

[编者按] 这是一篇重要文章。本文报道了山丹地应力监测站观测到的同震和震前地震阶跃现象, 这一发现对地震研究和地震预报具有十分重要的意义。地震预报是当前国际上公认的一个难题, 要实现地震预报还有很长的路要走; 作者开发的体积式应变仪为地震预报研究提供了一个重要手段。本文所提出的震前应变阶跃现象为地震预报的探索增强了信心。不过, 这种现象目前只是在一个钻孔内仪器观测到的“一孔之见”, 还需要通过多台站(或台网)进行大量观测, 捕捉震前阶跃现象, 深入研究其机理; 同时, 我们希望能有更多的专家、学者从不同角度提出“一孔之见”, 为地震预报研究做出贡献。

山丹地应力监测站体应变仪的地震效应

彭 华, 马秀敏, 姜景捷

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 本文简要介绍了山丹地应力监测台站的概况, 用多种方法对该台站安装的 TYB-2000A 体应变仪在 2007 年 8 月至 2008 年 7 月记录的 174 次 $M_s 4.0 \sim M_s 8.6$ 地震数据进行了处理与分析, 其中汶川地震及余震共 85 次, 并与其他台站记录的地震资料进行对比, 对记录的应变地震波、同震应变阶跃、地震前后地球自由振荡的变化及其所包含的物理意义等信息深入分析, 揭示出地震前后应变波的变化规律, 为今后的地震预测和灾害防治提供了科学依据。

关键词: 汶川地震; 体应变; 应变地震波; 同震应变阶跃; 地球自由振荡; 映震能力

中图分类号: P553, P315

文献标识码: A

2008 年 5 月 12 日, 在我国四川的汶川县发生了 8.0 级特大地震, 造成了巨大的人员伤亡和经济损失, 震感波及全国, 远在 844 公里以外的山丹地应力监测站钻孔应变仪记录了地震的全过程。这次地震震级之大, 波及之广, 实属罕见, 震前丰富的应变资料, 主震强烈的应变地震波和超强的同震应变阶跃表现出与以往地震不同的现象。同时, 也记录到了大量 4.1 级以上的余震, 深入对这些信息的分析, 与其他台站记录的地震资料进行对比, 研究应变地震波、同震应变阶跃及其所包含的物理意义, 揭示应变地震波的本质, 是准确识别震前异常的前提和基础。

收稿日期: 2008-07-19

基金项目: 中国地质调查局“深孔水压致裂地应力测量系统的研究”(编号: 1212010760306)项目成果。

作者简介: 彭华 (1964-), 男, 研究员, 主要从事地应力测量及相关测量仪器研制、地壳稳定性调查与评价、地质灾害、岩体稳定性和岩石力学与工程施工等方面的研究工作, E-mail: penghua1964@yahoo.com.cn.

1 山丹地应力监测台概况

山丹地应力监测台位于甘肃省山丹县大佛寺, $101^{\circ}00'21''\text{E}$, $38^{\circ}47'45''\text{N}$, 海拔高程 2340.00m。地处青藏高原东北侧外围的河西走廊地区, 按地质力学构造体系观点, 其所处的大地构造部位属于祁(连山)—吕(梁山)—贺(兰山)山字型构造体系的西翼反射弧, 同时祁连山北缘断裂构造是青藏反 S 型构造体系。根据板块构造的理论, 河西走廊地区属于青藏亚板块的甘青地块北部边界地带。

本区地处青藏高原北侧外围, 在中生代末—新生代早期受印度板块与欧亚板块的碰撞及持续至今的向北推挤作用远程效应的影响, 区内变形十分强烈, 最特征的表现形式是阿尔金活动断裂带的大规模左行平移、祁连山的大规模隆升、河西走廊的相对强烈凹陷。

台址选在祁连山山前一龙首山活动性断裂的之间, 北西向河西走廊中央的山丹花岗岩岩株中央, 属于应力—应变反应敏感区。岩性系花岗岩, 观测站东距大佛寺 1km, 北西南三方向距居民点较远, 观测环境符合观测要求。山丹地应力监测台现有 TYB-2000A 型体积式应变仪和三分量应变仪。台站无人值守。仪器采用遥控和遥测记录, 可清晰地记录到 2000 格值幅度的应变固体潮, 表明仪器的分辨率已达到 $10^{-11}\epsilon$ (固体潮幅度 $10^{-8}\epsilon$)。为消除干扰, 还安装了大气压、钻孔水位、水温、岩石孔隙压力辅助观测手段, 台站井上和井下仪器采用 RS485 总线结构, 各设备用网卡连接形成星形结构局域网, 中心服务器与现场远程通讯采用 GPRS 和 CDMA 组成的 VPN 专用网络, 数据通过 Internetnet 传输, 存储在中心服务器上^[1~3]。

应变仪安装是采用膨胀水泥将其与井壁岩石固结在一起, 由于水泥固结经历初期发热升温、膨胀剂持续膨胀和自然降温过程, 新安装探头读数初期上升(一般 2 个星期), 中期下降(一般 1~2 个月), 然后再缓慢上升(3~5 个月), 当探头和固结体与基岩温度均一化和固结体膨胀与探头变形、岩石变形互相协调一致时, 探头压力读数就稳定了。山丹台站建于 2007 年 7 月, 8 月初开始获得向上漂移幅值 1600 个单位的固体潮曲线, 由此表明该体应变仪精度达到了 $10^{-10} \sim 10^{-11}\epsilon$ 。

钻孔应变仪采用液压式封闭结构, 可动的机械元件较少, 耐振动, 频带较宽, 其低频和高频特性好, 由于将 24 位 AD 转换置于探头顶端的仪器舱中, 其工作环境稳定, 避免了外界的干扰, 记录动态范围大, 信息不失真, 既可记录地应力的长期变化, 也能较好地测量地震波, 测量范围数百赫兹~数千赫兹, 是宽频~超宽频地震仪发展的一个方向。

地震波动造成地壳中各质点的位移、速度、加速度, 使岩体中产生应力和应变的波动。地震波地面位移表达式为^[4~13]:

$$A = A_0 \sin \omega \left[t - \frac{x}{V} \right]$$

式中, ω 为角频率 ($2\pi f$); V 为地震波传播速度; 则相应的应变波动分量为:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial A}{\partial X} = \epsilon_{x0} \cos \omega \left[t - \frac{x}{V} \right] \\ \epsilon_y &= \frac{\partial A}{\partial Y} = \epsilon_{y0} \cos \omega \left[t - \frac{y}{V} \right] \\ \epsilon_z &= \frac{\partial A}{\partial Z} = \epsilon_{z0} \cos \omega \left[t - \frac{z}{V} \right] \end{aligned}$$

式中, ϵ_{x0} 、 ϵ_{y0} 、 ϵ_{z0} 应变波动振幅分量。

而体应变 ϵ_v 为:

$$\epsilon_v = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z$$

Sacks、Evertson、坂田正治和古屋逸夫等科研工作者均曾对地震波在应变仪上的反应作过理论分析, 将应变仪的地震波记录与地震仪的记录作了对比, 表明记录结果一致^[14~15]。

体应变仪能很好地记录 P 波、S 波、瑞雷波, 而 SH 分量的勒夫波由于不能产生面应变, 不会导致体应变仪腔室体积的变化而记录失败。山丹地应力监测台站采用地质力学研究所研制的 TYB-2000A 体应变仪, 测量精度高, 大潮期间可记录到固体潮幅度达 2000 个格值单位, 分辨率达 $10^{-11}\epsilon$, 动态范围 140db, 频率响应宽 (0~20Hz), 采集速度快 (0.25~10Hz), 是亚固体潮地球自由振荡、大地脉动、固体潮及远震地震波研究的较好仪器。自 2007 年 7 月至今完整地记录了许多远震、极远震的地应变波动, 获取了许多十分完整的应变地震波形。见图 1~图 3。

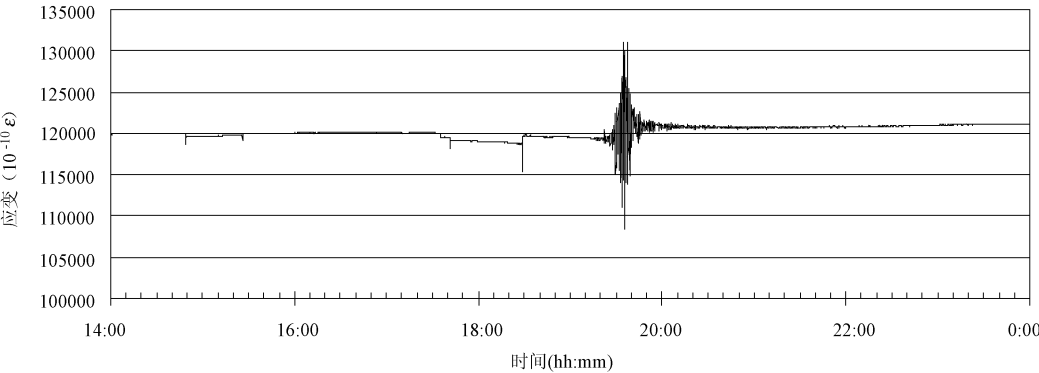


图 1 2007 年 9 月 12 日印尼苏门答腊南部海中 M_s 8.5 级地震应变地震波

Fig. 1 Seismic strain wave of the M_s 8.5 earthquake in southern Sumatra in the sea, Indonesia, on September 12, 2007

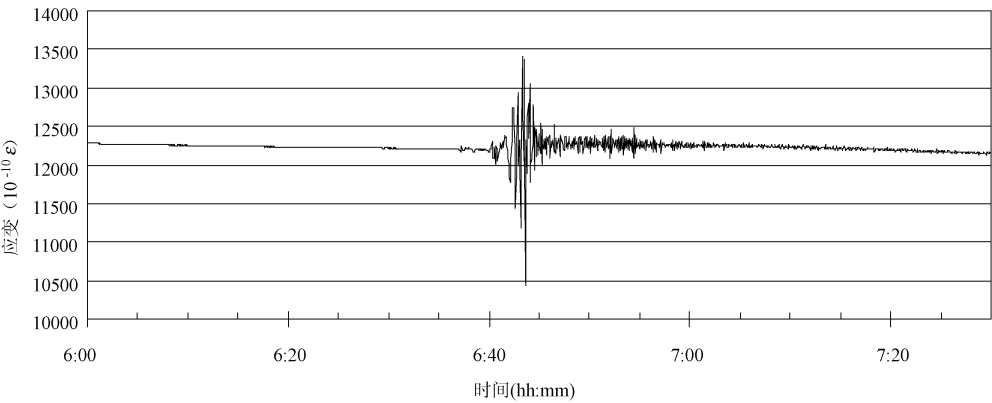


图 2 2008 年 3 月 21 日于田 M_s 7.3 级地震应变地震波

Fig. 2 Seismic strain wave of the M_s 7.3 earthquake at Yutian in March 21, 2008

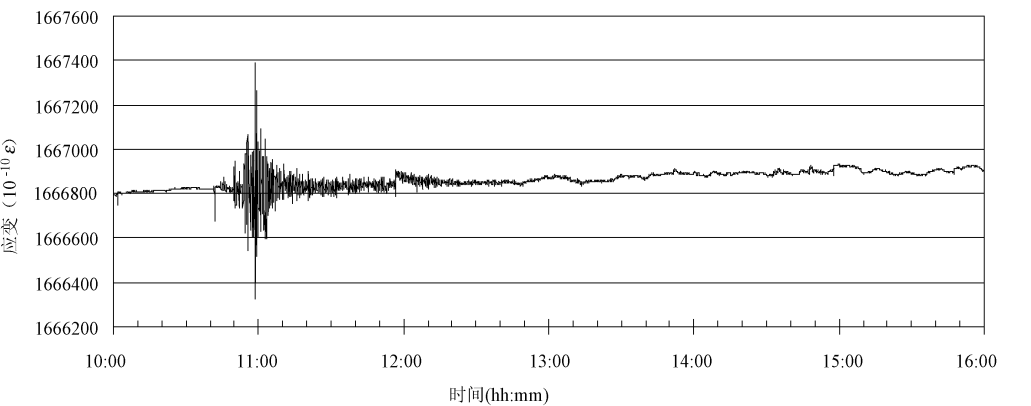


图 3 2008 年 7 月 19 日日本本州东海岸近海 $M_s7.3$ 级地震应变地震波
Fig 3 Seismic strain wave of the $M_s7.3$ earthquake at the east coast of Japan's Honshu, on July 19, 2008

2 地震前后的地球自由振荡

大地震发生时，地球局部受到激发，会使地球整体以一些固定的频率产生连续性振动，这种现象称为地球自由振荡。19 世纪末期，Lamb 从理论上推论出了地球自由振荡的存在，并且认为它包括球型振荡和环型振荡两种类型^[16]。Benioff (1961)^[17] 等用应变地震仪和摆式地震仪两种仪器准确观测到了智利大地震激发的长周期地球自由振荡。研究地球的自由振荡，对了解地球密度和弹性结构、地球的非完全弹性以及地震的震源机制等，都有重要作用。

邱泽华 (2002) 等用钻孔应变仪观测资料提取到了 2004 年 12 月 26 日印尼苏门答腊地震激发的地球球型以及环型自由振荡^[18]。山丹台站也获取了大量的地震激发地球自由振荡，见图 4 所示，2008 年 5 月 30 日发生在青川 4.0 级余震引起的振荡，振荡周期在 600 ~ 1200 秒，持续数小时而不歇。

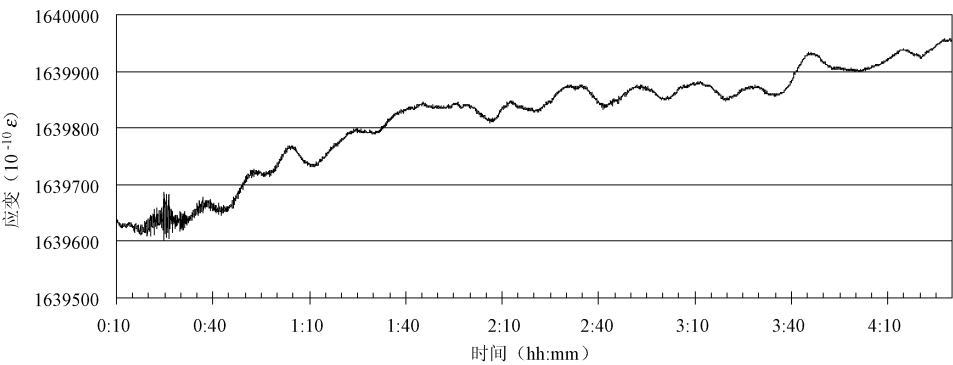


图 4 2008 年 5 月 30 日发生在青川 4.0 级余震引起的振荡
Fig 4 Oscillations of 4.0 aftershock at Qingchuan, on May 30, 2008

地球自由振荡不都是由地震产生的，海潮海浪、核试验、滑坡、山崩甚至风暴都有

可能引起持续时间较长、周期数百秒 ~ 数千秒的地球自由振荡^[19]。地球自由振荡会引起地壳岩石的应力周期性波动，甚至引发地震。地震会影响和改变振荡状态，2008 年 07 月 17 日 06 :58 :22 3 在青海唐古拉西 5.3 级地震和 2008 年 07 月 13 日在台湾恒春海域 $M_s6.0$ 级地震震前震后的地球自由振荡发生改变（见图 5 和图 6），周期 600 秒左右，持续数小时，主要变化有：震前振荡强烈，地震后其振型、振幅会改变，周期和振幅变小，这种改变意味着地壳振荡能量的改变，其影响范围极其广泛，其物理过程值得进一步研究，可能对地震预测有帮助。

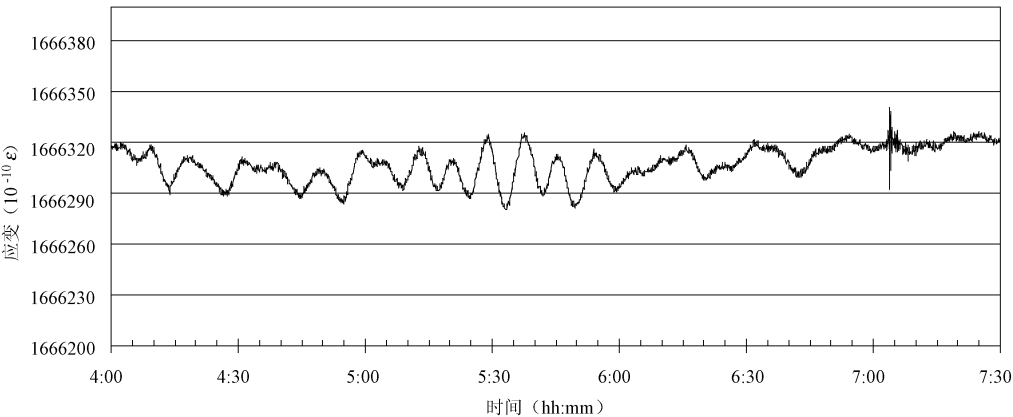


图 5 2008 年 07 月 17 日 06 :58 :22 在青海唐古拉西 5.3 级地震前后的地球自由振荡
Fig. 5 The Earth's free oscillations before and after $M_s5.3$ earthquake west of Tanggula Mountains, Qinghai at 06 :58 :22 on July 17, 2008

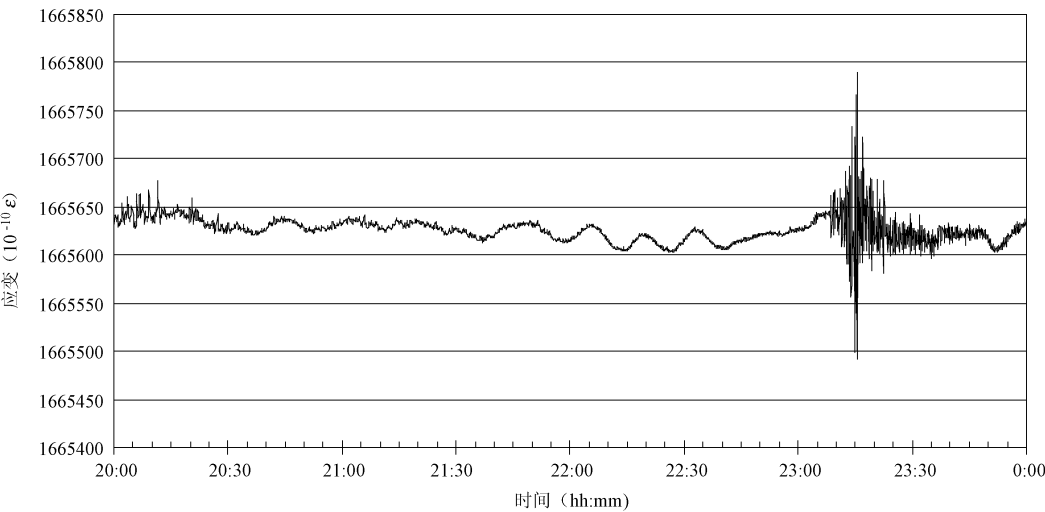


图 6 2008 年 07 月 13 日台湾恒春海域 $M_s6.0$ 级地震前后的地球自由振荡
Fig. 6 The Earth's free oscillations before and after $M_s6.0$ earthquake in the sea area of Hengchun, Taiwan, on July 13, 2008

3 体应变观测映震能力

将2007年8月2日至2008年7月19日体应变值逐一绘制成图形，与地震目录比较，发现共174次地震记录到了地震应变波，震级全部落在 $M_s > 4.0$ 范围，统计结果见附表。计算所有 $M_s > 6.0$ 级的地震，并取对数，台站映震能力表达式为：

$$M_s = -1.85 + 2\lg D$$

式中： M_s 为面波震级； D 为台站震中距。

根据上式可知，山丹台体应变映震能力为： $M_s 4.0$ 级地震，843km； $M_s 5.0$ 级地震，2668km； $M_s 6.0$ 级地震，8438km； $M_s 7.0$ 级地震，26683km，由于最大震中距为半个周长，因此，地球上任何一点发生6.5级以上的地震，应变仪都能记录到地震应变波。

4 应变地震波最大振幅与震级和震中距的关系

山丹地应力台站在四川汶川8.0级地震期间记录了大量的地应变数据资料，4.0级~8.0级地震140多次。见图7、图8和图9，记录的应变地震波频谱宽，由表1可看出：应变地震波最大振幅 F 总体上与震级成正比，与震中距成反比，可用来计算震级。

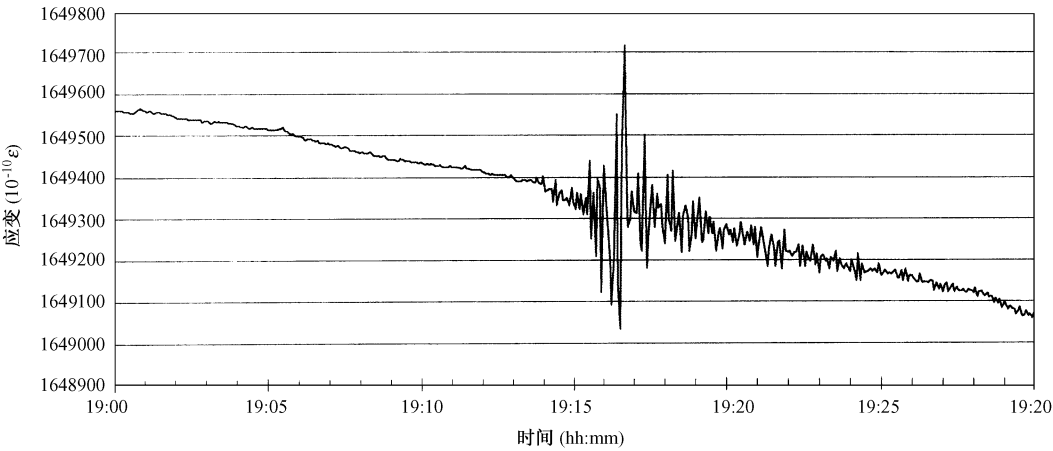


图7 2008年5月12日19:10:58汶川6.0级余震应变曲线（汶川8.0级地震余震）

Fig.7 Strain curve of the $M_s 6.0$ Wenchuan aftershock at 19:10:58, May 12, 2008
(aftershock of the $M_s 8.0$ Wenchuan earthquake)

回归分析结果：震级与应变地震波最大振幅的对数成正比，与震中距对数成正比。回归方程如下：

$$M_s = a \times \lg F + b \times \lg D + c$$

式中： a 、 b 、 c 皆为常数，且 $a=0.52$ ； $b=1.75$ ； $c=0.45$ 。

根据上式，可通过应变地震波最大振幅和震中距计算地震震级。

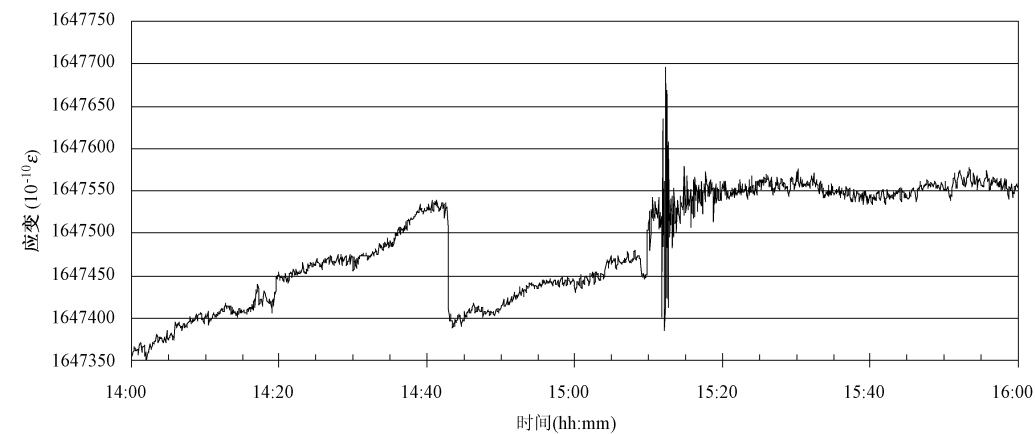


图 8 2008 年 5 月 13 日 15 时 07 分汶川 6.1 级余震应变曲线 (汶川 8.0 级地震余震)

Fig 8 Strain curve of the $M_s6.1$ Wenchuan aftershock at 15:07, May 13, 2008
(aftershock of the $M_s8.0$ Wenchuan earthquake)

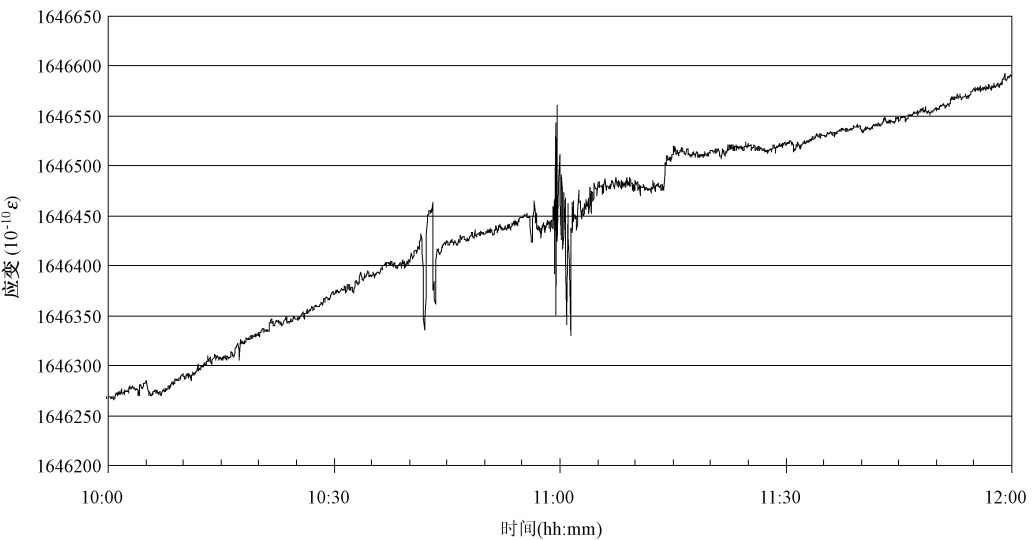


图 9 2008 年 5 月 14 日 10 时 54 分汶川 5.6 级余震应变曲线 (汶川 8.0 级地震余震)

Fig 9 Strain curve of the $M_s5.6$ Wenchuan aftershock at 10:54, May 14, 2008
(aftershock of the $M_s8.0$ Wenchuan earthquake)

5 应变阶跃

长期的应变监测表明：地壳岩石应力是变化的，主要反映在应变波动和应变阶跃，应力波动为应力周期性变化所致。应变阶跃是指应力短期变化所形成的应变台阶式变化，分正应变阶跃和负应变阶跃^[20~22]。

5.1 同震应变阶跃

应变仪在记录地震波的同时，也常常会记录到同震应变阶，反映震源应力场的改变或地

震波触动使局部应力场发生改变。近震的同震变化较大，在 $10^{-8} \sim 10^{-5}\epsilon$ 之间，但远震的同震应变阶较小，属亚固体超级 ($< 10^{-8}\epsilon$)。要准确记录到幅度不大的同震应变阶，必须具备以下两个条件：一是仪器须有高灵敏度，要配备动态范围达 140~160db 的数字化记录设备（现已能清晰地记录到 10^{-10} 量级的应变阶）；二是井下仪器（探头）要有足够的抗震能力，以防止实测结果的失真。

通常震中距较小时，同震应变阶跃以单纯阶跃为主，数值有正有负，与震源过程的应变异常空间分布有关，代表震源区应力场的改变；而当震中距较大时，这种阶跃具有脉冲形式，曲线有一个往返变化，有的幅度极大，不可能由震源的应变远场效应所产生，其形成的物理机制还有待于研究。对应变阶跃的观测分析，无论是其极性、还是其幅度值（尤其是两者的空间分布）都有重要理论意义，有助于震源物理的研究和地震预测。

对于较大的地震，应变仪在记录到地震应变波动的同时，还会记录到幅度大小不一的阶跃性变化，如汶川 8.0 级大地震阶跃可达 $1.10 \times 10^6 \text{ n}\epsilon$ ，见图 10 所示，记录曲线进行低通滤波，去除地震波动后所生成的曲线，可见明显的阶跃现象。

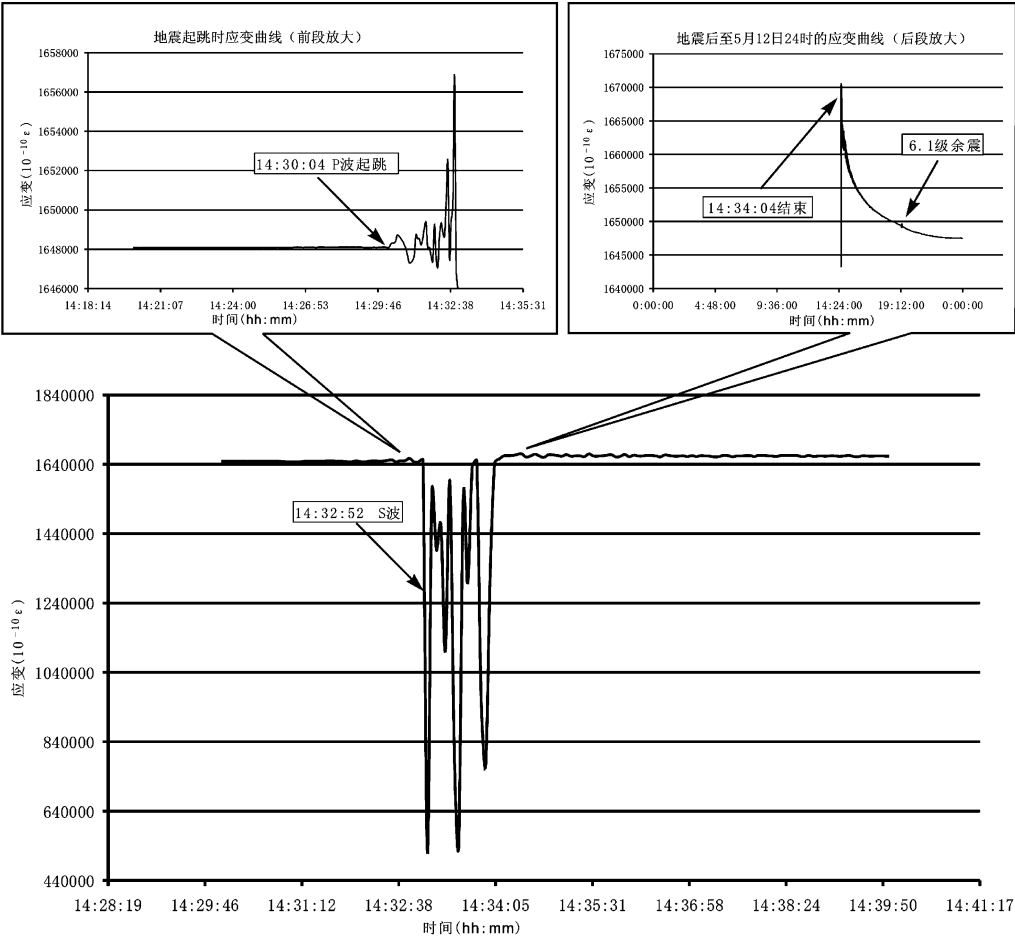


图 10 2008 年 5 月 12 日 14 点 28 分地应变监测曲线（汶川 8.0 级地震）
Fig 10 Strain monitoring curve at 14:28 May 12 2008
(aftershock of the $M_{\text{s}}8.0$ Wenchuan earthquake)

汶川 M_s 8.0 级地震在 844km 远的山丹地应力台站引起了幅值极大 ($1.10\times 10^6\text{ n}\epsilon$) 的同震应变阶跃, 在如此远的地方产生如此大的阶跃, 持续时间达 1 分 08 秒, 与面波波动过程一致, 那么, 地震远程产生的同震应变阶跃是否就是由面波所产生? 还有待于进一步研究。2007 年 08 月 16 日发生在秘鲁海岸近海 M_s 7.8 (图 11) 及 2007 年 09 月 20 日发生在印尼苏门答腊南部海中的 M_s 6.9 级地震 (图 12), 产生数百~至数千格值的负阶跃, 数小时才恢复。

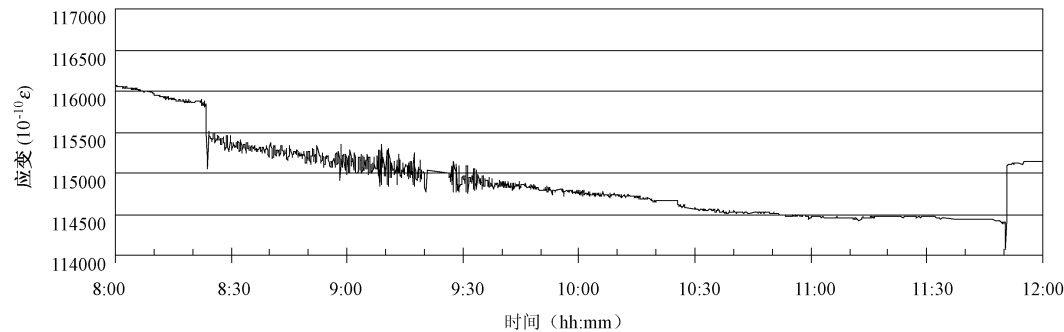


图 11 2007 年 8 月 16 日 07 :40 :58 在秘鲁海岸近海 M_s 7.8 级地震产生负应变阶跃

Fig. 11 Negative strain step of M_s 7.8 earthquake in the coast of Peru at 07 :40 :58, August 16, 2007

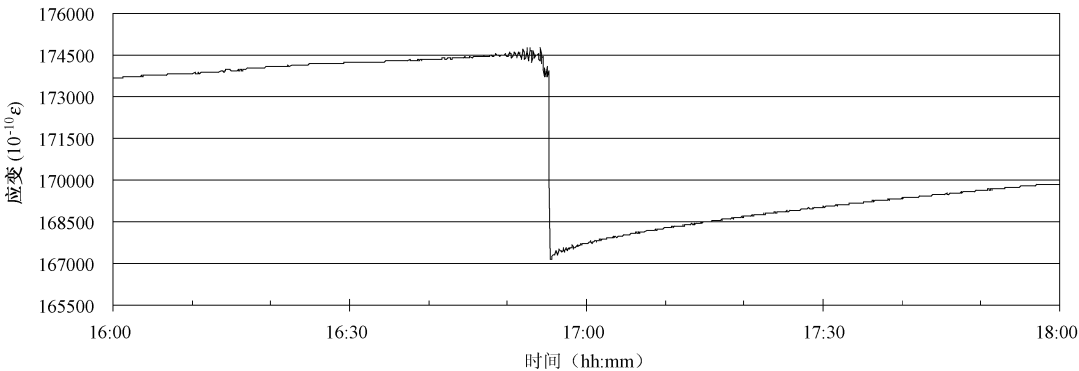


图 12 2007 年 9 月 20 日 16 :31 :13 在印尼苏门答腊南部海中 M_s 6.9 地震产生负应变阶跃

Fig. 12 Negative strain step of M_s 6.9 earthquake in the sea south of Sumatra, Indonesia at 16 :31 :13, September 20, 2007

5.2 震前应变阶跃

地震是指地壳岩石在地应力作用下应变能量积累导致岩石突然破裂的过程。地震孕育模式为“形变(或应力)逐渐积累—达到一定极限—岩石破裂(地震发生)—变形(应力)基本恢复原值”。地震前兆孕育过程是复杂的非弹性过程, 在地下能量释放之前, 必然存在地壳能量的储存积累、运移调整及受到触发等过程。这种以机械能量释放的力学过程, 伴随着地下物质的变形和运移, 地下流体的变化, 导致电场、磁场、热场等地球物理场的变化, 最重要的是地壳的各种形变, 尤其是震前微破裂的发育, 使地壳岩石应力发生调整, 形成震前应变阶跃。

汶川 8.0 级地震在山丹地应力台站有明显的应变前兆异常, 在地震前 46 小时, 8 小时, 37 分钟都有明显的临震异常, 应变波如图 13 所示。于田 7.3 级地震前 15 小时和 17 小时也

有明显的应变阶跃（图 14）。俄罗斯鄂霍次克海 7.6 级地震前一天也有强烈的应变阶跃（图 15），但应变阶跃远程应变异常的物理机制非常复杂，可能代表了与地震密切相关的上地幔—岩石圈尺度的物质变形和运移变化，含义及其所包含的地震信息还有待于进一步研究。

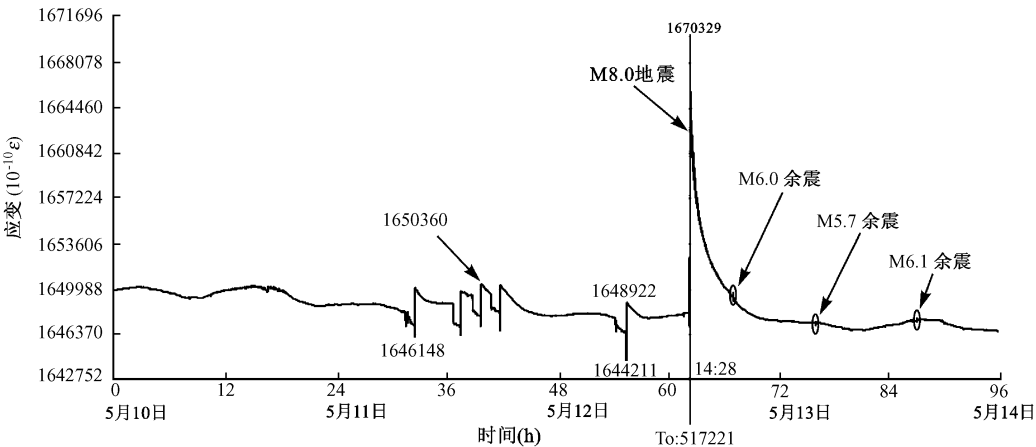


图 13 汶川 8.0 级地震前应变前兆异常分布图 (2008. 5. 10~5. 14)

Fig. 13 The distribution of strain anomaly before the M_s 8.0 Wenchuan earthquake (2008. 5. 10 ~ 5. 14)

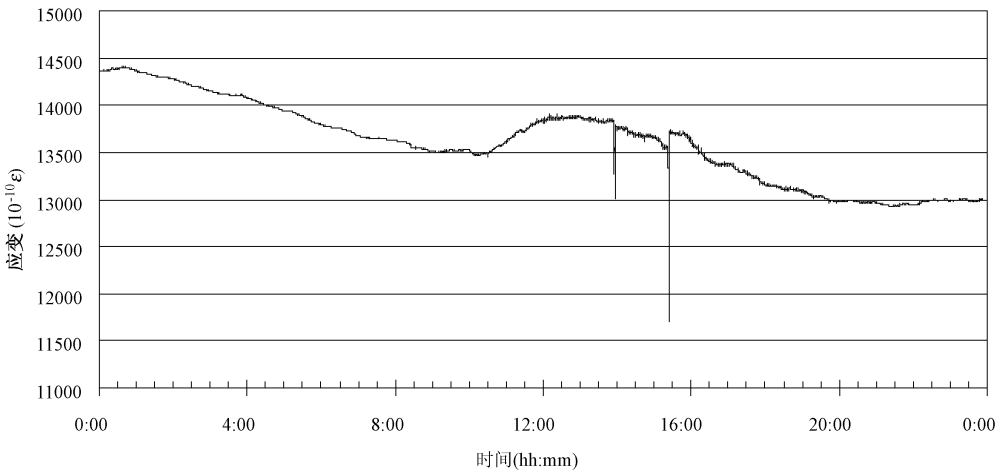


图 14 于田 7.3 级地震前一天 (2008. 3. 20) 应变阶跃

Fig. 14 Strain step on the day before the M_s 7.3 Yutian earthquake (2008. 3. 20)

6 结论

通过对山丹台站体应变资料的分析表明，山丹台映震能力较强，距台站近 850km 范围内 4.0 级以上地震波信息都能记录到；不仅能记录到应变地震波，还可以记录到地震前后的应变波动及应变阶跃，大震震前都有明显的应变阶跃现象；同震阶跃是由地震变形或地震波触发引起的应变突跳，近震引起的阶跃大而一般不能恢复；远震引起的阶跃一般可恢复，小震引起的同震阶跃小，恢复时间较短，大震引起的同震阶跃大，恢复时间较长。应变地震波

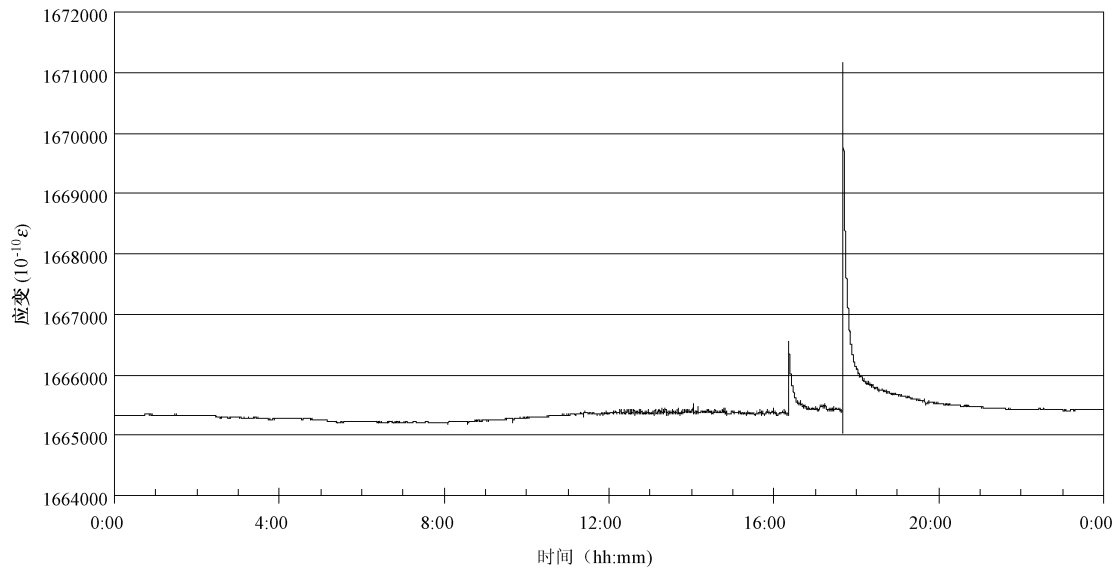


图 15 俄罗斯鄂霍次克海 7.6 级地震前一天 (2008. 7. 4) 强烈的应变阶跃
Fig 15 Strong strain step at on the day before the M_s 7. 6 earthquake at the Sea of Okhotsk, Russian

可识别震相, 根据震相可计算震中距和震级。山丹应变仪的频率响应范围较宽 (可达 0 ~ 数十赫兹), 清晰地记录了许多长周期 (数百 ~ 数千秒) 的波动, 持续数小时 ~ 数十小时, 代表了地球尺度的自由振荡, 这种振荡有的在地震前就很强, 而且地震前后有改变。但是, 对于同震效应的阶跃与震级、震中距、震源深度, 乃至震源及钻孔周围的地质构造之间的关系等, 还需以后进行深入地研究和总结。

参 考 文 献

[1] 彭华, 吴珍汉, 马秀敏. 青藏铁路无人值守地应力综合监测站 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 96 ~ 104.
[2] 彭华, 马秀敏, 白嘉启, 等. 甘孜玉树断裂带第四纪活动特征 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (3): 295 ~ 304.
[3] 彭华, 马秀敏. 南水北调西线工程区地震危险性分析及预测 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (1): 15 ~ 24.
[4] Peng Hua, Ma XiuMin. In-situ Stress Monitoring Network along Qinghai-Tibet Railway [A]. International Young Scholar Symposium on Rock Mechanics 2008 [C]. A. A. Balkema Publishers.
[5] 彭华, 马秀敏, 李金锁. 南水北调西线调水区地震活动及其对工程稳定性的影响 [A]. 青藏高原地质过程与环境灾害效应文集 [C]. 北京: 地震出版社, 2005.
[6] Cai Meifeng, Peng Hua. Stress Field Characteristics and Stability Analysis of the Special Long and Deep Buried Tunnel from Make to Keke River on West Line of South-North Diversion Water Project [A]. International Young Scholar Symposium on Rock Mechanics 2008 [C]. A. A. Balkema Publishers.
[7] Ma XiuMin, PengHua. Stress Characteristics of Dali-Lijiang parting of Yunnan-Tibet Railway and the impact of the railway project [A]. International Young Scholar Symposium on Rock Mechanics 2008 [C]. A. A. Balkema Publishers.
[8] 张志国, 彭华, 马寅生, 等. 超声波无损探伤检测在现代出土石质文物保护中的应用 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (3): 278 ~ 285.
[9] 马秀敏, 彭华, 李金锁. 新疆西部地应力测量在隧道工程中的应用 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (4): 386 ~ 393.
[10] 李金锁, 彭华, 崔巍, 等. 云南西北部铁路隧道地应力测试及工程应用 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (2): 135 ~ 144.

- [11] 李金锁, 彭华, 马秀敏. 水压致裂地应力测试方法在云南大理—丽江铁路隧道工程中的应用 [J]. 地质通报, 2006, 25 (5): 800 ~ 803.
- [12] 李金锁, 彭华, 马秀敏. 大丽线铁路隧道工程地应力三维有限元数值模拟分析 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28 (6): 643 ~ 648.
- [13] 马秀敏, 彭华, 李金锁. 襄渝铁路增建二线新白岩寨隧道地应力测量及其在岩爆分析中的应用 [J]. 地球学报, 2006, 27 (2): 181 ~ 186.
- [14] 石井紘. 新钻孔地壳活动综合观测装置的开发和观测 [J]. 东浓地震科学研究所报告, 2001 (6): 5 ~ 10.
- [15] 苏恺之. 地应力资料的物理解释 (三): 应变固体潮, 地震波和地震前兆异常 [M]. 北京: 地震出版社, 2003.
- [16] Lamb H. On the variations of an elastic sphere [J]. Lond Math Soc Proc, 1882, 13: 233 ~ 256.
- [17] Benioff H, Press F and Smith S. Excitation of the free oscillations of the earth by earthquakes [J]. Journal of Geophysical Research, 1961, 66 (2): 605 ~ 619.
- [18] 邱泽华, 张宝红. 我国钻孔应力—应变地震前兆监测台网的现状 [J]. 国际地震动态, 2002, (6): 5 ~ 9.
- [19] 石井紘. 关于伊豆半岛群发地震的观测前兆变动以及临震预报 [J]. 东京大学地震研究所报, 1999 (23): 10 ~ 13.
- [20] Itsuo Funya et al. Rayleigh Waves Recorded by the Volumetric Strainmeters at the Time of a Rather Small Volcanic Eruption [J]. Meteorology and Geophysics, vol. 42, No. 3, 1991.
- [21] 古屋逸夫. 体应变仪的理论响应 [J]. 验震时报, 1998, 47 (2).
- [22] Itsuo Funya, Atsuo Fukudome. Characteristics of borehole volume strain meter and its application to seismology [J]. J. Phys. No. 34, 1986.

ANALYSIS OF THE VOLUME STRAIN DATA FROM THE SHANDAN IN-SITU STRESS MONITORING STATION

PENG Hua, MA Xiu-min, JIANG Jing-jie

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: The authors analyzed the volume strain data recorded from July 2007 to July 2008 in the Shandan in-situ stress monitoring station by using the statistical method, made a correlation of these seismic data with those recorded from other stations and studied the strain seismic waves, coseismic strain step and its contained physical significance, thus revealing the nature of the seismic strain waves. The data trends had pronounced anomalies. The effect of coseismic variation observed by the volume strain seismograph in the Shandan in-situ stress monitoring station was mainly the tensional step.

Key words: Wenchuan earthquake; body strain, strain seismic waves; Chun-step with the strain; Earth's free oscillations; Chun-Ying capacity