

# Analysis of the Influence of Ballastless Track Slab Laying on the Deformation of the Main Girder of the Long-Span & Beam Arch Composite Bridges of High-Speed Railway

Junbo Chen

Zhengzhou-Wanzhou Railway Passenger Dedicated Line Henan Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450015, China

## Abstract

In this paper, a large-span beam arch composite bridge of high-speed railway is taken as the research object. MIDAS/civil, a general finite element software, is used to establish the spatial finite element model of the bridge and ballastless track slab, and the numerical simulation is used to simulate the construction process of ballastless track slab laying. Under the action of self-weight load, the influence of three different laying sequence of ballastless track slab on the deformation of main beam is calculated. The analysis results show that the self-weight of ballastless track slab has a great influence on the vertical deformation of the main beam during the laying process, and the influence on the vertical deformation of the main beam can be offset by setting the pre camber of the ballastless track slab. When the ballastless track slab is constructed step by step from both ends of the bridge to the middle of the span, the laying sequence has the least impact on the vertical deformation of the main beam middle of the span. In the actual construction, the laying sequence of the ballastless track slab should be given priority, because it is more conducive to control the laying accuracy of the ballastless track slab.

## Keywords

high-speed railways; long-span & beam-arch composite bridges; ballastless track slab; laying sequence; numerical simulation

## 高速铁路大跨度梁拱组合桥无砟轨道板铺设对主梁变形的影响分析

陈俊波

郑万铁路客运专线河南有限责任公司, 中国·河南 郑州 450015

## 摘要

论文以某高速铁路大跨度梁拱组合桥为研究对象, 运用通用有限元软件 Midas/Civil 建立其与无砟轨道板空间有限元模型, 数值仿真模拟无砟轨道板铺设的施工过程。在自重荷载作用下, 计算无砟轨道板 3 种不同铺设施工顺序对主梁变形的影响。分析结果表明, 无砟轨道板在铺设过程中, 其自重对主梁竖向变形有较大影响, 可通过对无砟轨道板设置预拱度的方法以抵消其对主梁竖向变形的影响; 当无砟轨道板从桥梁两端向跨中的逐步施工时, 该铺设顺序对主梁跨中竖向变形影响最小, 在实际施工中应优先考虑该种无砟轨道的铺设顺序, 因为这更有利于控制无砟轨道板的铺设精度。

## 关键词

高速铁路; 大跨度梁拱组合桥; 无砟轨道板; 铺设顺序; 数值模拟

## 1 引言

目前高速铁路主要应用的轨道类型有两种, 分别是有砟轨道和无砟轨道。虽然两种类型的轨道结构均可以保证列车的安全运营, 但是随着列车运行速度的提高, 有砟轨道结构形式的弊端逐渐显现, 而无砟轨道以其高平顺性、高稳定性、高耐久性和低维修等优点, 在中国高速铁路及客运专线中被广泛应用<sup>[1]</sup>。

据相关统计, 中国高速铁路无砟轨道大部分铺设于桥梁结构上。桥梁是中国高速铁路建设系统的重要组成部分, 对

高速列车的行车安全性和乘车舒适性具有不可忽略的影响。而大跨度桥上铺设无砟轨道时, 桥梁的伸缩、挠曲均对无砟轨道有影响, 已成为中国扩大无砟轨道应用范围的一项技术难题。因此, 许多学者相继做了一些研究, 刘永存<sup>[2]</sup>根据桥梁变形曲线及车桥耦合动力响应分析结果, 提出大跨度桥梁铺设无砟轨道技术难点、技术要求与评价指标。杨艳丽<sup>[3]</sup>等提出特大桥铺设无砟轨道时的线型控制方法, 充分利用底座板和自密实混凝土层的厚度进行调整, 来控制主梁以及轨道

板线型。张鹏飞<sup>[4-5]</sup>等计算了列车荷载作用下无砟轨道及桥梁结构的挠曲力与位移,分析了不同车荷载作用长度等工况对挠曲力及位移的影响,分析了简支桥梁上 CRTSI 型无砟轨道的挠曲力与位移,并得出相应分析结论,为桥梁上 CRTSI 型无砟轨道的设计及结构安全性提供参考数据。左家强<sup>[6]</sup>对矮塔斜拉桥无砟轨道的适应性的研究得出了相应分析结果。陈嵘<sup>[7]</sup>等分析温度荷载下梁轨耦合作用规律,得出相应分析结论,为桥上纵连板式无砟轨道无缝线路的设计、施工及后期养护维修提供参考。Sheng Xingwang<sup>[8]</sup>等分析了大跨度斜拉桥上无砟轨道的力学行为和疲劳性能,分析表明随着疲劳后荷载的增加,无砟轨道的荷载-位移曲线和荷载-压力曲线表现出明显的非线性。赵国堂<sup>[9]</sup>等对不同车速下扣件支反力和复合板与底座板下荷载横向分布规律进行分析,得出相应分析结论,建议对无砟轨道开展针对性研究,完善无砟轨道设计参数。朱志辉<sup>[9]</sup>等通过计算列车荷载和温度作用下 CRTSI 型无砟轨道结构和桥面板的竖向位移曲率、轨道层间压缩量和梁端转角,分析无砟轨道与大跨度斜拉桥间的变形适应性。

综上所述,在以往的研究过程中,中国外学者针对无砟轨道施工技术、轨道力学性能、轨道变形等得出相应结论,而很少涉及到无砟轨道板铺设对桥梁变形的影响。本文依托实际工程,利用有限元分析软件 Midas/Civil 建立高速铁路大跨度梁拱组合桥及无砟轨道板的空 间有限元模型,数值仿真模拟无砟轨道板铺设的施工过程,分析无砟轨道板不同铺设施工顺序对主梁变形的影响,所得结论可为高速铁路桥梁无砟轨道板的铺设施工提供参考。

## 2 工程概况

某高速铁路大跨度梁拱组合桥为(64+128+64)m 预应力混凝土连续梁-拱组合体系。桥梁全长 257.5m,桥梁全宽 11.2m。梁体为单箱单室、变高度、变截面箱梁。拱肋计算跨径为 128m,设计矢高  $f$  为 25.6m,拱肋中心线矢跨比 1/5。全桥共设 28 根吊杆,吊杆顺桥向间距 8.0m,无砟轨道板采用 CRTSI 型结构形式。桥梁立面图如图 1 所示。

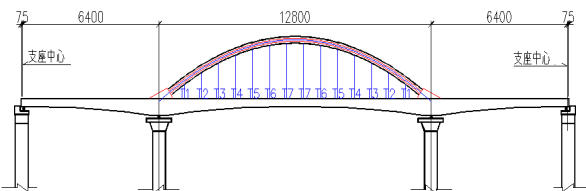


图 1 高速铁路大跨度梁拱组合桥立面图 (单位:cm)

## 3 高速铁路大跨度梁拱组合桥有限元模型的建立

采用有限元分析软件 Midas/Civil 建立桥梁和无砟轨道板的空 间有限元模型,其中,主梁、拱肋和吊杆横梁采用空 间梁单元模拟,吊杆采用只受拉桁架单元模拟。横撑采用空 间梁单元建立,轨道板采用空 间梁单元建立在主梁的上方,根据全桥的跨度,一共建立 50 块无砟轨道板,依据设计每块轨道板之间留有 70mm 伸缩缝,轨道板节点与主梁对应节点采用刚性连接。单元的划分由结构特点及计算精度要求决定。边界条件依据支座布置形式设置为:边支点及右侧中支点约束竖向、横向平动、绕纵桥向转动和绕竖向转动,左侧中支点约束全部平动自由度和绕纵桥向及竖向转动。全桥有限元模型共计 757 个节点和 928 个单元,如图 2、图 3 所示。

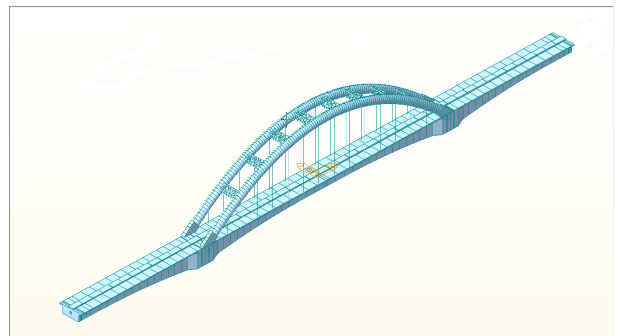


图 2 桥梁有限元模型

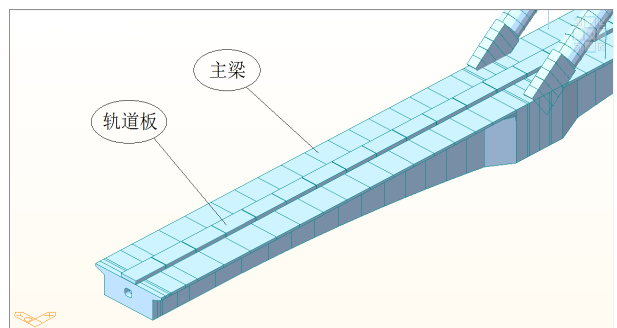


图 3 无砟轨道板有限元模型

## 4 无砟轨道板铺设对主梁变形的影响

为探讨无砟轨道板的铺设过程对桥梁主梁变形的影响,对 50 块无砟轨道施工的铺设过程进行数值仿真模拟,对其开展施工阶段分析。

由于轨道板铺设开始于桥梁主体结构完成后,所以在桥梁主体结构施工完后,将其成桥状态划分为第一个施工阶段

(称为成桥阶段),而后根据实际轨道板铺设顺序依次划分多个施工阶段。

由于无砟轨道板在桥梁上可能采取的铺设顺序,考虑无砟轨道板3种铺设工况模拟无砟轨道板铺设的施工过程。工况1:从桥梁跨中向两端对称铺设;工况2:从桥梁两端向跨中对称铺设;工况3:从桥梁一端向另一端单向铺设。3种工况下的施工阶段划分情况见表1所示,其中无砟轨道板的编号从桥梁左端到右端依次为1~50#。

表1 不同工况下的施工阶段划分情况

施工阶段号	施工阶段描述		
	工况1	工况2	工况3
1	成桥阶段	成桥阶段	成桥阶段
2	25#、26# 轨道板施工	1#、50# 轨道板施工	1# 轨道板施工
3	24#、27# 轨道板施工	2#、49# 轨道板施工	2# 轨道板施工
...	...	...	...
25	2#、49# 轨道板施工	24#、27# 轨道板施工	24# 轨道板施工
26	1#、50# 轨道板施工	25#、26# 轨道板施工	25# 轨道板施工
27	—	—	26# 轨道板施工
...	...	...	...
50	—	—	49# 轨道板施工
51	—	—	50# 轨道板施工

在3种工况下,考虑自重荷载作用,计算不同施工阶段下由各轨道板引起的主梁跨中竖向变形值,如图4~6所示。

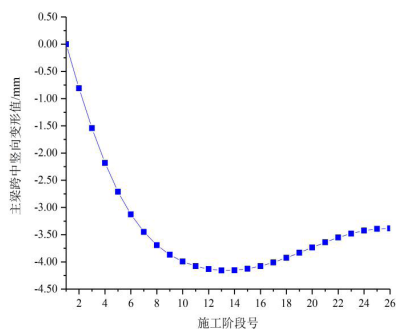


图4 工况1下各施工阶段主梁跨中竖向变形

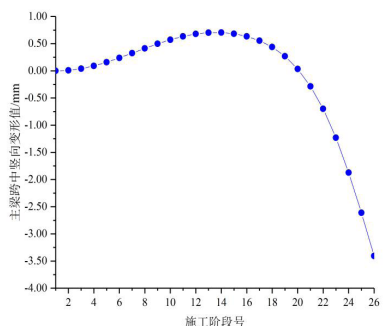


图5 工况2下各施工阶段主梁跨中竖向变形

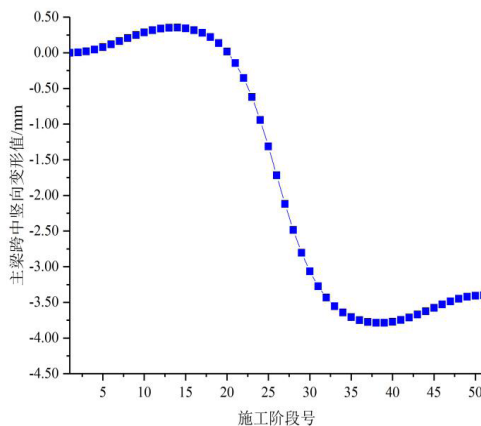


图6 工况3下各施工阶段主梁跨中竖向变形

从图4~6可以看出,当轨道板在桥上铺设完成后,工况1~工况3下的主梁跨中竖向变形最大值分别为4.16mm、3.41mm和3.79mm。根据CRTSIII型无砟轨道施工质量验收标准,轨道板铺设高程允许偏差 $\pm 0.5\text{mm}$ 。因此不能忽略轨道板铺设时,其自重对主梁竖向变形的影响,特别是在主梁跨中位置。为解决上述问题,可以通过对无砟轨道板设置预拱度以抵消其对主梁竖向变形的影响。各块无砟轨道板在铺设时的预拱度值,可通过提取最后一个施工阶段轨道板对应的主梁上节点竖向位移反向值来获取。

从图4可以看出,在工况1下,随着无砟轨道板的铺设,主梁跨中的竖向挠曲变形先下挠再上拱,其最大下挠值为4.16mm;从图5可以看出,在工况2下,随着无砟轨道板的铺设,主梁跨中的竖向挠曲变形先上拱后下挠,其最大下挠值为3.41mm;从图6可以看出,在工况3下,随着无砟轨道板的铺设,主梁跨中竖向挠曲变形呈现先上拱后下挠再上拱的趋势,其最大下挠值为3.79mm。

工况1下的无砟轨道板铺设顺序使得桥梁主梁跨中竖向挠曲变形最大,工况2下的无砟轨道板铺设顺序使得桥梁主梁跨中竖向挠曲变形最小。在无砟轨道实际施工铺设时,可优先选用从桥梁两端向跨中对称铺设的施工顺序,这更有利于控制无砟轨道板的铺设精度。

## 5 结语

论文运用Midas/Civil有限元软件建立大跨度梁拱组合桥和无砟轨道板的空问有限元模型,仿真模拟了无砟轨道板的铺设施工过程,分析了无砟轨道板三种不同铺设方式对主梁跨中竖向变形的影响。得出如下结论:

(1) 无砟轨道板在大跨度梁拱组合桥上铺设时,其自重对主梁竖向挠曲变形的影响显著,主梁跨中最大竖向变形可达4.16mm。为精确控制无砟轨道板铺设时的立模标高,应对无砟轨道板的铺设过程进行施工监控,通过其施工阶段分析,确定每块无砟轨道板铺设时应设置的预拱度值,以抵消无砟轨道板铺设对主梁竖向变形的影响,保证无砟轨道板铺设的高程精度。

(2) 无砟轨道板不同的施工铺设顺序对主梁竖向挠曲变形的影响亦不同,当无砟轨道板从桥梁跨中向两端对称铺设时,引起的主梁跨中竖向挠曲变形最大,而当无砟轨道板从桥梁两端向跨中对称铺设时,引起的主梁跨中竖向挠曲变形最小。在无砟轨道的实际施工铺设过程中,结合现场施工条件,可优先选用从桥梁两端向跨中对称铺设的施工顺序,在施工时同步对轨道板进行监控高程,这样更有利于控制无砟轨道板的铺设精度。

### 参考文献

- [1] 张馨月. 高速铁路特大桥上无砟轨道力学特性研究 [D]. 北京交通大学, 2017.
- [2] 刘永存. 大跨度刚构拱桥铺设无砟轨道适应性研究 [J]. 铁道工程学报, 2019, 36(06): 51-55.
- [3] 杨艳丽, 严爱国. 赣江特大桥无砟轨道施工线形控制关键技术 [J]. 中国铁路, 2019(11): 104-108+113.
- [4] 张鹏飞, 桂昊, 雷晓燕, 等. 列车荷载下桥上 CRTS III 型板式无砟轨道挠曲力与位移 [J]. 交通运输工程学报, 2018, 18(06): 61-72.
- [5] 张鹏飞, 桂昊, 高亮, 等. 简支梁桥上 I 型板式无砟轨道挠曲受力与变形 [J]. 铁道工程学报, 2017, 34(05): 15-19+44.
- [6] 左家强. 商合杭铁路矮塔斜拉桥无砟轨道适应性研究 [J]. 铁道工程学报, 2018, 35(06): 36-40.
- [7] 陈噪, 邢俊, 谢铠泽, 田春香, 王平. 温度荷载下纵连式无砟轨道梁轨耦合作用规律 [J]. 铁道工程学报, 2017, 34(03): 15-21.
- [8] Sheng, Xingwang, Zheng, Weiqi, Zhu, Zhihui. Mechanical Behaviors and Fatigue Performances of Ballastless Tracks Laid on Long-Span Cable-Stayed Bridges with Different Arrangements [J]. Sensors, 19(2019): 4195.
- [9] 赵国堂, 张鲁顺, 赵磊. 高速铁路 CRTS III 型板式无砟轨道车辆荷载横向传递规律研究 [J]. 北京交通大学学报, 2019, 43(01): 7-17.