

海南地区5口井水位对汶川地震的同震响应及其频谱分析*

顾申宜, 李志雄, 张 慧

(海南省地震局, 海口 570203)

摘要: 对比海南地震台网记录的汶川 $M_s 8.0$ 地震的地震波形, 分析了海南5口井的高采样率数字化水震波波形特征。采用傅立叶变换和小波分解方法, 对海南前兆台网5个台水位仪在汶川 $M_s 8.0$ 地震中记录到的高采样率数字化水震波进行了频谱分析, 结果显示地震波的不同波组激发的水震波波组差别较大, 5口井的水震波周期跨度很大, 从10多秒到1000多秒, 不同井孔的水震波幅度差别较大。同时还初步分析了水震波的形态和水震波各个频率组的形成机理。

关键词: 汶川地震; 数字化水位记录; 同震效应; 小波变换; 海南地区

中图分类号: P315.72*3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2010)01-0035-08

0 引言

水震波是指地震波引起的井孔水位震荡现象。地震学家和水文地质学家一直关注和研究这种现象, 并进行了有益的探索(刘澜波等, 1983; 刘江等, 1986; 汪成民等, 1988; 车用太等, 1989, 2004; 殷积涛, 1990; 张子广等, 1998; 舒优良, 张世民, 2003), 获得了不少有益的结果。在高采样率数字水震波分析方面, 刘江等(1986)采用差容式加速度计作为拾震器, 记录到了1985年8月5日02时45分新丰江水库 $M_s 2.4$ 地震水震波中的PG、SG震相; 舒优良和张世民(2003)将BCC差压式水位仪与采样率为50 Hz的地震数据采集器连接, 在周至深井成功记录到了2000年10月6日日本本州7.3级地震的数字化水震波波形, 并将其与陕西数字地震台网部分台站的宽频带地震记录资料进行对比研究。近年来, 随着数字化观测技术的推广, 数字化水位仪的采样率普遍达到了每分钟1次, 但海南省5口水位观测井使用的带展开装置的数字化水位仪的短时采样率更高。水位仪配备展开装置后, 当观测井水位因某些原因发生快速变化, 如水位阶跃异常、水震波等, 并超过所设定阈值时, 水位仪会自动识别并加密采样, 由每分钟1次加密到每5秒1次, 并将数据单独存放在RAM2存储器中, 因此可记录高

采样率水震波波形。

2008年5月12日四川汶川发生 $M_s 8.0$ 地震时, 海南地区5口井均记录到了水震波波形。本文对此次地震产生的水震波波形记录及其频谱特征进行了系统分析, 并对其机理进行了初步探讨。

1 观测井的基本特征

海南岛及邻区的断裂带主要分为3组, 一组为北东向, 一组为北西向至北北西向, 另一组为近东西向。海南地区的琼海加积井、三亚南滨井、火山迈仍村井、海口ZK26井等水位观测井都设置在断裂带附近(图1), 各观测井的基本特征见表1。

琼海加积井位于海南岛中生代隆起构造的东部边缘, 地处北东向南林—清澜大断裂的附近, 而北西向东寨港—清澜断裂在它的东北方约20 km处通过。钻孔位于阳江红尾盆地边缘地带, 即北东向的龙江—温泉断裂东南侧约2 km。观测层为白垩系上统(K2)砂砾岩含水层。井深525.93 m, 井孔套管口径273 mm, 套管下至井口以下11.50 m深的基岩处, 11.50 m以下为裸孔, 观测段深度为11.50~525.93 m。观测层地下水类型为裂隙承压水, 渗透系数 $K = 0.212$ 。通常水温 29.4°C , pH值7.5, 矿化度小于1 g/L。地下水受雨水渗入补给, 经短途径流后排泄于万泉河。

* 收稿日期: 2008-09-14.

基金项目: 地震科学联合基金项目(105086)资助.

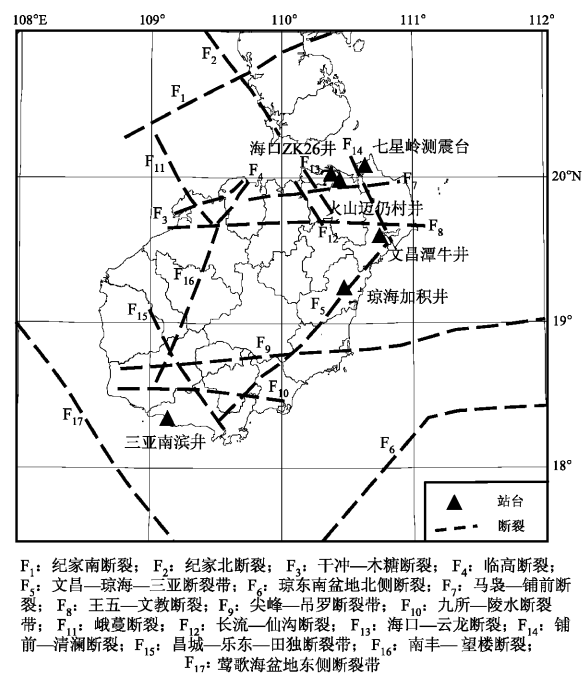


图 1 海南地区主要断裂带和台站分布图
Fig. 1 Distribution of important fault belts and water-level stations in Hainan Island

三亚南滨井位于海南岛南部近东西向的九所—陵水断裂构造带南侧，东距昌城—乐东—田独

北西向断裂带 25 km，西南距文昌—琼海—三亚断裂带 22 km。在井点的西侧和东边分别有 2 组北东向的崖城—雅亮和天涯—高峰断裂。水文地质条件上，井点位于琼南三亚市崖城自流水盆地东南部，距宁远河约 1 km，井深 104.76 m，井口直径 220 mm，常年水温 28.0℃。

文昌潭牛井位于海南马袅—铺前断裂与王五—文教断裂交汇处，距离海边 12 km 左右。井深 150.76 m，井口直径 219 mm，含水层岩性为复矿砾岩。

海口 ZK26 井井区除更新世的玄武岩外均为河流冲积和滨海沉积地层。井孔南距王五—文教断裂 35 km，北距琼州海峡断裂 15 km。北西向的海口—云龙断裂和北东东向的马袅—铺前断裂在井区以南约 10 km 处交汇。井深 706.38 m，井口直径 220 mm，常年水温 24.4℃。

火山迈仍村井井区主要发育有更新世玄武岩，地壳为河流冲积和滨海海相沉积地层。台站南距王五—文教断裂 35 km，北距琼州海峡断裂 15 km。北西向的海口—云龙断裂和北东东向马袅—铺前断裂在市区以南约 10 km 处交汇。完井深 367.64 m，目前井深 270 m，井口直径 220 mm，常年水温 23.6℃。

表 1 海南地区 5 口观测井孔的基本特征
Tab. 1 Basic features of five observation wells in Hainan area

井名	井深/m	观测层岩层	水位埋深/m	观测仪器型号和记录时间
琼海加积	525.93	K2 砂砾岩	3.1	LN-3A (1 h 记录)
三亚南滨	104.76	砂砾岩	7.58	LN-3A (4 h 记录)
火山迈仍村	276.1	细砂岩	28.0	LN-3A (4 h 记录)
海口 ZK26	706.38	砂砾岩	9.92	LN-3A (1 h 记录)
文昌潭牛	150.76	复矿砾岩	1.56	LN-3A (1 h 记录)

2 五口井水位同震响应特征

2.1 完整的水震波记录

2008 年 5 月 12 日四川汶川 $M_s8.0$ 地震发生时，5 口井中有 4 口记录到了水震波。由于三亚南滨井和火山迈仍村井水位仪启动加密采样记录的阈值设置得比较低，在地震波到达前就已经开始加密采样记录，连续记录时间长达 4 h，因而记录到较完整的水震波，而加积井和海口 ZK26 井水位观测仪的启动阈值设置比较高，水震波记录不完整，可能缺头。为了把水震波与地震波进行对比

分析，我们把海南测震台网的七星岭地震台记录到的汶川地震的地震波形作为基础，把地震波和水震波画在同一个时间坐标上（图 2）。

为了让波形之间能大体对应，我们将南滨井数据在时间轴上向右平移 3 min，迈仍村井数据则向右平移了 30 s。两口井到地震震中的距离差小于 1°，其地震波到时差应不大于 15 s，由此看来水位仪时钟存在一定的误差。由图 2 可见，南滨井和火山迈仍村井的水震波与地震波波形基本类似，水震波中也出现了相当明显的 P 波、S 波、面波和尾波等波组（注：水震波波组名称仅表明它可能是由相应的地震波波组所引起的，下同）。与地震波

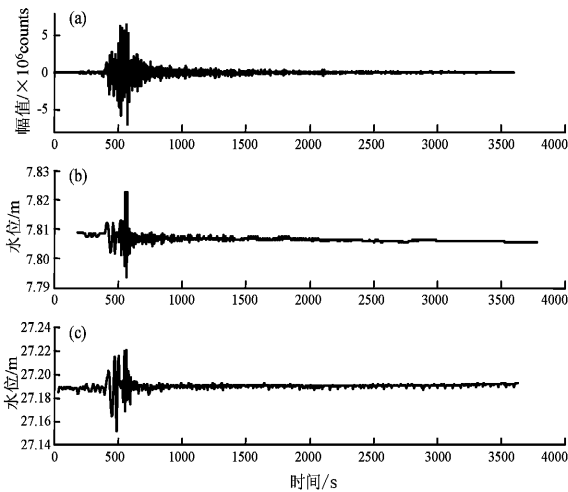


图 2 海南台网在汶川地震时记录到的地震波与水震波波形对比图

- (a) 七星岭地震台地震波形，起始时间为 14:28:00；
(b) 三亚南滨井水震波，起始时间为 14:28:01；
(c) 火山迈仍村井水震波，起始时间为 14:28:03

Fig. 2 Comparison between seismic waves and water-seismic waves of Wenchuan Earthquake recorded by Hainan Digital Seismic Network

- (a) seismic waves recorded at 14:28:00 by Qixinglin Station;
(b) water-seismic waves recorded at 14:28:01 by Nanbin Well; (c) water-seismic waves recorded at 14:28:03 by Maireng Village Well

相比，水震波的面波持续时间较短，南滨井水震波振幅最大部分与地震波类似，但火山迈仍村井水震波面波与 S 波相当，略小于 S 波；它们的尾波衰减较快，水震波的 P 波和 S 波很明显，由于采样率、水位仪频率响应、含水层频率响应等原因，P 波、S 波频率较低，水震波的形态也与地震波不太相同。

2.2 不完整的水震波记录

汶川地震发生时海口 ZK26 井、琼海加积井、文昌潭牛井都记录到了水震波，但都明显不太完整，其与七星岭台记录到的地震波的对比见图 3。为了便于对比分析，图中横轴的起始时间一致，都为 2008 年 05 月 12 日 14 时 58 分 00 秒，水震波的起始时间为其高采样率记录的起始时间，但在此基础上我们将 ZK26 井和琼海加积井的数据曲线再向右平移了 3 min，才能使水震波能与地震波大体对应，这说明此两台水位的记录时间快了 3 分多钟。

海口 ZK26 井和琼海加积井的水震波 P 波部分

肯定已丢失，S 波部分可能也已丢失，只有面波和尾波被记录下来，而文昌潭牛井水震波丢失更为严重，几乎只有尾波波组被记录下来。

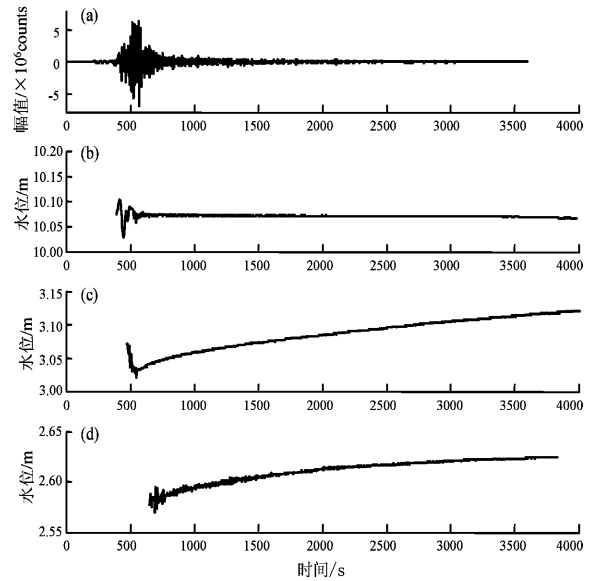


图 3 海南台网在汶川地震时记录到的地震波与水震波波形

- (a) 七星岭地震台地震波形，起始时间为 14:28:01；
(b) 海口台水震波，起始时间为 14:31:31；
(c) 琼海台水震波，起始时间为 14:32:54；
(d) 潭牛台水震波，起始时间为 14:40:50

Fig. 3 Waveform of seismic waves and water-seismic waves of Wenchuan Earthquake recorded by Hainan Digital Seismic Network

- (a) seismic waves recorded at 14:28:01 by Qixinglin Station;
(b) water-seismic waves recorded at 14:31:31 by Haikou Station; (c) water-seismic waves recorded at 14:32:54 by Qionghai Station; (d) water-seismic waves recorded at 14:40:50 by Tanniu Station

3 水震波频谱特征分析

3.1 频率分析方法

为了更详细地了解高采样率水震波的频率特征，我们利用小波分析和功率谱分析等方法对 5 口井的水震波记录进行了频谱分析。

(1) 功率谱分析方法

设有离散信号 X_j , $j = 1, 2, \dots, N$, N 为信号长度，那么离散信号的离散傅立叶变换为

$$y_k = \sum_{j=1}^N X_j e^{(-2\pi i)(j-1)(k-1)/N}. \quad (1)$$

式中 i 是虚数单位符号。此时的功率谱为

$$P_k = |y_k|^2 / N, \quad k = 1, 2, \cdots, N.$$

(2)

(2) 小波分解方法

小波分析方法（宋超等，2002；裴韬等，2004；飞思科技产品研发中心，2005；张凤君，2007）是一种窗口大小固定但其形状可以改变，时间窗和频率窗也都可改变的时频局域化分析方法，即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率，在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率，所以被誉为数学显微镜。

对于任意具有有限能量的信号 $f(t)$ ，其对应的二进制离散小波变换定义为

$$WT_f(j, k) = 2^{-\frac{j}{2}} \int f(t) \psi * \left(\frac{t - k}{2^j} \right) dt.$$

(3)

式中， k 是平移因子， j 为小波分解水平； ψ 是小波基函数， j 值越大时小波变换对应频率越低。

相应的 $f(t)$ 的二进制小波重构方法为

$$f(t) = \sum_k c_{j,k} \varphi_{j,k}(t) + \sum_k \sum_j d_{j,k} \psi_{j,k}(t)$$

$$= A_j(t) + \sum_j D_j(t).$$

(4)

式中， a_j 和 d_j 是原始信号的近似部分（低频部分）， $c_{j,k}$ 和 $d_{j,k}$ 细节部分（高频部分）， φ 和 ψ 是二进制离散小波变换系数，和是小波基函数。其中，细节部分反映信号在各个尺度上的细节特征，近似部分反映了信号在不同尺度上的趋势特征。我们采用 Daubechies 小波基系列中的 db4 作为水震波小波分解的小波基。

3.2 各井水震波频谱分析

(1) 南滨井水震波分析

南滨井的高采样率原始水震波形、水震波分解量及各自的功率谱分析结果见图 4。水震波的小波分解使用了全部水震波数据，但在功率谱分析时我们只用水震波前 512 点（2 560 s）进行计算。

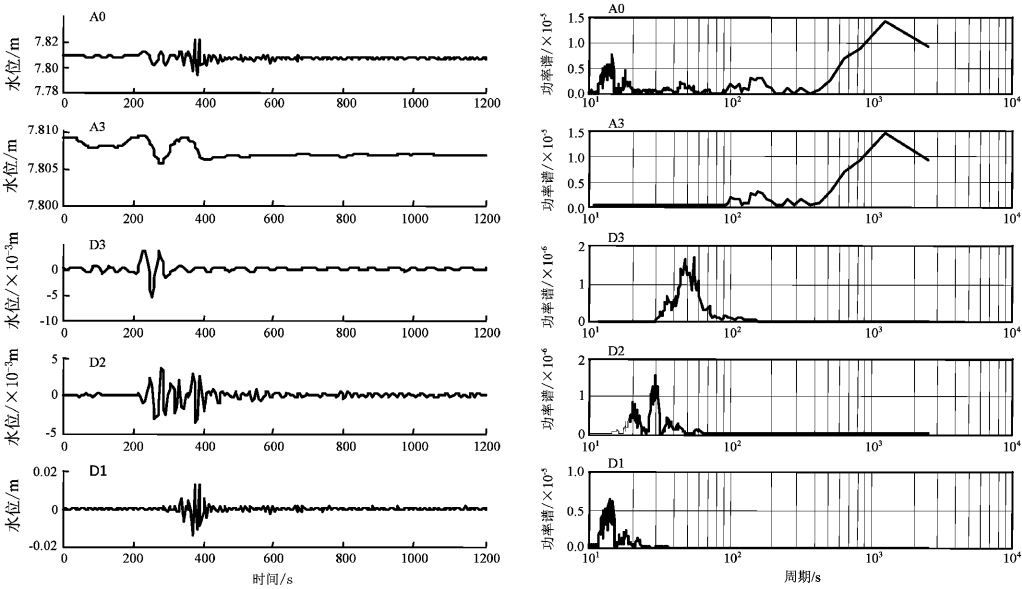


图 4 南滨井记录到的汶川地震的水震波原始波形 A0、水震波的小波分量 A3、D3、D2、D1 以及其相应的功率谱

Fig. 4 Water-seismic waves, wavelet component of water-seismic waves and related power spectra in Wenchuan Earthquake event, by Nanbin Well. Left: original waveform of water-seismic waves A0 and wavelet components including A3, D3, D2, D1 (from top to bottom); Right: power spectra corresponding to the left ones

从图 4 可以看到水震波存在一个趋势性的变化背景，就是功率谱中最大值为 1 200 s 左右，此外在 13 s、20 ~ 40 s、100 s 处还存在峰值。小波分解方法把水震波按频率分解成了几个部分，低频部分 A3

的频率在 100 s 以上，高频部分 D3 频率范围为 30 ~ 100 s，高频部分 D2 频率范围为 20 ~ 30 s，最高频部分 D1 的频率在 20 s 以下。

由图 4 我们还可以分析各个频率段的水震波的

功率谱大小和出现时间。A3 和 D2 幅度稍小，D3 较大，D1 幅度最大。D3 从水震波一开始就已出现，包括低频、阶跃或趋势性变化；D3 的主要成分是 P 波和 S 波；D2 的主要成分为 S 波和面波部分，但水震波全波段都有显示，说明它在水震波各个部分都有；D1 的主要部分为面波和尾波，出

现较迟。

(2) 火山迈仍村井水震波分析

火山迈仍村井的水震波原始波形、水震波分解量及各自的功率谱分析结果见图 5。水震波的小波分解使用了全部水震波数据，但在功率谱分析时我们只用了水震波前 512 点 (2 560 s) 进行计算。

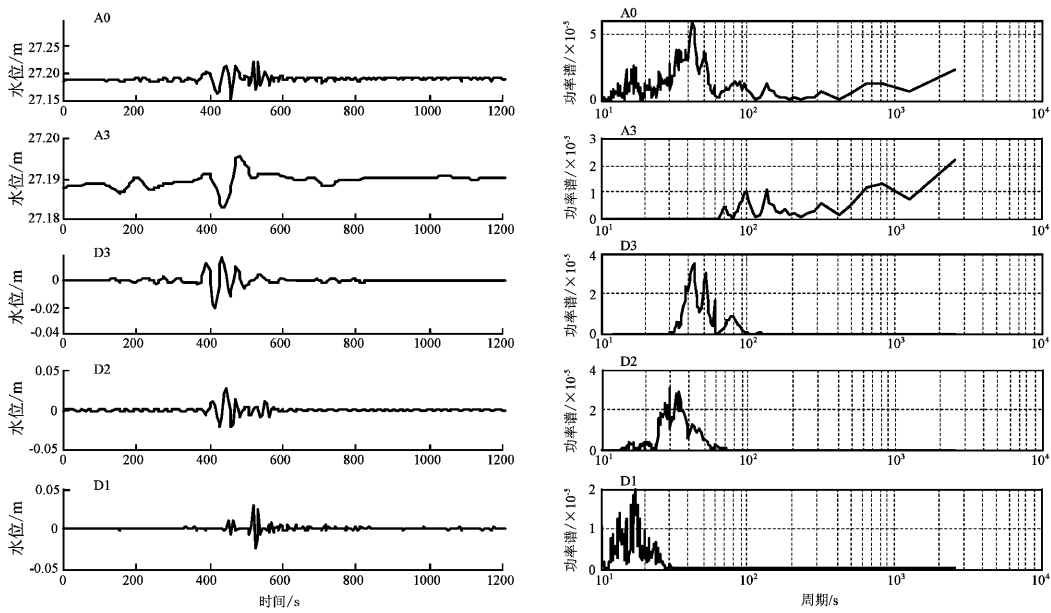


图 5 火山迈仍村井记录到汶川地震的水震波原始波形 A0、水震波的小波分量 A3、D3、D2、D1 以及其相应的功率谱

Fig. 5 Water-seismic waves, wavelet component of water-seismic waves and related power spectra in Wenchuan Earthquake event, by Maireng Village Well. Left: original waveform of water-seismic waves A0 and wavelet components including A3, D3, D2, D1 (from top to bottom); Right: power spectra corresponding to the left ones

从图 5 可以看到水震波存在 1 个较弱的长周期背景，周期为 600 s 以上，此外在 40 s、16 s 两处存在峰值。小波分解方法把水震波按频率分解成了几个部分，低频部分 A3 的频率在 90 s 以上，高频 D3 部分频率范围为 40 s 至 90 s，高频 D2 部分主要频率范围为 20 ~ 40 s，最高频部分 D1 的频率在 20 s 以下。

由图 5 可知，4 个小波分量的幅度大致相同。A3 和 D3 从水震波一开始就出现了，主要为 P 波、S 波，呈阶跃或趋势性变化；D2 的主要成分为 S 波和面波部分，但水震波全波段都有显示；D1 的主要部分为面波和尾波，出现较迟。

功率谱分析时我们只用了水震波前 512 点 (2 560 s) 进行计算。

从图 6 可以看到水震波记录不完整，存在 1 个幅度很大的阶跃（脉冲）性趋势变化，它是水震波的主要成分。从频率域来看，则存在 1 个较弱的长周期背景，周期为 1 000 s 以上，此外，功率谱中还存在 70 ~ 100 s、20 ~ 30 s、12 ~ 15 s 三处峰值。小波分解后，低频部分 A3 为 1 个较完整的阶跃（脉冲）性变化，高频 D3、D2、D1 的分别包含前面的 3 个峰值。

由图 6 可知 A3 幅度最大，D1 次之，D3 和 D2 最小。A3 主要是阶跃（脉冲）变化，D3、D2、D1 的主要成分是叠加在阶跃变化之上的面波和尾波成分。

(3) 琼海加积井水震波分析

琼海加积井的高采样率水震波原始波形、水震波分解量及各自的功率谱分析结果见图 6。在水震波的小波分解时使用了全部水震波数据，但在

(4) 海口 ZK26 井水震波分析

海口 ZK26 井的高采样率水震波原始波形、水

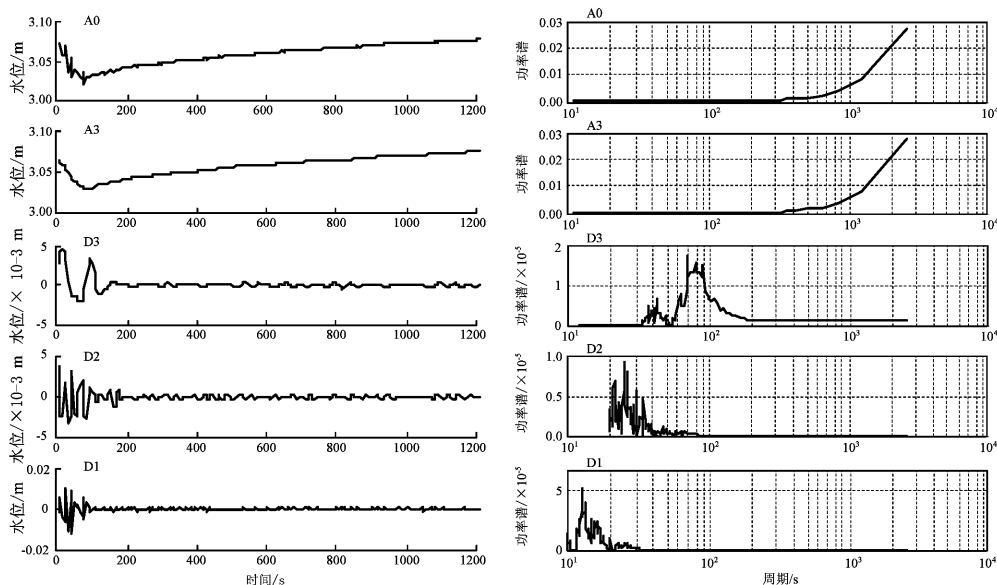


图6 琼海加积井记录到的汶川地震的水震波原始波形 A0、水震波的小波分量 A3、D3、D2、D1 以及其相应的功率谱

Fig.6 Water-seismic waves, wavelet component of water-seismic waves and related power spectra in Wenchuan Earthquake event, by Qionghai Jaiji Well. Left: original waveform of water-seismic waves A0 and wavelet components including A3, D3, D2, D1 (from top to bottom); Right: power spectra corresponding to the left ones

震波分解量及各自的功率谱分析结果(图略)表明,水震波记录不完整,水震波最大峰值在80~110 s处,另外在40~60 s、12~18 s两处还存在峰值。经小波分解后,水震波按频率分解成了2个低频部分和2个高频部分,主要成分为面波的低频部分和尾波。高频的两部分变化幅度相当,低频的两部分变化幅度也相当,但高频比低频变化幅度小。由于水震波头部已丢失,各频率波动出现的时间无法分析。

(5) 文昌潭牛井水震波分析

文昌潭牛井的高采样率水震波原始波形、水震波分解量及各自的功率谱分析结果(图略)显示,水震波记录不完整,主要成分是1个明确的趋势性变化,主要周期在1 000 s以上。此外功率谱中还存在50~80 s、20 s、11~15 s三处峰值。经小波分解后,低频部分为趋势性变化,高频部分包含前面的3个峰值,主要成分是叠加在趋势性变化上的面波和尾波成分。

4 认识与讨论

4.1 汶川地震水震波特征小结

(1) 不同井孔记录到的水震波形态不大相同。

琼海加积井记录到的水震波出现明显的阶跃式(脉冲)变化;文昌潭牛井水震波可以看出恢复性变化,可能也出现了脉冲式变化,但因水震波记录不全而不能肯定;海口 ZK26 井记录的水震波高频段较弱;火山迈仍村井水震波也出现一个趋势性变化。不同井孔产生的水震波幅度有一定差别。

(2) 水震波存在与地震波中的P波、S波、面波和尾波等波组相对应的波组,但其面波波组持续时间较短,衰减较快。

(3) 水震波的周期成分主要包含3个频率段:

- ① 周期80 s及以上部分,这一部分包含了水震波的脉冲、阶变、趋势性变化;
- ② 20~50 s周期段;
- ③ 12~18 s周期段。

4.2 小波变换方法在水震波分析中的应用情况

利用小波变换方法的多解分析可以很有效地将水震波时间序列的高频部分和低频部分分开,而且水震波的不同频率部分可能有不同的物理机理,分析小波分解后的水震波可以更好地了解其物理机理。如琼海加积井的小波分解得到的低频部分只是阶跃(脉冲)变化,其高频部分则是叠加在阶跃变化上的各种频率成分。

4.3 水震波机理初步分析

(1) 水震波的形态和幅度各异的原因。由于

海南岛不大,各个水位观测井相距不远,它们遭遇的地震波的强度基本相同,由此可推断各个观测井的井孔构造部位、水文地质条件及含水层岩石的力学性质等因素,特别是井一含水层间水动力学特性较大差异,造成了水震波形态和幅度不一致。

不同的井每天的潮差变化也不相同。例如南滨井每日水位潮差较小,说明其水体对低频响应能力较弱。潭牛井每日水位潮差较大,说明其水体对外界低频变化的响应能力较强。其水震波振幅较小,则表明水体对地震波等高频影响的响应能力相对较弱。两口井的高频、低频响应灵敏度差别较大,也就是说南滨井含水层系统的固有振荡周期与地震波的周期相近,井水位的响应幅度就较大,与固体潮这种低频波的周期不是很一致,响应能力就弱,潭牛井则正好相反。由振动理论还可知,一个系统对外来干扰振动的响应除了与振动频率有关外,还与系统振动时所受的阻尼的大小有关,当振动周期一定时,系统的阻尼越小,则系统对干扰振动的响应幅度越大。系统的阻尼与井一含水层系统的渗透系数有关。岩石的渗透性与其泥含量有关,泥质含量越高,岩石的渗透性越差;南滨井的岩性含泥量较文昌井岩性含泥量低,渗透性较潭牛井好,而渗透性能越好的含水层,对井水振荡的阻尼越小。从岩性上还可以看出,南滨井的岩性是中砂岩,而潭牛井的含水层是复矿砾岩,由此可知大尺度孔隙和大尺度不均质对低频事件较为敏感,反之,则对高频事件敏感。由上可知这种差别的主要原因是两口井的含水系统固有周期、含水层岩石的导水性、井孔直径、井孔有效水柱高度和所处构造部位不同。

(2) 形成完整水震波的原因。虽然各观测井的井一含水层系统存在一些差异,但在地震波到达时都会产生振动。井一含水层系统加上水位记录仪相当于地震记录仪,只是其频率响应特性和采样率与常规的地震记录仪不同,所以水震波记录也会出现与地震波类似的P波、S波、面波和尾波等波组。

(3) 水震波的低频部分,即周期80 s以上的部分,其波长可能也会很长,应该是较大范围的含水层振动而出现的波。含水层的构造、宽度、厚度不同,对地震波的响应就不同,形成的水震

波也各不相同;反过来看,水震波低频部分不同,则说明井孔周围较大范围的含水层结构不同。

(4) 水震波的中频部分,即周期在20~50 s的部分,主要为其小波分量D3和D2部分。它是由地震波的P波和S波激发的,其振动波长可能会比较长,但可能会比其低频部分的水震波波长要短一些。井孔及其附近部分的含水层出现波动的现象,与井孔水位的深度和井孔周围附近含水层的厚度有关。

(5) 水震波的高频部分,主要为水震波面波和尾波部分,优势周期比较一致,为12~18 s。高频部分的波长可能最短,可能是井孔的水体形成的波动,它是由地震波的面波和尾波激发的,与地震面波和尾波对应很好,因此水震波高频部分基本上可以说是一种受迫振荡,地震波是振动源,因此多个观测井记录到的水震波周期是基本一致的。

参考文献:

- 车用太,刘五洲,鱼金子,等. 2004. 井水位对地壳应力—应变响应灵敏度的研究[J]. 地震,23(3):113~120.
- 车用太,王铁城,鱼金子. 1989. 我国水震波研究的现状与动向[J]. 地震,(1):70~72.
- 飞思科技产品研发中心. 2005. 小波分析理论与MATLAB 7实现(第4版)[M]. 北京:电子工业出版社.
- 刘江,熊水英,李富光,等. 1986. 水震波中的PG、SG震相[J]. 华北地震科学,4(3):43~47.
- 刘澜波,郑香媛,彭贵荣. 1983. 地震波引起洼里井水位震荡的初步分析[J]. 地震,(5):12~19.
- 裴韬,周成虎,汪闽,等. 2004. 用二进小波分析方法对华北地区强震活动期的研究[J]. 地震研究,27(11):37~42.
- 舒优良,张世民. 2003. 周至深井水震波数字化记录与地震波记录的对比研究[J]. 地震地磁观测与研究,24(5):26~31.
- 宋超,黄民翔,叶剑斌. 2002. 小波分析方法在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,11(3):8~12.
- 汪成民,车用太,万迪瑩,等. 1988. 地下水微动态研究[M]. 北京:地震出版社.
- 杨竹转. 2006. 地震引起的地下水位变化及其机理初步研究[D]. 北京:中国地震局地质研究所.
- 殷积涛. 1990. 井孔水位对几种含水层变形的响应函数[C]//地震预报方法实用化研究文集:水位水化专集. 北京:地震出版社.
- 张凤君. 2007. 东北地震区地震趋势的小波分析[J]. 地震研究,30(2):137~141.
- 张子广,万迪瑩,董守玉. 1998. 水震波与地震面波的对比研究及其应用[J]. 地震,18(4):399~403.

Analysis of the Characteristics of Coseismic Records of Five Wells' Water Level in Hainan Area in the $M_s8.0$ Wenchuan Earthquake Event

GU Shen-yi, LI Zhi-xiong, ZHANG Hui

(*Earthquake Administration of Hainan Province, Haikou 570203, Hainan, China*)

Abstract

By comparison of the seismic waves of $M_s8.0$ Wenchuan earthquake recorded by Hainan Digital Seismic Network and the water-seismic waves, the waveform characteristics of the water-seismic waves were analyzed. We also analyzed the spectrum and time features of the water-seismic waves with high sampling rate of Wenchuan earthquake recorded by five water-level meters of Hainan Seismic Precursor Network by means of FFT and Wavelet Transform. The result shows that the variation between the different wave groups of water-seismic waves caused by the different seismic wave groups were great; the periodic range of the water-seismic wave at the five well in Hainan area were large (from 10 s to more than 1000 s) and the difference of the amplitudes of water-seismic waves at different wells also were great. The formation mechanisms of waveforms and different frequency groups of the water-seismic waves were analyzed preliminarily.

Key words: Wenchuan strong earthquake; digital records of well water level; coseismic effects; wavelet transform; Hainan area