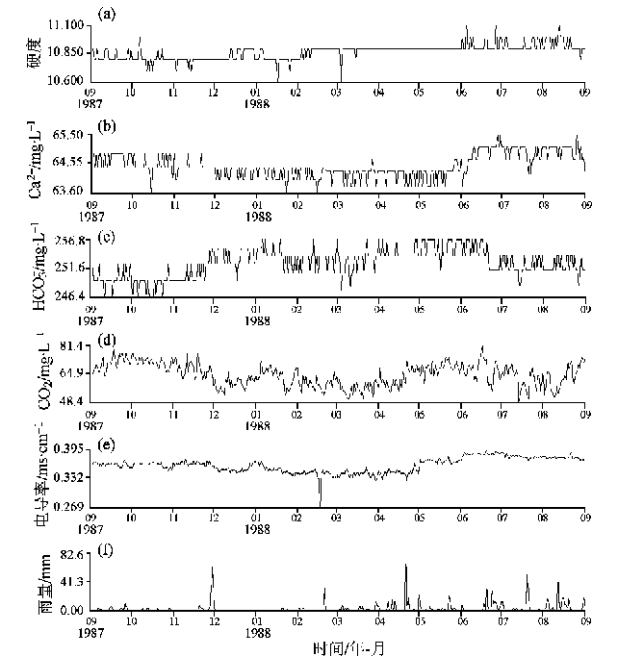


图 2 潮州井观测资料的正常动态图  
(a) 硬度日均值；(b)  $\text{Ca}^{2+}$ 日均值；(c)  $\text{HCO}_3^-$ 日均值；  
(d)  $\text{CO}_2$ 日均值；(e) 电导率日均值；(f) 日降雨量  
Fig 2 The normal dynamic map of the monitoring data at Chaozhou well

### 1.2 1986 年台湾海峡 6.0 级地震、1987 年江西寻乌 5.8 级地震

在两次地震震级接近，震前多项水质的测项先后出现趋势变化（图 3）。两次地震前硬度、 $\text{Ca}^{2+}$ 出现下降后缓慢回升，上升趋势转平后发震； $\text{CO}_2$ 测值出现缓慢上升，发震后缓慢下降。台湾海峡 6.0 级地震前  $\text{HCO}_3^-$ 快速下降后缓慢回升，上升趋势转平后发震。 $\text{CO}_2$ 测项则是快速上升，发震后缓慢下降（表 2）。

### 1.3 1992 年东沙群岛 6.2 级地震、台湾海峡 7.4 级地震

1992 年 4 月起井水的硬度、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 出现准同步的缓慢趋势上升，东沙群岛地震前快速

上升、快速下降异常形态突出，之后测值没有恢复，并在台湾海峡地震前 1 个半月出现同步的显著下降—回升异常变化（图 4、表 3）。

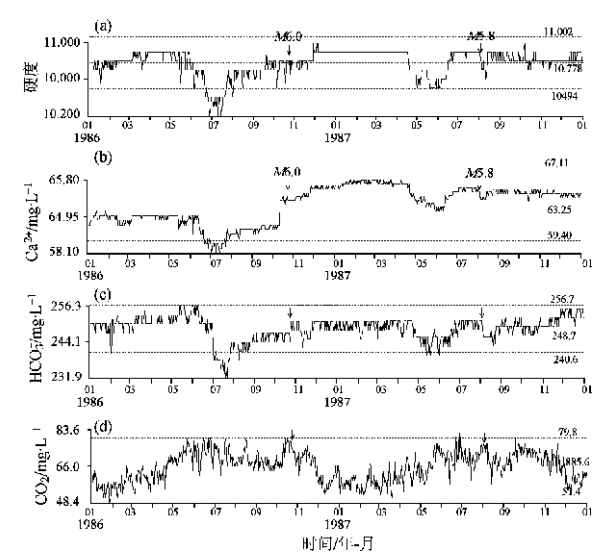


图 3 台湾海峡 6.0 级、江西寻乌 5.8 级地震前潮州井水化学前兆异常  
(a) 硬度日均值；(b)  $\text{Ca}^{2+}$ 日均值；  
(c)  $\text{HCO}_3^-$ 日均值；(d)  $\text{CO}_2$ 日均值  
Fig 3 The hydrochemical anomaly precursor before the M6.0 Taiwan channel earthquake and M5.8 Xuwu earthquake in Jiangxi Province

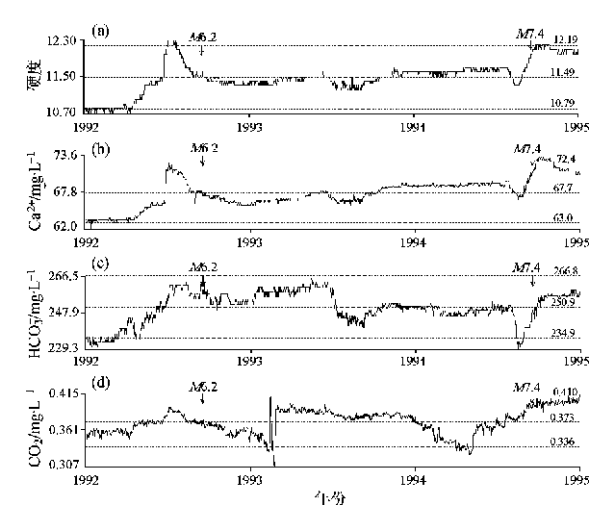


图 4 东沙群岛 6.2 级、台湾海峡 7.4 级地震前潮州井水化学前兆异常图  
(a) 硬度日均值；(b)  $\text{Ca}^{2+}$ 日均值；  
(c)  $\text{HCO}_3^-$ 日均值；(d)  $\text{CO}_2$ 日均值  
Fig 4 The hydrochemical anomaly precursormap before M6.2 Pritas Islands and M7.4 Taiwan Channel earthquake

表 2 台湾海峡 6.0 级、江西寻乌 5.8 级地震前潮州井水化学前兆异常统计  
Tab 2 The statistics of the hydrochemical anomaly precursor before the M<sub>6.0</sub> Taiwan  
channel earthquake and M<sub>5.8</sub> Xuwu earthquake in Jiangxi Province

震例	台站 测项	震中距 /km	中期异常		短期异常		异常形态	最大幅度
			起始时间	转折时间	起始时间	结束时间		
1986—10—22 台湾海峡 M <sub>6.0</sub>	硬度	290	1986—06—16	1986—07—24		1986—11—11	下降—回升	0.7
	Ca <sup>2+</sup>		1986—06—09	1986—07—13	1986—10—10		下降—回升 临震突跳	7.7 mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1986—06—20	1986—07—25			快速下降—回升	24.2 mg/L
	CO <sub>2</sub>		1986—04—15		1986—07	1986—10—03	缓慢上升—回降 临震上升	30 mg/L
1987—08—02 江西寻乌 M <sub>5.8</sub>	硬度	170	1987—04—17	1987—06—02		1987—09	下降—回升 临震下降	0.5
	Ca <sup>2+</sup>		1987—04—09	1987—06—06		1987—09	下降—回升	3.7 mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1987—04—22	1987—06—13		1987—10	下降—回升 临震下降	12.1 mg/L
	CO <sub>2</sub>		1987—02			1987—11	缓慢上升—回降	35 mg/L

表 3 东沙群岛 6.2 级、台湾海峡 7.4 级地震前潮州井水化学前兆异常统计  
Tab 3 The statistics of the hydrochemical anomaly precursor before M<sub>6.2</sub> Pratas  
Islands and M<sub>7.4</sub> Taiwan Channel earthquake

震例	台站 测项	震中距 /km	中期异常		短期异常		异常形态	最大幅度
			起始时间	转折时间	起始时间	结束时间		
1992—09—14 东沙群岛 M <sub>6.2</sub>	硬度	250.2	1992—04—15	1992—06—26			缓慢上升—加速—回降	1.6
	Ca <sup>2+</sup>		1992—04—20	1992—06—26			缓慢上升—加速—回降	10.6 mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1992—05—01				缓慢上升—回降	34.0 mg/L
	CO <sub>2</sub>		1992—04—01	1992—07—18		1992—12	缓慢上升—回降	45.6 mg/L
	电导率		1992—04—07	1992—06—18		1992—11	缓慢上升—回降	0.05 ms/cm
1994—09—16 台湾海峡 M <sub>7.4</sub>	硬度	244	1992—04	1994—07		1998	趋势上升—下降—回 升—发震—上升	12.2
	Ca <sup>2+</sup>		1992—04	1994—07		1998	同上	240 mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1992—05	1994—08		1998	同上	73 mg/L
	电导率		1994—02	1994—05		1994—11	下降—回升—发震—转平	0.4 ms/cm

1.4 2007 年福建永春 4.9 级地震、2008 年厦门 4.8 级地震

这两次地震前 1~3 个月水化学资料的硬度、Ca<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 出现准同步的显著下降，持续低值，

发震后回升；从 2007 年 6 月起 CO<sub>2</sub> 显著上升，永春 4.9 级地震前 10 天测值下降，回升发震，之后回降；2008 年 2 月至 6 月即厦门 4.8 级地震前 CO<sub>2</sub> 测值在相对低值波动，临震突跳（图 5、表 4）。

表 4 福建永春 4.9 级、厦门 4.8 级地震前潮州井水化学前兆异常统计  
Tab 4 The statistics of the hydrochemical anomaly precursor before M<sub>4.9</sub> YongChun  
earthquake and M<sub>4.8</sub> Xiamen earthquake in Fujian Province

震例	台站 测项	震中距 /km	中期异常		短期异常		异常形态	最大幅度
			起始时间	转折时间	起始时间	结束时间		
2007—08—29 福建永春 M <sub>4.9</sub>	硬度	243	2007—06—22			2007—11	下降—发震—回升	0.8
	Ca <sup>2+</sup>		2007—06—22			2007—11	下降—发震—回升	3.4 mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		2007—06—20				下降—缓慢上升	34.0 mg/L
	CO <sub>2</sub>		2007—06—12	2007—07—31	2007—07—26	2007—10	显著上升—下降—回升	39.6 mg/L
2008—07—05 福建厦门 M <sub>4.8</sub>	硬度	164	2008—06—23	2008—07—11		2008—09	显著下降—发震—回升	1.5
	Ca <sup>2+</sup>		2008—06—23	2008—07—11		2008—09	显著下降—发震—回升	8.8 mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		2008—06—22	2008—07—10			显著下降—发震—回升	30.0 mg/L
	CO <sub>2</sub>				2008—06—20	2008—06—22	临震突跳	24.4 mg/L

表 5 其余各震例震前潮州井水化学前兆异常统计  
Tab 5 The statistics of the hydrochemical anomaly precursor before other earthquakes

震例	台站 测项	震中距 / km	中期异常		短期异常		异常形态	最大幅度
			起始时间	转折时间	起始时间	结束时间		
1991-09-21 广东河源 M <sub>L</sub> 5.0	硬度 Ca <sup>2+</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	212.7	1991-07-24		1991-11		下降—发震—回升 下降—发震—回升 下降—缓慢上升	0.7 4.1 mg/L 25.7 mg/L
1992-11-26 福建连城 M <sub>L</sub> 5.1		203.2					无明显异常	
1994-05-24 福建永安 M <sub>L</sub> 4.8	电导率	218.2	1994-01-03		1994-05		下降—回升—发震	0.05 ms/cm
1995-11-12 广东丰顺 M <sub>L</sub> 4.7	Ca <sup>2+</sup>	63.3	1995-10-01		1995-11-20		下降—发震—回升	3.2 mg/L
1997-05-31 福建永安 M <sub>L</sub> 5.6	CO <sub>2</sub>	218	1997-05-04	1997-05-16	1997-5-18		突降—突升—发震	27.5 mg/L
1999-03-25 广东河源 M <sub>L</sub> 4.7		202.8					无明显异常	
	硬度	203.2			1999-08-13	1999-10	突跳—发震—缓慢回升	0.6
1999-08-20 广东河源	Ca <sup>2+</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				1999-08-13	1999-10	突跳—发震—缓慢回升	5.1 mg/L
M <sub>L</sub> 5.1	CO <sub>2</sub>		1999-07-23		1999-12		突跳—下降—发震—回升	32.4 mg/L
			1999-06-01		1999-11		缓慢上升—发震—下降	44.4 mg/L
	电导率		1999-07-20	1999-08	1999-08-16	1999-11	高值突跳—发震—下降—回升	0.05 ms/cm

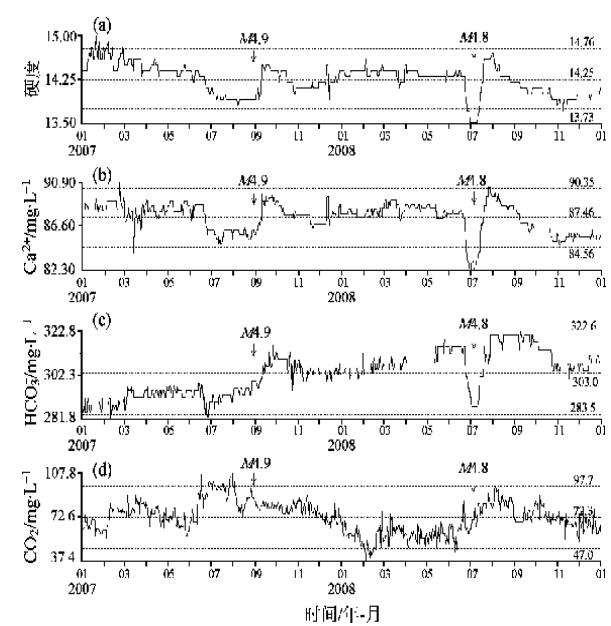


图 5 福建永春 4.9 级、厦门 4.8 级地震前井水化学前兆异常  
(a) 硬度日均值；(b) Ca<sup>2+</sup>日均值；  
(c) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>日均值；(d) CO<sub>2</sub>日均值  
Fig 5 The hydrochemical anomaly precursor before the M<sub>4.9</sub> Yongchun earthquake and M<sub>4.8</sub> Xiamen earthquake in Fujian Province

2 认识与讨论

(1) 震前所观测的异常变化具有多测项同步异常的特征。震前异常不仅是水中某个组分显示异常变化，而且是水中多个组分在某一时段内集中显示出异常变化。本文所研究的 13 次地震中，观测项目 CO<sub>2</sub>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、电导率和总硬度震前同步异常达到 61%。这种同步异常代表地下水的物理化学整体异常变化，应该是孕震过程中的一种表现。对比粤闽交界陆区上的中强地震与台湾海峡 7.4 级地震，前者以短临异常为主，后者则出现 2~4 年的长趋势异常。因此，有无多测项长趋势异常可作为华南地区强震预测的判据之一。

(2) 震前异常形态复杂多样。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、总硬度变化形态以下降—回升为主的占 70%，但也有缓慢下降和突降类型，回升的速率也不一样。在该井同一方向的地震，如台湾海峡 1986 年 M<sub>6.0</sub> 地震和 1994 年 M<sub>7.4</sub> 地震前，同一测项也有正、负异常变化的情况，异常的幅度和起伏变化速率也不一样。

(3) 震级、地点相近的不同地震，异常也不

同。河源地区先后发生的3次地震,即1991年9月21日  $M_{5.0}$ 、1999年3月25日  $M_{4.7}$ 和1999年8月20日  $M_{5.1}$ 地震。这3次地震的震级相差不大,震中位置仅相差10 km左右,但其前兆异常的形态完全不同。1991年  $M_{5.0}$ 地震前兆,以持续1~2个月的短期异常为主,异常测项包括硬度、 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^-$ ; 1999年3月  $M_{4.7}$ 地震却无明显地震前兆异常;而  $M_{5.1}$ 地震则以突跳短临异常为主,硬度、 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^-$ 和电导率出现突跳。河源地区地质构造复杂,断裂发育,主体呈NE走向,局部呈NEE和近SN走向,还有东西向的清远—河源—丰顺断裂(康英等,2005),这两次地震前兆异常差异与所处构造有关,还是与发震机制有关,还有待以后进一步研究。

(4)震前异常持续时间、异常形态与震中距有关。①震级接近的地震:2007年福建永春4.9级地震和2008年厦门4.8级地震。地震震中距分别为243 km和164 km,异常形态也有所不同。震级接近的地震,震中距较小的,其异常变化的幅度和速率也较大。1986年台湾海峡6.0级地震和1987年江西寻乌5.8级地震震例也证实了这点。震级较大的地震,其震前异常变化显示出相对平缓的趋势变化特征;②震中距接近的地震,异常持续时间越长,震级越大。东沙群岛6.2级地震和台湾海峡7.4级地震为震例。

(5)异常的迭加等原因会使地震预报漏报率增加。如1989年11月河源4.4级地震发生在台湾东部海中6.8、6.4级地震后2个月,震前异常很难区分;硬度、 $HCO_3^-$ 、 $Ca^{2+}$ 3个测项在2005年6~7月间、2006年6~8月间都出现了一个“Λ”型高值异常,在异常出现的时段,2005年4~9月在1994年台湾海峡7.3级地震震中区附近出现了一组  $M_{4.4} \sim M_{5.0}$ 的震群活动,最大震级  $M_{5.0}$ (震中距约200 km),2006年10月、12月台湾以南海域发

生了  $M_{6.3}$ 、7.2强震(震中距451 km),两年来出现的先升后降的异常过程作为两组海域地震的前兆,在时间上也是吻合的,但这两次异常都出现在雨季,2005、2006年同期的降雨量分别为422.2 mm、1213.9 mm,显然,这些异常也存在受降雨影响的可能,这两种情况都会使异常难以辨认,地震预报漏报率增加。

(6)目前潮州井观测仪器为人工取样、测定,不是自动连续观测记录,因而可能丢失相当多的临震信息,而且由于地震监测与预报研究本身尚处在探索阶段,对临震信息的特征、信息强度等问题认识还不深,有目的地捕捉前兆信息还有困难,如1995年丰顺  $M_{4.7}$ 地震,震中距为63 km,震前异常少,是短临异常变化发生在两次取样之间被漏测,还是由于区域地质构造以及发震机制等原因,有待进一步研究。因此改进提高仪器性能,并且地下流体的综合观测中,寻找临震效应灵敏的测项,是一项对地震预报很有意义的工作。

#### 参考文献:

- 车用太,鱼金子.2006.地震地下流体学[M].北京:气象出版社.
- 陈立德,付虹,邬成栋.2008.强震短临前兆异常共性特征的物理基础[J].地震研究,31(2):99-102.
- 冯绶敏,林伟,叶秀薇,等.1995.地下流体远场地震效应讨论[J].地震,15(1):59-64.
- 蒋骏,李胜乐,张雁滨,等.2002.地震前兆信息与软件系统EIS2000[M].北京:地震出版社.
- 康英,杨选,吕金水,等.2005.广东及邻区地震的震源机制解特征[J].地震,25(3):109-114.
- 陆明勇,黄辅琼,周峥嵘,等.2004.地壳形变与地下水异常关系研究进展[J].大地测量与地球动力学,24(3):98-104.
- 魏伯林,冯绶敏,陈定国,等.2001.东南沿海地震活动特征[M].北京:地震出版社.
- 张立,平建军,苏有锦.2006.云南地区综合地震前兆信息量及其短期映震能力分析[J].地震研究,29(4):325-331.

## The Features of Hydrochemical Anomaly Precursor of Chaozhou Well in Guangdong Province

LIU Jin HE Ping CHEN Guimei

(Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, Guangdong, China)

### Abstract

According to twenty four years hydrochemical monitoring data of Chaozhou well in Guangdong Province, we have found the feature of hydrochemical anomaly precursor before the moderate and strong earthquakes. The results show that hydrochemical precursor for moderate earthquakes is short term and impending anomaly, but the one for strong earthquakes is long-term anomaly. It's also indicated that the forecasted epicenter is larger and the forecasted magnitude is also larger for the same duration of the anomaly. For the abnormal pattern contract, the forecasted epicenter is smaller than the anomaly range and the velocity of variation is larger.

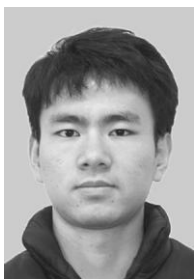
**Key words:** Chaozhou Well, hydrochemical anomaly, earthquake precursor



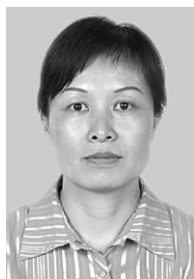
徐桂明 江苏省地震局高级工程师。毕业于河海大学水文地质与工程地质专业，获学士学位。主要从事地震流体预报地震工作。中国地震学会地震流体专业委员会委员。



刘 锦 广东省地震局工程师。1991年毕业于防灾技术学院应用地球物理系，获大专学历；2004年毕业于华南理工大学工商管理系，获管理学学士学位。主要从事地下流体分析预报等研究。



阮 祥 四川省地震局预报研究所助理工程师。2004年云南大学固体地球物理专业毕业，获理学学士学位；2007年中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获理学硕士学位。目前从事地震学与地震预报方面的研究。



杨晶琼 云南省地震局高级工程师。1990年毕业于云南师范大学地理系，获学士学位。主要从事地震分析编目与数字地震资料应用研究工作。



蒋翠荣 河北省地震局张家口中心台工程师。1985年毕业于河北电大。现主要从事地震台站监测工作。



王建军 甘肃省地震局工程师。1996年毕业于防灾科技学院地球物理系；2008年兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获硕士学位。曾参与开发中国地震前兆数据处理系统、中国地震前兆数据管理系统，现主要从事地震监测、软件开发、地磁基本场研究等方面的工作。



郭婷婷 山东省地震局助理研究员。2004年毕业于西北农林科技大学水利与建筑工程学院，获硕士学位；现就读于中国地震局地质研究所攻读博士学位。主要从事构造应力场分析及其相关数值模拟等工作。



马文娟 宁夏地震局工程师。1999年毕业于宁夏大学数学系软件工程专业，获理学学士学位；现为同济大学在读硕士研究生。主要从事前兆观测技术、数据处理、数据库开发利用等研究。2009年中国地震局地壳应力研究所交流访问学者。



单维锋 防灾科技学院讲师。1998年毕业于山东大学威海分校计算机应用专业；2005年毕业于云南大学软件工程专业，获硕士学位；现于北京工业大学计算机学院攻读博士学位。主要从事地震前兆数据处理、并行计算等方面研究工作。ACM专业会员、新加坡国际计算机科学与技术协会（IACSII）会员。

注：钱晓东、张希、苏琴、张昱、刘强、施伟华、吴立辛、曾宪伟、何案华、周光全的简历分别刊登在本刊 Vol.29 No.1; Vol.30 No.3 Vol.32 No.2 Vol.31 No.3 Vol.30 No.4 Vol.30 No.4 Vol.30 No.1; Vol.31 No.2 Vol.31 No.3 Vol.29 No.4