

# 陕西省科学技术进步奖提名书

(2023年度)

## 一、项目基本情况

项目名称	城市区域多龄期建筑震害模拟与评估关键技术研究及软件集成与示范
主要完成人	郑山锁, 吕大刚, 赵均海, 尹保江, 李磊, 于晓辉, 张继文, 朱武卫, 张海, 胡卫兵, 王斌, 高欣乐, 杨丰, 董晋琦, 刘晓航
主要完成单位	西安建筑科技大学, 哈尔滨工业大学, 长安大学, 中国建筑科学研究院有限公司, 机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西省建筑科学研究院有限公司, 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 中联西北工程设计研究院有限公司, 桂林理工大学, 西安工业大学



### 三、项目简介

该项目属于土木建筑工程与地震工程交叉领域。成果服务对象为政府部门与企事业单位（城市规划、防灾规划、灾难应急预案/对策、震前加固与震后恢复）、保险公司（地震保险制度与费率厘定）、科研机构等。

既有建筑由于服役环境与龄期、设计时所依据规范等不同，其震损破坏机理与抗震能力差异显著，然而国内外现有震害预测与风险评估理论方法与软件平台对该问题鲜有考虑，致使其评估结果难以客观反映城市多龄期建筑的实际震害情况与损失，制约了我国防震减灾与应急管理工作的有效开展。

鉴于此，项目组历时 23 年，在国家重大科技专项（5 项）、国家自然科学基金（16 项）、省部重大科研项目（18 项）等资助下，投入研究经费 3560 万元，围绕既有建筑结构时变性能劣化规律揭示与表征及震害风险评估与控制等核心问题，基于大量物理模型试验、工程实测、理论分析与数值模拟，建立了城市区域多龄期建筑集震害预测、模拟、损失评估与风险控制于一体的成套理论技术体系，开发出可扩展、可定制、多层次的评估系统平台，实现了我国大中城市震害风险与损失的科学高效预测、模拟、评估与控制。**主体成果已纳入《建筑抗震鉴定标准》、《建筑抗震韧性评价标准》、《建筑抗震加固技术规程》、《建筑结构抗倒塌设计规范》等 15 部国家和行业标准**，对行业的科技进步和产业结构优化升级有重大推动和引领作用，具有广阔的应用前景和推广价值。主要创新成果包括：

**(1) 近断层强地震动场的模拟预测与地震危险性分析方法及技术平台：**率先建立了考虑断层分布特点、近场特征和场地放大效应的西安地区强地震动预测模型与多变量设定地震危险性分析理论方法；集成了多尺度地震信息数据库与全国不同地区的地震动衰减模型数据库，开发出基于 ArcGIS 的地震危险性分析软件平台；创新性提出了基于非平稳非高斯随机过程的人工地震动生成方法，发展了基于目标谱的特定场地地震动记录选择与调幅方法。大幅提升了强地震动场模拟及建筑震害预测精度与效率。

**(2) 多龄期建筑结构震损破坏机理与性能劣化规律及动力灾变多尺度高效数值建模分析方法：**基于大量的工程实测、试验研究和理论分析，全面系统地揭示了一般、近海、冻融大气环境下城市区域多龄期建筑中材料、构件与结构的震损破坏机理及其力学与抗震性能劣化规律，建立了基于损伤特征与变形性能的多龄期建筑破坏状态划分标准；创新性构建了多龄期建筑材料耐久性损伤预测模型、材料时变本构模型与构件时变恢复力模型，建立了多龄期建筑宏-细观相结合的动力灾变混合单元多尺度、高效数值建模分析方法与模型参数标定理论，开发出相应模拟分析软件，突破了震害模拟精度与效率难以兼顾的技术瓶颈。

**(3) 城市区域多龄期建筑震害与损失评估及风险控制成套理论技术体系：**创新性制定了详细的、可折叠、可扩展的建筑结构分类标准，系统性建立了考虑我国地震特点、建筑特点及城市经济、人口和结构特点的城市各类多龄期建筑时变地震易损性模型、直接与间接经济损失及人员伤亡评估模型、震前加固成本效益分析模型与决策体系、地震保险制度与费率厘定方法、震后庇护物需求模型、震后加固修复成套理论技术措施等，有力支撑了国家震害防治策略、防灾减灾规划、震后应急救援与处置方案的科学制定。

**(4)城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台及城市基础数据成套采录技术**：创新性研发了可扩展、可更新的地震易损性模型数据库与曲线管理工具；首次考虑多龄期性能退化特性，基于 C/S 架构、“.net”平台、组件式 GIS 集成方式、通过“平台+插件”途径，综合集成开发出适用于我国国情的可扩展、可定制、多层次的**城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台**；率先提出了集多源异构数据融合采集方法、移动 GIS 采集系统、多维交互可视化数据库平台于一体的**城市基础数据成套采录技术**。实现了城市区域多龄期建筑震害风险的科学高效评估及震害评估平台的有效示范与推广应用。

基于以上成果，**项目组编制国标 11 部/行标 3 部**；获国家授权**发明专利 95 项**、**实用新型专利 78 项**，**登记国家软件著作权 44 项**，**出版学术专著 17 部**（2 部获国家著作出版基金资助）、**图册 2 部**，**发表学术论文 696 篇**（**147 篇被 SCI 检索**，**349 篇被 EI 检索**，**5 篇入选 F5000**，**149 篇发表于《土木工程学报》、《建筑结构学报》、《工程力学》中文顶级期刊**）；培养硕博研究生、博士后研究人员 **256 名**，其中 **7 名获省部优博**。

项目**成果已成功综合应用于西安市、太原市等 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及 200 余项工程震害分析与加固中**，为区域震前制定抗震防灾规划与加固策略、震后制定应急救灾与功能快速恢复重建等决策提供了重要科技支撑，提升了城市综合防震减灾能力，保障了我国城市化进程与经济可持续发展，**产生了重大社会与经济效益**。

经吕西林院士、徐建院士、地球物理所高孟潭副所长等专家鉴定：**研究成果整体达到国际先进、主体达到国际领先**。成果获**2020 年度陕西高等学校科学技术一等奖 1 项**。

## 四、客观评价

### 1. 国家规范与行业标准

该项目完成单位作为主要参编单位、完成人作为主要起草人，将项目形成的城市区域多龄期建筑集震害预测、模拟、损失评估与风险控制于一体的成套理论技术体系中的主体成果纳入 15 部国家和行业标准中，并在西安、太原等 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及 200 余项工程震害分析与加固中获得了成功应用，促进了行业的科技进步与产业的结构优化升级，为我国在抗震防灾、应急管理等领域的发展做出了突出贡献。

创新点 2 中“大量混凝土/钢构件与结构试验数据及理论分析等成果”被《构筑物抗震设计规范》采纳。创新点 3 中“城市建筑结构分类标准和不同破坏模式既有建筑的低成本高效能加固修复成套技术措施”被《既有建筑鉴定与加固通用规范》采纳。创新点 3 中“城市区域多龄期建筑时变地震易损性模型及损失评估与风险控制的成套理论技术体系”被《湿陷性黄土地区建筑规范》采纳。创新点 3 中“城市建筑灾害损失评估理论”被《建筑地基基础工程施工质量验收标准》采纳。创新点 3 中“城市建筑灾害损失评估与风险控制成套理论技术体系”被《建筑与市政地基基础通用规范》采纳。

### 2. 科技奖励

研究成果“城市多龄期建筑震害模拟与评估关键技术研究及软件集成与示范”获 2020 年度陕西高等学校科学技术一等奖。

### 3. 成果验收与评价

项目完成人主持国家重大科技专项 5 项、国家自然科学基金 16 项、省部重大科研项目 18 项，并均经相关部门组织专家审核验收结题。主要项目验收意见如下：

以国家地震局地球物理研究所高孟潭副所长为组长、李小军副所长等为成员，工程力学研究所温瑞智副所长为副组长的国家科技支撑计划项目（城市多龄期建筑震害评估与模拟关键技术研究与示范）验收专家组认为：“项目成果为城市区域多龄期建筑震害评估与模拟提供了重要科技支撑，具有重大的社会效益和工程实用价值。”

国家自然科学基金项目专家组对“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”、“RC 结构基于概率损伤模型的地震易损性研究”、“超高层混合结构地震损伤的多尺度效应及其精细化建模理论与方法研究”等项目的结题验收结论均为优秀。

以吕西林院士为专家组长、徐建院士为副组长、地球物理所高孟潭副所长等为成员的鉴定委员会对本项目进行成果鉴定，一致认为：“项目成果内容丰富、系统，在理论方法、试验技术、平台开发及工程应用等方面创新性突出，成果整体达到了国际先进水平，主体成果“城市区域多龄期建筑震害评估与风险控制理论及其系统软件平台”达到国际领先。”

### 4. 技术成果证明

该项目创新点（3）研制的适用于加固建筑的高性能纤维混凝土材料及提出的成套加固技术措施，获授权国家发明专利 95 项、实用新型专利 78 项，且实现应用转化。所研发的高性能纤维混凝土通过了专业工程材料检测机构的鉴定，检测结果表明：该混凝土材料所检项目（包括材料力学性能、耐久性能等）均符合技术要求。创新点（1）、（2）、（4）所对应的地震危险性分析软件、动力灾变模拟分析软件、震害风险与损失评估系统平台、基础信息采集系统等获 44 项系列性国家软件著作权。

### 5. 工程应用评价

该项目成果已成功综合应用于西安、太原等 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及 200 余项工程震害分析与加固中，部分工程应用评价如下：

西安市地震局：在西安地区，应用本项目开发的“中国地震灾害损失评估系统 CEDLAS”，实现了城市区域地震灾害与损失的实时快速模拟与评估，为制定城市防震减灾规划、逐步改善防震减灾能力提供了科学依据。

山西太钢不锈钢股份有限公司：在“太原钢铁集团有限公司区域”及“第二炼钢厂主厂房”、“第二炼钢厂机关办公楼”、“选矿工程浮选车间”等工程项目中，应用本项目开发的“中国地震灾害损失评估系统 CEDLAS”，对区域、单体建筑进行了震害模拟与风险评估，进而提出了低成本高效能加固方案等震害风险控制成套技术措施。

攀钢集团攀枝花钢铁有限公司：在“攀钢集团攀枝花钢铁有限公司区域”及“提钒炼钢厂机关办公主楼”、“提钒炼钢厂 3 号办公楼”、“轨梁厂机关办公楼”等工程项目中，应用本项目开发的“中国地震灾害损失评估系统 CEDLAS”，实现了经济损失与人员伤亡的科学评估，并给出了针对性的低成本高效能加固方案、庇护区/物需求量等。

府谷新区委员会：在榆林市府谷县区域，应用本项目开发的“中国地震灾害损失评估系统 CEDLAS”，对城市区域建筑进行了实时快速评估，为城市震前抗震防灾规划与应急预案制定、震后应急救援与功能快速恢复重建等决策提供了技术支撑。

#### 6. 教育部科技查新结论

于 2020 年 05 月 06 日，依托教育部科技查新工作站（Z08）-西安交通大学图书馆对该项目成果进行科技查新，查新结论为：在国内外公开发表的中外文文献中，除了查新课题项目组成员公开的成果以外，与本项目查新点完全相同的未见报道。

#### 7. 学术专著与论文

该项目在 21 项国家级、18 项省部级科研项目资助下，出版科研专著 17 部、图册 2 部，由国内权威出版社（科学出版社、高等教育出版社）出版，其中 2 部获得国家科学技术学术著作出版基金资助，评价为：

国家科学技术学术著作出版基金委员会：《城市地震灾害损失评估：理论方法、系统开发与应用》是基础性、前瞻性和战略性学术著作，在理论上具有很大创新。

在国内外具有高影响力的学术期刊上发表论文 696 篇（147 篇被 SCI 检索，349 篇被 EI 检索，5 篇入选 F5000，149 篇发表于《土木工程学报》、《建筑结构学报》、《工程力学》中文顶级期刊）。

## 五、应用情况

### 1. 应用情况

项目**主体成果被纳入了 15 部国家和行业标准**，有力支撑了国家震害防治策略、防灾减灾规划、震后应急救援与处置方案的科学制定。在 2004 年 09 月至 2023 年 04 月期间，**成果已成功综合应用于西安市、太原市等 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及 200 余项工程震害分析与加固中**，为区域震前制定抗震防灾规划与加固策略、震后制定应急救援与功能快速恢复重建等决策提供了重要科技支撑，**产生了重大社会与经济效益**。10 个主要应用单位的应用情况如下：

主要应用单位情况表（附件 2；5~21）

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	西安市地震局	地震动场模拟预测与地震危险性分析技术	西安市	2013.03-2018.12	谢振乾 13909187045
		损失评估与风险控制理论及系统软件平台、基础数据采集等技术		2013.06-2018.12	
		地震危险性分析、灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术		2013.08-2018.12	
		建筑震害仿真与灾变模拟技术		2013.03-2018.12	
2	太原钢铁集团有限公司	地震危险性分析、灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术	太原钢铁集团有限公司区域	2017.06-2018.05	梁雨多 18535185528
		灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、高性能纤维混凝土加固等技术	第二炼钢厂主厂房、连铸浇铸厂房、精磨厂房	2017.10-2018.09	
		震害分析、装配式加固技术	第二炼钢厂机关办公楼、职工宿舍楼、运转车间办公楼、信号办公楼	2017.10-2018.06	
		地震风险评估、延性加固技术	选矿工程浮选车间	2018.10-2019.03	
3	攀钢集团攀枝花钢铁有限公司	地震危险性分析、灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术	攀钢集团攀枝花钢铁有限公司区域	2017.06-2018.05	董家宇 13982363544
		灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、隔震加固等技术	提钒炼钢厂机关办公楼、运转车间办公楼、二板 35kV 变电所、软水站	2015.03-2016.12	
		地震风险评估、外部附加子结构加固技术	提钒炼钢厂 3 号办公楼、污泥处理泵房、水泥泵房	2015.10-2017.08	
		震害模拟、装配式加固技术	轨梁厂机关办公楼、信号楼	2015.04-2016.06	
4	山西钢铁建设集团有限公司	地震危险性分析、灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术	山西钢铁建设集团有限公司区域	2017.06-2018.05	梁建忠 13903514495

		地震风险分析、装配式加固技术	矿业分公司尖山铁矿 69#、70#、71#、72#、78#、79# 六栋住宅楼	2017.03-2018.01	
5	府谷新区开发建设管理委员会	地震危险性分析、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术	府谷新区区域	2018.03-2021.03	李飞平 18909121978
		灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术		2018.03-2021.04	
6	中国能源建设集团陕西省电力设计院有限公司	地震危险性分析、数据采集、延性及装配式加固等技术	铜川市 330KV 金锁变电站	2017.05-2019.06	董淑卿 18681880329
		灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、隔震加固等技术	西安电力树脂厂区域	2014.10-2016.05	
		地震风险分析、损失评估与风险控制理论及系统软件平台等技术	西安市、榆林市、延安市、汉中市、安康市 750KV、330KV、110KV 变电站	2015.09-2020.12	
7	西安建科宝龙新材料有限责任公司	延性加固技术及适用于加固建筑的高性能纤维混凝土系列技术（20 项发明专利）	西安市	2020.01-2021.03	李定建 18789420623
8	珠海华发企业管理有限公司	地震危险性分析、灾变模拟、损失评估与风险控制理论及系统软件平台、数据采集等技术	华发蔚蓝堡区域	2017.01-2018.07	张明初 13902865606
9	中国建筑科学研究院有限公司	震害评估、抗震加固技术	中航 5704 厂电镀车间	2011.06-2012.05	尹保江 010-64517454
		耐久性加固处理方法、单层钢筋混凝土柱厂房的排架柱和屋架加固方法	《建筑抗震加固技术规程》（JGJ 116-2009）	2007.06-2009.06	程绍革 13701381694
		大量砌体、混凝土和钢构件与结构试验数据与理论分析成果，既有建筑耐久性研究成果	《建筑抗震鉴定标准》（GB 50023-2009）	2007.06-2009.06	
10	清华大学	地震人员伤亡的模拟和预测方法	《建筑抗震韧性评价标准》（GB/T 38591-2020）	2018.03-2020.03	潘鹏 15801386507
		建筑结构连续倒塌极限状态及其可靠性分析方法、地震倒塌易损性分析方法	《建筑结构抗倒塌设计规范》（CECS 392-2014）	2012.12-2014.12	钱稼茹 13611220716

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条，所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2022 年 12 月 31 日之前。）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种 C50 强度等级的高性能纤维混凝土及其制备方法	中国	ZL 2017 1 0702347.4	2019.11.05	3580907	西安建筑科技大学	郑山锁、董方园、郑捷、王斌等
2	发明专利	一种 C80 强度等级的高性能纤维混凝土及其制备方法	中国	ZL 2017 1 0703522.1	2019.10.22	3564938	西安建筑科技大学	郑山锁、董方园、王斌、张睿明等
3	发明专利	一种等强耗能钢结构梁柱节点	中国	ZL 2014 10241059.X	2017.01.18	2347873	西安建筑科技大学	郑山锁、徐强、田进、韩言召等
4	软件著作权	地震灾害损失评估系统	中国	2015SR243041	2015.12.04	1130127	西安建筑科技大学	郑山锁、孙龙飞、龙立、刘培琦等
5	软件著作权	概率地震危险性分析软件	中国	2018SR221252	2018.03.30	2550347	西安建筑科技大学	郑山锁、明铭、龙立、孙龙飞等
6	软件著作权	城市基础信息采集系统	中国	2019SR0822759	2019.08.08	4243516	西安建筑科技大学	郑山锁、龙立、张艺欣、郑跃等
7	其他	城市地震灾害损失评估：理论方	中国	ISBN: 978-7-03-054703-3	2019.09.01	北京：科学出版社	西安建筑科技大学	郑山锁、孙龙飞、龙立等

		法、系统开发与应用						
8	其他	多龄期钢结构抗震性能试验及地震易损性研究	中国	ISBN: 978-7-03-063228-9	2022.08.01	北京: 科学出版社	西安建筑科技大学	郑山锁、张晓辉、曹琛等
9	其他	近海大气环境下钢筋混凝土结构抗震性能试验研究	中国	ISBN: 978-7-03-072012-2	2022.09.01	北京: 科学出版社	西安建筑科技大学	郑山锁、董立国、郑跃等
10	其他	一般大气环境下钢筋混凝土结构抗震性能试验研究	中国	ISBN: 978-7-03-072014-6	2022.09.01	北京: 科学出版社	西安建筑科技大学	郑山锁、周炎、明铭等

## 七、主要完成人情况表

姓 名	郑山锁	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 1、2、3、4 做出了创造性的贡献：制定了整体研究方案，构建了创新点建立的整体框架，指明了项目的创新点与突破点，以保证研究体系的系统化与科学化及研究水平的前瞻性；将成果推广应用于全国 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及多项工程震害分析与加固中。主编专著 13 部，编制标准 2 部，发表论文 373 篇，授权国家发明专利 71 项、实用新型专利 13 项，登记国家软件著作权 44 项，获陕西省高等学校科学技术一等奖 1 项。</p>			

姓 名	吕大刚	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	哈尔滨工业大学		
完成单位	哈尔滨工业大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>对创新点 1、4 做出了创造性的贡献：建立了考虑断层分布特点和近场特征的西安地区强地震动预测模型，提出了基于非平稳非高斯随机过程的人工地震动生成方法，发展了基于目标谱的地震动记录选择与调幅方法；参与完成了基于 ArcGIS 的地震危险性分析软件平台、震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。编制标准 2 部、图册 2 部，发表论文 103 篇，授权国家发明专利 6 项、实用新型专利 6 项，获陕西省高等学校科学技术一等奖 1 项。</p>			

姓 名	赵均海	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
<p>对本项目主要学术贡献：完成人对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：参与设计城市既有建筑结构的材料、构件与结构试件力学与抗震性能试验；参与构建了多龄期建筑多尺度高效数值建模方法；参与制定了建筑结构分类标准，提出了典型钢结构建立方法；参与完成了震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范，结合示范结果提出了高效、可行的城市多龄期钢结构地震灾害风险控制的技术与措施。主编专著 1 部，发表论文 24 篇，授权国家发明专利 4 项。</p>			

姓 名	尹保江	排 名	4
行政职务	副总工程师		
技术职称	研究员		
工作单位	中国建筑科学研究院有限公司		
完成单位	中国建筑科学研究院有限公司		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 3、4 做出了创造性的贡献：对既有建筑物震害加固与修复进行了研究，建立了震前加固成本效益分析模型与决策体系，提出了可快速恢复建筑功能、大幅提升抗震能力的低成本高效能加固设计理论及成套技术措施；参加完成了项目成果的工程应用与实施方法研究，制订了成果应用具体技术实施方案，将成果成功应用于多项工程震害分析与加固项目中，实现了既有建筑物低成本高效能的加固设计。参编专著 1 部，编制标准 4 部，发表论文 6 篇，授权国家发明专利 2 项。</p>			

姓 名	李磊	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		

完成单位	西安建筑科技大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 2、3、4 做出了重要贡献：设计并完成了冻融大气环境下 RC 框架柱的环境腐蚀试验和抗震试验，建立了冻融大气环境下 RC 框架柱的冻融损伤模型；对城市区域震害损失进行了研究，参与提出了地震灾害直接、间接经济损失评估模型；参与了震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。发表论文 52 篇，作为主要参加人授权国家发明专利 31 项、实用新型专利 3 项，登记国家软件著作权 5 项。</p>	

姓 名	于晓辉	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	副研究员		
工作单位	桂林理工大学		
完成单位	桂林理工大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 1、4 做出了创造性的贡献：提出了考虑西安地区场地放大效应的多变量设定地震危险性分析理论方法，集成了多尺度地震信息数据库与全国不同地区的地震动衰减模型数据库；参与完成了基于 ArcGIS 的地震危险性分析软件平台、震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。发表论文 85 篇，作为主要参加人授权国家发明专利 3 项、实用新型专利 6 项，获陕西省高等学校科学技术一等奖 1 项。</p>			

姓 名	张继文	排 名	7
行政职务	副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	机械工业勘察设计研究院有限公司		
完成单位	机械工业勘察设计研究院有限公司		

对本项目主要学术贡献：

完成人对创新点 3、4 做出了创造性的贡献：参与采集并建立了既有建筑结构基础信息数据库；参与提出我国城市建筑结构典型结构建立方法；参与完成了震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。编制标准 1 部，授权国家发明专利 2 项。

姓 名	朱武卫	排 名	8
行政职务	副总经理/总工程师		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	陕西省建筑科学研究院有限公司		
完成单位	陕西省建筑科学研究院有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
完成人对创新点 3、4 做出了创造性的贡献：参与制定了既有建筑结构分类标准；参与采集并建立了城市基础信息数据库；参与搭建了我国城市既有建筑结构地震易损性数据库；参与完成了场地地震动预测与地震危险性分析及震害风险与损失评估系统平台的应用示范。参编专著 1 部，编制标准 3 部，发表论文 4 篇。			

姓 名	张海	排 名	9
行政职务	城市轨道交通与建筑设计研究院院长		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	中铁第一勘察设计院集团有限公司		
完成单位	中铁第一勘察设计院集团有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
完成人对创新点 2、3、4 做出了创造性贡献：参与采集并建立了城市基础信息数据库；参与建立城市既有建筑结构动力灾变多尺度高效数值建模分析方法，参与提出高效、可行的地震灾害风险控制成套技术措施，参与完成了城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台的应用示范。发表论文 3 篇，授权国家发明专利 2 项。			

姓 名	胡卫兵	排 名	10
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 2、3 做出了创造性贡献：设计并完成了钢框架梁、柱构件的环境腐蚀试验及力学与抗震性能试验，揭示了不同侵蚀环境下钢材力学性能劣化规律及钢框架梁、柱构件抗震性能退化规律，建立了钢框架梁、柱构件时变恢复力模型；进行了城市典型多龄期钢结构的概率地震需求与概率抗震能力分析，建立了相应的时变地震易损性模型。主编专著 1 部，发表论文 81 篇。</p>			

姓 名	王斌	排 名	11
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安工业大学		
完成单位	西安工业大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 2、3 做出了创造性贡献：设计了 RC 框架节点与钢框架梁环境腐蚀试验与抗震性能试验，揭示了冻融和近海环境下构件抗震性能劣化规律，建立了考虑环境侵蚀影响的构件滞回规则，完成了构件单元模型开发与应用；进行了城市典型多龄期钢结构的概率地震需求与概率抗震能力分析，建立了相应的时变地震易损性模型。参编专著 3 部，发表论文 58 篇，作为主要参加人授权国家发明专利 39 项、实用新型专利 6 项，登记国家软件著作权 12 项。</p>			

姓 名	高欣乐	排 名	12
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		

工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司
完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 2、3、4 做出了创造性贡献：参与采集并建立了城市既有建筑基础信息数据库，参与研究了城市既有建筑震损破坏机理与性能劣化规律，参与搭建了城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台，并参与完成了城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台的应用示范。发表论文 3 篇。</p>	

姓 名	杨丰	排 名	13
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	中国启源工程设计研究院有限公司		
完成单位	中国启源工程设计研究院有限公司		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：参与完成了混凝土拉-压力学性能试验，建立了混凝土双轴拉-压随机损伤细观模型；对 RC 核心筒结构进行了地震灾变模拟与易损性分析，建立了能够反映构件损伤、楼层损伤以及整体结构损伤三者之间迁移演化规律的 RC 核心筒整体地震损伤模型；参与了震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。发表论文 7 篇，作为主要参加人登记国家软件著作权 2 项。</p>			

姓 名	董晋琦	排 名	14
行政职务	无		
技术职称	无		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		

对本项目主要学术贡献：

完成人对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：设计并完成了冻融大气环境下 RC 剪力墙的环境腐蚀试验和抗震试验，建立了冻融大气环境下腐蚀 RC 剪力墙的时变弯曲和剪切恢复力模型；对冻融大气环境下不同服役龄期典型 RC 框架结构进行了地震易损性分析；参与了震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。发表论文 9 篇，作为主要参加人授权国家发明专利 11 项、实用新型专利 4 项，登记国家软件著作权 14 项。

姓 名	刘晓航	排 名	15
行政职务	无		
技术职称	无		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目主要学术贡献：			
完成人对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：设计并完成了不同锈蚀程度钢框架梁的腐蚀试验和抗震试验，建立了不同锈蚀程度下钢框架梁的时变弯曲和剪切恢复力模型；对不同锈蚀程度典型钢框架结构进行了地震灾变模拟与易损性分析，建立了不同锈蚀程度典型钢框架结构的时变解析地震易损性模型与曲线，参与了城市区域地震灾害风险与损失综合应用示范。发表论文 16 篇，作为主要参加人授权国家发明专利 11 项、实用新型专利 5 项，登记国家软件著作权 11 项。			

## 八、主要完成单位情况表

单位名称	西安建筑科技大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 1、2、3、4 做出了创造性的贡献：负责制定了项目的总体研究方案、技术路线、研究内容和目标、成果推广应用策划等；提供了项目研究过程中所需的工作环境、试验仪器设备、高性能分析平台、组织管理与协调服务等；制定了既有建筑结构时变性能劣化规律揭示与表征及震害风险评估与控制的整体研究方案，构建了“近断层强地震动场的模拟预测与地震危险性分析方法及技术平台”、“震损机理与规律及多尺度数值建模分析方法”、“震害与损失评估及风险控制成套理论技术体系”、“震害风险与损失评估系统平台及基础数据成套采集技术”建立的整体框架，指明了项目的创新点与突破点，以保证项目研究体系的系统化与科学化及研究水平的前瞻性，进而完满组织实施完成了各项既定研究内容与目标，并将研究成果推广应用于西安市、太原市等 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及多项工程震害分析与加固中。主编专著 14 部，编制标准 2 部，发表论文 457 篇，授权国家发明专利 71 项、实用新型专利 15 项，登记国家软件著作权 44 项，获陕西省高等学校科学技术一等奖 1 项。</p>	

单位名称	哈尔滨工业大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 1、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究过程中所需的工作环境、技术条件与设备、组织管理与协调服务等；负责制定了近断层强地震动场的模拟预测与地震危险性分析方法及技术平台的总体研究方案、技术路线、研究内容和目标；基于理论分析，建立了考虑断层分布特点、近场特征和场地放大效应的西安地区强地震动预测模型与多变量设定地震危险性分析理论方法，集成了多尺度地震信息数据库与全国不同地区的地震动衰减模型数据库，提出了基于非平稳非高斯随机过程的人工地震动生成方法，发展了基于目标谱的特定场地地震动记录选择与调幅方法；主要参加完成了基于 ArcGIS 的地震危险性分析软件平台、城市多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。编制标准 2 部，发表论文 112 篇，授权国家发明专利 4 项、实用新型专利 7 项。</p>	

单位名称	长安大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究成果推广应用所需的技术条件与设备、工作环境与场地、组织管理与协调服务等；参与制定了不同龄期钢结构构件的研究方案、技术路线、研究内容和目标；参与构建了“城市区域多龄期建筑系统地震灾害风险评估关键技术研究”、“场地地震动危险性分析”、“震害与损失评估及风险控制成套理论技术体系”、“震害风险与损失评估系统平台及基础数据成套采录技术”等建立的整体框架。参与建立了城市生命线工程时变地震易损性模型。参与了城市建筑群及生命线工程地震灾害风险与损失综合应用示范。主编专著 1 部，发表论文 24 篇，授权国家发明专利 3 项。</p>	

单位名称	中国建筑科学研究院有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 3、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究成果推广应用所需的技术条件与设备、工作环境与场地、组织管理与协调服务等；对既有建筑物震害加固与修复进行了研究，建立了震前加固成本效益分析模型与决策体系，提出了可快速恢复建筑功能、大幅提升抗震能力的低成本高效能加固设计理论及成套技术措施，包括基于隔震和消能减震理论的加固技术、外部附加子结构加固技术、装配式加固技术、延性加固技术及适用于加固建筑的高性能纤维混凝土系列技术；组织并主要参加完成了科研成果“近断层强地震动场的模拟预测与地震危险性分析方法及技术平台”、“震损机理与规律及多尺度数值建模分析方法”、“震害与损失评估及风险控制成套理论技术体系”、“震害风险与损失评估系统平台及基础数据成套采录技术”等的工程应用与实施方法研究，制订了成果应用具体技术实施方案，将成果成功应用于多项工程震害分析与加固项目中，实现了既有建筑低成本高效能的加固设计。参编专著 1 部，编制标准 4 部，发表论文 6 篇，授权国家发明专利 2 项。</p>	

单位名称	机械工业勘察设计研究院有限公司
------	-----------------

对本项目主要学术贡献：

作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 3、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究成果推广应用所需的技术条件与设备、工作环境与场地、组织管理与协调服务等；对既有建筑物震害加固与修复进行了研究，参与建立了震前加固成本效益分析模型与决策体系，参与提出了可快速恢复建筑功能、大幅提升抗震能力的加固设计理论及成套技术措施；组织并主要参加完成了科研成果“场地地震动预测与地震危险性分析”、“震害风险与损失评估系统平台及基础数据成套采录技术”等的工程应用与实施方法研究，结合本单位负责的西乡县人民医院、华阴市人民医院门诊楼等项目的加固改造，制订了成果应用具体技术实施方案。成果为医院项目震前制定抗震防灾规划与应急预案、震后制定应急救灾与功能快速恢复重建等决策提供了依据。编制标准 1 部，授权国家发明专利 2 项。

单位名称

陕西省建筑科学研究院有限公司

对本项目主要学术贡献：

作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 3、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究成果推广应用所需的技术条件与设备、工作环境与场地、组织管理与协调服务等；参与制定了城市既有建筑结构分类标准；采集并建立了城市基础信息部分数据库；组织并主要参加完成了科研成果“场地地震动预测与地震危险性分析”、“多龄期建筑时变地震易损性模型及损失评估与风险控制成套理论技术体系”、“城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台”、“震害风险与损失评估系统平台及基础数据成套采录技术”、“结构延性提升成套加固技术”、“高性能混凝土加固技术”等的工程应用与实施方法研究，制订了成果应用具体技术实施方案，将成果成功应用于多项工程震害分析与加固项目中，实现了既有建筑低成本高效能的加固设计。参编专著 1 部，编制标准 3 部，发表论文 4 篇。

单位名称

中铁第一勘察设计院集团有限公司

对本项目主要学术贡献：

作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究成果推广应用所需的技术条件与设备、工作环境与场地、组织管理与协调服务等；组织并主要参加完成了科研成果“场地地震动预测与地震危险性分析”、“城市多龄期建筑震害损失评估与风险控制成套理论技术体系”及“城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台 CEDRLAS”等的工程应用与实施方法研究，制订了成果应用具体技术实施方案，将成果成功应用于工程震害分析中，为城市既有建筑震前防灾规划、应急预案制定与功能快速恢复重建等决策提供了有力的技术支撑。发表论文 3 篇，授权国家发明专利 2 项。

单位名称

中联西北工程设计研究院有限公司

对本项目主要学术贡献：

作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 2、3、4 做出了创造性的贡献：提供了项目研究成果推广应用所需的技术条件与设备、工作环境与场地、组织管理与协调服务等；组织并主要参加完成了科研成果“城市多龄期建筑时变地震易损性模型及损失评估与风险控制成套理论技术体系”及“城市区域多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台”等的工程应用与实施方法研究，制订了成果应用具体技术实施方案，将成果成功应用于多项工程震害分析与评估中，给出了高效、可行的地震灾害风险控制成套技术措施。为城市既有建筑震前防灾规划、应急预案制定与震后应急救援等决策提供了有力的技术支撑。发表论文 3 篇。

单位名称

桂林理工大学

对本项目主要学术贡献：

作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 1、4 做出了创造性的贡献：参与研究了考虑场地放大效应的地震动危险性分析理论，参与提出了考虑西安地区场地放大效应的多变量设定地震危险性分析理论方法，参与提出了基于非平稳非高斯随机过程的人工地震动生成方法，发展了基于目标谱的特定场地地震动记录选择与调幅方法；参加完成了基于 ArcGIS 的地震危险性分析软件平台、城市多龄期建筑震害风险与损失评估系统平台的开发及城市区域地震灾害风险与损失的综合应用示范。发表论文 3 篇

单位名称	西安工业大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为该项目成果的主要完成单位之一，对创新点 2、3 做出了创造性的贡献：提供了项目研究过程中所需的工作环境、试验仪器设备、组织管理与协调服务等；负责制定了不同龄期冻融钢筋混凝土框架节点和近海钢框架梁构件的总体研究方案、技术路线、研究内容和目标；设计了 RC 框架节点与钢框架梁环境侵蚀作用模拟与抗震性能试验，揭示了冻融和近海环境下构件抗震性能劣化规律，建立了冻融 RC 框架节点和近海钢框架梁构件的时变恢复力模型，完成了构件单元模型开发与应用；进行了城市典型多龄期钢结构的概率地震需求与概率抗震能力分析，建立了相应的时变地震易损性模型。参编专著 3 部，发表论文 17 篇。</p>	

## 完成人合作关系说明

（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

（1）2013.01.01-2017.12.31期间，郑山锁和吕大刚分别以西安建筑科技大学和哈尔滨工业大学两个单位科研合作者的身份，共同申报“十二五”国家科技支撑计划项目“城市多龄期建筑震害评估与模拟关键技术研究及示范（2013BAJ08B00）”。合作完成的研究成果“城市多龄期建筑震害模拟与评估关键技术研究及软件集成与示范”获2020年度陕西高等学校科学技术一等奖，郑山锁、吕大刚分别排名第一、第二。

（2）2016.09.01-2019.05.04期间，郑山锁和赵均海以西安建筑科技大学和长安大学两个单位科研合作者的身份，与机械工业勘察设计研究院有限公司张继文合作，依托其负责的工程项目，开展相关科研成果的震害评估研究，以提升工程结构抗震能力为目标，最终提出针对非结构构件与关键医疗设备的实用加固方法。

（3）2017.01.15-2022.12.31期间，郑山锁和尹保江以西安建筑科技大学和中国建筑科学研究院有限公司两个单位科研合作者的身份，共同与陕西省建筑科学研究院有限公司朱武卫合作，依托其负责的工程项目，开展相关科研成果的加固应用研究，以提升工程结构抗震能力为目标，最终提出针对性的低成本高效能加固修复策略。

（4）2017.02.01-2022.12.31期间，郑山锁分别与中联西北工程设计研究院有限公司高欣乐、中铁第一勘察设计院集团有限公司张海合作，依托他们负责的工程项目，开展相关科研成果的应用研究，以提升工程结构抗震能力为目标，最终提出了既有建筑震前防灾规划及震后应急救援技术措施。

（5）2000.01.01-2022.05.30 期间，李磊、胡卫兵、王斌、杨丰、董晋琦、刘晓航作为郑山锁的博士研究生和科研团队主要成员参加完成了他所负责的“城市区域多龄期建筑震害模拟与评估关键技术研究及软件集成与示范”方面的多项科研工作，并与郑山锁合作发表多篇科研论文与专著、授权多项国家发明专利、登记多项国家软件著作权，并将科研成果成功地推广应用于西安市、太原市等 10 多个大中城市的震害预测、风险评估与控制及 200 余项工程震害分析与加固中。期间，王斌被分配至西安工业大学工作，杨丰被分配至中国启源工程设计研究院有限公司工作，他们仍以各自单位的身份与西安建筑科技大学郑山锁长期保持科研合作，完成多项科研成果应用示范。

（6）2005.01.01-2022.05.30 期间，于晓辉作为吕大刚的硕士研究生、博士研究生和科研团队主要成员参加完成了他所负责的“近断层强地震动场的模拟预测及应用”方面的多项科研工作，期间，于晓辉被分配至桂林理工大学工作，并继续与吕大刚合作发表多篇科研论文、授权多项国家发明专利，并将科研成果成功地推广应用于西安市的震害预测中。合作完成的研究成果“城市多龄期建筑震害模拟与评估关键技术研究及软件集成与示范”获 2020 年度陕西高等学校科学技术一等奖（排名第四）。

**第一完成人签名：**

### 完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同获奖	郑山锁/1、吕大刚/2、于晓辉/6	2000.01.01	2021.04.30	陕西高等学校科学技术一等奖：城市多龄期建筑震害模拟与评估关键技术研究及软件集成与示范	附件 3.3-1
2	共同应用研究	郑山锁/1、赵均海/3、张继文/7	2016.09.01	2019.05.04	应用证明：汉中市西乡县人民医院震害评估及抗震加固	附件 3.3-2
3	共同应用研究	郑山锁/1、尹保江/4、朱武卫/8	2017.01.15	2021.12.31	应用证明：西宁宾馆震害模拟与抗震加固	附件 3.3-3
4	论文合著	郑山锁/1、李磊/5	2006.09.01	2012.02.15	RC 剪力墙地震损伤试验研究[J]. 土木工程学报, 2012	附件 3.3-4
5	共同应用研究	郑山锁/1、张海/9	2018.04.01	2019.10.31	应用证明：哈大客专沈阳站站房震害模拟与损失评估	附件 3.3-5
6	论文合著	郑山锁/1、胡卫兵/10	2000.01.01	2019.04.22	近海大气环境下锈蚀 RC 框架梁恢复力模型研究[J]. 工程力学, 2019	附件 3.3-6
7	共同知识产权	郑山锁/1、王斌/11	2017.01.01	2019.10.22	一种 C80 强度等级的高性能纤维混凝土及其制备方法	附件 3.3-7
8	共同应用研究	郑山锁/1、于晓辉/6、高欣乐/12	2017.02.01	2018.09.30	应用证明：枫林香溪项目震害模拟与损失评估	附件 3.3-8
9	论文合著	郑山锁/1、杨丰/13	2010.09.01	2013.09.25	混凝土双轴拉-压 随机损伤本构关系研究[J]. 工程力学, 2013	附件 3.3-9
10	论文合著	郑山锁/1、董晋琦/14	2017.09.01	2019.07.01	不同轴压比冻融 RC 剪力墙抗震性能试验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2019	附件 3.3-10

11	论文合著	郑山锁/1、 刘晓航/15	2017.09.01	2019.09.25	不同锈蚀程度下 Q235 钢框架梁恢复力模型研究[J]. 湖南大学学报（自然科学版），2019	附件 3.3-11
----	------	------------------	------------	------------	---	--------------