

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.10.022

# 大跨度钢桁架桥设计与分析

母渤海

(中国市政工程西北设计研究院有限公司,甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 以与直径 135 m 摩天轮组合的 112 m 大跨度简支双层钢桁架桥为例,介绍了钢桁架桥的特点及在城市景观桥梁建设中的优势,并介绍了该钢桁架桥的结构布置、杆件及节点形式、桥面及附属构造、桥台及基础、摩天轮构造及抗震构造等设计要点。采用有限元软件 MIDAS Civil,对钢桁架桥强度和变形等结构受力性能进行分析,计算结果表明该桥设计合理。该大跨度简支双层钢桁架桥的设计思路、计算分析及施工方法可为类似钢桁架桥的设计提供技术参考。

**关键词:** 钢桁架桥;结构设计;计算分析

**中图分类号:** U442

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)10-0099-04

## 0 引言

随着钢结构桥梁的不断发展,钢桁架桥由于其结构自重小、承载能力强、跨越能力强、建筑高度小和造型优美等特点多用于桥梁建设中<sup>[1]</sup>。

本文以与某摩天轮组合的大跨度简支钢桁架为例,介绍了其设计要点及受力分析,为相似工程的设计提供参考。

## 1 工程概况

本工程桥梁为桥梁-建筑-摩天轮组合结构的一部分,主要用于行人登轮及过河通道。结合地形、景观及摩天轮结构等要求,经方案比选,桥梁结构采用 1-112 m 简支钢桁梁。桥梁宽 36.0 m,高 14.0 m,分为上下两层,且上层设有顶棚。主桥跨中上层中间有摩天轮穿过,设置 9.5 m 的中分带。桥梁两侧接落地梯道。

桥梁范围内利用钢桁架设置两层博物馆,博物馆主体采用钢结构,外侧设玻璃幕墙。桥梁上方设置直径为 135 m 的摩天轮,摩天轮采用双侧“人”字形钢支撑,其效果图如图 1 所示。

## 2 主要技术标准

(1)设计荷载:人群荷载按 4 kN/m<sup>2</sup> 取值。

(2)主梁高度:14.0 m。



图 1 总体效果图

(3)桥面宽度:上层桥面为 8.45 m(商业区及通道)+10.3 m(摩天轮厢及通道)+8.45 m(商业区及通道)=28.0 m(全宽)。下层桥面为 4.4 m(人行道系)+8.45 m(商业区及通道)+10.3 m(黄河博物馆)+8.45 m(商业区及通道)+4.4 m(人行道系)=36.0 m(全宽)。

(4)桥梁纵坡、横坡:均为平坡。

(5)设计安全等级:结构安全等级均为 I 级,结构重要性系数 1.1。

(6)设计基准期:100 a。

(7)设计使用年限:主体结构 100 a;栏杆、支座及伸缩缝等附属结构 15 a。

(8)设计洪水频率: $Q_{1/100}=1\ 311\ \text{m}^3/\text{s}$ ,对应水位为 1 389.3 m。

(9)抗震设防标准:抗震设防烈度为 8 度,设计地震分组属第三组,设计基本地震加速度为 0.30g,设计特征周期值为 0.45 s。

(10)环境类别:桥梁上部结构处于 II 类环境,基

收稿日期:2024-01-22

作者简介:母渤海(1980—),男,工学学士,高级工程师,从事道路桥梁设计工作。

础处于Ⅱ、Ⅵ类环境。

### 3 结构设计

#### 3.1 孔跨布置

桥梁孔跨布置应先满足沟道泄洪水位净空的要求,同时考虑与摩天轮结构的相对位置以及基础关系。在综合考虑桥址区域路网布设及总体结构布设情况后,结合对跨越沟道的行洪跨越要求,确定了桥梁平面位置。桥梁中心线与河道中心线交角约 $90^\circ$ ,桥梁按正交布设。本桥采用双层筒支下承式钢桁架桥,跨径为112 m,桥宽36.0 m,总体布置图如图2所示<sup>[2-3]</sup>。

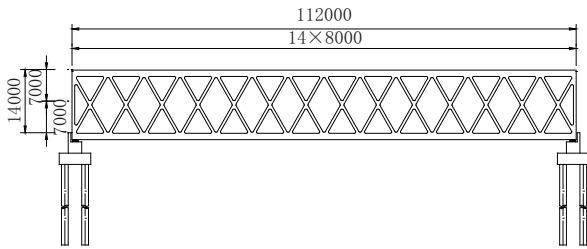


图2 总体布置图(单位:mm)

#### 3.2 主梁

主梁采用钢桁架结构,桁高14.0 m,上层桁宽27.2 m,下层桁宽36.0 m,节间长8.0 m,上下弦各14个节间。其横断面布置图如图3所示。

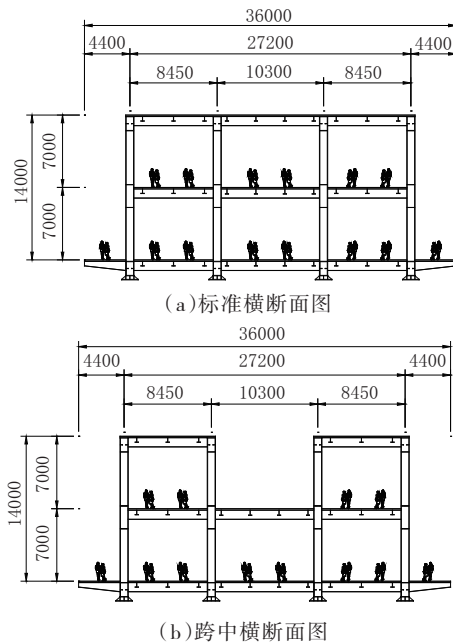


图3 主桁横断面图(单位:mm)

##### 3.2.1 桁式布置

主桁采用三角形桁架,由上下两层组成,横向设置4片主桁,主桁中心距为8.45 m+10.3 m+8.45 m,主桁之间通过上、下层的纵横梁连接,下层桁架外侧设置4.4 m悬臂供行人通行。主桁采用不带竖杆的三

角形腹杆体系<sup>[4]</sup>。

##### 3.2.2 结构构件

结构采用纵横梁体系,纵梁传力于横梁,横梁传力于桁架。除主桁弦杆、端斜杆采用Q420qD钢材外,其他构件均采用Q345qD钢材。

上、下弦杆均采用箱形截面,杆件高1400 mm,宽800 mm,板厚20~40 mm,采用焊接连接。腹杆采用工字形截面,为方便现场施工,腹杆与节点板焊接连接,杆件宽600 mm,高800 mm,板厚18~36 mm。

横梁间隔8.0 m设置一道,纵桥向下层设置15道,上层设置16道,设置于主桁节点处,全桥横向共设置10道小纵梁,小纵梁向横向间距3000 mm左右。纵、横梁均采用工字形截面,横梁高900 mm,纵梁高450 mm。

##### 3.2.3 桥面结构

桥面由纵、横梁及加劲肋钢桥面板组成。

##### 3.2.4 联结系

上、下弦节间内均设平面纵向联结系,上平纵联与下平纵联采用工字型截面斜杆在节间内形成“X”形联结,杆件高400 mm,宽300 mm。

#### 3.3 桥台及基础

桥台采用一字型钢筋混凝土桥台,桥台宽度为36 m,高度为3.5 m。基础采用承台群桩基础,承台尺寸为36 m×7 m×2.5 m,承台下部桩基础采用双排钻孔灌注桩,横桥向桩距4.0 m,纵桥向桩距4.5 m,桩径1.5 m,共18根<sup>[5]</sup>。桥台及基础构造如图4所示。

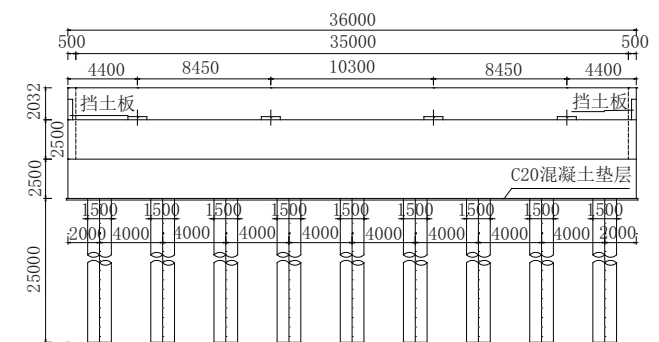


图4 桥台及基础构造图(单位:mm)

#### 3.4 桥面铺装

桥面采用钢桥面板,钢桥面板设置在横梁上,其与横梁间设置20 mm橡胶垫及L型角钢。钢桥面板顶部经喷砂除锈处理之后,涂覆PA1或PAB1防腐底漆,再在其上铺设Safetrack SC铺装层。

#### 3.5 附属结构

(1)伸缩缝:伸缩缝设置在桥台和联端位置,采用浅埋式。

(2) 支座:采用高阻尼减隔震支座。

(3) 栏杆:结合建筑风格及景观要求,栏杆采用玻璃栏杆,栏杆立柱、玻璃栏板可结合亮化一并处理。

### 3.5 抗震构造<sup>[6]</sup>

(1) 本桥在墩台顶均设置了抗震挡块,有效起到横向限位的作用。

(2) 为防止落梁,根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011),梁端至台帽边缘最小距离  $a \geq 70+0.5L$  (cm),  $L$  为计算跨度,以 m 计<sup>[7]</sup>。

(3) 为了防止地震时梁与梁之间、梁与桥台之间的碰撞,梁端及两侧安装减震橡胶块。以缓和冲击作用和限制梁的位移。

### 3.6 摩天轮设计

摩天轮采用传统轮辐索重力式摩天轮,轮盘直径 135 m。摩天轮主体为人字柱大立架,辐条式转轮结构,采用 Q345C 钢材,主体构件由大立架、中心主轴、大转轮、吊臂架、吊厢轴、驱动支架等组成。

摩天轮轮盘由外圈钢桁架圆环及中心轮辐索组成,内侧圆环通过轮辐索与轴心连接。轮盘钢桁架圆环外圆直径 128.4 m,内圆直径 119.4 m。摩天轮两侧“人”字形钢支撑结构支撑点位于桥面两侧河道,支撑结构跨度 130 m。支撑位置采用承台桩基础。

摩天轮站台为摩天轮与桥梁交互部分,嵌入到桥梁中上层跨中位置。站台采用上下客流分流模式,避免上下站过程中出现安全隐患。

摩天轮柱脚截面为 3 800 mm × 2 800 mm × 40 mm × 40 mm 矩形截面。

轮箍内外弦杆截面分别为  $\phi 630$  mm × 30 mm 与  $\phi 450$  mm × 30 mm。

## 4 结构计算

### 4.1 计算模型

本文采用 MIDAS Civil 进行简支钢桁梁静力计算,计算模型如图 5 所示。进行结构计算时,杆件均采用梁单元模拟,钢桥面及玻璃幕墙采用板单元模拟。全桥共计节点数量 1 974 个,梁单元 2 629 个,板单元 273 个。钢桁梁梁端雨棚采用节点荷载施加到钢桁梁对应位置。

### 4.2 设计参数

(1) 结构自重:按实际结构建模,并考虑节点及加劲板附加荷载。

(2) 二期荷载:主要考虑桥面铺装、栏杆、梯道、

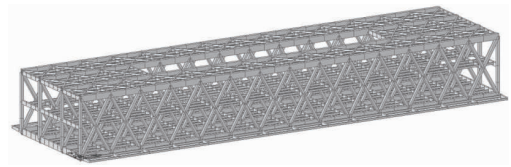


图 5 结构整体模型图

和检修荷载等。

(3) 人群荷载:按 4 kN/m<sup>2</sup> 计。

(4) 温度荷载:整体升降温按 +30℃ 考虑;温度梯度参照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015) 计算。

(5) 风荷载:参照《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01—2018) 计算。

(6) 雪荷载:基本雪压按 0.3 kN/m<sup>2</sup> 计。

### 4.3 应力分析

在最不利荷载组合下,主梁上、下缘应力分别如图 6 和图 7 所示。

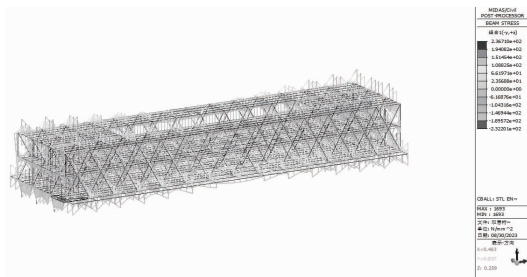


图 6 主梁上缘应力图(单位:MPa)

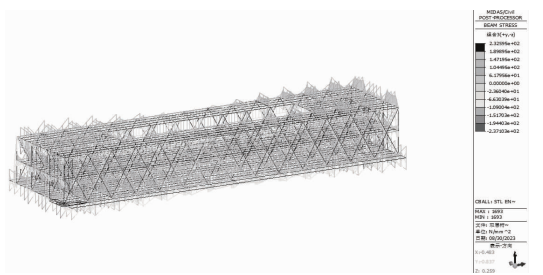


图 7 主梁下缘应力图(单位:MPa)

由图 6 和图 7 可知,主梁上缘最大压应力为 232.2 MPa,最大拉应力为 236.7 MPa;下缘最大压应力为 237.1 MPa,最大拉应力为 232.6 MPa。均小于 Q345qD 钢和 Q420qD 钢的允许应力,满足设计要求。

### 4.4 变形分析

主梁在人群荷载、恒载 +1/2 人群荷载作用下最大竖向挠度分别如图 8 和图 9 所示。由图可知,主梁在人群荷载作用下最大竖向挠度 66.8 mm,为  $L/1\ 654$ ,满足竖向挠度限制  $L/500$  的要求;预拱度采用恒载 +1/2 人群荷载产生的挠度值,为 131.6 mm。

### 4.5 振动分析

采用 MIDAS Civil 程序进行结构自振振型与频



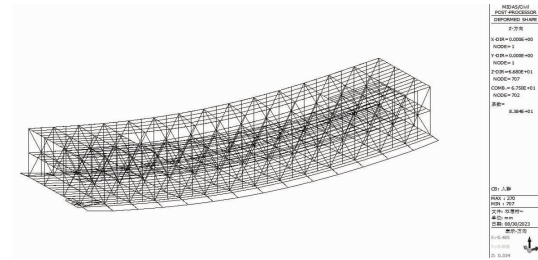


图8 人群荷载作用下竖向挠度图(单位:mm)

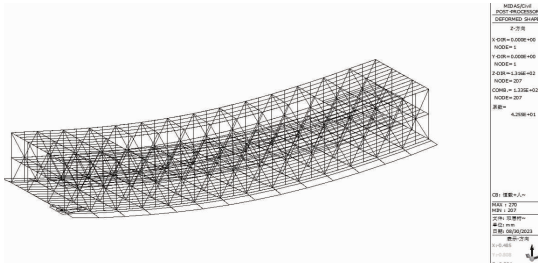


图9 恒载+1/2人群荷载作用下竖向挠度图(单位:mm)

率的分析,通过对全桥前200阶模态分析(保证累积振型参与质量达到90%),该简支钢桁架主要模态计算结果如表1所示。

表1 主梁自振频率及振型特征

模态号	频率/Hz	振型描述
27	1.98	对称侧弯
28	2.21	对称竖弯
29	2.35	对称侧弯
30	4.62	反对称侧弯
36	6.53	反对称竖弯

现行《城市人行天桥和人行地道技术规范》(CJJ 69—1995)要求人行天桥竖向自振频率不应小于3 Hz。由表1结果可知,结构竖向振动基频出现在第28阶,为2.21 Hz,不满足规范要求,因而需对其进行舒适度分析。

本设计采用德国EN03规范进行舒适度分析,由规范可知:竖向和侧向振动敏感频率范围分别为1.25~2.3 Hz和0.5~1.2 Hz<sup>[8,9]</sup>。由表1可知仅需对第28阶模态进行舒适度分析。进行舒适度分析时人群密度取1.5 P/m<sup>2</sup>,以钢桁架跨度的1/4、1/2和3/4处为分析点,得到第28阶敏感频率的峰值加速度及舒适度等级如表2所示。

由表2舒适度计算结果可知,竖向舒适度在1/2跨度处最差,舒适度等级为CL2中等程度,能够满足行人行走舒适性的要求。

表2 舒适度结果表

频率	峰值加速度/(m·s <sup>-2</sup> )			舒适度等级		
	1/4跨度	1/2跨度	3/4跨度	1/4跨度	1/2跨度	3/4跨度
2.21	0.65	0.98	0.65	CL2	CL2	CL2

## 5 主要施工步骤及方法

本桥上部主桥采用节点部分支架法分段拼装施工,下部桥台采用现场浇筑施工,施工顺序主要为<sup>[10]</sup>:

- (1)平整场地;
- (2)设置围堰;
- (3)桁架节段制作及施工桩基;
- (4)施工承台、台身;
- (5)搭设支架,分段拼装,施工主梁,待主桁架全部拼装完成后,方可拆除主桥支架;
- (6)铺设桥面系,安装附属构件;
- (7)施工桥上建筑(局部位置可根据施工组织情况,桥上建筑与桥梁同步施工)。

## 6 结语

(1)本桥为112 m的简支钢桁架桥,上层桁宽27.2 m,下层桁宽36 m。桥台采用一字型钢钢筋混凝土桥台,该桥梁与摩天轮组合,同时解决了行人过河及登摩天轮的需要,又以其简洁优美的造型,增加了该桥梁的可观赏性。

(2)钢桁架桥各个构件的强度、刚度、稳定性和挠度等均满足规范的要求。

(3)该钢桁桥可以满足行人行走舒适性的要求。

(4)本桥可为同类型钢桁架桥的设计提供了借鉴。

### 参考文献:

- [1]曹骏驹.120 m下承式简支钢桁架桥设计分析[J].现代交通技术,2020,17(6):57-60.
- [2]刘其卓.钢桁架拱人行天桥的方案设计与结构性能[J].武汉理工大学学报,2021,43(3):28-33.
- [3]汤秋华.大跨度变高度连续钢桁架桥设计[J].城市道桥与防洪,2020(8):94-97.
- [4]JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [5]JTG D62—2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [6]李晓璐,周莉.某大跨度钢桁架桥抗震分析[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2016,29(4):28-32.
- [7]CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].
- [8]EN03, Design of Footbridges Guideline[S].
- [9]陈政清,华旭刚.人行桥的振动与动力设计[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [10]孔璞.大跨度简支钢桁架桥设计与施工方案研究[J].城市道桥与防洪,2022(11):77-79,92.