**科技成果登记表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **成果名称** | | | 热再生沥青混合料性能绿色快捷判别技术、多维度作用机理及关键应用技术研究 | | | | | | | | |
| **成果登记号** | | | 鲁交科评字[2023]第6号 | | | **知识产权** | | | |  | |
| **完成单位** | | | | | | | | | | | |
| **序号** | **单位名称** | | | | | | **通讯地址** | | | | |
| **1** | 山东省交通运输事业服务中心 | | | | | | 山东省济南市市中区舜耕路17号 | | | | |
| **2** | 长安大学 | | | | | | 陕西省西安市南二环中段 | | | | |
| **3** | 烟台市公路事业发展中心 | | | | | | 山东省烟台市芝罘区环山路196号 | | | | |
| **4** | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | | | 山东省德州市德城区东风中路1255号 | | | | |
| **5** | 山东润兴成筑路材料研发中心 | | | | | | 山东省烟台市经济技术开发区潮水衙前村西 | | | | |
| **6** | 德州市公路工程总公司 | | | | | | 山东省德州市经济技术开发区晶华大道159号 | | | | |
| **完成人** | | | | | | | | | | | |
| **序号** | **姓名** | | | | **工作单位** | | | | **对成果的贡献** | | |
| **1** | 李英勇 | | | | 山东省交通运输事业服务中心 | | | | 项目负责人 | | |
| **2** | 冯振刚 | | | | 长安大学 | | | | 技术负责人 | | |
| **3** | 林大军 | | | | 烟台市公路事业发展中心 | | | | 工程负责人 | | |
| **4** | 许明柱 | | | | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | 工程负责人 | | |
| **5** | 李新军 | | | | 长安大学 | | | | 技术负责人 | | |
| **6** | 孙 杰 | | | | 山东省交通运输事业服务中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **7** | 袁春建 | | | | 山东省交通运输事业服务中心 | | | | 施工方案及现场技术指导 | | |
| **8** | 孙立新 | | | | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | 施工协调与技术指导 | | |
| **9** | 高文彬 | | | | 烟台市公路事业发展中心 | | | | 施工协调与技术指导 | | |
| **10** | 张朝宝 | | | | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | 技术执行 | | |
| **11** | 栗培龙 | | | | 长安大学 | | | | 理论分析 | | |
| **12** | 闫锡龙 | | | | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **13** | 李光凯 | | | | 烟台市公路事业发展中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **14** | 张国强 | | | | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **15** | 夏全平 | | | | 山东省交通运输事业服务中心 | | | | 施工方案及现场技术指导 | | |
| **16** | 黄 炜 | | | | 山东省交通运输事业服务中心 | | | | 施工方案及现场技术指导 | | |
| **17** | 孙绍鑫 | | | | 烟台市公路事业发展中心 | | | | 现场试验实施 | | |
| **18** | 郭簦堂 | | | | 德州市公路事业发展中心 | | | | 现场试验实施 | | |
| **19** | 孙海明 | | | | 山东润兴成筑路材料研发中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **20** | 修林岩 | | | | 山东润兴成筑路材料研发中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **21** | 张爱兵 | | | | 德州市公路工程总公司 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **22** | 王素妤 | | | | 德州市公路项目建设服务中心 | | | | 现场试验及技术指导 | | |
| **23** | 焦晓来 | | | | 长安大学 | | | | 室内试验与数据分析 | | |
| **24** | 战 军 | | | | 烟台市公路事业发展中心 | | | | 施工方案及现场技术指导 | | |
| **25** | 张德轶 | | | | 山东润兴成筑路材料研发中心 | | | | 室内试验研究和数据分析 | | |
| **26** | 宋文杰 | | | | 山东润兴成筑路材料研发中心 | | | | 室内试验研究和数据分析 | | |
| **27** | 李长圣 | | | | 德州市公路工程总公司 | | | | 施工现场指导与协调 | | |
| **28** | 周思民 | | | | 长安大学 | | | | 室内试验与数据分析 | | |
| **成果公报内容** | | | | | | | | | | | |
| 本课题依托山东省交通运输科技计划项目“热再生沥青混合料性能绿色快捷判别技术、多维度作用机理及关键应用技术研究”（2020B18），通过理论分析、系统及装备研发、试验研究等方法，开展了沥青混合料热再生绿色快捷检测技术、RAP取料标准化方法、RAP团粒迁移及新旧沥青融合机理、热再生沥青混合料设计方法等方面研究，主要研究成果如下：  （1）开发了基于旋转压实技术的RAP性能快速检测系统，通过压头和钢模的配合，利用应力-应变传感器将试件在压实过程中的应力与变形数据进行记录，然后将其传输至数据采集控制系统中，根据采集的数据绘制应力-应变曲线，对RAP的性能进行评价。考虑到RAP性能快速检测试验的普适性，推荐测试温度为150℃，压实速度为0.05 mm/s。  （2）沥青性能绿色快速检测方法不仅在评价基质沥青性能时具有较好的重复性，在评价改性沥青性能时同样具有很好的重复性，适用于不同类型沥青性能的快速检测。沥青性能绿色快速检测评价指标与针入度之间具有较好的相关关系，可以采用沥青性能绿色快速检测方法对沥青性能进行快速评价。  （3）分堆取样法取料的沥青含量变异性和矿料级配变异性均小于整堆取样法，采用分堆取样法取料可以提高RAP的均匀性，能够较好的代表RAP料堆的实际情况。  （4）在相同RAP掺量下，采用分堆取样法RAP制备的热再生沥青混合料低温抗裂性和水稳定性显著优于整堆取样法RAP制备的热再生沥青混合料。相比整堆取样法，分堆取样法能够降低再生沥青混合料路用性能的变异性。  （5）团粒组成方面，各粒径RAP团粒主要由初始粒径、初始粒径的下一级矿料以及含量较少且更细的其他矿料黏结而成，初始粒径的下一级矿料在其结团成分中占主体地位。  （6）粒径>2.36mm的单一粒径RAP在加热拌合过程中，主要发生“旧团粒的破碎”；而粒径≤2.36mm的单一粒径RAP在加热拌合过程中，既会发生“旧团粒的破碎”，也发生“新团粒的缔结”。加热拌合对RAP的破碎作用弱于抽提对RAP的破碎作用，且随着RAP粒径的减小，加热拌合对团粒的破碎作用逐渐减弱。  （7）利用RAP团粒在加热拌合过程中是否会发生破碎分离的性质，将RAP团粒分为强结合型团粒和弱结合型团粒；随着RAP粒径的减小，其强结合型团粒的比例整体呈现逐渐增大的趋势，弱结合型团粒的比例呈现逐渐减小的趋势。  （8）建立了基于分离度的RAP团粒分级标准和基于 DSR、FTIR、AFM 为一体的新旧沥青融合程度评价方法，再生沥青混合料中新旧沥青的融合情况仅为部分融合，再生剂的掺入有助于新旧沥青融合程度的提升。受RAP强结合型团粒的影响，再生沥青混合料拌合过程中RAP可参与拌合的有效旧沥青质量会下降。  （9）构建了强结合团粒“嵌凸式”等表面积计算模型，提出了基于团粒迁移与沥青融合机理的高RAP掺量热再生沥青混合料“反演补偿式”混合料设计方法。  （10）依据RAP团粒的迁移变化规律以及基于RAP团粒迁移变化规律的新旧沥青融合研究，分别对RAP抽提级配、再生沥青混合料级配和最佳沥青用量进行优化，再生沥青混合料配合比的优化能有效地提高混合料的低温抗裂性和水稳定性，使其各项性能在满足规范的前提下更加均衡。  （11）提出了确定不同RAP参数热再生沥青混合料最佳生产条件的模糊意见集中决策理论与轻量化技术方法。随着拌和温度的提高，再生沥青混合料高温性能明显提高，而水稳定性和低温性能先上升后下降。适当延长拌和时间可有效提高再生沥青混合料的路用性能。在150 ℃下储存0.5 h时，可以改善再生沥青混合料的路用性能。  （12）厂拌热再生沥青混合料的最佳生产工艺如下：拌和温度165 ℃，首先将RAP和新集料一起拌和45 s，再加新沥青拌和45 s，倒入预热的矿粉拌和90 s，最后在150 ℃下储存0.5 h时出料。  （13）沥青在二次长期老化过程中不仅会出现芳香分的持续流失，还会生成较多的沥青质，在二次长期老化过程中，一次再生沥青的旧沥青掺量越高，长期老化效果更严重。沥青的老化次数越多，分子的自扩散系数下降的更显著，多次老化作用对沥青扩散速度的影响是非线性的，二次老化沥青的性能衰减更加严重。  （14）老化程度对新旧沥青融合的相互扩散速度产生不利影响，在温度、压强及再生剂掺量相同的外部条件下，含二次老化沥青的双层扩散模型相互扩散速度会下降，新沥青对二次老化沥青扩散的速度较一次老化沥青也会下降，二次老化沥青的分子结构更为紧密，新沥青更难与二次老化沥青进行融合。老化次数对新旧沥青融合的影响是消极的，同等条件下含二次老化沥青的DOB都小于一次再生沥青。  （15）基于目标配合比优化设计结果对厂拌热再生沥青混合料和就地热再生沥青混合料的生产配合比进行设计及路用性能验证。针对施工过程中RAP的回收、堆放、预处理和取料，以及热再生沥青混合料的拌和、摊铺、碾压等环节提出了质量控制措施，经平整度、抗滑性能、渗水系数、压实度检测表明热再生沥青路面试验段具有良好的使用性能，经优化设计后的热再生沥青混合料具有良好的应用效果。 | | | | | | | | | | | |
| **验收（评价)专家名单** | | | | | | | | | | | |
| **序号** | | **姓名** | | **单位** | | | | **专业领域** | | | **职称** |
| **1** | | 郭忠印 | | 同济大学 | | | | 道路安全与环境工程 | | | 教授 |
| **2** | | 王 林 | | 山东省交通科学研究院 | | | | 道路与交通工程 | | | 研究员 |
| **3** | | 任瑞波 | | 山东建筑大学 | | | | 道路与铁道工程 | | | 教授 |
| **4** | | 刘树堂 | | 山东大学 | | | | 道路与交通工程 | | | 教授 |
| **5** | | 孙吉勇 | | 山东省交通运输厅工程建设事务中心 | | | | 道路与交通工程 | | | 研究员 |
| **6** | | 毕玉峰 | | 山东省交通规划设计院 | | | | 道路与铁道工程 | | | 研究员 |
| **7** | | 辛公锋 | | 山东高速创新研究院 | | | | 交通运输工程 | | | 研究员 |
| **8** | | 张 静 | | 山东师范大学 | | | | 会计学 | | | 副教授 |
| **9** | | 韩 波 | | 山东省创新发展研究院 | | | | 会计学 | | | 高级会计师 |
| **组织评价（验收、评价）单位：山东省交通运输厅、山东公路学会** | | | | | | | | | | | |
| **验收意见** | | | | | | | | | | | |
| 2023年2月12日，山东省交通运输厅在济南组织了“热再生沥青混合料性能绿色快捷判别技术、多维度作用机理及关键应用技术研究”项目验收工作。验收专家组（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了相关技术文件和财务报告，经质询和讨论，形成验收意见如下：  一、项目组提交的资料齐全，内容完整，符合验收要求。  二、项目通过室内外试验、理论分析和工程应用等研究方法，开展了热再生沥青混合料性能绿色快捷判别技术、多维度作用机理及关键应用技术等研究，取得了如下主要创新成果：  1. 研发了基于旋转压实技术处理系统的以压实功和工作性为评价指标的热再生沥青混合料绿色快捷检测评价技术。  2. 揭示了基于RAP团粒迁移规律的新旧沥青融合机理，提出了新旧沥青融合程度的多维度评价指标，建立了基于团粒迁移与沥青融合机理的高RAP掺量热再生沥青混合料“反演补偿式”混合料设计方法。  3. 建立了一次、二次再生沥青的分子动力学参数与新旧沥青融合度的关系模型。  三、项目组发表了论文6篇，其中SCI、EI收录3篇，申请专利5项（已授权2项）；项目成果在山东多地养护工程中得到了应用，经济、社会与环境效益显著，对再生沥青路面工程具有重要指导意义。  四、根据项目财务报告列示情况，该项目经费支出合理。  验收专家组一致同意该项目通过技术验收和财务验收。 | | | | | | | | | | | |
| **评价意见** | | | | | | | | | | | |
| 2023年2月12日，山东公路学会在济南组织了“热再生沥青混合料性能绿色快捷判别技术、多维度作用机理及关键应用技术研究”成果评价工作。评价委员会（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了相关技术资料，经质询和讨论，形成评价意见如下：  一、项目组提交的技术资料齐全，内容完整，符合评价要求。  二、项目通过室内外试验、理论分析和工程应用等研究方法，开展了热再生沥青混合料性能绿色快捷判别技术、多维度作用机理及关键应用技术等研究，取得了如下主要创新成果：  1. 研发了基于旋转压实技术处理系统的以压实功和工作性为评价指标的热再生沥青混合料绿色快捷检测评价技术。  2. 揭示了基于RAP团粒迁移规律的新旧沥青融合机理，提出了新旧沥青融合程度的多维度评价指标，建立了基于团粒迁移与沥青融合机理的高RAP掺量热再生沥青混合料“反演补偿式”混合料设计方法。  3. 建立了一次、二次再生沥青的分子动力学参数与新旧沥青融合度的关系模型。  三、项目成果在山东多地养护工程中得到了应用，经济、社会与环境效益显著，对再生沥青路面工程具有重要指导意义。  综上所述，项目研究成果总体上达到国际先进水平，其中再生沥青混合料团粒迁移规律和评价方法研究达到国际领先水平。  建议进一步加强推广应用。 | | | | | | | | | | | |