**2025年度山东省科学技术进步奖申报项目公示**

**一、项目名称**

智慧道路低成本长寿命内嵌感知装备研发与长期服役性能监测技术

**二、提名单位**

山东省交通运输厅

**三、提名意见、提名等级**

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，相关栏目均符合山东省科学技术奖励委员会办公室的填写要求。

该项目以国家重点研发计划、国家自然科学基金、山东省重点研发计划、山东省自然科学基金等为牵引，历经14年科研攻关与工程实践，以“产学研用”模式攻关，攻克了多项科技难题，研发了智慧道路低成本长寿命内嵌感知装备，形成了道路长期服役性能诊断评估与养护智能决策技术体系，解决了“内部状态不明晰、养护决策评经验”的行业难题，有效推动了道路养护智能化、精细化、主动化转型，为公路全寿命周期智慧管理提供了有力支撑。

项目成果在我国首条零碳智慧高速-济潍高速、青兰高速、济南新旧动能转换起步区黄河大道、济南东站龙脊河东路等17条道路工程进行了应用，实现了智慧道路动态监测及安全实时预警，产生经济效益1.9亿元。

该项目授权发明专利50项、实用新型26项、软著7项，发表高水平论文46篇，学术专著3部，标准7项。道路传感技术经评价达到国际领先，实现了道路主动感知关键传感单元的有效国产替代，成功应用于17条智慧道路，有力推动了道路智慧监测与智慧运维进程。

该项目已征求了王维锋（河海大学、智能交通）、王来永（交通运输部公路科学研究院、桥梁工程）、高奎刚（山东公路技师学院、交通信息化）、侯东帅（青岛理工大学、道路工程）、蒋玮（长安大学、路面工程）等5名专家意见。

提名该项目为2025年度山东省科学技术进步奖二等奖。

**四、项目简介**

智慧道路是“交通强国”“数字中国”等国家重大战略的共同指向，其中“聪明的路”作为数字交通基础设施的重要载体，承载着提升公路智能化、数字化水平的重要使命。多年来，我国高速公路总里程稳居世界第一，为中国经济发展插上了腾飞的翅膀。与此同时，随着道路服役时间的延长和交通荷载的不断增加，传统道路养护管理模式已难以满足现代化智慧交通的需求，存在道路状态感知滞后、养护决策依赖经验等问题。因此，如何通过道路内部长期监测与分析手段，实现道路服役性能的动态感知、精准预测和智能决策，已成为道路智能化、数字化水平提升的关键所在。

项目以国家重点研发计划、国家自然科学基金、山东省重点研发计划、山东省自然科学基金等为牵引，历经14年科研攻关与工程实践，突破了高端感知材料、道路内嵌传感器、路-器协同及精准诊评系列难题，有效推动了道路养护智能化、精细化、主动化转型，为公路全寿命周期智慧管理提供了有力支撑。主要创新如下:

（1）解决了道路全寿命周期精准、高效道路感知技术缺乏的难题。自主研发了长寿命、高精度机敏自感知传感材料、新型微纳层状压电感知材料和光纤光栅/分布式光纤传感装备，构建了涵盖道路交通、力学、环境等多类型、多源信息的“点式+分布式”感知元件群组，实现了道路全生命周期内嵌监测元件的低成本化与高效集成化。

（2）突破了道路内嵌感知系统布防缺乏理论指导、感知单元与道路多层结构匹配性差的难题。研发了材料-结构-布防一体化的传感器与道路协同技术，构建了“多层结构-感知单元-数据传输-诊断平台”为组成的道路内嵌感知物理架构及道路内部性态多参数关联的评价指标体系，形成了“低成本-少量化-高覆盖”的感知单元阵列和“点-线-网”多维感知技术体系，显著提升了道路感知精度和覆盖率。

（3）攻克了复杂环境下道路服役性能诊断评估精度低、养护决策凭经验的难题。发明了道路多源异构监测数据异常诊断、挖掘融合及预处理算法，提出了路面结构模量逐层反算方法和数据驱动-模型自动更新的道路服役性能动态预测评估模型，提出了考虑结构模量衰减、路面剩余寿命及路基力学状态的养护智能决策方法，构建了多源协同一体的道路性能智能监控与养护预警平台，推动了智慧道路实时感知-精准预测-养护决策的智能化进程。

项目成果在我国首条零碳智慧高速-济潍高速、青兰高速、济南新旧动能转换起步区黄河大道、济南东站龙脊河东路等17条道路工程进行了应用，实现了智慧道路动态监测及安全实时预警，产生经济效益1.9亿元。

项目授权发明专利50项、实用新型26项、软著7项，发表高水平论文46篇，学术专著3部，标准7项。道路传感技术经评价达到国际领先，实现了道路主动感知关键传感单元的有效国产替代，成功应用于17条智慧道路，有力推动了道路智慧监测与智慧运维进程。

**五、主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家  （地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 | 第一完成人是否为发明人（标准起草人） | 第一完成单位是否为权利人（标准起草单位） |
| 论文 | Encapsulation for Sensing Element and Its Application in Asphalt Road Monitoring | 欧洲 | 10.3390/COATINGS13020390 | 2023-02-08 | Coatings | 山东高速集团有限公司、山东大学 | 马川义、辛雪、张宁、汪健江、王川、梁明、张云风、姚占勇 | 有效 | 是 | 是 |
| 论文 | Effect of Curing Agent Type on Curing Reaction Kinetics of Epoxy Resin | 欧洲 | 10.3233/ATDE230384 | 2023-10-05 | Advances in Transdisciplinary Engineering | 山东高速集团有限公司、山东大学 | 王川、辛雪、张宁、焦月朋、迟朝明、王勇、梁明 | 有效 | 否 | 是 |
| 论文 | Temperature Prediction for Expressway Pavement Icing in Winter Based on XGBoost–LSTNet Variable Weight Combination Mode | 美国 | 10.1061/JTEPBS.TEENG-7670 | 2023-05-12 | Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems | 山东高速集团有限公司、长安大学、同济大学、[山东高速工程检测有限公司](https://aiqicha.baidu.com/detail/compinfo?pid=xlTM-TogKuTwikNxWCXcmCFSveG9DM*KRwmd&pd=aen&from=ps&query=%E5%B1%B1%E4%B8%9C%E9%AB%98%E9%80%9F%E5%B7%A5%E7%A8%8B%E6%A3%80%E6%B5%8B%E6%9C%89%E9%99%90%E5%85%AC%E5%8F%B8" \t "https://www.baidu.com/_blank) | 张宁、毛天一、陈浩天、吕路、王阳春、阎莹 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | MICRO TENSILE STRAIN MONITORING SENSOR AND PREPARATION METHOD THEREOF | 欧洲 | LU503175 | 2023-06-12 | 503175 | 山东高速集团有限公司、山东大学 | 张宁、梁明、张圣涛、赵蕊、迟朝明 | 有效 | 否 | 是 |
| 论文 | Optimized Design of Pavement Sensors Based on Dynamic Response Simulation of Asphalt Concrete Beam with Embedded Sensor | 美国 | 10.1520/JTE20220633 | 2023-06-22 | Journal of Testing and Evaluation | 山东大学、山东高速集团有限公司 | 苏林萍、张宁、梁明、王川、辛雪、马川义、汪健江、焦月朋、张云风、姚占勇 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种用于应变传感器的复合机敏材料及其制备方法和应用 | 中国 | ZL201910594616.9 | 2020-09-01 | 3967496 | 山东大学 | 姚占勇、辛雪、梁明、张吉哲、蒋红光 | 有效 | 是 | 否 |
| 发明专利 | 一种微小拉应变监测传感器及其制备方法 | 中国 | ZL201910507169.9 | 2020-12-18 | 4156620 | 山东大学 | 姚占勇、辛雪、张吉哲、梁明、蒋红光 | 有效 | 是 | 否 |
| 发明专利 | 一种PET基聚合物混凝土进行施工的施工工艺 | 中国 | ZL201810259420.X | 2021-02-02 | 4232005 | 山东省交通规划设计院集团有限公司（山东高速集团有限公司）、山东大学 | 毕玉峰、姚占勇、张硕、张晓萌、陶瑞 | 有效 | 是 | 否 |
| 发明专利 | 一种分布式光纤传感器的布置方法 | 中国 | ZL201910782710.7 | 2021-03-09 | 4291148 | 哈尔滨工业大学 | 董泽蛟、李环宇、隋鑫、马宪永、全蔚闻 | 有效 | 否 | 否 |
| 论文 | Mechanical Response Analysis of Asphalt Pavement Structure  with Embedded Sensor | 欧洲 | 10.3390/COATINGS12111728 | 2022-11-12 | Coatings | 山东高速基础设施建设有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司（山东高速集团有限公司）、山东大学、山东高速济潍高速公路有限公司 | 王鹏程、钟国强、辛雪、肖飞、梁明、王超、焦月朋、朱燕丽、柳尚、汪浩 | 有效 | 否 | 否 |

1. **主要完成人情况**

1、姓名：姚占勇 排名：1

行政职务：主任

技术职称：教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：作为项目核心发起人，统筹理论、技术与新材料研究，指导推广应用。对创新点1、3有突出贡献，对创新点2有主要贡献：（1）主导研发了轴载感知新型压电材料和高精度光纤光栅/分布式光纤传感装备。（2）提出并主导构建“多层结构-感知单元-数据传输-诊断平台”为功能模块的道路内嵌感知物理架构。（3）牵头提出了路面结构模量实时逐层反算方法和数据驱动-模型自动更新的道路服役性能动态预测评估模型及养护智能决策方法。

2、姓名：毕玉峰 排名：2

行政职务：院长

技术职称：研究员

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：项目主要负责人之一，主要负责技术研究，传感器应用。对创新点2有突出贡献，对创新点1有主要贡献：（1）主导研发了路用高精度、长寿命机敏自感知传感材料（2）共同突破了路用传感器服役寿命短、成本高的卡脖子难题（3）参与实现了路用传感器的国产化替代。

3、姓名：董泽蛟 排名：3

行政职务：院长

技术职称：教授

工作单位：哈尔滨工业大学

完成单位：哈尔滨工业大学

对本项目贡献：项目共同发起人，主要负责人之一，主要负责传感器研发，以及道路性能智能监控与养护决策方面的研究。对创新点1、2有突出贡献，对创新点3有主要贡献：（1）共同构建了道路内部性态多参数关联的评价指标体系。（2）主要参加构建了路用多类型内嵌感知传感集群的高耐久封装技术（3）参与构建路用多类型内嵌感知传感集群的高耐久封装技术。

4、姓名：辛雪 排名：4

行政职务：系秘书

技术职称：教授（岗）

工作单位：济南大学

完成单位：济南大学

对本项目贡献：项目共同发起人，主要负责人之一，主要负责技术研究，感知材料研发。对创新点2、3有突出贡献，对创新点1有主要贡献：（1）开发了道路服役性能精准诊断评估算法及养护智能决策技术。（2）参与推动了道路实时感知-精准预测-养护决策的智能化进程。（3）主导构建了道路多源异构监测数据异常诊断及预处理技术。

5、姓名：张宁 排名：5

行政职务：项目主管

技术职称：高级工程师

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：项目骨干，负责推广应用。对创新点3有贡献，创新点2有重大贡献：（1）联合提出了传感器优化结构设计参数和测试信息有效性评价方法（2）参与提出传感器优化结构设计参数和测试信息有效性评价方法。（3）协助构建“信息感知互交、性态感知-解译-诊断-评估”的内嵌感知功能架构体系。

6、姓名：王鹏程 排名：6

行政职务：无

技术职称：正高级工程师

工作单位：山东高速基础设施建设有限公司

完成单位：山东高速基础设施建设有限公司

对本项目贡献：：项目骨干，负责数据算法及应用推广。对创新点1有贡献，创新点2有重大贡献：（1）提供了新型道路监测传感器研发核心感知材料支撑。（2）主要参与工程现场标准轴载测试验证了传感器封装技术的可靠性（3）联合提出了传感器优化结构设计参数和测试信息有效性评价方法。

7、姓名：苏林萍 排名：7

行政职务：无

技术职称：博士后

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：项目骨干，负责感知材料研发与传感器研制、道路服役性能诊断评估。对创新点2有贡献，创新点1有重大贡献：（1）参与研发了路用高精度、长寿命聚合物基机敏自感知材料。（2）研发了用于动态轴载监测的新型压电感知材料（3）提出了基于分布式光纤重构曲率的路面病害特征感知方法。

8、姓名：蒋红光 排名：8

行政职务：山东大学合作发展部副部长

技术职称：教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：项目骨干，负责监测技术研究。对创新点1有贡献，创新点3有重大贡献：（1）参与发明道路多源异构监测数据异常诊断、挖掘及融合算法（2）完善道路多源信息长效监测、实时整合分析和智能化养护决策技术。（3）参与基于深度学习模型的监测信号去噪、监测数据异常诊断及预处理技术研究。

9、姓名：汪薪 排名：9

行政职务：无

技术职称：助理研究员

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：项目骨干，负责感知材料研发、传感器应用及监测数据处理。对创新点2有贡献，创新点3有重大贡献：（1）参与提出大数据平台下基于小波分解重构算法的数据噪声清洗技术。（2）主导实现路面功率谱密度函数图像的可视化。（3）提高了异常数据的检测精度。

10、姓名： 沈鹏 排名：10

行政职务：无

技术职称：正高级工程师

工作单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

完成单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

对本项目贡献：项目骨干，负责监测技术推广应用。对创新点3有贡献，创新点2有重大贡献：（1）参与研发基于内嵌传感单元的道路结构层力学、环境及荷载等多源信息获取技术。（2）解决了监测信息有效平面覆盖率低的难题。（3）参与智慧道路低成本、高覆盖率的内嵌感知技术研究。

**七、主要完成单位情况**

山东高速集团有限公司、山东大学、济南大学、哈尔滨工业大学、山东高速基础设施建设有限公司、中交第一公路勘察设计研究院有限公司。