

文章编号: 0253-3782(2006)06-0629-09

# 近断层速度脉冲的地震动特性研究\*

韦 韬<sup>1, 2)</sup> 赵凤新<sup>1), †</sup> 张郁山<sup>1)</sup>

1) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

2) 中国桂林 541004 桂林工学院

**摘要** 在搜集了大量近断层具有速度脉冲的记录后, 对有速度脉冲和无速度脉冲的记录的反应谱和特征周期进行了对比, 将近断层记录的反应谱与我国规范标准反应谱进行了比较, 还将各次地震有速度脉冲记录的反应谱和特征周期与规范标准谱及规范给出的特征周期进行了比较. 通过比较可知, 在长周期段(大约在 1.5 s 以后), 有速度脉冲记录的反应谱值要比无速度脉冲记录的反应谱值大; 计算特征周期时, 对于近断层记录,  $T_1$  和  $T_2$  有后延的趋势, 采用不固定频段的方法计算更加合理; 无论是相对我国规范的 I 类还是 II 类场地, 有速度脉冲记录的特征周期比规范中给出的值都要大, 均在规范值的 2 倍以上.

**关键词** 近断层 速度脉冲 地震动 反应谱 特征周期

**中图分类号**: P315.9 **文献标识码**: A

## 引言

对于近断层速度脉冲的产生机理, 目前已经取得一些研究成果(Kawase, Aki, 1990; Somerville, Graves, 1993; Hall *et al.*, 1995; Oglesby, Archuleta, 1997; Bouchon *et al.*, 2001). Bertero(1976)等研究了速度脉冲对工程结构的影响; Hall 等(1995)、Somerville (1998)、Sasani 和 Bertero(2000)、Alavi 和 Krawinkler(2000)以及 Orozco 和 Ashford (2002)则尝试将速度脉冲进行简化, 以便能够在结构抗震设计中使用. 但是对于近断层速度脉冲的地震动特性, 目前开展的研究还不是很多. Mavroeidis 等(2004)用建立设计标准谱的方法, 通过脉冲周期和振幅这两个系数, 由不同震级范围得到不同的设计标准谱来描述近断层速度脉冲的影响, 但是使用的记录太少, 不具有广泛的代表性. 国内一些学者对近断层速度脉冲也开展了一定的研究(邬鑫, 朱晞, 2003; 李新乐, 朱晞, 2003, 2004; 王京哲, 朱晞, 2003), 但是很少对地震动特性进行研究.

近年来通过对几次大地震的震害调查和研究, 国外一些国家都加强了对近断层地区设防力度. 我国《建筑抗震设计规范》(中华人民共和国国家标准, 2001)中虽然考虑了突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段对设计地震动参数可能产生的放大作用, 其地震影响系数最大值应乘以一个不大于 1.6 的增大系数, 但并未考虑近断层速度脉冲的影响.

本文在搜集了大量近断层具有速度脉冲的记录后, 对有速度脉冲和无速度脉冲记录的反应谱和特征周期进行对比, 将近断层记录的反应谱与我国规范标准反应谱进行比较, 还

\* 国家自然科学基金项目(50278090)资助. 中国地震局地球物理研究所论著 06AC1038.  
2006-02-02 收到初稿, 2006-07-26 决定采用修改稿.

† 通讯作者. E-mail: fx\_zhang@sina.com

将各次地震有速度脉冲记录的反应谱和特征周期与规范标准谱及规范给出的特征周期进行比较,研究了近断层速度脉冲的地震动特性.近断层速度脉冲的大小、有无与震源机制、观测点位置、记录分量都很有关系.工程中设计时常用的是地震动的水平分量,因此本文搜集的地震记录均为水平分量.

由于我国大陆地区获得的近断层强震记录很少,因此目前对于近断层地震动研究采用的大多数是国外的记录或者我国台湾地区集集地震的记录.记录台站场地类别的划分采用美国地质调查局(USGS)的划分标准,对集集地震,采用台湾气象局(CWB)的划分标准.根据周锡元等(2001)以及周雍年和于海英(2001)的研究,本文在使用这些记录时,用美国记录中的 A, B 类场地与我国规范的 I 类场地进行对比, C 类场地与 II 类场地对比;对我国台湾集集地震中记录的 B, C 类场地与我国规范的 I 类场地对比, D 类场地与 II 类场地对比.

## 1 反应谱的比较

### 1.1 近断层有、无速度脉冲记录的反应谱比较

在比较的时候,考虑到不同的震级、断层机制可能会带来一些影响,因此在比较近断层有速度脉冲记录反应谱和无速度脉冲记录反应谱的不同,只选用了 1994 年美国 Northridge 地震和 1999 年台湾集集地震的记录.

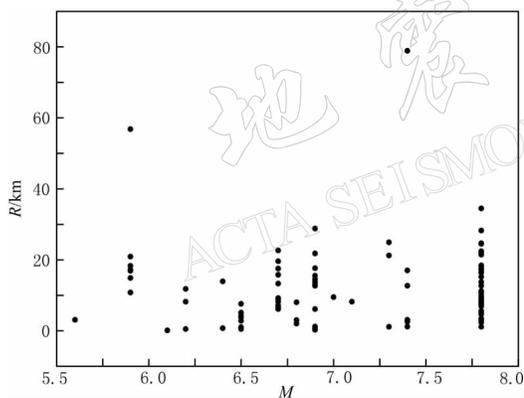


图 1 震级( $M$ )与断层距( $R$ )分布关系图

使用的 Northridge 地震记录中, B 类场地有、无速度脉冲的记录分别为 11 条和 12 条; C 类场地有、无速度脉冲的记录分别为 14 条和 14 条. 集集地震 B, C 类场地有、无速度脉冲的记录分别为 21 条和 24 条; D 类场地有、无速度脉冲的记录分别为 38 条和 42 条. 其它各次地震中有速度脉冲的记录共 71 条, 见表 1. 其中部分台站记录的两个水平分量均有速度脉冲. 图 1 给出了近断层具有速度脉冲记录的各次地震的震级( $M$ )与断层距( $R$ )的分布关系图.

计算出各自阻尼比为 0.05 的反应谱后, 做出相应的平均反应谱曲线, 见图 2 和图 3 (图 2~5 曲线中, 实线表示有速度脉冲记录的反应谱, 虚线表示无速度脉冲记录的反应谱).

在 Northridge 地震的近断层记录中, 因为有速度脉冲记录的加速度峰值和速度峰值均比无速度脉冲记录的大, 所以无论 B 类还是 C 类场地, 有速度脉冲记录的反应谱值在平台段、短周期段和长周期段均比无速度脉冲记录的反应谱值要大.

从图 2、图 3 中可以看到, 在 Northridge 地震中, 在不同的场地条件下, 大约 0.5 s 以后, 有速度脉冲记录的反应谱值要比无速度脉冲记录的反应谱值大. 在集集地震 B 类和 C 类场地中, 在 1 s 以后, 有速度脉冲记录的反应谱值要比无速度脉冲记录的反应谱值大; 在 D 类场地中, 在 1.5 s 以后, 有速度脉冲记录的反应谱值要比无速度脉冲记录的反应谱值

表 1 其它各次地震中有速度脉冲的记录

年-月-日	地震名称	记录台站	年-月-日	地震名称	记录台站
1966-06-27	Parkfield	Cholame # 2	1987-11-24	Superstition Hills	EC Imp Co Center
1971-02-09	San Fernado	Pacoima Dam	1987-11-24	Superstition Hills	Parachute Test Site
1976-05-17	Gazli USSR	Karakyr	1989-10-17	Loma Prieta	Coyote Lake Dam
1976-06-08	Coyote Lake	Gilroy Array # 6	1989-10-17	Loma Prieta	Gilroy Array # 3
1976-11-15	唐山余震	天津医院	1989-10-17	Loma Prieta	Gilroy-Historic Bldg
1978-09-16	Tabas	Tabas	1989-10-17	Loma Prieta	Hollister-South & Pine
1979-10-15	Imperial Valley	EC County Center	1989-10-17	Loma Prieta	LGPC
1979-10-15	Imperial Valley	EC Differential Array	1989-10-17	Loma Prieta	Saratoga-Aloha Ave
1979-10-15	Imperial Valley	EC Meloland Overpass	1989-10-17	Loma Prieta	Saratoga-W Valley Coll
1979-10-15	Imperial Valley	EC Array 4	1992-03-13	Turkey, Erzican	Erzican
1979-10-15	Imperial Valley	EC Array 5	1992-04-25	Cape Mendocino	Petrolia
1979-10-15	Imperial Valley	EC Array 6	1992-06-28	landers	Coolwater
1979-10-15	Imperial Valley	EC Array 7	1992-06-28	Landers	Luceme
1979-10-15	Imperial Valley	EC Array 8	1992-06-28	landers	Yermo Fire Station
1984-04-24	Morgan Hill	Coyote Lake Dam	1995-01-17	Kobe, Japan	KJMA
1984-04-24	Morgan Hill	Gilroy # 6	1995-01-17	Kobe, Japan	Shin-Osaka
1985-12-23	Nahanni CAN	Slide Mountain	1995-01-17	Kobe, Japan	Takarazuka
1986-07-08	North Palm Springs	North Palm Springs	1995-01-17	Kobe, Japan	Takatori
1987-10-10	Whittier Narrows	Compton-Castlegate St	1999-08-17	Kocaeli, Turkey	Ambarli
1987-10-10	Whittier Narrows	Downey-Birchdale	1999-08-17	Kocaeli, Turkey	Duzce
1987-10-10	Whittier Narrows	Downey-Co Maint Bldg	1999-08-17	Kocaeli, Turkey	Gebze
1987-10-10	Whittier Narrows	LA - Obregon Park	1999-08-17	Kocaeli, Turkey	Sakarya
1987-10-10	Whittier Narrows	LB - Orange Ave	1999-08-17	Kocaeli, Turkey	Yarimca
1987-10-10	Whittier Narrows	Lakewood-Del Amo Blvd	1999-11-12	Duzce, Turkey	Bolu
1987-10-10	Whittier Narrows	Norwalk-Imp Hwy S Grnd	1999-11-12	Duzce, Turkey	Duzce
1987-10-10	Whittier Narrows	Santa Fe Springs	2002-11-03	Denali Fault	AKR109

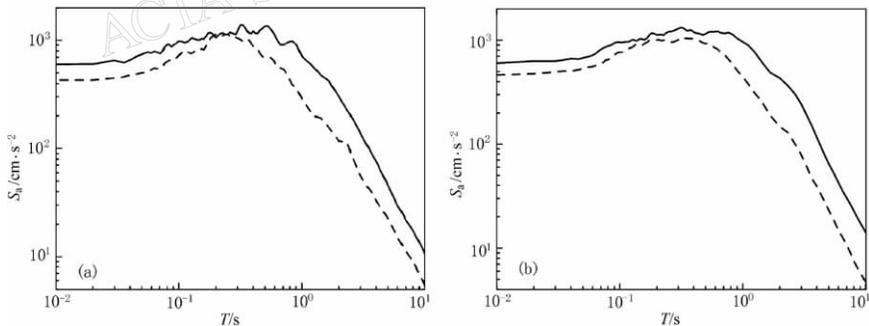


图 2 1994 年 Northridge 地震有、无速度脉冲记录的反应谱比较

(a) B 类场地; (b) C 类场地

大。这说明同样是在近断层的条件下，有速度脉冲记录的反应谱值在长周期段比无速度脉冲记录的反应谱值偏大。

### 1.2 重新标定后近断层有、无速度脉冲记录的反应谱比较

由于有速度脉冲和无速度脉冲的反应谱曲线起点相差较大，为了更好地比较，将其进行重新标定，使两条曲线的开始点反应谱值相等(图 4、图 5)。

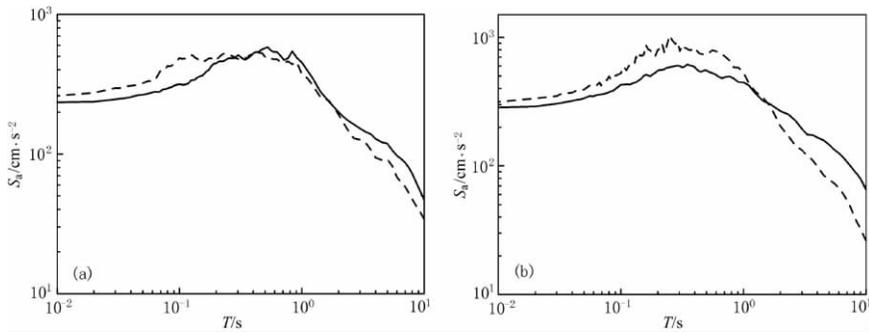


图 3 1999 年集集地震有、无速度脉冲记录的反应谱比较  
(a) B 和 C 类场地; (b) D 类场地

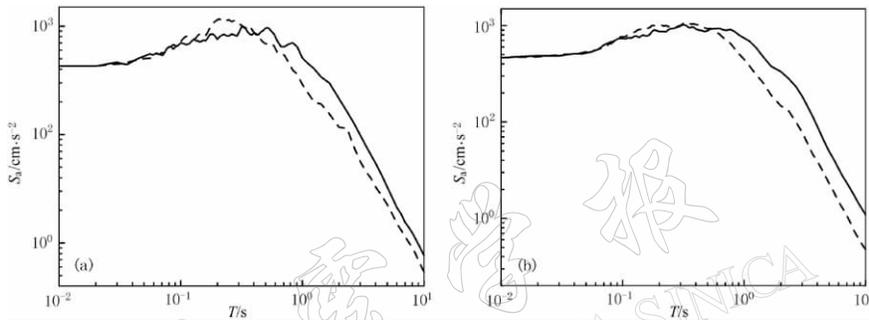


图 4 重新标定后 1994 年 Northridge 地震有、无速度脉冲记录的反应谱比较  
(a) B 类场地; (b) C 类场地

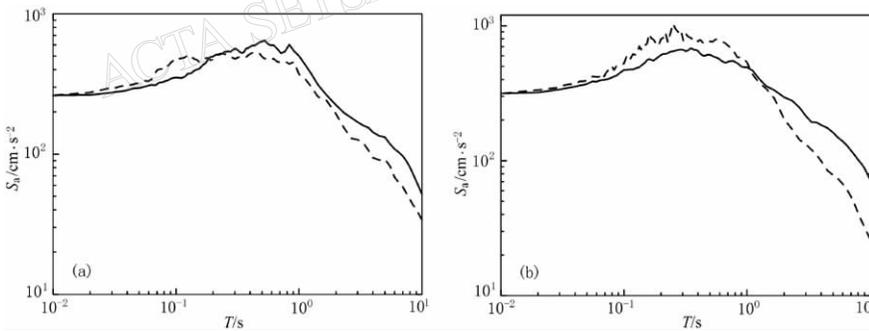


图 5 重新标定后 1999 年集集地震有、无速度脉冲记录的反应谱比较  
(a) B 和 C 类场地; (b) D 类场地

从图 4 中可以更清楚地看到：① 有速度脉冲记录的反应谱曲线和无速度脉冲记录的反应谱曲线总是相交的。设相交处周期为  $T_j$ ，在周期小于  $T_j$  时，有速度脉冲记录的反应谱值小于无速度脉冲记录的反应谱值；在周期大于  $T_j$  时，有速度脉冲记录的反应谱值大于无速度脉冲记录的反应谱值；② 反应谱的特征周期，也就是平台段的下降拐点，不论是有速度脉冲记录的反应谱曲线还是无速度脉冲记录的反应谱曲线，C 类场地的要比 B 类场地的要大。对于无速度脉冲记录反应谱的特征周期，B 类场地约为 0.4 s，C 类场地约为 0.6 s；对于有速度脉冲记录反应谱的特征周期，B 类场地约为 0.8 s，C 类场地约为 1.0 s。说明具

有速度脉冲地震动的特征周期会变长。

从图 5 中可以看到, 集集地震中有速度脉冲记录和无速度脉冲记录的反应谱, 其平台段长度与特征周期均相差不大。这可能是由于集集地震中近断层记录的长周期分量特别丰富的缘故。

### 1.3 近断层记录的反应谱与我国规范标准反应谱的比较

我国建筑抗震设计规范中提供设计使用的是建筑结构地震影响系数曲线, 也就是规范标准反应谱或规范设计反应谱, 用于预估建筑结构在其设计基准期内可能经受的地震作用, 通常是根据大量实际地震记录的反应谱进行统计并结合工程经验加以确定的。由于以前具有速度脉冲的近断层记录很少, 因此对于近断层速度脉冲的影响, 目前的规范标准反应谱还未能体现出来。

规范给出的地震影响系数曲线中, 两个主要的参数是水平地震影响系数最大值  $\alpha_{\max}$  和特征周期值  $T_g$ 。2001 规范中水平地震影响系数最大值  $\alpha_{\max}$  沿用了 1989 年规范中各设防烈度所对应的设计基本加速度值, 并增加了  $1.5 \text{ m/s}^2$  和  $3.0 \text{ m/s}^2$  两档设计基本加速度值; I, II, III 类场地的设计特征周期值  $T_g$  较 1989 年规范的值约增大了 0.05 s。

在进行与规范标准反应谱的比较时, 将有速度脉冲的记录进行分类, 分别与抗震设防烈度 VII 度(设计基本地震加速度值  $1.5 \text{ m/s}^2$ )、VIII 度(设计基本地震加速度值  $2 \text{ m/s}^2$ ) 和 VIII 度(设计基本地震加速度值  $3 \text{ m/s}^2$ ) 3 种标准谱相比较, 其分类如下:

1) Northridge 地震 B 类和 C 类场地各为一种情况, 分为有速度脉冲和无速度脉冲记录。

2) 集集地震 B 类和 C 类场地以及 D 类场地各为一种情况, 分为有速度脉冲和无速度脉冲记录。

3) 其余多次地震的有速度脉冲记录按震级  $6.0 \sim 6.9$ 、 $7.0 \sim 7.5$  分为两组(因为  $5.0 \sim 5.9$  的记录太少, 故没有考虑), 各自又分 A 类和 B 类场地以及 C 类场地两种情况。比较的结果见图 6~图 9。图中, VII ( $1.5 \text{ m/s}^2$ ) 为抗震设防烈度 VII 度, 设计基本地震加速度值  $1.5 \text{ m/s}^2$  的规范标准反应谱; VIII ( $2 \text{ m/s}^2$ ) 为抗震设防烈度 VIII 度, 设计基本地震加速度值  $2 \text{ m/s}^2$  的规范标准反应谱; VIII ( $3 \text{ m/s}^2$ ) 为抗震设防烈度 VIII 度, 设计基本地震加速度值  $3 \text{ m/s}^2$  的规范标准反应谱。

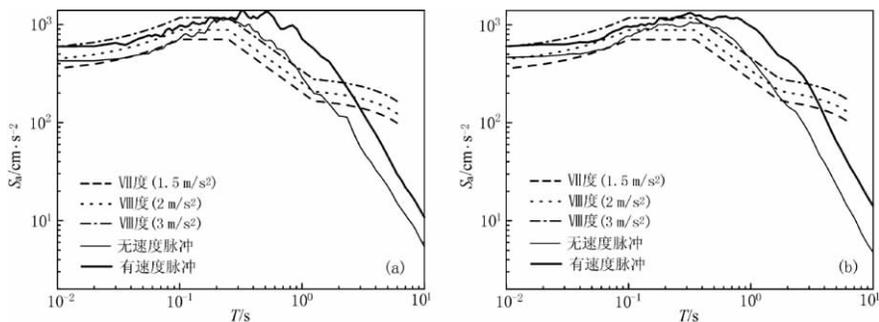


图 6 1994 年 Northridge 地震有、无速度脉冲记录的反应谱与标准谱的比较

(a) B 类场地; (b) C 类场地

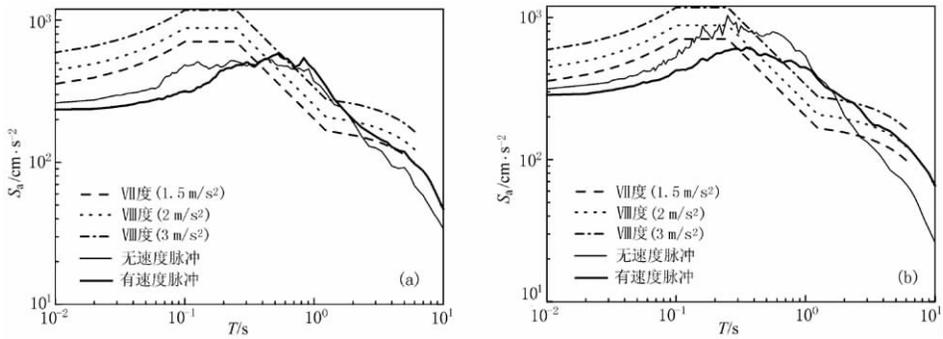


图 7 1999 年集集地震有、无速度脉冲记录的反应谱与标准谱的比较

(a) B 类和 C 类场地; (b) D 类场地

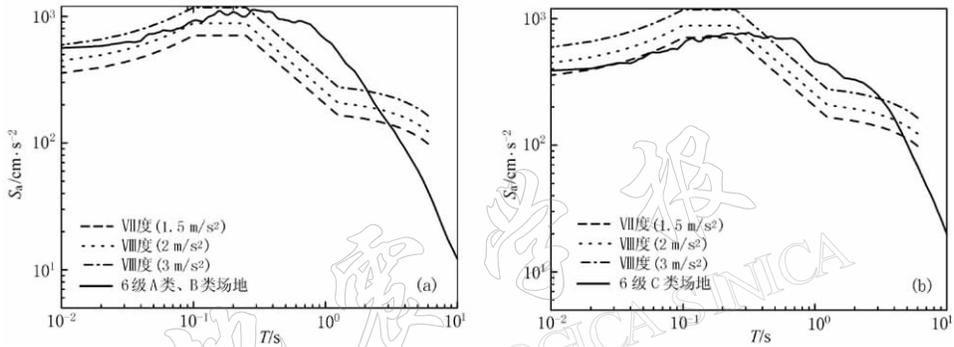


图 8 6.0~6.9 级地震有速度脉冲记录的反应谱与标准谱的比较

(a) A 类和 B 类场地; (b) C 类场地

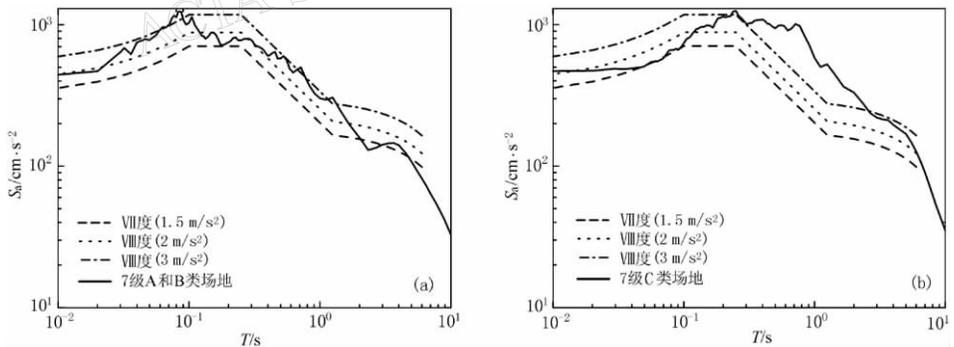


图 9 7.0~7.5 级地震有速度脉冲记录的反应谱与标准谱的比较

(a) A 类和 B 类场地; (b) C 类场地

从图中可以看到,反应谱的最大值,也就是平台段的值,除集集地震以及 6.0~6.9 级的 C 类场地外,均接近或超过了抗震设防烈度 VIII 度(设计基本地震加速度值 3 m/s<sup>2</sup>)的反应谱最大值;Northridge 地震中明显可以看到无速度脉冲的记录反应谱与标准谱差别不大,在 2 s 之后甚至比标准谱还小,而有速度脉冲的谱值在 0.5 s 到约 2.5 s 的区间,其谱值明显比标准谱大。

集集地震中也能看到类似的现象, 但是有、无速度脉冲记录之间的差别不是很明显, 造成这一情况的原因可能有两个: 一是记录到的加速度峰值并不是特别的大, 超过  $10 \text{ m/s}^2$  的记录极少; 二是这次地震近断层记录中的长周期分量很明显, 速度时程中有很多峰值较大、持时较长的突起, 只是因为没有起控制作用的突起, 故本文未将其列为有速度脉冲的一类。

从图 6~图 9 中可以看到一个共同特征, 即有速度脉冲地震动反应谱的平台段普遍要比标准谱的长. 从标准谱平台段结束点到约  $2.5 \text{ s}$  的区段内, 有速度脉冲地震动的反应谱谱值要比标准谱谱值大, 甚至比抗震设防烈度 VIII 度(设计基本地震加速度值  $3 \text{ m/s}^2$ ) 的标准谱谱值都大. 唯一例外的是 7.0~7.5 级 A 类和 B 类场地的情况. 这可能是因为这种情况下的记录偏少(只有 6 条), 未能较全面地反映该类场地的情况。

## 2 特征周期的比较

特征周期  $T_g$  是抗震规范给出的地震影响系数曲线中的一个重要参数. 反应谱特征周期的定义与有效峰值速度( $V_{ep}$ )、有效峰值加速度( $A_{ep}$ )有关(胡聿贤, 1988). 1978 年美国 ATC-3 规范中将阻尼比为 5% 的加速度反应谱在周期  $0.1 \sim 0.5 \text{ s}$  之间的值平均为  $S_a$ , 将阻尼比为 0.05 的速度反应谱在周期  $0.5 \sim 2 \text{ s}$  之间的值平均为  $S_v$ , 有效峰值速度、有效峰值加速度的定义分别为

$$A_{ep} = S_a / 2.5 \quad (1)$$

$$V_{ep} = S_v / 2.5 \quad (2)$$

常数 2.5 是一个经验系数, 其物理意义为由多次重复的峰值决定的反应谱的放大倍数。

上述方法是用固定周期来求取  $A_{ep}$  和  $V_{ep}$ . 中国地震烈度区划图(胡聿贤, 2001)在求取  $A_{ep}$  和  $V_{ep}$  时则采用不固定频段的方法, 对每条反应谱具体分析以确定相应的平台频段. 其具体做法是: 在对数坐标系中同时做出绝对加速度反应谱和拟速度反应谱, 找出加速度反应谱平台段的起始周期  $T_0$  和结束周期  $T_1$ ; 再在拟速度反应谱上选定平台段, 其起始周期为  $T_1$ , 结束周期为  $T_2$ ; 将加速度反应谱在  $T_0 \sim T_1$  之间的谱值求平均得  $S_a$ , 拟速度反应谱在  $T_1 \sim T_2$  之间的谱值求平均得  $S_v$ . 加速度反应谱和拟速度反应谱在平台段的放大系数仍采用 2.5, 按公式(1)、(2)求得  $A_{ep}$ 、 $V_{ep}$ . 则反应谱特征周期  $T_g$  的定义是

$$T_g = 2\pi \frac{V_{ep}}{A_{ep}} \quad (3)$$

目前对基岩上  $T_g$  的认识是: 它随着震级的增大而增大, 也随着距离的增大而增大。

本文对有速度脉冲的记录按场地分类, 分别计算出它们的特征周期, 并计算了 Northridge 地震和集集地震的近断层无速度脉冲记录的特征周期. 其结果见表 2~4.

表 2 Northridge 地震记录(场地类别按 USGS 分类)反应谱的特征周期 单位: s

场地类别	速度脉冲	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_g$
B	有	0.12	0.91	2.02	0.81
B	无	0.08	0.67	1.75	0.34
C	有	0.12	1.01	2.24	0.81
C	无	0.09	0.75	1.44	0.5

表 3 集集地震记录(场地类别按 CWB 分类)反应谱的特征周期 单位: s

场地类别	速度脉冲	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_g$
B, C	有	0.15	0.98	2.49	0.90
B, C	无	0.17	0.74	2.04	0.73
D	有	0.12	1.17	2.69	0.97
D	无	0.19	0.9	1.87	0.72

从表中可以看到,  $T_1$  值和  $T_2$  值较 0.5 s 和 2 s 有延后的趋势, 相对固定频段求  $A_{ep}$ 、 $V_{ep}$  的方法, 采用不固定频段的方法显然对近断层的记录更加合理; 有速度脉冲记录的特征周期比没有速度脉冲记录的特征周期要大, 增加大约 0.2 s 以上. 我国抗震设计规范中, 在近震的情况下, I 类场地的特征周期是 0.25 s, II 类场地的特征周期是 0.35 s, 而有速度脉冲记录的特征周期比规范中给出的值大, 基本在规范值的 2 倍以上. 尤其在集集地震中, 即使是无速度脉冲近断层记录的特征周期都是规范值的 2 倍多.

### 3 结论

通过上述的计算和比较, 得出以下几点结论:

- 1) 在长周期段(大约在 1.5 s 以后), 有速度脉冲记录的反应谱值要比无速度脉冲记录的反应谱值大.
- 2) 与抗震设计规范给出的规范标准谱相比, 在约 0.5~2.5 s 区段, 有速度脉冲记录的反应谱值大; 而在 3 s 以后, 有速度脉冲记录的反应谱值偏小.
- 3) 计算特征周期时, 对于近断层记录,  $T_1$  和  $T_2$  有后延的趋势, 因此采用不固定频段的方法计算更加合理, 对于有速度脉冲的记录更是如此.
- 4) 无论是相对我国规范的 I 类还是 II 类场地, 有速度脉冲记录的特征周期比规范中给出的值都要大, 均在规范值的 2 倍以上.

可见, 在设计近断层建筑物的时候, 应该考虑速度脉冲的影响, 有必要对规范中给出的设计反应谱进行调整, 可适当将反应谱的平台段值增大及将反应谱的平台段延长.

本文的基础数据主要集中在 Northridge 和集集两次地震中, 因此所得结论有一定的局限性. 另外尽管本研究做了很多的工作, 但由于近断层强震记录总体样本偏少, 再根据场地分类、有无速度脉冲分类以后, 样本就更少. 因此虽然本文定性的结论总体不会错, 但随着资料的积累, 定量的结论会有些变化.

### 参 考 文 献

- 胡聿贤. 1988. 地震工程学[M]. 北京: 地震出版社, 155
- 胡聿贤主编. 2001.《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 86~87
- 李新乐, 朱晞. 2003. 近场地震速度脉冲效应及模拟模型的研究[J]. 中国安全科学学报, 13(12): 48~52
- 李新乐, 朱晞. 2004. 近断层地震动等效速度脉冲研究[J]. 地震学报, 26(6): 634~642
- 王京哲, 朱晞. 2003. 近场地震速度脉冲下的反应谱加速度敏感区[J]. 中国铁道科学, 24(6): 27~30
- 邬鑫, 朱晞. 2003. 近场地震的速度脉冲效应及简化冲击回归公式的检验[J]. 北方交通大学学报, 27(1): 36~39
- 周锡元, 王国权, 杨润林, 等. 2001. 1999年9月21日台湾集集地震中不同场地上峰值加速度的衰减特征[A]. 见: 大型复杂结构的关键科学问题及设计理论研究论文集[C]. 大连: 大连理工大学出版社, 406~413
- 周雍年, 于海英. 2001. 集集地震记录的长周期反应谱特性[A]. 见: 大型复杂结构的关键科学问题及设计理论研究论文集[C]. 大连: 大连理工大学出版社, 25~31
- 中华人民共和国国家标准. 2001. 建筑抗震设计规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 17~18
- Alavi B, Krawinkler H. 2000. Consideration of near-fault motion effects in seismic design[A]. In: 12WCEE[C], Auckland: IAEE, Paper No. 2665

表 4 其余地震记录反应谱的特征周期 单位: s

震级	场地类别	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_g$
6.0~6.9	A, B	0.08	0.84	2.28	0.68
6.0~6.9	C	0.09	0.92	1.87	0.73
7.0~7.5	A, B	0.07	0.62	1.5	0.35
7.0~7.5	C	0.1	1.19	2.63	0.74

- Bertero V. 1976. Establishment of design earthquakes evaluation of present methods[J]. *Symp Earthquake Structural Engg*, **1**: 551~580
- Bouchon M, Bouin M, Karabulut H, *et al.* 2001. How fast is rupture during an earthquake? New insights from the 1999 Turkey earthquake[J]. *Geophys Res Lett*, **28**(14): 2 723~2 726
- Hall J F, Heaton T H, Halling M W, *et al.* 1995. Near-source ground motion and its effects on flexible buildings[J]. *Earthquake Spectra*, **11**(4): 569~605
- Kawase H, Aki K. 1990. Topography effect at the critical SV-wave incidence: possible explanation of damage pattern by the Whittier Narrows, California, earthquake of 1 October 1987[J]. *Bull Seism Soc Amer*, **80**: 1~22
- Mavroeidis G P, Dong G, Papageorgiou A S. 2004. Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems[J]. *Earthquake Engng Struct Dyn*, **33**: 1 023~1 049
- Oglesby D, Archuleta R. 1997. A faulting model for the 1992 Petrolia earthquake: can extreme ground acceleration be a source effect? [J]. *J Geophys Res*, **102**(B6): 11 877~11 897
- Orozco G L, Ashford S A. 2002. Effects of large velocity pulses on reinforced concrete bridge columns[A]. *PEER Report*[R]. Berkeley: University of California, (23): 10~12
- Sasani M, Bertero V. 2000. Importance of severe pulse-type ground motion in Performance-based engineering: Historical and Critical review[A]. In: *12WCEE*[C]. Auckland: IAEE, Paper No. 1302
- Somerville P, Graves R. 1993. Conditions that give rise to unusually large long period ground motions[J]. *The Structural Design of Tall Buildings*, **2**: 211~232
- Somerville P G. 1998. Development of an Improved ground motion representation for near fault ground motion[A]. In: SMIP 98 eds. *Seminar on Utilization of Strong-Motion Data* [C]. Oakland: CA, 1~20

## CHARACTERISTICS OF NEAR-FAULT GROUND MOTION CONTAINING VELOCITY PULSES

Wei Tao<sup>1,2)</sup> Zhao Fengxin<sup>1)</sup> Zhang Yushan<sup>1)</sup>

1) *Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*

2) *Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China*

**Abstract:** Through collection of a large number of near-fault records containing velocity pulses, the response spectra and the characteristic periods of records containing no pulses are compared with those of records containing pulses. Response spectra of near-fault records are compared with standard spectra given by code; furthermore, the response spectra and the characteristic periods of each earthquake are compared with that given by the code. The result shows that at long periods (longer than 1.5 s), the response spectrum of pulse-containing records is bigger than the response spectrum of no-pulse-containing records; when the characteristic period of near-fault records is calculated, the method that does not fix frequency is more reasonable because the  $T_1$  and  $T_2$  have a lagging tendency; regardless of the site I and site II, the characteristic period of pulse-containing records is over twice bigger than the characteristic period given by the code.

**Key words:** near-fault; velocity pulse; ground motion; response spectrum; characteristic period