

# 银西铁路黄河特大桥架拱吊机走行 对平联接头板的受力分析

田亮<sup>1,2</sup>, 赵健<sup>2</sup>, 李向海<sup>2</sup>, 陈贤宁<sup>2</sup>

(1. 石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043; 2. 中国铁建大桥工程局集团有限公司, 天津 300300)

**摘要:**银西铁路银川机场黄河特大桥为连续钢桁柔性拱桥。钢桁梁采用74 t架梁吊机由中跨向边跨对称悬臂拼装, 柔性拱架设采用40 t全回转架梁吊机, 先架设中拱, 后架设边拱。基于ABAQUS软件建立了架拱吊机穿拱走行时, 钢梁弦杆和平联接头板连接部位的壳单元有限元模型, 分析了采用两种不同尺寸垫板时, 结构的整体受力行为。研究表明, 当平联分肢单独受载时, 平联接头板连接部位受力较大, 结构整体变形较大, 存在施工风险; 当各平联分析均匀受载时, 节点连接部位受力状况良好, 结构整体变形小, 满足施工要求。

**关键词:**银西铁路; 钢桁梁柔性拱; 架梁吊机; ABAQUS; 有限元分析

**中图分类号:**U446; U448.23 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2018)02-0006-05

## 0 引言

随着桥梁施工技术的进步, 国内外钢桁梁桥的主梁架设方法已逐渐成熟, 主要有: 鹰架法、悬臂施工法、顶推施工法、整孔架设法等, 各施工方法需根据桥梁结构形式、水文地质条件和设备装配能力综合确定<sup>[1-2]</sup>。悬臂架设法适用于各类大中跨度桥梁, 其优势是所需专用辅助结构和设备较少, 适合在桥高、大跨和通航、水深流急的桥位进行拼装。架梁吊机则是悬臂拼装钢梁时常用的桥梁专用施工装备, 进行吊装作业时通常将其支腿锚固在主梁上弦的节点板上, 吊机沿上弦轨道纵向走行, 一边拼装钢梁杆件, 一边逐步向前推进。因此, 当采用架梁吊机进行钢梁悬臂拼装架设时, 不仅要满足悬臂端抗倾覆稳定性要求, 还要保证吊机走行时钢梁各部位的受力安全。

目前, 针对各类型中、大跨度桥梁施工过程中的线形控制、应力监测以及方案优化等研究工作已经有很多<sup>[3-6]</sup>, 但是对于吊机悬拼走行时对钢桁梁杆件局部受力行为的研究还比较少见, 这将有可能导致结构局部应力超标或失稳<sup>[7-8]</sup>。以银川机场黄河特大桥为工程背景, 对吊机走行时钢梁弦杆和平联接头板的受力状态进行计算分析, 以保证上平联各分肢的载荷分配合理, 钢梁各关键部位的受力满足施工要求。

## 1 工程概况

银川机场黄河特大桥为新建银川至西安客运专线的控制工程, 全桥起点位于银川市河东机场, 向西上跨黄河至银川南部。主桥跨越黄河, 位于9#~17#墩之间, 桥跨布置为1联96 m简支钢桁梁+2联3×168 m连续钢桁柔性拱+1联96 m简支钢桁梁, 桥跨布置如图1所示。

主桥上部结构为连续钢桁梁柔性拱, 孔跨为(3×168)m, 主桁宽13.8 m, 高12.8 m。1联钢桁梁柔性拱共44个节间, 其中两边跨各15个节间, 中跨14个节间。拱圈矢高28 m, 矢跨比1/4.71, 拱圈总共34个节间, 其中两边拱各12个节间, 长度均为11 m, 中拱10个节间, 长度均为12 m。连续钢桁梁柔性拱如图

收稿日期: 2017-02-20 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2018.02.02

作者简介: 田亮(1984—), 男, 工程师, 工学博士, 主要从事大跨径桥梁结构分析及施工组织设计。E-mail: whut\_tl@126.com

田亮, 赵健, 李向海, 等. 银西铁路黄河特大桥架拱吊机走行对平联接头板的受力分析[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2018, 31(2): 6-9.

2 所示。

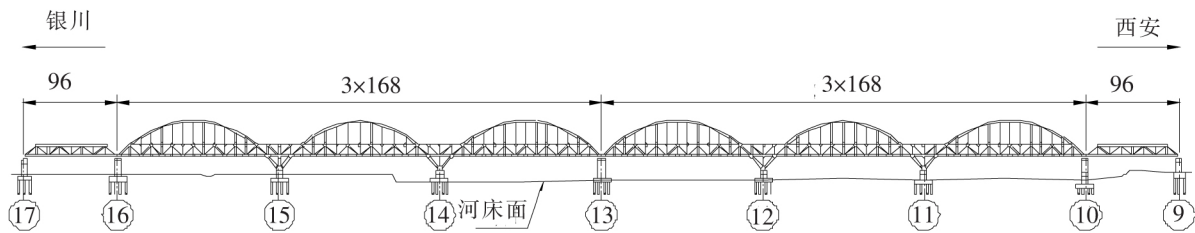


图 1 银川机场黄河特大桥桥跨布置图(单位:m)

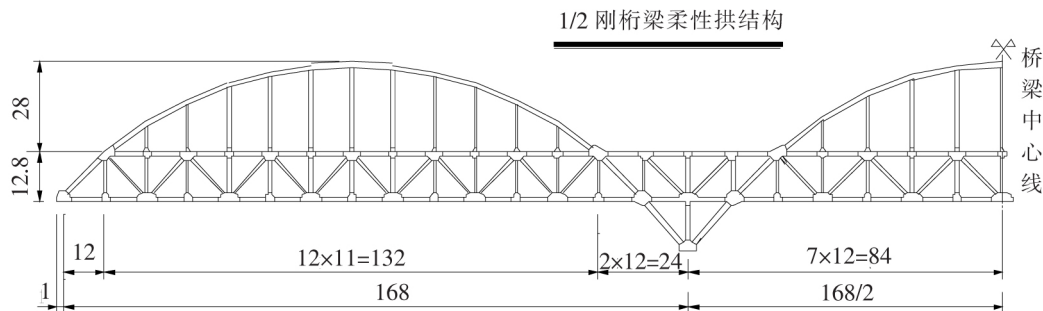


图 2 3×168 m 连续钢桁梁柔性拱结构图(单位:m)

银川机场黄河特大桥钢桁梁架设采用 75 t 架梁吊机由中跨向两边跨对称悬臂拼装,柔性拱架设采用 40 t 全回转吊机,先架设中拱,后架设边拱。架拱过程中需要穿越柔性拱,拱脚处 2 个节间的拱平联不与拱同步安装。吊机在拼装柔性拱时,锚固在主梁上弦杆,主桁上弦杆刚度较大且柔性拱杆件较轻,此时吊装杆件结构是安全的。而当吊机穿拱走行时,吊臂放置于变幅角最小位置,如图 3 所示,在上弦杆与平联连接的节点部位设置垫板,吊机轨道放置于垫板上,由垫板向弦杆和平联分肢传递荷载,由于上平联的刚度较弱,该连接部位的受力直接影响钢梁上弦和平联接头板的安全,因此有必要对其进行计算分析。

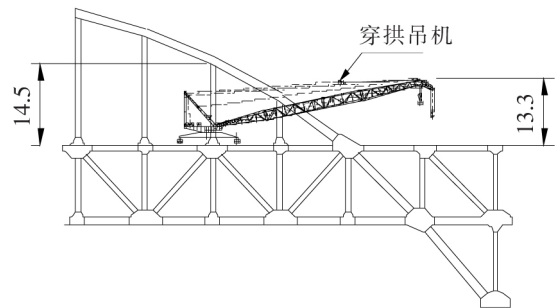


图 3 架拱吊机穿拱走行示意图(单位:m)

## 2 计算模型

银川黄河桥钢桁梁每个节间上弦之间均设置平纵联,上平联与接头板一端采用 M30 高强摩擦型螺栓连接,接头板另一端与上弦杆焊接。穿拱吊机走行时荷载施加于平联接头板,该节点连接众多杆件,为受力不利区域。选取钢梁上弦和平联连接的典型节点区域建立细部结构模型,施加相应的荷载和边界条件,对该部位的受力状况进行评估。

### 2.1 有限元模型

基于 ABAQUS 软件,建立上弦和平联节点连接区域的细部模型,结构采用减缩积分通用壳单元 S4R 进行模拟<sup>[9]</sup>,整体模型如图 4 所示。垫板放置于接头板之上,吊机荷载通过垫板向弦杆及各平联分肢传递。设计两种不同尺寸规格的垫板,一种垫板较短,尺寸为 600 mm×240

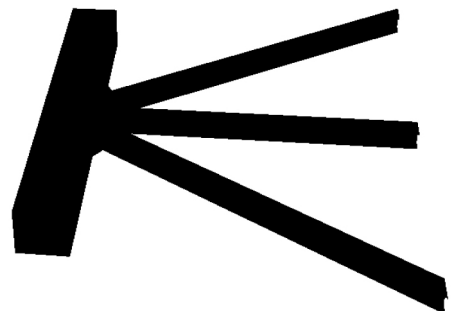


图 4 钢桁梁上弦平联模型

mm×20 mm,纵向覆盖中间平联,横向距离弦杆较远,模型 1 如图 5 所示;另一种垫板较长,尺寸为 1 600 mm×200 mm×20 mm,纵向覆盖 3 个平联分肢,且横向距离弦杆较近,模型 2 如图 6 所示。

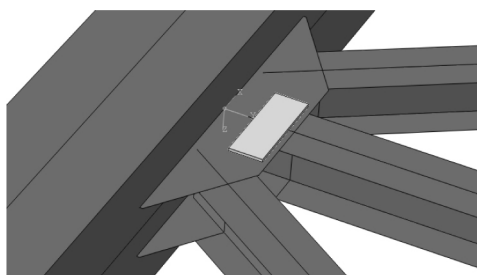


图 5 模型 1

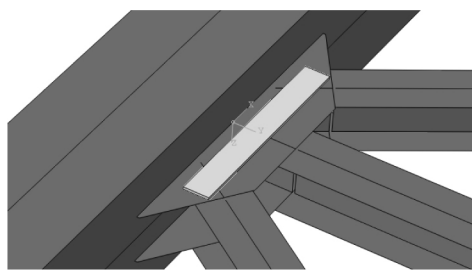


图 6 模型 2

## 2.2 载荷及边界

钢梁主体结构材料采用 Q370qE,弹性模量  $E=210$  GPa,由于板厚的影响,屈服强度  $\sigma_s=330$  MPa,容许应力  $[\sigma]=200$  MPa。按照设计图纸,分别对壳单元赋予不同的板厚属性。吊机行走时,轨道单侧支点反力为 35 t,以面荷载的形式施加于垫板上。为了尽可能准确地模拟荷载传递情况,垫板与节点板采用面对面接触方式,有限滑移算法,接触关系定义为只受压不受拉,其中垫板为主面,接头板为从面。为提高计算效率,沿桥梁纵向中心线建立一半模型,在对称面施加关于 Y 平面的对称约束,即  $UY=RX=RZ=0$ ,弦杆两端面施加固定约束,边界如图 7 所示。

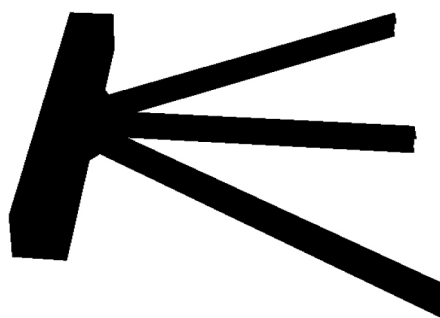


图 7 模型施加的边界条件

## 3 结果分析

基于建立的钢梁上弦及平联连接部位的有限元模型,采用两种垫板规格,即平联单肢受力模型(模型 1)和平联多肢受力模型(模型 2),对吊机穿拱走行时平联接头板区域的受力进行计算,并对计算结果进行分析讨论。

### 3.1 平联单肢受力

模型 1 的垫板纵向约覆盖中平联,横向距离弦杆较远,吊机荷载主要由中平联承担,由图 8 可知,当中平联单肢受力时,最大应力出现在接头板与弦杆连接的中间区域,约 268 MPa,虽然没有超过材料的屈服应力,但考虑到吊机走行时的不均匀受载,材料的应力储备是偏低的。图 9 为平联单肢受力时的竖向变形分布,平联对称面处的刚度最小,竖向位移最大值约 50 mm。因此,当吊机荷载不均匀分布导致平联单肢受力时,钢梁上弦和平联接头的结构受力不安全,存在施工风险。

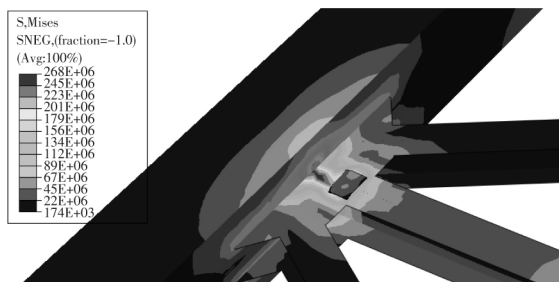


图 8 模型 1 Mises 应力云图(单位:Pa)

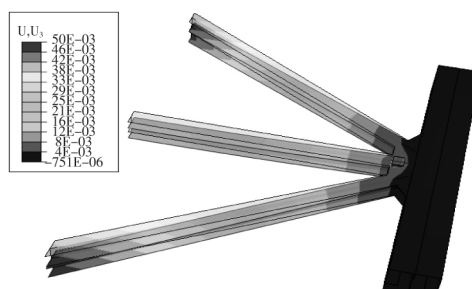


图 9 模型 1 竖向变形(单位:m)

### 3.2 平联多肢受力

模型 2 的垫板纵向覆盖 3 个平联,横向约位于接头板的中间,3 个平联分肢参与受力。由图 10 可知,当多肢受力时,接头板的最大应力出现在接头板中间区域,并向上弦杆扩展,最大 Mises 应力约 112 MPa,低于材料的容许应力 200 MPa,应力安全储备较高。从图 11 的竖向位移云图可得到,最大位移同样出现在平联对称面处,最大值约 41 mm。因此,当吊机荷载分布较均匀,各平联分肢均参与受力时,接头部位的受力状况较好且平联变形也较小,吊机穿拱走行工况相对安全。

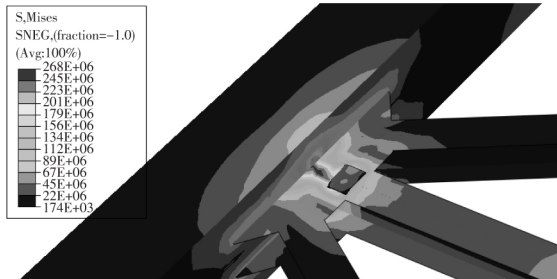


图 10 模型 2 Mises 应力云图(单位:Pa)

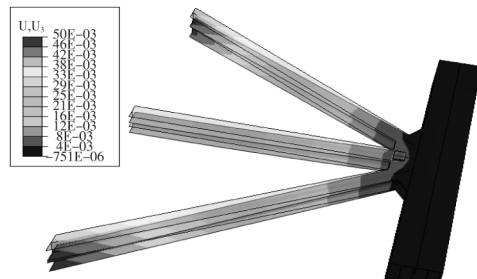


图 11 模型 2 竖向变形(单位:m)

## 4 结论

基于 ABAQUS 软件建立了吊机穿拱走行工况下,钢梁上弦和平联接头连接区域的细部结构有限元模型,对两种不同尺寸的垫板所导致的结构不同的受力模式进行了对比研究,得到以下结论:当不均匀受载引起平联分肢单独受力时,平联接头板连接部位的受力偏于危险,结构整体变形较大,存在施工风险;当各平联分肢均参与受力时,节点连接部位的受力状况良好,结构整体变形小,施工相对安全。因此为了避免发生施工事故,应该尽可能在吊机穿拱走行时避免接头板不均匀受载,使得各平联分肢均匀参与受力。

## 参 考 文 献

- [1] 岳丽娜, 陈思甜. 钢桁梁桥施工架设方法研究综述[J]. 公路交通技术, 2006(3):86-89.
- [2] 邓永锋. 大跨度斜拉桥斜主桁钢桁梁架设及施工控制措施研究[D]. 长沙:中南大学, 2013.
- [3] 林建平, 汪劲丰, 陈春雷, 等. 槽形组合钢梁桥顶推施工线形控制[J]. 桥梁建设, 2014, 44(4):102-106.
- [4] 赵晓龙, 王慧东. 松花江大桥悬臂施工线形控制技术[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2010, 23(1):35-40.
- [5] 王军文, 王昱, 张运波. 钢管混凝土连续梁拱组合桥施工期拱脚应力监测与分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2015, 28(4):1-5.
- [6] 吴桐金. 自锚式悬索桥钢箱梁施工方案对比[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2013, 26(S1):263-265.
- [7] 徐晨, 吴冲, 潘蕾, 等. 多跨连续槽形钢梁施工受力分析[J]. 结构工程师, 2009, 25(2):41-45.
- [8] 蒋雄. 大跨度自锚式悬索桥钢箱梁顶推施工局部稳定性分析[D]. 长沙:长沙理工大学, 2012.
- [9] 王玉镯, 傅传国. ABAQUS 结构工程分析及实例详解[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.

## Stress Analysis of Erection Crane Walking on Top Bracings Joint Plates for Yellow River Bridge of Yin-xi High Speed Railway

Tian Liang<sup>1,2</sup>, Zhao Jian<sup>2</sup>, Li Xianghai<sup>2</sup>, Chen Xianning<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group Co., Ltd., Tianjin 300300, China)

**Abstract:** The yellow river grand bridge of Yinchuan airport is a continuous steel truss girder

(下转第 26 页)

## 参 考 文 献

- [1]朱占国,赵文,李慎刚,等. 地铁深基坑支护结构计算方法研究[J]. 地下空间与工程学报,2013,9(5):1109-1114.
- [2]任建喜,张引合,张馄. 西安地铁车站深基坑变形规律 FLAC 模拟研究[J]. 铁道工程学报,2011,28(3):90-93.
- [3]肖武权,冷伍明. 深基坑支护结构设计的优化方法[J]. 岩土力学,2007,28(6):1201-1205.
- [4]王晓伟,童华炜. 考虑深基坑坑角效应的支护结构变形计算[J]. 地下空间与工程学报,2011,7(3):479-484.
- [5]蓝日彦. 深基坑排桩支护土压力及变形的试验研究[D]. 南宁:广西大学,2002.
- [6]刘均红. 黄土地区地铁车站深基坑变形监测与分析[J]. 中国铁路,2009(8):68-71.
- [7]刘勇,冯志,黄国超. 北京地铁工程深基坑围护结构变形研究[J]. 地下空间与工程学报,2009,5(2):329-335.
- [8]刘继国,曾亚武. FLAC 3D 在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J]. 岩土力学,2006,27(3):505-508.

## Application of Reinforced Concrete Curved Beams Brace of Complex Supporting Structure in Design of Metro Deep Foundation Pit

Shi Jiangang

(Urban Architecture and Rail Transit Design Institute, China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Because of the influence of the surrounding environment, the plane layout of urban deep foundation pit gradually evolves into a complex polygon. The traditional enclosure structure consists of a series of inner-support rods system. It is difficult to put it into practice limited by various ground conditions. Based on the complex deep foundation layout shape characteristics, design feasibility, construction safety, and construction convenience, this paper puts forward a kind of enclosure structure system with curved beams and supporting bars, which is suitable for the complex characteristics of the deep foundation pit. Taking practical engineering as the background, the enclosure structure system is described in detail, including the composition of the system, the characteristics of the support scheme, the method of structure checking and the specific design parameters, etc. Finally, the feasibility of the design scheme is verified by the field monitoring results.

**Key words:** metro; deep foundation pit; supporting structure; curved beams

(上接第 9 页)

bridge with flexible arches. The steel truss is cantilever assembled symmetrically using a 74 t erection crane from middle span to side span, and 40 t rotary crane is used to assemble the flexible arch, whose middle part is assembled at first, and side part is assembled afterwards. In this paper, a shell finite element model for the connecting part between steel chords and top bracing pieces is established base on ABAQUS when the crane walking through the arch, then the mechanical behaviors of the structures under two different sizes of backing plates are analyzed. The research results show that the stress state of the connecting parts is unfavorable and the overall deformations of the structure are larger when the top bracing limbs are loaded separately, which has detrimental effect on the construction safety. When the connecting parts are in good condition and structure deformations are relatively small, the structure satisfies the construction requirements.

**Key words:** Yin-xi railway; steel truss girder with flexible arch; 40 t erection crane; ABAQUS; finite element analysis