

doi:10.3799/dqkx.2014.171

强震前地磁秒数据异常及其短临预测意义

孙旭龙

中国地震局地球物理研究所,北京 100081

摘要:通过分析6个强震震中附近地磁Z分量秒数据的处理结果显示:一些强震在震前反复出现较强的地磁异常现象.此现象在震前百余天至四十余天和临震前出现;地磁场的特大异常持续天数随震级的增大而增大,其异常天数与总体天数的比值随着震级的增大而增大.该特性对于短临地震预报预警及防震减灾具有一定意义.

关键词:强震;震前磁异常;短临地震预测;天然地震.

中图分类号: P315.8

文章编号: 1000-2383(2014)12-1873-07

收稿日期: 2014-06-05

Pre-Seismic Geomagnetic Anomaly Using Second Data and Its Significance in Earthquake Short-Term Prediction

Sun Xulong

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

Abstract: According to the result of geomagnetic data, great abnormal magnetic phenomenon occurring repeatedly before some significant earthquakes were found. This kind of phenomenon occurs about from over forty to a hundred days before. This pre-seismic geomagnetic anomaly lasts long as the magnitude increases. The nature of geomagnetic data before earthquakes has something to do with earthquake prediction and may be applied to precaution against earthquake disasters.

Key words: macroseism; magnetic anomaly; short imminent earthquake prediction; earthquake.

0 引言

地震预测是当今世界性难题,有部分科学家断言地震不可短临预测,另有一些科学家认为地震短临预测即使可以实现,也需要几代人甚至十几代人长期的努力.然而,近年来诸如汶川、玉树等大地震对中国人民造成了巨大而无法抚平的创伤,即使是工程抗震做得最好的日本,也无法有效抵御311日本东部海域 M_w 9大地震所引发的一系列次生灾害.这些案例都促使一些学者投入到对地震短临预测的研究探索之中.

地震的发生机理对于科学家而言仍旧是异常复杂,事实上,现有的几种地震预测方法仍无法有效的实现短临预测.依据电磁学理论中的趋肤效应,较低频率的电磁场具有更大的穿透深度.因此,在地震发生前后,地下各层、以及距离震源数公里甚至数十公

里地球介质产生的低频电磁场,均可被一定距离内的地磁测点仪器检测到.事实上,一些科学家发现震前存在地磁ULF异常情况(Moore, 1964; Fraser-Smith *et al.*, 1995)以及转换函数异常(Zeng *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 2013),其中, Zeng *et al.* (2011)的最新研究结果具有前瞻性,笔者在此基础上拓展对地磁Z分量秒数据的分析研究,期望进一步证实地磁秒数据异常的地震短临前兆现象的应用效果.

1 地震资料

为研究强震震前地磁异常,假设地震引发的地磁异常可能与观测地点的震中距呈负相关、与地震震级大小呈正相关.为能发现并方便研究震前地磁异常信息,在选择地磁数据时可以考虑以下两个条件:一是观测地点的震中距应足够小,二是震级要足

表 1 2008 年始满足条件的几处地震
Table 1 Earthquakes from 2008 till now

编号	发震时刻(UTC)	经度	纬度	震级 M_w	深度(km)	参考位置	可用台站	震中距(km)
1	2008-05-12 T06:28:01.57	103.322°E	31.002°N	7.9	19	四川省汶川县	成都台	58.2
2	2008-08-30 T08:30:53.01	101.889°E	26.241°N	6.0	11	四川省攀枝花市	南山台	37.1
3	2008-10-06 T08:30:45.57	90.350°E	29.807°N	6.3	12	西藏自治区当雄县	拉萨台	78.1
4	2009-07-09 T11:19:16.24	101.095°E	25.632°N	5.7	7	云南省姚安县	楚雄台	80.4
5	2010-04-13 T23:49:38.33	96.548°E	33.165°N	6.9	17	青海省玉树县	玉树台	31.0
6	2013-04-20 T00:02:47.50	102.937°E	30.277°N	6.6	14	四川省芦山县	成都台	107.9

够大.为此,选择地磁数据时,要求地磁台距震中 120 km 以内,震级在 M_w 5.5 以上.另外,可用台站的地磁数据采样间隔也必须达到 1 s 以内.2008 年 5·12 汶川地震至 2013 年 4·20 芦山地震期间,满足此要求的地震列在表 1 中.但玉树因地磁台站数据缺失,因此可用数据来源仅有 5 处.

表 2 5 处地磁台站数据选取的正常年与异常年

Table 2 Normal years and abnormal years for 5 geomagnetic observatories

台站	正常时段	异常时段
成都台	2012 年	2008 年
南山台	2011 年	2008 年
拉萨台	2009 年	2008 年
楚雄台	2010 年	2009 年
成都台	2012 年	2013 年

2 方法与结果

分别选取每个地磁台站两个年份的数据,其中一个年份为正常年,要求在该年内或前后向外延拓 3 个月之内、周边 120 km 以内无 M_w 5 以上地震发生;另一个年份为异常年,要求包含表 1 中发生的地震.各个台站数据选取的正常年与异常年如表 2 所示.

本研究选取地磁 Z 分量原始秒数据,在去除掉因人工干扰导致的错误数据后(详见 3.2),分别对正常年与异常年的每日秒数据做一阶差分处理,每日可分别得到 86 399 个数据.剔除掉其中因原始秒数

据记录丢失或该台站人工地电监测通电干扰等原因导致的错误数据后,选取每小时内一阶差分的极值(最大值与最小值),列表并绘图.再以正常年的每小时的一阶差分极值的绝对值数据为基础,求出它们的平均值 a 与标准差 σ ,以 $a + 5\sigma$ 为阈值,求出正常年与异常年每天超过阈值的 Z 分量一阶差分数据个数,除以当天有效数据个数,并乘以 10 000(为作图美观),按此方法求得每天超过阈值数比值并绘图(图 1~图 5,图内红色垂直虚线为地震发生时刻).

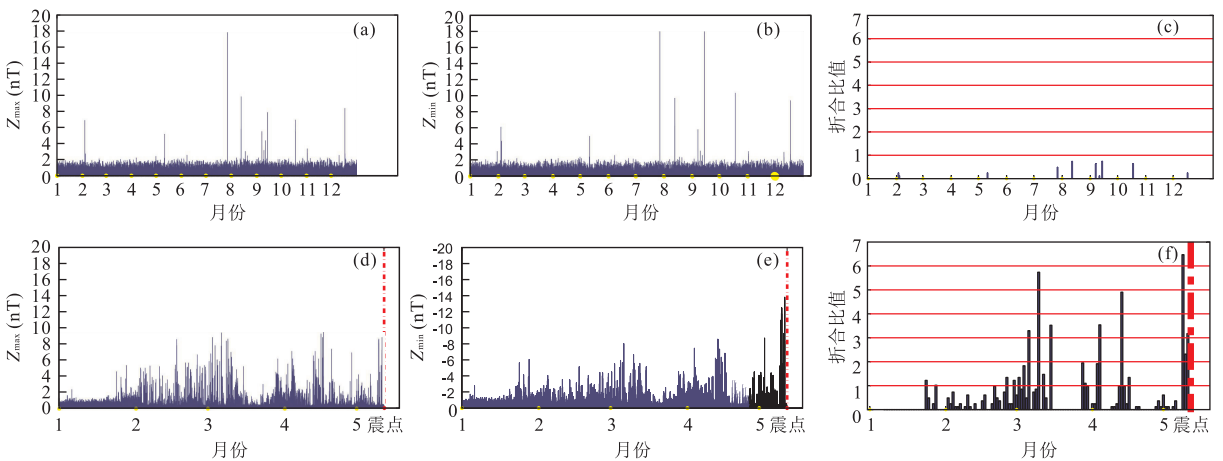


图 1 成都台在正常年(2012 年)与异常年(2008 年)内 Z 分量的几类数值对比

Fig.1 Variable values of CD Obs. data at normal year(2012) and abnormal year(2008)

a.正常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;b.正常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;c.正常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;d.异常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;e.异常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;f.异常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;图中红色虚线表示 2008 年 5 月 12 日汶川地震发震时刻

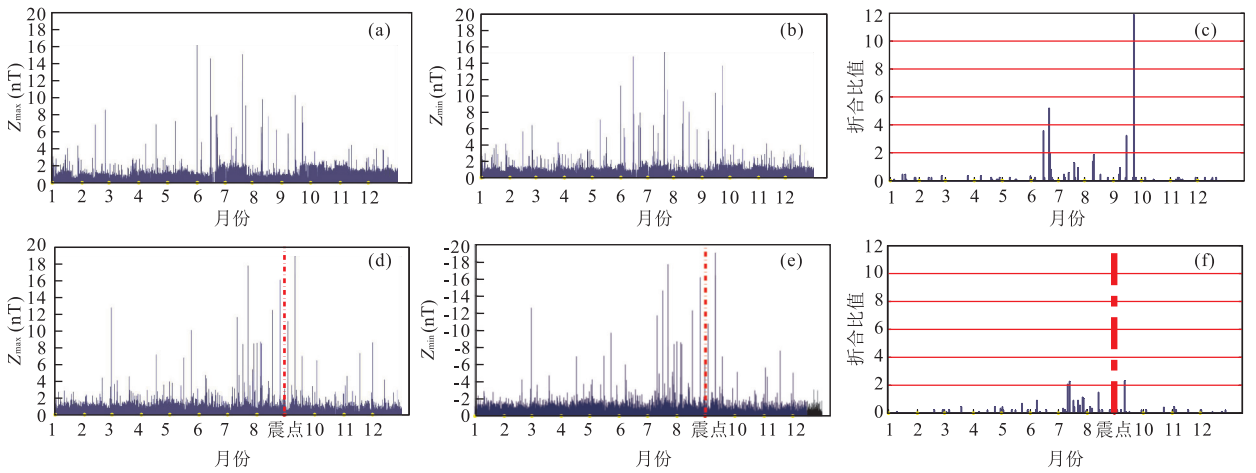


图 2 南山台在正常年(2011 年)与异常年(2008 年)内 Z 分量的几类数值对比

Fig.2 Variable values of NS Sta. data at normal year(2011) and abnormal year(2008)

a.正常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序图;b.正常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序图;c.正常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值图;d.异常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序图;e.异常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序图;f.异常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;图中红色虚线表示 2008 年 8 月 30 日攀枝花地震震发时刻

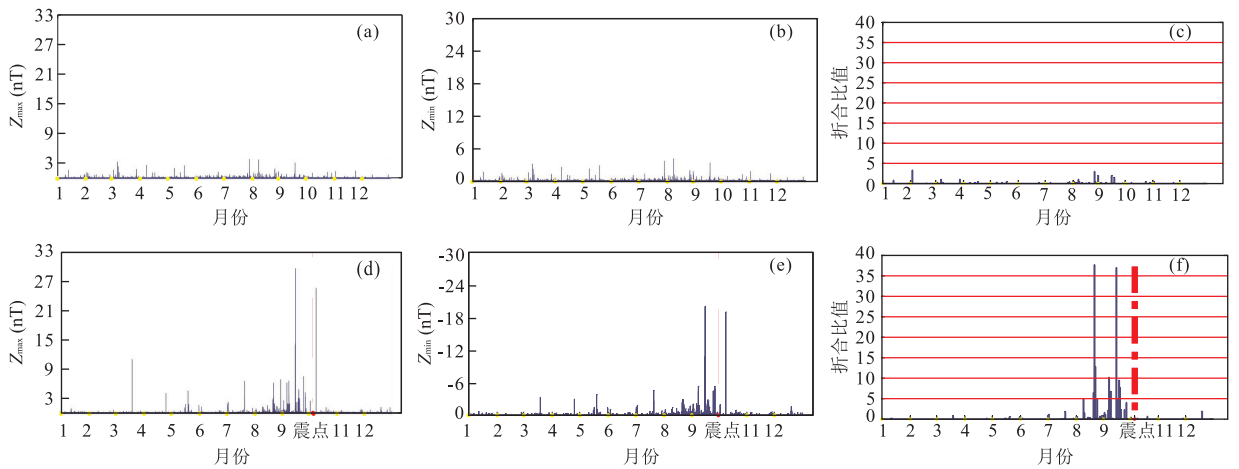


图 3 拉萨台在正常年(2009 年)与异常年(2008 年)内 Z 分量的几类数值对比

Fig.3 Variable values of LS Obs. data at normal year(2009) and abnormal year(2008)

a.正常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;b.正常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;c.正常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;d.异常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;e.异常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;f.异常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;图中红色虚线表示 2008 年 10 月 6 日当雄地震震发时刻

3 讨论

3.1 成都台的地电干扰与受潮影响

成都地磁台站因受地电干扰,其数据每小时内会有 180 s 左右(2008 年)或 280 s 左右(2012 年)不等的异常值,故此这些数据应该被清除掉,尽管这样的无奈之举会在一定程度上影响数据分析结果的有效性。

另外,当成都台阈值取一倍均方差(即 $a + \sigma$, 称为低阈值数)时,其 Z 分量超过低阈值数比值图在 2008 年 1 月 25 日前后的趋势(见图 6a)与图 1f 并

不一致,这可能与当地台站受潮影响有关(Wiener, 1970),下图即显示受潮与非受潮的对比(图 7b 与图 7c,其中 D 分量已处理,H、Z、F 三分量有明显干扰)。可见,受潮时 Z 分量一阶差分数值的绝对值会显得偏大,但总的来讲,均在正负 4 nT 范围之内。当我们标准提高到 $a + 5\sigma$ 时,因受潮所引起的异常数据基本可以被消除干净。这也就是造成标准不同引发的图样趋势不同的原因。

3.2 拉萨台人工施工干扰情况

拉萨台 Z 分量一阶差分在 2008 年有较大的异

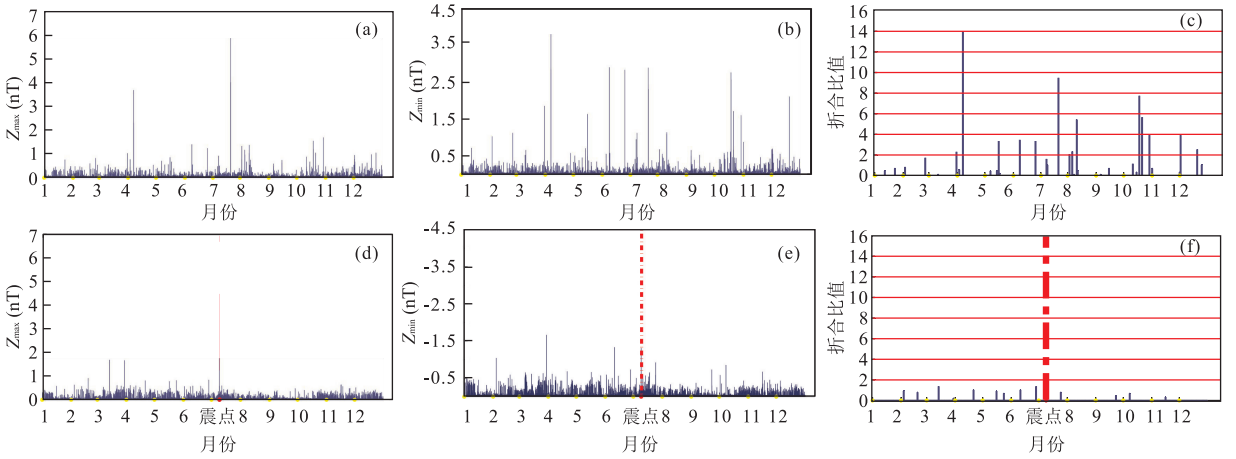


图 4 楚雄台在正常年(2010年)与异常年(2009年)内 Z 分量的几类数值对比

Fig.4 Variable values of CX Sta. data at normal year(2010) and abnormal year(2009)

a.正常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;b.正常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;c.正常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;d.异常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;e.异常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;f.异常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;图中红色虚线表示 2009 年 7 月 9 日姚安地震发震时刻

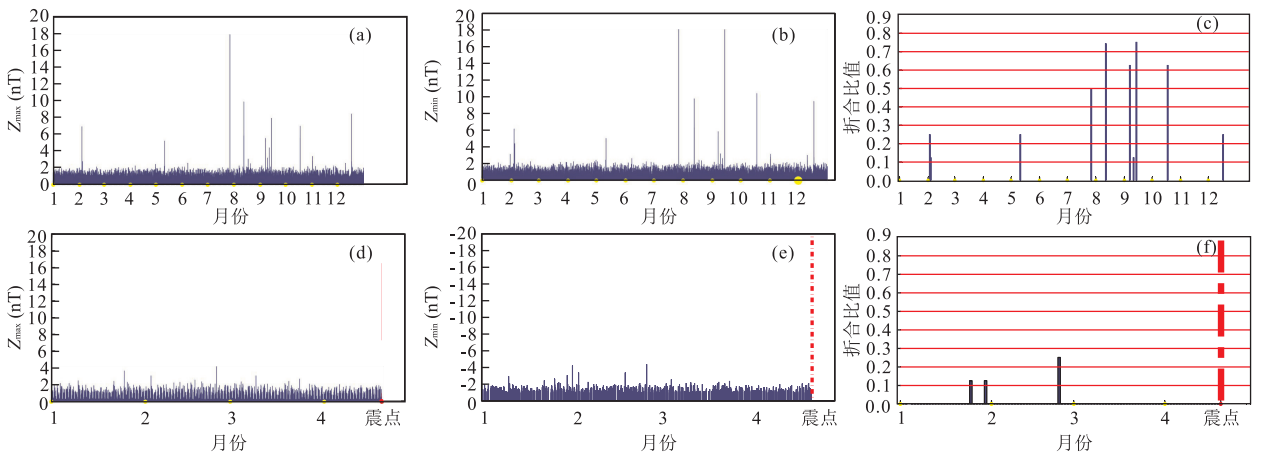


图 5 成都台在正常年(2012年)与异常年(2013年)内 Z 分量的几类数值对比

Fig.5 Variable values of CD Obs. data at normal year(2012) and abnormal year(2013)

a.正常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;b.正常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;c.正常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;d.异常年每小时 Z 分量一阶差分最大值时序;e.异常年每小时 Z 分量一阶差分最小值时序;f.异常年每天 Z 分量超过阈值数折合比值;图中红色虚线表示 2013 年 4 月 20 日芦山地震发震时刻

常(图 8d~8f),甚至其异常幅度大大高于成都台在汶川地震前的异常幅度.但是当雄地震的震级小于汶川地震,前者的台站震中距也大于后者的台站震中距,这就让人不得不怀疑数据的有效性.

将地震前有明显异常变化的 4 个台站分别在正常年与异常年内每年的地方时(UTC+08:00)1:00~24:00 逐时变化作图 8,这里 Z 分量超阈值数取平均值,即求当年全年共计 365/366 天内在每个小时的时间段内的超阈值数总和,再除以全年天数(图 8 中横坐标 01:00 指北京时间 0:00~1:00,其他坐标刻度以此类推).

很明显地,拉萨台在 2008 年的逐时变化图中,绝大多数 Z 分量超阈值数集中在 8:00~20:00,恰巧为台站工作人员上班时间.由当年的质量日志可以发现此时间段内(8—9 月)有部分记录,台站附近曾有施工现象,推土机作业以及电焊作业都对仪器记录数据产生了较大的干扰.其他两个台站集中现象并不明显,南山台仅在个别一两个小时时段内有一定的集中现象,因此数据相对可信.

另外,Z 分量超阈值数在正常年与异常年的逐时变化与地震是否有更多的关联仍需要进一步研究,暂不予以展开.

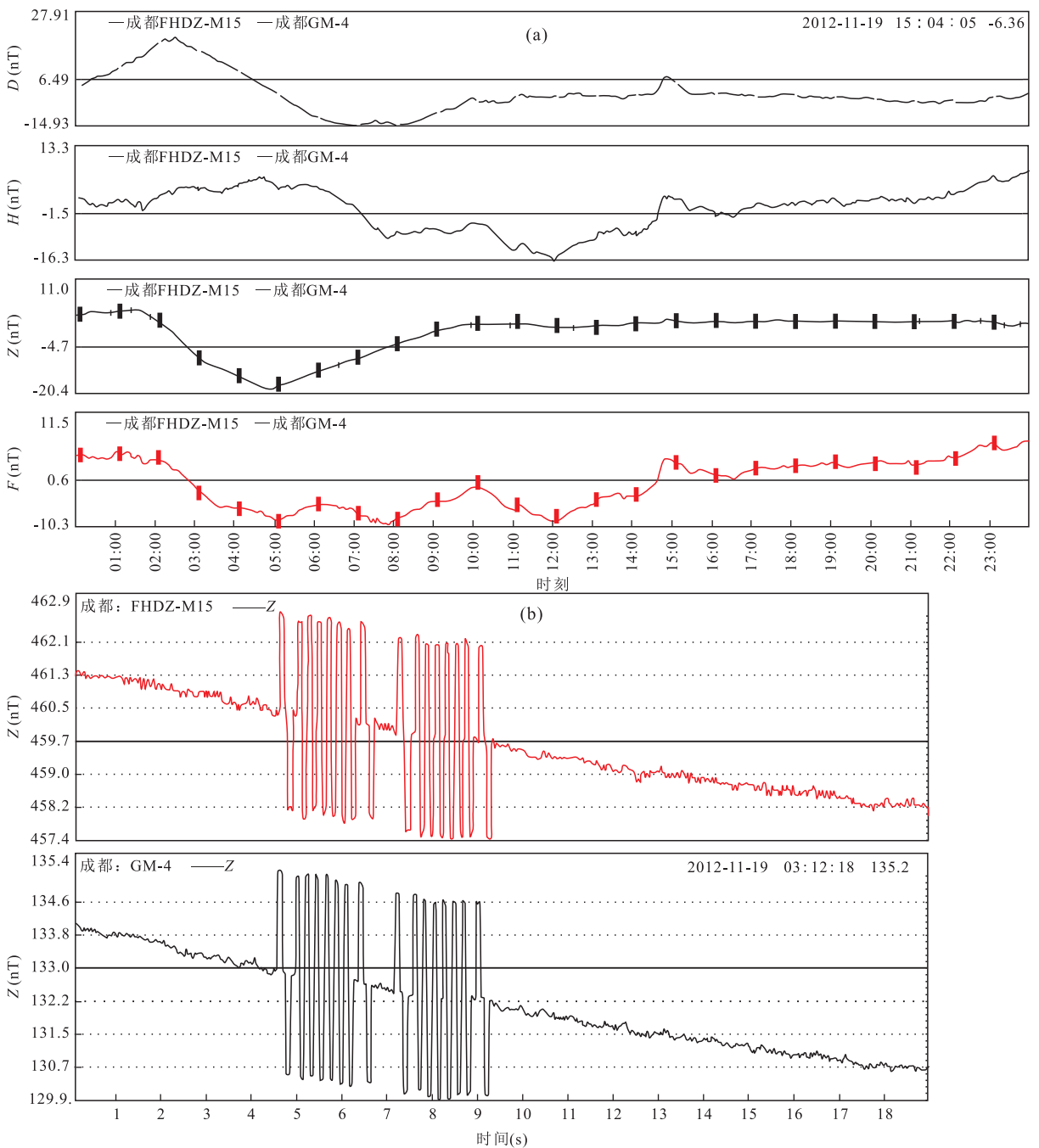


图 6 成都台秒值

Fig.6 Interference data of geo-electrical measure on CD Obs

a, b 分别由 FHDZ-M15 型与 GM4 型地磁仪器记录, b 为 Z 分量的干扰局部放大图

3.3 地磁秒数据异常的地震短临前兆现象

求得各个台站正常年 Z 分量超值数数比值的平均值 a' 与标准差 σ' , 分别求出正常年与异常年从 1 月 25 日起每前 25 日内 (25 日为移动步长) 超过 $a' + \sigma'$ 的比值个数, 称之为 25 日窗内 Z 分量累计频次, 并根据此作图 9。

由以图 9 件可知, 以 2008 年 5 月 12 日汶川 M_w 7.9 大震、2008 年 8 月 30 日攀枝花 M_w 6.0 强震

为例, 距震中最近的成都、南山地磁台提供的地磁 Z 分量原始秒数据, 在经过一阶差分处理和每小时极值的累计频次分析后, 通过与正常年份的比较, 可以发现地磁秒数据分别在地震前 104、43 天开始出现特别明显的幅度和累计频次异常, 进一步证实了短期和临震前, 地磁秒数据将出现特大异常。

同样地, 我们也能看到 Z 分量一阶差分每小时极值在部分时刻 (如成都台 2012 年 7 月 27 日) 达到

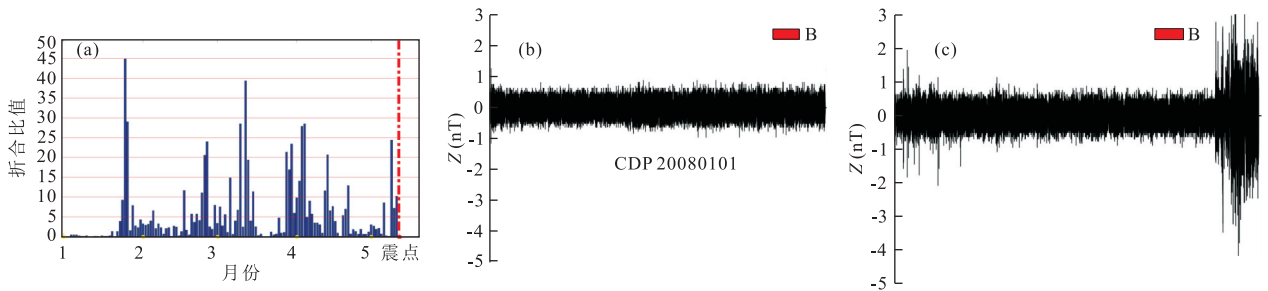


图 7 成都台 2008 年数据受潮情况对比

Fig.7 Interference data of moist environment on CD Obs

a.异常年超过低阈值数值折合比值;b.1 月 1 号 Z 分量一阶差分数据;c.1 月 25 号 Z 分量一阶差分数据;b 图为非受潮情况,c 图为受潮情况

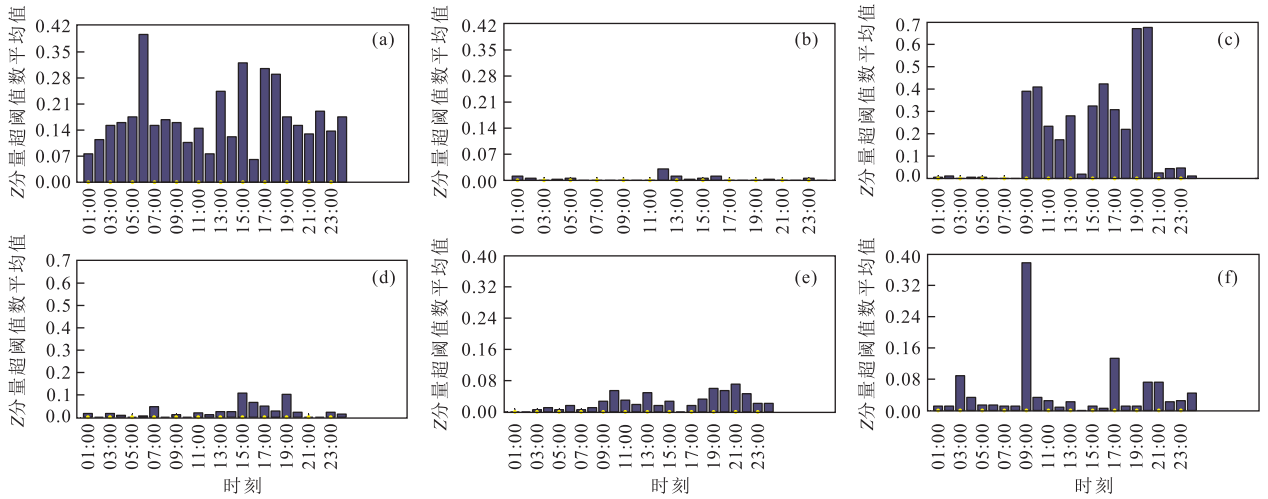


图 8 成都台、拉萨台、南山台在异常年与正常年的逐时变化

Fig.8 Variable values of CD Obs., LS Obs. and NS Sta. during each hour

a.成都台异常年 1:00~24:00 逐时变化;b.成都台正常年 1:00~24:00 逐时变化;c.拉萨台异常年 1:00~24:00 逐时变化;d.拉萨台正常年 1:00~24:00 逐时变化;e.南山台异常年 1:00~24:00 逐时变化;f.南山台正常年 1:00~24:00 逐时变化

较大的数值,然而该天内其超过阈值数的比值是低的,只有当超过阈值数的比值持续一定的天数显示出足够的异常时,我们才可断言即将有大地震发生.

3.4 姚安(20090709)、芦山(20130420)地震

2008 年成都台、南山台数据的处理结果显示在震前均有较大的异常,楚雄台以及 2013 年的成都台的数据处理结果则无较明显的异常,姚安地震以及芦山地震在震前未见异常,反而较正常年份更平静.估计可能主要有两个原因:一是震级差别:姚安、芦山地震震级偏小,在震中距更大的前提下仍与汶川地震分别相差 $M_w2.2$ 和 $M_w1.3$,后者的能量分别约为前二者的 1995 倍(姚安)或 89 倍(芦山);二是台站震中距的差别:姚安地震的台站震中距与芦山地震的台站震中距分别为 80.4 km 与 107.9 km,远大于汶川地震和攀枝花地震的台站震中距(分别为 58.2 km、37.1 km).

3.5 地磁秒数据异常的地震短临前兆现象的意义

(1)地磁秒数据特大异常的频繁出现,对测点附近的强震有前兆信息意义;(2)地磁秒数据特大异常出现在震前 104 天至 43 天,因而,具有预测、预警、预报、减灾意义;(3)成都台在汶川地震前的异常持续天数明显多于南山台在攀枝花地震前的异常持续天数,这很可能与地震的震级呈正相关关系.(4)从地磁学的角度证明了地震很可能是有前兆的、是可以预报的;(5)为发震机制和地震地磁关系的研究,提供了新的依据,提出了深入研究的课题(Liu *et al.*,2001,2004;Kosuke,2011).

4 结论

综上所述,研究发现临近汶川及攀枝花两次破坏性地震发生前四十余天甚至百余天开始,震中及

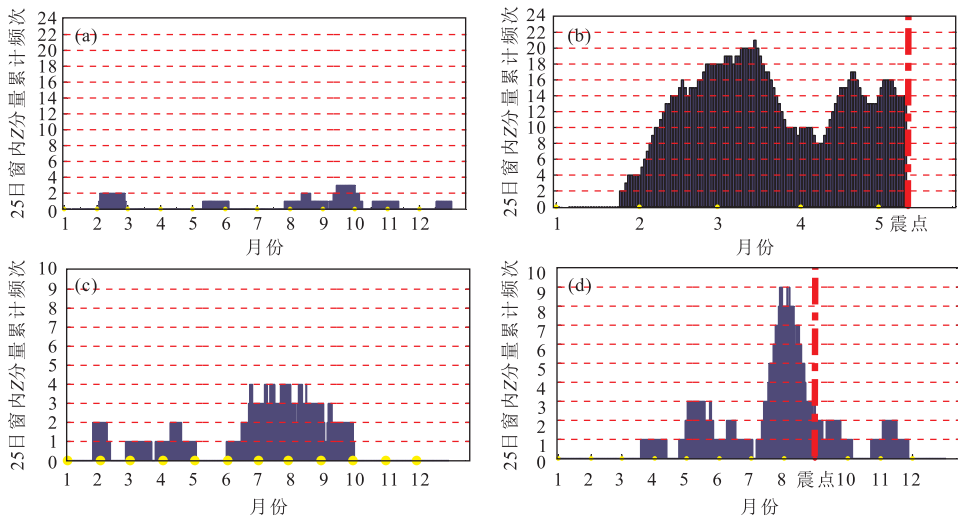


图 9 成都台、南山台分别在正常年与异常年的频次对比

Fig.9 frequency comparison of CD Obs. and NS Sta. at normal/abnormal years

a.成都台正常年 25 日窗内 Z 分量累计频次;b.成都台异常年 25 日窗内 Z 分量累计频次;c.南山台正常年 25 日窗内 Z 分量累计频次;d.南山台异常年 25 日窗内 Z 分量累计频次

震中附近数十公里范围内会出现较大的地磁异常现象,尽管精确的临震预报仍旧是世界难题,但未来若能证明基于数据处理与图样分析所得的强震震前地磁异常现象是普适的,那么在密集的设置地磁台站并应用文中所使用的方法之后,震级达到 $M_w 6$ 的地震就能够做到短期和临震预报了。

致谢:感谢来自中国地震局地球物理研究所的曾小革老师及林云芳老师的指导,同样也感谢中国地磁台网中心的数据支持。

References

- Chen, C. H., Hsu, H. L., Wen, S., et al., 2013. Evaluation of Seismo-Electric Anomalies Using Magnetic Data in Taiwan. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, (13): 597–604. doi:10.5194/nhess-13-597-2013
- Fraser-Smith, A. C., Bernardi, A., McGill, P. R., et al., 1995. Low-Frequency Magnetic Field Measurements near the Epicenter of the $M_s 7.1$ Loma Prieta Earthquake. *Geophysical Research Letters*, 17(9): 1465–1468. doi: 10.1029/GL017i009p01465
- Kosuke, H., 2011. Ionospheric Electron Enhancement Preceding the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *Geophysical Research Letters*, 38(17). doi: 10.1029/2011GL047908
- Liu, J. Y., Chen, Y. I., Chuo, Y. J., et al., 2001. Variations of Ionospheric Total Electron Content during the Chi-Chi Earthquake. *Geophysical Research Letters*, 28(7): 1383–1386. doi: 10.1029/2000GL012511
- Liu, J. Y., Chuo, Y. J., Shan, S. J., et al., 2004. Pre-Earthquake

- Ionospheric Anomalies Registered by Continuous GPS TEC Measurements. *Annales Geophysicae*, 22(5): 1585–1593. doi: 10.5194/angeo-22-1585-2004
- Moore, G. W., 1964. Magnetic Disturbances Preceding the 1964 Alaska Earthquake. *Nature*, 203(4944): 508–509.
- Wienert, K. A., 1970. Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice. Unesco, Belgium.
- Zeng, X. P., Lin, Y. F., Zhu, Z. J., et al., 1995. Study on Electric Variations of Media in Epicentral Area by Geomagnetic Transfer Functions. *Acta Seismologica Sinica*, 8(3): 413–418. doi: 10.1007/BF02650569
- Zeng, X. P., Zheng J. A., Wang Z. Y., et al., 2011. Large Geomagnetic Anomaly of Impending Earthquake Gives a Possibility in Earthquake Early Warning. *Engineering Science*, 13(4): 48–53.