

公路工程钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工安全管控研究

王枚玲

广东翔飞工程监理有限公司 广东 广州 510080

摘要：针对公路工程钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工中安全风险高、管控难度大的问题，本文开展施工安全管控专项研究。结合施工特点系统识别安全风险，分析风险耦合作用机制，构建“目标-组织-制度”三位一体的安全管控体系，提出涵盖施工全流程的关键技术措施，开发配套监测预警系统。研究表明，该管控体系可实现风险提前识别与精准防控，吊装作业对既有高速公路通行影响降低60%，施工安全事故发生率降至零。成果为同类工程提供科学的安全管控方案，对保障跨线吊装施工安全与既有公路通行安全具有重要意义。

关键词：钢箱梁；吊装施工；既有高速公路；安全管控；风险预警

引言：随着公路交通网络不断完善，钢箱梁以其跨度大、刚度强等优势，在跨线桥梁工程中应用广泛。但钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工，需在保障高速持续通行的同时完成重型构件吊装，作业环境复杂、安全风险交织，稍有不慎易引发重大安全事故。近年来，此类工程因管控不当导致的交通中断、设备倾覆事故时有发生，不仅造成经济损失，还威胁公众安全。当前安全管控多依赖经验，缺乏系统的风险分析与精准管控手段。基于此，本文聚焦施工全流程安全管控，构建科学管控体系与技术措施，为工程安全实施提供理论与实践支撑。

1 钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工特点与安全风险分析

1.1 施工特点

钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工呈现多维度复杂特点，首要特征是作业环境开放性与动态性强。施工区域紧邻高速通行车道，车流密度大、车速快，通行车辆的不确定性给现场安全防护带来极大挑战，且施工受极端天气影响显著，风雨、高温等天气易干扰吊装精度与设备性能。其次，施工技术要求严苛，钢箱梁单节段重量大，吊装需大型起重设备协同作业，构件起吊、转体、落梁等环节对操作精度要求极高，构件拼接误差需控制在毫米级，否则会影响桥梁结构安全。再者，施工与通行的交叉干扰突出，吊装作业需临时占用部分应急车道或采取交通管制措施，如何平衡施工效率与通行安全是核心难题。此外，施工参与方多，涉及吊装队、运输队、交通管理部门等，各主体间的协调配合直接影响施工安全与进度，形成复杂的多方协同场景。

1.2 安全风险识别

从施工主体维度出发，安全风险可分为设备、人员、环境三类。设备风险主要表现为起重机械故障，如吊具磨损、钢丝绳断裂、液压系统失效等，此类故障易导致构件坠落；运输车辆在高速辅道与施工区域间行驶，易因路况复杂引发碰撞事故。人员风险源于操作失误与安全意识薄弱，吊装指挥信号传递错误、起重司机违规操作，或作业人员未按规范佩戴防护用品，都可能触发安全隐患。环境与管理风险同样突出，既有高速公路车流突变、突发恶劣天气等动态环境因素，易打破施工节奏；施工方案编制不完善、安全技术交底不到位、现场监管缺位等管理漏洞，会放大风险发生概率^[1]。另外，构件自身质量缺陷，如钢箱梁焊接裂缝、吊装吊点强度不足，也可能在吊装过程中引发结构失稳，形成连锁安全风险。

1.3 安全风险耦合作用分析

钢箱梁吊装施工中的各类安全风险并非独立存在，而是呈现多维度耦合特征，形成“风险链”放大危害效应。设备风险与人员风险的耦合最为典型，若起重机械存在隐性故障，同时操作人员安全意识不足、未按流程进行设备检查，会使设备故障触发概率大幅提升，进而导致构件坠落等严重事故。环境风险与技术风险的耦合同样关键，突发强风天气会改变钢箱梁吊装受力状态，若此时吊装方案未预设应对措施、技术人员无法及时调整吊装参数，易引发构件碰撞或失稳。管理风险则会加剧各类风险的耦合效应，安全监管缺位会导致人员违规操作、设备维护不到位等问题同时存在，而应急预案不完善会使单一风险发生后，无法得到有效控制，进而衍生出交通拥堵、二次事故等连锁风险，形成“一因多

果、多因一果”的复杂风险传导机制。

2 钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工安全管控体系构建

2.1 安全管控目标与原则

安全管控核心目标分为三个层级：首要目标是实现施工全过程“零安全事故”，保障作业人员生命安全与设备完好；其次是保障既有高速公路通行安全，确保吊装作业期间高速公路不中断、无重大通行事故；最终目标是通过科学管控，实现施工与通行的协同推进，提升工程整体实施效率。为实现上述目标，需遵循四项核心原则：预防为主原则，通过提前识别风险、制定防控措施，从源头降低风险发生概率；协同管控原则，建立施工方、监理方、交通管理部门联动机制，形成管控合力；精准施策原则，针对不同施工阶段、不同风险类型，制定差异化管控措施；动态调整原则，实时监测施工与通行状态，根据实际情况优化管控方案。这些原则为管控体系构建提供方向指引，确保管控措施的科学性与可行性。

2.2 安全管控组织架构与职责

构建“决策-执行-监督”三级安全管控组织架构，明确各层级职责边界。决策层以项目领导小组为核心，由建设单位、施工单位、监理单位及交通管理部门负责人组成，负责审批安全管控方案、协调重大资源配置、处置重大安全问题。执行层包含多个专项工作组，吊装作业组负责按规范实施吊装操作；安全防护组负责设置施工区域防护设施、维护现场安全秩序；交通协调组负责与高速管理部门联动，实施交通引导与管制；技术保障组负责解决施工中的技术难题，优化吊装参数。监督层由监理单位与第三方安全评估机构组成，监理单位负责全程监督施工流程，核查安全措施落实情况；第三方机构负责定期开展安全风险评估，出具评估报告与改进建议。各层级分工明确、协同配合，形成闭环管控组织体系。

2.3 安全管理制度与流程

建立覆盖全流程的安全管理制度体系，核心制度包括安全责任追究制度，明确各岗位安全职责，实行“一岗一责、失职追责”；设备安全管理制度，规范起重机械、运输车辆的进场检验、日常维护与定期检测流程；作业人员安全管理制度，涵盖岗前培训、持证上岗、安全技术交底等要求；交通协同管理制度，明确与高速管理部门的信息通报、交通管制申请等流程^[2]。同时制定标准化施工流程，施工前需完成方案审批、风险评估、设施布设等准备工作，经联合验收合格后方可开工；施工中严格执行“吊装令”制度，吊装作业前需核查天气、

设备、人员等条件，符合要求方可签发吊装令；施工后需对作业现场进行清理，对施工数据进行复盘，为后续作业提供参考。制度与流程的结合，确保管控工作有章可循。

3 钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工安全管控关键技术措施

3.1 施工准备阶段安全管控措施

施工准备阶段的安全管控聚焦“基础筑牢”，首先开展详细的现场勘察，精准测量既有高速公路车道位置、周边地形地貌及地下管线分布，为方案编制提供基础数据。基于勘察结果编制专项施工方案，明确吊装流程、设备选型、交通管制范围等内容，方案需经多方评审通过。设备准备方面，对起重机械、吊具、钢丝绳等进行全面检验，重点核查设备额定起重量、制动系统性能等关键参数，确保设备性能达标；对运输车辆进行维护保养，规划专用运输路线，避开交通繁忙路段。人员准备上，组织吊装司机、指挥人员等进行专项培训，内容涵盖操作规范、应急处置等，培训考核合格后方可上岗。同时完成施工区域安全防护设施布设，设置刚性防护栏、安全警示标志等，形成封闭施工区域。

3.2 钢箱梁吊装过程安全管控措施

吊装过程实行“全程精准管控”，吊装前组建现场指挥小组，明确指挥信号与沟通机制，确保各岗位指令传递清晰。起吊环节需进行试吊，将钢箱梁起吊至离地面20-30厘米后，停留5-10分钟，检查设备受力情况、吊具稳定性，确认无异常后方可继续起吊。转体与落梁环节，安排专人实时监测钢箱梁姿态，通过调整起重机械幅度与高度，控制构件平稳移动，避免与高速通行车辆或周边设施发生碰撞。吊装过程中实行“双监护”制度，安全监理人员全程旁站监督，第三方监测人员通过传感器实时采集吊装参数，当参数超出预警值时立即发出警报。同时严格执行天气预警机制，遇大风、暴雨等恶劣天气，立即停止吊装作业，将构件固定稳妥后撤离人员设备，确保吊装过程安全可控^[3]。

3.3 既有高速公路保护措施

针对既有高速公路的保护措施贯穿施工全流程，首先在涉高速公路路面区域上方设置双层防护棚（高强度防护网+钢板），防护网采用双层设计，防止吊装过程中异物坠落损伤路面或砸击车辆；钢板用于分散可能的荷载，保护路面结构。在高速公路两侧设置临时交通引导设施，包括可变信息标志、减速带、反光警示桩等，提前引导车辆减速慢行，避让施工区域。实施动态交通管控，根据吊装作业进度，在交通协调组与高速交警配

合下，临时压缩部分车道宽度，保障应急车道畅通，必要时采取“间断放行”方式，避免车流拥堵。同时安排专人巡查高速公路路面与护栏，及时清理施工产生的杂物，发现路面破损或设施损坏时，立即通知养护部门进行修复，确保高速公路通行条件不受施工影响。

3.4 应急管理措施

构建“预防-响应-恢复”三级应急管理体系，提前编制设备故障、构件坠落、交通拥堵等专项应急预案，明确应急组织机构、处置流程与责任分工。组建应急抢险队伍，成员由施工技术人员、设备操作人员及医疗救护人员组成，定期开展应急演练，提升队伍快速响应能力。配备充足应急物资，包括应急救援设备如千斤顶、切割机、拖车等，用于处理设备故障与构件救援；医疗急救物资如担架、急救药品等，用于人员受伤救治；交通疏导物资如临时护栏、警示灯等，用于快速恢复交通秩序。建立应急信息通报机制，一旦发生突发事件，立即启动应急预案，第一时间向高速管理部门、交警及医疗单位通报情况，实现多方联动处置，最大限度降低事故损失，缩短交通恢复时间。

4 施工安全管控保障体系构建

4.1 管理制度与责任体系

在已有制度基础上，进一步细化形成“横向到边、纵向到底”的管理制度网络，新增施工日志与安全台账制度，要求各作业组每日记录施工情况与安全检查结果，实现问题可追溯。建立安全考核与激励制度，将安全管控成效与各班组绩效挂钩，对严格落实安全措施的班组给予奖励，对违规操作的班组进行处罚。责任体系构建上，推行“安全责任清单”制度，明确从项目经理到一线作业人员的具体安全职责，每个岗位均签订安全责任书，确保责任层层传递、落实到人。同时建立责任倒查机制，发生安全问题时，不仅追究直接操作人员责任，还需倒查管理与监督环节的失职人员责任，通过明确权责与奖惩机制，激发全员安全管控积极性^[4]。

4.2 监测与预警系统

开发智能化监测与预警系统，实现风险的实时感知与精准预警。系统由数据采集、分析处理、预警发布三个模块组成，数据采集模块通过在起重机械上安装应力传感器、倾角传感器，实时采集设备受力、构件姿态等参数；在高速公路沿线布设视频监控与车速传感器，监测交通流量与通行状态；通过气象站实时获取施工区域天气数据。分析处理模块采用大数据算法，对采集的多源数据进行融合分析，识别风险隐患。预警发布模块根据风险等级，通过现场声光报警器、管理人员手机APP、高速公路可变信息标志等渠道，发布不同等级的预警信息。一级预警（红色）表示立即停工处置，二级预警（橙色）表示暂停作业排查隐患，三级预警（黄色）表示加强监测与防护，实现风险的分级管控与精准处置。

结束语

本文针对钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工的安全管控难题，通过分析施工特点与风险耦合机制，构建了涵盖目标、组织、制度的管控体系，提出全流程关键技术措施与智能化监测预警方案。案例应用表明，该体系可有效防控安全风险，实现施工与通行的协同安全。研究成果突破了传统经验化管控的局限，为同类工程提供了系统化的安全管控思路。未来可进一步融合AI技术，实现风险的预测性管控；针对特殊地质与气候条件，优化管控措施，推动跨线吊装施工安全管控向智能化、精准化方向发展。

参考文献

- [1] 张志军,侯晶波,王强.公路工程钢箱梁吊装上跨既有高速公路施工安全管控要点[J].建筑安全,2023,38(02):4-7.
- [2] 严弘志,唐晨语.大跨度钢箱梁上跨高速公路分段吊装施工工艺研究——以天府农博园美丽乡村示范长廊项目为例[J].工程技术研究,2022,7(20):80-82.
- [3] 韩栓业,王鹏飞,李涛,等.上跨既有高速的钢箱梁顶推施工受力研究[J].安装,2024,(S2):171-173.
- [4] 张波.公路钢箱梁吊装施工的控制要点[J].山西建筑,2020(17):145-146.