

# 浙江省交通运输科技成果推广目录申报表

## 一、成果概况

成果名称	基于路网条件下结合综合成本的中小跨径桥梁健康监测系统关键技术
成果类型	<input checked="" type="checkbox"/> 技术 <input type="checkbox"/> 工艺 <input type="checkbox"/> 材料 <input type="checkbox"/> 装备
专业领域	桥梁工程
申报单位	浙江省交通运输科学研究院
联系人及电话	李晓娅, 15990006084
推广应用起止时间	2022年1月~2023年12月
申报单位意见	<p>我单位申请将上述成果列入《浙江省交通运输科技成果推广目录》，并承诺所有关于申请单位与成果的文件、证明、陈述均真实、准确。如有违背，我单位将承担由此产生的一切后果。</p> <p>申报单位法人代表签字： 申报单位公章： 年 月 日</p>
主管部门推荐意见	<p>市级交通运输主管部门或厅属单位或省级有关单位意见</p> <p>公 章： 年 月 日</p>

## 二、成果简介（可另附页）

成果简介

为推广桥梁健康监测系统在中小跨径公路桥梁群中的应用，依托2019年浙江省交通运输厅项目——《基于路网条件下结合综合成本的中小跨径桥梁健康监测系统关键技术研究》（2019050）的研究，在资料收集、理论分析、试验研究与工程验证相结合等研究基础上，形成本成果：基于路网条件下结合综合成本的中小跨径桥梁健康监测系统关键技术。

### 一、主要成果

（1）本成果综合考虑路网桥梁群监测成本、桥梁重要性、桥梁安全性、交通流量等多种影响因素，提出一种新型的基于C-NSGA-II-TS多目标优化的路网桥梁群监测节点分析方法，为路网级桥梁群桥梁监测节点选择提供科学可靠的依据。

（2）本成果基于区域路网桥梁群监测数据通行时间、通行流量、响应极值，形成中小桥梁群三级预警响应机制，为中小桥梁健康监测监测内容、测点布置、监测方法、预警阈值设置、分级响应等提供依据。

### 二、关键技术

1、一种新型的基于C-NSGA-II-TS多目标优化的路网桥梁群监测节点分析方法

本成果从网络级约束指标和项目级评价指标两大层面，综合考虑路网桥梁群监测成本、桥梁重要性、桥梁安全性、交通流量等多种影响因素，建立路网桥梁群关键监测节点分析的多目标优化矩阵数学模型，在NSGA II进化算法基础上，将约束阈值通过约束方程引入进目标函数中，利用禁忌搜索方法改进算法克服解的冗余性，形成了基于C-NSGA-II-TS多目标优化的路网桥梁群监测节点分析方法。

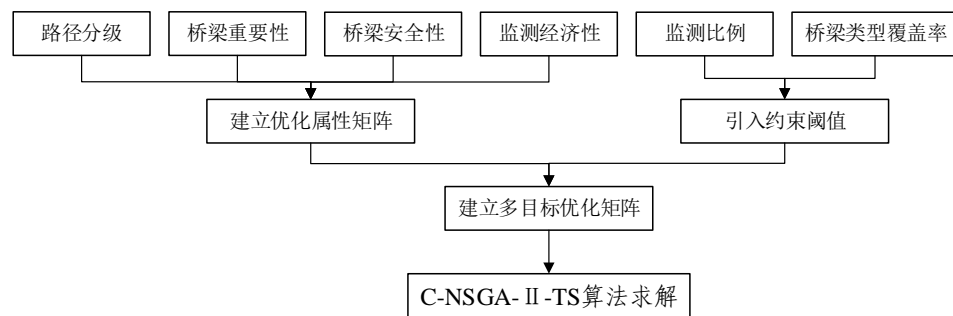


图1 路网桥梁群监测节点分析流程

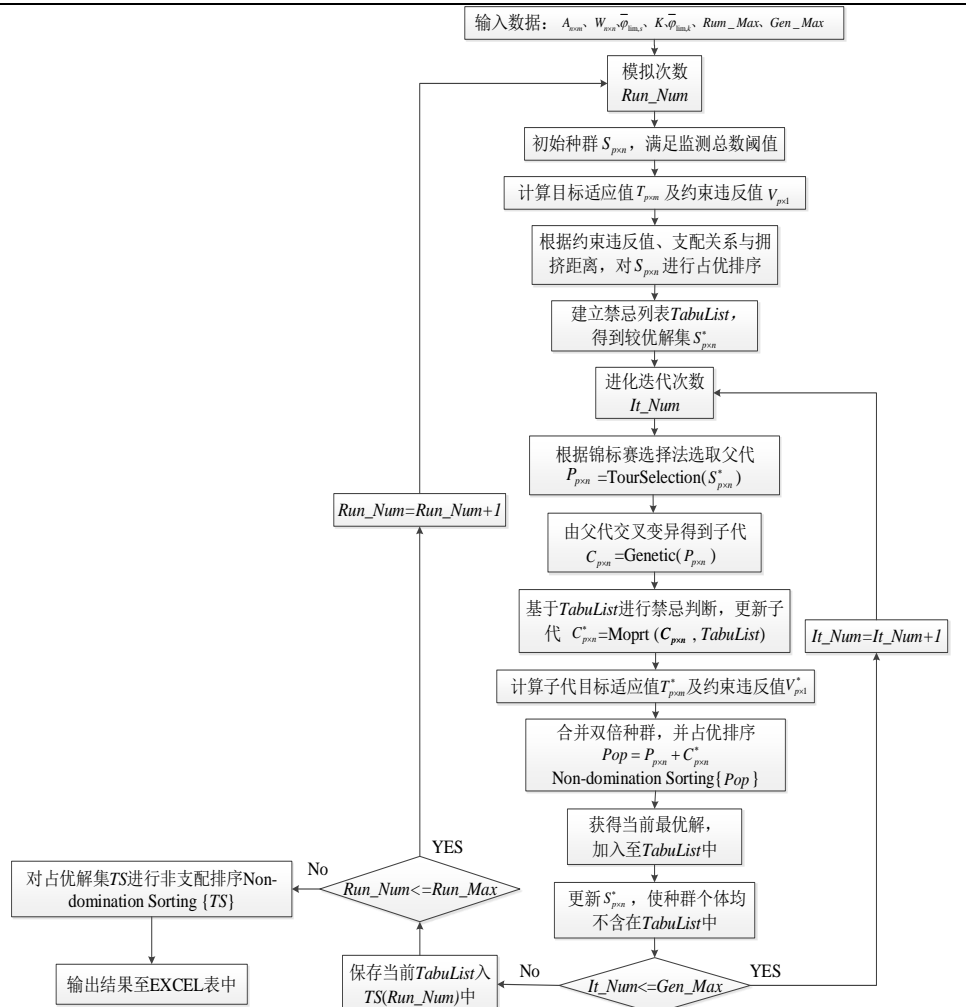


图 2 C-NSGA-II-TS 算法求解流程图

## 2、中小跨径桥梁安全运营预警响应机制

本成果基于中小跨径桥梁结构响应及病害特点确定了中小跨径桥梁监测指标, 根据中小跨径桥梁受力特点确定了三级预警固定和动态阈值计算方法, 并结合管养需求制定了符合区域路网中小跨径桥梁群五种结构状态预警机制和响应机制, 含重载车辆识别抓拍策略。

表 1 桥梁预警状态

序号	预警指标	预警状态	预警值	预警标准
1	主梁挠度	正常状态	/	/
2		三级预警状态	三级动态阈值	重车预警挠度响应 95% 统计值
3		二级预警状态	二级固定阈值	0.8 倍正常使用极限状态作用频遇组合计算值
4		一级预警状态	一级固定阈值	正常使用极限状态作用频遇组合计算值
5		重载车预警状态	重载车固定阈值	某一标准重车荷载作用下计算或实测的挠度值

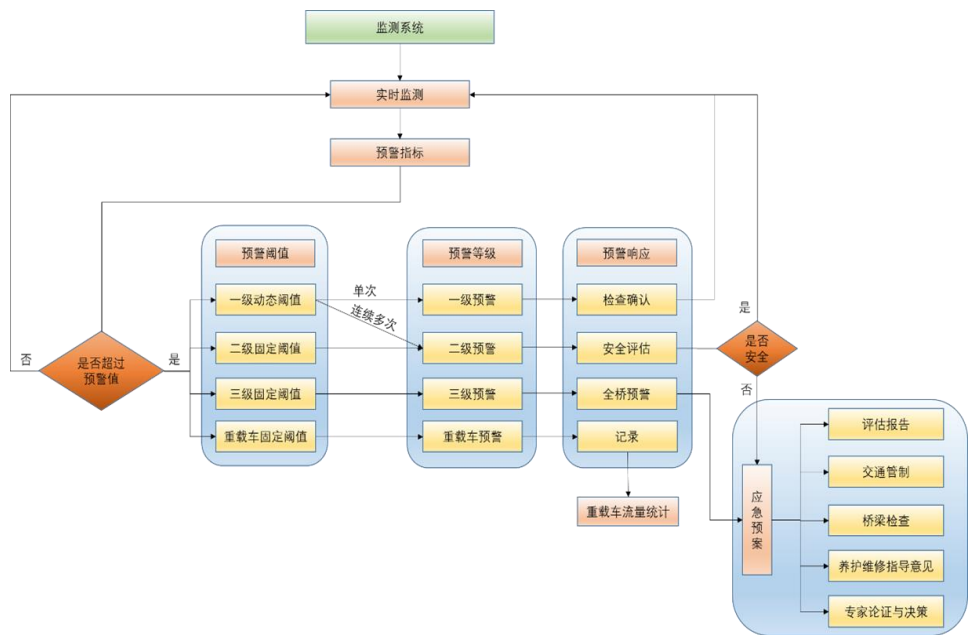


图 3 桥梁预警响应总体框架

### 3、中小跨径桥梁无线激光位移监测设备

本成果基于中小跨径桥梁受力特点，明确了中小跨径桥梁监测设备参数需求，并研发了相应的无线激光位移监测设备。该监测设备具有硬件成本低、施工成本低、后期维护成本低等特点，采样频率和采样精度均能很好地满足中小跨径桥梁动态挠度采集需求。

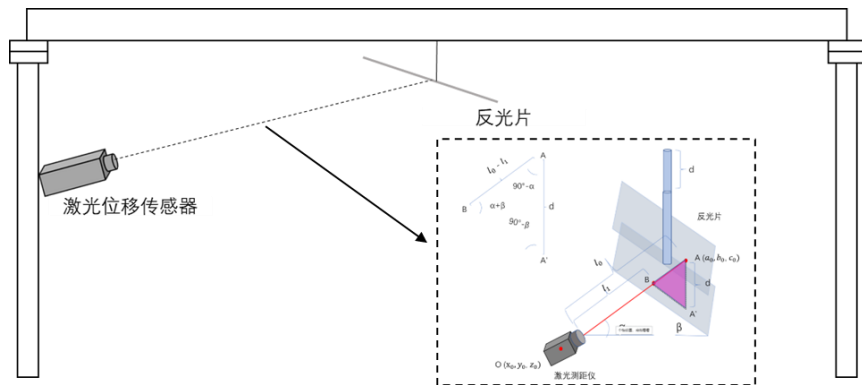


图 4 激光位移测量示意图

表 2 激光监测设备基本性能参数表

项目	精度 (mm)	分辨率 (mm)	量程 (mm)	防护等级	采样频率 (Hz)
参数	±0.2	0.1	±30	IP67	10

表 3 中小桥位移监测方案综合成本对比

传感器类型	硬件成本	施工成本	后期维护成本	适用桥型	结果应用性
静力水准仪	低	中	中	各类型桥梁	中
倾角仪	中	中	低	大中型桥梁	高
卫星定位系统	高	高	高	特大型桥梁	高
光电成像法	高	中	低	各类型桥梁	高
激光位移传感器 (本课题研发)	低	低	低	中小型桥梁	高

### 三、技术特点

桥梁健康监测系统通过实时监测结构的整体行为,对结构的损伤位置和程度进行诊断评估,相比于传统人工检测,具有实时监测、主动预警等特点,可为桥梁主动养护和加固提供科学依据,保障桥梁安全,延长桥梁使用寿命。本成果针对区域中小桥梁群所研发,除具有上述技术特点外,还具有以下主要技术特点:

(1) 本成果提出基于 C-NSGA-II-TS 多目标优化的路网桥梁群监测节点分析方法,技术先进,经济合理,统筹性强,可用于固定成本下区域路网中小跨径桥梁关键监测节点的筛选;

(2) 本成果形成中小跨径桥梁安全运营预警响应机制,预警级别划分合理,预警敏感度高,响应机制急缓分明措施合理,重车抓拍策略有效,可为中小跨径桥梁预警响应评估提供依据。

(3) 本成果研发的中小跨径桥梁无线激光位移监测设备,精度高、频率高,可满足中小跨径桥梁挠度活载响应监测的需求,且其配套设备在数据传输可靠性、使用寿命、防护等级等方面均能满足现场桥梁健康监测的需求;

### 四、适用性分析

(1) 本成果基于 C-NSGA-II-TS 多目标优化的路网桥梁群监测节点分析方法,主要适用于区域路网中小跨径(单孔跨径 5—40m)桥梁群关键监测节点的筛选,桥梁类型主要包括梁桥、拱桥,本成果以公路桥梁群为对象取得,但成果可同样推广至城市桥梁群的健康监测。

(2) 本成果中小跨径桥梁安全运营预警响应机制,适用于单孔跨径 5—40m 的中小跨径桥梁的健康监测系统建设。

(3) 本成果研发的中小跨径桥梁无线激光位移监测设备,适用于中小跨径桥梁健康监测的挠度监测,可适用于时速 120km/h 车辆通过中小跨径桥梁动挠度采集,也可用于同类型桥梁荷载试验等变形测量。

专利

无

软件著作权	登记号：2020SR0575351， 发表日期：2020年6月5日， 权利取得方式：原始取得， 权力范围：全部权利， 简介：中小跨径桥梁健康监测系统。
标准规范	无
其它已取得的成果	基于本项目研究，发表论文3篇： 1. 《Research on evaluation method of monitoring importance for medium- small span bridge group in regional road network》 2. 《路网桥梁群监测优先级评价模型与算法设计》 3. 《Construction monitoring and load test for a 3×35m continuous steel-concrete composite girder bridge》

### 三、有关指标（可另附页）

技术指标	<p>1.本成果基于C-NSGA-II-TS多目标优化的路网桥梁群监测节点分析方法，可用于区域路网中小跨径（单孔跨径5—40m）桥梁群关键监测节点的筛选，桥梁类型主要包括梁桥、拱桥，成果可推广于城市桥梁群的健康监测。</p> <p>2.本成果中小跨径桥梁安全运营预警响应机制，适用于单孔跨径5—40m的中小跨径桥梁的健康监测系统建设。</p> <p>3.本成果研发的中小跨径桥梁无线激光位移监测设备，适用于中小跨径桥梁健康监测的挠度监测，可适用于时速120km/h车辆通过中小跨径桥梁动挠度采集，也可用于同类型桥梁荷载试验等变形测量。</p> <p>4.本成果包含了中小跨径桥梁群监测桥梁节点的选择、监测内容的确定、测点的布置、监测方法的选择、预警阈值设置、响应机制的制定等一套完整的健康监测系统内容，具有较强的应用性，推广前景好。</p>
经济指标	<p>本项目通过优化路网桥梁群健康监测策略、研发智能传感监测系统和云服务系统的开发，有效降低桥梁运营管理成本，提高管养资金的使用效率，仅单桥监测系统成本较静力水准仪法便宜3万左右，这将带来直接的经济效益。同时，桥梁真实的服役状态得到最大程度的体现，有利于桥梁管理部门制定维护策略，并促进了桥梁管养信息化、智能化的提升，为保障桥梁长期服役性能和公共出行安全带来间接的经济效益。因此，项目研究成果具有显著的社会经济效益。</p>

<p>可采取的推广应用措施</p>	<p>1、组织业主、设计、施工等相关单位至已完成的工程项目进行实地考察，充分了解本成果的优势；</p> <p>2、将现有研究成果进一步提升，进一步标准化，尽早提炼成为指南类指导性文件，使路网中小跨径桥梁群健康监测系统建设有依据、有参考；</p> <p>3、利用本单位在交通领域的研发优势，选择合适的工程进一步推广本成果的应用，并在此基础上进一步研究。</p>
<p>申报单位及其推广能力简介</p>	<p>1. 浙江省交通运输科学研究院创始于1979年，省属科研院所，浙江省交通运输厅下属公益二类事业单位。2016年3月，启用浙江现代交通运输科技创新基地。2018年7月，省交通运输厅党组实施交科院融合提升重大决策部署，整合浙江公路水运工程咨询公司等行业科创资源，打造全省交通科技创新主力军和主平台。2021年，科研、经营板块，以“一体两翼、双轮驱动”发展宗旨深度融合，在战略规划政策、智慧交通（人工智能）创新研究、通用航空发展、轨道交通发展、公路水运技术创新研究、运输与绿色安全发展研究、工程技术审查评估、产业发展与成果转化等领域开展科研与技术服务；在公路水运工程咨询管理（全过程咨询，规划研究、勘察设计、咨询评估、招标代理、建设管理、施工监理）、高速公路智能收费管理及拓展业务、信息化（开发、运营、维护、应用）、工程检测、港航经济、物业管理、电子口岸开展经营业务。</p> <p>截至2021年10月，交科院共有在职员工1700余人，其中高级职称370多名（含正高55名），拥有部省级专家60名，浙江省151人才3名，交通运输部科技英才3名，加盟院士首席科学家3名、领军人才6名、中国公路学会百优工程师4人。科研板块下设6所2中心，经营板块下设12个公司。形成交通战略与政策研究、智能交通、人工智能、桥梁健康监测技术研发等特色科研团队，工程试验检测、安全评估等技术服务在行业内享有盛誉。</p> <p>本院拥有交通运输部“新一代人工智能技术交通运输行业研发中心”、浙江省道桥检测与养护技术研究重点实验室等科研平台10个，是浙江交通科技资源集聚地和浙江交通科技成果转化、应用示范和培训基地。拥有工程咨询甲级（公路、港口河海工程）、公路工程综合检测甲级、交通建设工程监理（公路、水运工程）甲级等19项资质，省级博士后工作站1个。已初步形成交通战略与政策研究、交通信息化研发、长大桥梁安全运维关键技术研发三个特色科研团队，工程咨询、道路桥梁检测、交通建设工程监理、招标代理等10余支技术服务团队，在行业内外享有良好声誉。2015年以来，依托浙江交通系统唯一的浙江省道桥检测与养护技术研究重点实验室（实验用房3243m<sup>2</sup>，仪器设备原值超过5000万元）、历年积累的海量行业数据以及浙江省在人工智能领域的人才与技术优势，浙江交科院启动了人工智能在交通运输领域应用技术与装备研发及产业化工作，取得了巨大的成效，相关领域成果获得省部级以上科技奖项5项；在国内外核心期刊发表50余篇高水平论文，其中EI/SCI检索7篇；获得软件著作权19项。同时，依托交科院在浙江交通基础设施检测市场的龙头地位，开展相关科研成果的转化</p>

	<p>与产业化,相关技术服务产值由原来的不到 1000 万元增长到 4000 余万元。</p> <p>2.嘉善县公路与运输管理服务中心是嘉善县交通运输局下属单位,承担全县公路项目技术审查、交竣工验收、公路养护、技术审查、道路运输行业安全应急、道路客货运输、机动车维修、营运车辆综合性能检测、机动车驾培行业管理等行政辅助性工作。负责路网运行监测和服务保障、城乡公交、巡游出租车与网约车统筹发展等有关工作。承担行业发展研究,参与交通运输规划编制等有关工作。</p>
推广应用实例	<p>(详细说明应用单位信息、应用工程信息、应用规模、时间、地点、经济社会效益分析、综合评价等)</p> <p><b>推广应用实例一:</b></p> <p>1.应用单位:嘉善县公路与运输管理服务中心</p> <p>2.工程名称:嘉善县 X201 西木桥结构健康监测体系建设</p> <p>3.应用规模:3×16m 空心板梁桥</p> <p>4.时间和地点:浙江嘉兴,2021.1.1~2021.6.30</p> <p>5.经济社会效益:</p> <p>项目对嘉善县 X201 西木桥进行健康监测,共布置 4 个挠度测点,1 个温度是传感器,1 个桥面抓拍相机,为西木桥纵梁承载能力评估、铰缝损伤评估等方面提供科学依据,为桥梁当前以及后期运营管养决策提供支持,提高了桥梁管养水平,保障了桥梁运营安全,经济社会效益明显。</p> <p>6.综合评价:</p> <p>项目对三跨简支梁桥进行健康监测,通过对桥梁挠度和温湿度监测,识别桥梁重载车辆过桥,并评估桥梁安全性能,为主动发现桥梁病害提供重要依据,为管养决策提供技术支持,有利于保障桥梁运营安全,具有良好的经济社会效益。</p> <p><b>推广应用实例二:</b></p> <p>1.应用单位:嘉善县公路与运输管理服务中心</p> <p>2.工程名称:2021 年农村公路改造提升项目(第二合同段)</p> <p>3.应用规模:11 座具有代表性的关键桥梁进行健康监测</p> <p>4.时间和地点:浙江嘉兴,2021.8.15~2021.9.30</p> <p>5.经济社会效益:</p> <p>项目按照 20%的比例从桥梁群中筛选出 11 座具有代表性的关键桥梁,包括带挂梁的 T 形刚构桥、连续梁桥、简支梁桥、拱桥等,整个项目设备共计挠度仪 18 个,挠度测点 55 个,温湿度传感器 10 个,桥面抓拍相机 20 个。目前,所有桥梁设备数据均已上线,数据有效率达 95%以上。根据监测数据的分析,可有效评估桥梁结构承载力及损伤情况,掌握区域路网桥梁群整体状况,减少桥梁检测成本,能为桥梁管养部门提供决策支撑,避免桥梁损伤进一步恶化,提高桥梁服役性能,延长桥隧使用寿命,社会效益明显。</p> <p>6.综合评价:</p>



项目利用多因素分析，筛选出区域路网关键节点桥梁，通过节点桥梁健康监测不仅可以掌握节点桥梁安全状况，而且可以以较小的综合成本最大程度的掌握整个区域路网中小跨径桥梁群的状态变化，为中小跨径桥梁群的管养措施制定提供技术支持，有利于提高区域路网桥梁管理和养护水平，有利于节约中小跨径桥梁群监测成本，具有良好的社会经济效应。

### 推广应用实例三：

1.应用单位：嘉善县公路与运输管理服务中心

2.工程名称：云上嘉善【县域交通运输】【桥梁健康监测模块】

3.应用规模：9座具有代表性的关键桥梁进行健康监测

4.时间和地点：浙江嘉兴，2021.8.6~2021.12.31。

5.经济社会效益：

项目作为云上嘉善县域交通运输模块的一个子模块，按照 20%的比例从桥梁群中选择 9 座节点桥梁，共布设挠度仪 19 个，挠度测点 61 个，温湿度仪 10 个，索力传感器 16 个。可通过节点桥梁健康监测，掌握区域桥梁群整体运营状态，为桥梁管养部门提供决策支撑，避免桥梁损伤进一步恶化，提高桥梁服役性能，延长桥隧使用寿命，社会效益明显。特别是，本工程作为云上嘉善子模块，可进一步结合线路优化、嘉善南站综合治理、综合执法应急指挥、水网安全监管系统、一体化出行服务、出行信息服务等模块，利用数据共享，充分挖掘各类数据，形成各类指标和分析报告，为交通管理者提出各类决策建议，进一步带来社会效益。

6.综合评价：

项目是嘉善县数字化改革“云上嘉善”的重要模块，也是城市数字治理的重要数据来源，项目一方面可掌握区域中小桥梁群运营状态，另一方面可为城市数字化、智能化、科学化提供技术支持，如中小跨径桥梁重载车辆抓拍，可为道路治超提供参考。项目可以为中小跨径桥梁群的管养措施制定提供技术支持，不仅可以提高区域路网桥梁管理和养护水平，而且可以进一步结合其他数字化项目，提高整个城市的管理水平，从而带来明显的社会经济效应。