



汶川地震

建筑震害 启示录

王亚勇 黄卫 著

地震出版社

汶川地震建筑震害启示录

王亚勇 黄 卫 著

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

汶川地震建筑震害启示录/王亚勇, 黄卫著. —北京: 地震出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-5028-3544-6

I. 汶… II. ①王…②黄… III. 建筑物—震害—汶川县—2008—图集
IV. P315.9-64 P316.271.4

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第052479号

地震版 XT200900033

汶川地震建筑震害启示录

王亚勇 黄 卫 著

特约编辑: 皮声援

责任编辑: 王 伟

责任校对: 庞亚萍

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

工程图书出版中心: 68721991

E-mail: 68721991@sina.com

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

版(印)次: 2009年5月第一版 2009年5月第一次印刷

开本: 889×1194 1/16

印张: 13.5

书号: ISBN 978-7-5028-3544-6/P (4151)

定价: 180.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序

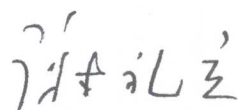
2008年5月12日汶川大地震是继1976年唐山地震以后，发生在我国的又一次毁灭性地震，受灾人口4624万人，直接经济损失8451亿元。在党中央和各级政府的坚强领导下，全国人民万众一心，开展抗震救灾、重建家园的伟大斗争。

地震后，数千名工程技术人员迅速奔赴现场，对损毁的各类房屋建筑开展调查工作，取得了十分宝贵的第一手资料。这些资料可为灾区震后恢复重建和我国工程建设抗震设计标准的修订提供科学依据。本书的两位作者都曾多次出入灾区现场进行调研和指导抗震救灾；并从专业的角度，归纳各类房屋建筑的破坏特征，对照我国《建筑抗震设计规范》条文规定进行研究、对比并印证规范规定的“小震不坏，中震可修，大震不倒”三水准抗震设防技术的科学性。

作者从近万帧实拍照片中精选了典型的房屋建筑和工程设施震害400多帧，与此同时他们还列出了所收集到的有关汶川地震的基础资料，强地震动记录和建筑设计图纸资料，以建筑抗震设计基本要求为切入点，分门别类，逐一对照介绍。本书不仅详细地描述房屋建筑结构的地震破坏特征，还同时注重对仅遭轻微损坏、甚至没有破坏的房屋建筑进行对比和剖析。既从建筑的破坏现象，也从建筑的不坏、不倒现象深入分析原因，多方探索机理，冀望从正、反两方面提供经验。这是本书的一个重要特点，没有深厚的专业水准和长期积累的丰富实践经验，是很难能做到这一点的。相信广大读者可以从中获益。

本书于汶川地震一周年之际出版，具有深刻意义。既表达了作者对地震中不幸罹难同胞的悼念之情，又寄托了作者对我国建筑工程抗震科学技术发展的期望。

是为序。



中国工程院 院士

2009年5月12日

前言

2008年5月12日汶川大地震（ $M8.0$ ）造成大量房屋建筑和工程设施破坏。我国的工程技术人员在灾区开展了灾后紧急救援、建筑结构安全快速评估和震害调查工作，收集了大量的第一手资料。震害调查表明，经过抗震设防，特别是在1990年以后按照1989年和2001年《建筑抗震设计规范》（以下简称89《规范》和2001《规范》）设计建造的建筑表现良好^[1, 2]。主震发生时，即使在震中地区实际烈度达到“大震”烈度，甚至高出设防烈度3~4度（实际的地震动强度超出地震动区划强度的10倍以上）的情况下，除个别建筑物外，大多数建筑受到中等至严重破坏，但不倒塌，达到了“小震不坏，中震可修，大震不倒”的三水准抗震设防目标。

30多年来，我国的建筑抗震设计规范经历了一个逐步发展、深化和提高的过程。从1974年发布第一本《工业与民用建筑抗震设计规范（TJ11—74）》起，陆续发布了1978年的《工业与民用建筑抗震设计规范（TJ11—78）》，1989年的《建筑抗震设计规范（GBJ11—89）》和2001年的《建筑抗震设计规范（GB50011—2001）》等四本建筑抗震设计规范。在此期间，我国发生了海城、唐山等多次破坏性地震。广大科研工作者和工程技术人员对地震中的各类建筑震害作了深入的研究，提出了“小震不坏，中震可修，大震不倒”的三水准抗震设防思想。许多新的研究成果，如砌体结构的构造柱设置等抗震措施被纳入抗震设计规范。基于地震和地震预报的不确定性，在总结大量建筑震害经验的基础上，并根据我国基本建设发展现状，国家建设主管部门在20世纪80年代作出了在6度区进行抗震设防的重要决策，并在89《规范》的修订中得到了体现，沿用至今。历次地震考证明，6度区抗震设防的决策和三水准抗震设防的理念及与之相配套的各种抗震措施是十分必要和行之有效的。

汶川地震以后，笔者曾多次进入灾区开展调研，参与指导抗震救灾和恢复重建工作。随着震害调查和资料分析工作的深入，对建筑物的破坏机理有了进一步的认识。汶川大地震造成如此严重的破坏，除了实际地震影响烈度远高于设防烈度、山区地形反应和严重的次生地质灾害等原因之外，老旧房屋，特别是农村房屋没有抗震设防也

是重要原因之一。此外,在结构抗震设计、施工质量等方面存在的一些问题,也导致了房屋建筑的地震破坏。在地震灾区对各类房屋建筑震害的调查发现了一些值得深思和研究的现象。例如,在同一地点,有的建筑损坏严重、甚至倒塌,有的则较轻;在高烈度区,理论上抗震性能较好的一些钢筋混凝土结构倒塌了,而抗震性能相对较差的一些砌体结构却“裂而不倒”;在高烈度区,强地震作用使结构下部突然倒塌,暴露了冗余度不足或缺少多道抗震防线问题;建筑设计追求高、大空间和不规则体型而导致严重破坏;大量的“强梁弱柱”引起的破坏;抗震缝设置不妥造成碰撞并引发连续倒塌;砌体结构楼梯间、现浇和预制混凝土楼屋盖、非结构构件的破坏等等^[3]。笔者认为,对震害的调查,不但要对倒塌破坏的建筑,也要对坏而不倒、甚至不坏的建筑物进行调查,才能全面提供成功的经验和失败的教训,改进结构抗震设计。

地震之后,根据有关抗震防灾法律法规和汶川地震灾后恢复重建要求,在国家住房和城乡建设部领导下,标准规范和质量与安全主管部门迅速组织专家总结震害经验,对建筑抗震设计标准规范进行修订。在不到三个月的时间内完成了工程建设国家标准《建筑工程抗震设防分类标准(GB50223—2008)》(以下简称2008《标准》)^[4]和《建筑抗震设计规范(GB50011—2001)(2008版)》(以下简称2008版《规范》)的修订^[5],并于2008年7月30日发布实施。新的标准规范对保证建筑工程质量,指导地震灾区恢复重建,提高我国建筑工程抗震设防能力,保护人民生命财产具有重要意义。笔者多年的工作体会是,科学选址和规范设计,严格执行抗震设防标准,是加强建筑抗震设防的重要方面,可以避免或最大限度地减轻地震灾害^[6]。

本书不对建筑震害做简单分类罗列,而是从建筑结构抗震设计的基本要求出发,对照建筑抗震设计规范的条文规定,对典型的建筑震害进行剖析,尽可能从破坏的表面现象分析产生破坏的原因,或是从建筑不坏、不倒的表面现象研究其幸存的道理,冀望提供正、反两面经验。由于汶川地震强度极高,强地震动和次生灾害所造成的破坏极为严重,建筑的损坏形态复杂多样;而且由于震后现场比较混乱,余震不断,许多建筑物无法进入,震害调查工作的开展极为困难。加之笔者专业水准所限,现场拍照角度及对建筑破坏原因的认知可能与其他专家不尽相同,对建筑震害的描述和分析难免有偏颇,甚至谬误之处,希望读者批评指正。

笔者要感谢许多同行毫无保留地提供了极为宝贵的照片和图纸资料,极大地丰富了本书的内容,使读者可以有更多的参照对比。书中已尽可能注明大多数提供照片和图纸资料的单位或个人,但在编写中可能会有遗漏,希予见谅,并致谢意。

Contents

目 录

第1章 地震概况

1.1 地震构造	/ 2
1.2 3.0级以上余震分布	/ 3
1.3 地震烈度分布	/ 4
1.4 强震地面运动加速度记录和反应谱	/ 5
1.5 卫星遥感影像灾情解译	/ 8
1.6 汶川地震前、后北川县城对比	/ 9
1.7 汶川地震后的映秀镇	/ 11

第2章 建筑场地选择

2.1 规范规定	/ 13
2.2 断裂效应和地面变形	/ 13
2.3 滑坡	/ 16
2.4 崩塌	/ 17
2.5 落石	/ 18
2.6 泥石流	/ 19
2.7 地裂	/ 21
2.8 护坡设计	/ 22

第3章 地基基础和设备

3.1 规范规定	/ 24
3.2 采用不同地基基础的建筑破坏情况	/ 24
3.3 桩基和承台基础梁破坏	/ 26
3.4 设备支座破坏	/ 28

3.5 吊塔破坏	/ 30
----------	------

第4章 高烈度区建筑破坏特征

4.1 规范规定	/ 33
4.2 下部倒塌，上部结构轻微破坏，裂缝不开展	/ 33
4.3 中间层倒塌，下部轻到中度破坏，但不倒塌	/ 37
4.4 砌体结构墙体单向斜裂缝	/ 38

第5章 建筑结构整体性

5.1 规范规定	/ 43
5.2 结构整体倒塌	/ 43
5.3 砌体结构裂而不倒	/ 44

第6章 建筑结构规则性

6.1 规范规定	/ 49
6.2 竖向不规则（退台）	/ 49
6.3 竖向不规则（挑台）	/ 52
6.4 平面不规则（切角）	/ 52
6.5 平面不规则（凹口）	/ 54

第7章 建筑结构抗震多道防线

7.1 规范规定	/ 56
7.2 单跨框架结构	/ 56
7.3 多跨框架结构	/ 59
7.4 厂房排架柱间支撑和屋架支撑	/ 63
7.5 框架柱加翼墙	/ 64

第八章 结构冗余度和连续倒塌

8.1 规范规定	/ 66
----------	------

8.2 局部连续倒塌	/ 66
8.3 厂房屋盖碰撞引起连续倒塌	/ 67
8.4 碰撞引起成排建筑连续倒塌	/ 68
8.5 建筑之间留有足够的间距, 没有引起连续倒塌	/ 69

第9章 传力路径

9.1 规范规定	/ 71
9.2 砌体结构角部应力集中和扭转效应	/ 71
9.3 框架结构角柱应力集中和扭转效应	/ 73
9.4 圆弧形围护墙和填充墙	/ 74

第10章 两种结构体系混用 (底部框架—抗震墙房屋)

10.1 规范规定	/ 80
10.2 底层倒塌上部砌体房屋轻微破坏	/ 80
10.3 底部两层倒塌上部砌体房屋轻微破坏	/ 83
10.4 底层倾斜上部砌体房屋严重破坏	/ 84
10.5 底层完好上部砌体房屋第二层完全倒塌	/ 85
10.6 底层未倒上部砌体房屋完全倒塌	/ 89
10.7 底部纵向框架梁托墙严重破坏	/ 89

第11章 救生通道 (楼梯间和电梯间)

11.1 规范规定	/ 92
11.2 砌体结构中部楼梯间	/ 92
11.3 砌体结构端部楼梯间	/ 95
11.4 突出屋顶楼梯间	/ 96
11.5 钢筋混凝土框架结构楼梯间	/ 97
11.6 楼梯梁段典型破坏	/ 98
11.7 楼梯间加固	/ 102
11.8 电梯间	/ 103
11.9 户外楼梯	/ 103

第12章 厂房和大跨空间结构

12.1	规范规定	/ 105
12.2	钢筋混凝土排架柱上柱折断	/ 105
12.3	屋架支座锚固失效	/ 106
12.4	柱间支撑屈曲	/ 107
12.5	屋面水平支撑系统设置	/ 110
12.6	山墙和围护墙破坏	/ 111
12.7	钢筋混凝土柱底出铰	/ 112
12.8	重型钢筋混凝土屋盖和轻钢屋盖破坏	/ 113
12.9	钢结构厂房	/ 115
12.10	钢结构屋盖支座破坏	/ 116

第13章 生命线工程

13.1	规范规定	/ 119
13.2	铁路	/ 119
13.3	道路	/ 122
13.4	桥梁	/ 128
13.5	电力	/ 131
13.6	给、排水	/ 134
13.7	油、气	/ 136
13.8	电信	/ 137

第14章 烟囱和水塔

14.1	规范规定	/ 139
14.2	烟囱	/ 139
14.3	水塔	/ 141

第15章 抗震措施和构造

15.1	规范规定	/ 146
------	------	-------

15.2	强柱弱梁	/146
15.3	防震缝	/151
15.4	圈梁、构造柱	/159
15.5	装配式钢筋混凝土楼、屋盖	/162
15.6	砖柱	/166
15.7	连梁	/168
15.8	支座	/172

第16章 非结构构件

16.1	规范规定	/175
16.2	突出屋面	/175
16.3	非承重墙	/179
16.4	吊顶	/183
16.5	门、窗	/185
16.6	幕墙	/186
16.7	家具	/194

第17章 高层建筑的长周期效应

17.1	钢筋混凝土剪力墙结构	/198
17.2	钢筋混凝土框架结构	/201
17.3	钢筋混凝土框架—剪力墙结构	/202
17.4	钢筋混凝土框—支剪力墙结构	/203

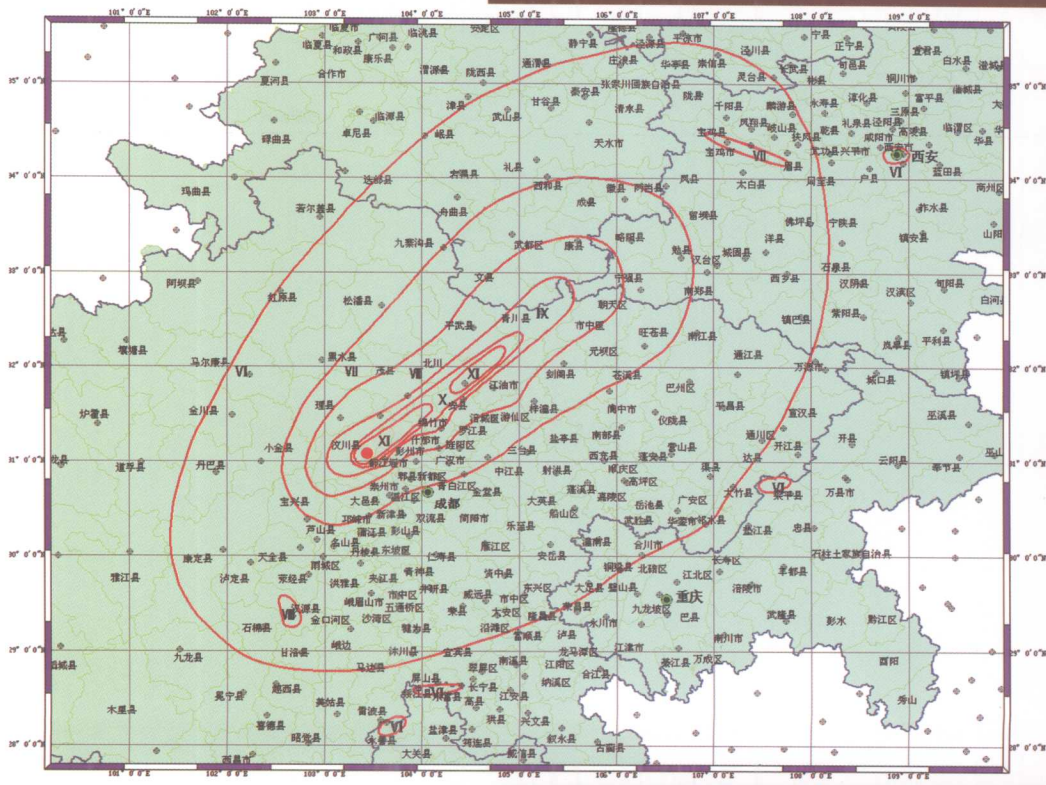
参考文献	/205
------	------

1

地震概况

Diyizhang

2008年5月12日14时28分，四川省汶川县附近（北纬 31.0° ，东经 103.4° ）发生8.0级地震。地震发生在平原和高山交汇处，山体成北东走向，而余震的排列顺序就沿着这个走向。说明这是一次和构造相关的构造地震，是因为龙门山断层活动而引起的地震。汶川地震重灾区范围已经超过10万平方千米。这是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广的地震。地震产生的地震波20分钟内传遍了全世界。本章简述汶川地震的概况^[1,1]。包括地震构造，余震分布，烈度分布，三组主要强震加速度记录和反应谱，以及北川县城和汶川县映秀镇两个震中所在地的地震破坏全貌。



1.1 地震构造

图1.1.1所示为汶川地震灾区地震构造图。

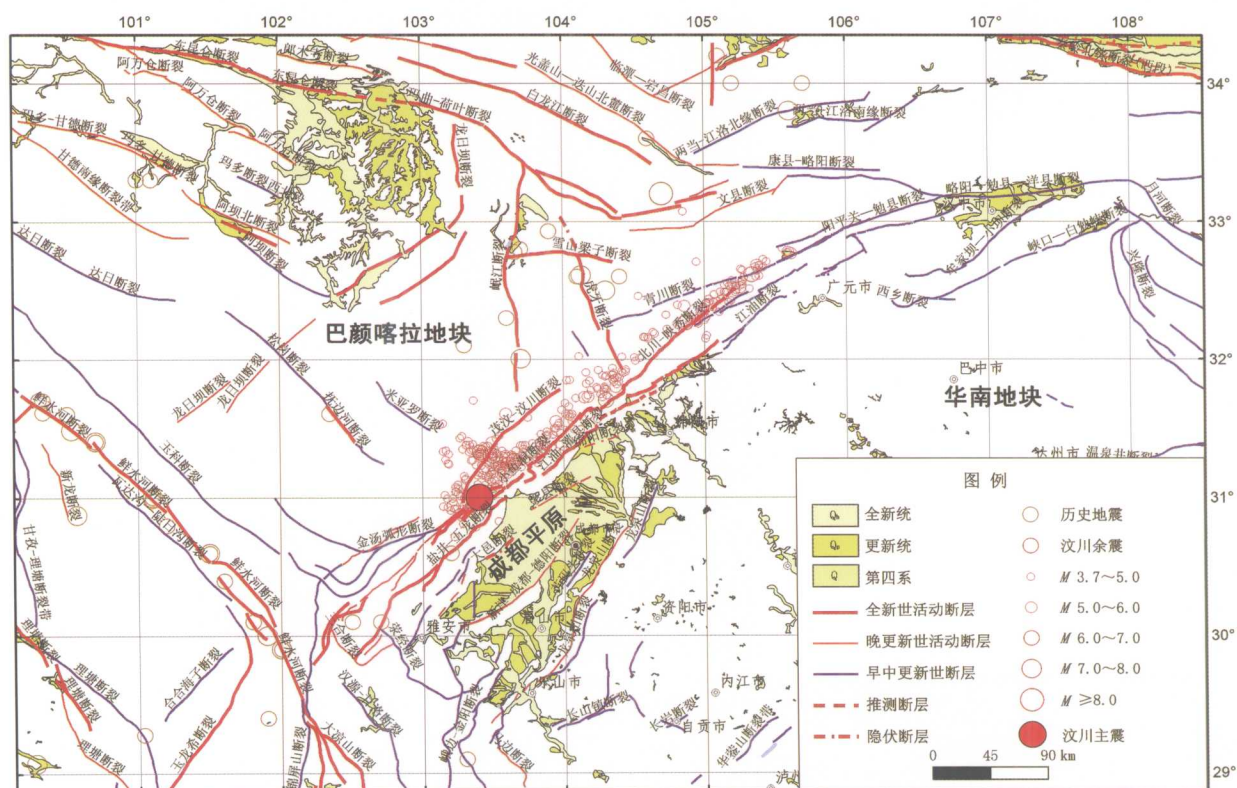
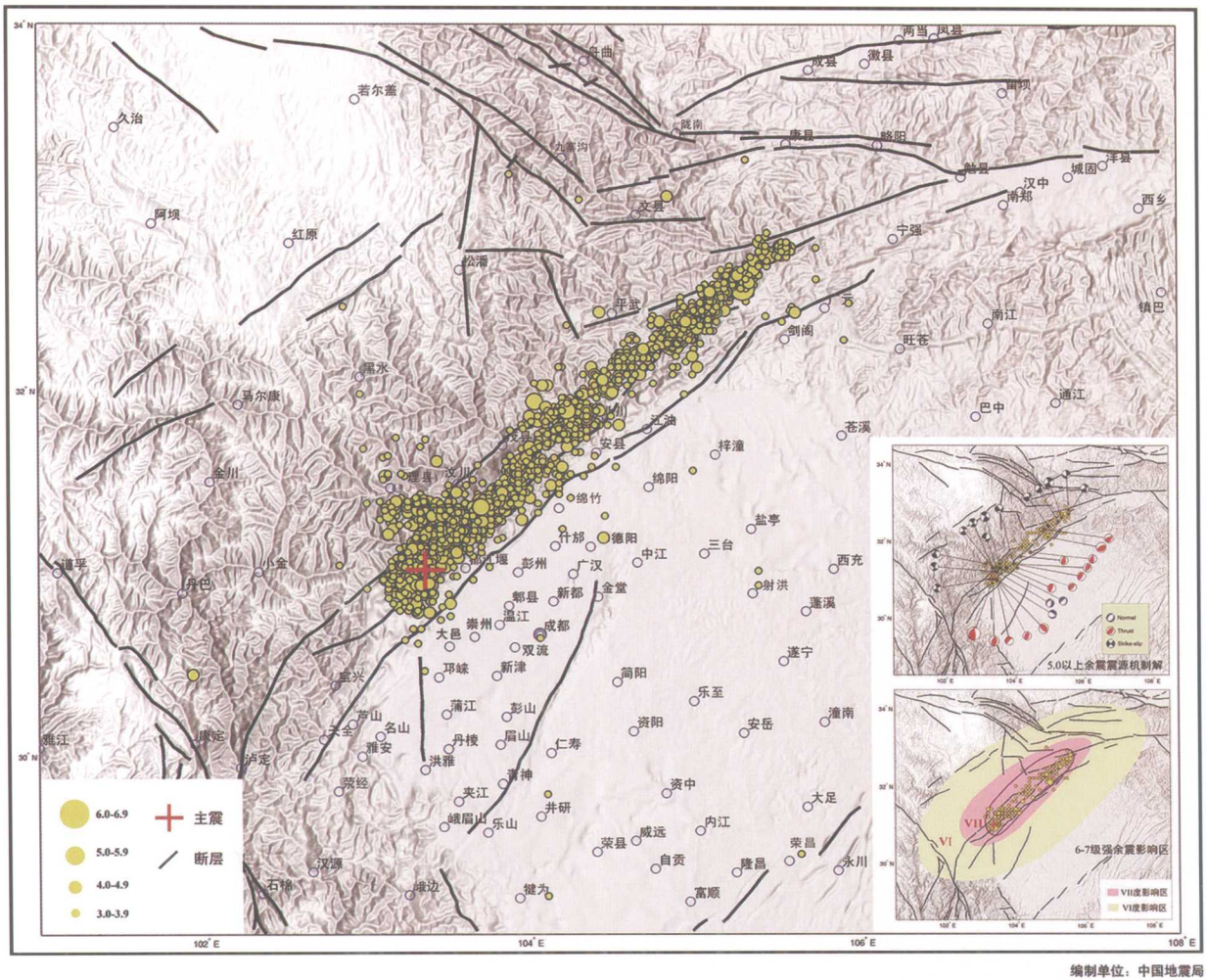


图1.1.1 汶川地震灾区地震构造图

(徐锡伟主编, “5·12”汶川8.0级地震地表破裂图集, 地震出版社, 2009)

1.2 3.0级以上余震分布

图1.2.1所示为汶川地震3.0级以上余震分布图。



1.3 地震烈度分布

图1.3.1所示为汶川地震灾区地震烈度分布图。震中烈度高达11度，11度区面积约2419km²。汶川县映秀镇、北川县城和陈家坝乡处于11度区内，遭受了毁灭性破坏^[1,2]。

汶川8.0级地震烈度分布图

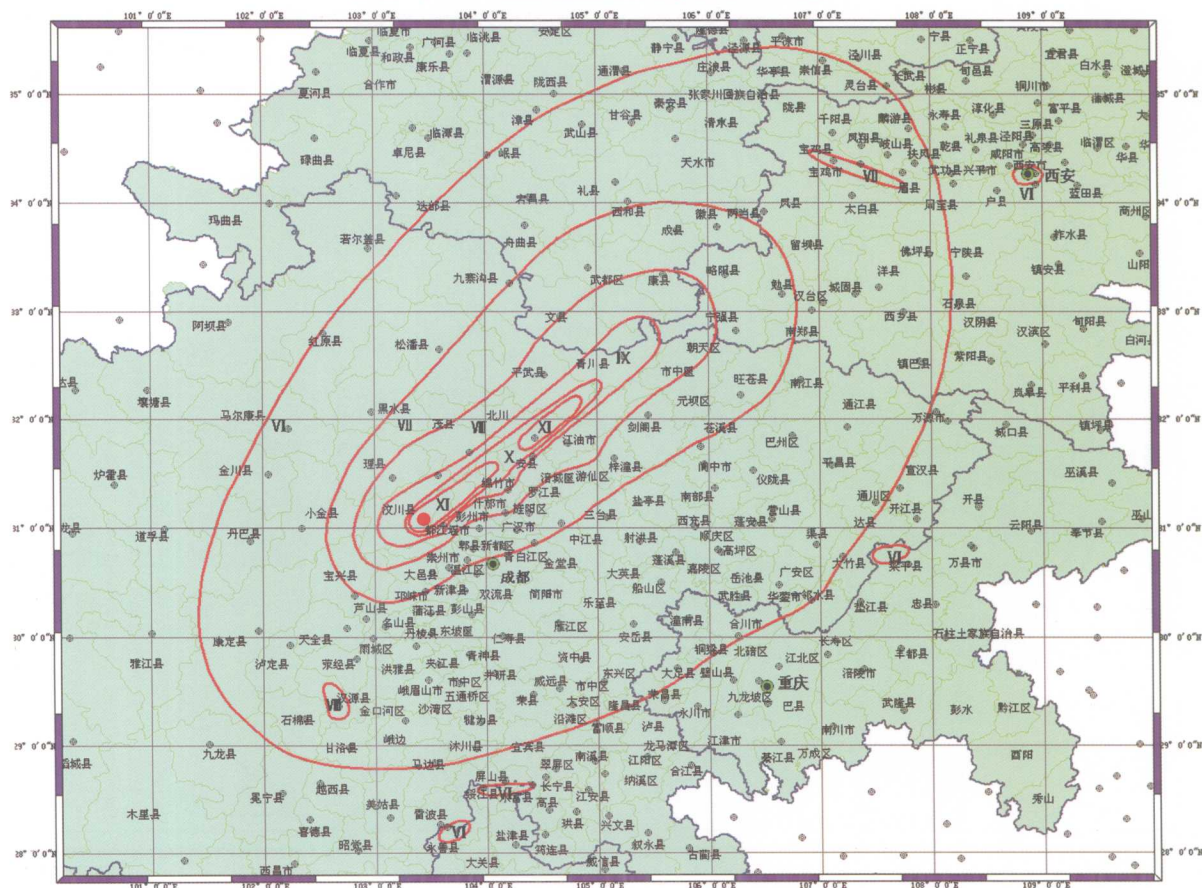


图1.3.1 汶川地震烈度分布图（袁一凡 提供）

1.4 强震地面运动加速度记录和反应谱^[1.3]

本节给出位于震中区三个主要强震仪台站所获得的强震地面运动三分量加速度记录和反应谱，其中，什邡八角台站：图1.4.1(1)~(4)；绵竹清平台站：图1.4.2(1)~(4)；汶川卧龙台站：图1.4.3(1)~(4)。由图可以看到地震动有以下特点：

(1) 加速度峰值高，竖向地面运动峰值接近、甚至高于水平向峰值。其中，最高的是卧龙台站的记录，水平东—西向为957.7 Gal，水平南—北向为652.9 Gal，竖向为948.1 Gal，水平与竖向地面加速度已经接近达到一个重力加速度。什邡八角台站记录，水平东—西向为556.2 Gal，水平南—北向为581.6 Gal，竖向为633.1 Gal，竖向加速度高于水平向加速度。

(2) 加速度反应谱卓越周期约在0.3~0.5s，比较接近高度较低的、刚性结构的自振周期。

(3) 计算的地震动速度和位移较高，最高分别达到131cm/s和130cm。

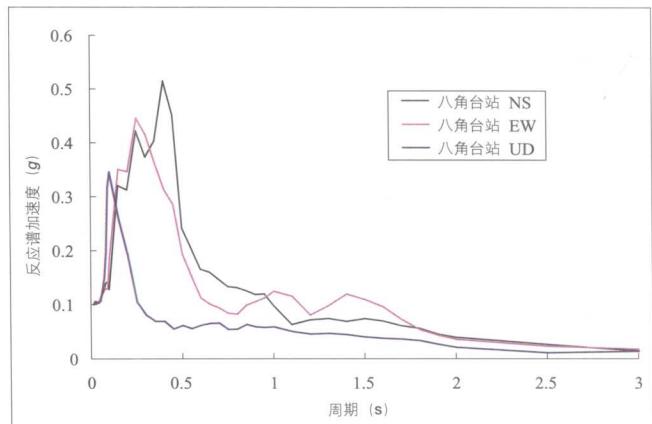
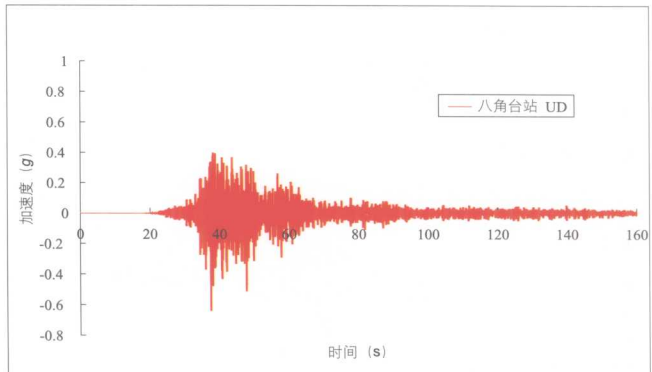
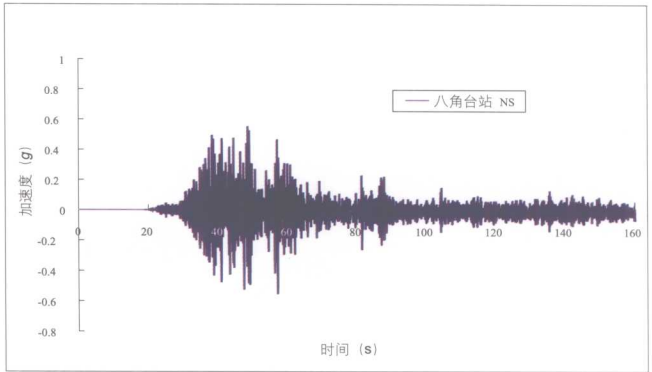
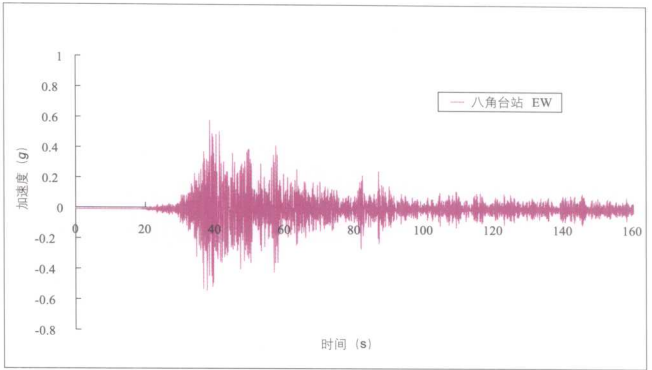
(4) 地面震动时间长，平均160s。

图1.4.1(1) 八角台站加速度记录
(东—西向)

图1.4.1(2) 八角台站加速度记录
(南—北向)

图1.4.1(3) 八角台站加速度记录
(竖向)

图1.4.1(4) 八角台站加速度反应谱
(从上往下)



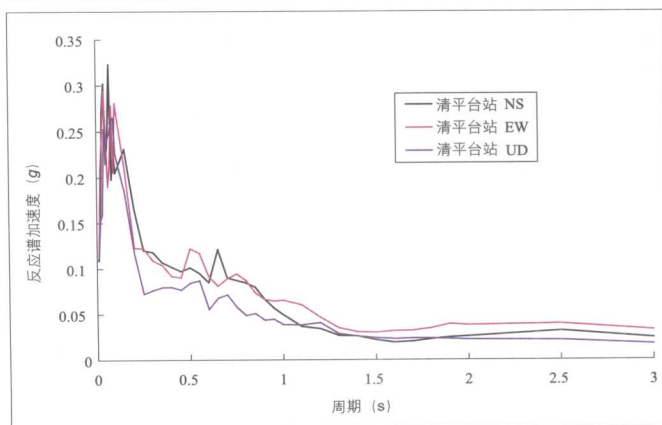
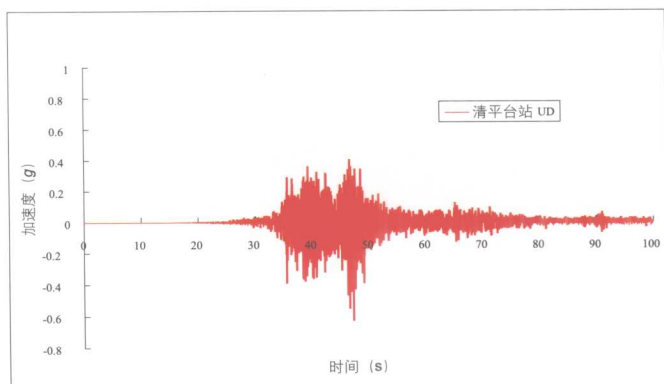
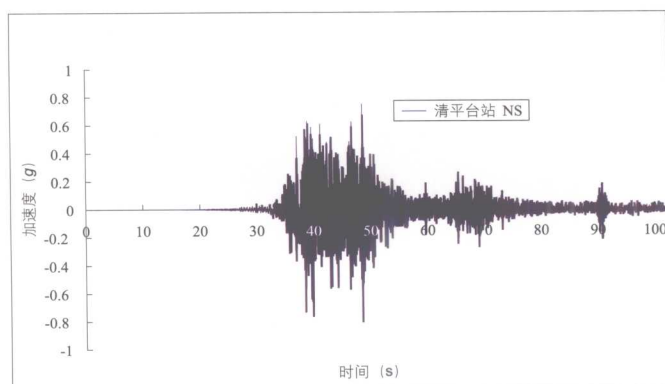
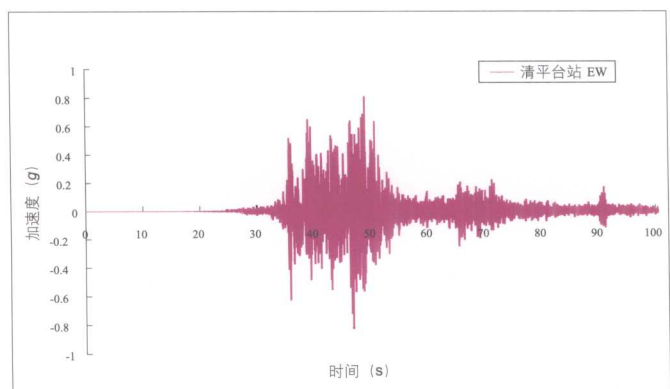


图1.4.2(1) 清平台站加速度记录
(东—西向)

图1.4.2(2) 清平台站加速度记录
(南—北向)

图1.4.2(3) 清平台站加速度记录
(竖向)

图1.4.2(4) 清平台站加速度反应谱
(从上往下)