Traffic Organization Technology and Safety Risk Prevention and Control of Highway Reconstruction Project

Changpan Li

Chongqing Yihé Enterprise Management Consulting Co., Ltd., Chongqing, 400020, China

Abstract

To address the challenges of traffic disorder and safety risks in highway reconstruction projects operating under the "construction while traffic continues" model, this study systematically establishes a research framework encompassing "technical systems, scenario applications, prevention mechanisms, and empirical validation" based on traffic flow optimization and risk pre-control theories. Through case studies like the Yongtaiwen Expressway expansion, it analyzes phased traffic management strategies and 23 high-risk procedure control measures across five categories, quantitatively demonstrating key technological effects: The dynamic traffic diversion system increased construction zone efficiency by 28%, while the tiered protection system reduced road-related accident rates by 67%. Addressing issues such as inadequate standards and insufficient dynamic risk management, the study proposes a three-dimensional optimization plan of "standard refinement, technological upgrades, and management innovation," providing theoretical support and practical models for safe and efficient implementation of reconstruction projects in China's transportation infrastructure development.

Keywords

highway reconstruction and expansion; traffic organization; safety risk prevention and control; simultaneous operation and construction; graded protection

公路改扩建工程交通组织技术与安全风险防控

李常攀

重庆宜合企业管理咨询有限公司，中国·重庆 400020

摘　要

为破解公路改扩建工程“边通车边施工”模式下的交通秩序紊乱与安全风险叠加难题，本文基于交通流优化与风险预控理论，系统构建“技术体系 - 场景应用 - 防控机制 - 实证检验”的研究框架。结合甬台温高速改扩建等典型工程案例，解析分阶段交通组织技术路径与 5 大类 23 项高风险工序的防控措施，量化验证关键技术效果：动态交通导行系统使施工区通行效率提升 28%，分级防护体系使涉路事故率下降 67%。针对现行标准缺失、动态风险管控不足等问题，提出“标准完善 - 技术升级 - 管理创新”的三维优化方案，为交通强国建设中改扩建工程的安全高效实施提供理论支撑与实践范式。

关键词

公路改扩建；交通组织；安全风险防控；边通车边施工；分级防护

1 引言

中国公路基础设施已进入“建养并重、改扩建为主”的发展阶段。改扩建工程需在保障现有交通通行的前提下实施施工，形成“施工区与通行区交叉重叠、动态作业与固定车流交织”的复杂场景，安全风险显著高于新建工程。

本文采用“理论建构 - 技术解析 - 实证验证 - 优化展望”的研究逻辑，核心研究内容包括：构建分阶段交通组织技术体系，解析典型场景安全风险防控措施，量化验证关键技术效果，提出优化路径。

【作者简介】李常攀（1987–），男，中国重庆人，本科，副高级，从事建筑研究。

2 公路改扩建工程交通组织技术体系

2.1 技术体系总体架构

针对改扩建工程“施工进度动态变化、交通流量时空波动”的特征，构建“三层两维度”交通组织技术体系：“三层”即战略层（总体方案设计）、战术层（分阶段实施）、操作层（现场管控）；“两维度”即交通流导行维度与施工安全防护维度，二者通过动态反馈机制实现协同优化。

战略层聚焦总体方案设计，需结合路段功能定位、交通流量特征与施工工期制定规划，明确“保通优先、分幅实施、动态调整”的核心原则。战术层按施工进度划分为准备期、攻坚期、恢复期三个阶段，匹配差异化技术措施。操作层依托智能设备实现现场精准管控，包括交通引导、边界防护、动态预警等功能模块。

2.2 分阶段交通组织技术路径

2.2.1 准备期：基础管控技术

准备期核心任务是构建 “物理隔离 + 信息引导” 的基础管控体系。物理隔离采用 “刚性防护 + 柔性缓冲” 双重措施：主线施工区采用高度不低于 1.8 米的防撞护栏隔离，临时开口部设置可移动防护栏与警示标识，甬台温高速实践显示该措施使施工区侵入事故下降 53%。

信息引导系统由 “远端预警、中端提示、近端管控” 三级组成：远端通过可变情报板发布施工预告与绕行建议，中端设置限速标志与车道变道提示，近端部署 LED 警示灯与语音播报设备。该系统使驾驶员对施工区的认知距离从 300 米提升至 800 米，决策时间增加 1.2 秒。

2.2.2 攻坚期：动态导行技术

攻坚期面临 “多工序交叉作业、交通流剧烈波动” 的挑战，需采用动态交通导行技术。核心措施包括：

分幅交替施工导行：针对双向四车道改扩建为六车道的场景，采用 “先左幅施工再右幅施工” 模式，通过临时中央分隔带调整实现车流单向通行。京沪高速应用该技术后，施工期通行能力保持在原路段的 75% 以上。

动态车道管控：基于微波雷达实时监测交通流量，通过可变车道标志调整施工区车道数量。当流量超过 3000pcu/h 时，自动增加 1 条通行车道，使拥堵时长减少 41%。

智能绕行诱导：结合 GIS 与实时交通数据，构建动态绕行路径推荐系统。甬台温高速试点显示，该系统使绕行车辆平均行程时间缩短 23%，施工区流量削减 18%。

2.2.3 恢复期：衔接优化技术

恢复期重点解决 “施工区拆除与正常通行衔接” 的过渡问题。关键技术包括：渐变段车道平顺过渡设计，采用 1:20 的渐变率设置车道标线，避免车辆急变道引发事故；临时设施拆除分阶段实施，先拆除内侧防护再拆除外侧设施，同步启用永久性交通标志，确保交通流平稳过渡。

3 安全风险防控核心机制与技术措施

3.1 风险识别与分级体系

基于甬台温高速等工程实践，构建“工序 - 场景 - 风险”三维风险识别模型，识别出 5 大类 23 项高风险因素（表 1）：

表 1 公路改扩建工程高风险因素分级表

风险类别	典型风险因素	风险等级	影响范围
路基工程	路基拼宽扰动既有路基、台背脱空	一级	路基稳定性、通行安全
桥涵工程	盖梁施工坠落、桩基施工坍塌	一级	施工人员、通行车辆
隧道工程	爆破损伤既有结构、掌子面失稳	一级	隧道结构、周边车流
涉路作业	临时开口部车辆违规进出、行人闯入	二级	施工区边界安全
设备作业	塔吊变臂侵入限界、高耸设备倾覆	一级	全域施工区安全

3.2 关键工序风险防控技术

3.2.1 路基与桥涵工程防控

针对路基拼宽风险，采用 “分层碾压 + 实时监测” 技术：每层碾压后通过压实度传感器检测密实度，确保与既有路基衔接处压实度 ≥96%，甬台温高速应用后未发生台背脱空问题。

盖梁施工采用 “双重防护” 体系：作业平台设置 1.2 米高防护栏杆，下方悬挂防坠网，同时在通行区上方设置防护棚，防护棚承载力不低于 5kN/m²，有效防范坠落物伤人。

3.2.2 隧道改扩建防控

隧道爆破施工采用 “微震控制 + 动态监测” 技术：控制单段起爆药量 ≤50kg，通过振动传感器实时监测爆破振动速度，确保既有结构振动速度不超过 2.5cm/s。甬台温高速隧道改扩建应用该技术后，既有衬砌未出现裂缝损伤。

掌子面安全管控采用 “地质雷达探测 + AI 预警” 系统，提前 10 米探测不良地质，当检测到围岩变形速率超过 0.5mm/d 时，自动触发停工预警，避免坍塌事故。

3.2.3 涉路与设备作业防控

高耸设备作业实施 “三重管控”：设备进场前进行选型改造，确保臂长不侵入通行限界；作业前核查“人员资质、设备状态、环境条件” 三要素；作业中通过 GPS 定位与视频监控实现全周期管控，使设备侵入限界事故下降 100%。

临时开口部采用 “智能管控 + 人工值守” 模式：设置自动升降栏杆与车牌识别系统，仅允许施工车辆凭证进出，同时配备专职安全员值守，使违规进出车辆减少 89%。

3.3 动态风险监测预警系统

构建 “感知 - 分析 - 预警 - 处置” 闭环监测预警系统，核心由三类技术组成：

全域感知技术：在施工区部署毫米波雷达、高清摄像头、振动传感器等设备，实现车流速度、设备位置、结构变形等数据的实时采集，感知覆盖率达 98%。

智能分析模型：基于机器学习算法构建风险预测模型，对 12 类监测数据进行融合分析，风险识别准确率达 92%。当检测到塔吊侵入限界等风险时，系统响应时间 ≤1 秒。

分级预警机制：设置 “蓝色、黄色、红色” 三级预警，蓝色预警启动现场巡查，黄色预警实施交通减速，红色预警关闭相关车道并组织疏散。该系统使风险处置效率提升 40%。

4 实证效果量化分析

4.1 甬台温高速改扩建工程案例

选取甬台温高速台州北段（改扩建里程 28 公里）作为

研究对象，该项目采用双向四车道改六车道设计，日均流量 2.3 万辆，施工工期 18 个月，部署本文所述交通组织与风险防控技术后，关键指标显著改善（表 2）：

该项目通过应用《高速公路改扩建施工安全图册》中的分级防护措施，实现了 “零重大安全事故” 目标，成为全国改扩建工程的示范案例。

表 2 甬台温高速改扩建工程技术实施效果

指标类型	具体指标	实施前	实施后	改善率
通行效率	施工区平均车速（km/h）	42	58	38.1%
通行效率	高峰小时通行量（pcu）	1850	2370	28.1%
安全性能	涉路事故率（次 / 百万车公里）	9.6	3.2	66.7%
安全性能	高风险工序隐患发生率	28%	7%	75%
管理效率	隐患处置响应时间（min）	25	10	60%
管理效率	一线人员培训周期（天）	16	8	50%

4.2 关键技术效果专项分析

4.2.1 动态交通导行技术效果

对比不同交通组织模式的效果发现，动态导行技术在通行效率与安全性能上均优于静态模式：动态模式下施工区车速标准差为 8.2km/h，较静态模式降低 41%，说明车流更平稳；车辆变道次数减少 56%，刮擦事故下降 72%。

4.2.2 分级防护体系效果

对路基、隧道等关键工序的防护效果分析显示，分级防护体系使事故损失显著降低：一级风险工序的事故经济损失从平均 86 万元 / 起降至 12 万元 / 起，二级风险工序从 23 万元 / 起降至 4 万元 / 起，实现了风险的精准管控。

5 现存挑战与优化路径

5.1 核心挑战解析

5.1.1 标准体系不完善

现行规范未覆盖 “边通车边施工” 特有场景，存在三大缺口：一是交通组织方案设计缺乏量化标准，如施工区限速值确定无统一依据；二是风险分级标准不统一，不同项目对同一工序的风险定级差异达 40%；三是设备作业安全规范缺失，高耸设备与通行区的安全距离规定不明确。

5.1.2 动态管控能力不足

传统管控依赖人工巡查，存在响应滞后问题：施工区违规侵入事件平均发现时间为 8 分钟，错失最佳处置时机；混合交通流场景下，非机动车与行人闯入施工区的预警准确率仅 75%，误判率较高。

5.1.3 协同管理机制不畅

业主、施工、监理、交管等多方主体协同不足，存在“信息孤岛”：施工进度调整未及时同步至交管部门，导致交通导行方案与现场施工脱节；安全隐患信息共享率仅 38%，重复排查率达 27%。

5.2 优化路径探索

5.2.1 完善标准规范体系

由交通运输部牵头，参考《高速公路改扩建施工安全图册》经验，制定《公路改扩建工程交通组织与安全管控标准》：明确施工区车道布设、限速值等 12 项量化指标；统一 5 大类 23 项工序的风险分级标准；规定高耸设备、临时开口部等关键环节的安全参数，形成 “设计 - 施工 - 管控” 全流程标准体系。

5.2.2 升级智能管控技术

融合感知技术：开发 “雷达 + 视觉 + 物联网” 多源感知系统，通过时空校准算法消除数据误差，使混合交通流识别准确率提升至 95% 以上。

数字孪生应用：构建施工区数字孪生体，实现 “物理场景 - 虚拟模型” 实时映射，通过仿真预演优化交通导行方案，使施工区通行效率再提升 15%。

智能联动处置：建立“预警信息 - 交通管控 - 现场处置”联动机制，当检测到风险时，自动触发可变情报板预警、车道限速、设备停机等联动措施，响应时间压缩至 3 秒以内。

5.2.3 创新协同管理模式

构建 “多方协同” 管理平台，整合业主、施工、交管等多方数据，实现施工进度、交通流量、隐患信息的实时共享，信息共享率提升至 90% 以上。建立 “周例会 + 月督查” 协同机制，及时解决跨主体协调问题；推行 “第三方安全评估” 制度，对高风险工序实施独立监督，确保防控措施落地见效。

6 结论与展望

6.1 研究结论

构建的 “三层两维度” 交通组织技术体系，通过分阶段精准施策，实现了改扩建工程 “安全与效率” 的平衡，动态导行技术使施工区通行效率提升 28% 以上。

针对 5 大类 23 项高风险工序的分级防护体系与动态监测预警系统，有效破解了 “边通车边施工” 的安全难题，使涉路事故率下降 67%。

现行改扩建工程仍面临标准缺失、动态管控不足、协同不畅等挑战，需通过标准完善、技术升级、管理创新的协同发力实现系统性解决。

6.2 未来展望

公路改扩建工程的安全高效实施是交通强国建设的重要支撑，未来需持续深化技术创新与管理变革，推动改扩建

工程从“经验管控”向“智能精准管控”转型，为公众提供更安全、高效的交通服务。

参考文献

[1] 浙江省交通运输厅.高速公路改扩建施工安全图册（2025 版）[Z]. 2025.

[2] 王建军,李向阳.甬台温高速改扩建工程交通组织与安全管控实践 [J]. 公路交通科技，2025, 42 (8): 112-118.

[3] 张勇,等.高速公路改扩建施工区风险分级与防控技术研究 [J]. 中国公路学报，2025, 38 (7): 98-107.