

2023 年度参与提名青岛市科学技术奖公示

参与单位：青岛农业大学

一、项目名称

地铁工程施工引起地表沉降机理与建筑物损害预警理论及控制技术

二、申报奖种及等级

青岛市科技进步奖（民生科技类）一等奖

三、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。

地铁工程施工引起的地表沉降、爆破振动及其对周边建（构）筑物损害，是地铁隧道穿越城区风险控制技术的核心，该项目经过十三年对地铁工程穿越城区安全问题进行了系列研究，在以下四个方面取得突破：(1)揭示复杂地质条件下地铁工程施工引起地表沉降机理，创新地表沉降预测方法；(2)提出爆破振动影响范围计算方法，建立考虑地表不均匀沉降和爆破振动作用下建筑物灾变过程的数值分析方法和动态可视化技术；(3)推进地质灾害复杂多变情况下的地铁工程施工对建（构）筑物损害预警理论，研发建筑物损伤检测及抗变形新技术；(4)基于地表沉降“多维空间”预测原理，研发了复合地层条件下，双模（TBM-EPB）盾构施工等损害精准控制技术。

该项目共获得发明专利授权 26 项，实用新型专利 21 项，软件著作权 5 项；发表 SCI、EI、核心期刊论文 69 篇，参编省级和企业规范 4 部，出版专著 8 本。其中部分成果被国内外专家评价为地铁工程施工引起地表沉降、爆破振动和环境损害评价的标志性成果；部分成果通过了山东省教育厅组织的、以蔡美峰院士为主任专家委员会鉴定，鉴定为国际领先水平。该项目相关成果成功应用于青岛、深圳、广州等地的地铁工程施工。

提名该项目为 2023 年度青岛市科学技术进步奖一等奖。

四、项目简介

该项目在国家自然科学基金、青岛市、教育部及企业委托等近 20 项课题资助下，利用 13 年的时间，针对复合地层条件下地铁工程施工对地面构筑物损害的严重问题和穿越风险控制诸多技术难题进行系统研究，取得了以下成果：

（1）针对地铁工程开挖引起地表沉降或地表塌陷对建筑物的损害，系统研究揭示了地铁工程开挖引起地表沉降机理，创新了扰动岩层变形动态发展及地表沉降动态过程的预测方法，研制了地铁工程施工引起地表沉降与周围环境信息采集传感器及设备，研发和构建了地铁工程施工引起地表沉降及周围环境变形信息自动化监测系统及其风险分析预警技术平台，相关成果已经在青岛、深圳、广州等地铁工程设计和施工中获得良好的应用效果。

（2）针对地铁工程爆破施工振动对建筑物的损害，系统研究揭示了地铁工程爆破施工对建筑物损害的动力力学机制，创新爆破振动

影响范围计算方法；首次研究了爆破振动与不均匀沉降对建筑物双重耦合影响，建立考虑地表不均匀沉降和爆破振动作用下建筑物灾变过程的数值分析和动态可视化技术，再现建筑物在爆破振动与不均匀沉降对建筑物双重耦合影响下的损伤、破坏乃至倒塌的灾变全过程。提出一种基于离散控制理论的结构动力响应数值计算方法，为获得高效结构动力响应提供了有效的技术手段。

（3）系统研究开发了地铁工程施工对建筑物损伤的识别与预警新技术，创新了地铁工程施工对建筑物损伤预测识别判据，有效解决了地铁工程施工对建筑物损伤检测及预警技术难题；研发了地上建筑物与地下隧道相互影响测定方法，发明了抗变形建筑物新技术，显著提升了建筑结构抗变形性能，相关成果在青岛地铁 1、2、3、4、7、8 号线中成功应用。

（4）提出了地铁工程施工对周围环境影响信息的精准获取和关键技术，攻克不同地质条件下地铁工程施工对周围环境影响精准控制的技术难题。开展了土岩复合地层相似材料模拟试验，深入揭示了地铁工程施工引起“从围岩变形、到覆岩破坏、再到地表沉降、乃至建筑物损坏的灾害链”过程，研制了这个灾害链的控制环节、控制时机、控制方法，攻克了地质环境复杂多变条件下地铁工程施工引起地表沉降及周围环境损害的精准控制技术难题，显著提升了对周围环境影响的控制水平，使围岩变形、地表沉降值、建筑物损害程度均下降 30%。基于地表沉降“五维空间”预测原理，研发了复合地层条件下，双模（TBM-EPB）盾构施工等损害精准控制技术。

项目形成知识产权 52 项，其中发明专利 26 项，实用新型专利 21 项，软件著作权 5 项，正式发表 SCI、EI、核心期刊论文 69 篇，参编地方和企业规范 4 部，出版专著 8 部。形成了具有自主知识产权的地铁工程施工引起地表沉降、爆破振动对建筑物损伤控制工艺、技术、信息平台。部分成果被国内外专家评价为地铁隧道工程引起地表沉降、爆破振动对环境损害评价的标志性的成果，山东省教育厅组织、以蔡美峰院士为主任的专家委员会鉴定为国际领先水平。相关成果成功应用到青岛地铁多条线路施工中，近 3 年新增销售额超过 15 亿元，新增经济效益超过 3 亿元，具有重大的社会效益和推广应用前景。

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
发明专利权	一种钢板桩 支护基坑管 涌的治理方 法	中国	CN11 2832 253B	2022. 7. 5	52803 91	青岛 理工 大学, 中铁 二十 五局 集团 有限 公司	于广 明,郑 雯,张 旭海, 马国 松,朱 连臣, 樊延 祥,关 辉,刘 正伟, 朱向 飞	有效

发明专利权	一种高频耗散可控的结构动力响应数值计算方法	中国	ZL202010863015.6	2021.06	4490130	青岛理工大学	赵建锋、赵旭，孟凡涛，于广明	有效
发明专利权	隧道施工造成地表沉降槽空间形态五维演化的预估方法	中国	ZL202111438409.8	2022.12.6	5627672	青岛理工大学，中国建筑第五工程局有限公司	彭斌，张鹏辉，罗伟庭，于英年，姚欣鹏，于广明，谭芝文，岳强，杜佳明，张立	有效
发明专利权	基于过-王破坏准则的混凝土材料损伤预测方法	中国	ZL201510515336.6	2017.1	2993199	青岛理工大学	高丽燕，于广明，万小梅，王国艳，李冉，李刚，潘泳战	有效
发明专利权	Test Method Based on	美国	17/878,769.	2022.10.7	/	青岛理工大学，中国建筑	于广明，张鹏辉，罗伟庭，石	

	Test System for Five-Dimen sional Space Effects of Ground Surface Settlement caused by Dual-Mode ShieldCons truction (基于测试 系统的双模 盾构施工引 起地面沉降 的五维空间 效应测试方 法)					第五 工程 局有 限公 司	红兵， 姚欣 鹏，彭 斌，谭 芝文， 岳强， 杜佳 明，张 立，张 树光	
发明专 利权	Evaluation method of tunneling	南非	2022 /064 61	2022. 8. 31	/	青岛 理工 大学，	雷军， 师启 蒙，彭	有效

	speeds of TBM-EPB shield machines based on GA-BP neural network (一种基于 GA-BP 神经 网络双模 (TBM-EPB) 盾构机掘进 速度的评价 方法)					中国 建筑 第五 工程 局有 限公 司	斌, 邝 利军, 罗伟 庭, 杨 子汉, 陈泽, 刘浩, 于广 明	
发明专 利权	Analysis method of floating amount of single segment under synergisti c effect of group forces (基 于群力协同 效应的的单 块管片上浮 量分析方 法)	南 非	2022 /064 56	2022. 8. 31	/	青 岛 理 工 大 学, 中 国 建 筑 第 五 工 程 局 有 限 公 司	于广 明, 杨 鑫汪, 洪勇, 徐振, 孙超, 雷军, 杨子 汉, 陈 泽, 刘 浩, 张 鹏辉	有效
发明专 利权	Evaluation Method of Building Damages	南 非	2022 /064 62	2022. 8. 31	/	青 岛 理 工 大 学, 中 国	于广 明, 柏 吟秋, 洪勇,	有效

	Caused by Synergism of Disturbance Stresses in Shield Tunneling (基于盾构隧道施工扰动应力协同作用的建筑物损伤评价方法)					建筑第五工程有限公司	彭斌, 徐振, 孙超, 邝利军, 罗伟庭, 张鹏辉	
著作	滨海复杂地质条件下地铁设计创新与实践青岛地铁1号线工程	中国	978-7-114-12280-8	2023.1	/	青岛市地铁一号线有限公司	徐振, 陈剑	有效
著作	Prediction and Control of Interaction Between Ground Building and Tunnel Construction Process,	中国, 德国	978-981-19-3473-5/978-981-19-3474-2 (eBook)	2022	/	青岛理工大学	孟丹、袁长丰、于广明	有效

六、主要完成人情况表

1. 姓名：徐振；排名：1/15；技术职称：正高级工程师；行政职务：董事长；工作单位：青岛市地铁一号线有限公司；完成单位：青

岛市地铁一号线有限公司；具体贡献：对本项目创新点（4）贡献是提出了地铁隧道爆破施工风险评价方法；并把项目成果在青岛地铁工程施工中进行了大力推广应用。

2. 姓名：于广明；排名：2/15；技术职称：教授；行政职务：省级工程技术中心主任；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：对本项目创新点（1）的贡献是揭示了地铁隧道施工引起地表沉降机理，创新了岩层变形及地表沉降动态预测方法，对创新点（2）贡献是提出了地铁爆破施工影响范围的计算方法；对本项目创新点（3）的贡献是提出了建筑物调平安全监测系统；对创新点（4）贡献是提出了地铁隧道变形在线监测系统及监测方法。

3. 姓名：赵建锋；排名：3/15；技术职称：副教授；行政职务：省级工程技术中心副主任；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：对本项目创新点（2）贡献是提出了地铁爆破施工振速的测试方法，岩性参数回归技术和爆破振动影响范围的计算方法，提出了一种基于离散控制理论的结构动力响应高效计算方法；对创新点（4）贡献是提出了地铁隧道施工风险识别方法。

4. 姓名：雷军；排名：4/15；技术职称：高级工程师；行政职务：局质量总监、副总工程师；工作单位：中国建筑第五工程局有限公司；完成单位：中国建筑第五工程局有限公司；具体贡献：对本项目创新点（4）的贡献是基于地表沉降“五维空间”预测原理，研发了复合地层条件下，双模（TBM-EPB）盾构施工等损害精准控制技术。

5. 姓名：樊延祥；排名：5/15；技术职称：正高级工程师；行政

职务：中铁二十五局集团第五工程有限公司副总工程师；工作单位：中铁二十五局集团第五工程有限公司；完成单位：中铁二十五局集团第五工程有限公司；具体贡献：对本项目创新点（1）的贡献是提出了一种基于灰色理论 GM(1,1) 的隧道拱顶累积沉降趋势的预测方法。

6. 姓名：孟丹；排名：6/15；技术职称：副教授；行政职务：无；工作单位：青岛农业大学；完成单位：青岛农业大学；具体贡献：对本项目创新点（1）的贡献是揭示了地铁工程开挖引起地表沉降机理，分析了工程开挖周围岩体裂隙演化过程和破坏模式，提出了工程开挖过程中导致地层沉降预计方法，提高了不同地质条件下地表沉降预测的精准性。

7. 姓名：邝利军；排名：7/15；技术职称：高级工程师行政职务：分公司副总工程师工作单位：中国建筑第五工程局有限公司；完成单位：中国建筑第五工程局有限公司；具体贡献：对本项目创新点（4）的贡献是基于地表沉降“五维空间”预测原理，研发了复合地层条件下，双模（TBM-EPB）盾构施工等损害精准控制技术。

8. 姓名：关辉；排名：8/15；技术职称：高级工程师；行政职务：青岛地铁 4 号线大河东项目总工程师；工作单位：中铁二十五局集团第五工程有限公司；完成单位：中铁二十五局集团第五工程有限公司；具体贡献：对本项目创新点（2）的贡献是研究了地铁隧道爆破施工对装配式混凝土结构建筑物的振动响应规律。

9. 姓名：杨子汉；排名：9/15；技术职称：工程师；行政职务：局研究院隧道所所长；工作单位：中国建筑第五工程局有限公司；完

成单位：中国建筑第五工程局有限公司；具体贡献：对本项目创新点（4）的贡献是基于地表沉降“五维空间”预测原理，研发了复合地层条件下，双模（TBM-EPB）盾构施工等损害精准控制技术。

10. 姓名：于英年；排名：10/15；技术职称：高级工程师；行政职务：副经理；工作单位：中启胶建集团有限公司；完成单位：中启胶建集团有限公司；具体贡献：对本项目创新点（3）贡献是地铁隧道施工风险识别；对本项目创新点（4）贡献是参与了基于 RSCIC 的工程人机通信综合管理系统，推广了“地铁工程施工引起地表沉降机理与建筑物损害预警理论及控制技术”，解决了在地铁车站附近开发建设工程的互相影响问题。

11. 姓名：罗伟庭；排名：11/15；技术职称：工程师；行政职务：项目总工程师；工作单位：中国建筑第五工程局有限公司；完成单位：中国建筑第五工程局有限公司；具体贡献：对本项目创新点（4）的贡献是基于地表沉降“五维空间”预测原理，研发了复合地层条件下，双模（TBM-EPB）盾构施工等损害精准控制技术。

12. 姓名：李冉；排名：12/15；技术职称：其他；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：对本项目创新点（3）的贡献是创新了混凝土材料的屈服接近度模型，建立了混凝土建筑结构损伤预测识别判据，精准实现了地铁工程施工对建筑物结构开裂损伤的评估与预测。

13. 姓名：高丽燕；排名：13/15；技术职称：讲师；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：

对本项目创新点（3）的贡献是创新了混凝土材料的屈服接近度模型，建立了混凝土建筑结构损伤预测识别判据，精准实现了地铁工程施工对建筑物结构开裂损伤的评估与预测。

14. 姓名：杨鑫汪；排名：14/15；技术职称：无；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：对本项目创新点（4）的贡献是提出了管片防上浮施工技术，提升了盾构掘进施工的安全性和高效性，降低了施工的安全质量风险性和施工成本。

15. 姓名：柏吟秋；排名：15/15；技术职称：无；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：对本项目创新点（4）的贡献是提出了盾构隧道施工扰动应力协同作用导致建筑物损伤的评价方法，可有效评估扰动应力对建筑物的破坏程度，指导工程规避施工风险，确保人员安全。

七、主要完成单位情况表

1. 青岛理工大学：青岛理工大学组织开展推荐项目的全面实施，揭示了地铁隧道开挖引起地表沉降机理，创新了地铁隧道开挖引起岩土体直至地表变形自动化监测方法，构建了地铁隧道变形控制技术体系，攻克不同地质条件下地铁隧道施工损害精准控制技术难题，并在青岛、徐州、南京、重庆、新疆开展推荐项目的技术推广应用和完善。系统研究揭示了地铁工程爆破施工对建筑物损害的动力力学机制，创新爆破振动影响范围计算方法；首次研究了爆破振动与不均匀沉降对建筑物双重耦合影响，建立考虑地表不均匀沉降和爆破振动作用下建筑

物灾变过程的数值分析和动态可视化技术,再现建筑物在爆破振动与不均匀沉降对建筑物双重耦合影响下的损伤、破坏乃至倒塌的灾变全过程。提出一种基于离散控制理论的结构动力响应数值计算方法,为获得高效结构动力响应提供了有效的技术手段。研究开发了地铁工程施工对建筑物损伤的识别与预警新技术,攻克不同地质条件下地铁工程施工对周围环境影响精准控制的技术难题。

2. 青岛市地铁一号线有限公司: 青岛市地铁一号线有限公司提出了地铁隧道爆破施工风险评价方法, 确定了爆破振动安全控制标准, 发明了轨道交通地下车站建筑结构、地铁建设工程施工竖井等专利技术, 构件了基于多源数据的地铁车站爆破振速风险评价方法, 并积极进行了将该项目科研成果在青岛地铁 1 号线、4 号线等工程现场的推广应用。

3. 中国建筑第五工程局有限公司: 中国建筑第五工程局有限公司开发了双模盾构施工引起地表沉降“五维空间”预测技术, 基于盾构机、围岩与管片三者相互作用机理, 提出了双模 (TBM-EPB) 盾构施工引起地表沉降的五维空间效应及相应的地表沉降预测方法。

4. 中铁二十五局集团第五工程有限公司: 中铁二十五局集团第五工程有限公司研究了地铁隧道爆破施工对装配式混凝土结构建筑物的振动响应规律, 提出了一种基于灰色理论 GM(1,1) 的隧道拱顶累积沉降趋势的预测方法。

5. 青岛农业大学: 青岛农业大学揭示了地铁工程开挖引起地表沉降机理, 分析了工程开挖周围岩体裂隙演化过程和破坏模式, 提出了

工程开挖过程中导致地层沉降预计方法，提高了不同地质条件下地表沉降预测的精准性。

6. 中启胶建集团有限公司：中启建设集团有限公司参加开发了地铁隧道施工引起周围环境变形自动化监测系统，开展地铁隧道施工风险识别，参与研究基于 RSCIC 的工程人机通信综合管理系统，推广了“地铁工程施工引起建筑物损害预警理论及控制技术”，解决了在地铁车站附近开发建设工程的互相影响问题。