

汶川地震建筑震害分析与 受损建筑加固通用图集

王凤来 著

中国建筑工程出版社

汶川地震建筑震害分析与受损 建筑加固通用图集

王凤来 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

汶川地震建筑震害分析与受损建筑加固通用图集/王凤来著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2009

ISBN 978-7-112-10808-4

I. 汶… II. 王… III. ①建筑物-震害-分析-四川省②建筑物-加固-图集 IV. P316.271 TU746.3-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 033506 号

汶川地震后, 作者曾多次深入灾区考察和调研, 协助当地开展建筑鉴定与加固工作, 在工作中获取了宝贵的第一手资料。本书是作者在将资料进行分类整理的基础上, 运用大量图片对建筑震害进行了详细分析, 同时为达到使灾后建筑加固工作做到有力、有序、有效地进行, 便于保证工程质量、合理控制造价、缩短设计周期和利于技术监管的目的, 编制了灾后建筑加固通用图集, 并对加固方法与技术措施进行了详细介绍。本书内容丰富、技术实用、文字精练、图文并茂, 对汶川地震灾后建筑加固工作有很强的指导意义, 可供建筑抗震设计人员、施工人员、研究人员及建筑加固技术人员学习参考。

* * *

责任编辑: 范业庶

责任设计: 赵明霞

责任校对: 梁珊珊 关 健

汶川地震建筑震害分析与受损建筑加固通用图集

王凤来 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

北京千辰公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8 字数: 200 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 978-7-112-10808-4
(18048)

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

5.12 汶川地震对土木工程产生了巨大的破坏作用,大量的房屋倒塌、损坏,造成生命财产的巨大损失,伤亡数据的不断攀升。一瞬间似乎成为无法停止的噩梦,眼前的废墟和逝去的一个个鲜活生命,让国人无不为之悲痛……

冒着震后依然存在的巨大风险,各行各业的人们加入到抢险救灾的队伍中,“灾情就是命令,时间就是生命”,上至国家元首,下至平民百姓,都在用自身的实际行动降低灾害的损失,让无数的生命再次点燃生命的烛光,创造了“地震天不塌,大灾有大爱”的伟大民族精神。

作为土木人,在第一时间奔赴前线,参加救人救灾工作的同时,也深切感受到防灾减灾工作的紧迫性和艰巨性。“向无情的地震学习,建更安全的建筑”,也成为土木人在这样一本极其丰富、多样化案例库中必须完成的一项工作,血的代价换来的经验教训促使我们一定不能让同样情景在我国建筑史上重演,这需要所有的土木人一起坚持不懈的努力、奋斗。

基于此,我和我的同事翟长海博士、支旭东博士,会同哈尔滨市房产住宅局全晓霞处长、梅久斌高工、谭强工程师在震后有组织地及时赶到灾区,协助当地进行灾后房屋鉴定工作。随后,又前后四次专程前往不同受灾地区,包括江油市城区、德阳市城区、绵竹市、汉旺镇、东方汽轮机厂、什邡市洛水镇、什邡市广济镇、彭州市、丹景山镇、新兴镇、通济镇、小鱼洞镇、龙门山镇、白鹿镇、都江堰市城区、安县老县城、剑阁新老县城、北川县城等地进行了考察和调研,获得了宝贵的第一手资料。

在此期间,针对党和政府提出“要把修复重建城乡居民损毁住房摆在突出和优先的位置”的指导原则,为达到使灾后房屋加固工作做到有力、有序、有效地进行,便于保证工程质量、合理控制造价、缩短设计周期和利于技术监管的目的,在黑龙江省建设厅组织下,编制了《汶川地震震后受损房屋加固方法与图例》,并于2008年8月8日通过省内组织的专家鉴定,并在江油市有关部门的支持下,在选定的试点工程上进行了试用。

本书将我们收集的资料进行了整理分类,对建筑震害进行了分析,同时将图集集中的技术措施和方法一并进行了整理,借此希望能够对专业技术人员的成长和灾后重建工作有所帮助。限于作者的水平和视角,书中尚有不当之处,敬请谅解和批评指正。

在灾区考察期间,得到了江油市房管局、德阳市建设局、彭州市建设局、剑阁县建设局的大力协助和支持。在图集编制和书稿整理期间,得到黑龙江省住房和城乡建设厅史殿臣厅长、黑龙江省建工集团张厚董事长的大力支持和鼓励,我的导师唐岱新教授、潘景龙教授,哈尔滨市建筑设计院唐榕滨副院长、王桂起工程师、赵东滨工程师和我的学生们参与了大量工作,在此一并表示衷心的感谢!

最后衷心祝愿:好人一生平安!


2009年3月于哈尔滨

目 录

第 1 章 汶川地震建筑震害分析	1
1.1 汶川地震的特点	1
1.2 极重灾区和重灾区的建筑特点	3
1.3 震害分析的力学基础	6
1.4 典型震害与分析	7
1.4.1 砖混结构的常见震害与分析	7
1.4.2 砖混结构的其它震害与分析	14
1.4.3 底框砖混结构的震害与分析	31
1.4.4 钢筋混凝土框架结构的震害与分析	37
1.4.5 构筑物的震害与分析	43
1.5 抗震技术讨论与分析	45
1.5.1 什么样的结构形式建设多层房屋抗震性能更好	45
1.5.2 墙、柱的概念?窗下带的作用?刚性方案砖混结构中有没有柱	50
1.5.3 外纵墙已经被开成窗了?内纵墙还要不要	54
1.5.4 楼梯在抗震中起什么作用?如何考虑楼梯和填充墙的刚度对抗震的影响	60
第 2 章 地震灾后建筑加固通用图集	61
2.1 总说明	61
2.2 砌体结构加固	64
2.2.1 裂缝损伤分类及处理原则	64
2.2.2 压力灌浆法	67
2.2.3 钢筋混凝土销键法	68
2.2.4 高强钢丝绳网片抹压聚合物砂浆条带法	71
2.2.5 双面钢筋网抹压水泥砂浆面层加固法	72
2.2.6 单面钢筋网抹压水泥砂浆或聚合物砂浆面层加固法	74
2.2.7 套箍加固法	75

2.2.8 预应力套箍加固法	77
2.2.9 洞口过梁及墙体裂缝处理	78
2.2.10 洞口角部裂缝处理	81
2.3 底部框架结构加固	83
2.3.1 裂缝损伤分类及处理原则	83
2.3.2 压力灌胶裂缝修补法	84
2.3.3 钢板箍加固法	85
2.3.4 外粘钢加固法	86
2.3.5 增大截面加固法	90
2.4 结构抗倒塌能力补强	91
2.4.1 新增钢筋混凝土构造柱加固法	91
2.4.2 新增钢筋混凝土圈梁加固法	94
2.4.3 新增钢丝绳网片条带拉杆加固法	96
2.4.4 预制楼板整体性加固法	97
第 3 章 受损建筑鉴定与加固工程实例	99
3.1 【案例 3-1】:江油市新华书店综合住宅楼鉴定与加固	99
3.1.1 工程概况	99
3.1.2 震后结构现状与损伤情况	100
3.1.3 震前结构的验算与分析	104
3.1.4 鉴定结论与加固建议	105
3.1.5 加固方案选择与设计图纸	105
3.1.6 加固工程造价分析	113
3.2 【案例 3-2】:江油市检察院 2 号住宅综合楼	113
3.2.1 工程概况	113
3.2.2 震后结构现状与损伤情况	115
3.2.3 震前结构的验算与分析	120
3.2.4 鉴定结论与加固建议	120
3.2.5 加固方案选择与设计图纸	120
3.2.6 加固工程造价分析	120

第 1 章 汶川地震建筑震害分析

1.1 汶川地震的特点

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 在中国四川省西部龙门山构造带汶川附近发生了强烈地震, 其面波震级为 $M_s 8.0$, 地震震中位于北纬 31.021° 、东经 103.367° , 震源深度 10 多公里。本次地震发生在四川龙门山逆冲推覆构造带上, 该构造带是青藏高原内部巴颜喀喇地块和中国东部华南地块的边界构造带, 经历了长期的地质演化历史, 具有十分复杂的结构和构造。晚新生代的构造变形主要集中在灌县—江油断裂(前山断裂)、映秀—北川断裂(中央断裂)和汶川—茂县(后山断裂)及其相关褶皱之上, 这次 8 级强震发生在映秀—北川断裂之上, 是龙门山逆冲推覆体向东南方向推挤并伴随顺时针剪切共同作用的结果。

汶川 8 级地震的震源机制解表明, 地震破裂面南段以逆冲为主兼具右旋走滑分量, 北段以右旋走滑为主, 兼具逆冲分量, 该破裂面从震中汶川县开始破裂, 并且破裂以 3.1km/s 的平均速度向北偏东 49° 方向传播, 破裂长度约 300km , 破裂过程总持续时间近 120s , 地震的主要能量于前 80s 内释放, 最大错动量达 9m , 震源深度约 10 多公里, 矩震级 7.9, 面波震级 8.0。

汶川地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、灾害损失最大的一次地震灾害。中国地震局组织专家编绘的汶川 8.0 级地震烈度分布图如图 1-1 所示。

根据调查结果, 汶川 8.0 级地震 VI 度区以上面积合计 440442km^2 , 其中:

Ⅺ度区: 面积约 2419km^2 , 以四川省汶川县映秀镇和北川县城为两个中心呈长条状分布, 其中映秀Ⅺ度区沿汶川—都江堰—彭州方向分布, 长轴约 66km , 短轴约 20km , 北川Ⅺ度区沿安县—北川—平武方向分布, 长轴约 82km , 短轴约 15km 。

Ⅹ度区: 面积约 3144km^2 , 呈北东向狭长展布, 长轴约 224km , 短轴约 28km , 东北端达四川省青川县, 西南端达汶川县。

Ⅸ度区: 面积约为 7738km^2 , 呈北东向狭长展布, 长轴约 318km , 短轴约 45km 。东北端达到甘肃省陇南市武都区和陕西省宁强县的交界地带, 西南端达到四川省汶川县。

Ⅷ度区: 面积约 27786km^2 , 呈北东向不规则椭圆形状展布, 东南方向受地形影响不规则衰减, 长轴约 413km , 短轴约 115km , 西南端至四川省宝兴县与芦山县, 东北端达到陕西省略阳县和宁强县。

Ⅶ度区: 面积约 84449km^2 , 呈北东向不规则椭圆形状展布, 东南向受地形影响有不规则衰减, 西南端较东北端紧窄, 长轴约 566km , 短轴约 267km , 西南端至四川省天全县, 东北端达到甘肃省两当县和陕西省凤县, 最东部为陕西省南郑县, 最西为四川省小金县, 最北为甘肃省天水市麦积区, 最南端为四川省雅安市雨城区。

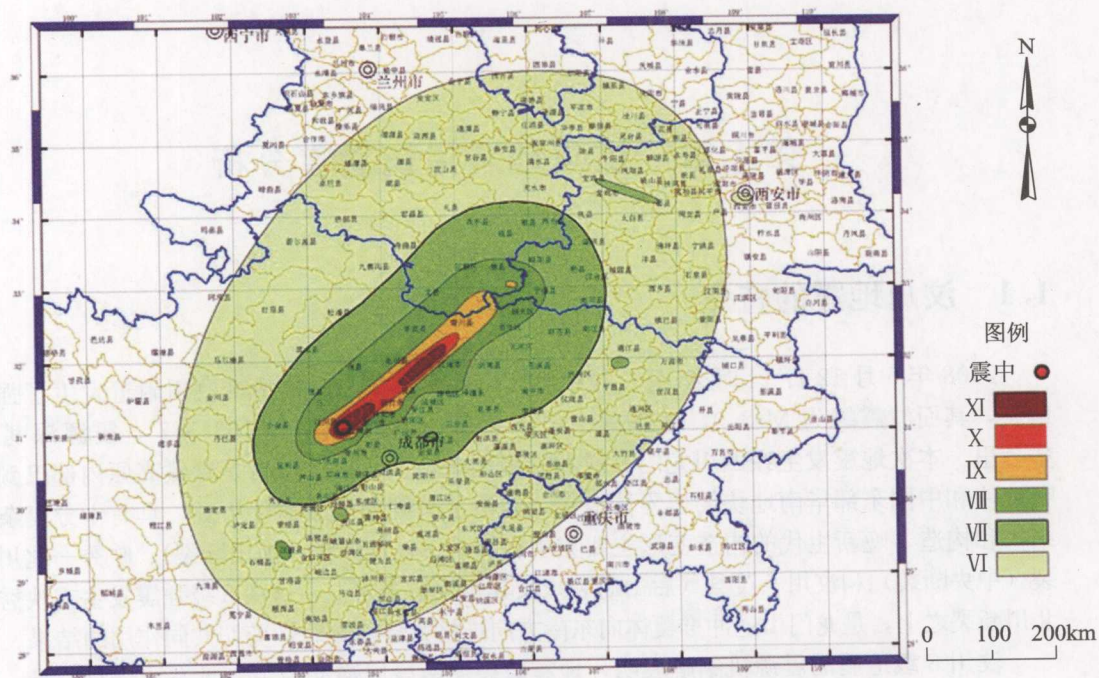


图 1-1 汶川·8.0 级地震烈度分布图

Ⅵ度区：面积约 314906km²，呈北东向不均匀椭圆形展布，长轴约 936km，短轴约 596km，西南端为四川省九龙县、冕宁县和喜得县，东北端为甘肃省镇原县与庆阳市，最东部为陕西省镇安县、最西边为四川省道孚县、最北部达到宁夏回族自治区固原县，最南为四川省雷波县。

本次地震烈度分布图有以下特点：

- (1) 本次地震的震中烈度达Ⅺ度，以汶川县映秀镇和北川县县城为两个中心。
- (2) Ⅸ度以上地区破坏极其严重，其分布区域紧靠发震断层，沿断层走向成长条形状；Ⅹ度和Ⅸ度边界受龙门山前山断裂错动的影响，在绵竹市和什邡市山区向盆地方向突出，都江堰市区也略有突出。
- (3) 在山前盆地边缘的过渡带，烈度向东衰减很快，而西侧则衰减相对较缓。
- (4) 烈度分布南北也不对称，Ⅷ度区和Ⅶ度区范围向四周扩大，且相同烈度的区域在北部比南部大，进入甘肃省和陕西省境内，显示出断层破裂向北东方向传播，最大余震发生在断层北部。

(5) Ⅵ度区在四川盆地和丘陵地区分布范围很广，一直延续到重庆市西部和云南省昭通市北端，在四川省西部面积相对要小。

(6) 此次地震有多个烈度异常区，其中汉源为位于Ⅵ度区的Ⅷ度异常区，其余均为高于所在区一度的异常区，包括：康县（Ⅸ度异常区）、中江（Ⅷ度异常区）、通江（Ⅶ度异常区）、洪雅（Ⅶ度异常区）、宝鸡—岐山—眉县（Ⅶ度异常区）、西安（Ⅵ度异常区）。

据中国地震台网中心测定，截止到 2008 年 12 月 2 日 12 时，汶川地区共发生 Ms4.0 级以上余震 281 次，其中 Ms4.0~4.9 级地震 240 次，Ms5.0~5.9 级地震 33 次，Ms6.0 级以上地震 8 次（不包括主震），最大余震震级为 Ms6.4，其分布如图 1-2 所示。

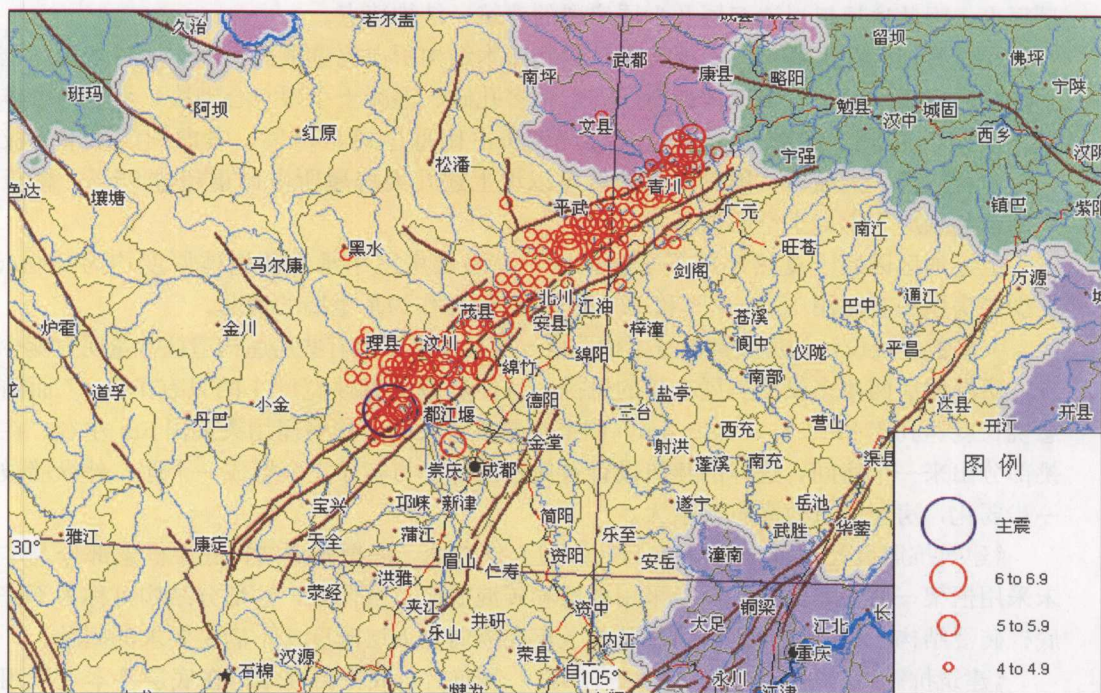


图 1-2 四川汶川 8.0 级地震 4.0 级以上余震分布图

根据国务院发布的《汶川地震灾后重建总体规划》中提供的数据，本次受灾的极重灾区和重灾区为四川省、甘肃省和陕西省的 51 个县（市、区）。总面积 132596km²，乡镇 1271 个，行政村 14565 个，2007 年末总人口 1986.7 万人，地区生产总值 2418 亿元，城镇居民人均可支配收入和农村居民人均纯收入分别为 13050 元、3533 元。

规划区内的灾害损失情况如下：

51 个县（市、区）直接经济损失 8437.7 亿元；

工业企业直接经济损失 961.8 亿元；

农业直接经济损失 404.2 亿元；

损毁公路 34125km；

受损水库 1263 座；

受损输变电设施：输电线路 61524km；35kV 以上变电站 250 座；

受损学校 7444 所；

受损医疗卫生机构 11028 个；

受损农村居民住房：倒塌 10709.6 万 m²，严重受损 9432.2 万 m²；

受损城镇居民住房：倒塌或损毁 1887.9 万 m²，严重破坏 5836.2 万 m²。

1.2 极重灾区和重灾区的建筑特点

本次地震中的极重灾区和重灾区均为小城镇，其多层房屋占据绝大多数，小高层房屋

量很少,因此这里仅讨论多层及少层房屋的建筑、结构特点。

在这些地区砖混结构、底框砖混结构和砖木结构所占比重很大,墙体材料多为黏土实心砖,也有采用新型承重墙体材料(如承重多孔砖、混凝土小型空心砌块)承重的砌体房屋。根据江油市统计数据显示,这几类房屋所占比重达到 95.6%,考虑到江油市为极重灾区中相对较大的城市,因此全部地区可以说上述几类房屋所占比重超过 95%,楼板多采用预制预应力混凝土空心楼板。

上述地区因属于夏热冬冷不采暖地区,在多层房屋中承重砖墙体厚度均为 240mm,在少层房屋中有采用 180mm 厚和 120mm 厚砖墙体作为承重墙的情况。

大多数经过设计的房屋都设置了构造柱—圈梁体系,但有些房屋构造柱数量明显偏少。

房屋前后两侧多设沿房屋全长的悬挑,致使房屋的有效宽度小的只有 7.5m,而前后悬挑长度达到 1.8m、2.1m、2.4m,调查中悬挑最大的一栋房屋用梁挑出 3m 左右,在悬挑部分出来一个房间,这样的建筑设置致使悬挑部分与客厅完全形成一个厅,外纵墙被进一步弱化,房屋的有效高宽比增大。

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)颁布前,底框砖混结构底层框架部分基本上未采用框架—剪力墙体系,而是采用框架和砖混混合承重体系,这部分结构可称为不完全底框砖混结构。这部分底框的房屋基本上存在纵向上下层刚度比不满足要求的问题。

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)颁布后,底框砖混结构在底层基本上采用了框架—剪力墙体系,上下层的横向刚度比也能满足要求,但纵向刚度比受小开间独立门市房的使用功能限制,还是出现不满足刚度比要求的情况。具体特点是:底层临街面以钢筋混凝土柱为界分割成不同的小门市房,柱距为 3~4.2m(见图 1-3),内纵墙基本未设,房间内未设卫生间,横向墙体大多满砌,所用墙体材料有空心砖、砌块或实心砖,也有几个开间设一道刚性砖墙的情况,后侧外纵墙设窗,砖墙和构造柱组合受力,采用实心砖加墙垛中部设一钢筋混凝土构造柱来共同受力。



图 1-3 底层商铺房屋的临街立面

城市中的一部分少层民居和乡村的民居均为自建房屋，没有经过图纸设计、施工图审查、正规的施工过程和相应技术指导，房屋通常均未设构造柱。

两层民居临街侧二层墙体设置在悬挑梁上，临街侧未设置完整内纵墙，后侧未设置悬挑，房屋整体表现为头重脚轻，且有前倾趋势，现场破坏基本属前倾类型。

学校教学楼多采用单廊组合平面，层数为3~4层，砖混结构，楼板为预制预应力混凝土空心楼板，门、窗洞口开设相对较为均匀，一般一个教室在走廊侧，前后设门连窗，中间设一扇窗，对侧外纵墙设三个相同窗口，见图1-4。



图 1-4 震区学校建筑的典型设计

城市中围墙多为砖砌体围墙和砌块砌体围墙。墙体厚度：对砖砌体采用120mm厚墙体加局部墙垛，对砌块砌体采用140mm厚墙体加局部墙垛。围墙普遍高于2m，甚至达到3m，见图1-5。



图 1-5 震区围墙的常用做法

1.3 震害分析的力学基础

地震的过程是一个复杂的过程,在既有水平分量、又存在竖向分量及扭转分量的情况下,去分析结构和构件的真实内力状态是更为复杂、甚至是无法得到满意解的技术难题,关于地震力的简化计算和分析过程这里不再作详细解释。对结构构件,在简化的情况下,按照经典力学的基本理论,结构和构件的受力还是可以归结到拉、压、弯、剪、扭这几种基本受力形态上来,而在局部结构单元体上引起的内力又可以分为剪应力和正应力,并最终将其简化为主应力形式。图 1-6 (a)、(b) 为单向拉压应力状态,竖向荷载下通常产生单向压应力状态,在地震作用下结构通常由整体倾覆弯矩分别形成拉应力区和压应力区。由地震作用产生的整体倾覆弯矩引起的竖向应力和,称为附加轴力,附加轴力经与静载应力组合可出现压力增大、压力减小或出现拉应力的各种情况,当拉应力大于材料的抗拉强度时会出现水平裂缝,因此,一般整体倾覆弯矩引起的水平裂缝会在可能的受拉区首先出现,并向受压区发展。图 1-6 (c)、(d) 为平面结构的二向应力状态,其中正应力为静载和地震附加轴力引起的综合应力,剪应力由水平力引起,在此二向应力作用下,可简化为主应力状态,主应力大小由式 (1-1)、式 (1-2) 计算,当主拉应力超过材料抗拉强度时,会出现裂缝,但裂缝保持的一定角度可通过式 (1-3) 计算。

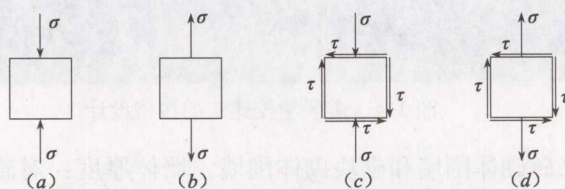


图 1-6 单向应力状态和二向应力状态

根据材料力学原理,在正应力 σ 和剪应力 τ 共同作用下的二向应力状态,在该点所产生的主应力,可按下列式计算

$$\text{主拉应力} \quad \sigma_{\text{tp}} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad (1-1)$$

$$\text{主压应力} \quad \sigma_{\text{cp}} = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad (1-2)$$

主应力的作用方向与构件纵向轴线的夹角 α 可由下式求得:

$$\tan 2\alpha = -\frac{2\tau}{\sigma} \quad (1-3)$$

地震作用与竖向荷载进行组合,在构件中大多数出现的是二向应力状态,甚至是三向应力状态,其作用机理复杂,也使得灵活掌握应用力学基本知识进行震害的分析和总结,并为抗震设防的设计理论提供补充就成为十分重要的问题。

1.4 典型震害与分析

根据力学分析方法,将地震作用下可能出现的震害进行如下归纳和分析,并为技术讨论和理论总结提供基础,同时为受损结构的加固处理提供相应鉴定依据。

1.4.1 砖混结构的常见震害与分析

(1) 砖混结构墙体的剪切型破坏裂缝

刚性方案的砖混结构房屋中大多数刚度较大墙体出现这种类型的损坏。第一种类型是主拉应力引起的剪切破坏裂缝,是墙体在地震产生的剪力作用下,墙体内的主拉应力超过材料的抗拉强度,引起墙体损坏,其裂缝形态是在墙体的中部,即剪应力最大区域首先产生裂缝,向两端沿约 45° 方向发展,裂缝表现为中间宽、两头尖,存在向两端发展的趋势,裂缝初期一般不会发展到墙体边缘。这类裂缝一般是先在墙体上出现斜向或交叉斜裂缝,进而出现滑移、错位、破碎、散落,直至丧失承受竖向承载力而倒塌,破坏首先出现在窗下带,当窗间垛出现时破坏就较为严重,破坏分四个阶段:开裂—滑移—碎落—压溃。图 1-7、图 1-8 所示为单向斜裂缝,图 1-9~图 1-13 所示为往复地震作用下出现的交叉斜裂缝。



图 1-7 墙体上由剪力引起的主拉应力斜裂缝破坏形态

图 1-7 说明:该裂缝系地震力由右向左作用产生的,裂缝具有一定宽度,但观察裂缝两端,其发展未到达墙体边缘,即裂缝未发生滑移,处于开裂阶段,竖向承载力尚有一定保障。

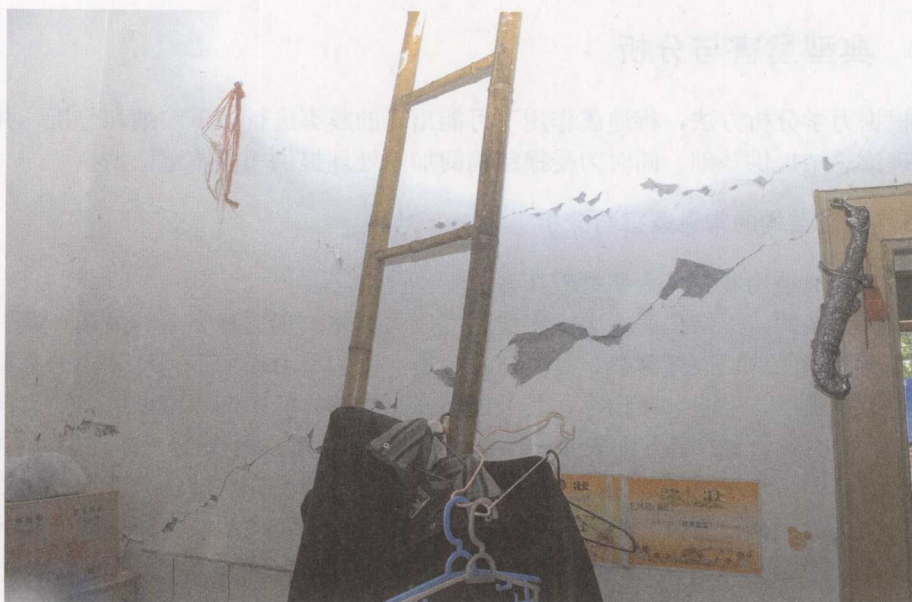


图 1-8 单向斜裂缝为主的墙体损坏

图 1-8 说明：该墙体损坏以斜裂缝为主，伴有门洞口上沿的墙体水平裂缝，其裂缝基本上发展到墙体两端，但认真观察尚未见错动，属开裂阶段，竖向承载力尚有一定保障，但在此类墙体所占比例很大时，房屋的侧向稳定性将受到影响，余震后损伤可能加剧明显。



图 1-9 承重墙体出现交叉斜裂缝

图 1-9 说明：该裂缝系在往复地震作用下产生的标准的交叉斜裂缝，其刚刚发展到翼墙边，未发生滑动，属开裂阶段，但其两个方向均为清晰的单一裂缝，又与试验室结果明显不同，表明墙体在快速荷载作用下的脆性更加明显。



图 1-10 承重墙体出现交叉斜裂缝

图 1-10 说明：该墙体高度大于墙长，其出现的交叉斜裂缝与长方形双向板的板底塑性铰线形状极为相似。



图 1-11 承重墙体出现交叉斜裂缝

图 1-11 说明：该裂缝发展到边缘，将墙体分割成几个几何体，两侧边三角形发生滑移错动，处于滑移阶段，若两侧没有约束构件，则竖向承载力受到很大影响。



图 1-12 厂房山墙的超大交叉斜裂缝

图 1-12 说明：该厂房为砖混结构厂房，设置砖抗风柱，在山墙侧出现巨型交叉斜裂缝，交叉区域出现碎裂、崩落现象，属碎落阶段；该厂房除山墙出现交叉斜裂缝外，纵向高侧窗还造成局部短砌体柱水平剪切破坏，并与交叉裂缝相连通。



图 1-13 承重墙出现交叉斜裂缝

图 1-13 说明：一栋 6 层楼的底层承重纵墙出现严重交叉斜裂缝，墙体已经出现压溃情况，并作为很多独立几何体散落，丧失承载能力，房屋岌岌可危，其虽未倒塌但已经不可用设计理论进行合理解释，为压溃阶段。

第二种类型是墙体的水平剪切破坏裂缝，其特征是在水平力作用下沿砖砌体的灰缝先出现水平裂缝，然后滑移或错动，其破坏位置通常在楼屋盖的梁板附近，也有发生在砌体楼层中间位置的，如图 1-14 所示，其裂缝出现是始自墙体中部，但通常特征是贯通墙长。



图 1-14 承重墙体上的水平剪切裂缝形态

第三种类型是弯剪破坏裂缝，对构件而言，在局部弯矩和水平剪力作用下，产生弯剪破坏水平裂缝，一般发生在刚性方案房屋小墙肢墙体的上下两端，并往往伴有受压区的崩裂，一般发生在细高的窗间墙和门间墙上，如图 1-15 所示。



图 1-15 小墙肢弯剪斜裂缝破坏形态

图 1-15 说明：本例在顶层发生这类裂缝，很可能的原因是出现了“鞭梢效应”致顶层弯矩增大。

（2）砖混结构的弯剪倾覆破坏裂缝

对房屋的整个结构而言，主要是在整体弯矩和水平剪力作用下，整体连接遭到破坏后在倾覆力矩作用下发生外倾裂缝，可以表现为竖缝，一般发生在纵横墙连接部位，裂缝上宽下窄，进而引起墙体外倾，最终失稳而导致倒塌；也可表现为板缝和墙体斜裂缝相连裂缝，板缝一般发生在平行外纵墙较近的区域，裂缝呈外宽向内逐渐变窄的趋势。破坏分三个阶段：拉裂—外倾—倾倒，如图 1-16～图 1-19 所示。



图 1-16 外纵墙向外倾覆产生破坏裂缝

图 1-16 说明：本例采用横墙承重，楼板采用预制楼板，地震中外墙明显外闪，楼板裂缝与墙体裂缝相连。



图 1-17 房屋部分发生弯剪倾覆破坏裂缝