

本书为中共中央宣传部暨国家社会科学基金重大项目成果之一

地震灾后绿色重建手册

仇保兴 主编

灾后建筑修复加固与重建技术

地震

中国建筑工业出版社

本书为中共中央宣传部 2015 年度马克思主义理论研究和建设工程
重大项目暨国家社会科学基金重大项目成果之一
课题批准号：2015MZD037

地震灾后绿色重建手册

地震灾后建筑修复加固与 重建技术

仇保兴 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震灾后建筑修复加固与重建技术/仇保兴主编.

北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 12

(地震灾后绿色重建手册)

ISBN 978-7-112-20072-6

I. ①地… II. ①仇… III. ①地震灾害-灾区-重建-研究 IV. ①D632.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 269755 号

本书为《地震灾后绿色重建手册》之一。本书主要包括震损建筑恢复重建决策和基本技术措施, 震损建筑鉴定、修复和加固技术, 村镇民居震后恢复重建技术, 地基基础鉴定、加固和抗震技术, 建筑抗震新技术应用指导, 震后建筑垃圾综合利用技术, 滑坡崩塌地质灾害易发区城镇工程建设安全管理, 日本建筑抗震改造技术等内容。

本书主要面向从事地震灾后房屋建筑和市政工程修复、加固与重建中, 参与决策、设计、施工、管理的工程技术人员以及村镇干部和居民等。

责任编辑: 于莉 田启铭

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 关健

地震灾后绿色重建手册
地震灾后建筑修复加固与重建技术
仇保兴 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18½ 字数: 446 千字

2017 年 1 月第一版 2017 年 1 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-20072-6

(29534)

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)

《地震灾后建筑修复加固与重建技术》 编委会

主 编：仇保兴

编委会成员：（以姓氏笔画为序）

王 俊	王素卿	王清勤	方鸿琪	朱长喜
李朝旭	陈 新	陈宜明	武 涌	林海燕
周锡元	赵 晖	赵基达	袁振隆	徐培福
黄世敏	滕延京	戴国莹		

编写单位：中国建筑科学研究院

编写组人员名单：

工程抗震研究所：杨 沈 葛学礼 薛彦涛 唐曹明
常兆中 朱立新 毋剑平 赵国扬

建筑结构研究所：王翠坤

地基基础研究所：高文生 朱玉明

建筑材料研究所：赵霄龙 冷发光

参编人员：

哈尔滨工业大学：李 惠

建设综合勘察研究设计院：周载阳 周 红

中国科学院成都山地灾害与环境研究所：王成华 孔纪名

北京建筑大学：陈家琬

浙江大学城市学院绿色建筑研究所：龚 敏 应小宇 胡晓军

浙江杭萧钢构股份有限公司：杨强跃 徐 俊 叶再利

上海市环境工程设计科学研究院：张 益 王 雷

修订组成员：宗 亮 史铁花

《地震灾后绿色重建手册》丛书序

城镇是“人工与自然复合的复杂结构”，这种复杂结构是人类最富想象力、最雄伟的创造，同时也是人类自我创造的最危险的家园。人类社会发展已经步入“城市时代”，全球有超过一半人口已经居住在城镇。人类的居住方式从分散化转向集中的同时，也伴生着环境、安全、能源、社会、水资源等方面的危机。我国贯彻保护耕地、节约资源的原则，选择了以紧凑型城镇为主的城镇化模式，所有城镇每平方公里建成区的人口控制在一万人左右，紧凑型城镇有利于节约宝贵的耕地和节能减排，但也更容易放大各类灾害的效应。我国大陆处于地震烈度 6~9 度的地震区占国土面积的 60% 以上，2/3 的人口达到百万以上的城市处在地震烈度 7 度以上的高危险区。这就要求我国的城镇化策略更要注重城镇生态和安全的建设，对地震灾后的城镇推行绿色重建。

地震灾后绿色重建就是要总结国内外地震灾后重建的历史经验教训，以创新的精神和科学的思路来进行“创造性”的重建。这意味着要在充分认识灾区生态地理条件、地质地貌现状和原有经济社会发展特征等方面的前提下，从长远发展的角度来谋划城乡重建规划。这不仅仅意味着高效率地恢复城镇功能，更重要的是在原有的基础上赋予城镇新的发展理念和增添新地区价值。地震灾后绿色重建的目标，就是重建的城镇应该成为生态城镇，更加安全、舒适、有活力、更具有可持续性。

地震灾后绿色重建不仅需要怜悯、关切、激情，更重要的是需要冷静、科学的态度和理性的思考：要以更加开放的胸怀，更具创新性的理念，更广泛地调动各种各样的积极因素来帮助重建；要更加尊重生态自然环境，尊重普通民众的根本利益，尊重本地的传统文化和社会资本；要更加明确重建的目标、项目、步骤，不仅要为灾后的幸存者建造更安全、舒适的生态城，同时也要着眼于他们的子孙后代的生活更美好；重建后的城镇不仅仅具有生态城市的典范影响，而且具有可复制、可改进、可推广的深远意义。

弹性地建设城市系统、让城市能更好地适应各种环境变化，这一理念近年来成为学界研究的热门领域。对于地震灾后重建而言，借鉴弹性理念的绿色重建模式，是更加尊重自然、顺应自然的建设模式，也是适应力和恢复力更强并拥有学习和发展能力的韧性系统。“危机”意味着危难但同时也是机遇，遵循弹性设计与建设原则的修复和重建，可使受灾城市有更好的韧性来抵御后续次生灾害的冲击，并能够改变原先的演进轨道，跳跃性地获得抗灾害能力、系统的自主适应性和发展的可持续性，在修复重建的同时增强其对未来灾害的抵御能力。

在 2008 年汶川地震修复重建期间，我们组织相关专家编纂了《地震后重建家园指导手册》，为当时的灾后重建工作提供了强有力的技术支撑。2009 年，经过对内容的修订与扩充，我们又编写了《地震后重建技术丛书》。自 2014 年始，我们组织了中国城市科学研究会、中国建筑设计研究院、四川大学灾后重建与管理学院、中国城市规划设计研究院等单位相关专家，重新修订了《地震灾后生命线工程修复加固与重建技术》、《地震灾后建筑

修复加固与重建技术》、《地震灾后乡镇典型调查分析》等册，增补了《地震灾后重建案例分析》中的内容，增加了《地震灾后过渡安置与管理》、《地震灾后恢复重建模式》等册，并为了突出“绿色重建”理念，将丛书名改为“地震灾后绿色重建手册”，是中共中央宣传部 2015 年度马克思主义理论研究和建设工程重大项目暨国家社会科学基金重大项目“生态文明背景下的绿色城镇化研究”（课题批准号：2015MZD037）成果之一。近几年间，又有玉树、芦山等部分地区遭受了不同程度的地震灾害。在这些地区救灾和恢复重建的过程中，也积累了一些宝贵的经验教训，这些也成为本丛书修订增补的重要内容。

愿本丛书能成为今后指导地震灾后重建的重要技术参考，谨以此书献给为历次地震灾区救援与重建贡献力量的人们。

国务院参事、中国城市科学研究会理事长、
原国务院汶川、玉树地震灾后重建协调组副组长

仇保兴

2016 年 12 月 5 日

目 录

第 1 章 震损建筑恢复重建决策和基本技术措施	1
1.1 地震灾后建筑修复、加固和重建经验教训	1
1.2 震后修复加固水准考虑	3
1.3 设防标准决策选择	4
1.4 建筑修复加固的基本技术措施	4
1.5 农房重建的基本技术措施	5
第 2 章 震损建筑鉴定、修复和加固技术	8
2.1 修复加固方法及其工艺	8
2.2 多层砌体房屋	50
2.3 底层框架、内框架房屋	73
2.4 多高层钢筋混凝土房屋	79
2.5 单层工业厂房	85
2.6 抗震加固施工机具	103
第 3 章 村镇民居震后恢复重建技术	108
3.1 概述	108
3.2 村镇民居修复与加固	109
3.3 村镇民居重建	114
3.4 震后援建钢结构农村住房设计说明	138
第 4 章 地基基础鉴定、加固和抗震技术	155
4.1 地基基础的基本概念	155
4.2 震损建筑地基基础鉴定	161
4.3 地基基础的加固方法	162
4.4 村镇重建地基基础设计与施工	173
第 5 章 建筑抗震新技术应用指导	192
5.1 叠层橡胶支座基础隔震技术	192
5.2 金属屈服和摩擦消能减震技术	199
第 6 章 震后建筑垃圾综合利用技术	205
6.1 发达国家和地区灾后建筑垃圾利用	205
6.2 震后建筑垃圾综合利用原则	206
6.3 震后建筑垃圾资源化利用技术	207

6.4	建筑垃圾利用工程实例	214
第7章	滑坡崩塌地质灾害易发区城镇工程建设安全管理	217
7.1	概论	217
7.2	城镇规划与土地利用的岩土工程控制	219
7.3	已有斜坡的调查评估与安全管理	220
7.4	新建斜坡工程的管理	222
7.5	斜坡的安全维护	228
7.6	斜坡的应急抢险	231
第8章	日本建筑抗震改造技术	233
8.1	日本建筑物抗震诊断与改造	233
8.2	日本住房和建筑物抗震改造现状与促进法的修订概况	236
8.3	日本建筑抗震修复加固 SRF 技术	238
8.4	日本学校建筑设施抗震性能评估与加固（重建）计划指南	242
附录A	墙体截面抗震受剪极限承载力验算方法	257
附录B	砖木结构房屋抗震横墙间距 L 和房屋宽度 B 限值	260
附录C	木结构房屋抗震横墙间距 L 和房屋宽度 B 限值	265
附录D	生土结构房屋抗震横墙间距 L 和房屋宽度 B 限值	272
附录E	石结构房屋抗震横墙间距 L 和房屋宽度 B 限值	275
附录F	砂浆配合比参考表	280
附录G	“斜坡安全使用及维护须知”的主要内容	282
附录H	斜坡检查记录表	283
附录I	斜坡维修工程的内容与方法	285
参考文献		286

第 1 章 震损建筑恢复重建决策和基本技术措施

1.1 地震灾后建筑修复、加固和重建经验教训

地震灾难发生后,抗震救灾工作要求我们尽可能快地重建家园,刚刚经历过的沉痛的事实要求在重建中必须考虑抗震要求,使血的教训今后不再重演。对于灾后建筑修复、加固和重建来说,不仅要了解建筑技术本身的问题,而且还应考虑有关地震破坏和地震危险方面的资料。本节是总结国内外强震后重建经验,为灾后建筑修复、加固和重建提供基本措施。

1. 邢台地震 (1966 年)

1966 年 3 月 8 日和 22 日,河北省邢台地区相继发生了 6.8 级和 7.2 级强烈地震,震中烈度分别为 9 度和 10 度,80 个县、市受灾,其中隆尧、宁晋、巨鹿三县灾情最重。地震造成 8064 人死亡,38451 人受伤,损坏房屋 508 万间(其中 262 万间倒塌或严重破坏),破坏桥梁 101 座。3 月 8 日地震后的 35d 内,共发生火灾 383 起,烧死 36 人,烧伤 52 人。

震后调查表明,房屋倒塌主要是由于材料、设计、施工和房屋本身质量差(1963 年大水浸泡)等原因所造成。这些均可通过设计、施工解决,因而震后均在原地重建,没有变更土地利用。在重建规划里注意了场地选择,街道和胡同宽度,以及防洪、防碱等问题,采用砖墙或砖柱承重房屋代替土坯房和外砖内坯房,房屋高度减少到 2.4m 左右。每个村庄都作了统一规划。

1966 年邢台地震后统一重建,在 1981 年 5.8 级地震中损坏轻微。如图 1-1 所示。



图 1-1 某四层砌体结构抗震加固后,在地震中房屋完好

2. 海城地震 (1975 年)

1975 年 2 月 4 日, 7.3 级地震使辽宁省海城和营口两县的一些村镇遭到严重破坏, 鞍山市受到波及。这次地震震前虽有预报, 但人造工程破坏仍很严重。城镇房屋破坏 500 万 m^2 , 城镇公共设施破坏 165 万 m^2 , 农村房屋损坏 1740 万 m^2 , 城乡交通、水利设施破坏 2937 个, 经济损失达 8.1 亿元。

海城地震时值冬季, 防震棚内缺乏防寒、防火设施, 由于冻灾、火灾造成的伤亡占地震造成伤亡的 45%。震后烧死、冻死、捂死者计 713 人, 为震时死亡人数的 54%。由海城地震时及地震后人员伤亡情况可见, 震后重建过渡阶段简易住房的防灾十分重要。

3. 唐山地震 (1976 年)

1976 年 7 月 28 日, 7.8 级强震袭击了河北省唐山市区, 天津市和北京市亦受波及。地震造成 24.2 万余人丧生, 16.4 万余人重伤, 经济损失近 100 亿元。唐山市区损失极为严重, 死亡 14.8 万人, 重伤 8.1 万人; 一般民用建筑的 94%、工业建筑的 90% 遭到破坏; 市政公用设施破坏严重, 全市供水、供电、通信和交通全部中断。

地震前, 唐山市分为东矿区和老市区两大片区, 老市区又分为路南、路北两个行政区, 其间以铁路为界。震后规划面积为 73.22 km^2 , 人口 76 万人。全市分为老市区、东矿区和新区三大片区, 各片区相距 25 km 。原路南区位于活动断裂带上, 地震动十分强烈, 且地下压煤, 故决定将区内主要工厂、企业和居民迁至新区。原路南区则以发展风景区为主, 并安排一些仓库、堆场和无污染的小型工业。老市区在原路北区旧址恢复重建, 东矿区仍在开滦各矿原址重建。新区则在丰润县城关东侧建设。新区建成后, 迁移工厂、企业和居民十分困难。

唐山地震后的十年内, 唐山市的所有建筑都严格按唐山大地震后修订的《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11—1978 设计, 直至《建筑抗震设计规范》GBJ 11—1989 开始实施。其中, 唐山市地震基本烈度取为 8 度。在编制居住区规划时, 在 I、II 类场地土上一般建 4~6 层住宅; 在 III 类场地土上建 1~3 层住宅, 如有可能, 则尽量避开这类场地。居住区建筑密度为 21%~27%, 人口净密度为 800~1000 人/ hm^2 。建筑结构则主要采用“内浇外挂”(内部纵、横墙为现浇钢筋混凝土, 外墙为钢筋混凝土预制墙板)、“内浇外砌”(内部纵、横墙为现浇钢筋混凝土, 外墙为砖砌筑)、砖混结构加钢筋混凝土构造柱以及框架轻板四种抗震结构体系。

4. 溧阳地震 (1979 年)

1979 年 7 月 9 日, 江苏省溧阳县发生了 6.0 级地震。地震造成 41 人死亡, 654 人重伤, 2305 人轻伤。溧阳县倒塌房屋 6.66 万间, 严重破坏的近 5 万间, 全县损失 19450 万元, 比全县工农业年总值一半还多。

这次地震震级相对较小, 基本上在原地修复重建, 而未作大的土地利用变更。地震后, 作了统一规划, 以极震区内的上沛乡万家边村和新昌乡姜笪村为规划试点。经反复研究决定万家边村迁址, 姜笪村房屋改向。为帮助农民做好重建工作, 印发了“农村房屋抗震措施”, 提供了数套图纸, 并选定了 6 户住房为抗震试点工程, 取得经验后, 在全县推广。

1974 年 4 月 22 日, 在这次地震影响区内曾经发生过 5.5 级地震, 两次地震的宏观震中仅相差 3 km 。但是, 由于思想麻痹和资金、材料短缺, 在重建中, 绝大多数房屋仅做表面修补, 没有考虑抗震要求, 致使那次地震后修复和重建的房屋缺乏抗震能力。这次地震损失严重, 重蹈以前覆辙, 教训极为深刻。

5. 圣菲尔南多地震（1971 年）

1971 年 2 月 9 日，6.4 级强震袭击了美国加州洛杉矶县的圣菲尔南多（San Ferando）盆地，造成 64 人死亡，5 亿美元（当年货币值）财产付之东流，18 座学校、4 所医院、465 栋独户住宅、62 座公寓建筑、372 栋商业用房遭到破坏而不能使用，公路、桥梁和公用设施系统遭到严重破坏。圣菲尔南多坝濒临倒塌，迫使下游 8 万人紧急疏散，离开自己的家园。震后花了 5 亿多美元，经历 2 年的努力才医治了地震的创伤。

在震后重建中，只有退伍军人管理局医院迁走，原地则作为公园，其他地方的土地利用未作任何改变。受到破坏的独户住宅区虽横跨圣菲尔南多断层，但仍在原地修复后重新住人。严重破坏区内的公共设施和住宅也是原地修复使用，虽然这些地方易受洪水和地震危害，但并未考虑迁移。提高城市地震安全则主要靠改善建筑结构设计及施工来解决。地震后，加州政府颁布了新的医院和公路桥梁设计标准，就是这方面的重要措施。有些位于市区的倒塌和严重破坏的砖结构建筑，则拆除后按新规范设计，并在原地重建。

圣菲尔南多盆地少年宫和 Olive View 医院遭到严重破坏和倒塌，这些建筑和退伍军人管理局医院均位于山脚部位，该处地震动特别强烈，少年宫位于土壤液化区。起初曾考虑将少年宫和 Olive View 医院也迁移他处，但经过研究否定了这个方案，因为只要细心设计好基础和上部建筑，仍可在原地重建。

1.2 震后修复加固水准考虑

地震发生后，建筑物因其抗震能力的差异而遭到不同程度的破坏。从尽快恢复人民正常生活、生产或经济的角度来看，在遭到破坏、损坏的建筑中有相当一部分可通过修复加固而继续使用。哪些建筑可修复，哪些建筑可修复加固，哪些建筑不需修复加固就可使用，是震后急需解决的问题之一。由于修复加固可能性的原则受到政治、经济及技术等因素的约束，故对不同类型的建筑，应区别加以考虑。

建筑震后修复加固除了对原有建筑损坏部件的全部修复外，还包含使结构经加固后达到期望的抗震能力的目的。众所周知，某一地区建筑的地震影响可能有如下三种情况：（1）重建设防烈度低于遭遇烈度；（2）重建设防烈度等于遭遇烈度；（3）重建设防烈度高于遭遇烈度。对于这三种情况，如果统一采用遭遇地震烈度进行震后加固，显然是不合理的。因此，建筑修复加固设防烈度要严格按照国家批准发布的《地震动峰值加速度区划图》来确定。具体修复加固原则见表 1-1。

震后建筑修复加固的方案 表 1-1

重建设防烈度	建筑地震破坏等级				
	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
低于遭遇烈度	A	B	C	D 或 E	F
等于遭遇烈度	A	C	D	E	F
高于遭遇烈度	X	D	D 或 E	E	F

注：A—不需重新鉴定，不需修复就可以使用；B—不需重新鉴定，需要修复；C—以修复为主，抗震鉴定后局部加固为辅；D—应鉴定修复、加固；E—无修复价值的应拆除；F—拆除；X—按震前鉴定，并进行处理。

1.3 设防标准决策选择

确定震后建筑的修复加固水准后，设防标准的选择是震后建筑鉴定、修复加固首先需要解决的问题。

具体设防标准决策选择如下：

(1) 按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 设计的建筑，建造于 2002 年以后的建筑，其抗震鉴定应按现行《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 的相关要求进行。

(2) 按《建筑抗震设计规范》GBJ 11—1989 设计的建筑，建造时间在 20 世纪 90 年代至 2001 年的，其抗震鉴定应按《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 中 B 类建筑的相关要求进行。

(3) 除上述以外的建筑，其抗震鉴定应按现行《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 中 A 类建筑的相关要求进行。这是设防标准目标的最低要求，条件许可时，可按《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 中 B 类建筑的要求进行综合抗震能力的鉴定和加固，以适当提高建筑的抗震设防目标。

此外，行业有特殊要求的建筑，应按行业的专门规定进行鉴定加固。

1.4 建筑修复加固的基本技术措施

建筑修复加固应符合以下基本技术措施：

(1) 震损建筑的修复加固设计，应进行截面抗震验算。验算按《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116—2009 的要求执行。此外，尚应符合有关的抗震构造要求。

鉴于修复加固烈度为 6 度时的大多数建筑，其地震作用在修复加固设计时基本上不起控制作用，故可不作截面抗震验算。但Ⅳ类场地上较高的高层建筑，由于 6 度的地震作用值可能大于同一建筑在 7 度Ⅱ类场地时的作用值，故仍需进行截面验算。

(2) 宏观震害现象表明，同一建筑位于Ⅰ类场地上其震害程度相应比位于其他场地时轻得多，从经济的角度看，可采用降低构造要求以节约部分资金。

修复加固设防烈度为 6 度、7 度时，因尚有可能发生更高烈度影响的情况，故对轻微破坏的规则建筑可适当降低构造要求。

(3) 某些建筑其震损产生的主要原因是结构体系受力不合理，在修复加固设计时如继续采用这种体系则较难达到修复加固烈度水准的要求，此时应采用改变结构体系的修复加固方案，以使其受力明确，增强其抗震能力。

1975 年辽宁海城地震时，海城县招待所因纵墙承重遭到较重的破坏，震后修复加固时，针对纵墙承重不利的弱点，增设抗震横墙，改变其承重方式为纵横墙承重，以提高其抗震能力。

(4) 震前使用功能不合理的震损建筑，宜在可能条件下结合修复加固，适当改善其建筑使用功能。

(5) 震损建筑经修复加固后，质量和刚度宜均匀对称，不应存在因局部加强或突变而

形成新的明显薄弱层或薄弱部位。

建筑遭遇破坏性地震影响后,其抗震薄弱环节暴露出来,为此有些修复加固仅针对已遭破损部位进行,其结果有可能使整个建筑的质量和刚度不均匀或不对称,甚至形成新的明显薄弱层或薄弱部位。如1976年唐山大地震时,8度区天津市区的第二毛纺厂一栋三层钢筋混凝土框架房屋遭受7.8级地震后对震损柱进行了局部加固(主要是二层),结果形成了新的薄弱部位,以至于在宁河6.9级地震时倒塌。这表明,在进行修复加固时,应从整个结构抗震能力出发,进行方案选择,而不应单纯对结构的某个部位或构件进行修复加固。

(6) 从传力角度来看,新增设的砖墙、砖柱、钢筋混凝土翼墙、抗震墙等抗侧力构件应设置基础,以便将建筑的地震作用传到地基中去。

(7) 修复加固建筑的抗震验算一般要求按加固形成的新的结构体系进行抗震验算。验算时应考虑加固对结构节点的约束影响、结构跨度的变化、荷载增加及分布的影响以及构件刚度变化对地震作用及效应分配的影响等。加固后结构总刚度和重力变化分别不超过加固前的10%和5%时,当未改变计算图式时,可不考虑其对地震作用效应及其分配的影响,但对刚度或重力增加超过20%的个别构件亦应考虑其影响。

(8) 加固时增设构件与原构件的连接是保证新构件在遭遇下一次破坏性地震影响时发挥其抗震能力的重要措施,为此二者间应有可靠的连接,以使其共同工作。

(9) 对已遭破损的女儿墙、门脸等装饰物能拆除的尽量拆除,确实还需设置的,可改为轻质的钢栅栏或钢结构。出屋顶烟囱宜拆除或改为陶质土管。对位于出入口上部的非结构陶件应严格控制。

(10) 因严重不均匀沉降所引起的上部结构损坏往往较重,故对其加固可考虑以基础加固为主的方法。鉴于已有建筑的地基基础加固工程的难度,也可考虑通过加固上部结构提高结构物综合抗震能力的方法以弥补地基基础抗震性能的不足。

1.5 农房重建的基本技术措施

1. 场地基础要稳固

(1) 易地重建选择建筑场地时,宜根据规划要求选择对建筑抗震有利的地段,避开不利地段,当无法避开时应采取有效措施;不应在危险地段建造房屋。

(2) 同一房屋的基础不宜设置在性质明显不同的地基土上。

(3) 当地基有淤泥、可液化土或严重不均匀土层时,应采取垫层换填方法进行处理。

(4) 当地基土为湿陷性黄土或膨胀土时,宜分别按《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025—2004或《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112—2013中的有关规定处理。

(5) 基础材料可采用砖、石、灰土或三合土等;砖基础应采用实心砖砌筑,灰土或三合土应夯实。

(6) 基础的埋置深度应综合考虑下列条件确定:

1) 除岩石地基外,基础埋置深度不宜小于500mm;

2) 当为季节性冻土时,宜埋置在冻土深度以下或采取其他防冻措施;

3) 基础宜埋置在地下水位以上,当地下水位较高,基础不能埋置在地下水位以上时,宜将基础底面设置在最低地下水位 200mm 以下,施工时还应考虑基坑排水。

2. 房屋重量要减轻

(1) 屋顶要轻

房屋建造应优先采用轻质材料做屋面,如果采用较重的泥土屋面时,应在满足防雨、保温等使用要求下,尽可能做得薄一点。

(2) 围护墙要轻

围护墙宜做得轻些,尤其是高房的上部最好采用轻质墙。

(3) 屋顶上不要做笨重的附属物

屋顶上的附属物,如女儿墙、高门脸等,既笨重又不稳定,应当尽量不做或少做这类装饰性的附属物,如果必须建造时,就要做得矮些和稳固些。

3. 总体布置要合理

房屋的平面、立面和结构布置,应符合各部分能够均衡地承受地震力作用的要求,避免局部受力或变形过大。

(1) 房屋体形要合适

房屋应避免立面上突然变化,平面形状也宜简单、规则,墙体布置得均匀、对称些,使房屋具有良好的抗震性能。

(2) 横墙要密些

横墙支撑着纵墙。限制纵墙的侧向变形,同时还承受屋顶、楼层和纵墙等传来的地震力,在满足使用要求的情况下,横墙应布置得密一些,一般居住用房屋以不超过两个开间为宜,如果使用上需要有更大的通间时,就要采用诸如加墙垛、圈梁等措施,来增强纵墙的强度和稳定性。

(3) 墙壁上开洞要恰当

墙壁上开洞,削弱了墙的强度和整体性,墙壁上应尽量少开洞,开小洞。开洞时要均匀和合理,不要在靠近山墙的纵墙上或靠近外纵墙的横墙上开大洞。外纵墙上每开间若开两个窗洞则不如开一个较大些的窗洞好。

(4) 新建房屋应注意结构体系的明确性,不应在同一房屋采用木柱与砖柱、木柱与石柱混合承重的结构体系,也不应在同一层中采用砖墙、石墙、土坯墙、夯土墙等不同材料墙体混合承重的结构体系。在加固过程中如遇此类混合承重的情况,应在加固的同时进行局部改建,明确结构体系。

4. 相互连接要牢靠

房屋各部分连接成牢固的整体,才能共同抗御地震的破坏。对于以墙承重的房屋来说,主要是檩条与屋架(梁)、屋架与屋架,檩条、屋架(梁)与墙,墙与墙之间的连接要牢固。对于以骨架承重的房屋来说,主要是骨架的各构件之间,骨架与围护墙之间的连接要牢固。

(1) 檩条要固定,屋架之间要加设风撑

应将檩条与屋架(梁)固定牢,屋架之间也应该每相隔一间加设风撑。

(2) 搁在墙上的檩条或屋架(梁)要锚固

除檩条与屋架(梁)、屋架与屋架之间要连接牢固外,檩条、屋架(梁)与墙的连接

也要牢靠。还有，屋顶用出檐做法比用封檐做法稳定，这也是一种比较简单而有效的抗震措施。

（3）墙体之间结合要牢靠

纵墙与横墙结合牢靠，墙体之间相互依靠，方能共同发挥抗震作用。要使纵墙与横墙结合牢靠，就必须做到合理砌筑、精心施工。对于强度差或受力大的墙体交接处，有时还用附加拉结筋来增强其抗震能力。

（4）木骨架要稳定

木骨架承重房屋，除木料特别大、榫结合又很牢固的穿斗木骨架外，一般木骨架的屋顶梁（屋架）与柱之间要用斜撑等办法来增强其稳固性。

（5）围护墙与骨架要拉结

在注意骨架安全的同时，也要对围护墙采取与骨架拉结的抗震措施。

第2章 震损建筑鉴定、修复和加固技术

震损建筑修复加固前，应先进行抗震鉴定。在鉴定的基础上，应采取合理的方案进行修复加固设计。当然确保修复加固的施工质量也是极为重要的，修复加固施工与新建工程施工操作虽有相同之处，但由于修复加固有使新增设构件与原有构件成为一个整体的要求，故其施工操作尚有一些特殊要求。震损建筑修复加固设计施工除应遵守和执行国家和地方的新建工程的有关技术规定外，尚应根据修复加固自身的特点进行设计施工。下面给出修复加固方法及其工艺以及各类震损建筑鉴定、修复和加固技术的要求，以便在工程实践中加以参考。

2.1 修复加固方法及其工艺

对各类建筑进行修复加固的方法通常可分为两大类，一类是恢复其抗震能力的方法，一类是增强、提高抗震能力的方法。

恢复抗震能力的方法通常采用压力灌浆法和化学灌浆法。增强、提高抗震能力的方法有增强强度、提高延性法，加强结构整体性法和改变传力途径法。增强强度、提高延性法主要采用水泥砂浆面层法、钢筋网水泥砂浆面层法、钢筋混凝土面层法、型钢网箍法、喷射混凝土法、替换构件法和粘贴钢板法等；加强结构整体性法主要有加设圈梁法、加设构造柱法和加设拉杆（梁）法等；改变传力途径法主要有增设抗震墙法和增设支撑法等。值得指出的是，加设圈梁、加设构造柱、加设拉杆（梁）、增设抗震墙和增设支撑等法也可增强和提高结构的强度和延性。各加设构件与原构件通常可采用钢筋混凝土销键、干硬性水泥砂浆锚杆、108 胶水泥砂浆锚杆、水玻璃水泥砂浆锚杆、树脂锚杆、楔缝式锚杆、普通螺栓和钢筋短拉杆等方法加强相互间的连接，以利于地震发生时，新老构件共同抵抗地震作用。对混凝土构件来说，增强与保证新旧混凝土的结合也是必要的，通常可采用增大结合面、严格清理旧混凝土表面和涂胶结剂等措施。

本节所介绍的修复加固方法只是目前较为常用的一些主要方法，在实际应用中凡有试验证明可靠的方法也应加以采用。

2.1.1 压力灌浆法

砌体房屋的墙体较为常见的震害现象是砌体上出现裂缝，此时可采用压力灌浆法进行修复，或先用压力灌浆法修复后再补强的方法进行修复加固。

压力灌浆法是用空气压缩机或手压泵将粘合剂灌入砖墙裂缝内，将开裂墙体重新粘合在一起。试验表明，按这种方法修复后的墙体均可达到原有的强度。这种方法的优点是设

备简单，施工方便，价格便宜，很适用于砌体裂缝不严重时的修复。

目前较常用的粘合剂有两种，一种是用 108 胶水泥砂浆作粘合剂，另一种是用水玻璃砂浆作粘合剂。108 胶水泥砂浆，是用普通水泥、砂子和 108 胶（聚乙烯醇缩甲醛）三种材料按一定比例配制而成。掺入 108 胶的目的，是为了增强水泥砂浆的黏着力，提高水泥的悬浮性，延缓水泥沉降时间，但掺入量越大，强度相应越低。通常按照裂缝的宽度，分别配制相应的浆液，如表 2-1 所示。

108 胶水泥砂浆配合比及主要性能 表 2-1

编号	配合比	适宜灌缝 宽度(mm)	悬浮 (mm/30min)	流动度 (s)	龄期 (d)	抗剪($\times 10^5$ Pa)		抗拉($\times 10^5$ Pa)	
						红砖	白砖	红砖	白砖
1	水泥 : 108 胶 : 水 : 砂 = 1 : 0.2 : 0.5 : 1	5~15 以上	1	13.3	7	4.42	8.97	2.12	5.54
					28	5.80	11.00	2.70	4.90
2	水泥 : 108 胶 : 水 = 1 : 0.2 : 0.6	1~5 以上	1	19	7	7.18	6.33	3.90	1.65
					28	7.70	7.70	3.60	2.10
3	水泥 : 108 胶 : 水 = 1 : 0.25 : 0.9	0.5~1	2	12.5	7	3.34	3.54	1.68	1.69
					28	4.30	4.60	2.50	2.50

注：1. 水泥采用 32.5~42.5 级普通水泥；砂子粒径不得大于 1.2mm；
2. 108 胶固体含量为 12%，pH 值为 7~8。

水玻璃砂浆是由碱性钠水玻璃、矿渣粉（水淬高炉矿渣磨细而成）、砂和氟硅酸钠四种材料按一定比例配制而成。分为 1 号浆和 2 号浆。1 号浆用于砖墙裂缝很小者，此时水玻璃砂浆不易灌严，可沿裂缝打 25 孔，每个孔距 250mm 左右，将水玻璃砂浆灌入孔内，形成销键来抵抗剪力。2 号浆用于墙体裂缝较大者，可直接将水玻璃砂浆压到缝里去，依靠水玻璃砂浆将裂缝粘成整体。水玻璃砂浆配合比及主要性能如表 2-2 所示。

水玻璃砂浆配合比及主要性能 表 2-2

编号	配合比(质量比)						抗压强度(×10 ⁵ Pa)		收缩值(%)		备注
	水玻璃			矿渣粉	砂	氟硅酸钠	3d	7d	4d	7d	
	相对密度	模数	质量								
1	1.52	2.30	1.50	1	2	8%	154	217	0.4	0.9	氟硅酸钠的百分比系 对水玻璃之质量比
2	1.36	3.36	1.15	1	2	15%	108		0.9		

注：水淬矿渣（高炉）磨细度为 4900 孔筛余量 10%~20%；砂粒径小于 0.5mm，含泥量不得超过 3%，含水量不大于 2%，氟硅酸钠的纯度在 90%以上。

压力灌浆流程如图 2-1 所示。其中空气压缩机工作压力为 686~785kPa，储气容量大于 0.15m³。压浆罐罐顶应设有进气口、排气口、进浆口及压力表，罐底应设有出浆口。压浆罐在使用前应进行试压，其压力不得小于 588kPa。当墙体的修复面积较小时，可采用手压泵和浆液容器配套代替。手压泵可自制，应有压力表、进浆口和出浆口等装置，泵的工作压力应大于 2×10⁵Pa；浆液容器可用水桶代替。输液胶管长以 2~3m 为宜。