

# 前兆场变化在地震空间位置判断上的应用\*

廖丽霞, 关玉梅, 叶晓明

(福建省地震局, 福州 350003)

**摘要:** 运用福建前兆观测台网资料, 分析了形变应力场和水位震后效应场等前兆场的空间变化规律与福建区域地震的相关性。结果显示, 福建多次  $M_L > 4.5$  地震的孕育过程均伴随着形变应力及水位震后效应的成场。研究认为, 当形变应力场与水位震后效应场的时空演化规律趋于一致时, 这一区域就具备发生中强以上地震的背景条件, 跟踪分析形变应力场及水位震后效应场的空间迁移规律, 可对未来发生的地震的空间位置做出较为准确的判断。

**关键词:** 前兆场; 应力场; 水位震后效应; 迁移规律; 福建地区

**中图分类号:** P315.75

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2011)01-0019-05

## 0 引言

地震从孕育到发生的过程也是一个能量从积累到释放的过程。在地震孕育过程中, 环境应力场会发生变化, 各种地震前兆场也会发生变化。目前人们分析、预报地震和总结震例更多的是从各种前兆测项的异常数量、异常幅度、异常持续时间及异常的时间和空间分布与地震的相关性这一角度来进行(蒋海昆等, 2009; 张肇诚, 1988, 1990a, b, 1999, 2000; 陈棋福, 2002a, b, c), 较少从前兆场的概念入手。从场的角度分析得最多的是 GPS 观测资料的运用, 如人们常用 GPS 观测结果分析中国大陆现今水平应变场和长趋势垂直构造运动特点(杨国华等, 2002; 顾国华, 2005), 还对中国大陆现今应变场动态做了研究(郭良迁等, 2008)。这些研究都是从大区域应力场的角度出发, 较少结合地震活动性进行分析, 而是侧重于地壳或板块运动学与动力学。杨仕升等(2004)曾将环境剪应力场与区域地震活动性做了相关性分析; 李强等(2005)则对环境应力值在地震空区形成到临近地震及前震发生时的变化情况做了分析; 王晓强等(2009)对新疆巴楚—伽师 6.8 级地震前的剪应力进行了分析。这些分析表明在地震孕育和发生的同时环境应力场确实

发生了同步变化。本文运用福建前兆观测台网资料, 从流体水位测项、形变伸缩仪、钻孔体应变、跨断层短水准等测项在应力作用下成场的空间变化与福建区域地震的相关性分析入手, 以期利用前兆场的空间变化规律对未来地震的发震地点做出准确判断。

为了便于分析, 笔者做如下定义: 如果相邻的 3 个以上(含 3 个)水井水位震后效应形态一致从而形成一个水位阶跃上升(或下降)的集中区, 我们就称之为水位震后效应场。同样地, 如果相邻的 3 个以上(含 3 个)形变应力测点在趋势上均呈一致的受压或拉张状态, 我们就称之为形变应力场或张应力场。我们将所有这些前兆测项在应力作用下形成的场统称为前兆场。

## 1 福建前兆观测台网概况及分析资料的选取

福建省地震局沿 NW 和 NE 两组主要的构造断裂带布设了密度较大的前兆观测台网, 包括地下流体、地壳形变和磁电 3 大学科 13 种观测手段, 观测形式有 24 小时连续自动记录的数字化观测和模拟观测。地下流体学科目前共有 37 个观测点、111 个台项, 观测手段主要有氡、水质、水位、水温等; 地壳形变学科有 13 个流动跨断层短水准场

\* 收稿日期: 2010-01-27.

基金项目: 2009 国家自然科学基金“基于流体地球化学探讨天山地区泥火山成因及其活动与地壳变形作用”(40962006)资助。

地、122 个流动重力测段、40 个定点台项, 定点观测手段主要有 GPS、钻孔应变、地倾斜、洞体应变、重力、跨断层水准等; 电磁学科目前共有 20 个定点台项、39 个流动地磁测点, 观测手段主要有电磁波、磁场强度和磁偏角。

近两年来, 全省各地磁观测台均受周边基建及台站本身迁移改造影响, 资料信度不高, 而且电磁波反映的多是短临地震异常, 因此电磁学科资料不参与场的分析。由于水位观测与形变观测得到的一致性变化应该与环境应力场的变化有关, 因此本文主要对水位及各种应变资料进行分析。由于水位受降雨影响较大, 其趋势变化更多的是体现年变及降雨, 故本文不统计水位的趋势变化, 只统计水位的震后效应。而漳州台体应变受降雨影响较大, 其趋势变化更多的是体现年变及降雨, 因此也不列入统计范围。

## 2 思路和方法

地球上绝大多数地震都是构造地震, 是断层错动造成的(徐果明, 周蕙兰, 1982)。地震孕育过程中, 在区域应力和震源应力的共同作用下, 大区域范围内地壳的不同层位岩石的构造应力会发生明显的变化。在一定的构造部位上, 压应力增强, 而在另一些部位, 则张应力增强(中国地震局监测预报司, 2004)。大区域应力场提供了孕震背景, 局部应力场则与强震孕育关系密切, 它促进了强震的形成和发育(郭良迁等, 2008)。因此统计分析形变学科各测项压应力和张应力在不同时期相对集中的空间分布情况, 结合同期发生的地震事件, 就可了解局部应力场的变化情况与发震地点的相关性, 从而对未来地震的发震地点做出一定程度的预测。

由于地下流体中水位与应力的物理相关性很明确——受压则上升, 受拉张则下降, 因此水位的观测对象实际上是体应变。但水位的干扰因素很多, 其测值短时间上升或下降并不全是构造应力场受压或拉张的真实体现, 大多数是降雨、外界环境干扰或观测技术系统故障引起的, 因此区域应力变化不能仅凭水位测值的阶段性上升或下降来分析。近年来全球 8 级强震频发, 福建地区中强地震频度也增大。笔者注意到, 在大区域应力

场相同并且没有降雨的情况下, 同一次地震事件引起的各水井水位的同震效应和震后效应大不相同, 表现为水震波、阶升及阶降等形式。水震波是地震波在传播路途中, 含水层发生应变波动性变化在井孔水面上的响应。波动性应变一般以弹性形变为主, 主要是对地震波的反映。但是, 有理由认为水位的阶升和阶降可能与水井所在区域的局部应力有关, 而当多个水井水位阶升和阶降呈相对集中分布时, 很可能就是局部应力场异常的体现(廖丽霞等, 2009)。因此统计分析不同时期井水位震后阶升和阶降的空间分布情况, 就有可能对未来地震的发震地点做出一定程度的预测。

## 3 对比与分析

### 3.1 水位震后效应场分析

震后效应是地震发生后, 在某一地块或断裂上井孔含水层由于区域应力场和地震波传播形成的附加应力场的迭加引起的变化。这种变化包含着区域应力场应力的信息, 一般以弹塑性或塑性变化为主。笔者曾追踪福建省水位观测并对多次远、大地震的震后效应的时空演化特征, 并结合福建地区同期发生的地震事件进行分析, 认为水位阶跃上升集中区可能是区域应力相对集中区, 也可能就是未来的发震地点(廖丽霞等, 2009)。2007 年以来, 福建地区的多次中等强度的地震均发生在全球范围内的巨震或大震后水位阶跃上升井孔所围成的空间区域范围即水位震后效应场内, 如 2004 年印尼  $M_s 8.7$  地震后, 在福建地区形成的后效水位阶跃上升井孔就有规律地集中在永安—晋江断裂带 NE 向地段(图 1 中椭圆部分)(廖丽霞, 王玫玲, 2008), 这一水位震后效应场在随后的全球大震中一直存在, 而 2007 年福建顺昌  $M_L 4.9$  及  $M_L 4.7$  地震和永春  $M_L 4.6$  地震也发生在这一水位阶升集中区内。这一系列地震发生后该水位震后效应场消失。2008 年汶川  $M_s 8.0$  地震发生后, 漳厦地区、古田水口库区(图 2 中椭圆部分)又形成一大一小两个后效水位阶升集中区, 笔者曾据此及其它前兆指标在 2008 年福建省地震局年中会商会上提出, 2008 年下半年将会在漳厦地区发生  $M_L 4.5$  地震, 2008 年 7 月 5 日长泰  $M_L 4.6$  地震印证了这一判断。

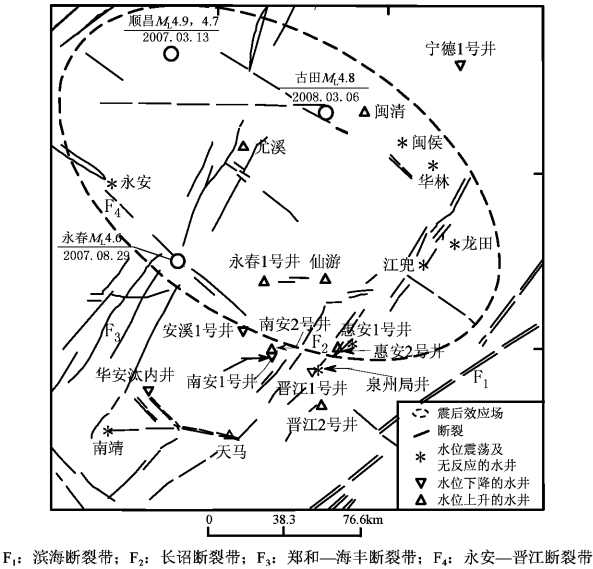


图 1 福建水位观测网对 2004 年印尼  $M_{\text{s}}8.7$  巨震的远震效应空间分布图

Fig. 1 Coseismic water-level response of wells in Fujian subsurface fluid network to Indonesia  $M_{\text{s}}8.7$  earthquake in 2004

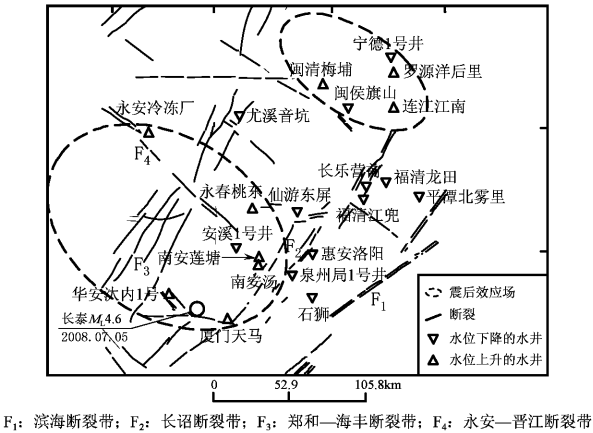


图 2 福建水位观测网对 2008 年汶川  $M_{\text{s}}8.0$  地震的远震效应空间分布图

Fig. 2 Coseismic water-level response of wells in Fujian subsurface fluid network to Wenchuan  $M_{\text{s}}8.0$  earthquake

3.2 形变场分析

笔者利用福建省流动跨断层短水准和定点形变的伸缩仪和钻孔体应变观测资料，统计分析各台项的趋势受力情况。图 3 是 2007 ~ 2008 年福建地区压应力和张应力的空间分布情况。从图 3 可以看出近两年来，福建地区压应力场呈现为由北向南和由西向东迁移并在闽南地区集中的规律。2007

年至 2008 年上半年，福建地区压应力场主要分布在郑和—海丰断裂带及长诏断裂带北段，而这一时间段内福建地区发生的地震如 2007 年 3 月 13 日顺昌  $M_{\text{L}}4.9$  及  $M_{\text{L}}4.7$  地震、2008 年 3 月 6 日古田  $M_{\text{L}}4.8$  地震就发生在压应力场集中的区域。2008 年下半年，福建地区压应力场主要分布在闽南地区，2008 年 7 月 5 日长泰  $M_{\text{L}}4.6$  地震同样发生在压应力场集中的区域。

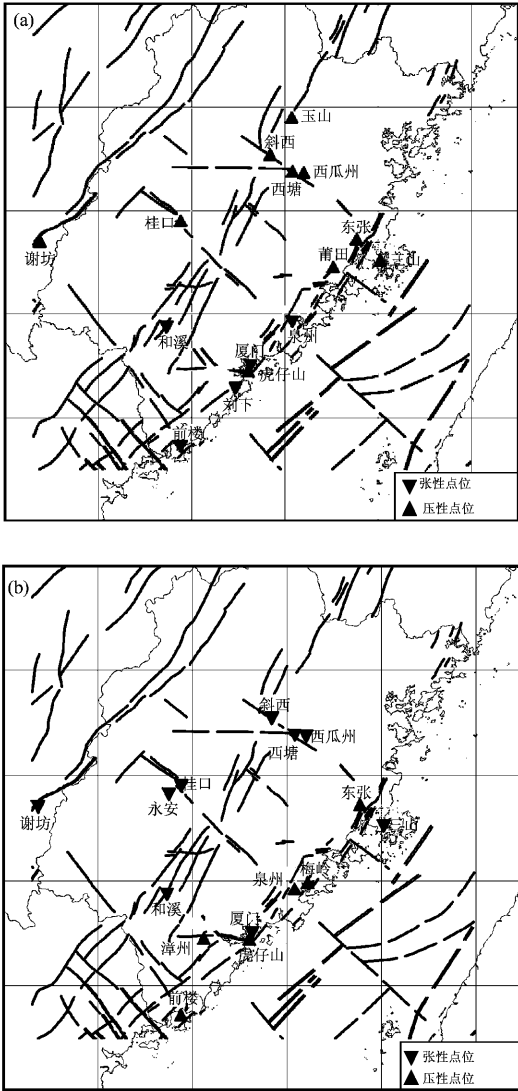


图 3 2007 ~ 2008 年福建省形变观测网形变场空间迁移图

(a) 2007 年 4 月至 2008 年 4 月；(b) 2008 年 4 月至 2008 年 8 月

Fig. 3 Space migration of deformation field in Fujian deformation network from 2007 to 2008 (a) from April 2007 to April 2008; (b) from April 2008 to August 2008

### 3.3 地震震中位置迁移分析

2007~2008 年,福建内陆共发生  $M_L 4.5$  以上地震 5 次,分别是 2007 年 3 月 13 日顺昌  $M_L 4.9$  及  $M_L 4.7$  地震、2007 年 8 月 29 日永春  $M_L 4.6$  地震、2008 年 3 月 6 日古田  $M_L 4.8$  地震、2008 年 7 月 5 日长泰  $M_L 4.6$  地震。由图 4 可见这些地震的震中位置由北向南迁移(图中箭头所指方向),这一规律与水位震后效应场及形变压应力场的迁移规律是一致的。

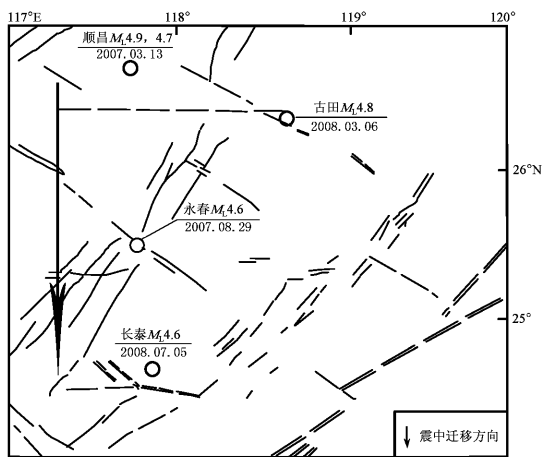


图 4 2007~2008 年福建内陆发生的  $M_L > 4.5$  地震震中位置迁移图

Fig. 4 Epicentral migration of  $M_L > 4.5$  earthquakes occurred in Fujian area from 2007 to 2008

## 4 结论和讨论

前兆场的形成及地震事件的发生均是同一区域应力场作用的结果。地震孕育过程中,与应力相关的前兆测项如形变的伸缩仪、钻孔体应变、跨断层水准及流体的水位会在应力作用下在一定区域范围内变化并趋于一致,最后成场,当形变应力场与水位震后效应场的时空演化规律趋于一致时,这一区域就具备发生中强以上地震的背景条件。追踪分析形变应力场及水位震后效应场的空间迁移规律,就有可能对未来地震的空间位置作出较为准确的判断。

随着“九五”、“十五”前兆观测仪器数字化进程的不断推进,我们获取的前兆信息量飞速递增。由于数字化观测系统将地震监测到地震预报

的每一个工作环节都串到一起,从而大大缩短了数据从获取到应用的周期,但系统中的每个环节都可能影响观测资料的质量。实际上目前观测资料所反映的绝大多数“异常”均与地震无关,而是由电源系统、仪器观测系统、观测环境及人为干扰等引起的(廖丽霞等,2007)。只有充分运用各种前兆资料,从场的角度进行分析,动态跟踪各前兆应力是否成场及其随后的迁移演化规律,在应力成场而不是呈无序状态的前提下再动态跟踪各前兆测项的变化规律,从中提取短临异常,并结合以往震例,才能对地震作出较为准确的预报。

本文只是笔者从场的角度分析孕震地点的一种尝试,由于目前取得的震例还不多,所得结论应在今后更多的震例中不断加以验证。

### 参考文献:

- 陈棋福. 2002a. 中国震例(1992-1994) [M]. 北京:地震出版社.  
 陈棋福. 2002b. 中国震例(1995-1996) [M]. 北京:地震出版社.  
 陈棋福. 2002c. 中国震例(1997-1999) [M]. 北京:地震出版社.  
 顾国华. 2005. GPS 观测得到的中国大陆地壳垂直运动[J]. 地震, 25(3): 1-8.  
 郭良迁, 李延兴, 杨国华, 等. 2008. 中国大陆现今应变场动态[J]. 地震学报, 30(6): 560-569.  
 蒋海昆, 苗青壮, 吴琼, 等. 2009. 基于震例的前兆特征分析[J]. 地震学报, 31(3): 245-259.  
 李强, 徐戈, 杨彩霞. 2005. 孕震空区的环境应力特征及其机理探讨[J]. 地震, 25(3): 35-42.  
 廖丽霞, 廖春奇, 朱海燕. 2007. 福建闽侯旗山井水位大幅波动成因探讨[J]. 地震研究, 30(3): 260-264.  
 廖丽霞, 王玫玲. 2008. 福建水位观测网对印度尼西亚 8 级巨震的响应特征分析[J]. 地震地磁观测与研究, 29(4): 67-72.  
 廖丽霞, 王玫玲, 吴绍祖. 2009. 福建流体台网井水位的同震效应及其地震预测意义[J]. 地震学报, 31(4): 432-441.  
 王晓强, 江在森, 杨国华, 等. 2009. 基于 GPS 技术研究新疆巴楚—伽师 6.8 级地震的地壳形变特征[J]. 地震研究, 32(2): 175-181.  
 杨国华, 李延兴, 韩月萍, 等. 2002. 由 GPS 观测结果推导中国大陆现今水平应变场[J]. 地震学报, 24(4): 337-347.  
 杨仕升, 李柳英, 莫敬业, 等. 2004. 广西及邻区环境剪应力场基本特征与未来地震危险区预测研究[J]. 地震, 24(2): 81-88.  
 谢富仁, 祝景忠, 梁海庆, 等. 1994. 中国西南地区现代构造应力场基本特征[J]. 地震学报, 16(2): 160-166.  
 徐果明, 周蕙兰. 1982. 地震学原理 [M]. 北京: 科学出版社.  
 张肇诚. 1988. 中国震例(1966-1975) [M]. 北京: 地震出版社.  
 张肇诚. 1990a. 中国震例(1976-1980) [M]. 北京: 地震出版社.

张肇诚. 1990b. 中国震例(1981 – 1985) [M]. 北京:地震出版社.  
张肇诚. 1999. 中国震例(1986 – 1988) [M]. 北京:地震出版社.  
张肇诚. 2000. 中国震例(1989 – 1991) [M]. 北京:地震出版社.

中国地震局监测预报司. 2004. 强地震短期前兆异常的物理解释 [M]. 北京:地震出版社.

## Application of the Variation of Precursory Field to the Prediction of the Location of earthquakes

LIAO Li-xia, Guan Yu-mei, YE Xiao-ming

(*Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China*)

### Abstract

We analyze the relation between the precursory fields such as the deformation stress field and the post-seismic effect field of water level with the earthquakes ever occurred in Fujian area on the basis of the data from the precursor network in Fujian Province, and find that many  $M_L 4.5$  earthquakes occurred in Fujian area were accompanied by the formation of the deformation stress field and post-seismic effect field of water level. When the migration of the field of post-seismic effect of water level and field of deformation stress are identical, the related area has the probability of medium-strong earthquakes' occurrence. Analyzing the migration of post-seismic effect of water level and crustal deformation, we may predict the location of the earthquakes.

**Key words:** precursory field; stress field; water-level post-seismic effect; migration patterns; Fujian area