

# 新建转体桥梁上跨铁路路基施工阶段涉铁安全评价研究

冉腾飞

成都西南交通大学设计研究院有限公司北京路桥设计分公司, 北京 100162

**[摘要]**公路和市政道路涉铁项目日益增多,通过分析不同地区涉铁转体桥梁施工过程中施工工艺的特点,总结关于涉铁安全性评价的要点,对有特点的项目采用midas GTX NS软件建模,分析桥梁施工阶段对铁路路基的影响,并结合近些年涉铁相关规程,总结不同地质情况下施工转体桥梁对铁路路基的影响,进而在确保铁路路基安全的前提下优化设计。

**[关键词]**桥梁涉铁工程;铁路运营;风险源;安全评价

DOI: 10.33142/sca.v6i5.9194

中图分类号: U441.5

文献标识码: A

## Research on Safety Assessment of Railway Related Issues during the Construction Stage of Railway Roadbed Crossing on Newly Built Swivel Bridges

RAN Tengfei

Beijing Road and Bridge Design Branch of Chengdu Southwest Jiaotong University Design Institute Co., Ltd., Beijing. 100162, China

**Abstract:** The number of railway related projects on highways and municipal roads is increasing. By analyzing the characteristics of construction technology in the construction process of railway related rotating bridges in different regions, the key points of safety evaluation on railway related projects are summarized. For projects with characteristics, midas GTX NS software is used to model and analyze the impact of bridge construction stage on railway subgrade. Based on recent railway related regulations, summarize the impact of construction of swivel bridges under different geological conditions on railway embankments, and optimize the design while ensuring the safety of railway embankments.

**Keywords:** bridge related railway engineering; railway operations; risk sources; safety evaluation

### 引言

近些年国内经济高速发展,市政道路、公路和铁路交通网络渐渐紧密,两种不同交通跨(穿)铁路日益增加,新建转体桥梁上跨铁路路基的项目占比较多,为确保普速(高速)铁路运营的安全性,涉铁项目在施工过程中如何采取可靠的措施可减小对铁路路基的影响非常重要。因此有必要通过细化相关措施,消减涉铁施工可能出现的风险源,并通过有限元模拟的方式,对新建转体桥梁上跨铁路路基施工阶段涉铁安全评价研究。

### 1 涉铁工程施工安全评价的意义

目前,为加强新建公路、市政道路跨越普速(高速)铁路交叉工程的设计和施工安全管理,近日以来出具大量新规范和新规程,采用转体施工方式跨越对铁路运营影响较小。但由于涉铁项目的特殊性,就单个节点工程来说,无论是考虑涉铁工程的安全性,还是兼顾桥梁的经济性和施工周期,优化施工阶段的措施就显著尤为重要。采用转体方式的桥梁在转体前需要顺着铁路方向浇筑转体梁段,该过程需长时间邻近铁路施工;在新规范和新规程出具之前,此阶段并未足够重视,导致在施工过程中因危险源的判别和预防不足,不能完全确保铁路运营阶段的安全性。

结合《公路项目安全性评价规范》的要求,并在设计阶段提前考虑到施工过程中可能出现的风险源进行预判。采用经验分析和建模分析综合对待新建转体桥梁上跨铁

路路基施工阶段涉铁安全评价。

根据《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》,对邻近铁路营业线施工对铁路运输设备设施安全影响的通用技术标准进行要求;关于邻近铁路营业线施工期间铁路运输设备设施的变形监测,该规程提出了桥梁转体前施工阶段需要安全监测的内容与关键控制指标。



图1 转体前浇筑梁体

目前对于公路或市政桥梁涉铁工程,对影响铁路路基及轨道的规范及规程较为零散,需要总结近些年各规范、指南、规程等,并通过工程设计结果,对该类工程做好安全评价研究,是对铁路运营安全的保证。

### 2 转体梁跨铁路路基施工阶段安全评价的方式

新建转体桥梁上跨铁路路基施工时可采用定性和定量相结合的方法,对施工阶段对铁路的运营影响进行分析。

定性的分析主要是对评估风险源发生概率,可采用专家调查法、概率分析法、层次分析法、事故树法、模糊综合评价等方法确定,提出对降低风险源所做的预防和措施处理。定量的分析主要依托有限元软件进行建模分析,通过模拟施工场地,设计施工方案,临时加固措施等,得出铁路路基及轨道在施工过程中的变形数据,再结合相关规范、规程,优化施工工艺,将变形数据控制在规范范围内,确保铁路运营安全。采用以上两种方法对新建转体桥梁上跨铁路路基施工阶段进行安全评价,并提出评价意见。

### 3 桥梁邻近铁路路基、轨道施工的评价标准

新建转体桥梁邻近铁路施工过程对铁路运营长期造成影响,参照《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》,根据邻近施工对铁路运营影响设施的影响程度确定主要影响区、一般影响区和轻微影响区,对影响区内需要控制铁路运营安全的主要参数:即铁路轨道、路基位移(竖向和水平位移),接触网支柱竖向位移、倾斜。

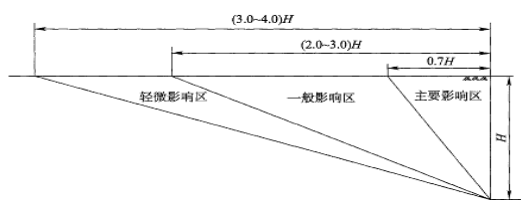


图2 普通铁路基坑工程影响分区

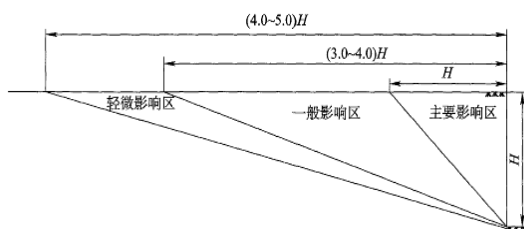


图3 高速铁路基坑工程影响分区

关于以上区域内主要参数的控制值详见下表。

表1 轨道位移变形控制值

项目		控制值 (mm)
高速铁路	轨道竖向位移	±2
	轨道水平位移	±2
普速铁路	轨道竖向位移	+3 -8
	轨道水平位移	±7

表2 铁路路基变形控制值

项目		控制值
高速铁路	无砟轨道	路基竖向位移 +2 -5 mm
	有砟轨道	路基竖向位移 +3 -8 mm
普速铁路		路基竖向位移 ±10 mm
		路基水平位移 ±7 mm
		接触网支柱竖向位移 ±5 mm
		接触网支柱倾斜 0.50%

各个数据是结合铁路原有的修理规则、各局铁路运输企业的高速铁路及普速铁路路基邻近施工经验,并结合路基工后沉降允许控制的值,和充分听取专家意见的基础上确定,并能满足保证铁路运营安全的需要。

由于施工对结构的影响具有一定的滞后性,如发现铁路设施变形量接近控制值时再采取控制措施,可能会很快会造成工程事故;故增加预警值和报警值来保障工程自身和邻近铁路营业线运营安全(预警值为控制值的60%,报警值为控制值的80%)。但在定量分析时,将控制值作为限值是可行的,不必将预警值作为设计依据,增加工程造价。

### 4 转体梁跨铁路路基施工阶段的评估特点

①收集涉及评估过程中需要的相关资料。调查新建桥梁工程区域内水文、地质、自然环境等资料,了解铁路等级、设计时速、运营状况及铁路设备,收集与评估对象相关的资料,包括新建转体桥梁的结构形式(包括细部尺寸)、跨径、结构采用的材料、施工过程中防护措施及可能进出场的大型机械和设备。

②明确转体桥施工阶段对铁路运营影响的内容。新建转体桥梁施工过程中需要顺着铁路施工,确定涉及影响铁路运营安全的工艺极为重要。新建桥梁将不可避免地在铁路路基周边进行大量施工工序,包括转体桥墩桩基础的施工、转体承台的基坑开挖及顺铁路浇筑梁体,都会打破既有铁路路基和土体之间的平衡状态,导致铁路设施出现水平位移和竖向沉降。通过有限元建模的方式进行分析,计算各施工工艺的变形量,参照《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》的控制值,评价施工阶段对铁路路基的安全影响。

### 5 以往案例分析

南环街东延位于忻州市忻府区东南片区,是忻州市城东片区路网的主骨架,也是东南片区对外联系的重要通道。南环街东延规划为主干路,上跨北同蒲铁路立交桥是本工程的节点型工程,桥梁宽度为37m,左右幅按分幅转体设计,左幅孔跨布置为(65+65)m T构+2x31m 预应力砼现浇箱梁,桥梁全长195.4m;右幅孔跨布置为2x22m 预应力砼现浇箱梁+(65+65)m T构,桥梁全长177.4m。

本桥表层0.8m为素填土,其下8m为粉土,地基承载力基本容许值为110kPa,故必须进行地基加固。根据截面横向受力位置,在腹板下方加固采用高压旋喷桩,在悬臂段采用碎石换填。高压旋喷桩直径为φ60cm,桩长5.0m,桩间1.1m,行列式布置。支架底与桩顶间铺设0.3m厚砂夹级配碎石褥垫层+0.2m厚C20混凝土面层后方可进行支架搭设。碎石换填用于悬臂板下方,宽度4.2m,换填深度0.5m。地基处理后顺铁路现浇转体梁段后转体施工,转体到位后现场浇筑合拢段。

①规性审查。合法依规性评估:根据《国铁集团工电部关于加强穿(跨)越铁路营业线和邻近营业线工程方案等审查和施工安全管理的通知(工电桥房函[2020]48号)》文关于“上跨开行客车的普速铁路的路基、桥涵地段,桥梁

施工应优先采用转体施工方案”的规定,本桥上跨北同蒲铁路为太原铁路局内的普速铁路,且桥址处地势空旷,具备转体施工的条件,本桥采用转体施工方案,满足以上两个文件的安全规定。

**铁路安全限界的安全性评估:**本桥跨铁路的桥墩边缘距铁路中心线最小距离 20.8m,与铁路接触网供电线最小距离 17.6m,满足安全限界的要求,并为铁路未来发展预留了空间。跨铁路最小净空为 9.05m,满足铁路建筑限界的要求。

**基坑施工的安全性评估:**本桥转体主墩基坑深度约 7.5m,基坑边缘与铁路中心线最小距离 15.7m,距离路基坡脚 12.7m。为保证铁路边坡安全,采用四周围护的桩基进行防护,且桥位处地下水较深,无需降水,可满足安全性要求。交接墩基坑深度约 3m,与铁路中心线最小距离 17.6m,与铁路路基坡脚最小距离 13.4m,为保证铁路边坡安全,在邻近铁路侧的基坑外周围用钢板桩防护,可满足安全性要求。

**转体梁段施工的安全性评估:**转体梁段与铁路方向斜交布置,交叉角度  $65^\circ$ ,长度为 65m+65m,转体前梁体边缘与铁路中心线最小距离 18.2m,距离路基坡脚 15.5m。考虑本桥转体梁段梁底距离地面高度约 2.5m 左右,结合地勘情况,在搭设支架前,先进行支架范围内地基进行处理,采用一层 30cm 二灰稳定碎石垫层对碎石杂填土进行换填,顶面再铺设 20cm 厚 C20 混凝土垫层。确保支架的地基承载力满足要求。梁体施工搭设的模板、支架、钢筋等均采用小型起重机械进行吊装,吊机平行于铁路站立,吊车站位处设置转向限位,确保吊车倾覆后臂端在硬隔离场地以内,不会侵入堑顶。搭设支架时沿既有铁路侧面在梁长范围设置防护排架,防护排架可与满堂支架并行搭设,连成一体以增强稳定性,并在其上面挂设密目防护网,防护网应适当高于梁体施工作业平台,防止梁体施工杂物飞入既有铁路范围,影响行车安全。梁体待转前,将梁上杂物清除后拆除排架及密目防护网。在支架与铁路之间靠近支架侧设置刚性物理隔离,防止车辆冲入路障内。

**转体施工的安全性评估:**转体施工是目前跨越铁路的成熟施工方法,对铁路影响时间短,安全性高,选择合适的球铰、有经验的施工队伍和做好监控量测、称重配重可保证顺利转体。

**合拢段施工的安全性评估:**邻近铁路侧的合拢段长度 5m,高度约 11m,距离铁路中心线 15.5m,距离供电线 12.7m,即使倾倒也不会侵入铁路安全限界,满足安全运营要求。

**邻近营业线大型机械施工安全性评估:**邻近营业线的大型机械有混凝土泵车、挖掘机、汽车起重机等,设计方案中对以上大型设备需给出指导性作业方案及注意事项,防止大型机械倾倒或侵限。

②设计方案对铁路的影响。本项目施工过程中邻近铁路,为了更直观地得出施工过程中铁路的变形情况,采用 MIDAS/GTS 有限元软件进行模拟,它包含施工阶段的应力分析和渗透分析等岩土和结构所需的几乎所有分析功能,

可以对复杂的几何模型进行可视化的直观建模。

模型沿铁路方向为 206m,垂直铁路方向为 260m,深度方向为 100m。土体采用修正摩尔-库伦模型来模拟土的本构关系,轨道采用 1D 梁单元模拟,基坑防护采用 2D 板单元模拟,其他结构均采用 3D 实体单元模拟,铁路荷载通过施加面荷载形式模拟,土体水平四周边界采用水平约束,底边界采用竖向约束。利用所确定的分层土的地质参数和土体计算模型尺寸,可建立三维平面有限元模型。

本工程结构采用桥梁转体施工,主要施工工序为初始状态、清表、桩基础施工、基坑开挖、结构施工及基坑回填、地基处理、转体浇筑、合拢等工序。

计算模型土体采用修正莫尔-库伦弹塑本构模型模拟,计算模型中建立了铁路的模型,作为相关计算的特征考查点。由于岩土工程的有限差分分析属于散体力学计算范畴,其计算精度有限;本模型中的相关变形计算数据仅反映考查参考点的变形数值,其大小仅反映新建结构施工中引起邻近铁路变形数值中的最大值。

结合同类工程实例的设计施工经验,参考前述内容得出的控制指标建议值,形成评估结论如下:(1)工程施工过程中轨道最大高低偏差管理值为 0.25mm,水平位移为 1.80mm,均满足变形限值要求。(2)工程施工过程中路基最大竖向位移为 7.47mm,水平位移为 1.84mm,满足变形限值要求。

综上所述,工程对铁路轨道、路基及接触网杆的变形产生了一定影响,但影响有限,考虑本项目场地内表层土质较差,采用了高压旋喷桩和碎石换填的加固方式后,顺铁路浇筑梁体过程对铁路所产生的影响能够满足控制标准。

## 6 结语

本文通过新建转体桥梁上跨铁路路基施工阶段对铁路影响进行了安全评价和实例分析。

(1)对涉铁桥梁施工阶段进行安全评价是保证铁路运营安全的重要保障,应充分研究施工过程中的风险源,并加以识别和干预,方可在施工中得到有效控制,减小对铁路运营安全的影响。(2)合规性审查可评估项目整体安全,复核法律法规和铁路规程。(3)采用有限元模型模拟现场施工对铁路的影响,能极大地通过数据优化施工措施,确保施工过程中铁路运营安全和铁路设备可靠。

### [参考文献]

- [1]周应华,田华兵.穿越式涉铁工程对高速公路桥梁影响的安全评价[J].路基工程,2022(5):48-52.
- [2]徐欣,彭道月,李伟.跨越式涉路工程安全评价技术研究[J].公路交通技术,2008(5):32-35.

作者简介:冉腾飞(1988—),男,本科学历,毕业于河南理工大学万方科技学院,就职于成都西南交通大学设计研究院有限公司北京路桥设计分公司,职务:设计一所所长,作者本人长期从事桥梁工程设计,现任荣获道路与桥梁工程师。