

高速公路施工阶段交通组织优化与安全管控研究

王 丹

云南云岭高速公路交通科技有限公司 云南 昆明 650000

【摘 要】：在高速公路工程建设全过程中，施工期交通组织规划与安全风险管控，是保障项目平稳推进、减少占道施工对区域路网干扰、规避各类安全生产事故的核心环节。国内高速建设重心逐步向西南高原山区延伸，受复杂地形、脆弱地质及多变气候影响，山区高速施工条件恶劣、现场管控难度显著增大，传统粗放式管理模式已难以适配当下工程建设高标准要求。本文以云南高速公路为研究载体，结合区域工程高墩桥梁密集、长大隧道占比高、桥隧构造物占线率大的突出特征，系统梳理施工期交通疏导与安全管控的国内外研究现状及主流智能化技术体系；剖析现阶段现场管理存在的突出短板与深层成因，制定针对性优化整改路径。通过探究 BIM、物联网大数据、交通仿真等数字化技术的融合应用成效，结合行业现有研究成果与山区工程实际案例，可为云南及国内同类型山区高速公路实现施工管控科学化、运维管理精细化提供理论依据与实践参考。

【关键词】：高速公路；施工周期；交通组织优化；安全风险管控；BIM 数字化技术

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.034

1 引言

高速公路作为区域综合交通网络的核心骨架，在完善路网布局、缩短城际通行时长、助推城乡经济协同发展方面发挥着不可替代的支撑作用。近年国内公路基建投资持续加大，路网覆盖范围不断拓展，云南省依托区位与政策红利加速高速路网布局，山区高速公路建设进程持续提速。

从官方交通统计数据来看，2021 年末云南省高速公路通车里程已达 9947.07km，同年路网总规模突破万公里大关，位列全国省级路网通车里程第二。依据云南省综合交通“十四五”发展规划布局，全省计划 2025 年实现高速通车里程稳步攀升，构建覆盖全域、干支联动的现代化高速路网体系。

云南全域地处云贵高原腹地，地形起伏剧烈、地质构造错综复杂，断层破碎带、岩溶发育区、滑坡及崩塌等不良地质广泛分布。辖区内山区高速普遍具有建设周期长、施工点位分散、工序工艺复杂、区域过境交通流量大等特征，多数线路桥隧占比维持较高水平，高墩大跨桥梁、深埋特长隧道密集布设，施工地质风险、技术难度及安全管控压力远高于平原地区。

若施工期间交通组织规划不合理、疏导方案滞后，极易引发路段车辆拥堵、通行效率下降，进而诱发道路交通事故、延误施工工期、降低工程建设质量，衍生各类安全隐患。基于此，本文立足云南高速工程实际，整合现有学术研究与实践经验，从施工期交通组织优化、现场安全管控两大维度展开系统分析，可为同类山区公路工程现场管理提供参考借鉴。

2 高速公路施工阶段交通组织优化及安全管控关键技术

受云南高速地形起伏大、地质条件脆弱、桥隧构造物密集、临山临崖危险路段多等客观条件制约，传统人工巡查、经验式管控模式存在明显局限性。当前工程领域多采用 BIM 技术、物联网大数据、交通仿真三类智能化技术协同赋能，从三维可

视化建模、交通动态数据采集、施工方案仿真验算三个维度，搭建适配山区工况的交通疏导与安全管控一体化体系，全面提升现场管理的精细化与智能化水平。

2.1 BIM 技术的应用

BIM 建筑信息模型作为新一代数字化建模技术，适配云南山区复杂多变的施工环境，是实现施工期交通统筹、安全标准化管理的核心支撑工具，可实现工程全周期可视化模拟、精细化管控与智能化调度。在交通组织规划层面，依托 BIM 平台构建全线实景三维数字模型，结合山地地形地貌特征合理划分施工分区，科学规划临时施工便道、构件预制场及物料堆放场地布局。通过模拟不同施工阶段车流分布特征，预判车流波动规律，动态调整绕行路线与临时道路布设方案，有效规避山区道路弯多坡陡、视线盲区大带来的车流疏导难题，整体提升施工路段车辆通行效率与通行安全性。

2.2 物联网与大数据技术的应用

物联网传感与大数据分析技术侧重现场动态信息采集、存储与智能分析，有效弥补山区高速人工监测覆盖面有限、数据滞后性强的短板，为交通方案动态调整、安全隐患提前预警提供可靠数据支撑。将物联网大数据与 BIM 模型深度融合，构建静态三维建模+动态实时监测的一体化管控模式。在施工沿线布设智能感知终端，全天候采集车辆行驶速度、排队长度、路网拥堵状态等交通基础数据；依托大数据算法构建车流预测模型，研判短时车流变化趋势，结合山区道路通行承载力动态调整管控策略，引导车辆错峰绕行、分批分流，有效缓解山区占道施工带来的路网通行压力。

2.3 交通仿真技术的应用

交通仿真依托计算机仿真算法模拟路网车流运行状态，主要用于施工前期交通组织方案比选与优化论证，为方案编制提供量化数据支撑。通过串联 BIM 三维模型与物联网实时监测

数据,形成事前仿真预判、事中动态监测、事后复盘优化的闭环管理机制。结合云南山区弯道密集、纵坡偏大、行车视线受限等工况特点,采用 VISSIM、CORSIM 等专业仿真软件,对不同交通管控方案下的车辆通行效率、拥堵延时长、车辆排队间距等指标进行模拟测算。

通过多方案量化对比,优选适配山区路况的临时绕行路径、交通警示标识布设点位及区间限速标准,弥补山区道路先天通行条件不足。针对高速与城市路网衔接段,利用仿真模型预判施工对城市路网的辐射影响,优化全域交通疏导方案;针对偏远山区施工路段,验算临时便道承载力与通行能力,规避路窄会车难引发的交通堵塞,保障施工与通行双向有序顺畅。

3 高速公路施工阶段交通组织优化与安全管控现存问题

3.1 交通组织优化现存问题

3.1.1 方案适配性不足,缺乏动态调整机制

部分工程项目直接套用通用化施工交通组织模板,未结合云南山区地形限制、桥隧构筑物密集、车流时空分布不均等地域特征开展个性化专项设计,存在临时便道布局不合理、施工作业面划分杂乱等问题,导致方案与现场实际工况脱节。同时未建立常态化动态调控机制,无法随施工工序推进、节假日车流波动、雨季路况变化实时优化管控策略,易引发山区路段长时间拥堵、车辆滞留等问题。

3.1.2 交通标识体系不完善,后期养护运维滞后

山区施工路段普遍存在警示标识规格不统一、安装位置偏移、版面视认性差等问题;受山区强风雨、落石遮挡、紫外线暴晒等自然因素影响,标识易出现破损褪色、板面遮挡等病害,且后期养护修补不及时,交通引导功能大幅弱化。此外夜间反光标识、太阳能警示设施布设数量不足,叠加山区夜间视线差、路况复杂的特点,大幅提升夜间行车事故发生概率。

3.1.3 跨部门联动协调机制不健全

施工期交通管控涉及建设单位、施工企业、交通管理、公安交警等多个主体,当前部分区域存在部门权责划分模糊、信息共享渠道不畅等问题。施工单位未能及时同步施工进度、作业面调整等关键信息,交警部门难以精准实施交通疏导与管制,多部门应急联动处置效率偏低,拥堵及突发事件处置周期偏长,难以满足山区高速突发交通事件快速管控需求。

3.2 安全管控现存问题

3.2.1 安全风险识别与评价体系不完善

云南山区不良地质分布范围广,部分工程安全隐患排查覆盖面不足,忽视地质形变位移、车流扰动、极端气象等隐蔽性风险因素。风险评估多依赖现场经验主观判断,缺少数字化监测手段与量化分析方法,对岩溶、滑坡等不良地质风险等级判

定精度不足,难以制定分级管控措施,易诱发边坡滑移、隧道局部坍塌等安全事故,造成人员伤亡与财产损失。

3.2.2 智能化技术普及应用程度偏低

目前 BIM、物联网等智能技术仅重点应用于重大控制性工程,大量中小型标段仍沿用传统人工管理模式。基层作业及管理人员专业素养参差不齐,对智能监测设备、数字化管控平台操作熟练度不足,监测数据利用率偏低,未能充分发挥智能技术的管控优势。部分施工单位为压缩建设成本,缩减安全设施与智能安防设备投入,现场管控智能化整体水平偏低。

3.2.3 安全制度落地弱化,应急处置能力偏弱

施工现场安全岗位职责划分模糊,安全例行检查流于形式,作业人员安全教育与技术交底不到位,违章操作、违规施工现象屡禁不止。同时山区地质灾害、突发交通事故易多发,但多数项目应急预案通用性强,未结合山区地形地质特点编制专项处置方案;应急演练频次不足,人员实战处置能力欠缺,突发事故发生后响应迟缓,易导致灾害影响范围扩大。

4 高速公路施工阶段交通组织优化与安全管控优化对策

4.1 优化交通组织方案,提升交通疏导效能

4.1.1 实行差异化施工布局与专项方案设计

施工前期开展全域精细化现场勘察,全面掌握区域地形地貌、地质条件、车流特征及施工工艺特点。结合云南山区桥隧密集、道路线形受限的实际情况,科学划分施工作业面,合理布设临时绕行便道,主动避让地质灾害隐患区段,平衡施工生产与社会通行需求。依托交通仿真软件开展方案预演验算,结合 BIM 模型优化场地与便道布局,杜绝直接套用通用方案,确保交通组织方案高度适配山区施工工况。

4.1.2 搭建交通管控动态调整体系

构建施工期交通智能动态监测平台,依托物联网感知终端实时采集车流速度、路网拥堵、路况变化等数据,结合施工工序推进节奏动态更新绕行路线、区间限速标准及交通管制时长。针对节假日、雨季等车流高峰与恶劣天气时段,提前预判拥堵风险并优化疏导方案,从源头规避山区道路车辆长时间滞留问题。

4.1.3 规范交通标识布设标准与常态化养护

严格遵循交通工程行业规范标准,结合山区弯道路段多、行车视线受限的特征,科学确定警示、限速、绕行标识的安装位置、布设高度及设置间距。建立标识常态化养护巡检制度,对破损、褪色、遮挡标识及时修复更换;增设高反光标识与太阳能警示灯具,强化夜间行车引导与警示效果,降低夜间交通事故发生率。

4.1.4 构建多部门协同联动管控模式

搭建建设、交通、交警三方信息共享与协同管控平台，明确各主体管理权责，实时同步施工进度、路况变动、管制要求等关键信息。建立突发拥堵与交通事故快速联动处置机制，实现多部门协同疏导、联合管控，大幅提升山区路段交通应急处置效率。

4.2 完善安全管控体系，筑牢安全生产防线

4.2.1 构建精细化风险识别与量化评估体系

结合云南山区地质特征扩大安全隐患排查范围，重点针对边坡防护、隧道洞室、高墩桥梁等关键点位开展全覆盖排查，全面识别地质灾害、设备故障、人为操作失误及车流干扰等各类安全风险。优化风险评价方法，采用定性与定量相结合的综合分析模式，整合 BIM 建模与地质监测数据，精准判定风险等级。在岩溶、滑坡等不良地质区段布设传感监测设备，实现地质形变实时预警，依据风险等级制定分级防控措施，提升安全管控精准度。

4.2.2 推进智能技术深度融合与全域应用

扩大数字化智能技术应用覆盖面，推广 BIM+物联网一体化监测管控平台，搭建山区高速智能化管理体系，实现施工全过程可视化监管、风险动态评估、隐患智能预警。结合山区高危施工需求，配齐智能安全帽、高清视频监控、无人机巡检等设备，对高空作业、隧道施工等关键工序实行全天候智能监测，替代传统人工巡查模式。常态化开展专业技能培训，提升管理人员与作业人员智能设备操作水平；加大安全专项资金投入，完善现场防护设施与智能监测系统，充分释放智能化管控效能。



图1 智能技术应用体系

4.2.3 压实安全管理制度，强化现场落地执行

健全安全生产责任体系，明确管理、施工、运维各岗位安

参考文献：

- [1] 范平.高速公路改扩建工程路面施工阶段交通组织研究[J].运输经理世界,2023,(09):42-44.
- [2] 高子翔.十车道高速公路改扩建交通组织方案研究[J].公路与汽运,2021,(05):45-48.
- [3] 阳经培.广东某机场连接线下穿高速公路建设方案研究[J].山西建筑,2021,47(15):136-138.
- [4] 邵长桥,张兴宇,罗凯,等.高速公路施工区通行能力研究综述[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2021,45(02):207-212.
- [5] 冯自星.高速公路改扩建工程交通组织设计方案研究[J].西部交通科技,2019,(08):153-155.

全职责，严格落实安全技术交底、定期隐患排查、问题闭环整改等制度。加大施工现场常态化巡查频次，及时排查并消除安全隐患。常态化开展安全知识培训与法规宣讲，普及山区高速施工安全规范，提升全员安全防护意识，从源头杜绝违章施工作业行为。

4.2.4 强化山区专项预案与应急处置能力

针对云南山区塌方、滑坡、强降雨等灾害多发特点，编制贴合现场工况的专项应急预案，明确应急组织架构、响应流程及处置措施，精准适配地质灾害、交通事故、设备故障等突发事件处置需求。借鉴区域已建高速灾害处置成熟经验，建立隐患排查、快速响应、专业抢险一体化机制，优化应急物资储备与救援调度流程。定期开展实景化应急演练，模拟山区各类突发事故场景，提升应急队伍实战处置能力，最大限度降低事故人员与财产损失。

5 结论

本文以云南高速公路为研究对象，围绕高桥隧比、复杂地质条件下施工交通组织与安全管控难点展开系统研究，得出以下结论：第一，山区高速公路施工管控受地形地质、路网布局、施工工艺及气候条件多重约束，BIM、物联网大数据、交通仿真三类智能技术具备互补协同优势，可从三维建模、动态监测、方案验算多维度重构管控模式，是提升山区高速施工管理质效的重要抓手。第二，当前云南高速施工普遍存在交通方案适配性弱、标识运维滞后、部门协同不足、风险评估精度偏低、智能技术应用浅层化等问题，核心短板集中表现为管控模式难以适配山区特殊工况。第三，需从差异化方案设计、标识标准化运维、跨部门协同联动、风险量化评估、智能技术推广、制度落地执行、专项应急建设等维度完善管控体系，制定贴合山区特征的精细化管控措施，有效降低施工交通干扰与安全事故风险。

相较于平原地区高速公路，云南高速施工环境更复杂、管控难度更大，需摒弃一刀切的通用管理模式，走地域化、差异化管控路径。深化数字化智能技术融合应用，可有效破解山区施工监测难度大、现场管控散乱、安全风险突出等痛点，依托全周期动态管控模式，为云南高速公路高质量建设与安全稳定运营提供坚实保障。