

一、项目名称

面向城市复杂激励环境的工程振动控制关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：青岛理工大学

提名意见：

我单位认真审阅了提名书材料，确认提名材料真实有效，完成人及完成单位排序无异议，相关栏目符合填写要求。

该项目针对城市复杂振源条件下工程振动控制的技术瓶颈，建立了工程振动分析高效数值求解技术和容许振动安全阈值精细化计算方法，研发了面向精密仪器微振控制、轨道交通上盖建筑振震双控、建筑结构风振和人致振动控制、大型动力设备减振等需求的系列减振/震装置，构建了无尘化、不停机、零损伤的多维隔振装置托换施工工艺及高精度多参量的振动安全监控技术体系，完成了跨领域、多情景的产业化应用验证。历时12年产学研用协同攻关，构建的理论计算分析方法获得本领域被誉为地震工程“奥林匹克”的国际最高学术会议：第十五届世界地震工程大会举办的全球盲测竞赛第3名、美国太平洋地震工程研究中心和日本国家地球科学与灾害防御研究所联合举办的在世界最大地震模拟振动台E-defense开展的全球结构盲测竞赛第1名等竞赛奖项；研发的减隔振/震装置系列产品成功应用于北京航空航天大学极弱磁重大科技基础设施、暨南大学光刻实验室等大科学装置基座防微振控制，保障了先进高精密仪器装置的建设与运维；研发的振动控制施工工艺和监测评估成套技术，完成了我国国内馆藏体量最大石造像文物：青岛市博物馆镇馆之宝北魏双丈八佛的隔振托换示范应用，开创了馆藏文物科学减振防震保护新局面；同时在青岛胶东国际机场、广州白云国际机场、青岛地铁、青岛国信科技

大厦等交通枢纽工程、大跨空间结构和高层建筑的抗震和振动控制中得到成功应用，取得了显著的经济效益、社会效益及生态环境效益。

提名该项目为 2024 年度青岛市科学技术进步奖二等奖。

三、提名等级

青岛市科学技术进步奖二等奖

四、项目简介

工程建设、工业生产、交通运输及地震风险形成的城市复杂振源条件，对建筑物安全、精密仪器正常使用、文物保护、人体舒适度和健康等都会造成负面影响。由于振动源强、传播路径参数的不确定性，致使振动影响场的评估变得十分复杂。同时在控制措施方面，传统隔震或隔振设计往往只针对单一振源特征，不能有效解决复杂潜在振源环境下的综合振动控制需求。围绕上述迫切需求，项目组历经 12 年产学研用攻关，开展了面向城市复杂激励环境的工程振动控制计算理论、减隔振/震装备、施工工艺和振动安全监测成套技术研究，并取得以下创新成果：

1) 研发了工程结构振动分析高效数值求解技术，开发了跨平台交互式图形用户界面的结构非线性分析软件，建立了振动敏感文物容许振动安全阈值精细化计算方法，实现了振源-场地-建筑全路径振动影响评估方法。此外，构建了地震烈度衰减的矩阵模型，实现地震影响场的快速评估。

2) 研发了面向精密仪器微振控制的基于摆类结构和双腔室空气弹簧的被动气浮隔振装置。基于弹簧阻尼、变形解耦和多级变阻尼原理，研发了面向轨道交通上盖建筑振震双控、建筑结构风振和人致振动控制、大型动力设备减振等需求的系列减振/震装置，完成了跨领域、多情景的产业化应用。

3) 构建了无尘化、不停机、零损伤的多维隔振装置托换施工工艺,建立了与上部设备性能易适配的模块化组装工艺,形成了上部设备随形减振基础成套技术。研发了高精度多参量的振动监控技术体系,构建了融合多源信息的监测预警参数与预报信息系统,为工程振动控制提供了完整的解决方案。

通过系统的理论研究、装备研发和工程实践,项目授权发明专利42项,出版学术专著3部,发表相关论文80余篇,主要成果被国家标准《地震灾情应急评估》(GB/T 30352)和其他4部地方、团体标准采纳。研发的工程结构非线性理论计算方法获得第十五届世界地震工程大会全球盲测竞赛第3名、美国太平洋地震工程研究中心和日本国家地球科学与灾害防御研究所联合全球结构盲测竞赛第1名等奖励,提高了相关学科在国际学术界的知名度和认可度。项目研究成果在精密仪器、文物保护、建筑工程等多个领域得到了广泛应用:完成了北京航空航天大学极弱磁重大科技基础设施、暨南大学光刻实验室等大科学装置基座防微振控制,保障了先进高精密仪器装置的建设与运维;完成了国家一级文物、国内馆藏体量最大石造像文物青岛市博物馆北魏双丈八佛的隔振托换示范应用,开创了馆藏文物科学减振防震保护新局面;同时在青岛胶东国际机场、广州白云国际机场、青岛地铁、青岛国信科技大厦等交通枢纽工程、大跨空间结构和高层建筑的抗震和振动控制中得到成功应用,取得了显著的经济效益和社会效益。

五、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
------------	--------------	--------	-----------	------------	----------------	-------------	------------	--------------

发明专利	一种减震防倒塌的联合结构	中国	ZL202010088203.6	2021.04.06	4344899	青岛理工大学, 荣华智能集成建造科技有限公司	许卫晓, 程扬, 杨伟松, 于德湖, 张纪刚	有效
发明专利	一种支撑型阻尼器与既有RC框架结构的非约束连接节点	中国	ZL202010789747.5	2021.09.14	4681583	青岛理工大学, 荣华智能集成建造科技有限公司	许卫晓, 程扬, 杨伟松, 于德湖, 张纪刚, 曾森	有效
发明专利	一种框架中部节点的支撑型阻尼连接装置及框架	中国	ZL202111107344.9	2022.10.18	5520664	青岛理工大学	许卫晓, 夏传俊, 杨伟松, 李翠翠, 李海生, 张纪刚, 杨淑娟, 王向英	有效
发明专利	消能减震结构消能器附加有效的阻尼比取值方法-时变法	中国	ZL201410041973.X	2015.04.22	1640210	广东省建筑设计研究院股份有限公司	区彤, 徐昕, 谭坚, 陈星, 张连飞, 焦柯, 陈前, 梁艳云	有效
发明专利	一种多级变阻阻尼器	中国	ZL2020111078191.5	2020.10.10	5164162	广东省建筑设计研究院股份有限公司, 广州大学	区彤, 刘彦辉, 林松伟, 谭平, 周福霖, 刘雪兵, 刘淼鑫, 谭坚	有效
发明专利	基于目标附加有效的阻尼比消能减震结构消能器时变优化方法	中国	ZL201610030953.1	2018.08.24	3047279	广东省建筑设计研究院股份有限公司	区彤, 徐昕, 谭坚, 杨新, 焦柯, 张连飞, 林家豪, 段韵	有效

发明专利	一种二阶增强型连续梁式金属阻尼减震系统	中国	ZL202011547669.4	2022.09.30	5492345	青岛理工大学	杨伟松, 田明仑, 许卫晓, 张纪刚, 杨淑娟	有效
发明专利	解耦式双曲线轨两自由度免震台	中国	ZL202111201344.5	2023.07.28	6189835	国望智承(北京)振动控制技术有限公司	张旭光, 宁建宇	有效
计算机软件著作权	高精度气浮平台减震系统V2.0	中国	2022SR0862885	2022.06.29	2022SR0862885	国望智承(北京)振动控制技术有限公司	/	有效
省级工法	大型文物短距离减振平移施工工法	中国	SDSJGF2023117F	2023.09.21	山东省住房和城乡建设厅	青岛中建集团有限公司, 山东建固特种专业工程有限公司	袁春英, 曹明辉, 徐阳, 冯洋, 陈阵隆, 刘作岩, 董黎明	有效

六、主要完成人情况

1. 姓名：许卫晓；排名：1/10；技术职称：副教授；行政职务：土木工程防灾减灾综合实验中心主任；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：研发了建筑结构高精度非线性分析模型及高效数值求解技术；建立了石造像应力应变与输入振动幅值参数的经验关系，获得了合理的石造像文物容许振动安全阈值，建立了地震烈度快速评估方法，实现地震影响场的快速评估。研发了轨道交通

竖向减振融合水平向隔震支座的振震双控装置，形成了二元一体化振震双控装置与多部件作业协调技术。开发了文物和保护建筑振动安全监测云平台，基于三维建模可视化测点，实现模型与数据间的联动。

2. 姓名：区彤；排名：2/10；技术职称：正高级工程师；行政职务：结构副总工程师；工作单位：广东省建筑设计研究院集团股份有限公司；完成单位：广东省建筑设计研究院集团股份有限公司；具体贡献：应用本项目研发的建筑结构高精度非线性分析模型及高效数值求解技术完成了 30 余项交通枢纽设施的振动控制和抗震分析设计。基于幂律流体本构关系，发明了阻尼比可调节的弹簧油液减振装置，通过调平机构解决了同类减振器由于质量分布不均无法保证统一装配高度的难题。

3. 姓名：于德湖；排名：3/10；技术职称：教授；行政职务：校长；工作单位：山东建筑大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：研发了建筑结构高精度非线性分析模型及高效数值求解技术；建立了石造像应力应变与输入振动幅值参数的经验关系，获得了合理的石造像文物容许振动安全阈值。研发了轨道交通竖向减振融合水平向隔震支座的振震双控装置，形成了二元一体化振震双控装置与多部件作业协调技术。

4. 姓名：陈阵隆；排名：4/10；技术职称：高级工程师；行政职务：总经理助理；工作单位：青岛中建联合集团有限公司；完成单位：青岛中建联合集团有限公司；具体贡献：对工程典型施工工况进行了长期振动监测，创建了工程典型施工振动特征数据库。构建了无尘化、

不停机、零损伤的内置切割式与外挂摇篮式两种基础减振置换方法，完成了青岛市博物馆两尊北魏石佛造像和两尊北齐菩萨造像的隔振托换，实现了我国馆藏最大石造像文物的隔振托换示范应用。

5. 姓名：杨伟松；排名：5/10；技术职称：副教授；行政职务：无；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：建立了石造像应力应变与输入振动幅值参数的经验关系，获得了合理的石造像文物容许振动安全阈值；建立了地震烈度快速评估方法，实现地震影响场的快速评估。基于幂律流体本构关系，发明了阻尼比可调节的弹簧油液减振系列装置，通过调平机构解决了同类减振器由于质量分布不均无法保证统一装配高度的难题。

6. 姓名：邱玲玲；排名：6/10；技术职称：工程师；行政职务：副总经理；工作单位：国望智承（北京）振动控制技术有限公司；完成单位：国望智承（北京）振动控制技术有限公司；具体贡献：面向超精密仪器微振动控制需求，研发了基于摆类结构和双腔室空气弹簧的两自由度被动气浮隔振装置；研发了轨道交通竖向减振融合水平向隔震支座的振震双控装置，形成了二元一体化振震双控装置与多部件作业协调技术。开发了文物和保护建筑振动安全监测云平台，基于三维建模可视化测点，实现模型与数据间的联动。

7. 姓名：刘作岩；排名：7/10；技术职称：高级工程师；行政职务：总工程师；工作单位：青岛中建联合集团有限公司；完成单位：青岛中建联合集团有限公司；具体贡献：参与构建了无尘化、不停机、零损伤的内置切割式与外挂摇篮式两种基础减振置换方法，完成了青岛

市博物馆两尊北魏石佛造像和两尊北齐菩萨造像的隔振托换,实现了我国馆藏最大石造像文物的隔振托换示范应用。

8. 姓名: 叶禾; 排名: 8/10; 技术职称: 初级工程师; 行政职务: 总裁; 工作单位: 德才装饰股份有限公司; 完成单位: 德才装饰股份有限公司; 具体贡献: 参与构建了无尘化、不停机、零损伤的内置切割式与外挂摇篮式两种基础减振置换方法,完成了青岛市博物馆两尊北魏石佛造像和两尊北齐菩萨造像的隔振托换,实现了我国馆藏最大石造像文物的隔振托换示范应用。

9. 姓名: 张旭光; 排名: 9/10; 技术职称: 工程师; 行政职务: 运营总监; 工作单位: 国望智承(北京)振动控制技术有限公司; 完成单位: 国望智承(北京)振动控制技术有限公司; 具体贡献: 研发了轨道交通竖向减振融合水平向隔震支座的振震双控装置,形成了二元一体化振震双控装置与多部件作业协调技术;基于幂律流体本构关系,发明了阻尼比可调节的弹簧油液减振装置,通过调平机构解决了同类减振器由于质量分布不均无法保证统一装配高度的难题,并实现跨领域产业化应用。

10. 姓名: 冯俊明; 排名: 10/10; 技术职称: 工程师; 行政职务: 项目经理; 工作单位: 青岛中建联合集团有限公司; 完成单位: 青岛中建联合集团有限公司; 具体贡献: 参与构建了无尘化、不停机、零损伤的内置切割式与外挂摇篮式两种基础减振置换方法,完成了青岛市博物馆两尊北魏石佛造像和两尊北齐菩萨造像的隔振托换,实现了我国馆藏最大石造像文物的隔振托换示范应用。

七、主要完成单位情况

1. 青岛理工大学：（1）研发了建筑结构高精度非线性分析模型及高效数值求解技术，提出了一种基于共旋坐标法的力插值纤维单元，开发了跨平台交互式图形用户界面软件 ViPSea。（2）建立了振动敏感文物容许振动安全阈值精细化计算方法，实现了振源-场地-建筑环境全路径振动影响的科学评估。（3）提出了振震双控装置的设计原理及装配方法，开展了振动台试验和数值计算，为高地震烈度区城市轨道交通上盖建筑的开发提供技术方案。（4）开发了振动安全监测云平台，基于三维建模可视化测点，实现模型与数据间的联动，构建了融合多源信息的监测预警参数与预报信息系统。在多领域的产业化应用方面，提供了数值计算仿真和减振效果评估。

2. 青岛中建联合集团有限公司：（1）对工程典型施工工况进行了长期振动监测，创建了工程典型施工振动特征数据库。（2）构建了无尘化、不停机、零损伤的内置切割式与外挂摇篮式两种基础减振置换方法，完成了青岛市博物馆两尊北魏石佛造像和两尊北齐菩萨造像的隔振托换，实现了我国馆藏最大石造像文物的隔振托换示范应用。（3）担任项目的主要工程施工示范应用单位，完成了青岛胶东国际机场临空经济区北片区电力管廊建设工程、青岛人工智能科技创新中心、青岛市广播电视台中波发射台迁建、青岛大学附属医院国际医疗中心等 20 余项重大工程项目建设，获得显著的经济和社会效益。在工程示范应用过程中，对计算分析结果、减隔振装备进行实时的性能监测及数据统计，为理论和技术的进一步改进提高提供了试验数据和应用经

验。

3. 广东省建筑设计研究院集团股份有限公司：（1）合作研发了建筑结构高精度非线性分析模型及高效数值求解技术，并在交通枢纽建筑的道路和轨道交通振动响应分析、大跨空间结构人致振动响应分析和建筑抗震性能设计中进行了应用和反馈优化。（2）针对传统惰性混凝土基础减振性能差、空间利用率低的难题，设计了与上部设备性能易适配的模块化组装工艺，形成了上部设备随形减振基础成套技术。（3）担任项目的主要工程设计示范应用单位，完成了广州白云国际机场扩建工程二号航站楼及配套设施、云桂铁路昆明南站站房工程、深圳蛇口邮轮中心等 30 余项交通枢纽设施的振动控制和抗震分析设计应用，获得显著的经济和社会效益。

4. 国望智承（北京）振动控制技术有限公司：（1）面向超精密仪器微振动控制需求，研发了基于摆类结构和双腔室空气弹簧的两自由度被动气浮隔振装置。（2）研发了轨道交通竖向减振融合水平向隔震支座的振震双控装置，形成了二元一体化振震双控装置与多部件作业协调技术。基于幂律流体本构关系，发明了阻尼比可调节的弹簧油液减振装置，通过调平机构解决了同类减振器由于质量分布不均无法保证统一装配高度的难题，并实现跨领域产业化应用。（3）担任项目的主要减隔振产品生产和应用单位，完成了西安某军工企业平行光管测试系统、暨南大学光刻机防微振平台、苏州南站枢纽综合体等涵盖精密设备、建筑舒适度控制、文物保护等领域的 40 余项工程项目。在工程示范应用过程中，为理论和技术的进一步改进提高提供了试验数据

和应用经验。

5. 德才装饰股份有限公司：（1）对工程典型装饰装修施工工况进行了长期振动监测，创建了工程典型施工振动特征数据库。（2）构建了无尘化、不停机、零损伤的内置切割式与外挂摇篮式两种基础减振置换方法，完成了青岛市博物馆两尊北魏石佛造像和两尊北齐菩萨造像的隔振托换，实现了我国馆藏最大石造像文物的隔振托换示范应用。

（3）担任项目的主要工程施工示范应用单位，完成了青岛胶东国际机场、青岛地铁1、2、3号线工程、青岛海天中心、烟台市医院等20余项重大工程项目建设，在工程示范应用过程中，通过应用本项目成果合理评估和控制装饰装修过程施工振动，优化了施工工艺，保障了施工质量，同时节省工期，取得显著的直接和间接经济效益。同时通过实时的性能监测及数据统计，为理论和技术的进一步改进提高提供了试验数据和应用经验。