

中华人民共和国交通运输部

交公便字〔2025〕49号

关于公布高速公路监测预警应用示范典型案例（第二批）的函

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团交通运输厅（局、委），招商局集团、中国交通建设集团，部属各单位，各有关单位：

按照《交通运输部办公厅关于组织开展高速公路监测预警应用示范揭榜的通知》（交公路函〔2024〕1597号）总体部署，近期我局组织开展了高速公路监测预警应用示范揭榜（第二批）成果评价工作，择优汇总编制了《高速公路监测预警应用示范典型案例（第二批）》，现予以公布，供各地参考借鉴。

各地交通运输部门要结合本地实情，合理选择技术方案，加快完成监测预警设备布设工作，保障今年汛期公路运行安全。

联系人：刘源翔，010-65292718，传真：010-65292767，
邮箱：jsc@mot.gov.cn。

附件：高速公路监测预警应用示范典型案例（第二批）



附件

高速公路监测预警应用示范
典型案例
(第二批)

交通运输部公路局
2025年1月

目 录

方向一：光、电缆监测技术	1
案例 1：基于光电缆监测的公路基础设施灾毁防控技术	1
案例 2：基于光、电缆监测的高速智慧感知监测预警系统	6
案例 3：基于光电缆信号及机电设备状态监测的高速公路灾害预警技术	12
方向二：ETC 门架数据关联分析技术	18
案例 4：适用于高海拔山区放射状路网拓扑的 ETC 门架数据关联分析监测预警技术	18
案例 5：基于 ETC 门架数据关联分析技术	24
案例 6：ETC 门架关联分析技术—重大突发事件感知、告警与主动管控系统	30
案例 7：ETC 门架数据关联分析技术	36
案例 8：基于收费流水和服务区出入口流水数据的交通事件报警和交通拥堵预警技术	42
案例 9：高速公路网 ETC 门架数据融合感知与智能监测预警应用示范	48
案例 10：高速公路 ETC 门架数据关联分析技术	54
案例 11：基于复合数据的多维度路网运行风险监测预警	60
方向三：公路灾毁报警与信息服务技术	66

案例 12: 基于新一代车路通信 (ETC 2.0) 的公路灾毁信息报警和信息服务技术	66
案例 13: 基于 ETC 的信息发布技术 (“交通守望者”)	73
案例 14: “之江智联”公路灾毁报警与信息服务技术	80
案例 15: 基于 ETC 通讯模式的智能车载 OBU 事件语音播报(含《车辆运行异常感知数据分析平台》)解决方案	87
案例 16: 高速公路监测预警应用示范典型案例说明	93
案例 17: 山区公路自然灾害监测与险情预报技术及系统	99
方向四: 结构健康监测技术	104
案例 18: 低成本桥坡健康多源融合监测系统	104
案例 19: 桥梁结构轻量化健康监测技术	110
案例 20: 公路桥梁群 (光纤光栅) 轻量化结构健康监测系统	118
案例 21: 公路桥梁结构健康轻量化监测技术	124
案例 22: 公路桥梁结构健康监测技术方案	130
案例 23: 公路桥梁边坡群全覆盖、轻量化快速排查和监测预警	137
案例 24: 结构健康监测与多源数据融合分析	143
案例 25: 桥梁群轻量化健康监测技术	149
案例 26: 高速公路桥梁群轻量化监测预警技术	156
案例 27: 公路桥梁群轻量化结构监测技术	163
案例 28: 基于光栅阵列全域感知的桥群结构健康智能监测系统	171
案例 29: 结构健康监测技术	177
案例 30: 梁桥体系结构健康监测技术	183

案例 31: 基于应用场景的公路桥梁(群)轻量化结构监测成套技术与装备应用	189
案例 32: 结构健康监测技术	195
方向五: 跨界监测预警协同技术	202
案例 33: 多方联动协同告警阻拦技术	202
方向六: “一键通” 报警技术	208
案例 34: 基于融合通信的一键通达报警处置技术	208
案例 35: 高速公路监测预警信息服务	212
案例 36: “一键通” 高速公路数字化报警与协同处置应用及相关产品	218
案例 37: “一键通” 报警救援平台	224

方向一：光、电缆监测技术

案例 1：基于光电缆监测的公路基础设施灾毁防控技术

一、技术来源

技术来源单位：北京中交国通智能交通系统技术有限公司、交通运输部公路科学研究院、中路高科交通检测检验认证有限公司、广西西北投信创科技投资集团有限公司、越秀（中国）交通基建投资有限公司

联系人及方式：侯亚楠 13901292837，冠宇 13811560918，任倩 18710070621

二、技术简介

（一）技术简介

光、电缆监测系统，是由通信光缆监测设备、电信号监测设备、预警平台组成。通过在配电房、通信站部署光电信号监测设备，接入公路既有敷设的光、电缆资源，接收处理光、电信号，预警平台通过对光信号和电信号进行分析处理，识别信号异常变化，定位发现异常信号变化区段，综合电信号、光信号、机电设备状态、网络状态等信息综合判断，推断公路的结构发生损毁可能性，及时发出预警信息，联动视频监控设备、就近收费站部署的无人机进行自动巡查，核查路面实际状态，及时推送到“一键通”平台。

（二）系统功能

- (1) 光、电缆网络全线路拓扑构建
- (2) 对光信号、电信号、机电运行状态、网络运行状态、气象进行监测。
- (3) 通信光缆故障分析及告警定位
- (4) 通信传输状态劣化分析
- (5) 电力故障分析预警
- (6) GIS 自动定位
- (7) 多指标综合监测模型形成光信号异常、电信号异常综合预警。
- (8) 对各测点指标的预警值进行设置

（三）系统构成

光、电缆监测系统由通信光缆监测系统、瞬态电力数据采集单元、漏电监测单元、视频监控设备、预警分析平台组成。

表 1 光、电缆监测系统组成清单表

序号	名称	图片
1	通信光缆监测系统	
2	瞬态电力数据采集单元	
3	漏电检测单元	
4	预警分析平台	

(四) 预期效果

本揭榜方案是一个系统性、整体性、有机协同、高效衔接的方案，预期将既能确保各个技术灵活应用、稳定独立可靠运行，又能将各技术进行有机结合，有效提升塌陷、垮塌等灾害风险的监测效果。利用既有的光、电缆资源，尤其是公路沿线通信光缆全覆盖的特点，实现大范围、远距离的监测能力，降低施工难度，减少实施部署成本。

三、实施方案

(一) 应用场景

本方案技术既可针对公路全程监测场景，充分利用公路已敷设的光、电缆资源，实现长距离、大范围的场景，解决公路灾害出现位置不确定性问题；又可针对风险重点区域，在桥梁、隧道、边坡、风险路段等不同场景，进行重点区域的光缆敷设监测。

(二) 布设方案

考虑监测功能实现、设备安装部署便捷、资源利用充分、成本可控等要素，面向不同监测需求，提出布设方案。

方案一、利用既有通信光缆和电缆，实现长距离、大范围监测部署

利用既有通信光缆和电缆，实现长距离、大范围监测部署。在通信机房部署通信光缆监测系统，接入双侧通信光缆，每台设备监测双向道路光缆，双侧连续光缆 30 公里配置 1 套；在每个收费站配电房部署瞬态电力数据采集单元和漏电监测单元，监测沿线电缆，每台设备监测单向道路电缆，每个收费站配置 2 套；沿线设备配电箱部署简易电力采集设备，每个重点配电箱均部署。

方案二、重点区段新增普通光缆，实现分布式通信光缆监测

在重点区域，如边坡、桥梁、隧道等需要监测位置，根据结构特性和被测需求，敷设普通通信光缆，例如上边坡监测边坡形变，光缆以 S 形敷设。敷设的光缆一侧接入通信光缆监测系统，系统单路可覆盖 100km 光缆的监测范围。

(三) 施工方案

在选定的监测节点位置，将光缆监测设备安装在合适的位置，连接设备与通信网络，进行通信测试，确保数据传输正常，调试监测设备参数，使其处于最佳工作状态。在低压配电房/配电站低压配电单元的输出回路上安装瞬态电力数据采集单元、漏电检测单元，设备接入到就近监控网，向平台传输电信号数据。完成所有监测节点的安装后，进行系统整体调试。从监测中心对各个节点进行远程控制和测试，检查设备的通信连接、数据采集、报警功能等是否正常。

四、应用效果

(一) 实施效果

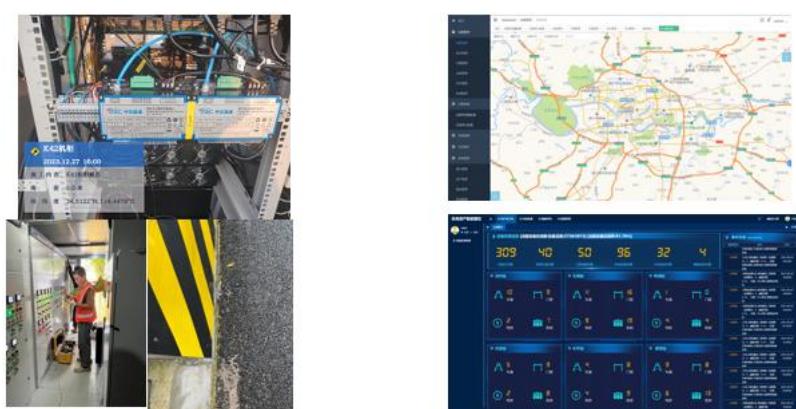


图 1 设备与平台实施效果图

本项目已经广西、广东、湖北、河南等高速公路试点应用，效果良好。施工成本低，有效增加感知能力，及时预判公路损毁能力，精准排查故障位置。

（二）示范效应

1. 经济性

本项目光、电监测技术是对既有光、电缆的直接监测，不涉及重新敷设新的传感器，施工成本大幅度降低。通信光缆监测系统可监测的光纤长度不低于 50km，单侧可覆盖通信站到通信站之间的距离 20—40km，电信号监测系统覆盖的输出回路长度取决于电缆长度。有效降低单公里光、电监测成本。本项目光、电监测系统，不仅仅可以应急情况下在公路灾毁监测方面发挥作用，在日常养护运维方面，可以监测光纤运行状态，用电状态、用电质量等，一项技术多项应用，提升系统利用率，降低使用综合成本。

2. 先进性

振幅差分信号检测，不仅仅通过 OTDR 方法可以实现通信光缆断裂、劣化等分析，还可以监测光纤振动、弯曲等，功能性提升。双通道噪声抑制，在传统单通道光纤监测的基础上，通过抑制噪声，研发双通道的光纤监测能力，在同一个监测板卡上集成两路监测通道，拓展对光纤的监测路数，增加覆盖范围。通用通信光纤作为传感器应用，通过算法优化，提升通用光纤的监测能力，在不利用分布式光纤传感器的基础上实现相关监测功能。低成本低功耗电信号波形捕捉技术，通过芯片算法优化、结构设计，利用低成本单片机方法实现电信号波形监测，拓宽该技术的应用范围。微小异常波形捕获，通过深度学习应用，利用 Transformer 架构，并结合 FFT-WT 进行预处理，实现时间序列的波形模式对比分析，能够捕获微小的波形变化，实现精准的电信号异常监测。

3. 实施便捷性

充分利用现有的公路供电回路、通信光缆，不新敷设光、电缆，减少施工。通信光缆监测系统部署在通信站通信机架或者平稳放置于台面，光纤 SC 接头接入设备，220V 电源供电，网络接入监控专网，部署简单。电信号监测设备部署在配电房或者配电箱内，电压信号线接入供电回路接头，电流信号线接电流环中，采用并联监测方式，安装部署简易。软件平台采用 B/S 架构，不需要单独安装，升级维护方便，使用方便，随时随地均可查看。施工控制、材料运送方便；采用

通用构件，无需特殊工具。

4. 技术成熟度

通信光缆监测系统是机电运维场景下对光纤监测的主要手段，进行过多次的项目工程建设与应用，可有效保证工程项目的顺利实施。电信号监测系统在机电运维场景中，对用电状态、电能质量、能耗监测等方面均有应用，在项目上已大量应用。经实际验证，准确可靠，实用性强。平台已应用在机电运维分析、异常报警等场景中，可以快速部署，安装应用。

案例2：基于光、电缆监测的高速智慧感知监测预警系统

一、技术来源

技术来源单位：江西省交投数智科技有限公司、江西省交通投资集团有限责任公司路网运营管理公司、江西省交通投资集团有限责任公司南昌东管理中心、江西交投驿智信息科技有限公司、智地感知（合肥）科技有限公司、江西遥畅智感空间技术有限公司、合肥微尺度物质科学国家研究中心

联系人及方式：匡思鹏 18756594873；范文林 13632705429

二、技术简介

（一）技术原理

根据外界影响因素的不同，通信光缆的结构健康状态可以通过损耗、温度、应变以及振动等参量来进行表征。通信光缆中的光纤出现折断、弯曲过度、接头松动时都会产生明显的损耗，可以通过监测光纤的损耗进行预警。除了直接监测温度，温变还会导致光缆材料的膨胀或收缩，从而可以同步通过应变参量间接监测光缆的温变。通信光缆被过度弯曲或拉伸将导致光纤中心的偏移或断裂，利用这一特性可以监测光纤的应变。当通信光缆附近发生事件或产生自然灾害时，事件产生的振动波会向附近的岩土结构、光缆管道中扩散。振动波在带动岩土结构、光缆管壁振动的同时也将振动信号传递给附近的光缆，引起光缆中光纤的同步振动，进而导致光纤发生微形变，引起其局部折射率的变化，这一特性可用于监测光纤的振动状态。分布式光纤振动传感监测技术利用光纤传输过程中监测光通信、光损、光传输指标，实时在线分析光缆的运行情况，具备光纤感温传感，对电力光缆温度监测，分析电缆运行状况，防止电缆过热导致电缆故障等能力。

（二）技术介绍

江西省交投数智科技有限公司等单位针对高速公路光缆、电缆运行监测，公路灾害预防，道路路况监测等场景研发了高速智慧感知监测预警系统。采用分布式光纤声波/振动传感（DAS）技术，具有分布式、集成度高、远距离传输、抗干扰性强、分辨率高等特性，通过高速公路现有的通信光缆，对高速公路通信光缆的光纤通信状态、传输、损耗等实时监测，对电缆实时运行情况、温度进行监测，以此分析光、电缆运行情况。利用光缆对外部振动传感分析，对高速路面发

生缓行、停车、碰撞等事件感知。建立灾害 AI 模型分析库，对高速路面塌陷、泥石流冲断、山体落石等实时预警。同时联动路面监控及无人机查看现场实时画面并拍摄照片上传至平台，管理人员可以通过后台信息研判并进行指挥调度。

(三) 系统功能

高速公路智慧感知监测预警平台实时监测光、电缆的运行情况，对道路状况实时分析，实现灾害事件预警通知，联动监控及无人机拍照回传，指挥调度等功能。具体如下：

1. 通信光缆实时监测

实时监测通信光缆正常运行公里数、光通信状态、光损值等。在地图上对管理光缆的各个收费站进行标记，使光缆实际距离与地图坐标对应。

2. 电缆实时监测

实时监测电缆各点位运行温度。

3. 道路路况监测

地图实时展示道路拥堵状况，实时分析道路正常、缓行、拥堵状态。针对道路发生急停、碰撞等事件进行快速定位及通知。

4. 预警事件

实时监测并分析公路灾害、光电缆中断、交通事故等预警事件，发生预警第一时间实时定位并通知。

5. 道路路基地质成像

定期分析道路地下地质情况，根据地下 50m 的横波速度形成地下结构横波波速成像，分析特殊路段的地下空洞、地下富水区域，推送地下异常状况事件通知并定位。

(四) 预期效果

通过高速公路智慧感知监测预警系统，实时监测光电缆运行状态，保障光电缆正常运行，提升公路的巡检效率。有效感知和发现道路上车辆和路面的各类异常状况，提升道路管理智能化水平。有效预警预防公路灾害事件，快速通知，减少灾害事件引发的二次事件发生。

三、实施方案

(一) 应用场景

高速公路智慧感知监测系统利用公路现有光缆可对光、电缆的运行状态进行维护管理。通过光缆对外部振动传感的特性，对光缆振动进行传感监测，应用于高速公路路况分析；针对特殊路段如山体、河流附近公路，实时分析地下空洞、地下富水区域等隐患及地下灾害事件；同时对公路灾害包括泥石流、落石、塌陷等事件进行预警。

（二）实施内容

系统分为三个部分搭建，分别前端感知网建设、数据分析、监测系统。通过对光纤的接入，在机房部署 DAS、DTS 设备，实时采集光纤传感监测数据，建立数据 AI 分析模型，实时展示光电缆状况，道路路况及灾害事件。



1. 前端感知网汇入建设

机房部署 DAS、DTS 设备，接入瑶北试验段全线 16KM 道路的光纤，采集高速公路通信光缆的各类信号，24 小时全天候在 NAS 中进行数据存储。



瑶北机房设备安装



瑶北机房设备调试

2. 专有网络隔离搭建

为高速安全监测系统平台部署高速专网区域。部署前端感知设备，构建高速公路前端物联感知网。前端物联感知与通信系统在线监测平台实现逻辑隔离。



网络部署-布线



网络部署-光纤跳线

3. 智慧感知监测预警系统搭建

基于 web 端开发的高速安全监测系统搭建, 实现包括实时监测预警及联动处置等功能。能够便捷调取监测路段的基本信息, 及时发现运行状态异常, 生成预警信息并进行处置。



四、应用效果

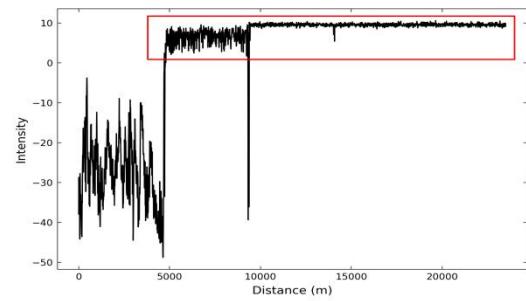
(一) 实施效果

在南昌绕城高速瑶北试验段运行以来, 系统展示了良好的运行状态。对瑶北收费站至杨家湖收费站的高速光、电缆运行故障监测, 能在 1 分钟内确定高速路面事件位置和事件类型, 时间比交警记录早 5~8 分钟。系统实现效果如下:

- 具备光缆的使用率、光通信状态、光纤运行公里数、光缆异常及定位监测以及电缆过热预警等能力。



光电缆异常中断报警

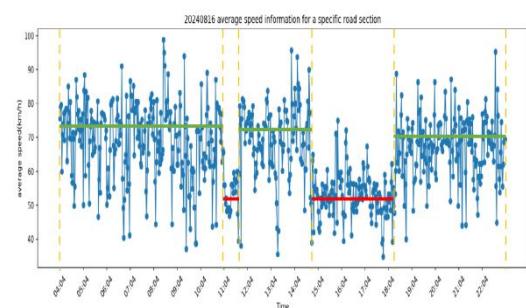


后台光电缆中断数据信号

2. 实时监测高速交通状况，对道路通行状况进行实时监测，用不同色标表示不同的交通状况，并对突发的交通状况进行报警。



异常交通状况报警

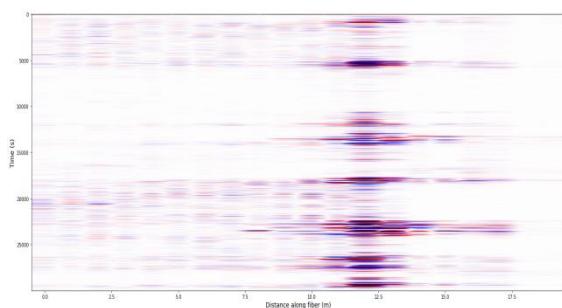


异常交通状况后台监测数据

3. 实现对突发道路灾害报警能力，能够在道路塌陷、桥梁垮塌、桥梁塌方、地震后的第一时间定位并报警。

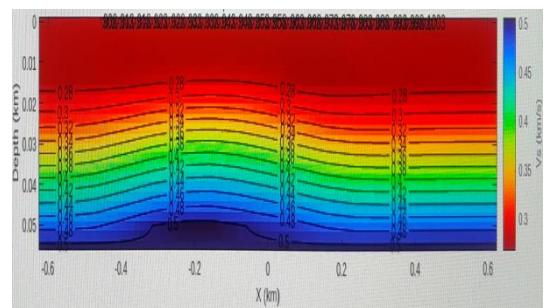


突发道路灾害报警



突发道路灾害后台监测数据

4. 利用既有海量 DSA 数据，形成道路地下结构成像分析图，快速高效定位高速道路地下 50m 内存在空洞区域，避免道路坍塌风险。



道路成像位置

道路成像结果（均匀地质）

（二）示范效应

基于分布式光纤振动传感技术，利用高速公路既有通信光纤实现高速公路光电缆运行状态监测、地下道路成像、交通状况监测、异常交通事件监测、公路自然灾害等目标。具有高灵敏、快部署、低成本、轻运维等优势；同时，可打造高速公路标准化智慧感知监测预警系统，形成国家公路行业标准规范体系，加强感知监测预警，提升公路防灾减灾能力。

高速公路智慧感知监测预警分析系统旨在实现“全路网感知、全方位服务、全天候通行、全过程管控、全数字运营”，通过实时路网事件监测预警，提升公众的出行体验和高速公路的整体安全保障；随着人民生活水平的提高，对高速公路通行效率和服务质量要求越来越高，高速公路智慧感知监测预警分析系统通过不断丰富的事件监测数据分析和AI学习，推动高速交通路、警协同流程优化，缩短事故发生后的处置时间，减少生命和财产损失，提升高速交通安全快速通行和运营管理效率；优化事件处置流程，以分布式光纤声波振动监测技术为基础，连同AI+大数据分析技术。在自然灾害发现、地震发生时的地质环境进行学习，实现事故、灾害、地质预警等高速公路异常感知的发现、通知、处置全流程闭环管理。结合高速交警，实现路、警协同，提升安全管理效能，降低各类事件对高速交通的影响；形成高精地质图像，覆盖对高速沿线地质成像，定期预测分析地质事件（包括断层、地下空洞、地下软土层等），实现清晰和精准的地下结构图像，对地质构造进行监测。

案例3：基于光电缆信号及机电设备状态监测的高速公路灾害预警技术

一、技术来源

技术来源单位：华设设计集团股份有限公司、江苏宁沪高速公路股份有限公司

联系人及方式：朱保坤，13626104271

二、技术简介

（一）总体框架

本方案形成“1+2+N”技术框架，即1个数据中台，2类信息获取设备，N项信息发布通道。建立1个公路灾害监测预警平台，2类信息获取设备分别是基于既有光缆的监测设备和基于电缆的监测设备，拓展多种报警信息获取和发布渠道，形成报警闭环。

（二）技术内容

①基于OTDR技术的光纤故障检测

利用公路沿线既有光缆的“暗光纤”，采用OTDR技术测试光纤的衰减系数、光纤长度、衰减均匀性、点不连续性、物理缺陷和接头损耗等参数，实现光缆故障的识别与定位。

②基于分布式声波传感技术（DAS）的潜在地质隐患探查

利用公路沿线既有光缆的“暗光纤”，通过分布式声波传感技术（DAS）采集公路周边各类环境震动，采用背景噪声成像技术对通信光缆下方的浅层速度结构进行成像，实现对高速公路沿线地下隐伏地质灾害的及时探查和定位。

③基于分布式声波传感技术（DAS）的边坡滚石与施工振动事件的识别和定位

利用公路沿线既有光缆的“暗光纤”，通过分布式声波传感技术（DAS）收集外部振动信号，分析并识别施工事件（比如：机械挖掘、违规施工等）与地点，及时感知公路及沿线设施的施工影响与破坏。

④基于既有电缆的高速公路灾害监测预警

结合示范路段可能存在的地基损毁、结构空鼓、道路滑坡等情况，在收费站

配电房和典型路侧加装低压电缆监测设备，设备监测信息接入公路机电设备状态电力监测 AI 分析软件，结合面向低压电缆的深层稀疏长短记忆融合网络模型验证道路结构损毁的可能性。

⑤公路灾害监测预警平台

搭建公路灾害监测预警平台，对多源监测数据的统一管理，实现实时在线监测和预警。

（三）系统功能

基于既有光电缆监测的公路灾害监测预警系统，系统融合应用 GIS、物联网技术实现多源监测数据的集中管理、查询、分析预警等功能。主要功能如下：

①平台首页：底图采用天地图影像+区域正射影像图+光缆/电缆布设示意图直观说明线路走向、监测点位置、监测范围等，并实现与后台预警信息的联动，实现动态标注预警点位，并针对风险路段实现基于光缆监测数据解译的横波速度云图查询。首页主要显示的模块内容包括如下：

- 1) 公路概况；
 - 2) 电缆监测：根据电缆监测线路查询各线路电流、电压、温度、剩余电流；反馈风险预警事件位置及其监测数值。
 - 3) 光缆 OTDR 监测曲线：根据光缆监测线路查询各光缆的 OTDR 监测曲线。
 - 4) 光缆监测事件统计：根据线路统计光缆监测事件，支持查询事件列表。
 - 5) 监测预警：汇总光缆、电缆监测风险事件，滚动提醒风险预警信息，包括风险位置、潜在地下空洞风险、滑坡风险、泥石流风险、地震次生灾害风险等的预警。
 - 6) 监测统计：汇总统计光缆监测数、电缆监测数、风险预警事件数等。
- ②光缆监测：针对性显示光缆监测数据、成果报告、区域线路综合统计情况等。
- ③电缆监测：针对性显示电缆监测数据、分析预警情况、统计信息等。
- ④基础数据资源管理功能：用于关联配置项目基础信息、gis 地图服务管理、监测设备管理、监测点信息管理、预警信息配置等。

（四）技术指标

①分布式光纤声波传感系统

- 1) 有效响应频带: 0.01Hz ~ 50kHz
- 2) 空间分辨率: 单模光纤最小 0.5m, 可以 0.1 步进随意设置; 微结构光纤 2m/5m/10m
- 3) 事件分辨率: 最优不超过 2m
- 4) 空间采样间隔: 10cm
- 5) 探测距离: 不小于 40km
- 6) 噪声水平/应变灵敏度: 优于 $10 \times 10^{-12} \varepsilon$
- 7) 时间采样率: 最大 100kHz
- 8) 工作模式: 连续模式/触发模式
- 9) 适应光纤类型: 单模光纤/多模光纤/微结构光纤
- 10) 授时精度: $\leq 5 \mu s$
- 11) 脉宽: 10ns—1000ns
- 12) 存储空间: $\geq 4TB$
- 13) 无故障连续工作时间: ≥ 720 小时
- 14) 完善的数据采集软件: 支持瀑布图、强度图、单道图、多道图、频谱图显示功能; 能提供第三方扩展接口开发包、支持客户二次开发; 简单易用, 具备新手向导模式、一键启动测试, 测试参数保存和参数导入等功能;
- 15) 数据回放分析功能: 能够支持 DAT、TDMS 数据格式存储, 均支持 SEGY 格式的批量数据转换

②光时域反射仪 OTDR

- 1) 电池: 7.4V, 10500mAh, $\geq 77Wh$
- 2) 供电模式: 100—240V AC, 50/60Hz (AC 适配器)
- 3) 光纤接口: FC/UPC
- 4) 数据存储: ≥ 10000 条测试曲线; 外接存储: USB
- 5) 存储温度: $-20 - 60^{\circ}C$
- 6) 工作温度: $-10 - 50^{\circ}C$ (0-40°C 接电源使用, 0-35°C 电池充电)
- 7) 中心波长: 1310/1550nm
- 8) 动态范围: 35/33dB
- 9) 事件盲区: 1m

- 10) 衰减盲区: 3m
 - 11) 损耗精度: $\pm 0.03 \text{dB/dB}$
 - 12) 测距精度: $\pm (0.75 \text{m} + \text{测量距离} \times 2 \times 10^{-5} + \text{采点分辨率})$
 - 13) 量程: 0.1, 0.3, 0.5, 1.3, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160, 260, 320km
 - 14) 脉宽: 3, 5, 10, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2500, 5000, 10000, 20000ns
 - 15) 取样时间: 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180s
 - 16) 阈值: 曲线通过阈值、光纤末端损耗阈值
- ③ 华设电力监测设备
- 主要参数:
- 1) 网络: 三相 TT、TNS、局部 TT 系统
 - 2) 频率: 50Hz
 - 3) 剩余电流: 10mA ~ 300mA (1 级)
 - 4) 温度差: 0~150°C ($\pm 1^\circ\text{C}$)
 - 5) 供电: 无源干接点输入

其他参数:

输出方式: 2 路继电器常开触点输出, 机械触点, 触点容量 AC 220V/1A, DC 30V/1A; 电源与信号输入、继电器输出、通讯端子之间 2 kV/min; 信号输入与继电器输出、通讯端子之间 1.5 kV/min; 工作温度: -10°C ~ +55°C; 储存温度: -20°C ~ +70°C; 相对湿度: 5% ~ 95% 不结露; 海拔高度: $\leq 2500 \text{m}$ 。

三、实施方案

(一) 适用场景

基于光电缆信号及机电设备状态监测的高速公路灾害预警技术, 可对高速公路进行非破坏式、连续性、高精度监测, 适用于以下场景:

① 地下空洞风险: 在经历极端气候后, 由于降雨、洪涝等因素, 路基土体可能发生冲刷掏空, 导致出现地下空洞的发育, 严重时会发展成地裂缝乃至体面塌陷, 通过沿路的通讯光纤进行监测成像, 对地下速度异常的区域进行监测, 及时发现空洞产生发育情况, 防止诱发灾害发生。

②滑坡风险：在易发生滑坡的山区高速公路沿线，布设的光纤可以检测土体内部细微的应力和位移变化。当滑坡体开始产生位移时，光纤感受到的应变信号会发生异常，系统可以实时捕捉这些异常变化，提前发出预警，防止滑坡造成的交通阻断或人员伤亡。当滑坡冲毁沿线光纤后，OTDR 能及时识别定位到损毁点，进行警示。

③泥石流预警：在泥石流多发区域，光电缆可以感知泥石流前期土壤变形和水土流失的异常信号。当信号强度达到设定阈值时，预警系统可及时发出通知，提前采取交通管制或疏散措施，降低灾害影响。

④地震次生灾害风险：高速公路在地震发生后容易因地基松动或滑坡而次生灾害，光纤感知系统能够实时记录地震引发的震动强度和范围，并对地震后地质稳定性进行动态监测，协助快速评估高速公路安全性。

⑤华设集团研发的电力监测设备可涵盖现有高速公路道路风险监控点及周边机电设施设备的绝大多数低压供配电回路。

（二）布设方案

①光时域反射仪 OTDR 布置于通信站或机房，接入待检测光纤，在 OTDR 中设置光源波长、脉宽、测距范围（包括长度分辨率）、有效群折射率以及信号平均时间等参数。通过参数的合理设置，即可满足光缆故障定位精度误差小于 5 米的指标要求。

②分布式光纤声波传感系统 DAS 布置于通信站或机房，通过 FC/UPC 转 E2000 的跳线与通讯光纤进行连接，设备需要外接电源，由于数据规模庞大，通常需要安装大容量移动硬盘以存储数据。调试时按照设备监测软件的向导模式进行操作，主要调整打光强度，使得光信号位于合理区间。根据光缆长度、噪声源特点、路基与地质条件等初步确定 DAS 的采样参数组合，包括传感距离、探测频率、标距、采样率等采集数据。

③华设电力监测设备，根据“一路一策”原则，可布置于配电房和路侧设备，如 ETC 门架、视频、交调、可变情报板等位置，安装时，采用预留接口或备用回路取电，不断电安装；或者 30 秒短时间断电安装，按产品手册完成设备参数设置和数据传输端口设置，即可完成安装。

四、应用效果

（一）实施效果

①OTDR 与 DAS 利用光纤实现对光缆布设范围的实时监测，包括光缆异常事件、地下空洞、道路塌陷、边坡落石、道路施工等，及时发现安全隐患，并进行自动检测和精确定位，发出预警。与传统的监测方法相比，OTDR 与 DAS 技术具有更高的效率和更广的覆盖范围，能够有效降低突发事件对高速公路行车安全的威胁，为防灾减灾工作提供重要支持。

②华设自研的电力监测设备加装在配电房低压配电单元输出回路上，对供电回路、电力线缆、机电设备的电流、电压、剩余电流、温度等电力信号的异常参数进行监测分析，通过华设公路机电设备状态电力监测 AI 分析软件的深层稀疏长短记忆融合网络模型，开展设备运行状态数据、网络运行状态等信息综合判断，推断出低压供电回路所经过的公路结构状态与发生损毁的可能性。

（二）示范效应

①经济社会效益

1) 通过对既有光、电缆异常信号监测，第一时间监测到地质灾害导致的公路结构损毁，一方面通过故障的精确定位，养护单位快速抢修处理，另一方面及时的事故预警，能避免因二次事故造成的更大经济损失。

2) 通过长期道路运行状态的监测，可以及时发现隐伏的道路隐患，提前开展预防养护，避免问题扩大导致更大的维修成本。

3) 有效减少事故发生，保护人民生命财产安全，提升公众对基础设施安全的信心，增强社会的稳定性和公众的安全感，提高政府的公信力。

4) 在事故发生时迅速触发报警机制，通知相关部门和人员及时采取应急措施，降低事故的社会影响。

②可复制推广性

1) 技术成熟：设备采用的技术成熟，功能可靠，增强了其在更广泛范围内推广的可行性。

2) 兼容性强：具有良好的扩展性，可以和其他告警、感知系统对接；开放式平台，可接纳多源数据汇入。

3) 快速部署：设备便携，安装简单，能够快速部署在通信站和配电房。

方向二：ETC 门架数据关联分析技术

案例 4：适用于高海拔山区放射状路网拓扑的 ETC 门架数据关联分析监测预警技术

一、技术来源

技术来源单位：云南建设基础设施投资股份有限公司、交通运输部公路科学研究院、联诚科技集团股份有限公司、昆明理工大学、广州安迪信息技术有限公司、云南公路联网收费管理有限公司、云南现代物流规划设计研究院有限公司、西南交通建设集团股份有限公司

联系人及方式：陈杰，18587199999

二、技术简介

（一）技术简介

针对高海拔山区高速公路地质和气候条件复杂、交通流量小、信息化系统薄弱等特点，研发了基于 ETC 门架数据关联分析技术的高速公路监测预警系统。系统充分整合 ETC 门架、收费站、路段交通流检测、交通气象等数据资源，采用了数据清洗和拟合方法、流量预测和异常事故触发模型以及智能分级预警机制，实现了各基本段车辆信息的精准统计和超时预警，具备了全天候环境下阻断事件和交通流波动类事件快速检测和预警能力，可在云南、贵州、四川等山区放射状路网推广应用，助力高速公路运营管理部更好地应对交通异常和灾害情况。

（二）系统功能

1. 路段灾害预警监测

通过监测 ETC 门架、收费站、服务区卡口以及交通流量检测点的数据变化，软件可以实时呈现基本检测单元即时在途流量变动、在途流量趋势变化和在途流量异常点，全路段的四级异常预警和当前在途数量，当天路段流量数、路段当前平均车速、路段交通密度热力图等。日常运行时，监控人员可以通过交通密度热力图了解车辆分布、密度，掌握路段通畅程度；当检测数据异常时，系统会呈现预警等级和预警区间，支撑监控人员快速处置交通事件。



图 1 路段灾害预警监测界面

2. 路段灾害评估

通过图形直观展示各检测点的车流分布、异常检测点位置信息，以门架流量曲线作为预测曲线，模拟分析各检测点数据的异常程度，对异常区域，可迅速回调数据曲线，进行人工模拟分析，确认异常事件。



图 2 路段灾害预警评估界面

3. 路段灾损评估

通过图形展示各检测区域在途车辆数量、在途车辆车牌等信息。当区域出现异常时，可迅速回调区域在途数据，通过区域在途、服务区在途车辆数据，迅速了解涉及的车辆，在事件处理时，实时监控在途车辆，结合清场处理，迅速评估毁损车辆，包括车辆车牌信息、车辆在本路段的行驶路径追溯信息等。



图 3 路段灾损评估界面

(三) 系统构成及技术指标

1. 系统构成

系统采用云、边、端的架构进行实施部署。在端侧，主要接入 ETC 门架、收费站、路段交通流检测、交通气象监测等数据，一方面复用了现有微波交通流检测设备、多要素气象检测器、ETC 门架、收费站和服务区卡口进行数据采集；另一方面利用视频云联网软件增设了 13 套交通流量采集设备，提升夜间以及恶劣气象环境下的交通流量采集性能，缩短事件检测延迟时间。此外，结合相关部门对收费数据获取要求，通过开通专线、部署加密网关等方式对敏感数据进行加密处理，确保数据传输的安全性。

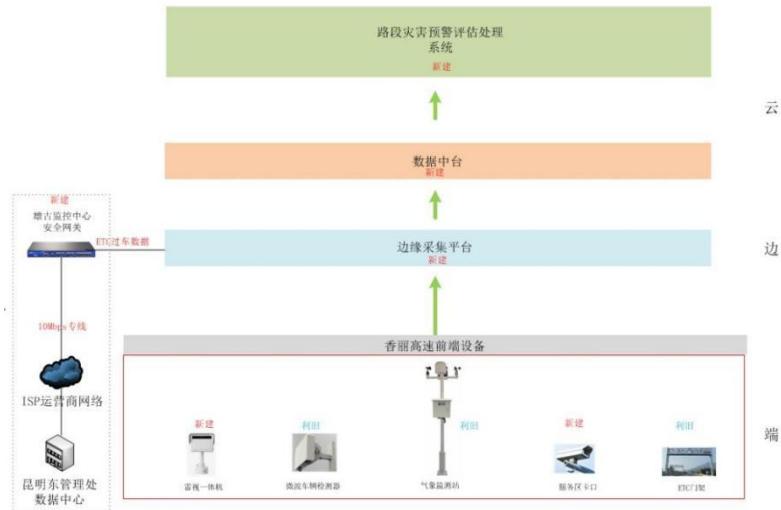


图 4 云边端协同部署架构

在雄古监控中心搭建私有云平台，部署了边缘采集平台和路段灾害预警评估处理系统。边缘采集平台实现 ETC 门架、收费站、气象站及其他设备数据的时

空同步采集与融合，确保数据完整性与一致性。路段灾害预警评估处理系统承担数据分析与评估，生成预警警告、预警评估和灾损评估结果，为管理部门提供直观、可操作的决策依据。

2.技术指标

可实现对各基本路段在途车辆数量、车牌信息及车型信息的分段统计，在途车辆数量准确率达到 $\geq 98\%$ 、车牌信息识别准确率达到 $\geq 99\%$ 、车型信息准确率达到 $\geq 99\%$ 。针对突发灾害引发的中断事件，检测准确率为 100%，滞后时间为 1 至 5 分钟，具体时间动态受门架间隔、路段视频检测点、平均车速、中断位置等因素影响。对于单车或部分车辆的异常交通事件，检测准确率可达到 $\geq 96\%$ ，漏报率 $\leq 2\%$ ，在 24 小时工作期间内虚报次数不超过 2 次，滞后时间为 1 至 8 分钟，滞后时间动态受门架间隔、路段视频检测点及平均车速等因素影响。

（四）预期效果

通过在香丽高速部署路段灾害预警评估处理系统，日常运行时，监控人员可以通过交通密度热力图了解车辆分布、密度，掌握路段通畅程度；当发生流量异常交通事件和阻断事件时，系统会呈现预警等级和预警区间，支撑监控人员快速处置交通事件，辅助工作人员评估毁损车辆。

三、实施方案

（一）应用场景

本项目提出的基于 ETC 门架数据关联分析的路段灾害预警评估处理系统在提升高速公路监测预警能力方面具有部署快、见效快、应用效果好等优势，尤其适用于高海拔山区高速公路地质和气候条件复杂、交通流量小、信息化系统薄弱等路段部署，可在云南、贵州、四川等山区放射状路网推广应用，助力高速公路运营管理部更好地应对交通异常和灾害特情。

（二）布设方案

（1）硬件部署

本次试点主要接入 ETC 门架、收费站、路段交通流检测、交通气象检测等数据，一方面最大程度地复用了现有 34 套微波交通流检测设备、1 套多要素气象检测器、3 套 ETC 门架设备、2 个收费站设备和 3 个服务区卡口进行数据采集；另一方面利用视频云联网杆件增设了 13 套交通流量采集设备，提升夜间以及恶劣气象环境下的交通流量采集性能，缩短事件检测延迟时间。

此外，为安全准确获取 ETC 门架数据，结合相关部门对数据获取的要求。

本项目从云南公路联网收费管理有限公司位于昆明东管理处的数据中心机房，通过运营商网络开通一条 10Mbps 专线至香丽高速雄古监控中心并增设安全网关一套。数据通过物联网专用网络和专用线路传输，在省联网中心配置加密机，对敏感数据进行加密处理，确保数据传输的安全性。

（2）软件部署

软件系统主要包括私有云平台、物联网设备接入平台（边缘采集平台）、路段灾害预警评估处理系统，安装于香丽高速雄古监控中心。私有云平台将前端雷视一体机、车检设备、服务区卡口等设备收集到的数据被存储在数据存储服务中。物联网设备接入平台实现 ETC 门架、收费站、气象站及其他设备数据的时空同步采集与融合，确保数据完整性与一致性。路段灾害预警评估处理系统负责灾害检测预警的实时处理，支持动态异常监测和预警分析；承担数据分析与评估功能，包括事件评估和交通流量评估，生成对应的预警响应措施；输出灾害检测预警警告、预警评估和灾损评估结果，为管理部门提供直观、可操作的决策依据。

四、应用效果

（一）实施效果

香丽高速灾害预警评估处理系统成功上线运行后，全面提升了高海拔山区高速公路的监测预警能力。系统通过接入 ETC 门架、收费站、路段交通流检测、交通气象等数据，实现了各基本段车辆信息的精准统计，在稀疏感知环境异常交通事件监测和处置中发挥了重要作用。

首先，系统提升了路段交通运行监测能力，能够实时展示各断面的车流量、平均车速等信息，分段呈现在途车辆数量、车牌信息以及车型信息，便于监控人员及时掌握各段交通运行情况，为监控人员针对性视频轮巡提供了参考。

其次，系统提升了交通异常事件的发现能力，以往交通事件发现主要靠人工定时轮巡、车主主动上报，事件发现能力有限。系统上线运行以后，能够及时预警区域滞留车辆，实现了对超时车辆监控从无到有的巨大跨步，两区间单日预警 15 次和 9 次，预警准确率 100%，有助于监控人员及时采取应对措施，避免交通事故发生。依托视频云联网杆件资源，部署了雷视一体机，能够及时发现停止、逆行、行人、拥堵等交通事件。因系统部署以来，试点路段未发生交通事故，通过流量模拟测试，系统可实现道路中断、交通状态突变的交通事件发现，在后续使用中将进一步验证实际应用效果。

再次，系统通过数据平台与指挥调度的高效联动，支持事件信息的快速推送

和多级预警的分级发布，显著提高了交通管理部门的响应效率。系统的实时性和高效性得到了相关人员的一致认可。

（二）示范效应

本项目以高海拔山区香丽高速公路为试点，通过构建基于ETC门架数据、多源监测设备和气象数据的智能化交通监测预警系统，成功解决了复杂环境下交通流异常事件和阻断事件监测难、数据融合难、快速预警难等核心问题。项目的实施显著提升了区域交通运行效率和应急管理水平，为推动交通强国建设和智慧交通发展提供了可行经验。

模块化设计的适应性：系统采用模块化设计，包括数据采集层、物联网平台、分析预警平台及输出展示层，各部分均可灵活适配不同区域需求。该设计不仅适合高海拔山区，还可扩展至平原高速、城市快速路及生态敏感区域等多种交通场景。

标准化流程的推广性：通过香丽高速的成功实施，系统形成了一套覆盖数据采集、异常检测、分级预警、路径分析及灾害评估的标准化流程，为全国其他复杂交通场景提供了可复制的智慧交通解决方案。

创新性智慧交通实践：系统在高海拔复杂环境中实现了智慧交通技术的全链条应用，结合物联网和人工智能技术，突破了传统监测系统在复杂场景下的适应性瓶颈，为未来智慧交通建设提供了宝贵经验。

国家战略意义：该系统全面响应“交通强国”“智慧交通”“生态文明”等国家战略要求，优化了高海拔复杂路网的管理模式，为智慧交通建设贡献了具有高推广价值的“香丽高速”经验。同时，通过提升交通安全与应急管理水平，助力区域经济发展和生态保护，实现社会效益和经济效益的双赢。

案例 5：基于 ETC 门架数据关联分析技术

一、技术来源

技术来源单位：新疆交投科技有限责任公司、新疆交通投资（集团）有限责任公司运营分公司、新疆交通科学研究院有限责任公司

联系人及方式：陈伟，13999986717

二、技术简介

（一）技术要点

通过对 ETC 门架、收费站车道、服务区出入口等多源时空数据进行融合处理，开展大数据关联分析和挖掘，实现对路网运行态势的实时感知与预测，及时发现高速公路交通流异常变化，主动识别交通异常并根据相关参数变化图样进行分类分级告警，事中辅助管理人员进行交通事件快速判别和应急处置，事后支持交通事件溯源分析和灾毁分析。

（二）系统功能



图 1 系统看板

1. 多源数据融合

融合处理 ETC 门架、收费站、服务区出入口等多源时空数据，进行数据清洗、补全、矫正、抽取、关联校验、降维等操作，确保数据完整性、准确性和有效性，更好地服务于路网运行状态感知、交通流预测和交通异常检测识别。

2. 交通流状态感知

直观展示交通流变化态势，从时间和空间维度，对不同路段、ETC 门架、收费站、服务区出入口的实时与历史数据进行对比分析和直观展示。

3. 交通流量预测

采用 MTGNN 算法预测高速公路交通流，将多源交通流实时数据作为多元时间序列处理，通过交错串联提取交通流空间和时间关联关系，实现交通流预测。动态预测并直观展示路段节点交通流量变化趋势。

4. 交通异常识别告警

基于设定阈值和策略实时检测交通流异常和特定车辆通行异常情况，实现高速公路异常运行状态有效识别，根据交通异常参数范围和先验信息进行分类分级告警，包括疑似车辆故障、疑似交通事故、疑似突发灾害等，直观展示门架流量异常告警列表，并实现告警审核和历史数据查询等功能。



图 2 异常告警

5. 辅助事件处置与溯源

回溯回放事件发生前后上下游门架等节点的交通流态势和异常检测识别过程，查询事件发生地点指定时间段上下游门架车流通行情况和特定车辆通行情况，自动生成交通异常事件发生后的异常车辆报表，包括车牌号、车辆轨迹中断位置及中断前检测时间等信息。实现通过车牌号、passid 等信息，查询和还原车辆通行轨迹，回放车辆历史行程行驶状态。

（三）系统构成及技术指标

1. 系统构成



图3 系统构成

系统采用分布式微服务架构，由数据处理服务、数据算法服务、态势感知服务构成，账号权限由租户功能权限、数据访问权限控制。

系统采用 SAAS 化部署，支持多路段、多租户模式，租户间数据隔离。新增路段、分中心，只需新开租户。租户下可配置组织架构，在组织架构下设账号体系，系统通过配置账号的功能权限、数据权限进行系统访问控制。

系统对外提供 API 接口，便于与其他应用平台系统进行对接。系统为不同应用分配独立 appid、secret 用于访问申请认证，认证通过后系统分配有访问时效性校验的 token 作为实际访问凭据。系统对外提供交通流量监测感知、交通流量预测、异常事件识别告警、事件处置辅助、事件溯源、轨迹还原等调用接口，支持 Open API、SDK 调用。

2. 系统架构

系统分为数据源系统、数据通信层、数据服务层、数据分析层、表示层 5 个层级。

数据源系统是系统的基本数据保障层，为平台提供基础数据信息，包括 ETC 门架、服务区出入口、收费站车道、视频监控摄像机等监测数据。

数据通信层通过 HTTPS、HTTP、Open API、SOAP API、RPC API 等接口调用对数据源系统进行数据采集。

数据服务层是系统核心层，系统的各项功能由服务层来实现，包括多源数据融合服务、任务管理与存储服务及算法仓库服务。

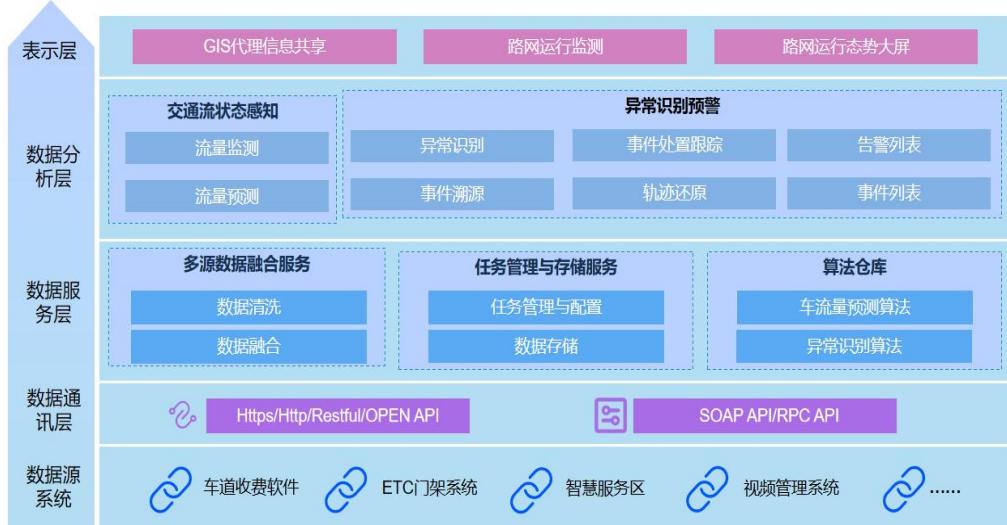


图 4 系统架构

数据分析层是用户界面层，系统各项功能在本层与用户进行交互，包括交通流状态感知和异常识别预警，实现交通流监测感知、交通流预测、交通异常识别、事件处置追踪、事件溯源、车辆轨迹还原等功能。

表示层把数据分析的结果通过 GIS 地理信息共享平台、路网运行监测 GIS 图层、路网运行态势大屏进行展示和报表输出。

3. 主要指标



图 5 主要指标

4. 预期效果

本系统具备交通流状态感知、交通流预测、交通异常识别预警、辅助事件处置与溯源等功能。对于因大雾团雾、降雪结冰、降雨洪水、塌方滑坡等天气及自然灾害以及交通事故等人为因素导致的交通阻断与交通流变化，系统能及时发现异常情况，进行分类分级提示告警。系统的部署和实施无须新购置并安装大量硬件，可充分利用既有机电设施，充分挖掘高速公路收费系统既有数据潜在价值，

进一步发挥既有基础设施深层效益，在低成本投入情况下，有效提升高速公路运营管理单位应急响应能力和运营管理水平，促进高速公路运营管理降本增效。尤其针对通信和监控基础设施薄弱的偏远路段，在日常运营管理缺乏交通异常事件检测识别手段的情况下，更加凸显本系统的应用价值。

三、实施方案

（一）技术适用与应用场景

1. 技术适用

本系统融合处理 ETC 门架、收费站、服务区出入口等多源时空数据，须具备基础的通信网络条件和计算存储资源，可安全接入 ETC 门架、收费站、服务区出入口、外场监控等数据资源。数据接入可采用数据库直接访问、Restful、Open API、SOAP、RPC 等接口方式进行对接。在数据接入过程中，需采取必要且适合的安全和脱敏措施，在保证数据安全和数据隐私保护的前提下，为本系统分析处理提供满足信息量需求的完整有效数据。

2. 应用场景

系统模型针对门架分布稀疏、车流量较低和车流量随时间变化幅度大的路段场景进行了优化，系统模型的参数、阈值、策略规则可根据时间段、天气、季节等预知的先验知识进行动态自适应调整，用于在异常识别和分类分级告警的时效性与准确率方面取得更合适的均衡输出。系统对于通信和监控基础设施薄弱、地处偏远的路段更加适用。

（二）部署与实施

1. 部署环境要求

系统部署需可在设定权限范围内访问 ETC 门架、车道收费、服务区、视频监控系统数据。基础网络通信畅通，具备系统所需的计算和存储资源。

系统可部署于云资源或实体服务器。为便于后续运维和系统优化、扩容，建议优先选择云部署方式。系统部署服务器推荐配置，CPU：64 核；内存：128G；GPU：Tesla T4；存储：1T；对象存储：2T；带宽：1000M。系统已通过内部漏洞扫描、渗透测试检验。

2. 实施周期

本系统部署实施主要是软件部署，在具备通信网络、信息安全和计算存储资

源基础条件的情况下，可实现快速部署，3天可完成软件系统部署，约5天可完成数据对接和调试，培训约2天完成。



四、应用效果

(一) 实施效果

1. 试点路段情况

京新高速公路(G7)新疆境内大黄山至乌鲁木齐段，全长101Km，该路段存在连续纵坡，最大纵坡4%，平均每公里变坡1.5次，2024年1-11月日均交通量4.3万辆，旅游旺季以及煤炭集中外运期交通量陡增，且路段运营易受恶劣天气和自然灾害影响，节点路段拥堵、交通事故等突发事件频发。

2. 实施效果

系统试运行3个月期间，累计识别各类高速公路突发事件100余件，识别准确率达90%以上，事中辅助运营管理人员对涉事车辆范围及通行轨迹进行核实确认，事后辅助事件溯源分析，系统的运行进一步提高了高速公路运营单位应对重大突发事件的主动识别能力和响应时效，有效降低人身和财产损失。

(二) 示范效应

ETC门架数据关联分析技术通过对既有ETC门架数据等多源数据进行采集融合、关联分析，感知交通异常事件及灾毁事件对高速公路交通流量的影响，实现交通异常主动识别和告警，辅助应急处置和研判灾毁情况，助力提升高速公路应急响应能力。系统具备部署轻量、模型功能库丰富且调用便利、算法模型可自适应迭代升级等特点。综上，该技术总体较为先进、性能较为优良、应用效果较好，可复制，可推广。

案例 6: ETC 门架关联分析技术—重大突发事件感知、告警与主动管控系统

一、技术来源

技术来源单位: 浙江高信技术股份有限公司、浙江交投高速公路运营管理有限公司

联系人及方式: 张斯钰, 17857159534

二、技术简介

(一) 技术要点

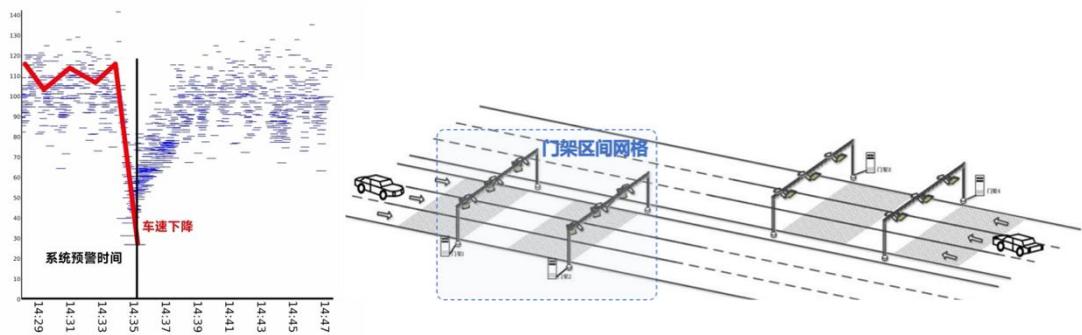


图 1 ETC 门架关联分析-感知 - 告警技术

(1) 交通态势异常感知: 整体态势异常感知, 可监测高速公路上的门架区间车速异常、前后门架流量突变、区间车辆滞留量突变等。个体态势异常感知, 可监测高速公路上的临时停车、低速车辆、疲劳驾驶、轨迹异常等。

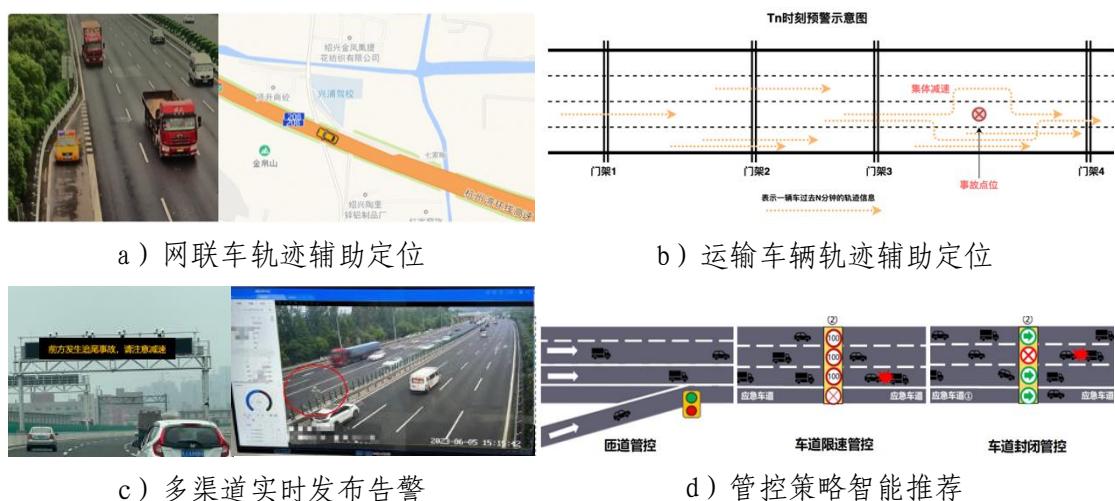


图 2 多模态数据融合的事件定位 - 发布 - 管控系统

(2) **多模态数据融合**: 互联网浮动车、运输车辆轨迹等多模态数据融合, 辅助定位异常事件, 提高监测准确率和效率。根据事件对交通的影响程度分级告警, 多渠道实时发布。

(3) **基于仿真模拟验证**: 可提供高速公路主线和收费站管控策略智能推荐、交通事件影响推演分析、交通态势预测和管控效果评估。

综上所述, 该技术以 ETC 门架关联分析技术为核心, 聚焦高速公路重大突发事件, 系统实现全时空感知、多途径告警与管控决策辅助的闭环。

(二) 系统功能

(1) **路网交通态势感知**: 基于 ETC 门架数据和其他多源数据, 实现对路网整体交通态势的全量实时感知, 打破当前监控仅针对断面或枢纽的局限, 满足日益增长的细粒度盲区的交通态势监管与感知需求。

(2) **异常交通事件感知**: 从整体态势和个体态势两个维度, 实现异常交通事件的广范围感知功能, 覆盖重大突发事件、道路病害、交通事故、临时停车、疲劳驾驶等多维度异常事件, 提升高速公路异常事件的主动发现能力。

(3) **多源数据辅助定位**: 针对重大突发事件难定位的问题, 在交通事件感知的基础上, 结合互联网浮动车和重点运输车辆数据, 利用实时轨迹级车辆位置和状态信息, 判定重大事件发生点位, 实现分钟级自动告警和定位能力。

(4) **重大突发事件响应**: 针对重大突发状况的事中管控需求, 建立分级告警和管理机制, 实现路侧设备联动和应急救援快速响应, 最大程度降低重大事件所造成的人员和财产损失, 提升重大事件管控和救援功效。

(三) 系统构成

(1) 数据治理层

门架采集设备包含 ETC 设备、摄像头等, 将车辆实时过车记录转化为结构化数据; 互联网车况数据利用车载设备和移动互联网技术获取车辆状态信息; 运输车辆数据对重点营运车辆的位置数据进行收集和分析。面向重大突发事件的交通数据库采集上述各渠道的数据并融合治理, 支撑后续功能和应用。

(2) 异常感知层

(2.1) **交通态势感知**: ETC 门架关联分析技术感知高速公路区间车速异常、前后门架流量突变、区间车辆滞留等; 交通态势关键特征参数计算提取出能够反

映交通状态的量化指标，如交通流量、平均车速、车辆密度等。

(2.2) 异常事件感知：包含对个体或整体交通流异常现象的识别。个体态势异常感知检测单个车辆的行为是否偏离正常模式；整体态势异常感知分析整个路段或区域内的交通流是否有异常波动；异常感知算法可以被测试、验证。

(2.3) 多源数据辅助定位：ETC 门架数据关联分析对异常事件初步筛选；互联网浮动车和运输车辆轨迹数据，提供具体事件类型和位置，与异常事件记录融合，进行补盲补漏，辅助实现对于异常事件准确位置的锁定。

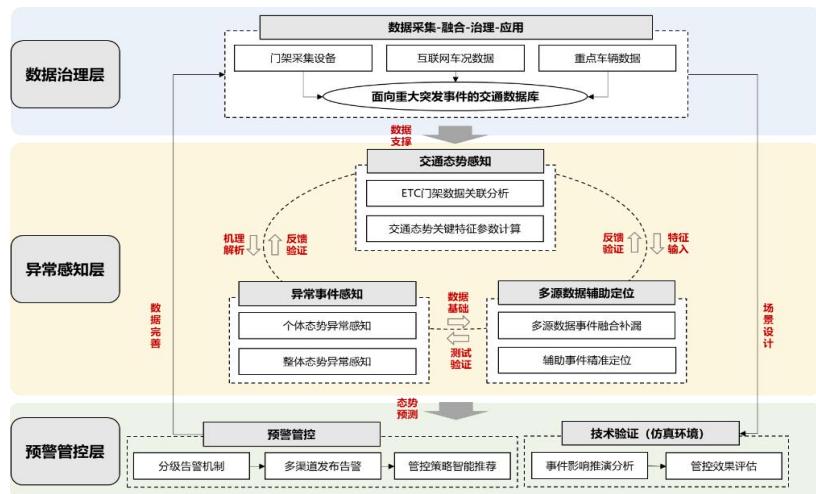


图 3 系统架构图

(3) 告警管控层

(3.1) 告警管控：分级告警机制根据事件严重程度设定不同告警级别；通过互联网、道路管控设备、运政管理等，多渠道实时发布告警，确保重大突发事件的快速应急响应，并结合仿真模拟，智能推荐道路管控策略。

(3.2) 技术验证：基于交通态势感知和异常事件感知的结果构建仿真环境，建立 1:1 还原交通流的场景来进行模拟实验，推演分析交通事件影响，评估管控效果，仿真结果评估与算法调整形成闭环，不断优化和完善模型。

(四) 技术指标

系统具备监测全国高速公路，道路灾害、交通事故、拥堵、阻断、停车、抛洒物、疲劳驾驶等异常事件的能力，不受夜间、极端天气、复杂地形影响，对重大突发事件的识别平均准确率不低于 90%，平均误报率不高于 10%；同时，系统具备定位异常事件发生位置的能力，ETC 门架数据支持精确到千米，多源数据融合支持定位到个体车辆或精确到米，定位平均准确率不低于 95%；此外，全国高速路网已覆盖门架，无硬件成本，且标准化数据，可与其他告警、感知系统对接。

（五）预期效果

（1）提升重大突发事件发现率：ETC 门架关联分析技术能填补其他监控方式，在未布设路段和监控盲区的能力缺失，提升重大突发事件发现概率，辅助实现道路安全运行的全方位保障。

（2）降低事件感知系统建设成本：ETC 门架设备和数据可利旧，适配算法应用和计算资源，即可提升道路感知能力，若无需新建门架，本系统成本可以显著降低到视频检测系统的 10% 以内。

（3）增强高速全域全时感知能力：即便在没有光线、恶劣天气、复杂地形下，ETC 门架数据依然精准，在异常事件和交通态势感知中，可以对视频监控系统补盲补漏，是高速公路全天候全路段感知系统的补充和增强手段。

（4）减少运管人员核对校验工作量：高速每日上报事件数量庞大，且不分事件轻重，高速运管部门承担校验事件真实性及影响的责任，为此投入大量人力。ETC 门架数据关联分析技术自动筛选出严重影响交通流的事件，使校验工作量降低至视频监测系统的 5% 以内，可有效减轻运管人员负担。

（5）提高灾害风险多途径告警能力：通过交警、路公司、图商、网联车、新能源车、运政管理等多方渠道，形成多元化告警途径和高效告警能力，系统预期在车载端和移动端实现告警信息的秒级推送，确保信息迅速传达至司乘人员，从而提高应急响应速度和灾害预防能力。保障人民群众生命财产安全。

三、实施方案

（一）适用场景

ETC 门架关联分析技术及异常事件感知系统，适用于全国收费高速公路，并以门架区间为监测单元。监测由道路灾害、交通事故、拥堵、阻断、停车、抛洒物、疲劳驾驶等事件引起的，整体或个体交通态势变化。系统不受夜间、极端天气、复杂地形影响。

若仅依赖 ETC 门架数据，事件感知时效性会受到门架区间长度的影响，一般 5km 以内门架区间的报警延迟不大于 2 分钟，15 公里内门架区间的报警延迟不大于 5 分钟。（若高速公路门架区间内设有服务区，考虑到影响车辆连续通过时间，因此不适用门架关联分析技术）若融合互联网浮动车、运输车辆轨迹级数据，则事件感知时效性能够提升到秒级，且不受门架区间长度影响。

(二) 布设方案

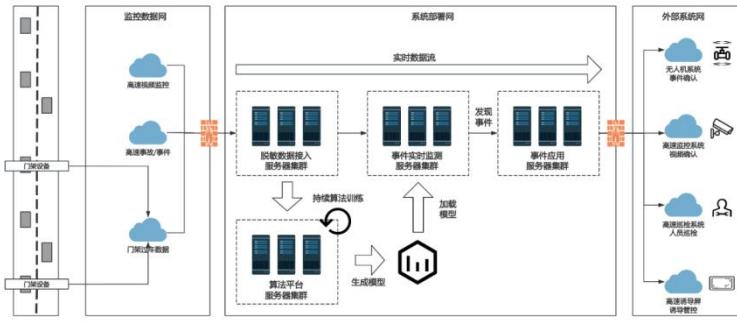


图 4 数据-算法 - 系统布设方案

(1) 数据采集存储

在高速公路主线布设集成了高精度传感器与高清摄像头的 ETC 门架系统。采用光纤或 5G 等高速、稳定的通信方式，将门架采集的数据加密后实时传输至数据中心，建立数据备份与恢复机制。在数据机房或具备高可用性网络环境的服务器上，部署数据采集软件。实时接收来自 ETC 门架的数据流，并将其解析为结构化数据。将处理好的数据通过 KAFKA 接入，数据集中存储与管理。

集成第三方数据源（如浮动车、运输车辆等），通过 API 接口实时获取车辆态势异常信息。与道路运管中心、交警等建立数据共享机制，实时接入结构化事件数据。对多源数据进行清洗整合，确保与 ETC 数据的兼容性与一致性。

(2) 算法平台布设

基于历史数据集，在高性能计算平台上搭建算法训练环境，进行模型训练。采用迭代训练方式优化模型参数与结构，直至达到预设的性能指标。

(3) 实时监测系统布设

将训练好的算法模型部署至实时处理系统中，同时确保模型能够实时接收处理后的数据流，实现高速异常事件的实时监测功能。根据业务需求与实际情况设置告警触发条件，支持多种告警通知方式如系统弹窗、短信通知等，便于相关人员及时获取告警信息并做出相应处理措施。

(4) 外部系统对接

提供标准 RESTful API 接口，供外部系统调用，实现数据的实时或定时传输功能。支持将检测到的事件数据及告警信息，实时推送给其他告警、感知系统，支持设置定时任务将一定时间范围内的数据汇总并推送给外部系统。

四、应用效果

(一) 实施效果

本次揭榜试点项目依托 G60 杭金衢高速、G1513 温丽高速、S26 诸永高速、S34 文瑞高速等路段实施。2024 年 10 月，试点高速 ETC 门架断面的小时流量均值 919 辆/小时，峰值 4828 辆/小时；根据浙高运道路管理中心事件记录，试点 370 千米范围内，发生事件总数为 23113 件，事件类型主要为临时故障停车，重大事件共 322 起，平均占比 1.4%；国庆假期事件占比 31.2%，夜间事件占比 44.3%。综合各路段交通流量、桥梁隧道分布等因素，训练算法并测试应用。

基于 ETC 门架关联分析的高速事件感知预警系统，在试点路段实施以来，共告警事件 1476 次，其中对重大突发事件的平均发现率为 91.5%。

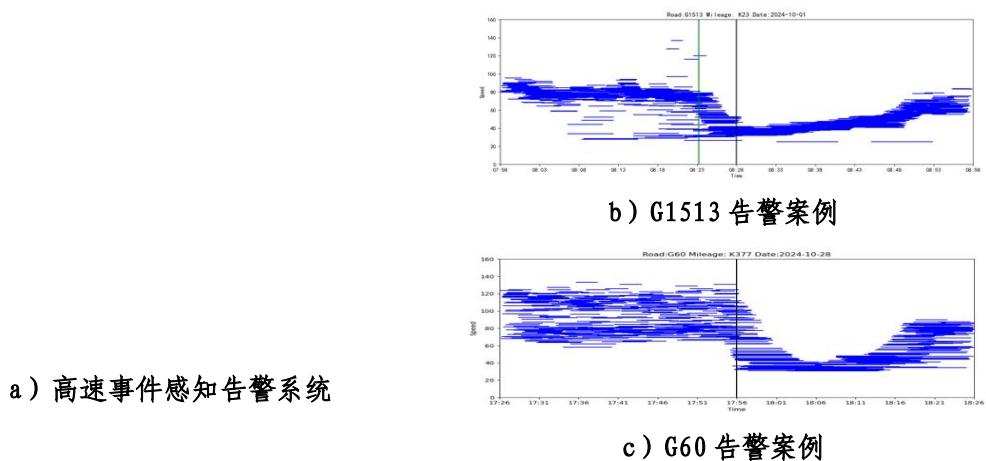


图 5 实施效果及案例示意图

(二) 应用证明

中国交通运输协会对于《高速公路融合感知建模与态势管控分析技术研究及应用》科技成果评价为：整体国际先进，部分技术国际领先水平。在沪杭甬高速、金华区域级高速公路等应用示范位置，取得相关应用证明和用户报告。

(三) 示范效应

ETC 门架数据关联分析技术有标准规范支撑，技术成熟、实施难度低、建设成本低，聚焦高速公路重大突发事件全时空感知、多途径告警功能，并可联动监控系统、诱导预警设备，实现及时有效的主动管控。基于 ETC 门架和多源数据融合的异常事件感知系统，具备监测道路灾害、交通事故、拥堵、阻断等事件的能力，且不受光线、天气、地形影响。系统监测准确率和时效性处于行业先进水平，对提升道路安全畅通、减轻运管人员校验压力有明显积极作用。因此，系统具有业务拓展性强、可复制性高的特点，具备全国推广应用的条件。

案例 7：ETC 门架数据关联分析技术

一、技术来源

技术来源单位：湖北交通投资集团有限公司、武汉理工大学、中路高科交通科技集团有限公司

联系人及方式：胡凌宇，18372195124；吕能超，13419546709

二、技术简介

利用 ETC 门架数据广覆盖、低成本的优势，研发 ETC 数据治理与时空关联、全时全域交通状态监测、异常事件识别与时空定位等核心技术，进而开发 ETC 数据关联分析与管理系统，解决现有手段识别精度低、速度慢、成本高以及响应耗时久等的问题，可应用于高速公路智慧运营及管控，提高营运高速在流量监测、交通状态监测、损毁阻断及突发事故研判方面的精细化治理能力。

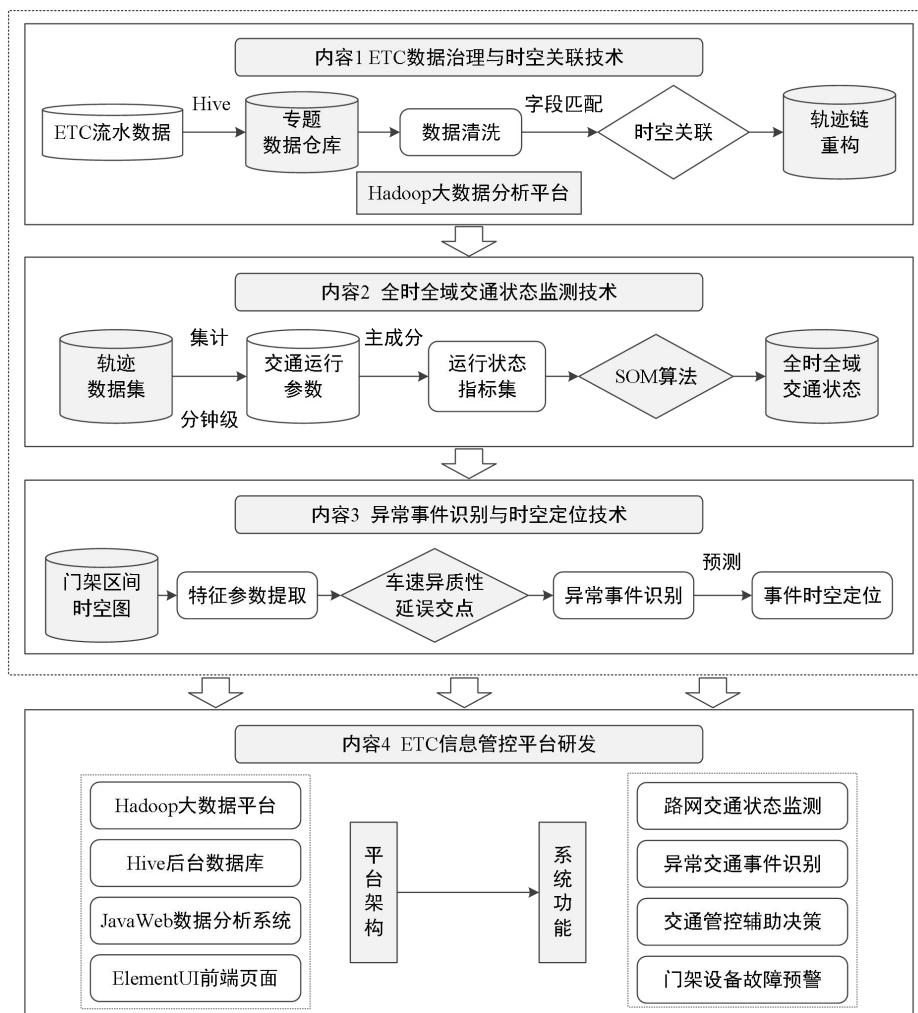


图 1 总体技术路线图

(一) 系统功能

本项目聚焦基于 ETC 门架流水数据的高速公路损毁阻断及突发事件快速精准预警，系统性推进大数据平台构建、后台数据库设计、JavaWeb 数据分析系统研发以及前端用户界面设计。旨在实现一系列关键功能，其中包括：路网交通状态精准识别、异常交通事件识别与管理、交通管控策略辅助决策、实时与历史交通流量显示与查询、实时与历史交通状态显示与查询、ETC 门架设备故障预警、非法营运车辆识别。紧密关联并高度契合了高速公路现实交通管控的迫切需求，可为高速公路智慧运营与管控提供精准高效的数据治理工具。

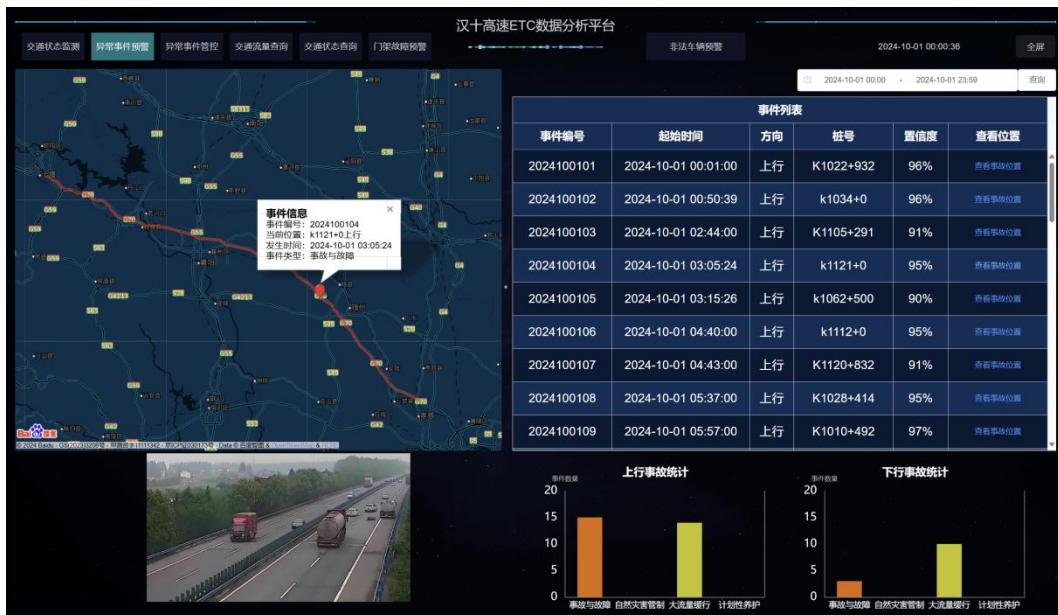


图 2 ETC 数据关联分析与管理系统

(二) 系统构成

本项目研发的 ETC 数据关联分析与管理系统涵盖大数据 Hadoop 平台、后台数据库系统、JavaWeb 数据分析系统以及前端用户界面。具体而言，原始 ETC 门架流水数据经大数据 Hadoop 平台数据清洗、预处理后，存储在高性能 MySQL 数据库中。进而构建基于模型 - 视图 - 控制器 (MVC) 架构的 JavaWeb 后端分析处理模块，在 MAPPER 模型框架内执行一系列复杂的计算逻辑，包括车速分析、流量监测、阻断检测等多个维度。在前端设计层面，采用模型 - 视图 - 视图模型 (MVVM) 架构与 ElementUI 框架，以优化用户界面的交互体验。系统支持数据实时交互，可支撑 ETC 数据的精准展示与高效管控。

本项目创新之处在于提出了基于大数据平台的海量 ETC 数据时空关联技术、门架区间异常事件发生时间与位置估计方法，以及基于准实时数据的异常事件预

警应用示范模式。其中，门架区间异常事件发生时间与位置估计采用车速异质性延误区域交点法，基于车辆簇时间特征和下游平均速度量化事件扩散，实现高速公路阻断事件的精确定位。

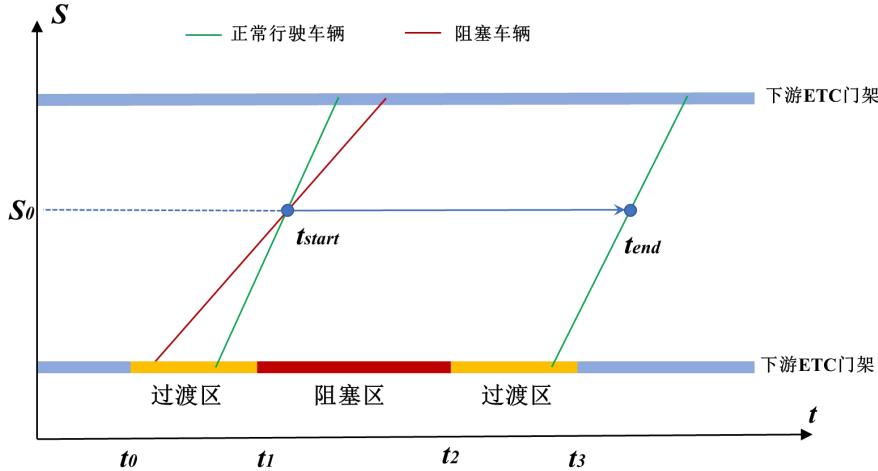


图 3 基于车速异质性延误区域交点的时空定位方法

(三) 技术指标

针对高速公路损毁阻断事件的低成本、全时、全域感知预警难题，提出一套 ETC 门架数据关联分析技术，并研发 ETC 数据关联分析与管理系统，实现高速公路损毁阻断及突发事件的快速识别、低成本改造投入，有效提升高速公路在灾害中的韧性，具体指标如下：

- (1) 开发一套 Hadoop 大数据平台，对原始数据进行清洗、预处理、存储；
- (2) 开发一套 ETC 数据平台，实现 ETC 数据的可视化运行管理；
- (3) 开发一套数据关联分析技术，对交通状态与事件精准快速识别定位；
- (4) 在湖北交投集团管理的汉十高速开展应用示范。

(四) 预期效果

本项目开发的 ETC 数据关联分析与管理系统，能够在流量监测精度、交通状态监测精度、异常事件识别准确度、异常事件时空定位精度等多个关键指标上达到预期效果，具体指标如下：

- (1) 事件检测速度小于 30s，识别准确率大于 90%，漏报率小于 10%；
- (2) 事件检测定位精度小于 200m，事件检测时间精度小于 30s；
- (3) 交通状态监测准确率大于 95%，监测数据刷新时间小于 30s；
- (4) 网络时延小于 2s。

三、实施方案

根据门架密度高、流量较大、事故基数较大的选取原则，以汉十高速公路 K1005+450 至 K1368+100 路段作为示范应用对象，全线长 362.6km。上行布设 28 套 ETC 门架交易系统，下行布设 27 套，全线布置 4 台中心服务器和 1 套 ETC 数据关联分析与管理系统。其中，ETC 门架交易系统利用原有设备，整个项目总工程造价合计 192 万元，平均每公里造价 0.53 万元。

基于汉十高速公路运营数据，从系统功能、性能参数、工程造价、社会经济效益等方面全面系统评估 ETC 数据关联分析系统的应用示范效果。具体涵盖路网交通状态精准识别、异常交通事件识别与管理、交通管控策略辅助决策、实时与历史交通流量显示与查询、实时与历史交通状态显示与查询、ETC 门架设备故障预警、非法营运车辆识别等一系列核心功能。

（1）路网交通状态识别模块

旨在提供实时路网交通状态的识别信息，具体功能包括：

- 1) 路段交通状态判别展示模块：实时显示固定门架区间的通畅、拥堵和阻断状态，帮助用户快速定位问题路段；
- 2) 区间车速展示模块：通过图形化界面展示各门架区间的车速分布及变化趋势，可反映路网运行效率及通行流畅程度。



图 4 路网交通状态识别模块

（2）异常事件管理模块

主要用于展示路网不同类型异常事件的识别情况与交通管控方案辅助决策，

具体功能包括：

- 1) 地图展示模块：展示当前路网所有经识别异常事件的地理位置信息，支持调用任意事件上游门架的监控画面，以及事件具体信息。
- 2) 事件信息列表展示模块：包括事件编号、事件发生位置、事件发生时间、事件类型、识别置信度，以及事件位置查看等信息。
- 3) 交管部门管控信息展示：点击任一异常事件处置，可具体展示事件区间、发生位置、发生时间、管控路段、管控时段、管控车型、负责人等相关信息。



图 5 异常事件管理模块

(3) 门架设备预警界面

门架设备预警界面用于监测并展示 ETC 门架设备的运行状态，并及时反馈设备异常情况，为交通管理人员提供全面的设备维护支持。该界面能够实时展示当前发生故障的门架信息，包括门架名称、故障开始时间、故障持续时间等。



图 6 门架设备异常预警模块

四、应用效果

项目成果主要涵盖了 ETC 数据治理与时空关联、全时全域交通状态监测、异常事件识别与时空定位等核心技术。在高速公路智慧运营及管控方面具有广阔的应用前景，能够显著提高营运高速公路在流量监测、交通运行状态监测、损毁阻断及突发事故研判等方面的精细化治理能力，充分发挥现有 ETC 门架基础设施效能，释放数据生产力。经过有效性验证，基于单个区间与任意区间对的 ETC 门架数据，可为高速公路节假日大流量管理、损毁阻断及突发事故预警提供可靠的技术支撑。具体性能指标见表 1，其中*代表门架区间小于 2km 时的性能参数。

表 1 系统性能

评价指标	系统性能
网络时延	≤2s
交通状态刷新时间	30s
事件检测刷新时间	30s
交通状态监测准确率	≥95%
事件识别率	91.6%
事件漏检率	8.4%
事件检测定位精度	196m*
事件检测时间精度	29s*

此外，项目提出的 ETC 门架数据关联分析技术，可实现从关键技术到理论方法的创新，为相关产业核心技术积累打下坚实基础。项目实施有效实现了路网交通状态时空精准识别，高度契合了高速公路管控迫切需求，为运营管控提供了精细化治理工具。可为基于广覆盖、低成本的 ETC 门架数据挖掘分析提供参考，有效提升高速公路通行安全性和突发事件下的应急响应能力，具有良好的社会效益。

案例 8：基于收费流水和服务区出入口流水数据的交通事件报警和交通拥堵预警技术

一、技术来源

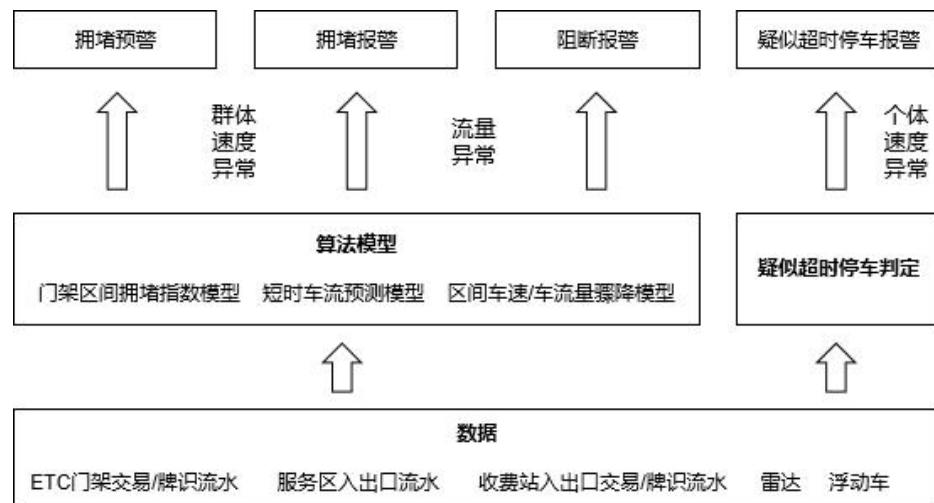
技术来源单位：广东省交通集团有限公司、广东利通科技投资有限公司

联系人及方式：涂娅敏、13632340027

二、技术简介

（一）技术简介

基于收费流水和服务区出入口流水数据的交通事件报警和交通拥堵预警技术充分利用现有主线 ETC 门架、收费站车道设备、服务区出入口高卡等设备，通过对 ETC 门架交易/牌识流水、收费站交易/牌识流水、服务区出入卡数据等多源时空数据进行融合分析及拟合计算，基于 xgboost 算法及伯努利流体力学理论研发短时车流预测模型，采用道路交通饱和度及微观排队理论研发门架区间拥堵指数模型，基于流体动力学模拟理论研发区间车流量骤降模型，研发超时停车判定算法，识别交通阻断、交通拥堵、车辆超时停留等异常情况；研发了交通运行态势监测与预警系统、高速公路智慧管控大脑，实现对高速公路交通运行状态的实时感知、异常识别、分类分级预警、拥堵溯源，辅助研判灾毁情况。



（二）系统功能

本项目研发了交通运行态势监测与预警系统、高速公路智慧管控大脑，实现对高速公路交通运行状态的实时感知、异常识别、分类分级预警、拥堵溯源，辅助研判灾毁情况。

1、交通运行状态监测与预警系统

主要基于前端感知系统实现交通流基本指标的采集与分析；当出现异常情况时推送报警，系统利用雷达、视频事件检测、实时监控视频、视频录像等数据进行交叉验证，交叉验证由系统自动关联，进行初步确认。确认后的报警数据推送给监控员进行处置。无法自动确认的报警数据推送给监控员进行人工巡检及后续处置。监控员一键启动情报板联动发布预案，实现“报警->正误报确认->事件联动处置->历史报警记录及统计分析”的业务闭环。并结合高精度数字底图，对交通异常识别、报警推送、告警处理、事后追溯进行一站式展示。

序号	交通异常类型	报警级别	业务规则说明
1	交通阻断/严重拥堵	一级	交通完全中断。 或严重拥堵，指交通近乎瘫痪。
2	交通拥堵	二级	中度拥堵，指道路通行能力大幅下降，车辆排队很长；
		三级	轻微拥堵，指车速明显下降、车辆排队长度变长；
3	疑似超时停车	一级	报警未处理超过 30 分钟。
		二级	车辆停留时间超出区间最大通行时长。

2、高速公路智慧管控大脑

一个轻量级算法管理引擎，有数据源管理、数据传输任务管理、算法管理、算法任务管理、执行器管理、任务调度日志等运维管理功能。其中包含门架区间拥堵指数模型、短时车流预测模型、区间车流量骤降模型、疑似异常停车判定等算法模型。通过对多源时空数据进行融合分析及拟合计算，识别交通异常，发出交通拥堵预警、交通拥堵报警、疑似异常停车报警 3 类报警信息。

(1) 交通拥堵预警：预测门架区间未来 15 分钟的路况，在拥堵发生 15 分钟前发出拥堵预警。

(2) 交通拥堵报警：根据实时计算门架区间拥堵指数，精准识别交通流运行状态。当拥堵等级达到轻微拥堵、中度拥堵、严重拥堵时发出报警。

(3) 疑似异常停车报警：找出自进入该区间起超出区间最大通行时长仍未驶离该区间的车辆车牌号码，结合白名单进一步研判后发出报警。

(三) 系统构成

系统架构如下图所示：



1、**感知及控制层**：包括路侧采集设备及联动处置设备。路侧采集设备主要包括ETC门架、服务区高清卡口、雷达、摄像枪、收费站车道设备。联动处置设备主要包括可变情报板。

2、**数据层**：基于路侧采集设备，采集收费站流水数据、服务区出入口流水数据、雷达轨迹数据、视频检测事件数据。

3、**网络层**：包括收费网、监控网。通过集团数据中心实现收费数据通过脱敏及初步计算后可安全传输到监控网进行二次计算。

4、**能力支撑层**：包括智慧管控大脑、高精度数字底图。

(1) 智慧管控大脑是一个轻量级高速管控策略生成引擎，本方案主要利用门架区间拥堵指数、短时车流预测模型的能力，为应用层提供支撑。

(2) 高精度数字底图包含二三维高精度地图引擎、数字孪生引擎、交通仿真引擎、图业融合中台等。为广东省交通集团投资运营管理的8000公里高速公路数字化转型升级提供了共性技术能力。

5、**应用层**：包括交通运行态势监测与预警系统、监控一体化平台。

(1) 交通运行态势监测与预警系统主要包括智能预警、管控评估、智能分析、规则配置等应用功能。

(2) 监控一体化平台主要接收交通运行态势监测与预警系统的告警并推送至监控员实现告警确认、情报板联动发布，为捕获率统计提供人工填报的事件数据。

(四) 技术指标

1、拥堵预警、拥堵报警的技术指标

(1) 门架区间距离在 3 公里以内，拥堵感知准确率 $\geq 95\%$ ，拥堵预警准确率 $\geq 90\%$ ；

(2) 门架区间距离在 3 至 6 公里以内，拥堵感知准确率 $\geq 90\%$ ，拥堵预警准确率 $\geq 85\%$ ；

(3) 门架区间距离在 6 至 10 公里以内，拥堵感知准确率 $> 85\%$ ，拥堵预警准确率 $> 80\%$ ；

(4) 门架区间距离大于 10 公里以上，拥堵感知准确率 $> 80\%$ ，拥堵预警准确率 $> 70\%$ 。

2、疑似超时停车报警的技术指标

(1) 准确率 $> 80\%$ ，捕获率 $> 80\%$ 。

(五) 预期效果

1、本项目成果充分利用了现有主线 ETC 门架、收费站车道设备、服务区出入口高卡等设备，挖掘现有数据资源价值，投资少，性价比高，快速部署，见效快，不受能见度和夜晚的影响，可作为路网运行监测的重要辅助工具。

2、本项目成果实现了提前 15 分钟预测拥堵，有助于辅助监控员及时发现交通异常情况（如交通阻断、交通拥堵、车辆滞留），事故灾害早发现、早处置，以便及时采取措施，有助于减少二次伤害，减少事故损失。事后辅助判别灾毁等突发事件中涉事车辆范围及历史通行轨迹。

三、实施方案

(一) 技术适用的场景

本技术适用于高速公路单路段、复杂路网，适用于不同距离的门架区间，以及区间存在收费站、服务区、互通立交等情况，充分利用现有设备，部署方法灵活，投资少，见效快，不受能见度和夜晚的影响，具有很好的可复制性、可推广性。

(二) 布设方案

本技术充分利用现有主线 ETC 门架、收费站车道设备、服务区出入口高卡等设备。针对互通立交可加装雷达设备获取断面车流车速数据用于辅助计算。

四、应用效果

(一) 实施效果

本技术充分利用现有主线 ETC 门架、收费站车道设备、服务区出入口高卡等设备，挖掘现有数据资源价值，快速部署，见效快。投资少，性价比高。具有良好的扩展性，可以和视频检测、雷达检测等其他告警、感知系统对接，可以和业务系统对接。已在粤赣高速运行一年，系统已发现 1200 余次异常事件报警。拥堵预警和拥堵报警的正报率均达 90%以上。车辆疑似超时停留报警的正报率达 80%以上，指标、功能在行业内处于先进水平，有效提高监控员的工作效率和交通异常发现响应速度，减少漏报。



(二) 示范效应

(1) 实施便利性

本技术充分利用现有主线 ETC 门架、收费站车道设备、服务区出入口高卡等设备，挖掘现有数据资源价值，具有部署便捷、见效快等特点。本技术应用时只需要完成系统部署、数据接入及处理、算法调优，便可正式上线运行。项目实施周期在一个月以内。

(2) 兼容性

本技术具备多源数据融合分析能力，可对接雷达、视频事件检测、实时监控

视频、视频录像等数据进行自动关联和交叉验证，方便监控员进行确认。

（3）可复制可推广条件

本技术具有较好的推广应用条件：

① 采用行业主流的交通流预测算法、学术理论，参考行业标准规范，技术成熟度高；

② 有相关的成功经验，系统已在粤赣高速稳定运行一年。系统功能和核心指标经过中国赛宝实验室权威认证。

③ 应用门槛低，充分利用现有主线 ETC 门架、收费站车道设备、服务区出入口高卡等设备，挖掘现有数据资源价值，快速部署，见效快，可作为路网运行监测的重要辅助工具。

④ 普适于各种场景，包括高速公路单路段、复杂路网、不同距离的门架区间，以及区间存在收费站、服务区、互通立交等情况，且不受能见度和夜晚的影响。

（4）经济社会效益

本技术充分利用了现有设备，投资少，性价比高。实现了提前 15 分钟预测拥堵，有助于辅助监控员及时发现交通异常情况，减少二次伤害和事故损失。

案例9：高速公路网ETC门架数据融合感知与智能监测预警应用示 范

一、技术来源

技术来源单位：吉林省高速公路集团有限公司、交通运输部规划研究院

联系人及方式：孙会，18004315599；张路凯，18600246488

二、技术简介

（一）技术要点

案例技术应用中，依托高速公路网既有ETC门架数据，以及视频卡口、气象等多源时空数据，通过智能融合关联分析技术，实现对高速公路交通流运行状态的实时感知与精准识别。落地实践中，聚焦高速公路路网智能监测预警平台整体架构，涵盖路网运行监测系统、路网预警应急系统、感知设备管理系统及大屏可视化平台四个核心系统，旨在提升高速公路基础设施和路网运行、车辆通行的告警研判能力。

（二）系统功能

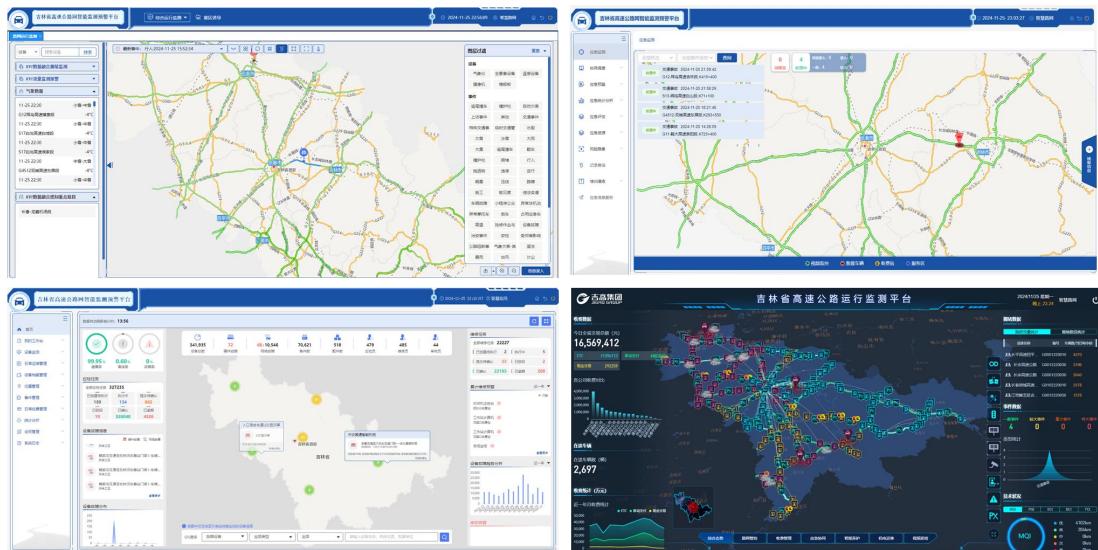


图1 高速公路网智能监测预警平台模块

1. 路网运行监测系统：实现了多源数据融合处理，构建了全面的路网运行数据库；实时监测和分析交通流量、速度、密度等关键指标；智能识别交通异常事件并生成报告。

2. 路网预警应急系统：基于实时交通流数据和历史数据分析，实现了提前

预警潜在的交通拥堵和事故风险；自动触发应急响应机制，包括信息发布、交通疏导、资源调配等；支持跨部门协同抢险，提高应急处理效率。

3. 感知设备管理系统：统一管理了高速公路沿线的各类感知设备，实时监控设备运行状态；提供了设备故障早期预警和维护管理功能，延长设备使用寿命，确保数据连续性和完整性。

4. 大屏可视化平台：通过智能化大屏实时展示了路网运行状态、交通流量、异常事件等关键数据；支持多种数据可视化展示方式和交互操作功能，辅助决策制定。

(三) 系统构成

系统平台采用分层架构设计，包括数据采集层、数据传输层、数据处理层、业务应用层和展示层。各层之间通过标准协议和接口实现数据共享和协同工作。



图 2 系统技术架构设计

1. 数据采集层

(1) 功能描述。系统最底层，负责从各种数据源中收集原始数据。包括但不限于 ETC 门架、视频点位、气象站、收费站车道设备、服务区出入口设备等。通过部署在数据源附近的传感器或数据接口，实时或定期地获取数据，并将其转化为系统可处理格式。

(2) 关键技术。数据接口标准化中, 确保不同数据源的数据能够顺利接入系统。数据采集协议中, 定义数据采集的频率、格式和质量要求。数据过滤与预处理中, 在数据进入系统之前, 进行初步的数据清洗和格式转换。

2. 数据传输层

(1) 功能描述。负责将外场传感器数据安全、高效地传输到处理层, 解决数据在传输过程中的安全性、可靠性和实时性问题。

(2) 关键技术。数据加密技术中, 确保数据在传输过程中不被窃取或篡改。数据压缩技术中, 减少数据传输量, 提高传输效率。数据传输协议确保数据能够准确、及时地到达目的地。

3. 数据处理层

(1) 功能描述。平台核心部分, 负责对 ETC 门架以及视频卡口、气象等多源时空数据进行存储、清洗、整合和分析, 应用了流程化数据处理模型, 并实现了多源数据融合算法。

(2) 关键技术。分布式系统用以确保数据的高可用性和可扩展性; 数据清洗用以去除数据中的噪声和异常值, 提高数据质量; 数据整合用以将来自不同数据源的数据进行关联和融合, 形成全面数据集。

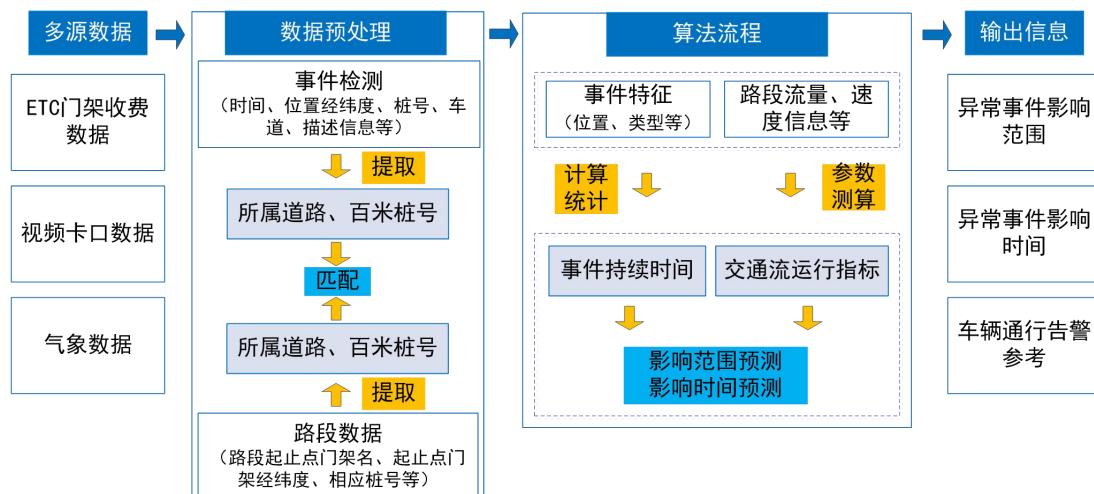


图 3 数据处理算法实现流程

4. 业务应用层

(1) 功能描述。面向高速公路网交通流运行状态监测、异常事件预警、路况信息发布、感知设备管理等业务功能, 基于数据处理层提供的数据和分析结果, 构建了各种业务应用和服务, 满足了交通管理部门和用户的实际需求。

(2) 关键技术。业务逻辑设计中,根据实际需求设计合理业务逻辑和流程。应用开发技术中,使用迭代开发构建应用界面和后端服务。服务接口设计中,提供标准化服务接口,便于其他系统或应用调用。

5. 展示层

(1) 功能描述。系统用户界面,涵盖了高速公路网 ETC 门架数据融合感知与监测预警的功能模块综合展示,设计友好的用户界面和交互方式。

(2) 关键技术。数据可视化技术如图表、地图、仪表盘等,将复杂数据以直观方式展示。交互设计技术如智能选取、扩展等交互操作,提高系统互动性。

(四) 技术指标

1. 试点路段珲乌高速机场段和吉舒高速交通拥堵情况大幅改善,应急事件处置效率显著提升。
2. 依托珲乌高速机场段建立了监测预警应用场景库,实现了路段信息实时可知、拥堵智能可控、事件快速处置。
3. 实现了智能流量管控技术的应用场景和效果,珲乌高速机场段事故率下降了 15%以上,日均断面流量增长了 5%以上。



图 4 技术指标模拟验证测试

三、实施方案

(一) 适用场景

示范技术实践于吉林高速公路网监测预警业务管理,重点在交通流量大、地形复杂、冰雪天气影响显著的路段(珲乌高速机场段、吉舒高速),所述路段属于区域高速公路交通管理和监控的重点与难点。通过整合 ETC 门架数据和视频卡口、气象等多源时空数据,实现了对典型路段交通流运行状态的全面感知和智能预警,满足了业务部门对高速公路安全、高效运营的需求。

(二) 布设方案

1. **数据采集点布设。**在珲乌高速机场段、吉舒高速的关键点位，包括互通枢纽、事故多发区、拥堵常发区等，通过 ETC 门架数据实时采集过往车辆的通行数据，包括车牌号、通行时间、车速、车型等关键信息。同时，整合视频卡口、气象站等数据源，形成了全面覆盖的多源数据基础。

2. **数据采集、传输、处理、分析和展示平台建设。**集成搭建了一套高效、稳定的数据采集、传输、处理、分析和展示平台，采用分布式架构实现了系统高可用性和可扩展性。数据采集模块负责实时接收来自外场传感器的数据，并进行初步处理和校验；数据传输模块采用高效的数据传输协议和加密技术；数据处理模块运用多源数据融合算法和处理模型，对数据进行深度挖掘和分析，提取门架颗粒度的交通流运行特征信息；数据分析模块基于处理后数据，进行动态流量分析、异常事件检测识别、车辆通行研判告警等操作，为管理人员提供决策支持；数据展示模块通过大屏可视化平台，将分析结果以图表、报表、地图等多种形式直观展示，便于实时准确掌握路网运行状态和告警事件等。

3. **高性能服务器和存储设备配置。**以吉林高速集团数据信息中心硬件资源为基础，辅助配置了高性能的服务器和存储设备，扩展了高并发计算能力和存储扩展性，满足了大数据处理和分析需求。存储设备采用高可靠性的存储技术，包括 RAID、备份等，确保了数据可靠性和可用性。



图 5 标准化布设配置条件

(三) 施工要求

项目实施过程中，数据计算处理遵循信息化工程规范要求，结合联网收费管理体系明确了 ETC 门架数据的落地部署权责，通过建立合作对接机制实现了与公安交管部门的视频卡口数据共享，采取购买服务形式实现动态气象数据接

入等。加强系统和数据安全管理，对软硬件开发集成施工过程进行全程监控管理，定期进行漏洞检查和质量抽检，结合数据清洗需求进行后评估，确保信息安全和数据质量。

四、应用效果

(一) 实施效果

技术体系在吉林省高速公路网落地实践，重点应用于交通流量大、地形复杂、冰雪天气影响显著的路段（珲乌高速机场段、吉舒高速），提升了高速公路监测预警的智能化水平，提高了交通运行效率，增强了事件识别定位和告警能力，降低了事故率和拥堵率，保障了高速公路行车安全，路网运行的透明度和可视化管理得到进一步完善。同时，延长了感知设备使用寿命，降低了维护成本，提高了设备使用效率。通过集成的智能可视化大屏直观辅助决策制定，实现了快速映射路网运行状态和异常事件，支撑了安全高效运行业务决策，实施成效显著。



图 6 高速公路网运行监测与预警应急实时支撑

(二) 示范效应

示范案例充分利用了既有ETC门架、视频卡口、气象等多源数据资源，旨在提升高速公路基础设施和路网运行、车辆通行的预警研判能力。案例成果具有广泛的推广应用价值，助力提升了高速公路交通流运行状态的全面感知和智能预警水平，为数据驱动的高速公路监测预警体系提供了新技术、新方法，并具有可复制、能落地、易实施等显著优点。未来案例成果有望在全行业更广范围推广应用，进一步支撑高速公路运行监测、预警应急与综合决策业务智能化发展进程。

案例 10：高速公路 ETC 门架数据关联分析技术

一、技术来源

技术来源单位：福建省高速公路信息科技有限公司、福建省高速公路联网运营有限公司、福建理工大学

联系人及方式：罗永煜，13123300329

二、技术简介

本示范项目依托高速公路 ETC 门架系统，结合大数据、人工智能及物联网技术，采用实时流式处理框架构建一套全域高速公路突发事件全过程辅助研判的 ETC 门架数据关联分析系统。一是采用多模态数据融合技术关联 ETC 门架、收费车道及视频监控等多源数据，实时感知交通流运行情况。二是研发大规模复杂路网下的在途车辆时空状态估计技术，实现在途车辆的下游门架路径预测及到达时间估计。三是通过微观到宏观的多尺度路网交通态势推理技术，实现交通异常分类分级预警。四是构建突发事件全过程辅助研判体系，实现事前预警、事中研判和事后溯源的全过程闭环研判，并打通视频监控，事件告警及信息发布全链路信息化系统，为交通管理、应急救援及决策提供有力支持。

（一）系统功能

1. 交通异常主动识别及分级预警能力。本项目通过多模态数据融合技术对高速公路在途车辆进行实时轨迹拟合（准确率达到 98.7%），并通过微观车辆的通行状态对宏观路网运行态势进行推理，精准识别道路过饱和、道路严重拥堵及突发事件等异常行为，并根据严重程度进行分级预警。



图 1 态势感知及分类分级预警

2. 高速公路突发事件事中辅助研判机制。本项目依托事件感知（图像、事件识别等）、全省视频监控、信息发布（情报板、福建高速一站式服务及交通守望

者等)等系统实现多源事件告警、监控视频核查及告警信息发布等功能,可帮助告警事件快速核查、告警事件一键下发提升事中辅助研判效能。



图 2 事中辅助研判

3.事后涉事车辆范围确定及其历史通行轨迹溯源。本项目基于在途车辆轨迹拟合、车辆轨迹追踪等技术,实现涉事车辆范围的精准识别,涉事车辆历史轨迹回溯等功能。



图 3 事后溯源分析

(二) 系统构成

系统按照事前、事中、事后全过程辅助研判要求进行设计研发,如图 4 所示。事前实现多模态数据实时融合计算,实现交通态势实时感知及分类分级异常预警。事中通过监控联动,交通参数可视化支撑事件确认审核。事后支持涉事范围研判、涉事车辆轨迹回溯及多渠道信息发布。

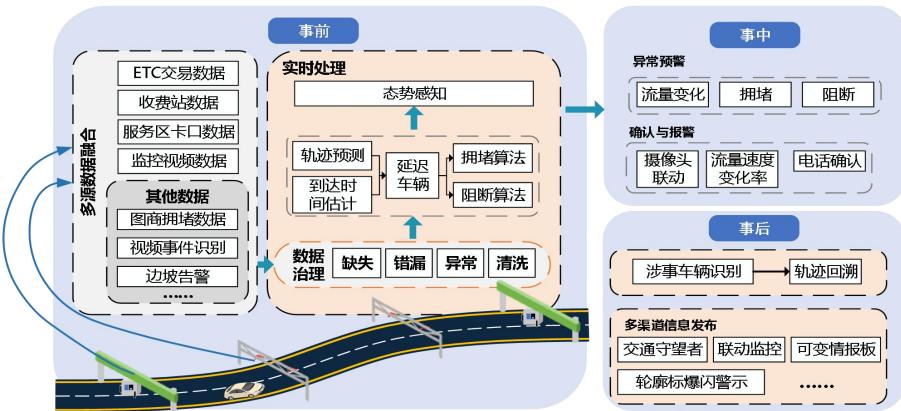


图 4 平台系统架构

(三) 技术指标

1. 车辆行驶轨迹拟合完整率达 90%以上;
2. 交通流运行状态识别正确率达到 90%以上;
3. 事中溯源分析成功率达 90%以上;
4. 事后涉事车辆范围和历史通行轨迹排查成功率达 90%以上。

(四) 预期效果

依托 ETC 门架数据关联分析技术有效提升高速公路事件的感知预警能力，通过多模态数据融合与智能分析，构建覆盖事前预警、事中研判和事后溯源的智能化全过程闭环研判体系。通过分类分级预警提高管理的精细化水平，为突发事件的全面管理提供全方位的数据能力及技术支撑。

三、实施方案

(一) 适用场景

本次揭榜项目依托福建省高速公路联网收费、视频监控与智慧服务区等多个系统对省域高速公路 ETC 门架数据关联分析进行支撑。构建高速公路突发事件全过程辅助研判体系，实现路网交通态势实时感知、事前分类分级预警、事中辅助确认审核及事后溯源。解决高流量路段与低流量路段不同的数据表征导致事件检出困难的问题，实现道路中断、严重拥堵等交通异常事件的准确检测识别。

(二) 布设方案

本示范系统构成如图 5 所示，数据层采用高吞吐分布式消息组件 Kafka 实现数据稳定传输；后端使用 Redis 和 Flink 实现秒级实时在途车辆预测，并采用分布式分析数据库 Clickhouse 存储支撑海量数据分析预警；前端基于 Vue 和 Mars3D

实现数据展示和三维可视化，并采用 Nginx 负载均衡实现高并发访问。

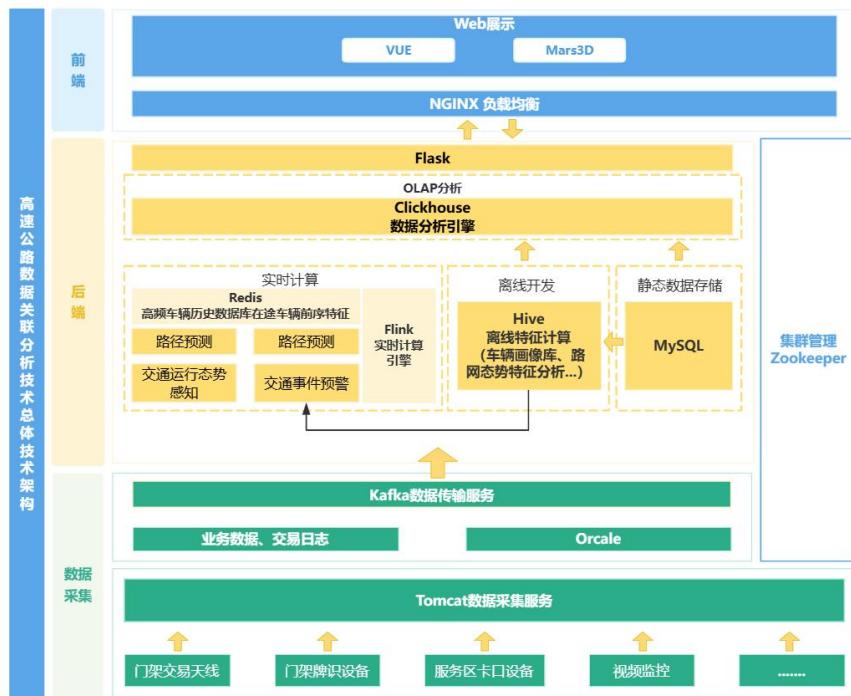


图 5 平台系统架构

四、应用效果

(一) 实施效果

本项目在福建省高速路网全域进行试点，并进行相应测试，成效显著。一是高速公路交通流运行状态的准确识别，严重拥堵与道路阻断整体检出正确率达到 90.6%；二是事中溯源分析成功率达到 98.67%；三是事后涉事车辆范围和历史轨迹排查成功率达到 93.65%以及车辆行驶轨迹拟合完整率达到 98.7%。

针对福建省 2024 年 9 月份路网中心交通事件共 6000 多件，经人工筛查共有 245 起事件导致交通异常，其中中断事件为 55 例，严重拥堵事件 190 例。本系统道路阻断事件告警 61 次，事件检出率达到 94.55%，道路严重拥堵事件告警 211 次，事件准确率达到 89.47%。

(二) 具体案例

2024 年 9 月 16 日，7 点 40 分 G25 线长深高速连城段发生的交通事故，造成道路中断。本系统于 7 点 45 分成功检测到该路段出现疑似阻断事件，并弹窗告警，滞后仅 5 分钟。最后与有关部门查证，该路段在该时间段确实发生了交通事故导致中断。

事中感知辅助事件判定。系统支持通过事发路段监控摄像头、路段流量变化

情况以及车速变化情况等信息支撑初步辅助研判。如图 6 所示，系统自动轮询涉事路段监控供核查确认，并从数据层面分析得出，该路段于 7 点 40 分时速度流量都骤降归零。



图 6 中断事件事中辅助确认

事后溯源支撑应急搜救与事故调查。如图 7 所示，通过对涉事车辆轨迹进行溯源跟踪辅助研判，经查证发现核查时间点该路段有 4 辆车滞留在该路段中，且前后路段流量异常，符合中断事件的异常情况。最后通过进一步查看涉事车辆轨迹，确认上述 4 辆车确实滞留于该路段。



图 7 中断事件事后涉事车辆轨迹溯源

(三) 示范效应与推广价值

1. 示范效应。目前该系统已应用于福建省路网运行监测中，以 9 月份数据为例，阻断事件成功告警 52 次，严重拥堵事件成功告警 170 次。系统能够在异常事件发生的早期及时发出预警，显著提升路网管理的响应效率。通过实时监控和快速反馈，实现事中辅助分析。同时，实时轨迹拟合算法支撑事后涉事车辆溯源。本项目可有效提升管理、救援效率，为应急调度、交通管控和道路疏导提供准确

依据。

2.推广价值。本示范项目是一套针对性强、应用面广、可复制性高、性价比高、性能成熟可靠的基于ETC门架数据关联分析的高速公路监测预警示范系统，可确保高速公路突发事件监测的精准性、报警的及时性与准确性，显著提升高速公路突发事件的快速感知能力、预警能力以及应急处置能力。

一是可复制性高，性价比高。依托ETC门架系统，复用现有前端感知设备，部署于省级监控中心，算力负载小仅需增设两台服务器即可支撑系统稳定运行。

二是通用性高，适用范围广。依托一致的ETC数据标准，项目具备快速推广能力，可在全国其他省市进行快速部署与应用，可适应不同区域的高速公路监测和管理需求。

三是实施便捷，实施周期短。采用容器化部署，具备高度可移植性和可复制性，在完成数据对接后仅需15人日即可完成整个系统部署。

四是兼容性好，可扩展性强。在事前感知方面打通视频监控、边坡监测等系统，事中告警方面集成情报板、智能轮廓标及交通守望者等系统。同时，系统定义标准化数据格式、预留通用接口，支撑未来扩展需求。

案例 11：基于复合数据的多维度路网运行风险监测预警

一、技术来源

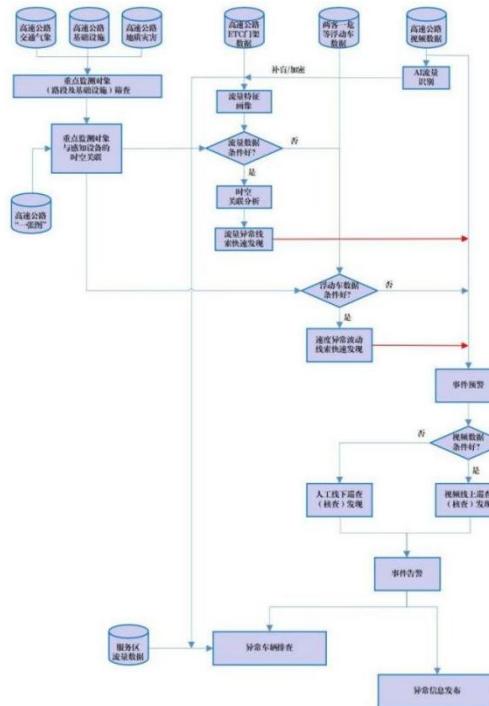
技术来源单位：交通运输部路网监测与应急处置中心、北京掌行通信息技术有限公司、太极计算机股份有限公司

联系人及方式：王磊，15010362590

二、技术简介

（一）技术要点

充分利用高速公路 ETC 门架等流量传感器，辅以高速公路路侧视频等位置传感器，通过挖掘时空相关流量传感器间的流量作用模式和车辆行为模式，构建覆盖路段级和基础设施级，低时延、高精度、高弹性、全流程的路网基础设施运行风险的监测预警技术体系。

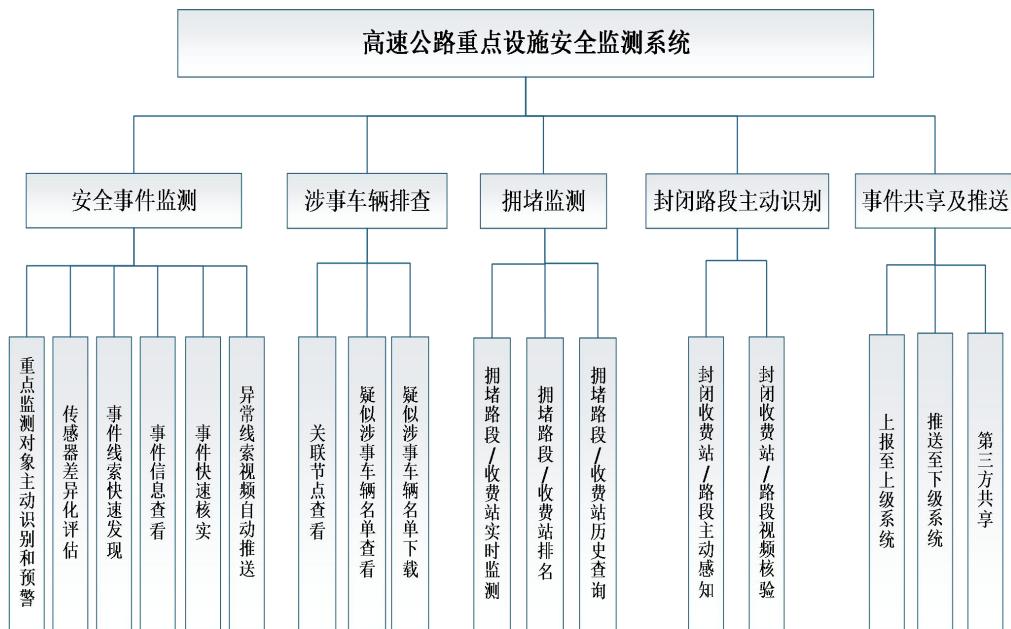


系统通过构建基于 GIS 的时空数据底座，利用重点关注风险路段及基础设施主动识别、时空关联数据融合分析、基于传感器能力差异化的弹性监测策略、涉事车辆自主动态排查、部省站三级事件联动监测预警等五类算法模型，实现安全事件监测、涉事车辆排查、拥堵监测、封闭路段主动识别、事件共享与推送等五大业务场景。通过高速公路 ETC 门架数据及视频等多源数据融合分析、快速

识别交通异常,形成异常事件线索并主动告警,辅助管理人员进行事件溯源分析。

(二) 系统功能

系统五大核心功能包括: 安全事件监测、涉事车辆排查、拥堵监测、封闭路段主动识别、事件共享与推送。



基于复合数据的多维度路网运行风险监测预警系统,主动识别高速公路基础设施及路网运行突发事件、拥堵情况、路段封闭信息,辅助判别基础设施灾毁等突发事件中涉事车辆范围及历史通行轨迹,并将识别出的事件线索进行预警,推送至高速公路运营管理部门进行事件确认、进行事件告警信息发布。

(三) 系统架构

系统总体架构包括 1 套基于 GIS 的时空数据底座, 5 类互相协同的算法, 5 大核心业务场景组成 (1+5+5)。

一套基于 GIS 的时空数据底座, 通过地图数据及 GIS 引擎服务构建高速公路专业图层和地图服务能力, 将高风险基础设施等重点监测对象与感知设备建立映射关系, 将高速公路 ETC 门架数据、两客一危等浮机动车数据、高速视频数据、服务区流量等与 GIS 底座进行融合, 建成基于 GIS 的时空数据底座。

五类协同算法, 重点关注风险路段主动识别、时空关联数据融合分析、基于传感器能力差异化的弹性监测策略、涉事车辆自主动态排查、部省站三级事件联动监测预警, 算法间互相协同, 共同支撑方案目标实现。

五大业务场景, 通过多源数据融合分析、机器学习等技术手段, 快速识别突

发事件，形成异常事件线索并主动告警，辅助管理人员进行事件溯源分析。



(四) 技术指标

根据检测报告结论，相关技术指标为：

- 1. 异常事件检出时效性:** ETC 门架流量传感器：在流量特征不明显情况下，异常事件检出时延不高于 20 分钟。浮动车传感器：在浮动车分布数量足够情况下（5 分钟内经过路段浮动车超过 10 辆），异常事件检测时间不高于 1 分钟。
- 2. 异常事件检出准确性:** 流量传感器给出的线索，准确性为 100%；对于浮动车速度波动给出的线索，准确性不低于 70%。
- 3. 异常事件线索的覆盖率:** 异常事件线索的覆盖率为 100%。
- 4. 重点检测对象覆盖率:** 重点监测对象覆盖率不低于 95%。
- 5. 异常线索核实时延:** 对于视频覆盖的线索，本项目异常核实时延不超过 3 分钟；对于需要线下确认的线索，本项目要求异常线索核实时延不超过 10 分钟。
- 6. 涉事车辆检索召回率:** 涉事车辆检索召回率超过 90%。

(五) 预期效果

- 利用对高风险基础设施等重点监测对象筛查、检测对象与感知设备时空关联，提升突发事件感知准确性，减少误报率。

基于高速公路气象数据、高速公路基础设施数据、高速公路地质灾害数据，实时动态筛选强降水影响路段、重点监测设施以及地质灾害风险路段等作为重点

监测对象，缩小筛选范围。基于路段设施责任单位或责任人上报信息，人工筛查需要重点监控的高速公路设施作为重点监测对象。

2. 充分利用高速公路 ETC 门架、视频等既有数据，及时识别基础设施突发事件、拥堵情况、路段封闭信息。

(1) 安全事件监测：通过高速公路 ETC 门架时空关联分析，依据拓扑关系获取 ETC 门架“点-线-面”的关联关系，提取其中同一高速的线结构，完成流量异常线索生成，并且实现流量异常线索全生命周期管理，完整记录其产生、演化、结束过程中的相关信息。当识别到流量异常线索后，将其分发至路段管理单位，开展后续线索确认、涉事车辆排查等工作。

(2) 拥堵监测：拥堵监测主要基于以门架为主的多源数据，通过与地图匹配分析得到路况信息，按照设定规则检出交通运行状态为拥堵缓行的路段或收费站，为路网运行监测管理、辅助决策、指挥调度等工作提供数据支撑。

(3) 封闭路段主动识别：实现封闭收费站、路段的主动感知，在现有的收费站关闭、路段封闭报送机制外，提供了信息化的主动识别技术手段，监测范围覆盖全网、主动识别、自动报送，在示范应用中达到了预期效果。

3. 利用 ETC 门架数据、服务区流量数据，排查涉事车辆。

通过 ETC 门架数据和服务区流量数据，实现对受灾路段上游 ETC 门架通行车辆和相关服务区滞留车辆的分析，自动化生成涉事车辆名单。

4. 铰接现有指挥调度平台，实现突发事件的快速发布

系统支持多种部署方式，能够与各省现有的指挥调度平台无缝衔接，有效支撑实际监测业务。同时，系统预留数据共享接口，能够将各类信息推送至图商、情报板、交通广播、警示灯、守望者等信息发布终端及时传达至出行公众。

三、实施方案

(一) 适用场景。

1. 安全事件监测场景：当灾毁等突发事件发生时，在系统中实时产生线索信息，包括事件检出时间、事件发生位置、路段责任人，事件状态等信息。由路段责任人通过视频或现场方式确认事件是否存在。确认存在的事件通过系统实时跟进事件处理结果。

2. 拥堵监测场景：当拥堵事件发生时，在系统中实时产生拥堵预警信息，包

括拥堵位置、拥堵长度、拥堵开始时间、拥堵累计时长、平均速度等信息，为各级路网运行监测管理、辅助决策、指挥调度等工作提供数据支撑。

3. 封闭路段主动识别场景：当路段封闭时，在系统中实时产生封闭预警信息，包括事件检出时间、封闭路段长度、封闭路段方向、封闭路段起始位置等信息。为各级路网运行监测管理提供决策支撑。

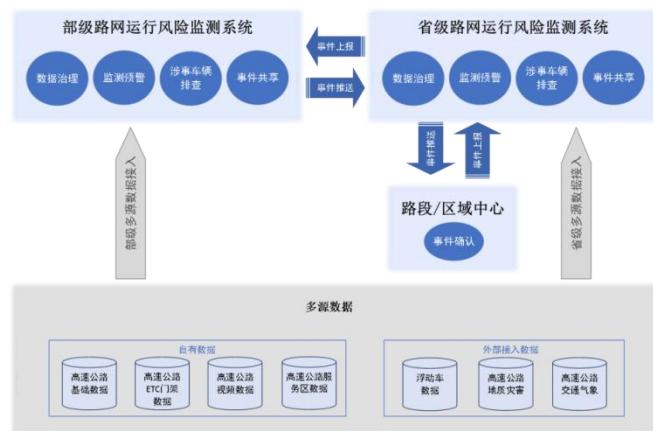
4. 涉事车辆排查：当灾毁等突发事件确认后，基于路网进出收费站、服务区和 ETC 门架等节点对疑似涉事车辆进行搜索，形成疑似涉事车辆名单。

5. 事件共享与推送：当灾毁等突发事件确认后，通过数据接口方式将事件共享给多渠道，包括图商、情报板、交通广播、警示灯、守望者等信息发布终端，及时对相关车辆进行告警。

（二）部署方案

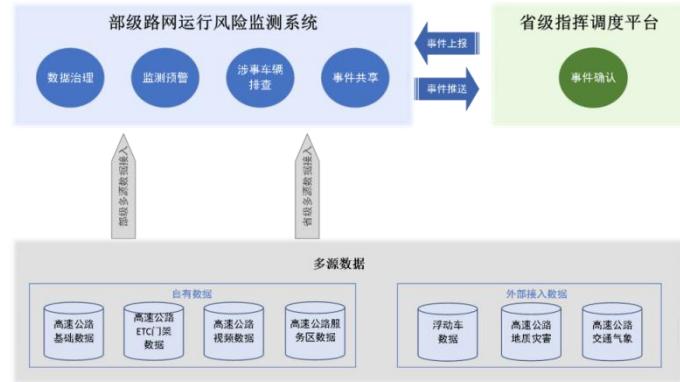
1. 本地部署模式

各省或路段自行建设省级路网运行风险监测系统，将区域内基础设施、ETC 门架、服务区等自有数据及浮动车、气象等外部数据接入省级系统中，在各省或路段部署数据治理、监测预警、涉事车辆排查、事件共享等模块支撑道路管理单位开展基础设施监测预警及告警，同时将事件上报给上级路网运行风险监测系统。



2. 轻量化服务模式

轻量化服务模式可直接利用部级系统开放省级及路段级用户权限来实现异常事件监测及确认的功能，也可将部级系统检出的事件线索推送至省级或路段指挥调度平台等已建系统中来完成异常事件确认。



四、应用效果

(一) 实施效果

在部路网中心进行了全网范围的示范验证，在贵州 G60 沪昆高速和 G75 兰海高速部分路段进行了典型路段的示范验证，完成了申报方案全部预设功能。

1.突发事件主动识别与事件共享：从贵州示范验证来看，示范路段上的安全事件监测主动识别的事件完全覆盖了实际发生事件，能够和现有的指挥调度平台无缝衔接，可有效支撑实际监测业务。其信息推送功能能与公众服务信息发布体系有效衔接。应用本系统复盘广东梅大塌方灾害等 3 次突发事件，可实现事件线索快速发现。

2.主线及收费站关闭状态的感知：部路网中心已将系统的封闭路段主动识别功能于 2024 年 6 月上线试运行，基本实现了主线及收费站关闭状态的主动识别，在 11 月底的冰冻雨雪天气下封闭路段主动识别上也发挥了辅助功能。

3.拥堵状态的自动监测：从部级示范验证来看，拥堵监测功能长期用于部级保通保畅工作支撑，经过多轮迭代优化能完全满足拥堵监测的需求。

4.涉事车辆的全面排查：在今年广东梅大塌方灾害等 3 次突发事件中，利用涉事车辆排查功能在较短时间内锁定事故车辆，为后续的救援指挥提供了参考。

(二) 示范效应

1.数据基础：本项目使用的数据多为行业自有数据，有丰富的数据积累和稳定的数据来源。

2.业务验证：拥堵监测功能、封闭路段主动识别功能、涉事车辆排查功能、安全事件监测功能在时效性、准确性、覆盖率等方面都得到了检验验证。

3.部省路段验证：本项目通过在部路网中心和贵州示范路段的示范验证，证明在部省两级均可落地、可应用，部署灵活、效果可靠，具备扎实的推广基础。

方向三：公路灾毁报警与信息服务技术

案例 12：基于新一代车路通信（ETC 2.0）的公路灾毁信息报警和信息服务技术

一、技术来源

技术来源单位：北京中交国通智能交通系统技术有限公司、交通运输部公路科学研究院、广东省交通集团有限公司、苏州交通投资集团有限责任公司、深圳成谷科技有限公司

联系人及方式：刘鸿伟，18610615362；孙晓亮，18510164312

二、技术简介

（一）技术要点

针对现有 ETC 技术实现信息发布存在的覆盖范围较小、与收费业务串行导致的时效性和可靠性差等问题，基于新一代车路通信（ETC 2.0）的公路灾毁信息报警和信息服务技术（以下简称“ETC 2.0”系统）的技术要点如下：

1、依托公路工程行业标准《公路电子不停车收费车路协同拓展应用技术规范》（JT/T 6520-2024），充分利用既有 ETC 门架基础设施，以及所有车辆都具备的通行介质（OBU 和 CPC）和多样化智能信息终端，通过规范化标准接口把感知、通信、信息发布等设施集成一体，构建开放协同的分层分级网络架构，实现多源数据可靠接入、信息发布策略自动生成、预警信息及时发布和多信息终端联动控制，以较低的投入、快速实现公路灾毁事件及时感知、报警和信息精准触达，做到事件早发现、早预警、早处置，避免次生灾害发生。

2、实现对公路灾毁高风险路段全天候监测识别、实时安全预警；灾毁事件一旦发生，系统能够及时上报并通过 OBU、情报板、爆闪灯、交通喇叭、无人机声光预警等多种触达手段向附近车辆发出警报和引流诱导信息，避免发生次生灾害；灾毁事件发生后，系统能准确识别涉事车辆数量和涉事车辆信息，有助于确认事故规模，指挥救援，提高救援效率。

3、开辟了独立的交通专用公路灾毁报警信息拓展服务信道，与联网收费业务各自独立部署、并行工作、互不干扰，具备“长距离、低时延、高可靠”通信

传输。单点通信距离可达 1km, 位速率可达 4M bps, 时延 \leq 50ms, 支持单播、广播, 丢包率 \leq 0.5%, 可通过语音、图片、短视频等多方式定向精准触达用户。

4、具备多源数据可靠接入、车辆信息准确获取、发布策略本地生成、一键多端发布、定向精准触达功能, 实现公路灾毁信息百毫秒级发现和触达用户, 解决传统的可变情报板等诱导和信息发布手段单一且不及时的问题。

5、融合北斗定位模块, 复用金融级安全体系, 在关键射频芯片等选择上充分考虑国产自主可控, 且在断电断网等极端情况下仍能够提供基础的感知和报警服务, 可有效提升公路灾害监测预警和公众出行信息服务可靠性。

(二) 系统构成

ETC 2.0 系统采用“端-边-云”架构, 通过新一代通信技术 (ETC 2.0) 将感知、通信、信息发布设施融合于一体, 系统总体架构如图所示。

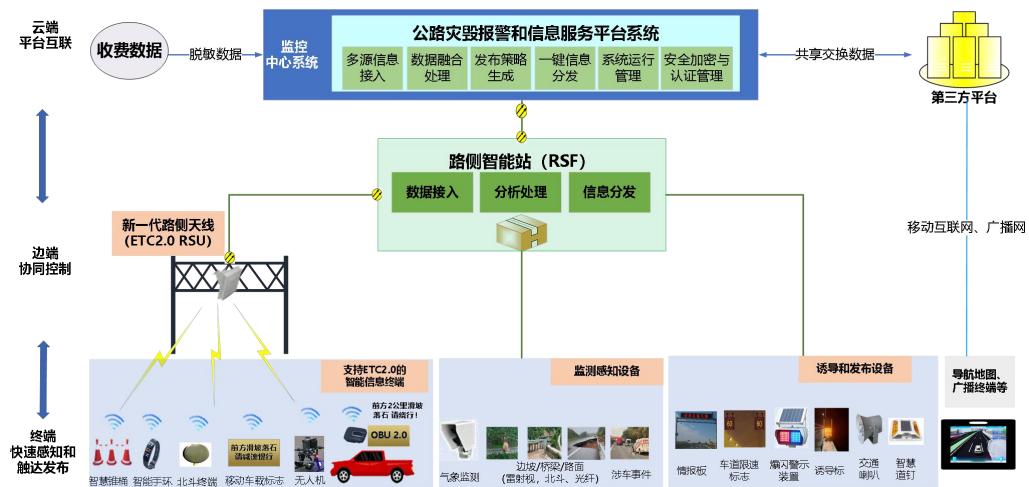


图 1 系统总体架构

1、**端侧**: 主要指感知、通信和发布的三类设备, 一类是多源融合感知设备, 包括视频、雷达、射频、桥梁/边坡结构监测传感器、气象站等, 部署在高风险路段、事故多发区域等重要点段; 第二类是新一代路侧天线 (RSU), 通过光纤通信或通过无线通信方式与信息发布终端的低功耗模组通信; 第三类是信息发布终端, 由既有可变情报板、爆闪装置、交通喇叭等诱导和发布设备, 以及支持 ETC 2.0 的多样化的智能信息终端组成, 包括新型 OBU 2.0、新型移动车载标志、智慧安全帽、智慧锥桶、智慧道钉、智能手环、无人机等;

2、**边侧**: 主要指路侧智能站 (RSF), 部署在路段或收费站机房, 与端侧、云侧设备/平台互联互通、本地决策;

3、**云侧**: 主要指部署在监控系统中的公路灾毁报警和信息服务平台系统,

按业务分为路段级、区域级、省级/全网级三层架构，形成跨路段、跨省、跨层级、跨主体信息的级联互通的韧性网络。

（三）系统功能

ETC 2.0 系统的功能如下：

1、精准感知、事件检测：充分利用在高风险路段、事故多发区域等重要点段布设的雷达、射频、视频、桥梁/边坡结构监测设施，通过接入路侧智能站（RSF）或平台系统，实现交通拥堵、车辆异常状况、恶劣气象、路桥隧灾害事件、交通事故等的有效识别，并根据事件位置等信息实现百毫秒内发现事件、自动抓拍、上传、确认。

2、低成本、低功耗、高可靠即时通信：新一代路侧天线（RSU）与终端通信模组可实现 4M 带宽、50ms 内即时通信，适用于位移、加速度、裂缝、索力等边坡/桥梁监测传感器采集信息即时上报、北斗定位车流轨迹上传和控制命令下发等，与 LoRa、NB-IOT、3G/4G/5G 等通信方式相比，具有低成本、低功耗、大带宽、高可靠通信传输的特点，可电池供电，更易部署、维护简单、运行可靠，且不依赖运营商基站等设施，该技术为构建公路交通低成本路桥灾害性风险监测专网提供了可能，可有效解决监测“最后一公里”无线传输问题，也可解决灾害情况下运营商网络无法兜底可靠传输的问题。

3、本地决策、即时发布：路侧智能站（RSF）具备所管辖区域数据接入、数据融合处理、本地决策生成、覆盖区域信息分发、安全加密与认证管理等功能。RSF 内置信息发布策略，根据中心授权或预设规则，按照事件类型、RSU 布设位置、服务优先级、车流信息等，可本地生成预警信息，通过既有可变情报板、爆闪装置、交通喇叭以及 OBU 2.0、智能信息终端等发布差异化信息。RSF 可独立运行，也可实现相邻设备接管，当某一个 RSF 崩机时，与之连接的 RSF 能接管工作；当出现云侧与 RSF 断网等极端情况时，将激活本地自运行状态，根据预设规则自主工作，从而提升灾毁事件下的系统可靠性实现事件早发现、早预警、早处置，避免次生灾害发生。

4、跨域协同、精准触达：该系统具有开放性和可扩展性，可根据不同的业务管理架构，分为路段级、区域级、省级/全网级系统。当事件发生时，可根据事件类型和信息发布需要，各级系统间交互信息，实现分层分级差异化报警和

信息服务，支持与互联网导航平台数据共享，通过导航 APP、车载广播为用户提供灾毁报警信息。支持广播和差异化单播通知，支持根据车辆位置和不同的车牌、速度、车型等信息，精准推送个性化安全预警及服务信息。

(四) 预期效果

本系统单点信号覆盖范围达 1km，实现全天候路面塌陷、桥梁垮塌、边坡塌方等灾毁事件，以及异常停车、逆行、交通事故等交通事件的准确检测，百毫秒内上报，百毫秒内触达车辆；灾毁事件报警信息按车辆位置和不同的车牌、速度、车型等，通过 OBU2.0 和多样化的智能化终端精准触达车辆，同时也支持通过可变情报板、交通喇叭、智慧锥桶、互联网 APP 等多种手段触达用户，精准诱导车辆及时撤离，避免次生事故和灾害发生。该系统还支持用户订阅服务，在未发生灾毁事件时，可向订阅用户提供服务区特色产品、充电桩使用情况、周边旅游景点、餐饮等信息服务。

三、实施方案

针对灾害高风险路段，以及隧道出入口、服务区出入口、大流量交通状态等路段验证场景，本试点工程选取：苏台高速 S17、广乐高速、陈集服务区、深中通道、南昌绕城瑶北段、福泉高速等 4 省 6 条高速验证。

(一) 适用场景

本系统适用于路面塌陷、桥梁垮塌、边坡塌方等公路灾毁事件监测报警，车辆急加速、急减速、急变道、超速、低速、占用应急车道等涉车事件的感知提醒，以及针对服务区空闲充电桩告知等信息服务场景，尤其适用于野外公路沿线光纤部署不便、3G/4G/5G 等信号较弱的山区高速公路，有效降低工程成本。

(二) 布设方案

本系统充分利用既有杆件，结合少量位置新建杆件，部署新型感知与通信设备，主线上下行呈“之”字形间隔交错部署，单向间隔 1000 米左右，在弯道、枢纽、跨线桥、桥梁等路段适当加密部署，此外，隧道路段顶部每隔 300 米（弯道适当加密）、相邻上游服务区出入口、相邻上游收费站入口前方路口部署点位。每个侧杆上利旧视频摄像机，并安装 2 套背靠背安装的新型雷射感知设备（安装高度为 10 米）、1 套新一代路侧天线（RSU）（朝向车辆来向安装，安装高度为 6—8 米）；在路段或收费站机房的网络汇聚点完成路侧智能站（RSF）部署，

每 5km 双向设置 1 对；按需部署可变情报板、交通喇叭、智慧锥桶、无人机等，和 RSF 相连；在内场环境机房服务器中部署平台软件。



图 2 试点路段实施部署图

（三）施工要求

本试点工程在施工实施中，充分利用既有设施，实施便捷，周期短。其中利旧杆件依托既有的路灯杆、摄像机杆、门架等部署，无须封闭车道；同时利旧既有的视频监控供电和通信网络；土建施工作业面少；1 组（一般 3 个工程师）每天可装 5 个点位，有效节省了施工人材机等投入。

四、应用效果

（一）实施效果

1、针对江苏苏台高速模拟路面坍塌、广东广乐高速模拟边坡滑塌等事件，系统能够精确检测灾毁信息，以及事件地点上游、灾毁区域、灾毁地点下游车辆数量、车牌号码、对应车型、进入及停留时间等信息，实时根据识别的车牌、车型、事件相对位置，通过免插电北斗 OBU2.0、情报板、喇叭等发布设备多渠道，可通过广播或一对单一播的方式，按照车辆与灾毁事件位置，分级播报报警信息，通知车主驶离高速、路侧停车等有针对性信息。监控中心人员收到事件弹窗提醒，获取具体位置、时间、取证录像等信息。经测试，灾毁事件百毫秒级实时监测和上报，OBU 语音播报成功率 100%，验证了通过 OBU、可变情报板等发布真实可靠，可有效提升交通安全，提高灾毁、交通事件响应速度，避免次生事故。



图 3 试点路段灾毁监测报警效果示意图

2、针对广东深中通道、南昌绕城瑶北段、福泉高速等涉车事件，系统精确识别带车牌的停止、占用应急车道、货车走快车道、急加速、急减速、急变道、超速、低速事件，精确统计测试路段范围内车辆数量、车型和车重等信息，通过免插电北斗 OBU2.0、情报板、喇叭等发布设备多方式通知车主，根据车辆和停车事件相对距离发布针对性告警信息，经测试，可有效提升通行效率，节省通行时间，减少因拥堵导致的碳排放。



图 4 试点路段涉车事件报警效果图

(二) 示范效应

本试点工程具备“先进、成熟、便捷、经济、拓展”的特点：

1、技术先进：ETC 2.0 系统相关产品及技术指标符合公路工程行业标准《公路电子不停车收费车路协同拓展应用技术规范》（JTG/T 6520-2024）的技术要求，在行业内处于先进水平。

2、条件成熟：利用覆盖全路网的信息基础设施和成熟 ETC 服务体系，其系统架构、设备接口、通信协议等均标准化，具备规模化推广条件。

3、实施便捷：充分利用现有的 ETC 门架、摄像机杆件等基础设施，以及供电和供网资源，实施便捷，周期短。

4、建设经济：除了本试点应用的江苏、广东、江西、福建等省份，也已在或正在河南、河北、湖南、湖北、辽宁、浙江等省份实施，成效明显，工程建设运维成本低。

5、可复制可推广拓展：系统具有良好拓展性，通过规范化标准接口可与多种告警、感知系统对接；不仅在高速公路，也可在普通公路、城市道路应用，对 ETC 产业、公路基础设施数字化转型升级、车路云一体化应用等工程提供支撑，未来可复制可推广性高。

案例 13：基于 ETC 的信息发布技术（“交通守望者”）

一、技术来源

技术来源单位：交通运输部路网监测与应急处置中心、北京网路智联科技有限公司、江苏高速公路联网营运管理有限公司、江苏宁沪高速公路股份有限公司、福建省高速公路联网运营有限公司、福建泉厦高速公路管理有限公司、贵州黔通智联科技股份有限公司、河北高速公路集团有限公司

联系人及方式：谷岩，18510167215；董飞，18612834418

二、技术简介

（一）技术简介

充分利用通信、监控、收费等系统及基础设施，汇聚融合多源感知信息，以 ETC 系统为基础，采用 5.8GHz DSRC 协议，在不影响正常计费交易的前提下实现精准信息发布；基于多场景联动发布技术，充分利用事故上游的主线 ETC 门架、服务区、隧道、收费站的 ETC 天线，将灾害事件信息发送至 ETC 车载终端，提醒用户及时采取避险措施，提升用户通行安全。

（二）系统功能

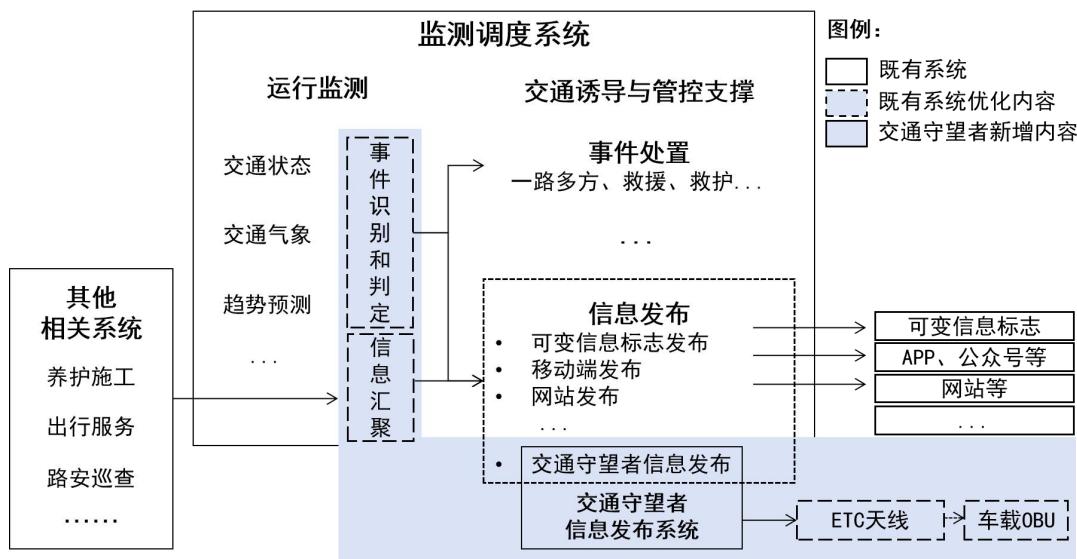


图 1 “交通守望者”与相关系统交互图

“交通守望者”是既有信息发布渠道的重要补充，接收监测调度系统的各类信息，通过既有 ETC 门架及按需设置的 ETC 天线进行信息发布。系统核心功能包括：多源信息汇聚、发布策略管理、发布模板管理、智能寻址、信息发布、跨路

段协同发布、跨省协同发布、重大突发事件一键发布等功能。

(三) 系统构成

“交通守望者”系统由三个层级组成，分别是路网级、省/路段级、路侧。

(1) 路网级

包括交通守望者 ETC 信息发布平台（路网级功能）、运营平台等，为路网级运营单位开展交通守望者信息发布运营业务、跨省信息发布协同业务提供支撑，为全网各级运营单位业务接入、系统运维提供保障。

(2) 省/路段级

包括省/路段监测调度系统（升级）、交通守望者信息发布平台（省/路段级功能）、省级收费系统 ETC 信息转发模块等，实现事件识别和判定、信息发布协同、信息发布运营等功能。

(3) 路侧

包括主线、收费站、服务区、隧道等场景的软硬件建设及升级，与交通守望者 ETC 信息发布平台（省/路段级功能）、ETC 信息转发模块交互，接收信息发布相关指令，并将信息发布至车端。

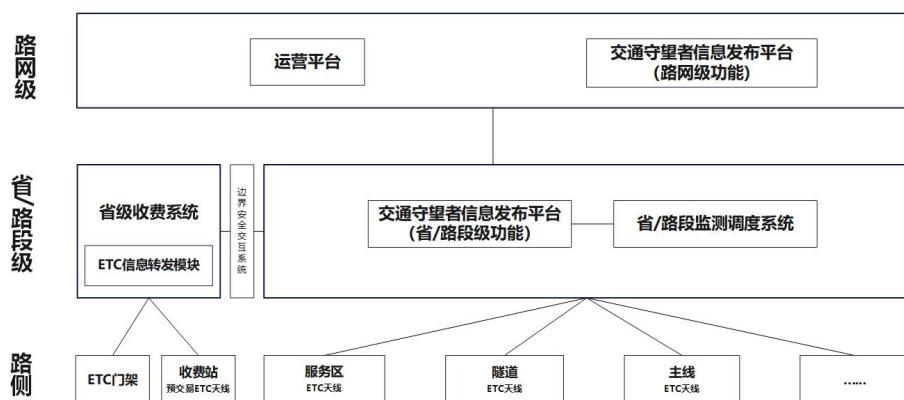


图 2 “交通守望者”系统架构图

(四) 技术指标

- (1) 系统可用性：系统需满足 7×24 小时不间断服务的要求。
- (2) ETC 信息发布平台响应及并发：平均响应时间不高于 500ms，单路段并发不低于 50tps。
- (3) 信息发布处理时长(不含人工处理)≤5s。
- (4) 信息发布准确率：100%。
- (5) 信息播报成功率：≥99%。

(五) 预期效果

(1) 利用 ETC 天线, 实现公路灾毁情况和突发事件的一键快速发布。

当发生公路灾毁情况和突发事件时, 可通过事件上游的 ETC 天线, 将事件信息一键发送至 ETC 车载终端, 提醒用户及时采取避险措施, 提升用户通行安全。

(2) 实现多场景联动预警, 提升通行安全和效率。

当发生交通事故时, 基于多场景联动发布技术, 事故上游的主线 ETC 门架、服务区、隧道、事故高发路段等场景下的 ETC 发布点位可同时进行信息发布, 提升通行安全。

三、实施方案

(一) 适用场景

“交通守望者”适用于公路(高速公路、普通公路)全场景, 包括但不限于主线场景、隧道场景、服务区场景、收费站场景等, 尤其适用于具有事故多发、恶劣天气易发、存在地质灾害风险、大流量易拥堵等特点的场景。从 ETC 车辆驶入高速至驶出高速公路全程, 沿途为用户提供全程伴随式出行服务, 为用户安全出行保驾护航。

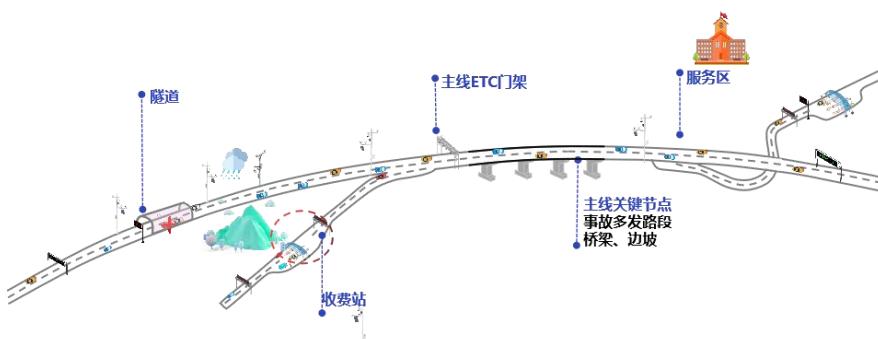


图 3 “交通守望者”应用场景示意图

(1) 多场景联动安全预警

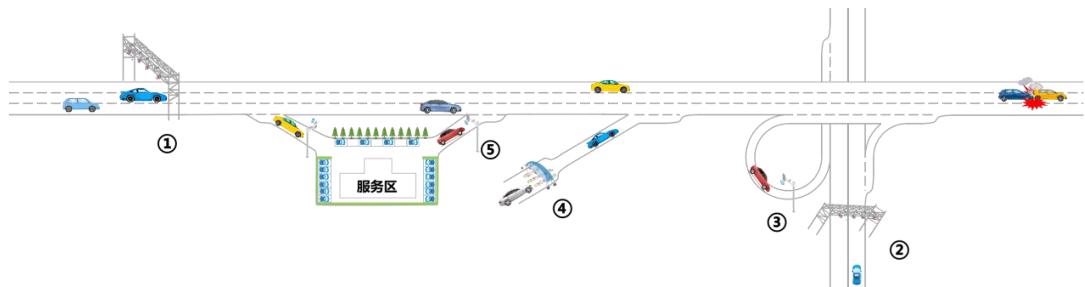


图 4 发生交通事故后, 多场景联动安全预警示意图

当发生事故时，可同时向影响范围内的事件上游发布点位（含 ETC 门架、服务区、收费站、隧道、其他关键点段等）发布安全提醒信息，提醒车辆采取减速、避让、绕行等安全措施。

说明：①事件上游主线门架；②③事件上游枢纽互通连接的主线/匝道门架；④事件上游收费站入口；⑤事件上游服务区出口。

（2）隧道安全预警场景

当隧道内发生交通事件时，利用隧道入口 ETC 天线（示意图中点位①）发布隧道内事件信息，提醒车辆减速慢行、注意避让；利用隧道上游 ETC 门架（示意图中点位②），发布交通诱导信息，引导车辆绕行。

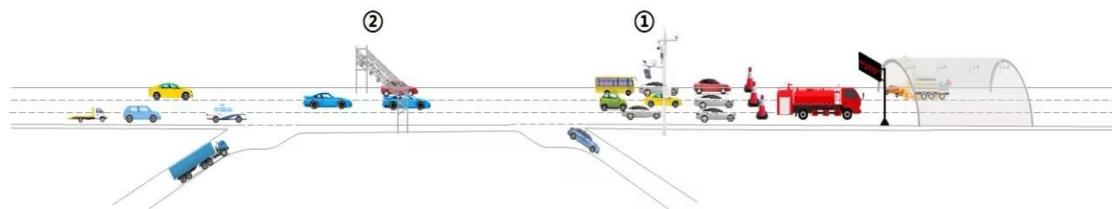


图 5 隧道发生交通事故后，隧道入口及上游 ETC 门架联动预警示意图

（3）重大突发事件一键发布场景

当发生重大突发事件时，“交通守望者”系统具备支撑部级、省级一键发布的功能，支持同时向影响范围内的事件上游发布点位（含 ETC 门架、增设的 ETC 天线）发布紧急安全提醒信息，提醒车辆采取减速、避让、绕行等安全措施。

（4）全程伴随式出行服务场景

从 ETC 车辆驶入高速至驶出高速公路全程，沿途为用户提供伴随式服务。当车辆通过收费站入口时，向用户播报交易情况/特情情况/前方路况等；当车辆行驶至主线 ETC 门架/关键节点 ETC 发布点位时，向用户播报前方事故信息进行安全预警；当车辆行驶至服务区时，向用户播报区内服务信息/前方路况信息，引导用户规划行程，提升获得感；当车辆从收费站出口驶出时，向用户播报交易情况/特情情况，引导车辆合理选择收费车道，提升收费站通行效率和用户体验。

（二）路侧布设方案

（1）主线

升级既有的 ETC 门架系统（含门架后台软件、门架前端软件、ETC 门架天线固件等），实现信息发布功能。

在事故多发、恶劣天气易发、存在地质灾害风险、大流量易拥堵等的关键点段设置 ETC 天线，部署路侧 ETC 信息发布软件，实现信息发布功能。

(2) 隧道

在隧道出入口及隧道内设置 ETC 天线，部署路侧 ETC 信息发布软件，实现信息发布、车辆信息采集、数据传输等功能。

(3) 服务区

在服务区出入口设置 ETC 天线，部署路侧 ETC 信息发布软件，实现信息发布、车辆信息采集、数据传输等功能。

(4) 收费站

升级收费站系统（含收费站软件、ETC 天线固件等），部署路侧 ETC 信息发布软件，具备信息发布功能。

(三) 中心建设方案

升级既有省级/路段级监测调度系统，部署 ETC 信息发布平台、ETC 信息转发模块，实现信息发布功能。

四、应用效果

(一) 实施效果

在江苏、福建、贵州、河北 4 个省份开展“基于 ETC 技术的信息发布”工程示范验证，完成 369.257km、共 173 个发布点位的规模验证，完成 4 大应用场景验证（多场景联动安全预警、隧道安全预警、重大突发事件一键发布、全程伴随式出行服务），实现揭榜方案目标，能够利用 ETC 天线，实现公路灾毁情况和突发事件的一键快速发布，有效提升通行安全和效率，具有扎实工程推广基础。

(1) 预警信息发布及时

与指调系统深度绑定，实现“监测（事件确认）”到“预警发布”的无缝衔接，事件确认后，系统自动根据预置的发布策略（根据事件类型的严重程度配置）秒级圈定发布范围（门架点位），经人工确认后，秒级发布至 ETC 门架。

(2) 预警信息直达车内

ETC 车辆经过门架时，门架天线与车载 OBU 交互，直接把预警信息发至车内，OBU 通过语音播报的方式触达用户，可以更有效地引起用户注意。信息发布准确率 100%，信息播报成功率可达 99%。避免因为行车太快，或者用户行驶

习惯，看不到情报板信息，而错失关键信息。

(3) 多渠道联动预警

“交通守望者”与情报板、微信公众号、APP、微信小程序等渠道联合使用，多渠道同时发布，增强预警效果。“交通守望者”依托收费系统升级，可形成覆盖范围广的预警渠道，未来可支撑路网上通行的所有ETC车辆（本次揭榜范围日均服务车辆数可达22.05万辆）。

(4) 预警效果可评估

“交通守望者”通过ETC天线与OBU的交互实现信息发布，能够量化统计信息发布的效果，具备门架播报情况统计、服务车次统计功能，业务人员可精准掌握预警信息是否成功触达车端、触达用户规模等。

(二) 示范效应

本项目中，产品及技术成熟、工程实施难度低、工程造价低，且在安全预警方面效果较好，示范性和推广性强，具体如下：

(1) 产品成熟度高。

本项目中的关键产品均已取得第三方检测报告；本项目中采用的ETC天线、智能车载OBU等产品技术成熟、性能稳定；本项目中使用的监测调度系统为各省在用生产系统，系统稳定可靠；本项目中使用的ETC信息发布平台产品成熟，通过第三方测试，支持部级、省级、路段级多级部署，具备较强可用性。

(2) 工程实施难度低。

- 1) 外场感知设备：可直接复用既有设备设施。
- 2) 中心分析决策：可依托省内成熟的监测调度系统进行简单升级优化。
- 3) 信息发布平台：支持多级、弹性部署。
- 4) 外场发布设施：以复用ETC门架为主，仅需升级软件；可在隧道、事故高发、大流量等场景按需增设ETC天线。

(3) 工程造价低。

本技术方案特点是在充分利旧的基础上，开展软硬件升级，经江苏、福建、贵州、河北四省工程验证，实施过程中的成本经济可行。

(4) 安全预警效果明显。

通过工程建设，目前已在示范范围内形成省/路段安全预警信息发布能力、

路网级 / 省级突发事件一键告警能力、多场景联动预警的能力。揭榜验证期间（2024年11月—12月）4个省份共发布3221个事件，可同时向事故上游的主线ETC门架、服务区、隧道、收费站等多个场景发布安全预警信息，通过车内OBU语音播报，提醒采取安全措施。

案例 14：“之江智联”公路灾毁报警与信息服务技术

一、技术来源

技术来源单位：浙江之江智能交通科技有限公司

联系人及方式：宋晓鹏，18717873728

二、技术简介

（一）总体技术架构

本次试点项目主要通过信息服务平台的能力建设，实现全国高速公路灾害发生时的告警和引流诱导需求提升通行车辆接收公路灾害事件信息的及时性、准确性、有效性，依托高速公路门架，研究新一代车—路通信技术的公路灾毁报警和信息服务技术。

信息服务平台的核心在于利用大数据技术对各方事件信息、报警信息、管控信息、信息发布系统进行整合和规划。信息服务平台通过建立合适的数据标准，包括数据安全、数据存储、数据建设、数据建模、数据接入、数据销毁、数据消费、数据调用、数据权限等规范，实现“主动发现—主动管控—主动服务”闭环管理。

（二）系统功能设计

系统功能包括数据采集、数据存储与分析、数据共享、数据应用、实时计算、任务调度与监控、标准化存储和数据容灾备份。可概况为多源数据接入、数据采集处理、多方信息推送以及系统配套功能。

1. 多源数据接入功能

数据接入：支持通过配置的方式从第三方应用采集数据，包括 Kafka、MQTT、http 服务端、http 客户端等 4 种数据源。能够获取“之江慧眼”事件检测系统、高速管控平台等平台的事件报警、管控策略等信息。

2. 数据采集处理功能

实时计算：数据采集通道能实时过滤处理采集的第三方应用数据。

数据存储与分析：支持将数据采集模块采集的数据以标准化存储结构通过云 MySQL 存储工具进行存储。

数据应用：支持数据即时查询功能，能通过数据接口访问数据。

数据过滤：支持通过配置方式对数据进行过滤。

数据转换：支持通过配置方式对数据的消息格式、字段进行转换。

数据管理：能维护平台所采集或推送的全部数据类型，为数据交换提供基础数据。

3. 多方信息推送功能

信息推送：支持通过配置的方式将信息推送给第三方应用，包括 Kafka、MQTT、http 客户端等多种数据源，以及 ETC 信息发布平台、无人机飞控平台、物联网设备平台等。

任务调度：能把任务自动分配给底层的执行节点。

4. 系统配套功能

系统管理：支持配置平台接口并设置接口的用户权限。

分布式架构技术：采用分布式架构设计，平台支持数据管控与转发分离，支持节点横向扩展和集群扩容。

数据容灾和安全功能：平台采用数据容灾技术，从生产环境定期备份重要数据到备份服务器中，并具备数据恢复功能。收费网和业务应用系统进行数据交互时，需要经过数据交换边界平台，用于隔离收费网数据。

数据监控：支持查看数据采集、推送明细及状态。

（三）报警与信息服务方案

1. 多方渠道信息整合方案

多源信息整合后，系统支持从车路协同、APP、高频车服务、货车服务、ETC 信息发布、危化品服务、无人机服务等多渠道发布信息。为达到信息触达率不低于 70%，系统已联通以上渠道发布消息。

系统根据目标受众的特点，选择合适的发布渠道。根据渠道不同，选择相应的格式化数据。平台目前通过第三方设备的集成，已实现车载 OBU2.0 设备的语音信息播报，货运车辆终端的语音信息播报，智在行、图商 APP 的语音事件播放，无人机前往事故点后的引导语音播报。

2. 基于 ETC 的应用系统灾毁报警信息发布方案

（1）ETC 语音播报信息发布基本流程

ETC 灾毁信息发布流程所示，主要分为信息推送、信息生成、信息发布三个

环节，业务和数据流转概述如下：

- ① 监控系统将灾毁事件数据上传至 ETC 信息发布平台；
- ② 平台接收事件信息后自动匹配发布策略，确定发布点位并生成标准化发布信息；
- ③ 经人工确认后，信息传输至转发模块，通过 ETC 天线向车端播报；
- ④ 信息发布完成后，系统回传状态并进行监测和数据统计，直至事件结束

（2）跨路段/跨省信息发布流程

跨路段或跨省的信息发布由上级 ETC 平台（如区域或省级）协调完成，可概述为：

事件发生后，路段平台将信息同步至上级平台，进行寻址和发布点位确认；上级平台负责信息的跨区域转发，确保灾毁信息在各目标路段高效传播和发布。该流程大幅提高了信息发布的处理效率和响应速度。

三、实施方案

（一）应用场景

本次揭榜试点项目的依托工程包括上三、杭绍甬高速公路。上三高速相对于其他高速公路，沿线高边坡、隧道、桥梁等重点结构物众多，且暂未进行智慧化改造，因此适合在增设部分必要设施后作为本项目典型应用场景，示范意义更强。杭绍甬高速公路是浙江省新建智慧高速公路重点项目，信息服务建设更为完备，作为应用场景可更易基于“三主动+闭环管理”的公路灾毁报警和信息服务优势。

（二）布设与实施方案

1. 上三高速上嵊段

上三高速上嵊段起于沽渚枢纽（桩号 K195+300），止于新昌互通（桩号 K260+150），全长约 64.85 公里，设计时速 100km/h，基本为双向四车道。本次揭榜试点项目路段位于 K234+000 ~ K240+000 路段，长约 6 公里，包含马岙岭隧道，同时具有高边坡、桥梁等易发生自然灾害事件的典型场景。符合揭榜文件对于场景的要求。

2. 杭绍甬高速（杭绍段）

杭绍甬高速是浙江省新建智慧高速公路重点项目，以“三主动+闭环管理”为

建设理念,在国内首次创新打造并全面落地应用了协作式智能交通系统(C-ITS),形成智慧高速浙江方案。其中杭绍段起自杭州市南阳街道红山村附近,止于绍兴市上虞区与宁波市余姚市交界处,接杭绍甬高速宁波段,全长约52.8公里,设计时速120 km/h,双向六车道。杭绍甬高速杭绍段于2024年1月建成通车,全线具备交通事件视频检测能力。

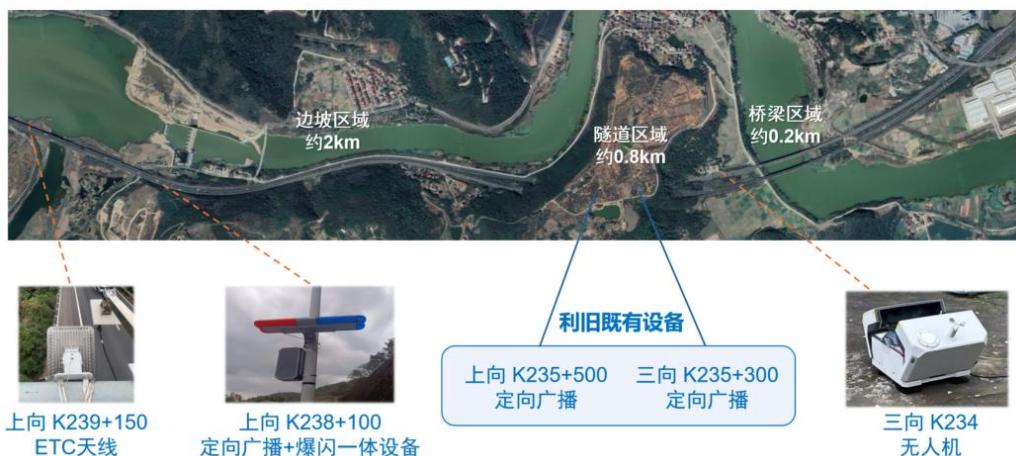


图1 上三高速设备布设方案

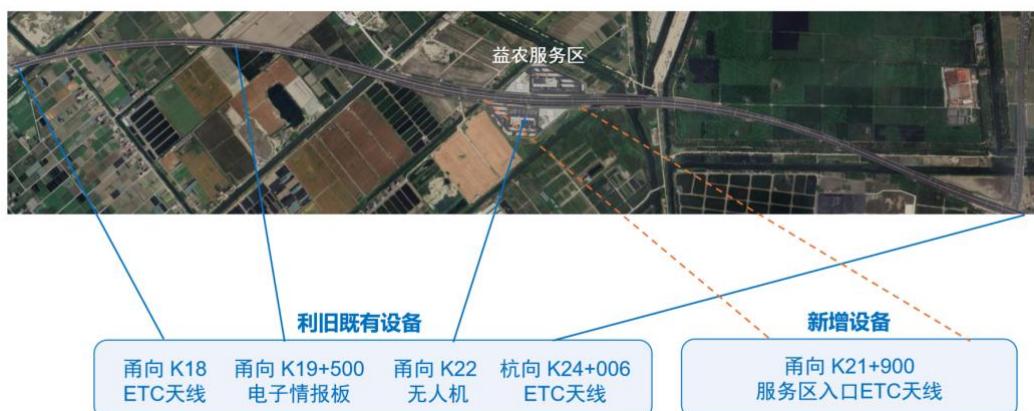


图2 杭绍甬高速设备布设方案(杭绍段益农服务区路段)

(三) 施工要求

本试点项目提出的技术方案及外场设备施工严格遵循有关法律法规要求进行,无其他特殊要求。

四、应用效果

(一) 实施效果

1. 多源数据接入功能

信息服务平台具备多源数据接入能力,包括来自“之江慧眼”事件检测系统和高速管控平台的事件发现和处置信息。通过模拟事件测试,系统可100%接收到

上游的事件信息，平均时延为 1.1 秒。同时，平台支持 Kafka、MQTT、HTTP 等数据源的接入，覆盖高速运行状态数据，并预留更多数据源接口。车辆 GPS 数据测试表明，数据完整率为 99.7%，异常数据比例为 0.3%。

2. 数据采集处理功能

①实时数据过滤处理：模拟测试中，平台成功过滤无效和重复数据，数据采集效率符合业务需求。②数据存储：导入大规模数据集，系统数据存储速度快，且稳定性高，数据格式正确。③数据应用：读取存储数据，应用处理和分析算法，测试结果表明数据应用效果良好，处理准确。④数据转换：针对不同格式的测试数据，平台的数据转换准确，格式正确，满足后续处理需求。⑤数据管理：涵盖收集、存储、处理、分析和共享等环节，操作简便，确保了数据的准确性和安全性。

3. 多方信息推送功能

经现场测试和测试环境下测试，公司已在 APP、车载 OBU、路侧喇叭、无人机等方式提供伴随式的语音播报发布事件告警。信息服务平台已全面接入交通守望者，支持跨路段、跨省、跨层级发布信息。信息服务平台下发指令到车载终端的过程，其响应时间不高于 30 秒。其中，通过 ETC 系统传达到车载 OBU 响应时间不高于 10 秒。经统计，2023 年浙江交通集团收费站入口 ETC 车辆占比超过 70%。因此，以 ETC 信息发布为基础，同时辅以多种路侧设备、货车车载终端、APP 和三大图商，经专家和一线业务人员评估后，报警信息触达率将至少高于 70%。

4. 系统配套功能

通过 JMeter 执行性能测试，平台在推荐配置下每秒处理请求数不少于 10000 条，并发用户响应时间小于 3 秒，事务响应时间不超过 2 秒。平台支持弹性扩容，集群新增计算资源可提升 100QPS 的服务访问能力。

本次试点项目还由中路高科交通检测检验认证有限公司(国家交通安全设施质量检验检测中心)进行第三方检测，确认系统各项技术指标满足预期目标要求。

(二) 示范效应

1. 推广应用基础与价值

本方案具备显著的推广应用基础与价值，具体体现在以下几个方面：

(1) 技术先进性与集成性

本方案基于大数据、云计算及车路协同通信等先进技术，构建了完整的信息采集、处理和发布体系。系统具备多源数据接入、高度集成的信息发布平台，以及高效的事件处理能力，能够为高速公路的灾毁应急管理提供支持。这种技术集成性为方案的推广奠定了坚实基础。

（2）高效的响应能力与安全保障

系统具备高效的事件响应和信息发布能力，能够在灾毁事件发生后迅速处理并通过多渠道发布，响应时间不超过 30 秒。同时，系统采用高标准的数据加密和认证机制，确保信息传输的安全性和可靠性，有效提升了公路运营管理的应急能力和信息服务质量，为全国范围内的推广应用提供了良好的示范。

（3）系统高兼容与低成本

本方案在不同类型的高速公路上进行了应用示范，涵盖了高边坡、隧道、桥梁等复杂路段，验证了系统的兼容性和有效性。系统技术路线简洁，具备高度兼容性，能够与现有硬件和软件设施无缝集成，同时实施成本较低，降低了推广门槛，使得本方案在全国范围内具有良好的可复制性和推广性，有助于全面提升公路网的智慧化水平和应急管理水平。

2. 适用范围

本方案适用于各类高速公路及复杂地形环境，包括高边坡、隧道、桥梁等易受自然灾害影响的区域。这些场景灾毁风险高、应急管理需求突出，系统的多源数据接入和实时信息发布能力能够有效应对。此外，系统具备高度兼容性，可无缝对接高速公路管理平台、交通信息发布系统、应急救援系统等多种业务平台，为道路管理者提供一体化解决方案。

系统适用于已有智能化改造基础的高速公路，也可通过增设必要设备，将传统路段升级为具备智慧应急管理能力的公路。系统支持与交通事件管理平台、道路管控系统等对接，实现数据共享与业务联动，有效提升公路管理的协同性和信息化水平。

3. 可复制性与可推广性

本方案具有较高的可复制性与可推广性，体现在以下方面：

（1）低成本和高兼容性

系统低成本，降低了改造门槛，无需大规模更换基础设施，即可实现智能化

升级。同时，高兼容性使其能与现有多种硬件和软件平台无缝集成，减少设备投入和维护费用，提升了推广的可行性。

（2）紧密的业务结合

系统紧密结合高速公路业务需求，支持多源数据接入和业务平台对接，实现与交通管理、应急救援、施工管理等的深度融合，提供全面的灾毁预警、事件发布及引导服务，有效提升公路管理效率和安全性，满足各类业务场景需求。

案例 15: 基于 ETC 通讯模式的智能车载 OBU 事件语音播报(含《车辆运行异常感知数据分析平台》)解决方案

一、技术来源

技术来源单位: 广西计算中心有限责任公司; 广西交通投资集团有限公司

联系人及方式: 肖杨, 18277158818。

二、技术简介

本技术聚焦高速公路突发灾害及事故的有效感知与信息高效通知的应用场景, 通过研究和应用新一代路侧车辆通行智能设备 (RSU), 在灾害高风险路段、服务区出入口、隧道等关键区域安装部署, 进一步丰富车流监测手段和数据采集能力, 并通过融合 ETC 门架、收费站通行数据、视频监控数据、第三方路况数据等多源数据, 构建车辆运行异常感知数据分析平台, 实现对公路交通流量、重点车辆运行、车流异常情况、突发事件等进行全面的实时监控、分析和预测。同时通过智能情报板、导航软件、路侧声光诱导装置、高音喇叭、新型车载 OBU 报警设备等多渠道信息发布途径, 向高速公路管理部门及路内司乘及时高效地发布事件告警、事件处置进度、绕行通行引导等各类信息, 以最短时间、最低成本、最大范围内实现全网协同服务, 有效提升路网运行安全预警水平。总体技术方案架构如图 1:



图 1 总体技术方案架构

三、实施方案

(一) 适用场景

本技术适用于公路高风险路段在途车辆车流阻断监测及应急信息发布、服务区车辆滞留监测等应用场景，具体包括：（1）高速公路、普通公路车流运行异常监测、车辆通行异常监测、公路阻断监测场景；（2）高速公路特殊路段、重要结构物监测区域、重点监测路段区间车流监测场景；（3）RSU设备替代传统交通调控设备及车检器设备的交通车流量统计的应用场景；（4）RSU设备匝道预交易及交易结果语音播报场景的应用场景。

(二) 技术方案

1. 构建基于门架RSU天线、路侧RSU天线、视频分析等车流识别感知体系

(1) RSU天线感知车流

① 充分利旧

充分利用高速公路现有ETC收费门架的RSU设备，感知采集车辆通行数据。

② 新增布设

针对重点监测路段区域，在充分利用原有每2公里一对视频监控杆件的基础上，增加部署新型RSU天线，达到在路侧实时获取在途车辆OBU及CPC卡数据，从而掌握道路车辆通行情况。同时，通过联合分析相邻RSU天线所采集到的路网车辆数据，获取相邻RSU天线区间内的车流量信息，实现道路运行状态感知，并对可能出现的道路事故进行预判。

RSU天线布设于路侧，可识别上行、下行两个方向车辆信息，同时向各方向的语音OBU发送播报事件与交通诱导信息。支持单杆件安装多台RSU天线，组成天线阵列，覆盖超宽道路断面。

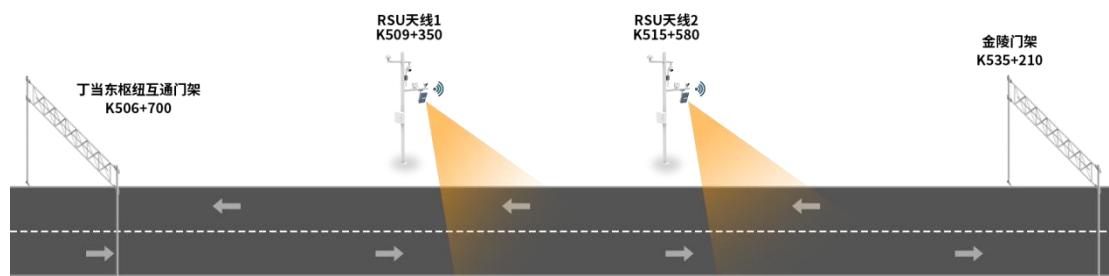


图 2 RSU 天线布设

(2) 视频识别感知车流

利用原有路面监控视频识别区间车流量，监测分析区间车流异常情况，与其

他感知源数据综合判断,以提高车辆运行异常事件分析准确率。



图 3 视频识别感知车流画面

(3) 利用已汇聚的门架交易数据、收费站交易数据等,作为综合分析的基础数据源,进一步提高车辆运行异常事件分析准确率。

2. 基于识别阻断算法,建立车辆运行异常感知数据分析平台

基于多源融合的感知数据基础,利用“流量归零”研判交通阻断原理,研发RSU识别阻断算法、基于门架交易数据识别阻断算法和基于视频感知车流识别阻断算法,建立车辆运行异常感知数据分析平台,通过融合多源阻断事件、视频监控等数据,并采用地图可视化界面展示,使得运营人员能够快速发现异常事件,做到有效感知、快速处理、高效发布异常告警。

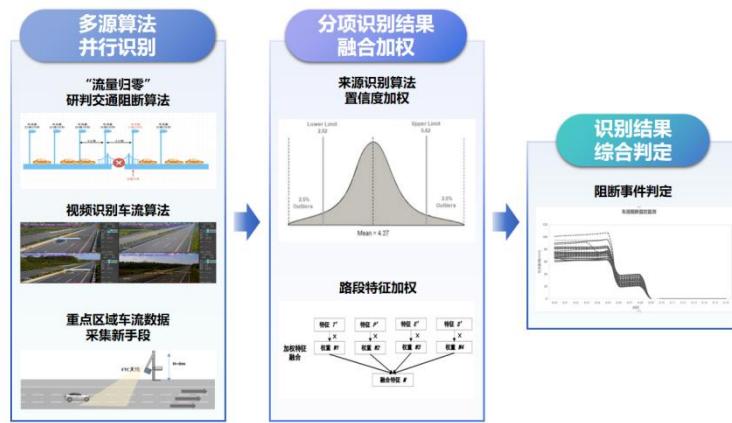


图 4 基于多源数据的阻断事件识别算法



图 5 车辆运行异常感知数据分析平台

3.打造多种信息通知方式

构建多种方式的消息通知机制，利用公路情报播报、导航指引、定向信息广播、OBU 语音播报等多元化的通知方式，构建一个全场景覆盖、全过程伴随式的车路协同服务体系，通过多途径高效通知司乘人员，实现智慧管理及服务精准触达用户，提高道路通行效率和交通安全，服务公众美好出行。



图 6 消息通知流程

(三) 技术亮点

1.技术创新点

(1) 低成本建设: 充分利用现有 ETC 门架 RSU 和路侧 RSU 设备，丰富车流数据的采集手段，路侧布设的 RSU 设备既能根据场景的使用需求灵活调整数量还能与已有的视频监控设备共杆建设，实现了以最低成本同时识别道路上下行双向车辆信息的目标。这一方式不仅有效降低车辆信息采集成本，还有效补充了 ETC 门架数据密度的不足。

(2) 全天候车流量监测与阻断识别: 创新应用路侧 RSU 技术监测通行车流

量，并结合 RSU 识别阻断算法，有效解决夜间及恶劣天气下车流识别困难的问题。这一方法有效提升了车流阻断事件的识别准确性，即使在极端条件下也能及时发现并响应车流阻断事件，从而提高道路通行的安全性和效率。

(3) 多源数据融合的阻断检测算法：创新性地提出了基于多源数据融合的车流阻断检测算法。该算法基于“流量归零”的交通阻断判断原理，通过增加置信度和特征加权的方式，综合运用了三种识别结果进行相互校验及综合判定，从而提高阻断事件识别的准确度与置信度。

(4) 智能信息发布通道：充分借鉴交通运输部“交通守望者”技术方案，以 RSU 天线作为路侧信息发布通道，将平台上汇聚的事件预警、告警信息采用 ETC 通信模式下发至车载 OBU 中，通过语音播报的方式及时、高效地向司乘人员传递信息。

2. 技术优势

(1) 充分利旧成本低。有效利用现有 ETC 门架的 RSU 天线，融合路侧 RSU 天线（路侧 RSU 天线安装数量根据重点监测的场景需求设定），实现车辆数据采集。路侧新增部署 RSU 与视频监控点共杆低成本建设，充分利用视频上云建设的供电与监控网基础设施，无需重新架杆、通电、通网，工程造价低。

(2) 施工简单周期短。RSU 天线、车载 OBU 语音播报等设备布设简便灵活，可快速完成安装工作。

(3) 阻断识别准确率显著提升。多种交通阻断算法交叉验证，试点路段交通阻断识别准确率达到 80% 以上。后期通过阻断算法优化调整，预期准确率可达到 90% 以上。

(4) 实现门架交易数据、RSU 感知数据、视频感知数据、收费站交易数据汇聚融合与分析应用。

四、应用效果

本技术在广西平果至南宁高速公路进行了试点示范。该试点路段主线全长 82km，为双向共 6 车道+2 应急车道设计，包含边坡、桥梁、隧道等高风险区域。试点路段通过充分利用现有 ETC 门架 RSU，并在重点车流监测区域，利用现有监控摄像机立杆，同杆架设新型 RSU 天线，实现最大范围对双向共 6 车道+2 应急车道的信号覆盖，感知途经 RSU 天线信号覆盖的车流数据，并回传至广西交

投大数据算力中心，通过路网监测平台对车流及视频数据的综合分析与研判，识别车流异常情况，将事件告警信息用多手段并发的形式通知高速公路监控应急指挥中心及路内司乘人员。

通过项目的试点示范，实现了充分利用现有 ETC 门架 RSU 天线，联合重点监测区域的路侧 RSU 天线，精准采集高速公路车流量数据，进一步提升车辆识别和车流监测准确率；实现了多种阻断算法对车流异常监测的交叉验证，识别准确率较单一方式进一步提高；实现了车载 OBU、情报板、导航软件、运营商短信、路侧声光诱导装置等多技术手段发布告警信息的功能应用。

本技术全面提升公路突发灾害及事故监测和应急处置效能，综合提升了路网车辆运行异常事件感知和告警的及时性，在试点路段平均 5 分钟内可感知异常，RSU、导航软件、路侧诱导等各通知手段均可在秒级时间内响应，并发出交通阻断预警信息，缩短路网交通恢复时间，保障高速公路安全通行效率，大幅提升公众出行体验。

案例 16：高速公路监测预警应用示范典型案例说明

一、技术来源

技术来源单位：吉林省交通科学研究所、北京万集科技股份有限公司

联系人及方式：梁雪，13844140390

二、技术简介

（一）技术要点

依托高速公路已有的 ETC 门架、监控摄像机、气象监测站、基础设施健康监测传感器、卡扣相机等感知设备、LED 屏等信息发布设备及智能化管理平台，升级前端已有 ETC 门架天线、天线控制器及后台软件，实现多源信息感知及发布。采用大数据人工智能算法、云计算等先进技术实现多源数据整合、分析研判，通过系统数据中台根据报警事件地点实现智能寻址，将确认的预警信息通过 ETC 门架天线发布至车载 OBU 实现定向精准触达，通过语音播报方式发布灾毁告警、事件处置、绕行信息等，同时利用可变情报板、吉行高速 APP、官网小程序等多渠道精准发布，快速联动实现车辆诱导，提升高速公路全面感知监测与预警能力，提高信息触达及时准确率。

（二）系统功能

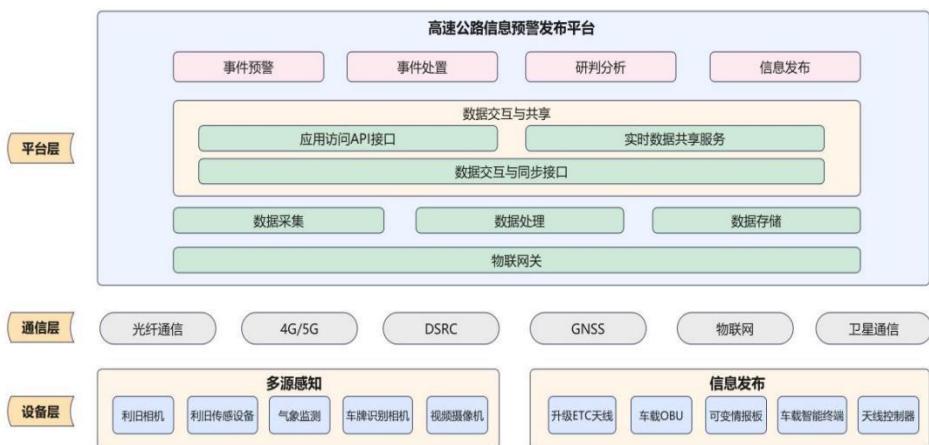


图 1 高速公路信息预警发布平台架构图

设备层：包括多源感知、信息发布等设备，充分利旧现有的视频、相机、卡口等感知设备，并实现与其他系统平台对接灾害阻断事件，充分利用旧 ETC 门架，升级 ETC 门架系统，增加信息感知和信息发布功能，实现与车端 OBU 通信，

通过语音播报方式发布灾毁告警、事件处置进度、绕行引导信息等。

通信层：通过以 DSRC 为主的传感末梢通信、光纤通信、无线通信为主的承载网络通信，实现各种交通信息的实时传输。

平台层：实现感知数据多源接入、融合分析、科研研判，提高有效告警信息捕获率，灾毁事件信息发布、绕行引导信息精准触达率。

（三）技术指标

1. 升级 ETC 门架系统

ETC 天线符合《电子收费专用短程通信》（GB/T 20851.1-2019 ~ GB/T 20851.5-2019）及《收费公路联网收费技术标准》（JTG 6310-2022）等相关国家及行业标准有关规定。

ETC 天线控制器具备远程控制功能及兼容多种加密算法，ETC 信息服务终端具备与服务平台信息交互功能；

软件：具备远程配置、故障报警、在线更新接口以及设备运行状态监测、设备资源状态监测，具有软件升级的管理接口，支持时钟同步，精度小于 1ms；

算力：具备 1TOPS 算力，支持算力卡扩展；

具有四级抗雷击，浪涌电路结构，具有较好的抗雷击、浪涌性能；

支持信创，国产化，核心芯片全国产，自主可控。

2. 车载单元 OBU

ETC 性能：满足 ETC 物理层性能参数满足 GB/T 20851《电子收费 专用短程通信》所规定的性能要求；ETC 满足《电子收费 汽车选装车载单元（OBU）内置卡检测指南（v1.0）》；

安全性：具备签名验签的能力；满足《GB/T 20851-2019 第 4 部分：设备应用》中的第 8 章 ETC 应用安全；

接口：具有 DSRC 通讯功能，对外支持 CAN FD x2、RS232、100Base-T1、USB Host 等通讯功能；

环境适应性：工作温度：-40°C~+85°C；存储温度：-40°C~+90°C；

相对湿度：25% ~ 75%RH；防护等级：≥IP5X；抗振动性能、机械冲击性能应符合 GB/T 28046.3-2011 要求；

3. 监测预警信息发布平台

平台端：满足高效完成事件预警功能、事件处置功能、事件发布功能，提升感知监测与预警技术水平，优化信息触达机制，拓展信息发布渠道。

①事件预警功能：利用高速公路信息预警与发布平台，集成所有外场感知设备，通过平台端实现预警功能，主要预警信息：一是利用视频事件检测功能对事件行为分析与数据挖掘，提升交通事件高可靠检测；二是实现多源预警数据的接入，主要包括交警路巡填报信息、养护公司上报施工计划、96122 热线、对接高德百度三方阻断数据、基于视频 AI 检测的数据、吉行高速 APP 一键报警数据、其他监测数据以及 ETC 门架通行数据，实现各路段交通流量、路段中断状态、路段拥挤度、路段气象环境特征、节点通阻度、突发事件、设施健康状况、信息化设备运行状态等信息。

②事件处置功能：利用高速公路信息预警与发布平台，实现事件视频巡检、事件快速确认、事件管理功能。

③信息发布功能：通过高速公路信息发布系统对接多源预警数据接入，实现数据汇聚、及时联通响应，通过信息发布系统快速实现交通信息发布可变情报板、交通诱导屏、手机 APP，微信公众号、互联网、车载 OBU 等发布交通管制信息、灾害报警信息，诱导绕行建议，引导车辆合理选择行驶路线。

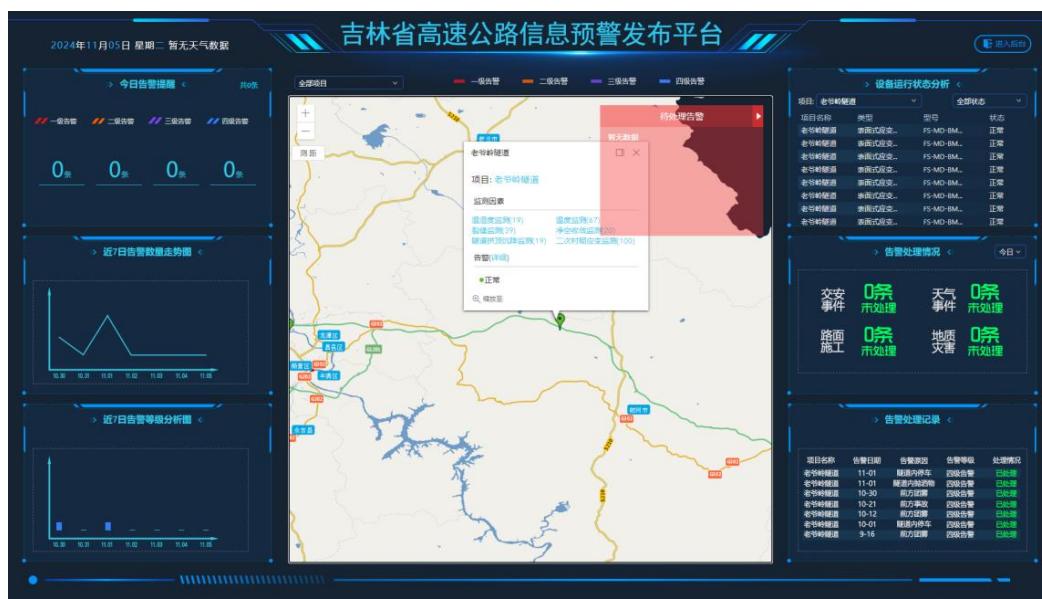


图 2 吉林省高速公路信息预警发布平台首页

(四) 预期效果

通过项目实施显著增强对高速公路上灾害事件的实时监测和预警能力，实时掌握交通流量情况，提前识别潜在风险，通过更加全面、准确的路网运行信息链，

实现快速响应并有效应对灾害事件信息传达发布，有效引导车辆避开危险区域，从而显著降低事故发生率，全面提升运行安全性、应急响应和处置效率及整体通行效率。

三、实施方案

本方案适用于所有高速公路 ETC 升级，利用现有 ETC 门架、普通门架、监控立杆（L 杆）等均可安装 ETC 天线，要求基础通信网络安全能与系统平台互通，电力设施覆盖。

ETC 天线利用 DSRC 通信模块与车载 OBU 进行通信，实现监测路段范围内运行状态实时监测，通过融合算法分析监测数据，建立智能化预警发布系统，实现各类灾害、事件的自动预警，并由 ETC 天线接收发布指令，实现信息多渠道发布，利用车载 OBU 实现灾害预警信息的语音播报。

（一）适用场景

结合路段实际情况，充分利用现有 ETC 门架、视频监控、通信网络、电力设施等资源，在灾害高风险路段、服务区出入口、隧道内和出入口、匝道分合流区升级 ETC 通信组件，实现灾毁报警等信息及时有效触达通行车辆。

主要新增设备：升级 ETC 门架系统（含门架后台及门架前端）和天线控制器、智能车载终端 OBU 等。

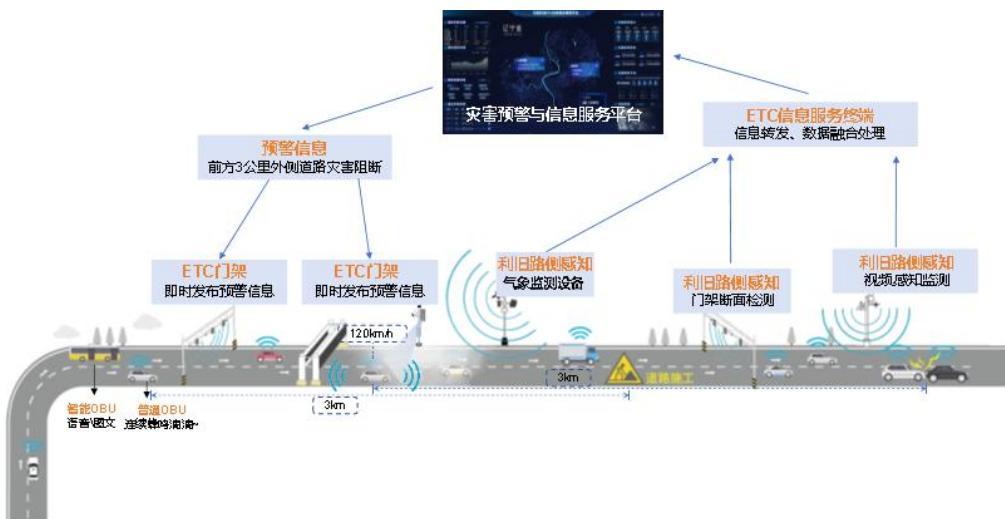


图 3 高速公路信息预警发布平台实施方案示意图

（二）外场布设

结合主线既有 ETC 门架布设密度，按需增设 ETC 信息采集发布设施。增设的 ETC 信息采集发布设施与信息发布平台对接，不对 OBU 进行计费操作，仅用

于实现信息安全发布、信息采集功能。

主线增设的 ETC 信息采集发布设施布设规则如下：

1、当主线同向相邻两组信息发布设施(含 ETC 门架和情报板)间距较大时, 可按需增设 ETC 信息采集发布设施;

2、ETC 天线应尽量位于长直路段, 前方 50m 无遮挡。ETC 天线可采用门架正装方式。ETC 天线通信范围应能覆盖半幅路面, 不可覆盖至对向车道及其他道路;

3、外场设施的布设应采用集约化原则, 尽量利用路段沿线现有的管线、门架/杆件、通信、电力资源。

ETC 通信区域可通过软件参数调整。

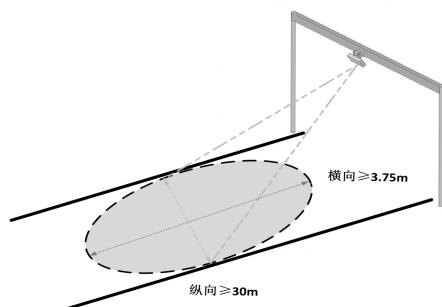


图 4 ETC 天线覆盖区域

四、应用效果

(一) 实施效果

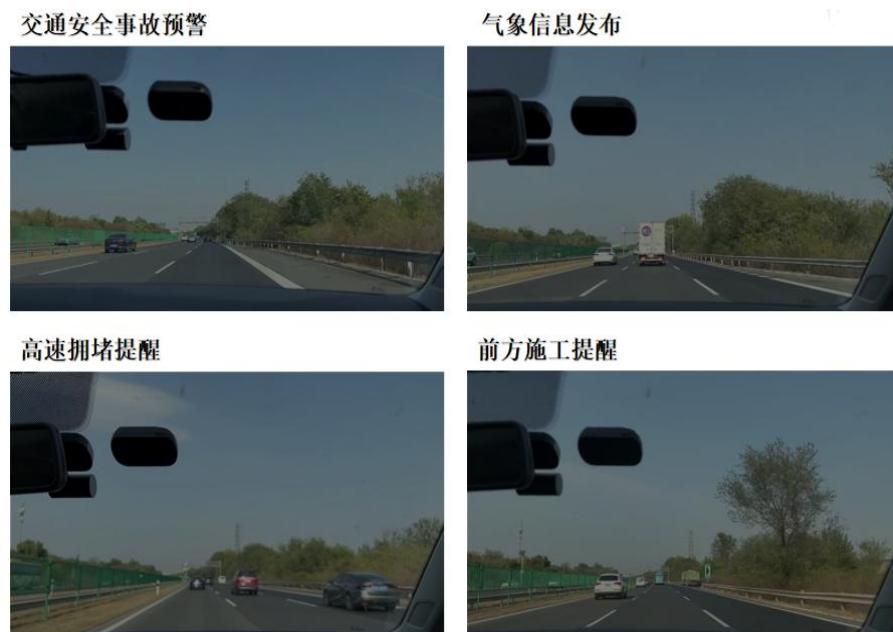


图 5 OBU 信息发布画面

1. 提升灾害预警与应对能力

显著增强对高速公路上灾害事件的实时监测和预警能力。通过算法分析和数据处理，能够提前识别潜在风险，快速响应并有效应对灾害事件，从而显著降低事故发生率，保障行车安全。

2. 优化交通流量与应急疏导能力

基于智慧基站感知数据及利旧设备监测数据的运行分析，系统将能够实时掌握交通流量情况，并在灾害发生时迅速制定绕行方案。通过精准的信息发布和交通诱导，有效引导车辆避开危险区域，缓解拥堵，提升整体通行效率。

3. 提高信息精准触达与跨域协同能力

技术支持多源数据接入和车辆信息采集，通过算法策略确定最佳信息发布点位和内容。利用语音播报等方式，确保灾毁告警、绕行引导等关键信息能够及时、准确、有效地触达通行车辆。同时，构建的全网业务云体系将促进跨地区、跨层级的信息共享和协同管理，提升整体应急响应速度和效率。

（二）示范效应

本项目以具备一定信息化基础的拥有较完善 ETC 门架体系的高速公路为主体，通过充分利用现有前端数据采集设备和后台数据汇聚分析软件平台，根据实际情况尽量减少新设备的布设，形成一套相对简单、功能明确、可复制、可推广的实施方案。通过将新设备对接原有系统平台，优化原有平台多源数据汇聚分析功能和事件报警功能，实时掌握示范路段交通流量情况，及时发现灾毁事件发生状况，并确定最佳信息发布点位和内容，通过多种渠道将灾毁告警、绕行引导等关键信息及时、准确、有效地触达通行车辆。通过精准的信息发布和交通诱导，有效引导车辆避开危险区域，缓解拥堵，提升整体通行效率，降低次生事故发生率，保障人民行车安全和生命财产安全。

案例 17：山区公路自然灾害监测与险情预报技术及系统

一、技术来源

技术来源单位：中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所，北京晨行科技有限公司，中国科学院地理科学与资源研究所，清华大学

联系人及方式：吴亚桥 18801733513；邹强 13688061027

二、技术简介

聚焦山区公路自然灾害跨界监测预警协同关键科技问题，团队研发了多源多模态灾害监测、动态风险预报预警、信息共享与智能应急协同响应技术，构建多尺度精细化公路自然灾害监测与险情预报系统。本技术面向山洪、泥石流、雪崩等山地灾害，建立了非接触式、低成本、高可靠性的地震动信号监测多灾种灾害快速感知方法，实现区域尺度灾害识别的快速定时、定位、定量；集成积雪雪崩性质快速感知装备，创新积雪雪崩特性探测解译技术，构建灾害起动-运动-成灾的全过程监测技术体系。基于灾害全动力过程模拟，建立了公路灾害精细化预报预警技术，实现实时、动态灾害预报预警，并构建了跨界协同的信息审核发布与快速行动机制，实现“应急为目的”“公益属性”的多方数据共享，助力于推动公路灾害防控智能化与信息化升级。

（一）系统功能与构成

本系统由灾害本底数据库、灾害预报预警、天气气候、生态水文、灾害动力、灾害风险、灾害监控子系统及灾害预报微信小程序八大子系统组成，支持后端自动化运行与模拟，前端高效人机交互，实现灾害快速预报预警。平台利用地理信息、现代通讯、三维仿真等核心技术，融合雪崩知识与实时监测数据，集成高并发处理、三维场景可视化、监测点及工点查看、潜在灾害实时监测、预警会商与信息发布等功能。建设内容涵盖雪崩监测展示、数据管理、预警服务、移动应用、三维地理信息引擎、物联感知、接口管理及预警发布等子系统。同时，平台聚焦国家公路网边坡、山洪泥石流、雪崩等地质灾害链减灾需求，形成集震动探测、动态模拟、综合判识与预警为一体的全过程风险预警体系，研发地质与地震灾害耦联组网技术，在构造活动区开展监测预警示范，为大规模灾害链防治提供技术支撑。

（二）技术指标与预期效果

（1）建立基于震动监测平台的公路自然灾害快速识别技术。利用震动波形特征检测高速公路廊道范围自然灾害报准率 70%以上,基于小孔径观测台阵能量聚束方法进行快速定位和事件追踪灾害险情快速识别定位 5 分钟以内。

（2）建立公路自然灾害精细化险情预报预警系统。实现公路自然灾害预报预警从区域等级预报向险情“模式预报”转变,灾害报准率 75%以上,基本做到事前预警,满足灾害应急处置时效性要求。

（3）构建山区公路自然灾害应急联动响应与信息资源共享机制。建设跨界协同的信息发布审核系统,实现多部门协同的灾害预报、发布的快速行动,预警信息发布时间 5 分钟以内,构建形成“应急为目的”“公益属性”的多方数据共享长效机制。

（4）开展山区公路跨界监测预警协同技术应用示范。已开展四川沿江高速公路典型路段、四川凉山州地区跨界监测预警协同技术示范,建设公路基础数据与灾害风险参数库,建设山区公路自然灾害精细化监测预报预警系统平台。

三、实施方案

（一）技术适用场景

该技术体系适用于高风险山区公路、重大交通工程和无监测站区域的灾害监测与预警,涵盖滑坡、泥石流等灾害全生命周期的动态监测与预警。通过遥感、InSAR 和无人机技术,实现偏远山区的高精度监测,结合实时数据与物理模拟,为灾害应急响应提供决策支持。已成功应用于滑坡、泥石流等灾害案例,通过地震动信号分析,反演灾害的发生时间、规模、位置等信息。依托全国地震台网,技术可广泛覆盖大规模地质灾害,特别适用于隐蔽、难识别的潜在危险点,实现精准预警与风险预测,具备显著的普适性与推广价值。

（二）应用区域概况

沿江高速、川藏铁路、青藏铁路作为我国重大线性工程,因其穿越高山峡谷区和强震区导致沿线自然灾害及其发育,严重威胁高速公路建设、运营安全。本项目选定交通廊道穿越滑坡、泥石流、雪崩等爆发频率高、规模大的区域作为监测预警示范区。

（三）布设方案

对沿江高速 4 条小流域开展监测预警工作, 形成物源监测-雨量监测-沟道山洪泥石流全过程监测。各沟监测方案如图 1 所示。

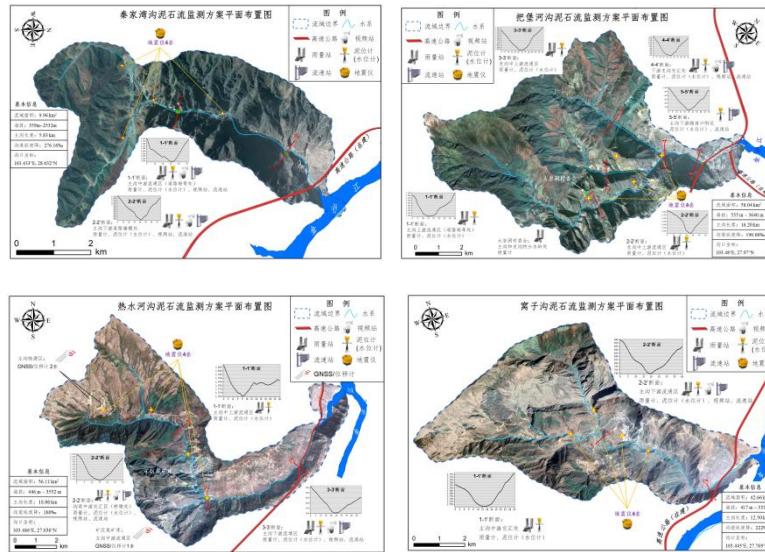


图 1 山洪泥石流监测方案平面布置图

根据山区积雪和雪崩发育特征条件, 能够满足区域雪崩监测预警的目的, 积雪雪崩监测预警设备布置如图 2 所示。

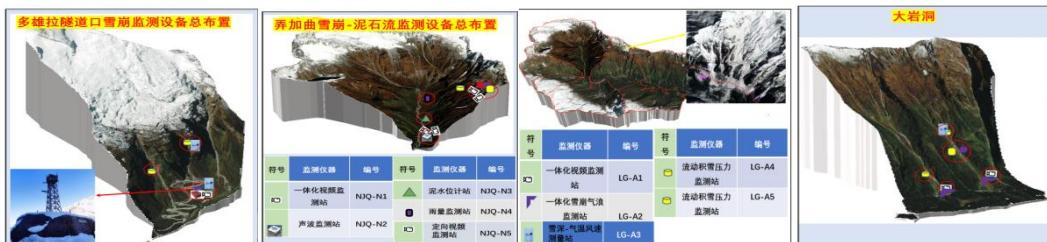


图 2 雪崩监测设备施工布置方案图

根据藏东南地区不同沟流域地形、松散物分布以及小流域气候等特点, 形成灾害体分级预警系统如图 3 所示。



图 3 藏东南地区地质灾害野外观测站点

(四) 预警方案

(1) 模型-数据双驱动的泥石流预报预警方法构建

充分融合监测数据驱动和物理过程模拟优势,研发公路灾害多尺度风险预报预警算法。根据数据驱动模型推理效率快、有资料地区准确率高的优势,建立逐小时滚动的流域/区域风险预警算法。根据预警算法的危险性和风险评估结果,确定数据驱动模型与物理过程模型间衔接的驱动阈值,单点风险大于该阈值时启动物理过程模型,对其进行精细化动力学过程模拟,得到灾害动力学过程。根据多源数据分析和动力学过程分析结果,确定最终的公路灾害风险预警等级。

(2) 基于 CPU+GPU 异构并行的高效数值模拟方法构建

基于山区泥石流从起动到运动的全过程机理,构建适用于预报预警需求的模型-数据双驱动的泥石流高效数值模拟算法。基于超算平台,从任务划分、数据分配、通讯优化和动态负载调整等角度出发,开发适用于泥石流动力学模型的 CPU+GPU 异构并行的高效数值算法;在不同空间尺度、网格分辨率和 GPU 设备场景下,明确模型的计算性能和加速效果;通过室内模型试验、流域多过程监测数据以及历史灾害的动力学过程,对比分析模型计算输出结果的精度,确定满足研究区实时动态精细预报预警的最优模拟与预报预警方案。

(五) 施工要求

基建与设备安装:气象水文观测站、地震动传感器和摄像头需建设稳固基座,使用防腐材料确保稳定性。设备应配备防洪、防坠石设施,必要时加装围栏。设备安装需符合设计规范,确保设备标高和角度符合要求,摄像头覆盖关键位置。综合站点优先采用太阳能与备用电池供电,通信模块选择 4G/5G 或卫星技术。

系统调试与运维:设备安装后需调试,确保灵敏度和精度满足要求,验证联动功能。定期巡检,检查设备状态并清理障碍物;恶劣天气后及时维修,确保系统正常运行。

四、应用效果

(一) 实施效果

通过技术应用显著提升了高速公路自然灾害风险预测和预警能力。整合高分遥感、气象、地质和历史灾害数据,动态更新监测数据,实现自然灾害全过程精准监测。开发的预警算法结合数据驱动与物理模型,建立逐小时滚动预警机制,显著提升时效性与可靠性。示范区域的监测体系从物源到沟道全覆盖,成功预测

多次自然灾害事件，避免重大损失。异构并行算法提升了数值模拟效率和精度，实现灾害动态模拟，结果与实际灾害高度吻合，为快速评估和防控提供技术支持。

（二）示范效应

本技术体系成功构建高风险山区公路灾害监测与预警系统，为山区交通工程提供了先进、高效、可推广的方案。数据与模型驱动的预警方法和高效模拟技术适用于川藏铁路、青藏铁路及国道 G318 等高风险区域，提升交通抗灾能力。项目建立的全过程监测体系与综合数据库，为科学研究、政策制定及交通规划提供数据支撑。示范应用推动山区公路防控技术创新，提升交通部门防灾能力，为基础设施建设的安全管理和其他灾害类型防控提供了经验借鉴。

方向四：结构健康监测技术

案例 18：低成本桥坡健康多源融合监测系统

一、技术来源

技术来源单位：北京中交国通智能交通系统技术有限公司、交通运输部公路科学研究院、中路高科交通检测检验认证有限公司、广西交科集团有限公司、广东交科检测有限公司、国交空间信息技术（北京）有限公司、云南省交通规划设计研究院股份有限公司

联系人及方式：侯亚楠 13901292837, 冠宇 13811560918, 任倩 18710070621

二、技术简介

（一）技术要点

本方案提出了一套根据桥梁群实际情况（技术状况等级和风险评估）选择不同实施方案的公路桥梁群轻量化结构监测技术：通过分级分类明确桥梁应采取的工程措施，对每一类应用场景如重载交通、饱和交通、车辆/船舶撞击、地质灾害（泥石流、滑坡、崩塌、落石）、水毁、采空区沉降、恶劣环境耐久与桥面结冰、加固改造、特殊结构等提出定制的轻量化桥梁监测方案，具有“低成本、低功耗、强算法、易安装、高可靠”的特点。通过“两阶段”设计实施，一体、高效、全面、可靠地实现区域内公路桥梁群结构安全状况管理；为实现公路桥梁群的有效管理和避免重复建设，提出建立公路桥梁群巡检监测数据管理方法（巡查、定检、简易感知报警系统、轻量化监测系统数据），用于桥梁技术状况评定和桥梁风险评估，提高数据复用率和覆盖率。

针对行业痛点，提出了一套公路群桥梁数字化管理方案，主要思路包括：

- 1) 公路桥梁分级分类：基于桥梁技术状况评定等级和桥梁运营期重大风险评估，分级分类确定公路桥梁采用的养护管理方案；
- 2) 轻量化桥梁监测系统定制：面向不同监测应用场景，分析关键核心指标，针对性设计轻量化监测系统，有效降低成本；
- 3) 低功耗、无线自组网：采用低功耗无线传感技术降低能耗，传感器不依

赖外部供电，智能网关（边缘计算）和告警设备太阳能供电，通过无线传感技术将传感器、边缘计算和云端平台组成通信网络，通过自组网技术提升灾毁事件下的系统鲁棒性；

4) 异常状况模式识别：通过模式识别算法构建异常监测模型，在边缘计算单元上实时分析，自动识别风险并主动触发告警；

5) 打通业务数据：建立日常巡查、定期检查、简易感知报警数据和轻量化结构监测数据管理方法和系统，提升数据管理效能。

（二）系统功能

利用桥梁技术状况评定对内部风险进行评价，一旦主要部件出现较大缺陷，即需要布设桥梁轻量化监测系统；利用桥梁风险评估对外部风险进行评价，一旦桥梁存在某种可能的外部因素导致灾毁的风险，建议布设简易感知报警系统。

特别地，针对大跨径、独柱墩桥、弯桥等特殊结构，由于设计的特殊性，在无外部风险的条件下即具有灾毁风险，因此需要针对性强化灾毁感知、预警以及监测系统建设。

综上，针对公路桥梁群可从两个维度进行交叉分析，得到定制化的桥梁养护管理方案，如下表所示。

	1类 2类 桥梁	3类 4类 桥梁	特殊结构桥梁
无外部风险	日常巡查 定期检查	日常巡查 定期检查 轻量化监测系统	日常巡查 定期检查 简易感知报警系统 轻量化监测系统
有外部风险	日常巡查 定期检查 简易感知报警系统	日常巡查 定期检查 简易感知报警系统 轻量化监测系统	日常巡查 定期检查 简易感知报警系统 轻量化监测系统

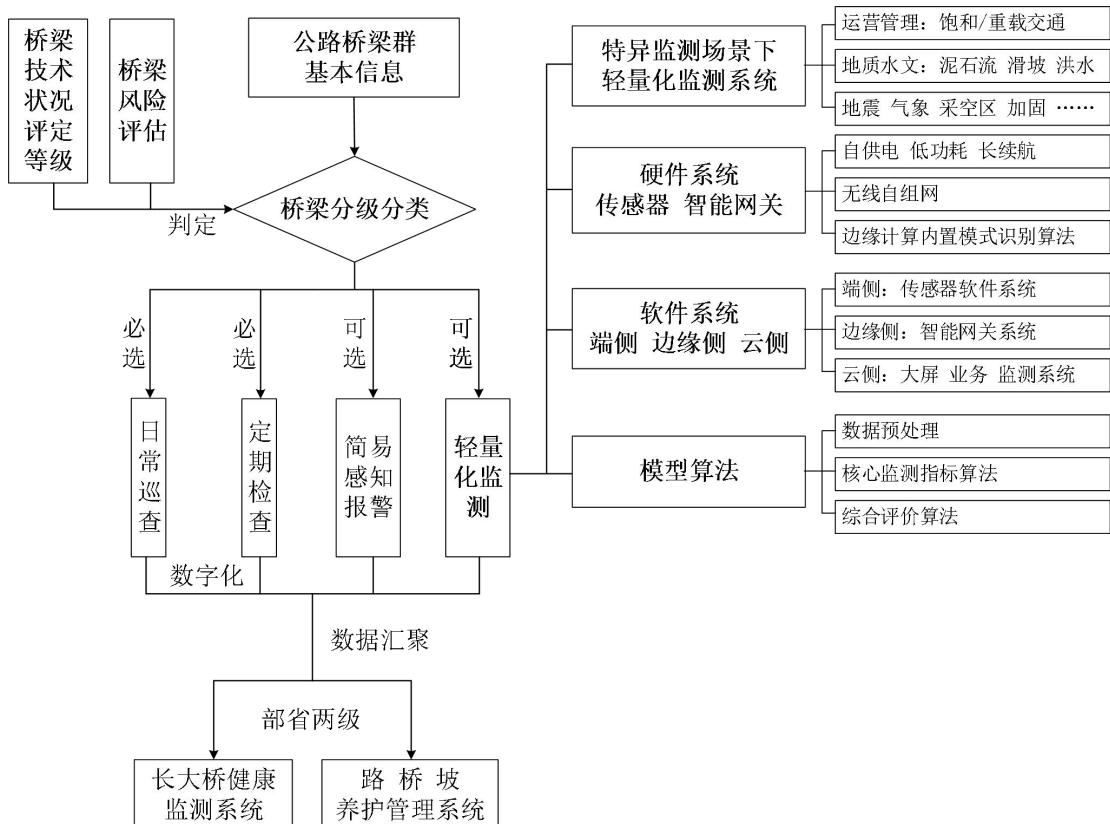
在此基础上，需要针对不同监测应用场景定制不同的轻量化桥梁监测系统技术方案。结构健康监测技术通过针对不同结构类型、服役年限、病害状况、地域分布、环境特点、重载交通比例等桥梁状况，选取代表性桥梁、典型桥跨、重要断面和结构安全关键指标，采用超低功耗、无线通信、智能组网、高度集成等监测方法，使用以端侧为主、云端或本地为辅的数据分析策略和以关键指标特征值为主的数据存储传输策略，保证有效识别结构安全变化征兆，结合定量和定性方法，达到少指标、低成本效果，开展公路桥梁群轻量化结构监测技术攻关和应用。

(三) 技术方法

公路群桥梁数字化管理方案分为两阶段实施。

第一阶段是公路桥梁分级分类，结合相关规范、标准、指南完成公路桥梁的技术状况评定和风险评估汇总，通过两个维度的指标确定桥梁应使用的数字化管理方案类型，包括日常巡查、定期检查、简易警示报警和轻量化监测；第二阶段是方案选型实施，管理方案包括数字化日常巡查、定期检查，简易感知报警系统和轻量化结构监测系统。

针对第二阶段的桥梁结构监测需求，本方案重点研发轻量化监测技术方案，针对应当采取轻量化监测方案的桥梁，根据第一阶段确定的技术状况和风险类型，面向不同监测应用场景制定不同的轻量化监测技术方案，技术方案包括系统硬件、系统软件和模型算法；将公路桥梁群日常巡查、定期检查、简易感知报警系统和轻量化监测系统布设方案和相关数据通过数据库方式进行管理，有条件地开展部省两级长大桥健康监测平台和边坡监测平台的数据汇聚，打通路、桥、坡数字化管理和应急处置手段。



(四) 预期效果

1) 提出一套基于桥梁技术状况和风险评估的桥梁数字化管理分级分类方法，

实现对区域内桥梁群检测监测的有效覆盖和合理管控。

2) 针对不同监测场景提出定制的“低成本、低功耗、强算法、易安装、高可靠”的轻量化桥梁监测方案,形成具备区域推广能力的应用指南、技术标准和实施方案,为下一步规模化推广奠定基础。

3) 针对区域公路桥梁群管理需求,提出并完善一套公路桥梁群日常巡查、定期检查、简易感知报警系统和轻量化监测系统布设方案和数据管理模式,开展巡查、定检、简易感知报警和轻量化监测的平台汇聚和数据共享,为实现区域级预警应急联动指挥做好准备。

三、实施方案

(一) 应用场景

传统的桥梁健康监测系统的综合成本较高,我国公路桥梁群具有中小桥密度较大的特点,在成本有限的前提下无法有效提升桥梁监测指标的覆盖率,导致部分中小桥缺少可靠、合理的养护管理方案。

目前已建成的桥梁健康监测系统多以“全指标、全覆盖”为特征,采用的监测设备种类多、指标全、支撑条件复杂,一方面提高了单位工程造价,降低了同等成本下的监测覆盖率;另一方面数据源复杂度的增加提高了管理人员感知桥梁结构安全状况感知的难度。

为解决以上问题,面向不同监测应用场景,分析关键核心指标,针对性设计轻量化监测系统,有效降低成本,如下表所示。

序号	风险类别	结构安全关键指标
1	重载交通	动挠度、动应变、振动、裂缝、视频抓拍
2	饱和交通	动挠度、视频抓拍
3	车辆/船舶撞击	振动、视频抓拍
4	地质灾害(泥石流、滑坡、崩塌、落石)	倾角、振动、视频抓拍
5	高烈度地震	振动、视频抓拍
6	水毁(洪水、冰凌、暴雨)	振动、视频抓拍
7	采空区沉降(地基沉降)	墩台沉降、视频抓拍
8	恶劣环境耐久与桥面结冰(台风、暴雪)	气象监测、结冰监测
9	加固改造	动挠度、动应变、裂缝、横向位移、支座位移
10	特殊结构(大跨径、独柱墩桥、弯桥、坡桥、装配式等)	动挠度、倾角、裂缝、支座位移、视频抓拍

（二）系统构成

轻量化桥梁结构监测系统由硬件设备、软件平台和模型算法构成。

用于边缘传感采集的硬件设备主要参考《公路桥梁群监测系统试点建设技术指南》附录 A。

软件系统方面，基于中台技术的系统架构，助力物联网监测行业生态发展，实现规模化、智慧化、开放化、低成本、长寿命的监测系统建设。

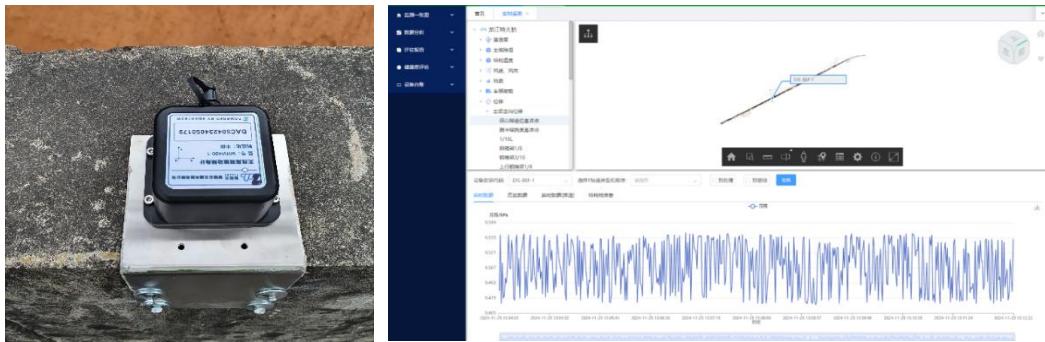
在算法方面，方案在边缘侧和云端均部署了数据处理相关的算法，利用开发的模型算法对数据进行预处理（包括数据聚合、降采样、异常值检测修正、数据平滑和基线剥离）、核心指标监测（包括索力识别、结构疲劳损伤识别、模态参数自动识别）以及综合评价算法。

四、应用效果

（一）实施效果

案例在广东省佛开高速吉利河大桥搭建轻量化桥梁监测系统，采集桥下视频、光纤断点数据、振动加速度、主梁挠度、支座横向位移等多参量数据，集成了一整套无线轻量化传感设备、端云协调的边缘侧智能于一体的轻量化监测系统，可有效提升桥梁安装状况的感知能力。所用传感器和网络技术成熟可靠，已经应用于行业多座基础设施。设备内置电池，外置太阳能板，超大电量，持久续航，可实现极端灾害导致供电中断时，应具备本地自动供电能力。

案例在云南省龙江特大桥搭建桥梁结构健康监测系统，采集环境温湿度、车辆荷载、风荷载、结构温度、地震动、主梁挠度、主梁横向位移、塔顶偏位、支座位移、转角、主梁关键截面应变、索力、梁体加速度等多源数据，并建成了传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与分析子系统、结构健康预警与评估子系统等四个子系统。这四个子系统将运行于四个层次：第一层次是传感器子系统拾取信号；第二层次是将传感器信号转换成数字信号存储在本地工业用计算机内，通过光纤输送到数据处理与管理子系统；第三层次是完成数据的后处理、归档、显示及存储；并根据提供特定格式和内容的数据以及处理结果；第四层次是健康评估系统根据监测系统送来的数据进行分析、统计、阈值判别给出评估意见及报警信息，并为养护工作提出建议。



（二）示范效应

1.技术可行性

针对不同监测场景提出定制的轻量化桥梁监测方案,形成具备区域推广能力的应用指南、技术标准和实施方案,为下一步规模化推广奠定基础。

2.经济可行性

本方案使用的设备主要利用道路护栏或在路侧布设,不需要桥下作业所需要的特种设备,具备规模化推广应用的经济性。

3.管理可靠性

针对区域公路桥梁群管理需求,提出并完善一套公路桥梁群日常巡查、定期检查、简易感知报警系统和轻量化监测系统布设方案和数据管理模式,开展巡查、定检、简易感知报警和轻量化监测的平台汇聚和数据共享,为实现区域级预警应急联动指挥做好准备。

案例 19：桥梁结构轻量化健康监测技术

一、技术来源

技术来源单位：北京公科固桥技术有限公司、同济大学、浙江嘉绍跨江大桥投资发展有限公司、东南大学、清华大学合肥公共安全研究院

联系人及方式：廖军，13681217525；潘玥，13816368623；郭勇，15157536969。

二、技术简介

（一）技术概述

本技术是一种由“模组化感知终端-高通量自组网络-组态式数字底座”构成的轻量化桥梁健康监测成套技术体系，重点面向中小跨径桥梁及桥群“低成本、广覆盖、组件化”的监测需求，提出了面向中小跨径桥梁多样化监测需求的轻量化监测指标体系；整合人工智能模型与边缘计算技术，研制了高集成度的模组式轻量化监测技术与装备，包括：落梁监测、桥面交通荷载监测、墩梁相对位姿监测、主梁动挠度及模态识别、桥墩冲刷深度监测等，实现了区域桥网监测“少硬件、多应用”式的降本增效。针对桥梁长距离通讯自组网和高通量宽带数据通信难题，研制了低功耗的高通量全时空工程互联自组网装备与技术，可满足中小桥群网络公里级范围内多信源物联通信覆盖要求，实现摄像头、传感器等不同带宽感知终端的高效组网与同步，为区域级桥网内各类复杂环境下监测系统快速组网提供支撑；考虑各类型式及跨径桥梁监测统一时空基准、广域测点集成、多模数据管理、结构实施评估、桥群应急管理等核心需求，研发了组态式桥群轻量化监测数字孪生底座，实现了设备集成管理、数据稳定接收与展示、各项监测指标阈值可自定义、自主报警、组态分析功能开发、监测数据与 BIM 模型融合展示等功能。形成了中小桥梁“感-传-算-控”完整技术链，为各样监测系统快速部署与敏捷开发提供了高灵活、可拓展、可泛用的桥梁轻量化监测解决方案。

（二）技术优势

轻量化监测指标体系与边缘感知层为模组式轻量化监测技术与装备、数据传输/通信层为高通量全时空工程互联自组网装备与技术、应用层为组态式数字底座，其架构如图 1 所示。具体优势如下：

1) 模组式轻量化监测技术与装备

桥梁结构健康监测以轻量化为导向,从监测系统的功能层次出发,对传统监测系统的监测项进行轻量化改造,提出了面向不同功能层次的多层次监测指标体系。以视觉传感器为主,通过视觉传感器与接触式传感器进行模块化组合,协同获取环境激励与结构响应, AI 算法嵌入的边缘超算模块进行实时分析与处理,形成了桥面交通荷载时空分布与状态识别、结构落梁识别与预警、墩梁相对位移识别及位姿超限预警、整体刚度识别及趋势预测、冲刷深度预测与预警、单板受力识别、重车偏载识别、异常振动识别与预警、桥墩沉降识别与预警、桥侧崩塌落石识别与预警等 10 项不同场景的轻量化监测模块,实现了智能赋能。

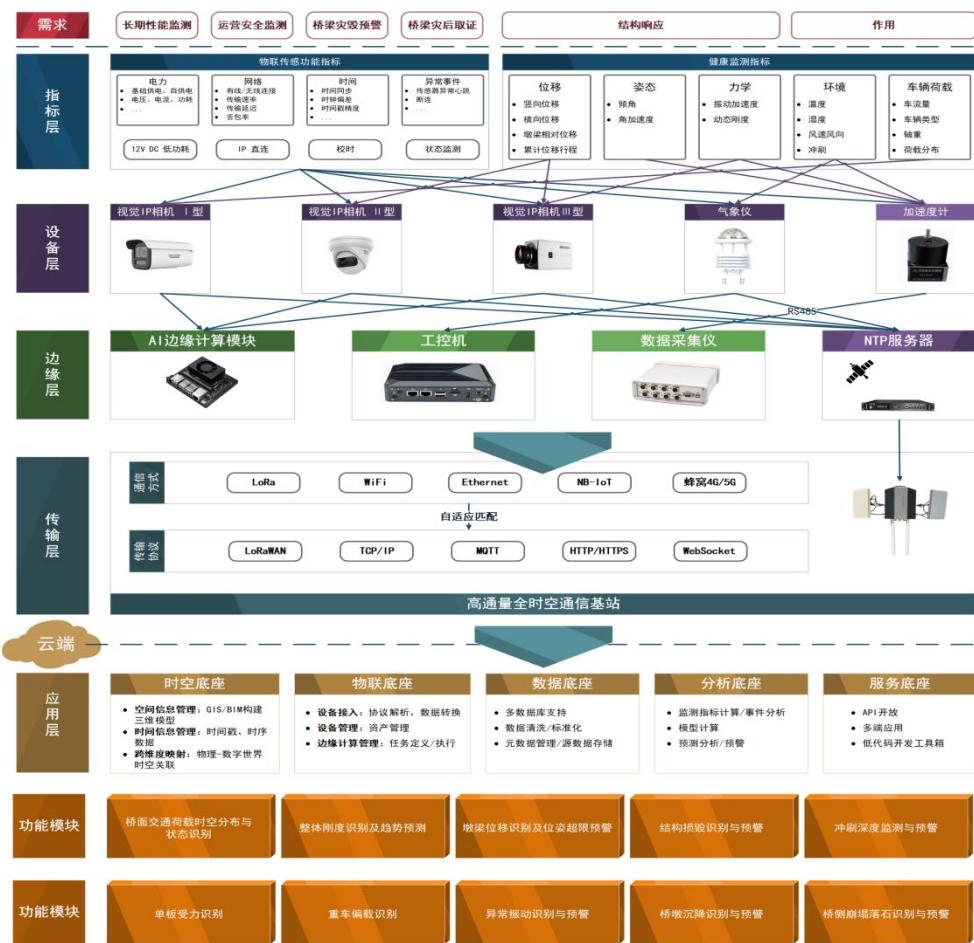


图 1 总体技术框架

2) 高通量全时空工业物联通信技术与装备

高通量全时空工业物联通信基站与体系,适用于大规模边缘感知设备的网络通信集成与重要桥梁桥址处无信号的关键问题。当桥址处没有接入互联网的条件时,通过多个边缘宽带物联基站的串联中继,实现远距离网络接入与上传,

该系统具备至少 30km 以上的信号中继和灾备恢复能力，设备在现场进行简单配对即可接入现有网络，自动组成网络链路，并为设备提供网络覆盖。

3) 组态式桥群轻量化监测数字孪生底座

研发底座具备时空间同步、数物融合分析、算法管理等功能，可解决群桥监测数据的 24 小时自动、连续、实时、动态监测、分析、存储、展示与预警。可实现群桥预警判断、信息管理、日志管理、风险自动预警与消息分发，实现了对群桥监测设备的全生命周期管理。

（三）预期成果

1) 规范化、易部署、可扩展的模组式轻量化监测技术与装备

本项目中研发的模组式轻量化监测技术与装备，能全面监测桥梁健康状态基本信息，可实现对桥梁运行状态的全面感知，并兼具对异常状态异常的快速感知能力，识别桥梁在极端条件下的性能变化和突发性异常事件。具备了桥梁日常运营健康状态的全天候监测能力。

2) 复杂环境下的大规模通信组网技术与装备

采用对于高速公路桥群，设备组网可以实现对多座桥梁的集中监控和管理，提高管理效率与异常情况响应速度；将数据传输至云端后，可以利用云计算的强大计算能力进行大数据分析，且通过数据整合，可进行跨桥梁的比较分析，找出共性问题和个别桥梁的特殊问题。

3) 组态式数字底座自主敏捷开发与应用

通过构建组态式数字底座，打造了一种灵活、高效的桥梁健康监测系统。通过模块化设计、标准化接口以及低代码工具的结合，系统实现了监测功能的快速响应、增量优化和高效部署。

三、实施方案

面向低成本的轻量化健康监测需求，开展了嘉绍大桥（绍兴方向 K177+215-K177+285 跨、K178+235-K178+285 跨）、西藏 G318 怒江大桥、合肥市雪霁桥与裕溪河大桥、贵阳市丰报云大桥的示范测点应用，也适用于各类中小跨径桥梁监测。

（一）实施方案

1) 模组式轻量化监测技术与装备

基于《公路桥梁结构监测技术规范》及相关研究,确立了轻量化监测指标体系以及功能层级要求,如表 1 所示。

表 1 轻量化监测指标体系

指标分类	监测内容	性能监测	安全监测	异常预警	灾后取证
作用	桥址环境温湿度	●	○	○	●
	风速风向	●	●	●	●
	车辆空间分布	●	●	●	●
结构响应	主梁竖向横向位移	●	○	○	●
	主梁三向振动加速度(基频)	●	●	●	●
	支座位移	○	●	●	●
	主梁倾角与角加速度	○	●	●	●
结构变化	基础冲刷	●	●	●	●
传感器	异常心跳	○	○	●	●

示范项目中实现了 10 种智能感知功能模块。具体如下:

a) 桥面交通荷载时空分布与状态识别: 基于目标检测与车辆跟踪技术, 实现了桥面车流荷载的时空分布分析与桥梁状态识别, 解决了根据车辆有无, 实现了是否落梁、交通阻断研判的问题。



图 2 桥面交通荷载时空分布与状态识别

b) 落梁事件识别与预警: 采用基于图像分割的方法, 通过实时图像分割判断梁体是否发生异常状态(正常或发生落梁), 应用于在自然灾害、突发事件等(如地震、车船撞)作用下的移动变位或落梁识别与即时告警的问题。



图 3 结构落梁识别与预警

c) 墩梁相对位移识别及位姿超限预警: 通过桥墩顶部的高变倍一体化摄像机芯与跨中梁底的标靶灯, 实现了白天与夜间的全时段测量。解决了梁体偏位、倾覆或落梁的问题。



(a) 相机与阵列式靶标灯 (b) 边缘计算模块 (c) 图像识别

图 4 墩梁相对位移识别及位姿超限预警

d) 整体刚度识别及趋势预测: 通过桥墩顶部的高变倍一体化摄像机芯与跨中梁底的标靶灯, 实现白天与夜间的全时段测量。解决了桥梁性能劣化监测场景下的应用问题。



(a) 相机与阵列式靶标灯 (b) 边缘计算模块 (c) 图像识别

图 5 整体刚度识别及趋势预测

e) 冲刷深度预测与预警: 通过墩顶横向、纵向和主梁竖向加速度传感器的布设, 系统解决了桥梁冲刷监测趋势的识别, 也实现了桥梁动态响应的全面感知。



(a) 加速度计

(b) 冲刷识别

图 6 冲刷深度预测与预警

f) 单板受力识别: 通过对跨中空心板梁位移传感器、多维位移监测仪的安装, 系统实时监测梁板的挠度差, 精准识别单板梁受力状态, 解决了是否存在单板受力的问题。



(a) 现场设备布设

(b) 系统构成图

图 7 单板受力识别

g) 重车偏载识别: 通过对桥墩关键部位的感知监测设备安装, 集成深度、机器学习、时序数据分析等技术, 对数据进行分析处理, 形成数据分析平台预警系统。解决了桥梁倾覆监测预警问题。

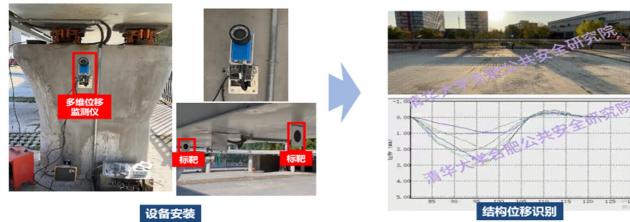


图 8 重车偏载识别

h) 异常振动识别与预警: 通过在拉索上布设视觉振动监测仪, 利用微振动放大技术实现拉索异常高精度振动识别, 再将视频成像设备布设在桥面上方或桥梁远端位置, 确保覆盖桥梁的关键区域。解决了桥梁拉索索力监测问题。

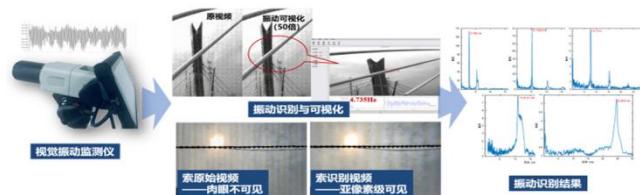


图 9 异常振动识别与预警

i) 桥墩沉降识别与预警: 针对洪水冲刷→地基不均匀沉降→桥墩沉降→支座脱空问题, 通过布设可调高测力支座, 将支座受力状态实时转化为量化数据, 再布设位移传感器与振动传感器于桥墩及桥梁关键部位, 实时采集位移、沉降、振动等数据。解决了桥梁倾覆监测预警的问题。



图 10 桥墩沉降识别与预警

j) 桥侧崩塌落石识别与预警: 采用地基合成孔径雷达基于圆弧合成孔径高分辨率成像和微波相位干涉测量技术, 通过选择可透视监测目标的稳定区域, 布设集成雷达主机、球形摄像机等设备解决了桥侧崩塌落石全域监测的问题。



图 11 桥侧崩塌落石识别与预警

2) 复杂环境下的大规模通信组网技术与装备

在嘉绍大桥上完成了高通量全时空工业物联通信体系布置。网络设备通过有线连接接入放大器，放大器自动接入从基站节点，从基站节点自动搜寻临近的主基站形成自动组网。

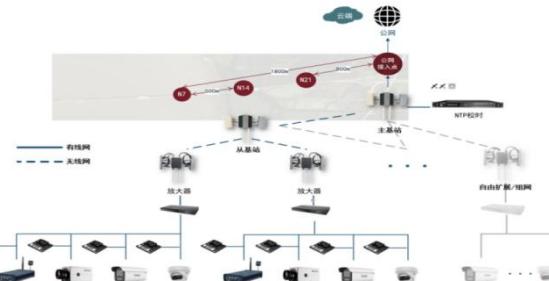


图 12 本项目轻量化监测系统边端—基站组网拓扑示意

3) 组态式数字底座自主敏捷开发与应用

研发了具备监测预警实况大屏、时空基座、物联基座和数物融合分析、算法管理的组态式数字底座。实现设备集成管理、数据稳定接收与展示、自定义监测指标阈值、自主报警、融合展示等功能。



图 13 桥梁资产添加与管理功能与监测数据展示

(二) 施工要求

本系统外场设备安装方便快捷，可在现有护栏、承台上进行安装，无需制作基础，不会破坏外场设施原有结构。

(1) 模组式轻量化监测技术与装备

可根据桥梁现场情况和测点需求安装设备支架，并充分利用路段既有的护栏立柱、混凝土护栏等交通安全设施进行局部组网和供电。摄像头等非接触传感器可独立立杆安装或与其他设备并杆安装，根据现场情况，实现监测视域最大化；传感器和边缘终端宜安装保护盒或防尘罩。

(2) 高通量通信基站

需考虑基站定向通讯的视通条件，可结合桥面灯杆、护栏等既有装置进行抱杆安装，也可独立立杆安装，尽可能保障点对点通讯中障碍物较少。自组网络需考虑干线互联网并网需求，可结合工程项目特点，进行选择。

四、应用效果

(一) 实施效果

在桥梁结构监测系统的轻量化升级的前提下，系统搭建的规范化、标准化程度显著提升，可扩展性强、泛用性强。监测系统特点有少指标、小成本、低功耗、自组网、高集成、敏捷优、适应力强等。具体效果包括以下三方面：

(1) 模组式轻量化监测技术与装备应用特点

在监测功能实现方面，系统基于多层级、多维度的健康监测指标体系，通过多个功能模块实现全景式健康监测。数据方面，边缘设备完成初步处理，减少云端数据量，降低敏感数据泄漏风险，实时分析结果反馈本地，避免监测盲区，显著提升系统稳健性。

(2) 提升了复杂环境下的大规模通信组网能力

针对高速公路桥群，设备组网可实现对多座桥梁的集中监控和管理，提升了管理效率与异常情况响应速度。本项目设计的边缘宽带物联基站，具备高带宽、大覆盖、安全性好、可自愈、轻量化、易拓展等突出优点。

(3) 组态式数字底座自主敏捷开发与应用解决了新旧监测系统适应性问题

通过构建模块化架构的组态式数字底座，结合标准化接口和低代码工具，采用敏捷开发和增量优化模式，实现了监测功能的快速响应与集成，支持独立开发与升级各功能模块，便于动态适配复杂需求，显著提升了部署效率和系统适应性。统一的数据管理与即插即用的算法优化，克服了传统系统因硬件耦合带来的升级困难，展现出显著的技术优势和优异的实施效果。

(二) 经济与社会效益

(1) 通过桥梁的轻量化监测技术，可及时发现桥梁风险，采取措施，避免或减少经济损失。

(2) 通过对桥梁的长期监测预警，可积累大量的数据为桥梁的设计优化提供科学依据，提高工程的安全性和经济性。

(3) 桥梁轻量化监测技术能够对反映桥梁性能与安全状况的关键指标进行长期监控预警，有助于提高应急响应救援能力，保障公路网络的安全运营。

案例 20：公路桥梁群（光纤光栅）轻量化结构健康监测系统

一、技术来源

技术来源单位：北京新桥技术发展有限公司、武汉烽理光电技术有限公司、北京中力智研物联网有限公司

联系人及方式：马少飞，13811903435

二、技术简介

本系统以光栅阵列智慧传感监测总线覆盖高风险路段全域，实现以总体风险监测为基础，根据重点桥梁群的实际需求，构建了一套轻量化关键指标监测技术体系。

（一）技术路线 1：光栅阵列应变传感系统

采用光栅阵列应变传感系统实现主梁连续应变流响应监测，及时发现超载车辆通行情况及结构损伤，并开展主梁长期性能监测分析。图 1 所示监测桥梁 4 片主梁应变流呈现典型的 V 形分布，各片主梁的应变流分布有轻微的变异，但均属于合理范围，表明沿主梁长度方向暂时未发现显著损伤。系统具备直观性、长效性和准确性特点。



图 1 主梁应变流监测

光栅阵列传感技术可针对主要承重构件实现连续应变场采集，采用图 2 所示模式，铠装于传感光缆内部的光栅阵列应变传感光纤由 n 个连续无焊接点的弱光纤光栅（WFBG）组成，每个弱光纤对应 1m 长度测区，采用时分解调技术，通过检测弱光纤反射信号的返回时间定位光栅测区的位置。

基于光栅波长变化与结构应变变化间的线性关系，通过检测逐点光栅波长的变化，实现沿程各个测区位置结构的应变响应连续分布式探测。最终实现梁体的连续应变场分布监测，把握构件劣化过程和监控突发事件。

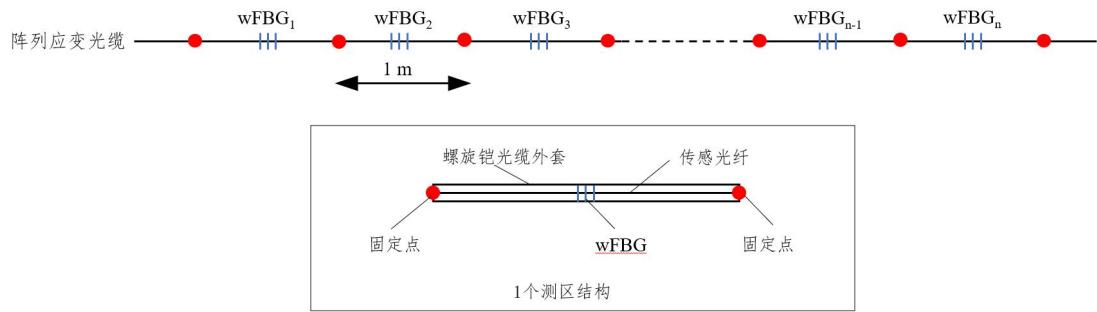


图 2 光栅阵列智慧传感监测总线原理示意

光栅阵列智慧传感监测采用光栅阵列应变解调仪（图 3），该应变解调仪采用高耐受材料制成，可适应宽温环境应用。具备储存扩展能力，拥有充足算力，可独立工作、自成体系实现数据的解调和存储。此外，相关数据还能通过无线网卡上传至云端，以便在云上进行综合分析与预警。



图 3 光栅阵列应变解调仪

（二）技术路线 2：轻量化结构健康监测传感系统

桥梁监测是确保桥梁结构安全、延长使用寿命的重要手段。通过集成多种监测技术和设备，对桥梁的关键部位和性能指标进行实时、连续地监测，及时发现并预警潜在的安全隐患（图 4）。

轻量化结构健康监测传感系统针对下列监测指标结合桥梁结构特点及桥位环境特点选用，其他特殊应用场景可以根据需要定制开发：

- 1) 桥墩倾斜监测
- 2) 梁体位移监测
- 3) 梁体裂缝监测
- 4) 水位监测
- 5) 基础冲刷监测

6) 雨量监测

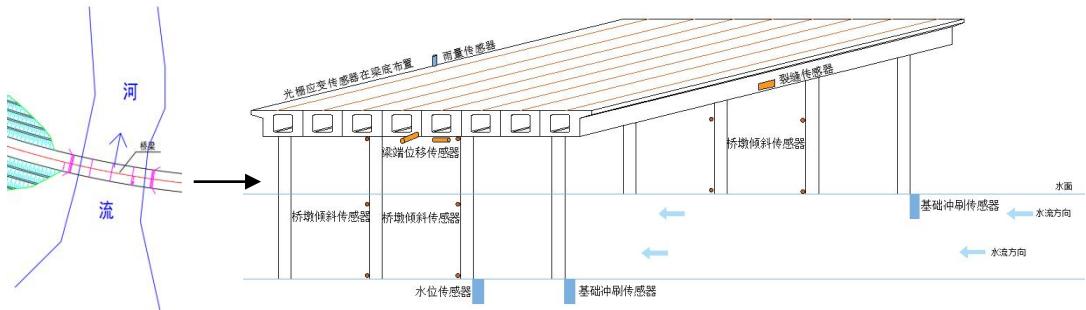


图 4 关键桥跨轻量化监测示意

系统秉持“非必要不监测”理念，在满足监测需求的基础上致力于降低建设成本和运维成本。系统根据桥梁的特点及实际需求，灵活选用上述监测指标，必要时也可拓展其他指标，实现对桥梁重点指标的监测与安全预警。系统具有高便捷性、灵活性，且具备轻量化、低成本的特点。

(三) 主要技术参数

典型示范项目采用的主要设备及其主要技术参数见表 1。

表 1 典型项目桥梁检测指标体系

序号	主要设备	主要技术参数
1	光栅阵列应变解调仪	单通道传感光缆长度 10km/空间分辨率 1m/测量频率 100Hz 输出 RJ45\RS485 /工作温度 -20°C ~ +60°C /存储温度 -40°C ~ +70°C /供电 AC220V±10% /功率 80W/防护等级 IP67
2	光栅阵列应变传感光缆	空间分辨率 1m/量程 $\pm 5000\mu\epsilon$ /衰减系数 1310nm 波长 ≤ 0.5 /工作温度 -20°C ~ +60°C /拉伸、压扁、扭转等满足使用要求
3	梁端位移计	测量范围 50mm/最小读数 $K \leq 0.02\text{mm/F}$ /分辨力 $r \leq 0.03\%F.S$ 综合误差 $\leq 1.0\%F.S$ /工作环境温度 -25°C ~ +70°C
4	桥墩倾斜监测仪	倾角测量范围 $\pm 90^\circ$ / 倾角测量精度 $\pm 0.001^\circ$ 分辨率 0.0001° / 工作温度 -40°C ~ +85°C
5	梁体裂缝计	测量范围 50mm / 最小读数 $K \leq 0.02\text{mm/F}$ /分辨力 $r \leq 0.03\%F.S$ 综合误差 $\leq 1.0\%F.S$ / 工作环境温度 -25°C ~ +70°C
6	水位监测仪	量程范围 0 ~ 10m/精度等级 0.25%F·S /过载能力 200%F·S 响应频率 $\leq 500\text{Hz}$ / 温度漂移 $\pm 0.01\%F\cdot S/\text{°C}$
7	雨量计	测量范围 0.01mm ~ 4mm/min /分辨力 $\leq 0.2\text{ mm}$ 监测精度 $\leq \pm 3\%$ / 工作温度 -25°C ~ 85°C
8	墩台冲刷监测仪	量程 0 ~ 1500mm / 触发方式：磁敏开关 工作温度 -25°C ~ 85°C

三、实施方案

典型项目示范路段为G207国道襄阳市宜城段,路段主要特点为交通流量大、重载交通多,部分桥梁跨越河道,基础冲刷严重。经过对各桥设计图纸和检测报告分析,结合现场勘查桥梁现状及桥位特征,拟定百里渠桥、长渠桥、二郎庙桥采用技术路线1,孔湾大桥采用技术路线2,鲤鱼桥同时采用两条技术路线,拟定监测指标体系见表1。

表1 典型项目桥梁监测指标体系

序号	桥梁名称	光栅阵列 应变系统	基础 冲刷	桥墩 倾斜	梁端 位移	梁体 裂缝	雨量	水位
1	鲤鱼桥	●	●		●			●
2	百里渠桥	●			●			
3	长渠桥	●						
4	孔湾大桥		●	●	●	●	●	●
5	二郎庙桥	●						

为确保监测传感器使用寿命,满足长期性能监测需要,光栅阵列应变传感光缆采用直埋式布设,在梁底正弯矩区域刻槽安装,保证光缆监测效果稳定、使用期限与结构同寿命。安装示意见图5,安装效果见图6。轻量化结构健康监测传感系统布设方式根据桥位现场需要确定。

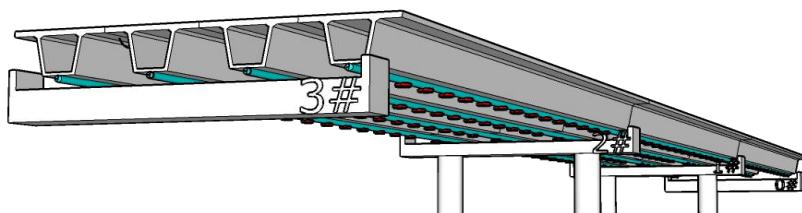


图5 光栅阵列应变传感光缆布设示意



图6 光栅阵列应变传感光缆布设现场

四、应用效果

(一) 统计分析与超限预警

统计分析子模块(图7)包括荷载谱分析、分时荷载谱分析、水位分析、冲刷分析、倾斜分析、梁端位移分析。根据梁体应变流分析数据及环境及结构响应数据提供关联统计分析,为安全预警及日常风险管控提供技术支撑。



图7 统计分析子模块设计

根据《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037-2022)及《公路桥梁群监测系统试点建设技术指南》(征求意见稿),超限阈值分为三级,当监测数据超过各级超限阈值时同步报警,超限分级及报警方式见表2。

表2 超限分级及报警方式

超限级别	系统显示	报警方式
正常	绿色	-
一级	黄色	系统弹窗提示,短信通知系统管理员,根据需要调整监测策略,必要时现场查看。
二级	橙色	系统弹窗提示,短信通知系统管理员,根据需要电话通知养护管理人员及时现场查看。
三级	红色	系统弹窗提示,同时短信通知系统管理员及养护管理单位,管理员根据需要电话通知养护管理人员。

针对梁体应变、雨量、水位、冲刷、桥墩倾斜、梁端位移等响应数据的统计分析,结合各指标参数及风险因素,分项制定日常风险管控策略,指导桥梁日常巡查、日常养护及应急养护工作。

(二) 长期性能监测

在建立光栅阵列应变传感系统初期,采用结构分析、加载测试相结合的方式建立结构初始指纹,可通过指纹比对判断桥梁实际荷载效应,实现梁体实时荷载效应分析(图8),必要时可用于追踪超载车辆。

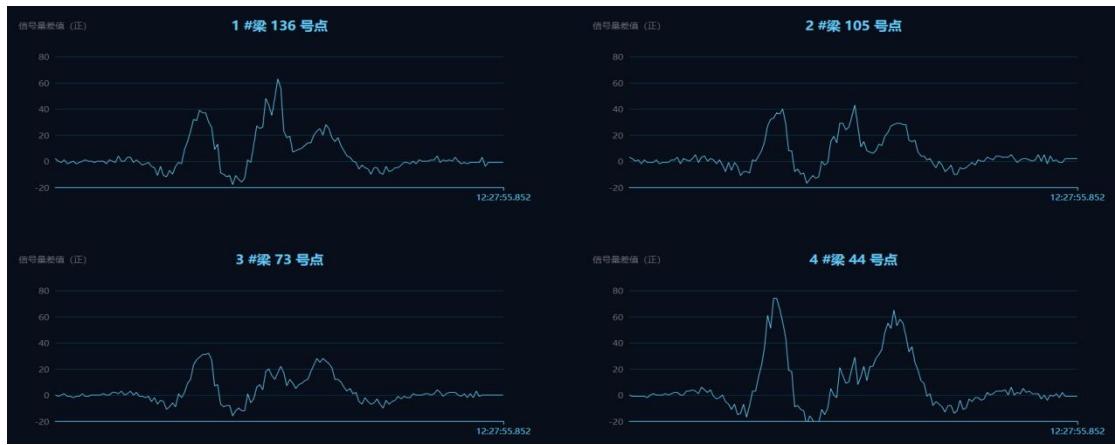


图 8 梁体实时荷载效应分析

结合长距离连续应变场监测数据分析, 可精准辨别结构损伤断面, 并记录结构损伤期间及损伤发展阶段。通过同截面单梁应变比对, 可开展梁体横向分布效应分析(图 9), 及时发现结构损伤, 防范单梁断裂等恶性事故。

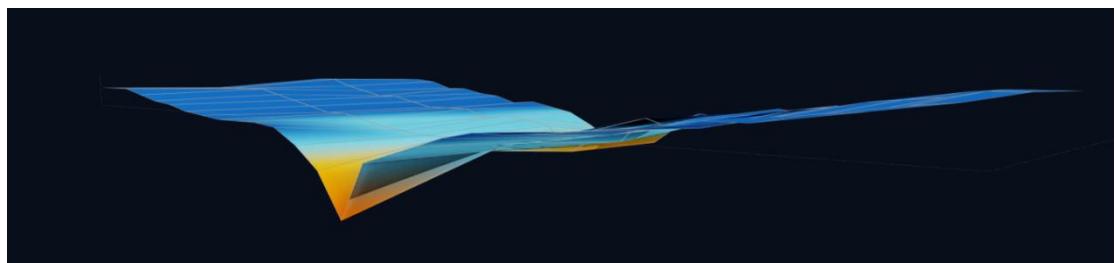


图 9 梁体横向分布效应分析

通过对梁体应变流数据及关键截面应变数据积累, 可开展历史荷载谱效应分析(图 10), 为未来长周期桥梁养护科学决策提供依据, 同时可为相似荷载特征路段未来桥型选择及结构参数优化提供依据。

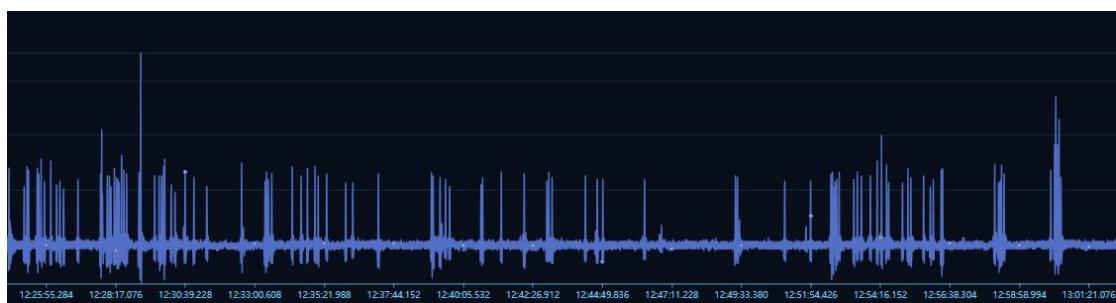


图 10 长期荷载谱效应分析

当桥梁结构受损, 需要开展针对性维修加固时, 可通过维修加固前后结构响应对比确认加固效果, 并长期跟踪结构响应状态实现维修加固后评估, 为维修加固方案制定及优化提供依据。

案例 21：公路桥梁结构健康轻量化监测技术

一、技术来源

技术来源单位：福建省交发高科有限公司、福建省高速技术咨询有限公司、福建省交通科研院有限公司、福建汇川物联网技术科技股份有限公司、广州南方测绘科技股份有限公司、福建中锐网络股份有限公司

联系人及方式：洪启枫，16605910430；肖建卿，15396071356

二、技术简介

（一）技术要点

公路桥梁结构健康轻量化监测技术主要应用于高速公路桥梁的结构健康监测。该技术通过引入先进的轻量化、智能化监测技术和设备，实现对桥梁结构健康状态的实时监测、预警与养护管理。项目选取了三明市国道 205 线梅列红 3 号大桥（下行）和南平市国道 205 线曲港大桥作为应用示范对象，旨在验证和展示轻量化监测技术在桥梁结构健康监测中的实际应用效果。

该技术主要由以下四个核心部分构成：

1.桥梁轻量化管养一体化系统：该系统集成了基础信息管理、在线监测、日常巡查、维养养护、检测评估等多个功能模块。通过轻量化设计，系统在保证功能全面的同时，实现了高效运行和易于维护。

2.远程视频 AI 测量技术、一体化 GNSS 监测技术等一体化先进设备：这些设备利用高清摄像头捕捉桥梁结构的实时图像，并通过内置的 AI 算法对图像进行智能分析，实现对桥梁位移、裂缝、振动等关键参数的精确测量。这些先进设备的应用，不仅提高了监测的精度和效率，还降低了人工监测的成本和风险，实现安装轻量化。

3.路桥灾害监测哨兵系统：通过自研断线监测仪及振动倾斜仪等传感器组成多参数监测感知系统，利用多参数相互校验的方法，提高了桥梁垮塌事件感知预警准确性和可靠性。同时，该体系还能够实时监测桥梁结构的健康状况，及时发现潜在的安全隐患。

4.声光电预警“叫应”系统：通过高精度监测设备实时采集桥梁结构数据，并运用智能分析系统进行比对和分析，一旦发现异常情况，系统会立即触发预警，

通过声光电等方式向管理人员和通行车辆发出紧急警示。

(二) 主要功能

1.桥梁数字化管养功能：通过集成化的桥梁轻量化管养一体化系统能够同时管理桥梁巡检养护信息、桥梁资料，并且结合电子化人工巡检与养护，为桥梁管理单位提供一个全生命周期管理的养护管理平台。

2.轻量化结构健康监测：利用一体化 GNSS 监测站、AI 视频监控测量仪等轻量化设备，实现桥梁结构的高精度监测，提供毫米级的定位精度和变形监测数据。通过 AI 视频智能分析技术，识别桥梁结构表面出现的表征病害迹象，如裂缝、腐蚀、断丝等，并通过热力图进行差异识别。

3.远程可视化监控：AI 视频监控测量仪支持远程点位布设，监测过程可采集空间三坐标同时也采集区域表征影像，实现远程可视化监控。

4.路桥灾害事件多感知，通过断线状态、加速度值和倾角值等多个参数感知桥梁实时状态，实现桥梁垮塌灾害事件的实时、确定性感知。

5.灾害预警应急响应：建立完善的声光电“叫应”系统及预警信息推送机制，一旦发现异常情况，立即向管理人员和通行车辆发出紧急警示。

(三) 预期效果

1.提高桥梁安全管理的效率：通过实时监测和预警，能够及时发现和处理桥梁结构的安全隐患，避免事故的发生。

2.确保预警的准确性和及时性：系统采用高精度监测设备和智能分析系统，能够实现对桥梁结构健康状态的准确监测和预警，为桥梁的安全运营提供有力保障。

3.降低维护成本：一体化设计和集成化传感器简化了设备的安装和维护，降低了运维成本。

4.推动桥梁监测技术的轻量化发展：本项目采用轻量化监测技术和设备，降低了监测系统的成本和复杂度，提高了系统的可操作性和可推广性。

三、实施方案

(一) 适用场景

本技术适用于各类公路桥梁的结构健康监测，特别是需要高精度、实时监测和预警的桥梁。

(二) 监测方案

为实现本次揭榜方案全部技术应用示范,结合福建省桥梁轻量化的特点,本次揭榜选取两座典型桥梁开展监测技术应用示范,分别为三明市国道 205 线梅列红 3 号大桥(下行)和国道 205 线南平市曲港大桥。

1.项目概况



图 1 三明市国道 205 线梅列红 3 号大桥(下行)现场图



图 2 国道 205 线南平市曲港大桥现场图

三明市国道 205 线梅列红 3 号大桥为旱桥结构,靠近边坡且属汇水之地,存在边坡滑移、坍塌引起结构损伤的风险场景,该路段隶属国道 205 线,长期规划货车对结构的影响也会加剧。

国道 205 线南平市曲港大桥为跨河结构,存在船撞、漂浮物冲击以及长期使用引起的结构物下挠的风险场景,该路段隶属国道 205 线,长期规划货车对结构的影响也会加剧。

2.传感器选型和试用

根据桥梁结构特点和监测需求,确定监测指标,包括但不限于位移、变形、振动、应变等。选择能够准确反映桥梁结构状态的监测指标,确保监测数据的有效性和可靠性。本次试点项目监测内容以下表所列设备为主。

监测内容	仪器设备	精度要求
结构变形 (三维空间)、结构 表征病害识别	AI 视频监控测量仪	(1) 自动监测精度: 0.4mm@50m; 0.6mm@100m; (2) 转动范围: 水平 (0°~360°) 垂直 (-90~+90°) ; (3) 像素分辨率: 1920×1080; (4) 光学变倍: 32 倍变倍变焦; (5) 远程点位布设: 可远程批量/手动布设, 自动增删测点, 测点间距可达到厘米级; (6) AI 视频智能分析识别桥梁结构表面出现的表征病害迹象, 并通过热力图进行识别; (7) 具备断网续传、断电应急监测、设备倾倒应急监测等功能

动扰度监测	AI 定向监测摄像机	<ul style="list-style-type: none"> (1) 自动监测精度 0.5mm@50m; (2) 采集频率: 20Hz; (3) 像素分辨率: 1920×1080; (4) 具备断网续传、断电应急监测、设备倾倒应急监测等功能;
落梁及桥梁垮塌事件监测	断线监测仪	<ul style="list-style-type: none"> (1) 设备具有感应线开路、短路检测及预警功能; (2) 感应线长度: ≥ 1500 米 (3) 检测通道数: ≥ 2 (4) 设备支持 4G 通信功能 (5) 供电方式: 设备支持太阳能充电和锂电池供电 (6) 市电接入: 设备支持市电供电 <p>主备电源输入切换: 设备支持市电、太阳能双电源输入自动切换功能</p>
桥梁倾角姿态、车辆撞护栏、环境温度、落梁、桥梁垮塌事件	倾斜振动监测仪	<ul style="list-style-type: none"> (1) 设备具有 3 轴倾斜角度、加速度监测与预警功能 (2) 倾角测量轴数: X、Y、Z 三轴 (3) 倾角测量范围: $\pm 90^\circ$ (4) 倾角测量精度: $\pm 0.01^\circ$ (5) 倾角测量分辨率: 0.001° (6) 加速度测量范围: $\pm 2g$ (7) 加速度测量精度: $\pm 0.1mg$ (8) 加速度测量分辨率: 0.01mg (9) 设备支持 4G 通信功能
水平位移量、沉降位移	一体化 GNSS 监测站	<ul style="list-style-type: none"> (1) 输出参数: 水平位移量、高程位移 (2) 接收机精度: <ul style="list-style-type: none"> 动态: 水平精度$\pm(8+1\times 10^{-6}\times D)$mm, 高程精度$\pm(15+1\times 10^{-6}\times D)$mm; 静态: 水平精度$\pm(2.5+0.5\times 10^{-6}\times D)$mm, 高程精度$\pm(5+0.5\times 10^{-6}\times D)$mm; (3) 高度集成化: 内置倾角传感器, 具备倾角数据上传平台功能; (4) 具备前端组网解算功能; (5) 支持北斗短报文通信: 内置北斗短报文芯片, 通过北斗短报文回传结果数据至服务器;



图 3 AI 视频监控测量仪



图 4 AI 定向监测摄像机



图 5 一体化 GNSS 监测站

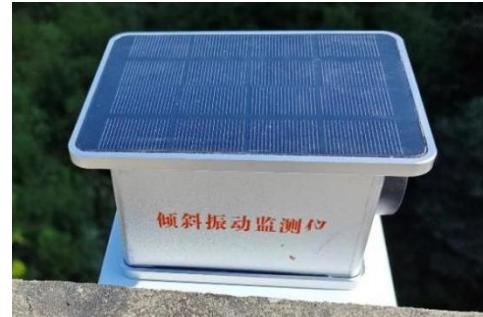


图 6 倾斜振动监测仪

3.桥梁轻量化管养一体化系统

系统对曲港大桥、梅列红 3 号桥进行建档，作为管养一体化系统，对业主、维养单位进行管理，完成对两座桥梁的在线监测、日常巡查、维修养护、检测评估、视频监控、智能 AI 模块运用，实现对桥梁状态进行实时数据接入、跟踪、告警，通过平台对桥梁的运维工作实现对应的巡查、养护闭环工作，完成对桥梁的检测评估报告工作，同时实现对桥梁实时状态进行三维建模、360vr 全景及视频 AR 植入模式进行全方位的监管。



图 7 桥梁轻量化管养一体化系统

四、应用效果

(一) 实施效果

1.桥梁结构健康监测能力提升

通过应用示范项目，桥梁结构健康监测系统实现了对桥梁结构全面、实时地监测。采用的一体化 GNSS 监测站、断线监测仪、倾斜振动监测仪等设备，大幅提高了监测的精度和范围。这些设备能够捕捉到桥梁的微小形变和振动，为桥梁的安全评估提供了详实的数据支持。同时，AI 视频监控测量仪和 AI 定向监测摄像机的应用，实现了远程可视化视频监测，进一步增强了监测的直观性和准确性。

2.结构安全及灾害预警能力提升

感知端通过路桥灾害监测哨兵系统实现桥梁垮塌灾害事件兜底监测，其余轻量化高精度监测设备实时采集桥梁结构数据，并运用智能分析系统进行比对和分析，及时感知桥梁结构可能出现的异常状况。通过声光电“呼应”系统实现灾害预警信息的现场触达，降低二次伤亡事故，通过监测平台预警推送实时掌握结构健康状态。这种实时预警能力有效降低了桥梁安全事故的风险，为及时采取应急措施争取了宝贵时间。

3.桥梁管养效率提升

桥梁轻量化管养一体化系统的应用，实现了桥梁全生命周期的信息化管理。系统能够自动收集、整理和分析监测数据，生成详细的巡查报告、维养计划和评估结果。这不仅提高了管理效率，还降低了人为因素对管理效果的影响。管理人员可以通过系统随时查看桥梁的运行状态，快速响应各类异常情况，确保桥梁的安全运行。

4.资源利用效率提升

通过对监测数据的深入分析和挖掘，可以更加精准地掌握桥梁的运行状况和维养需求。这有助于相关部门更加合理地分配资源，将有限的人力、物力和财力投入到最需要的地方。同时，监测系统还可以为桥梁的维养工作提供科学依据，避免浪费和重复投入，提高了资源的利用效率。

（二）示范效应

本项目在设计与实施过程中，充分考虑了实际应用的需求与潜在价值，奠定了坚实的推广应用基础。通过深度调研与分析，项目精准定位了目标用户群体及市场需求，确保了项目成果能够切实解决行业痛点，提升服务效率与质量。通过实时监测和预警，能够及时发现和处理桥梁的潜在问题，延长基础设施的使用寿命，减少因灾害和事故造成的人员伤亡和财产损失。本项目的推广应用将带来以下价值：一是提升行业整体的运营效率，通过智能化手段减少人工干预，提高处理速度；二是优化资源配置，利用大数据分析实现精准决策，降低运营成本；三是增强用户体验，通过个性化服务满足用户多样化需求，提升满意度与忠诚度。

案例 22：公路桥梁结构健康监测技术方案

一、技术来源

技术来源单位：广西交通投资集团有限公司、广西交投科技有限公司、东南大学、宁波朗达科技有限公司

联系人及方式：王晨，18978949459

二、技术简介

（一）桥梁轻量化损毁监测

1、技术要点

针对存在自然灾害（桥址滑坡、水毁、河流大水冲刷等）、车/船撞击隐患、高墩倾斜等安全隐患的桥梁，在桥梁关键位置安装集成了振动加速度、倾角、4G 传输模块、蓄电池、太阳能板的传感器，传感器预警阈值可通过系统调整，超过预警阈值后联动现场视频监控、声光报警等设备，运用桥梁监测系统平台，实现对桥梁灾毁事故的自组网联动报警。

预警流程如下：桥梁灾毁事故发生→传感器监测数据超预警阈值→触发摄像机实时记录存储现场录像→监测平台报送监控技术人员→现场声光报警器触发爆闪灯并喇叭报警→联动应急。



图 1 桥梁损毁系统平台报警并视频实时记录界面（经人工触发）

2、系统构成

该系统主要包括四部分：

- (1) 多参数自供电网的高集成传感器，布设于桥梁关键构件；
- (2) 视频监控单元，布设于桥头位置；
- (3) 声光报警单元，布设于护栏来车方向合适位置；

(4) 桥梁监测软件平台。

3. 技术指标

表 1 自研集成倾角振动加速度监测设备

主要参数	技术性能指标	示意图
设备尺寸	长 108mm、宽 73mm、高 60.5mm	
重量	290g	
测量范围	$\pm 90^\circ$	
测量精度	$<\pm 15^\circ:0.1^\circ, \pm 15^\circ:0.5^\circ$	
分辨率	0.05°	
无线通信标准	LTE Cat1	
加速度量程	$\pm 2g$	
零偏误差	$<0.002g$	
响应带宽	20Hz	
工作温度	-20~70°C	
最长工作时长	3 年	
太阳能电池板	内嵌太阳能板: 70*60mm	
防水等级	IP67	

4. 预期效果

(1) 提高应急处置能力，有效防止次生事故

轻量化损毁监测系统在事故发生后，第一时间启动报警程序通知管理单位、交警和路政等单位，现场同步联动视频监控和记录、声光报警给通行车辆人员减速停车，有效避免群死群伤和二次事故的发生。

(2) 系统建设成本效益显著，适合大规模使用

通过优化设计，传感器具有高集成、低功耗、小成本、自组网、自供电、适用广的特点，这一优势有助于桥梁管养机构广泛覆盖，进一步促进技术的普及，从而提升高速公路灾害监测和预警能力。

(二) 桥梁轻量化服役状态监测

1. 技术要点

针对存在改造加固、外观病害严重、交通量陡增、大件运输、重载交通等特殊情况的常规桥梁，采用边缘计算设备、图像位移监测、车流车重监测等设备，运用桥梁监测系统平台，实现桥梁动态位移识别、车流统计、车载数字称重、承

载力实时评估等功能。



图 2 桥梁轻量化服役状态监测系统平台首页

2. 系统构成

该系统主要包括四部分：

- (1) 边缘计算设备，布设于桥头合适位置；
- (2) 图像位移设备，布设于重载交通对应梁底；
- (3) 视频监控设备，布设于桥头，可实现车牌、车辆类型与车道识别；
- (4) 桥梁监测系统平台。

3. 技术指标

表 2 边缘计算设备技术指标参数表

主要参数	技术性能指标	示意图
CPU	四核 Cortex-A76, 四核 Cortex-A55, 主频最高可达 2.6GHz	
AI 算力	6TOPS(INT8)	
内存	DDDR4 8GB	
存储	eMMC64G + 固态 256G	
物理接口	千兆网口、USB、HDMI 等	
电源电压	DC9 至 19V(Typical)	
使用温度	-20°C 至 65°C	
通信与数据传输	以太网、无线 4G 通信、无线 Wi-Fi 通信	

表 3 图像位移设备技术指标参数表

项目	性能指标	示意图
测量距离	1—500m	

项目	性能指标	示意图
测量分辨率	0.01pix	
测量精度	±0.05mm (20m 距离)	
传输方式	4G/Ethernet	
监测靶点	有源无源皆可	
靶点数量	视野范围内无限制	
设备接口	4G/北斗/Wi-Fi/以太网/485	
设备功耗	≤20W	
防护等级	IP67	
工作温度	-30°C至+70°C	
测量功能	支持开机自启/定时启动/延迟启动, 连续测量/定时测量	

表 4 车流车重监测设备技术指标参数表

项目	性能指标	示意图
最低照度	彩色 0.0005Lux@(F1.0, AGCON), 0LuxwithLight	
焦距	4mm	
补光距离	最远可达 30m	
最大图像尺寸	2560×1440	
视频压缩标准	H.265/H.264	
视频压缩码率	32Kbps 至 8Mbps	
网络协议	TCP/IP, ICMP, HTTP 等	
电源与功耗	DC12V, 0.5A, 最大功耗 6W	
防护等级	IP66	
工作温度	-30°C至+60°C	
网络接口	1 个 RJ4510M/100M 自适应以太网口	

4、预期效果

(1) 实现交通状况实时研判

通过布设在桥梁桥头的监控视频设备, 运用机器视觉和深度学习算法实现桥面车流的关键信息感知, 准确实时地获取过桥车辆信息, 包含通行时间、车牌号、车辆类型、车道位置等。通过获取的车辆信息结合称重功能构建车辆信息数据库, 实现研判拥堵等交通状态识别的功能, 辅助交通管理人员进行交通管理。

(2) 实现通行车辆数字称重

系统嵌入自研的桥梁数字称重算法, 基于机器视觉和桥面视频监控对车辆荷载进行跟踪定位, 通过桥面视频车辆信息和结构挠度, 监测重车过桥时桥梁动态

位移特征的分析，结合车重与桥梁动挠度映射的神经网络的训练集，识别重载车辆数据，包括车辆类型、轴重、车速和通过时间等。该功能提供详细的重载车辆统计数据，帮助管理部门了解桥梁的重载负荷情况为桥梁维护和交通管理提供参考。

（3）实现桥梁承载力的实时评估

基于车辆数字称重功能，通过车辆实时动荷载数据的分析，结合桥梁实际参数，依据规范要求对桥梁的承载能力进行计算，输出校验系数，并通过实际桥梁响应的感知，修正桥梁服役状态的评定。

（4）实现桥梁安全演变分析

本次桥梁集群监测系统关于桥梁结构的安全演变功能，利用已建设的六律邕江和六景郁江全量化健康监测系统高频次、多维度的全量化监测数据，结合青龙江等4座轻量化的挠度监测数据，经对数据的整合、对齐、清洗和修正，分析出六律至六景路段桥梁集群的车载-梁体响应之间的安全演变规律，为桥梁养护科学决策提供坚实的技术支撑。

三、实施方案

（一）桥梁轻量化损毁监测

1、应用场景

传感器高度集成传感、自组电网的技术，可广泛应用于多种安全监测领域，包括但不限于存在自然灾害损毁风险（桥址滑坡、水毁、河流大水冲刷等）、可能遭受异常撞击、梁体稳定性下降及潜在倾覆风险的桥梁安全监测和报警，道路边坡微小位移及滑坡的识别预警，隧道内部结构损伤与塌方隐患的预警。

系统建设成本低、功耗小、布设灵活，通过全面覆盖、实时响应的监测预警服务，确保了交通基础设施的安全稳定运行，有效降低安全事故的发生概率。

2、布设方案

针对存在灾毁风险隐患的桥梁，该传感器可布设于风险桥墩或桥跨护栏，必要时可逐墩布设。

如果相邻桥梁都需要监测，可考虑共用一套声光报警设备，节省系统建设成本。仅需安装传感器、声光报警、视频监控三个部分，即可完成整套损毁监测系统的建设，极大提高了现场安装效率和便捷性。

(二) 桥梁轻量化服役状态监测

1、应用场景

桥梁轻量化服役状态监测技术方案主要应用于存在改造加固、技术状况差、运营风险高、规划大件运输通行、重载交通等需要长期性能监测的桥梁。

2、布设方案

(1) 监测桥梁选取

轻量化服役状态监测坚持少指标、低成本的原则，测点布设主要考虑四个因素：①基于《公路桥梁群监测系统试点建设技术指南（征求意见稿）》中规范的内容、②基于桥梁结构受力分析计算、③基于桥梁检测报告等历史资料、④基于桥址所处环境情况。

(2) 桥梁测点布设

对于常规梁桥，仅需对目标桥跨跨中的挠度进行监测，采用POE供电图像位移计+无源靶标（无需补光）监测，联合桥面车流车重视频监控和具有边缘计算设备组成轻量化服役状态监测系统。

四、应用效果

(一) 桥梁轻量化损毁监测

1、实施效果

该技术已成功应用于广西南宁东G72泉南高速的南宁东-六景互通路段的K1440+595官山村大桥和K1459+730天堂中桥。

系统已成功进行了多次试验演示，系统反应迅速、设备间联动及时、运行稳定可靠，效果良好。演示流程如下：手动触发传感器模拟损毁（监测振动和倾角数据出现大的变化）→系统实时弹出报警→现场视频实时监控和记录→现场声光报警器报警。



图3 桥梁轻量化损毁监测系统设备安装现场

2、示范效应

轻量化监测系统可推广使用于：①高速公路灾害高风险路段的桥梁：沿线内的崩塌、滑坡、泥石流、沉陷与塌陷、水毁等5类灾害的一、二级风险点路段桥梁；②高速公路沿线高度大于20m的临河高路堤路段桥梁；③自然灾害易发区域内高速公路桥隧段，尤其是受灾害严重威胁的高速公路桥梁；④车辆/船舶撞击高风险桥梁、地质灾害易发山区桥梁、高烈度地震区桥梁、特殊结构桥梁，如独柱墩桥、弯桥、斜桥、坡桥等倾覆风险桥梁。

（二）桥梁轻量化服役状态监测

1、实施效果

该技术已成功应用于广西南宁东G72泉南高速的南宁东-六景互通路段的官山村大桥、天心中桥、王里一号中桥、青龙江大桥等4座桥梁。各桥梁主梁挠度监测、交通通行流量监测、车重监测、承载能力实时评估监测等各项功能稳定实现，系统运行稳定。

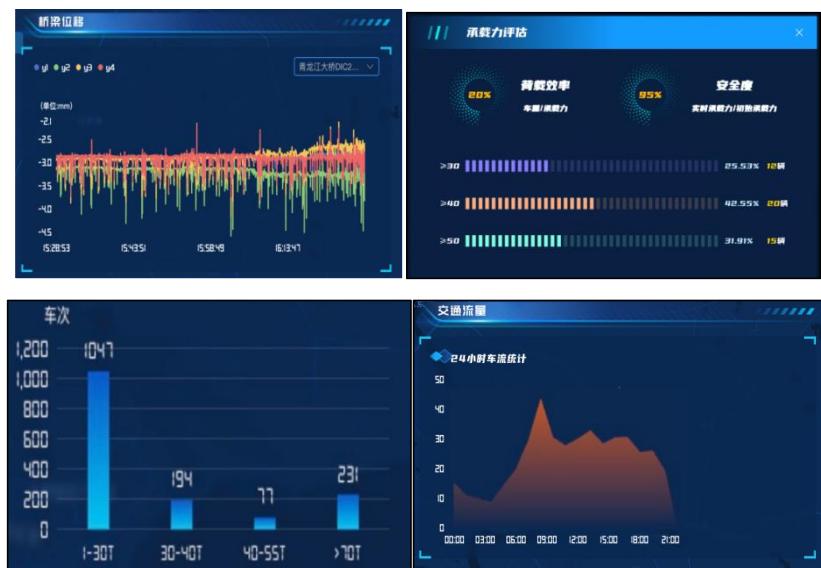


图 4 桥梁轻量化服役状态监测系统功能模块界面

2、示范效应

①全类型桥梁覆盖：技术适用于从长大桥梁到中小跨径桥梁，既适用单桥也适用桥梁集群，满足各类桥梁健康监测的需求。尤其是低成本和高效能的特性，使其在中小型桥梁集群的维护中具有显著优势。

②多场景兼容性：除了桥梁监测，该技术还可扩展到其他基础设施监测场景，如隧道、轨道和公路路基等，为多领域基础设施提供综合解决方案。

案例 23：公路桥梁边坡群全覆盖、轻量化快速排查和监测预警

一、技术来源

技术来源单位：湖南联智科技股份有限公司、中国建筑第五工程局有限公司、湖南苏科智能科技有限公司

联系人及方式：谢鸿，18674385655

二、技术简介

（一）技术简介

本项技术以公路桥梁、边坡等公路基础设施结构为监测对象，建设一套实用、经济、可靠的智能化监测系统。该系统的总体技术目标：以高精度、低功耗、高集成、自组网的轻量化结构监测系统为核心，融合卫星遥感（InSAR）监测技术，构建“点面结合、实时性与周期性相结合”的交通基础设施监测体系，不仅实现对公路桥梁、边坡等单个结构体的轻量化实时监测，也能兼顾对整个路网实现全覆盖的周期性隐患排查和监测。

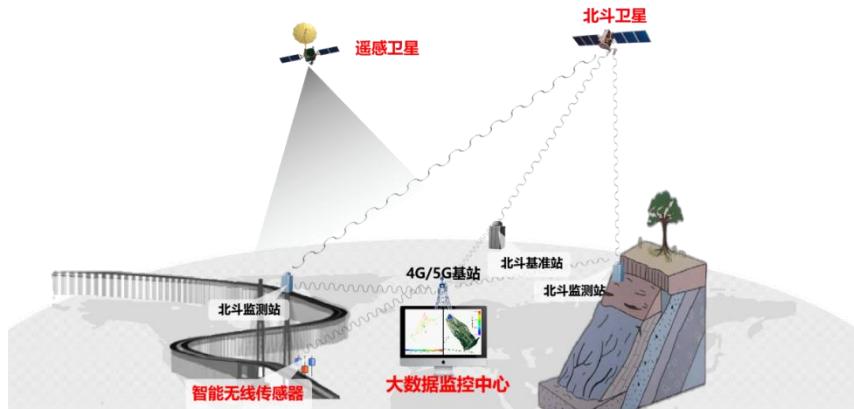


图 1 点面结合的全覆盖、轻量化监测预警体系示意图

（二）系统功能

采用遥感、北斗、卫星物联网、无线智能传感等技术，打造公路基础设施安全监测预警和应急处置平台，平台将集“通导遥”一体化、天空地全方位、无线智能感知、实时监测预警功能于一体，采用物联网架构、异构海量数据管理技术、多源数据融合技术、智能管控和决策技术等，可实现交通基础设施全寿命周期天空地多源多维数据处理和展示，能够实现的主要功能：基于卫星 InSAR 遥感的公路网周期性监测、基于北斗高精度定位的实时性安全监测、无线智能传感一体化监测、AI 驱动的基础设施评估预警。

(三) 系统构成

本技术框架主要由感知层、传输层和应用服务层构成。

1. 感知层：主要通过卫星遥感（InSAR）获取路网周期性的沉降和变形数据，通过北斗和无线智能感知设备获取桥梁、边坡的实时状态数据。

2. 传输层：主要通过4G/5G无线网络传输实时监测数据，对于规模较大的桥梁、边坡或小范围内的桥梁边坡集群，可通过LORA等技术实现监测设备现场自组网，然后再集中发送数据。对于偏远无地面网络信号的地区，可通过卫星物联网定期发送数据，解决网络“盲区”不能开展监测的难题。

3. 应用服务层：应用服务层主要由基础支撑和应用服务两大板块组成，其中基础支撑主要包括GIS三维可视化、AI智能分析决策、应急资源等功能；应用服务主要包括隐患排查、监测预警、安全评估、应急辅助子系统等功能。



图 2 公路桥梁边坡群全覆盖、轻量化快速排查和监测预警技术框架

(四) 预期效果

1. 轻量化监测：以桥梁边坡位移形变为主要指标，以高集成、低功耗、自组网的轻量化监测设备和技术为核心感知网络，大幅降低了系统的建设和运维成本，使本技术更具普适化推广价值。

2. 高精度监测：将InSAR技术与北斗技术相结合，能够以毫米级的精度监测地表形变，对公路网的早期安全变化征兆进行精确捕捉、提供准确的数据支持；通过与北斗卫星实时监测优势互补，进一步提高预警的准确性和可靠性。

3. 大范围灾害筛查：利用历史SAR影像进行大范围灾害筛查，克服了传统监测方法的局限性，能够对风险区域分类、定级，为进一步监测提供数据支持。

4.全天候监测：本技术不受天气条件和昼夜变化的影响，能够在各种环境下持续监测公路网的地质状况，及时发现潜在的灾害隐患，为公路管理部门提供实时的监测数据，以便随时做出决策，保障公路的安全运营。

5.综合成本低：相比传统的地面监测方法，本技术不需要大量的人力和设备投入，降低了监测成本。长期的卫星监测可以提供持续的数据支持，减少了重复监测的费用，具有较高的成本效益。

6.支持科学决策：本技术可为公路管理部门提供了有利的决策依据，有助于制定合理的灾害防治策略和公路维护计划。可以对不同的灾害风险区域进行分类和定级，有针对性地进行资源分配和重点监测，提高管理效率。

三、实施方案

(一) 布设方案

1.湖南益阳 G55 等高速路网点面结合监测预警项目

采用“InSAR 卫星遥感+北斗高精度定位+轻量化无线智能传感”等技术，对益阳界内的 G59、G55、S59、S20 等共 560 公里的高速路网开展灾害隐患排查和轻量化监测。通过本项目绘制了益阳高速路网风险隐患分布图，筛查出疑似风险点 19 处；核查并选定岳家桥大桥、仙溪伊水特大桥边坡，部署了轻量化监测系统，共安装轻量化监测设备 14 台套。

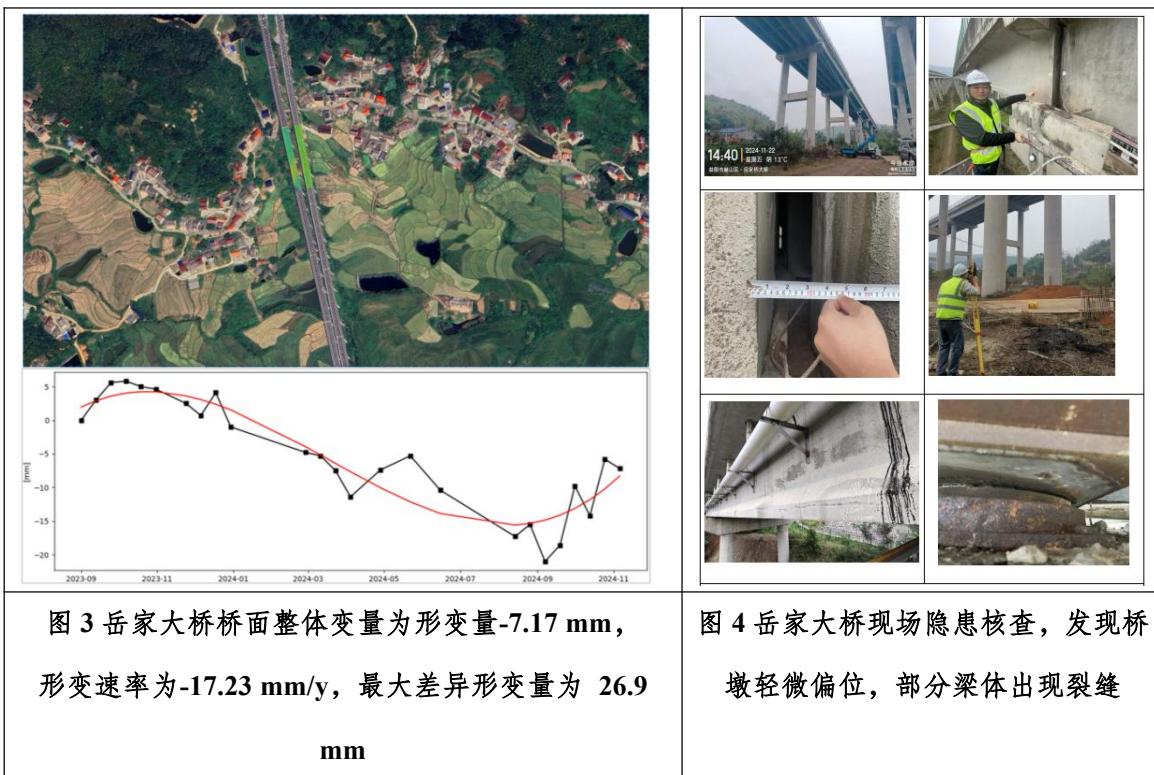
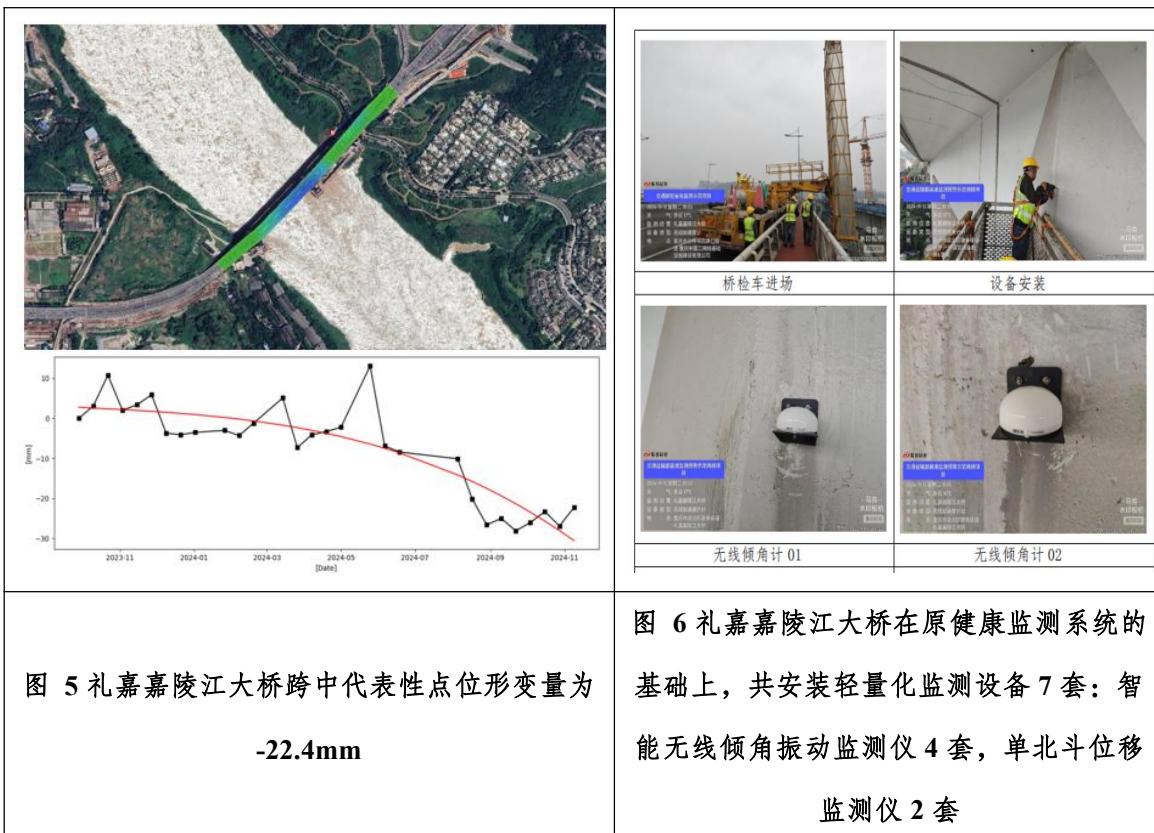


图 3 岳家大桥桥面整体变量为形变量-7.17 mm，形变速率为-17.23 mm/y，最大差异形变量为 26.9 mm

图 4 岳家大桥现场隐患核查，发现桥墩轻微偏位，部分梁体出现裂缝

2. 重庆市城市快速干道路网面结合监测预警项目

采用“InSAR 卫星遥感+北斗高精度定位+轻量化无线智能传感”等技术,对重庆市内的龙洲湾、二横线等共 23 公里的城市快速干道路网开展灾害隐患排查和轻量化监测。本项目涉及特大桥 1 座、长大桥 1 座、大型立交群 2 处、高边坡 4 处、隧道 3 座,筛查出疑似风险点 6 处;核查并选定礼嘉嘉陵江大桥、王家坪边坡、龙洲湾立交群等部署了轻量化监测系统,累计共安装轻量化监测设备 120 台套。



(二) 性能参数

本技术适用于交通基础设施以及公路不同规模、不同成灾机理崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的自动化监测与临灾预警,主要监测方法和监测装备的性能参数如下:

序号	设备名称	特色功能	主要参数
1	单北斗位移监测仪	抗干扰能力大幅提高; 可支持 10000 个监测点同时解算。	位移监测精度: 水平向 $\pm 2.5\text{mm}$, 垂直向 $\pm 5\text{mm}$; 长期存活率提升 50%; 体积减小 50%; 功耗降低 48%; 成本降低 60%;

			核心部件实现 100%国产化。
2	国产化高精度卫星遥感	城区每平方公里最高可获得 5 万个观测点。	单景覆盖范围: 25km*25km; 形变测量精度: 毫米级 (长期连续观测精度 5—7 毫米); 监测周期: 1 月/次或 1 季度/次
3	无线倾角加速度传感器	无线自组网; 数据同步采集; 远程可控, 在线巡检。	锂电池+光伏供电; 续航>5 年; 多功能集成; 待机功耗 0, 工作功耗 0.06W; 短接线≤5cm, 远传输≥5km。
4	图像式无线裂缝监测仪	无线传输, 自供电免维护, 高精度长寿命; 支持回传裂缝图片, 结果直观; 不受温度影响。	精度 0.02mm。
5	视频位移计	三维位移测量; 实时图像视频保存和回溯; 视频监控与测量同步进行; 一台摄像机可以同时监测多个监测点位的变形。	测量精度: 一对一方方式最高可达 0.1mm (高精度版), 一对多方方式最高可达 1mm (广范围版); 采样频率 10—60Hz。

四、应用效果

(一) 实施效果



图 7 岳家桥大桥疑似形变区域



图 8 视频裂缝计安装



图 9 无线倾角安装



图 10 北斗接收机安装

选用 2023 年 10 月—2024 年 11 月初的 L 波段 SAR 卫星重轨数据（3 米级）对试点路段进行分析，确定风险隐患点，绘制公路风险隐患分布图，筛查出的风险点 25 处；选定岳家桥大桥、仙溪伊水特大桥边坡、礼嘉嘉陵江大桥、王家坪边坡、龙洲湾大桥和龙洲湾 G 匝道边坡，部署轻量化安全监测系统，部署轻量化监测设备 26 处，对风险隐患点进行 24 小时连续监测，及时预警。然后用遥感卫星进行周期性监测（每月/每季度），根据监测数据进行定期评估，动态更新示范区域公路风险隐患分布图。示范项目在监测期内各测点数据无明显变化，桥梁处于稳定状态。

（二）示范效应

本次示范项目所采用的技术方案高度成熟，来源于湖南省、重庆市高速公路监测及沿线地质灾害监测实践，其桥梁和边坡监测技术、装备以及平台等目前已经应用于多个省份高速公路边坡监测的选点、设计、数据采集、分析和预警处置中。其中北斗安全监测平台已在全国 27 个省（自治区、直辖市）的风力发电、石油管网、矿业、交通、市政、地质灾害、应急等行业或领域的 1220 个结构物上成功应用，布设监测点 13938 个，完成了 2537 次安全预警，取得了极大的社会和经济效益。



图 11 项目分布图

希望本项目经验能在我国交通基础设施及沿线地质灾害监测预警领域得到推广应用，以减少因交通基础设施结构失稳及沿线地质灾害导致的自然灾害和交通事故，确保道路交通安全畅通，切实保障人民群众生命财产安全。

案例 24：结构健康监测与多源数据融合分析

一、技术来源

技术来源单位：江西省交通设计研究院有限责任公司、中科水研科技股份有限公司、江西省交投养护科技集团有限公司、华东交通大学。

联系人及方式：余少华，13755667950、黄志坚，15652353925

二、技术简介

（一）技术简介

结构健康监测与多源数据融合分析是一种集成了先进的传感器技术、物联网技术的综合自动化监测系统。该系统结合桥梁结构特点及周边环境，形成少指标、小成本、低功耗、自组网、高集成、能有效识别结构安全变化征兆、定量与定性结合的成套技术与装备，能适应复杂环境的轻量化公路桥梁监测系统。

（二）系统功能

（1）搭建了基于机器视觉、边缘计算及无线低功耗技术的轻量化桥梁监测系统，设备采用一体化太阳能+低功耗无线采传的小成本、低功耗、自组网、高集成设计，实现了加固纠偏桥梁位移、振动、倾角、墩梁相对滑移及潜在环境风险桥梁位移、振动、倾角、水位等重点结构安全指标的数据采集。

（2）监测系统模块化设计、分布式布设，安装运维便捷，抗风险能力强。

（3）各监测模块单元可基于多源异构数据融合进行误报消除，有效识别结构安全变化征兆；也可与抓拍模块智能联动，实现重载、数据超限等异常事件情况下的图像抓拍。

（4）具备超限报警功能，实现现场报警、监控中心以及巡检人员全场景的预警信息多维度推送。

（5）监测系统具备接入收费站车辆称重数据的能力，通过构建荷载-挠度响应模型可以实现桥梁结构稳定性指标的定量评价。

（6）具备融合桥梁在线监测数据、结构特征数据、桥梁安全风险分析成果、桥梁养护信息、桥梁无损检测数据的桥梁结构健康状态统计分析功能，支持定性及定量结合方式对桥梁结构状态进行评估。

（7）完成基于小波分析的动挠度、加速度等高频数据分析研究，实现监测

数据的轻量化。

(三) 系统构成

桥梁结构健康监测系统采用面向微服务架构的设计思想，赋予桥梁管理人员技术化的手段，来高效地辅助桥梁管理养护工作；在减轻桥梁管理人员的日常工作同时，提高桥梁管养工作的时效性。系统自下而上分为五层，分别是：数据采集层（多元智能感知单元、机器视觉挠度仪、一体化拉绳位移计、一体化雷达水位计、抓拍相机等）、网络层、数据处理层、平台层、应用层，如下图所示。



图 1 系统总体架构图

(四) 技术指标

(1) 多元智能感知单元

测项	加速度 (三轴)； 倾角 (双轴)； 速度； 温度
精度	加速度: $\pm 1\text{mg}$ ； 倾角: 0.005° ； 温度: 1°C
功耗	休眠功率: $\leq 5\text{mW}$ ； 活动功率: 0.2W
MTBF	50000 小时

(2) 机器视觉挠度仪

测项	位移
精度	0.2mm (0~50 米)、1mm (50~200 米)、1.5mm (200~400 米)
功耗	10W
MTBF	50000 小时

(3) 一体化拉绳位移计

测项	墩梁相对滑移
精度	1mm
功耗	休眠功率: $\leq 5\text{mW}$ ； 活动功率: 0.2W
MTBF	50000 小时

(4) 一体化雷达水位计

测项	水位
精度	3mm
功耗	休眠功率: ≤ 5mW; 活动功率: 0.2W
MTBF	50000 小时

(5) 抓拍相机

测项	联动抓拍
算力	2 TOPS
MTBF	50000 小时

(五) 预期效果

(1) 少指标、小成本、低功耗、自组网、高集成成套技术，不同监测单元，通过多样化的模块灵活组合，这种设计确保了设备能在多种桥梁环境中高效运行，并通过适应性功能配置迅速投入使用，有效降低了工程实施的复杂度和成本。

(2) 利用边缘计算、数据预处理和多源异构数据融合预警算法，实现零误报。具备视觉联动功能，可联动视频抓拍，提高现场感知能力，提高应急救灾决策的准确性和可靠性，及时发现潜在的安全隐患，避免或减少安全事故的发生。

(3) 具备多源数据融合分析功能，可对桥梁在线监测数据、结构特征数据、桥梁安全风险分析成果、桥梁养护信息、桥梁无损检测数据进行融合分析统计，采用定性及定量结合的方式对桥梁结构健康度状态进行评估。

(4) 监测系统具备接入检测站车辆称重数据的能力，通过构建荷载-挠度响应模型为结构维护和管理提供科学依据，延长结构使用寿命。

三、实施方案

(一) 适用场景

结构健康监测与多源数据融合分析应用示范共包含病害桥梁加固处理施工及运营监测、潜在环境风险桥梁运营监测两个应用场景：

(1) 病害桥梁加固处理施工及运营监测由多元智能感知单元、机器视觉挠度仪、一体化拉绳位移计及抓拍相机组成，可以实现桥梁加固效果辅助评估、结构病害情况的多源数据快速感知和异常事件联动抓拍；

(2) 潜在环境风险桥梁运营监测由多元智能感知单元、机器视觉挠度仪、一体化雷达水位计及抓拍相机组成，可及时掌握外部环境风险因素的作用强度、易受影响区段的结构状态感知和异常事件抓拍联动。

(二) 布设方案

(1) 病害桥梁加固处理施工及运营监测示范应用：德上高速姚坞高架桥

该示范应用选择德上高速姚坞高架桥进行监测，由于该桥梁 4#、8#墩发生病害，需对其进行应急处治，采用多元智能感知单元、机器视觉挠度仪、一体化拉绳位移计以及抓拍相机对分别对桥梁施工及运营期间的振动+倾角+温度、位移、墩梁相对滑移、联动抓拍进行监测，布设方案见图 2。

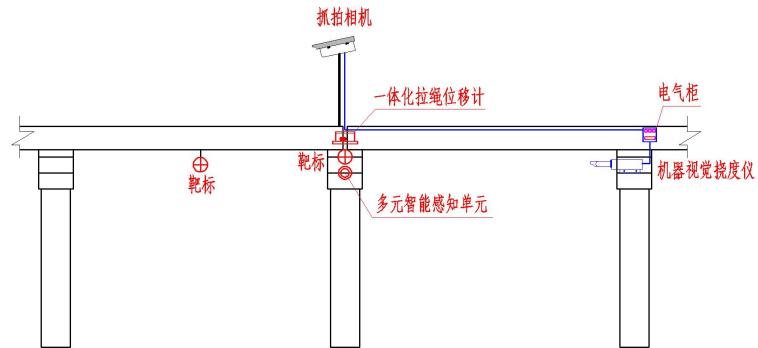


图 2 病害桥梁结构健康监测布设方案

(2) 潜在环境风险桥梁运营监测示范应用：杭长高速小关一大桥

该示范应用选择杭长高速 K165+100 小关一大桥进行监测，由于该桥梁主线为跨越白沙河（三清山支流），桥墩所受水流冲刷作用较强，跨越三清山旅游公路，因此采用多元智能感知单元、机器视觉挠度仪、一体化雷达水位计以及抓拍相机分别对桥梁运营期的振动+倾角+温度、位移、水位、联动抓拍进行监测，布设方案见图 3。

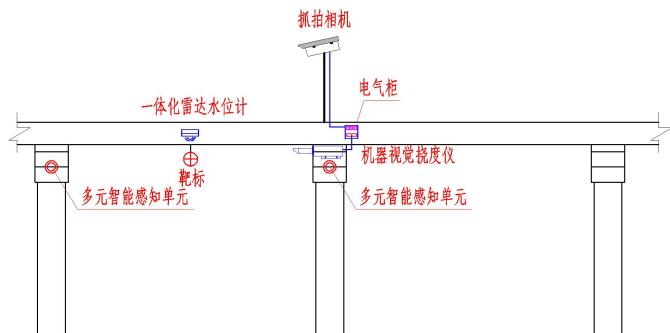


图 3 潜在环境风险桥梁结构健康监测布设方案

(三) 施工要求

(1) 多元智能感知单元安装

1) 安装位置及方式：在桥梁待测桥墩部位采用支架固定安装。

2) 安装原则: 传感器及保护罩必须安装牢固; 多元智能感知单元中的采集模块和太阳能板安装位置应保证日照良好, 可选择安装于桥面防撞墙外侧。

(2) 机器视觉挠度仪安装

1) 安装位置及方式: 在桥墩部位安装机器视觉挠度仪, 在主梁的待测部位安装测点靶标, 在检测方向远端桥墩处安装基准点靶标。均采用支架固定安装。

2) 安装原则: 确保挠度仪和靶标安装稳固, 保证挠度仪与各靶标之间具备良好的通视条件, 靶标之间无遮挡。

(3) 一体化雷达水位计安装

1) 安装位置及方式: 在桥梁腹板的临水部位采用支架固定安装。

2) 安装原则: 保证水位计与横杆、横杆与防撞墙外侧固定牢固, 水位计应垂直于河流水面安装水平, 采集模块安装位置应保证日照良好, 可选择安装于桥面防撞墙外侧。

(4) 一体化拉绳位移计安装

1) 安装位置及方式: 在桥梁待测墩梁部位采用膨胀螺栓固定安装。

2) 安装原则: 保证位移计固定牢固, 采集模块安装位置应保证日照良好, 可选择安装于桥面防撞墙外侧。

(5) 抓拍相机安装

1) 安装位置: 在桥面外侧防撞墙处采用立杆安装。

2) 安装原则: 确保立杆与混凝土结构、抓拍相机与横杆支架固定牢固, 抓拍相机镜头画面应能覆盖单幅所有车道。

四、应用效果

(一) 实施效果

结构健康监测与多源数据融合分析系统对于不同应用场景及潜在风险源桥梁采用不同解决方案, 实现“少指标、小成本、低功耗、自组网、高集成、能有效识别结构安全变化征兆、定量与定性结合的成套技术与装备”的示范应用效果:

(1) 德上高速姚坞高架桥采用的结构健康监测设备包括多元智能感知单元+机器视觉挠度仪+一体化拉绳位移计+抓拍相机, 可以实现桥梁加固效果辅助评估、结构病害情况的多源数据快速感知和异常事件联动抓拍, 能对异常撞击、墩柱倾斜、落梁断梁、墩梁相对滑移等事件进行监测报警, 并及时、直观获取现场

视频及抓拍图像，辅助快速判断报警原因；

(2) 杭长高速小关一大桥采用的结构健康监测设备包括多元智能感知单元+机器视觉挠度仪+一体化雷达水位计+抓拍相机，可以及时掌握外部环境风险因素的作用强度、易受影响区段的结构状态感知和异常事件抓拍联动，能对异常撞击、墩柱倾斜、落梁断梁、净空过小等事件进行监测报警，并及时、直观获取现场视频及抓拍图像，辅助快速判断报警原因。

（二）示范效应

结构健康监测与多源数据融合分析可对多种桥梁场景下不间断监测、数据采集分析及健康安全评估，实现桥梁结构异常风险即时上报与预警处置；监测设备具有低功耗、高集成、无线传输，监测系统模块化设计、分布式布设，系统安装运维便捷，抗风险能力强等特点，可适应不同监测场景。目前，相关技术在江西省高速公路桥梁及普通国省干道中 30 余座桥梁中成功运用，在提升桥梁养护、科学运行管理及应急处置能力方面，提供坚实且高效的技术支持，具有良好的推广运用基础和极大的推广价值。

同时，本项目采用的成套技术装备，具有技术成熟且集成度高、模块化与分布式设计、低成本与低功耗、多源异构数据融合与误报消除等技术特点和优势，该技术方案在不同桥梁监测项目中易于复制，能够在不同预算和条件下广泛应用。

综上所述，本项目所开发的桥梁监测系统具有较高的可复制性和可推广性。其技术成熟、集成度高、模块化设计、低成本低功耗、多源异构数据融合以及监测数据的轻量化等特点使得系统在不同桥梁监测项目中易于复制和广泛应用。同时，广泛的应用场景、与现有系统兼容性强、全面的健康状态统计分析以及成功的示范项目经验等因素也为系统的推广提供了有力保障。

案例 25：桥梁群轻量化健康监测技术

一、技术来源

技术来源单位：山西交通控股集团有限公司、交通运输部公路科学研究所

联系人及方式：赵晓晋，18100346651；韦韩，15810231660

二、技术简介

（一）技术要点

桥梁群轻量化监测技术以运行路段全覆盖、结构类型全覆盖、跨越地物全覆盖、技术状况相对差为典型监测桥梁选取原则，以挠度、加速度、倾角、视频图像为参数，以非接触多点挠度监测相机、桥面事件检测相机、简易感知装置、声光报警装置、警示牌为抓手，以实现桥梁垮塌报警、超限重车识别、结构性能退化识别、重车时空分布识别为目标，形成少参数、小成本、低功耗、自组网、高集成、能有效识别桥群结构安全和运行安全的监测技术。

（二）系统功能

（1）桥梁垮塌报警：基于简易感知装置、桥面事件检测相机，通过结构大变形感知和车道线变化识别桥梁垮塌、结构性破坏等灾毁场景。在灾毁发生后将报警信息发送至桥头声光报警装置、桥群行车方向起点侧警示牌，提醒通行车辆。同时将报警信息发送至监测平台，提升管养单位应急响应能力。

（2）结构性能退化识别：基于非接触多点挠度监测相机，监测各片梁挠度实时变化数据，分析桥梁刚度退化情况；针对空心板，计算相邻板梁挠度相关系数，识别横向整体连接性能。

（3）重车超限抓拍：基于非接触多点挠度监测相机及桥面事件检测相机联动，通过高精度、高频率的竖向挠度感知识别超限运输车，通过时空协同感知算法触发桥面事件检测相机记录超限运输车车牌号及通行照片。

（4）重车时空分布：基于搭载 AI 算法的桥面事件检测相机，识别重车在桥面的通行情况，判断桥梁运行风险，比如异常停滞、拥堵等。

（三）系统构成

轻量化监测系统由感知、数据集成与分析、报警模块三大模块组成。感知模块包括非接触式挠度监测、振动加速度监测、倾角监测、桥面事件抓拍。非接触

式挠度监测利用数字相机实时捕捉挠度变化，获取桥梁挠度变化数据，通过挠度监测判断结构性能变化情况；振动加速度监测通过简易感知报警装备实时跟踪桥梁三向加速度，判断桥梁安全状态；倾角监测通过高精度传感器实时跟踪箱梁扭转变形，判断独柱墩桥梁运行状态；桥面事件抓拍依托高清图像分析，自动识别桥面运行异常并生成报警信息。数据集成与分析模块提供健康评估、趋势预测和维护计划，同时支持跨部门实时数据共享，促进协同管理与高效处置，全面保障桥梁安全运行。报警模块综合多源数据评估桥梁安全性，通过报警装置提前发出警报。

(四) 技术指标

监测参数：不超过 4 种，包含挠度、加速度、倾角、视频图像。

监测功能：实现桥梁垮塌预警、重车超限抓拍、性能退化识别、重车时空分布识别。

(五) 预期效果

桥梁群轻量化监测系统通过对典型桥梁监测数据的分析可识别桥群结构安全性能及运行安全情况。在单桥层面可识别桥梁垮塌与结构性能退化、实现超限重车抓拍、重车时空分布等，针对特殊桥梁靶向追踪独柱墩加固、体外预应力加固效果。在桥群层面基于关键桥梁节点实现整个桥群全部重车通行情况全天候监测，通过典型桥梁数据分析结果反映整个桥群承载能力，且联动报警设备实现桥群通行安全预警报警。有效提高桥梁结构安全和运行安全监控能力，提升了桥梁管养及交通管理效率，增强了桥梁特殊事件应急反应效率。

三、实施方案

(一) 适用场景

本次桥群轻量化健康监测技术示范应用路段为 G2003 太原绕城高速西北环段，由山西交控集团中部高速公路管理（山西）有限公司管理，该路段起终点桩号为 K44+135~K87+095，全长 42.96km，于 2004 年 10 月建成通车，服役年限已达 20 年。太原绕城高速西北环段共有桥梁 178 座（按幅统计）。本项目验证了该技术适用于重载交通特征明显、地形地貌复杂、地质灾害频发的高速公路桥梁群，能够在保证监测精度的同时，降低系统的运行成本和维护难度，满足结构安全监测预警和应急响应的实际需求。

(二) 布设方案

(1) 非接触多点挠度监测相机:

①桥梁若是简支结构，则在各跨跨中底部安装靶标，各监测跨独立布设监测相机；

②桥梁若是连续结构，则在各联某一边跨每片梁 $0.4L$ 处底部安装靶标，各监测跨独立布设监测相机。

每套靶标需设一个基准靶标，挠度相机尽量布设在桥台处。



图 1 非接触在线监测相机安装过程

(2) 简易感知装置：桥梁底部跨中安装，且保障在未安装非接触式挠度监测设备的桥上均布设 1 套。

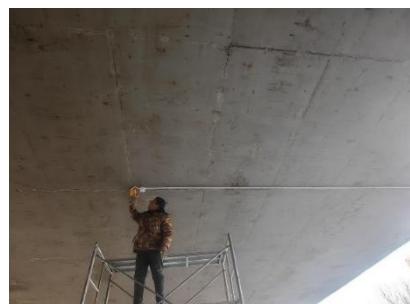
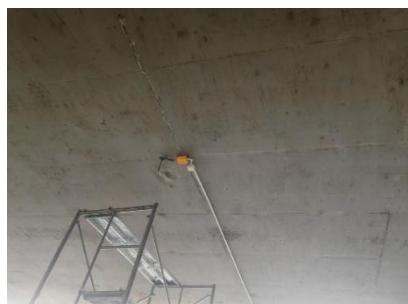


图 2 简易感知报警装备安装过程

(3) 桥面事件检测相机：在挠度监测跨的跨尾处安装 1 套。



图 3 桥面事件检测相机安装过程

(4) 倾角仪：在独柱墩桥梁墩顶处梁端底部安装 1 套。

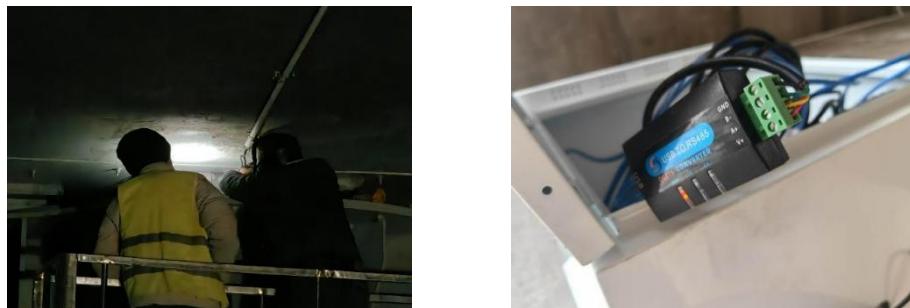


图 4 倾角仪安装过程

(5) 声音报警装置：在桥梁行车方向起点侧 100m、200m 位置各安装一处。

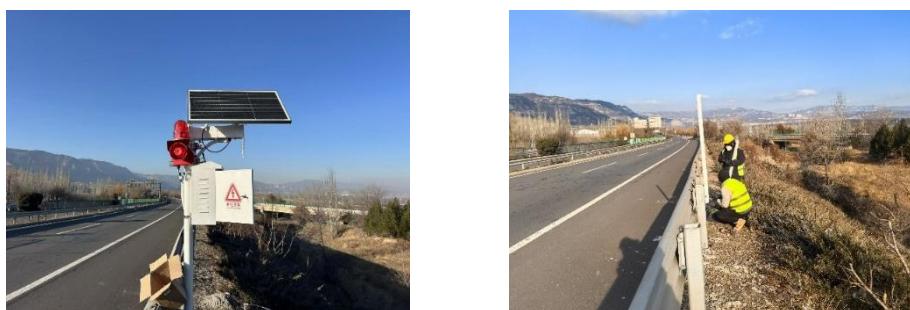


图 5 声音报警装置安装过程

(6) 情报板：在桥梁群行车方向起点侧安装 1 套。可与高速公路其他可变情报板联动。

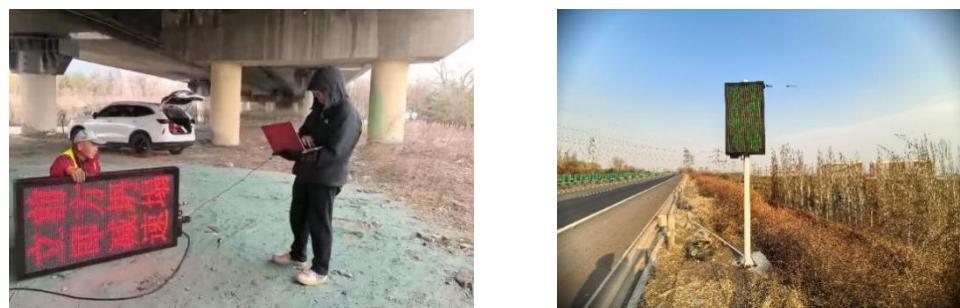


图 6 情报板安装过程

(三) 施工要求

在设备安装过程中，需对所有监测仪器进行校准和准确性验证，确保设备性能符合标准要求，保证监测数据的可靠性和精度。

(1) 非接触多点挠度监测相机：对相机的焦距、角度和拍摄模式进行调节，确保图像清晰无畸变。

(2) 简易感知装置：调整传感器的灵敏度，确保其在倾斜角度或振动超标

时能够准确发出警报。

(3) 倾角仪：通过标准工具进行零点校准，确保倾角仪能够准确测量倾斜角度。

(4) 桥面事件检测相机：检查相机的图像采集处理能力，确保其能够在不同环境下正常工作，稳定识别目标。

(5) 声光报警装置：调试喇叭的音量及响应时间，确保其能够在监测系统报警时迅速发出声音信号。

(6) 情报板：调试情报板的亮度和角度，确保在不同光照条件下清晰可见。

四、应用效果

桥梁群轻量化健康监测技术目前已在 G2003 太原绕城高速西北环段新村大桥、长风西互通主线桥、九院沙河大桥、上庄街中桥、柴村中桥、东干渠中桥、西干河大桥等 7 座桥梁成功应用。该技术实现了桥梁垮塌报警、结构性能退化识别、重车超限抓拍、重车时空分布等效果。

(1) 7 座桥梁均实现通过挠度监测数据识别桥梁结构性能退化，以干河大桥为例，在监测系统运营期间监测到最大挠度值为 2.5mm，验证了干河大桥体外预应力加固效果良好。

(2) 7 座桥梁均实现桥梁垮塌报警，通过调试简易感知装置阈值，监测平台接收到报警信息，同时桥头声光报警装置及警示牌可及时发出报警信息，警示过往车辆继续向前通行。

(3) 7 座桥梁均实现超限重车抓拍，以干河大桥为例，在监测系统运营期间监测到违法超限车辆共计 15 辆，为治超工作者提供有效数据支撑。

(4) 7 座桥梁均实现重车时空分布，以干河大桥为例，在监测系统运营期间监测到 3 次车辆在桥面异常停滞情况，并及时将信息传送至相关管理人员，及时为通行车辆提供救助服务且保障道路通行顺畅。

(5) 新村大桥实现加固独柱墩桥梁抗倾覆性能监测，在监测系统运营期间未监测到倾角发现异常情况，验证了新村大桥抗倾覆性能良好。

(6) 柴村中桥、新村大桥、东干渠中桥等通过相邻空心板梁挠度变化差值及相关系数识别了空心板梁结构铰缝损伤情况及横向整体连接性能，以柴村中桥为例，在监测系统运营期间监测到各空心板梁挠度最大差值不超过 1.05mm，验

证了柴村中桥未出现单板受力情况，横向整体连接性能好。



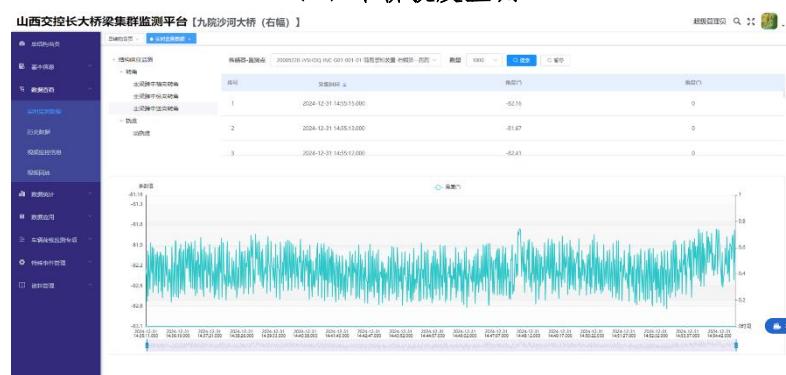
(a) 桥群综合驾驶舱



(b) 单桥驾驶舱



(c) 单桥挠度监测



(d) 单桥转角监测



(e) 单桥车流时空分布页面

案例 26：高速公路桥梁群轻量化监测预警技术

一、技术来源

技术来源单位：绍兴市交通投资集团有限公司、绍兴市高速公路运营管理有限公司、浙江交投高速公路运营管理有限公司、浙江省交通运输科学研究院、浙江省交通集团检测科技有限公司

联系人及方式：李晓娅，15990006084；乔仲发，18157165813

二、技术简介

（一）技术简介

该项目综合采用一体化低功耗智能传感设备和机器视觉智能监测系统，内嵌边缘计算模块，构建普通公路桥梁无线自组网、低功耗高集成的轻量化监测系统。该监测系统重点研发重车联动抓拍、墩柱倾斜预警一体机、桩基冲刷风险预警以及多片梁体系桥整体性能评估技术，具备完善的报警阈值设置方法及报警处置机制，对桥梁结构薄弱部位、关键受力部位状态进行实时监测，能有效识别结构安全变化征兆，指导管养工作的开展，可为在役桥梁运营期的结构安全保驾护航。

（二）系统功能

1. 实时监测及数据动态展示：对各项监测指标进行实时监测数据展示，经过数据清洗以后的数据进行实时有效预警；也可对监测数据进行历史查询。

2. 超限报警与处置：系统可配置三级超限报警阈值，且开发了完整的报警处置模块；一旦发生超限报警，系统自动将报警信息通过短信发送至管理员手机，经技术人员人工预判且内部审核后推送至业主单位，及时进行报警处置。

3. 报表自动生成：平台具备自动生成日、周、月、季报表。用户可在平台中对报表进行一定的自定义设置，提高管理人员的响应速度及工作效率。

4. 特征值统计：能对选定的监测时段内监测数据进行统计分析，包括最大值、最小值、平均值、均方根及方差等。

5. 相关性分析：可将自变量（环境温度、结构温度等）和因变量（梁端纵向位移、主梁挠度、振动加速度、结构频率等结构响应）进行分析，再用曲线拟合揭示两者之间的相关性。

6. 重载联动抓拍：利用机器视觉技术对桥梁主梁竖向位移进行监测，当主梁

竖向位移超阈值时，系统即刻产生报警，同时联动抓拍相机对通行重载车辆进行抓拍照片并且自动识别车牌信息。

7.横向联系分析及荷载冲击系数：多片梁体系桥经过长期挠度数据分析可评估多片梁体系桥横向联系情况；重车经过前后数据曲线自动计算荷载冲击系数。

（三）系统构成

轻量化监测系统采用微服务架构设计，系统具备良好可扩展性和应用可延展性。数据采集与传输模块包括各类一体化低功耗智能传感设备和机器视觉智能监测系统等数据采集传输设备，内嵌边缘计算单元，降低数据冗余。数据处理与存储模块将采集数据进行统一存储、统一管理和统一计算处理，并完成数据的存储、查询、归档等；用户界面软件平台将自动化监测数据及功能模块进行网页端实时展示，并预留第三方平台接口。

（四）技术指标

1.监测指标：涵盖桥梁主要轻量化监测场景，每类监测场景重点关注关键监测指标；

2.监测精度：挠度监测精度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，裂缝监测精度 $\leq 0.01\text{mm}$ ；应变监测精度 $\leq 1\mu\epsilon$ ；

3.数据采集与分析：前端采集设备内嵌边缘计算单元，降低数据存储量 $\geq 80\%$ ；集成特征值分析、相关性分析、趋势分析、横向分布系数、冲击系数等功能；

4.硬件系统：设备完好率 $\geq 95\%$ ，设备寿命 ≥ 5 年；

5.软件系统：功能覆盖率 $\geq 95\%$ ，在线报警准确率 $\geq 90\%$ ；

6.系统功能：数据动态展示与历史查询、超限报警与处置、报表自动生成、特征值统计、相关性分析、重载联动抓拍、横向联系分析等功能模块；

7.安装与维护：设备体积小、重量轻，安装简便，可快速安装与部署至各种规模和类型桥梁关键监测位置；设备与系统维护考虑其长期使用中硬软件的更换要求，兼顾未来升级、换代等需求。

8.监测系统：少指标、小成本、低功耗、自组网、高集成、能有效识别结构安全变化征兆、定量与定性结合的成套技术与装备，环境抗干扰性强。

（五）预期效果

1.非接触式+多元感知采集一体化的分布式采集模式

- ①感知设备一体化、无线低功耗且自供电设计，环境抗干扰能力强；
- ②利用机器视觉技术，实现对多点位移同步非接触式高精度采集；
- ③边缘计算单元实现初步的数据清洗和特征提取，减少算力与数据传输量。
- ④多元感知单元结合报警周期和触发测量的特点，自动调整数据采样频率。

2.降低公路桥梁群结构健康监测成本

- ①靶向感知，定制化方案，优化监测内容，减少测点数目；
- ②分布式采集高度集成化，简化系统供电通信体系及架构，增强系统部署普适性，极大降低系统建设成本。

3.提升公路桥梁群结构安全性能和预警能力

- ①重载联动抓拍，记录重车过桥情况及自动识别车牌号；
- ②机器视觉获取挠度数据可评价桥梁横向联系性能及冲击系数分析；
- ③采用多元感知单元（一体化），同步监测桥墩振动、倾斜、环境温度等参数，及时感知及时报警；
- ④采用土压力计（振弦一体化采集），可预警桩基冲刷风险。

三、实施方案

（一）适用场景

一整套桥梁轻量化监测技术面向普通公路桥梁群的结构安全监测预警，其中包括：

- 1.重点关注结构体系的桥梁：①单孔跨径 60 米以上的桥梁；②独柱墩桥、弯桥、斜桥、坡桥等结构存在缺陷的桥梁；③多片梁结构体系的桥梁。
- 2.重载交通桥梁、车辆/船舶撞击高风险桥梁、安全状况差与运营风险高的桥梁、加固改造桥梁、自然灾害频发的桥梁。
- 3.高速公路灾害高风险路段的桥梁：①高速公路沿线内的崩塌、滑坡、泥石流、沉陷与塌陷、水毁等 5 类灾害的一、二级风险点路段桥梁；②高速公路沿线高度大于 20 米的临河高路堤路段桥梁；③自然灾害高易发区域内高速公路桥隧段，尤其是受山洪、泥石流、崩塌、滑坡等灾害严重威胁的高速公路桥梁。

（二）布设方案

根据监测场景分析结果，开展本次示范桥梁监测方案设计，具体内容如下：

1.杭绍台高速公路（绍兴金华段）桥梁群

1) 鲁墟 1 号高架桥左幅: ①主梁挠度: 第 15 跨主梁跨中布设 7 个测点; ②视频抓拍: 在第 14 跨跨中位置布设 1 个视频抓拍点位; ③裂缝监测: 在第 15 跨 T 梁翼缘板布设 3 个测点;

2) 萧曹古运河桥右幅: ①主梁挠度: 在中跨跨中及 $1/4$ 截面布设 6 个测点; ②相对滑移: 在中跨大里程侧主墩顶钢混结合面处布设 2 个应变计; ③裂缝监测: 在中跨顶板布设 2 个测点; ④环境温湿度: 在中跨跨中桥面布设 1 个测点。

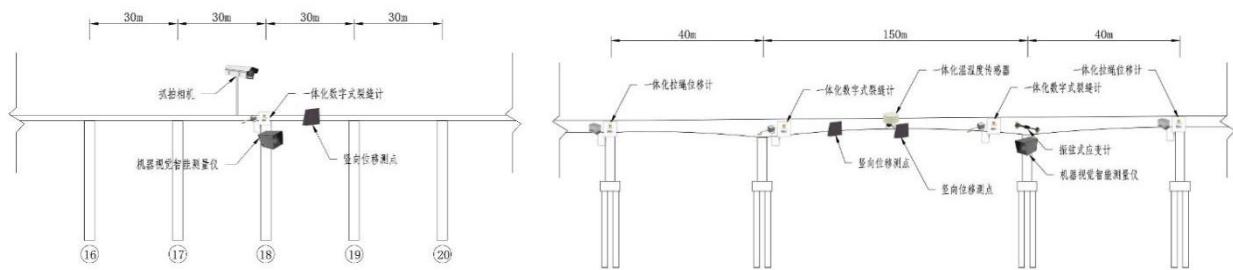


图 1 鲁墟 1 号高架桥左幅测点布置图

图 2 萧曹古运河桥右幅测点布置图

2. 杭新景高速公路（衢州段）桥梁群

1) 舜山 1 号大桥: ①桥墩振动、倾斜、环境温度: 在左幅 4#桥墩立柱顶部布设 1 个测点。②主梁挠度: 在左幅第 5 跨主梁跨中布设 2 个测点; ③视频抓拍: 在左幅 5#墩顶桥面布设 1 个视频抓拍点位; ④视频监控: 在左幅 2 号桥墩中上部布设 1 个视频监控点位。

2) 来公坞大桥: ①桥墩振动、倾斜、环境温度: 对左幅 15 号桥柱顶部布设 1 个测点; ②主梁挠度: 对左幅第 16 跨主梁跨中布设 2 个测点; ③视频抓拍: 在左幅 16#墩顶桥面布设 1 个抓拍点位; ④视频监控: 在右幅 16#墩上部布设 1 个视频监控测点; ⑤桩基冲刷监测: 在左幅 15 号桥墩桩基埋设 1 个土压力盒。

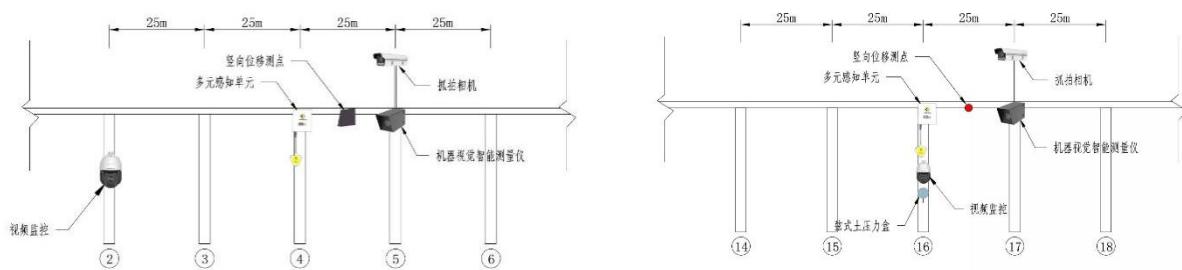


图 3 舜山 1 号大桥测点布置图

图 4 来公坞大桥测点布置图

（三）施工要求

主要设备安装要求如下：

(1) 机器视觉智能测量仪靶标：安装时需确保靶标前方无遮挡物，随后安装测量仪并确保所有靶标满足视场覆盖，最后安装补光灯，并确保所有靶标均能补光并满足识别要求；

(2) 一体化裂缝计：应根据现场裂缝的走向和长度，在裂缝的最宽处与裂缝呈近垂直交叉安装，应尽量保证仪器与被测物的紧密连接，并使用专用线缆连接裂缝计及采集传输模块；

(3) 应变计：先用模拟安装杆代替传感器进行安装。待焊接工作全部完成后，拆下模拟杆，装上应变计；针对相对滑移（钢混结合处）监测，应变计安装底板一侧安装于混凝土，另一侧与钢腹板焊接；

(4) 多源数据测量单元（即一体化加速度计）：应根据定义的监测角度，统一传感器的安装方向；随后固定采集传输模块，并使用专用线缆连接传感器及采集传输模块。

(5) 一体化拉绳位移计：根据测点要求的安装位置，将一体化拉绳位移计传感器安装至伸缩缝的一侧，确认合适姿态，用膨胀螺栓固定；保证拉绳头需横跨伸缩缝，且与伸缩缝呈垂直交叉姿态；以 L 板固定拉绳头。

(6) 土压力盒：根据设计测点竖直安装在墩底混凝土面；可以采用胶合板做样板，确定土压力盒的位置和方向。将砂或较细的材料固定在土压力盒安装位置周围，放上胶合板样板，将安装位置的砂或其他材料压实后，拆除胶合板样板。

四、应用效果

(一) 实施效果

本技术试点应用于鲁墟 1 号高架桥左幅、萧曹古运河桥右幅、舜山 1 号大桥以及来公坞大桥的轻量化结构健康监测预警，系统软硬件性能稳定，位移、裂缝、视频抓拍情况等监测内容可靠，比如萧曹古运河桥右幅中跨跨中挠度最大值为 10.1mm（小于二级阈值 12.6mm），无报警，表明结构刚度良好；轻量化监测系统建设如下图所示。



图 5 机器视觉测量仪



图 6 多源数据测量单元



图 7 一体化裂缝计

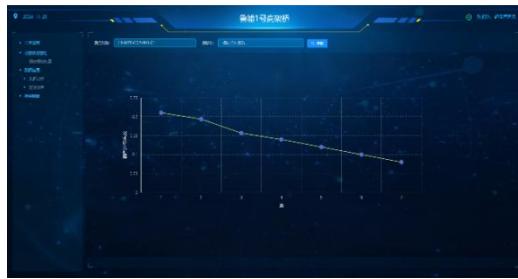


图 9 横向分布系数



图 10 相关性分析



图 11 重载联动抓拍与冲击系数



图 12 萧曹古运河桥挠度特征值 (最大值)

(二) 示范效应

本项目采用轻量化和智能化的设计理念，设备的体积小、重量轻，所研发的设备安装便捷，即装即用，显著提升了现场部署的效率，与传统监测设备相比，其安装调试效率实现了近五倍的提升。并且该产品已在40多座桥梁上实施并稳定运行

超过2年，系统表现出极高的稳定性，故障率极低，充分证明了其卓越的性能和可靠性。通过多项实验室模拟测试和实桥应用示范，本设备在报警的准确性和及时性方面均表现出色，因此具备大面积推广使用的条件和潜力。本科技成果有关路网中小桥关键监测桥梁评价方法、监测预警机制、一体化智能监测设备以及云服务监测系统均具有很高的普适性，不受地理位置、环境、路网桥梁数量和桥梁结构等限制，可推广性强。

案例 27：公路桥梁群轻量化结构监测技术

一、技术来源

技术来源单位：苏交科集团股份有限公司、江苏科运智慧交通科技有限公司、江苏高速公路工程养护技术有限公司、湖北交投智能检测股份有限公司、河南高速公路试验检测有限公司

联系人及方式：杨超，13921405018

二、技术简介

（一）技术要点

聚焦公路桥梁群结构安全和应急处置需求，为支撑高速公路桥梁全覆盖监测工作目标实现，技术团队率先在行业内提出了“面向桥梁重点风险场景特定参数专项监测”的桥梁轻量化监测理念，创新性提出了“一体化采集”和“汇聚化采集”两类系统架构，编制了覆盖公路桥梁风险场景的轻量化监测解决方案，研发了车船撞击感知终端、支座偏位感知终端、多元感知终端、综合采集站等具有“小成本、低功耗、高集成、自组网、快安装、免维护”特点的轻量化监测装备。



图 1 技术路线图

（二）系统架构

针对量大面广的常规桥梁，根据桥梁养护、便捷安装和高集成化的需求，创新研发了“一体化采集”和“汇聚化采集”两类系统架构。相较于传统监测模式均具有优势，“一体化采集”：通过将传感层、采集层和传输层高度集成，传感器输出的信号经微处理器处理后，通过无线通信模块对接应用层，实现了低功耗、快安装、免维护等优势特点。“汇聚化采集流程”：将多种类型的传感器和终端连接整合，通过内置边缘计算算法对数据进行处理，统一上传至应用层，省去繁琐的现场布线工作，将多种类型传感器汇聚化集成到综合采集站，实现了高集成、自组网、快安装等优势特点。



图 2 轻量化监测“一体化采集”系统架构

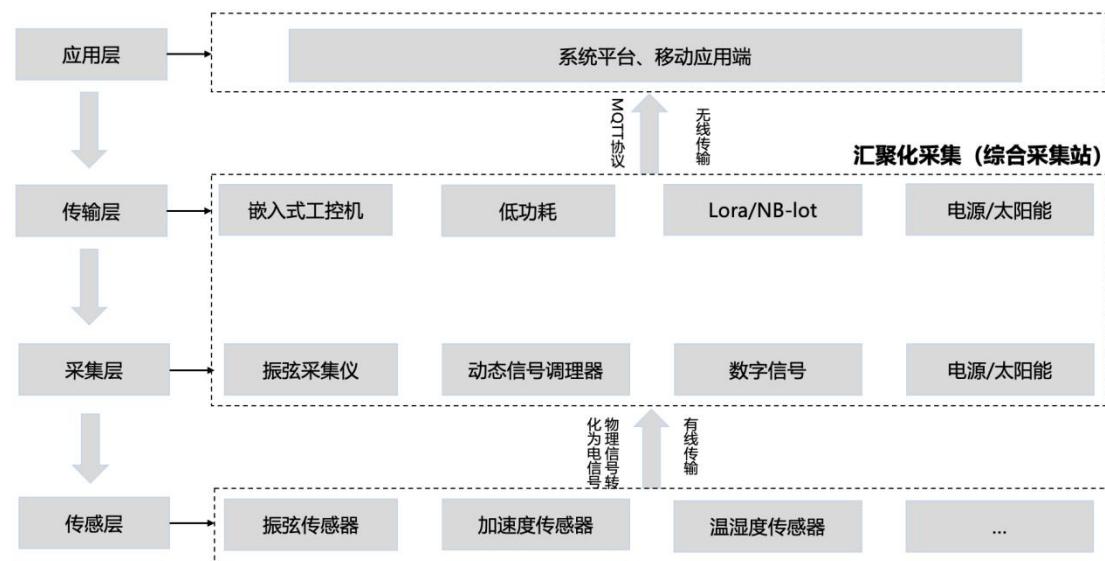


图 3 轻量化监测“汇聚化采集”系统架构

（三）技术指标

表 1 轻量化监测装备技术指标

序号	设备名称	规格参数
1	自动气象站	测量指标: 2D 超声风速风向、温湿度、气压、降雨量 供电方式: 太阳能+内置锂电池
2	无线倾角仪	量程: $\pm 30^\circ$ 测量精度: 0.001° 供电方式: 内置锂电池 触发方式: 阈值触发自动上报
3	多元感知终端	量程: 加速度: $\pm 8g$; 倾角: $\pm 60^\circ$; 温度: $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ 分辨率: 加速度: 1mg; 倾角: 0.001°; 温度: 0.5°C 测量精度: $\pm 0.2\%$ FS 供电方式: 太阳能+内置锂电池 工作方式: 连续或休眠唤醒+触发 通讯方式: LoRa 或 NB-IoT 存储容量: 16Mbit 防护等级: IP67 工作温度: $-40 \sim 80^\circ\text{C}$
4	车船撞感知元	量程: $\pm 8g$ 灵敏度: 256 counts/g 测量精度: 0.01g 温度系数: 0.01%/°C 零点补偿: $\pm 25\text{mg}$ 非线性度: 0.6%.FS 供电方式: 内置 8000mAh 锂电池 待机时间: 典型: 1 次心跳/天, 5 年 1 次心跳+图像/天, 2.5 年 防护等级: IP67 工作温度: $-40 \sim 80^\circ\text{C}$
5	梁体移位感知终端	量程: 50cm、200cm 测量精度: 3mm 供电方式: 内置 8000mAh 锂电池 工作方式: 休眠唤醒 数据传输最大电流: 35mA 待机时间: 1 次/小时, 3 年 通讯方式: NB-IoT 防护等级: IP67 工作温度: $-40 \sim 80^\circ\text{C}$
6	声纹智能识别仪	工作方式: 音频采集, 边缘计算 声纹采样频率: 8KHz-32KHz 供电方式: 9—36V 太阳能供电 通讯方式: 4G/以太网
7	机器视觉智能测	测量距离: 5 ~ 400m (不同焦距镜头)

	量系统	测量点数: 视场范围内, 同时跟踪目标最多 30 个 测量精度: $\leq 100\text{m} (\pm 0.2\text{mm})$ 、 $\leq 200\text{m} (\pm 0.4\text{mm})$ 、 $\leq 400\text{m} (\pm 1\text{mm})$ 测量方向: 二维变形 (竖向挠度、横向位移) 测量频率: $\leq 25\text{Hz}$ (多目标同步测量) 通讯方式: 4G/以太网 工作电压: DC12~36V 防护等级: IP65 工作温度: -40 ~ 80°C
8	微型网关	微型主机、i5+16G+512G SSD 配置 工作方式: 数据采集、边缘计算
9	无线振弦智能终端	接入数量: 单通道或四通道 接入类型: 振弦式 频率范围: 30—12000Hz 采集精度: 频率: 0.1Hz 温度: 0.5°C 供电方式: 内置 8000mAh 锂电池 通讯方式: NB-IoT 防护等级: IP67 工作温度: -40 ~ 80°C
10	综合采集站	测点数量: 8~40 通道可选 采样频率: 0.1 ~ 200Hz 采集方式: 动静态可选, 所有通道同步采集 混合输入: 每通道任意选择输入类型, 内置各种传感器调理电路 测量精度: $\pm 0.2\%$ A/D 分辨率: 24 位 通讯方式: RJ45 网络、4G、RS485 存储方式: 64GTF 卡 (本地)、云传输服务器, 数据双备份 供电方式: 100W 太阳能板+内置锂电池 防护等级: IP65 工作温度: -40 ~ 80°C

三、实施方案

(一) 应用场景

本方案响应揭榜要求提出面向中小桥梁轻量化监测运营风险场景, 对监测场景进行针对性划分, 主要聚焦自然灾害频发、车辆/船舶撞击高风险、重载交通、安全状况差、运营高风险、重点关注结构体系桥梁的场景, 详见表 2。

表 2 轻量化技术应用场景

序号	应用场景
1	自然灾害频发桥梁 (水毁多发区桥梁、地质灾害易发山区桥梁、高烈度地震区桥梁、采空区等易沉降桥梁)
2	车辆/船舶撞击高风险桥梁
3	重载交通桥梁 (规划大件运输通行、重载交通通行量大)

4	安全状况差、运营高风险桥梁	
5	重点关注结构体系桥梁 (独柱墩桥、弯桥、坡桥等倾覆风险桥梁)	

结合上述场景中服役桥梁的主要风险因素,以及重点监测指标,对各个场景常用监测设备进行了如下划分。

表 3 监测场景对应指标及监测设备

序号	应用场景	监测指标	监测设备
1	自然灾害 频发桥梁	水毁多发区桥梁	视频抓拍 振动、倾斜、温度
2		地质灾害易发山区桥梁	多元感知终端
3			视频抓拍 振动、倾斜、温度
4		高烈度地震区桥梁	多元感知终端
			视频抓拍
5		采空区等易沉降桥梁	视频抓拍 沉降
5	车辆/船舶撞击高风险桥梁	振动	高清摄像头
		视频预警/抓拍	车船撞击感知元
6	重载交通桥梁	竖向位移	高清摄像头
		视频抓拍	机器视觉智能测量系统
		裂缝	加速度传感器
		振动	智能图像裂缝仪
7	安全状况差、运营风险高桥梁	竖向位移	智能图像裂缝仪
		裂缝	机器视觉智能测量系统
8	重点关注结构体系桥梁 (独柱墩桥、弯桥、坡桥等 倾覆风险桥梁)	梁体移位	梁体移位报警终端
		梁体倾角	无线倾角仪
		视频抓拍	高清摄像头

(二) 布设与实施方案

轻量化监测技术已在江苏省、湖北省 300 余座桥梁落地应用,覆盖全部监测场景,本次监测预警应用示范典型案例共涉及 5 个场景。

1.场景一: 重载交通通行场景

重载交通通行场景选取江苏省常州市 G312 桥梁群进行监测,路线日均通行 3 万辆以上且货车通行 5000 辆以上,且规划大件运输通行, G312 路线中 14 座中小桥梁全部安装了 23 套机器视觉智能测量系统和 14 台高清摄像头。



图 4 重载交通通行应用场景

2.场景二：船舶撞击高风险场景

船舶撞击高风险场景选取扬州市江都区 G328 国道芒稻河大桥，桥梁跨越 3 级航道，来往船只较多，水中墩未设置防撞设施，因此在桥上安装 2 套车船撞感知终端和 2 台高清摄像头。



图 5 船舶撞击高风险应用场景

3.场景三：安全状况差、运营风险高场景

安全状况差、运营风险高场景选取南京 G205 龙池立交桥，此桥建成于 1995 年且定检发现存在 3 类构件，因此在桥上安装机器视觉智能测量系统和振弦式应变计。



图 6 安全状况差、运营风险高应用场景

4. 场景四：重点关注结构体系桥梁场景

重点关注结构体系桥梁场景选取广西沙河立交桥，定检发现该桥已发生横向爬移现象，属于重点关注结构体系桥梁场景（独柱墩桥），因此在桥上安装梁体偏位感知元和振弦式裂缝计。



图 7 重点桥梁应用场景

5. 场景五：水毁多发区桥梁场景

水毁多发区桥梁场景选取湖北沪蓉高速羊河 6#桥，桥梁与河流交汇情况为正交，且部分墩柱处于河道中间，因此在桥上安装 7 套多元感知终端和 1 套声光报警联动装置。



图 8 水毁多发区桥梁应用场景

四、应用效果

(一) 实施效果

公路桥梁群轻量化结构监测技术推广应用以来，取得一系列显著成果：常州桥梁群监测系统建成以来，发生了多次超载报警，系统均做了对应的超限抓拍；芒稻河大桥监测系统上线后，成功发现一起船舶撞击事件，并第一时间对船撞事

件进行后评估；龙池立交桥监测系统建成后，成功通过监测数据发现梁体异常偏移；沙河立交桥监测系统上线以来，成功通过监测数据发现桩周土层承载力异常，避免损失扩大。



图 9 重载交通通行场景实施效果

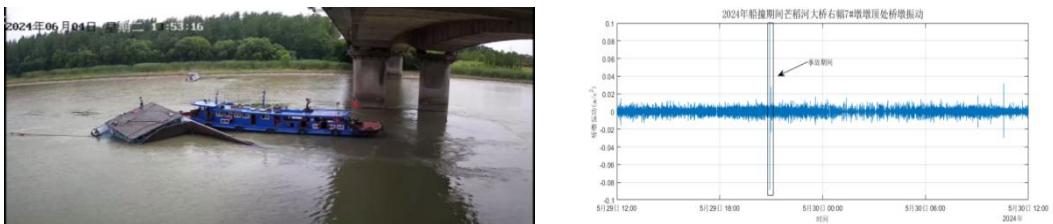


图 10 船舶撞击高风险场景实施效果

（二）示范效应

本技术方案面向公路桥梁全覆盖监测战略目标，旨在显著提升桥梁群结构安全和应急响应能力，有效应对自然灾害、人为事故及极端工况带来的严峻挑战。通过轻量化成套技术研发，实现桥梁灾毁（损）的实时感知与快速预警，大幅增强监测系统的智能化、灵活性与响应时效性，其核心优势包括：

（1）极致灵活性：研发了一批小成本、低功耗、高集成、自组网、快安装轻量化设备，通过无线通信和自组网技术，实现了快速部署与模块化安装。设备可灵活布置于桥梁关键部位，消除传统布线束缚，满足多样化场景的快速响应需求。

（2）卓越经济性：采用“一体化采集”与“汇聚化采集”两类创新系统架构，显著降低了系统成本。与传统设备相比，轻量化装备在中小桥梁监测中具有经济优势，可满足大规模桥梁群监测的投入需求。

（3）智能可靠性：研发了集群式数据湖存取技术，实现了海量监测数据的高并发、高效处理与智能分析应用，设备端集成多目标多通道时序智能边缘算法，提升了数据处理效率并大幅降低系统误警率，构建了稳定、高效、智能的桥梁安全监测体系。

案例 28：基于光栅阵列全域感知的桥群结构健康智能监测系统

一、技术来源

技术来源单位：武汉理工大学、交通运输部公路科学研究院、湖北交通投资集团有限公司

联系人及方式：徐一旻，13339981886

二、技术简介

（一）技术要点

针对目前桥梁结构健康监测仍主要采用点式传感器组网搭建系统，缺少桥梁全域健康状态的信息获取技术和智能化分析方法现状，本方案监测技术具有可在一根光纤上工业化制备数万个光栅传感器探头的国际领先技术优势（获国家技术发明奖二等奖），首次实现了大容量、长距离桥梁全域应变场连续监测，可为不同类型桥梁及桥群状态的整体健康评估提供直接简明手段，并实现桥梁早期病害及发展趋势的识别定位，以及针对桥梁突发及灾害事件的全天候实时监测告警。



图 1 桥梁结构全域感知技术已有基础及传感产品

（二）系统功能及特点

（1）桥梁主梁及关键构件应力分布全域监测

应变监测是桥梁等结构健康评估最重要的参数之一，本系统在国内外首创的大容量、长距离连续应变测量网络因其具有测量精度高、寿命长、安装简单并可直接埋入混凝土等胶凝材料中等优点，已在几十座桥梁、智能交通、超长管线、电缆等大型工程中得到了广泛应用和好评，并可为《公路桥梁承载能力检测评定规程》评估桥梁健康状态提供必需的直接监测桥梁内力技术手段及直接简明评价方法。

(2) 桥梁结构早期局部病害位置及变化识别定位

基于全桥应变场尤其是动态应变场测量获取的桥梁“桥纹”信息，首次提出并建立基于全桥“桥纹”演化的桥梁结构安全智能化分析和评价新模式。利用“桥纹”表征的桥梁服役时全桥结构所有位置响应的相互间关系及其变化可及时反馈桥梁结构局部的细微变化，实现对桥梁结构早期局部病害位置的识别定位及状态发展跟踪。

(3) 突发灾害事件全天候实时跟踪评价及预警告警

利用光栅阵列应变传感网络感知容量大、覆盖范围广、响应速度快、工作寿命长的优势，改变以往“以点带面”监测系统面对突发灾害事件时难以及时掌握全桥状态，全时段预警告警功能弱现状。通过监测桥梁主梁应变场分布的变化，可对突发事件全过程桥梁全桥受力变化及其恢复情况进行实时荷载试验体检。通过跟踪桥梁主梁应变场分布的差异化演化特征，可对桥梁突发性灾害即时预警。

(三) 系统构成

桥群结构健康智能监测系统主要由传感层、仪表层、传输层、智能分析层和应用层组成。其中，光栅阵列应变传感网络构成桥梁现场传感层，每座桥梁的传感层可通过高速公路传输通信光缆进行串接，多座桥梁的监测信号传至采集站解调仪表，通过交换机（传输层）与服务器（智能分析层）连接。多个采集站通过有线或无线方式将数据上传至桥群监测平台（终端应用层）。

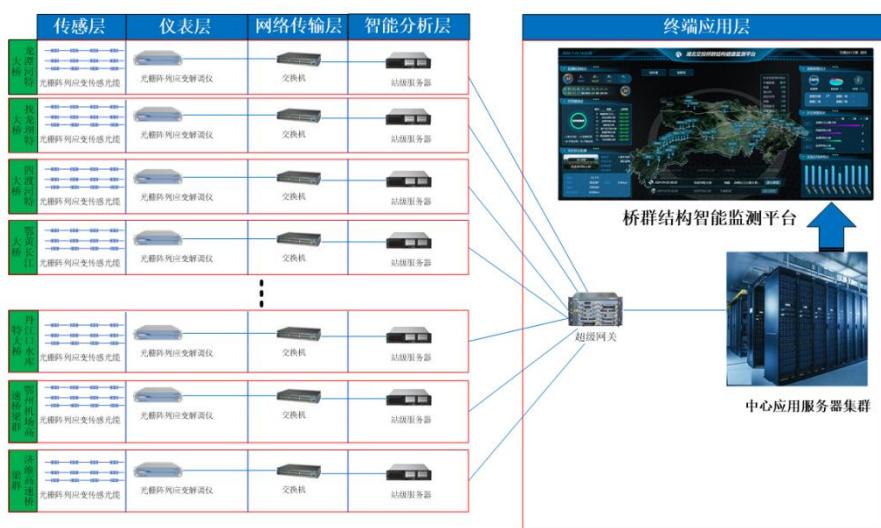


图 2 桥群联网监测系统架构图

(四) 预期效果

本方案适应新建/既有及不同类桥型的便捷实施，可实现桥群轻量化、全覆

盖健康监测，并具备真正意义上提高公路桥梁群结构安全和应急处置能力，预期效果如下：

- (1) 桥梁主梁及关键构件应力分布全域监测，沿程测区分布间隔 1m；
- (2) 现场传感器无需分布式供电，工作寿命 > 30 年；
- (3) 平台接入桥梁数量越多，桥群监测成本越低；
- (4) 可提供光电转换后标准电信号，实现与其他监测技术及平台融合；
- (5) 可针对桥梁结构早期局部病害位置及变化识别定位；
- (6) 可针对突发事件全天候实时跟踪评价及灾害预警报警。

三、实施方案

(一) 应用场景

本方案适应各种地形及环境下的新建和既有桥梁的高效、便捷传感器布设组网，除梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥外，也适合用于高架桥梁。系统与其他监测技术及平台兼容性强。

(二) 布设方案

对于单座桥梁，通过在每幅桥梁桥面两侧沿里程方向各布一根光栅阵列应变光缆，实现主梁应变场连续全覆盖监测，并构成单桥光栅阵列传感网络。对多座桥构成的桥群，桥与桥之间传感监测信号通过公路既有通信光缆进行串接，串联后多座桥监测信号接入光栅阵列应变解调仪。用于应变传感信号解析的解调仪可选择放置在就近收费站或桥址处。

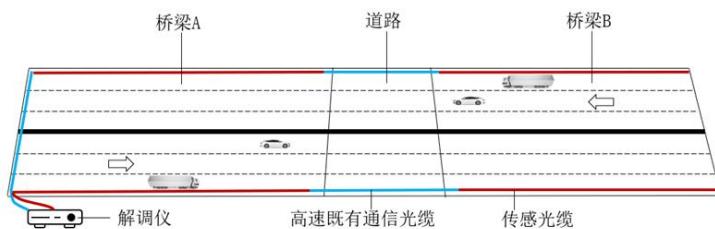


图 3 桥群联网监测布设示意图

传感器安装时，对于新建桥传感光缆随施工埋设于调平层，实施不影响正常施工组织。对于既有桥可采用在桥面开浅槽或表贴后加盖碳纤维布方式安装，对桥面正常通行影响小。该种布设方案可确保极高的传感器存活率，已有案例中传感器已工作近 4 年，全部存活。



图 4 新建、既有桥梁传感器安装方式

四、应用效果

(一) 实施效果

以下结合三项主要系统功能介绍试点实施效果:

(1) 服务桥梁状态直接简明评价的桥梁主梁全域应变场连续监测

以 65m 跨梁桥为例, 不同重量车辆在桥跨不同位置静载时, 不仅可监测桥梁加载位置处的应变响应, 而且可获取全桥的应变场分布信息。

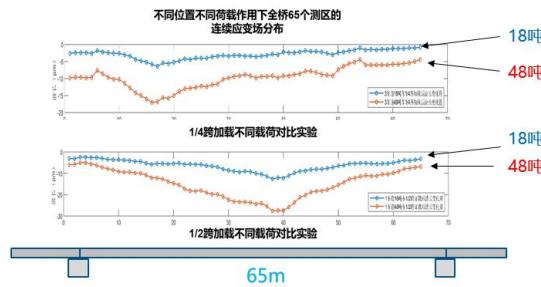


图 5 全桥主梁静态应变场分布

此外, 以超过 1km 长的大桥荷载试验为例, 加载、卸载全过程中, 全桥上、下游各一根应变光缆可以实时反馈全桥主梁的应变场动态变化。直接获取结构应变场分布信息的方式为评价桥梁健康状况提供了直接简明手段。

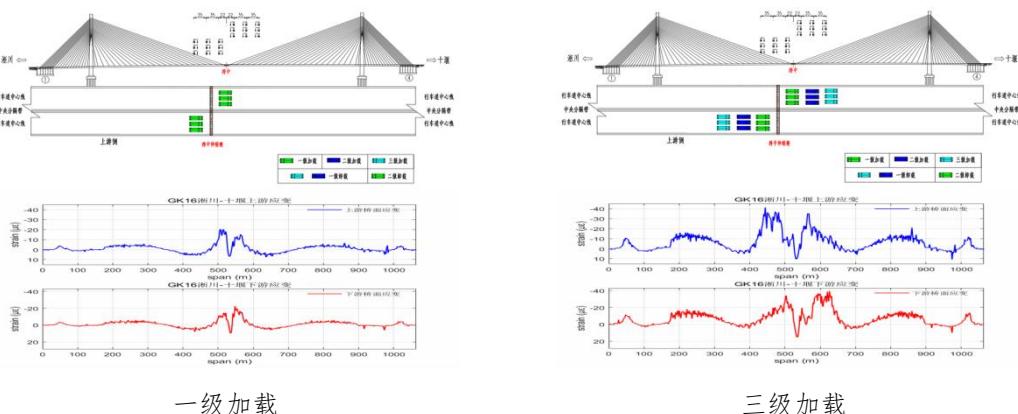


图 6 全桥主梁动态应变场分布

(2) 服务桥梁早期局部病害识别定位的桥梁桥纹获取及分析

获取各种典型桥梁结构全桥“桥纹”信息可揭示“桥纹”周期与梁、墩、索、立柱等结构分布周期具有对应性。结构健康安全时，多期桥纹呈现极佳重复性。桥纹周期性和重复性的细微改变可反馈全桥结构受力相互关系及变化，利用全覆盖监测模式下的“桥纹”变化可识别桥梁早期病害的位置及其状态发展。

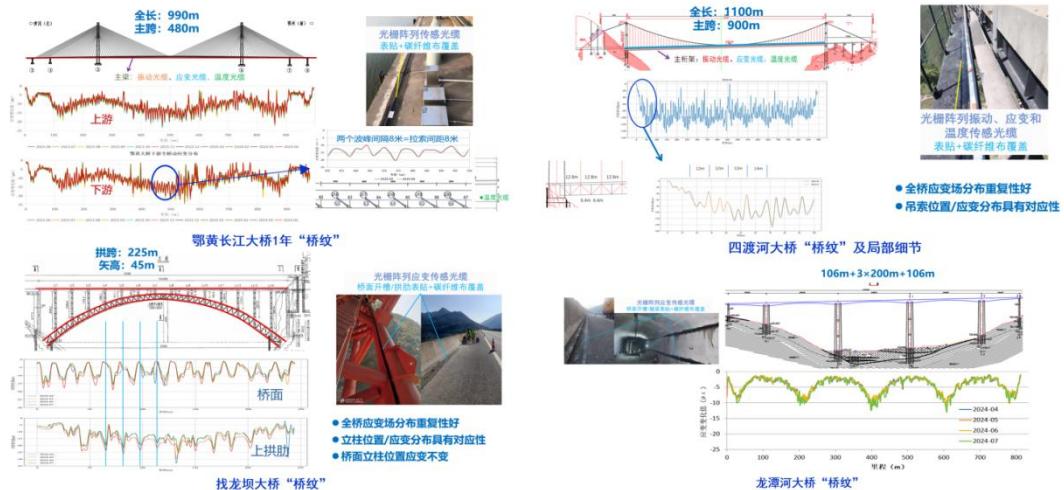


图 7 用于揭示桥梁局部细微变化的桥纹监测结果

(3) 服务桥梁突发事件全过程全桥受力状态跟踪及评价

在堵车为例的突发事件中，桥梁动应变场可反馈堵车全过程全桥主梁所有位置的受力变化情况，并揭示全桥受力响应及发展和车辆数量及拥堵位置变化的密切关联性。全覆盖监测实际相当于对此类突发事件开展了全桥满载荷载试验。

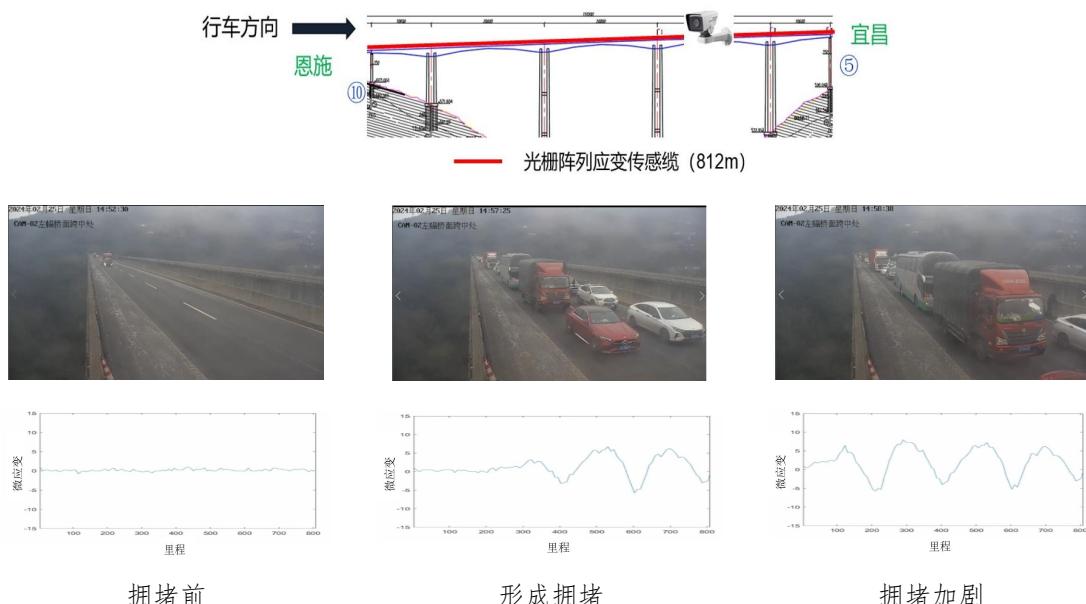


图 8 突发事件全过程全桥受力状态监测结果

(二) 示范效应

(1) 用户评价

本监测系统方案已在鄂州机场高速桥梁群、济潍高速公路桥梁群、丹江口水库特大桥、龙潭河特大桥、找龙坝特大桥、四渡河特大桥、鄂黄长江大桥等多类型桥梁中进行了试点应用，并已通过项目验收，全面响应了试点项目中对高速公路桥梁群全覆盖联网智能监测、桥梁内力分布监测，不同桥型应用效果评价等技术需求，且在试点中得到了用户认可。



图 9 部分试点项目用户评价

(2) 推广复制

本项目实施方案已在国内多条高速路网新建或既有多种桥型中得到成功验证，且真正意义上从物理感知层面实现了桥梁结构全覆盖监测；涉及的光栅阵列传感技术具有自主知识产权，且已纳入中国工程建设标准化协会、湖北省地方标准；核心产品设备已依托国内第一家光纤传感领域上市公司武汉理工光科股份有限公司（股票代码：300557）实现产业化量产。综上，本方案具备在国内高速路网桥群中开展大规模推广复制的案例经验、标准依据及量产保障。



图 10 方案技术推广复制基础

案例 29：结构健康监测技术

一、技术来源

技术来源单位：长安大学，中公智联（北京）科技有限公司，联通（陕西）产业互联网有限公司

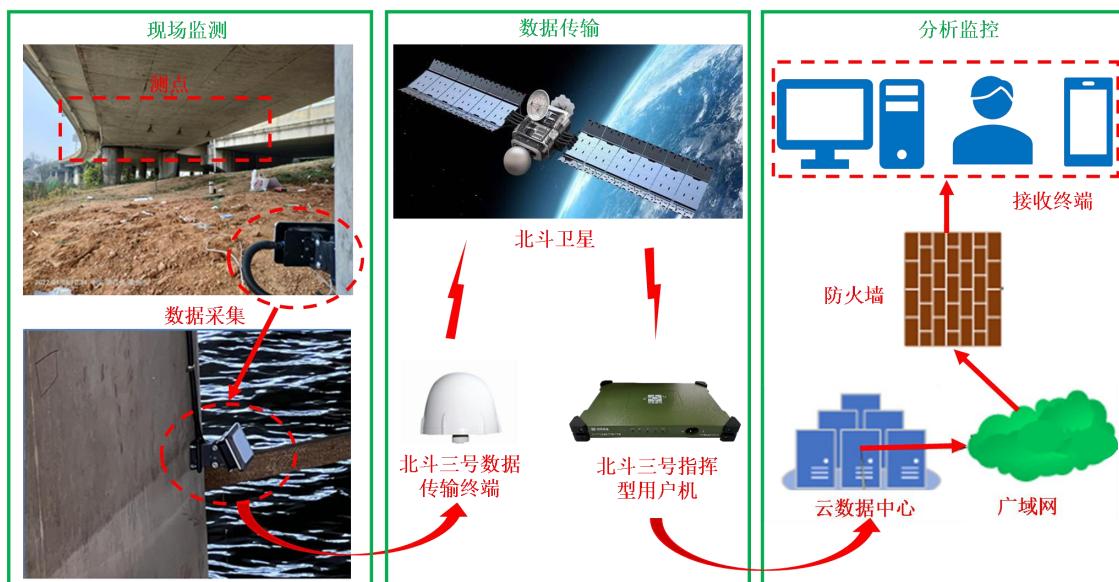
联系人及方式：牛艳伟 18629018446, 车功健 13810119136, 王伟 18602946007

二、技术简介

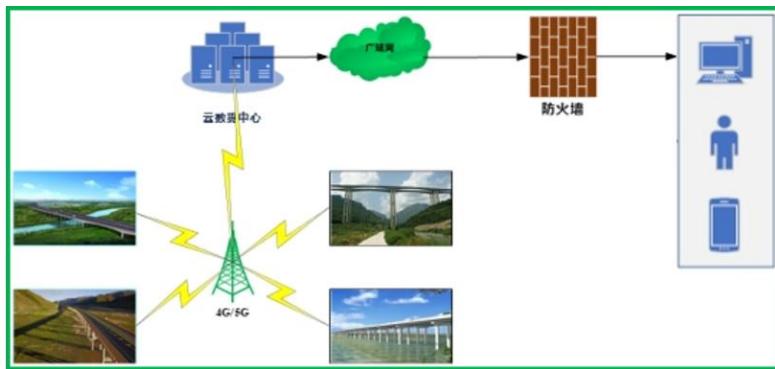
（一）技术要点

本方案结构健康监测系统集“微波雷达技术、北斗通信技术及人工智能”为一体，采用双传输系统，可在灾害、断电断网等复杂恶劣环境下全天候 24 小时不间断监测，实现智能评估和及时预警。主机到反射靶标之间无需连接线缆，降低工作量和设备成本；主机功耗 $\leq 4W$ ，可用市电/太阳能供电；监测设备内置 A/D 模块，将采集的数据转化为数字信号，无需额外的采集模块；系统可在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 和高海拔（4000m）环境下正常工作。以动挠度为监测主要指标，并可根据桥梁具体情况，对裂缝、应变、位移、视频等参数进行拓展监测。微波雷达内置环境温湿度和倾角传感器，可测量梁体动挠度、温湿度和桥墩倾斜，根据动挠度响应曲线，分析桥梁振动基频，整体性和健康度。

（二）系统构成



（a）复杂环境下健康监测系统组成架构



(b) 普通环境下健康监测系统组成架构

图 1 结构健康监测系统架构图

本方案基于毫米波雷达技术、4G 及北斗通信技术，构建了结构健康监测系统，包括：传感器子系统（非接触式挠度监测仪及常规监测设备）、数据采集与传输子系统（4G 及北斗双数据传输）、结构预警与评估子系统（基于人工智能实时预测、评估健康状况）、用户界面子系统（多平台实时查看并预警）。

表 1 监测系统构成及功能说明

子系统	设备单元	功能说明	备注	设备照片
传感器子系统	非接触式挠度监测仪	监测中小桥梁的动位移、变形、振动频率及动静载试验	采用基于相位干涉测量原理的毫米波雷达技术	
	常规监测仪（可选）	监测结构的温湿度、结构物内外的应变及应力、振动测量、裂缝宽度变化等	可选温湿度传感器、振弦内埋式或表面式应变传感器、振弦式钢筋应力计、拾振器、裂缝计等	
数据采集与传输子系统	4G 路由器、北斗三号系统	将传感器子系统输出的数据打包后传送到监控中心	4G 及北斗双数据传输终端，北斗传输包括北斗三号传输终端及指挥型用户机	
结构预警与评估子系统	\	对结构监测数据进行实时预测，并根据监测结果进行健康状态智能评估	基于人工智能建立 1D CNN-LSTM 监测数据预测融合模型及健康评估	\
用户界面子系统	手机端、电脑端等	实时查看监测数据及预测评估结果，输出监测报告，并具备多种实时报警功能	适配手机端及电脑端的用户界面，包括雷联网平台、手机端平台以及其他相关软件	

(三) 技术指标

(1) 非接触式挠度监测仪

型号	IICC-NDM-H55/H	IICC-NDM-H120/L	IICC-NDM-H120/H
测量原理	相位干涉测量		
处理机制	基于 DSP+ARM 的处理工作机制		

测量距离	≤ 55m	≤ 120m	≤ 120m
测量量程	±100mm		
波束宽度	120°*30°		
数据采样率	≤ 100Hz	≤ 50Hz	≤ 100Hz
精度	≤ 0.08mm	≤ 0.15mm	≤ 0.15mm
同步测点	≤ 8 个	≤ 5 个	≤ 8 个
靶标	无源标靶		
数据输出	RJ45, 可外接 Wi-Fi/4G		
供电电源	DV9~30VDC, 典型 12V		
电源保护	电源防反接保护、防浪涌保护		
整机功耗	≤ 4W		
防护等级	IP68		
工作温度	-40°C~85°C		
设备外观			

(2) 北斗三号数据传输终端

主要指标		
RNSS 技术指标	接收频点	B1I、B1C、GPS-L1
	定位时间	冷启动时间: ≤60s 热启动时间: ≤20s
	定位精度	水平≤6m 垂直≤8m
RDSS 技术指标	接收信号类型	S2C
	信号灵敏度	≤-153dBW (对于专用段 24kbps 信息帧)
	发射 EIRP 值	≥4dBW
	发射信号类型	支持 Lf1、Lf2 入站信号
	通信成功率	≥95%
电源性能	直流供电	9 ~ 32V
	平均功耗	≤5W
环境适应性	工作温湿度	温度: -40°C ~ +85°C 湿度: 0% ~ 100%RH
	盐雾	满足 GJB 150.11A-2009“盐雾试验”相关规定
物理特性	外形尺寸	Φ160mm*148mm
	重 量	0.85kg
	接 口	RS232/蓝牙 (选配)
	主 线 缆	8 米
	默 认 波 特 率	115200bps
设备外观		

(3) 监测预警平台

本方案用户平台适配电脑端及手机端，实时监测结构健康状况。可在线查看结构监测数据和智能评估结果，输出监测报告，并具备多种报警功能。



图 2 结构健康监测系统监测预警平台

(四) 预期效果

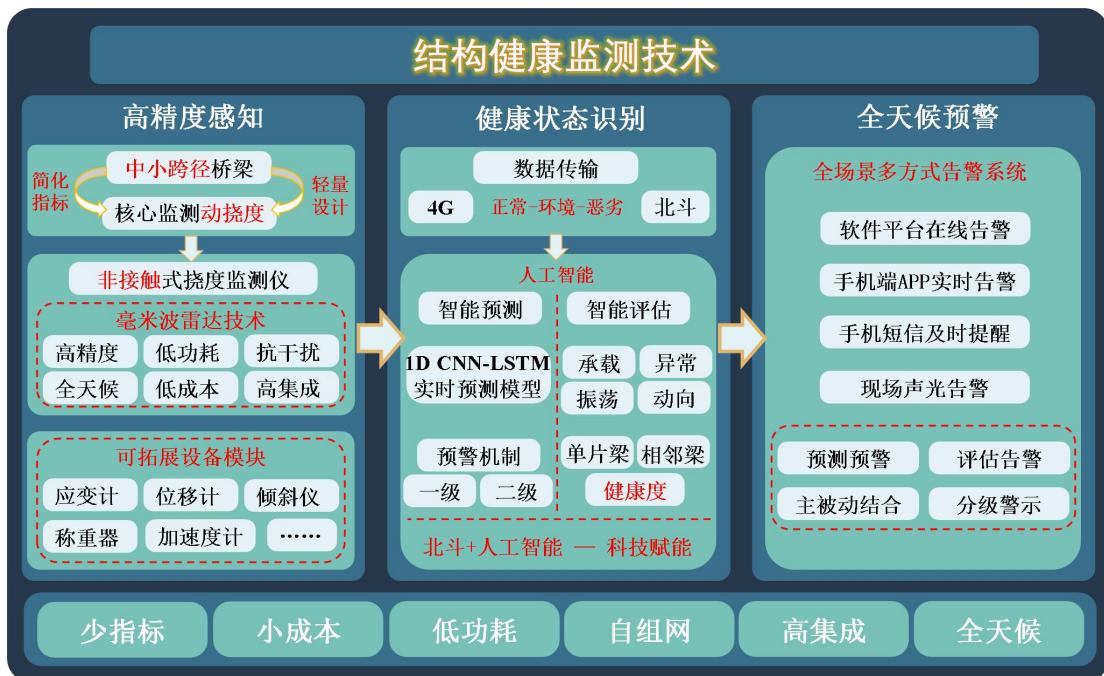


图 3 结构健康监测系统监测功能及预期效果

以毫米波雷达技术、北斗通信技术及人工智能为核心打造高精度感知、双数据传输、智能健康识别及全天候预警的结构健康监测系统，实现少指标、小成本、

低功耗、自组网、高集成、全天候的监测目标。

基于微波雷达的结构健康监测系统可及时感知车辆通过时桥梁的动挠度，当有超重超载车辆通过时感知预警。对桥梁健康监测数据进行实时更新预测，智能评估桥梁结构的健康状态。

三、实施方案

(一) 应用场景

本方案中采用的微波雷达技术及北斗通信技术凭借体积小、低功耗、耐酷热严寒、不受辐射影响等先天优势，可广泛应用于各种复杂恶劣环境下的中小跨径桥梁轻量化监测场景，太阳能供电及双传输方案可保障健康监测系统在灾害及断网断电条件下的续航和及时预警，系统预留接口可选配多种常规监测仪，实现中小跨径桥梁的全场景健康监测。



图 4 结构监测系统方案现场示意图

(二) 布设方案

将非接触式挠度监测仪底座安装在桥墩等相对不动点上，反射标靶通过刚性连接安装在主梁待监测测点处，确保反射标靶的三角面法线与非接触式挠度监测仪的测量平面保持垂直，反射靶标和非接触式挠度监测仪安装必须紧固，太阳能供电系统安装在附近无遮挡位置。

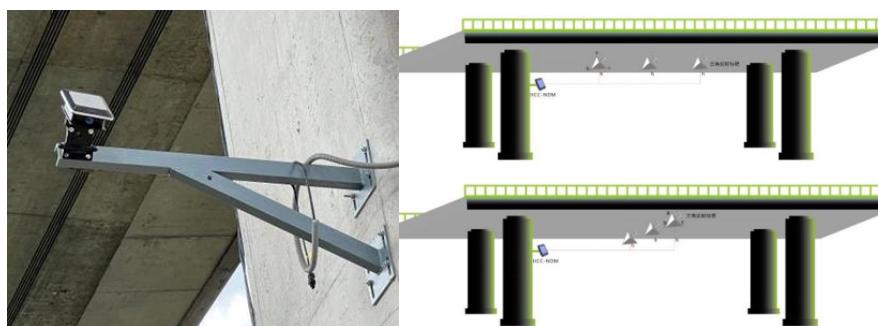


图 5 结构健康监测系统布设方案示意图

四、应用效果

(一) 实施效果

本方案目前已在江苏汪木排河大桥及新疆那巴公路第十五段简支梁桥等多座桥梁成功应用，开展了车辆通过时桥梁动挠度与冲击监测、静动载试验条件下形变监测，以及基于大数据模型反演重量对桥梁是否超载的监测，并对系统在高寒、高海拔环境下的稳定性和准确性进行了评估验证。通过上述综合监测手段，全面评估桥梁的健康状况和安全性能，取得了良好的工程示范效果。

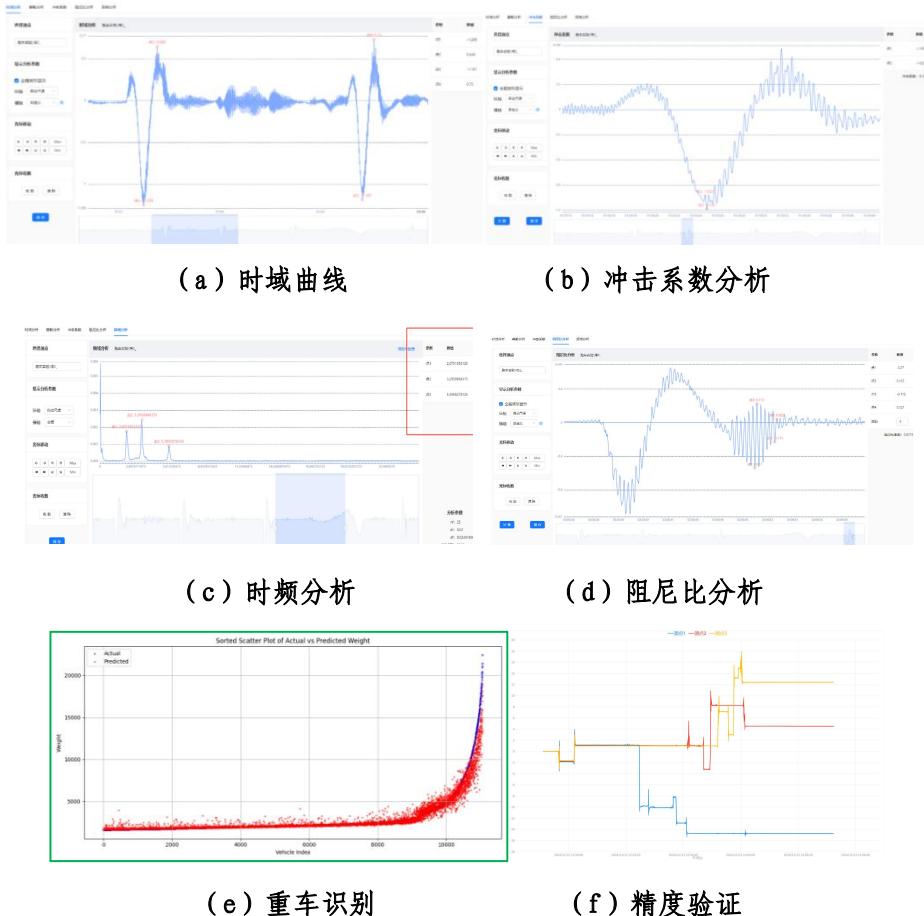


图 6 实时监测曲线

(二) 示范效应

本方案成功地将毫米波雷达技术、北斗通信技术和人工智能应用于结构健康监测领域，并在江苏、新疆等地多座桥梁进行了应用示范，验证了系统的可靠性与实用性。单跨微波雷达监测系统造价控制在 5 万元以内，简单易用，实现对中小跨径桥梁的高精度、全天候、实时远程监测，满足政策导向和市场需求，有助于延长桥梁寿命并减少维护成本。

案例 30：梁桥体系结构健康监测技术

一、技术来源

技术来源单位：浙江交投交通建设管理有限公司、浙江高信技术股份有限公司、浙江杉工智能科技有限公司

联系人及方式：朱立伟，15968428189

二、技术简介

（一）技术要点

本应用示范技术是基于典型梁桥监测经验提炼而成的一套面向梁桥监测预警的整体技术解决方案，体系内容涵盖布点设计、设备选型、集成实施、数据分析、预警评估等。其核心成果包括“1 套梁桥体系结构监测设计指南、1 套结构监测设备选型应用指南、1 套标准化监测集成施工工艺、1 套一体化监测平台、1 套标准化运维方案”，为梁式桥健康监测系统的设计、实施及运维提供全面系统的指导规范和参考标准，为梁式桥梁健康监测系统的标准化、规范化提供了有效示范。

（二）系统功能与构成

本技术拟建立一体化桥群监测系统，为结构集群实时监测服务提供稳定快速地监测预警联动平台。平台基于数字孪生三维引擎实现监测数据在线分析及可视化，具有驾驶舱、实时监测、统计分析、安全预警、安全评估、巡检养护、运维管理等功能。



图 1 监测系统整体架构

形成了一套标准化监测体系为梁桥的监测布点设计、监测设备选型、集成施工工艺、监测平台研发、系统运行维护等多个场景提供技术参考。具体内容包括：

结构力学分析：提出梁桥结构力学特性分析及模型修正方法及要求，为监测布点及预警评估提供理论依据。

监测布点设计：针对梁桥进行针对性布点设计原则及要求，保障布点设计最优。

传感设备选型：结合项目实际需求，提出设备选型可靠性、经济性、先进性等方面要求，确保在梁桥体系适用性。

系统集成实施：对各类硬件设备标准化施工提出标准化、规范化要求，保障监测数据可靠稳定。

监测预警评估：搭载在线实时分析算法，建立监测预警评估算法模型，为监测预警、安全评估、趋势预测建立理论基础。

监测数据分析：针对多源数据进行综合分析，定期自动生成评估分析报告，根据监测报警情况提供养护维修建议。

软件系统开发：基于数字孪生一体化模型、在线有限元计算技术等实现系统平台的一体化开发建设，达到可视化、精准化效果，结构安全直观可视。

运营维护服务：建立“一日一检、定期专检、应急特检”系统运维制度。技术上实现监测设备故障自检，与交通管控、交通应急等平台数据互通。

（三）技术亮点

轻量化部署：系统基于 B/S 架构开发，可快速在服务器上部署前、后端服务。系统具备自我诊断功能，实现对传感器和采集数据进行实时故障监控。

在线力学分析：支持在线力学分析，能够快速处理结构监测系统实时采集的大量数据，提供桥梁结构荷载校验评估、模态自振频率分析、结构相关性分析、疲劳特性分析等在线分析能力，并支持各类分析报告自动生成。

数字孪生可视化：支持基于数字孪生引擎实现桥梁结构安全的可视化。支持在线交通流仿真，支持桥梁结构力学分析计算结果在孪生模型上的可视化呈现。

一体化平台应用：采用标准化接口和通信协议，支持主流传感器数据的集成接入和分析。基于远程监测数据分析能力，可实现实时监测数据在线分析评估预警。

(四) 预期效果

通过本套标准化监测成果，可实现桥梁集群监测应用，减少单一桥梁监测系统开发、部署等重复投入；基于标准化工艺施工，提升系统实施集成的便利性，监测数据的准确性和可靠性。系统使三维模型具备力学分析计算能力，实现外界荷载对结构本体影响的实时仿真分析。实现跨平台数据联动，提高桥梁监测预警的联动效率，有助于形成更全面的交通态势感知，为桥梁的安全管理提供更丰富的信息支持。

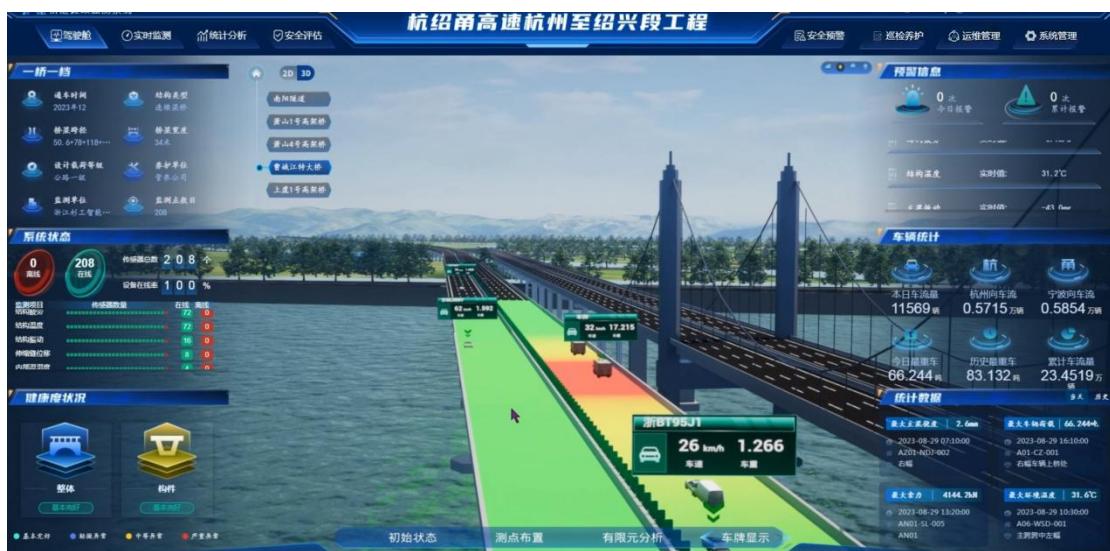


图 2 桥梁监测驾驶舱

三、实施方案

(一) 适用场景

本技术可广泛适用于梁式桥的结构健康监测预警系统建设，包含梁桥监测设计、监测设备选型、集成施工工艺、监测平台研发、系统运行维护等场景。

(二) 布设方案

本技术将梁桥监测系统进行差异化分级配置，即全效型监测、重点专项型监测。

(1) 全效型监测适用于重要性程度高、结构形式复杂、桥址环境恶劣的复杂桥梁，侧重于对桥梁结构的环境、响应、变形等作用进行全面性监测，用于支撑桥梁寿命、疲劳、结构特性等专项评估及理论课题研究。主要选择环境风荷载、环境温湿度、主梁挠度、梁端位移、结构应力、结构温度、主梁振动、桥墩沉降、车辆荷载、铺装层温度和体外索力作为主要监测项目。

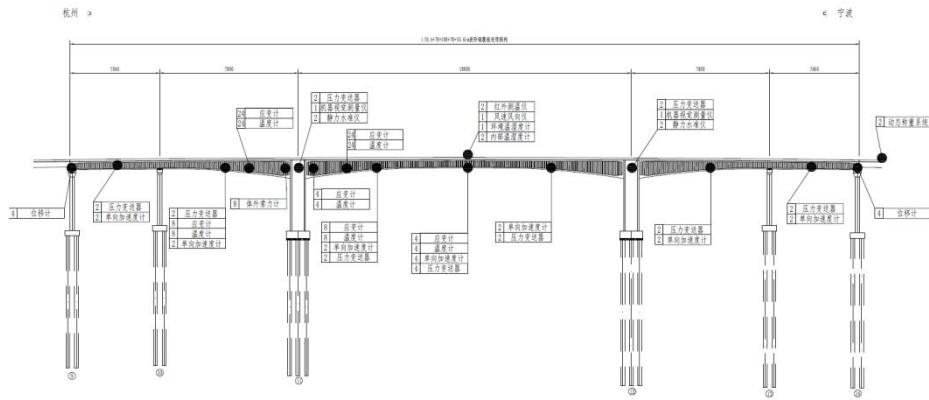


图 3 全效型监测设计布点示例

(2) 重点专项型监测适用于常规重点梁式桥，其功能主要以进行桥梁安全监测评估为主，针对关键指标针对性监测。其监测方法和仪器以实用可靠、布设实施便捷为主。主要选择环境温湿度、主梁挠度、梁端位移、结构温度、主梁振动、铺装层温度作为重点监测项目。

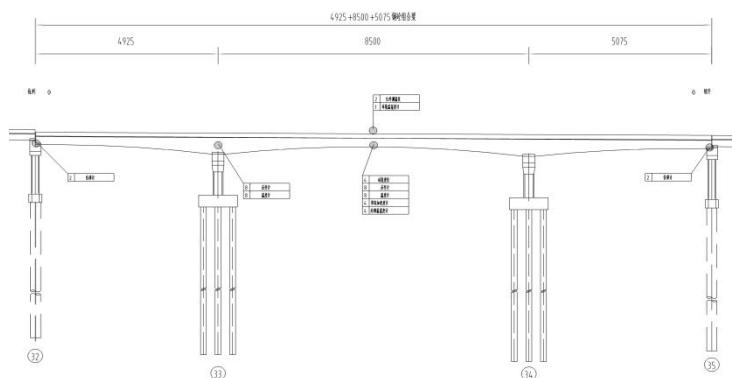


图 4 重点专项型监测设计布点示例

(三) 施工要求

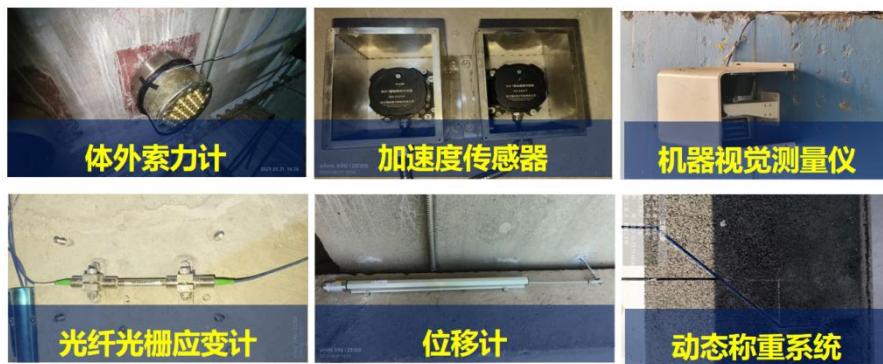


图 5 标准化施工成品保护

本技术形成了一套标准化监测集成施工工艺，其中包括“传感器设备标准化安装工艺、设备保护措施、数据采集处理、联机调试控制”等内容。所有设备及传感器需按基本要求、实测项目、外观质量和质量保证资料等检验项目分别检查。

所使用的原材料、半成品、成品及施工控制要点等符合工艺要求的规定，且要求无外观质量限制缺陷及质量保证资料真实齐全。未满足标准化施工工艺要求的，应进行整修或返工处理直至合格。

四、应用效果

（一）实施效果

结构安全全面感知：

面对复杂多变的自然环境与交通荷载，监测系统展现出对各种工况下的结构感知能力。本试点集成了 16 类关键监测指标，从试运行至今连续稳定监测已达 300 多天，经历了重载车辆、高温、台风、地震等极端工况的考验，系统均稳定运行，系统对积累的 3T+ 海量监测数据进行分析评估，自动生成评估报告。

跨平台的应急联动：

桥梁监测系统与智慧高速运营管控平台、交通管理应急平台、设施设备管理平台、养护系统等资源互联互通，将桥梁的监测数据、交通流量数据、气象数据等融合到统一的数据平台中，提高了桥梁监测预警的联动效率，有助于形成更全面的交通态势感知，为桥梁的安全管理提供更丰富的信息支持，实现桥梁结构的“全监测、速评估、秒预警”，保障了桥梁安全稳定运营。

荷载试验的同步验证：

荷载试验期间监测系统同步进行荷载试验的辅助验证工作。对荷载试验各个工况的结构响应数据进行了荷载校验，分析了不同加载工况下桥梁结构的受力特性与变形规律，为同类桥梁的设计、施工与运营提供了宝贵的经验。

设计验证与新技术的推动：

运营监测期的结构响应数据对于验证设计理论、评估结构性能具有重要意义。上虞一号桥桥梁建设过程中开展了“基于 PY 曲线法桩基计算理论的整体长联预制 T 梁高架桥关键技术研究”，经过课题研究证明该种新型结构整体性及延性相较传统工艺显著增强。试点监测系统的监测数据在后续同类新技术应用效果验证研究中，可为其提供数据支持。

数据资产与建管养一体化：

通过构建全寿命周期的建管养运数据闭环体系，形成数据资产并应用于桥梁的设计优化、施工监控、运营维护以及性能评估等各个环节。提高了桥梁管理的

精细化水平，为桥梁的全寿命周期成本最低化、效益最大化提供支持。

（二）示范效应

本案例基于数字孪生三维引擎构建桥梁力学大脑，提升了监测平台力学分析、预警、评估能力。适用于各种不同工况下的桥梁结构安全监测，支持在线自动生成分析评估报告。系统采用标准化的数据接口和通信协议，支持与外部系统资源互联互通，具有高拓展性和兼容性。针对梁桥体系结构健康监测技术通过实践探索和示范应用，形成了体系化成果，可为梁桥健康监测的推广应用和规范化发展提供参考。

案例31：基于应用场景的公路桥梁（群）轻量化结构监测成套技术与装备应用

一、技术来源

技术来源单位：中交公路规划设计院有限公司

联系人及方式：谷雨，15010218371

二、技术简介

（一）核心理念与技术优势：

通过总结国内外各类桥梁事故情况，针对常规跨径桥梁的多种内外风险，本项目提出了面向8种环境作用与灾害类风险场景和6种结构缺陷类风险场景的监测方案。针对复杂桥梁运行风险，项目优化了监测指标，精简了测点布置，并为每类场景明确核心监测指标1~2项，实现了重点风险的高效监测。本技术方案拥有从数据采集、传输到控制的全过程系统性解决方案。

硬件方面，自主研发的采集调理器具备多种设备协议的统一兼容功能，显著提升了系统适配能力。通过高集成度设备（如毫米波雷达及高清串并联相机）的应用，实现一站多靶、通感一体，为桥梁健康监测提供了高效的硬件基础。

算法方面，本系统开发了多项先进算法，包括错误数据诊断清洗算法、在线模态识别算法、荷载校验系数算法、多指标联合报警算法、异常检测算法、结构健康度评估算法以及自动报告生成算法。

软件平台方面，采用统一架构，支持多类别物联网协议设备的接入，并基于Docker技术实现了平台的快速部署和升级，能够在不同场景下快速上线。通过可视化大屏展示，系统实现了一屏汇聚桥梁监测关键指标，支持综合展示，并兼容多种物联网协议，显著提升了平台的扩展性和适应性。

维护方面，同时，系统平台还具备轻量化维护的特点，内置“设备自诊断”功能，能够通过远程操作集中处理大部分维护工作，从而有效提升维护效率，降低运维成本。

（二）系统功能与构成：

系统通过高精度传感器网络和智能网关设备，实时采集桥梁的多维参数（如振动、位移、倾角等），并利用自主研发的算法对数据进行精准分析。其主要功

能涵盖桥梁管理“一张图”、监测数据汇聚、运营风险专项分析、报警与处置、实时监测、桥梁健康评估、数据分析、视频监控、设备管理、设备自诊断以及移动APP监测等多个方面。通过“一张图”模式，系统以区域GIS地图为框架，直观展示桥梁的地理位置、健康状态、超限报警信息以及车流量等数据。实时监测功能覆盖环境、结构响应及状态变化等关键指标，为桥梁运行状态的全面掌控提供了支持。系统还集成了多种先进的算法，涵盖报警功能、预警功能及状态评估功能，为桥梁健康管理提供科学支撑。

针对台风、地震、重载车辆等风险场景，系统开发了专项分析模块。例如，系统通过API实时获取台风与地震信息，结合桥梁监测数据开展结构安全评估；毫米波雷达技术则应用于重载车辆动挠度监测与超限报警。系统通过测量真实重载车辆荷载下的监测指标并设定报警值，提高报警的精准性。报警功能结合历史数据与有限元模型分析，制定多源报警逻辑，支持APP、邮箱、短信等多渠道推送。

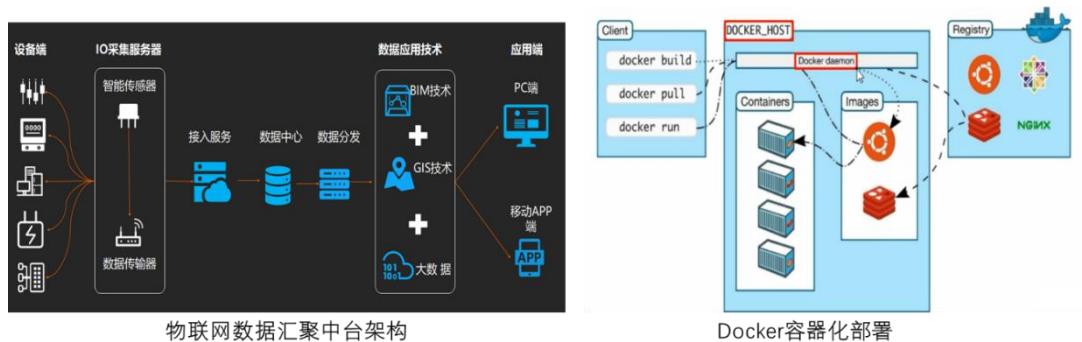


图 1. 系统整体架构示意图、Docker 模块化部署

系统架构高度集成，包括传感器网络、通信系统、数据处理平台、用户端管理平台及设备状态管理模块，支持模块化处理与Docker技术部署，如图1所示。模块化设计不仅提升了平台的扩展性和适应性，还简化了系统的升级与维护工作。系统确保桥梁数据的全面采集、稳定传输与高效处理，为桥梁全生命周期管理提供可靠技术支撑。

（三）系统的关键技术指标：

本系统以实时数据采集与分析为核心，数据完整率达到98%以上，采集延迟低于200毫秒，能够高效支持桥梁健康监测。智能化报警系统响应时间小于0.5秒，结合分类管理与多渠道推送，显著提升了异常事件的处理效率。通过“一张图”整合展示实时监测数据与健康状态，为多桥管理与评估提供精准支持。外场

设备包括毫米波雷达、高清摄像机、振弦式应变计、加速度计及挠度仪等核心设备，具备高精度、多目标采集能力，其中挠度仪精度优于 0.055%FS，裂缝计分辨率达 0.025%FS。

（四）系统预期效果

本方案通过分析“环境作用和灾害类”“结构缺陷类”共 14 种主要风险场景，提出了覆盖公路桥梁群大多数灾害与风险场景的轻量化监测方案。针对典型场景，如水毁风险区桥梁、台风高发地区桥梁等，系统可实时超限报警，并实现短时预警。例如，台风生成后，系统可预测受影响桥梁清单，提前采取管控措施；地震监测模块则通过实时捕捉地震加速度数据，评估桥梁安全影响。重载过桥监控功能结合毫米波雷达数据，视频抓拍数据，实现车辆荷载分析与报警。

自主研发的错误数据诊断清洗算法确保了数据的质量与可靠性，有效降低了误报率。多指标联合报警算法通过关键指标的联动分析，提升了异常事件的识别效率。异常检测算法支持多级报警策略，能够针对不同等级的异常事件提供实时处理建议。结构状态评估算法则基于在线模态识别、荷载校验系数识别，实现对桥梁运行的健康状态评估，为科学预警、决策提供可靠的支持。

技术方案具有先进性与高成熟度，采用的设备包括毫米波雷达、相机网络、工业级智能网关等，具备高精度、全天候监测能力，已在多项工程中验证可靠性。方案布设便捷，通过优化设备选型与架构设计，安装时间大幅缩短。单桥造价合理，桥群集中实施成本进一步降低，具备广泛推广价值。

三、实施方案

（一）适用场景

该解决技术方案广泛适用于多种桥梁运行及灾害风险场景，涵盖 8 种环境作用与灾害类风险场景和 6 种结构缺陷类风险场景。8 种环境作用与灾害类风险场景包括：水毁风险、撞击风险、地质灾害风险、高烈度地震区、台风多发地区、沉降风险区、重载和高危车辆通行以及施工风险场景；6 种结构缺陷类风险场景包括：倾覆性风险较高桥梁、横向联系弱的装配式桥梁、带挂梁结构、结构冗余度明显不足的桥梁、高墩长下坡段桥梁以及技术状况较差桥梁。

（二）布设方案

案例 1：某单位一座长 454 米的预应力混凝土连续刚构桥，主跨跨度分别为

122米、210米和122米，桥面设有2.6999%的单向纵坡和2%的双向横坡。针对该桥的“重载交通”和“高墩长下坡”风险场景，重点部署主梁竖向位移和梁端位移、墩顶倾角、结构振动、主梁关键截面应变与结构温度，结合视频抓拍，实现动态监控和快速报警，如图2所示。

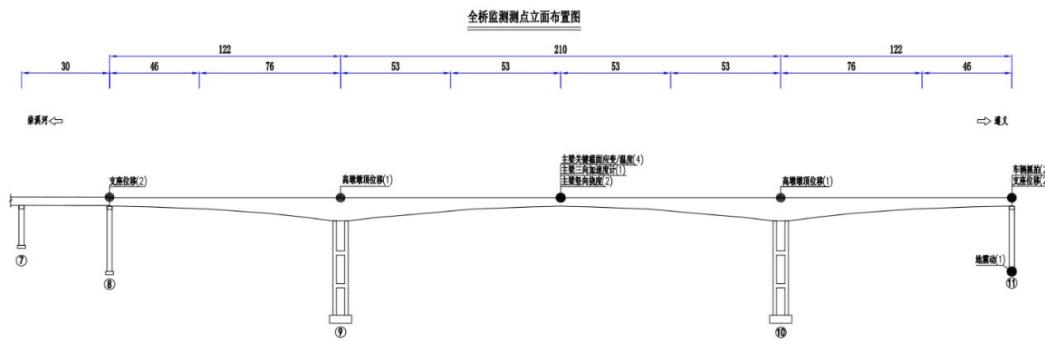


图2. 单桥布设方案

案例2：某桥群属于山区特大規模高速公路互通立交桥结构，具有交通荷载状况复杂、养护难度大等特点。符合“台风多发地区”“重载交通和高危车辆通行桥梁”“横向联系弱、整体性较差的装配式桥梁”“高墩长下坡路段桥梁”等风险场景。针对桥群主要风险场景，以竖向位移、裂缝跟踪监测为主，其中桥群监测测点规模和点位，测点布置和监测测点规模如下：



图3. 桥群布设方案

(三) 施工要求

不同监测指标的施工方案如下表所示。

监测指标	施工方案
------	------

车辆荷载	单桥可共享收费站称重数据或通过视频抓拍获取重点车型；桥梁群统筹布设 WIM。
视频抓拍	宜布置在主梁竖向位移监测测点附近，能够清晰拍摄到桥面交通通行状况的位置
主梁竖向位移	宜布置在跨中或跨中附近位置
梁端纵向位移	宜布置在伸缩缝附近位置
结构振动	宜选择跨中位置
结构性裂缝跟踪监测	根据检查结果确定测点位置

四、应用效果

(一) 实施效果

系统平台部分实施效果如下：



图 4. 桥梁管理“一张图”



图 5. 设备自诊断



图 6. 在线模态算法



图 7. 荷载校验系数算法模块

单桥项目中，通过综合设计资料和历史数据，制定了包括挠度、倾角及报警阈值在内的完整监测方案。系统通过温度与梁端位移回归分析，发现梁端位移异常并触发报警，最终通过现场检查确认伸缩缝处存在建筑垃圾堆积。清理后，桥梁结构恢复正常运行状态，保障了桥梁的安全性。

桥群项目则通过高效集约化管理，成功建立了覆盖关键监测点的全覆盖、高精度监测体系。项目期间，系统实现了实时数据采集和多维度分析，协助执法部门处理非法超限运输事件。大幅提升了桥梁群的运营安全与管理效率。

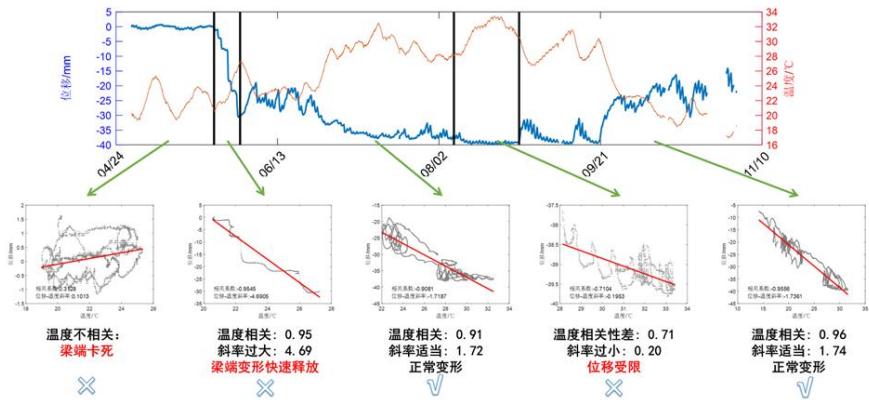


图 8. 单桥梁端异常情况



图 9. 桥群超重车拦截执法辅助

(二) 示范应用

本技术方案通过典型风险场景识别,为其他类似项目提供了风险识别的范例,并以目标和问题导向为指导思想,针对全覆盖难度大、常规监测系统不适用、安装维护工作量大等问题,以轻量化为原则,提出了“少指标、低功耗、自组网、高集成、统一平台、安装便捷、轻量维护”的公路桥梁(群)轻量化结构监测成套技术。与此同时,通过科学的阈值设置和多维报警方式,监测系统实现了实时报警与应急联动,提升了桥梁管理效率和应急响应能力。结合数据驱动的创新算法,该方案为桥梁健康状态的动态监测提供了易于推广且具有指导意义的分析手段。此外,该技术通过轻量化设计原则,显著缩短了施工周期并降低了工程造价,充分体现了高效施工与成本优化的显著优势。

案例 32：结构健康监测技术

一、技术来源

技术来源单位：重庆物康科技有限公司、招商局公路网络科技控股股份有限公司、重庆渝黔高速公路有限公司

联系人及方式：廖敬波，18008377820；程呈，18008376651

二、技术简介

（一）技术要点

高速公路桥梁服役环境复杂恶劣，导致桥梁劣化、垮塌的原因呈现出多样化的特点，桥梁病害表现形式多为桥梁姿态变化或承载能力不足。为此，本方案提出两项轻量化监测技术：

（1）桥梁姿态监测与预警技术

综合利用多跨桥梁监测数据，重点关注桥墩倾斜、主梁偏位、墩梁相对位移等情况，实现对一联多跨桥梁整体姿态变化的高效感知。

（2）桥梁承载能力快速评定技术

利用标准测试车以正常行驶速度（60km/h 左右），在不中断交通的情况下测得桥梁准静态挠度影响线，定量分析桥梁承载能力变化。

（二）系统功能

桥梁大变位垮塌多参数监测短期报警、桥梁高精度姿态监测与中长期预警、少指标条件下的承载能力评定。

（三）系统构成

结构健康监测系统由以下三部分组成：

（1）现场终端

- ① 感知设备：多参数一体化感知终端、桥梁挠度测量终端
- ② 边缘计算设备：微功耗智能边缘计算网关
- ③ 报警设备：声光报警设备

（2）云端管理平台

轻量化监测平台，包括物联网平台及应用软件平台。

（3）分析方法

- ① 桥梁姿态监测与预警技术
- ② 桥梁结构承载能力快速评定技术

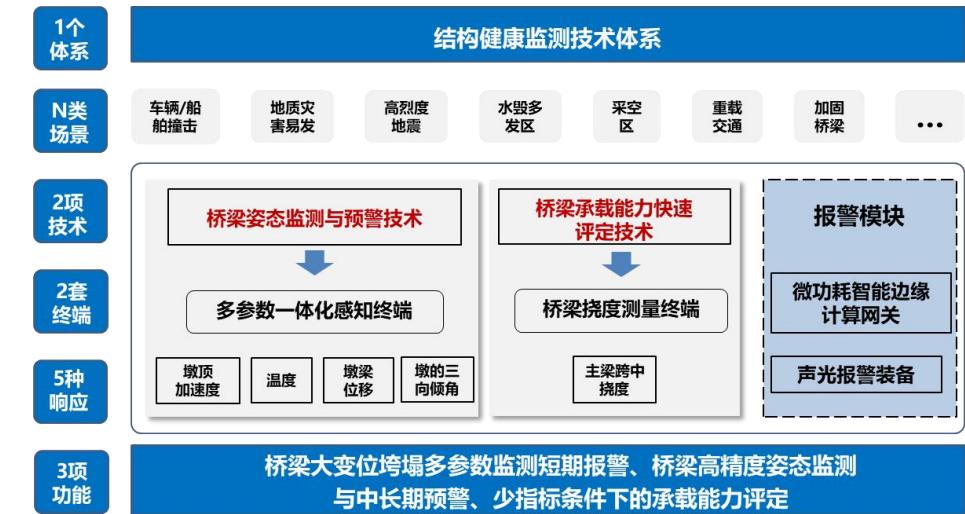


图 1 系统构成

(三) 技术指标

本方案关键技术指标如表 1 所示。

表 1 技术指标参数表

序号	设备/系统名称	规格参数
1	结构健康监测系统	<p>桥梁姿态监测与预警技术</p> <p>(1) 桥墩异常倾斜识别精度 $< 0.02^\circ$; 上部结构异常偏位识别精度 $< 5\text{mm}$;</p> <p>(2) 桥梁垮塌零漏报、零误报, 实现报警信号秒级触发。</p> <p>桥梁结构承载能力快速评定技术</p> <p>(1) 桥梁准静态影响线重复测量误差 $< 5\%$;</p> <p>(2) 单桥单次计算时间 $< 10\text{min}$。</p>
2	设备	<p>多参数一体化感知终端</p> <p>技术指标:</p> <p>(1) 环境指标: 工作温度 $-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$; 防水防尘等级 IP65; 电磁兼容等级 A 级。</p> <p>(2) 性能指标: 位移量程 $\pm 300\text{mm}$, 位移重复精度 $\leq \pm 0.1\text{mm}$; 振动量程 $\geq 3\text{g}$, 振动分辨率优于 0.5mg, 振动最大采集频率 $\geq 50\text{Hz}$, 测量精度优于 $5\%\text{FS}$; 倾角测量精度优于 $2\%\text{FS}$; 温度测量范围 $-30^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$。</p> <p>(3) 其他指标: 设备平均运行功耗 $\leq 5\text{mA}$。</p> <p>功能指标:</p> <p>(1) 采集模式: 支持连续采集、定时采集、触发采集; (2) 具备本地存储功能; (3) 支持断网续传; (4) 支持空中升级; (5) 支持自供电, 外部供电中断情况下, 可在连续采集模式下工作 30 分钟以上。</p>

		<p>桥梁挠度测量终端</p> <p>技术指标:</p> <p>(1) 环境指标: 工作温度-40°C-80°C; 防水防尘等级 IP65; 电磁兼容等级 A 级。</p> <p>(2) 性能指标: 精度≤0.1mm@30m, 采样频率 30Hz (≤ 2 靶标) 、 10Hz(≤ 6 靶标) 。</p> <p>功能指标:</p> <p>(1) 实时高频率结构物位移监测; (2) 测点遮蔽后自恢复, 断网续传; (3) GPS/网络校时; (4) 关键事件告警, 照片记录; (5) 支持在线升级。</p>
--	--	---

(四) 预期效果

(1) 特殊事件下桥梁垮塌快速报警

零漏报、零误报, 实现报警信号秒级触发。针对突发情况(洪水、滑坡等), 短时间内造成的桥梁垮塌事故, 第一时间报警, 避免二次事故和次生灾害。

(2) 正常服役过程中桥梁累积性损伤监测预警

针对中长期外部环境改变引起的桥梁姿态变化和承载能力变化, 在未造成桥梁结构失稳前发出预警。

三、实施方案

(一) 适用场景

本方案提出的技术适用于以下场景:

(1) 桥梁姿态监测与预警技术

基于多参协同、多设备、多跨联动分析的桥梁姿态预警技术主要适用于:

- ① 桥址区地质灾害引起的桥梁姿态异常变化, 如地震、滑坡、落石冲击等;
- ② 桥址区人工活动引起的桥梁姿态异常变化, 如人工堆土、周边施工、采空区、车船撞击等;
- ③ 桥址区气象灾害引起的桥梁姿态异常变化, 如洪水、冰凌等极端天气等;
- ④ 弯坡斜桥因荷载作用引起的桥梁姿态异常变化, 如车辆制动、温度等。

(2) 桥梁承载能力快速评定技术

基于准静态影响线的桥梁承载能力快速评定技术主要适用于:

- ① 规划大件运输通行的桥梁;
- ② 重载交通通行量大的桥梁;
- ③ 安全状况差的桥梁;
- ④ 加固改造的桥梁。

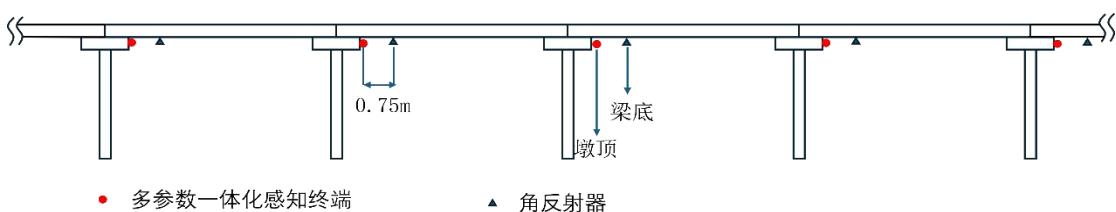
若桥梁同时面临上述两类风险，则建议将两种技术结合使用，形成更为全面和有效的安全保障体系，以确保桥梁的长期安全稳定运行。

（二）布设方案

根据两类技术特点，布设方案分别如下：

（1）桥梁姿态监测与预警技术

测点布设方案如图 2 所示。在所有跨布设多参数一体化感知终端，每跨墩顶上下游侧桥墩上各布设 1 套，风险极高的地方建议增加设备数量。

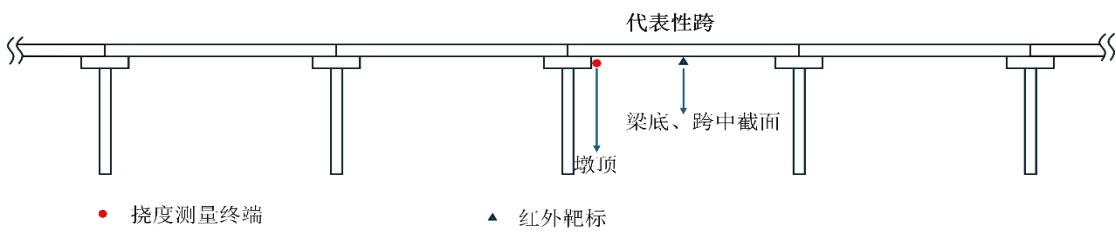


（2）桥梁承载能力快速评定技术

选取具有代表性的桥跨进行承载能力快速评定。选择桥跨时应考虑以下因素：

- ① 该跨计算受力最不利；
- ② 该跨施工质量较差，缺陷较多或病害较严重。

选择代表性跨后，在所选跨墩顶布设桥梁挠度测量终端（如图 3），在跨中位置上下游分别布设挠度靶标。



（三）施工要求

两类技术施工要求如表 2 所示。

表 2 施工要求

技术	施工要求
桥梁姿态监测与预警技术 (多参数一体化感知终端)	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查设备、电源线以及太阳能板外观； ● 根据测点布设图定点。设备安装于墩上，角反射器安装于梁底。角反射器与设备的垂直距离约为 75cm； ● 太阳能板安装在桥墩外见光侧。

桥梁承载能力快速评定技术 (桥梁挠度测量终端)	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查设备、电源线以及太阳能板外观; ● 挠度测量终端通过万向节固定在桥墩上; ● 靶标使用 8~10mm 的膨胀螺丝安装。固定靶标方向，使其正对设备; ● 补光灯安装在稳定位置，如桥墩或桥台上。使用 8mm 膨胀螺丝安装固定。
----------------------------	--

四、应用效果

(一) 实施效果

选取 T 型梁桥土地垭大桥进行应用示范。该桥位于重庆市渝黔高速公路 K1062+855 处，全桥分为左、右两幅，桥长均为 222.0m。桥梁上部结构按 8×25.0m 布置，每跨由 6 片长 25.0m、宽 2.06m、高 1.75m 的预应力混凝土简支 T 型梁组成。2023 年定期检测结果表明：土地垭大桥属于 2 类桥梁，有轻微缺损。但桥梁上跨国道，存在车辆撞击桥墩的风险。

(1) 工程实施

选取土地垭大桥具有代表性的桥跨进行桥梁姿态监测与预警技术、桥梁承载能力快速评定技术应用示范，具体监测点位布设如表 3 所示。

表 3 土地垭大桥传感器安装位置

应用技术	设备类型	安装位置	备注
桥梁姿态监测与预警技术	多参数一体化感知终端(集成墩梁相对位移、振动、倾斜、温度传感信号)	左幅 1#墩 (左侧)	测量第 1 跨梁和 1#墩的位移
		左幅 1#墩 (右侧)	测量第 1 跨梁和 1#墩的位移
		左幅 2#墩 (左侧)	测量第 2 跨梁和 2#墩的位移
		左幅 2#墩 (右侧)	测量第 2 跨梁和 2#墩的位移
		左幅 3#墩 (左侧)	测量第 2 跨梁和 3#墩的位移
		左幅 3#墩 (右侧)	测量第 2 跨梁和 3#墩的位移
桥梁承载能力快速评定技术	桥梁挠度测量终端	左边 2#墩	测量第 2 跨跨中挠度



图 4 土地垭大桥设备安装图

(2) 实验验证

通过事件模拟、实桥监测数据分析、跑车试验等多种方式开展技术有效性和可靠性验证。



图 5 坍塌报警测试 (左)、承载能力快速评定技术测试 (右)

(3) 实施效果

实验验证结果表明,桥梁姿态监测与预警技术配合集成墩梁相对位移、振动、倾斜、温度传感信号于一体的多参数一体化感知终端,可有效实现桥梁垮塌秒级报警;利用信号分离技术,对采集的混杂信号进行分离及趋势性分析,精准捕捉桥梁结构随时间推移的微小形变,实现对桥梁整体姿态变化高效感知;桥梁承载能力快速评定技术配合桥梁挠度测量终端,在不中断交通的情况下得到桥梁挠度准静态影响线,定量分析承载能力变化。

(4) 标准规范

桥梁承载能力快速评定技术已形成标准:《公路桥梁承载能力快速测试与评定技术规程》(T/CCES 43-2023)。

(二) 示范效应

本项目形成的结构健康监测技术体系及解决方案,依托重庆渝黔高速公路有限公司管理的土地垭大桥示范应用,形成以下示范效应。

(1) 技术可行

针对桥梁垮塌报警,做到“零漏报、零误报”。报警方法采用多参量融合、多跨数据融合设计,可有效提高报警准确性,避免漏报、误报;针对桥梁中长期缓慢变形或性能退化,定量分析桥梁姿态变化及承载能力变化,提前预测潜在风险,为桥梁运营提供依据。

(2) 经济可行

采用极低成本的多参数一体化终端实现桥梁姿态监测与预警。通过粘贴式安

装方式、自供电/太阳能供电方式极大提升安装效率，可实现1天5跨的高效安装。单跨硬件成本（含2套多参数一体化感知终端、1套微功耗智能边缘计算网关）不高于6600元，其中，微功耗智能边缘计算网关费用随着跨数增加逐步摊销至极低，若按3跨考虑，硬件成本可进一步降低至5000元。

采用桥梁挠度测量终端实现桥梁承载能力快速评定。该技术产生的费用主要包括硬件成本、安装调试费、跑车试验车辆租赁费。单跨硬件成本（含3套无源靶标、1套桥梁挠度测量终端（带补光））不高于15000元，如被测桥梁已部署动态挠度、动应变测点，可节省硬件成本及安装调试费；车辆租赁费用相对固定，高速公路桥梁呈线状分布，多座桥梁可均摊车辆租赁费用，当桥梁数量规模增大，车辆租赁费用可忽略不计。

各地施工作业平台存在差异，安装调试费暂不统计。

因此，所提方案的两项技术针对高速公路桥梁群尤为适用，具备大规模推广应用的经济可行性。

方向五：跨界监测预警协同技术

案例 33：多方联动协同告警阻拦技术

一、技术来源

技术来源单位：北京中交国通智能交通系统技术有限公司、交通运输部公路科学研究院、中路高科交通检测检验认证有限公司、越秀（中国）交通基建投资有限公司、中国电信集团有限公司

联系人及方式：侯亚楠 13901292837, 冠宇 13811560918, 任倩 18710070621

二、技术简介

（一）技术要点

对于高速公路网智慧化和安全应急保障的各项应用来说，要实现真正意义上的大范围应用推广、数据生态、时空联动协同需要一个统筹协同的“跨界服务中心”，本技术旨在集约整合数据资源，研究多源异构海量时空数据标准接入和数据协同共识技术，创新形成基于“空间”+“业务”双要素的跨域数据共享服务机制，结合不同业务和专题提供所需全要素数据支撑，一方面升级改造或新建现有信息服务平台，通过数据隔离网关打通与互联网地图导航平台的预警、告警数据链路，增强信息审核和快速发布机制，实现监测预警信息的一体化全方位多维度发布。另一方面以此支撑面向公安、气象、国土资源、互联网地图导航平台、车企等跨部门、跨地区、跨层级形成跨界业务协同联动、服务和标准体系，提高灾毁监测分析效率与告警阻拦及时性，加强应急处置能力。

（二）系统功能

1、交通系统信息交互

（1）与一健通系统对接，实现自然灾害、恶劣气象、交通事件、机电设备与光电缆通断等信息的综合接入；

（2）与导航、运营商系统对接，获取第三方的道路交通状态数据、交通事件数据，也可以获取客流、信号灯、充电桩可用状态等动态数据；

（3）建立统一的公路灾害高风险路段监测数据接入和数据资源目录体系；

（4）统一的数据接入中台链接设备、连接网络、链接平台，将底层设备与上端应用隔离，通过协议层的开发，重塑业务系统数据链路；

(5) 定义统一的共享数据交换接口标准, 提供对外服务发布的接口协议和应用接口;

(6) 事件类型/事件发生时间等多个查询参数、XML/JSON 等多种数据类型的快速 API 化封装, 使平台具备公路结构灾毁坍塌等事件信息发布共享的能力。

2、交通信息的主动推送

建立统一的数据格式, 建立基于不同渠道信息有效组织和分发方法, 支撑实现跨行业、跨渠道的作用域计算和差异化策略的生成。

具备交叉比对和多源验证的策略审核功能, 接入多个独立的感知系统结果数据, 经过分析根据事件发生的时间和地点, 以及事件的具体特征, 对来自不同来源的数据进行匹配和验证; 对数据的一致性检验, 并通过多个信源的核实, 确保了报告的可靠性和事件处理的准确性。

具备信息推送功能, 根据推送事件的类型, 并结合不同发布渠道的信息需求, 形成推送规则。

具备授权管理手段、数据访问控制策略和审计功能, 确保数据访问的合法性、合理性、安全性。

3、多渠道的信息发布

(1) 可把公路交通信息自动转换成不同渠道的信息的格式, 并具有与导航、运营商等信息交换的功能。

(2) 具有对信息寻址、交通行业路况及路网运行信息快速审核及差异化信息发布的功能。

(3) 可实现与交通广播对接和实时发布功能。

(4) 可实现与移动运营商的对接, 按区域实时发布短信功能。

(5) 具备向导航系统主动推送事件信息功能, 并在导航地图定制化展现。

(6) 实现对系统运行状况的实时监管;

1) 提供快速的搜索定位界面; 实现对设备运行状态进行实时监测和管理。

2) 提供具有标准化、流程化的参数配置界面, 指导完成系统、设备的参数的查看和设置;

3) 显示全部正在工作的设备工作状态, 双击后显示该设备的运行参数;

4) 分系统运行状况和网络状况显示设备总体情况。

(三) 系统构成

本系统涵盖行业内管理部门（部、省、高速公路集团、路段公司等）、公安消防等应急部门、高德百度等导航企业等，创新性打破了与互联网地图导航平台、车企、公安、气象、国土资源等跨界的预警告警数据链路、协同发布机制，健全了“应急为目的”的多方数据共享长效机制，拓宽了高速公路灾害风险监测的信息来源，确保了灾害信息的科学、准确与及时发布，系统架构图如下：

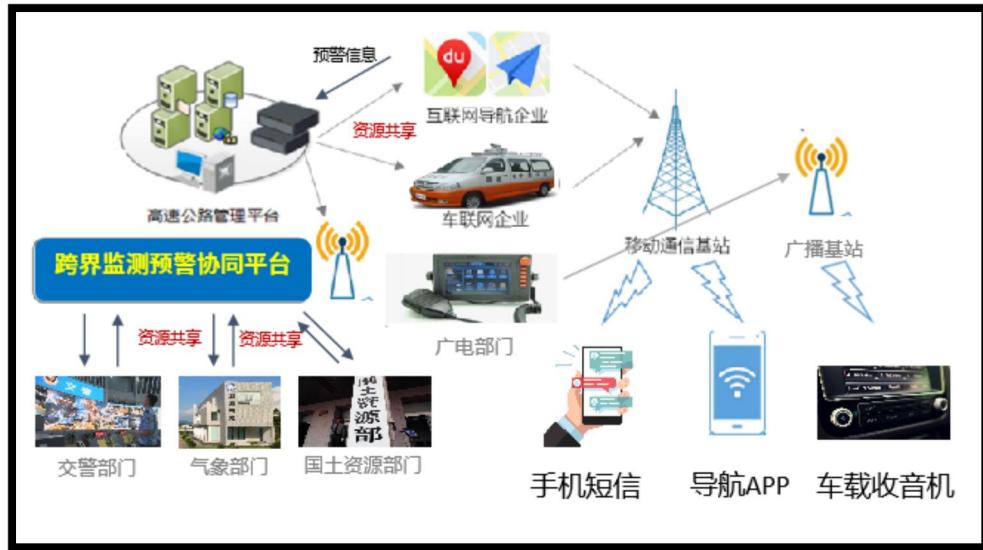


图 1 系统架构图

针对不同的发布渠道，交通信息发布内容、发布方式不同，如广电行业适合语音类信息、导航适合简短的文字语音信息、手机适合应急信息，根据不同发布渠道建立不同的信息分类。

基于不同形式系统，动态数据获取方式不尽相同，建立统一的公路灾害高风险路段监测数据接入和数据资源目录体系，统一的数据接入中台链接设备、连接网络、链接平台，将底层设备与上端应用隔离，通过协议层的开发，重塑业务系统数据链路，跨路网、跨行业、跨业务智能融合汇聚海量数据。

建立面向车辆、道路、云端与地图、交通、公安、气象、应急与自然资源等统一“时空共识”体系；针对多元异构互联网导航地图、车企、第三方单位系统，定义统一的共享数据交换接口标准，构建数据接口引擎，提供对外服务发布的接口协议和应用接口，完成多种数据类型的快速 API 化封装，使平台具备公路结构灾毁坍塌等事件信息发布共享的能力。

结合信息系统等级制定相应的网络安全管理方案和策略，制定信息安全管理各项制度和操作规程；信息审核之前，需要进行信息融合，信息融合的结果与审

核流程密切相关；具备交叉比对和多源验证的策略审核功能。

具备授权管理手段、数据访问控制策略和审计功能，确保数据访问的合法性、合理性、安全性。主动推送事件信息，而经过身份认证的互联网导航地图平台基于统一协议定时轮询调用平台提供的事件接口获取数据并在导航地图 APP 可视化展现。

(四) 预期效果

系统创新性地打通了交通行业与气象部门、互联网行业、公安交警部门等第三方跨界预警数据链路、协同发布机制，健全了“应急为目的”的多方数据共享长效机制，系统整体相对成熟且具备一定的超前性。通过本系统建设，拓宽了高速公路灾害风险监测的信息来源，确保了灾害信息一经确认即刻在各大平台、短信发布，帮助公众和驾驶者即时获取灾害信息并采取应对措施，提高了灾害监测分析效率和告警及时性，社会经济效益显著。

三、实施方案

(一) 应用场景

适用于全国高速公路风险路段：适用于全国范围内的高速公路网络，通过接入交通行业、气象行业及公安交警部门及互联网行业等各类数据，建立统一的公路灾害高风险路段监测数据接入和数据资源目录体系，实现跨行业、跨渠道的作用域计算和差异化策略的生成，并根据推送事件的类型，结合不同发布渠道的信息需求，形成推送规则，通过多渠道进行公路灾害信息及其他异常交通事件的及时信息发布。

不同等级公路及城市道路借鉴应用：方案中的技术和理念也可为其他等级公路（如一级公路、二级公路等）及城市道路提供参考和借鉴。例如，通过互联网导航企业、移动通信运营商、广电、车企等不同发布方式需要的信息内容，建立了适合于不同发布渠道的交通行业信息分类，城市道路可以依据该信息分类实现基于用户位置的差异化信息发布，有效提升城市道路的安全管控及信息服务水平。

(二) 布设方案

在高速公路监控中心布设 1 套跨界监测预警协同软件，实现统一的底层数据接入和信息发布，实时采集接收来自互联网地图导航平台、公安、气象等不同的数据源，同时当发现灾害事件后及时将灾害信息推送至相关方。

四、应用效果

(一) 实施效果

跨界监测预警协同平台已在山东、江苏、北京、湖北、湖南等多个省市的高速公路进行试点应用，其中调频广播已在河北、山东、浙江、广东、深圳等40多个工程项目、100多条隧道中得到应用，有效缩短告警时间，不断提升公路减灾防灾抗灾能力。



图 2 调频广播警示设备实施效果图



图 3 多方联动协同告警阻拦平台实施效果图

(二) 示范效应

1. 可复制可推广性

系统的相关成果已在多条试点路段推广应用，取得良好效果。随着全国智慧公路、公路灾害监测预警应用的开展，本技术可供行业参考，为司乘人员提供告警预警信息，提高全国高速公路灾害高风险路段紧急情况下的告警需求，加强快速响应能力，最大限度减少和避免群死群伤事件发生。

2. 超前性

本系统涵盖行业内管理部门（部、省、高速公路集团、路段公司等）、公安消防等应急部门、导航企业等，创新性打破了与互联网地图导航平台、车企、气

象等跨界的预警告警数据链路、协同发布机制，健全了“应急为目的”“公益属性”的多方数据共享长效机制，系统整体相对成熟且具备一定的超前性。

3. 快捷性

通过本系统建设，拓宽了高速公路灾害风险监测的信息来源，确保了灾害信息一经确认即刻在各大平台、短信发布，帮助公众和驾驶者即时获取灾害信息并采取应对措施，提高了灾害监测分析效率和告警及时性，可有效减少人员伤亡，社会效益显著。在布设方面系统只需部署软件，避免了工程投资重复建设，具有良好的经济效益。

4. 实效性

跨平台传播使交通信息在各种平台上同步发布，大大提高了突发事件的时效性。无论是在地图、网站、移动应用还是电视广播，都可以即时传播，满足受众对信息的需求。跨平台传播打破了传统交通事件播发限制，使得交通信息能够触及更广泛的司乘人员。增强司乘人员上报信息的参与度、跨平台传播鼓励司乘人员参与交通信息的分享，提高了交通信息的来源，使信息更加准确。

方向六：“一键通”报警技术

案例 34：基于融合通信的“一键通”报警处置技术

一、技术来源

技术来源单位：北京中交国通智能交通系统技术有限公司、交通运输部公路科学研究院、中路高科交通检测检验认证有限公司、越秀（中国）交通基建投资有限公司、山东高速信息集团有限公司

联系人及方式：侯亚楠 13901292837，冠宇 13811560918，任倩 18710070621

二、技术简介

（一）技术简介

通过建设云脑快速分析系统和基于音视频智融调度的 AI 一键告警平台，整合接入行业内外告警信息，一旦有高级别事件信息进入“一键通系统”，均可快速精准触达各个告警阻拦终端、所需通知各方，包括告警阻拦设备和音视频发布终端、行业内管理部门、交警、路政、养护、救援等相关部门、高德百度等互联网地图导航企业、广电部门、电信等移动运营商。同时提供视频融合会商、指挥调度、联动快处等功能，满足日常运行监督、应急指挥一体化使用需求，实现资源利用最大化和指挥调度数智化，实现不同点位、不同主体的快速高效灾害事件快速反应能力。

（二）系统功能

以 AI 一键告警平台为牵引，打通行业内外交通感知及预警的数据壁垒，使得信息在告警、阻拦、应急指挥等环节有效快速流转，实现跨部门、跨系统、跨终端的协同联动，实现不同点位、不同主体的快速高效灾害事件快速反应。系统功能主要包括：

- （1）行业内外告警信息的统一接入和展示
- （2）高速公路重大灾害云脑风险识别研判预警
- （3）适应不同重大灾害场景的快速应急处置
- （4）应急全流程数字化展示
- （5）基于音视频智融通信的扁平化触达和应急指挥调度

(6) 统计分析及辅助决策

(三) 系统构成

基于融合通信的一键通达报警处置技术构成为一键通相关硬件控制设备、音视频智融通信硬件、音视频智融通信软件、AI一键告警平台（含云脑快速分析软件和扁平化信息触达软件）及相关立柱、基础、杆件等；传输系统包括太阳能供电系统、4G 传输及现场系统无线通信模块。

表 1 基于融合通信的一键通达报警处置技术主要组成清单表

序号	名称	图片
1	音视频智融调度主机	
2	智能视频调度话机	
3	语音网关	
4	无线通信网关	
5	智能移动终端	

序号	名称	图片
6	AI 一键告警平台	

（四）预期效果

通过多方协同联动处置体系，实现应急一键告警联动措施智能化选择方法和预案匹配应用，一方面可以一键联动调频广播、紧急电话、高增益定向广播、视频、爆闪警示装置、路侧显示屏、无人机告警设备等终端，向各相关主体实时发布和推送路况、灾害事件、公路运行风险态势等信息，支撑覆盖事件影响区域内人群、秒级触达的快速告警通知能力，达到主动告警阻拦策略的一键多层级协同联动、一键应急信息共享；另一方面可一键联动协同公路运营管理单位与高警、路政、养护、救援等多方，FM广播、有线广播、紧急电话、高增益定向广播、传统电话、收费无线对讲、收费亭内对讲终端、通用导航终端、智能移动终端、视频会议终端、车载ETC设备等不少于8种音视频终端，达到一键一路多方业务协作执行，实现了管控流程简单化、调度一体化、管理智能化，实现车辆可控停车区域内的信息触达，进而提升重大灾害事故的告警和恢复效率，实现公路网通行能力的有效提升。

三、实施方案

（一）应用场景

基于融合通信的一键通达报警处置技术可根据工程特点和需要灵活选择，适应性强，可广泛应用于公路全线，包括但不限于收费站、服务区、隧道、桥梁等关键区域，特别是易受自然灾害影响的高风险特殊路段和区域等。

（二）布设方案

在高速公路监控中心布设AI一键告警平台、音视频智融调度主机、语音网关、350M对讲网关、智能视频调度话机、智能移动终端（按需配置数量），达到视频监控、视频会商、语音电话、专业数据等智融通信能力，实现“一个平台+一个终端”就能够远程调度多个系统的媒体资源，从而实现“一键通”告警。

四、应用效果

（一）实施效果

基于融合通信的一键通达报警处置技术已在湖北、山东等地高速公路示范应用，显著提升示范路段的监测预警和应急处置能力。

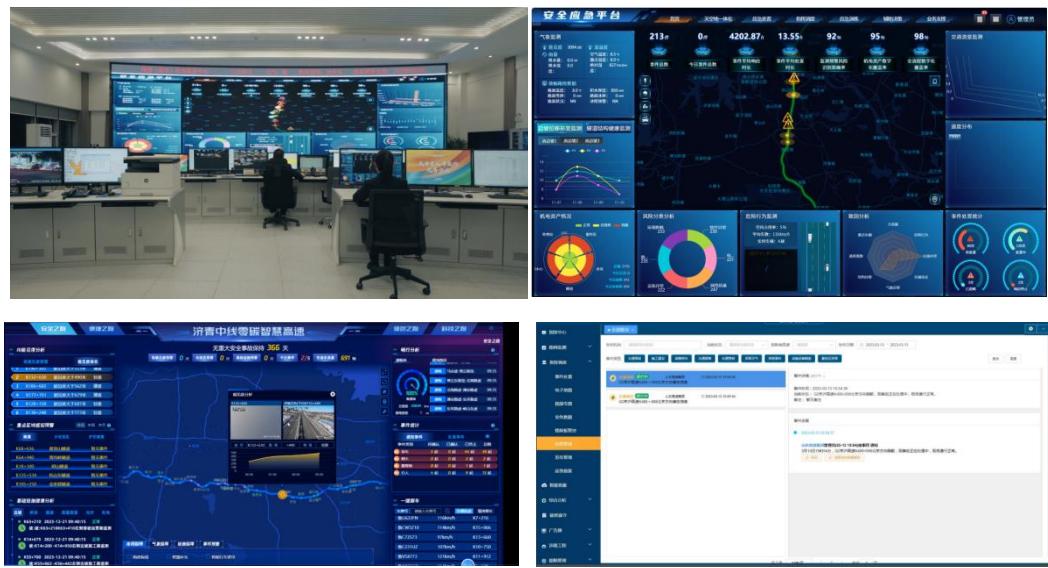


图 1 设备与平台实施效果图

（二）示范效应

通过示范应用，形成了成套扎实、可复制可推广的试点成果，成果具有新颖性且成熟度较高，已在多条试点路段推广应用，取得良好效果，值得在全国推广应用。

本方案采用的硬件设备均为市场成熟产品，经多年的测试和应用，性能稳定可靠。音视频智融通信系统和 AI 一键报警平台兼容性好，可兼容各类按标准生产的主流厂家设备，功能全面，界面可视化操作，易用性强；采用的路网运行风险综合研判模型有科学、严谨的专业理论基础。目前，该系统应用得到用户高度评价。

本方案在示范项目设计、实施和管理过程中，充分考虑了不同环境和条件下的适用性，确保了成果的普适性和可复制性，同时注重总结提炼项目建设过程中的成功经验和做法，形成了一套可复制、可推广的实施方案。同时，与相关行业和领域进行交流和合作，分享试点成果和经验，推动成果的广泛应用和共享，为后续工作提供有力的支撑和借鉴，促进交通运输事业的持续发展。

随着全国智慧公路、公路灾害监测预警应用的开展，本系统方案可作为典范供行业参考，提高全国高速公路灾害高风险路段紧急情况下的报警和信息发布需求，加强快速响应能力。

案例 35：高速公路监测预警信息服务

一、技术来源

技术来源单位：云南省交通投资建设集团有限公司

联系人及方式：蒙奕，13769161996

二、技术简介

依托云南交投集团已有路网运行监测和应急调度体系及系统为基础，将路网监测、安全预警、事件处置等情况与信息发布技术进行充分融合，紧扣监测预警信息服务的需求，依托云平台、大数据平台、人工智能综合分析能力，强化路网运行、自然灾害监测预警分析能力，以高速公路监测预警信息服务系统为具体应用，实现构建扁平化信息触达体系、云脑快速分析系统及“一键通”报警场景应用。

（一）技术要点

1.扁平化信息触达体系。构建高速公路监测预警信息服务系统，整合传统监控视频、AI 事件检测、ETC 门架、音视频终端设备、气象预测、桥梁边坡监测、车主爆料、第三方地图服务数据，实现扁平化信息传递。

2.云脑快速分析系统。充分利用云南“交投云”智算能力，实时分析多维信息，智慧融合多源数据，训练各类风险研判模型，预测交通态势，为灾害的预警、报警提供快速、精确的分析能力。

3.“一键通”报警场景应用。按照集团公司信息分级管理要求，形成标准的告警信息报送数据，智能匹配不同的信息发布渠道，实现告警信息跨部门、跨行业通达各方的“一键通”报警场景应用。

（二）系统功能

1.全方位路网监测数据接入与风险研判模型研判分析

通过高速公路监测预警信息服务系统整合传统监控视频、AI 事件检测、门架、音视频终端设备、气象局预测、桥梁边坡监测、车主爆料、第三方地图服务数据等不少于 8 类 16 种行业内外数据，并结合物联网、大模型等技术，通过“交投云”和大数据平台开展多源数据融合，建立包括路段拥堵分析、区间车辆通行状况分析、道路视频 CV 大模型视觉分析、长下坡路段重点监测分析、路网重点车辆通行分析在内的路网综合风险研判模型，为路网态势感知和事件应急处置提

供数据支持。

2. 应急调度音视频能力整合与多渠道信息高效智能发布

构建应急调度协同体系，整合云交畅联、智慧工牌、多功能手持终端、车载智能终端、无人机、视频调度终端等 6 大类音视频终端基础能力，实现了应急事件的可视化闭环管理，提高了应急响应速度和处置效率。同时，高速公路监测预警信息服务系统整合信息一键发布能力，支持情报板、云南高速通 APP、短信、企业微信、高德地图多渠道、智能化信息发布，实现应急信息的跨部门、跨行业共享，构建“一键告警、通达各方”的能力，信息共享时间不超过 30 秒。

（三）预期效果

面向高速公路运营管理各相关主体和公众，建立“跨行业、跨部门”的高速公路监测预警信息服务系统，在数据接入侧实现全面接入行业内外告警信息；在数据融合分析侧建立路网运行风险研判模型；在端到端联通能力方面，实现不少于 6 种音视频设备互联互通；在一键告警和信息共享方面，整合信息发布渠道和能力，通过情报板、云南高速通 APP、短信、企业微信、高德地图多渠道、智能化信息发布等多种渠道实现“一键告警，通达各方”的能力，向各相关主体和公众实时发布路况、灾害事件及公路运行风险态势信息，报警信息共享触达时间不超过 30 秒。

（四）系统构成

集“多元数据综合应用+多渠道信息发布能力”为一体的高速公路监测预警信息服务系统，满足“一键信息发布，通达各方”的需求。

三、实施方案

构建高速公路监测预警信息服务系统，充分整合路网运行及事件信息，整合信息发布能力，按照云南交投集团信息发布标准流程，打通路网信息至运营管理、处置救援、公众服务的信息发布通道，具体实施内容包括：多源数据接入归集、大数据融合分析、信息发布管理、多渠道信息共享服务。系统架构包含：数据归集、大数据分析、信息发布管理、多渠道信息服务：

1. 业务系统数据归集：五大业务系统，收费系统、监控系统、高德路况、云南高速通 APP、12328 客服系统数据归集。

2. 大数据平台数据分析：数据标准统一、坐标系统统一、一张网、基础数据。

3. 信息整合与发布: 多源预警, 信息整合, 发布审核、一键发布。
4. 多渠道信息服务: 五大信息渠道载体, 高速情报板、云南高速通 APP、手机短信、企业微信、高德地图等。

各业务系统或数据源的数据在统一基础数据、统一坐标系、统一编码的标准下, 将数据按照业务指标要求传输到大数据平台, 系统通过获取大数据平台的推送数据进行业务处理, 然后工作人员根据自动生成的信息, 审批确认之后, 一键发布到各个渠道。

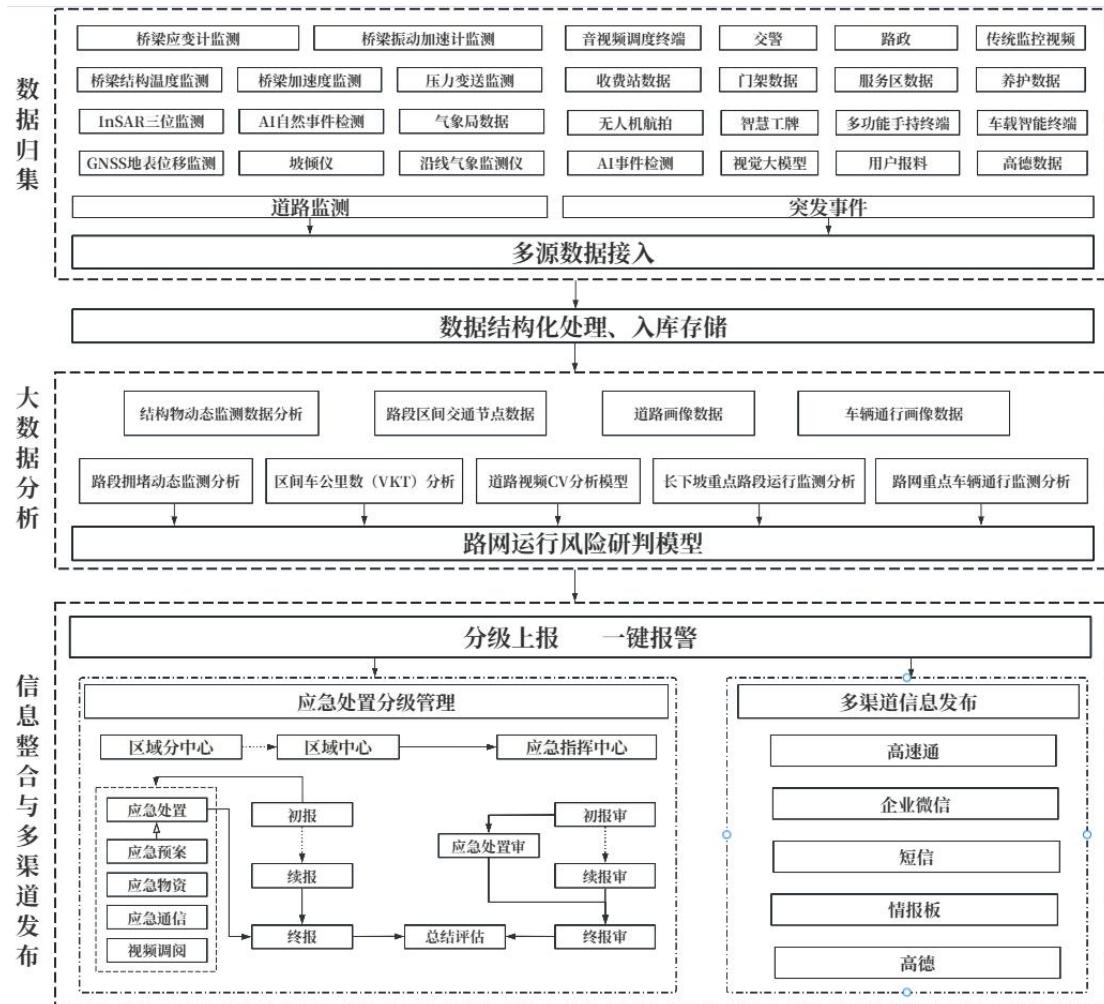


图 1 高速公路监测预警信息服务系统架构图

四、应用效果

(一) 实施效果

1. 构建高速公路监测预警信息服务系统, 完善扁平化信息触达体系

面向高速公路运营管理、养护、服务等相关主体, 基于“交投云”和大数据平台, 建成高速公路监测预警信息服务系统, 在集团昆石、昆安、大保路段全面

接入行业内外告警信息，形成扁平化信息触达预警、综合研判、应急调度、实时发布与共享能力，提升高速公路事件快速反应能力，辅助高速公路优化调整路网保障策略，并满足高风险路段在紧急情况下的告警与信息发布需求。

2. 全面接入行业内外数据

(1) 传统基础设施方面：接入省内 27000 余路监控、800 余套门架、380 余个收费站数据、550 余块情报板、200 余套气象综合监测设备数据，围绕道路交通特征、车辆通行特征，实现路网运行态势感知分析告警功能。

(2) 高速公路桥梁、隧道、边坡等结构物监测方面：构建贝叶斯网络数据分析模型，按照事件发生及演化流程，实现桥梁、隧道、滑坡等自然灾害监测预警，提升高速地质灾害预警和应急响应能力。

(3) 人工智能设施设备方面：整合高速公路 AI 事件检测数据，实现车辆违停、逆行、行人、抛洒物、交通拥堵，施工等 AI 一键告警功能，并探索基于 CV 视觉大模型下的事件检测分析。此外接入基于 AI 检测气象结果，提升重点路段气象告警能力。

(4) 物联网设施设备方面：整合接入智慧工牌、多功能手持终端、车载智能终端、无人机、视频调度终端等多种音视频终端数据，形成监测预警、应急指挥调度“端到端”联动调度能力。

(5) 气象数据方面：接入云南省气象局降雨、气温、风、能见度等重要气象数据，实时监测高速公路沿线区域的天气变化，为高速公路运营管理提供及时、准确的气象预测预警信息。

(6) 第三方地图服务提供商数据方面：接入高德地图基于地图用户及行业浮动车辆数据分析的高速公路拥堵告警信息，提升路网实施监测能力。

(7) 社会公众爆料渠道数据方面：整合 12328、云南高速交通用户路况爆料、车主电话投诉等路网运行相关信息，利用公众提升事件反应速度。

3. 建立风险研判模型

基于接入行业内外数据，以及云南交投集团自建“交投云”和“大数据平台”能力，实现数据结构化处理、入库存储并建立路网运行风险综合研判模型包括：路网拥堵动态监测分析模型、区间车公里（VKT）分析模型、道路视频 CV 模型分析模型、长下坡重点路段运行监测分析模型、路网重点车辆通行监测分析模型、

结构物动态监测数据分析模型、路网区间交通节点分析模型、道路画像分析模型、车辆通行画像分析模型。

4. 整合多端音视频设备综合应用，辅助应急事件可视化闭环管理

依托路网运行监测手段及综合风险研判分析，整合云交畅联、智慧工牌、多功能手持终端、车载智能终端、无人机、移动布控音视频调度终端等 6 大类音视频终端基础能力，基于信息报送、事件处置、指挥调度、总结评估等应急工作核心流程，有效应对突发路网交通事故、自然灾害、重大安全生产事故应急调度管理，实现“看得见、喊得通、调得动”的目标。

5. 信息一键发布服务，路况灾害运行风险实时发送

整合公众信息发布服务，减少跨平台、跨系统繁琐操作。统一信息发布渠道，集中、统一、有序管理对外发布内容，兼具可查询、可管理、可追溯的信息发布管理能力。同时，支撑多种信息模板，针对高速情报板、云南高速通 APP、手机短信、企业微信、高德地图等不同平台，支持自定义信息模板，如简洁文字、图片、超链接等。

(二) 技术亮点

1. 多源数据融合分析。综合利用自建信息采集设备、互联网服务商数据、跨行业数据建立异常识别模型，涵盖路网通行异常、气象异常等分析模型。

2. 大模型技术应用。视频分析方面，利用视觉大模型开展路网异常事件、异常气象、基础设施异常等的识别，形成专项算法。盈古 CV 大模型实时分析云南交投 27000 路视频流，例如：识别出暴雨导致的路面，报警时间缩短至 10 分钟；识别山体滑坡，10 分钟发出报警信息；精准定位泥石流灾害发生区域。文本信息提取与融合方面，利用 NLP 大模型每日处理来自管理处、气象部门、地震台网、新闻媒体等渠道的非结构化文本信息，并将其转换为结构化的 JSON 数据，实现与视频分析结果的有效融合，提升报警准确率。智能报告告警方面，使用大语言智能 prompt 模板，生成满足不同渠道需求（如简报、专报、情报板及公众提醒发布信息）的报警信息。

3. 告警内容分级分权。根据异常类型、事件等级，结合管理需求，实现事件分级告警、上报，提高响应速度，合理调配资源。

4. 应急处置流程自动化。在原有人工处置、信息发布的路上，构建基于大

模型技术的路网通行异常发现、信息报送、信息发布全流程处置自动化技术。

（三）示范效应

- 1.提升行业数智化水平。利用大模型技术对多源数据在智慧交通中的融合应用，树立了行业标杆，推动了交通管理的智能化进程。
- 2.优化管理与降低成本。一键发布服务简化了信息发布流程，实时监测预警降低了事故和拥堵风险，同时有助于控制长期运营和维护成本。
- 3.增强应急与协同能力。显著提高应急响应速度，促进了跨部门协同工作，提升整体交通管理水平。
- 4.促进产业发展与可复制性。带动相关设备和技术的发展，创新监测数据应用模式，项目创建的标准化流程和模块化设计易于复制和推广。

案例 36：“一键通”高速公路数字化报警与协同处置应用及相关产品

一、技术来源

技术来源单位：行云数聚（北京）科技有限公司、广州优路加信息科技有限公司、高德软件有限公司、山东高速信联科技股份有限公司

联系人及方式：陈宇雯，13241277168；朱金涛，18520120171

张 旭，18766394143；王一森，13605332398

二、技术简介

（一）技术要点

通过整合智能车载终端、数字百米桩、导航大数据等一键触发的数字化报警能力，为公众提供精准、快速上报紧急事件的告警入口，建设包含多源数据融合、扁平化信息传递、云脑快速分析、智能预警与应急响应等多个模块的系统，实现从事件检测、报警、信息分发、风险研判到协同处置的全链条管理，利用高效的信息发布与推送机制，提升高速公路灾害监测预警和应急响应能力。应急事件报警时间可缩短至 3 分钟以内，甚至秒级，事件精准定位达到 95%，信息共享及时性提升 80%，跨部门协同处置时间节省 20~30 分钟。

（二）系统功能

数字化报警应用：人、车、路、云等全方位报警感知应用，提升感知与报警时效性。系统对事件响应分发时间不超过 2 分钟，报警准确率高达 99%。

报警监测管理：系统能够对报警数据进行实时监测、报警事件等级划分、报警信息管理、信息推送与发布渠道对接、信息一键通知等功能。

路网风险研判分析：集成数字化报警来源、导航地图三急一速、自然灾害综合风险等多维度数据，应用路网运行风险综合研判模型，利用 AI 算法识别、预测事故风险等级，对各类交通事件和自然灾害的进行实时监测。

信息共享与协同处置：基于扁平化触达能力与云脑快速分析技术，简化信息传递层级，支持多个音视频终端通信、多级会议功能、按需推送功能，实现报警事件的快速共享与跨部门的协同指挥。

AI 告警应用：隧道出、入口安装简易北斗定位产品，提升隧道内部信号问

题，同时结合手机导航应用，实现车车协同和AI告警。

（三）系统构成

应用系统包括感知层、应用支撑、一键通数字化报警应用、触达终端四个层次。感知层为数字化报警应用与产品，应用支撑层为数据服务，一键通数字化报警平台应用层为多源数据接入报警、分析研判、协同处置等服务，触达终端层为通过标准化接口对应急事件触达发布至各渠道。通过多层次、多终端的集成，实现从报警信息的采集、分析研判到协同处置的全链条管理，提升高速公路的灾害监测和应急响应能力。



图1 一键通报警技术系统架构

（四）预期效果

报警效率与信息共享效率提升：通过丰富数字化报警手段，形成“人车路云”全方位感知，结合精准定位能力，提升报警感知与时效性。同时，多渠道信息发布系统确保预警信息迅速传达至相关方及公众，提高交通安全与应急响应效率，提升突发事件预防能力。

路网运行风险研判能力增强：通过融合多源数据的综合分析，构建路网运行风险综合研判模型，实时监控高速公路网络的运行状态，及时发现潜在的风险并采取预防措施。

跨部门协同处置效率增强：利用协同处置应用，加强跨部门协作与资源调度，革新高速安全管理，缩短应急处置时间。

社会和经济效益显著：可快速处理交通事故和事件，减少因事故导致的交通

拥堵，降低事故率与灾害影响，提升涉路作业的安全，提高路网的安全出行指数，提升公众出行安全。

三、实施方案

（一）应用场景

充分考虑了高速公路的突发事件监测与安全管理需求，适用于路面异常、救援服务、交通事故、自然灾害、交通管控等多种高速公路紧急情况。面向公众报警场景提供数字百米桩、智能化设备等新式的报警服务，面向路段、路网等管理场景提供实时监控、报警、一键通知和协同处置应用。

（二）布设方案与施工要求

本项目以分级设计、高可靠性、高兼容性为原则，方案将围绕一键通数字化报警管理后台、数字化报警应用、SOS 安心码与设备产品、一路多方协同处置应用四个核心部分与隧道北斗导航定位信号覆盖系统辅助系统展开描述，确保系统的有效运行和高效管理。具体布设方案如下：

1、一键通数字化报警管理系统

包括 3 个层次：数据采集层，负责收集高速公路事件信息，数据来源可包括路侧监控设备、车载终端、移动应用等。数据处理层，通过数字化平台对采集到的事件数据进行处理与分析，生成预警信息，并进行事件等级的研判。应用服务层，将处理后的事件信息通过多种渠道（如阳光救援系统、高速情报板、导航地图、交通广播等）进行推送，确保信息能够及时传递给相关部门和公众。

应用名称		性能需求
硬件需求	服务器	需配置高性能服务器，满足 Alibaba Cloud Linux 3 等兼容 CentOS 系统，CPU 要求 16 核以上，内存 32G 以上，系统盘 100G SSD，数据盘 500G 高效云盘。
	网络设备	峰值带宽支持 500Mbps
	数据库	采用 mysql5.7+
	客户端	兼容主流 Web 浏览器，便于管理人员进行远程操作和管理
软件需求	操作系统	支持 Linux 及 Windows 操作系统
	应用软件	报警管理系统、数据分析系统、信息发布系统等

2、数字百米桩报警应用

将报警二维码与百米桩位置结合，实现精准定位，快速救援。铺设于高速公路主线两侧路桩、互通立交、匝道等位置，主线铺设间距 100 米，于高速公路百米桩之间的正中央处安装，匝道/互通铺设间距 50 米，以确保在任何位置都能实

现快速报警。数字百米桩材质采用超强级反光膜，确保 10 年不褪色，铁材质支架，确保在各种天气条件下都能保持良好的可视性。



图 2 数字百米桩安装效果图

3、随手拍应用

用户可对路面异常情况进行一键上报。需对用户进行随手拍应用的操作培训，提高公众参与度。培训内容包括如何使用应用进行事件上报、如何拍摄和上传相关照片等。确保随手拍应用与数字化报警管理后台无缝对接，实现信息的快速传递。通过数据接口，确保信息能够及时传递给相关部门。

4、一键救援应用

利用实时定位技术，用户只需点击“一键救援”按钮，实现报警无需拨打电话，节省沟通位置的时间。通过“一键救援”应用，优化救援流程，系统将根据用户的位置信息，自动调度最近的救援力量前往现场，实现精准救援。

5、SOS 安心码与设备产品

四合一应急救援工具即是在车充、安全支架、挪车号码牌等日常车载产品基础上，集成安全锤、割刀、SOS 安心码等逃生报警功能，可放置在驾驶室附近等车辆易于取用的位置，确保在紧急情况下能快速报警脱困。

智能 ETC 行车记录一体机、智能 SOS 行车记录仪、一键通 OBU 等产品，利用了六轴陀螺仪及北斗双模定位技术，集成了 SOS 救援、碰撞报警检测、交通守望者语音播报等报警功能。安装于车内，如车窗位置，车载 12V-24V 供电，确保设备稳定运行，在紧急情况下能快速报警。

6、一路多方协同处置应用

提供面向交警、路政、消防、医疗等部门的移动应用并进行部署，收集用户白名单，分配权限等。实现事件上报、任务接收、信息查询等功能。对相关部门人员进行移动应用的使用培训，确保他们能够熟练操作。实现各部门间的信息实

时共享，并部署 https SSL 证书确保信息共享过程中的数据安全和隐私保护。同时，建立协同机制，制定紧急事件处理流程，明确各部门的职责和协同方式，定期组织应急演练，检验协同机制的有效性并进行优化。

部署实时监控系统，监控紧急事件处理进度和资源调配情况。可视化展示，通过管理后台实现事件处理进度的可视化展示。建立用户反馈机制，收集用户对系统使用的意见和建议，根据反馈结果，对系统进行持续优化和升级。

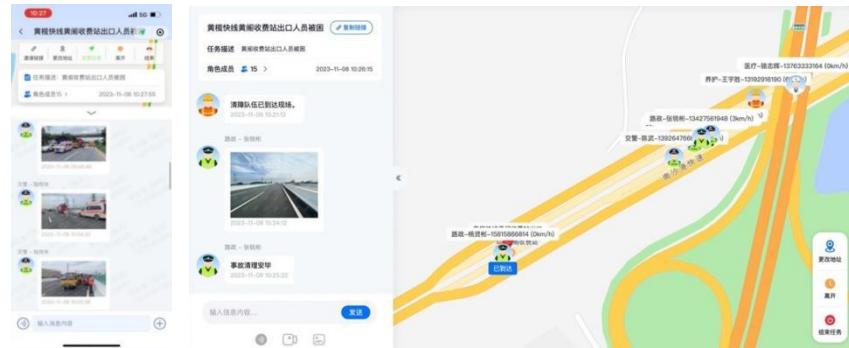


图 3 一路多方协同处置应用效果图

7. 隧道北斗导航定位信号覆盖系统

隧道北斗导航定位信号覆盖系统由一体化中心子系统、隧道北斗时钟同步子系统、隧道北斗基站、隧道北斗天线、运维管理平台子系统等核心设备构成。安装包括微型基站、天线，交换机、授时单元、服务器、机箱等多类辅材与布设线缆。安装完成后通过检测所有设备的通信情况，并使用全站仪、RTK 终端等设备，测量天线坐标参数，作为定位基准。

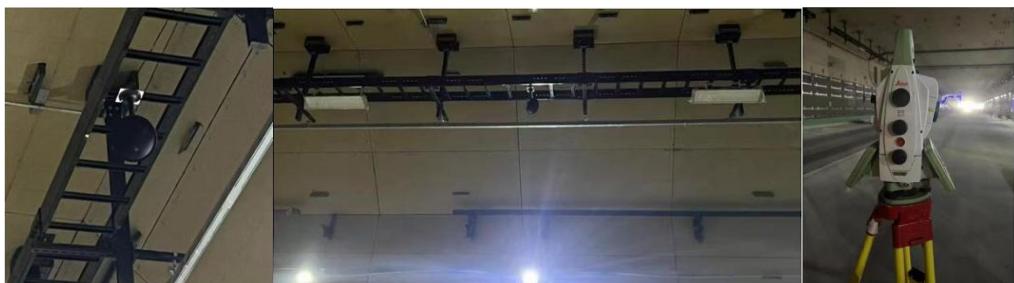


图 4 天线基站安装与信号测试

四、应用效果

(一) 系统实施效果

报警方式与报警效率提升：数字百米桩安装超过 5500 个，通过丰富报警方式和多场景覆盖，利用手机信号等定位能力，精准识别报警人位置，信息传递准确性大幅提升，报警效率得到了较大提升。在实际应用中，相较于传统电话报警，

报警时间从 10 分钟缩短至 3 分钟内，甚至秒级，定位精准率超过 95%，应急事件的响应处置时间减少了 6~7 分钟。

路网风险研判能力提升：融合了导航地图等多源数据并进行融合分析，可实时监控车速、事故风险等，精准研判路网风险，提前预警，有效实现了应急交通事件的主动预防，降低了交通事故率，提升了高速公路的出行安全。

信息发布与跨部门协作效率提升：报警信息直达“一键通”系统，通过标准化接口与阳光救援等处置系统对接，预警发布通过近端、远端结合的形式，可覆盖事件位置后方 2 公里以外的出行用户。协同处置应用发起任务超过 550 宗，通过该应用，处置与发布部门获取完整事故信息缩短 3~5 分钟，跨部门共享实时位置的能力为应急事件处置平均节省 20~30 分钟。

（二）示范效应

“一键通”报警技术已在广东省内多条高速公路落地应用，形成显著的示范效应，有效提升了道路安全性和事件响应效率。

技术成熟和实用可靠：在高速公路、城市快速路等复杂场景稳定运行，通过一键报警、数字百米桩定位及协同处置等功能，显著提高了事故响应和处理效率，降低了交通事故率，提供了可复制的标准化应用模式。

快速部署和灵活适应能力：可提供整套系统服务或模块化功能应用与产品两种模式，方便在不同路段快速安装、配置与调试，部署后可立即投入使用，支持灵活对接各管理系统与预警应用，确保系统业务的连续性与稳定性。

产品成本低，适合大范围推广：可接入多种报警来源，实现车路云融合发展。通过采用模块化设计和标准化接口，降低生产和维护成本，同时简化了布设流程，减少了安装和配置的时间和劳动力需求。此外，通过与现有基础设施的兼容性和集成能力，能够减少额外的硬件投资，实现成本效益最大化。

产品功能性强，可复制推广：系统设计产品为工具类的装备产品，硬件产品集成了智能化和自动化手段，减少了人工干预的需求，系统架构支持远程管理和自动化监控，降低了日常运营和维护的成本，具有较高性价比，可快速复制到全国不同路段和场景中的能力，进一步提升整体运行的效率和稳定性。

案例 37：“一键通”报警救援平台

一、技术来源

技术来源单位：浙江之江智能交通科技有限公司、浙江高信技术股份有限公司

联系人及方式：宋晓鹏，18717873728；郭冠群，15325819269

二、技术简介

（一）技术要点

本技术涵盖了五大核心模块，如图 1 所示。在这一体系中，灾害事件报警模块、交通态势研判模块、AI 一键告警模块构成了主要报警联动流程：

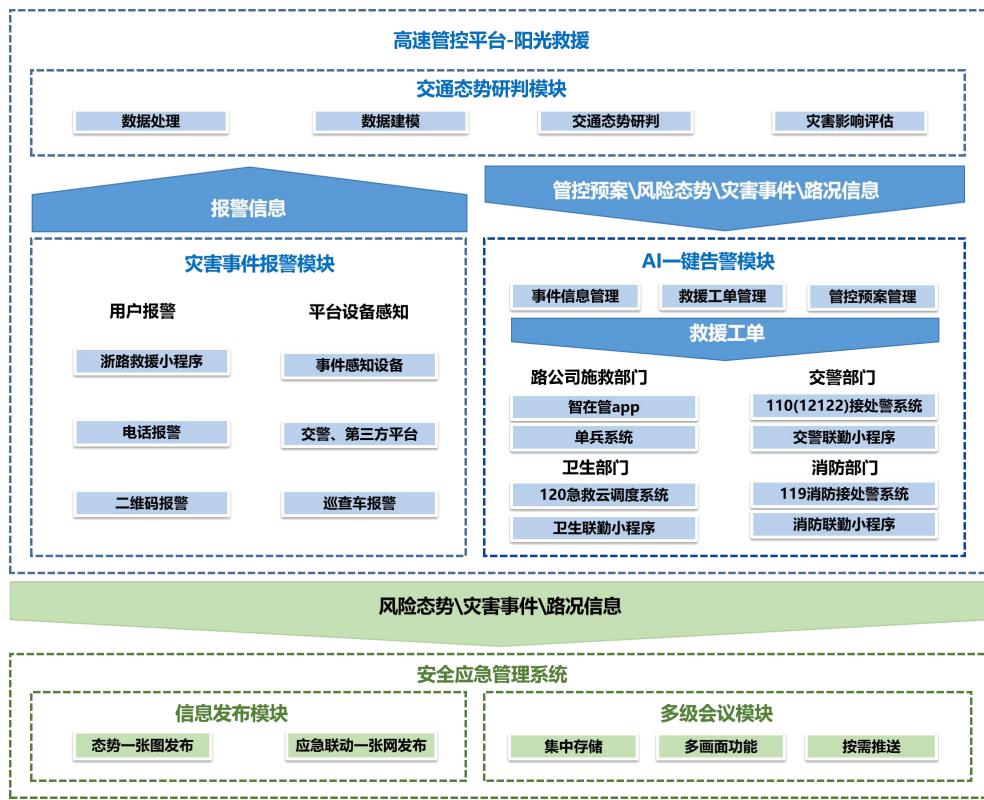


图 1 整体技术框架图

（1）灾害事件报警模块：汇聚多渠道报警信号，包括小程序一键报警、物联设备监测和巡查发现等。

（2）交通态势研判模块：深度挖掘数据，精准输出灾害类型、路况及风险态势，制定管控策略。

（3）一键告警模块：管理报警信息和救援工单，迅速传达至应急部门，实现快速响应。

在主要报警联动流程之外，为联勤部门提供了 PC 端信息共享平台，包括信息实时发布推送模块以及多级会议功能模块，提供全面直观的信息展示和便捷高效的会议沟通平台，以进一步提升应急响应的协同性和整体效率。

(二) 系统功能

1.灾害事件报警模块

通过物联网平台统一接入前端物联感知设备、一键报警小程序接口和平台相关报警信息。建立一个跨部门、跨行业“一键报警、通达各方”的报警平台，且报警信息共享触达时间不超过 30 秒。

2.交通态势研判模块

对基础数据、实时采集数据进行清洗和标准化处理，基于多维度数据源，建立基础路网结构与环境类、交通状态分析类、事件事故风险类、风险评估与研判类等综合研判模型，重点对交通态势进行研判预警和灾害影响的评估预测。根据风险研判结果，自动匹配预警级别，并提出针对性的风险应对措施。

3.一键告警模块

根据风险研判结果，及时发布风险预警信息，建立交通态势一张图和应急联动一张网，实现对交通实时路况、气象灾害、灾害预警、交通异常事件等的整体动态和可视化展现，并做到实时信息多方共享。

4.信息实时发布推送模块

融合高速公路营运管理公司、交警、消防、卫健一路多方施救力量，免去拨打 119、110、120 等报警电话环节，实现多跨“一键通”功能；可实时在线可视化共享施救资源、人员信息、车辆位置和行车轨迹等信息，做到实时信息多方共享。

5.多级会议模块

系统支持 1、2、4、9、16、20、25 等多种灵活的画面组合模式；会议可按需推送给对应成员，调度成员可以和主席进行点对点会议。会议支持主席、通道分权点播功能，并支持设置点播区域、点播权限、点播时间以及点播次数。

(三) 系统构成

系统通过救援平台（“一键通”报警救援平台）、施救端 APP（“智在管”APP）、联勤端小程序（“浙路联”小程序）、一键报警小程序（“浙路救援”小程序）多端联动的方式，完成高速事件从报警、派单管理到救援处置的处理过程。其中一键

报警小程序为社会用户提供一键报警功能,救援平台实现对事件的确认以及救援力量的统一管理和调度,施救端APP为路公司施救人员提供移动端信息联动,联勤端小程序为联勤部门人员提供移动端信息联动。整体构成如图2所示。



图 2 系统构成

(四) 技术指标

(1) 多渠道报警信息接入能力: 能接入物联感知设备报警; 能接入一键报警小程序报警; 能接入公路公司内部巡检报警; 能接入高速公路服务电话、收费员内线电话和其他报警电话、二维码等多种报警方式; 能够接收交警以及消防部门、公路公司、气象部门、省监控中心等第三方平台转接警。

(2) 报警信息共享速度: 报警信息共享秒级触达, 确保信息的时效性。

(3) 交通态势研判: 支持多维度数据源的综合分析; 能准确判断交通态势, 预警交通流、气象灾害、交通事件等风险, 并自动匹配预警级别。

(4) 风险预警发布能力: 能根据风险研判结果及时发布风险预警信息; 建立交通态势一张图和应急联动一张网, 实现整体动态和可视化展现。

(5) 多跨“一键通”功能: 通过多种途径实现与高速公路营运管理公司、交警、消防、卫健等多方施救力量的端到端联调, 包括 119 消防接处警系统打通、120 急救云调度系统打通、110 (12122) 接处警系统打通、路公司“智在管”APP 与单兵系统触达、联勤端“浙路联”小程序触达。

(6) 信息共享内容全面性: 共享信息包含灾害事件基本情况、事件类型、级别、阻断原因、现场情况、处置措施、施救进度、恢复 (抢通) 情况等。

(7) 多级会议模块技术指标: 支持多种画面组合, 按需推送会议, 具备点

播、分权管理、集中存储等功能，确保会议高效可追溯。

（五）预期效果

“一键通”报警救援平台通过集成灾害事件报警、交通态势研判、一键告警、信息实时发布推送及多级会议等核心模块，预期将构建一个快速响应、全面协同、信息共享的智能应急管理体系，实现灾害事件秒级报警、精准研判、多方联动、实时信息共享及高效会议沟通，显著提升应急管理和救援行动的效能，为公众安全保驾护航。

三、实施方案

（一）应用场景

“一键通”报警救援平台作为浙江省高速公路车辆救援服务的统一平台，已经在浙江交投集团内完成全覆盖，并在浙江省内完成 12 家高速公路运营公司的系统部署，预计 2024 年底将实现全省 30 家运营公司、5510 公里高速道路及 11 个地市高速交警救援数据的全覆盖。该平台依托于先进的 spring cloud 微服务架构和云计算、大数据分析技术，不仅实现了高速交警、消防、卫健三大系统的秒级联动，还依托平台对接、小程序、APP 等构建了全方位的信息共享与联动处置网络。

在实际应用中，“一键通”报警救援平台通过物联网技术实时汇聚高速公路全线的设备状态、交通事件、气象信息、应急资源及交通路况等多源数据，形成了直观的高速公路交通态势“一张图”和“应急联动一张网”。这一创新模式极大地提升了全省范围内的信息共享效率与事件联动处置能力。

（二）布设方案

由于本系统实施涵盖多源数据融合以及算法模型开发等实施内容，为保证系统建设安全性、服务器等资源调配灵活性，建议采用超融合架构，部署一套云平台软件，实现对资源的统一管理。以一个路段造价为例，总计需安装 10 台超融合服务器，负责数据采集存储、业务应用、移动端应用以及融合通信功能的部署实施。本项目由外网出口与小程序、App 进行数据交互。在互联网接入区配有绿盟 WAP、互联网监控网防火墙、互联网接入前置机等安全设备。

（三）施工要求

本试点项目提出的技术方案不涉及外场设备施工，严格遵循有关法律法规要

求进行，无其他特殊要求。

四、应用效果

（一）实施效果

本次试点项目以“一键通”报警救援平台为核心，围绕提升高速公路应急救援效率、保证道路畅通、提高用户满意度及减少经济损失等目标，进行了深入的应用示范与验证。具体实现内容与效果如下：

1.既有系统实施情况

自“一键通”报警救援平台在浙江交投集团内外广泛应用以来，其“一键通”紧急报警功能在实际运营中发挥了显著作用。为验证该功能的实际应用成效，项目团队从业务操作系统中提取了2024年10月1日至11月21日的实际运营数据。数据显示，平台共接入各类报警事件37514起，涵盖交通事故、交通灾害、交通气象、重大事件及车辆故障等多个类别。这些报警事件通过多渠道来源（如小程序、交警平台及路侧设备AI感知）实时接入救援平台，有效提升了信息获取与传递的效率。

在救援响应方面，平台根据事件影响评估，精准调度交警、公路公司业主及消防等部门。数据显示，需路公司业主到场的事件达15007起，需交警到场的事件为3049起，均能在较短时间内得到有效响应。此外，平台还实现了与119消防接处警系统、120急救云调度系统的无缝对接，进一步提升了跨部门联动的效率。

2.灾害事件功能测试

鉴于灾害事件的稀有性，项目团队采用了模拟灾害事件的方法进行系统测试。在上三示范路段构建的封闭测试环境中，通过模拟灾害事件场景，对“一键报警”、路网运行风险智能研判、信息实时发布与推送、AI辅助一键告警以及多级会议协调等五大核心功能模块进行了全面检测。测试结果表明，各功能模块均能在模拟灾害事件中有效运行，展现出高度的可靠性与稳定性。

3.第三方测试验证

为确保功能测试验证的公正性和严谨性，项目邀请了具有检测资质的第三方机构对系统功能进行科学评测。评测内容包括用户端一键报警功能、救援平台报警信息获取、事件创建和派发管理、施救端救援工单处置、联勤端联动救援、路

网运行风险研判及信息实时发布以及跨部门多级会议等。第三方检测报告确认，系统各项技术指标均满足预期目标要求，进一步验证了“一键通”报警救援平台的实际应用效果。

（二）示范效应

“一键通”报警救援平台的应用显著提升了高速公路应急救援的效率与质量。通过信息直通与施救直联机制，救援到场时间平均缩短至 8.4 分钟，二次事故发生率减少 16.7%，主线交通管制时长及收费站交通管制时长均有所下降。同时，平台还推动了跨部门、跨区域的联动协作，实现了资源共享与优势互补。在经济效益方面，平台的应用有效降低了因交通事故和灾害导致的经济损失，为高速公路的安全运营提供了有力保障。

本方案具备显著的实际使用价值，具有可复制推广的示范效应，具体体现在以下几个方面：

1.高效部署与无缝集成

凭借“一键通”报警救援平台的模块化设计精髓及与广泛物联网感知设备的接入支持，能迅速完成部署与集成流程，显著缩短项目启动周期，确保系统即刻上线，为用户提供及时且高效的服务体验。

2.全面兼容与灵活扩展

“一键通”报警救援平台集成了“浙路救援”小程序、高速服务热线、二维码报警等多元化报警渠道，让用户能根据实际情况选择最便捷的求助方式，极大提升了系统的普及性和易用性。此外，平台已成功对接消防、交警、公路管理公司及卫生健康等多个关键部门，通过平台对接、APP、小程序等多种通信手段，实现信息的即时共享与跨部门协同作业，展现出卓越的兼容性和扩展潜力。

3.卓越稳定与广泛适用

历经多年精心打磨与持续优化，“一键通”报警救援平台已构建起坚实稳定的系统基石，能够应对各类复杂应急管理与服务挑战。依托丰富的实战经验积累，平台不仅覆盖了交通事故、灾害等事件，还可精准满足不同路段与特殊场景的个性化需求。在浙江省交通投资集团以及浙江其他多家公路管理公司成功推广，彰显了其卓越的稳定性与广泛的适用性。