

大跨度简支钢桁架结构与施工方案研究

孔 璞

[上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200125]

摘 要: 钢桁架结构多用于公路及铁路桥梁,具有跨越能力强,架设速度快等优点。以太仓市正夫路盐铁塘大桥的建设需求及结构特点为依托,通过采用空间有限元模型计算模拟,对大跨度简支钢桁架桥的各项结构受力指标进行分析验证,并根据项目实际情况提出行之有效的施工方案,为今后类似钢桁架桥的设计提供参考。

关键词: 钢桁架桥;结构设计;受力分析;跨越航道;施工方案

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)11-0077-03

1 工程概况

盐铁塘大桥桥位位于规划正夫路上,上跨盐铁塘(VI级航道),主桥与河道斜交 49.5°。作为太仓南站的站前路,正夫路是太仓南站的快速疏散通道,盐铁塘大桥是正夫路往南跨越盐铁塘,连接太仓南站与南部片区的重要节点,承担着重要的交通功能(见图 1)。



图 1 项目桥址图

结合总体竖向设计、河道通航要求及周边环境要素等实际情况,通过前期一系列的方案比选与论证,跨河主桥桥型最终确定为下承式钢桁架桥,如图 2 所示。



图 2 盐铁塘大桥鸟瞰图

2 主桥总体布置^[1]

盐铁塘主桥采用 1 × 90 m 等高度下承式钢桁架桥,全宽 44.5 m,分两幅布置。每幅桥设两片主桁,桁架中心间距为 17.5 m。主桁采用等高度带竖杆的华伦式桁,桁架高 11 m。全桥采用等节间布置,节间距 8 m,全桥共 11 个节间。盐铁塘大桥立面布置图如图 3 所示。

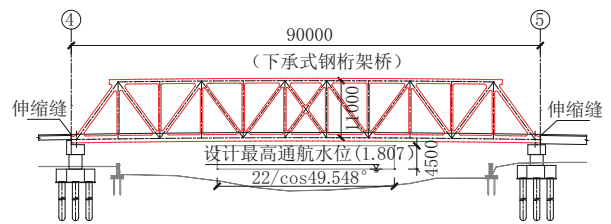


图 3 盐铁塘大桥立面布置图(单位:mm)

由于盐铁塘主桥平面位于道路平曲线段,而钢桁架桥无法适应平面曲线变化,故通过加宽分隔带的方式,确保主桥范围内人、车通行净空的需求。如图 4 所示,主桥标准横断面布置为 3.0 m(人行道)+1.5 m(人非分隔带)+3.5 m(非机动车道)+0.75 m(机非分隔带)+11.5 m(机动车道)+4.0 m(中央分隔带)+11.5 m(机动车道)+0.75 m(机非分隔带)+3.5 m(非机动车道)+1.5 m(人非分隔带)+3.0 m(人行道)=44.5 m。主桥结构采用 Q355qD 钢材,设计荷载为公路 I 级(按城-A 级复核),人群荷载按 3.5 kN/m² 进行计算。抗震设防烈度为 7 度,抗震设防分类为 B 类。

3 主桥结构设计^[1]

主桁是钢桁架桥的主要承重结构。由于盐铁塘大桥全桥共 4 片主桁,倘若节间小会增加整体视觉的凌

收稿日期: 2022-01-17

作者简介: 孔璞(1983—),男,本科,高级工程师,从事桥梁设计工作。

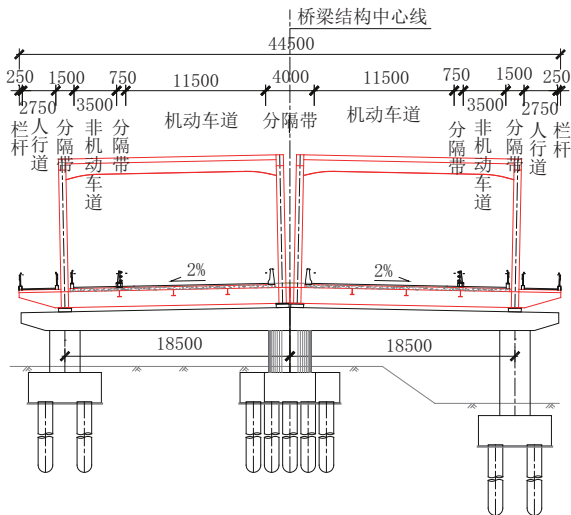


图4 盐铁塘大桥断面图(单位:mm)

乱感,故主桁节间距取用较大的8 m,由此造成了节间奇数。因此,在中间的节间采用腹杆相交的方法来避免受力不对称。主桁上、下弦杆为焊接箱型截面,截面尺寸分别为600×900 mm和600×1300 mm。腹杆截面形式分为箱型和“工”字型两种,其中最外侧腹杆为焊接箱型截面,截面尺寸600×900 mm,其余均为焊接“工”字型截面,截面宽度480~800 mm,截面高度600 mm。主桁节点均采用整体节点。

上弦杆平联采用交叉形桁式,杆件采用焊接“工”字型截面,截面尺寸400×400 mm。主桁在最外侧节点设置桥门架,桥门架与最外侧腹杆平行布置,截面为倒“T”型。主桁设置4道横联,横联竖向铅锤大地。

桥面采用250 mm厚混凝土桥面板,钢梁采用纵横梁体系。为加快施工进度,提高成品质量,桥面板除端横梁外,其余范围均采用预制结构,预制桥面板之间设纵、横向湿接缝。全桥共设3道纵梁、2道端横梁、32道中横梁,纵梁及中横梁采用“工”字型截面,端横梁采用矩形闭口箱型截面。为了保证混凝土板与钢梁共同工作,在钢梁顶面设置了圆柱头焊钉剪力键,使钢梁与桥面板形成钢-混凝土组合结构共同受力。

钢结构构件连接基于“传力明确、安全可靠、构造简单,易于施工”的原则,目前主要连接方式有焊接连接和螺栓连接(普通螺栓,高强螺栓)。螺栓连接虽然加工方便,可拆换,耐疲劳,塑性、韧性好,但其摩擦面处理,安装工艺略为复杂,后期养护工作量大,造价略高。焊接连接施工方便,经济性好,后期养护工作量也小,因而本桥钢结构构件连接均采用焊接连接。

4 主桥受力分析

(1)静力分析

盐铁塘大桥上部结构总体计算采用Midas软件建立全桥三维空间杆系模型,桁架杆件采用梁单元模拟,混凝土板采用板单元模拟。桁架单元与混凝土板单元之间通过弹性连接进行组合。盐铁塘大桥空间结构计算模型如图5所示。

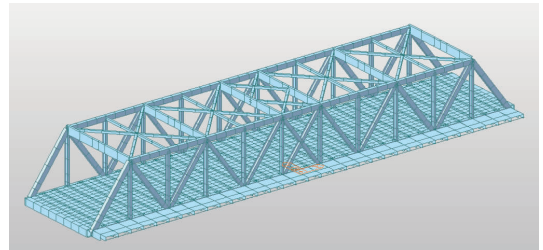


图5 盐铁塘大桥空间结构计算模型

整体模型考虑5个施工阶段,分别为钢结构架设——混凝土板施工——栓钉连接——桥面系施工——收缩徐变。通过最不利工况进行组合,各主要杆件基本组合作用下应力数值详见表1。

表1 主要杆件基本组合应力表

| 杆件 | 上弦杆 | 下弦杆 | 腹杆 |
|-----------|-------|-------|-------|
| 板厚/mm | 36~46 | 24~36 | 16~50 |
| 最大拉应力/MPa | | 190 | 193 |
| 最大压应力/MPa | 204 | | 190 |

由于杆件受压会造成失稳,因此需对受压构件进行整体稳定以及局部稳定的验算。整体稳定通过计算构件的整体稳定系数,而局部稳定则通过计算构件的板件有效宽度来计入。主要杆件稳定系数见表2。

表2 主要杆件稳定系数表

| 杆件 | 上弦杆 | 端腹杆 | | 斜腹杆 | | 直腹杆 | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 强轴 | 弱轴 | 强轴 | 弱轴 | 强轴 | 弱轴 |
| 局部稳定折减系数 | 0.92 | 1 | 0.98 | 0.8 | 0.87 | 0.76 | 0.64 |
| 整体稳定系数 | 0.91 | 0.75 | 0.88 | 0.82 | 0.56 | 0.87 | 0.55 |

根据受力分析,上弦杆及端腹杆按箱型截面验算整体稳定,最大压应力分别为227.8 MPa和242.5 MPa,均小于规范要求的260 MPa。斜腹杆及直腹杆“工”字型截面按压弯构件验算整体稳定,y方向系数分别为0.672和0.34,z方向系数分别为0.819和0.355,均小于1。因此,主桥钢桁架各主要杆件的强度及稳定均满足规范要求^[2]。

盐铁塘大桥地处郊区,周边地形较为空旷平坦,人群、非机动车、机动车及风荷载均会对结构的整体

稳定产生一定的影响。通过对空间模型施加作用力 (1.0 × 恒载 + 1.0 × 车道荷载 + 1.0 × 非机动车荷载 + 1.0 × 人群荷载 + 1.0 × 风荷载) 进行全桥屈曲计算。其中车道荷载、非机动车荷载和人群荷载按静力荷载布置在桥面相应位置。

计算结果表明,1~9 阶失稳模态临界荷载系数均大于 5,主桥上部结构整体稳定满足规范要求^[2](见图 6、图 7)。

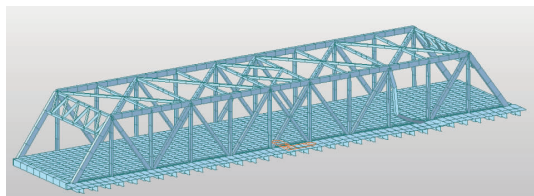


图 6 1~8 阶失稳模态(斜腹杆失稳)

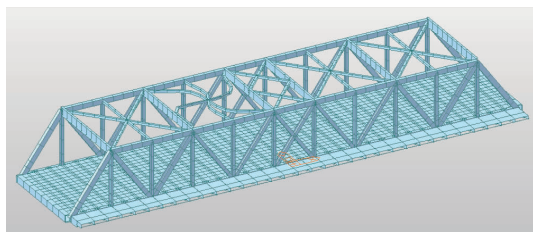


图 7 9 阶失稳模态(上平联失稳)

(2) 抗震分析

盐铁塘大桥桥位处地震基本烈度 7 度,抗震设防烈度 8 度,桥梁抗震设防分类为 B 类。在 E2 地震作用下,桥梁固定墩桥墩和桩基承载力无法满足要求。且由于桥墩墩高较小,难以进行延性设计,故考虑采用拉索减震支座进行减隔震设计。

根据减隔震设计方案采用 Midas 模型进行减隔震设计分析,拉索支座采用一般连接模拟,采用滞后系统模拟盆式支座,钩单元及间隙单元模拟拉索。

计算结果表明,拉索减震支座可以满足主桥在 E2 地震作用下的各项承载力要求。

5 主桥施工方案设计^[3]

由于盐铁塘河道水深较浅,常水位水深仅 3~4 m,在靠近河岸的位置更是堆积了大量的淤泥,大型船只无法在桥位附近靠岸,因此无法采用浮托顶推或船吊等施工方案。根据现场的实际情况,经过多方论证及比选后,确定主桥采用拖拉施工的方案(如图 8、图 9 所示)。主桥北岸的场地较为空旷,将钢桁架分段从加工厂运输至现场后,在北岸对钢桁架进行拼装,通过在钢桁架前方设置导梁,将其逐步从北岸拖拉至南岸就位,单次拖拉步距约为 8 m。

(1) 在北岸支架上拼装部分钢桁架,并在钢桁架



图 8 拖拉施工现场 1



图 9 拖拉施工现场 2

前段安置导梁,如图 10 所示。

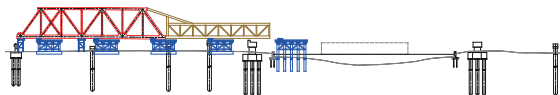


图 10 施工步骤图一

(2) 向前拖拉一段距离后,拼装剩余的钢桁架,如图 11 所示。

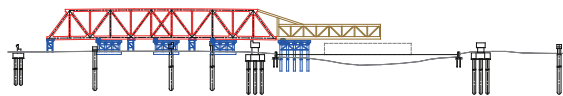


图 11 施工步骤图二

(3) 继续向前拖拉钢桁架,如图 12 所示。当导梁前端快到南岸支架,此时整个施工结构处于悬臂最大状态,导梁前端变形最大,后端支反力最小,是施工期间的一个重要控制节点。通过建立 Midas 空间模型进行结构分析,此时整个施工结构基本组合下最大应力为 117.5 MPa,导梁前端最大变形 123 mm,导梁后端最小支反力 679 kN。施工阶段的应力、变形及抗倾覆^[4]均能满足要求。

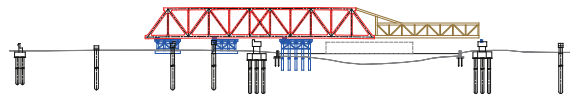


图 12 施工步骤图三

(4) 继续向前拖拉钢桁架,直至结构就位,落梁并拆除导梁。如图 13 所示。

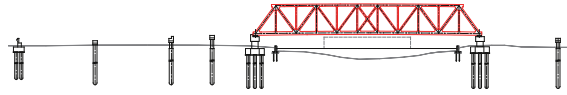


图 13 施工步骤图四