



# 建筑防灾年鉴 2017

住房和城乡建设部防灾研究中心 联合主编  
中国建筑科学研究院科技发展研究院

BUILDING  
DISASTER  
PREVENTION  
YEARBOOK  
2017

中国建筑工业出版社

# 建筑防灾年鉴

## 2017

住房和城乡建设部防灾研究中心  
中国建筑科学研究院科技发展研究院 联合主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑防灾年鉴2017 / 住房和城乡建设部防灾研究中心, 中国建筑科学研究院科技发展研究院联合主编. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.4

ISBN 978-7-112-21938-4

I. ①建… II. ①住…②中… III. ①建筑物—防灾—中国—2017—年鉴 IV. ①TU89-54

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第046802号

责任编辑: 张幼平

责任校对: 王 瑞

## 建筑防灾年鉴

2017

住房和城乡建设部防灾研究中心  
中国建筑科学研究院科技发展研究院 联合主编

\*

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  
北京京点图文设计有限公司制版  
北京市密东印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 33½ 插页: 2 字数: 835千字

2018年5月第一版 2018年5月第一次印刷

定价: 88.00元

ISBN 978-7-112-21938-4

(31826)

版权所有 翻印必究

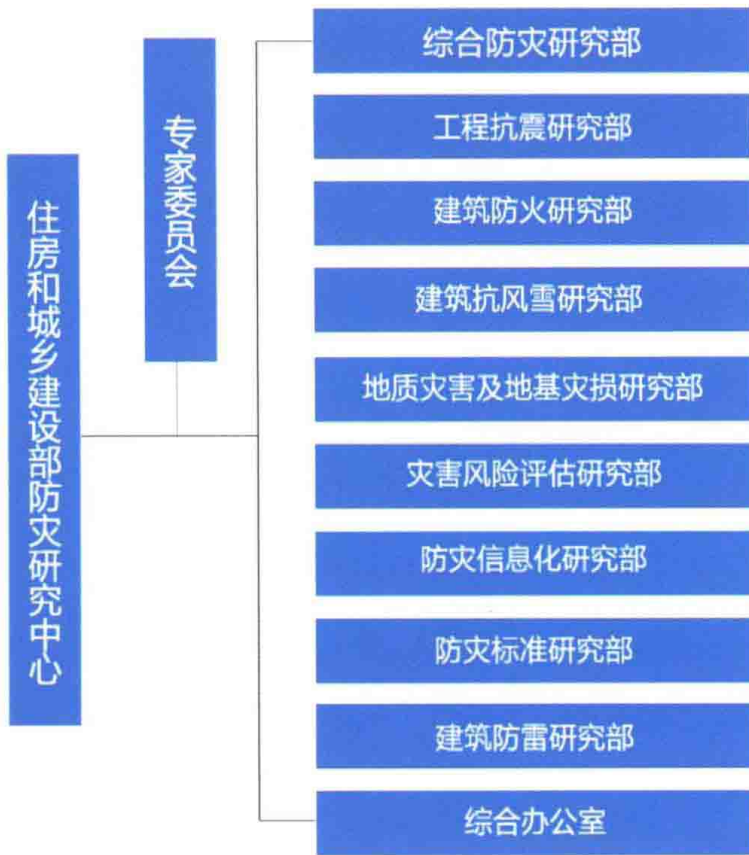
如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



# 住房和城乡建设部防灾研究中心

Disaster Prevention Research Center, Ministry of Housing and Urban-Rural Development

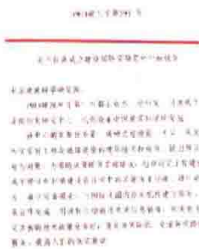


住房和城乡建设部防灾研究中心（以下简称“中心”）1990年由建设部批准成立，机构设在中国建筑科学研究院。中心以该院的工程抗震、建筑防火、建筑结构、地基基础、建筑信息化等成果为依托，研究地震、火灾、风灾、雪灾、水灾、雷灾、地质灾害等对工程和城镇建设造成的破坏情况和规律，解决建筑工程防灾中的关键技术问题，推广防灾新技术、新产品，与国内外防灾机构建立联系，为政府机构行政决策提供咨询建议。

近年来，中心在国家重点研发计划、国家科技支撑计划、863项目、973项目、国家自然科学基金、科研院所开发专项和标准规范、实验室建设等方面开展了卓有成效的工作。截至2017年，中心累积参与完成科研成果140余项，标准规范制修订项目150余项，其中国家和行业标准修订项目80余项。荣获国家科技进步奖、国家自然科学基金、全国科学大会奖等40余项，为推动我国建筑防灾减灾事业的科技进步作出了突出贡献。

中心紧紧围绕防灾减灾科技发展战略全局，积极响应国家新型城镇建设和灾害防控等宏观政策号召，着力提高创新能力，增强核心竞争力，在建筑防灾减灾设计和城镇防灾救灾信息化等特色领域作出了应有的贡献。中心本着“开放、共享、联合、创新”的经营理念与知名企业、高校和科研院所紧密合作，致力于成为全国标志性建筑防灾科学研究与技术服务平台，不断推动防灾减灾公益事业的发展。

## 建设部文件



住房和城乡建设部防灾研究中心 住房和城乡建设部科技司  
科技司科技处



地址：住房和城乡建设部科技司，北京市，邮编：100000

机构名称	电话	传真	邮箱
综合防灾研究部	010-64517751	010-84273077	cabrzyjy@163.com
工程抗震研究部	010-64517447	010-84288024	tangcaomin@163.com
建筑防火研究部	010-64517879	010-64693133	13911365611@126.com
建筑抗风雪研究部	010-84280389	010-84279246	chenkai@cabrtech.com
地质灾害及地基灾损研究部	010-64517232	010-84283086	gjfcabr@262.net
灾害风险评估研究部	010-64517315	010-84281347	1043801229@qq.com
防灾信息化研究部	010-64693132	010-84277979	yuwencabr@163.com
防灾标准研究部	010-64517890	010-64517612	gaudy_sc@163.com
建筑防雷研究部	010-64694345	010-84281360	hudf@cabr-design.com
综合办公室	010-64693351	010-84273077	dprcmoc@cabr.com.cn

## 征稿 招商

住房和城乡建设部防灾研究中心《建筑防灾年鉴2018》征稿及广告招商活动现已启动，欢迎业内外人士踊跃投稿；各相关单位积极竞投。

电话：010-64693351

电邮：dprcmoc@cabr.com.cn



2017年7月第五届全国建筑防灾技术交流会现场



住房和城乡建设部防灾研究中心学术委员会委员受聘仪式



2017年5月 2017年农村危房加固改造工作座谈会现场



2017年11月 中国建筑学会建筑防火综合技术分会年会暨第五届全国建筑防火学术交流会现场

# 《建筑防灾年鉴 2017》

## 编委会:

主任:	王清勤	住房和城乡建设部防灾研究中心	主任
副主任:	李引擎	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任
	王翠坤	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任
	黄世敏	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任
	高文生	住房和城乡建设部防灾研究中心	副主任
	金新阳	住建部防灾研究中心学术委员会	副主任
	宫剑飞	住建部防灾研究中心学术委员会	副主任
	张靖岩	住建部防灾研究中心学术委员会	副主任
	尹波	中国建筑科学研究院科学技术处	处长
	王晓锋	中国建筑科学研究院标准规范处	处长

## 委员: (按姓氏笔画排序)

王广勇	住房和城乡建设部防灾研究中心	研究员
牛华伟	湖南大学	高级工程师
方平治	上海台风研究所	副研究员
史志华	中国建筑科学研究院	研究员
朱立新	中国建筑科学研究院	研究员
朱合华	同济大学	教授
刘旭	北京爱劳高科技有限公司	高级工程师
刘奕	清华大学	副研究员
刘航	北京市建筑工程研究院有限责任公司	教授级高工
许镇	北京科技大学	副教授
孙旋	中国建筑科学研究院	研究员
杜永峰	兰州理工大学	教授
李钢	大连理工大学	教授
李娜	中国水利水电科学研究院	教授级高工
李湛	中国建筑科学研究院地基基础研究所	副研究员
李炎锋	北京工业大学	教授
杨立国	中国建筑科学研究院	副研究员
肖泽南	中国建筑科学研究院建筑防火研究所	研究员
何金良	清华大学	教授

何满潮	中国矿业大学	院士/教授
余红霞	奥雅纳工程咨询公司	高级工程师
张建伟	北京工业大学	教授
张根俞	中国建筑设计院有限公司	教授级高工
陆新征	清华大学	教授
陈波	北京交通大学	教授
陈波	武汉理工大学	教授
陈建华	黑龙江寒地建筑科学研究院	高级工程师
苗启松	北京市建筑设计研究院	教授级高工
林国海	哈尔滨鸿盛房屋节能体系研发中心	教授级高工
周铁钢	西安建筑科技大学	教授
郑山锁	西安建筑科技大学	教授
柏文峰	昆明理工大学	教授
种迅	合肥工业大学	教授
晏风	中国建筑科学研究院	高级工程师
徐福泉	中国建筑科学研究院	研究员
高迪	中国建筑科学研究院	副研究员
郭小东	北京工业大学	副教授
唐曹明	中国建筑科学研究院	研究员
康景文	中国建筑西南勘察设计研究院有限公司	教授级高工
葛学礼	住房和城乡建设部防灾研究中心	研究员
程选生	兰州理工大学	教授
曾德民	北京建筑大学	研究员
翟国方	南京大学	教授
滕延京	中国建筑科学研究院地基基础研究所	研究员
衡朝阳	中国建筑科学研究院地基基础研究所	研究员

**编辑部:**

**主任:** 张靖岩

**副主任:** (按姓氏笔画排序)

于文 王晓锋 朱立新 孙旋 杨沈  
陈凯 宫剑飞 贾红 康井红

**成员:** (按姓氏笔画排序)

王大鹏 王广勇 韦雅云 朱振宇 刘松涛  
李显忠 周欣鑫 郑文华 胡登峰 秦红蕾  
高迪 唐意 唐曹明

# 前 言

2017年是党的十九大召开之年和实施“十三五”规划的重要一年，也是全面深化改革纵深推进的关键一年，扎实做好全年防灾减灾救灾各项工作意义重大。2016年12月相继出台的《中共中央国务院关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的意见》和《国家综合防灾减灾规划（2016—2020年）》两个纲领性文件，是党中央、国务院对防灾减灾救灾工作作出的重大决策部署。要始终把保障人民群众生命安全摆在首位，认真做好报灾核灾、灾损评估和新灾应对，进一步夯实基层备灾工作基础，做好防灾减灾救灾宣传教育和舆论引导，全面提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力。联合国减灾办公室（UNISDR）确定2017年国际减灾日的主题是“建设安全家园：远离灾害，减少损失”。一是强调在自然灾害治理过程中，进一步树立灾害风险管理意识，降低社区面临的灾害风险，建设更加安全的家园；二是推动落实《2015-2030年仙台减轻灾害风险框架》中减少受灾人口的目标，通过行之有效的政策、行动与实践，保障人民群众的生命财产安全。

为贯彻落实党中央、国务院关于加强防灾减灾救灾工作的决策部署，提高全社会抵御自然灾害的综合防范能力，切实维护人民群众生命财产安全，《建筑防灾年鉴》的编纂工作自2012年起开展，由住房和城乡建设部防灾研究中心（以下简称“防灾中心”）与中国建筑科学研究院科技发展研究院联合主编。编制组专家团队通过共同的辛勤劳动，《建筑防灾年鉴2012》、《建筑防灾年鉴2013》、《建筑防灾年鉴2014》、《建筑防灾年鉴2015》、《建筑防灾年鉴2016》已分别于2012年3月、2014年5月、2015年8月、2016年11月和2017年11月顺利出版发行。《建筑防灾年鉴》的编写，旨在全面系统地总结我国建筑防灾减灾的研究成果与实践经验，交流和借鉴各省市建筑防灾工作的成效与典型事例，增强全国建筑防灾减灾的忧患意识，推动建筑防灾减灾工作的发展与实践应用，使世人更全面地了解中央政府和人民为防灾减灾所作出的巨大努力。

《建筑防灾年鉴2017》作为我国一本有关建筑防灾减灾总结与发展的年度报告，为力求系统全面地展现我国2017年度建筑防灾工作的发展全景，在编排结构上共分为8篇，包括综合篇、政策篇、标准篇、科研篇、成果篇、工程篇、调研篇、附录篇。

第一篇综合篇，选录7篇综合性论文，内容涵盖公共安全、抗风、地震及工程地质等方面。主要对建筑防灾减灾研究进展进行综合分析并评述，旨在概述本领域研究的基本面貌，为研究者了解学科发展现状提供条件；有效促进学科研究品质的提升，引导学科研究的发展。

第二篇政策篇，收录国家颁布的自然灾害救助应急预案1部，消防安全责任制1部，质量提升行动1部，地质灾害防治“十三五”规划摘录1部，国家地震科技创新工程1部，九寨沟地震灾害重建政策1部，合肥市防灾减灾条例1部。这些政策法规的颁布实施，起到了为防灾减灾事业的发展发挥政策支持、决策参谋和法制保障的作用。

第三篇标准篇，主要收录标准化法、国家、行业、产品标准在编或修订情况的简介，主要包括编制或修编背景、编制原则和指导思想、修编内容与改进等方面内容，便于读者在第一时间了解到标准规范的最新动态，做到未雨绸缪。

第四篇科研篇，主要选录在研项目、课题的研究进展、关键技术、试验研究和分析方法等方面的文章 15 篇，集中反映了建筑防灾的新成果、新趋势和新方向，便于读者对近年来建筑防灾减灾领域的研究进展有较为全面的了解和概要式的把握。

第五篇成果篇，选录了包括城镇减灾、抗震技术、避雷减灾、防灾信息化在内的 9 项具有代表性的最新科技成果。通过整理、收录以上成果，希望借助防灾年鉴的出版机会，能够和广大科技工作者充分交流，共同发展、互相促进。

第六篇工程篇，防灾减灾工程案例，对我国防灾减灾技术的推广具有良好的示范作用。本篇选取了有关低能耗抗灾、建筑消防、抗震加固、结构抗风、农房改造等领域的工程案例 10 个，通过对实际工程如何实现防灾减灾的阐述，介绍了防灾减灾实践经验，以促进防灾减灾事业稳步前进。

第七篇调研篇，为配合各级政府因地制宜地做好建筑的防灾减灾工作，宣传建筑防灾理念，总结实践经验，本篇通过对四川、澳门、山西等地区地方特色的建筑防灾方面的调研与总结，向读者展示各地建筑防灾的发展情况，便于读者对全国的建筑防灾减灾发展有一个概括性的了解。

第八篇附录篇，基于住房和城乡建设部、民政部和国家统计局等相关部门发布的灾害评估权威数据，主要收录了包括住房和城乡建设部防灾研究中心在内的国内著名的防灾机构简介、2016 年城乡建设统计公报、2015 ~ 2030 年仙台减少灾害风险框架、2017 年全国自然灾害基本情况以及住房城乡建设部 2018 年工作要点。此外，2017 年度内建筑防灾减灾领域的研究、实践和重要活动，以大事记的形式进行了总结与展示，读者可简洁阅读大事记而洞察我国建筑防灾减灾的总体概况。

本书可供从事建筑防灾减灾领域研究、规划、设计、施工、管理等专业的技术人员、政府管理部门、大专院校师生参考。

本年鉴在编纂过程中，受到住房和城乡建设部、各地科研院所及高校的大力支持，在此对他们的指导与支持表示由衷的感谢。本书引用和收录了国内大量的统计信息和研究成果，在此对他们的工作表示感谢。

本书是防灾中心专家团队共同辛勤劳动的成果。虽然在编纂过程中几易其稿，但由于建筑防灾减灾信息浩如烟海，在资料的搜集和筛选过程中难免出现纰漏与不足，恳请广大读者朋友不吝赐教，斧正批评。

住房和城乡建设部防灾研究中心

中心网址：[www.dprcmoc.com](http://www.dprcmoc.com)

邮箱：[dprcmoc@cabr.com.cn](mailto:dprcmoc@cabr.com.cn)

联系电话：010-64693351

传真：010-84273077

2017 年 12 月 19 日

# 目 录

<b>第一篇 综合篇</b> .....	1
1 建设地震安全韧性城市所面临的挑战 .....	2
2 健全公共安全体系构建安全保障型社会 .....	11
3 超限高层建筑抗震设防专项审查制度 .....	18
4 工程地质力学的挑战与未来 .....	25
5 浅谈新版《中国地震动参数区划图》对北京地区建筑结构设计的影响 .....	45
6 我国建筑物地震保险制度及保险费率厘定研究 .....	52
7 西北太平洋 2016 年热带气旋的特征分析 .....	62
<b>第二篇 政策篇</b> .....	71
1 国务院办公厅关于印发国家自然灾害救助应急预案的通知 .....	72
2 国务院办公厅关于印发消防安全责任制实施办法的通知 .....	82
3 中共中央国务院关于开展质量提升行动的指导意见 .....	90
4 国土资源部关于印发《全国地质灾害防治“十三五”规划》的通知 .....	98
5 国家地震科技创新工程 .....	104
6 国土资源部关于支持四川省九寨沟地震灾后恢复重建政策的通知 .....	114
7 山东省建设工程抗震设防条例 .....	117
8 安徽省人民代表大会常务委员会关于批准《合肥市防震减灾条例》的决议 .....	123
<b>第三篇 标准篇</b> .....	131
1 《房屋建筑标准强制性条文实施指南——鉴定加固和维护分册》简介 .....	132
2 《农家乐（民宿）建筑防火导则（试行）》编制简介 .....	138
3 国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》修订简介 .....	140
4 行业标准《镇（乡）村建筑抗震技术规程》修订简介 .....	144
5 行业标准《预应力混凝土结构抗震设计规程》JGJ 140-2004 修订简介 .....	149
6 行业标准《屋盖结构风荷载标准》编制 .....	152
7 产品标准《建筑隔震柔性接头》编制简介 .....	154

<b>第四篇 科研篇</b> .....	157
1 城市抗震弹塑性分析 .....	158
2 斜筋对大洞口率单排配筋双肢墙的抗震性能影响研究 .....	169
3 预应力加固两层足尺砖砌体房屋模型抗震性能试验研究 .....	176
4 半装配式工字形横截面钢筋混凝土剪力墙抗震试验研究 .....	194
5 城镇重要建筑框架结构性能化的抗震鉴定方法 .....	203
6 火灾后型钢混凝土框架结构抗震性能试验研究 .....	229
7 基于改进层次分析法的火灾高危单位消防安全评估 .....	237
8 扰流板减小低矮房屋屋面风压实验研究 .....	245
9 强台风作用下输电导线的风振响应研究 .....	258
10 木结构古建筑安全性评估方法研究 .....	266
11 地铁车站暗挖施工下穿桩基建筑物变形控制研究 .....	274
12 平原感潮河网区域城市洪涝分析模型研究 .....	284
13 用于雷电防护的雷电流波形参数 .....	294
14 基于社交媒体信息不同灾害的社会响应特征比较研究 .....	303
15 基于消费级无人机和倾斜摄影测量的建筑三维建模 .....	314
<b>第五篇 成果篇</b> .....	321
1 城市高密度区大规模地下空间建造关键技术及其集成示范 .....	322
2 城市消防信息管理与辅助灭火决策系统—FCIS .....	324
3 村镇住宅简易成套消防技术开发及应用 .....	328
4 城市区域消防安全评估主要评估方法 .....	333
5 抗震设防区架空通风基础房屋的改良方案 .....	341
6 超长复杂隔震体系分析及监测 .....	350
7 隔震混凝土矩形贮液结构流—固耦合地震响应 .....	351
8 限流接闪器在高层建筑中的应用 .....	353
9 电涡流阻尼减振技术在土木工程中的应用 .....	355
<b>第六篇 工程篇</b> .....	361
1 装配式空腔 EPS 模块现浇混凝土结构低能耗抗灾房屋研究与应用 .....	362
2 某剧场平板网架屋盖鉴定与修复 .....	371
3 机场轨道接驳项目的消防设计 .....	378
4 城市广场人防地下通道超浅埋暗挖工程 .....	387
5 两个既有建筑地下增层工程案例 .....	395
6 地质科学院科研实验楼结构设计 .....	404
7 云南抗震土坯建筑技术研究与实践 .....	412
8 西北砖木民居的加固维修技术与实践 .....	419

---

9	某地整村搬迁安置质量事故分析 .....	426
10	澳门黑沙环中街和东方明珠街交界街区高层楼宇风洞试验与数值模拟研究 .....	433
<b>第七篇</b>	<b>调研篇 .....</b>	<b>441</b>
1	九寨沟县 7.0 级地震建筑震害调查与分析报告 .....	442
2	高层建筑消防给水系统常见问题及解决措施 .....	448
3	伦敦大火带给高层建筑消防安全管理的启示 .....	452
4	精准扶贫背景下的农村危房加固改造技术指导和示范建设 .....	461
5	澳门“天鸽”台风灾害调查简报 .....	469
<b>第八篇</b>	<b>附录篇 .....</b>	<b>473</b>
1	建筑防灾机构简介 .....	474
2	2016 年城乡建设统计公报 .....	481
3	住房和城乡建设部工程质量安全监管司 2018 年工作要点 .....	495
4	住房和城乡建设部建筑节能与科技司 2018 年工作要点 .....	498
5	2015~2030 年仙台减少灾害风险框架 .....	501
6	大事记 .....	516
7	防灾减灾领域部分重要科技项目简介 .....	520

# 第一篇 综合篇

建筑防灾减灾是一项复杂的系统工程，大到国家的发展，小到具体建筑的防灾设计，贯穿了社会生活的各个层面；同时，它还包含了不同的专业分工和学校门类，具有综合性强、多学科相互渗透等显著特点。本篇选录7篇综合性论文，内容涵盖公共安全、抗风、地震及工程地质等方面。主要对建筑防灾减灾研究进展进行综合分析与评述，旨在概述本领域研究的基本面貌，为研究者了解学科发展现状提供条件；有效促进学科研究品质的提升，引导学科研究的发展。

# 1 建设地震安全韧性城市所面临的挑战

陆新征<sup>1</sup> 曾翔<sup>2</sup> 许镇<sup>3</sup> 杨哲飏<sup>2</sup> 程庆乐<sup>2</sup> 谢昭波<sup>2</sup> 熊琛<sup>4</sup>

1. 清华大学土木工程系土木工程安全与耐久教育部重点实验室, 北京, 100084;
2. 清华大学土木工程系北京市钢与混凝土组合结构工程技术研究中心, 北京, 100084;
3. 北京科技大学土木与资源工程学院, 北京, 100083;
4. 深圳大学土木工程学院, 518060

## 一、引言

由于地震下的人员伤亡主要是由建筑物倒塌造成的, 因此传统地震工程主要关注如何减轻因地震导致的建筑物倒塌破坏。20 世纪 90 年代后, 为了减轻地震下的经济损失, 基于性能的抗震设计得到了广泛的重视和发展。进入 21 世纪后, 特别是在 2011 年日本“3·11”大地震和新西兰基督城地震后, 由于多次出现城市遭受严重地震破坏后重建难度大、时间长, 社会代价巨大的问题, 因此城市的抗震“韧性”(Resilience) 问题得到了广泛的重视。

美国纽约布法罗大学地震工程多学科研究中心(MCEER)等研究机构建议, 可以通过降低地震发生时的功能损失或提高结构的震后修复速度来实现“韧性”抗震。基于这一理念, 美国旧金山、洛杉矶等城市陆续提出了“地震韧性城市”的建设目标。其具体内容包括: 在遭遇中小地震时城市的基本功能不丧失, 可以快速恢复; 在遭遇严重地震灾害时, 城市应急功能不中断, 不造成大规模的人员伤亡, 所有人员均能及时完成避难, 城市能够在几个月内基本恢复正常运行等。“地震韧性城市”代表了国际防震减灾领域的最新前沿趋势, 也成为我国很多城市防震减灾工作的奋斗目标。中国地震局已将“韧性城乡”作为地震科技创新项目计划的 4 个重点工程之一。

虽然建设地震韧性城市已经成为国内外防震减灾领域的共识, 但是真正实现地震韧性的挑战是非常大的。由于韧性抗震的理念还比较新, 而我国建设规范的更新周期长, 且基础研究存在不足, 导致即便是按照我国最新的抗震规范建设的建筑, 也无法充分满足韧性抗震的需求。此外, 由于我国近代长期贫穷落后的历史, 留下了大量低设防水平的既有建筑和基础设施, 也成为实现地震韧性的重要软肋。本文结合作者课题组近年来开展的相关工作, 对我国建设地震韧性城市所面临的挑战以及有待开展的工作加以分析, 供相关读者参考。

## 二、新建建筑实现韧性抗震所面临的挑战

一般而言, 新建建筑反映了地震工程领域的最新进展, 通常应具有更好的抗震性能。我国建筑抗震设计规范<sup>[1]</sup>也规定了“小震不坏”、“中震可修”、“大震不倒”三个水准的设防要求。然而, 即使城市内所有建筑都依据目前最新版的抗震规范进行设计建造, 并满足

上述三个水准设防要求，仍然难以保证足够的地震韧性。具体表现在：

### 1. 小震能否做到不坏？

“小震不坏”是我国抗震规范的设计目标之一，即在遭遇重现期 50 年左右水平的地震作用时，建筑物应基本保持完好，一般不需要修理就可以正常使用。相应地，城市的功能应保持完好，人民生活不应受到重大影响。我国抗震规范主要通过控制结构的构件承载力和侧向变形来实现“小震不坏”的抗震目标。然而，随着我国城市建设的发展，现有的抗震设计手段已经不足以保障“小震不坏”的要求，例如：

#### (1) 小震作用下高层建筑楼面加速度引起的非结构构件的破坏问题

高层建筑已经成为我国城市建筑的主要组成部分。地震引起的加速度响应往往会沿着建筑高度不断放大，进而导致高层建筑顶层加速度可能远大于地面加速度。强烈的楼面加速度作用会导致建筑内部的空调、电梯等设备和非结构构件发生破坏。本文作者对一栋按照我国规范设计的 43 层的钢筋混凝土框架—核心筒高层住宅进行了分析<sup>[2]</sup>。结果表明，小震下顶层楼面加速度可以达到地面峰值加速度的 1.8 倍。虽然该高层建筑结构基本保持完好，但是加速度响应可以给空调等非结构构件造成 300 万~400 万元的损失，且修复时间超过 50 天。这显然不能满足“小震不坏”的性能目标要求。而现阶段我国抗震规范对如何控制小震下楼层加速度引起的破坏还没有给出充分的设计规定。

#### (2) 小震作用下建筑楼面加速度引起的人员恐慌问题

建筑的加速度响应除了会引起非结构构件破坏外，还可能引起楼内人群的恐慌。研究表明，当加速度达到  $0.015g \sim 0.05g$  时，人就会出现不适感<sup>[3]</sup>。例如 2016 年 12 月 18 日发生在山西清徐的 4.3 级地震，此次地震震级很低，记录到的地面加速度很小，但太原市民反映震感非常强烈。本文作者采用城市抗震动力弹塑性分析方法<sup>[4]</sup>，将实测地震动输入太原市中心城区 4 万余栋建筑模型中。分析结果表明虽然建筑基本都为完好状态，然而地震引起的楼面加速度会引起相当数量的人员不适（图 1.1-1）。

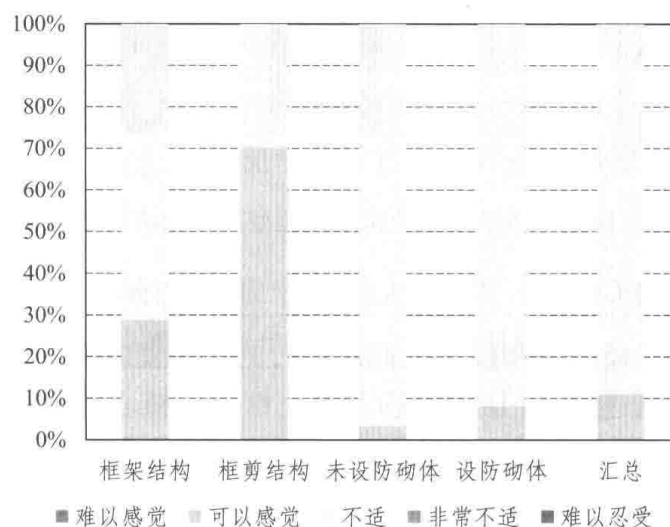


图 1.1-1 2016 年 12 月 18 日山西清徐 4.3 级地震下，太原中心城区的人员感受

在人口密度很高的中心城区，大量人群因恐慌在短时间内迅速逃离建筑物可能造成严重后果。例如在上海陆家嘴核心区，高峰时期人群密度超过每平方千米 5.4 万人<sup>[5]</sup>。大量

人员集中同时离开建筑会造成地面人口密度骤增，室外空间可能根本无法容纳如此高密度的人群，会导致严重的拥挤与踩踏。从这一角度来看，即使是小震，也可能给城市区域带来远超预期的人员伤亡和社会问题。

## 2. 中震能否做到可修？

我国抗震设计规范的第二水准是“中震可修”，它要求建筑在遭遇设防地震（重现期475年）作用下，可以通过对震损进行修理而重新使用。但是，现行规范对“中震可修”的规定可操作性不够强，且仅仅达到“可修”并不能满足地震韧性城市的目标，因为除了“可修”以外，地震韧性城市还需要回答“是否值得修？”“需要花费多少时间去修？”等问题。而按照现行抗震规范设计的结构，在这些方面还存在较多的不足，比如：

### (1) 修复成本非常高昂

建筑震后修复的代价是非常高的，特别是我国建筑多采用混凝土结构或砌体结构，其变形能力差，修复难度大。本文作者对北京市清华大学校区的619栋建筑进行了分析<sup>[6]</sup>。研究表明，在遭受中震作用后，地震损失高达72.3亿元。其中60%以上的损失是因为部分建筑震后的残余变形太大，以至于修复成本太高，拆除重建反而比维修更经济（图1.1-2）。也就是说，按照现行的抗震规范设计的建筑，有相当比例的建筑在中震后即使技术上是可以修复的，经济上也是不经济的。而重建这些建筑物造成的经济成本和社会冲击也显然超出了抗震韧性城市的要求。

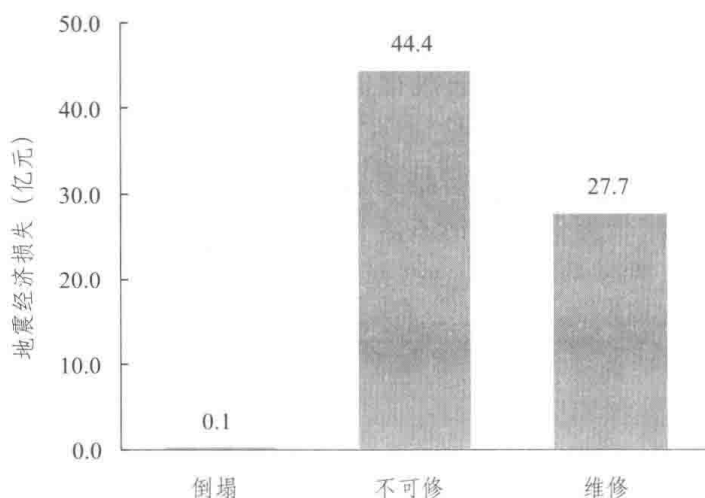


图 1.1-2 中震下清华大学校园不同类型地震经济损失的中位值

### (2) 修复周期非常长

即便是中震后修复在经济上和技术上都是可行的，修复的时间仍然难以满足地震韧性城市的要求。仍以前面所述的43层的钢筋混凝土框架—核心筒高层住宅为例，在遭遇中震水平地震作用后，建筑修复工日（1个工人1个工作日的劳动量）达3000工日以上<sup>[2]</sup>。主要的修复工作内容包括隔墙及其饰面、空调、剪力墙等（图1.1-3）。如果安排30个工人参与修复作业，则总修复时间为3个月以上。在这期间，楼内居民被迫异地安置。如果一个城市成千上万的建筑物里面的居民都要异地安置数月，那么城市的功能势必受到严重影响。