

公路改扩建工程中交通组织与施工协同管理研究

孙晓丽

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

摘 要：公路改扩建工程在既有通行道路上进行施工作业，交通组织与施工活动之间构成强烈的时空耦合关系，两者的割裂管理是导致交通拥堵、安全风险升高和工期延误的主要根源。本文立足协同管理理论，系统分析了公路改扩建工程中施工活动对交通流的扰动机制以及交通组织对施工的约束条件，揭示了二者在空间资源、时间窗口、安全风险和决策信息四个维度上的冲突根源与互馈效应。在此基础上，从协同规划与动态设计、施工方案与交通组织联合优化、信息共享平台建设以及组织制度保障等方面提出了具体管理策略。研究指出，改扩建工程管理的本质从“施工主导、交通配合”转变为“施工—交通一体化”，应建立以联合决策和动态调整为特征的全过程协同机制。

关键词：公路改扩建；交通组织；施工管理；协同管理

引言

随着我国公路网从大规模建设阶段逐步转入建设与养护并重阶段，既有公路的改扩建工程已成为公路建设领域的重要组成部分。无论是高速公路的扩容改造、国省干道的升级提等，还是城市出入口道路的拓宽改建，一个共同特征是不可避免——工程必须在不中断或尽量少中断既有交通的条件下进行。这决定了公路改扩建工程不仅面临一般新建工程的技术挑战，还必须处理施工活动与通行交通之间复杂的相互干扰关系。工程实践中，交通组织方案与施工组织方案往往由不同团队在不同时间分别编制，甚至分别隶属于建设单位的不同管理部门。这种“条块分割”的管理模式使得施工计划与交通疏导缺乏有效衔接：施工方案较少考虑交通组织的可行性与成本，交通组织方案也未充分理解施工工艺对空间和时间的刚性需求。其直接后果是频繁的交通拥堵、反复的施工中断、工期延误和公众投诉上升，严重削弱了改扩建工程的社会效益。本文试图从协同管理的视角出发，系统分析公路改扩建中交通组织与施工活动之间的内在关联、冲突机理和协同逻辑，构建一体化的管理框架和策略体系，为改扩建工程的高效、安全实施提供理论指引。

1 公路改扩建工程的施工特征与交通扰动分析

1.1 改扩建施工的技术特征与约束条件

公路改扩建工程在技术层面具有区别于新建工程的若干特征。一是作业空间的受限性，施工区域往往紧邻或直接位于通行车道之上，施工机械和材料堆放空间极为有限，无法像新建工程那样设置开阔的施工场地。二

是作业对象的非完整性，改扩建是对既有结构物的加宽、加固或替换，施工作业面常被既有设施分割，难以形成连续流畅的作业线。三是施工过程的动态性，随着工程进展，施工区域沿路线纵向推移，作业面形态和占道范围不断变化，施工组织设计须具备动态调整能力。四是地质与结构的不确定性，既有公路在长期服役中可能积累了隐蔽病害，开挖后暴露的实际情况可能与设计图纸存在偏差，需要临场变更。这些技术特征共同构成了施工组织的刚性约束，任何交通组织方案都必须在承认这些约束的前提下寻求与施工的协调。

1.2 施工活动对交通流的扰动机制

施工活动对公路交通流的扰动是多维度、多层次的。空间维度上，施工占道直接压缩了可通行车道数量，造成瓶颈路段通行能力骤降，即便采用保通便道或临时便桥，其线形标准和通行速度也远低于正常路段，形成路网中的“肠梗阻”。时间维度上，施工作业往往需要在特定时段进行（如夜间架梁、白天摊铺），这种间歇性占道导致交通流处于频繁切换的过渡状态，驾驶员难以形成稳定的通行预期，加剧了速度离散和事故风险^[1]。行为维度上，施工区域附近驾驶员会因车道缩减、标志变化和施工机械出现而采取减速、变道等规避行为，进一步降低实际通行效率。此外，施工产生的噪声、粉尘和夜间照明干扰，也对沿线居民和通行环境的舒适性构成负面影响。这些扰动叠加在一起，使得施工影响下的通行能力远低于理论计算值，也意味着交通组织不能简单套用静态的交通工程方法。

1.3 改扩建工程中交通组织的特殊地位

在改扩建工程中，交通组织不再是施工的附属工作，而是与施工活动并列的核心管理对象。其特殊地位体现在：第一，交通组织方案的质量直接决定了工程能否获得社会公众的接受——严重的交通拥堵会引发广泛的舆论压力，甚至导致工程被叫停或延期。第二，交通组织的复杂程度和成本在工程总投入中的占比日益上升，临时便道建设、标志标线设置、交通协管人员配置等费用已成为改扩建工程预算的重要科目。第三，交通组织的约束条件正在反向塑造施工方案的选择——在交通压力极大的路段，可能不得不放弃工期最短但占道时间长的方案，转而选用对交通干扰较小的替代工法。这意味着传统“先定施工方案、后配交通组织”的线性决策流程已不合时宜，二者必须在同一决策平面上进行联合优化。

2 交通组织与施工冲突的内在机理

2.1 空间资源的竞争性需求

改扩建工程中，施工所需的作业面与交通所需的通行面在空间上高度重叠。路基加宽时需要占用路侧空间，桥梁拼接时需要封闭相邻车道，路面铣刨重铺时更是直接占用行车道。这种空间竞争导致了一个两难困境：给予施工更多空间可以提高作业效率、缩短工期，但压缩了通行空间、降低通行能力；反之，为保障通行保留更多车道则迫使施工采取分段分幅、多次周转的方式，延长了施工周期。空间资源竞争的核心矛盾在于，双方需求的刚性都很强——施工需要连续作业面以保证工艺质量（如路面接缝、结构连接），交通需要连续通道以维持基本服务水平，任何一方的完全退让都是不现实的。破解之道在于对空间进行精细化的“时空切片”——在不同时间和不同路段，空间的主导用途在施工与通行之间动态切换，而非简单地“平分”或“各占一半”。

2.2 时间窗口的冲突与调度难题

施工工序有其严格的时间逻辑——混凝土需要养护龄期，路基需要沉降稳定，路面摊铺需要在特定温度窗口内完成。这些时间要求是不能随意压缩或挪移的硬约束。与此同时，交通组织中的高峰小时、节假日、重大活动等时段也是不能占用的保护性时间窗口^[2]。二者时间要求的叠加，使得有效施工时间被压缩到非常有限的区间内。更棘手的是，施工所需的时间窗口往往是连续的、整块的（如连续数小时封闭一侧车道进行路面铣

刨），而交通可承受的占道时间往往是间断的、分散的（如避开早晚高峰后的白天平峰时段或夜间）。这种时间结构上的不匹配要求管理者在时间调度中采用“积零为整、化整为零”等多种策略的灵活组合。

2.3 安全风险的叠加与传递效应

施工安全与交通安全在改扩建工程中不再是两个独立的风险领域。施工区域人员、机械和通行车辆三者的时空交汇，创造了危险交叉作业环境——通行车辆一旦闯入施工区，后果极为严重；而施工机械的进退场动作也可能干扰正常行驶车辆，引发二次事故。更隐蔽的是，交通拥堵状态下驾驶员频繁加减速和变道，使得施工区域周边的交通事故率显著高于正常路段，而这些事故虽然发生在施工区域之外，却往往被归因于施工管理不善。安全风险的叠加效应要求交通组织与施工管理建立联合安全保障体系，单一的“施工围挡+限速标志”已不足以应对复杂的安全形势，必须从车辆轨迹引导、作业面防护、预警信息发布和应急救援等方面进行系统性设计。

2.4 信息不对称与决策时滞

交通组织方案的调整需要依据实时交通流数据和施工进度信息，施工方案的调整也需要了解交通管制措施的效果和交通压力反馈。但在传统管理模式下，交通监控中心掌握流量数据，施工单位掌握进度数据，监理单位掌握质量数据，各部门间信息传递依赖定期会议和书面报告，形成明显的信息壁垒和决策时滞。当交通拥堵严重时，施工单位可能已经完成了当天的占道作业计划，调整已无可能；当施工遇到意外障碍需要延长占道时间时，交通管理部门未能提前获得信息，导致疏导措施严重滞后。这种信息不对称和决策时滞是造成“施工与交通两败俱伤”局面的重要制度性根源。

3 交通组织与施工协同管理策略

3.1 施工前的协同规划与设计介入

协同管理的起点远早于进场施工，应追溯至工程可行性和初步设计阶段。在路线方案选择和改扩建方式比选中，应将施工期交通组织的难易程度和成本纳入方案评价指标体系，而不是仅关注工程直接投资。对于交通流量极大的路段，可考虑采用“两侧拼接为主、局部路段另建新线”的方案，以减少施工期间的交通干扰。在施工图设计阶段，设计单位应联合交通工程专业人员共同制定施工期交通组织方案的原则框架，在结构设计和交通工程设计之间预留必要的接口条件——如临

时便道的位置、交通转换段的几何设计等。这种前置的协同规划可以避免后期因设计考虑不周而导致的巨额交通组织成本和安全隐患。

3.2 施工方案与交通组织的联合优化

施工方案与交通组织方案的联合优化是协同管理的核心技术环节。联合优化的目标是：在给定的工期约束和交通服务水平约束下，寻找施工进度安排与交通管控措施的全局最优组合。优化内容应包括：路段的划分方式（如何将全线划分为若干施工段）、各段的施工顺序（平行作业还是流水作业）、各段的占道方式（封闭一侧、压缩车道还是借用对向）、交通疏导路径的选择（利用路网分流还是便道导流）、以及施工作业的时间安排（白天还是夜间、工作日还是周末）。这些变量之间相互关联，一个变量的改变会引发连锁反应^[3]。联合优化应采用系统的分析工具，在交通仿真与施工进度模拟耦合的基础上进行多方案比选，而非依赖个别管理人员的经验拍板。

3.3 施工期动态交通组织与智能调控

施工期的交通组织不应是一成不变的，而应根据实际交通流量变化和施工进展进行动态调整。智能化的交通调控手段为实现动态组织提供了技术基础。可变情报板可根据前方路段的拥堵状况实时发布绕行建议；交通信号灯配时可根根据施工区上下游的排队长度自动优化；路侧传感器可实时监测通过施工区的车速和车头时距，评估交通组织措施的有效性。施工层面，可借助定位系统和电子围栏技术，精确掌握施工机械的位置和作业状态，与交通管控系统联动，在机械转场或危险作业前提前向交通信号和情报板发送预警信息。动态调控的核心是建立闭环——交通数据指导施工占道决策，施工信息反馈交通管控措施，二者形成持续交互、不断迭代的适应性管理流程。

3.4 信息共享与联合决策机制建设

信息共享是协同管理的基础设施。应建立覆盖全部参建方和相关管理部门的信息共享平台，该平台至少应包含以下功能模块：施工进度实时更新模块（每日完成工程量、次日计划占道范围及时间）；交通运行状态监测模块（流量、速度、拥堵指数、事故记录）；气象与环境信息模块；联合指令发布与确认模块。平台的数据

应面向所有授权用户开放查询，关键数据的变更应触发自动推送通知^[4]。在决策机制方面，建立由建设指挥部牵头、施工单位和交通管理部门共同参与的联合调度会议制度，根据工程规模和复杂程度确定会议频次（施工高峰期每日一次），会议内容应聚焦于次日和未来三日的施工与交通协同安排，形成书面调度指令并录入信息平台。对于突发事件的应急处置，应建立更快速的授权决策流程，规定现场负责人与交通管控部门之间的直接联络通道和决策权限。

4 结语

公路改扩建工程中的交通组织与施工管理不是两个并行不交的独立系统，而是通过空间、时间和安全风险紧密耦合的协同体。本文通过系统分析二者的冲突机理和互馈关系，提出了以信息协同、计划协同、决策协同和目标协同为四层次的一体化管理框架，并从协同规划、联合优化、动态调控、信息共享和保障体系建设等方面论述了实现路径。核心观点可以凝练为：改扩建工程的管理范式应当从“施工主导、交通配合”转向“施工—交通一体化”，这意味着交通约束不再是施工方案的“外部条件”，而是内部约束；施工活动不再是交通组织的“外部扰动”，而是核心变量。二者的管理决策必须在同一平台上、由同一套机制、依据同一组数据来做出。这种一体化协同不仅是管理技术上的改进，更是管理理念的深刻转变。未来，随着智能交通技术和数字施工技术的进一步融合，施工与交通的协同有望从“人工协调”走向“系统自动联动”，实现更高水平的实时响应和全局优化。

参考文献

- [1] 张丰焰, 周伟, 王元庆. 公路改扩建工程交通组织与施工方案的协同优化模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(10): 2678-2690.
- [2] 陈艳艳, 刘小明, 荣建. 基于信息协同的施工区交通动态管控策略 [J]. 北京工业大学学报, 2024, 50(3): 289-298.
- [3] 马荣国, 李洋, 梁国华. 改扩建公路施工区交通安全评价与保障技术 [J]. 安全与环境学报, 2022, 22(5): 2456-2464.
- [4] 赵建有, 肖代全, 张生瑞. 公路施工区交通组织与施工进度协同调度方法研究 [J]. 公路交通科技, 2023, 40(7): 145-153.