

岷县漳县 6.6 级地震极震区峰值加速度估算^①

王爱国^{1,2}, 刘方斌¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:简述了 2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震极震区破坏特; 针对调查中发现的砖柱铁门地震破坏现象, 应用力学分析原理估算了极震区地震水平峰值加速度。估算结果表明, 极震区禾驮乡拉路村地震水平峰值加速度在 $5.1 \sim 5.4 \text{ m/s}^2$, 即 $0.52 \sim 0.55 \text{ g}$ 左右, 大于《中国地震烈度表》Ⅷ度区参考的水平向地震峰值加速度, 这可能与研究区黄土及山坡的双重放大效应有关。因此在灾后恢复重建及该区未来的抗震设防中应考虑这两方面的作用影响。

关键词: 岷县漳县 6.6 级地震; 水平峰值加速度; 极震区

中图分类号: P315.923

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)03-0483-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0483

Estimation of Peak Ground Acceleration in Magistoseismic Area of the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake

WANG Ai-guo^{1,2}, LIU Fang-bin¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Lanzhou base of Institute of earthquake Science, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The horizontal peak ground acceleration (PGA) distribution in an earthquake is a very important parameter and can be used as a reference for the determination of seismic intensity. In Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ earthquake disaster region, there is only Minxian seismostation in intensity Ⅶ region got the seismic records and in intensity Ⅷ region there is no seismic record. During site investigation, a kind of brick doorpost was noticed in Lalu village in Hetuo town, meizoseismal area. The doorpost with iron door broke in the earthquake and the doorpost without iron door kept in good condition, which can be used to estimate the PGA in this area. Based on the field investigation, the destruction features in meizoseismal area of the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake are sketched and the damage to the brick doorpost with iron door in earthquake are described and analysed. The seismic intensity Ⅷ region is about 706 km^2 and the most serious damage area include Yongguang, Yongxing and Lalu villages, most of them located in the high half slope covered by thick loess. According to the characteristics of the doorpost and its break, the earthquake horizontal PGA was estimated by mechanics analysis theory using a simplified strut-node model, which can be used as a reference for seismic intensity division and post-disaster reconstruction design. The results show that the earthquake horizontal PGA of Lalu village in Hetuo town, meizoseismal area, is up to $5.1 \sim 5.4 \text{ m/s}^2$, namely $0.52 \sim 0.55 \text{ g}$, which is much greater than the reference value of eight-degree region in the Chinese Earthquake Intensity Scale.

① 收稿日期: 2013-09-18; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2013053

基金项目: 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2013A77)

作者简介: 王爱国(1972—), 男(汉族), 湖北洪湖人, 副研究员, 主要从事地震地质、工程地震、寒区工程方向的研究。Email: wagu2008@163.com

Judging by the related study about the influence of local topography on ground motion in mountain region of southern Gansu province and the seismic records observed on Shangcheng platform in Wenxian during Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake, the high PGA may be caused by the amplification effects of both high mountain slope and thick loess in study area. Compared with the PGA value of seismic record by seismostation in Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake and Lushan $M_s 7.0$ earthquake, the PGA value is usually much higher than the reference value in the Chinese Earthquake Intensity Scale of the same intensity region. Therefore, these two effects should be considered for the post-disaster reconstruction and seismic fortification in the future and the fortification criterion should be increased for villages in high half slope area.

Key words: Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake; horizontal PGA; magistoseismic area

0 引言

2013 年 7 月 22 日 07 时 45 分在甘肃省定西市岷县、漳县交界 ($34.5^\circ\text{N}, 104.2^\circ\text{E}$) 发生 $M_s 6.6$ 地震,震源深度 20 km。根据中国地震局发布的甘肃岷县漳县 6.6 级地震烈度图^[1],本次地震极震区烈度为Ⅷ度,西北自岷县中寨镇,东南至岷县禾驮乡东南,东北自岷县禾驮乡东北,西南至岷县禾驮乡西南,长轴为 40 km,短轴为 21 km,面积 706 km^2 (图 1)。

地震烈度的评估一般通过灾区现场震害调查来确定,同时也有确定性指标如水平地震动峰值加速度作为判定参考依据^[2],特别是对缺乏某些地震灾害判别现象的地区地面运动参数就显得尤其重要。但由于强震动台网密度有限,很难在一次地震中有足够的地震动台站记录资料,因此需要用一些其它

方法来估算地震动峰值加速度。

本次地震极震区为甘肃欠发展地区,房屋结构类型以土木结构为主,砖木、砖混结构和框架结构类型只有少量分布。根据现场考察,极震区土木结构房屋破坏以倒塌为主,没有很特征的破坏现象;砖木结构则以砖墙接缝或边缘的裂缝为主;砖混结构和框架结构基本完好。鉴于本区土墙体的强度很低,加之震前暴雨作用,在烈度评估中还不能完全以其倒塌率作为烈度评定的指标,因此需要参考其它指标。

本次地震受灾区分布的固定地震动台站较少,距震中最近的为岷县地震台(图 1),位于Ⅶ度区,记录到的本次地震强震动 NS 方向最大峰值加速度为 172.5 gal,EW 方向为 160.7 gal,垂直方向为 78.4 gal。极震区Ⅷ度区没有地震台站,没有强震动数

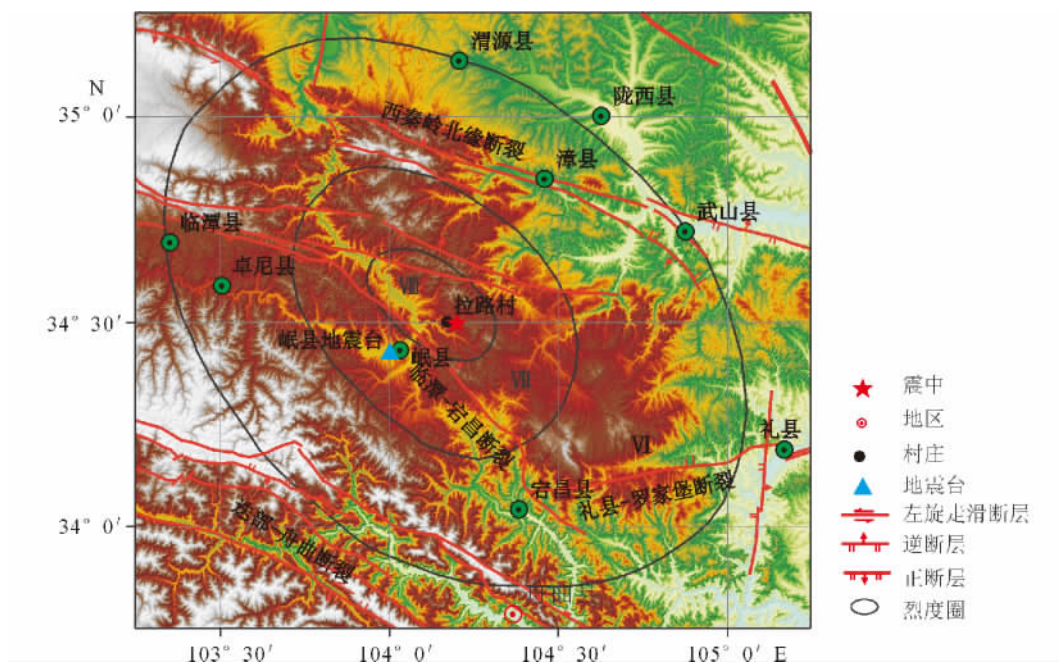


图 1 岷县漳县地震烈度分布及研究点位置

Fig. 1 Sketch map of Minxian—Zhangxian 6.6 earthquake disaster region and positon of study point



图 2 砖柱铁门破坏现场照片

Fig. 2 Site photos of the damage to brick doorpost with iron door

据。

在现场调查中我们在极震区发现一些保留比较好的砖柱铁门的破坏,砖柱由于地震动作用出现特征的拉裂,可以通过力学分析,计算其遭受的地震动峰值加速度。其结果可作为本次地震烈度评估及灾后恢复重建的参考,该方法也可用于以后地震灾害调查中的烈度评估工作。

1 现象描述

所见两处砖柱铁门破坏均位于地震极震区岷县禾驮乡拉路村(图 2),地处相对海拔约 200 m 的山坡上,属黄土覆盖区。大门为土坯墙体紧邻的砖柱,其上通过锚杆将铁门以铰链固定。砖柱为正方立柱,高 2.20 m,边长 0.5 m,用水泥砂浆砌筑。除铁门外砖柱再没有其它的连接,属独立结构。砖柱的破坏主要表现在下部锚杆附近砌体砂浆拉裂及砖块的崩裂,现场调查也见一些没有铁门的砖柱在地震中完好无损,说明这里砖柱的破坏是由于在地震中有铁门的拉力所致。砖柱和铁门裂而不倒,说明地震作用力刚好使砖柱产生拉裂破坏,因此可以用这一现象来大致估算该处地震时的水平峰值加速度。

2 砖柱实体和计算模型

根据现场考察,砖柱门柱采用尺寸为 240 mm × 115 mm × 53 mm 的标准实心砖^[3],10 mm 厚灰缝,其长宽厚之比为 4:2:1,砌筑方式如图 3 所示。现场量测砖柱共 36 层砖,总高 2.20 m,平面结构为外边长 500 mm、中心边长 250 mm 的空心结构。

铁门上铰链点位于上往下第 5 块砖中心,铁门

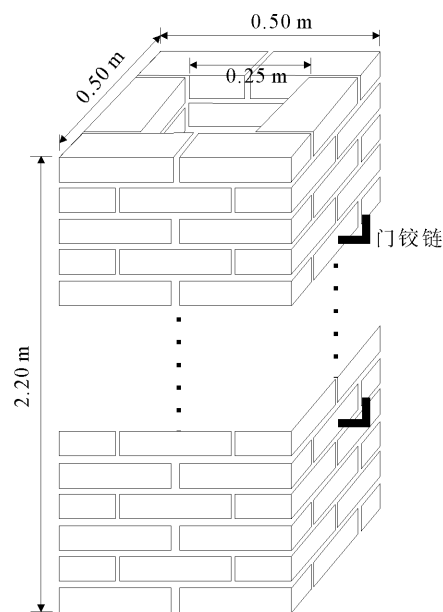


图 3 砖柱结构示意图

Fig. 3 Sketch of the structure of the brick doorpost

下铰链点位于下往上第 5 块砖中心。铁门高度与砖柱相同,单扇门宽 1.20 m,重量约 28 kg,重心基本为门的中心位置。

由于砖柱为均匀对称结构,可以简化为均质体。根据砖与灰缝大小比例等价密度约为 1 900 kg/m³。根据研究区环境及材料特征,本区砖柱墙体所取材料强度参数如表 1 所示^[4-5]。破坏最先发生在铁门下铰链对应的水平方向水泥砂浆通缝层,该处在地震中受拉张作用力最大,而沿通缝的弯曲抗拉强度最低,与理论破坏起始点一致。

表 1 砖及水泥砂浆强度参数

Table 1 The strength parameters of brick and cement mortar

材料	等级	抗压强度 f /MPa	轴心抗拉强度 f_t /MPa	沿齿缝弯曲抗拉 强度 f_{tm} /MPa	沿通缝弯曲抗 拉强度 f_{tm} /MPa	抗剪强度 f_v /MPa
砖	MU10	1.26	0.06	0.11	0.06	0.06
砂浆	M1.0					

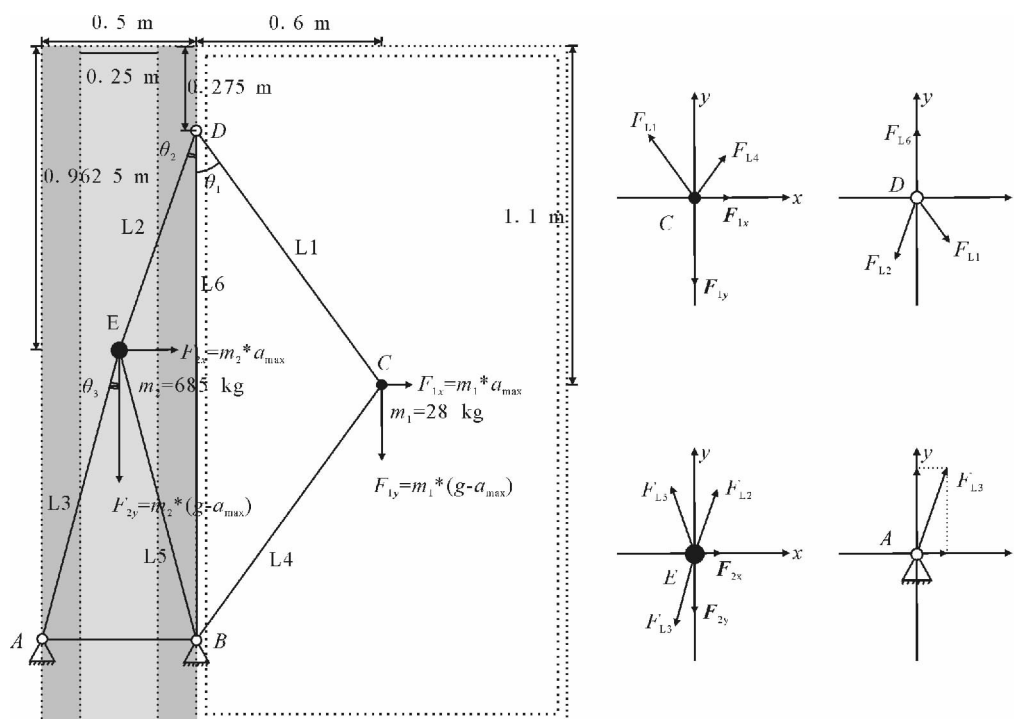


图 4 简化的平面支杆结构及各节点受力图

Fig. 4 Simplified plane strut structure and the force diagram of nodes

为便于现场估算,将砖柱与铁门模型简化为如图 4 所示的平面支杆结构计算模型,计算破裂点发生破裂所需的水平向峰值加速度。根据结构特征,当最大水平向峰值加速度向门一侧方向作用、最大垂直向峰值加速度向上时,破裂点 A 处受拉张力最大。模型由 6 个支杆 L1、L2、L3、L4、L5、L6 及 5 个铰链点 A、B、C、D、E 组成,其中 C 点和 E 点为两个质量点,分别为门和破坏点上部砖柱的质心,根据现场实测及计算,质量分别为 $m_1 = 28 \text{ kg}$, $m_2 = 685 \text{ kg}$ 。

依据已有研究成果,对于远场地震动垂直方向与水平方向比值接近 2:3;但对于近场地震动垂直方向与水平方向比值接近 1:1,有时垂直方向甚至超过水平方向。由于该研究点位于地震极震区,这里取最大垂直向峰值加速度与最大水平向峰值加速度相同为 a_{\max} 。

在地震及重力作用下各点的受力情况如图 4 右侧所示。

解得

3 计算结果

对 C 点,作用力包括质量点 m_1 的重力和地震力 F_{1x} 、 F_{1y} 及支杆 L1 与 L4 的力,根据力的平衡,对 X 和 Y 轴方向分别有

$$F_{L1} \cdot \sin \theta_1 - F_{L4} \cdot \sin \theta_1 = F_{1x}$$

$$F_{L1} \cdot \cos \theta_1 - F_{L4} \cdot \cos \theta_1 = F_{1y}$$

$$\text{解得} \quad F_{L1} = \frac{1}{2} \left(\frac{F_{1x}}{\sin \theta_1} + \frac{F_{1y}}{\cos \theta_1} \right)$$

对 D 点,作用力包括支杆 L1、L2、L6 的力,根据 X 方向力的平衡,有

$$F_{L1} \cdot \sin \theta_1 = F_{L2} \cdot \sin \theta_2$$

$$\text{解得} \quad F_{L2} = \frac{F_{L1} \cdot \sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

对 E 点,作用力包括质量点 m_2 的重力和地震力 F_{2x} 、 F_{2y} 及支杆 L2、L3 与 L5 的力,根据力的平衡,对 X 和 Y 轴方向分别有

$$F_{L2} \cdot \sin \theta_2 + F_{2x} = F_{L5} \cdot \sin \theta_3 + F_{L3} \cdot \sin \theta_3$$

$$F_{L2} \cdot \cos \theta_2 + F_{L5} \cdot \cos \theta_3 = F_{2y} + F_{L3} \cdot \cos \theta_3$$

$$F_{L3} = \frac{F_{L2}(\sin \theta_2 \cdot \cos \theta_3 + \cos \theta_2 \cdot \sin \theta_3) + F_{2x} \cdot \cos \theta_2 - F_{2y} \cdot \sin \theta_3}{2 \cdot \sin \theta_3 \cdot \cos \theta_3}$$

对支点 A 处,其向上的拉张力 F_{Ay} 由支杆 L3 的力分解得到

$$F_{Ay} = F_{L3} \cdot \cos \theta_3$$

根据结构几何尺寸,有

$$\sin \theta_1 = 0.588\ 24, \quad \cos \theta_1 = 0.808\ 82,$$

$$\sin \theta_2 = 0.341\ 745, \quad \cos \theta_1 = 0.939\ 8,$$

$$\sin \theta_2 = 0.251\ 4, \quad \cos \theta_1 = 0.967\ 88$$

将这些数值代入前面结算公式,得到 A 点向上的拉张力为

$$F_{Ay} = 1.65F_{1x} + 1.20F_{1y} + 1.924\ 98F_{2x} + 0.5F_{2y}$$

将 F_{1x} 、 F_{1y} 、 F_{2x} 、 F_{2y} 代入,

$$F_{Ay} = (0.45 \cdot m_1 + 2.424\ 98 \cdot m_2) \cdot a_{\max} - (0.5 \cdot m_2 - 1.20 \cdot m_1) \cdot g$$

对于砖柱的 AB 截面,拉张破坏所需总的向上的拉张力 F_s 为其截面积 S 与通缝弯曲抗拉强度 f_{tm} 的乘积,即

$$F_s = S \cdot f_{tm} = 0.187\ 5 \times 0.06 \times 10^6 = 112\ 50(\text{N})$$

由于截面拉张力为均匀分布,等效点位于截面中心,因此在有铁门的情况下要产生破坏需要满足下式:

$$F_{Ay} > 0.5F_s$$

将 $m_1 = 28\ \text{kg}$ 、 $m_2 = 685\ \text{kg}$ 代入,解得 $a_{\max} > 5.1(\text{m/s}^2)$ 。

对于无门砖柱,由于在极震区保持完好,因此在 $m_1 = 0\ \text{kg}$ 的情况下,要求满足下式

$$F_{Ay} < 0.5F_s$$

将 $m_1 = 0\ \text{kg}$ 、 $m_2 = 685\ \text{kg}$ 代入,解得 $a_{\max} < 5.4(\text{m/s}^2)$ 。

因此,根据极震区砖柱铁门的破坏特征估算极震区拉路村最大地震峰值加速度在 $5.1 \sim 5.4\ \text{m/s}^2$,即 $0.52 \sim 0.55\ g$ 左右。

4 讨论

通过的结构的破裂行为推算地震动峰值加速度其中还存在很大的不确定性,特别是结构材料的性质确定对于结算结果影响较大。本文计算得到的极震区拉路村最大地震峰值加速度在 $5.1 \sim 5.4\ \text{m/s}^2$,即 $0.52 \sim 0.55\ g$ 左右,大于《中国地震烈度表》(GB/T 17742 — 2008)Ⅷ度区参考的水平向地震峰值加速度,这一方面可能由于研究区农村建筑材料不达标导致计算结果偏大,但最主要的原因应与研究区厚层黄土及高大山体的双重放大效应有关。

岷县地震台位于Ⅶ度区,台址位于河谷区Ⅱ类场地,记录到的本次地震最大水平峰值加速度为 $172.5\ \text{gal}$,该值也达到《中国地震烈度表》(GB/T 17742 — 2008)Ⅶ度区参考的水平向地震峰值加速度的上限。在 2013 年 4 月 20 日四川雅安庐山 7.0 级地震中,位于Ⅸ度区边缘的宝兴地震台记录到的水平向峰值加速度达到 $10.054\ \text{m/s}^2$,更是远远大于烈度表参考值范围。因此,对于中国西部地区,由于山大沟深的地貌特征,地形及场地效应对地震动放大影响明显^[6-9],山地地震动值明显高于烈度表的参考值,在烈度评估中应加以考虑。在本次地震重建中,房屋抗震设计及该区未来的抗震设防中也应考虑这两方面作用的影响,在山区特别是山坡上的村庄应适当提高设防标准。

参考文献(References)

- [1] 中国地震局. 甘肃岷县漳县 6.6 级地震烈度图[OB/OL]. 2013, http://www.csi.ac.cn/manage/html/4028861611c5c2ba0111c5c558b00001/_content/13_07/25/1374717758449.html. Chinese earthquake administration. Seismic intensity map of Minxian—Zhangxian 6.6 earthquake in Gansu[OB/OL]. 2013 (http://www.csi.ac.cn/manage/html/4028861611c5c2ba0111c5c558b00001/_content/13_07/25/1374717758449.html). (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准《中国地震烈度表》(GB/T 17742 — 2008)[S]. 北京:中国标准出版社,2008. State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. The State Standard of the People's Republic of China — China Seismic Intensity Scale (GB/T 17742 — 2008)[S]. Beijing: China Standard Press,2008. (in Chinese)
- [3] 国家质量技术监督局. 中华人民共和国国家标准《烧结普通砖》(GB/T 5101 — 1998)[S]. 北京:中国标准出版社,1998. State Bureau of Quality and Technical Supervision. The State Standard of the People's Republic of China — Fired common Bricks (GB/T 5101 — 1998)[S]. Beijing: China Standard Press,1998. (in Chinese)
- [4] 高桂兰,赵子赢,沈成忠. 浅谈砂浆强度与砌体强度[J]. 煤炭技术,2004,23(8):77-78. GAO Gu-lan, ZHAO Zi-ying, SHEN Cheng-zhong. Talking about the Strength of Mortar and Masonry[J]. Coal Technology, 2004, 23(8): 77-78. (in Chinese)
- [5] 杨柳德,周志荣. 浅谈砂浆强度和砌体强度的影响因素[J]. 山西建筑,2009,35(23):69-70.

- YANG Liu-de, ZHOU Zhi-rong. Discussing the Influence Factors of Mortar and Masonry Strength[J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(23): 69-70. (in Chinese)
- [6] 盛志强, 卢育霞, 石玉成, 等. 河谷地形的地震反应分析[J]. 地震工程学报, 2013, 35(1): 126-132.
- SHENG Zhi-qiang, LU Yu-xia, SHI Yu-cheng, et al. Seismic Response Analysis of Vally Topography[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1): 126-132. (in Chinese)
- [7] 孙崇绍, 闵祥仪, 周民都. 陇南山区局部地形对地震动强度的影响[J]. 西北地震学报, 2011, 33(4): 331-335.
- SUN Chong-shao, MIN Xiang-yi, ZHOU Min-du. Influence of Local Topography on Ground Motion in Mountain Region of Southern Gansu Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4): 331-335. (in Chinese)
- [8] 卢育霞, 刘琨, 石玉成, 等. 甘肃文县上城台地的地震记录分析[J]. 西北地震学报, 2011, 33(增): 393-397.
- LU Yu-xia, LIU Kun, SHI Yu-cheng, et al. Analysis on Seismic Records Observed on Shangcheng Platform in Wenxian, Gansu Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(Suppl): 393-397. (in Chinese)
- [9] 乔震元, 刘本玉, 张远富. 汶川 8.0 级地震峰值地震动特性研究[J]. 西北地震学报, 2011, 33(1): 91-95.
- QIAO Zhen-yuan, LIU Ben-yu, ZHANG Yuan-fu. Research on the Peak Ground Motion Characteristics of Wenchuan M_s 8.0 Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(1): 91-95. (in Chinese)