

汶川 8.0 级地震卓越周期分析^{*}

叶建庆¹, 苏金蓉², 陈 慧¹

(1. 云南省地震局, 昆明 650224 2. 四川省地震局, 成都 610041)

摘要: 利用四川省地震局测震台网记录的汶川 8.0 级地震波形资料, 采用频谱分析方法, 研究了汶川地震 P、S 波卓越周期与震中距的关系, 同时给出了 8 级主震和 6.1 级余震的卓越周期与震中距的关系。讨论了震害与地震卓越周期的相关性, 分析显示龙门山断裂带两侧地块的卓越周期存在明显差异, 东侧华南块体的卓越周期小于西侧地块的卓越周期, 表明东侧华南块体的坚硬程度比西侧川西高原的巴颜喀拉和川滇块体的高。

关键词: 汶川 8.0 级地震; P 波; S 波; 卓越周期; 震中距

中图分类号: P315.3⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0498-07

0 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分四川省汶川县发生 8.0 级特大地震, 给人民的生命财产造成了巨大损失。目前, 限于认知上的局限, 人类对地震的发生尚不能进行科学意义上的预测, 但是, 对地震所造成的灾害, 人类是可以进行不同程度的预防的。地震是一种自然现象, 是地球内部充满活力的一种体现, 但是, 这类自然力的释放使生活在地球表层的人类的生存受到了巨大威胁。从古到今, 人类就不断地记录着地震现象, 并试图解释震动的原因, 研究设计制造地动仪和地震仪, 观察研究地震破坏现象, 探索着地震的孕育、发生和成灾规律, 以达到减轻灾害的目的。1906 年 4 月 18 日美国旧金山大地震是人类认识地震的转折点 (Bruce, 2000), 这次地震不仅让科学家们认识了断层错动是地震的主要成因, 同时还认识到在地震区什么类型的建筑设计可以防震。

地震对地面影响的强烈程度, 主要取决于地震所释放的能量。能量中含有不同的频率成分, 其对地面不同物体的影响有所不同。金井清 (1978) 认为, 地表结构物对地震动的反应非常复杂, 大体上可用如下关系式表示:

$$A(T) = \{O(T), C(T), G(T), X(T), S(T)\}. \quad (1)$$

其中 T 是周期, $O(T)$ 为震源, $C(T)$ 为震源到地基

底面之间的距离, $G(T)$ 为地基, $X(T)$ 为土壤和结构物的接触面, $S(T)$ 为结构物的各个振动特性。由 (1) 式可知, 地震动的卓越周期是结构物地震动复杂反应的一个非常重要的震动参数。梅村等 (1978) 利用日本 7 级以上地震资料研究了震级与周期的关系, 及基岩最大加速度的卓越周期与发震断层的距离等地震参数问题。蒋乐群等 (1998) 根据地脉动测量的卓越周期和最大振幅的变化特征, 研究了云南丽江大研镇场地土层与震害条带分布的相关性。《建筑抗震设计规范》(2001) 明确划分了设计特征周期范围。本文中笔者利用四川省地震局测震台网记录的汶川 8.0 级地震波形资料, 采用频谱分析方法, 研究了汶川地震卓越周期与震中距的关系。

1 观测仪器与主震记录

1.1 观测仪器

四川省地震局测震台网有区域台站 52 个, 水库地震台站 29 个 (图 1)。台网观测仪器主要分为 2 类, 一类为区域测震台网的宽频带数字化地震仪, 另一类为用于水库地震活动监测的短周期数字化地震仪。宽频带地震计主要为 CMG-3 ESPC 型、CTS-1 E 型和 BBVS-60 型地震计, CMG-3 ESPC 型地震计测量频带为 0.033 ~ 50 Hz, 速度响应灵敏度为 2 000 $V \cdot s/m$; CTS-1 E 型地震计测量频带为 0.008 3 ~ 50 Hz, 速度响应灵敏度为 1 000 $V \cdot s/m$; BBVS-60 型地震计测量频带为 60 s ~ 50 Hz, 速度

* 收稿日期: 2008-07-15.

响应灵敏度为 $2\,000\text{ V/s/m}$ 3 种型号地震计的动态范围均大于 140 dB 短周期地震计主要为 FSS3 型, 测量频带 $1\sim 40\text{ Hz}$ 灵敏度为 800 V/s/m 动态范围均大于 120 dB 数据采集器为 EDAS24 IP 和 EDAS24 I 型, 均为 24 位 A/D 转换, 动态范围均大于 135 dB GPS 授时, 时间精度小于 1 ms 台网实际采用 100 Hz 的采样率。

1.2 主震记录

据中国地震台网中心测定, 汶川地震震级为 8.0 级, 震中位置在 $31.0^{\circ}\text{N}\ 103.4^{\circ}\text{E}$ 震源深度 14 km 地震发生时, 四川区域台网除乡城、泸州、成都、巴中和雅安蒙顶山台震前无观测信号外, 其它 47 个测震台站中, 有 31 个台站记录到了完整的地震波形, 其余 16 个台站记录不完整。这 16 个台站主要是靠近发震断层的一些观测台站, 如汶川、茂县、安县、平武、青川和江油等台站, 由于受到强烈震动的影响, 数据传输通讯线路遭到破坏而导致记录中断。区域台站中距震中最近的台站是都江堰台, 震中距为 22 km 最远的为攀枝花台, 震中距为 525 km 除攀枝花、泸沽湖等少数台站 S 波记录未出格外, 其它台站 S 波记录均限幅; 所有台站 P 波记录完好, 记录没有限幅。

四川省水库台网在地震发生前运行状况良好。地震发生后, 位于震中区的紫坪铺水库台网由于数据传输通讯线路遭到破坏, 各台仅传回了 $10\sim 30\text{ s}$ 范围的 S 波震动波形数据。水库台站中距震中最近的台站是紫坪铺水库台网的八角台, 震中距为 2 km 最远台站是新民台, 震中距为 215 km (图 1)。

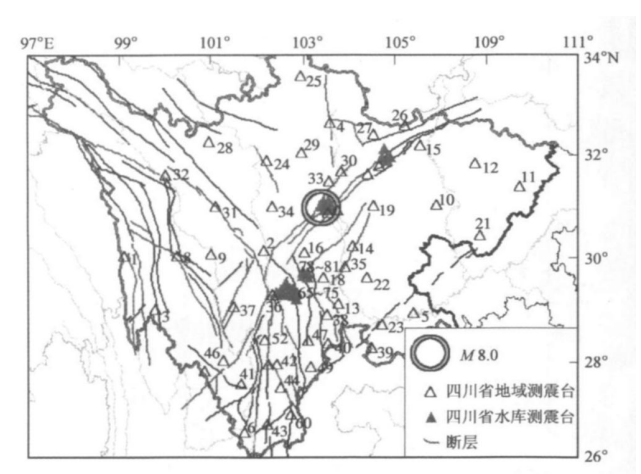


图 1 四川测震台网台站分布及汶川 8.0 级地震震中位置
注: 图中所注台号与表 1 对应

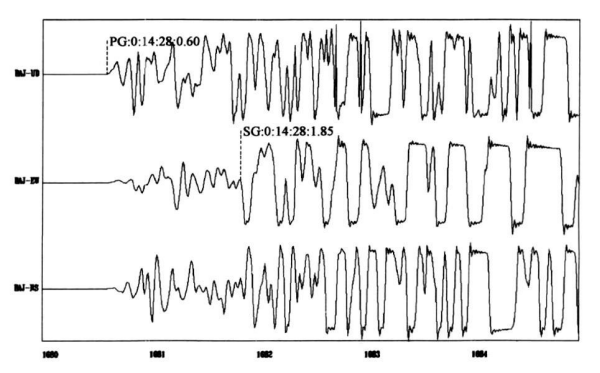


图 2 汶川县八角地震台 8.0 级地震起始部分记录

图 2 为汶川县八角地震台 8.0 级地震起始部分记录, 由 P 波初动方向可判定震中位于地震台的西南方向, 由 S 波到时与 P 波的到时差值为 1.25 s 可确定, 台站距 8.0 级地震断层的破裂起始点仅为 10.63 km 据此可以确认此次汶川 8.0 级地震的震源深度为 10 km 扣除台站高程 $1\,150\text{ m}$ 可较为精确地确定震源深度为 9.5 km 。

2 数据处理方法

通过事件回放处理程序 (EDSP-IAS) 对四川省地震局测震台网记录的汶川 8.0 级地震事件数据进行回放检查, 将观测事件的数据文件进行裁剪并转换成文本文件格式, 再利用计算机的其它应用软件对数据文件进行处理。利用 MATLAB 数值分析软件 (张志涌, 2000) 对事件波形数据进行回放, 在回放过程中对波形数据进行零点校正和去倾斜等数据预处理, 扣除仪器响应, 使事件波形数据直接反映地面运动的速度 ($\mu\text{ m/s}$)。分别对震前的噪声波形、P 波波形和 S 波波形取 40.96 s 窗长进行处理, 采用高通滤波器。采用周期图法对取窗数据进行速度功率谱密度估计。周期图法是直接将信号的采样数据 $x(n)$ 进行 Fourier 变换求取功率谱密度估计的方法 (万永革, 2007)。

有限长信号数据序列为 $x(n)$, 它的 Fourier 变换和功率谱密度估计 $\hat{S}_x(f)$ 存在下面的关系:

$$\hat{S}_x(f) = \frac{1}{N} |X(f)|^2 \tag{2}$$

式中, N 为信号数据序列 $x(n)$ 的长度。在离散的频率点 $f=k\Delta f$ 有:

$$\hat{S}_x(k) = \frac{1}{N} |X(k)|^2 = \frac{1}{N} |\text{FFT}[x(n)]|^2$$

$(k=0, 1, \dots, N-1).$ (3)

式中, $FFT[x(n)]$ 为对序列 $x(n)$ 的 Fourier 变换。

由图 3 可见, 都江堰台 S 波三分量的震动周期较为丰富, 垂直分量有 2 个峰值, 卓越周期分别为 1.3 和 1.7 s; 东西分量峰值周期在 0.6~1.5 s 范围, 卓越周期为 1.5 s; 南北分量峰值周期在 0.4~1.8 s 范围, 卓越周期为 0.7 s。

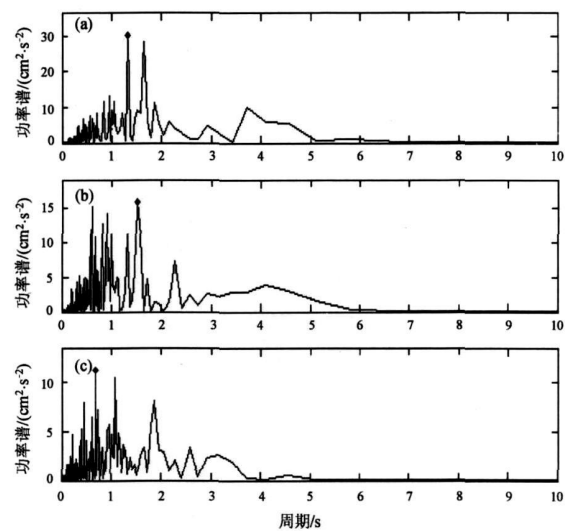


图 3 汶川地震都江堰台 S 波功率谱密度估计
(a) 垂直分量; (b) 东西分量;
(c) 南北分量

3 卓越周期与震中距

地震是地壳构造运动引起的地球表面的振动。地震的强度与震源释放的能量相关, 地震波的传播则与震源的性质、传播路径和接收场地有关, 而地球表面的建筑物和山体因地震波的震动造成的直接破坏一方面与震动强度强烈相关, 另一方面也与震动的频率相关。众所周知, 受迫振动频率与建筑物结构自振频率相同或接近时, 可引起受迫振动物体的共振, 使振动强度放大。笔者采用频率分析法, 分析了汶川地震前 28 min 内的各台站场地脉动卓越周期和 8.0 级地震 P 波、S 波震动卓越周期 (表 1)。

由表 1 可见, 场地脉动主要反映了台站场地及附近的地面振动。表中 1~5 号台站为四川区域台网宽频带地震台站, 53~81 号台站为四川水库台网短周期地震台站。从脉动记录的卓越周期可以

较为明显地反映出记录仪器的特性, 短周期地震仪主要记录了地面运动的高频成分, 宽频带地震仪则对低频和高频成分均有较好的反映。由地震波卓越周期可见 P 波卓越周期小于 S 波卓越周期, 且随震中距的加大, 卓越周期有增大趋势。我们取 50 km 为一个样本点, 将 50 km 范围内的各台站测得的卓越周期取平均值, 每 50 km 取一个平均值, 在震中距 25~525 km 范围内, 采用最小二乘法给出 P、S 波卓越周期与震中距的线性关系式。由此得出汶川 8.0 级地震 P 波 (图 4)、S 波 (图 5) 震动卓越周期与震中距的关系为

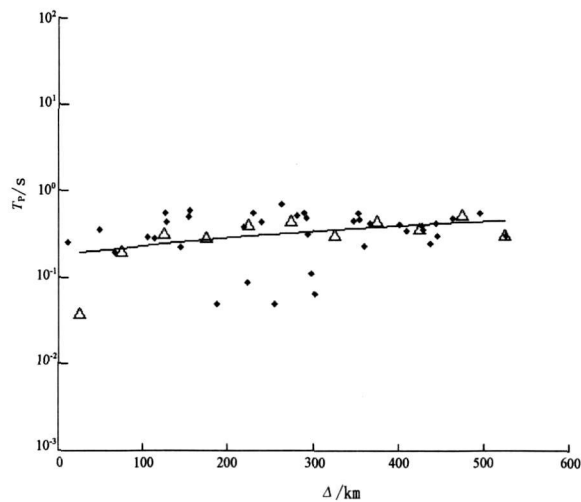


图 4 汶川地震宽频带地震仪记录的 P 波三分量的合成卓越周期与震中距关系
(黑点为各台点值, 三角为宽频带台站每间隔 50 km 的平均值)

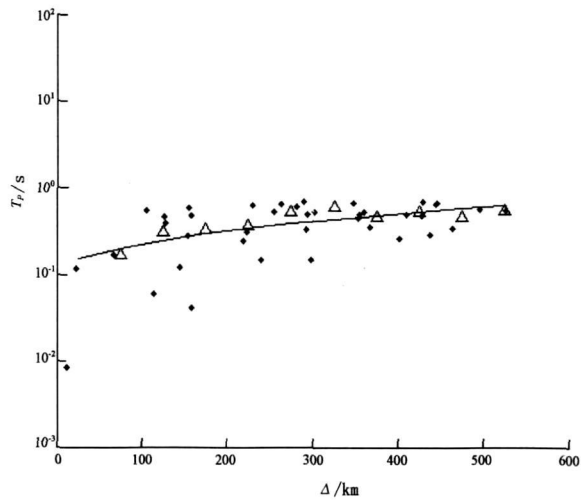


图 5 汶川地震宽频带地震仪记录的 S 波三分量的合成卓越周期与震中距关系
(黑点为各台点值, 三角为宽频带台站每间隔 50 km 的平均值)

表 1 汶川地震震前各台站场地脉动及地震波卓越周期

台号	台名	震中距 / km	脉动			P波卓越周期			S波卓越周期		
			UD	EW	NS	UD	EW	NS	UD	EW	NS
1	巴塘	446.04	0.25	0.30	0.23	1.71	2.56	1.71	4.55	6.83	3.15
2	姑咱	157.84	2.05	2.28	2.28	0.57	0.57	1.14	4.55	2.41	2.16
3	乡城	429.73	5.85	5.85	5.12	1.58	1.58	3.72	5.12	5.85	3.72
4	松潘	183.89	4.55	4.55	4.55	2.41	3.41	2.41	0.95	4.55	1.95
6	攀枝花	525.47	3.72	4.55	3.72	1.08	1.14	3.72	3.15	4.55	3.15
9	雅江	263.76	4.55	4.55	4.55	5.85	4.10	5.12	4.10	3.41	5.85
10	西充	252.54	4.55	3.72	5.12	2.05	5.12	2.16	2.41	2.28	1.08
11	宣汉	437.81	5.12	0.06	0.06	1.58	2.16	1.52	2.93	1.64	1.32
13	沐川	219.27	4.10	4.55	4.10	3.72	1.78	1.71	0.79	2.73	1.78
14	仁寿	113.42	3.76	3.34	4.29	1.78	2.04	1.95	2.28	0.56	0.60
15	剑门关	25.30	4.10	5.85	5.12	0.69	0.98	0.98	0.91	0.97	0.45
17	都江堰	22.38	2.35	2.09	2.35	0.25	0.43	0.12	1.32	1.52	1.08
18	峨眉山	157.76	0.37	3.27	3.60	1.11	0.54	0.51	2.16	0.56	0.57
19	中江	67.30	3.60	3.60	4.05	2.05	2.05	0.60	1.78	1.86	0.76
20	江油	11.70	4.41	3.97	0.11	2.16	1.02	2.16	0.69	1.17	1.20
21	华蓥山	353.26	4.10	5.05	4.10	3.72	3.41	3.72	3.15	1.58	3.72
22	荣县	187.57	3.41	4.55	3.72	2.28	0.56	0.51	0.60	0.95	0.57
23	高县	294.21	4.10	4.10	4.10	2.56	2.41	1.14	3.41	4.55	1.52
24	马尔康	155.31	3.94	5.63	4.93	3.72	4.10	4.10	3.15	3.41	5.12
25	若尔盖	289.32	4.10	3.41	5.12	4.10	2.41	4.10	4.55	4.55	5.85
26	青川	255.32	4.10	4.55	4.55	0.98	0.85	1.52	0.55	5.04	4.48
27	平武	49.40	4.55	4.10	4.55	0.59	1.58	4.55	0.54	1.33	0.64
28	壤塘	281.85	0.16	0.15	0.15	3.72	4.10	1.86	3.72	4.55	4.10
29	黑水	118.50	0.20	0.24	0.22	0.45	0.34	0.66	1.16	0.56	0.69
30	茂县	31.30	0.38	0.23	0.26	0.54	0.55	0.54	0.81	1.39	0.40
31	道孚	230.02	4.55	4.10	5.12	4.55	4.55	1.37	4.55	4.55	3.41
32	甘孜	347.99	4.55	4.10	4.10	2.05	4.55	1.95	3.72	5.85	4.55
33	汶川	36.40	2.21	0.16	0.22	0.72	0.34	0.87	0.85	0.68	0.60
34	小金	105.20	3.10	3.98	3.98	0.67	4.52	0.66	3.41	4.55	2.73
35	井研	143.83	3.46	3.80	4.23	0.74	0.53	3.72	1.71	0.68	1.58
36	石棉	223.30	4.55	4.55	5.85	1.28	1.24	1.14	1.64	2.05	2.41
37	九龙	292.57	3.72	4.55	5.12	3.15	2.93	2.93	1.37	3.15	1.95
38	马边	239.59	4.55	4.10	5.85	1.71	2.73	3.72	1.46	1.41	1.32
40	雷波	302.66	4.10	3.41	4.10	1.05	1.05	1.37	3.72	3.41	2.93
41	安县	125.81	0.04	0.03	0.04	3.72	3.72	3.15	2.93	2.41	3.41
42	园艺场	367.58	4.10	4.55	5.12	1.14	3.15	3.72	1.71	2.41	2.73
43	会理	495.26	4.55	0.25	3.72	3.72	3.15	3.72	3.15	3.72	4.10
44	普格	409.82	4.10	4.10	4.55	1.95	1.32	3.41	2.16	3.41	3.72
45	盐源	428.26	5.12	4.10	4.55	1.02	3.15	3.15	2.05	5.12	1.95
46	木里	402.02	5.12	5.85	5.12	3.15	3.15	1.41	1.46	1.95	2.05
47	美姑	297.26	4.10	5.12	3.72	1.37	1.17	1.32	1.52	1.58	1.11
48	泸沽湖	445.13	4.10	3.41	4.10	1.41	4.55	1.95	2.41	5.85	5.12
49	丙乙底	354.05	4.55	2.56	4.55	2.93	3.15	2.56	2.28	3.72	3.41
50	石门坎	463.79	4.55	3.41	5.12	3.72	1.52	3.72	2.28	2.56	1.78
51	玄生坝	360.63	4.10	3.72	5.12	3.15	0.49	1.41	4.10	1.95	4.10
53	灵岩寺	21.59	0.38	0.38	0.38	0.40	0.38	0.27	0.59	0.59	0.48
54	钻洞子	15.72	0.40	0.38	0.38	0.38	0.48	0.38	0.34	0.63	0.31
55	白岩	11.78	0.28	0.12	0.18	0.14	0.23	0.23	0.63	0.29	0.31

续表 1

台号	台名	震中距 / km	脉动			P波卓越周期			S波卓越周期		
			UD	EW	NS	UD	EW	NS	UD	EW	NS
56	八角	2.02	0.16	0.34	0.07	0.17	0.10	0.14	0.34	0.40	0.40
57	桃子坪	10.11	0.11	0.11	0.12	0.33	0.33	0.33	0.38	0.37	0.50
58	桂花树	19.14	0.38	0.03	0.03	0.63	0.50	0.53	0.83	0.53	0.32
60	麻眼沟	176.40	0.18	0.33	0.37	0.23	0.83	0.27	1.00	0.45	0.40
61	石埡子	169.83	0.06	0.08	0.06	0.38	0.45	0.38	0.77	0.12	0.13
62	张家道	168.62	0.08	0.08	0.04	0.36	0.36	0.40	0.63	0.91	0.13
63	龙洞子	185.59	0.04	0.12	0.13	0.83	0.37	0.50	0.45	0.15	0.18
64	响岩坝	186.54	0.08	0.06	0.06	0.53	0.91	0.38	0.83	0.83	0.77
65	宰牛坪	193.46	0.21	0.05	0.21	0.83	0.83	0.83	0.53	0.77	0.28
66	片马	205.69	0.48	0.38	0.48	0.77	0.40	0.42	0.77	0.77	0.77
67	黑马	207.37	0.08	0.08	0.06	0.29	0.29	0.28	0.36	0.53	0.83
68	鲁布沟	197.83	0.10	0.04	0.07	0.91	0.33	0.29	0.91	0.67	0.30
69	顺河	203.82	0.19	0.04	0.36	0.59	0.67	0.59	0.63	0.67	1.00
70	阿兹角	211.85	0.14	0.08	0.04	0.27	0.27	0.28	0.83	0.30	0.37
71	徐谷坪	213.22	0.19	0.08	0.09	0.19	0.34	0.29	0.83	0.40	0.26
72	新民	215.50	0.22	0.36	0.34	0.77	0.45	0.40	0.33	0.33	0.37
73	山冲	205.98	0.13	0.04	0.13	0.19	0.29	0.19	1.00	0.20	0.32
74	白岩岗	195.51	0.45	0.45	0.40	0.37	0.36	0.37	0.48	0.48	0.45
75	罗挖坪	191.26	0.38	0.38	0.33	0.37	0.83	1.11	0.67	0.37	0.48
76	李子坪	205.16	0.45	0.08	0.08	0.83	0.83	0.77	0.83	0.63	0.91
77	罗布岗	198.59	0.13	0.13	0.13	0.77	0.56	0.83	0.50	0.63	0.59
78	付田坝	151.72	0.34	0.36	0.37	0.77	0.83	0.83	0.77	0.91	0.72
79	小店子	160.30	0.23	0.30	0.12	0.83	0.83	0.83	0.67	0.63	0.53
80	反坡	158.30	0.08	0.08	0.08	0.29	0.20	0.22	0.59	0.63	0.25
81	新寺上	150.38	0.27	0.04	0.04	0.34	0.59	0.59	0.43	0.71	0.45

$\lg T_p = 5.28 \times 10^{-4} \Delta + 0.18$ (4)

$\lg T_s = 9.62 \times 10^{-4} \Delta + 0.13$ (5)

其中， T_p 为 P波垂直向、东西和南北分量的合成卓越周期，单位为 s； T_s 为 S波垂直向、东西和南北分量的合成卓越周期，单位为 s； Δ 为记录台站到地震主破裂断层的距离，单位为 km。

由图 4、5可见，地震波震动卓越周期随震中距的增大而增大，P波卓越周期小于 S波卓越周期。由线性关系的 Y轴截距可以推断震源处的 P波的初始震动周期在 1.51 s，S波的初始震动周期在 1.35 s。

我们采用相同的数据处理方法测算了 8级主震后 1次 6.1级余震的卓越周期与震中距的关系（图 6）。这次余震为 2008年 5月 13日 15时 07分汶川 6.1级地震，震中与主震震中大致处在同一位置。由图 6可见，主震震动卓越周期与震中距线性关系的斜率大于 6.1级余震。

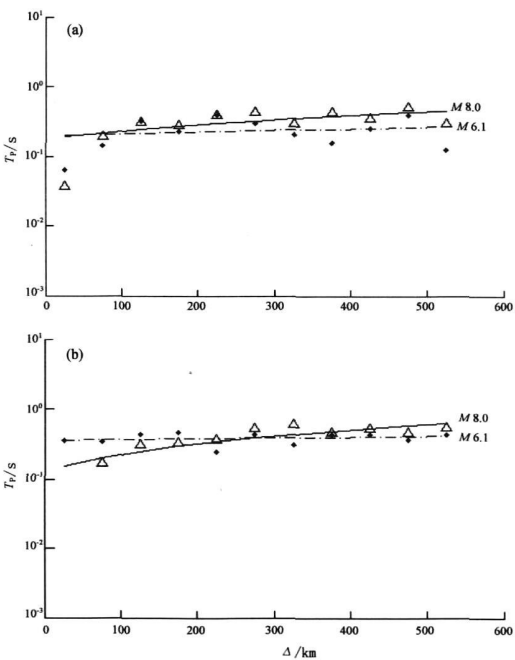


图 6 汶川 8.0级主震和 6.1级余震的 P波 (a)、S波 (b) 震动卓越周期与震中距关系

4 龙门山断裂带两侧块体的卓越周期

地质界普遍认为, 华南块体的西边界为龙门山逆冲断裂带、小江断裂带和红河断裂带。龙门山逆冲断裂带以东的华南块体地壳平均速度较高, 因而比较坚硬, 而川西高原则比较软弱 (王椿镛等, 2003)。表 1 所列的台站位于华南块体两侧, 其东侧台站有西充、宣汉、沐川、仁寿、剑门关、都江堰、峨眉山、中江、江油、华莹山、荣县、高县、井研、石棉、马边、雷波、园艺场、普格、木里、美姑、丙乙底、石门坎和玄生坝 (图 1), 其它台站位于华南块体西侧的巴颜喀拉和川滇块体上。图 7 为汶川 8 级地震龙门山逆冲断裂带两侧地块的 P 波、 S 波震动卓越周期与震中距关系图。由东、西两侧地块的卓越周期可见, 在震中距 300 km 范围内, 西侧地块上记录的主震 P 波、 S 波卓越周期均大于东侧的华南地块。在同一震源作用下, 龙门山逆冲断裂带两侧地块地震波所反映优势频率的差异, 主要体现了震波传播路径介质的差异。已知汶川地震震源深度为 10 ~ 15 km, 位于地壳上部。

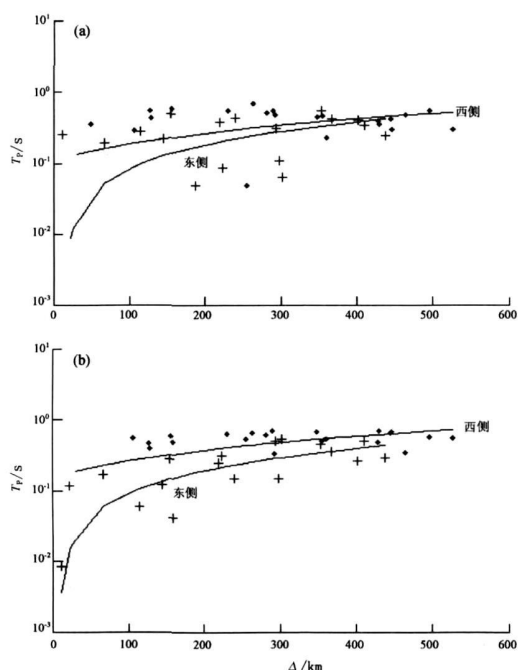


图 7 龙门山逆冲断裂带东、西两侧块体 P 波 (a)、 S 波 (b) 震动卓越周期与震中距关系 (十字符号表示东侧华南地块上测震台站记录的卓越周期, 星号表示西侧巴颜喀拉和川滇地块上测震台站记录的卓越周期)

本文所取震相主要为直达波, 因此, 卓越周期主要反映了地壳上部介质对地震波的传播影响情况。表明西侧地块介质相对破碎和松散, 对震波的高频能量吸收较好。东侧地块介质刚度较高, 完整性较好, 在相似的震波传播距离上, 震波的频率衰减小于西侧地块。

5 讨论与结论

关于地震波卓越周期前人做过一些工作研究, 梅村等 (1978) 根据日本地震给出了 5.5 ~ 8 级地震的基岩最大加速度的卓越周期与到发震断层的距离的关系, 其结果是卓越周期与到发震断层的距离的斜率随震级的降低而减小。笔者利用四川台网记录的主、余震波形数据给出的汶川地震波卓越周期与震中距的变化趋势与梅村 (1978) 的结果相似。蒋乐群等 (1998) 利用地脉动卓越周期研究了 1996 年丽江 7.0 级地震的震害分布特征, 表明地脉动卓越周期为 0.3 s 左右的场地烈度较高。本文中笔者采用频率分析法给出的主震震动卓越周期在发震断层 (龙门山断裂带) 附近震中区 100 km 范围内大部分为 1 s 左右。魏珪等 (1991) 在解释《建筑抗震设计规范》时给出了建筑自振周期的理论计算、实测和试验研究结果: 多层砌体房屋的实测周期范围为 0.133 ~ 0.323 s, 多层框架厂房的实测周期范围为 0.2 ~ 1.2 s。主震在震中区为 1 s 左右的震动周期与震中区建筑体的自振周期十分接近, 当建筑体自振周期与地震波的震动卓越周期一致时, 将加速建筑物的解体。江南 (2008) 提供的中国科学院遥感应用研究所提供的都江堰市地震后的雷达影像图中给出了地震破坏区域和破坏分布点, 这些破坏区域和破坏点的建筑自振周期可能与地震波的卓越周期接近。Bruce (2000) 认为沉积盆地有其固有频率, 地震运动如果与这个频率相同将会发生共振使振动幅度增大。共振频率的值取决于土壤层厚度及沉积盆地的形状和大小。都江堰市位于四川盆地的边缘, 距震中仅 20 ~ 30 km, 但城中的破坏一部分成片状分布, 一部分成点状分布, 这与建筑物本身有关, 同时也可能与建筑物所处的场地性质有关, 即与土壤层厚度及场地的卓越周期 (共振频率) 相关。

震中区的紫坪铺水库台网测得的地震动 P 波

卓越周期为 0.10~0.63 s，S波卓越周期为 0.29~0.83 s。震中区映秀镇的地震动频率可能与此相似，该地区的建筑物自振周期也可能与地震动频率相近。罗学海等（1977）在拱坝自振特性的试验研究中发现，拱坝有 4 个自振频率，即 6.7、7.1、11.9 和 15.7 Hz，对应的自振周期为 0.15、0.14、0.08 和 0.06 s。紫坪铺大坝为水泥面板堆石坝，坝高 156 m，水库总库容 11.12 亿 m³，地震发生时，实际库容量为 3 亿 m³，只占总库容量的 1/3。水泥面板堆石坝与拱坝的自振频率是否相近，有待验证，但从此次 8 级地震的破坏情况可以判定，紫坪铺水库水泥面板堆石坝的自振频率与 S 波卓越周期 0.29~0.83 s 不同。

从表 1 可以看到，汶川、都江堰、茂县、青川、平武和江油等高烈度区台站记录的 P 波卓越周期大多小于 1.0 s，S 波卓越周期大多小于 1.5 s。

由汶川 8.0 级地震 P、S 波卓越周期与震中距关系趋势可知，地震波震动卓越周期随震中距的增大而增大，P 波卓越周期小于 S 波卓越周期。由线性关系的 Y 轴截距可以推断震源处的 P 波的初始震动周期在 1.51 s，S 波的初始震动周期在 1.35 s。

由相同震源的主余震频率分析结果可知，8.0 级主震的震动卓越周期与震中距线性关系的斜率大于 6.1 级余震。

龙门山逆冲断裂带是华南块体的西边界之一，其两侧地块卓越周期存在明显差异，东侧的华南地块上记录的震波卓越周期小于西侧的地块，表明东侧的华南块体比西侧的巴颜喀拉和川滇地块更坚硬。

参考文献:

江南. 2008 震后灾评卫星影响功不可没 [J]. 中国国家地理, 572 (6): 130—132.
蒋乐群, 叶建庆. 1998 大研镇 (丽江县城) 地震灾害 [G] // 一九九六年丽江地震. 北京: 地震出版社: 40—46.
金井清. 1978 地震工程学的展望 [G] // 国家地震局工程力学研究所译. 地震工程译文集. 北京: 地震出版社: 73—77.
罗学海, 张雪亮, 朱藏, 等. 1977 拱坝自振特性的试验研究 [G] // 中国科学院工程力学研究所. 地震工程研究报告集 (第三集). 北京: 科学出版社: 244—255.
梅村, 大奇, 渡部. 1978 工程设计用的地震参数 [G] // 国家地震局工程力学研究所译. 地震工程译文集. 北京: 地震出版社: 67—72.
王永革. 2007 数字信号处理的 MATLAB 实现 [M]. 北京: 科学出版社.
王椿镛, 吴建平, 楼海, 等. 2003 川西藏东地区的地壳 P 波速度结构 [J]. 中国科学 (D 辑), 33 (增刊): 181—189.
魏琰, 王广军. 1991 地震作用 [M]. 北京: 地震出版社: 47—55.
张志涌. 2000 精通 MATLAB5.3 版 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社.
Bruce A B. 2000 地震九讲 [M]. 北京: 地震出版社.
GB 18306—2001 中国地震动参数区划图 [S].

Predom inant Period of the Wenchuan M_s8.0 Earthquake Motion

YE Jian qing, SU Jin rong, CHEN Hu i

- (1. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)
(2. Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract

Based on the frequency spectrum analysis of the seismic waves recorded by the Sichuan seismic network during the Wenchuan earthquake, we study the relation between the predominant periods of P and S waves and the epicentral distance, and give the predominant period-epicentral distance relations of the Wenchuan main shock and the M_{6.1} aftershock respectively. The predominant periods are different on two sides of the Longmenshan fault. The predominant period on the South China block, the east side of Longmenshan fault, is less than that on the west side. This suggests that the South China block is harder than the Bayankala and Sichuan-Yunnan blocks.

Key words: Wenchuan M_s8.0 earthquake, P wave, S wave, predominant period, epicenter distance