

李永振、金震、郭丹阳等, 2012, 共同台基的强震仪记录与地震仪记录对比研究, 中国地震, 28 (3), 304 ~ 312。

# 共同台基的强震仪记录 与地震仪记录对比研究

李永振 金震 郭丹阳 梁永朵 侯作亮

辽宁省地震局, 沈阳市皇姑区黄河北大街 44 号 110034

**摘要** 本文根据时域实时方法, 对辽宁省共同台基的数字宽频带加速度记录和地震仪速度型记录进行相互仿真, 并做了对比分析。结果表明, 可以由加速度记录仿真得到真实的速度与位移时程; 同样, 地震仪速度型记录也能通过仿真得到加速度时程。由此可见, 强震观测和地震观测在一定范围内是可以相互替代的。

**关键词:** 加速度记录 速度记录 记录仿真

[文章编号] 1001-4683 (2012) 03-0304-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

随着观测技术的进步, 数字化、宽频带、大动态、可实时监控的强震观测及地震观测仪器已经逐步代替模拟观测及相关仪器, 所得记录的可信度和时效性随之明显增强。我国的地震监测台网在“九五”以来的数字化建设中, 在改造并新建了大量地震观测台的同时, 还建设了大量的强震观测台。以实时传输强震台网和地震台网为基础的全国地震预警和地震信息服务系统发展迅猛。

传统的地震观测主要针对于地球物理学特性, 旨在了解地球内部的构造和地震活动性, 依此提供各种地震参数, 研究地震波传播规律等; 传统的强震观测则主要记录近场强震, 为工程抗震研究和抗震设计提供相关数据, 旨在测定地面和建筑物在地震作用下的运动过程 (崔建文等, 2004、2007; 林建生等, 2006)。从目前的发展趋势看, 地震观测和强震观测正在相互渗透, 为便于二者的对比研究, 需将速度型记录与加速度型记录进行相互转换。

利用加速度记录积分求取速度记录的方法很多, 概括起来主要分为两大类, 即频域方法和时域方法。Kanamori 等 (1999) 曾利用美国强震台网资料, 对实时计算速度、位移及 Wood-Anderson 地震图等问题做过研究, 但其结果在计算精度和相位方面仍存在问题。刘瑞丰等 (1997) 曾用傅里叶分析方法对地震仪器的仿真进行过研究, 但这也是一种频域方法, 不适合实时计算。从测震学的角度讲, 利用强震记录恢复速度时程的问题可以归结为速度地震仪的仿真问题, 即按地震仪的原理从动力学的观点可以归结为计算单自由度系统的地震反

[收稿日期] 2012-03-28

[项目类别] 辽宁省地震局青年项目 (LZ201204)

[作者简介] 李永振, 男, 1976 年生, 毕业于防灾科技学院, 工程师, 现主要从事强震监测工作。

E-mail: tldztlyz@163.com

应。金星等(2003)在总结了计算单自由度系统4种时域方法,即中心差分法、Newmark方法、Z变换方法和Duhamel逐步积分法等共同特征后,提出了一套计算单自由度系统地震动力反应的时域递归方法。在此基础上,马强等(2003)对这套公式进行了系统的研究,提出了相对位移反应公式中确定 $\delta$ 的方法。数值计算结果表明,这套公式中计算相对位移和相对加速度的精度都很高,但计算相对速度的精度却较低。为此,金星等(2004a、2005)首先对相对速度的计算问题进行分析研究,提出了新的递归计算公式,提高了精度;其次,利用地震仪的原理,对利用加速度记录仿真得到速度记录问题进行了研究,其结果可广泛应用于对地震活动的监测。

辽宁省地震局在“十一五”期间建设了实时传输的强震动烈度速报台网,台网由41个实时传输强震台站组成,其中有28个强震仪和地震仪放置在同一台基上。该台网经过几年的运行,积累了大量的同一台基上的速度型记录和加速度型记录,因此,速度型记录和加速度记录对比研究成为一个亟待解决的重要问题,而实时仿真技术的引入为速度型记录和加速度记录对比研究提供了有利条件。本文应用马强等(2003)、金星等(2004a、2004b、2005)单自由度系统地震动力反应的实时计算方法,对辽宁省地震监测台网的同一仪器墩上的宽频带速度型记录和实时强震台的加速度记录进行了相互仿真,并进行了对比分析。

## 1 地震动仿真公式

### 1.1 由加速度记录仿真速度时程

金星等(2004a、2004b、2005)、马强等(2003)单自由度系统地震动力反应的实时计算方法中假设单自由度系统的自振周期为 $T_0$ ,自振频率为 $\omega_0$ ( $\omega_0 = 2\pi/T_0$ ),阻尼比为 $\zeta$ , $a_k$ 、 $v'_k$ 、 $d_k$ 分别为 $k$ 点处离散意义上的加速度输入、相对速度输出及相对位移输出, $\Delta t$ 为离散时间间隔,则由加速度记录仿真速度、位移时程可用以下的单自由度地震反应公式计算

$$v'_{k-(1/2)} = b_1 v'_{k-(3/2)} + b_2 v'_{k-(5/2)} - S_0 \Delta t [\delta a_k + (1-3\delta)a_{k-1} - (1-3\delta)a_{k-2} - \delta a_{k-3}] \quad (1)$$

$$d_k = b_1 d_{k-1} + b_2 d_{k-2} - S_0 (\Delta t)^2 [\delta a_k + (1-2\delta)a_{k-1} + \delta a_{k-2}] \quad (2)$$

其中

$$\begin{cases} b_1 = 2e^{-\zeta\omega_0\Delta t} \cos(\omega_d\Delta t) \\ b_2 = -e^{-2\zeta\omega_0\Delta t} \\ S_0 = (1-b_1-b_2)/(\omega_0\Delta t)^2 \\ \omega_d = \omega_0 \sqrt{1-\zeta^2} \end{cases} \quad (3)$$

式(1)及式(2)中 $\delta$ 为与 $\Delta t/T_0$ 有关的参数。

利用上述公式可以实时计算单自由度系统地震动反应。如果单自由度系统的自振周期无限大,对于宽频带记录,应用单自由度系统的地震动反应公式完全可以恢复出真实的相对位移输入,只是符号相反;但这一般是无法实现的,特别是涉及到积分运算,低频的影响会使其产生漂移,为了避免漂移,仿真系统需要选择合适的周期。对于单自由度系统,如选定自振周期后,式(1)和式(2)中的 $\delta$ 统一取为0.0913。

在由加速度记录仿真速度时程及位移时程时,我们取仿真系统的阻尼比为0.707,如果取值大于0.8的归一化后的传递函数幅值谱为有效频带,则仿真系统的低频截止频率为

$$f_{Lc} = 1.1414 \times (T_0)^{-1} \quad (4)$$

由于采样定理的限制,仿真后的高频截止频率为 Nyquist 频率。

应用式(1),利用同一台基上的强震仪加速度记录,我们可以仿真得到地面速度和位移。由于辽宁省地震台网使用的 BBVS-60 型宽频带数字地震计的频带范围为 0.05 ~ 40.00Hz,即其能记录到的最低有效频率为 0.05Hz,由式(4)所选取的仿真系统的自振周期为 23s;如果利用 BBVS-60 型的等效自振频率进行仿真,取自振周期为 20s,由式(4)所得到的有效的低频截止频率为 0.056Hz。图 1 为  $\Delta t = 0.01s$  时,由加速度记录仿真速度时程系统传递函数与由加速度积分求取速度时的理论传递函数比值。

同理,可以选择适当的自振周期和阻尼比后利用式(2)由加速度记录来仿真位移时程。如果取阻尼比为 0.707,其低频截止频率同样可由式(4)求得。图 2 为  $\Delta t = 0.01s$  时由加速度记录仿真位移时程系统传递函数与由加速度积分求取位移时理论传递函数比值。

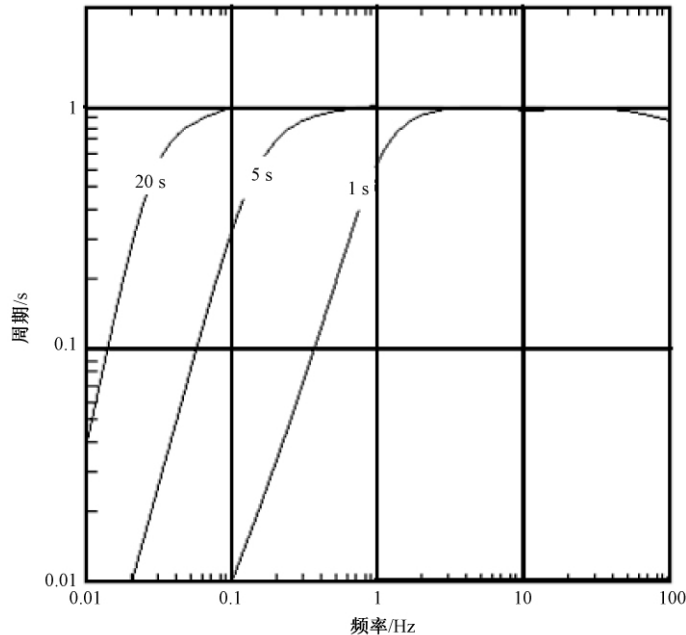


图 1 加速度仿真速度传递函数比值 ( $\Delta t = 0.01s$ )

## 1.2 由速度记录仿真加速度时程

速度记录仿真加速度时程可以由以下单自由度地震反应公式计算,其中  $v_k$ 、 $a_k'$  分别为  $k$  点处离散意义上的速度输入和相对加速度时程输出

$$a'_{k-(1/2)} = b_1 a'_{k-(3/2)} + b_2 a'_{k-(2/5)} - (S_0/\Delta t) (v_k - 3v_{k-1} + 3v_{k-2} - v_{k-3}) \quad (5)$$

式(5)中参数由式(3)确定。速度记录仿真位移时程时,采用公式等同加速度记录仿真速度时程。

在由速度记录仿真加速度时程时,仍取仿真系统的阻尼比为 0.707。其低频截止频率仍由式(4)确定,高频截止频率由下式确定

$$f_{Hc} = 0.719 \times f_N (f_{Hc} = 0.3595 \times \Delta t^{-1}) \quad (6)$$

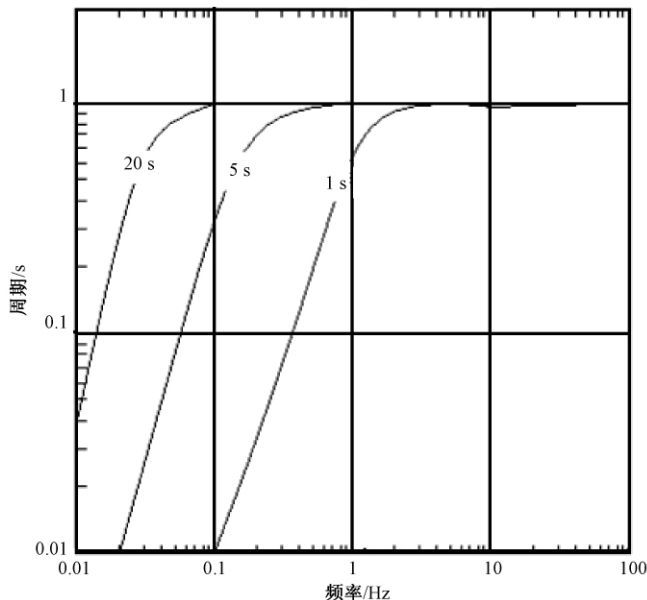


图2 加速度仿真位移传递函数比值( $\Delta t = 0.01\text{ s}$ )

其中 $f_N$ 为Nyquist频率。在仿真中较高频率成份会受到压制,由于是微分运算,较低频率成份不会对计算带来太多影响,故可以选取较大的自振周期。本文在由速度记录仿真加速度时程时,低频成份是由EDAS-24IP型数字地震仪所能记录到的低频成份决定的。图3为 $\Delta t = 0.01\text{ s}$ 由速度记录仿真加速度时系统传递函数与由速度微分求取加速度时理论传递函数比值。

采用速度记录仿真位移时程的原理等同采用加速度记录仿真速度时程。

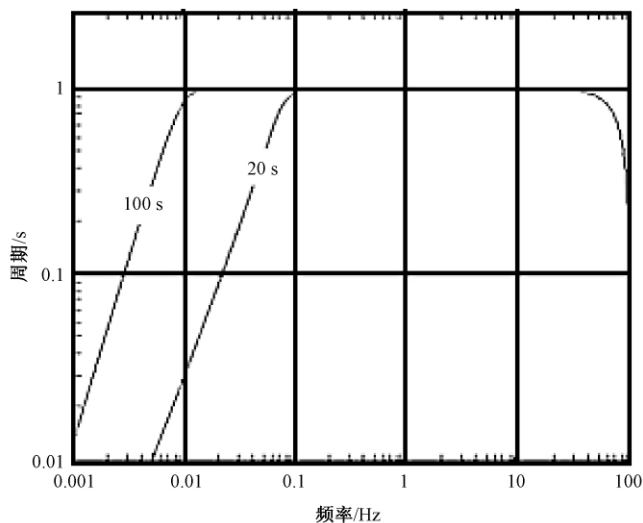


图3 速度仿真加速度传递函数比值( $\Delta t = 0.01\text{ s}$ )

## 2 加速度型记录与速度型记录相互仿真对比实例

我们选取的分别为 2009 年 3 月 20 日发生在吉林伊通的  $M4.3$  地震在西丰台的记录以及 2009 年 12 月 21 日发生在吉林与内蒙交界的  $M4.7$  地震在法库台的记录。所用仪器型号、参数及仿真参数如表 1 所示。仿真时程及对比图如图 4、5 所示,图 6、7 为记录的傅立叶谱。

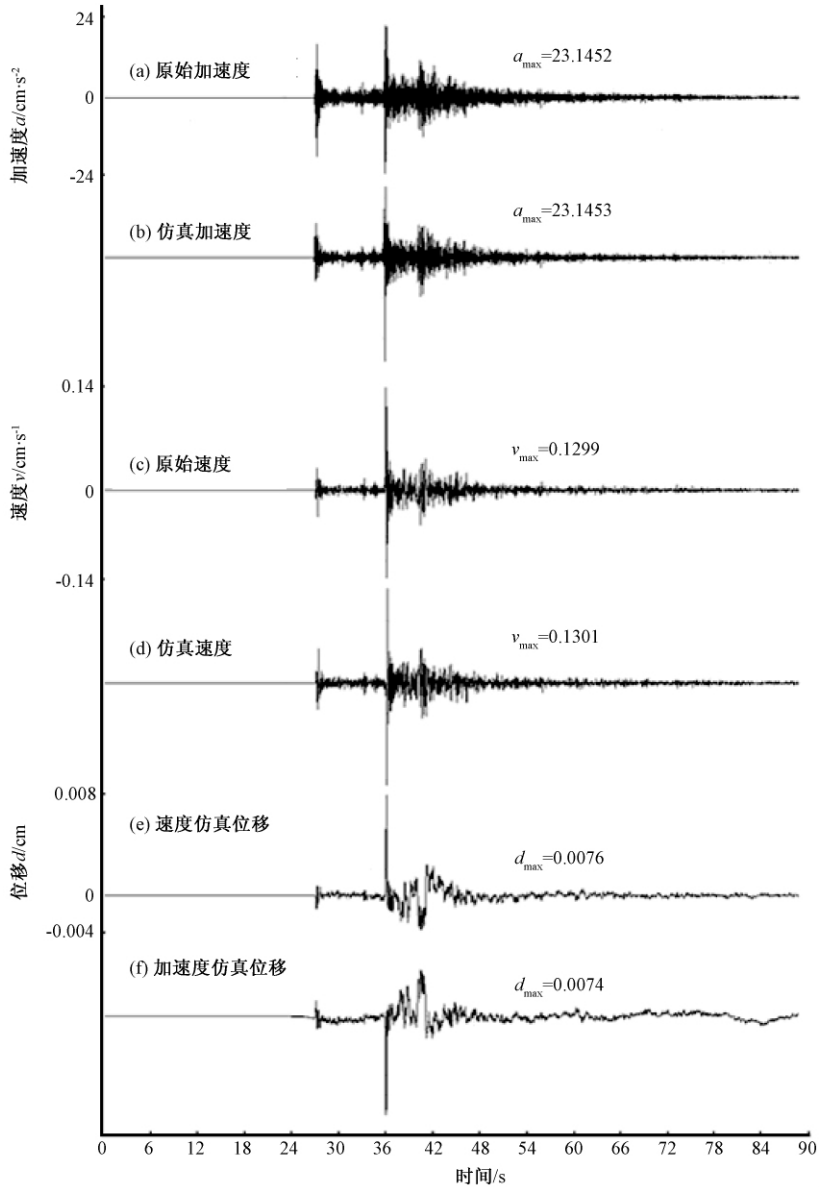


图 4 西丰台记录仿真对比

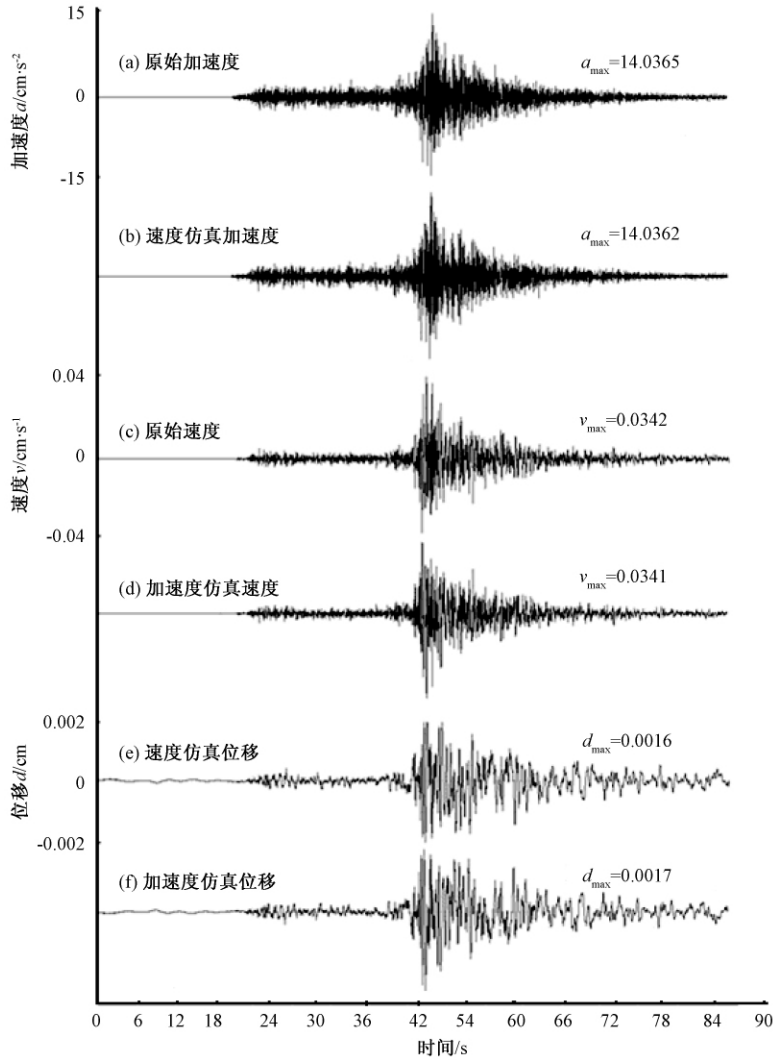


图 5 法库台记录仿真对比

表 1 仪器参数及仿真参数表

地震地点	仪器型号	分量	记录类型	采样率 (Hz)	仪器带宽	等效自振周期 (s)	仿真类型	仿真自振周期 (s)	仿真阻尼比
吉林伊通	BBVS-60 地震计	EW	速度型	50	0.05 ~ 20Hz	20	加速度 位移	100 20	0.707 0.707
	GSMA-24IP 强震仪	EW	加速度型	100	DC ~ 40Hz		速度 位移	20 20	0.707 0.707
吉林、内蒙交界	BBVS-60 地震计	EW	速度型	50	0.05 ~ 20Hz	20	加速度 位移	100 20	0.707 0.707
	GSMA-24IP 强震仪	EW	加速度型	100	DC ~ 40Hz		速度 位移	20 20	0.707 0.707

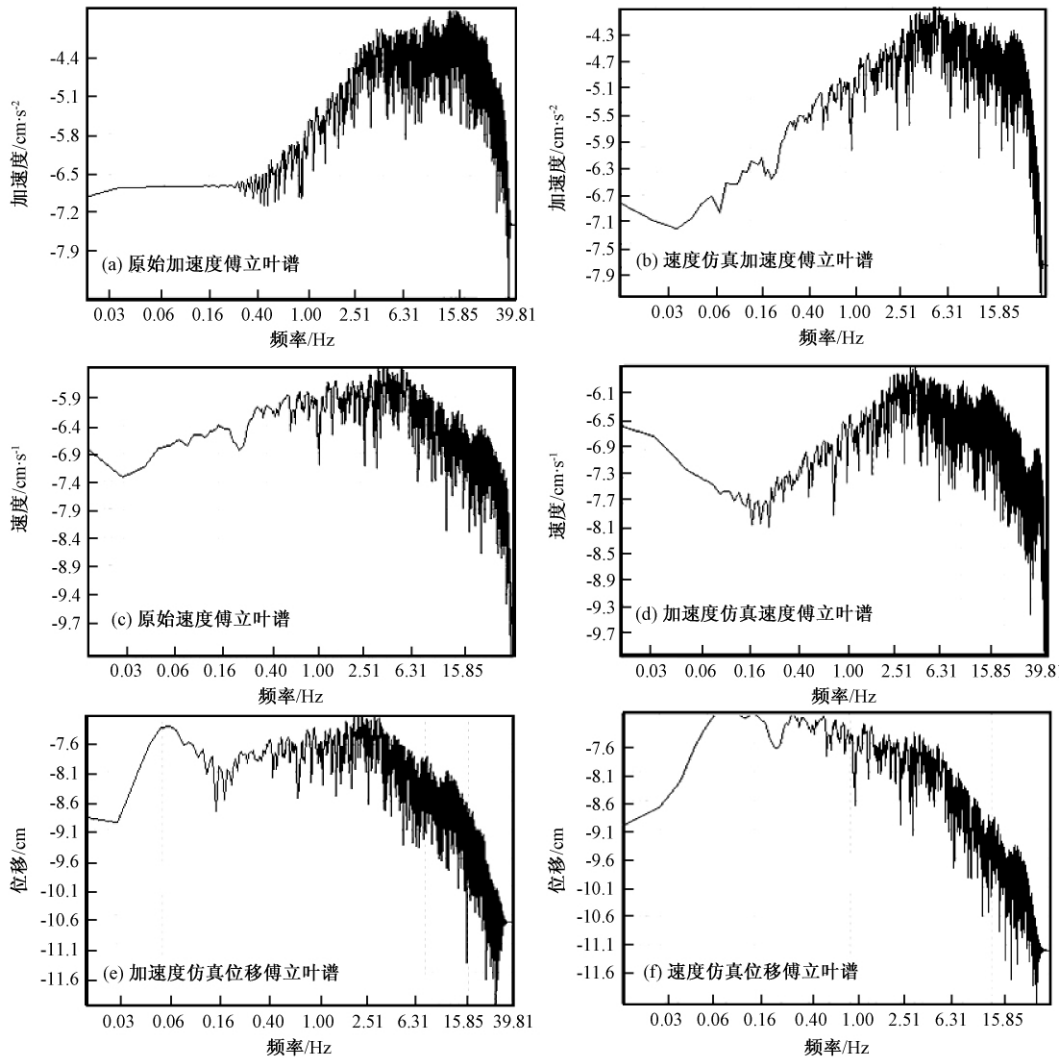


图6 西丰台仿真傅立叶谱对比

### 3 小结

本文通过以上的分析和对比,得出以下结论:

(1) 利用马强(2003)、金星等(2004a、2004b、2005)时域实时方法,通过仿真可得到相应的地震动速度;同样,可得到相应的加速度时程;但依此法处理后对加速度时程高频的成分会有一定损失。

(2) 由金星等(2005)的结果及图4、5可知,由加速度仿真的地动位移方向与实际位移方向相反。

(3) 由算例可知,原始加速度与仿真加速度幅值相差  $0.0001\text{cm/s}^2$ 、原始速度与仿真速度幅值相差小于  $0.001\text{cm/s}$ ,可见本文采用仿真方法精度较高。

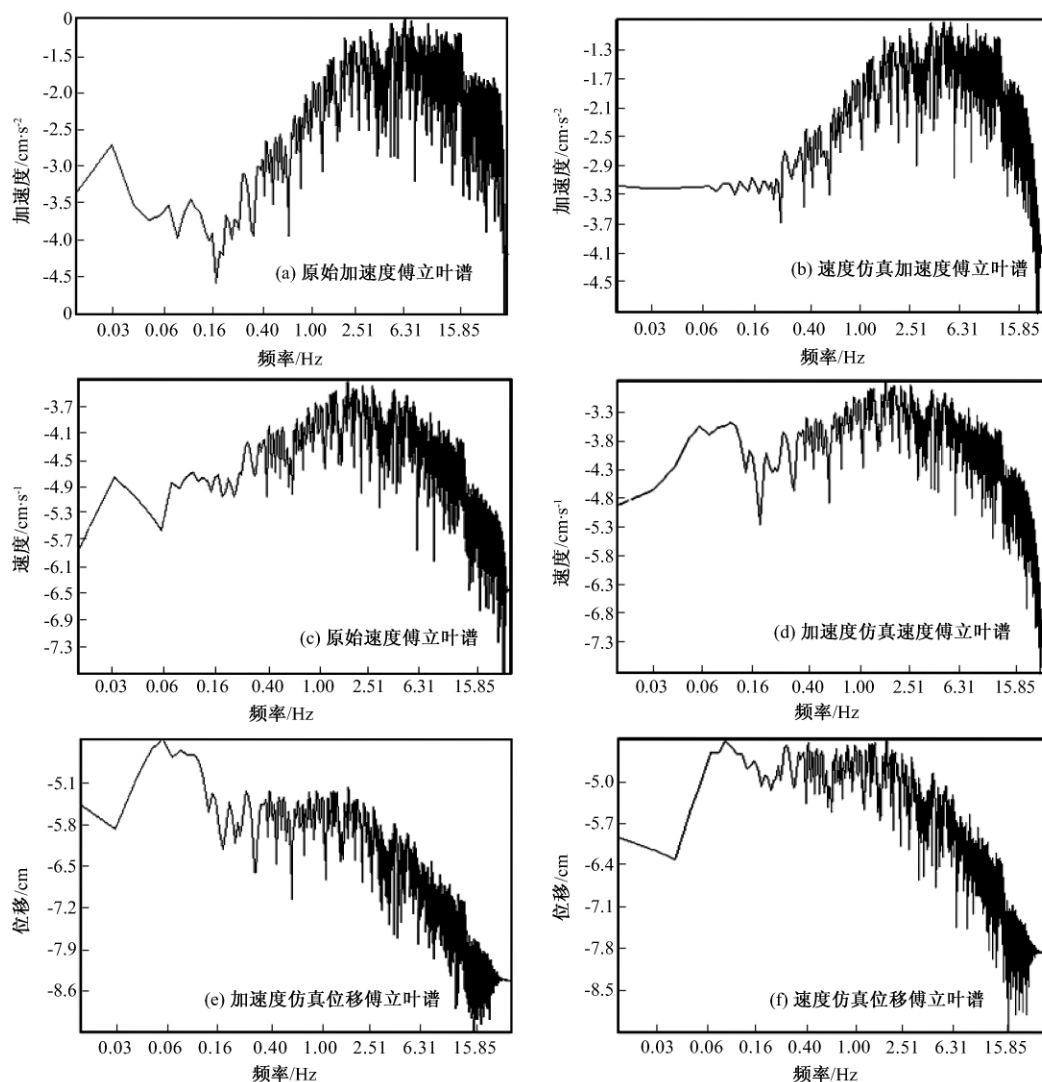


图7 法库台仿真傅立叶谱对比

(4) 由算例可知,速度仿真位移与加速度仿真位移幅值相差  $0.0002\text{cm}$  以内。可见本文应用仿真方法由加速度可直接仿真位移时程,避免了由加速度求速度再求位移的中间过程,从而提高了精度亦控制了低频飘移。

(5) 由仿真得到的傅立叶谱结果可知,总体频域吻合较好。速度仿真加速度时程时,由于地震仪频带的限制,高频成分有一定损失。

(6) 由同一台基上记录的仿真结果对比可以看出,实时传输的强震记录通过仿真成速度时程时将充分利用和拓宽这些强震观测记录的使用价值,为地震参数的确定提供另一有效途径。同样,由数字化地震仪得到的大量记录通过仿真可以充实强震数据库。



## 参考文献

- 崔建文、任增云、赵永庆等,2004,大姚 6.2 级地震的强地震动研究,地震研究,27(2),133~139。
- 崔建文、李正光、赵云旭,2007,2007 年宁洱 6.4 级地震强震观测记录,地震研究,30(4),384~388。
- 金星、马强、李山有,2003,四种计算地震反应数值方法的比较研究,地震工程与工程震动,23(1),18~30。
- 金星、马强、李山有,2004a,利用数字强震仪记录实时仿真地动速度,地震工程与工程震动,24(1),49~54。
- 金星、马强、李山有,2004b,利用数字化速度记录实时仿真位移与加速度时程,地震工程与工程震动,24(6),9~14。
- 金星、马强、李山有,2005,利用数字化强震仪记录实时仿真地震动位移,地震学报,27(1),79~85。
- 林建生、林子健、谢文杰等,2006,利用数字化速度记录仿真加速度时程与合成场地设计地震波,地震地磁观测与研究,27(6),86~96。
- 刘瑞丰,1997,宽频带数字地震记录仿真的应用,地震地磁观测与研究,18(3),7~12。
- 马强、金星、李山有,2003,单自由度系统地震动力反应的实时计算方法,地震工程与工程震动,23(5),61~68。
- Kanamori H, Maechling P, Hauksson E, 1999, Continuous monitoring of strong motion parameters, BSSA, 89(1), 311~316。

## Comparison research on the records of wide band strong motion seismograph and seismometer at the same station

*Li Yongzhen Jin Zhen Guo Danyang Liang Yongduo Hou Zuoliang*

Earthquake Administration of Liaoning Province, Shenyang 110034, China

**Abstract** The paper uses real time domain methods to simulate both wide band acceleration and velocity records from a base station in Liaoning Province, and compare them with the records by the instrument. The result shows that we can get actual velocity and displacement time histories by simulating wide band acceleration record. It can be concluded that strong motion observation and seismometer observation can be an alternative to each other to a certain extent.

**Key words:** Strong motion seismograph Seismometer Simulation