

项目合同编号：25-68K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究

承担单位：陕西高速公路工程试验检测有限公司

项目负责人：张国宏

通讯邮编、地址：710086、陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路

57 号

传真、电话：029-89107794

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

无人机巡检作业规范与样本采集标准研究：针对高速养护巡检无统一作业标准致样本质量、数据可比性不佳的问题，本研究构建无人机巡检数据采、处、存、查全流程标准化技术体系，严格衔接现行行业标准，保障数据规范性与适用性。采集端按巡检场景定标准化流程，明确关键指标，细化复杂构筑物作业要求；处理端建立全流程质控体系，结合深度学习技术提升效率，参照行业标准统一病害评定维度，实现数据与标准无缝衔接；储存查阅端实施分类编码，采用云存 + 本地备份模式，开发适配养护需求的查阅平台，支持多维度检索与权限管理。最终搭建一站式智慧巡查采样平台，实现全流程闭环作业，为高速智慧养护提供技术支撑。

无人机桥梁智慧检测技术研究：研发适配桥梁复杂部位的专用检测平台，集成多类专用检测设备，结合仿地飞行、智能避障技术，保障复杂环境下高质量数据采集。基于深度学习构建病害智能识别模型，运用多尺度特征融合、注意力机制提升检测精度，自动量化病害参数，通过迁移学习适配陕西不同桥型。集成检测数据与三维建模构建桥梁数字孪生系统，开发智能报告自动生成系统，实现从数据采集到养护管理的技术闭环，为桥梁预防性养护提供科学决策支撑，大幅提升检测效率与报告质量。

无人机标记及检测系统装备研究：本研究围绕硬件创新、标记技术优化与系统集成，破解桥梁监测成本高、效率低难题，为基础

设施长期跟踪监测提供高效辅助标记技术支撑。以专用无人机硬件平台为基础，研发专用标记装备，攻克抗风扰稳定平台技术，适配各类病害监测场景，夯实硬件基础。该装备通过无人机搭载类比例尺标记物实现病害精准量化与动态监测，大幅节约成本；优化环保耐久的标记材料，建立标准化的标记物维护更换流程。同时研发智能诊断与分析系统，实现标记变化识别、结构位移评估，达成数据可视化管理、趋势分析及异常预警。

2. 技术关键

制定标准化数据采集流程与构建智能作业平台：旨在解决无人机智慧巡查缺乏样本数据采集作业规范的问题，核心在于建立标准化的“采-存-管”体系与自动化作业能力。首先，需针对路面、边坡、交安设施等不同巡检场景，系统性地研究并制定涵盖飞行参数、传感器选型、数据格式的统一技术标准与全流程作业手册。其次，研发具备自适应任务规划能力的智能采样平台，集成自动飞行与实时质量反馈功能，实现从任务下发到高质量样本生成的一站式闭环作业。最终，通过构建包含数据质量评估、智能标注与持续优化的数据管理机制，为后续 AI 模型训练与养护决策提供坚实、规范的数据基础。

研发高适应性检测平台与构建病害智能识别量化体系：攻克桥梁隐蔽部位病害精准识别与量化分析的工程难题，核心在于“专用平台+智能算法”的深度融合。首要任务是研发具备高稳定性和复杂环境适应能力的专用无人机检测平台，集成高清变焦、激光雷达等

多源传感器，以获取桥梁关键部位的精细化数据。在此基础上，构建基于深度学习的多尺度病害智能识别模型，并开发配套的裂缝宽度、剥落面积等关键参数的自动精准量化算法。最终，通过融合多期检测数据构建桥梁数字孪生，并开发智能报告系统，实现从数据采集、病害分析到维修建议的全流程自动化与智能化。

集成无人机辅助标记装备与开发标记数据智能分析算法:集成高精度定位、标记装置及检测传感器的模块化硬件设计，负载快速更换技术，抗风扰稳定平台技术，适配病害监测场景的机器学习标记识别与位置变化分析算法。无人机搭载类比例尺标记物的病害区域精准附着技术，基于标记物的病害尺寸精准量化与长期动态监测技术，环保耐久型标记材料筛选优化技术，标记物标准化维护与更换流程技术。标记数据智能识别与分析算法，桥梁结构位移自动评估技术，标记数据可视化管理、趋势分析及异常预警技术。

3. 依托工程（依托工作）

陕西交控宝鸡分公司运营管理银昆高速公路陕甘界至田坝枢纽立交段全长 178.678 公里高速公路，沿线设有收费站 8 处，分别为火烧寨收费站、陇县收费站、水沟收费站、千阳收费站、南寨收费站、凤翔收费站、宝鸡南收费站和岩湾收费站；服务区 4 处，分别为陇县服务区、宝鸡北服务区、宝鸡南服务区、秦岭天台山服务区。共有主线桥梁 277 座，其中特大桥 11 座 16520 延米，包括 4 座高墩大跨连续刚构桥，隧道 14 座，其中特长隧道 2 座/19051 延米，长隧道 6 座 110003 延米。

针对宝鸡分公司在高速公路养护巡查、路产巡查、应急保障等场景中的“急、险、难、远”问题，拟通过构建全线无人机智慧巡查系统，利用无人机对关键部位和重要路段实现常态化、智能化、无人化巡检巡查以及应急保障，降低高速公路路面、桥梁、隧道周边、边坡、服务区等人工巡检盲区和成本投入。

拟定在银昆高速（G85）K470+000-K599+471、K600+365-K602+742、K632+900-K648+678，共计146.6公里路段部署无人机机场设备，开展全路段路产巡查工作。

陕西交控西镇分公司下辖养管路段王莽至南五台段，该路段属于包茂高速（G65）西安至安康段（西康高速）的一部分，路段范围起点：西安市长安区王莽街道附近（接西安绕城高速）终点：南五台景区附近的太乙宫立交（或延伸至终南山隧道南口）。王莽至太乙宫段全长公里数约10-15公里。太乙宫至南五台景区需通过地方道路S107省道行驶约5-8公里连接，非高速公路直接覆盖。太乙宫立交属于该路段重要节点，可转至S107省道前往南五台景区。终南山隧道全长约18公里，是西康高速的控制性工程。

针对西镇分公司在高速公路王莽至南五台段车流量大、节假日交通拥堵等问题，拟通过构建试点路段无人机智慧巡查系统，利用无人机对关键部位和重要路段实现常态化、智能化、无人化巡检巡查以及应急保障，降低高速公路路面、桥梁、隧道周边、边坡、服务区等人工巡检盲区和成本投入，提高交通事件发现及处置能力。

基于宝鸡分公司、西镇分公司依托工程，相关科研成果后期也

会推广到西富、西长、西略等其他有代表性的路段分公司及省外公路交通领域。初步拟定针对依托工程适飞路段部署 13 套固定式无人机机场，针对山区巡检部署一套车载无人机机场，另外需部署一套运行+存储+算法服务器。

二、考核指标

1. 预期目标

本项目的预期目标围绕技术突破、成果产出、产业效益三个维度设定具体考核指标，确保项目成果可量化、可考核。

在技术突破层面，项目旨在攻克无人机在复杂交通场景下的关键技术瓶颈。具体考核目标包括：实现桥梁底部等复杂环境下的厘米级图像识别；针对裂缝、剥落等典型病害的 AI 智能识别算法准确率不低于 80%。同时，作业效率实现显著提升，桥梁检测效率较传统方式提升 4 倍以上。将无人机巡检数据与养护数据的具体关联字段对齐，定期推送病害识别数据，相关 AI 识别算法申请软件著作权，相关硬件装备产出工程样机并进行测试。

在成果产出层面，项目将形成一套完整的、可推广的智慧巡检解决方案。考核目标明确为：研制出高速公路无人机自动巡检机场系统 1 套；开发并部署完成“陕西交控空地一体化智慧巡检软件平台”1 套，实现巡检任务全流程信息化管理。知识产权方面，项目执行期内需形成 1-2 项专利、1-2 项软件著作权，并参与编制 1-2 项团体或地方标准。同时，需编制完成《陕西省高速公路空地一体化智慧巡检巡查系统建设工作指南》1 套，为技术规范应用提供依据。项目整体技术在桥梁密闭空间精准检测等方向达到国内领先水平。

在产业效益层面，项目注重成果的转化与应用价值。通过技术推广，预期可降低基础设施综合运维成本 40%以上，并显著减少养护人员高空作业风险，提升高速公路管养的安全性与智能化水平，为行业技术进步和陕西省交通强国建设提供有力支撑。

2. 主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

数据采集精度：系统集成多维度自动化识别功能，可实现路面病害高精度识别，精准捕捉 $\leq 10\text{cm}$ 坑槽、 $\leq 2\text{cm}$ 裂缝；完成桥梁结构定量化检测与精细化识别，实现盖梁偏移等检测，以及结构表面 $\leq 0.5\text{mm}$ 细微裂缝有效识别；同时可自动完成交通安全设施缺失状态的智能核查。

病害识别准确率：AI 算法对典型道路病害的识别准确率高达 80%以上。

作业效率指标：桥梁检测效率提升 4 倍以上（传统需要 8 小时的检测任务缩短至 2 小时以内）。

无人机自动机场：具备全自动起降与高精度降落能力，精度在 $\pm 30\text{cm}$ 以内，并支持自动充电，可在 30 分钟内将电量从 0 补充至 80%。工作温度 $-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，防护等级 IP65，支持远程任务下发与数据传输；

空地一体化软件平台：支持基于点云模型自动规划航线，单小时处理 2-3 公里数据，AI 病害识别准确率 $\geq 80\%$ ，可自动生成检测报告。

3. 经济和社会效益

在经济效益方面，项目通过技术替代可实现显著的成本节约和效率提升。根据实施方案，无人机巡检相比传统人工巡检可降低综合成本 40%以上，其中人工成本降低 60%，交通及设备成本降低 50%。以陕西省高速公路网为例，按年巡检 1 万公里计算，预计可节约运维成本约 600 万元。同时，作业效率大幅提升，桥梁检测效率提高 4 倍，这意味着同等资源下可完成更多巡检任务，直接扩大服务产

能。

在社会效益方面，项目将显著提升高速公路运维的安全水平。通过减少人工高空作业和危险环境巡检，可降低养护人员安全风险 70%以上，减少因巡检导致的交通意外风险 50%。同时，项目形成的技术标准草案将为行业提供规范化指引，通过产学研合作预计一年内培养专业技术人员 10 人，带动区域低空经济发展。

4. 成果提供形式

- 1) 形成高速公路无人机自动巡检机场系统 1 套；
- 2) 形成陕西交控空地一体化智慧巡检软件平台 1 套；
- 3) 形成 1-2 项实用新型专利，1-2 软件著作权，1-2 篇期刊论文，1-2 项地方或企业标准；
- 4) 形成《陕西省高速公路空地一体化智慧巡检巡查系统建设工作指南》1 套。

5. 其他考核指标

开展技术交流不少于 1 次，媒体宣传报道不少于 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）
2026 年 3 月-5 月	开展行业及技术调研、搭建样本采集标准框架、启动无人机硬件需求分析、组建团队；完成调研报告、标准框架草案等材料，确定实施方案。
2026 年 6 月-8 月	细化样本采集全流程标准、研发无人机硬件原型机、收集标注桥梁病害数据集、对接行业标准；完成标准初稿、原型机搭建，收集标注不少于 500 条数据集。
2026 年 9 月-11 月	研发样本自动标注技术、推进无人机抗风平台及标记装备设计、训练调试病害识别模型、搭建数据储存框架；标注效率提升 30%+，模型微小病害识别准确率 $\geq 70\%$ 。
2026 年 12 月 -2027 年 2 月	优化样本采集标准并试点、测试优化无人机硬件、提升模型泛化能力、开展技术交流、推进软件核心模块设计；完成标准修订，模型准确率 $\geq 80\%$ ，开展 1 次技术交流。
2027 年 3 月-5 月	研发新型标记装备、搭建桥梁数字孪生系统、完善软件基础功能、准备专利软著申报、开展首次媒体宣传；完成装备研发，提交专利软著申请，完成 1 次宣传。
2027 年 6 月-8 月	搭建一站式采样平台、优化病害检测体系、编制地方/企业标准、联调软硬件、开展二次媒体宣传；完成平台搭建，算法误差 $\leq 5\%$ ，累计宣传达 2 次。

2027 年 9 月-11 月	研发调试巡检机场系统、编制工作指南、优化报告生成系统、撰写论文、开展三次媒体宣传、试点测试系统；完成机场系统研发，累计宣传达 3 次，整改测试问题。
2027 年 12 月 -2028 年 2 月	完善各项成果、优化交付软硬件、定稿工作指南、自查准备验收、整理档案；获得专利软著及论文录用，完成成果汇编，准备齐全验收材料。
2028 年 3 月	配合项目验收、整改问题、移交归档成果、总结项目；通过验收，完成成果移交，出具项目总结报告。

四、项目经费

项目总经费：120 万元
交通运输厅补助：19.975 万元
自筹资金：100.025 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	105	19.975
1. 设备费	55	0
(1) 购置设备费	35	0
(2) 试制设备费	10	0
(3) 设备改造与租赁费	10	0
2. 业务费	30	19.975
(4) 材料支出	3	0
(5) 测试化验实验加工支出	5	5
(6) 燃料及动力支出	3	2.975
(7) 差旅支出	3	2
(8) 会议支出	3	2
(9) 国际合作与交流支出	3	2
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	5	3
(11) 其他支出	5	3
3. 劳务费	20	0
(12) 劳务性支出	15	0
(13) 咨询专家支出	5	0
(二) 间接费用	15	0
4. 管理费	5	0
5. 绩效支出	10	0
合 计	120	19.975

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
		（1）授权发明专利	1
		（2）实用新型	
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	1
		3.发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（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	1
		（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	1
		（6）中试线	
		（7）生产线	

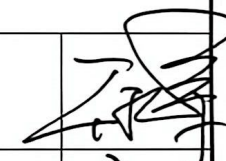
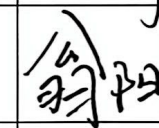
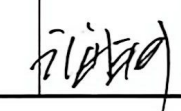
一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4. 研究开发情况	
		(1) 小试	是/否
		(2) 中试（样品样机）	是/否
		(3) 小批量	是/否
		(4) 规模化生产	是/否
	人才引育	1. 引进高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		2. 培养高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	
		4. 是否设立科研助理岗位	是/否
	产业化情况	1. 开放共享仪器设备数（台/套/只等）	
		2. 科研仪器设备利用率（%）	
		3. 孵化科技型企业（个）	
		4. 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

陕西高速公路工程试验检测有限公司将承担本项目核心技术研发、算法攻坚与标准体系建设工作。其重点在于攻克无人机在复杂交通场景下的技术瓶颈,特别是针对陕西省桥隧比高、地形复杂的特点,研发高精度传感器集成、北斗融合定位以及无 GPS 信号环境下的精准定位与数据采集方案。公司将主导构建数据智能分析与诊断核心平台,建立专业的桥梁病害样本库,并指导开发基于人工智能的病害自动识别与分类算法模型,以提升数据分析的智能化水平。此外,该公司还将负责数字孪生系统的开发及相关技术标准与规范的制定,推动行业应用的标准化。

陕西交控飞行技术有限公司则作为技术成果的工程化转化与市场应用主体,负责无人机系统平台的集成、测试、优化与规模化推广。凭借其专业的无人机运营资质和已投入运行的高速公路无人化巡检系统的实践经验,公司将主导“空地一体化智慧巡检系统”的部署与日常运维。其核心任务是将研发的新技术、新装备在真实环境中进行工程化验证,确保系统的稳定可靠运行,并将险情应急响应时间大幅压缩至 3 分钟,显著提升巡检效率与安全保障能力。同时,该公司承担技术成果的推广与产业化重任,将项目形成的成熟技术和标准化解决方案向省内外市场推广复制,致力于打造全国公路智能化管养的行业标杆。

七、项目参加人员表

项目承担单位：陕西高速公路工程试验检测有限公司							
参与单位（排序）：陕西高速公路工程试验检测有限公司、陕西交控飞行技术有限公司							
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	签名
1	张国宏	1981. 11	陕西高速公路工程试验检测有限公司	正高级工程师	综合系统科学	项目总负责	
主要研究人员							
2	邵永军	1977. 03	陕西高速公路工程试验检测有限公司	正高级工程师	桥隧工程	项目协调	
3	翁阳	1979. 10	陕西高速公路工程试验检测有限公司	正高级工程师	公路工程	项目协调	
4	王海渊	1980. 07	陕西高速公路工程试验检测有限公司	正高级工程师	交通工程	项目协调	

5	李安琦	1997.07	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	物联网工程	平台开发	李安琦
6	任晓辉	1981.04	陕西高速公路工程试验检测有限公司	高级工程师	桥梁工程	项目协调	任晓辉
7	刘波	1987.11	陕西交控飞行技术有限公司	中级工程师	电子信息	平台开发	刘波
8	张艺莹	2000.10	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	材料科学与工程	硬件开发	张艺莹
9	王力	1984.10	陕西交控飞行技术有限公司	中级工程师	公路工程	产品验证	王力
10	张全兵	1994.11	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	土木工程	硬件开发	张全兵
11	刘卫刚	1991.08	陕西高速公路工程试验检测有限公司	中级工程师	土木工程	硬件开发	刘卫刚
12	刘辉	1999.09	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	无人机应用技术	现场试验	刘辉
13	郭珈翔	2003.12	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	新能源技术	硬件开发	郭珈翔

14	高畅	1996.08	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	工程管理	现场试验	高畅
15	臧一涵	2001.01	陕西交控飞行技术有限公司	助理工程师	土木工程	硬件开发	臧一涵

八、信息表

项目合同编号		25-68K		密级		/		A：机密 B：秘密 C：内部	
项目名称		高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究							
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		120 万元		厅 拨		19.975 万元			
第一承担单位	单位名称	陕西高速公路工程试验检测有限公司							
	所在地	陕西省西安市					代码		
	通讯地址	陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路 57 号					邮编	710086	
	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	陕西高速公路工程试验检测有限公司							
	2	陕西交控飞行技术有限公司							
	3								
项目负责人	姓 名	张国宏		性 别 (1) 1.男 2.女		出生年份	1981.11		
	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	19909243255			电子邮箱	zgh131523@163.com			
项目联系人	姓名	李安琦			性别	男			
	联系电话	13096971849			电子邮箱	1024146683@qq.com			
项目组人数	15	高级	5	中级	3	初级	7	其他	0
主要研究内容 (100 字以内)	研究无人机桥梁检测（数据采集规范、AI 病害识别、数字孪生）、边坡检测（智能巡检、数据融合、预警决策）及标记检测装备（模块化硬件、识别算法、变形监测平台），构建基础设施智能化巡检技术体系与解决方案。								
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、F	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.合同正本一式柒份，甲方单位伍份，承担单位贰份。

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）



2026年3月27日

联系人：（签字）

张峰

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：（承担单位）陕西高速公路工程试验检测有限公司

单位负责人：（签字）



2026年3月27日

项目负责人：（签字）



（公章）



电 话：

财务负责人：（签字）

张志强

账 户 名：

陕西高速公路工程试验检测有限公司

开户银行：

456850100100033592

兴业银行西安经济开发区支行

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：（签字）
年 月 日

项目编号：25-68K

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：高速公路无人机智慧巡查巡检技术及
新装备研究

申请单位：陕西高速公路工程试验检测有限公司
(盖章)



联系人：李安琦

电 话：13096971849

陕西省交通运输厅制

2026 年 3 月

填写说明

格式要求：目录页码齐全，双面打印，胶装不另加封皮。

可研报告可参考网评专家意见及建议，按照**研究大纲深度**编写。

应用技术类应本着有限目标、有限规模、重点突出、适应市场、重在应用的原则，不求全求大、面面俱到。综合考虑研究期限、财力等实际情况，合理确定研究内容。软科学研究项目可研报告应由相关业务单位或部门牵头完成，内容要与业务工作紧密结合。

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	3
1. 对项目领域国内外（省内外）研究现状	3
2. 项目前期科研及现有工作条件	6
3. 参考文献	9
三、 实施方案	10
1. 拟解决的关键问题	10
2. 主要研究内容及实施方案	11
3. 技术路线	14
4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接	17
5. 有关技术经济指标	19
四、 项目承担单位及参加单位概况	21
1. 单位概况	21
2. 技术力量及人员构成	22
3. 各自承担的主要工作	23
4. 项目主要负责人情况	24
五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	25
1. 依托工程（工作）概况	25
2. 投资来源	27
3. 工程进度与项目科研进度的配合	27

4. 组织管理形式	28
六、 项目经费估算及资金筹措情况	30
七、 项目绩效指标	31
八、 预期目标、成果提供形式及经济社会效益	33
1. 项目预期目标	33
2. 提交的研究成果及其形式	34
3. 经济、社会、环境效益分析	34
九、 其它需要说明的问题	35
十、 申请单位意见	35

一、项目研究的背景和必要性

随着我国交通基础设施规模的持续扩大和运营年限的增长，高速公路、桥梁、隧道等关键设施的养护管理与安全运维面临着前所未有的压力。传统的人工巡检方式不仅效率低下、成本高昂，而且在面对高空、临崖等危险作业环境时，存在显著的安全风险，难以实现全覆盖、高频次的精细化巡检。特别是在地形复杂的陕西省，连续钢构桥、斜拉桥以及山区高速公路边坡等结构物，对检测的精度、时效性和适应性提出了更高要求。当前，无人机技术虽已部分应用于巡检领域，但在复杂交通场景下，仍普遍存在定位精度不足、环境适应性差、病害识别智能化水平低，以及缺乏长效监测的辅助手段等关键瓶颈，制约了其规模化、标准化应用。

在此背景下，开展本项目具有紧迫的现实必要性和重要的战略意义。本项目的研究目的在于，系统攻克无人机在复杂交通基础设施巡检中面临的技术难题，研发一套集精准数据采集、智能信息处理、长效状态监测于一体的智慧巡检技术体系及配套新装备。项目将重点聚焦于三大核心内容：一是突破桥梁底部等环境的厘米级图像识别精度与数据采集技术，开发针对不同桥型的自动化航线规划与 AI 病害识别算法，构建桥梁数字孪生平台以实现预测性养护；二是构建基于无人机机巢组网的“天空地”一体化智能巡检体系，实现多源数据融合的高精度变形监测与灾害预警；三是创新研发无人机精准标记与检测系统装备，为基础设施关键部位的长期监测提供稳定可靠的基准参照。

从项目概括来看，本项目并非单一技术点的突破，而是一个覆盖

“装备研发-技术集成-应用验证-标准建立”全链条的系统性工程。它将整合高精度传感器、RTK/SLAM 组合导航、边缘计算、人工智能、数字孪生等先进技术，形成可复制、可推广的智慧巡检整体解决方案。

该项目的市场需求前景极为广阔。首先，在交通运输领域，可广泛应用于全国高速公路网络、国省干线的桥梁、隧道、边坡等设施的日常巡检、定期检测与应急评估，直接服务于“交通强国”战略下的基础设施数字化、管养科学化需求。其次，技术成果可延伸至铁路、水利、电力、市政等多个行业的基础设施运维场景，市场潜力巨大。经济效益显著，预计项目实施后，巡检效率将大幅提升，综合运维成本降低，投资回报周期较短，具备强劲的市场驱动力。

通过本项目研究，将达到国内领先的技术水平。具体技术经济指标包括：实现桥梁检测毫米级图像识别精度、典型病害 AI 识别准确率超过 80%。这些指标将显著超越当前行业普遍水平，推动无人机巡检技术从“可用”向“好用、精准、智能”的跨越。

在国民经济发展中，本项目的作用至关重要。一方面，通过提升基础设施巡检的智能化水平和安全保障能力，能够有效预防重大安全事故的发生，保障人民生命财产安全和交通大动脉的畅通，社会效益巨大。另一方面，项目的实施将带动无人机应用产业链上下游协同发展，包括高端传感器制造、人工智能算法开发、数据分析服务等新兴产业，培育新的经济增长点。同时，项目形成的技术标准和解决方案，将为全国基础设施的数字化转型和智慧运维提供示范样板，对提升国

家公共基础设施的管理效能和长期服役安全具有深远的战略意义。

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

（1）全球无人机交通基础设施巡检技术发展现状

从国际视角看，无人机交通基础设施巡检技术已经从单机应用向组网化、智能化方向快速发展。美国在桥梁检测领域率先采用无人机进行接触式检测，通过加装机械臂和专用传感器，实现了对桥梁表面和内部病害的精准测量^[1]。欧洲则侧重于无人机群协同作业技术，通过多跳组网飞行实现大范围道路网络的连续监测^[2]。这些技术突破显著提升了巡检效率，使无人机从单纯的数据采集工具转变为集采集、分析、决策于一体的智能巡检系统。

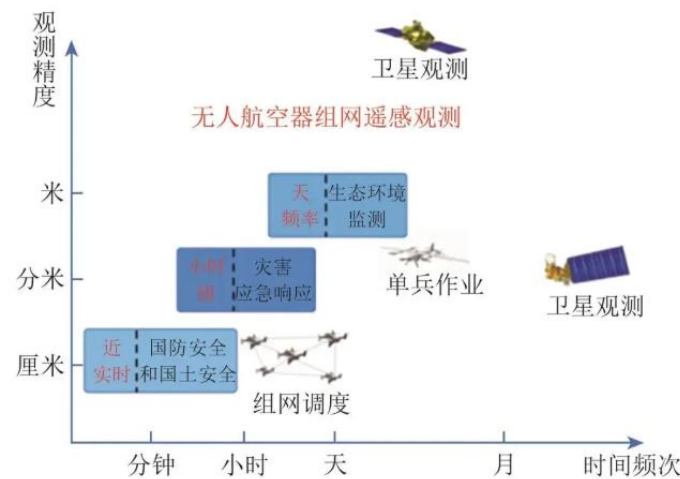


图 1 无人机组网在时间频次和观测精度上提升遥感效率

在智能化分析方面，基于深度学习的目标检测算法已成为行业研究热点。YOLO（You Only Look Once）等轻量级神经网络模型因其高效的检测速度和在移动设备上的部署能力，被广泛应用于无人机巡

检中的病害识别^[3]。例如，福建高速开发的无人机巡航视场高速公路病害高精度人工智能识别模型，实现了道路裂缝、坑槽等病害的智能识别，算法精度超过 90%。同时，无人机机载边缘计算套件的研发进一步实现了机上数据实时处理与事件实时感知，提高了识别效率。

（2）国内无人机交通巡检行业应用现状

我国无人机交通基础设施巡检技术应用已进入快速推广阶段。2025 年 4 月，交通运输部组织开展低空无人机应用公路巡查检查先行试验项目，共有 21 个项目成功入选，标志着低空无人机在公路巡查检查领域的实际应用迈出关键一步。这些项目涵盖了桥梁巡查盲区检查、表观病害与振动识别等多个方向，体现了政策层面对于无人机巡检技术的高度重视。

在具体应用方面，福建省高速公路无人机智能巡检系统具有代表性。该系统通过构建三级组网管控架构，将无人机机场部署在养护站服务区等高速沿线场地，实现了无人机的全自动巡检。据统计，自该系统投入使用以来，已累计完成对高速公路边坡、路基等重点区域的智能巡检超过 120 公里，识别出各类异常问题 230 余处，作业效率相比传统人工巡检提升 10 倍以上。同时，厦门市构建的“天基预警—空中巡查—地面感知”三维监测体系，通过融合卫星遥感、无人机巡查和地面传感器数据，实现了公路边坡风险防控从“被动应对”向“主动预警”的转变。

在技术研发层面，国内研究机构已开始攻克无人机在复杂环境下的适应性难题。针对桥梁底部 GPS 信号丢失问题，研究人员提出了

基于超宽带无线通信信标的定位方法，通过搭建局部定位网络替代 GPS 卫星定位信号^[4]。同时，轻量化的无锚目标检测网络被开发出来，实现了病害的实时识别与定位，避免了预设标记框尺寸与实际病害数据尺寸不符的问题^[4]。

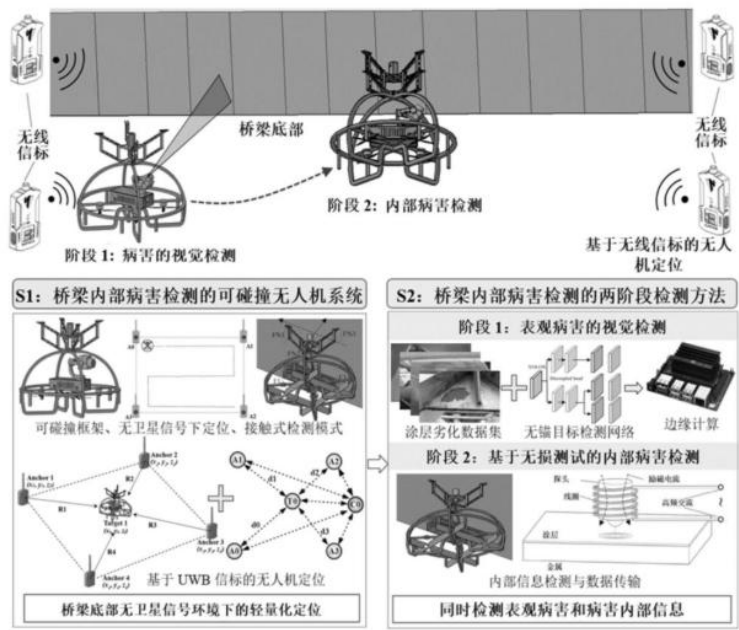


图 2 基于无人机的桥梁内部病害检测方法及系统

（3）行业应用中的关键技术瓶颈与难点

尽管无人机交通基础设施巡检技术取得了显著进展，但在实际应用中仍面临多项技术瓶颈。

在桥梁检测方面，精细化程度不足是主要难点。现有无人机检测技术对于裂缝宽度小于 0.2mm 的病害识别精度仍不足，无法满足《公路桥涵养护规范》的精度要求^[1]。在桥梁底部等密闭空间，GPS 信号严重衰减导致无人机定位不准，影响数据采集质量。同时，复杂环境适应性也是一个挑战，特别是在斜拉桥索塔检测时，高空强风场要求无人机具备抗 7 级风能力的同时保持悬停稳定性^[5]。

在标记技术方面，无人机精细化检测缺乏成熟的辅助测量标记技术。在 GNSS 信号受限的桥下环境，实现厘米级定位精度尤为困难。标记材料需要满足持久性、抗环境影响等要求，确保在桥梁生命周期内可被清晰识别^[4]。同时，专用硬件系统集成面临多重挑战，无人机标记系统需要集成机械臂、喷涂装置等专用负载，这会影响无人机的气动特性和飞行稳定性。

2. 项目前期科研及现有工作条件

陕西高速公路工程试验检测有限公司已牵头建成陕西省智慧交通产业中试基地、陕西省企业技术中心、西安市交通土建结构安全监测技术中心、交通运输部卫星技术行业应用研发中心（参建）、道路桥隧智慧监测省级高校工程研究中心（参建）等科技创新平台。其中：**陕西省智慧交通产业中试基地**于 2024 年 11 月通过陕西省科技厅认定，基地通过联合高校、科研机构与企业，构建技术研发、人才培养与产业服务协同生态，实现“基础研究-技术攻关-应用场景-成果产业化”无缝衔接，为智慧交通领域提供核心技术攻关与核心装备研发支撑；**陕西省企业技术中心**围绕公司提出的“质量安全与技术服务、智慧+交通、生态环保、养护新材料和新技术”四个业务方向发展，旨在集聚交通行业技术领域人才、孵化高层次科研成果，开展相关科研及行业创新应用，创新推动交通行业技术发展；**西安市交通土建结构安全监测技术中心**融合 GPS-RTK 技术、图像与激光位移监测技术、实时数据传输技术等，构建基于 BIM+GIS 的监测平台，推动交通土建行业工程结构安全监测技术的快速发展，为交通土建工程结构的安

全施工和正常运营保驾护航。

陕西高速公路工程试验检测有限公司拥有丰富的经验、技术和产品积累，拥有最全的试验检测资质，是行业内全国排名前列的试验检测单位。公司建有独立、现代化的试验室，占地 9000 平方米，建有现场检测道路、桥梁、岩土、隧道、交通工程试验场，拥有各类先进的仪器设备 1690 余台（套），可满足公路、铁路、建筑、市政、机电和环境工程试验检测需要拥有交通运输部试验检测专家、国家认可委实验室认可专家、省交通运输厅试验检测专家等各类专家 20 余人。交通运输部行业资质持证人员比率达 95%，是一支具有高素质的专业队伍。

公司应用新一代信息技术、人工智能、北斗、物联网等技术赋能交通运输产业体系，自主研制智慧运管类、智慧养护类、采集传输类、应急通信类、系统平台类等五大类 60 余项产品。其中核心产品如：高精度 GNSS、激光位移计、高通量卫星天线、智能巡查机器人、桥检无人机、一体化路政养护巡查车等硬件产品，搭建了结构群智慧监测系统、秦岭隧道群安防体系数字孪生、智慧服务区综合管理决策系统等数字化系统平台，目前已获得 70 余项知识产权，产品被广泛应用于桥梁、隧道、边坡、市政、水利水电等领域。

公司通过申报创建“陕西交控星翼无人机青年创新工作室”、开展多样化无人机创新应用活动等形式，打造陕西交控无人机行业应用青年创新创业平台，吸引优秀青年创新人才，围绕无人机行业应用及人才储备培养，提供各类优质赋能服务。

自 2017 年开始，公司已进行了交通行业特种无人机系统应用研究及研发。迄今为止，公司已成功获得与无人机有关的知识产权 4 项：其中发明专利 2 项、实用新型专利 2 项；此外，还发表了 2 篇相关论文。目前，高速检测公司计划研发一套陕西交控空地一体化智慧巡查检查系统，该系统预计将全面覆盖道路巡查、养护巡检以及应急处置等三大核心业务场景。

在道路巡查领域，目前与陕西交控集团内部宝鸡、西镇、西略、汉宁、宝川、西延、榆吴、绕城、西长、西富等分公司的业务需求对接已经完成，接下来将陆续推进无人机高速公路智慧巡检的试点及服务。未来将实现对高速公路交通设施缺损、路面病害、行人上路、养护施工、异常车流、违规车辆以及自然灾害等多种事件的自动识别与预警。后续将通过深度学习，不断优化无人机 AI 图像识别算法，提升高速公路巡查的效率与精度。

在养护巡检领域，未来将重点开展桥梁检测、无人值守、测绘建模等行业无人机、特种无人机技术的应用研究，目前已经研发了交通行业桥梁检测无人机系统，形成无人机桥梁检测作业执行标准及数据处理标准。应用现有研发技术成果，完成了重庆韩家沱铁路双线特大桥无人机贴近摄影建模及表面病害检查项目及重庆轨道交通 6 号线蔡家特大桥无人机桥梁检测项目，此外还完成了安康紫阳隧道连接桥、三水河特大桥等桥梁无人机建模及自动航线规划无人机巡检试点项目。

在应急处置领域，需构建空地一体化监测应急体系，通过多模态

传感器实时采集道路病害数据并了解相关病害隐患与潜在安全问题。无人机系统作为前端感知核心,通过智能巡检、实时分析、应急响应、协同处置和评估归档五个关键环节形成闭环流程。后期的技术研究将聚焦三项关键技术:多源数据融合技术,旨在研究时空对齐算法,实现无人机影像与桥梁/边坡监测系统的多模态数据融合;智能识别预警模型,通过构建多任务学习框架,能够同时检测 20 类道路病害;协同处置机制,设计基于北斗卫星通讯技术的跨系统数据交互协议,以实现无人机系统与交通管控、应急指挥平台的秒级响应联动。

3. 参考文献

- [1] 高昕,孙华,李林威.基于无人机遥感技术的桥梁健康检测研究与应用[J].广东建材,2024,40(01):40-44.
- [2] 廖小罕,汤安琪,岳焕印,等.无人机组网遥感:“高频次迅捷”到“全时全域”演进[J].遥感学报,2025,29(06):1515-1528.
- [3] Raxit S, Singh S B, Newaz A A R. YoloTag: Vision-based Robust UAV Navigation with Fiducial Markers[C]//2024 33rd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN). IEEE, 2024: 311-316.
- [4] 南通大学.基于无人机的桥梁内部病害检测方法及系统:202510529876.3[P].2025-08-01.
- [5] 秦勇,邵长虹,杨怀志,等.京沪高铁基础设施无人机智能巡检系统关键技术[J].中国铁路,2024,(04):15-21.DOI:10.19549/j.issn.1001-683x.2024.03.18.004.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题

(1) 解决高速公路无人机智慧巡查缺乏样本数据采集作业规范及标准的问题

针对行业市场投资机构非常关注的无人机巡检场景，依托陕西交控丰富的场景优势，围绕定期检查、日常养护巡检，开展无人机体系化作业规范及样本采集标准研究，最终实现无人机自动化巡检采样作业，提高巡检采样效率及质量，降低成本及风险。

(2) 解决现有通用无人机设备无法完成高速公路桥梁病害精细化智能检测的问题

针对现有无人机产品难以完成桥梁复杂部位检查，无法对结构物裂缝、混凝土强度等进行精细检查测量，无法进行病害定性判断及定量分析的问题。融合高精度检测专用仪器相关技术，借助无人机平台的搭载能力，实现对桥梁病害的无人检测。通过对获取的图像进行自动识别与标注，系统自动生成检测报告，完成自动飞行、自动采集、自动分析的全流程闭环。

(3) 解决现有监测方法缺乏稳定参照物导致基础设施监测数据难以精确比对的问题

针对当前基础设施长期监测中，缺乏稳定、可靠的基准参照物，导致多期监测数据难以进行精准比对与分析，无法有效识别结构早期缓慢位移与变形的问题。研究通过引入专用标记技术，为桥梁等结构

建立永久性物理基准点，结合无人机平台实现标记的精准布设与自动识别，为多期数据提供统一的比对基准，从而实现对结构位移变形的长期、高精度跟踪与量化分析。

2. 主要研究内容及实施方案

（1）构建高速公路无人机智慧巡查样本数据采集标准及自动化作业体系

针对高速公路定期检查与日常养护中缺乏统一作业标准，导致样本质量参差不齐、数据可比性差等问题，本研究将构建无人机巡检样本数据采集、处理、储存、查阅全流程标准化技术体系，同时严格衔接现行行业标准规范，保障巡检数据在公路桥梁及其他设施病害识别、技术状况检查评定中的规范性和适用性。

在数据采集作业规范化方面，立足不同巡检场景制定标准化作业流程，针对路面病害识别、交安设施状态评估等典型任务，明确飞行高度、速度、航线规划、传感器参数设置等关键指标，形成可推广的作业规范；针对桥梁、隧道等复杂构筑物，细化不同环境条件下的作业要求，确保获取高质量、可对比的样本数据，为后续分析及标准衔接奠定基础。

在样本数据处理与质量控制环节，建立涵盖数据预处理、标注规范、质量评估的完整体系，研发基于深度学习的自动标注与增强技术，提升数据处理效率与一致性。重点参照《公路桥梁技术状况评定标准》

（JTG/T H21-2017）、《公路养护技术标准》（JTG 5110-2019），统一病害识别维度、指标界定与评定标准，确保无人机巡查数据分析

结果与行业标准无缝衔接，可直接服务于设施技术状况判定，同时构建质量评估体系，保障样本库的准确性和可复用性。

在数据储存与查阅方面，建立标准化管理体系，按数据类型、巡检路段、设施类别、采集时间等维度分类编码，采用云存储与本地备份结合的模式，实现数据结构化储存，保障数据安全可追溯；开发适配养护需求的查阅平台，支持多维度检索、权限分级管理，实现数据高效共享与便捷调取。

最终，集成上述功能构建一站式无人机智慧巡查采样平台，实现全流程闭环作业，提升巡检效率与数据质量，严格契合行业标准要求，为高速公路智慧养护提供全流程技术支撑。

（2）构建高速公路桥梁病害无人机精细化智能检测技术体系

本研究将系统解决通用无人机在桥梁检测中存在的技术瓶颈，形成一套完整的高速公路桥梁病害无人机智能检测技术解决方案。

针对桥梁底部、梁体侧面、支座区域等复杂部位的特殊检测需求，重点研发具备高精度定位与超强抗风稳定性的专用无人机检测平台。该平台将集成高清光学变焦相机、多光谱传感器以及激光雷达等专用检测设备，采用先进的仿地飞行与智能避障技术，确保在复杂桥址环境下仍能稳定获取高质量的检测数据。

基于深度学习算法，构建适用于桥梁裂缝、混凝土剥落、钢筋露筋、盖梁便宜等典型病害的智能识别模型。重点研究多尺度特征融合识别技术，通过引入注意力机制提升模型对微小病害的检测能力，同时保证对大尺寸病害的识别精度。开发病害参数自动测量算法，对裂

缝宽度、剥落面积等关键指标进行精准量化分析，建立科学的病害等级评定体系。通过迁移学习技术，使模型能够适应陕西地区梁桥、拱桥、斜拉桥等不同桥型的特殊检测需求，提升算法的泛化能力。

通过集成多期无人机检测数据与桥梁三维建模模型，构建可动态更新的桥梁数字孪生系统，实现病害信息的可视化管理与历史变化趋势追踪。开发智能报告自动生成系统，基于检测分析结果自动生成符合规范要求的检测报告，包含病害位置分布、类型判定、尺寸测量数据及养护维修建议等内容。该体系将显著提升检测工作的效率与报告质量，为桥梁预防性养护提供科学的决策支持，最终实现从数据采集到养护管理的完整技术闭环。

（3）无人机标记及检测系统装备研究

本研究聚焦硬件创新、标记技术优化与系统集成，为桥梁等基础设施长期跟踪监测提供高效辅助标记技术支撑，解决传统监测成本高、效率低的痛点。

专用无人机硬件平台为研究基础，针对桥梁病害监测需求，研发专用标记装备，集成高精度定位模块、标记装置及检测传感器，采用模块化设计实现负载快速更换，提升通用性。重点研究抗风扰稳定平台技术，保障标记作业精准性，通过机器学习算法实现标记识别与位置变化分析，适配桥梁盖梁等各类病害监测场景，为后续新型标记及检测装备的应用奠定硬件基础。

基于上述专用无人机硬件平台，本课题拟开发新型标记及检测装备，核心是通过无人机搭载类比例尺标记物，精准附着于桥梁裂缝等

病害区域。后续通过影像采集以标记物为基准，可实现病害尺寸精准量化与长期动态监测，无需重复采用激光雷达构建点云模型，大幅节省监测成本与时间。同时优化标记材料，筛选兼具耐久性与环保性的材质，确保其在户外风吹、日晒、雨淋等复杂环境下长期清晰可识别，且无环境污染，避免损害桥梁结构与周边环境；建立标记物维护与更换流程规范，明确维护周期及操作方法，保障监测工作的连续性与稳定性。

为实现标记数据的高效利用与价值转化，需研发智能诊断与分析系统。通过标记数据智能分析算法，自动识别标记变化并评估桥梁结构位移情况，实现标记数据的可视化管理、趋势分析及异常预警。

3. 技术路线

（1）构建高速公路无人机智慧巡查样本数据采集标准及自动化作业体系

此方向的技术路线核心是解决高速公路无人机智慧巡查缺乏样本数据采集作业规范及标准的问题。

① 标准化作业流程与数据采集规范

针对高速公路路面、桥梁、交安设施等不同巡检场景特点，系统研究飞行高度、速度、航线重叠度、传感器参数等关键技术指标。重点制定不同气象条件、不同地形环境下的标准化作业规程，包括起飞前检查、飞行中操作、应急处理等全流程规范。建立适用于日常巡检、定期检查、特殊检查等不同任务类型的作业标准，形成完整的标准化作业手册。研究可见光、多光谱、热红外等多种传感器的协同采集方

案，制定不同传感器组合的数据采集标准，确保多源数据采集的规范性和一致性。

② 智能处理与平台优化技术

建立数据质量实时评估机制，开发基于深度学习的样本自动标注与数据增强技术，实现裂缝、坑槽、变形等典型病害的智能识别与分类标注。构建包含数据完整性、清晰度、可用性等多维度的质量评估体系，确保样本数据满足 AI 模型训练要求。研发具备自适应任务规划能力的智能采样平台，集成自动飞行、实时质量反馈、智能路径优化等功能。平台能够根据巡检场景特征自动匹配最优采集方案，实现从任务规划、数据采集到样本生成的一站式作业。通过机器学习算法持续优化采集参数，建立样本数据库更新维护机制，为高速公路智慧养护提供全流程技术支撑。

（2）构建高速公路桥梁病害无人机精细化智能检测技术体系

此方向的技术路线核心是解决桥梁隐蔽部位病害的精准识别、量化分析与智能诊断的工程化问题

① 专用高适应性检测平台研发

高稳定检测平台技术：针对桥梁底部、梁体侧面、支座区域等复杂部位的特殊检测需求，重点研发具备高精度定位与超强抗风稳定性的专用无人机检测平台。

多源数据采集技术：平台将集成高清光学变焦相机、多光谱传感器以及激光雷达等专用检测设备，采用智能避障技术，确保在复杂桥址环境下仍能稳定获取高质量的多维检测数据。

② 桥梁病害智能识别与量化分析

深度学习识别模型：基于深度学习算法，构建适用于桥梁裂缝、混凝土剥落、钢筋锈蚀、支座位移等典型病害的智能识别模型。重点研究多尺度特征融合识别技术，通过引入注意力机制提升模型对微小病害的检测能力。

病害量化与评定：开发病害参数自动测量算法，对裂缝宽度、剥落面积、锈蚀程度等关键指标进行精准量化分析，并建立科学的病害等级评定体系。通过迁移学习技术，使模型能够适应梁桥、拱桥、斜拉桥等不同桥型的特殊检测需求，提升算法的泛化能力。

③ 数字孪生与智能决策支持

桥梁数字孪生构建：通过集成多期无人机检测数据与桥梁三维建模模型，构建可动态更新的桥梁数字孪生系统，实现病害信息的可视化管理和历史变化趋势的追踪。

智能分析与报告系统：开发智能报告自动生成系统，基于检测分析结果自动生成符合规范要求的检测报告，包含病害位置分布、类型判定、尺寸测量数据及养护维修建议等内容，从而形成从数据采集到养护管理的完整技术闭环。

（3）无人机标记及检测系统装备研究

此方向的技术路线核心是解决在特定位置进行精准、持久标记并实现高精度识别与测量的工程化问题。

① 专用无人机标记平台集成

高精度定位标记：研发或集成专用的标记装置，可搭载于大疆

Matrice300/350/400 等飞行平台。在桥梁盖梁等需长期监测的部位，结合 RTK 定位与视觉辅助瞄准，实现厘米级精度的标记布设。标记物可采用物理打磨或特殊喷涂等耐久性材料。

模块化负载设计：标记系统采用模块化设计，便于快速更换不同的标记工具（如喷涂、粘贴、打磨装置）以适应不同场景需求，产出工程样机并进行相关实验验证。

② 标记识别与位移分析算法

精准识别算法：采用基于 YOLO 改进的小目标检测网络，专门优化对空中影像中标记点的识别能力。进一步结合自适应椭圆拟合等算法，即使在高倾斜角度或光线不佳的条件下，也能精准计算标记中心的图像坐标。

相对位移计算：通过比对不同时期采集的标记点位置，结合无人机的高精度定位数据，可比照标记点的相对位移变化，分析桥梁墩台等结构的稳定性。

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接

（1）技术适应性与扩展性

本研究提出的无人机智慧巡检技术具有广泛的适应性和可扩展性，能够满足陕西省不同地理区域、不同基础设施类型的巡检需求。对于桥梁检测，技术方案覆盖了从常规梁桥到复杂斜拉桥等多种桥型，通过调整传感器配置和算法参数，即可快速适配不同检测场景。对于边坡监测，技术可适用于挖方边坡和填方边坡等多种类型，通过智能机巢组网，可实现大范围边坡网络化监测。

该技术体系采用模块化设计理念，各功能模块相对独立又相互协同，便于根据实际需求灵活配置。例如，无人机标记系统既可独立应用于桥梁位移监测，也可与边坡监测系统结合，形成基础设施全面监测解决方案。这种设计极大地增强了技术的可扩展性，为未来功能升级预留了空间。

（2）经济效益与商业模式

无人机智慧巡检技术具有显著的经济优势，能够大幅降低高速公路运维成本。研究表明，采用无人机智能巡检系统，相比传统人工巡检，作业效率提升 10 倍以上，在保障人员安全的同时，显著提高了巡检的覆盖率和及时性。以罗宁高速为例，传统人工巡检每年费用约为 50 万元，而采用智能巡检系统预计每年成本为 30 万元，成本降低 40%。

本项目探索多元化的商业模式，包括：

- ① 技术授权模式：将无人机巡检技术标准授权给养护公司使用，收取技术授权费。
- ② 技术服务模式：组建专业无人机巡检团队，为高速公路管理单位提供巡检服务。
- ③ 技术培训模式：开展无人机巡检技术培训，培养专业人才，收取培训费用。
- ④ 数据服务模式：对巡检数据进行深度挖掘，为管理决策提供数据支持服务。

（3）标准化与产业协同

技术推广离不开标准化体系建设。本研究将形成陕西省无人机高速公路巡检技术标准草案，包括数据采集标准、作业流程规范、数据分析指南等，为技术大规模应用奠定基础。这些标准将推动无人机巡检产业的规范化发展，提升行业整体水平。

通过产学研用协同创新，构建无人机巡检产业生态。联合无人机厂商、传感器供应商、算法开发企业、高校科研院所等多方力量，形成产业链协同创新体系。这种协同模式有助于降低技术应用门槛，加速技术迭代升级，推动整个产业健康发展。

5. 有关技术经济指标

（1）技术性能指标

本项目将围绕数据采集精度、分析准确度、作业效率等方面设定明确可量化的技术性能指标：

数据采集精度：系统集成多维度自动化识别功能，可实现路面病害高精度识别，精准捕捉 $\leq 10\text{cm}$ 坑槽、 $\leq 2\text{cm}$ 裂缝；完成桥梁结构量化检测与精细化识别，实现盖梁偏移等检测，以及结构表面 $\leq 0.5\text{mm}$ 细微裂缝有效识别；同时可自动完成交通安全设施缺失状态的智能核查。

病害识别准确率：AI 算法对典型道路病害的识别准确率高达 80% 以上。

作业效率指标：桥梁检测效率提升 4 倍以上（传统需要 8 小时的检测任务缩短至 2 小时以内）。

无人机自动机场：具备全自动起降与高精度降落能力，精度在

±30cm 以内, 并支持自动充电, 可在 30 分钟内将电量从 0 补充至 80%。

工作温度-20℃~50℃, 防护等级 IP65, 支持远程任务下发与数据传输;

空地一体化软件平台: 支持基于点云模型自动规划航线, 单小时处理 2-3 公里数据, AI 病害识别准确率≥80%, 可自动生成检测报告。

(2) 经济效益指标

本项目经济效益主要体现在成本节约、效率提升、风险降低等方面:

直接成本节约: 相比传统人工巡检, 无人机巡检可降低人工成本 60%以上, 减少交通及设备成本 50%以上, 综合成本降低 40%以上。

间接效益提升: 通过预防性养护, 延长基础设施使用寿命 10%以上; 减少交通中断时间 50%以上; 降低应急抢险成本 30%以上。

投资回报分析: 项目投入运营后, 预计 3 年内可收回投资; 5 年内投入产出比可达 1:5 以上。

(3) 社会效益指标

本项目实施将带来显著的社会效益, 主要体现在:

安全提升: 减少养护人员高空作业、危险环境作业风险 70%以上; 降低因巡检导致的交通意外风险 50%以上。

服务质量提升: 提高巡检覆盖率至 95%以上; 缩短应急响应时间至 15 分钟以内; 提升公众出行满意度。

行业带动效应: 形成无人机巡检产业链, 带动相关产业发展; 培养专业技术人员, 创造就业机会。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

(1) 陕西高速公路工程试验检测有限公司

陕西高速公路工程试验检测有限公司拥有丰富的经验、技术和产品积累，拥有最全的试验检测资质，是行业内全国排名前列的试验检测单位。公司建有独立、现代化的试验室，占地 9000 平方米，建有现场检测道路、桥梁、岩土、隧道、交通工程试验场，拥有各类先进的仪器设备 1690 余台（套），可满足公路、铁路、建筑、市政、机电和环境工程试验检测需要。

另外，公司已牵头建成陕西省智慧交通产业中试基地、陕西省企业技术中心、西安市交通土建结构安全监测技术中心、交通运输部卫星技术行业应用研发中心（参建）、道路桥隧智慧监测省级高校工程研究中心（参建）等科技创新平台，为项目的顺利开展提供了保障。

(2) 陕西交控飞行技术有限公司

陕西交控飞行技术有限公司是陕西交控集团旗下的全资子公司（国有企业）。成立于 2002 年 9 月，注册资金 3000 万元人民币，2021 年整合为陕西高速公路工程试验检测有限公司（以下简称高速检测公司）的全资子公司，陕西交控飞行技术有限公司专注于行业无人机系统开发与应用研究，现已形成桥梁检测无人机系统、无人机智能巡查系统、陕西交控空地一体化智慧巡检系统等系列解决方案，并拥有专业系统服务团队与无人机驾驶员培训师资团队。

2024 年，公司创立“陕西交控星翼无人机青年创新工作室”；2025

年，成功获批中国民航局（CAAC）民用无人机驾驶培训机构和民用无人驾驶航空器运营合格证，获得陕西省科技厅“秦创原科学家+工程师建设队伍”一支。同年，“无人机空天地一体化实景演练与预案验证系统”成功入选交通运输部全国首批低空无人机公路巡查先行试验项目，交通运输部授予的公路养护无人机巡检人员专业能力评价项目实施机构单位。未来，公司将围绕无人机行业应用、科技研发与人才培养储备三大核心战略，着力打造交通行业无人机领域的智创新高地。

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
张国宏	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1981.11	正高级工程师	综合系统科学	项目负责人
邵永军	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1977.03	正高级工程师	桥隧工程	项目协调
翁阳	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1979.10	正高级工程师	公路工程	项目协调
王海渊	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1980.07	正高级工程师	交通工程	项目协调
李安琦	陕西交控飞行技术有限公司	男	1997.07	助理工程师	物联网工程	平台开发
任晓辉	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1981.04	高级工程师	桥梁工程	项目协调
刘波	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1987.11	中级工程师	电子信息	平台开发
张艺莹	陕西交控飞行技术有限公司	女	2000.10	助理工程师	材料科学与工程	硬件开发
王力	陕西交控飞行技术有限公司	男	1984.10	中级工程师	公路工程	产品验证
张全兵	陕西交控飞行技术有限公司	男	1994.11	助理工程师	土木工程	硬件开发

臧一涵	陕西交控飞行技术有限公司	男	2001.1	助理工程师	土木工程	硬件开发
刘卫刚	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	1991.08	中级工程师	土木工程	硬件开发
刘辉	陕西交控飞行技术有限公司	男	1999.09	助理工程师	无人机应用技术	现场试验
郭珈翔	陕西交控飞行技术有限公司	男	2003.12	助理工程师	新能源技术	硬件开发
高畅	陕西交控飞行技术有限公司	男	1996.08	助理工程师	工程管理	现场试验

3. 各自承担的主要工作

陕西高速公路工程试验检测有限公司将承担本项目核心技术研发、算法攻坚与标准体系建设工作。其重点在于攻克无人机在复杂交通场景下的技术瓶颈，特别是针对陕西省桥隧比高、地形复杂的特点，研发高精度传感器集成、北斗融合定位以及在无 GPS 信号环境下的精准定位与数据采集方案。公司将主导构建数据智能分析与诊断核心平台，建立专业的桥梁病害样本库，并指导开发基于人工智能的病害自动识别与分类算法模型，以提升数据分析的智能化水平。此外，该公司还将负责数字孪生系统的开发及相关技术标准与规范的制定，推动行业应用的标准化。

陕西交控飞行技术有限公司则作为技术成果的工程化转化与市场应用主体，负责无人机系统平台的集成、测试、优化与规模化推广。凭借其专业的无人机运营资质和已投入运行的高速公路无人化巡检系统的实践经验，公司将主导“空地一体化智慧巡检系统”的部署与日常运维。其核心任务是将研发的新技术、新装备在真实环境中进行工

程化验证，确保系统的稳定可靠运行，并将险情应急响应时间大幅压缩至 3 分钟，显著提升巡检效率与安全保障能力。同时，该公司承担技术成果的推广与产业化重任，将项目形成的成熟技术和标准化解方案向省内外市场推广复制，致力于打造全国公路智能化管养的行业标杆。

4. 项目主要负责人情况

张国宏，1981 年 11 月出生，中共党员，博士研究生学历，正高级工程师。先后毕业于黑龙江科技大学化学工程与工艺专业、兰州理工大学应用化学专业、秋田县立大学（日本）综合系统科学专业，获工学学士、硕士、博士学位。

现担任陕西高速公路工程试验检测有限公司企业技术中心（省级）副主任、陕西交控飞行技术有限公司执行董事（法人）及总经理。

学术成果丰硕，在国际期刊发表论文 80 余篇，参加学术会议并发表 30 余次（篇），作为项目负责人或参与人获中日政府等研究项目资助 24 项，参与编纂日语版著书 2 部，参与编制中国地方规范（标准）10 项，申请专利 22 项，其中 13 项已授权。

获多项荣誉，包括 2025 年陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目获得者、陕西省省级企业高层次人才发展资金获得者、第三届陕西省博士后创新创业大赛暨留学回国人员创新创业大赛优胜奖、2023 年秦创原引进高层次人才创新创业人才（第一批）、2021 年度甘肃省交通运输科学技术奖技术开发类三等奖、甘肃省职工创新与五小发明奖三等奖、甘肃省科技进步奖二等奖等，还曾获西安交通大学企业

科技创新管理及成果转化专题培训班优秀学员称号。

担任新型道路材料国家地方联合工程实验室专家委员会委员、甘肃省交通运输厅交通运输工程专家委员会委员、甘肃省科技专家库专家、国际先进材料科学与工程国际研讨会组织委员会委员、《未来城市建设科技》编委，以及兰州理工大学、长安大学、陕西科技大学硕士研究生导师，拥有工信部 DCMM 数据管理师（初级）资格证书。

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

陕西交控宝鸡分公司运营管理银昆高速公路陕甘界至田坝枢纽立交段全长 178.678 公里高速公路，沿线设有收费站 8 处，分别为火烧寨收费站、陇县收费站、水沟收费站、千阳收费站、南寨收费站、凤翔收费站、宝鸡南收费站和岩湾收费站；服务区 4 处，分别为陇县服务区、宝鸡北服务区、宝鸡南服务区、秦岭天台山服务区。共有主线桥梁 277 座，其中特大桥 11 座 16520 延米，包括 4 座高墩大跨连续刚构桥，隧道 14 座，其中特长隧道 2 座/19051 延米，长隧道 6 座 110003 延米。

针对宝鸡分公司在高速公路养护巡查、路产巡查、应急保障等场景中的“急、险、难、远”问题，拟通过构建全线无人机智慧巡查系统，利用无人机对关键部位和重要路段实现常态化、智能化、无人化巡检巡查以及应急保障，降低高速公路路面、桥梁、隧道周边、边坡、服务区等人工巡检盲区和成本投入。

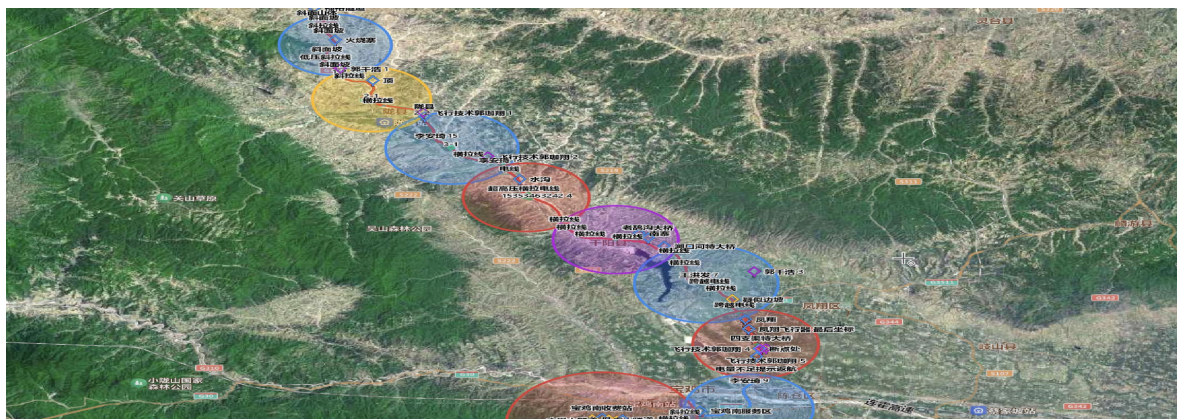


图2 宝鸡分公司管辖路段示意图

拟定在银昆高速（G85）K470+000-K599+471、K600+365-K602+742、K632+900-K648+678，共计146.6公里路段部署无人机机场设备，开展全路段路产巡查工作。

陕西交控西镇分公司下辖养管路段王莽至南五台段，该路段属于包茂高速（G65）西安至安康段（西康高速）的一部分，路段范围起点：西安市长安区王莽街道附近（接西安绕城高速）终点：南五台景区附近的太乙宫立交（或延伸至终南山隧道南口）。王莽至太乙宫段全长公里数约10-15公里。太乙宫至南五台景区需通过地方道路S107省道行驶约5-8公里连接，非高速公路直接覆盖。太乙宫立交属于该路段重要节点，可转至S107省道前往南五台景区。终南山隧道全长约18公里，是西康高速的控制性工程。

针对西镇分公司在高速公路王莽至南五台段车流量大、节假日交通拥堵等问题，拟通过构建试点路段无人机智慧巡查系统，利用无人机对关键部位和重要路段实现常态化、智能化、无人化巡检巡查以及应急保障，降低高速公路路面、桥梁、隧道周边、边坡、服务区等人工巡检盲区 and 成本投入，提高交通事件发现及处置能力。

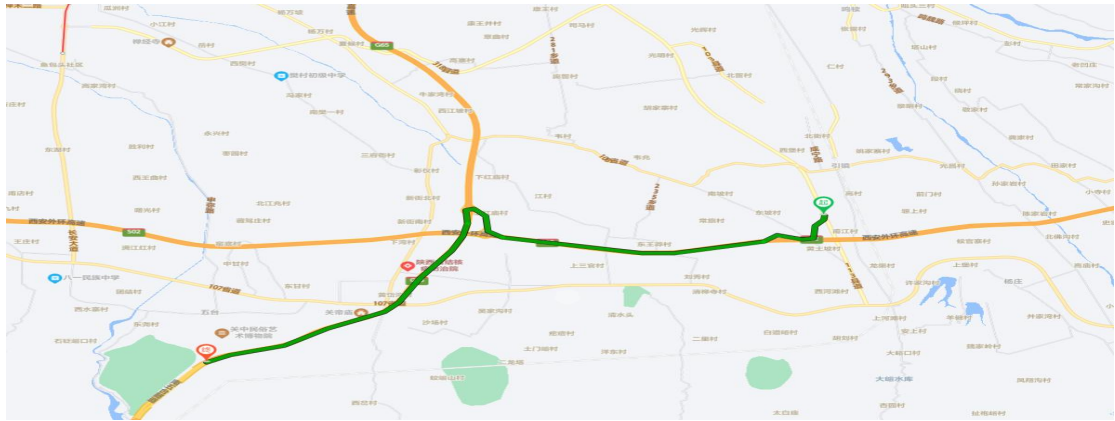


图3 西镇分公司部分管辖路段示意图

基于宝鸡分公司、西镇分公司依托工程，相关科研成果后期也会推广到西富、西长、西略等其他有代表性的路段分公司及省外公路交通领域。初步拟定针对依托工程适飞路段部署 13 套固定式无人机机场，针对山区巡检部署一套车载无人机机场，另外需部署一套运行+存储+算法服务器。

2. 投资来源

该项目经费来源分为交通运输厅补助和单位自筹，其中交通运输厅补助经费 19.975 万元，自筹经费 100.025 万元，共计 120 万元。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

在工程部署阶段，科研工作将提前介入，确保技术方案与工程条件相匹配。针对高速路段的无人机机场部署计划，科研团队将首先完成无人机选型、传感器集成及航线自动规划算法的开发与测试，确保在机场硬件安装完成后，能够立即投入常态化巡检。具体而言，科研团队将依据该路段桥梁密集、隧道众多的特点，提前优化无 GPS 信号环境下的组合导航算法和桥梁底部精细化采集方案，使无人机系统在工程部署后能直接应用于解决“急、险、难、远”的巡检难题，避免

因技术不成熟影响工程进度。

在试点应用与数据反馈环节，西镇分公司管辖的西康高速王莽至南五台段车流量大、易发拥堵，将成为智慧巡检系统在应急保障场景下的重要试验场。科研进度将与此类工程的实际运维周期同步，例如在节假日等交通高峰期，科研团队将完成“无人机+铁骑”协同巡查模式的开发与演练；在高峰期间，系统投入实战运行，实时采集交通事件数据。工程现场产生的数据（如突发事件类型、系统响应时间、识别准确率）将即时反馈至科研团队，用于优化 AI 识别模型和任务调度算法，形成“工程应用 - 数据反馈 - 算法迭代”的快速优化闭环，确保科研方向始终紧扣实际需求。

4. 组织管理形式

本项目采用“产学研用”协同创新的组织管理模式，由陕西高速公路工程试验检测有限公司与陕西交控飞行技术有限公司作为联合承担单位，共同组建项目管理委员会负责整体协调与决策。项目管理委员会由双方单位技术负责人、财务负责人等组成，定期召开协调会议，确保项目各阶段目标顺利实现。

在知识产权归属方面，项目执行过程中产生的专利、软件著作权等知识产权将由双方单位共同所有，具体权益比例按照各方实际投入及贡献度协商确定。对于项目形成的地方标准、团体标准等公共技术成果，将由双方共同署名发布，促进技术成果的行业共享与推广。项目参与人员的论文发表、学术交流等活动需经项目管理委员会审核，确保不泄露核心技术秘密。

联合单位分工基于各自优势领域进行合理划分。陕西高速公路工程试验检测有限公司主要承担技术研发核心工作，包括无人机巡检算法开发、数据分析平台构建、技术标准制定等基础研究任务；陕西交控飞行技术有限公司则重点负责技术成果的工程化应用，包括现场测试、系统集成、示范应用及市场推广等实践环节。双方将建立定期技术交流机制，确保研发方向与工程需求始终保持一致。

经费分配将按照任务分工和实际投入进行合理规划。直接费用主要用于设备购置、材料费、测试化验等研发支出，间接费用则用于项目管理、绩效激励等综合开支。经费使用实行专账管理，双方单位定期进行经费使用情况通报，确保资金使用规范、透明、高效。

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	19.975	合 计	120	19.975	100.025
工程配套研究经费		1.设备费	55	0	55
单位自筹	100.025	（1）购置设备费	45	0	45
其他经费		（2）设备改造与租赁费	10	0	10
		2.业务费	30	19.975	10.025
		（1）材料费	3	0	3
		（2）测试化验实验加工费	5	5	0
		（3）燃料动力费	3	2.975	0.025
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	9	6	3
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	5	3	2
		（6）其他费用	5	3	2
		3.劳务费	20	0	20
		（1）专家咨询费	5	0	5
		（2）聘用人员劳务费	10	0	10
		（3）其他劳务费	5	0	5
		（二）间接费用	15	0	15
		4.管理费	5	0	5
		5.绩效支出	10	0	10

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

本项目的预期目标围绕技术突破、成果产出、产业效益三个维度设定具体考核指标，确保项目成果可量化、可考核。

在技术突破层面，项目旨在攻克无人机在复杂交通场景下的关键技术瓶颈。具体考核目标包括：实现桥梁底部等复杂环境下的厘米级图像识别；针对裂缝、剥落等典型病害的 AI 智能识别算法准确率不低于 80%。同时，作业效率实现显著提升，桥梁检测效率较传统方式提升 4 倍以上。将无人机巡检数据与养护数据的具体关联字段对齐，定期推送病害识别数据，相关 AI 识别算法申请软件著作权，相关硬件装备产出工程样机并进行测试。

在成果产出层面，项目将形成一套完整的、可推广的智慧巡检解决方案。考核目标明确为：研制出高速公路无人机自动巡检机场系统 1 套；开发并部署完成“陕西交控空地一体化智慧巡检软件平台”1 套，实现巡检任务全流程信息化管理。知识产权方面，项目执行期内需形成 1-2 项专利、1-2 项软件著作权，并参与编制 1-2 项团体或地方标准。同时，需编制完成《陕西省高速公路空地一体化智慧巡检巡查系统建设工作指南》1 套，为技术规范应用提供依据。项目整体技术在桥梁密闭空间精准检测等方向达到国内领先水平。

在产业效益层面，项目注重成果的转化与应用价值。通过技术推广，预期可降低基础设施综合运维成本 40%以上，并显著减少养护人员高空作业风险，提升高速公路管养的安全性与智能化水平，为行业

技术进步和陕西省交通强国建设提供有力支撑。

2. 提交的研究成果及其形式

- 1) 形成高速公路无人机自动巡检机场系统 1 套;
- 2) 形成陕西交控空地一体化智慧巡检软件平台 1 套;
- 3) 形成 1-2 项实用新型专利, 1-2 软件著作权, 1-2 篇期刊论文, 1-2 项地方或企业标准;
- 4) 形成《陕西省高速公路空地一体化智慧巡检巡查系统建设工作指南》1 套。

3. 经济、社会、环境效益分析

在经济效益方面, 项目通过技术替代可实现显著的成本节约和效率提升。根据实施方案, 无人机巡检相比传统人工巡检可降低综合成本 40%以上, 其中人工成本降低 60%, 交通及设备成本降低 50%。以陕西省高速公路网为例, 按年巡检 1 万公里计算, 预计可节约运维成本约 600 万元。同时, 作业效率大幅提升, 桥梁检测效率提高 4 倍, 这意味着同等资源下可完成更多巡检任务, 直接扩大服务产能。

在技术提升方面, 项目将推动承担单位从传统人工巡检向数字化、智能化服务转型。通过实现桥梁检测毫米级图像识别精度, 病害识别准确率达到 80%以上, 单位技术能力将实现质的飞跃。形成的“陕西交控空地一体化智慧巡检软件平台”和 1-2 项知识产权, 为承担单位建立技术壁垒, 预计一年内通过技术授权和服务外包可使市场占有率提升 30%。

在社会效益方面, 项目将显著提升高速公路运维的安全水平。通

过减少人工高空作业和危险环境巡检,可降低养护人员安全风险 70% 以上,减少因巡检导致的交通意外风险 50%。同时,项目形成的技术标准草案将为行业提供规范化指引,通过产学研合作预计一年内培养专业技术人员 10 人,带动区域低空经济发展。

项目成果具备良好的推广前景,将在 G85 银昆高速、G65 包茂高速等路段完成示范应用。标准化技术方案可快速复制到全国类似场景,如山西、贵州等省份已有合作基础。通过预防性养护可延长基础设施使用寿命 10%,减少交通中断时间 50%,具有持续的长期效益。

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)

年 月 日

高速公路无人机智慧巡查巡检技术新装备 研究大纲评审意见

2026年3月11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“高速公路无人机智慧巡查巡检技术新装备研究”（项目编号：25-68K）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、项目研究内容比较全面，研究目标比较明确，技术路线基本可行。

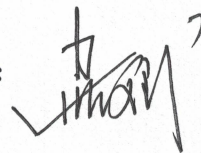
二、项目研究人员组成比较合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，依托工程落实，经费预算符合规定，具备开展研究工作的条件。

三、预期成果基本覆盖研究目标，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.结合项目名称完善研究内容及成果提交形式；
 - 2.完善巡检成果与行业相关标准的衔接；
 - 3.图像识别精度应满足检测内容技术要求。

主任委员：



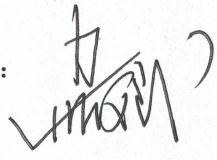
2026年3月11日

专家审查意见表

项目名称	高速公路无人机智慧巡查巡检技术新装备研究				
专家姓名	边世斌	职务/职称	正高工	专 业	交通土建
专家单位	陕西交通技术咨询有限公司			联系电话	13709187350

评 审 意 见

1. 无人机智慧巡查巡检技术作为一种新兴手段，凭借其高效、便捷、覆盖面广的优势，在高速公路管理中展现出巨大潜力。项目聚焦于无人机在高速公路巡查巡检中的具体应用，立项必要。
2. 研究内容应包括无人机自主飞行导航技术（通过 GPS、北斗等卫星导航系统结合视觉识别技术，实现无人机的精准定位与路径规划，是确保高效巡查的基础）、高清摄像与红外热成像技术（利用高清摄像头捕捉路面状况，红外热成像技术检测路面及桥梁结构异常发热，及时发现潜在安全隐患）、大数据分析处理技术（收集到的海量数据需通过云计算平台进行高效处理，识别异常模式，预测维护需求）、以及基于 AI 的图像识别与故障诊断技术（应用深度学习算法，对图像进行智能分析，自动识别路面破损、交通违章等行为，提高巡检效率与准确性）。
3. 应通过文献调研与案例分析，明确技术需求与研究方向；分阶段进行技术研发与实验验证，包括无人机平台搭建、传感器集成、算法开发等；最后，通过实地测试与数据反馈，不断优化系统性能。
4. 提供一套完整的无人机智慧巡查系统及实际应用案例。系统应具备智能化、高效性、准确性、可扩展性。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 11 日

专家审查意见表

项目名称	高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究				
专家姓名	封捍东	职务/职称	正高级工程师	专 业	桥梁工程
专家单位	陕西交控科技集团			联系电话	13991816558

评 审 意 见

一、项目研究目标明确，研究内容比较全面，技术路线可行。

二、项目研究人员组成比较合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，依托工程落实，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高度契合。

建议：

P18 “(1) 技术性能指标 数据采集精度：桥梁检测图像识别精度达到厘米级；标记定位精度 $\leq 2\text{cm}$ 。”请斟酌图像识别精度达到厘米级，能否识别 0.2mm 裂缝，请进一步调研，在检测物距适合无人机检测时的先进精度（“豆包”资料：刘家峡大桥、杭州湾大桥能检出 0.2mm 裂缝）

图像识别

评审专家（签字）：封捍东

2026 年 3 月 9 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	高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究				
专家姓名	牛开民	职务/职称	研究员	专 业	道路工程
专家单位	交通运输部公路科学研究院			联系电话	13701028353

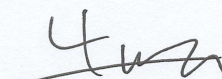
评 审 意 见

△ 研究内容全面, 研究目标基本明确, 技术路线基本可行。

△ 具备开展研究工作的条件。

△ 建议:

进一步明确研究对象(桥梁、涵洞、边坡、隧道等事件等), 并针对其提出巡检或巡查的要求及相应的技术经济指标。

评审专家(签字): 

2026 年 3 月 11 日

专家审查意见表（25-68K）

项目名称	高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究				
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

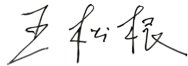
本项目研究目的在于系统攻克无人机在复杂交通基础设施巡检中面临的技术难题，研发一套集精准数据采集、智能信息处理、长效状态监测于一体的智慧巡检技术体系及配套新装备。提出的三大核心内容：一是突破桥梁底部等环境的厘米级图像识别精度与数据采集技术，开发针对不同桥型的自动化航线规划与AI病害识别算法；二是构建基于无人机机巢组网的“天空地”一体化智能巡检体系，实现多源数据融合的高精度变形监测与灾害预警；三是创新研发无人机精准标记与检测系统装备，为基础设施关键部位的长期监测提供稳定可靠的基准参照。具有一定的现实意义和创新性。

提交的研究大纲，内容全面、技术路线和实施方案可行，项目承担单位和研究团队人员组成可满足项目研究要求，工作基础扎实，依托工程和研究经费已落实，具备开展项目研究的条件。

同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

1. 做好无人机智慧巡查数据分析与现行行业标准规范对公路桥梁和其他设施的病害识别和技术状况检查评定的衔接。
2. 无人机智慧巡查与现行的公路桥梁和其他设施的巡查、定期检查、应急评估工作协调对接，互为补充，避免单一路径依赖。
3. 在公路定期检查和技術状况评定中主要起辅助作用，在日常巡查、动态技术状况评估和应急事件现场巡查中发挥快速、高效优势，起到主力军作用。
4. 补充无人机智慧巡查数据的储存和查阅相关内容。

评审专家（签字）：

2026 年 03 月 11 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	高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究 (项目编号: 25-68K)				
专家姓名	师延强	职务/职称	正高工	专 业	道路与桥梁
专家单位	铜川市交通运输综合执法支队			联系电话	13309195936

评 审 意 见

(一) 高速公路无人机智慧巡查样本数据采集标准及自动化作业体系研究

1.优势与亮点

标准构建贴合工程实际需求: 针对当前无人机巡检样本数据质量参差不齐、可比性差的行业痛点, 聚焦定期检查、日常养护巡检等核心场景, 系统研究飞行参数、传感器配置、作业流程等关键指标, 形成标准化作业规范, 解决了不同环境、不同任务下数据采集无据可依的问题, 实用价值突出。

数据处理链条完整闭环: 建立“采集-预处理-标注-质量评估”的全流程数据处理标准, 研发基于深度学习的样本自动标注与增强技术, 大幅提升数据处理效率和一致性; 构建多维度质量评估体系, 确保样本数据库的准确性和可复用性, 为 AI 模型训练提供可靠支撑, 技术方案科学高效。

平台集成化程度高: 构建一站式智慧巡查采样平台, 具备自适应任务规划、自动飞行、数据采集、样本生成等闭环功能, 可根据不同巡检场景自动匹配最优采集方案, 同时通过数据质量实时反馈机制优化作业流程, 适配大规模、常态化巡检需求, 落地性强。

2.优化建议

(1) 强化数据安全性与共享规范: 巡检数据包含高速公路基础设施敏感信息, 建议在标准体系中增加数据安全管理制度, 明确数据加密传输、存储、访问控制等要求; 同时制定数据共享接口标准, 确保与现有公路养护管理平台的数据互通, 避免信息孤岛。

(2) 增加样本数据动态更新机制: 随着无人机技术和 AI 算法的迭代, 样本数据的时效性至关重要, 建议建立样本数据库动态更新机制, 明确样本更新周期、新增病害类型纳入流程, 确保样本数据能够持续适配算法优化需求。

(二) 高速公路桥梁病害无人机精细化智能检测技术体系研究

1.优势与亮点

检测平台针对性强: 针对桥梁底部、支座区域等复杂部位的检测需求, 研发集成高清光学变焦相机、

多光谱传感器、激光雷达的专用无人机平台，采用仿地飞行与智能避障技术，解决了通用无人机在复杂桥址环境下稳定性不足、数据采集质量差的问题，技术适配性高。

病害识别与量化分析精准：基于深度学习算法构建多尺度特征融合识别模型，引入注意力机制提升微小病害检测能力，同时开发病害参数自动测量算法，实现裂缝宽度、剥落面积等指标的精准量化，建立科学的病害等级评定体系，突破了传统无人机“只能识别、无法量化”的局限。

2.优化建议

（1）**补充内部病害检测技术研究：**现有研究主要聚焦表面病害，建议增加对桥梁内部病害（如钢筋锈蚀深度、混凝土内部空洞）的检测技术探索，集成超声波、探地雷达等无损检测传感器，构建“表面+内部”的全方位病害检测体系，进一步提升检测的全面性。

（三）无人机标记及检测系统装备研究

1.优势与亮点

标记技术创新实用：针对基础设施长期监测缺乏稳定基准的痛点，研发基于视觉与 RFID 的融合标记技术，采用物理打磨或特殊喷涂等耐久性材料，实现厘米级精度的标记布设，解决了多期监测数据难以精准比对的问题，填补了行业空白。

识别与分析算法精准高效：采用基于 YOLO 改进的小目标检测网络，优化标记点识别能力，结合自适应椭圆拟合算法，实现高倾斜角度、光线不佳条件下的精准定位；通过比对多期标记点位置，精准分析结构位移变形，技术方案科学可行。

2.优化建议

（1）**提升标记物的耐久性与环保性：**建议进一步优化标记材料，确保在户外复杂环境（风吹、日晒、雨淋）下长期保持清晰可识别，同时选用环保无污染材料，避免对桥梁结构和周边环境造成影响；增加标记物维护与更换流程规范，明确维护周期和操作方法。

（2）**增加多标记点协同监测技术：**针对大型桥梁整体变形监测需求，建议增加多标记点协同分析技术，通过构建标记点网络，实现桥梁整体位移场的计算与分析，提升对结构整体稳定性的判断能力。

（四）其他建议

1. **强化多场景协同巡检技术研究：**现有研究主要聚焦单一设施类型，建议增加无人机与地面传感器、直升机巡检的协同技术研究，构建“天空地”一体化巡检体系，实现桥梁、隧道、边坡等设施的全覆盖协同监测，提升巡检的全面性和效率。

2. 拓展应急巡检技术方案：针对高速公路突发事件（如边坡坍塌、桥梁病害突发），建议增加应急巡检技术研究，制定应急响应流程、快速航线规划算法、应急检测报告生成规范，缩短应急响应时间，提升突发事件处置能力。

3. 补充技术经济性分析：建议增加不同检测方案的经济性对比分析，明确专用无人机平台与通用无人机的适用场景及成本差异，为工程实践中的设备选型提供量化依据，提升技术成果的工程实用性。

4. 强化标准与工程应用的衔接：在技术指南编制过程中，充分征求一线养护人员、工程管理人员的意见，增加现场操作示范案例、常见问题解决方案等内容，确保标准规范的可操作性，加速技术成果的落地推广

师强

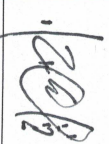
评审专家（签字）：

2025 年 3 月 11 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究 (项目编号: 25-68K)

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	边世斌	陕西交通技术咨询有限公司	道路工程	交通土建	正高工	
2	委员	封捍东	陕西省公路学会	桥梁工程	公路工程质量 管理	正高工	
3	委员	师延强	铜川市交通运输 综合执法支队	道路与桥 梁工程	交通运输工程	正高工	
4	委员	牛开民	交通运输部公路 科学研究院	道路工程	道路工程	教授	
5	委员	王松根	山东省公路局	公路工程	道路工程	正高工	

评审会参会人员签到表

姓 名	职称/职务	工作单位	联系电话
王 斌	正高	陕西交通投资咨询公司	13709187350
王 东	正高工	陕西交控科技集团	13991816558
王 强	正高工	陕西交控集团	13309195936
张 颖	正高	省公路局	15588602751
乔 娟	正高	省公路局	13881366181
王 强	正工	省公路局	13609198517
张文军	干事	陕西交控集团	17542121012
张艺莹	干事	陕西高速检测公司	15135903652
张 国	正高	陕西高速检测公司	19909243255

年 月 日

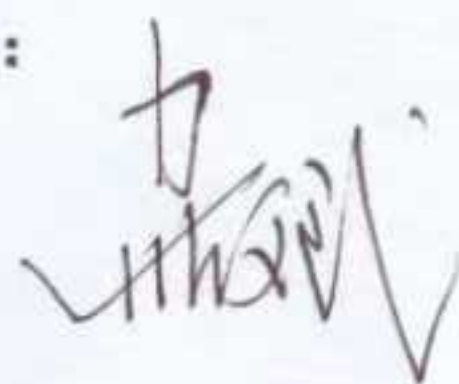
专家意见处理表

项目名称：高速公路无人机智慧巡查巡检技术及新装备研究（项目编号：25-68K）

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	边世斌	1. 研究内容应包括无人机自主飞行导航技术(通过 GPS、北斗等卫星导航系统结合视觉识别技术,实现无人机的精准定位与路径规划,是确保高效巡查的基础)、高清摄像与红外热成像技术(利用高清摄像头捕捉路面状况,红外热成像技术检测路面及桥梁结构异常发热,及时发现潜在安全隐患)、大数据分析处理技术(收集到的海量数据需通过云计算平台进行高效处理,识别异常模式,预测维护需求)、以及基于 AI 的图像识别与故障诊断技术(应用深度学习算法,对图像进行智能分析,自动识别路面破损、交通违章等行为,提高巡检效率与准确性)。 2. 应通过文献调研与案例分析,明确技术需求与研究方向;分阶段进行技术研发与实验验证,包括无人机平台搭建、传感器集成、算法开发等;最后,通过实地测试与数据反馈,不断优化系统性能。 3. 提供一套完整的无人机智慧巡查系统及实际应用案例。系统应具备智能化、高效性、准确性、可扩展性。	1. 在研究大纲中,已对部分关键技术进行了阐述:无人机自主飞行导航技术(即“精准定位与路径规划”相关内容)已在大纲第【9】页中予以体现和论述。基于 AI 的图像识别与故障诊断技术已在大纲第【12, 13】页中予以体现和论述。 2. 关于研究实施路径的建议,其核心思路具有指导价值,已采纳并融入“技术路线与方法”章节,使方案更具操作性。 3. 关于提供完整系统及应用案例的要求,项目最终成果承诺交付的智慧巡查系统原型及案例将切实体现智能化、高效性等核心特性。
2	封捍东	P18 “(1)技术性能指标 数据采集精度:桥梁检测图像识别精度达到厘米级;标记定位精度≤2cm。”请斟酌图像识别精度达到厘米级,能否识别 0.2mm 裂缝,请进一步调研,在检测物距适合无人机检测时的先进图像识别精度 (“豆包”资料:刘家峡大桥、杭州湾大桥能检出 0.2mm 裂缝)	经过调研,在适合无人机检测的物距条件下,当前的图像识别技术已能实现毫米级的识别能力。修订后的技术性能指标已在大纲第【18】页中予以体现和论述

序号	姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应, 详细说明修改情况)
3	牛开民	进一步明确研究对象(桥梁, 路面, 边坡异常), 并针对性地提出巡检或巡查的要求和及相应的技术经济指标	对研究方案中“研究对象与技术经济指标”部分的修改已审阅。修改后的内容明确了以桥梁、路面及交安设施为核心对象, 并针对性地设定了可量化的技术性能指标, 如数据采集精度与病害识别准确率, 使研究目标更为聚焦, 验收标准更为清晰。修订后的表述已在大纲第【18】页中予以体现和论述。
4	王松根	1. 做好无人机智慧巡查数据分析与现行行业标准规范对公路桥梁和其他设施的病害识别和技术状况检查评定的衔接。 2. 无人机智慧巡查与现行的公路桥梁和其他设施的巡查、定期检查、应急评估工作协调对接, 互为补充, 避免单一路径依赖。 3. 补充无人机智慧巡查数据的储存和查阅相关内容。	相关内容已在大纲第【10】页中予以体现和论述, 明确了无人机智慧巡查数据分析的核心逻辑, 重点阐述了如何对接现行行业标准规范, 确保数据分析结果与病害识别、技术状况评定的标准要求保持一致, 并补充了无人机智慧巡查数据的储存和查阅相关内容。
5	师延强	1. 建议进一步优化标记材料, 确保在户外复杂环境(风吹、日晒、雨淋)下长期保持清晰可识别, 同时选用环保无污染材料, 避免对桥梁结构和周边环境造成影响; 增加标记物维护与更换流程规范, 明确维护周期和操作方法。 2. 建议增加多标记点协同分析技术, 通过构建标记点网络, 实现桥梁整体位移场的计算与分析。 3. 建议增加应急巡检技术研究, 制定应急响应流程、快速航线规划算法、应急检测报告生成规范, 缩短应急响应时间, 提升突发事件处置能力。	针对标记材料优化及维护还有标记技术的相关内容已在大纲第【13】页中予以体现和论述,

大纲评审委员会专家(签字):



项目负责人(签字):

