

高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）
科学技术进步奖

项目名称	城市敏感环境下盾构隧道施工地层响应分析理论及灾变防控技术
推荐单位	中南大学
项目简介	<p>随着我国轨道交通和盾构装备的快速发展，盾构隧道工程进入了建设高峰期，但有限的城市地下空间资源迫使越来越多的盾构隧道修建在地层复杂、建筑密集等环境敏感区域，导致建设风险剧增、事故频发。由于施工相对安全、快速和经济，盾构法已经成为城市轨道交通等隧道建设的主要工法，但盾构隧道施工是一项综合性极强的系统工程，常面临开挖面失稳、地层坍塌、邻近建（构）筑物破坏等灾害情况。随着地下交通线网建设规模的不断增大，亟需切实提高盾构隧道掘进的安全分析理论和灾变防控技术，有效规避施工风险事故。因此，如何建立盾构掘进时地层变形响应理论分析模型是首要解决的科学难题，而如何通过调控土舱内渣土力学参数和盾构掘进参数维持地层的平衡稳定状态、以及如何防控盾构隧道掘进诱发周边环境灾变是迫切需要解决的两大技术难题。针对上述科学技术难题，本项目经多年产学研攻关，提出了盾构隧道掘进开挖面稳定性与地层变形的分析理论方法，建立了基于盾构机内渣土改良与掘进参数调控、盾构机外注浆加固与监控反馈的灾变防控技术体系，获得了以下理论与技术创新成果：</p> <p>（1）盾构隧道施工地层响应分析理论及敏感环境灾变评价技术：提出了基于动节点刚性单元和塑性变形单元的自适应上限有限元的方法，形成了复杂环境盾构隧道开挖面地层稳定性分析新方法；构建了隧道开挖面稳定性自适应上限有限元能耗分析模型，给出了多荷载耦合效应下隧道稳定性特性的评判表征指标，获得了破坏形态的精细特征和破坏范围的定量尺度；构建了地表超载作用下并行双洞盾构隧道稳定问题上限有限元能耗分析模型，揭示了双洞隧道相互影响临界转换间距比；提出了盾构隧道施工地层损失表征方法及变形预测方法，建立了考虑地层刚度与建筑物刚度非线性弱化的相互作用耦合分析模型，揭示了盾构施工诱发的不同地层变形特征对建筑物的扰动及其再平衡机理，提出了建筑物变形与损伤的综合表征方法。</p> <p>（2）盾构隧道渣土力学行为及掘进参数调控技术：发明了盾构渣土特性测定新设备及新方法，解决了塑流状渣土粘附强度和抗剪强度测试难题；建立了盾构渣土-金属界面粘附强度的计算公式，揭示了泡沫改良粗颗粒渣土塑流状态与渗透性的关系，建立了粗颗粒渣土力学行为调控新方法；基于颗粒流/连续介质耦合数值模拟，首次揭示了渣土改良参数对盾构动态掘进过程中渣土应力分布与掘进参数的影响特征，为盾构刀盘布置和出渣控制提供了技术支撑。</p> <p>（3）盾构隧道掘进诱发周边敏感环境灾变防控技术：提出了盾构隧道地层预加固可控注浆新技术，研制了配套的可控注浆新材料，建立了一种基于多目标函数 GP 模型的浆液最优配比快速确定方法；形成了盾构隧道施工期管片受力及注浆参数设置新方法，揭示了管片所受的千斤顶推力、注浆压力、上浮力等施工荷载的三维空间和不确定性特征；建立了盾尾注浆浆液环饼填充模型，提出了不同注浆孔之间注浆压力差的合理设置方法和注浆压力的临界值计算方法；构建了基于三维视觉检测的施工期洞内管片安全状态全景监测技术，实现了管片状态精细化快速评价；开发了视觉监测的成套新方法和新装置，实现了盾构隧道施工期地表和邻近敏感建（构）筑物快速监测和智能化分析。</p> <p>该项目成果发表论文 79 篇（其中 SCI 论文 27 篇，EI 论文 38 篇）；出版专著 3 部；申请国家专利 33 项，其中授权发明专利 10 项，实用新型专利 16 项；获批省级工法 4 项、软件著作权 4 项。通过产学研密切结合，科研成果在南昌、长沙、西安等 11 条地铁线盾构隧道建设中获得成功应用，节约直接工程成本累计 1.64 亿元，取得良好的经济社会效益，具有广阔的推广应用前景。</p>

推广应用情况	自 2011 年以来,通过产学研联合攻关,《城市敏感环境下盾构隧道施工地层响应分析理论及灾变防控技术》研究成果在南昌、南宁、深圳等 11 条地铁线盾构隧道建设过程中获得成功应用,节省工程直接成本约 1.64 亿元,取得良好经济社会效益,对行业技术进步起到积极的推动作用,具有广阔的推广应用前景。
曾获科技奖励情况	无
主要知识产权目录	<ol style="list-style-type: none"> 1.发明专利:一种土压平衡盾构土仓进排土引起的地表沉降预测方法,ZL201610707226.4 2.发明专利:一种基于地表变形的土压平衡盾构掘进参数控制方法,ZL201610705764.X 3.发明专利:一种不排水抗剪强度室内联合测定仪及其使用方法,ZL201610158409.5 4.发明专利:盾构隧道富水岩溶可控注浆用的套壳料及其配制方法,ZL201611092264.X 5.发明专利:研究软弱地层应力响应的室内土压平衡盾构掘进模拟系统,ZL201610182383.8 6.省级工法:断层破碎带地层全方位高压旋喷施工工法,HNJSGF218-2017 7.软件著作权:隧道衬砌展开影像生成器软件 V1.0,2016SR207950 8.专著:隧道围岩稳定性极限分析上限有限元法与应用,科学出版社 9.论文:盾构隧道同步注浆充填压力环向分布模型,岩土工程学报 10.论文:Numerical analysis of framed building response to tunnelling induced ground movements, Engineering Structures
主要完成单位及贡献	<ol style="list-style-type: none"> 1.中南大学(主要核心知识产权 1,2,3,4,5,7,8,10,发表论文 56 篇,出版专著 3 部,授权发明专利 9 项、实用新型 8 项,获批软件著作权 2 项,培养博、硕士研究生 60 余名) 2.长安大学(主要核心知识产权 9,发表论文 21 篇,授权发明专利 1 项、实用新型 5 项,出版专著 1 部,培养博、硕士研究生 29 名) 3.河海大学(主要核心知识产权 8,论文 2 篇) 4.中建隧道建设有限公司(主要核心知识产权 6,发表论文 2 篇,授权实用新型专利 3 项,获批省级工法 3 项,推动了科研成果在本单位工程的推广应用) 5.广州愿托科技有限公司(获批软件著作权 2 项,推动了盾构施工数据信息化平台建设) 6.南昌轨道交通集团有限公司(发表论文 1 篇,获批软件著作权 1 项,提供了本项目部分科研经费,推动了科研成果在本单位工程的推广应用) 7.中铁五局集团有限公司(获批省级工法 1 项,提供了本项目部分科研经费,推动了科研成果在本单位工程的推广应用)
主要完成人(职称、工作单位、完成单位、对本项目技术创造性贡献)	<ol style="list-style-type: none"> 1.王树英(教授,中南大学,中南大学,主要核心知识产权 1、2、3、5、10,与项目相关的知识产权 26 项,专利 10 项,论文 15 篇,编著 1 部,荣获 2018 年中国交通运输协会一等奖 1 项) 2.叶飞(教授,长安大学,长安大学,主要核心知识产权 9,与项目相关的知识产权 28 项,专利 6 项,论文 21 篇,专著 1 部,荣获 2014 年山西省科技进步奖二等奖 1 项) 3.傅金阳(副教授,中南大学,中南大学,主要核心知识产权 1、2、3、5、10,与项目相关的知识产权 27 项,专利 11 项,软件著作权 1 项,论文 15 篇,专著 1 部,荣获 2017 年广东省公路学会优秀论文一等奖) 4.杨峰(副教授,中南大学,中南大学,主要核心知识产权 8,与项目相关的知识产权 27 项,软件著作权 1 项,论文 25 篇,专著 1 部,荣获 2018 年中国交通运输协会一等奖 1 项) 5.张箭(博士后,河海大学,河海大学,主要核心知识产权 8,与项目相关的知识产权 18 项,论文 15 篇,荣获 2017 北京科技进步二等奖 1 项) 6.钟志全(高工,中建隧道建设有限公司,中建隧道建设有限公司,主要核心知识产权 6,与项目相关的知识产权 8 项,专利 4 项,工法 3 项,论文 1 篇,荣获 2018 年度中施协科技进步一等奖) 7.张聪(博士生,中南大学,中南大学,主要核心知识产权 4,与项目相关的知识产权 13 项,专利 5 项,论文 8 篇)

8.祝志恒（博士后/高工，中南大学，中南大学，主要核心知识产权 7，与项目相关的知识产权 8 项，软件著作权 4 项，论文 4 篇）
9.阳军生（教授，中南大学，中南大学，主要核心知识产权 1、2、3、4、5、7、8、10，与项目相关的知识产权 69 项，专利 15 项，软件著作权 2 项，论文 51 篇，专著 1 部，荣获 2015 年湖南省科技进步三等奖）
10.肖超（工程师，中建隧道建设有限公司，中建隧道建设有限公司，与项目相关的知识产权 6 项，专利 1 项，论文 5 篇）
11.刘朋飞（博士生，中南大学，中南大学，主要核心知识产权 2、3，与项目相关的知识产权 11 项，专利 6 项，论文 5 篇）
12.胡如成（高工，中铁五局集团有限公司，中铁五局集团有限公司，与项目相关的知识产权 1 项，省级工法 1 项，推动了科研成果在本单位的推广应用，荣获 2016 年中施协科技进步二等奖）
13.王薇（副教授，中南大学，中南大学，与项目相关的知识产权 2 项，软件著作权 1 项，论文 1 篇）
14.樊祥喜（工程师，中建山东投资有公司，中南大学，主要核心知识产权 5，与项目相关的知识产权 2 项，专利 2 项）
15.张慧鹏（高工，南昌轨道交通集团有限公司，南昌轨道交通集团有限公司，与项目相关的知识产权 1 项，专利 1 项，推动了科研成果在本项目的推广应用）
16.何小辉（工程师，南昌轨道交通集团有限公司，南昌轨道交通集团有限公司，与项目相关的知识产权 1 项，论文 1 篇，推动了科研成果在本项目的推广应用，2016 年度中施协科技进步一等奖）
17.乔世范（教授，中南大学，中南大学，与项目相关的知识产权 2 项，软件著作权 1 项，论文 1 篇，荣获 2014 年湖南省科技进步一等奖）
18.张细宝（教高，中铁五局集团有限公司，中铁五局集团有限公司，与项目相关的知识产权 1 项，省级工法 1 项，推动了科研成果在本单位的推广应用，荣获 2012 年中国铁路工程总公司科技进步二等奖）
19.张学民（副教授，中南大学，中南大学，与项目相关的知识产权 2 项，软件著作权 1 项，论文 1 篇，荣获 2014 年湖南省科技进步三等奖）
20.胡钦鑫（硕士生，中南大学，中南大学，主要核心知识产权 1，与项目相关的知识产权 8 项，专利 5 项，论文 3 篇）