**2024年度山东省科学技术进步奖申报项目公示**

**一、项目名称**

大交通量超长服役高速路基路面绿色耐久改扩建关键技术

**二、提名单位**

山东省交通运输厅

**三、提名意见、提名等级**

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，相关栏目均符合山东省科学技术奖励委员会办公室的填写要求。

该项目以交通运输部重点科技项目、国家自然科学基金、山东省交通科技计划等多项课题为支撑，依托山东省第一条改扩建高速公路——济青高速公路，在对其25年超长服役路面全面后评估的基础上，为有效提升交通基础设施耐久性、绿色环保及服务水平，经多年的产学研用协同攻关，突破了超长服役道路结构服役状态精准评估与利用难题，创立了新旧道路结构协调匹配与长寿命一体化设计体系，攻克了改扩建道路结构固废利用、节能减排与整体化施工技术难题，形成了集“寿命评估利用+性能协调耐久+绿色整体提升”为一体的超长服役高速公路改扩建道路结构长寿命化耐久提升技术，并开展了交通部科技示范，实现了高速公路改扩建向设计寿命30年的长寿命化升级。项目研究成果总体达到国际领先水平，成果在济青高速、京台高速、京哈高速、宁芜高速等多条高速公路工程中得到成功应用，已应用高速公路工程建设期直接经济效益达17.027亿元，全寿命周期经济效益123.114亿元，社会与环保效益重大。

项目授权专利80项（发明专利38项）、软件著作权12项，编制国家标准2项、行业标准1项、地方标准6项，国内外期刊发表论文101篇，其中SCI/EI论文33篇，出版专著4部，核心技术成果被纳入交通运输重大科技创新成果库6项，多次在全国召开技术交流观摩会。项目成果有力保障了超长服役高速公路改扩建工程质量，树立了改扩建高速公路的绿色示范样板工程，推广和普及了改扩建高速公路核心技术，有力助推了高速公路改扩建建设水平的发展，引领了行业科技进步。

该项目已征求了王松根（中国公路学会、公路工程）、 张焕军 （山东省交通运输研究会、港航工程）、蒋玮（长安大学、公路工程）、蒋宁生（中铁十四局集团、公路工程）、高奎刚（山东公路技师学院、交通信息工程）等5名专家意见。

提名该项目为2024年度山东省科学技术进步奖一等奖。

**四、项目简介**

我国已建成世界最大规模高速公路网，随着经济社会快速发展，大量早期修建高速公路交通量趋于饱和，且大部分超过15年设计寿命处于超长服役状态，扩容提质耐久提升成为从规模建设转向高质量发展的重大需求。未来十年我国高速公路改扩建超过3万公里，将产生道路及结构物废旧材料超过3亿吨，超长服役高速公路改扩建面临的道路结构状态参数不精准、结构设计不协调、废旧材料利用不充分等已成为行业迫切需要解决的共性技术难题。

项目在国家自然科学基金、交通运输部重点科技项目等支撑下，经十年产学研用协同攻关，攻克了超长服役道路结构精准评估与利用、结构设计全路段协调与匹配、旧路材料高效利用与整体化提升等系列关键技术难题，依托交通运输部绿色科技示范工程实现大规模应用。主要创新成果如下：

1、突破了超长服役道路结构服役状态精准评估与利用难题。基于结构损伤理论与力学响应原理，构建了道路结构层损伤状态快速全覆盖诊断技术体系，工效提升3倍以上；揭示了超长服役路面结构层衰变规律与损伤机理，首次提出服役期末半刚性基层有效模量，建立了损伤状态道路全结构层设计参数确定方法和基于加速加载的超长服役道路剩余寿命评价方法，精度高于95%。实现了旧路结构精准设计和科学利用。

2、构建了新旧道路结构协调匹配与长寿命一体化设计体系。提出了新旧路基差异变形分区加固理念、预测方法与分级标准，预测精度提升60%；构建了重载交通高承载力路基分层设计方法与控制标准，率先建立了拓宽重载车道及既有超长服役车道长寿命化匹配设计方法，实现了新旧道路一体化、路基路面一体化的30年长寿命设计目标。

3、攻克了改扩建道路结构固废利用及整体化施工技术难题。研发了多源固废资源化高品质路用与节能减排一体化技术，减少碳排放30%；提出了新旧路基差异变形分级分类处治技术及基于荷载偏移规律与层间排水的新旧路面结构拼接技术，降低差异变形70%；开发了新旧道路结构整体施工工艺及装备，缩短建设工期5个月。实现了改扩建道路结构绿色耐久整体化提升。

项目成果在济青高速改扩建工程309公里全面应用，并推广至京台、京沪、京哈、宁芜、荣乌等国家重点改扩建工程超2000公里，工程建设期直接经济效益达17.027亿元，全寿命周期经济效益123.114亿元。研究成果授权专利80项（发明专利38项）、软件著作权12项，编制国家标准2项、行业标准1项、地方标准6项，发表SCI/EI论文33篇，出版专著4部，6项核心成果被评为交通运输重大科技创新成果。成果有力保障了济青高速公路改扩建工程建设质量，树立了超长服役高速公路改扩建示范样板工程，荣获国际道路联合会奖、詹天佑奖、全国质量奖卓越项目奖、鲁班奖等多项大奖。举办多场全国成果交流与推广活动，有力助推了高速公路改扩建建设水平的发展，引领了行业科技进步。

**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 | 第一完成人是否为发明人（标准起草人） | 第一完成单位是否为权利人（标准起草单位） |
| 国家标准 | 无机结合料稳定类材料单轴压缩弹性模量试验方法(中间段法) | 中国 | GB/T 38989-2020 | 2020.07.21 | 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会 | 山东省交通科学研究院、长安大学、齐鲁交通发展集团有限公司、山东省公路建设（集团）有限公司、佛山市路桥建设有限公司、山东高速股份有限公司、湖北建科国际工程有限公司、上海公路桥梁（集团）有限公司、山东路达试验仪器有限公司、河南交院工程技术有限公司、重庆建工市政交通工程有限责任公司、日照公路建设有限公司、东营市公路事业发展中心、山东铁路投资控股集团有限公司 | 韦金城、王林、沙爱民、余四新、付建村、曾国东、马士杰、王向刚、闫翔鹏、辛星、李黎、李春花、高雪池、刘甲荣、陈成勇、张晓萌、唐飞、李健，孙强、乐海淳、李炳跃、邵景干、张勇、陈红奎、苏春华、郭立成、张正超、韩文扬、王延春、安平、唐传营、蒋玮、董昭、胡家波、王光勇 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 一种路基路面均衡设计结构的方法 | 中国 | ZL 2021 1 1389757.0 | 2023.05.09 | 5951357 | 山东高速股份有限公司、山东省交通科学研究院 | 张新、徐希忠、王超、马士杰、韩洪超、韦金城、张晓萌、胡家波、闫祥鹏、吴文娟、张正超、孙兆云、符东绪 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 一种赤泥及赤泥稳定碎石组合式基层路面结构 | 中国 | ZL 2017 1 0071278.1 | 2022.06.14 | 5233277 | 山东省交通科学研究院、山东高速股份有限公司 | 马士杰、吕思忠、韦金城、程钰、王林、孙兆云、余四新 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种再生粗集料吸水率测试方法及系统 | 中国 | ZL 2021 1 0316969.X | 2021.09.10 | 4669206 | 北京新桥技术发展有限公司，交通运输部公路科学研究所，山东高速股份有限公司 | 于蕾、刘兆磊、吕思忠、郭建民、吴斌、王晓明、王凯、刘星亮 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种模量逐级递增的高承载力路基设计方法 | 中国 | ZL 2021 1 1291907.4 | 2023.04.21 | 5903724 | 山东高速股份有限公司、山东省交通科学研究院 | 姚望、徐希忠、王伟、马士杰、刘阳、王林、韦金城、张晓萌、胡家波、符东绪、闫翔鹏、吴文娟 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 大宽度履带摊铺机重心调整用支撑轮 | 中国 | ZL 2014 1 0502755.1 | 2016.06.08 | 2103000 | 陕西中大机械集团有限责任公司 | 綦开隆、周琨 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种细粒式高性能沥青混凝土 | 中国 | ZL 2016 1 0751624.6 | 2018.07.10 | 2995387 | 山东省交通科学研究院 | 王晓燕、王林、马士杰、韦金城 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种模拟多锚耦合作用的实验装置及方法 | 中国 | ZL 2020 1 0980915.9 | 2021.08.26 | 4599417 | 山东大学 | 张宏博、王昊、吴建清、刘明朋、宋修广、庄培芝 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种土拱效应模型试验装置及试验方法 | 中国 | ZL 2017 1 0313031.6 | 2023.07.28 | 6182636 | 山东大学 | 宋修广、董行、陈奇、刘辉、李进、孙润生、张宏博、刘源、万立尧 | 有效 | 否 | 否 |
| 编著 | 沥青路面施工期能耗及排放监测、评估与减量化关键技术及应用 | 中国 | ISBN 978-7-5160-3567-2 | 2022.09.01 | 中国建材工业出版社 | 无 | 吕思忠、马士杰、付建村、郭建民、苏建明、王凯、卢林果、张新、李兴锋、杨飞、孙承吉、章清涛、李征泉、刘方韬、孙卫东、冉德歆、刘治鲁、崔世萍、宋晓辉、徐飞萍、闫庆亮、马晓刚、魏琨、彭鹏、姚爱超、李雯婵、杜瀚、田仕臻、吕帅、王冲 | 有效 | 是 | 否 |

**六、主要完成人情况**

1、姓名：吕思忠 排名：1

行政职务：济青高速改扩建项目办主任

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东高速股份有限公司

完成单位：山东高速股份有限公司

对本项目贡献：主持了服役25年济青高速现场加速加载，提出了超长服役道路结构性能演变评价和验证方法。提出新旧路基差异沉降分级分类控制，提出了固废基轻质材料路基拼接结构。发明了再生集料指标测定方法与高效减水剂，提出了含改性赤泥路基的全绿色路面结构，构建了沥青路面施工能耗与排放评估体系及一体化节能减排技术，提出了不中断交通条件下的拼接部位“反开挖”施工工艺、沥青路面全幅无缝成型技术。

2、姓名：马士杰 排名：2

行政职务：总工程师

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：建立了基于FWD动力响应与三维雷达联合的结构损伤状态裂缝状态判别与分类方法，首次提出在役道路剩余寿命预估模型；提出了小构件尺寸沥青路面结构层动态模量标准测试方法与计算模型。建立了基于既有道路结构体系转换的整体利用精准设计方法，提出了重载交通高承载力路基分层设计方法与控制标准，构建了不同轴载、环境等条件的改扩建长寿命路面典型结构组合群。提出密疏相间的路面层间排水结构型式，提出基于荷载偏移规律、模量协调与层间排水的路面结构拼接组合型式；提出含改性赤泥路基、铁尾矿粉路基等材料的全绿色循环利用道路结构组合。

3、姓名：宋修广 排名：3

行政职务：无

技术职称：教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：提出了一种用于自动监测的大型支挡构筑物裂缝变形的装置及方法，以及一种用于测量路面平整度的巡检机器人方法和基于IMU传感器的路面缺陷检测方法。揭示了新旧路基差异变形分布特征与发生机理，首次提出主次加固区设计方法，建立了差异变形修正计算方法及控制标准。研发了粉土基泡沫轻质土新材料，锚拉式挡土墙新技术，优化了土工格栅加筋、桩网复合地基加固技术方案，实现了废旧轮胎在路基工程中的创新应用。

4、姓名：刘甲荣 排名：4

行政职务：济青高速改扩建项目办常务副主任

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东高速股份有限公司

完成单位：山东高速股份有限公司

对本项目贡献：协助技术负责人提出了基于FWD弯沉盆几何参数与力学响应的裂缝状态判别与分类方法，提出了小构件尺寸沥青路面结构层动态模量标准测试方法与计算模型。提出了不中断交通条件下的拼接部位“反开挖”施工工艺、沥青路面全幅无缝成型技术，研发了横向喂料僚机、大宽度摊铺机防离析装置等。

5、姓名：苏建明 排名：5

行政职务：济青高速改扩建项目办副主任兼总工程师

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东高速股份有限公司

完成单位：山东高速股份有限公司

对本项目贡献：协助第一完成人提出了基于FWD弯沉盆几何参数与力学响应的裂缝状态判别与分类方法，提出了小构件尺寸沥青路面结构层动态模量标准测试方法与计算模型。发明了适用于再生集料混凝土及水泥稳定碎石的高效减水剂；提出了含改性赤泥路基材料的全绿色循环利用道路结构组合，构建了沥青路面施工能耗与排放评估体系及一体化节能减排技术。

6、姓名：郭建民 排名：6

行政职务：工程管理中心总经理

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东高速股份有限公司

完成单位：山东高速股份有限公司

对本项目贡献：提出了基于FWD弯沉盆几何参数与力学响应的裂缝状态判别与分类方法。发明了适用于再生集料混凝土及水泥稳定碎石的高效减水剂，构建了沥青路面施工能耗与排放评估体系及一体化节能减排技术。负责现场实施方案制定，协助进行现场检测及试验段铺筑组织协调工作，负责组织国内外调研交流。节省了建设投资，确保了改扩建工程的顺利通车。

7、姓名：韦金城 排名：7

行政职务：主任

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：开展室内材料试验及现场检测，动态响应数据采集与分析。建立了基于全时温力学参数的新旧道路结构疲劳损伤设计方法。负责高速公路改扩建路基路面结构优化设计，提出基于半刚性基层模量衰减的改扩建老路加铺优化设计方法，建立了路基刚度补偿设计方法，协助构建基于路面性能的路基路面一体化设计体系。

8、姓名：张晓萌 排名：8

行政职务：无

技术职称：高级工程师

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：建立FWD动力响应与三维雷达联合的结构损伤状态精准检评技术；提出小构件尺寸路面结构层动态模量测试方法，揭示了在役道路结构强度和模量荷载作用衰减变化规律。创立了模量逐级递增的高承载力路基分层设计方法、流程及控制标准。研发了退役结构物混凝土再生集料，并提出其分级标准。

9、姓名：赵海生 排名：9

行政职务：无

技术职称：高级工程师

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：现场实施方案制定，协助进行了加速加载试验路铺筑和协调工作，建立了基于既有道路结构体系转换的整体利用精准设计方法，攻克了新旧道路结构性能协调匹配的技术瓶颈，实现了路基路面一体化、新旧道路一体化长寿命设计目标。研发了再生沥青高性能混合料及其铺装结构。

10、姓名：王晓燕 排名：10

行政职务：无

技术职称：正高级工程师

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：提出了重载交通高承载力路基分层设计方法与控制标准，创立了模量逐级递增的高承载力路基分层设计方法、流程及控制标准，有效提升了服役周期内路基强度与稳定性。开展室内材料试验，研发了再生沥青高性能混凝土及其结构，实现了新旧道路结构长寿命化整体提升。

11、姓名：吴建清 排名：11

行政职务：交通系主任

技术职称：教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：基于新旧路基差异沉降现场调查数据及理论分析，研究建立了新旧路基差异沉降分类控制标准及设计方法。对创新点2：基于粉土特有颗粒组成，提出了粉土基泡沫轻质土材料，揭示了不同工程应用场景下轻质土的破坏机制，研发了废旧轮胎加筋条带加筋边坡结构型式，优化了桩网复合地基加固技术方案。对废轮胎条的拉拔性能及其在土壤加固中的应用进行了实验研究，并研究了一种用于桥台后回填的材料。

12、姓名：刘兆磊 排名：12

行政职务：副总经理

技术职称：高级工程师

工作单位：北京新桥技术发展有限公司

完成单位：北京新桥技术发展有限公司

对本项目贡献：提出了再生混凝土分类收集，再生集料分级的标准和技术指标要求，发明了再生集料指标测定方法与高效减水剂。

13、姓名：舒晓锐 排名：13

行政职务：无

技术职称：工程技术应用研究员

工作单位：山东省交通规划设计院集团有限公司

完成单位：山东省交通规划设计院集团有限公司

对本项目贡献：对济青高速公路路基现状进行了调查，发明了激光雷达变形监测装置，分析评价了济青高速路基的运营现状。按照地基处理技术、路基拼接技术、轻质路基技术等方面开展相关调研及总结工作，研究不同地基处置方法的适用条件及设计参数，发明了锚拉式挡土墙裂缝变形监测装置，为工程设计和施工提供技术指导。

14、姓名：綦开隆 排名：14

行政职务：董事长

技术职称：高级工程师

工作单位：陕西中大机械集团有限责任公司

完成单位：陕西中大机械集团有限责任公司

对本项目贡献：摊铺设备和压实设备的总体设计，机械部分总设计，机械总体图纸和液压电器图纸审核；揭示了现代抗离析摊铺机的核心原理，提出了全封闭料槽、物料满埋螺旋、二次搅拌挤压输料的方法，实现了大宽幅摊铺，提升了拼接部位的整体质量和效果。

15、姓名：付建村 排名：15

行政职务：主任

技术职称：正高级工程师

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：协助完成济青改扩建工程建设期间能耗监测设备的安装和调试，完成监测数据的采集和数据分析，提出了路面建设期能耗计算模型与沥青混合料生产各环节碳排放模型，实现了改扩建道路结构绿色耐久整体化提升。

**七、主要完成单位情况**

1、山东高速股份有限公司 排名：1

作为项目总体负责单位，依托山东省第一条改扩建高速公路——济青高速，组织交通部科技示范项目、山东省科技计划项目的立项与实施。主要贡献：

（1）制定总体研究路线、拟订课题研究的实施方案，总体协调组织课题研究的内容、进度、关键技术、报告的编写等；（2）提出新旧路面结构与材料性能协调与匹配以及路基变形协调综合处治技术；（3）基于路基路面一体化设计方法，提出和拟定改扩建工程新旧协调路基路面试验路的结构方案；组织试验路实施，并组织对铺筑试验路进行长期观测；（4）组织本课题技术人员培训和课题组专家交流。协调项目研究成果在济青、京沪、京台高速德齐段等高速公路改扩建工程中推广应用，有效提高了改扩建工程质量，节约了施工工期，节省了建设投资，确保了改扩建工程的顺利通车运营，提供了技术保障。

2、山东省交通科学研究院 排名：2

作为项目主要研究单位，主持了基于扩建工程的路基路面结构优化设计和新旧路面材料与结构性能协调及匹配关键技术两个子题的研究，负责其立项论证和申请立项，制定总体研究路线，拟订项目总体技术方案，主持项目研究工作，协调项目研究和依托工程，牵头编制项目研究报告等。对技术创新的主要贡献：

（1）组织制定室内外试验检测方案，并组织实施，提出既有道路性能评价与剩余寿命预测方法；（2）提出路基路面一体化设计方法的计算思路与方法，负责理论分析及模型建立，构建了基于路面性能的路基路面一体化设计体系；（3）提出使用期末旧路全面性能的分析评价方法及结构性能评价的分级标准；（4）提出成套的半刚性基层沥青路面结构转换与性能恢复的关键技术，实现新旧路面结构的变形协调；（5）拟定试验路的结构组合方案，负责试验路现场实施、数据采集与长期性能跟踪评价工作。负责项目研究成果在济青、京沪、京台高速德齐段、包茂高速及广佛肇等高速公路改扩建工程中推广应用，取得显著的经济社会效益。

3、山东大学 排名：3

作为主要研究单位，创立了高速公路改扩建工程新旧路基变形协调量化分级分类控制标准，研发了粉土基泡沫轻质土新材料、废旧轮胎综合利用新技术、锚拉式挡土墙等，构建了适用不同差异沉降量的分类处治技术体系，并应用于济青高速公路、京台高速公路等诸多重大工程建设中，节约建设及养护资金上亿元。依托该项目，先后发表学术论文40余篇，授权发明专利8项，出版公路行业标准1部、山东省地方标准2部，培养研究生12名、专业技术人才80余名。作为项目主要完成单位，为该项目研究成果的及时推广应用贡献了主要力量。

4、北京新桥技术发展有限公司 排名：4

作为项目协作单位，针对公路改扩建工程废弃混凝土短期产量大、再生集料砂浆附着率高吸水率大导致高值化利用难问题，从废弃结构混凝土分类拆除高质破碎与分级利用、再生集料改性、高掺再生混凝土配制以及再生微粉活化等四方面入手，攻克了废弃混凝土高值化应用的全过程技术难题，变废为宝，实现了废弃结构物混凝土100%再生利用和60%以上高值化利用，极大地节约了砂石等道路建筑材料，降低工程造价，节约弃渣占地，减少碳排放，开启了公路改扩建废弃混凝土分类拆除、高质破碎、分级利用的建造模式，引领了废弃混凝土再利用从低值化向高值化转变，为该项目的研究成果和推广应用做出了贡献。

5、陕西中大机械集团有限责任公司 排名：5

作为项目协作单位，通过抗离析摊铺设备与防沉降压实设备的研发和升级，采用创新的施工工艺，在该工程项目进行了高品质的应用和推广。项目中采用的中大抗离析摊铺机采用“封闭式螺旋料槽，物料满埋螺旋，强制二次挤压搅拌”核心原理，有效解决路面摊铺过程中的横向、竖向、纵向、片状等级配离析，有效解决密实均匀度离析，有效解决温度离析等难题，实现了抗离析基础上的大幅动态变换铺装宽度、无纵缝整体成型摊铺，颠覆了传统施工工艺。全线应用中大抗离析摊铺技术，首创水稳层三层变两层双机组连铺连压整体成型摊铺，首创18.75米四改八路面一字坡、无纵缝整幅摊铺，保证高品质、耐久性、长寿命的路面施工要求，为该项目的顺利完成做出了突出的贡献。

6、山东省交通规划设计院集团有限公司 排名：6

山东省交通规划设计研究院在项目实施过程中，对项目依托工程济青高速公路路基现状进行了调查，发明了激光雷达变形监测装置，分析评价了济青高速路基的运营现状。针对调查路段，现场取土进行室内试验，为地基的固结沉降变形计算提供依据。依据试验参数，分别展开固结沉降计算。结合济青高速公路旧路基技术状况评定结果，按照地基处理技术、路基拼接技术、轻质路基技术等方面开展相关调研及总结工作，研究不同地基处置方法的适用条件及设计参数，发明了锚拉式挡土墙裂缝变形监测装置，为工程设计和施工提供技术指导。

7、山东省公路桥梁建设集团有限公司 排名：7

在项目实施过程中，对项目依托工程济青高速公路针对新旧道路结构整体施工难题，提出了不中断交通条件下，揭示了熨平板受力变形机理，提出了单机大宽度一次性实现沥青面层调平与摊铺施工工艺，大幅提升了施工整体质量和效率。

8、山东高速基础设施建设有限公司 排名：8

在项目实施过程中，针对超长服役道路结构服役状态精准评估与利用难题，参与建立了损伤状态道路全结构层设计参数确定方法。负责了室内实验设计、测试与现场验证，并负责推广项目成果。