

# 经验格林函数法与随机有限断层法在合成 近场强地震动中的联合运用<sup>1</sup>

王国新 史家平

(大连理工大学海岸与近海工程国家重点实验室, 大连 116024)

**摘要** 本文采取将经验格林函数法与随机有限断层法相结合的方式, 突出体现了各自方法的优点, 通过经验格林函数法确定地震震源参数, 用随机有限断层法计算参数、检验其合理性。利用1998年新疆阿图什 $M_{6.9}$ 级地震的 $M_L 4.7$ 级余震记录, 合成了这次地震的最大余震 $M_S 6.0$ 级地震的加速度记录, 并将合成的结果与实际记录在频域和时域做了对比, 分析研究了地震动特征和这次最大余震的可能破裂特征。同时对经验格林函数法需进一步改进的方向进行了探讨。

**关键词:** 经验格林函数 随机有限断层法 反应谱

## 引言

地震不仅对人们的生命财产安全带来威胁, 而且也造成了巨大的灾害, 其中建(构)筑物的破坏和倒塌是主要原因之一。因此, 加强抗震设计工作, 提高各种建(构)筑物的抗震性能, 是减少经济损失和人员伤亡的主要技术途径。在抗震设计中, 地震动输入问题一直是人们所关注的主要内容, 因为它直接关系到结构的设计荷载, 是结构抗震设防的基本依据, 是关系到结构抗震设计能否取得安全与最佳经济效益相结合的前提, 合理的地震动输入是保证设计结果正确的必要条件。但目前的现状是, 在结构抗震设计理论的地震动输入、结构模型化和结构动力反应分析中, 有关地震动输入方面的研究显得相对薄弱和落后。因此, 提高地震动输入的研究水平, 是完善结构抗震性能的十分必要的基本要素。

本文在已有的研究成果基础上, 开展了地震动时程合成方面的研究, 采取经验格林函数法与随机有限断层法相结合的途径, 以体现出各自方法的突出优点, 并通过与实际地震记录的对比研究, 检验了上述方法和所得结果的合理性。本文的研究结果可为结构的动力反应分析提供与结构周边地震环境相符合的地震动时程及相关的地震动参数。

<sup>1</sup> 基金项目 国家自然科学基金(50578033)及国家科技支撑计划(2006BAJ06B08)资助

【收稿日期】2008-07-29

【作者简介】王国新, 男, 生于1961年。教授、博士生导师。主要研究领域: 工程地震。E-mail: gxwang@dlut.edu.cn

# 1 经验格林函数法

## 1.1 经验格林函数法简介

Irikura (1983) 依据地震相似性关系, 提出了确定大小地震震源参数之间的关系为:

$$\frac{L}{L_s} = \frac{\bar{D}}{D_s} = \frac{W}{W_s} = \left(\frac{M_0}{M_{0s}}\right)^{1/3} = N \quad (1)$$

式中,  $L$ 、 $W$ 、 $D$ 、 $M_0$  分别为大震的断层长度、宽度、平均位错量和地震矩; 带下标“s”的量为小震的相应震源参数;  $N$  为用来合成大震的小震事件的个数。

Irikura 用这种方法合成了速度时程和周期大于 0.2s 的加速度时程。日本学者 Dan 等 (1989) 在用小震合成大震时, 考虑了大小震之间应力降的差异, 提出用 Brune (1970) 模型的远场 S 波谱对小震记录进行修正。他们假定大震断层上离散的子断层的大小与小震尺度相同, 子断层的平均位错和应力降与大震的平均位错和应力降相同, 它们与作为经验格林函数小震的相应参数比分别为  $c = \bar{D}/D_s$ 、 $d = \Delta\sigma/\Delta\sigma_s$ , 根据 Brune 模型的远场 S 波谱, 则可推得对小震记录谱进行修正的公式为:

$$\Omega_{i,j}(\omega) = \frac{R_{ij}(\theta, \varphi)}{R_s(\theta, \varphi)} \cdot \frac{R_s}{R_{ij}} \cdot d \left( \frac{\omega_{cs} + i\omega}{\sqrt{c/d} \cdot \omega_{cs} + i\omega} \right)^2 \cdot \left( 1 - \frac{2\pi}{Q} \right)^{\omega(R_{ij} - R_s)/4\pi\beta} \times \Omega_s(\omega) \quad (2)$$

式中,  $R(\theta, \varphi)$  为辐射图型因子;  $i = \sqrt{-1}$ ;  $\omega_c$  为拐角圆频率;  $Q$  为介质的品质因子;  $R$  为震源距; 带下标“ij”的量为子断层事件 ( $i, j$ ) 的震源参数; 其他符号与前同。

## 1.2 改进的经验格林函数法

Kanamori 等 (1975) 通过统计地震资料, 得出地震矩  $M_0$ 、应力降  $W$ 、震源大小、破裂形式间有表 1 所示的关系:

表 1 地震矩、应力降与断层几何尺寸的关系

Table 1 Relation between seismic moment and fault geometry

地震矩	圆形破裂面	矩形走滑断层	矩形倾滑断层
$M_0$	$\frac{16}{7} \Delta\sigma r^3$	$\frac{\pi}{2} \Delta\sigma W^2 L$	$\frac{\pi(\lambda+2\mu)}{4(\lambda+\mu)} \Delta W^2 L$

### 1.2.1 大震子事件个数的确定

若大小地震之间应力降不同, 但几何形状相似, 则可由表 1 中的关系式推得:

$$\begin{cases} \frac{L}{L_s} = \frac{\lambda}{\lambda_s} = \left(E \frac{M_0}{M_{0s}}\right)^{1/3} = N \\ E = \frac{\Delta\sigma_s}{\Delta\sigma} \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $\lambda = \sqrt{LW/\pi}$  为等效半径。

大震的平均位错量所含子事件的平均位错量的个数  $N_D$  为:

$$N_D = \bar{D}/D_s = N \quad (4)$$

式中, 下标“s”表示大震子事件的参数。于是可知大震的子事件个数为  $N^3$ 。

若大小地震之间应力降不同, 而其几何形状亦不相似, 如大小震都是矩形走滑型断层, 大震断层的长宽比为  $k$ , 小震断层的长宽比为  $k_s$ , 则用同样的方法可推得:

$$\begin{cases} N_L = \frac{L}{L_s} = \left[ \left( \frac{E M_0}{M_{0s}} \right)^{1/3} \right] \\ N_w = [k_s \cdot N_L / k] \\ N_D = \bar{D} / \bar{D}_e = N_w \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $E = \frac{k^2}{k_s^2} \cdot \frac{\Delta\sigma_s}{\Delta\sigma}$ ;  $N_L$ 、 $N_w$ 、 $N_D$  分别为沿大震断层的长度方向、宽度方向分布的、与小震有相同几何尺寸的子断层个数。由式 (5) 可知, 大震的子事件个数为  $N_L \times N_w \times N_D$ 。

若大小地震满足相似性关系, 则  $E=1$ , 即可得到与 Irikura 法完全相同的确定子事件个数的公式。

### 1.2.2 小震记录的修正

由于大小震之间存在差异, 需要对小震记录进行修正, 使之能等同或尽可能等同于大震子事件的记录 (即大震的经验格林函数)。选用 Brune 模型的远场 S 波谱对小震记录进行修正时, 对于圆形破裂面, 地震动拐角圆频率的计算公式为:  $\omega_c = 2\beta\sqrt{\pi\lambda\Delta\sigma/M_0}$ 。将地震矩  $M_0 = \frac{16}{7}\Delta\sigma r^3$  代入其中可得:

$$\omega_c = 2.34 \beta / \lambda \quad (6)$$

考虑传播介质的物理衰减作用, 假定大震子事件的应力降  $\Delta\sigma_c$  等于大震应力降  $\Delta\sigma$ , 根据 Brune 模型的远场 S 波谱, 可得到对大震的第  $ij$  个子断层的子事件的谱  $\Omega_{ije}(\omega)$  为:

$$\Omega_{ije}(\omega) = R_{ij}(\theta, \varphi) \cdot \frac{\Delta\sigma}{\beta} \cdot \frac{1}{(\omega_{ce} + i\omega)^2} \cdot \left(1 - \frac{2\pi}{Q}\right)^{\omega R_{ij}/4\pi\beta} \quad (7)$$

而对于小震则为:

$$\Omega_s(\omega) = R_s(\theta, \varphi) \cdot \frac{\lambda_s}{R_s} \cdot \frac{\Delta\sigma_s}{\beta} \cdot \frac{1}{(\omega_{cs} + i\omega)^2} \cdot \left(1 - \frac{2\pi}{Q}\right)^{\omega R_s/4\pi\beta} \quad (8)$$

由于大震子事件的等效半径与小震相同, 即:

$$\omega_{ce} = \omega_{cs} \quad (9)$$

由 (7)、(8)、(9) 可得:

$$\Omega_{ije}(\omega) = \frac{R_{ij}(\theta, \varphi)}{R_s(\theta, \varphi)} \cdot \frac{R_s}{R_{ij}} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_s} \cdot \left(1 - \frac{2\pi}{Q}\right)^{\omega(R_{ij}-R_s)/4\pi\beta} \cdot \Omega_s(\omega) \quad (10)$$

上式就是采用 Brune 模型的远场 S 波谱对小震记录的水平分量进行修正的关系式。

### 1.2.3 叠加合成

Geller (1976) 从 Brune 模型推导出大震理论位错上升时间为:

$$t = \mu \bar{D} / \beta \Delta\sigma \quad (11)$$

则大震的上升时间  $t$  与大震子事件的上升时间  $t_e$  的关系为:

$$\frac{t}{t_e} = \frac{\bar{D}}{D_e} = N_D \quad (12)$$

对式 (10) 作傅里叶变换, 可得到大震的第  $ij$  个子断层的子事件时程曲线  $u_{ije}(t)$ , 然后即可叠加合成大震的时程曲线  $u(t)$ :

$$u(t) = \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_w} \sum_{k=1}^{N_D} u_{ije}(t - t_{ijr} - t_{ijc} - t_{ijd}) \quad (13)$$

其中:

$$\begin{cases} t_{ijr} = \frac{|\xi_0 - \xi_{ij}|}{V_r} \\ t_{ijc} = \frac{|R_s - R_{ij}|}{V_c} \\ t_{ijd} = (k-1)\tau_e \end{cases} \quad (14)$$

式中,  $t_{ijr}$ 、 $t_{ijc}$ 、 $t_{ijd}$  分别为破裂传播、波的传播、位错引起的滞后时间;  $\xi_0$ 、 $\xi_{ij}$  分别为大震断层破裂起始点位置坐标和子断层 ( $i, j$ ) 的坐标;  $R_s$ 、 $R_{ij}$  分别为小震、子断层 ( $i, j$ ) 的震源距;  $V_r$ 、 $V_c$  分别为破裂速度和波的传播速度。

### 1.3 谱的经验标定因子 $K(\omega)$ 的引入

考虑到用经验格林函数法进行地震动合成时与实际地震动总是存在一定的差异, 罗奇峰 (1989) 对经验格林函数法进行了改进, 引进了经验标定因子  $K(\omega)$ :

$$K(\omega) = \left[ \frac{1 + i \frac{\omega}{\omega_{cs}}}{\frac{1}{\sqrt{N}} + i \frac{\omega}{\omega_{cs}}} \right]^2 \quad (15)$$

一般情况下,  $N = N_D$ 。为了能模拟更复杂的情形, 还可将  $K(\omega)$  取成:

$$K(\omega) = K'(\omega) \left[ \frac{1 + i \frac{\omega}{\omega_{cs}}}{\frac{1}{\sqrt{N}} + i \frac{\omega}{\omega_{cs}}} \right]^2 \quad (16)$$

但是,  $K(\omega)$  的选择不是固定的, 它受到场地条件、地震波周期、地震矩等诸多因素的影响, 正是由于影响因素的复杂和不确定, 得到的标定因子的表达式并没有从理论上得出其物理意义。同时, 由于  $K(\omega)$  采用的是傅里叶谱的形式, 它的敏感性也不如傅里叶幅值谱形式, 因此, 本文不采用此标定因子。

## 2 随机有限断层法确定全局震源参数 (仅对于圆盘破裂形式)

Kanamori 等 (1975) 基于地震学理论确定了破裂面积和地震矩之间的理论关系式:

$$\log M_0 = 1.5 \log S + \log \Delta \sigma + \log C \quad (17)$$

对于圆盘破裂,  $C = \frac{16}{7\pi^{3/2}} = 0.4105$ , 代入上式可得:

$$\log M_0 = 1.5 \log S + \log \Delta \sigma - 0.3867 \quad (18)$$

Hanks 等 (1979) 通过研究美国大量地震记录, 得出地震矩与矩震级 ( $M_w$ ) 的关系为:

$$\log M_0 = 1.5M_w + 16.1 \quad (19)$$

破裂面积与矩震级的关系为:

$$\log S = M_w + 10.7 - \frac{2}{3}(\log \Delta\sigma - 0.3867) \quad (20)$$

根据应力降的概念, 对于圆盘破裂:

$$\Delta\sigma = C'u \frac{\bar{D}}{r} = \frac{7\pi}{16} \times 3.1 \times 10^{11} \times \frac{\bar{D}}{r} \quad (21)$$

式中,  $\bar{D}$  为断层上的平均滑动;  $\tilde{r}$  为圆盘半径。

$\tilde{r}$  可表示为:

$$\log \tilde{r} = 0.5M_w + 5.3 - 0.258 + 0.138 - \frac{1}{3} \log \Delta\sigma \quad (22)$$

$\bar{D}$  可表示为:

$$\log \bar{D} = 0.5M_w + 5.4 - 0.258 + \frac{2}{3} \log \Delta\sigma - 11.5 \quad (23)$$

由于本文实例计算中, 假设采用的是圆形破裂面, 其它破裂形式未作考虑, 故公式和相关参数的推导过程可参考有关文献 (罗奇峰, 1989; Hanks 等, 1979; 王海云, 2004), 以上计算中相关常数可直接带入计算。

### 3 新疆阿图什 $M_S$ 6.0 级强余震地震动的加速度合成

新疆阿图什 6.9 级主震发生后, 在乌恰 (a 号测震台) 和喀什 (b 号测震台) 2 个观测点 (地面) 上, 用 SMA-1 强震仪分别获得了  $M_S$  6.0 级和  $M_L$  4.7 级余震的加速度记录 (陈棋福等, 2003)。本文用  $M_L$  4.7 级地震的 2 个水平加速度记录作为经验格林函数, 合成前一个最大强余震的 2 个水平加速度记录, 并进行比较分析。表 2 给出了 2 次地震和台站的基本参数。

表 2 地震及地震台站基本参数

Table 2 Basic parameters of earthquakes and seismic stations

震级	发震时间	经纬度	a 号测震台方位	b 号测震台方位
6.0	1998-3-19	76°49'	76°43'	76°39'
	21-51-31	40°07'	40°17'	40°11'
4.7	1998-7-1	76°57'	76°48'	76°51'
	00-43-33	40°22'	40°29'	40°27'

#### 3.1 地震基本参数的确定

许力生等 (1997) 选用圆形破裂面, 采用标定关系估算了新疆阿图什主震及强余震的震源参数。由标定关系和给出的震源参数, 本文用随机有限断层法求出了全局震源参数并进行了对比, 然后按 Brune 模型的理论谱与实际记录的 Fourier 谱的拟合情况, 进一步修

正确定了这些参数。图 1 为理论谱和观测记录的 Fourier 谱的拟合情况, 表 3 给出了相应的参数。

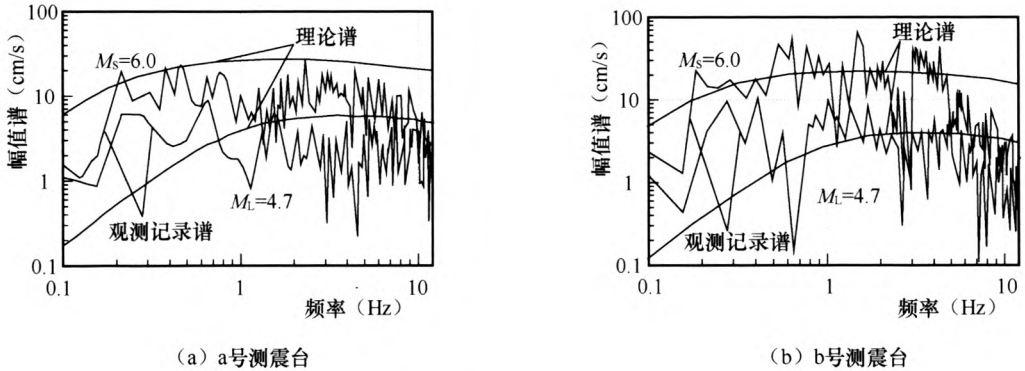


图 1 观测记录的 Fourier 谱与 Brune 模型理论谱的拟合情况

Fig. 1 Fourier and Brune spectra of recordings

表 3 地震震源参数

Table 3 Earthquake source parameters

震级	震源深度 $h$ (km)	地震矩 $M_0$ ( $n \cdot m$ )	断层长度 (km $\cdot$ km)	应力降 $\Delta\sigma$ (bar)	位错 $D$ (m)	上升时间 $\tau$ (s)
6.0	15	$0.3 \times 10^{18}$	$10.0 \times 4.6$	40	0.25	0.6
4.7	20	$0.9 \times 10^{16}$	$3.4 \times 1.7$	40	0.10	0.2

根据地域条件选择参数, 本文选取该区域断层的破裂速度、波速和品质因子分别为:  $V_r=2.3\text{km/s}$ ;  $V_p=6.6\text{km/s}$ ;  $V_s=3.5\text{km/s}$ ;  $Q=300$ 。由上述确定子源个数的方法可得:

$$N_D = N_L = N_w = \left[ \frac{M_0}{M_{0s}} \right]^{1/3} \approx 3$$

### 3.2 合成计算结果分析

本文只进行了加速度合成, 合成大震和小震的实际记录都采用四阶 Butterworth 滤波器进行 0.3Hz—15.0Hz 的带通滤波。根据表 2, 由于大震和小震的震源位置不同, 使得 2 次地震产生的地震波传播路径略有差异, 用几何衰减项  $R_0/R$  ( $R$  为震源距) 对小震进行校正, 同时用最小二乘法对小震时程记录进行基线校正(牛志国等, 2006)。利用上述方法, 经过多种破裂方式的试算比较、对比分析, 考虑到小震震级较小, 子源破裂模式确定为圆形破裂面。

图 2 和图 3 分别给出了 a 号测震台和 b 号测震台的小震 ( $M_L 4.7$  级余震)、大震 ( $M_S$  级 6.0 余震) 记录, 以及合成的大震加速度记录。对比结果为: a 号测震台记录到的大震峰值加速度为 E-W 向  $63\text{cm/s}^2$ , S-N 向  $39\text{cm/s}^2$ ; b 号测震台记录到的大震峰值加速度为 E-W 向  $52\text{cm/s}^2$ , S-N 向  $80.5\text{cm/s}^2$ 。合成 a 号测震台大震峰值加速度为 E-W 向  $61\text{cm/s}^2$ , S-N 向  $45\text{cm/s}^2$ ; 合成 b 号测震台大震峰值加速度为 E-W 向  $71\text{cm/s}^2$ , S-N 向  $87\text{cm/s}^2$ 。总体上看, 二者在峰值、持时和包络线上的结果还是基本令人满意的。

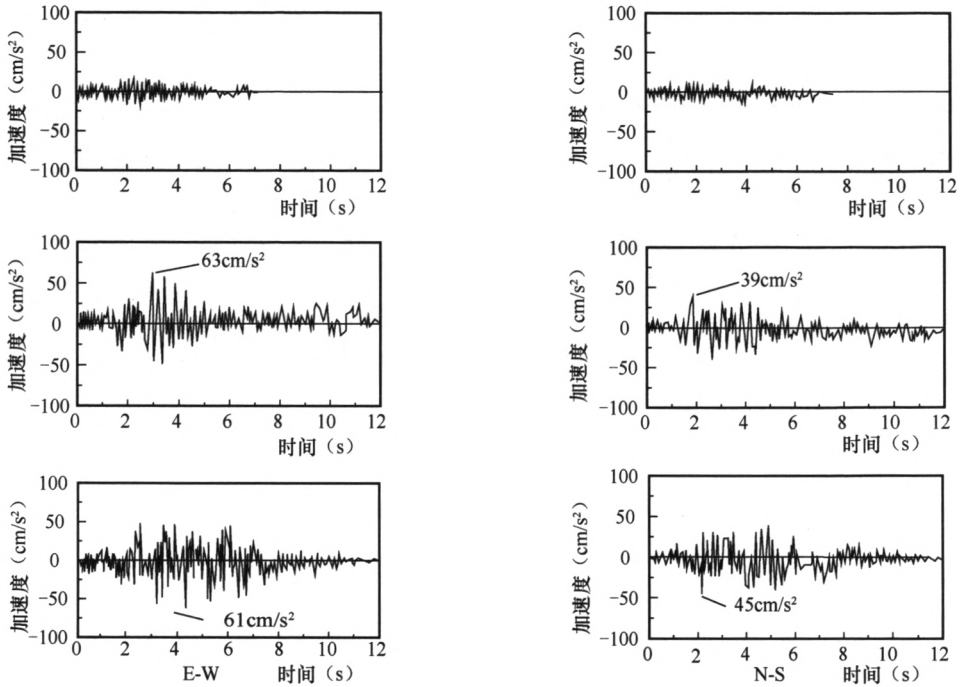


图 2 a 号测震台小震 (上)、大震 (中) 的观测记录与合成加速度时程 (下)

Fig. 2 Accelerograms of small earthquake (top), large earthquake (middle) and synthetical time history (bottom) at station a

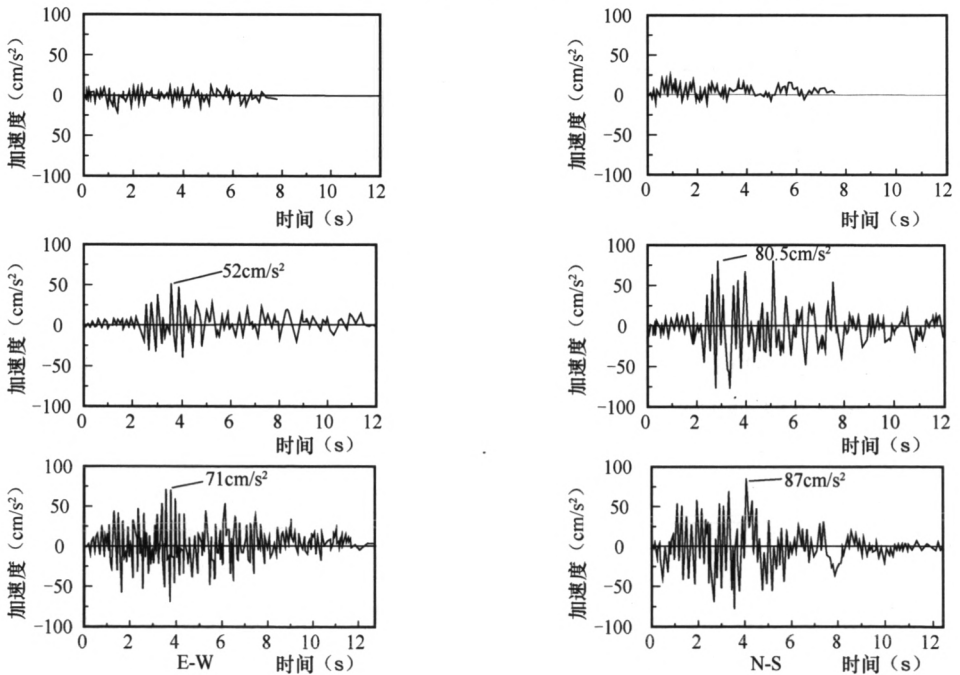


图 3 b 号测震台小震 (上)、大震 (中) 的观测记录与合成加速度时程 (下)

Fig. 3 Accelerograms of small earthquake (top), large earthquake (middle) and synthetical time history (bottom) in station b

从观测记录和合成加速度时程 Fourier 谱 (图 4) 的对比分析可看出, 在所研究的频段内, 两者差别较小, 但合成结果的 Fourier 谱值, 在 1.8Hz 附近处与实际记录的谱值相比, 存在幅值明显偏低, 其原因是本文采用的子源为圆破裂模式。根据小震的断层尺度, 可得到破裂源的等效半径  $\lambda=1.35\text{km}$ , 由破裂速度可得子源的破裂终止时间为 0.56s, 相当于 1.75Hz, 这表明子源的特性对合成结果的频谱成份有影响。同时也说明, 用 Brune 模型的远场波谱来对小震进行修正, 所得结果也只是对真正意义上的子源的一种近似。

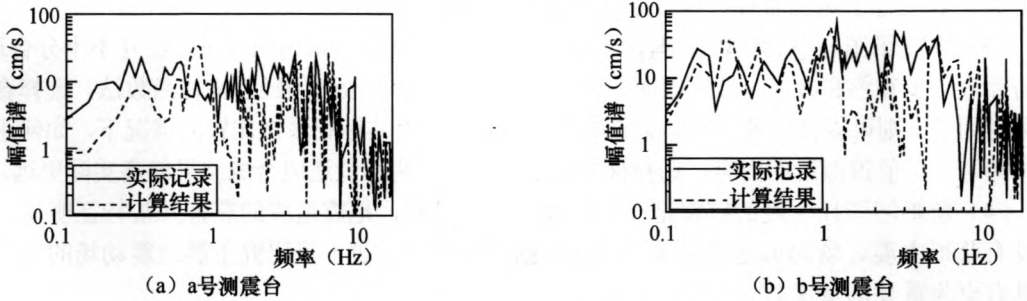


图 4 观测记录与合成结果的 Fourier 谱

Fig. 4 Observed vs. synthetic Fourier spectra

图 5 为观测记录与合成结果的绝对加速度反应谱, 从图中可看出, 总体上说, 两者之间的拟合程度是可以接受的。

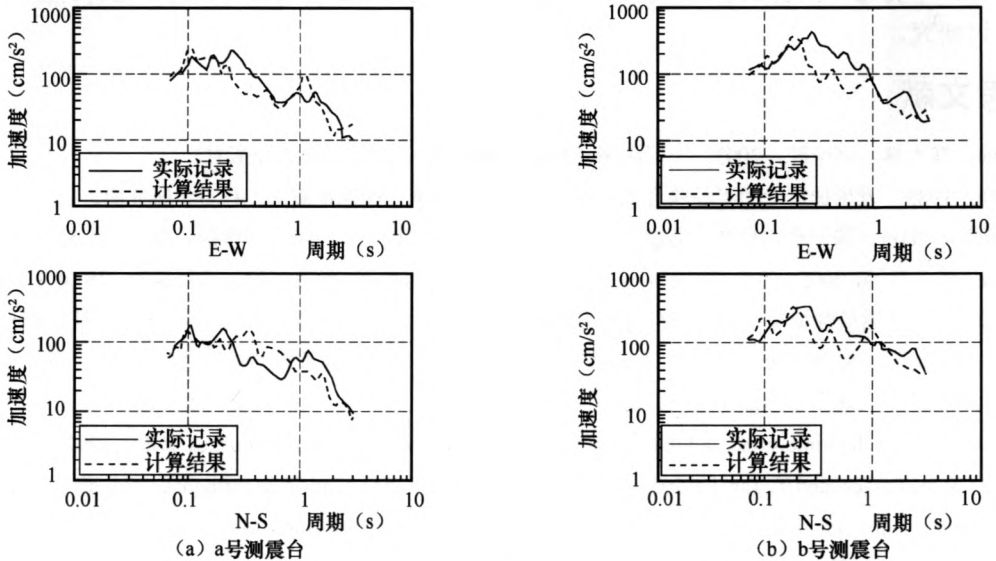


图 5 观测记录与合成结果的绝对加速度反应谱 ( $\eta=5\%$ )

Fig. 5 Comparison of absolute acceleration response spectra between observed and synthetic time history ( $\eta=5\%$ )

在上述计算过程中, 断层破裂面取为圆盘破裂面, 破裂方式为单侧破裂。如果采用不同的破裂方式进行拟合, 计算结果与实际记录相比可能会出现一定的差异。由于本文的震源参数都是通过理论计算得到的, 所采用的方法原则上是试算法, 所以难以对震源过程及其细节给出精确的描述。尽管如此, 得到的结果仍可满足工程实际应用中的精度要求。



## 4 结论

(1) 本文将改进的经验格林函数法与随机有限断层法相结合, 合成了新疆阿图什  $M_S6.0$  级地震的近场强余震加速度时程, 从峰值、持时、反应谱等各方面与真实记录进行了比较, 所得结果基本上令人满意。

(2) 借鉴随机有限断层法合成地震动(石玉成等, 2005)中, 地震震源参数的确定方法, 对全局参数进行了对比验算, 保证了最后选择参数的合理性。

(3) 大震子源与小震经历的是不同的破裂过程。图 4 说明常用的修正方法并不十分合理, 还需要进一步完善和改进。计算表明: 采用罗奇峰(1989)改进的经验格林函数法, 选择合适的标定因子, 则可以很好的与实际记录吻合。但是在没有实际记录做比较的情况下, 如何正确选择却是一个值得探讨的内容, 选择标定因子不合理, 将可能造成合成结果偏离实际更远。

(4) 新疆阿图什主震的破裂是一个比较复杂的过程, 地震造成的震害异常特征明显, 加之没有获得主震近场的加速度记录, 因此根据现有资料, 进一步研究主震地震动场的特征, 将具有更为重要的意义。

(5) 经验格林函数法与随机有限断层法二者联合使用, 条件必然要求更严格。其中最主要的条件是必须先满足经验格林函数法合成地震动的要求, 即必须有满足一定条件的小震记录。在没有取得小震记录的地区, 这种方法的应用存在一定的局限性, 由于随机有限断层法条件相对宽松, 较容易得到满足。

(6) 本文第一次尝试了将经验格林函数法与随机有限断层法结合使用, 还有许多地方值得探讨研究。

## 参考文献

- 陈棋福, 郑大林, 高荣胜, 2003. 中国震例(1997—1999年). 北京: 地震出版社.
- 罗奇峰, 1989. 近场加速度的半经验合成. 博士论文. 哈尔滨: 国家地震局工程力学研究所.
- 牛志国等, 2006. 基于水工标准反应谱的人工地震动合成及其校正. 三峡大学学报, **28**(6): 513—517.
- 石玉成, 陈厚群等, 2005. 随机有限断层法合成地震动的研究与应用. 地震工程与工程振动, **25**(4): 18—23.
- 王海云, 2004. 近场强地震动预测的有限断层震源模型. 博士论文. 哈尔滨: 国家地震局工程力学研究所.
- 许力生, 陈运泰, S. Fasthoff, 1997. 1996年2月3日云南丽江7.0地震震源过程时空复杂性. 见: 中国地震学研究进展, 北京: 地震出版社, 91—105.
- Brune J. N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. IGR, 4997—5009.
- Dan K., T. Watanabe and T. Tanaka, 1989. A semi-empirical method to synthesize earthquake ground motion based on approximate far-field shear-wave displacement. Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No. 396:27—36.
- Geller R. J., 1976. Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes. BSSA, **66**: 1501—1523.
- Hanks T. C. and H. Kanamori, 1979. Moment-magnitude scale. J. Geophys. Res., **84**: 2348—2350.
- Irikura K., 1983. Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes. Bull. Discs. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. :63—104.
- Kanamori H. and D. L. Anderson, 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. BSSA, **65**: 1073—1095.

# The Combine Application of Empirical Green's Function and Stochastic Finite Fault Method in Simulating Near-Site Strong Ground Motion

Wang Guoxin and Shi Jiaping

(State Key Laboratory of Coastal and offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract** By combining semi-empirical Green's function method and stochastic finite faults method, the accelerograms of the biggest aftershock ( $M_s6.0$ ) is synthesized on the basis of  $M_14.7$  aftershock of an main event ( $M6.9$ ) occurred in Atushi, Xinjiang in 1998. Earthquake epicenter parameters are determined by semi-empirical Green's function method, and rationality is calculated by stochastic method. The comparison between the synthesis results and actual records in frequency and time domains, seismic characteristics of the largest aftershock and the possibility of rupture characteristics are analyzed. In the end, the further improvement of semi-empirical Green's function method is discussed.

**Key words:** Empirical Green's function; Stochastic finite faults method; Response spectrum