



城市地震灾害损失评估： 理论方法、系统开发与应用

郑山锁 孙龙飞 龙立 等著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

城市地震灾害损失评估：理论方法、 系统开发与应用

郑山锁 孙龙飞 龙立等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

对维系城市运行的主要基础设施城市建筑群科学地进行震前风险预测以及震前、震中和震后灾害损失评估,进而提出高效可行的控制技术与措施体系,是减少地震灾害造成人员伤亡、财产损失和文化流失的根本方法。本书全面系统地介绍了适用于我国城市区域多龄期建筑地震灾害风险预测与损失评估的理论方法、系统平台开发与综合应用示范,主要包括:系统评估框架建立、建筑工程信息数据采集方法与数据库建立、场地地震危险性分析方法与地震动衰减模型数据库建立、结构地震易损性分类方法与曲线管理数据库建立、地震灾害损失(直接经济损失、间接经济损失、人员伤亡)的评估方法与模型、加固决策体系建立、地震保险制度建立与费率厘定方法、震后应急决策体系建立、系统开发平台建立与关键技术、系统相关模块开发流程、系统功能使用、典型城市区域震害预测与损失评估综合应用示范等。

本书可供土木工程专业及地震工程、结构工程、防灾减灾与防护工程领域的研究、设计和施工人员,以及高等院校相关专业或领域的师生参考;也可供政府部门从事城市规划、防灾减灾规划、灾害应急预案与对策方面的管理人员,以及保险公司从事地震保险制度与费率厘定等方面的科研与管理参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市地震灾害损失评估:理论方法、系统开发与应用/郑山锁等著. —北京:科学出版社,2019.9

ISBN 978-7-03-054703-3

I. ①城… II. ①郑… III. ①城市-地震灾害-损失-评估-中国
IV. ①P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 244273 号

责任编辑:周 炜 罗 娟 / 责任校对:王萌萌

责任印制:吴兆东 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019 年 9 月第一次印刷 印张:29

字数:580 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国地震活动具有分布范围广、强度大和震源浅等特点。近年来,我国地震断层活动频繁,已发生多次破坏性地震(如汶川地震、雅安地震及玉树地震等),给人口密集区域造成惨重的人员伤亡和经济损失。城市是人类聚居和社会财富聚集的地区,在我国的社会经济发展中占据重要地位。随着城市化发展,人口和财富大量聚集,城市作为一个巨大的受灾体所面临的潜在地震风险也在不断增大。目前,城市区域地震灾害风险评估理论方法和应用平台的研究已获得国内外学者的广泛关注,并取得了较为丰富的研究成果。然而,我国目前还没有比较系统的地震灾害损失估计和风险评估方法及应用平台,极大地阻碍了我国政府的防震减灾决策和应急管理。

面向《国家防震减灾规划(2006—2020年)》的重大战略需求,针对目前我国在该领域研究匮乏的现状,作者所在研究团队依托多项国家级、省部级重大项目,以城市多龄期建筑为目标,对适用于我国地震特点、建筑特点、人口与经济特点的地震灾害损失评估理论与方法进行深入系统的研究,建立了场地地震危险性、结构地震易损性、经济损失与人员伤亡方面的系统性理论模型与数据库,建立了适用于我国城市多龄期建筑地震灾害评估与风险控制的方法及关键技术体系,并开发出适用于我国国情的可扩展、多层次的城多龄期建筑地震灾害损失评估系统平台,进而通过综合应用示范提出高效、可行的城市多龄期建筑地震灾害控制的成套技术与措施。

本书明确划分地震灾害风险评估领域中的上、中、下游产业链(预警、风险预测与损失评估、地震保险),促进风险投资渠道的多元化,实现我国地震灾害风险评估软件的商业化目标,并为制定我国城市防震减灾规划、逐步改善城市防震减灾能力提供科学依据,为我国城市化进程与经济可持续发展提供有力保障。

本书从理论方法、系统平台开发和应用示范三个层次对以上成果进行全面系统阐述,逻辑清晰、结构合理、体系完整、可操作性强,实现了从理论方法到应用实践的一体化融合,便于学习与推广应用。

本书分为绪论、上篇、中篇、下篇4部分:绪论(第1章)介绍本书的研究意义、目标与内容;上篇(第2章~第9章)为理论方法研究,分别阐述系统评估框架建立、建筑工程信息数据采集方法与数据库建立、场地地震危险性分析方法与地震动衰减模型数据库建立、结构地震易损性分类方法与曲线管理数据库建立、地震灾害

损失的评估方法与模型、加固决策体系建立、地震保险制度建立与费率厘定方法、震后应急决策体系建立等;中篇(第10章~第12章)为系统开发研究,介绍系统开发平台建立与关键技术、系统相关模块开发流程、系统功能使用等;下篇(第13章)为综合应用研究,选取典型城市区域,采集并建立建筑工程信息数据库,进而进行震害预测与损失评估综合应用示范。

本书由郑山锁、孙龙飞、龙立、郑捷、张艺欣、董立国等撰写。其中,第1章、第4章、第6章~第8章由郑山锁撰写,第2章、第10章和附录由孙龙飞撰写,第3章、第9章、第12章由龙立撰写,第11章、第13章由郑捷、张艺欣、董立国撰写,第5章由明铭撰写,第9章部分内容由张睿明撰写。胡卫兵、胡长明、刘培奇、侯丕吉、王斌、曾磊、李磊、李宗澍、彭石磊、陈峥、兰昆、王帆、张兴虎、贺金川、王威、商效瑀、徐强、王建平、林咏梅、马乐为、马永欣等老师,李楠、相泽辉、丁明松、代旷宇、吴琼、陈飞、杜兴、陈家悦、杨威、秦卿、关永莹、左河山、牛丽华、郑淞、张晓辉、王晓飞、左英、石磊、朱揽奇、张秋实、黄威曾、汪峰、甘传磊、黄莺歌、周京良、周炎、李健、李强强、刘巍、曹琛、韩超伟、孙乐彬、韩言召、赵鹏、赵彦堂、程洋、马德龙、田进、张奎、赵鹏、刘小锐、王萌、宋哲盟、梁先锋、王子胜、付小亮、蔡永龙、王岱、裴培、宋明辰、尚志刚、郑跃、江梦帆、阮升、荣先亮、刘毅、陈方格、刘晓航等研究生,参与了本书部分章节内容的研究与应用示范工作或材料整理、插图绘制工作。全书由郑山锁统稿。

在本书所涉及相关内容的研究与应用示范过程中,得到了中国地震局地球物理研究所高孟潭研究员和工程力学研究所孙柏涛研究员、沈阳建筑大学周静海教授、长安大学赵均海教授、机械工业勘察设计研究院张炜设计大师、西安建筑科技大学史庆轩教授和梁兴文教授、西安理工大学刘云贺教授、西安交通大学马建勋教授、中国建筑西北设计研究院有限公司吴琨总工等专家的建言与指导,在此表示衷心的感谢。

本书的主要研究与应用示范工作得到国家科技支撑计划课题“城市多龄期建筑震害评估关键技术集成与示范(2013BAJ08B03)”、陕西省科技统筹创新工程计划项目“城市建筑群地震灾害风险预测与损失评估的关键技术研究与应用示范(2011KTCQ03-05)”、陕西省社会发展科技攻关计划项目“陕西城市区域建筑的地震灾害模拟与示范(2012K12-03-01)”、陕西省教育厅产业化培育项目“陕西城市多龄期建筑震害评估与模拟的关键技术与示范(2013JC16)”和“陕西城市供水/供气系统地震灾害风险评估关键技术与示范应用(18JC020)”、教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目“强震下建筑结构抗整体倒塌能力的定量化评估理论与方法及设计对策(20106120110003)”、国家自然科学基金项目“近海大气环境下RC框架结构的性能化全寿命抗震能力研究(51678475)”、陕西省重点研发计划项

目“陕西城市基础设施系统地震灾害风险评估关键技术与示范(2017ZDXM-SF-093)”项目资助,并得到陕西省科技厅、陕西省地震局、西安市地震局、西安市灞桥区人民政府的大力支持与协助,在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

郑山锁

西安建筑科技大学

2019年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 研究目标	3
1.3 本书主要内容	3
参考文献	5

上篇 理论方法研究

第 2 章 地震灾害损失评估方法及系统开发研究	9
2.1 引言	9
2.2 地震灾害损失评估方法	9
2.2.1 理论方法研究	10
2.2.2 评估系统开发	13
2.3 系统开发框架研究	16
参考文献	20
第 3 章 建筑工程数据采集及数据库建立方法研究	23
3.1 建筑工程数据采集方法研究	23
3.2 建筑工程数据采集内容及方法实现	26
3.2.1 建筑工程数据采集内容	26
3.2.2 采集方法研究	29
3.2.3 基于移动 GIS 的建筑信息采集系统开发	30
3.3 建筑工程数据库建立	37
3.3.1 系统数据统一存储方案	37
3.3.2 空间数据和属性数据建设	38
3.3.3 属性数据与空间数据关键字的映射方法	42
3.4 实例分析	42
3.5 本章小结	43
参考文献	44

第4章 地震危险性分析方法研究	46
4.1 引言	46
4.2 概率地震危险性分析	47
4.2.1 基本假定	48
4.2.2 分析方法	48
4.3 确定性地震危险性分析	59
4.4 基于设定地震的确定性分析	61
4.4.1 设定地震	61
4.4.2 关键步骤	63
4.5 算例分析	66
4.6 本章小结	85
参考文献	86
第5章 多龄期建筑地震易损性分析	88
5.1 研究框架	88
5.2 建筑结构分类	89
5.2.1 国内外建筑结构分类综述	89
5.2.2 建筑结构分类方法研究	91
5.3 地震易损性曲线管理及映射	97
5.3.1 地震易损性曲线基本属性	97
5.3.2 地震易损性曲线映射	97
5.4 地震易损性曲线管理系统的设计与实现	101
5.4.1 需求分析	101
5.4.2 功能设计	102
5.4.3 系统实现	103
5.5 本章小结	104
参考文献	105
第6章 社会经济损失评估方法研究	109
6.1 引言	109
6.2 地震灾害直接经济损失评估模型	109
6.2.1 已有评估方法研究	109
6.2.2 地震灾害直接经济损失评估模型及参数确定	112
6.3 地震灾害间接经济损失评估模型	121
6.3.1 地震灾害间接经济损失评估方法	124
6.3.2 投入产出模型的分析与改进	127

6.4 地震灾害人员伤亡估计模型	136
6.4.1 现有模型研究	136
6.4.2 地震灾害人员伤亡影响因素分析	138
6.4.3 地震灾害人员伤亡计算模型	140
6.4.4 模型相关参数确定	141
6.5 本章小结	168
参考文献	168
第7章 多龄期建筑加固决策体系研究及震后功能快速恢复	172
7.1 引言	172
7.2 砌体结构建筑物加固费用估算模型研究	172
7.2.1 多元线性费用估算模型的建立	173
7.2.2 加固费用估算模型数据库	175
7.2.3 多元线性回归方法的选取	177
7.2.4 基于后向消去法的模型回归分析	177
7.2.5 最优加固费用估算模型的选取与验证	179
7.3 其他结构类型建筑物加固费用估算	182
7.4 基于费用效益分析的建筑物加固决策体系研究	183
7.4.1 加固费用效益分析评价参数	183
7.4.2 加固费用与效益的识别原则	185
7.4.3 加固费用现值与效益现值的计算	185
7.4.4 加固费用效益分析模型及评价体系	188
7.5 震后功能快速恢复技术	189
7.5.1 震后功能快速恢复措施	189
7.5.2 各类建筑物具体加固措施	189
7.6 本章小结	193
参考文献	193
第8章 我国地震保险制度与费率厘定研究	196
8.1 引言	196
8.2 国外地震保险制度论述	196
8.3 我国地震保险制度研究	201
8.4 建筑物地震保险费率厘定方法研究	208
8.4.1 地震危险性	209
8.4.2 结构地震易损性	210
8.4.3 建筑结构地震灾害损失	210

8.4.4 保险费率厘定方法与保险赔付	210
8.5 RC 框架结构地震保险费率厘定	218
8.6 钢框架结构地震保险费率厘定	225
8.7 砖砌体结构地震保险费率厘定	230
8.8 本章小结	235
参考文献	236
第 9 章 震后公共庇护物需求模型	237
9.1 震后公共庇护物需求分析	237
9.1.1 公共庇护物需求人员定义	237
9.1.2 居民公共庇护物需求行为影响因素	238
9.1.3 公共庇护物需求家庭属性	238
9.1.4 家庭决策模拟	240
9.2 震后公共庇护物寻求计算公式	245
9.2.1 无家可归家庭及人员数目计算公式	245
9.2.2 公共庇护物寻求人员计算公式	247
9.2.3 公共庇护物需求模型讨论	247
9.3 公共庇护区食物日需求估算	248
9.4 本章小结	249
参考文献	249

中篇 系统开发研究

第 10 章 地震灾害损失评估系统设计与开发	253
10.1 已有地震灾害评估系统综述	253
10.2 系统开发环境	255
10.2.1 ArcGIS Engine	256
10.2.2 .NET 平台	257
10.2.3 Oracle 数据库	257
10.3 系统体系结构设计	259
10.3.1 系统目标	259
10.3.2 系统结构设计	259
10.3.3 系统功能设计	260
10.3.4 系统硬件及软件需求	262
10.4 系统关键技术实现	262
10.5 插件实例	265

10.5.1	资源文件的定义与使用	266
10.5.2	功能代码实现	268
10.5.3	配置文档	269
	参考文献	272
第 11 章	系统主要功能集成与实现	275
11.1	地震危险性分析模块	275
11.1.1	模块说明	275
11.1.2	模块开发 UML 类图	277
11.1.3	功能模块界面展示	277
11.1.4	模块关键源程序	282
11.2	结构破坏分析模块	284
11.2.1	模块说明	284
11.2.2	模块开发 UML 类图	284
11.2.3	功能模块界面展示	285
11.2.4	模块关键源程序	287
11.3	地震灾害直接经济损失评估模块	289
11.3.1	模块说明	289
11.3.2	模块开发 UML 类图	290
11.3.3	功能模块界面展示	290
11.3.4	模块关键源程序	292
11.4	地震灾害间接经济损失评估模块	296
11.4.1	模块说明	296
11.4.2	模块开发 UML 类图	296
11.4.3	功能模块界面展示	296
11.4.4	模块关键源程序	298
11.5	地震灾害人员伤亡评估模块	301
11.5.1	模块说明	301
11.5.2	模块开发 UML 类图	301
11.5.3	功能模块界面展示	302
11.5.4	模块关键源程序	304
11.6	加固决策分析模块	307
11.6.1	模块说明	307
11.6.2	模块开发 UML 类图	308
11.6.3	功能模块界面展示	308

11.6.4	模块关键源程序	313
11.7	地震保险费率计算模块	318
11.7.1	模块说明	318
11.7.2	模块开发 UML 类图	319
11.7.3	功能模块界面展示	320
11.7.4	模块关键源程序	322
11.8	震后公共庇护物需求量计算模块	327
11.8.1	模块说明	327
11.8.2	模块开发 UML 类图	327
11.8.3	功能模块界面展示	327
11.8.4	模块关键源程序	330
第 12 章	系统功能使用说明	336
12.1	系统运行环境	336
12.1.1	硬件环境	336
12.1.2	操作系统	336
12.1.3	支撑软件	336
12.2	软件安装	337
12.3	系统起始页说明	340
12.4	系统管理模式	340
12.5	系统操作说明	341
12.5.1	系统起始页	341
12.5.2	基础数据	346
12.5.3	视图	349
12.5.4	系统评估流程	349
12.6	本章小结	389

下篇 综合应用研究

第 13 章	综合应用示范研究	393
13.1	灞桥区基本概况	393
13.2	地震构造背景	393
13.3	灞桥区建筑物特性	395
13.4	地震灾害损失评估	399
13.5	地震灾害风险控制分析	415
13.6	本章小结	420

参考文献	420
附录	421
附录 A 建筑物标识码约定	421
附录 B 结构类型分类	422
附录 C 使用功能分类	423
附录 D 不同用途装修等级划分	423
附录 E 地震动峰值加速度衰减关系参数	425
附录 F 近场区域范围内主要断层介绍	427
附录 G 潜在震源区地震构造和地震活动性	430
附录 H 国内外已有建筑结构分类	432
附录 I 在室率问卷调查表	444
附录 J 各因素及互斥子因素权重赋值专家调查表	446

第 1 章 绪 论

1.1 研究意义

城市是人类走向成熟和文明的标志,也是人类群居生活的高级形式。作为人类聚居和社会财富聚集的地区,城市在我国的社会和经济发展中占据着重要的地位,其集中了高密度的人口、资本、生产力和基础设施,是人类生产活动和基础设施建设的融合体。城市作为一个巨大的承灾体,在人类社会不断发展过程中不断遭受自然灾害(如地震、洪水、飓风等)的破坏,造成了严重的人员伤亡和经济损失,而地震是造成人员伤亡最为严重的突发性自然灾害^[1]。地震是一种由地球内部剧烈运动引起地壳板块震动并释放巨大能量的自然现象,地球上每年都会发生近千次地震^[2]。作为一种突发性灾难,地震可在极短的时间内释放巨大的能量,其破坏范围广,毁坏力强,并可引发一系列次生灾害,如火灾、核泄漏、海啸、滑坡、堰塞湖、泥石流及疾病传播等,这些灾难给人民的生命财产造成了重大损失,也对经济和社会稳定产生了巨大的冲击^[3]。

我国地处环太平洋地震带和欧亚地震带之间,地震断裂带十分活跃。活跃的地质构造使其发生破坏性地震的风险极高。破坏性地震灾害频繁发生造成大量的人员伤亡和财产损失^[4,5],表 1.1 对我国有史以来的破坏性地震灾害进行了整理。可以发现,地震灾害的强度和频率不断增加,特别是近年来的地震灾害,造成了我国城市区域不可估量的损失。2008 年汶川 8.0 级大地震,共造成 69227 人遇难,17923 人失踪,直接经济损失约 8451 亿元,并引发多次山体崩塌、滑坡、泥石流及堰塞湖等次生灾害^[6]。2010 年青海玉树发生 7.1 级强烈地震,造成 2698 人死亡,270 人失踪,12135 人受伤,经济损失达 125 亿元^[7]。

表 1.1 我国历史上发生的破坏性地震

震级	发震时间	发震地点	社会经济损失
8.0	1303. 9. 25	山西洪洞	毁坏官民庐舍 10 万计,死者约 27 万人
8.25	1556. 2. 20	陕西华县	官民庐舍尽毁,死者约 83 万人
8.5	1668. 7. 25	山东郯城	150 余州县遭受破坏,死者约 5 万人
8.5	1920. 12. 16	宁夏海源	海源、固原等四县全毁,死者约 23 万人
8.0	1927. 5. 23	甘肃古浪	死者约 23 万人

续表

震级	发震时间	发震地点	社会经济损失
7.3	1975.2.4	辽宁海城	伤亡人员 29579 人
7.8	1976.7.28	河北唐山	24.2 万人死亡,16.4 万人重伤,直接经济损失约 132.75 亿元
7.6	1999.9.21	台湾集集	2470 人死亡,直接经济损失约 977 亿元
8.0	2008.5.12	四川汶川	69227 人死亡,直接经济损失约 8451 亿元
7.1	2010.4.14	青海玉树	房屋大量倒塌,2698 人死亡
7.0	2013.4.20	四川雅安	196 人死亡,21 人失踪,11470 人受伤
6.5	2014.8.3	云南鲁甸	617 人死亡,112 人失踪,直接经济损失约 198.49 亿元
6.7	2016.2.6	台湾高雄	117 人死亡

纵观我国历次地震造成的惨痛影响,其主要原因是城市防灾规划设计不当,防灾建设未能考虑区域特有的地质特点、结构特点及社会经济状况^[8~10]。汶川地震后,我国对《中华人民共和国防震减灾法》进行了修订,进一步完善了《国家防震减灾规划(2006—2020年)》并提出总体目标:到2020年,我国基本具备综合抗御6.0级左右、相当于各地区地震基本烈度的能力,大中城市和经济发达地区的防震减灾能力力争达到中等发达国家水平。然而要实现这个目标,我国的防灾工作任重道远。我国地域广阔,经济和文化差异明显,城市化发展过程中,经济状况及防灾意识的差异,使得房屋整体的抗震水平参差不齐,同时地震断层活动性不断增强,强震逐渐向城市区域迁移的风险变大。内在因素和外在环境的双重影响加剧了城市地震灾害的风险,其潜在的威胁主要表现在以下几个方面:

(1) 我国的地震活动具有分布范围广、强度大和震源浅的特点。近年来我国地震断层活动明显增强,在空间上呈现出一定的迁移性和重复性,而且地震分布呈现不均匀性^[11]。同时,随着我国城市化的发展,城市区域不断扩张,人口、财富和社会生产力正在迅速向未来大地震震中区聚集,使得城市区域发生地震的风险不断增加。

(2) 我国城镇化发展速度显著提升,统计报告^[12]指出,2014年底全国大陆城镇人口数量为74916万人,占总人口比例为54.77%。随着我国经济快速发展,城镇化进程快速推进,各种基础设施和公共设施规模巨大,社会财富急剧增加、聚集,城市人口急剧膨胀,但是城市化发展的质量和数量存在许多不协调的地方,大部分城市未进行合理的防灾规划设计,盲目地扩展城市功能,人口结构和社会经济规模快速变化,使得城市整体的脆弱性增大。

(3) 城市建筑结构抗震性能随地域经济发展水平不同存在较大的差异。我国东部地区由于经济水平相对较高,建筑物多以抗震性能较好的框架结构和剪力墙结构为主,而在我国中西部农村和经济不发达的高烈度区域,建筑物多为抗震性能

差的砌体结构和土坯结构,结构设防水平较低,抗震构造措施不全^[9,10]。而且城市区域内人员分布极不平衡,占大多数的低收入人群居住在老旧建筑及城中自建住宅中,房屋多未经正规设计,或建造年代较早,结构的抗震性能整体较弱^[10]。当城市区域发生地震时,其造成的人员伤亡及社会经济损失难以估量。

(4) 城市建筑由于建造的历史时期不同以及建造时所依据的设计规范体系不同,表现出多龄期特性,新建、老龄和超龄结构并存,这些建筑的设计参数和性能劣化程度不同,从而造成其抗震性能存在明显差异。而且结构在服役期间通常暴露于 CO_2 、 Cl^- 等腐蚀介质环境中,在外部复杂环境的耦合作用下,材料的性能会发生劣化,使结构整体的抗震性能会有不同程度地衰减,加大了结构在大震、巨震作用下产生严重破坏或倒塌的概率^[13~17]。

这些潜在的威胁使得我国的防震减灾工作难度加大,如何科学地预测现有建(构)筑物在未来地震中的震害程度,减轻地震造成的社会经济损失,有针对性地提出相应的防震减灾对策,也将成为提高城市综合抗震防灾能力、最大限度地减轻地震灾害最有效的措施。

1.2 研究目标

本书以城市多龄期建筑为目标,围绕震害预测与评估这一核心问题,基于地震危险性、结构易损性及社会经济损失理论研究,力求建立适用于我国城市多龄期建筑的震害评估方法及关键技术体系,并在现有研究成果以及国外已有软件平台基础上集成开发适用于我国地震特点、建筑特点、人口与经济特点的地震灾害损失评估系统,进而通过综合应用示范提出高效、可行的城市多龄期建筑地震灾害风险控制的成套技术与措施。

1.3 本书主要内容

本书是作者在城市多龄期建筑地震灾害预测与损失评估领域所取得研究成果的提炼、归纳和系统总结。根据总体研究目标与内容,全书分为绪论、上篇、中篇、下篇4部分对研究成果进行了全面系统阐述。主要内容如下:

(1) 研究意义、研究目标与主要内容。

(2) 理论方法研究。

① 基于整体研究目标,提出适用于我国的地震灾害损失评估系统开发框架,集成建筑工程数据库建立、场地地震危险性分析、多龄期结构地震易损性分析、社会经济损失评估、地震灾害风险控制等功能模块的理论方法与模型。

② 系统地阐述国内外建筑工程数据采集方法;基于我国建筑数据信息采集方

面的现实情况及需求,对工程数据采集的内容和方法进行研究,提出基于移动地理信息系统(geographic information system, GIS)的建筑物数据采集方法;同时,阐述建筑工程数据库的建立方法。

③ 在国内外地震危险性研究基础上,系统梳理概率性和确定性地震危险性分析方法,并基于设定地震的确定方法对两者之间内在的联系进行剖析,指出采用两者混合方法可以更好地对研究区域地震危险性进行评估,避免不同分析方法的弊端,并通过算例分析对基于设定地震的确定性地震危险性分析方法进行阐述。进而结合我国既有相关研究成果的收集与对比分析,形成可考虑我国不同地区断层分布特点和场地土特性的地震动衰减模型数据库。

④ 针对城市多龄期建筑结构特性,在多龄期建筑材料、构件与结构力学和抗震性能试验研究与理论分析,以及各类建筑结构地震易损性建模与分析的基础上,对城市多龄期建筑的地震易损性分类进行研究,制定一个详细的、可折叠的、可扩展的建筑结构分类标准,开发出建筑结构地震易损性曲线管理工具。

⑤ 在国内外已有社会经济损失模型研究基础上,考虑我国的地震特点、建筑特点、人口与经济特点等,提出适用于我国的各类功能多龄期建筑的直接经济损失、间接经济损失和人员伤亡评估方法与模型。

⑥ 基于地震危险性、结构地震易损性及地震灾害损失评估理论研究,建立城市多龄期建筑震前加固成本效益分析模型与决策体系、震后加固修复成套技术措施、地震保险制度与费率厘定方法、震后公共庇护物需求模型等地震灾害风险控制对策。

(3) 系统开发研究。

在前述系统理论与方法建立的基础上,进行城市地震灾害损失评估系统总体平台的开发,包括系统平台的架构设计、网络结构设计、硬件及软件设计等;提出基于插件的设计思想,通过平台+插件的结构进行平台搭建,使系统平台具有良好扩展性和自定制能力。同时进行场地地震危险性、结构地震易损性、地震灾害损失、地震灾害风险控制等相关模块的设计与开发。

(4) 综合应用示范研究。

基于前述理论与方法及系统平台开发成果,以典型示范城市区域——西安市灞桥区多龄期建筑为对象,采集并建立其建筑工程信息数据库,对其城市区域场地地震危险性、结构地震易损性、地震灾害损失(直接经济损失、间接经济损失、人员伤亡)、建筑物加固决策、震后公共庇护物需求、地震保险费率厘定等进行评估与分析,为相关部门震前制定抗震防灾规划与应急预案、震后制定应急救援与功能恢复重建等决策提供理论指导。