

基于抗震分析的长周期地震动的界定与选取^{*}

许立英¹, 刘 宁², 吴应雄^{2,✉}

(1. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010; 2. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘要: 收集 273 条地震动信息并进行滤波处理, 综合考虑地震动断层距、 PGA 、 PGV/PGA 及平均周期等地震动基本参数指标, 对比其反应谱、傅里叶谱以及能量谱, 归纳了近场脉冲、远场类谐和这 2 类特殊长周期地震动与近、远场普通地震动的界定标准; 通过引入能量持时占比及地震动长周期分量能量占比等频谱参数, 用于复核长周期地震动界定结果。结果表明: 长周期地震动的反应谱衰减速率慢, 在长周期段的谱值大于普通地震动; 长周期地震动具有能量大且集中于低频区域的特点。

关键词: 长周期地震动; 长周期分量; 平均周期; 能量占比; 界定标准

中图分类号: P315.91

文献标志码: A

文章编号: 1000-0666(2019)04-0569-10

0 引言

在国内外数次地震中, 高层、超高层等类型结构出现了剧烈晃动的现象(李新乐, 2004)。灾害调查表明, 这类结构自振周期较大, 易与地震动长周期分量产生共振效应, 从而放大结构的地震响应。随着高层、超高层建筑、隔震建筑等长周期工程结构体系的快速发展, 长周期地震动的潜在破坏能力已不容忽视。

长周期地震动的研究始于 1966 年帕克菲尔德地震(Aki, 1968), 而人们真正意识到长周期地震动的严重危害是在 1985 年墨西哥地震之后。目前普遍认为存在近场脉冲型和远场类谐和型 2 种特殊的地震动(徐龙军等, 2008), 但对长周期地震动的区分与界定标准的研究尚未达成一致。Baker(2007)利用小波变换理论对脉冲与非脉冲地震动进行区分; Ghahari 等(2010)利用滑动平均滤波方法对地震动进行分量分解, 指出小波分析法不能较好反映地震动的各分量特征。有学者发现地震动的峰值速度(PGV)与中低频分量的相关性较强, 认为 PGV 适合作为长周期地震动的强度指标(叶列平等, 2009; Akkar, Bilge, 2010; 王博等,

2018; 卢啸等, 2012); 杜东升等(2014)发现地震动高频分量衰减速度较低频分量快, PGV/PGA (PGA 为: 地震动峰值加速度)会随地震动频谱分量占比变化; 基于此, 有学者认为可将 $PGV/PGA > 0.2$ 作为判断地震动脉冲频谱特性的界定指标(Fajfar *et al*, 1990; 杨迪雄等, 2005; 许智星等, 2013)。而李雪红等(2014)进一步研究发现依据 PGV/PGA 仅可区分长周期地震动, 而对区分近场脉冲地震动与远场类谐和地震动不太适用。随着对地震动频谱特性的深入研究, Rathje 等(1998)认为平均周期参数能够较好反应地震动的频谱特性。李英民等(2018)基于 HHT(Hilbert-Huang Transform)方法发现加速度反应谱平均周期 T_r 离散性较低, 能准确反映地震动高低频分量的分布情况, 对地震动低频分量具有较好的辨别能力; 韩森等(2013)发现地震动输入能、幅值以及断层距等特征参数与结构动力响应之间的相关程度较为显著。

综上所述, 不同学者对长周期地震动的界定与区分采取不同参数指标, 总体上从地震动频谱特性角度考虑较为合理, 其界定标准还有待深入研究。基于此, 本文对 273 条地震动进行分析处理, 综合上述参数指标展开分析, 归纳了近场脉

^{*} 收稿日期: 2019-07-01.

基金项目: 国家自然科学基金(51778149)和漳州市自然科学基金(ZZ2018J24)联合资助.

✉ 通讯作者: 吴应雄(1969-), 副教授, 博士生导师, 主要从事工程结构减震隔震理论与工程应用研究.

冲、远场类谐和这 2 类特殊长周期地震动与近、远场普通地震动的界定标准,给长周期结构抗震分析时长周期地震动的选取提供建议与依据。

1 地震动数据库

本文从美国太平洋地震工程研究中心 (PEER) 强震数据库选取 273 条地震记录,主要来源于 Chi-Chi 地震、Landers 地震、Northridge 地震及 Kobe 地震。所选取地震记录的震级、断层距、峰值加速度跨度较大,具有普遍性,其震级与断层距的分布情况如图 1 所示。对所选强震记录采用统一的基线调整和滤波处理,滤波带宽范围处于 0.05 ~ 25 Hz,以确保其较高的信噪比。由于本文侧重于研究地震动分析方法,选取记录过程未考虑场地等因素的影响,主要是基于断层距、强度指标、频谱参数展开分析。

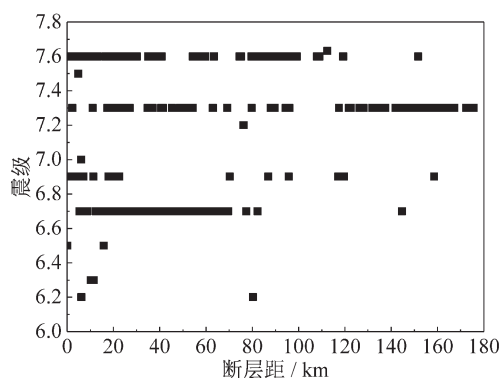


图 1 震级与断层距的分布

Fig. 1 Distribution of magnitude and fault distance

1.1 断层距

断层距是断层与观测台站的最小距离,常用作评价地震反应衰减关系 (刘启方等, 2006)。但关于近场、远场区域如何划分以及是否有具体的数值进行定量界定没有达成统一标准。目前对近场脉冲型地震动的研究多采用断层距小于 20 km 的地震动 (Bray, Rodriguez, 2004; Mavroeidis, 2003; 王海云, 谢礼立, 2006); 徐龙军等 (2008) 的研究中近场地震动选取的是断层距小于 15 km, 远场类谐和地震动的断层距大于 40 km; 周靖等 (2015) 认为地震动记录的选取应尽量来源多个地震,以消除断层距过于集中的影响,对

远场地震动的研究选取断层距为 $50 \text{ km} \leq R \leq 800 \text{ km}$ 的地震记录; 李爽和谢礼立 (2007) 认为距离场地 20 ~ 60 km 内的都可称为近场,该范围之外为远场。本文拟选取断层距 200 km 内的地震记录进行研究,此范围包含了大部分学者使用的断层距范围。

1.2 强度指标

当前抗震设计规范和地震区划分常用 PGA 作为强度指标 (建筑抗震设计规范, GB50011—2010)。相关研究表明,随着震动传播距离的增大, PGA 比 PGV 衰减得更快; PGA 与地震动高频分量相关性大, PGV 对中低频分量更加敏感 (杜东升, 2014)。

从地震的产生机理来看,在近断层地震中某一方向的位移时程中由于断层滑动突然升高或降低形成台阶 (滑冲效应),进而引起地震动的速度脉冲, PGV 会发生突变;当断层破裂方向沿观测点方向传播时,会产生向前方向性效应,其在速度、位移波形图上表现为短持时且具有大幅度脉冲 (江义等, 2010)。这 2 种情况下,速度时程中会表现出脉冲效应, PGV/PGA 较大。经过大量的数据统计分析,可以将 PGV/PGA 用于表达地震动能量分布的频率范围,作为地震动强度的衡量指标 (Fajfar *et al*, 1990; 杨迪雄等, 2005)。

1.3 频谱参数

反应谱能够很好地表示结构反应及地震动的频谱特性,目前大多数研究采用 5% 阻尼比的加速度反应谱平均周期 T_r 以及速度反应谱的卓越周期 (速度峰值对应周期) 描述地震动的频谱特性 (Mavroeidis, 2003; Somerville, 1997)。加速度反应谱平均周期 T_r 离散性低、稳定性高的特点,能够更好反映地震动不同频率成分的含量,其计算公式如下 (Rathje *et al*, 1998):

$$T_r = \frac{\sum_i T_i \left[\frac{S_a(T_i)}{PGA} \right]^2}{\sum_i \left[\frac{S_a(T_i)}{PGA} \right]^2} \quad (1)$$

式中: T_i 为阻尼比为 5% 的加速度反应谱的周期点,且 $0.05 \text{ s} \leq T_i \leq 10 \text{ s}$; S_a 为 T_i 所对应的加速度幅值。

从式(1)可以看出 T_r 表示周期与其对应加速度幅值平方的一个加权平均值,反映的是地震动高、低频分量的分布情况。研究表明,当 $T_r > 2$ s 时,地震动低频含量丰富,可作为区别长周期地震动与普通地震动的参数(李英民等,2018)。

从频谱角度考虑,长周期地震动与普通地震动最显著的区别在于长周期分量占比,故通过对比长周期分量的占比对界定长周期地震动拥有更好的识别性与准确性,可用来复核 T_r 区分出的长周期地震动。因此,通过对比地震动长周期分量的累积能量(E_L)与原地地震动的累积能量(E_0)比值,定义该能量占比为 $R_e = E_L/E_0$ 能够更加准确地从能量角度识别长周期地震动。

上文所介绍的参数除断层距能够区分地震动的远近外, PGV/PGA 与 T_r 更多的是从频谱角度区分普通地震动与长周期地震动。从地震动能量角度考虑,近场脉冲地震动的能量传递迅速,而远场类谐波地震动的能量传递持时较长。依据 Hilbert 累积能量持时曲线,参考地震动 90% 能量

持时的概念(Trifunac, Brady, 1975),定义累积能量曲线的能量持时占比 t_0 ,其含义为地震动的归一化 Hilbert 累积能量曲线从 5% 增长至 95% 所经历时间占地震动有效持时的百分比,可依据 t_0 界定近场脉冲地震动与远场类谐波地震动。

2 地震动分解与参数分析

为进一步探讨长周期地震动的参数特征,本文采用数字滤波方法对长周期地震动进行分解(徐龙军等,2013),归纳并复核长周期地震动的界定标准。将 273 条地震动原始记录通过 SeismoSignal 软件进行基线校正和滤波,消除地震动在记录过程中的误差,保证记录结果的准确性。采用带通滤波,采集时间间隔统一调整为 0.02 s,并取记录最大峰值的 10% 作为起始值和结束值。结合前人研究,将断层距 20 km 和 60 km 作为区分近场与远场的临界值。图 2 给出了地震动 PGV/PGA 值与 T_r 、断层距与 PGA 关系。

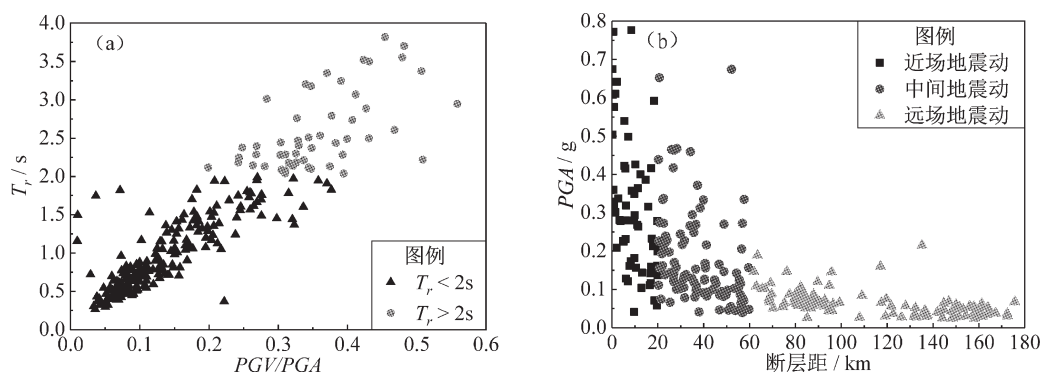


图2 PGV/PGA 与 T_r 关系 (a) 以及断层距与 PGA 关系 (b)

Fig. 2 Relationship between PGV/PGA and T_r (a) and fault distance and PGA (b)

由图 2a 可知, $PGV/PGA > 0.2$ 时,部分地震动的 $T_r < 2$ s,但 $T_r > 2$ s 时, $PGV/PGA > 0.2$ 。故认为相比 PGV/PGA , T_r 对于长周期地震动的界定更具准确性,可将 T_r 作为区分长周期地震动的临界值;将 PGV/PGA 作为区分普通地震动的临界值。即认为长周期地震动 $T_r > 2$ s,普通地震动 PGV/PGA 应 < 0.2 。

由图 2b 可知, PGA 随断层距增大逐渐减小的趋势,当断层距 < 60 km 时, PGA 跨度较大;当断层距 > 60 km 时, PGA 基本小于 0.2 g。综合分

析,近场、远场地震动以 20 km 与 60 km 区分较为合理。

综上所述,选取断层距小于 20 km 且 PGV/PGA 小于 0.2 的地震动作为近场普通地震动,断层距大于 60 km 且 PGV/PGA 小于 0.2 的地震动作为远场普通地震动,断层距小于 20 km 且 T_r 大于 2 s 的地震动作为近场脉冲地震动,挑选断层距大于 60 km 且 T_r 大于 2 s 的地震动作为远场类谐波地震动,每组类型地震动 10 条,基本信息如表 1 所示。

表 1 地震动基本参数
Tab. 1 Basic parameters of ground motion

类型	序号	地震名称	震级(M_s)	台站	断层距/km	PGA/g	$PGV/(cm \cdot s^{-1})$	PGV/PGA	T_r/s
近场普通	1	Imperial Valley	7.0	ELC180	6.09	0.28	30.82	0.11	0.76
	2	ChiChi	7.6	CHY006N	9.76	0.35	42.04	0.12	0.90
	3	CHICHI	7.6	CHY028E	3.12	0.64	61.39	0.10	0.68
	4	CHICHI	7.6	CHY036E	16.04	0.27	41.73	0.16	1.10
	5	ChiChi	7.6	TCU049E	3.76	0.28	53.93	0.20	1.34
	6	ChiChi	7.6	TCU051E	7.64	0.16	53.04	0.34	1.60
	7	ChiChi	7.6	TCU053E	5.95	0.23	40.07	0.18	1.06
	8	ChiChi	7.6	TCU076E	2.74	0.34	50.88	0.15	1.01
	9	Northridge	6.7	ARL090	8.66	0.36	38.51	0.11	0.69
	10	Kobe	6.9	KJM090	0.96	0.58	80.17	0.14	0.72
近场脉冲	1	Kocaeli	7.5	YPT060	4.83	0.23	69.88	0.32	2.18
	2	ChiChi	7.6	TCU036E	19.83	0.14	57.21	0.43	2.89
	3	ChiChi	7.6	TCU039E	19.89	0.20	55.47	0.28	3.01
	4	ChiChi	7.6	TCU059E	17.11	0.16	51.48	0.33	2.40
	5	ChiChi	7.6	TCU063E	9.78	0.18	43.42	0.24	2.25
	6	ChiChi	7.6	TCU068E	0.32	0.50	251.14	0.51	2.22
	7	ChiChi	7.6	TCU102E	1.49	0.30	91.80	0.31	2.04
	8	ChiChi	7.6	TCU103N	6.08	0.13	70.07	0.56	2.95
	9	ChiChi	7.6	TCU128E	13.13	0.14	63.96	0.45	3.82
	10	ChiChi	7.6	TCU052E	0.66	0.36	151.78	0.43	2.50
远场普通	1	Trinidad	7.2	RDL270	76.26	0.15	8.76	0.06	0.51
	2	ChiChi	7.6	ILA007N	84.07	0.09	13.40	0.16	0.81
	3	Landers	7.3	BFS000	89.69	0.12	13.03	0.11	0.81
	4	Landers	7.3	FTI000	62.98	0.11	7.61	0.07	0.45
	5	Landers	7.3	H05000	68.66	0.08	5.44	0.07	0.61
	6	Landers	7.3	PLC000	94.48	0.04	1.84	0.04	0.33
	7	Northridge	6.7	ACI000	68.93	0.07	3.32	0.05	0.30
	8	Northridge	6.7	WBA000	68.62	0.07	5.68	0.08	0.59
	9	Northridge	6.7	WAI200	69.5	0.09	4.93	0.06	0.55
	10	Northridge	6.7	HNT000	77.45	0.09	6.42	0.07	0.58
远场类谐波	1	ChiChi	7.6	TCU008E	85.09	0.07	28.22	0.42	3.52
	2	ChiChi	7.6	TCU083E	80.32	0.09	30.06	0.34	3.20
	3	ChiChi	7.6	ILA004N	88.89	0.06	25.71	0.41	3.07
	4	ChiChi	7.6	ILA005N	87.2	0.08	15.63	0.20	2.12
	5	ChiChi	7.6	ILA008N	84.8	0.06	15.81	0.28	2.13
	6	ChiChi	7.6	ILA048N	88.95	0.08	24.41	0.33	2.30
	7	ChiChi	7.6	ILA055N	90.3	0.07	23.39	0.35	3.18
	8	ChiChi	7.6	ILA056N	92.04	0.07	31.04	0.48	3.70
	9	ChiChi	7.6	TCU003E	86.57	0.05	34.87	0.69	4.07
	10	ChiChi	7.6	TCU007E	88.2	0.06	23.01	0.40	2.49

为更好说明每类地震动的特性，通过复核地震动的 t_9 与 R_e 来确定最终研究用地震动，并将

结果取均值，如表2所示，图3给出了所选地震动能量积累占比曲线。

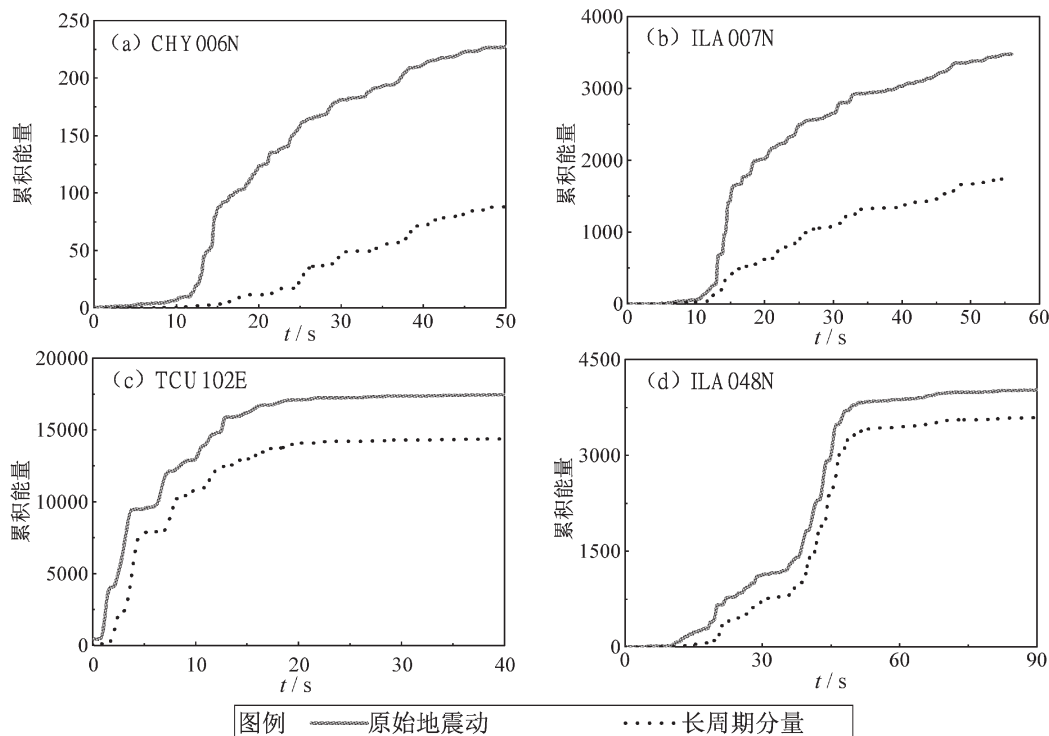


图3 选取的4条地震动能量积累占比

Fig. 3 Energy accumulation ratio of the four selected ground motion

表2 地震动参数均值

Tab. 2 The average ground motion parameters

类型	PGA/g	PGV/PGA	E_L	T_r/S	$t_9(\%)$	$R_e(\%)$
近场普通	0.36	0.16	3 537.17	0.83	26	32
近场脉冲	0.23	0.40	19 692.68	2.62	12	91
远场普通	0.09	0.08	114.73	0.55	31	36
远场类谐和	0.07	0.39	4 531.22	2.98	21	92

由表2及图3可知， R_e 对长周期地震动的识别度与 T_r 重合度较高， $T_r > 2$ s时， R_e 稳定在90%左右，且 $T_r < 2$ s时， $R_e \leq 36\%$ ，说明利用 T_r 及 R_e 识别长周期地震动具有很好的准确性。从 t_9 可以看出，近场脉冲地震动能量高度集中，仅在地震总持时12%的时间内就输出了地震动全部能量的90%，而远场普通地震动与近场普通地震动的能量输出较为缓慢。近场脉冲地震动能量以数量级的优势大于其它3种类型；远场类谐和

地震动的能量输出与近场普通地震动相近，但考虑到近场普通地震动 PGA 均值约为远场类谐和地震动的5倍，可知长周期地震动的能量较普通地震动高得多。

3 地震动反应谱特性对比

选取近、远场普通地震动、近场脉冲地震动、远场类谐和地震动各5条，采用 SeimoSignal 软件进行滤波及基线偏移调整，得到在5%阻尼比条件下12条地震动的反应谱曲线，经过平均化处理后，如图4所示。

从图4a中可以看出，普通地震动的加速度反应谱规律大致相同，呈单峰状，其加速度在周期为0.5 s左右迅速达到峰值，而后在2 s内迅速衰减。近场脉冲型地震动也呈单峰状，但其加速度值下降缓慢，在周期为2~10 s始终保持较高数值；远场类谐和地震动则呈现出特别的双峰状，

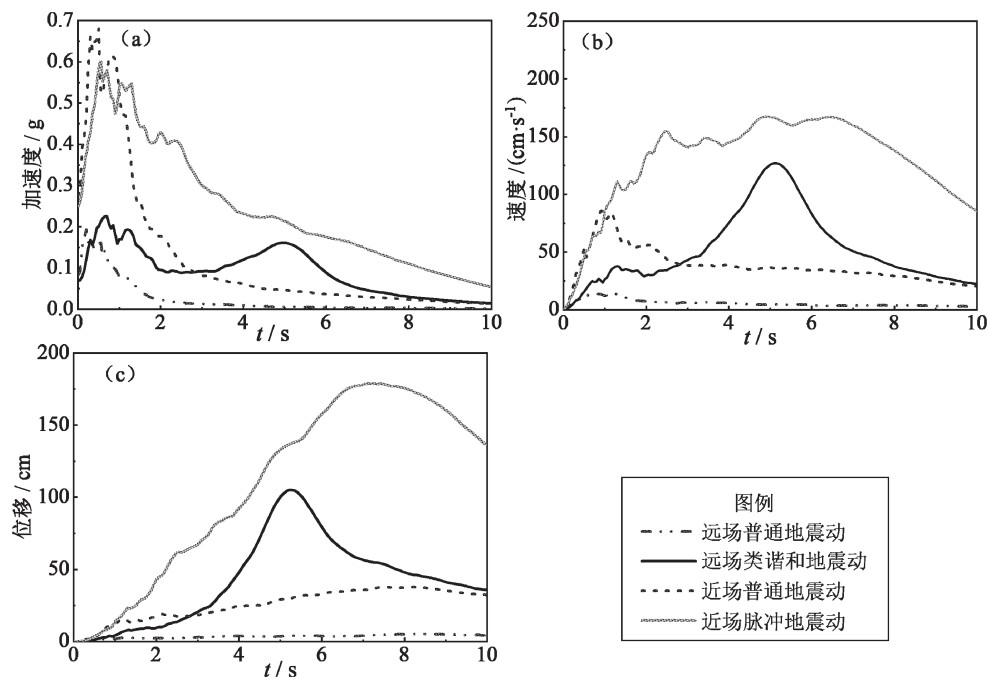


图4 加速度 (a)、速度 (b) 和位移 (c) 反应谱曲线对比

Fig. 4 Comparison of response spectra curves of acceleration (a), velocity (b), and displacement (c)

在周期为 1 s 及 5 s 左右均存在较大加速度峰值且峰值相当, 其加速度第二峰值在 6 s 后缓慢下降。总体上长周期地震动加速度值较普通地震动大, 尤其在长周期段, 下降缓慢。

从图 4b 中可以看出, 普通地震动的速度反应谱规律大致相同, 呈单峰状, 其速度在周期为 1 s 左右达到峰值, 而后在 1 ~ 2 s 内迅速衰减。近场脉冲型地震动也呈单峰状, 其数值显著大, 且上升段持续到 7 s 后才出现明显下降; 远场类谐和地震动虽呈现单峰状, 其速度值在周期为 3 s 左右才较快速增长, 约在 5 s 出现峰值, 10 s 时与近场普通地震动相当。总体上长周期地震动速度数值较普通地震动大, 且数值上升段明显延后至长周期段, 下降缓慢, 尤其是近场脉冲地震动的速度反应谱图形相较远场类谐和地震动更加饱满。

从图 4c 中可以看出, 远场普通地震动的位移反应谱在全周期保持在较低水平。近场普通地震动的位移反应谱数值较小, 整体呈现缓慢上升的趋势, 8 s 后缓慢下降。近场脉冲地震动的位移反应谱数值非常大, 且上升段一直持续到 7 s 左右才

达到峰值。

结合上述分析, 长周期地震动的加速度值、速度值、位移值较普通地震动有明显区别, 表现在数值大、峰值延后、下降缓慢。

4 地震动频谱特性对比

为验证选波结果, 特选取 4 类地震动各一条, 从加速度时程、速度时程、傅里叶谱以及能量谱 4 个方面进行对比分析, 说明长周期地震动与普通地震动的差别, 结果如图 5 ~ 8 所示。

由图 5, 6 可知, 普通地震动的时程曲线较密集, 而近场脉冲地震动的时程曲线出现多个明显的脉冲突变, 远场类谐和地震动在时程后期出现明显的类似简谐波形状的循环。从数值上看, 加速度峰值相当时, TCU052E 的速度峰值较 ELC180 大 3 倍左右, ILA056N 的速度峰值较 H05000 大 5 倍左右。此外, 可以观察到 TCU052E 与 ILA056N 速度时程曲线在长周期部分的数值明显大于其它部分, 可知长周期分量具有较大能量输出。

由图 7 及图 8 可知, 从频率角度看, 普通地震

动能量在高、低频成分分布较为均匀,而长周期地震动能量主要集中在低频区域,且4 Hz 以上几乎没有分布。从数值角度出发,可以看出在加速

度峰值相差不大的情况下,TCU052E 的能量峰值较 ELC180 大2.5 倍左右;而 ILA056N 的能量峰值较 H05000 大10 倍左右。

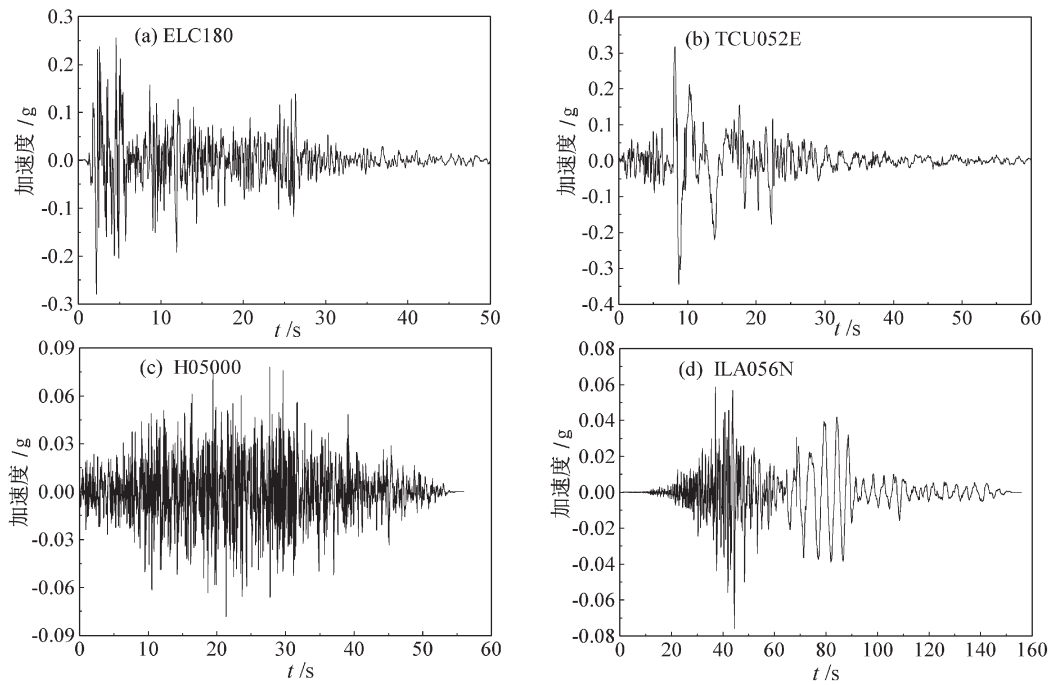


图5 选取的4条地震动加速度时程曲线对比

Fig. 5 Comparison of the four selected acceleration time history curve

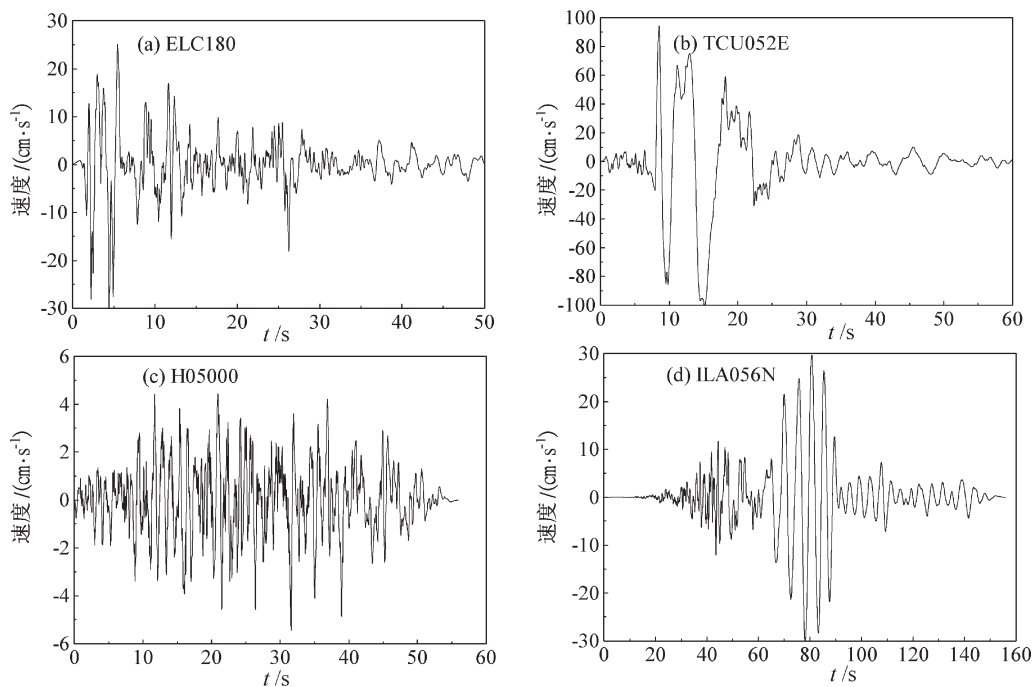


图6 选取的4条地震动速度时程曲线对比

Fig. 6 Comparison of the four selected velocity time history curve

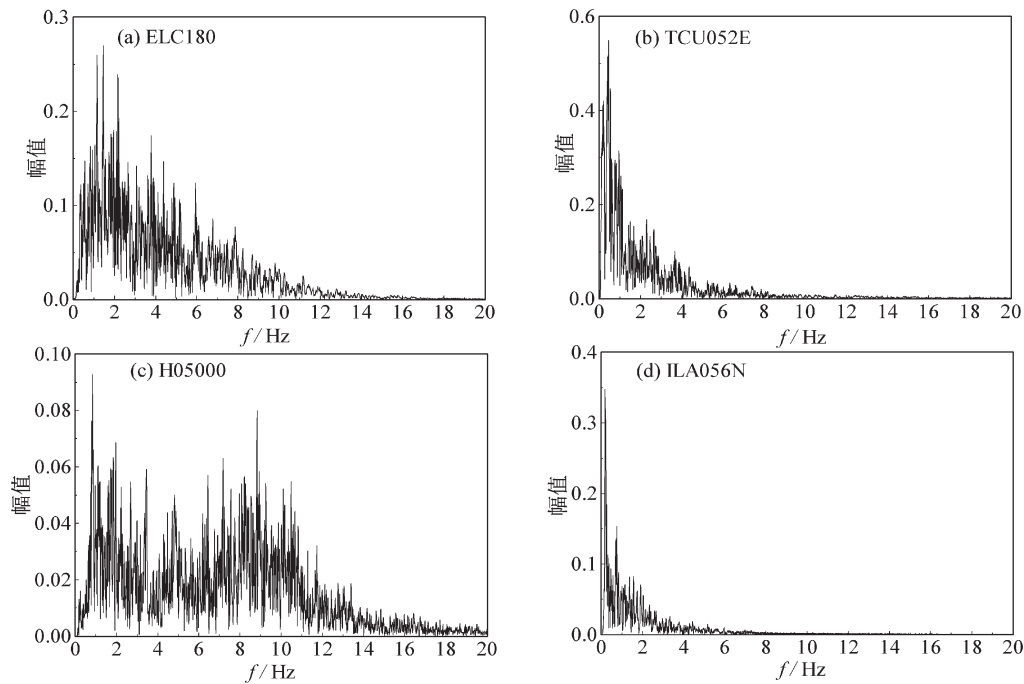


图 7 选取的 4 条地震动傅里叶谱对比
Fig. 7 Comparison the four selected of Fourier spectrum

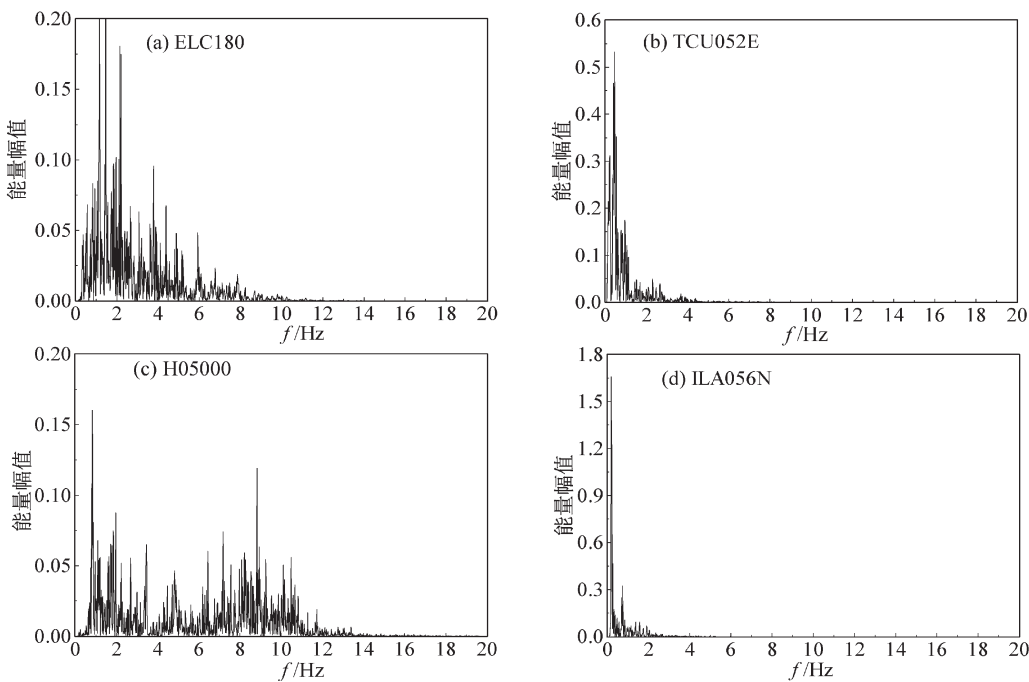


图 8 选取的 4 条地震动能量谱对比
Fig. 8 Comparison of the four selected energy spectrum

5 结论

本文综合了地震动研究分析的参数指标，通

过量化指标确定后续抗震分析研究的选波依据，对比分析了近、远场长周期以及近、远场普通地震动的变化规律及特征，得到以下结论：

(1) 在确定选波依据建议：①近场地震动断

层距小于 20 km, 远场地震动断层距大于 60 km;
②长周期地震动 $T_r > 2$ s, 普通地震动 $PGV/PGA < 0.2$; ③通过 R_e 复核长周期地震动选波结果, R_e 约为 90% 时, 长周期地震动分量占比高; ④通过 t_0 值复核长周期地震动选波结果, t_0 约为 12% 时, 近场脉冲地震动特性明显。

(2) 加速度反应谱峰值相当的情况下, 近场脉冲地震动较普通地震动差异显著。表现为反应谱曲线衰减速率较慢, 在长周期段仍具有较大峰值、速度与位移反应谱曲线峰值大且延后至长周期段。

(3) 加速度反应谱峰值相当的情况下, 远场类谐和地震动较普通地震动差异显著。其反应谱曲线峰值延后, 在长周期段出现第二峰且曲线衰减速率慢、速度与位移反应谱曲线峰值大且延后至长周期段。

(4) 加速度峰值相同条件下, 长周期地震动的长周期分量占比高, 造成其能量集中于低频区域。由于长周期地震动速度时程峰值大, 因此其产生的能量远大于普通地震动。

参考文献:

- 杜东升, 王曙光, 刘伟庆, 等. 2014. 长周期地震动影响因素及频谱参数研究[J]. 建筑结构学报, 35(增刊1): 1-8.
- 韩森, 段燕玲, 孙欢, 等. 2013. 近断层地震动特征参数对基础隔震结构地震响应的影响分析[J]. 土木工程学报, 46(6): 8-13.
- 江义, 杨迪雄, 李刚. 2010. 近断层地震动向前方向性效应和滑冲效应对高层钢结构地震反应的影响[J]. 建筑结构学报, 31(9): 103-110.
- 李爽, 谢礼立. 2007. 近场问题的研究现状与发展方向[J]. 地震学报, 29(1): 102-111.
- 李新乐. 2004. 近断层区桥梁结构的设计地震与抗震性能研究[D]. 成都: 西南交通大学.
- 李雪红, 王文科, 吴迪, 等. 2014. 长周期地震动的特性分析及界定方法研究[J]. 振动工程学报, 27(5): 685-692.
- 李英民, 赵晨晓, 谭潜. 2018. 基于 HHT 地震动分量分离的长周期地震动界定方法[J]. 振动与冲击, 37(7): 164-171.
- 刘启方, 袁一凡, 金星. 2006. 近断层地震动的基本特征[J]. 地震工程与工程振动, 26(1): 1-10.
- 卢啸, 陆新征, 叶列平. 2012. 超高层建筑地震动强度指标探讨[J]. 土木工程学报, 45(增刊1): 292-296.
- 王博, 刘伯权, 吴涛, 等. 2018. 远场长周期地震动频谱特征周期与强度指标研究[J]. 振动与冲击, 37(7): 211-219.
- 王海云, 谢礼立. 2006. 近断层强地震动的特点[J]. 哈尔滨工业大学学报, 38(12): 2070-2072.
- 徐龙军, 胡进军, 谢礼立. 2008. 特殊长周期地震动的参数特征研究[J]. 地震工程与工程振动, 28(6): 20-27.
- 徐龙军, 赵国臣, 谢礼立. 2013. 基于分量分离方法的地震动反应谱[J]. 天津大学学报, 46(11): 31-40.
- 许智星, 孙颖, 谷音, 等. 2013. 长周期地震动参数及频谱特征[J]. 福州大学学报(自然科学版), 41(4): 760-764.
- 杨迪雄, 李刚, 程耿东. 2005. 近断层脉冲型地震动作用下隔震结构地震反应分析[J]. 地震工程与工程振动, 25(2): 119-124.
- 叶列平, 马千里, 缪志伟. 2009. 结构抗震分析用地震动强度指标的研究[J]. 地震工程与工程振动, 29(4): 9-22.
- 周靖, 方小丹, 江毅. 2015. 远场长周期地震动反应谱拐点特征周期研究[J]. 建筑结构学报, 36(6): 1-12.
- Aki K. 1968. Seismic displacements near a fault[J]. Journal of Geophysical Research, 73(16): 5359-5376.
- Akkan S, Bilge Küçükdoğan. 2010. Direct use of PGV for estimating peak nonlinear oscillator displacements[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 37(12): 1411-1433.
- Baker J W. 2007. Quantitative Classification of Near - Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5): 1486-1501.
- Bray J D, Rodriguez M A. 2004. Characterization of forward - directivity ground motions in the near - fault region[J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 24(11): 815-828.
- Fajfar P, Vidic T, Fischinger M. 1990. A measure of earthquake motion capacity to damage medium - period structures[J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 9(5): 236-242.
- Ghahari S F, Jahankhah H, Ghannad M A. 2010. Study on elastic response of structures to near - fault ground motions through record decomposition[J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 30(7): 536-546.
- Mavroeidis G P. 2003. A Mathematical Representation of Near - Fault Ground Motions[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(3): 1099-1131.
- Rathje E M, Abrahamson N A, Bray J D. 1998. Simplified Frequency Content Estimates of Earthquake Ground Motions [J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 124(2): 150-159.
- Somerville P G. 1997. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity[J]. Seism Res Lett, 68(1): 199-222.
- Trifunac M D, Brady A G. 1975. A study on the duration of strong earthquake ground motion[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 65(3): 581-626.
- GB 50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].

Definition and Selection of Long – period Ground Motion Based on the Anti – seismic Analysis

XU Liying¹, Liu Ning², WU Yingxiong²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science
and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

(2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fujian 350108, Fuzhou, China)

Abstract

In order to provide parameter bases for the selection of long – period ground motions for anti – seismic analysis, 273 pieces of ground motions information is collected and filtered, which considered the basic parameters such as fault distance, PGA , PGV/PGA and average period of the ground motion. The response spectrum, Fourier spectrum and energy spectrum are compared to summarize the definition criteria of two kinds of special long – period ground motions and near – field and far – field ordinary ground motions; spectral parameters such as the energy duration ratio and the energy ratio of long – period components of ground motions are introduced to review the long – period ground motion definition results. The results show that the attenuation rate of response spectrum of long – period ground motion is slow, and the spectrum value of long – period ground is larger than that of the ordinary ground motion. Long – period ground motion has the characteristics that the seismic energy is large and concentrated in low frequency region.

Keywords: long – period ground motion; long – period component; average period; energy proportion; definition criteria