

项目合同编号：25—31X

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真

承担单位：长安大学

项目负责人：马荣贵

通讯邮编、地址：710064 西安市南二环路中段长安大学本部

传真、电话：18691887916

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) 多源数据融合的数据底座搭建

多源数据检测包括：

基于北斗导航和多倾角无人机的路面环境三维检测；

基于高分辨率相机的无人机路面病害检测；

基于激光检测的路面平整度、车辙、纹理深度、跳台检测；

基于线激光的路面小微病害预防性检测。

(2) 基于多尺度网格技术构建数字孪生道路模型

基于多尺度网格技术构建数字孪生道路模型，涵盖路面的线形、横断面、纵断面以及路面的各种病害。

(3) 精密激光网格扫描装置研制

实现路面纵断面检测间隔 50mm，路面横断面检测间隔 1mm，路面高程检测分辨率 1mm 的网格化扫描。

(4) 实现基于 AI 模型的自动数据处理

(5) 基于数字孪生的路面病害仿真

2. 技术关键

(1) 多源数据融合的数字底座搭建

(2) 基于多尺度网格的数字孪生路面模型

(3) 基于 AI 模型的自动数据处理

3. 依托工程（依托工作）

G70 福银高速蓝田至商洛段采用双向四车道高速公路技术标准，设计行车速度 100 Km / 小时，路基宽 26 米，路面结构上面层为 5cm 中粒式沥青混凝土（AC-16），中面层为 6cm 中粒式沥青混凝土（AC-20），下面层为 9cm 特粗式沥青碎石（ATB-30），基层底基层分别为 32cm、24cm 的水泥稳定碎石。自通车以来，该路段未进行大修处理，目前该路段路面出现了不同程度的损坏，道

路养护主要以预防性养护、小修保养为主。

本项目将在 G70 福银高速蓝田至商洛段选取 10km 路段进行多尺度检测，结合数据底座搭建 1km 的数字孪生模型，并建立实验路段的三维病害数据库。

二、考核指标

1.预期目标

基于多元数据融合技术得到路面的全面数字信息，在依托工程实现基于三维重建的路面数字孪生。

在变形类病害检测方面，建立基于 AI 模型的病害特征库，打通从数据到知识的塑造。

应用病害自动感知识别技术，在依托工程完成基于数字孪生路面的病害智能识别。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

- (1) 测量指标：平整度、车辙、跳台、路面破损、三维变形类病害；
- (2) 路面纵断面检测间隔：50mm ；
- (3) 路面横断面检测间隔：1mm ；
- (4) 路面高程检测分辨率：1mm 。

3.经济和社会效益

通过三维路面指标的检测可以准确定位路面车辙、坑槽、沉陷和拥包等三维破损并同时计算破损的相关三维参数，实现对道路评价中的破损数据全覆盖，为预防性养护和精细化养护决策提供科学、可靠的技术支撑，具有显著的经济和社会效益。通过基于依托工程建立的道路数字孪生系统可以进行路面养护仿真，可以全面提高养护决策的科学性和准确性。成果的推广具有很好的应用前景。

4.成果提供形式

- (1) 发表 SCI 或 EI 会议论文、核心期刊论文 4 篇；
- (2) 申报发明专利 2 项，授权实用新型专利 2 项；
- (3) 软件著作权 2 件；

(4) 培养专业技术人员 4 名；

(5) 实现基于无人机的大尺度路面数字孪生和基于三维网格检测的小尺度路面数字孪生；

(6) 提交“多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真”研究报告。

5. 其他考核指标

开展媒体宣传报道 1 次，技术交流 3 次。

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）
第一季度	1. 检索国内外道路数字孪生方面的文献资料，全面掌握国内外研究动态； 2. 调研国内路面横断面、纵断面、破损图像等采集设备的具体性能指标是否满足本项目数据采集的需要； 3. 调研国内无人机检测设备现状和对比分析； 4. 确定依托工程地点。
第二季度	1. 在前期调研基础上，完成道路数字孪生所需的主要路面指标参数，包括现有检测车检测指标、无人机建模指标、三维检测指标； 2. 确定真实路面和孪生路面交互所需传感器指标；
第三季度	1. 研究道路孪生数学模型； 2. 研究多层次道路模型的融合方法； 3. 设计搭载车改造方案，搭载车电路设计，机械设计，设备调试。 4. 在依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境和道路设施的采集。

第四季度	1. 搭建路面孪生的数字底座； 2. 研究建立各种数据指标的数字特性； 3. 构建基于无人机的大尺度数字孪生软件框架； 4. 完成搭载车车场试验和依托工程实验。
第五季度	1、在依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境和道路设施的采集； 2、构建构建基于三维网格检测的小尺度数字孪生软件框架。
第六季度	1. 在前期构建孪生道路模型的基础上，组织软件人员分工协作，编程实现孪生道路展示，道路病害渲染，动态数据交互等功能； 2. 完善试验方案。
第七季度	1. 依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境和道路设施的采集； 2. 申报相关专利和软件著作权，申报国家专利； 3. 完善项目工作报告、研究报告、用户报告等验收资料；
第八季度	1. 继续完善依托工程数字孪生模型； 2. 撰写验收资料和报告； 3. 成果查新，准备验收。

四、项目经费

项目总经费：	64.8	万元
交通运输厅补助：	19.8	万元
自筹资金：	45	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)
	64.8	19.8
(一) 直接费用	58.32	17.82
1. 设备费	6	
(1) 购置设备费		
(2) 试制设备费		
(3) 设备改造与租赁费	6	
2. 业务费	37.32	14.82
(4) 材料支出	12	5
(5) 测试化验实验加工支出	11	3
(6) 燃料及动力支出	0.5	
(7) 差旅支出	3	3
(8) 会议支出	3	2
(9) 国际合作与交流支出	1	
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	6	1.82
(11) 其他支出	0.82	
3. 劳务费	15	3
(12) 劳务性支出	12	
(13) 咨询专家支出	3	3
(二) 间接费用	6.48	1.98
4. 管理费	6.48	1.98
5. 绩效支出		
合 计	64.8	19.8

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）	
		（1）授权发明专利	
		（2）实用新型	2
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	2
		3.发表论文（篇）	
		（1）其中 SCI 索引收录数	1
		（2）其中 EI 索引收录数	2
		（3）其他	1
		4.著作（部）	
		5.制订标准数（项）	
		（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	
	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	1
		(2) 硕士	4
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	4
		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

（一）长安大学

主要负责项目技术研发、分析、评价及建模测试。

- （1）制定总体实验方案；
- （2）路面数字孪生体系数字底座的搭建；
- （3）基于路面数字孪生模型的实现；
- （4）路面病害仿真。

（二）陕西高速机械化工程有限公司

主要负责项目的协调。

- （1）依托工程的激光路面检测；
- （2）依托工程的无人机路面点云检测；

（三）陕西方元预应力机械有限公司

主要负责精密网格化路面检测装置的设计和加工等。

（四）陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

主要负责项目依托工程G70蓝田至商洛K1618+000-K1613段的落实及检测过程中的安保工作。

七、项目参加人员表

项目承担单位：长安大学						
参与单位（排序）： 陕西高速机械化工程有限公司						
陕西方元预应力机械有限公司						
陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司						
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	马荣贵	1967-01	长安大学	教授	人工智能	项目负责人
主要研究人员（注：一般项目不超过15人）						
2	张建利	1980-08	陕西高速机械化工程有限公司	副高	道路工程	养护技术负责
3	宋青松	1980-03	长安大学	副教授	计算机	三维重建
4	夏晓华	1987-10	长安大学	副教授	信息化	数字孪生
5	成高立	1969-10	陕西高速机械化工程有限公司	正高	道路工程	技术策划负责

6	李 彧	1973-08	陕西交通控股集团有限公司 司蓝商分公司	副高	道路工程	试验路方案负责	
7	张祎东	1989-07	陕西高速机械化工工程有限 公司	副高	土木工程	养护数据统计	
8	邹珣洋	1985-12	陕西交通控股集团有限公司 司蓝商分公司	副高	运营管理	运营管理与养护技术	
9	李 凡	1975-09	陕西方元预应力机械有限 公司	中级	机电工程	结构设计	
10	刘 晗	1995-02	长安大学	博士生	交通运输工程	软件设计	
11	李欢欢	2002-08	长安大学	研究生	人工智能	算法研究	
12	杨晓慧	2001-03	长安大学	研究生	人工智能	算法实现	
13	龚丽	1965-09	陕西方元预应力机械有限 公司	中级	会计师	财务预算	
14	李颖	1986-11	长安大学	正高	交通仿真	数字孪生与仿真	
15	王 伟	1984-11	长安大学	副高	人工智能	计算机视觉	
16	申芝浩	2003-08	长安大学	研究生	人工智能	数字孪生	

八、信息表

项目合同编号		25-31X		密级		/		A：机密 B：秘密 C：内部		
项目名称		多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真								
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		64.8 万元		厅 拨		19.8 万元				
第一承担单位	单位名称		长安大学							
	所在地		陕西省西安市				代码	610113		
	通讯地址		西安市南二环路中段				邮编	710064		
	单位性质		(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他				代码	1		
参与单位	序号	单 位 名 称								
	1	陕西高速机械化工有限公司								
	2	陕西方元预应力机械有限公司								
	3	陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司								
项目负责人		姓 名	马荣贵		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份	1967		
		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	18691887916		电子邮箱		rgma@chd.edu.cn			
项目联系人		姓名	马荣贵		性别		男			
		联系电话	18691887916		电子邮箱		rgma@chd.edu.cn			
项目组人数		16	高级	10	中级	3	初级	3	其他	
主要研究内容 (100 字以内)		道路数字孪生是智慧公路发展的重要组成部分,通过搭建三维精细化数字底座,实现路面全域病害数字孪生,通过基于孪生路面的病害仿真,为实现道路养护工作智能化和高效化提供数据支撑。								
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）李涛

联系人：（签字）张崑

电 话：029-88869067



合同乙方：（承担单位）

长安大学

单位负责人：（签字）陈建忠

项目负责人：（签字）马崇贵

电 话：



2026年 03月 31日

财务负责人：（签字）邵红云

账 户 名：长安大学
102007335073
开户银行：中国银行西安翠华路支行

长安大学
102007335073
中国银行西安翠华路支行

账 号：

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：

2026 年 3 月 28 日



项目编号: 25-31X

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目
研究大纲

项目名称: 多源信息融合的路面数字孪生关键技术
与病害仿真

申请单位: 长安大学
陕西高速机械化工程有限公司
陕西方元预应力机械有限公司
陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司

联系人: 马荣贵
电 话: 18691887916

陕西省交通运输厅制
2026 年 3 月

目 录

一、 项目研究的背景和必要性	1
二、 前期科研及工作基础	2
三、 实施方案	8
四、 项目承担单位及参加单位概况	16
五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	21
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	30
九、 其它需要说明的问题	31
十、 申请单位意见	31

一、项目研究的背景和必要性

提出的背景、研究目的、项目概括、市场需求前景或推广应用领域，达到的技术水平及在国民经济发展中的作用等。

交通运输部在《关于推进公路数字化转型加快智慧公路建设发展的意见》中给出了公路数字化转型的时间表，到 2027 年，公路数字化转型要取得明显进展，构建公路设计、施工、养护、运营等“一套模型、一套数据”，基本实现全生命期数字化。到 2035 年，全面实现公路数字化转型，建成安全、便捷、高效、绿色、经济的实体公路和数字孪生公路两个体系，提升公路数字化基础支撑水平，筑牢数据底座，提高智慧化养护水平。在当前交通强国、智慧交通的国家战略和行业发展背景下，迫切需要构建科学智能的道路养护系统，智能设计养护方案和养护费用，实现公路检测养护的一体化、智能化。数字孪生技术具有动态、双向、全生命周期的特点，在道路交通领域中可以利用无人机、检测车、摄像头、车联网终端等感知设备，获取路面性能参数、交通流、天气等数据，搭建智慧化养护平台；也可通过埋设相应传感器，获取道路桥梁等基础设施的平整度、车辙、破损、应力、应变等数据，利用数字孪生模型对设施健康实时监测与信息仿真。

现有公路养护设计存在检评养工作脱节、经验模型复制差、参数模型支撑弱等养管痛点，传统道路技术状况调查数据存在数字化水平低、检测维度不足、数据更新滞后、管理分散等缺点，难以满足养护设计自动化和养护工程精细化的需求。建立三维数字模型，可以为路面养护提供精细化的三维数据支撑服务，基于多层级数字模型的公路三维数据底座，可以实现路面三维变形类病害的精确测量以及路侧设施设备的数据挂接，并可以基于其开展公路的养护管理业务，如养护方案设计、路面病害预测及仿真等。

基于三维重建的道路数字孪生是智慧公路发展的热点之一，通过重构道路数字孪生模型来实现路表与道路设施的全域病害可视化，不仅可以提高路面病害和道路资产的管理效率，通过基于孪生道路的交通仿真，可以分析道路病害演化趋势，使道路养护工作实现智能化和高效化。

二、前期科研及工作基础

1.对项目领域国内外（省内外）研究现状，研究水平和发展趋势的分析和评价（应进行查新分析，主要分析本项目的技术领域发展状况和水平，有哪些技术尚未解决，需要这次攻克的技术难点）

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据^[1]，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。随着工业技术的不断发展，广泛应用于装备制造、农业、医疗、建筑、智慧城市等多个领域^{[2-7][26]}。数字孪生技术具有动态、双向、全生命周期的特点，在道路交通领域中常常利用摄像头、ETC、车联网终端等感知设备，获取交通流、天气、事故等数据，搭建智慧交通平台来仿真交通管控^[28]；也通过埋设各类传感器，获取桥梁等基础设施的应力、应变等数据，利用数字孪生模型对设施健康实时监测与信息反馈^[8]。

随着服役年限的增长，道路表面和内部出现诸多病害（裂缝、车辙、坑槽、空洞等），严重影响道路安全性和行驶舒适性。养护管理得当可以有效提高道路使用寿命和交通服务水平，而全面准确的病害信息是养护时机判断和养护管理决策的重要依据，因此，数字孪生技术是全面感知和反馈病害信息的有效手段。采集和整合病害信息是数字孪生技术的基础，准确构建病害数字孪生模型是基础设施数字孪生体系的关键步骤，在此之后才能实现信息虚实交互。

传统的道路养护管理手段较多依赖检测车进行道路病害采集并分散数据管理，这对病害信息的整合调用造成极大不便，难以满足智能化、高效化的养护工作需求。随着GIS技术的发展，研究者^[9-13]尝试将其引进到道路养护工作中，使得道路数据的存储迎来新的方式，实现了道路病害数据的初步宏观集成，然而病害数据信息仍然未全面表达。

BIM即建筑信息模型，可实现在工程模型中融入项目从设计施工到运维等各类数据信息，是对项目工程的实体和功能的动态数字化表达。随着BIM技术的广泛应用，大量研究者借鉴BIM在建筑工程领域应用的成功经验^[14-17]，尝试在道路领域发挥BIM信息化的巨大优势，国内外诸多学者对BIM在道路桥梁工程项目应用中展开大量研究，涉及到正向设计开发以及运维管理等方

面。研究者最初在道路线形设计、结构设计、交叉口设计、交通分析、图纸翻模中使用B I M 技术,发挥其三维可视化的优势。B I M可以实时存储数据,从而进一步拓展到施工质量控制,完成从施工材料到施工过程的实时监测与数据管理,同时实时反馈数据指导工程施工。后续研究者在B I M 中融入全生命周期的概念,将生命周期评价数据添加到模型中,探索在道路设计领域融合B I M技术和生命周期评价理念,丰富了数字孪生的概念内涵。目前,中国高等级公路逐步迈进全面维养的新阶段,在维养领域B I M技术的应用较少^[18],但是B I M 在高速公路建设和运营过程中全生命周期的应用已经成为今后的研究热点^[19-20]。

路面三维重建技术的应用推动了道路工程中综合养护管理的发展^[21-26]。道路智慧维养的前提是道路数字化重建,Barazzetti 等提出了用激光点云数据完成现有道路模型重建。其使用G I S 提供基本的道路几何图形,并将其转换为参数化的B I M对象。Jiang^[6]等提出了基于地图数据生成高速公路数字孪生模型的方法,这些研究仅仅是完成了道路重建,未再做进一步研究。病害数据采集是道路维养工作的重要部分,Liu^[6]等为了在路面病害中更好地利用检测信息数据与直观评价路面内部质量,提出了基于B I M 技术的路面内部质量显示方法。该研究主要是集中在路面内部的应力应变的可视化,并未探究其内部病害的可视化方法。Oreto 等提出一种有效的B I M工具,通过对比道路路面沥青材料在实验室测试产生的数据来判断路面质量状况,辅助道路维护操作。该研究侧重于依据试验数据来预测路面结构破坏并做出提前预警,未对具体病害做出分析。Wojcik 等在桥梁检查信息采集过程中开发了轻松、快速地获取准确信息的工具,使用R G B-D相机进行数据采集,之后处理这些数据以提取缺陷表面区域并创建三维表示,再将这些信息嵌入到B I M 模型中。该研究集中于桥梁的钢筋混凝土病害,病害的纹理变化不适用于沥青材料,而且嵌入到B I M 模型的是二维的纹理映射。李贤统等以Dynamo 可视化编程方式完成了沥青路面病害参数化建模方法,将病害数据与模型数据在三维Gis 场景中做出集成并与数据库进行关联,通过路面病害动态演化模拟完成道路养护决策的辅助工作。该研究采用的病害建模方式自动化程度较低,而且病害模型是通过一些固定参数来控制,与真实病害拟合效果不佳。实现病害路面的数字化建模,不仅能提高病害检测的准确性和效率,它所产生的高精度三维模型还可以为无人驾驶系统提供输入参数,推动智能

交通技术进步。马荣贵^[27]为了重建路面的虚拟三维模型，利用了全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 和横断面车辙数据。由于 GPS 与车辙采样存在着间隔不同的问题，针对离散的 GPS 点，使用 Cardinal 插值算法进行插值，并根据间距要求，选择相应的插值位置，然后将插值结果序列化，再与车辙数据融合，最后利用 OpenGL 在三维空间中创建出三角形网格，以此来实现对路面的精确重建。魏亚针对点云预处理问题，提出一种新型路面重建方法。利用局部密度去噪算法处理点云中的散乱噪声，从而克服传统去噪方法复杂度过高的问题。此外，针对去噪后的点云，采用移动最小二乘法平滑和连续采样的方法，有效地解决了在平滑和采样时出现的数据分裂问题，同时结合路面特征和非特征区域的判别，提高建模精度，优化三维扫描数据。惠冰通过对三维线激光检测系统扫描出的病害路面数据，使用均值滤波方法，再采用不规则三角网平面插值以及提取等高线的方法，进而重建出网格化的坑槽三维模型。

BIM 结合数据分析技术推动了道路养护管理平台的发展，为养护管理决策提供新的思路。肖慧胜利用 Civil3D 的路面破损状况分析评价程序对模型路段内的路面破损情况进行分析评价，并根据病害损害的严重程度给出合理的维护方案。该研究是基于二维数据进行分析，未涉及到 GIS 技术。目前道路养护管理平台在机场道面管理的应用较多，Liu 等结合 Revit 和 Three. JS 软件，提出了一种基于 WEB 的三维 (3 D) 模型机场道面质量差异表达的数字孪生方法，该方法有效提高了机场道面管理系统 (APMS) 的智能化水平，该研究着重于机场道面表面病害二维色彩热力图表达，并未探究道面结构内部病害发展情况。

本项目组骨干成员前期已完成了陕西省交通科技项目《基于路面三维的精细化养护评价与衰变模型研究与应用》，以路面高程激光点云为对象，提出了基于法向量距离的路面变形类病害提取方法，及融合卫星定位和图像识技术的路面病害精准定位方法。同时在开展项目《基于物联网+BIM 技术的高速公路路面病害处置信息化及应用研究》中，设计了基于物联网+BIM 的路面病害处置综合管理系统，提出了包括感知层、网络层和应用层的三层物联网架构，通过多种数据采集装置，建立病害 BIM 数据库，实现病害管理数字化。

基于三维数据底座的道路数字孪生是智慧公路发展的必然方向，通过重构道路数字孪生模型来实现路表与道路设施的全域病害可视化，不仅可以提高道路资

产无损检测数据的管理效率，通过基于孪生道路的交通仿真，可以分析道路病害演化趋势，使道路养护工作实现智能化和高效化。

2.项目前期科研及现有工作条件（项目的支撑条件，过去相关研究的工作基础，获奖情况，现有的试验手段（设施、设备）、研究人员情况及协作条件等）

本项目由长安大学主持，陕西高速机械化工程有限公司、陕西方元预应力机械有限公司、陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司参与共同承担。

为了配合项目的实施，项目组成立了由一批研发经验丰富的教授、博导、教授级高工为主导，副高、工程师以及博士和硕士为辅助的研究团队。

项目负责人马荣贵：长安大学教授博导，多年来一直从事路面激光三维检测与评价技术研究，在路面三维重建以及公路数字孪生方面取得丰硕的成果。获得的主要奖项有：

（1）完成陕西省交通运输厅 2020 年科技项目《基于路面三维的精细化养护评价与衰变模型研究与应用》（20-24K），该项目成果荣获 2023 年度陕西省交通运输科学技术奖一等奖。

（2）完成了陕西省交通运输厅 2020 年科技项目《基于物联网+BIM 技术的高速公路路面病害处置信息化及应用研究》（20-25X），在该项目中，提出了基于 RANSAC 算法的路面三维病害信息提取方法，并采用种子填充算法进行连通域求解，计算出坑槽点集的边界，有效提高了病害提取的科学性。设计实现了一套基于物联网和 BIM 技术的高速公路路面病害处治综合管理信息系统，使高速公路养护管理更加信息化和精细化。

（3）参与完成了交通运输部西部交通科技项目“寒冷地区重载公路沥青路面服役性能研究”，其中“沥青路面表面病害三维检测技术及工程应用研究”获得 2018 年中国公路学会二等奖，2020 年获得内蒙古自治区科学进步奖一等奖。

（4）参与完成了交通运输部西部交通科技项目“稀土换能器及系统集成桥梁无损检测技术开发研究”，项目获得 2011 年陕西省科学技术一等奖；

（5）参与完成了交通运输部西部交通科技项目“道路路面光电检测关键技

术及其应用”项目，获得 2012 年陕西省科学技术一等奖。

3.参考文献

参考文献:

- [1].WU J, YANG Y, CHENG X, et al.The development of digital twin technology review[C] //IEEE. Proceedings of the 2020 Chinese Automation Congress (CAC). New York: IEEE, 2020: 4901-4906.
- [2].PYLIANIDISC, OSINGAS, ATHANASIADISIN. Introducing digital twins to agriculture [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 184: 105942.
- [3].BOULOS M N K,ZHANG P. Digital twins: From personalised medicine to precision public health [J]. Journal of Personalized Medicine, 2021,11 (8): 745.
- [4].HUCH, FAN W C, ZENGEL, et al. Digital twin-assisted real-time traffic data prediction method for 5G-enabledinter- net of vehicles[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2022,18(4):2811-2819.
- [5].JIANGF, MAL, BROYDT, et al. Building digital twins of existing highways using map data based on engineering expertise [J]. Automation in Construction, 2022,134:104081.
- [6].LIU L, DU H, WANG H, et al. Construction and application of digital twin system for production process in workshop [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25 (6):1536-45.
- [7].GUO X, XING H, RAN M, et al. A road data collection GIS system based on GPS and DR [J] . Computer Simulation , 2005 , 22(2) :210-214.
- [8].CASTANEDA K , SANCHEZ O , HERRERA R F, et al. BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design [J]. Automation in Construction, 2021,131: 103911.
- [9].TANGFL , MA T,ZHANGJ H, et al. Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM [J] . Automation in Construction , 2020,113:103152.
- [10].曹睿明. BIM 技术在道路工程设计中的应用研究[D] . 南京: 东南大学, 2017.
- [11].徐小奇. 基于 civil3D 的道路 BIM 辅助自动翻模技术研究. 南京: 东南大学, 2019.

- [12]. 赵瑜隆. 基于 BIM 技术的沥青面层施工过程控制研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [13]. SLOBODCHIKOV, BAKKEKL, SVENNEVIGPR, et al. Implementing climate impact road infrastructure in the design phase by combining BIM with LCA[C]//IOP. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 (SBE19 GRAZ). Bristol: IOP Publishing, 2019: 012089.
- [14]. 马宇. BIM 技术在柞山高速公路建设管理中的应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2020.
- [15]. 李贤统. 基于 BIM 的青路面病害参数化建模与辅助养护决策研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [16]. 肖慧胜. 基于 BIM 平台的路面病害可视化管理[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
- [17]. 王建伟, 高超, 董是等. 道路基础设施数字化研究进展与展望[J]. 中国公路学报, 2020, 33 (11): 101-124.
- [18]. 杨旭, 李毅, 刘文博, 等. 基于 BIM+GIS 的沥青路面表里全域病害数字孪生研究[J]. 中国公路学报, 2023, 36 (03): 120-135
- [19]. 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索 [J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24 (01): 1-18. 8
- [20]. 伍朝辉, 武晓博, 王亮. 交通强国背景下智慧交通发展趋势展望 [J]. 交通运输研究, 2019, 5 (04): 26-36.
- [21]. Tao Fei, Zhang He, Liu Ang, et al. Digital Twin in Industry: State Of The Art[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019, 15 (4): 2405-2415.
- [22]. 伍朝辉, 符志强, 王亮, 等. 虚拟现实的公路 BIM 感知与工程评价方法研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32 (07): 1402-1412.
- [23]. 伍朝辉, 刘振正, 石可, 等. 交通场景数字孪生构建与虚实融合应用研究[J], 系统仿真学报, 2021, 33 (02): 295-305.
- [24]. 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 等. 数字孪生与平行系统: 发展现状, 对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45 (11): 2001-2031.
- [25]. 伍朝辉, 李青, 朱琳, 等. BIM 在道路设施养护中的应用需求与创新 [J]. 交通运输研究 2020, 6 (3): 116-128.
- [26]. 孙哲, 梁斌, 李君铂. 等. 基于数字孪生的桥梁结构服役安全智能诊断[J]. 中国公路学报, 2025-12-18 知网公开.
- [27]. 马荣贵, 汪花梅. 基于 GPS 和车辙的三维路面重构 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2012, 40 (10): 1517-1521.

[28]. 叶少槟. 基于数字孪生的复杂驾驶场景仿真模型的研究和实现[D]. 广东工业大学, 2022

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题（指对项目成果水平起决定作用的技术难点，或研究中能形成较强竞争力，具有自主知识产权的创新技术）

关键技术：

（1）多源数据融合的数据底座搭建

数据底座是数字孪生的基础，由于路面参数和检测指标尺度范围较大，本项目将采用多源数据融合技术搭建数据底座。

（2）基于多尺度网格的数字孪生道路模型

在多源数据底座基础上，提出基于多尺度网格的道路数字孪生模型，采用多尺度网格技术构建不同尺度的病害建模方法，研究不同场景下数字模型的渲染方法，满足快速建模的需求，实现全域系统孪生。

（3）基于 AI 模型的自动数据处理

在依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境的采集，形成数万张真实路面数据、病害样本图像数据、TB 级文本、视频等关联数据，应用 AI 模型自主训练后，实现全流程自动化、多种特征组合选择等病害特征库；

2. 主要研究内容及实施方案（根据研究目的和考核目标合理地分解确定研究专题，突出重点，各专题研究内容要具体，避免交叉重复）

本项目的研究内容如下：

（1）多源数据融合的数据底座搭建

数据底座是数字孪生的基础，由于路面参数和检测指标尺度范围较大，本项目将采用多源数据融合技术搭建数据底座。

本项目中多源数据检测包括：

基于北斗导航和多倾角无人机的路面环境三维检测；

基于高分辨率相机的无人机路面病害检测；

基于激光精密检测的路面平整度、车辙、纹理深度、跳台检测；

基于线激光+多相机的路面小微病害预防性检测。

采用多源检测技术采集路面 PCI、RQI，IRI、RDI、道路几何和空间定位信息，提取道路横断面、纵断面和病害等三维信息，有效分析评价路面技术状况。



图 1 搭建数据底座的设备准备

图 1 (a) 中的激光精密检测车，车辙由 19 路激光传感器组成，可以完成路面平整度、车辙、纹理深度、跳台检测。

图 1 (b) 是基于北斗导航和多倾角无人机数据点云采集系统。

(2) 基于多尺度网格技术构建数字孪生道路模型

本项目中将结合多源数据检测，基于多尺度网格技术构建数字孪生道路模型，涵盖路面的线形、横断面、纵断面以及路面的各种病害。

真实路面的检测尺度包括从路面弯沉的 0.01mm，纹理深度的 0.1mm，车辙、跳台、坑槽、拥包的 1mm，平整度、路面标识标线的 10mm，路面护栏、绿化的 100mm，以及道路线形的米级。

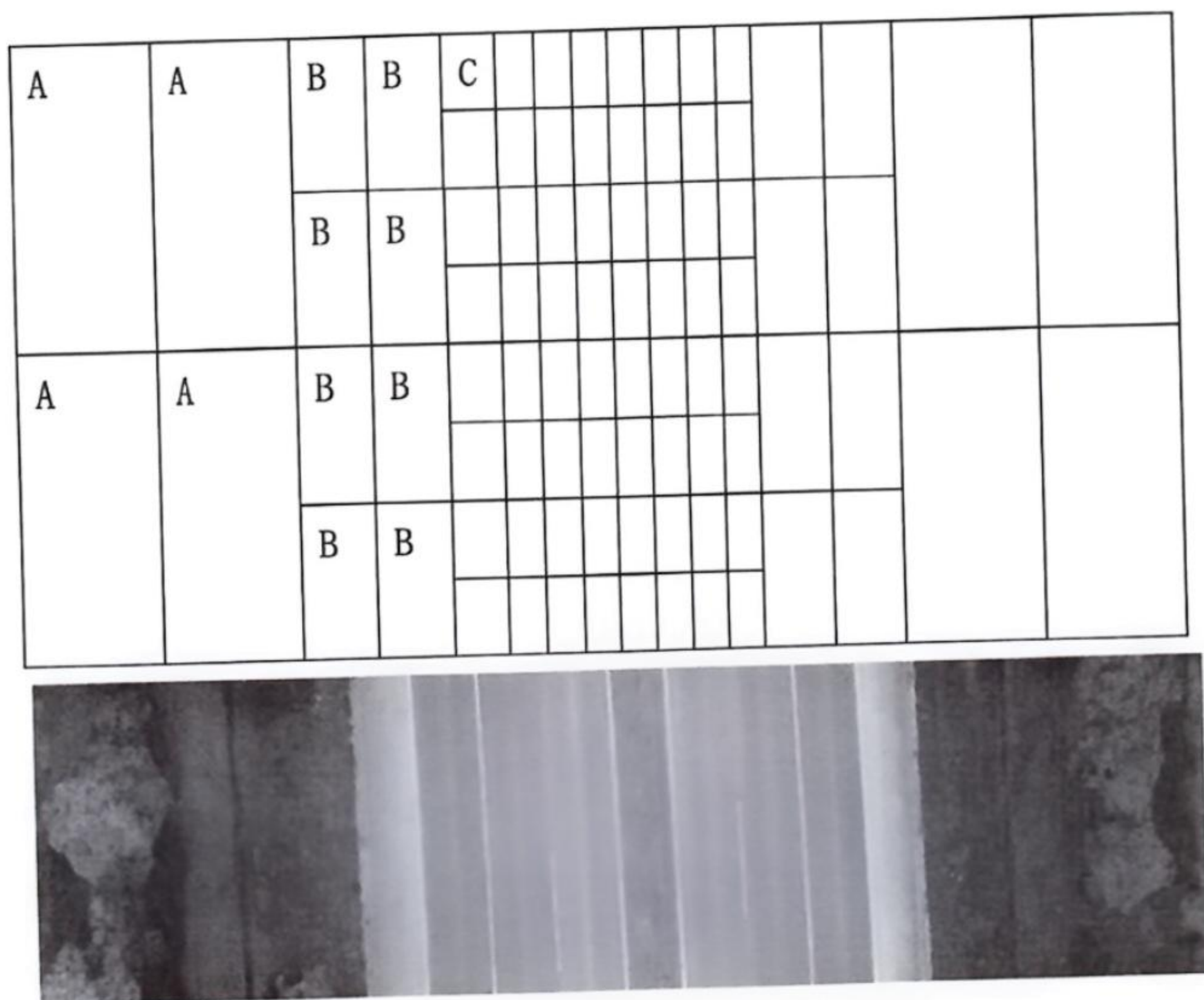


图2 基于多尺度网格构建数字孪生

基于 BIM 的道路数字孪生建模采用多尺度网格技术构建，多尺度网格技术构建数字孪生道路模型将分为：

大尺度网格数字孪生区域 A；

中尺度网格数字孪生区域 B；

小尺度网格数字孪生区域 C。

如图 2 所示。首先基于北斗导航和 GIS 技术，搭建道路的中心线，然后基于多倾角无人机的路面环境三维检测得到路面的横断面和纵断面三维点云，得到路面的大网格尺度区域 A。基于激光精密检测车，得到路面的平整度、车辙、跳台、PCI 等指标，得到路面的中尺度网格区域 B；研发基于线激光+多相机的路面小微病害检测设备，横断面采样间隔为 1mm，纵断面采样间隔为 50mm，以此形成路面小尺度网格数字孪生区域 C。

(3) 高速激光网格扫描装置研制

目前，养护管理上应用的激光检测设备，仅能完成标准里面规定的平整度、车辙、裂缝、跳台等指标，只能定性的反映一定路段的病害统计特性，无法用于具体的养护实践，急需研究网格化的路面检测设备。

本研究将构建基于由多台相机与单个激光器构成的多目视觉测量系统。与单

视线方案相比,本系统通过多视角同步采集路面激光条纹图像,并利用光条几何一致性约束与透视变换模型,将横断面采样分辨率提升至1毫米。在算法层面,引入了光条几何形态作为先验约束,并结合 RANSACSIFT 策略优化特征匹配。下图为准备开发高速激光网格扫描设备草图,可以实现 mm 级病害检测及识别。

基于线激光的路面病害检测原理如图 3 所示。由单台线激光和单台相机组成的测量系统,由于视场和高度限制,变形类病害检测精度难于满足要求,因此,在前期研究的基础上,我们设计了如图 4 所示的由 3 台相机与单个激光器构成的多目视觉测量系统。

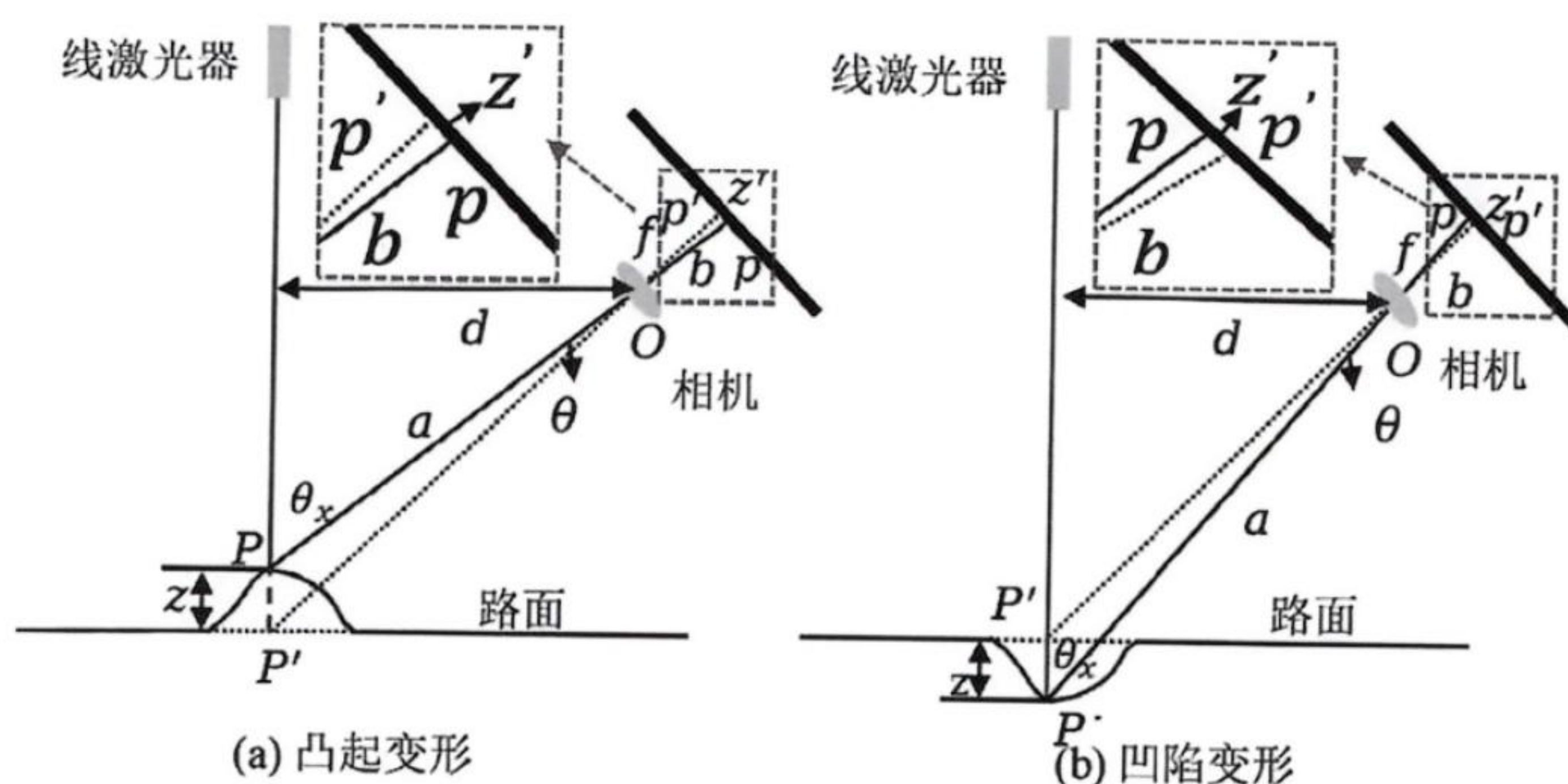


图 3 基于线激光的路面病害检测原理

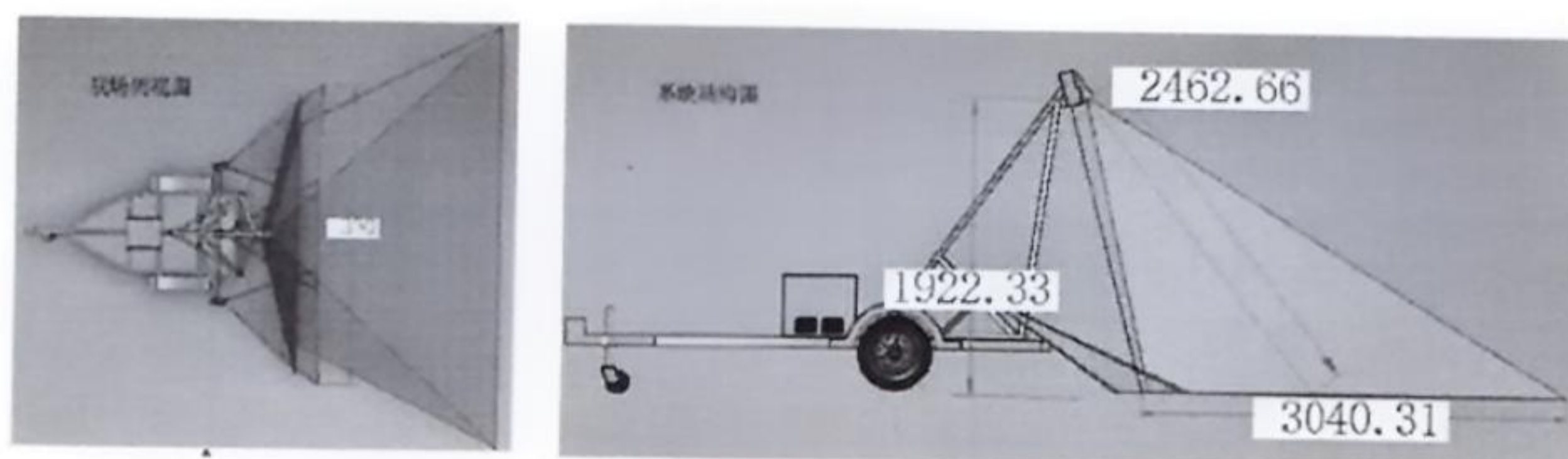


图 4 初步设计的激光网格扫描装置

(4) 实现基于 AI 模型的成长型自动数据处理

在依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境的采集,将形成百万张真实路面数据、病害样本图像数据、TB 级文本、视频等关联数据,应用 AI 模型自主训练后,实现全流程自动化、多种特征组合选择等病害特征库。

在病害检测上,将采用深度学习方法分割定位病害区域,并构建一维卷积神

神经网络进行断面分类与定位；除提取深度、宽度等常规参数外，进一步研究三维病害的三维评价参数，创建自己的多种特征病害库。

在无人机检测场景中，动态行驶的车辆常常遮挡大范围的路面，导致重建模型中出现不完整的路面纹理和降低的几何精度。同时，移动物体也会干扰重叠图像中的特征匹配，进一步加剧相机误差、位姿估计和点云生成的问题。我们将优化飞行路径规划、基于 YOLO 设计高度鲁棒车辆检测网络，集成动态分辨率自适应模块、HRNet_lite 骨干网络、多层 Transformer 编码器和无锚框 FCOS 检测头，降低图像冗余，基于优化后的图像序列，通过 SfM 进行全视角路面孪生。

针对前期路面坑槽图片数据集资源缺乏的问题，将通过公开数据集整理、网络爬虫坑槽图片、自行拍摄路面坑槽图片三种方式搜集数据，并进行数据增强扩充数据集中样本数量。针对路面坑槽目标检测本身具有的形状不规则，路面材质不统一、杂物干扰环境复杂等难点，我们将进行多种 AI 模型对比，发现最适合的算法模型。

针对在小规模数据集上训练的模型泛化能力不足的问题，将搭建参数高效的迁移学习裂缝检测框架 CrackAdapter。在大规模预训练模型的基础上，通过引入高频和低频模块增强了模型的频率感知能力。高频模块强化对空间细节信息的捕捉，并将其注入 Vision Transformer 主干网络；低频模块保留了全局信息，并从主干网络中提取语义特征。

(5) 基于数字孪生的路面病害仿真

在道路数字化孪生系统中，可以开展基于三维病害特征计算的病害养护仿真。

路线模型是道路模型的基础，首先需要在地形曲面上创建路线模型。由采集到里程桩位置数据，计算出实验路段的路线 GPS 轨迹点并进行插值，将插值点进行连线即为中心线，并以此来创建中心线模型。考虑到建模路段中间是一个弯道，所以选择点与点之间的连线方式为“切线-切线（带有曲线）”方式，使得路线更为的平滑。在原有的地形曲面上，沿着 GPS 轨迹插值点，连接所有的轨迹点，获得主道路中心线，

纵断面模型是为道路中线上的点在地形曲面上的高程显示，即将道路中线上所有的点高程连接起来即为道路纵断面曲线。本项目将使用 Civil3D 创建曲面

纵断面图，绑定道路中心线以及地形曲面，完成该道路中心线在地形曲面上的纵断面模型，并且在纵断面图上显示出来。



图 5 道路 BIM 仿真示意图

三维 GIS 软件能够将设计的模型和地理信息进行集成，实现数据统计与三维可视化，其主要是在配合 Revit 和 Civil 3D 进行工程优化，由于三维 GIS 软件无法直接创建精细的 BIM 模型，而其他软件是可以直接创建的，所以将创建好的精细化模型导入三维 GIS 软件中进行进一步细化和优化是应用 BIM 技术的总体思路。三维 GIS 软件能够以宏观的视角将地形模型、道路模型、道路病害模型和其他病害信息集成，能够对整条路上的病害进行统计分析。

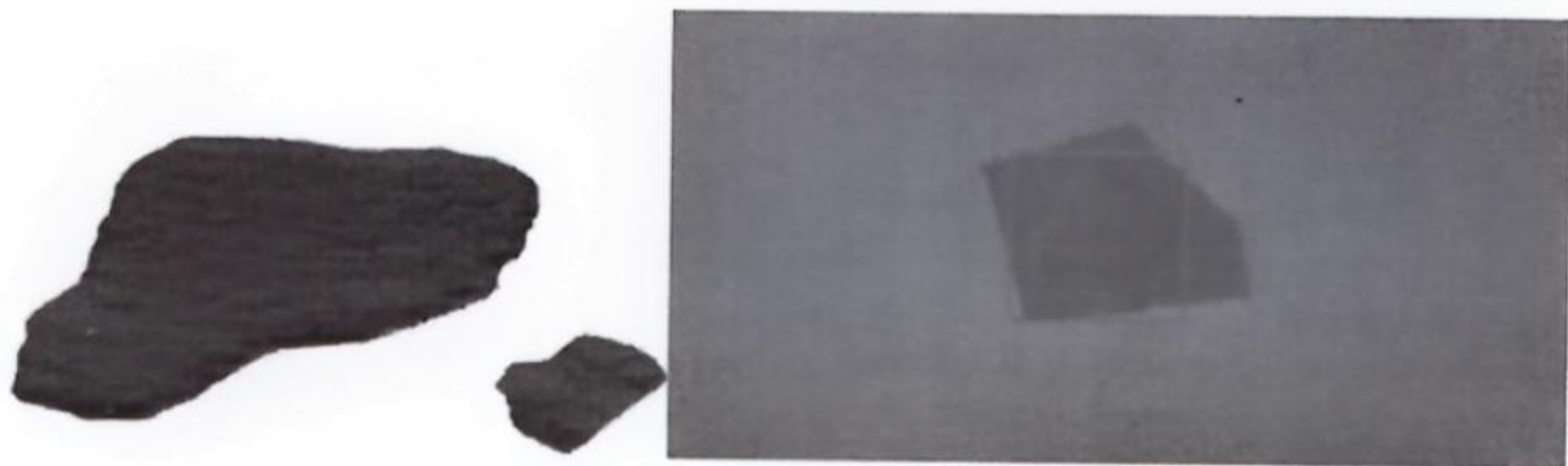


图 6 路面病害坑槽仿真示意图

3. 技术路线（包括研究技术方案和工作流程两部分。研究技术方案：应清楚表达拟运用的理论和方法，如调查研究，要表述调查的对象、范围、数量和调查材料（数据），取得的方法及手段；室内外试验，要拟定出试验的种类、规模、数量及相应的方案；理论研究与

分析，要提出分析依据的理论和拟采用的分析方法，明确有否创新或改进的内容，要做到思路清晰，技术可行，能全面包括研究全过程的各个环节；研究工作流程反映各项研究工作之间的顺序和相互关系，可用树状框图表达）

本项目的技术路线如图 7 所示，通过多尺度、多模态路面检测和病害识别实现的道路感知。通过建立归一化的路面病害特征，实现基于数字孪生的路面养护仿真。

（1）本项目拟采用无人机低空摄影技术，实现道路全场景图像自动采集；研究基于目标识别的车辆噪声消除，消除动态交通干扰，提升大视场建模质量和速度；同时针对多视重建场景点云密度低，路面高程测量不准确的问题，研制基于线激光投影的多视路面测量设备。构建车载多目摄影系统基础上，采集多视高分辨率路面图像，生成连续横断面轮廓数据；研究基于立体视觉及多视角图像的路面点云测算方法，开发路面点云校准算法，建立路面高精度点云模型。

（2）在大视场路面二维影像基础上，构建路表大尺度病害数据库；提出高效的无人机影响的路面病害分割算法；提出基于车道横断面的车辙变形识别方法；研究基于无监督聚类的大尺度变形识别方法，自动定位路表异常变形区域。

（3）在病害自动识别基础上，研究不同类型病害一维、二维特征提取方法，在输出长度、宽度、面积、数量等基础几何信息基础上，提出连通度、等效轴长、轴长比、中心偏移性等高层级指标来表征病害空间分布情况；融合三维数字模型，实现路面病害三维特征量化，输出深度、剖面面积、体积等参数，进一步分析各几何特征的内在关联关系。

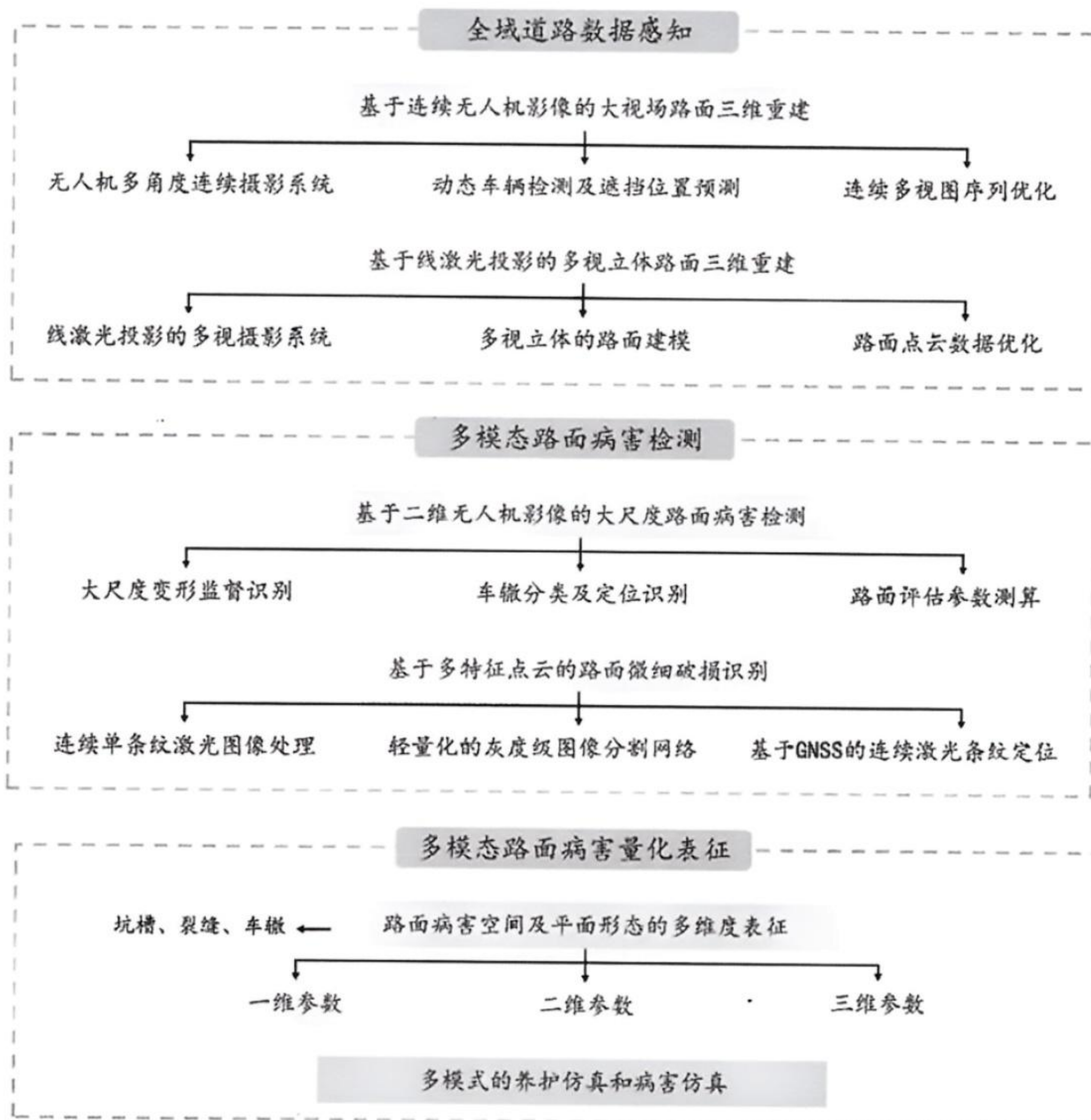


图 7 路面数字孪生技术路线

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接（项目研究的成果提出的技术或理论可供实际对象应用的推测，在一定程度上反映成果的成熟性和市场需求情况）

本项目的研究成果可在陕西省高速公路养护管理中推广应用。

5. 有关技术经济指标（叙述项目取得的成果中研究开发的技术、产品具体的技术经济指标（如适用条件、单位耗材、单位造价等）以及性能指标（如技术参数、精度等）。定性描述与定量相结合，以定

量为主)

主要技术经济指标:

- (1) 测量指标: 平整度、车辙、跳台、路面破损、三维变形类病害
- (2) 路面纵断面检测间隔: 50mm;
- (3) 路面横断面检测间隔: 1mm;
- (4) 路面高程检测分辨率: 1mm。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

1. 单位概况

长安大学长安大学直属国家教育部,是国家首批“211工程”重点建设大学、国家“985优势学科创新平台”建设高校、国家“双一流”建设高校。学校现有9个一级学科博士点,1个专业学位博士点,33个一级学科硕士点,19个硕士专业学位授权类别。有9个博士后科研流动站。工程学、地球科学、材料科学、环境科学与工程、社会科学总论、化学等6个学科进入ESI全球前1%。学校现有国家级实验教学中心5个(含3个国家级虚拟仿真实验教学中心)、省部级实验教学中心19个(含4个省部级虚拟仿真实验教学中心),有国家工程研究中心2个、国际联合实验室1个、省部级重点研究基地91个,联合共建陕西国家应用数学中心1个。国内高校唯一的“车联网与智能汽车试验场”,被交通运输部认定为全国三大“自动驾驶封闭场地测试基地”之一。学校构建“大团队、大平台、大项目、大成果、大服务、大贡献”六位一体科技创新体系,年度科研经费突破9.6亿元,牵头承担国家重点研发计划项目11项、课题37项。近年来获得国家科学技术进步奖一等奖、二等奖23项。

信息工程学院现有国家级“车一路信息感知与智能交通系统”创新引智基地、“交通安全应急信息技术”国家工程实验室、交通运输部认定自动驾驶封闭场地测试基地、道路交通运输工程国家虚拟仿真实验教学中心、“交通信息与控制”国家虚拟仿真实验教学中心等国家级科研平台,另有陕西省车联网与智能汽车测试技术工程研究中心、“道路交通智能检测与装备”陕西省“13115”重点工程

技术研究中心、西部交通安全与智能控制陕西省 2011 协同创新中心、“车联网与智能交通”陕西省国际科技合作基地等省部级科研平台，获国家科学技术进步二等奖 4 项，国家教学成果二等奖 1 项，省部级以上教学与科研成果奖 20 余项，中国公路学会科学技术奖 3 项。公路学院在日常养护管理数据分析方面技术突出。

陕西高速机械化工程有限公司是陕西交通控股集团有限公司的全资子公司，成立于 1996 年，是一家高速公路、国道干线、地方公路建设与养护施工为主，集市政工程、房屋建筑工程、绿化生态环保工程、水利工程施工建设，公路工程材料研发、生产、销售及进出口贸易于一体的大型综合类施工企业，注册资本 100010 万元，在职员工 1200 余人，具有正高级职称 8 人，副高级职称 210 人，中级职称 772 人。具有一级注册建造师 87 人，试验检测人员 61 人，公路、市政、建筑、养护等各类施工专业技术人员 900 余人。公司拥有公路工程施工总承包特级资质，工程设计公路行业甲级资质，市政公用工程、建筑工程施工总承包一级资质，路基、路面、桥梁、隧道养护甲级资质、交通安全设施养护资质，公路工程综合试验检测乙级，消防设施工程专业承包一级等 54 项资质，先后参与二十多条高速公路、国省干线的新建改扩建项目施工，累计完成 4000 余公里线路养护施工。公司荣获中国公路养护工程领域最具权威性的奖项“中国公路养护工程奖”、陕西省科学技术进步三等奖、中国公路学会科学技术进步三等奖等 21 项。公司作为国家级高新技术企业、省级技术中心，一直致力于养护先进技术的推广使用，开展温拌橡胶沥青、纤维沥青抗滑表层、养护型乳化剂、裂解油生物沥青、超薄罩面、路面三维精细化等科研项目，拥有精表处、冷再生、超薄磨耗层、橡胶沥青、公路改扩建、坑槽维修、养护机械配置等十余项成熟的高速公路养护施工技术。目前已广泛开展 QC 小组活动 50 余项，编写完成地方标准近二十项，取得专利 60 余项。

陕西方元预应力机械有限公司专注于预应力锚具、辅机具及智能张拉设备的研发与生产，产品广泛应用于铁路、公路桥梁、隧道工程、工业民用建筑、水利水电等多个领域。

陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司：陕西交控蓝商分公司隶属于陕西交通控股集团有限公司，主要负责国家高速公路福银线蓝田至商洛段、沪陕高速麻池河联络线和 312 国道蓝田至商洛段的通行费征收、路政、治超、养护管理等工作。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。

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
马荣贵	长安大学	男	58	教授	人工智能	主持
张建利	陕西高速机械化工程有限公司	男	45	副高	道路工程	养护技术负责
宋青松	长安大学	男	45	副教授	计算机	三维重建
夏晓华	长安大学	男	38	副教授	信息化	数字孪生
成高立	陕西高速机械化工程有限公司	男	56	正高	道路工程	技术策划负责
李 戣	陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司	男	52	副高	道路工程	试验路方案负责
张祎东	陕西高速机械化工程有限公司	男	35	副高	土木工程	养护数据统计

邹珣洋	陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司	男	40	副高	运营管理	运营管理与养护技术
李 凡	陕西方元预应力机械有限公司	男	50	中级	机电工程	结构设计
刘 晗	长安大学	女	30	博士生	交通运输工程	软件设计
李欢欢	长安大学	女	23	研究生	人工智能	算法研究
杨晓慧	长安大学	女	24	研究生	人工智能	算法实现
龚丽	陕西方元预应力机械有限公司	女	60	中级	会计	财务管理
李 颖	长安大学	女	39	高级	交通工程	数字孪生与仿真
王 伟	长安大学	男	37	副高	人工智能	计算机视觉
申芝浩	长安大学	男	22	研究生	人工智能	数字孪生

3. 各自承担的主要工作

长安大学

主要负责项目技术研发、分析、评价及建模测试。

- (1) 路面数字孪生体系数据底座的搭建；
- (2) 基于路面数字孪生模型的实现；
- (3) 基于道路数字孪生和 BIM 技术的智慧养护体系实现；
- (4) 基于数字孪生的路面病害仿真。

陕西高速机械化工有限公司

主要负责项目的协调。

- (1) 依托工程的激光路面检测；
- (2) 依托工程的无人机路面点云检测；

陕西方元预应力机械有限公司

主要负责精密网格化路面检测装置的设计和加工等。

陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司：

主要负责项目依托工程 G70 蓝田至商洛 K1618+000-K1613 段的落实及检测过程中的安保工作。

4. 项目主要负责人情况

项目负责人马荣贵：长安大学教授博导，多年来一直从事路面激光三维检测与评价技术研究，在路面三维重建以及公路数字孪生方面取得丰硕的成果。获得的主要奖项有：

(1) 完成陕西省交通运输厅 2020 年科技项目《基于路面三维的精细化养护评价与衰变模型研究与应用：20-24K》，该项目荣获 2023 年度陕西省交通运输科学技术奖一等奖。取得部级工法。

(2) 完成陕西省交通运输厅 2020 年科技项目《基于物联网+BIM 技术的高速公路路面病害处置信息化及应用研究：20-25X》。

(3) 完成交通运输部西部交通科技项目“寒冷地区重载公路沥青路面服役性能研究”，“沥青路面表面病害三维检测技术及工程应用研究”获得 2018 年中国公路学会二等奖，2020 年获得内蒙古自治区科学进步奖一等奖。

(4) 完成交通运输部西部交通科技项目“稀土换能器及系统集成的桥梁无损检测技术开发研究”，项目获得 2011 年陕西省科学技术一等奖；

(5) 完成交通运输部西部交通科技项目“道路路面光电检测关键技术及其应用”项目获得 2012 年陕西省科学技术一等奖；

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

福银高速蓝田至商洛段采用双向四车道高速公路技术标准，设计行车速度100 Km / 小时，路基宽 26 米，路面结构上面层为 5cm 中粒式沥青混凝土（AC-16），中面层为 6cm 中粒式沥青混凝土（AC-20），下面层为 9cm 特粗式沥青碎石（ATB-30），基层底基层分别为 32cm、 24cm 的水泥稳定碎石。自通车以来，该路段未进行大修处理，目前该路段路面出现了不同程度的损坏，道路养护主要以预防性养护、小修保养为主。

本项目将在福银高速蓝田至商洛段 K1618-K1613 路段搭建数字孪生模型，建立实验路段的三维病害数据库。

2. 投资来源

本项目投资共 64.8 万元，其中省交通运输厅补助 19.8 万元，自筹经费 45 万元。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
第一季度	1. 检索国内外道路数字孪生方面的文献资料，全面掌握国内外研究动态； 2. 调研国内路面横断面、纵断面、破损图像等采集设备的具体性能指标是否满足本项目数据采集的需要； 3. 调研国内无人机检测设备检测与评价现状调研和对比分析； 4. 确定依托工程段落。

第二季度	1. 在前期调研基础上，完成道路数字孪生所需的主要路面指标参数，包括现有检测车检测指标、无人机建模指标、三维检测指标； 2. 确定真实路面和孪生路面交互所需传感器指标；
第三季度	1. 研究道路孪生数学模型； 2. 研究多层次道路模型的融合方法； 3. 设计搭载车改造方案，搭载车电路设计，机械设计，设备调试。 4. 在依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境和道路设施的采集。
第四季度	1. 搭建路面孪生的数据底座； 2. 研究建立各种数据指标的数字特性； 3. 构建基于无人机的大尺度数字孪生软件框架； 4. 完成搭载车车场试验和依托工程实验。
第五季度	1、在依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境和道路设施的采集； 2、构建构建基于三维网格检测的小尺度数字孪生软件框架。
第六季度	1. 在前期构建孪生道路模型的基础上，组织软件人员分工协作，编程实现孪生道路展示，道路病害渲染，动态数据交互等功能； 2. 完善试验方案。

第七季度	1. 依托工程开展路面无人机、激光检测车、三维网格检测、路面环境和道路设施的采集； 2. 申报相关专利和软件著作权，申报国家专利； 3. 完善项目工作报告、研究报告、用户报告等验收资料； 4. 在其他路段推广应用。
第八季度	1. 继续完善依托工程数字孪生模型； 2. 撰写验收资料和报告； 3. 成果查新，准备验收。

4. 组织管理形式

本项目由长安大学主持, 陕西高速机械化工程有限公司、陕西方元预应力机械有限公司和陕西交控运营集团有限公司蓝商分公司合作共同完成。

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	19.8	合 计	64.8	19.8	45
工程配套研究经费		1.设备费	6		6
自筹	45	（1）购置设备费			
其他经费		（2）设备改造与租赁费	6		6
		2.业务费	37.32	14.82	22.5
		（1）材料费	12	5	7
		（2）测试化验实验加工费	11	3	8
		（3）燃料动力费	0.5		0.5
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	7	5	2
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	6	1.82	4.18
		（6）其他费用	0.82		0.82
		3.劳务费	15	3	12
		（1）专家咨询费	3	3	
		（2）聘用人员劳务费			
		（3）其他劳务费	12		12
		（二）间接费用	6.48	1.98	4.5
		4.管理费	6.48	1.98	4.5
		5.绩效支出			

一、直接费用

1. 设备费

设备费共计 6.0 万元，其中自筹经费 6.0 万元，专项经费 0.0 万元。

要实现路面网格化三维点云采集，需要租赁搭载高精相机的无人和检测车各两次对路面进行点云扫描。租赁费用合计 6 万元。

2、业务费

业务费共计 37.32 万元。其中自筹经费 22.5 万元，专项经费 14.82 万元

(1) 材料费

合计共 12.0 万元。其中自筹经费 7.0 万元，专项经费 5.0 万元，用于项目执行过程中产生的各种材料费用。其中：

电子元件：4 万元

路面材料：2 万元

安全保障：1 万元

工控机+GPU+服务器：5 万元

(2) 测试化工试验费：11 万. 其中自筹经费 8.0 万元，专项经费 3.0 万元。

用于道路标定测试费用：2 万元

实验室、试验场、现场多场景测试费：5 万元

无人机试验：2 万元

功能测试费：2 万元

(3) 燃料动力费：0.5 万元。主要用于试验期间产生的燃料费用。其中自筹经费 0.5 万元，专项经费 0.0 万元。

(4) 差旅费/会议费/国际合作与交流费

共计 7.0 万元，其中自筹经费 2.0 万元，专项经费 5.0 万元。

差旅费：本项目差旅费主要用于项目（课题）研究开发过程中开展现场勘测、试验、调研、学术交流等。

①现场调研、基础数据收集所发生的差旅费用：

每次往返机票 2000，住宿 2 天*300=600，补贴 2*180=360 元

项目期间：10 人次共计约 2.96 万。

会议费：

项目研究过程中将召开可研、大纲、验收、鉴定 4 次会议，每次会议 1 天。参考以往类似会议，每次会议将邀请专家 5-7 名及有关专家共 10 名。单次会议费用计算如下：

① 专家交通费（省外）：2 人×750 元/人（平均往返）=0.15 万元

②专家（食宿交通等）：4 人×375 元/人·次×1 天=0.15 万元

③地及设备租赁费：0.40 万元·次

3 次专家会议费用为：（0.15+0.15+0.40）×3 次=2.1 万元

参加 4 次国内外会议注册费：4 次*5000 元/次=2 万元

(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费/印刷费

合计 6.0 万元，其中自筹经费 4.18 万元，专项经费 1.82 万元。其中：

①项目实施过程参加会议、宣传、印刷装订费 1.5 万元;

②项目立项、鉴定验收查新费 0.5 万元。

③项目公开发表学术论文及专利 4 万元

4 篇*5000 元版面费=2 万元

申报 2 个实用新型专利+申报 2 个发明专利=2 万元

(6) 其他支出

合计 0.82 万元。其中自筹经费 0.82 万元，专项经费 0 万元。

3、劳务费：劳务费共计 15 万元，其中自筹经费 12.00 万元，专项经费 3 万元。

(1) 专家咨询费 3 万元。用于前期专家评审、大纲评审、项目验收和项目评价时的专家评审费用和项目执行过程中聘请有关专家指导和建议。

(2) 聘用人员劳务费：0 元

(3) 其他劳务费 12 万元：项目执行过程中研究生劳务支出。

2 个博士研究生：2000 元/月*20 月=4 万元

10 个研究生：1000 元/月*10 月*8=8 万元

二、间接费用

合计 6.48 万元，其中自筹经费 4.5 万元，专项经费 1.98 万元。

1. 管理费：

管理费预算 6.48 万。按有关规定总费用的 10%作为管理费,元，厅拨管理费 1.98 万元，单位经费管理费 4.5 万元。

2. 绩效支出：0 万元。自筹经费 0 万元，专项经费 0 万元。

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）	
		（1）授权发明专利	
		（2）实用新型	2
		（3）外观设计	
		2、软件著作权授权数（项）	2
		3、发表论文（篇）	
		（1）其中 SCI 索引收录数	1
		（2）其中 EI 索引收录数	2
		（3）其它	1
		4、著作（部）	
		5、制订标准数（项）	
		（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	
	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	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		(6) 中试线	
		(7) 生产线	
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	1
		(2) 硕士	4
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	4
		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	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		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（项目的考核目标）

基于多元数据融合技术得到路面的全面数字信息，在依托工程实现基于三维重建的道路数字孪生技术体系。

在变形类病害检测方面，建立基于 AI 模型的病害特征库，打通从数据到知识的塑造。

应用病害自动感知识别技术，在依托工程完成基于数字孪生路面的病害智能仿真。

2.提交的研究成果及其形式

- （1）发表 SCI 或 EI 会议论文、核心期刊论文 4 篇；
- （2）申报发明专利 2 项，授权实用新型专利 2 项；
- （3）软件著作权 2 件；
- （4）培养专业技术人员 4 名；
- （5）实现基于无人机的大尺度路面数字孪生和基于三维网格检测的小尺度路面数字孪生；
- （6）提交“多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真”研究报告。

3.经济、社会、环境效益分析

通过三维路面指标的检测可以准确定位路面车辙、坑槽、沉陷和拥包等三维破损并同时计算破损的相关三维参数，实现对道路评价中的破损数据全覆盖，为预防性养护和精细化养护决策提供科学、可靠的技术支撑，具有显著的经济和社会效益。通过基于依托工程建立的道路数字孪生系统可以进行路面养护仿真，可以全面提高养护决策的科学性和准确性，成果的推广具有很好的应用前景。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见



单位负责人：（签字）

[Handwritten signature in blue ink]

科研项目专用章
年 月 日



单位负责人：（签字）

年 月 日

(公章)

单位负责人：(签字)



(公章)

单位负责人：(签字)



年 月 日

多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真

大纲评审意见

2026年3月20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“多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真”（项目编号:25-31X）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、项目研究内容基本全面，研究目标基本明确，技术路线基本可行。

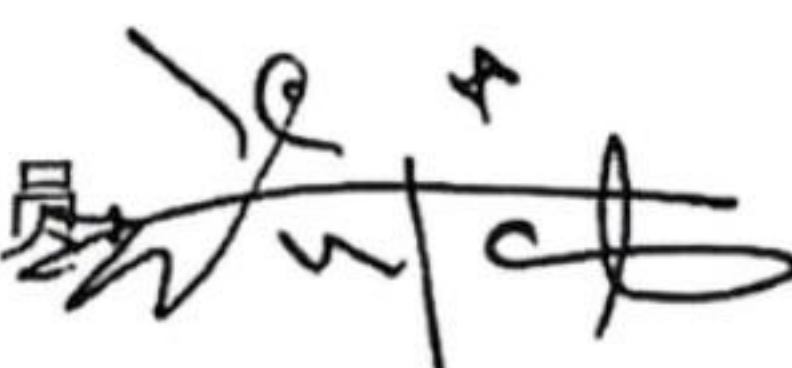
二、项目研究人员组成合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，依托工程落实，经费预算符合规定，具备开展研究工作的条件。

三、预期成果完全覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架基本契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- 1.进一步优化技术路线，明确考核指标。
- 2.丰富数据采集规模。
- 3.进一步明确软硬件主要技术指标。

主任委员 
2026年3月20日

专家审查意见表

项目名称	多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真				
专家姓名	靖 勃	职务/职称	正高工	专 业	交通工程
专家单位	中交第一公路勘察设计研究院有限公司			联系电话	13991927998

评 审 意 见

一、课题立项需求翔实，前期工作支撑条件较好，研究内容齐全、关键技术路线基本合理可行。

二、关键技术中的‘病害仿真’，在课题报告中没有较好体现。

三、课题成果中需要研发出‘高速激光网格扫描设备’，缺少主要量化类指标。

四、路面设施标牌标线，绿化等建议删除。

五、选择的路段偏短、样本数量可能不足；大模型的情况需要做简要说明。

评审专家（签字）：

2026年3月20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	多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真				
专家姓名	孙炯	职务/职称	副总/高级工程师	专业	道路信息
专家单位	西安公路研究院		联系电话	18629389959	
评审意见 进一步聚焦核心、突破点 多源数据融合、AI大模型处理和多尺度网络孪生等关键技术需要细化 病害仿真部分与题目契合度还不够，要明确仿真对象，输入输出和应用价值 量化的指标和成果形态还要进一步补强。 评审专家（签字）： 2026年3月20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	多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真				
专家姓名	于金良	职务/职称		专 业	检测
专家单位	陕西交控集团			联系电话	13892800156
评审意见 一、项目名称是数字孪生，考核指标是路面检测指标，要与研究内容对应，检测指标的标准要合理。 二、检测效率提升20%和研究内容的关系？ 评审专家（签字）：于金良 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	多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真				
专家姓名	顾明臣	职务/职称	正高	专 业	交通信息化工程
专家单位	交通运输部规划研究院			联系电话	13910897715

评 审 意 见

1. 大纲总体方案合理、可行，同意按照此大纲推进相关研究工作。

2. 关于多模式的养护仿真和病害仿真的仿真技术路线不够清晰，建议进一步补充明确。

3. 全域系统孪生的全域是多尺度还是多大时空范围，边界太大不够明确。

评审专家（签字）：顾明臣

2026年3月20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	25-31X 多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真				
专家姓名	季锦章	职务/职称	专业总工/研高	专 业	智能交通
专家单位	华设设计集团股份有限公司			联系电话	13601465599

评 审 意 见

- 1、 成果形式中的专利，表格中要求的是授权，且只有实用新型 2 项，提交的成果形式中描述为“申报”发明专利 2 项，实用新型专利 2 项，要一致。
- 2、 成果形式中增加研究报告。
- 3、 成果形式中增加多目视觉测量系统，并明确具体指标。
- 4、 对成果形式中（5）实现基于道路数字孪生的智慧养护平台要有具体指标、功能要求，并在计划表中列出具体工作计划，明确软件开发承担单位。
- 5、 标题中的病害仿真实际上是病害的数字化表达，用仿真容易让人理解为病害演变规律的推演。
- 6、 文中“数字底座”、“数据底座”概念混用，此课题中只有数据底座。

评审专家（签字）：



2026年3月20日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真 (项目编号: 25-31X)

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	靖勃	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	交通工程	交通工程	正高工	
2	委员	孙楠	西安公路研究院	电子信息	电子信息	正高工	
3	委员	于金良	陕西交控集团	桥梁与隧道工程	桥梁与隧道工程	正高工	
4	委员	季锦章	华设集团	无线电与信息系统	智能交通	研高	网上评审
5	委员	顾明臣	交通运输部规划研究院	交通信息化工程	交通信息化工程	正高工	网上评审

专 家 意 见 处 理 表

项目名称：多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真（项目编号：25-31X）

序号	姓名	建议内容	处理意见
1	靖勃	1、课题立项需求详实，前期工作支撑条件较好，研究内容齐全、关键技术路线基本合理可行。 2、关键技术中的“病害仿真”，在课题报告中没有教好体现。 3、课题成果中需要研发出“高速激光网格扫描设备”，缺少主要量化类指标。 4、路面设施标牌标线，绿化等建议删除。 5、选择的路段偏短、样本数量可能不足；大模型的情况需要作简要说明。	1、采纳。 2、采纳。在大纲研究内容第五项中增加了孪生路面中虚拟路面横断面、纵断面、路面病害的仿真示意图。 3、主要技术经济指标中 2、3、4 对应高速激光网格扫描设备的量化类指标。 4、采纳。已删除。 5、已将检测路段选定为 10Km。在研究内容 4 中补充了无人机解算、病害识别涉及到的部分 AI 模型内容。
2	季锦章	1、成果形式中的专利，表格中要求的是授权，且只有实用新型 2 项，提交的成果形式中描述为“申报”发明专利 2 项，实用新型专利 2 项，要一致。 2、成果形式中增加研究报告。 3、成果形式中增加多目视觉测量系统，并明确具体指标。	1、提交的成果形式为：申报发明专利 2 项，授权实用新型专利 2 项。由于发明专利周期较长，项目执行期内一般无法获得授权，因此为申报发明专利 2 项。 2、采纳，在成果形式中增加了提交“多源信息融合的路面数字孪生关键技术与病害仿真”研究报告。 3、采纳，主要技术经济指标中 2、3、4 对应多目视觉测量系统的具体指标。

		4、对成果形式中（5）实现基于道路数字孪生的智慧养护平台要有具体指标、功能要求，并在计划表中列出具体工作计划，明确软件开发承担单位。 5、标题中的病害仿真实际上是病害的数字化表达，用仿真容易让人理解为病害演变规律的推演。 6、文中“数字底座”、“数据底座”概念混用，此课题中只有数据底座。	4、采纳，成果形式（5）修改为“实现基于无人机的大尺度路面数字孪生和基于三维网格检测的小尺度路面数字孪生”，并在研究计划第四季度和第五季度中单独列出。软件为自行开发。 5、采纳，题目目前无法修改； 6、采纳。已统一修改为“数据底座”。
3	于金良	1、项目名称是数字孪生，考核指标是路面检测指标，要与研究内容对应，检测指标的标准要合理。 2、检测效率提升 20%和研究内容的关系。	1、采纳。研究内容 3“高速激光网格扫描设备”是本项目重要研究内容之一，因此在考核指标中加入了对应的路面检测指标。 2、采纳。检测效率提升 20%和研究内容关系不大，且难于量化，因此删除该内容。
4	孙楠	1、进一步聚焦核心突破点。 2、多源数据融合，AI 大模型处理和多尺度网格孪生等关键技术需要细化。 3、病害仿真部分与题目契合度还不够，要明确仿真对象，输入输出和应用价值。 4、量化指标和成果形态还需要进一步补强。	1、采纳。 2、采纳。已对相关内容进行了细化。 3、已明确病害仿真对象为“坑槽”仿真，输入坑槽的三维点云，输出为坑槽的三维信息。 4、已增加了基于无人机的路面大网格重建与孪生和基于高速激光网格扫描设备的小尺度数字孪生。

5	顾明臣	1、大纲总体方案合理、可行，同意按照此大纲推进相关工作。 2、关于多模式的养护仿真和病害仿真的仿真技术路线不够清晰，建议进一步补充明确。 3、全域系统孪生的全域是多尺度还是多大时空范围，边界太大不够明确。	1、采纳。 2、在养护仿真里面补充了基于 SUMO 的路面仿真和坑槽的数据仿真。 3、全域指的是基于无人机的大尺度数字孪生以及基于高速激光网格扫描设备的小尺度数字孪生。
---	-----	---	---

项目负责人（签字）： 马孝贵

专家确认（签字） 马孝贵