

佛山市某大跨径铝合金人行天桥桁梁结构分析

郭 昕,黄英军,周 田,王宗琬,何文渊

(中天设计咨询有限公司,广东 佛山 528000)

摘 要: 铝合金作为一种优质的新型桥梁结构材料,具有轻质高强、易养护、低碳环保、施工便捷、景观性强等特点。近年来,铝合金结构在城市人行天桥中已被较多应用,但少有大跨径铝合金人行天桥应用实例。以佛山市禅城区佛山大道(澜石路口)人行天桥为例,详细介绍大跨径铝合金人行天桥上部结构设计。通过 MIDAS 及 3D3S 有限元模型,对大跨径铝合金人行天桥上部结构进行选型分析,可为大跨径铝合金人行天桥上部结构设计提供参考。

关键词: 铝合金结构;大跨径;人行天桥;结构分析;有限元计算;选型分析

中图分类号: U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)03-0085-03

0 引言

近年来,随着城市快速路及轨道交通的迅速发展,大大提高了城市内两点间的交通效率,但同时也影响到快速路上两侧行人通行及商业发展。在此前提下,大量的大跨径人行天桥孕育而出。随着市政项目的精细化发展,对施工周期的准确化、施工排污的精细化、周边环境的低影响、管理养护的轻便化都提出了较高要求,可持续发展的思路被提上日程。此刻,铝合金人行天桥被人们所关注。

铝合金作为一种优异的新型桥梁结构材料,具有以下优点:(1)轻质高强。铝合金密度低、比强度高,较传统桥梁用钢单位质量情况下受力性能更优。(2)耐腐蚀。铝表面能形成致密的氧化膜,从而阻止铝合金被周围环境中的有害物质所侵蚀,能够保证结构具有良好的耐久性。(3)低碳环保。铝合金材料回收价值高、再生成的费用低、服役周期长、养护成本低,能大大降低碳排放,实现碳中和目标。(4)施工便捷。铝合金结构轻盈,便于运输及整体吊装施工,各杆件在工厂预拼装后运送至现场安装,能大大缩减施工工期,减少对周边环境及现状交通的影响。(5)景观效果好。铝合金材料具有特殊的金属光泽与质感,通过阳极氧化或电解着色后可使颜色发生变化^[1],整体观感更加高级。

收稿日期:2023-06-26

作者简介:郭昕(1963—),男,博士,院长,教授级高级工程师,从事桥隧设计咨询工作。

通信作者:周田(1985—),男,博士,高级工程师,从事桥隧设计工作。电子信箱:305243468@qq.com

1 工程概况

该铝合金人行天桥横跨城市快速路,项目工期 88 d,主桥吊装道路全封闭时间仅为 8 h,上部采用等高连续中承式桁架结构,跨径布置为 2.27 m+43 m+42 m+2.27 m,全长 89.54 m,净宽 4.0 m,全宽 5.87 m。该项目为佛山市第一座铝合金人行天桥,是国内第一座配有铝合金坡道的人行天桥,也是目前国内最大跨径的铝合金连续桁架桥。天桥实景、立面分别见图 1 和图 2。



图 1 天桥实景效果图

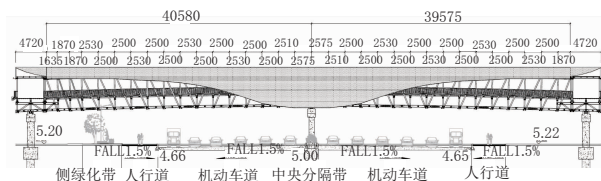


图 2 天桥立面示意图(单位:mm)

2 基本信息

2.1 材料特性

铝合金材料的物理性能具体值见表 1。

2.2 设计荷载选取

2.2.1 恒载

(1)结构自重:铝合金容重 $\gamma=27\text{ kN/m}^3$;

(2)桥面铺装自重: 0.5 kN/m^2 ;

表 1 铝合金材料物理性能		
分项	温度 /℃	数值
密度 /(kg·m ⁻³)		2 700
弹性模量 /(kN·mm ⁻²)		70
切变模量 /(kN·mm ⁻²)		27
线性膨胀系数 μ/℃ ⁻¹	20 ~ 100	23
热传导性 W/(m·k)	20	180
特定热量 J/(kg·k)	0 ~ 100	897
电阻率 n/(Ω·m)	20	38
传导率 %IACS	20	46
熔解范围 /℃		580 ~ 650

注:kg= 千克,μ= 微(10⁻⁶),n= 毫微(10⁻⁹)

- (3)花槽自重:2.5 kN/m/ 单侧下弦杆;
- (4)栏杆自重:1.5 kN/m/ 单侧下弦杆;
- (5)雨棚自重:1.0 kN /m/ 单侧上弦杆;
- (6)装饰自重:1.7 kN/m/ 单侧上弦杆。

2.2.2 活载

人群荷载取值参照《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ69-95)(2003 局部修订)^[2],计算时取桥面板上人群荷载 $W=[5-2\times(43-20)/80]\times(20-2)/20=4.0$ kPa(人群荷载布置净宽 4.0 m)。

2.2.3 风荷载

主桁架构造的横向风力(横桥方向)为横向风压乘以迎风面积,使风荷载加载于一侧上下弦杆,横向风压按 100 a 一遇取基本风压为 0.6 kN/m²,计算风荷载水平力为 2.5 kN/m。

2.2.4 荷载组合

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[3],计算分析的荷载组合统计如下:

- (1)1.2 恒载 +1.4 人群活载;
- (2)1.2 恒载 +1.4 人群活载 +(1.4×0.75)基本可变荷载;
- (3)1.2 恒载 +1.4 人群活载 +(1.4×0.75)基本可变荷载 +(1.1×0.75)风荷载;
- (4)1.0 恒载 +1.0 人群活载;
- (5)1.0 恒载 +1.0 人群活载 +1.0 基本可变荷载;
- (6)1.0 恒载 +1.0 人群活载 +1.0 基本可变荷载 +(1.0×0.75)风荷载。

2.3 边界条件

全桥共设 3 个墩柱,每个墩柱上设置两个支座,支座布置位置如图 3 所示。固定支座设置在中墩上,中墩上另一个支座采用横桥向单向活动支座;在其

余两个边墩上,设置固定支座的一侧,均布置顺桥向的单向活动支座,其余均采用双向活动支座,见图 3。

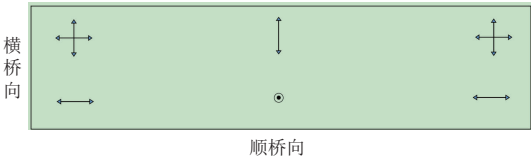


图 3 支座设置示意图

3 上部结构分析

主桥上部结构拟采用下承式连续桁架体系和中承式连续桁架体系分别进行分析。标准横断面见图 4。

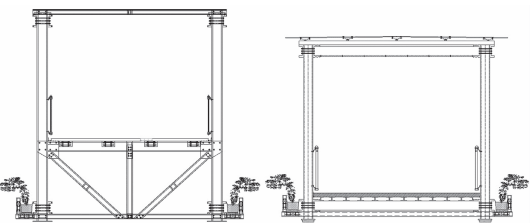


图 4 中承式、下承式横断面

3.1 结构尺寸

3.1.1 中承式结构尺寸

中承式连续桁架体系,梁底至桥面板高度 2.0 m,桁架总高 5.36 m。主桁架结构由上弦杆、下弦杆、竖杆、斜杆、上横杆、下横杆、桥面横杆、横向联系杆、支点加强竖杆等组成,桁架标准段节间间距约 2.5 m。主要受力构件材料为 6082-T6。各杆件参数见表 2,三维视图见图 5。

表 2 中承式杆件参数表 单位:mm

序号	构件名称	构件类型
1	上弦杆	320×110×45×26 双槽铝
2	下弦杆	320×110×45×26 双槽铝
3	上横杆	120×120×19 双方铝
4	下横杆	120×120×19 双方铝
5	桥面横杆	150×275×30 方铝
6	竖杆	150×275×30 方铝
7	斜杆	150×275×30 方铝
8	横向联系杆	150×150×25 方铝
9	支点加强竖杆	150×275×30 双方铝



图 5 中承式结构三维视图

3.1.2 下承式结构尺寸

下承式连续桁架体系,桁架总高 4.5 m。主桁架结构由上弦杆、下弦杆、上横杆、下横杆、竖杆、斜杆等组成,桁架标准段节间间距约 5.2 m。主要受力构件材料为 6082-T6。各杆件参数见表 3,三维视图见

图 6。

表 3 下承式杆件参数表			单位:mm
序号	构件名称	构件类型	
1	上弦杆	320×110×45×26 双槽铝	
2	下弦杆	320×110×45×26 双槽铝	
3	上横杆	227×100×16×16 双槽铝	
4	下横杆	227×140×16×16 双槽铝	
5	竖杆	150×275×30 方铝	
6	斜杆	150×275×30 方铝	



图 6 下承式结构三维视图

3.2 计算结果分析

根据《铝合金人行天桥技术规程》(T/CECS 471-2017)^[4]及《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ69-95)(2003 局部修订)相关计算规定,人行天桥采用 MIDAS Civil 2022 和 3D3S 软件相结合建立模型,模型采用空间梁单元进行模拟,计算结果对比见表 4。

表 4 桁架计算结果分析表					
计算		中承式	下承式	差值	设计要求
变形 /mm	恒载	23.7	20.13	3.57	—
	人群荷载	21.92	24.54	-2.62	小于 43 000/800=52.75
应力 /MPa	最大拉应力	78.16	69.14	9.02	小于 215
	最大压应力	114.33	112.55	1.78	小于 215
自振频率 /Hz	竖向	3.19	3.47	-0.28	大于 3
	侧向	1.22	2.00	-0.78	大于 1.2
稳定性系数	模态 1	16.37	39.52	-23.15	大于 5 ^[5]
	模态 2	21.76	39.52	-17.76	大于 5
	模态 3	22.36	46.73	-24.37	大于 5
	模态 4	22.74	46.73	-23.99	大于 5
杆件强度验算	最大强度应力比	0.676	0.615	0.061	应力比小于 1
	最大绕 2 轴抗剪应力比	0.067	0.043	0.024	应力比小于 1
	最大绕 3 轴抗剪应力比	0.031	0.014	0.017	应力比小于 1
局部稳定验算	最大绕 2 轴稳定应力比	0.822	1.475	-0.653	应力比小于 1
	最大绕 3 轴稳定应力比	0.719	1.934	-1.215	应力比小于 1

注:绕 2,3 轴剪应力比:构件在受力作用下绕弱轴方向和强轴方向剪力与型材许用剪力之比;绕 2,3 轴剪应力比:构件在平面外和平面内的稳定。

局部稳定验算中,不满足规范要求,表明本文论述的下承式断面不合理,建议采用增加下承式桁架结构高度、增加杆件尺寸等措施改进设计。

(3)通过节点内力分析,发现支点处竖杆内力远大于其余处竖杆内力,因此设计时应应对支点处竖杆做加强处理,例如本项目采用了双方铝结构,以保证结构的安全性。

3.3 结论

中承式结构在变形、应力、自振频率及整体稳定性验算中,皆满足规范要求。在杆件局部稳定验算中,中承式断面杆件绕 2、3 轴稳定应力比最大值发生在中墩支点竖杆处,为 0.822 和 0.719,小于 1,满足规范要求。

下承式结构在变形、应力、自振频率及整体稳定性验算中,皆满足规范要求。在杆件局部稳定验算中,下承式断面杆件绕 2、3 轴稳定应力比最大值发生在中墩支点竖杆处,为 1.475 和 1.934,大于 1,不满足规范要求。建议采用增加下承式桁架结构高度、增加杆件尺寸等措施改进设计。

4 结 语

(1)本项目中,中承式铝合金桁架结构在变形、应力、自振频率、整体稳定性及局部稳定性验算中均满足规范要求,在类似的跨度下,城市铝合金人行天桥采用中承式连续桁架体系是合适的。

(2)在本项目中,下承式铝合金桁架结构在杆件

参考文献:

[1] 陈勇.海口市海秀快速路某铝合金人行天桥设计及计算分析[J].中国市政工程,2019(3):94-97,142.
[2] CJJ 69—1995,城市人行天桥与人行地道技术规范[S].
[3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[4] T/CECS 471—2017,铝合金人行天桥技术规程[S].
[5] TB 10002—2017,铁路桥涵设计规范[S].