

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.11.032

变高简支钢桁架桥梁设计

邹 韵,郑纪研,史先飞

(华设计集团股份有限公司,江苏 南京 210000)

摘 要:近年来,随着钢结构桥梁的大力推广,钢桁架桥梁在行业内得到了建设单位和设计单位的青睐。以苏州市吴江区江陵大桥 120 m 变高简支钢桁架桥梁为例,介绍该桥的设计方案(包括主桁高度、节间距、杆件尺寸)和施工方案(浮运拖拉施工),通过 MIDAS Civil 软件计算分析,验证结构设计安全,尺寸参数合理。结果表明:钢桁架杆件的强度、总体稳定满足规范要求,钢桁架的桥面系、刚度满足规范要求;钢桁架预拱度设置满足线形要求;钢桁架施工方案合理、可行。

关键词:钢桁架;结构计算;施工方案

中图分类号:U442.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)11-0136-04

0 引 言

钢桁架桥梁^[1]具备结构高度低,跨域能力强,结构刚度大等特点。近年来,随着钢结构桥梁的大力推广,钢桁架桥梁^[2]在行业内得到了建设单位和设计单位的青睐。钢桁架桥梁按桥面板位置不同,可分为上承式钢桁架^[3]、中承式钢桁架和下承式钢桁架,钢桁架桥梁由主桁、联结系、桥面系组成。

1 工程概况

本项目位于苏州市吴江区,现状江陵大桥主桥跨越京杭运河,为 50 m+86 m+50 m 单箱双室预应力混凝土连续刚构桥。京杭运河为现状Ⅳ级航道,规划为Ⅲ级航道,通航净空 80 m×7 m,现状江陵大桥不能满足规划京杭运河三级航道通航^[4]要求,且检测为 D 类桥,需拆除重建。图 1 为改建江陵桥效果图。



图 1 江陵桥钢桁架效果图

2 结构设计

改建江陵桥主桥采用下承式变高简支钢桁架结构,跨径 120 m。主桁采用变高三角桁架式,共 10 个节间,结构全长 120 m。主桁高度 9~15.915 m。主线桥两片主桁主心距 18.3 m,宽跨比为 1/6.47,桥面宽度 17.0 m。

桥梁横断面采用两片主桁的形式,除端部腹杆设桥门架外,其余上弦节点均设横联,桥门架及横联中心线均与腹杆斜率相同。图 2 所示为江陵桁架结构总图。

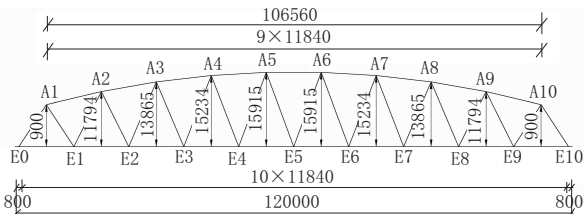


图 2 钢桁架主桁结构总图(单位:mm)

主桥上、下弦杆均采用箱形截面。上弦杆节间长度 11.84~12.17 m,高 860 mm,内宽 800 mm,上弦杆顶底板厚为 28~32 mm,腹板厚为 28~32 mm。下弦杆节间长度 11.84 m,高 1 140~1 466 mm,通过两片下弦杆高差形成桥面横坡;内宽为 800 mm,下弦杆顶底板厚为 20~24 mm,腹板厚 20~24 mm。端斜腹杆节间长度 10.77 m,采用箱型截面,杆件高度为 800 mm,内宽为 800 mm,顶底板厚为 36 mm,腹板厚 36 mm;其余斜腹杆节间长度 10.77~16.98 m,均采用工字型截面,杆件高为 600~800 mm,杆件宽为 800 mm,翼缘板厚为 20~32 mm,腹板厚 20~32 mm。

收稿日期:2023-08-14

作者简介:邹韵(1990—),男,工学硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

主桁横向采用单向坡。主桁上下弦杆节点采用整体式节点,杆件与节点采用高强螺栓栓接,节段间弦杆顶板、腹板与底板四面均采用栓接,腹杆采用除端斜杆采用四面对拼外,其余均采用插入式。

桥面系采用密横梁体系,正交异性钢桥面板,横梁间距 2.96 m,桥面系顶板厚度为 16 mm,采用 U 型肋加劲,U 肋间距为 600 mm,厚度为 8 mm。横梁高 1140~1466 mm,底板宽度为 600 mm,厚度为 24 mm,腹板厚 16 mm。钢桥面板和下弦杆的顶板焊接,横梁腹板与主桁腹板栓接,底板与主桁杆件焊接。

主桁在支点处设有桁架式桥门架,其余节点设桁架式横联。桥门架高 3.0 m,其余横联高 4.5 m,桥门架和横联水平杆采用箱型截面,高 440 mm,内宽 370 mm,顶底板厚为 12 mm,腹板厚为 12 mm,斜杆采用工字形截面,杆件高为 346 mm,杆件宽为 260 mm,翼缘板厚为 12 mm,腹板厚 10 mm。

3 计算分析

3.1 建模方法

采用 MIDAS Civil 软件建模分析,钢桁梁构件采用梁单元,钢桥面板采用板单元,公路桥面混凝土板以自重荷载施加,不考虑参与结构受力。计算模型如图 3 所示。

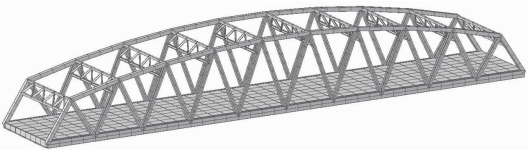


图 3 江陵桥钢桁架计算模型

3.2 材料参数及荷载

(1)材料参数

主桁、上平联横撑、桥门架、横联、桥面系的钢板均采用 Q345qD 级桥梁用低合金高强度结构钢,性能要求满足《桥梁用结构钢》(GB/T714—2015)^[5]的要求,表 1 为 Q345qD 钢材材料参数表。

表 1 材料参数表(容许应力法)^[6]

材料	项目	数值	参数
Q345qD	抗压/拉强度/MPa	200	设计值 f_d
	抗剪强度/MPa	120	设计值 f_{sv}

(2)荷载

a. 恒载:

钢桁架自重、铺装重量和护栏重量。

b. 活载

汽车荷载:公路—I级,单向 4 车道,考虑偏载效应。冲击系数按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[5]。

c. 温度荷载

钢结构最高、最低有效温度根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[5],按升温 25℃,降温 -38℃考虑。

桥面板局部梯度升降温采用 $\pm 10^\circ\text{C}$ 。

d. 风荷载

横桥向运营风荷载按照基本风速 25 m/s,横桥向百年风荷载按照基本风速 28.6 m/s。

e. 荷载组合

计算中对各种荷载进行不同的荷载组合,按规范《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)^[4](后文简称铁路规范)对结构进行验算。

荷载组合一:恒载+活载;

荷载组合二:恒载+活载+横向运营风+温度;

荷载组合三:恒载+横向大风+温度;

3.3 钢桁架桥梁杆件强度计算

根据铁路规范第 4.2.1 条,对钢桁架桥梁主桁下弦杆、上弦杆、腹杆、桥门架和横联的杆件强度进行验算。图 4 为桁架组合 1~3 最大应力计算结果。



图 4 桁架组合应力计算结果(单位:MPa)

图 4 表明,标准组合下,下弦杆最大拉应力为 152 MPa,上弦杆最大压应力为 -167 MPa,腹杆最大拉应力为 134 MPa,最大压应力为 -168 MPa,桥门架和横联最大拉应力为 58 MPa,最大压应力为 -100 MPa。杆件拉应力与压应力均小于抗压/拉强度设计值 200 MPa,满足规范要求。

3.4 钢桁架杆件总体稳定计算

根据铁路规范第 4.2.2 条,对钢桁架桥梁主桁下弦杆、上弦杆、腹杆进行验算。表 2 为考虑折减系数后的应力计算结果。

表 2 数据表明,考虑受压杆件折减系数后,上弦杆最大压应力为 -181 MPa,腹杆最大压应力为

表2 总体稳定应力计算结果

位置	截面号	(组合应力 - 考虑折减)/MPa	容许应力 / MPa	是否满足规范
下弦杆	—	拉杆	200	是
上弦杆	3	-181	200	是
	4	-181	200	是
	5	-107	200	是
腹杆	6	-124	200	是
	7	-154	200	是
	8	拉杆	200	是
	9	-141	200	是

-154 MPa,均小于抗压 / 拉强度设计值 200 MPa,满足规范要求。

3.5 桥面系计算

对钢桁架桥梁横梁进行计算。图 5 为横梁组合应力包络图,图 5 表明:横梁最大拉应力为 104 MPa,最大压应力为 -158 MPa,均小于抗压 / 拉强度设计值 200 MPa,满足规范要求。

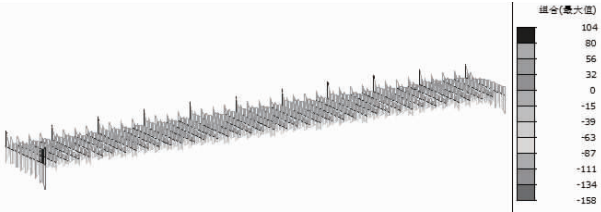


图5 横梁组合应力计算结果(单位:MPa)

对钢桁架桥梁桥面板进行计算,桥面板采用板单元建模。图 6 和图 7 为桥面板纵桥向和横桥向组合应力包络图,图 6 和图 7 表明:桥面板纵桥向最大拉应力为 93 MPa,最大压应力为 -8 MPa,桥面板横桥向最大拉应力为 27 MPa,最大压应力为 -79 MPa,均小于抗压 / 拉强度设计值 200 MPa,满足规范要求。

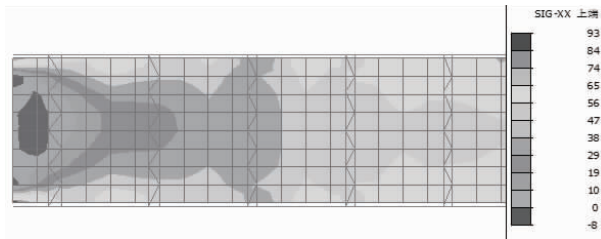


图6 桥面板纵桥向组合应力计算结果(单位:MPa)

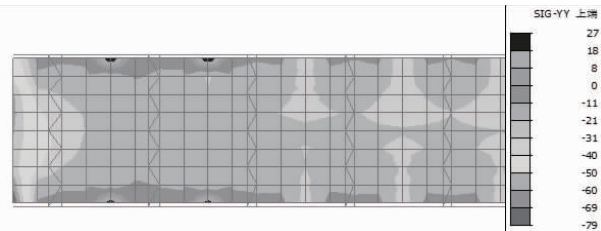


图7 桥面板横桥向组合应力计算结果(单位:MPa)

3.6 钢桁架刚度计算

根据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)[7]第 4.2.3 条规定,公路钢桥应采用不计冲击力的汽车车道荷载频遇值,挠度值不超过 $L/500$ 。图 8 为汽车车道荷载频遇值[8]下的桁架挠度,图 8 表明,车道荷下最大挠度为 $30\text{ mm} < L/500 = 240\text{ mm}$,刚度满足规范要求。

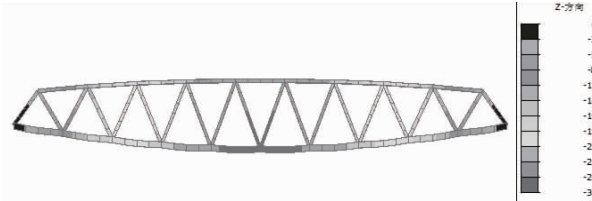


图8 车道频遇组合下挠度值(单位:mm)

3.7 钢桁架整体稳定验算

对钢桁架进行整体屈曲分析,图 9 为一阶弹性屈曲计算结果。图 9 表明:钢桁架一阶屈曲为腹杆失稳,屈曲系数 7.4,满足设计要求。

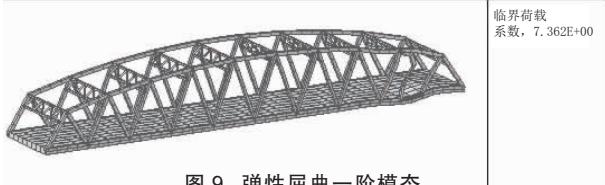


图9 弹性屈曲一阶模态

3.8 预拱度设置

根据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015),钢桥宜设置预拱度,预拱度数值为恒载 +1/2 活载频遇值产生的挠度,频遇值系数为 1。对于本项目钢桁架桥梁,此次采用的起拱方法是,下弦杆、腹杆长度不变,伸长或缩短上弦杆长度,使钢桁梁向上的起拱量接近理论预拱度,表 3 为预拱度计算结果。

表3 预拱度计算表格对比

杆件	上弦杆伸长/mm	节点	实际预拱度/mm	目标预拱度/mm	(实际 - 目标)/mm
A1A2	8	E1	84	85	-1
A2A3	8	E2	185	186	-1
A3A4	13	E3	238	235	3
A5A6	13	E4	283	286	-3
A5A6	18	E5	292	290	2
A6A7	14	E6	275	274	1
A7A8	14	E7	221	221	0
A8A9	9	E8	160	163	-3
A9A10	8	E9	51	49	2

表 3 表明:实际预拱度和目标预拱度最大差值为 3 mm,上弦杆伸长量设置合理。

4 施工方案

- 图 10 为施工流程示意图,具体施工流程如下。
- (1)桥梁下部结构施工,施工小桩号侧钢梁拼装支架。
 - (2)支架上拼装钢桁梁主桁、横梁、桥面系、桥门及横联。
 - (3)根据施工时水位及浮船吃水深度进行必要的河道清淤,浮运拖拉施工过程中须确保浮船吃水深度。
 - (4)钢桁架采用一侧搁置在浮船上,另一侧在临时支架上搭设小车轨道拖拉过河施工。
 - (5)纵桥向拖拉施工应连续进行,应选择在风力不大于 5 级、水位稳定、波浪较小的时间对桥梁进行拖拉施工。
 - (6)采用拖船将钢桁架牵引到位,拆除钢梁拼装支架。
 - (7)桥面工程施工,桥梁验收和通车。

5 结 论

一是本项目主桥采用 120 m 变高简支钢桁架桥梁跨越京杭运河,主要考虑到桥梁跨越航道后需尽快落地,桥梁结构应尽量选择其下建筑高度较小的桥型方案;二是桥梁位于城区,桥梁方案需结合运河文化,充分考虑景观因素。充分发挥钢桁架桥梁建筑

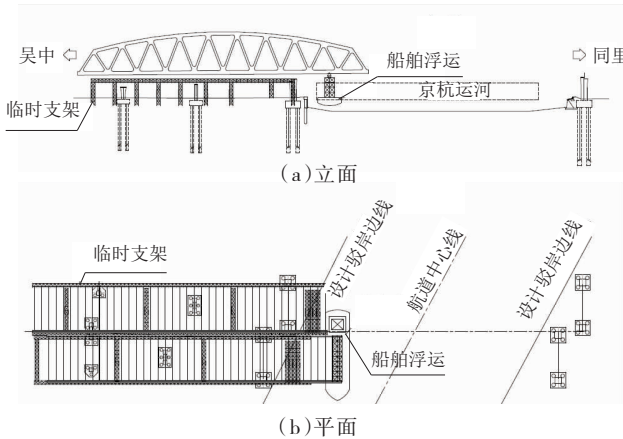


图 10 钢桁架桥梁施工流程示意图
高度低、跨越能力强、景观效果好的特点。

主桥采用 MIDAS Civil 软件进行结构验算,经计算,桁架杆件的强度、总体稳定满足规范要求,桁架的桥面系、刚度满足规范要求。

桁架采用浮运拖拉的施工方案,充分利用了现有航道,节约了施工工期。

参考文献:

- [1] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [2] 赵廷衡.桥梁钢结构设计细节[M].成都:西南交通大学出版社,2011.
- [3] 吴冲,强士中,现代钢桥(上册)[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [4] GB 50139—2014,内河通航标准[S].
- [5] GBT 714—2015,桥梁用结构钢[S].
- [6] TB 10091—2017,铁路桥梁钢结构设计规范[S].
- [7] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [8] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].

(上接第 125 页)

部,在桥体内部空间的天花板采用隐蔽灯槽漫射出天花板造型线,并运用星空投影灯配合天花板星光灯,展现星光闪烁场景。桥体顶部采用支架固定激光灯打造节日场景激光秀,桥面环境照明依靠暗装扶手灯具和嵌入式筒灯,整体桥面见光不见灯,体现出南沙港澳合作区年轻、活力的形象。

10 结 语

聚星桥人行桥项目从前期概念方案设计中到中期施工图设计过程中对各种技术难题的反复论证,再到后期施工建造和监测过程中实际问题的逐渐暴露和逐个解决,是管理、设计、建设、监控、咨询等多家单位通力合作的结果。本项目的软土基础是对建筑

设计方案中的坦拱结构的巨大挑战,为应对这一挑战,结构设计团队利用计算机强大的运算能力构建出了物理场中高精度的结构模型,分析判断验证了设计结构体系的适用性和安全性,并在实践中得到进一步验证,反过来支持理论数据,有效贯彻了复杂结构的工程项目从理论到实践再到理论的科学技术实现路径。

参考文献:

- [1] 顾懋清,石绍甫.拱桥[M].北京:人民交通出版社,1991.
- [2] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范(2019 年版)[S].
- [4] 吴巨贵,丁汉山.上承式坦拱桥台后“预顶”的设计研究[J].江苏建筑,2013(1):23-25.
- [5] 徐明芳.三心圆实腹式坦拱设计探讨[J].建材与装饰,2019(3):275-276.