

项目合同编号：25-71K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究

承担单位：陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

项目负责人：田黎明

通讯邮编、地址：西安市蓝田县蓝关街道大寨村

传真、电话：029-68036333

起止年限：2026 年 3 月至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

项目合同编号：25-71K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究

承担单位：陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

项目负责人：田黎明

通讯邮编、地址：西安市蓝田县蓝关街道大寨村

传真、电话：029-68036333

起止年限：2026 年 3 月至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

一、项目主要研究内容

1. 主要研究内容

(1) 项目基础研究

①生物质材料制备工艺及理化性能分析。

②生物质防滑融雪材料主要成分分析及防滑机理研究。

(2) 项目核心材料研发

①基于 Box-Behnken 响应曲面法的生物质防滑融雪材料配方研究。

②生物质防滑融雪材料性能技术标准研究。

(3) 项目配套装备开发。生物质防滑融雪材料撒布设备研究。

(4) 项目应用延伸。

①生物质防滑融雪材料应用技术标准研究。

②生物质防滑融雪材料的回收利用、环境影响与土壤改良研究。

(5) 综合评估。生物质防滑融雪材料产业化可行性及经济、环保、社会效益分析。

2. 技术关键

(1) 多源固废基体与防滑/缓释功能组分的协同设计与稳定复合技术。以成分复杂、性质多变的城镇生活污水污泥好氧发酵产物为主要基体，通过科学的配方设计与工艺，使其不仅具备优良的物理结构，还能通过负载或复合特定环保型融雪组分，在低温冰雪环境中实现可控、持续的融冰作用。

(2) 适配复杂路况的小型化智能撒布设备研发。针对拥堵路况

作业需求，突破传统撒布设备体积大、无法穿透车流的技术限制，研发小型化、自动化撒布设备。

（3）防滑-融雪协同机理与环保性能平衡技术。明确生物质材料“物理防滑+化学融雪”的协同作用机理，解决两者作用效率匹配问题；同时突破“高效性能与环保安全”的平衡难点。

3. 依托工程（依托工作）

依托蓝商分公司冬季除雪防滑工程，将在蓝商高速公路及 G312 蓝小段开展试点工作。蓝商高速公路及 G312 蓝小段穿越秦岭山脉，线路指标差，冬季雨雪天气受山区低温小气候影响致使车辆爬坡受阻、打滑“趴窝”频发，易造成道路拥堵，容易导致公路被动封闭。2023~2024 除雪季，融雪剂用量 2000 多吨。

陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司主要负责 G70 福银高速蓝田至商洛段 64.455km、S4011 沪陕高速麻池河联络线 27.375km 和 G312 蓝田至商洛段 48.5km 二级公路的通行费征收及安全路产、治超、养护、隧道管理等工作。蓝商分公司共有蓝田、商州西、蓝小 3 个路产养护中心、7 个收费站、2 个隧道管理站，公路管理经验丰富，对于本课题的应用场景状况了解透彻，通过公路管理工作充分挖掘了本课题的应用需求，并在前期做了大量的科研基础工作，为本课题的开展提供了良好的基础支撑条件。

二、考核指标

1.预期目标

- (1) 研发出系列生物质防滑融雪材料；
- (2) 开发出生物质防滑融雪材料撒布设备；
- (3) 编制《生物质防滑融雪材料应用技术指南》；
- (4) 生物质防滑融雪材料在道路工程中进行推广应用。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

- (1) 冰雪路面的摩擦系数 BPN 提升至 40 以上。
- (2) 大雪、冻雨情况下，除雪保畅成本降低 30%以上。

3.经济和社会效益

(1) 提升安全保畅，社会效益明显。近年来，全球极端天气事件增多，冷空气活动强烈，冬季持续降雪频繁，除雪保畅及融雪防滑任务加剧，对应急除雪保障及雪天安全防滑的需求大幅度增加，应用场景众多，推广空间极大。

(2) 符合环保政策，环保效益明显。成果符合国家发改委、生态环境部、住建部相关政策，可为生物污泥发酵材料的多功能应用的应用发掘市场，从交通运输层面解决了政府管理的污泥管理处治难题，从购买者层面激发生物污泥的产业链活力。生物质防滑融雪材料不会对周边混凝土和植物造成危害，环保效益明显。

(3) 促进提质增效，经济效益明显。一是原材料成本为“负成本”的生活污泥及公路绿植修剪废弃料、农业秸秆等，材料易得，价格优势高；二是加工工艺依托市面上的通用设备，生产成本低，

成果产业化路径明确，经济效益显著，市场潜力巨大；三是技术采用的施工设备小型简便，适用于不同等级公路的管理部门使用；四是道路生物质防滑融雪料循环应用的技术可进一步降低了材料全寿命周期成本，成本优势显著。

4.成果提供形式

（1）《环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究》项目研究报告；

（2）研发出系列生物质防滑融雪产品；

（3）开发出生物质防滑融雪材料撒布设备；

（4）编制《生物质防滑融雪材料应用技术指南》；

（5）生物质防滑融雪材料在道路工程中进行推广应用；

（6）申请国家专利 2 件，发表核心期刊及以上论文 2 篇。

5.其他考核指标

（1）开展相关的宣传报道；

（1）开展相关的技术交流。

三、项目年度计划内容及考核目标

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
2026	1.开展材料配方筛选与融雪抑冰机理基础研究； 2.结合高速公路冬季养护需求，明确应用场景、技术指标及设备功能； 3.完成实验室成果达标后转入中试生产； 4.开展专用撒布回收装备的工程化设计。
2027	1.依托蓝商分公司等运营单位选定典型示范路段，完成现场勘察、施工方案制定及安全评估，实现向工程样机和应用方案快速转化； 2.在冬季作业窗口期开展实地撒布、回收及抗滑效果监测，采集环境、效率、成本等工程数据； 3.根据现场反馈动态优化材料配比、设备参数或操作规程，形成“试验—反馈—改进”闭环； 4.完成工程数据汇总与成果固化。
2028	基于完整科研数据与工程验证结果，同步编制研究报告与技术指南，推动成果纳入养护技术体系，为后续规模化应用奠定技术和管理基础。

四、项目经费

项目总经费：80 万元

交通运输厅补助：19.95 万元

自筹资金：60.05 万元

经费支出预算表

科 目	总经费 (单位：万元)	厅补经费 (单位：万元)
(一) 直接费用	72.5	19.95
1. 设备费	9	3
(1) 购置设备费	0	0
(2) 试制设备费	3	3
(3) 设备改造与租赁费	6	0
2. 业务费	55	15.95
(4) 材料支出	26	8
(5) 测试化验实验加工支出	12.5	5
(6) 燃料及动力支出	4.5	0
(7) 差旅支出	2.5	0.95
(8) 会议支出	2	1
(9) 国际合作与交流支出	0	0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	2	0
(11) 其他支出	3	0
3. 劳务费	8.5	1
(12) 劳务性支出	4.5	0
(13) 咨询专家支出	4	1
(二) 间接费用	7.5	0
4. 管理费	3	0
5. 绩效支出	4.5	0
合 计	80	19.95

五、项目绩效目标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1.专利授权数（项）	2
		（1）授权发明专利	0
		（2）实用新型	2
		（3）外观设计	0
		2.软件著作权授权数（项）	0
		3.发表论文（篇）	2
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其他	2
		4.著作（部）	0
		5.制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	0
		（5）企业标准	0
		（6）科技报告	1
	其他成果	1.填补技术空白数	0
		（1）国际	0
		（2）国家	0
		（3）省级	0
		2.获奖项数	
		（1）国家奖项	0
		（2）部、省奖项	0
		（3）地市级奖项	0
		3.其他科技成果产出	3
		（1）新工艺（或新方法模式）	0
		（2）新产品（含农业新品种）	1
		（3）新材料	1
		（4）新装备（装置）	1
		（5）平台/基地/示范点	0
		（6）中试线	0
		（7）生产线	0

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4. 研究开发情况	2
		(1) 小试	是
		(2) 中试（样品样机）	否
		(3) 小批量	是
		(4) 规模化生产	否
	人才引育	1. 引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		2. 培养高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	0
		4. 是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1. 开放共享仪器设备数（台/套/只等）	0
		2. 科研仪器设备利用率（%）	0
		3. 孵化科技型企业（个）	0
		4. 转化科技成果（个）	0
效果类指标	经济效益	1. 新增产值（万元）	0
		2. 新增销售（万元）	0
		3. 新增出口创汇（万美元）	0
		4. 新增利润（万元）	0
	社会效益	1. 新增税收（万元）	0
		2. 新增就业人数	0
		3. 就业培训（人次）	0
		4. 带动农民增收（万元）	0
		5. 培训和指导科技服务（人次）	0
		6. 新增产业带动情况	0
		7. 技术集成示范（项）	0
		8. 建立示范基地（亩数）	0
		9. 节约资源能源	0
		10. 环保效益	0
其他需要说明的情况	无		

六、承担单位或研究人员分工

本项目由陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司牵头，联合西安公路研究院有限公司、西安华泽道路材料有限公司共同承担。各单位依据其专业优势与资源情况，分工协作，具体承担的主要工作如下：

1.陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

（1）总体协调与项目管理：负责项目的全面组织、协调与日常管理，确保研究计划顺利实施。

（2）需求提出与工程依托：基于所辖蓝商高速公路及 G312 蓝小段冬季除雪防滑保通的实际难题与迫切需求，提供明确的技术需求与应用场景。负责提供并管理项目研究的核心依托工程，确定试验路段，协调现场试验的交通组织与安全保障。

（3）现场试验与效果评估：组织并实施生物质防滑融雪材料的现场撒布、回收等工程验证试验；负责收集、记录试验段的交通运行、车辆脱困、事故率变化等第一手数据，对材料及设备的实际应用效果进行初步评估与反馈。

（4）应用标准与指南验证：参与《生物质防滑融雪材料应用技术指南》的编制工作，并结合自身养护管理经验，对指南的实用性、可操作性进行验证和提出修改建议。

（5）部分经费配套与资源保障：落实项目自筹经费，并提供必要的现场作业人员、设备及后勤支持。

2.西安公路研究院有限公司

（1）理论与关键技术攻关：负责项目总体技术方案设计、机理

研究和技术路线制定。牵头开展生物质材料防滑融雪机理、多目标配方优化、性能衰减与失效机理等核心理论研究。

（2）材料配方与工艺研发：主导生物质基材的制备工艺优化、环保型功能组分筛选、复合材料的配方设计与性能调控实验室研究。

（3）技术标准研究与编制：负责牵头起草《生物质防滑融雪材料应用技术指南》，建立测试评价方法。

（4）循环再生技术研究：主导材料技术路线的研究与参数优化，确保性能指标达成。

（5）学术成果产出：负责项目研究报告的核心章节撰写，组织发表高水平学术论文，牵头申报专利。

3.西安华泽道路材料有限公司

（1）材料中试与产业化转化：负责实验室优化配方的小批量试制、中试生产，解决规模化生产中的工艺稳定性、质量控制等问题。

（2）专用装备研制与试制：根据项目组设计要求，具体承担小型化撒布设备的详细设计、样机试制、调试与改进工作。

（3）室内试验与性能测试：利用公司现有实验平台，承担材料常规性能测试、耐久性试验、环保性检测等室内试验任务。

（4）产品成本与市场分析：负责进行产品的成本核算，分析产业化可行性，参与经济效益评估，并调研潜在市场前景。

七、项目参加人员表

项目承担单位：陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司						
参与单位（排序）：西安公路研究院有限公司、西安华泽道路材料有限公司						
项目负责人						
序号	姓名	出生年月	工作单位	职称/职务	专业	在项目中担任具体工作
1	田黎明	1969.10	陕西交控集团蓝商分公司	正高	地下工程与隧道	项目负责人
主要研究人员						
2	李 彧	1973.08	陕西交控集团蓝商分公司	高工	林业	技术负责人
3	弥海晨	1971.04	西安公路研究院有限公司	正高	道路工程	分项负责人
4	邹珣洋	1985.12	陕西交控集团蓝商分公司	高工	道路与桥梁	技术研究
5	张睿轩	2000.07	长安大学	助理工程师	交通运输规划与管理	综合协调
6	向 豪	1984.08	西安公路研究院有限公司	正高	道路工程	材料研发
7	张 超	1982.08	陕西交控集团蓝商分公司	高工	桥梁工程	工程落实

8	杨晨光	1993.11	西安公路研究院有限公司	高工	道路工程	技术研究	杨晨光
9	冯博	1991.04	陕西交控集团运营管理分公司	工程师	交通运输工程	工程落实	冯博
10	王立志	1984.07	陕西交控集团蓝商分公司	高工	道路与桥梁	工程实施	王立志
11	翟一潼	1997.07	西安公路研究院有限公司	助工	材料工程	材料研发	翟一潼
12	徐鹏	1984.02	西安华泽道路材料有限公司	正高	道路工程	材料研发	徐鹏
13	陈晨	1982.07	陕西交控集团蓝商分公司	高工	道路与桥梁	工程实施	陈晨
14	马庆伟	1984.03	西安公路研究院有限公司	正高	道路工程	材料研发	马庆伟
15	田青竹	2002.11	西安交通大学	研究生	环境工程	室内试验	田青竹
16	郭彦强	1987.03	西安华泽道路材料有限公司	正高	道路工程	室内试验	郭彦强
17	李琰	1984.03	陕西交控集团蓝商分公司	工程师	道路桥梁与渡河工程	工程实施	李琰
18	弓锐	1982.03	西安华泽道路材料有限公司	正高工	材料工程	室内试验	弓锐
19	李宏晓	1973.06	陕西路桥集团公司	高工	机械电子工程	工程实施	李宏晓

20	杨 扬	1985.01	陕西环保集团商州生物科 技有限公司	高工	化学工程	污泥的化学成分 分析	杨 扬
----	-----	---------	----------------------	----	------	---------------	-----

八、信息表

项目合同编号		25-71K		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部		
项目名称		环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究								
项目实施所在地		西安		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月				
总 经 费		80		厅 拨		19.95				
第一承担单位	单位名称		陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司							
	所在地		陕西省西安市				代码			
	通讯地址		西安市蓝田县蓝关街道大寨村				邮编			
	单位性质		(3) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他				代码			
参与单位	序号		单 位 名 称							
	1		西安公路研究院有限公司							
	2		西安华泽道路材料有限公司							
	3									
项目负责人		姓 名		田黎明		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份		1969
		学 历		(2) 1.研究生 2.大学 3.大专 4.中专 5.其他						
		职 称		(1) 1.高级 2.中级 3.初级 4.其他						
		联系电话		13509158026		电子邮箱		631394745@qq.com		
项目联系人		姓名		邹响洋		性别		男		
		联系电话		18691879878		电子邮箱		631394745@qq.com		
项目组人数		20	高级	15	中级	2	初级	2	其他	1
主要研究内容 (100 字以内)		针对冬季道路冰雪灾害与污泥资源化需求,提出“防滑保通行”理念,研发以污泥好氧发酵制品为原料的环保型生物质防滑融雪材料及撒布技术。提升冬季冰雪路面摩擦系数、降低保畅成本。								
成果属性		A、C、F	A: 新技术 B: 新工艺 C: 新材料 D: 新产品 E: 软科学 F: 装备 G: 其他							
成果形式		A、B、C、E	A: 专著、论文 B: 样机、样品 C: 试验工程、产品 D: 示范工程 E: 产品 F: 其他							

九、共同条款

合同各方应共同遵守《陕西省交通运输厅科研项目管理办法》。

1.合同执行过程中，乙方如需修改合同某项条款，应向甲方提出变更内容及理由的申请报告，经甲方审核同意后实施。未接到正式批准以前，双方仍须按原合同条款履行，否则后果由自行修改条款的一方负责。

2.乙方因任何主观或客观原因（如：与大纲评审内容有出入，挪用经费、技术措施或某种条件不落实等）致使计划无法执行而要求解除合同的，需取得甲方书面同意且应视不同情况，部分或全部退还所拨经费；出现上述情况的，甲方有权单方解除本合同且视不同情况要求乙方部分或全部退还所拨经费。

3.乙方的厅补助经费及自筹经费应按国省有关科研经费使用范围开支。

4.项目执行过程中，甲方提出变更合同有关内容时，要与乙方协商达成书面协议。

5.项目完成后，乙方必须按要求向甲方提交一套真实、完整、详细的技术资料及样机，并提出项目验收申请报告，由甲方审查后组织验收。

6.合同正本一式叁份，甲方单位伍份，承担单位伍份。

7.本合同经双方签章后生效，规定内容执行完毕后自然失效。

十、合同签约各方

合同甲方：

陕西省交通运输厅

负责人：（签字）

李涛

2020年3月27日

联系人：（签字）

张喆

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：（承担单位）

单位负责人：（签字）

田永红

2020年3月27日

项目负责人：（签字）

田永红

（公章）

电 话：

18691879878

财务负责人：（签字）

魏忠强

账 户 名：陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

开户银行：建行蓝田县支行

账 号：61050170530500001923

陕西交通科技项目科研诚信 承诺书

本单位承诺在科研项目实施过程中，遵守科学道德和科研诚信要求，严格执行《陕西省交通运输厅科研项目管理办
法》的规定和科技项目合同书约定，保证所提交材料的真实
性，确保专款专用。如违背以上承诺，愿意承担相关责任，
并同意主管部门将相关失信信息记入公共信用信息系统。



项目承担单位：(盖章)

项目负责人

年 月 日

项目编号：25-71K

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：环保型生物质防滑融雪材料研发及
其循环利用研究

申请单位：（盖章）陕西交通控股集团有限公司
蓝商分公司

联系人：邹珣洋

电话：18691879878

陕西省交通运输厅制

2026年1月

目 录

一、项目研究的背景和必要性	1
1.1 项目背景.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 项目概括.....	4
1.4 市场需求前景或推广应用领域.....	4
1.5 达到的技术水平及在国民经济发展中的作用.....	5
二、前期科研及工作基础	5
2.1 国内外研究现状分析.....	5
2.2.1 融雪材料研究现状.....	5
2.2.2 污泥处治发展现状.....	6
2.2.3 研究现状分析.....	7
2.2 项目前期科研及现有工作条件.....	8
2.2.1 项目的支撑条件.....	8
2.2.2 工作基础.....	9
2.2.3 现有的试验手段.....	12
2.2.4 研究人员情况及协作条件.....	13
三、实施方案	13
3.1 拟解决的关键问题.....	13
3.2 主要研究内容及实施方案.....	13
3.2.1 主要研究内容及实施方案.....	13
3.2.2 技术路线.....	15
3.3 后续技术改造或基本建设计划的衔接.....	18
3.4 有关技术经济指标.....	18
四、项目承担单位及参加单位概况	18
4.1 单位概况.....	18
4.1.1 陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司.....	18
4.1.2 西安公路研究院有限公司.....	19

4.1.3 西安华泽道路材料有限公司.....	19
4.2 技术力量及人员构成.....	19
4.3 各自承担的主要工作.....	20
4.4 项目主要负责人情况.....	22
五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	22
5.1 依托工程概况.....	22
5.2 投资来源.....	23
5.3 工程进度与项目科研进度的配合.....	23
5.4 组织管理形式.....	24
六、项目经费估算及资金筹措情况	24
七、项目绩效指标	25
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益	27
8.1 项目预期目标.....	27
8.2 提交的研究成果及其形式.....	27
8.3 经济、社会、环境效益分析.....	28
九、其它需要说明的问题	28
十、申请单位意见	28

一、项目研究的背景和必要性

1.1 项目背景

近年来，我国寒潮频次增加，持续冰雪恶劣天气与影响区域广泛，冬季大风雪、冻雨天气对道路能行和交通安全的危害显著，《交通运输安全应急标准体系（2022 年）》、《道路车辆清障救援操作规范》等强调了特殊天气下保通行的重要性。然而传统的除雪保通技术（如撒布融雪剂、机械除雪）等无法满足暴风雪、冻雨天气的快速保畅需求。主要表现为：

1.上坡路段货车“趴窝”、遇冻雨或交通事故易导致交通瘫痪

以“2024 年初暴雪冻雨致大广高速湖北段交通瘫痪”为例，被困车辆长达数百公里，拥堵持续三天两夜，临时关闭高速路段约 30 余条，湖南以及河南、陕西高速封闭情况也不容乐观。其中，拥堵源头为上坡段两台重型货车占据两条车道，冻雨落地即结冰，车胎遇冰打滑失效，上坡交通流停止通行，导致后车交通瘫痪。因此，急需开展应对冻雨天气的防滑保通行技术研究。



图 1.冰雪天气上坡段货车停止通行

2.现有的除雪保畅体系无法实现紧急天气下的交通通行快速恢复

现有除雪保畅体系主要由“撒布融雪剂”、“主动融冰雪路面”及“大型除雪设备”等组成，旨在通过清洁路面的方式实现雪天道路保通行。然而，现有除雪保畅存在问题如下：①撒布融雪剂、机械除雪可彻底去除积雪，露出黑色路面保证交通能行，但无法解决持续风雪天气，或者冻雨十分钟内的路面结冰等特殊状况的通行问题，即除冰、除雪速度赶不上降雪、结冰速度的问题。②交通拥堵之后，除雪机械设备被堵在后方，无法进入交通全段实施除雪作业。③道路结冰

后需除雪，为快速保畅需撒布融雪剂且机械清除才能快速恢复通行，费时费力，影响路域生态。在“湖北大雪致高速瘫痪”这种情况下，公路已经变成停车场，除雪机械设备也被困在车流之中动弹不得，即使用飞机发动机热风吹雪融雪也无法实施。鉴于此，**急需对持续冰雪天气下的应急抢通进行研究，解决“现有除雪保障体系的目标是消除所有冰雪覆盖物”和“消除所有冰雪覆盖物效率低、导致交通保通行效率极低”之间的矛盾。**

3.污泥处理资源化利用用于除雪保畅，环保、降本

污泥不但是污水处理中的“世界难题”，也是我国生态环保与土地资源保护面临的重大问题。我国污泥产量庞大，2022 年污泥年产量为 7288.3 万吨，预计到 2025 年年产量超过 9000 万吨。截止目前，我国普遍存在“重污水轻污泥”的思路瓶颈，全国新增污水处理及相关投资中污泥处置设施投资仅占 5%左右，高达 70%的污泥未得到妥善处置。故鉴于此，《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南》等法律法规旨在加快污泥乱排违法现象的整治，对污泥管理趋严。然而，我省环保督查仍显示污泥问题急待整改。存在大量污泥产品无销售用途、大量堆积，甚至存在污泥去向不明、违规弃置的现象，**急需从应用销售渠道方面开展污泥处治产品应用技术研究，为污泥的无害化、减量化、资源化应用寻求可持续的推广场景。**

此外，高速公路日常养护产生大量的植物修剪废弃物（枝叶、杂草等），传统的填埋或堆放处理不仅占用土地，也存在环境风险。本项目创新性地将这些植物废弃物作为污泥好氧发酵的调理剂，实现“以废治废”的协同处置。而且，本项目将引入“储盐植物”的创新理念。为解决融雪剂残留盐分对路域生态环境的长期影响，项目计划筛选并引入具有一定耐盐性的特殊植物（储盐植物）。这些植物能够在生长过程中吸收并富集土壤中因融雪材料带来的盐分。在特定生长周期进行收割，即可将盐分从路域生态系统中永久移除。这一“种植-吸收-收割-移除”的闭环过程，实现了对盐分的主动管理和生物回收，将材料的环保属性提升到了全新的高度。

以西安市的污水处理厂为例（如图 2 所示），污水厂普遍毗邻绕城高速与外环高速，例如西安市污水处理四厂距绕城高速公路汉城高架桥下仅隔了一条马

路。基于公路交通运输设施毗邻污泥处治产品生产终端的特性，在桥下空间就近生产，就地存储，就近使用，技术具有可行性，急需进一步从综合使用成本层面，开展污泥处治在公路交通领域的应用技术研究。

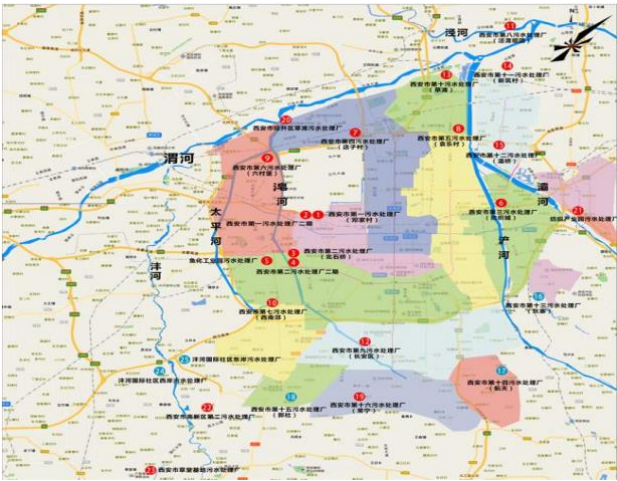


图 2.西安市污水厂分布图

4.项目前期研究基础丰硕，高度符合交控中长期规划的固废产业方向

西公院科创中心研究团队依托陕西交控西安公路研究院高效固废再生利用院士工作站、西安公路研究院有限公司博士后创新基地、西安市交通先进功能材料研究中心等多项省部级科研平台，先后承担了“液态高效环保型融雪剂研究与应用（19-26k）”、“高速公路除雪保畅应急反应及处置研究”（19-14k）等省级重点研发项目，历经多次产品迭代，开发了 EF 液态环保型融雪剂、EM 固体环保型融雪剂系列产品；上述道路融雪产品含有碳钢缓蚀剂和混凝保护剂，从源头上解决了传统融雪剂对道路和桥梁的腐蚀问题；融雪剂系列产品内含植物营养成分，可促进道路附属绿色植物成长，消除传统融雪剂对道路附属生态环境的损伤。自 2018 年至今，EF 液态环保型融雪剂、EM 固体环保型融雪剂系列产品在国内外销售近 20000 吨，获多家业主单位一致好评。

该项目为养护工作中急需解决的难题，研发新材料、新设备，可以实现多源固废再生利用，符合交控集团“5-5-3”现代产业体系建设中创新链的公路养护产业、高端新材料研发与应用产业链中融雪产品产业、节能环保工程与服务产业链中固废利用产业。

1.2 研究目的

本项目以污泥发酵料为原材料，旨在通过防滑融雪功能性研究，研发一种兼

具“防滑与融雪功能、即撒即用见效快、可机械快速撒布、柔性材料不伤车漆”的环保型生物质防滑融雪材料；开发一种体积小、自动抛撒的防滑融雪料施工设备，实现防滑融雪料快速撒布；根据使用场景的不同，加工生产多种类型的生物质防滑融雪材料，研究多种新材料的高效使用方式及标准。

1.3 项目概括

本项目旨在针对冬季道路冰雪灾害应急保通与污泥资源化利用的迫切需求，创新提出“防滑保通行”理念，研发以污泥好氧发酵制品为核心原料的低成本、环保型生物质防滑融雪材料，并配套开发其撒布技术；项目通过系统开展材料制备、机理研究、配方优化、标准制定、及设备研制等关键内容研究，计划实现研发出系列产品、开发专用设备、编制技术指南、生物质防滑融雪材料的工程应用、显著提升冰雪路面摩擦系数并降低保畅成本的具体目标，最终形成专利、论文及地方标准等成果，以期在提升道路安全应急能力的同时，为“污泥围城”困境提供规模化、可持续的解决方案，实现环保、经济与社会效益的统一。

1.4 市场需求前景或推广应用领域

该项目研发的环保型生物质防滑融雪材料及循环利用技术，推广应用领域广泛且市场需求前景广阔。

在市场需求前景方面，一方面，全球极端雨雪天气频发，我国北方高寒地区、南方冻雨多发区域的交通除雪防滑应急需求持续攀升，传统融雪剂污染路域生态、腐蚀设施、成本高企的痛点长期存在，而该材料兼具“即撒即通行”的高效性、可循环利用的经济性、无毒环保的生态性，且配套撒布设备适配拥堵路况作业，能精准匹配交通养护、市政环卫等行业的核心诉求；另一方面，国家大力推进污泥“无害化、资源化、减量化”处置，各地面临“污泥围城”的治理压力，该技术为污泥资源化提供了可持续的规模化应用场景，契合环保政策导向，易获得政府层面的推广支持；此外，产品原材料（污泥、农业秸秆、绿植修剪废弃物）来源广泛且成本低廉，产业化路径清晰，结合编制的应用技术指南与申报的地方标准，可快速实现标准化推广，不仅能满足国内交通与环保领域的刚性需求，还可向寒冷地区的国际市场拓展，市场潜力巨大。

在应用领域上，核心可覆盖高速公路（尤其山区、高寒地区易结冰爬坡路段、隧道出入口等关键节点，如秦岭山脉沿线高速）、国省干线公路、城市道路（含

桥梁、高架、人行天桥等易积雪结冰区域），同时可拓展至机场跑道、港口码头露天作业区、景区道路、乡村公路等对冬季通行安全有需求的场景，还能适配市政环卫、交通养护、机场运维、景区管理等多类单位的除雪防滑工作。

1.5 达到的技术水平及在国民经济发展中的作用

本项目将实现国际先进的环保型生物质防滑融雪材料技术水平，通过创新性地利用污泥发酵制备生物基材料，攻克传统融雪剂效率低、成本高、一次性使用等瓶颈，成功实现冰雪路面摩擦系数 BPN 提升至 40 以上、除雪保畅成本降低 30% 以上等关键指标，填补了国内生物质防滑融雪技术空白；在国民经济发展中，该技术将有效破解“污泥围城”固废处理难题，推动环保产业与公路养护产业深度融合，创造“负成本”原材料新路径，显著降低道路养护经济负担，提升冰雪天气道路安全通行能力以减少交通事故，同时为绿色循环经济提供示范，支撑“双碳”目标实现和高质量发展，助力国家生态文明建设和交通强国战略实施。

二、前期科研及工作基础

2.1 国内外研究现状分析

2.2.1 融雪材料研究现状

1. 化学融雪材料

化学融雪剂是当前应用最广泛的一种除雪技术。它主要是运用融雪物质溶于水后可使溶液冰点下降的原理^[1-2]。目前使用的融雪剂大致可分为三类：第一类是氯盐型，主要包括氯化钠、氯化钙、氯化镁等；第二类是非氯盐型，主要包括钙镁乙酸盐、乙酸钾等无机盐、有机酸盐或醇类物质；第三类是混合型，如氯盐+非氯盐等^[3-5]。

氯盐型融雪剂成本低，融雪速率快，融雪效果好。但氯盐融雪剂中的氯离子对环境有较大的影响，若氯盐融雪剂撒布量过大，则对混凝土、道路设施及植被有一定的负面作用^[3]。非氯盐型融雪剂对环境影响小，不损坏金属和道路设施，是一种环保性优良的融雪剂。但这类型的融雪剂价格偏高，难以大规模应用^[6-10]。

2. 物理防滑材料

路面附着系数是评价路面性能的主要参数之一。在冰、雪、雨天气中，路面附着能力大大降低。对车辆行驶的动力性及安全性极为不利^[11-13]。

物理防滑是在降雪后于路面抛撒一定量的防滑材料，目前常用为高密度和高

硬度的材料，这些材料固结在路面冰雪表层，在一定时间内提高轮胎和路面之间的摩擦力，以减轻冰雪影响。如砂、石屑、矿渣，炉灰渣等^[14]。其中炉灰渣的成本较低，而且能通过吸收太阳能量从而促进雪层的融化，但其中含有多种污染成份，粉尘含量高（不得超过 3%），污染路面和材料易碎，因此在高速公路上应用较少。使用砂作为防滑材料要求为中粗砂，为了增加摩擦系数材料直径必须大于 5mm，同时为了减小弹起的颗粒对汽车挡风玻璃的危害，材料的直径应小于 1cm，具有成本高，采购难等特点，在高速公路上使用较少。

使用砂、石屑、矿渣，炉灰渣等物理防滑材料，只能人工撒布，使用机械抛洒会打伤拥堵在道路车辆外表面，造成严重的经济损失。

2.2.2 污泥处治发展现状

污泥是污水处理中的“世界难题”。对于污水处理过程产生的污泥，欧洲、美国和日本等国家均把资源利用和热能回收作为最高优先原则，并以此制定相应的处理处置技术路线，并颁布相关法律法规实现对技术方向的引导(如欧洲部分国家制定填埋禁令，禁止污泥填埋)。在此基础上，各国根据自己的国情，又衍生了不同的发展方向，其中欧洲大部分地区和美国将土地利用作为污泥处置的主要方式和鼓励方向，而瑞士、荷兰和日本等则以焚烧为主。此外，发达国家污水厂污泥处理投资占比高，占污水厂总投资的 30%~50%^[15-16]。

而我国城市人口规模大，市政污泥产生量巨大且逐年攀升，由此带来的环境问题日趋严重，为此国家不断出台相关政策，引导污泥处理行业的发展。国内外现有的较成熟的处置手段主要包括卫生填埋、好氧堆肥、焚烧、建筑利用 4 种^[17-20]。各国倾向采用的污泥处治技术细化表现为：

（1）卫生填埋——污泥填埋分为单独填埋和混合填埋，在欧洲脱水污泥与城市垃圾混合填埋比较多，而在美国多数采用单独填埋，而我国多为混合填埋。卫生填埋方法简单、成本低，污泥不需要深度脱水，适应性强，是最便利的污泥处置方法，但因不能满足资源化利用要求、浪费资源，占用土地及对环境污染等，污泥卫生填埋已逐渐被淘汰，西安市也已经禁止污泥填埋^[21]。

（2）焚烧——焚烧是使污泥中的可燃成分在高温下充分燃烧，最终成为稳定的灰渣的过程。焚烧法具有减容、减重率高，处理速度快，无害化较彻底，余热可用于发电或供热等优点。以焚烧为核心的污泥处理方法是彻底的污泥处理

方法，它能使有机物全部碳化，杀死病原体，可最大限度地缩小污泥体积。但是其缺点在于处理设施投资大。处理费用高^[22]。

（3）建筑利用——建筑利用是指通过将污泥固化，制作特殊用途的材料，包括煅烧陶粒或砖、水泥基材料和建筑材料等。由于污泥建筑利用成本不具备优势，推广复制较难^[23]。

（4）好氧堆肥——污泥堆肥是在好氧条件下通过微生物的分解作用，不断降解有机物，并生产出一种适宜土地利用的有机肥产品的过程。好氧堆肥能将污泥中有机物分解，形成一种类似腐殖质土壤的物质，能有效杀灭病原体、寄生虫卵和病毒，提高污泥肥分，消除污泥的异味。但在我国，由于污泥制成的有机肥销路受限，污泥堆肥的途径难以推广。

我国《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南》确定了污泥技术路线的选择原则，即“安全环保、循环利用、节能降耗、因地制宜、稳妥可靠”，并明确了处理的优先层级：（1）应结合污泥泥质以及污泥处理技术，优先研究污泥土地利用(土地改良、园林绿化和农用等三方面)的可行性；（2）不具备条件时，考虑采用焚烧及建材利用；（3）当前述出路均无法实现时，最终填埋处置。国家鼓励采用好氧堆肥方法实现污泥发酵料，然而现阶段大部分地区仍以填埋为主，无形中造成了巨大的浪费^[25]。

2.2.3 研究现状分析

（1）现有冰雪天防滑技术体系是以融雪剂和机械除雪为主的“完全去除路表冰雪层”思路；砂石等物理防滑料应用过程中存在损伤车辆等诸多不足；

（2）我国污泥无害化设施能力严重不足，“污泥围城”局面严峻；

（3）由于污泥处治产品销路狭窄导致生物制肥产品堆积仓库现象严重，污泥处治成本过高，进一步导致污泥环保性处治致政策落地困难。

（4）好氧堆肥形成的污泥发酵产品具有生态环保性，且原材料及制备运输成本低廉，截止目前尚未有其作为道路防滑材料的深入研究应用。

参考文献

- [1]李义强,杨凤至,曹玉海,等.我国道路融雪剂的研发与应用[J].北方交通,2020,(07):26-29.
- [2]谢敬革,于文俊,林昌源,等.常用融雪剂物料特性分析及其使用方法的探究[J].盐科学与化工,2025,54 (11):25-28+33.
- [3]张卫兵,胡隽婷,王梓晗,等.高效含氯型融雪剂研发与性能评价[J].公路交通科技,2025,42(02):87-96.

- [4] 刘明,冯富海,汤玉斐.环保复合型融雪剂的研究进展[J].中国腐蚀与防护学报,2025,45(06):1508-1516.
- [5] 赵莺菲,李俊国,赵全胜,等.环保型融雪剂和尾矿砂复配性能及撒布方式[J].公路交通科技,2022,39(S2):21-27+48.
- [6] 杨凤至,李根,曹玉海,等.近十年国内外融雪剂研发与应用的文献分析[J].中外公路,2022,42(04):272-278.
- [7] 苏志俊,崔耀星,徐俊辉,等.复合氯盐型融雪剂的制备及性能[J].盐科学与化工,2022,51(01):10-13.
- [8] 邱庆生,王永卫,林汉忠,等.基于声学特性的沥青混合料融雪剂腐蚀受荷损伤[J].公路,2021,66(07):261-266.
- [9] 李雯雯,薛忠军,王春明,等.不同因素对公路用撒播融雪剂碳钢腐蚀影响的试验研究[J].公路,2021,66(03):318-322.
- [10] 王腾,郭德栋,陈颖,等.低温条件下融雪剂对道路抗滑性能的影响研究[J].公路,2019,64(05):267-271.
- [11] 王萧萧,王岚,刘成武,等.砂浆在不同介质干湿循环作用下的劣化特性[J].硅酸盐通报,2018,37(12):3812-3815.
- [12] 钟强.应用于道路路面的自动除雪防冰技术[J].中国标准化,2019(24):92-93.
- [13] 苗广营,沈建青,仲玮年.沥青路面除冰雪技术研究进展[J].筑路机械与施工机械化,2019,36(09):18-22.
- [14] 高建平,张续光,吴国雄.季冻区公路暴风雪天气下快速除雪技术研究[J].公路,2015,60(03):194-199.
- [15] 钱林.南方某城市污泥集中协同处理工程设计探讨[J].净水技术,2023,42(12):169-175.
- [16] 罗振宇,徐斌,唐玉霖,等.城市给水厂污泥处理与资源化利用途径及策略分析[J].能源环境保护,2023,37(05):99-109.
- [17] 张宣.城市污水处理厂污泥的处理处置技术分析[J].山西化工,2023,43(07):218-220.
- [18] 张钧羿.污泥砖烧制制度及其性能和环境安全性研究[D].沈阳大学,2023.
- [19] 秦翠霞.城市污水处理厂污泥最终处置方式的探讨[J].清洗世界,2022,38(07):123-125.
- [20] 王旭辉.城市污水处理厂污泥好氧堆肥及其应用前景[J].资源节约与环保,2022(03):129-132.
- [21] 黄晓阳.城市污水处理厂污泥最终处置方式研究[J].现代盐化工,2021,48(05):86-87.
- [22] 张晓燕,张冰心,梁娜,等.城市污水处理污泥烧制料制备建筑细骨料的可行性研究[J].新型建筑材料,2021,48(04):103-105+139.
- [23] 郭思晓.城市污水处理厂污泥资源化利用途径探讨[J].资源节约与环保,2021(01):90-91.
- [24] 古励,盛国荣,潘伟亮,等.城市污水处理厂污泥特征分析及针对性减量方案[J].净水技术,2025,44(11):91-97.
- [25] 孔祥娟,王洪臣,张辰,等.城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南研究[J].建设科技,2016,(07):44-46.

2.2 项目前期科研及现有工作条件

2.2.1 项目的支撑条件

陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司成立于 2008 年 10 月,主要负责 G70 福银高速蓝田至商洛段 64.455km、S4011 沪陕高速麻池河联络线 27.375km 和

G312 蓝田至商洛段 72.018km 二级公路的通行费征收及安全路产、治超、养护、隧道管理等工作。蓝商分公司共有蓝田、商州西、商蓝 3 个路产养护中心、7 个收费站、2 个隧道管理站，公路管理经验丰富，对于本课题的应用场景状况了解透彻，通过公路管理工作充分挖掘了本课题的应用需求，并在前期做了大量的科研基础工作，为本课题的开展提供了良好的基础支撑条件。

1.技术支撑条件

- (1) 已查阅了大量国内外有关生物质防滑融雪材料的相关资料；
- (2) 对课题研究工作进行了协作分工，确定了课题研究人员；
- (3) 陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司拥有经验丰富的高级工程技术人员，为本技术的成功实施做了大量的准备工作；
- (4) 西安公路研究院有限公司拥有资深的融雪防滑材料开发及应用人才，对生物质防滑融雪材料有较清晰的认识。

2.项目组织支撑条件

- (1) 严格按本项目计划目标组织实施；
- (2) 项目由第一负责单位和第一负责人全面负责管理，参与单位各方的具体内容将以分合同形式进一步明确；
- (3) 每 3 个月定期召开项目工作会议，检查前阶段的具体工作，讨论解决研究过程中的各项技术问题，布置后阶段的工作重点和具体要求；
- (4) 对本项目的重点阶段性目标和成果进行重点考核和督促，以确保项目总体研究目标的实现。

2.2.2 工作基础

1.项目前期主要工作

- (1) 2019 年在西安绕城高速高架桥下，以西安市第四污水处理厂城镇生活污水污泥和绕城高速绿化修剪废弃物按比例混合后，采用好氧发酵技术进行发酵试验，发酵产物经过陕西科技大学化验分析，可以用做园林绿化基质。如图 3 所示。



图 3.污泥好氧发酵物

(2) 2023~2024 除雪季，在蓝商高速公路，与陕西环保集团生物科技公司合作，对项目组研制的生物质防滑融雪材料用做冰雪路面防滑料进行测试，司机普遍反应有显著的防滑效果。

(3) 2023 年在试验室内冰面使用生物质防滑融雪材料后，测量冰面摩擦系统（如图 4 所示），与未处置冰面的 BPN 数值 28 相比较，抗滑效果显著。结果如表 1 所示。

表 1 撒布生物质防滑融雪材料后的摩擦系数 BPN

序号	测试样品	摩擦系数 BPN					
		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
1	冰层表面洒生物质防滑融雪材料处理后（污泥 160g/m ² ），再洒水冷冻	43	41	43	41	42	42



图 4.室内检测对冰冻路面的防滑效果

(4) 2023 年，试验多种型号沥青碎石撒布车、石灰撒布车、抛雪机，撒布生物质防滑融雪材料效果，根据试验结果，结合发生交通拥堵时要能正常通行公路隧道的要求，调研试验多种机型，如图 5 所示。



图 5.生物质防滑融雪材料洒布车

(5) 2023 年底和 2024 年初，在陕西将交控集团蓝商高速公路葛牌至秦岭隧道和杨斜至秦岭隧道两个爬坡路段，实地测试生物质防滑融雪材料在抗滑保通行中车辆脱困的实地效果，在爬坡路段最大坡度 4%地段，可以使车轮打滑“趴窝”车辆恢复行驶。蓝商高速这个除雪季内五场大雪再没有出现车辆受困导致交通拥堵封闭高速的现象，并且大雪天气下交通事故数量显著减少。

(6) 2023 年底和 2024 年初，在 G312 在下坡和急弯危段撒布生物质防滑融雪材料，使用后可以回收。



图 6.现场应用



图 7.回收循环利用生物质防滑料

(7) 2023 年和 2024 年初，陕西环保集团生物科技公司持续对其提供的原材料的成分和有害物质进行检测，各项指标要求都达到“中华人民共和国城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质标准”。

2.项目前期工作总结

环保型生物质防滑融雪材料具有以下优势：

(1) 见效快，即撒即通行。

用小型机械把生物质防滑融雪材料通过车辆底盘下撒布在高速公路道路冰面上，增大冰雪面层的摩擦系数，受困车辆立即可以启步行驶脱困，在不除冰雪的前提下，快速恢复交通通行。

(2) 密度小，成本低。生物质防滑融雪材料密度一般为 $400\text{-}500\text{kg/m}^3$ ，建设用砂的密度大约 2500kg/m^3 ，同等重量下覆盖面积是砂石防滑料的 5 倍，生物质防滑融雪材料成本远远低于传统的砂石防滑料，同时不伤路面，机械喷洒不会伤及车辆外表漆面。

(3) 附着性好。较传统砂石防滑料会随车轮的运动被抛散，防滑性持续降低，生物质防滑融雪材料经交通碾压可与冰雪层裹覆形成较为稳定的“生物防滑结构层”，保障后车防滑。

(4) 具有自除雪性。车轮碾压作用将“生物防滑结构层”底部的融化雪水排到两侧，始终保持“生物防滑结构层”表面的粗糙。温度升高时，雪水融化，滚刷除扫时生物质防滑融雪材料与冰雪一起被清理干净或回收再利用。

(5) 环保循环。生物质防滑融雪材料的原料为污泥、绿植废弃物、弃置农业秸秆等。含有大量的腐殖质、氮、磷、钾等资源，可有效提高城市绿化土壤肥力、缓解其土壤矿化，可以帮助公路绿化物生长，缓解路域土壤盐渍化。

2.2.3 现有的试验手段

本项目现有试验手段涵盖实验室生物发酵工艺优化（使用生物发酵罐进行污泥好氧堆肥过程控制）、冰雪路面防滑性能测试（可控低温恒温恒湿箱，采用摆式摩擦仪实时测定 BPN 值以优化材料配方）、配方 Box-Behnken 响应曲面设计（通过多因素变量分析确定最佳配比）、现场示范应用测试（开展撒布效果监测并记录 BPN 动态变化）、撒布设备效能评估（测试设备撒布均匀性），形成防滑材料制备、性能验证、现场应用及循环评估的全链条试验体系，为实现 BPN

≥40 等核心指标提供科学支撑。

2.2.4 研究人员情况及协作条件

本项目研究人员由陕西交通控股集团蓝商分公司技术骨干牵头,联合西安公路研究院有限公司的材料科学与道路工程专家团队、陕西交通控股集团运营管理分公司的道路养护技术团队及西安华泽道路材料有限公司的材料研发团队组成,团队核心成员均拥有 10 年以上环保材料研发与道路工程应用经验,高级职称占比达 65%;协作条件依托陕西交通控股集团路网资源,配备道路功能材料实验室、冰雪路面性能测试设备、撒布设备测试等专业化设施,各协作单位已建立常态化技术共享机制,共享实验设备、测试数据及养护经验,形成“研发-应用-反馈”闭环协作体系,为项目技术攻关与示范推广提供坚实支撑。

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

(1) 多源固废基体与防滑/缓释功能组分的协同设计与稳定复合技术。以成分复杂、性质多变的城镇生活污水污泥好氧发酵产物为主要基体,通过科学的配方设计与工艺,使其不仅具备优良的物理结构,还能通过负载或复合特定环保型融雪组分,在低温冰雪环境中实现可控、持续的融冰作用。

(2) 适配复杂路况的小型化智能撒布设备研发。针对拥堵路况作业需求,突破传统撒布设备体积大、无法穿透车流的技术限制,研发小型化、自动化撒布设备。

(3) 防滑-融雪协同机理与环保性能平衡技术。明确生物质材料“物理防滑+化学融雪”的协同作用机理,解决两者作用效率匹配问题;同时突破“高效性能与环保安全”的平衡难点。

3.2 主要研究内容及实施方案

3.2.1 主要研究内容及实施方案

本项目研究摒弃“除雪保通的前提是彻底消除路面冰雪”的固有思路,旨在将路面冰雪层这一阻碍交通正常行驶的有害因素,通过外撒环保型生物质防滑融雪材料,与路表冰雪层共同形成附着性较高的防滑融雪功能层,提高冰雪天气道路安全保畅效率。

1.项目基础研究

①**生物质材料制备工艺及理化性能分析**。选取具有代表性的城市污泥样品，将污泥与植物秸秆等按一定比例均匀混合。利用高温好氧发酵工艺处理混合物，发酵后的混合物即得到生物质材料。研究污泥/植物秸秆混合比例、发酵温度、发酵时间参数等对生物质材料密度、颗粒分布范围、坚固性等理化性质的影响，在此基础上优化污泥/植物秸秆混合比例、高温好氧发酵工艺参数，并对生物质材料的理化性能进行分析研究。

②**生物质防滑融雪材料主要成分分析及防滑机理研究**。利用元素分析仪、红外光谱仪、原子发射光谱仪等设备分析发酵生物质材料的主要组成元素、化学组分及重金属元素含量等，在此基础上分析其环保性能。基于增加路面摩擦系数的物理防滑作用和融化路面冰雪的化学融雪作用研究生物质防滑融雪材料的防滑机理。

2.项目核心材料研发

①**基于 Box-Behnken 响应曲面法的生物质防滑融雪材料配方研究**。以防滑性能、可重复利用性和环保性为因变量，筛选制备生物质防滑融雪材料的融雪物质及添加剂。利用 Box-Behnken 响应曲面法优化生物质防滑融雪材料各组分配比。在此基础上研究简单混合及浸渍烘干两种生产工艺对生物质防滑融雪材料融雪性能的影响。

②**生物质防滑融雪材料性能技术标准研究**。参考融雪剂、路面抗滑等现有国家及行业相关技术标准，以降低冰雪层自身强度和冰雪层与路面粘附强度、提高冰雪路面摩擦系数及对环境无危害为依据，综合考虑行车碾压作用，设计生物质防滑融雪材料的融雪、抗滑及环保性能测试方法，并制定相应的评价指标及量值，确定生物质防滑融雪材料性能技术标准。

3.项目配套装备开发

生物质防滑融雪材料撒布设备研究。根据生物质防滑融雪材料的料密度、颗粒分布范围等理化性质，以生物质防滑融雪材料不同温度和降雪量下的撒布量范围与撒布精度要求为依据，参考现有固体融雪剂撒布车技术原理与相关技术标准，开发生物质防滑融雪材料撒布设备，实现生物质防滑融雪材料的施撒目标。

4.项目应用延伸

①**生物质防滑融雪材料应用技术标准研究**。分析不同环境温度、降雪量等条

件下生物质防滑融雪材料的撒布量和撒布时机对其融雪和抗滑性能的影响，结合现有融雪剂撒布经验，提出生物质防滑融雪材料的撒布工艺参数。使用融雪性能损失率、颗粒分布范围及坚固性变化等为评价指标，考察存储时间、存储温湿度等条件对生物质防滑融雪材料性能的影响，确定其存储条件，综合考虑道路除雪保畅时取用的便捷性，编制生物质防滑融雪材料应用技术指南。

②生物质防滑融雪材料的回收利用、环境影响与土壤改良研究

系统测试生物质防滑融雪材料在不同环境条件下的自然降解性能，并分析其对土壤关键理化指标（如 pH 值、盐分含量、有机质及养分水平）的影响。评估生物质防滑融雪材料在促进路域绿化植物生长、缓解融雪剂残留导致的土壤盐渍化等方面的生态效益。探讨耐盐性的特殊植物（储盐植物）将盐分从路域生态系统中永久移除的效果。

5.综合评估

生物质防滑融雪材料产业化可行性及经济、环保、社会效益分析。分别从物质防滑融雪材料的生产、运输、储存及保质期等方面分析其产业化需要解决的问题，为生物质防滑融雪材料大规模应用奠定基础。以常用融雪剂采购和使用成本为依据，分析生物质防滑融雪材料的直接和间接经济效益。以保护桥梁、水泥混凝土构件和植被等道路设施为依据，计算节约的道路养护资金，分析生物质防滑融雪材料的环保效益。以保证道路安全畅通、人民生命财产安全，延长道路使用寿命为依据，分析生物质防滑融雪材料的社会效益。

3.2.2 技术路线

本项目采用理论研究、室内外试验与工程实证相结合的综合研究方法，系统开展以下工作。

1.生物质材料制备工艺及理化性能分析

基于好氧发酵微生物代谢理论，采用单因素变量法与正交试验法结合，系统研究原料配比、发酵参数对材料理化性能的影响规律。首先获取西安附近的污水处理厂脱水污泥，以及秦岭山区农业秸秆、公路绿化修剪废弃物。其次设置污泥与植物秸秆不同的混合比例、发酵温度、发酵时间的三因素多水平试验，每组参数设置 3 组平行样，采用高温好氧发酵工艺制备生物质材料。最后采用密度瓶法测定材料密度，激光粒度分析仪测试颗粒分布范围，同时检测含水率、有机质

含量、pH 值等指标，优化得到最佳制备工艺参数。

2. 生物质防滑融雪材料主要成分分析及防滑机理研究

基于材料科学成分分析理论，结合物理防滑与化学融雪协同作用原理，揭示材料防滑融雪机理。利用元素分析仪测 C、H、O、N 等主要元素含量，红外光谱仪分析官能团结构，原子发射光谱仪检测 Pb、Cd、Cr 等重金属含量，验证生物质防滑融雪材料的环保性能。通过扫描电子显微镜（SEM）观察材料微观形貌，分析其与路面的接触界面特性，并研究污泥发酵颗粒尺寸对路面构造深度及抗滑性能的影响；基于恒温恒湿试验箱，测试不同材料用量下冰面摩擦系数（BPN），结合材料的融冰速率数据，量化物理防滑与化学融雪的协同效果。

3. 基于 Box-Behnken 响应曲面法的生物质防滑融雪材料配方研究

采用 Box-Behnken 响应曲面法（三因素三水平），构建“融雪物质添加量-环保型添加剂比例-生产工艺参数”与“防滑性能-可重复利用性-环保性”的多元回归模型，实现配方全局优化。以融雪物质添加量、环保型缓蚀剂比例、生产工艺为自变量，以环保性防滑性能（BPN 值）为因变量，设计 17 组试验方案，每组设置 3 组平行样，通过室内融冰试验、摩擦系数测试、环保性能试验，验证优化配方的综合性能，确定最佳生产工艺。

4. 生物质防滑融雪材料性能技术标准研究

参考《融雪剂》（GB/T 23851）、《公路路面抗滑性能测试规程》（JTG/T E60）等国家/行业标准，构建材料性能评价体系。融雪性能采用 6h 融冰能力定量评价；抗滑性能采用摆式摩擦系数仪测定冰雪路面 BPN 值；环保性能通过混凝土腐蚀试验、植被生长影响试验、金属腐蚀试验及土壤盐度测试确定；耐用性通过行车碾压模拟试验评价。基于试验数据，确定各项性能指标的量值要求，形成生物质防滑融雪材料性能技术标准。

5. 生物质防滑融雪材料应用技术标准研究

采用室内试验与现场试验验证结合，分析环境因素对材料应用效果的影响，基于统计学方法建立撒布参数与性能的关联模型。在室内模拟不同环境温度、降雪量，测试不同撒布量、撒布时机对融雪抗滑效果的影响，确定最佳撒布工艺参数，同时评估生物质防滑融雪材料作业模式对交通通行的影响。设置存储时间、存储温湿度，以融雪性能损失率、颗粒分布变化、坚固性衰减为指标，确定材料

存储条件。结合试验段实地应用数据，整合撒布参数、存储要求、取用流程，编制《生物质防滑融雪材料应用技术指南》。

6.生物质防滑融雪材料撒布设备研究

设计小型化、自动化撒布设备，核心部件包括料仓、撒布机构等；通过室内台架试验，测试不同转速下的撒布精度、覆盖均匀性，优化设备结构参数；在试验路段进行实地试验，验证设备的可行性。

7.生物质防滑融雪材料的回收利用与土壤改良研究

以回收物料为对象，开展可控堆肥试验与盆栽试验。监测其在土壤中的降解速率、腐殖化程度，以及对公路绿化植物的发芽率、生物量、耐盐性等指标的影响。量化其作为土壤改良剂在降低土壤电导率、提升有机质含量、补充氮、磷、钾等养分方面的贡献。探讨具有一定耐盐性的特殊植物（储盐植物）将盐分从路域生态系统中永久移除的可行性。

8.生物质防滑融雪材料产业化可行性及经济、环保、社会效益分析

调查国内融雪剂市场规模、价格、应用场景分布。采用全寿命周期核算材料生产成本、运输成本、使用成本，与传统融雪剂进行对比；结合试点路段交通事故数据，估算因通行效率提升、事故减少带来的间接经济效益。量化材料对道路设施的保护作用、对路域植被的促进效果，对比传统融雪剂的土壤盐渍化、金属腐蚀损失。基于道路通行时间缩短、应急抢通效率提升数据，分析对物流运输、公众出行的积极影响，评估延长道路使用寿命带来的社会价值。

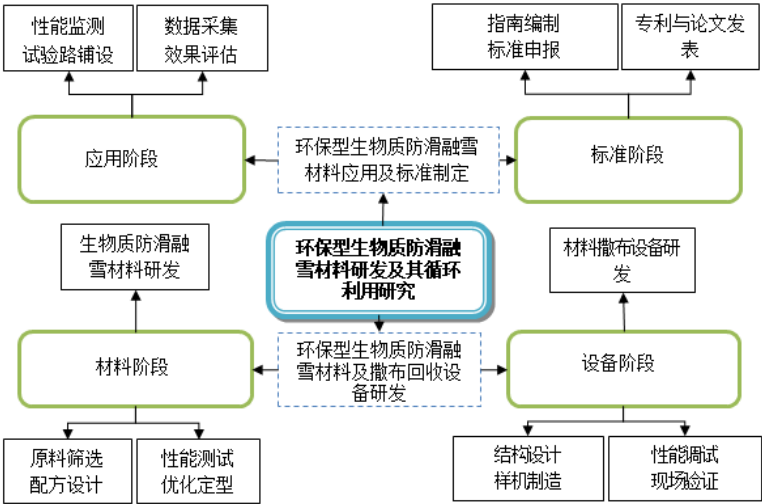


图 8.技术路线图

3.3 后续技术改造或基本建设计划的衔接

本项目成果可有效衔接后续技术改造与基本建设计划。

1.公路养护体系升级。研发的生物质防滑融雪材料及配套撒布设备，可集成至现有除雪保畅装备体系，推动“防滑-融雪-回收”一体化作业；通过编制技术指南和施工标准，在重点易结冰路段养护工区建设小型存储预处理设施，实现养护模式从“除冰雪”向“抗滑保通”转型。

2.污泥资源化基建融合。为城镇污泥提供高值化利用路径，可在高速公路桥下空间或养护基地就近建设标准化生产线，实现“污泥+农林废弃物”就地转化为道路材料，降低运输成本，盘活闲置土地，并纳入地方污泥处置和“无废城市”建设规划。

3.绿色交通基础设施前瞻布局。成果契合“双碳”与交通强国战略，其全生命周期低碳优势可纳入新建或改扩建的高速公路服务区、应急物资中心等设施规划，预留专用仓储分发功能；同时作为生态公路建设的关键技术，有望融入绿色公路设计规范，支撑可持续交通发展。

项目应用路径清晰，具备良好的市场前景与推广价值。

3.4 有关技术经济指标

(1) 冰雪路面的摩擦系数 BPN 提升至 40 以上。

(2) 大雪、冻雨情况下，除雪保畅成本降低 30%以上。

四、项目承担单位及参加单位概况

4.1 单位概况

4.1.1 陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司成立于 2008 年 10 月，主要负责 G70 福银高速蓝田至商洛段 64.455km、S4011 沪陕高速麻池河联络线 27.375km 和 G312 蓝田至商洛段 72.018km 二级公路的通行费征收及安全路产、治超、养护、隧道管理等工作。蓝商分公司共有蓝田、商州西、蓝小 3 个路产养护中心、7 个收费站、2 个隧道管理站，公路管理经验丰富，建设完成了构家沟三座桥拆除重建、8.19 蓝小水毁重建、7.19 蓝商高速路基垮塌修复等工程。获得国家级奖励 5 项，省部级奖励 8 项，授权专利 6 项，陕西省企业“三新三小”创新竞赛、中国质量协会、陕西省质量协会等多项成果获奖。

4.1.2 西安公路研究院有限公司

原名西安公路研究所，始建于 1960 年，原隶属于交通部，2000 年改制为国有科技型企业，2009 年更名为西安公路研究院，2021 年作为重点三级企业并入陕西交控集团，并完成有限公司改制。公司现有各类资质 20 项，其中甲级资质 8 项。曾荣获“全国五一劳动奖状”、“全国模范职工之家”、“陕西省重点科技创新团队”等荣誉称号，2011 年起被连续认证为陕西省“高新技术企业”。

作为陕西省交通系统的科技主力军，研究院始终站在交通科技发展的最前线，先后承担和参与 400 余项科研项目，获得国家级奖励 9 项，省部级奖励 117 项，授权专利 200 余项，完成行业及地方标准 72 项，逐步形成了交通新材料新技术、公路机电及软件开发、智慧与数字交通、固废材料循环利用、新型设备研发等涵盖行业各个方面的科研体系。目前，公司现有“固废高效再生利用院士工作站”、“省级企业技术中心”、“智慧交通暨大数据应用研发中心”等 9 个省部级创新平台，在智慧交通、数字交通、绿色交通、新基建等方面落地了一批重大项目，获批陕西省首批秦创原‘科学家+工程师’和交通强国建设试点等项目。

4.1.3 西安华泽道路材料有限公司

西安华泽道路材料有限公司是隶属于陕西交通控股集团有限公司、依托西安公路研究院有限公司开展材料研发与产业化的国家级高新技术企业。公司自 2003 年成立以来，始终专注于交通新材料、新装备的研发、生产与技术服务，具备 ISO 9001 等三大管理体系认证，并荣获西安市纳税信用 A 级评定。作为“陕西省职工创新工作室”以及长安大学、秦创原等多个省市级科研平台的核心共建单位，华泽公司拥有深厚的研发实力，其科创团队累计承担科研项目 50 余项，参编标准 20 余项，发表论文 100 多篇，申报专利 40 余项，多项成果达国内领先或国际先进水平。公司产品已成功应用于国内外公路建养工程，并出口至“一带一路”沿线多国，以可靠的质量赢得了行业认可。华泽公司秉承“质量为本、诚信至上、传承创新、合作共赢”的理念，持续为客户提供优质产品与服务。

4.2 技术力量及人员构成

姓名	单位	性别	年龄	技术职称	专业	在项目中担任具体工作
田黎明	陕西交控集团蓝商分公司	男	55	正高工	地下工程与隧道	项目负责人

李 彧	陕西交控集团蓝商分公司	男	53	高工	林业	技术负责人
弥海晨	西安公路研究院有限公司	男	55	正高	道路工程	分项负责人
邹响洋	陕西交控集团蓝商分公司	男	41	高工	道路与桥梁	技术研究
张睿轩	长安大学	男	26	助理工程师	交通运输规划与管理	综合协调
向 豪	西安公路研究院有限公司	男	42	正高	道路工程	材料研发
张 超	陕西交控集团蓝商分公司	男	44	高工	桥梁工程	工程落实
杨晨光	西安公路研究院有限公司	女	33	高工	道路工程	技术研究
冯 博	陕西交控集团运营管理分公司	男	35	工程师	交通运输工程	工程落实
王立志	陕西交控集团蓝商分公司	男	42	高工	道路与桥梁	工程实施
翟一潼	西安公路研究院有限公司	男	29	助工	材料工程	材料研发
徐 鹏	西安华泽道路材料有限公司	男	42	正高	道路工程	材料研发
陈 晨	陕西交控集团蓝商分公司	男	44	高工	道路与桥梁	工程实施
马庆伟	西安公路研究院有限公司	男	42	正高	道路工程	材料研发
田青竹	西安交通大学	男	24	研究生	环境工程	室内试验
郭彦强	西安华泽道路材料有限公司	男	39	正高	道路工程	室内试验
李 琰	陕西交控集团蓝商分公司	男	42	工程师	道路桥梁与渡河工程	工程实施
弓 锐	西安华泽道路材料有限公司	女	44	正高工	材料工程	室内试验
李宏晓	陕西路桥集团公司	男	53	高工	机械电子工程	工程实施
杨 扬	陕西环保集团商州生物科技有限公司	男	41	高工	化学工程	污泥的化学成分分析

4.3 各自承担的主要工作

本项目由陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司牵头，联合西安公路研究院有限公司、陕西交通控股集团有限公司运营管理分公司、西安华泽道路材料有限公司共同承担。各单位依据其专业优势与资源情况，分工协作，具体承担的主要工作如下：

1.陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

(1) 总体协调与项目管理：负责项目的全面组织、协调与日常管理，确保研究计划顺利实施。

(2) 需求提出与工程依托：基于所辖蓝商高速公路及 G312 蓝小段冬季除

研究计划顺利实施。

(2) 需求提出与工程依托：基于所辖蓝商高速公路及 G312 蓝小段冬季除雪防滑保通的实际难题与迫切需求，提供明确的技术需求与应用场景。负责提供并管理项目研究的核心依托工程，确定试验路段，协调现场试验的交通组织与安全保障。

(3) 现场试验与效果评估：组织并实施生物质防滑融雪材料的现场撒布、回收等工程验证试验；负责收集、记录试验段的交通运行、车辆脱困、事故率变化等第一手数据，对材料及设备的实际应用效果进行初步评估与反馈。

(4) 应用标准与指南验证：参与《生物质防滑融雪材料应用技术指南》的编制工作，并结合自身养护管理经验，对指南的实用性、可操作性进行验证和提出修改建议。

(5) 部分经费配套与资源保障：落实项目自筹经费，并提供必要的现场作业人员、设备及后勤支持。

2.西安公路研究院有限公司

(1) 理论与关键技术攻关：负责项目总体技术方案设计、机理研究和技术路线制定。牵头开展生物质材料防滑融雪机理、多目标配方优化（Box-Behnken 响应曲面法）、性能衰减与失效机理等核心理论研究。

(2) 材料配方与工艺研发：主导生物质基材的制备工艺优化、环保型功能组分筛选、复合材料的配方设计与性能调控实验室研究。

(3) 技术标准研究与编制：负责牵头起草《生物质防滑融雪材料应用技术指南》，建立测试评价方法。

(4) 材料技术研究：主导材料技术路线的研究与参数优化，确保性能指标达成。

(5) 学术成果产出：负责项目研究报告的核心章节撰写，组织发表高水平学术论文，牵头申报专利。

3.西安华泽道路材料有限公司

(1) 材料中试与产业化转化：负责实验室优化配方的小批量试制、中试生产，解决规模化生产中的工艺稳定性、质量控制等问题。

(2) 专用装备研制与试制：根据项目组设计要求，具体承担小型化撒布设

备的详细设计、样机试制、调试与改进工作。

(3) 室内试验与性能测试：利用公司现有实验平台，承担材料常规性能测试、耐久性试验、环保性检测等室内试验任务。

(4) 产品成本与市场分析：负责进行产品的成本核算，分析产业化可行性，参与经济效益评估，并调研潜在市场前景。

4.4 项目主要负责人情况

田黎明，项目组长，陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司经理，本科学历，正高级工程师。2013 年主持完成了《高墩大跨径连续刚构健康监测应用技术研究》课题，发表论文 2 篇，2024 年作为技术负责人参与完成了《掺加岩沥青改善沥青混合料技术性能研究》课题，研究期间发表论文 4 篇。

李戩，项目副组长，陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司副经理，研究生学历，高级工程师。2019 年主持完成了《西安咸阳国际机场专用高速公路月季品种优选与养护管理技术研究》课题，发表论文 2 篇，编制了《月季养护栽培技术规程和月历》及《蔷薇高接换种技术及管理规程》等规程。2022 年主持完成人申报了《基于安全功能修复的隧道沥青路面“液雕护”应用技术研究》，获得省交通运输厅立项，研究期间发表论文 1 篇。2023 年获得陕西省企业“三新三小”创新竞赛二等奖。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

5.1 依托工程概况

依托蓝商分公司冬季除雪防滑工程，将在蓝商高速公路及 G312 蓝小段开展试点工作。蓝商高速公路及 G312 蓝小段穿越秦岭山脉，线路指标差，冬季雨雪天气受山区低温小气候影响致使车辆爬坡受阻、打滑“趴窝”频发，易造成道路拥堵，容易导致公路被动封闭。2023~2024 除雪季，融雪剂用量 2000 多吨。

陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司主要负责 G70 福银高速蓝田至商洛段 64.455km、S4011 沪陕高速麻池河联络线 27.375km 和 G312 蓝田至商洛段 48.5km 二级公路的通行费征收及安全路产、治超、养护、隧道管理等工作。蓝商分公司共有蓝田、商州西、蓝小 3 个路产养护中心、7 个收费站、2 个隧道管理站，公路管理经验丰富，对于本课题的应用场景状况了解透彻，通过公路管理工作充分挖掘了本课题的应用需求，并在前期做了大量的科研基础工作，为本课

题的开展提供了良好的基础支撑条件。

5.2 投资来源

本项目投资共计 80 万元，具体构成如下：

1.陕西省交通运输厅补助资金。作为省级科研项目专项支持，申请补助经费 19.95 万元，主要用于项目直接费用支出，包括材料研发所需的测试化验实验加工费、专用设备购置与改造租赁费、差旅费/会议费、知识产权事务费及部分劳务费等，为核心技术攻关、室内外试验及成果凝练提供关键资金保障。

2.承担单位自筹资金。由陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司自筹 60.05 万元，用于补充省级补助资金缺口，覆盖项目间接费用（管理费、绩效支出）、部分材料费、现场试验配套设施建设及产业化可行性分析等相关支出，确保研究全流程无资金断点，保障项目按计划推进。

所有资金将专项用于本项目研究工作，实行专款专用、分级管理，严格遵循科研经费使用规范，接受相关部门的财务专项验收或审计，确保资金使用高效、合规。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

2026 年 3 月～2026 年 9 月：开展材料配方筛选、融雪抑冰机理研究等基础科研工作，并结合高速公路冬季养护实际需求，明确工程应用场景、技术指标及设备功能要求，确保科研方向紧贴工程痛点。

2026 年 10 月～2026 年 2 月：在实验室成果达到预期性能后，立即转入中试生产和专用撒布回收装备的工程化设计；同时，依托蓝商分公司等运营单位选定典型示范路段，完成现场条件勘察、施工组织方案制定及安全评估，实现科研成果向工程样机和应用方案的快速转化。

2027 年 3 月～2027 年 9 月：在冬季作业窗口期开展实地撒布、回收及抗滑效果监测，同步采集环境影响、作业效率、成本效益等工程数据；科研团队根据现场反馈，对材料配比、设备参数或操作规程进行动态优化，形成“试验—反馈—改进”闭环。

2027 年 10 月～2028 年 3 月：基于完整科研数据与工程验证结果，同步编制研究报告与技术指南，推动成果纳入养护技术体系，为后续规模化应用奠定技术和管理基础。

5.4 组织管理形式

本项目采用“产学研用”一体化、多层级协同的组织管理形式，确保技术研发、工程验证与产业化推广高效有序推进。

1.管理体系架构清晰。设立由各参与单位领导组成的项目领导小组负责总体决策与资源统筹；下设项目管理组负责日常协调与进度跟踪；聘请外部专家组成技术专家组提供咨询评审；并依据研发链条设立材料研发与标准、装备研发、工程验证与应用、产业化与效益分析四个专项工作小组，确保任务落实到具体团队。

2.协同工作机制高效。通过定期召开项目协调会与技术研讨会、签订分合同明确权责、建立数据信息共享平台、以及要求研发与工程人员交叉参与关键节点，形成“需求-研发-验证-反馈”的快速迭代闭环。

3.实施过程管控严格。采用计划节点控制与风险管理，严格遵循质量规范与经费管理制度，确保项目按期、保质、合规推进。

4.沟通决策流程顺畅。建立常规事务由项目办协调、技术难题经专家组咨询后由负责人决策、重大事项报领导小组审议的分层决策机制。该管理体系有效整合了各参与单位的优势资源，形成了目标统一、权责明确、沟通顺畅的执行合力，为项目成果的产出与转化提供了坚实保障。

六、项目经费估算及资金筹措情况

对经费估算及资金筹措情况说明，提供所需经费测算说明。

经费投入（万元）		经费支出（万元）			
科 目	估算数	科 目	总经费	厅补经费	其他经费
省交通运输厅补助	19.95	合 计	80	19.95	60.05
工程配套研究经费	0	1.设备费	9	3	6
单位自筹	60.05	（1）购置设备费	3	0	3
其他经费	0	（2）设备改造与租赁费	6	3	3
		2.业务费	55	15.95	39.05

		(1) 材料费	26	8	18
		(2) 测试化验实验加工费	12.5	5	7.5
		(3) 燃料动力费	4.5	0	4.5
		(4) 差旅费/会议费/国际合作与交流费	6.5	1.95	4.55
		(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事费	2.5	1	1.5
		(6) 其他费用	3	0	3
		3.劳务费	8.5	1	7.5
		(1) 专家咨询费	4	1	3
		(2) 聘用人员劳务费	3	0	3
		(3) 其他劳务费	1.5	0	1.5
		(二) 间接费用	7.5	0	7.5
		4.管理费	3	0	3
		5.绩效支出	4.5	0	4.5

七、项目绩效指标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1、专利授权数（项）	2
		（1）授权发明专利	0
		（2）实用新型	2
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	2
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	2
		4、著作（部）	0
		5、制订标准数（项）	2
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		(3) 行业标准	0
		(4) 地方标准	0
		(5) 企业标准	0
		(6) 科技报告	2
		1、填补技术空白数	0
		(1) 国际	0
		(2) 国家	0
		(3) 省级	0
		2、获奖项数	0
		(1) 国家奖项	0
		(2) 部、省奖项	0
		(3) 地市级奖项	0
		3、其他科技成果产出	4
		(1) 新工艺（或新方法模式）	1
		(2) 新产品（含农业新品种）	1
		(3) 新材料	1
		(4) 新装备（装置）	1
		(5) 平台/基地/示范点	0
		(6) 中试线	0
		(7) 生产线	0
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	2
		(1) 小试	是
		(2) 中试（样品样机）	是
		(3) 小批量	是/否
	人才引育	(4) 规模化生产	是/否
		1、引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		2、培养高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	0
		4、是否设立科研助理岗位	是

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值	
效果类指标	产业化情况	1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	0	
		2、科研仪器设备利用率（%）	0	
		3、孵化科技型企业（个）	0	
		4、转化科技成果（个）	0	
		经济效益	1、新增产值（万元）	0
			2、新增销售（万元）	0
			3、新增出口创汇（万美元）	0
			4、新增利润（万元）	0
		社会效益	1、新增税收（万元）	0
			2、新增就业人数	0
			3、就业培训（人次）	0
			4、带动农民增收（万元）	0
			5、培训和指导科技服务（人次）	0
			6、新增产业带动情况	0
7、技术集成示范（项）	0			
8、建立示范基地（亩数）	0			
9、节约资源能源	0			
10、环保效益	0			
其他需要说明的情况				

八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益

8.1 项目预期目标

- 1.研发出系列生物质防滑融雪材料；
- 2.开发出生物质防滑融雪材料撒布设备；
- 3.编制《生物质防滑融雪材料应用技术指南》；
- 4.生物质防滑融雪材料在道路工程中进行推广应用。

8.2 提交的研究成果及其形式

- 1.《环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究》项目研究报告；
- 2.研发出系列生物质防滑融雪产品；
- 3.开发出生物质防滑融雪材料撒布设备；
- 4.编制《生物质防滑融雪材料应用技术指南》；

5.生物质防滑融雪材料在道路工程中进行推广应用；

6.申请国家专利 2 件，发表核心期刊及以上论文 2 篇；

8.3 经济、社会、环境效益分析

1.提升安全保畅，社会效益明显。近年来，全球极端天气事件增多，冷空气活动强烈，冬季持续降雪频繁，除雪保畅及融雪抗滑任务加剧，对应急除雪保障及雪天安全防滑的需求大幅度增加，应用场景众多，推广空间极大。具体评价指标包括道路通行效率提升率、交通事故率下降率和公众满意度。

2.符合环保政策，环保效益明显。成果符合国家发改委、生态环境部、住建部相关政策，可为生物污泥发酵材料的多功能应用的应用发掘市场，从交通运输层面解决了政府管理的污泥管理处治难题，从购买者层面激发生物污泥的产业链活力。生物质防滑融雪材料不会对周边混凝土和植物造成危害，环保效益明显。具体评价采用“实验室检测+现场长期监测”相结合的方法。实验室检测依据相关规范，对材料重金属含量、金属腐蚀速率进行检测；现场监测通过对试验段土壤盐分/重金属含量、路域植物生长状况的长期跟踪，确定材料的环保效益。

3.促进提质增效，经济效益明显。一是原材料成本为“负成本”的生活污泥及公路绿植修剪废弃料、农业秸秆等，材料易得，价格优势高；二是加工工艺依托市面上的通用设备，生产成本低，成果产业化路径明确，经济效益显著，市场潜力巨大；三是技术采用的施工设备小型简便，适用于不同等级公路的管理部门使用；四是道路生物质防滑融雪料循环应用的技术可进一步降低了材料全寿命周期成本，成本优势显著。具体评价采用“全寿命周期成本分析法”，将本项目研发的材料及配套设备与传统除雪材料进行对比。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见

节能环保生物炭炭质材料研发及其循环利用研究

2026年3月19日

2026年3月19日，院技术委员会在院办公楼二楼会议室

召开，张西安主持召开了“节能环保生物炭炭质材料研发及其循环利用研究”项目评审

及成果转化研究”（项目编号：2026030028308）项目评审会，

与会专家（名单附后）听取了项目汇报，并进行了认真

质大的、经质大的讨论，形成如下意见：

一、项目研究内容全面，技术路线清晰，具有较好的应用前景。

二、项目研究团队组成合理，具有较好的科研实力和工程化

设备齐全，依托工程将实，投资预算合理，具备开展研

究工作的条件。

三、预期成果明确，研究目标，与研究方向一致，具有较好的应用前景。

四、项目研究团队组成合理，具有较好的科研实力和工程化

设备齐全，依托工程将实，投资预算合理，具备开展研

究工作的条件。

五、项目研究团队组成合理，具有较好的科研实力和工程化

设备齐全，依托工程将实，投资预算合理，具备开展研

究工作的条件。

六、项目研究团队组成合理，具有较好的科研实力和工程化

设备齐全，依托工程将实，投资预算合理，具备开展研

究工作的条件。



单位负责人：(签字)

年 月 日

环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究

大纲评审意见

2026年3月19日，陕西省公路局受陕西省交通运输厅委托，在西安主持召开了“环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究”（项目编号：25-71K）项目大纲评审会。与会专家（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了项目研究大纲，经质询讨论，形成如下评审意见。

一、项目研究内容全面，研究目标明确，技术路线可行。

二、项目研究人员组成合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，依托工程落实，经费预算符合规定，具备开展研究工作的条件。

三、预期成果覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

1. 进一步梳理研究内容，突出研究重点；
2. 进一步明确应用场景。

主任委员： 

2026年3月19日

专家审查意见表

项目名称	环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究				
专家姓名	任国亮	职务/职称	正高工	专业	材料学
专家单位	陕西高新材料工程检测技术有限公司			联系电话	18313108280

评审意见

- 项目内容较完整，目标明确，有个建议如下：
1. 研究内容转写，应进一步进行归纳总结。
 2. 环保型、循环利用，如何体现和评价？
 3. 主要材料的高性能能力，如何体现使用性？
 4. 环保评价，除了混凝土腐蚀、析碱，还应包含金属腐蚀性。
 5. 甲醛如何评价完成？为什么要甲醛？木质素？
 6. 界面粘结性？再路面积雪：杨道深再写个物。
 7. 耐久性？几年？颗粒尺寸？ 污泥？
- 洒布完就结束，经济性。

评审专家（签字）：

任国亮

2016年3月19日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究				
专家姓名	景宪君	职务/职称	教授	专业	道路工程
专家单位	西安科技大学			联系电话	13689101111

评审意见

道路融雪材料研发与利用,近年来较多开展,本项目基于相关研究现状,开展相关研究,立项必要,同意开展大比例评审,建议如下:

1. 研究报告与投标文件相关内容一致;
2. 开展研发试验,验证利用效果;补充技术路线图;
3. 经济评价效益分析,补充现状评价法、评价指标;
4. 经济指标论证充分,以数据为依据。

评审专家(签字): 景宪君

2026年3月19日

(本意见入档,应填写工整,纸面不敷,可另加纸)

专家审查意见表

项目名称	环湾型生物片防滑融雪材料研发及废弃循环利用研究				
专家姓名	郭忠印	职务/职称	教授	专业	交通运输工程
专家单位	同济大学			联系电话	13918264820

评审意见

1. 项目创新点研究大同内容全面, 技术路线可行, 目标明确, 同意由该研究大同评审。

2. 建议:

(1) 内容全面, 但较为乱。宜整理研究内容以逻辑关系。

(2) 进一步突出研究重点和凝练创新点(目前的创新点有点多)

(3) 应进一步明确的研究材料是“融雪”^{还是}“河洛材料颗粒在冰面上”。两者正好相反, 这就要明确。

(4) 研发的材料在城市应用, 应关注和研究雪盐与盐泥对路面的污染和对交通安全的影响问题。

评审专家(签字):

郭忠印

2020年3月19日

(本意见入档, 应填写工整, 纸面不敷, 可另加纸)

专家审查意见表

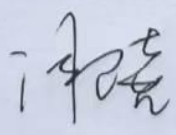
项目名称	环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究				
专家姓名	闫卫喜	职务/职称	副总经理/正高级	专 业	公路桥梁
专家单位	天津高速公路集团有限公司			联系电话	18502239132

评 审 意 见

该大纲编制格式规范，内容完整，技术路线和研究方法清晰，预期成果和经费预算合理，满足大纲编制要求，同意通过审查。

相关建议：

- 1、结合融雪操作流程进行不同工序的验证，如预撒布等；
- 2、针对残留物对路面、护栏、绿化、土壤等长期性影响作持续观测分析。

评审专家（签字）：

2026年 3 月 19 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

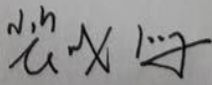
项目名称	《环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究》				
专家姓名	裴晓梅	职务/职称	高工	专 业	公路工程
专家单位	西安市公路局			联系电话	18681872850

评 审 意 见

25-71K 项目《环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究》，研究内容新颖，结合了融雪剂和绿色基质材料的研究。

建议：一、生物基防滑融雪材料，一方面研究该防滑材料和冰雪混合后的抗滑性能，另一方面研究该材料是否能降低冰雪冰点，加速路面积雪积冰的融化。先在试验室研究，然后研究洒布时机、洒布量，测试冬季洒布效果。下雪时，目前高速路通过收费站管控，交警管控，禁止车辆通行的。撒布该融雪材料后，能否快速达到车辆安全通行的要求，需要通过测试验证。项目承担单位蓝商高速是山区高速公路，穿越秦岭山区，冬季雨雪多，山区气温低，项目研究依托的道路冬季安全通行的压力较大。

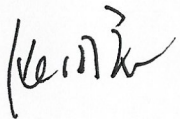
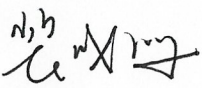
二、做经济技术分析，和其他融雪材料对比，研究应用场景，使研究成果具备推广应用价值。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 19 日

环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究 (项目编号: 25-71K)

大纲评审专家委员会名单

序号	评审会职务	姓 名	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	签 名
1	主任委员	景宏君	西安科技大学	道路工程	道路工程 材料	教授	
2	委员	张国宏	陕西高速公路工程试验检测有限公司	材料学	道路工程	正高工	
3	委员	裴晓梅	西安市公路局	公路与城市 道路工程	公路工程	正高工	
4	委员	闫卫喜	天津高速集团	土木工程	道桥工程	正高工	线上评审
5	委员	郭忠印	同济大学	交通运输 工程	交通运输 工程	教授	线上评审

专家意见处理表

项目名称：环保型生物质防滑融雪材料研发及其循环利用研究（项目编号：25-71K）

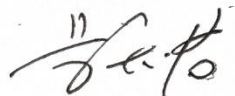
序号	姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应, 详细说明修改情况)
1	景宏君	1.研究内容与投标文件相应研究内容相一致； 2.聚焦研发痛点、难点，突出应用场景，补充技术路线图； 3.经济环保效益分析，应体现评价方法，评价指标； 4.经济指标的论证应明确依据。	1.已逐条核对，确保《研究大纲》中的研究内容与《投标文件》中的实施方案高度一致，尤其在“拟解决的关键问题”和“主要研究内容”部分进行了统一。 2.已在“3.2.2 技术路线”中补充了技术路线图（图8），并在“3.1 拟解决的关键问题”中聚焦了研发痛点与难点。应用场景在“1.4 市场需求前景”和“第五章 依托工程”中已明确。 3.已在“8.3 经济、社会、环境效益分析”部分，按照要求补充了具体的评价方法和评价指标，并明确了经济指标的计算依据，使效益分析更具说服力和可衡量性。 4.已在“8.3 经济、社会、环境效益分析”部分明确了经济指标的计算依据，使效益分析更具说服力和可衡量性。
2	张国宏	1.研究内容较好，应进一步归纳总结； 2.环保型、循环利用，如何体现和评价； 3.融雪材料和融雪能力，如何体现使用性； 4.环保评价，除了混凝土腐蚀，植被，还应包含金属腐蚀性； 5.发酵如何评价完成？为何要发酵？木质素？ 6.界面粘结性？对路面孔隙，污泥颗粒尺寸对构造深度的影响。 7.耐久性？几年？洒布完就结束了？经济性？	1.已对“3.2.1 主要研究内容”进行了归纳总结，提炼出5个核心研究板块，使逻辑更清晰。 2.在“3.2.1 主要研究内容的第4点，探讨耐盐性的特殊植物（储盐植物）将盐分从路域生态系统中永久移除的效果”，体现了融雪盐的循环利用；在3.2.1 主要研究内容的第2点“生物质防滑融雪材料性能技术标准研究”和第4点“生物质防滑融雪材料的回收利用、环境影响与土壤改良研究”中，设计了相关的测试试验来评价材料的环保性。 3.在3.2.2 技术路线的第4点“性能技术标准研究中，明确了通过融

			雪能力（6h 融冰能力）和抗滑性能（BPN 值）来评价材料的使用性。 4.在 3.2.2 技术路线的第 4 点“性能技术标准研究”补充了金属腐蚀性试验作为环保评价的重要内容。 5.发酵的目的在于将污泥转化为性质稳定、无异味、富含有机质的生物质基材，并形成多孔结构以负载融雪物质。发酵完成的评价指标（如腐熟度、C/N 比、无恶臭等）已在 3.2.2 技术路线的第 1 点“生物质材料制备工艺及理化性能分析”的研究内容中隐含，为避免内容过于冗长，未单独展开。木质素作为植物秸秆的主要成分，是提供材料骨架和孔隙结构的关键。 6.在 3.2.2 技术路线的第 2 点“主要成分分析及防滑机理研究中，补充了通过扫描电子显微镜（SEM）观察材料与路面的界面结合特性，并研究污泥颗粒尺寸对路面构造深度及抗滑性能的影响。 7.在 3.2.2 技术路线的第 4 点“性能技术标准研究中，新增了材料的耐久性研究内容，明确通过行车碾压模拟试验来评价材料的抗压碎、抗磨损能力。经济性在第 8 点“产业化可行性及效益分析”中通过全生命周期成本核算来体现。
3	裴晓梅	1.生物基防滑融雪材料，一方面研究该防滑材料和冰雪混合后的抗滑性能，另一方面研究该材料是否能降低冰雪冰点，加速路面积雪积冰的融化。先在试验室研究，然后研究洒布时机、洒布量，测试冬季洒布效果。下雪时，目前高速路通过收费站管控，交警管控，禁止车辆通行的。撒布该融雪材料后，能否快速达到车辆安全通行的要求，需要通过测试验证。项目承担单位蓝商高速是山区高速公路，穿越秦岭山区，冬季雨雪多，山区气温低，项目研究依托的道路冬季安全通行的压力较大。	1.专家的建议与项目组思路完全一致。材料“物理防滑+化学融雪”的双重功能已在“研究目的”、3.2.1 主要研究内容的第 1 点“项目基础研究”和第 2 点“项目核心材料研发”中明确。对于“快速达到安全通行要求”这一核心应用效果，已在第 4 点的“应用技术标准研究”中，明确将通过现场试验，系统研究不同工况（温度、降雪量）下的最佳撒布时机和撒布量，并以车辆通行速度、交通事故率等指标来验证其快速恢复交通的能力。依托工程（蓝商高速）的冬季保畅压力正是本项目研究的驱动力和应用场景，在“第一章 项目背景和“第五章 依托工程概况”中已有充分阐述。 2.在 3.2.2 技术路线的第 8 点“产业化可行性及经济、环保、社会效益分析”中，已明确将与传统融雪剂和物理防滑料进行全生命周期

		2.做经济技术分析，和其他融雪材料对比，研究应用场景，使研究成果具备推广应用价值。	成本对比，并分析了不同应用场景的适用性，确保研究成果具备推广价值。
4	闫卫喜	1.结合融雪操作流程进行不同工序的验证，如预撒布等； 2.针对残留物对路面、护栏、绿化、土壤等长期性影响作持续观测分析。	1.在 3.2.2 技术路线的第 5 点“应用技术标准研究”中，已将“撒布时机”的研究细化为包括预撒布、雪中撒布、雪后撒布等不同工序，研究其对应融雪抗滑效果和材料用量。 2.在 3.2.1 主要研究内容的第 4 点和第 5 点中，强调了长期观测的重要性。将通过对试验段的长期跟踪监测，系统分析材料残留物对路面性能、路面构件、路域绿化、土壤的长期影响，为材料的全生命周期评价提供数据支持。
5	郭忠印	1.尽管内容全面，但较为乱，宜再整理研究内容的逻辑关系； 2.进一步突出研究重点和凝练创新点（目前所设立的创新点有点多）； 3.应进一步明确所研究的材料是“融雪”还是冻结材料颗粒在冰面上，两者功能相反，定位要明确； 4.研发的材料含城市污泥，应关注和研究雪融后污泥对路面的污染和对交通安全的影响问题。	1.已对“3.2.1 主要研究内容”进行了系统性梳理，将原有的并列式结构优化为从基础研究→核心研发→配套装备→应用延伸→综合评估的递进逻辑，使研究链条更清晰。 2.已将原大纲中分散的创新点进行归纳和凝练，集中在“3.1 拟解决的关键问题”中，以三个核心问题（协同设计、设备研发、协同机理）的形式呈现，避免了创新点过多、过散的问题。 3.已在“研究目的”和“研究内容”部分，将材料定位明确为“以物理防滑为主，化学融雪为辅的功能型材料。其核心作用是通过撒布颗粒增加冰雪层表面的宏观构造深度（防滑），同时颗粒中负载的融雪物质可微融冰雪界面，增强颗粒与冰雪层的固结（辅助作用），两者协同实现“即撒即通行”。同时，当气温升高后物质中的融雪剂可加速冰雪融化，可以和路面其他的积雪同步清理。 4.在 3.2.1 主要研究内容第 4 点“生物质防滑融雪材料的回收利用与土壤改良研究”中，新增了对雪融后残留物的专门研究。除了分析其对土壤的影响外，还将重点研究残留物在路面上的分布状态、被车轮碾压后的二次扬尘或飞溅情况，以及对路面抗滑性能的潜在影响，

			确保不会因材料本身引发新的交通安全问题。
--	--	--	----------------------

大纲评审委员会专家（签字）：



项目负责人（签字）：