**科技进步奖**

**一、项目名称**

地铁隧道施工引起地表沉降机理与建（构）筑物损害预警理论及控制技术

**二、推荐单位（专家）**

山东省教育厅

**三、项目简介**

地铁隧道作为城市交通重要组成部分已经成为国家大力发展基础设施建设战略的重要支撑，是一项关乎国计民生的支柱产业。但是，地铁隧道所处施工环境复杂，不确定性强，工程区域地层多变、地面建（构）筑物繁多，极易引起隧道工程和周围环境失稳破坏，因此，地铁隧道施工引起的地表沉降机理及建筑物损害预警及控制技术，是地铁隧道穿越城区的技术核心之一，可以有效避免隧道开挖灾害，保护周围环境的安全以及人民生命及财产安全，促进社会经济发展的和谐性和社会发展的稳定性。

针对困扰国内外隧道施工“地质条件复杂多变”、“岩土参数复杂发散”、“地质灾害复杂突变”等技术难题，为了确保地铁隧道安全穿越城区，本项目旨在以下3各方面取得突破：（1）建立地铁隧道施工变形控制技术体系；（2）提升城市浅埋隧道支护在不同地质条件下控制变形性能；（3）攻克地质灾害复杂突变下的地铁隧道施工对建（构）筑物损害预警及控制技术难题。

在国家自然科学基金、省部级课题以及现场课题等近20项课题资助下，通过自主创新，取得了以下研究成果：

（1）揭示了地铁隧道开挖引起地表沉降机理，发明了地铁隧道施工自动化监测系统和相关传感器，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，研发了地铁隧道施工引起周围环境变形自动化监测系统，攻克了地质环境复杂多变摸不清技术难题，为精准控制变形提供了信息技术平台。

（2）创新了城市浅埋隧道岩体施工控制变形工法；提出了富水地层中的管幕冻结新型技术，建立了水-热-力耦合数值模型，揭示了冻土帷幕在形成和解冻过程中的温度场发展规律以及冻胀融沉规律，研制了大型多功能冻土-结构接触面循环直剪设备；系统开展了不同岩土体下的地下开挖相似材料模拟试验，创新了相似材料面层变形信息的无接触式大视场小量程信息的获取和处理方法，显著提升了不同地层条件下的地铁隧道施工控制变形性能。

（3）提出地铁隧道施工对混凝土结构损伤预测识别判据，有效解决了地质灾害复杂突变状态下的地铁隧道施工对建筑物损伤预警及检测技术难题；研发了建筑基坑与邻近隧道相互影响测定方法和开挖工法，发明了建筑结构抵抗变形的新技术，提升了结构抵抗变形性能。

本项目形成了专利等知识产权45项，其中中国发明专利19项，实用新型19项，软件著作权5项，外观设计专利2项；发表SCI文章20余篇，形成了具有自主知识产权的地铁隧道施工引起地表沉降及建筑物损伤预警成套工法、工艺、监测技术以及标准等技术体系。部分成果被国内外专家纳入到地铁隧道施工引起周围环境变形标志性成果，经过山东省教育厅组织的以蔡美峰院士为主任的专家组会议鉴定为国际领先水平。

**四、主要完成单位及创新推广贡献**

1.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，发明了地铁隧道施工自动化监测系统和相关传感器，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，研发了地铁隧道施工引起周围环境变形自动化监测系统，攻克了地质环境复杂多变摸不清技术难题，为精准控制变形提供了信息技术平台，并在青岛、新疆开展推荐项目的技术推广应用和完善。

2.海南大学

针对盾构隧道技术开展研究，提出了富水地层中的管幕冻结新型技术，建立了水-热-力耦合数值模型，揭示了冻土帷幕在形成和解冻过程中的温度场发展规律以及冻胀融沉规律，研制了大型多功能冻土-结构接触面循环直剪设备，在盾构施工中开展相关技术应用及推广。

3.青岛静力工程有限公司

针对推荐项目在地铁隧道施工，发明了挤入式地下连续墙成墙装置及方法，研究成果成功进行推广应用。

4.青岛农业大学

针对地铁隧道施工控制变形，开展了地面建筑检测方法研究以及减少变形的结构设计研发，并在技术推广应用过程中，积极开展相关工作。

5.新疆大学

研发了地铁隧道施工引起周围环境变形自动化监测系统，揭示了地铁隧道开挖引起地表沉降机理，并在新疆开展推荐项目的技术推广应用和完善。

6.重庆睿安特盾构技术股份有限公司

研究了地上建筑与地下结构相互影响测定方法，开展推荐项目在重庆的技术推广应用和完善。

五、推**广应用情况**

相关成果成功应用于青岛地铁1号线和3号线、乌鲁木齐轨道交通1号线和2号线、重庆轨道交通9号线、深圳地铁6号线6111标盾构区间、成都地铁17号线TJ06标盾构区间掘进工程等工程中，近3年新增经济效益超过6亿元人民币，具有重大的社会经济效益和推广应用前景。

**六、曾获科技奖励情况**

无

**七、主要知识产权证明目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 附属编号 | 知识产权类型 | 名称 | 国家 | 授权或申请号 | 授权日期 | 权利人 | 发明人 |
| 1.1 | 授权发明专利 | 一种地铁隧道变形在线监测系统及监测方法 | 中国 | ZL201610330366.4 | 2018-08-17 | 青岛理工大学 | **于广明**，李冰冰，**袁长丰潘永战**，**高丽燕** |
| 1.2 | 授权发明专利 | 一种建筑物调平安全监测系统 | 中国 | ZL201510354950.9 | 2018-01-12 | 青岛理工大学 | **于广明**，**袁长丰**，**高丽燕**，李冰冰，袁子晋 |
| 1.3 | 授权发明专利 | 基于覆岩离层动态发展的地表沉陷动态过程的展现方法 | 中国 | ZL201710208457.5 | 2017-07-18 | 青岛理工大学 | [**于广明**](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E4%BA%8E%E5%B9%BF%E6%98%8E))，[**袁长丰**](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E8%A2%81%E9%95%BF%E4%B8%B0))，[王大宁](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E7%8E%8B%E5%A4%A7%E5%AE%81))，[周福强](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E5%91%A8%E7%A6%8F%E5%BC%BA))，[米文瑞](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E7%B1%B3%E6%96%87%E7%91%9E))，[**秦拥军**](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E7%A7%A6%E6%8B%A5%E5%86%9B)) |
| 1.4 | 授权发明专利 | 一种光纤光栅串接方式下的光纤光栅位移计 | 中国 | ZL201710120510.6 | 2018-12-28 | 青岛理工大学 | **袁长丰**，王臣，李聪明，陈杨 |
| 1.5 | 授权发明专利 | 一种隧道管棚变形监测方法 | 中国 | ZL201610992806.2 | 2018-12-11 | 青岛理工大学 | **袁长丰**，陈杨，李聪明 |
| 1.6 | 授权发明专利 | 一种岩石地层中盾构隧道端头止水加固的施工方法 | 中国 | ZL201410620623.9 | 2018-02-27 | [海南大学](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=SQR:() | **胡俊**，佳琳 |
| 1.7 | 授权发明专利 | 建筑结构不均匀沉降智能监控调节系统及监控调节方法 | 中国 | ZL20131610461876.5 | 2017-09-29 | [海南大学](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=SQR:() | **胡俊**，张宏斌，杨东全，任兴月，常晋源，梁栋才，钟启明，陈亮 |
| 1.8 | 授权发明专利 | 挤入式地下连续墙终点封闭成墙装置和使用方法 | 中国 | ZL201510437993.3 | 2017-01-04 | 青岛静力工程股份有限公司；欧阳甘霖 | **欧阳甘霖**，**路世豹**，欧阳牧虎，冯晶，赵婉宇 |
| 1.9 | 授权发明专利 | 一种地下施工对地面建筑结构影响的检测方法 | 中国 | ZL201310193996.8 | 2016-01-27 | 青岛理工大学 | **孟丹** |
| 1.10 | 授权发明专利 | 基于过-王破坏准则的混凝土材料损伤预测方法 | 中国 | ZL201510515336.6 | 2017-11-10 | 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** |

**八、主要完成人情况**

1. 姓名：于广明，排序：1/15，职称：教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目创新点1贡献提出一种地铁隧道变形在线监测系统，发明了地铁隧道监测数据快速处理系统，揭示了地表动态沉降机理，支撑材料为附件1.1、1.3；对创新点2贡献提出了隧道地质条件协同预测技术，创新了地上建筑与地下结构相互影响测定方法，支撑材料为附件5.1、5.2；对创新点3发明了建筑物调平安全监测系统，提出了混凝土结构损伤判别准则，支撑材料为附件1.2、1.9。

2.姓名：袁长丰，排序：2/15，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目创新点1贡献发明了一种地铁隧道变形光栅光纤位移传感器，提出了管棚变形监测方法，支撑材料为附件1.4、1.5；对创新点2贡献提出了隧道地质条件协同预测技术，参与创新了地上建筑与地下结构相互影响测定方法，支撑材料为附件5.1、5.2；对创新点3参与发明了建筑物调平安全监测系统，支撑材料为附件1.2。

3 姓名：胡俊，排序：3/15，职称：副教授，工作单位：海南大学，完成单位：海南大学，对本项目对创新点2贡献发明了岩石地层中盾构隧道端头止水加固的施工方法，支撑材料为附件1.6；对创新点3发明了建筑结构不均匀沉降智能调控方法，支撑材料为附件1.7。

4. 姓名：欧阳甘霖，排序：4/15，职称：教授级高工，工作单位：青岛静力工程有限公司，完成单位：青岛静力工程有限公司，对本项目对创新点2贡献发明了挤入式地下连续墙成墙装置及方法，支撑材料为附件1.8、5.3。

5. 姓名：孟丹，排序：5/15，职称：副教授，工作单位：青岛农业大学，完成单位：青岛农业大学，对本项目对创新点3创新了地铁施工对建筑结构影响检测方法，提出了了减少变形的装配式结构，支撑材料为附件1.9、5.4、5.5。

6. 姓名：高丽燕，排序：6/15，职称：讲师，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目创新点3提出了混凝土结构损伤判别准则，参与创新了地上建筑开挖减少对邻近隧道影响开挖工法，支撑材料为附件1.10、5.6。

7. 姓名：王国艳，排序：7/15，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对创新点3参与研究混凝土结构损伤判别准则，支撑材料为附件1.10。

8. 姓名：秦拥军，排序：8/15，职称：教授，工作单位：新疆大学，完成单位：新疆大学，对本项目创新点1贡献参与发明了地铁隧道监测数据快速处理系统，参与研究了地表动态沉降机理，支撑材料为附件1.3、5.7。

9. 姓名：王彬，排序：9/15，职称：总工程师，工作单位：重庆睿安特盾构技术股份有限公司，完成单位：重庆睿安特盾构技术股份有限公司，对创新点2贡献参与研究了地上建筑与地下结构相互影响测定方法，支撑材料为附件5.1。

10. 姓名：赵建锋，排序：10/15，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对创新点1参与研究隧道地质条件协同预测技术，支撑材料为附件5.2。

11. 姓名：路世豹，排序：11/15，职称：讲师，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目创新点1贡献参与研究了地表动态沉降机理，支撑材料为附件5.8；，对本项目对创新点2贡献参与发明了挤入式地下连续墙成墙装置及方法，支撑材料为附件1.8。

12. 姓名：李冉，排序：12/15，职称：讲师，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对创新点3参与研究混凝土结构损伤判别准则，支撑材料为附件1.10。

13. 姓名：李亮，排序：13/15，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对创新点1参与研究隧道地质条件协同预测技术，支撑材料为附件5.2。

14. 姓名：潘永战，排序：14/15，职称：讲师，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目创新点1贡献参与发明了地铁隧道变形在线监测系统，参与发明了地铁隧道监测数据快速处理系统，支撑材料为附件1.1；对创新点3参与研究混凝土结构损伤判别准则，支撑材料为附件1.10。

15. 姓名：李刚，排序：15/15，职称：讲师，工作单位：青岛农业大学，完成单位：青岛农业大学，对本项目创新点3参与研究了混凝土结构损伤判别准则，支撑材料为附件1.10。