

印度洋 8.7 级与 8.5 级地震的物理前兆

孙 威,孙晓明

(北京普精信科技有限公司,北京 100098)

[摘要] 采用自主研发的地震应力仪、谐振仪、倾斜仪和大地电位仪记录到印度洋 8.7 级大震的地震前兆——孕震物理模型和临震信号,印度洋 8.7 级地震前后和 8.5 级地震前后的地壳受力情况有很大差异,表明印度洋 8.7 级地震与 8.5 级地震的成因有着本质的区别,分析了海啸形成的原因,还发现了在 8.7 级地震的孕育过程中有地下物质迁移迹象。

[关键词] 印度洋 8.7 级与 8.5 级地震;临震信号;顺势脉冲;逆势脉冲

[中图分类号] P315.2 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)02-0014-12

2004 年 12 月 26 日印度洋发生了 8.7 级大地震,10 m 多高的海浪卷走了 43 万人的生命(包括失踪者),波及十几个国家,震惊了世界;只隔 3 个月,2005 年 3 月 29 日凌晨在同一地区又发生了 8.5 级大地震,几个国家发布了海啸预报,迎来的却是只有 25 cm 高的浪头。尽管在同一地区连续发生两次 8 级大震的事例并非罕见,8.5 级大震的不期而至还是震撼了全球的地震学界。这两个 8 级大震有没有前兆?有什么不同?笔者愿就记录到的物理信息进行分析 and 说明。

1 应力前兆

1.1 高灵敏度应力仪^[1]的特殊性能

具有对外界微小作用的敏感性,灵敏度高;

具有自组织能力,能自主适应地震发生前后的地壳活动特性;

对力的作用具有线性和非线性响应,与地壳的固有特性一致;

具有能与地壳和地震过程相耦合的可能性及特殊的安装方法。

应力仪的这些特殊性能是监测地壳应力应变从线性变化到失稳和非线性破裂的关键,中国计量科

学研究院和辽宁省计量科学研究所对传感元件的灵敏度进行了标定测试,得到一致的结果,位移灵敏度为纳米级;中国科学院物理研究所对传感器进行了标定测试和室内外应用状态下的模拟测试,证明传感器对位移和振动敏感,直接位移灵敏度为纳米级(不加放大器),有自组织能力,有线性和非线性响应,能区分压应力(逆势脉冲)和张应力(顺势脉冲),对电磁干扰不反应,对声波干扰不反应。这些测试结果表明,仪器能真实反映微弱的地下活动,与物理机制关联密切,可以直观地显示出地震前兆异常的线性过程、非稳状态和地震发生前后的地壳受力情况。

1.2 应力记录曲线

图 1 给出了辽宁新民台记录的印度洋 8.7 级地震和 8.5 级地震的应力曲线,8.7 级地震前兆符合孕震物理模型^[1],而 8.5 级地震的前兆过程不够完整,说明这两个 8 级大震的性质是不同的。

在辽宁新民和北京各有 1 台相同类型的应力仪,每台仪器配有 3 个不同方向的应力传感器,虽然每个传感器的受力方向不同,异常形态不同,反映地下活动信息却是同步的。图 1(a)为南北方向,(b)为北西-南东方向,(c)为东西方向。显然,南北方向是主压应力方向。偏离主压应力方向传感器的

[收稿日期] 2007-01-11;修回日期 2007-06-11

[作者简介] 孙 威(1936-),男,吉林延吉县人,北京普精信科技有限公司高级工程师,中国科学院物理研究所客座研究员

异常开始点延迟, 偏离方向越大, 延迟越多, 如图 1 中虚线所示。这种偏离主压应力方向应力传感

器的延迟反应, 是土层颗粒介质特性造成的, 这一现象为判断主压应力方向提供了依据。

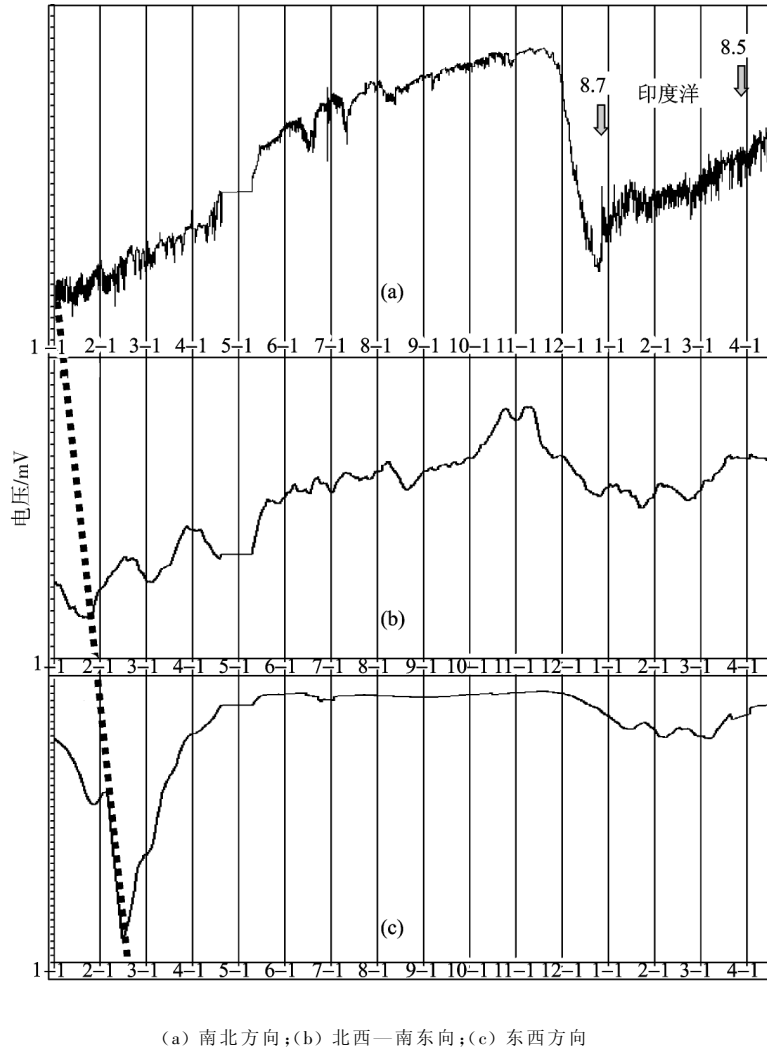


图 1 新民台 2004-01-01 至 2005-04-15 应力曲线

Fig.1 The stress curve at Xinmin station(Jan.1,2004 to Apr.15,2005)

图 1(a)显示,在主压应力南北方向上,8.7 级地震前兆阶段具有连续性和完整性^[1],急剧卸载后发生地震,孕震时间不到 1 年。从 6 月末到 11 月初全球发生多个 7 级地震,特别是日本的 7 级地震在应力曲线上只能引起小小的波动,没能改变异常持续发展的总体趋势,说明全球应力场都受到 8.7 级大震孕育过程的控制,只要用这种具有特殊性能的应力仪,在世界任何地方都应该能记录到类似的前兆现象。

1.3 印度洋 8.7 地震的卸载阶段

11 月 19 日,应力曲线出现卸载迹象,新西兰、印尼和日本连续 3 个 7 级地震都没影响急剧卸载的趋势,进入 12 月份的 20 天左右(见图 2),全球地震异常平静,这种缺震异常是“震前平静”的宏观表现,

到 12 月 21 日卸载接近完成,进入短临“绷紧”阶段,12 月 25 日 9 点 14 分出现临震信号,12 月 26 日 8 点 58 分 8.7 级地震就发生了。

从图 2 中还可以看到震前固体潮消失或异变,震后立即恢复。

1.4 印度洋 8.7 级大震的应力短临前兆

图 2 给出了卸载阶段出现的全球性“震前平静”和地壳受到强大异常应力场控制而发生的固体潮异变及地壳处在绷紧状态,即短临“绷紧”^[1],这种短临特征信息在图 3 中也有显示。

图 3 是北京电业中学记录的 8.7 级地震短临前兆,北京距新民约 600 km,北京应力传感器的安装方法与新民有所不同,地理地质环境差异很大,所以

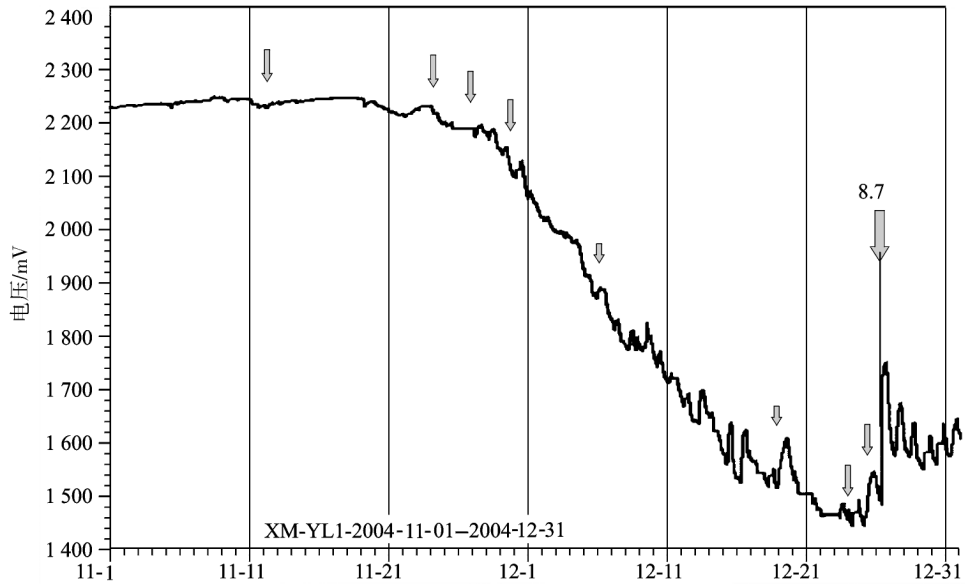


图2 卸载阶段及8.7级地震发生前后的应力曲线

Fig.2 The stress curve at the unloading stage, and before and after the earthquake of Ms 8.7

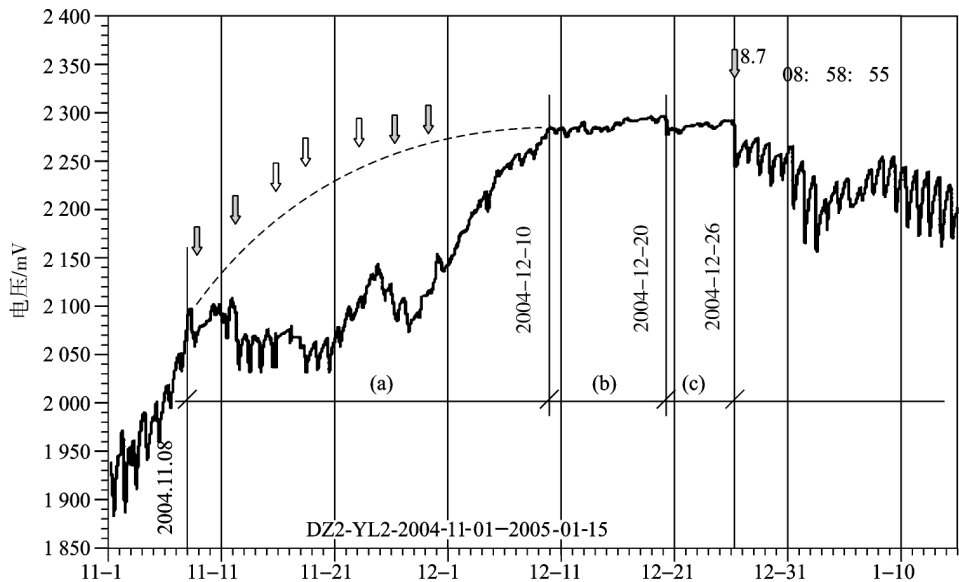


图3 北京记录的短临前兆

Fig.3 The short and impending term precursor of the Ms 8.7 earthquake recorded in Beijing

记录曲线的形态亦不同,但特征信息是相同的。

图3(a)段应力缺口是全球性地震卸载的反应,而8.7级前兆异常对地壳的控制非常明显;(b)段很快就恢复到使地壳紧绷状态,固体潮异变;(c)段进入短临“绷圆”阶段,特征信息与图2同步。

印度洋8.7级地震的孕震过程——加载、相持、卸载、短临和临震5个阶段连续和完整,特征信息明

确,震前地壳处于受控状态,而震后固体潮立即恢复,显示主震的特征^[2]。

1.5 印度洋8.7级大震的扰动“梅花图”

图4是新民台记录的扰动“梅花图”,扰动程度较小(远震或小震),孕震物理模型的异常面积却很大(大震),显示出远震和大震的特点。在没有台网参比的条件下,只能根据与历史震例的相对比较判

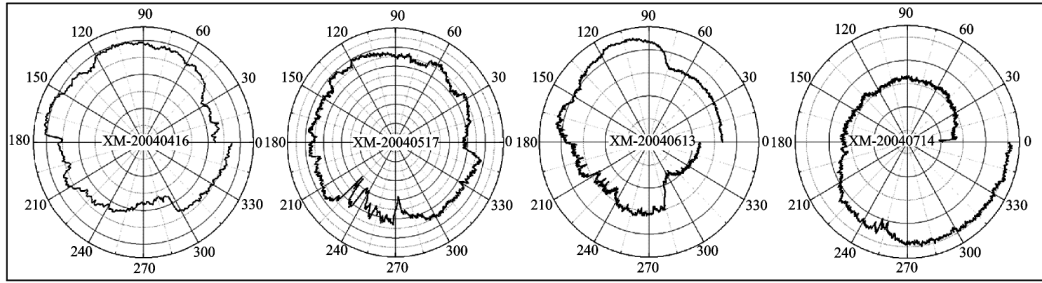


图4 新民台记录的扰动“梅花图”

Fig.4 The perturbation of the Ms 8.7 earthquake recorded at Xinmin station

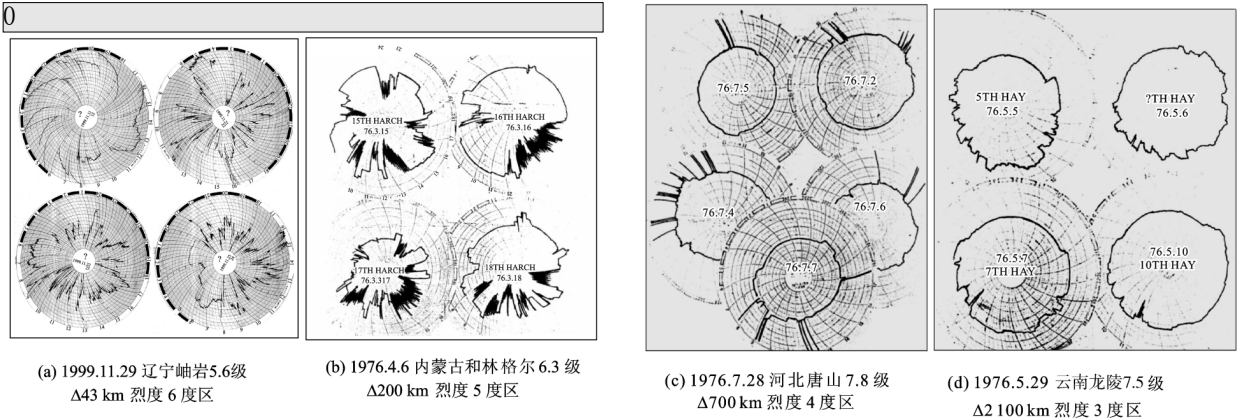


图5 历史震例的扰动“梅花图”

Fig.5 The perturbations of other earthquakes

断地震的大小和距离,用于参比的历史震例见图5。

图4只与图5(d)有可比性,但不及图5(d)的扰动程度。综上分析,在2004年12月21日认定这次异常是远震、大震、在南方(主压应力方向),可能比云南还要远些。

1.6 印度洋8.7级大震的临震信号

图6是2004年12月26日印度洋8.7级地震的临震信号,信息明确,波形典型,第1个临震信号出现在12月25日(周六)9点14分,第2个临震信号出现在21点4分。用“二倍法”计算的地震发生时间为12月26日8点54分,实际地震发生时间为12月26日8时59分,至少有12个小时的应急预警时间。

图7是新民台在于2004年12月1日到2005年4月10日的130多天里,记录到的6个强震临震信号,即发生6次强震。临震信号是不可或缺的,能够重复和再现,是地震前兆具有确定性的必要条件。

1.7 应力仪的异常比

图8显示8.7级地震前后地壳受应力场控制情况,传感器埋设方向不同,信息形态也不同,只有主

压应力方向传感器才能记录到完整和明确的信息,这一现象有助于识别和判断方向。

相距约600 km的两台应力仪,共埋设6个传感器,6个传感器都记录到了不同程度的前兆信息,仪器的异常比为2/2,传感器的异常比是6/6,都是100%。多年监测实践证明,只要是在有效监测范围之内正常工作的仪器,应力仪的异常比都是100%。

1.8 印度洋8.5级地震的应力曲线

图9是8.7级地震后的应力曲线,固体潮显现,主压应力仍在攀升,明确显示将有一系列的余震^[2]。

8.7级地震是全球性的,它的前兆具有全球性,它的余震也具有全球性,除了该地区余震不断而外,较为有影响的全球性余震还有:2005年1月19日日本本州以东海中7.0级地震,2005年2月5日菲律宾棉兰老岛6.8级地震,2005年2月15日中国新疆乌什6.2级地震,2005年3月20日日本九州岛北7.0级地震,2005年3月29日印度洋8.5级大震等,这些余震在图9中都留下了应力远震前兆的踪迹。

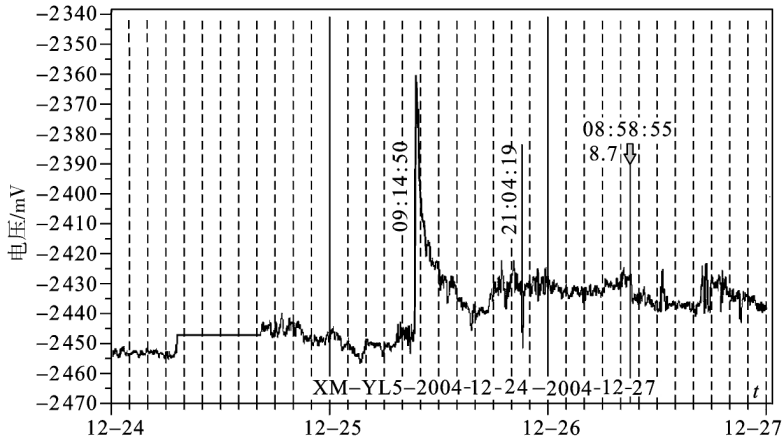


图6 印度洋8.7级大震的临震信号

Fig.6 The signal of impending quake for the Indian Ocean earthquake

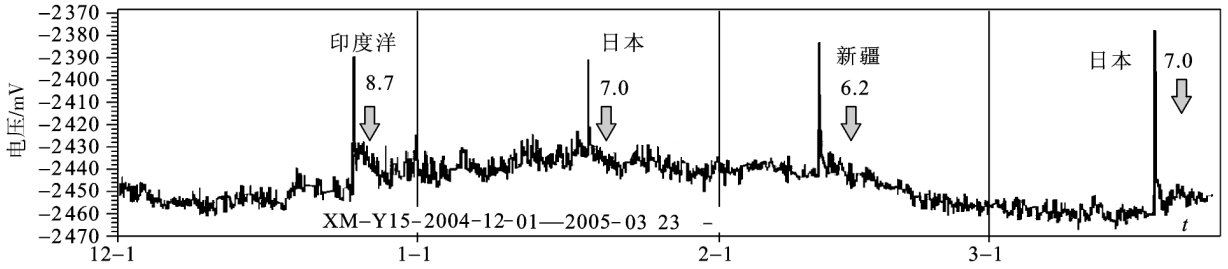


图7 连续记录到的临震信号

Fig.7 The signals of impending quakes for the four earthquakes recorded continuously

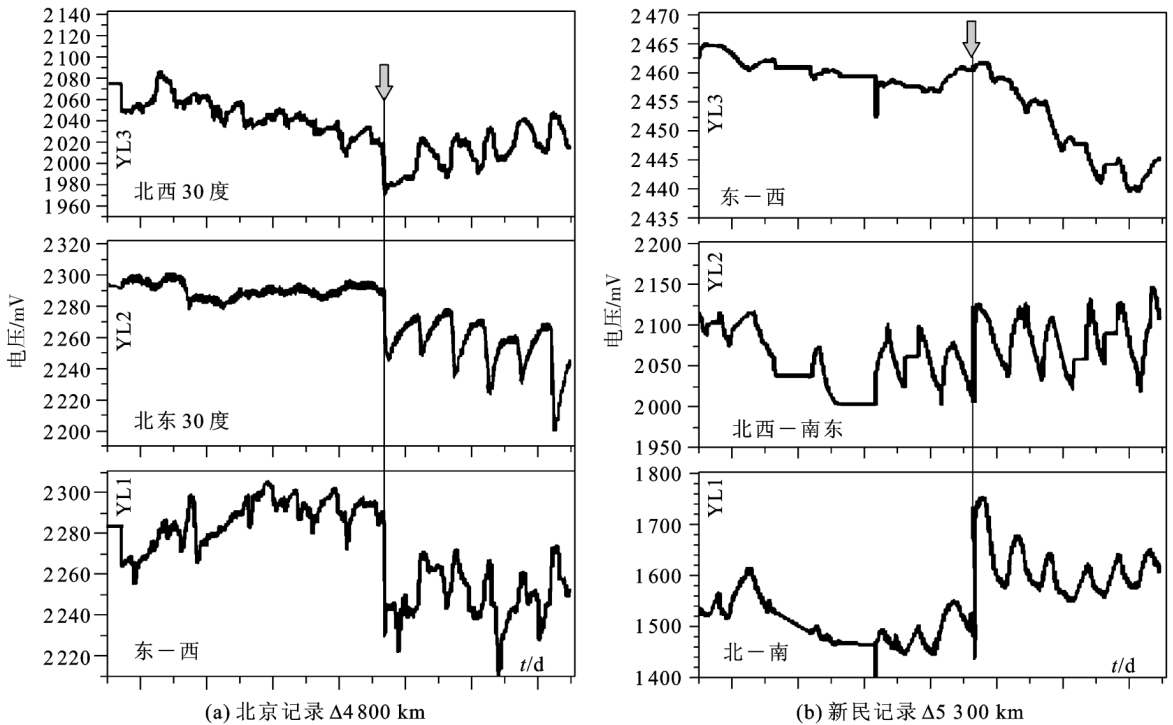


图8 印度洋8.7级地震前后应力波形对比

Fig.8 The comparison of the stress curves before and after the Ms 8.7 earthquake

余震的特征是没有独立和完整的孕震过程。从图9(a)固体潮背景可以看到余震对全球性应力控制不强；图9(b)显示受两次日本7级地震和中国新疆6.2级地震的影响，在东西方向上产生较大的应力波动，这些余震是全球性应力场调整的结果，观测台站记录显示远震特征，所以8.5级大震是余震。

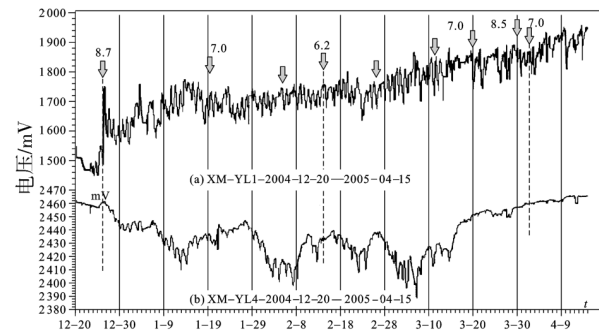


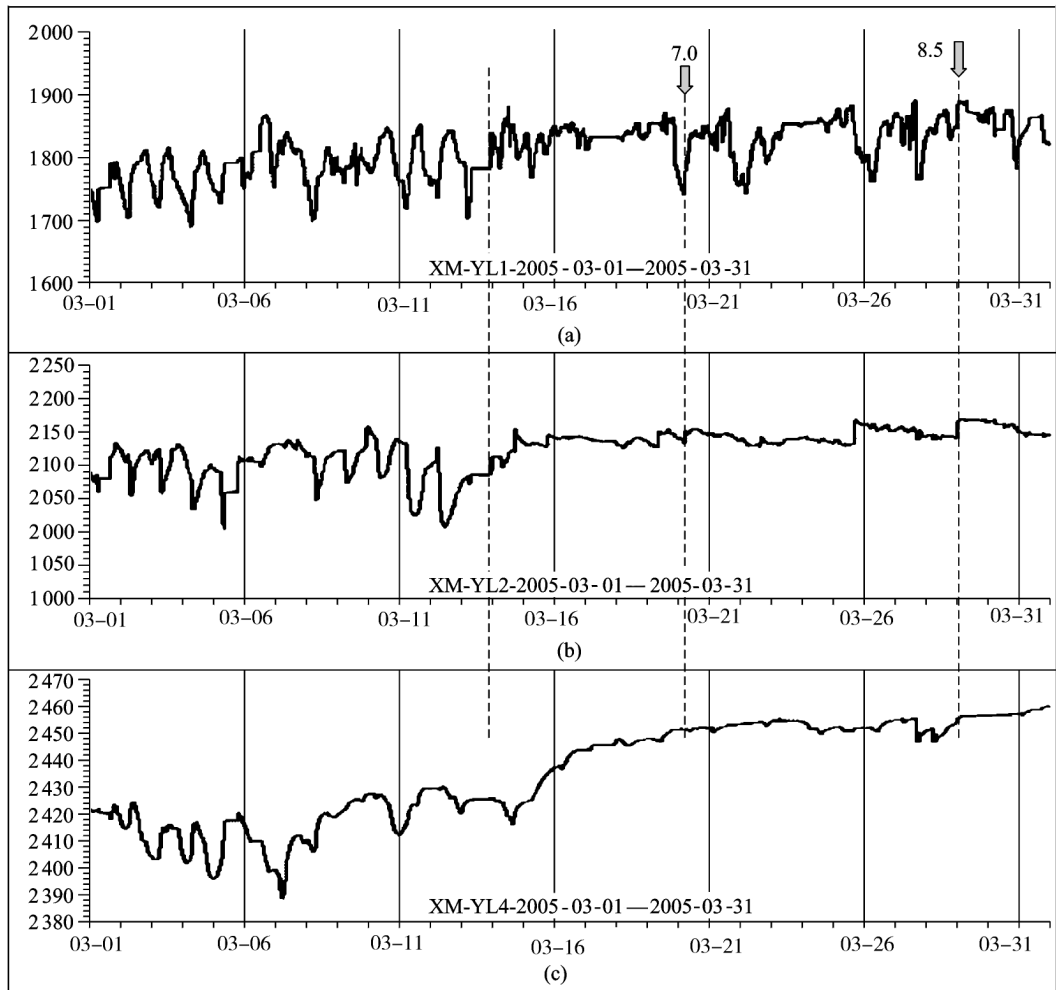
图9 新民台 2004-12-20 至 2005-04-15 应力曲线

Fig. 9 The stress curve at Xinmin station
(Dec. 20, 2004 to Apr. 15, 2005)

尽管余震没有独立和完整的孕震过程，地震前兆的阶段不完全，特征信息不明确，余震发生的时间还是能够预测的，因为有明确的主震在前，已经提醒了人们的注意，从固体潮波动的背景能够看到远震的卸载趋势，一般较小的余震对固体潮汐几乎没有影响，凡有卸载波动就有较大的余震。

图10显示从3月13日开始固体潮再次异变或消失，出现短临“绷圆”特征，2005年3月20日日本九州岛北7.0级地震并没改变这种趋势，说明还有一个比7.0级更大的地震控制了地壳的固有振动，在临震阶段也出现了临震信号，所以这次8.5级余震也是可以预测的。

图10显示从3月13日开始固体潮再次异变或消失，出现短临“绷圆”特征，2005年3月20日日本九州岛北7.0级地震并没改变这种趋势，说明还有一个比7.0级更大的地震控制了地壳的固有振动，在临震阶段也出现了临震信号，所以这次8.5级余震也是可以预测的。



(a) 南北方向； (b) 北西-南东方向； (c) 东西方向

图10 新民台 2005-03-01 至 2005-03-31 应力曲线
Fig. 10 The stress curve at Xinmin station (Mar. 1, 2005 to Mar. 31, 2005)

2 震动前兆

2.1 谐振仪

震动前兆是用谐振仪(见图 11)记录的,其原理是一台可调振动频率的重力仪,利用敏感元件和信号调制电路把重力变化和地壳微震信息变成毫伏电信号,它的日变圆图为重力变化,它的脉动长图显示地壳的震动状态。在正常情况下,使谐振仪与地壳固有振动频率处在谐振状态,即产生最大振幅;出现短临异常时,地壳在很大外力作用下使谐振仪失谐,振动幅度显著变小,即短临异常(“绷圆”状态),此时若出现大于脉动幅度 3 倍的超低频脉冲即为临震信号。

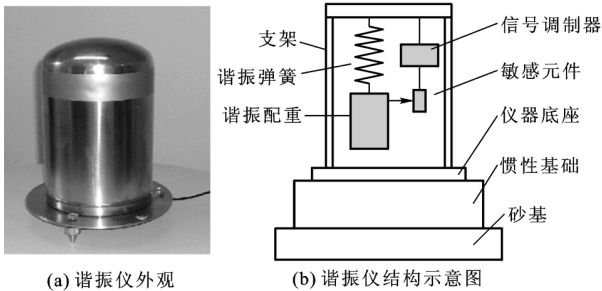


图 11 谐振仪

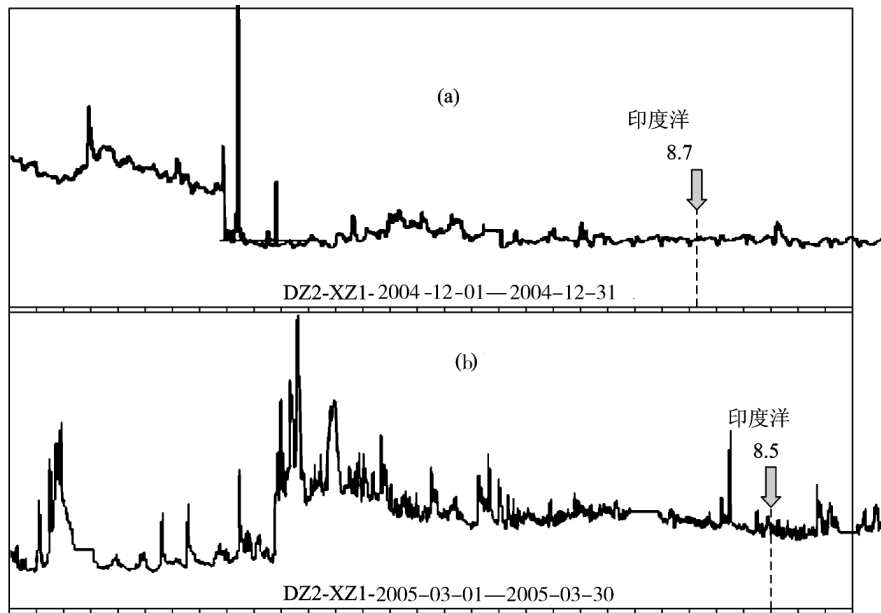
Fig.11 The resonance instrument

2.2 谐振仪记录曲线

图 12 是谐振仪记录的短临前兆,(a)是 8.7 级地震的谐振前兆,(b)是 8.5 级地震的谐振前兆,它们的共同点是短临信息都出现在震前 18~20 天。不同之处在于,8.7 级地震之前地壳处于绷紧状态,而 8.5 级地震之前地壳处于松弛状态,并显示有断层滑移信息(图 14 和图 15)。1976 年唐山 7.8 级地震前的 18~20 天华北地区也出现了大面积的地电、应力、倾斜、地磁等物理监测手段的异常,这种震前 18~20 天出现短临异常现象不是个别的。

图 13 是 8.5 级地震的临震信号,把临震信号前后的波形放大,呈图 14 形状,室内外模拟试验表明,逆势脉冲①为压应力脉冲,顺势脉冲②为张应力脉冲,也就是说在 8.5 级地震之前,断层处在压压张张的拉锯状态,显示断层有不间断滑移和错动的信息,这是断裂粘滑型地震的物理学证据。

这种现象在 8.7 级地震之前是没有的,8.7 级地震没发生在已知断层上,震后才形成贯穿两个已知断层、长达几百公里、高差 10 多米的大断裂(见图 15 卫星照片)。



(a) 印度洋 8.7 级地震;(b) 印度洋 8.5 级地震

图 12 北京记录的谐振曲线

Fig.12 The resonance curve recorded in Beijing

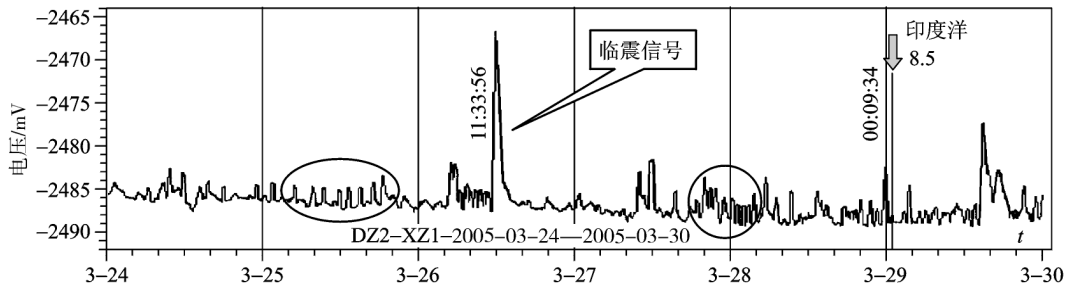
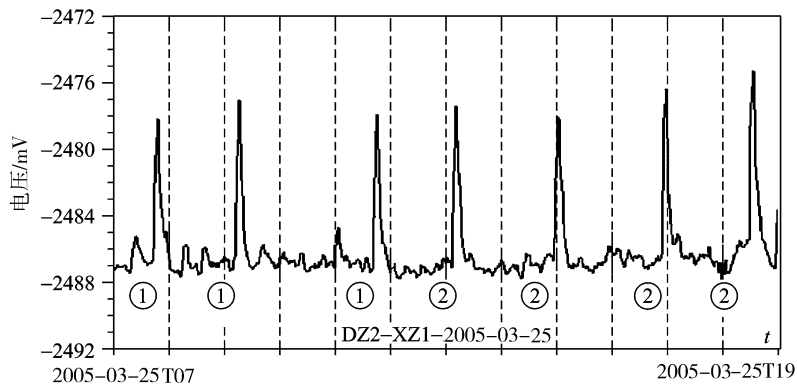
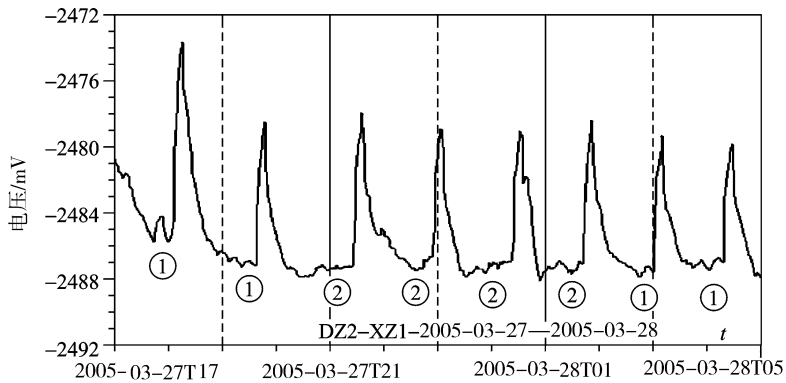


图 13 谐振仪记录的 8.5 级地震的临震信号

Fig. 13 The signal of impending quake for the Ms 8.5 earthquake recorded with the resonance instrument



(a) 临震信号之前的波形



(b) 临震信号之后、地震发生之前的波形

图 14 谐振仪记录的 8.5 级地震临震信号前后的波形

Fig. 14 The resonance curves before and after the impending signal of the Ms 8.5 earthquake

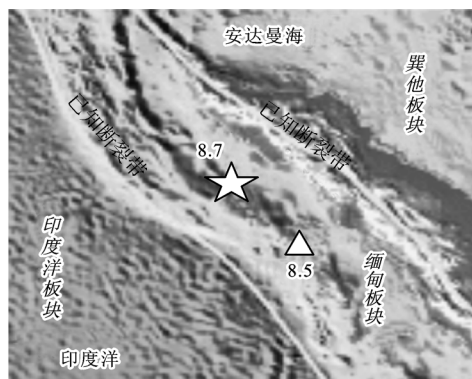
3 地面倾动前兆

地震前兆监测专用的倾斜仪,摆放在大惯量沙基基础上,也具有很高的灵敏度和特殊性能,秒值记录也能得到与谐振仪记录相似的结果(见图 16)。

图 16(a)显示 8.7 级地震之后才出现断层滑移

信息,震前地壳处于绷紧状态,没有断层滑移的迹象,说明 8.7 级地震不在断层带上,震后才出现断层,属破裂型主震。

图 16(b)显示 8.5 级地震的前后都有断层滑移信息,再次验证 8.5 级地震发生在断层上,属断裂粘滑型余震。



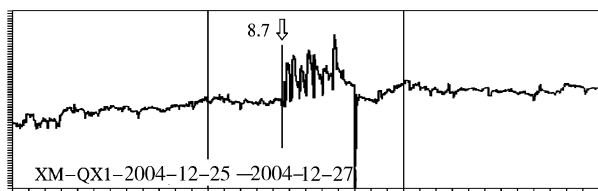
8.7级和8.5级地震都不在已知板块之间的断裂带上；

8.7级地震后形成的新断裂贯穿两条已知断层；

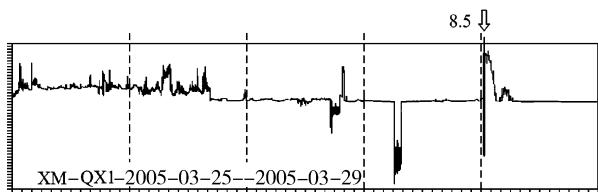
8.5级地震发生在8.7级地震形成的新断层衔接部位。

图 15 卫星照片

Fig. 15 The satellite photo



(a) 印度洋8.7级地震之后才有断层滑移波形



(b) 印度洋8.5级地震之前就有断层滑移波形

图 16 倾斜仪记录的震前波形

Fig. 16 The curves before the two earthquakes recorded with the tilt instrument

8.7级震后的断裂滑移波形见图 17, 前 7 个波形都是顺势脉冲②, 属张应力作用; 而最后一个很大的反向波形则是逆势脉冲①, 为压应力作用。

这一现象表示 8.7 级地震是受自下而上的张应力作用, 首先使海底地壳隆起, 地震后连续发生 7 次张应力错动, 地壳裂口越来越大, 当剩余能量不足以抵御重力时, 发生一次性压应力错动, 使地壳裂口闭合, 断层剩余高差达 10 多米, 由此可见地震发生之前海底地壳隆起的高度远远大于 10 m, 就是这个隆起的高度把大量海水涌向陆地, 这是发生海啸的直接原因。

海底地震是否会发生海啸, 主要看地壳是否有隆起高差, 隆起有多高, 隆起越高海啸越大; 应力调整造成的断层活动, 多为水平错动或高差较小的斜向错动, 都不会发生海啸。

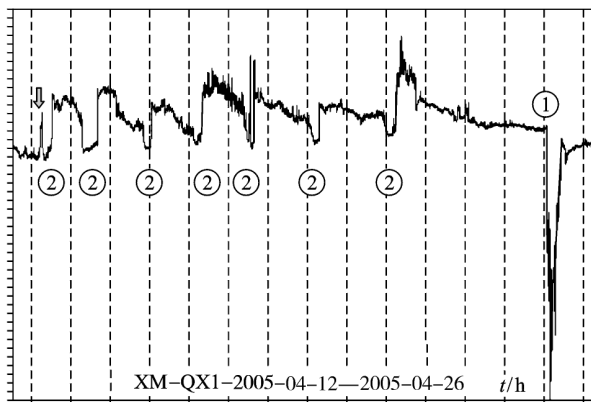


图 17 8.7 级地震后断层滑移波形(放大)

Fig. 17 The curve of the fault slips after the Ms 8.7 earthquake

8.7 级地震后形成的新断层^[3], 有 10 米多高的隆起, 发生了大海啸; 而 8.5 级地震就发生在这个新断层上^[3], 只有断层错动而没有地壳隆起, 不发生海啸。

海啸与震级没有必然的直接关系, 发生在海底断层成因的 6 级地震, 足以引发海啸; 而发生在成因断层上的 8.5 级地震没发生海啸。

海啸预警应该以监测海底地壳垂向动态活动, 即以监测海底是否有隆升现象为主。

图 18 是倾斜仪在北京和辽宁新民同时记录的地面倾动曲线, 大体上能够显示华北、东北地区的地面倾动状态。如果忽略局部差异, 会发现在印度洋 8.7 级地震之前有几次较大的地面倾动, 开始是同步的, 随后辽宁新民逐渐滞后于北京, 到 8.7 级地震发生时已经滞后了 3 个月, 如图 18 中箭头所指的时序, 8.7 级地震之后这种大范围的倾动逐渐消失。

这股造成地壳大范围倾动的力量是从哪里来的? 又向哪里去了? 显然, 这股强大的力量几乎同时作用于东北和华北, 然后逐渐南下, 才能出现辽宁新民逐渐滞后于北京的倾动, 这种现象说明有地下物质迁移的迹象。

4 大地电位前兆

大地电位前兆是用“土地电”测得的, 它不是有源测量地电阻率, 也不是低阻测量地电流, 它是高阻测量大地自然电位的精密仪器——大地电位仪, 其精密之处在于电极置放位置, 在没有地震前兆异常时应该是大地的 0 电位, 埋深在地下水位之上、冻土层之下, 极距几米不限, 电极材料为炭—炭, 数据采集和记录仪表的输入阻抗要求很高。

图 19 是新民地电短临阶段的记录,也是在 8.7 级地震前 18~20 天出现短临异常,在震前 3~4 天

两个方向同步出现大幅度临震突跳,南北方向更为明显。

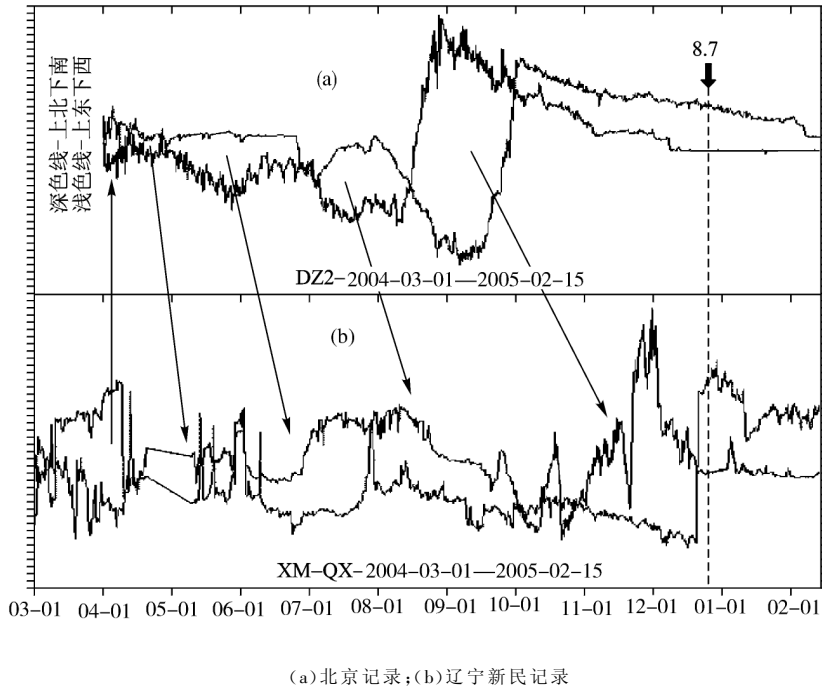


图 18 2004-03-01 至 2005-02-15 倾斜仪记录曲线

Fig. 18 The tilt curves recorded in Xinmin and Beijing (Mar. 1, 2004 to Feb. 15, 2005)

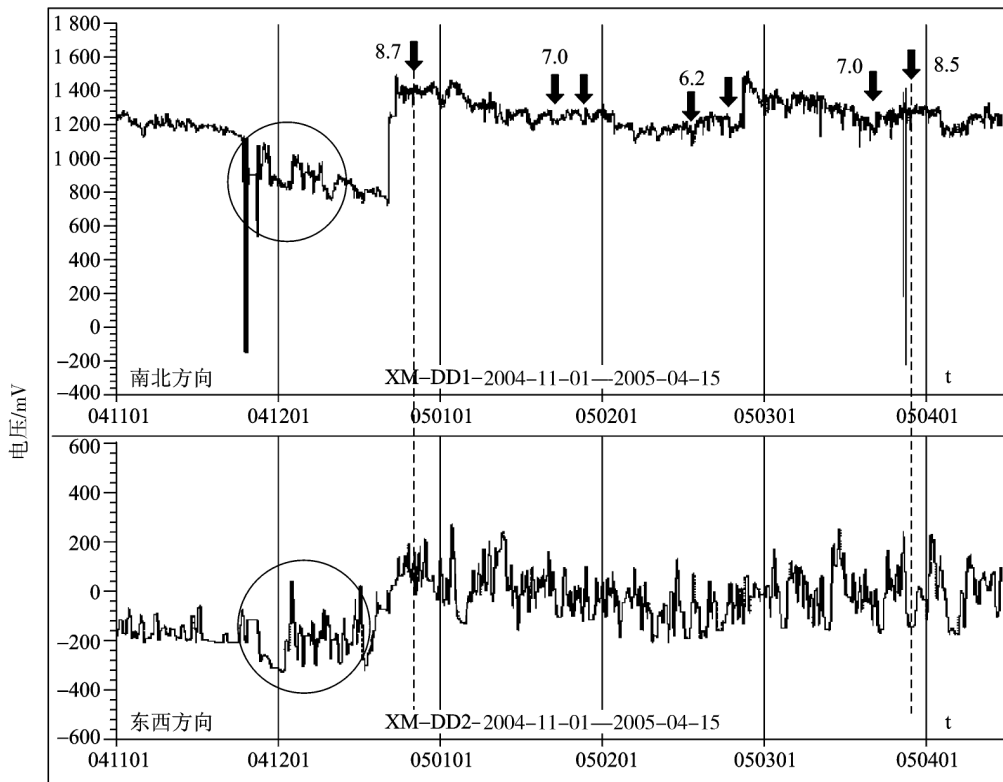


图 19 新民台 2004-11-01 至 2005-04-15 地电曲线

Fig. 19 The curves of the earth potential at Xinmin station (Nov. 1, 2004 to Apr. 15, 2005)

8.7级地震之后受日本2次7级地震的影响,东西方向变化较大,南北方向只在8.5级地震前出现一次突跳,显示8.5级地震是8.7级地震总能量的一部分。

图20的波形和斜率显示地下有一股周期性的电势在2004年1月末至2月初影响到辽宁新民地区,之后消失在南西方向,这时恰是记录到8.7级地震应力前兆异常的加载阶段。

从物理角度分析,这是一股强大的、平均周期约为48h的、移动着的旋涡电势,从我国东部经过,向南西方向缓缓移去,所到之处无不留下物理的踪迹。缓慢的移动速度和约48h的周期,说明它是一股质量很大的低阻(或超导)软流体的旋涡运动,它携带有极大的能量,所经之处无不受其影响,或沿途造成

地震,或掀动地壳,图18所示的辽宁新民和北京地面倾动记录就是它在地下擦边经过时留下的印迹。

图21是波形分析,不难看到,实测电位波形与等值电路试验波形相似,证明地下这股携带巨大能量的、缓慢移动的旋涡电势确实存在。地电极距6m,检测到1.2V的电势(导通电压),方波幅值约为0.3V(半波幅值),旋涡电势峰谷值约为0.6V,则差值0.9正是硅半导体PN结的结压降(截止电压),说明在以固体颗粒物质为主的地壳与以低阻软流体为主的地幔物质之间存在宏观的PN结层。这种地电波形在1976年唐山7.8级地震之前从示波器上多次见到,这次记录下来非常难得,这一发现可能有助于研究大震的成因机制。

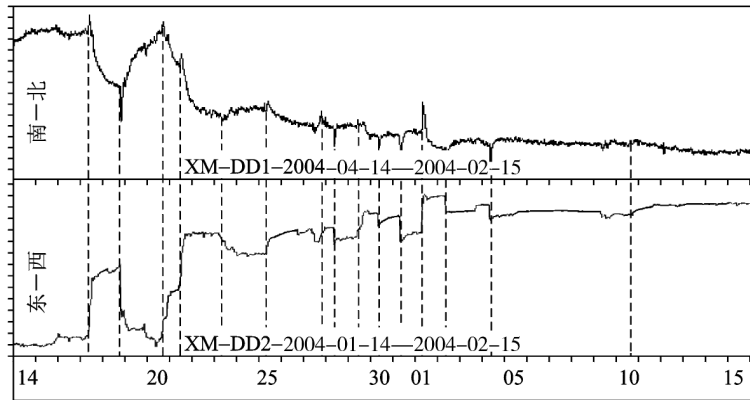
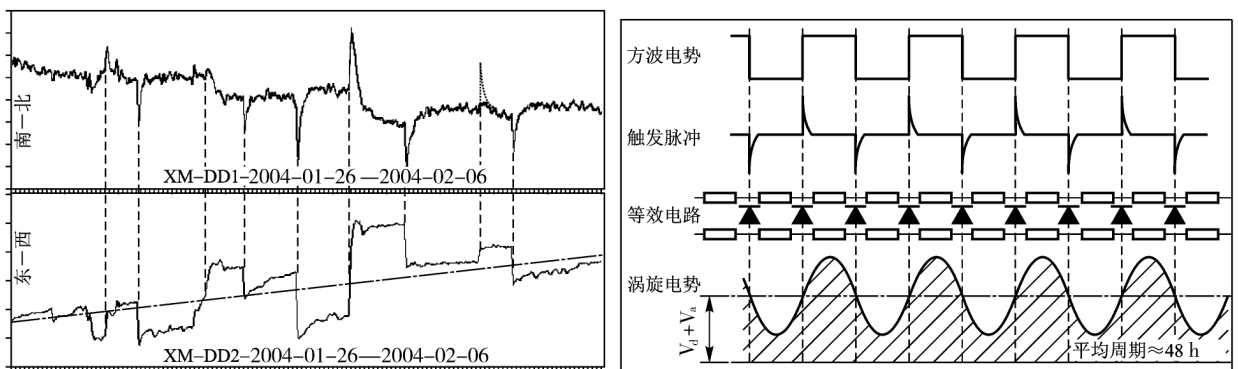


图20 2004-01-14至2004-02-15辽宁新民地电记录曲线

Fig.20 The curve of the earth potential at Xinmin station (Jan.14,2004 to Feb.15,2004)



(a) 大地电位波形(图20中间部分)

(b) 等值脉冲电路试验波形

图21 辽宁新民地电记录曲线的波形分析

Fig.21 The analysis of wave forms for the Xinmin's curves of the earth potential

5 结语

通过对监测记录分析认为,印度洋 8.7 级地震是破裂型主震,发生海啸的直接原因是地壳隆起使海水涌向陆地造成的,8.7 级地震后有 7 次张性断裂信息,造成了新的断层(断层成因),8.5 级地震发生在 8.7 级地震后形成的新断层上,新断层调整以水平错动为主,所以 8.5 级地震不发生海啸,8.5 级地震是断层活动造成的(成因断层),属断裂粘滑型余震,所以这两个 8 级大震的性质是完全不同的。在 8.7 级地震孕育过程中发现有地下物质迁移迹象,在地壳与地幔软流体之间可能存在宏观 PN 结层,这一发现可能有助于研究大震的成因机制。

是什么机制能使仪器接收到数千公里之外的地震孕育过程? 如果地震孕育过程的信息是从震源区发出的,是怎么传递到数千公里之外的? 如果这些信息不是从震源区发出的,这些监测记录会是什么?

讨论和研究这些未知问题,无疑会带给我们新的启迪。

有人提出世界各国在印度洋周边地区有很多地震监测台站,各种最先进的仪器都有,仅中国就有近千个台站和几千台各种仪器,至今看不到有关 8.7 级地震前兆的记录,怎么能证明这些记录与印度洋 8.7 级地震相关? 欢迎讨论和指导。

致谢 中国地震局地质研究所李坪院士对本文给予了指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] 孙 威. 破坏性地震是可以预测的——孕震物理模型及临震信号[J]. 中国工程科学, 2007, 9(7): 7~17
- [2] 王玉莹, 佟晓辉, 孙 威. 1999 年岫岩 Ms5.4 级地震前震、主震、余震应变异常特征的研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(2): 501~502
- [3] 付承义. 地震预报研究向何处去[J]. 地震地磁观测与研究, 2001, 22(4): 39

The Physical Precursors for the Ms 8.7 and Ms 8.5 Earthquakes in Indian Ocean

Sun Wei, Sun Xiaoming

(Beijing Precision Technology Co. Ltd, Beijing 100098 China)

[Abstract] The precursors—the gestation process and the signal of impending earthquake of the Indian Ocean Earthquake of Ms 8.7 are recorded, with a series of specially made monitoring instruments, including instruments for stress, resonance, tilt and earth potential. The recordings show that there are great differences for the stress in crust between before and after the earthquake of Ms 8.7 and that of Ms 8.5. This fact indicates the essential distinction regarding to the formation of these two earthquakes. The causation of the tsunami is analyzed. The sign of underground material migration is also found in the gestation process of Ms 8.7 earthquake.

[Key words] Ms 8.7 and Ms 8.5 earthquake in Indian Ocean; earthquake precursor; signal of impending earthquake; tsunami; underground material migration