

敞开式跨线天桥拆除工程施工方案的优化比选分析

夏良杰

中国铁路北京局集团有限公司北京工电大修段 北京 100071

【摘 要】鉴于某敞开式人行天桥横跨繁忙铁路干线,该桥服役年代久远,且接触网承力索距离天桥梁底较近,存在诸多不安全因素,相关设计文件及图纸均缺失。本文通过外观检测结合计算模拟分析,确定最优施工方案,为信息化施工提供数据参考。该方案顺利实施,给同类结构天桥拆除提供现实借鉴。

【关键词】跨铁路人行天桥; 敞开式钢桁架梁; 模型分析; 方案优化

1 概述

近十几年来,关于跨既有线铁路施工,主要集中在新建铁路、改造等方面研究,而且工程规模大,投资高,对跨线天桥拆除工作研究较少。跨既有线天桥拆除是一个安全风险极高的工作,涉及到行车安全、时间卡控、施工组织、站段配合等多方面的问题。桥梁拆除方法有机械拆除、爆破拆除。对于跨铁路人行天桥,采用爆破拆除是不可取的,大多采用机械拆除方法。杨青^[1]根据现场实际情况采用150t吊车对边跨进行吊装拆除,然后采用400t大型吊车对主跨(上跨渝怀线)进行吊装拆除。彭涛^[2]阐述了高铁既有线新增站场天桥钢桁架吊装的技术控制要点和施工控制要点。赵辉^[3]采用绳锯切割钢筋混凝土箱梁分段吊装,满堂支架作为辅助支撑,拆除既有线铁路既有引桥。

本文以某敞开式人行天桥横跨繁忙铁路干线的拆除工程为依托,该天桥杆件钢材产地为英国北拉纳克郡,相关设计文件及图纸均缺失,且服役达到现有规范年限值,通过桥梁检测、查阅相关资料,建立有限元模型,进行施工方案优化比选分析,选择最佳跨线天桥拆除方案并成功完成拆除。

2 工程概况

该桥位于某繁忙干线车站内，始建于1958年，为一座钢桁架结构敞开式跨线天桥。主桁跨度为27.5米，桁高2.4米，主桁中距3.4米，主桁高度为8.15米，两侧设有引桥，主纵梁为双260槽钢，桥上铺设预制钢筋混凝土人行步板。该人行天桥跨越站内4股道线路，中间两股道为繁忙干线上下行正线，均为电气化铁路，天桥下有接触网，接触网承力索距离天桥梁底为400mm，1站台（南侧）天桥主跨两侧约4米设有接触网塔架，上方设有回流线。2站台北侧为5道，5道北侧为货场围墙，围墙北侧为货场内线路7、9、11

道（非电化），7、9道间有一道砟墙。主桁架下立柱为高200mm工字钢结构，引桥下立柱为钢筋砼立柱。杆件钢材产地为英国北拉纳克郡，相关设计文件及图纸均缺失。

目前,本桥距今已服役整整六十年,天桥桁架梁杆件存在不同程度锈蚀,且目前站内已不承担客运业务,接触网承力索距离天桥底较近,存在诸多不安全因素。人行天桥全貌如图1所示,桁架梁截面示意图如图2所示。



图1: 人行天桥全貌图

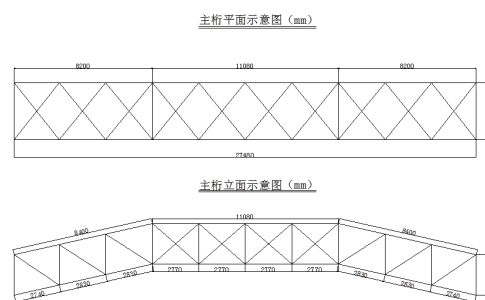


图2: 桁架截面示意图

经过外观检测,桁架梁主要杆件情况统计如下:上弦杆、下弦杆均为双槽钢,尺寸为 $260\text{mm}\times 100\text{mm}\times 15\text{mm}$ 。竖杆采用扁钢或双角钢,尺寸有扁钢 $80\text{mm}\times 10\text{mm}$ 、角钢 $80\text{mm}\times 80\text{mm}\times 10\text{mm}$ 、角钢 $75\text{mm}\times 75\text{mm}\times 10\text{mm}$ 、角钢 $90\text{mm}\times 78\text{mm}\times 10\text{mm}$ 、角钢 $75\text{mm}\times 75\text{mm}\times 12\text{mm}$ 等。端竖杆为双角钢,尺寸为角钢 $150\text{mm}\times 80\text{mm}\times 10\text{mm}$ 、角钢

110mm×80mm×12mm。下横梁为工字钢125mm×125mm×12mm。上斜撑为双角钢90mm×90mm×10mm，下斜撑为扁钢80mm×10mm。预制钢筋混凝土步板为长方形3500mm×400mm×100mm，工字钢支柱200mm×150mm×15mm。

3 计算模型及参数

3.1 检算模型

结构检算采用MIDAS/Civil 2022建立空间杆系有限元模型，结构模型如图3。

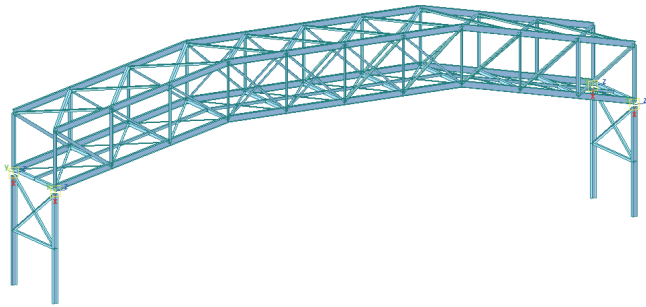


图3: 27.48m桁架梁模型

3.2 材料参数

由于所有原材料均产自英国，图纸档案资料缺失，根据调查英国钢材相关资料，桁架梁钢材型号选取英规BS中40B号钢材。类似于GB中Q235号钢材。杆件统一采用偏安全杆件小尺寸考虑设置。

3.3 支承方式

桁架梁下弦杆梁端处采用铆钉与竖向工字钢连接，考虑简化采用支座方式模拟支承方式，采用弹性连接中刚性连接主桁梁与竖向支柱工字钢。

3.4 计算荷载

(1) 恒荷载

恒荷载为结构自重和二期恒载。钢材自重取76.98kN/m³计，混凝土自重按25kN/m³计，二期恒载由预制钢筋混凝土步板组成，一块混凝土步板重按3.5kN计。栏杆和钢丝网按1.0kN/m均布荷载添加，二期荷载作用均分布在下弦杆的纵梁上。

(2) 活荷载

人群荷载，按规范CJJ69-95^[4]第3.1.9条中取值：

$$W = (5 - 2 \times \frac{L - 20}{80}) (\frac{20 - B}{20}) = (5 - 2 \times \frac{27.48 - 20}{80}) \times (\frac{20 - 3.4}{20}) = 4.4 \text{ kPa}$$

人群荷载作用均分布在下弦杆的纵梁上。

(3) 风荷载

不计纵向风载，横向风荷载，按规范CJJ69-95第3.1.9条中取值，横向风力为横向风压乘以迎风面积。横向风压按下式计算

$$W = K_1 K_2 K_3 K_4 W_0, \quad W_0 = \frac{V^2}{1.6} = 600 \text{ Pa}; \quad (\text{唐山地区风压})$$

$$K_1 = 0.85; K_2 = 1.3; K_3 = 1.0; K_4 = 0.8$$

迎风面积折减：

$$S = 0.4 \left(11.08 \times 2.4 + 2.4 \times 8.2 \times \frac{1}{2} \times 4 \right) = 26.38 \text{ m}^2$$

$$\text{纵向风力: } N = \frac{WS}{2.4} = 5.833 \text{ kN/m}$$

(4) 温度荷载：暂不考虑

4 计算模型分析

为了解结构受力特性，根据模型分别验算得桁架梁在考虑风载、不考虑风载时基本荷载组合作用下支反力值，挠度值、轴向应力值。规范CJJ69-95第2.5.2条中要求由人群荷载计算的最大竖向挠度值不允许超过L/800。本桁架模型计算得到最大挠度值为0.018m小于挠度限制L/800=0.034375m，满足规范要求。考虑风载时基本荷载组合作用下桁架梁变形位移计算得到最大挠度值为0.145m。规范TB10091-2017^[5]对Q235D钢材基本容许应力值有要求：轴向应力135MPa，弯曲应力140MPa，剪应力80MPa。不考虑风载时主桁结构最大轴向应力69.1MPa，满足规范要求。

5 方案比选及实施

5.1 方案选择

考虑到既有铁路施工安全风险较大，本桥主桁梁钢杆件之间铆钉受力是否存在部分失效未知，初步拟定三种方案。

方案一：采用增加桁架杆件、支承点，后分步拆除多余杆件方式，有条理有次序拆除人行天桥的方案。分四步进行拆除：（1）主桁梁新增支座、上下弦杆间增加斜撑。（2）主桁梁拆除预制混凝土步板，更换成木板；拆除主桁部分斜杆与上弦杆。（3）拆除下弦杆与新增斜杆。（4）拆除其他杆件。拟通过建模方式对拆除过程进行模型分析，模型考虑桁架梁转角处新增支座，模型参见图4。

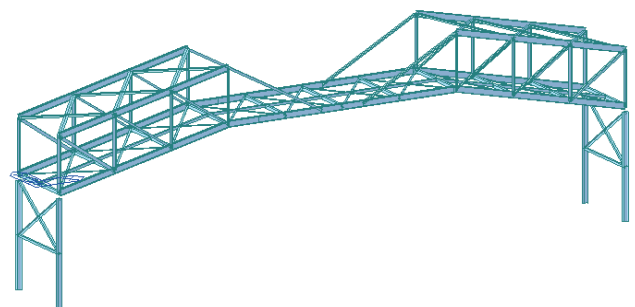


图4: 方案一桁架梁模型

方案二：采用500T吊车整体吊装上跨横梁，人工拆除引

桥的总体方案。分三步进行拆除：（1）拆除主桁梁栏杆及钢护网等附属设施，主桁梁预制混凝土步板更换成木板；（2）增设主桁梁斜杆加固桁架梁；（3）利用天窗点整体吊装主桁架。

方案三：采用增加主桁梁支座，改变主桁梁受力特性，使一跨简支桁架梁变为三跨连续桁架梁。拆除主桁梁栏杆及钢护网等附属设施，边跨利用点内拆除，中间主跨利用托拉法横向移出线路外。此方案需要提前在两股道之间新建临时支墩，搭建滑道，增大投入同时对施工进度有影响，施工工序反而复杂，安全风险加大，经研究后放弃。

对比分析方案一、二优缺点，方案一优点：①不需要大型机械，施工步骤简单，分步拆除即可；②造价费用低。缺点：①施工要点较多，施工周期长；②施工对行车安全存在一定风险。方案二优点：①点内整体吊装，快速施工，一劳永逸，施工要点不多，周期短；②造价费用低。缺点：①施工对行车安全存在一定风险；②吊车需要占用场地。

考虑到方案一、方案二主要投资总额相差不大，实际施工情况可通过模型分析来评判。

5.2 方案比选

利用MIDAS/Civil有限元模拟方案一施工，不考虑风载时，计算暂未考虑主桁梁部分铆钉失效情况，不考虑风载时在基本荷载组合作用下，拆除部分杆件桁架计算得到最大挠度值为 $0.162\text{m} > L/800 = 0.034375\text{m}$ ，规范CJJ69-95第2.5.2条中由人群荷载计算的最大竖向挠度值不允许超过 $L/800$ ，不满足现行规范要求。此时接触网承力索距离天桥底部仅为 0.238m ，超出最小限值。方案一存在较大安全风险，不可行，因此采取方案二。

5.3 方案实施

施工前期利用MIDAS/Civil有限元模拟方案2施工，吊车吊点考虑设置在桁架梁转角处，如图4所示。起吊时候，模型中考虑起吊时吊点为支承支座，同时放开四处原有钢支座。在停电封闭点内将天桥上混凝土道板更换为木质道板，拆除主桁梁栏杆及钢护网等附属设施。起吊时原有结构上弦杆从受拉变为受压状态，下弦杆从受压变为受拉状态，原结构受力特点发生变化，考虑主桁梁钢杆件之间铆钉受力存在失效风险，借助模型计算分析结果提示，实际



图5：吊点示意图

施工前对主桁梁部分杆件进行补强加固，通过焊接工字钢的形式补强，增大其安全系数。计算模型不考虑添加木质板重量，仅考虑主桁架梁结构自重时支承反力值如图5所示。计算所得主桁梁重为 15.32t 。

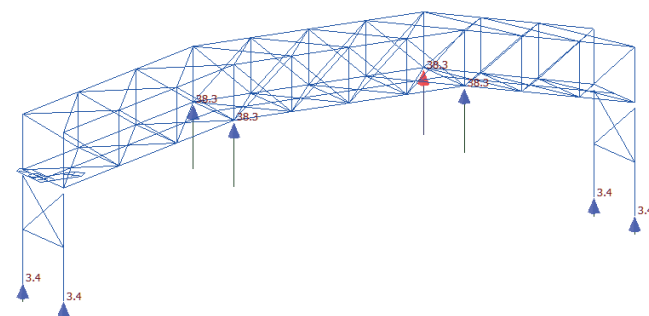


图6：仅考虑主桁架梁结构自重时支承反力值

实际施工起吊过程中，先由吊车进行起升，拉紧钢丝绳后停止起升，现场配合人员对天桥连接处进行氧气切割，全部切割完毕后，在天桥两侧设置可自卸式缆风绳（直径 40mm ），吊车进行起吊，两侧人员拉紧缆风绳，待天桥底部高于近端的接触网杆 3m 后，卸除缆风绳。实际起吊配重约为 17t 。这与模型计算所得主桁梁自重加上部分木质板自重之和相差不大。最终该桥利用天窗点时间顺利完成吊装。

6 结论与建议

（1）对于这种跨繁忙干线敞开式天桥的拆除，在结构安全可控、确保行车安全第一前提下，利用现代非线性有限元计算技术，经过多项综合比选确定最优施工方案，为信息化施工提供依据。

（2）跨既有繁忙铁路干线吊装施工重点是吊装时的安全风险大。因此施工前要高度重视，做好各项施工准备工作，制定应急预案，才能确保在封锁天窗点内完成天桥钢桁架吊装。通过本次天桥钢桁架的吊装，在拆除方案制定、点前施工准备、点内吊装组织、安全卡控等方面积累了经验，给今后类似工程提供了参考。

参考文献：

- [1] 凌宇恒. 高速公路跨线天桥爆破拆除及数值模拟[D]. 广西大学. 2018.
- [2] 杨青. 浅谈既有线人行天桥拆除施工[J]. 中国高新技术企业, 2013.
- [3] 彭涛. 高铁既有线天桥吊装施工控制要点[J]. 中国高新技术企业, 2014.
- [4] 赵辉. 既有线铁路既有引桥的吊装拆除施工技术[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [5] 中华人民共和国行业标准. TB10091-2017. 铁路桥梁钢结构设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.