



汶川地震震害调查及 对建筑结构安全的反思

徐有邻 编著

汶川地震震害调查及 对建筑结构安全的反思

徐有邻 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

汶川地震震害调查及对建筑结构安全的反思/徐有邻编著.

北京:中国建筑工业出版社,2009

ISBN 978-7-112-10776-6

I. 汶… II. 徐… III. ①建筑物-震害-研究-四川省

②建筑结构-结构安全度-研究 IV. P316.2 TU311.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 024182 号

通过对汶川地震的调查,利用震害照片按结构类型和震害规律系统介绍了房屋结构地震受损的情况,并进行了简单的分析。在震害调查的基础上,进一步反思传统设计、施工对建筑结构安全控制的局限性。指出结构方案、传力途径、连接构造及材料延性等才是影响结构安全的根本。文章讨论了结构的整体稳固性、结构抗倒塌设计、既有结构再设计、预制装配—叠合式结构、约束混凝土、钢筋的延性以及结构混凝土实体强度验收等问题,并对今后建筑结构科研方向的调整以及规范、标准的修订提出了建议。

* * *

责任编辑:王 梅

责任设计:董建平

责任校对:王雪竹 关 健

汶川地震震害调查及对建筑结构安全的反思

徐有邻 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京凌奇印刷有限责任公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:11¼ 字数:288千字

2009年5月第一版 2009年5月第一次印刷

印数:1—3000册 定价:28.00元

ISBN 978-7-112-10776-6

(18022)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

谨以本书敬献给沈聚敏老师

震惊世界的汶川地震以后，我心情沉重。以传统中国知识分子的忧患意识和结构工作者的职业责任心，多么希望能够与灾民同难，为国家分忧呀。看到院里一批批年轻的同行出发去灾区，我心急如焚，甚至为自己的无所作为而深深自责。在我再三恳请要求之下，地震后第八天我被批准以专家的身份去灾区服务。当时我正在外地参加研究生答辩，得到通知以后兴奋不已。连夜赶回北京，在院里只待了三个小时就匆匆出发了。5月21日，在成都成立了建设部防灾研究中心“5·12抗震救灾专家组”。

专家组的任务是应灾区有关部门的要求，进行受损建筑物的应紧评估，同时提出灾后恢复重建的建议。专家组的最大量工作，是对建筑结构的震害进行调查及初步分析。在灾区工作期间，几乎每天的日程都是早出晚归去震害现场考察和评估——对震损结构进行照相、判断、记录，然后连夜整理分析。半个月的时间，先后调查了成都、双流、都江堰、彭州、什邡、绵竹、汉旺、江油、广元、青川的大量建筑结构，积累了各种形态的震害照片500余张以及零星写就的调查笔记共15篇，约2万字。

自上一个世纪60年代学习结构理论课程以后，我即开始接触建筑结构科研。毕业后又在建筑工地10年，当过工人、技术员、工程师，做过设计，搞过施工。在中国建筑科学研究院工作将近30年，一直从事建筑结构的试验研究，并参与和主持了十余本建筑结构规范的编制、修订。在几十年的研究生涯中，也形成了不少对结构破坏的感性认识，并积累了不少有关结构安全的知识。

在灾区15天的考察，对我已往的学术观念有很大的触动。我深感自己见识的狭隘和知识的贫乏。各种类型结构不同程度的多样化破坏形态，以及结构解体、房屋倒塌的巨大损失和惨重后果令我震惊。这些得自断墙残壁的废墟和摇摇欲坠的危房颓楼之间的强烈感受，都促使我作更仔细的观察分析，进行更深层次的思考，并且往往若有所思。每天从灾区现场返回驻地，除了整理震害照片以外，总要将白天所得的感受记录下来，这些转瞬即逝的思考十分可贵。尽管有些想法未必成熟，但却是真实的得自实践的新思维。对于未来科研方向的调整以及规范、标准的修订，都具有重要的参考价值。

就这样每天坚持整理和撰写调查笔记，半个月下来也完成了震害调查及初步分析的大量文字。这些文字加上所拍摄的照片，真实反映了我在震害调查中逐渐形成的新的思考，也是本书的核心内容。从灾区回来以后，以此为基础进行了归纳、整理，将其系统、条理化，并补充了必要的背景内容，即形成了共计12篇约3万字的详细提纲，这就是本书的雏形。

应该说明的是，中国建筑科学研究院在这次抗震救灾过程中先后从抗震所、结构所、国家建筑工程检测中心抽调大批结构专家支援抗震救灾，同时进行震害调查，所积累的原始资料是十分丰富的。我所完成的照片、记录只占其中的极小部分。中国建筑科学研究院

的这些资料汇总整理以后，以“汶川地震建筑震害图片集”的形式，由中国建筑工业出版社出版，供有关人士参考。

由于其他工作繁忙，提纲整理完成以后，进一步的分析工作即暂告停顿。2008年6月27日清华大学集会纪念我国结构抗震理论的早期奠基者沈聚敏教授逝世十周年；6月底中国工程院举办“汶川地震震害分析及灾后重建研讨会”，我均被邀在会上报告。尽管只介绍了上述匆促完成的照片及简单提纲，但报告后反映良好，并引起了很多同行的兴趣。几家杂志社均来约稿，后来也匆促写了几篇稿件交刊物发表。但我很快就发现了刊载论文的局限性。刊物上登载的文章篇幅、字数受到限制，很多问题难以阐述透彻。尤其是丰富的结构震害照片难以悉数刊出，大大影响了文章的表达力。此外，这次震害调查分析的收获非常丰富，构成了庞大的系列内容，已很难用零散的单篇文章表达清楚，因此就有了撰写本书的念头。恰好中国建筑工业出版社前来约稿，顺势一拍即合，就有了这本书的出版发行。

本书约30万字，大多以在灾区完成的急就篇改写而成。文字粗疏难免，也未作深入分析，敬请读者见谅。照片150张，也基本是在灾区所拍摄，少量照片引自己公开发表的材料，已在文中注明作者，并在此致谢。在此我要感谢专家组黄世敏博士、肖从真博士、白雪霜博士在灾区考察期间对我的照顾；感谢中国建筑科学研究院西南分院雍军总裁、芦岩副院长对调研工作的支持；感谢我的学生和助手刘刚、巩耀娜帮助我整理文稿；并感谢中国建筑工业出版社王梅对本书编辑、出版的帮助。

我还要感念母校和老师对我的培养，我特别怀念已故的沈聚敏教授。40多年以前当我还是一个大学生的时候，沈老师就曾指导过我的毕业设计，将我领进了科学研究的殿堂。30年前当我还是在读研究生的时候，我国结构抗震的研究尚处于起步阶段，我最初有关结构抗震的知识就得益于沈老师的教诲。从灾区回来以后，就震害调查分析所作的第一场报告，就是在纪念沈老师的会上进行的。在此，谨以此书敬献给我所崇仰的沈聚敏老师，作为在他离世十年以后学生对他所作迟到的汇报吧！

媒体报道过一个失去亲人的妇女悲怆地责问：“什么时候才能让我们住上地震也能不倒的房屋？”作为从事结构研究的学者，我感到巨大的压力和沉甸甸的责任。通过地震震害调查分析，认真总结失败的教训和成功的经验，进行必要的科研和工程实践，制订并严格执行相关的规范、标准，相信就一定可以做到“大震不倒”。作为一个终生从事结构科研和规范编制的标准工作者，这是我的责任，也是写作本书的目的。

最后我要感谢英勇的灾区人民。在大自然恣意肆虐，人们面临灭顶之灾的绝境中，灾区人民所表现出的顽强、互助、豁达、乐观的精神令人感动。当我穿行在断墙残壁，徘徊在成片废墟之间的時候，也曾为老天不公地无端降灾给无辜的灾区人民而流下悲愤的眼泪，甚至不止一次泪眼模糊到无法继续工作。但是这种同情，很快就转化成了一种激昂的奋斗精神，这也成为本书写作的重要动力。

灾区人民教育了我，我们中华民族不需要别人怜悯，更不用去理会那些对我们心怀敌意的某些境外媒体的歪曲，我们最需要的是自己万众一心的奋斗精神！灾区人民为我们做出了榜样。本书附录中专门列出了“抗震救灾纪实”的成组照片，以表达我对灾区人民的崇仰。

同样，为了表达对教育、培养我的祖国和人民的感念和回报，本书的全部稿酬将悉数捐

赠，用以支持灾区贫困农村子弟的教育。尽快改变我国农村教育发展滞后的状况，使贫困农民的孩子能够得到受教育的机会，从而提高文化水平，获得技能。“教育照亮人生，技能立足社会”，因为只有发展教育，提高全民族的素质，我们的民族和国家才可能有光明的未来。为此贡献力量是我的最大心愿。

徐有邻

2008年8月

目 录

第一章	震害调查概况	1
第一节	抗震救灾工作	1
第二节	地震灾害概况	2
第三节	震害调查工作	7
第二章	房屋结构震损及初步分析	11
第一节	农村民居	11
第二节	砖混结构	14
第三节	底框砖房	21
第四节	框架结构	24
第五节	大跨房屋	29
第六节	高耸建筑	31
第七节	古代建筑	33
第三章	震害规律的初步分析	35
第一节	结构震害的规律	35
第二节	震害的时代特征	44
第三节	教训和经验	47
第四节	房屋倒塌的反思	50
第四章	教学楼倒塌问题的讨论	55
第一节	教学楼倒塌概况	55
第二节	教学楼结构的安全隐患	57
第三节	关于教学楼安全普查的建议	63
第五章	结构安全层次的分析	67
第一节	结构的安全层次	67
第二节	震损结构的根本缺陷	70
第三节	结构研究方向的调整	76
第六章	结构的整体稳固性及抗倒塌设计	85
第一节	抗倒塌的意义	85
第二节	结构的整体稳固性	87
第三节	结构抗倒塌的概念设计	88
第四节	结构倒塌极限状态的设计	92
第七章	既有结构的再设计	95
第一节	结构再设计的概念	95

第二节	结构再设计的适用范围	96
第三节	结构再设计的原则及方法	98
第八章	装配—叠合式楼盖及建筑产业化	101
第一节	预制预应力圆孔板的讨论	101
第二节	装配式楼盖	105
第三节	叠合式楼盖	110
第四节	建筑的产业化发展方向	113
第九章	约束混凝土的开发及工程应用	116
第一节	混凝土约束的重要性	116
第二节	混凝土的多轴强度准则	117
第三节	围箍混凝土受压的抗力	120
第四节	研究方向及工程应用	122
第十章	钢筋延性的讨论及优化选择	125
第一节	结构破坏与钢筋的性能	125
第二节	钢筋的延性	127
第三节	结构用钢筋的优化选择	131
第十一章	混凝土实体强度的验收	135
第一节	震害调查中的难题	135
第二节	现行强度验收中的问题	136
第三节	同条件养护强度在验收中的作用	138
第十二章	混凝土结构规范修订建议	142
第一节	我国混凝土结构现状	142
第二节	设计规范修订建议	144
第三节	规范的配套工作	152
附录	抗震救灾纪实	157

第一章 震害调查概况

第一节 抗震救灾工作

2008年5月12日四川省汶川(映秀)—北川—青川地区发生特大地震以后,中国建筑科学研究院迅速从抗震所、结构所、国家建筑工程质量检测中心等单位抽调结构专业人员奔赴灾区,直接参加抗震救灾工作。前后参加抗震救灾的达83人,工作范围遍及四川都江堰、德阳、绵阳、广元等地区以及甘肃陇南,陕西汉中、西安等地。随着抗震救灾工作重点逐渐由人员抢救转向灾后重建,5月20日建研院领导决策,抽调已在灾区的专家并向灾区增派专家,以建设部防灾研究中心的名义组建“5·12抗震救灾专家组”。

2008年5月21日专家工作组在成都成立,成员包括黄世敏博士(组长)、肖从真博士(副组长)、徐有邻博士和白雪霜博士。专家组的任务是协助灾区有关部门工作,进行受损建筑物的应急评估,同时开展震害的调查和初步分析,并提出灾后恢复重建的建议。

就在专家组宣布成立后不到10分钟,即接到紧急指令——应民航管理局要求,去成都双流机场对航管楼及塔台等功能性建筑结构进行应急评估。接着又远赴川北广元山区,对引导入川飞机的导航雷达站进行结构应急评估。快速评估结论及所提出的建议,对民航西南管理局空管应急指挥部返回空管楼工作,恢复机场塔台雷达控制代替人工调度,以及雷达导航站恢复正常工作提供了保障。这在当时宝成铁路中断,双流机场成为支援救灾重要通道的情况下,对恢复扩大空运量,支援灾区,起到了重大作用。

除民航系统以外,专家组还对其他行业的各类建筑结构的震损情况进行了应急评估。这在当时余震不断的情况下,对于保障灾区人民的生命、财产安全,安定受灾群众的惊恐心理,合理科学地利用有充分安全保障的既有建筑等,都起到了积极的作用。

专家组的部分成员还代表住房和城乡建设部参加了四川省政府组织的专门针对学校教学楼震害调查的专家工作组。在专家组工作期间,审核了部分学校教学楼的结构设计图纸;现场勘察了结构受损的震害情况;从技术的角度认真分析了这类建筑结构的弱点及受损原因;并针对其潜在的安全隐患,提出了及时进行安全普查和结构加固的建议。

专家组的主要工作是进行震害调查,并进行初步整理分析,以积累宝贵的现场震害的原始资料。在建研院西南分院的大力支持下,专家组调查了成都、双流、都江堰、映秀、彭州、什邡、绵竹、汉旺、江油、广元、青川等地的震害情况,积累了大量极有价值的记录、草图、照片、报告及建议等第一手资料。抢在废墟清理、危楼拆除之前所获取的这些不可复得的原始资料,将与其他工作组所积累的资料统一整理、分析,形成内容丰富、系统完整的汶川地震震害资料,并出版发行。这些具有极其重要参考价值的材料,将在今后相当长的时期内,起到促进学术发展和技术进步的作用。

专家组在四川灾区的工作共15天。随着灾后重建工作的开展,废墟即将清理,危房也将

陆续拆除,震害调查工作越来越受到制约。鉴于当初成立专家组所确定的目标也已基本完成,6月4日专家组结束了在灾区的工作,返回北京。

第二节 地震灾害概况

一、汶川地震的成因

目前地球上除少数由于火山和地陷形成的小型地震以外,绝大多数的地震都是由于地壳板块碰撞、挤压而发生的。汶川地震也不例外,其是由于南亚板块(印度板块)向北漂移与亚欧板块(扬子板块为其一部分)碰撞、挤压造成的。青藏高原的隆起源于南亚板块的挤压,而其边缘与扬子板块的挤压则形成了与四川盆地西部平原巨大高差的龙门山脉。两个板块边缘的断层沿着龙门山脉的汶川(映秀)—北川—青川分布,呈北偏东的走向一直延伸到甘肃的陇南和陕西的汉中,当然在主断层的周边,还分布有其他一些小的支系断层。

实际沿这条活动的断裂带经常发生地震。1933年发生的叠溪地震就因滑坡和堰塞湖(叠溪海子)溃决而毁灭了好几个村镇,造成了巨大的伤亡。但历史上这些地震都不太大,因此这一带的抗震设防烈度基本都被确定为7度。但恰好就是因为长久没有发生大地震的缘故,断裂带上积聚了大量潜在的能量。这些蓄积的巨大能量到2008年5月12日下午2时28分,终于由于地层断裂而释放出来,这就形成了这次空前巨大的地震。

“5·12地震”的震中在汶川的映秀,并延伸到北川—青川一线。通常地震等级每高一级,能量增加约30倍。因此这次地震的强烈程度(8.0级)远超过了唐山地震(7.8级),是属于世界上罕见的特大地震。

二、地震的受灾范围

号称“汶川大地震”的这次浩劫,处在断裂带上的映秀镇、北川县和青川县遭受了重创。尤其是北川,强震加上次生地质灾害——山体滑坡,整座县城被彻底摧毁,人员伤亡过半,损失惨重。这次地震基本沿龙门山脉断裂带的映秀—北川—青川分布,一直延伸到甘肃的陇南和陕西的汉中。根据受灾的严重程度,灾区大致可划分为轻灾、中灾、重灾三个区域。地震后初期(5月下旬)所作的估计范围如图1.2.1所示。

处于龙门山脉东侧号称天府之国的川西平原,尽管与震中相距很近,但受到的影响却不大,仅少量房屋局部受损,只造成了轻微的震害。因此,成都、德阳、绵阳、江油、广元这些沿宝成铁路分布的人口密集城市群,都躲过了汶川大地震这一劫难,这真是不幸中的大幸。

龙门山脉的山麓地带及浅山区是为中度受灾区。这一带农村的民居大多都被震倒塌:如汉旺、都江堰这些处于山口地带的城市,震害情况严重。初步估算大约10%的建筑物倒塌;40%严重受损;而其余一半的建筑结构则不同程度受损;整个城市基本找不出没有损坏的房屋。在这一区域,由于也是人口相对密集的区域,因此地震造成了较大的财产损失和人员伤亡。

处于山区震中的重灾区则遭受重创,基本上全部房屋都受到了严重破坏。强震加上次生地质灾害的影响,农村民居几乎全都垮塌,而多处在山区河谷地带的城镇中,大多房屋建筑都已摇摇欲坠或者倒塌。有的城区(例如北川县城),地震加上大面积山体滑坡,基本已被彻底摧毁。

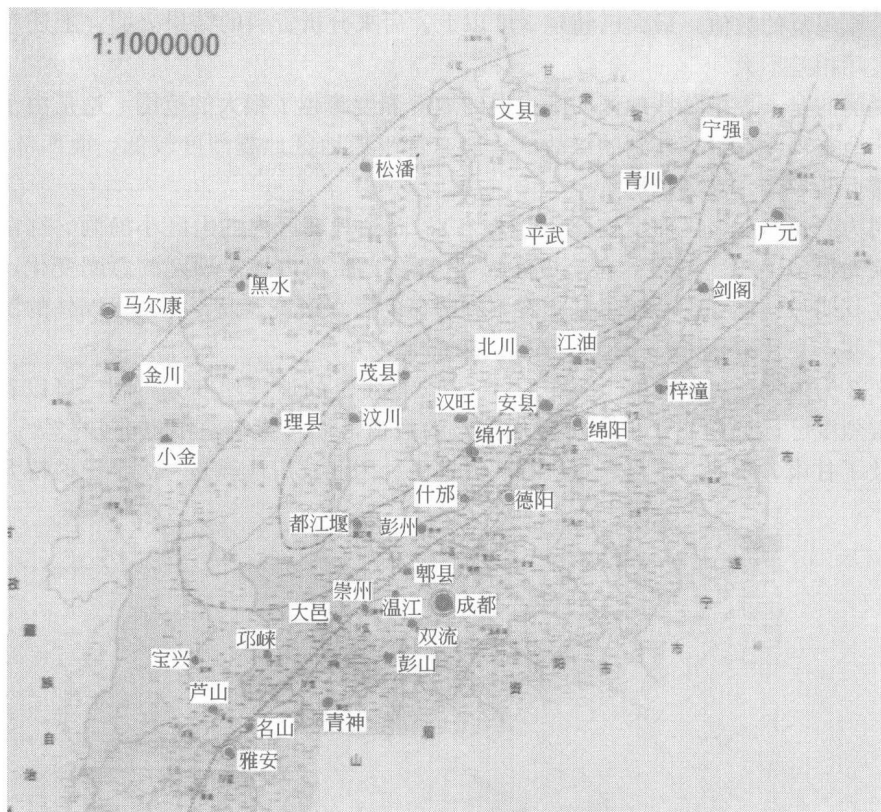


图 1.2.1 汶川地震灾区分布图

三、地震烈度

根据原“抗震规范”设防烈度的区域划分,除松潘为 8 度以外,这一带都被确定为 7 度区。但这次地震却出人意料,大大超过了原定的设防烈度等级。表 1.2 为地震后初期(5 月下旬)对灾区各地的抗震设防烈度以及地震中实际遭遇烈度的估计。可以看出,实际的地震烈度

四川灾区各地的地震烈度(估计值)

表 1.2

地 区	地 震 烈 度		地 区	地 震 烈 度	
	设 防	遭 遇		设 防	遭 遇
汶 川	7	8.5~11	北 川	7	8.5~11
彭 州	7	8~11	绵 竹	7	8~10
什 邈	7	7~10	安 县	7	8~9
都江堰	7	7~9	青 川	7	7~9
江 油	7	7~9	平 武	7	8
茂 县	7	8	理 县	7	8
崇 州	7	6~8	汉 源	7	6~8
温 江	7	6~7	郫 县	7	6~7
大 邑	7	6~7	芦 山	7	6~6.5
宝 兴	7	6	小 金	7	6
黑 水	7	6	松 潘	8	5~6

已远超出了原规范的数值,最大已超越3度以上。后来分析资料的结果表明,上述对地震烈度的估计与实际相差不大。

应该说明的是,表中某些地区实际遭遇的地震烈度跨越了很大的范围。这是由于在同一行政区域内,地震烈度有很大差别的缘故。一般东部平原地区地震烈度较低,而西部山区较高。规律是越靠近断裂带,破坏越严重。

例如同为彭州市,城区烈度较低(8度左右);而到其辖区内的山区小渔洞、红白镇、银厂沟一带就要高得多了(9、10度,甚至更高)。这种在近距离内地震烈度的急剧变化,在山麓地带表现得尤其明显。例如绵竹城里基本看不到明显的震害痕迹,而十几公里以外的汉旺镇就满眼危房、废墟,一片狼藉了。

图1.2.2为国家地震局在网上公布的“5·12地震”的地震烈度分布图。可以看出,不仅实际的地震烈度已远远超出了原“抗震规范”的数值,而且影响范围也非常之大。除四川以外,还波及了甘肃、陕西、宁夏、重庆等广大地区。因此汶川地震是一次罕见的特大地震。

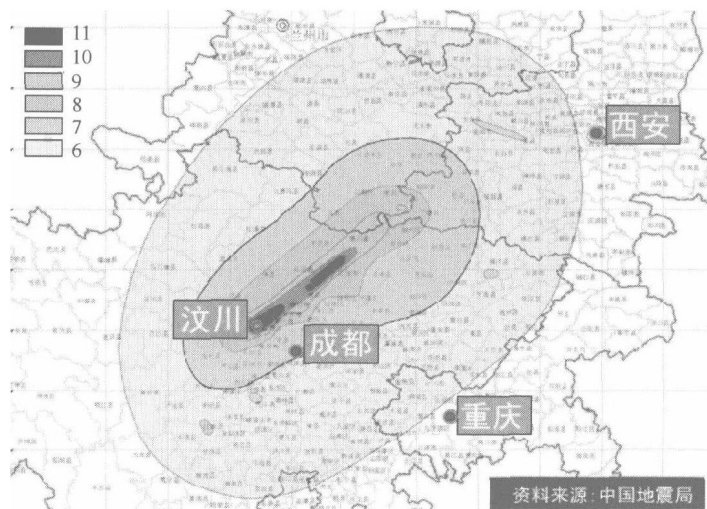


图 1.2.2 汶川地震烈度分布图

四、汶川地震的特点

1. 震级强

地震局公布的汶川地震为8.0级。这是沿断层长期积聚能量的总爆发,超过了我国有记载的任何一次地震,在世界上也属于罕见的特大地震。地震时那种撼动山川,蹂躏大地的巨大力量,实在是远远超出了人们的想象。人类无力对抗自然,因此应该懂得敬畏自然,学会善待自然,努力与自然和谐相处。

2. 余震多

5月12日14时28分主震发生以后,接着又发生了多次强烈的余震:5月12日20时5.7级,5月13日7时6.1级,5月25日16时6.4级……这些余震使原已受损的房屋结构再次遭受破坏性的作用,更使处于困境中的的灾区雪上加霜。

3. 震源浅

汶川地震的震源深度约 14km，属于浅层地震。因此对震中断裂带附近的地貌改变影响特别巨大。据报道，震中断层附近观察到的最大高差达 6m 左右，破坏力也就几乎是不可抗拒了。

照片 1.2.1 为地震后沿某断层形成的地面高差。据当地目击者称，震后高差曾经达到 3m。十多天以后调查时已经回落，但仍为 2m 左右。

照片 1.2.2 为断层所经之处，平整的操场已变成斜坡。而断层所过之处房倒屋塌，已成为一片废墟了。



照片 1.2.1 地震后沿断层形成的高差



照片 1.2.2 断层附近房屋的破坏

4. 范围广

发生地震的龙门山脉主震断裂带长 185km，包括余震的断裂带总长 300km 左右，一直延伸到甘肃、陕西南部。加上这次地震本身震级很高，释放的能量巨大，因此这次地震波及的范围有几百万平方公里，甚至连远在千里之外的北京、上海以及东南亚的邻国都感受了明显的震动。据有关方面报导，汶川地震的实际受灾面积达到 44 万平方公里，重灾区约 12 万平方公里。像这样大面积的受灾范围，在地震历史上也是极其罕见的。

5. 时间长

这次地震的特点之一是持续时间长。由于汶川大地震是由沿断层发生的一系列地层断裂造成的，因此多次连续震动持续的时间较长。据称，观测纪录值为 120s，这也是地震史上比较罕见的现象。长时间的持续震动，对建筑结构的破坏性极大。原本可能摇摇欲坠的建筑，经不住地震作用的持久影响而难免塌垮，造成了这次地震中特别惨重的损失。

6. 伴随次生灾害

汶川地震的主震区在龙门山脉的山岳地带，地震造成的地貌改变及次生地质灾害十分明显。山体滑坡、塌方、滚石、泥石流等不仅摧毁了大量的建筑物，而且阻断交通，摧毁了电力、通信等生命线工程，严重地影响了对灾区的救援，扩大了灾害的破坏程度。在灾区的山地，随处都可见由于滑坡引起绿色山林中的“伤疤”。

照片 1.2.3 为由于地震引起巨大的滑坡削掉了半座山体，不可阻挡地掩埋了山脚下的一切，包括房屋、田地、道路和其他设施。所幸的是这次地震形成的几十个堰塞湖，由于及时抢救、疏通而未造成溃决，否则后果将不堪设想。

7. 地域性强

这次地震的地域性非常显著。窄长条形的主震区由南西向北东方向延伸,甚至远在几百公里以外的陕西省西安市也遭受了震害,而近在东南方向仅几十公里的成都却影响很小。也正因为如此,当都江堰地震后到处危楼、废墟,一片灾区景象的时候,近在咫尺的成都市区却基本看不出受灾的痕迹。

这种近距离内震害的巨大反差,在山麓地带表现得特别明显。甚至在十几公里的距离内就能观察到完全不同的震害景象。有关观测表明,在约为 20 公里的近距离内,遭遇的地震烈度就可以由 7 度急剧陡升到 11 度,造成的震害完全不同,变化之大令人惊讶。

8. 场地效应

这次地震灾区的地形复杂多变,包括山地、河谷、丘陵、平原等,地震影响的场地效应十分明显。往往近在咫尺几乎完全相同的建筑物,震害的程度却有天壤之别。

照片 1.2.4 为距离断层不足 10m 的一幢三层教学楼,地震时被抬升 2m 以上。周围房倒屋塌一片狼藉,然而这座教学楼却基本未受损坏,甚至连裂缝都很难找到。地震波的传播方式和场地地质条件的影响,可能是造成这种偶然性和巨大差别的原因。这方面的规律十分复杂,目前尚难以解释,有待今后继续探讨。



照片 1.2.3 半座山体滑坡掩埋了山麓的一切



照片 1.2.4 断层附近教学楼完整无损

9. 方向效应

受到断裂带走向与地震波传播方向的影响,这次地震造成的震害与建筑物的朝向有关。同样的“L”形房屋或“口”形围墙,往往一个方向倒塌或破损严重,而另一个方向则基本完好。这种房屋朝向与断层走向之间相对方向关系对震害的影响,值得加以深入的研究。并应作为今后在地震活动区域规划、建造房屋的参考。

10. 震前预兆不明显

地震预报至今仍是世界科学界尚未解决的难题。由于地震成因太复杂,且震源深藏地下难以监测。有些震前预兆的种种异常现象,也都是事后的总结,很难据此就有把握可以作出地震预报。目前还没有一个国家能够对地震作出准确的预报,更不用说是“短期预报”和“临震预报”了。预报地震是影响整个社会正常生活的大事,故应特别慎重对待,谁都不敢轻易作出预报的决定。

汶川地震后舆论对地震局方面多有指责。但在现时的技术条件下，一定要勉强去完成几乎是不可能的任务是不现实的。目前“地震预报”尚处于积累资料，努力探索规律，争取能够预测长期地震的探索阶段。“临震预报”几乎是不可能的事情。

总之，这次汶川地震属于比较罕见的特大地震，具有现时人类难以抗拒的巨大威力。地震造成了巨大损失：直接经济损失约 5000 亿元，间接损失约 10000 亿元，灾后恢复需 5000 亿元，共计约 20000 亿人民币；受灾人口 4000 万，受伤约 30 万人，最痛心的是死亡、失踪约 9 万人，造成了空前的人间惨祸。在痛定思痛之余，认真总结教训和经验，尽量减少今后可能发生灾害所造成的损失，则是比较现实的考虑。这也是本次震害调查、分析及写作本书的目的。

第三节 震害调查工作

一、调查分析的原则

千年一遇的汶川大地震造成了巨大的损失，特别是付出了九万同胞生命的惨重代价，使每一个中国人都痛心不已。但是应该以怎样的态度来对待这场灾难呢？作为肩负重任进入灾区现场的专家，最重要的职责是抓紧时机努力工作，在灾后重建开展之前的短暂时间内，尽可能多地记录房屋结构的震损情况，包括照片、记录及初步分析，为后人留下尽可能多的翔实资料。

我真诚同情横遭惨祸的灾民，但已无力挽回他们的损失了。我的责任是认真总结这次地震中失败的教训和成功的经验，尽自己微薄之力，为未来可能遭受地震威胁的后人提供尽可能大的安全保障。我们已经失去了太多的生命，这种悲剧决不能再度重演。将来我们国家还会发生地震，或许是更大的地震，但绝不允许再有更多的牺牲了。为此，确定本次震害调查分析的原则如下：

- 详细调查、分析结构受损及倒塌的规律，认真吸取教训；
- 认真观察记录未遭严重破坏的结构，总结成功的经验；
- 坚持冷静客观的立场，不受外界非技术因素的干扰；
- 重视不同意见及争鸣的作用，通过讨论深化对问题的认识；
- 尽可能多地收集现场资料供将来进一步分析，不匆促作出结论。

二、对待地震灾难的态度

特大地震来临，造成人员伤亡和财产损失几乎是难以避免的事情。而通过人们的努力，可以尽可能将这种损失减小到最低水平。而这又取决于当时社会的物质条件(综合国力)和人们对震害的认知水平(防灾能力)。进一步的深入分析表明：“贫”和“愚”是造成地震灾害巨大损失的根本原因；而“富”和“智”虽不可能避免这种损失，但可以将其减小到最低限度。

我国明代嘉靖年间的关中地震死亡 80 万人；20 世纪 70 年代的唐山地震损失 24 万人；这次烈度和范围大得多的汶川地震牺牲了 9 万人。损失渐次减小是由于我们国家物质条件的改善和处理突发事件能力的逐步提高，否则我们将面临更大的损失。限于国力和对地震的认识水

平,在遭遇到这样罕见特大地震的情况下,我们已尽力将损失降低到目前可能的最低限度了。

发达国家对于地震的反应也经历了同样的过程。20 世纪初的美国旧金山地震和日本的关东地震,也都曾经造成过大量的人员伤亡和财产损失。但是随着国力的增强、技术的进步和人们防震知识的提高,这种损失是越来越少了。目前,在发达国家每次地震造成的死亡人数基本上不会超过一百,“富”和“智”在这里起到了关键的作用。

对此我们也不必过于自卑。唐山地震以来,我们对地震的认识已经从无到有提高了许多,并落实为有关的标准规范,从而有效地减小了这次地震的损失。只要我们坚持不懈地努力,迅速增强自己的综合国力和处理突发事件的物质条件(富),抓紧开展抗震研究并落实于相关的标准规范,同时提高人民的防灾意识和面对灾害的应变能力(智),那么面对未来可能发生的地震或其他灾难,同样可以将这种损失进一步大大地减小。对此应该有充分的信心。

三、震害调查工作

1. 震害调查笔记

从进入灾区的第一天起,震害现场调查就成为专家工作组的主要任务。以结构专业人员的特长,带着探讨、研究的目的出入于废墟、危楼之间,拍摄、记录了大量的结构震害照片,留下了许多宝贵的现场原始资料。除此之外,作为长期从事结构研究和参与编制、修订多本结构类规范的标准工作者,我更关心从震害调查中得到有价值的启示,以作为今后修订规范的参考。

因此每天从现场返回,除了整理照片以外,还要抽时间回忆、补写在现场产生的各种想法。这些匆促写成的文字纪录,潦草、散乱、不连贯,也缺乏系统和逻辑性,只能算是随意写下的笔记吧,但却代表了得自震害现场的真实想法。就这样逐渐积累,半个月的时间内也形成了 15 篇约 2 万字的震害调查笔记,列举如下:

- 村镇学校建筑结构安全隐患的初步分析(5 月 25 日);
- 对村镇学校建筑结构进行安全普查的建议(5 月 26 日);
- 编制《村镇学校建筑结构技术导则》的建议(5 月 27 日);
- 建筑废墟就地转化生产再生建材的建议(5 月 28 日);
- 学校房屋倒塌原因分析及建议(5 月 29 日);
- 关于预制预应力圆孔板的讨论(5 月 30 日);
- 开展结构整体牢固性(鲁棒性)研究的建议(5 月 31 日);
- 结构抗倒塌设计的原则(6 月 1 日);
- 编制建筑结构再设计规范的建议(6 月 2 日);
- 与四川设计界同行讨论抗震问题(6 月 3 日);
- 及时整理出版震害现场考察资料的建议(6 月 4 日);
- 开展装配整体式及叠合式楼盖试验研究的建议(提纲,未完成);
- 开展高强箍筋约束混凝土技术试验研究的建议(提纲,未完成);
- 强化施工现场混凝土质量控制及验收的建议(提纲,未完成);
- 钢筋按延性分级并界定其用途的建议(提纲,未完成)。

2. 专题报告提纲

现场笔记尽管零乱,却包含了许多有价值的思考。返回北京以后,开始整理这些震害调查

现场资料,形成了12篇约3万字的专题报告提纲,列举如下:

- 村镇学校结构安全隐患的分析;
- 村镇学校结构安全普查及加固改造的建议;
- 关于预制预应力圆孔板的讨论;
- 结构安全层次的分析及研究方向;
- 开展结构整体牢固性研究的建议;
- 建筑结构抗倒塌设计规范的编制原则;
- 结构再设计的概念及规范编制;
- 装配整体式一叠合式楼盖及建筑产业化;
- 约束混凝土及多轴强度准则的工程应用;
- 钢筋延性的重要性及优化选择;
- 强化施工现场混凝土质量控制及验收;
- 《混凝土结构设计规范》修订的主要问题。

3. 本书的撰写

上述专题报告提纲的主要内容,曾在不同场合的各种会议上作过介绍,并听取意见加以修改,逐步完善,这就形成了本书的雏形。在中国建筑工业出版社约稿以后,再整理、补充、完善,就形成了本书的主要内容。

由于其他工作繁忙,时间紧迫,也很难抽出完整的时间撰写、复核、修改,因此文字表达难免粗疏。有些观念和看法也未经深思熟虑,但保留当时在灾区思维的原貌也许更具真实感。此外,本书引用的某些统计数据也只是依据当时能够得到的材料,与后来公布的结果可能有些出入。而事实上,后来公布的许多结果也往往因信息渠道的来源不同而互有差别,因此只能供读者参考。

四、遗憾与不足

本次作为专家组成员广泛考察了灾区各地的结构震损情况,积累了丰富的资料,并经初步分析归纳、总结而写成了本书。但这只是“走马观花”的结果,对绝大多数的震损结构,由于无法查找到有关的资料,也只能凭印象作一些定性的判断。对几所遭受震损但并未倒塌的学校教学楼,查阅过设计图纸并对比震害作了稍微详细一点的分析,但也缺乏施工资料及验收记录,以及使用、维护的情况。因此也只能算是“下马观花”的粗浅认识,而算不上是深入的研究。

在灾区工作期间,遇见了不少同行的熟人,他们也都是受单位委托进行资料收集整理,做着与我类似的工作。限于时间、条件和经费,我们都缺乏作更系统、深入的分析研究的机会,大多都只停留在这种简单、重复的工作上。

如能将这些到达现场的结构专家组织起来,就可以分专题进行更为深入的调查和研究。例如,对于教学楼倒塌原因的分析;砌体结构倒塌的机理;预应力预制圆孔板塌落的原因;强梁弱柱破坏的规律;箍筋在抗震中的作用……对这些重要的关键问题,如果能够有效地组织专家们分工协作,从查阅设计、施工、验收资料,到震损结构的检测、分析、鉴定,进行更为深入、系统的工作,则所得的成果将远超出目前零星、分散而大量重复性工作的