

公铁立交桥梁施工期相互扰动机理与安全风险管控研究

马龙

台州市轨道交通建设开发有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i6.21021

[摘要] 公铁立交桥梁一般位于既有铁路、公路、城市道路及市政管线交汇处,在施工过程中需要进行桩基、承台、墩身、梁体架设或者转体等工作的同时,还要保障铁路正常运营以及交通安全。工程施工带来的影响不仅是对荷载、振动、沉降、位移等因素的影响,还有施工组织、天窗点、交通导改、信息传达以及突发事件处理等各方面的协调配合问题。基于近年来关于涉铁桥梁施工的风险研究,从公铁立交桥梁施工期相互干扰的角度出发,探讨其风险源识别——扰动链分析——分层管控——监测预警——应急联动的安全管理模式,并以上跨营业线转体桥施工为例进行阐述。研究表明,施工安全管理不应局限于单一工序管理,而应是铁路运营、桥梁结构、临时体系以及周围环境协调管理,从而达到施工进度、结构安全及运营安全之间相互制约关系的目标。

[关键词] 公铁立交; 涉铁桥梁; 施工扰动; 营业线安全; 风险管控

中图分类号: K928.78 **文献标识码:** A

Research on the Interaction Mechanism and Safety Risk Control During the Construction of Highway–Railway Overpass Bridges

Long Ma

Taizhou Rail Transit Construction & Development Co., Ltd.

[Abstract] Railway–highway overpasses are typically located at intersections of existing railways, highways, urban roads, and municipal pipelines. During construction, tasks such as pile foundations, pier caps, pier bodies, beam erection, or girder rotation must be carried out while ensuring normal railway operations and traffic safety. The impacts of construction extend beyond factors like load, vibration, settlement, and displacement, encompassing coordination issues in construction organization, window periods, traffic diversion, information dissemination, and emergency response. Based on recent research on construction risks for railway–related bridges, this study explores a safety management model from the perspective of mutual interference during the construction phase of railway–highway overpasses. The model includes risk source identification—disturbance chain analysis—stratified control—monitoring and early warning—emergency coordination. An example is provided using the construction of an upper–level girder rotation bridge over an operational railway line. The study demonstrates that construction safety management should not be confined to single–process control but must involve coordinated management of railway operations, bridge structures, temporary systems, and surrounding environments to achieve a balanced relationship among construction progress, structural safety, and operational safety.

[Key words] road–rail overpasses; railway–involved bridges; construction disturbance; operational line safety; risk control

1 引言

伴随城市更新、干线铁路扩能以及综合交通枢纽建设,公铁立交桥梁是解决平交冲突、提高道路通行能力的有效手段。但是公铁立交桥梁一般要穿过或者紧临运营中的铁路线路,施工场地有限制、工作时间短、参与单位多,任何一个方面出现问题

都会引发对行车安全、结构安全乃至人民群众生命财产安全威胁。近年来学者们主要集中在转体桥风险分析、跨越铁路营业线安全防护措施、LEC法评价以及靠近营业线施工组织等方面进行探讨,认为涉铁桥梁施工存在“低频次但影响大、局部位移引起连锁反应”特点^[1]。因此,研究公铁立交桥梁施工期间

互相影响机理,是施工技术问题,也是运营后工程组织与安全管理问题。

相比于普通市政桥梁工程而言,公铁立交桥施工风险范围更大。首先是既有铁路线路以及接触网、通信信号、电缆槽、隧道等正在运营,施工荷载及外界环境对线路平纵断面会产生影响;其次,涉及到铁路方、业主方、施工方、监理方以及地方政府多个方面协调合作,信息延迟会造成小问题发展成停运、限速甚至应急处理;最后,从施工角度来说,高支架、大吨位起重、挂篮、架桥机、转体以及临近吊装等都是较大风险源,在此期间临时结构可靠性和永久性结构安全性同样重要。已有跨铁路营业线桥梁研究表明,风险管理工作应当覆盖方案比选、施工准备、实施监测以及恢复验收等各个环节^[2]。

2 施工期相互扰动机理

2.1 结构—地基扰动

公铁立交桥桩基钻孔、基坑开挖、承台施工及墩柱浇筑时会对地基应力分布、地下水以及临近既有建筑物产生影响,如果工程上跨既有铁路隧道或者紧邻路基,则会产生由于钻孔振动、泥浆压力、降水和堆载使周围围岩产生额外位移、路基发生不均匀沉降或者轨道高低变化等问题。孙志涛认为上跨既有铁路隧道公路桥梁施工对隧道的影响主要取决于施工距离远近、荷载传递方式、地层情况以及监控效果等几个方面因素决定^[4]。因此,结构-地基扰动不是单一因素造成,而是多种因素综合作用结果。

2.2 设备—运营扰动

在梁体架设、支架现浇以及转体施工过程中,大型机械设备回转半径、起吊高度、临边防护及坠落物管理直接影响到营业线行车安全。上跨铁路既有有线大吨位转体桥梁一般需要在短时间内完成重要环节,在此期间转体系统不平衡力矩、球铰摩擦、牵引同步性及限位等都构成安全隐患因素^[1]。如果构件、工器具或者临时设施进入铁路限界范围内,则不仅会对现场造成危害,还会影响到整个行车计划安排、乘客生命财产安全以及线路修复工作。设备干扰就是由于施工机械作业范围与铁路运营安全范围发生即时交互作用所导致。

2.3 组织—信息扰动

涉铁施工需向铁路部门申请施工计划,安排封锁或慢行,落实驻站联络和现场防护。如果施工方案、调度命令、监测数据、天气预警以及现场指令不同步,就可能导致组织上的“时间错位”,比如现场已经可以起吊但是天窗被压缩,或者监测接近预警值但是指令下达不及时等,都会造成抢工、冒险作业、误判的现象发生。薛小品对跨铁路营业线桥梁施工安全风险研究指出,模糊层次分析法可以反映人、机、环、管和技术之间的相对重要性^[2],因此,在风险评估中,应该考虑信息沟通能力的重要性。

3 风险识别与案例分析

以某城市快速路上跨铁路营业线转体桥为例,主桥采用连续梁转体施工,在铁路两侧设置承台及墩柱,梁体在外侧靠近既

有线路现浇至设计强度后通过转体系统旋转到位。这种施工方法的优点是缩短营业线上空支架时间,但是风险主要集中在深基坑、临时支架、转体系统、限界以及合拢等环节上,如果只重视某一个工点而忽略前面工作失误对后续工作造成的影响,则可能导致问题发生,比如承台变形会导致转体中心偏移,梁体形状误差会导致合龙困难,天气风力变化会影响吊装和转体稳定性等。

风险识别可以采用“风险源——扰动表现——后果——控制指标”链条形式。LEC法适用于对事故发生的概率、人员暴露时间和事故后果严重性进行半定量排序,有利于项目方把有限的资金投入到后果严重的工序上^[3]。但是在公铁立交情况下,LEC评分不能单独使用,还需考虑铁路营业线安全红线、结构监测阈值以及施工天窗条件等。表1给出了本项目的主要风险及其控制措施。

表1 公铁立交桥梁施工期主要风险及控制要点

风险源	扰动表现	可能后果	控制要点
桩基与基坑 施工	振动、降水、堆载改变 地基应力	路基沉降、隧道或 管线变形	分区施工、限载堆放、 沉降与位移连续监测
临时支架与现 浇梁	支架沉降、预压不足、 模板失稳	梁体线形偏差、坍 塌或坠物	专项验算、预压验收、 限界外防坠封闭
大型吊装与 转体	设备回转、牵引不同 步、风荷载放大	侵限、梁体偏转、 营业线中断	天窗作业、双机复核、 转体全过程监测
组织协调	调度命令、现场指令和 监测信息不同步	抢工、误操作、应 急延误	驻站联络、指令闭环、 异常停工授权
交通导改与公 众环境	道路拥堵、夜间噪声、 第三方闯入	次生事故、社会影 响扩大	围挡分区、交通诱导、 视频巡查

4 安全风险管控路径

4.1 前置化方案审查

施工前应当将涉铁安全条件纳入方案比选中,而不能成为开工后一项额外工作。对于上跨铁路、公路及市政管线位置,需同时进行铁路限界复核、接触网防护、地下管线探测、交通导改、临时结构设计以及应急预案等。彭颖对市政桥梁工程中的施工安全管理研究显示,城市桥梁的风险一般表现为多主体参与、多种环境暴露以及施工现场情况复杂易变等特征^[5]。因此,公铁立交项目需要有“设计方案——施工组织——运营条件”的综合考量,对于重大风险施工环节须有专家论证与条件确认。

4.2 分级化过程控制

过程控制应当根据风险大小进行管控力度,一级风险为营业线上方吊装、转体、架梁、深基坑靠近线路或有可能侵限作业,需经建设单位、施工单位、监理单位以及铁路设备管理单位确认后方可开始施工;二级风险为靠近线路大型机械设备作业、支架拆除安装、交通导改切换及夜间连续工作等,需进行旁站并且有记录;三级风险可根据项目部制定的标准表单进行检查。分级管控的重点不是表格化打分,而是要把停工权、复核权以及复工验收的责任分解到各个岗位上。

4.3 信息化监测预警

监测对象应包括铁路轨道几何状态、既有结构沉降及位移、支架沉降、梁体线形、转体角度、牵引力、风速以及周边交通情况。监测系统应设置黄色预警、橙色报警、红色停工三个等级,并规定数据上传频次、复核人及处理时间。对于沉降和位移等指标,应以变化趋势为主而不是仅关注某一点最大值;对于转动或起吊等指标,应以实时曲线及视频相结合的方式监测。莫蓉等人以LEC法为基础对涉铁桥梁的风险评估研究表明,风险等级划分应与现场实际情况相匹配,否则容易出现评估和施工分离的情况^[3]。

4.4 应急联动与恢复验收

公铁立交施工应当编制“异常停工—现场隔离—铁路通知—专业复测—处置恢复”的应急预案。对于侵限、坠物、监测超限、设备故障、强风暴雨以及突发交通堵塞等情况,应当规定最短的汇报途径及备选通讯手段。在恢复施工或者恢复正常通车之前,不能仅仅依赖施工方的自查,还需要有监理单位、铁路设备维护单位及相关领域的专家参与检查验收,必要时还要进行线路精细化整修、接触网检验和结构复核等工作。这才是一种可以被预演、可被记录、可被关闭的应急管理机制。

5 管控机制优化建议

第一,编制扰动清单。项目开工之前要根据地基、结构、设备、运营、交通及环境分为六大部分列出所有可能产生影响的因素,确定每一部分的影响途径、监测指标以及负责单位。第二,加强接口管控。对于铁路天窗、地方道路导改、物料运输以及大型机械设备进场与退场等均需做到每日有计划、每日有交底、每日有总结。第三,实现数字化留痕。对于重要环节使用摄像设备、传感器或者电子签名等方式进行记录保存以便日后追责。第四,关注人的因素风险。参与铁路上下人员必须了解铁路限界、防护信号、驻站联络以及紧急避险等内容,特种作业人员还需持证上岗。第五,健全第三方监测。对于跨营业线、邻近隧道或软弱地层等工程施工,可聘请第三方监测单位,增加信任度。

从治理逻辑来看,公铁立交桥梁施工安全不能简化为“把危险工序管住”。有效管理风险需要解决三个方面的内容:一是工程扰动是事故发生的基础条件;二是运营约束决定了事故造成的影响大小;三是组织协同决定了预警是否能够及时转化为行为。只有一并考虑上述三个方面,才能防止出现施工方案可行而

现场无法落实、技术措施到位但是信息传递不足的情况。

6 结论

公铁立交桥梁施工期的相互扰动具有多源耦合、跨界传递和动态演化特征。结构—地基扰动主要通过沉降、位移和附加应力影响既有线路及周边结构;设备—运营扰动主要表现为侵限、坠物、吊装偏差和转体不稳定对营业线安全的影响;组织—信息扰动则会因指令滞后、接口不清和应急响应不及时而放大风险后果。三类扰动并不是孤立存在的,而是会在施工窗口压缩、现场条件变化和多单位协同不足时相互叠加,形成由局部偏差向系统风险扩散的链条。因此,公铁立交桥梁安全管理不能只依赖单项技术措施,更需要把施工组织、运营保护、结构监测和应急处置纳入统一的闭环体系。结合案例分析可知,施工单位应在方案阶段前置识别涉铁条件,重点审查铁路限界、临时结构、机械作业边界和交通导改方案;在实施阶段落实风险分级、监测预警和异常停工授权,确保监测数据能够及时转化为现场处置动作;在收尾阶段完成线路、结构及周边环境恢复验收,并将监测超限、计划变更、机械故障和外部投诉等纳入复盘台账,按原因、处置过程、责任归属和改进措施分类归档,形成可复用的同类工程风险资料库。后续管理可进一步引入BIM、物联网监测和智能预警技术,推动风险识别由经验判断向数据支撑转变,提高扰动识别精度与跨部门协同效率,从而实现桥梁施工安全、铁路运营安全和周边交通秩序的统筹保障。

【参考文献】

- [1]贺志成.上跨铁路既有大吨位转体桥梁施工安全风险[J].中国水运,2026,(8):119-121.
- [2]薛小品.基于模糊层次分析法的跨铁路营业线桥梁施工安全风险研究[D].中国矿业大学,2024.
- [3]莫蓉,刘绪,王玉,等.基于LEC法涉铁桥梁施工安全风险评价[J].科技资讯,2024,22(17):204-207.
- [4]孙志涛.上跨既有铁路隧道公路桥梁工程施工对隧道结构安全的影响因素分析[J].四川水泥,2024,(2):169-172.
- [5]彭颖.市政桥梁工程项目施工安全风险评估研究[D].南京林业大学,2022.

作者简介:

马龙(1978—),男,回族,宁夏固原人,本科,高工,主要研究方向:城市轨道交通建设运营管理。