

1、项目名称

钢筋混凝土框架结构基于性能的地震损伤控制创新技术

2、推荐奖种

滨州市科技进步奖

3、项目简介

地震是人类面临的最主要的自然灾害之一。震后灾情分析发现按现行规范设计的各种建筑物在地震中虽然基本保证了生命安全，但在控制地震所造成的经济损失上显得力不从心。基于对上述问题的深刻反思，基于性能的抗震设计理念能够很好的解决安全和经济问题，该设计理念是当今结构抗震设计发展的主流方向，允许设计师能动地选择结构在服役期内可能遭受的各水准地震作用下的抗震性能，有意识地控制结构构件和非结构构件可能产生的损伤，达到保证建筑结构的整体性能水平符合安全和经济发展水平的目的。项目主要创新点包括：

（1）构建钢筋混凝土构件地震损伤模型。

对现有地震损伤模型进行分析研究，针对现有损伤模型在应用中的问题，有针对性的构建满足能反应地震作用下构件实际损伤条件的钢筋混凝土构件地震损伤模型。

（2）以结构总体损伤指标和非结构构件损伤为参数量化钢筋混凝土框架结构的抗震性能等级，为基于性能的地震损伤控制设计提供指标依据。

根据我国早期非抗震设计和现行抗震设计规范，完成典型钢筋混凝土梁柱试件低周反复加载损伤机理试验，详细记录各试件的损伤性能关键点的数据(包括残余位移、最大裂缝宽度、残余裂缝宽度等)，通过对比损伤记录，研究试件各设计参数对损伤性能的影响规律，量化构建的钢筋混凝土构件地震损伤模型，以结构损伤指标和层间位移角为主要参数，将钢筋混凝土框架结构的抗震性能划分为四个等级，确定了各抗震性能等级与相应的结构和非结构损伤代表值之间的定量关系。

（3）构建等地震损伤屈服强度谱。

基于提出的钢筋混凝土结构地震损伤模型，针对我国抗震规范中各场地类别和设计地震分组的组合选取大量地震动加速度记录，通过大量单自由度体系非线性时程分析，对给定延性能力的结构搜索满足损伤水平的屈服强度系数，分场地类别和设计地震分组平均而得等地震损伤屈服强度谱

（4）提出钢筋混凝土框架结构多水准抗震设防目标，建立钢筋混凝土结构地震损伤控制设计方法。

根据地震动水准的超越概率分布，在我国现有的三水准地震动的基础上增设了重现期为 975 年的地震水准，结合易损性计算结果和建筑抗震设防类别，提出钢筋混凝土框架结构多水准抗震性能目标。兼顾结构和非结构构件损伤水平，提出钢筋混凝土框架结构地震损伤控制设计技术。

4、客观评价

2017 年 9 月滨州市科技局对“钢筋混凝土框架结构基于性能的地震损伤控制研究”成果进行了鉴定，专家组一致对项目做出如下意见：

（1）项目组提供的鉴定资料齐全完整，数据翔实可靠，符合鉴定要求。

(2) 针对 Park-Ang 损伤模型上、下界不收敛的问题, 提出了修正的钢筋混凝土构件地震损伤模型, 确定了结构总体损伤指标的损伤评价方法, 建立了以损伤指标和层间位移角为主要参数的抗震性能等级。

(3) 通过单自由度体系非线性时程分析, 确定了给定延性能力结构满足损伤水平的屈服强度系数, 得到结构等地震损伤屈服强度谱, 以等地震屈服强度谱和易损性曲线分析, 建立了多水准抗震性能目标。

(4) 基于等地震损伤屈服强度谱, 通过调整结构承载力的方法控制结构和非结构构件的地震损伤水平, 提出了地震损伤控制设计方法, 可有效控制钢筋混凝土框架结构的损伤水平, 经济社会环境效益显著。

鉴定委员会认为, 该项目成果达到了同类研究的国际先进水平。

5、技术推广应用情况与社会经济效益分析

我国是世界上地震灾害最严重的国家之一。项目以我国目前应用较为广泛的钢筋混凝土框架结构为研究对象, 对基于性能的地震损伤控制理论进行更深入的研究, 提出了基于性能设计的地震损伤控制技术。项目研究成果是对现有基于性能的抗震设计理论的进一步完善和发展, 对于推动抗震性能设计理论在我国土木工程界的应用和发展、提高我国的建筑抗震研究和设计水平具有较高的应用价值和意义。

节约自然资源、减少能源消耗、保护生态环境已成为当今建筑行业可持续发展的基本要求。项目研究成果在保证结构整体性能的基础上, 减少建筑材料的消耗, 降低建筑经济成本, 有助于对自然环境和生态环境的保护。

依托滨州北海新区鲁远建筑工程有限公司和上海中森建筑与工程设计顾问有限公司, 研究成果分别在山东和上海两地的多项典型工程项目中进行应用。采用项目研究成果明确建筑结构性能目标, 通过改善结构构件承载力和延性水平, 调整核心构件布置和截面等, 合理优化结构设计方案, 减少了钢筋、混凝土、模板等建筑材料用量, 有效降低了建筑成本, 累积实现经济效益 2130 万元。

6、主要知识产权/代表性论文/论著目录

专利:

(1) 发明专利, 蒋欢军, 刘其舟, 一种可更换消能部件及消能减震结构, 201410397936.2, 2016 年 8 月。

(2) 发明专利, 蒋欢军, 祝玉龙, 一种组合式高层结构消能减震加强层, 201410015016.X, 2017 年 1 月。

(3) 实用新型, 郑建波, 吕俊超, 一种由钢板螺栓连接的混凝土叠合板拼缝构造, 201720232988.3, 2017 年 10 月。

(4) 实用新型, 郑建波, 一种轨道式施工用模板, 201720650726.9, 2018 年 2 月。

(5) 实用新型, 郑建波, 一种土木工程用支撑装置, 201720653750.8, 2017 年 12 月。

(6) 实用新型, 郑建波, 一种施工用可调节支撑架, 201720647817.7, 2018 年 1 月。

著作:

(1) 郑建波, 钢筋混凝土框架结构抗震性能指标研究, 中国海洋大学出版社, 2017 年 10 月。

论文:

(1) 蒋欢军, 郑建波, 毛俊杰, 不同连接方式砌体填充墙钢筋混凝土框架抗震性能试验研究, 建筑结构学报, 35 (3), pp.60-67, 2014.3。

(2) 蒋欢军, 刘小娟, 郑建波, 钢筋混凝土框架结构地震易损性分析, 结构工程师, 31 (3), pp.114-121, 2015.6。

(3) 郑建波, 钢筋混凝土构件地震损伤模型的研究, 四川建材, 43 (3), pp.32+141, 2017.3。

(4) Jianbo Zheng, Improved PARK-ANG damage model for reinforced concrete frame structures, International Core Journal of Engineering, 3 (10), pp.59-63, 2017.10。

(5) Jianbo Zheng, Characteristics and design suggestions of industrialized residential buildings, World Scientific Research Journal, 4 (1), pp.73-81, 2018.4。

(6) 蒋欢军, 范光召, 刘许凡, 钢筋混凝土框架结构层间变形与构件局部变形关系的试验研究, 结构工程师, 30 (3), pp.144-149, 2014.6。

7、全部完成人排序及对项目的贡献

(1) 郑建波, 讲师, 滨州学院, 对本项目技术创造性贡献:

对项目主要创新点中的 (1)、(2)、(3)、(4) 做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 90%, 提出了创新试验设计方案, 修正地震损伤模型, 量化结构损伤指标; 建立损伤评价方法体系, 量化四水准抗震性能目标; 通过非线性时程分析方法, 以场地类别和设计地震分组为参数构建地震屈服强度谱。

(2) 蒋欢军, 教授, 同济大学, 对本项目技术创造性贡献:

对项目主要创新点中的 (1)、(2)、(3)、(4) 做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 70%, 审核试验方案可行性, 提出结构损伤评价指标体系初步方案; 由地震易损性分析结果确定了四个水准地震作用下各个抗震性能等级的损伤超越概率, 建立钢筋混凝土框架结构四水准抗震性能目标; 以等地震屈服强度谱、地震易损性提出地震损伤控制设计技术。

(3) 杨滨斌, 工程师, 滨州北海经济开发区规划建设局, 对本项目技术创造性贡献:

对项目主要创新点中的 (4) 做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 50%, 审核试验方案可行性, 基于黄河三角洲地区地质条件、设防地震和经济水平修正调整反映地震地面运动特性和结构特性、面向设计的钢筋混凝土结构等地震损伤屈服强度谱, 同时负责对研究成果的推广和应用。在实际工程应用中取得了很好的经济效益。

(4) 陈林之, 副教授, 同济大学, 对本项目技术创造性贡献:

对项目主要创新点中的 (3)、(4) 做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 50%, 通过单自由度体系非线性时程分析, 对给定延性能力的结构搜索满足损伤水平的屈服强度系

数，以场地类别和设计地震分组为主要参数得到等地震损伤屈服强度谱。以工程案例分析验证提出的地震损伤控制技术可行性和实用性。

（5）邢雪阳，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对项目主要创新点中的（3）做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的 30%，优化试验设计方案，以构件损伤指标占同层构件损伤指标总和之比为权数加权平均得到楼层结构损伤指标、以各楼层结构损伤指标的最大值作为结构总体损伤指标的损伤评价方法。

（6）马辉，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对项目主要创新点中的（4）做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的 20%，通过工程案例分析对提出的地震损伤控制技术的可行性进行了验证，同时联系相关企业单位对研究成果进行推广应用。

8、全部完成单位及排序

（1）滨州学院

（2）同济大学

（3）滨州北海经济开发区规划建设局