DOI：10.13439/j.cnki.itsc.2026.10.005

G527义乌段高地联动智慧管控实践探索

陈俊杰[1]，张冶芳[2]，娄刃[2]，金波[2]
（1.义乌市公路与运输管理中心，浙江 义乌 321000；2.浙江省交通运输科学研究院，浙江 杭州 310023）

摘要：针对国省道与高速公路管理分割、数据壁垒突出、跨路网协同不足、应急响应滞后等行业共性问题，本文以G527义乌段高地联动数字化转型项目为依托，基于省级“交通大脑”数据枢纽与行业数据底座构建跨部门、跨路网的协同管控体系。通过分层数据共享、智能协同管控、统一信息发布、隧道全息感知、空地立体巡查、市域综合管控平台搭建等关键技术与机制建设，实现高速、国省道、公安交警三方高效联动。工程运行数据表明，隧道异常事件平均联动响应时长缩短至7.3s，高峰时段通行效率提升15%，隧道事故数量下降46%，超额完成既定建设目标。项目形成了可复制推广的国省道—高速公路高地联动智慧管控模式，可为干线公路数字化转型提供实践参考。

关键词：数字化转型；高地联动；路警协同；数据共享；智慧管控

0 引言

G527义乌段（G60上溪互通至G1512义乌东互通）全长35km，为一级公路，双向六车道，设计速度80km/h，设黄山隧道1座（上行985m、下行1107m），是义乌市物资集散与通勤核心通道，与G60沪昆高速、G1512甬金高速形成4处互通节点，路网关联性极强。路段日均交通量超10万辆，货车占比35%，年交通事故约300起，安全与保畅压力大。

长期以来，高速公路、国省道、公安交警分属不同的管理主体，网络独立、数据隔离、机制分散，导致跨路网协同效率低、应急处置滞后。2024年12月，G527义乌段高地联动数字化转型项目列入《浙江省公路基础设施数字化转型升级隧道智慧化运行管控提升项目（智慧隧道）总体建设方案》实施范围，明确建设目标为隧道内异常事件发现后联动响应10s以内，高地协同路段大流量高峰期综合通行效率提升10%。本文依托省级“交通大脑”数据枢纽，构建“数据互通—智能研判—协同处置—效果评估”全链条高地联动体系，为破解路网分割治理难题提供工程实践方案。

1 运行现状及核心问题

1.1 路段交通特征

G527义乌段与G60、G1512共设4处互通，自西向东分别为G60上溪互通、G1512义亭互通、G1512徐村互通、G1512义乌东互通，承担区域货运集散与城市快速通行的双重功能。黄山隧道高峰小时流量超过2000pcu/(h · ln)，常年处于过饱和运行状态。受大流量、高货车比例影响，隧道剐蹭、故障、缓行等事件频发，单起事件平均拥堵持续时长超过25min，严重影响路网运行效率。为提高通行保障能力，义乌市公路与运输管理中心在隧道西侧建成监控中心，实行24h人工值守，并与公安交警、交通执法部门建立人工联动机制，以提升隧道突发事件处置效率。

1.2 主要痛点问题

1.2.1 管理体制分割，协同机制缺失

高速公路、国省道、公安交警分别独立值守、各自建设监控指挥体系，各平台间无自动化联动链路。高速公路发布临时管控措施时，国省道运维单位与属地交警缺乏系统化协同流程，无法实时获知管控信息，仅依靠电话临时沟通，信息传递效率低。

1.2.2 数据壁垒严重，共享难度大

高速公路、国省道、公安交警等各单位采用独立专用网络与业务系统，且数据安全管控严格，缺乏标准化互通渠道，跨主体数据共享难以落地。

1.2.3 自动检测缺失，应急响应滞后

G527黄山隧道未建设完善的自动检测系统，事件发现主要依赖人工巡查，存在发现晚、传递慢、处置散等问题，无法满足秒级响应需求。

1.2.4 信息发布分散，诱导效果差

沿线情报板分属4家单位，各自负责辖区内的情报板信息发布，各单位间未建立统一发布规则。出现需高速与地方联动管控的事件时，情报板资源无法统筹，信息冲突、滞后现象较为常见，公众诱导效率低。

2 总体技术方案

2.1 总体架构

项目以“省级平台中转+属地协同联动”为核心，构建“1枢纽+2通道+3体系+N应用”总体架构。

其中，“1枢纽”即省级交通大脑数据枢纽；“2通道”即高

中国知网 https://www.cnki.net

速—国省道数据通道、公路—交警数据通道；“3体系”即数据共享体系、智能管控体系、信息发布体系；“N应用”即隧道全息感知、空地巡查、预案推演、信号联调、导航推送等。

2.2 分层数据共享方案

结合各方数据安全管控要求，项目制定两类差异化数据互通路径，从源头破除数据壁垒。

一是高速公路与G527国道数据交互。依托浙江省交通运输厅“交通大脑”数据枢纽、浙江省智慧高速数据运营联合会数据底座，实现高地路网间数据安全中转共享。省级官方数据底座为可信数据基础设施，高速原有数据上传链路无需改造。国省道首次接入省级数据枢纽完成跨网交互，消除各方对网络安全风险的顾虑。

二是G527公路监控中心与交警指挥中心数据交互。采用“专用专线+远程授权账号”模式，实现G527路段运行数据向义乌市交警指挥中心实时定向共享。数据交互流程如图1所示。

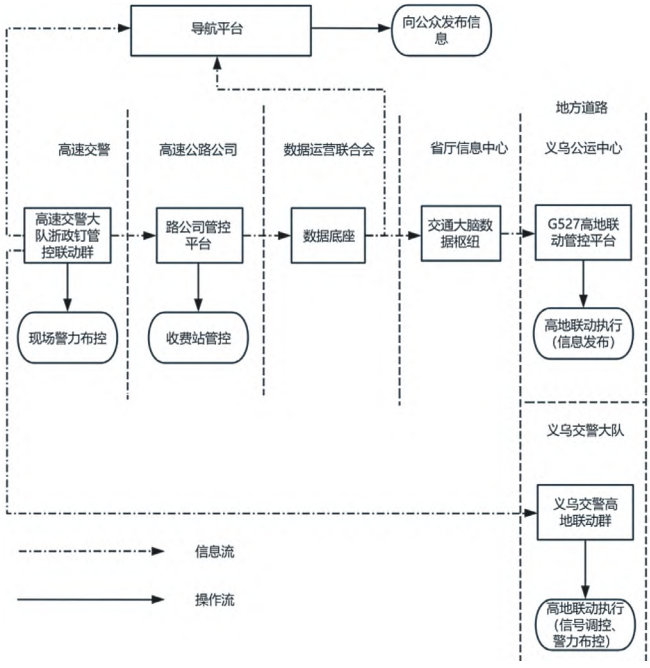


图1 高地联动数据流程

数据交互严格遵循最小必要原则，仅采集业务必需数据，涵盖收费站运行状态、路网管控信息、高速主线运行状态三类数据；对数据时效进行分类，低时效性数据采用次日批量传输，降低省级平台传输负载。共享数据内容如表1所示。

2.3 数据驱动的智能协同管控策略

建立“交通态势研判—策略匹配—协同处置—效果评估”闭环机制，以全域感知数据为基础，构建交通态势智能研判体系与标准化管控策略库。系统依据路段交通流、交通事件、道路环境感知数据自动开展态势分析，按策略库智能匹配最优管控方案；

表1 共享数据内容

数据名称	数据范围	数据时效
收费站出入口开放数量	望道、上溪、鞋塘、傅村、义亭、佛堂、徐村、义乌东、东阳收费站	状态变化实时推送
出口车型流量数据	望道、上溪、鞋塘、傅村、义亭、佛堂、徐村、义乌东、东阳收费站	次日批量推送
出入口拥堵情况	望道、上溪、鞋塘、傅村、义亭、佛堂、徐村、义乌东、东阳收费站	实时推送
收费站限流、分流管控信息	望道、上溪、鞋塘、傅村、义亭、佛堂、徐村、义乌东、东阳收费站	实时推送
徐村至义乌东双向事件信息	G1512徐村至义乌东双向主线	实时推送

经管理人员核验后，通过沿线情报板、道路广播、互联网导航平台进行多渠道信息发布，同步联动公安交警、路政、应急救援、相邻高速运营单位协同处置。

充分依托交警与导航平台成熟合作渠道，由公安交警通过平台专属端口面向社会公众推送实时路况，提升公众出行服务水平。系统运行全过程开展管控效果动态评估，根据路网实际运行反馈实时优化管控方案，迭代更新应急预案与管控策略库，形成闭环优化机制。管控策略流程如图2所示。

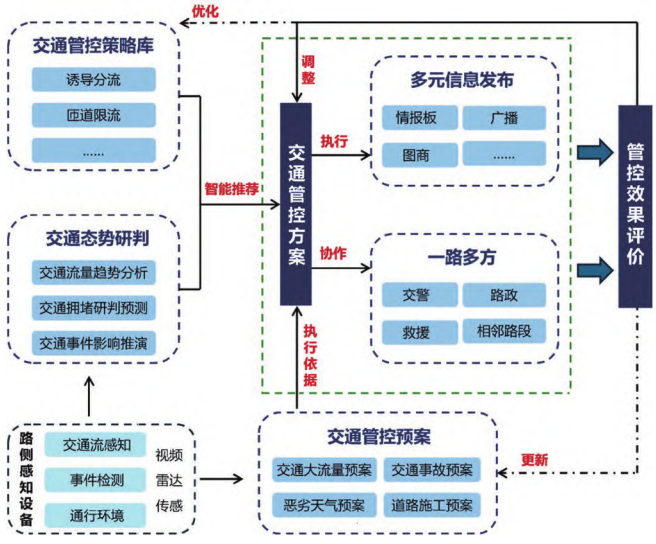


图2 管控策略流程

2.4 跨路网信息协同发布规则

项目沿线情报板分属公路管理、公安交警、两条高速运营单位共4家主体，为此制定统一协同发布规则。各单位负责自有产权设施信息的审核与发布；跨路网协同信息由发起单位推送至协同方，审核通过后发布。

2.4.1 总体原则

遵循以下总体原则：安全优先、统一指挥；准确规范、及时高效；高地联动、资源互通；属地负责、产权兜底。

2.4.2 信息分级分类

1）紧急类信息：交通事故、火灾、边坡塌方、道路中断、危

中国知网 https://www.cnki.net

化品泄漏、恶劣天气、隧道封闭管控等。

2）管控类信息：高速限流分流、收费站关闭、车道封闭、限速调整、施工占道等。

3）路况类信息：拥堵预警、事故易发提示、隧道通行提示等。

4）常规类信息：交通安全宣传、公益出行提示等非紧急信息。

2.4.3 发布优先级

紧急类＞管控类＞路况类＞常规类。紧急信息具有优先抢占发布权，事件处置完毕后恢复常规信息。

2.4.4 重点联动应用场景

1）收费站入口关闭、限流：G60监控中心、G1512监控中心负责将具体收费站信息发送至G527监控中心、交警指挥中心，由G527监控中心、交警指挥中心发布沿线情报板信息，引导司乘人员至就近收费站驶入高速。

2）高速拥堵出口分流：G60监控中心、G1512监控中心负责将具体分流信息发送至G527监控中心、交警指挥中心，由G527监控中心、交警指挥中心协同发布分流提示，交警指挥中心加强沿线现场警力布置，优化沿途交通信号灯配时，强化分流指挥与疏导。

3）地面拥堵或黄山隧道突发事件：以G527监控中心、交警指挥中心为主，发布G527沿线情报板的管控、限速、绕行信息；若需要高速公路协助疏导，由G527监控中心联系G60监控中心、G1512监控中心予以协助。

4）恶劣天气：气象预警同步推送至各联动方，全路段情报板统一发布预警。

5）施工占道：施工信息提前24h协同报备，预判影响路段，统一发布施工提示。

3 关键实施内容

围绕高地协同总体技术方案，结合智慧扩容、安全增效建设导向，紧扣隧道秒级应急联动、路网通行能力提升两大核心绩效指标，项目实施了多项数字化工程建设内容，实现全链条智慧管控升级。

3.1 隧道全域全息感知系统建设

在黄山隧道内部署全息感知系统，布设AI视频检测器、毫米波雷达、环境监测设备，采用数字孪生建模技术构建隧道环境与行驶车辆数字化模型，实现车辆轨迹全程精准感知，达成隧道全时段、全范围数字化管控，支撑重点车辆监管、隧道安全运维与事件智能识别。

3.2 交通事件秒级智能检测

围绕隧道异常事件10s内联动响应指标，基于视频AI智能识别技术优化出入口检测设备，增设隧道车辆滞留、违停、缓行、拥堵等检测模块，开发隧道入口智能管控系统，优化AI识别算法，建立事件全过程回溯机制，缩短事件源头识别时长。事件识别准确率不低于98%，响应时延不超过1s。

3.3 空地一体化立体应急巡查

针对路段大流量、事件频发特点，在隧道西侧布设无人机机巢，利用无人机开展空中巡逻、险情预警、事故快处作业，打造“3min飞控处置圈”，实现自动巡航、实时回传，构建“地面值守+空中巡查”空地联动闭环应急处置体系，提升现场快速处置能力。

3.4 市域级综合管控平台建设

基于扁平化、可扩展系统架构，统一物联网接入标准、数据交互标准、跨部门联动流程，建成集态势监测、高地联动、隧道管控、应急指挥、信息发布于一体的义乌市数字公路综合管控平台，实现“一屏统览、一键联动、一网统管”，推动交通治理由单点独立管控向区域全域协同转变，为后续市域路网数字化推广奠定架构基础。义乌市域级综合管控平台界面如图3所示。

3.5 跨部门一路多方长效机制



图3 义乌市数字公路综合管控平台界面

中国知网 https://www.cnki.net



图4 高地联动预案推演界面

基于该平台，建立集公路、交警、高速运营、交通执法等跨部门、跨层级的一路多方协同机制，明确职责、流程与标准，打通省级数据平台、属地交警、高速运营、国省道运维单位联动链路，形成数据互通、权责清晰、调度协同、资源共享的长效机制，在数据交互、应急协同、路口信号联调等方面实现突破。高地联动预案推演界面如图4所示。

4 工程应用成效

4.1 应急响应能力大幅提升

根据2026年2—3月黄山隧道运行监测数据，事件联动响应时长统计如表2所示。

表2 黄山隧道事件联动响应情况（单位：s）

指标说明	平均值	最大值	最小值
事件发现至联动响应用时	7.3	9	5

监测数据表明，隧道事件平均响应时长7.3s，优于10s以内的考核指标，实现科技赋能下的精准快速管控。本项目与传统模式的响应指标对比如表3所示。

表3 隧道事件响应指标对比

指标说明	传统模式	本项目	提升效果
平均响应时间	90s	7.3s	92%
事件识别准确率	75%	98%	23%
平均处置时长	42min	18min	57%

4.2 路网通行效率显著提高

项目针对不同管控场景预设发布内容，形成“一键发布”信息流程。紧急事件发生后，依托G527黄山隧道综合管控平台，实现3min内完成情报板资源统筹与发布内容拟定，5min内完成信息发布并反馈执行情况。交警指挥中心全程监督，确保指令执行准确合理。事件处置完毕后，统一下达撤销指令，恢复常态信息，避免误导司乘人员。

根据《黄山隧道智慧化管控平台交通运行数据统计报表》，以改造前2025年2—3月作为基准期，统计2026年2—3月高峰时段运行数据。早高峰（7：00—9：00）平均车流量由7333辆增至9441辆，增幅28.75%；晚高峰（16：00—18：00）平均车流量由8405辆增至9000辆，增幅7.08%。同期，早高峰区间平均车速由60.7km/h降至57km/h，晚高峰由50.9km/h升至52km/h。以“流量×速度”表征单位时间通行效率，早、晚高峰分别提升20.9%和9.4%，整体通行效率提升15%，超额完成预设的10%建设目标。高峰时段通行流量与速度变化分别如表4、表5所示。

表4 高峰时段通行流量对比

时间段	通行方向	平均车流量Q2（辆）	基准期流量Q1（辆）	增幅
7：00—9：00	义乌方向	9441	7333	28.75%
16：00—18：00	义乌方向	9000	8405	7.08%

表5 高峰时段通行速度对比

时间段	通行方向	平均车速V2（km/h）	基准期车速V1（km/h）	变化幅度
7：00—9：00	义乌方向	57.0	60.7	下降6.10%
16：00—18：00	义乌方向	52.0	50.9	增长2.16%

4.3 安全运行水平持续改善

在安全运行水平方面，根据《义乌市黄山隧道管理所交通事件记录台账》，以改造前2025年2—3月作为基准期，2026年2月隧道事故数量由4起降至1起，降幅75%；3月由46起降至26起，降幅43%；两月合计由50起降至27起，综合下降46%，通行安全性显著提升。改造前后事故变化如表6所示。

4.4 公众出行服务优化升级

项目坚持以公众出行需求为核心，将提升公众出行的获得

中国知网 https://www.cnki.net

表6 交通事故统计对比

时间	通行方向	事故数量（起）	基准期事故数量（起）	下降幅度
2026年2月	义乌方向	1	4	75%
2026年3月	义乌方向	26	46	43%
	合计	27	50	46%

感、幸福感融入协同联动全过程。

本项目充分利用义乌市公安局交通警察大队指挥中心在高德地图实时发布路况的专属接口优势，实时向移动端推送路网动态信息，第一时间将路况信息触达至车端。针对G527义乌段的特殊路况，重点围绕黄山隧道行车安全、义乌东收费广场拥堵两大痛点开展精准诱导；在高速出口分流、入口管控时，交警迅速优化地面信号灯绿波配时，实现车流快速集散，有效缓解节点拥堵，提升出行体验。

4.5 长效运行机制保障持续迭代优化

本项目由义乌市公路与运输管理中心牵头统筹，工程完工后建立多方常态化复盘机制，每年组织各联动单位开展业务研讨，结合路网运行新特征持续优化协同流程与管控策略，使管控服务持续贴合实际交通运行需求。

5 结束语

本文以G527义乌段高地联动数字化转型工程为实例，针对国省道与高速路网割裂、路警数据壁垒、隧道应急响应慢、高峰拥堵突出等痛点，依托浙江省交通运输厅“交通大脑”数据枢纽与智慧高速数据运营联合会数据底座，构建高速—国省道—公安交警一体化智慧管控体系，实现数据共享、协同管控、统一信息发布的运行机制。

工程实践表明，隧道事件平均响应时长7.3s、高峰通行效率提升15%、隧道事故数量下降46%，已达成“隧道内异常事件发现后联动响应10s以内、高地协同路段大流量高峰期综合通行效率提升10%”的建设目标。该模式有效破除了管理体制与数据安全壁垒，实现了交通管控由被动应对向主动预判、由分散管理向全域协同、由传统运维向智慧服务的转型，具备完善的运行体系与长效保障机制，可为国内同类城市周边国省道、隧道智慧化及高地联动改造工程提供参考借鉴。

未来可进一步拓展车路协同、自动驾驶、全域仿真等技术应用，推动路网管控向更智能、更高效、更安全的方向发展。

责任编辑：郑阳

（上接第39页）

入口，“人工智能+交通运输”行动则为复杂收费业务的智能处理提供了技术与政策条件。两者结合，为建立AITC体系提供了现实基础。

本文提出的AITC不是MTC、ETC之后的另一种单一收费制式，也不是用手机替代OBU或由算法决定通行费，而是以移动应用为入口、AI可信引擎为中枢、现有联网收费系统为底座，将身份、路径、结算、异常、稽核和服务连接为可解释、可复核、可审计的业务闭环。其开创性不在于发明新的支付工具，而在于形成面向多入口、多证据和多风险状态的收费体系新范式。

AITC应遵循渐进实施原则：近期以“手机+”人工车道为首要场景，验证无卡通行和移动服务闭环；中期推进部省平台互联和AI可信引擎建设；远期在标准统一、规则成熟和风险可控的条件下，形成全国一体化智能融合收费服务。实施过程中必须坚持AI辅助、规则决策、人工兜底和用户可申诉，最终实现前端便捷通行、后台可信结算、异常分级处置、全程安全可控。

参考文献

[1] 交通运输部,国家发展改革委,工业和信息化部,等.关于“人工智能+交通运输”的实施意见:交科技发〔2025〕92号[EB/OL].2025-09-22.https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/kjs/202509/t20250925_4177256.html

[2] 交通运输部.2026年4月例行新闻发布会：“手机+”无卡便捷通行及“e路畅通”服务入口[EB/OL].2026-04-24.https://www.mot.gov.cn/xinwen/xinwenfabuhui/202604/t20260424_4204258.html

[3] 交通运输部.关于促进高速公路应用联网电子不停车收费技术的若干意见[EB/OL].2010-12-08.https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/glj/202006/t20200623_3312895.html

责任编辑：孙婧

中国知网 https://www.cnki.net