

**ANALYSIS OF SEISMIC DAMAGE OF ENGINEERING STRUCTURES IN
WENCHUAN EARTHQUAKE (2008)**

by Li Qiao, Zhao Shichun and so on

汶川大地震 工程震害分析

李乔 赵世春 等著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

汶川大地震 工程震害分析

ANALYSIS OF SEISMIC DAMAGE OF ENGINEERING STRUCTURES IN
WENCHUAN EARTHQUAKE(2008)

李 乔 赵世春 等著

by Li Qiao, Zhao Shichun and so on

西南交通大学出版社

中国 成都

Southwest Jiaotong University Press
Chengdu China

内 容 提 要

本书是根据在“5·12”汶川大地震后一个多月的时间里,地处四川成都的西南交通大学(原唐山铁道学院)土木工程学院汇聚了建筑、桥梁、隧道、道路、岩土、地质等专业的一流专家教授到地震灾区对抗震救灾实施技术支援,他们冒着频繁余震的危险,抢在废墟清理之前将震害记录下来,并实时调研得到了大量第一手珍贵的资料,然后进行整理、分析、编写而成的。全书内容以彩色照片和文字说明为主导,对包括房屋建筑、桥梁、隧道、道路、边坡、地质等专业在内的各种震害做了详细的描述和分析,是一本覆盖专业面较宽的、极其珍贵的、具有史料性的工程构造物震害资料和分析的书籍,为从事工程构造物抗震研究、抗震设计、震害评估、修复和加固设计等专业的科研工作者和工程技术人员以及政府相关部门提供实时的工程震害和分析结果,也可作为珍贵的教学参考图书。

图书在版编目(CIP)数据

汶川大地震工程震害分析/李乔等著. —成都:西南交通大学出版社, 2008.9
ISBN 978-7-5643-0000-5

I. 汶… II. 李… III. 地震灾害—分析—四川省 IV. P315.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第136938号

汶川大地震工程震害分析

李 乔 赵世春 等著

*

责任编辑 阳晓 万方

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川省印刷制版中心有限公司印刷

*

成品尺寸: 210mm×285mm 印张: 18.75

字数: 368千字

2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0000-5

定价: 98.00元

未经授权,不得以任何方式转载本书照片
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562
图书如有印装质量问题 本社负责退换



汶川威州某钟楼，时钟凝固在了2008年5月12日14时28分（李力 摄）

谨以此书

献给在汶川大地震中罹难的人们！
献给在抗震救灾中舍生忘死的人们！



绵竹汉旺某钟楼 (李力 摄)

前 言

2008年5月12日14时28分,在四川汶川发生了8.0级强烈地震,这是建国以来最大规模的一次地震,给人民的生命财产造成了巨大损失,近9万人遇难或失踪,损坏房屋346万间,2万余公里道路受损,仅四川交通基础设施损失就达478亿元。四川省7条高速公路部分路段路基以及桥梁、隧道等结构物受损严重,经济损失约60亿元;5条国道和10条省道公路严重受损和中断,路基以及桥梁、隧道等结构大面积严重受损,经济损失约225.2亿元;灾区有1.7万多公里农村公路严重损毁,经济损失达162亿元以上;灾区公路养护设施受损也十分严重,经济损失约5.5亿元。

时钟凝固在了2008年5月12日14时28分,似乎还在向人们诉说着那惊心动魄的时刻。

与国内外过去几十年内发生的内陆地震相比,这次地震具有以下特点:

- (1) 地震震级高,达到了8.0级;
- (2) 主震持续时间超过100秒,断裂带长达300多公里,比唐山大地震的十几秒和十几公里要长出许多;
- (3) 由于地震断裂带在山区,引发了大量的次生地质灾害,如大规模山体滑坡、泥石流、堰塞湖等;
- (4) 由于山区的特点,地震致使交通中断,难于在短时间内修复,也很难就近绕道通行,因而给抗震救灾增加了巨大的困难;
- (5) 地震影响范围广,全国绝大部分地区都有震感,四川、陕西、甘肃、重庆等省市的众多地区受到了影响。

地震发生后,本书的作者们很快赶赴灾区,对抗震救灾工作实施技术支援,并冒着频繁余震的危险对灾区的各种工程构造物震害作了大量的调研,包括房屋建筑、桥梁、隧道、道路、边坡、地质灾害等,获取了大量第一手珍贵的资料。为了尽快为广大从事工程结构抗震研究、抗震设计、灾害评估、修复和加固设计等专业的科研工作者和工程技术人员以及政府相关部门提供实时的工程震害资料和分析结果,本书作者在一个月的时间里编写出了这本覆盖多个专业内容的书籍,希望能够对上述的专业工作者有所帮助。由于时间较短,书中存在一些不妥之处在所难免,望广大读者见谅。

因目前国家还没有正式公布本次地震烈度分布，所以本书中的地震烈度都是估计值，如果将来与国家公布的数值有偏差，以国家公布的烈度分布为准。

本书分为三篇。第一篇为房屋建筑篇，参加编写的有：赵世春，李力，黄云德等。第二篇为桥梁、隧道与道路篇，参加编写桥梁内容的有：李乔，赵人达，李亚东，强士中，唐继舜，谢尚英等；参加编写隧道内容的有：何川，耿萍，晏启祥等；参加编写道路内容的有：姚令侃等。第三篇为边坡与地质篇，参加编写边坡内容的有：周德培，马建林，冯君等；参加编写地质内容的有：胡卸文等。全书由李乔统稿。

此外，还有很多教师和研究生参加了本书资料的搜集和调研工作，在书中的各章节都有标注，此处不一一列出。在第二篇中，为充分描述桥梁在震后的破坏情况以及与震前进行比较，有8幅资料性照片取自互联网。在此，向拍摄这些照片的作者表示衷心的感谢！

本书是在西南交通大学有关部门和抗震工程技术四川省重点实验室的大力支持下完成的，并得到西南交通大学出版基金资助，作者对此表示衷心的感谢！

谨以此书献给在汶川大地震中罹难的人们！献给在抗震救灾中舍生忘死的人们！

作者

2008.6

目 录

第1篇 房屋建筑	1
1 砌体结构震害与分析	3
1.1 概 述	3
1.2 墙体部分的震害与分析	4
1.3 构造柱、圈梁、过梁、变形缝、楼梯等震害与分析	46
2 钢筋混凝土结构震害与分析	67
2.1 概 述	67
2.2 主体结构的震害与分析	68
2.3 楼梯的震害与分析	87
2.4 变形缝、填充墙等震害与分析	91
2.5 厂房的震害与分析	102
3 宗教建筑结构震害与分析	113
3.1 概 述	113
3.2 木结构与石木结构震害与分析	114
3.3 仿古钢筋混凝土框架结构震害与分析	121
3.4 钢筋混凝土框架—木构架屋顶结构震害与分析	124
第2篇 桥梁、隧道与道路	127
1 桥 梁	129
1.1 概 述	129
1.2 都汶公路桥梁震害与分析	130
1.3 广元至青川公路桥梁震害与分析	142
1.4 彭州公路桥梁震害与分析	149
1.5 绵竹、什邡桥梁震害与分析	155
1.6 安县桥梁震害调查及初步评估	167
1.7 绵阳市区桥梁震害情况与分析	181

1.8 其他桥梁震害情况与分析	189
2 隧道	196
2.1 概述	196
2.2 公路隧道震害与分析	196
2.3 成都地铁盾构隧道震害与分析	213
3 道路工程	216
3.1 概述	216
3.2 路基竖向变形震害与分析	217
3.3 下边坡震害与分析	222
3.4 上边坡震害与分析	230
3.5 路面及其他设施震害与分析	238

第3篇 边坡与地质 251

1 边坡	253
1.1 概述	253
1.2 路堑边坡工程的震害分析	254
1.3 路堤边坡工程的震害分析	264
1.4 与桥隧等建筑物相连的边坡工程的震害分析	268
1.5 自然边坡的震害分析	277
2 地震引发的地质灾害	281
2.1 概述	281
2.2 北川县唐家山高速滑坡堵江及堰塞坝(湖)	281
2.3 北川县城王家岩滑坡	287
2.4 北川中学新区岩质崩塌	288
2.5 唐家山滑坡上游侧大水沟泥石流堵江	289
2.6 都江堰二王庙滑坡变形体	290
2.7 卧龙大熊猫保护中心崩塌、坍滑体	291

第1篇 房屋建筑



1. 砌体结构震害与分析

1.1 概述

砌体结构,尤其是预制板砖混结构,由于选材方便、施工容易、进度快、造价低廉等特点,多年来在我国已成为多层民用建筑中最广泛的一种结构体系,也是汶川大地震灾区 and 影响区最常见。调查表明,本次地震中,砖混结构的表现是各类结构体系中差异最大的,相当一部分毫发无损,几乎见不到地震的影响,可评定为“基本完好”的状态;也有一部分摇摇欲坠,甚至倒塌,造成了生命和财产的巨大损失。

大地震中的震害原因是多种多样的,仅结构方面而言,平面布置不合理、构造柱和圈梁不足甚至没有、对构造柱的作用认识不够、120厚半砖墙的使用等以及装修对结构的破坏是其主要原因。抗震的概念对结构设计和施工、甚至装修都具有重要的意义。在本章中,我们的重要观点是:地震作用下没有承重墙和非承重墙之分,所谓的“非承重墙”在抗震中也要起重要作用,对此要有充分和正确的认识;我们还要严肃地指出:重装修豪华、轻结构安全的问题,甚至不惜破坏结构进行装修的问题;同时告诫大家,如果能将装修的预算分很小一部分给结构,其抗震性能将获得很大的改善,何乐而不为!

本章内容除描述一般砌体结构外,还包含底框结构上部的砌体部分,也包含一些混杂结构的砌体部分。灾区的民用建筑大量存在所谓的“混杂结构”,即在一个独立结构体系中,一个结构平面上存在钢筋混凝土框架和砌体共存的混乱状态。一般在建筑功能分隔处以及建筑的两端采用砌体墙;在需要大开间、

大空间位置处采用钢筋混凝土梁柱;楼板基本上是无整浇层的预制板。

“混杂结构”按其抗震能力可细分为:

(1) 最危险的教学楼体系,特点是:横向往深为单跑,带悬臂走廊,两端为承重砌体墙,各教室的分隔为承重砌体墙。一个教室为两个及以上的开间组成,采用框架梁柱,无整浇层的预制板,即交叉采用砌体墙和框架梁柱。此类结构震害严重,极易整体倒塌,且关系到广大师生员工的生命安全,应立即停止使用。

(2) 分片采用砌体墙和框架梁柱,即在平面上一部分集中采用砌体承重墙,另一部分集中采用框架结构,端墙为承重砌体墙,整体倒塌的可能性较上一种情况小。此类结构的存在是尽量避免使用造价相对较高的钢筋混凝土,而采用造价较低的砌体造成的。事实上此类结构不是任何设计规范、规程所定义的结构体系,也就是说超规范设计的。

1.2 墙体部分的震害与分析

一般砖混结构房屋按墙体承重布置方案分为：横墙承重方案、纵墙承重方案、纵横墙承重方案等，这样的分类实际上是按竖向荷载（预制板）的传力路径进行的，并不适合水平地震作用。即使是非承重墙，仅竖向荷载也要承受上一层的非承重墙的竖向荷载，只是数值上比承重墙小而已。对于底层的非承重墙，要承受整个楼高的墙体自重。

另外，若采用钢筋混凝土现浇楼盖，则墙体几乎都是承重墙。在四川地区，现已禁止使用预制板，因此，没有必要再区分承重墙和非承重墙（除仅承受本层自重、后砌的局部隔墙外）。

在水平地震力作用下，所谓的承重墙和非承重墙都要参与工作，共同抵抗地震力，并且非承重墙由于竖向压力较小，反而可能导致主拉应力更大，更容易开裂，这一点由震害现象可以证明：非承重墙上的剪切斜裂缝与水平线间的夹角接近 45° ，而承重墙则明显小于 45° 。

以窗下的窗台墙为例，一般认为它是非承重墙，装修中常常是被拆除的对象。许多震害表明，窗台墙在地震作用下一般呈 45° 交叉斜裂缝。试想一下，若没有这部分墙，与它相邻的墙体震害就会加重。总之，在地震发生时所有的墙体都是承重墙。

本节撰稿人：李 力
调研及资料提供：李 力 黄云德
李彤梅 黄雄军
葛宇东 黄喜兵
孟鹏晖 苏启旺



1.1.1 汶川威州某砖混结构宿舍窗间墙和窗台墙上的交叉斜裂缝（李力 摄）



1.1.2 汶川威州某砖混结构宿舍纵墙和山墙上的斜裂缝（李力 摄）



1.1.3 汶川威州某砖混结构教学楼, 滑坡威胁严重 (李力 摄)



1.1.4 汶川威州某砖混结构教学楼横墙上的斜裂缝 (李力 摄)



1.1.5 汶川威州某砖混结构教学楼纵墙上的交叉斜裂缝 (李力 摄)



1.1.6 汶川威州某砖混结构窗间墙和窗台墙上的交叉斜裂缝 (李力 摄)



1.1.7 汶川威州某砖混结构外廊处山墙尽端无构造柱破坏情况 (李力 摄)



1.1.8 汶川威州某砖混结构住宅两道变形缝使各单元独立,震后基本完好 (李力 摄)



1.1.9 汶川威州某杂混结构教学楼柱与墙交接处开裂 (李力 摄)



1.1.10 汶川威州某砖混结构住宅120厚砖墙剪切错动破坏 (李力 摄)



1.1.11 汶川雁门某混杂结构教学楼破坏严重 (李力 摄)



1.1.12 该教学楼山墙上的斜裂缝 (李力 摄)



1.1.13 该教学楼山墙开裂情况 (李力 摄)



1.1.14 该教学楼门过梁破坏情况 (李力 摄)



1.1.15 该教学楼楼梯间横墙开裂 (李力 摄)



1.1.16 该教学楼山墙上的斜裂缝 (李力 摄)



1.1.17 汶川威州某砌体结构住宅纵墙上的交叉斜裂缝和阳台栏板垮塌 (李力 摄)



1.1.18 该住宅山墙上的交叉斜裂缝
(李力 摄)