

一座大跨弧形变高度钢桁架人行天桥设计研究

毛远文¹, 聂细锋², 张大军²

(1.贵阳市城市建设投资集团有限公司, 贵州 贵阳 580023; 2.中铁二院贵阳勘察设计院有限责任公司, 贵州 贵阳 550002)

摘要:以某大跨弧形变高度钢桁架人行天桥为设计背景,通过建立空间有限元模型,与取消竖杆后的钢桁架、等高度钢桁架和钢管桁架进行对比分析,得出:当节间距较小时,竖杆对整体竖向刚度的影响小于对整体结构质量的影响,取消竖杆后可以增加结构的固有频率;弧形钢桁架会导致整体竖向刚度下降,常规条件下宜选用等高度桁架形式,可降低桁架高度,节约用钢量;钢管桁架能更好地发挥材料特性,较箱形桁架能较大地发挥截面特性,能减少用钢量和焊接工作量。研究结果可为今后同类人行天桥提供一定的借鉴和参考意义。

关键词: 竖向自振频率;变高度钢桁架;等高度钢桁架;钢管桁架;对比分析;桁架高度

中图分类号: U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0087-03

0 引言

随着城市道路等基础设施的快速发展,人行天桥已成为人行过街的重要交通设施,天桥的跨度越来越大,对其景观需求也越来越高,下承式钢桁架梁结构优势也越明显。下承式钢桁架梁结构具有受力明确、跨越能力强、自重轻、结构轻盈、景观通透性好等优点,在城市人行天桥中的应用广泛,但其建筑高度较高,造型单一,在一定程度上影响了桁架结构在城市人行天桥中的应用^[1]。本文结合工程实践,总结设计经验,探讨钢桁架天桥在设计过程中应关注的几个方面。

1 工程概况

某人行天桥跨越现状公路(后期规划为60 m宽的城市快线),既有公路车流量大,车速快,且没有人行过街设施,两侧厂区员工只能靠平交口通行,极其不方便,且存在较大安全隐患。为满足厂区员工过街需要,采用一跨1×65.8 m下承式弧形变高度钢桁架跨越既有公路。

该天桥主桁架总长66.8 m,其中主跨65.8 m,主桥采用吊装拼接施工。横断面布置为0.5 m下弦杆+0.15 m栏杆+预留0.35 m盆栽空间+4.0 m人行道+预留0.35 m盆栽空间+0.15 m栏杆+0.5 m下弦杆=6.0 m。主桁架为三角形结构,由上弦杆、下弦杆、腹

杆(竖杆和斜杆)组成,采用两片钢桁架,通过钢横梁连接成整体结构。为呈现人行天桥的动态美,增强天桥整体美观大气效果,采用弧形上弦杆形式,呈现出波浪形曲状。上弦杆、下弦杆等均采用箱形截面。主桁支点处桁高6.1 m,曲线凸点处6.6 m,凹点处5.6 m,桁宽6.0 m,标准节间长度4.7 m,高跨比11.75(按凹点处算)。主桥桥型布置如图1所示。

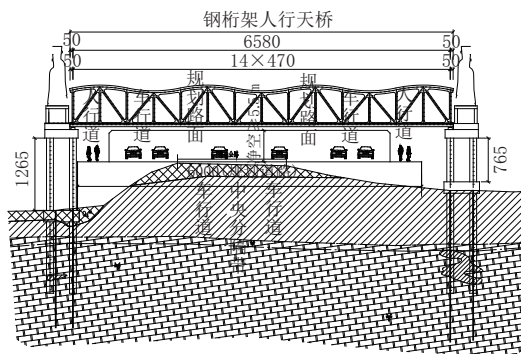


图1 主桥桥型布置图(单位:cm)

2 有限元模型及结构动力特性分析

为保证大跨度人行天桥的通行舒适度,采用大型通用有限元软件进行验算。全桥整体计算模型由钢桁梁、上横梁,以及下层纵、横梁等组成。纵梁与横梁的连接处释放梁端弯曲约束,桥面系及附属设施作为外荷载不参与钢桁架受力,结构离散如图2所示。

人行天桥因人行荷载而振动,同时将这一振动传递给行人。因此,研究人行天桥结构振动特性是评价和改善人行天桥使用性能的一个重要方面^[2]。根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—95)^[3] 2.5.4条要求:为避免共振,减少行人不安全感,天桥

收稿日期: 2023-05-02

作者简介: 毛远文(1987—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计及技术管理工作。

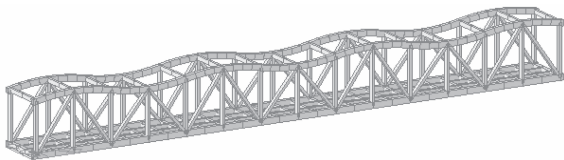


图2 主桁有限元空间模型

上部结构竖向自振频率应不小于 3 Hz。
根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[4],简支梁自振频率(基频)公式如下:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI_c}{m_c}}$$

式中: l 为桥梁结构的计算跨径; E 为材料的弹性模量; EI_c 为桥梁结构的刚度; m_c 为桥梁结构跨中处的单位长度质量。

采用子空间迭代法进行全桥结构动力特性分析,确定各阶模态的频率和振型,其中竖弯自振频率为 3.1 Hz,满足规范要求,可不进行人致振动舒适度验算。

3 取消竖杆后的对比分析

为满足天桥竖向自振频率要求,钢桁架结构天桥的高跨比普遍较大,造成钢桁架刚度也较大。本桥节间长度为 4.7 m,节间距较小,将竖杆(仅保留支座处竖杆)取消(见图 3),以增加天桥的通透性和轻盈度。

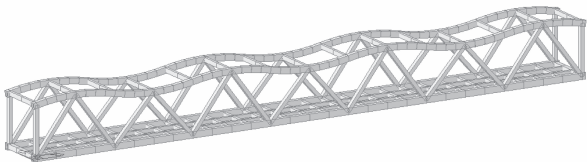


图3 取消竖杆后的空间效果

取消竖杆后的应力云图和对比计算结果分别如图 4 和表 1 所示。表 1 中优化桁高是将主桁支点处桁高调整为 5.7 m,曲线凸点处 6.2 m,凹点处 5.2 m。

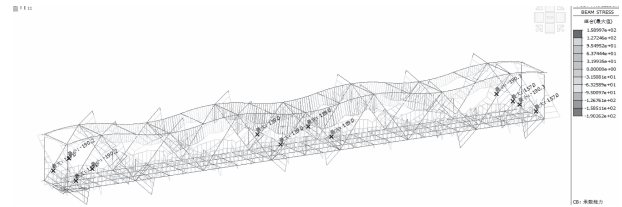


图4 取消竖杆后的应力云图

从表 1 可以得出,竖杆对本桥竖向自振频率影响较大,取消竖杆后,结构的竖向自振频率增大。根据自振频率公式可以推导出,本桥竖杆对整体竖向刚度的影响小于对整体结构质量的影响。取消竖杆后,可优化桁架高度,节省用钢量,用钢量节约了 8.8%。

4 与等高度钢桁架的对比分析

主桁架是钢桁架桥主要承重结构,截面尺寸较

表 1 取消竖杆后的对比计算结果

结构方案	上弦杆最大正应力 /MPa	斜杆最大正应力 /MPa	竖向自振频率 /Hz	钢桁架用钢量 /t	静活载最大竖向位移 /mm
原模型(斜杆和竖杆)	135.4	210.0	3.1	249.9	18.1
取消竖杆(桁高不变)	130.8	166.5	3.26	230.5	17.8
取消竖杆(优化桁高)	139.1	171.3	3.1	227.9	19.6

其他杆件大,不同桁架形式受力性能略有不同。弧形变高度桁架由于杆件长度不一,节点构造不一,焊接加工复杂;而等高度桁架构造简单,适宜标准化设计和制造。等高度桁架空间效果如图 5 所示。两种桁架形式的对比计算结果见表 2。

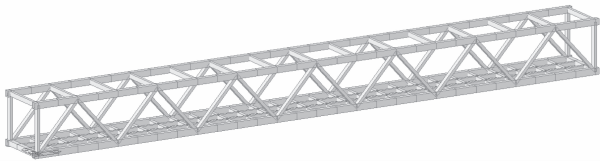


图5 等高度钢桁架空间效果

表 2 变高度与等高度钢桁架的对比计算结果

结构方案	上弦杆最大正应力 /MPa	斜杆最大正应力 /MPa	竖向自振频率 /Hz	钢桁架用钢量 /t	静活载最大竖向位移 /mm
变高度桁架(原模型)	135.4	210.0	3.1	249.9	18.1
等高度桁架(桁高 5.5 m、有竖杆)	110.3	192.9	3.0	242.8	19.2
等高度桁架(桁高 5.2 m、无竖杆)	114.6	112.6	3.04	217.7	21.5

根据对比计算结果可知,采用桁高 5.5 m 有竖杆的等高度桁架即可满足规范要求,用钢量较变高度桁架形式节约 2.8%。采用桁高 5.2 m 无竖杆的等高度桁架,用钢量较变高度桁架形式节约 12.9%。由此可以进一步得出,在常规条件下,宜选用等高桁架。采用变高度桁架,由于上弦杆弯曲,导致整体竖向刚度下降,需要牺牲更多的建筑高度来满足竖向自振频率要求。建设单位对景观要求高的情况下,可以推荐选用景观效果较好的弧形变高度桁架形式。

5 与钢管桁架的对比分析

钢管桁架结构具有自重轻、刚度大、节省钢材、能充分发挥材料强度等优点。钢管桁架结构无节点板、外形美观、加工简便,可大大减少焊接工作量。基于上述优点,本文将箱形截面调整为钢管截面作进一步对比分析。钢管桁架空间效果如图 6 所示。

两种截面形式的对比计算结果见表 3。表 3 中优

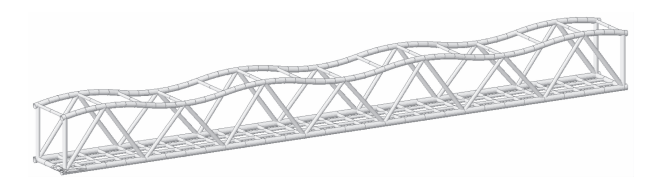


图 6 钢管桁架空间效果

化桁高是将主桁支点处桁高调整为 5.7 m,曲线凸点处 6.2 m,凹点处 5.2 m。

表 3 取消竖杆后的对比计算结果					
结构方案	上弦杆最大正应力 /MPa	斜杆最大正应力 /MPa	竖向自振频率 /Hz	钢桁架用钢量 /t	静活载最大竖向位移 /mm
箱形截面桁架(原模型)	135.4	210.0	3.1	249.9	18.1
钢管桁架(有竖杆、桁高不变)	163.0	97.6	3.09	194.8	22.8
钢管桁架(无竖杆、优化桁高)	169.9	115.3	3.08	169.3	26.1

根据对比计算结果可知,在应力水平和竖向刚度相当的情况下,本桥采用有竖杆的钢管桁架用钢量较箱形截面桁架节约 22.0%,无竖杆的钢管桁架用钢量较箱形截面桁架节约 32.3%。由于钢管桁架的截面材料更均匀地分布在中性轴,充分发挥材料强度,使截面同时具有良好的抗压和弯扭承载能力。

6 结 论

本文对该钢桁架天桥进行了动力特征分析,与取消竖杆后的钢桁架、等高度钢桁架和钢管桁架进行了对比分析,得出以下结论。

- (1)当节间距较小时,竖杆对整体竖向刚度的影响小于对整体结构质量的影响,可以取消竖杆,增加天桥的通透性和轻盈度,节约用钢量。
- (2)采用弧形变高度桁架,上弦杆弯曲,导致整体竖向刚度下降,常规条件下宜选用等高度桁架形式,降低桁架高度,节约用钢量。
- (3)钢管桁架能更好地发挥材料特性,较箱形桁架能较好地发挥截面特性,节约用钢量,较大地减少焊接工作量。

参考文献:

[1] 周祥乾.某桁架结构景观人行天桥设计[J].城市道桥与防洪,2022(11):95-97.

[2] 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.

[3] CJJ 69—95,城市人行天桥与人行地道技术规范[S].

[4] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].

(上接第 78 页)

东南大学学报(自然科学版),2021,51(5):866-873.

[13] 张志彬,孟庆宇,马征.城市面源污染的污染特征研究[J].给水排水,2016,52(S1):163-167.

[14] 杨默远,潘兴瑶,刘洪禄,等.基于文献数据再分析的中国城市面源污染规律研究[J].生态环境学报,2020,29(8):1634-1644.

[15] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].

[16] 王哲,谢杰,谢强,等.透水铺装地面滞蓄净化城镇雨水径流研究进展[J].环境科学与技术,2013,36(S2):138-143.

[17] 许国东,高建明,吕锡武.多孔混凝土水质净化性能[J].东南大学学报(自然科学版),2007(3):504-507.

[18] 李美玉,张守红,王玉杰,等.透水铺装径流调控效益研究进展[J].环境科学与技术,2018,41(12):105-112,130.