

平旋铁路大桥钢结构安装临时节点连接计算

耿开通 白玉冰 宋庆国 刘鹏辉 黄进

中建钢构工程有限公司

[摘要]平旋铁路大桥钢结构采用全焊接连接,构件在吊装就位后需要采用临时连接固定。通过对施工各个环节进行施工模拟,找出杆件在施工过程中最大节点内力,再根据最不利内力来设计临时连接节点,并验算通过耳板、夹板、螺栓等的规格、尺寸。计算中取上弦杆节点作为典型节点进行验算,展示了临时节点连接计算的完整过程,这一过程包含施工模拟、建立计算模型、节点计算等关键步骤,可为类似项目的计算研究工作提供思路。

[关键词]平旋铁路大桥;临时连接;节点计算

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.2256

一、工程简介

平旋铁路大桥为钢桁架结构,如下图所示。分东西两岸(即东西两翼),跨径组合为150米-340米-150米,桁架中心轴宽度为12.6米,桥面净宽度为10.2米,桥塔高约60米。全桥各杆件截面形式为箱形,工字型横梁、纵梁和钢管剪刀撑组成桥面系。上弦杆最大长度为40.2米,重量103吨;下弦杆最大长度为37米,重量111吨;立杆最大长度为33米,重量31吨;斜腹杆最大长度为54.3米,重53吨(分两节段安装);单块桥面系最大长度为21m,最大重量为115t。全桥钢结构的连接形式为全焊接,钢结构总重量约为1.4万吨。

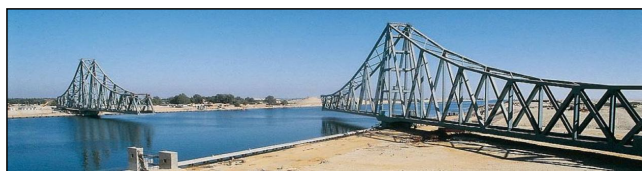


图1 平旋铁路大桥示意图

二、计算过程

(一) 施工模拟

如下图,首先是对施工各个环节进行施工模拟。然后根据最不利内力来设计临时连接节点,取上弦杆节点作为典型节点进行验算。

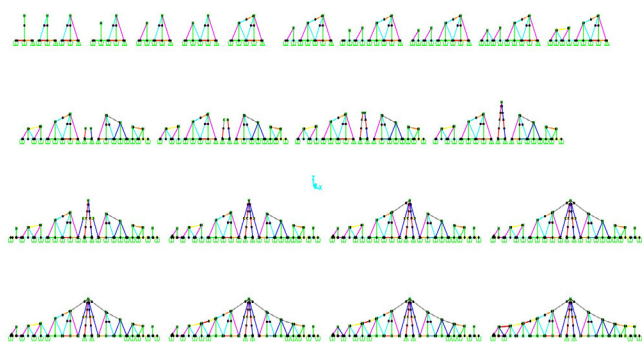


图2 施工过程计算模型

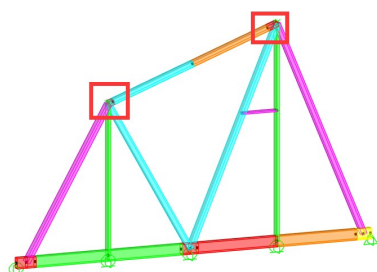


图3 上弦节点计算模型

(二) 建立计算模型

① 约束条件

下弦最右端支座:约束 u_1, u_2, u_3, r_1, r_3 ,模拟固定支座;

下弦其余支座:约束 u_2, u_3, r_1, r_3 ,模拟滑动支座;
上弦支座:约束 u_2 ,模拟缆风绳。

② 荷载

结构自重G:软件自动计算

水平风荷载W: 2.5KN/m

温度荷载T: $\pm 20^\circ\text{C}$

荷载组合: 1.35G+1.5W 1.35G+1.5T 1.35G+1.5W+0.9T
1.35G+1.5T+1.3W

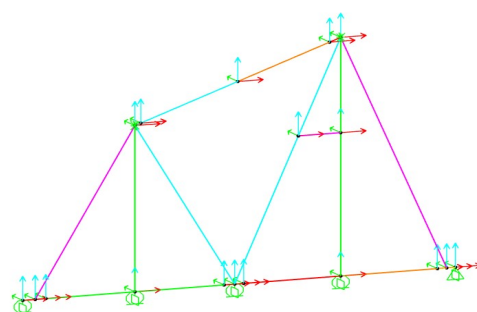


图4 计算模型约束条件

(三) 整理计算结果

① 结构内力

如下,依次为结构弯矩图、剪力图、轴力图。

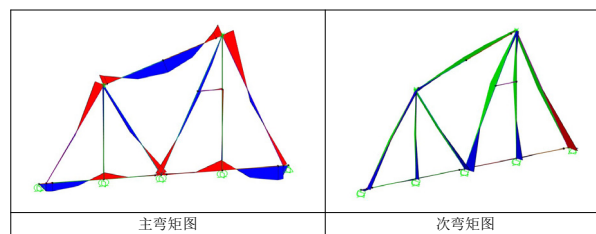


图5 弯矩图

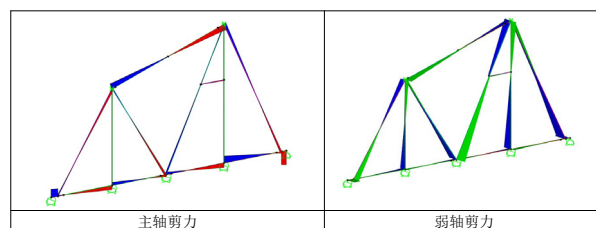


图6 剪力图

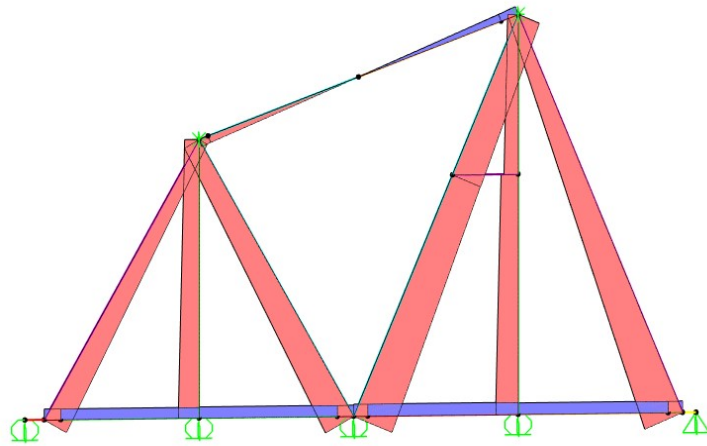


图7 轴力图

②节点反力

节点最不利反力如下：
主弯矩：M₃=1737KN.m
次弯矩：M₂=302KN.m
主轴剪力：V₂=448KN
弱轴剪力：V₃=79KN
轴力：N=211KN

③节点计算

节点详图如图5.1，计算假定弯矩M₃和剪力V₂由上下翼缘节点承担，弯矩M₂和剪力V₃由左右腹板节点承担，轴力N由翼缘和腹板节点同时承担。由于主轴内力远大于弱轴内力，下面的验算仅仅验算翼缘节点。

钢板材质：Q345
钢板抗拉强度：f=295MPa
钢抗剪强度：f_v=170MPa
耳板厚度：30mm
夹板厚度：20mm
螺栓材质：8.8级普通螺栓
开孔直径：32mm

螺栓抗剪强度：f_v^b = 320MPa
孔壁承压强度：f_c^b = 510MPa
翼缘节点最大轴力：

$$F_N = \frac{M_3}{3 \cdot H_1} + \frac{N}{10} = \frac{1737}{3 \cdot 1} + \frac{79}{10} = 586.9 \text{KN}$$

式中H₁为图8所示腹板的宽度，N表示弱轴剪力（在10个节点位置有相对应的轴力）

翼缘节点最大剪力： $F_V = \frac{V_2}{6} = \frac{448}{6} = 74.7 \text{KN}$

翼缘剪力引起的螺栓群偏心弯矩：

$$T = F_V \cdot e_1 = 74.7 \cdot (106 / 2 + 65 + 100) \cdot 0.001 = 16.28 \text{KN.m}$$

翼缘连接板拉力引起的耳板偏心弯矩：

$$M_e = F_N \cdot e_2 = 586.9 \cdot (30 + 65) \cdot 0.001 = 55.76 \text{KN.m}$$

式中e为偏心距

a. 耳板强度验算：

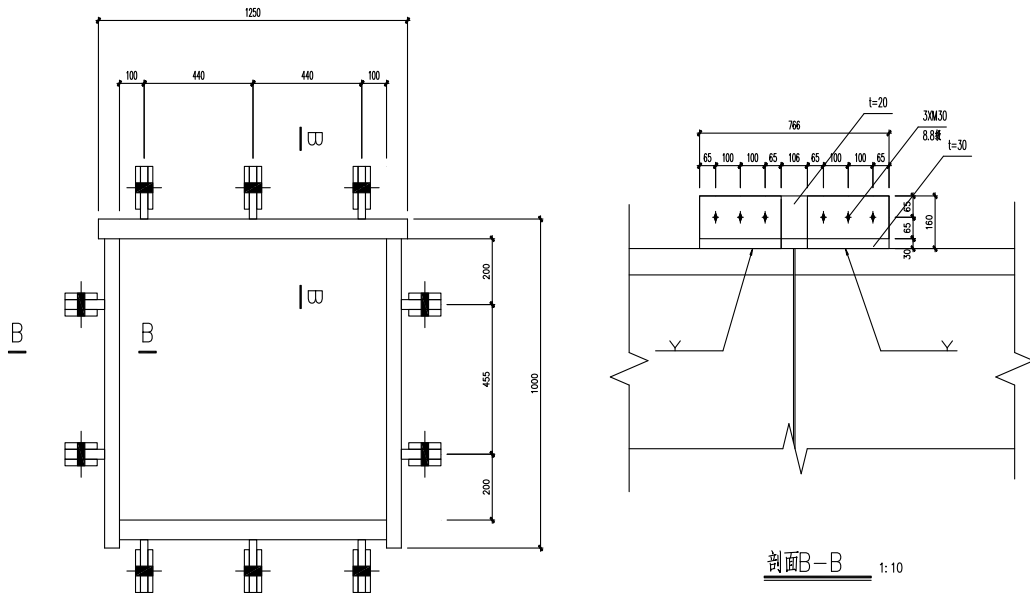


图8 节点详图

$$\text{拉应力 } \sigma_1 = \frac{F_N}{A_1} = \frac{586.9 \times 1000}{(160-32) \times 30} = 152.8 \text{ MPa},$$

$$\text{应力比 } \frac{152.8}{295} = 0.52, \text{ 满足要求!}$$

b. 夹板强度验算:

$$\text{拉应力 } \sigma_2 = \frac{F_N}{A_2} = \frac{586.9 \times 1000}{(130-32) \times 2 \times 20} = 149.7 \text{ MPa},$$

$$\text{应力比 } \frac{149.7}{295} = 0.51, \text{ 满足要求!}$$

$$\text{剪应力 } \tau_1 = \frac{F_V}{A_3} = \frac{74.7 \times 1000}{(130-32) \times 2 \times 20} = 19 \text{ MPa},$$

$$\text{应力比 } \frac{19}{170} = 0.11, \text{ 满足要求!}$$

c. 焊缝强度验算:

$$\text{弯曲应力 } \sigma_3 = \frac{M_e}{w} = \frac{55.76 \times 1000 \times 1000}{30 \times (65+100+100+65)^2 / 6} = 102.4 \text{ MPa},$$

$$\text{应力比 } \frac{102.4}{295} = 0.35, \text{ 满足要求!}$$

式中w为截面模量

$$\text{剪应力 } \tau_2 = \frac{F_N}{A_4} = \frac{586.9 \times 1000}{(65+100+100+65) \times 30} = 59.3 \text{ MPa},$$

$$\text{应力比 } \frac{59.3}{170} = 0.35, \text{ 满足要求!}$$

d. 螺栓强度验算

螺栓剪力

$$N_V^x = \frac{F_N}{3} = \frac{586.9}{3} = 195.6 \text{ KN}$$

$$N_V^y = \frac{F_V}{3} + \frac{T}{200 \times 0.001} = \frac{74.7}{3} + \frac{16.28}{0.2} = 106.3 \text{ KN}$$

$$N_V = \sqrt{195.6^2 + 106.3^2} = 222.6 \text{ KN}$$

螺栓抗剪应力比为

$$\frac{N_V}{N_V^b} = \frac{222.6}{2 \times 3.14 \times 30^2 / 4 \times 320 \times 0.001} = 0.5, \text{ 满足要求!}$$

孔壁承压应力比为

$$\frac{N_V}{N_V^c} = \frac{222.6}{30 \times 30 \times 510 \times 0.001} = 0.49, \text{ 满足要求!}$$

三、临时节点连接的实施

依据计算结果, 各项应力设计值与强度之比(即上文中的“应力比”)最大为0.52, 在满足设计要求的前提下额外考虑了充足的安全余量。同时参考《钢结构设计标准》(GB50017-2017) 11.1.1条, “钢结构构件的连接应根据施工环境条件和作用力的性质选择其连接方法。” 11.1.2条, “同一连接部位中不得采用普通螺栓或承压型高强度螺栓与焊接共用的连接; 在改、扩建工程中作为加固补强措施, 可采用摩擦型高强度螺栓与焊接承受同一作用力的栓焊并用连接, 其计算与构造宜符合行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82-2011 第5.5节的规定。” 并考虑现场安装的其他因素(气候环境、工程的重要意义等), 实际采用了性能更优的10.9级承压型高强度螺栓, 如下图所示。

四、结语

随着建筑行业的不断发展, 各企业、团队在钢结构安装与焊接方面积累了大量经验, 而合理、安全地应用这些经验数据的前提, 则是严格依照相关标准、规范及其他规定。正是由于以上的考虑, 参考相关材料并结合工程实际情况, 对现场钢结构安装临时连接节点的设计进行了必要的计算, 并整理出施工模拟、建立计算模型、节点计算等关键步骤, 展现了针对一个钢结构现场安装工程临时节点连接设计的完整计算过程。

参考文献:

- [1] 钢结构设计标准 (GB50017-2017)
- [2] 钢结构工程施工规范 (GB50755-2012)
- [3] 李星荣等编. 钢结构连接节点设计手册 (第三版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 5



图9 临时连接节点示意图