

项目合同编号：25-67K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究

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：邵永军

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：029-84311966

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

本项目围绕智慧公路多源感知设备质量评测与检定研究主线，按照设备体系构建、性能测试评价、检定标准形成开展三个方面的研究工作，具体方案如下：

研究内容 1：公路感知设备分类与关键参数体系研究

针对当前智慧公路工程中感知设备种类繁多、技术参数体系不统一、设备选型依据不足等问题，对公路多源感知设备进行系统分类与架构分析。依据应用功能场景和监测对象，将公路感知设备统一划分为三类：结构状态感知设备、交通运行感知设备以及环境与气象感知设备。其中，结构状态感知设备主要包括应力应变传感器和加速度传感器，用于桥梁、隧道、边坡及路面等结构受力状态、变形响应和振动特征监测；交通运行感知设备主要包括毫米波雷达和激光雷达，用于交通流检测、车辆目标识别及交通运行状态感知；环境与气象感知设备主要包括温湿度传感器和风速风向仪，用于监测道路气象环境与安全运行条件。

在此基础上，对六类典型设备的工作原理、信号输出方式、安装要求、环境适应性和适用场景进行系统分析，明确其在公路工程中的技术特点和应用边界。通过建立设备分类分级模型，研究设备关键技术参数及性能等级划分方法，构建统一的设备技术参数体系和基础数据接口框架，为后续设备质量评测与检定技术研究提供基础支撑。

研究内容 2：典型感知设备性能测试技术及评价方法研究

针对当前感知设备测试方法不统一、实验室测试结果与工程应

用差异较大的问题，建立面向公路实际应用环境的综合质量评测方法与评价体系。本研究以应力应变传感器、加速度传感器、毫米波雷达、激光雷达、温湿度传感器和风速风向仪为重点研究对象，结合陕西地区典型公路环境条件，开展多场景质量评测研究。

对于结构状态感知设备，采用结构加载试验、现场比对试验与长期暴露监测相结合的方法，对设备测量精度、信号稳定性、响应灵敏度、抗干扰能力和长期可靠性进行评估；对于交通运行感知设备，通过静态标定试验与实车交通流试验相结合的方式，对其目标识别精度、测速误差、探测距离、数据时延和复杂交通场景适应性进行验证；对于环境与气象感知设备，则通过环境模拟试验与极端气候暴露试验，对设备温度漂移、响应时间、环境适应性和数据一致性进行测试。在此基础上，从测量精度、时间响应能力、长期稳定性、抗环境扰动能力、数据一致性和融合数据质量等维度建立设备质量评测指标体系，并通过多指标评价方法构建设备性能评价矩阵，实现不同型号设备之间的横向对比与综合评价。同时，研发配套的比对校准装置和自动化数据采集分析模块，实现设备自动化测试、数据采集、比对分析与检测报告自动生成，提高设备检测效率和数据可靠性。

在试验资源配置方面，本项目将对应力应变传感器等结构状态感知设备给予重点投入，在试验点位布设、加载工况数量和长期暴露监测周期等相关试验资源投入比例不低于 40%。同时，通过结构状态感知设备、交通运行感知设备和环境与气象感知设备数据的联合分析，综合评估不同类型设备在公路运行监测中的协同作用。

研究内容 3：公路感知设备检定体系与标准化研究

针对当前智慧公路感知设备检定方法分散、检定流程不统一、

检测结果难以追溯等问题，构建完整的公路感知设备检定技术体系。研究将从设备工作原理和数据特征出发，建立统一的数据接口要求与数据校准方法，实现多源设备的标准化接入与数据互操作。通过建立设备档案数据库和校准数据数据库，实现设备检定记录的统一管理和历史数据追溯。

进一步明确“质量评测”与“检定”的区别与衔接：质量评测主要面向设备性能、环境适应性、稳定性和一致性等方面开展综合评价；检定则侧重于量值溯源、比对校准、检定流程、检定周期和结果判定规则研究。项目将在六类典型设备质量评测的基础上，重点形成适用于公路工程场景的检定流程与技术方法。结合物联网技术和智能分析方法，构建设备自动化检定流程，实现设备接入、运行监控、数据采集、自动分析和报告生成等功能，提高设备检定效率和结果客观性。基于设备运行数据建立设备性能数据库，通过异常检测识别设备运行异常并分析性能变化趋势，为设备运行维护与质量追溯提供支撑。

在上述研究成果基础上，编制《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》，明确设备测试条件、检测方法、评价指标、检定流程及结果判定规则，为陕西省地方标准制定提供技术基础。项目验收后 6 个月内，完成规程文本的内部评审与专家论证，正式向陕西省有关主管部门提交地方标准立项申报材料。

2. 技术关键

本项目拟解决以下三个关键问题：

（1）感知设备分类与参数体系不统一问题。现有公路感知项目缺乏统一的设备分类、关键参数及接口要求，不同厂家产品在精度、

稳定性、环境适应性等方面差异较大，难以实现标准化选型与横向比较。

(2) 感知设备测试验证体系不完善问题。当前测试多集中于实验室条件，缺乏在复杂交通与环境条件下的真实场景验证，尤其缺少桥梁、隧道、高边坡等典型场景下的现场比对与长期暴露验证，无法全面反映设备性能边界和适用性。

(3) 设备检定与溯源机制不健全问题。感知设备更新迭代快、功能复杂，但尚未建立动态更新、可追溯的检定体系，导致设备运行可信度不足、监管缺乏依据。

3. 依托工程（依托工作）

项目依托陕西交通控股集团在役公路桥梁监测工程与桥梁群结构监测系统建设项目开展研究。

(1) 陕西交控集团长大桥梁结构监测项目

该项目依托陕西交控集团长大桥梁结构健康监测系统建设工程实施，目前已完成 2 座特大型桥梁的结构健康监测系统建设。监测系统已稳定运行，可长期采集桥梁结构响应、环境荷载及交通荷载等多源数据，为本项目研究中感知设备在复杂工程环境下的性能评估与设备标定提供基础数据支撑。该系统能够实时获取桥梁结构关键部位的监测数据，为研究不同类型传感器在实际工程环境中的运行稳定性和数据可靠性提供重要支撑。

(2) 陕西交控集团在役桥梁群轻量化结构监测系统建设工程

该工程是陕西交控集团开展桥梁群监测体系建设的重要试点项目，共涉及 124 座大中型桥梁，已部署多种类型监测与感知设备，形成

覆盖桥梁结构状态、交通荷载及环境条件的多源监测网络。该工程能够提供大规模感知网络运行样本，为本项目开展设备性能测试、数据融合算法研究及检定技术研究提供重要实验条件。

依托工程所涉及的典型桥梁包括姜嫄河特大桥、石门水库大桥、汉江特大桥、涧口河特大桥、沮河特大桥、南村特大桥、五里坡特大桥、徐水沟特大桥、赵氏河特大桥以及浊峪河特大桥等 10 座大型桥梁。这些桥梁分布于 G69 银百高速、G85 银昆高速、G7011 十天高速、G5 京昆高速以及 G65 包茂高速等重要高速公路通道，桥梁结构形式包括预应力混凝土连续刚构桥、钢管混凝土拱桥及装配式连续箱梁桥等多种类型，桥梁跨度大、结构形式复杂且运行环境多样，为感知设备在复杂交通荷载和环境条件下的性能测试提供了典型工程环境。

二、考核指标

1.预期目标

本项目围绕智慧公路多源感知设备质量评测与检定技术需求，构建面向公路工程应用场景的设备性能测试与检定技术体系。通过开展设备分类体系构建、性能测试方法研究及检定技术标准制定，形成可量化、可追溯的设备质量评测与检定技术框架，预期实现以下目标：

一是建立面向智慧公路应用场景的多源感知设备质量评测指标体系，形成涵盖结构状态感知设备、交通运行感知设备和环境与气象感知设备的检测指标体系与技术方法，实现设备性能的量化评价与标准化检定。

二是构建公路感知设备检定技术体系，形成统一的检测流程和检定方法，支撑建立陕西省交通行业感知设备检测与计量技术服务平台。项目实施后，预计在项目验收 1 年内形成具备年检测能力不少于 100 套智慧公路感知设备的技术服务能力，为智慧公路建设项目提供设备检测与质量评估服务。

三是强化典型工程场景验证。通过桥梁、隧道、高边坡及典型路段等场景下的现场验证，提升研究成果的工程适用性和可推广性，增强检测结果对工程验收、运行维护和质量追溯的支撑能力。

四是推动陕西省交通行业检测技术能力提升。通过建立统一的设备检定标准体系，规范智慧公路感知设备选型与应用，提高设备运行可靠性，减少设备重复布设和运维成本。

2. 主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

（1）建立公路感知设备质量评测指标体系 1 套，形成不少于 20 项关键质量指标，涵盖测量精度、响应时间、稳定性、环境适应性、长期可靠性和融合数据质量等指标。

（2）形成《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》1 项，为陕西省地方标准制定提供技术依据。

（3）形成检测数据采集、比对分析和报告生成模块 1 套，提升智慧公路感知设备检测业务自动化水平。

（4）建设智慧公路感知设备测试平台，具备年检测能力不少于 100 套设备的技术服务能力。

3. 经济和社会效益

在经济效益方面，项目成果将推动智慧公路感知设备检测技术服务能力建设，通过设备检测、计量校准及技术咨询服务形成新的技术服务增长点。预计项目成果推广应用后，可新增智慧公路设备检测与验证服务收入约 200 万元/年。同时，通过设备检测标准化与科学选型，可减少设备重复布设和误选型问题，降低智慧公路建设与运维成本约 10%。

在社会效益方面，本项目将建立较为完善的公路感知设备质量控制体系，提高智慧公路运行监测数据的可靠性，为桥梁结构安全监测、交通运行安全管理及道路环境监测提供可靠数据支撑，从而提升智慧公路系统运行的安全保障能力。同时，项目成果有助于提升公众对智慧公路安全性的信任度，促进智慧交通技术的社会应用。

在环境效益方面，通过建立科学的设备检测与运维管理体系，

可实现感知设备精准选型和合理布设，减少设备重复安装和资源浪费，提高设备使用效率，降低设备生产、运输和维护过程中的资源消耗。

在行业发展方面，项目将推动陕西省交通行业检测技术体系建设，形成涵盖结构状态感知设备、交通运行感知设备及环境与气象感知设备的综合评测体系，并提出面向工程应用的性能—成本综合比选方法。依托陕西省智慧交通产业中试基地，可逐步建成集研发验证、标准验证及计量认证于一体的技术服务平台，形成陕西省交通行业统一的检测认证能力体系，推动智慧交通技术成果转化与推广应用。

4. 成果提供形式

(1)《面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定体系研究》研究报告，包括项目主报告、工作报告以及三个专题研究报告；

(2) 编制《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》1 项，明确设备技术要求、测试流程、性能评价方法、检定流程和结果判定标准，形成较为完整的公路感知设备检定技术体系；

(3) 申请国家专利 3-5 项，其中发明专利 1-2 项；

(4)公开发表高水平学术论文不少于 2 篇，其中至少 1 篇为《中文核心期刊要目总览》收录期刊论文，并在论文中注明依托陕西交通科技项目及项目编号。

5. 其他考核指标

(1) 开展与本项目相关的媒体宣传报道不少于 3 次，技术交流

不少于 1 次；

（2）通过项目实施培养相关专业技术人员 15 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（每栏限 125 字）
2026 年度	1. 2026 年 3 月至 2026 年 4 月：依托工程监测系统开展数据采集与分析； 2. 2026 年 5 月至 2026 年 6 月：依托工程监测系统进行设备初步测试； 3. 2026 年 7 月至 2026 年 9 月：开展多类型设备性能比对试验； 4. 2026 年 10 月至 2026 年 12 月：建立检定技术体系；
2027 年度	1. 2027 年 1 月至 2027 年 3 月：在工程现场开展设备性能验证； 2. 2027 年 4 月至 2027 年 10 月：开展设备应用评估； 3. 2027 年 11 月至 2027 年 12 月：总结研究成果并形成技术标准与应用方案。
2028 年度	1. 2028 年 1 月至 2028 年 3 月：形成研究报告等验收资料。

四、项目经费

项目总经费：	130 万元
交通运输厅补助：	19.985 万元
自筹资金：	110.015 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	108	16
1. 设备费	33	0
(1) 购置设备费	20	0
(2) 试制设备费	0	0
(3) 设备改造与租赁费	13	0
2. 业务费	50	8
(4) 材料支出	5	0
(5) 测试化验实验加工支出	15	3
(6) 燃料及动力支出	5	0
(7) 差旅支出	5	1.5
(8) 会议支出	4	1.5
(9) 国际合作与交流支出	1	0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	15	2
(11) 其他支出	0	0
3. 劳务费	25	8
(12) 劳务性支出	17	5
(13) 咨询专家支出	8	3
(二) 间接费用	22	3.985
4. 管理费	12	3.985
5. 绩效支出	10	0
合 计	130	19.985

注：预算编制按照《陕西省人民政府办公厅关于改革完善省级财政科研经费管理的实施意见》（陕政办发〔2022〕3号）文件执行。项目验收将组织财务专项验收或审计。可参考《陕西省交通运输厅科研项目经费决算报告参考格式说明》

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

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4. 研究开发情况	
		(1) 小试	是
		(2) 中试（样品样机）	是
		(3) 小批量	否
		(4) 规模化生产	否
	人才引育	1. 引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		2. 培养高层次人才	5
		(1) 博士、博士后	2
		(2) 硕士	3
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	15
		4. 是否设立科研助理岗位	是
	产业化情况	1. 开放共享仪器设备数（台/套/只等）	5
		2. 科研仪器设备利用率（%）	90
		3. 孵化科技型企业（个）	0
		4. 转化科技成果（个）	0
效果类指标	经济效益	1. 新增产值（万元）	150
		2. 新增销售（万元）	150
		3. 新增出口创汇（万美元）	0
		4. 新增利润（万元）	50
	社会效益	1. 新增税收（万元）	20
		2. 新增就业人数	5
		3. 就业培训（人次）	20
		4. 带动农民增收（万元）	0
		5. 培训和指导科技服务（人次）	20
		6. 新增产业带动情况	智慧交通检测服务
		7. 技术集成示范（项）	1
		8. 建立示范基地（亩数）	0
		9. 节约资源能源	设备重复布设减少
		10. 环保效益	促进绿色交通运行
其他需要说明的情况	无		

六、承担单位或研究人员分工

本项目的承担单位为陕西高速公路工程试验检测有限公司与长安大学，分工情况如下：

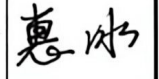
（1）陕西高速公路工程试验检测有限公司

负责项目总体组织实施、资金管理与工程协调，承担项目测试验证与技术应用部分工作，具体工作包括：建立公路感知设备测试与校准实验平台，完善配套的测试场地与环境暴露条件；组织开展典型场景下的埋入式与路侧式设备的性能比对、实地验证与长期监测试验；建立设备性能边界指标体系和环境适应性评估方法，形成不同类型设备的适用性分级标准；组织成果应用示范与推广，负责工程化部署、成果验收与效果评估。

（2）长安大学

承担项目的理论与算法开发部分，提供模型构建、数据分析和智能算法支撑。主要任务包括：研究多源感知设备的选型原则、布设策略与优化算法；开发基于人工智能的自动化检定与性能预测模型；协助形成质量评测与检定体系，并提供技术咨询与人才培养支持。

七、项目参加人员表

项目承担单位： 参与单位（排序）：陕西高速公路工程试验检测有限公司、长安大学							
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	邵永军	1977 年 03 月	陕西高速公路工程试验检测有限公司	正高级工程师	桥梁与隧道工程	项目总体负责	
主要研究人员							
2	汪海年	1977 年 11 月	长安大学	教授	道路工程	项目技术负责	
3	杨超	1981 年 11 月	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	设备架构测试与优化	
4	惠冰	1982 年 10 月	长安大学	教授	交通工程	智度分级体系框架设计	

5	赵艳艳	1987 年 02 月	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	性能边界测试与评价标准	赵艳艳
6	董是	1989 年 1 月	长安大学	副教授	交通信息工程	感知设备性能评价与应用	董是
7	马子业	1995 年 5 月	长安大学	讲师	交通运输工程	感知设备布设优化与算法开发	马子业
8	任晓辉	1981 年 4 月	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	感知设备环境适应性和配置策略	任晓辉
9	杨旭	1988 年 1 月	长安大学	教授	道路工程	多源异构数据融合	杨旭
10	王铮	1982 年 12 月	陕西高速公路工程试验 检测有限公司	高级工程师	交通工程	典型测试场景构建	王铮
11	屈鑫	1987 年 6 月	长安大学	副教授	机械电子工程	感知设备架构与技术参数定义	屈鑫
12	邹磊	1986 年 2 月	陕西高速公路工程试验 检测有限公司	工程师	机械制作及自动化	典型测试场景构建	邹磊
13	刘玉	1979 年 8 月	长安大学	教授	路基路面工程	检测规范和技术标准制定	刘玉

14	朱漫	1991 年 10 月	陕西高速公路工程试验 检测有限公司	工程师	测控技术与仪 器	智能化检定流程设计和 检定方法研究	朱漫
15	王欣笛	1994 年 8 月	陕西高速公路工程试验 检测有限公司	工程师	公路工程	实时监控与数据分析	王欣笛

八、信息表

项目合同编号		25-67K		密级		/		A：机密 B：秘密 C：内部	
项目名称		面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究							
项目实施所在地		陕西省		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月			
总 经 费		130 万元		厅 拨		19.985 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	610100	
	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.其它					代码	3	
参与单位	序号	单 位 名 称							
	1	长安大学							
	2								
	3								
项目负责人	姓 名	邵永军		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份	1977		
	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	13572040967 84311811			电子邮箱		14003748@qq.com		
项目联系人	姓名	赵艳艳			性别		女		
	联系电话	13991134061			电子邮箱		279598952@qq.com		
项目组人数	28	高级	12	中级	7	初级	3	其它	6
主要内容 (100 字以内)	本项目主要研究内容：(1) 明确公路感知设备的分类与组成架构，提出技术参数框架；(2) 构建典型感知设备性能测试与评价方法，开展野外暴露试验数据采集；(3) 构建公路感知设备检定技术，形成标准化的技术规程。								
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：

负责人：（签字）

联系人：（签字）

电 话：029-88869067



陕西省交通运输厅

（公 章）

合同乙方：陕西高速公路工程试验检测有限公司

单位负责人：（签字）

项目负责人：（签字）

电 话：



财务负责人：（签字）

账 户 名：

开户银行：

账 号：

陕西高速公路工程试验检测有限公司

456850100100033592

兴业银行西安经济开发区支行

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：[Signature]
年 月 日

项目编号: 25-67K

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 面向智慧公路的多源感知设备质量评
测与检定技术研究

申请单位: 陕西高速公路工程试验检测有限公司

长安大学(盖章)

联系人: 邵永军

电 话: 13991134061



陕西省交通运输厅制

2026 年 3 月

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。

（一）项目研究背景

在“交通强国”“数字中国”等国家战略引领下，公路感知体系建设正成为我国公路数字化转型的重要方向。公路感知设备是实现运行状态监测、交通安全预警和设施全寿命管理的重要基础，其性能、质量和检定水平直接影响感知系统数据的准确性、稳定性和可追溯性。从应用需求看，公路多源感知设备与核心业务需求存在明确对应关系：

（1）**结构状态感知设备**（如应力应变传感器、加速度传感器）直接关联桥梁、隧道及路面等基础设施的结构安全监测与全寿命评估需求，用于识别结构受力状态演变、振动响应、开裂与病害发展趋势，为结构安全评估和养护决策提供依据；（2）**交通运行感知设备**（如毫米波雷达、激光雷达）主要服务于交通流感知、运行状态识别和交通安全预警需求，用于车辆检测、轨迹识别、异常行为监测及交通运行特征提取，是车路协同与主动安全系统的重要数据来源；（3）**环境与气象感知设备**（如温湿度传感器、风速风向仪）重点支撑道路环境安全运行需求，用于监测低温结冰、低能见度、大风等不利环境条件，为限速管控、封闭预警和养护处置提供支撑。

当前，我国智慧公路建设已由“系统部署”逐步转向“数据可信、设备可靠、运行可控”的深化阶段。感知设备作为智慧公路运行监测、交通安全预警、结构状态识别和环境感知的基础单元，其质量和性能

直接决定监测数据能否真实反映工程状态和运行特征。现阶段，公路工程中常用的应力应变传感器、加速度传感器、毫米波雷达、激光雷达、温湿度传感器和风速风向仪等设备，虽然已在桥梁、隧道、边坡、重点路段和特殊气象路段等场景中得到广泛应用，但仍普遍存在标准不统一、测试依据不一致、极端环境下性能边界不清、长期服役可靠性不足、检定溯源链条不完善等问题。

尤其是在桥梁结构健康监测、交通流感知和道路环境监测等典型场景中，不同厂家、不同型号设备在测量精度、信号稳定性、环境适应性、响应特性和数据输出格式等方面差异较大，导致设备间难以横向比对，系统间难以互联互通，检测结果也难以直接支撑工程验收、运维评价和质量追溯。与此同时，现有研究和规范多针对单一设备、单项指标或单一工况展开，对复杂交通荷载、恶劣气候和长期暴露条件下的综合性能评价研究不足，对多源设备融合数据质量也缺乏统一指标和判定流程。因此，有必要聚焦智慧公路工程中应用广、需求迫切、代表性强的六类典型感知设备，构建面向实际工程场景的质量评测与检定技术体系，形成统一、可操作、可追溯的检测方法、评价指标和技术规程，为智慧公路感知设备的工程化应用提供技术支撑。

在此基础上，从六类典型感知设备（或元器件）的工程应用实践出发，现状痛点进一步体现在如下方面：

（1）应力应变传感器：长期服役过程中易受温度梯度、湿度变化等环境因素影响，存在零点漂移和量程漂移问题；埋设质量与灌封工艺不统一，导致测量结果离散度大、长期稳定性不足，校准与溯源机制不足。（2）加速度传感器：量程、频带与目标结构振动特性匹

配度不足，安装方式不规范易引入附加质量和安装共振；现场供电与信号传输条件复杂，噪声抑制与抗干扰能力有待提升。（3）毫米波雷达：在多车道、高车流和复杂气象条件下，易受遮挡、多径效应和路侧设施反射影响，车辆识别与测速精度存在波动；低反射目标（如小型车辆、摩托车）识别能力不足，不同厂商设备在目标分类算法和输出格式上差异显著。（4）激光雷达：对雨、雾、雪、扬尘等不良天气较为敏感，目标点云易出现缺失或虚假反射；设备外参标定与安装角度控制不统一，导致不同设备间数据难以对齐，数据量大也对实时处理和传输带来压力。（5）温湿度传感器：长期户外暴露条件下易出现灵敏度衰减与零点漂移，防护与维护不到位时易受泥沙、盐雾和污染物影响；不同设备的标定周期和溯源链条不清晰，跨设备数据可比性差。（6）风速风向仪：机械类设备易在大风、结冰、积雪等极端天气下发生卡滞、磨损，导致测量失真；受地形、桥梁构造和车辆尾流影响明显，缺乏针对高速公路典型场景的布设与修正方法。

（二）项目研究目的

本项目以智慧公路多源感知设备质量评测与检定技术研究为主线，聚焦应力应变传感器、加速度传感器、毫米波雷达、激光雷达、温湿度传感器和风速风向仪六类典型设备，面向结构状态监测、交通运行感知和道路环境监测三类核心应用场景，建立设备分类与参数框架、质量评测指标体系、性能测试方法、极端环境可靠性评测方法、多源数据融合质量评价指标和检定技术流程，形成可量化、可对比、可追溯、可推广的技术体系。

项目拟依托陕西省智慧交通产业中试基地及在役桥梁、隧道、高

边坡等典型工程场景，开展室内标定、现场比对、长期暴露和极端环境验证试验，研发配套比对校准装置与自动化数据采集分析模块，建立设备档案与校准数据库，形成《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》。通过项目研究，推动公路感知设备质量管理由经验判断向标准化检测转变，为陕西省智慧公路建设和交通行业检测体系建设提供技术支撑。

（三）项目概括

本项目围绕多源感知设备质量评测与检定开展三方面研究：一是针对六类典型感知设备，建立统一的设备分类、关键参数和接口框架；二是围绕常规工况、复杂交通工况和极端环境工况，建立室内标定、现场比对、长期暴露相结合的综合性能测试与评价方法，并提出多源设备数据融合质量量化指标；三是构建公路感知设备检定与溯源体系，开发自动化检测与数据管理系统，编制检定技术规程建议稿，形成可服务工程应用的技术成果。

（四）市场需求前景或推广应用领域

随着我国智慧公路建设进入系统化、规模化推进阶段，感知设备已成为智慧交通体系建设的关键基础设施。近年来，交通运输部先后发布《新一代国家交通控制网和智慧公路试点工作通知》《关于“人工智能+交通运输”的实施意见》等文件，明确提出需建立完善的感知体系和技术标准。住建部发布的《公路数字化建设指南》，明确要求新建高速公路智慧化覆盖率必须达到 100%。目前，陕西、江苏、浙江、山东、广东等省份已启动智慧高速建设试点，对感知设备的检测、评测与检定需求持续增长。

从行业现状看，智慧公路项目在建设、运维和升级过程中普遍面临感知设备选型混乱、性能不统一、数据可信度不足等问题，设备质量不稳定造成的维护与更换支出约占运维成本的 30%~40%。在六类典型设备中，结构类埋入式传感器长期稳定性问题、雷达与激光雷达在复杂交通环境下识别精度问题、气象类设备在极端环境下可靠性问题尤为突出，已经成为工程单位和业主共同关注的痛点。因此，建立统一的质量评测与检定体系已成为交通行业企业普遍关注的痛点和迫切需求。

本项目研究成果可直接支撑陕西交控集团及其下属检测、设计、建设、养护等板块在智慧公路业务中的质量控制与标准化工作，项目建成后将具备多源感知设备检测、认证与计量服务能力，可形成标准服务输出、技术成果转化与测试平台运营三类经济增长点，具备市场化推广价值，助力陕西省智慧公路高质量建设。

（五）达到的技术水平及在国民经济发展中的作用等

（1）项目成果将构建面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术体系，形成统一的设备分类方法、性能测试方法、融合质量评价方法和检定流程，为陕西省智慧公路建设中感知设备的选型、布设、验收及运维管理提供技术依据。

（2）通过研究形成《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》及相关技术成果，推动建立陕西省交通行业感知设备质量评测与检定标准体系，为后续地方标准或行业技术规范制定提供支撑。

（3）项目成果将依托陕西省智慧交通产业中试基地，构建集技术研发、试验验证、标准验证与技术服务于一体的综合技术平台，为

公路基础设施数字化监测、交通运行感知及环境监测等领域提供技术支撑，促进陕西省智慧交通技术成果转化与推广应用。

一、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，有那些技术尚未解决，需要这次攻克的技术难点）

1.1 国内外研究现状

1.1.1 智慧公路感知设备应用现状

当前，世界各国对于智慧高速和智能交通基础设施的研究与建设均高度重视。美国较早开展智慧公路相关工作，弗吉尼亚州智慧公路项目是公路设施智能化的重要代表，其将设施性能监测、能源回收和自动驾驶等技术进行整合，推动了智慧交通走廊等理念的发展。日本自 20 世纪 90 年代开始开展大量智能交通系统研究，2006 年发布的 Smart Way 公开测试成为智慧公路领域的重要示范，目前已形成较为清晰的规范化建设方向。欧洲则强调跨国高速公路信息系统的无缝对接及可持续发展，围绕绿色、安全和数字交通走廊持续开展相关研究。

我国智慧高速公路建设近年来快速推进，主要围绕伴随式信息服务、自动驾驶辅助和精细化养护运营等方向展开。上海、江西、河北、湖北等多个省市相继推动新一代智慧高速公路、5G 智慧高速和智慧特管区建设，标志着我国智慧高速公路建设由试点探索逐步转入应用深化阶段。陕西省方面，已围绕智慧交通中试共享平台和科技成果转化平台进行布局，为智慧公路相关技术研发、验证与转化提供了有利

条件。

随着大量交通网络的建设,感知技术蓬勃发展,感知设备大规模运用在交通路网建设中,为智慧公路系统提供相关信息基础^[1]。由于信息技术、通信技术、传感技术等的发展,智慧公路感知设备从最初的电气传感器逐渐发展为多元化、智能化的产品。根据感知设备的安装方式分为埋入式感知设备和共杆式感知设备两大类。

埋入式感知设备是指将感知设备安装在道路内部,通过对经过该地点的车辆进行检测和分析,获取交通流量、车速、车道占有率、车型等相关交通信息的感知设备。目前常见的埋入式感知设备类型有光栅光纤传感器、土压力盒、线圈检测器、地磁检测器等。光纤传感器种类繁多,能以高分辨率测量许多物理参数,具有本质防爆、抗电磁干扰、抗腐蚀、耐高温、体积小、重量轻、灵活方便等优势,被广泛应用于机场道面、桥梁、大坝、隧道、高层建筑和运动场馆的维护。1993年加拿大卡尔加里附近的 Beddington Trail 大桥最早将光纤光栅传感器用于测量^[2]。美国的 Blue Road Research 生产光纤光栅被广泛应用于桥梁、隧道、公路的结构监测,同时可测量车速,控制交通^[3]。土压力盒被广泛应用于岩土工程与地下工程中土压力的测量^[4],其测试精度一直是学者们所关注的重要内容。张海丰等指出由于土压力盒的刚度远大于周围土体,在土压力盒周围易形成被动土拱效应而导致测试结果大于实际土压力^[5-6]。线圈检测器利用埋入道路中的线圈,通过检测电磁场的变化来获取车辆经过的信息,包括速度、车流量和车辆类型等^[7],它有高精度的车辆检测和速度测量、低成本以及适用范围广

泛的优点。然而,线圈检测器的安装困难是因为需要破坏地面进行布设,在恶劣天气条件下可能无法正常工作,当路况拥堵导致车距过近时,检测精度会下降。地磁检测器通过感知地下磁场的变化来检测车辆位置和运动状态。它安装在道路下方,当车辆经过时,车辆的铁质部分引起地下磁场的变化,检测器将这些变化转换为电信号,并传输到中心控制系统进行分析和处理^[8]。它具有高检测精度、安装方便和抗干扰性强等优点。然而,地磁检测器需要定期维护,维护成本较高。

共杆式是指由杆体挂载各类感知设施,一杆多用,实现交通感知、环境监测、通信、交通管控等目的^[9]。目前常见的共杆式感知设备类型有交通状态感知设施(微波车检器、毫米波雷达、激光雷达)、视频监控设施(全景摄像机、硬路肩抓拍设备、枪式遥控摄像机等)、车辆状态感知设施(RSU、ANPR、车载传感器数据接收器等)、气象采集设施(温度传感器、湿度传感器、风速风向仪、降雨量计)等。其中摄像机、毫米波雷达、摄像机与毫米波雷达融合设备(雷视一体机)是现有智慧高速公路建设中常用的三类新型交通状态感知设备。摄像机能够获得丰富的交通场景纹理和语义信息,但其数据质量最容易受到光照条件、雨雾天气影响。毫米波雷达具有不受光照条件影响、观测距离远、目标距离和速度数据精度高的优点,但较容易受到非目标物体反射杂波以及其他毫米波雷达发射信号的干扰。雷视一体机兼具上述两种感知设备的优点,具有较高的目标识别和轨迹跟踪精度,但是设备造价相对较高。

美国联邦高速公路管理局使用高速公路时间监测算法确定检测

器布设位置和布设间距^[10];Yang 等^[11]提出基于交通检测点合理布设的 4 个布设原则;高建立等^[12]运用压缩波理论推导出满足数据获取精度的检测器合理布设间距;Hadidi 等^[13]、郑长江等^[14]使用仿真的方法,通过比较不同布设间距下的仿真结果来选定最佳布设间距。2008 年,美国的 Leow 等^[15]以总成本(传感器成本和拥挤成本)最小为目标,以功率谱密度为切入点,利用香农采样定理,推导了标准均方误差与布设间距之间的关系。胡月^[16]、高兰达^[17]、孙智源等^[18]以布设成本最小为目标建立多目标检测器优化布设模型,并采用宽容分层序列法求解。针对每一层的子目标,设计 GA 求解各分层的最优解集,获得满足多目标的检测器优化布设方案。Nikookaran 等^[19]则考虑了资本支出和运营支出两部分的总和,在提出的整数线性规划中根据车辆轨迹和备选安装位置来寻找成本最小的安装位置,并引入了最小成本路由聚类的方法进行求解。除了上述提及的传统方法外,蜂群、蚁群等生物启发式算法也被应用在传感监测网络的布设研究中。Chang 等^[20]提出了一种基于概率数据融合模型的传感器布设算法,称为分治 GA,相较于其他 GA,该算法能够在较短时间内给出最优解。朱宁^[21]则考虑了设备的不确定性,提出了两阶段随机优化模型和基于条件风险价值(conditional value at risk,CVaR)的两阶段随机优化模型,为研究大量检测器情况下的布设优化问题提供了可能。Danczyk 等^[22]考虑了传感器故障的所有可能情景以及发生概率,提出了概率优化模型,最大限度地减少性能监测误差。该模型适用于所有的单向交通走廊,并适用于所有点传感设备的布设。Onat 等^[23]建立了多目标优化模型,不仅考虑了覆盖率问题,

还考虑了系统的鲁棒性问题。Guo 等^[24]在交通网络的可观测性研究中提出了一种针对多源交通传感器优化布局模型,通过设计新的输出矩阵,满足了传感器的最优布置。

综上所述,感知设备已经在国内智慧高速公路工程中大量应用,感知设备的应用趋向于多元化,但是对感知设备的评测研究较少。同时虽然已制定众多智慧高速公路感知设备相关标准规范,但是对国外而言,主要集中于车路通信技术、车辆协同驾驶、基础设施数字化等方面,对感知设备功能性能测试的研究成果和相关测试标准规范相对较少;从国内来看,现有智慧高速公路相关标准规范主要集中在车辆感知领域、车辆功能性能测试、测试场地场景设计等方面,只有少数标准提供了路侧感知设备的技术要求。

1.1.2 智慧公路感知设备评测现状

对光栅光纤感知设备的测试主要通过进行拉伸和弯曲测试,模拟道路变形,监测光纤传感器的反应,使用温度控制箱模拟不同温度条件下的性能表现^[25]。对土压力盒的测试方式为在不同的压力下对土压力盒进行校准,确保其读数准确。模拟不同路面负荷条件,测试其稳定性和响应时间。芮瑞等^[26]对土压力盒进行模型试验,分别采用砂标加载系数和卸荷系数处理土压力数据,验证土压力盒测试结果的准确性。线圈及地磁检测器均是通过模拟车辆通过感知设备,测试检测器的灵敏度及识别能力来检查检测器的性能及抗干扰性^[27-28]。摄像机数字图像质量评价方法分为主观评价和客观评价两种^[29-30],其中主观评价通过适当的标准程序由观测者对图像进行观测并打分,可用于对高

速公路监控大厅实时图像的质量评估。客观评价通过客观实验设计方法对图像质量进行评估,可用于对高速公路大批量摄像机图像质量日常轮巡,以及在特定交通场景下图像质量的评估。毫米波雷达在高速公路领域主要用于汽车和道路侵入物体等特定目标的检测^[31-32],车辆目标电磁散射特性的测量方法可以分为理论分析法和实际测试法两种,其中,实际测试技术是指利用雷达直接测量车辆实物或模型的电磁散射特性,主要分为室内测试和室外测试两种方案。此外,对于雷达目标检测算法的干扰测试,需要以干扰类型为基础,通过设置不同类型的干扰源,测试雷达对车辆运动目标识别和跟踪的正确率。雷视一体机测试主要关注雷达和视觉传感器的优势以及它们之间的数据融合效果^[33]。雷达的优势在于测量纵向距离,而视觉传感器的优势在于采集横向视野。通过数据融合技术,可以兼顾两者的优点,更充分利用感知信息。通过搭载有多类型高精度传感器设备的车辆,获取车辆正常运动状态下的位置、速度、航向、加速度、轨迹等数据作为目标真值数据,与雷视一体机采集的车辆数据进行比对,在同一时间戳条件下,对测试数据进行同步性、准确性和稳定性分析^[34]。同步性分析旨在评估雷达模块与视频模块的同步效果,准确性分析则用于衡量雷视融合结果与测量真值的偏差,稳定性分析关注的是雷视融合效果的稳定度。最后根据分析结果进行综合评分,评估雷视一体机的性能。对于气象采集设施的测试,通常考虑在实际气象条件下长期监测气象设施的数据稳定性和准确性,进行极端天气模拟测试,评估设备的抗干扰能力。

综上所述,虽然各类感知设备均已形成相应的测试方法及评价指标,但是对于整个公路感知设备系统,缺乏统一的测试标准和评估方法,导致不同设备和系统之间的测试结果难以比较,同时实验室环境往往无法完全模拟实际道路条件,特别是对于极端天气和复杂交通场景的模拟。随着感知技术的快速发展,现有的测试方法可能很快就无法满足新设备的测试需求。

1.1.3 智慧公路感知设备检定现状

随着智慧公路技术的发展,越来越多的国家和地区开始制定感知设备检定的标准和规范。这些标准涵盖了设备的性能指标、测试方法、数据格式等方面,旨在统一检定要求,提高检定工作的透明度和一致性,国内外众多学者也对不同的感知设备的检定进行大量研究。国家能源局^[35]对光纤光栅感知设备的技术要求、试验方法及检验规则作出规定。肖范等^[36-37]研制出 Bragg 光栅智能检测系统,使用光纤光栅解调仪、光纤耦合器、多波长计、标准输入装置等对光栅光纤进行硬件系统标定。美国材料与试验协会^[38]、中国交通运输部^[39]均已出台对土压力测量系统的检定流程,规定了对外观、铭牌、频率示值误差、滞后、重复性、非线性度、误差的检定要求及范围。徐光明等^[40]基于不同的土质条件,在离心机的加载作用下对土压力盒的灵敏系数等指标进行标定。中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会^[41]、交通部科学研究所^[42]、中国智能交通协会^[43]均已出台对线圈检测器、微波检测器及车辆检测器的测量内容、技术要求、标定流程及内容的国家或团体规范,对其有效检测范围、检测精

度、检测率、漏报率和误报数、可靠性、电源适应性、环境适应性等内容的检定提出了具体要求。针对视频感知设备，中国交通部公路科学研究院^[44-45]、中国智能交通协会^[46]对其技术要求、检定流程作出明确规定，需对其外观、结构、气候环境适应性、电源适应性、机械环境适应性、功能（识别精度、准度）、功能检验等进行检定。国内外均已出台雷达测速仪的相关技术标准^[47-49]，对其检定条件、检定项目（范围、准确度、1s 频率稳定度、误差）、检定方法、检定结果处理及检定周期作出规定。杨凡等^[50]利用空对地检定场内圆形控制点，依据数学模型计算分析激光测距误差和定位定姿误差对点云坐标的影响，以此来检定雷达感知设备的精度。张东^[34]对雷视一体机的数据特征进行分析，对单设备、多设备及设备拼接段的数据进行检定，从异常数据的产生原因出发，对异常数据进行了分析，并提出了异常数据的处理流程。

综上所述，目前智慧公路感知设备检定的现状主要体现在检定标准的制定与完善、检定机构的建设与认证、检定技术的发展三个方面。许多国家和地区正在积极制定和完善针对智慧公路感知设备的检定标准；各国都在建设专门的检定机构，并对这些机构进行严格的认证；检定技术也在不断进步，包括利用高精度测试设备和方法，采用模拟和仿真技术进行性能测试，以及利用数据分析和机器学习技术进行自动化检定等。尽管智慧公路感知设备检定取得了一定进展，但仍面临一些挑战，包括检定标准的国际统一、新兴技术的快速变化、设备复杂性的增加、以及数据安全和隐私保护等问题。

1.2 研究水平和发展趋势的分析评价

1.2.1 当前研究现状简评

国内外围绕智慧公路感知设备的研究已由设备部署与场景应用逐步转向性能验证与标准化管理阶段，但现有研究仍以单类设备、单项指标和局部场景为主，尚未形成面向公路工程应用的多源感知设备统一质量评测与检定技术体系。

从国际研究进展看，美国、日本和欧洲等国家和地区较早开展智慧道路和智能交通基础设施研究，已在车路协同、交通状态感知、基础设施数字化和运行管理等方面形成较成熟的应用体系。相关研究重点更多聚焦于感知网络构建、设备布设优化、数据融合与交通运行服务，对感知设备本体的计量检定、跨设备横向评价和全寿命质量控制关注相对不足。现有标准主要服务于某类产品的出厂检验、功能测试或通信接口约束，针对公路复杂服役环境下长期稳定性、场景适应性和系统一致性的研究仍不充分。

从国内研究现状看，近年来智慧高速建设快速推进，感知设备已广泛应用于桥梁隧道结构监测、交通流检测、异常事件识别、气象环境监测和车路协同等场景。围绕光纤光栅、土压力盒、线圈检测器、地磁检测器、视频设备、毫米波雷达、激光雷达及气象传感器等，国内已积累了一定的测试方法、标定手段和工程经验，部分设备也已具备国家标准、行业标准或团体标准基础。这说明我国在单设备测试、局部性能验证和基础计量检定方面已具备较好的研究基础。

但从研究水平和工程应用匹配度来看，当前仍存在三个突出不

足。其一，**研究对象较为分散**。现有成果多围绕某一种传感器或某一类交通检测设备展开，缺乏对埋入式感知设备、路侧感知设备和环境气象设备的统一分类、统一指标和统一评价框架，导致不同设备之间难以横向比较，难以支撑工程选型和集成应用。其二，**测试环境与工程场景脱节**。多数研究仍停留在实验室或理想工况条件下，重点验证精度、灵敏度、量程等静态性能，对长期暴露、复杂交通荷载、极端气候、安装偏差、供电通信扰动等真实服役因素考虑不足，测试结果与实际运行表现之间存在偏差。其三，**检定体系与溯源机制薄弱**。现有规范多为单设备技术要求或单项检验规则，对新型雷达类设备、融合感知设备以及跨设备数据一致性缺乏成体系的检定流程，尚未建立面向公路运营场景的设备档案、校准数据库、自动化检定和结果追溯机制。

1.2.2 项目拟解决的技术难点

结合当前研究薄弱环节和本项目研究目标，本项目拟重点突破以下技术难点：

（1）公路多源感知设备分类分级不统一、技术参数体系不清晰

针对结构状态感知设备、交通运行感知设备和环境与气象感知设备类型多样、工作机理差异大、输出特征不一致的现状，亟需建立面向公路应用场景的统一分类分级方法，明确典型设备的功能定位、技术参数、接口要求和适用条件，解决当前设备选型依据不足、不同厂商产品难以横向比较、系统集成标准不统一等问题。

（2）典型感知设备性能测试方法不足、评价指标不完善

针对应力应变传感器、加速度传感器、毫米波雷达、激光雷达、温湿度传感器和风速风向仪在长期服役过程中易受交通荷载、安装工艺、温湿度变化、恶劣天气及现场干扰等因素影响，导致实验室测试结果与工程实际表现不一致的问题，亟需构建结合实验室校准、现场比对和长期暴露试验的综合测试方法，建立覆盖测量精度、时间响应、长期稳定性、抗环境扰动能力、融合数据一致性等维度的量化评价体系，解决设备真实性能边界难以准确表征的问题。

（3）公路感知设备检定流程不系统、结果不可追溯

针对当前感知设备检定多依赖单机测试和人工操作，缺乏统一检定流程、数据接口规范、校准数据库和结果追溯机制的问题，亟需研究多源感知设备标准化接入与自动化检定技术，开发配套比对校准装置和数据采集分析模块，形成可复制、可推广的检定技术流程与规程建议稿，解决智慧公路感知设备在工程应用中检定依据不足、结果可比性差、运维管理不规范等问题。

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）

本项目由陕西高速公路工程试验检测有限公司与长安大学联合申报。双方在智慧交通、感知设备、智能检测及交通信息化等领域具有良好的科研基础和丰富的工程实践经验，依托已建成的陕西省智慧交通产业中试基地，具备感知设备研发验证、工程测试与技术成果转化能力，可为本项目实施提供技术平台与工程条件支撑。

2.1 平台基础

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。

公司校准实验室占地约**900平方米**，设有长度室、温度室、压力室、力学室、交通专项室、电学室等多个专业实验区域，配备万能工具显微镜、测长机、激光干涉仪、热电偶检定炉、温湿度标准箱、高精度数字多用表、高精度摆式摩擦系数检定装置等**400余台套先进设备**。截至2025年9月，公司已获得**230项检测能力、141项校准能力**的CNAS认可，其中校准能力涵盖几何量、热学、力学、化学及

建筑交通专项等多个领域，可满足公路工程试验检测与设备校准需求。实验室现有校准人员 20 名，其中一级、二级注册计量师 13 名，高级工程师 7 名，为项目开展设备检测与检定研究提供了可靠的技术保障。

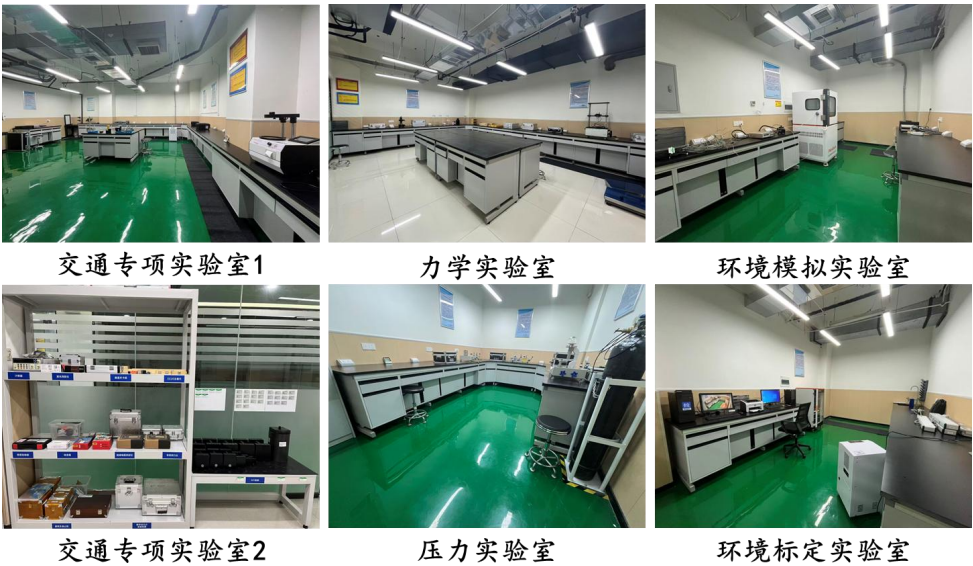


图 1 陕西高速公路工程试验检测有限公司校准实验室



图 2 公路工程试验检测与设备校准设备

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。学校平台条件完善，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。现有中国科学院、中国工程院、新加坡工程院院士 4 人，教授、副教授 1400 余人，博士生导师 392 人、硕士生导师 1151 人。拥有承担国家重点研发计划、国家重大工程项目的各类杰出人才逾百人。



图3 长安大学交通基础设施室外足尺试验场



图4 公路长期性能传感器埋设与监测情况

依托双方优势资源，已建成陕西省智慧交通产业中试基地（依托单位：陕西高速公路工程试验检测有限公司），该基地是全省首个面

向智慧公路感知设备的研发与验证平台，具备以下核心功能：1. 提供智慧交通领域安全检测、监测全流程服务，涵盖位移、应力、环境、机电管控等传感器；2. 协同多功能采集、融合空天地一体北斗、卫星通信、智能无人装备、车路协同、国信创等硬件设备的中试服务，验证其在智慧交通环境中的性能和兼容性；3. 提供智慧交通领域数字孪生、大数据、人工智能、5G 建设、智慧出行、车路协同等全流程伴随式服务数字化平台的中试服务。该基地的建成，使项目具备感知设备实验验证、标准验证与成果孵化的全流程条件，能够为多源感知设备质量评测与检定技术研究提供持续、可验证的工程支撑。



图5 陕西省智慧交通产业中试基地

2.2 研究基础

陕西高速公路工程试验检测有限公司长期承担高速公路基础设施检测与结构监测任务，在桥梁群监测、结构安全评估与监测预警等方面积累了丰富的工程经验。公司已承担完成省交通运输厅、省国资委科研项目《公路滑坡监测预警关键技术研究》，项目成果获**陕西省交通运输科学技术三等奖**；主编陕西省地方标准《运营公路边（滑）坡监测技术规范》（BD61/T 1287—2019）。此外，公司承担的《陕西省大件运输管理及桥梁安全评估关键技术研究》项目成果“**大件运输管理系统及桥梁安全评估、监测预警成套技术**”获得陕西省交通运输

科学技术二等奖、全国交通企业管理创新成果一等奖和陕西省科学技术进步二等奖。上述研究成果为开展智慧公路感知设备监测与检定技术研究提供了良好的工程实践基础。

长安大学在道路与交通工程、智能感知、交通信息化及人工智能应用等方面具有长期研究积累,是我国交通基础设施智能化研究的重要基地。学校建有占地 **423 亩**的交通基础设施室外足尺试验场,能够模拟复杂交通环境并布设多类型传感设备,为智慧公路感知设备测试场景构建提供重要条件。同时配备**三维激光综合检测车、探地雷达、动态弯沉检测车、声效激励检测车、红外差热扫描车**等多源检测装备,可实现路面、结构与环境信息的多模态数据同步采集。依托高性能计算平台(GPU 算力达 **2000 万亿次/秒**),学校已建立多源交通数据融合与智能解析算法库,具备大规模感知数据处理与模型分析能力,为本项目开展多源感知设备性能评测与检定提供科研条件与算力支撑。

3.参考文献

- [1]Juan Guerrero-Ibáez,Zeadally,Sherali, et al. sensor technologies for intelligent transportation systems repository citation sensor technologies for intelligent transportation systems notes/citation information sensor technologies for intelligent transportation systems[J], 2019.
- [2]E.,Joseph,Friebele. Fiber Bragg Grating Strain Sensors: Presend and Future Applications in Smart Structures[J]. Optics & Photonics News, 1998.
- [3]Suhir,Ephraim,Fukuda, et al. Reliability of Photonics Materials and Structures (Proceedings of the Reliability of Photonics Materials and Structures Symposium held April 13–16, 1998 in San Francisco, CA)[J]. Journal of Electronic Packaging, 1999, 121(1).
- [4]黄大维,彩国庆,徐长节,等. 水囊土压力计研制与试验验证研究[J]. 华东交通大学学报, 2023, 40(04): 93-102.
- [5]Fei,K.,Wang, et al. Experimental and numerical studies of soil arching in piled

- embankment[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(7): 1975-1983.
- [6]张海丰,马保松,王福芝. 被动土拱效应对土压力计匹配误差的影响[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(02): 350-354.
- [7]Chen,XinqiangChen,HuixingYang, et al. Traffic flow prediction by an ensemble framework with data denoising and deep learning model[J]. Physica, A. Statistical Mechanics and Its Applications, 2021, 565(1).
- [8]Quan,Wei,Wang, et al. Spot vehicle speed detection method based on short-pitch dual-node geomagnetic detector - ScienceDirect[J]. Measurement, 158.
- [9]浙江省市场监督管理局. 智慧高速公路 沿线设施共杆设计技术规范: DB33/T 1348-2023. [S], 2023.
- [10]Koble,H. M.,Anderson, et al. FORMULATION OF GUIDELINES FOR LOCATING FREEWAY SENSORS[J], 1979.
- [11]Yang,Hai,Iida, et al. An analysis of the reliability of an origin-destination trip matrix estimated from traffic counts[J]. Transportation Research Part B, 1991, 25(5): 351-363.
- [12]高建立,薛飞. 高速公路上检测器合理间距布设探讨[J]. 河南交通科技, 1994, (03): 41-44.
- [13]Hadidi. Unconventional Intersection Designs for Improving Traffic Operation along Urban Arterial Roads[J].
- [14]郑长江,李悦,王婷. 非常态下城市道路交通检测器布局优化方法[J]. 中国公路学报, 2011, 24(05): 100-106.
- [15]Leow,W. L.,Ni, et al. A Sampling Theorem Approach to Traffic Sensor Optimization[J]. Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(2): 369-374.
- [16]胡月. 在成本约束下的基于 OD 估计的多目标检测器优化布设研究[D]. 北京交通大学, 2014
- [17]高兰达. 车路协同路侧热点服务设备的布设优化研究[D]. 燕山大学, 2015
- [18]孙智源,陆化普. 考虑交通大数据的交通检测器优化布置模型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2016, 56(07): 743-750.
- [19]Nikookaran,Naby,Karakostas, et al. Combining Capital and Operating

Expenditure Costs in Vehicular Roadside Unit Placement[J]. Ieee Transactions on Vehicular Technology, 2017, PP(8): 1-1.

[20]Chang,Xiangmao,Tan, et al. Sensor Placement Algorithms for Fusion-Based Surveillance Networks.[J]. Ieee Transactions on Parallel & Distributed Systems, 2011, 22(8): 1407-1414.

[21]朱宁. 交通网络检测器布设优化问题研究[D]. 天津大学, 2012

[22]Danczyk,Adam,Xuan, et al. A probabilistic optimization model for allocating freeway sensors[J]. Transportation Research, Part C. Emerging Technologies, 2016, 67C(Jun.): 378-398.

[23]Gungor,Onat,Rosing, et al. Respire: Robust sensor placement optimization in probabilistic environments[C]//2020 Ieee Sensors: Ieee, 2020: 1-4.

[24]Guo,Yuqi,Li, et al. System Observability Analysis Based on Multiple Source Mixed Traffic Sensors[C]//2020 Chinese Automation Congress (cac), 2020.

[25]王嘉健. 基于光纤光栅传感的管道安全监测方法及试验研究[D]. 大连理工大学, 2022

[26]芮瑞,吴端正,胡港,等. 模型试验中膜式土压力盒标定及其应用[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(05): 837-845.

[27]高全勇. 基于地磁的车辆探测系统研制[D]. 中国科学院大学(中国科学院工程管理与信息技术学院), 2017

[28]王水波. 基于线圈感应信号匹配的车辆测速技术研究 with 实现[D]. 长安大学, 2008

[29]纪鹏飞. 摄像机检测自动化测试平台设计[D]. 沈阳航空航天大学, 2022

[30]陈攻,杨勇强. 对高清摄像机测试的思考(上)[J]. 现代电视技术, 2007, (02): 61-65.

[31]仲凌志,刘黎平,葛润生. 毫米波测云雷达的特点及其研究现状与展望[J]. 地球科学进展, 2009, 24(04): 383-391.

[32]石星. 毫米波雷达的应用和发展[J]. 电讯技术, 2006, (01): 1-9.

[33]李勇勇. 智慧高速多元交通感知设备优化布设方法研究[D]. 长安大学, 2023

[34]张东. 基于雷视一体机数据的隧道交通安全风险评估研究[D]. 重庆交通大学, 2023

- [35]国家能源局. 光纤光栅仪器基本技术条件: DL/T 1736-2017. [S], 2017.
- [36]肖范. 光纤光栅智能应变传感器系统的研制与不确定度分析[D]. 昆明理工大学, 2016
- [37]姚琳琳. 光纤光栅压力传感器与智能检测系统研究[D]. 昆明理工大学, 2017
- [38]美国材料与试验协会. 土工用电子传感器型压力测量系统静态校准标准实施规程: ASTM D5720-1995(2009). [S], 1995: 9P.;A4.
- [39]中华人民共和国交通运输部. 土压力测量系统: JJG(交通)154-2020. [S]: 中华人民共和国交通运输部, 2020.
- [40]徐光明,陈爱忠,曾友金,等. 超重力场中界面土压力的测量[J]. 岩土力学, 2007, (12): 2671-2674.
- [41]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 高速公路监控设施通信规程 第2部分: 车辆检测器. [S], 2017.
- [42] 交通运输部公路科学研究院. 高速公路监控设施通信规程.第2部分:环形线圈车辆检测器. GB/T 26942-2011 [S], 2004.
- [43]中国智能交通协会. 交通事件检测 微波交通事件检测器技术规范: T/CITSA13-2021. [S], 2021.
- [44]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 交通信息采集 视频交通流检测器. GB/T 24726-2021 [S], 2021.
- [45]国家质量监督检验检疫总局. 视频交通流检测器检定规程. GB/T 28789-2012 [S], 2007.
- [46]中国智能交通协会. 道路交通智能摄像机通用技术要求: T/CITSA 02-2020. [S], 2020.
- [47]国家质量监督检验检疫总局. 机动车雷达测速仪检定装置: JJG 771-2010. [S], 2010.
- [48]国家质量监督检验检疫总局. 固定式机动车雷达测速仪. JJG 527-2015 [S], 2015.
- [49]电磁兼容性和无线电频谱情况(ERM).短程装置.道路运输和交通远程信息处理技术(RTTT). 24GHz 范围内操作的短程雷达设备.第1部分:技术要求和测量方法. [S], 2006.

[50]杨凡,方爱平,徐寿志,等. 检定场的机载激光雷达精度评价方法[J]. 测绘科学, 2019, 44(06): 193-197, 241.

二、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）

本项目拟解决以下三个关键问题：

（1）感知设备分类与参数体系不统一问题。现有公路感知项目缺乏统一的设备分类、关键参数及接口要求，不同厂家产品在精度、稳定性、环境适应性等方面差异较大，难以实现标准化选型与横向比较。

（2）感知设备测试验证体系不完善问题。当前测试多集中于实验室条件，缺乏在复杂交通与环境条件下的真实场景验证，尤其缺少桥梁、隧道、高边坡等典型场景下的现场比对与长期暴露验证，无法全面反映设备性能边界和适用性。

（3）设备检定与溯源机制不健全问题。感知设备更新迭代快、功能复杂，但尚未建立动态更新、可追溯的检定体系，导致设备运行可信度不足、监管缺乏依据。

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）

本项目围绕智慧公路多源感知设备质量评测与检定研究主线，按照设备体系构建、性能测试评价、检定标准形成开展三个方面的研究工作，具体方案如下：

研究内容 1：公路感知设备分类与关键参数体系研究

针对当前智慧公路工程中感知设备种类繁多、技术参数体系不统一、设备选型依据不足等问题，对公路多源感知设备进行系统分类与架构分析。依据应用功能场景和监测对象，将公路感知设备统一划分

为三类：结构状态感知设备、交通运行感知设备以及环境与气象感知设备。其中，结构状态感知设备主要包括应力应变传感器和加速度传感器，用于桥梁、隧道、边坡及路面等结构受力状态、变形响应和振动特征监测；交通运行感知设备主要包括毫米波雷达和激光雷达，用于交通流检测、车辆目标识别及交通运行状态感知；环境与气象感知设备主要包括温湿度传感器和风速风向仪，用于监测道路气象环境与安全运行条件。

在此基础上，对六类典型设备的工作原理、信号输出方式、安装要求、环境适应性和适用场景进行系统分析，明确其在公路工程中的技术特点和应用边界。通过建立设备分类分级模型，研究设备关键技术参数及性能等级划分方法，构建统一的设备技术参数体系和基础数据接口框架，为后续设备质量评测与检定技术研究提供基础支撑。

研究内容 2：典型感知设备性能测试技术及评价方法研究

针对当前感知设备测试方法不统一、实验室测试结果与工程应用差异较大的问题，建立面向公路实际应用环境的综合质量评测方法与评价体系。本研究以应力应变传感器、加速度传感器、毫米波雷达、激光雷达、温湿度传感器和风速风向仪为重点研究对象，结合陕西地区典型公路环境条件，开展多场景质量评测研究。

对于结构状态感知设备，采用结构加载试验、现场比对试验与长期暴露监测相结合的方法，对设备测量精度、信号稳定性、响应灵敏度、抗干扰能力和长期可靠性进行评估；对于交通运行感知设备，通过静态标定试验与实车交通流试验相结合的方式，对其目标识别精度、测速误差、探测距离、数据时延和复杂交通场景适应性进行验证；对于环境与气象感知设备，则通过环境模拟试验与极端气候暴露试验，对设备温度漂移、响应时间、环境适应性和数据一致性进行测试。

在此基础上，从测量精度、时间响应能力、长期稳定性、抗环境扰动能力、数据一致性和融合数据质量等维度建立设备质量评测指标体系，并通过多指标评价方法构建设备性能评价矩阵，实现不同型号设备之间的横向对比与综合评价。同时，研发配套的比对校准装置和自动化数据采集分析模块，实现设备自动化测试、数据采集、比对分析与检测报告自动生成，提高设备检测效率和数据可靠性。

在试验资源配置方面，本项目将对应力应变传感器等结构状态感知设备给予重点投入，在试验点位布设、加载工况数量和长期暴露监测周期等相关试验资源投入比例不低于 40%。同时，通过结构状态感知设备、交通运行感知设备和环境与气象感知设备数据的联合分析，综合评估不同类型设备在公路运行监测中的协同作用。

研究内容 3：公路感知设备检定体系与标准化研究

针对当前智慧公路感知设备检定方法分散、检定流程不统一、检测结果难以追溯等问题，构建完整的公路感知设备检定技术体系。研究将从设备工作原理和数据特征出发，建立统一的数据接口要求与数据校准方法，实现多源设备的标准化接入与数据互操作。通过建立设备档案数据库和校准数据数据库，实现设备检定记录的统一管理和历史数据追溯。

进一步明确“质量评测”与“检定”的区别与衔接：质量评测主要面向设备性能、环境适应性、稳定性和一致性等方面开展综合评价；检定则侧重于量值溯源、比对校准、检定流程、检定周期和结果判定规则研究。项目将在六类典型设备质量评测的基础上，重点形成适用于公路工程场景的检定流程与技术方法。结合物联网技术和智能分析方法，构建设备自动化检定流程，实现设备接入、运行监控、数据采集、自动分析和报告生成等功能，提高设备检定效率和结果客观性。基于

设备运行数据建立设备性能数据库，通过异常检测识别设备运行异常并分析性能变化趋势，为设备运行维护与质量追溯提供支撑。

在上述研究成果基础上，编制《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》，明确设备测试条件、检测方法、评价指标、检定流程及结果判定规则，为陕西省地方标准制定提供技术基础。项目验收后6个月内，完成规程文本的内部评审与专家论证，正式向陕西省有关主管部门提交地方标准立项申报材料。

3. 技术路线（包括研究技术方案和 workflows 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 workflows 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）

3.1 研究技术方案

3.1.1 现状调研与需求分析

在研究初期，通过文献调研、标准梳理与工程案例相结合的方式，对国内外智慧公路感知设备应用现状、测试技术、检定方法及相关标准规范进行系统梳理。调研对象主要包括智慧高速交通感知系统、桥梁结构健康监测系统、隧道监测系统、高边坡监测系统以及道路气象监测系统等典型工程项目。重点分析结构状态感知设备、交通运行感知设备及环境与气象感知设备在工程应用中的功能需求、技术特点及运行问题。

在调研范围方面，重点选取陕西省高速公路典型监测工程作为研

究对象，包括陕西交控集团桥梁结构健康监测系统、桥梁群轻量化监测系统、隧道监测工程、边坡监测工程以及智慧高速交通感知系统等工程案例。通过收集桥梁结构监测系统、交通流监测系统和气象监测系统的运行数据，对不同类型感知设备的监测精度、稳定性及运行可靠性进行统计分析，识别当前设备应用中存在的主要技术问题。

在调研数据方面，重点收集桥梁结构响应数据、交通流数据及气象监测数据，并结合设备运行维护记录，对不同设备在实际工程环境中的性能表现进行分析。通过上述调研工作，总结不同类型感知设备在公路工程中的应用需求、技术瓶颈及检测需求，为后续设备分类体系构建、测试方法设计和检定流程研究提供依据。

3.1.2 室内试验与实验室标定

在实验室条件下开展设备性能测试与标定试验，以获取设备基础性参数。试验对象主要包括应力应变传感器、加速度传感器、毫米波雷达、激光雷达、温湿度传感器及风速风向仪等六类典型感知设备。

针对结构状态感知设备，开展静态加载试验和动态响应试验，通过模拟桥梁或结构构件受力状态，对传感器测量精度、响应灵敏度、频率响应特性和稳定性进行测试。试验中采用加载装置对结构模型施加不同等级荷载，并通过标准测量仪器进行比对校准，从而获得传感器测量误差及稳定性指标。

针对交通运行感知设备，开展目标识别与测速性能测试。通过设置标准车辆目标和移动目标测试场景，对毫米波雷达和激光雷达的目标识别率、测速精度、探测距离、数据时延及抗干扰能力等指标进行测试。同时，通过模拟不同交通密度场景，分析设备在复杂交通环境中的识别能力和适应性。

针对环境与气象感知设备，在环境模拟实验室中开展温湿度和风

速模拟试验,通过环境控制设备模拟不同气候条件,对设备测量精度、响应时间、环境漂移和环境适应性进行测试。通过室内试验获取设备基础性能参数,并为现场试验提供参考基准。

3.1.3 现场测试与暴露试验

在室内试验基础上,依托陕西省智慧交通产业中试基地和典型工程场景开展现场测试与长期暴露试验。试验地点主要选择陕西省高速公路桥梁监测工程、隧道工程、高边坡工程及交通感知系统建设工程,通过在典型桥梁、隧道、高边坡和高速公路路段布设多类型感知设备,对设备在真实工程环境中的性能进行测试。

现场测试主要包括设备比对测试和长期运行监测。设备比对测试通过在同一监测位置布设多种型号设备,对其监测数据进行同步采集与对比分析,从而评估不同设备的测量精度、稳定性和一致性。长期暴露试验通过持续采集设备监测数据,对设备在交通荷载、气象环境、结构振动及现场干扰等复杂条件下的性能变化规律进行分析。

在试验规模方面,依托桥梁群监测工程中已布设的监测点位,结合隧道、高边坡及典型路段应用场景,通过采集桥梁结构响应、交通荷载及环境气象数据,对设备在实际运行环境中的性能进行评估,为设备质量评测模型构建和检定方法研究提供数据支撑。

3.1.4 数据分析与评价模型构建

在获取设备监测数据的基础上,采用多源数据分析方法对监测数据进行处理与分析。通过统计分析方法识别不同设备的误差来源和性能变化规律,并结合智能算法建立设备质量评测模型。

在数据处理过程中,首先对监测数据进行预处理,包括异常数据识别、数据清洗、数据同步处理及特征提取。随后采用统计分析方法对设备测量误差、稳定性、数据一致性及融合数据质量进行评估,并

建立设备质量评测指标体系。通过构建多指标综合评价模型，对不同设备的性能进行综合评分，实现设备性能等级评定。

在理论分析方面，基于多源数据融合理论和可靠性分析理论，对设备运行数据进行分析，研究不同设备在复杂环境条件下的性能变化规律和协同感知特征。通过建立设备质量评测模型，为设备检定技术体系构建提供理论依据。

3.1.5 检定体系与标准形成

在设备分类体系和质量评测模型研究基础上，构建公路感知设备检定技术体系。首先研究设备检定流程及检测方法，明确设备检定的技术指标、检测方法、检定周期和结果判定规则。其次开发自动化检测与数据管理系统，实现设备检测数据的自动采集、分析和报告生成，提高检测效率和结果客观性。

在标准化研究方面，系统梳理现有国家标准、行业标准、地方标准和团体标准，明确本项目成果与现有标准的衔接基础及拟补充内容。在此基础上，编制《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》，明确设备技术要求、测试流程、数据处理方法和结果判定标准。该规程将为智慧公路感知设备检测提供统一技术依据，并为陕西省地方标准制定提供技术基础。

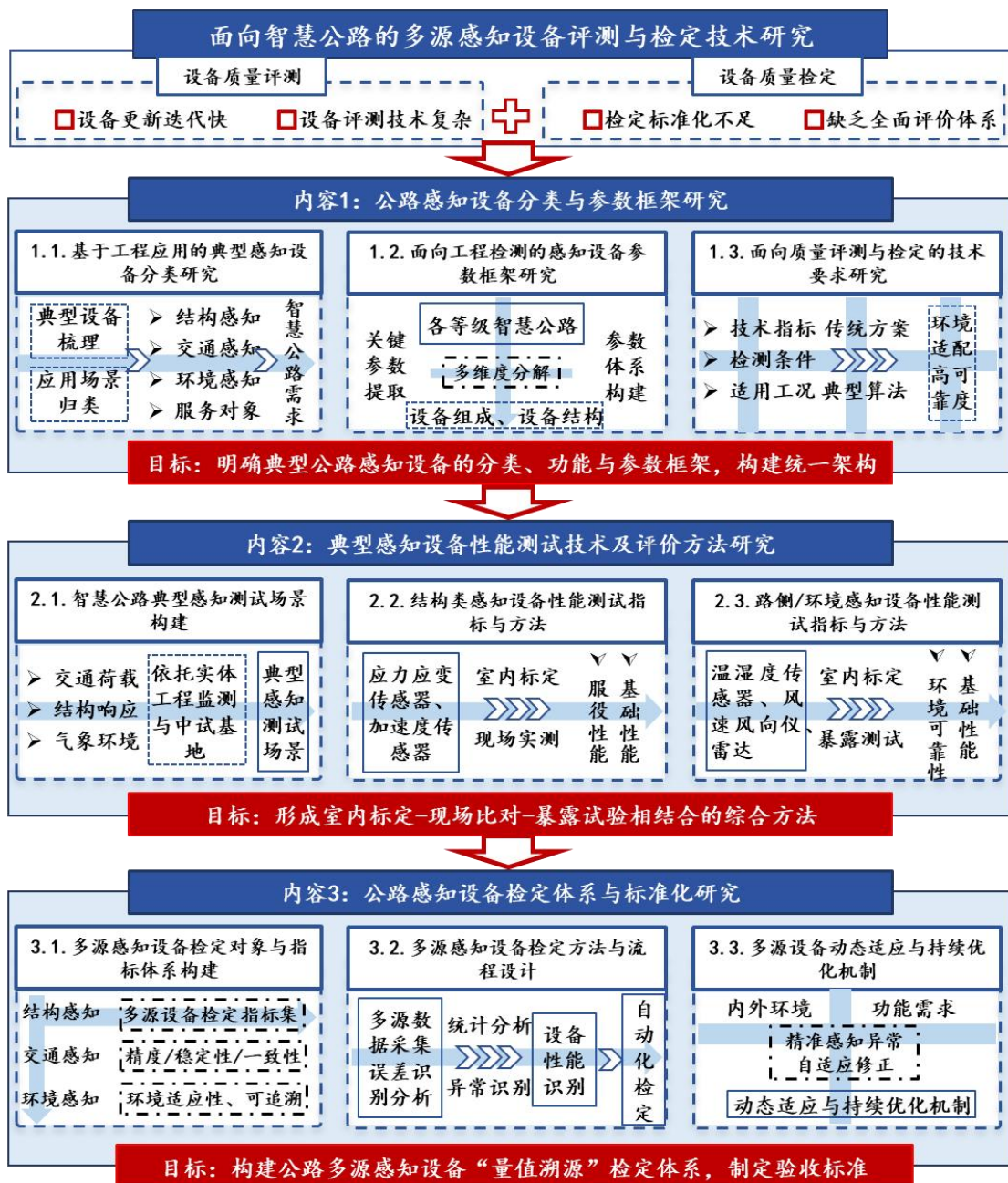


图 6 本项目总体研究技术路线图

3.2 工作流程

本项目研究工作流程如下：

- 1) 开展国内外智慧公路感知设备应用与测试技术调研；
- 2) 建立公路多源感知设备分类体系与技术参数框架；
- 3) 设计典型设备实验室测试方法与试验方案；
- 4) 开展实验室性能测试与设备标定试验；
- 5) 依托工程项目开展现场测试与长期暴露监测；

- 6) 构建设备性能评价模型与评价指标体系;
- 7) 开发自动化检测与数据管理系统;
- 8) 形成公路感知设备质量评测与检定技术规程建议稿。

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）

本项目研究成果将在陕西省智慧交通产业中试基地基础上开展工程化验证与推广应用。通过构建多源感知设备质量评测与检定技术体系，并研发配套的自动化检测装置与数据管理系统，可逐步形成面向智慧公路的感知设备测试与检定技术平台。该平台可在陕西省智慧高速建设项目中应用，为感知设备选型评估、性能检测、计量检定以及设备运行状态评估提供技术支撑。

在工程应用方面，项目研究成果将首先在陕西交控集团在役桥梁结构监测系统、桥梁群轻量化监测系统以及相关隧道、高边坡和智慧高速交通感知系统中开展示范应用，通过实际工程环境验证设备质量评测方法和检定技术体系的可行性与稳定性。在此基础上，可逐步推广至桥梁结构监测系统、交通流感知系统和公路气象监测系统等典型应用场景，实现多源感知设备质量评估与检定技术的工程化应用。

在技术平台建设方面，项目成果将依托陕西省智慧交通产业中试基地，对现有试验检测设施进行适应性技术改造，建设包含设备测试、校准标定、数据分析和自动化检定功能的综合检测平台。该平台将集设备研发验证、性能测试、标准验证和计量认证功能于一体，为交通行业提供统一的感知设备检测与认证服务。通过整合桥梁监测工程、隧道监测工程、边坡监测工程和交通感知系统运行数据，逐步建立感知设备运行性能数据库，为设备选型优化和运维管理提供数据支持。

从成果成熟度和市场需求角度来看，随着智慧高速公路建设规模不断扩大，交通行业对感知设备质量评估与检测认证的需求将持续增长。本项目形成的设备检测技术体系和检定技术规程具有较强的可推广性，可在陕西省智慧公路建设中率先应用，并逐步向西部地区乃至全国推广。通过技术平台建设和标准化体系推广，可推动交通行业形成统一的感知设备质量管理与检测认证体系，为智慧公路建设提供持续的技术支撑。

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）

（1）建立公路感知设备质量评测指标体系 1 套，形成不少于 20 项关键质量指标，涵盖测量精度、响应时间、稳定性、环境适应性、长期可靠性和融合数据质量等指标。

（2）形成《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》1 项，为陕西省地方标准制定提供技术依据。

（3）形成检测数据采集、比对分析和报告生成模块 1 套，提升智慧公路感知设备检测业务自动化水平。

（4）建设智慧公路感知设备测试平台，具备年检测能力不少于 100 套设备的技术服务能力。

三、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

1.1 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是陕西交通控股集团有限公司下属的国家高新技术企业，注册资本 5000 万元，是陕西省及中

国西部地区综合实力最强的公路工程试验检测机构之一。公司拥有交通运输部公路工程甲级、公路工程交通工程专项、公路工程桥梁隧道工程专项检测资质，是交通运输部全资质单位之一，检测及监测业务覆盖公路、铁路、建筑、市政和水利等领域。现有各类检测仪器设备 1600 余台(套)，设备总值逾 4100 万元，有校准标准器 450 余台(套)，价值 400 余万元。

高速检测公司成功获批 CNAS 扩项校准领域认可资质，本次扩项涵盖了校准领域的几何量、热学、力学、化学、建筑交通专项等五个关键领域，共计 141 个项目，能够全面满足中心试验室的校准需求，基本满足公路工程乙级试验室的校准需求。截止至 2025 年 9 月，高速检测公司共计 230 项检测能力、141 项校准能力获得 CNAS 认可。目前，实验室拥有校准人员 20 名，其中一级、二级注册计量师 13 名，硕士研究生及以上学历 4 名，高级工程师 7 名。

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。

1.2 长安大学

长安大学是教育部直属的国家“双一流”建设高校、首批“211 工程”重点建设大学和“985 优势学科创新平台”高校。学校在道路工程、交通工程、结构工程、智能建造等领域学术基础雄厚，拥有国家级重点实验室 2 个、省部级重点实验室及研究中心 90 余个。其交通基础设施室外足尺试验场占地 423 亩，是国内规模领先的道路与结构试验平台，具备智慧公路传感、检测、信息化管控验证条件。长安

大学在智能感知、交通信息化、AI 算法应用等领域形成了较强的科研能力，承担了多项国家重点研发计划项目、国家自然科学基金重点项目、交通运输部重点项目。近年来，在智慧公路感知系统、车路协同通信与数据融合、交通铺面数智运维等方向取得多项创新成果，具备为本项目提供强有力技术支持的基础条件。

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
邵永军	陕西高速公路工程 试验检测有限公司	男	49	正高级 工程师	桥梁与隧道 工程	项目总体负责
汪海年	长安大学	男	48	教授	道路工程	项目技术负责
杨超	陕西高速公路工程 试验检测有限公司	男	44	高级工 程师	桥梁工程	设备架构测试 与优化
惠冰	长安大学	男	44	教授	交通工程	智度分级体系 框架设计
赵艳艳	陕西高速公路工程 试验检测有限公司	女	37	高级工 程师	桥梁工程	性能边界测试 与评价标准
董是	长安大学	男	36	副教授	交通信息工 程	感知设备性能 评价与应用
马子业	长安大学	男	32	讲师	交通运输工 程	感知设备布设 优化与算法开 发
任晓辉	陕西高速公路工程 试验检测有限公司	男	44	高级工 程师	桥梁工程	感知设备环境 适应性和配置 策略
杨旭	长安大学	男	37	教授	道路工程	多源异构数据 融合
王铮	陕西高速公路工程 试验检测有限公司	男	43	高级工 程师	交通工程	典型测试场景 构建
屈鑫	长安大学	男	39	副教授	机械电子工 程	感知设备架构 与技术参数定 义
邹磊	陕西高速公路工程 试验检测有限公司	男	40	工程师	机械制作及 自动化	典型测试场景 构建

刘玉	长安大学	男	45	教授	路基路面工程	检测规范和技术标准制定
朱漫	陕西高速公路工程试验检测有限公司	女	34	工程师	测控技术与仪器	智能化检定流程设计
陈玉	长安大学	男	45	教授	道路工程	自动化检定方法研究
王欣笛	陕西高速公路工程试验检测有限公司	女	31	工程师	公路工程	实时监控与数据分析
周宇坤	长安大学	男	27	博士	交通信息工程	数据分类与场景分析
徐致远	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	32	助理工程师	机械制作及自动化	感知设备检定方法研究
张炎棣	长安大学	男	28	博士	机械电子工程	校准标准与方法研究
韩晓宇	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	26	助理工程师	自动化	设备性能评估与建模
杨佳杰	长安大学	男	27	博士	电气工程与智能控制	测试场景分析
徐达	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	31	工程师	道桥工程	校准标准与方法研究
李嘉驰	长安大学	男	26	硕士	信息工程	文献调研与数据处理
刘亚红	陕西高速公路工程试验检测有限公司	女	30	工程师	桥梁工程	感知设备现场测试与记录
吴长航	长安大学	男	25	硕士	交通工程	文献调研与数据处理
刘卫刚	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	33	工程师	公路工程	感知设备现场测试与记录
刘泽宇	长安大学	男	25	硕士	机械工程	文献调研与数据处理
何江波	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	26	助理工程师	桥梁工程	数据准确性与质量分析

3. 各自承担的主要工作

3.1 陕西高速公路工程试验检测有限公司（牵头单位）

负责项目总体组织实施、资金管理与工程协调，承担项目测试验证与技术应用部分工作，具体工作包括：建立公路感知设备测试与校准实验平台，完善配套的测试场地与环境暴露条件；组织开展典型场

景下的埋入式与路侧式设备的性能比对、实地验证与长期监测试验；建立设备性能边界指标体系和环境适应性评估方法，形成不同类型设备的适用性分级标准；组织成果应用示范与推广，负责工程化部署、成果验收与效果评估。

3.2 长安大学（协作单位）

承担项目的理论研究与算法开发部分，提供模型构建、数据分析和智能算法支撑。主要任务包括：研究多源感知设备的选型原则、布设策略与优化算法；开发基于人工智能的自动化检定与性能预测模型；协助形成质量评测与检定体系，并提供技术咨询与人才培养支持。

4. 项目主要负责人情况

邵永军，男，1977年生，正高级工程师，现任陕西高速公路工程试验检测有限公司董事长兼总经理，长期从事公路与桥梁工程检测、监测及科研成果转化工作。主持和参与省部级科研项目10余项，主持开展多项高速公路结构群监测业务，包括《陕西省大件运输管理及桥梁安全评估关键技术研究》《在役桥梁群轻量化结构监测系统建设试点工程》等，主编陕西省地方标准《运营公路边（滑）坡监测技术规范》，曾获中国公路建设行业协会科学技术进步奖一等奖、全国交通企业管理创新现代化创新成奖一等奖、中国交通运输协会科学技术奖二等奖、陕西省交通运输科学技术一等奖等，具备丰富项目组织与技术管理经验。

四、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

项目依托陕西交通控股集团在役公路桥梁监测工程与桥梁群结构监测系统建设项目开展研究。依托工程监测设备种类丰富、监测周期长和数据连续性强，可为多源感知设备性能测试、设备标定与检定

技术研究提供真实工程环境与长期监测数据支撑。

（1）陕西交控集团长大桥梁结构监测项目

该项目依托陕西交控集团长大桥梁结构健康监测系统建设工程实施，目前已完成 2 座特大型桥梁的结构健康监测系统建设。监测系统已稳定运行，可长期采集桥梁结构响应、环境荷载及交通荷载等多源数据，为本项目研究中感知设备在复杂工程环境下的性能评估与设备标定提供基础数据支撑。该系统能够实时获取桥梁结构关键部位的监测数据，为研究不同类型传感器在实际工程环境中的运行稳定性和数据可靠性提供重要支撑。

（2）陕西交控集团在役桥梁群轻量化结构监测系统建设工程

该工程是陕西交控集团开展桥梁群监测体系建设的重要试点项目，共涉及 124 座大中型桥梁，已部署多种类型监测与感知设备，形成覆盖桥梁结构状态、交通荷载及环境条件的多源监测网络。该工程能够提供大规模感知网络运行样本，为本项目开展设备性能测试、数据融合算法研究及检定技术研究提供重要实验条件。

其中，“2025 年桥梁群轻量化结构监测系统建设（YHJCC-TJ04-2025 合同段）”项目主要依托西汉分公司宁陕路产养护中心桥梁群开展实施，共涉及 **G5 京昆高速公路沿线 77 座桥梁**。工程主要监测内容包括桥面视频监测（AI 摄像机）、主梁动位移监测（图像位移计与毫米波雷达）、振动倾角监测（振动倾角一体化设备）以及车辆荷载监测（动态称重系统）。通过多类型感知设备的综合布设，实现桥梁结构状态与交通荷载的协同监测，为多源感知设备性能评估提供典型应用场景。

此外，陕西交控集团已于 2023 年完成 10 座典型桥梁的单桥结构监测系统建设，并建立了长大桥梁结构健康监测平台。该系统已实现

监测数据接入交通运输部及陕西省监测平台，并开展持续运行维护与监测数据分析工作。监测桥梁结构形式包括预应力混凝土连续刚构桥和钢管混凝土拱桥等多种结构类型，能够为多类型传感器性能评估提供多样化工程环境。

在监测内容方面，系统**涵盖环境监测、交通荷载监测和结构响应监测**等多个方面，包括环境温湿度、桥面风速风向、车辆荷载、结构构件温度、地震响应、主梁竖向位移、梁端纵向位移、墩顶位移、关键截面应变、结构振动、混凝土裂缝、拱顶位移、吊杆力及吊杆振动等多项监测指标。目前**系统共布设监测点 2330 个**，其中包括温湿度监测点 72 个、风速风向监测点 18 个、地震监测点 20 个、静态挠度监测点 422 个、动态挠度监测点 78 个、梁端位移监测点 64 个、高墩墩顶位移监测点 68 个、应变监测点 1208 个、主梁振动监测点 194 个、裂缝监测点 86 个以及车辆荷载监测点 24 个等。该监测系统的建设为多源感知设备性能测试与数据比对提供了丰富的工程应用数据。

依托工程所涉及的典型桥梁包括**姜嫄河特大桥、石门水库大桥、汉江特大桥、涧口河特大桥、沮河特大桥、南村特大桥、五里坡特大桥、徐水沟特大桥、赵氏河特大桥以及浊峪河特大桥**等 10 座大型桥梁。这些桥梁分布于 G69 银百高速、G85 银昆高速、G7011 十天高速、G5 京昆高速以及 G65 包茂高速等重要高速公路通道，桥梁结构形式包括预应力混凝土连续刚构桥、钢管混凝土拱桥及装配式连续箱梁桥等多种类型，桥梁跨度大、结构形式复杂且运行环境多样，为感知设备在复杂交通荷载和环境条件下的性能测试提供了**典型工程环境**。

2. 投资来源

本项目研究经费由陕西交控科技发展集团科技计划项目经费及单位配套资金共同承担。项目申请陕西省交通运输厅科研经费 19.985

万元，工程配套研究经费 80 万元，单位自筹经费 110.015 万元，总经费 130 万元。项目经费主要用于设备测试试验、检测装置研发、数据采集系统开发、试验材料费用以及专家咨询等支出。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

依托工程监测系统目前运行稳定，能够持续采集桥梁结构响应、交通荷载及环境监测等多源数据，为科研工作提供可靠数据支撑。项目科研工作将与工程运行进度紧密结合，通过工程监测数据的持续采集和分析，为设备性能评估与检定技术研究提供真实工程数据基础。项目研究计划分阶段实施：

2026 年 3 月至 2026 年 6 月：依托工程监测系统开展数据采集与设备初步测试；

2026 年 7 月至 2026 年 12 月：开展多类型设备性能比对试验并建立检定技术体系；

2027 年 1 月至 2027 年 6 月：在工程现场开展设备性能验证与应用评估；

2027 年 7 月至 2028 年 3 月：总结研究成果并形成技术标准与应用方案。

4. 组织管理形式

本项目采用“牵头单位+高校+设备厂商+第三方检测机构”的联合实施模式。陕西高速公路工程试验检测有限公司负责工程组织、试验实施和成果转化，长安大学负责理论研究、数据分析和模型构建，相关设备厂商参与样机提供、参数确认与现场调试，第三方检测/计量机构参与交叉验证和结果比对。

五、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	19.985	合 计	130	19.985	110.015
工程配套研究经费	0	（一）直接费用	108	16	92
单位自筹	110.015	1.设备费	33	0	33
其他经费	0	（1）购置设备费	20	0	20
		（2）设备改造与租赁费	13	0	13
		2.业务费	50	8	42
		（1）材料费	5	2	3
		（2）测试化验实验加工费	15	3	12
		（3）燃料动力费	5	0	5
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	10	1	9
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	15	2	13
		（6）其他费用	0	0	0
		3.劳务费	25	8	17
		（1）专家咨询费	8	3	5
		（2）聘用人员劳务费	12	5	7
		（3）其他劳务费	5	0	5
		（二）间接费用	22	3.985	18.015
		4.管理费	12	3.985	8.015
		5.绩效支出	10	0	10

六、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）	3
		（1）授权发明专利	2
		（2）实用新型	1
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	2
		（1）其中 SCI 索引收录数	1
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	1
		4、著作（部）	0
		5、制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	1（建议稿）
		（5）企业标准	0
		（6）科技报告	0
	其他成果	1、填补技术空白数	0
		（1）国际	0
		（2）国家	0
		（3）省级	0
		2、获奖项数	0
		（1）国家奖项	0
		（2）部、省奖项	0
		（3）地市级奖项	0
		3、其他科技成果产出	1
		（1）新工艺（或新方法模式）	1
		（2）新产品（含农业新品种）	0
		（3）新材料	0
		（4）新装备（装置）	0
		（5）平台/基地/示范点	0
		（6）中试线	0
		（7）生产线	0

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	
		（1）小试	是
		（2）中试（样品样机）	是
		（3）小批量	否
		（4）规模化生产	否
	人才引育	1、引进高层次人才	0
		（1）博士、博士后	0
		（2）硕士	0
		2、培养高层次人才	5
		（1）博士、博士后	2
		（2）硕士	3
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	15
		4、是否设立科研助理岗位	是
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	5
		2、科研仪器设备利用率（%）	90
		3、孵化科技型企业（个）	0
		4、转化科技成果（个）	0
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	150
		2、新增销售（万元）	150
		3、新增出口创汇（万美元）	0
		4、新增利润（万元）	50
	社会效益	1、新增税收（万元）	20
		2、新增就业人数	5
		3、就业培训（人次）	20
		4、带动农民增收（万元）	0
		5、培训和指导科技服务（人次）	20
		6、新增产业带动情况	智慧交通检测服务
		7、技术集成示范（项）	1
		8、建立示范基地（亩数）	0
		9、节约资源能源	设备重复布设减少
		10、环保效益	促进绿色交通运行
其他需要说明的情况	无		

七、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）

本项目围绕智慧公路多源感知设备质量评测与检定技术需求，构建面向公路工程应用场景的设备性能测试与检定技术体系。通过开展设备分类体系构建、性能测试方法研究及检定技术标准制定，形成可量化、可追溯的设备质量评测与检定技术框架，预期实现以下目标：

一是建立面向智慧公路应用场景的多源感知设备质量评测指标体系，形成涵盖结构状态感知设备、交通运行感知设备和环境与气象感知设备的检测指标体系与技术方法，实现设备性能的量化评价与标准化检定。

二是构建公路感知设备检定技术体系，形成统一的检测流程和检定方法，支撑建立陕西省交通行业感知设备检测与计量技术服务平台。项目实施后，预计在项目验收1年内形成具备年检测能力不少于100套智慧公路感知设备的技术服务能力，为智慧公路建设项目提供设备检测与质量评估服务。

三是强化典型工程场景验证。通过桥梁、隧道、高边坡及典型路段等场景下的现场验证，提升研究成果的工程适用性和可推广性，增强检测结果对工程验收、运行维护和质量追溯的支撑能力。

四是推动陕西省交通行业检测技术能力提升。通过建立统一的设备检定标准体系，规范智慧公路感知设备选型与应用，提高设备运行可靠性，减少设备重复布设和运维成本。

2. 提交的研究成果及其形式

(1) 《面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定体系研究》研究报告，包括项目主报告、工作报告以及三个专题研究报告；

(2) 编制《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》1 项，明确设备技术要求、测试流程、性能评价方法、检定流程和结果判定标准，形成较为完整的公路感知设备检定技术体系；

(3) 申请国家专利 3-5 项，其中发明专利 1-2 项；

(4) 公开发表高水平学术论文不少于 2 篇，其中至少 1 篇为《中文核心期刊要目总览》收录期刊论文，并在论文中注明依托陕西交通科技项目及项目编号。

(5) 通过项目实施培养相关专业技术人员 15 名，并培养硕士、博士研究生不少于 5 名。

3. 经济、社会、环境效益分析

本项目研究成果具有明显的经济效益、社会效益和行业推广价值。通过建立公路感知设备质量评测与检定技术体系，可有效提升智慧公路系统运行的可靠性和安全性，为交通基础设施数字化运维提供技术支撑。

在经济效益方面，项目成果将推动智慧公路感知设备检测技术服务能力建设，通过设备检测、计量校准及技术咨询服务形成新的技术服务增长点。预计项目成果推广应用后，可新增智慧公路设备检测与验证服务收入约 200 万元/年。同时，通过设备检测标准化与科学选型，可减少设备重复布设和误选型问题，降低智慧公路建设与运维成本约 10%。

在社会效益方面，本项目将建立较为完善的公路感知设备质量控制体系，提高智慧公路运行监测数据的可靠性，为桥梁结构安全监测、交通运行安全管理及道路环境监测提供可靠数据支撑，从而提升智慧公路系统运行的安全保障能力。同时，项目成果有助于提升公众对智慧公路安全性的信任度，促进智慧交通技术的社会应用。

在环境效益方面，通过建立科学的设备检测与运维管理体系，可实现感知设备精准选型和合理布设，减少设备重复安装和资源浪费，提高设备使用效率，降低设备生产、运输和维护过程中的资源消耗。

在行业发展方面，项目将推动陕西省交通行业检测技术体系建设，形成涵盖结构状态感知设备、交通运行感知设备及环境与气象感知设备的综合评测体系，并提出面向工程应用的性能—成本综合比选方法。依托陕西省智慧交通产业中试基地，可逐步建成集研发验证、标准验证及计量认证于一体的技术服务平台，形成陕西省交通行业统一的检测认证能力体系，推动智慧交通技术成果转化与推广应用。

八、其它需要说明的问题

无

九、申请单位意见


单位负责人：(签字) 
年 月 日

十、附相关证明材料

获奖证书：陕西省企业“三新三小”创新竞赛一等奖，完成单位：陕西高速公路工程试验检测有限公司，成果名称：公路结构群智慧监测系统



发明专利：一种基于通导遥技术的防灾应急通信指挥管理系统（ZL 202510246421.0）

证书号第8024077号



专利公告信息

发明专利证书

发 明 名 称：一种基于通导遥技术的防灾应急通信指挥管理系统

专 利 权 人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

地 址：710086 陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路57号

发 明 人：邵永军;刘波;张鑫;尉青青;张国宏;冯辰阳

专 利 号：ZL 2025 1 0246421.0 授权公告号：CN 119741180 B

专 利 申 请 日：2025年03月04日 授权公告日：2025年06月24日

申请日时申请人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

申请日时发明人：邵永军;刘波;张鑫;尉青青;张国宏;冯辰阳

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



发明专利：一种高速公路数字孪生体动态构建方法
(ZL202510208921.5)

证书号第7928044号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种高速公路数字孪生体动态构建方法

专利权人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

地址：710086 陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路57号

发明人：杨超;徐达;刘亚红;邵永军;张国宏;刘卫刚;万成刚

专利号：ZL 2025 1 0208921.5

授权公告号：CN 119694138 B

专利申请日：2025年02月25日

授权公告日：2025年05月09日

申请日时申请人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

申请日时发明人：杨超;徐达;刘亚红;邵永军;张国宏;刘卫刚;万成刚

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



发明专利：一种隧道变形监测装置（ZL202510471271.3）

证书号第8003057号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种隧道变形监测装置

专利权人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

地址：710000 陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路57号

发明人：杨超;沈亚斌;徐达;刘亚红;刘赓;赵亚伟;何江波;邹修明

专利号：ZL 2025 1 0471271.3

授权公告号：CN 119984166 B

专利申请日：2025年04月15日

授权公告日：2025年06月13日

申请日时申请人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

申请日时发明人：杨超;沈亚斌;徐达;刘亚红;刘赓;赵亚伟;何江波;邹修明

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



发明专利：一种基于激光技术的隧道变形监测装置
(ZL202510473244.X)

证书号第8016210号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种基于激光技术的隧道变形监测装置

专利权人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

地址：710000 陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路57号

发明人：杨超;赵亚伟;刘赓;徐达;刘亚红;何江波;沈亚斌;邹修明

专利号：ZL 2025 1 0473244.X

授权公告号：CN 119984084 B

专利申请日：2025年04月16日

授权公告日：2025年06月20日

申请日时申请人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

申请日时发明人：杨超;赵亚伟;刘赓;徐达;刘亚红;何江波;沈亚斌;邹修明

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



发明专利：一种公路桥梁接缝处振动与变形情况监测设备（ZL202411884501.0）

证书号第7806567号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种公路桥梁接缝处振动与变形情况监测设备

专利权人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

地址：710000 陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路57号

发明人：杨超;刘亚红;徐达;何江波;沈亚斌;刘赓

专利号：ZL 2024 1 1884501.0

授权公告号：CN 119334421 B

专利申请日：2024年12月20日

授权公告日：2025年03月18日

申请时申请人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

申请时发明人：杨超;刘亚红;徐达;何江波;沈亚斌;刘赓

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



第1页(共1页)



发明专利：一种高速公路空地一体化智慧巡检巡查系统（ZL202510528835.2）

证书号第8198970号




专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种高速公路空地一体化智慧巡检巡查系统

专利权人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

地址：710086 陕西省西安市沣东新城建章路街办丰产路57号

发明人：王国君;张国宏;李安琦;王欣笛;邵永军;李斌;张全兵

专利号：ZL 2025 1 0528835.2 授权公告号：CN 120070138 B

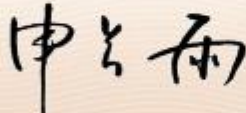
专利申请日：2025年04月25日 授权公告日：2025年08月26日

申请日时申请人：陕西高速公路工程试验检测有限公司

申请日时发明人：王国君;张国宏;李安琦;王欣笛;邵永军;李斌;张全兵

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

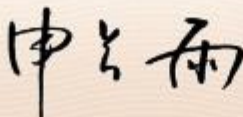



2025年08月26日

第 1 页 (共 1 页)



发明专利：鱼眼图像校正方法、装置及其存储介质
(ZL201811392245.8)

证书号第5995719号		
发明专利证书		
发明名称：鱼眼图像校正方法、装置及其存储介质		
发明人：王小雄;邵永军;任晓辉;刘波		
专利号：ZL 2018 1 1392245.8		
专利申请日：2018年11月21日		
专利权人：陕西高速公路工程试验检测有限公司 陕西高速星展科技有限公司		
地址：710021 陕西省西安市未央区六村堡丰产路57号		
授权公告日：2023年05月26日	授权公告号：CN 109544458 B	
国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。		
专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。		
		
局长 申长雨		
第1页(共2页)		
其他事项参见续页		

发明专利：一种道路技术状况处理方法（ZL202111626826.5）

证书号第5598156号



发明专利证书

发明名称：一种道路技术状况处理方法

发明人：董是；王建伟；袁长伟；黄泽滨；毕洁夫；张庆；刘子铭；徐琢

专利号：ZL 2021 1 1626826.5

专利申请日：2021年12月28日

专利权人：长安大学

地址：710064 陕西省西安市雁塔区南二环路中段

授权公告日：2022年11月22日

授权公告号：CN 114282298 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



第1页(共2页)

其他事项参见续页

发明专利：一种用于沥青路面监控模块的布置方法
(ZL202211205189.9)

证书号第6228647号



发明专利证书

发 明 名 称：一种用于沥青路面监控模块的布置方法

发 明 人：汪海年;张琛;杨旭;惠冰;刘胜兰;王惠敏;董是

专 利 号：ZL 2022 1 1205189.9

专 利 申 请 日：2022年09月29日

专 利 权 人：长安大学

地 址：710000 陕西省西安市雁塔区南二环路中段

授权公告日：2023年08月11日

授权公告号：CN 115418994 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



软件著作权：统一数据接入管理平台 V1.0（2024SR0206936）

中华人民共和国国家版权局	
计算机软件著作权登记证书	
证书号： 软著登字第12610809号	
软件名称：	统一数据接入管理平台 [简称：数据中台] V1.0
著作权人：	陕西高速公路工程试验检测有限公司
开发完成日期：	2023年12月04日
首次发表日期：	未发表
权利取得方式：	原始取得
权利范围：	全部权利
登记号：	2024SR0206936
根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。	
	
	2024年01月31日

软件著作权：区域级公路长大桥梁结构健康监测平台 V1.0
(2025SR0342715)

	
证书号： 软著登字第14998913号	
软 件 名 称：	区域级公路长大桥梁结构健康监测平台 V1.0
著 作 权 人：	陕西高速公路工程试验检测有限公司
权利取得方式： 原始取得	
权 利 范 围：	全部权利
登 记 号：	2025SR0342715
根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的 规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。	
	
	
2025年02月27日	

面向智慧公路的多源感知设备质量 评测与检定技术研究 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“面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究”（项目编号：25-67K）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，研究目标较为明确，技术路线可行。

二、项目研究人员组成合理，前期研究基础比较扎实，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.结合项目名称，完善研究内容，增加现场验证；

2.制定适用于智慧公路多源感知设备的质量评测与检定技术规程。

主任委员：

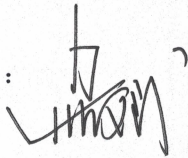
2026年3月11日

专家审查意见表

项目名称	面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究				
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. 智慧公路作为未来交通的重要组成部分，其建设和运营依赖于高效、可靠的多源感知设备。为确保这些设备在实际应用中的稳定性和准确性，开展全面、系统的质量评测与检定技术研究显得尤为重要。
2. 研究内容应包括多源感知设备性能评测标准、数据融合与校准技术、环境适应性评测、故障诊断与预测。
3. 通过文献调研与现状分析，构建多源感知设备性能评测与检定的理论模型；设计全面的实验方案，包括实验室测试和实地测试，以验证理论模型的可行性和有效性；对实验数据进行深入分析，优化算法参数，提高评测和检定结果的准确性和效率；开发一套实用的多源感知设备质量评测与检定系统，并进行实际应用的验证和反馈。
4. 制定一套适用于智慧公路的多源感知设备性能评测与检定技术规范，为行业标准的制定提供参考。
5. 开发一套多源感知设备质量评测与检定软件系统，具备数据采集、处理、分析和报告生成等功能，可广泛应用于实际工程中。

评审专家（签字）：

2026年3月11日

专家审查意见表

项目名称	面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究				
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

1、p26“将公路感知设备划分为三类：埋入式结构感知设备、路侧交通感知设备以及环境与气象监测设备。”结合前文三类不在一个层面上请斟酌分类是否合理，

2、个别表述有点杂乱（p2 至 p10），需梳理、斟酌完善；个别引用数据需核查如 P9 “2024 年陕西省数字经济总量超过 1 万亿，数字交通总量超过 2 百亿。从行业需求来讲，2023 年我国智慧交通市场规模已突破 2300 亿元。”

评审专家（签字）：封捍东

2026 年 3 月 8 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	面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究				
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

△ 项目研究内容全面, 研究目标基本明确, 技术路线基本可行。

△ 研究人员配备合理, 前期基础扎实, 具备开展研究工作条件。

△ 建议:

· 研究中突出原质量评测与检定的区别, 突出重点, 在对三类设备质量评测的基础上, 制定公路专用的设备制定检定规程。

· 考虑推广中编制的检定规程名称宜(国检)。

评审专家(签字):

2016 年 3 月 11 日

专家审查意见表（25-67K）

项目名称	面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究				
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

本项目围绕智慧公路多源感知设备质量评测与检定研究主线，按照设备体系构建、性能测试评价、检定标准形成开展三个方面的研究工作。公路感知设备分类与组成架构研究、典型感知设备性能测试技术及评价方法研究、公路感知设备检定体系与标准化研究等研究内容，具有一定的现实意义和创新性。

提交的研究大纲，研究内容较全面、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. 进一步强化应用场景验证工作，除公路桥梁外，还可包括高边坡、隧道等其他场景。

2. 处理好感知设备与当前的桥梁检测系统，尤其是健康监测系统的关系。

3. 做好感知设备采集数据处理结果与公路桥梁和相关设施技术状况评定标准的对接，并进行现场验证。

4. 考核指标应与感知设备自身质量指标密切相关，如：精度、敏感度、使用寿命等。

评审专家（签字）：

王松根

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	面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究 (项目编号: 25-67K)				
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) 公路感知设备分类与组成架构研究

1.优势与亮点

分类逻辑贴合工程实际和监测需求：基于“安装方式+监测目标”的分类原则，将感知设备划分为埋入式结构感知、路侧交通感知、环境与气象监测三类，精准对应桥梁结构安全、交通流感知、道路环境监测三大核心应用场景，分类依据清晰、实用价值高，解决了当前设备种类繁多、应用场景混乱的行业痛点。

参数框架聚焦核心需求：针对六类典型设备的工作原理、信号输出方式、安装要求及环境适应性展开系统分析，明确了设备关键技术参数与性能等级划分方法，为设备选型、横向比对及系统集成提供了统一依据，有效破解了不同厂商产品参数不统一、难以互联互通的问题。

接口标准化设计前瞻：构建统一的数据接口框架，兼顾了现有设备兼容性与未来技术扩展性，为多源设备数据融合、跨系统互联互通奠定了基础，符合智慧公路感知体系标准化、一体化的发展趋势。

2.优化建议

(1) 补充设备适配性分级标准：现有分类仅明确设备类型与参数，建议增加基于应用场景复杂度的适配性分级（如普通公路、智慧高速、特殊路段等不同等级的设备性能要求），细化不同场景下设备的核心参数阈值，提升分类体系对设备选型的指导精度。

(2) 强化新兴设备兼容性考量：当前智慧公路领域新兴感知设备（如雷视一体机、多模态融合传感器）应用日益广泛，建议在分类架构中预留新兴设备的接入接口，明确融合类设备的参数拆分与整合规则，提升分类体系的动态适应性。

(二) 典型感知设备性能测试技术及评价方法研究

1.优势与亮点

测试方法贴合真实服役环境：创新性构建“室内标定-现场比对-长期暴露”三位一体的综合测试

体系，突破了传统实验室测试与工程实际脱节的局限。针对不同类型设备设计差异化测试方案，如结构类传感器的结构加载试验、雷达类设备的实车交通流试验、气象类设备的极端气候模拟试验，测试场景覆盖常规工况、复杂交通工况和极端环境工况，能全面反映设备性能边界。

评价指标体系全面量化：从测量精度、时间响应能力、长期稳定性、抗环境扰动能力和数据一致性五个维度构建评价指标体系，指标选取科学、覆盖全面，且可量化、可考核，避免了传统评价方法的主观性与模糊性。同时，针对结构类传感器重点投入试验资源，体现了“重点突出、兼顾全面”的研究思路。

测试效率提升设计务实：研发配套比对校准装置与自动化数据采集系统，实现设备自动化测试、数据采集与报告生成，有效解决了传统人工测试效率低、误差大的问题，为大规模设备检测提供了技术支撑。

2.优化建议

（1）补充多设备协同工作性能测试：现有测试聚焦单设备性能，建议增加多设备协同工作场景下的性能测试，如同一监测区域内雷达与激光雷达的数据一致性、结构传感器与环境传感器的协同响应特性，为多源设备数据融合质量评估提供依据。

（2）强化测试数据的误差溯源分析：建议在测试方法中增加误差溯源机制，明确不同误差来源（如设备本身误差、安装误差、环境干扰误差）的量化分析方法，建立误差修正模型，进一步提升测试结果的准确性与可靠性。

（3）完善长期暴露试验的周期与指标：长期稳定性是感知设备的核心性能指标，建议明确不同类型设备的长期暴露试验周期（如结构类传感器不少于1年、气象类设备不少于2年），细化不同周期下的性能衰减评价指标，为设备全生命周期管理提供数据支撑。

（三）公路感知设备检定体系与标准化研究

1.优势与亮点

检定体系构建完整闭环：构建“标准化接入-自动化检定-数据追溯-动态优化”的完整检定技术体系，明确统一的数据接口格式与校准算法，解决了当前检定流程分散、方法不统一的问题。建立设备档案数据库与校准数据库，实现检定记录的全生命周期追溯，提升了检定工作的规范性与可追溯性。

自动化检定设计贴合工程需求：结合物联网技术与人工智能算法，构建设备自动化检定流程，实现设备自动部署、实时监控、数据采集、自动分析和报告生成，大幅提升检定效率，适配智慧公路大规模设备检定的实际需求。

标准落地路径清晰：编制《公路感知设备检定技术规程（建议稿）》，明确设备测试条件、检测方法、评价指标及结果判定规则，并制定地方标准申报计划，确保研究成果能够快速转化为行业标准，推动公路感知设备检定的标准化、规范化。

2.优化建议

（1）**细化检定周期动态调整机制：**建议结合设备类型、使用环境、性能衰减规律，建立动态检定周期调整机制，如极端环境下的气象设备缩短检定周期、结构类传感器根据稳定性数据动态调整校准频率，提高检定体系的经济性与合理性。

（2）**完善检定数据安全保障：**检定数据包含设备核心参数与工程敏感信息，建议在自动化检定系统中增加数据安全保障模块，明确数据加密传输、存储与访问控制规则，防范数据泄露风险。

（四）其他建议

1. **强化多源数据融合质量评价：**建议增加多源感知设备数据融合质量的评价指标与方法研究，明确数据一致性、互补性、冗余性等评价标准，建立融合数据质量的分级判定规则，为智慧公路感知系统的整体优化提供技术支撑。

2. **补充设备全生命周期成本评价：**现有研究聚焦设备性能与检定技术，建议增加设备全生命周期成本评价，涵盖设备采购成本、安装成本、检定成本、运维成本和报废成本，建立性能-成本综合评价模型，为设备选型提供更全面的决策依据。

3. **强化与现有标准的衔接：**建议系统梳理国内相关国家标准、行业标准和地方标准，明确本项目研究成果与现有标准的衔接点与差异点，避免重复研究，同时补充现有标准的缺失内容，提升技术规程的兼容性与权威性。

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）

面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究 (项目编号: 25-67K)

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
王明	副总	陕西交通职业技术学院	13709187350
王军东	正高工	陕西交控科技集团	13991816558
王军	正高工	西安长安汽车(集团)有限公司	133995936
张颖	正高	省公路局	15588602751
齐娟	正高	省公路局	13991366181
张文军	正高	陕西省公路局	17342321012
王军	正高	陕西省公路局	13609198517
马子业	教授	长安大学	18829891180
赵艳艳	副高	陕西高速检测公司	13991134061
王军	正高	陕西高速检测公司	15091850063

年 月 日

专家意见处理表

项目名称：面向智慧公路的多源感知设备质量评测与检定技术研究

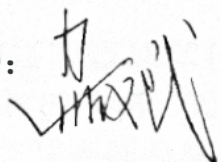
序号	专家姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应，详细说明修改情况)
1	专家组建议	1. 结合项目名称，完善研究内容，增加现场验证。 2. 制定适用于智慧公路多源感知设备的质量评测与检定技术规程。	1. 已按照项目名称对研究内容进行了进一步聚焦，突出质量评测与检定主线，压缩与主线关联度较弱的内容，并在实施方案中补充桥梁、隧道、高边坡等典型场景下的现场比对与工程应用验证内容。 2. 已将规程（建议稿）名称改为“公路感知设备质量评测与检定技术规程”，并在研究内容、目标、成果形式中明确了规程编制任务。
2	边世斌	1. 建议开发一套实用的多源感知设备质量评测与检定系统，并进行实际应用的验证和反馈。 2. 制定一套适用于智慧公路的多源感知设备性能评测与检定技术规范，为行业标准的制定提供参考。 3. 开发一套多源感知设备质量评测与检定软件系统，具备数据采集、处理、分析和报告生成等功能，可广泛应用于实际工程中。	1. 保留原有系统研发内容，并增加了工程应用验证与反馈部分，作为项目成果转化的重要环节。 2. 已将技术规程编制作为项目核心成果之一，并在研究内容中补充标准体系梳理与规程条文框架研究，增强成果对地方标准和行业规范制定的支撑作用。 3. 依托现有研究内容，主要完成典型感知设备的质量评测与检定技术研发，考虑进一步开发面向质量评测与检定的数据采集、比对分析和报告生成模块，服务工程应用验证。

3	封捍东	1. p26 “将公路感知设备划分为三类：埋入式结构感知设备、路侧交通感知设备以及环境与气象监测设备。”结合前文三类不在一个层面上，请斟酌分类是否合理。 2. 个别表述有点杂乱（p2 至 p10），需梳理、斟酌完善；个别引用数据需核查，如 p9 “2024 年陕西省数字经济总量超过 1 万亿，数字交通总量超过 200 亿。从行业需求来讲，2023 年我国智慧交通市场规模已突破 2300 亿元。”	1. 已对原分类方式进行调整，不再按安装方式与功能属性混合分类，统一按应用功能场景划分为：结构状态感知设备、交通运行感知设备、环境与气象感知设备，并将六类典型设备分别归并至上述三类，增强分类逻辑一致性。 2. 已对研究背景、现状分析等章节进行重新梳理，删除了未经充分核实的宏观数据，避免不实表述。
4	牛开民	1. 研究中突出质量评测与检定的区别，突出重点，在对六类设备质量评测的基础上，针对公路专用的设备制定检定规程。 2. 考核指标中编制的检定规程名称宜细化。	1. 已在研究内容和技术路线中进一步区分“质量评测”与“检定”的内涵：前者主要面向设备性能、环境适应性、稳定性、一致性等评价；后者主要面向量值溯源、比对校准、检定流程、检定周期及结果判定规则研究。项目将以六类典型设备质量评测为基础，重点形成适用于公路应用场景的检定技术方法和规程建议。 2. 已将规程名称细化为《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》，并在相关章节中统一修订。

5	王松根	1. 进一步强化应用场景验证工作，除公路桥梁外，还可包括高边坡、隧道等其他场景。 2. 处理好感知设备与当前的桥梁检测系统，尤其是健康监测系统的关系。 3. 做好感知设备采集数据处理结果与公路桥梁和相关设施技术状况评定标准的对接，并进行现场验证。 4. 考核指标应与感知设备自身质量指标密切相关，如：精度、敏感度、使用寿命等。	1. 已补充现场验证方案，在以在役桥梁为主要依托场景的基础上，增加隧道、高边坡等典型应用场景，提升研究成果的适用性。 2. 已在研究方案中补充“与现有健康监测系统的接口与功能边界分析”，强调本项目服务于设备质量评测与检定，不替代既有监测系统功能。 3. 已在实施方案中补充监测数据处理结果与桥梁、隧道及边坡技术状况评定要求之间的适用性分析和工程验证内容。 4. 已将技术指标进一步聚焦测量精度、响应时间、稳定性、环境适应性、敏感度、使用寿命等设备质量指标。
6	师延强	1. 建议增加多源感知设备数据融合质量的评价指标与方法研究，明确数据一致性、互补性、冗余性等评价标准，建立融合数据质量的分级判定规则，为智慧公路感知系统的整体优化提供技术支撑。 2. 现有研究聚焦设备性能与检定技术，建议增加设备全生命周期成本评价，涵盖设备采购成本、安装成本、检定成本、运维成本和报废成本，建立性能-成本综合评价模型，为设备选型提供更全面的决策依据。	1. 已在研究内容中补充数据融合质量评价相关内容，关注一致性、互补性、冗余性三类基础指标。 2. 考虑项目的总体工作量和研究主线，增加建议的“性能-成本综合比选”内容，主要服务于设备选型与工程应用决策，不单独开展完整生命周期经济评价研究。 3. 已在前期研究中补充标准体系梳理内容，作为本项目编制《公路感知设备质量评测与检定技术规程（建议稿）》的重要依据。

		3. 建议系统梳理国内相关国家标准、行业标准和地方标准，明确本项目研究成果与现有标准的衔接点与差异点，避免重复研究，同时补充现有标准的缺失内容，提升技术规程的兼容性与权威性。	
--	--	---	--

大纲评审委员会专家（签字）：



项目负责人（签字）：

