

项目合同编号：25-42K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究

承担单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

项目负责人：雷宇

通讯邮编、地址：710075、陕西省西安市雁塔区科技四路 205 号

传真、电话：029-88853000

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：25-42K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究

承担单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

项目负责人：雷宇

通讯邮编、地址：710075、陕西省西安市雁塔区科技四路 205 号

传真、电话：029-88853000

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) 沥青路面就地温再生养护装备智能化需求及控制要点

采用现场调查与数据采集相结合的方法，首先在典型工程布设温度、湿度、风速及设备运行状态等多类型传感器，系统采集原路面状况、环境参数、再生混合料性能及装备运行数据；在此基础上，运用大数据分析及相关性统计方法，挖掘“路-机-环”多元数据间的内在关联，辨识影响再生温度稳定性、再生剂均匀性及压实质量的关键工艺参数；最后通过敏感性分析与专家座谈验证，从感知精度、决策鲁棒性、执行准确性及人机协同四个维度明确装备智能化的核心需求，构建涵盖环境感知、工艺决策、轨迹规划与系统集成的智能化总体技术框架。

(2) 复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应技术

首先集成温度传感器、湿度传感器、激光雷达与机器视觉等智能感知设备，采用多传感器融合算法对作业环境及装备状态进行实时监测，实现对原路面病害特征、材料温度分布及作业边界的精准识别；在此基础上，引入机器学习方法（如强化学习）或模糊逻辑控制理论，构建能够应对材料变异性与环境不确定性的工艺参数自适应决策模型，使装备能够根据实时感知信息自动解算并动态调整微波功率、再生剂喷洒量、耙松深度及作业速度等关键参数；最后通过在依托工程路段开展现场对比试验，验证模型在不同工况下的控制效果，并基于试验数据对模型进行迭代优化，最终形成一套适

用于复杂多变环境的就地温再生工艺参数自整定技术方案。

(3) 沥青路面就地温再生养护装备靶向定位及自运行技术
利用车载高清相机和扫描仪，融合路面二维图像与三维点云数据，采用改进的 YOLOv8 实例分割模型对图像中的裂缝、坑槽进行标注与识别训练。将二维图像与三维点云信息融合计算病害深度等信息，并将病害稽核信息与高精度 GPS/IMU 定位数据绑定，基于病害的识别与定位结果。结合机器学习技术分析病害特征，开发路径自规划算法，实现装备小范围行进路径的自动生成、安全避障和实时修正。通过实地测试验证技术可靠性。实施方案包括数据融合平台开发、算法集成、现场校准及性能评估。

(4) 环保导向型沥青路面就地温再生智能化养护装备开发
在现有就地温再生装备基础上，系统性融合前述自适应技术、靶向定位技术，构建可视化远程规划与监控操作平台。在再生深度、宽度、温度、级配调整等关键因素层面装备调整装备适应性与先进性，并通过实验室模拟和依托工程现场测试，评估装备能效和环保性能。开发阶段包括硬件改造、软件开发、系统联调及示范应用。实施方案强调多学科协作，确保装备符合“双碳”目标，提升养护效率。

2. 技术关键

(1) 路面病害与作业环境多源异构数据的实时融合与特征提取
突破施工场景下光照变化、烟尘遮挡及动态车辆干扰，实现温度场、病害三维几何特征与作业边界的高精度实时感知，核心在于：

①研究激光雷达、机器视觉与多光谱测温数据的深度融合算法，从复杂背景中准确提取小范围病害（裂缝、坑槽）的精确长度、宽度与深度信息；②建立“路-机-环”（原路面状况-装备状态-环境参数）多元数据的时空配准模型，为后续决策提供可靠的感知基础。

（2）面向材料变异性的工艺参数自适应决策与动态优化方法

针对原路面材料老化程度不均、环境波动等不确定性因素，如何构建具有强鲁棒性的工艺参数自适应决策模型，关键在于：①引入强化学习或模糊逻辑控制理论，挖掘“路-机-环”数据与再生质量间的非线性映射关系；②建立工艺参数动态解算机制，使装备能根据实时感知的病害三维边界与材料温度分布，自主调整微波功率、再生剂喷洒量、耙松深度、作业速度等核心参数；③通过现场试验数据驱动模型迭代进化，确保再生温度稳定性与再生剂均匀性。

（3）复杂约束下最优作业路径规划与跟踪控制

在开放交通的动态环境中，如何确保大型养护装备的作业安全性与轨迹精准性，核心难题包括：①构建考虑社会车辆闯入、施工人员活动的动态安全约束模型，实时预测障碍物运动趋势；②开发融合交通流态势的局部路径自规划算法，实现作业路径的实时修正与动态避障；③设计高精度路径跟踪控制器，克服路面不平、轮胎滑移等强干扰，确保装备严格沿病害修复边界执行铣刨、喷洒、摊铺等作业，保障施工安全与修复精度。

（4）多模块系统集成与人机协同

将自适应决策、安全导航与物理执行模块（微波加热、再生剂

喷洒、耙松装置) 高效集成, 形成整机协同作业能力, 研究的重点是: ①设计统一的软硬件架构与通信协议, 实现从“环境感知-工艺决策-轨迹规划-执行控制”的信息闭环与毫秒级协同; ②通过实验室模拟与依托工程验证, 系统评估并构建面向精准养护的核心性能参数体系, 包括再生深度控制精度、作业宽度范围、控温精度、级配调整能力、最小作业单元尺寸及安全避障响应时间, 为装备最终定型与示范应用提供技术支撑。

3. 依托工程(依托工作)

包茂高速靖边至陕蒙界段是陕西省公路骨架的重要组成部分, 是连接陕北能源化工基地与关中经济带的重要通道, 道路建成通车以来, 充分显示出了其在交通运输行业中的重要地位与作用, 为区域经济的快速发展提供了强有力的基础保障, 成为区域社会经济发展的“黄金通道”, 极大的促进沿线区域资源开发和引资开放, 对于推进西部大开发战略的实施起着十分重要的作用。

包茂高速公路靖边至陕蒙界段起自陕西与内蒙古交界处, 经红碱淖、小壕兔、孟家湾、王则弯、榆林、西左界、横山、黄嵩界, 止于靖边县, 与已建成的青银高速公路相接, 起讫点桩号 K210+000~K414+000, 路线全长 204 公里。榆靖段设计行车速度为 100km/h, 为双向四车道、全封闭全立交高速公路, 路基宽度 26~35 米, 最大纵坡 4%, 设计荷载汽车—超 20 级、挂车—120 级, 设计洪水频率 100 年/次, 地震烈度 6 级; 陕蒙段全长 88.1 公里, 设计行车速度为 100Km/h, 为全封闭、全立交高速公路, 路基宽度 26~

35 米，最大纵坡 4%。

本项目依托包茂高速公路靖边至陕蒙界段作为试点工程。该路段位于陕西省榆林市境内，是连接陕西与内蒙古的重要省际通道，交通荷载繁重，气候条件复杂，路面病害类型多样，具有典型的代表性的高速公路养护需求。依托工程将作为就地温再生智能化养护装备的现场调查、数据采集、技术验证与示范应用平台，系统开展再生剂洒布、微波加热、耙松摊铺等关键工序的智能化控制技术研究，为装备自适应、自运行技术优化及可视化远程监控平台功能完善提供真实工况条件下的测试环境，确保研究成果的工程适用性和可靠性，并形成可复制、可推广的智能化养护技术示范案例。

二、考核指标

1.预期目标

(1)开发复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应技术 1 项;

(2) 开发就地温再生养护装备自运行技术 1 项;

(3) 开发可视化远程规划与监控操作平台 1 项;

(4) 形成《环保导向型智能化养护装备操作手册》一套。

2.主要技术经济指标

(1) 技术指标

1)实现复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应技术工艺参数调整准确性大于 95%;

2) 就地温再生养护装备自运行技术, 实现小范围精准定位病害及行进路径自规划、自修正。病害定位误差小于 10cm, 路径规划修正准确度达 95%以上;

3)可视化远程规划与监控操作平台对装备状态的响应与更新时间不超过 5 秒。

4) 温再生沥青混合料路用性能满足规范要求: 高温稳定性动稳定度 ≥ 3000 次/mm, 低温抗裂性弯曲应变 $\geq 2500 \mu \varepsilon$, 冻融劈裂强度比 TSR $\geq 80\%$, 确保再生路面耐久性。

5) 采用本就地温再生技术, 沥青混合料的再生施工温度相比传统热再生工艺降低不低于 30℃, 有效减少沥青二次老化和有害气体排放。

(2) 经济指标

1) 养护维修效率

通过智能化需求分析与自适应技术，精准识别复杂工况下的关键影响因素，实时调节设备运行状态和工艺参数，有效减少施工时间与资源浪费。靶向定位与自运行技术的应用确保了精准的病害修复，提高了施工精度和整体效率，预计养护维修效率提升 10%~15%，从而显著缩短施工周期并减少停工损失。

2) 节约运营开支

通过环保导向型智能化装备的研发，能效得到显著提升，预计能源消耗降低 20%~25%，同时优化材料使用和再生工艺，提高废旧材料的再利用率，减少材料浪费。此举不仅降低了设备维护和运营费用，还减少了因碳排放引发的相关成本。整体来看，设备的投资回报周期缩短至 2~3 年，实现可持续的成本节约和经济效益增长。

3.经济和社会效益

裂缝是沥青路面局部破损中最常出现的病害类型，若裂缝病害维修养护不及时将引起对行驶安全严重影响的坑槽等病害，且在车辆冲击荷载的作用下，坑槽破损会加快而连成一片，致使局部路段大面积损坏，严重影响路面的使用寿命和车辆行驶的安全性。根据数据统计分析，因裂缝引发的坑槽病害 80%以上为表面层坑槽，但若维修养护不及时，会迅速发展成为中上面层坑槽，无形中降低了路面行驶质量及安全性能，也造成了维修工作的增加。在路面养护工作中，路面裂缝及引发的坑槽病害处治不仅影响交通保畅，而且

费工费时，特别是该类病害的现有养护技术的处治质量难以得到有效保证。

（1）数据来源说明

根据我院承担的交通运输部企业技术创新项目《沥青路面无损温再生技术研究》（合同编号：2014315490010）及相关工程实践跟踪观测结果表明：

① 常规修补材料使用寿命：通过对多条高速公路裂缝及坑槽修补点的长期跟踪观测，常规热拌沥青混合料修补的裂缝及坑槽，受材料老化、交通荷载及环境因素影响，平均使用寿命一般为 1~2 年。

② 无损温再生技术使用寿命：采用就地无损温再生技术修复的试验路段跟踪观测表明，由于实现了新旧路面材料的良好融合，修复后路面使用寿命显著延长，平均可达 3~5 年，较常规修补技术提升 1 倍以上。

（2）寿命周期成本对比分析

在路面设计寿命周期内，养护维修次数与单次维修成本共同决定了全寿命周期养护总成本。

从维修次数来看，常规修补技术因使用寿命较短，同一位置在设计寿命周期内需多次重复维修；而无损温再生技术由于使用寿命显著延长，维修次数大幅减少。

从单次维修成本来看，常规修补技术需铣刨重铺，涉及新材料生产、旧料废弃、设备调遣等环节，成本较高；而无损温再生技术实现废旧料 100%就地利用，减少新材料消耗，同时智能化装备的应

用降低了人工依赖和施工能耗，单次维修成本明显降低。

综合测算，在 15 年设计寿命周期内，采用就地无损温再生技术配合本项目开发的智能化养护装备，全寿命周期养护成本可降低 60%以上，经济效益十分显著。

（3）综合效益分析

经济效益：通过智能化需求分析与自适应技术，精准识别复杂工况下的关键影响因素，实时调节设备运行状态和工艺参数，有效减少施工时间与资源浪费。靶向定位与自运行技术的应用确保了精准的病害修复，提高了施工精度和整体效率，预计养护维修效率提升 10%~15%，施工周期显著缩短。同时，废旧材料 100%利用，材料成本大幅降低，设备投资回报周期预计可缩短至 2~3 年。

社会效益：该装备通过实时监测和自适应调整技术，确保修补过程的精度和一致性，极大减少传统作业中的人为干预和误差。智能化、自主化的运行模式显著降低了对人工的依赖，减少了人员投入，降低了潜在的安全风险，提升了施工过程中的安全性与效率。同时，施工时间缩短减少了道路封闭对交通通行的影响，提升了公众出行满意度。

环境效益：装备采用微波加热技术结合环保导向型设计，显著降低能源消耗和废气排放，预计能源消耗降低 20%~25%，CO₂ 等有害气体排放减少 30%以上。废旧沥青混合料 100%就地再生利用，避免了铣刨旧料废弃造成的土地占用和环境污染，符合“双碳”目标和绿色交通发展理念，为道路可持续养护提供有力支撑。

综上所述，本项目的实施将显著提升道路养护质量，延长路面使用寿命，减少频繁养护对交通通行的影响，具有显著的经济效益、社会效益和环境效益。

4.成果提供形式

（1）发表核心期刊论文不少于 3 篇，其中 EI 或 SCI 检索不少于 1 篇；

（2）申请国家专利不少于 2 项；

（3）形成《沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究》报告和《环保导向型智能化养护装备操作手册》。

5.其他考核指标

（1）开展的媒体宣传报道不少于 3 次；

（2）技术交流不少于 1 次；

（3）培养业务骨干不少于 1 名。

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
2026.03.01 - 2026.05.31	系统采集就地温再生期间道路、环境及再生沥青混合料性能等数据，研究复杂工况环境下就地温再生工艺各环节关键影响因素。
2026.06.01 - 2026.08.31	通过大数据分析技术，深入剖析养护装备与再生沥青混合料性能之间的内在关联，明确就地温再生养护装备智能化需求及控制要点。
2026.09.01 - 2027.01.31	结合智能感知技术，开发复杂环境下可实现关键工艺参数自调节的就地温再生养护装备自适应技术。
2027.02.01 - 2027.06.30	基于空间信息与机器学习技术，开发可实现精准定位病害、行进路径自规划、自修正的就地温再生养护装备靶向定位及自运行技术。
2027.07.01 - 2027.11.30	整合优化智能化自适应、自运行技术，构建可视化远程规划与监控操作平台，开发环保导向型就地温再生智能化养护装备。
2027.12.01 - 2028.03.01	撰写研究报告，修改完善并准备结题验收。

四、项目经费

项目总经费：75.00 万元
 交通运输厅补助：19.96 万元
 自筹资金：55.04 万元

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	19.96	合 计	75.00	19.96	55.04
工程配套研究经费	0.0	1.设备费	16.00	0.00	16.00
单位自筹	55.04	（1）购置设备费	10.00	0.00	10.00
其他经费	0.0	（2）设备改造与租赁费	6.00	0.00	6.00
		2.业务费	32.40	10.96	21.44
		（1）材料费	8.00	0.00	8.00
		（2）测试化验实验加工费	5.00	0.00	5.00
		（3）燃料动力费	4.00	2.96	1.04
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	8.00	5.00	3.00
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	5.00	3.00	2.00
		（6）其他费用	2.40	0.00	2.40
		3.劳务费	15.00	9.00	6.00
		（1）专家咨询费	6.00	3.00	3.00
		（2）聘用人员劳务费	9.00	6.00	3.00
		（3）其他劳务费	0.00	0.00	0.00
		（二）间接费用	11.60	0.00	11.60
		4.管理费	5.60	0.00	5.60
		5.绩效支出	6.00	0.00	6.00

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

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

六、承担单位或研究人员分工

承担单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司（以下简称“中交一公院”），始建于 1952 年（中央人民政府交通部西北公路管理局设计公司），目前是世界 500 强企业中国交通建设股份有限公司的全资子公司，是国家工程勘察、设计、咨询、监理与科研骨干企业之一，也是我国公路勘察设计行业最早获得“中国勘察设计单位综合实力百强”称号的企业。

中交一公院现有职工 3000 余人，其中外籍院士 1 人，国家勘察设计大师 2 人，享受国务院特殊津贴 20 人，百千万人才 1 人，交通科技青年英才 2 人，在站博士后 4 人；全员中级以上专业技术职称人员占比逾 50%，各类职业注册人员近 200 人，形成了专业结构合理、梯队层次分明的人才队伍。

中交一公院始终坚持以科技进步为先导，以技术创新支撑和引领企业发展，构建了具有行业和企业特色的科技创新平台与技术创新体系，被业界誉为“一院创新模式”。目前拥有高寒高海拔地区道路工程结构与健康重点实验室、中交寒区旱区重点实验室、多年冻土区公路建设与养护技术交通行业重点实验室、陕西省公路交通防灾减灾重点实验室、西安市桥梁安全技术及装备工程实验室、陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室（共建）、桥梁结构安全技术国家工程实验室（共建）、国家博士后科研工作站、陕西省首批“三秦学者”岗位等多个国家级及省部级科技创新与科技人才平台。先后被授予全国

创新试点企业（第五批）、陕西省创新型企业（第一批）、国家高新技术企业、全国交通建设科技进步先进集体、交通运输行业优秀科技创新团队、陕西省产学研联合开发先进集体等荣誉称号，为科技创新提供了坚实的后盾。

项目负责人：（全面负责该项目的研究工作）

雷宇，男，正高级工程师。现任中交第一公路勘察设计研究院有限公司公路绿色智能养护技术研发中心副主任，主要从事路面工程的研究与设计工作。先后主持参与国内外大型工程设计项目 20 余项，国家及省部级路面科研项目 15 项；主持参与的项目获省部级科技进步一等奖 2 项，二等奖 6 项，三等奖 1 项，获得国家发明专利和软件著作权 10 余项，在国内外核心期刊发表学术论文 20 余篇。主编参编行业及地方标准规范 8 部。

技术指导：（主要负责该项目的技术指导）

曹海波，正高级工程师，东南大学道路与铁道工程专业工学硕士，重庆交通大学博士，现任中交一公院瑞通公司研发中心主任，兼任公路绿色智能养护技术研发中心总工程师。工作以来一直从事公路建设及养护设计、道路新材料、新技术和装备的研究，主持并参与了十余项国家及省部级科研项目，先后获得省部级科技进步奖二等奖 4 项，省部级科技进步奖三等奖 2 项，申报国家专利 8 项，参编行业和地方标准 6 项。在国内外核心期刊发表学术论文 10 余篇。对于道路材料、道路施工设备的研究开发经验丰富。

项目组其他成员主要为中交一公院公路绿色智能养护技术研发

中心骨干人员，分别承担了该项目中设备开发、试验测试、仿真模拟等工作。

七、项目参加人员表

项目承担单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司						
参与单位（排序）：						
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	雷宇	1982.08	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	正高级工程师/分公司副总工	道路工程	项目负责人
主要研究人员						
2	曹海波	1982.04	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	正高级工程师/研发中心主任	道路工程	技术咨询
3	陈团结	1975.07	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	正高级工程师/院副总工、分公司总工	道路工程	技术顾问
4	闫亚鹏	1987.04	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	正高级工程师/研发中心副总工	道路工程	技术总负责

5	张睿轩	2000.7	长安大学	运输工程学院博士生	交通运输规划与管理专业	分项负责	张睿轩
6	刘洋	1981.12	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	高级工程师/分公司行政总监	道路工程	分项负责	刘洋
7	郑娇萌	1999.08	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	工程师	道路工程	分项负责	郑娇萌
8	成超	1984.12	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	高级工程师/分公司运营管理部部长	公路工程	分项负责	成超
9	樊孟孟	1988.02	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	副高级工程师	道路工程	分项负责	樊孟孟
10	张立东	1990.08	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	高级工程师/分公司运营管理部副部长	公路工程	工程示范	张立东
11	王殿驭	1994.09	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	工程师	道路工程	试验测试	王殿驭
12	韩晓娆	1989.10	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	高级工程师	道路工程	数据分析	韩晓娆
13	马明	1987.03	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	高级工程师	数字化	设备开发	马明

14	苗思雨	1991.11	中交第一公路勘察设计 研究院有限公司	工程师	道路工程	设备开发	苗思雨
15	赵明	1982.03	中交第一公路勘察设计 研究院有限公司	高级工程师	道路工程	试验测试	赵明
16	屈腾	1982.05	中交第一公路勘察设计 研究院有限公司	高级经济师	对外汉语	数据分析	屈腾
17	臧晓宁	1993.05	中交第一公路勘察设计 研究院有限公司	工程师	其他	试验测试	臧晓宁

八、信息表

项目合同编号		25-42K		密级		/		A：机密 B：秘密 C：内部		
项目名称		沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究								
项目实施所在地		陕西西安		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月				
总 经 费		75.0		厅 拨		19.96				
第一承担单位	单位名称	中交第一公路勘察设计研究院有限公司								
	所在地	陕西省西安市雁塔区					代码	610113000000		
	通讯地址	陕西省西安市高新区科技四路 205 号					邮编	710075		
	单位性质	(3) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码	31		
参与单位	序号	单 位 名 称								
	1									
	2									
	3									
项目负责人		姓 名	雷宇		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份	1982.08		
		学 历	(1) 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	13991953523/029-88853000			电子邮箱	75383141@qq.com			
项目联系人		姓名	闫亚鹏			性别	男			
		联系电话	18991159930/029-88853000			电子邮箱	359706437@qq.com			
项目组人数		15	高级	11	中级	3	初级	1	其他	
主要研究内容 (100 字以内)		研究沥青路面就地温再生装备智能化需求，分析工艺影响因素；开发自适应技术，实时监测状态与再生参数并自调节；融合定位技术实现病害精准识别与路径自主规划；研制环保型智能化装备，构建远程监控平台。								
成果属性		A	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	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.合同正本一式拾份，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：

负责人：（签字）

联系人：（签字）

电 话：029-88869067



陕西省交通运输厅

2026年3月27日

（公 章）

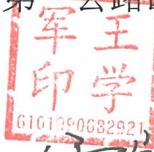
合同乙方：

单位负责人：（签字）

项目负责人：（签字）

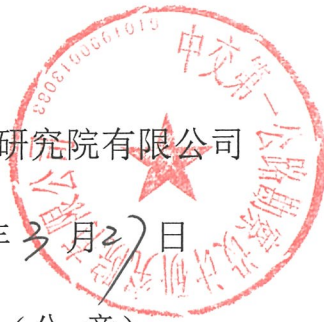
电 话：

中交第一公路勘察设计研究院有限公司



2026年3月27日

（公 章）



财务负责人：（签字）

账 户 名：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

开户银行：中国农业银行股份有限公司西安科技二路支行

账 号：26127101040000725

王学军

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：25-42K

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术
研究

申请单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司（盖章）

联系人：雷宇

电 话：13991953523

陕西省交通运输厅制

2026 年 3 月

应用技术、信息化类及软科学类

编写主要内容

一、项目研究的背景和必要性

随着我国交通事业的不断发展，沥青路面被广泛应用于各级公路，在交通荷载及环境等多要素的持续综合作用下，早期建成通车的公路大部分出现了不同程度的病害，为确保其正常服役功能，亟需开展修复养护。在绿色交通及可持续发展战略下，我国提出了发展“资源节约型、环境友好型”的绿色节能、循环利用理念。“双碳”背景下，如何将运维期产生的废旧沥青混合料循环利用、变废为宝，减少环境污染与资源浪费依然成为社会关注与研究热点，沥青路面再生利用技术越来越受到行业各界的重视。

目前我国沥青路面再生方式主要分为就地或厂拌热再生和冷再生，尽管采用热再生技术处理后的废旧沥青混合料能与普通热拌沥青混合料性能相媲美，但废旧沥青混合料掺量通常只有 20~30%，而且生产施工温度要求高、能耗大、传统的加热方式不仅造成废旧沥青混合料中沥青的二次老化，而且热再生过程中产生大量的 CO₂、SO₂、NO_x 等有毒有害气体；而冷再生技术虽可实现废旧沥青混合料的 100%利用，但冷再生混合料主要用于低等级公路或高等级公路基层、底基层或以下层位，且存在冷再生混合料存在养生时间长、水稳定性及耐久性差、混合料级配易受破坏等显著问题。在此背景下，废旧沥青混合料温拌再生技术应运而生。而温拌再生技术通常是指在基本维

持沥青混合料配合比和施工工艺的前提下,通过技术手段使沥青混合料的拌和温度降低 30~40℃以上,但性能达到热拌沥青混合料的新型沥青混合料再生技术,该技术的核心在于利用温拌再生剂,降低废旧沥青混合料的拌合温度。废旧沥青混合料温拌再生技术依旧存在仅适用于厂拌再生、温拌再生剂成本高、废旧沥青混合料铣刨回收时原路面矿料级配发生破坏、传统加热方式能耗高等技术瓶颈。不同于热辐射、热传导等传统加热方式,微波加热技术可实现物体内外同时加热、受热均匀,是一种快速、绿色且可实现选择性加热的新型加热技术,可显著减弱废旧沥青混合料中沥青的二次老化。然而,关于已有微波加热技术的探索研究主要围绕废旧沥青混合料厂拌热再生领域,未涉猎沥青路面就地再生领域,且已有微波厂拌热再生技术的相关研究表明,常规废旧沥青混合料的微波敏感性较差,在微波照射下难以在短时间内达到软化再生所需温度。

为解决上述现状难题,一种结合温拌再生技术和微波加热技术的可有效提高微波能利用效率、避免矿料级配破坏和降低原路面沥青二次老化的沥青路面就地无损温再生技术应运而生。该技术通过将开发的就地无损温再生剂喷洒至原沥青路面表面,不仅提高原路面沥青混合料的微波敏感性,而且在微波辅助作用下促使就地无损温再生剂短时间渗透至原路面内部,实现 110℃~130℃温度条件下软化再生原沥青路面,在不破坏原路面矿料级配的前提下,经设备耙松及拌合摊铺(必要时)后,实现废旧沥青混合料 100%的就地无损再生。

本项目主要针对沥青路面表层病害进行快速、精准修复,适用层

位为沥青路面上面层（厚度范围 4~6cm）及中面层（厚度范围 5~8cm）。聚焦的病害类型包括：裂缝类（单条裂缝、网裂）以及由裂缝发展初期的坑槽病害（深度 $\leq$ 6cm）。然而目前具有微波加热功能的就地温再生技术配套设备相对落后，信息化、智能化程度相对较低，难以适应各类复杂工况环境，且操作相对繁琐无法实现可视化、简便化操作，大大增加了人员训练成本以及养护时间，造成了不必要的资源、人员浪费。

为此，本项目基于沥青路面就地温再生技术特点及现有就地温再生养护装备，深入分析沥青路面就地温再生养护装备智能化需求及控制要点，开发复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应、自运行技术，并整合优化智能化自适应、自运行技术，构建可视化远程规划与监控操作平台，开发环保导向型就地温再生智能化养护装备，高效应对复杂工况，实现精准施工和便捷操作，显著降低人员培训和养护成本，最大化实现养护资源的高效利用，助推我国“双碳”目标的实现。

二、前期科研及工作基础

1.研究现状

(1) 温拌技术研究现状

近年来,随着节约集约、绿色发展新理念的提出,沥青混合料在拌和过程中的环保问题备受关注,传统的热拌工艺对拌和温度要求较高,不仅消耗大量的化石能源,在摊铺时还产生许多有毒气体,影响施工人员的身心健康,而采用冷拌工艺摊铺的路面路用性能往往较低,常用于对沥青路面坑槽与裂缝处的冷补。基于此,研究人员们不断对沥青混合料的拌和工艺进行改进,以求降低拌和温度,减少有害气体排放,改善沥青混合料的路用性能,开发出了一种新型的沥青混合料拌和工艺——沥青混合料温拌技术。与常规的热拌技术相比较,温拌技术可以降低混合料的拌和温度 30-40℃ 以上^[1]缓解沥青混合料在拌和过程中的二次老化,减少了高温拌合过程中有害气体的排放量,并且保证其路用性能与力学性能不发生衰减。目前,温拌技术已经得到了广泛的利用,国内外学者开展了众多的研究,开发出了多种类型沥青温拌新技术,如沥青发泡技术、合成沸石、有机添加剂、化学添加剂等^[2]。郝运哲等^[3]通过添加自主研发的 HPD 型温拌剂和 Sasobit 型温拌剂研究了温拌剂种类对高黏改性沥青高低温性能和微观结构的影响;结果表明,较 Sasobit,HPD 型温拌剂可以有效促进 SBS 在沥青中更加均匀地进行分布,提高高黏沥青的高温性能,减缓沥青的低温特性损伤作用,改善高黏沥青的施工和易性能。宋云连等^[4]通过延度试验、弯曲梁流变试验分别研究了添加 Evo 表面活性型温拌剂与 USP

低温沥青改性剂后基质沥青的低温性能变化,研究表明,两种温拌剂都可以降低沥青低温临界温度,改善抗低温开裂能力,且添加 USP 温拌剂的沥青的低温性能优于添加 Evo 温拌的沥青。张永平^[5]通过室内常规实验对软硬沥青复配温拌混合料的路用性能进行了评价,研究发现,相比于热拌沥青混合料,软硬沥青复配温拌混合料有着良好的高温稳定性能与抗疲劳性能,可以减少有害气体排放,降低混合料的拌和与摊铺温度,起到环保减排的作用,但水稳定性能有所降低。杨群等^[6]基于 RV 试验,研究了添加有机硅类温拌剂温拌机理及其对沥青-骨料界面粘附的影响。研究发现,有机硅类温拌剂的温拌机理主要包括降黏、界面润滑和提高沥青骨料黏附性,此外,有机硅类温拌剂可以与骨料形成良好的物理结合,增强沥青与骨料的粘结潜力。

在国外,Firas 等^[7]借助通过动态模量和流动数试验研究了 Rediset LQ1 102CE 温拌剂对 15%、25%、45%三种 RAP 掺量再生沥青混合料路用性能的影响,结果表明,添加 Rediset 温拌剂提高了再生沥青混合料的低温抗裂性能,高温抗车辙能力却有所降低,15%RAP 掺量下的再生沥青混合料高温性能不再满足规范要求。Ashley^[8]评估添加温拌沥青(WMA)和再生沥青瓦(RAS)的沥青混合料的低温性能,研究表明,WMA 可以高效地与 RAS 共同进行使用,添加 RAS 后混合料的高温抗车辙能力、剥离拐点(SIP)及动态模量值得到了明显的提升。Abdullah 等^[9]研究了添加纳米粘土对混合料路用性能的影响,并与常规热拌沥青混合料进行了比较。研究发现,与传统

混合料相比,添加纳米粘土后的沥青混合料在水敏感性、抗高温车辙作用和抗永久变形方面均表现出优异的性能。Clements 等^[10]研究了 Evotherm3g (TM)09 型化学添加剂对混合料拌和与压实温度的影响情况,并对混合料路用性能进行评价,研究结果表明,该添加剂可以有效地降低混合料的拌和与压实温度,对高温稳定性能有着显著影响,但就低温抗开裂能力而言影响有限,甚至可以忽略。Ayyala 等^[11]通过室内试验评估了三种 WMA 技术:Sasobit,Advera WMA 和发泡剂各自对沥青混合料高温性能的影响,研究发现,通过三种 WMA 技术成型的沥青混合料动态模量损失远低于 TSR 值所指示的损失,反映出三种混合料都具有较好的高温抗车辙能力。

(2) 温再生沥青混合料技术研究现状

沥青混合料温再生技术是介于冷再生与热再生之间,集绿色环保与旧料利用于一体,兼具两种再生技术优势,有效地利用路面铣刨材料实现再生的新技术。通过在 RAP 旧料中添加适量的再生剂使混合料性能得到一定的恢复,接近于原样沥青混合料,并添加一定掺量的温拌剂降低混合料拌合压实过程中的温度,减轻再生 RAP 料中旧沥青的进一步老化,减少有害气体烟气的排放,提高施工和易性,实现旧料的回收利用和环境保护的目的。关于温再生技术的研究,最早是由美国国家沥青技术专家 Rajib B.Mallick 提出,首次将温拌和沥青再生两种技术进行结合并开展了相关试验验证。此后,沥青混合料温再生技术吸引了诸多的领域专家开展相关研究,Lizárraga 等^[12]通过与热再生沥青混合料进行对比,研究了 100%RAP 掺量下半温拌再生沥青

混合料的力学性能。结果表明,就力学性能而言,半温拌再生沥青混合料的与热再生沥青混合料基本一致,且降低了拌合温度,减少了有害气体排放,具有良好的应用前景。Alhasan 等^[13]发现在混合料初始使用寿命期间内,泡沫温再生沥青混合料的抗低温开裂能力弱于普通沥青混合料,后期抗低温性能相近,沥青粘结剂及骨料的类型也会对断裂温度与断裂应力产生较大影响。Goli 等^[14]则是研究了水对温再生沥青混合料性能影响的影响,研究表明,虽然添加 RAP 的温再生沥青混合料具有亲水性、水敏感性,但具有较好的抗湿能力,可适用于湿度受损、环境和自然资源有限的地区。

在国内,郭鹏等^[15]基于表面自由能理论,提出了一种在无水或有水环境下添加集料、沥青和温拌剂的粘附模型,研究发现,再生沥青混合料的水稳定性可以通过有水或无水条件下的粘附功来评价。添加温拌剂后,沥青的极性组分和路易斯酸碱力参数发生改变,进而增强了沥青与集料之间的粘附力,改善了再生沥青混合料的水稳定性。李强等^[16]采用半圆弯曲试验(SCB)评价了不同温再生沥青混合料的疲劳性能,考察了 RAP 掺量和旧沥青老化水平对疲劳性能的影响,研究表明,采用温拌技术会使得再生沥青混合料的疲劳寿命发生衰减,且随着 RAP 含量或旧沥青老化时间的增大,混合料的疲劳寿命显著缩短,并建立起耗散能模型对不同温拌再生沥青混合料的疲劳寿命进行预测。王岚等^[17]基于改进的永久变形(PD)模型,采用三轴重复蠕变试验和 OT 试验研究了 RAP 掺量与试验温度对温再生沥青混合料高温性能和抗反射开裂性能的影响,研究发现:RAP 掺量的增大,

使得沥青混合料的抗变形能力增强,抗反射开裂性能变差;而随着温度的升高,混合料抗变形能力减弱,抗反射开裂性能增强。PD模型可以准确描述高温再生沥青混合料的反射开裂损伤演化过程。杨丽英等^[18]发现5%的 Evotherm 温拌添加剂可以在保证混合料具有良好路用性能的前提下将RAP的掺量提高到45%,且在高应变水平下,温再生沥青混合料的疲劳寿命明显高于热再生沥青混合料。李根等^[19]研究了不同RAP掺量下通过温拌技术制备的沥青混合料疲劳性能的差异,发现混合料疲劳寿命随RAP掺量的增加逐渐衰减,当RAP掺量大于30%后,性能衰减更加明显,表明温拌再生沥青混合料存在“疲劳性能拐点”。程培峰等^[20]通过等体积法,借助设计空隙率控制了沥青混合料的拌和成型温度,研究发现,当旧料掺量为40%时,可以降低拌和与压实温度约25℃,且混合料的路用性能均能满足规范要求。

(3) 国内外沥青路面养护装备发展概况

1) 国外研究概况

国外沥青路面养护机械已有百年的历史,用于高等级公路的沥青路面小修作业综合养护机械也有60-70年的历史^[23]。他们按功能和作业方式可分为以下几种:

①旧料就地再生的路面综合养护车。其代表机型为美国热动力公司(Thermal Power Co.)的修路王^[21]。其最大特点是可以对旧料进行就地再生利用,从而大大节省沥青混合料,有利于环境保护和节约能源。

②带有热混合料箱及路面破碎压实工具的综合路面修补车^[22]。代

表机型为美国 AKZO NOBEL 公司开发了 TP4 型综合养护车，带有 7T 保温箱、沥青箱（乳化沥青箱）以及其它养护辅具。

③喷射式修补养护车^[24]。其代表机型是美国乐仕高的路面修补车（ROSCO 公司 RA-300 Spray Patcher），其最大特点是通过高压喷洒的方法，使带有不同电荷的乳化沥青和骨料混合并喷洒到待处理的坑槽中，达到维修的目的^[25]。

④综合作业修补养护车。其代表机型是美国 Lee Boy 公司生产的 1200-S 沥青路面综合修补车（Asphalt maintainer/Patcher）。它具有铣刨、喷洒沥青、摊铺等作业功能^[26-27]。

2) 国内研究概况

沥青路面养护车在我国近几年发展速度也比较快，无论是在热再生还是冷再生方面，业界都进行了应用和研究^[28]。就具备热再生功能的沥青路面养护车而言，国内目前开发的养护车主要集中在以下几类：

①美通开发的热再生沥青路面综合养护车，其搅拌装置和加热系统一体化设计，可以现场热拌再生沥青混合料^[30]。

②森远开发的 AD5080TYHR 型热风式再生修补车，其最大特点是利用热风循环技术，用热风来加热沥青混合料。

③思嘉特开发的 YH4 型沥青路面养护车。

④英达开发 PM500-48-TPk 型旋转式料仓就地热再生养护车^[29]。

国内热再生养护车的加热方式主要有导热油加热、液化气红外加热、热风循环加热、电加热、燃煤加热等方式，搅拌采用滚筒旋转搅拌或立式强制搅拌等形式^[31]。

就现状而言，我国的技术水平和再生设备和国外相比，仍有很大差距，并且由于国内外的国情现状不同，养护理念和技术成熟度各不相同，国外相对先进的再生利用技术无法直接在国内直接模仿和复制，所以在旧沥青路面再生利用方面，我们仍需开展更多更深入的研究工作。

2.工作条件

(1) 支撑条件

本项目申请单位为中交第一公路勘察设计研究院有限公司（以下简称我院），始建于1952年（中央人民政府交通部西北公路管理局设计公司），目前是世界500强企业中国交通建设股份有限公司的全资子公司，是国家工程勘察、设计、咨询、监理与科研骨干企业之一，也是我国公路勘察设计行业最早获得“中国勘察设计单位综合实力百强”称号的企业。

我院现有职工3000余人，其中外籍院士1人，国家勘察设计大师2人，享受国务院特殊津贴20人，百千万人才1人，交通科技青年英才2人，在站博士后4人；全员中级以上专业技术职称人员占比逾50%，各类职业注册人员近200人，形成了专业结构合理、梯队层次分明的人才队伍。

我院始终坚持以科技进步为先导，以技术创新支撑和引领企业发展，构建了具有行业和企业特色的科技创新平台与技术创新体系，被业界誉为“一院创新模式”。目前拥有高寒高海拔地区道路工程结构与健康重点实验室、中交寒区旱区重点实验室、多年冻土区公路建设

与养护技术交通行业重点实验室、陕西省公路交通防灾减灾重点实验室、西安市桥梁安全技术及装备工程实验室、陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室（共建）、桥梁结构安全技术国家工程实验室（共建）、国家博士后科研工作站、陕西省首批“三秦学者”岗位等多个国家级及省部级科技创新与科技人才平台。先后被授予全国创新试点企业（第五批）、陕西省创新型企业（第一批）、国家高新技术企业、全国交通建设科技进步先进集体、交通运输行业优秀科技创新团队、陕西省产学研联合开发先进集体等荣誉称号，为科技创新提供了坚实的后盾。

我院拥有交通部公路工程试验检测综合甲级资质和桥隧甲级专项资质，实验厂房建筑面积 7000 多平方米。配备有 GDS 三轴仪、MTS 试验机、UTM 试验机、Carl Bro 落锤式弯沉仪、道路探测雷达、多功能电法工作站、公路数字综合检测车、桥梁检测车等先进的大中型试验与检测设备 300 多台（套），仪器设备总值 6000 多万元。

作为行业大院，中交一公院自成立以来一直是全国交通行业技术创新中的主力军，在我国同行业中具有较强的技术优势。建院 60 年来，累计承担各类纵横向科技开发项目 200 余项。拥有国际专利、国家专利、计算机软件著作权授权 140 余项。凭借丰富的工程实践经验与技术实力，我院在现代公路勘测设计技术（特别是山区高速公路）、长大公路桥隧工程技术、地质勘察与减灾防灾技术、特殊路基与地基处治技术、道路维修改造与加固技术等专业领域取得了丰硕的科技创新成果，拥有“公路数字化集成勘测设计技术”、“多年冻土区公路

建设与养护技术”、“桥梁参数化智能化标准化集成设计技术”、“基于区域环境和交通特征的路面设计与分析技术”、“公路交通安全评价设计技术”等“五大”核心技术体系和“九大”优势技术领域，为交通运输行业各类工程建设提供了宝贵的经验。

（2）准备工作情况

我院前期承担交通运输部企业技术创新项目《沥青路面无损温再生技术研究》（项目编号：2014315490010），在复配的 SBS、芳烃油和 SR 体系中通过物理方法加入微波敏感粉料的方法开发出了一种微波敏感型沥青路面无损温再生剂。同时，通过对微波辅助方式的研究，结合结构设计和优化，设计了特殊的径向螺旋天线紧凑排列方案，实现了微波辅助的均匀性和工作性，利用金属网屏蔽喇叭口径平面以下的辐射，同时考虑实际工作环境，研发了一种微波辅助渗透墙。并将该核心墙体集成到车，集成一款以微波为辅助渗透方式的沥青路面辅助养护车。

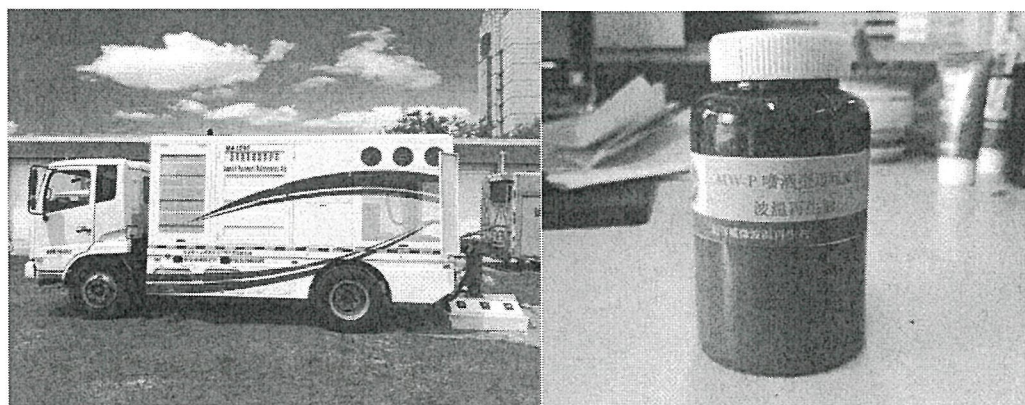


图 1 沥青路面辅助养护车及微波敏感型沥青路面无损温再生剂

上述项目的科研成果及研究经验本项目奠定基础，提供了微波及道路养护领域的宝贵经验，自主研发了沥青路面辅助养护车，为本项

目就地温再生再生装备的改造升级提供了基础条件。

(3) 实现课题目标的主要措施

1) 人员

公路绿色智能养护技术研发中心成立于 2008 年，是中交第一公路勘察设计研究院有限公司研发部门中重要成员之一，也是中交瑞通路桥养护科技有限公司的核心研发团队。拥有核心研发人员 40 余人，其中博士 7 人，硕士 27 人。公路绿色智能养护技术研发中心在陈团结博士的带领下，经过十几年的潜心研究，在道路及桥梁养护技术、材料、装备等方面取得了一系列丰硕的成果。先后获得国际发明专利 2 项，国家发明专利 30 余项，省部级科技奖励一等 3 项，二等奖 10 余项。拥有自主开发的养护分析软件 PavMaster®、桥梁加固分析软件以及绿色公路评价分析软件，同时主编了行业标准 2 部，地方及协会团体标准 12 部，多项核心技术分别入选交通运输部成果库、交通运输部交通运输建设科技成果推广目录、科技部国家重点新产品目录。同时科研成果在多个项目得到成功推广应用，取得了良好的社会、经济和环保综合效益。

公路绿色智能养护技术研发中心将负责本项目立项申报、工作大纲、调研、编制、统稿、组织评审等具体工作。项目组的研究人员具有丰富的科研工作经验和较高的学术水平，能保证项目研究工作的顺利实施。

2) 管理

为保证本项目能够高质、高效按期达到预定目标，必须建立全面、

高效的组织管理机制。

本项目研究依托公路绿色智能养护技术研发中心丰富的人力资源、专业知识和广泛业务领域为支撑，以项目负责人为课题组织管理主体，由具有博士、硕士学位的专业技术人员组成课题组开展研究工作。

根据项目研究内容划分为不同分项，由分项负责人负责，建立各分项研究小组，将项目组研究成员划分在各小组内，各小组组员对小组负责人负责，小组负责人对项目负责人负责。项目立项后，由公路绿色智能养护技术研发中心总工负责整个项目进度、质量监督工作。各分项研究小组按年度计划进度提供季报，项目组定期召开协调会，并进行专家咨询。通过高效、规范的组织管理，充分发挥各类资源、人才优势，高质高量的实现本项目目标。

（4）技术装备条件

本项目承担单位拥有交通部公路工程试验检测综合甲级资质和桥隧甲级专项资质，实验厂房建筑面积 7000 多平方米。配备有 GDS 三轴仪、MTS 试验机、UTM 试验机、Carl Bro 落锤式弯沉仪、道路探测雷达、多功能电法工作站、公路数字综合检测车、桥梁检测车等先进的大中型试验与检测设备 300 多台（套），仪器设备总值 6000 多万元。2008 年交通运输部批准依托中交第一公路勘察设计研究院成立了多年冻土区公路建设与养护行业重点实验室，先后投资 3200 余万元配置了相关科研设备和低温环境模拟试验系统，模拟自然环境下公路的运行状态，研究气候—工程稳定性之间的相互作用关系。已

构建了“大型路基模型试验系统、路面结构与材料试验系统、野外监测与检测系统”等工程试验研究平台，目前已建成“1个试验中心、2个野外基地、5个观测站、18个试验场”。

本项目承担单位具有充足的试验设备和试验场地为本项目开发提供条件，以保证本项目可以如期高质量完成。

3.参考文献

[1] 唐宁,王弘晔,符聘,等. 沥青混合料温拌技术的研究进展[J]. 中国材料进展, 2020, 39(09): 653-660.

[2] 王维营. 大比例温拌再生沥青及混合料性能研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.

[3] 郝运哲,董夫强,孙鹏程. HPD 温拌剂对高粘沥青性能影响研究[J]. 合成材料老化与应用, 2022, 51(01): 27-30.

[4] 宋云连,高盼,吕鹏. 温拌沥青低温性能及其微观特性机理研究[J]. 材料导报, 2021, 35(S1): 251-257.

[5] 张永平. 软硬沥青复配温拌混合料性能与节能减排效果[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2012, 31(06): 1157-1161.

[6] Yang Q, Li X T. Mechanism and Effectiveness of a Silicone-Based Warm Mix Additive[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2019, 31(1).

[7] Barraj F, Khatib J, Castro A, et al. Effect of Chemical Warm Mix Additive on the Properties and Mechanical Performance of Recycled Asphalt Mixtures[J]. BUILDINGS, 2022, 12(7).

[8] Buss A, Cascione A, Williams R C. Evaluation of warm mix asphalt containing recycled asphalt shingles[J]. Construction and Building Materials, 2014, 61: 1-9.

[9] Abdullah M E, Zamhari K A, Hainin M R, et al. High temperature characteristics of warm mix asphalt mixtures with nanoclay and chemical warm mix asphalt modified binders[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 122: 326-334.

[10] Clements T M, Blankenship P B, Mahboub K C. The Effect of Loose Mix Aging on the Performance of Warm Mix Asphalt[J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 2012, 81: 541-567.

[11] Ayyala D, Malladi H, Khosla N P, et al. Evaluation of Warm Mix Asphalt technology for surface mixtures[M]//Asphalt Pavements. CRC Press, 2014: 725-732.

[12] Lizárraga J M, Del Barco-Carrión A J, Ramírez A, et al. Mechanical performance assessment of half warm recycled asphalt mixes containing up to 100% RAP[J]. Materiales De Construcción, 2017, 67(327): e129.

[13] Alhasan A A, Abbas A R, Nazzal M, et al. Low-Temperature Characterization of Foamed Warm-Mix Asphalt Produced by Water Injection[J]. Transportation Research Record, 2014, (2445): 1-11.

[14] Goli H, Latifi M. Evaluation of the effect of moisture on behavior of warm mix asphalt (WMA) mixtures containing recycled

asphalt pavement (RAP)[J]. Construction and Building Materials, 2020, 247.

[15] Guo P, Feng Y X, Wei W F, et al. Adhesion of Warm-Mix Recycled Asphalt Aggregate Mixtures Based on Surface Free Energy Theory[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2019, 31(10).

[16] Li Q, Meng Y P, Li N H, et al. Characterization of fatigue performance of the warm-mix recycled asphalt mixture using different models[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2022, 45(3): 770-782.

[17] Wang L, Wu H, Guo Z Y, et al. Evaluation of High-Temperature and Antireflection Cracking Performance of Warm Mixed Recycled Asphalt Mixture[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2023, 35(3).

[19] 李根, 李振, 徐世法, 等. 掺加旧料对温拌沥青混合料疲劳性能的影响分析[J]. 北京建筑工程学院学报, 2011, 27(03): 1-6.

[20] 程培峰, 韩永强. 温再生改性沥青混合料压实温度的研究[J]. 公路工程, 2015, 40(01): 148-151.

[21] 姚玲, 刘波, 马致远. 微波养护车在北京市高速公路养护施工中的应用[J]. 建设机械技术与管理, 2024, 37(03): 93-95.

[22] 王艳萍. 热再生沥青混合料搅拌加热装置热效率研究[J]. 交通世界, 2023, (34): 118-120.

[23] 高红飞. 铣刨收料微波加热养护车关键装置设计研究[D]. 长安

大学,2023.

[24]朱飞标.新型沥青路面综合养护车开发实践[J].新型工业化,2021,11(05):179-181.

[25]杨松涛.沥青路面多功能养护车的液压系统的改进[J].工程机械与维修,2020,(03):72-73.

[26]谢英俊,权少帅,王玉龙,等.一种智能公路养护车和控制系统的的设计[J].科技视界,2019,(17):178-179.

[27]武道.沥青路面多功能综合养护车设计与研究[D].长安大学,2014.

[28]解德杰.沥青路面养护车研究[D].长安大学,2015.

[29]马登成,李旋,李宗,等.沥青混合料搅拌加热滚筒设计及加热效率模拟与验证[J].农业工程学报,2016,32(15):104-109.

[30]于勇.沥青路面养护车开发[D].重庆交通大学,2011.

[31]郝慧慧.多功能沥青路面养护车总体和上料机构设计与结构分析[D].长安大学,2013.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题

为实现上述目标，本项目将集中攻克以下四个层面的关键科学技术问题：

关键问题一：路面病害与作业环境多源异构数据的实时融合与特征提取

如何突破施工场景下光照变化、烟尘遮挡及动态车辆干扰，实现温度场、病害三维几何特征与作业边界的高精度实时感知，核心在于：①研究激光雷达、机器视觉与多光谱测温数据的深度融合算法，从复杂背景中准确提取小范围病害（裂缝、坑槽）的精确长度、宽度与深度信息；②建立“路-机-环”（原路面状况-装备状态-环境参数）多元数据的时空配准模型，为后续决策提供可靠的感知基础。

关键问题二：面向材料变异性的工艺参数自适应决策与动态优化方法

针对原路面材料老化程度不均、环境波动等不确定性因素，如何构建具有强鲁棒性的工艺参数自适应决策模型，关键在于：①引入强化学习或模糊逻辑控制理论，挖掘“路-机-环”数据与再生质量间的非线性映射关系；②建立工艺参数动态解算机制，使装备能根据实时感知的病害三维边界与材料温度分布，自主调整微波功率、再生剂喷洒量、耙松深度、作业速度等核心参数；③通过现场试验数据驱动模型迭代进化，确保再生温度稳定性与再生剂均匀性。

关键问题三：复杂约束下最优作业路径规划与跟踪控制

在开放交通的动态环境中,如何确保大型养护装备的作业安全性与轨迹精准性,核心难题包括:①构建考虑社会车辆闯入、施工人员活动的动态安全约束模型,实时预测障碍物运动趋势;②开发融合交通流态势的局部路径自规划算法,实现作业路径的实时修正与动态避障;③设计高精度路径跟踪控制器,克服路面不平、轮胎滑移等强干扰,确保装备严格沿病害修复边界执行铣刨、喷洒、摊铺等作业,保障施工安全与修复精度。

关键问题四:多模块系统集成与人机协同

如何将自适应决策、安全导航与物理执行模块(微波加热、再生剂喷洒、耙松装置)高效集成,形成整机协同作业能力,研究的重点是:①设计统一的软硬件架构与通信协议,实现从“环境感知-工艺决策-轨迹规划-执行控制”的信息闭环与毫秒级协同;②通过实验室模拟与依托工程验证,系统评估并构建面向精准养护的核心性能参数体系,包括再生深度控制精度、作业宽度范围、控温精度、级配调整能力、最小作业单元尺寸及安全避障响应时间,为装备最终定型与示范应用提供技术支撑。

2. 主要研究内容及实施方案

(1) 沥青路面就地温再生养护装备智能化需求及控制要点

采用现场调查与数据采集相结合的方法,首先在典型工程布设温度、湿度、风速及设备运行状态等多类型传感器,系统采集原路面状况、环境参数、再生混合料性能及装备运行数据;在此基础上,运用大数据分析及相关性统计方法,挖掘“路-机-环”多元数据间的内在

关联，辨识影响再生温度稳定性、再生剂均匀性及压实质量的关键工艺参数；最后通过敏感性分析与专家座谈验证，从感知精度、决策鲁棒性、执行准确性及人机协同四个维度明确装备智能化的核心需求，构建涵盖环境感知、工艺决策、轨迹规划与系统集成的智能化总体技术框架。

（2）复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应技术

首先集成温度传感器、湿度传感器、激光雷达与机器视觉等智能感知设备，采用多传感器融合算法对作业环境及装备状态进行实时监测，实现对原路面病害特征、材料温度分布及作业边界的精准识别；在此基础上，利用关联规则挖掘、聚类分析等大数据方法，总结出针对不同材料特性、不同病害类型、不同环境条件的最佳工艺参数组合规则库。引入机器学习方法或模糊逻辑控制理论，构建能够应对材料变异性与环境不确定性的工艺参数自适应决策模型，使装备能够根据实时感知信息自动解算并动态调整微波功率、再生剂喷洒量、耙松深度及作业速度等关键参数；最后通过在依托工程路段开展现场对比试验，验证模型在不同工况下的控制效果，并基于试验数据对模型进行迭代优化，最终形成一套适用于复杂多变环境的就地温再生工艺参数自整定技术方案。

（3）沥青路面就地温再生养护装备靶向定位及自运行技术

利用车载高清相机和扫描仪，融合路面二维图像与三维点云数据，采用改进的 YOLOv8 实例分割模型对图像中的裂缝、坑槽进行标注与识别训练。将二维图像与三维点云信息融合计算病害深度等信息，

并将病害稽核信息与高精度 GPS/IMU 定位数据绑定，基于病害的识别与定位结果。结合机器学习技术分析病害特征，开发路径自规划算法，实现装备小范围行进路径的自动生成、安全避障和实时修正。通过实地测试验证技术可靠性。实施方案包括数据融合平台开发、算法集成、现场校准及性能评估。

（4）环保导向型沥青路面就地温再生智能化养护装备开发

在现有就地温再生装备基础上，系统性融合前述自适应技术、靶向定位技术，构建可视化远程规划与监控操作平台。在再生深度、宽度、温度、级配调整等关键因素层面装备调整装备适应性与先进性，并通过实验室模拟和依托工程现场测试，评估装备能效和环保性能。开发阶段包括硬件改造、软件开发、系统联调及示范应用。实施方案强调多学科协作，确保装备符合“双碳”目标，提升养护效率。

3. 技术路线

（1）技术路线

本项目将采用“理论驱动、技术攻关、系统集成、迭代验证”的螺旋式研发范式，构建一套完整的技术路线，技术路线如下所示：

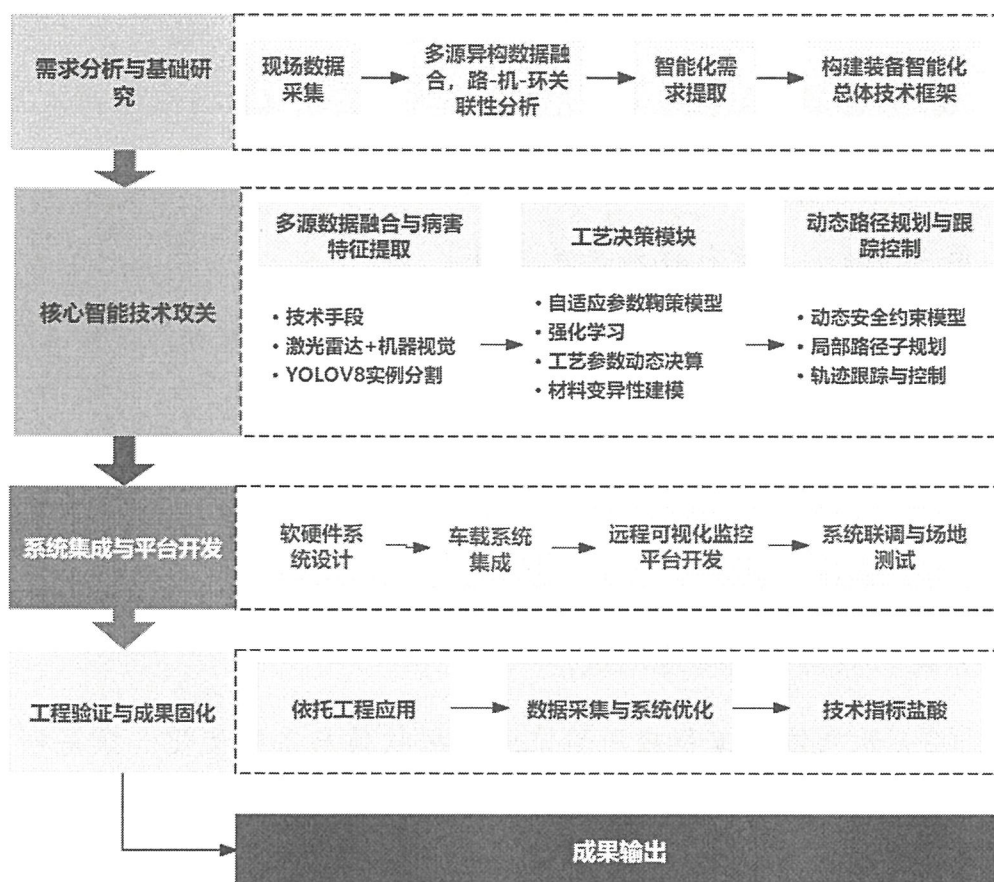


图 2 技术路线图

(2) 工作流程

为确保项目高效、有序推进，本项目实施将采用“双线并行、闭环管理”的工作流程，即“研究主线”与“管理保障线”并行推进，主线工作流程包含四个阶段：

第一阶段：智能化需求及控制要点分析

(1) 成立项目组，明确分工；资料调研与现场勘察；制定详细的项目工作大纲与技术实施方案；搭建数据采集系统。

(2) 开展系统性数据采集；进行数据处理与分析；完成智能化需求报告与控制要点定义。

第二阶段：自适应技术开发与测试

完成传感器选型与集成；开发并在实验室测试自适应控制算法；完成核心算法模块。

第三阶段：自运行技术开发与测试

完成定位、感知模块开发；开发并仿真测试路径规划与跟踪算法；完成自运行软件模块。

第四阶段：智能化装备开发

(1) 完成所有硬件模块集成；开发车载软件与远程监控平台；进行系统联调与封闭场地测试。

(2) 开展依托工程应用验证；数据收集与系统优化；撰写研究报告、专利与论文；准备结题验收。

具体工作流程如图 3 所示。

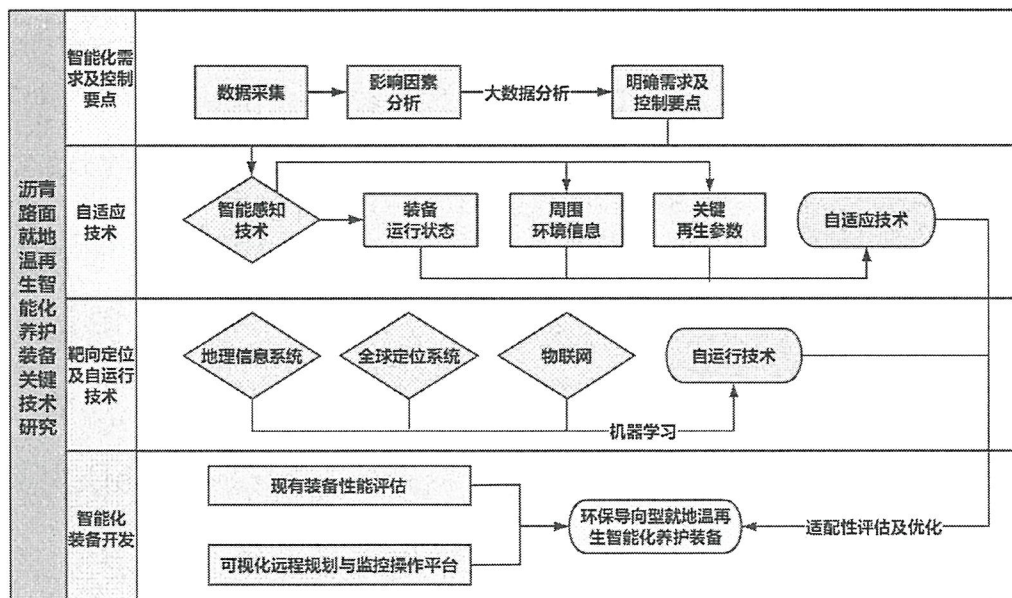


图 3 工作流程图

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接

本项目研发的环保导向型就地温再生智能化养护装备及自适应、自运行关键技术,可直接应用于陕西省内高速公路及普通国省干线公路养护工程,通过依托工程试点形成示范效应,逐步向全国范围推广。本项目构建的智能感知与控制系统、可视化远程监控平台具有良好的普适性和可扩展性,可结合不同地域气候特征、交通荷载等级及路面结构类型进行参数优化与系统适配,满足各类复杂工况下的精准养护需求。通过试点推广、工程示范、标准制定、技术培训等多种方式,推动研究成果产业化应用,为沥青路面养护行业提供智能化、绿色化技术解决方案,显著提升养护效率与质量,降低能源消耗和碳排放,助力交通行业"双碳"目标实现,为构建资源节约型、环境友好型公路养护体系提供坚实技术支撑。

5. 有关技术经济指标

(1) 技术指标

1) 实现复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应技术工艺参数调整准确性大于 95%;

2) 就地温再生养护装备自运行技术,实现小范围精准定位病害及行进路径自规划、自修正。病害定位误差小于 10cm,路径规划修正准确率达 95%以上;

3) 可视化远程规划与监控操作平台对装备状态的响应与更新时间不超过 5 秒。

4) 温再生沥青混合料路用性能满足规范要求: 高温稳定性动稳定度 ≥ 3000 次/mm, 低温抗裂性弯曲应变 $\geq 2500 \mu \varepsilon$, 冻融劈裂强度

比 $TSR \geq 80\%$ ，确保再生路面耐久性。

5) 采用本就地温再生技术，沥青混合料的再生施工温度相比传统热再生工艺降低不低于 30°C ，有效减少沥青二次老化和有害气体排放。

(2) 经济指标

1) 养护维修效率

通过智能化需求分析与自适应技术，精准识别复杂工况下的关键影响因素，实时调节设备运行状态和工艺参数，有效减少施工时间与资源浪费。靶向定位与自运行技术的应用确保了精准的病害修复，提高了施工精度和整体效率，预计养护维修效率提升 $10\% \sim 15\%$ ，从而显著缩短施工周期并减少停工损失。

2) 节约运营开支

通过环保导向型智能化装备的研发，能效得到显著提升，预计能源消耗降低 $20\% \sim 25\%$ ，同时优化材料使用和再生工艺，提高废旧材料的再利用率，减少材料浪费。此举不仅降低了设备维护和运营费用，还减少了因碳排放引发的相关成本。整体来看，设备的投资回报周期缩短至 $2 \sim 3$ 年，实现可持续的成本节约和经济效益增长。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

中交第一公路勘察设计研究院有限公司（简称中交一公院）始建于 1952 年，前身为交通部公路总局设计第五分局，后更名为交通部第一公路勘察设计院，现隶属中国交通建设股份有限公司，是我国公路工程勘察、设计、研究、咨询领域大型骨干企业，在全国交通系统最早跻身“中国勘察设计单位综合实力百强”之列。

60 年来，中交一公院共承担了近 8 万公里的公路勘察设计任务，其中高等级公路近万公里；勘察设计桥梁 7 万多延米，其中特大型、大型桥梁 500 多座；勘察设计隧道 16 万多延米，其中长大隧道 40 多座；所勘察设计项目遍布全国 30 个省市自治区，业务范围涉足亚非地区 18 个国家。公司先后荣获国家科技进步奖、国家优质工程奖、鲁班奖、詹天佑土木工程奖、省部级特奖、优秀勘察设计奖等 200 多项，为我国交通事业发展建立了卓越功勋。

中交第一公路勘察设计研究院有限公司拥有国家级博士后科研工作站 1 个、交通行业重点实验室（部级）1 个、交通部甲级试验检测中心（部级）1 个、中交股份的区域技术研发中心（国有大型企业集团，相当于省部级）1 个、9 个专职研究机构，研究人员 400 余人，能够为本项目的顺利实施提供基础。

2. 技术力量及人员构成

项目负责人及核心成员涵盖道路工程、数字化仿真等专业，形成了多学科交叉的团队结构。团队不仅拥有扎实的理论基础，更具备丰

富的工程实践能力，能够确保研究成果既具创新性，又具备工程落地性，具体技术力量及人员构成如下表所示。

表 1 技术力量及人员构成情况表

姓名	单 位	性别	年龄	技术 职称	专业	在项目中担 任具体工作
雷宇	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1982-08 -27	正高	道路工程	项目负责人
曹海波	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1982-04 -12	正高	道路工程	技术咨询
陈团结	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1975-07 -09	正高	道路工程	技术顾问
闫亚鹏	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1987-04 -10	正高	道路工程	技术总负责
张睿轩	长安大学	男	2000-07 -01	-	交通运输 规划与管理专业	分项负责
刘洋	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1981-12 -23	高工	公路工程	分项负责
郑娇萌	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	女	1999-08 -11	助理级	道路工程	分项负责
成超	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1984-12 -28	高工	公路工程	分项负责
樊孟孟	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1988-02 -21	高工	道路工程	分项负责
张立东	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1990-08 -11	高工	公路工程	工程示范

王殿驭	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1994-09-06	工程师	道路工程	试验测试
韩娆娆	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	女	1989-10-02	高工	道路工程	数据分析
马明	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1987-03-07	高工	数字化	设备开发
苗思雨	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1991-11-09	工程师	道路工程	设备开发
赵明	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	女	1982-06-10	高工	道路工程	试验测试
屈腾	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	男	1984-11-10	高工	对外汉语	数据分析
臧晓宁	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	女	1993-05-18	工程师	其他	试验测试

3. 各自承担的主要工作

承担单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

(1) 项目立项申报及组织管理工作；

(2) 开展智能化需求分析，采集数据并研究影响因素，明确装备控制要点；开发自适应技术，实时监测装备状态与再生参数，实现工艺参数自调节；开发靶向定位及自运行技术，实现病害精准定位与作业路径自主规划修正；开发环保型智能化装备，融合关键技术并构建远程监控平台；

(3) 依托工程提供、落实配套资金；

(4) 完成研究报告，形成技术标准与指南，推动成果转化应用。

4. 项目主要负责人情况

雷宇，男，正高级工程师。现任中交第一公路勘察设计研究院有限公司公路绿色智能养护技术研发中心副主任，主要从事路面工程的研究与设计工作。先后主持参与国内外大型工程设计项目 20 余项，国家及省部级路面科研项目 15 项；主持参与的项目获省部级科技进步一等奖 2 项，二等奖 6 项，三等奖 1 项，获得国家发明专利和软件著作权 10 余项，在国内外核心期刊发表学术论文 20 余篇。主编参编行业及地方标准规范 8 部。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

1. 依托工程（工作）概况

包茂高速靖边至陕蒙界段是陕西省公路骨架的重要组成部分，是连接陕北能源化工基地与关中经济带的重要通道，道路建成通车以来，充分显示出了其在交通运输行业中的重要地位与作用，为区域经济的快速发展提供了强有力的基础保障，成为区域社会经济发展的“黄金通道”，极大的促进沿线区域资源开发和引资开放，对于推进西部大开发战略的实施起着十分重要的作用。

包茂高速公路靖边至陕蒙界段起自陕西与内蒙古交界处，经红碱淖、小壕兔、孟家湾、王则弯、榆林、西左界、横山、黄蒿界，止于靖边县，与已建成的青银高速公路相接，起讫点桩号 K210+000 ~ K414+000，路线全长 204 公里。榆靖段设计行车速度为 100km/h，为双向四车道、全封闭全立交高速公路，路基宽度 26 ~ 35 米，最大纵坡 4%，设计荷载汽车—超 20 级、挂车—120 级，设计洪水频率 100 年/次，地震烈度 6 级；陕蒙段全长 88.1 公里，设计行车速度为 100Km/h，为全封闭、全立交高速公路，路基宽度 26 ~ 35 米，最大纵坡 4%。

本项目依托包茂高速公路靖边至陕蒙界段作为试点工程。该路段位于陕西省榆林市境内，是连接陕西与内蒙古的重要省际通道，交通荷载繁重，气候条件复杂，路面病害类型多样，具有典型的代表性的高速公路养护需求。依托工程将作为就地温再生智能化养护装备的现场调查、数据采集、技术验证与示范应用平台，系统开展再生剂洒布、微波加热、耙松摊铺等关键工序的智能化控制技术研究，为装备自适

应、自运行技术优化及可视化远程监控平台功能完善提供真实工况条件下的测试环境，确保研究成果的工程适用性和可靠性，并形成可复制、可推广的智能化养护技术示范案例。

2. 投资来源

项目总经费：	75 万元
交通运输厅补助：	19.96 万元
承担单位自筹：	55.04 万元
工程配套研究经费：	/ 万元

3. 工程进度与项目科研进度的配合

(1) 2026.03.01~2026.05.31: 系统采集就地温再生期间道路、环境及再生沥青混合料性能等数据，研究复杂工况环境下就地温再生工艺各环节关键影响因素；

(2) 2026.06.01~2026.08.31: 通过大数据分析技术，深入剖析养护装备与再生沥青混合料性能之间的内在关联，明确就地温再生养护装备智能化需求及控制要点；

(3) 2026.09.01~2027.01.31: 结合智能感知技术，开发复杂环境下可实现关键工艺参数自调节的就地温再生养护装备自适应技术；

(4) 2027.02.01~2027.06.30: 基于空间信息与机器学习技术，开发可实现精准定位病害、行进路径自规划、自修正的就地温再生养护装备靶向定位及自运行技术；

(5) 2027.07.01~2027.11.30: 整合优化智能化自适应、自运行技术，构建可视化远程规划与监控操作平台，开发环保导向型就地温再

生智能化养护装备;

(6) 2027.12.01~2028.03.01: 撰写研究报告, 修改完善并准备结题验收。

4. 组织管理形式

本项目由中交第一公路勘察设计研究院有限公司独立承担, 公路绿色智能养护技术研发中心作为核心实施主体, 全面负责项目立项申报、工作大纲编制、技术调研、科研攻关、成果统稿及组织评审等具体工作。项目实行项目负责人负责制, 由项目负责人总体把控研究进度与质量, 根据研究内容划分为智能化需求分析、自适应技术开发、靶向定位与自运行技术、装备集成与平台构建等分项, 各分项设置分项负责人, 组建专业研究小组开展工作。项目承担单位定期组织专家咨询与技术协调会, 各分项按年度计划提交季度进展报告, 研究成果需经专家组评审论证后方可验收。项目经费实行专款专用, 确保项目高质高效按期完成。

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	19.96	合 计	75.00	19.96	55.04
工程配套研究经费	0.0	1.设备费	16.00	0.00	16.00
单位自筹	55.04	（1）购置设备费	10.00	0.00	10.00
其他经费	0.0	（2）设备改造与租赁费	6.00	0.00	6.00
		2.业务费	32.40	10.96	21.44
		（1）材料费	8.00	0.00	8.00
		（2）测试化验实验加工费	5.00	0.00	5.00
		（3）燃料动力费	4.00	2.96	1.04
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	8.00	5.00	3.00
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	5.00	3.00	2.00
		（6）其他费用	2.40	0.00	2.40
		3.劳务费	15.00	9.00	6.00
		（1）专家咨询费	6.00	3.00	3.00
		（2）聘用人员劳务费	9.00	6.00	3.00
		（3）其他劳务费	0.00	0.00	0.00
		（二）间接费用	11.60	0.00	11.60
		4.管理费	5.60	0.00	5.60
		5.绩效支出	6.00	0.00	6.00

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

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

1.项目预期目标

(1) 开发复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应技术 1 项;

(2) 开发就地温再生养护装备自运行技术 1 项;

(3) 开发可视化远程规划与监控操作平台 1 项;

(4) 形成《环保导向型智能化养护装备操作手册》一套。

2.提交的研究成果及其形式

(1) 发表核心期刊论文不少于 3 篇,其中 EI 或 SCI 检索不少于 1 篇;

(2) 申请国家专利不少于 2 项;

(3) 形成《沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究》报告和《环保导向型智能化养护装备操作手册》。

3.经济、社会、环境效益分析

裂缝是沥青路面局部破损中最常出现的病害类型,若裂缝病害维修养护不及时将引起对行驶安全严重影响的坑槽等病害,且在车辆冲击荷载的作用下,坑槽破损会加快而连成一片,致使局部路段大面积损坏,严重影响路面的使用寿命和车辆行驶的安全性。根据数据统计分析,因裂缝引发的坑槽病害 80%以上为表面层坑槽,但若维修养护不及时,会迅速发展成为中上面层坑槽,无形中降低了路面行驶质量及安全性能,也造成了维修工作的增加。在路面养护工作中,路面裂缝及引发的坑槽病害处治不仅影响交通保畅,而且费工费时,特别是

该类病害的现有养护技术的处治质量难以得到有效保证。

(1) 数据来源说明

根据我院承担的交通运输部企业技术创新项目《沥青路面无损温再生技术研究》（合同编号：2014315490010）及相关工程实践跟踪观测结果表明：

① 常规修补材料使用寿命：通过对多条高速公路裂缝及坑槽修补点的长期跟踪观测，常规热拌沥青混合料修补的裂缝及坑槽，受材料老化、交通荷载及环境因素影响，平均使用寿命一般为1~2年。

② 无损温再生技术使用寿命：采用就地无损温再生技术修复的试验路段跟踪观测表明，由于实现了新旧路面材料的良好融合，修复后路面使用寿命显著延长，平均可达3~5年，较常规修补技术提升1倍以上。

(2) 寿命周期成本对比分析

在路面设计寿命周期内，养护维修次数与单次维修成本共同决定了全寿命周期养护总成本。

从维修次数来看，常规修补技术因使用寿命较短，同一位置在设计寿命周期内需多次重复维修；而无损温再生技术由于使用寿命显著延长，维修次数大幅减少。

从单次维修成本来看，常规修补技术需铣刨重铺，涉及新材料生产、旧料废弃、设备调遣等环节，成本较高；而无损温再生技术实现废旧料100%就地利用，减少新材料消耗，同时智能化装备的应用降低了人工依赖和施工能耗，单次维修成本明显降低。

综合测算，在 15 年设计寿命周期内，采用就地无损温再生技术配合本项目开发的智能化养护装备，全寿命周期养护成本可降低 60% 以上，经济效益十分显著。

（3）综合效益分析

经济效益：通过智能化需求分析与自适应技术，精准识别复杂工况下的关键影响因素，实时调节设备运行状态和工艺参数，有效减少施工时间与资源浪费。靶向定位与自运行技术的应用确保了精准的病害修复，提高了施工精度和整体效率，预计养护维修效率提升 10%~15%，施工周期显著缩短。同时，废旧材料 100% 利用，材料成本大幅降低，设备投资回报周期预计可缩短至 2~3 年。

社会效益：该装备通过实时监测和自适应调整技术，确保修补过程的精度和一致性，极大减少传统作业中的人为干预和误差。智能化、自主化的运行模式显著降低了对人工的依赖，减少了人员投入，降低了潜在的安全风险，提升了施工过程中的安全性与效率。同时，施工时间缩短减少了道路封闭对交通通行的影响，提升了公众出行满意度。

环境效益：装备采用微波加热技术结合环保导向型设计，显著降低能源消耗和废气排放，预计能源消耗降低 20%~25%，CO₂ 等有害气体排放减少 30% 以上。废旧沥青混合料 100% 就地再生利用，避免了铣刨旧料废弃造成的土地占用和环境污染，符合“双碳”目标和绿色交通发展理念，为道路可持续养护提供有力支撑。

综上所述，本项目的实施将显著提升道路养护质量，延长路面使用寿命，减少频繁养护对交通通行的影响，具有显著的经济效益、社

会效益和环境效益。

九、其它需要说明的问题

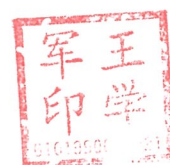
无

十、申请单位意见

依托工程和工程配套经费已落实。



单位负责人：（签字）



年 月 日

沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究 大纲评审意见

2026年3月10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“沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究”（项目编号：25-42K）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、预期成果完全覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架高度契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：1.补充项目前期研究工作对装备研发的基本需求；
2.进一步梳理装备性能及基本参数。

主任委员：张世峰

2026年3月10日

专家审查意见表

项目名称	沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究				
专家姓名	弥海晨	职务/职称	正高工	专 业	道路工程
专家单位	西安公路研究院有限公司			联系电话	

评 审 意 见

项目针对沥青路面就地温再生技术,进行智能化
装备关键技术研究,具有创新性和实用性

1. 进一步明确研发技术适用的沥青路面病害
类型

2. 补充就地温再生和装备研发基础

3. 增加温再生降温幅度指标。

评审专家(签字): 弥海晨

2026 年 3 月 10 日

(本意见入档,应填写工整,纸面不敷,可另加纸)

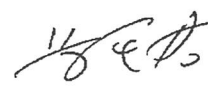
专家审查意见表

项目名称	沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究				
专家姓名	景宏君	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

本项目关于沥青路面就地温再生技术特点及现有就地温再生养护设备研发及应用现状，开展相应研究，立项必要，中心承诺，建议如下：

1. 拟解决课题中，~~该课题~~表述应简洁，对研究内容相匹配；
2. 图2 技术路线应加明确“与或非”逻辑关系，建议修改；
3. 有关技术经济指标应明确表述到，^{项目绩效指标}请斟酌！
4. 单位自筹资金明确到位。

评审专家（签字）： 

2026年3月10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	沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究				
专家姓名	王振军	职务/职称	教授	专 业	道路工程
专家单位	长安大学			联系电话	

评 审 意 见

本项目以沥青路面就地温再生智能化养护装备为目标，开展智能化装备关键技术研究，具有较好的工程应用价值。项目研究内容设置合理，技术路线清晰，研究方法得当，预期成果明确，最终形成就地温再生智能化养护装备。项目研究内容全面，技术方案合理，研究基础较好，配套设备到位，1年内完成研究任务。

建议：

1. (1) 本项目经费外拨后，使用率应达，或率应达。
2. (1) 项目经费提取比例应达。
3. 经费使用计划应达。

评审专家（签字）：



2026 年 3 月 10 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	沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究				
专家姓名	吴传海	职务/职称	总工/教高	专 业	道路工程
专家单位	广东华路交通科技有限公司			联系电话	13822141956

评 审 意 见

一、本项目基于沥青路面就地温再生技术特点，开发环保导向型就地温再生智能化养护装备，以高效应对复杂工况，实现精准施工和便捷操作，显著降低人员培训和养护成本，最大化实现养护资源的高效利用，立题新颖，符合“人工智能+交通运输”的时代需求。

二、病害处治范围的自动识别和确定是本课题研究的难点，建议针对病害的类型分别如何确定病害精准边界，包括病害处治的长度、宽度和深度等加大力度研究。

三、如何确定路面材料的变异是影响智能化养护装备自适用技术应用成败的关键，而传统方法针对路面材料开挖取样的样本数量极其有限，怎么发挥大数据分析的作用需要重点考虑。

四、养护作业一般均为边通车边施工，装备行径路径的规划和自动生成，需考虑施工作业安全问题。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 10 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（25-42K）

项目名称	沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究				
专家姓名	王松根	职务/职称	研究员	专 业	公路工程
专家单位	原山东省交通厅公路局			联系电话	13488700091

评 审 意 见

本项目基于沥青路面就地温再生技术特点及现有就地温再生养护装备，深入分析沥青路面就地温再生养护装备智能化需求及控制要点，开发复杂环境下沥青路面就地温再生养护装备自适应、自运行技术，并整合优化智能化自适应、自运行技术，构建可视化远程规划与监控操作平台，开发环保导向型就地温再生智能化养护装备，高效应对复杂工况，实现精准施工和便捷操作。

提出的沥青路面就地温再生概念、通过温再生剂和微波共同作用对再生沥青混合料进行加热，并进行智能化养护装备的研究制造，具有创新性。提交的研究大纲，研究内容全面、技术路线和实施方案可行，项目承担单位及研究团队人员组成合理，基础工作扎实，依托工程和研究经费已落实，具备开展项目研究的各项条件。

同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- 1. 进一步阐述采用温再生剂和微波共同作用对再生沥青混合料的加热机理和工艺要求，对接补充前期研究成果对装备研发的需求。
- 2. 进一步与其他就地加温方式进行技术、经济、环境等方面的综合对比，梳理该项目技术的比较优势。
- 3. 进一步梳理沥青路面就地温再生智能化养护装备的功能、性能及技术参数。如：再生深度、宽度、温度、级配调整等。

评审专家（签字）：

2026 年 03 月 10 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究 (项目编号: 25-42K)

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	弥海晨	西安公路研究院 有限公司	公路工程	道路工程	正高工	弥海晨
2	委员	王振军	长安大学	道路工程	道路工程材料	教授	王振军
3	委员	景宏君	西安科技大学	道路工程	道路工程材料	教授	景宏君
4	委员	王松根	山东省公路局	公路工程	道路工程	正高工	网上评审
5	委员	吴传海	广东华路交通科技 有限公司	道路工程	道路工程	正高工	网上评审

评审会参会人员签到表

姓 名	职称/职务	工作单位	联系电话
张海燕	正高	西安公路学院	1399855657
张民	教授	西安科技大学	13689101111
王明	教授	西安交大	1308757738
王海	正高	陕西省公路局	1360919817
张巍	正高	省公路局	15388602751
乔娟	正高	省公路局	13991366181
雷宇	正高	中交一公院	13991953523
闫玉鹏	正高	中交一公院	18991159930
张娟娟	工程师	中交一公院	18392008287

年 月 日

专家意见处理表

项目名称：沥青路面就地温再生智能化养护装备关键技术研究

(项目编号：25-42K)

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.拟解决的关键问题要和研究内容相对应; 2.完善技术路线图,逻辑与实施层面形成闭环; 3.进一步明确项目绩效指标; 4.单位自筹经费应确保落实到位。	(1) 按照专家意见执行,已梳理提炼关键问题并优化主要研究内容,使关键问题与研究内容有更好的对应关系。关键问题一:复杂环境下路面病害与作业环境的多模态精准感知机理;关键问题二:面向材料变异性的工艺参数自适应决策与动态优化方法;关键问题三:“边通车边施工”模式下装备的安全路径规划与精准跟踪控制;关键问题四:多执行模块协同控制与智能化装备性能参数体系构建分别与四个主要研究内容相对应。 (2) 按照专家意见执行,技术路线已根据研究内容与建议重新绘制。 (3) 按照专家意见执行,明确核对项目绩效指标。 (4) 按照专家意见执行,核查并确保单位自筹落实到位。
2	王振军	1.建议明确路面修复后性能、使用年限的变化情况以及成本降低的依据; 2.细化关于路面病害信息提取与处理等研究内容的具体研究方法; 3.明确温再生剂等相关材料的具体技术要求。	(1) 按照专家意见执行,在经济、社会、环境效益分析部分补充常规修补料(使用寿命1-2年)与无损温再生技术(使用寿命3-5年)的数据来源;补充成本对比计算公式及数据。 (2) 按照专家意见执行,在研究内容三中细化对病害提取的处理过程描述:“利用车载高清相机,融合路面二维图像与三维点云数据,采用改进的YOLOv8实例分割模型对图像中的裂缝、坑槽进行标注与识别训练。将二维图像与三维点云信息融合计算病害深度等信息,并将病害稽核信息与高精度GPS/IMU定位数据绑定,实现病害识别与定位。” (3) 按照专家意见执行,增加对再生剂的技术指标要求。

3	弥海晨	1.补充就地温再生和装备研发的工作基础; 2.明确应用场景(沥青路面病害类型); 3.进一步明确、优化自运行技术的预期目标,可适当缩小范围; 4.加强与温再生的关联性,增加就地温再生降温、降碳幅度等指标; 5.重视预算执行与相关知识产权指标的管理要求。	(1) 按照专家意见执行,在前期科研及工作基础部分补充就地温再生和装备研发基础。 (2) 按照专家意见执行,在“背景和必要性”及“拟解决问题中”明确:本研究主要针对公路沥青路面的表层病害进行快速、无损、精准的修复。具体病害类型包括:裂缝类以及由裂缝发展而成的初期坑槽。 (3) 按照专家意见执行,在自运行技术中聚焦小范围病害定位及路径规划行进。 (4) 按照专家意见执行,采用本就地温再生技术,沥青混合料的再生施工温度相比传统热再生工艺降低不低于30℃,有效减少沥青二次老化和有害气体排放。 (5) 按照专家意见执行,研究过程中严格管理预算执行与知识产权指标的完成。
4	吴传海	1.病害处治范围的自动识别和确定是本课题研究的难点,建议针对病害的类型分别如何确定病害精准边界,包括病害处治的长度、宽度和深度等加大力度研究。 2.如何确定路面材料的变异是影响智能化养护装备自适用技术应用成败的关键,而传统方法针对路面材料开挖取样的样本数量极其有限,怎么发挥大数据分析的作用需要重点考虑。 3.养护作业一般均为边通车边施工,装备路径的规划和自动生成,需考虑施工作业安全问题。	(1) 按照专家意见执行,在关键问题三和研究内容三部分专门强调对病害三维边界的识别研究。 (2) 按照专家意见执行,在研究内容二中将“引入机器学习方法”深化为“在此基础上,利用关联规则挖掘、聚类分析等大数据方法,总结出针对不同材料特性、不同病害类型、不同环境条件的最佳工艺参数组合规则库。引入机器学习方法或模糊逻辑控制理论,构建能够应对材料变异性与环境不确定性的工艺参数自适应决策模型,使装备能够根据实时感知信息自动解算并动态调整微波功率、再生剂喷洒量、耙松深度及作业速度等关键参数;” (3) 按照专家意见执行,在“自运行技术”开发中增加安全约束,在研究内容三中明确写入:路径规划与跟踪控制的算法设计,必须将‘作业安全’作为首要约束条件,在路径规划算法中加入安全边界设定、动态避障策略和环境感知联动。

