



汶川地震 建筑震害与思考

Wenchuan Dizhen
Jianzhu Zhenhai Yu Sikao

李英民 刘立平◎著



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

汶川地震建筑震害与思考

李英民 刘立平 著

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书根据大量汶川地震建筑物震害图片资料筛选、汇总编著而成。按照多层砌体房屋与底部框架和内框架房屋、多高层钢筋混凝土结构房屋、村镇建筑、工业厂房、古建筑、烟囱和水塔、道路和桥梁、地质灾害等进行了分类整理,总结了震害特征和典型震害,给出了关于建筑震害的启示和思考。

本书可供建筑抗震研究和设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汶川地震建筑震害与思考/李英民,刘立平著. —重庆:
重庆大学出版社,2008. 10
ISBN 978-7-5624-4645-3

I. 汶… II. ①李… ②刘… III. 建筑物—震害—中国—
2008—图集 IV. P316. 2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137872 号

汶川地震建筑震害与思考

李英民 刘立平 著

责任编辑:贾兴文 版式设计:贾兴文

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆川渝彩色印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:438 千

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4645-3 定价:98.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

2008年5月12日14时28分,四川省汶川县发生里氏8.0级巨大地震!这次地震震级大、烈度高、波及面广,是中国建国以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震。地震造成的灾害之重,损失之大,人员伤亡之多,令世人震惊。

灾情就是命令!地震发生后,在党和政府的组织和领导下,全国各族人民迅速投入抗震救灾,努力将人员伤亡和财产损失降到最低程度。在抗震救灾中,中国人民充分展现了中华民族团结友爱、互帮互助、不畏艰险、不屈不挠、勇于战胜一切困难的精神和空前的凝聚力、战斗力,令世人慨叹!

灾情就是责任!著者所在的团队长期从事抗震防灾研究和教学,深感责任在肩!团队第一时间向建设部、重庆市建委、四川省建设厅等单位请缨,于5月14日即到达重灾区参与抗震救灾,开展建筑物震害应急评估工作。在地震发生后的两个多月里,著者带领团队成员克服种种困难,历尽艰险,先后5次共30余人次深入四川省汶川县、北川县、青川县、平武县、安县、江油市、绵竹市、什邡市、都江堰市、彭州市、绵阳市、德阳市、成都市以及重庆市等灾区开展震害调查,行程上万公里,拍摄震害照片近万张,取得了大量的第一手资料。不少资料所涉及的建(构)筑物目前已经拆除,更显资料的珍贵和调研工作的重要价值。

及时整理震害资料,既是学术研究的需要,同时也是亲历这场地震灾难的建筑抗震防灾研究者的责任!重庆大学出版社在得知著者所在团队进行了大量震害调研的消息后,诚挚邀请著者将震害资料及相关思考汇编成书,以此为读者展现汶川地震震害的场景并提供建筑抗震研究的参考素材。

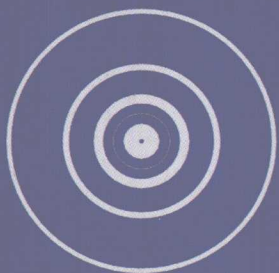
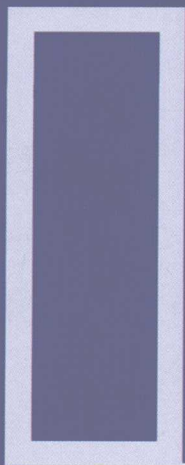
成稿过程中,国家有关部门和单位开始着手组织汇总、整理震害资料的工作,著者也受到邀请。在欣然同意参与的同时,著者基于信守承诺,并在同行学者的建议和支持之下,决定调整写作角度完成本书。愿本书能起到抛砖引玉的作用,与可能陆续出版的以震害分析为主的著作相补益。

相信随着研究的深入,汶川地震将成为继唐山地震之后我国抗震防灾事业发展的又一个里程碑。本书正是著者为之所做出的一份努力。

本书由重庆大学土木工程学院李英民教授和刘立平副教授主笔,郑妮娜、韩军、王丽萍、刘建伟等参与编写。具体编写分工为:第1、4章由王丽萍执笔,第2章由韩军执笔,第3章由郑妮娜执笔,第5章由刘建伟执笔,第6、7章由刘立平执笔,第8章由李英民执笔。全书由李英民和刘立平统稿。

限于时间仓促和水平有限,难免有疏漏和错误之处,敬希批评指正。请将意见发至liyingmin@cqu.edu.cn。

谨以本书纪念汶川地震中死难的同胞!



致 谢

zhi xie

本书凝聚着许多人的心血,在书稿完成之际,著者对关心、支持和帮助所在研究团队进行地震震害调研以及此书出版的所有人士致以最诚挚的感谢!

著者自始至终参与了建设部、四川省、重庆市和绵阳市等组织的抗震救灾和震害应急评估,感谢赖明司长、贾抒处长、张鹏等领导的信任!

特别感谢重庆市建委乔明佳副主任、董勇处长高瞻远瞩,于第一时间做出深入重灾区进行抗震救灾和震害调研的决定,使著者得以带队最快到达重灾区开展工作,并先后组织重庆市专家 100 余人次完成了大量深入翔实的震害调查。

感谢抗震救灾期间重庆大学欧可平书记、李晓红校长、赵修渝副书记、张四平副校长、黄宗明副校长,以及土木工程学院傅剑平书记、张永兴院长等领导给予的关心和支持!

感谢重庆大学出版社为本书出版所付出的努力和给予的帮助!感谢责任编辑贾兴文的鼎力相助!

感谢重庆晨报记者仇峥为本书提供了部分图片资料!同时感谢本书部分资料的来源网站!

感谢同事陈伟的参与和张宏胜的帮助!

著者为团队主要成员在抗震救灾和震害调研中所表现出的踊跃、团结、无畏和高度责任感而自豪!

令著者难忘的是灾区群众的勇敢和坚强!他们的协助值得铭记!

特别感谢李英民教授的妻子姬淑艳女士和女儿、刘立平副教授的妻子钟华女士和儿子以及其他参与抗震救灾和调研者的家人们,著者牢记他们的默默奉献、无私支持和所付出的爱!

李英民 刘立平
2008.8.10

声 明

本书中采用的文字和图片等作品均有稿酬,如因作者无法联系而不能支付稿酬的,我社将稿酬交给重庆市版权保护中心代为转付,请未收到稿酬的作者与该中心联系。电话:023-67708231。

目录

CONTENTS

1	概 述	1
1.1	汶川地震概况	1
1.1.1	地震简况	1
1.1.2	地震震害	2
1.2	震害调查	3
1.3	本书主要内容	4
2	多层砌体房屋与底部框架、内框架房屋	5
2.1	概 况	5
2.1.1	极震区	2
2.1.2	高烈度区	8
2.1.3	中低烈度区	11
2.2	主要震害特征	12
2.2.1	倒塌	12
2.2.2	结构抗震体系及措施	23
2.2.3	砌体结构各部位震害	27
2.2.4	底部框架房屋震害	45
2.2.5	框架—砌体混合结构震害	50
2.3	典型建筑震害	51
2.3.1	汶川县漩口镇在建砌体结构	51
2.3.2	汶川县漩口镇某内框架结构房屋	53
2.3.3	汶川县漩口镇百花小学逸夫楼	54
2.3.4	绵竹汉旺镇东汽中学教学楼	57
2.3.5	绵竹汉旺镇中心小学教学楼	59
2.3.6	彭州白鹿镇白鹿中心学校	62
2.3.7	青川县某框架—砌体混合结构	66
2.3.8	青川县交警办公楼	67
2.3.9	青川县某框架—砌体混合结构房屋	69
3	多高层钢筋混凝土结构房屋	72
3.1	概 述	72
3.1.1	极震区	72
3.1.2	高烈度区	75
3.1.3	中低烈度区	82



3.2	主要震害特征	84
3.2.1	框架柱	84
3.2.2	框架梁	92
3.2.3	框架节点	93
3.2.4	剪力墙及连梁	94
3.2.5	填充墙	94
3.2.6	变形缝	98
3.2.7	屋顶突出物	99
3.2.8	楼梯	101
3.3	典型建筑(群)震害	103
3.3.1	汶川县映秀镇漩口中学	103
3.3.2	汶川县漩口镇某框架结构	109
3.3.3	北川县城某框架结构办公楼	111
3.3.4	绵竹市汉旺镇东方汽轮机厂档案馆	112
3.3.5	都江堰市华夏广场住宅区	115
3.3.6	都江堰市都江之春小区	118
3.3.7	都江堰市麦里基厂房	129
3.3.8	都江堰市公安局办公大楼	131
3.3.9	都江堰市岷江国际公寓	133
3.3.10	都江堰市玉垒名居2号楼	135
3.3.11	都江堰市某商住楼	136
3.3.12	什邡市红白镇供电局明珠营业厅	138
4	村镇建筑	140
4.1	概 述	140
4.1.1	极震区	140
4.1.2	高烈度区	141
4.1.3	中低烈度区	144
4.2	主要震害特征	145
4.2.1	砌体结构房屋	145
4.2.2	木结构房屋	150
4.2.3	石结构房屋	152
4.2.4	生土结构房屋	153



4.3	典型村镇震害	154
4.3.1	彭州市通济镇	154
4.3.2	彭州市白鹿镇	156
4.3.3	绵竹市遵道镇	158
4.3.4	绵竹市九龙镇	159
4.3.5	什邡市红白镇	160
4.3.6	汶川县映秀镇	162
4.3.7	平武县平通镇	162
5	工业厂房	164
5.1	概 况	164
5.1.1	极震区	164
5.1.2	高烈度区	166
5.1.3	中低烈度区	169
5.2	主要震害特征	170
5.2.1	屋盖体系	170
5.2.2	柱及柱间支撑	172
5.2.3	围护结构	174
5.3	典型工业厂房震害	176
5.3.1	汶川县阿坝铝厂某厂房	176
5.3.2	汉旺东方汽轮机厂厂房 1	178
5.3.3	汉旺东方汽轮机厂厂房 2	179
5.3.4	彭州市某厂房	181
6	古建筑	183
6.1	概 况	183
6.2	主要震害特征	183
6.3	典型古建筑震害	183
6.3.1	都江堰市二王庙建筑群	183
6.3.2	彭州市领报修院	184
6.3.3	平武报恩寺	185
6.3.4	彭州市通济镇原天主教经堂	187
6.3.5	都江堰市奎光塔	187
6.3.6	绵阳市南山古塔	188
6.3.7	绵竹市回澜塔	189
6.3.8	绵阳市肖杨氏节孝坊	190



7	其他震害和次生灾害	191
7.1	烟囱、水塔	191
7.1.1	概况	191
7.1.2	主要震害特征	191
7.1.3	典型烟囱、水塔震害	194
7.2	道路和桥梁	195
7.2.1	概况	195
7.2.2	主要震害特征	196
7.2.3	典型桥梁震害	199
7.3	地质灾害	203
7.3.1	概况	203
7.3.2	主要震害特征	204
7.3.3	典型地质灾害	206
7.4	其 他	206
8	基于建筑震害现象的一些思考	209
	致 谢	215

概述
gai shu

1.1 汶川地震概况

2008年5月12日14时28分,四川省汶川县发生里氏8.0级强烈地震。仪器震中位于北纬 31.0° 、东经 103.4° ,宏观震中位于汶川县至北川县一带,震源深度14 km左右,震中烈度高达11度。此次地震有感范围非常广,震波辐射半径达2 000 km,除新疆、吉林、黑龙江外,北京、上海、台北、香港等其他省、区、市乃至泰国首都曼谷均有震感。地震造成的破坏范围非常大,不仅在震中附近造成灾难性的破坏,而且在四川省和邻近省市(甘肃、陕西、重庆、云南等地)造成大范围破坏,受灾总面积达41万平方公里。受灾最严重的地区包括四川省汶川县、北川县、都江堰市、什邡市、绵竹市等地,面积超过10万平方公里。重灾区建筑物垮塌的数量和惨状令人触目惊心,地震引发的山体崩塌、滑坡、滚石等地质灾害比比皆是。汶川地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震。

1.1.1 地震简况

汶川地震发生在青藏高原东缘与南中国板块(扬子地块)交界的龙门山断裂带上(如图1.1)。由于印度板块向亚洲板块俯冲,造成青藏高原快速隆升,高原物质向东缓慢流动,在高原东缘沿龙门山断裂带向东挤压时遇到四川盆地之下刚性地块的阻挡,造成构造应力能量的长期积累,最终在龙门山地区突然释放,导致汶川地震发生。

龙门山断裂带共有三条主要断裂,东边为都江堰—江油断裂,中间为映秀—北川—青川断裂,西边为汶川—茂县断裂(如图1.2)。这次地震发生在映秀—北川—青川断裂上,5月12日14时28分首先从映秀附近产生破裂(震源区),以大约 $2.8 \sim 3.1$ km/s的平均速度向北偏东方向延伸,经过北川后终止于断层北端(青川)。震源参数如下:

震中位置: 30.94°N , 103.47°E ;

震源深度:南段较深20 km,北段较浅10 km;

震源机制:走向 230° ,倾向西北,倾角

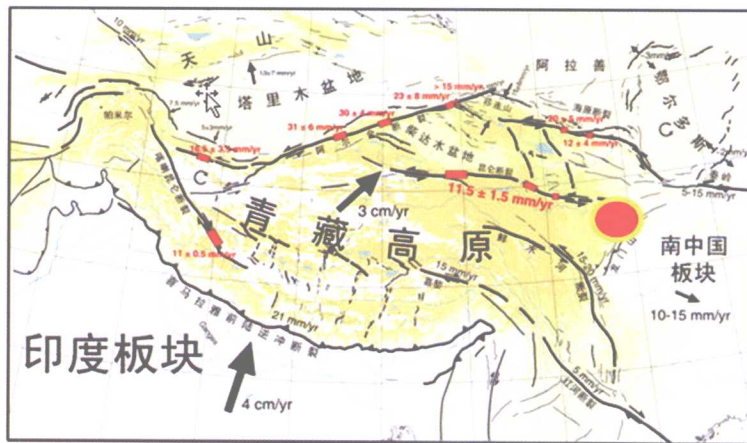


图 1.1 汶川地震地质构造图(资料来源:科学网)

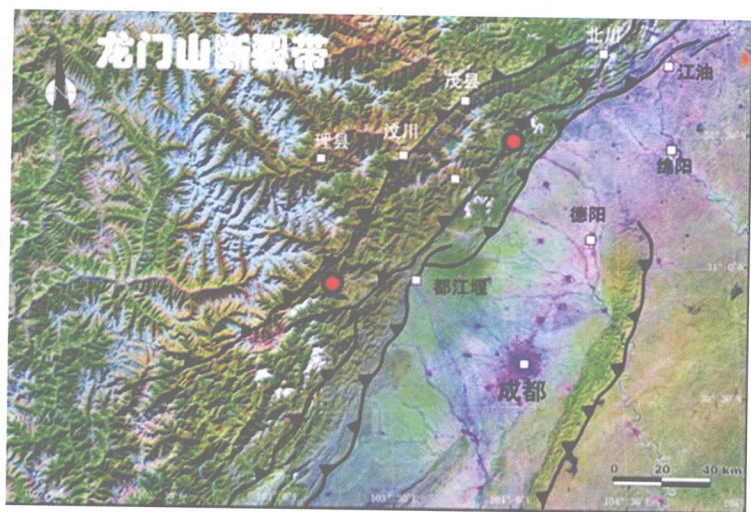


图 1.2 龙门山断裂构造系(资料来源:中国地震局)

巨大。

汶川挤压型逆冲断层地震在主震之后,应力传播和释放过程比较缓慢,可能导致余震强度较大,持续时间较长。据中国地震台网中心测定,截至 2008 年 8 月 22 日 12 时,汶川地区共发生 Ms4.0 级以上余震 261 次,其中 Ms4.0 ~ Ms4.9 级地震 222 次,Ms5.0 ~ Ms5.9 级地震 31 次,Ms6.0 级以上地震 8 次(不包括主震),最大余震震级为 Ms6.4 级,主震区已累计监测到余震 25 270 多次。

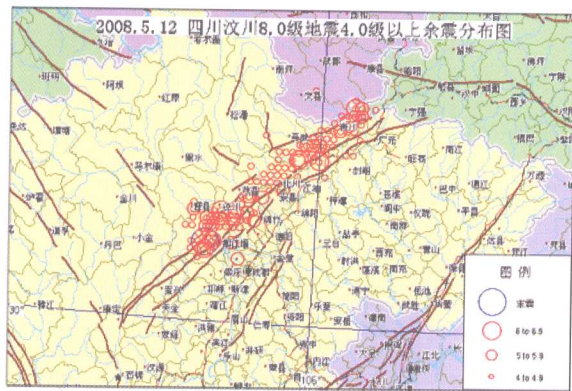


图 1.3 汶川地震余震分布图
(资料来源:中国地震局)

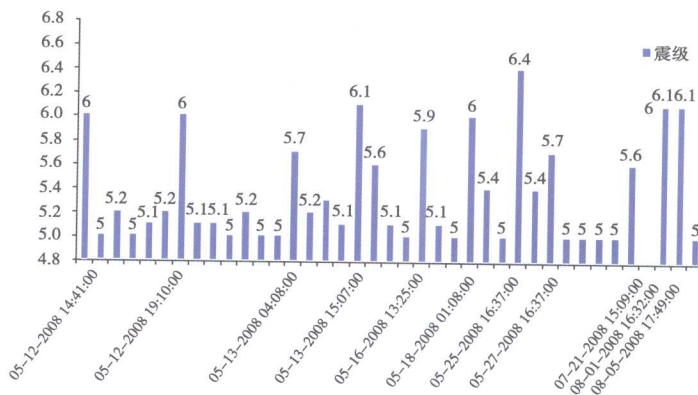


图 1.4 汶川地震 5.0 级以上余震时间序列图
(资料来源:中国地震局)

从汶川地震 5.0 级以上余震时间序列图(如图 1.4)可以看出,余震发生较为频繁,持续时间较长并且间隔伴随较强余震。

1.1.2 地震震害

汶川地震震级大,震源浅,烈度高,地面运动强烈,破坏力极强。图 1.5 为中国地震局发布的汶川地震烈度分布图。

汶川地震造成了巨大的人员伤亡和财产损失。据民政部统计,截至 2008 年 9 月 1 日 12 时,汶川地震已确认 69 226 人遇难,374 643 人受伤,17 923 人失踪,累计受灾人数 4 571 万余人。民政部的统计表明,四川省 21

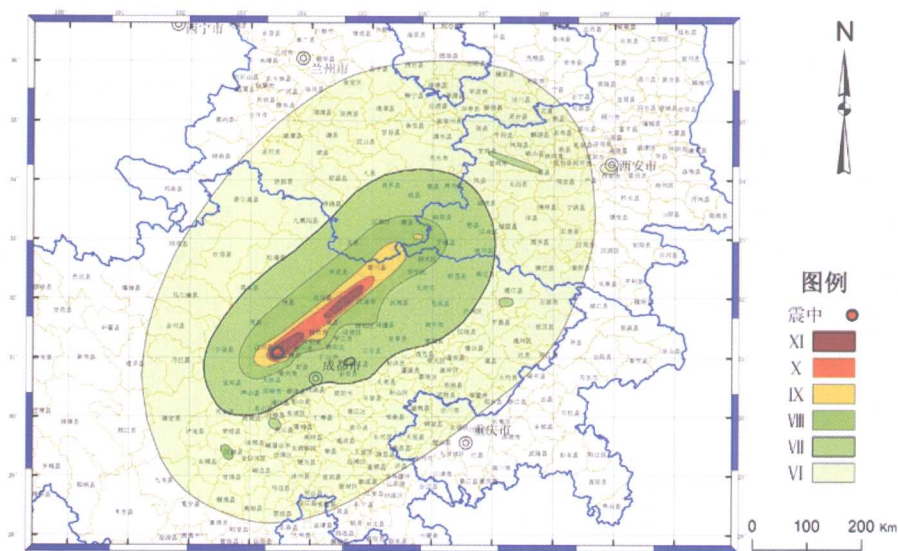


图 1.5 汶川地震烈度分布图

个市(州)中的 19 个市(州)、150 个县(市、区)不同程度受灾,直接经济损失达 8 451.4 亿元人民币。其中四川省直接经济损失占到总经济损失的 91.3%,甘肃省占 5.8%,陕西省占 2.9%,如图 1.6。经济损失分类统计如图 1.7 所示。

汶川地震引发的地质灾害也较为严重。山体大面积滑坡、泥石流严重,造成道路中断受阻,如通往汶川县映秀镇的 213 国道由于山体滑坡严重受损,交通中断;桥梁坍塌断落,如通往彭州市银厂沟的小渔洞大桥折断塌落,无法通行;河道阻塞形成堰塞湖,如在绵阳市上游形成了巨大的唐家山堰塞湖。据不完全统计,泥石流等次生灾害造成的损失约占总损失的 1/3。

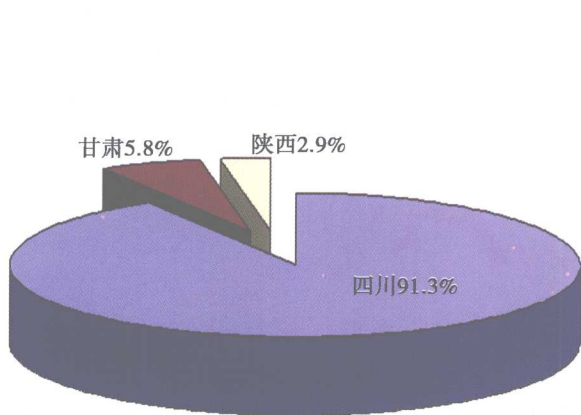


图 1.6 汶川地震各省直接经济损失统计图

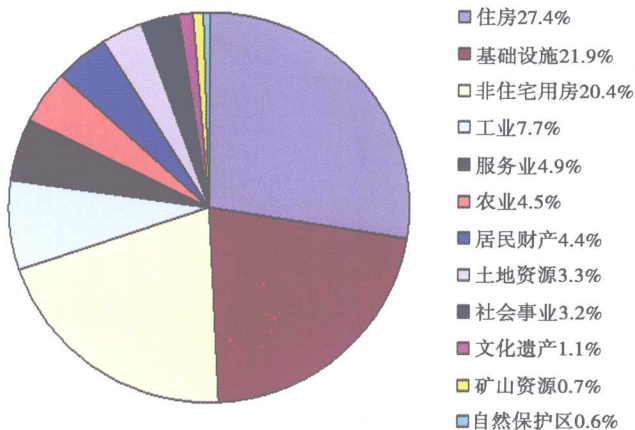


图 1.7 汶川地震经济损失分类统计图

1.2 震害调查

汶川地震发生后,著者所在团队于 5 月 14 日到达四川省绵阳市参加抗震救灾,开展建筑物震害应急评估

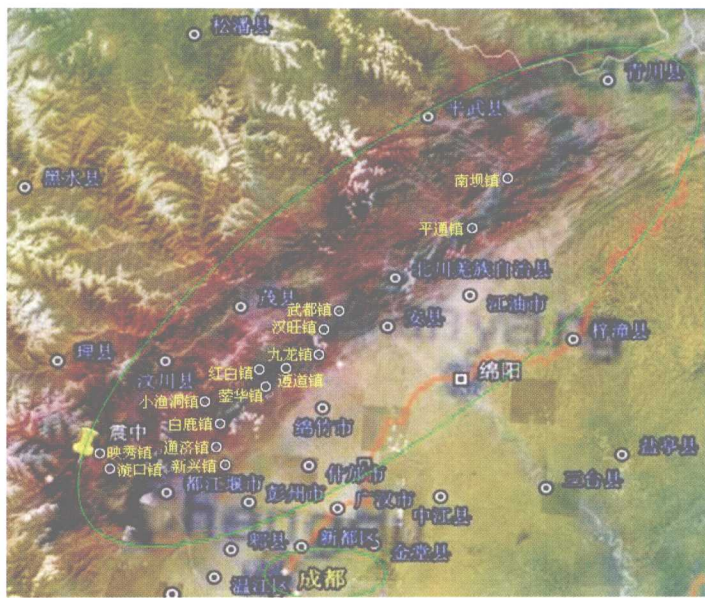


图 1.8 汶川地震四川灾区震害调研地点

通过调研,著者及其团队获得了大量的震害资料,照片 1 万余张。由于抗震救灾和恢复重建等需要,部分遭受破坏的建筑物已被拆除,本书列出的不少震害资料是建筑物拆除之前的破坏原貌,这将成为后续震害分析和研究的重要参考。

1.3 本书主要内容

本书旨在尽可能完整、系统地描述汶川地震建筑物震害状况,为进一步的震害分析提供参考。

全书共分 8 章,第 1 章介绍汶川地震的基本情况和震害总体概况;第 2,3,4,5,6 章分别介绍砌体结构房屋与底部框架房屋及内框架房屋、多高层钢筋混凝土结构房屋、村镇建筑、工业厂房、古建筑等的震害情况;第 7 章介绍烟囱、水塔、道路桥梁等其他震害和地质灾害;第 8 章给出基于建筑震害现象的一些思考。

为表述方便,本书将图片资料所涉及的地震灾区按实际烈度分为极震区、高烈度区、中低烈度区三类,约定如下:

(1) 极震区

实际烈度 11 度地区,包括北川县城、汶川县映秀镇及漩口镇、平武县平通镇及南坝镇等。

(2) 高烈度区

实际烈度 8~10 度地区,包括汶川县、都江堰市区、彭州市(市区、新兴镇、通济镇、白鹿镇、小渔洞镇、银厂沟)、什邡市(市区、红白镇、荦华镇)、绵竹市(市区、武都镇、汉旺镇、九龙镇、遵道镇)、安县县城、青川县城、平武县城、江油市区等。

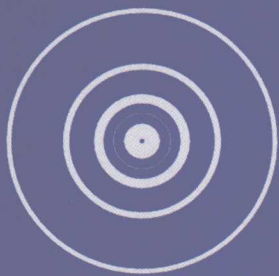
(3) 中低烈度区

实际烈度 6~7 度地区,包括绵阳市区、成都市区、德阳市区、理县、马尔康县等。

对于本书涉及各类房屋的震害,按从极震区、高烈区、中低烈度区的分布,在不同地区分别选取有代表性震害图片进行表述。

和震害调研工作。之后的 10 多天时间里,在完成了大量建筑物震害评估的同时,著者带领调研人员先后在绵阳市、北川县、安县、绵竹市、什邡市、彭州市、汶川县、都江堰市、成都市等地开展调研工作,收集到大量的第一手资料。

为了更为全面、系统地了解建筑震害情况,在地震发生后的两个多月时间里,著者带领团队主要成员又 5 次赴灾区开展调研工作,历时 30 天,行程上万公里,调研地点几乎涉及所有的重灾区,包括汶川、北川、都江堰、青川、平武、江油、绵竹、什邡、彭州、安县、绵阳、德阳、成都等 13 个市县的城区,以及汶川县映秀镇、漩口镇,彭州市小渔洞镇、通济镇、新兴镇,什邡市红白镇、荦华镇,绵竹市汉旺镇、九龙镇、武都镇、遵道镇,平武县南坝镇、平通镇等 14 个乡镇(如图 1.8 所示)。



多层砌体房屋与底部 框架、内框架房屋

duo ceng qi ti fang wu yu di bu
kuang jia、nei kuang jia fang wu

2.1 概 况

多层砌体结构房屋与底部框架、内框架房屋的抗震能力一般相对较低,在历次大地震中的震害都很严重。汶川地震多数受灾地区的设防烈度为6~7度,且部分地区较早前修建的砌体结构和底部框架房屋未进行抗震设防,由于多数受灾地区的实际烈度超过了设防烈度(极震区达到11度),使得这类房屋的震害很严重,是发生震害最多的结构类型。

根据震害调查,汶川地震中砌体结构房屋主要表现出以下震害特点:

(1) 不同烈度区砌体结构的震害差异较大

低烈度区以墙体裂缝等轻微破坏为主,而高烈度区和极震区砌体结构房屋以严重破坏或倒塌为主。表明砌体结构当遭受到中小震时表现出了比设防目标更高的抗震性能,遭受到大震时基本达到设防目标(即不倒)的要求,而遭受到比大震更大的地震时抗倒塌能力差。

(2) 多层砌体结构和底部框架结构中,砌体部分整体性差、抗连续倒塌能力低

砌体结构采用块状材料堆砌,承载力低,开裂后有效约束差,加之常采用的预制板楼盖对结构整体性的贡献有限,导致其抗连续倒塌能力低。

(3) 未进行抗震设计的老旧房屋破坏比经过抗震设防或加固的房屋破坏重

未经抗震设防的老旧房屋相比经过抗震设防的砌体房屋震害更严重,在极震区和高烈度区倒塌比例高,某些经过抗震加固的房屋破坏较轻。

(4) 砌体与钢筋混凝土混合体系中砖砌体破坏严重

在经济欠发达地区常出现混凝土与砌体混合使用的情况,在需要大空间的地方采用混凝土柱,其他地方采用砖墙,特别是在底部框架结构房屋中比较常见。砌体墙在地震中作为抗震墙,按刚度分配到砌体墙的地震作用会和同等截面的混凝土墙相当,而其实际承载能力却比混凝土墙差很多,因此,地震中吸收了很大地震力的砖墙由于承载力低而破坏严重。

(5) 大空间大跨度砌体房屋震害相对较重

大空间大跨度房屋在地震中容易遭受严重震害,此次地震中,学校砌体结构教学楼破坏严重,不少发生倒塌;此外平面布置不规则的结构震害更严重。

(6) 底部框架房屋震害一般以底层破坏居多

底部框架房屋往往底部刚度和强度低,易发生破坏;而当上部砌体结构强度、刚度或整体性差时也可能发生上部砌体严重破坏。

(7) 设置圈梁、构造柱是保证砌体结构房屋抗倒塌能力的有效措施

2.1.1 极震区

在北川县城和汶川县映秀镇、漩口镇等极震区,实际烈度大大超过设防烈度,大量砌体结构和底部框架结构房屋成片倒塌(整体倒塌或局部倒塌);未倒者的破坏也相当严重,墙体严重开裂、错动而不能继续使用;只有极少数砌体结构房屋破坏较轻。



图 2.1 北川县城砌体房屋
倒塌严重

(全城几乎一片废墟,即使有些远处看起来仍站立的房屋,但实际上已经底层倒塌、局部倒塌或严重破坏,北川县城震后几乎是一座“跪着”的城市)



图 2.2 北川县城某街道两侧砌体结构房屋倒塌和严重破坏
(一侧底部框架房屋和砌体结构完全倒塌,另一侧破坏严重)



图 2.3 北川县城砌体结构房屋倒塌或局部倒塌



图 2.4 北川县城某底部框架房屋底层倒塌
(底层座落倒塌,上面4层砌体破坏较轻,窗下墙有明显十字交叉斜裂缝)



图 2.5 北川县城某几栋砌体结构房屋倒塌



图 2.6 北川县城某6层砌体结构房屋破坏较轻



图 2.7 汶川县漩口镇某底部框架房屋倒塌



图 2.8 汶川县漩口镇某砌体结构房屋倒塌



图 2.9 汶川县漩口镇某两层砌体结构房屋部分倒塌