

汶川地震沙层应变的短临前兆

王玉莹¹, 佟晓辉¹, 孙晓明¹, 孙 威²

(1. 辽宁省地震局, 沈阳 110034; 2. 北京普精信科技有限公司, 北京 100098)

[摘要] 应用北京昌平及西集沙层应力仪观测资料, 根据该仪器以往 30 年所观测到的地震震例以及 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级地震的前兆特征; 沙层应力仪记录的汶川 8.0 级地震短临前兆过程, 符合沙层应力仪多年监测实践总结出来的孕震物理模型, 尤其是 2008 年 3 月开始出现的短临异常时间与形态的阶段性变化, 临震异常特征明显, 与卫星热红外等其他观测项目具有很好的时间同步性, 属于汶川 8.0 级地震大尺度前兆异常。

[关键词] 汶川地震; 沙层应力仪; 沙层应力孕震物理模型; 临震信号

[中图分类号] P315 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)06-0146-07

1 前言

沙层应力仪是自主研发的、具有中国自主知识产权的地震前兆监测专用仪器^[1,2]。2008 年 5 月 12 日汶川发生 M8.0 级地震, 距震中 1 500 km 的北京昌平台 (BJCP)、西集台 (BJXJ) 的沙层应力仪记录到明显的短临前兆异常。观测结果表明, 沙层应变重复和再现了地震短临前兆的特征信息^[3,4], 符合大尺度孕震物理模式。这些信息对于探索地震预测和震源物理具有重要意义。

2 沙层应力仪记录的地震前兆

2.1 汶川地震前沙层应变信息

2007 年 10 月北京昌平地震台和西集地震台各安装 1 台沙层应力仪。从 2007 年 11 月中旬开始应力仪记录的曲线加速上升, 到 12 月初异常出现持续走平状态, 直至 2008 年 2 月 20 日印尼 M7.7, M7.6 震群以及 2008 年 3 月 21 日新疆 M7.3 地震, 曲线出现短暂的、波动的阶段性卸载。4 月 12 日开始, 曲线由缓慢卸载到大幅度急剧卸载, 在 30 天时间里, 连续出现应变扰动、日变幅度变化、尖锐脉冲等一系列短临前兆的异常特征 (见图 1), 直到 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震发生。

监测实践分析表明^[1~4], 记录到的这些信息符合笔者提出的沙层应变孕震模式: 加卸、相持、卸载、短临 (应力扰动和震前平静)、临震 (临震信号) 等 5 个阶段连续和完整, 属于典型的地震前兆, 这些前兆异常的幅度和持续时间预示了即将发生比印尼 M7.7 和新疆 M7.3 地震强度要大且距离也更近的地震。

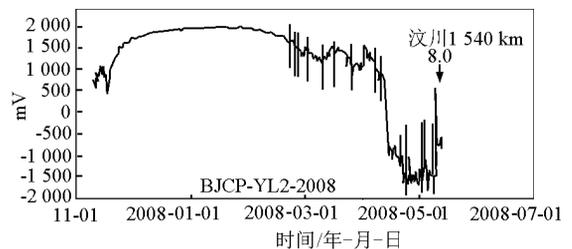


图 1 北京昌平台沙层应力仪记录的汶川地震应变前兆异常

Fig. 1 Strain precursor anomaly of Wenchuan Earthquake recorded by sand layer stress instrument in Changping station, Beijing

2.2 短临阶段特征

昌平台沙层应力仪在 2008 年 3 月 21 日新疆 M7.3 地震前后所记录的曲线曾经出现小幅度的卸

[收稿日期] 2009-04-20

[作者简介] 王玉莹 (1954-), 女, 辽宁沈阳市人, 辽宁省地震局高级工程师, 研究方向为地震前兆研究和预报工作; E-mail: sunwei@sina.com

载和波动,但是到4月1日开始即以每天 80 mV 的速率缓慢下降,这种卸载速率连续 11 天;4月12日,即汶川地震前 30 天,曲线以每天 1 000 mV 的速率急剧下降,2 天时间,下降幅度达 2 000 mV,表现出进入短临阶段的特征;4月20日至21日曲线出现剧烈的扰动,频繁出现尖锐脉冲,脉冲最大幅差达 1 500 mV,是以往的观测资料中很少出现的,表明台站所处位置地下扰动剧烈,4月23日地下扰动停止 1 天,4月24日地下扰动继续,到4月26日扰动结束;此后日变幅差消失,进入震前平静的临震阶段(见图 2、图 3)。

在扰动异常结束后 16 天,发生了汶川 8.0 级地震。

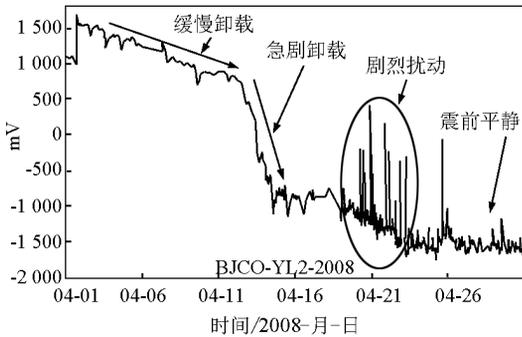


图 2 昌平台汶川 8.0 级地震短临阶段的特征信息
Fig. 2 Characteristic information of Wenchuan Earthquake in impending stage recorded by Changping station

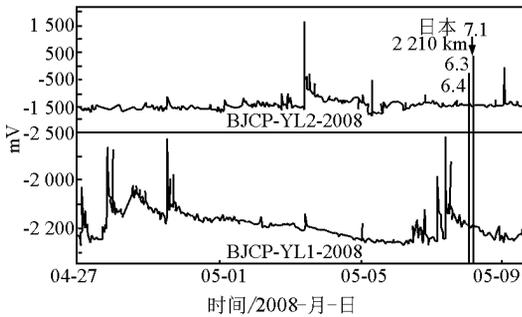


图 3 汶川 8.0 级地震的震前平静——沙层日变幅差消失

Fig. 3 Sand layer amplitude change in a day disappeared before Wenchuan Earthquake

2.3 震前平静

震前平静的表现形式很多,笔者的应力仪记录的沙层应变模式是日变幅差减小甚至消失。这是震前平静的重要标志之一。

昌平记录的沙层应变经过卸载和剧烈扰动阶段以后,于汶川震前 16 天即 4 月 26 日北南、东西两方向应力曲线开始进入明显的震前平静阶段(见图 3),沙层日变幅差消失,在此期间,2008 年 5 月 8 日日本连续发生 M6.4, M6.3 和 M7.1 地震,这 3 个强震发生前后,沙层日变幅差几乎没有受到影响,仍然保持“震前平静”的日变幅差消失状态。笔者根据沙层应变孕震模式分析,得出了控制这次应力异常的地震会比此前日本地震强度更高、震中距离更近的结论。

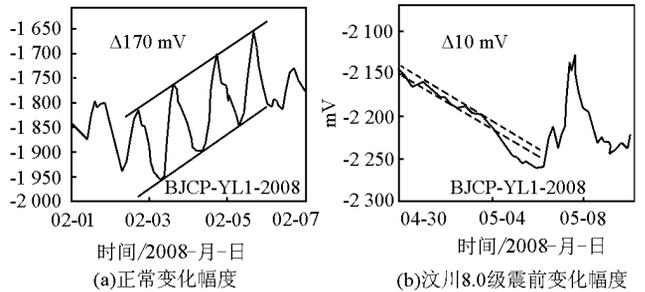


图 4 北京昌平台同一方向(南北)沙层日变幅差
Fig. 4 The sand layer amplitude change in a day in north - south direction recorded by Changping station, Beijing

由图 4 可见昌平台沙层应力仪南北测项数据日变幅差的正常变化幅度为 170 mV,如图 4(a)所示;在 2008 年 4 月 30 日到 5 月 12 日汶川 8.0 级地震前的 13 天里,日变幅差打破原来周期性变化规律,压缩到不足 10 mV,如图 4(b)所示,约为正常日变幅差的 1/17。

同样,汶川地震前西集台应力仪不同方向沙层日变幅差也出现明显差异:北南测项于 2008 年 4 月 20 日由原来正常日变幅度 220 mV 压缩为 80 mV,约为正常幅度的 1/3;东西测项则从 5 月 7 日由原来的日变 20 mV 增加到 28 mV,北东 - 南西测项与北南测项同步,由原来正常日变幅度 245 mV 压缩为 140 mV,约为正常幅度的 1/2。

2.4 临震信号

昌平台应变曲线经过震前卸载、扰动以及震前平静之后,于 5 月 9 日(汶川地震前 3 天)出现临震信号,临震信号波形幅值达 2 000 mV,持续 20 多个小时,呈现上升沿迅速,下降沿缓慢的压性单向脉冲。其中东西向出现在 5 月 9 日 22 时 14 分,北南向出现在 5 月 10 日 3 时 33 分,两分量东西向早于北南向,时差约 6 h。而在整个临震过程中,北南向

的变化幅值和孕震模式都更为清晰,说明汶川地震的主破裂对观测台站所在地区影响的差异(见图5)。

此外,文献[5]的报道也表明,2008年5月9日,我国福建南安、龙岩,江西会昌,湖南邵阳,广西邕宁、河池,贵州贵阳,四川西昌、道孚、成都,甘肃天水,山西乾陵等地磁台地磁垂直分量日变形态出现“双低点”异常,与北京昌平沙层应变临震信号同步。

这些台站在空间上呈现奇特的3个条带汇聚分

布,箭头正好指向四川西部,异常出现3天后发生了汶川地震。

2.5 同震效应——震时脉冲

砂层应力仪不是地震仪,它记录的是力和应变信息,它的低频响应好,对每秒20周以上的高频响应不好,所以它不能记录到完整的地震波(P波和S波)。但是,只要地震足够大或距离足够近,也能记录到地震发生时的脉冲——即同震效应(见图6)。

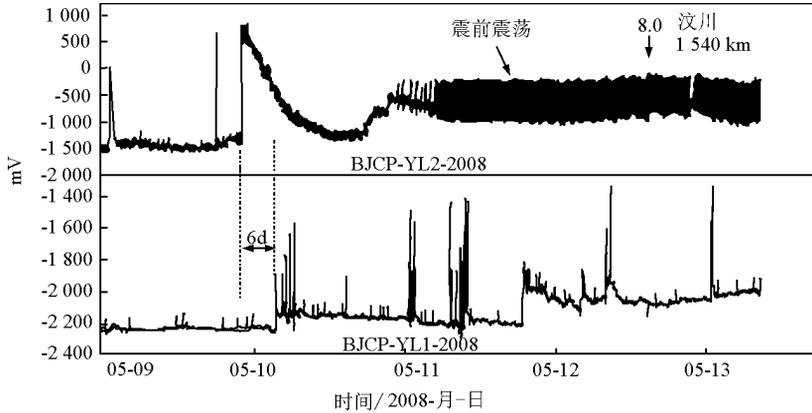


图5 昌平台沙层应力仪记录汶川8.0级地震的临震信号

Fig. 5 The impending earthquake information of Wenchuan Earthquake recorded by the sand layer stress instrument in Changping station

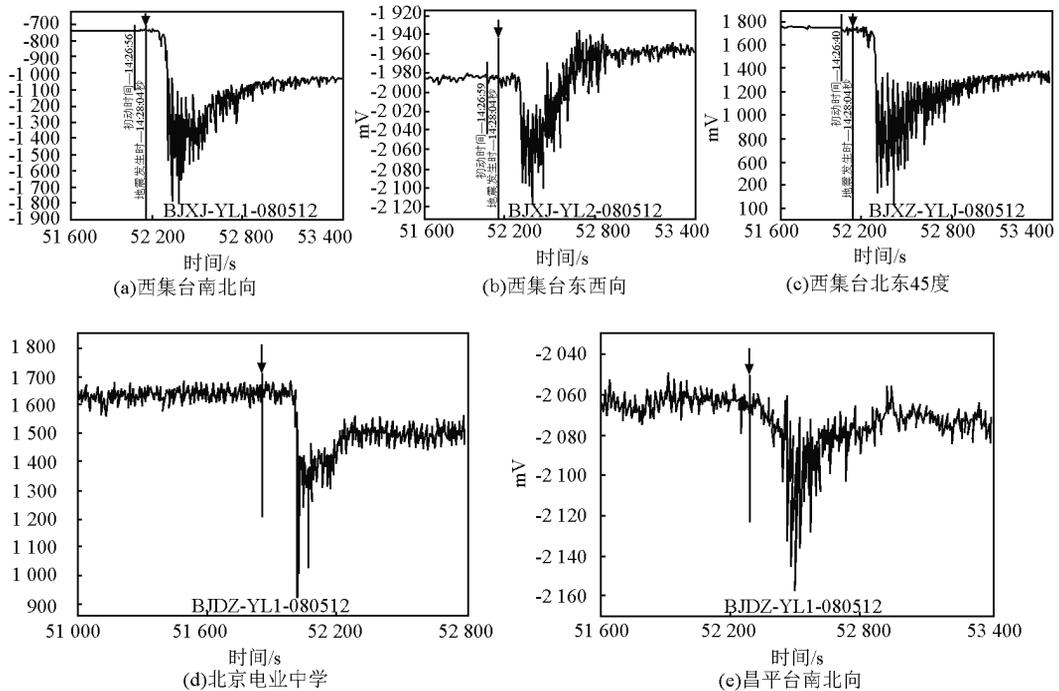


图6 沙层应力仪记录的汶川8.0级地震的震时脉冲——同震效应

Fig. 6 Earthquake time impulse coseismic effect of Wenchuan Earthquake recorded by sand layer stress instrument

3 前兆异常差异分析

3.1 短临信息差异

分析汶川地震临震信号前后的振荡波形,可以看到连续的、恒幅的、频率为每分钟4~15次的张性脉冲,试验表明这种波形是地壳受到撞击力形成的,张性脉冲显示这股撞击力是自下而上作用的。

北京昌平台和西来台与汶川地震震中距离相差无几,但是前兆异常的短临信息却存在明显的差异,见图7(a)。昌平台应变积累和超低频形变明显,以张性脉冲为主,挤压脉冲与张性脉冲交替发生,见图7(b);而西集台沙层应变日变幅差清楚,也是挤压性脉冲与弛张性脉冲交替发生,幅度大到单向限幅,形变位移清楚,见图7(c)。

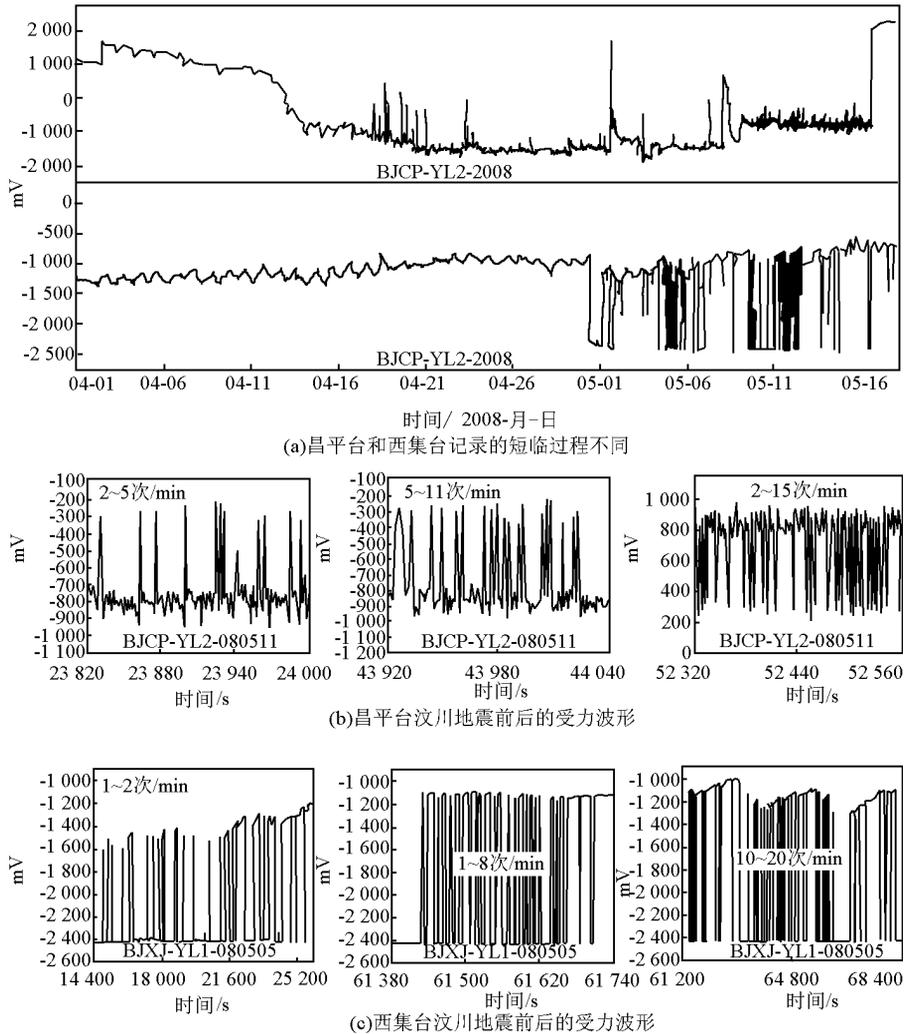


图7 昌平台与西集台短临信息的差异

Fig. 7 Differences of short-term and impending information between Changping and Xiji station

此外,设在美国加州的沙层应力仪与中国北京西集台分别在太平洋东西两岸,相距万余公里,在汶川地震前后都记录到类似的大幅度短临脉冲。美国加州台的大幅度脉冲出现在3月末;而西集台大幅度脉冲出现在5月初,由于幅度变化大而导致限幅。限幅时段的持续时间大约都是50多天,汶川地震后陆续在7月底恢复正常(见图8)。

这种弛张与挤压交替振荡的临震特征在沙层应变的资料记载中并非个例:2003年3月24日内蒙古5.9级地震、2003年5月28日美国加州5.0级地震、2005年3月29日印尼8.5级地震以及2007年6月3日云南普洱6.4级地震前后,都出现过类似的临震振荡脉冲。

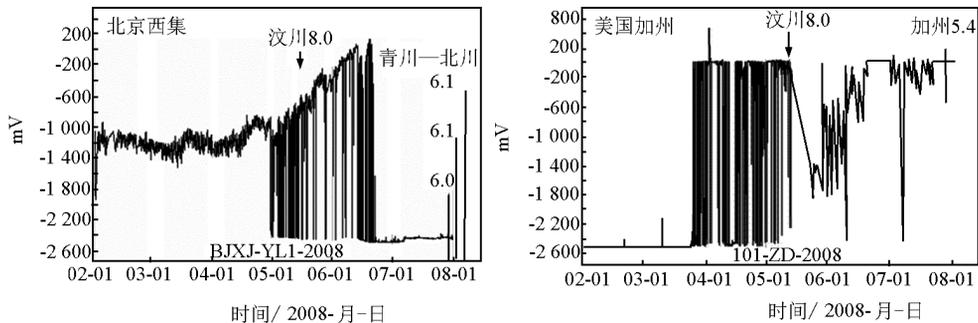


图8 北京西集台与美国加州101台记录的大幅度短临脉冲
 Fig. 8 Short-term and impending impulse with great amplitude recorded by Beijing Xiji station and 101 station of California

3.2 台址与所处位置断层活动的差异

北京昌平台位于南口—孙河断裂端部^[6],第四系厚83 m,为山前冲积的砂砾沙层,其下为震旦纪白云岩和灰岩。南口山前断裂起于北京昌平区黄花城,全长61 km,正断层,走向北东50°,倾向南东。南口山前断裂由多条断裂组成,其北面还有一条断裂与之平行,起于果庄,经居庸关、王家园,在禾子涧与沿河城断裂相交。断裂附近是明显的转折点,断裂以北是逐渐抬升,断裂以南比较平稳。

西集台位于夏垫活动断层东侧2 km处,属夏垫断裂北段,夏垫断裂是一条活动性较强的断裂,是公认的活断层。该断层与周围的更重地质体有着复杂的关系,是北京地区小震比较活跃的地区之一^[7,8],该台所属构造单元为华北断坳大厂新断陷兔子店新凹陷内,其基底岩系南北段可能为古生界,中部为中、上元古界,新生界地层发育较全,厚度达5 000 m以上。

历史资料表明,1976年唐山7.8级地震影响北京市的烈度异常区,以夏垫断裂最为明显,自西集、夏垫、王辛庄,再向北方向至新城子。这些异常区形成一条北东向烈度异常带,并且与夏垫断裂的展布一致。

西集台也是唐山地震时北京受灾最严重的地区,西集上坡至和合站村地面裂痕近50 cm,长达1.5 km,上下错动近1 m^[9]。据此推断,西集台与昌平台应变差异是由于地理和地质环境影响所造成的。昌平台距离断层较远,应力积累和超低频形变明显,在震前受到自下而上的撞击力时,以张性脉冲为主,挤压脉冲与张性脉冲交替发生,几乎看不到粘

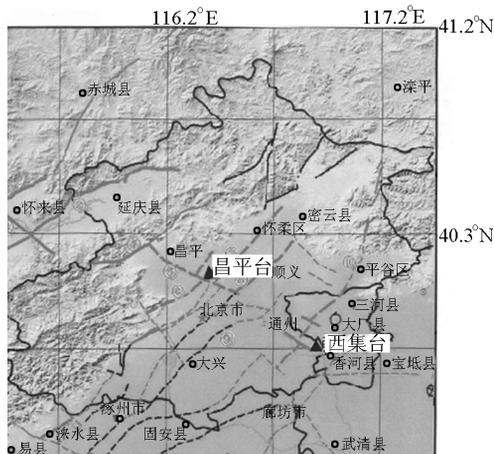


图9 昌平台与西集台所处断层位置图
 Fig. 9 The faults where Changping and Xiji stations located

滑性位移,见图7(b);而西集台附近就是活断层,应力积累困难,沙层日变幅差清楚,在受到自下而上的撞击力时,断层活动明显,挤压性脉冲与弛张性脉冲交替发生,幅度大到单向限幅,以断层粘滑波形为主,形变位移清楚,见图7(c)。

4 讨论

昌平和西集沙层应力仪在8.0级汶川地震前的阶段性变化,重复和再现了地震前明显的加载、卸载过程,尤其是短临阶段的扰动、震前平静以及临震信号等阶段性特征信息,符合以往震例总结出来的孕震物理模型,为破坏性地震的预测提供了重要的启示。

文献[10]对中国钻孔应变台网观测到的昆仑山8.1级大地震的应变阶资料的研究结果表明:记

录到的阶跃变化在地震比较活跃的北方地区北京昌平等台,在 2 000 km 外都观测到比理论值大 1 ~ 3 个量级的体应变阶跃变化;而构造比较稳定的南方地区(徐州以南)却没有一个台有明显的应变阶跃变化。由此产生这样的推断:远处地震所造成的观测点的应力变化,并非只决定于震源的断层滑动,而是同时与观测点附近的构造以及地震活动性相关。

文献[11]对收集的 2008 年 2 月 21 日至 5 月 12 日 FY-2C 红外-波段卫星遥感图像的解析和分析,发现 2008 年 3 月 18 日(汶川地震前 55 天)华北、华南地块(延续到部分东北地区)出现了卫星热红外增温异常,而 4 月 30 日至 5 月 12 日是汶川地

震卫星热红外异常的重要阶段,5 月 1 日孤立地热异常区面积达到最大。

对台站临震地脉动记录特殊频率波动现象的初步研究发现^[12],汶川地震前距离震区较近的武都地震台整点观测序列 0.005 ~ 1 Hz 频段的傅里叶谱部分结果可以看出,2008 年 5 月 10 日傅氏谱的振幅值由波动开始增大。同时,随着汶川地震时间段逼近,谱振幅峰值存在向 0.15 频段附近偏移的特征。

由表 1 可见,沙层应力仪所记录到的短临异常变化与较大尺度的卫星热红外、地磁低点位移及地脉动等项目所观测到的异常在时间上具有明显的同步性。

表 1 汶川地震前沙层应力仪短临异常与其他观测结果的时间比较

Table 1 Time comparison of Wenchuan Earthquake shoot-term and impending anomaly observed by sand layer stress instrument and other observation methods

沙层应变 短临阶段 特征	观测项目	异常起始 时间 /年-月-日	异常开始 到地震 发生时间/d	异常地区	异常描述
日变幅差变化	沙层应变	2008-04-01	42	北京昌平	日变幅差消失
	沙层应变	2008-03-24	49	美国加州	大幅度震荡脉冲
	卫星热红外	2008-03-18	55	华北、华南至武汉重庆	卫星热红外增温
震前平静	沙层应变	2008-04-26	16	昌平	平静
	沙层应变	2008-04-30	13	北京西集	大幅度震荡脉冲
	卫星热红外	2008-05-01	12	武汉重庆	孤立地热异常区面积达到最大
临震信号	沙层应变	2008-05-09	3	昌平	临震脉冲
	地磁垂直分量	2008-05-09	3	福建、广西、四川、山西等地	双低点异常
	临震地脉动	2008-05-10	2	武都	傅氏谱的振幅值增大

文献[13,14]分析了我国超长周期(360 ~ 3 000 s)地震监测台站 2001 年 11 月份记录到的高强颤振事件与 2001 年 11 月 14 日昆仑山 8.1 级大震之间的关系。通过观察大尺度地层内分层运动以及地层垂向同步运动,认为其层块的尺度可大到数千公里洲际尺度。认为当层块被启动成为大范围运动时,层块中的某些局域,还可同时再另被激发特定的高强颤振。

距汶川地震震中 1 500 km 的北京昌平和西集台以及相隔数万公里美国加州的沙层应力仪与卫星热红外、地磁低点位移及地脉动等项目准同步记录到的短临异常信息,则进一步证实了地震是地球深部构造运动的产物,地震前兆的大尺度异常应该是来源于地下深部的信息。

图 10 是对汶川地震临震信号前后振荡波形的剖析,可以看到连续的、恒幅的、频率为每分钟 4 ~ 15 次的张性脉冲,试验表明这种波形是地壳受到撞击力形成的,张性脉冲显示这股撞击力是自下而上作用的。

北京昌平、西集沙层应力仪在汶川地震前后的观测资料显示:汶川地震前兆的差异与其所处断层位置和断层活动状态有直接的关系。大地震前断层的活动具有相对性,即强震断层与无震断层在一定的条件下可以互相转变,地震高潮期某些不活动的断层可能变成活断层,地震平静期活断层也可能变为死断层。因此,采用适当频带的仪器,对活动断层与非活动断层的台网实时监测,根据台站所处位置的构造环境,综合分析观测资料动态变化的细微差

别,提取异常,可能是短期地震预测的一种有效方法。文章在追踪检测过程中仅对记录到的汶川 8.0 级地震的前兆信息予以介绍,未做相应的理论分析

和深入探讨,是介绍并提供了震前检测记录到的相关信息说明汶川 8.0 级地震是有前兆的。

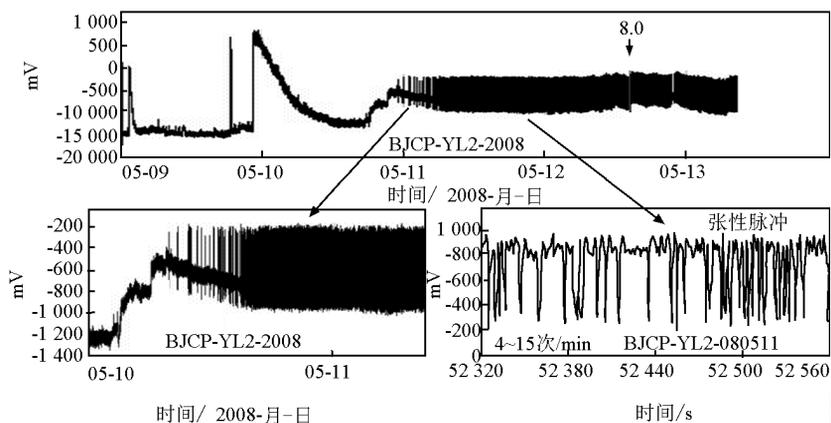


图 10 汶川 8.0 级地震前地壳受到自下而上撞击力的波形

Fig. 10 Waveform of impact force from below endured by crust before Wenchuan Earthquake

致谢:中国地震局监测预报司和北京市地震局于 2007 年 10 月在昌平地震台和西集地震台各安装一台沙层应力仪,昌平地震台和西集地震台工作人员的辛勤劳动,保证了监测数据的可靠性和连续性,才能获得完整的汶川地震前兆资料;承蒙李珩院士和许绍燮院士及陆刊权教授审阅本文,并提供了许多宝贵的建议和指导,在此一并致谢。

参考文献

[1] 孙 威. 破坏性地震是可以预测的[J]. 中国工程科学, 2007, 9(7): 7-17

[2] 孙 威, 孙晓明. 印度洋 8.7 与 8.5 级地震的物理前兆[J]. 中国工程科学, 2008, 10(2): 14-25

[3] 王玉莹, 佟晓辉, 石艳丽, 等. 新台站应变短期异常与地震的关系探讨[J]. 东北地震研究, 2005, (3): 56-61

[4] 王玉莹, 佟晓明, 孙 威. 1999 年岫岩 M_s5.4 级地震前震、主震、余震应变异常特征的研究[J]. 地学前缘, 2003

[5] 胡久常, 刘 伟, 郭明瑞, 等. 汶川特大地震前地磁垂直分量日

变“双低点”异常[J]. 国际地震动态, 2008, (11): 66

[6] 张凌空. 昌平台 2004 年和 2005 年印尼地震体应变观测报告[J]. 地壳构造与地壳应力, 2005, (1): 14-15

[7] 陈绍绪, 张跃刚. 应用大地水准测量资料研究北京地区现今断层活动[J]. 山西地震, 2003, 4(2): 9-13

[8] 高清武, 李 宽. 夏垫断裂氢释放与地震活动的关系[J]. 地震学报, 1998, 7(4): 432-436

[9] 张肇基. 唐山地震时的通县[J]. 北京文史, 2006, (1)

[10] 邱泽华, 石耀霖. 观测应变阶在地震应力触发研究中的应用[J]. 地震学报, 2004, 9(5): 481-488

[11] 魏乐军, 郭坚峰, 蔡 慧, 等. 汶川 M 8.0 地震前的卫星热红外异常[J]. 国际地震动态, 2008, (11): 55

[12] 杨立明. 汶川地震临震地脉动记录特殊频率波动现象及其重现性初步研究[J]. 国际地震动态, 2009, (1): 14-19

[13] 许绍燮. 大尺度地层内的分层运动[J]. 中国工程科学, 2006, 8(6): 14-22

[14] 许绍燮. 地层大尺度运动的一次记录[J]. 国际地震动态, 2006, (8): 1-5

(下转 158 页)