

邵武—河源断裂带中段重磁、垂直形变场 特征及其与地震的关系^①

许仪西, 占惠, 方 轲, 陈新泽, 吴维日

(厦门地震勘测研究中心, 福建 厦门 361021)

摘 要:综合利用流动重磁和流动跨断层水准复测资料, 分析了邵武—河源断裂带中段重磁场和地壳形变场的时空强变化特征。结果表明: 地磁场的变化与监测区的地震活动有较好的对应关系, 在震源区附近会出现重力场变化的异常梯度带; 断裂两盘垂直形变受区域断裂控制, 其差异性变化有指示局部地区孕震活动的作用。

关键词: 邵武—河源断裂带; 重磁场; 垂直形变场; 跨断层水准测量; 地震活动

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)03-0277-08

The Characteristics of Gravitational/geomagnetic Field and Vertical Deformation Field and Its Relations with Earthquake in the Middle Segment of Shaowu—Heyuan Fault

XU Yi-xi, ZHAN Hui, FANG Wei, CHEN Xin-ze, WU Wei-ri

(Xiamen Center of Seismic Prospecting and Analyzing, Fujian Xiamen 361021, China)

Abstract: With the analysis of gravity/geomagnetic observation and cross-fault leveling data in the middle segment of Shaowu—Heyuan fault zone, the characteristic of the gravitational/geomagnetic field and crustal deformation field are discussed. It shows that there is a better correspondence between the geomagnetic field changes and seismological activity, there are gravitational field abnormal gradient in the vicinity of the epicenters. Fault vertical deformation is controlled by the regional fault and the variation differences denote the seismological activities in some areas.

Key words: Shaowu—Heyuan fault zone; Gravitational and geomagnetic field; Vertical deformation field; Cross-fault leveling; Seismological activity

0 前言

本文研究的区域位于福建闽西与江西赣南的交界地区, 包括福建省龙岩地区、永安市和江西省赣州市的瑞金、会昌、寻乌三个县, 位于 NE 向邵武—河源断裂的中段, 以及同是 NE 向的政和—海丰断裂带之间。由于两条 NE 向断裂经过, 并被多条 NW 向断裂的切割, 构造比较复杂。这些构造共同控制着本地区的地震活动。近些年来曾发生过 1992 年 11 月龙岩以北 M_L 5.1、1994 年 5 月永安西南 M_L

4.8、1997 年 5 月永安西南 M_L 5.3、2003 年 12 月江西会昌 M_L 4.4 地震。从 1977 年起我局先后在此区域进行流动地震监测, 复测内容包括 2 个场地的流动水准跨断层观测、由 20 个测点形成一个闭合环的流动重力观测、有 13 对测点(主、副桩)的流动地磁观测。监测区主要的断裂构造和流动测点(场地)的分布见图 1。

本文综合利用三种流动监测资料分析该区地球物理场和地壳形变场的变化特征, 并进一步阐明这

^① 收稿日期: 2008-08-04

作者简介: 许仪西(1971—), 男(汉族), 福建漳州人, 工程师, 主要从事流动监测与研究工作的。

一特征与本区地震活动的关系。

1 资料情况

1.1 流动重力

流动重力由20个测点构成20个测段组成闽赣闭合观测网。1992年起复测由两台LCR-G型重力

仪采用双程测量方法进行,每年复测1~2期,至2008年5月共取得20期观测结果,平差后闽赣重力观测网中误差在 $6.7 \sim 8.1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 之间,资料的质量较好。

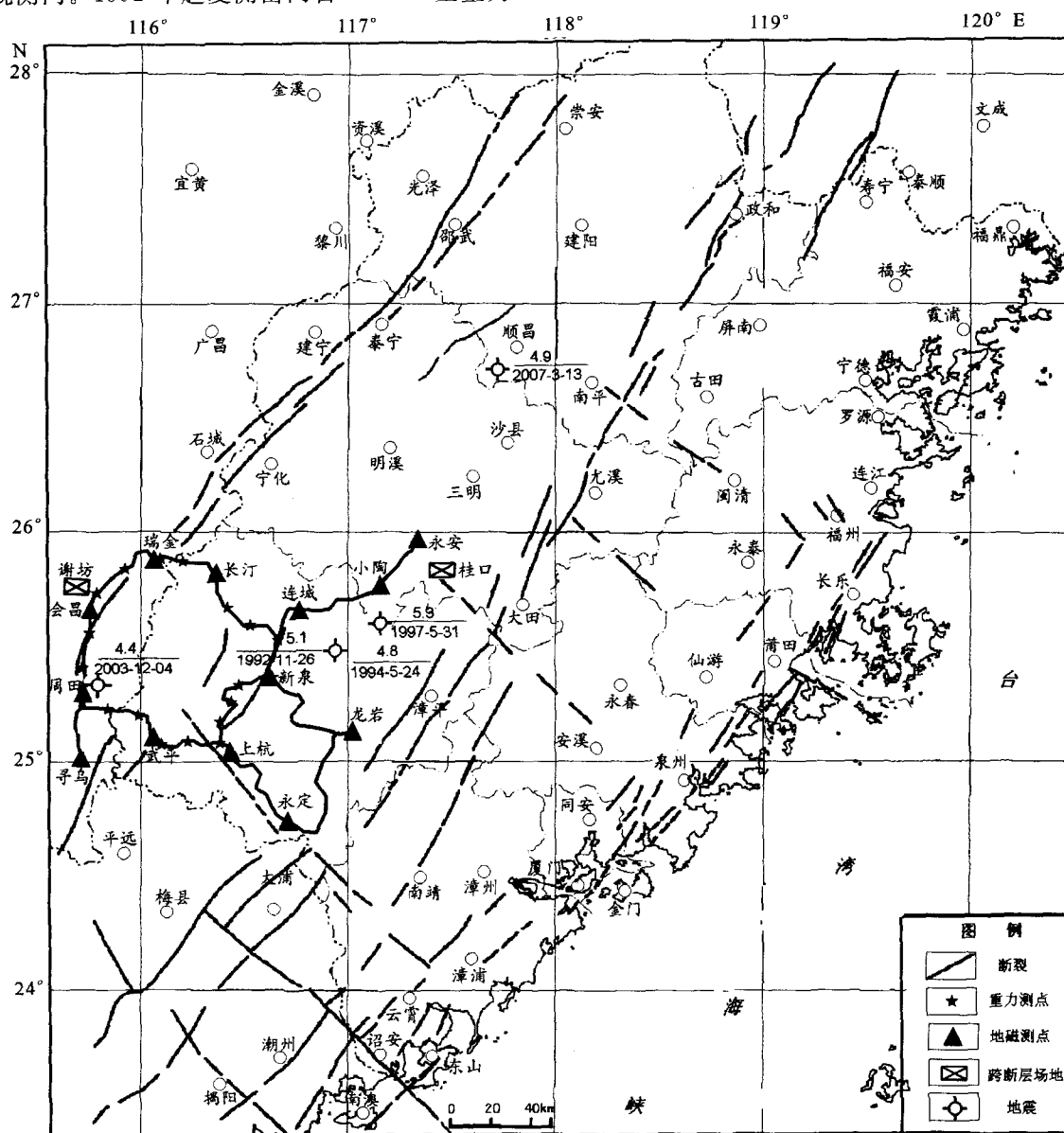


图1 监测区地质构造与观测点分布

Fig.1 The geological structure and distribution of observation points in monitoring area.

1.2 流动地磁

闽赣交界地区流动地磁观测开始于1977年,1995年起使用G856核旋仪观测,成果精度符合规范要求。自1990年5月起对观测网内的测点进行重新规划,保留10个测点,在2002年又增加连城、小陶、永安三个测点,共13个测点。基本上每年复

测1期,有个别年份增加观测期数。采用自设日变化站进行通化处理,日变站设在龙岩地震台。使用1990年5月至2008年4月共22期资料的相对变化 δf_0 值进行资料分析。

1.3 流动跨断层水准

在此区域布设两个流动跨断层水准场地,一

是处于邵武—河源断裂带上的谢坊场地,跨过谢坊—右水次一级断裂,进行3期/年的观测;二是在政和—海丰断裂带上的桂口场地,跨过永安—桂口次一级断裂,进行1期/年的观测。资料的连续性较好,已获得多期的观测数据。

2 各场变化特征及与地震活动的关系

2.1 重力场

采用观测期相对稳定重力值为基准,计算不同观测期各重力点的变化,绘制重力点值的时序变化图和测区重力场的空间分布变化图,从中分辨出重力场的时、空、强变化,了解测区重力场的总体变化特征与孕震的关系^[1]。从连续多年的观测数据来看,1992年重力变化较为平稳,故选择1992年的测值为各测期各测点的相对起算值。

根据20期的观测结果,从时间变化曲线和空间变化特征分析(图2、图3),重力场变化大概分二个阶段:第一阶段1992年10月—2000年11月处于下降过程,累积下降最大达到 $-60 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,西部降幅比东部大;第二阶段2001年—2008年出现“逆转”,处于上升过程。显示壳幔物质正处于迁移或高应力状态。

2003年12月会昌发生 $M_L 4.4$ 地震,在震前

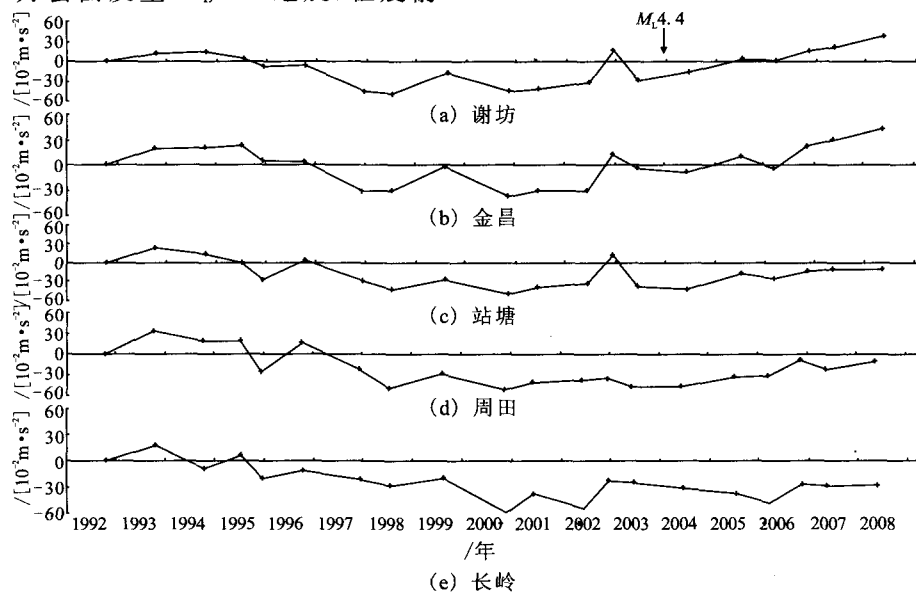


图3 重力点值随时间变化曲线

Fig. 3 Curves of the variation of gravity values with time.

从上述分析,重力场变化有如下特征:①异常区重力场变化等值线图展布为NE向,与该区邵武—河源断裂带方向基本一致,受此断裂带的控制;②负变化异常区站塘—周田—长岭测点点值的累积变化

2002年12月和2003年6月复测时测区内测点重力值变化起伏波动较大。在周田形成一个重力负异常区,至2003年6月站塘测点累积变化为 $-39 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,周田测点为 $-47 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,长岭测点为 $-27 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。本期测区中误差为 $7.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,异常幅值达到4~6倍观测精度。

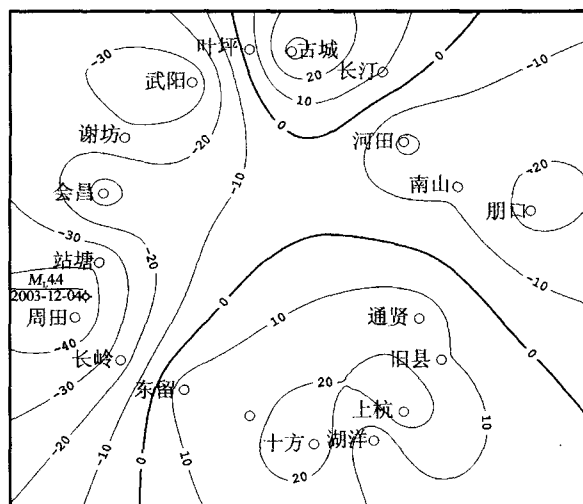


图2 重力场累积变化等值线图

(1992年10月—2003年6月)

Fig. 2 Isogram of accumulated variation of gravity field from October 1992 to June 2003.

均大于4~6倍测区观测中误差;③重力场变化出现分区格局,震源区附近出现一个负异常带;④发震地点处于异常区等值线梯度最大的区域。

该区重力值目前处于趋势上升,显示该区地下

物质仍处于调整过程,是否预示着新的孕震活动,有待今后观察与研究。

2.2 地磁场

流动地磁测量容易受到各种环境干扰,以单个流动地磁测点的变化判断异常有可能产生偏差。通过多个测点的变化信息来分析与地震活动的关系,

提高了地磁前兆异常的信噪比。采用流动地磁测点的 δf_{ij} 为信息源,绘制了各测点地磁场的变化曲线(图4)。一般情况下对单个流动地磁测点资料进行分析时,常以 $\delta f_{ij} \geq 3 \text{ nT}$ 作为判别异常的阈值^[2],因此本文以 $|\delta f_{ij}| \geq 3 \text{ nT}$ 为异常指标进行分析。

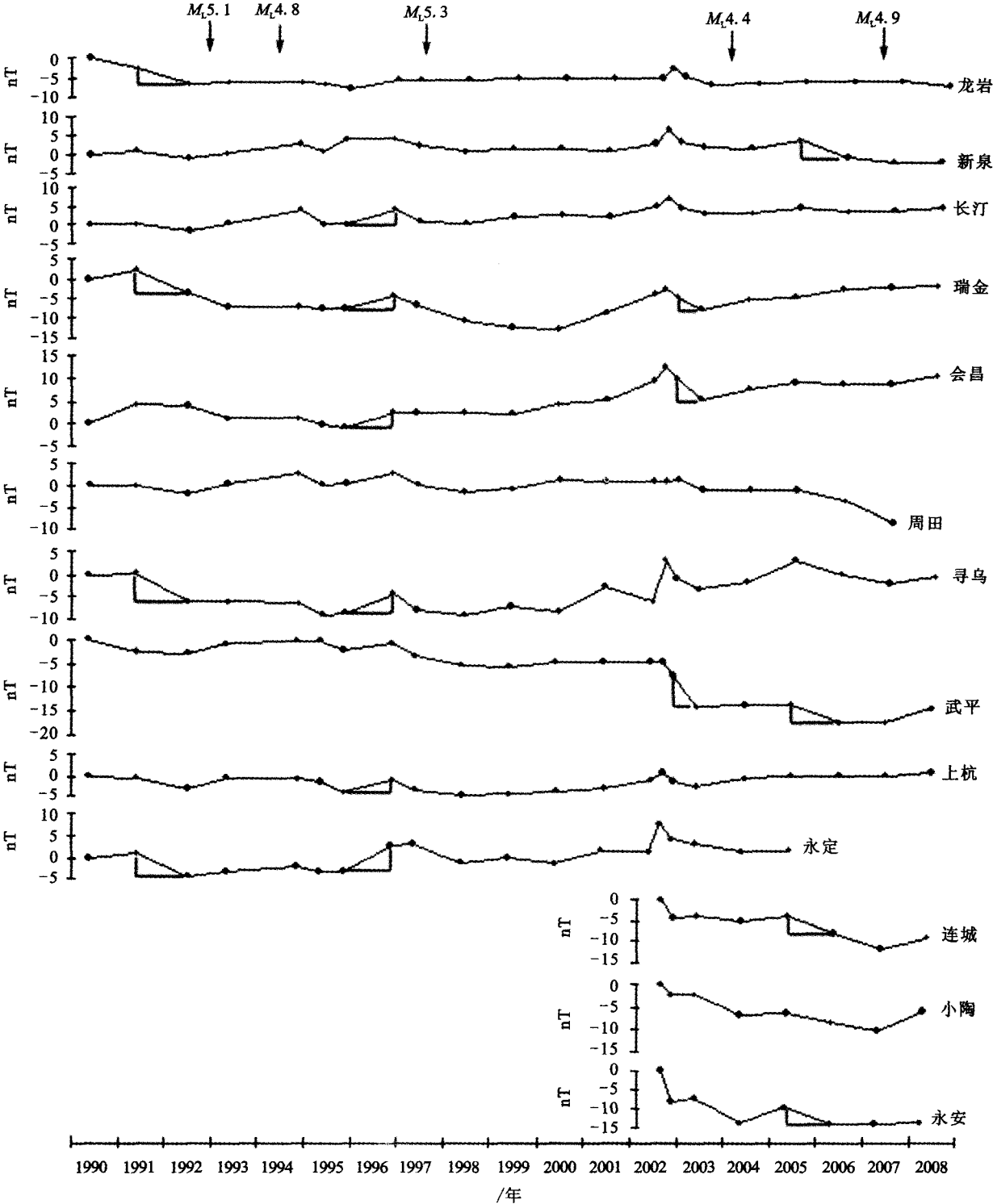


图4 地磁场随时间变化曲线

Fig. 4 Curves of the variation of geomagnetic field with time.

$$\delta f_{ij} = \Delta F_{ij} - \Delta F_{i(j-1)} \quad (1)$$

式中 i 为测点编号, j 为测次; δf_{ij} 为第 i 个测点在相邻两次 (j 与 $j-1$) 测量的相对变化; ΔF_{ij} 为第 i 个测点第 j 次的通化值与参考台测值之差值; $\Delta F_{i(j-1)}$: 第 i 个测点第 $j-1$ 次的通化值与参考台测值之差值。

从图 4 可看出, 1992 年 11 月 26 日龙岩以北 $M_L 5.1$ 震前, 1992 年 6 月复测时龙岩、瑞金、寻乌、永定四个测点出现异常; 1997 年 5 月 31 日永安西南 $M_L 5.3$ 震前, 1996 年 10 月复测时长汀、瑞金、会昌、寻乌、上杭、永定六个测点出现异常; 2003 年 12 月 4 日江西会昌 $M_L 4.4$ 震前多个测点出现同步的趋势变化, 经过 2002 年 4 月、2002 年 7 月两期的上升, 瑞金、会昌、永定三个测点升幅达到 6 nT 以上, 再经过 2002 年 10 月、2003 年 4 月两期的下降后发震, 震前 2003 年 4 月复测瑞金、会昌、武平三个测点也出现异常。2007 年 3 月 13 日福建顺昌 4.9 级震前, 2006 年 4 月出现异常的有武平、新泉、连城、永安四个测点, 据调查研究, 顺昌地震的发震构造为 NE 向政和一海丰断裂的次一级断裂, 而震前位于该断裂西侧除永安、连城、新泉、武平四个测点外, 其余测点未出现异常变化。这一现象除了由于有三个测点距震中较近外, 也有人认为这四个测点沿 NE 向分布, 测点连线与政和一海丰断裂走向基本一致, 是否可推断有一条 NE 向政和一海丰次一级隐伏断裂从顺昌延伸至此^[3]。1994 年 5 月 24 日福建永安西南 $M_L 4.8$ 震前未出现明显变化信息。

从上述看, 地磁场变化有如下特征: ① 突发性

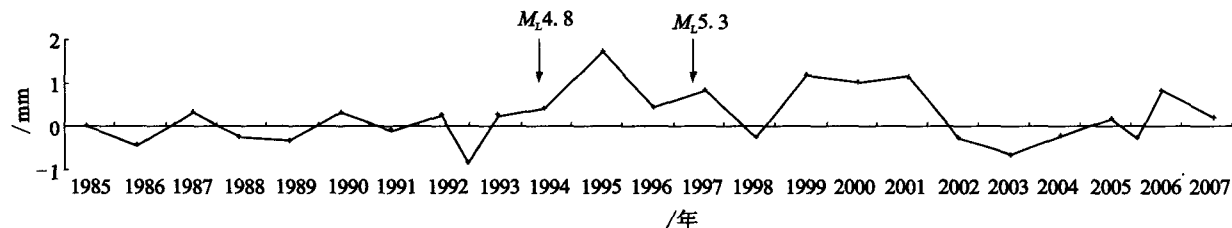


图 5 桂口 7-2 测段高差变化曲线

Fig. 5 Curve of the vertical deformation on Guikou 7-2 surveying line.

2.3.2 谢坊场地

谢坊场地位于 NE 向邵武—河源断裂带的中段, 场地布设跨越谢坊—右水次一级断裂。选择该场地跨越断裂的谢坊 3-2 测段高差随时间的变化进行分析(图 6)。其垂直形变相邻各期起伏变化较明显, 总体上具有分段变化的特征。第一, 从 1989 年 10 月至 1992 年 10 月间呈锯齿状下降变化, 速率为 -0.23 mm/a , 张性正断层活动。第二, 1992 年

短期异常一般出现在地震之前的复测, 异常测点 ≥ 3 个, 时间为几个月; ② 中期前兆异常一般经过一段时间连续的趋势性异常变化, 其持续时间可达 2 年; ③ 磁异常的同向性变化, 同一期中出现异常测点显示同步正或负异常的变化; ④ 异常测点不具有成片分布的特点。

2.3 地壳垂直形变

2.3.1 桂口场地

桂口场地位于 NW 向晋江—永安断裂带与 NE 向政和一海丰断裂带交汇处, 场地布设跨越永安—桂口次一级断裂。选择该场地跨越断裂带桂口 7-2 测段高差随时间的变化进行分析(图 5)。其垂直形变变化特征具有分段性, 但是总体变化幅度不大。第一, 1985 年至 1992 年的 7 年间在零线附近起伏变化, 幅度较小, 振幅为 1 mm 左右, 断裂两盘处于相对稳定阶段。第二, 1992 年 12 月至 1998 年 8 月出现“ $\wedge$ ”型变化: 1992 年 12 月至 1995 年 8 月出现加速上升运动, 压性逆断层活动, 速率达到 0.96 mm/a ; 1994 年变化比较平缓, 表明 1994 年 5 月永安西南 $M_L 4.8$ 地震的局部构造应力场的叠加影响; 从 1995 年 8 月后出现逆转, 呈张性正断层活动, 显示出 1997 年 5 月永安西南 $M_L 5.3$ 地震的局部应力场的调整, 这一调整出现反向运动, 速率达到 -0.66 mm/a 。第三, 1998 年 8 月至 2007 年变化趋于稳定。上述变化表明了桂口场地两盘的垂直形变变化与永安西南的地震活动及相应构造活动之间的密切关系。

10 月至 2001 年 8 月出现“ $\wedge$ ”型变化: 1992 年 10 月至 1993 年 12 月出现加速上升运动, 压性逆断层活动, 速率达到 1.56 mm/a ; 之后至 1998 年 8 月出现逆转, 速率为 -0.45 mm/a , 张性正断层活动, 显示出 1994 年 5 月永安西南 $M_L 4.8$ 和 1997 年 5 月永安西南 $M_L 5.3$ 两次地震的局部应力场的调整; 最后至 2001 年 8 月出现缓慢下降。第三, 2001 年 8 月至 2008 年 4 月变化趋于稳步上升: 2001 年—2003

年变化平缓,断裂两盘处于相对稳定阶段,表明2003年12月江西会昌 $M_L4.4$ 地震的局部构造应力场的叠加影响;近3年来,上升变化迹象明显。上述

变化表明了谢坊场地两盘的垂直形变变化与永安西南和江西会昌的地震活动及相应构造活动之间的关系。

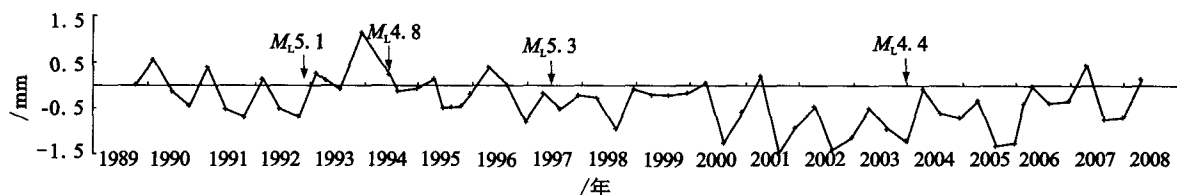


图6 谢坊3-2测段高差变化曲线

Fig. 6 Curve of the vertical deformation on Xiefang 3-2 surveying line.

3 综合分析

(1) 1992年11月龙岩以北 $M_L5.1$ 地震

流动重力于1992年10月起采用LCR-G型重力仪观测,对于本次地震资料无法比较。流动地磁在震前1992年6月复测有四个测点出现异常,属于短期异常变化(图7(a))。跨断层谢坊3-2测段在震前出现了三年时间的趋势下降,从1989年10月至1992年10月间呈锯齿状下降变化,速率为 -0.23 mm/a ,桂口场地变化平稳。

(2) 1994年5月和1997年5月永安西南 M_L

4.8、5.3地震

流动重力在两次地震的震前1993年10月和1996年10月复测时重力场变化不明显(图8(a)、(b))。而在1997年5月 $M_L5.3$ 震后的1997年12月的复测变化幅度明显增大(图8(c)),是否为震后效应,有待进一步研究。流动地磁在1994年5月 $M_L4.8$ 震前变化不明显,而在1997年5月 $M_L5.3$ 震前的1996年10月复测出现6个异常测点(图7(b))。跨断层的垂直形变在永安西南的两次地震前主要表现为张性正断层活动,高差变化曲线为下

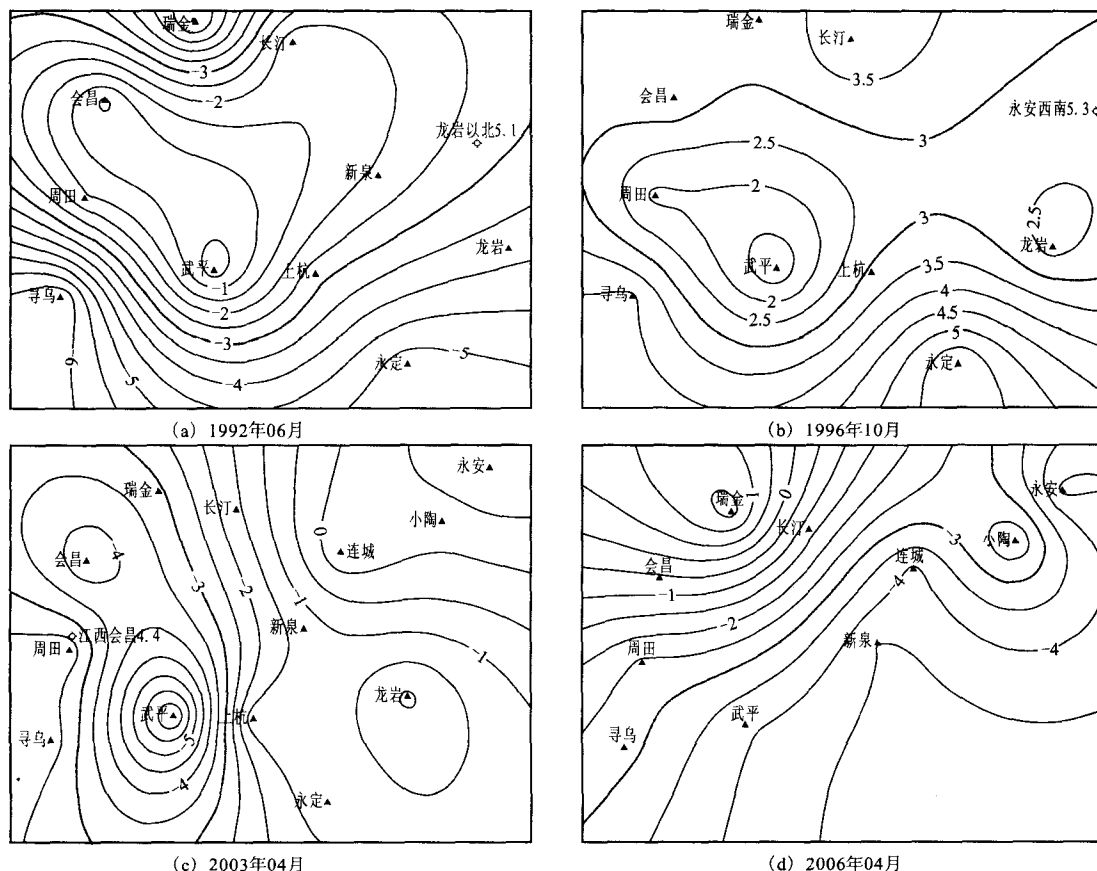


图7 地磁场变化等值线图

Fig. 7 Variation isogram of magnetic field.

降。在桂口 7—2 测段,1994 年 5 月 $M_L 4.8$ 震处于垂直形变加速上升的过程,由于此次地震是局部构

造应力场的叠加影响,致使在 1994 年形变变化比较平缓。

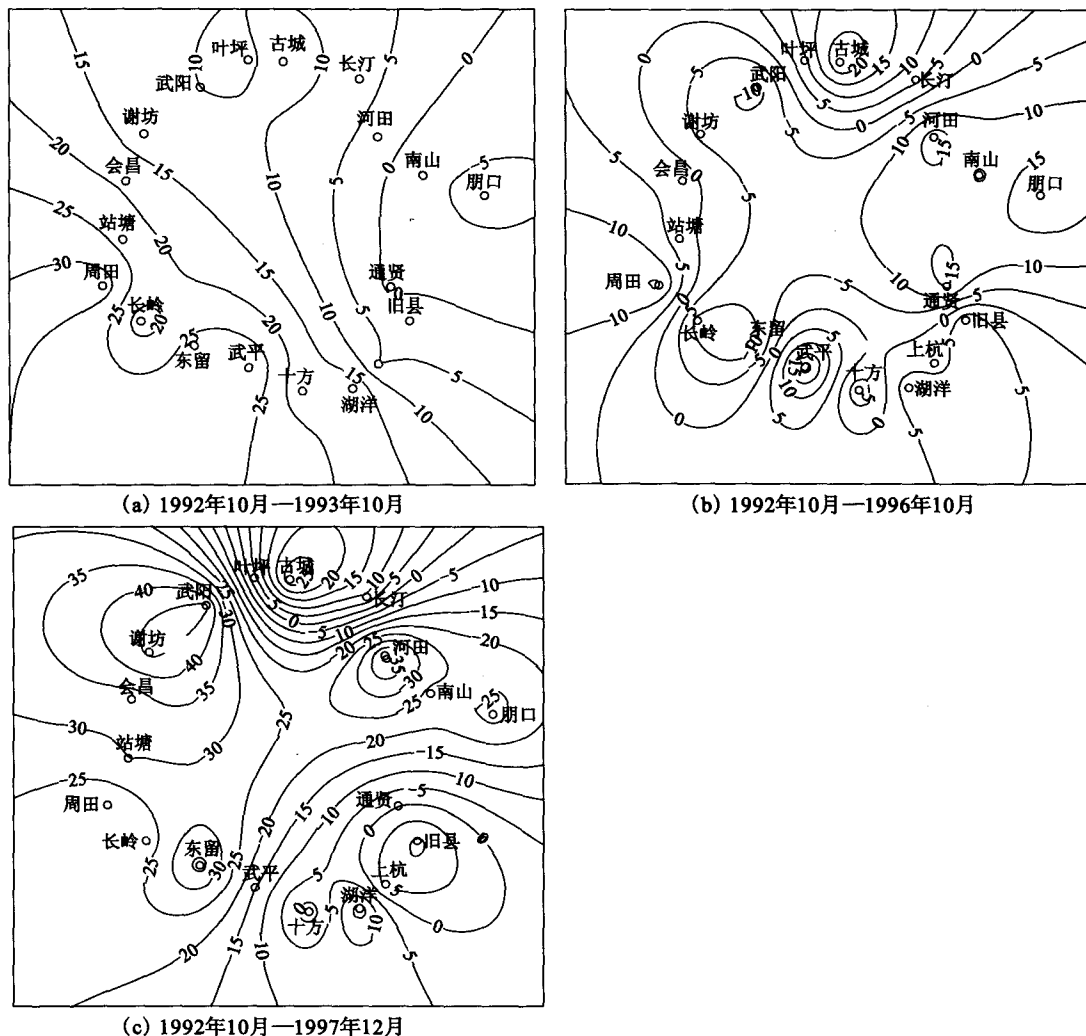


图8 重力场累积变化等值线图

Fig. 8 Isogram of accumulated variation of gravity field.

(3) 2003 年 12 月会昌 $M_L 4.4$ 地震

流动重力在震前两期复测,重力值变化波动幅度较大,且在震中附近形成了一个重力负异常区。流动地磁表现为多期的上升一下降的趋势变化,地震发生在下降的变化过程,且在震前的 2003 年 4 月复测出现 3 个短期的异常测点(图 7(c))。流动跨断层的垂直形变震前变化不明显。

另外,2007 年 3 月顺昌 $M_L 4.9$ 地震,可能距监测区较远和构造条件的差别,只有地磁在震前 2006 年 4 月复测时出现 4 个异常测点,异常时间近 1 年(图 7(d))。流动重力和跨断层均未出现明显的变化。

4 结论与讨论

流动测量是对固定测点(场地)采用一定周期进行复测的形式,可以弥补定点台站在空间分布上的不足,能对观测区域形成较好的布局。通过以上三种流动观测资料的分析,得到以下几点认识:

(1) 重力场变化大多发生于震源及其附近,重力变化出现分区格局及梯级带、异常区带,可能是构造应力场的变化引起局部地段地下物质迁移、地壳内部密度发生变化所造成的。

(2) 地磁场变化主要可以归结为压磁效应、热磁效应及岩石结构破坏引起磁场变化等方面。地震前除了在孕震区出现地下介质特征和应力应变的变化外,在孕震区所处区域构造块体边缘及其他特殊构造部位也会产生应力和电磁参数的大幅度变化,当应力场加强时,特殊构造部位具备了引起地磁场

改变的某些条件,从而远离震中的一些测点出现地磁异常,但这些异常不具有成片分布的特点。

(3) 流动跨断层短水准测量资料能反映局部构造应力场的调整和叠加的影响。通过跨断裂的测段高差变化有指示局部地区孕震活动的作用,断裂两盘垂直形变的差异性变化与区域地震活动有关。

(4) 孕震过程中出现的重磁及形变异常是一个不断演化的复杂过程,其孕震能力也不尽相同。通过这些异常变化特征,为确定重磁和形变异常区域,有针对性地加密观测,进而为提高震前信息的捕捉能力提供了依据。

[参考文献]

- [1] 国家地震局.地震重力测量规范[M].北京:地震出版社,1997:100-117.
- [2] 国家地震局科技监测司.中国地震预报方法研究[M].北京:地震出版社,1991:321-329.
- [3] 李华,黄莉菁,许仪西,等.2007年3月13日福建顺昌4.9、4.7级地震前福建流动地磁观测资料异常分析[J].西北地震学报,2007,29(3):267-270.
- [4] 车兆宏,王志敏,马森林,等.利用流动形变及重磁异常判定强震危险区[J].地震,1994,(增刊):117-124.
- [5] 燕乃玲,郭玉莲,潘纪顺,等.沂沭带形变、重磁场时空变化特征与地震活动[J].地震研究,2001,24(2):126-130.

(上接 276 页)

只考虑断裂的粘滑作用,本文采用最新错距除以平均滑动速率计算大震复发周期。由于Ⅳ期、Ⅴ期的具体活动时间为活动期间的平均值,因此取Ⅱ、Ⅲ期滑动速率的平均值作为该区平均滑动速率,水平和垂直平均滑动速率分布取 3.25 mm/a、0.84 mm/a。两分量计算出的 7.5 级特征地震复发周期约为 1 700 年和 4 200 年,取小值 1 700 年作为大震复发周期。

6 结论

(1) 谷露盆地西缘断裂带是一条既有垂直运动又兼具右旋走滑的正断层,其活动造成大量地质体的垂直位错和水平滑动;在 1952 年当雄北 7.5 级地震的同震水平位移为 5.5 m,同震垂直位移为 2~5 m;4 ka 以来的水平滑动速率为 3.75 mm/a,垂直滑动速率为 0.5~1.5 mm/a;大约 10 ka 以来的水平滑动速率为 1.0~5.0 mm/a,平均 3.0 mm/a,垂直滑动速率为 0.5~0.85 mm/a。

(2) 只考虑断裂的粘滑作用,按平均滑动速率 3.25 mm/a、最新位错量为 5.5 m,计算出该地区 7.5 级特征地震复发周期为 1 700 年左右。考虑本

区当雄北 7.5 级地震时间为 1952 年,因此初步认为谷露盆地未来较安全,发生 7.5 级地震的可能性较小。

[参考文献]

- [1] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al.. Activation of the Nyainqentanghla shear zone: implications for uplift of the southern Tibetan Plateau[J]. Tectonics, 1995, 14(3): 658-676.
- [2] 吴章明,曹忠权,申屠炳明,等.西藏中部活动断层[M].北京:地震出版社,1992:32-56.
- [3] 吴珍汉,胡道功,刘崎胜,等.西藏当雄地区构造地貌及形成演化过程[J].地球学报,2002,23(5):423-428.
- [4] 吴珍汉,周春景,王薇,等.青藏铁路沿线构造活动性评价与工程稳定性区划[J].地质通报,2005,24(5):401-410.
- [5] 陈正位,申旭辉,曹忠权,等.基于数学高程模型对亚东-谷露构造带第四纪活动习性的研究[J].地震,2004,24:40-46.
- [6] 中国科学院青藏高原综合科学考察队.西藏冰川[M].北京:科学出版社,1986:130-140.
- [7] 晁洪太,李家灵,崔昭文,等.郯庐断裂带中段全新世活断层的特征滑动行为与特征地震[J].内陆地震,1994,8(4):397-304.