

2026 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

面向固废高质利用的沥青路面材料组分演化规律与界面增韧效应

二、提名者及提名意见

提名者：周星，西安理工大学，教授，材料科学与工程。

提名意见：

该项目面向交通强国、一带一路等国家战略对长寿命高等级沥青路面的重大需求，依托国家自然科学基金项目等，围绕公路工程沥青混合料多相材料共混体系中沥青-集料（液-固）、集料-集料（固-固）及气-固等三相界面反应机制开展前沿研究，发展了基于界面化学修饰的路面材料设计新理论，解析了多因素条件下沥青材料组分演化-胶体结构失稳的老化机制，建立了工业固废无机碳化-有机渗透改性的表面缺陷同步调控方法，实现了大宗固废在公路工程中基于组分平衡与界面增韧效应的创新应用。发表高水平学术论文 120 余篇，其中 7 篇入选交通部交通运输重大科技创新成果库，3 篇入选 ESI 高被引论文。成果得到国内外多位知名学者的肯定。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

提名者：栗培龙，长安大学，教授，交通运输工程。

提名意见：

为服务交通强国与“一带一路”建设，该项目立足长寿命高等级沥青路面的工程需求，依托国家自然科学基金，针对沥青混合料中液-固、固-固及气-固等多相界面反应，开展前沿探索。研究创新性地引入界面化学修饰理念，构建了路面材料设计新理论；系统剖析了复杂环境下沥青组分演变及其胶体结构失稳的老化机理；同时，开发出无机碳化与有机渗透耦合的固废表面缺陷调控技术，并基于组分平衡与界面增韧原则，成功推动大宗工业固废在公路工程中的高效利用。项目共发表高水平论文 120 余篇，其中 7 篇被交通部重大科技创新成果库收录，3 篇入选 ESI 高被引论文，研究成果获得国内外同行广泛认可。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介

本项目属于材料科学和交通运输工程学科的交叉学科领域。

我国公路总里程已突破 550 万公里，高速公路里程位居世界第一，沥青路面作为高等级公路的主要铺装形式，其服役耐久性直接关乎国家交通基础设施运行安全与全生命周期碳排放水平。在“双碳”目标和交通强国战略驱动下，沥青路面材料正从“天然资源依赖”向“再生循环利用”加速转型，再生材料的高质量应用成为平衡资源循环与长寿命服役的核心命题。然而，再生体系中老化沥青胶体结构失稳、再生集料均质性差，致使含再生材料的沥青-集料（液-固）界面失

效行为远较原生体系复杂，传统材料设计理论难以描述其界面演化规律与增韧机制，成为了再生路面材料从“能用”迈向“高韧”的核心科学障碍。因此，从理论与方法层面开展再生沥青路面材料界面增韧研究，既是长寿命绿色公路建设的国家重大需求，也是道路材料学科交叉发展的必然选择。

针对上述瓶颈，自 2007 年以来，项目组依托国家自然科学基金项目等 10 余项科研课题，以老化沥青组分与性能修复、再生集料表面缺陷调控及液-固界面协同增韧为突破口，开展了系统的理论探索与技术攻关，创建了“两个核心理论、三套关键方法”，即：（1）揭示了沥青相再生理论与老化机制（理论 1），解决了老化沥青“因何失效、能否再生”的基础科学问题；（2）发展了老化沥青全链条再生方法（方法 1），突破了再生沥青性能恢复的技术瓶颈；（3）揭示了再生集料-沥青界面多层级物理-化学协同劣化机理（理论 2）与增韧方法（方法 2），解决了再生集料表面“缺陷如何形成、如何调控”的关键难题；（4）建立了适配再生材料的沥青混合料多尺度增韧设计与服役性能-生态影响双维韧性评价方法体系（方法 3），攻克了再生路面材料增韧设计与绿色评价的工程应用难题。主要科学发现如下：

（1）多因素耦合作用下沥青材料组分演化-胶体结构失稳的老化机制。阐明了四组分不可逆逐级转化规律及 SBS 改性沥青“沥青相氧化硬化与 SBS 相氧化降解”的双相异步老化机制，发现了 SBS 对沥青相的“牺牲保护”效应；首创电化学阻抗谱水氧扩散定量表征方法，建立了基于 S-VECD 理论的沥青疲劳性能预测模型与再生可行性判据。

（2）老化沥青“组分修复-性能恢复-耐久保障”的全链条再生方法。研制了兼具“再生-改性”双重功能的新型再生剂；揭示了再生剂扩散系数与温度、粘度、分子量之间的定量关系，提出了“提高老化沥青预热温度→延长再生剂接触时间→优化再生剂分子结构”三位一体扩散增强策略；创新了基于电导率的再生效果评价方法，形成了完整的再生技术体系。

（3）再生集料-沥青黏附界面多层级物理-化学协同劣化机理与界面增韧方法。突破了传统以集料整体均化为研究对象的思路，直接聚焦于与沥青接触的再生集料表面，从矿物学源头揭示了钙质再生集料性能均一性差的本质，阐明了“产物层薄弱区破坏→水分渗透→产物层冻胀开裂→沥青膜大面积剥离”的级联损伤演化路径；构建了“无机碳化-有机渗透”协同界面增韧技术，实现了界面区物理缺陷与化学缺陷的协同修复。

（4）适配再生材料的沥青混合料多尺度增韧设计与服役性能-生态影响双维韧性评价方法体系。发展了基于体积法的固废基混合料配合比设计方法，构建了“天然集料物理骨架+再生集料嵌挤增强+再生填料化学锚固”的多层级功能协同体系；自主开发了界面粘结性能拉拔试验系统与体积稳定性测试方法，引入全生命周期评价框架，量化揭示了“界面增韧→服役寿命延长→环境负荷削减”的链式增益效应。

四、客观评价

中国工程院郑健龙院士和梁博教授在论文（材料导报, 2021, 35(9):14）中介绍了陈华鑫等 SBS 改性沥青老化性能评价方法的研究成果。郭猛教授在论文（中国公路学报, 2022, 35(4):19）评述该论文的研究成果为“陈华鑫等研究了老化对 YSY 改性沥青的影响，结果发现，YSY 改性沥青的老化同时包括基质沥青的氧化硬化和 YSY 聚合物老化降解，老化后沥青分子量增大。”中国工程院刘加平院士和赵永利教授在论文（石油沥青, 2009, 23（6）:6.）中评述该论文的研究成果为“陈华鑫发现高掺量改性沥青经过老化后，相位角不但未降低，反而在高温（70℃以上）时出现了上升的现象”同时，在另一篇论文（石油沥青, 2011, 25(3):5）中评述该论文的研究成果为“本文曾采用红外光谱试验检验了改性沥青老化前后的基团变化，发现改性沥青除了和基质沥青一样，在老化后出现了大量的羰基 C=O 和亚砷基 S=O 外，还出现了羟基 O-H，这说明是改性剂发生的氧化。”

同济大学钱劲松等在论文（Canadian Journal of Civil Engineering, 2024, 52（4）: 421-430）评述该论文的研究成果“Xiong 等人揭示了盐侵蚀对沥青混合料劣化机制，并确定其主要原因是盐溶液渗入孔隙和裂缝后引起的晶粒结构侵蚀。同时，研究发现盐对沥青混合料早期造成的损伤主要表现为物理损伤”。东南大学马涛等在论文（Construction and Building Materials, 2023, 394: 132227）中引用了本文实验方法“配置了 5 wt% NaCl 溶液，以模拟 MCU 在实际使用过程中可能遇到的盐分和酸性环境的影响”。美国阿拉巴马大学教授 Serji Amirkhanian, 武汉理工大学许实等在论文（Construction and Building Materials, 2021, 286: 122810）评述该论文的研究成果“盐溶液的侵入会导致沥青 binder 发生化学侵蚀和结晶破坏”。

新加坡工程院院士、新加坡国立大学 T.F. Fwa 教授等在论文（Applied Surface Science, 2020, 527, 146830）中评述了本论文关于石英晶体晶面选择的研究成果，指出“对于 α -石英晶体，考虑了低米勒指数表面 {0 0 1} 和 {1 0 1}，因为这两个都是稳定的晶面”。钱国平教授、于华南教授等在论文（Construction and Building Materials, 2024, 449, 138388）中评述了本论文关于集料与沥青界面化学反应机制的研究成果，指出“Yin 等利用 X 射线光电子能谱检测了集料与沥青之间的化学变化，观察到石灰岩集料中钙离子的最外层轨道电子向沥青中活性官能团迁移，形成了增强黏附的新化学键”。德国联邦公路研究所所长 Markus Oeser 教授等在论文（Journal of Cleaner Production, 2024, 475, 143711）中引用了本论文关于集料模型构建的研究成果，指出“由于 α -石英在集料中广泛存在，故将其选为骨料模型的代表物”。诺丁汉大学交通工程中心主任 Gordon Airey 教授等在论文（MAIREPAV 2024 国际会议论文集, 2024, 522）中引证了本论文关于集料矿物成分与沥青黏附性能差异的研究成果，指出“该结论与石灰岩（方解石为主要成分）比花岗岩（石英为主要成分）与沥青具有更大黏附强度的实验室测试结果吻合得很好”。

五、代表性论文专著目录（不超过 8 条，其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部）

序号	论文专著 名称	刊名	作者	年卷页 码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发 表 时 间	通 讯 作 者	第 一 作 者	国 内 作 者	他 引 总 次 数	检 索 数 据 库	知 识 产 权 是 否 归 国 内 所 有
1	Effect of hydration and silicone resin on Basic Oxygen Furnace slag and its asphalt mixture	Journal of Cleaner Production	Zongwu Chen, Shaopeng Wu, Yue Xiao, Wenbo Zeng, Mingwei Yi, Jiuming Wan	2016,112: 392-400	2016.01.20	Shaopeng Wu, Yue Xiao	Zongwu Chen	陈宗武, 吴少鹏, 肖月, 曾文博, 仪明伟, 万九鸣	190	Web of Science 核心合集	是
2	Effect of aggregate morphologies and compaction methods on the skeleton structures in asphalt mixtures	Construction and Building Materials	Feng Wang, Yue Xiao, Peide Cui, Tao Ma, Dongliang Kuang	2020, 263:120220	2020.12.10	Yue Xiao, Peide Cui	Feng Wang	王凤, 肖月, 崔培德,马涛, 况栋梁	90	Web of Science 核心合集	是

3	Effect of chemical composition of aggregate on interfacial adhesion property between aggregate and asphalt	Construction and Building Materials	Yanping Yin, Huaxin Chen, Dongliang Kuang, Lifang Song, Lu Wang	2017, 146:231-237	2017, 05, 15	Huaxin Chen	Yanping Yin	尹艳平, 陈华鑫, 况栋梁, 宋莉芳, 王璐	125	Web of Science 核心合集	是
4	SBS 改性沥青老化后的动态力学性能	长安大学学报(自然科学版)	陈华鑫, 周燕, 王秉纲	2009, 29(1):1-5	2009, 03, 04	陈华鑫	陈华鑫	陈华鑫, 周燕, 王秉纲	177	CNKI	是

5	Performance evaluation of asphalt mixture exposed to dynamic water and chlorine salt erosion	Construction and Building Materials	Rui Xiong, Ci Chu, Ning Qiao, Lu Wang, Fa Yang, Yanping Sheng, Bowen Guan, Dongyu Niu, Jiuguang Geng, Huaxin Chen	2019,201: 121-126	2019,03,20	Rui Xiong	Rui Xiong	熊锐, 褚辞, 乔宁, 王璐, 杨发, 盛燕萍, 关博文, 牛冬瑜, 耿九光, 陈华鑫	90	Web of Science 核心合集	是
6	沥青材料老化与防老化	武汉理工大学出版社	余剑英, 庞凌, 吴少鹏	2012.12.01	2012.12.01		余剑英	余剑英, 庞凌, 吴少鹏	72	CNKI	是
合 计									698		

六、主要完成人情况（不超过 6 人）

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
肖月	1	院长	教授	长安大学	武汉理工大学	项目总负责人，全面指导项目技术路线制定、研发和工程示范全过程，是主要知识产权 1、2 的完成人，对“创新点 1、2、3”均有创造性贡献
耿九光	2	无	教授	长安大学	长安大学	项目主要完成人，是依托项目 2 和代表性论文 5 的完成人
陈宗武	3	无	副教授	长安大学	武汉理工大学	项目主要完成人，是依托项目 3 和代表性论文 1 的完成人，对“创新点 2、3”均有创造性贡献
陈华鑫	4	无	教授	长安大学	长安大学	项目主要完成人，是依托项目 2 和代表性论文 3、4 的完成人，对创新点 1 和 2 有创造性贡献
吴少鹏	5	无	教授	武汉理工大学	武汉理工大学	项目的主要完成人，是代表性论文 1、6 的完成人，对创新点 2、创新点 3 做出了贡献
况栋梁	6	无	教授	长安大学	长安大学	项目主要完成人，是依托项目 1 和代表性论文 2、3 的完成人，对创新点 1 和 2 有创造性贡献

七、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
长安大学	1	作为项目第一完成单位，全面负责面向固废高质再利用的沥青路面材料组分演化规律与界面增韧效应路线把控与核心理论、技术研究，对“创新点 1、2、3”均做出了贡献，对创新点 1 的主要贡献为：提出了沥青材料老化表征与组分演化评价方法，解析了多因素耦合条件下沥青材料组分演化-胶体结构失稳的老化机制；对创新点 2 的主要贡献为：建立了基于微观形态-力学-化学原位分析的沥青材料多相界面反应特征参数表征方法；对创新点 3 的主要贡献为：建立了集料-集料间界面分析方法，解析了固-固异相材料的界面接触行为。
武汉理工大学	2	作为项目的主要完成单位，对创新点 2、创新点 3 做出了贡献，对创新点 2 的主要贡献为：建立了钢渣集料无机碳化-有机渗透改性的表面缺陷同步调控方法，研发了钢渣沥青混合料高性能设计方法；对创新点 3 的主要贡献为：研发了钢渣道路材料高质资源化再利用方法，指导钢渣的规模化应用。

八、完成人合作关系说明

肖月（1）和陈宗武（3）和吴少鹏（5）是代表性论著 1 的共同作者，共同授权国家发明专利“一种紫外阻隔固态沥青及其制备和应用”。肖月（1）和陈宗武（3）共同承担国家自然科学基金青年基金项目。

况栋梁（6）和肖月（1）是代表性论著 2 的共同作者，共同承担国家自然科学基金面上项目。况栋梁（6）和陈华鑫（4）是代表性论著 3 的共同作者。耿九光（2）与陈华鑫（4）教授是代表性论著 5 的共同作者。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	肖月、陈宗武、吴少鹏/1, 3, 5	2012.09-2016.12	代表性论文 1	
2	论文合著	肖月、况栋梁/1, 6	2016.09-2020.12	代表性论文 2	
3	论文合著	陈华鑫、况栋梁/4, 6	2012.06-2017.05	代表性论文 3	
4	论文合著	耿九光、陈华鑫/2, 4	2012.01-2019.03	代表性论文 5	
5	共同知识产权	肖月、陈华鑫、况栋梁/1, 4, 6	2022.06 至今	一种基于沥青 VOCs 指纹组分的定量分析方法及系统	
6					
7					
8					
9					
10					
(不限 条目)					