

2019 年度国家科学技术奖拟提名科技进步奖项目公示

一、项目名称

复杂高层结构大震设计理论方法及工程应用

二、提名者及提名意见

提名者：广东省科学技术厅

提名意见：

项目围绕复杂高层结构抗震安全国家重大需求，瞄准防灾减灾研究国际前沿，在国家自然科学基金“重大工程的动力灾变”重大研究计划项目、重点项目、优青项目和系列面上项目的支持下，提出了系统的复杂高层结构大震失效分析、评价、控制及大震设计等相关理论和关键技术，取得了创新性突破。

项目研究成果先后荣获 2017 年度广东省科学技术进步一等奖、2015 年度教育部高等学校科学技术进步一等奖、2016 年深圳市科技进步一等奖，获发明专利 30 余项、实用新型专利 6 项、软件著作权 5 项；发表论文 150 余篇，其中 SCI/EI 收录 130 余篇；编写相关专著 3 本；以中国工程院欧进萍院士和周绪红院士为主任委员的专家组对本项目国家自然科学基金重点项目结题进行验收时一致认为：该项目在新型结构体系和结构设计理论领域形成了新的研究方向，其研究成果达到国际领先水平，综合评价等级为“A”。

项目成果自 2006 年以来已在百余项重要建筑工程中得到直接应用，经济效益达 40000 余万元，为结构的安全提供了重要保障，取得了显著的社会效益和经济效益。项目研究成果提升了我国对复杂高层建筑结构大震失效分析、评价、控制及设计理论的研究水平和国际影响力，促进了我国土木工程领域的科技进步。

对照国家科技进步奖授奖条件，提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目属土木建筑工程设计和土木工程防灾减灾领域。

我国改革开放四十年来，高层结构建设规模宏大，建筑高度和复杂程度前所未有。由于对复杂高层结构地震作用下的破坏机理仍缺乏深刻认识，结构抗震仅依靠小震设计、大震验算来保障，不能有效控制和主动把握结构大震性态，造成技术手段与实际效果间存在重大偏差。其根本原因在于，还不能直接基于大震非线性进行结构大震设计，大震设计理论方法缺失；失效评价方法与大震性能目标脱离，结构地震失效机理仍不明确；构件失效与结构整体失效模式未建立明确的关联关系，最优失效模式难以调控；具有自主知识产权的高层结构大震分析平台成为瓶颈，兼顾精度效率的大震非线性分析平台更是十分匮乏。为此，本项目围绕复杂高层结构抗震安全的国家重大需求，瞄准防灾减灾研究国际前沿，在国家自然科学基金“重大工程的动力灾变”重大研究计划项目、重点项目、优青项目和系列面上项目的支持

下，着重解决复杂高层建筑结构大震设计理论、分析评价方法及失效控制技术等相关科学问题，取得了四方面创新性突破：

(1) 针对不能直接基于大震非线性进行结构大震设计的问题，通过明确复杂高层结构体系合理屈服顺序和失效路径，提出了基于两阶段抗震设防目标的体系失效模式优选方法，确定了复杂高层建筑结构体系大震设计量化控制指标，建立了基于最优失效模式的复杂高层结构体系大震设计理论和方法，解决了高层结构大震性态不能主动把握的问题。

(2) 针对结构非线性刚度时变特性，提出了基于瞬时等效刚重比的结构整体地震倒塌判别方法，阐明了结构整体大震倒塌机理；明确了从构件损伤到结构整体损伤的传递关系，提出了覆盖规范构件类别、整体结构大震性能目标一体化的抗震性能量化评价方法。

(3) 提出了复杂高层结构大震最优失效模式调控方法。以优化大震失效模式为目标，发明了结构周期可调和连梁耗能阻尼器全局优化设计技术，揭示了连梁对高层结构最优失效模式的调控机制，开发了可引导高层结构大震附着式和内嵌式高效阻尼技术，实现了对结构大震失效模式从被动抑制到主动调控。

(4) 搭建了基于 CPU-GPU 异构平台的模块化软件框架，开发了兼顾精度和效率的新型梁、墙单元模块和阻尼器单元模块，开发了基于超收敛技术和 AMG-CG 并行算法的高性能加速计算模块，开发了易于高层结构的高效建模的前处理模块及融合系统评价方法的后处理模块，基于上述技术自主研发了兼顾精度和效率的复杂高层结构大震弹塑性数值模拟分析模块化应用服务平台。

项目研究成果曾获 2015 年度教育部高等学校科学技术进步一等奖、2016 年深圳市科技进步一等奖、2017 年度广东省科学技术进步一等奖，授权发明专利 30 余项、实用新型专利 6 项、软件著作权 5 项，出版专著 3 部，发表学术论文 150 余篇，其中 SCI/EI 收录 130 余篇。以中国工程院欧进萍院士和周绪红院士为主任委员的专家组对本项目国家自然科学基金重点项目结题进行验收时一致认为：该项目在新型结构体系和结构设计理论领域形成了新的研究方向，其研究成果达到国际领先水平，一致同意通过验收，且综合评价等级为“A”。

项目成果已获 100 多次应用，经济效益达 40000 余万元，为结构安全提供了重要保障，取得了显著的社会效益和经济效益，提升了我国在复杂高层结构抗震设计领域的理论及技术水平和国际影响力，推动了我国高层结构抗震设计理论的发展与创新。

四、客观评价

(一) 项目验收意见

2014 年 2 月 23 日，国家自然科学基金委员会在深圳组织召开了本项目核心成果——国家自然科学基金重点项目“超高建筑斜交网格筒结构体系基于失效模式的大震设计理论(50938001)”的结题验收会，以中国工程院欧进萍院士和周绪红院士为

主任委员的验收专家组一致认为：该项目对新型结构体系超高建筑斜交网格筒结构基于失效模式的大震设计理论进行了深入系统的研究，取得了一系列有创新意义和应用前景的研究成果。通过项目组研究，有力促进了学科建设和发展，在新型结构体系和结构设计理论领域形成了新的研究方向，其研究成果达到国际领先水平。验收组成员认为项目组圆满完成了研究计划书规定的任务，一致同意通过验收，且综合评价等级为“A”。

（二）曾获奖励

- 1、2017年度广东省科学技术进步一等奖；
- 2、2015年度教育部高等学校科学技术进步一等奖；
- 3、2016年深圳市科技进步一等奖。

（三）社会效益

大震分析平台的快速低门槛建模技术、核心技术结构工程专业性开发及并行计算自主研发等的实用性研发为普及和推广大震分析技术起到有效的促进作用；整体评价方法和基于大震性能目标的从构件到结构损伤的评价体系为结构大震不倒的工程设计提供了科学的评价体系；大震失效模式控制技术和大震设计理论将结构大震验算阶段推向大震控制和设计的大震性能主动把握阶段。为结构的安全提供了重要保障，提升了我国对复杂高层建筑结构大震失效分析、评价及控制的研究水平和国际影响力。

五、应用情况

本项目在复杂高层建筑结构抗震性能分析、大震下结构失效分析、动力性态描述及结构体系失效控制等方面的研究成果为复杂（超）高层建筑结构的抗震设计提供了必要的理论基础和工程应用技术条件。相关成果已在多项重要复杂高层建筑结构中得到直接应用。

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	深圳市航天高科投资管理有限公司	大震非线性分析技术及平台；连梁阻尼器；地震失效模式控制技术	航天科技广场项目连梁耗能阻尼器技术开发	2013-2014	李靖/0755-86271618
2	深圳市华筑工程设计有限公司	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法；斜交网格筒结构大震设计方法	深圳创业投资（VC&PE）大厦；深圳南方科技大学和深圳大学新校区拆迁安置项目	2010-2013	张琪/0755-83435868
3	香港华艺设计顾问（深圳）有限公司	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法	深圳淘金山·湖景花园二期7#楼；深圳淘金山·湖景花园二期8#楼	2009-2011	刘俊/0755-83778658

4	深圳市英龙置业有限公司	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法	英龙商务大厦	2012-2013	余锋/0755-88309898
5	吉林省建苑设计集团有限公司	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法	吉林财富商务公馆；生命金融大厦	2010-2013	葛长春/0431-82727207
6	长春希望建设项目管理咨询有限公司	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法	香格里拉凤凰城 1 号楼	2010-2011	王若竹/0431-87012377
7	吉林省世纪新创建筑设计有限公司	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法	月伴林湾 9#楼	2012-2013	金殿玉/0431-81958601
8	长乐万钢房地产开发有限公司	动力弹塑性时程分析；连梁钢板阻尼器	福建省长乐市冶金大厦	2015-2016	金建平 /13424354220
9	深圳市建筑设计研究总院第一设计院	大震非线性分析技术及平台；地震失效评价方法	深圳中信红树湾花城 R11 栋住宅	2006-2007	顾伟俊/0755-83786706
10	深圳华侨城房地产有限公司	复杂高层建筑结构大震弹塑性分析技术	深圳华侨城大厦弹塑性分析	2015-2016	赵洋/0755-26934459

六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
专著	复杂高层结构非线性抗震性能分析和设计方法	中国	ISBN:978-7-112-19392-9	2016.5	CIP 数据核字(2016)第 087054 号	滕军；李祚华		
发明专利	一种建筑结构基于抗震性能的优化方法和系统	中国	ZL 201110393973.2	2014.01.29	登记号第 1339902 号	北京交通大学	徐龙河；吕杨；李忠献	有效
软件著作权	基于异构平台的模块化结构有限元非线性分析软件 V1.0	中国	2018SR216082	2018.3.29	软著登字第 2545177 号	李祚华；滕军；单庆飞；李羽		
专著	结构振动控制的理论、技术和方法	中国	ISBN: 978-7-030-23365-3	2009.7	CIP 数据核字(2008)第 175699 号	滕军		

发明专利	连肢剪力墙耗能连梁钢板阻尼器及其使用方法	中国	ZL 20071012 4547.2	2010.3.24	登记号第 605172 号	滕军	滕军; 马伯涛	无效
发明专利	一种焊接箱型截面钢节点多尺度有限元建模方法	中国	ZL 20151032 3777.6	2018.4.17	登记号第 2885144 号	卢伟	卢伟; 滕军; 陈露	有效
发明专利	减小大跨或悬挑结构振动的耗能阻尼片	中国	ZL 20061003 5412.4	2009.6.24	登记号第 513926 号	滕军	滕军; 刘红军; 刘文光; 马伯涛; 李祚华	无效
论文	Seismic damage evolution of steel-concrete hybrid space-frame structures	中国	doi: 10.1016/j.engstruct. 2016.04.007	2016.7.15	Engineering Structures	Ding, Yang; Wu, Min; Xu, Long-He; Zhu, Hai-Tao; Li, Zhong-Xian		
论文	Fiber damage analysis model for RC beam-column based on EEP super-convergent computation	中国	doi: 10.1007/s11431-011-4496-8	2011.10	Science China-Technological Sciences	Teng Jun; Li ZuoHua; Ou JinPing; He XueFeng.		
论文	A dynamic analysis algorithm for RC frames using parallel GPU strategies	中国	doi: 10.12989/cac. 2016.18.5. 1019	2016.11	Computers and Concrete	Li, Hongyu; Li, Zuohua; Teng, Jun		

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
滕军	1	无	教授	哈尔滨工业大学(深圳)	哈尔滨工业大学(深圳)	<p>提出项目的关键学术思想，全面规划组织项目的实施：</p> <p>(1) 提出了复杂高层建筑结构大震弹塑性分析技术，构建了分析平台。</p> <p>(2) 建立了复杂高层建筑结构抗震失效评价方法。</p> <p>(3) 提出了复杂高层结构大震最优失效模式调控方法。</p> <p>(4) 提出了复杂高层结构最优失效模式的抗震设计方法。</p>

						应用贡献：将成果应用于工程中。
李忠献	2	无	长江学者特聘教授	天津大学	天津大学	(1) 研究应力对高层建筑结构构件损伤的影响，提出了构件损伤的描述方法。通过损伤传递系数建立了结构体系整体尺度损伤评价方法； (2) 揭示了箍筋约束混凝土的本构关系，提出了高层建筑结构构件损伤判定方法。 (3) 建立了复杂结构模拟方法及地震失效模式多目标优化设计理论与方法。 (4) 建立了高层建筑非线性地震损伤控制的理论与方法。 应用贡献：将成果应用于工程中。
李祚华	3	无	副教授	哈尔滨工业大学(深圳)	哈尔滨工业大学(深圳)	(1) 开发了具有自主知识产权的前后处理软件，构建了高性能弹塑性模拟分析异构平台。 (2) 建立了基于结构整体失效判别和从构件到结构损伤的抗震失效评价方法。 (3) 揭示了耗能连梁的最优失效模式调控机制。 (4) 建立了复杂高层建筑结构体系的抗震非线性设计理论。 应用贡献：将项目成果应用于工程中。
徐龙河	4	系主任	教授	北京交通大学	北京交通大学	(1) 建立构件、结构层次地震破坏准则及损伤模型，提出高层建筑强震非线性损伤分析与评估方法。 (2) 提出复杂结构混合数值模拟方法。
李新刚	5	技术中心副主任	研究员	中国建筑第四工程局有限公司	中国建筑第四工程局有限公司	(1) 协助设计并实施了连梁阻尼器子结构试验。 (2) 揭示了高层结构体系失效机制。
何春凯	6	总经理	教授级高级工程师	深圳中建院建筑科技有限公司	深圳中建院建筑科技有限公司	(1) 提出了基于构件损伤表征系数的整体结构各构件类别的损伤描述方法。 (2) 建立了基于大震性能目标的复杂结构体系整体尺度损伤评价方法。
卢伟	7	无	副教授	哈尔滨工业大学(深圳)	哈尔滨工业大学(深圳)	(1) 提出了复杂高层结构大震最优失效模式调控方法。 (2) 揭示了连梁对高层建筑结构最优失效模式的调控机制。
丁阳	8	副院长	教授	天津大学	天津大学	(1) 研发新型阻尼器。 (2) 开发了结构周期可调和耗能全局优化的设计技术。
吕大刚	9	副院长	教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	提出了基于可靠度和性能的结构整体地震易损性评价方法。
钱永梅	10	无	教授	吉林建筑大学	吉林建筑大学	提出了结构周期可调和耗能全局优化的设计技术。

八、主要完成单位及创新推广贡献

完成单位	排名	创新推广贡献
哈尔滨工业大学(深圳)	1	项目第1完成人在第一完成单位哈尔滨工业大学(深圳)提出本项目的关键学术思想，全面规划组织并研究了本项目的研究内容，对项目主要科技创新点均有贡献： (1) 提出了复杂高层建筑结构大震弹塑性分析技术，并构建了高性能弹塑性模拟分析异构平台。 (2) 建立了复杂高层建筑结构抗震失效评价方法。 (3) 提出了复杂高层结构大震最优失效模式调控方法。 (4) 提出了复杂高层结构基于最优失效模式的抗震设计方法。 哈尔滨工业大学(深圳)将本研究成果推广应用于多个工程。

天津大学	2	项目第二完成人在第二完成单位天津大学开展了系统的构件、结构损伤研究，天津大学主要创新推广贡献为： （1）研究应力对高层建筑结构构件损伤的影响，提出了构件损伤的描述方法。通过损伤传递系数建立了结构体系整体尺度损伤评价方法； （2）揭示了箍筋约束混凝土的本构关系，提出了高层建筑结构构件损伤判定方法。 （3）建立了复杂结构模拟方法及地震失效模式多目标优化设计理论与方法。 （4）建立了高层建筑非线性地震损伤控制的理论与方法。 天津大学将本研究成果推广应用于多个工程。
哈尔滨工业大学	3	第九完成人在哈尔滨工业大学完成了基于可靠度和性能的结构整体地震易损性评价方法研究。
北京交通大学	4	第四完成人在北京交通大学完成了构件、结构层次地震破坏准则及损伤模型，提出了高层建筑强震非线性损伤分析与评估方法和复杂结构混合数值模拟方法。
中国建筑第四工程局有限公司	5	第五完成人在中国建筑第四工程局有限公司完成了连梁阻尼器子结构的试验研究并揭示了结构体系失效机制。
深圳中建院建筑科技有限公司	6	本项目的部分成果由哈尔滨工业大学（深圳）滕军与深圳中建院建筑科技有限公司何春凯（在职博士）合作完成，其中，深圳中建院建筑科技有限公司的贡献包括： （1）提出了基于构件损伤表征系数的整体结构各构件类别的损伤描述方法。 （2）建立了基于大震性能目标的复杂结构体系整体尺度损伤评价方法。
吉林建筑大学	7	第十完成人在吉林建筑大学完成了结构周期可调和耗能全局优化的设计技术，并将本项目技术在工程中推广应用。

九、完成人合作关系说明

本人滕军作为第一完成人在哈尔滨工业大学（深圳）提出了本项目的关键学术思想，全面规划组织了本项目的研究内容，与各完成人合作关系如下：

与李忠献（第二完成人）合作发表学术论文；

与李祚华（第三完成人）合作申请专利与软件著作权、发表多篇论文、出版专著；

与李新刚（第五完成人）合作推广本项目成果应用；

与何春凯（第六完成人）合作发表论文，共同推广本项目成果应用；

与卢伟（第七完成人）合作申请专利；

与吕大刚（第九完成人）合作推广本项目成果应用；

与钱永梅（第十完成人）合作发表论文、共同推广本项目成果应用；

项目完成人之间，李忠献（第二完成人）与徐龙河（第四完成人）、丁阳（第八完成人）间合作发表学术论文、合作申请专利。