

项目名称：基于绿色建造理念的桩承式加筋路堤沉降控制技术与应用

推荐类别：科技进步奖

推荐单位：河海大学

项目简介：

我国大规模的铁路、公路、港口和机场等重要基础设施，80%以上分布在软弱土地区，软土地基处理面广量大。尤其是随着“一带一路”倡议、海洋资源开发战略的实施，重大基础设施建设中会面临越来越多的软弱土复杂技术难题，软弱地基、地形多变、填料多样等复杂条件给桩承式加筋路堤沉降控制带来了巨大挑战，安全问题更加突出。因此，顺应国家大力提倡绿色发展的大背景，项目组历时10余年科技创新与实践，采用室内试验、模型试验、现场监测和理论研究等方法，结合大量工程项目，从桩承式加筋路堤荷载传递及沉降控制理论、试验装备、沉降控制技术及应用三个方面开展了基于绿色建造理念的桩承式加筋路堤沉降控制技术与应用研究，形成了一系列沉降控制的成套技术，以节能、节地、节水、节材、保护环境和减少污染（四节一环保）为出发点，平衡及协调人类和环境之间的不同需求，以期达到人、建筑 and 环境的有机结合，并取得了如下创新成果：

1. 提出了基于不均匀拱厚和极限分析理论的土拱效应计算模型，形成了基于加筋体材料和应力正交异性耦合作用特性和空间效应的加筋体张力和沉降的计算方法，建立了基于修正剑桥模型的弱超固结土竖向承载力计算公式，为桩承式加筋路堤荷载传递的量化评估提供理论依据；建立了完整的路堤-加筋垫层-地基耦合作用分析理论，实现了桩承式加筋路堤各组成部分的有机结合，解决了桩承式加筋路堤工作性能量化评估的技术难题。

2. 设计并研制了土拱效应与多层加筋体拉膜效应研究的室内模型试验装置，实现了桩承式加筋路堤中各组成部分的耦合作用与整体协调分析；研发了土工合成材料各向异性、不同荷载下加筋地基土体承载特性以及原位测算植物根系固土效力的试验系统，弥补了现行土工合成材料力学性能试验无法真实反映加筋路基工程实际受力情况的不足；开发了交通荷载下路基变形监测模型装置，弥补了传统加筋路堤土体动态力学行为分析测试手段缺乏实体交通荷载的不足。

3. 创新了绿色地基处理技术，研发了轮胎包覆建渣桩加固、掺杂建筑垃圾的土工格室加筋砂垫层加固等桩承式路堤沉降控制成套技术；研发了螺杆桩桩网/桩筏和深厚松软土地基的扶壁式挡墙结构等加固软土地基理论与沉降控制技术；研发了注浆竹网格和棕榈纤维加筋的土体加固体系、植物根系注浆加固、植生毯护面等边坡生态修复技术，实现了资源节约、环境保护和绿色建造的和谐统一。

项目已发表学术论文 154 篇，其中 SCI 论文 55 篇、EI 论文 72 篇（SCI/EI 论文他引总次数 359 次），获授权发明专利 28 项，实用新型专利 40 项，软件著作权 3 项。出版专著 1 部，主编或参编地方标准 4 部。研究成果在太兴铁路、张吉怀铁路等路堤工程中得到广泛应用，社会效益和经济效益显著。

主要完成单位及创新推广贡献：

主要完成单位	创新推广贡献
河海大学	主持本项目的研究，对创新点 1、2、3 均有突出贡献，提出了桩承式加筋路堤荷载传递及沉降控制理论，设计并研发了桩承式加筋路堤研究的试验装备，推动了绿色建造理念的桩承式加筋路堤沉降控制技术在行业的技术进步。
湖北工业大学	本项目的合作研究单位和研究成果的主要应用实施单位，对创新点 2、3 有贡献，开发了交通荷载下路基变形监测模型实验系统，建立了加筋路堤坡面稳定分析模型，推动了绿色地基处理技术与边坡生态修复技术的应用。
山西交通科学研究院集团有限公司	本项目的合作参与单位，对创新点 2、3 有贡献，推动了路基工程的规范化和标准化进程，主持编制了山西省地方标准。
中铁第四勘察设计院集团有限公司	本项目的合作参与单位和研究成果的主要应用实施单位，对创新点 3 有贡献，推动了桩承式加筋路堤技术在太兴铁路、张吉怀铁路等工程中的应用。
东南大学	本项目的合作参与单位，对创新点 1、2 有贡献，发展了桩承式加筋路堤中加筋垫层的设计理论和加筋体变形的计算方法，推动了桩承式加筋路堤沉降控制技术的应用。
湖北省交通规划设计院股份有限公司	本项目的合作参与单位，对创新点 3 有贡献，协助完成了绿色生态修复技术的研发，并推动了该技术在路堤边坡生态保护中的应用，参与编制了湖北省地方标准。

推广应用情况：

本项目成果在渝怀铁路增建二线怀化枢纽项目、贵广高铁、深茂高铁以及南广高铁软土路段桩承式路堤沉降控制和生态边坡修复中得到了成功应用，有效解决了路堤施工过程中松软土地基侧向位移较大的问题，应用了加筋体的变形计算方法，并研发了路堤双向增强加筋的技术，显著减少了填方用料和放坡占地，多项边坡生态修复技术的应用，降低了边坡治理的成本。

综上所述，项目技术创新成果在软弱地基、填料多样等复杂条件下的地基加固工程中发挥了重大作用，有效减小和控制了桩承式加筋路堤的沉降和变形，大大节约了路基建造与养护过程中建筑材料的使用量和成本造价，同时也推动了技术的进步和行业的发展。

曾获科技奖励情况：

无

主要知识产权证明目录:

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	桩承式路堤中平面土拱效应与多层加筋体拉膜效应研究试验装置	中国	ZL201510836349.3	2017.12.01	2719813	河海大学	庄妍; 崔晓艳; 张永攀; 王晓东	有效
发明专利	一种多层铁路路基结构安定性分析的三维有限元验证方法	中国	ZL201510686636.0	2017.12.15	2738821	河海大学	庄妍; 王康宇; 王孟; 顾浩	有效
发明专利	一种桩承式加筋路堤的有限元建模分析方法	中国	ZL201310538714.3	2016.07.27	2149694	河海大学	庄妍; 王康宇; 顾浩; 崔晓艳; 陆亚明	有效
发明专利	一种多层铁路路基结构安定性分析的三维有限元计算方法	中国	ZL201510686575.8	2017.12.19	2743977	河海大学	庄妍; 王康宇; 王晓东; 闵中泽	有效
发明专利	一种掺杂建筑垃圾的土工格室加筋砂垫层及施工方法	中国	ZL201710109137.4	2018.12.14	3180215	湖北工业大学	李丽华; 文贝; 肖衡林; 刘德富; 马强; 胡其志; 刘永莉; 陈智; 张蒋; 余肖婷	有效
发明专利	一种桩基竖向承载力试验反向自平衡法及试验装置	中国	ZL201610221859.4	2017.06.09	2510314	湖北工业大学	刘永莉; 肖衡林; 李丽华; 黄彩萍; 马强; 裴尧尧; 柏华军; 饶兰	有效
发明专利	一种交通荷载下路基变形监测模型装置和实验方法	中国	ZL201510773420.8	2017.12.15	2741603	湖北工业大学	李丽华; 杨俊超; 肖衡林; 马强; 肖本林; 刘永莉; 王翠英; 裴尧尧; 梅利芳; 文贝	有效

发明专利	一种土工合成材料各向异性拉拔试验系统及方法	中国	ZL201510251461.0	2016.06.22	2118697	山西省交通科学研究院 山西交科岩土工程有限公司	张军；刘少文；刘晓； 宿钟鸣；赵建斌	有效
实用新型	一种螺杆桩桩筏结构复合地基的路基结构	中国	ZL201320304119.9	2013.11.06	3246215	中铁第四勘察设计院集团有限公司	刘坡拉；詹学启；张占荣； 邬强；陈爱云；李玉良； 陆群；丁建荣；许红梅； 杨松	有效
发明专利	一种土工合成材料各向异性直剪试验系统及其实施方法	中国	ZL201510251447.0	2016.06.22	2118801	山西省交通科学研究院 山西交科岩土工程有限公司	张军；刘晓；赵建斌； 薛春明	有效

主要完成人情况表:

姓名	排名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获科技奖励情况
庄妍	1	教授	东南大学	河海大学	项目负责人，主持创新点 1、2、3 的研究工作。创新点 1、2 的核心完成人，提出了基于不均匀拱厚和极限分析理论的土拱计算方法，形成了加筋体张力和沉降的计算方法；发展形成了完整的路堤-加筋垫层-地基耦合作用分析理论；设计并研制了土拱效应分析的室内模型试验系统，量化分析了筋材类型、筋材布置方式等对路堤稳定和变形的影响，揭示了路堤中加筋体的工作机理。	[1] 2012 年获浙江省科学技术一等奖； [2] 2015 年获中国岩石力学与工程学会科技进步二等奖
肖衡林	2	教授	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人，参与了创新点 2、3 的研究工作。研发了原位测算植物根系固土效力的装置；建立了加筋路堤坡面稳定分析模型；提出了植生毯护面等边坡生态修复技术。	[1] 2017 年获中国岩石力学与工程学会技术发明一等奖； [2] 2014 年获湖北省科技进步二等奖
马强	3	副教授	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人，参与了创新点 2、3 的研究工作。研发了变截面螺杆桩、轮胎包覆建渣桩、注浆竹网格、棕榈纤维加筋的土体加固体系和植生毯护面等边坡生态修复技术。	[1] 2015 年获山西省科技进步一等奖； [2] 2017 年获中国岩石力学与工程学会技术发明一等奖
张军	4	正高级工程师	山西交通科学研究院集团有限公司	山西省交通科学研究院	项目主要完成人，参与了创新点 2、3 的研究工作。研发了土工合成材料各向异性直剪、拉拔和拉伸试验系统及其实施方法。揭示了桩承式加筋路堤受力、变形演化规律，推进了研究成果在相关工程中的应用。	[1] 2011 年获湖北省科技进步一等奖； [2] 2016 年获山西省科技进步一等奖； [3] 2017 年获山西省科技进步二等奖； [4] 2015 年获中国公路学会科学技术二等奖； [5] 2016 年获中国公路学会科学技术二等奖

姓名	排名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获科技奖励情况
李丽华	5	教授	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人，参与了创新点 2、3 的研究工作。设计研发交通循环荷载装置系统及其试验方法，提高了试验可靠度；研发了废旧轮胎加筋新型的加筋材料，提高了结构稳定性和抗震性，同时合理的利用了废弃资源。	[1] 2017 年获中国岩石力学与工程学会科学技术一等奖； [2] 2014 年获湖北省科技进步二等奖
王康宇	6	副教授	浙江工业大学	河海大学	项目主要完成人，参与了创新点 1、2 的研究工作。建立了基于正交异性本构的加筋体数值分析模型；针对软土非线性应力-应变关系及结构性耦合作用的特点，提出了基于修正剑桥模型的弱超固结土竖向承载力计算方法，揭示了桩承式加筋路堤中软土的承载机理。	无
詹学启	7	教授级高级工程师	中铁第四勘察设计院集团有限公司	中铁第四勘察设计院集团有限公司	项目合作单位主要参与人员，参与了创新点 3 的研究工作。参与了桩承式加筋路堤荷载传递及沉降控技术的研究工作，并成功推进了该技术在贵广高铁、深茂高铁、南广高铁等软土路段地基加固中的应用。	[1]2011 年获中国铁道建筑总公司科学技术奖一等奖； [2]2013 年获中国施工企业管理协会科学技术奖科技创新成果一等奖； [3]2016 年获中国铁道建筑总公司科学技术奖一等奖
崔晓艳	8	助理研究员	东南大学	东南大学	项目主要完成人，参与了创新点 1、2 的研究工作。参与了土拱效应分析室内模型试验系统研制的主要工作，确定了等沉面位置及土拱效应的临界影响范围；揭示了土拱效应的演变规律及形成机理，为桩承式路堤荷载传递的量化评估提供理论依据。	无
赵仲辉	9	教授	汕头大学	河海大学	项目主要完成人，参与了创新点 1、3 的研究工作。参与路堤-加筋垫层-地基耦合作用分析理论与软土地基沉降控制等研究，为	

姓名	排名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获科技奖励情况
					高精度的桩承式路堤沉降预测模型提供理论依据。	
刘永莉	10	副教授	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人，参与了创新点 2、3 的研究工作。提出了一种桩基竖向承载力试验反向自平衡法及试验装置，为分析桩承式路堤中桩基承载力分析提供依据。	无
陈智	11	讲师	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人。协助研发了原位测算植物根系固土效力的装置；并协助研发了掺杂建筑垃圾的土工格室加筋砂垫层加固方法。	无
胡其志	12	教授	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人。参与了路基差异沉降控制理论方面的研究，开展了路基沉降控制试验及理论研究。	[1] 2011 年获湖北省科技进步二等奖； [2] 2011 年获武汉市科技进步二等奖； [3] 2015 年获湖北省公路学会科技一等奖
陈军	13	正高级工程师	湖北省交通规划设计院股份有限公司	湖北省交通规划设计院股份有限公司	项目合作单位主要参与人员。协助研发了边坡生态修复技术，并成功将该技术应用在路堤边坡生态防护等工程中。	[1] 2011 年获国家科技进步二等奖； [2] 2013 年获省政府科技进步一等奖； [3] 2016 年获中国公路学会勘察设计一等奖
郭建湖	14	教授级高级工程师	中铁第四勘察设计院集团有限公司	中铁第四勘察设计院集团有限公司	项目合作单位主要参与人员。参与了桩承式加筋路堤沉降控制与加筋体承载机理的研究工作，并推广了路堤加筋技术在软土路基加固工程中的应用。	[1]2011 年获中国铁道学会科技进步二等奖； [2] 2013 年获湖南省科技进步奖一等奖
张占荣	15	教授级高级工程师	中铁第四勘察设计院集团有限公司	中铁第四勘察设计院集团有限公司	项目合作单位主要参与人员。参与了螺杆桩桩筏结构加固软土地基理论与沉降控制技的研究工作，推广了研究成果在相关工程中的应用。	[1]2013 年获中国施工企业管理协会科学技术奖科技创新成果一等奖； [2]2016 年获中国铁道建筑总公司科学技术奖一等奖
杨艳霜	16	讲师	湖北工业大学	湖北工业大学	项目主要完成人。参与了桩承式加筋路基沉降预测的研究工作，为路基的沉降变形控制提供理论依据。	无