

### 推荐国家技术发明奖项目公示

项目名称	高速公路路面材料高效循环利用新技术与工程应用
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>高速公路路面旧料的高效循环利用符合我国建设循环经济的基本国策，具有巨大的经济效益和社会环保效益。该项目围绕旧料高效循环利用的基础理论和关键技术，依托国家高技术研究发展计划（863）项目、国家自然科学基金项目、交通运输部科技计划项目等课题，开展了十余年的系统研究。完善了再生技术基础理论体系，发明了沥青路面改性再生技术，创新了沥青老化及再生效果评价技术，建立了再生沥青混凝土设计方法与性能评价方法，研发了沥青路面高效再生成套工艺技术，形成了基于再生材料性能特点的耐久路面结构设计方法与先进检测技术，研究成果具有理论深度和实用价值，自主创新性强，项目总体处于国际先进水平，部分成果达到了国际领先水平。</p> <p>该项目先后完成了基础理论研究、新材料和新结构设计、新工艺研发，研究成果具有较强的工程实用性，基于项目成果编写了相关指南与专著，参与编写了交通运输部行业规范和地方规范。该项目研究成果先后在多个省份的高速公路与干线公路养护维修工程中得到了大规模推广应用，累计推广应用里程超过 8500 公里，工程质量良好，取得了良好的经济效益和社会效益。</p> <p>该项目对于提高我国高速公路路面长期使用性能、转变我国公路建设养护模式、保护我国的矿产资源和自然环境具有重要意义。</p> <p>对照国家技术发明奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家技术发明奖二等奖。</p>	

## 项目简介：

我国高速公路接近 13 万 km，在环境因素和车辆荷载重复作用下，高速公路需要定期的养护维修，每年产生旧路面材料超过 2.0 亿吨，急需高效循环利用。传统的路面旧料再利用存在环境污染重、使用性能差和能量消耗大等问题，严重制约了路面材料循环利用技术的推广。

项目自 2002 年开始，在国家“863”、国家自然科学基金等项目的支持下，围绕路面材料循环利用高效再生添加剂开发、高性能再生混凝土设计、长寿命路面结构分析开展了系统研究，形成了路面材料循环利用成套技术，实现了再生路面材料性能提升、质量可控、寿命延长，并大规模用于实际工程。主要技术发明为：

(1) 揭示了沥青老化与再生机理，发明了改性再生技术，实现了老化沥青高效再生利用

改性沥青老化现象包含沥青基体及改性剂老化、及二者的耦合作用，国内外改性沥青再生一直处于空白状态。项目基于分子动力学揭示了沥青组分转变导致老化与添加活性渗透组分再生恢复的机理，发明了模块化复配快速渗透再生添加剂，解决了多组分再生剂在老化沥青膜中的渗透均匀性难题，能够快速有效恢复老化沥青的低温变形能力，且高温稳定性提高了 2~3 倍，全面提升了老化改性沥青的基本性能，实现了老化沥青的高效再生利用。

(2) 发明了系列高性能再生沥青混合料，提出了再生沥青路面施工成套技术，编制了行业第一部沥青路面再生技术指南

沥青路面材料循环利用需要通过旧料与新料的合理调配来提高再生沥青混合料的性能，项目建立了基于粗集料多点支撑的沥青混凝土体积设计新理论的高效恢复再生混合料骨架结构新方法；研发了再生沥青马蹄脂碎石（SMA）、再生高模量沥青混合料、再生橡胶沥青混合料等系列高性能再生沥青混合料，其高温抗车辙性能提高了 3 倍、耐久性较传统技术提高了 2~3 倍，满足了重载交通的需求；基于沥青路面导热机理研发了红外加热技术和尾气循环装置，加热能耗降低 40%、烟气排放降低 80%。

(3) 提出了基于路面循环再生材料性能的耐久性结构新体系，创新了路面结构设计理论。

项目开发了路面状态智能采集系统，实现了对路面性能的动态监控与评价，从结构动力学角度提出了结构层位功能需求，揭示了路面循环再生材料的力学特征和服役机理，发明了基于下卧层行为特征的新型路面结构，最大地发挥了路面循环再生材料

的性能特点，解决了传统再生路面结构层位设计不合理、反射裂缝多、使用性能差、耐久性不足等问题，路面使用性能提高 70%，寿命延长 200%。

项目获国家发明专利 40 项，发表 SCI 论文 50 篇，出版专著 5 部，参编行业规范 5 部、地方规范和技术指南 5 部，相关成果纳入《公路路面再生技术规范》和《公路沥青路面设计规范》，获得教育部技术发明一等奖 1 项以及其他省级一等奖 4 项。

项目系统解决了公路路面材料循环利用的技术难题，提出了路面性能智能数据采集与评价、路面再生利用性能需求分析和性能恢复控制、耐久性路面结构设计成套技术，促进了行业科技进步。在全国 36 万公里公路采集了性能数据 12 万亿条，完成 8500 多公里沥青路面的再生养护，整体经济效益 18.5 亿元；并减少了环境污染，社会效益显著。

## 客观评价:

### (1) 鉴定(验收)评价(见附件证明材料)

围绕“高速公路路面材料高效循环利用新技术与工程应用”课题开展了一系列项目研究,均通过了项目验收或鉴定。基于验收与鉴定专家综合评价,项目成果具有重要创新性和实用性,社会、经济与环境效益显著,推广应用前景广阔。项目成果总体达到了国际先进水平,部分研究成果达到了国际领先水平。

成果名称	项目类型	评价结果
沥青路面结构疲劳仿真及其在长寿命路面中的应用技术研究	国家 863 计划	结题通过
透水性路面用复合改性沥青及再生沥青混凝土技术	国家 863 计划	结题通过
改性沥青混凝土路面再生利用技术研究	国家自然科学基金	结题通过
沥青路面温拌再生利用技术研究	国家自然科学基金	结题通过
改性沥青及 SMA 路面性能恢复与再利用技术研究	交通运输部西部项目	国际先进
沥青路面隐性病害移动式无损检测技术与装备研发	交通运输部重大建设科技项目	国际领先

(2) 查新评价围绕“高速公路路面材料高效循环利用新技术与工程应用”课题开展了一系列项目研究,并委托江苏省科技查新咨询中心、上海科学技术情报研究所等国家一级科技查新咨询单位针对项目创新点进行了国内外查新,查新结果良好的验证了项目的创新性成果。

成果名称	查新单位	创新点
改性沥青及 SMA 路面性能恢复与再利用技术研究	江苏省科技查新咨询中心	再生混凝土设计理论、改性再生评价方法、SMA 路面再生配合比设计
再生沥青路面典型结构与适用技术研究	江苏省科技查新咨询中心	基于性能特点的加铺结构设计方法
SMA 路面现场热再生技术研究	江苏省科技查新咨询中心	SMA 就地热再生工艺与温度控制
节能型高弹废胎原液改良道路粘结料生产及应用成套技术研究	上海科学技术情报研究所	高效再生剂及高性能混合料设计
基于旧料残余性能的沥青路面再生利用技术研究	江苏省科技查新咨询中心	旧料残余性能评价与机理揭示,耐久路面结构设计

### (3) 高性能再生剂检测评价

江苏省建筑工程质量检测中心有限公司,根据《公路沥青路面再生技术规范》(JTG F41-2008)对依托项目成果研发的系列改性再生剂产品(RA100、RA101 以及 RA102)进行了性能检测与评价,检测结果表明所研发生产系列改性再生剂的各项性能指标均满足热拌沥青混凝土再生剂质量要求。

### (4) 高性能热再生列车检测评价

西安筑路机械测试中心(交通部筑路机械测试中心)对依托项目成果研发的高性能就地热再生机组的主要组成部分 HM4200 型加热机、ML4200 型耙松集料机以及 RM4200 型多重搅拌机进行了检验,相关性能指标均满足符合 GB/T 25697-2010 道路施工与养护机械设备《沥青路面就地热再生复拌机》标准规定及设计要求。

推广应用情况：

该项目在国家“863”、国家自然科学基金、交通运输部科技计划等项目的支持下，针对高速公路路面材料的高效循环利用新技术开展了十余年的攻关研究，从性能机理到材料设计，从工艺设备到结构应用，形成了完善的理论与技术体系。该项目获授权发明专利 40 件，通过课题组自己开发使用以及与其他单位合作开发使用等方式，使相关技术在北京市政路桥建材集团有限公司、江苏奥新科技有限公司、江苏现代路桥有限责任公司、江苏中路工程技术研究院有限公司、河南省高远公路养护技术有限公司、山东宏昌路桥集团工程有限公司、山东省公路养护工程有限公司、日照市公路管理局工程处等不同省市的 20 余家单位获得应用，主要用于路面结构与材料衰变性能的检测与评定，高性能再生材料的设计与应用，路面养护与再生装备的研发与应用，耐久路面结构改造提升与应用，项目研究成果已经在 8500 多公里高速公路的养护维修工程中得到了应用与实践。实体工程应用表明，项目研究成果的应用近三年累计产生经济效益 18.5 亿元。

路面主要原材料沥青、水泥和集料均属于不可再生资源，随着公路建设的高速发展，矿质资源储备逐渐减少，价格不断上涨，原材料成本越来越高，同时铣刨废弃料的处理和新料的生产都不可避免的造成对环境的严重影响和破坏。工程实践应用表明，项目研究关键成果与技术可减少新矿料用量 20%~80%，节约生产能耗 30%~50%，有效降低生产排放 50%以上，不仅实现了对有限资源的节约与保护，减少了环境污染，同时有效缓解了公路建设建养资金短缺的矛盾；并且能有效减少路面长期使用过程中的养护与大修次数，提高使用安全性、舒适性和耐久性，提高整个公路网络的服务质量，社会效益显著。

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
授权发明专利	聚苯乙烯丁二烯改性沥青的专用抽提溶剂及其抽提方法	中国	ZL2010105585371	2012-06-13	971040	东南大学	马涛; 顾凡; 黄晓明	有效
授权发明专利	再生剂在老化沥青中扩散能力的检测方法	中国	ZL201010121193.8	2013-11-06	1301152	东南大学	马涛; 黄晓明; 赵永利; 袁浩	有效
授权发明专利	沥青路面热再生老化沥青有效再生率检测方法	中国	ZL2013100563365	2015-07-01	1708765	东南大学	马涛; 黄晓明; 赵永利; 俞竞伟	有效
授权发明专利	热再生沥青混合料沥青膜内外层沥青性能差异检测方法	中国	ZL201010116090.2	2011-11-30	871286	东南大学	马涛; 赵永利; 黄晓明; 袁浩	有效
授权发明专利	集料三维形态离散元生成方法	中国	CN201310106931.5	2015-05-27	1679464	东南大学	黄晓明; 张东	有效
授权发明专利	一种掺加旧料的高模量沥青混合料、制备方法及其混合料试件制备方法	中国	ZL201310109840.7	2015-01-21	1571189	东南大学	赵永利; 马涛; 耿磊	有效
授权发明专利	一种反应型橡胶沥青密级配混凝土及其设计方法	中国	CN201410052407.9	2011-12-07	873135	东南大学	黄晓明; 李志栋	有效

授权发明专利	基于探地雷达的路面裂缝深度无损检测方法	中国	ZL201010520819.2	2012年07月04日	987212	中公高科养护科技股份有限公司	李强; 潘玉利; 刘刚	有效
授权发明专利	采用声效与探地雷达检测路面病害的控制电器及具有该控制电器的检测装置	中国	ZL201310729496.1	2016年03月23日	1997713	河南省高远高速公路养护技术有限公司	刘廷国; 侯曙光; 岳学军; 李忠玉; 史纪村; 陈永辉; 刘玉恒; 孙朕葛; 罗米柯; 罗曼诺夫; 霍达维奇切尔诺拜; 阿列克谢耶夫; 赞科维奇	有效
授权发明专利	一种基于不均匀沉降的抗疲劳沥青路面	中国	CN201310139183.0	2014-01-29	1340530	东南大学	李昶; 赵洁雯; 黄晓明	有效

主要完成人情况:

黄晓明, 排名 1, 无, 教授, 工作单位: 东南大学, 完成单位: 东南大学, 是该项目主要负责人, 对发明点 1、2、3 均有重要贡献, 具体获得 ZL201010288500.1、ZL201010121216.5、ZL201110003979.4、ZL201010121207.6 等 10 项发明专利, 见主要知识产权目录及附件; 出版《沥青路面再生理论与实践》、《沥青路面厂拌热再生关键技术》、《SMA 路面就地热再生关键技术》等 3 部专著, 见附件。

赵永利, 排名 2, 无, 教授, 工作单位: 东南大学, 完成单位: 东南大学, 是该项目主要参加人员, 对发明点 1、2 均有重要贡献, 具体获得 ZL201010288500.1、ZL201010121216.5、ZL201110007321.0、ZL201010121207.6、ZL201310042952.5 等 5 项发明专利, 见主要知识产权目录及附件; 参编《沥青路面再生理论与实践》、《沥青路面厂拌热再生关键技术》、《SMA 路面就地热再生关键技术》等 3 部专著, 见附件。

马涛, 排名 3, 无, 副教授, 工作单位: 东南大学, 完成单位: 东南大学, 是该项目主要参加人员, 对发明点 1、2 均有重要贡献, 获得发明专利 5 项, ZL201110003979.4、ZL201010288500.1、ZL201010121216.5、ZL201110007321.0、ZL201010121207.6、ZL201310042952.5, 见主要知识产权目录与附件; 出版了《沥青路面厂拌热再生关键技术》、《SMA 路面就地热再生关键技术》等 2 部专著, 见附件 34, 35。

李强, 排名 4, 事业部经理, 研究员, 工作单位: 中公高科养护科技股份有限公司, 完成单位: 中公高科养护科技股份有限公司, 是该项目主要参加人员, 对发明点 3 有重要贡献, 具体获得发明专利 1 项 ZL201010520819.2, 见附件; 参编行业标准 1 部。

马士杰, 排名 5, 总工程师, 研究员, 工作单位: 山东省交通科学研究院, 完成单位: 中山东省交通科学研究院, 是该项目主要参加人员, 对发明点 3 有重要贡献, 具体获得发明专利 2 项 ZL201210343703.5、ZL200810014832.3。

岳学军, 排名 6, 常务副总经理, 教授级高级工程师, 工作单位: 河南省高远公路养护技术有限公司, 完成单位: 河南省高远公路养护技术有限公司, 是该项目主要参加人员, 对发明点 3 有重要贡献, 具体获得发明专利 2 项 ZL201110114829.0、ZL200810232087.X; 参编地方标准 2 部。



完成人合作关系说明:

该项目是整个申报团队长期合作的研究成果。项目第 1 完成人是第 2 完成人, 第 3 完成人, 第 5 完成人, 第 6 完成人的博士论文指导老师。项目第 1 完成人和第 4 完成人保持有长期科研项目合作关系。主要的合作关系如下:

项目第 1 完成人是项目第 2 完成人的博士论文指导老师, 项目第 2 完成人在项目第一完成人指导下完成与该项目相关的博士论文《沥青混合料的结构组成机理研究》; 项目实施过程中合著有《沥青与沥青混合料》(东南大学出版社 ISBN: 9787810890168), 《沥青路面再生利用理论与实践》(科学出版社 ISBN:9787030413680)(见附件证明材料); 共同获授权发明专利《沥青混凝土剪切性能测试方法》(ZL200810023947.9); 并合作发表有多篇学术论文。

项目第 1 完成人是项目第 3 完成人的博士论文指导老师, 项目第 3 完成人在项目第一完成人指导下完成与该项目相关的博士论文《SMA 路面现场热再生技术研究》; 项目实施过程中合著有《路基路面工程》(东南大学出版社 ISBN: 9787564126261); 共同获授权发明专利《聚苯乙烯丁二烯改性沥青的专用抽提溶剂及其抽提方法》(授权专利号: ZL2010105585371)(见附件证明材料); 并合作发表有多篇学术论文。

项目第 1 完成人, 第 2 完成人以及第 3 完成人在项目实施过程中, 共同获得教育部技术发明一等奖《路沥青路面高效再生利用关键技术与装备》(见其他证明材料); 合著有《沥青路面厂拌热再生关键技术》(东南大学出版社 ISBN:9787564154448)(见附件证明材料), 《SMA 路面就地热再生关键技术》(科学出版社 ISBN: 9787030464125)(见附件证明材料); 共同获授权发明专利《再生剂在老化沥青中扩散能力的检测方法》(ZL201010121216.5)(见附件证明材料), 《现场热再生过程中原沥青路面混合料拌合分散性检测方法》(ZL201010121193.8)(见附件证明材料), 《热再生沥青混合料沥青膜内外层沥青性能差异检测方法》(ZL201010121200.4)(见附件材料)。

项目第 1 完成人与第 4 完成人长期保持项目合作关系, 在项目实施过程中, 共同参与了与该项目相关的科研项目《沥青路面长期使用性能研究(LAPP)》的主要研究工作(见附件证明材料), 并且共同参与了《沥青路面维修与改造》(人民交通出版社 ISBN: 9787114100895)的编著工作(见附件证明材料)。

项目第 1 完成人是项目第 5 完成人的硕士论文和博士论文指导老师, 项目第 5 完成人在项目第 1 完成人的指导下完成了与该项目相关的硕士论文《大粒径沥青混合料设计方法与性能初步研究》和博士论文《粒料基层设计方法与永久变形控制指标研究》; 在项目实施过程中合作发表学术论文《粒料基层永久变形设计指标与控制模型》(见附件证明材料)。

项目第 1 完成人是项目第 6 完成人的博士论文指导老师, 项目第 6 完成人在项目第 1 完成人的指导下完成与项目相关的博士论文《微表处车辙处理技术与路用性能研究》; 在项目实施过程中, 合作发表有多篇学术论文《沥青胶结料的高温性能评价新指标——纯黏性稠度》、《表征高温性能的沥青纯粘性稠度》、《冻融循环飞散试验在沥青混合料抗冻性能评价中的应用》、《多年冻土地区沥青混合料配合比设计方法研究》(见附件证明材料)。