

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.07.031

铝合金天桥设计控制因素研究

吕 哲

(上海市政交通设计研究院有限公司,上海市 200030)

摘 要: 根据《铝合金人行天桥技术规程》(T/CECS 471—2017)的相关规定,分析了铝合金人行天桥设计的控制因素。结果表明:桁架铝合金人行天桥结构设计的控制关键是结构基频而非挠度;如果结构主要为受弯构件,则铝合金人行天桥设计的首要控制因素为变形;铝合金桁架人行天桥的矢跨比约为 1:10;对铝合金材料特性及对桥梁设计中关键因素的把控,将提升铝合金材料的使用效率,降低建造成本;铝合金人行天桥具有良好的跨越能力,可以适应跨越较宽道路的功能需求。

关键词: 铝合金;桁架结构;自振频率;控制因素

中图分类号: U448.11

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)07-0115-03

0 引 言

铝合金以其质轻、强度高、挤压成型工艺先进以及耐腐蚀性等诸多优点,越来越受到人们的青睐。近些年,我国多个城市的新建人行天桥项目已将铝合金材料作为第一选择。2017 年,《铝合金人行天桥技术规程》(T/CECS 471—2017)(以下简称《技术规程》)的发布,明确了各工况下的荷载组合、行人质量对铝合金人行天桥的影响以及设计限值等,改变了早年铝合金人行天桥结构设计及施工中只能借鉴结构及建筑专业规范和经验方法的弊端,同时也纠正了一些认识上的误区。

1 铝合金材料的力学特性

《技术规程》建议铝合金人行天桥采用桁架结构。结合铝合金材料的自身特点与桁架结构的受力特性,可分析出铝合金人行天桥的设计控制因素。表 1 为铝合金材料 6082-T6 与钢材 Q345 的力学性能对比。

由表 1 可知:铝合金材料的弹性模量、剪切模量、密度均约为钢材的 1/3,强度则约为钢材的 3/4^[1-2]。早期研究中,一些文献认为铝合金人行天桥的控制因素为结构刚度和稳定性,强度为次要因素^[3-4]。本文将根据《技术规程》的要求,通过具体工程实例来分析铝合金人行天桥设计的关键因素。

收稿日期: 2020-12-31

作者简介: 吕哲(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

表 1 6082 铝合金与 Q345 钢材力学性能对比

力学性能	6082-T6 铝合金	Q345 钢材
弹性模量 /MPa	70 000	206 000
泊松比	0.3	0.31
剪切模量 /MPa	27 000	79 000
线膨胀系数 /℃ ⁻¹	2.3 × 10 ⁻⁵	1.2 × 10 ⁻⁵
密度 /(kg·m ⁻³)	2 700	7 850
设计强度 /MPa	215	270
屈服强度 /MPa	260	345

2 结构设计

2.1 总体布置

某新建人行天桥上部结构为铝合金桁架结构,跨径为 1~33 m,桁架外轮廓高度为 4.0 m,采用双榀桁架体系,桥面净宽为 4.0 m。

主桁架结构由上下主弦杆、腹杆、横撑杆、斜撑杆等杆件组成,上下弦杆中心距为 3.7 m,桁架标准节段长 4.125 m,2 片桁架间距为 4.42 m(见图 1~图 3),节间处设置横向及斜向连接,以增加横向刚度。采用板式橡胶支座与下部墩柱连接。

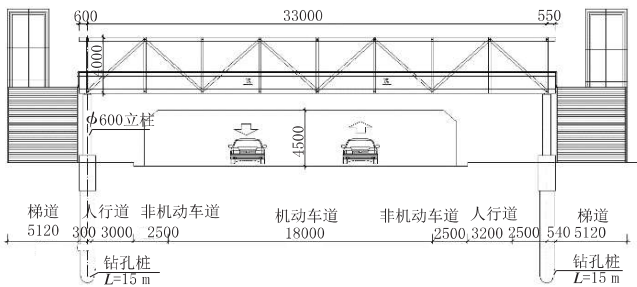


图 1 主桁架结构立面布置图(单位:mm)

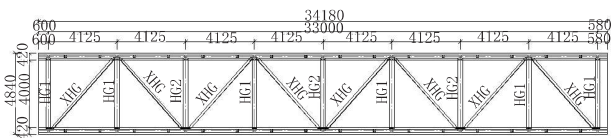


图2 主桥底平面杆件布置图(单位:mm)

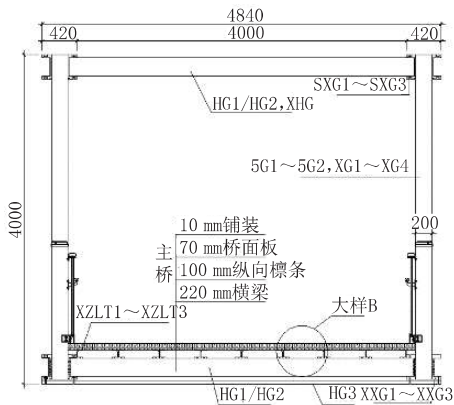


图3 主桥断面(单位:mm)

主桥两侧梯道净宽 4.8 m,与主桥之间设置伸缩缝。

2.2 主要杆件截面

本工程杆件主要采用槽形及箱形截面,除需满足结构受力要求外,尚需满足《铝合金结构设计规范》(GB 50429—2007)对长细比的要求。主要杆件截面及特性见表2。

表2 主要杆件截面及特性

杆件名称	截面尺寸/mm	截面惯性矩/mm ⁴	截面构造
主弦杆	300×110×15	126 534 000	
直、斜腹杆	200×140×16	50 596 234	
横梁、顶底横撑	220×140×12	53 584 782	
纵向檩条	100×75×8	3 658 552	
桥面板	317×70	2 978 097	

2.3 模型建立

主桥结构利用 Midas/Civil 建立有限元模型,采用空间杆件体系,将板式橡胶支座模拟为固定端和滑动端,形成简支结构。桥面铺装、栏杆及雨棚等作为荷载加至结构之上。杆件模型见图4。

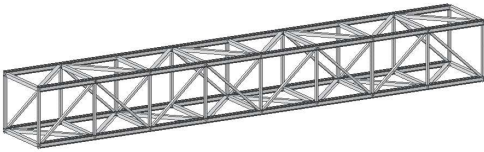


图4 杆件模型

2.3.1 荷载取值

荷载取值见表3。

表3 荷载取值 单位:kPa

荷载分类	荷载名称	荷载取值
恒载	结构自重	软件计算
	雨棚	0.40
	铺装+栏杆	0.75
活载	人群荷载	4.20
	雪荷载	0.40

2.3.2 荷载组合

基本组合:1.2G_{恒载}+1.4Q_{人群}+1.05T_{温度}+1.05Q_雪。

挠度:1.0Q_{人群}。

预拱度:1.0G_{恒载}+1.0Q_{人群}。

基频:1.0G_{恒载}+0.5Q_{人群}。

2.3.3 计算结果

(1)读取基本组合下轴力及弯矩产生的应力最大值(见图5),由结果可知,基本组合作用下,结构最大应力为 51.5 MPa<[215 MPa](《技术规程》),即强度验算满足设计要求。

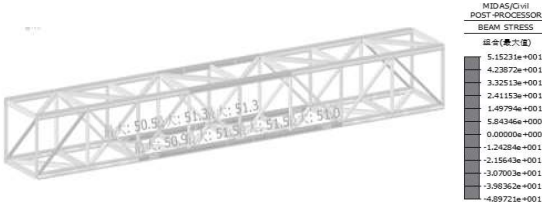


图5 应力计算结果(单位:MPa)

(2)读取人群荷载下轴力及弯矩产生的变形最大值,由结果可知,在人群荷载作用下,天桥的最大位移为 17.9 mm(见图6),小于最大竖向挠度限值 l/600= 限值 55 mm,即变形验算满足设计要求。

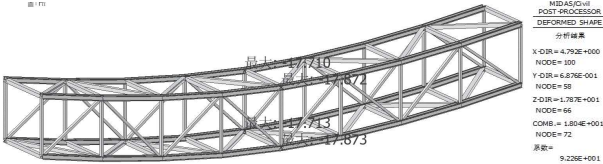


图6 竖向变形计算结果(单位:mm)

(3)验算简支梁自振频率 f₁ 时,采用以下估算公式:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI_c}{m_c}} \quad (1)$$

式中:l 为计算跨径;E 为铝合金的弹性模量;I_c 为截面惯性矩;m_c 为材料每延米质量。

由式(1)可知,当跨径和截面确定之后,决定结构基频的是材料本身的弹性模量 E 以及材料每延米质量 m_c。由于铝合金材料的弹性模量和质量都约为

钢结构的 $1/3$, 所以二者结构基频相近。

但由于铝合金材料质量轻,受行人影响较大,根据《技术规程》要求,计算基频时应考虑人群荷载的影响,而对于钢结构桥梁则无此要求。作为对比,对钢结构人行天桥同时计入 $1/2$ 人群荷载影响。此种情况下,铝合金人行天桥的基频锐减为 3.6 Hz ,已接近 3 Hz 的限值,成为结构计算的主控因素(见表4)。

表 4 同结构铝合金桥与钢桥基频结果比较 单位: Hz

仅考虑恒载		恒载 +1/2 人群荷载	
铝合金桥	钢桥	铝合金桥	钢桥
7.15	7.26	3.6	5.4

(4)由铝合金人行天桥的稳定性验算结果可知,其临界荷载系数为 $7.3>[4]$,表现为上弦杆受压区的局部失稳(见图7)。

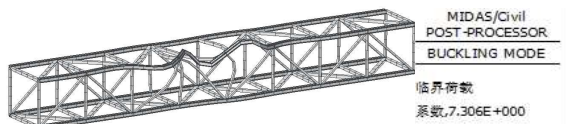


图 7 结构屈曲分析

2.4 节点连接设计

根据《技术规程》要求,本工程采用螺栓来连接铝合金受力构件的主要受力节点。

本工程节点螺栓承受剪力，需验算螺栓的抗剪及承压能力。

螺栓抗剪承载力 N_v^b 为:

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d_e^2}{4} f_v^b \quad (2)$$

式中: n_v 为剪切面数目; d_e 为螺栓在螺纹处的有效直径; f_v^b 为螺栓抗剪强度设计值。

螺栓承压承载力 N_c^b 为:

$$N_c^b = d \sum t f_c^b \quad (3)$$

式中: f_c^b 为螺栓孔壁承压强度设计值。

单栓抗剪承载力 $N_{\min}^b$ 为:

$$N_{\min}^b = \min\{N_v^b, N_c^b\} \quad (4)$$

本座人行天桥内力控制杆件为天桥两端第 1 根斜腹杆,杆件轴力约为 420 kN(见图 8)。



图 8 轴力值结果(单位:kN)

节点处采用 6 枚 M16 不锈钢螺栓连接, 每个螺栓有 2 个剪切面, 壁厚 t 为 15 mm (见图 9、图 10)。

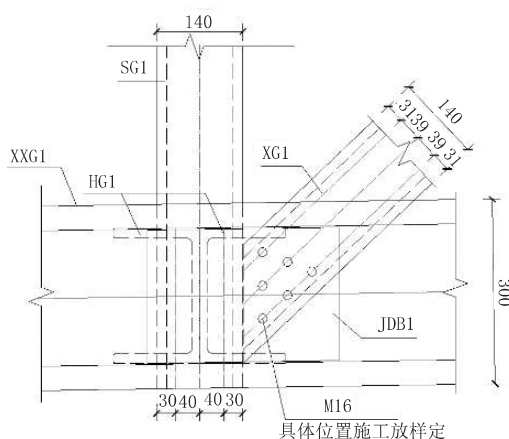


图9 节点立面(单位:mm)

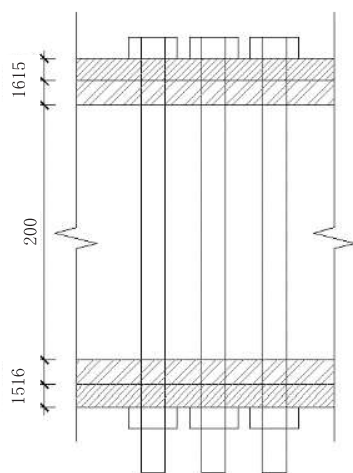


图 10 节点平面(单位:mm)

计算螺栓抗剪承载力: $N_v^b=499 \text{ kN}$; 螺栓承压承载力: $N_c^b=619.2 \text{ kN}$; 取二者较小值 $499 \text{ kN} > 420 \text{ kN}$, 满足设计要求。

综上可知：某铝合金人行天桥主桥的强度、刚度、稳定性、结构基频及节点连接设计均满足《技术规程》的相关规定。

3 结 语

(1)铝合金人行天桥具有良好的跨越能力,可以适应跨越较宽道路的功能需求。

(2)桁架铝合金天桥结构设计的关键是结构基频而非挠度。

(3)如果结构主要为受弯构件,如梯道采用纵横梁体系,则铝合金天桥的设计控制因素首要应为变形。

(4)建议根据具体项目的人群流量实测资料,按实测结果记入人群对铝合金人行天桥的影响。

(5)根据计算,铝合金桁架人行天桥的矢跨比约为 $1:10$ 。

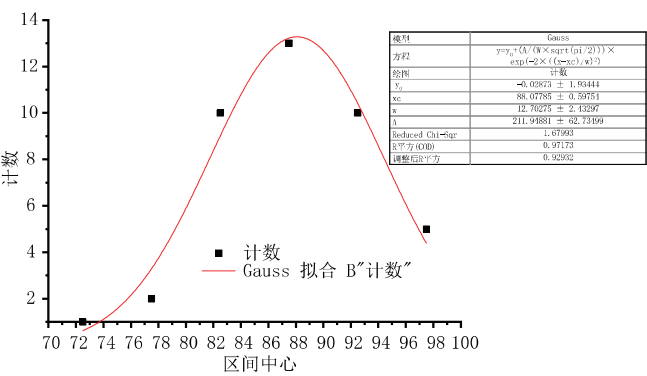


图 14 横向强度保持率试验数据拟合曲线图(单位:%)

用于上海市生态护岸建设中生态袋材料的各关键材料参数的概率密度函数及 95 %保证率的阈值。现结合《上海市河道生态治理设计指南(试行)》推荐标准,特提出如下生态袋材料关键参数指标推荐值(见表 6)。

3 结 论

从已在上海市护岸工程建设中应用过的生态袋供应商处采购试验样品,委托上海勘测设计研究院有限公司土工合成材料检测中心开展了材料试验,获得了大量的试验数据。然后应用概率统计学原理,以 Gauss 分布函数数值模型为基础,通过 origin 数据拟合软件对生态袋材料的性能检测数据进行拟合,得出了各关键材料参数满足 95%保证率的指标阈

表 6 上海市生态护岸建设中生态袋材料关键参数指标推荐值一览表

项目	推荐值	备注
单位面积质量/(g·m ⁻²)	不低于 150	不做强制性要求
纵向拉伸强度/(kN·m ⁻¹)	≥12.5	
横向拉伸强度/(kN·m ⁻¹)	≥12.5	
纵向伸长率/%	≥42	
横向伸长率/%	≥60	
纵向梯形撕裂强度/kN	≥0.30	
横向梯形撕裂强度/kN	≥0.30	
CBR 顶破强度/kN	≥2.1	
垂直渗透系数/(cm·s ⁻¹)	≥0.44	
等效孔径 O ₉₀ /mm	0.19~0.22	
耐久性 纵向强度保持率/%	>95%	150 h 紫外灯老化试验
指标 横向强度保持率/%	>95%	

值,然后结合《上海市河道生态治理设计指南(试行)》提出了生态袋关键材料参数的指标推荐值。其成果可为上海市生态袋护坡的设计、施工、质检提供技术支撑。此研究成果亦可为国内生态袋产品指标提供参考。

参考文献:

[1] 张琳琳,董文凯,沈小立,石永超,施玉青.土工合成材料在上海市生态护岸应用的调研[J].城市道桥与防洪;2019,2(2): 121-124

[2] 上海市水务局.上海市河道生态治理设计指南(试行)[Z].上海:上海市水务局,2013.

[3] SL 235—2012,土工合成材料测试规程[S].

(上接第 117 页)

(6)对铝合金材料特性及对桥梁设计中关键因素的把控,将提升铝合金材料的使用效率,降低建造成本。

参考文献:

[1] T/CECS 471—2017:铝合金人行天桥技术规程[S].

[2] GB 50429—2007:铝合金结构设计规范[S].

[3] 刘扬.某铝合金人行天桥的结构分析[D].南昌:南昌大学,2015.

[4] 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.