

2025年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果公示材料

一、成果基本情况

成果名称	沥青路面用植物基固废纤维制备关键技术研究
主要完成人	李祖仲, 刘卫东, 温久然, 刘竞怡, 熊剑平, 盛燕萍, 刘芳, 黄慧, 张仰鹏, 贺新民
主要完成单位	长安大学, 广西交投集团有限公司, 陕西铁路工程职业技术学院, 淮阴工学院, 陕西金禾农业科技有限公司
申报等级	一等奖及以上
联系人及电话	李祖仲, 13772189186

二、成果简介

一、主要研究内容

(1) 总体思路

本项目聚焦植物基固废潜在的资源价值及沥青路面用纤维的强大需求，围绕路用植物纤维加工装备研发、植物纤维结构与性能表征及防水、抗腐、耐热等关键技术问题，分析已有植物纤维加工装备的不足，基于仿生学 DNA 双螺旋结构特征，研制双螺旋剪切加工设备，大幅度提高植物纤维的加工质量和加工效率，突破植物基固废纤维化加工及应用的瓶颈；以路用木质素纤维为参考，全面、系统地揭示代表性植物基固废纤维的物质组成、微观形貌、化学结构及热特性，评价其沥青胶浆和沥青混合料的路用性能，探索其稳定、增韧机理，论证其作为路用增材的可行性和优势；针对植物纤维结构特征、物质组成及道路在役环境的复杂性，创造性地选用减压瓦斯油和活性白土，开展“油-土”复合螺旋造粒，大幅度提升植物基固废纤维的耐久性，形成定制化产品，为植物基固废纤维在沥青路面工程中应用打下坚实基础。同时，植物基固废纤维的应用也将大幅度降低了现有路用纤维的成本，有效破解植物基固废堆放造成的环境污染和资源浪费的难题，践行绿色、循环、低碳新发展理念，赋能农林新质生产力，助力交通强国和美丽乡村建设。

(2) 研究内容及成果

(a) 双螺旋剪切加工设备研制和制备工艺优化研究

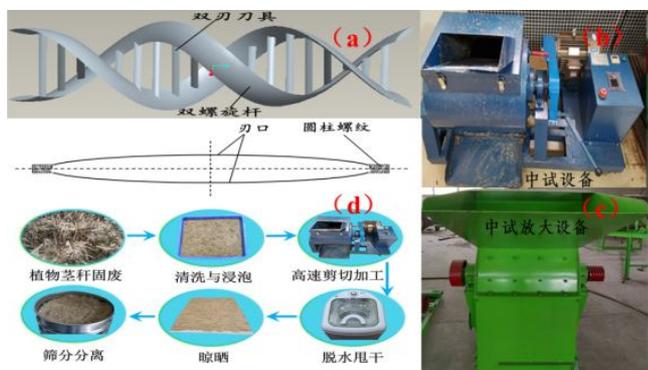


图 1 路用植物纤维加工装备与制备工艺流程

纤维的加工效率和加工质量，形成“基因刀”剪切加工技术，属于国内首创，拥有自主知识产权。在制备工艺方面，依据现行规范中沥青路面用纤维的技术要求，针对不同的植物基固废，推荐利于植物纤维加工合理的含水率、掺水量、劈分时长等关键技术参数，探索制备过程中剪切刀具结构设计及纤维加工质量的适配、设备工艺参数与纤维加工质量的适配和剪切机械动力需求与电机参数的适配，以优化设备合理的结构设计参数和运行工艺参数，通过小试、中试及中试放大试验，制备出沥青路面用植物纤维，如图 1 所示，集成设备研制和加工工艺优化成果，形成高效、经济的路用植物纤维加工成套技术。

(b) 植物基固废纤维的结构与路用性能表征

分别采用扫描电镜、红外光谱仪、热重分析仪探测代表性植物基固废纤维的微观形貌、化学结构及热特性，并研究纤维沥青胶浆的流变性质，如图 2 所示，在微米级结构层面上，棉秸秆纤维、玉米秸秆纤维和蔗渣纤维的微观结构具有相似性，纤维内部皆有微纤维丝围绕的管腔状结构，而竹纤维与木质素纤维均为实心结构；发现蔗渣纤维和木质素纤维有较高的纤维素含量，木质素纤维和竹纤维中半纤维素的相对含量低于其他三种纤维，木质素纤维的木质素含量指数明显小于其他四种纤维；因五种植物纤维化学成分相对含量的差异，蔗渣纤维、棉秸秆纤维和玉米秸秆纤维的 DTG 曲线出现了双峰结构，木质素纤维和竹纤维的 DTG 曲线表现为单峰形状；表面粗糙、中空结构的管状纤维更有利于吸附沥青，有效地提高了沥青胶浆的高温抗变形能力，表面光滑的实心结构纤维对胶浆高温流变性能的改善则更多依赖于纤维在胶

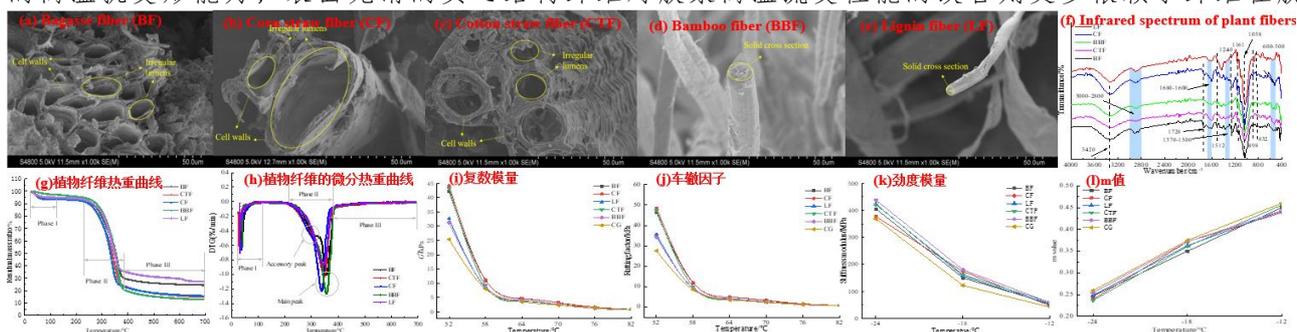


图 2 代表性植物基固废纤维的微观形貌、化学结构、热特性及其沥青胶浆流变性质

浆内部形成三维网状结构，植物纤维的掺入会略微提高沥青胶浆的低温蠕变劲度模量和降低蠕变速率。并对植物基固废纤维沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性及耐久性进行评价，彰显其对沥青混合料路用性能的改善效果，如图3所示，论证了其作为路用增材的可行性。

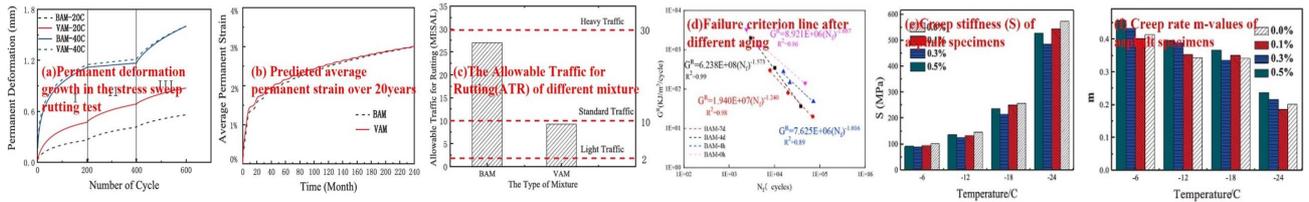


图3 代表性植物基固废纤维沥青混合料路用性能

(c) 植物基固废纤维表面强化与“油-土”复合造粒关键技术

分别采用碱、硅烷、乙酸酐对植物纤维进行表面化学处理，如图4所示，植物纤维的疏水性、吸油性及热稳定性均得到改善，降低了纤维表面分子的极性，促进了纤维与沥青的界面相容，增大界面黏附功，提高了纤维沥青胶浆及其沥青混合料的路用性能，其中碱与硅烷复合改性方案呈现出最优的改性效果；为进一步提升植物纤维的防水、抗腐、耐热性能，实现植物基固废纤维在沥青路面工程中的应用，本研究在已有植物纤维表面处理的基础上，基于纤维增强复合材料的界面理论，采用减压瓦斯油对植物纤维进行全方位预裹覆，大幅度提高纤维表面的疏水性，也隔断了外来水分进入植物纤维内部，改善其防水与抗腐性能。减压瓦斯油为石油基产品，与道路沥青具有良好的兼容性，也有利于植物纤维与沥青之间界面粘结。掺入活性白土，与减压瓦斯油充分混合接触后，较易将其中的胶质组分吸附，而对饱和烃、芳香烃组分的吸附能力较弱，这恰好实现了两大方面的功能，一方面，减压瓦斯油经活性白土脱去其中的部分胶质，极性官能团相对减少，疏水性能进一步改善；另一方面，在植物纤维表面形成一层含胶质的活性白土界面层，进一步隔绝了外界水分、氧气进入，活性白土的多微孔结构特性致使其本身也是一种天然的隔热、抗氧化剂，更有利于提高植物纤维的耐热、抗降解性能。此外，活性白土也填补了植物纤维的表面缺陷，形成的“油-土”界面层有利于纤维变形，消散应力，强化了纤维的阻裂和增韧功能。随之优化植物纤维、减压瓦斯油、活性白土的配比，采用螺旋挤出造粒设备，对植物纤维复合材料进行造粒，如图5所示，便于纤维复合颗粒的计量、分散及施工投放，为植物基固废纤维在沥青路面工程中的推广应用奠定了良好基础。

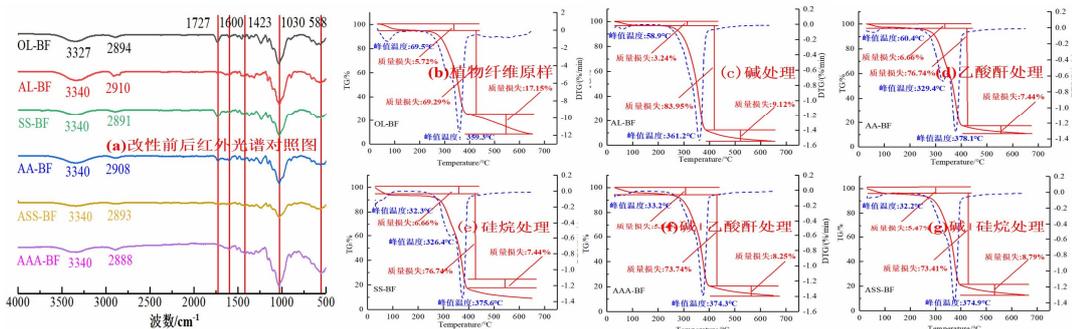


图4 代表性植物基固废纤维表面改性前后化学结构与热特性演变

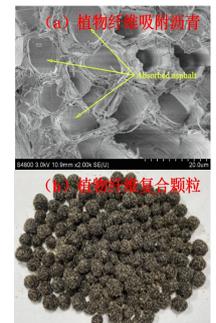


图5 植物纤维复合颗粒

二、科学价值、经济性及生态环保效益

(1) 基于仿生学原理，创造性地融合 DNA 双螺旋结构特征，设计梭形剪切刀具，解决了高速剪切刀具耐久性难题，并旋转安装，刀口可调，刀具轴线与双螺旋结构中心轴线的夹角可选，双螺旋体与双刃刀具的动平衡独立，实现剪切刀具结构与纤维加工质量的适配、设备工艺参数与纤维加工质量的适配和剪切机械动力需求与电机参数的适配，形成“基因刀”剪切加工技术，为植物基固废纤维化加工提供新装备。

(2) 首次系统地揭示代表性植物基固废纤维的物质组成、微观形貌、化学结构及热特性，探明其在沥青混合料的稳定、增韧机理，提高了沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性及耐久性，为植物基固废纤维在沥青路面工程中的应用提供重要参考。

(3) 发现活性白土对减压瓦斯油的组分具有选择性吸附功能，从而改善了“油-土”界面状态和纤维的应力传递行为，提高了纤维疏水性能，也利用活性白土的隔热、抗氧化功能，全方位提高植物纤维的耐热、抗降解性能。

(4) 植物基固废纤维制备成本约为路用木质素纤维的一半，其开发利用可大幅度降低了沥青路面用纤维的成本，以减少道路建设对合成纤维、木质纤维的依赖和木材的消耗，植物基固废的开发利用本身就是降碳行为，有利于双碳目标实现和交通强国建设，也为植物基固废开发利用提供新思路，将具有显著的经济与环保效益。

研究成果已在国际行业顶刊《Construction and Building Materials》、《Journal of Cleaner Production》和国内有影响力的期刊上发表，并得到实体工程的检验，在行业内已产生深远影响和引领作用。

三、主要知识产权（标准、规范）目录

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号(批准号)	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种沥青路面用蔗渣纤维复合颗粒及其制备方法和应用	中国	ZL202211425925.1	2023年11月14日	6488045	广西交科集团有限公司; 长安大学	李祖仲; 刘卫东; 毛浩天; 张洪刚; 黄元库; 王涵玉; 黄志鹏; 马晨杨; 陈帝可; 陈杰; 华敏
2	发明专利	一种植物纤维剪切装置、剪切方法及剪切装置的制造方法	中国	ZL201910248761.1	2023年08月15日	6232916	长安大学; 广西交科集团有限公司; 广西北部湾投资集团有限公司	李祖仲; 熊剑平; 王泽能; 庞萧萧; 周志刚; 张荣军; 邓祥明; 李活; 禚炜安; 韦港荣; 张学磊
3	发明专利	一种植物纤维的加工处理方法	中国	ZL201910248602.1	2021年07月09日	4537066	长安大学; 广西交通科学研究院有限公司; 广西北部湾投资集团有限公司	李祖仲; 何俊辉; 陈宇; 熊剑平; 庞萧萧; 黎水昌; 杨凯吕; 禚炜安; 周胜波; 华敏; 黄常聪
4	发明专利	一种沥青路面增强用蔗渣纤维的制备方法	中国	ZL201810521224.5	2021年08月13日	4615348	长安大学; 广西交通科学研究院有限公司	李祖仲; 熊剑平; 李斌; 张学磊; 姚新宇; 盛燕萍; 庞萧萧; 法春光; 宋瑞萌; 张杰
5	发明专利	一种沥青路面增强用秸秆纤维的制备方法	中国	ZL201410796157.X	2016年04月20日	2034797	长安大学	刘开平; 李刚; 温久然; 马玉薇; 孙志华; 汤骅; 李祖仲; 李洁
6	发明专利	一种竹纤维改性沥青混合料的制备方法	中国	ZL201410641666.5	2016年07月06日	2134954	长安大学	盛燕萍; 张奔; 李海滨; 青维; 孙仕伟; 殷惠卿
7	发明专利	粉碎机及包含其的粉体生产线	中国	ZL201510650003.4	2017年12月08日	2731558	陕西金禾农业科技有限公司	贺新民; 贺应奇
8	发明专利	一种改性碳纤维增强沥青路	中国	ZL201810574885.4	2021年06月08日	4472054	长安大学	李祖仲; 陈华鑫; 王英

		面抗滑材料及制备方法			日			明;熊剑平;赵泽鹏; 张学磊;法春光;余亦 晓;门昌朋;黄常聪
9	发明专利	一种沥青结合料老化试验装 置	中国	ZL201510323621.8	2017年07月07 日	2545480	长安大学	李祖仲;何锐;陈华鑫; 赵泽鹏;李立顶;李文 凯;邢明亮;华敏;郑 睢宁;关羽

四、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	发表时间	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	作者	通讯作者(含共同作者)	第一作者(含共同作者)	国内作者 (中文名)	他引总次数	检索数据库	参与人(成果完成人)	知识产权是否归国内所有
1	Investigation on the characteristics and effect of plant fibers on the properties of asphalt binders	Construction and Building Materials	2022年05月12日	2022年338卷	Zuzhong Li, Kai Li, Weixi Chen, Weidong Liu, Yanping Yin, Peiliang Cong	Zuzhong Li	Zuzhong Li	李祖仲; 李凯; 陈唯希; 刘卫东; 尹艳平; 丛培良	26	SCI	李祖仲; 李凯; 陈唯希; 刘卫东; 尹艳平; 丛培良	是
2	Investigation on characteristics and properties of bagasse fibers: Performances of asphalt mixtures with bagasse fibers	Construction and Building Materials	2020年07月10日	2020年248卷	Zuzhong Li, Xuelei Zhang, Chunguang Fa, Yayun Zhang, Jianping Xiong, Huaxin Chen	Xuelei Zhang	Zuzhong Li	李祖仲; 张学磊; 法春光; 张亚云; 熊剑平; 陈华鑫	40	SCI	李祖仲; 张学磊; 法春光; 张亚云; 熊剑平; 陈华鑫	是
3	Effects of bamboo fiber on the mechanical properties of asphalt mixtures	Construction	2021年6月28日	2021年289卷	Haichuan Jia, Yanping	Yanping Sheng	Jia Haichuan	贾海川; 盛燕萍; 吕红莉; 赵晓睿;	41	SCI	贾海川, 盛燕萍, 吕红莉, Y. Richard Kim, 赵	是

		n and Build ding Mat erial s			Sheng*,H ongli Lv,Y.Rich ard Kim,Xiaor ui Zhao,Jian dang Meng,Rui Xiong			孟建党; 熊 锐			晓睿, 孟建党, 熊锐	
4	Effect of laboratory aging on the stiffness and fatigue cracking of asphalt mixture containing bamboo fiber	Jour nal of Cle aner Pro duct ion	2022年6月 20日	2022年 333卷	Haichuan Jia, Huaxin Chen, Yanping Sheng*, Jiandang Meng, Shian Cui, Kim Y. Richard, Shouchao Huang, Hao Qin	Yanping Sheng	Jia Haichuan	贾海川; 陈 华鑫; 盛燕 萍; 孟建党; 崔适安; 黄 守超; 秦昊	35	SCI	贾海川, 陈华 鑫, 盛燕萍, 孟 建党, 崔适安, Kim Y. Richard, 黄守超, 秦昊	是
5	Effect of the fiber surface treatment on the mechanical performance of bamboo fiber modified asphalt binder	Con stru ctio n and Buil ding	2022年9月 12日	2022年 347卷	Shian Cui, Yanping Sheng*, Zhibin Wang, Haichuan Jia, Wenli	Yanping Sheng	Shian Cui	崔适安; 盛 燕萍; 王志 斌; 贾海川; 邱文利; 许 宗印	29	SCI	崔适安, 盛燕 萍, 王志斌, 贾 海川, 邱文利, Ahmed Abdulakeem Temitope, 许宗 印	是

		Materials			Qiu, Ahmed Abdulakeem Temitope, Zhongyin Xu							
6	Investigation of Cotton Straw Fibers for Asphalt Mixtures	Journal of Materials in Civil Engineering	2020年05月1日	2020年32卷	Jingyi Liu, Zuzhong Li, Huaxin Chen, Bowen Guan, Kaiping Liu	Jingyi Liu	Jingyi Liu	刘竞怡; 李祖仲; 陈华鑫; 关博文; 刘开平	18	SCI	刘竞怡; 李祖仲; 陈华鑫; 关博文; 刘开平	是
7	植物茎秆纤维结构及其沥青胶浆流变特性	材料科学与工程学报	2024年02月20日	2024年42(01)	李祖仲; 熊乔扬; 刘卫东; 曾金海; 马晨杨; 杨佳桦	刘卫东	李祖仲	李祖仲; 熊乔扬; 刘卫东; 曾金海; 马晨杨; 杨佳桦	1	北大中文核心	李祖仲; 熊乔扬; 刘卫东; 曾金海; 马晨杨; 杨佳桦	是
8	蔗渣纤维表面改性及其沥青混合料路用性能	吉林大学学报	2024年6月	2024年54(06)	李祖仲; 李梦园; 刘卫东; 庞萧萧; 唐豪; 张	刘卫东	李祖仲	李祖仲; 李梦园; 刘卫东; 庞萧萧; 唐豪; 张学磊; 马晨杨	/	EI	李祖仲; 李梦园; 刘卫东; 庞萧萧; 唐豪; 张学磊; 马晨杨	是

		报 (工 学 版)			学磊; 马 晨杨								
--	--	--------------------	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--

五、完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作关系人及排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	专利合作	李祖仲, 刘卫东, 张洪刚/1, 2, 9	2022.11-2023.11	合作发明专利 1	完成人合作关系情况.pdf
2	专利合作	李祖仲, 温久然/1, 3	2015.10-2017.12	合作发明专利 5	完成人合作关系情况.pdf
3	专利合作	李祖仲, 熊剑平/1, 6	2018.06-2023.08	合作发明专利 2, 3 和 8	完成人合作关系情况.pdf
4	专利合作	盛燕萍/5	2016.5-2021.8	发明专利 6	完成人合作关系情况.pdf
5	专利合作	李祖仲, 盛燕萍, 熊剑平/1, 5, 6	2016.5-2021.8	合作发明专利 4	完成人合作关系情况.pdf
6	专利合作	贺新民/7	2015.10-2017.12	发明专利 7	完成人合作关系情况.pdf
7	论文合著	李祖仲, 刘卫东/1, 2	2022.05-2024.06	共同发表代表性论文 1, 7 和 8	完成人合作关系情况.pdf
8	论文合著	李祖仲, 刘竞怡/1, 4	2019.05-2020.05	共同发表代表性论文 6	完成人合作关系情况.pdf
9	论文合著	盛燕萍/5	2021.06-2022.09	发表代表性论文 3, 4 和 5	完成人合作关系情况.pdf
10	论文合著	李祖仲, 熊剑平/1, 6	2019.06-2020.07	共同发表代表性论文 2	完成人合作关系情况.pdf